

人造卫星的观测和预报

紫金山天文台編

.91

研究所

科学出版社

人造卫星的观测和预报

紫金山天文台編

科学出版社

1960

內 容 簡 介

本书从介紹簡要天文知識开始,使讀者首先了解一些基本概念,然后詳細地敘述了人造卫星的运动、軌道的变化和卫星出現規律,最后敘述了人造卫星的觀測和預報。在觀測方面着重敘述了光学觀測和照相觀測;在預報方面为了使一般讀者均能做預報,避免大量計算,本书介紹了一种簡單方便的图解法。

本书切合实际工作需要,并通俗易懂,因此不但适合于专业工作者参考,并可供广大天文爱好者閱讀。

人造卫星的觀測和預報

紫金山天文台編

*

科学出版社出版 (北京朝陽門大街 117 号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总經售

*

1960 年 4 月第 一 版

书号: 2167 字数: 81,000

1960 年 4 月第一次印刷

开本: 787×1092 1/27

(京) 0001—6,000

印张: 3 23/27 插頁: 8

定价: 0.82 元

前 言

1957年10月4日,苏联成功地发射了第一顆人造地球卫星。同年11月3日,又首次把带有动物的第二顆人造卫星送上天空。1958年5月15日,苏联又接着发射了重达1327公斤的第三顆巨型卫星。这些卫星一个比一个載有更多的科学探测仪器,按照国际地球物理年的計劃,負担着愈益重大的科学使命。直到現在,苏联第三顆人造卫星仍在圍繞着地球运轉。1959年新年伊始,苏联巨型宇宙火箭又发射成功,达到并超过第二宇宙速度,創造了人类有史以来的第一顆人造行星,开辟了征服自然、航行于星辰世界的新紀元。同年9月12日,苏联又发射了第二个宇宙火箭,于9月14日成功地射到月球上。接着,同年10月4日又发射了第三个宇宙火箭,并成功地拍摄了月球背面的第一批照片。苏联的这些伟大科学成就,雄辯地証明了社会主义的无比优越性,显示了东风进一步压倒西风,从而鼓舞了全世界爱好和平的人民爭取人类进步事业的信心和力量。

人造卫星环绕地球飞行,可以在較长時間內,直接收集过去在地面上无法获得的科学資料。例如太阳的微粒輻射、高层大气的物理性質、地球的引力場、电离层以及在宇宙飞行情况下动物有机体的生活情况等等。观测人造卫星,对人造卫星的运行情况及其所收集的資料进行分析研究,可以直接驗証天文学、地球物理学以及其他有关学科中的假說和原理,帮助認識自然界的真实情况。毫无疑问,人造卫星的发射成功,将大大促进有关科学的发展。

我国在苏联发射第一顆人造卫星之后立即开展了观测、預报和研究工作。早在1957年底,中国科学院就成立了人造卫星光学观测办公室,組織各地进行观测。在最初阶段,由于仪器缺乏,經驗不足,預报不够准确,观测工作遇到很多困难。虽然如此,我

們仍然以极大的热情和堅強的信心投入了這項工作。仅在南京一地就曾組織十多个高等学校和科技机关，用經緯仪等一切可能觀測的仪器，成排結队地監視天空，守待卫星。借此曾經获得了不少觀測資料。这对剛上天的卫星來說，是非常珍貴的。

我国人造卫星觀測工作，一开始在仪器設備及人員培养上就得到苏联伟大无私的援助。1958年，苏联派来了专家 Д. Е. 謝果列夫 (Шёголев) 同志幫助我們在北京举办了人造卫星光学觀測訓練班，并建立了一些人造卫星光学觀測站。这是我国人造卫星觀測工作的基础。

一年多来在大跃进的形势下，我国人造卫星觀測工作有了飞速发展。目前，全国人造卫星觀測站已建立了数十个，这些站分布于祖国各地。它們一般設置在高等学校或其他科学机构中，有专职人員負責安排和組織觀測工作。与此同时，业余爱好者的队伍也普遍形成，不少高等以至中等学校的师生，自发地投入了人造卫星的觀測和研究工作。全国各地对苏联三顆人造卫星已进行了数千次广角鏡觀測和数百次照相觀測。这些觀測資料在人造卫星的預报和研究工作中都起了很大作用。

