

高等学校教学用书



球面天文学

M. K. 文采尔著

高等教育出版社

高等学校教学用书



球面天文学

M. K. 文采尔 著
朱裕栋 張先覺 譯

高等教育出版社

本書系根据苏联测绘出版社 (Геодезиздат) 1952 年出版的文采尔 (М. К. Вентцель) 教授著“球面天文学” (Сферическая Астрономия) 出的。原書經苏联高等教育部审定作为天文大地專業和工程測量專業的教科書。

本書的主要內容是：苏联实用天文学的發展历史，天球坐标系及其彼此間的关系，時間的測量及各种时的換算，岁差、章动和恒星自行的产生及其对赤道坐标的影响，以及星表的編算；此外，对地極移动也作了較詳細的論述；通过本書的學習可以为學習实用天文学打好良好的基础。

本書由朱裕栋、張先覺兩同志翻譯。樓成器、朱新美兩同志参考俄文原書作文字校訂，張馨文同志作業務校訂。

3P367

球面天文学

M. K. 文采尔 著

朱裕栋 張先覺 譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺7号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第054号)

京华印書局印刷 新华書店發行

統一書号19010·459 開本850×1168¹/₃₂ 印張12¹/₂ 插頁1 字數312,000 印數0001—1,500
1958年7月第1版 1958年7月北京第1次印刷 定價(8) 1.50

序 言

这本球面天文学教程是供大地、航测、制图工程学院测量系天文大地专业的学生使用的。这就决定了本书的内容和叙述的特点,而其中有些问题的叙述还有这样的目的,就是使这些相应的章节对测量系各专业教研室的研究生也有所帮助。

作者在编写本书时,是根据在 1949 年召开的关于教学大纲的教学法会议上审查过的教学大纲编写的,这个教学大纲符合于一切最新的规定和要求,并在 1950 年经苏联高等教育部批准。在编写时,一部分取自作者过去所著的“野外天文学”第一卷,但作了很仔细的修改;大部分是重新编写的。

兹指出本书与“野外天文学”第一卷的某些不同的地方如下。

本书在叙述关于时间的测量问题时,利用了 1949 年作者在莫斯科大地、航测、制图工程学院(莫斯科测绘工程学院)科学会议上所作的报告:“论球面天文学教程中时间的测量问题”。

本书在叙述当中尽可能地添入一些历史因素,并指出俄国和苏联的学者与科学机关在整个天文学的发展中、尤其是在实用天文学的发展中所起的作用。

本书还作了一些补充,这些补充中,有些是测绘工程学院天文教研室的同志们在讨论“野外天文学”和本书的编写大纲时给作者提出的,有些是另一些专业人员所提出的(§ 38, 62 等等),也有些是书评家 A. B. 马扎耶夫教授(第八章)和 A. И. 维特曼讲师(在各章节内作了个别的增补)所提出的。

本书注意到了并反映出了“苏联天文年历”中的某些变更,即:

(一) 时差符号的变更(自 1941 年起);

(二) 运用辅助值“时差加 12 小时”来代替时差(自 1942 年起);

(三) 各种天文計算用表的結構、內容和配置方面的變更;

(四) 添置的几种新表。

同样也顧及到了“天文計算用表”,“1967 顆星的星表”等等新版本的出現,和“2957 顆星的星表”的問世。

所有的例題都經過了改算,对于重新写过的各节的例題,是新拟定的。这些例題都是用“1953 年的苏联天文年历”以及新的用表与星表等等算出的。

由于測繪工程学院測量系工程測量專業所講授的球面天文学教程大綱在問題的論述上与天文大地專業的大綱相差很小,故作者在編写本書的时候,尽可能使本書同样适用于工程測量專業的学生,并且在叙述全部資料时力求易于分辨出某些章节仅为某一專業所必需。于此,便可具体地指出:对于工程測量專業的学生來說,在學習本書时,按作者个人的意見,可略去第 8、23、28、35、38、51、55、57、59、65、66、67、69、70 各节。在另外有几节中亦可作大量的刪减,至于如何刪减,那末本課程的講授者是很容易指出的。其他系和其他高等学校如果球面天文学教程的講授时数較少,也可采取同样的方法来使用本教科書。

