

高等学校教学用书



实用天文学教程

上册

C. H. 勃拉日哥著

高等教育出版社

高等学校教学用书



实用天文学教程

上册

C. H. 勃拉日哥著

夏坚白等译

胡明城校

高等教育出版社



本書系根据苏联国立技术理論書籍出版社 (Гостехиздат) 出版的勃拉日哥 (С. Н. Блажко) 著“实用天文学教程”(Курс практической астрономии) 1951 年增訂版譯出的, 原書經苏联高等教育部审定为国立大学教科書, 可供綜合大学、高等工业学校, 中等专业学校参考。

本書中文譯本暫分兩册出版, 上册內容为全能經緯儀的理論以及測定測站的緯度, 時鐘改正和地面目标的方位角等。

本書由夏堅白、李春生兩位同志合譯。上册曾于 1954 年出過一版, 此次重版前, 由胡明城同志校訂一遍。

实用天文学教程

上册

С. Н. 勃拉日哥著

夏堅白等譯

高等教育出版社出版 北京寬武門內承恩寺 7 号

(北京市書刊出版業營業許可證出字第 054 号)

京華印書局印刷 新华書店發行

統一書号 13010·550 開本 850×1168 $1/32$ 印張 7 $1/16$

字數 192,000 印數 3,501—6,500 定價(8) 洋 0.90

1954 年 9 月第 1 版

1962 年 2 月第 2 版(修訂本) 1959 年 2 月北京第 3 次印刷

第一版 序言

我們大家都在以綜合法學習一切。在本書中我特意为研究此科的学生們叙述实用天文学的初步綜合知識。

本書內容（在緒言一章以后）包含有全能經緯儀的理論，以及叙述使用全能經緯儀測定測站的緯度、時鐘改正和地面目標方位角的手續，說明辛格爾法、彼夫佐夫法和太爾各特法，中星儀和子午儀的理論，經度測定問題，赤經和赤緯測定的基礎，赤道儀的理論和照相天體測量學基礎。

本書系供大學和其他專科學院或學校，在教學計劃中列有實用天文學一科的有關係的学生作教科書用。此外，我希望本書對於測地學家們，制圖學家們，地理學家們和地質勘探家們，在他們的野外工作中，必須借助天文方法測定地理坐標和時鐘改正方面能够有所幫助。

我尽力使得本教科書具有兩方面的扼要性：仅仅叙述实用天文学的要点，并且扼要的說明它，以便甚至在談到掌握研究儀器的基本方法的前几章內，本書就可以用作学生的指南。我毫不希望使本書變成象規範似的；而希望仅仅叙述基礎的知識，即使對於任何規範來說，本書都是不完全的。

我竭力按照下面的程序來叙述選定的材料，我覺得，如果在說明每個問題以后，就接着研究儀器或觀測的實習，對學習者講解起來便很方便。當然，關於各種實際的方法，是要求由教師指示的；我的任務並非代替教師，而且無論怎樣，任何一書決不可能代替富有經驗的教師的。此外，應當給予學生們有運用自己的聰明和才智以發揮創造的機會。

我写了此書，希望对于缺乏經驗的实际天文工作者有所效益，
他們正是苏維埃天文学所迫切需要的。

C. H. 勃拉日哥

莫斯科, 1937 年 6 月

第三版 序言

本書第三版的原文和內容都加以很大的修改。除了許多原文的微細改動外，更大的改動是在於下面幾處：1) 稜鏡等高儀一章縮短成為一節，2) 增加了利用全能經緯儀和天頂儀觀測幾乎等高的恒星同時測定時鐘改正和緯度方法的敘述（此法系 H. Я. 辛格爾所提出而為 B. B. 卡夫拉依斯克和 A. B. 馬札也夫所發展的），3) 改動了中星儀的理論及其使用的敘述，4) 修改了太爾各特法的說明，5) 增加了利用中星儀測定地面目標方位角方法的說明，6) 徹底修改了照相天體測量學的敘述。

感謝指出本書第二版中缺點的同志們。特別感謝 M. C. 茲維烈夫和 B. B. 波多貝德的仔細批評；И. И. 巴庫林關於中星儀，授時工作各節的改正，以及關於石英鐘一節的撰寫；C. B. 德羅茲多夫的彼耳塔夫天文台工作的報導；對於 B. И. 許捷格洛伏在本文上的詳細批評以及修改的寶貴建議，表示謝忱。