与人造卫星的觀測和理論研究工作的蓬勃发展相适应，我国已建立了自己的預报工作。一年多来我們处理了大量觀測資料，对人造卫星的軌道理論和軌道变化規律进行了系統的分析研究，从而使預报准确度不断提高。目前不論在預报准确度或期限长短上，都已能完全滿足国内各觀測站的需要。

在大跃进的年代里，我国人造卫星觀測預报工作已經从无到有、从小到大地成长起来了。我們已經有了一个从南到北遍布祖国各地的觀測网，一年多来在觀測、預报和研究工作中取得了很多宝贵的經驗和成就。但是，我們今天的工作还是初步的，和形势要求仍然相差很远。随着我国科学事业的飞速发展，我国人造卫星工作的任务也将日益繁重，这就要求我們全体人造卫星觀測工作者，兢兢业业，繼續前进，完成祖国交給我們的这一光荣任务。

今天，我們已經有了一批具有一定政治觉悟和业务水平的工

作人員,专业和业余从事人造卫星工作的队伍还将不断壮大。更可喜的是广大人民羣众对这一新的科学領域抱有极大的兴趣,他們要求系統了解有关人造卫星的出現規律和观测方法,本书就是为了滿足这一需要而編写的。

本书吸取了我国各观测站的实际工作經驗,并参考 Д. Е. 謝果列夫同志在北京訓練班的講稿編写而成。内容力求通俗易懂,及切合实际工作需要。

本书共分为三篇:第一篇为簡要天文知識,鉴于人造卫星的观测主要是决定卫星經過的位置和時間,因而这一篇着重叙述了天文坐标和時間的概念。第二篇讲解人造卫星的运动,对卫星軌道变化和出現規律作了系統的介绍。第三篇为人造卫星的观测和預报,在观测上着重叙述了光学目視观测和照相观测,无綫电观测已超出本书范围,这里只作了簡单的叙述。

人造卫星的預报涉及的理論和計算較多,为了使一般讀者能作出預报,本书介绍了一种图解法,这种方法簡單方便,不需要大量計算,經驗証明这一方法是很有效的。我国各观测站的工作經驗除分別写入本书各章外,还有部分資料显得零碎,但也有参考价值,为了保持全书的系統性,我們把它編入了附录。

本书可供专业工作者及具有中等文化程度的业余愛好者閱讀。

本书由紫金山天文台以及天津、郑州、武汉、广州各观测站来紫金山天文台实习的同志集体編写。本书匆促編成,錯誤及叙述不当之处在所难免,某些内容也可能不尽适合讀者需要。我們殷切地期望讀者批評指正。

中国科学院紫金山天文台

1959年10月

目 录

前言..... i

第一篇 簡要天文知識

第一章 天文坐标.....	1
§ 1. 天球和周日运动.....	1
§ 2. 地平坐标.....	4
§ 3. 赤道坐标.....	6
§ 4. 坐标的換算.....	8
第二章 時間的概念和換算.....	12
§ 5. 眞太阳时.....	12
§ 6. 平太阳时.....	13
§ 7. 时差.....	13
§ 8. 地方时和經度.....	14
§ 9. 区时.....	15
§ 10. 恆星时.....	16
§ 11. 時間的換算.....	17

第二篇 人造卫星的运动

第三章 人造卫星的运行規律.....	19
§ 12. 飞出地球.....	19
§ 13. 人造卫星的軌道根数.....	20
§ 14. 軌道运动.....	23
§ 15. 飞行路綫.....	25
第四章 人造卫星軌道的变化.....	27
§ 16. 大气阻力的摄动.....	27
§ 17. 椭球体的摄动.....	29
第五章 人造卫星的出現規律.....	32