最后,我謹向莫斯科測繪工程学院天文教研室諸同志、K. A. 茨維特科夫教授、И. С. 薩卡托夫教授、M. H. 謝凡洛夫講師、A. H. 庫茲涅佐夫講師、Л. В. 麦夏斯基講師、B. З. 哈尔虎諾夫、H. A. 貝羅娃、書評家 A. B. 馬扎耶夫教授、編輯 A. И. 維特曼講師、美术家 E. С. 馬特維耶夫、以及在編写过程中給予帮助的所有同志致以衷心的感謝。

M. K. 文采尔教授

目 录

序言	vii
第一章 諸論	1
§ 1. 天文学的对象・天文学的分类	1
§ 2. 天文学与其他科学的关系・天文学在解决高等测量学和制圖学的主要問題方面的作用和意义・天文学在測量工作中的地位	2
§ 3. 天文学是从实际需要所产生的一門科学・球面天文学与实用天文学的發展簡史	4
§ 4. 普尔柯沃天文台及其在天文科学發展上的作用・祖国的实用天文学學派及其在苏維埃时代的成就	8
§ 5. 太陽系和宇宙結構的近代观点之簡述	22
§ 6. 星空、最主要的星座・天体的視周日运动与視周年运动	26
第二章 球面坐标	33
§ 7. 輔助天球, 輔助天球上的点和圈・輔助天球的視周日轉动	33
§ 8. 球面坐标的一般概念	38
§ 9. 第一种天球球面坐标系——地平坐标系	41
§ 10. 天体的地平坐标因天体的周日运动而引起的变化・地平坐标与观测点的地理位置的关系	43
§ 11. 地面点的地理坐标系	45
§ 12. 第二种天球球面坐标系——过渡坐标系	48
§ 13. 天文学中測量時間的几个基本原则	50
§ 14. 恒星日・以恒星时为單位的時間的測量系統・以时單位表示角度・恒星时及春分点的时角	52
§ 15. 第三种天球球面坐标系——赤道坐标系	59
§ 16. 第四种天球球面坐标系——黃道坐标系	60
第三章 各种坐标系坐标間的关系・周日运动的主要現象	61
§ 17. 第二种坐标系与第三种坐标系間的关系	61
§ 18. 地理坐标与天文坐标間的关系	63
§ 19. 地理緯度和天体的赤緯及其中天时的天頂距間的关系	67
§ 20. 定位三角形・球面天文学的基本公式・化赤道坐标为地平坐标	69
§ 21. 恒星在不同緯度下的周日运动・不沒的星, 有升有沒的星, 不升的星・經過卯酉圈和有太陽的星	76

§ 22. 天体经过子午圈	80
§ 23. 天体的升没	82
§ 24. 天体经过卯酉圈	87
§ 25. 大距	89
§ 26. 天顶距和方位角变化的解析研究	93
§ 27. 周日星表的一般概念·北極星星表	98
§ 28. 第三种坐标系与第四种坐标系(赤道系与黄道系)間的关系	104

