



武汉大学
百年名典

实用天文学

夏坚白
陈永龄
王之卓
编

山高水長
流風長美
根深葉茂
實中聲和

新學

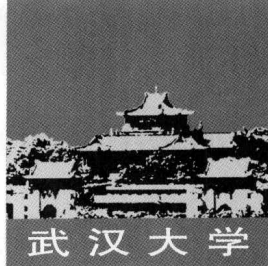
PDG



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社





武汉大学
百年名典

实用天文学

夏坚白
陈永龄
王之卓
编



武汉大学出版社
WUHAN UNIVERSITY PRESS



图书在版编目(CIP)数据

实用天文学/夏坚白,陈永龄,王之卓编. —武汉:武汉大学出版社,
2007.10

武汉大学百年名典

ISBN 978-7-307-05904-7

I. 实… II. ①夏… ②陈… ③王… III. 实用天文学 IV. P128

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 155277 号

责任编辑:杨 华 责任校对:程小宜 版式设计:支 笛

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

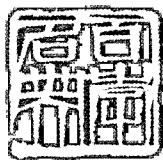
印刷:武汉中远印务有限公司

开本:720×1000 1/16 印张:17.625 字数:250千字 插页:4 插图:1

版次:2007年10月第1版 2007年10月第1次印刷

ISBN 978-7-307-05904-7/P·128 定价:32.00元

版权所有,不得翻印;凡购我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。



武汉大学百年名典

自然科学类编审委员会

主任委员 刘经南

副主任委员 卓仁禧 李文鑫 周创兵

委员 (以姓氏笔画为序)

文习山 石 兢 宁津生 刘经南

李文鑫 李德仁 吴庆鸣 何克清

杨弘远 陈 化 陈庆辉 卓仁禧

易 帆 周云峰 周创兵 庞代文

谈广鸣 蒋昌忠 樊明文

秘书长 蒋昌忠

夏坚白 (1903~1977), 江苏常熟人, 著名测绘学家、教育家, 1955年被聘为中国科学院学部委员。

夏坚白1929年7月获清华大学理学学士学位后留校任教。1934年考取庚款公费留学, 赴英国伦敦大学帝国理工学院攻读测量专业。1935年7月获D.I.C.文凭, 8月转入德国柏林工业大学测量系学习。1937年7月获该校特许工程师文凭, 继而攻读博士学位。1939年4月, 柏林工业大学授予他工学博士学位。

1939年回国后, 任同济大学测量系副教授。1940年8月, 调任重庆中国地理研究所大地测量组副研究员, 创办了我国最早的两种测量刊物《测量》和《测量专刊》。1941年5月重返同济大学测量系任教授。1943年7月, 被聘为中央陆地测量学校教育处长, 将学校拓宽为大学本科学校, 短短几年内培养高级测绘人才几百名。

1946年11月, 调往南京陆地测量局工作, 主持全国测绘人员业务教育及地图制图事宜, 主管中央陆地测量学校教育, 并兼中央大学土木系教授。1948年7月, 辞去陆地测量局工作, 应聘回同济大学任教务长、测量系教授, 代理校长。于同年12月4日正式出任校长。

1950年4月起, 任华东军政委员会文教委员会委员。同年6月起, 任中国科学院专门委员。1955年被聘为中国科学院学部委员, 是当时我国测绘界唯一的学部委员。他倡议并积极参与创建了中国第一所民用测绘高等学校和中国测绘学会, 继而任武汉测量制图学院首任院长、中国测量制图学会筹委会主任, 第一、二届副理事

长，并历任上海各界代表会议代表、市政协常委、武汉市人民代表、市人民委员会委员，第二、三届全国人大代表、国家科委测量制图组副组长等。他的业绩得到了毛泽东主席的嘉许并数次受到接见。

1956年，参与制定了我国科技12年发展规划，确定了“测量制新技术的研究和中国基本地图的绘制”为规划的中心课题之一。1962年，参加制定了“1963-1972年测量与制图科技发展规划”，决定了我国测绘科技各领域16个课题66个重要项目。

“文革”中武汉测绘学院被撤销。1973年3月6日，周恩来总理作了调整测绘部门体制问题的批示，夏坚白的建议被采纳，重建了武汉测绘学院。1974年返回学校后立即进行了卫星大地测量理论与新技术研究。

1953年在上海加入九三学社，后参加九三学社武汉分社的筹建工作。1958年9月被选为武汉分社副主委。曾任九三学社中央科学文教工作委员会委员等。

先后主编、主译大地测量专业的专著多部，与人合著教科书一套，发表了多篇论文。1965年主持完成了国家科研项目“天文方位角测定精度研究”。主要著作有：《全能经纬仪T₄的检验与应用》、《实用天文学》、《应用天文学》、《测量平差法》、《实用天文学教程》（上下册，译著）等。

1977年10月夏坚白病逝于武汉，享年74岁。

《武汉大学百年名典》出版前言

百年武汉大学,走过的是学术传承、学术发展和学术创新的辉煌路程;世纪珞珈山水,承沐的是学者大师们学术风范、学术精神和学术风格的润泽。在武汉大学发展的不同年代,一批批著名学者和学术大师在这里辛勤耕耘,教书育人,著书立说。他们在学术上精品、上品纷呈,有的在继承传统中开创新论,有的集众家之说而独成一派,也有的学贯中西而独领风骚,还有的因顺应时代发展潮流而开学术学科先河。所有这些,构成了武汉大学百年学府最深厚、最深刻的学术底蕴。

武汉大学历年累积的学术精品、上品,不仅凸现了武汉大学“自强、弘毅、求是、拓新”的学术风格和学术风范,而且也丰富了武汉大学“自强、弘毅、求是、拓新”的学术气派和学术精神;不仅深刻反映了武汉大学有过的人文社会科学和自然科学的辉煌的学术成就,而且也从多方面展现了 20 世纪中国人文社会科学和自然科学发展的最具代表性的学术成就。高等学府,自当以学者为敬,以学术为尊,以学风为重;自当在尊重不同学术成就中增进学术繁荣,在包容不同学术观点中提升学术品质。为此,我们纵览武汉大学百年学术源流,取其上品,掬其精华,结集出版,是为《武汉大学百年名典》。

“根深叶茂,实大声洪。山高水长,流风甚美。”这是董必武同志 1963 年 11 月为武汉大学校庆题写的诗句,长期以来为武汉大学师生传颂。我们以此诗句为《武汉大学百年名典》的封面题词,实是希望武汉大学留存的那些泽被当时、惠及后人的学术精品、上品,能在现时代得到更为广泛的发扬和传承;实是希望《武汉大学百年名典》这一恢宏的出版工程,能为中华优秀传统文化的积累和当代中国学术的繁荣有所建树。

《武汉大学百年名典》编审委员会

再版说明

夏坚白、陈永龄、王之卓先生编写的《实用天文学》于 1953 年由商务印书馆首次出版。我社据商务印书馆 1956 年第 5 版,改以简体新版,并力求保持全书原貌,仅删除书后收录该书部分名词所在页码的《索引》,对书中个别单位/字符的用法作了统一,对明显的排版错误作了修订。

武汉大学出版社

2007 年 10 月

序

一九三三年夏坚白著的《应用天文学》出版,二十年以来迄未能加以修订,现编者根据教学经验,将原书彻底改编。在材料取舍以及叙述程序方面,以切合实际之需要并能使读者易于领会为原则。关于经纬度及方位角之精密测定,亦酌列基本部分。此书适作工学院内各专业系科天文测量教材及实地作业参考之用。

编者识

一九五三年四月

目 录

序	1
第一章 天体之运行	1
第一节 实用天文学	1
第二节 宇宙概述	1
第三节 太阳系	3
第四节 地球	6
第五节 地球之运行	7
第二章 天球	11
第一节 天球之定义	11
第二节 天球上之参考点圈	12
第三节 天球上之坐标系统	14
第四节 恒星	17
第五节 星座及恒星之辨认	19
第三章 天体之视运动	25
第一节 恒星之视运动	25
第二节 太阳之视运动	27
第三节 行星及太阴之视运动	31
第四节 岁差及章动	33
第五节 光行差	35

第四章 时	38
第一节 时段与时刻	38
第二节 恒星日、恒星时	38
第三节 太阳日、太阳时	40
第四节 时差	42
第五节 时与经度	44
第六节 标准时	47
第七节 日期界线	48
第五章 天文年历	49
第一节 天体位置	49
第二节 年与历	50
第三节 年历内容	50
第四节 恒星之平位置至视位置之化算	52
第五节 内插计算公式	53
第六章 时之换算	57
第一节 平太阳时与视太阳时之换算	57
第二节 恒星时段与平太阳时段之关系	59
第三节 恒星时刻与太阳时刻之关系	61
第四节 时刻换算应用问题	65
第五节 恒星时刻之近似估计	67
第七章 定位三角形	69
第一节 球面三角之基本公式	69
第二节 直角或象限球面三角形	72
第三节 定位三角形之一般解算	73
第四节 定位三角形之特殊情形	76

第八章 观测仪器	79
第一节 经纬仪	79
第二节 六分仪	82
第三节 计时仪器	87
第九章 高度角观测值之改正	90
第一节 蒙气差	90
第二节 视差	93
第三节 半径	94
第四节 海平俯角	94
第五节 高度角之改正计算	96
第十章 时计对正及授时信号	97
第一节 时计改正及其日差	97
第二节 以标准时计对正计时表	98
第三节 无线电授时信号	100
第四节 游标授时信号之收录	104
第十一章 纬度之测定	109
第一节 总论	109
第二节 天体中天高度法	111
第三节 环子午高度法	114
第四节 北极星高度法	125
第五节 赫瑞鲍太尔各特法	128
第十二章 时刻与经度之测定	140
第一节 总论	140
第二节 天体高度法	141
第三节 天体等高法	147

第四节	天体中天时刻法·····	156
第五节	子午仪中天观测法·····	158
第六节	恒星经过北极星地平经圈时刻法·····	171
第七节	经度之测定·····	174
第十三章	同时测定经纬度方法·····	177
第一节	测两星高度定经纬度·····	177
第二节	定位线解法·····	178
第三节	定位线公式·····	183
第四节	等高观测原理·····	186
第五节	等高仪·····	189
第六节	等高仪观测之选星·····	191
第七节	等高仪之观测工作·····	192
第八节	等高仪观测计算举例·····	193
第十四章	方位角之测定·····	198
第一节	方位角及方位标·····	198
第二节	测定方位角一般原理·····	200
第三节	天体高度法·····	202
第四节	太阳时角法·····	209
第五节	拱极星在大距法·····	212
第六节	拱极星近大距法·····	215
第七节	近极星任意时角法·····	218
第八节	太阳仪附件法·····	224
第九节	子午线收敛角·····	228
附表 ·····		230

第一章 天体之运行

第一节 实用天文学

实用天文学又称为天文定位学，乃天文学之一部门，其目的在观测天体之位置，以测定地面上一点之经纬度及方位角。实用天文学之内容包括天体运动之法则、天体位置之推算、各种定位观测方法之理论、观测仪器之构造与使用以及定位计算等。

我国天文学发展甚早，殷墟甲骨中已常见天象之记载。及至春秋，历法渐具条理，足证我国上古天文知识之发达。周文公时设表测景，以定地中，实即今日之纬度测量，惜受周髀算经之误，谓地长千里，景差一寸，未再多在实测方面发展。

欧洲自十七世纪初发明望远镜后，天文学遂进入一新境界。因实用天文学与大地测量学密切相关，其实用价值随时代之进展而益趋重要。近百余年来，举凡大三角测量、导线测量、探险测量、航海航空之定位与控制，莫不有赖于实用天文学。

本书之目的在介绍实用天文学之一般理论及方法，以测量工作者所常用者为限。遇有特殊仪器为一般测量者所不习用者，则较详说明。

第二节 宇宙概述

实用天文学虽仅观测星体之位置，然学者对于宇宙之构造亦须先有概略之认识。

吾人今日所观天象，若不藉望远镜之助，与古人所见实无二致。日月之外，繁星点点，其能为肉眼所辨认者，总数约为五千，然同时仅能见其半。其中数星位置经常移动者，名为行星；其位置历久而无显著之相对变化者，名为恒星。

古人所识行星之数仅得五，即金、木、水、火、土是也。此后藉望远镜而窥天，更先后发现天王、海王、冥王三行星，加入吾人所居之地球，遂得九大行星。介于火星与木星之间又有一群小行星，质量微细而数目繁多，疑为一行星分裂而成者。所有行星俱循一定之椭圆轨道绕日而运行。行星又有卫星环绕之运行。月（又名太阴）即为地球之卫星。所有行星及卫星本身均不发光，其光系由太阳反射而来。行星及卫星之外更有彗星及流星（彗星之碎裂者），亦系统日运行，但其轨道为极扁之椭圆形，周期较长，非俟行近地球，吾人不易见之。凡此皆以太阳为中心之系统，故名曰太阳系。

所有恒星均为与太阳相类似之天体，自身发光。肉眼能见之恒星数约五千。若以今日之最大望远镜（直径 100 英寸），用摄影方法辨认，则可见之数达 15 亿。夏夜横亘晴空之银河，实即无数恒星密集于同一方向所形成者。如用望远镜窥视，即可分析为密集之群星。盖恒星布于空中有如扁平之圆盘，吾人居于盘中，举目四瞩，独在此圆盘平面之方向，所见星数最多，其距离亦最遥远，故呈银河之状。此圆盘状之恒星集团，名为银河系。

今日天文学不但可测知恒星之位置，并可利用摄影及分光仪等仪器测算其距离、运动方向与速度，并可研究其物理化学性质。据观测结果，银河系之半径约为十万光年。（光之速度为每秒 30 万公里，光每年所行之距离名为光年，为天文学上之测距单位，其距离之大非吾人在地球上所易想像者），太阳距银河系中心约为四万光年。整个银河系含有 1 500 亿个太阳之质量。个别恒星质量之大小虽相差甚多，然太阳约居其中数，是故可云银河系中约有 1 500 亿个恒星。今日所得见者仅其百分之一，其余均因距离遥远及星体间所存在之“雾”质，使吾人不能尽窥其面目。所有恒星俱围绕中心而旋转，有如行星之绕日。太阳系在银河系中运行之速度约为每秒 270 公里，二万五千亿年始运行

一周。

银河系之庞大已如前述,然宇宙并非尽此而已。银河系之外尚有无
数类似之恒星集团,只以距离更为遥远,如在望远镜中窥视仅为扁平螺
旋形之微弱光体。因其在空中方位不一,或现圆盘之形,或现纺锤形,或
现倾斜之状,统名曰河外星云。今日之所得见者为数约一千万,大小均
与银河系相仿。其在空中分布之平均距离约为 200 万光年。今日可见最
远之河外星云距吾人达 5 亿光年。宇宙之大于兹可见。

第三节 太 阳 系

太阳系包含太阳、行星及其卫星、彗星及流星等。兹仅略述各行星
(包括地球) 及卫星之运动。行星共计九个,各星之平均直径列于表 1-1
之第 2 列,其与太阳大小之比例,可以图 1-1 明之。

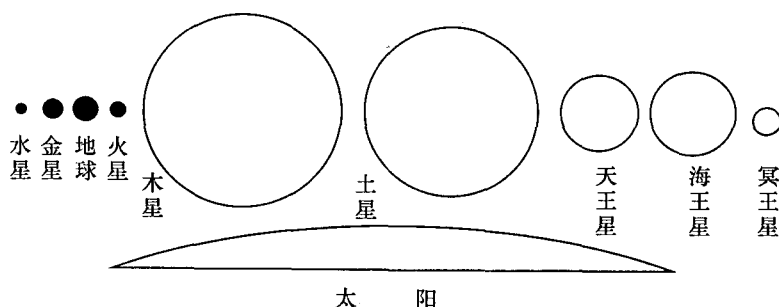


图 1-1 太阳与行星之比例

兹设于太阳系外有一观测者,自北向南观察,则将见诸行星各循一
定轨道绕太阳作椭圆形之运转,其方向为反时针向,示如图 1-2。由表
1-1 第 3 列可以推想各轨道之大小。由同表第 5 列可见各椭圆轨道实极
近于圆形。由同表第 6 列又可见各行星之轨道面几相近于同一平面。表
1-1 第 4 列说明各行星绕日运行一周所需之时间,其单位为回归年,即
地球绕日一周回至原处所需之时间。

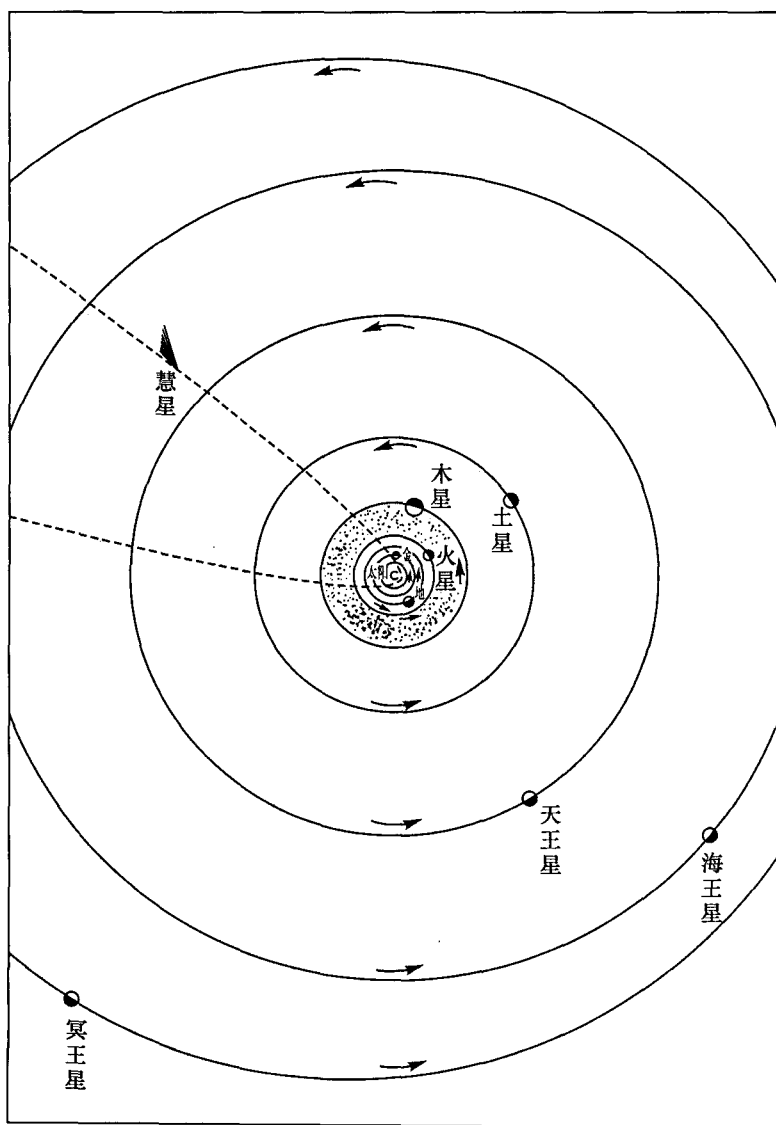


图 1-2 行星之轨道

行星表

表 1-1

1	2	3		4	5	6	7
星名	平均直径	行星至太阳之平均距离		周期 回归年	轨道之 偏心率	各轨道与地球 轨道面之交角	卫星数目 个
		天文单位	公 里				
水星	4 800	0.387 1	57 870 000	0.210 85	0.205 6	70°00' 13".3	0
金星	12 200	0.723 3	108 140 000	0.615 21	0.006 8	3 23 38.6	0
地球	12 757 12 714	1.000 0	149 504 000	1.000 04	0.016 7		1
火星	6 800	1.523 7	227 800 000	1.880 89	0.093 4	1 51 00.2	2
木星	142 700 132 200	5.202 8	777 820 000	11.862 23	0.048 4	1 18 22.7	11
土星	120 800 108 100	9.538 8	1426 100 000	29.457 72	0.055 7	2 29 26.2	9
天王星	49 700	19.191 0	2869 100 000	84.015 29	0.047 2	0 46 22.6	5
海王星	53 000	30.070 7	4495 600 000	164.788 29	0.008 6	1 46 30.5	2
冥王星	12 390	39.596 7	5920 000 000	247.696 8	0.248 5	17 8 35.5	0

除水星、金星及冥王星外,其他行星均有卫星,数目列于表 1-1 之第 7 列。太阴(通名月亮)即为地球之卫星,各卫星均绕其所属行星而运转。太阴绕地球一周所需之时间为一月。太阴绕地球运转之轨道平面与地球绕日轨道平面之交角约为 5° 。

第四节 地 球

天文观测者位于地球面上,故对于地球之形状与大小以及地球面上之坐标系统必先有明确之认识。

地球之形状极近于扁平之旋转椭圆柱体,此椭圆柱体之旋转轴即为地球自转之轴。此轴通过地球中心,其方向定为南北向。与地球面相交之两点名为地球南北极,故自转轴又名极轴,垂直于极轴并通过地心之平面称为赤道平面。赤道平面与地球椭圆柱体相交成一圆形,名为地球赤道。图 1-3 示地球椭圆柱体, N 为北极, S 为南极, NS 为极轴, WKE 为地球赤道。

地球椭圆柱体之长半径,即地球赤道之半径以 a 表之(图 1-3),其短半径即极轴长度之半以 b 表之。 a, b 之长度如下:

$$a = 6\,378\,388 \text{ 公尺}$$

$$b = 6\,356\,912 \text{ 公尺}$$

地面上任意一点之重力方向称为垂线。一点垂线与赤道平面之交角称为该点之纬度。图 1-3 BV 为 B 点之垂线, φ 为 B 点之纬度,纬度由赤道起算,在赤道之北者为北纬,在赤道之南者为南纬,各由 0° 至 90° 。

通过极轴及地面上一点之平面称为该点之子午平面。所有通过极轴之平面均为子午平面。其中之一通过英国格林尼治天文台者,为世界公认之经度起算点,称为原始子午平面。地面上任意一点之子午平面与原始子午平面之夹角称为该点之经度。在格林尼治以东者为东经,在其西者为西经,各由 0° 至 180° 。任意两点子午平面间之夹角为该两点之经度差。图 1-3 中 $NBESW$ 为 B 点之子午平面, $NGKS$ 为原始子午平面, G 代表格林尼治天文台。 λ 代表 B 点之经度,在图中为东经。 $\Delta\lambda$ 代表

地球面上 AB 两点之经度差。

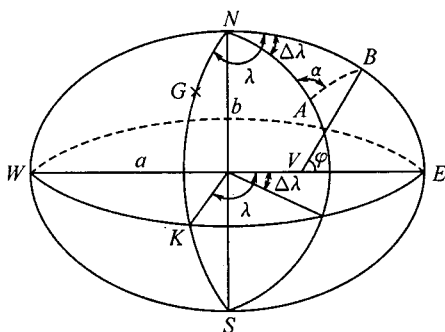


图 1-3 地球面上之座标系统

地面上由 A 点至 B 点之方位角为 A 点子午平面与 A 点通过 B 点之垂直平面间之交角。图 1-3 中以 α 表示之，方位角自正北起顺时针方向计算，由 0° 至 360° 。

经纬度为地球面上之座标系统。本书中一律以 φ 表示纬度，以 λ 表示经度， $\Delta\lambda$ 表示经度差。又方位角亦有自正南顺时针方向起算者，本书则一律自正北起算。

第五节 地球之运行

地球绕日运行名为轨道运动。地心所作之轨迹平面称为黄道平面。太阳之中心亦在黄道平面内。

地球除作轨道运动外，并绕其极轴自转，其自转之速度为每日一周，详见第四章。

黄道平面与赤道平面相交之角名为黄赤交角。地球作轨道运动时其自转轴所指方向大体不变，故黄赤交角为一常数，约为 $23\frac{1}{2}^\circ$ 。黄道与赤道平面之交线在黄道平面内亦随地球轨道运动而作平行之移动。

在黄道平面内通过太阳中心作一直线平行于黄赤交线，与地球轨

道相交于两点,是为二分点:春分点与秋分点(图 1-4)。通过太阳中心作另一直线与黄赤交线垂直,与地球轨道相交之两点名为二至点:夏至点与冬至点。

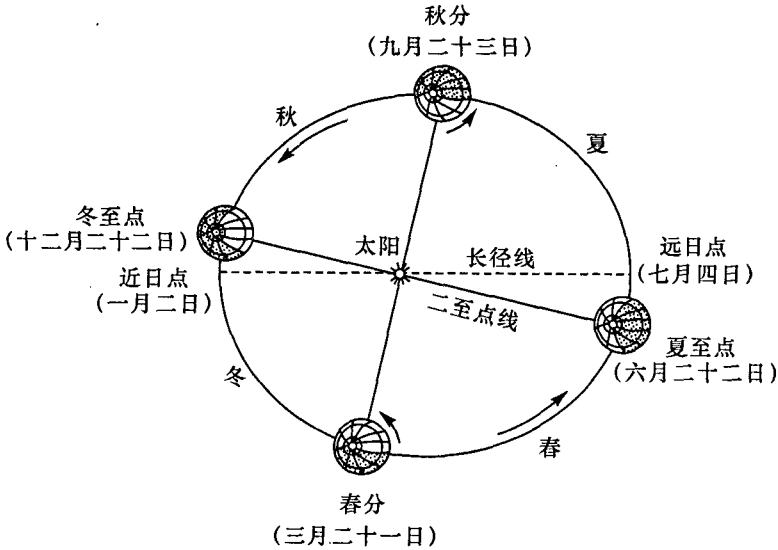


图 1-4 四季(所示日期系 1951 年的)

第三节已述及各行星轨道运转之方向,自北方俯视为反时针方向。因地球自转轴之方向定为南北方向,故此种运转方向又可称为向东转,如图 1-5 所示。反之则为向西转。

据刻卜勒行星运行第一定律:所有行星绕日之轨道俱为椭圆形,太阳居此椭圆之一焦点。故地球与太阳之距离随其在轨道上之位置而不同。地球轨道上与太阳距离最近之点名为近日点;最远之点名为远日点。连接此两点之直线必通过太阳,即为地球轨道椭圆之长径线,如图 1-4 所示。

地球每年行过二分点及二至点之日期大致相同,前后相差不致超过一日。地球行过近日点与远日点之日期逐年微向前移,图 1-4 所注之

日期为 1951 年地球行过各点之日期。

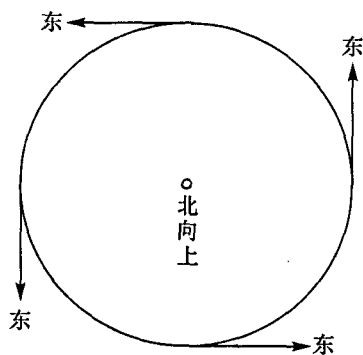


图 1-5 向东转

按照刻卜勒行星运行第二定律：行星轨道运行之速度系使太阳与行星相联之向径，在同一时间内扫过轨道平面上相等之面积（图 1-6）。是以地球绕日运行在远日点时速度最慢，在近日点时速度最快。由图 1-4 所示日期自春分点转至秋分点共需 186 日，而自秋分点转回至春分点共需 179 日，可见地球运转速度夏日较慢，冬日较快。但因地球轨道之椭圆率极小，即甚近于圆形，故运转速度之变化极微。

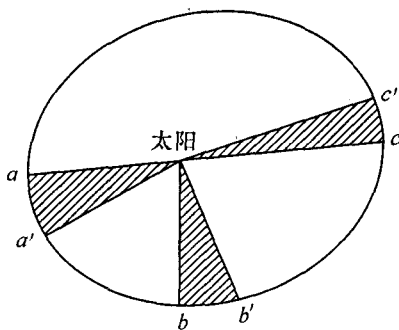


图 1-6 地球之轨道运动

地球行至春分点时,太阳正射于赤道之上。由春分点前进,太阳正射之位置逐渐由赤道向北移动。迨地球达夏至点时太阳正射北纬 $23\frac{1}{2}^{\circ}$ (等于黄赤交角),如图 1-7(a) 所示。由夏至到秋分,太阳正射点又由北纬 $23\frac{1}{2}^{\circ}$ 逐渐南移至赤道。秋分以后,太阳正射点转入南半球,至冬至达到南纬 $23\frac{1}{2}^{\circ}$,如图 1-7(b) 所示。此后又逐渐北移,至春分仍返于赤道。

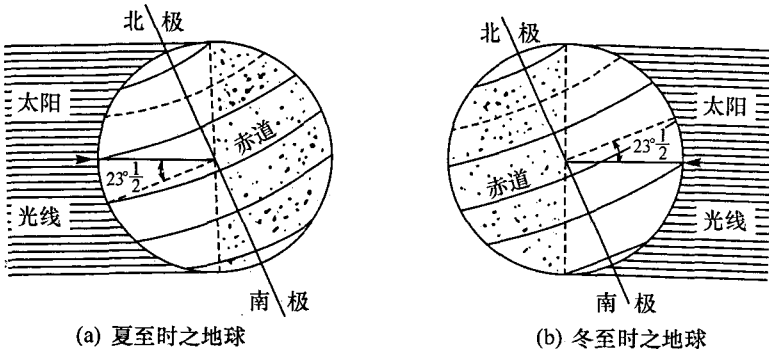


图 1-7

当太阳正射北半球时,北半球温度最高,故为夏季。太阳正射南半球时,北半球温度下降,故为冬季。若就南半球而论,则冬夏季适与北半球相反。至于地球与太阳之距离虽在夏季较远,但因全年最远与最近相差不过 $1/30$,影响热度极小,不足为决定季节之主要原因。

第二章 天 球

第一节 天球之定义

仰望苍天，众星罗列，双目不能辨其远近，一若所有星体同在一巨大无比之空心球上。实用天文学中即假定以地心为中心，将各天体投射于半径等于无穷之球面上，而名之曰天球。如此一星之位置即以其投射于天球面上之坐标表示之，而实用天文学所有问题亦可以球面三角解算之。

天球既以地心为中心，但观测者居于地面，其观测方向将受何影响？地球之半径平均为 6 370 公里，而最近之恒星（Proxima 人马座）距地球 4.16 光年，即光线由该星射至地球须经 4.16 年，折合三十九万四千余亿公里。依此计算，自地面观测与自地心观测此星之方向相差约为 $\frac{1}{30\,000}''$ ，对于实际观测固毫无影响。至于其他恒星距离更远，影响更小矣。但如观测之对象为太阳或太阴，则因其距地较近，方向影响较大，故地面观测结果必须化至地心，此种改正名曰周日视差，将于第九章中论之。

其次，地球绕日作轨道运动，是地心并非一固定点，以之为天球之中心，又将有若何影响？其实举凡太阳及恒星均各有其运动，名曰本动。故天空中实难觅一固定之点。不过各天体间之距离极远，其运动极不显著，非用精密仪器长期观测不易发觉。若不论太阳与恒星之本动，而专论地球轨道运行对于恒星在天球上位置之影响，并仍以最近之恒星（Proxima 人马座）为例。按地球轨道之半径约为 1.5 亿公里，对于此星

方向之影响约为 $0''.76$, 名为周年视差, 于计算恒星视位置时顾及之, 每次观测无须改正。

第二节 天球上之参考点圈

欲在天球上树立坐标系统, 必须有参考之点与圈。如图 2-1 及图 2-2, 将地球之极轴延长与天球相交于二点, 名为天极。在北者为北极 (P), 在南者为南极 (P')。将地球赤道平面延展与天球相交成一大圆, 名为天球赤道 ($QERW$)。天球赤道将天球分割为二等分; 在北者为北天, 以北极为中心; 在南者为南天, 以南极为中心。

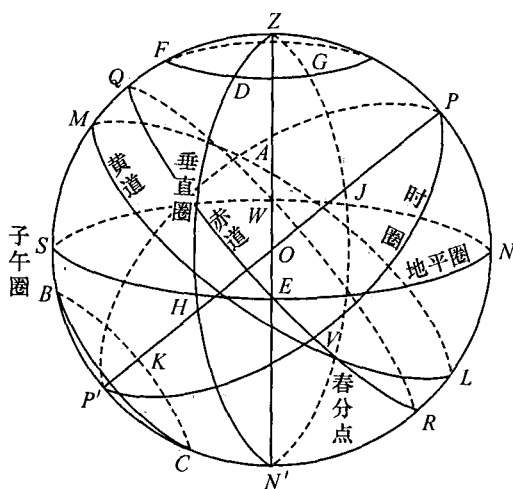
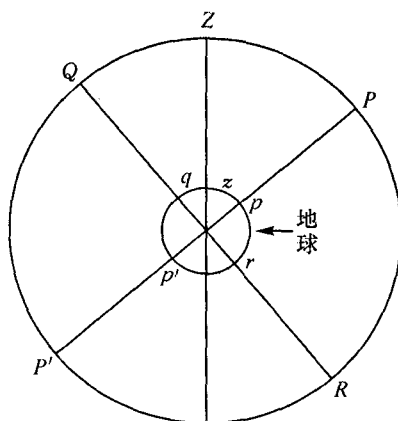


图 2-1 天球

将观测者之垂线延长, 亦与天球交于二点: 在观测者之顶者名为天顶 (Z); 在观测者之底者名为天底 (N')。由以上定义及图 2-2, 可知天顶在天球上对天极及天球赤道之关系正与观测者地点在地球上对地极与地球赤道之关系相当。此乃解算实用天文问题之最主要基础。其次再参

考图 2-1,通过地心作一平面垂直于垂线,与天球相交之大圆名为地平圈(SEW)。所有通过天顶、天底之大圆均名为垂直圈,又名地平经圈。所有通过天极之大圆均名为时圈。通过天极又通过天顶、天底之大圆为观测者之子午圈($ZP'N'P$)。按前述定义知子午圈同时为一地平经圈,又为一时圈。



pp' . 地球南北极

PP' . 天球南北极

qr . 地球赤道

QR . 天球赤道

z . 观测者在地面之位置

Z . 观测者之天顶

图 2-2 地球与天球之关系

垂直于子午圈之地平经圈名为卯酉圈($ZEN'W$)。垂直于子午圈之时圈名为六时圈($P'EPW$)。

延展地球轨道平面与天球相交之大圆名为黄道($MVLA$)。黄道与赤道相交于春分(V) 秋分(A) 二点。如第五节所述,黄道上与二分点相距各 90° 之二点为夏至点与冬至点。图 2-3 示地球轨道与天球黄道之关系,并说明春分点、秋分点等投影于天球之情形。

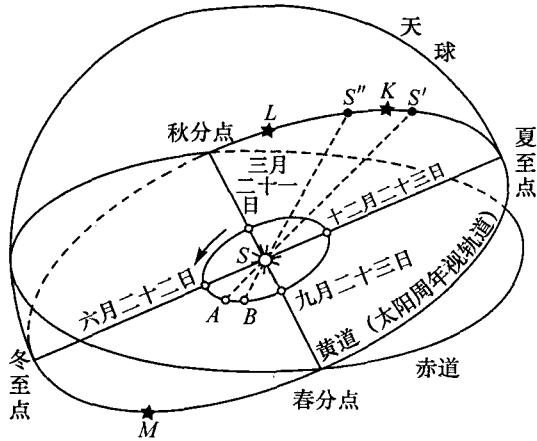


图 2-3 地球轨道与天球黄道

第三节 天球上之坐标系

1. 地平坐标 天体之位置以其在天球上之二坐标值确定之。取观测点之地平圈为主圈,而以通过该天体 S (图 2-4) 之地平经圈(即垂直圈)为副圈,用以确定该天体之位置,是为地平坐标。其座标值为:

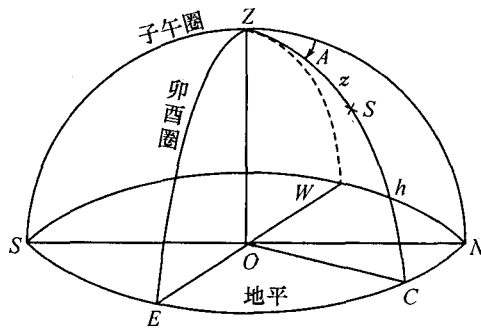


图 2-4 地平坐标

方位角 A ——子午圈与地平经圈间之夹角 $\angle NOC$, 或称为地平经度, 在地平圈上自北点向东点方向起数, 自 0° 至 360° 。

高度角 h ——在地平经圈上自地平圈量至天体间之角距 (CS), 或称为地平纬度, 在地平之上者为正, 自 $0^\circ \rightarrow +90^\circ$; 反之者为负自 $0^\circ \rightarrow -90^\circ$ 。

高度角亦可代以天顶距 ($z = ZS$), 即在地平经圈上自天顶点量至天体点之角距。可自 0° 至 180° , 而 $z = 90^\circ - h$ 。

地平坐标之二坐标值实即地面测量所习用之方位角与垂直角二值, 可以直接用经纬仪观测定之。但由于地球之自转及各观测者在地球上位置之不同, 故同一天体, 在不同时间或在不同地点观测时得不同之地平坐标值。

2. 时角赤道坐标 以赤道圈为主圈, 以通过该天体 S (图 2-5) 之时圈为副圈, 构成赤道座标。赤道坐标分为时角赤道坐标及赤经赤道坐标两种。时角赤道坐标之坐标值为:

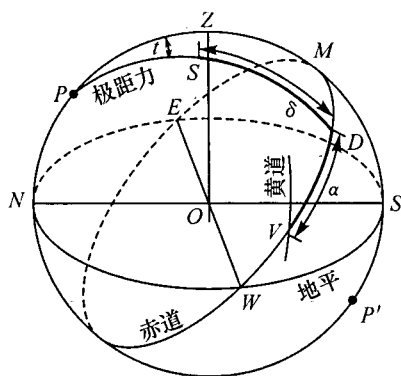


图 2-5 赤道坐标

时角 t ——子午圈与时圈之夹角, $\angle MPS$ 。自上中天向西起数, 其单位常以时、分、秒表示之, 自 0 时至 24 时相当于角度自 0° 至 360° , 在赤道上时角以 MD 弧代表之。

赤纬 δ ——在时圈上自赤道至该天体间之角距 SD ，向北为正，自 $0^\circ \rightarrow +90^\circ$ ；向南为负，自 $0^\circ \rightarrow -90^\circ$ 。赤纬亦可代以极距 $p = \widehat{PS}$ ；即在时圈上自北极至该天体之角距，自 $0^\circ \rightarrow 180^\circ$ ，而 $p = 90^\circ - \delta$ 。时角赤道坐标之赤道圈与观测者之位置无关，但子午圈则随观测者之天顶点而异，故对恒星而言，其坐标中之赤纬为不变之值，但其时角则随观测者之位置而不同。

3. 赤经赤道坐标 赤经赤道坐标之主副圈与时角赤道坐标相同，但其坐标值为：

赤经 α ——通过天体之时圈与通过春分点时圈间之夹角。在赤道上言之，赤经系由春分点 V 向东起数之弧段，自 0 时至 24 时或自 0° 至 360° 。

在图 2-5 天体 S 之赤经以 VD 表示之。

赤纬 δ ——或用极距 p ，定义与时角赤纬坐标时相同。赤经赤纬两值均与观测者位置无关，故为表示恒星位置之最适宜坐标系统。

4. 黄道坐标 黄道坐标之主圈系黄道，其副圈系通过黄道两极点及该天体之大圈，称之为黄道时圈。其坐标值为黄经 L 与黄纬 β ，其定义分别与赤经赤道坐标中之赤经与赤纬相仿，惟将赤道改为黄道，而将时圈改为黄道时圈即是。黄道坐标在实用天文学中甚少应用。

5. 坐标系统之相互关系 上述各种坐标系统综列于表 2-1，以资比较。

表 2-1

坐标系统表

坐标系统	地平坐标	赤道坐标		黄道坐标
		时角赤道坐标	赤经赤道坐标	
性质	与观测点位有关		固定于天空	
轴线	垂直线	地轴		黄道轴
主圈	地平圈	赤道圈		黄道圈
副圈	垂直圈	时圈		黄道时圈

续表

坐标系统	地平坐标	赤道坐标		黄道坐标
		时角赤道坐标	赤经赤道坐标	
主圈坐标	方位角 A	时角 t	赤经 α	黄经 L
极限	$0^\circ \rightarrow 360^\circ$	时 时 $0 \rightarrow 24$	时 时 $0 \rightarrow 24$	$0^\circ \rightarrow 360^\circ$
起数点	北点	观测点子午圈 与赤道圈之交 点(上中天)	春分点	
起数方向	向东点方向	向西	向东	向东
副圈坐标	天顶距 z $0^\circ \rightarrow 180^\circ$ 或高度角 h $0^\circ \rightarrow \pm 90^\circ$	极距 p $0^\circ \rightarrow 180^\circ$ 或赤纬 δ $0^\circ \rightarrow \pm 90^\circ$ 北 + 南 -		黄纬 β $0^\circ - \pm 90^\circ$ 北 + 南 -

第四节 恒 星

亿兆众星满布天空,若无一定之区别,势难辨认。于是天文学家有星座之规定,用以区分天球面上之恒星。星座之区分并无任何规律,昔多祿亩依古人所习用者划为四十八星座,名称多为神名及兽名,盖袭自古之神话。嗣后用望远镜观测,所见之星愈多,星座之数目亦渐增多,今所通行者已达八十八座。

个别恒星之名即以所在星座之名冠以希腊字母或数码而区别之。字母之次序率依座内星光之强弱而定。最亮者为 α ,次者为 β ,以此类推。但星光强弱历久而有变化,今日所见者已未必尽符。其亮度较低,肉眼所不能见者则多用数码区别之。例如 α 大熊座为大熊座最亮之星,51 仙王座为仙王座之一星。倘为双星则二星用同一字母,而于字母之右上角加 1,2 以区别之,如 α^1 摩羯座, α^2 摩羯座等。

若干较亮之明星多有专名,如 α 小熊座又名北极星, α 天琴座又名织女星。

我国古天文学中对于星座之划分与西洋天文学不同,其星名仅限于肉眼之所能见者。元明以后,星座与星名渐改采西洋之规定,以求划一。然若干古星名至今仍保留为该星之专名。如大角即 α 牧夫座,老人(通名南极寿星)即 α 天舟座等均是。

实用天文学中与恒星之大小、远近以及物理化学性质等无何关系,所注意者仅为其在天球上之视位置及其亮度。恒星之视位置可由天文年历查得,将于第五章中详论。兹仅将恒星之亮度加以说明:

恒星之亮度乃以星等别之,一等星较二等星为亮,二等又胜于三等,余类推。昔时多禄宙曾随意将肉眼能见之星分为六等,一等最亮,六等最暗。自望远镜发明以后,星数增加,而各观测者名定星等,并无统一之规定,对于实用既欠精确,又乏标准,极为不便。至 1850 年,朴格生始倡标准星等之规定,假设各星等间之亮度比例均为 $\sqrt[5]{100}$ 即 2.512。肉眼不能见及之星,亦以相同比率定其等级,以相当六等星 $\frac{1}{2.5}$ 光强之星作为七等星,以下类推,迄至二十四等为止。一等星以上亦可有 0 等及负数等星。兹设 b_1 为一等星亮度, b_2 为二等星亮度,其比例如下:

$$b_1 = \sqrt[5]{100} b_2$$

同理

$$b_2 = \sqrt[5]{100} b_3$$

$$b_3 = \sqrt[5]{100} b_4$$

由此可得普通公式:

$$b_m = (\sqrt[5]{100})^{n-m} b_n$$

或

$$\frac{b_m}{b_n} = (\sqrt[5]{100})^{n-m}$$

化为对数式,得: $\log_{10} \frac{b_m}{b_n} = (n-m) \log_{10} \sqrt[5]{100}$

约为:

$$\log_{10} \frac{b_m}{b_n} = 0.4(n-m)$$

易言之,亮度比例之对数等于星等差之十分之四。应用此公式以后,若两星之星等已知,可求其亮度比例;亮度比例及一星之星等已知后,亦可求别星之星等。应用此法时必须以一等级不变之星为基本星等;今所采用者为北极星,其星等定为 2.120,其他各星之亮度均以光度计直接

或间接与北极星(α 小熊星)比较,于是即能定其亮度比例及星等。兹举例释明之:

例 1 ξ 大熊星之星等为 2.4, δ 大熊星之星等 4.0, 求其亮度。

$$\text{比例} \quad \log_{10} \text{比例} = 0.4(4.0 - 2.4) = 0.64$$

$$\text{亮度比例} = 4.37$$

例 2 天狼星之亮度大于 α 大熊星 30 倍, α 大熊星之星等为 2.1, 求天狼星之星等。

$$\log_{10} 30 = 0.4(2.1 - x)$$

$$1.477 = 0.84 - 0.4x$$

$$x = -1.5925$$

兹将肉眼能见之一等至六等星星数约列如下:

星等在	+1.5 以上	21
星等在	1.5 与 2.5 之间	50
星等在	2.5 与 3.5 之间	160
星等在	3.5 与 4.5 之间	500
星等在	4.5 与 5.5 之间	1 700
星等在	5.5 与 6.5 之间	5 000

六等以下之星必须用望远镜始能望见。月明之夜则虽四等星肉眼亦难于望见。

第五节 星座及恒星之辨认

天空上无数恒星势难一一默识。欲知某星之名,必赖星图与星表。在若干观测中,常可根据星表内所列星体之坐标,观测者之近似经纬度以及观测时间,计算望远镜应指之方位与高度。故虽目力不能见之星体,亦可加以观测。但在多数较简单之观测中,观测者必须确识某星,始能以望远镜照准,此时必赖星图之助。然测量工作者必先识各主要星座之形状,方易据以对照星图,辨认星名。

图 2-6 示北天星座,以北极为中心。图 2-7 示南天星座,以南极为中心。图 2-8 示赤道上下各 60° 以内之星座。各图中所注月份乃为对正

北天星座

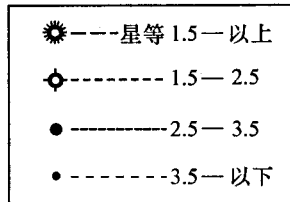
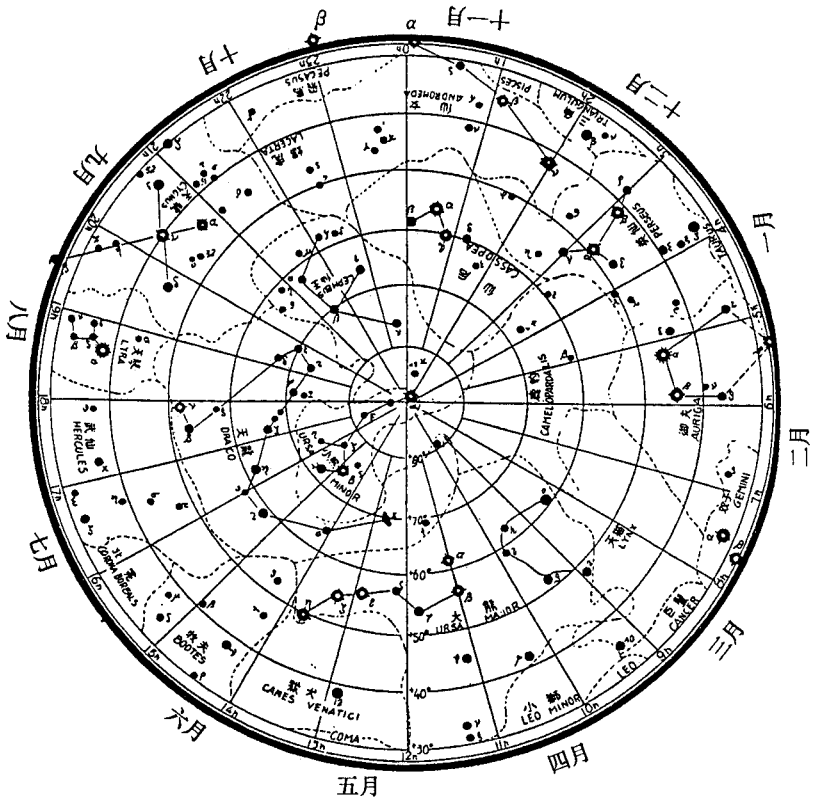


图 2-6 北天星座

南天星座

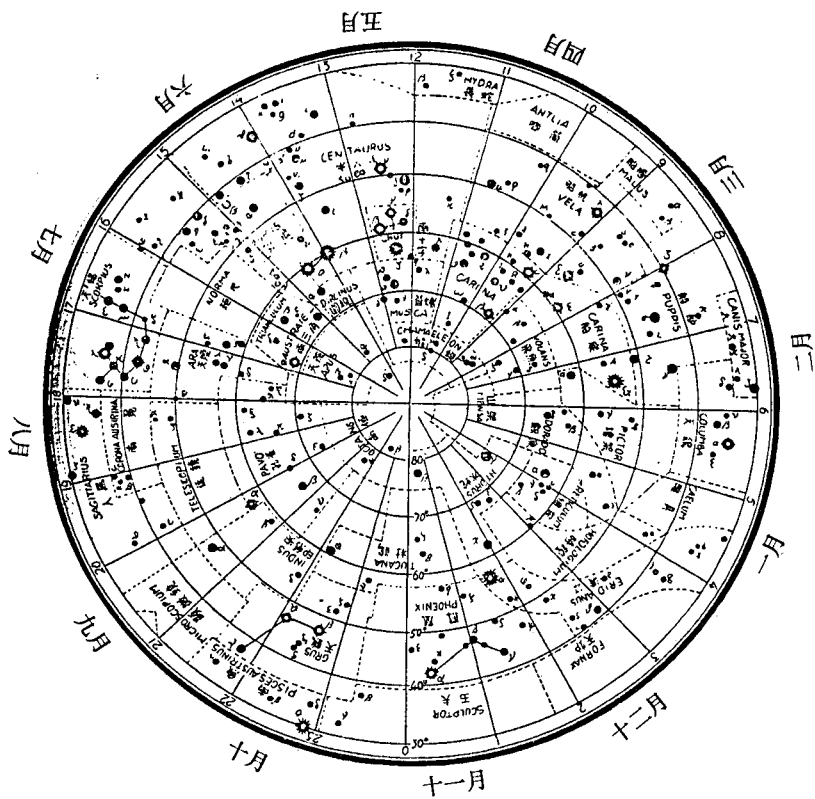


图 2-7 南天星座

星图方位之用,均以在下午九时之观测为标准。例如北半球之观测者于十月中旬下午九时向北天观望可持图 2-6 以“十月”居上,向北对照,空中各星座之位置即与星图相符。如在下午八时观测,须将星图顺时针方向旋转 1 小时($= 15^\circ$),如在下午十二时观测,须将星图逆时针方向旋转 3 小时($= 45^\circ$),始能得正确方位,余可类推。南半球之观测者向南观测须利用图 2-7,其理相同。无论南北半球之观测者,观望赤道附近星座时,须用图 2-8。北半球观测者正持图 2-8 面向正南,按观测月份与时间,用前述方法,对准赤道及正南方向,则赤道附近星座即与图中相符。南半球观测者用图 2-8 时,须面向正北,倒持该图始可。图 2-8 所示为全部赤道附近之星座,观测者仅能见其一部,且因赤道在天球上为一环形,而图上为一直线,故当观测者向东南或西南方向对照时须将星图向左或向右旋转斜持,图上星座始与空中方位相符。

全天 1.5 等以上之恒星共有 21 个,乃观测者首须学习辨认者。兹将此 21 恒星之名称、所属星座、星等及其概略位置列于表 2-2 以供参考。

表 2-2 1.5 等以上星表

星名	英文名	星座	英文名	星等	赤经	赤纬
天狼	Sirius	大犬	Canis Major	-1.6	^时 6.7	-16°6
老人	Canopous	天舟	Carina	-0.9	6.4	-52.6
南门二	α Centauri	半人马	Centaurus	0.1	14.6	-60.5
织女	Vega	天琴	Lyra	0.1	18.6	+38.7
五车二	Capella	御夫	Auriga	0.2	5.2	+45.9
大角	Arcturus	牧夫	Bootes	0.2	14.2	+19.6
参宿七	Rigel	猎户	Orion	0.3	5.2	-8.3
南河三	Procyon	小犬	Canis Miror	0.5	7.6	+5.4
水委一	Achernar	波江	Ceridanus	0.6	1.6	-57.7
马腹一	β Centauri	半人马	Centaurus	0.9	14.0	-60.0

续表

星名	英文名	星座	英文名	星等	赤经	赤纬
参宿四	Betelgeuse	猎户	Orion	0.9	5.9	+ 7.4
河鼓二	Altair	天鹰	Aquila	0.9	19.8	+ 8.6
十字架二	α Crucis	十字架	Crus	1.1	12.4	+ 62.6
毕宿五	Aldebaran	金牛	Taurus	1.1	4.5	+ 16.4
北河三	Pollux	双子	Gemini	1.2	7.6	+ 28.2
角宿一	Spica	室女	Virgo	1.2	13.4	- 10.8
心宿二	Antares	天蝎	Scorpius	1.2	16.4	- 26.3
北落师门	Fomalhaut	南鱼	Piscis Australis	1.3	22.9	- 30.0
天津四	Deneb Cygnus	天鹅	Cygnus	1.3	20.6	+ 45.0
轩辕十四	Regulus	狮子	Leo	1.3	10.1	+ 12.3
十字架三	β Crucis	十字架	Crux	1.5		

北天最重要之恒星为北极星,每一测量者必须熟识之。北极星即小熊座之 α 星,为距北极最近之明星,现极距尚不及 1° 。小熊座共有较亮之星七颗,而以北极星为最亮(星等 2.12)。与小熊座相对有更亮之星七颗,布成斗形,名为大熊星,通称北斗七星乃北天最显著之星座,极易辨认(见图 2-6),连接大熊座 α, β 两星而引长约 5 倍即得北极星,故此两星又名为指极星,乃寻求北极星之最简单方法。

在北极之另一方,与大熊座遥遥相对者为仙后座,其中较亮之星五颗,形成 W 状,亦为北天极易辨认之星座。当大熊座隐没地平以下时,此星座即高踞北极星之上。

南极附近无明星。最近者为 σ 南极座,星等 5.5,无月光时肉眼勉可见之,距极亦不及 1° 。

赤道附近星座,冬季以猎户座为最显著,中国旧名参宿,正居赤道之上。其中之 α 星,我国旧名为参宿四与南河三(α 小犬座)及天狼(α 大

犬座) 互为犄角, 形成天空中辉煌之三角形。天狼乃恒星中之最亮者, 色青白, 其星等为 -1.6 。夏季赤道附近星座以天蝎座为最显著, 蜿蜒如一蝎形, 横亘于赤道之南。蝎头以下之第二星为 α 天蝎座, 呈红色, 星等 $+1.2$, 即我国古代所称之“大火”, 又称为“参宿二”。天蝎座之北偏东, 有二亮星, 我国通称牛郎(α 天鹰座) 与织女(α 天琴座), 分在天河之两岸。牛郎(又名河鼓二) 之星等为 0.9 , 织女之星等为 0.1 , 均易辨认。

图 2-8 中间以一长线一短线表示之曲线为黄道, 即太阳在众星间所行之路线。我国古天文学者选黄道附近之亮星 28 颗称为二十八宿, 用以标记太阳之轨迹。惟以时隔数千年, 黄道位置因岁差(见第三章第四节) 逐渐移动, 今日二十八宿之位置已离黄道较远。西洋天文学分黄道为十二宫, 我国自元明以后, 亦采用之。太阳系之诸行星及太阴亦均在黄道左近, 但其位置经常移动每日不同, 故不能列于星图之内。如以星图与天空对照, 发现黄道附近有星图上未列之明星, 则此星必属行星无疑。

第三章 天体之视运动

第一节 恒星之视运动

观测者在地面上观察恒星,显见之运动名为恒星之视运动。恒星视运动之主要部分系由于地球自转。吾人居于地球之上,随地球而运转,初不觉有若何运动,但见众星东升西降,一若围绕地球而旋转者,至于各星之相对位置则并无变化。倘观测者无任何仪器之助,亦不易发觉此项运动系围绕一共同之极轴。最简单之证明方法可于地面上置一照相机,将镜头对向天球北极,则所得像片必将显现无数同心圆弧,是即星体在天球上运行之轨道。图 3-1 乃根据此种照片重行绘出者。图中圆弧

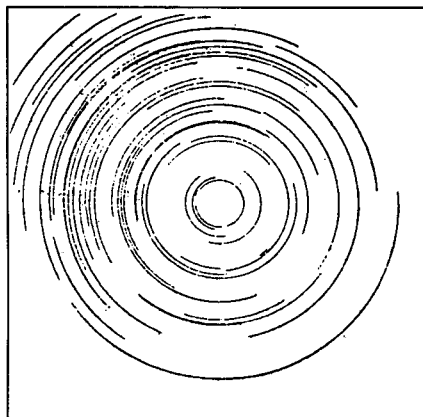


图 3-1 恒星之周日运动

线粗细不同,粗者表示明亮之星,细者为暗淡者。靠近北极之较粗圆弧即系北极星之轨迹。因其距北极最近,故圆弧迹最小,若用肉眼观察,即不易发觉其旋转。

由于地球自转所显见之恒星视运动约每日运转一周,故名为恒星之周日运动。

观测者若能继续观察数夜,即将见所有各星东升西降之时刻逐日提早,15日后约提前1小时,一年之后则又恢复原状。易言之,即在同一地点每晚所见之恒星因季节而不同。此乃由于地球每年绕日旋转一周,故太阳之周日运动周期与恒星不同。其理将于下节详述之。至于地球绕日运动对恒星位置之影响甚小,已于第二章第一节中论及矣。

设观测者向正北方向前进,将见北天之星逐渐升高。在北方地平上涌出新星;同时南天之星逐渐降低,若干极南之星没于地平之下,不复得见。若向南方前进,所见适与上述相反。此乃由于观测者纬度逐渐变化之故。图 3-2 示恒星周日运动之情形。恒星之赤纬愈大(南或北均同),则其自转圈愈小。恒星极距 p 小于观测者纬度 φ 时,其自转圈常在观测者地平圈之上,故为不落星,又名为拱极星。恒星极距 p 大于 180°

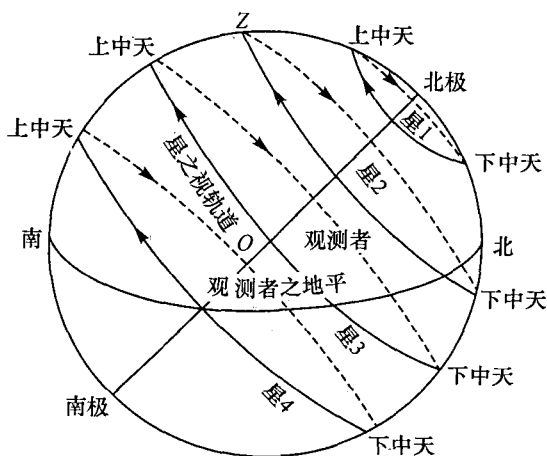


图 3-2 星体之出没

一 φ 者,其自转圈常在地平圈之下,观测者永不得见之。若观测者在两极,将见一半恒星永在地平之上,另一半永在地平之下,其自转圈与地平圈平行。若观测者在赤道上,将见所有恒星俱由东方直上西方直落。若两观测者在同一纬度圈上,但东西相距甚远,则两人可见之星虽属相同,在东者所见各星升降之时间必早于在西者。此乃由于两观测者经度不同之故。由图 3-2 又可见恒星每日经过观测者之子午圈两次。以南北极分子午圈为两半,包括天顶点在内之一半名为上子午圈,包括天底点在内之一半名为下子午圈。当天体经过上子午圈时,称之为上中天,或上经过子午圈。当其经过下子午圈时称之为下中天,或下经过子午圈。

以上所述之恒星视运动乃因地球自转之故。除此以外,恒星本身亦有其个别之运动。惟以各恒星相距极远,其运动速率虽高,吾人在极远处观测,短期间内不易发现其相对位置之变化。若以望远镜作长期精密观测,即可量出各星之显见运动,名之为恒星本动。恒星本动乃恒星在与地球视线方向垂直平面内之显见位置变化,为恒星真运动之一部分。另一部分在地球与恒星之视线方向者(前进或后退),名为视线速度。恒星本动之最大值约为每年 $10''$,一般均在每年 $1''$ 以下。

第二节 太阳之视运动

欲明了太阳之视运动,须由两方面观察。其一为太阳在众恒星间所显见之位置变化,另一为由于地球自转所生之太阳周日运动。

地球轨道与天球黄道之关系已于第二章第二节中述及,并以图 2-3 说明。当地球位于其轨道上之春分点时,适见太阳位于天球之春分点上。春分点为赤道圈与黄道圈之交点,故此时太阳正在赤道圈上。当地球由春分点循轨道向东运行时,太阳之视位置在天球上亦由春分点循黄道向东运转,历经夏至、秋分、冬至诸点而又返回于春分点,周期恰为一年。黄道之位置在众恒星间为固定者,故太阳在众星间之视运动为自春分点,沿黄道向东移动,每年一周。

黄道在天球上并无标志,天文学者遂以黄道附近之恒星或星座示其位置。我国古天文学者于黄道上选出二十八颗较明亮之星,称之为二

十八宿。当太阳位在某宿之时，即称为值宿。西洋天文学家将黄道分为十二宫，每宫 30° ，即以宫内之星座为宫名，图 3-3 示黄道十二宫之名称及位置以及太阳行临各宫之月份。

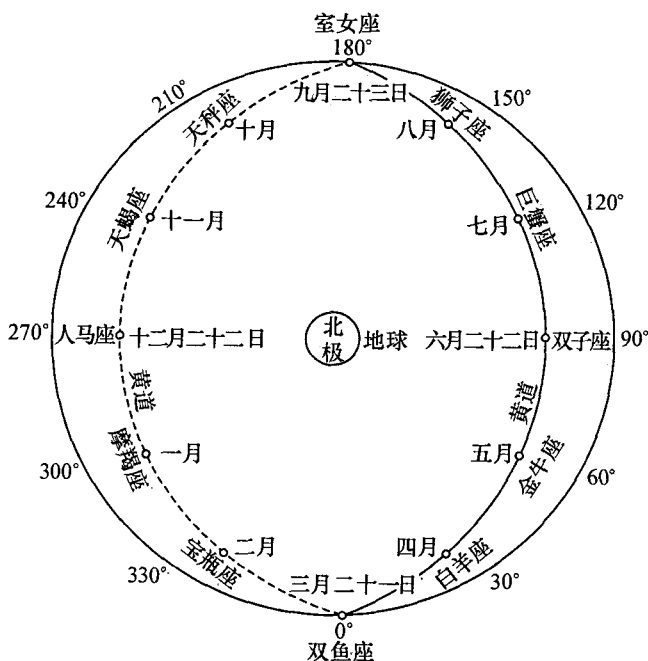


图 3-3

由于黄道与赤道两平面斜交，故太阳在黄道上不同位置时，其赤纬亦不同。在春分与秋分时，太阳之赤纬适为 0° ；在夏至时其赤纬为 $+23\frac{1}{2}^\circ$ ，在冬至时其赤纬为 $-23\frac{1}{2}^\circ$ 。一年之内，太阳之赤纬变化于 $+23\frac{1}{2}^\circ$ 与 $-23\frac{1}{2}^\circ$ 之间。

其次再论太阳之周日运动。太阳之周日运动系由于地球自转之故。但由于太阳之视位置不若恒星之固定不变，故其周日运动与恒星周日

运动有两点不同：

(1) 太阳之赤纬随季节而不同,故其自转圈(每日之路径) 每日不同,图 3-4 示北纬约 50° 地方太阳在春分、秋分、夏至、冬至各日之周日运动路径。由图可见夏季太阳在地平以上之时间较长,冬季太阳在地平以上之时间较短,而在春分与秋分时太阳在地平上下之时间相等。是以夏季昼长夜短,冬季昼短夜长,春秋分时则昼夜平。由图 3-4 又可见当观测者天顶与北极(或南极) 相距小于 $23\frac{1}{2}^\circ$ 时(即观测者纬度大于 $66\frac{1}{2}^\circ$ 时),夏至日(南半球在冬至日) 之太阳即永不落于地平以下,即全日 24 小时内均可见太阳,吾人称为半夜太阳。在冬至日(南半球在夏至日),则太阳永在地平之下而不升起。观测者距北极愈近,则有半夜太阳之日期愈长。当观测者正在北极时,必将见太阳每日皆在同一高度旋转,如图 3-5 所示。由春分至秋分之半年(夏季),太阳永不降落;由秋分至春分之半年(冬季),则太阳永不升起,故全年有如一极长之昼夜。若观测者在南半球,则所见适与上述相反,冬季为昼,夏季为夜。其次图 3-6 示观测者在赤道上所见太阳视路径之情形。每日太阳均有一半时间在地平之上,一半时间在地平之下,亦即昼夜永相等。凡此均属特殊情形。

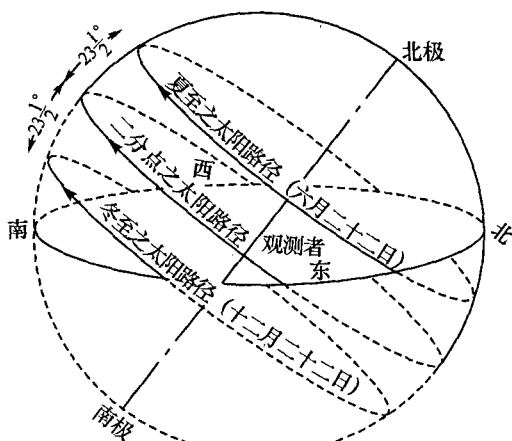


图 3-4 北纬 50° 所见太阳之视路径

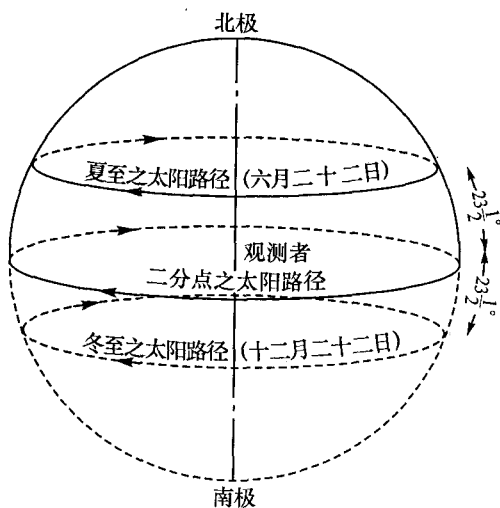


图 3-5 北极上所见太阳之视路径

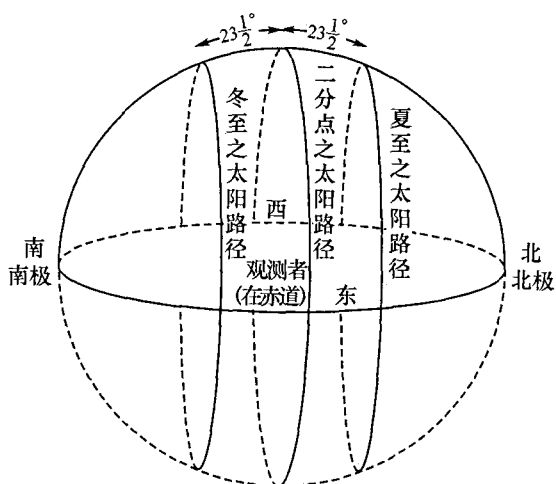


图 3-6 赤道上所见太阳之视路径

(2) 太阳之赤经亦随季节而不同,每日在众星间东行约 1° 弱。而太阳之周日运动则为西行。是以太阳之周日运动周期较恒星周日运动周期为长,每日约长 3 分 56 秒。吾人平常所称“一日”系太阳周日运动之周期。是以吾人见太阳每日绕地球适一周,但恒星则已绕地球一周有余。此所以第一节中论恒星视运动时,谓恒星东升西降之时刻逐日提早,每晚所见之恒星因季节而不同也。

第三节 行星及太阴之视运动

行星之真运动为绕太阳而运转。倘地球为静止者,必将见所有外行星(地球轨道以外者),在众恒星间每日东行。因地球不居行星轨道之中心,故见其每日东行之角速度不等。至于内行星(地球轨道以内者)则常在太阳之东西移动,周而复始有如穿梭,与太阳之角距总不超过一最大限度。

但地球亦有绕日之运转。在一移动之地球上所见行星视运动,将为上述真运动与地球运动影响之和。倘地球与行星在太阳之同一方(以太阳为中心之角距小于 90°),因二者同向东转,行星之视运动将随其与地球之相互位置及角速度关系而不同。有时显见行星在恒星间“西行”名为“逆行”,即不逆行时其东行视运动角速度亦必较其真运动角速度减小。倘行星与地球各在太阳之一方(以太阳为中心之角距大于 90°),则行星之视运动必为东行,其角速度较真运动之角速度为大。

由此可见行星在天球上众恒星间之轨迹至为复杂。图 3-7 示木星自 1946 年 12 月至 1948 年 1 月之视运动轨迹,其中亦有一部分系逆行。即在顺行时,其速度亦极不规则。

太阴(即月)随地球绕日旋转,同时又绕地球而旋转。故以地球为中心。假定地球为静止时,太阴之视运动实即其绕地球之真运动。太阴绕地球旋转之轨道平面名为白道平面,与黄道平面之交角约为 5° ,其运行周期为 27.321 7 日,即太阴在恒星间东行之角速度约为每日 $13^\circ.2$ 。

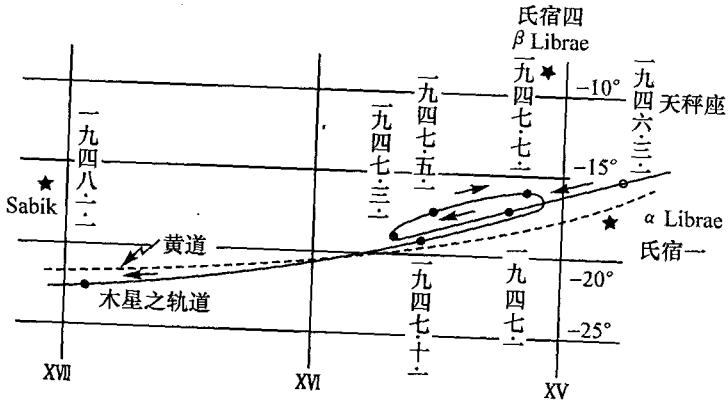


图 3-7 1946 年 12 月至 1948 年 1 月木星之视轨道

以地球为中心, 太阳与太阴间之角距不同, 在地面上所见太阴反射之日光即不同。图 3-8 示“月有盈亏”之道理。若以盈亏而论, 连续两朔之周期为 29.530 6 日, 故阴历每月之长为 29 日或 30 日。

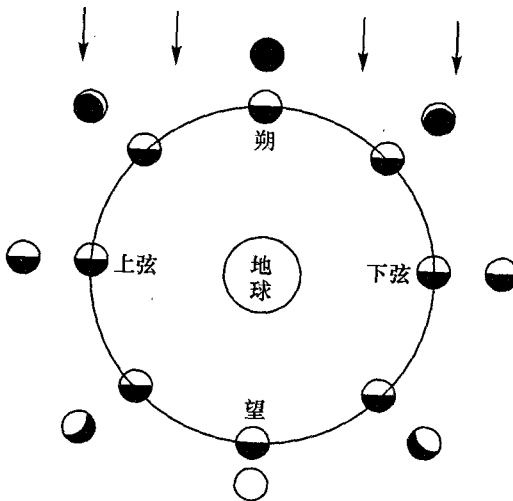


图 3-8 月之相位

第四节 岁差及章动

公元前 120 年顷,希腊哲学家依巴谷比较一世纪半前后观测星位之结果,发现恒星位置在黄道方向逐年向东移动,约为每百年 1° ,公元 330 年顷,我国天文家虞喜(晋成帝时)亦有同样发现,估计每 50 年差 1° ,并称之为岁差。其后历经南北朝何承天、祖冲之等实测,至隋刘焯定为每 75 年差 1° ,即每年差 $48''$ 。今日精密测定岁差之平均值为每年 $50''.2$,刘焯之值与之极为相近。

所谓恒星星位东移实系作为星位坐标之原点——春分点——向西移动之故。此种移动可分为递变与周期两部分。故每年移动之量并非完全相同。其递变部分今名为岁差,周期部分则名为章动。岁差与章动之发生,系由于太阳、太阴以及各行星对于椭圆形体自转之地球,吸引作用不能平衡之故。

岁差中由太阳太阴引力所形成者名为日月岁差,占总岁差之绝大部分。由行星引力所形成者名为行星岁差,为量甚微。

日月岁差形成之原因系由于地球并非圆球,而为两极略扁赤道一环较为突出之旋转椭圆体。地球受太阳、太阴引力之方向,系分别在黄道及白道平面内,作用于地球赤道突出之环形物质,遂产生一力矩,欲使赤道平面与黄道平面相合。但地球系在不断自转之中,对此力矩有抵抗之能力,其结果并不能使黄赤交角有若何变化,仅使赤道极轴依黄道极轴作圆锥形运动,如图 3-9 所示。赤道极轴作圆锥形运动时,赤道平面随之转动,黄亦交线以及二分点势必亦随之旋转。图 3-9 A 为黄极,CD 为黄道圈,PP' 为赤道极轴作圆锥形运动时赤极所画之轨迹。当赤极在 P 点时,赤道圈为 EQ 之位置,与黄道相交于 V 点,是为春分点。当赤极转至 P' 点时,赤道圈之位置转至 E'Q',与黄道相交于 V' 点。故春分点在黄道上西行。