§ 18. 观测人造卫星的条件	32
§ 19. 人造卫星的可见期	32
§ 20. 对几种可见卫星情况的分析	35

第三篇 人造卫星的观测和预报

第六章 人造卫星的目视观测	37
§ 21. 测定卫星地平坐标的方法	37
§ 22. 直接以恒星为背景来测定卫星赤经赤纬的方法	38
§ 23. 和网线联系的方法	40
§ 24. 观测时间的测定	43
§ 25. 观测位置的安排	45
第七章 人造卫星的照相观测	47
§ 26. 为什么要进行照相观测	47
§ 27. 照相观测的设备	47
§ 28. 怎样进行照相观测	49
§ 29. 照相底片的处理	52
第八章 人造卫星的无线电观测	53
§ 30. 无线电观测的意义	53
§ 31. 多普勒效应的利用	53
第九章 人造卫星的简略预报	57
§ 32. 卫星的星下点轨迹	57
§ 33. 地平坐标 (A, h) 和星下点坐标 (A, θ) 的关系	59
§ 34. 求人造卫星地面高度的方法	61
§ 35. 观测资料的处理	62
§ 36. 人造卫星的简略预报方法	65
§ 37. 日照条件的考虑	66
§ 38. 预报例题	71

附 录

一、如何辨认北极星	75
二、广角望远镜的调节和保护	77
三、有关测定卫星位置的几个问题	78

四、停表誤差的檢驗	80
五、观测結果的評定和初步檢驗	80
六、影响观测质量的几个因素和观测质量的提高	82
七、关于提高观测效率的問題	83
八、如何組織一次目視观测	84
九、无线电时号和对时方法	86
十、一些常用数表	90
表 I. 无线电时号	90
表 II. 科学时号归算	91
表 III. 科学时号間隔	92
表 IV. 化平太阳时为恆星时用表	93
表 V. 化恆星时为平太阳时用表	94
表 VI. 化时为度	95
表 VII. 化度为时	96
表 VIII. 常用数据	97

十一、附图

沃尔夫立体平面图

星图

第一篇 簡要天文知識

第一章 天文坐标

§ 1. 天球和周日运动

夜里,我們看到滿天星辰閃爍在天穹上,一顆顆的星星好象鑲嵌在一个圓的、大球面上似的,这个圓球面我們称它为天球。实际上天空并不是一个球,但为了說明事实,不妨假想有这么一个天球存在,这对解释天文現象是有幫助的。因此就产生了一个数学概念的天球。

天上的星星很多,和我們地球的距离也不相等,但都是很遙远的。星星离我們是如此之远,以致我們的眼睛无从辨認哪些天体¹⁾近,哪些远;却以为所有星星和我們都是一样距离,分布在一个天球上,因此天球只能表示星星的方位,而无法說明其距离。

为了便于認識星星,人們把天球划分成 88 个区域,叫做星座。按照想象把每个星座中的亮星用直綫联起来,构成各种几何图形,并为它起了各种动物或神話中的名字。事实上同一星座中的恆星,除了方位相近以外,它們在远近、运动、物理性質等各方面都是毫无联系的。每个星座的星星都按亮度的大小,根据希腊字母 α , β , γ , δ ... 的順序給出名字,其中較亮的星还有专名,例如天琴座 α 星叫做“織女”,大犬座 α 星叫做“天狼”等等。

星星全都按照亮度分成等級,叫做星等,如零等星,一等星,二等星等等。每相邻两个星等之間的亮度相差 2.5 倍。星星愈亮,星等愈小。精确地量度亮度时需要用小数来表示它的星等。例如,恆星中最亮的天狼星是 -1.6 等,我們熟知的北极星是 2.1 等。

1) 宇宙空間中,日、月、星辰等物体統称为天体。

在晴朗无月的夜晚,眼力敏锐的人可以看到六等星。

在地图上我們能知道地球上山川河流和大小城市的分布,同样天文学家按照星星的分布繪有星图,星图上标有星星的位置和星等。有了星图我們就可以辨認星座和星星了。(見书后附星图1—4)

怎样辨認星座呢?我們住在北半球的人可以先从北极星开始。北极星是靠近地球北极的一颗亮星(它离北极約有 1°),找北极星的办法是先找大熊座,它們都在北天(图1)。大熊座的特征是