第四章 各种測量時間的系統及其彼此間的

关系·天文年历	109
---------	-----

§ 29. 太陽的視周年运动	109
§ 30. 按太陽測量時間的系統·真太陽日·真太陽时	112
§ 31. 平太陽日·平太陽时·时差及其在一年內的变化·民用时	114
§ 32. 在各子午綫上的時間測量·地方时和格林尼治时·日界綫	127
§ 33. 按区域測量時間的系統·区时· 法定时·民用时、区时和法定时的換算	135
§ 34. 关于按太陽測量時間的各种系統的發展簡史	142
§ 35. 回归年·历法	145
§ 36. 內插法·簡易內插法	149
§ 37. 每时变量內插法	151
§ 38. 高次差內插法	155
§ 39. 天文年历·苏联天文年历中的太陽表	171
§ 40. 根据“苏联天文年历”解算的关于內插的几个基本問題	174
§ 41. 由民用时化为真太陽时和反算的問題	183
§ 42. 恒星时与平太陽时單位間的关系·時間間隔以恒星时 單位及平太陽时單位表示的公式	187
§ 43. 在不同的子午圈上的平子正恒星时	195
§ 44. 化民用时为恒星时和反算	200
§ 45. 在已知民用日內兩個恒星时瞬間的次序問題	203

第五章 視差·蒙气差·光行差

§ 46. 天体坐标的微小变化,变化的原因及其計算	205
§ 47. 視差·視差位移的簡明理論·周日視差	206
§ 48. 太陽的周日視差,它对太陽的天頂距和方位角的影响	207
§ 49. 恒星的周年視差	212
§ 50. 蒙气差·蒙气差的近似公式	217
§ 51. 蒙气差的微分方程式及其积分	223
§ 52. 真蒙气差和平蒙气差·蒙气差表	234
§ 53. 光行差的簡明理論	241

§ 54. 周年光行差	244
§ 55. 周年光行差对恒星的赤道坐标的影响	246
§ 56. 周日光行差	250
§ 57. 周日光行差对恒星坐标的影响	253
第六章 岁差·章动·恒星自行	258
§ 58. 岁差的力学本质·基本平面在空间的移动; 地球上的基圈及基点的位移	258
§ 59. 岁差对恒星坐标的影响	263
§ 60. 章动·章动对恒星坐标的影响	270
§ 61. 恒星自行	283
§ 62. 地极的移动	287
第七章 星表·归化计算	301
§ 63. 岁差、章动、光行差和恒星自行对恒星坐标的总影响·视坐标、真坐标和平坐标	301
§ 64. 在天文观测计算中坐标变化的计算程序	308
§ 65. 星表·天文台的星表编制工作	310
§ 66. 普尔柯沃恒星位置表	319
§ 67. 各种系统的基本星表与综合星表	325
§ 68. “苏联天文年历”中的恒星表·恒星的平位置和视位置·按“苏联天文年历”计算恒星的视坐标	339
§ 69. 根据星表计算岁首的恒星平坐标·2957 颗星的星表·1967 颗星的星表	348
§ 70. 视位置的化算	359
第八章 补充材料	383
§ 71. 由第一天球坐标系化算至第二及第三太阳系	383
§ 72. 日月的升没	386
§ 73. 天顶距和方位角对于时间的二次导数	392
附录 I 球面三角中的主要公式	394
附录 II 各天文台的坐标	397
附录 III 在卯酉圈上天体的天顶距和方位角的微变表	400
附录 IV 计至 0^h1 的太阳周日视差计算表	400
附录 V 时区图	(插页)

第一章 緒論

§ 1. 天文学的对象·天文学的分类

天文学是一門科学,它所研究的对象是:天体及其在穹上的視位置和在空間的真位置;天体的視运动和真运动以及产生这些运动的原因;天体的形狀和物理結構以及它們的物理-化学性質;天体上所發生的現象;宇宙的結構及其整体和部分的演化。

因此,天文学就是一門自然科学。

天文学被公認為人类知識最古老的一个部門。由于其研究的对象很广泛,由于長期来积累了各种丰富的資料,因此这門科学便逐漸地分成为若干个部門,它們都几乎各自成为一門独立的学科。現仅举出其中几个如下。

