

高等学校教学用书

大地測量控制網 的建立原理

Б. Н. 拉賓諾維奇著

高等教育出版社

高等学校教学用书



大地測量控制網的 建立原理

В. Н. 拉賓諾維奇著
陈永齡等譯

高等教育出版社

本書原系根据苏联測量及制圖書籍出版社 (Издательство геодезической и картографической литературы) 出版的技术科学候補博士拉賓諾維奇 (Б. Н. Рабинович) 副教授所著“大地測量控制網的建立原理”(Основы построения опорных геодезических сетей) 1948 年版譯出。現在原書 1954 年修訂補充第二版已对旧版作了重大修訂,經由原譯者陈永齡教授按新版修訂譯本,并对旧譯本的譯文也作了仔細修訂。原書經苏联高等教育部审定为測量学院制圖系的教学参考書。

本書 1948 年版系由陈永齡教授与同济大学測量系教師們合譯全書由陈教授負責校訂。

本書原譯本分上下兩册出版,修訂后併为一册。

大地測量控制網的建立原理

Б. Н. 拉賓諾維奇著

陈永齡等譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇五四号)

京華印書局印刷 新华書店总經售

統一書号 15010·348 開本 850×1168 $1/32$ 印張 14 $3/16$ 頁插 2 字數 370,000

一九五五年一月初版上册(共印 9,000)

一九五五年六月初版下册(共印 7,700)

一九五七年五月合訂本第一版(修訂本)

一九五七年五月北京第一次印刷

印數 0001—6,000 定價(10) 2.60

高等学校教学用书



大地測量控制網的 建立原理

Б. Н. 拉賓諾維奇著
陈永齡等譯

高等教育出版社



本書原系根据苏联測量及制圖書籍出版社 (Издательство геодезической и картографической литературы) 出版的技术科学候補博士拉賓諾維奇 (Б. Н. Рабинович) 副教授所著“大地測量控制網的建立原理”(Основы построения опорных геодезических сетей) 1948 年版譯出。現在原書 1954 年修訂补充第二版已对旧版作了重大修訂,經由原譯者陈永齡教授按新版修訂譯本,并对旧譯本的譯文也作了仔細修訂。原書經苏联高等教育部审定为測量学院制圖系的教学参考書。

本書 1948 年版系由陈永齡教授与同济大学測量系教师們合譯全書由陈教授負責校訂。

本書原譯本分上下兩册出版,修訂后併为一册。

大地測量控制網的建立原理

Б. Н. 拉賓諾維奇著

陈永齡等譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇五四号)

京華印書局印刷 新华書店总經售

統一書号 15010·348 開本 850×1168 $1/32$ 印張 14 $8/16$ 頁碼 2 字數 370,000

一九五五年一月初版上册(共印 9,000)

一九五五年六月初版下册(共印 7,700)

一九五七年五月合訂本第一版(修訂本)

一九五七年五月北京第一次印刷

印數 0001—6,000 定價(10) 2.60

目 录

摘自第一版序.....	8
第二版序.....	9
緒論.....	11
§ 1. “測量控制網建立原理”課程的內容・苏联天文大地測量工作的意义.....	11
§ 2. 大地測量中地球体形的概念.....	12
§ 3. 測量控制点对于地形測量和地圖編繪的意义.....	15
§ 4. 測定平面控制点的方法.....	18
§ 5. 天文点在制圖上的意义.....	22
§ 6. 測定高程控制点的方法.....	24
§ 7. 利用控制網作地形測量和編繪地圖的概念.....	27
第一篇 測定控制点的大地測量方法	
第一章 苏联建立国家三角測量的基本原則.....	33
§ 8. 大地測量控制点的密度・三角測量概論.....	33
§ 9. 苏联建立 I 等三角測量的方案与綱要.....	35
§ 10. 苏联建立 II 等三角網及其加密的方案(根据克拉索夫斯基).....	37
§ 11. 苏联 1954 年国家測量網基本規範对于克拉索夫斯基方案与綱要的修改.....	41
第二章 論三角測量原素的精度.....	44
§ 12. 三角形單鎖边長誤差的概念・几何求距誤差.....	44
§ 13. 三角形單鎖求距边的大地方位角誤差.....	49
§ 14. 基綫的間隔和 I 等三角鎖的長度.....	50
§ 15. 三角鎖的縱向和橫向位差.....	52
§ 16. 估算补充網点位坐标誤差的簡化方法.....	55
第三章 建立三角網的作業方式・地面上选点和埋定.....	59
§ 17. 業務組織与經濟概論.....	59
§ 18. 三角測量选点的要求.....	61
§ 19. 选点的方法和工具.....	62
§ 20. 基綫的選擇和基綫網的布置.....	67
§ 21. 选点后所提供的資料.....	69
§ 22. 三角点在地面上的标志和埋定.....	70