C. H. 勃拉日哥

莫斯科，1951 年 6 月

上册目录

第一版序言.....	i
第三版序言.....	iii
实用天文学主要参考文献.....	iv
第一章 緒言.....	1
§ 1. 实用天文学·历史概念.....	1
§ 2. 测定緯度和时鐘改正的原理.....	6
§ 3. 测定赤經和赤緯的原理.....	8
§ 4. 天体測量学的基本仪器·仪器理論的要点.....	10
§ 5. 蒙气差和視差对于測量的影响.....	12
§ 6. 記錄观测的規則.....	14
§ 7. 处理观测結果的基本規則.....	15
§ 8. 关于測量的偶然誤差.....	16
第二章 必需的数学知識.....	18
§ 9. 球面三角的基本公式.....	18
§ 10. 角度測量·某些級数.....	19
§ 11. 計算微角的正弦、正切和余弦的方法.....	21
§ 12. 近似式和近似公式.....	23
§ 13. 組成算術級数的諸角正弦和的定理.....	25
§ 14. 內插法.....	26
第三章 必需的光学知識.....	27
§ 15. 透鏡的作用·球面象差和色象差.....	27
§ 16. 主点·透鏡的基本公式.....	29
§ 17. 天文望遠鏡构造的基本特征·物鏡和目鏡.....	31
§ 18. 光在望遠鏡中的行程·出射光瞳.....	33
§ 19. 在望遠鏡中观测时所見星体的亮度.....	35
§ 20. 折軸望遠鏡.....	36
§ 21. 望遠鏡視場的照明裝置.....	36
第四章 全能經緯仪及其使用.....	38
§ 22. 全能經緯仪的构造·下部和上部.....	38
§ 23. 望遠鏡与豎盘·装有水准器的游标盘.....	40

§ 24. 望遠鏡的微動	41
§ 25. 跨水准・軸的垂直・十字絲	42
§ 26. 刻度盤概述	43
§ 27. 旋轉刻度盤測量角度	44
§ 28. 利用理想的儀器測量天頂距的方法	45
§ 29. 游標	47
§ 30. 刻划顯微鏡	50
§ 31. 測微顯微鏡	51
§ 32. 刻度盤上方顯微鏡的裝置	53
§ 33. 利用測微顯微鏡讀取刻度盤讀數・行差	55
§ 34. 測微輪的具体標度	58
§ 35. 刻度盤或游標盤的偏心差	59
§ 36. 两个游標或两个顯微鏡的效用	62
§ 37. 实际測定偏心差	63
§ 38. 水准器的構造和性質	65
§ 39. 水准器繞近于豎直線的軸的旋轉	68
§ 40. 水准器的檢驗・水准檢驗器	69
§ 41. 檢驗水准器的实际方法	71
§ 42. 儀器的平准	74
§ 43. 其他的平准方法	76
§ 44. 跨水准的理論和应用	76
§ 45. 水准器零点在刻划中央的情况	78
§ 46. 跨水准腳的校正	79
§ 47. 水准軸和儀器的水平軸平行	80
§ 48. 用跨水准的平准方法	81
§ 49. 絲網的裝置	81
§ 50. 望遠鏡在中央的情况下測定准直誤差	82
§ 51. 在偏側望遠鏡的情况下測定准直誤差	84
§ 52. 米罗耳留波瓦測定准直誤差的方法	84
§ 53. 計算軸的位置不正确和准直誤差对于測量天頂距的影响	85
§ 54. 計算 i_2 角对于讀数的影响	90
§ 55. 刻度盤对于旋轉軸的傾斜在讀数上的影响	92
§ 56. 关于天頂距測量的總結	94
§ 57. 水平度盤的讀数・傾角成分 i_1 的影响	97
§ 58. 准直誤差的影响	98
§ 59. 傾角成分 i_2 和水平軸傾斜的影响	99
§ 60. 支樞不相等的影响	101
§ 61. 中心式和偏側望遠鏡	103
§ 62. 望遠鏡的彎曲	105
§ 63. 不从儀器上取下的水准器的檢驗(柯姆斯篤克法)	106