一、球面天文学 它主要是用球面坐标法来研究天体的方向,以及我們所觀測到的天体方向之变化。

二、理論天文学 它主要是从运动学观点出發来研究太陽系中的行星、彗星和其他天体对太陽的运动。它提供出由天体位置的改变来决定天体軌道的方法,并由此产生了解决反算的問題。此外,它还叙述确定双星軌道的方法。

三、天体力学 它是在运用万有引力定律的基础上以解析力学的方法(主要是用动力学)来研究天体的运动和状态。

四、天体物理学 它的任务是研究天体一切有关物理-化学方面的現象,其中也包括演化問題。天体物理学可以說是近代天文学中范围最广的一个部門。它又分为天体摄影学、天体光谱学、天体光度学以及理論天体物理学。通常还把所謂恒星統計学和实用天体物理学也列入其內。

五、宇宙起源論 它所研究的是宇宙的演化及其各个部分(如恒星、恒星系、太陽系等)的形成,此外它还有一个目的就是科学地預料出宇宙各个部分的今后發展。

六、实用天文学 又称天体測量学;它是研究測量天体的方法、測量用的仪器以及为了获得最后成果而进行的測量計算方法的一門天文科学。

实用天文学分为天文台的(或基本的)和野外的(或勘察的)兩类。第一类是叙述天文台上所用的固定的大型天文仪器的理論,以及用这种仪器来測定恒星坐标和天文基本常数的方法;第二类是叙述在野外用輕便仪器观测来測定地面上各点的地理坐标和方位角的方法。基本实用天文学通常狭义地称为天体測量学;而野外实用天文学則簡称为实用天文学。

§ 2. 天文学与其他科学的关系·天文学在解决 高等測量学和制圖学的主要問題方面的作用 和意义·天文学在測量工作中的地位

天文学既然是一門自然科学,因而它必然与許多其他自然科学有着密切的关系。一方面,天文学利用其他科学的成就来研究宇宙及其各个天体,比如天文学与数学、力学、物理学、化学等的关系就是如此;另一方面,天文学在某种程度上又是其他科学的基础学科或是一門輔助学科。因为天文学还研究属于天体的地球,所以它与許多研究地球的科学也有着密切的关系,例如与地球物理学、地質学、地理学、制圖学和大地測量学,尤其是与高等測量学有着更紧密的关系。

野外实用天文学与大地測量学和制圖学的关系最密切。在測量工作中,天文点和天文方位角起着重要的作用。地面点的地理坐标(即經度和緯度)是借天文观测測定的称为天文点。天文点依其

測定的精度及其將来的用途而分成各种等級。

一等点和二等点总是因一等和二等三角測量的进行而測定的,并应用于天文大地網的最后平差中,其作用是帮助天文大地網的正确定向,同时結合大地測量資料来确定垂綫偏差和研究地球体的形狀。

在以确定地球形狀和大小为目的的弧度測量中所作的一等天文觀測,以及为了获得大地起算数据和参考橢球体在地球体内的定向,而在三角鎖的起始点上所作的一等天文觀測,都具有極其重大的意义。

其次,天文測定在天文大地水准測量和天文重力水准測量中亦起着重大的作用。

三等点和四等点,即所謂勘察点,通常是在小比例尺測圖时,特别是在沒有全国性三角鎖的無人或人烟稀少的地区內測圖时,作为控制点用的。

在所有等級的天文点上,除了測定緯度和經度以外,通常还要測定某一远处实物方向的方位角。这一測定可以定出子午綫的方向,从而可促进三角鎖(拉伯拉斯方位角)、控制網或圖面(測板)的正确定向,并可应用于往后的平差中。方位角的測定不仅在測定各等級的天文点时要进行,而且在一切測圖中都要进行,例如路綫測圖、平板仪測圖、經緯仪測圖、摄影經緯仪測圖、导綫測量、航空測量等等。方位角觀測可以作为角度觀測的檢查,还可以更好地平差和标定各种測量網以及圖面。