第四章 基綫測量	76
§ 23. 关于标准长度的概念·从前和现代的标准尺	76
§ 24. 綫尺基綫仪	80
§ 25. 应用綫尺基綫仪丈量时誤差来源的概念	83
§ 26. 基綫丈量的步骤·成果精度的鉴定	85
§ 27. 基綫網的类型	89
第五章 三角測量所用的測角仪器	91
§ 28. 苏联 I 等三角測量所用的大地經緯仪	91
§ 29. 对于測角仪器構造方面的要求	93
§ 30. 补充網三角測量所用仪器的类型	97
§ 31. 度盤讀数设备	102
§ 32. 豎直度盤的構造	107
§ 33. 仪器誤差作用的概念	109
§ 34. 仪器的檢查和校正	112
第六章 三角測量中水平角和天頂距的測量	115
§ 35. 水平角和豎直角測量的最有利時間	115
§ 36. 水平角的測量方法	116
§ 37. 方向或角度觀測的測站平差·成果的鉴定	122
§ 38. 測量天頂距的方法	127
§ 39. 归心原素及其測定方法	128
§ 40. 計算測站归心和覘标归心改正的公式	131
§ 41. 角度觀測的資料	134
第七章 三角測量平差計算的基本概念	135
§ 42. 平差計算的目的	135
§ 43. 条件方程式的形式	137
§ 44. 条件方程式自由項的容許限度	147
§ 45. 独立三角網在平面上按条件觀測方法平差的步骤	151
§ 46. II 等独立網平差計算举例(在平面上)	154
§ 47. 發生于非独立網中的条件方程式的組成实例	163
§ 48. 按間接觀測方法作三角測量平差时誤差方程式的形式	167
§ 49. 关于三角測量計算資料的一些認識	170
第八章 測定控制点的多边測量方法	172
§ 50. 精密多边測量的方案和等級	172
§ 51. 量距導綫·導綫的选点·覘标和中心标石	174
§ 52. 測量的仪器和方法·工作的檢核	176
§ 53. 視差多边測量的概念	177

§ 54. 多边测量中高程的傳遞	180
§ 55. 为制圖目的应用多边测量的概念	180
§ 56. 按測量交会的方法建立路綫測量網	186
§ 57. 精密多边测量的資料	191
第九章 几何水准测量和三角(大地)高程測量	192
§ 58. 几何水准测量和三角高程測量对于测定控制点高程的意义	192
§ 59. 关于苏联建立和布置精密和高度精密水准測量方案的一般認識	193
§ 60. 高度精密水准測量高程系統的概念	198
§ 61. 單向大地高程測量公式	202
§ 62. 双向大地高程測量公式	206
§ 63. 折光系数的測定	208
§ 64. 大地高程測量的精度	210
§ 65. 大地高程測量应用于地理考察的可能性	212

第二篇 橢圓体面大地測量学的要素

第十章 地球橢圓体上的基本公式和关系	215
§ 66. 确定地球橢圓体大小的一般概念·弧度測量	215
§ 67. 橢圓体上的坐标系統·地理坐标和直角坐标	220
§ 68. 主曲率半徑和平均曲率半徑	223
§ 69. 求定子午弧長和平行圈弧長的公式	227
§ 70. 法截弧的長度·大地綫的概念	233
第十一章 地球橢圓体面上長度和面积的計算	235
§ 71. 子午弧長和平行圈弧長計算用表和公式的使用	235
§ 72. 求橢圓体梯形的面积	239
§ 73. 測圖梯形圖廓的計算	244
§ 74. 在地球橢圓体面上的三角形的解算	248
第十二章 地理坐标的計算	252
§ 75. 解算大地測量主題的概念	252
§ 76. 按照輔助点法解算大地測量正算問題的簡化公式	255
§ 77. 用簡化的高斯公式解算大地測量正算和反算問題	264
§ 78. 解算大地測量主題公式的应用	267
§ 79. 簡化的第一类和第二类微分公式	272
§ 80. 微分公式对于制圖目的实际应用	278
第十三章 苏联所采用的直角平面坐标	281
§ 81. 高斯投影的要义和应用的方式	281
§ 82. 由地理坐标換算到高斯直角坐标的公式	287