§ 64. § 63 所述方法在实际上的应用	108
§ 65. 光学经纬仪	112
第五章 时钟和時計	116
§ 66. 概論	116
§ 67. 时钟改正和日速	117
§ 68. 摆	118
§ 69. 气温和气压对于钟摆振动影响的消除	122
§ 70. 擒纵器	123
§ 71. 发条	124
§ 72. 邵特时钟	125
§ 73. 石英钟	128
§ 74. 時計	129
§ 75. 时钟和時計的电接触	132
§ 76. 计时器	136
§ 77. 时钟和時計讀数的比較	139
第六章 測量天体的天頂距决定測站的天文緯度	143
§ 78. 基本公式	143
§ 79. 最有利的观测条件	143
§ 80. 观测子午圈上的恒星决定緯度	145
§ 81. 測量近子午圈的天体天頂距定緯度・子午圈訂正的推导・关于处理 观测結果的意見	147
§ 82. 化至子午圈的訂正的級数式	150
§ 83. 观测北極星定緯度	153
§ 84. 观测南星和北星的必要性	158
§ 85. 观测太阳定緯度	159
§ 86. 观测太阳計算緯度的公式	159
§ 87. 周日光行差在决定緯度的影响	161
第七章 測量天体的天頂距以定时钟改正	162
§ 88. 任务的布置	162
§ 89. 最有利的观测条件	162
§ 90. 时钟改正的計算	163
§ 91. 观测的注意点	164
§ 92. 周日光行差的影响	166
第八章 地面目标的方位角測定	170
§ 93. 方法的原理	170
§ 94. 最有利的观测条件	171
§ 95. 北極星方位角的計算	173

§ 96. 周日光行差的影响	174
§ 97. 测量天体的天顶距决定方位角	175
第九章 刻度盘分格误差及螺旋误差的测定	179
§ 98. 刻度盘的分格误差	179
§ 99. 测定刻度盘误差法的原理	180
§ 100. 测微螺旋的误差	185
§ 101. 一切测定螺旋常数改正方法的基本观念	186
§ 102. 里德别尔测定螺旋周期改正的方法	187
§ 103. 螺旋旋距误差的检验	193
第十章 观测等高度的恒星测定时钟改正·辛格尔法	198
§ 104. 应用单星的等高法	198
§ 105. 辛格尔法的原理	200
§ 106. 最有利的观测条件	203
§ 107. 星的选择	205
§ 108. 观测的实施	207
§ 109. 观测结果的处理	209
§ 110. 观测结果处理的补充说明	212
第十一章 泰尔各特法测定纬度	219
§ 111. 泰尔各特法的原理	219
§ 112. 仪器概述	220
§ 113. 观测的实施	223
§ 114. 仪器各部分互相配置的各种情况分析	225
§ 115. 记录观测结果的其他方法	228
§ 116. 观测结果的处理	229
§ 117. 对于观测及其处理的补充说明	234
§ 118. 目镜测微计螺旋周转值的测定	236

第一章 緒言

§ 1. 实用天文学·历史概要

广义地说实用天文学这一个詞彙是天文学中研究应用專門制造的仪器来实施天文观测的各种方法的那一部分。但是“实用天文学”这一名詞从不按这样的广义来使用；所有天体物理学的观测都不包括在实用天文学內，而且通常这个名詞是指关于决定天体坐标的观测，就是决定天体的赤經，赤緯，天頂距，高度，方位角，以及和它們有关的时鐘改正，观测地点的天文經度和緯度，地面目标的方位角等問題。这些問題都是屬於天体测量学的范围。討論这些問題的主要特征，就是本書的內容。

本書假定讀者是通曉了球面天文学的。

天文学是由于物質生活的需要而产生，并且建立在天象观测的基础上。一切观测，甚至于最簡易的，早已屬於实用天文学范围，因为当观测时，不是参对地面目标(例如变化着的高度和方位角)就要参对其他天体(例如，行星在恒星間的运动)来确定天体的位置，天文观测对于時間的計算，历書的編制，在陆地上尤其是在远离海岸的海洋中旅行时方位的确定，都是極端重要的；只有利用天文观测才可以决定地球的形狀和大小以及繪制国家的地圖。