为了測定緯度和經度,必須知道准确的时间,除了某些特殊情况以外,为了測定方位角也必須知道准确的时间。因此,在一切天文觀測中,通常都要进行測时工作。

野外实用天文学是一門学科,它所叙述的是实用天文学关于一、二、三、四等点的天文觀測的那部分;这些天文觀測,大部分是

用天文万能仪、恒星時計和平时計来进行的;这里也包括着用一分或半分光学經緯仪^①和怀表进行的近似天文測定。

在有系統地研究这些方法之前,我們应以足够的篇幅来叙述一下球面天文学的原理,以便理解与掌握实用天文学,因为实用天文学內將會用到在球面天文学中定义的一些量、概念和术语,此外它还依据在球面天文学中导出的一些必需的基本公式,和一些方法。

§ 3. 天文学是从实际需要所产生的一門科学。

球面天文学与实用天文学的發展簡史

对各种天体的观测在有史以前已經开始,首先是对太陽和月亮,然后才观测明亮的行星、星座和恒星。考古学上的种种發現肯定地証明了这一点。例如在欧洲中部發現約在五万年前人类所居住过的窑洞內,就有大熊座圖的痕迹。

原始人对天空作这种極其簡單的观测,并非出于單純的好奇心或求知欲,而是出于他們辨方向和定時間的迫切需要。

几万年内,人們一直是依靠观测夜間的恒星、星座与日間的太陽,来远涉海洋,縱橫大陆。并且由星星和太陽帮助。从事打獵或以后的牧畜業的原始部落找到穿过森林和草原的道路。当航海業發展到人們敢于在辽闊的海洋上航行时(譬如古腓尼基人,古希臘人或古諾尔曼人),这些天体又帮助人們在沒有航标的条件下掌握住远离海岸的正确航向。

关于这一点,羅馬詩人奧維奇在他“蜕变”的第三册中講得很生动。他叙述了一个漁夫的兒子阿克特在他父亲死后如何又成了一个漁夫。但后来他又想当一个航海家,当个舵手。阿克特在

^① 近代也將光学經緯仪应用于三、四等天文点的測定。

費夫王潘菲談話時，用下面几句话講述了这件事：

为了不長留在峭壁上，
我学着怎样把舵兒掌，
不多久，右手能令船尾变方向，
在天上，学会辨認
雨神 鹿形羊，
昴宿二，天牛头，
大小北斗，
探明了風兒住处
和那泊船的好港口。

由此可見，研究星空和星座是訓練舵手所必不可少的一個環節。阿克特說到御夫座中的五車二（五車二按其拉丁文原意為山羊）時，稱其為鹿形羊座。大熊座和小熊座在那時稱為北斗。七姐妹和天牛頭是金牛座中的兩群微小而顯明的星群。昴宿二便是七姐妹之一。

在荷馬所寫的“奧德賽”詩篇中，詳細地談到了在古代航海的時候，怎樣的利用星星。荷馬稱為女神的女神的卡里普莎，長期拘留奧德賽做俘虜，不讓他回到在伊泰克島的家中去。“奧德賽”詩篇中的第五首，就是描寫奧德賽離開卡里普莎女神島的。荷馬這樣寫道：

奧德賽扯起帆兒順着風，
心下樂融融，
手把舵柄目注蒼穹，
長宵未曾閉雙瞳。
一會兒凝眸看金牛，
一會兒注視晚落的牧翁，
更望着那大熊繞天軸，尾指燦爛的美獵翁。
天上唯此星永不墜冥蒙。
原來他把卡里普莎的囑咐牢牢记在心：
須使大熊常在左，海道方通。

和第一種實際需要一樣，促成天文這門科學逐漸產生的第二

种实际需要,是迫切地要求測量時間。最初,这种測量是以直接觀測晝夜的交替为基础的,因此時間的基本單位“日”也很自然地從自然界本身假借过来了。自古以来,就依据太陽进行測量白天的時間,即根据極其近似地用目力估計太陽对地平的高度变化来測时的。在夜間,則是以觀測星座的周日运动的方法来測时的。