§ 83. 由高斯直角坐标换算为地理坐标	296
§ 84. 高斯子午线收敛角的公式	297
§ 85. 求定高斯正形投影中的表象长度比	299
§ 86. 高斯投影公式彙列·按克拉索夫斯基和伊佐托夫 方法将公式化为对数形式	301
§ 87. 高斯投影的非对数实用公式	306
§ 88. 将距离和方向归化到平面上	308
§ 89. 三角测量归算到高斯投影平面上所实施的计算	314
§ 90. 直角坐标由一带换算到与其相邻一带的坐标	322
§ 91. 旧系统转变为新系统的直角坐标修正(近似方法)	326
§ 92. 在经纬线网中绘入直角格网	327
§ 93. 在直角格网中绘出经纬线网	328

第三篇 控制点地理坐标的天文测定法

第十四章 天体的坐标和周日运动及时间量度的概念 335

§ 94. 附属于建立大地网的天文学的主题	335
§ 95. 天球; 天球上的点和圈	336
§ 96. 天体的周日运行	339
§ 97. 天球坐标系	340
§ 98. 定位三角形·天球坐标系之间的关系	343
§ 99. 天体坐标变化的原因和性质	345
§ 100. 时间的量度·恒星日和恒星时	350
§ 101. 根据太阳量度时间·真时、平时和民用时	351
§ 102. 地方时和格林威治时; 区时和法定时	353
§ 103. 恒星日与平太阳日的关系	355
§ 104. 天文年历内的太阳表	357
§ 105. 太阳和恒星的观测天顶距的修正	361
§ 106. 时的换算	362

第十五章 天文测定的基本概念 366

§ 107. 苏联天文点的分级	366
§ 108. 纬度、经度和方位角测定的一般考虑	368
§ 109. 时计和它们在天文测定上的应用	373
§ 110. 根据恒星天顶距测定时计改正·秦格尔法的概念	375
§ 111. 根据恒星天顶距测定一点纬度的方法·别夫卓夫法的原理	378
§ 112. 根据量测北極星的高度作纬度的近似测定	381
§ 113. 根据北極星测定地面目标的方位角	385
§ 114. 根据太阳测定方位角和时计改正	383
§ 115. 按 Ф. И. 克拉索夫斯基的方法测定方位角	394

§ 116. 測定經度差方法的概念	400
§ 117. 無線電授時站在測定經度差方面的任务	404
§ 118. 無線電報測定經度法的概念	406
§ 119. 同时測定經緯度的 A. B. 馬扎耶夫方法的原理	407
§ 120. 由观测任意方位角的恒星高度以測定緯度和經度的概念	408
§ 121. 普洛科夫天文台在天文大地作業科学准备方面的意义	410
 第四篇 大地測量和天文作業成果的概述及其利用	
第十六章 控制点的天文和大地測量測定成果的比較; 它們的利 用和編制成果册	418
§ 122. 垂綫偏差, 它对于天文緯度和經度的影响	418
§ 123. 垂綫偏差对于方位角的影响·拉普拉斯方程式	417
§ 124. 天文点在野外制圖中的利用	419
§ 125. 利用重力測量减弱垂綫偏差对于天文坐标的影响的概念	423
§ 126. 在苏联境內完成三角測量、天文測量和水准測量的成果册	425
第十七章 苏联大地測量和天文工作的發展及現狀概述	432
§ 127. 十八世紀俄国天文和大地測量工作發展的一些情况	432
§ 128. 俄国十九世紀三角測量工作的一般情况	435
§ 129. 俄国十九世紀所完成的三角測量的主要特征	440
§ 130. 軍事地形測量兵团在 1906—1918 年时期內的三角測量	441
§ 131. 苏联三角測量的發展·它在克拉索夫斯基橢圓体上平差的情况	442
§ 132. 苏联境內的水准測量工作; 它們的發展和現狀	447
§ 133. 苏联境內旧时和現代的天文測定	453
附录	457
文献彙列	462

摘自第一版序

从 1944 年起，在測量制圖學院制圖系的教學計劃中規定了要講授“國家大地測量控制網的建立原理”這一門課程。由於蘇聯科學院通信院士 Ф. Н. 克拉索夫斯基教授的倡導，這門課程就初次列入蘇聯制圖教育的實踐中，它的使命是要代替該系以前所讀的大地測量學和野外天文教程。它的教學大綱，按 150 學時的講課與實習課計算，注重在研究地圖編制工作中所必需的大地測量與天文問題。因此，就有必要用簡短易懂的形式闡明一些對於地圖學家說來是主要的基本問題。地圖學家並不親自執行大地測量與天文方面的工作，但在編制地圖時却要利用這些工作的成果。因此擺在我們面前的是從制圖工程師需要的觀點來敘述天文及大地測量的知識。