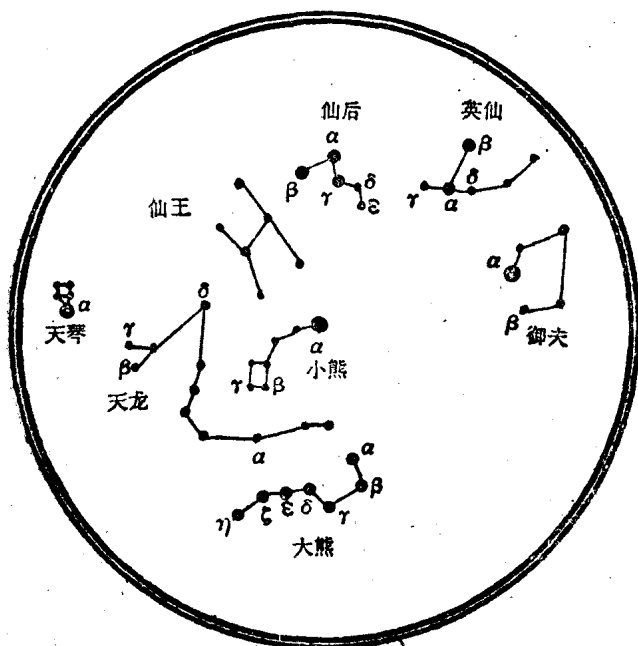


图1. 拱极星图

有七顆明亮的恆星(俗称北斗七星),可以想象地用直綫联結起来,构成一只杓子形状。連接大熊座 α, β 两星,并順着斗口方向延长到5倍远的地方,就能找到明亮的北极星(小熊座 α)。小熊座中主要的七顆星也构成杓子形,只不过各星較暗。北极星是小熊座中最亮的一颗,位于杓子柄的末端。

对北极星來說,在与大熊座对称的那部分天空,有仙后座。仙

后座的特征是五顆明亮的恆星構成字母 W 形狀,或者象倒置的字母 M. 按照星圖,可以循序找到其他星座. 只要經常留意天空,一些主要的星座和星星是不難認熟的.

日月星辰都有東升西落的現象,天球就好象繞着我們自東向西旋轉,這種現象是由于地球自西向東的自轉而產生的. 坐在輪船上的人不感到船在前進,只覺兩岸樹木房屋向後退. 同樣的道理,我們在地球上的人也感覺不出地球在自轉,反而感到日月星辰向着相反的方向旋轉. 這種現象每天循環一次,叫做天體的“周日運動”.

天球繞着假想的天軸旋轉,天軸通過觀測者和地球自轉軸平行,它 and 天球交於兩點,在北的叫做天球北極,在南的叫做天球南極.

仔細觀察可以看出,天體周日運動的軌跡,在天空畫出不同大小的圓(圖2). 有的星星一晝夜畫出的圓較大,我們只能看到它在地平線上的部分,這樣的星每天出沒一次. 也有些靠近北極的星

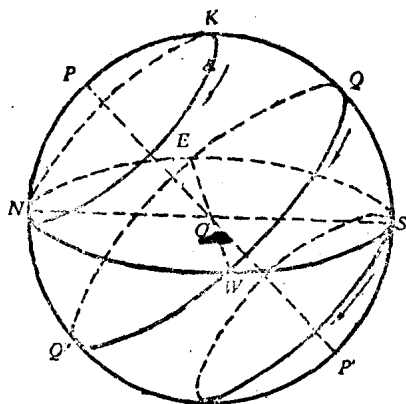


圖 2.

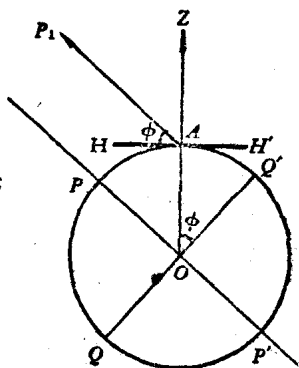


圖 3.

星畫出的圓較小,整個圓都在地平以上. 這部分星星永遠不落,這種星的多少,與觀測地的緯度有關.