上述觀測連同对大自然中气象和植物特性的季节变化之觀測,又逐漸地导致時間的第二种自然單位“年”的建立。实际上,根据一年內子夜星空的变化和在日出之前或日沒之后对星座与星星的觀察,便可很快地發現太陽的視周年运动,并确定一年的長度。一年長度的确定是逐漸趋于精确的。这样,觀測太陽和星星就使歷的推算或時間的計算,也就是長時間段的量度趋于完善。

随着原始社会的生产力和一般技术文化的發展,对这种測时的实际需要更加迫切了。特别是由狩獵和畜牧業向農業过渡的时候,这种需要更加明显,因为及时地組織各种田間工作(播种,收割等等)对農業來說是非常重要的。古埃及就是在这方面的一个很好的历史实例。尼罗河極有規律地在每年一定的季节發生泛濫,对埃及的農業曾起了巨大的作用。及时地并准确地預測洪水的到来,曾經是当时埃及天文学家(他們同时又是祭司)的主要任务之一。他們根据長期的天文觀測确定,尼罗河的泛濫是紧接着天狼星第一次在朝霞中出現之后而开始的。由于这种类似的觀測,因而可以極精确地确定一年的長短($365\frac{1}{4}$ 日),这样就促进了古埃及天文知識的發展。

叙述一般天文学的历史不是我們的任务,那怕是最簡略的叙述,也不是我們的任务。这里我們主要是談一談球面天文学和实用天文学的發展情况,然而,由于篇幅所限,以及对球面天文学和实用天文学的历史研究不够,因此对这一問題只能提供一些最簡單的資料。

古代天文学,在埃及的尼罗河流域,在巴比倫美索不达米亞的底格里斯河和幼發拉底河流域,印度的恒河流域,中国的黃河流域,尤其是在希臘获得很大的發展。起初的天文知識具有單憑經驗的、片断的和專供实用的性質;观测沒有測量仪器,天体的位置是用肉眼来估計的。以后随着生产力、技术能力和技术文化的不断发展,开始采用最簡單的且極不精确的仪器(土圭、日晷、沙鐘、漏壺、視差尺、星盤、渾天仪),并且建造一些專門的建筑物(方尖塔、金字塔等等)。这些建筑物不仅是法老王(古代埃及国王的称号)的陵墓,而且在某种程度上也是天文台。德里的古印度天文台也是很著名的。

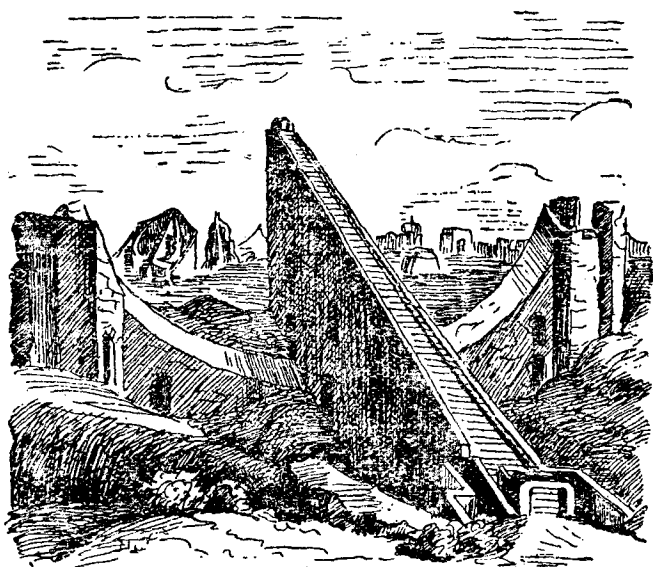
在希臘,天文学开始获得了充分的科学性質。希臘人早就运用了球面坐标:地理的、天球的、赤道的、特別是黃道的。他們会測量太陽的地平緯度,恒星的赤緯以及黃緯和黃經,而且还会近似地測定一点的地理緯度。他們編制了第一批星表;發現了蒙气差、岁差和月球的視差。他們也是首先試圖測定日、月、地的大小及其彼此間距离的人。当然,他們的測量是不精确的,他們的各種天文常数測定也始終是不成功的,但是他們是科学的天文学的奠基人的这一功績則是無可爭辯的。