上述太阳、太阴引力所产生之力矩,系由于引力作用方向不在赤道平面内之故。此力矩之大小随太阳太阴之赤纬而变化。赤纬大时,力矩亦大;赤纬为 0° 时(太阳在二分点,太阴在赤道平面内时)力矩为零。力

矩大小既随时在变化,故上述圆锥形运动与春分点西行之速度亦随时变化,其平均向西旋转之速度称为岁差,其周期变化称为章动。

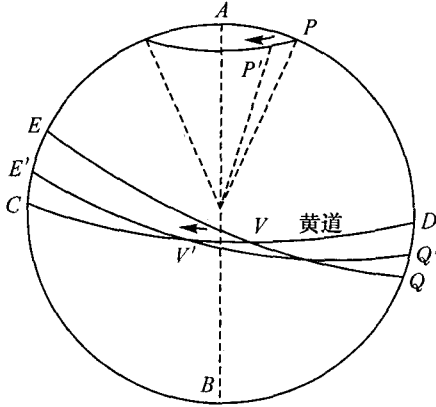


图 3-9 岁差

行星引力对于地球之作用与太阳太阴引力有所不同,因各行星轨道平面与地球轨道平面不同,故行星引力有使地球轨道平面(黄道平面)变动之趋向,但其量甚微。

日月岁差与行星岁差之总和称为总岁差,平均每年使春分点在黄道上西行 $50''.2$,约 25 800 年旋转一周,复于原位。

由日月引力所产生之力矩,随太阳太阴之赤纬而变化。太阳赤纬变化每年一周。太阴运行之白道平面与黄道成 5° 交角,与赤道平面之交角变化于 $18\frac{1}{2}^\circ$ 与 $28\frac{1}{2}^\circ$ 之间,约 19 年为一周。此种周期性变化遂影响春分点西行之速度亦有周期性之变化。春分点西行之实际速度与其平均速度(岁差)之差,名为章动,包括多个周期项,其中最大者为月球引力之周期变化,约 19 年一周,最大值约为 $9''.2$ 。此外尚有若干短期项,为值甚小。

由于章动之影响,前述赤极围绕黄极之运动并非简单圆形,如图 3-9 PP' 之所示,而为带波浪式之圆形,如图 3-10 所示。春分点位置仅

顾及岁差之影响者称为平春分点。以平春分点为根据之恒星位置称为平位置。春分点位置将岁差与章动影响均计入者称为实春分点，以实春分点为根据之恒星位置称为真位置，由平位置计算真位置，须加章动改正。

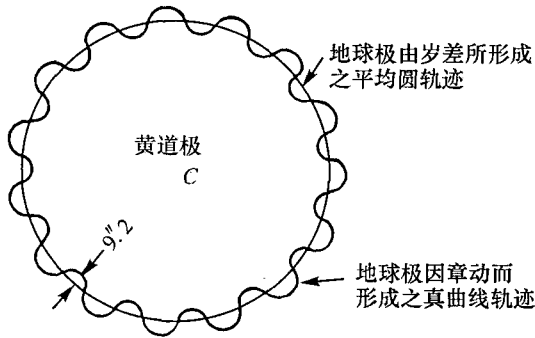


图 3-10 章动

第五节 光 行 差

天体所发之光经历空间，必需相当时间，始能到达观测者之眼。在此时间内，地球本身于空间亦已易其位置，是以地球上观测者所见及之天体位置为视位置而非真位置，两位置间之差别名为光行差。

今按图 3-11 设以 SE_1 代表某星 S 之真方面。 E_1d 代表地球在 1 秒钟内所行之距离（约 29.8 公里 / 秒）， E_1l 代表 S 星光在相同时间所经之距离（光速 = 300 000 公里 / 秒）。则在地球上所见该星 S 之视方向 $\overrightarrow{SE_1}$ 为 $\overrightarrow{SE_1}$ 及 $\overrightarrow{E_1d}$ 两矢量之差。故凡观测之星，均显现于地球运动方向之前，其角距移动等于 $\angle SE_1S'$ 。设分别以 v 及 V 代表观测者 E_1 及星光之速度，于是可得下列之关系。

$$\frac{E_1d}{lE_1} = \frac{v}{V} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

$$\sin \alpha = \frac{v}{V} \sin \beta$$

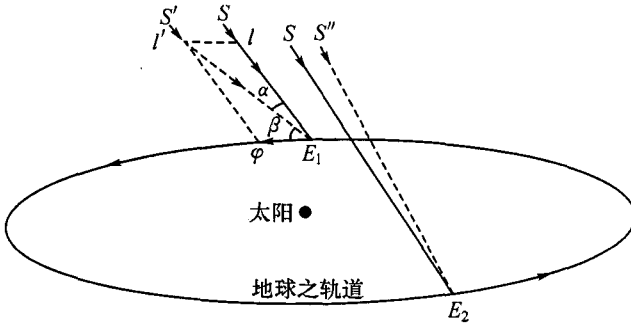


图 3-11 光行差

光速 V 与地球速度 v 相较,相差甚为悬殊,故 α 为小值,今将 $\sin \alpha$ 径以 α 代之得:

$$\alpha = \frac{v}{V} \sin \beta = \frac{29.8}{300\,000} \times 206\,265 \sin \beta = 20''.47 \sin \beta \quad (1)$$

此种光行差起因于地球之周年公转,故名为周年光行差。天体之真位置加入周年光行差之改正即为天体之视位置。天体之视位置亦即吾人实际观测所见之位置。各重要星体之视位置均刊列于天文年历内,已顾及周年光行差之改正。

观测者在地球上除因公转所发生之速率外,尚有由于地球自转所发生之速率,由于地球自转速率所发生之光行差,称为周日光行差。地球自转之角速度在地球上各地点均为一律,但其线速度则随纬度而异。纬度愈高者,与自转轴之垂距(平行圈半径)愈短,因此其线速度愈小。赤道上周度为零,其线速度最高,两极纬度最高即在自转轴上,其线速度为零。是以周日光行差对于地球上不同地点之影响不同,不能在恒星位置上加一律之改正,必须于观测后计算时加入。

设 R 为地球之半径,约等于 6 378 公里, φ 为观测者之纬度, v 为地球自转在观测点之线速度,于是

$$v = \frac{2\pi R \cos \varphi}{24 \times 60 \times 60} = \frac{2\pi \times 6\,378 \cos \varphi}{86\,400} = 0.464 \cos \varphi \text{ 公里 / 秒} \quad (2)$$

以式(2)代入(1),得:

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{0.464 \cos \varphi}{300\,000} \times 206\,265 \sin \beta \\ &= 0''.319 \cos \varphi \sin \beta \end{aligned} \quad (3)$$

如所观测之星适在子午圈上,则角 $\beta = 90^\circ$,如是得周日光行差

$$\alpha = 0''.319 \cos \varphi \quad (4)$$

α 值系由于观测者东向运动而生,故在同一地球纬度上观测不同赤纬之各星,其 α 值均相同。

通常所指之光行差为周年光行差,至于周日光行差,其影响甚微细,除极精密观测始须加以改正外,一般可不必顾及。

第四章 时

第一节 时段与时刻

“时”之含义有两种：

(1) 自某瞬间至另一瞬间之时距称为时段或时间。例如某日大雨历时 3 小时 20 分钟，乃指自开始落雨之瞬间至雨止之瞬间，时段之长为 3 小时 20 分钟。

(2) 以一特殊瞬间为起点至任意一瞬间之时段称为时刻。在同一天内此特殊瞬间通常为子正零时，例如某日上午 8 时 30 分乃自该日子正起历 8 小时 30 分时段所达到一瞬间之时刻。在一年中则自岁首（一月一日零时）起算。至于纪年则自一指定之历元如公元 1951 年或唐贞观元年。

时段之基本单位有日与年两种，均以地球运动之周期为标准。概略言之：一日为地球自转之周期，一年为地球公转之周期。但严格言之，则自转公转之周期可取恒星为衡量之根据，亦可取太阳为衡量之根据，二者微有不同。兹分论于后。

第二节 恒星日、恒星时

由于恒星各有本动，其周日运动之周期遂不匀等，故恒星日乃以春分点为准。春分点连续两次上经过同一子午圈所历之时段为一恒星日。如所用为实春分点（顾及岁差及章动之影响），则称为实恒星日，其长有周期性之变化每日不均等。通常所用者为平恒星

日,即以平春分点为准,仅顾及岁差之影响(每年西行 $50''.2$,而不顾章动之影响。平恒星日每日均等,但因受春分点岁差之影响,每日较地球自转一周所需之时间约短 0.008 秒。每一恒星日平均分为 24 恒星小时,每小时分为 60 分,每分分为 60 秒。春分点距观测者子午圈之时角称为观测者之地方恒星时。一切天体之赤经坐标均以春分点为原点,故根据恒星时可以判定春分点之时角,亦即所有天体在该时刻之位置均可确定。

设图 4-1 中 V 代表春分点, M 代表观测者子午圈与赤道圈之交点,则 VM 即为观测者之地方恒星时。实际上春分点仅系一想像之原点,天空并无标志可资测视。今设有一恒星 X , 通过该星之时圈交赤道于 X' 点,则由图 4-1 得下列之关系:

$$S = \alpha + t \quad (1)$$

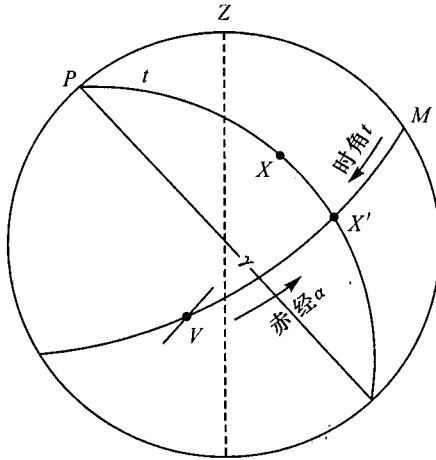


图 4-1 恒星时

其中 S 为地方恒星时亦即 V 之时角, α 为星体 X 之赤经, t 为该星 X 之时角。是以测定任何天体之时角,即可算出该瞬间观测地点之地方恒星时。

时间既以地球之自转周期量之,相对言之,亦即由天体环绕地轴之转角量之。故表示时间关系最便利之方法,即将星体 X 及子午圈 M 投射于赤道圈,示如图 4-2。此时可想像 X 点所代表之恒星与春分点 V 共同依恒星时速顺时针方向转动,每一个恒星日转赤道一周。 X 点可为任何天体,故任何天体在同一瞬间,恒有式(1) 关系。譬如 $\alpha_{\odot}$ 代表太阳之赤经, $t_{\odot}$ 代表某时刻太阳之时角,则其时之地方恒星时为:

$$S = \alpha_{\odot} + t_{\odot}$$

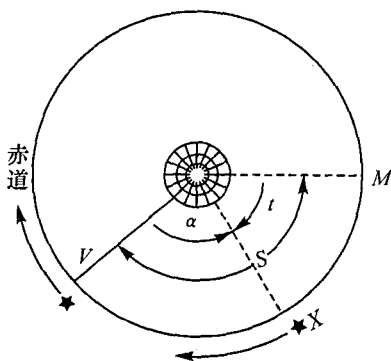


图 4-2 赤道图

恒星时实际系代表春分点之时角,故可在其值上加或减 24 时,使其数值介于 $0^{\text{时}}$ 与 $24^{\text{时}}$ 之间。恒星时便于恒星观测之计算,但用于日常生活则极不便。

第三节 太阳日、太阳时

太阳连续两次上经过同一子午圈所历之时段谓为一太阳日,因地球公转之故,太阳视位置每日沿黄道东移约 1° ,是以太阳连续两次经过上中天之时间,较春分点连续两次经过上中天之时间,约长 4 分钟。图 4-3 之 O 及 O' 代表地球在相邻二日之位置, OM 为观测者之子午圈。当地球在其轨道上 O 点时,太阳正上经过观测者之子午圈。地球自转一周

之后,即一恒星日之后,地球位置进至 O' 点。此时观测者之子午圈为 $O'M'$ 与 OM 平行。但太阳之正射方向为 CM'' 。如图所示,必待地球自转,再增 $M'O'M''$ 角度后(约需时 4 分钟),太阳始再经过观测者之子午圈而为一太阳日。由图 4-3 又可看出地球公转一周所需之太阳日数适较其恒星日数少一天。

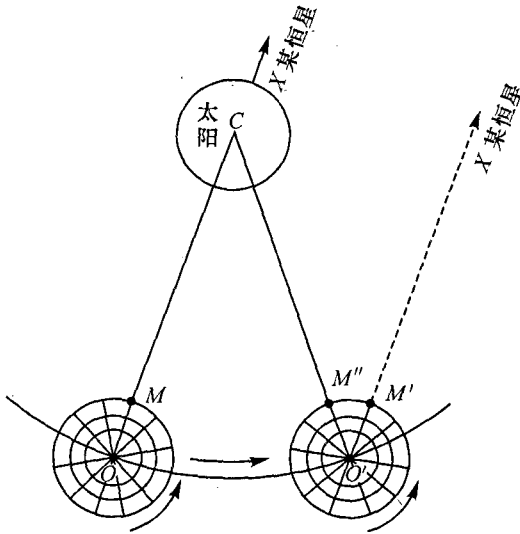


图 4-3 太阳日与恒星日

在 1925 年以前天文学内以太阳之时角为太阳时,称为天文时,即正午为天文时之零时,子正为天文时之 12 时,与民用时适相差 12 小时。自 1925 年以后,取消天文时,统用民用时,即在天文计算中,太阳时亦以子正为零时,亦即太阳时等于太阳时角加 12 小时。以公式表之:

$$\text{太阳时} = \text{太阳时角} \pm 12^{\text{时}} \quad (2)$$

以上关系可由图 4-4 说明之。 OM 为观测者之子午圈, OC 为通过太阳之时圈。在赤道上 C 即代表太阳之位置。当太阳上中天时, C 与 M 合,是为正午(12^时)。当太阳下中天时, C 与 M' 合,是为子正(0^时)。为使太阳时恒小于 24^时,当太阳时角小于 12 小时用式(2)之加号,大于 12 小时则用

其减号计算。

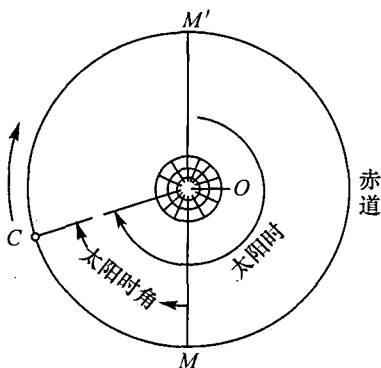


图 4-4 太阳时

由于地球公转之角速并非等速,且因黄道赤道不在同一平面,故实太阳两次上中天间之时段并不相等,以之计时自不便利。是以假定一虚构之太阳称为平太阳。平太阳在天球上依赤道向东作均匀运动,其每年绕赤道一周之时段,适等于实太阳在黄道上运转一周之时段。实太阳系观测时之对象,称为视太阳。依平太阳所计算之时刻称为平太阳时,可简称为平时;依视太阳所计算之时刻称为视太阳时,可简称为视时。式(2)之关系,可通用于平太阳及视太阳,即:

$$\text{视太阳时} = \text{平太阳时} \pm 12^{\text{时}} \quad (3)$$

第四节 时 差

某瞬间视太阳时与平太阳时之差称为时差,亦即代表该时刻视太阳时角与平太阳时角之差。其关系为:

$$\text{视太阳时} = \text{平太阳时} + \text{时差} \quad (4)$$

时差值随时均在变易,其值约在 -14 分至 +16 分之间,其变化示如图 4-5 之时差曲线 e ,确值则逐日载于天文年历。

视时-平时=时差

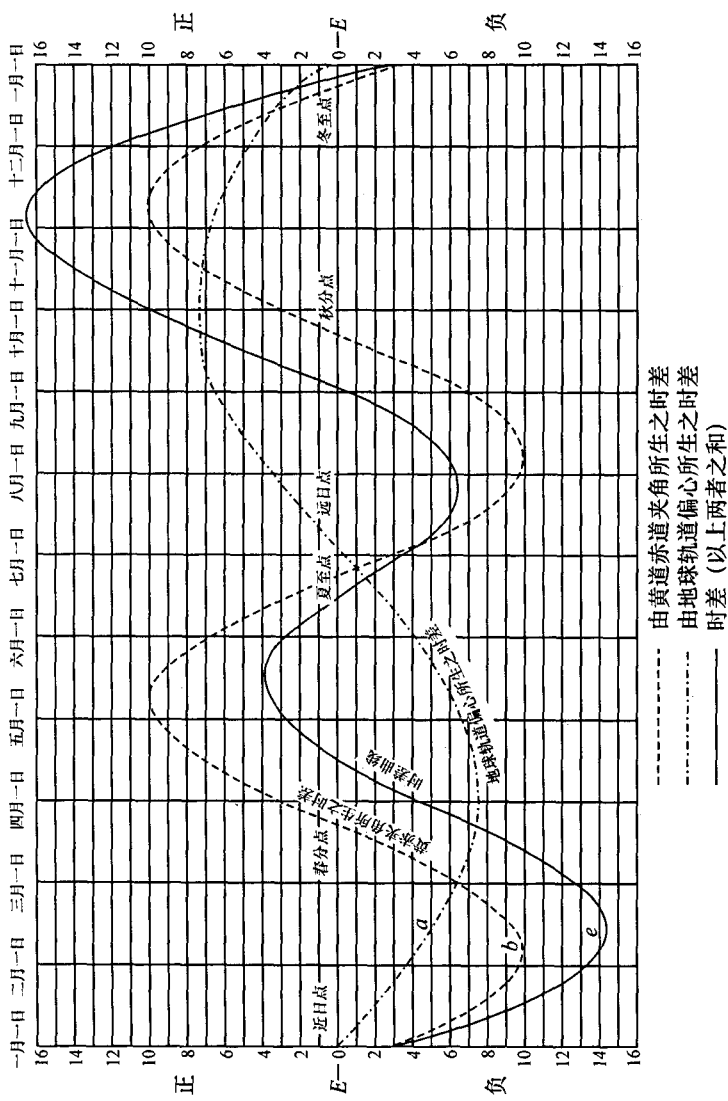


图 4-5 时差 (1951) 年

视太阳时与平太阳时差异之原因有二：其一系由于地球绕日运动之角速不等，冬季较快，夏季较慢（第一章第四节）。另一系由于视太阳系在黄道上运行，而平太阳则假定在赤道上等速运行。

为求上述第一原因之影响，兹先设想地球轨道运行系等速度，于是在地球上将见太阳在黄道上作等速运行。此设想之太阳称为第一平太阳。第一平太阳与视太阳在远日点（七月初）时相合。视太阳在远日点时每日在黄道上东行较第一平太阳为慢，但太阳之周日运动系向西转，故显见视太阳日较第一平太阳日为短，亦即时差为正。如此逐日积累至十月初，时差可达 7 分钟。十月以后视太阳日渐较第一平太阳日为长，时差逐渐减少。至近日点时，视太阳又与第一平太阳相合，时差仍为零。此后半年与前相反，时差为负。第一平太阳时与视太阳时之差示如图 4-5 之 a 曲线。

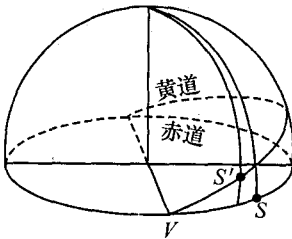


图 4-6

第一平太阳系在黄道上等速东转，而时角则在赤道上量取，故欲得真正等速之太阳时，必再设想一太阳在赤道上等速东转，称之为第二平太阳。假定第一与第二平太阳同时自春分点 V （图 4-6）出发，在同一时段后，第一平太阳 S' 所转动之弧 VS' 应与第二平太阳所转动之弧 VS 相等。经过 S' 及 S 作时圈，则两时圈只有在二分点及二至点时相遇，其最大之差值约为 10 分，或

正或负，示如图 4-5 之 b 曲线。

将上述 a, b 两曲线所示时差合并之，即得真实之时差，示如图 4-5 之实线 e 。

第五节 时与经度

无论恒星时与太阳时均自观测者之子午圈起算。在同一瞬间不同地点有不同之时刻，故称为地方时。两地地方时之差等于该两地子午圈间之夹角，亦即等于两地之经度差。设两地中之一为格林尼治，则其经

度差实即另一地方之经度。按图 4-7 设太阳位于 C 点, 则太阳自 A' 起之时角 $A'AC$ 为格林尼治之太阳时; $B'BC$ 为另一地 P 之太阳时, 即自 B' 至太阳之时角。 $A'B'$ 或 AB 弧即为 P 地在格林尼治西方之经度。此时不论太阳为平太阳或视太阳, 其理尽合。若 C 为春分点亦得同一结果, 盖此时 AC 为春分点在格林尼治之时角, 亦即格林尼治之恒星时; BC 则为该地 P 地之恒星时; 而 AB 则为该地之经度。故在同一瞬间两地地方时之差即等于两地之经度差, 与所用何种时无关, 惟须用同一种时比较。用公式表示之即为:

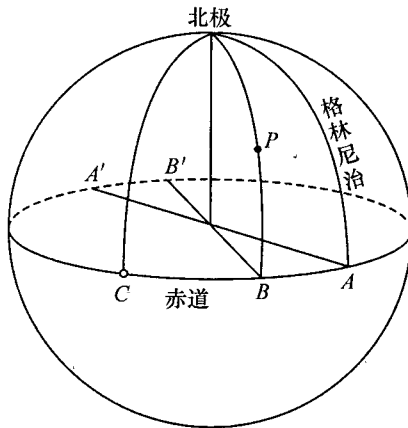


图 4-7 时与经度之关系

$$\text{地方时} = \text{格林尼治时} \pm \text{经度差} \quad (5)$$

东经用正号西经用负号。

兹更研究某一恒星自 A 行至 B 之时段, 则上述之意义必更能明了。恒星自 A , 起行, 绕地球一周而重返至 A , 需时 24 小时(恒星时)。故 AB 时段与 24 恒星小时之比例相同于经度差比 360° 。同理 A 及 B 之太阳时差即系平太阳自 A 至 B 必需之太阳时数。太阳自 A 起行, 绕地球一周而重至 A 既需 24 小时(太阳时), 故 AB 时段与 24 太阳小时之比例, 亦相同于经度差比 360° 。是以无论以何种时计算, 两地时刻之差即为经

度差。

由上所述时间与经度之关系,可见赤道一方面可分为 360° ,又可分为 24 小时。故时间单位(小时、时分、时秒)与角度单位(角度($^\circ$)、角分($'$)、角秒($''$)间之关系为:

$$24^{\text{小时}} = 360^\circ$$

$$1^{\text{小时}} = 15^\circ$$

$$1^{\text{时分}} = 15' \quad \text{或} \quad 4^{\text{时分}} = 1^\circ$$

$$1^{\text{时秒}} = 15'' \quad 4^{\text{时秒}} = 1'$$

经度可以度数表示之,亦可以时间单位表示之。时间单位与角度单位间之换算可查用本书附表 I。

由格林尼治时计算其他地点地方时,或相反计算之法,可以下例说明之。

例 1 格林尼治平太阳时为 $19^{\text{时}} 40^{\text{分}} 10.0^{\text{秒}}$,求西经 $4^{\text{时}} 50^{\text{分}} 21.0^{\text{秒}}$ 之地方平太阳时。

解:

格林尼治平太阳时	$19^{\text{时}} 40^{\text{分}} 10.0^{\text{秒}}$
西经	$4 \quad 50 \quad 21.0$
地方平太阳时	$14 \quad 49 \quad 49.0$

例 2 北京之平时为 $9^{\text{时}} 52^{\text{分}} 56^{\text{秒}}$,其经度为东经 $7^{\text{时}} 45^{\text{分}} 53^{\text{秒}}$ 。求格林尼治之平时。

解:

北京地方平时	$9^{\text{时}} 52^{\text{分}} 56^{\text{秒}}$
东经	$7 \quad 45 \quad 53$
格林尼治平时	$2 \quad 07 \quad 03$

例 3 格林尼治平太阳时为 $3^{\text{时}}$,求西经 $8^{\text{时}}$ 之地方平太阳时。

解:

格林尼治平太阳时	$3^{\text{时}} 00^{\text{分}} \quad (+24^{\text{时}})$
西经	$8 \quad 00$
地方平太阳时	$19 \quad 00$

此时在格林尼治之时刻上加 24 小时，所得之地方平太阳时代表前一日之时刻。

第六节 标准时

地分东西，时有先后，故全球各地除经度相同者外，其时刻无一相同者。严密言之，吾人在赤道上每西行约 460 公尺，时表即须改迟约 1 秒；东行约 460 公尺，则时表又须加早一秒。当交通不便时，舟车日行约 50 公里，时刻所差不过 2 分，又因记时之器未精，分秒微差，无从觉察。自轮车电报创行以来，如各地均各自奉行其他之地方时，则困难丛生。故自十九世纪中叶，欧洲各国尝择用一种时刻，通行全国，名之曰标准时。犹言全国奉之为标准，无先后早迟之别也。其时刻多用本国京城子午圈之时刻，亦有选用重要商埠之子午圈为标准者。惟此法行于壤地偏小之国，尚无不便。至于东西横亘数千里之国家，则又不可通。其后遂有世界标准时区之制。

世界标准时区自英国格林尼治起算，以每隔经度 15° 之时刻为一标准。全球分为 24 区，名曰标准时区。各区皆以相隔 15° 之经线为中线，各相邻时区之时刻相差均为一小时。格林尼治所在区曰中区，其东十二区为下午时区；顺序名之曰东一区、东二区、东十二区止。其西十二区为上午时区，顺序名之曰西一区、西二区至西十二区止。东第十二区与西第十二区同为一区，但时刻相差一日，是为日期界线。凡东行者逾此界线须减一日计算，西行则加一日。设格林尼治所在之中区为中午十二时，则东一区为下午一时东二区为下午二时，至西一区为上午十一时，西二区为上午十时。标准时以一时为进退，故甚便利。

每一时区内中央子午圈之地方平时即为该区之标准时或时区时。在此子午圈两侧各 $7^\circ 30'$ 之界线即系每一时区之界线。实际上时区之界线系大体依上述标准划分，而按照地理及政治情形酌有改变，以便于应用。

中国标准时制，始自 1901 年。其时用世界标准时东第八区时刻为沿海通用时刻，名曰海岸时，其后内地各铁路如京汉及津浦等各线与长

江一带地方亦一律采用。惟中国幅员辽广，西起东经 72° ，东至东经 135° ，若仅用一种时区，自有许多不便。1919 年始定标准时区，分全国为五区。迄今所通用之标准时刻及其范围如下：

- (1) 中原时区 以东经 120° (8 时) 经线之时刻为标准。
- (2) 陇蜀时区 以东经 105° (7 时) 经线之时刻为标准。
- (3) 新藏时区 以东经 90° (6 时) 经线之时刻为标准。

此外，则在最东与最西地区加设半小时时区二个如下：

- (1) 长白时区 以东经 $127^\circ 30'$ (8 时 30 分) 经线之时刻为标准。
- (2) 昆仑时区 以东经 $82^\circ 30'$ (5 时 30 分) 经线之时刻为标准。

第七节 日期界线

地方有东西，故时刻有早晚。因时早晚之故，即生日期先后之差。如此地之正午，甲地居东十二时者，则为次日之子正之乙地居西十二时者，又为本日之子正。按居东十二时之甲地与居西十二时，乙地乃同一地点，固不应有两种日期；然事实上此种差异，不能避免。现既取格林尼治为公共经度之起点，则日期差异遂规订在东西一百八十度之地，名是地之经线为日期界线。例如线东为某月二日，线西即为该月三日。凡东行者逾此界线须减一日计算，西行者逾此界线须加一日计算。查地球一百八十度经线北起白令海峡西岸，穿阿留申群岛，南入斐济群岛，而过纽西兰岛之东。为避免一洲或一岛用两种日期之弊，乃将日期界线，由白令海峡西南折使合于一百八十度之经度线。南行至斐济群岛又东南折及过纽西兰岛之东，复西南折而还原位。于是日期分界线皆在海中，虽对岸之日期有一日之差，而同洲同岛之日期，则全归一致矣。

第五章 天文年历

第一节 天体位置

天文定位观测者，乃观测某一瞬间某一恒星对观测者之相对位置，其量测单位不外水平角（地平经度）及垂直角（地平纬度）。倘观测之天体位置（赤经，赤纬）已知，则据此即可计算观测者之经纬度或某一方向之方位角，是为实用天文之目的。倘观测者之经纬度已知，则亦可推求天体之赤经赤纬，是为天文台之工作。根据天文台观测之结果，天体位置得以精密推算，列成星表或天文年历。作实用天文观测者再利用星表及年历之星位，以求观测地点之经纬度及方位角。

所谓天体位置者乃指其在天球上之赤经赤纬坐标。二者均与观测之地点无关。在年历内所列恒星位置分为平位置（平赤经，平赤纬）与视位置（视赤经，视赤纬）。星表所列位置多为某一固定时期（如1900年）之平位置。由一固定时期之平位置计算另一时期（观测时）之平位置，须加恒星本动与岁差之改正，其公式载于天文年历中，并摘录说明于本章第四节。所谓平位置者乃以春分点为坐标原点，即不顾章动影响之位置。一时期之平位置加章动改正即得该时期之真位置。真位置再加周年光行差改正，即为视位置。所谓视位置者，应即代表观测者所见之恒星位置。但实际观测之位置尚有蒙气差等影响，见第九章。

为更精密计算之用天文年历所载之视位置，则尚需加短期章动项。视赤经及视赤纬短期章动改正 $\Delta\alpha$ 及 $\Delta\delta$ 之计算公式及各项常数 $d\psi$, $d\epsilon$, $D_\psi\alpha$, $D_\epsilon\alpha$, $D_\psi\delta$ 及 $D_\epsilon\delta$ 等均载于天文年历之内，其关系为：

$$\Delta\alpha = D_{\phi}\alpha \cdot d_{\phi} + D_{\epsilon} \alpha \cdot d_{\epsilon}$$

$$\Delta\delta = D_{\phi}\delta \cdot d_{\phi} + D_{\epsilon} \delta \cdot d_{\epsilon}$$

第二节 年 与 历

概略言之,“年”为地球公转一周所需之时段,更精密言之可分为两种情形:

1. 恒星年……为地球自其轨道上一点运转一周重回至原点所需之时段,亦即太阳在天球上适沿黄道向东运转一周(360°)之时段,其长为 365.256 360 42 平太阳日。

2. 回归年……为地球以平春分点为定标点绕太阳运转一周重回至平春分点所需之时段。平春分点每年西移 $50''.2$,故回归年系太阳在天球上沿黄道向东转 $360^{\circ} - 50''.2$ 之时段,其长为 365.242 198 79 平太阳日(或 365 日 5 时 48 分 46 秒)。回归年系一般历书上所用之年,平太阳赤经为 280° (= 18 时 40 分)时为回归年之起始点称之为白塞耳年。其时与民用年之新年日约略相合。譬如 1951 年白塞耳年首即为格林尼治的 1 月 1.166 日。天文年历内恒星之平位置多按白塞耳年首起算。

一般实用之历为阳历,即以太阳行天之度为标准,取回归年之时间为一年。但回归年之日数不为整数,故订闰年办法。凡纪元年数可以 4 除尽者即为闰年,平年有 365 日,闰年则有 366 日。但纪元年数为百之倍数者,4 虽除尽,亦不置闰,而 4 除尽 400 亦能除尽者则依旧置闰。按此法计算,则每 400 年民用历之平均年与实际回归年所差者为 0.12 日,此差已甚微,须积至 3 200 余年始有一日之差也。

第三节 年 历 内 容

天文年历乃刊载一年内各种天象及日、月、行星及恒星之位置者,各国均有出版。我国自 1930 年开始编印天文年历,其间或停或续。自

1951年起由中国科学院紫金山天文台编印,兹将各国现出天文年历之名称列下:

中 国	天文年历
苏 联	АСТРОНОМИЧЕСКОМ ЕЖЕГОДНИКЕ
英 国	Nautical Almanac(航海历书) Apparent Places of fundamental Stars
法 国	Connaissance des Temps
德 国	Berliner Astronomisches Jahrbuch
美 国	American Ephemeris & Nautical Almanac
西班牙	Almanague Nautico(航海历书)

我国 1951 年天文年历所根据之标准子午圈为格林尼治,此为国际共同之标准经圈。各国自编天文年历亦有用其本国之某子午圈者。我国 1951 年天文年历内大体分为下列各部:(1) 太阳表,(2) 太阴表,(3) 行星表,(4) 恒星表,(5) 附表,附表内包括化恒星时为平太阳时表、化平太阳时为恒星表、白塞耳内插系数表等。对于实用天文应用较多者为下列各部:

(1) 太阳部分 以世界时或格林尼治平太阳时零时为标准,每日表列其视赤经、视赤纬、半径、视差(详见第九章)、时差及恒星时(即相当于平时零时之恒星时)。

(2) 恒星部分 恒星之视赤经及视赤纬,依赤经之大小为顺序,表列每星每十日上经过格林尼治子午圈时之位置。

(3) 北极星部分 主要为北极星每日上经过格林尼治子午圈时之视赤经及视赤纬,此外尚有下列各表:

从北极星高度求纬度表

各时角北极星平经

大距时北极星平经

大距附近观测订正

求北极星经过子午圈时刻

北极星视位置、上中天时刻、上中天与东西大距之间隔

在 1941 年以前各国天文年历或航海历书所载恒星位置常包括七

八百星以上。1941 年以后,各国历书所载星数均减至二百余个,专为普通航海或次等天文观测之用。另由国际合作每年由英国海军部(British Admiralty)出版 *Apparent Places of Fundamental Stars* 一册,载有 1 500 余恒星在该年度内每十天之视位置,专为精密天文观测化算之用。对于大地测量之天文观测,此书最为合用。

有时所观测之星未列于年历之内,则其视位置必由星表中之平位置加以第一节内所述各项改正而计算之。有下列两种星表详载恒星之平位置:

L. Boss: Preliminary general catalogue of 6188 stars for the epoch 1900, Washington 1910(波司星表)。

Dritter: Fundamental Katalog des Berliner Astronomischen Jahrbuches, I. Teil, Berlin 1937。

第四节 恒星之平位置至视位置之化算

凡天文年历上未载之恒星,欲查其视位置,须自星表中检出其平位置,再加以化算。星表上所载之恒星平位置系某一特定历元 T_0 (如 1890 年或 1900 年) 之白塞耳(Bessel) 年首之位置,观测者首须将其化算至观测年年首(历元 T) 之平位置,化算时可用下列二式:

$$\alpha_0(\text{历元 } T) = \alpha'_0(\text{历元 } T_0) + (\text{周年变化})t + \frac{1}{200}(\text{长期变化}) \cdot t^2$$

$$\delta_0(\text{历元 } T) = \delta'_0(\text{历元 } T_0) + (\text{周年变化})t + \frac{1}{200}(\text{长期变化}) \cdot t^2$$

α_0 及 δ_0 为观测年度 T 年年首某星之平坐标, α'_0 及 δ'_0 为星表所载 T_0 年年首某星之平坐标。每星之周年变化及长期变化均载于星表内。波司星表所载之周年变化并包括周年自行运动。若不包括时,当于 α_0 及 δ_0 上加以 M_t 及 M'_t , 此处之 M_t 及 M'_t 系赤经及赤纬之周年自行变化。 $t = T - T_0$, 即自星表所列历元至观测年度之年数。

例 求 1950 年历元 B5685 星之平位置。

自波司星表内得: B 5685

星名	星等	赤经 1900	周年变化	长期变化	赤纬 1900	周年变化	长期变化
B 5685	5.3	时 分 秒 22 1 58.095	秒 +1.8203	秒 +0.0058	+62°17'51".67	+17".510	+0".123

按公式计算之结果如下:

$$\begin{aligned}\alpha_0(1950 \text{ 年}) &= 22^{\text{时}} 1^{\text{分}} 58^{\text{秒}}.095 + 1^{\text{秒}}.8203 \times (50) \\ &\quad + \frac{1}{200}(0^{\text{秒}}.0058) \times (50)^2 = 22^{\text{时}} 3^{\text{分}} 29^{\text{秒}}.183 \\ \delta_0(1950 \text{ 年}) &= +62^\circ 17' 51''.67 + 17''.510 \times (50) \\ &\quad + \frac{1}{200}(0''.123) \times (50)^2 = +62^\circ 32' 28''.71\end{aligned}$$

由观测者年度岁首之恒星平位置(α_0, δ_0)化算至观测日之视位置(α, δ)可用白塞耳星数公式或独立星数表公式:

用白塞耳星数法:

$$\begin{aligned}\alpha &= \alpha_0 + \tau u + Aa + Bb + Cc + Dd + E \text{ (以时分秒表之)} \\ \delta &= \delta_0 + \tau u' + Aa' + Bb' + Cc' + Dd' + E' \text{ (以度分秒表之)}\end{aligned}$$

用独立星数表法:

$$\begin{aligned}\alpha &= \alpha_0 + f + f' + \tau u + \frac{1}{15}g \sin(G + \alpha_0) \tan \delta_0 \\ &\quad + \frac{1}{15}h \sin(H + \alpha_0) \sec \delta_0 \text{ (以时分秒表之)} \\ \delta &= \delta_0 + \delta u' + g \cos(G + \alpha_0) + h \cos(H + \alpha_0) \sin \delta_0 \\ &\quad + i \cos \delta_0 \text{ (以度分秒表之)}\end{aligned}$$

式中 τ 表示所求时日距离白塞耳年首之时间, 以年为单位。其他各项之说明见天文年历, 每日白塞耳星数及独立星数亦均详载于天文年历内, 算得之视位置已包括有短期章动项在内。

第五节 内插计算公式

天文年历内所载各种数值均按某一定时刻表列, 化算至观测时

之值须用内插法。倘表列相邻函数值之一次差均相等,则内插计算甚为简单。实际上有些数值其一次差二次差甚至三次差均不相等,此时欲求精确之值即须应用较精密之内插公式,兹加以说明如下:

表 5-1

引 数	函 数	一次差	二次差	三次差	四次差
X_0	f_0	$\Delta'_{\frac{1}{2}}$	Δ''_0	$\Delta'''_{\frac{1}{2}}$	Δ_0^{IV}
X_1	f_1	$\Delta'_{\frac{3}{2}}$	Δ''_1	$\Delta'''_{\frac{3}{2}}$	Δ_1^{IV}
X_2	f_2	$\Delta'_{\frac{5}{2}}$	Δ''_2	$\Delta'''_{\frac{5}{2}}$	Δ_2^{IV}
X_3	f_3	$\Delta'_{\frac{7}{2}}$	Δ''_3	$\Delta'''_{\frac{7}{2}}$	Δ_3^{IV}
X_4	f_4	$\Delta'_{\frac{9}{2}}$	Δ''_4	$\Delta'''_{\frac{9}{2}}$	Δ_4^{IV}
X_5	f_5		Δ''_5		Δ_5^{IV}

表 5-1 $f_0, f_1, \dots$ 为按引数次序 $X_0, X_1, \dots$ 排列之函数值, $\Delta', \Delta'', \Delta'''$ 为各函数之一次、二次、三次差。其中

$$\Delta'_{\frac{1}{2}} = f_1 - f_0$$

$$\Delta''_1 = \Delta'_{\frac{3}{2}} - \Delta'_{\frac{1}{2}}$$

$$\Delta'''_{\frac{3}{2}} = \Delta''_2 - \Delta''_1$$

白塞耳(Bessel) 内插公式为:

$$f_n = f_0 + n\Delta'_{\frac{1}{2}} + \frac{n(n-1)}{1 \cdot 2} \frac{(\Delta'_0 + \Delta'_1)}{2} + \frac{n(n-1)(n-\frac{1}{2})}{1 \cdot 2 \cdot 3} \Delta'''_{\frac{1}{2}} + \dots \quad (1)$$

其中设所查之引数为 X^1 , 其值介乎 X_0 与 X_1 之间, 今称 $X_1 - X_0 = \Delta X$, $X^1 - X_0 = \delta X$ 则式(1) 内之 $n = \frac{\delta X_1}{\Delta X}$, 其余各符号所代表之意义详于表 5-1, 兹举例说明其应用。

例 1 试求 1951 年 2 月 5 日 21 时之太阳赤纬。

根据 1951 年之天文年历查得 2 月 5 日附近数日之太阳赤纬及其一次差, 更计算其二次及三次差一并填入则得:

日期	赤 纬	一次差	二次差	三次差
2月3日	$-16^{\circ}49'19''.7$	$+1\ 051''.2$	$+17''.2$	$-0''.2$
2月4日	$-16\ 31\ 48.5$	$+1\ 068.4$	$+17.0$	-0.5
2月5日	$-16\ 14\ 00.1$		$[+16.75]$	
2月6日	$-15\ 55\ 54.7$	$+1\ 085.4$	$+16.5$	-0.6
2月7日	$-15\ 37\ 32.8$	$+1\ 101.9$	$+15.9$	
2月8日	$-15\ 18\ 55.0$	$+1\ 117.8$		

此时所查之引数介乎 2 月 5 日及 6 日之间, 而 $n = \frac{21}{24}$, 二次差之平均值

$\frac{\Delta_0'' + \Delta_1''}{2} = +16.75$, 代入式(1) 得

$$\begin{aligned}
 f_n &= -16^{\circ}14'00''.1 + \frac{21}{24}(1\ 085.4) + \frac{\frac{21}{24}\left(-\frac{3}{24}\right)(16.75)}{2} \\
 &\quad + \frac{\frac{21}{24}\left(-\frac{3}{24}\right)\left(\frac{9}{24}\right)(-0.5)}{6} + \dots \\
 &= -16^{\circ}14'00''.1 + 15'49''.7 - 0''.9 + 0''.0 = -15^{\circ}58'11''.3
 \end{aligned}$$

我国天文年历中将式(1) 写成

$$f_n = f_0 + n\Delta'_{\frac{1}{2}} + B''(\Delta_0'' + \Delta_1'') + B''' \Delta'''_{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$\text{其中 } B'' = \frac{n(n-1)}{2} \times \frac{1}{2}, B''' = \frac{n(n-1)(n-\frac{1}{2})}{1 \cdot 2 \cdot 3}$$

年历中将 B'' 及 B''' 依 n 为引数制成计算用表使用异常便利。在上例情形 $n = \frac{21}{24} = 0.875$ 查表得 $B'' = -0.027\ 3$ (B'' 恒为负数) $B''' = -0.006\ 8$

代入式(2) 仍得 f_n 为 $-15^{\circ}58'11''.3$

此外尚有牛顿内插公式, 按表 5-1 之符号, 牛顿内插公式为

$$f_n = f_0 + n\Delta'_{\frac{1}{2}} + \frac{n}{1} \frac{n-1}{2} \Delta''_1 + \frac{n}{1} \frac{n-1}{2} \frac{n-2}{3} \Delta'''_{\frac{3}{2}} \quad (3)$$

一般内插计算甚少用及三次差者, 如置三次差于不顾, 即假定二次差为一常数, 则牛顿与白塞耳公式相同, 可简书为

$$f_n = f_0 + n \left\{ \Delta'_{\frac{1}{2}} - \frac{1-n}{2} \Delta'' \right\} \quad (4)$$

例 2 求 1951 年 2 月 5 日上海标准时 16 时之太阳视赤纬。

查天文年历得：格林尼治 0^时。

日 期	太阳视赤纬	一次差	二次差
2 月 5 日	-16°14'00".1		
2 月 6 日	-15 55 54.7	+1 085".4	
2 月 7 日	-15 37 32.8	+1 101".9	+16".5

上海标准时 16 时相当于格林尼治 16-8=8 时(2 月 5 日),故所求引数介于 2 月 5 日至 2 月 6 日之间, $n = \frac{8}{24} = 0.333$,代入式(4)得

$$\begin{aligned} f_n &= -16^\circ 14' 00''.1 + 0.333 \left\{ +1\,085.4 - \frac{0.667}{2} \times 16.5 \right\} \\ &= -16^\circ 14' 00''.1 + 0.333 \times 1\,079".9 = -16^\circ 08' 00''.5 \end{aligned}$$

有时天文年历内表列之函数不附载其相邻函数值之差值而列每小时之变率者。此时可将其引数差额乘以其间之平均变率即可,计算结果应与式(4)所得者相同。兹仍取上例,设表列数值为:

日 期	太阳视赤纬	每时变率
2 月 5 日	-16°14'00".1	+44".83
2 月 6 日	-15°55'54".7	+45".57

兹按每时变率之差为 $45".57 - 44".83 = 0".74$,则自 2 月 5 日 0 时至 2

月 5 日 8 时间之平均每时变率应为 $+44.83 + 0.74 \times \frac{8}{24} = +44.95$ 。

2 月 5 日 8 时之赤纬 $= -16^\circ 14' 00''.1 + 8 \times 44".95 = -16^\circ 08' 00''.5$ 。
自 1934 年以后天文年历上所列各函数值加注其每时变率者,已甚少见。

第六章 时之换算

第一节 平太阳时与视太阳时之换算

吾人作太阳观测时，所观测者为太阳视位置，而记录之时刻则往往为平太阳时或标准时。平太阳时与视太阳时换算之公式为

$$\text{视时} = \text{平时} + \text{时差} \quad (1)$$

其理论已于第四章第四节内述及。

时差之值可于天文年历内查得。历书内所载系逐日格林尼治平时 0 时之时差数值。凡自平时算求视时，可以直接引用。如由视时算求平时，因年历上时差并不以视时为引数，严格言之，应暂根据已知之视太阳时为引数，求得近似之平时，然后再以近似之平时为引数，更进而求精确之平时。但在一般情形，如仅计算至秒位精度，径按视时为引数查表既是。

兹举例说明其换算方法如下。

例 1 求 1950 年 6 月 16 日格林尼治平时 $16^{\text{h}} 30^{\text{m}} 0^{\text{s}}.0$ 之地方视时。

查历：

日 期	时 差	
6 月 16 日	$-0^{\text{h}} 20^{\text{m}}.19$	$-12^{\text{m}}.93$
6 月 17 日	$-0 33 .12$	

$$\begin{array}{rcl}
 \text{时差(格)} 0^{\text{时}} & - & 0^{\text{分}} \quad 20^{\text{秒}}.19 \\
 \text{改正} \frac{16.5}{24} \times 12.93 & - & \underline{8.89} \\
 \text{时差(格)} 16^{\text{时}}.5 = & -0 & 29.08 \\
 \text{平时} & \underline{16 \quad 30 \quad 0.0} &
 \end{array}$$

$$\text{格林尼治视时} = 16^{\text{时}} \quad 29^{\text{分}} \quad 30^{\text{秒}}.92$$

例2 求北京($\lambda = 7^{\text{时}} \quad 45^{\text{分}} \quad 52^{\text{秒}}.9$ 东)1950年9月26日标准时(即中原时)为 $16^{\text{时}} \quad 24^{\text{分}} \quad 17^{\text{秒}}.1$ 时之视太阳时角。

查历:

日 期	时 差	
9月26日	$+8^{\text{分}} \quad 16^{\text{秒}}.17$	$+20.53$
9月27日	$+8 \quad 36.70$	

$$\begin{array}{rcl}
 \text{北京标准时} & & 16^{\text{时}} \quad 24^{\text{分}} \quad 17^{\text{秒}}.1 \\
 \text{经度}(\lambda) & - & 8 \\
 \text{(格)平时} & \underline{8 \quad 24 \quad 17.1} & \\
 \text{时差} + 8^{\text{分}} \quad 16^{\text{秒}}.17 + \frac{8.40}{24} \times 20.53 & + & \underline{8 \quad 23.4} \\
 \text{(格)视时} & & 8 \quad 32 \quad 40.5 \\
 \text{经度} & + & \underline{7 \quad 45 \quad 52.9} \\
 \text{北京视时} & & 16 \quad 18 \quad 33.4 \\
 & - & \underline{12} \\
 \text{北京之视太阳时角} & & 4^{\text{时}} \quad 18^{\text{分}} \quad 33^{\text{秒}}.4
 \end{array}$$

例3 求1950年6月16日格林尼治视时 $16^{\text{时}} \quad 29^{\text{分}} \quad 30^{\text{秒}}.92$ 之平时。
查历:

日 期	时 差
6月16日	$-0^{\text{分}} \quad 20^{\text{秒}}.19$
6月17日	$-0 \quad 33.12$

时差(格)6月16日平时0^时 — 0^分 20^秒 .19

改正 $\frac{12.93}{24} \times 16.5$ — 8 .89

时差(格)6月16日视时 16^时 29^分 30^秒 .92 — 0^分 20^秒 .19

视时 或近似平时 16^时 29^分 30^秒 .92 16 29 30 .92

平时 16^时 30^分 0^秒 .0

例4 求北京($\lambda = 7^{\text{时}} 45^{\text{分}} 52^{\text{秒}} .9$ 东)地方1950年9月26日视时 16^时 18^分 33^秒 .4 之标准时。

查历(格)0^时 :

日 期	时 差	
9月26日	+ 8 ^分 16 ^秒 .17	+ 20.53
9月27日	+ 8 36 .70	

地方视时(9月26日) 16^时 18^分 33^秒 .4

经度 — 7 45 52 .9

(格) 视时(9月26日) 8 32 40 .5

时差 + 8^分 16^秒 .17 + $\frac{8.41^*}{24} \times 20.53$ — 8 23 .4

(格) 平时 8 24 17 .1

经度 8 00 00 .0

北京标准时 16^时 24^分 17^秒 .1

* 格视时为 8^时 32^分 40^秒 .5 减时差概值 8^分 20^秒 得格平时概值为 8^时 24^分 20^秒 = 8.41^时。

第二节 恒星时段与平太阳时段之关系

按第四章第三节所述,知太阳日较恒星日略长,每日约差4分钟。太阳日及恒星日既各等分为24小时,递分为60分60秒,故太阳之时、分、秒均较恒星之时、分、秒略长。当地球公转一周之后,其太阳日

数适较其恒星日数少一天。由此即可求出恒星时段与平太阳时段之基本关系,太阳公转一周共需 365.242 2 平太阳日,故得:

$$365.242\ 2\text{ 平太阳日} = 366.242\ 2\text{ 恒星日}$$

$$1\text{ 平太阳日} = 1.002\ 737\ 91\text{ 恒星日}$$

$$1\text{ 恒星日} = 0.997\ 269\ 57\text{ 平太阳日}$$

或 恒星时段 $24^{\text{小时}}$ = 平太阳时段 $23^{\text{小时}}56^{\text{分}}4^{\text{秒}}.09$

$$\text{平太阳时段 } 24^{\text{小时}} = \text{恒星时段 } 24^{\text{小时}}03^{\text{分}}56^{\text{秒}}.56$$

下列 C 及 C' 表为平太阳时段与恒星时段相互换算时之改正值简表,其关系为

$$\text{平太阳时段} + C\text{ 表改正} = \text{恒星时段}$$

$$\text{恒星时段} - C'\text{ 表改正} = \text{平太阳时段}$$

C 表

平太阳时段	改正
$10^{\text{时}}$	$98.565^{\text{秒}}$
$10^{\text{分}}$	1.643
$10^{\text{秒}}$	0.027

 C' 表

恒星时段	改正
$10^{\text{时}}$	$98.296^{\text{秒}}$
$10^{\text{分}}$	1.638
$10^{\text{秒}}$	0.027

C 及 C' 表乃一简表,使用时须以时段,时、分、秒之实长分别乘表列改正,计算得全部改正。本书后面附表 II (化平太阳时段为恒星时段),及附表 III (化恒星时段为平太阳时段) 则为详表,不必再用乘法,计算比较便捷。兹举例说明如下:

例 5 求平太阳时段 $15^{\text{时}}31^{\text{分}}45^{\text{秒}}$ 之相当恒星时段。

查附表 II:

太阳时	时	分	秒	→ 恒星时	时	分	秒
	15				15	2	27.847
		31				31	5.093
			45				45.122
	15	31	45	→	15	34	18.062

或用 C 表:

$$15 \text{ 时之改正} \quad 1.5 \times 98.565 = 2^{\text{分}} 27.847^{\text{秒}}$$

$$31 \text{ 分之改正} \quad 3.1 \times 1.643 = 5.093$$

$$45 \text{ 秒之改正} \quad 4.5 \times 0.027 = .122$$

$$C \text{ 表} \dots\dots\dots 2 \quad 33.062$$

$$\text{平太阳时} \quad 15 \quad 31 \quad 45$$

$$\text{恒星时} \quad 15 \quad 34 \quad 18.062$$

例 6 求恒星时段 $15^{\text{时}} 34^{\text{分}} 18.063^{\text{秒}}$ 之相当平太阳时段。

查附表 III:

恒星时	时	分	秒	→ 平时	时	分	秒
	15				14	57	32.557
		34			33	54.430	
			18.063				18.014
	15	34	18.063		15	31	45.001

或用 C' 表:

$$15 \text{ 时之改正} \quad 1.5 \times 98.296 = 2^{\text{分}} 27.444^{\text{秒}}$$

$$34 \text{ 分之改正} \quad 3.4 \times 1.638 = 5.569$$

$$18.063 \text{ 秒之改正} \quad 1.806 \times 0.027 = 0.049$$

$$C' \text{ 表} \dots\dots\dots 2 \quad 33.062$$

$$\text{恒星时} \quad 15 \quad 34 \quad 18.063$$

$$\text{平太阳时} \quad 15 \quad 31 \quad 45.001$$

第三节 恒星时刻与太阳时刻之关系

图 6-1 内之 S 为平太阳位置, V 为春分点位置。按第四章第二节式 (1) 地方恒星时 S 为

$$S = \alpha_s + t_s \quad (1)$$

其中 α_s 及 t_s 为平太阳之赤经及时角。若以 T 代表该瞬间之地方平时, 则按第四章第三节式 (3) $t_s = T \pm 12^{\text{时}}$, 故

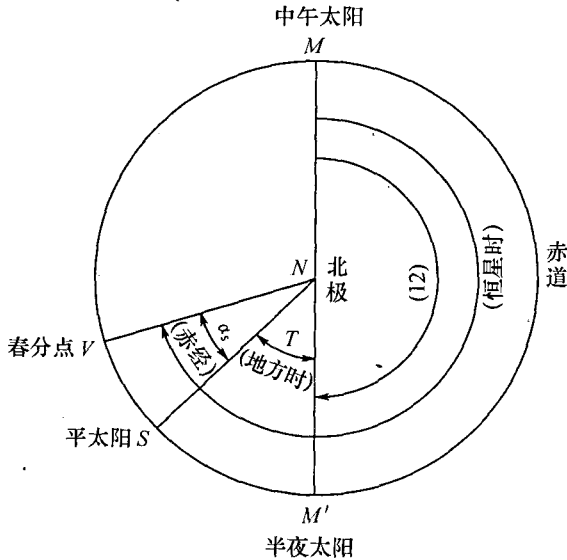


图 6-1 恒星时与平时之关系

$$S = \alpha_s + T \pm 12^{\text{时}} \quad (2)$$

或
$$S = (\alpha_s + 12^{\text{时}}) + T \quad (3)$$

此为地方恒星时与地方平时间之关系公式。如已知地方平时,用上式可求地方恒星时,反之亦可。上式之意义可用图 6-1 说明之。地方恒星时即春分点之时角,亦即图中之 $MM'V$ 弧,内分三部: $SV = \alpha_s$,即平太阳之赤经, $M'S = T$ 即地方平时, $MM' = 12$ 时。式(3)亦可书成下形:

$$S - T = \alpha_s + 12^{\text{时}} \quad (4)$$

上式右方“ $\alpha_s + 12^{\text{时}}$ ”即“平太阳赤经+12时”与子午圈之位置无关。按式左方亦可将其解释为相当于平时 $0^{\text{时}}$ ($T = 0$) 之恒星时。天文年历内有列为格 $0^{\text{时}}$ 之“恒星时”者,亦有列为格 $0^{\text{时}}$ 之“ $\alpha_s + 12^{\text{时}}$ ”者,其意义全同。

“ $\alpha_s + 12^{\text{时}}$ ”既与子午圈无关,故各地 S 与 T 虽异其值,然其差 $S - T$ 则在同一瞬间各地相同。因此平太阳时与恒星时换算时,由年历中查

该瞬间之“ $\alpha_s + 12^{\text{时}}$ ”即可。然天文年历所列者为格 $0^{\text{时}}$ 之“恒星时”或“ $\alpha_s + 12^{\text{时}}$ ”，欲推求当日其他时刻之“恒星时”可自格 $0^{\text{时}}$ 以后所历平太阳时段化为恒星时段(用C表或附表II)，加于年历上所列格 $0^{\text{时}}$ “恒星时”上，即得该时刻之格恒星时。

例7 求1951年10月21日格平时 $4^{\text{时}} 30^{\text{分}} 20.6^{\text{秒}}$ 之相当格恒星时。

查历1951年10月21日格 $0^{\text{时}}$ 之恒星时	$1^{\text{时}} 54^{\text{分}} 31.890^{\text{秒}}$
格平时	$4 \ 30 \ 20.6$
C表改正(或用附表II)	$+$ $0 \ 44.410$
格恒星时	$6^{\text{时}} 25^{\text{分}} 36.9^{\text{秒}}$

倘欲由格恒星时化为平时，由天文年历查该日格 $0^{\text{时}}$ 之恒星时，自所给之格恒星时内减去(不足时可加 $24^{\text{小时}}$)，得自格 $0^{\text{时}}$ 以后所历之恒星时段，用C'表或附表III化为平太阳时段，是为格 $0^{\text{时}}$ 以后所历之平太阳时段，亦即格平时之值。

例8 求1951年10月21日格恒星时 $6^{\text{时}} 25^{\text{分}} 36.9^{\text{秒}}$ 之相当格平时。

格恒星时	$6^{\text{时}} 25^{\text{分}} 36.9^{\text{秒}}$
查历:1951年10月21日 $0^{\text{时}}$ 之恒星时	$1 \ 54 \ 31.890$
恒星时段	$4 \ 31 \ 5.010$
C'表改正(或用附表III)	$- \ 0 \ 44.411$
格平时	$4^{\text{时}} 30^{\text{分}} 20.6^{\text{秒}}$

倘所欲换算者为格林尼治以外之地方平时与地方恒星时，有两法可循：

第一法 由地方平时(或地方恒星时)减或加地方之经度(东经—西经+)，化为格平时(或格恒星时)。然后按前述方法求相当之格恒星时(或格平时)再减或加地方经度(东经+西经—)，化回至地方时。

第二法 两地时刻差即为经度差，故由格 $0^{\text{时}}$ 至地方 $0^{\text{时}}$ 所历之平太阳时段化为恒星时段(用C表或附表II)，加于天文年历所列格 $0^{\text{时}}$ 之恒星时上，即得地方 $0^{\text{时}}$ 之恒星时。然后再照例7、例8之方法作地方平

时与地方恒星时之换算。

例 9 求 1951 年 5 月 9 日广州(东经 $7^{\text{时}} 32^{\text{分}} 01^{\text{秒}}.2$) 地方平时 $9^{\text{时}} 30^{\text{分}}.00^{\text{秒}}$ 之相当地方恒星时。

第一法 广州地方平时	$9^{\text{时}} 30^{\text{分}} 00^{\text{秒}}.000$
东经	$-7 \ 32 \ 01.200$
格平时	$1 \ 57 \ 58.80$
格平时	$1^{\text{时}} 57^{\text{分}} 58^{\text{秒}}.80$
查历(5 月 9 日格 $0^{\text{时}}$ 之恒星时)	$15 \ 4 \ 0.099$
C 表改正($1^{\text{时}} 57^{\text{分}} 58^{\text{秒}}.8$)(或用附表 II)	$+ \quad \quad 19.38$
格恒星时	$17 \ 02 \ 18.28$
东经	$+7 \ 32 \ 01.20$
广州地方恒星时	$0^{\text{时}} 34^{\text{分}} 19^{\text{秒}}.48$

注:地方恒星时数值不应在 $24^{\text{时}}$ 以上,如超过应减去 $24^{\text{时}}$ 。

第二法 查历(5 月 9 日格 $0^{\text{时}}$ 之恒星时)	$15^{\text{时}} 4^{\text{分}} 0^{\text{秒}}.099$
C 表改正($7^{\text{时}} 32^{\text{分}} 01.2^{\text{秒}}$)(或用附表 II)	$- \quad 1 \ 14.256$
广州平时 $0^{\text{时}}$ 之地方恒星时	$15 \ 2 \ 45.843$
广州平时	$9 \ 30 \ 00.000$
C 表改正($9^{\text{时}} 30^{\text{分}}$)(或用附表 II)	$+ \quad \quad 1 \ 33.637$
广州地方恒星时	$0^{\text{时}} 34^{\text{分}} 19^{\text{秒}}.48$

例 10 求 1951 年 5 月 9 日广州(东经 $7^{\text{时}} 32^{\text{分}} 01^{\text{秒}}.2$) 地方恒星时 $0^{\text{时}} 34^{\text{分}} 19^{\text{秒}}.480$ 相当之地方平太阳时。

第一法 广州地方恒星时	$0^{\text{时}} 34^{\text{分}} 19^{\text{秒}}.480$
东经	$-7 \ 32 \ 01.200$
格恒星时	$17 \ 2 \ 18.280$
格 $0^{\text{时}}$ 之恒星时(查历)	$15 \ 4 \ 0.099$
恒星时段	$1 \ 58 \ 18.181$
C' 表改正($1^{\text{时}} 58^{\text{秒}} 18^{\text{秒}}.181$)(或用附表 III)	$- \quad \quad 19.381$
格平太阳时	$1 \ 57 \ 58.800$
东经	$+7 \ 32 \ 01.200$
广州平太阳时	$9^{\text{时}} 30^{\text{分}} 00^{\text{秒}}.000$

第二法 查历(5月9日格0 ^时 之恒星时)	15 ^时 4 ^分 0 ^秒 .899
C表改正(7 ^时 32 ^分 01.2 ^秒)(或用附表 II)	— 1 14 .256
广州平时0 ^时 之地方恒星时	15 2 45 .843
广州恒星时 (下减上)	0 34 19 .480
恒星时段	9 31 33 .637
C'表改正(9 ^时 31 ^分 33 ^秒 .637)(或用附表 III)	— 1 33 .637
广州平太阳时	9 ^时 30 ^分 00 ^秒 .000

第四节 时刻换算应用问题

天文观测中时刻换算之应用甚多。如求太阳或某恒星中天时之地方时或标准时,求某时刻北极星之时角,或根据观测结果计算太阳或某恒星之时角后,求观测地方之经度,或观测时之时刻等。兹举例于下以明之。

例 11 求1951年9月25日太阳在广州(东经7^时 32^分 01^秒.2)上中天之标准时(中原时)

说明:太阳上中天时,地方视太阳时为12^时,减去经度后得格视太阳时,然后查历得时差,换算得格平时。再加中原时标准经度,即得中原时。

地方视太阳时	12 ^时 00 ^分 00 ^秒 .0
经度	— 7 32 01 .2
格视太阳时	4 27 58 .8
查历(9月25日0 ^时 时差)	7 55 .46
时差改正 = $\frac{4.33}{24} \times 20^{\text{秒}}.11$	— 3 .63
格平时	4 19 59 .7
标准时经度	+ 8
太阳上中天时之中原时	12 19 59 .7

例 12 求1951年6月1日 α 天琴座(Lyrae)经过上海($\lambda = 8^{\text{时}} 05^{\text{分}} 43^{\text{秒}}.0$)上中天时之标准时(中原时)。

查历 α 天琴座之赤经 $= 18^{\text{时}} 35^{\text{分}} 19^{\text{秒}}.1$
 1951 年 5 月 31 日格 0^时 恒星时 $= 16 \ 30 \ 44.36$
 1951 年 6 月 1 日格 0^时 恒星时 $= 16 \ 34 \ 40.92$

说明: α 天琴座经过上海上中天时, 上海之恒星时等于该星之赤经。是以地方恒星时为已知。由已知之地方恒星时求其相当的平太阳时与例 10 相同。

第一法	上海恒星时(6 月 1 日)	$18^{\text{时}} 35^{\text{分}} 19^{\text{秒}}.1$	
	经度	$8 \ 05 \ 43.0$	
	格恒星时	$10 \ 29 \ 36.1(+24)$	
	查历: 格 0 时恒星时(5 月 31 日)*	$16 \ 30 \ 44.36$	
	恒星时段	$17 \ 58 \ 51.74$	} 平太阳时段
	附表 III 改正($17^{\text{时}} 58^{\text{分}} 51^{\text{秒}}.74$)	$- \quad 2 \ 56.75$	
	格平时(5 月 31 日)	$17 \ 55 \ 54.99$	
	经差	8	
	中原时(5 月 31 日)	$25 \ 55 \ 54.99$	
	或 (6 月 1 日)	$1 \ 55 \ 54.99$	

* 按此题当 α 天琴座在上海上中天时约当 6 月 1 日中原时上午 2^时, 其时格林尼治仍在 5 月 31 日, 故查历时应照查 5 月 31 日格 0^时 之恒星时, 而不应查 6 月 1 日者。但究应查何日之恒星时, 有时必俟算得平太阳时后方能判断。倘用第二法计算, 即无此弊。

第二法	6 月 1 日格 0 ^时 恒星时	$16^{\text{时}} 34^{\text{分}} 40^{\text{秒}}.92$	
	附表 II ($8^{\text{时}} 05^{\text{分}} 43.0^{\text{秒}}$)	$- \quad 1 \ 19.79$	
	上海 0 ^时 恒星时	$16 \ 33 \ 21.13$	
	上海恒星时	(下减上) $18 \ 35 \ 19.1$	
	恒星时段	$2 \ 01 \ 57.97$	} 平太阳时段
	附表 III 改正($2^{\text{时}} 01^{\text{分}} 57^{\text{秒}}.97$)	$- \quad 0 \ 19.98$	
	上海地方平时	$2 \ 01 \ 37.99$	
	经差	$5 \ 43.0$	
	上海标准时	$1 \ 55 \ 54.99$	

例 13 求 1951 年 11 月 18 日中原时下午 9 时, 在广州(东经 $7^{\text{时}} 32^{\text{分}}$)

01^秒.2) 所见北极星之时角。

说明：北极星之赤经加其时角即为地方恒星时。故将中原时换算为地方恒星时后，减去北极星之赤经即得其时角。

中原时	21 ^时 00 ^分 00 ^秒 .0
标准经度	— 8
格平时	13 00 00 .0
查历(11月18日格0 ^时 恒星时)	3 44 55 .459
附表 II (13 ^时 00 ^分 00 ^秒 .0)	+ 2 8 .134
格恒星时	16 47 03 .6
广州经度	+ 7 32 01 .2
广州地方恒星时	24 19 04 .8
北极星之赤经(查历)	— 1 50 47 .6
北极星之时角	22 28 17 .2

例 14 1951年8月27日中原时 16^时 48^分 24^秒.0 时，在某地观测太阳，计算其时角为 71°18'22"，求观测地方之经度。

说明：太阳时角加 12^时 为地方视太阳时，减时差后，得地方平时，与观测时之格平时比较，即得观测地方之经度。

中原时	16 ^时 48 ^分 24 ^秒 .0
标准经度	— 8
格平时	8 48 24 .0 = 8.07 ^时
观测时太阳时角(71°18'22")	4 ^时 45 ^分 13 ^秒 .5
	+ 12
观测时地方视太阳时	16 45 13 .5
时差(查历内插格平时 8.07 ^时)	+ 1 42 .5
地方平时	16 46 56 .0
格平时	— 8 48 24 .0
地方经度	东经 7 58 32 .0

第五节 恒星时刻之近似估计

吾人平日作息，均以太阳时为准，虽无钟表，根据太阳在天空之位

置,亦可估计大概时刻。同理,恒星时刻亦可根据恒星之位置估计之。

经过春分点之时圈约通过北方之 β 仙后座。仙后座可由显著之W形状判断之, β 星位于其右上角。当此星居北极星正上方时,恒星时为 $0^{\text{时}}$;居其下方时,恒星时为 $12^{\text{时}}$;居左(西方)为 $6^{\text{时}}$;居右(东方)为 $18^{\text{时}}$ 。近于赤道之地方,仙后座有时在地平之下,不可得见。此时可兼用 δ 大熊座代替之。 δ 大熊座之赤经约为 $12^{\text{时}}$,当其居北极星正上方时,恒星时为 $12^{\text{时}}$;居左(西方)为 $18^{\text{时}}$;居右(东方)为 $6^{\text{时}}$ 。

恒星时刻除可用上述星位估计之外,亦可计算太阳赤经 α_s 之概值,而由平太阳时换算得之。春分日(约三月二十一日)太阳之赤经为 $0^{\text{时}}$,夏至日(约六月二十二日)太阳之赤经为 $6^{\text{时}}$,秋分日(约九月二十三日)太阳之赤经为 $12^{\text{时}}$,冬至日(约十二月二十二日)太阳之赤经为 $18^{\text{时}}$ 。由第二节已知太阳之赤经每日增加 $3^{\text{分}}56^{\text{秒}}.56 \approx \frac{69}{70} \times 4^{\text{分}}$ 。故其他日期之赤经可由该日距此四节日之日数计算之。求得太阳赤经 α_s 后,即可按式(2)之关系($S = \alpha_s + T \pm 12^{\text{时}}$)由平太阳时换算为恒星时。

例如欲求8月25日地方平时 $21^{\text{时}}$ 之地方恒星时刻。由6月22日(夏至日)至8月25日共历时64日,太阳赤经增加 $64 \times \frac{69}{70} \times 4^{\text{分}} = 4^{\text{时}}12^{\text{分}}$ 。故 $\alpha_s = 6^{\text{时}} + 4^{\text{时}}12^{\text{分}} = 10^{\text{时}}12^{\text{分}}$ 。由此得地方恒星时 $S = 10^{\text{时}}12^{\text{分}} + 21^{\text{时}} - 12^{\text{时}} = 19^{\text{时}}12^{\text{分}}$ 。按此法估算,因各节日之日期每年可能有一日之上下,故所得结果可能有二三分钟之误差。

第七章 定位三角形

第一节 球面三角之基本公式

所有实用天文学之问题,均可由解算天球面上之球面三角形而获得答案。故首先说明球面三角之基本公式。

图 7-1 中之 ABC 为一球面三角形, a, b, c 为其三边, O 为球之中心。连接 OA, OB, OC , 并在 OC 上取任意一点 P , 由 P 作 PQ 垂直于 OA , 作 PR 垂直于 OB 。在 AOB 平面内作 QS 垂直于 OA , 作 RS 垂直于 OB , 二者相交于 S 。连接 PS 。因 PQS 与 PRS 两平面均垂直于 AOB 平面, 故其交线 PS 必垂直于 AOB 平面, 即

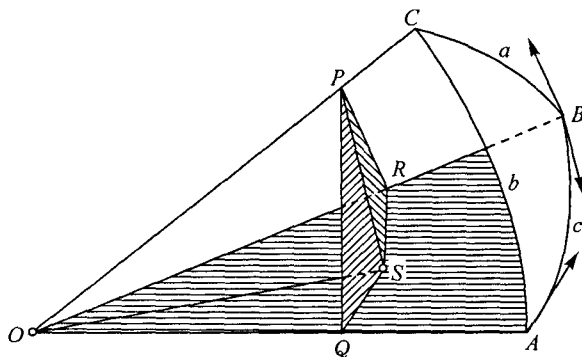


图 7-1

$$\angle PSQ = \angle PSR = 90^\circ$$

其次由图可见

$$\angle PQS = A$$

$$\angle PRS = B$$

$$\angle POR = a$$

$$\angle POQ = b$$

$$\angle QOR = c$$

又由图

$$PS = PQ \sin A = OP \sin b \sin A$$

或

$$PS = PR \sin B = OP \sin a \sin B$$

两式右方相等

$$\sin b \sin A = \sin a \sin B \quad (1)$$

是为正弦公式

兹将 AOB 平面上各点之关系以图 7-2 明之。自 Q 作 QT 垂直于 OR , 得

$$OR = OQ \cos c + QS \sin c$$

或

$$OP \cos a = OP \cos b \cos c + OP \sin b \cos A \sin c$$

消去 OP 得

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A \quad (2)$$

是为余弦公式。

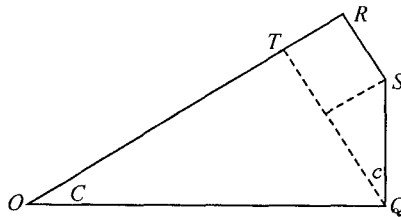


图 7-2

再由图 7-2

$$RS = OQ \sin c - QS \cos c$$

或

$$OP \sin a \cos B = OP \cos b \sin c - OP \sin b \cos A \cos c$$

消去 OP 得

$$\sin a \cos B = \cos b \sin c - \sin b \cos c \cos A \quad (3)$$

式(3)如双方用式(1) $\sin b = \sin a \frac{\sin B}{\sin A}$ 除之,又可书为:

$$\sin A \cot B = \cot b \sin c - \cos c \cos A \quad (3^*)$$

名为余切公式。

以上(1)、(2)、(3)及(3*)为球面三角之基本公式。每式中交换 a, b, c 之关系,又可各书成三种形式。

此外尚有半角公式,亦为实用天文所常用者。兹引证如下:余弦公式(2)中 $\cos A$ 可按三角函数关系变为

$$\cos A = 1 - 2 \sin^2 \frac{A}{2}$$

$$\text{代入式(2)得} \quad \cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c (1 - 2 \sin^2 \frac{A}{2})$$

$$= \cos(b-c) - 2 \sin b \sin c \sin^2 \frac{A}{2}$$

$$\text{或} \quad \cos(b-c) - \cos a = 2 \sin b \sin c \sin^2 \frac{A}{2}$$

但三角函数中有一公式为

$$\cos \alpha - \cos \beta = -2 \sin \frac{\alpha+\beta}{2} \sin \frac{\alpha-\beta}{2}$$