对于太阳的观测來說，起初是單純地用肉眼观测，久而久之發明了簡易的仪器：最早的要算日晷，随后是用裝在子午面內的象限仪或六分仪来測量視正午的太阳高度。直到現在我們还保存着十五世紀偉大的烏茲別克天文学家烏魯格別克(Улугбек)所留傳下来的大六分仪。看来是希腊人为了測定恒星和行星在恒星間的相

关位置，發明了渾天仪，實質上这是一种極复杂的仪器，可以用来測量恒星的黃經和黃緯。因为仪器的复杂以及觀測的困难，成果的精度就不高。在阿里馬格特(Альмагест)(公元二世紀)星表中，恒星的坐标誤差达到 $\pm 15'$ 。第谷——布拉赫(Тихо-Браге)(十六世紀末)的仪器精度就高达 $\pm 2'$ 了。这些仪器的尺寸是比較大的，它們的圓环半徑大于一公尺；此外，圓环的分格为度及其小数，同时圓环的讀数方法要精确得多，而照准器也比以前更加完善。

在偉大的地理發現时代以后，为了建立欧美两洲間的可靠交通，有把握的航海問題就变得特別重要起来了。航海时，測定船艦的緯度是并不困难的，但測定其經度的任务却很艰难。对于这个問題特別感到兴趣的国家，起先有西班牙，其后有荷兰、英国和法国，他們相繼提出了大量的奖金，悬賞給那个找出了在海洋上測定經度的簡便方法的人。可是直到十八世紀，当六分仪特别是時計發明以后，問題才算圓滿地解决。在那个时期以前，甚至在此以后以至十九世紀，还采用着測量月亮距离的方法，应用这个方法时必须須在几年以前能够預知月亮在恒星間的位置。正是为此目的，在十七世紀末期在倫敦附近建造了格林尼治天文台；它的任务就是“为了航海技术的改进，編制恒星位置和天体运行表”。

在十七世紀，觀測的精度更加提高，那时采用在物鏡焦点处裝以十字絲的天文望遠鏡代替照准仪。这就需要刻度盘分格精度的增高以及更精确的新讀数工具的發明。由是游标以及显微測微器先后發明。時計用到了天文觀測的實踐中去。由于所有这些改进的結果，觀測誤差减少了；这样，格林尼治的布拉德列(Брадлея)星表(1752—1762)，其中誤差等于 $\pm 2''$ 。以后研究出了处理觀測結果的方法(梅耶 Маєр公式)。在天文仪器各种誤差研究方法的改进上，白塞耳的工作具有特殊重大的意义，这些工作对于整个十九世紀天体測量学者們的工作起了極大的影响。

由于观测计划的远大以及有系统的实行，格林尼治天文台便在十八世纪中叶获得了特殊重大的作用。对于月亮和行星运动理论的研究，格林尼治的观测具有头等重要的意义，但是在测定恒星坐标的精度上是被普耳柯沃 (Пулков) 天文台的工作所超过了(参考以后)。

其他国外天文台中，在天文测量工作方面特别突出的，有好望角天文台和华盛顿天文台。

因为仪器和处理观测结果的方法的改进，测定恒星位置的精度最近已达到了 $\pm 0''.3$ 。

俄国对于实用天文学的有系统的研究，开始于彼得一世时代。那时国家的需要，要求培养有经验的领航手，所以 1701 年便在莫斯科创立了航海学校。其中雅·布魯斯(Я. Брюс)是领导人，他可算是俄国第一个天文学专家。

但是俄国天体测量工作的更大发展，是在旧科学院天文台的建立时期，在这个天文台上，许多俄国的天文测地学家曾进行过实习，这些天文测地学家曾经参与过很多次的地理考察，而这些考察都是由科学院所组织的，其中鲁莫夫斯克(Румовск)，克拉西耳尼克(Красильник)及威瑞涅夫斯克(Вишневск)等工作特别著名。

在十九世纪初期，我们在嘉桑(Казань)，哈尔科夫(Харьков)，莫斯科，基辅等大学创立了天文台，可是更重要的是按照 В. Я. 斯特鲁维(Струв)计划所建成的普耳柯沃天文台。