在中世紀,中亞細亞的学者从事于天文研究工作。他們为后輩保留了古代埃及、印度和希臘在天文学上的种种成就,并且还改良了一些古代的仪器;他們也建筑了天文台(如撒馬爾汗的烏魯别克天文台),并对恒星及其他天体进行了观测。

在哥白尼和克普勒时代,球面天文学已發展到与近代的非常接近了。进一步的成就是:發現了光行差和章动,并在理論上對它們作了研究;測定了太陽和恒星的視差;研究了岁差和蒙气差的理論。

实用天文学的發展是与天文仪器的改进密切相联的,因而也

是与生产力的發展和一般的技术进步相关联的。当时已經采用了以量測天頂距为基础的一切天文測定法；然而，所得成果的精度很少达到 $1'$ 的。这是因为当时在仪器中尚未采用望遠鏡。仅在十七世紀的后半世紀和十八世紀，天文仪器制造的實踐中才采用了望遠鏡，并在某些其他方面也得到了改进。随着天文仪器的不断改进，天文观测的精度也就不断地提高，天文測定法也就日益精确，而天体測量学、特别是野外实用天文学也得到了發展。



德里的古印度天文台

§ 4. 普尔柯沃天文台及其在天文科学發展上的作用·

祖国的实用天文学学派及其在苏維埃时代的成就

現在簡單地談一談我国野外实用天文学的历史。

俄国人很早就对天文学發生了兴趣。俄国編年史便可証实这

一点。在編年史中記載着各种显著的天文現象(例如日月蝕,太陽上出現大量的黑子,大彗星,流星墜落等等)。然而,現在还没有关于基輔俄国和莫斯科俄国时代測定地理坐标或与測量有关的类似觀測的資料。因此,俄国野外实用天文学的历史还只能从十七世紀末算起。

我国野外实用天文学的这段历史可以分作几个时期;时期的划分是以我国基本社会經濟形态——封建农奴形态、資本主义形态和社会主义形态的更替来确定的。这样,我們就有两个主要时期:十月革命以前的和十月革命以后的。

十月革命以前的时期又可分成两个阶段。

第一阶段是从十七世紀末到十九世紀初。在这一阶段的初期,俄国刚开始学习实用天文学,而到这一阶段的末期,俄国的天文学家——無論是学者和实际工作者——已經完全赶上了国外的天文科学。在这一百多年的过程中,Я. В. 蒲里斯、彼得一世、Л. Ф. 瑪格尼茨基、А. Д. 克拉西尔尼科夫、М. В. 罗蒙諾索夫、С. Я. 魯莫夫斯基、В. К. 維什涅夫斯基和其他許多学者都从事于实用天文学的研究。在这一阶段內,曾借天文觀測測定了我国三百多个城市的經度和緯度。如果注意到当时所采用的仪器(象限仪、色差望远镜)是極其粗略和笨重的,所給出的成果是很不精确的,其次天文測定的方法也是很不完美的,需要有長时期的一連串的觀測——那就必須承認上述成就是極其重大的;要知道当时还没有一个国家能够測定这么多的天文点。

因而,在我国天文学史的第一阶段的末期,俄国的实用天文学家在將野外天文学实际用于祖国的地理研究方面已經超过了外国。

十月革命前我国实用天文学史的第三阶段的开始,大体上是与野外实用天文学以及高等測量学方面杰出的俄国天文学家和測