用于前式左方即得

$$-2 \sin \frac{b-c+a}{2} \sin \frac{b-c-a}{2} = 2 \sin b \sin c \sin^2 \frac{A}{2}$$

$$\text{命} \quad \sigma = \frac{1}{2}(a+b+c), \text{则} \frac{1}{2}(b-c+a) = \sigma - c, \frac{b-c-a}{2} = -(\sigma - b)$$

代入前式,可书为

$$\sin^2 \frac{A}{2} = \frac{\sin(\sigma-b) \sin(\sigma-c)}{\sin b \sin c}$$

$$\text{或} \quad \sin \frac{A}{2} = \sqrt{\frac{\sin(\sigma-b) \sin(\sigma-c)}{\sin b \sin c}} \quad (4)$$

是为半角正弦公式。

倘将余弦公式(2)中之 $\cos A$ 用下式代入

$$\cos A = 2 \cos^2 \frac{A}{2} - 1$$

并依上述同样方法约化,即得半角余弦公式

$$\cos \frac{A}{2} = \sqrt{\frac{\sin \sigma \sin (\sigma-a)}{\sin b \sin c}} \quad (5)$$

以式(5)除式(4),又可得半角正切公式

$$\tan \frac{A}{2} = \sqrt{\frac{\sin (\sigma-b) \sin (\sigma-c)}{\sin \sigma \sin (\sigma-a)}} \quad (6)$$

第二节 直角或象限球面三角形

球面三角形中一个夹角为直角(90°)者,称为直角球面三角形。若有一边为一象限(90°)者,称为象限球面三角形。此两种三角形俱为特殊情形,亦可应用前节所述之公式。但另有一极简单之法则(通称为纳皮耳法则),易于记忆,对于解算此种三角形非常方便。

球面三角形本有六部分,即三个夹角与三个边。今将其特殊一部分(直角或象限)不计,所余五部分依次环列一圈如图 7-3 所示。图 7-3 之内圈为直角三角形, C 为直角;外圈为象限三角形, C 为象限。在所示之五部分中,任意三部分间之关系可依下列两法则求之:

$$\text{中部之正弦} = \text{邻部正切之乘积} \quad (7)$$

$$\text{中部之正弦} = \text{对部余弦之乘积} \quad (8)$$

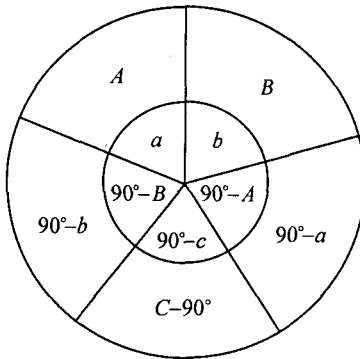


图 7-3

兹举例说明之。

设有一直角球面三角形, C 为直角, 已知 a, c , 欲求 A, B 。先求 B , 可应用式(7), 以 $(90^\circ - B)$ 为中部, 得

$$\sin(90^\circ - B) = \tan a \tan(90^\circ - c)$$

$$\text{或} \quad \cos B = \tan a \cot c \quad (9)$$

再求 A , 以 a 为中部, $(90^\circ - A)$ 及 $(90^\circ - c)$ 即为 a 之对部(与 a 相对), 应用式(8)得

$$\sin a = \cos(90^\circ - A) \cos(90^\circ - c)$$

$$\text{或} \quad \sin A = \sin a \csc c \quad (10)$$

再设有一象限三角形(C =象限)已知 a, b , 求 A, C 。先求 C , 用式(7), 以 $(C - 90^\circ)$ 为中部, 得

$$\sin(C - 90^\circ) = \tan(90^\circ - a) \tan(90^\circ - b)$$

$$\text{或} \quad \cos C = -\cot a \cot b \quad (11)$$

再来 A , 用式(8), 以 $(90^\circ - a)$ 为中部, 得

$$\sin(90^\circ - a) = \cos A \cos(90^\circ - b)$$

$$\text{或} \quad \cos A = \cos a \csc b \quad (12)$$

以上仅为两例。倘已知为其他部分, 同样可以应用上述法则, 求出必要之公式。

第三节 定位三角形之一般解算

所谓定位三角形者, 即天球上由北极 P (观测者在南半球时用南极), 观测者天顶 Z , 及所观测之星位 S 为顶点所成之球面三角形。此三角形之三顶点为 PZS , 故又名 PZS 三角形。由图 7-4 知此三角形之三边为: (1) 观测者之余纬 $(90^\circ - \varphi)$; (2) 天体之天顶距 Z (或 $90^\circ - h$); (3) 天体之极距 p (或 $90^\circ - \delta$)。三角形三顶角为: (1) 天体之方位角 A ; (2) 天体之时角 t ; (3) 星位角 S 。图 7-5(a) 为星在子午圈东之情形, 时角 t 为负值, 因时角系自子午圈向西为正。图 7-5(b) 为星在子午圈西之情形, 方位角 A 为负值, 因方位角自北向东为正。

定位三角形之六部, δ 常为已知(可由天文年历或星表中查得), h 可以观测, 其余 φ, t, z 如有一为已知, 即可应用第一节所讲之公式求出



茲將第一节所求得之六个公式分别应用于定位三角形,导出实用天文学所最常用之数个公式:

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t \quad (13)$$

(乙)比较图 7-5 与图 7-1, 命 P 为 A , Z 为 B , S 为 C 代入式(3)得

$$\cos h \cos A = \sin \delta \cos \varphi - \cos \delta \sin \varphi \cos t \quad (14)$$

由正弦定律得 $\cos h \sin A = -\cos \delta \sin t \quad (15)$

或书为 $\sin A = -\cos \delta \sin t \sec h \quad (16)$

以式(14)除式(15)又得

$$\tan A = \frac{-\sin t}{\cos \varphi \tan \delta - \sin \varphi \cos t} \quad (17)$$

(丙)比较图 7-5 与图 7-1, 命 P 为 A , Z 为 B , S 为 C 即

$$a = 90^\circ - h \quad b = p \quad c = 90^\circ - \varphi$$

又命 $s = \frac{1}{2}(\varphi + h + p)$

按第一节 $\sigma = \frac{1}{2}(a + b + c) = 90^\circ - (s - p)$

$$\sigma - a = s - \varphi \quad \sigma - b = 90^\circ - s \quad \sigma - c = s - h$$

代入式(4)、(5)、(6)得

$$\sin \frac{t}{2} = \sqrt{\frac{\cos s \sin (s-h)}{\cos \varphi \sin p}} \quad (18)$$

$$\cos \frac{t}{2} = \sqrt{\frac{\cos (s-p) \sin (s-\varphi)}{\cos \varphi \sin p}} \quad (19)$$

$$\tan \frac{t}{2} = \sqrt{\frac{\cos s \sin (s-h)}{\cos (s-p) \sin (s-\varphi)}} \quad (20)$$

(丁)比较图 7-5 与图 7-1, 命 Z 为 A , P 为 B , S 为 C 即

$$a = p \quad b = 90^\circ - h \quad c = 90^\circ - \varphi$$

仍命 $s = \frac{1}{2}(\varphi + h + p)$

按第一节 $\sigma = \frac{1}{2}(a + b + c) = 90^\circ - (s - p)$

$$\sigma - a = 90^\circ - s \quad \sigma - b = s - \varphi \quad \sigma - c = s - h$$

代入式(4)、(5)、(6)得

$$\sin \frac{1}{2}A = \sqrt{\frac{\sin (s-h) \sin (s-\varphi)}{\cos \varphi \cos h}} \quad (21)$$

$$\cos \frac{1}{2} A = \sqrt{\frac{\cos s \cos (s-p)}{\cos \varphi \cos h}} \quad (22)$$

$$\tan \frac{1}{2} A = \sqrt{\frac{\sin (s-h) \sin (s-\varphi)}{\cos s \cos (s-p)}} \quad (23)$$

以上各式俱为解算定位三角形所常用之公式。

第四节 定位三角形之特殊情形

前节关于定位三角形之解算所列为一般公式。今再分论数种特殊情形。

1. 天体在子午圈上, 即天体中天时之关系 此时之情形有如图 7-6 (方位角 $A=0$, 时角 $t=0$), MZP 为子午圈。 ON 为地平上之正北方向。 P 为北极, Z 为观测者之天顶。 OM 为赤道圈。 MOZ 为观测者之纬度。由图可知

$$PON = MOZ$$

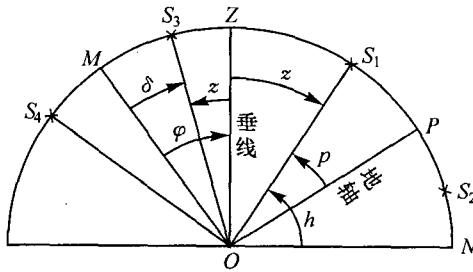


图 7-6

$$\text{即} \quad \text{极之高度} = \text{观测者之纬度} \quad (24)$$

当星在北天时 (S_1 与 S_2)

$$\left. \begin{array}{ll} \text{上中天 } S_1: & \varphi = h - p \\ \text{下中天 } S_2: & \varphi = h + p \end{array} \right\} \quad (25)$$

当星在天顶附近 (S_1, S_3, S_4)

$$\left. \begin{array}{l} \text{北 天 } S_1: \quad \varphi = \delta - z \\ \text{南 天 } S_3 \text{ 及 } S_4: \quad \varphi = \delta + z \end{array} \right\} \begin{array}{l} S_3 \quad \delta \text{ 为 } + \text{号} \\ S_4 \quad \delta \text{ 为 } - \text{号} \end{array} \quad (26)$$

2. 当天体在东西大距时,即通过天体之垂直圈与该天体之自转圈相切时 此时之情形有如图 7-7, ZP 为子午圈, ZS 及 ZS' 为通过天体 (一般为拱极星) S 及 S' 之垂直圈。 PS 及 PS' 为通过天体 S 及 S' 之时圈。 SS' 之小圆为天体之自转圈。当天体在 S 及 S' 时垂直圈与自转圈相切名为大距。 S 在东,名东大距; S' 在西,名西大距。

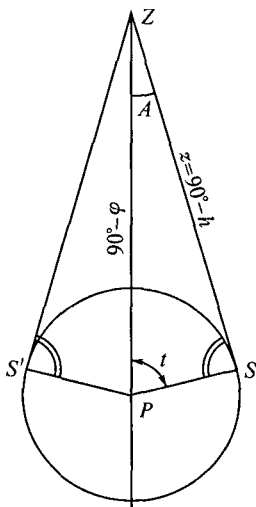


图 7-7

由图可知此时星位角 $S = 90^\circ$, 即定位三角形为一直角三角形。命 Z 为 A , P 为 B 即 $p = a$, $90^\circ - \varphi = c$, 代入第二节式(9)及(10), 得

$$\cos t = \tan \varphi \cot \delta \quad (27)$$

$$\sin A = \sin p \sec \varphi \quad (28)$$

此为求天体大距时之时角及方位角之公式。当天体在子午圈东时 t 为负, A 为正, 在子午圈西时, t 为正, A 为负。

3. 当天体出没于地平圈时即当天体之高度角为 0 或天顶距为 90° 时 此时之情形有如图 7-8, PZS 为一象限三角形, 其中 $ZS = \text{象限} = 90^\circ$ 。按第二节之关系命 Z 为 A , S 为 B , P 为 C 即 $90^\circ - \delta = a$, $90^\circ - \varphi = b$, 代入第二节之式(11)及(12), 得

$$\cos t = -\tan \varphi \tan \delta \quad (29)$$

$$\cos A = \sin \delta \sec \varphi \quad (30)$$

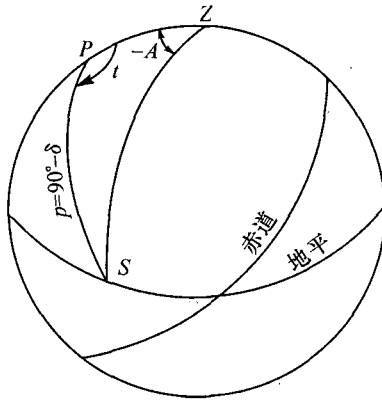


图 7-8 星体之出没

此为天体出没之时角或方位角公式。当天体升出时, 在东方, t 为负, A 为正; 当天体落没时, 在西方, t 为正, A 为负。

第八章 观测仪器

第一节 经纬仪

第一目 经纬仪之构造

经纬仪乃一测量水平角及垂直角之仪器,其望远镜可绕二互相垂直之垂直轴及水平轴转动。仪器之垂直轴与连接上下两盘之内外两轴相符合。下盘刻水平角度;上盘则有读数指标,通常为二个,相对各距 180° 。上盘之上,固立支架,望远镜之水平轴(即倾轴)即装置于此支架之上。望远镜可绕水平轴自由旋转。水平轴之一端,附有垂直度盘,随望远镜旋转。另在支架上装有游标,可读垂直角。上下两盘及水平轴均有止动及微动螺旋,以节其动。置平仪器所需之水准管则置于上盘之上。

上下两盘均可绕垂直轴旋转,而望远镜又可绕水平轴旋转,故望远镜之视准轴可指向空间任何方向。由水平度盘及垂直度盘即可读得水平角及垂直角。读数方法有多种。普通经纬仪用游标读数,又名游标经纬仪。精密经纬仪用显微测微器读数,并有跨水准等设备,适于天文观测之用者,又称为全能经纬仪。新式经纬仪多用玻璃度盘,经过一系列棱镜及显微设备,将度盘读数反映于读数镜内。简单读数镜内设有度尺或游标尺;精密经纬仪则将度盘相对 180° 之两部分同时反映于读数镜内,成相对倒立之形状,然后用光学方法,使相对刻线接合,由测微器上读微小读数。其精度超过一般显微测微器,且读数极为便利。

第二目 观测天体之附件

观测天体常须使用若干特殊附件，兹将常用者分述于下：

1. 跨水准 跨水准乃用以置平水平轴，或量测水平轴之倾度者。跨水准乃一水准管，两端各有一支脚，可以架放于经纬仪之水平轴上。使用跨水准之前，须先检查其水准轴是否与支架中心连接线平行。将跨水准放稳于水平轴上，用脚螺旋将气泡置中，如图 8-1 之(a)，然后不动水平轴，将跨水准提起，掉转两端，再放于水平轴上。此时倘气泡如仍在中间，则跨水准之水准轴，与水平轴(亦即与跨水准支脚之连接线)互相平行。倘不在中间如图 8-1 之(b)，用脚螺旋校正气泡偏出之一半，如(c)，另外一半用跨水准校正螺旋校正之，如图 8-1 之(d)。

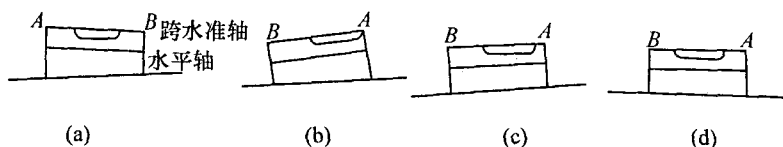


图 8-1

跨水准经校正后，即可用以随时验测水平轴是否真正水平。如已知跨水准每分割之角值，亦可根据跨水准气泡两端之读数，计算水平轴之倾斜误差，以备改正所测角度之用。

2. 电照设备 夜间观测须用电照设备。电照设备分为二部：一为十字丝之照明；一为度盘之照明。新式仪器多有电照设备附件。将其装设于仪器适当位置后，即可用所附之电池供应电流，照明十字丝及度盘。观测时并可校正光度之强弱，使之适合需要。

倘无电照设备附件，亦可用普通电筒照明之。十字丝在黑暗背景中不可得见；但如照明过强，则微弱之星光又不易清晰辨别。是以用手电筒照十字丝时，须以手电筒在距望远镜物镜相当距离处，斜向物镜照明。有时亦可使用白色卡片，将光线射于卡片上，然后再反射到物镜内，使其光线较匀而柔和。欲调节光线之强弱，可变更手电筒与物镜之距离。

照明度盘亦可使用手电筒。但须注意手电筒之光如系斜射,极易产生视差,读数遂生误差。

3. 棱镜目镜 一般望远镜甚难观测 50° 以上之垂直角。即 40° 以上之角度,观测亦极不便。盖望远镜向上倾斜过甚,目镜遂为上盘所阻。此时可用一棱镜置于目镜之前,将光线作 90° 之折射,俾可易于观测。是名为棱镜目镜。用此附件,一般可观测高度角至 75° 。

有时可将目镜卸下,另装一折臂目镜,其垂直折出之一段较长,故可观测任何高度角之天体,直达天顶。

4. 太阳玻璃 太阳光度极强,不能直接观测,必用较暗之有色玻璃,置于目镜之前,以减低其光度,是为太阳玻璃。视太阳光度之强弱,可用不同暗度之太阳玻璃。常用者有深红色、深绿色、黑色几种。

尚无太阳玻璃,即不能直接观测太阳。此时可用间接方法观测。即手持白色硬卡片,置于望远镜目镜之后约数公分处,承受由目镜透出之光线。此时在卡片上可见白色之太阳影像,及由其所照明之十字丝。如影像不清晰时,可旋转对光螺旋,校正对光。

第三目 经纬仪之校正及消除误差方法

欲期经纬仪所量水平角及垂直角能获正确结果,其各轴间之关系必须符合下列条件:

(1) 上盘水准管(置平仪器之用)之水准轴,应垂直于垂直轴。

(2) 水平轴须与垂直轴互相垂直。如不相垂直,其差称为水平轴倾斜误差。

(3) 望远镜视准轴须垂直于水平轴。如不相垂直,称为视准轴误差。

(4) 望远镜如附有水准管,其水准轴应与视准轴相平行。

(5) 望远镜水准管之水准气泡在中心时,或望远镜视准轴水平时,垂直度盘游标应指向零点。

以上各种校正均属必需,其检查及校正方法,详一般测量学书籍,此处不再叙述。

仪器经校正后,仍可能有残余误差,量角时必须设法消除之。观测

水平角时,因天体之高度角常甚大,水平轴倾斜误差及视准轴误差之影响遂较观测地面目标时更为严重。盖水平轴倾斜误差 i 对于水平方向之影响(i)为:

$$(i) = i \tan h$$

视准轴误差 c 对于水平方向之影响(c)为:

$$(c) = c \sec h,$$

h 愈大则(i)及(c)增加均较速,尤以(i)为甚。观测时必用正倒镜观测,取其中数,始能消除之。欲澈底消除或改正水平轴误差之影响,更可用跨水准置平水平轴,或测量水平轴误差 i 之大小,而改正水平方向。

为消除度盘偏心误差,一般用两游标读数,取其平均值。

观测垂直角时须注意指差。欲消除指差,除须用正倒镜观测外,更须注意将仪器置平(即垂直轴垂直)。一般上盘置平水准之灵敏度均较低,故欲准确置平,须使用望远镜水准或跨水准。跨水准使用之方法已于第二目中说明。

第二节 六 分 仪

第一目 六分仪之构造

六分仪乃手提之测角仪器,可以测量任意平面内之角度,故可兼作测量水平角及垂直角之用。其刻度弧为 60° 之圆弧,即圆周六分之一,故有六分仪之名。

图 8-2 示六分仪之构造原理。 AB 为刻度弧, I 为其圆心,同在一平面上,称为刻度弧平面。在 I 处有一反光镜,垂直于刻度弧平面,名为指镜。与指镜固连为指臂 IV 。指镜及指臂可以 I 为中心,在刻度弧内旋转。 V 处有指标及游标,并有止动及微动螺旋,用以读刻度弧上之刻度。在刻度弧平面上,亦与刻度弧垂直,另有一镜 H 名为平镜,系固定不动者。平镜之上半为透明玻璃,下半则镀银,可以反光。当指镜 I 之平面与平镜 H 平面平行时,指臂在 IN 之位置, IN 亦与 H 镜平行,此时刻度弧上之读数为 0° 。刻度弧上由 N 向 B ,每一分划为实际中心

角之两倍,即中心角 1° 分划成 2° , 60° 之刻度弧刻为 120° 。

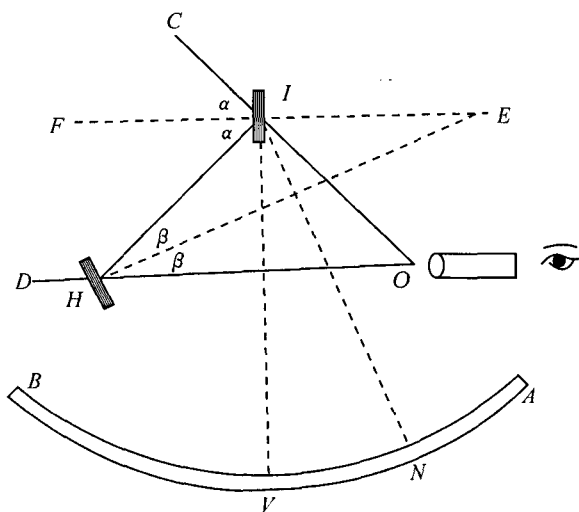


图 8-2 六分仪之原理

观测者之目在 O 处, OH 为观测者之视线。 O 处可置一简单之望远镜或一觇孔瞄视筒, 其视准轴在 OH 方向。

今设欲量测者为 $\angle DOC$ 。先用视线 OH 经过平镜之透明部分照准左方目标 D , 再旋转指镜及指臂使由右方目标 C 处所来之光线, 经指镜 I 反射至平镜 H 面上, 再由平镜下面反光部分反射至视线 HO 方向。于是观测者经望远镜或觇孔, 望平镜 H 之上下两部同时得见 D (上半) C (下半) 两目标。当此两目标重叠时, 指臂 IV 所对之刻度弧读数, 即相当于 DOC 角。

由于刻度弧上 N 为游标读 0° 处, 指臂由 N 转至 V 处所转之中心角度为 $\angle NIV$ 。由图 8-2 可证明 $\angle NIV = \frac{1}{2} \angle DOC$

$$\text{盖} \quad \angle DOC = \angle CIH - \angle IHO = 2\alpha - 2\beta$$

$$\text{而} \quad \angle NIV = \angle IEH = \angle FIH - \angle IHE = \alpha - \beta$$

是以如将 NV 按其实际中心角加倍分度, 则 V 处读数即相当于

$\angle DOC$ 。此即六分仪量角之原理。

前已说明刻度弧长相当于中心角 60° ，亦即测角之最大限度可达 120° 。

第二目 六分仪之校正

六分仪之校正可分为下列数项：

1. 指镜及平镜须与刻度弧平面垂直 将指臂置于 AB 弧之中段 V 处。倘指镜垂直于刻度弧平面，则由指镜所见 BV 弧段之像必与由镜外所见 BV 弧段衔接成一圆弧。否则弧形成折断之象，可用指镜后面三校正螺旋校正之。

平镜须与刻度弧平面垂直。将六分仪持平，由望远镜内视远处一点，缓缓转动指臂（在游标 0° 附近），倘在平镜中上部（透明部）所见之点或线与其下部（水银面）所见刻点或线之像，在上下方向不可能符合时，即表示平镜有倾斜。可松动平镜后面之螺旋，前后旋动，迄两点相合时为止。在海面上可竖持六分仪，以海平线为目标测验之。

2. 游标指示 0° 时平镜与指镜应相平行 将指臂游标指在 0° 处，由望远镜内经平镜上部（透明部）视远处一点，然后再视平镜下部该物之像是否与之相合（在左右方向）。如不相合，可用平镜上之校正螺旋校正之。如不加校正，可稍稍移动指臂使之相合，此时游标之读数，称为六分仪指差，所有测角之读数均须加此指差改正。

测定指差时，视准远方物体以愈远愈佳。如有太阳可以利用之。将六分仪竖持，望远镜指向太阳，移动指臂，譬如向 0° 之左侧，使由平镜上下两部所见太阳像之边缘相切如图 8-3 之情形。此时读游标，其读数应代表太阳之直径加指差。再将游标移动至 0° 之另一侧，作相同之观测，其读数应代表太阳直径之负值加指差。是以两次读数之平均值即系六分仪之指差。

3. 望远镜之视准轴须与刻度弧平面平行 六分仪平放桌上，望远镜对准十公尺左右之墙上。将望远镜中心所对之点，用铅笔在墙上标记之。然后以高度等于望远镜视准与刻度弧平面距离之木块两个，分别置于刻度弧之两端。由两木块之顶望向墙上，应见前所标记之点与

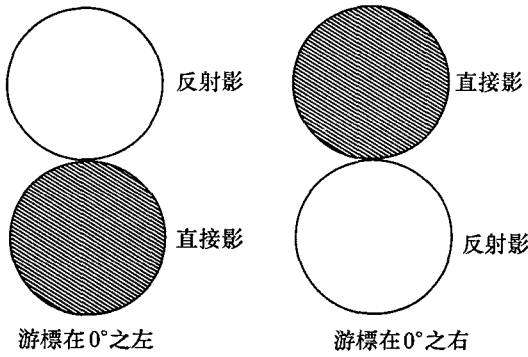


图 8-3 测定指差时之太阳影像位置(倒影望远镜)

之同高。如相差甚多,可校正望远镜环上之螺旋校正之。

第三目 使用方法

六分仪在实用天文内主要用以测量高度角。用时须将六分仪竖持。在海面上观测太阳或星体之高度角时,恒取海面为参考面,量取星体至海平线之夹角。倘所观测之目标为太阳,则可将望远镜经平镜左半透明部分对海平线,而转动指臂使太阳像进入视场(平镜右半反射部分),如图 8-4(a)所示。然后用微动螺旋使太阳像之下缘与海平线相切。观测时须将仪器稍微左右摇动。若摇动时太阳像之一部进入海平线下,并划出一弧如图 8-4(b)所示,则所量之角度过大,须转动微动螺旋至得图 8-4(c)之情形为止,即可读取其高度角。

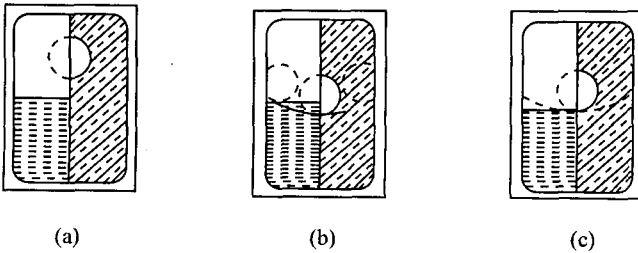


图 8-4

倘观测之目标为恒星,则按上法寻觅比较困难。可先将指标放在 0° ,以望远镜经平镜对准拟测恒星。若仪器无指标差,则恒星在平镜反射部分(右半)之像,必与经平镜左半直接射入之星光相叠合。此时缓缓转动指臂,同时亦将望远镜向海平线方向慢慢下移。若两种移动速度相配合,则可常保持恒星之反射像在望远镜视场之内,直至海平线亦达到望远镜视场内,与恒星像相重合时,即可读取高度角。

在陆地上观测无海平线可以利用时,则可用浅盘盛以比重甚重之液体(如水银重油等),是为人造水平。因液体表面恒为水平,故测视星体实体与其在人造水平内反射像间之角度,即应为实际该星体高度角之二倍。

图 8-5 示其原理。图 8-5 内 T 代表六分仪之望远镜, A 代表水银盘,即人造水平。设观测之对象为太阳,则在水银盘内所见太阳之像,离水平线 H 之俯角适等于太阳之高度角 h 。故量测太阳直接像及由水银盘反射像间之夹角时,应等于其高度角之两倍(即 $2h$)。测量此类角度时,观测者先以望远镜指向水银盘,然后移动指臂使由指镜反射之太阳进入镜头。当该太阳像之下缘与水银盘内太阳像之上缘相切时,则所测出之角适为太阳下缘高度角之二倍。此时相切之两点,皆系太

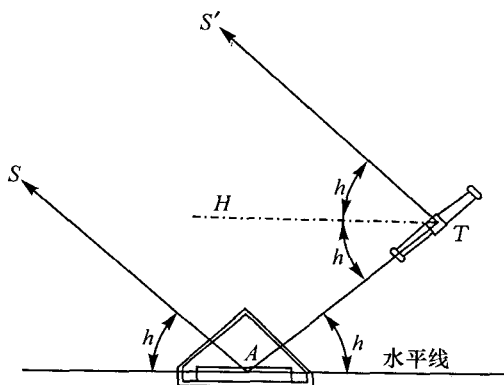


图 8-5 两倍高度之原理

阳之下缘点。反之若使经指镜反射来之太阳像与水银内太阳像之下缘相切,则所测出者为太阳上缘高度角之二倍。指差校正应直接加于两倍角值之上,然后再除以 2,方可得真实之高度。应用水银人造水平之时,应注意勿使风吹动液体之表面,可在水银盘上装遮风设备。

第三节 计时仪器

第一目 天文钟及计时表

时光瞬息即逝,用以计时之仪器,分为天文钟及计时表两种。专为永久天文站使用之精确时钟名为天文钟,一般之天文钟多为摆钟,摆放于不透气之圆柱内,亦可不受气压之影响,可用铟钢制造,以免受温度之影响。如欲校正其行速,可变更圆柱内之气压。每变动 60 公厘可改变每日之行速 1 秒。如将此钟放于有自动控制温度之钟室内,其行速之变化常能保持数月不逾 $0^{\text{秒}}.05$ 。

二十世纪三十年代以后又有石英时钟发明。此新式时钟不以摆动之周期为时间之衡量,因而其构造遂与旧式之摆动完全不同。石英钟之原理系利用石英结晶体之振动而感应发生频率相同之电流。用此电流推动钟机关,使其等速转动。如能保持石英结晶体在一定之温度,则其振动频率异常稳定,因而钟机关之转动遂能永远保持等速。据研究结果,石英钟之精度远在摆钟之上,每日之或是误差可在 $0^{\text{秒}}.001$ 之内。

上述之天文钟仅能于固定之永久天文站或天文台应用。野外观测需用携带方便之时钟,是为计时表。计时表为大型而精密之表。其发动力为弹簧,摆动部分为平衡轮。计时表与普通表之主要分别在其擒纵机构构造不同及平衡轮不受温度影响。

计时表放于带有平衡环之木盒内。如携带时不受剧烈之震动则行速可保持相当稳定。惟计时表之温度补偿仅限于较小之温度变化,如温度变化过剧,其行速难免有变。故使用时必于观测前后用无线电对正,以免发生较大误差。仪器不应移至盒外,每日上弹簧发条时应有一定时间,使用时避免用其弹簧发条最松或最紧部分。

应用计时表时可由一人自望远镜观测星体,另一人观测表面时刻,或者亦可由一人兼理之,称为目耳法。其工作进行之步骤如下:首将观测望远镜对向天体方向,待天体进入视场而渐近其将通过之十字丝时,观测者注视时钟一次而开始默数其秒摆之声响。是时观测者仍在望远镜中注视星体,在星体抵达十字丝时,记下其时之秒值并估计秒下奇零之数。然后再补填其分数及时数。此项训练并不甚难,可易达 $2/10$ 秒之精度。

第二目 记时仪

作精密观测之时应使用记时仪。记时仪之构造可分为二部:一为由钟机关推动之圆柱体或一盘纸条,使其等速进行;一为由电磁作用,将计时表每秒记录于圆柱体纸面上或盘纸条上(图 8-6),成为等间隔之分划。此时计时表应备有通电设备,通电后每秒之末,电流即断,当电流通时,计时仪上由于电磁石之吸引使笔在纸条上绘连续之直线,每秒之末电流断之刹那间,笔亦自动提起。但在每整分之末时,则电流又不断隔,以便于在纸条上加注整分号。图 8-7 示其一例,其上之时、分、秒注记系事后加填者。此外则观测者可用手按按钮或由测星仪器自动传录,将观测之时间记录一符号于记时仪上,因而可量得其相当之精确时间。

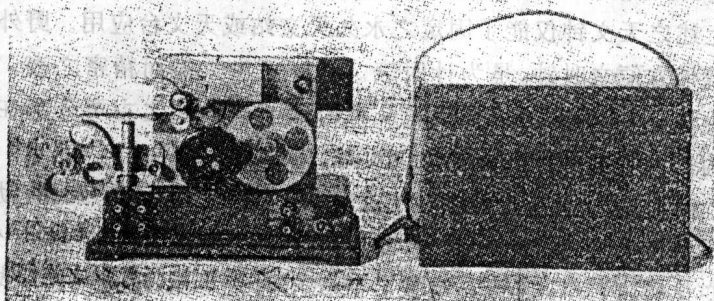


图 8-6 记时仪

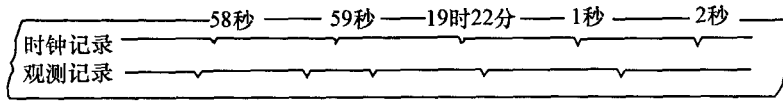


图 8-7 记时刻纸条

应用盘纸记录时有用针孔记录及用墨水笔画线记录两种方法。墨水画线比较清楚易于量测,但有时可能因墨水之浓淡不宜而得极坏之结果,甚至使全部观测工作废弃。针孔方法比较可靠但不醒目,量测费时而易错。法国有一种记时仪采用盘纸法,但不用墨水而用一煤油灯烟熏黑纸面,用一细笔尖在黑烟上画线极为清楚,但熏烟设备亦须控制适宜。

应用记时仪工作可在观测者注视星体时按动电钮,作符号于记时仪之记时纸条之上,事后再在纸条上量其时间可得 $1/100$ 秒之精度。

第九章 高度角观测值之改正

第一节 蒙 气 差

天体发出之光,由真空进至地球之蒙气层后,因介质之密度由零逐渐变密,故光线发生逐渐折光现象,成为一曲线。图 9-1 $SabcO$ 为由天体 S 所发出光线射至地面观测者 O 之途径。光线由 a 进入蒙气层后,成 $abcO$ 之曲线。在 O 处之望远镜必须指向曲线在 O 点之切线 OS' 方向,始能见此天体。

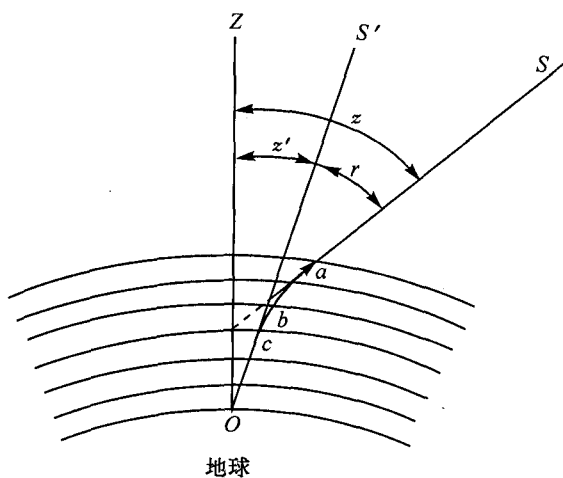


图 9-1 蒙气差

按折光定律,折光必发生于垂直面内,故 $SabcO$ 曲线仍在垂直面内。图 9-1 天体 S 之真天顶距为 z ,而由望远镜所测之天顶距为 z' 。二者之差称为蒙气差,图中以 r 表之。

$$z = z' + r \quad (1)$$

蒙气差之大小与光线射入蒙气层之角度有关,亦与蒙气层之密度有关,后者则随大气温度与气压之不同而有变化。故蒙气差公式为一极复杂之公式,且不易十分准确。

倘不顾气温气压之变化,取一平均值,则所求出之蒙气差称为平均蒙气差。按折光定律

$$\sin z = \mu \sin z' \quad (2)$$

μ 为蒙气层接近地面处之折光指数。将(1)代入(2),并展开左方,得

$$\sin z' \cos r + \cos z' \sin r = \mu \sin z'$$

因 r 为极小之角,可命 $\sin r = r, \cos r = 1$,故

$$r = (\mu - 1) \tan z' \quad (3)$$

上式中 μ 之值与空气、温度及气压有关,兹取平均情形温度为 9.3°C ,气压为水银柱 751.5 公厘时之值,命 $\mu = 1.000276$,并乘以 ρ'' 化 r 为秒值,即得

$$r = 57'' \tan z' = 57'' \cot h' \quad (4)$$

是为平均蒙气差之简单公式。一般观测精度不甚高,温度及气压与前述情形相差不甚大时,均可采用。

例 1 设太阳下缘之高度角观测得为 $31^\circ 30' 00''$,求其高度角。

$$r = 57'' \cot 31^\circ 30' = 93'' = 1' 33''$$

改正蒙气差后之高度角为 $30^\circ 28' . 27''$ 。

式(4)乃蒙气差之近似值。在精密观测之时应用精密公式,并须同时测读空气温度与气压读数。此时可查蒙气差表,载于本书附表 IV。该表分为两部:一曰常差表,一曰变差乘数表。

常差表乃以摄氏气温为 0° ,水银零度气压为 760 公厘,空气湿度为 6 公厘情形时之蒙气差值。

变差乘数表分为 A, B, C 三种。 A 乃关于气温变差之乘数, B 乃关于气压变差之乘数, C 则用以订正近地平之蒙气差者。盖星之近地平

者,其蒙气差增大,其理论公式与前略有不同。今设 t 代表空气之摄氏温度, H 代表空气之气压(已加纬度地高及气温诸差之气压),以 t, H 为引数,分别查变差乘数表,得 A 及 B 两数。设 γ_0 为常差系根据观测天顶距在常差表内查得之数值,则 $\gamma_0 A$ 为气温之变差。改正之后,则得

$$\gamma' = \gamma_0 + \gamma_0 A \quad (5)$$

$\gamma' B$ 乃气压之变差,改正之后,则得正确之蒙气差 γ 为

$$\gamma = \gamma' + \gamma' B \quad (6)$$

星体之近地平者,则上式中之

$$\gamma_0 A \text{ 宜改用 } \gamma_0 A \alpha \frac{1+0.00367t}{1+kt} \quad (7)$$

$$\gamma' B \text{ 宜改用 } \gamma' B \beta \quad (8)$$

α, β, k 之值,皆由变差乘数表 C 求之。表中 10° 以上之 k 皆等于 0.00367 。

兹举例说明式(5)至(8)之应用如下:

例2 某星之高度角量得为 $66^\circ 32' 22''$, 其时 $t=12^\circ.6$, $H=756.2$ 公厘,试求其蒙气差(用附表IV),

$$\text{查常差表} \quad \gamma_0 = 26''.08$$

$$\text{查变数乘数表} \begin{cases} A = -0.0461 \\ B = -0.0050 \end{cases}$$

$$\gamma' = 26''.08 - 1.20 = 24''.88$$

$$\gamma = 24''.88 - 0''.12 = 24''.76$$

例3 某星之观测高度为 $4^\circ 44'.8$, $t=12^\circ.5$, $H=754.5$ 公厘,试求蒙气差。

$$\text{查常差表} \quad \gamma_0 = 10' 40''.2 = 640''.2$$

$$\text{查变差乘数 } A \text{ 表 } A = -0.04575$$

$$\text{查变差乘数 } C \text{ 表} \begin{cases} \alpha = +1.124 \\ k = 0.00388 \end{cases}$$

$$\therefore \gamma_0 A \alpha \times \frac{1+0.00367t}{1+kt} = -32''.9$$

$$\gamma' = 607''.3$$

$$\text{查变差乘数 } B \text{ 表 } B = -0.0069$$

$$\text{查变差乘数 } C \text{ 表 } \beta = +1.012$$

$$\therefore \gamma' B \beta = -4''.5$$

$$\text{故 } \gamma = 10'2''.8$$

第二节 视 差

天文年历内所载各天体之坐标系以地球中心为天球之中心,但观测者测天体高度角时,则在地球表面之上,是以在地面上观测之高度角,必须归化至地球中心之相当数值,此种改正名为视差改正。恒星离地球极远,其视差近于零,太阳系内太阳太阴及各行星距地球较近,观测高度角必须加视差改正。

按图 9-2, S 为一天体, z' 为在地球面上一点 M 量测该天体之天顶距, z 为在地球中心所见 S 之天顶距,视差 p 为

$$p = z' - z \quad (9)$$

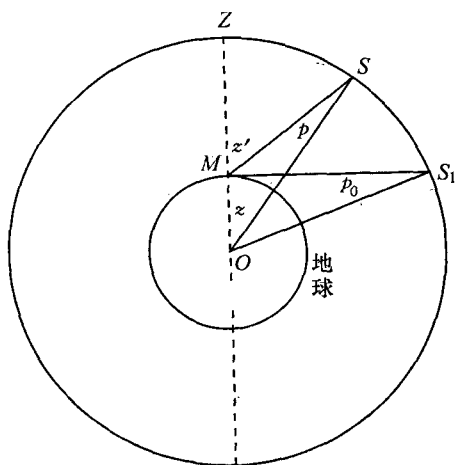


图 9-2 视差

由图中三角形 MSO , 用正弦定律, 可得

$$\frac{\sin p}{\overline{OM}} = \frac{\sin z'}{\overline{OS}}$$

$$\text{或} \quad \sin p = \frac{\overline{OM}}{\overline{OS}} \sin z' \quad (10)$$

其中 $\overline{OM}$ 为地球之半径, $\overline{OS}$ 为地球至天体之距离。设天体 S 位在观测点之地平上, 其视差为 p_0 ,

$$\text{则} \quad \sin p_0 = \frac{\overline{OM}}{\overline{OS}} \quad (11)$$

p_0 称为地平视差。将式(11)代入式(10), 因 p 及 p_0 均为极小之角, 故可写作

$$p = p_0 \sin z' \quad \text{或} \quad = p_0 \cos h \quad (12)$$

地平视差 p_0 随地球与天体间之距离而异, 太阳、太阴及行星之地平视差均列于天文年历中, 查得之后乘以所测高度角 h 之余弦, 即得视差改正 p 值。由图 9-2 可见由于视差关系, 在地面上所观测之高度角常小于地心之高度角, 故视差改正永为正号。若所观测为天顶距, 则视差改正永为负号。

第三节 半 径

天体在地球中心所夹角之半值谓为天体之半径, 系一角值。由于天体与地球中心之距离恒在变化, 故天体之半径角亦非常数。太阳与太阴每日之半径载于天文年历内。一般观测太阳与太阴时, 皆观测其边缘, 由边缘之高度角化算为其中心高度角, 观测上缘时应减, 观测下缘时应加半径改正。

第四节 海 平 俯 角

在海上观测之时因船体动摇不能应用水准, 以指示其水平方向, 可用自然界之海平线代之。按图 9-3 设观测者位于 T , 高出海面 M 为

h , 测其所见之海平线方向为 TH , 与 T 点之水平方向夹 D 角, 称为海平俯角。连接地球中心点 O 至 TH 之切点 H 之直线,

则

$$\angle TOH = D$$

而

$$\cos D = \frac{OH}{OT} = \frac{R}{R+h}$$

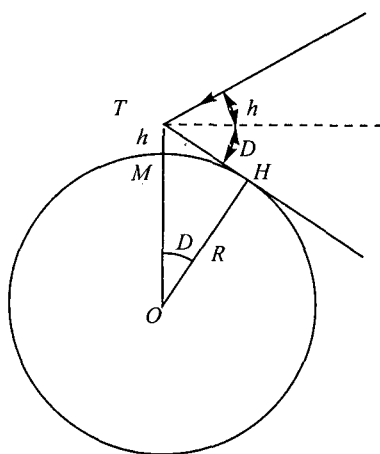


图 9-3 海平俯角

因 D 为极小之角, 且 h 与 R 相较为一小值, 故上式可以写作

$$1 - \frac{D^2}{2\rho^2} = \frac{R}{R+h} = 1 - \frac{h}{R}, \quad \frac{D^2}{2S^2} = \frac{h}{R+h} = \frac{h}{R}$$

$$D = \sqrt{\frac{2h}{R}} \rho'' \quad (13)$$

其中取 $R=6\,370$ 公里, h 以公尺为单位, D 以分为单位。

则 $s=3\,438$, 而

$$D = 1'.93 \sqrt{h} \quad (14)$$

实际上在观测点 T 视向海平线 H 之切线 TH , 由于蒙气差关系并非一直线, 由经验知在下层空气内, 一近似平行之光线, 由于蒙气差关系一海里 (1.852 公里) 内移动 $4''.6=0'.077$ 。自观测者至海平线之距

离,如以海里计算,则其数值适等于其以分为单位之俯角 D 值,盖一海里适约等于地球面上一分之距离也。故蒙气差之影响 γ' 为

$$\gamma' = 1.93 \sqrt{h} \times 0'.077 = 0'.15 \sqrt{h}$$

由式(14)减去 γ' , 则实用之公式为

$$D = (1.93 - 0.15) \sqrt{h} = 1'.78 \sqrt{h} \quad (15)$$

第五节 高度角之改正计算

本章所述各项均为高度角观测值之改正项。至于仪器误差则已另详于第八章内。所有高度角观测均须加蒙气差改正,除恒星外尚须加视差。太阳之视差值只有数秒,比较粗率之测定可不顾及。观测太阳或月亮时恒测视其边缘,如未有上下边缘对称之观测时,又须加减其半径之影响。至于海平俯角改正则只用于海上观测。此外则在航空测天文利用地平线之时亦可引用。

兹举高度角改正算例如下:

例 某观测者于 1945 年 6 月 11 日在海上观测月亮上边缘之高度角为 $37^\circ 55'.1$, 其眼高出海面 7.930 公尺。试求月亮中心之高度角。

观测之高度角	$37^\circ 55'.1$
海平俯角(式(15))	$- 5.0$
	$37^\circ 50.1$
蒙气差(附表 IV)	$- 1.3$
视差改正 $p_0 \cos h = 59'.2 \times 0.79$	$+ 46.7$
月亮半径(查历)	$- 16.1$
月亮中心之高度角	$38^\circ 19'.4$

第十章 时计对正及授时信号

第一节 时计改正及其日差

记取时刻,使用时计(天文钟或计时表)。其行速与平太阳时相等者称为平太阳时计;与恒星时相等者称为恒星时计。时计所示时刻可使与地方时相合,亦可使与标准时或世界时相合。一般平太阳时计所示多为标准时或世界时,恒星时计则常示地方恒星时。

时计所示时刻与应示时刻之差称为时计改正。时计改正每日之变化称为时计日差。

时计有两种:天文钟及计时表,其构造已于第八章中论及。天文钟用于天文台或其他固定不移之站所,野外观测则均用计时表。天文钟之时计改正又称为时钟改正,其日差又称为时钟日差。计时表之时计改正通名表差,其日差又称为时表日差。时计所示时刻称为钟面时或表面时。表面时加表差即为正确时刻。故当表面时较应示时刻为小时,表差为正,反之为负。表差逐日增加,即时表行速太慢时,日差为正;表差逐日减少,即时表行速太快时,日差为负。

所谓时计对正者,即用比较方法求定表差及其日差之值是也。对正之方法有三种:

1. 与标准时计比较;
2. 与无线电授时信号比较;
3. 用天文观测求定地方时刻与表面时比较。

凡天文钟或计时表之时计改正及日差已知者均可作为标准时计。比较计时表与标准时计之表面时,即可求得计时表之表差。由两次比

较(相隔数小时乃至一日)之结果又可计算日差。设 Δu_1 为第一次对正所得之表差, Δu_2 为第二次对正所得之表差, 两次对正之间隔为 R , 以日为单位, 则日差 r 之公式为

$$r = \frac{\Delta u_2 - \Delta u_1}{R} \quad (1)$$

另一方法为与无线电授时信号比较。授时信号乃按一定标准时刻播送之时号, 亦即正确之标准时。比较表面时与授时信号, 亦可求得计时表之表差。

用天文观测求定之时刻乃为地方时, 与表面时比较, 即得地方时刻之表差。倘观测地点之经度已知, 亦可化为标准时之表差。定时观测之各种方法将于第十二章论之。

時計改正之目的为求定表差, 因而确知任一瞬间表面时所相当之正确时刻, 以为各种天文观测记取正确观测时刻之用。表差可为任意数值, 其大小并无若何关系。但以使之近于零, 使用时较为方便。日差则宜为一小值, 且需保持长时不变。一般而论, 日差应在每日 ± 10 秒以内, 逾此即宜校正表速, 使日差减小。凡钟表构造较佳能抵消温度及气压变化之影响者, 其日差可保持变化极少, 但鲜有能完全不受温度及气压变化之影响者, 故精确時計宜藏于气温气压变化极小之室内。

第二节 以标准時計对正计时表

凡备有天文钟表, 均以天文钟为标准時計。如无天文钟亦可以一计时表为标准時計。

一般天文钟多系每半秒或每一秒有一摆响。对正时即以耳听摆响, 口数秒数, 目视拟对正计时表之秒针。每逢 10 秒整数读取计时表一次, 估计至 $1/10$ 秒。如此数次取其中数, 即得表差。兹举例如下:

例 1 時計对正记录

次数	标准时计			计时表表面时			表 差		
	时	分	秒	时	分	秒		分	秒
1	19	23	20	19	24	36.4	—	1	16.4
2		23	40		24	56.5	—	1	16.5
3		24	00		25	16.4	—	1	16.4
4		24	10		25	26.3	—	1	16.3
5		24	30		25	46.4	—	1	16.5
				平均=			—	1	16.42

倘用计时表为标准时计,应有两人观测:一人注视标准时表,俟整秒作一响(用铅笔击桌);另一人注视其他时表估计读数。为避免系统误差,亦可俟另一时表达一整秒时,读标准时表之时刻。

倘以一恒星时计与一平太阳时计比较,则可用切合法,结果更为精确。盖平太阳时 1 秒为恒星时 1.002 730 4 秒,每 366 恒星时秒约为 365 平太阳时秒。如时计摆响每秒一声,即每 365 秒时段(约 6 分钟许)两时计有一次切合。一般时表多系半秒一响,故每 3 分钟许即有一次切合。听取两时计切合之秒数,记录两时计切合时之时刻,可确定两时计之相对表差。倘其中之一表已知,即可求另一时计改正。

例 2 1951 年 8 月 26 日在东经 7^时 33^分 01^秒.2 地方平太阳时表 14^时 10^分 16^秒 时与恒星时表 11^时 54^分 46^秒 相切合。平太阳时表对中原时(东经 8^时)之表差已知为 -1^分 26^秒.2,求恒星时表对地方恒星时之表差。

平太阳时表面时	14 ^时 10 ^分 16 ^秒
平太阳时表差	— 1 26.2
中原时	14 8 49.8
东经	— 8
格平时	6 8 49.8
格 0 ^时 恒星时	+22 13 44.86
C 表改正	(-24) 1 0.59

格恒星时	4 23 35.25
东经(观测地方)	+ 7 33 01.2
地方恒星时	11 56 36.45
恒星时表切合时	11 54 46
恒星时表差	+ 1 50.45

以上所述均为用耳听对正时计之方法。如有记时仪,将两时计并连于记时仪,在记录纸上量取两时计秒标间之距离,其结果更为精确。

第三节 无线电授时信号

若干国家重要电台每日均在世界时一定时刻播送授时信号,可供精确对正时计之用。此种授时信号,又简称时号,系按规定格式用自动机发出,其精度甚高。各国重要天文台每日收听时号,与其精密天文钟核对,定出时号误差,按时公布,可供一般收听者事后改正之用。时号误差一般均在 0.02 秒以下,普通对时可以不必顾及,但作精密经度测定时,则必加以改正。

授时信号有下列数种格式,其中以游标式最适于精密对正之用。

1. 国际式授时信号 国际授时信号系 1912 年国际间决定共同采用之时号,亦称为 ONOGO 时号,盖其主要时号之形式适相当于此五个字母之电码。国际时号之主要时号自第 57 分起至 59 分止,凡三分钟。其次序如次:

第 57 分:由 0 秒至 45 秒间,每五秒钟发预备信号 X(— · · —) 字;寂静五秒钟后,随发 O(— — —) 字,此 O 字每一划占一秒之久,由第 55.57.59 秒始。

第 58 分:由第 8.18.28.38.48 秒始,每 10 秒发 —N(— ·) 字,各 N 字一点之开始适为第 10 秒。自第 55 秒起发 O(— — —) 字,其始末与第 57 分相同。

第 59 分:由经 6.16.26.36.46 秒始,每 10 秒发 —G(— — ·) 字,各 G 字一点之开始适为经 10 秒。自第 55 秒超发 O(— — —) 字,其始

末与 57.58 两分同。

以上情形示如图 10-1。另有所谓新国际时号者，系将上述自 55 秒至 60 秒间之三划改为六点，每点之起始均为整秒。如图 10-2 所示普通仅收录此三分钟之三个 60 秒时号即可。

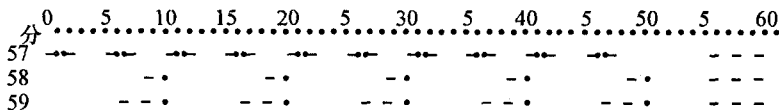


图 10-1 旧 ONOGO 制式



图 10-2 新 ONOGO 制式

2. 美国授时信号 图 10-3 示美国授时信号，每秒一点长约 0.1 秒即为时号。每分钟之第 29 秒均间断，乃预报第 30 秒即至者。前四分钟除 56.57.58.59 秒皆间断外，第一分钟之第 51 秒间断，后继以四点，表示尚有四分钟之意。第二分钟之第 52 秒间断，后继以三点。第三分钟之第 53 秒间断，后继以二点。第四分钟之第 54 秒间断，后继以一点。第五分钟则由第 51—59 秒止皆间断，而第 60 秒则送一划，其始即为整秒。

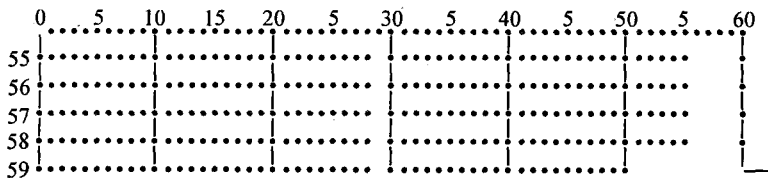


图 10-3 美国授时信号

各点之开始均为整秒数,最后时号长一秒,其始末为 59 分 60 秒至 61 秒。备有记时仪者,全体时号均可收录。如用耳听法,则收录 55 分至 60 分六分钟开始之六个时号。熟练收时者,可加收每半分钟开始之五个时号。

3. 游标授时信号 游标授时信号亦名为科学式时号,在平太阳时间五分钟内,共发出 306 个时号,即每分钟分为 61 等分,每分钟开始之时号各次为第 1. 62. 123. 184. 245. 306. 响,各长 0.5 秒,称为分号;其余 300 个时号各长 0.1 秒,示如图 10-4。

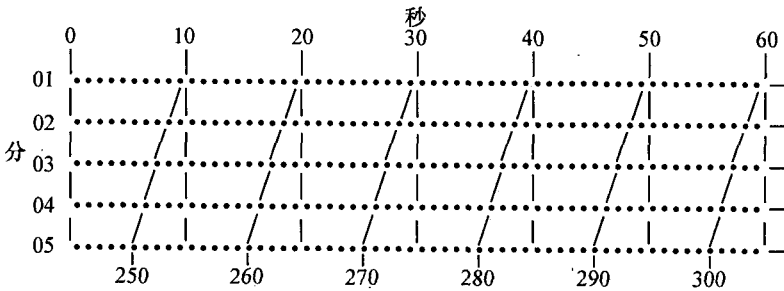


图 10-4 游标授时信号

收录游标授时信号系用游标原理,故以之为名。今既以平太阳时一分钟分为 61 个间隔,故

$$\begin{aligned} \text{间隔之时段} &= \left(1 - \frac{1}{61}\right) = 0.9836 \text{ 平太阳时秒} \\ &= 0.9863 \text{ 恒星时秒} \end{aligned}$$

利用游标时号与计时表相比较,精度可达 $\frac{1}{100}$ 秒,故精密对时均用之。

其收录及计算方法将于下节论之。

兹将各主要电台播送授时信号之时刻、呼号、波长、周率等列于下表:

世界各地播送授时信号之时刻周率与波长

120°E 标准时	呼 号	波 长	周 率	地 方 名 称
		公尺	me	
全日	WWW	20.00	15.000	Beltsrille
		30.00	10.000	,,
0 ^h , 2 ^h , 4 ^h	NSS ₅	17.65	17.000	Washington
8 ^h , 10 ^h , 12 ^h		23.73	12.630	,,
8 ^h , 10 ^h , 24 ^h		31.83	9.430	,,
(55 ^m —0 ^m)		68.34	4.390	,,
3 ^h	VHP ₂	24.65	12.180	Belconnen
(55 ^m —0 ^m)	VHP ₃	35.69	8.020	,,
3 ^h 46 ^m —51 ^m	RPT ₂	51.72		Tashkent
4 ^h	FYA ₂	40.38	7.44	Pontaise
(1 ^m —6 ^m)	TMD	23.34	12.85	,,
(55 ^m —0 ^m)	LOL	34.52	8.69	Darsenanorte
6 ^h	RBT ₂	27.52	10.900	Irkoutsk
(1 ^m —6 ^m)	RWM ₂	39.01		Moscou
(31 ^m —36 ^m)	FYA ₂			
	TMD			
7 ^h 50 ^m	LSD	34.68	8.650	Bnenosyros
8 ^h	RBT ₂	27.52	10.900	Irkoutsk
(1 ^m —6 ^m)	RBT ₁	21.58	13.900	
	RWM ₂	39.01		Moscou
9 ^h	PCL		11.500	Batarie
	PPE		8.720	Ris de Jan
11 ^h , 16 ^h	NPG ₂	32.41	9.25	S. Transcisco
(55 ^m —0 ^m)	NPG ₁	23.92	12.54	,,
14 ^h	RBT ₁			
	RWM ₁			
16 ^h (1 ^m —6 ^m)	TMA ₃	29.96	10.010	Pontoise
17 ^h (31 ^m —36 ^m)				
18 ^h	GIC	34.72	8.65	Rugby
	GKU ₃	24.09	12.45	
	GKU ₂	16.96		
	GIA	12.57	19.64	
15 ^m	GKU ₄			
18 ^h 30 ^m	GKU ₄			
(25 ^m —30 ^m)	VHP ₁	18.28	16.400	Belcomen
	VHP ₂	24.65	12.180	,,
	VHP ₃	35.69	8.020	,,
19 ^h (45 ^m —50 ^m)	LQC	17.09	17.550	Monte
	LSD ₇	30.61	9.800	Grande
全 日	JJY	75.00	4.000	
			8.000	
20 ^h	JJC ₃	32.45	9.340	Mitaka
(1 ^m —6 ^m)	RBT ₂	27.52	10.900	Irkoutsk

续表

120°E 标准时	呼 号	波 长	周 率	地 方 名 称
20 ^h (55 ^m —0 ^m)	RWM ₁	24.47	8.690	Moscou
	LOL	34.52		
	RBT ₂			
22 ^h	RWM ₁	23.92	12.54	S. F. R.
(1 ^m —6 ^m)	NPG ₁			
23 ^h	VHP ₁			
	VHP ₂			
	VHP ₃			
24 ^h	RBT ₂			
(1 ^m —6 ^m)	RWM ₂	51.72		Taschkent
2 ^h (6 ^m —11 ^m)	RPT ₂			
3 ^h	VHP ₁			
	VHP ₂			
	VHP ₃			
11 ^h , 17 ^h	XSG	24.00	12.500	徐家汇
		35.20	8.480	
		47.20	6.380	
		660.00	0.454	

第四节 游标授时信号之收录

第一目 切合时刻之观测

收录游标时号在观测授时信号与计时表秒声相切合之时号名次及表面读数。观测者如觉有若干时号连续与表声切合,则可取一段切合之中间数作为切合时之表面时。时表半秒一响者,若不计日差之影响,恒星时表约每 36 秒,平太阳时表约每 30 秒即有一次切合。时表一秒一响者倍之。

观测切合点时号名次及表面时刻,如用记时仪将授时信号及计时表时刻同时录出,则可于记录纸上读取。如用耳听方法,势不能同时记

录时号名次及表面读数。故普通只记录表面时刻而于事后推算时号之名次。假定时表系每半秒一响,则推算之公式为

$$P_i = Q_i - \overline{Q_0} + 1 + (i-1)0.5 \quad (2)$$

式中 P_i 为第 i 次切合时号之名次, Q_i 为 i 次切合时之表面时, $\overline{Q_0}$ 为第一名时号(分号)之表面时 Q_0 , 减为整秒数或整 0.5 秒数, 例如 $Q_0 = 14^{\text{时}} 16^{\text{分}} 46^{\text{秒}}.3$, 则 $\overline{Q_0} = 14^{\text{时}} 16^{\text{分}} 46^{\text{秒}}.0$ 。或 $Q_0 = 14^{\text{时}} 16^{\text{分}} 16^{\text{秒}}.7$ 则 $\overline{Q_0} = 14^{\text{时}} 16^{\text{分}} 16^{\text{秒}}.5$ 。第一名时号至其后第一次切合之时号间隔为 $Q_1 - \overline{Q_0}$, 而第一次切合时号之名次较间隔数多 1, 此时将式(2)之 $i=1$, 则得

$$P_1 = Q_1 - \overline{Q_0} + 1$$

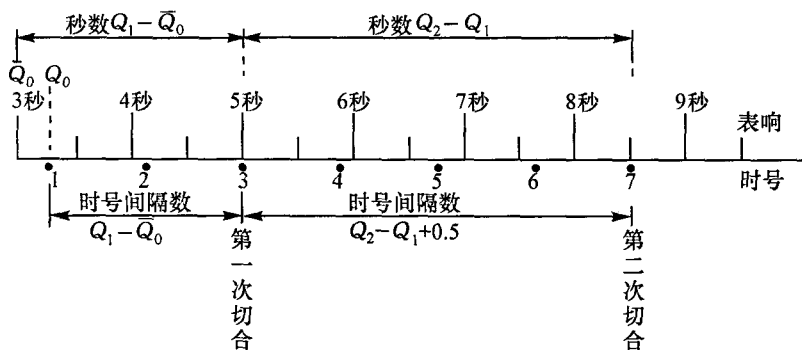


图 10-5 推算切合时号之名次

自第一次切合至第二次切合时表所历秒数之间隔为 $Q_2 - Q_1$, 其间时号间隔必恰多 0.5, 依此类推, 故得式(2)。P 值应恒为整数, 如第一次切合点系在游标时号第二分号(62 名)之后时, 则其第一名时号实系第 62 名时号, 故式(2)应写作

$$P_i = O_i - \overline{Q_0} + 62 + (i-1)0.5 \quad (3)$$

今举例说明如下:

例 上午 11 时收听上海徐家汇时号(平太阳时表):

表 10-1

分 号	分号表面时 Q_0	切合点表面时 Q	切合时号名次
	时 分 秒	时 分 秒	P
62	11 00 39.8	11 00 50.5—52.5	74
123		01 23—25	107
		01 54.5—56.5	139
184		02 24	168
		02 56.5	201
245		03 24	229
		03 54.5—56.5	261
306		04 30—32	297

应用式(3), $\overline{Q_0} = 11^{\text{时}} 00^{\text{分}} 39^{\text{秒}}.5$

$$P_1 = 51^{\text{秒}}.5 - 39^{\text{秒}}.5 + 62 = 74$$

$$P_2 = 1^{\text{分}} 24^{\text{秒}} - 39^{\text{秒}}.5 + 62 + 0.5 = 107$$

$$P_3 = 1^{\text{分}} 54^{\text{秒}}.5 - 39^{\text{秒}}.5 + 62 + 1.0 = 139$$

.....