普耳柯沃天文台的任务，是提供关于被选定恒星的绝对位置以及岁差、章动、光行差常数和蒙气差系数尽量精确的结果。为了这些工作，定制了适当的仪器，并建造了相应的房屋。这些观测结果见于 1845, 1865, 1885, 1905 及 1930 年的普耳柯沃绝对星表中，它们显示了所得恒星位置的精度是很高的，并且直到现在当组成综合性的所谓基本星表时，和世界其他天文台的星表相比较，我们

的观测成果具有最大的权。

另一方面,根据普耳科沃天文台的章程,应当是“用所有的办法来协助实用天文学的改进,使之适合于地理和航海,并供给地理位置测定的实习场所”。执行了这个指示,该天文台成了俄国测地学者们的优越学校,测地学者们在其中接受关于实用天文学和测地学方面最高深的训练,并且应用到以后的许多天文——测地工作中,这些工作都是按照参谋部军事地形测量局的计划来执行的。这里必须指出从多瑙河口到北冰洋(2800 公里)沿着子午线弧度测量的伟大事业,是在 В.Я. 斯特鲁维领导下的俄国测地学者们所完成的。所有这些工作和外国的相比,分明显示出俄国测地学者们达到了远比外国为高的精度。还有重要的,就是他们并不愿意用普通方法来测定纬度和时钟改正,因而发明了更为精确的方法(Н.Я. Цингер, М. В. Певцов)以及更为实用的方法(Н.Д. Павлов, Д. Д. Геденов)。水兵 М. 阿基莫夫(М. А. Акимов)在 1849 年发表了在海上定位线求经纬度的方法,这比孙季列尔(Сентилер)早了 26 年。

其他的俄国天文台,主要由于科学工作人员的缺少,天体测量工作没有得到特殊大的发展。在伟大的十月社会主义革命前,天文台照例在编制上只有一个工作人员(天文观测者),而他要经常照应的不只是一台仪器,而且,许多观测还是在莫斯科、基辅、嘉桑和尼古那也夫(Николаев)用子午仪进行的。

这里应该表扬 А. Н. 萨维契(А. Н. Савич)的“实用天文学对于地理位置测定的应用”(1868 年第二版)和 Н. Я. 辛格尔(Н. Я. Цингер)的“实用天文学教程”(1915 年第二版)二书的出版。

在十九世纪末和二十世纪初,在普耳柯沃(С. К. 科斯特尼克——恒星的自行和视差,行星的卫星)和在莫斯科(П. К. 史登堡——自行,双星)开始奠定了照相天体测量学的基础。

在十九世紀後半期內，應該提出合作的觀測工作：

1) 經幾個天文台的努力合作，其中也包括嘉桑和尼古那也夫天文台，測定了從赤緯 $+80^{\circ}$ 到 -30° 所有 9 等以內恒星的坐標，並編制了所謂天文協會的星表。

二十世紀的天文協會星表，是由普耳利沃天文台和三個德國天文台用照相方法所重新觀測過的。

2) 在二十個天文台上，利用一律的所謂標準天體照相機，開始了用照相法來測定所有 11 等以內恒星坐標的偉大工作，這個工作還沒有完成。

從 1899 年起，進行了關於地極移動研究的巨大合作，這是在幾個指定的天文台（在不同的時期內由 3 個到 6 個）上借觀測緯度變化的方法來進行的；其中也包括一個俄國天文台；開始是在察爾釗（Чарджоу），以後是在基塔布（Китаб）（直到現在）。

在蘇維埃政權時代，天體測量工作的範圍大大地擴展了，一直到現代，實用天文學對於國民經濟的重要性並未減低。為了各種各樣的要求，全國和各地區的精良地圖是必需的。為了航海和航空，就需要測定海上船艦和空中飛機所在地點的便利的方法。為了所有這些需要，同樣地也為了有用於探測礦物的重力測量，精確的時間是必需的。

蘇聯科學和技術的巨大成長，促進了它們本身和實用天文學的發展。我們已建立了自己的儀器製造工業。蘇維埃政權時代的天體測量工作體現着它的計劃性、集體性，並且考慮到了我國共產主義建設的需求。