在地球表面上任一點,天極高地平面的高度等於該點的地理緯度. 這一重要定理可以用圖3來證明,圖中 PP' 表示地軸, QQ'

表示赤道, A 表示观测地点, AO 是铅垂线方向, AZ 是天顶方向, AP_1 是天极方向, HH' 表示观测处的地平线, φ 表 A 点的地理纬度。根据图 3, 天极高度的 $\angle P_1AH$ 和 $\angle AOQ'$ 的夹边相互垂直, 因而两角相等, 所以天极高度即等于纬度 φ 。

§ 2. 地平坐标

决定一点位置的量称为坐标, 地球表面上一点的位置可以用经纬度的地理坐标来表示。天文坐标有好几种, 视情况不同可使用不同的坐标, 利用它们可以表示出天体的位置。天文坐标由两个互相垂直的大圆 ACB 和 PCP' 组成 (图 4) 其中一个所在的平面, 取作基本平面 (ACB), 大圆交点之一取作基本点 (C), 每一种坐标都含有两个量, 一个很象地球的经度, 另一个象纬度; 我们从基本点起量度经度从基本平面起量度纬度。现在先讲地平坐标。

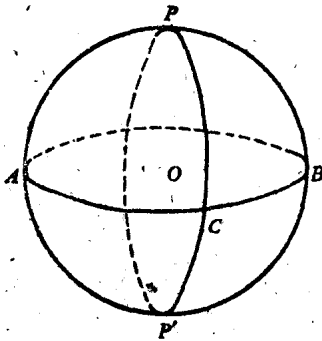


图 4.

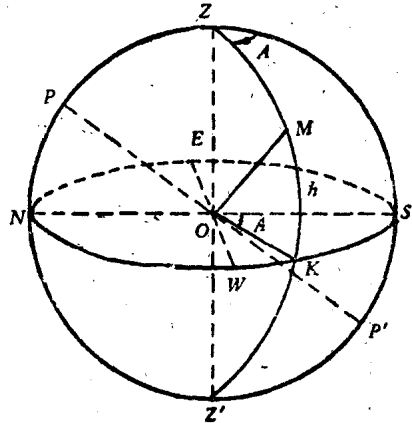


图 5.

如图 5 所示, O 是天球的球心, 亦即观测者所在之处。将 O 处的铅垂线向上下延长, 和天球相交于两点, 上面的一点叫做天顶 (Z), 下面的一点叫做天底 (Z')。

通过观测者的眼睛, 和铅垂线相垂直的平面, 叫做地平线。地平线和天球相交的大圆叫做地平圈 ($SWNE$), 或叫数学地平。我

們眼睛平常看到的天和地的交界叫做視地平。視地平不是一條規則的界綫，而是隨地形的凹凸起伏和觀測者的位置而有所不同，綫上的點有時比數學地平高，有時又比數學地平低些。本書以後所說的地平總是指數學地平，不要和視地平混為一談。

P 和 P' 是天球的北極和南極，通過兩極和天頂的大圓叫做天球子午圈 ($PZP'Z'$)。地平圈與子午圈相交於南 (S) 北 (N) 兩點。在地平面上南北點的聯綫叫做正午綫。過 O 作正午綫的垂直和地平圈相交於東 (E) 點和西 (W) 點。

在地平坐標中，要決定一顆星 M 的位置，可通過天頂、天底和這顆星作一輔助圓，叫做地平經圈 ($ZMKZ'$)。

組成地平坐標的基本平面是地平圈 ($SWNE$)，基本點就是正南點 (S)。一顆星的地平坐標要用兩個量來決定：第一個量就是从正南點算起，往西順時針量到地平經圈和地平圈的交點 K ，這個角度叫做地平經度，或稱方位角。第二個量从地平圈向上量度就是从 K 沿地平經圈計量到星 M 的弧長，叫做地面緯度，或稱高度。

天文學上方位角以字母 A 表示，以正南為 0° ；正西 90° ，正北 180° ，正東 270° ；高度以 h 表示，觀測人造衛星用的廣角望遠鏡，大都是按地平式裝置的，鏡筒可以在水平和豎直兩個方向上轉動，有度盤可以讀出望遠鏡所指的方位角和高度。