由此求得各 P 值列于上表之最右一列。

应用式(2)或(3)时, Q_0 读数之精度仅须能使 $\overline{Q_0}$ 判断为整秒或半秒即可, 若 Q_0 恰在整秒或半秒附近, 不易分辨在其前或后, 此时可取 $\overline{Q_0} = Q_0 - 0.5$ 及 $i=1$, 不致有错。

若有特殊设备时可得比较更精确之切合时刻, 计时表之通电设备系半秒通电半秒断电。今如使时表与无线电听筒平行连接, 示如图 10-6, 则时表通电之半秒电流不经听筒, 收听者即不能听到无线电时号。称此半秒为无声段。图 10-7 横线之上表示时号, 其下表示时表之半秒间隔, 黑色者代表无声段之半秒。在 C 左方之各时号均落在无声段内, 收听者不能听到。因游标时号之间隔较一秒略短, 故至 C 点时, 时号初次跃出无声段, 声响极短。此时即代表时号与时表整秒数相切合之点, 观测者应记取其时钟读数, 并自此切合点起始, 默数时号数目至时号之分号(即一长号)为止, 从而推算切合点之时号名次。

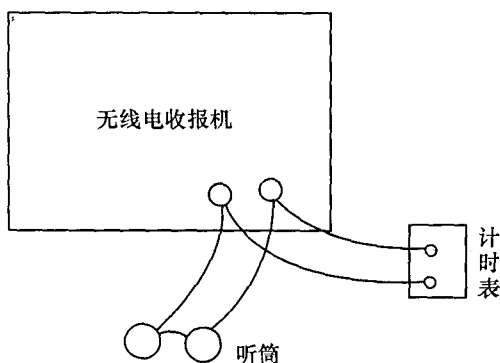


图 10-6



图 10-7

第二目 中央时号表面时之归算

所有切合点之表面时刻及其时号名次既已求得,应将其归算至中央时号所相当之表面时。例如前例收听上海徐家汇授时台之上午授时,其第一个时号为中原时 $11^{\text{时}} 00^{\text{分}} 00^{\text{秒}}$,而中央时号(即第 $\frac{1+306}{2} = 153.5$ 时号)之正确标准时为 $11^{\text{时}} 02^{\text{分}} 30^{\text{秒}}$,今试求相当于此中央时号之表面时,并求表差。

前已言及两次切合中间时号之间隔数,恒较时表所历秒数多 0.5 秒,假定两次切合间时号之间隔数为 d ,则时表所历秒数之间隔为 $d - 0.5$,故得其关系如次:

$$d \times (\text{时号间隔}) = (d - 0.5)^{\text{秒}}$$

故
$$\text{每时号间隔} = \left(1 - \frac{1}{2d}\right)^{\text{秒}} \quad (4)$$

各切合点时号距中央时号之间隔为 $\Delta P = 153.5 - P$, 应用式(4)知由切合点时号之表面时化为中央时号之表面时, 须加之改正数为

$$\Delta P \left(1 - \frac{1}{2d} \right)$$

兹命中央时号之表面时为 Q_m , 切合时号之表面时为 Q , 则得

$$Q_m = Q + \left(1 - \frac{1}{2d} \right) \Delta P = Q + \Delta P - \frac{\Delta P}{2d} \quad (5)$$

d 之计算可用最小二乘方原理求之, 但用两个相距最远之切合时号名次 P_1 与 P_n 推算之亦甚精确, 即

$$d = \frac{1}{n-1} (P_n - P_1) \quad (6)$$

表 10-2 说明计算之情形。由各次切合求得中央时号所相当之表面时, 其平均值与中央时号标准时之差即为表差。

表 10-2

Q	P	ΔP (153.5 - P)	$-\frac{\Delta P}{2d}$	$Q_m = Q + \Delta P - \frac{\Delta P}{2d}$
11 ^时 00 ^分 51 ^秒 .5	74	+79.5	-1.25	11 ^时 02 ^分 9 ^秒 .75
01 24	107	+46.5	-0.73	.77
55 .5	139	+14.5	-0.23	.77
02 24	168	-14.5	+0.23	.73
56 .5	201	-47.5	+0.75	.75
03 24	229	-75.5	+1.18	.68
55 .5	261	-107.5	+1.69	.69
04 31	297	-143.5	+2.25	.75

$$d = \frac{297-74}{8-1} = 31.9$$

11 02 9.74

中原时区标准时 11 02 30.00

表差 $\Delta u =$ + 20.25

第十一章 纬度之测定

第一节 总 论

图 11-1 定位三角形中,倘观测天体之高度 h ,并知观测时间,计算天体之时角 t ,再由年历中查知天体之赤纬 δ ,即可求观测者纬度 φ 。其间之关系可以第七章第三节式(13)表示之,即

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t \quad (1)$$

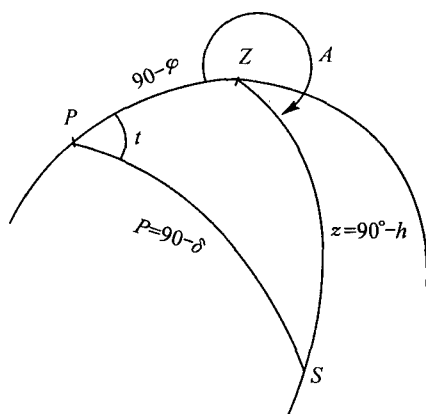


图 11-1

此为测定纬度一般原理。今所欲求者为在何种情形下,观测高度角 h 之误差及时角 t (即观测时间)之误差,对于所定纬度之误差影响

为最小。将式(1)微分得

$$\begin{aligned}\cos h(dh) &= \sin \delta \cos \varphi(d\varphi) - \cos \delta \cos t \sin \varphi(d\varphi) \\ &\quad - \cos \varphi \cos \delta \sin t(dt)\end{aligned}$$

或

$$\begin{aligned}\cos h(dh) &= (\sin \delta \cos \varphi - \cos \delta \cos t \sin \varphi)(d\varphi) \\ &\quad - \cos \varphi \cos \delta \sin t(dt)\end{aligned}\quad (2)$$

上式(dφ)之系数可用第七章式(14)

$$\cos h \cos A = \sin \delta \cos \varphi - \cos \delta \sin \varphi \cos t$$

化简之成为

$$\cos h(dh) = \cos h \cos A(d\varphi) - \cos \varphi \cos \delta \sin t(dt)$$

或

$$(d\varphi) = \sec A(dh) + \frac{\cos \varphi \cos \delta \sin t}{\cos h \cos A}(dt)$$

再由第七章式(16)

$$\sin A = -\cos \delta \sin t \sec h$$

化简(dt)之系数,成为

$$(d\varphi) = \sec A(dh) - \cos \varphi \tan A(dt)\quad (3)$$

上式即表示高度角误差(dh)及时角误差(dt)与测定纬度误差(dφ)间之关系。欲使测定纬度之误差(dφ)为最小,必须

$$A = 0^\circ \quad \text{或} \quad 180^\circ$$

即所观测之天体必须在子午圈内(即中天时),或在子午圈附近,方位角之值近于 0°或 180°之时。

一般测定纬度之方法,即根据上述理论,或在中天时观测(第二节),或作环子午观测(第三节),或观测方位角永在 0°附近之北极星(第四节)。第二、三节所述之方法均可使用普通经纬仪,其精度泰半决定于垂直角量测之精度,并受蒙气差改正不准确之影响。第五节赫瑞鲍太尔各特法亦系中天观测之一种,但使用特殊仪器(天顶仪),或有特殊设备之全能经纬仪,不必量测垂直角,可以消除仪器误差及蒙气差改正之影响,故为最精密之纬度测定方法。

第二节 天体中天高度法

第一目 原理

天体中天时,其高度角 h ,赤纬 δ 与观测者纬度 φ 之关系,已于第七章第四节论及。兹再将该处之图重刊于此(图 11-2),并将该处式(25)、(26)列下:

当星在北天时(S_1 与 S_2),

$$\begin{aligned} \text{上中天 } S_1: \quad \varphi &= h - p \\ \text{下中天 } S_2: \quad \varphi &= h + p \end{aligned} \quad (4)$$

当星在天顶附近上中天时(S_3, S_4),

$$\begin{aligned} \text{北方 } S_3: \quad \varphi &= \delta - z \\ \text{南方 } S_4 \text{ 及 } S_4: \quad \varphi &= \delta + z \begin{cases} S_3 & \delta \text{ 为正号} \\ S_4 & \delta \text{ 为负号} \end{cases} \end{aligned} \quad (5)$$

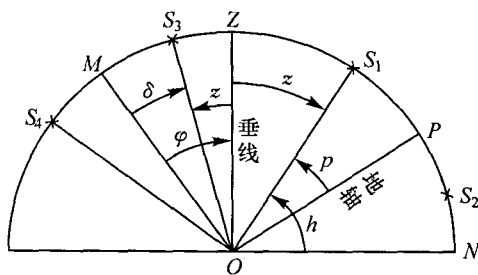


图 11-2

天体上中天时,其高度角最大;反之,下中天时,其高度角为最小。故利用天体中天高度方法求纬度时,可以不必确知观测者子午圈方向,亦不必确知中天精确时刻,仅用望远镜横丝追随天体,待其高度达最大或最小时,读其高度角或天顶距,即可应用式(4)或(5)关系计算纬度,

实为最简单之法。

上述天体经过子午圈时为其最高或最低之位置,对于恒星而言,系严格正确;对于赤纬变化较速之天体如太阳月亮等,则为近似之假定。但此项近似之假定,对于一般应用可以足用。

第二目 太阳中天高度法

太阳中天时,地方视太阳时为 12 时正,将观测日视太阳时 12 时,按第六章第四节例 11 所讲方法推算为标准时,即得应进行观测之时刻。在该时前数分钟用经纬仪望远镜对准太阳,将横丝切于其边缘(上或下缘),用垂直角微动螺旋使横丝紧随太阳之向上移动。当太阳开始下降之时,即停止追随,读此时之垂直角。

读得之垂直角内,必须加仪器指差蒙气差,视差及太阳半径改正。用式(4)或(5)计算纬度时,应根据观测时刻,自天文年历上查出太阳之赤纬。此时应略知观测者之经度。但时间差 1 分(时分),影响 δ 之数值在 $1''$ (弧秒)以下,故时间之化算不须十分精确。兹举观测及计算例如下:

例 某地(经度概值 8 时 02 分东)1951 年 4 月 6 日观测太阳中天高度结果如下:

太阳上缘中天高度角 $56^{\circ} \quad 27' \quad 20''$

垂直盘指差改正 $+20''$

求该地纬度。

查历:格 0^时 太阳赤纬

	太 阳 赤 纬	一 次 差	二 次 差
4 月 6 日	$6^{\circ} \quad 03' \quad 39''.7$		
4 月 7 日	$6^{\circ} \quad 26' \quad 24''.1$	$+22' \quad 44''.4$	
4 月 8 日	$6^{\circ} \quad 49' \quad 01''.9$	$+22' \quad 37''.8$	$-6''.6$

地方视太阳时	12 ^时 00 ^分
经度(东)	— 8 02
(格)视太阳时	3 58
时差	+ 3
格平时	4 01 = 4.017 ^时 = 0.167 日
观测时之太阳赤纬 = +6°03'39".7 + 0.167 × (22'44".4)	
+ $\frac{0.167}{2}(1 - 0.167) \times 6".6 = 6°07'28".0$	
太阳上缘中天高度角 =	56° 27' 20"
垂直盘指差	+20
	56 27 40
蒙气差	—38"
视 差 8".79 × cos <i>h</i>	+05"
太阳半径	—16 01
太阳中心真高度	56° 11' 06"
太阳中心天顶距	33 48 54
太阳中心赤纬	+ 6 07 28
观测地纬度	39° 56' 22"

第三目 恒星中天高度法

恒星中天高度观测之程序与观测太阳中天高度法相似,亦须先估计所欲观测恒星中天之时刻。此时可用第六章第四节原理,即恒星上中天时,其时角 t 为 0,下中天时其时角 t 为 12 时。将时角加其赤经,即为中天时之地方恒星时。然后将恒星时换算为标准时,求其概值即可。

北极星之周日运动最慢,在中天附近其高度角变化甚小,可以正倒镜观测,结果可较精确。惟在低纬地点,北极星之高度角太低,蒙气差影响较大,则不适用。如欲观测多星,取其中数,以增加精度,宜观测赤道附近之星。任何时间均可有星中天,如此可选用之星较多。故一般先决定观测概时(标准时),将其换算为地方恒星时。其次即由天文年历中选择适于观测之恒星。凡恒星赤经与所得地方恒星时相当者,即

在该时左右中天,可以适合。连续观测两星之中天时刻应隔 5 分钟左右,以便有充裕时间安置仪器。为避免蒙气差计算不确之影响,所选之星最好有半数在天顶之北中天,半数在天顶之南中天。如能使北天各星之天顶距和与南天各星之天顶距和大略相等尤佳,盖如此可使蒙气差计算不精确之影响大部消除也。

其次在观测方面,因观测星数较多,可以一半用望远镜正镜位置,一半用倒镜位置观测,由此计算纬度之中数,可以消除残余指差之影响。

观测须在预定中天时刻之前即开始。按恒星之赤纬及观测地点纬度之概值,计算望远镜应指之高度。将垂直盘读数放于此值,视恒星进入视场,即将横丝对准恒星,用垂直角微动螺旋使恒星常在横丝上,及其达最大高度时,即记读垂直度盘上之度数。

例 兹举观测北极星中天高度之计算实例如下:

日期:1951 年 5 月 20 日

地点:上海交通大学($\lambda=8^{\text{h}} 05^{\text{m}} 42^{\text{s}}$)

观测之北极星下中天高度角 $30^{\circ}16'15''$ (正倒镜之平均值)

查历:北极星之赤纬 $=89^{\circ}02'02''$ (极距 $p=0^{\circ}57'58''$)

北极星 5 月 20 日下中天之时刻 22 时 00 分(约值,查自 1951 年天文年历第 194 页)

计算:

$$\varphi = h + p$$

观测之高度角 $h' = 30^{\circ} 16' 15''$

蒙气差 $1' 37''$

改正高度角 $h = 30^{\circ} 14' 38''$

极距 $p = 57' 58''$

纬度 $31^{\circ} 12' 36''$

第三节 环子午高度法

第一目 原理

观测天体中天高度以定纬度,可以不必知观测之准确时刻,是其便

利之点。但每个天体仅能观测一次,不能达到较高之精度,则为其缺点。今如已知观测时刻,可在天体中天前后,分别用正倒镜观测多次。此种方法名为环子午高度法。其优点为可消除仪器误差,增加精度。

按第一节原理已指出:如所观测天体之方位角在 0° 或 180° 附近,高度角 h 及时角 t 误差之影响均为极小,其中时角误差影响近于 0。作环子午高度法观测时,天体之方位角极近于 180° ,故仍合于第一节之有利条件。

$$\text{按本章式(1)} \sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t$$

$$\text{将三角公式} \quad \cos t = 1 - 2 \sin^2 \frac{t}{2}$$

$$\text{代入上式得} \quad \sin h = \cos(\varphi - \delta) - 2 \cos \varphi \cos \delta \sin^2 \frac{t}{2} \quad (6)$$

按本章式(5)南天情形,假定在中天附近之短时间内,赤纬 δ 之变化极少,即

$$\varphi - \delta = z_0 = 90^\circ - h_0 \quad (7)$$

z_0 为天体中天时之天顶距, h_0 为其高度角。代入式(6),可化为

$$\sin h_0 - \sin h = 2 \cos \varphi \cos \delta \sin^2 \frac{t}{2}$$

又由三角公式知

$$\sin h_0 - \sin h = 2 \cos \frac{1}{2}(h_0 + h) \sin \frac{1}{2}(h_0 - h) \quad (8)$$

由于 h 与 h_0 相差甚小,

$$\cos \frac{1}{2}(h_0 + h) \approx \cos h_0 = \sin(\varphi - \delta)$$

$$\sin \frac{1}{2}(h_0 - h) \approx \frac{1}{2} \frac{(h_0 - h)''}{\rho''}$$

代入式(8)遂得

$$(h_0 - h)'' = \cos \varphi \cos \delta \csc(\varphi - \delta) \left(2\rho'' \sin^2 \frac{t}{2} \right)$$

命

$$\left. \begin{aligned} A &= \cos \varphi \cos \delta \csc(\varphi - \delta) \\ m &= 2\rho'' \sin^2 \frac{t}{2} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

式(9)又可书作

$$(h_0 - h)'' = (z - z_0)'' = A \cdot m \quad (10)$$

联合式(10)及式(7),即得纬度之计算公式

$$\varphi = z' - Am + \delta \quad (11)$$

设各次观测之天顶距为 $z_1, z_2, \dots$, 其平均值为 z_m , 由各次时角 t 按式(9)计算所得之 m 为 $m_1, m_2, \dots$, 其平均值为 m_m , 因 A 对各次观测为一常数, 故将各次结果平均所得之纬度为

$$\varphi = z_m - Am_m + \delta$$

A 之计算采用纬度概值即可。 m 有表可查(见附表 V), 以时角 t 为引数。故 $A \cdot m$ 之计算相当方便。倘无 m 之表, 因环子午观测之时角 t 为一小角, 一般可命 $\sin^2 \frac{t}{2} = \left(\frac{t}{2}\right)^2$, 于是

$$m = 1.9635t^2 \quad (12)$$

t 之单位为时分, m 之单位为弧秒。式(12)之计算精度可达 $\pm 1''$ 。由式(12)又可研究时角(亦即记时表)所需之精度。微分之, 得

$$dm = 3.93t dt \approx 4 \cdot t dt$$

t 及 dt 之单位为时分, dm 之单位为弧秒。取 t 之最大值为 15^h , 当 t 之误差 dt 为 $1^m = \frac{1}{60}$ 时, 影响 m 之误差为 $1''$ 。故欲使因归算中天高度而生之纬度误差小于 $1''$, 约相当于使用精密全能经纬仪量测天顶距之精度, 记时须有 1^m 之精度。用游标经纬仪量测天顶距之精度最多仅能达 $10'' - 20''$, 计时表精度能达 10^m 左右即已足用。

第二目 恒星环子午高度法

在拟定观测时内, 欲知何星中天, 仍用第二节第三目所述方法, 先求观测时之地方恒星时, 然后选两恒星, 其赤经与所算得之地方恒星时相差不多。两星须一在天顶之南中天, 一在天顶之北中天, 其天顶距须约略相等。如此可以消除蒙气差改正不正确之影响。欲达上述目的, 两星赤纬之平均值应与观测者纬度约略相等。

观测须在预定该星中天之前 15 分钟左右开始。以望远镜对准该

恒星,俟恒星达到横丝时,记录时刻,并读天顶距。然后再将望远镜倒镜,仍对准恒星,继续观测。在恒星中天之前,天顶距逐次渐小;俟中天之后,又逐渐增加。观测以对称分配于中天前后为原则,一半次数用正镜,一半次数用倒镜。

倘未求计时表之表差,或不知观测地点精确经度,即无从计算恒星中天之表面时确值。此时可将多次观测之结果,用横坐标代表表面时刻,纵坐标代表天顶距(或高度角),绘出一系列之点。用一曲线连之,即示天顶距变化之情形如图 11-3 所示。当天顶距最小,

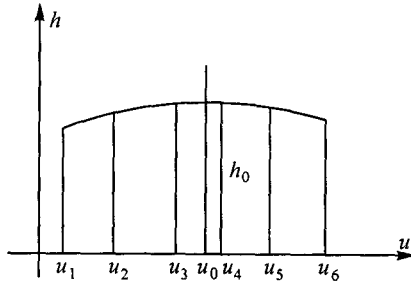


图 11-3

亦即高度角最大时,其横坐标 u_0 即为恒星中天时之表面时刻。通过此横坐标 u_0 之纵线必平分此曲线成相对之两半。其他各次观测时恒星之时角即为其记录时刻 $u_1, u_2, \dots$ 减中天表面时 u_0 。

$$t = u - u_0$$

观测恒星,如用平太阳时表记录观测时刻,则按上式求得之 t 应化为恒星时,始为恒星之时角。

兹举观测实例如下:

纬度之测定

恒星环子午之高度法

测 站: × × × 水准管分划值: 11'' 星 名: α Herculis(南)
 日 期: 1931 年 6 月 22-23 日 计时表号数: Dent 观测者:
 仪 器: 计时表之中天时刻 23^时 10^分 38^秒.46 计时者:
 计时表表差(地方平时) +14^秒.0(慢)
 指差(i): 温度: 36°C 气压: 734.06 公厘 记录者:
 近似经度: 西经 0^时 2^分 21^秒

1. 观测记录:

次 序	目 标 位 置	计 时 表 时 刻			时 角		m	垂 直 度 盘 读 数				水 准 气 泡		高 度 角 (未改正)						
		时	分	秒	平 时	恒 星 时		度 °	分 ,	秒			目 镜	物 镜	°	'	"			
										I "	II "	平 均 数								
1	*	正	23	00	50.2	9	48.26	9	50	189.8	50	00	5.0	1.0	3.0	12	18	50	00	3.0
2		倒		02	01.4	8	37.06	8	38	146.3	129	58	38.0	34.0	36.0	10	20		01	24.0
3		倒		04	06.0	6	32.46	6	34	84.7	129	58	10.0	00.0	5.0	10	20		01	55.0
4		正		07	36.8	3	01.66	3	02	18.1	50	03	02.0	00.0	1.0	12	18		03	01.0
5		正		10	07.6		30.86		31	0.5	50	02	48.0	38.0	43.0	12	18		02	43.0
6		倒		13	16.2	2	37.74	2	38	13.6	129	58	53.0	45.0	49.0	9	21		01	11.0
7		倒		15	21.6	4	43.14	4	44	44.0	129	59	46.0	40.0	43.0	9	21		00	17.0
8		正		18	46.2	8	07.74	8	09	130.4	49	59	18.0	10.0	14.0	12	18	49	59	14.0
									和	627.4					和	86	154	400	09	48.0
									m=平均数	78.4						平均数	50	01	13.5	

水准气泡改正：
$$\frac{+68 \times 11''}{2 \times 8}$$
$$= +46''.8$$

平均观测高度：
$$h_m = 90^\circ - z_m$$
$$50^\circ 01' 13''.5$$
$$+ 46''.8$$
$$\hline 50^\circ 02' 00''.3$$

正倒镜观测之两最大高度(已加水准气泡改正)
$$\begin{array}{r} 3 \text{ 反 } 50^\circ 02' 50'' \\ 4 \text{ 正 } 50^\circ 03' 34'' \\ \hline \text{平均数 } 50^\circ 03' 12'' \end{array}$$

2. 计算:

 (1) 计时表上之中天时刻(T_c):

格林尼治 0 ^时 恒星时	= 17 ^时 56 ^分 51 ^秒 . 25
经度改正 ($9.86 \times$ 经度差 (时数) $\begin{smallmatrix} \text{西} + \\ \text{东} - \end{smallmatrix}$)	= + 00 0 . 30
地方 0 ^时 恒星时	= 17 56 51 . 55
恒星之赤经	= 17 11 32 . 49
恒星时间隔 (下减上)	= 23 14 40 . 94
附表 III	= 3 48 . 48
地方平时 (上中天)	= 23 10 52 . 46
计时表表差 (慢一)	= - 14 . 00
上中天时之表面时刻	= 23 10 38 . 46

 (2) 平均观测时刻之天顶距(z_m):

平均观测高度 (记录簿)	= 50° 02' 00" . 30
蒙气差	= - 46 . 77
平均高度	= 50 01 13 . 53
减自	= 90 00 00 . 00
平均观测时刻之天顶距(z_m)	= 39 58 46 . 47

 (3) 纬度概值(φ'):

两最大高度之平均值 (记录簿)	= 50° 03' 12" . 0
蒙气差	= - 47 . 0
子午高度概值	= 50 02 25 . 0
减自	= 90 00 00 . 0
子午天顶距概值(z')	= 39 57 35 . 0
恒星之赤纬 δ	= 14 27 55 . 2
近似纬度 (北+) (φ')	= 54 25 30 . 2 (北)

(4) 纬度计算:

$\log \cos \varphi'$ (参考(3))	= 9. 764 75
$\log \cos \delta$ (参考(3))	= 9. 986 01

$\log \csc z'$ (参考(3))	$=0. \quad 192 \ 30$
$\log A$	$=9. \quad 943 \ 06$
$\log m_m$	$=1. \quad 894 \ 32$
$\log Am_m$	$=1. \quad 837 \ 38$
Am_m	$=68''.77$
平均观测时刻之天顶距(z_m) (参考(2))	$=39^\circ 58' 46''.47$
$-Am_m$	$=- \quad 1 \quad 8 \ .77$
z_0	$=39 \ 57 \ 37 \ .70$
恒星之赤纬 δ (参考(3))	$=14 \ 27 \ 55 \ .20$
纬度(φ)北	$=54^\circ 25' 32''.90$

此例在观测高度角时并读记望远镜方向之气泡位置,以改正垂直轴之误差。当水准气泡在物镜端读数大于目镜端读数时,表示垂直度盘 0° 在物镜端略高,亦即读得垂直角(高度角)之改正应为十号,反之则为一号。水准气泡改正系加于平均高度角之上,故以各次读数之平均值计算。按观测记录,物镜端读数之和为 154,目镜端读数之和为 86,二者之差为 +68,用 8 次除,得平均值。因气泡中点偏出水准管 0 点之数为两端读数差之半,故须再以 2 除,然后乘水准管分划值 $11''$,即得水准气泡改正。

取正倒镜观测高度最大之一对,加水准气泡改正,求平均数,再加恒星之赤纬,即得纬度概值,以备计算系数 A 之用。

其他计算步骤由表可以自明,不再详述。

第三目 太阳环子午高度法

太阳环子午高度法与恒星环子午高度法相同。但太阳赤纬 δ 变化甚速,按照式(11)计算时, δ 应取每次观测时之赤纬值。命中天时太阳之赤纬为 δ_0 ,太阳时角 t 时,其赤纬为 δ ,则

$$\delta = \delta_0 + \frac{d\delta}{dt}t$$

式(11)应为

$$\varphi = z + \delta_0 + \frac{d\delta}{dt}t - 2A \sin^2 \frac{t}{2} \quad (13)$$

此处 m 仍以弧度为单位, 故取消 ρ'' 。欲求 $\frac{d\delta}{dt}$ 之值, 可将第一节式(1), 依 t 微分

$$\cos h \frac{dh}{dt} = (\sin \varphi \cos \delta - \cos \varphi \sin \delta \cos t) \frac{d\delta}{dt} - \cos \varphi \cos \delta \sin t$$

当 $\frac{dh}{dt} = 0$ 时, 即当太阳之高度为最高时; 命 $t = t_0$, t_0 即为太阳最高时之时角。于是上式可化为

$$\frac{d\delta}{dt} = \frac{\cos \varphi \cos \delta \sin t_0}{\sin \varphi \cos \delta - \cos \varphi \sin \delta \cos t_0}$$

t_0 为一极小之角度, 故可命 $\sin t_0 = t_0$, $\cos t_0 = 1$, 于是得

$$\frac{d\delta}{dt} = \frac{\cos \varphi \cos \delta}{\sin (\varphi - \delta)} t_0 = A t_0 \quad (14)$$

代入式(13)内, 并将式(13)最后一项之 $\sin^2 \frac{t}{2}$ 书为 $\left(\frac{t}{2}\right)^2$, 遂得

$$\varphi = z + \delta_0 - 2A \left(\frac{t^2}{4} - \frac{t_0 t}{2} \right) \quad (15)$$

t_0 为一极小之角, 最多不过 15 秒, 或 $\frac{1}{900}$ 弧度。故如在上式最后一项括弧内加 $\frac{t_0^2}{4}$, 即加 $\frac{1}{3\,200\,000}$, 并无影响, 但如此则可将式(15)最后一项简化为

$$\frac{(t - t_0)^2}{4} = \sin^2 \frac{(t - t_0)}{2}$$

于是式(15)变为

$$\varphi = z + \delta_0 - 2A \sin^2 \frac{(t - t_0)}{2}$$

或书为

$$\varphi = z + \delta_0 - A \cdot m_0 \quad (16)$$

其中

$$m_0 = 2\rho'' \sin^2 \frac{(t - t_0)}{2} \quad (17)$$

m_0 即为以 $t-t_0$ 为引数所得之 m 值,以弧秒为单位。

比较(16)与(11),即知在观测太阳环子午高度时,应以太阳中天时之赤纬 δ_0 ,及对太阳最高时刻之时角差 $(t-t_0)$ 计算。但如用普通游标经纬仪观测,精度本不甚高时,求 m 时径以 t 为引数已足。

观测时应分别用正倒镜量测太阳上缘及下缘之高度,以消除仪器误差。如正倒镜两次分别观测上下缘相隔在 2 分钟以内,可取其平均高度与平均观测时刻相当,以减少计算工作。但在精密观测时仍以每次观测个别计算为妥,因太阳近子午圈时,其路径弯曲最甚,不能视为直线也。

兹举观测实例于下:

例 测站 上海同济大学 经度 $8^{\text{时}} 5^{\text{分}} 58^{\text{秒}}$

日期 1950 年 12 月 27 日

计时表差 = -1 秒

垂直盘指差 正镜 天顶距 $+24''$

倒镜 天顶距 $-24''$

1. 观测记录:

次序	目标	望远镜	计时表时刻			立盘读数					天顶距(z)		
			时	分	秒	°	'	"			°	'	"
								I	II	平均数			
1	⊖	正	11	41	20	54	58	38	36	37	54	58	37
2	⊙	倒		44	40	305	35	48	48	48	54	24	12
3	⊖	倒		46	32	305	04	14	15	14	54	55	46
4	⊙	正		48	56	54	21	30	31	30	54	21	30
5	⊖	正		51	30	54	35	09	09	09	54	53	09
6	⊙	倒		54	08	305	38	51	49	50	54	21	10
7	⊖	倒		56	27	305	06	08	08	08	54	53	52
8	⊙	正		58	56	54	20	50	51	50	54	20	50
9	⊖	正	12	01	14	54	54	16	15	15	54	54	15
10	⊙	倒		04	10	305	35	55	54	55	54	24	25
11	⊖	倒		05	39	305	02	21	19	20	54	57	40
12	⊙	正		08	20	54	26	14	14	14	54	26	14

2. 计算:

(1) 太阳视正午之标准时刻:

地方视正午	12 ^时 00 ^分 00 ^秒
经度差	8 5 58
格林尼治时	3 54 02
时差(近似)	—) — 45
(格)平时	3 54 47 = 0 ^h . 163
经度差($\lambda = 120^\circ$ 东)	8
视太阳中天之标准时刻	11 ^时 54 ^分 47 ^秒

 (2) 太阳视正午之赤纬(δ_0):

太阳赤纬(格 0 时)	-23° 21' 57"
内插计算	+ 21"
太阳视正午之赤纬 δ_0	-23° 21' 36"

 (3) 常数 A 之计算:

由观测天顶距离每两次相邻正倒镜之平均值, 知太阳中心最小天顶距为 $54^\circ 38' 17''$ (见下面(6)之表内), 由此可计算纬度概值:

太阳中天时天顶距概值	$54^\circ 38' 17''$
太阳中天时之赤纬	$-23^\circ 21' 36''$
纬度概值	$31^\circ 16' 41''$

根据此纬度值及中天天顶距概值即可计算常数 A 。

$\log \cos \varphi$	9. 931 79
$\log \cos \delta$	9. 962 86
$\log \csc(\varphi - \delta)$	0. 088 67
$\log A$	9. 983 32 $A = 0. 962 3$

 (4) 计算太阳最高时之时角 t_0 :

由天文年历查得太阳赤纬一日之变化为 $4143''.1$, 故

$$\frac{d\delta}{dt} = \frac{+143.1}{360 \times 60 \times 60} = +0.000 11$$

$$\text{按式(14), } t_0 = \frac{\rho''}{15A} = \frac{d\delta}{dt} = +1.6^{\text{秒}}$$

(5) 时角差($t-t_0$)及 $A \cdot m_0$ 之计算:

将观测时刻加表差改正 -1^s 后与(1)计算所得视太阳中天时刻相比,即得太阳时角 t ,减去由(4)所得之 t_0 。然后根据式(17)求 m_0 ,分别乘(3)计算所得之 $A=0.9623$,得 Am_0 列表如下:

次序	观测时刻加表差改正	时角差 $t-t_0$	m_0	$A \cdot m_0$
1	时 分 秒 11 41 19	分 -13 29.6	357"	5' 44"
2	44 39	-10 9.6	203	3 15
3	46 31	- 8 17.6	135	2 10
4	48 55	- 5 53.6	68	1 5
5	51 29	- 3 19.6	22	21
6	54 07	- 41.6	1	1
7	56 26	+ 1 37.4	5	5
8	58 55	+ 4 6.4	33	32
9	01 13	+ 6 24.4	81	1 18
10	04 09	+ 9 20.4	171	2 45
11	05 38	+10 49.4	230	3 41
12	08 19	+13 30.4	358	5 44

(6) 由观测天顶距化算为中天天顶距,并求纬度。由观测所得天顶距读数分别加指差改正(正镜 $+24''$ 倒镜 $-24''$)蒙气差(一律 $+1'20''$)视差(一律 $-7''$),及半径改正(上缘 $+16'18''$,下缘 $-16'18''$),即得太阳中心天顶距。再减由(5)计算所得之 Am_0 ,即化为中天时之天顶距。将其平均值加太阳中天时之赤纬,即得观测点之纬度。兹列表于下:

次序	太阳中心天顶距	$A \cdot m_0$	中天时天顶距	v	vv
1	54° 43' 56"	-5' 44"	54 38 12	+ 4	16
2	41 19	-3 15	4	+12	144
3	40 17	-2 10	7	+ 9	81
4	39 25	-1 5	20	- 4	16
5	38 28	- 21	7	+ 9	81
6	38 17	- 1	16	0	0
7	38 23	- 5	18	- 2	4
8	38 45	- 32	13	+ 3	9
9	39 34	-1 18	16	0	0
10	41 12	-2 45	27	-11	121
11	42 11	-3 41	30	-14	196
12	44 9	-5 44	25	- 9	81
		平均=	54° 38' 16"	$\sum = -3$	$\sum = 749$

太阳中天时天顶距 54° 38' 16"

太阳中天时之赤纬 -23 21 36

观测地纬度 31° 16' 40"

由中天时天顶距之各改正数 v 计算中误差为

$$M = \sqrt{\frac{749}{12 \times 11}} = \pm 2''.4$$

故观测结果为

$$\text{纬度} = 31^\circ 16' 40'' \pm 2''.4$$

第四节 北极星高度法

由本章第一节原理固知根据已知时刻求纬度时,方位角 A 必须位在 0° 或 180° 附近。今如观测之对象为北极星或北极附近之其他星体,则其位置永在 $A=0$ 附近,是以观测北极星任何时角之高度角,同时记录时刻,用以计算观测点之纬度,均可得良好之结果。此法因不限于中天之时,观测时间亦较自由。

计算公式仍可由式(1)出发,此时以 $p=90-\delta$ 代入式(5)得

$$\sin h = \cos p \sin \varphi + \sin p \cos \varphi \cos t \quad (18)$$

φ 为北极之高度,其与北极星高度 h 相差最大为 p (图 11-4),而在目前 p 值已小于 1° 。若令 $\varphi=h-x$, x 将为与 p 值同级之小改正数。兹将 $\varphi=h-x$ 代入上式,乃得

$$\sin h = \cos p \sin (h-x) + \sin p \cos (h-x) \cos t \quad (19)$$

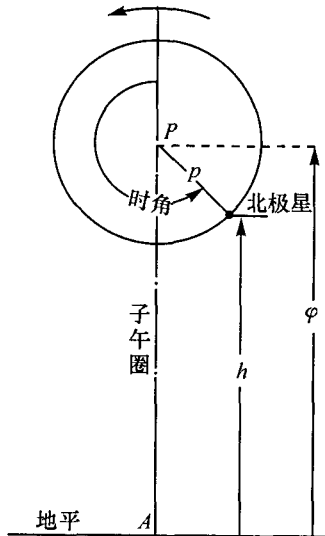


图 11-4 北极星高度

以 p 及 x 为小值,保留其二次项,展开上式右侧各函数:

$$\left. \begin{aligned} \sin(h-x) &= \sin h - x \cos h - \frac{x^2}{2} \sin h \\ \cos(h-x) &= \cos h + x \sin h - \frac{x^2}{2} \cos h \\ \sin p &= p + \dots \\ \cos p &= 1 - \frac{p^2}{2} + \dots \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

以式(20)代入(19)仍保持其三次以下各值,于是得

$$\sin h = \sin h - x \cos h + p \cos h \cos t - \frac{1}{2}(x^2 - 2xp \cos t + p^2) \sin h \quad (21)$$

自式(21)可得下列公式,是为改正数之一般形式。

$$x = p \cos t - \frac{1}{2}(x^2 - 2xp \cos t + p^2) \tan h \quad (22)$$

兹取其第一近似值:

$$x = p \cos t$$

以之代入式(22)之第二项,舍弃其 p 及 x 之三次幂各项,乃得第二近似值

$$x = p \cos t - \frac{1}{2}p^2 \sin^2 t \tan h \quad (23)$$

今如将 x 及 p 均以弧秒为单位,即得

$$x'' = p'' \cos t - \frac{1}{2} \frac{p''^2}{\rho} \sin^2 t \tan h \quad (24)$$

$$\text{或} \quad \varphi = h - x = h - p'' \cos t + \frac{1}{2} \frac{p''^2}{\rho} \sin^2 t \tan h \quad (25)$$

上式在导出时舍去三次及其以上各项。其最大影响仅为 $0''.14$, 对于一般观测已足够精度。

天文年历中载有“从北极星高度求纬度”表。表 A 所列为假定 $h = 45^\circ$ 时之 x 值,表 B 所列为观测高度在 45° 以外时应加之改正值。

兹举测算实例如下:

例 1951 年 6 月 13 日在东经 7 时 32 分处,中原时下午 9 时 45 分观测北极星,得平均高度: $22^\circ 12'.0$, 求纬度。

计算:

(1) 求北极星时角 t :

观测中原时	21 时 45 分 00 秒 .0
中原时标准经度	8
世界时(格平时)	13 45 00 .0
查历: 6 日 13 日格 0 时 恒星时	17 21 59 .5
改正(13 时 54 分 化为恒星时段)	+ 2 15 .5
格恒星时	7 09 15 .1

东经(观测处)	7 32 00 .0
地方恒星时	14 41 15 .0
北极星赤经	1 48 32 .7
北极星时角	12 52 42 .4

(2)计算纬度:

观测高度	22° 12' 00"
蒙气差	— 2 19
改正高度	22' 09 41
表 A	+ 56 30"
表 B	— 1"
纬度	23° 06' 10"

第五节 赫瑞鲍太尔各特法

第一目 原理

观测高度角以计算观测者之纬度,其误差主要来源为垂直度盘之刻度误差,仪器之垂直轴不能绝对垂直,以及蒙气差等。蒙气差虽有若干种公式可以计算其影响,但此种公式仅系平均之情形。实际上每次观测情形均与平均情形有小量差异,成为无可消除之误差。

赫瑞鲍太尔各特(Horrebow Talcott)方法即系针对以上之缺点,设法消除上述各种误差,或减低其影响。其法系每次观测两恒星之子午天顶距差。此两星须一在天顶之北,另一在天顶之南,其天顶距须相差甚微,而中天时间亦在 20 分钟以内。其原理示如图 11-5。

图 11-5 示纬度与天顶距及赤纬之关系。 Z 为天顶, E 为赤道与子午圈之交点。 S_1, S_2 为南北两恒星之中天位置。 z_1, z_2 为其天顶距, δ_1, δ_2 为其赤纬, φ 为观测地之纬度。由 δ_1 可得

$$\varphi = \delta_1 + z_1$$

由 δ_2 可得

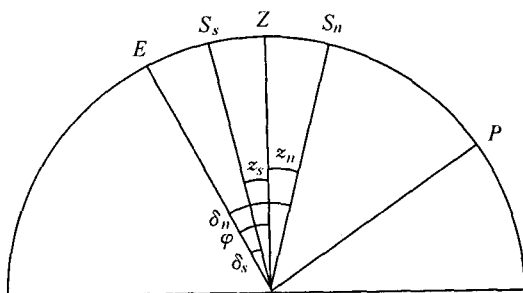


图 11-5

$$\varphi = \delta_n - z_n$$

两式相加用 2 除,得

$$\varphi = \frac{1}{2}(\delta_s + \delta_n) + \frac{1}{2}(z_s - z_n) \quad (26)$$

应用此法观测时,并不直接量测天顶距而用目镜测微器量测南北两星天顶距之差。故可避免垂直度盘刻度误差之影响。两星之天顶距差甚小,其蒙气差相差亦甚少,计算时亦只须改正两方向蒙气差之差。故蒙气差公式不准确之影响亦可减低。为测定垂直轴不绝对垂直之误差,用一精密水准管,使可与望远镜固连,名为赫瑞鲍水准管。是以应用赫瑞鲍太尔各特所测之纬度其精度至高,观测及计算方法亦极简便,惟准备工作较多耳。

第二目 天顶仪

用以在子午面内观测南北两星天顶距之差者(即式(26)内之 z_s 一 z_n 项)有专门设计之仪器称为天顶仪,其形状示如图 11-6。

天顶仪有一水平度盘及一垂直轴,水平轴极短。水平轴上固定一望远镜,有时望远镜为偏心位置,即位在水平轴之一端。此仪器最主要部分为望远镜上之精密水准器。此水准器系与望远镜旋转平面平行,名为赫瑞鲍水准器。旋紧此水准器之制动螺旋即与望远镜成为一体。当仪器绕垂直轴旋转 180° ,望远镜指向天顶之另一端时,可藉此水准

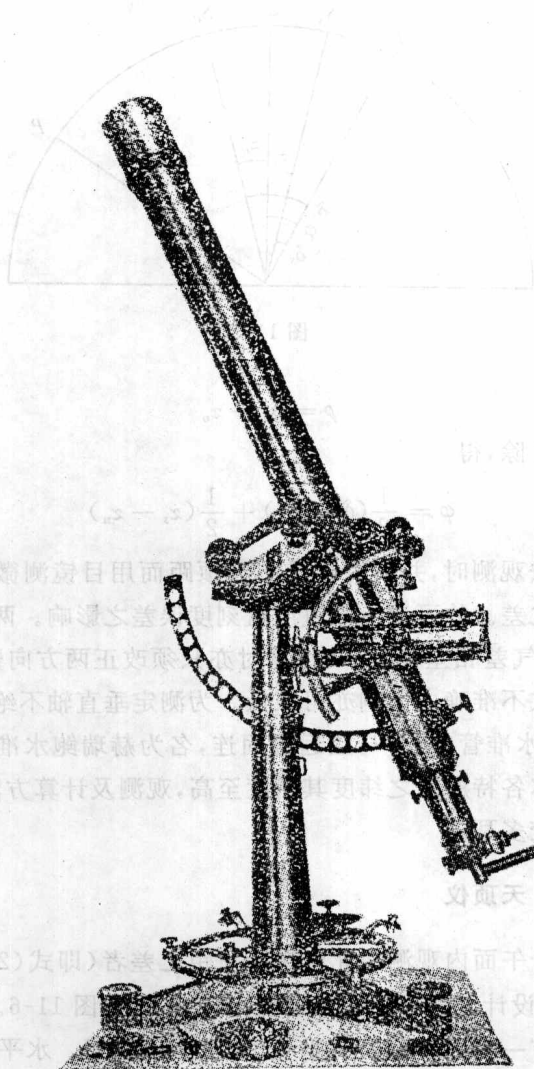


图 11-6. 天顶仪

器测定仪器垂直轴之误差。

望远镜之目镜端装一测微器,其中有一游丝可测南北两星之天顶距差。测微器构造之大概示如图 11-7。 AA' 为十字竖丝, EE' 为十字横丝, BB' 为一游丝,可旋转测微轮 H 使其上下移动。俟星进入视场后,即用 BB' 丝紧随平分之,迨其抵达 AA' 时乃读测微器上之读数。

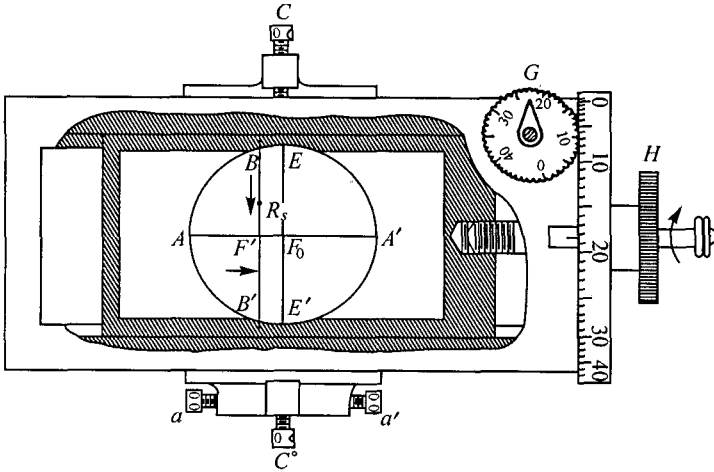


图 11-7 测微器

水平度盘并非为精确读数之用,故仅有游标,而无测微器。水平度盘上装有两个相距 180° 并可调节之制子,备望远镜旋入子午面内之用。垂直盘亦仅为寻星之用,故半径甚小。

天顶仪之轴系与经纬仪相类似,故其校正程序亦相若。首先须校正垂直轴真正垂直。为准确达到此目的可利用赫瑞鲍水准器,或用水平轴上之跨水准。盖底盘上通常仅有一圆形水准器,系为将仪器大略置平之用。观测之前必须用上述两较精密之水准器将垂直轴校正真正垂直。

第二项校正为使水平轴与垂直轴正交。此校正可以跨水准测定之。如跨水准易位后气泡不在中间,则水平轴系不水平,可以校正之。但水平轴倾斜对于测量天顶距之影响极小,故其校正不必过于精确。

第三项校正为使视准轴与水平轴正交。此校正可用普通经纬仪之校正方法,利用一较远之地面目标。如天顶仪之望远镜为偏心装置,则必须顾及偏心距离(视准平面与垂直轴间之垂距)及目标距离而计算其偏心差。与视准轴校正同时尚须校正目镜测微器之水平游丝是否真正水平。以游丝对准一目标点,在水平方向缓缓移动望远镜,如目标点永远在游丝上,即可无须校正,否则可旋转目镜测微器使游丝水平。

第四项校正为使视准轴位在子午平面之内。其法可先求得计时表之表差概值,然后在一南方恒星中天时用望远镜垂丝对准该星,于是视准轴即在子午平面内。此南方恒星之天顶距须在 30° 以上,始可得较精确之结果。但视准轴偏出子午平面对于量测天顶距之影响极小。倘方位角差在 $2'$ 以内,则对于天顶角之最大影响不过 $\pm 0''.01$ 。故前述之表差能求定在 1 时秒以内即可。求定表差之方法或另作定时观测,或即用天顶仪作中天观测亦可(见第十二章)。求得子午方向之后,须校正水平度盘上之两制子,使其停于子午平面之方向。观测时每次转动望远镜达此制子之位置,则视准轴即在子午平面之内矣。

第三目 目镜测微器分划值之测定

在观测之前应先测定目镜测微器每一分划相当之角值。盖测微器即系测定天顶距差之主要工具,欲期测得之结果精确,测微器之分划值必须可靠。

测定之法可在一拱极星近于大距时观测之。普通可选用小熊座 α, δ, λ 或仙王座 51 四星之一。此四星之视位置在一般天文年历中均可查得。

观测时将测微器内之游丝转至视场之一端。如观测东大距即转至最下之位置,观测西大距即转至最上之位置(如系倒像望远镜则反是)。转动望远镜使拟观测之星适在游丝之外,向游丝方向移动。俟星达游丝时记其时刻。然后旋转测微器一周,再同法读到达之时刻,直至游丝达到另外一端为止。

图 11-8 示观测之情形。 Z 为天顶, P 为北极, S_0 为拱极星之距角位置, S 为观测时拱极星之位置。由 PS_0Z 直角三角形,得

$$\cos t = \tan \varphi \cot \delta \quad (27)$$

δ 为拱极星之赤纬, 图中之 PS_0 即为其极距, 亦即 $90^\circ - \delta$ 。如 T_0 为该星大距时之计时表读数, ΔT 为表差, α 为该星之赤经, 则

$$T_0 = \alpha \pm t - \Delta T \begin{cases} + \text{西大距角} \\ - \text{东大距角} \end{cases} \quad (28)$$

设 T 为任意一观测时之计时表读数, 则 $T - T_0$ 即为观测时与大距时该拱极星之时角差, 亦即图中之 τ 角, 以时秒表示之。化为角值应为 15τ 。用测微器所量之天顶距差并非 SS_0 , 而为 z'' (以弧秒为单位)。按图中之关系因 $PS = 90^\circ - \delta$, 故 z'' 应为

$$z'' = \rho'' \cos \delta \sin (15\tau)$$

图 11-8

因观测系在近大距时举行, 15τ 必为一小角, 故 $\sin (15\tau)$ 可展为一级数而仅取其前两项。于是上式可化为

$$z'' = 15 \cos \delta \left(\tau - \frac{75}{2\rho^2} \tau^3 \right) \quad (29)$$

上式中括号内之第二项为数亦不大。如 τ 为 1 小时即 60 分钟, 则第二项不过 41.0 时秒。通常观测应于极近大距时举行, τ 不致超过 30 分钟。

设由此计算之 z'' 依次为 $z''_1, z''_2, \dots$, 则

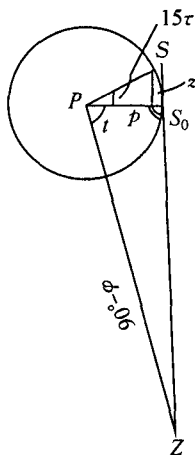
$$z''_2 - z''_1, z''_3 - z''_2, z''_4 - z''_3, \dots$$

均为测微螺旋每转一周时之相当天顶距差。取其中数即为求得之测微螺旋每周之角值。如测微螺旋每周有 100 分划, 每分划之值即为上述中数之百分之一。

观测时每次尚须读望远镜固连之水准器读数。如水准气泡有移动, 应改正天顶距差。

第四目 选星

选星之原则, 概括言之, 约有下列数端: (1) 两星之赤经须相差在 20^m 以内, 俾每组观测中间不必等候过久。两星中天时间相差愈少愈佳, 盖过长则仪器可能有小变动, 蒙气差亦可能因温度气压之变化而有



差异。(2)两星必须一在天顶之北中天,一在天顶之南中天,其天顶距相差应在 $20'$ 以下。盖测微器所能量测之角差最多不过 $30'-40'$,而观测时以不使恒星靠近视场边缘为宜。(3)两星之天顶距以不超过 $30^\circ-35^\circ$ 为宜。盖天顶距愈大则蒙气差愈大,且愈不稳定,故以使之不超过 30° 为宜。欲求天顶距必须知观测地点之纬度概值。此概值仅须在 $1'-2'$ 之精度即可。或由可靠之地图上求之,或用简单仪器观测(如用六分仪观测太阳或恒星之中天高度)均可。由式(26)如欲使 $z_1 - z_2$ 在 $\pm 20'$ 以下,即应使 $\delta_1 + \delta_2 = 2\varphi \pm 20'$,此为两星赤纬之条件。(4)采用星等以在六等星以上者为宜。

选星时以应用较详细之星表为佳,如波司(Boss)之星表等。决定观测开始时间,即可由其相当之赤经开始选星。先以一星为准,凡与其赤经相差在 20^m 以内而两星赤纬之和又等于 2φ 之概值 $\pm 20'$ 以内者均可成为一对。在一站上常连续观测数晚,故选星时可将所有可能之星对全部选出,删去其时间冲突者,列成一最适宜之观测表。观测表上每星对均应注明星号(星表上之星号)星等,星之赤经与赤纬,天顶距(注明南或北)及望远镜寻星盘之位置。后二者均计至分位即可。寻星盘之位置通常系用南北两天顶之中数,亦即两星赤纬差之一半。

兹举选就之实例如下:

号数	星座	等级	平赤经 $\alpha(1930)$	平赤纬 $\delta(1930)$	南或北	z	放置之 天顶距	测微器 位 置
1	B 5153	4.7	20 时 02 分 31 秒	$67^\circ 40'$	北	$26^\circ 08'$	$26^\circ 21'$	18 下
	B 5182	5.0	20 11 02	14 59	南	26 33		
2	B 5208	5.1	20 15 12	37 49	南	3 43	$3^\circ 53'$	14 下
	B 5230	5.9	20 19 48	45 34	北	4 02		
3	B 5267	6.5	20 28 20	36 42	南	4 50	$4^\circ 53'$	4 下
	B 5283	5.8	20 31 36	46 27	北	4 55		
1	2	3	4	5	6	7	8	9

纬度约值为 $41^\circ 32'$ (北)

测微器每一转之角值 $= 42''.9$

上表内测微器位置表示测微器之转数，譬如“18 下”即表示自放置之天顶距 $26^{\circ}21'$ 转至第一星天顶距 $26^{\circ}08'$ ，之转数。因放置之天顶距大于第一星之天顶距而测微器之目镜多为倒像者，故测微器内之游丝须放置在视场中心之下，其距离等于测微器 18 转，由此可以知星体在视场内出现之大概位置。

第五目 观测工作

观测之前先将仪器校正，并使视准轴在子午平面内。然后按照观测星表将寻星盘之读数置妥，使望远镜指向先中天之星。将水准器气泡大略置中。移动目镜测微器之游丝至该星中天之大略位置，俟星入视场时再将游丝转动至更合适之位置。当该星行至竖丝时（即中天时），使游丝平分之。然后读测微器读数及水准气泡两端读数。水准气泡读数亦可在中天以前行之，但不可过早。该星观测完毕后，即将望远镜绕垂直轴转 180° ，旋至另端制子处。旋转时不可过猛，以轻轻触及制子为度。用力过大可能变动制子之位置，因而使视准轴越出子午平面。望远镜旋转 180° 前后，不可移动寻星盘之缓动螺旋，转动测微器螺旋使游丝行至第二星之中天高度。俟第二星进入视场时再调整游丝之位置，当该星行至竖丝处，使游丝平分之。然后读测微器及水准读数。至此一对观测遂告完成。

为避免观测错误之星，应知计时表之表差，然后根据该星之赤经计算其中天之应有表面时。倘观测错误之星，其中天时间必与计算之表面时不符。如此即可发现错误。

观测时转动测微器移动游丝时，其最后一转必须反弹簧方向，以免受齿隙之影响。

在观测两星之间，绝不可动寻星盘之缓动螺旋，盖一动此螺旋即变更望远镜与水准器之关系，因而不能量测垂直轴之真正误差。如望远镜水平旋转 180° 后，水准气泡过偏一方，或第二星中天位置过于接近视场之边缘时，可动水平轴与望远镜间之缓动螺旋以调整之。此时望远镜与水准器一同转动，故视准轴之变动可现于水准气泡之读数内，并不影响结果。

有时在星正中天时未及观测,亦可于越过中天之后补行观测。但此时必须记录观测时之表面时,由观测表面时减去计算之中天表面时即为观测时该星之时角。知此时角亦可计算天顶距之改正,但此种情形应尽量避免之。

我国大地测量法式规定一等天文点之观测即用此法,至少观测十星对,分两晚以上举行。

第六目 纬度之化算

吾人实际所量测者为天顶距差($z_s - z_n$)。其值可分为三项:第一项为由目镜测微器量得之读数差,乘以测微器每分划之值。第二项为垂直轴之改正,亦即南北两方向水准气泡之差乘以水准器每分划之值。第三项为南北两方向蒙气差改正之差。

设 M_s 与 M_n 为南北两星中天时之测微器读数,以测微器之分划为单位, R 为测微器每分划之角值,则第一项为 $\frac{1}{2}(M_s - M_n)R$ 。

设 s_s 与 n_s 为观测南星时水准气泡南北两端之读数, s_n 与 n_n 为观测北星时水准气泡南北两端之读数。假定气泡之分划系零分划在中间,每分划之秒值为 d ,则垂直轴之改正应为 $+\frac{d}{4}\{(n_s + n_n) - (s_s + s_n)\}$ 。倘水准器之零分划系在物镜端,则垂直轴之改正应为 $+\frac{d}{4}\{(n_s - n_n) + (s_s - s_n)\}$ 。是为上述第二项之值。

第三项蒙气差之改正即为 $\frac{1}{2}(\gamma_s - \gamma_n)$ 。 γ_s 为南星方向之蒙气差改正, γ_n 为北星方向之蒙气差改正。

联合以上各项代入式(26)即得

$$\varphi = \frac{1}{2}(\delta_s + \delta_n) + \frac{1}{2}(M_s - M_n)R + \frac{d}{4}\{(n_s + n_n) - (s_s + s_n)\} + \frac{1}{2}(\gamma_s - \gamma_n) \quad (30)$$

将每对星观测之结果代入式(30)即可求得纬度。
其中第三项蒙气差改正可用最简单之蒙气差公式计算之。

$$\gamma = \alpha \tan z$$

α 在此可视为常数为 $57''.7$ 。因 $\gamma_s - \gamma_n$ 为一极小之改正,故可用微分公式:

$$\gamma_s - \gamma_n = \frac{d\gamma}{dz}(z_s - z_n) = \sec^2 z(z_s - z_n)$$

如 $z_s - z_n$ 系以分为单位,则上式可书作

$$\gamma_s - \gamma_n = 57.7'' \sec^2 z \frac{(z_s - z'_n)}{\rho'} \quad (31)$$

上式中之 $\rho' = 3438$, z 可用两天顶距之中数,或即为寻星盘之读数,无须过于精确。

每星对所得纬度值之精度泰半系于两星赤纬之精度。一般天文年历所列各星之赤纬精度多较高,而星表中所列较小之星之赤纬精度则一般较低。关于视赤纬之计算已于第五章第四节中论及。各星赤纬之或是误差可于星表中查得。如严格顾及此种误差,各对星所得之纬度结果不应取其算学平均值,而应给与不同之权。

由观测所得之纬度,系以观测时之北极位置为准。据多年观测之结果,北极位置有极小之过期性移动。故观测所得之纬度应化至北极之平均位置。此项改正最大可达 $0''.3$ 。

此外观测之纬度尚须化至海平面。按垂线之定义乃为垂直于水准面之线。地面附近之水准面并非等间距之平行面。一般而论纬度愈高则水准面之间愈小,故实际上垂线并非真正之直线而稍弯曲者。在纬度 45° 时弯曲最甚。故将地面上某高程所观测之纬度化至海平面,必须加此改正。其公式为

$$\Delta\varphi = -0.000171h \sin 2\varphi \quad (32)$$

其中 h 为观测站之海拔高程以公尺为单位。

以上两项改正,只有精密测定纬度达 $\pm 0''.1$ 时始顾及之,一般测定纬度中误差在 $\pm 1''$ 左右或更大时可不必要。

例 观测日期:1923年8月1日

仪器:子午仪,放大率 $86\times$,有两个赫瑞鲍水准管

目镜测微器分划值: $R = 79''.0743$

赫瑞鲍水准管之分划值：

第Ⅰ水准管： $d_I = 1''.36$

第Ⅱ水准管： $d_{II} = 1.27$

1. 观测记录：

波司星号	目镜在	水准管读数			目镜测微器读数	天顶距概值
			南	北		
4582 S	东	I	3.2	36.3	20.372 = M_s	17°00'
		II	52.0	85.5		
4623 N	西	I	3.2	36.5	11.794 = M_n	16°49'
		II	52.2	85.7		

2. 计算：

(1) 由星表查得两星之平位置后，加各项改正(包括章动短期项及周年光行差)，得视赤纬如下：

$$4582: \quad \delta_s = 30^\circ 33' 18''.83$$

$$4623: \quad \delta_n = 64 \ 22 \ 37.13$$

$$\frac{1}{2}(\delta_s + \delta_n) = 47 \ 27 \ 57.98$$

(2) 测微器读数改正：

$$\frac{1}{2}R(M_s - M_n) = \frac{79.074}{2} \frac{3}{2}(20.372 - 11.794)$$

$$\frac{1}{2}R(M_s - M_n) = +339''.16 = 5'39''.16$$

(3) 水准改正：

第一水准管

$$\begin{aligned} \frac{d}{4}\{(n_s - n_n) + (s_s - s_n)\} &= \frac{1''.36}{4}\{(36.3 - 36.5) + (3.2 - 3.2)\} \\ &= -0''.068 \end{aligned}$$

第二水准管

$$\frac{d}{4}\{(n_s - n_n) + (s_s - s_n)\} = \frac{1''.27}{4}\{(85.5 - 85.7) + (52.0 - 52.2)\} \\ = -0''.127$$

两水准管平均:水准改正 $= -0''.10$

(4) 蒙气差改正:

$$\frac{1}{2}(\gamma_s - \gamma_n) = \frac{1}{2}57.7'' \sec^2 z \frac{z_s - z_n}{\rho'} = \frac{1}{2} \times 57.7 \times (1.045)^2 \frac{109}{3\,438} \\ \frac{1}{2}(\gamma_s - \gamma_n) = +0''.10$$

(5) 纬度计算:

两星平均赤纬	$= 47^\circ 27' 57''.98$
测微器读数改正	$= + 5\,39.16$
水准改正	$= - 0.10$
蒙气差改正	$= + 0.10$
观测地点纬度	$= 47^\circ 33' 37''.14$ 北

第十二章 时刻与经度之测定

第一节 总 论

第四章中曾说明春分点之时角为地方恒星时,平太阳之时角 ± 12 小时为地方平太阳时。是以求地方时即等于测定春分点或平太阳之时角。惟春分点及平太阳乃天球上假想之点,实际观测又必藉恒星或视太阳之时角为助,即

$$\text{地方恒星时} = \text{恒星时角} + \text{恒星赤经} \quad (1)$$

$$\text{地方平太阳时} = \text{视太阳时角} - \text{时差} \pm 12 \text{ 小时} \quad (2)$$

故定时观测实即测定恒星或太阳之时角。

测定时刻,须精确记取观测时之表面时刻。如定时仅须达 ± 0.1 秒之精度,通常由观测天体之人发号,记录者读取表面时。或者由观测者用耳目法或止表法同时记时,如第八章第三节所述。此种记时方法通常可达0.1秒至0.2秒间之精度。若欲达较高之精度,须用记时仪。使用记时仪时可用手揷电钥法,即观测者见天体达到十字丝时,用手揷电钥,在记时仪上留一标记,其精度可在0.1秒以内,但仍不能免人差之影响,最精密之记时法系使用中星测微器,将于本章第七节中说明。此种方法可以减低人差之影响,而达0.05秒以内之精度。

计时表所示之时刻如为地方时,由观测结果照(1)和(2)式计算得正确之地方时后,与表面时刻比较,即得表差。尚计时表所示为标准时刻,则由观测结果计算得地方时后,必须知观测地点之经度,始能求得标准时之正确时刻,然后与表面时比较而得标准时之表差。

第十章中已经说明标准时或世界时可由收听无线电授时信号得

之。比较时号与表面时刻,即可得标准时之表差。已由无线电时号测定表差后,可将任一瞬间之表面时化为正确标准时。如再用定时观测方法测定地方时,二者比较,将可求得观测地点之经度。盖两地地方时之差即为两地之经度差也。

是以测定时刻之目的或为求定表差,或为求定经度。本章将时刻与经度之观测并列。

第二节 天体高度法

第一目 原理

天文三角形中如已知观测者纬度 φ , 天体之赤纬 δ , 再观测天体之高度 h , 即可计算天体之时角 t , 因而求得地方时。其基本关系可以第七章之式(13)表示之:

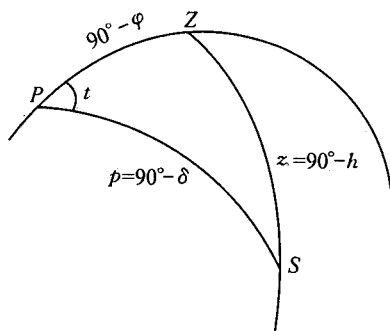


图 12-1 定位三角形

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t \quad (3)$$

在第十一章第一节论观测天体高度求定纬度时,曾根据上式列出高度角误差(dh)与时角误差(dt)及观测者纬度误差($d\varphi$)间之关系如下:

$$(d\varphi) = \sec A(dh) - \cos \varphi \tan A(dt)$$

此式亦可书为：

$$(dt) = \frac{1}{\cos \varphi \sin A} (dh) - \frac{1}{\cos \varphi \tan A} (d\varphi) \quad (4)$$

即可说明纬度误差 $(d\varphi)$ ，与观测高度角误差 (dh) 对于求定时角误差 (dt) 之影响。上式 (dh) ， $(d\varphi)$ 之系数均在方位角 $A=90^\circ$ 或 270° 时为最小，亦即欲使定时角测定之精度最高，所观测之天体宜极近于卯酉圈。如正在卯酉圈上观测，纬度概值虽极不精确，影响时角之结果亦极小。

由式(4)又可见， (dh) 与 $(d\varphi)$ 之系数当天体在东方时与在西方时其符号适相反。故如向东方及向西方观测同样次数(同一天体或不同天体均可)，则 (dh) 与 $(d\varphi)$ 之影响在其平均结果中大部可以消除。

由纬度 φ 及天体高度 h ，天体赤纬 δ 计算时角 t 时，式(3)不适于对数计算，应采用第七章之式(20)，即

$$\tan \frac{t}{2} = \sqrt{\frac{\cos s \sin(s-h)}{\cos(s-p) \sin(s-\varphi)}} \quad (5)$$

$$s = \frac{1}{2}(\varphi + h + p)$$

当 $\frac{t}{2}$ 近于 0° 或 180° 时采用第七章式(18)正弦半角公式亦可。当

$\frac{t}{2}$ 近于 90° 或 270° 时，采用第七章式(19)余弦半角公式亦可。

第二目 恒星高度法

前目已经阐明应用此法时须观测卯酉圈附近之恒星，并应在东西方各选一星。所观测恒星之高度角须在 15° 以上，俾蒙气差较为稳定，用普通经纬仪时，高度角超过 50° 即不易观测。一般观测时可径在天空中觅取适宜之星，由星图中确定其星名即可。所选之星不一定正在卯酉圈上，距卯酉圈 15° 以内之星均可观测。但为纬度概值甚不准确，则宜尽量使之在卯酉圈上。

当纬度甚低时，即观测地点近于赤道，即甚难选择适在卯酉圈上之星。但此时所观测之星虽距卯酉圈较远，定时之精度仍高，因式(4)中

$\cos \varphi$ 近于 1, (dh) 与 $(d\varphi)$ 之系数均较少。若在纬度较高地点, $\cos \varphi$ 甚小, (dh) 与 $(d\varphi)$ 之系数均较大, 必须选择在卯酉圈极近之星方可。在纬度极高之地点, 恒星虽在卯酉圈上, 其高度变化亦至小, 即不适于使用此法定时。

每星均应连续观测数次, 一半用正镜, 一半用倒镜, 以消除仪器误差。每次当恒星达到横丝, 即读取计时表之时刻。计算时可取数次高度角读数之平均值与记录时刻之平均值相当, 合并计算, 因天体在卯酉圈附近之周日运动路径为一直线。但如距卯酉圈较远, 或观测时间较长, 即宜分组计算。兹举实例于下:

例 测站 云南 呈贡

纬度概值 $\varphi = 25^\circ 54'$ 北 经度概值 $\lambda = 6^{\text{时}} 51^{\text{分}} 36.0^{\text{秒}}$ 东

观测日期 1940 年 12 月 7 日 气压 600 公厘水银柱

观测恒星 γ Orion (猎户座) 温度 19°C

求计时表 (地方平时) 之表差

1. 观测结果:

目标	位置	计时表时刻			天 顶 距							
					C			D		C 及 D 平均数		
		时	分	秒	°	'	″	'	″	°	'	″
	正	19	24	18	74	29	28.0		25.2	74	29	26.6
猎	倒	19	24	57	74	20	39.0		39.0	74	20	39.0
户	倒	19	25	31	74	12	48.0		47.8	74	12	47.9
座	正	19	26	3	74	5	26.0		27.0	74	5	26.5
		19	25	12.2				平均值		74	17	05

2. 计算:

(1) 高度角:

天顶距平均值 (根据记录簿) $= 74^\circ 17' 05''$

蒙气差, 气压, 温度改正 $= + 2' 35''$

$$\text{天顶距}(z) = 74^{\circ} 19' 40''$$

$$\text{高度角}(h) = 15^{\circ} 40' 20''$$

(2)极距:

$$\text{星之赤纬(查历)} = +6^{\circ} 17' 45''$$

$$\text{极距}(p) = \underline{83^{\circ} 42' 15''}$$

(3)地方平时 $0^{\text{时}}$ 之恒星时:

$$\text{格 } 0^{\text{时}} \text{ 之恒星时(查历)} = 5^{\text{时}} 01^{\text{分}} 26^{\text{秒}}.6$$

$$\text{经度改正}(9.8565 \times \text{经度}) = \underline{-1 \quad 07.6}$$

$$\text{地方平时 } 0^{\text{时}} \text{ 之恒星时} = 5 \quad 0 \quad 19.0$$

(4)计算时角:

$$h = 15^{\circ} 40' 20'' \quad \log \cos s = 9.669 \ 633 \ 5$$

$$\varphi = 24 \quad 54 \quad 00 \quad \log \sin(s-h) = 9.860 \ 317 \ 3$$

$$p = \underline{83 \quad 42 \quad 15} \quad \log \csc(s-\varphi) = 0.218 \ 151 \ 4$$

$$124 \quad 16 \quad 35 \quad \log \sec(s-p) = \underline{0.031 \ 519 \ 4}$$

$$s = 62 \quad 8 \quad 17.5 \quad 2 \quad \underline{9.779 \ 621 \ 6}$$

$$s-h = 46 \quad 27 \quad 57.5 \quad \log \tan \frac{t}{2} = 9.889 \ 8108$$

$$s-\varphi = 37 \quad 14 \quad 17.5 \quad \therefore \frac{t}{2} = 37^{\circ} 48' 29''.6$$

$$s-p = 21 \quad 33 \quad 57.5 \quad t = 75 \quad 36 \quad 59.2 = 5^{\text{时}} 2^{\text{分}} 27.9^{\text{秒}}$$

(5)表差计算:

$$\text{恒星时角} = 5^{\text{时}} 2^{\text{分}} 27.9^{\text{秒}}$$

$$\text{恒星赤经} = \underline{5 \quad 21 \ 59.0}$$

$$\text{观测时刻之地方恒星时} = 24 \ 19 \ 31.1$$

$$\text{地方 } 0^{\text{时}} \text{ 之恒星时} = \underline{5 \quad 01 \ 19}$$

$$\text{恒星时段} \quad 19 \ 18 \ 12.1$$

$$\text{化恒星时为平时之改正} \quad \underline{3 \ 9.8}$$

$$\text{观测时之地方平时} \quad 19 \ 15 \ 2.3$$

$$\text{记录表面时刻(平均值)} \quad \underline{19 \ 25 \ 12.2}$$

$$\text{表差(地方平时)} \quad -10 \ 9.9$$

倘欲求定者为计时表对标准时(陇蜀时东经 7^时)之表差,则须加地方经度与标准时经度之差(+8^分 24^秒.0),即

$$\text{表差(陇蜀时)} = -10^{\text{分}} 9.9^{\text{秒}} + 8^{\text{分}} 24^{\text{秒}}.0 = -1^{\text{分}} 45^{\text{秒}}.9$$

由此例可以看出:如观测地点经度概值不甚准确,对于求定地方平时之表差影响甚少。因上列计算中,仅在(3)求地方平时 0^时 之恒星时,计算经度改正时,需要经度概值。此概值如有 1^分 之误差,影响表不过 0.16^秒。但如欲求对标准时或世界时之表差,即必知经度之确值。盖经度误差将全部影响表差也。

第三目 太阳高度法

太阳赤纬有周期性之变化。秋分以后,春分以前,太阳位置在赤道之南,对于北半球之观测者而言,太阳不能在地平圈之上经过卯酉圈。即在春秋分前后,太阳经过卯酉圈时,其高度角亦甚低,不适于观测。故观测太阳以定时刻,不能一定等候其至卯酉纬极近之处,一般只要太阳位置距子午圈较远(视正午前后二三小时以外),高度适合,即可观测。然因此定时之精度遂较观测恒星为低,且纬度概值亦不可有较大之误差,否则影响结果不良。

观测太阳高度定时,宜在同日上午下午各观测一次。上下午在太阳达到约略对称位置时观测,其结果中数可以消除纬度概值及蒙气差误差之影响。观测时应用正倒镜各测太阳之上下缘若干次。如太阳距卯酉圈不过远,亦可取数次高度平均值与观测时刻平均值相对,合并计算。

兹举观测一组之计算实例于下:

例 测 站	上海同济大学	水准灵 敏 度	每次读数时水准气泡均置中	纬度	31°16'39".8
日 期	1951 年 3 月 29 日	计时表 号 数		经度	8 ^时 5 ^分 58 ^秒 .4
仪 器	威特经纬仪 No. 14196	温 度	17°C		
指差(i)	天顶距	正— 反+50"	气 压	733 公厘	

1. 观测记录:

目标	位置	计时表时刻			垂直度盘读数					天顶距		
		时	分	秒	°	'	"			°	'	"
							I	II	平均数			
α	正	16	37	22.5	70	42	10.8	10.8	10.8	70	42	10.8
β	正		40	37.2	71	55	8.9	9.1	9.0	71	55	09.0
α	反		43	29.3	288	01	39.0	39.6	39.3	71	58	20.7
β	反		45	50.0	286	59	50.8	51.1	51.1	73	00	09.0
		4	165	139.0					4	285	155	49.5
		16	41	49.8					天顶距平均数	=71	53	57.4

2. 计算:

(1) 高度角计算:

$$\begin{aligned}
 &\text{天顶距平均数(记录簿)} &&= 71^{\circ} \ 53' \ 57''.4 \\
 &\text{蒙气差} && (+) = \underline{\quad 2 \ 45.1 \quad} \\
 &&& 71 \ 56 \ 42.5 \\
 &\text{视差} && (-) = \underline{\quad \quad \quad 8.4 \quad} \\
 &\text{天顶距} && (z) = 71 \ 56 \ 34.1 \\
 &\text{高度角} && (h) \ 18 \ 3 \ 25.9
 \end{aligned}$$

(2) 观测时刻之平均值与格林尼治 0^时 之间隔:

$$\begin{aligned}
 &\text{观测时刻之平均值} &&= 16^{\text{h}} \ 41^{\text{m}} \ 49^{\text{s}}.8 \\
 &\text{经度差(西+ 东-)} &&= \underline{\quad 8 \quad} \\
 &\text{格林尼治平时} &&= 8 \ 41 \ 49.8 \\
 &0^{\text{时}} \text{以后之时间隔} &&= 0^{\text{h}}.362
 \end{aligned}$$

(3) 极距:

$$\begin{aligned}
 &\text{太阳赤纬}(0^{\text{时}}) &&= +2^{\circ} \ 58' \ 28''.8 \\
 &\text{内插计算改正} &&= + \underline{\quad 08 \ 29.5 \quad} \\
 &\text{观测时刻之赤纬}(\delta) &&= 3 \ 06 \ 58.3 \\
 &\text{极距}(p) &&= 86 \ 53 \ 01.7
 \end{aligned}$$

(4) 时差:

时差(0 ^时)	=	-0 ^h	05 ^m	10 ^s .20
内插计算改正	=	+		6.6
观测时刻之时差	=	-0	05	3.6

(5) 时刻计算:

	$s =$	68°	06′	33″.7
$h = 18^{\circ} \quad 03' \quad 25''.9$	$s - h =$	50	03	07.8
$\varphi = 31 \quad 16 \quad 39.8$	$s - \varphi =$	36	49	53.9
$p = 86 \quad 53 \quad 01.7$	$s - p =$	-18	46	28.0
$2s = 136 \quad 12 \quad 67.4$	验核 $[2s] =$	136°	12′	67″.4

$$\log \cos s = 9.571 \ 518 \ 0$$

$$\log \sin(s - h) = 9.884 \ 585 \ 4$$

$$\log \csc(s - \varphi) = 0.222 \ 235 \ 6$$

$$\log \sec(s - p) = 0.023 \ 745 \ 0$$

$$2 \log \tan \frac{t}{2} = 19.702 \ 084 \ 0 \quad \frac{t}{2} = 35^{\circ} \ 21' \ 40''.0$$

$$\log \tan \frac{t}{2} = 9.851 \ 042 \ 0 \quad t = 70^{\circ} \ 43' \ 20''.0$$

$$t(\text{以時計}) = 4^{\text{h}} \ 42^{\text{m}} \ 53^{\text{s}}.3$$

地方视时	=	16	42	53.3
时差(参考(4))	= -)	-0	05	03.6
地方平时	=	16	47	56.9
经度差(时数)	=		5	58.4
标准时	=	16	41	58.5
观测表面时刻之平均值	=	16	41	49.8
表差	=			+ 08.7

第三节 天体等高法

第一目 一恒星等高法

恒星在子午圈之两侧,必有两个相等高度的位置,且此两位置必与

子午圈对称。设恒星位于子午圈东越过某一高度时读取计时表上之恒星时 S_1 ，至该恒星行至子午圈之西，又达相等高度时再读取恒星时 S_2 ，于是 S_1 及 S_2 之平均数将等于恒星经过子午圈时之时表读数，而恒星经过子午圈时，恒星时即为该星之赤经 α ，故计时表表差等于：

$$\Delta S = \alpha - \frac{1}{2}(S_1 + S_2) \quad (6)$$

设时表所记者为标准时，当按第六章第三节所述之方法，先将恒星之赤经（即地方恒星时）换算为地方平时，再化成标准时 T ，于是得表差：

$$\Delta T = T - \frac{1}{2}(T_1 + T_2) \quad (7)$$

T_1 及 T_2 为时钟上读出之两读数。

用此方法时不必知观测地之纬度，且因不必量测高度角，故仪器之刻度误差、垂直轴误差以及蒙气差误差对于结果均无影响，为此法之优点。其缺点为两次观测中间之时间过长极不便利。且其间天气可能发生变化，时表日差之变化亦将影响成果，故实际应用较少。如用等高原理观测时，率用两个恒星等高法，详见本节第三目。

第二目 太阳等高法

由太阳在子午圈东西达相等高度时之时刻，算求其经过子午圈时之时刻，不若恒星之简单。因太阳赤纬变化较快，当太阳赤纬向北增加时，午后达到与午前等高之时刻较迟，赤纬减少则反是。故在子午圈东西观测太阳达等高度之时刻，两者相加折半后，并非太阳正位于子午圈上之时刻，必须改正。但此法有其优点，盖因不必量测高度角，所用仪器不必十分精密。最好望远镜内有多条横丝，俾可增加观测次数，以增加结果之精度。至各横丝间之距离则不必确知，以其对于计算时刻并无关系也。

观测时太阳之位置应尽可能在卯酉圈附近，或距子午圈甚远，因此时太阳高度变化最快，记取时刻可较精密。图 12-2 代表太阳在上下午等高时情形。 P 为北极， Z 为天顶， ZM 为子午圈， A 为太阳在子午圈东（即上午）达到此高度之位置，设其时角为 $-t$ 。若太阳赤纬无变化，

则在下午等高时太阳将位在 B 点, 其时角将为 $+t$ 。但实际太阳赤纬随时均在变化。如太阳自上午 A 点移至下午等高时其赤纬自 δ 变至 $\delta + \Delta\delta$ 。必俟太阳位在 C 点时方得与上午相等之高度, C 点之时角为 $t + \Delta t$ 。时角变化 Δt 与赤纬变化 $\Delta\delta$ 之微分关系可由定位三角形之一般公式(3)微分得之。设 h 为常数, 即得

$$\frac{dt}{d\delta} = \frac{\sin \varphi \cos \delta - \cos \varphi \sin \delta \cos t}{\cos \varphi \cos \delta \sin t} = \frac{\tan \varphi}{\sin t} - \frac{\tan \delta}{\tan t}$$

设 $\Delta\delta$ 以弧秒为单位, Δt 以时秒为单位, 则

$$\Delta t = \left(\frac{\tan \varphi}{\sin t} - \frac{\tan \delta}{\tan t} \right) \frac{\Delta\delta''}{15} \quad (8)$$

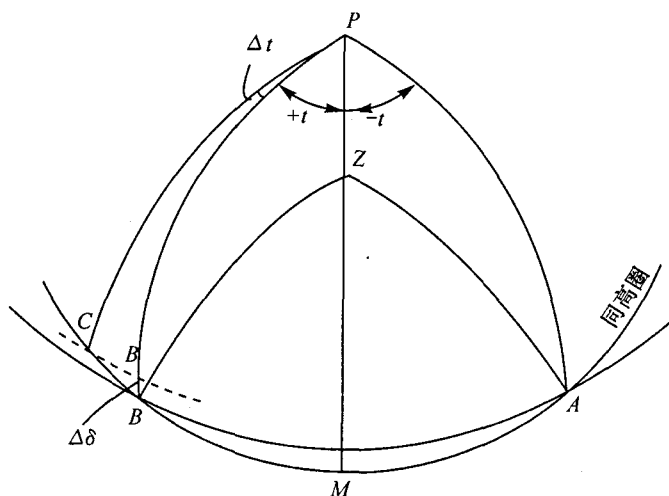


图 12-2 太阳等高法

兹命上下午太阳等高时之时表读数分别为 μ_1 及 μ_2 , 太阳赤纬每日 24 小时之变化可以在天文年历内查出, 命为 τ'' , 于是

$$\Delta\delta'' : \tau'' = (\mu_2 - \mu_1) : 24^{\text{时}}$$

故

$$\frac{\Delta\delta''}{15} = \frac{\tau''(\mu_2 - \mu_1)}{15 \times 24} = \frac{\tau''(\mu_2 - \mu_1)}{360}$$