蘇維埃政權時期，天文測地工作獲得了巨大的規模；在蘇聯部長會議直屬的中央測量和制圖總局領導下，已完成了宏大的三角測量工作。這些測量便成了 Ф.И. 克拉索夫斯基所得出的，現今在蘇聯採用的地球橢圓體要素的基礎。按照俄國測地學者們的傳

統，在實踐中引用了新穎的、獨特的測定緯度和時計改正的方法（В. В. Каврапский 和 А. В. Мазаев）。这里应当表揚烏茲別克蘇維埃社会主义共和国科学院院士 А. Я. 奧爾洛夫（Орлов）关于地極在地面移動的理論上的卓越研究。

在 1933—1938 年間，五个天文台曾經共同进行关于測定 2957 顆測地恒星位置的巨大集体性工作，这些恒星的坐标对于天文測地工作是必需的。

1920 年我們建立了蘇維埃的授時工作，它的任务就是測定和播送精确的时刻。我国各个授時站所播送的普通和特种精确时刻信号，就其本身的精度來說，列为全世界最好的，这是和国际時間局其他授時站比較时便可以明显見到的。

这些成績的获得，是由于新穎的觀測方法的运用，是由于本国仪器的設計制造和方法的精通。这里应当表揚萊騰斯大林奖金的获得者 Н. Н. 巴夫洛夫（Павлов）的工作，他想出了用光电方法来記錄恒星的經過。

在偉大的衛國戰爭以前，蘇維埃的天体測量学者們提出了創制微星星表的巨大計劃。在这个工作中，用子午仪測定的恒星位置将借照相方法与河外星雲的位置联系起来，这些河外星雲是我們宇宙中可觀測部分中最遙远的天体。由于这样的結果，就得到了自行不大的遙远微星的精确位置表，这些微星特別适合于作为照相和目視天体測量的基准恒星。这个吸收蘇維埃天文台所有子午仪和一些天体照相机参加的集体工作，事实上战前已經开始，目前觀測工作在所有国家天文台上正展开着。

§ 2. 測定緯度和時計改正的原理

在球面天文学里，由天頂、天極和天体所构成的定位三角形中可以导出公式：

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

$$\text{其中} \quad t = s - \alpha = T + u - \alpha, \quad (2)$$

而 z 是消除了蒙气差影响后的天体的天頂距, α 和 δ 是該天体的赤經和赤緯, φ 表示观测地点的天文緯度^①, 就是观测地点的鉛垂綫和地球赤道面的交角, t 表示天体的时角; s 表示地方恒星时, T 为時計或时鐘的讀数, u 是坐标 z , α 和 δ 所屬的那一瞬間的時計改正, 由此 $s = T + u$ 。

从上面的方程式可以推知:

1) 如果 α, δ 和 φ 是已知的, 則測量 z , 并从時計讀出观测时刻 T , 首先从方程式 (1) 可以計算出 t , 再从方程式 (2) 按公式 $u = t + \alpha - T$ 求得 u 。

2) 如果 α, δ 和 u 是已知的, 在時計的时刻 T 測量 z , 可以計算 φ 。測量天体的天頂距, 可以測定观测地点的緯度和时鐘改正, 即时鐘讀数对于地方时的修正值, 其根据就是上述的这些理由。

只要我們知道几顆恒星的赤經, 那么, 按任何时鐘决定它們經過子午綫的时刻, 我們就可以測定这些时鐘的改正。实际上, 恒星上中天的赤經 α 等于該瞬間的恒星时, 也就是时鐘讀数 T 加它的改正 u :

$$\alpha = T + u.$$

如果我們知道 α 和 T , 从此便得到 u 。

假如, 除了时鐘讀数对于地方时的修正值以外, 还用某种方法, 例如收录无綫电时号, 因而知道了时鐘讀数对零子午綫 (即格林尼治子午綫) 时的修正值, 那末这两修正值之差, 就是同一瞬間地方时与格林尼治时之差, 也就是观测地点的經度和格林尼治經度的差, 或者簡言之, 就是观测地点距格林尼治的經度。

① 为簡便起見, 称为“緯度”。