有時高度 h 用天頂距 z 來代替，圖 5 中 \widehat{ZM} 就是 M 的天頂距。天頂距和高度的關係是互為余角，以公式表示是：

$$z = 90 - h$$

例：某星方位角 $A = 60^\circ$ ，高度 $h = 55^\circ$ ，試用圖表示如圖 6 所示，

$$\begin{aligned} A &= \widehat{SOK} = 60^\circ, \\ h &= \widehat{KM} = 55^\circ, \\ z &= \widehat{ZM} = 35^\circ. \end{aligned}$$

由於周日運動，星星每天通過子午圈兩次，星星通過子午圈的現象叫做中天。如圖 7，天軸 PP' 把子午圈分為兩個半圓 PZP' 和 $P'Z'P$ ，當星星通過包括天頂的那個半圓 (PZP') 時叫做上中天，如 M_1 ，

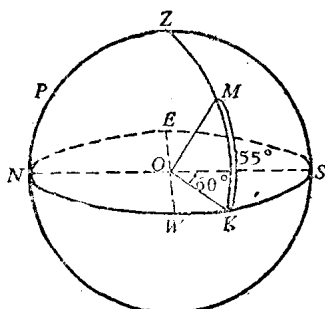


图 6.

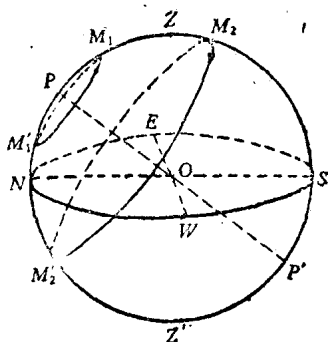


图 7.

M_2 ; 通过包括天底的那个半圆 ($PZ'P'$) 叫做下中天, 如 M'_1, M'_2 .

§ 3. 赤道坐标

由于周日运动, 天体的位置每时不同。刚出地平时位置低些, 以后渐渐升高; 上中天以后高度又慢慢下降, 同时天体的方位角也随着改变。例如, 一星原先的坐标是 270° , 可是当经过天顶以后

就变成 90° , 象这样大的变化, 在天文观测上会引起一些麻烦, 要避免这一缺点, 可采用赤道坐标。赤道坐标分两种, 现在分述于下:

1. 第一种赤道坐标 (通称时角坐标)

如图 8, 通过观测者和天轴 PP' 垂直的平面叫做天球赤道面, 它和天球相交的大圆叫做天球赤道 ($QWQ'E$)。

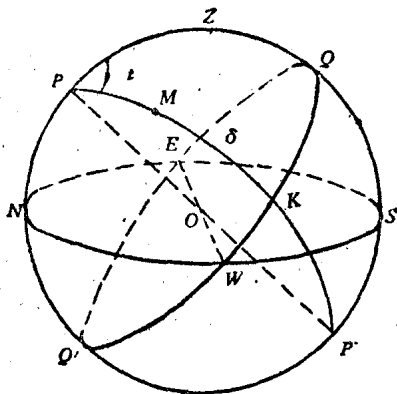


图 8.

天球赤道上各点和天极的距离都是 90° 。

通过南北极和星 M 的大圆叫做时圈, 或称赤经圈 ($PMKP'$), 组成第一种赤道坐标的基本平面是赤道面, 基本点是天球赤道和子

午圈的交点 Q 。决定星 M 的位置的两个量是时角和赤緯。时角是时圈和子午圈之间的夹角, 可以用赤道弧 \widehat{QK} 来量度; 时角通常用字母 t 来表示, 从子午圈起向西量为正, 向东为负。赤緯是从赤道到星 M 的角距, 以弧 \widehat{KM} 来量度。赤緯以字母 δ 表示, 从赤道起向北量为正, 向南为负。