其中 $(\mu_2 - \mu_1)$ 以小时为单位。代入式(8), 得

$$\Delta t = \left(\frac{\tan \varphi}{\sin t} - \frac{\tan \delta}{\tan t} \right) \frac{\tau''}{360} (\mu_2 - \mu_1) \quad (9)$$

式内时角 t 之概值为：

$$t = \frac{\mu_2 - \mu_1}{2}$$

今如将下午之观测归化至相当于上午观测时之太阳赤纬(δ)，须于 μ_2 内减去 Δt 数值，由是可得归化后之两个对称时刻：(1) 上午为 μ_1 ；(2) 下午为 $\mu_2 - \Delta t$ 。

而太阳中天之时表时刻为：

$$\mu_0 = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} - \frac{\Delta t}{2} \quad (10)$$

$\frac{\Delta t}{2}$ 名为日中改正数，兹以 m 表示之。由是得太阳中天之时表时刻：

$$\mu_0 = \frac{1}{2} (\mu_1 + \mu_2) + m \quad (11)$$

$$\text{其中 } m = - \left(\frac{\tan \varphi}{\sin t} - \frac{\tan \delta}{\tan t} \right) \frac{\tau''}{720} (\mu_2 - \mu_1) \quad (12)$$

上下午观测相隔至少数小时，其间蒙气差必有变化，因而影响等高。故较精密观测必须记录气温与气压，以便计算高度之变化。在仪器上如有较精密之水准管，亦应在每次观测时读气泡两端之分划，以验上下午间望远镜所指高度之变化。以上两项高度变化之和设为 Δh ，对时角之影响为 Δt ，则由第十一章式(2)知：

$$\cos h dh = -\cos \varphi \cos \delta \sin t dt$$

$$\text{故 } \Delta t = \frac{-\cos h}{\cos \varphi \cos \delta \sin t} \Delta h \quad (13)$$

将式(13)右方除以 15 化为时秒单位，即可照式(10)改正中天之时表时刻。

太阳中天时视地方时为 12^时，减时差化为平时，与由公式(11)所得中天之时表时刻相较，即为表差。兹举例说明之。

例 1906 年 5 月 15 日，在某地 $\varphi = 54^\circ 22' 20''$ ， $\lambda = 1^{\text{时}} 07^{\text{分}} 14^{\text{秒}}.5$ 东作太阳等高观测，当太阳上下两缘经过望远镜内三条横丝时读取计时表上之平太阳时。

1. 观测记录:

太阳位置	μ_1	μ_2	$\mu_1 + \mu_2$	$\mu_2 - \mu_1$ (近似)
σ	8 ^时 35 ^分 6 ^秒 .5	15 ^时 10 ^分 23 ^秒 .5	23 ^时 45 ^分 30 ^秒 .0	6 ^时 35 ^分
σ	37 17 .0	8 14 .0	31 .0	31
ρ	39 6 .0	6 25 .0	31 .0	27
σ	39 28 .0	6 3 .0	31 .0	27
ρ	41 18 .0	4 14 .0	32 .0	23
ρ	43 29 .0	2 2 .0	31 .0	19

平均数 23^时 45^分 31^秒.0 6^时 27^分

$$\frac{1}{2}(\mu_1 + \mu_2) = 11^{\text{时}} 52^{\text{分}} 45^{\text{秒}}.5 \quad \mu_2 - \mu_1 = 6^{\text{时}}.45$$

自天文年历内查得

$$1906 \text{ 年 } 5 \text{ 月 } 15 \text{ 日} \quad \delta = +18^\circ 42' 43''.6$$

$$16 \text{ 日} \quad \delta = +18 \quad 56 \quad 46.7$$

太阳之赤纬 δ 在一天内之变化为 $14'3''.1$, 故 $\tau'' = 843''.1$

2. 计算:

(1) 时差之计算:

$$\text{时差(格 } 12^{\text{时}}) = 3^{\text{分}} 50^{\text{秒}}.63$$

$$\text{校正} \left(-0^{\text{秒}}.91 \times \frac{124}{24} \right) = \underline{\hspace{1cm}}.047$$

$$\text{校正之时差} = 3 \quad 50 \quad .583$$

$$= 3^{\text{分}} 50^{\text{秒}}.6$$

(2) m 之计算(应用公式(12)):

$$-\log \tau = 2.925 \ 88(n) \quad +\log \tau = 2.925 \ 88$$

$$\log(1:720) = 7.142 \ 67 \quad \log(1:720) = 7.142 \ 67$$

$$\log(\mu_2 - \mu_1) = 0.809 \ 56 \quad \log(\mu_2 - \mu_1) = 0.809 \ 56$$

$$\log \tan \varphi = 0.144 \ 60 \quad \log \tan \delta = 9.535 \ 74$$

$$\begin{array}{rcl}
 \log \csc t & = & 0.126\ 44 \\
 1.149\ 15 & & \\
 -14^{\text{秒}}.10 & & \\
 \log \cot t & = & 9.948\ 84 \\
 0.362\ 69 & & \\
 +2^{\text{秒}}\ 31 & &
 \end{array}$$

$$\therefore m = -14.10 + 2.31 = -11^{\text{秒}}.8$$

(3) 表差之计算:

$$\begin{array}{rcl}
 \frac{1}{2}(\mu_1 + \mu_2) & = & 11^{\text{时}}\ 52^{\text{分}}\ 45^{\text{秒}}.5 \\
 m & = & -11.8 \\
 \text{太阳中天之时钟时刻} & \mu_0 = & 11\ 52\ 33.7 \\
 \text{太阳中天之视时} & = & 12\ 00\ 00 \\
 \text{时差} & = & -3\ 50.6 \\
 \text{太阳中天之平时} & = & 11\ 56\ 09.4 \\
 \text{太阳中天之时表时刻} & = & 11\ 52\ 33.7 \\
 \text{表差} & = & +3^{\text{分}}\ 35^{\text{秒}}.7
 \end{array}$$

第三目 两星等高法

应用同一恒星等高法定时,计算虽甚简单,但东西两次观测相隔时间甚久,其间仪器及蒙气差都可能有小变动,故结果不易精密。是以应用恒星等高法时,多观测东西两个恒星达到相等高度之时刻。此两恒星之赤纬必须相差甚少,赤经须差 6—8^时,俾达到等高时两星之位置与子午圈大概对称。

图 12-3 东南西北圈表示地平, Z 为天顶, P 为北极, E 为东方恒星, W 为西方恒星。 HEW 为等高圈。设 t_e 与 t_w 为东西两星达到此等高圈时之时角; S_e 与 S_w 为达到等高圈之地方恒星时;则

$$\left. \begin{array}{l} S_w = \alpha_w + t_w \\ S_e = \alpha_e + t_e \end{array} \right\} \quad (14)$$

平均上两数,得

$$S = \frac{\alpha_w + \alpha_e}{2} + \frac{t_w + t_e}{2} \quad (15)$$

由此式可知恒星时等于两星赤经之平均数,加以时角差折半之改

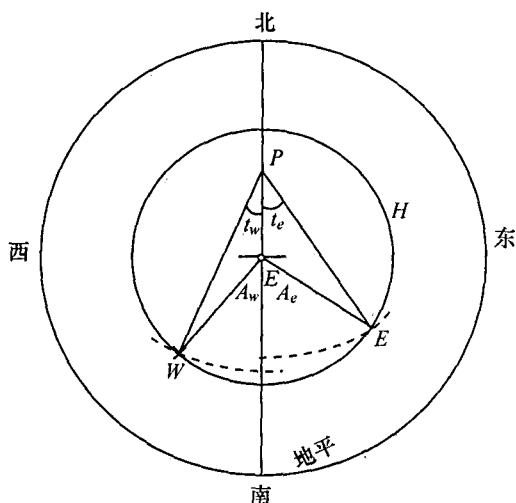


图 12-3 两星等高法

正。此项改正 $\frac{t_w - t_e}{2} = \frac{\Delta t}{2}$ 系由于东西星赤纬差 $\delta_w - \delta_e = \Delta \delta$ 之故, 其间关系已列于第二目式(8), 将式(8)代入式(15)即得

$$S = \frac{\alpha_w - \alpha_e}{2} + \frac{\delta_w - \delta_e}{2 \times 15} \left(\frac{\tan \varphi}{\sin t} - \frac{\tan \delta}{\tan t} \right) \quad (16)$$

式内 δ 可用 δ_e 及 δ_n 之平均数。 t 可用 t_w 及 t_e 之平均数。由式(14)得

$$t = \frac{\alpha_e - \alpha_w}{2} + \frac{S_w - S_e}{2} \quad (17)$$

选星时须先知拟观测时之地方恒星时, 加或减 3—4 小时, 即得可能观测东西两恒星之大概赤经。在此赤经范围内, 由天文年历选出东西各一星, 其赤纬须小于观测者之纬度, 二星赤纬相差须甚少(最好在 2° 以内)。由式(17)如命

$$\bar{t} = \frac{\alpha_e - \alpha_w}{2}$$

则此时角 $\bar{t}$ 为两星同时达到等高圈之平均时角。又由式(16)可计算两星达到等高时之地方恒星时, 亦即应举行观测之时刻。此时两星之高

度可用下法求之：

$$\sin \delta_e = n_e \sin N_e \quad (18)$$

$$\cos \delta_e \cos t_e = n_e \cos N_e \quad (19)$$

n_e, N_e 为两个辅助未知数。由上两式可解出 n_e 及 N_e ：

$$\tan N_e = \frac{\tan \delta_e}{\cos t_e} = \frac{\tan \delta_e}{\cos(S - \alpha_e)} \quad (20)$$

$$n_e = \frac{\sin \delta_e}{\sin N_e} \quad (21)$$

将式(18)、(19)代入第七章之式(13)，即定位三角形之一般公式，得

$$\sin h = n_e \cos(N_e - \varphi) \quad (22)$$

将(21)代入(22)，化为

$$\sin h = \frac{\sin \delta_e \cos(N_e - \varphi)}{\sin N_e} \quad (23)$$

h 为两星等高时恒星之高度，系由东方恒星之赤经 α_e 及赤纬 δ_e 用式(16)、(20)及(23)所计算者。同理亦可由西方恒星之赤经 α_w 及赤纬 δ_w 计算，所得高度应相同。

其次再求两星等高时之方位角。 A_e 与 A_w 可用第七章之式(15)求之，即

$$\sin A_e = \frac{\cos \delta_e \sin(S - \alpha_e)}{\cos h} \quad (24)$$

$$\sin A_w = \frac{\cos \delta_w \sin(S - \alpha_w)}{\cos h} \quad (25)$$

实际观测自不能在两星等高之时刻同时观测两星，故望远镜之高度角不应正放在由式(23)所求出之 h 值，而应稍高或稍低。稍高时则西方之星先到达此高度，稍低时则东方之星先达到此高度，如此可决定观测之次序。实际观测之高度不必与计算之 h 相差太多，只要能使两星达到此高度之间隔在数分钟左右即可。

计算时先用式(17)计算 t ，再用式(16)计算 S ，与记录两星经过等高圈之平均时刻比较，即得表差。

兹举观测实例于下：

例 地点 纬度 $42^{\circ}21'$ 北 经度 $4^{\text{时}}44^{\text{分}}18^{\text{秒}}$ 西

时间 1905 年 12 月 14 日

恒星	赤经	赤纬
α 海怪星(东)	2 ^时 57 ^分 22 ^秒 .1	+3° 43' 69".1
δ 天鹰星(西)	19 20 43 .6	+2 55 44 .0
平均数	23 09 02 .8	+3 19 56 .6
$\alpha_e - \alpha_w$	7 36 38 .5	2) -0 48 25 .1
$S_w - S_e$	= 4 13 .7	$\frac{\delta_w - \delta_e}{2} = -24' 12''.6$

$$2 \sqrt{7 \ 40 \ 52 \ .2} = -96^{\circ} .84$$

$$t = 3^{\text{时}} 50^{\text{分}} 26^{\text{秒}} .1$$

$$= 57^{\circ} 36' 31'' .5$$

表面时刻(西经 75°标准时)

$$T_e = 17^{\text{时}} 18^{\text{分}} 00^{\text{秒}}$$

$$T_w = 17 \ 22 \ 13$$

$$\text{平均} = 17 \ 20 \ 06.5$$

$$T_w - T_f = + \ 04 \ 13$$

化为恒星时即得

$$S_w - S_e = +4^{\text{分}} 13^{\text{秒}} .7$$

$$\log \frac{\delta_w - \delta_e}{2 \times 15} = 1.986 \ 1(n) \quad 1.986 \ 1(w)$$

$$\log \tan \varphi = 9.959 \ 8 \quad \log \tan \delta = 8.765 \ 0$$

$$\log \csc t = 0.073 \ 5 \quad \log \cot t = 9.802 \ 4$$

$$= 2.019 \ 4^{(n)} \quad 0.533 \ 5^{(n)}$$

$$-104.6^{\text{秒}} \quad -3.6^{\text{秒}}$$

$$\underline{-3.6}$$

$$\text{改正} = -101.0^{\text{秒}} = -1^{\text{分}} 41^{\text{秒}} .0$$

$$\text{平均赤经} = 23^{\text{时}} 09^{\text{分}} 02^{\text{秒}} .8$$

$$\text{改正} = \underline{- \ 01 \ 41 \ .0}$$

$$\text{恒星时} = 23 \ 07 \ 21 \ .8$$

$$\text{相当于此恒星时之地方平时} = 17^{\text{时}} 35^{\text{分}} 43^{\text{秒}} .4$$

经度差	=	15	42	.0
西经 75°标准时	=	17	20	01 .4
平均表面时刻	=	17	20	06 .5
表差	=			-5 ^秒 .1

第四节 天体中天时刻法

天体中天时其时角为 0° ，故按第一节式(1)或(2)，由赤经或时差即可求定地方时。欲观测天体中天时刻，必须先知子午圈之方向。将仪器视线置于子午平面内，俟天体经过竖丝时，记取表面时刻即得。测定子午方向之方法将于第十三章论之。

此法所能达到之精度与子午方向测定之精度及仪器误差校正之程度有极大关系。如观测时视线不正在子午平面内，天体经过竖丝之时刻即非其真正中天之时刻。而视线是否在子午平面内，一方面固决定于子午方向测定之误差(名为方位角差)，另一方面又决定于仪器有无视准轴差及水平轴倾斜误差。倘仪器有此两种误差存在，观测时高度角不同，其影响亦不同，故不能使视线永在子午平面内。

用普通经纬仪作中天时刻观测，每星仅能观测一次，不能分用正倒镜观测，故极不易消除上述各项误差。工作前必须将仪器慎重校正，使各误差趋于极小，至后始能获得较可靠之结果。欲期获得精密之结果，必须使用特为此法设计之仪器，名为子午仪，或名中星仪。将于下节详论之。本节所论则以使用普通经纬仪之精度为限。

观测太阳中天时刻，可观测其东西两缘经过望远镜竖丝之时刻，其平均数即为太阳中心中天之时刻。

观测恒星中天可达选择较多恒星，分别测其中天时刻，然后取各星测定地方时之平均数，结果较为精密。选星时首须决定观测之大概时刻，将其换算为地方恒星时。凡恒星赤经与之相近者，即在该时前后中天。在天文年历内恒星位置表系依赤经次序排列，故依次选星极为便利。所选之星以在赤道附近周日运动较速者为宜。用普通经纬仪观测，宜尽量选较明亮之星，并须使其中天时之天顶距适于观测(高度角

在 15° 至 50° 之间)。恒星中天时之天顶距可按第七章式(26) $z = \varphi - \delta$ 计算之。倘子午方位差较大,应选测近于天顶中天之星。倘仪器误差较大,则应选测近于地平之星。

选得适宜观测之星可在观测前列成一表,注明星名、星等、赤经(或中天时刻)及天顶距(或高度角)。各星中天时刻应有适当间隔,使观测者有从容安放垂直度盘之时间。

观测时须将经纬仪视线置于子午平面内,并将水平轴仔细置平,有跨水准者可使用跨水准。在每一恒星中天之前,应按选星表所列之天顶距或高度角,安放垂直盘读数,然后静候该星进入视场。俟该星到达竖丝时,记录表面时刻。

恒星中天时其视赤经即为地方恒星时。可将地方恒星时换算为地方平时或标准时。与记录之中天表面时刻相比较,即得表差。

倘所观测为太阳之中天时刻,可由视正午换算为地方平时或标准时,因而求定表差。

兹举太阳中天时刻观测之例于下:

例 日期 1931 年 5 月 18 日

地点 北京清华大学(东经 $7^{\text{时}} 45^{\text{分}} 34^{\text{秒}}$)

1. 太阳中天表面时:

太阳西缘	$= 12^{\text{时}} 8^{\text{分}} 34^{\text{秒}}$
太阳东缘	$= 12 \quad 10 \quad 51$
平均	$= 12 \quad 9 \quad 42.5$

2. 表差计算:

地方视正午	$= 12^{\text{时}} 00^{\text{分}} 00^{\text{秒}}$
一时差	$= - \quad 3 \quad 45$
地方平时	$= 11 \quad 56 \quad 15$
经度差	$14 \quad 26$
中原时	$= 12 \quad 10 \quad 41$
平均表面时	$= 12 \quad 9 \quad 42.5$
表差	$= + \quad 0^{\text{分}} 58^{\text{秒}}.5$

第五节 子午仪中天观测法

第一目 子午仪

• 第四节所述之恒星中天时刻法,在更精确之测定时宜用子午仪。其主要部分为一水平轴,轴上装一望远镜,与经纬仪之上部类似。但水平轴系放于一固定之支架上,并无垂直轴与度盘。支架有三脚各有一脚螺旋,作置平之用。支架仅可作甚小之转动,备将视线置于子午平面角之用。

图 12-4 示一子午仪之形状。望远镜系折轴形,水平轴为中坚之圆柱。在望远镜与水平轴相交处折轴内有一直角反光棱镜,将望远镜之光线折向水平轴之一端。即在该端装一目镜测微器,名为中星测微器,又名超人差测微器,此测微器即用以观测恒星中天者。其中有一游丝。观测者两手持螺旋转动使游丝随星光移动,永远平分之。如此则星光行经视场内若干固定点时,即由电路之通断而自动将其时间记录于记时仪上。视场游丝之照明系在水平轴另一端置一灯光,透过望远镜反光直角棱镜之中心小洞,经由一相反之透光棱镜而达于测微器之视场。如测求水平轴之倾斜,在水平轴上挂一挂水准与跨水准之用同,但较跨水准稳定。其灵敏度多为每 2 公厘相当于 $1''$ 或 $2''$ 。

子午仪亦可倒镜,但不用旋转望远镜之方法,而用一反转器将水平轴易位。扳起底盘前之一杆形柄,即可将水平轴由支架上抬起,然后使水平轴东西易位(悬水准与测微器亦随之易位),复将杆形柄放下,水平轴即落于支架之上。

水平轴上尚有一极小之垂直度盘,名为寻星度盘用游标读数。与游标相连有一小水准器。按照观测站之纬度即星之赤纬,计算该星中天时之高度或天顶距,移动游标将该数置于寻星度盘上($1'$ 或 $2'$ 之精度即可)。然后转动望远镜至寻星度盘水准气泡在中间时,望远镜即指向星之方向。观测中天时为消除仪器误差,通常俟恒星行至近于视场中间时即将水平轴易位。如此在水平轴易位前后可各记录若干次数,其

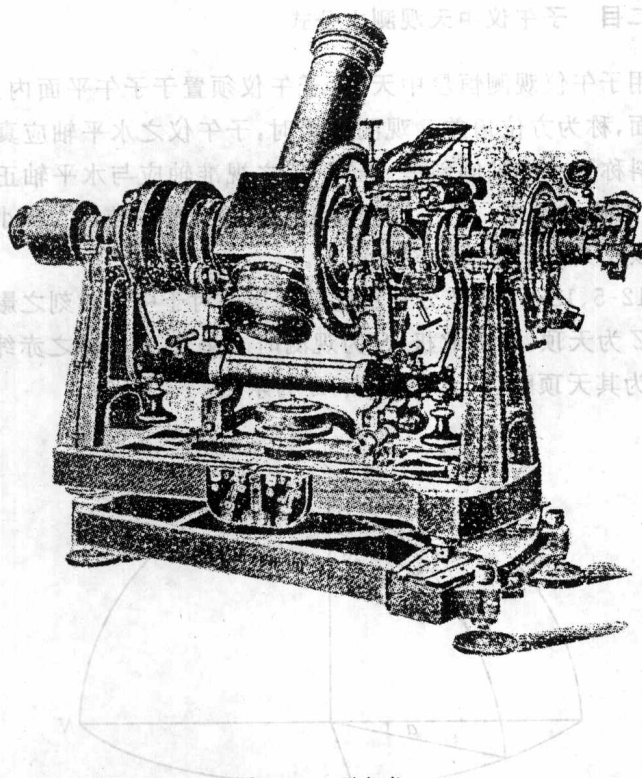


图 12-4 子午仪

相当值之平均数即为真正中天时间。按照此法观测水平轴易位所需时间必使之极短。故在开始之前先将望远镜对好星之方向后,在观测之前即将寻星度盘放于易位后之读数,俟易位后立即可使望远镜对准星之方向。

旧式子午仪多为直筒望远镜,星之高度不同,目镜亦必须随之上下,观测极不方便。旧式子午仪亦无测微器而于视场内十余条垂丝。每俟星位行至一垂丝时即手按电钥而将时间记于记时仪上。观测精度不如测微器,且受人差之影响。

新式子午仪多装有赫尔鲍水准器,故亦可作天顶仪用。关于天顶仪已详见第十一章第五节。

第二目 子午仪中天观测之公式

应用子午仪观测恒星中天时,子午仪须置于子午平面内。如偏出子午平面,称为方位角差。观测中天时,子午仪之水平轴应真正水平,如有倾斜称为水平轴倾斜差。子午仪之视准轴应与水平轴正交,如不正交,称为视准轴差。子午仪应校正至上述三种误差均为极小,但观测时仍应顾及其对于中天时刻之影响。

图 12-5、12-6、12-7 分别示此三种误差对于中天时刻之影响,三图中均以 Z 为天顶, P 为北极, S 为观测时之星位, δ 为星之赤纬, h 为其高度, z 为其天顶距,又 N 为北点, E 为东点。

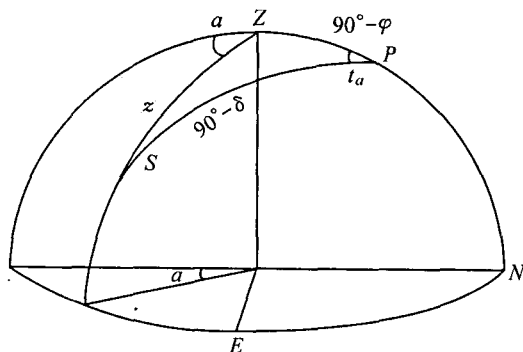


图 12-5

方位角差 图 12-5 ZS 为子午仪望远镜旋转平面与天球相交之圆弧,与子午平面成一小角 a ,此角名为方位角差。当望远镜向北时偏西,向南时偏东,命 a 为正,反之为负。当 a 为正时,观测恒星上中天之时较真上中天时为早,故所得之中天时刻应加时角 t_a ,如图 12-5 所示。由图中之 PZS 三角形

$$\frac{\sin t_a}{\sin(180^\circ - a)} = \frac{\sin z}{\sin(90^\circ - \delta)}$$

t_a 与 a 均为小角, 又 $z = \varphi - \delta$, 故上中天时

$$t_a = a \sin(\varphi - \delta) \sec \delta \quad (26)$$

如恒星之 δ 大于纬度 φ , 即该星在天顶之北中天, 由图可以推想 t_a 必为负数。由式(26) $\sin(\varphi - \delta)$ 亦为负数。故式(26)仍适用。

如恒星为下中天, 即 S 在北极 P 之下中天, 此时恒星行动之方向系由西而东。故当 a 为正时, t_a 仍为正。但此时 z 不等于 $\varphi - \delta$, 而为 $180^\circ - (\varphi + \delta)$, 故式(26)中之 $\sin(\varphi - \delta)$ 应易为 $\sin(\varphi + \delta)$, 即下中天时,

$$t_a = a \sin(\varphi + \delta) \sec \delta \quad (26)^*$$

水平轴倾斜差 图 12-6 示水平轴倾斜差之影响。倾斜差为 b , 西端高时为正, 反之为负。 b 为正时, 观测之上中天时刻应加时角 t_b 为改正, 通过 ESW 作一大圆与子午圈正交于 M 。GMS 为一直角三角形, 故

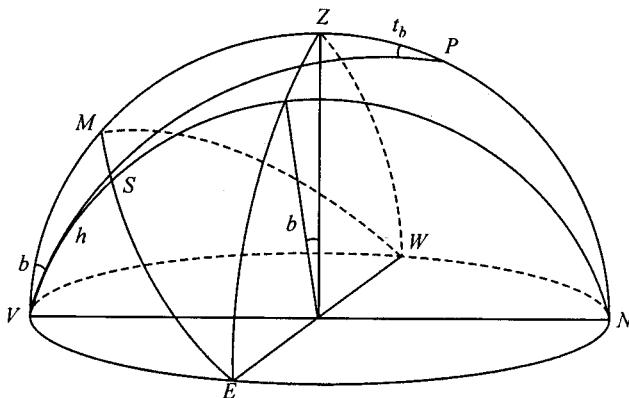


图 12-6

$$\sin MS = \sin h \sin b$$

再由 PMS 直角三角形, $PS = 90^\circ - \delta$, 故

$$\sin MS = \sin(90^\circ - \delta) \sin t_b$$

联合两式, 并注意 b 与 t_b 均为小角, 于是得上中天时

$$t_h = b \sin h \sec \delta = b \cos(\varphi - \delta) \sec \delta \quad (27)$$

如恒星在天顶之北中天, 上式仍可适用, 因 $\cos(\varphi - \delta) = \cos(\delta - \varphi)$ 也。如恒星为下中天, 则 $h = \varphi - p = (\varphi + \delta) - 90^\circ$, 故 $\sin h$ 应作 $-\cos(\varphi + \delta)$, 但此时由于星之行动方向系由西而东, 故 t_b 亦为负数, 两相抵消, 于是下中天时之改正为

$$t_b = b \cos(\varphi + \delta) \sec \delta \quad (27)^*$$

视准轴差 图 12-7 中之 c 为视准轴差, 视准轴差之符号随倒镜而改变。在天文观测中吾人以垂直度盘(或其制动螺旋)在西时为正镜, 在东时为倒镜。故正镜称为盘西, 倒镜称为盘东。当盘西视准轴偏东时命 c 为正, 反之则为负。由图 12-7 之 PMS 三角形可得

$$\sin c = \sin(90^\circ - \delta) \sin t_c$$

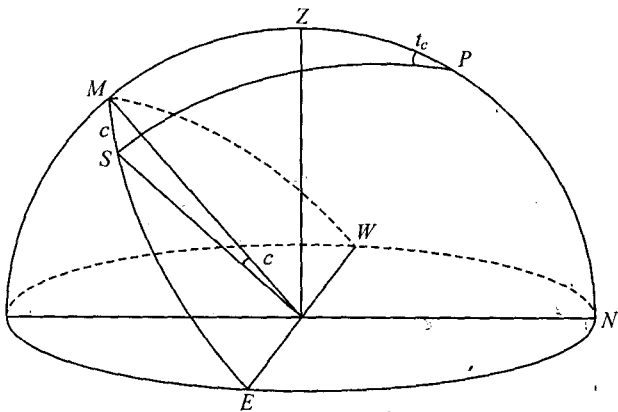


图 12-7

c 及 t_c 均为小角,故盘西上中天时或盘东下中天时

$$t_c = c \sec \delta \quad (28)$$

盘东上中天或盘西下中天时则为

$$t_c = -c \sec \delta \quad (28)^*$$

联合上述三种改正,命记录之中天表时为 t ,改正后之表时为 T ,则可得下列公式:

$$\text{上中天: } T=t+a \sin(\varphi-\delta) \sec \delta+b \cos(\varphi-\delta) \sec \delta \pm c \sec \delta \quad (29)$$

$$\text{下中天: } T=t+a \sin(\varphi+\delta) \sec \delta+b \cos(\varphi+\delta) \sec \delta \mp c \sec \delta \quad (29)^*$$

以上两式名为梅耶(Mayer's)公式,系梅氏于 1756 年列出者。

命上两式中 a, b, c 之系数为 A, B, C 则

$$\left. \begin{array}{ll} \text{上中天:} & \text{下中天:} \\ A=\sin(\varphi-\delta) \sec \delta & A=\sin(\varphi+\delta) \sec \delta \\ B=\cos(\varphi-\delta) \sec \delta & B=\cos(\varphi+\delta) \sec \delta \\ C=\pm \sec \delta \begin{cases} + \text{盘西} \\ - \text{盘东} \end{cases} & C=\mp \sec \delta \begin{cases} - \text{盘西} \\ + \text{盘东} \end{cases} \end{array} \right\} \quad (30)$$

于是式(29)及(29)*可简化为

$$T=t+a \cdot A+b \cdot B+c \cdot C \quad (31)$$

此为改正中天表时之基本公式。作时之测定时全作上中天观测,下中天观测仅为求子午仪之方位角差。由上中天之 A, B 两系数,可见当恒星在天顶左近中天时,方位角差影响趋于零,反之,当恒星之天顶距较大时,则水平轴倾斜差影响较小。

第三目 接触条宽、周日光行差及计时表日差之改正

前已述及应用中星测微器测时,系旋转测微器螺旋使游丝永远平分星光。当螺旋转至若干固定位置时,即由电路之通断而自动记录其时间。盖与测微器螺旋相连有一弹簧片,随时与其周围一环相接触,此环系用不通电流之玛瑙制成,其中镶有十条距离大约相等之白金接触条。当弹簧片与白金条接触时电流即通,而将时刻记录于计时仪上。但盘西盘东观测螺旋转动之方向适相反,而白金条又有一宽度,故盘东盘西所记时间有一系统误差。吾人应将每次观测化为相当于白金条中间之时刻。设白金条之宽度为 w ,以时秒计,则每次记录时刻均过早 $\frac{1}{2}w$ 。此误差与前述之视准轴差相同,故对于观测时刻之影响为 $\frac{1}{2}w \sec \delta$ 。与白金条宽改正同时尚有测微器螺旋之齿隙改正,设齿隙

为 l , 以时秒计, 其改正遂为 $\frac{1}{2}l \sec \delta$ 。

白金条宽及齿隙均可用测微器之读数求之, 缓缓旋动测微螺旋, 先向一方向再向相反方向, 两次与白金条接触时之测微器读数差即为白金条宽。其次用游丝对准一固定丝, 一次将螺旋左转, 另一次右转, 两次读数之差即为齿隙。至于测微器读数每分划之时秒值, 则可观测一距北极较近之星, 而求每分划相当之恒星移动时秒, 然后乘以恒星赤纬之余弦 $\cos \delta$ 即得。

关于子午平面内星体之周日光行差已见于第三章第五节之式(4)。但彼处 α 为真方向与视方向之差, 今如求此方向差对于中天时刻之影响, 必须将其乘以 $\sec \delta$ 化至赤道平面内, 并将 0.319 化为时秒 (0.021^秒)。因此式亦有 $\sec \delta = C$ 一项, 且 $\cos \varphi$ 为一常数, 故可与白金条宽及齿隙改正合并计算, 成为

$$t_d = \left(\frac{1}{2}w + \frac{1}{2}l \mp 0.021^{\text{秒}} \cos \varphi \right) C \begin{cases} - \text{上中天} \\ + \text{下中天} \end{cases} \quad (32)$$

此外计时表如有日差亦必改正。将所读之时化至某一固定时刻, 而将此固定时刻至观测时刻间之日差改正计出。设日差以时秒计为 r , 固定时刻以小时计为 t_0 , 观测时刻以小时计为 t , 则日差改正 R 为:

$$R = \frac{r}{24}(t - t_0) \quad (33)$$

今设所观测恒星之赤经为 α , 化至视准轴中天时刻之计时表读数为 t (恒星时), 时表改正为 ΔT , 则顾及式(31)、(32)、(33)之关系, 可得

$$\alpha = t + \Delta T + a \cdot A + b \cdot B + c \cdot C + t_d + R \quad (34)$$

于是时表改正之公式为

$$\Delta T = (\alpha - t) - a \cdot A - b \cdot B - c \cdot C - t_d - R \quad (35)$$

第四目 子午仪差之测定

前述三项子午仪均可测定。视准轴差可用普通经纬仪相同之方法测定, 但所用目标相当远, 在数公里以外。较佳之方法为观测一近极星

之中天。一半用盘西位置,一半用盘东位置。分别将两次结果化算至中丝之位置。如两次所得之中天时间不同,即有视准轴差存在。两次中天时刻之差(上中天时盘东减盘西,下中天时盘西减盘东)为 $2 C \sec \delta$,除以 $2 \sec \delta$ (δ 为近极星之赤纬),即得视准差 C 。观测时如每星均用盘西盘东两位置,其中数即已将视准差消除。

水平轴倾斜差可用跨水准或挂水准直接量测之,新式子午仪多用挂水准,不易调头。但如每星观测均用盘西盘东两位置,而每次均读挂水准读数,则水准轴倾斜差可由两次读数求之。

设水准器上之刻划 0 在中间,向东西两方计数,每分划之值为 d'' 。在盘西时气泡两端读数为 w (西)与 e (东);在盘东时气泡两端读数为 w' (西)与 e' (东),则水平轴倾斜差 b 为

$$b = \frac{d''}{2} \left\{ \frac{1}{2}(w - e) + \frac{1}{2}(w' - e') \right\} = \frac{d}{4} \{ (w + w') - (e + e') \}$$

此时 d 值之单位为弧秒,故上式 b 亦为弧秒。如变成时秒应再以 15 除之。故以时秒为单位之 b 式为

$$b = \frac{d''}{60} \{ (w + w') - (e + e') \} \quad (36)$$

倘水准器上之刻划系 0 在一端,向另端连续计数,则 b 之公式应为

$$b = \frac{d''}{60} \{ (w - w') + (e - e') \} \quad (37)$$

w 及 e 为 0 分划在东端时之读数, w' 及 e' 为 0 分划在西端时之读数。式(36)及(37)所得 b 为正数时,水平轴之西端高, b 为负数时,水平轴之东端高,其次再论方位角差之测定。前目式(35)中如命

$$\delta t = (\alpha - t) - b \cdot B - c \cdot C - t_d - R \quad (38)$$

则可化为

$$\Delta T = \delta t - a \cdot A$$

δt 之值可由 α, t_d, R , 及量得之水平轴倾斜差 b 求之, c 则可由盘西盘东之平均数抵消。故 δt 为已知。今如观测两星即得两式:

$$\Delta T = \delta t - a \cdot A$$

$$\Delta T = \delta t' - a \cdot A'$$

消去 ΔT , 可得方位角差 a 之公式为

$$a = \frac{\delta t - \delta t'}{A - A'} \quad (39)$$

欲使求得 a 之精度高必须 A 与 A' 相差甚多。由式(30) A 之公式可知,如选两星均在北极附近,其一为上中天,另一为下中天,则上中天时 A 为负值,下中天时 A 为正值。由此可使 $A - A'$ 相差甚大。故测定方位角差时即选两近极之星,其赤经相差近于 $\pm 12^{\text{时}}$,此种星名为方位角星,由此两星之中天时间即可依式(39)计算方位角差 a 。通常于定时观测时每组均选三个方位角星,由三个方位角星可得两个 a 值,取其平均数即作为化算该组方位角改正之用。

如每组仅选一个方位角星(上下中天均可)则由该星与其他时星联合,亦可求得方位角差。因方位角星之 A 系数大于时星(δh)之 A 系数甚多,式(39)仍可用。但不如前法之结果精密。

第五目 选星

中天定时有两种观测方法:一种方法为每星均用两位置观测,观测一半时(尚未中天)将水平轴易位。另一种方法为每星仅观测一位置。每组如观测十星,则五星用盘西观测,五星用盘东观测。观测之方法不同,选星之程序遂亦稍异。但一般原则仍相同,兹概论如下:

定时刻观测之星可分为两种:一为时星,即近于赤道之星,其视动速度较快,因而定时精度可较高。另一种为方位角星,即近于北极之星(如在南半球观测即为近南极之星),其视动速度较慢,对于定时不甚适宜,但由于近极星之方位角系数 A 较大,对于决定方位角差最为适宜,故观测此种星之目的完全为求方位角差 a (见第四目)。

如每星均用两位置观测,则每组常选两个至三个方位角星,专为求方位角差之用。另选八个至十个时星,则系为定时之用。如每星仅观测一个位置,则每组应分为两个半组。每个半组观测一个方位角星及五个至七个时星。亦有不观测方位角星者,即每个半组选六个时星,一半在天顶之北中天,另一半在天顶之南中天。天顶北者其方位角差系数 A 为负,天顶南者其方位角差系数为正,由此亦可求定方位角差 a ,但精度稍逊。

关于时星之选择,普通以使之近于赤道为佳,有规定其赤纬 δ 须在 $\pm 20^\circ$ 范围以内者。如不观测方位角星时,则亦有规定每组(或每个半组)各星方位角系数 A 之和须近于零,如此可使方位角差之影响趋于抵消。

选星之前先将拟定观测之时间化为约略之地方恒星时,即由赤经等于开始观测之地方恒星时之星开始,自天文年历中依次选择。连续观测两星之赤经须相差在 4 时分左右,俾有从容时间放置寻星盘读数及读挂水准。每组观测以能在一小时内测毕为原则。选星时方位角星与时星不必分开,其先后次序完全无关系。为避免观测时有何意外阻碍,每组可选出较规定星数为多之星,俾免观测时临时补选。

选定之星应列成一表,注明星名、星等、赤经、赤纬,并计算其天顶距,以及寻星盘上盘西盘东之应有读数。有时将各星之系数 A, B, C 一并列入。

第六目 观测工作

观测之前应作准备工作。首先将子午仪安放于观测台上。应用脚螺旋使之水平(底盘上有水准器),并须使其视准轴大致于子午平面内。为达到此目的,可用逐渐接近之方法。先推测计时表之改正数概值,再观测一近极星之中天。于表面时上加时表改正数等于接近极星之赤纬时将望远镜中丝(如为测微器之游丝时须将之置于中间)正对该星。其次再观测一在天顶中天之星或两个极近天顶中天之星,一在天顶之南,一在天顶之北,求定较为可靠之时表改正数。盖天顶中天之星其方位角影响为零也。然后再重复上述方法观测一近极星以决定子午平面。如此可使子午仪之方位角差在 1 时秒以内。除此之外尚须试验记时仪、测微器、记时表之电路,联接是否完满。

观测一星之前先将其天顶距安置于寻星盘上。转动望远镜使寻星盘上之水准器气泡在中间,此时望远镜即指向星之中天方向。如须在观测一半时将水准轴易位,须即时将易位后之寻星盘位置放好,俾减少易位所需之时间。在星未进入望远镜之前先读挂水准(或跨水准)读数。在中天表时前约一分钟即在目镜测微器内等候星入视场。将游丝

移至适当位置,俟星达到该位置即转动测微螺旋,使游丝随星前进,永远将其平分。转动测微螺旋时须用两手,稳定旋转速度,不使游丝忽前忽后。观测之精度与转动测微螺旋之技术有极大之关系。经过数次练习即可使转动速度稳定。如每星观测两位置,则第一位置仅观测不及一半,当星尚未到中天之前,即将水平轴易位,不动游丝位置,此时在望远镜内星之行动方向与第一位置相反。俟星达到易位前游丝停止处,即再转动测微螺旋,使游丝随星而行如前。普通观测时每位置均使测微螺旋转动两周,即有二十次接触与记录。第二位置观测完毕,再读挂水准读数。然后再如上准备观测第二星。第二星之观测即以第二位置开始。

倘每星仅观测一位置,则在观测中间水平轴不易位。观测一星完毕须将跨水准易位,以求水平轴差。其余与前相同。

第七目 表差计算

记时仪上之记录,可将各次接触之时刻与计时表之秒位比较而得一串读数。如每星观测一位置,每次接触时刻均须化算至视准轴之中天时间而得一平均数,作为该星观测之中天时刻 t ,此中天时刻尚受视准轴差之影响。如每星观测两位置,则以两位置中每个相当之接触时刻平均,即得一串化算为中间之中天时刻,其平均数亦以 t 表之。但此时 t 已消去视准轴差之影响。

以下计算完全根据式(34)或(36)。在每星观测两位置时式(36)中之 $c \cdot C$ 已消除, b 可由挂水准读数按式(38)计算之, a 亦可由方位角星之结果按式(40)计算之。放每个时星均可按式(36)得一 ΔT 值,各星平均之 ΔT 值即为求得之计时表表差。

倘应用每星观测一位置之方法, b 及 $b \cdot B$ 之算法同前,但式(36)中之 $a \cdot A$ 与 $c \cdot C$ 两项均仍存在。此时可用最小二乘法以 a, c 及 ΔT 为未知数,求其最或是值。亦可联合时星之观测公式,分为数群,如以盘西观测天顶以南之星为第一群,合成为一式;天顶以北者为第二群,亦合并为一式。盘东观测同样亦分为二群。于是共有四个观测方程式。设 a_w 为盘西之方位角差, a_e 为盘东之方位角差,则以 a_e, a_w, C 及 ΔT 为四个未知数,解四个联立方程式以求之。 a_w 与 a_e 一般

均应相等。但如水平轴之支枢不等,则亦可稍有不同。

第八目 观测计算举例

在北纬 $53^{\circ}03'$ 地方于 1935 年 6 月 30 日用子午仪观测定时。共观测时星 10 个,方位角星 3 个(两个上中天,一个下中天)。记录时刻使用中星测微器。每星在观测中间,将水平轴易位,故视准轴差 c 在平均观测时刻内已经消除无须改正。

白金条宽经测得为 $w=0.0462''$,齿隙 $l=0$,周日光行差改正系数为 $0.021 \cos \varphi=0.0128''$ 。按第三目式(32)

$$t_d = \left(\frac{1}{2} \times 0.0462 + 0 \mp 0.0128 \right) C = \begin{matrix} -0.0103C \text{ 上中天} \\ +0.0359C \text{ 下中天} \end{matrix}$$

又计时表日差为 $r = +0^{\text{秒}}.77$,即每小时日差改正为 $\frac{r}{24} = +0^{\text{秒}}.032$,根据式(33)以 $t_0 = 17^{\text{时}}24^{\text{分}}.0$ 为准,可计算日差改正 R 。

1. 观测结果:

次序	星 名	记录中天时刻 μ	水平轴倾 斜差 b	恒星赤纬 δ	A	B	C
1	19 Ursae Min.	16 12 36.098	-0.42	$+76^{\circ}02'$	-1.618		
2	σ Herculis	16 32 0.787	-1.48	+42 34			
3	η Herculis	16 40 40.551	-1.08	+39 03			
4	e Herculis	16 57 48.943	-1.02	+31 01			
5	Grb. 2415	17 5 39.883	-0.85	+40 36			
6	19 H Camelop*	17 11 53.238	-0.92	+79 10	+3.941		
7	χ Herculis	17 25 0.941	-0.90	+48 19			
8	μ Herculis	17 43 55.798	-0.85	+27 45			
9	δ Ursae Min.	17 52 54.973	-0.15	+86 37	-9.370		
10	$\circ$ Herculis	18 5 1.279	-0.70	+28 45			
11	Grb. 2533	18 13 37.783	-0.05	+42 08			
12	109 Herculis	18 20 56.781	+0.05	+21 44			
13	α Lyrae	18 34 44.671	+0.50	+38 43			

* 下中天

2. 计算:

(1) 计算方位角差 a : 上列观测结果中第 1, 6, 9 星为方位角星; 其中第 6 星为下中天观测。兹根据观测结果照式(38)计算 δt 如下:

次序	星 名	赤 经 α	$\alpha-t$	$-b.B$	$-t_d$	$-R$	δt
1	19 Ursae Min.	16 ^h 12 ^m 42 ^s .545	+6.447	+0.109	-0.043	+0.046	+6.559
6	19 H. Camelop	5 11 49.388	-3.850	-0.224	-0.191	+0.008	-4.257
9	5 Ursae Min.	17 53 17.164	+22.191	+0.143	-0.174	-0.011	+22.149

根据上表之 δt 及观测结果表后所附之 A 值, 可按式(39)计算, 方位角差 a 如下:

$$\text{由第 1 及 6 两星得 } a = \frac{+6.559 + 4.257}{-1.618 - 3.941} = -1^{\text{秒}}.945$$

$$\text{由第 6 及 9 两星得 } a = \frac{-4.257 - 22.149}{+3.941 + 9.370} = -1^{\text{秒}}.984$$

$$\text{平均 } a = -1^{\text{秒}}.965$$

(2) 计算表差: 按照式(35)可列下表求表差 ΔT 。

次序	星 名	赤经 α	$\alpha-t$	$-a.A$	$-b.B$	$-t_d$	$-R$	ΔT
2	σ Herculis	16 32 3.575	+2.738	+0.485	+0.133	-0.017	+0.035	+3.424
3	η ..	16 40 43.225	+2.674	+0.613	+0.090	-0.014	+0.031	+3.394
4	e ..	16 57 51.405	+2.462	+0.861	+0.074	-0.012	+0.020	+3.405
5	Grb. 2415	17 5 42.679	+2.796	+0.558	+0.073	-0.013	+0.016	+3.430
7	χ Herculis	17 25 4.013	+3.072	+0.244	+0.090	-0.016	+0.005	+3.395
8	μ ..	17 43 58.196	+2.398	+0.949	+0.058	-0.012	-0.006	+3.387
10	o ..	18 5 3.768	+2.489	+0.922	+0.049	-0.011	-0.018	+3.431
11	Grb. 2533	18 13 40.692	+2.909	+0.501	+0.004	-0.014	-0.023	+3.377
12	109 Herculis	18 20 59.137	+2.356	+1.098	-0.003	-0.011	-0.026	+3.414
13	α Lyrae	18 34 47.564	+2.893	+0.623	-0.042	-0.014	-0.034	+3.426

$$\text{平均 } \Delta T = +3.408 \text{ 秒}$$

第六节 恒星经过北极星地平经圈时刻法

用恒星中天时刻法定时,必须先定观测点之子午方向。如子午方向尚未测定,可用本节所述方法。观测时先以望远镜竖丝对准北极星,旋紧水平度盘止动螺旋,读取表面时刻。保持望远镜在此垂直平面内,观测一南方恒星(时星)经过竖丝之时刻,即可求出此时时星之时角 t , 加其赤经 α , 即得方恒星时。

图 12-8 内 P 为天球北极, Z 为观测者之天顶, X_0 为观测时北极星之位置, X 为时星经过此极星地平经圈时之位置。设 p_0 及 p 分别为北极星及时星之极距, α_0 及 α 为其赤经, t_0 及 t 为 X_0 及 X 之时角, z_0 及 z 为其顶天顶距, a_0 及 a 为其方位角。由上述观测程序知 ZX 及 ZX_0 为同一地平经圈, 故

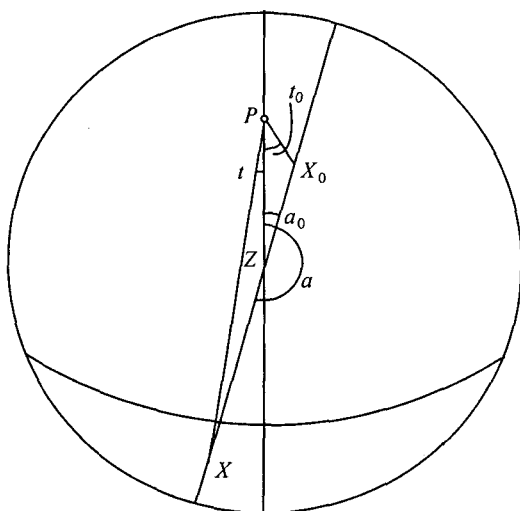


图 12-8

$$\alpha = \alpha_0 \pm 180^\circ$$

又图内 t_0 为负值, t 为正值, 如北极星在子午圈之西则反是, 但无论在何种情形:

$$\angle X_0PX = t - t_0 \quad \text{或} \quad = t_0 - t$$

其值可用下法求之。设 S_0 及 S 分别为观测北极星及时星时之表面恒星时刻, Δu 为表差, 则

$$S_0 + \Delta u = \alpha_0 + t_0, \quad S + \Delta u = \alpha + t \quad (40)$$

两者相减, 得

$$t_0 - t = (\alpha - \alpha_0) - (S - S_0) \quad (41)$$

在图 12-8 $\triangle X_0PX$ 内, 应用正弦定律, 得

$$\sin \angle X = \frac{\sin(t - t_0) \sin p_0}{\sin(z + z_0)} \quad (42)$$

又由 $\triangle PZX$ 内应用正弦定律, 得

$$\sin t = \sin X \sin z \sec \varphi \quad (43)$$

将(42)代入(43), 得

$$\sin t = \sin p_0 \sin(t - t_0) \sin z \csc(z + z_0) \sec \varphi$$

因 t 及 p_0 均为小角, 可以角值代其正弦, 即

$$t = -p_0 \sin(t_0 - t) \sin z \csc(z + z_0) \sec \varphi \quad (44)$$

是为计算时星经过北极星地平经圈时时角之式。其中 $t_0 - t$ 按式(41)求之, z 及 z_0 可于观测时读垂直度盘得之, 或亦可用其概值。因北极星之极距甚小, 故其地平经圈与子午圈相差甚少, 时星在此两圈上之天顶距可以视为相等, 即 $z = \varphi - \delta$ 。北极星天顶距 z_0 之概值可取第十一章式(25)之第一项, 即 $z_0 = 90^\circ - (\varphi + p_0 \cos t_0)$ 。因此

$$z + z_0 = 90^\circ - (\delta + p_0 \cos t_0)$$

代入式(44), 即得

$$t = -p_0 \sin(t_0 - t) \sin(\varphi - \delta) \sec(\delta + p_0 \cos t_0) \sec \varphi \quad (45)$$

观测以前须选定适宜观测之时星。时星经过北极星地平经圈之时刻与其中天时刻相差甚微。如北极星在子午圈之东, 则经过北极星地平经圈之时刻较其中天时刻稍迟, 在子午圈西时则反是。二者相差最多不过数分钟, 故可按其中天时刻估计。应使两星观测之时刻相距不

过数分钟。

观测前必须注意校正仪器,使无视准轴误差及水平轴倾斜误差。此两种误差对于结果之影响与中天时刻法相同。

兹举实例如下:

例

观测之恒星: α 室女座

观测地: 经度 $4^{\text{时}} 44^{\text{分}} 18^{\text{秒}}.3$ 西 纬度 $42^{\circ} 21'$ 北

日期: 1906 年 5 月 8 日

观测北极星之时刻 $= 20^{\text{时}} 35^{\text{分}} 58^{\text{秒}}$ α $12^{\text{时}} 00^{\text{分}} 26^{\text{秒}}.3$

观测时星(α 室女座)之时刻 $= 20 \quad 39 \quad 43 \quad \alpha_0 \quad 1 \quad 24 \quad 35 \quad .4$

差 $= \quad 3 \quad 45 \quad \alpha - \alpha_0 = 10 \quad 35 \quad 50 \quad .9$

$T - T_0 = \quad 3 \quad 45.0$
加速校正(附表 II) 0.6 } $(S - S_0)$

$t_0 - t = 10^{\text{时}} 32^{\text{分}} 05^{\text{秒}}.3$

$= 158^{\circ} 01' 3$

$\varphi = 42^{\circ} \quad 21'$

$\delta = +9^{\circ} \quad 15'$

$\varphi - \delta = 33^{\circ} \quad 06'$

$\delta = +9^{\circ} \quad 15'$

$P_0 \cos t_0 = \frac{-1 \quad 06.5(t_0 \approx 158^{\circ} 01'.3)}{\quad}$

$\delta + P_0 \cos t_0 = 8^{\circ} \quad 08'.5$

$P_0 = 71.85$

$\log P_0 = 1.8564$

$\log \sin(t_0 - t) = 9.5732$

$\log \sec(\delta + P_0 \cos t_0) = 0.0044$

$\log \sin(\varphi - \delta) = 9.7373$

$\log \sec \varphi = 0.1313$

$\log 4 = 0.6021$

$\log t = 1.9047$

$t = -80^{\text{秒}}.30 = -1^{\text{分}} 20^{\text{秒}}.3$

上式加入一项 4 使角分化为秒钟。时星经过垂丝时之恒星时可自时星之赤经内减去 1 分 20.3 秒求得之,其结果如下:

$$\alpha = 12^{\text{时}} 00^{\text{分}} 26^{\text{秒}}.3$$

$$t = - \quad 1 \quad 20 \quad .3$$

$$S = 11^{\text{时}} 59^{\text{分}} 06^{\text{秒}}.0$$

相当于此恒星时刻之地方民用时为 $20^{\text{时}} 55^{\text{分}} 14^{\text{秒}}.5$, 故其标准时当为 $20^{\text{时}} 39^{\text{分}} 32.8^{\text{秒}}$, 钟表时刻为 $20^{\text{时}} 39^{\text{分}} 43^{\text{秒}}$, 得时钟改正为 $-10^{\text{秒}}.2$ 。

第七节 经度之测定

两地之经度差即为两地地方时之差。倘以一时计(假定无日差)先后在 E (东) W (西)两地用本章前数节所讲方法分别定其对于两地方时之表差 Δu_E 及 Δu_W , 则此两表差之差即为两地之经度差。

$$\lambda_E - \lambda_W = (u + \Delta u_E) - (u + \Delta u_W) = \Delta u_E - \Delta u_W \quad (46)$$

λ_E, λ_W 为东西两地之经度, u 为任一瞬间之表面时刻。

旧日测定经度之方法即以同一時計在两地分别测定其表差。但此种方法受時計日差变化之影响甚大, 而時計在运输时又不可能保持其日差常久不变, 故经度测定之精度不高。其后电报发明, 即改用电报方法比较两地之地方时, 精度提高甚多。直至本世纪初, 无线电发明之后, 始有授时信号, 于是又由电报测定经度法进而至于无线电测定经度法。应用此种方法即不必在两地观测定时, 而以授时信号代替其中一站之定时观测, 不但精度提高, 且工作简便许多。兹述其工作步骤于下。

在测站上先用第十章所述无线电授时信号方法求定时計对于标准时或世界时之表差。然后用此時計作定时观测, 求其对于地方时之表差。定时观测之后应再收听一次授时信号, 以决定時計之日差。两次收听授时信号之间隔, 以在 12 小时以内为原则, 而定时观测即在其间举行。倘仅收听一次授时信号, 则必在定时观测之前或后极短时间内举行, 以免時計日差之影响。设第一次收听授时信号, 得時計对于世界时之表差为 $\Delta u_0'$, 第二次所得之结果为 $\Delta u_0''$, 两次间隔之时段为 P' 以日为单位, 则日差 r 之值为:

$$r = \frac{\Delta u''_0 - \Delta u'_0}{P} \quad (47)$$

兹再假定由第一次收听授时信号至定时观测中间之时段为 Q , 以日为单位, 则在定时观测时此时计对于世界时之表差 Δu_0 为:

$$\Delta u_0 = \Delta u'_0 + Q \cdot r \quad (48)$$

设由定时观测得此时计对于地方时之表差为 Δu , 则观测地方经度为:

$$\lambda = \Delta u - \Delta u_0 \quad (49)$$

正为东经, 负为西经。

所用時計可为平太阳时亦可为恒星时, 其理尽同, 但必须用同一种时单位始可。兹举例于下:

例 日期: 1951 年 5 月 23 日

1. 收听授时信号结果:

	信号时间 (中原时)	表 面 时	表 差
第一次	17 ^时 00	17 ^时 01 ^分 20 ^秒 .2	$\Delta u_0'' = -1分 20秒.2$
第二次	21 00	21 01 19 .7	$\Delta u_0'' = -1 19 .7$
下减上	$4 = P$		$= +0 .5$

定时观测结果:

观测中间时刻 19^时 32^分

对地方时之表差 $\Delta u = +21^分 32^秒.6$

2. 计算:

(1) 時計日差之计算:

$$r = \frac{+0.5 \times 24}{4} = 3^秒.0$$

(2) 经度之计算:

$$\Delta u_0 = -1^分 20^秒.2 + \frac{(19^时 32^分 - 17^时 00^分)}{24} \times 3^秒.0 = -1^分 19^秒.9$$

$$\Delta u = +21^分 32^秒.6$$

$$\Delta u_0 = + 1 19 .9$$

$$\text{与中原时标准经圈之经度差} = +22^分 52^秒.5$$

中原时标准经圈之经度 $=8^{\text{时}}$

观测地方之经度 $=8^{\text{时}} 22^{\text{分}} 52^{\text{秒}}.5$

经度测定之误差有下列各主要来源：

1. 收听授时信号之误差：

(1) 时号本身之误差。

(2) 收录时号之误差。

2. 时表日差变化不规则之误差。

3. 定时观测之误差：

(1) 仪器之误差。

(2) 记时之误差(人差)。

(3) 恒星位置之误差(主要为其赤经之误差)。

收录时号用最精密方法可达 $\pm 0^{\text{秒}}.01$ 之精度,而时号本身之误差亦可根据事后公布之时号误差予以改正,已于第十章中论及。倘收听时是两次,其间隔甚短,时表日差变化不规则之影响亦极小。惟定时观测之三种误差则均带有系统性质,影响经度测量之精度亦最大。故精密测定经度时必须设法消除之。其法为由甲乙两观测者同时在 E, W 两地作定时观测及收听时号。作定时观测时观测共同约定之恒星,以消除恒星赤经误差之影响。收录时号时亦收录同一电台之时号,以消除时号本身误差之影响。然后在观测一次后,甲乙二人带同其所使用之仪器对掉测站,再作一次观测。于是仪器误差及人差之影响在对掉位置后对于两地经度差而言,即已易其符号。由此两次之平均值即可消除仪器误差及人差之系统影响。

第十三章 同时测定经纬度方法

第一节 测两星高度定经纬度

今设观测任意两星之高度角 h_1 及 h_2 , 并记所观测时之表面时刻 S_1 及 S_2 (恒星时或平太阳时均可, 但此处假定代表恒星时), 则根据此项记录即可同时求得观测地点之经纬度。

在图 13-1 设 X_1 及 X_2 代表先后观测两星在天球上之位置。除由两星分别构成二定位三角形 PZX_1 及 PZX_2 外, 并用大圈连接 X_1 及 X_2 两点。

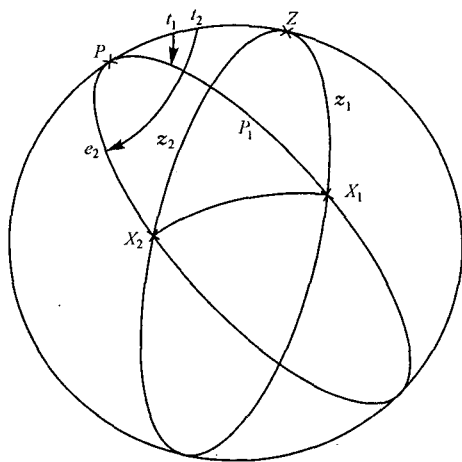


图 13-1

在 $\triangle PX_1X_2$ 内,已知 $\widehat{PX_1} = p_1 = 90^\circ - \delta_1$, $\widehat{PX_2} = p_2 = 90^\circ - \delta_2$, 而 $\angle X_2PX_1 = t_2 - t_1$ 。

其中 t_1 及 t_2 本为未知数值,但因

$$\left. \begin{aligned} S_1 + \Delta u &= \alpha_1 + t_1 \\ S_2 + \Delta u &= \alpha_2 + t_2 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

两式相减即得 $t_2 - t_1 = (S_2 - S_1) - (\alpha_2 - \alpha_1)$

其中 S_2 及 S_1 为观测值, α_2 及 α_1 分别二星之赤经,故 $t_2 - t_1$ 亦可求得。在 $\triangle PX_1X_2$ 中已知其二边及二边之夹角,故可解求球面三角 PX_1X_2 中其他各边或角。兹设解算其 $\widehat{X_1X_2}$ 边及 $\angle PX_1X_2$ 角。

在 $\triangle ZX_1X_2$ 内,已知 $ZX_1 = z_1 = 90^\circ - h_1$, $ZX_2 = z_2 = 90^\circ - h_2$ 及求得之 $\widehat{X_1X_2}$,故已知其三边可以算求其 $\angle ZX_1X_2$ 角。

在 $\triangle ZPX_1$ 定位三角形内,已知 $ZX_1 = z_1 = 90^\circ - h_1$, $PX_1 = p_1 = 90^\circ - \delta_1$ 及其夹角 $\angle ZX_1P = \angle ZX_1X_2 - \angle PX_1X_2$,故可以解求其 PZ 边及 $\angle ZPX_1 = t_1$ 。

其中 $\widehat{PZ} = 90^\circ - \varphi$,故纬度可以算出。又因式(1)关系

$$\Delta u = \alpha_1 + t_1 - S_1$$

现 t_1 既已算得,故表差 Δu 即可求出。表差求得之后,加于表面时刻即为地方恒星时,再与无线电授时信号比较,即可求得观测地之经度。

由上述推演故知观测注意两星之高度角,同时并读取时表读数,即以求得观测地之经纬度。但本节只说明其原理,上述计算方法并不适于实际作业。以下各节将分述此项原理实际应用时之不同方法。又观测两星亦可代以不同时刻之同一天体,惟不同时刻须相隔较远,方能得比较精确之测定。

第二节 定位线解法

天体之赤经赤纬坐标固与地球面上之经纬度坐标相似。联系时刻、时角、赤经以及经度等关系可以随时将天体在天球上之位置,转绘在地球之上。易言之,当该天体适位某观测者之天顶时(即该天体之天顶距为 0°),该观测者在地球上之位置即代表该时该天体位置转绘在地球上之位置,此位置称为其天体下点。譬如当格林尼治视太阳时下午 1 时 20

分时太阳之赤纬为 $+21^\circ$ ，则其时日下点之经纬度为西经 1 时 20 分，北纬 21° ，又如某恒星之赤经为 8 时，赤纬为 -3° ，当格林尼治恒星时为 5 时，此恒星下点之经度为 $5-8=-3^\text{时}$ 即东经 3 时，其纬度为南纬 3° 。

图 13-2 代表地球面上之经纬度线。兹假设在某时刻之日下点在地球上之 X_1 点。如观测者适亦位在 X_1 点，则测得太阳之天顶距必为 0° ，而观测点之经纬度即等于日下点之经纬度。倘此时另一观测者在另一点 A 测得太阳之天顶距为 z_1 ，则此观测者在地球上之点位必在以日下点 X_1 为圆心，以 z_1 为半径之圆周上。隔若干时间之后，日下点设移至 X_2 点，今如仍在地球上 A 点观测，该时太阳之天顶距设为 z_2 ，则观测者之点位又必在以 X_2 为圆心，以 z_2 为半径之圆周上。是以由两次观测所得两圆之交点即可以求得观测者点位。两圆周之交点有两个，在图 13-2 示如 A 及 B ，其中之一代表观测点位。在一般情形之下两点相距甚远，固不难确定其一也。

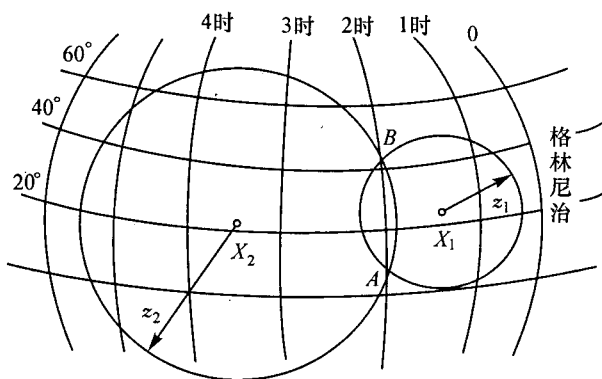


图 13-2 天体之脚点

实际应用此法时只在观测点附近绘二弧求其交点。小段之弧可以认为系一直线，名为定位线（或称之为散姆奈（Sumner）定位线）。由每一次观测可以求得定位线一条。定位线之交点即为观测点之点位。根据上项原理，其实际解算步骤如下：

首先假定观测点之近似纬度设为 φ_0 ，今试求当纬度为 φ_0 时定位线上之一点。根据所观测之天顶距 z ，天体之赤纬 δ ，由定位三角形可

以先算求该点之时角 t_0 , 其公式为(见第七章式(20))

$$\tan \frac{t_0}{2} = \sqrt{\frac{\sin(s_0 - \varphi_0) \sin(s_0 - \delta)}{\cos s_0 \cos(s_0 - z)}} \quad (2)$$

$$s_0 = \frac{1}{2}(\varphi_0 + \delta + z)$$

由 t_0 宜先化算为实际测求之数值, 此时可分为下列不同情形讨论。设所用之时表为标准时表, 观测之表面时刻为 T_G , 则 T_G 亦可想像其系格林尼治之时刻。更假设观测之对象为太阳, 则可用下式求定位线上该点之经度 λ_0 :

$$T_G + \lambda_0 + \text{时差} \pm 12^{\text{时}} = t_0 \quad (3)$$

设观测之对象为恒星, 则可将观测之表面时化算为相当之恒星时, 设为 S_G , 亦即可想像其系格林尼治之恒星时刻。此时可用下式求该点之经度 λ_0 :

$$S_G + \lambda_0 - \alpha = t_0 \quad (4)$$

α 为该星之赤经。

设所用之时表为恒星时表, 则所指之时刻为地方时。此时所求者为观测点之纬度 φ 及表差 Δu_0 , 假设观测之表面时刻为 S , 则由下式可求相当于 t_0 之表差 Δu_0 :

$$S + \Delta u_0 - \alpha = t_0 \quad (5)$$

Δu_0 之意义可认为与经度 λ_0 相仿。定位线与天体之方向必相垂直, 是以求得定位线上一点之后, 再算求天体之近似方位角即可由之绘得定位线, 算求天体近似方位角之公式可仍用图13-3之定位三角形, 得

$$\sin A = \frac{-\sin t_0 \cos \delta}{\sin z} \quad (6)$$

定位线方向即与式(6)之方向相垂直。

定位线上之点 (φ_0, λ_0) 或 (φ_0, u_0) 及其方向求得之后, 可绘图13-3A点附近之定位线。惟图13-3系指在圆球面上情形, 如将球面展绘成平面则经度差与纬度差之比例尺不相同。如在平面上取纵坐标为 φ 时, 则其横坐标应为 $\lambda \cos \varphi_0$ 。或当其横坐标为 λ 时, 则其纵坐标应为 $\varphi / \cos \varphi$, 如取表差 Δu 以代入时, 其与 φ 之关系与 λ 与 φ 之关系相同。兹举观测实例说明如下, 在此例中系用标准时表, 观测恒星, 所用之公

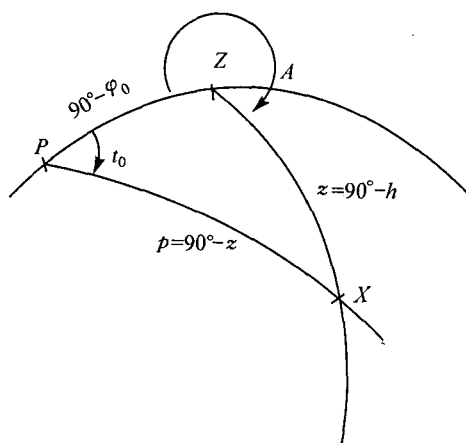


图 13-3 定位三角形

式为(2)、(4)及(6)。

例 定位线法求经纬度。

地点:上海交通大学

近似经度: $\lambda = 8^{\text{时}} 05^{\text{分}}$

日期:1949年10月18日

近似纬度: $\varphi = 31^{\circ} 10'$

1. 观测结果:

星 名	β Andromeda 仙女座(东北)	α Piscis Australis 南鱼座(东南)	β Persei 英仙座(东北)
天顶距+蒙气差 ($z + \gamma$)	$53^{\circ} 39' 08''$	$67^{\circ} 46' 31''$	$65^{\circ} 34' 02''$
时钟读数+时表改正 (中原时区)	$18^{\text{时}} 54^{\text{分}} 07^{\text{秒}}$	$18^{\text{时}} 59^{\text{分}} 12^{\text{秒}}$	$19^{\text{时}} 39^{\text{分}} 23^{\text{秒}}.5$

查天文年历得:10月18日(格)0^时恒星时01^时44^分37^秒.1

星 名	赤 经	赤 纬
β Andromeda	$1^{\text{时}} 06^{\text{分}} 55^{\text{秒}}.5$	$+35^{\circ} 21' 24''.8$
α Piscis Australis	$23 54 53.9$	$-29^{\circ} 53' 24''.4$
β Persei	$3 04 54.3$	$+40^{\circ} 45' 56''$

2. 定位线计算:

观测次序	1	2	3	说 明
星 名	β Andromeda (仙女)	α Piscis Australis (南鱼)	β Persei(英仙)	
格 0 ^时 恒星时	01 ^时 44 ^分 37 ^秒 .1	01 ^时 44 ^分 37 ^秒 .1	01 ^时 44 ^分 37 ^秒 .1	在应用式 (4)之前先 将 T_G 改化 为 S_G
观测时(改化为 格平时)	10 54 07	10 59 12	11 39 23 .5	
加速改正(C表)	1 47 .5	1 48 .3	1 54 .9	
(格)恒星时(I)	12 40 31.6	12 45 37.4	13 25 55.5	解算式(2)
z	53° 39' 08"	17° 46' 31"	65° 34' 02"	
φ_0	31° 10'	31° 10'	31° 10'	
δ	35° 21' 24"	-29° 53' 24"	40° 45' 56"	
$2S_0$	120° 10' 32"	69° 03' 07"	137° 29' 58"	
S_0	60 05 16	34 31 34	68 44 59	
$S-\varphi_0$	28 55 16	3 21 34	37 34 59	
$S-\delta$	24 43 52	64 24 58	27 59 03	
$S-z$	6 26 08	-33 14 57	3 10 57	
$\log \sin(S_0-\varphi_0)$	9.684 487	8.767 896	9.785 266	
$\log \sin(S_0-\delta)$	9.621 541	9.955 184	9.671 384	
$\log \sec S_0$	0.302 181	0.084 144	0.440 761	
$\log \sec(S_0-z)$	0.002 746	0.077 642	0.000 671	
$\log \tan^2 t_0/2$	9.611 055	8.884 866	9.898 082	
$\log \tan t_0/2$	9.805 528	9.442 433	9.949 041	
$t_0/2$	-32°34'47"	-15°28'52"	-41°38'46"	
t_0	65°09'24"	30°57'44"	83°17'32"	
t_0 (时 分 秒)	-4 ^时 20 ^分 38 ^秒 .3	-2 ^时 3 ^分 50 ^秒 .9	-5 ^时 33 ^分 10 ^秒 .1	解算式(4)
赤 经	1 06 55.5	22 54 53.9	03 04 54.3	
地方恒星时(II)	20 46 17.2	20 51 03.0	21 31 44.2	
经度 λ_0 (II-I)	8 05 45.6	8 05 25.6	8 05 48.7	解算式(6)
$\log \sin t_0$	9.95 784	9.71 137	9.99 702	
$\log \cos \delta$	9.91 146	9.93 802	9.87 932	
$\log \sec h$	0.09 397	0.03 353	0.04 075	
$\log \sin A$	9.36 327	9.68 292	9.91 709	
A	66° 46'	151° 12'	65° 43'	

图 13-4 示其图解。三条定位线应相交于一点。但由于观测误差三线相交成一误差三角形,可在三角形内估得观测点之点位 P ,其经度为 $8^{\text{时}} 05^{\text{分}} 41^{\text{秒}}.8$,按图 13-4 之横坐标每格等于一时秒,故其纵坐标每格之纬度值应为 $15''/\sec \varphi_0 = 12''.8$,今量得 P 点之纵坐标为 9.6 格,相当于 $2'03''$,故 P 点之纬度为 $31^{\circ}10' + 2'03'' = 31^{\circ}12'03''$ 。

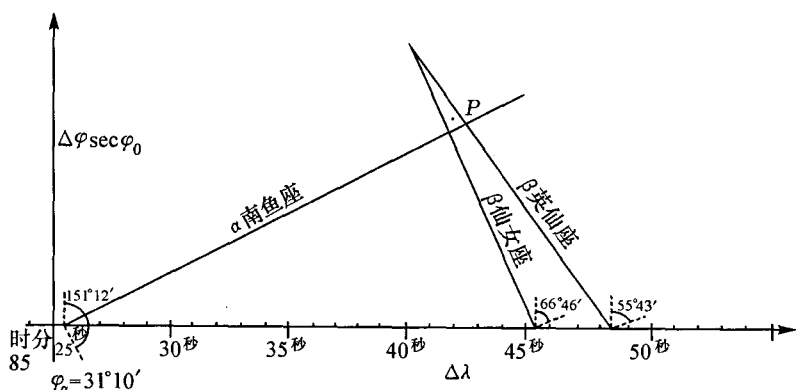


图 13-4

第三节 定位线公式

第十二章第二节式(4),可改写为

$$\Delta h = \cos A(\Delta \varphi) + \sin A \cos \varphi(\Delta t) \quad (7)$$

由此公式出发即可推得本章第二节内所述之定位线公式。

兹设观测得某天体之高度角,若不计其观测误差则

$$\Delta h = 0 \quad (8)$$

再假定观测点之近似纬度为 φ_0 ,而其正确之纬度为 φ ,则

$$\Delta \varphi = \varphi - \varphi_0 \quad (9)$$

更称观测时天体之时角近似值为 t_0 ,正确值为 t ,则

$$\Delta t = t - t_0 \quad (10)$$

式(9)中之 φ_0 可以任意假定,但既假定之后,则式(10)之 t_0 即不能任意假定,盖其值可由式(2)求出也。至于 Δt 之意义仍可按上节情形分为下列各种情形:

设所用之时表为标准时表,而观测之对象为太阳,则由式(3):

$$T_G + (\lambda_0 + \Delta\lambda) \pm 12^{\text{时}} + \text{时差} = t_0 + \Delta t$$

$$\Delta t = \Delta\lambda - \{t_0 - (T_G + \lambda_0 + \text{时差} \pm 12^{\text{时}})\} = \Delta\lambda - l_1 \quad (11)$$

上式 l_1 所代表之各项中, λ_0 为假定值, t_0 为算得值, T_G 为观测值,均为已知,而

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 \quad (12)$$

λ 为观测点之经度。

设所用之时表为标准时表,而观测之对象为恒星,则由式(4):

$$S_G + (\lambda_0 + \Delta\lambda) - \alpha = t_0 + \Delta t$$

$$\Delta t = \Delta\lambda - \{t_0 - (S_G + \lambda_0 - \alpha)\} = \Delta\lambda - l_2 \quad (13)$$

其中 l_2 所代表之各项中, λ_0 为假定值, t_0 为算得值, S_G 为观测值, α 为星体之赤经,均为已知。

设所用之时表为恒星时表(观测之对象为恒星),则由式(5):

$$(S + u_0 + \Delta u) - \alpha = t_0 + \Delta t$$

$$\Delta t = \Delta u - \{t_0 - (S + u_0 - \alpha)\} = \Delta u - l_3 \quad (14)$$

其中 l_3 所代表之各值中, u_0 为假定表差, t_0 为算得值, S 为观测值, α 为星之赤经,均为已知,而

$$\Delta u = u - u_0 \quad (15)$$

u 为正确之表差。

是以不论在何种情形之下,式(7)内之 (Δt) 可按式(11)、(13)或(14)代以拟测定之 $(\Delta\lambda)$ 或 (Δu) 及一常数项 l 。 l 在不同情形所代表之意义亦不相同。

将式(8)、(9)及式(11)、(13)或(14)中之一式代入式(7)则得

$$\cos A_0 (\Delta\varphi) + \sin A_0 \cos \varphi_0 (\Delta\lambda) - \sin A_0 \cos \varphi_0 l = 0 \quad (16)$$

$$\text{或} \quad \cos A_0 (\Delta\varphi) + \sin A_0 \cos \varphi_0 (\Delta u) - \sin A_0 \cos \varphi_0 l = 0 \quad (17)$$

式(16)或式(17)所代表之直线实即图 13-5 所示以 $\Delta\varphi$ 为纵坐标,以 $\Delta\lambda \cos \varphi_0$ 或 $\Delta u \cos \varphi_0$ 为横坐标之定位线。

设观测全无误差,则观测点之正确位置必在此直线之上。定位线之方向与星体之方向成垂直,可由上式看出。式中之常数项实即自坐标原点 (φ_0, λ_0) 至定位线之垂距,即

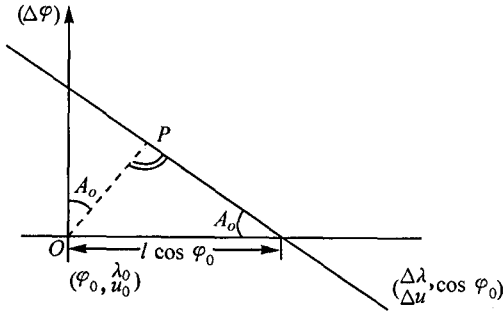


图 13-5

$$\overline{OP} = \sin A_0 \cos \varphi_0 l \quad (18)$$

更将式(16)或式(17)改换,称:

$$\left. \begin{aligned} x &= \Delta\lambda \text{ (或 } x = \Delta u) \\ y &= \sec \varphi_0 \Delta\varphi \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

则得

$$x + \cot A_0 y - l = 0 \quad (20)$$

其中 l 在不同情形分别选用式(11)、(13)、(14)计算。定位线绘法示如图 13-6。自坐标原点在横坐标上量取 l 值,然后由此点作一直线与 x 轴成 A_0 角即得定位线。

观测两星可以求得式(20)两个,亦即求得定位线两条,用以解求 $\Delta\varphi$ 及 $\Delta\lambda$ 或 $\Delta\varphi$ 及 Δu 值,更可由式(9)、(12)或(15)求得观测点之纬度 φ 及其经度 λ ,或其表差 u 。第二节内所举之实例,亦可按本节所述之公式关系解算,首先假定其近似经度 λ_0 及纬度 φ_0 ,然后按式(2)及(6)求得 t_0 及 A_0 值。再由式(13)求得 l_2 ,代入式(20)即可得定位线公式每星一个,用计算或图 13-6 所示之图解方法均可解求。惟观测二星以上时,如用计算方法解算,应用最小二乘方原理,在式(20)之常数内考虑其观测值之误差关系而平差之。

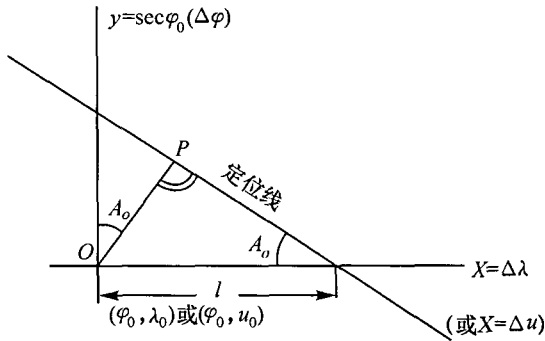


图 13-6

第四节 等高观测原理

在本章所论同时定经纬度方法中,设在观测星体时,将仪器安置在一定之高度,此时蒙气差及仪器差影响大致为一常数,可以之为一未知数在计算中同时求出。如此则经纬度测定之精度可以增加。应用此项原理时可使用一种特殊设计之仪器称为等高仪,或者亦可在经纬仪上加装棱镜使成为 60° 等高仪。关于等高仪之构造原理将于第五节中详述。

等高观测之原理与第三节内所述者相同,惟前节式(7)中之 Δh 不为零而为一未知数 γ ,代表该时蒙气及仪器之常差。加以此项修正之后,式(16)改为(以用标准时表情形为例):

$$\cos A_0(\Delta\varphi) + \sin A_0 \cos \varphi_0(\Delta\lambda) - \gamma - \sin A \cos \varphi_0 l = 0 \quad (21)$$

此时有未知数三个 $\Delta\varphi$, $\Delta\lambda$ 及 γ ,故至少须观测三个恒星始能解算,解算时一般多用图解方法。按图 13-5 及式(18)固知 $\overline{OP}$ 即代表式(21)中之常数项。今如暂置 γ 于不顾,仍依前节方法绘定位线,则每条定位线必将距其正确地位平行移动 γ 值,故如在各定位线之中间以 γ 为半径绘一圆,此圆必与各定位线相切,而圆心亦必代表观测地点之正确位

置。必须有三条定位线,使能绘一内切圆,但实际观测时率观测多星绘多数定位线,而求其最佳之内切圆圆心。图 13-7 示图解情形,其坐标仍按式(20)情形改换,此时应用之公式为:

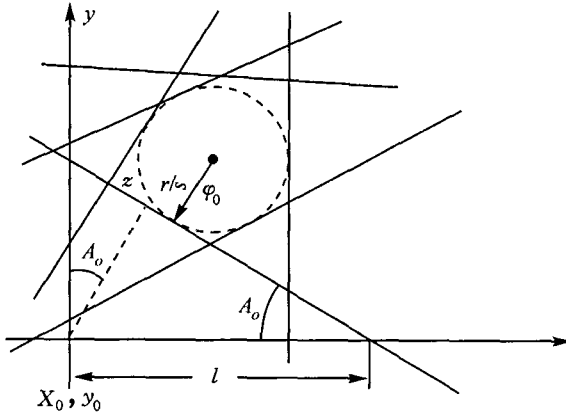


图 13-7

$$x + \cot A_0 y - (z + l) = 0 \quad (22)$$

在用标准时表观测恒星时,式(22)内各值代表:

$$\left. \begin{aligned} x &= \Delta\lambda \\ y &= \sec \varphi_0 \cdot \Delta\varphi \\ z &= \sec \varphi_0 \cdot \csc A_0 \cdot \gamma \\ l &= t_0 - (S_G + \lambda_0 - \alpha) \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

此时假定观测点之近似经纬度为 φ_0, λ_0 ; l 公式取自式(13),其中 S_G 系按观测之标准时换算为格林尼治恒星时。 α 为恒星之赤经, t_0 及 A_0 分别为根据式(2)及式(6)所算得之时角及方位角。

如用恒星时表观测,式(22)内各值代表:

$$\left. \begin{aligned} x &= \Delta u \\ y &= \sec \varphi_0 \cdot \Delta\varphi \\ z &= \sec \varphi_0 \csc A_0 \cdot \gamma \\ l &= t_0 - (S + u_0 - \alpha) \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

此时假定观测点之近似纬度为 φ_0 , 近似表差为 u_0 , l 取自式(14), 其中 S 为观测之地方恒星时(即时表读数), α 为恒星之赤经, t_0 及 A_0 分别为根据式(2)及式(6)所算得之时角及方位角。

实际图解时先不必计算 γ 值, 仍依图 13-6 所示方法根据算得之 l 及 A_0 值绘定位线, 每星一条。然后寻求其各定位线之内切圆圆心。今设 γ 值极小则各线仍将近似相交于一点, 此时不便绘内切圆, 为绘图之便利计可在绘定位线时先将其移一常数值(譬如五公分)。

以上所述方法系由式(7)出发, 假定 φ_0 及观测之高度角 h_0 ($z_0 = 90 - h$) 以求相当之 t_0 。同理亦可先由观测时刻假定 t_0 , 然后根据 φ_0 及 t_0 计算高度角之近似值 h_0 。

$$\text{此时} \quad \left. \begin{aligned} \Delta\varphi &= \varphi - \varphi_0 \\ \Delta t &= t - t_0 \\ \Delta h &= h - h_0 \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

φ_0 及 t_0 系假定值, h_0 系计算值, h 为高度之确值应为 $h' + \gamma$, h' 为假定之高度角, 用等高观测原理时, 或为 45° 或为 60° , γ 则仍为高度角改正之未知数。至于 h_0 及定位线上方位角 A 之计算可即用

$$\left. \begin{aligned} \sin h_0 &= \sin \delta \sin \varphi_0 + \cos \delta \cos \varphi_0 \cos t_0 \\ \sin A_0 &= -\frac{\cos \delta \sin t_0}{\cos h_0} \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

t_0 及 Δt 之意义则可分为两种情形讨论, 在用标准时表观测恒星时:

$$\left. \begin{aligned} t_0 &= S_G + \lambda_0 - \alpha \\ t &= S_G + \lambda - \alpha \\ \Delta t &= t - t_0 = \lambda - \lambda_0 = \Delta\lambda \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

代入式(7)得

$$\cos A_0 (\Delta\varphi) + \sin A_0 \cos \varphi_0 (\Delta\lambda) - \{(h_0 - h') - \gamma\} = 0 \quad (28)$$

在用恒星时表观测恒星时,

$$\left. \begin{aligned} t_0 &= S + u_0 - \alpha \\ t &= S + u - \alpha \\ \Delta t &= t - t_0 = a - u_0 = \Delta u \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

代入式(7)得

$$\cos A_0(\Delta\varphi) + \sin A_0 \cos \varphi_0(\Delta u) - \{(h_0 - h') - \gamma\} = 0 \quad (30)$$

此时可假定 $x = \cos \varphi_0(\Delta\lambda)$ 或 $\cos \varphi_0(\Delta u)$, $y = \Delta\varphi$, 按图 13-5 所示原理绘定位线图解。

第五节 等高仪

等高仪为二十世纪初法人克劳(Claude)及德延谷(Driencourt)所发明。在一水平望远镜物镜之前置一 60° 等角棱镜(图 13-8), 棱镜之边必须水平, 其一面须与望远镜之光轴垂直。棱镜之前下方置一水银盘, 内放少许水银, 用作人造水平。

图 13-8 示等高仪之光学原理。光线可由两路进入望远镜。其一自 60° 棱镜之上面, 经下面反射而入望远镜; 另一由人造水平反光, 自棱镜下面射入经上面反光而达望远镜。当光线自 60° 高度射入时, 则两路光线出棱镜后均与光轴平行而其像自目镜观之必相叠合。如其高度不及 60° 或大于 60° 时, 则星之两像必不吻合, 而呈上下相反行动之状。由于蒙气差及棱角度微差之影响, 星之两像叠合时, 其高度并非严格为 60° , 可能稍有偏差。

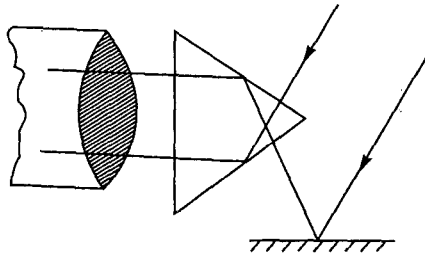


图 13-8

等高仪有一水平度盘, 系为使望远镜对准星体方位角之用, 无需精密读数设备。等高仪之观测至为简单, 仅须将星像叠合时之时刻记下即可。图 13-9 示 60° 等高仪之构造。 60° 等高仪亦可在经纬仪前加装

60°棱镜及人造水平设备构成。

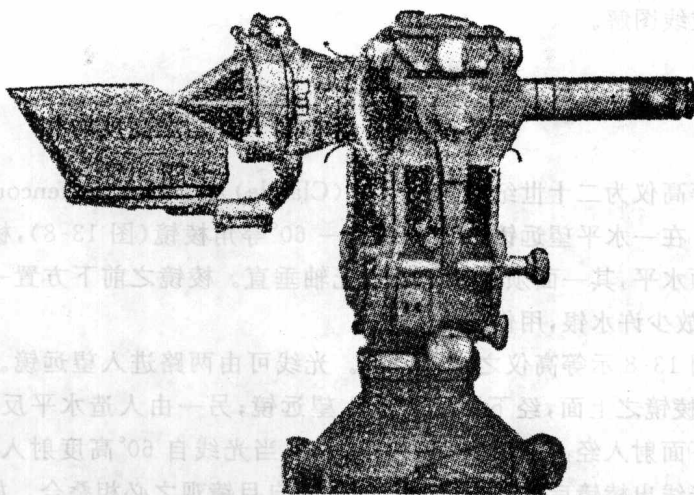


图 13-9 60°等高仪

另有 45°等高仪示如图 13-10, 原理与前相同, 而棱镜形状及反光

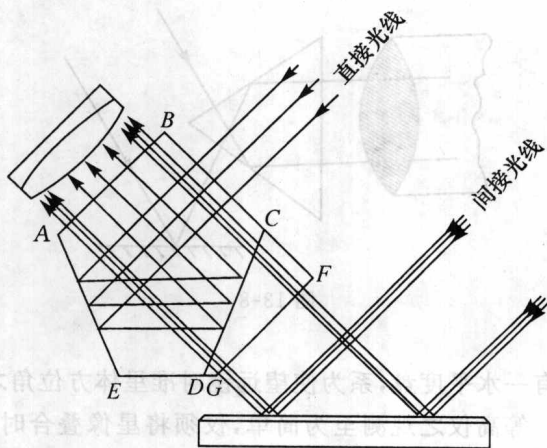


图 13-10

路线不同。除此之外,更加入数对折光楔形棱镜,使在不同高度连续产生多次叠合,因此增加观测次数,以使精度增加。

第六节 等高仪观测之选星

等高仪观测之时必须先期设计观测次序表。按图 13-11, Z 为测站之天顶点, 设 HH' 为等高圈, 即所有圈上各点之高度均相等。由图可知, 能达此高度之星其赤纬必在 EH' 与 EH 之间。

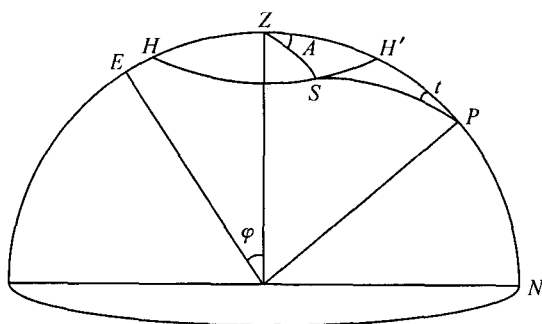


图 13-11

设

$$ZH = ZH' = z = 90^\circ - h$$

则星之赤纬必在 $\varphi - z$ 与 $\varphi + z$ 之间。是为选星之第一条件, 即:

$$\varphi - z < \delta < \varphi + z$$

实际上如 δ 极近于上述最大或最小之限度, 则该星达到等高圈时之方位极近于子午方位。此时星之高度变化最慢, 故不利于观测。又上述限度与等高圈之天顶距 z 之大小有关。 z 愈大则 δ 之范围大, 亦即可能观测之星愈多。应用 60° 等高仪时 z 为 30° , 应用 45° 等高仪时 z 为 45° , 是以后者选星之范围较前者为广。

选星之第二条件为该星达到等高圈之时刻须适于观测。此条件不能由星之赤经赤纬值直接求出。设某星达到等高圈时之时角为 $\pm t$, 则该瞬间之地方恒星时必为 $\alpha \pm t$ (α 为星之赤经)。此处用 $\pm t$, 因

一星共越过等高圈两次。一次在子午圈之东,星之视动方向由低而高,一次在子午圈之西,星之视动方向由高而低。两次之时角 t 相等,但在东方时,时角为负;在西方时,时角为正。吾人所欲选之星应为其 $\alpha+t$ (星在西方)或 $\alpha-t$ (星在东方)值与拟定观测之地方恒星时相合者。

倘吾人将每星达到等高圈之时角加以计算然后看其是否适于观测,则选星工作将不胜其繁。于是遂有各种检星盘或选星图表之设计,专为等高观测选星之用。但简便者莫如选星表,其编列系以测站纬度为引数。每纬度 1° 作一星表,列出各星达到 60° 等高圈之地方恒星时及其方位角 A 。应用时如知纬度概值即可由其最近之整度纬度表中选出合用之星。

选星之第三条为使观测各星均匀分布于等高圈上,亦即各星之方位角应均匀分布于东北、东南、西南、西北各象限内。上述之选星表内即将各星按象限分列,选星时应自各象限内选出同样数目之星,俾作图解时定位线分布于各方,作内接圆之精度较高。每组选星至少应为 4 个,最好为 8 个或 12 个。

各星选定之后即按其到达等高圈之次序列成一表注明星名、星等、赤纬、赤经及达等高圈之地方恒星时角与方位角。

在选星表上所列各星之时角、方位角系由整度纬度所计算者,应用时须再用观测站纬度概值 φ_0 ,星之观测高度概值 h_0 。应用本章式(2)及式(6)计算较精确之 t_0 与 A_0 值。由 t_0 即可计算到达等高圈时之地方恒星时

$$T_0 = \alpha \pm t_0 \left(\begin{array}{c} \text{西} \\ \text{星在} \\ \text{东} \end{array} \begin{array}{c} + \\ - \end{array} \right)$$

第七节 等高仪之观测工作

等高仪放置观测站上,将底盘置平后,应作下列校正:

1. 使棱镜前棱水平。如前棱不水平则两星影之移动不在同一方

向,因而不能完全重叠。此校正可用任意一星影试验之,亦可于棱镜之前悬一垂线试验之。如星影不能重叠或棱镜前之垂线在目镜端(目镜须除去)不呈连续之直线,可转动棱镜之微动螺旋使之重叠或呈连续之直线。

2. 使棱镜之后面垂直于望远镜视准轴。此校正须用一视准轴校正器于黑暗中(或用黑布遮棱镜)观测之。取下目镜而将等高仪内所附之视准轴校正器装上。此校正器有照明设备,照明之后,器内之十字丝即由棱镜后面反光而达校正器之目镜,于是由目镜中可见十字丝及其反射之影,如两者重叠,即棱镜后面垂直于视准轴。否则目镜中即现两个十字丝(其反光者较淡),须校正棱镜架上所附之改正螺旋,使之重叠。

3. 使等高仪之水平度盘 0° 对准正北。如有已知方向,此校正极为简单。否则须先观测一极明显之星。事先计算此星达到等高圈之时间与方位角。以仪器对准其方向,观测其等高重叠,而将水平度盘校正至计算方位角之值。

仪器校正已毕即可按照选定星表次序观测。观测至为简单。将望远镜转至计算之方位角,俟星入视场,观测其重叠之一瞬间,而记录其表面时。记录表面时可用耳目法,亦可用立止表,但欲得较为精确之结果须用记时仪,俟星影重叠时,手按电钥,其时刻即记于记时仪上。此种记录之精度,可望在 $\frac{1}{10}$ 时秒以内。

每组观测应包括 4—12 个星,其观测时间以不超出一小时为原则。过久则蒙气差可能有变化,因而不能达到真正等高之条件。

第八节 等高仪观测计算举例

下列各表示等高仪观测计算之举例,所用计时表系恒星时表,故采用式(22)及(24)计算。由观测直接所求得者为纬度 φ 及时表改正 u ,再经由收听无线电时号方法比较时表,即可求得观测点之

经度。

等高仪观测法

6029

测站:上海 计时表号数:恒星计时表 假定纬度 $\varphi_0: 31^\circ 13' 56''.00$

(24 时 29 分) 假定天顶距 $z: 30^\circ 0' 46''.00$

日期:1950年11月15日 假定计时表改正: $u_0: +1''.85$

仪器:盛特 Nr. 14769 计时表日差: $+0''.000\ 221$

温度: 10°C 气压: 732.3 公厘 观测者: 张儒杰 计时者: 张儒杰

1. 观测记录:

次序	星名 星等	赤 经	赤 纬	方位角	地方时	恒星时分	计时表时刻 时 分 秒		
1	α Sri 2.2	02 ^h 04 ^m 24 ^s .99	+23°14'4''.33	96°40'	23	53	23	53	40.86
2	β Las 4.6	22 21 37 .10	+51 59 11.47	321 54	24	20 $\frac{1}{4}$	24	20	23.91
3	β Per 2.5	03 04 59 .18	+40 46 16.84	61 5	0	43	0	43	1.63
4	ω Psc 4.0	23 56 47 .89	+ 6 35 35.66	21 5	1	10	1	10	1.72

2. 等高仪观测法之计算:

应用公式:

$$\tan \frac{t_0}{2} = \sqrt{\frac{\sin(S_0 - \varphi_0) \sin(S_0 - \delta)}{\cos S_0 \cos(S_0 - z)}}, S_0 = \frac{1}{2}(\varphi_0 + \delta + z) \quad \text{式(2)}$$

$$\sin A = \frac{-\sin t_0 \cos \delta}{\sin z} \quad \text{式(6)}$$

$$x + \cot A_0 y - (z + l) = 0 \quad \text{式(22)}$$

$$\left. \begin{aligned} x &= \Delta u \\ y &= \sec \varphi_0 \Delta \varphi \\ z &= \sec \varphi_0 \csc A_0 \gamma \\ l &= t_0 - (S + u_0 - \alpha) \end{aligned} \right\} \quad \text{式(24)}$$

第十三章 同时测定经纬度方法

公 式	观测次序	1	2	3	4
	星名星等	α Ari 2.2	β Las 4.6	β Per 2.5	ω Psc 4.0
(2)	φ_0	31°13'56".00	31°13'56".00	31°13'56".00	31°13'56".00
	δ	23 14 4.33	51 59 11.47	40 46 16.84	6 35 35.66
	z	30 0 46.00	30 0 46.00	30 0 46.00	30 0 46.00
	αS_0	84 28 46.33	113 13 53.47	102 00 58.84	67 50 17.66
	S_0	42 14 23.16	56 36 56.74	51 00 29.42	33 55 8.83
	$S_0 - \varphi_0$	11 00 27.16	25 23 0.74	19 46 33.42	2 41 12.83
	$S_0 - \delta$	19 00 18.83	4 37 45.27	10 14 12.58	27 19 33.17
	$S_0 - z$	12 13 37.16	26 36 10.74	20 59 43.42	3 54 22.83
	$\log \sin(S_0 - \varphi_0)$	9.280 892 9	9.632 128 8	9.529 357 1	8.670 969 3
	$\log \sin(S_0 - \delta)$	9.512 757 1	8.906 914 6	0.249 729 8	9.661 860 8
	$\operatorname{colog} \cos S_0$	0.130 569 9	0.259 439 1	0.201 204 7	0.081 012 9
	$\operatorname{colog} \cos (S_0 - z)$	0.009 964 9	0.048 598 9	0.029 834 9	0.001 010 1
	$\log \tan^2 t_0/2$	8.934 184 8	8.847 081 4	9.010 126 5	8.414 853 1
	$\log \tan t_0/2$	9.467 092 4	9.423 540 7	9.505 063 2	9.207 426 6
	$t_0/2$	-16°20'18".92	+14°51'6".70	-17°44'28".86	+9°09'30".89
	t_0	-32 40 37.84	+29 42 13.40	-35 28 57.72	+18 19 1.78
	t_0 (时分秒)	-2 10 42.52	+1 58 48.89	-2 21 55.85	+1 13 16.12
(24)	S(表面恒星时)	23 53 40.86	21 20 23.91	0 43 1.63	1 10 1.72
	u_0 (已加 日差改正)	1.84	1.85	1.85	1.86
	α (赤经)	2 4 24.99	22 21 37.10	3 4 59.18	23 56 87.99
	$S + u_0 - \alpha$	21 49 17.71	1 58 48.66	357 38 4.30	1 13 15.69
	l	-0.23	+0.23	-0.15	+0.43
	l (度分秒)	-3".45	+3".45	-2".25	+6".45

续表

公	观测次序	1	2	3	4
式	星名星等	α Ari 2.2	β Las 4.6	β Per 2.5	ω Psc 4.0
(6)	$\log \cos \delta$	9.963 267	9.789 473	9.879 280	9.997 118
	$\log \sin t_0$	9.932 317(n)	9.695 057	9.763 770(n)	9.497 312
	$-\log \csc z$	0.300 862(n)	0.300 862(n)	0.300 862(n)	0.300 862(n)
	$\log \sin A$	9.996 446	9.785 392(n)	9.943 912	9.795 292(n)
	A	97°19'	322°24'	61°30'	218°37'

图 13-12 示图解定位线。其原理详见图 13-6。按图解结果得

$$\text{假定纬度 } \varphi_0 = 31^\circ 13' 56''.0$$

$$\text{图解得改正数 } \Delta\varphi = y \cdot \cos \varphi_0 = + 1.20$$

$$= 1''.4 \cos \varphi_0$$

$$\text{纬度 } \varphi = 31^\circ 13' 57''.20$$

中央观测时(24^h29^m)之假定计时表改正 $u_0 = +0^{\text{分}} 1^{\text{秒}}.85$

$$\text{图解得改正数 } \Delta u \left(= \frac{x}{15} \right) = + 0.03$$

$$\text{计时表改正 } u = +0^{\text{分}} 1^{\text{秒}}.88$$

该日下午 5 时收听上海徐家汇天文台时号, 经计算结果, 表面时 20^时 41^分 21^秒.65 相当于格林尼治恒星时 12^时 35^分 31^秒.45, 是以

$$\text{时号(9^时 世界时 XSG)表面时} = 20^{\text{时}} 41^{\text{分}} 21^{\text{秒}}.65$$

$$\text{计时表改正 } u = + 1.88$$

$$\text{计时表日差改正} = - 0.05$$

$$\text{地方恒星时} = 20 \ 41 \ 23.48$$

$$\text{时号相当格林尼治恒星时} = 12 \ 35 \ 31.45$$

$$\text{经度 } \lambda = 8 \ 5 \ 52.03 \text{ 东}$$

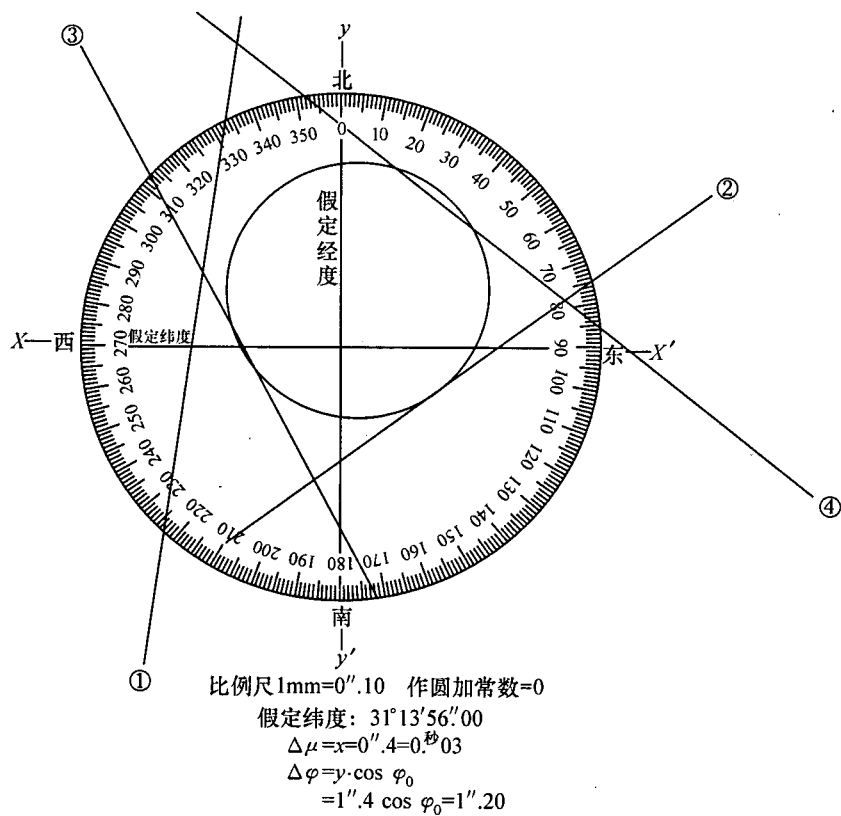


图 13-12

第十四章 方位角之测定

第一节 方位角及方位标

地球面上,由甲点至乙点之方位角为甲点子午平面与至乙点垂直面间之夹角,在地平圈上自北点顺时针方向起数,又称为地平经度。测定方位角一般包括下列步骤:(1)测定天体与某一地面标志间之水平角度,并记录观测时刻或天体之高度角。(2)计算观测时天体之方位角。(3)天体方位角加天体至地面标志间之水平角即为地面标志之方位角。

按图 14-1 观测者在 O , OM_a 为由 O 点至地面标志之水平方向。今欲测定 OM_a 之方位角 A_m ,可量测天体 X 与地面标志 M_a 间之水平角 θ ,同时记录观测时刻或天体之高度角,由是可计算天体之方位角 A 。由图 14-1 知

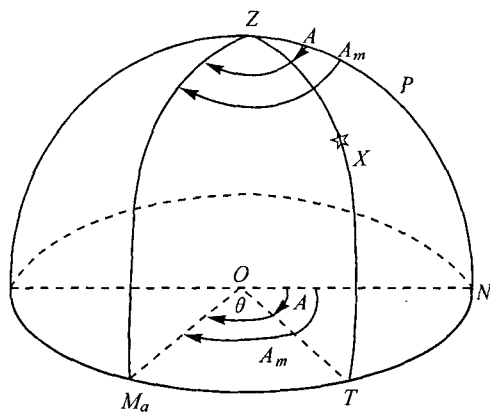


图 14-1

$$A_m = A + \theta \quad (1)$$

方位角测定之目的或为测定子午方向,以备将仪器置于子午圈内,作中天高度或定时之观测;或为测定地面一线之方位角,以作地面测量之方位控制。后者乃测量工作者所常遇之问题,即自一三角点或导线点测定至另一三角点或导线点之方位角。

测定大三角网一边之方位角时,即以三角点为观测目标,置一回照灯于目标点上。观测工作与夜间量测三角网水平角之情形相同,有时天文方位角观测即与三角网水平角观测合并举行。如在夜间测定导线一边之方位角,则因距离较近,不能使用回照灯,须在较远之处置一方位标,以为照准之用。此方位标必须能在昼夜均适于观测,俾夜间测定其方位角后,日间以之于导线边系紧,以定导线边之方位角。

最简单方位标之构造为一木匣,内置电灯,匣侧有小孔,使光线外射。孔之大小视距离而定。凡作精密之观测,应使孔角在 $0''.5$ 至 $1''.0$ 之间。方位标宜尽可能置于远处,至少须使望远镜每次观测恒星后再对准此标志时,无须另外对光。使用放大倍数较大之望远镜时,方位标宜置于一公里以外,较小者可以减短。

专设之方位标多设在极近正北之处,因精密测定方位角时观测对象主要为北极星。如将方位标与北极星在水平角方向设在同一望远镜视场之内,不但测角便利,且当仪器备有目镜测微器时,可用游丝量测星与标间之小角,得精度较高之结果。

一般言之,观测方位角与量测水平角之程序完全相同。每一组应包括正镜倒镜各量一周。各组观测应使用度盘不同之位置,其移位方法与水平角观测同。惟因天体与地面标志之高度角相差甚多,故望远镜水平轴之校正必须特别注意。在精密测定时,宜用跨水准量水平轴之倾斜,以改正观测结果。

设跨水准之零分划在中间, e 与 w 为第一位置时水准气泡东西两端之读数, e' 与 w' 为跨水准调头后东西两端水准气泡之读数,则水平轴倾斜角为

$$i = \frac{d''}{4} \{ (w + w') - (e + e') \} \quad (2)$$

d'' 为水准管之分划值。 i 为正数,水平轴西端亮,负数时东端高。

设跨水准之零分划在一端, e 与 ω 为零分划在东端时水准气泡东西两端之读数, e' 与 ω' 为零分划在西端时水准气泡东西两端之读数,则

$$i = \frac{d''}{4} \{ (\omega - \omega') + (e - e') \} \quad (3)$$

水平轴倾斜影响水平角之读数为

$$(i) = i \cdot \tan h = i \cot z \quad (4)$$

h 为观测天体之高度角。 (i) 为正时,即水平轴西端高,水平角读数应加此改正, (i) 为负时,即按符号减此改正。

第二节 测定方位角一般原理

定位三角形 PZS (图 14-2)中,如已知观测者之纬度 φ ,天体之赤纬,再观测天体之高度角 h ,或时角 t (可由记录之观测时刻及天体之赤经求得),即可解算天体之方位角 A 。兹分别讨论观测高度角 h 及时角 t 时之情形,并比较之。

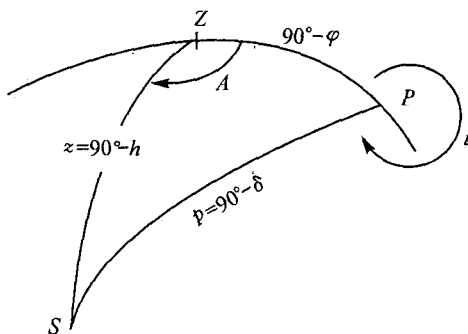


图 14-2 定位三角形

1. 观测高度角 h :

由球面三角余弦公式,得

$$\sin \delta = \sin \varphi \sin h + \cos \varphi \cos h \cos A \quad (5)$$

今欲知纬度 φ 及高度角 h 之误差对于测定方位角误差之关系,微分式(5)得

$$O = (\cos \varphi \sin h - \sin \varphi \cos h \cos A) d\varphi + (\sin \varphi \cos h - \cos \varphi \sin h \cos A) dh - \cos \varphi \cos h \sin A dA$$

$$\text{或 } dA = (-\tan \varphi \cot A + \tan h \csc A) d\varphi + (-\tan h \cot A + \tan \varphi \csc A) dh \quad (6)$$

由式(6)可见当 $A=90^\circ$ 或 270° , $h=0^\circ$ 时,纬度及高度角误差对于方位角 A 之影响较少。是以观测高度角以定方位角应选在卯酉圈上高度甚低之星比较适宜。

又天体在子午圈之东及子午圈之西, A 及 dA 之符号均相反,是以观测高度定方位角应在东西两方近卯酉圈处各测一星,其平均结果受高度角观测误差之影响最少。

2. 观测时角 t :

根据第七章球面三角公式(3)*,以 P 为 A , Z 为 B , S 为 C , 得

$$\sin t \cot A = \sin \varphi \cos t - \tan \delta \cos \varphi \quad (7)$$

今欲知时角 t 及纬度 φ 之误差对于测定方位角 A 之影响,微分上式,得

$$dA = \frac{\sin A}{\sin t} (\cos A \cos t + \sin A \sin \varphi \sin t) dt - \frac{\sin^2 A}{\sin t} (\cos \varphi \cos t + \tan \delta \sin \varphi) d\varphi \quad (8)$$

上式 dt 系数括号内可按第七章式(2)余弦公式化为 $-\cos S$, S 为星位角。 $d\varphi$ 系数先用正弦公式

$$-\frac{\sin A}{\sin t} = \frac{\cos \delta}{\cos h}$$

代入,再将 $\cos \delta$ 乘入括号内,按第七章式(13),即为 $\sin h$ 。故式(8)可化为

$$dA = \frac{\cos \delta}{\cos h} \cos S dt + \tan h \sin A d\varphi \quad (9)$$

由式(9)可见当 $S=90^\circ$ 时,即当天体在大距时,时角 t 误差之影响趋于零。当 $A=0^\circ$ 时,纬度 φ 误差之影响趋于零。极距极小之拱极星在大距时之方位角甚近于 0° , 故为精密测定方位角之最适宜方法。如必在昼间观测太阳,太阳之赤纬常小于观测者纬度,不可能达到大距之条件,只有当其在卯酉圈附近, S 较近于 90° 时最为适宜。

由于 dA 在子午圈东及子午圈西之符号相反,故如在东西相对称之位置观测而取其平均值,可以消除 dt 及 $d\varphi$ 之影响。

3. 观测高度角 h 与观测时角 t 之比较:

由以上分析可知测定方位角,量测高度角或时角均可。一般而论,如观测地方之经度已经测定,且结果相当准确,又有良好时计与授时信号对正,则观测时角(即记录观测时刻)较观测高度角之结果易于精确,因计时之精度不难达 $0.1^s = 1.5''$,而量测高度角受蒙气差及仪器误差之影响较大,极不易达此精度。惟普通测量天文方位角以控制地面导线测量时,多不知观测点之经度,且测定方位角之精度需要不甚高,故多观测高度角比较简单。如必欲观测时角,须于观测之前先作定时观测,求定地方恒星时亦时。

第三节 天体高度法

第一目 恒星高度法

前节中已经说明,当天体在卯酉圈上,高度角甚小时,高度角观测误差及已知纬度误差对于测定方位角之影响最小。故观测恒星高度以定方位角时,宜选择卯酉附近高度角较低之恒星。但高度角过低,蒙气差改正即不易精确,故一般选星之高度至少应在 $10^\circ - 15^\circ$ 以上,并应在东方及西方卯酉圈附近各选一星,高度相差不甚多,相继观测,其平均结果可以减除纬度及蒙气差误差之影响。

观测前须将经纬仪仔细垂准,使仪器之垂直轴正通过测站点,否则偏心误差可能影响方位角甚大。观测高度角前须将仪器仔细置平,然后以望远镜先对准地面目标(三角点或方位标),将目标置于竖丝上固定并读记水平度盘之读数。然后即转动上盘,使望远镜指向拟测恒星之方向。先以竖丝对准恒星,使横丝在恒星移动方向之前(恒星在东方时,横丝应在星上,西方时横丝在下,倒像望远镜反之),用上盘微动螺旋移动竖丝使之永远平分恒星,俟恒星达到十字丝交点时,停止转动微动螺旋,读取水平及垂直度盘读数。如有跨水准及垂直度盘水准,亦应

读记之。读记已毕,再倒镜作同样观测。每星应用正倒镜连续观测二次或四次,是为一组。最后需再将望远镜对准地面目标一次,此时读水平度盘,应与原来读数相同,或相差在照准精度以内,以验水平度盘在观测中间有无移动。

观测高度定方位角本无须读记观测时刻,但有时为检查观测有无错误,亦记录观测之表面时,以验核各次观测间水平角及垂直角读数之变化是否与时间成比例。盖在卯酉圈附近恒星之周日圈几为一直线。

计算时如每组观测之时间不超过十分钟,可取各次水平角之平均数与垂直角之平均数相应,合并计算。应用之公式为第七章之式(23)即

$$\tan \frac{A}{2} = \sqrt{\frac{\sin(s-h)\sin(s-\varphi)}{\cos s \cos(s-p)}} \quad (10)$$

$$s = \frac{1}{2}(\varphi + h + p) \quad (11)$$

例 测站 $\Delta 21$ (图 14-3) 纬度 $\varphi = 3^{\circ}26'20''$ 北

观测日期:1931 年 2 月 9 日 观测恒星: β 室女座

地面目标: $\Delta 23$ 气压:709 公厘,温度:27.2°C

1. 观测记录:

目标	望远镜	水平角读数			天顶距读数			垂直盘水准	
		A	B	平均	C	D	平均	目镜	物镜
$\Delta 23$	正	246 49 58	69.5	246 50 03.8					
*	正	308 58 26.5	42	308 58 34.2	47 44 04	28.5	47 44 16.2	19.5	8.0
*	正	309 02 46.5	59	309 02 52.8	46 38 48.5	69.5	46 38 59	19.0	7.5
			* 平均	309 00 43.5					
*	倒	129 04 18.5	17.0	129 04 17.8	44 51 47	40	44 51 43.5	25.0	14.0
*	倒	129 06 46	43.5	129 06 44.8	44 11 12	02	44 11 07	25.5	14.0
			* 平均	129 05 31.3		和	183 26 05.7	89.0	43.5
$\Delta 23$	倒	66 50 24.5	27.5	66 50 26		平均	45 51 31.4	+	45.5

2. 计算:

(1) 水平角(目标至*):

正镜 $62^{\circ} 10' 39''.7$ 倒镜 $62 \quad 15 \quad 05.3$

 平均 $62 \quad 12 \quad 52.5$

(2) 高度角:

观测天顶距(平均)

水准改正 $\frac{2''}{8} \times 45.5$

高度角

蒙气差	{	常差	61''.9	}
		温度—	5.9	
		气压—	3.8	

改正高度角

(3) 方位角:

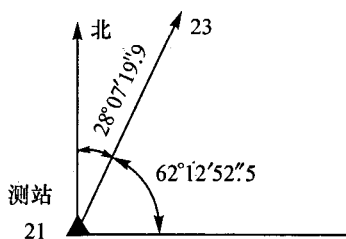
 $h = 44^{\circ} 07' 25''.0$ $\varphi = 3 \quad 26 \quad 20.0$ $p = 87 \quad 50 \quad 53$ 2 $\boxed{135 \quad 24 \quad 38}$ $s = 67 \quad 42 \quad 19$ $s - h = 23 \quad 34 \quad 54$ $s - \varphi = 64 \quad 15 \quad 59$
 $s - p = \frac{-20 \quad 08 \quad 34}{67 \quad 42 \quad 19}$


图 14-3

 $45^{\circ} 51' 31''.4$

 $45^{\circ} 51' 42''.8$
 $44^{\circ} 08' 17''.2$

 $52''.2$
 $44^{\circ} 07' 25''.0$ $\log \sec s \quad 0.420 \quad 935 \quad 9$ $\log \sin(s-h) \quad 9.602 \quad 120 \quad 6-10$ $\log \sin(s-\varphi) \quad 9.954 \quad 639 \quad 2-10$ $\log \sec(s-p) \quad 0.027 \quad 409 \quad 6$ 2 $\boxed{0.005 \quad 105 \quad 3}$ $\log \tan \frac{A}{2} = 0.002 \quad 552 \quad 6$ $\frac{A}{2} = 45^{\circ} 10' 06''.2$ 恒星方位角 $A = 90^{\circ} 20' 12''.4$ 标目至*之水平角 $= 62 \quad 12 \quad 52.5$ $\Delta 21 \rightarrow \Delta 23$ 方位角 $= 28 \quad 07 \quad 19.9$

第二目 太阳高度法

太阳高度法与恒星高度法之原理及计算方法全同。惟观测时不能

使太阳中心正在十字丝交点,仅能使太阳之边缘与横丝及竖丝相切,如图 14-4 所示。两次观测如分别将太阳像置于相对之象限内,由两次观测结果之平均数即可消除太阳半径对于水平角及高度角之影响。图 14-4(a)、(b)分示上下午观测最适宜之象限。

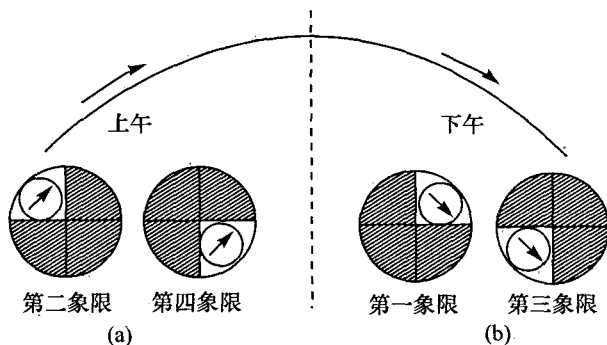


图 14-4

在第二第三象限观测时,先将竖丝与太阳像相切,横丝则割太阳像一小部分,用水平盘微动螺旋使竖丝恒与太阳之右缘相切,因太阳运动方向关系,横丝割太阳像之部分愈缩愈小,终至太阳之下缘(第二象限)或上缘(第三象限)与横丝适相切。此时即停止转动微动螺旋,读水平及垂直度盘,并记取观测时刻与垂直盘水准气泡读数。记取观测时刻主要为算求太阳之赤纬,故可不必精准,但亦有时观测太阳目的在同时求定表差及方位角,此时即必须每次记取准确之观测时刻。

在第一及第四象限观测时,先将横丝与太阳之下缘(第一象限)或上缘(第四象限)相切,竖丝则割太阳像一小部分。然后转动垂直度盘微动螺旋,同上述方法至竖丝与太阳之左缘相切为止。

上述上下午观测太阳位置最适当之象限系指正像望远镜而言,倒像望远镜或装有棱镜目镜时,太阳显示移动之方向与图 14-4 不同。必须先察太阳移动之方向,使十字丝之一与之相切,而另一丝则割太阳像一小部分,且随太阳之移动,被割部分逐渐减小即可。

为消除蒙气差及仪器误差(高度角误差)之影响,宜在同日上午下午各观测一次而取其中数。其理论已于第二节中述及。

兹举观测太阳高度定方位角之实例如下:

例 测站:上海同济大学 近似纬度: $31^{\circ}16'39''.8$ 北

日期:1951年3月29日 近似经度: $8^{\text{时}}5^{\text{分}}58^{\text{秒}}$

温度: 17° 摄氏 计时表误差 $+9^{\text{秒}}.2$

气压:733 公厘

方位标志

1. 观测记录:

目 标	位 置	计 时 表 时 刻			水 平 角					垂 直 度 盘 读 数					天 顶 距		
		时	分	秒	度 。	分 ，	秒			度 。	分 ，	秒					
							Ⅰ "	Ⅱ "	平均 数"			Ⅰ "	Ⅱ "	平均 数"			
标志	正				00	4	41.2	41.0	41.1								
☉	正	16	37	22.5	347	59	1.5	1.0	1.3	70	42	10.8	10.8	10.8	70	42	10.8
☉	正		40	37.2	349	00	25.2	24.3	24.8	71	55	8.9	9.1	9.0	71	55	09.0
标志	正				00	4	42.0	42.2	42.1								
标志	反				180	4	44.4	44.0	44.2								
☉	反	16	43	29.3	168	50	15.7	16.1	16.2	288	01	39.0	39.6	39.3	71	58	20.7
☉	反		45	50.0	169	43	26.3	26.1	26.2	286	59	50.8	51.1	51.0	73	00	09.0
标志	反				180	4	44.1	44.5	44.3								
		4	16	55	139.04	139.3	152		68.5						4285	155	49.5
		16	41	49.8	348	53			17.1	= 太阳方向角平均数					= 71 53		57.4
					4	00	16		171.7	天顶距平均数							
					00	4			42.9	标志方向角平均数							

2. 计算:

(1) 高度角计算:

$$\begin{aligned}
 &\text{天顶距平均数(记录簿)} &&= 71^{\circ} 53' 57''.4 \\
 &\text{蒙气差(+)} &&= \underline{\quad 2 \quad 45.1} \\
 &&&71 \quad 56 \quad 42.5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{视差}(-) &= \underline{\hspace{1cm} 8.4 \hspace{1cm}} \\ \text{天顶距}(z) &= 71 \quad 56 \quad 34.1 \\ \text{高度角}(h) &= 18 \quad 3 \quad 25.9\end{aligned}$$

(2) 观测时刻之平均值:

$$\begin{aligned}\text{观测时刻之平均值} &= 16^{\text{时}} 41^{\text{分}} 49^{\text{秒}}.8 \\ \text{表差} &= + \underline{\hspace{1cm} 9.2 \hspace{1cm}} \\ \text{观测时刻之标准时} &= 16 \quad 41 \quad 59.0 \\ \text{经度差(时数西+东-)} &= \underline{\hspace{1cm} 8 \hspace{1cm}} \\ \text{格林尼治平时} &= 8 \quad 41 \quad 59.0 \\ &= 0^{\text{h}}.362 \quad 49\end{aligned}$$

(3) 极距:

$$\begin{aligned}\text{太阳赤纬(格 } 0^{\text{时}}) &= +2^{\circ} 58' 28''.8 \\ \text{内插计算} &= + \underline{\hspace{1cm} 08 \quad 29.5 \hspace{1cm}} \\ \text{观测时刻太阳赤纬} &= +3^{\circ} 06' 58''.3 \\ \text{极距}(p) &= 86^{\circ} 53' 01''.7\end{aligned}$$

(4) 计算:

$$\begin{aligned}h &= 18^{\circ} 03' 25''.9 & S &= 68^{\circ} 06' 33''.7 \\ \varphi &= 31 \quad 16 \quad 39.8 & S-h &= 50^{\circ} 03' 07''.8 \\ p &= \underline{86 \quad 53 \quad 01.7} & S-\varphi &= 36^{\circ} 49' 53''.9 \\ 2S &= 136^{\circ} 12' 67''.4 & S-p &= \underline{-8^{\circ} 46' 28''.0}\end{aligned}$$

$$\text{检核}[2S] = 136^{\circ} 12' 67''.4$$

$$\log \sec S = 0.428 \quad 482 \quad 0$$

$$\log \sin(S-h) = 9.884 \quad 585 \quad 4$$

$$\log \sin(S-\varphi) = 9.777 \quad 764 \quad 4$$

$$\log \sec(S-p) = \underline{0.023 \quad 745 \quad 0}$$

$$2 \log \tan \frac{A}{2} = 0.114 \quad 576 \quad 8$$

$$\log \tan \frac{A}{2} = 0.057 \quad 288 \quad 4$$

$$\frac{A}{2} = -48 \quad 46 \quad 5''.0$$

$$\begin{aligned}
 A &= -97\ 32\ 10.1 \\
 &= 262\ 27\ 49.9 \\
 \text{标志与天体间之水平角} &= 11\ 11\ 25.8 \\
 \text{标志之方位角} &= 273^\circ 39' 15''.7
 \end{aligned}$$

(5) 略图(图 14-5):

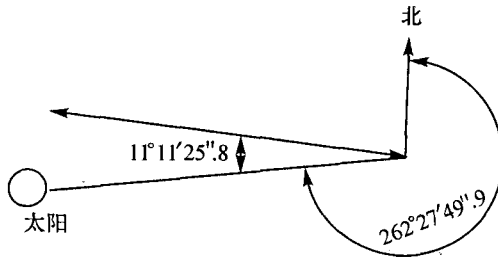


图 14-5

在前例中因观测时亦记取时刻,故亦可根据观测太阳高度法,照第十二章第二节第三目所述方法计算表差。兹将计算情形列下,以验证表差之值。

表差计算(所有以下天顶距极距等值均用上例已求出之数值)

$\log \cos s$	9.571 518 0-10	太阳时角	=	4 ^时 42 ^分 53 ^秒 .4
$\log \sin(s-h)$	9.884 585 4-10			+12
$\log \csc(s-\varphi)$	0.222 235 6	地方视太阳时	=	16 42 53.4
$\log \sec(s-p)$	0.023 745 0	经度	=	- 8 5 58
$2\log \tan \frac{1}{2}t$	19.702 084 0-20	格视太阳时	=	8 36 55.4
$\log \tan \frac{1}{2}t$	9.851 042 0-10	时差	=	+ 5 3.7
$\frac{t}{2}$	$= 35^\circ 21' 40''.6$	格平时	=	8 41 59.1
t	$= 70^\circ 43' 21''.2$	标准经度	=	+ 8
	$= 4^{\text{时}} 42^{\text{分}} 53^{\text{秒}}.4$	标准时	=	16 41 59.1
		观测时刻平均值	=	16 41 49.8
		表差	=	+ 9.3

表差亦可由授时信号求得为 $+9^{\text{秒}}.3$,与上例所得者相符合。

由此例可以说明:观测太阳高度及方位角,记录表面时刻,可以同时求定表差及方位角。又由此例亦可利用太阳时角,计算太阳方位角,详见下节太阳时角法。

第四节 太阳时角法

应用时角法测定方位角可以观测恒星,亦可观测太阳。太阳之赤纬常小于观测者之纬度,因此不能达到大距之条件。故观测太阳以当其在卯酉圈附近时最为适宜。盖此时星位角 S 最大,观测恒星则以拱极星在大距或大距附近时最宜,详见以下两节。

观测太阳一般不易达到甚高之精度,然可能于日间观测,故对于普通导线测量之方位角控制比较适宜。

太阳时角法之观测较太阳高度法简单。如时计对正准确,精度亦较高。使用此法时因不需量测高度角,观测时仅须使望远镜内竖丝切太阳之左右缘,而不必用横丝切其上下缘。当太阳之左或右缘与竖丝相切时,记录表面时,然后读水平度盘即可。观测之前应将计时表对正,求其表差,并定其日差。

为消除表差(亦即时角误差)对于测定方位角之影响,宜于上下午各测一次,而取其中数。其理论已于第二节中述及。

计算太阳方位角可用第七章之式(17)上下乘以 $\cos \delta$,得

$$\tan A = \frac{-\cos \delta \sin t}{\sin \delta \cos \varphi - \cos \delta \sin \varphi \cos t} \quad (12)$$

今命

$$\left. \begin{aligned} \sin \delta &= m \cdot \sin M \\ \cos \delta \cos t &= m \cdot \cos M \end{aligned} \right\} \text{或 } \tan M = \frac{\tan \delta}{\cos t} \quad (13)$$

将式(13)代入式(12)得

$$\tan A = \frac{-m \cos M \cdot \tan t}{m \sin M \cos \varphi - m \cos M \sin \varphi} = \frac{-\cos M}{\sin(M - \varphi)} \tan t \quad (14)$$

式(14)即为计算方位角 A 之应用公式,其中 M 由式(13)求之。

此外又有一计算公式,系根据球面三角纳氏公式:

$$\tan \frac{1}{2}(A+B) = \frac{\cot \frac{1}{2}(a-b)}{\cos \frac{1}{2}(a+b)} \cot \frac{C}{2}$$

$$\tan \frac{1}{2}(A-B) = \frac{\sin \frac{1}{2}(a-b)}{\sin \frac{1}{2}(a+b)} \cot \frac{C}{2}$$

在定位三角形中命 S 为 B , Z 为 A , P 为 C , 代入上两式得

$$\tan \frac{1}{2}(A+S) = \frac{\cos \frac{1}{2}(\varphi-\delta)}{\sin \frac{1}{2}(\varphi+\delta)} \cot \frac{t}{2} \quad (15)$$

$$\tan \frac{1}{2}(A-S) = \frac{\sin \frac{1}{2}(\varphi-\delta)}{\cos \frac{1}{2}(\varphi+\delta)} \cot \frac{t}{2} \quad (16)$$

$$A = \frac{1}{2}(A+S) + \frac{1}{2}(A-S) \quad (17)$$

用对数计算亦极方便。

兹仍以第三节第二目之例,说明太阳时角法之计算步骤。该例观测时亦记取观测时刻,故亦可按太阳时角法计算方位角。首先根据表面时加表差得中原标准时,再化为视太阳时求太阳时角,然后按式(14)计算方位角。

例 观测结果见 206 页。

(I) 根据式(13)及(14)

(1) 时角之计算:

计时表(中原时)时刻	16 ^时 41 ^分 49 ^秒 .8
表差	+ 9.3
中原时	16 41 59 1
标准经度	- 8
格平时、	8 41 59 .1
时差	- 5 03 .7

(2) 方位角计算:

$\log \tan \delta =$	8.735 930 5
$\log \sec t =$	0.481 296 9
$\log \tan M =$	9.217 227 4
$M =$	9°21'50".2
$\varphi =$	31 16 40
$M - \varphi =$	-21 54 49.8

格视时	8 36 55 .4	$\log(-\tan t)=0.456\ 237\ 1n$
观测地经度	<u>+ 8 5 58 .0</u>	$\log \cos M=9.994\ 174\ 0$
地方视太阳时	16 42 53 .4	$\log \csc(M-\varphi)=\underline{0.428\ 044\ 6n}$
	<u>-12</u>	$\log \tan A=0.878\ 455\ 7$
太阳时角 t	$= 4\ 42\ 53 .4$	$A=262^{\circ}27'49''.7$
t	$=70^{\circ}\ 43'\ 21''.0$	

(II) 根据式(15)、(16)、(17)

$\varphi=31^{\circ}16'39''.8$	$\log \cos \frac{1}{2}(\varphi-\delta)\ 9.986\ 251\ 0$
<u>$\delta= 3\ 06\ 58.3$</u>	$\log \sin \frac{1}{2}(\varphi+\delta)\ \underline{9.470\ 788\ 3}$
$\varphi-\delta=28\ 09\ 41.5$	$0.515\ 962\ 7$
$\frac{1}{2}(\varphi-\delta)=14\ 04\ 50.8$	$\log \cot \frac{1}{2}t\ \underline{0.148\ 958\ 5}$
$\varphi+\delta=34\ 23\ 38.1$	$\log \tan \frac{1}{2}(A+S)\ 0.664\ 921\ 2$
$\frac{1}{2}(\varphi+\delta)=17\ 11\ 49.0$	$\frac{1}{2}(A+S)=77^{\circ}47'39''.6$
$t=70^{\circ}43\ 21.0$	$\frac{1}{2}(A-S)=\underline{19\ 44\ 30.7}$
$\frac{t}{2}=35\ 21\ 40.5$	$360^{\circ}-A= 97\ 32\ 10.3$
	$A=262^{\circ}27'49''.7$

$$\log \sin \frac{1}{2}(\varphi-\delta)\ 9.386\ 123\ 6$$

$$\log \cos \frac{1}{2}(\varphi+\delta)\ \underline{9.980\ 137\ 2}$$

$$9.405\ 986\ 4$$

$$\log \cot \frac{1}{2}t\ \underline{0.148\ 958\ 5}$$

$$\log \tan \frac{1}{2}(A-S)\ 9.554\ 944\ 9$$

$$\frac{1}{2}(A-S)= 19^{\circ}44'30''.7$$

(t 为正时, A 为负)

第五节 拱极星在大距法

第二节中已经证明,当赤纬较大之拱极星在大距时测定方位角最为精密。此时定位三角形形成一直角三角形(星位角为 90°)如图 14-6 所示。如已知观测者之纬度 φ 及拱极星之距 p ,不必量测高度角,亦不必记取观测时刻,即可照第七章式(28)计算该星之方位角 A 。

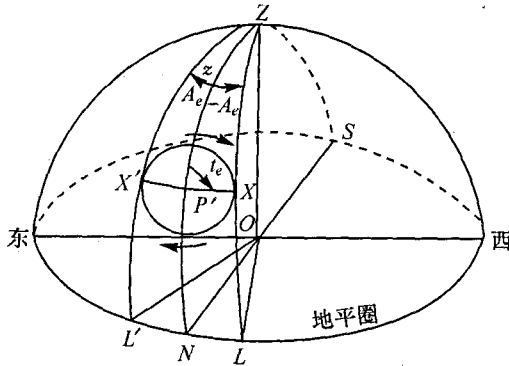


图 14-6 拱极星在大距时

$$\sin A_e = \sin p \sec \varphi \quad (18)$$

如所测为北极星,极距 p 甚小, A_e 亦甚小,故可书为:

$$A_e'' = p'' \sec \varphi \quad (19)$$

我国天文年历内列有“大距时北极星平经”表,以赤纬 δ 及纬度 φ 为引数,即可查得平经(地平经度亦即方位角) A_e ,甚为便利。

观测之前必须先计算拟测拱极星之大距时刻。按第七章式(27)恒星在大距时之时角为

$$\cos t_e = \tan \varphi \tan p \quad (20)$$

东大距时 t_e 为负,西大距时 t_e 为正。 $\alpha + t_e$ 即为大距时之地方恒星时。如用标准时表,可将其化为标准时。如所测为北极星,其大距时刻,可由我国天文年历内“北极星视位,上中天时刻,上中天与东西大距之间隔”表内查得。该表内列有每十日北极星在格林尼治上中天之格平时,

并列每日之差数,可以插算。加入经度改正(表内列为每时差数)即得观测地上中天之地方时刻。再由同表最后一列,以高度(可即用观测地点之纬度)为引数,查出大距与上中天间之平时间隔,东大距由上中天地方平时减去,西大距加于上中天地方平时,即得大距之地方平时。

北极星距极最近,且甚明亮,最适于观测,其大距时高度与观测者纬度相差甚微,易于寻觅。若北极星大距之时刻过早或过迟,不便观测,则必须选取其他拱极星如小熊座 δ, ϵ , 或 51 仙王座。此数星之亮度甚低,须先求其大距时高度始易寻觅。计算大距时高度 h_e 之公式亦可由第七章球面直角三角形公式参照图 14-6 得之:

$$\sin h_e = \sin \varphi \csc \delta \quad (21)$$

在计算所得大距时刻约半小时以前,将经纬仪置平于测站上。将望远镜对准,拟测之拱极星,当其行近大距时,移动之方向几系垂直向上(东大距)或向下(西大距),方位角无显著之变化。此时宜迅将仪器精确置平,迅速用正倒镜量测此拱极星与地面目标间之水平角度。在我国纬度范围内,北极星方位角在大距前后十分分钟内变动不至超过 $0'.1$ 。如用普通游标经纬仪观测,仅有时间用复测法量测北极星与地面目标间之角度。

观测者如不愿于夜间量测拱极星至方位标间之水平角,亦可以望远镜竖丝对准恒星后,固定水平度盘,将望远镜下转,在地面数百公尺以外立一标志。然后倒转望远镜,用同样方法在地面再立一标志。除非仪器毫无误差,两标志未必完全相合。两者平均位置之方位角,即相当于恒星大距时之方位角。此标志与任何导线或三角网一边间之角度可于翌日昼间量测之。

兹举例说明如下:

例 1951 年 3 月 11 日晚在广州北纬 $23^\circ 06'.2$ 东经 $7^{\text{时}} 33^{\text{分}} 02^{\text{秒}}$ 观测北极星在西大距时之方位角。

1. 求大距之时刻:

(1) 用式(20)计算 t_e , 再求大距时刻:

查天文年历得 $p = 0^\circ 57' 8''$

$\alpha = 1^{\text{时}} 48^{\text{分}} 7^{\text{秒}}$

$\log \tan \varphi = 9.63003$

地方恒星时 = $7^{\text{时}} 46^{\text{分}}.5$

$\log \tan p = 8.21439$

经度 = $7 \quad 33 \quad .0$

$\log \cos t_e = 7.84442$	格恒星时	=	0 13.4
$t_e = 89^\circ 36'$	格 0 ^时 恒星时	=	<u>-11 11.4</u>
$t_e = 5^{\text{时}} 58^{\text{分}}.4$	恒星时段	=	13 02.0
$\alpha = 1 \quad 48.1$	表 III	-	<u>2.1</u>
地方恒星时 = 7 46.5	格平时	=	12 59.9
		+	<u>8</u>
	中原时	=	20 59.9

(2) 查天文年历求大距时刻:

1951 年 3 月 11 晚间, 格平时约为 11 日中午左近, 即为 3 月 11.55 日。
查天文年历“北极星视位, 上中天时刻, 上中天与东西大距之间隔”表。

3 月 11.6 日格上中平时	14 ^时 34 ^分 .3
(11.6—11.55) × 每日差 (3.95 ^分)	+ 0.2
经度改正 (7.55 ^时 × 每时差. 164 ^分)	+ <u>1.2</u>
北极星上中天地方平时	14 35.7
上中天至西大距平时间隔 ($\varphi = 23^\circ.1$)	+ <u>5 57.4</u>
西大距之地方平时	20 33.1
观测地点与标准时经度差	+ <u>27.0</u>
西大距之中原时刻	21 00.1

与(1)用式(20)计算之结果相符

2. 北极星在大距时量测北极星顺时针方向至方位标间之水平角度为 $36^\circ 18' 21''$ 求测站至方位标之方位角。

(1) 首先按式(19)计算:

$$\log p'' = 3.538 \ 825$$

$$\log \sec \varphi = \underline{0.036 \ 307}$$

$$\log Ae'' = 3.575 \ 132$$

$$Ae = 3' 759''.5 = -1^\circ 02' 39''.5$$

$$\text{天体至标志间夹角} = \underline{+36^\circ 18 \ 21.0}$$

$$\text{测站至方位标之方位角} = 35^\circ 15' 41''.5$$

(2) 北极星大距时方位角(平经)亦可由天文年历查得

$$\text{纬度 } 23^\circ \text{ 赤纬 } 89^\circ 2' 20'' \text{ 大距平经} = 1^\circ 02' 38''.8$$

$$\text{纬度改正 } 6'.2 \times 0''.46 = + 2.9$$

$$\text{赤纬改正 } 2'' \times 1.09 = \frac{2.2}{1^\circ 02' 39.5}$$

$$\text{北极星大距平经 } Ae = 1^\circ 02' 39.5$$

与(1)用式(19)计算所得完全相同。

第六节 拱极星近大距法

拱极星在大距法只能用于星体适在大距时,而在大距仅为一瞬间事,故观测次数不能增多,是为其缺点。倘有正确之时表,记录每次观测时刻,则可增加观测次数,延长观测时间至大距前后各 20 分钟左右。此时按观测时星之时角,将每次观测结果化为大距时之方位角,结果可较精确。是为拱极星近大距法。兹将其化算公式导出如下:

前节式(15)及式(17)可改书为

$$\sin Ae = \cos \delta \sec \varphi \quad (22)$$

$$\cos t_e = \tan \varphi \cot \delta = \cos \delta \sec \varphi \sin \varphi \csc \delta \quad (23)$$

(23)代入(22)内,得

$$\sin Ae = \frac{\sin \delta \cos t_e}{\sin \varphi} \quad (24)$$

再由图 14-4 定位三角形,按直角三角形公式得

$$\cos Ae = -\sin \delta \sin t_e \quad (25)$$

又由第七章式(14)及(15)一般非大距时之情形

$$\cos h \cos A = \sin \delta \cos \varphi - \cos \delta \sin \varphi \cos t \quad (26)$$

$$\cos h \sin A = -\cos \delta \sin t \quad (27)$$

式(24)×式(26)

$$\cos h \cos A \sin Ae = \sin \delta \cos \delta - \sin \delta \cos \delta \cos t \cos t_e \quad (28)$$

式(25)×式(27)

$$\cos h \sin A \cos Ae = +\sin \delta \cos \delta \sin t \sin t_e \quad (29)$$

式(28)－式(29)

$$\cos h \sin(A_e - A) = \sin \delta \cos \delta - \sin \delta \cos \delta \cos(t_e - t)$$

$$\text{或} \quad \sin(A_e - A) = \frac{\sin \delta \cos \delta}{\cos h} 2 \sin^2 \frac{1}{2}(t_e - t) \quad (30)$$

拱极星高度变化甚小,故如在近大距时观测 $\cos h$ 可以 $\cos h_e = \cot A_e \cot \delta$ 代之,式(30)可化为

$$\sin(A_e - A) = 2 \tan A_e \sin^2 \delta \sin^2 \frac{(t_e - t)}{2} \quad (31)$$

倘所观测为北极星或其他极距甚小之星 δ 近于 90° , A_e , $(A_e - A)$ 及 $(t_e - t)$ 均甚小, 故 $\sin^2 \delta \approx 1$, $\tan A_e \approx A_e$, $\sin(A_e - A) \approx A_e - A$, $\sin \frac{t_e - t}{2} \approx \frac{t_e - t}{2}$, 代入上式, 将 $A_e - A$ 化为角秒, A_e 化为角度, $t_e - t$ 化为时分, 即得

$$(A_e - A)'' = 0.034\ 26 A_e^\circ \cdot (t_e - t)^2 \quad (32)$$

上式中 $t_e - t$ 以时分单位为。

我国天文年历中有“大距附近观测订正”表, 以“大距平经” A_e 及“时间” $t_e - t$ 为引数, 可以查得“订正”值 $A_e - A$ 。

兹举观测实例于下。

例 1847 年 10 月 19 日在北纬 $43^\circ 13' 25''$ 地方观测北极星近大距时之方位角, 所用为恒星时计时表, 对地方恒星时之表差为 $-1^{\text{分}} 51^{\text{秒}}.8$ 观测。

1. 观测记录:

次数	目标	镜	水平度盘读数	水平度盘平均值	表面时
1	方位标	倒	63°55'31.3	243°55'25".87	6 ^时 30 ^分
2		倒	31.1		
3		倒	32.3		
4		正	243°55'19.8		
5		正	19.9		
6		正	20.8		
1	北极星	正	127 42 64.7		6 47 12
2		正	63.4		49 06
3		正	60.1		51 38
4		正	55.2		52 12.5
5		正	53.5		53 55.5
6		倒	307 42 46.8		7 06 54
7		倒	45.7		2 25.5
8		倒	46.0		01.5
9		倒	47.1		5 51
10		倒	47.1		7 14.5

续表

次数	目标	镜	水平度盘读数	水平度盘平均值	表 面 时
1	方		63°55'30".0		7 16
2	位		29.4		
3	标		28.4		
4			243 55 18.3	243°55'23".85	
5			18.7		
6			18.3		7 26

2. 计算:

(1) A_e, t_e 及西大距表面时之计算:

$$\log \cos \delta = 8.418\ 379\ 5 \qquad \log \cot \delta = 8.418\ 528\ 7$$

$$\log \sec \varphi = 0.137\ 459\ 3 \qquad \log \tan \varphi = 9.973\ 053\ 1$$

$$\log \sin A_e = 8.555\ 838\ 8 \qquad \log \cos t_e = 8.391\ 581\ 8$$

$$A_e = -2^\circ 03' 39''.21 \qquad t_e = 88^\circ 35' 17''.8$$

$$t_e = 5^{\text{时}} 54^{\text{分}} 21^{\text{秒}}.2$$

$$\text{北极星赤经} = 1\ 5\ 33.0$$

$$\text{地方恒星时} = 6\ 59\ 54.2$$

$$\text{表差} = -1\ 51.8$$

$$\text{西大距表面时} = 7\ 1\ 46.0$$

(2) 北极星水平角读数化为大距时之读数:

次数	镜	水平角读数	$t_e - t$	$A_e - A$	归化读数
1	正	127°42'64".7	+14 ^分 34 ^秒	-15".0	127°42'49".7
2	正	63.4	+12 40	-11.3	52.1
3	正	60.1	+10 8	-7.3	52.8
4	正	55.2	+9 33.5	-6.5	48.7
5	正	53.5	+7 50.5	-4.3	49.2
6	倒	307 42 46.8	+0 52	-0.1	307 42 46.7
7	倒	45.7	-0 39.5	0.0	45.7
8	倒	46.0	-2 15.5	-0.3	45.7
9	倒	47.1	-4 5	-1.2	45.9
10	倒	47.1	-5 28.5	-2.1	45.0
平均					127 42 48.15