在周日运动中, 恆星的赤緯是保持不变的, 但时角却随时改变。地球在 24 小时内自轉一周, 恆星的时角随着变化 360° 。所以时间和时角的关系是很密切的, 为了方便, 我們通常用时、分、秒 (hms) 作为量度时角的单位, 它和度、分、秒 ($^\circ''$) 之间的关系是:

$$1^h = 15^\circ, \quad 1^m = 15', \quad 1^s = 15''.$$

例如恆星在上中天时, 时角 $t = 0$, 过后每隔 1 小时, 时角便增加 15° , 因而我們可以很方便的直接用时间来表示时角的大小。

2. 第二种赤道坐标

地球繞太阳公轉的軌道平面和天球相交的大圓叫做黄道。地球上的人感觉不出地球在繞着太阳公轉, 反而感到太阳在恆星背景上沿黄道向东移动, 每日約东行 1° 。所以黄道是太阳在天球上視运动的路綫。黄道和天球赤道交于两点: 太阳沿黄道从南向北穿过赤道的交点叫做春分点, 另一点叫做秋分点。

組成第二种赤道坐标的基本平面仍是赤道面, 同时取春分点 (γ) 作为基本点(图9)。在这种坐标中, 用赤經、赤緯来决定天体的位置。赤經是从春分点向东量到星 M 的赤經圈之间的角距, 用赤道弧 $\widehat{\gamma K}$ 来量度。赤經以字母 α 表示, 从 $0^\circ - 360^\circ$ 或 $0^h - 24^h$ 。赤緯的定义和第一种赤道坐标中所述的相同, 恆星的赤經、赤緯是不随周日运动而变化的。所以在編制星表、星图

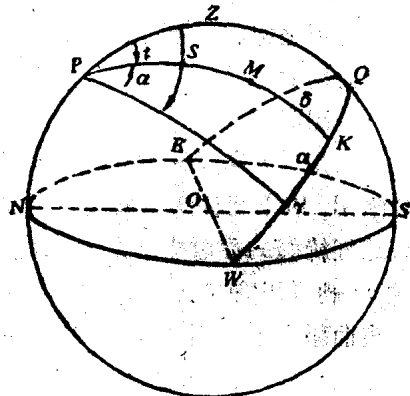


图 9.

时，都采用第二种赤道坐标。

春分点的时角叫做恆星时，通常以字母 S 表示（图 9）。当春分点上中天时恆星将为零，过后每向西移 15° ，恆星时便增加 1^h 。由上述的时角、赤經和恆星时的定义，可以知道它們之間的关系是：

$$s = t + \alpha,$$

即星 M 的时角加上它的赤經等于当时的恆星时。

天文台都有恆星鐘，用来指示春分点的时角。有了恆星鐘，再測出天体的时角，就可以求得天体的赤經 α 了。

§ 4. 坐标的換算

在两种赤道坐标中，赤緯都是一样的，不需要換算，赤經和时角之間的关系是： $s = t + \alpha$ ，如果我們有一具恆星鐘，知道任一時間的恆星时，那么，赤經和时角之間的換算就非常方便了。如由星图查出天狼星的赤經是 6^h43^m ，赤緯是 -17° ；設当时的恆星时是 16^h55^m ，則它的时角是：

$$t = s - \alpha = 16^h55^m - 6^h43^m = 10^h12^m.$$

反之，如果我們知道某星的时角，也可以根据恆星时去求它的赤經。所以第一种赤道坐标和第二种赤道坐标之間的換算关系是很簡單的。

地平坐标和赤道坐标之間的換算稍微麻煩些，現在我們介紹两种常用的方法如下：

1. 图解法

采用 Г. В. 沃尔夫 (Вульф) 教授的立体平面图 (图 10a 及书后附图，以下簡称沃尔夫图) 进行坐标換算是很方便的。这图是地球經緯綫的赤道平射投影，整个图由两族相互垂直的曲綫來組成，我們可用它来表示赤道坐标和地平坐标。如表示赤道坐标，則一束曲綫表示时圈，其会聚点即天球的南北两极，外面的大圓表示子午圈；另一束曲綫表示赤緯圈，中間的那根直綫即赤道。如表示地平坐标，則一束曲綫表示平經圈；其会聚点表天頂和天底，外面