(3) 方位标方位角之计算:

方位标水平度盘平均值	243°55'24".86
北极星归化读数平均值	127 42 48.15
	116 12 36.71
北极星西大距时方位角 A_0	-2 3 39.21
方位标之方位角	114 8 57.50
周日光行差(见第七节式(48))	+ 0.32
方位角测定结果	114° 8'57".82

第七节 近极星任意时角法

第一目 原理

第五第六两节所述拱极星在大距及近大距法在观测时间及观测次数上受一定之限制。今若所观测之星为极近极之拱极星,例如北极星,第二节式(9)中之 $\cos \delta$ 极近于零,星位角 S 虽不在 90° 附近,时角误差 dt 对于方位角之影响 dA 亦必甚小,故亦可于任意时角观测。此法名为近极星任意时角法。所谓近极星通常所指为北极星。如北极星适在中天附近,可改用 51 仙王座,二者赤经相差约 6^h ,故后者适在大距附近。但 51 仙王座为 5 等星,用普通仪器寻找不甚便利,其极距约为 3° ,亦较北极星为大。

由于近极星任意时角法具有不受时间限制之优点,每晚可用度盘不同位置观测多组,用以消除度盘误差,故为测定方位角之最精确方法。但此法不仅适于精密观测,即用普通游标经纬仪观测,亦为极便利之方法。与拱极星在大距法相较,可不受时间之限制。惟须备有已对正之计时表。倘不知表差或精确经度,可先观测卯酉圈附近一恒星之高度求地方恒星时之表差(第十二章第二节第二目),然后再作近极星方位角观测。定时之精度不需甚高,能达 0.5^s 已足。

近极星任意时角法之计算公式可有多种不同形式,兹分论于下:

1. 仍用第四节之式(15)、(16)、(17),但近极星之赤纬 δ 近于 90° ,

故将各式之 $(\varphi-\delta)$ 改为 $(\delta-\varphi)$,即得

$$\tan \frac{1}{2}(S+A) = \frac{\cos \frac{1}{2}(\delta-\varphi)}{\sin \frac{1}{2}(\delta+\varphi)} \cot \frac{t}{2} \quad (33)$$

$$\tan \frac{1}{2}(S-A) = \frac{\sin \frac{1}{2}(\delta-\varphi)}{\cos \frac{1}{2}(\delta+\varphi)} \cot \frac{t}{2} \quad (34)$$

$$A = \frac{1}{2}(S+A) - \frac{1}{2}(S-A) \quad (35)$$

此式适于对数计算。

2. 用第七章之式(17),即

$$\tan A = \frac{-\sin t}{\cos \varphi \tan \delta - \sin \varphi \cos t} \quad (36)$$

此式适于使用计算机计算。如用对数计算,可将式(36)右方分子分母均用 $\cos \varphi \tan \delta$ 除之,即可变为

$$\tan A = \frac{-\cot \delta \sec \varphi \sin t}{1 - \cot \delta \tan \varphi \cos t} = -\cot \delta \sec \varphi \sin t \frac{1}{1-a} \quad (37)$$

其中

$$a = \cot \delta \tan \varphi \cos t \quad (38)$$

因 δ 近于 90° , $\cot \delta$ 近于零,故 a 为一小值。先用对数依(38)求得 $\log a$ 值后,据以查一专备之计算表(附表 VI)即可得 $\log \frac{1}{1-a}$ 之值,再用式(37)计算 $\log \tan A$ 甚为便利。

3. 将式(37)改书为

$$\tan A = \frac{-\sin t \sin p}{\cos \varphi \cos p - \sin \varphi \sin p \cos t}$$

其中 A, p 均为 1° 左右之小角,可以展成级数,取至三次项为止:

$$A + \frac{1}{3}A^3 = \frac{-\sin t \left(p + \frac{1}{6}p^3 \right)}{\cos \varphi \left(1 - \frac{1}{2}p^2 \right) - \sin \varphi \cos t \left(p - \frac{1}{6}p^3 \right)}$$

将上式乘出,舍去三次以上之项,得

$$A \cos \varphi = -p \sin t + Ap \sin \varphi \cos t + \frac{1}{2} Ap^2 \cos \varphi - \frac{1}{3} A^3 \cos \varphi + \frac{1}{6} p^3 \sin t$$

$$A = -\frac{\sin t}{\cos \varphi} \left\{ p - Ap \sin \varphi \cot t - \frac{1}{2} Ap^2 \frac{\cos \varphi}{\sin t} + \frac{1}{3} A^3 \frac{\cos \varphi}{\sin t} - \frac{1}{6} p^3 \right\}$$
(39)

A 之第一次近似值为

$$A = -p \frac{\sin t}{\cos \varphi}$$

代入式(39)右方之高次项内, 即得

$$A = -\frac{\sin t}{\cos \varphi} \left\{ p + \frac{p^2}{\rho} \tan \varphi \cos t + \frac{1}{3} \frac{p^3}{\rho^2} [(1 + 4 \tan^2 \varphi) \cos^2 t - \tan^2 \varphi] \right\}$$
(40)

上式中 A 及 p 均以角秒为单位。其中已舍去三次以上之项。按北极星之 p 值而论, 略去之项影响在 $0''.1$ 以下。上式之三次项最大不超过 $2''$, 用游标经纬仪观测时亦可略去。而式(40)亦仅有在能舍去三次项时始较简便可用。

4. 我国天文年历内载有“各时角北极星平经”之表, 以纬度 φ 及时角 t 为引数, 用双内插法可得方位角至 $0''.1$ 之结果, 对于测定导线边方位角控制可以适用。

第二目 平均方位角之曲线改正

应用近极星任意时角法常连续观测近极星多次。使用游标经纬仪时并常用复测法以增加精度。若将每次结果分别按以上各式计算方位角, 工作将极繁重。倘用各次观测时刻之平均值计算时角, 再计算方位角, 则因星之周日圈为一圆弧, 其结果必不能与每次观测时方位角之平均值相应, 而必须加一曲线改正。由于近极星之周日运动至慢, 曲线改正之值常甚少。除非观测精度甚高, 一般观测时间在十余分钟以内时可以略去。兹将曲线改正之公式导出如下。

命每次观测时近极星之时角为 $t_1, t_2, \dots, t_n$, 其平均值为 t_0 。又命

$$\Delta t_1 = t_1 - t_0, \Delta t_2 = t_2 - t_0, \dots, \Delta t_n = t_n - t_0$$

于是

$$\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_n = 0$$
(41)

命每次观测时近极星之方位角为 $A_1, A_2, \dots, A_n$, 其平均值为 $\bar{A}$ 。由于近极星之曲线运动, $\bar{A}$ 并不与 t_0 相应。设与 t_0 相应之近极星方位角为 A_0 , 并命

$$\bar{A} + \Delta A = A_0 \quad (42)$$

于是 ΔA 即为曲线改正。

$A_1, A_2, \dots, A_n$ 与 A_0 之关系如下:

$$A_1 = f(t_1) = f(t_0 + \Delta t_1) = A_0 + \frac{dA}{dt} \Delta t_1 + \frac{1}{2} \frac{d^2 A}{dt^2} \Delta t_1^2$$

$$A_2 = f(t_2) = f(t_0 + \Delta t_2) = A_0 + \frac{dA}{dt} \Delta t_2 + \frac{1}{2} \frac{d^2 A}{dt^2} \Delta t_2^2$$

.....

$$A_n = f(t_n) = f(t_0 + \Delta t_n) = A_0 + \frac{dA}{dt} \Delta t_n + \frac{1}{2} \frac{d^2 A}{dt^2} \Delta t_n^2$$

上列各式相加, 以 n 除之。由于式(41)之关系, 所有 Δt 项之和为零, 故

$$\bar{A} = A_0 + \frac{1}{2n} \frac{d^2 A}{dt^2} \sum \Delta t^2 \quad (43)$$

比较(42)、(43)两式得

$$\Delta A = -\frac{1}{2n} \frac{d^2 A}{dt^2} \sum \Delta t^2 \quad (44)$$

$\frac{d^2 A}{dt^2}$ 可由微分第六节式(27)得之,

$$\frac{dA}{dt} = \frac{\tan A}{\tan t}, \quad \frac{d^2 A}{dt^2} = \frac{\tan A}{\sin^2 t} \left(\frac{\cos^2 t - \cos^2 A}{\cos^2 A} \right)$$

因近极星之方位角恒近于零, $\cos^2 A$ 必极近于 1, 故可得近似值

$$\frac{d^2 A}{dt^2} = -\tan A \quad (45)$$

再将 ΔA 变为角秒, 用 A_c (曲线改正) 表之; Δt 变为时秒, 用 τ 表之, 于是

$$\Delta A = \frac{A_c}{\varphi}, \quad \Delta t^2 = \left(\frac{15}{\rho} \right)^2 \tau^2 \quad (46)$$

将(45)、(46)两式代入式(44), 即得

$$A_c = \frac{15^2}{2\rho} \tan A_0 \cdot \frac{1}{n} \sum \tau^2 = [6.736 \ 72] \tan A_0 \cdot \frac{1}{n} \sum \tau^2 \quad (47)$$

[] 内为常数之对数。

第三目 水平轴改正及周日光行差改正

精密测定方位角时必须用跨水准测定观测时水平轴之倾斜差 i ，然后依照第一节式(4)改正观测水平方向之读数。式(4)中之 h 可以用垂直盘读数，亦可由 $h = \varphi - p \cos t$ 概式计算之。

第三章第五节所述之周日光行差对于方位角亦有影响，在精密测定时必须在最后结果加此改正。图 14-7 示光行差之影响。 Z 为天顶， NE 为地平圈之一部， N 为北点， E 为东点， P 为北极， S 为北极星之视位置， S' 为北极星真位置。光行差即为 SS' 弧， h 为北极星之高度， A 为其视方位角， ΔA 为由于光行差之方位角改正。 SE 之弧长为视线与地速方向之角度。图中直角三角形 CSE 按纳氏定律可由下列两种关系：

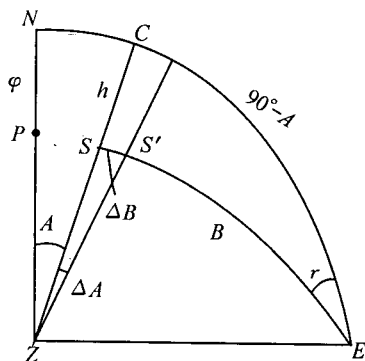


图 14-7

$$\cos h \cos A = \sin B \cos r$$

$$\cos h \sin A = \cos B$$

微分此两式并简化之，可得 dA 与 dB 之关系如下：

$$dA = \frac{-\cos A}{\sin B \cos h} dB$$

命 $dB = \Delta B$ ，亦即第三章第五节所述之光行差 α ，于是 dA 则等于 ΔA ，

再将第三章第五节式(3)

$$\alpha = 0''.319 \cos \varphi \sin B$$

代入,乃得

$$\Delta A = 0''.319 \frac{\cos A}{\cos h} \cos \varphi \quad (48)$$

因近极星之 A 甚少, $\cos A \approx 1$, φ 与 h 亦相差甚少,故光行差改正常用 $0''.32$ 之根之值即可。

兹举近极星任意时角法实例如下:

观测方法:复角观测法

计算公式:式(37)、(38)

附表 VI

日期 1898年 组别	六月六日 5	六月六日 6
计时表时刻	14 ^时 54 ^分 17 ^秒 .7	15 ^时 11 ^分 48 ^秒 .2
表差	-31.1	-31.1
恒星时	14 53 46.6	15 11 17.1
北极星赤经 α	1 21 20.3	1 21 20.3
北极星时角 t (时钟单位)	13 32 26.3	13 49 56.6
北极星时角 t (弧度单位)	203°06' 34".5	207° 29' 10".0
北极星赤纬 δ	88° 45' 46".9	88° 45' 46".9
$\log \cot \delta$	8.334 30	8.334 30
$\log \tan \varphi$	9.816 29	9.816 29
$\log \cos t$	9.963 67(n)	9.947 98(n)
$\log \alpha$	8.114 26(n)	8.098 57(n)
$\log \cot \delta$	8.334 305	8.334 305
$\log \sec \varphi$	0.077 535	0.077 535
$\log \sin t$	9.593 330(n)	9.664 211(n)
$\log \frac{1}{1-a}$	9.994 387	9.994 584
$\log(-\tan A)$	8.000 057(n)	8.070 635(n)
A (北极星方位角)	0°34'22".8	0°40'26".8

续表

$\tau(\text{秒}); \tau^2$	$\tau(\text{秒}) \quad \tau^2$	$\tau(\text{秒}) \quad \tau^2$
	467.7 21.8×10 ⁴	424.2 18.0×10 ⁴
	309.7 9.6×10 ⁴	270.2 7.3×10 ⁴
	86.7 0.7×10 ⁴	114.2 1.3×10 ⁴
	112.3 1.3×10 ⁴	146.8 2.1×10 ⁴
	294.3 8.6×10 ⁴	265.8 7.0×10 ⁴
	457.3 <u>20.9×10⁴</u>	395.8 <u>16.7×10⁴</u>
	62.9×10 ⁴	52.4×10 ⁴
$\log \tan A$	[6.736 72]	[6.736 72]
$1/n$	8.000 0	8.070 6
$\log \sum \tau^2$	8.221 8	9.221 8
$\log$ 曲线改正	5.798 7	5.719 3
曲线改正	9.757 2	9.748 4
	0".6	0".6
北极星高度角 h	32°07'	
$\frac{d}{4} \tan h$	0.419	0.419
气泡偏斜	+3.6	+4.1
水平轴倾斜改正	-1".5	-1".7
夹角(星→标)	72°57'50.2	72°51'46".7
改正后夹角	72°57'48.7	72 51 45.0
北极星之改正方位角	0 34 22.2	0 40 26.2
方位标之方位角	73°32'10.9	73 32 11.2
周日光行差	0.3	0.3
方位标之改正方位角	73°32'11.2	73°32'11.5

第八节 太阳仪附件法

太阳仪乃加装于普通经纬仪上之附件,用以解求定位三角形,测定子午圈方向者。使用太阳仪附件观测简单迅速,无需计算,是其优点。

惟测定精度仅能达 $1'$ 左右。

太阳仪构造有不同形式,但其原理则相同。图 14-8 示最简单形式之一种。系在经纬仪望远镜上装一极轴,与望远镜之视准轴及平轴相垂直。极轴上端装一小望远镜为照准太阳之用,可称为太阳望远镜。太阳望远镜可绕极轴上下左右转动,各有其制动及微动螺旋。在太阳望远镜上装有水准泡,其目镜附有颜色玻璃,且除十字丝外,另在其上下左右共有四丝构成正方形,用以安置太阳影像。

今将太阳仪之极轴指向北极,即仪器极轴与地轴方向相平行。更使太阳望远镜与极轴之夹角等于该时太阳之极距,则太阳望远镜绕极轴之转动即代表太阳之周日转动,易言之,即太阳望远镜之十字丝心可以随太阳影像移动,其关系示如图 14-9。此时经纬仪之垂轴通过天顶 Z ,极轴通过极点 P ,太阳望远镜指向天体 S ,而主望远镜之视准轴正在子午平面内。

是以使用太阳仪求定子午方向之步骤如下:

1. 使太阳望远镜与其极轴间之夹角等于观测时太阳之极距加蒙气差改正。或使太阳望远镜主望远镜间之夹角等于太阳之改正赤纬。如太阳望远镜上附有赤纬刻度弧时自易加以安置。否则亦可利用经纬仪之垂直圈及太阳望远镜上之水准泡得之。其法系将主望远镜安置在垂直角等于改正之太阳赤纬处, δ 为负时,经纬仪望远镜之物镜向上; δ 为正时,物镜向下。然后用太阳望远镜上之水准泡将太阳望远镜置平,夹紧其制动螺旋,此时两镜之交角即等于该时太阳之赤纬。

2. 使极轴之高度角等于观测者之纬度。将主望远镜之垂直角安置于观测点余纬($90^\circ - \varphi$)之读数(或天顶距 $=\varphi$),则极轴之高度角与地轴之高度相等。

将两望远镜位置作如上安置后,经纬仪尚可围绕垂直轴转动。太阳望远镜亦可绕极轴旋转。如观测时间为上午,则置太阳望远镜偏于主望远镜之左侧,绕垂直轴移动经纬仪之主望远镜,同时绕极轴移动太阳望远镜,直至太阳之像适位在太阳望远镜十字丝中心,此时主望远镜必适位在子午平面内,指向天球之赤道。如图 14-9 所示。两镜间所夹之水平角即为太阳之方位角。此时绕极轴转动太阳望远镜则随时均可将太阳之影像置于其十字丝之中心。不必再移动主望远镜。

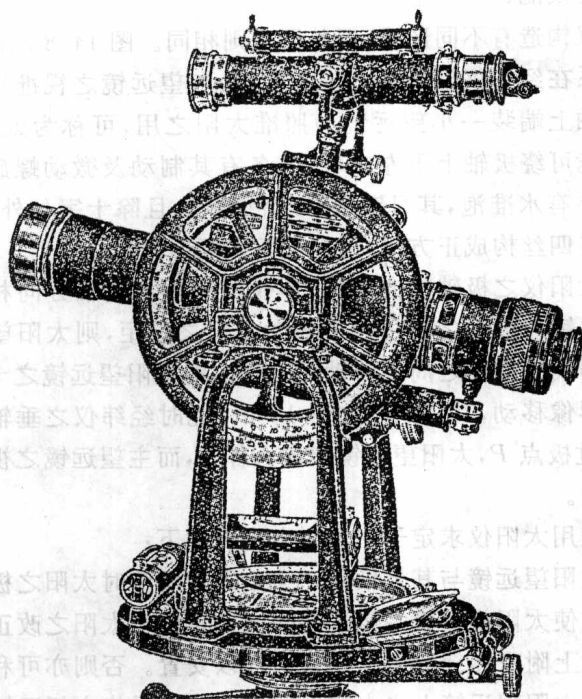


图 14-8 太阳仪附件

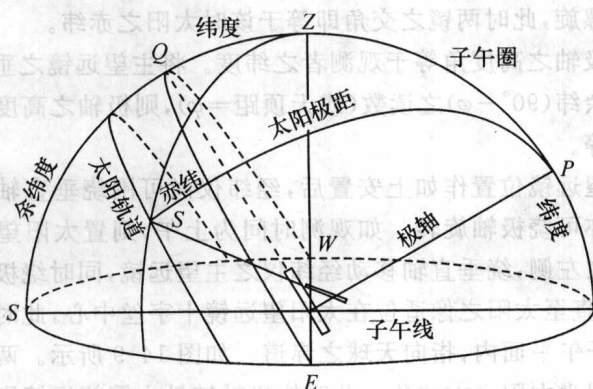


图 14-9 太阳仪原理

主望远镜既位在子午平面内,即可在地面上安设子午方向之标志或者读数其时之水平角量取其他任何方向线之方位角值。

太阳之赤纬可以由天文年历内查得。但因有蒙气差关系故在安置其数值于太阳望远镜时,须先加蒙气差改正,改正数可查自附表Ⅶ。兹举例如下。

测站:纬度= 31° 北,经度= $8^{\text{时}} 6^{\text{分}}$ 东

观测日期:1951年2月10日上午9时

东经 120° 标准时	=	9 ^时 00 ^分 00 ^秒
经度差($8^{\text{时}}$ 东)	=	8 00 00
格平时	=	1 00 00
时差(格 $1^{\text{时}}$)	=	-00 14 18
格视时		00 45 42
经度差($8^{\text{时}} 6^{\text{分}}$ 东)		8 6
地方视时		8 ^时 51 ^分 42 ^秒
赤纬(格 $0^{\text{时}}$)	=	-14° 40' 53"
$\frac{1\ 163.2}{24} \times 1$	= +	49
赤纬(格 $1^{\text{时}}$)	=	-14 40 04
蒙气差改正(附表Ⅶ)	= +	1' 30
改正赤纬	=	-14 38' 34"
于是得:纬度(φ)		$31^{\circ} 00'$ 北
赤纬(δ)		$-14^{\circ} 38' .6$
时角(t)		3 ^时 8 ^分 .3

赤纬有正有负,其理如常,蒙气差之发生,使天体之视位置较真位置为高,故其符号除特别原因外均为正号。该项误差须依代数法加至赤纬,即在北半球内,北赤纬为增,南赤纬为减。

观测之时间不宜离中午太近,太阳之高度角亦不宜过低,以免蒙气差之影响过大。

使用太阳仪测定子午方向之精度不高,且必须在普通经纬仪之外备有此项特殊设备。除非在某项测量工作中,须随时求定子午方向,平时甚少使用。

与太阳仪附件之原理类似,又有所谓北极仪附件者,即于望远镜之

前加一附件,可以对准小熊座 α, β 两星,因而使望远镜正指北极。可以同时测定纬度及子午方向。由于星位随时变化,此项附件之使用带有时间性,且必须在夜间观测,故较太阳仪更逊一筹,用者甚少,此处不再详述。

第九节 子午线收敛角

地球上经度不同之两点,其子午平面必不互相平行。图 14-10 中 DE 为同一纬圈(纬度 $=\varphi$)上之两点。 DH 为 D 点之地平子午线, EH 为 E 点之地平子午线。两子午线成一交角 γ , 是为子午线收敛角。按图

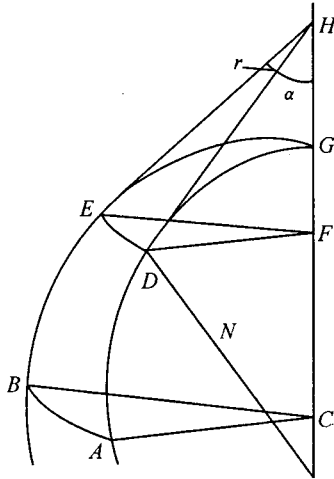


图 14-10

$$\gamma = \frac{DE}{DH} = \Delta\lambda \frac{DF}{DH} = \Delta\lambda \sin \varphi \quad (49)$$

或 子午线收敛角 = 经度差 $\times$ 纬度正弦

若 D, E 两点之纬度不等,子午线收敛角精确公式即比较复杂,但为导线方位角控制用,如以两点纬度中数代入上式 φ ,其结果亦足够精密。惟作方位角控制时常不知两点之经度差,此可以两点间导线之横距和 $\sum \Delta x$ 代之。盖横距和实即相当于 DE 之长度。按图

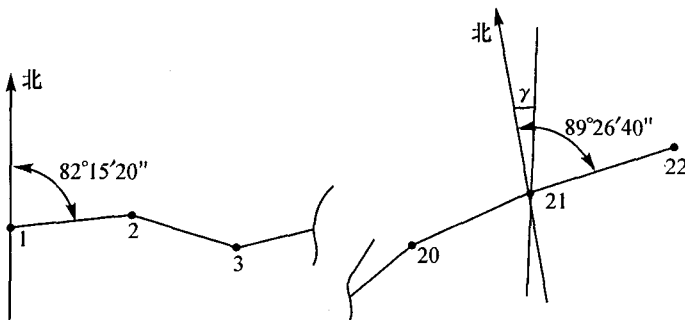
$$\gamma = \frac{DE}{DH} = \frac{\sum \Delta x}{N \cot \varphi} \quad (50)$$

N 为该纬度之卯酉曲率半径, 亦为纬度之函数。根据上式可以东西距离 $\sum \Delta x$ 及纬度 φ 为引数, 列一表以备查算子午线收敛角。

本书附表 VIII 即为子午线收敛角表。 $\sum \Delta x$ 由导线计算中得之。查表纬度取首尾两点(即施测天文方位角两点) 纬度之平均数。如两点纬度确值不知, 由小比例尺图上取其概值即可, 无须甚高之精度。子午线收敛角向东为正, 向西为负。平面坐标方位角加子午线收敛角即为天文方位角, 兹举例于下。

在图 14-11 测站 1 测得 1—2 之天文方位角为 $82^{\circ}15'20''$, 经过一系列导线点而达测站 21。又测得 21—22 之天文方位角为 $89^{\circ}26'40''$ 。根据 1—2 方位角计算纵横距后, 得

21—22 平面坐标方位角	= $89^{\circ}18'40''$
由附表 VIII, 查得子午线收敛角	= + $6\ 24$
计算方位角(21—22)	= $89\ 25\ 04$
实测天文方位角(21—22)	= $89\ 26\ 40$
导线折角误差	= + $1'36''$



1—21 之横距和 = $\sum \Delta x = +13\ 920.22$ 公尺

1—21 两点之平均纬度 $\varphi = 40^{\circ}30'$

图 14-11

附表

I. 度时换算表

(1)

角度	时	角度	时	角度	时	角度	时	角度	时	角度	时	分	时
°	时 分	°	时 分	°	时 分	°	时 分	°	时 分	°	时 分	'	分 秒
0	0 0	60	4 0	120	8 0	180	12 0	240	16 0	300	20 0	0	0 0
1	0 4	61	4 4	121	8 4	181	12 4	241	16 4	301	20 4	1	0 4
2	0 8	62	4 8	122	8 8	182	12 8	242	16 8	302	20 8	2	0 8
3	0 12	63	4 12	123	8 12	183	12 12	243	16 12	303	20 12	3	0 12
4	0 16	64	4 16	124	8 16	184	12 16	244	16 16	304	20 16	4	0 16
5	0 20	65	4 20	125	8 20	185	12 20	245	16 20	305	20 20	5	0 20
6	0 24	66	4 24	126	8 24	186	12 24	246	16 24	306	20 24	6	0 24
7	0 28	67	4 28	127	8 28	187	12 28	247	16 28	307	20 28	7	0 28
8	0 32	68	4 32	128	8 32	188	12 32	248	16 32	308	20 32	8	0 32
9	0 36	69	4 36	129	8 36	189	12 36	249	16 36	309	20 36	9	0 36
10	0 40	70	4 40	130	8 40	190	12 40	250	16 40	310	20 40	10	0 40
11	0 44	71	4 44	131	8 44	191	12 44	251	16 44	311	20 44	11	0 44
12	0 48	72	4 48	132	8 48	192	12 48	252	16 48	312	20 48	12	0 48
13	0 52	73	4 52	133	8 52	193	12 52	253	16 52	313	20 52	13	0 52
14	0 56	74	4 56	134	8 56	194	12 56	254	16 56	314	20 56	14	0 56
15	1 0	75	5 0	135	9 0	195	13 0	255	17 0	315	21 0	15	1 0
16	1 4	76	5 4	136	9 4	196	13 4	256	17 4	316	21 4	16	1 4
17	1 8	77	5 8	137	9 8	197	13 8	257	17 8	317	21 8	17	1 8
18	1 12	78	5 12	138	9 12	198	13 12	258	17 12	318	21 12	18	1 12
19	1 16	79	5 16	139	9 16	199	13 16	259	17 16	319	21 16	19	1 16
20	1 20	80	5 20	140	9 20	200	13 20	260	17 20	320	21 20	20	1 20
21	1 24	81	5 24	141	9 24	201	13 24	261	17 24	321	21 24	21	1 24
22	1 28	82	5 28	142	9 28	202	13 28	262	17 28	322	21 28	22	1 28
23	1 32	83	5 32	143	9 32	203	13 32	263	17 32	323	21 32	23	1 32
24	1 36	84	5 36	144	9 36	204	13 36	264	17 36	324	21 36	24	1 36

附 表

续表

角度	时	角度	时	角度	时	角度	时	角度	时	角度	时	分	时
°	时 分	°	时 分	°	时 分	°	时 分	°	时 分	°	时 分		分 秒
25	1 40	85	5 40	145	9 40	205	13 40	265	17 40	325	21 40	25	1 40
26	1 44	86	5 44	146	9 44	206	13 44	266	17 44	326	21 44	26	1 44
27	1 48	87	5 48	147	9 48	207	13 48	267	17 48	327	21 48	27	1 48
28	1 52	88	5 52	148	9 52	208	13 52	268	17 52	328	21 52	28	1 52
29	1 56	89	5 56	149	9 56	209	13 56	269	17 56	329	21 56	29	1 56
30	2 0	90	6 0	150	10 0	210	14 0	270	18 0	330	22 0	30	2 0
31	2 4	91	6 4	151	10 4	211	14 4	271	18 4	331	22 4	31	2 4
32	2 8	92	6 8	152	10 8	212	14 8	272	18 8	332	22 8	32	2 8
33	2 12	93	6 12	153	10 12	213	14 12	273	18 12	333	22 12	33	2 12
34	2 16	94	6 16	154	10 16	214	14 16	274	18 16	334	22 16	34	2 16
35	2 20	95	6 20	155	10 20	215	14 20	275	18 20	335	22 20	35	2 20
36	2 24	96	6 24	156	10 24	216	14 24	276	18 24	336	22 24	36	2 24
37	2 28	97	6 28	157	10 28	217	14 28	277	18 28	337	22 28	37	2 28
38	2 32	98	6 32	158	10 32	218	14 32	278	18 32	338	22 32	38	2 32
39	2 36	99	6 36	159	10 36	219	14 36	279	18 36	339	22 36	39	2 36
40	2 40	100	6 40	160	10 40	220	14 40	280	18 40	340	22 40	40	2 40
41	2 44	101	6 44	161	10 44	221	14 44	281	18 44	341	22 44	41	2 44
42	2 48	102	6 48	162	10 48	222	14 48	282	18 48	342	22 48	42	2 48
43	2 52	103	6 52	163	10 52	223	14 52	283	18 52	343	22 52	43	2 52
44	2 56	104	6 56	164	10 56	224	14 56	284	18 56	344	22 56	44	2 56
45	3 0	105	7 0	165	11 0	225	15 0	285	19 0	345	23 0	45	3 0
46	3 4	106	7 4	166	11 4	226	15 4	286	19 4	346	23 4	46	3 4
47	3 8	107	7 8	167	11 8	227	15 8	287	19 8	347	23 8	47	3 8
48	3 12	108	7 12	168	11 12	228	15 12	288	19 12	348	23 12	48	3 12
49	3 16	109	7 16	169	11 16	229	15 16	289	19 16	349	23 16	49	3 16
50	3 20	110	7 20	170	11 20	230	15 20	290	19 20	350	23 20	50	3 20
51	3 24	111	7 24	171	11 24	231	15 24	291	19 24	351	23 24	51	3 24
52	3 28	112	7 28	172	11 28	232	15 28	292	19 28	352	23 28	52	3 28
53	3 32	113	7 32	173	11 32	233	15 32	293	19 32	353	23 32	53	3 32
54	3 36	114	7 36	174	11 36	234	15 36	294	19 36	354	23 36	54	3 36
55	3 40	115	7 40	175	11 40	235	15 40	295	19 40	355	23 40	55	3 40
56	3 44	116	7 44	176	11 44	236	15 44	296	19 44	356	23 44	56	3 44
57	3 48	117	7 48	177	11 48	237	15 48	297	19 48	357	23 48	57	3 48
58	3 52	118	7 52	178	11 52	238	15 52	298	19 52	358	23 52	58	3 52
59	3 56	119	7 56	179	11 56	239	15 56	299	19 56	359	23 56	59	3 56
60	4 0	120	8 0	180	12 0	240	16 0	300	20 0	360	24 0	60	4 0

I. 度时换算表

(2)

角秒	0".0	0".1	0".2	0".3	0".4	0".5	0".6	0".7	0".8	0".9	1".0
"	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒
0	0.000	0.007	0.013	0.020	0.027	0.033	0.040	0.047	0.053	0.060	0.067
1	0.067	0.073	0.080	0.087	0.093	0.100	0.107	0.113	0.120	0.127	0.133
2	0.133	0.140	0.147	0.153	0.160	0.167	0.173	0.180	0.187	0.193	0.200
3	0.200	0.207	0.213	0.220	0.227	0.233	0.240	0.247	0.253	0.260	0.267
4	0.267	0.273	0.280	0.287	0.293	0.300	0.307	0.313	0.320	0.327	0.333
5	0.333	0.340	0.347	0.353	0.360	0.367	0.373	0.380	0.387	0.393	0.400
6	0.400	0.407	0.413	0.420	0.427	0.433	0.440	0.447	0.453	0.460	0.467
7	0.467	0.473	0.480	0.487	0.493	0.500	0.507	0.513	0.520	0.527	0.533
8	0.533	0.540	0.547	0.553	0.560	0.567	0.573	0.580	0.587	0.593	0.600
9	0.600	0.607	0.613	0.620	0.627	0.633	0.640	0.647	0.653	0.660	0.667
10	0.667	0.673	0.680	0.687	0.693	0.700	0.707	0.713	0.720	0.727	0.733
11	0.733	0.740	0.747	0.753	0.760	0.767	0.773	0.780	0.787	0.793	0.800
12	0.800	0.807	0.813	0.820	0.827	0.833	0.840	0.847	0.853	0.860	0.867
13	0.867	0.873	0.880	0.887	0.893	0.900	0.907	0.913	0.920	0.927	0.933
14	0.933	0.940	0.947	0.953	0.960	0.967	0.973	0.980	0.987	0.993	1.000
15	1.000	1.007	1.013	1.020	1.027	1.033	1.040	1.047	1.053	1.060	1.067
16	1.067	1.073	1.080	1.087	1.093	1.100	1.107	1.113	1.120	1.127	1.133
17	1.133	1.140	1.147	1.153	1.160	1.167	1.173	1.180	1.187	1.193	1.200
18	1.200	1.207	1.213	1.220	1.227	1.233	1.240	1.247	1.253	1.260	1.267
19	1.267	1.273	1.280	1.287	1.293	1.300	1.307	1.313	1.320	1.327	1.333
20	1.333	1.340	1.347	1.353	1.360	1.367	1.373	1.380	1.387	1.393	1.400
21	1.400	1.407	1.413	1.420	1.427	1.433	1.440	1.447	1.453	1.460	1.467
22	1.467	1.473	1.480	1.487	1.493	1.500	1.507	1.513	1.520	1.527	1.533
23	1.533	1.540	1.547	1.553	1.560	1.567	1.573	1.580	1.587	1.593	1.600
24	1.600	1.607	1.613	1.620	1.627	1.633	1.640	1.647	1.653	1.660	1.667
25	1.667	1.673	1.680	1.687	1.693	1.700	1.707	1.713	1.720	1.727	1.733
26	1.733	1.740	1.747	1.753	1.760	1.767	1.773	1.780	1.787	1.793	1.800
27	1.800	1.807	1.813	1.820	1.827	1.833	1.840	1.847	1.853	1.860	1.867
28	1.867	1.873	1.880	1.887	1.893	1.900	1.907	1.913	1.920	1.927	1.933
29	1.933	1.940	1.947	1.953	1.960	1.967	1.973	1.980	1.987	1.993	2.000

附 表

续表

角秒	0".0	0".1	0".2	0".3	0".4	0".5	0".6	0".7	0".8	0".9	1".0
"	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒
30	2.000	2.007	2.013	2.020	2.027	2.033	2.040	2.047	2.053	2.060	2.067
31	2.067	2.073	2.080	2.087	2.093	2.100	2.107	2.113	2.120	2.127	2.133
32	2.133	2.140	2.147	2.153	2.160	2.167	2.173	2.180	2.187	2.193	2.200
33	2.200	2.207	2.213	2.220	2.227	2.233	2.240	2.247	2.253	2.260	2.267
34	2.267	2.273	2.280	2.287	2.293	2.300	2.307	2.313	2.320	2.327	2.333
35	2.333	2.340	2.347	2.353	2.360	2.367	2.373	2.380	2.387	2.393	2.400
36	2.400	2.407	2.413	2.420	2.427	2.433	2.440	2.447	2.453	2.460	2.467
37	2.467	2.473	2.480	2.487	2.493	2.500	2.507	2.513	2.520	2.527	2.533
38	2.533	2.540	2.547	2.553	2.560	2.567	2.573	2.580	2.587	2.593	2.600
39	2.600	2.607	2.613	2.620	2.627	2.633	2.640	2.647	2.653	2.660	2.667
40	2.667	2.673	2.680	2.687	2.693	2.700	2.707	2.713	2.720	2.727	2.733
41	2.733	2.740	2.747	2.753	2.760	2.767	2.773	2.780	2.787	2.793	2.800
42	2.800	2.807	2.813	2.820	2.827	2.833	2.840	2.847	2.853	2.860	2.867
43	2.867	2.873	2.880	2.887	2.893	2.900	2.907	2.913	2.920	2.927	2.933
44	2.933	2.940	2.947	2.953	2.960	2.967	2.973	2.980	2.987	2.993	3.000
45	3.000	3.007	3.013	3.020	3.027	3.033	3.040	3.047	3.053	3.060	3.067
46	3.067	3.073	3.080	3.087	3.093	3.100	3.107	3.113	3.120	3.127	3.133
47	3.133	3.140	3.147	3.153	3.160	3.167	3.173	3.180	3.187	3.193	3.200
48	3.200	3.207	3.213	3.220	3.227	3.233	3.240	3.247	3.253	3.160	2.267
49	3.267	3.273	3.280	3.287	3.293	3.300	3.307	3.313	3.320	3.357	3.333
50	3.333	3.340	3.347	3.353	3.360	3.367	3.373	3.380	3.387	3.393	3.400
51	3.400	3.407	3.413	3.420	3.427	3.433	3.440	3.447	3.453	3.460	3.467
52	3.467	3.473	3.480	3.487	3.493	3.500	3.507	3.513	3.520	3.527	3.533
53	3.533	3.540	3.547	3.553	3.560	3.567	3.573	3.580	3.587	3.593	3.600
54	3.600	3.607	3.613	3.620	3.627	3.633	3.640	3.647	3.653	3.660	3.667
55	3.667	3.673	3.680	3.687	3.693	3.700	3.707	3.713	3.720	3.727	3.733
56	3.733	3.740	3.747	3.753	3.760	3.767	3.773	3.780	3.787	3.793	3.800
57	3.800	3.807	3.813	3.820	3.827	3.833	3.840	3.847	3.853	3.860	3.867
58	3.867	3.873	3.880	3.887	3.893	3.900	3.907	3.913	3.920	3.927	3.933
59	3.933	3.940	3.947	3.953	3.960	3.967	3.973	3.980	3.937	3.993	4.000

I. 度时换算表

(3)

时	0 时	1 时	2 时	3 时	4 时	5 时	时	角度	时	角度	时	角度
分	° ' "	° ' "	° ' "	° ' "	° ' "	° ' "	秒	' "	秒	"	秒	"
0	0 0 0	15 0	30 0	45 0	60 0	75 0	0	0 0	0.00	0.00	0.50	7.50
1	0 15	15 15	30 15	45 15	60 15	75 15	1	0 15	0.01	0.15	0.51	7.65
2	0 30	15 30	30 30	45 30	60 30	75 30	2	0 30	0.02	0.30	0.52	7.80
3	0 45	15 45	30 45	45 45	60 45	75 45	3	0 45	0.03	0.45	0.53	7.95
4	1 0	16 0	31 0	46 0	61 0	76 0	4	1 0	0.04	0.60	0.54	8.10
5	1 15	16 15	31 15	46 15	61 15	76 15	5	1 15	0.05	0.75	0.55	8.25
6	1 30	16 30	31 30	46 30	61 30	76 30	6	1 30	0.06	0.90	0.56	8.40
7	1 45	16 45	31 45	46 45	61 45	76 45	7	1 45	0.07	1.05	0.57	8.55
8	2 0	17 0	32 0	47 0	62 0	77 0	8	2 0	0.08	1.20	0.58	8.70
9	2 15	17 15	32 15	47 15	62 15	77 15	9	2 15	0.09	1.35	0.59	8.85
10	2 30	17 30	32 30	47 30	62 30	77 30	10	2 30	0.10	1.50	0.60	9.00
11	2 45	17 45	32 45	47 45	62 45	77 45	11	2 45	0.11	1.65	0.61	9.15
12	3 0	18 0	33 0	48 0	63 0	78 0	12	3 0	0.12	1.80	0.62	9.30
13	3 15	18 15	33 15	48 15	63 15	78 15	13	3 15	0.13	1.95	0.63	9.45
14	3 30	18 30	33 30	48 30	63 30	78 30	14	3 30	0.14	2.10	0.64	9.60
15	3 45	18 45	33 45	48 45	63 45	78 45	15	3 45	0.15	2.25	0.65	9.75
16	4 0	19 0	34 0	49 0	64 0	79 0	16	4 0	0.16	2.40	0.66	9.90
17	4 15	19 15	34 15	49 15	64 15	79 15	17	4 15	0.17	2.55	0.67	10.05
18	4 30	19 30	34 30	49 30	64 30	79 30	18	4 30	0.18	2.70	0.68	10.20
19	4 45	19 45	34 45	49 45	64 45	79 45	19	4 45	0.19	2.85	0.69	10.35
20	5 0	20 0	35 0	50 0	65 0	80 0	20	5 0	0.20	3.00	0.70	10.50
21	5 15	20 15	35 15	50 15	65 15	80 15	21	5 15	0.21	3.15	0.71	10.65
22	5 30	20 30	35 30	50 30	65 30	80 30	22	5 30	0.22	3.30	0.72	10.80
23	5 45	20 45	35 45	50 45	65 45	80 45	23	5 45	0.23	3.45	0.73	10.95
24	6 0	21 0	36 0	51 0	66 0	81 0	24	6 0	0.24	3.60	0.74	11.10
25	6 15	21 15	36 15	51 15	66 15	81 15	25	6 15	0.25	3.75	0.75	11.25
26	6 30	21 30	36 30	51 30	66 30	81 30	26	6 30	0.26	3.90	0.76	11.40
27	6 45	21 45	36 45	51 45	66 45	81 45	27	6 45	0.27	4.05	0.77	11.55
28	7 0	22 0	37 0	52 0	67 0	82 0	28	7 0	0.28	4.20	0.78	11.70
29	7 15	22 15	37 15	52 15	67 15	82 15	29	7 15	0.29	4.35	0.79	11.85

附表

续表

时	0 时	1 时	2 时	3 时	4 时	5 时	时	角度	时	角度	时	角度
分	° ' "	° ' "	° ' "	° ' "	° ' "	° ' "	秒	' " "	秒	' " "	秒	' " "
30	7 30	22 30	37 30	52 30	67 30	82 30	30	7 30	0.30	4.50	0.80	12.00
31	7 45	22 45	37 45	52 45	67 45	82 45	31	7 45	0.31	4.65	0.81	12.15
32	8 0	23 0	38 0	53 0	68 0	83 0	32	8 0	0.32	4.80	0.82	12.30
33	8 15	23 15	38 15	53 15	68 15	83 15	33	8 15	0.33	4.95	0.83	12.45
34	8 30	23 30	38 30	53 30	68 30	83 30	34	8 30	0.34	5.10	0.84	12.60
35	8 45	23 45	38 45	53 45	68 45	83 45	35	8 45	0.35	5.25	0.85	12.75
36	9 0	24 0	39 0	54 0	69 0	84 0	36	9 0	0.36	5.40	0.86	12.90
37	9 15	24 15	39 15	54 15	69 15	84 15	37	9 15	0.37	5.55	0.87	13.05
38	9 30	24 30	39 30	54 30	69 30	84 30	38	9 30	0.38	5.70	0.88	13.20
39	9 45	24 45	39 45	54 45	69 45	84 45	39	9 45	0.39	5.85	0.89	13.35
40	10 0	25 0	40 0	55 0	70 0	85 0	40	10 0	0.40	6.00	0.90	13.50
41	10 15	25 15	40 15	55 15	70 15	85 15	41	10 15	0.41	6.15	0.91	13.65
42	10 30	25 30	40 30	55 30	70 30	85 30	42	10 30	0.42	6.30	0.92	13.80
43	10 45	25 45	40 45	55 45	70 45	85 45	43	10 45	0.43	6.45	0.93	13.95
44	11 0	26 0	41 0	56 0	71 0	86 0	44	11 0	0.44	6.60	0.94	14.10
45	11 15	26 15	41 15	56 15	71 15	86 15	45	11 15	0.45	6.75	0.95	14.25
46	11 30	26 30	41 30	56 30	71 30	86 30	46	11 30	0.46	6.90	0.96	14.40
47	11 45	26 45	41 45	56 45	71 45	86 45	47	11 45	0.47	7.05	0.97	14.55
48	12 0	27 0	42 0	57 0	72 0	87 0	48	12 0	0.48	7.20	0.98	14.70
49	12 15	27 15	42 15	57 15	72 15	87 15	49	12 15	0.49	7.35	0.99	14.85
50	12 30	27 30	42 30	57 30	72 30	87 30	50	12 30	0.50	7.50	1.00	15.00
51	12 45	27 45	42 45	57 45	72 45	87 45	51	12 45				
52	13 0	28 0	43 0	58 0	73 0	88 0	52	13 0				
53	13 15	28 15	43 15	58 15	73 15	88 15	53	13 15				
54	13 30	28 30	43 30	58 30	73 30	88 30	54	13 30				
55	13 45	28 45	43 45	58 45	73 45	88 45	55	13 45				
56	14 0	29 0	44 0	59 0	74 0	89 0	56	14 0				
57	14 15	29 15	44 15	59 15	74 15	89 15	57	14 15				
58	14 30	29 30	44 30	59 30	74 30	89 30	58	14 30				
59	14 45	29 45	44 45	59 45	74 45	89 45	59	14 45				
60	15 0	30 0	45 0	60 0	75 0	90 0	60	15 0				

II. 化平太阳时为恒星时表

平时 + C = 恒星时

(1)

时			分						秒					
平太	恒星时		平太	恒星时		平太	恒星时		平太	恒星时		平太	恒星时	
阳时	时	分 秒	阳时	分	秒	阳时	分	秒	阳时	秒	秒	阳时	秒	秒
1	1	0 9.8565	1	1	0.1643	31	31	5.0925	1	1.0027	31	31	0.849	
2	2	0 19.7129	2	2	0.3285	32	32	5.2568	2	2.0055	32	32	0.876	
3	3	0 29.5694	3	3	0.4928	33	33	5.4211	3	3.0082	33	33	0.904	
4	4	0 39.4259	4	4	0.6571	34	34	5.5853	4	4.0110	34	34	0.931	
5	5	0 49.2824	5	5	0.8214	35	35	5.7496	5	5.0137	35	35	0.958	
6	6	0 59.1388	6	6	0.9856	36	36	5.9139	6	6.0164	36	36	0.986	
7	7	1 8.9953	7	7	1.1499	37	37	6.0782	7	7.0192	37	37	1.013	
8	8	1 18.8518	8	8	1.3142	38	38	6.2424	8	8.0219	38	38	1.040	
9	9	1 28.7083	9	9	1.4785	39	39	6.4067	9	9.0246	39	39	1.068	
10	10	1 38.5647	10	10	1.6427	40	40	6.5710	10	10.0274	40	40	1.095	
11	11	1 48.4212	11	11	1.8070	41	41	6.7353	11	11.0301	41	41	1.123	
12	12	1 58.2777	12	12	1.9713	42	42	6.8995	12	12.0329	42	42	1.150	
13	13	2 8.1342	13	13	2.1356	43	43	7.0638	13	13.0356	43	43	1.177	
14	14	2 17.9906	14	14	2.2998	44	44	7.2281	14	14.0383	44	44	1.205	
15	15	2 27.8471	15	15	2.4641	45	45	7.3924	15	15.0411	45	45	1.232	
16	16	2 37.7036	16	16	2.6284	46	46	7.5566	16	16.0438	46	46	1.259	
17	17	2 47.5600	17	17	2.7927	47	47	7.7209	17	17.0465	47	47	1.287	
18	18	2 57.4165	18	18	2.9569	48	48	7.8852	18	18.0493	48	48	1.314	
19	19	3 7.2730	19	19	3.1212	49	49	8.0495	19	19.0520	49	49	1.342	
20	20	3 17.1295	20	20	3.2855	50	50	8.2137	20	20.0548	50	50	1.369	
21	21	3 26.9859	21	21	3.4498	51	51	8.3780	21	21.0575	51	51	1.396	
22	22	3 36.8424	22	22	3.6140	52	52	8.5423	22	22.0602	52	52	1.424	
23	23	3 46.6989	23	23	3.7783	53	53	8.7066	23	23.0630	53	53	1.451	
24	24	3 56.5554	24	24	3.9426	54	54	8.8708	24	24.0657	54	54	1.478	
			25	25	4.1069	55	55	9.0351	25	25.0684	55	55	1.506	
			26	26	4.2711	56	56	9.1994	26	26.0712	56	56	1.533	
			27	27	4.4354	57	57	9.3636	27	27.0739	57	57	1.561	
			28	28	4.5997	58	58	9.5279	28	28.0767	58	58	1.588	
			29	29	4.7640	59	59	9.6922	29	29.0794	59	59	1.615	
			30	30	4.9282	60	60	9.8565	30	30.0821	60	60	1.643	

附 表

Ⅱ. 化平太阳时为恒星时表

(2)

秒之小数									
平太阳时	恒星时	平太阳时	恒星时	平太阳时	恒星时	平太阳时	恒星时	平太阳时	恒星时
秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒
0.01	0.01003	0.21	0.21057	0.41	0.41112	0.61	0.61167	0.81	0.81222
0.02	0.02005	0.22	0.22060	0.42	0.42115	0.62	0.62170	0.82	0.82225
0.03	0.03008	0.23	0.23063	0.43	0.43118	0.63	0.63172	0.83	0.83227
0.04	0.04011	0.24	0.24066	0.44	0.44120	0.64	0.64175	0.84	0.84230
0.05	0.05014	0.25	0.25068	0.45	0.45123	0.65	0.65178	0.85	0.85233
0.06	0.06016	0.26	0.26071	0.46	0.46126	0.66	0.66181	0.86	0.86235
0.07	0.07019	0.27	0.27074	0.47	0.47129	0.67	0.67183	0.87	0.87238
0.08	0.08022	0.28	0.28077	0.48	0.48131	0.68	0.68186	0.88	0.88241
0.09	0.09025	0.29	0.29079	0.49	0.49134	0.69	0.69189	0.89	0.89244
0.10	0.10027	0.30	0.30082	0.50	0.50137	0.70	0.70192	0.90	0.90246
0.11	0.11030	0.31	0.31085	0.51	0.51140	0.71	0.71194	0.91	0.91249
0.12	0.12033	0.32	0.32088	0.52	0.52142	0.72	0.72197	0.92	0.92252
0.13	0.13036	0.33	0.33090	0.53	0.53145	0.73	0.73200	0.93	0.93255
0.14	0.14038	0.34	0.34093	0.54	0.54148	0.74	0.74203	0.94	0.94257
0.15	0.15041	0.35	0.35096	0.55	0.55151	0.75	0.75205	0.95	0.95260
0.16	0.16044	0.36	0.36099	0.56	0.56153	0.76	0.76208	0.96	0.96263
0.17	0.17047	0.37	0.37101	0.57	0.57156	0.77	0.77211	0.97	0.97266
0.18	0.18049	0.38	0.38104	0.58	0.58159	0.78	0.78214	0.98	0.98268
0.19	0.19052	0.39	0.39107	0.59	0.59162	0.79	0.79216	0.99	0.99271
0.20	0.20055	0.40	0.40110	0.60	0.60164	0.80	0.80219	1.00	1.00274

Ⅲ. 化恒星时为平太阳时表

$$\text{平时} = \text{恒星时} - C'$$

(1)

时			分				秒					
恒星时	平太阳时		恒星时	平太阳时		恒星时	平太阳时		恒星时	平太阳时		
时	时	分 秒	分	分	秒	分	分	秒	秒	秒	秒	
1	0	59 50.1704	1	0	59.8362	31	30	54.9214	1	0.9973	31	30.9154
2	1	59 40.3409	2	1	59.6723	32	31	54.7576	2	1.9945	32	31.9126
3	2	59 30.5113	3	2	59.5085	33	32	54.5937	3	2.9618	33	32.9099
4	3	59 20.6818	4	3	59.3447	34	33	54.4299	4	3.9891	34	33.9072
5	4	59 10.8522	5	4	59.1809	35	34	54.2661	5	4.9863	35	34.9044
6	5	59 01.0226	6	5	59.0170	36	35	54.1023	6	5.9836	36	35.9017
7	6	58 51.1931	7	6	58.8532	37	36	53.9384	7	6.9809	37	36.8990
8	7	58 41.3635	8	7	58.6894	38	37	53.7746	8	7.9782	38	37.8962
9	8	58 31.5340	9	8	58.5256	39	38	53.6108	9	8.9754	39	38.8935
10	9	58 21.7044	10	9	58.3617	40	39	53.4470	10	9.9727	40	39.8908
11	10	58 11.8748	11	10	58.1979	41	40	53.2831	11	10.9700	41	40.8881
12	11	58 02.0453	12	11	58.0341	42	41	53.1193	12	11.9672	42	41.8853
13	12	57 52.2157	13	12	57.8703	43	42	52.9555	13	12.9645	43	42.8826
14	13	57 42.3861	14	13	57.7064	44	43	52.7917	14	13.9618	44	43.8799
15	14	57 32.5566	15	14	57.5426	45	44	52.6278	15	14.9590	45	44.8771
16	15	57 22.7270	16	15	57.3788	46	45	52.4640	16	15.9563	46	45.8744
17	16	57 12.8975	17	16	57.2150	47	46	52.3002	17	16.9536	47	46.8717
18	17	57 03.0679	18	17	57.0511	48	47	52.1364	18	17.9509	48	47.8689
19	18	56 53.2383	19	18	56.8873	49	48	51.9725	19	18.9481	49	48.8662
20	19	56 43.4088	20	19	56.7235	50	49	51.8087	20	19.9454	50	49.8635
21	20	56 33.5792	21	20	56.5597	51	50	51.6449	21	20.9427	51	50.8607
22	21	56 23.7497	22	21	56.3958	52	51	51.4810	22	21.9399	52	51.8580
23	22	56 13.9201	23	22	56.2320	53	52	51.3172	23	22.9372	53	52.8553
24	23	56 04.0905	24	23	56.0682	54	53	51.1534	24	23.9345	54	53.8526
			25	24	55.9043	55	54	50.9896	25	24.9317	55	54.8498
			26	25	55.7405	56	55	50.8257	26	25.9290	56	55.8471
			27	26	55.5767	57	56	50.6619	27	26.9263	57	56.8444
			28	27	55.4129	58	57	50.4981	28	27.9235	58	57.8416
			29	28	55.2490	59	58	50.3343	29	28.9208	59	58.8389
			30	29	55.0852	60	59	50.1704	30	29.9181	60	59.8362

附 表

Ⅲ. 化恒星时为平太阳时表

(2)

秒 之 小 数									
恒星时	平太阳时	恒星时	平太阳时	恒星时	平太阳时	恒星时	平太阳时	恒星时	平太阳时
秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒
0.01	0.00997	0.21	0.20943	0.41	0.40888	0.61	0.60833	0.81	0.80779
0.02	0.01995	0.22	0.21940	0.42	0.41885	0.62	0.61831	0.82	0.81776
0.03	0.02992	0.23	0.22937	0.43	0.42883	0.63	0.82828	0.83	0.82773
0.04	0.03989	0.24	0.23934	0.44	0.43880	0.64	0.63825	0.84	0.83771
0.05	0.04986	0.25	0.24932	0.45	0.44877	0.65	0.64823	0.85	0.84768
0.06	0.05984	0.26	0.25929	0.46	0.45874	0.66	0.65820	0.86	0.85765
0.07	0.06981	0.27	0.26926	0.47	0.46872	0.67	0.66817	0.87	0.86762
0.08	0.07978	0.28	0.27924	0.48	0.47869	0.68	0.67814	0.88	0.87760
0.09	0.08975	0.29	0.28921	0.49	0.48866	0.69	0.68812	0.89	0.88757
0.10	0.09973	0.30	0.29918	0.50	0.49863	0.70	0.69809	0.90	0.89754
0.11	0.10970	0.31	0.30915	0.51	0.50861	0.71	0.70806	0.91	0.90752
0.12	0.11967	0.32	0.31913	0.52	0.51858	0.72	0.71803	0.92	0.91749
0.13	0.12965	0.33	0.32910	0.53	0.52855	0.73	0.72801	0.93	0.92746
0.14	0.13962	0.34	0.33907	0.54	0.53853	0.74	0.73798	0.94	0.93743
0.15	0.14959	0.35	0.34904	0.55	0.54850	0.75	0.74795	0.95	0.94741
0.16	0.15956	0.36	0.35902	0.56	0.55847	0.76	0.75792	0.96	0.95738
0.17	0.16954	0.37	0.36899	0.57	0.56844	0.77	0.76790	0.97	0.96735
0.18	0.17951	0.38	0.37896	0.58	0.57842	0.78	0.77787	0.98	0.97732
0.19	0.18948	0.39	0.38894	0.59	0.58839	0.79	0.78784	0.99	0.98730
0.20	0.19945	0.40	0.39891	0.60	0.59836	0.80	0.79782	1.00	0.99727

IV. 蒙气差(常差)表 r_0

(1)

视高度	蒙气差	每10'差	视高度	蒙气差	每10'差	视高度	蒙气差	每10'差	视高度	蒙气差	每10'差
° ' "	° ' "	" "	° ' "	° ' "	" "	° ' "	° ' "	" "	° ' "	° ' "	" "
-1 0	56 27.5	253.7	6 0	8 46.1	12.3	13 0	4 15.23	3.22	20 0	2 43.78	1.44
-0 50	52 13.8	228.3	10	8 33.8	11.9	10	4 12.01	3.15	10	2 42.34	1.42
- 40	48 25.5	205.5	20	8 21.9	11.3	20	4 8.86	3.07	20	2 40.92	1.40
- 30	45 0.0	185.3	30	8 10.6	10.9	30	4 5.79	3.01	30	2 39.52	1.39
- 20	41 54.7	167.4	40	7 59.7	10.4	40	4 2.78	2.94	40	2 35.13	1.36
- 10	39 7.3	151.3	50	7 49.3	10.0	50	3 59.84	2.87	50	2 36.77	1.34
0	36 36.0	137.2	7 0	7 39.3	9.6	14 0	3 56.97	2.81	21 0	2 35.43	1.33
10	34 18.8	124.6	10	7 29.7	9.3	10	3 54.16	2.74	10	2 34.10	1.30
20	32 14.2	113.3	20	7 20.4	8.9	20	3 51.42	2.69	20	2 32.80	1.29
30	30 20.9	103.3	30	7 11.5	8.5	30	3 48.73	2.64	30	2 31.51	1.26
40	28 37.6	94.3	40	7 3.0	8.3	40	3 46.09	2.58	40	2 30.25	1.24
50	27 3.3	86.3	50	6 54.7	7.9	50	3 43.51	2.51	50	2 29.01	1.23
1 0	25 37.0	79.2	8 0	6 46.8	7.7	15 0	3 41.00	2.47	22 0	2 27.78	1.22
10	24 17.8	72.7	10	6 39.1	7.4	10	3 38.53	2.43	10	2 26.56	1.20
20	23 5.1	66.9	20	6 31.7	7.1	20	3 36.10	2.37	20	2 25.36	1.17
30	21 58.2	61.8	30	6 24.6	6.9	30	3 33.73	2.33	30	2 24.19	1.16
40	20 56.4	57.0	40	6 17.7	6.7	40	3 31.40	2.28	40	2 23.03	1.16
50	19 59.4	52.8	50	6 11.0	6.5	50	3 29.12	2.23	50	2 21.87	1.13
2 0	19 6.6	49.0	9 0	6 4.5	6.2	16 0	3 26.89	2.19	23 0	2 20.74	1.12
10	18 17.6	45.5	10	5 58.3	6.1	10	3 24.70	2.15	10	2 19.62	1.09
20	17 32.1	42.4	20	5 52.2	5.9	20	3 22.55	2.11	20	2 18.53	1.09
30	16 49.7	39.5	30	5 46.3	5.7	30	3 20.44	2.07	30	2 17.44	1.08
40	16 10.2	36.9	40	5 40.6	5.5	40	3 18.37	2.03	40	2 16.36	1.06
50	15 33.3	34.5	50	5 35.1	5.3	50	3 16.34	2.00	50	2 15.30	1.04
3 0	14 58.8	32.3	10 0	5 29.8	5.2	17 0	3 14.34	1.95	24 0	2 14.26	1.04
10	14 26.5	30.3	10	5 24.6	5.0	10	3 12.39	1.93	10	2 13.22	1.02
20	13 56.2	28.5	20	5 19.6	4.9	20	3 10.46	1.89	20	2 12.20	1.01
30	13 27.7	26.8	30	5 14.7	4.8	30	3 8.57	1.86	30	2 11.19	0.99
40	13 0.9	25.3	40	5 9.9	4.6	40	3 6.71	1.82	40	2 10.20	0.99
50	12 35.6	23.8	50	5 5.3	4.5	50	3 4.89	1.79	50	2 9.21	0.96

附 表

续表

视高度	蒙气差	每10'差	视高度	蒙气差	每10'差	视高度	蒙气差	每10'差	视高度	蒙气差	每10'差
° ' "	° ' "	"	° ' "	° ' "	"	° ' "	° ' "	"	° ' "	° ' "	"
4 0	12 11.8	22.5	11 0	5 0.8	4.4	18 0	3 3.10	1.76	25 0	2 8.25	0.96
10	11 49.3	21.2	10	4 56.4	4.2	10	3 1.34	1.73	10 2	7.29	0.94
20	11 28.1	20.1	20	4 52.2	4.1	20	2 59.61	1.70	20 2	6.35	0.94
30	11 8.0	19.1	30	4 48.1	4.1	30	2 57.91	1.68	30 2	5.41	0.92
40	10 48.9	18.2	40	4 44.0	3.9	40	2 56.23	1.65	40 2	4.49	0.92
50	10 30.7	17.2	50	4 40.1	3.8	50	2 54.58	1.61	50 2	3.57	0.90
5 0	10 13.5	16.3	12 0	4 36.3	3.7	19 0	2 52.97	1.59	26 0	2 2.67	0.90
10	9 57.2	15.6	10	4 32.6	3.7	10	2 51.38	1.57	10 2	1.77	0.88
20	9 41.6	14.9	20	4 28.9	3.5	20	2 49.81	1.54	20 2	0.89	0.87
30	9 26.7	14.2	30	4 25.4	3.5	30	2 48.27	1.52	30 2	0.02	0.87
40	9 12.5	13.5	40	4 21.9	3.4	40	2 46.75	1.50	40 1	59.15	0.85
50	8 59.0	12.9	50	4 18.5	3.3	50	2 45.25	1.47	50 1	58.30	0.83
6 0	8 46.1		13 0	4 15.2		20 0	2 43.78		27 0	1 57.47	

IV. 蒙气差(常差)表 r_0

(2)

视高度	蒙气差	每10'差	视高度	蒙气差	每10'差	视高度	蒙气差	每10'差	视高度	蒙气差	每10'差
° ' "	° ' "	"	° ' "	° ' "	"	° ' "	° ' "	"	° ' "	° ' "	"
27 0	1 57.47	0.83	34 0	1 23.89	0.55	41 0	1 9.04	0.40	48	54.07	0.310
10	1 56.64	0.83	10	1 28.34	0.54	10	1 8.64	0.40	49	52.21	0.302
20	1 55.81	0.82	20	1 27.80	0.54	20	1 8.24	0.40	50	50.40	0.293
30	1 54.99	0.80	30	1 27.26	0.55	30	1 7.84	0.40	51	48.64	0.287
40	1 54.19	0.80	40	1 26.71	0.54	40	1 7.44	0.39	52	46.92	0.277
50	1 53.39	0.79	50	1 26.17	0.53	50	1 7.05	0.38	53	45.26	0.270
28 0	1 52.60	0.78	35 0	1 25.64	0.52	42 0	1 6.67	0.39	54	43.64	0.262
10	1 51.82	0.77	10	1 25.12	0.52	10	1 6.28	0.39	55	42.07	0.258
20	1 51.05	0.76	20	1 24.60	0.52	20	1 5.89	0.38	56	40.52	0.252
30	1 50.29	0.76	30	1 24.08	0.51	30	1 5.51	0.38	57	39.01	0.245
40	1 49.53	0.75	40	1 23.57	0.51	40	1 5.13	0.38	58	37.54	0.240

续表

视高度	蒙气差	每10'差	视高度	蒙气差	每10'差	视高度	蒙气差	每10'差	视高度	蒙气差	每10'差
° ' "	° ' "	"	° ' "	° ' "	"	° ' "	° ' "	"	° ' "	° ' "	"
50	1 48.78	0.74	50	1 23.06	0.50	50	1 4.75	0.38	59	36.10	0.235
29 0	1 48.04	0.73	36 0	22.56	0.51	43 0	1 4.37	0.37	60	34.69	0.230
10	1 47.31	0.72	10	1 22.05	0.50	10	1 4.00	0.37	61	33.31	0.227
20	1 46.59	0.72	20	1 21.55	0.49	20	1 3.63	0.37	62	31.95	0.223
30	1 45.87	0.71	30	1 21.06	0.48	30	1 3.26	0.37	63	30.61	0.217
40	1 45.16	0.70	40	1 20.58	0.49	40	1 2.89	0.36	64	29.31	0.215
50	1 44.46	0.70	50	1 20.09	0.49	50	1 2.53	0.36	65	28.02	0.212
30 0	1 43.76	0.69	37 0	1 19.60	0.48	44 0	1 2.17	0.36	66	26.75	0.207
10	1 43.07	0.68	10	1 19.12	0.47	10	1 1.81	0.36	67	25.51	0.205
20	1 42.39	0.67	20	1 18.65	0.47	20	1 1.45	0.36	68	24.28	0.202
30	1 41.72	0.67	30	1 18.18	0.47	30	1 1.09	0.35	69	23.07	0.200
40	1 41.05	0.66	40	1 17.71	0.46	40	1 0.74	0.35	70	21.87	0.197
50	1 40.39	0.66	50	1 17.25	0.46	50	1 0.39	0.35	71	20.69	0.193
31 0	1 39.73	0.65	38 0	1 16.79	0.46	45 0	1 0.04	0.35	72	19.53	0.193
10	1 39.08	0.65	10	1 16.33	0.46	10	0 59.69	0.34	73	18.37	0.190
20	1 38.43	0.64	20	1 15.87	0.45	20	0 59.35	0.35	74	17.23	0.188
30	1 37.79	0.63	30	1 15.42	0.44	30	0 59.00	0.34	75	16.10	0.187
40	1 37.16	0.62	40	1 14.98	0.44	40	0 58.66	0.34	76	14.98	0.185
50	1 36.54	0.62	50	1 14.54	0.44	50	0 58.32	0.34	77	13.87	0.183
32 0	1 35.92	0.62	39 0	1 14.10	0.44	46 0	0 57.98	0.33	78	12.77	0.182
10	1 35.30	0.61	10	1 13.66	0.43	10	0 57.65	0.34	79	11.68	0.180
20	1 34.69	0.60	20	1 13.23	0.43	20	0 57.31	0.33	80	10.60	0.180
30	1 34.09	0.60	30	1 12.80	0.43	30	0 56.98	0.33	81	9.52	0.178
40	1 33.49	0.59	40	1 12.37	0.43	40	0 56.65	0.33	82	8.45	0.178
50	1 32.90	0.59	50	1 11.94	0.43	50	0 56.32	0.32	83	7.38	0.178
33 0	1 32.31	0.58	40 0	1 11.51	0.42	47 0	0 56.00	0.33	84	6.31	0.177
10	1 31.73	0.58	10	1 11.09	0.41	10	0 55.67	0.32	85	5.25	0.175
20	1 31.15	0.57	20	1 10.68	0.41	20	0 55.35	0.33	86	4.20	0.175
30	1 30.58	0.57	30	1 10.27	0.42	30	0 55.02	0.32	87	3.15	0.175
40	1 30.01	0.56	40	1 9.85	0.41	40	0 54.70	0.31	88	2.10	0.175
50	1 29.45	0.56	50	1 9.44	0.40	50	0 54.39	0.32	89	1.05	0.175
34 0	1 28.89		41 0	1 9.04		48 0	0 54.07		90	0.00	

附 表

IV. 蒙气差(变差乘数)表

(3)

A				B							
气温	乘数	气温	乘数	气压	乘数	气压	乘数	气压	乘数	气压	乘数
°		°		公厘		公厘		公厘		公厘	
-30	+0.1291	+10	-0.0369	630	-0.1711	670	-0.1184	710	-0.0658	750	-0.0132
29	1243	11	0405	631	1697	671	1171	711	0645	751	0118
28	1195	12	0440	632	1684	672	1158	712	0632	752	0105
27	1148	13	0475	633	1671	673	1145	713	0618	753	0092
26	1101	14	0510	634	1658	674	1132	714	0605	754	0072
-25	+0.1054	+15	-0.0545	635	-0.1645	675	-0.1118	715	-0.0592	755	-0.0066
24	1008	16	0579	636	1632	676	1105	716	0579	756	0053
23	0962	17	0613	637	1618	677	1092	717	0566	757	0039
22	0917	18	0647	638	1605	678	1079	718	0553	758	0026
21	0872	19	0680	639	1592	679	1066	719	0539	759	-0.0013
-20	+0.0827	+20	-0.0714	640	-0.1579	680	-0.1053	720	-0.0526	760	0.0000
19	0782	21	0747	641	1566	681	1039	721	0513	761	+0.0013
18	0738	22	0780	642	1553	682	1026	722	0500	762	0026
17	0694	23	0812	643	1539	683	1013	723	0487	763	0039
16	0651	24	0845	644	1526	684	1000	724	0474	764	0053
-15	+0.0608	+25	-0.0877	645	-0.1513	685	-0.0987	725	-0.0461	765	+0.0066
14	0565	26	0909	646	1500	686	0974	726	0447	766	0079
13	0523	27	0941	647	1487	687	0961	727	0434	767	0092
12	0481	28	0972	648	1474	688	0947	728	0421	768	0105
11	0439	29	1004	649	1461	689	0934	729	0408	769	0118

续表

A				B							
气温	乘数	气温	乘数	气压	乘数	气压	乘数	气压	乘数	气压	乘数
°		°		公厘		公厘		公厘		公厘	
-10	+0.0398	+30	-0.1035	650	-0.1447	690	-0.0921	730	-0.0395	770	+0.0132
9	0357	31	1066	651	1434	691	0908	731	0382	771	0145
8	0316	32	1097	652	1421	692	0895	732	0368	772	0158
7	0275	33	1127	653	1408	693	0882	733	0355	773	0171
6	0235	34	1158	654	1395	694	0868	734	0342	774	0184
-5	+0.0195	+35	-0.1188	655	-0.1382	695	-0.0855	735	-0.0329	775	+0.0197
4	0155	36	1218	656	1368	696	0842	736	0316	776	0211
3	0116	37	1248	657	1355	697	0829	737	0303	777	0224
2	0077	38	1277	658	1342	698	0816	738	0289	778	0237
-1	+0.0038	39	1307	659	1329	699	0803	739	0276	779	0250
0	0.0000	+40	-0.1336	660	-0.1316	700	-0.0789	740	-0.0263	780	+0.0263
+1	-0.0038	41	1365	661	1303	701	0776	741	0250	781	0276
2	0076	42	1394	662	1289	702	0763	742	0237	782	0289
3	0114	43	1422	663	1276	703	0750	743	0224	783	0303
4	0151	44	1451	664	1263	704	0737	744	0211	784	0316
+5	-0.0188	+45	-0.1479	665	-0.1250	705	-0.0724	745	-0.0197	785	+0.0329
6	0225	46	1507	666	1237	706	0711	746	0184	786	0342
7	0261	47	1535	667	1224	707	0697	747	0171	787	0355
8	0298	48	1563	668	1211	708	0684	748	0158	788	0368
9	0334	49	1591	669	1197	709	0671	749	0145	789	+0.0382
-10	-0.0369	+50	-0.1618	670	-0.1184	710	-0.0658	750	-0.0132		

附表

IV. 蒙气差(变差乘数)表

(4)

C							
视高度	α	视高度	α	已加气温差之蒙气差	β	视高度	k
°		°		°		°	
-1	2.053	+22	1.007	0	1.000	-1	0.00688+0.000 0006t
0	1.677	23	1.007	2	1.001	0	0.00554+0.000 0006t
+1	1.444	24	1.006	4	1.002	+1	0.00475
2	1.299	25	1.005	6	1.004	2	0.00429
3	1.210	26	1.005	8	1.008	3	0.00405
4	1.152	27	1.004	10	1.012	4	0.00392
5	1.114	28	1.004	12	1.017	5	0.00383
6	1.087	29	1.004	14	1.023	6	0.00378
7	1.069	30	1.004	16	1.029	7	0.00375
8	1.055	31	1.003	18	1.035	8	0.00373
9	1.045	32	1.003	20	1.041	+9	0.00371
10	1.037	33	1.003	22	1.048	>+10	
11	1.031	34	1.003	24	1.055		0.00367
12	1.026	35	1.002	26	1.062		
13	1.023	36	1.002	28	1.069		
14	1.020	37	1.002	30	1.076		
15	1.017	38	1.002	32	1.083		
16	1.015	39	1.002	34	1.091		
17	1.013	40	1.002	36	1.098		
18	1.011	41	1.001	38	1.106		
19	1.010	42	1.001	40	1.114		
20	1.009	43	1.001	42	1.121		
21	1.008	44	1.001	44	1.129		
+22	1.007	+45	1.000	46	1.137		
				48	1.144		
				50	1.152		
				52	1.159		
				54	1.167		
				56	1.175		
				58	1.182		
				60	1.189		

$$V. m = 2\rho' \sin^2 \frac{1}{2} t$$

(1)

t	0 ^分	1 ^分	2 ^分	3 ^分	4 ^分	5 ^分	6 ^分	7 ^分	8 ^分
秒	"	"	"	"	"	"	"	"	"
0	0.00	1.96	7.85	17.67	31.42	49.09	70.68	96.20	125.65
1	0.00	2.03	7.98	17.87	31.68	49.41	71.07	96.66	125.17
2	0.00	2.10	8.12	18.07	31.94	49.74	71.47	97.12	126.70
3	0.00	2.16	8.25	18.27	32.27	50.07	71.69	97.58	127.22
4	0.01	2.23	8.39	18.47	32.47	50.40	72.26	98.04	127.75
5	0.01	2.31	8.52	18.67	32.74	50.73	72.66	98.50	128.28
6	0.02	2.38	8.66	18.87	33.01	51.07	73.06	98.97	128.81
7	0.02	2.45	8.80	19.07	33.27	51.40	73.46	99.43	129.34
8	0.03	2.52	8.94	19.28	33.54	51.74	73.86	99.90	129.87
9	0.04	2.60	9.08	19.48	33.81	52.07	74.26	100.37	130.40
10	0.05	2.67	9.22	19.69	34.00	52.41	74.66	100.84	130.94
11	0.06	2.75	9.36	19.90	34.36	52.75	75.06	101.31	131.47
12	0.08	2.83	9.50	20.11	34.64	53.09	75.47	101.78	132.01
13	0.09	2.91	9.64	20.32	34.91	53.43	75.88	102.25	132.55
14	0.11	2.99	9.79	20.53	35.19	53.77	76.29	102.72	133.09
15	0.12	3.07	9.94	20.74	35.46	54.11	76.69	103.20	133.63
16	0.14	3.15	10.09	20.95	35.74	54.46	77.10	103.67	134.17
17	0.16	3.23	10.24	21.16	36.04	54.80	77.51	104.15	134.71
18	0.18	3.32	10.39	21.38	36.30	55.15	77.93	104.63	135.25
19	0.21	3.40	10.54	21.60	36.58	55.50	78.34	105.10	135.80
20	0.22	3.49	10.69	21.82	36.87	55.84	78.75	105.58	136.34
21	0.24	3.58	10.84	22.03	37.15	56.19	79.16	106.06	136.88
22	0.26	3.67	11.00	22.25	37.44	56.55	79.58	106.55	137.43
23	0.28	3.76	11.15	22.47	37.72	56.90	80.00	107.03	137.98
24	0.32	3.85	11.31	22.70	38.01	57.25	80.42	107.51	138.53
25	0.34	3.94	11.47	22.92	38.30	57.60	80.84	107.99	139.08
26	0.37	4.03	11.63	23.14	38.59	57.96	81.26	108.48	139.63
27	0.41	4.12	11.79	23.37	38.88	58.32	81.68	108.97	140.18
28	0.43	4.22	11.95	23.60	39.17	58.68	82.10	109.46	140.74
29	0.46	4.32	12.11	23.92	39.46	59.03	82.52	109.95	141.29

附 表

续表

t	0 ^分	1 ^分	2 ^分	3 ^分	4 ^分	5 ^分	6 ^分	7 ^分	8 ^分
秒	"	"	"	"	"	"	"	"	"
30	0.49	4.42	12.27	24.05	39.76	59.40	82.95	110.44	141.85
31	0.52	4.52	12.43	24.28	40.05	59.75	83.38	110.93	142.40
32	0.56	4.62	12.60	24.51	40.35	60.11	83.81	111.43	142.96
33	0.59	4.72	12.76	24.74	40.65	60.47	84.23	111.92	143.52
34	0.63	4.82	12.93	24.98	40.95	60.84	84.66	112.41	144.08
35	0.67	4.92	13.10	25.21	41.25	61.20	85.09	112.90	144.64
36	0.71	5.03	13.27	25.45	41.55	61.57	85.52	113.40	145.20
37	0.75	5.13	13.44	25.68	41.85	61.94	85.95	113.90	145.76
38	0.79	5.24	13.62	25.92	42.15	62.31	86.39	114.40	146.33
39	0.83	5.34	13.79	26.16	42.45	62.68	86.82	114.90	146.89
40	0.87	5.45	13.96	26.40	42.76	63.05	87.26	115.40	147.46
41	0.91	5.56	14.13	26.64	43.06	63.42	87.70	115.90	148.03
42	0.96	5.67	14.31	26.88	43.37	63.79	88.14	116.40	148.60
43	1.01	5.78	14.49	27.12	43.68	64.16	88.57	116.90	149.17
44	1.06	5.90	14.67	27.37	43.99	64.54	89.01	117.41	149.74
45	1.10	6.01	14.85	27.61	44.30	64.91	89.45	117.92	150.31
46	1.15	6.13	15.03	27.86	44.61	65.29	89.89	118.43	150.88
47	1.20	6.24	15.21	28.10	44.92	65.67	90.33	118.94	151.45
48	1.26	6.36	15.39	28.35	45.24	66.05	90.78	119.45	152.03
49	1.31	6.48	15.57	28.60	45.55	66.43	91.23	119.96	152.61
50	1.36	6.60	15.76	28.85	45.87	66.81	91.68	120.47	153.19
51	1.42	6.72	15.95	29.10	46.18	67.19	92.12	120.98	153.77
52	1.48	6.84	16.14	29.36	46.50	67.58	92.57	121.49	154.35
53	1.53	6.94	16.32	29.61	46.82	67.96	93.02	122.01	154.93
54	1.59	7.09	16.51	29.86	47.14	68.35	93.47	122.53	155.51
55	1.65	7.21	16.70	30.12	47.46	68.73	93.92	123.05	156.01
56	1.71	7.34	16.89	30.38	47.79	69.12	94.38	123.57	156.67
57	1.77	7.46	17.08	30.64	48.11	69.51	94.83	124.09	157.25
58	1.83	7.60	17.28	30.90	48.43	69.90	95.29	124.61	157.84
59	1.89	7.72	17.47	31.16	48.76	70.29	95.74	125.13	157.43

$$V. m = 2\rho'' \sin^2 \frac{1}{2} t$$

(2).

t	9 ^分	10 ^分	11 ^分	12 ^分	13 ^分	14 ^分	15 ^分	16 ^分
秒	"	"	"	"	"	"	"	"
0	159.02	196.32	237.54	282.68	331.74	384.74	441.63	502.46
1	159.61	196.97	238.26	283.47	332.59	385.65	442.62	503.50
2	160.20	197.63	238.98	284.26	333.44	386.56	443.56	504.55
3	160.80	198.28	239.70	285.04	334.09	387.48	444.58	505.60
4	161.39	198.94	240.42	285.83	335.15	388.40	445.56	506.65
5	161.98	199.60	241.14	286.62	336.00	389.32	446.55	507.70
6	162.58	200.26	241.87	287.41	336.86	390.24	447.54	508.76
7	163.17	200.92	242.60	288.60	337.72	391.16	448.53	509.81
8	163.77	201.59	243.33	289.00	338.58	392.59	449.51	510.86
9	164.37	202.25	244.06	289.70	339.44	393.01	450.50	511.92
10	164.97	202.92	244.79	290.58	340.30	393.94	451.50	512.98
11	165.57	203.58	245.52	291.38	341.16	394.86	452.49	514.03
12	166.17	204.25	245.25	292.18	342.02	395.79	453.48	515.09
13	166.77	204.92	246.98	292.98	342.88	396.72	454.48	516.15
14	167.35	205.59	247.72	293.78	343.75	397.65	455.47	517.21
15	167.97	206.26	248.45	294.58	344.62	398.58	456.47	518.67
16	168.58	206.93	249.19	295.38	345.49	399.52	457.47	519.34
17	169.19	207.60	249.93	296.18	346.30	400.45	458.47	520.40
18	169.80	208.27	250.67	296.99	347.23	401.38	459.47	521.47
19	170.41	208.94	251.41	297.79	348.10	402.32	460.47	522.53
20	171.02	209.62	252.15	298.60	348.97	403.26	461.47	523.60
21	171.63	210.30	252.89	299.40	349.84	404.20	462.48	524.67
22	172.24	210.98	253.63	300.21	350.71	405.14	463.48	525.74
23	172.85	211.66	254.37	301.02	351.58	406.08	464.48	526.81
24	173.47	212.34	255.12	301.83	352.46	407.02	465.49	527.89
25	174.08	213.02	255.87	302.64	353.34	407.96	466.50	528.96
26	174.70	213.70	256.62	303.46	354.22	408.90	467.51	530.03
27	175.32	214.38	257.37	304.27	355.10	409.84	468.52	531.11
28	175.94	215.07	258.12	305.09	355.98	410.79	469.53	532.18
29	176.56	215.75	258.87	305.90	356.86	411.73	470.54	533.26

附 表

续表

t	9 ^分	10 ^分	11 ^分	12 ^分	13 ^分	14 ^分	15 ^分	16 ^分
秒	"	"	"	"	"	"	"	"
30	177.18	216.44	259.62	306.72	357.74	412.68	471.55	534.33
31	177.80	217.12	260.37	307.54	358.62	413.63	472.57	535.41
32	178.43	217.81	261.12	308.36	359.51	414.59	473.58	536.50
33	179.05	218.50	261.88	309.18	360.39	415.54	473.60	537.58
34	179.68	219.19	262.64	310.00	361.28	416.49	475.62	538.67
35	180.30	219.88	263.39	310.82	362.17	417.44	476.64	539.75
36	180.93	220.58	264.15	311.65	363.07	418.40	477.65	540.83
37	181.56	221.27	264.91	312.47	363.96	419.35	478.67	541.91
38	182.19	221.97	265.68	313.30	364.85	420.31	479.70	543.00
39	182.82	222.66	266.44	314.12	365.75	421.27	480.72	544.09
40	183.46	223.36	267.20	314.95	366.64	422.23	481.74	545.18
41	184.09	224.06	267.96	315.78	367.53	423.19	482.77	546.27
42	184.72	224.76	268.73	316.61	368.42	424.15	483.79	547.36
43	185.35	225.46	269.49	317.44	369.31	425.11	484.82	548.45
44	185.99	226.16	270.26	318.27	370.21	426.07	485.85	549.55
45	186.63	226.86	271.02	319.10	371.11	427.04	486.88	550.64
46	187.27	227.57	271.79	319.94	372.01	428.01	487.91	551.73
47	187.91	228.27	272.56	320.78	372.92	428.97	488.94	552.83
48	188.55	228.98	273.34	321.62	373.82	429.93	489.97	553.93
49	189.19	229.58	274.11	322.45	374.72	430.90	491.01	555.03
50	189.83	230.39	274.88	323.29	375.62	431.87	492.05	556.13
51	190.47	231.10	275.65	324.13	376.52	432.84	493.08	557.24
52	191.12	231.81	276.43	324.97	377.43	433.82	494.12	558.34
53	191.76	232.52	277.20	352.81	378.34	434.79	495.15	559.44
54	192.41	233.24	277.98	326.66	379.26	435.76	496.19	560.55
55	193.06	233.95	278.76	327.50	380.17	436.73	497.23	561.65
56	193.71	234.67	279.55	328.35	381.08	437.71	498.29	562.76
57	194.36	235.38	280.33	329.19	381.99	438.69	499.32	563.87
58	195.01	236.10	281.12	330.04	382.90	439.67	500.37	564.98
59	195.66	236.82	281.90	330.89	383.82	440.65	501.41	566.08

VI. $\log \frac{1}{1-a} = \cot \delta \tan \varphi \cos t$ (1)

$\log a$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		111	108	105	102	99
9.00	0.045753	5869	5980	6092	6204	6317	6429	6542	6656	6769	1	11.1	10.8	10.5	10.2	9.9
8.99	0.044660	4769	4878	4987	5096	5205	5315	5425	5536	5647	2	22.2	21.6	21.0	20.4	19.8
98	3591	3697	3803	3909	4016	4122	4229	4337	4444	4552	3	33.3	32.4	31.5	30.6	29.7
97	2549	2652	2755	2858	2962	3066	3171	3275	3380	3486	4	44.4	43.2	42.0	40.8	39.6
96	1532	1633	1733	1834	1936	2037	2139	2241	2343	2446	5	55.5	54.0	52.5	51.0	49.5
95	0.040541	0639	0737	0836	0935	1034	1133	1232	1332	1432	6	66.6	64.8	63.0	61.2	59.4
94	0.039575	9670	9766	9862	9959	0055	0152	0249	0346	0443	7	77.7	75.6	73.5	71.4	69.3
93	8633	8726	8819	8913	9007	9101	9195	9290	9385	9480	8	88.8	86.4	84.0	81.6	79.2
92	7714	7805	7896	7987	8079	8171	8263	8355	8447	8540	9	99.9	97.2	94.5	91.8	89.1
91	6818	6907	6996	7085	7174	7263	7353	7443	7533	7624		96	93	90	87	84
8.90	0.035944	6031	6118	6204	6291	6379	6466	6554	6642	6730	1	9.6	9.3	9.0	8.7	8.4
89	5092	5177	5261	5346	5431	5516	5601	5687	5772	5858	2	19.2	18.6	18.0	17.4	16.8
88	4261	4343	4426	4508	4591	4674	4757	4841	4924	5008	3	28.8	27.9	27.0	26.1	25.2
87	3451	3531	3611	3692	3772	3853	3934	4016	4097	4179	4	38.4	37.2	36.0	34.8	33.6
86	2660	2738	2816	2895	2974	3053	3132	3211	3291	3371	5	48.0	46.5	45.0	43.5	42.0
85	0.031888	1965	2041	2118	2195	2272	2349	2426	2504	2582	6	57.6	55.8	54.0	52.2	50.4
84	1136	1210	1285	1360	1435	1510	1585	1660	1736	1812	7	67.2	65.1	63.0	60.9	58.8
83	0402	0474	0547	0620	0693	0766	0840	0914	0987	1061	8	76.8	74.4	72.0	69.6	67.2
82	0.029685	9756	9827	9898	9970	0041	0113	0185	0257	0329	9	86.4	83.7	81.0	78.3	75.6
81	8987	9056	9125	9194	9264	9334	9404	9474	9544	9615	1	8.1	7.8	7.5	7.2	6.9
8.80	0.028305	8372	8440	8508	8576	8644	8712	8780	8849	8918	2	16.2	15.6	15.0	14.4	13.8
79	7640	7705	7771	7838	7904	7970	8037	8103	8170	8237	3	24.3	23.4	22.5	21.6	20.7
78	6990	7055	7119	7183	7248	7313	7378	7443	7509	7574	4	32.4	31.2	30.0	28.8	27.6
77	6357	6420	6482	6545	6608	6672	6735	6799	6862	6926	5	40.5	39.0	37.5	36.0	34.5
76	5739	5800	5861	5923	5984	6046	6108	6170	6232	6294	6	48.6	46.8	45.0	43.2	41.4
75	0.025136	5195	5255	5315	5375	5435	5496	5556	5617	5678	7	56.7	54.6	52.5	50.4	48.3
											8	64.8	62.4	60.0	57.6	55.2
											9	72.9	70.2	67.5	64.8	62.1

续表

$\log a$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	66	63	60	57	55
74	4547	4605	4664	4722	4781	4840	4899	4958	5017	5076	1	6.6	6.3	6.0	5.7
73	3973	4029	4086	4143	4201	4258	4316	4373	4431	4489	2	13.2	12.6	12.0	11.4
72	3412	3467	3523	3579	3635	3691	3747	3803	3859	3916	3	19.8	18.9	18.0	17.1
71	2865	2919	2973	3027	3082	3137	3191	3246	3301	3357	4	26.4	25.2	24.0	22.8
8.70	0.022331	2383	2436	2489	2543	2596	2649	2703	2757	2811	5	33.0	31.5	30.0	28.5
69	1809	1861	1913	1964	2016	2068	2121	2173	2225	2278	6	39.6	37.8	36.0	34.2
68	1301	1351	1401	1452	1503	1553	1604	1655	1707	1758	7	46.2	44.1	42.0	39.9
67	0804	0853	0902	0952	1001	1051	1100	1150	1200	1250	8	52.8	50.4	48.0	45.6
66	0319	0367	0415	0463	0512	0560	0609	0657	0706	0755	9	59.4	56.7	54.0	51.3
65	0.019846	9893	9940	9987	0034	0081	0128	0176	0223	0271		53	51	49	47
64	9384	9430	9475	9521	9567	9613	9660	9706	9752	9799	1	5.3	5.1	4.9	4.7
63	8933	8978	9022	9067	9112	9157	9202	9247	9293	9338	2	10.6	10.2	9.8	9.4
62	8493	8536	8580	8624	8667	8711	8755	8800	8844	8888	3	15.9	15.3	14.7	14.1
61	8063	8105	8148	8191	8233	8276	8319	8363	8406	8449	4	21.2	20.4	19.6	18.8
8.60	0.017643	7685	7726	7768	7810	7852	7894	7936	7978	8020	5	26.5	25.5	24.5	23.5
59	7233	7274	7315	7355	7396	7437	7478	7519	7560	7602	6	31.8	30.6	29.4	28.2
58	6833	6873	6913	6952	6992	7032	7072	7112	7153	7193	7	37.1	35.7	34.3	32.9
57	6443	6482	6520	6559	6598	6637	6676	6715	6755	6794	8	42.4	40.8	39.2	37.6
56	6062	6099	6137	6175	6213	6251	6289	6328	6366	6404	9	47.7	45.9	44.1	42.3
55	0.015689	5726	5763	5800	5837	5874	5912	5949	5986	6024		43	41	39	37
54	5326	5362	5398	5434	5470	5507	5543	5579	5616	5653	1	4.3	4.1	3.9	3.7
53	4971	5006	5041	5077	5112	5147	5183	5218	5254	5290	2	8.6	8.2	7.8	7.4
52	4624	4659	4693	4727	4762	4797	4831	4866	4901	4936	3	12.9	12.3	11.7	11.1
51	4286	4319	4353	4387	4420	4454	4488	4522	4556	4590	4	17.2	16.4	15.6	14.8
8.50	0.013955	3988	4021	4054	4087	4120	4153	4186	4219	4253	5	21.5	20.5	19.5	18.5
											6	25.8	24.6	23.4	22.2
											7	30.1	28.7	27.3	25.9
											8	34.4	32.8	31.2	29.6
											9	38.7	36.9	35.1	33.3

(2)

VI. $\log \frac{1}{1-a}$

$\log a$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		34	33	32	31	30
8.50	0.013955	3388	4021	4054	4087	4120	4153	4186	4219	4253	1	3.4	3.3	3.2	3.1	3.0
49	3633	3665	3697	3729	3761	3793	3825	3858	3890	3923	2	6.8	6.6	6.4	6.2	6.0
48	3318	3349	3380	3411	3443	3474	3506	3537	3569	3601	3	10.2	9.9	9.6	9.3	9.0
47	3010	3040	3071	3101	3132	3163	3194	3225	3256	3287	4	13.6	13.2	12.8	12.4	12.0
46	2709	2739	2769	2799	2829	2859	2889	2919	2949	2979	5	17.0	16.5	16.0	15.5	15.0
45	0.012416	2445	2474	2503	2532	2562	2591	2621	2650	2680	6	20.4	19.8	19.2	18.6	18.0
44	2129	2158	2186	2215	2243	2272	2300	2329	2358	2387	7	23.8	23.1	22.4	21.7	21.0
43	1849	1877	1905	1933	1961	1989	2017	2045	2073	2101	8	27.2	26.4	25.6	24.8	24.0
42	1576	1603	1630	1657	1685	1712	1739	1767	1794	1822	9	30.6	29.7	28.8	27.9	27.0
41	1309	1335	1362	1388	1415	1442	1468	1495	1522	1549		29	28	27	26	25
8.40	0.011048	1074	1100	1126	1152	1178	1204	1230	1256	1283	1	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5
39	0794	0819	0844	0869	0895	0920	0946	0971	0997	1023	2	5.8	5.6	5.4	5.2	5.0
38	0545	0570	0594	0619	0644	0669	0694	0718	0743	0769	3	8.7	8.4	8.1	7.8	7.5
37	0302	0326	0350	0374	0399	0423	0447	0472	0496	0520	4	11.6	11.2	10.8	10.4	10.0
36	0065	0088	0112	0135	0159	0183	0207	0230	0254	0278	5	14.5	14.0	13.5	13.0	12.5
35	0.009833	9856	9879	9902	9925	9948	9972	9995	0018	0041	6	17.4	16.8	16.2	15.6	15.0
34	9607	9629	9653	9674	9697	9719	9742	9765	9787	9810	7	20.3	19.6	18.9	18.2	17.5
33	9386	9408	9430	9452	9474	9496	9518	9540	9562	9584	8	23.2	22.4	21.6	20.8	20.0
32	9170	9191	9213	9234	9256	9277	9299	9320	9342	9364	9	26.1	25.2	24.3	23.4	22.5
31	8959	8980	9001	9022	9043	9064	9085	9106	9127	9149		24	23	22	21	20
8.30	0.008753	8773	8794	8814	8835	8855	8876	8897	8917	8938	1	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0
29	8552	8572	8592	8612	8632	8652	8672	8692	8712	8733	2	4.8	4.6	4.4	4.2	4.0
28	8355	8375	8394	8414	8433	8453	8473	8492	8512	8532	3	7.2	6.9	6.6	6.3	6.0
27	8163	8182	8201	8220	8239	8259	8278	8297	8316	8336	4	9.6	9.2	8.8	8.4	8.0
26	7976	7994	8013	8031	8050	8069	8088	8106	8125	8144	5	12.0	11.5	11.0	10.5	10.0
25	0.007792	7811	7829	7847	7865	7884	7902	7920	7939	7957	6	14.4	13.8	13.2	12.6	12.0
											7	16.8	16.1	15.4	14.7	14.0
											8	19.2	18.4	17.6	16.8	16.0
											9	21.6	20.7	19.8	18.9	18.0

续表

log a	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		19	18	17	16	15
24	7614	7631	7649	7667	7685	7702	7720	7738	7756	7774	1	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5
23	7439	7456	7473	7491	7508	7526	7543	7561	7578	7596	2	3.8	3.6	3.4	3.2	3.0
22	7268	7285	7302	7319	7336	7353	7370	7387	7404	7421	3	5.7	5.4	5.1	4.8	4.5
21	7101	7118	7134	7151	7167	7184	7201	7218	7234	7251	4	7.6	7.2	6.8	6.4	6.0
8.20	0.006938	6954	6971	6987	7003	7019	7036	7052	7068	7085	5	9.5	9.0	8.5	8.0	7.5
19	6779	6795	6811	6826	6842	6858	6874	6890	6906	6922	6	11.4	10.8	10.2	9.6	9.0
18	6624	6639	6654	6670	6685	6701	6716	6732	6748	6763	7	13.3	12.6	11.9	11.2	10.5
17	6472	6487	6502	6517	6532	6547	6562	6578	6593	6608	8	15.2	14.4	13.6	12.8	12.0
16	6323	6338	6353	6367	6382	6397	6412	6427	6442	6457	9	17.1	16.2	15.3	14.4	13.5
15	0.006178	6193	6207	6221	6236	6250	6265	6279	6294	6309		14	13	12	11	10
14	6037	6051	6065	6079	6093	6107	6121	6135	6150	6164	1	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0
13	5898	5912	5926	5940	5953	5967	5981	5995	6009	6023	2	2.8	2.6	2.4	2.2	2.0
12	5763	5777	5790	5803	5817	5830	5844	5857	5871	5885	3	4.2	3.9	3.6	3.3	3.0
11	5631	5644	5657	5670	5684	5697	5710	5723	5737	5750	4	5.6	5.2	4.8	4.4	4.0
8.10	0.005502	5515	5528	5541	5553	5566	5579	5592	5605	5618	5	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0
09	5376	5389	5401	5414	5426	5439	5451	5464	5477	5489	6	8.4	7.8	7.2	6.6	6.0
08	5253	5265	5277	5290	5302	5314	5327	5339	5351	5364	7	9.8	9.1	8.4	7.7	7.0
07	5133	5145	5157	5169	5181	5193	5205	5217	5229	5241	8	11.2	10.4	9.6	8.8	8.0
06	5015	5027	5038	5050	5062	5074	5085	5097	5109	5121	9	12.6	11.7	10.8	9.9	9.0
05	4900	4912	4923	4935	4946	4957	4969	4980	4992	5004						
04	4788	4799	4801	4822	4833	4844	4855	4866	4878	4889						
03	4679	4690	4700	4711	4722	4733	4744	4755	4766	4777						
02	4572	4582	4593	4603	4614	4625	4636	4646	4657	4668						
01	4467	4477	4488	4498	4509	4519	4529	4540	4550	4561						
8.00	0.004365	4375	4385	4395	4405	4416	4426	4436	4446	4457						

VI. $\log \frac{1}{1-a}$ (3)

$\log a$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	10
8.00	0.004365	4375	4385	4395	4405	4416	4426	4436	4446	4457	1	1.1
7.99	4265	4275	4285	4295	4305	4315	4325	4335	4345	4355	2	1.0
98	4167	4177	4187	4196	4206	4216	4226	4235	4245	4255	3	2.0
97	4072	4082	4091	4100	4110	4119	4129	4139	4148	4158	4	3.0
96	3979	3988	3997	4007	4016	4025	4035	4044	4053	4063	5	4.0
95	0.003888	3897	3906	3915	3924	3933	3942	3951	3961	3970	6	5.0
94	3799	3808	3817	3826	3834	3843	3852	3861	3870	3879	7	6.0
93	3712	3721	3729	3738	3747	3755	3764	3773	3782	3790	8	7.0
92	3627	3636	3644	3653	3661	3670	3678	3687	3695	3704	9	8.0
91	3545	3553	3561	3569	3577	3586	3594	3602	3611	3619		9.0
7.90	0.003463	3472	3480	3488	3496	3504	3512	3520	3528	3536		
89	3384	3392	3400	3408	3416	3424	3432	3440	3448	3456		
88	3307	3315	3322	3330	3338	3345	3353	3361	3369	3377		
87	3231	3239	3246	3254	3261	3269	3277	3284	3292	3299		
86	3158	3165	3172	3180	3187	3194	3202	3209	3217	3224		
85	0.003086	3093	3100	3107	3114	3121	3129	3136	3143	3150	1	0.9
84	3015	3022	3029	3036	3043	3050	3057	3064	3071	3078	2	1.8
83	2946	2953	2960	2967	2974	2980	2987	2994	3001	3008	3	2.7
82	2879	2886	2892	2899	2906	2912	2919	2926	2933	2939	4	3.6
81	2813	2820	2826	2833	2839	2846	2852	2859	2866	2872	5	4.5
7.80	0.002749	2755	2762	2768	2774	2781	2787	2794	2800	2807	6	5.4
79	2686	2692	2699	2705	2711	2717	2724	2730	2736	2743	7	6.3
78	2625	2631	2637	2643	2649	2655	2661	2668	2674	2680	8	7.2
77	2565	2571	2577	2583	2589	2595	2601	2607	2613	2619	9	8.1
76	2506	2512	2518	2524	2530	2535	2541	2547	2553	2559		7.2
75	0.002449	2455	2460	2466	2472	2478	2483	2489	2495	2501		

续表

log α	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9						
74	2393	2399	2404	2410	2415	2421	2427	2432	2438	2443						
73	2339	2344	2349	2355	2360	2366	2371	2377	2382	2388						
72	2285	2290	2296	2301	2306	2312	2317	2322	2328	2333						
71	2233	2238	2243	2249	2254	2259	2264	2269	2275	2280						
7.70	0.002182	2187	2192	2197	2202	2207	2213	2218	2223	2228						
69	2132	2137	2142	2147	2152	2157	2162	2167	2172	2177						
68	2084	2088	2093	2098	2103	2108	2113	2118	2122	2127						
67	2036	2041	2046	2050	2055	2060	2065	2069	2074	2079						
66	1990	1994	1999	2003	2008	2013	2017	2022	2027	2031						
65	0.001944	1949	1953	1958	1962	1967	1971	1976	1980	1985						
64	1900	1904	1909	1913	1918	1922	1926	1931	1935	1940						
63	1857	1861	1865	1869	1874	1878	1882	1887	1891	1896						
62	1814	1818	1823	1827	1831	1835	1840	1844	1848	1852						
61	1773	1777	1781	1785	1789	1793	1798	1802	1806	1810						
7.60	0.001732	1736	1740	1744	1748	1753	1757	1761	1765	1769						
59	1693	1697	1701	1705	1709	1713	1716	1720	1724	1728						
58	1654	1658	1662	1666	1670	1673	1677	1681	1685	1689						
57	1617	1620	1624	1628	1632	1635	1639	1643	1647	1650						
56	1580	1583	1587	1591	1594	1598	1602	1605	1609	1613						
55	0.001544	1547	1551	1554	1558	1562	1565	1569	1572	1576						
54	1508	1512	1515	1519	1522	1526	1529	1533	1537	1540						
53	1474	1477	1481	1484	1488	1491	1495	1498	1502	1505						
52	1440	1444	1447	1450	1454	1457	1461	1464	1467	1471						
51	1408	1411	1414	1417	1421	1424	1427	1431	1434	1437						
7.50	0.001376	1379	1382	1385	1388	1391	1395	1398	1401	1404						

(4)

VI. $\log \frac{1}{1-a}$

$\log a$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
7.50	0.001376	1379	1382	1385	1388	1391	1395	1398	1401	1404
49	1344	1347	1350	1354	1357	1360	1363	1366	1369	1372
48	1314	1317	1320	1323	1326	1329	1332	1335	1338	1341
47	1284	1287	1290	1292	1295	1298	1301	1304	1307	1311
46	1254	1257	1260	1263	1266	1269	1272	1275	1278	1281
45	0.001226	1229	1231	1234	1237	1240	1243	1246	1249	1251
44	1198	1201	1203	1206	1209	1212	1214	1217	1220	1223
43	1170	1173	1176	1179	1181	1184	1187	1190	1192	1195
42	1144	1146	1149	1152	1154	1157	1160	1162	1165	1168
41	1118	1120	1123	1126	1128	1131	1133	1136	1139	1141
7.40	0.001092	1095	1097	1100	1102	1105	1107	1110	1113	1115
39	1067	1070	1072	1075	1077	1080	1082	1085	1087	1090
38	1043	1045	1048	1050	1053	1055	1058	1060	1062	1065
37	1019	1022	1024	1026	1029	1031	1033	1036	1038	1041
36	0.000996	998	1001	1003	1005	1008	1010	1012	1015	1017
35	0.000973	976	978	980	982	985	987	989	991	994
34	951	953	956	958	960	962	964	967	969	971
33	929	932	934	936	938	940	942	945	947	949
32	908	910	913	915	917	919	921	923	925	927
31	888	890	892	894	896	898	900	902	904	906
7.30	0.000867	869	871	873	875	877	879	882	884	886
29	848	850	852	854	855	857	859	861	863	865
28	828	830	832	834	836	838	840	842	844	846
27	809	811	813	815	817	819	821	823	825	826
26	791	793	795	796	798	800	802	804	806	808
25	0.000773	775	777	778	780	782	784	786	787	789

	1	4	3
1	0.4	0.4	0.3
2	0.8	0.8	0.6
3	1.2	1.2	0.9
4	1.6	1.6	1.2
5	2.0	2.0	1.5
6	2.4	2.4	1.8
7	2.8	2.8	2.1
8	3.2	3.2	2.4
9	3.6	3.6	2.7

续表

log α	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9									
											1	2	3	4	5	6	7	8	9
24	755	757	759	761	762	764	766	768	769	771									
23	738	740	742	743	745	747	748	750	752	754									
22	721	723	725	726	728	730	731	733	735	736									
21	705	707	708	710	711	713	715	716	718	720									
7.20	0.000689	690	692	694	695	697	698	700	702	703									
19	673	675	676	678	679	681	683	684	686	687									
18	658	659	661	662	664	665	667	669	670	672									
17	643	644	646	647	649	650	652	653	655	656									
16	628	630	631	633	634	635	637	638	640	641									
15	0.000614	615	617	618	620	621	622	624	625	627									
14	600	601	603	604	605	607	608	610	611	612									
13	586	588	589	590	592	593	594	596	597	599									
12	573	574	576	577	578	580	581	582	584	585									
11	560	561	562	564	565	566	568	569	570	572									
7.10	0.000547	548	550	551	552	553	555	556	557	559									
09	535	536	537	538	540	541	542	543	545	546									
08	522	524	525	526	527	529	530	531	532	533									
07	511	512	513	514	515	516	518	519	520	521									
06	499	500	501	502	504	505	506	507	508	509									
05	0.000488	489	490	491	492	493	494	495	497	498									
04	476	478	479	480	481	482	483	484	485	486									
03	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475									
02	455	456	457	458	459	460	461	462	463	465									
01	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454									
7.00	0.000435	436	437	438	439	440	441	442	443	444									

VI. $\log \frac{1}{1-a}$ (5)

$\log a$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	9
7.00	0.000435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	1.0	0.9
6.9	345	353	361	370	378	387	396	405	415	425	2.0	1.8
8	274	280	287	294	301	308	315	322	330	337	3.0	2.7
7	218	223	228	233	239	244	250	256	262	268	4.0	3.6
6	173	177	181	185	190	194	199	203	208	213	5.0	4.5
5	0.000137	141	144	147	151	154	158	161	165	169	6.0	5.4
4	109	112	114	117	120	122	125	128	131	134	7.0	6.3
3	87	89	91	93	95	97	100	102	104	107	8.0	7.2
2	69	70	72	74	75	77	79	81	83	85	9.0	8.1
1	55	56	57	59	60	61	63	64	66	67	0.8	0.7
6.0	0.000043	44	45	47	48	49	50	51	52	53	1.6	1.4
5.9	34	35	36	37	38	39	40	41	41	42	2.4	2.1
8	27	28	29	29	30	31	31	32	33	34	3.2	2.8
7	22	22	23	23	24	24	25	26	26	27	4.0	3.5
6	17	18	18	19	19	19	20	20	21	21	4.8	4.2
5	0.000014	14	14	15	15	15	16	16	17	17	5.6	4.9
4	11	11	11	12	12	12	13	13	13	13	6.4	5.6
3	9	9	9	9	10	10	10	10	10	11	7.2	6.3
2	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	6	5
1	5	6	6	6	6	6	6	6	7	7	0.6	0.5
5.0	0.000004	4	5	5	5	5	5	5	5	5	1.2	1.0
4	0.000000	1	1	1	1	1	2	2	3	3	1.8	1.5
											2.4	2.0
											3.0	2.5
											3.6	3.0
											4.2	3.5
											4.8	4.0
											5.4	4.5

续表

log a	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
											1	4	3
4 n	1.000000	9999	9999	9999	9999	9999	9998	9998	9997	9997	1	0.4	0.3
5.0n	9.999996	96	95	95	95	95	95	95	95	95	2	0.8	0.6
1n	95	94	94	94	94	94	94	94	93	93	3	1.2	0.9
2n	93	93	93	93	92	92	92	92	92	92	4	1.6	1.2
3n	91	91	91	91	90	90	90	90	90	89	5	2.0	1.5
4n	89	89	89	88	88	88	87	87	87	87	6	2.4	1.8
5n	9.999986	86	86	85	85	85	84	84	83	83	7	2.8	2.1
6n	83	82	82	81	81	81	80	80	79	79	8	3.2	2.4
7n	78	78	77	77	76	76	75	74	74	73	9	3.6	2.7
8n	73	72	71	71	70	69	69	68	67	66			
9n	66	65	64	63	62	61	60	59	59	58			
6.0n	9.999957	56	55	53	52	51	50	49	48	47	2	1	
1n	45	44	43	41	40	39	37	36	34	33	1	0.2	0.1
2n	31	30	28	26	25	23	21	19	17	15	2	0.4	0.2
3n	13	11	09	07	05	03	01	898	896	893	3	0.6	0.3
4n	9.999891	888	886	883	880	878	875	872	869	866	4	0.8	0.4
5n	9.999863	859	856	853	849	846	842	839	835	831	5	1.0	0.5
6n	827	823	819	815	810	806	802	797	792	787	6	1.2	0.6
7n	782	777	772	767	761	756	750	744	738	732	7	1.4	0.7
8n	726	720	713	706	700	693	685	678	671	663	8	1.6	0.8
9n	655	647	639	631	622	613	604	595	585	576	9	1.8	0.9
7.00n	9.999566	565	564	563	562	561	560	559	558	557			

VI. $\log \frac{1}{1-a}$ (6)

$\log a$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
7.00n	9.999566	565	564	563	562	561	560	559	558	557
01n	556	555	554	553	552	551	550	549	548	547
02n	545	544	543	542	541	540	539	538	537	536
03n	535	534	533	532	531	530	529	527	526	525
04n	524	523	522	521	520	519	517	516	515	514
05n	9.999513	512	511	510	508	507	506	505	504	503
06n	502	501	499	498	497	496	495	494	492	491
07n	490	489	488	487	485	484	483	482	481	479
08n	478	477	476	475	473	472	471	470	469	467
09n	466	465	464	462	461	460	459	457	456	455
7.10n	9.999454	452	451	450	449	447	446	445	443	442
11n	441	440	438	437	436	434	433	432	430	429
12n	428	427	425	424	423	421	420	419	417	416
13n	415	413	412	410	409	408	406	405	404	402
14n	401	400	398	397	395	394	393	391	390	388
15n	9.999387	386	384	383	381	380	378	377	376	374
16n	373	371	370	368	367	365	364	363	361	360
17n	358	357	355	354	352	351	349	348	346	345
18n	343	342	340	339	337	336	334	333	331	329
19n	328	326	325	323	322	320	319	317	315	314
7.20n	9.999312	311	309	307	306	304	303	301	299	298
21n	296	295	293	291	290	288	286	285	283	282
22n	280	278	277	275	273	272	270	268	266	265
23n	263	261	260	258	256	255	253	251	249	247
24n	246	244	242	241	239	237	235	234	232	230
25n	9.999228	227	225	223	221	219	218	216	214	212

	1	2
1	0.1	0.2
2	0.2	0.4
3	0.3	0.6
4	0.4	0.8
5	0.5	1.0
6	0.6	1.2
7	0.7	1.4
8	0.8	1.6
9	0.9	1.8

续表

log α	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9									
											1	2	3	4	5	6	7	8	9
26n	210	209	207	205	203	201	199	198	196	194									
27n	192	190	188	186	185	183	181	179	177	175									
28n	173	171	169	168	166	164	162	160	158	156									
29n	154	152	150	148	146	144	142	140	138	136									
7. 30n	9. 999134	132	130	128	126	124	122	120	118	116									
31n	114	112	110	108	106	104	102	100	098	096									
32n	094	091	089	087	085	083	081	079	077	075									
33n	072	070	068	066	064	062	060	057	055	053									
34n	051	049	047	044	042	040	038	036	033	031									
35n	9. 999029	027	024	022	020	018	015	013	011	009									
36n	006	004	002	8999	8997	8995	8992	8990	8988	8985									
37n	9. 998983	8981	8978	8976	8974	8971	8969	8967	8964	8962									
38n	8959	8957	8955	8952	8950	8947	8945	8943	8940	8938									
39n	8935	8933	8930	8928	8925	8923	8920	8918	8915	8913									
7. 40n	9. 998910	8908	8905	8903	8900	8898	8895	8893	8890	8888									
41n	8885	8883	8880	8877	8875	8872	8870	8867	8864	8862									
42n	8859	8857	8854	8851	8849	8846	8843	8841	8838	8835									
43n	8833	8830	8827	8825	8822	8819	8816	8814	8811	8808									
44n	8805	8803	8800	8797	8794	8792	8789	8786	8783	8781									
45n	9. 998778	8775	8772	8769	8766	8764	8761	8758	8755	8752									
46n	8749	8746	8744	8741	8738	8735	8732	8729	8726	8723									
47n	8720	8717	8714	8711	8708	8705	8702	8699	8696	8693									
48n	8690	8687	8684	8681	8678	8675	8672	8669	8666	8663									
49n	8660	8657	8654	8651	8648	8644	8641	8638	8635	8632									
7. 50n	9. 998629	8626	8622	8619	8616	8613	8610	8607	8603	8600									

VI. $\log \frac{1}{1-a}$ (7)

$\log a$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
7.50n	9.998629	8626	8622	8619	8616	8613	8610	8607	8603	8600
51n	8597	8594	8590	8587	8584	8581	8577	8574	8571	8568
52n	8564	8561	8558	8554	8551	8548	8544	8541	8538	8534
53n	8531	8528	8524	8521	8517	8514	8511	8507	8504	8500
54n	8497	8493	8490	8486	8483	8479	8476	8472	8469	8465
55n	9.998462	8458	8455	8451	8448	8444	8440	8437	8433	8430
56n	8426	8422	8419	8415	8411	8408	8404	8400	8397	8393
57n	8389	8386	8382	8378	8375	8371	8367	8363	8360	8356
58n	8352	8348	8344	8341	8337	8333	8329	8325	8321	8318
59n	8314	8310	8306	8302	8298	8294	8290	8286	8282	8278
7.60n	9.998274	8271	8267	8263	8259	8255	8251	8246	8242	8238
61n	8234	8230	8226	8222	8218	8214	8210	8206	8202	8197
62n	8193	8189	8185	8181	8177	8172	8168	8164	8160	8156
63n	8151	8147	8143	8139	8134	8130	8126	8121	8117	8113
64n	8108	8104	8100	8095	8091	8087	8082	8078	8073	8069
65n	9.998064	8060	8055	8051	8047	8042	8038	8033	8028	8024
66n	8019	8015	8010	8006	8001	7997	7992	7987	7983	7978
67n	7973	7969	7964	7959	7955	7950	7945	7941	7936	7931
68n	7926	7922	7917	7912	7907	7902	7898	7893	7888	7883
69n	7878	7873	7868	7863	7859	7854	7849	7844	7839	7834
7.70n	9.997829	7824	7819	7814	7809	7804	7799	7794	7789	7783
71n	7778	7773	7768	7763	7758	7753	7748	7742	7737	7732
72n	7727	7722	7716	7711	7706	7700	7695	7690	7685	7679
73n	7674	7669	7663	7658	7652	7647	7642	7636	7631	7625
74n	7620	7614	7609	7603	7598	7592	7587	7581	7576	7570
75n	9.997565	7559	7553	7548	7542	7537	7531	7525	7519	7514

	1	2	3	4	5
	0.4	0.5			
	0.8	1.0			
	1.2	1.5			
	1.6	2.0			
	2.0	2.5			
	2.4	3.0			
	2.8	3.5			
	3.2	4.0			
	3.6	4.5			

	6	7
	0.6	0.7
	1.2	1.4
	1.8	2.1
	2.4	2.8
	3.0	3.5
	3.6	4.2
	4.2	4.9
	4.8	5.6
	5.4	6.3

续表

log a	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9									
											8			9					
76n	7508	7502	7497	7491	7485	7479	7473	7468	7462	7456									
77n	7450	7444	7438	7433	7427	7421	7415	7409	7403	7397									
78n	7391	7385	7379	7373	7367	7361	7355	7349	7343	7337									
79n	7330	7324	7318	7312	7306	7300	7293	7287	7281	7275									
7. 80n	9. 997268	7262	7256	7250	7243	7237	7231	7224	7218	7211									
81n	7205	7199	7192	7186	7179	7173	7166	7160	7153	7147									
82n	7140	7134	7127	7120	7114	7107	7100	7094	7087	7080									
83n	7074	7067	7060	7053	7047	7040	7033	7026	7019	7013									
84n	7006	6999	6992	6985	6978	6971	6964	6957	6950	6943									
85n	9. 996936	6929	6922	6915	6908	6901	6894	6887	6880	6872									
86n	6865	6858	6851	6844	6836	6829	6822	6814	6807	6800									
87n	6792	6785	6778	6770	6763	6755	6748	6740	6733	6725									
88n	6718	6710	6703	6695	6688	6680	6672	6665	6657	6650									
89n	6642	6634	6626	6619	6611	6603	6595	6587	6580	6572									
7. 90n	9. 996564	6556	6548	6540	6532	6524	6516	6508	6500	6492									
91n	6484	6476	6468	6460	6452	6444	6435	6427	6419	6411									
92n	6403	6394	6386	6378	6369	6361	6353	6344	6336	6328									
93n	6319	6311	6302	6294	6285	6277	6268	6260	6251	6242									
94n	6234	6225	6217	6208	6199	6190	6182	6173	6164	6155									
95n	9. 996146	6138	6129	6120	6111	6102	6093	6084	6075	6066									
96n	6057	6048	6039	6030	6021	6012	6003	5993	5984	5975									
97n	5966	5956	5947	5938	5929	5919	5910	5900	5891	5882									
98n	5872	5863	5853	5844	5834	5825	5815	5805	5796	5786									
99n	5777	5767	5757	5747	5738	5728	5718	5708	5698	5689									
8. 00n	9. 995679	5669	5659	5649	5639	5629	5619	5609	5599	5589									

(8)

VI. $\log \frac{1}{1-a}$

$\log a$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10	11	12	13	14
8.00n	9.995679	5669	5659	5649	5639	5629	5619	5609	5599	5589	1	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4
01n	5578	5568	5558	5548	5538	5528	5517	5507	5497	5486	2	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8
02n	5476	5466	5455	5445	5434	5424	5413	5403	5392	5382	3	3.0	3.3	3.6	3.9	4.2
03n	5371	5361	5350	5339	5329	5318	5307	5296	5286	5275	4	4.0	4.4	4.8	5.2	5.6
04n	5264	5253	5242	5231	5220	5209	5198	5187	5176	5165	5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
05n	9.995154	5143	5132	5121	5110	5098	5087	5076	5065	5053	6	6.0	6.6	7.2	7.8	8.4
06n	5042	5031	5019	5008	4996	4985	4973	4962	4950	4939	7	7.0	7.7	8.4	9.1	9.8
07n	4927	4916	4904	4892	4881	4869	4857	4845	4833	4822	8	8.0	8.8	9.6	10.4	11.2
08n	4810	4798	4786	4774	4762	4750	4738	4726	4714	4702	9	9.0	9.9	10.8	11.7	12.6
09n	4690	4677	4665	4653	4641	4628	4616	4604	4591	4579		15	16	17	18	19
8.10n	9.994567	4554	4542	4529	4517	4504	4492	4479	4466	4454	1	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
11n	4441	4428	4415	4403	4390	4377	4364	4351	4338	4325	2	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8
12n	4312	4299	4286	4273	4260	4247	4234	4220	4207	4194	3	4.5	4.8	5.1	5.4	5.7
13n	4181	4167	4154	4141	4127	4114	4100	4087	4073	4060	4	6.0	6.4	6.8	7.2	7.6
14n	4046	4032	4019	4005	3991	3978	3964	3950	3936	3922	5	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5
15n	9.993908	3894	3880	3866	3852	3838	3824	3810	3796	3782	6	9.0	9.6	10.2	10.8	11.4
16n	3767	3753	3739	3725	3710	3696	3681	3667	3652	3638	7	10.5	11.2	11.9	12.6	13.3
17n	3623	3609	3594	3579	3565	3550	3535	3521	3506	3491	8	12.0	12.8	13.6	14.4	15.2
18n	3476	3461	3446	3431	3416	3401	3386	3371	3356	3340	9	13.5	14.4	15.3	16.2	17.1
19n	3325	3310	3295	3279	3264	3248	3233	3218	3202	3186		20	21	22	23	24
8.20n	9.993171	3155	3140	3124	3108	3092	3077	3061	3045	3029	1	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4
21n	3013	2997	2981	2965	2949	2933	2917	2900	2884	2868	2	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8
22n	2852	2835	2819	2803	2786	2770	2753	2736	2720	2703	3	6.0	6.3	6.6	6.9	7.2
23n	2687	2670	2653	2636	2619	2603	2586	2569	2552	2535	4	8.0	8.4	8.8	9.2	9.6
24n	2518	2501	2483	2466	2449	2432	2414	2397	2380	2362	5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0
25n	9.992345	2327	2310	2292	2275	2257	2239	2222	2204	2186	6	12.0	12.6	13.2	13.8	14.4
											7	14.0	14.7	15.4	16.1	16.8
											8	16.0	16.8	17.6	18.4	19.2
											9	18.0	18.9	19.8	20.7	21.6

续表

log a	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		25	26	27	28	29
26n	2168	2150	2132	2114	2096	2078	2060	2042	2024	2006	1	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9
27n	1987	1969	1951	1932	1914	1896	1877	1858	1840	1821	2	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8
28n	1803	1784	1765	1746	1727	1709	1690	1671	1652	1633	3	7.5	7.8	8.1	8.4	8.7
29n	1613	1594	1575	1556	1537	1517	1498	1478	1459	1440	4	10.0	10.4	10.8	11.2	11.6
8.30n	9.991420	1400	1381	1361	1341	1322	1302	1282	1262	1242	5	12.5	13.0	13.5	14.0	14.5
31n	1222	1202	1182	1162	1142	1122	1101	1081	1061	1040	6	15.0	15.6	16.2	16.8	17.4
32n	1020	0999	0979	0958	0938	0917	0896	0875	0855	0834	7	17.5	18.2	18.9	19.6	20.3
33n	0813	0792	0771	0750	0729	0708	0686	0665	0644	0622	8	20.0	20.8	21.6	22.4	23.2
34n	0601	0580	0558	0537	0515	0493	0472	0450	0428	0406	9	22.5	23.4	24.3	25.2	26.1
												30	31	32		
35n	9.990385	0363	0341	0319	0297	0274	0252	0230	0208	0186	1	3.0	3.1	3.2		
36n	0163	0141	0118	0096	0073	0051	0028	0005	9982	9960	2	6.0	6.2	6.4		
37n	9.989937	9914	9891	9868	9845	9821	9798	9775	9752	9728	3	9.0	9.3	9.6		
38n	9705	9682	9658	9634	9611	9587	9563	9540	9516	9492	4	12.0	12.4	12.8		
39n	9468	9444	9420	9396	9372	9348	9323	9299	9275	9250	5	15.0	15.5	16.0		
8.40n	9.989226	9201	9177	9152	9127	9103	9078	9053	9028	9003	6	18.0	18.6	19.2		
41n	8978	8953	8928	8903	8877	8852	8827	8801	8776	8750	7	21.0	21.7	22.4		
42n	8725	8699	8673	8647	8622	8596	8570	8544	8518	8492	8	24.0	24.8	25.6		
43n	8465	8439	8413	8386	8360	8334	8307	8280	8254	8227	9	27.0	27.9	28.8		
44n	8200	8173	8147	8120	8093	8066	8038	8011	7984	7957						
45n	9.987929	7902	7874	7847	7819	7791	7764	7736	7708	7680						
46n	7652	7624	7596	7568	7539	7511	7483	7454	7426	7397						
47n	7369	7340	7311	7282	7253	7224	7195	7166	7137	7108						
48n	7079	7049	7020	6990	6961	6931	6902	6872	6842	6812						
49n	6782	6752	6722	6692	6662	6631	6601	6571	6540	6510						
8.50n	9.986479	6448	6418	6387	6356	6325	6294	6263	6232	6200						

$$VL \log \frac{1}{1-a} \quad (9)$$

$\log a$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		32	34	36	38	40
8.50n	9.986479	6448	6418	6387	6356	6325	6294	6263	6232	6200	1	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0
51n	6169	6138	6106	6075	6043	6011	5980	5948	5916	5884	2	6.4	6.8	7.2	7.6	8.0
52n	5852	5820	5788	5756	5723	5691	5659	5626	5593	5561	3	9.6	10.2	10.8	11.4	12.0
53n	5528	5495	5462	5429	5396	5363	5330	5297	5263	5230	4	12.8	13.6	14.4	15.2	16.0
54n	5197	5163	5129	5096	5062	5028	4994	4960	4926	4892	5	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0
55n	9.984858	4823	4789	4755	4720	4685	4651	4616	4581	4546	6	19.2	20.4	21.6	22.8	24.0
56n	4511	4476	4441	4406	4370	4335	4300	4264	4228	4193	7	22.4	23.8	25.2	26.6	28.0
57n	4157	4121	4085	4049	4013	3977	3941	3904	3868	3831	8	25.6	27.2	28.8	30.4	32.0
58n	3795	3758	3721	3684	3648	3611	3573	3536	3499	3462	9	28.8	30.6	32.4	34.2	36.0
59n	3424	3387	3349	3312	3274	3236	3198	3160	3122	3084		42	44	46	48	50
8.60n	9.983046	3007	2969	2930	2892	2853	2814	2776	2737	2698	1	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0
61n	2658	2619	2580	2541	2501	2462	2422	2382	2343	2303	2	8.4	8.8	9.2	9.6	10.0
62n	2263	2223	2183	2142	2102	2062	2021	1981	1940	1899	3	12.6	13.2	13.8	14.4	15.0
63n	1858	1817	1776	1735	1694	1653	1611	1570	1528	1486	4	16.8	17.6	18.4	19.2	20.0
64n	1444	1403	1361	1319	1276	1234	1192	1149	1107	1064	5	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0
65n	9.981022	0979	0936	0893	0850	0807	0763	0720	0677	0633	6	25.2	26.4	27.6	28.8	30.0
66n	0589	0546	0502	0458	0414	0370	0325	0281	0237	0192	7	29.4	30.8	32.2	33.6	35.0
67n	0147	0103	0058	0013	9968	9923	9878	9832	9787	9741	8	33.6	35.2	36.8	38.4	40.0
68n	9.979695	9650	9604	9558	9512	9466	9420	9373	9327	9280	9	37.8	39.6	41.4	43.2	45.0
69n	9234	9187	9140	9093	9046	8999	8952	8904	8857	8809		52	54	56	58	60
8.70n	9.978762	8714	8666	8618	8570	8522	8473	8425	8376	8328	1	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0
71n	8279	8230	8181	8132	8083	8034	7985	7935	7885	7836	2	10.4	10.8	11.2	11.6	12.0
72n	7786	7736	7686	7636	7586	7535	7485	7434	7384	7333	3	15.6	16.2	16.8	17.4	18.0
73n	7282	7231	7180	7128	7077	7026	6974	6922	6870	6818	4	20.8	21.6	22.4	23.2	24.0
74n	6766	6714	6662	6610	6557	6505	6452	6399	6346	6293	5	26.0	27.0	28.0	29.0	30.0
75n	9.976240	6187	6133	6080	6026	5972	5918	5864	5810	5756	6	31.2	32.4	33.6	34.8	36.0
											7	36.4	37.8	39.2	40.6	42.0
											8	41.6	43.2	44.8	46.4	48.0
											9	46.8	48.6	50.4	52.2	54.0

续表

log a	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
76n	5702	5647	5593	5538	5483	5428	5373	5318	5262	5207	2	12.4	12.8	13.2	13.6	14.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0																	
77n	5152	5096	5040	4984	4928	4872	4816	4759	4703	4646	3	18.6	19.2	19.8	20.4	21.0	12.4	12.8	13.2	13.6	14.0																	
78n	4589	4532	4475	4418	4361	4304	4246	4188	4131	4073	4	24.8	25.6	26.4	27.2	28.0	18.6	19.2	19.8	20.4	21.0																	
79n	4015	3957	3898	3840	3781	3723	3664	3605	3546	3487	5	31.0	32.0	33.0	34.0	35.0	24.8	25.6	26.4	27.2	28.0																	
8.80n	9.973428	3368	3309	3249	3189	3129	3069	3009	2949	2888	6	37.2	38.4	39.6	40.8	42.0	31.0	32.0	33.0	34.0	35.0																	
81n	2828	2767	2706	2645	2584	2523	2461	2400	2338	2276	7	43.4	44.8	46.2	47.6	49.0	37.2	38.4	39.6	40.8	42.0																	
82n	2215	2153	2090	2028	1966	1903	1840	1777	1714	1651	8	49.6	51.2	52.8	54.4	56.0	43.4	44.8	46.2	47.6	49.0																	
83n	1588	1525	1461	1398	1334	1270	1206	1141	1077	1013	9	55.8	57.6	59.4	61.2	63.0	49.6	51.2	52.8	54.4	56.0																	
84n	0948	0883	0818	0753	0688	0623	0557	0492	0426	0360		72	74	76	78	80	55.8	57.6	59.4	61.2	63.0																	
85n	9.970294	0228	0161	0095	0028	9962	9895	9828	9760	9693	1	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0	72	74	76	78	80																	
86n	9.969626	9558	9490	9422	9354	9286	9218	9149	9081	9012	2	14.4	14.8	15.2	15.6	16.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0																	
87n	8943	8874	8804	8735	8666	8596	8526	8456	8386	8316	3	21.6	22.2	22.8	23.4	24.0	14.4	14.8	15.2	15.6	16.0																	
88n	8245	8175	8104	8033	7962	7891	7819	7748	7676	7604	4	28.8	29.6	30.4	31.2	32.0	21.6	22.2	22.8	23.4	24.0																	
89n	7532	7460	7388	7316	7243	7170	7097	7024	6951	6878	5	36.0	37.0	38.0	39.0	40.0	28.8	29.6	30.4	31.2	32.0																	
8.90n	9.966804	6731	6657	6583	6509	6435	6360	6285	6211	6136	6	43.2	44.4	45.6	46.8	48.0	36.0	37.0	38.0	39.0	40.0																	
91n	6061	5985	5910	5834	5759	5683	5607	5531	5454	5378	7	50.4	51.8	53.2	54.6	56.0	43.2	44.4	45.6	46.8	48.0																	
92n	5301	5224	5147	5070	4992	4915	4837	4759	4681	4603	8	57.6	59.2	60.8	62.4	64.0	50.4	51.8	53.2	54.6	56.0																	
93n	4525	4446	4368	4289	4210	4130	4051	3972	3892	3812	9	64.8	66.6	68.4	70.2	72.0	57.6	59.2	60.8	62.4	64.0																	
94n	3732	3652	3571	3491	3410	3329	3248	3167	3086	3004		82	84	86	88	90	64.8	66.6	68.4	70.2	72.0																	
95n	9.962922	2840	2758	2676	2594	2511	2428	2345	2262	2179	1	8.2	8.4	8.6	8.8	9.0	82	84	86	88	90																	
96n	2095	2012	1928	1844	1760	1675	1591	1506	1421	1336	2	16.4	16.8	17.2	17.6	18.0	8.2	8.4	8.6	8.8	9.0																	
97n	1251	1165	1080	0994	0908	0822	0735	0649	0562	0475	3	24.6	25.2	25.8	26.4	27.0	16.4	16.8	17.2	17.6	18.0																	
98n	9.960388	0301	0213	0126	0038	9950	9862	9773	9685	9596	4	32.8	33.6	34.4	35.2	36.0	24.6	25.2	25.8	26.4	27.0																	
99n	9.959507	9418	9329	9239	9149	9059	8969	8879	8789	8698	5	41.0	42.0	43.0	44.0	45.0	32.8	33.6	34.4	35.2	36.0																	
											6	49.2	50.4	51.6	52.8	54.0	41.0	42.0	43.0	44.0	45.0																	
											7	57.4	58.8	60.2	61.6	63.0	49.2	50.4	51.6	52.8	54.0																	
											8	65.6	67.2	68.8	70.4	72.0	57.4	58.8	60.2	61.6	63.0																	
9.00n	8607	8516	8425	8334	8242	8150	8058	7966	7874	7781	9	73.8	75.6	77.4	79.2	81.0	65.6	67.2	68.8	70.4	72.0																	

VII. 赤纬之蒙气差改正(用于太阳仪)

(1)

赤纬之蒙气差改正									
赤 纬									
距离正午 之时数	+20°	+15°	+10°	+5°	0°	-5°	-10°	-15°	-20°
纬度 10°									
0	-10"	-05"	0"	+05"	10"	15"	20"	26"	32"
2	-07	-03	+02	07	12	17	22	28	34
3	-05	0	+03	08	13	19	26	32	38
4	0	+05	10	15	20	26	32	39	47
5	+15	+20	26	32	39	47	55	1'07	1'21
纬度 15°									
0	-05"	0"	+05"	10"	15"	21"	27"	33"	40
2	-03	+02	07	12	18	24	29	36	43
3	+01	05	11	16	22	28	34	41	49
4	08	12	19	24	30	37	45	53	1'05
5	29	34	41	49	59	1'11	1'24	1'43	2 09
纬度 20°									
0	0"	5"	10"	15"	21"	27"	33"	40"	48"
2	3	9	13	18	24	30	36	44	52
3	7	12	18	24	30	36	44	52	1'02
4	17	22	28	35	42	50	1'00	1'11	1 26
5	41	48	57	1'07	1'20	1'37	2 00	2 34	3 27
纬度 25°									
0	05"	10"	15"	21"	27"	33"	40"	48"	57"
2	08	14	19	25	31	38	46	55	1'05
3	12	18	24	30	37	44	53	1'04	1 18
4	23	29	35	45	53	1'03	1'16	1'31	1 53
5	49	59	1'10	1'24	1'42	2 07	2 44	3 50	5 58
纬度 30°									
0	10"	15"	21"	27"	33"	40"	48"	57"	1'08"
2	14	19	25	32	38	46	54	1'05	1 18
3	20	26	32	39	47	55	1'06	1 19	1 36
4	32	39	47	55	1'06	1'19	1 35	1 57	2 29
5	59	1'11	1'24	1'41	2 07	2 45	3 47	5 54	
纬度 35°									
0	15"	21"	27"	33"	40"	48"	57"	1'08"	1'21"
2	20	25	32	38	46	55	1'05	1 18	1 35
3	26	33	39	47	56	1'07	1 21	1 38	2 00
4	39	47	56	1'07	1'20	1 36	1 59	2 32	3 28
5	1'07	1'20	1'38	2 01	2 34	3 30	5 14		

附表

续表

赤纬之蒙气差改正									
赤 纬									
距离正午 之时数	+20°	+15°	+10°	+5°	0°	-5°	-10°	-15°	-20°
纬度 37°30'									
0	18"	24"	30"	36"	44"	52"	1'02"	1'14"	1'29"
2	22	28	35	42	50	1'00	1 12	1 26	1 45
3	29	36	43	52	1'02	1 14	1 29	1 49	2 16
4	43	51	1'01	1'13	1 27	1 48	2 15	2 55	4 07
5	1'11	1'26	1 44	2 10	2 49	3 55	6 15		
纬度 40°									
0	21"	27"	33"	40"	48"	57"	1'08"	1'21"	1'40"
2	26	32	39	47	54	1'06	1 19	1 35	1 57
3	33	40	48	57	1'08	1 22	1 38	2 02	2 36
4	47	56	1'07	1'20	1 36	1 58	2 31	3 21	5 00
5	1'16	1'31	1 51	2 20	3 06	4 26	7 36		

VII. 赤纬之蒙气差改正(用于太阳仪)

(2)

赤纬之蒙气差改正									
赤 纬									
距离正午 之时数	+20°	+15°	+10°	+5°	0°	-5°	-10°	-15°	-20°
纬度 42°30'									
0	24"	30"	36"	44"	52"	1'02"	1'14"	1'30"	1'50"
2	28	35	39	51	1'00	1 12	1 26	1 45	2 12
3	36	43	52	1'02	1 13	1 29	1 49	2 17	2 59
4	50	1'00	1'11	1 26	1 44	2 10	2 49	3 55	6 18
5	1'20	1 36	1 58	2 31	3 22	5 00			
纬度 45°									
0	27"	33"	40"	48"	57"	1'08"	1'21"	1'39"	2'02"
2	32	39	46	52	1'06	1 19	1 35	1 57	2 29
3	40	47	56	1'07	1 21	1 38	2 00	2 34	3 29
4	54	1'04	1'16	1 33	1 54	2 24	3 11	4 38	8 16
5	1'23	1 41	2 05	2 41	3 40	5 40			

续表

赤纬之蒙气差改正									
赤 纬									
距离正午 之时数	+20°	+15°	+10°	+5°	0°	-5°	-10°	-15°	-20°
纬度 47°30'									
0	30"	36"	44"	52"	1'02"	1'14"	1'29"	1'49"	2'18"
2	35	42	50	1'00	1 12	1 26	1 45	2 01	2 51
3	43	51	1'01	1 13	1 28	1 47	2 15	2 56	4 08
4	56	1'09	1 23	1 41	2 05	2 41	3 40	5 38	
5	1'27	1 46	2 12	2 52	4 02	6 32			
纬度 50°									
0	33"	40"	48"	58"	1'08"	1'21"	1'39"	2'02"	2'36
2	39	47	54	1'06	1 18	1 35	1 58	2 28	3 19
3	47	56	1'07	1 20	1 36	1 59	2 32	3 24	5 03
4	1'02	1'14	1 29	1 49	2 16	2 59	4 20	7 00	
5	1 30	1 51	2 20	3 05	4 23	7 30			
纬度 52°30'									
0	36"	44"	52"	1'02"	1'14"	1'29"	1'49"	2'18"	3'05"
2	43	50	59	1 11	1 26	1 42	2 23	2 49	3 55
3	50	1'00	1'11	1 26	1 45	2 11	2 51	3 58	6 24
4	1'05	1 18	1 35	2 00	2 28	3 20	4 53		
5	1 34	1 56	2 27	3 16					
纬度 55°									
0	40"	48"	57"	1'08"	1'21"	1'39"	2'02"	2'36"	3'33"
2	46	55	1'05	1 18	1 34	1 56	2 30	3 15	4 47
3	55	1'06	1 19	1 35	1 58	2 30	3 21	4 44	9 19
4	1'10	1 23	1 42	2 06	2 43	3 44	5 49		
5	1 37	2 01	2 34	3 28					
纬度 57°30'									
0	44"	52"	1'02"	1'14"	1'29"	1'49"	2'18"	3'05"	4'37"
2	50	59	1 11	1 25	1 43	2 09	2 47	3 51	6 04
3	58	1 10	1 24	1 42	2 07	2 43	3 45	5 50	
4	1'11	1 25	1 43	2 10	2 50	3 55	6 14		
5	1 41	2 06	2 42	3 42					
纬度 60°									
0	48"	57"	1'09"	1'22"	1'39"	2'02"	2'36"	3'33"	5'23"
2	54	1'05	1 17	1 34	1 54	2 24	3 12	4 38	8 16
3	1'03	1 15	1 32	1 52	2 20	3 04	4 24	7 31	
4	1 19	1 35	1 57	2 29	3 18	4 50			
5	1 46	2 12	2 51	3 59					

附 表

VIII. 子午线在纬圈上每 100 公尺之收敛角 (以弧秒为单位)

纬度	距 离(东或西)								
Ø	100 公尺	200 公尺	300 公尺	400 公尺	500 公尺	600 公尺	700 公尺	800 公尺	900 公尺
°	"	"	"	"	"	"	"	"	"
20	1.18	2.35	3.53	4.71	5.88	7.06	8.24	9.42	10.59
21	1.24	2.48	3.72	4.97	6.23	7.47	8.71	9.95	11.19
22	1.31	2.61	3.92	5.23	6.53	7.84	9.15	10.45	11.76
23	1.37	2.75	4.12	5.49	6.86	8.24	9.61	10.98	12.35
24	1.44	2.88	4.32	5.76	7.20	8.64	10.08	11.52	12.96
25	1.51	3.02	4.52	6.03	7.54	9.05	10.56	12.06	13.57
26	1.58	3.15	4.73	6.31	7.89	9.46	11.04	12.62	14.20
27	1.65	3.30	4.94	6.59	8.24	9.89	11.53	13.18	14.83
28	1.72	3.44	5.16	6.88	8.60	10.32	12.04	13.76	15.47
29	1.79	3.58	5.38	7.17	8.96	10.76	12.55	14.34	16.13
30	1.87	3.73	5.60	7.47	9.34	11.20	13.07	14.94	16.80
31	1.94	3.89	5.83	7.77	9.72	11.66	13.60	15.54	17.49
32	2.02	4.04	6.06	8.08	10.10	12.12	14.14	16.17	18.19
33	2.10	4.20	6.30	8.40	10.50	12.60	14.70	16.80	18.90
34	2.18	4.36	6.54	8.73	10.91	13.09	15.27	17.45	19.63
35	2.26	4.53	6.79	9.06	11.32	13.59	15.85	18.11	20.38
36	2.35	4.70	7.05	9.40	11.75	14.10	16.45	18.80	21.15
37	2.44	4.87	7.31	9.75	12.18	14.62	17.06	19.49	21.93
38	2.53	5.05	7.58	10.11	12.63	15.16	17.69	20.21	22.74
39	2.62	5.24	7.86	10.47	13.09	15.71	18.33	20.95	23.57
40	2.71	5.43	8.14	10.85	13.57	16.28	18.99	21.71	24.42
41	2.81	5.62	8.43	11.24	14.06	16.87	19.68	22.49	25.20
42	2.91	5.82	8.74	11.65	14.56	17.47	20.38	23.29	26.21
43	3.02	6.03	9.05	12.06	15.08	18.09	21.11	24.12	27.14
44	3.12	6.25	9.37	12.49	15.61	18.74	21.86	24.98	28.11
45	3.23	6.47	9.70	12.94	16.17	19.04	22.64	25.87	29.10
46	3.35	6.70	10.05	13.39	16.74	20.09	23.44	26.79	30.14
47	3.47	6.94	10.40	13.87	17.34	20.81	24.27	27.74	31.21
48	3.59	7.18	10.77	14.37	17.96	21.55	25.14	28.73	32.32
49	3.72	7.44	11.16	14.88	18.60	22.32	26.04	29.76	33.48
50	3.85	7.71	11.56	15.42	19.27	23.12	26.98	30.83	34.69

[G e n e r a l I n f o r m a t i o n]

书名 = 实用天文学

作者 = 夏坚白, 陈永龄, 王之卓编

页数 = 271

SS号 = 11975571

出版日期 = 2007.10

出版社 = 武汉大学出版社

书名

前言

目录

第一章 天体之运行

第一节 实用天文学

第二节 宇宙概述

第三节 太阳系

第四节 地球

第五节 地球之运行

第二章 天球

第一节 天球之定义

第二节 天球上之参考点圈

第三节 天球上之坐标系统

第四节 恒星

第五节 星座及恒星之辨认

第三章 天体之视运动

第一节 恒星之视运动

第二节 太阳之视运动

第三节 行星及太阳之视运动

第四节 岁差及章动

第五节 光行差

第四章 时

第一节 时段与时刻

第二节 恒星日、恒星时

第三节 太阳日、太阳时

第四节 时差

第五节 时与经度

第六节 标准时

第七节 日期界线

第五章 天文年历

第一节 天体位置

第二节 年与历

第三节 年历内容

第四节 恒星之平位置至视位置之换算

第五节 内插计算公式

第六章 时之换算

第一节 平太阳时与视太阳时之换算

第二节 恒星时段与平太阳时段之关系

第三节 恒星时刻与太阳时刻之关系

第四节 时刻换算应用问题

	第五节	恒星时刻之近似估计
第七章		定位三角形
	第一节	球面三角之基本公式
	第二节	直角或象限球面三角形
	第三节	定位三角形之一般解算
	第四节	定位三角形之特殊情形
第八章		观测仪器
	第一节	经纬仪
	第二节	六分仪
	第三节	计时仪器
第九章		高度角观测值之改正
	第一节	蒙气差
	第二节	视差
	第三节	半径
	第四节	海平俯角
	第五节	高度角之改正计算
第十章		時計对正及授时信号
	第一节	時計改正及其日差
	第二节	以标准時計对正計时表
	第三节	无线电授时信号
	第四节	游标授时信号之收录
第十一章		纬度之测定
	第一节	总论
	第二节	天体中天高度法
	第三节	环子午高度法
	第四节	北极星高度法
	第五节	赫瑞鲍太尔各特法
第十二章		时刻与经度之测定
	第一节	总论
	第二节	天体高度法
	第三节	天体等高法
	第四节	天体中天时刻法
	第五节	子午仪中天观测法
	第六节	恒星经过北极星地平经圈时刻法
	第七节	经度之测定
第十三章		同时测定经纬度方法
	第一节	测两星高度定经纬度
	第二节	定位线解法
	第三节	定位线公式
	第四节	等高观测原理

	第五节	等高仪
	第六节	等高仪观测之选星
	第七节	等高仪之观测工作
	第八节	等高仪观测计算举例
第十四章	方位角	之测定
	第一节	方位角及方位标
	第二节	测定方位角一般原理
	第三节	天体高度法
	第四节	太阳时角法
	第五节	拱极星在大距法
	第六节	拱极星近大距法
	第七节	近极星任意时角法
	第八节	太阳仪附件法
	第九节	子午线收敛角

附表