這樣廣泛而複雜的材料要以對於制圖專業學生易懂的形式來敘述，確是一件困難的任務。由於下列情況使這個任務更加複雜：制圖專家所關心的一系列問題的說明是在大地測量與天文學教程中找不到的。敘述這些問題的材料必須從各種天文及大地測量工作的報告中或者其他類似的原始材料中去找。

上述各點都是我三年來在莫斯科測量制圖學院 (МИИГАиК) 制圖系講授這一課程並順便整理教材的體會，它們都是使我們還不能編寫出一本完全成熟的教科書的因素。但是在現有的大地測量和天文教科書或者手冊中還沒有一冊反映出了“國家大地測量控制網的建立原理”這一課程教學大綱的方針，因此也就不能作為制圖系學生的滿意的教材。現在這本書負起了補救這一缺陷的使命。它的內容基本上符合於有 Ф. Н. 克拉索夫斯基教授積極參加所制定的教學大綱。當敘述本書的內容時，曾經注意到制圖系學生前兩學年在測量學及高等數學方面所學習的教材內容……

副教授，技術科學候補博士 Б. Н. 拉賓諾維奇

莫斯科 1948 年 8 月

第二版序

在准备本書第二版时，作者將第一版內容作了一系列的更改与补充。这是由于莫斯科測量制圖学院和新西伯利亞測量制圖学院的大地測量教研組對本書所作的討論和批評，以及作者在“國家測量控制網建立原理”一課程中的最近教學經驗而引起的。同时也顧到在新西伯利亞測量制圖学院講授此課的 A. B. 布特克維奇副教授所作的一系列的批評意見。所有这些都有助于使本書略有改进，內容符合于 1953 年 5 月 28 日苏联文化部高等教育署建筑教育司批准的本課程的教學大綱。

以下部分作了重大的修改：天文学部分，微分公式的問題，最后一章，三角点坐标誤差估算等。

某些問題的敘述作了縮減或全部刪去。屬於这类的問題有：复測法測角，多面体投影，高斯平均緯度及平均方位角正算公式的推演，从高斯直角坐标換算大地坐标公式的推演，球面三角公式等。縮減了这些就可以使本書的篇幅不增加而补充以最近几年研究出来的并獲得实际采用的問題。屬於这类的有：國家測量控制網建立方案，按 A. И. 杜尔涅夫交会法建立的路綫網，精密水准測量及高度精密水准測量的方法和工具，高程系統及 M. C. 莫洛金斯基对这方面的建議，大地水准面及似真大地水准面的概念，A. B. 馬札耶夫測定天文經緯度的方法等。

利用無線电技术及其他物理方法于大地測量的問題未在本書獲得反映，主要是由于缺乏闡明在測量作業中应用这些方法的适当文献。

在本書的这次第二版增改时，許多人以他們的批評和意見帮助了作者。

莫斯科測量制圖學院的天文學教研組集體，特別是 И. С. 札卡托夫教授，Л. Б. 迈山斯基副教授，М. Н. 塞維爾副教授，В. З. 哈尔洪諾夫副教授，不憚煩勞地審閱了書中的天文學部分。大地測量教研組的 И. Г. 列托瓦里采夫副教授對本書大地測量部分提出了審查意見。

應當指出評閱者 К. А. 薩利曉夫教授和 В. И. 里雅贊諾夫副教授的寶貴意見。

編輯者 А. А. 伊佐托夫教授也幫助了本書的改進。

作者對於所有以上列舉的同志們表示謝意。

В. Н. 拉賓諾維奇

莫斯科 1954 年 2 月 15 日

緒 論

§ 1. “測量控制網建立原理”課程的內容.

苏联天文大地測量工作的意义

大地測量学和天文学的問題在一定範圍內是本課程的組成部分，所以這兩門学科的目的与任务也反映在本課程的定义之內。其中第一門学科——大地測量学討論下列理論与方法：a)在形狀与大小方面研究地球的体形，б)測定地面上彼此相距很远的点子的相对位置及 в)將地面点精确地轉移到平面上，顧及由此引起的变形。

研究地球的形狀和大小是大地測量学的主要科学任务。这种研究的結果利用于大地測量和制圖業務中。解决第二个問題联系到在地面上建立高度精密的、在統一坐标系統內的測量控制点網（用三角測量、多边測量、水准測量方法）。沒有測量控制点網，科学的布置和实施航空攝影地形測量和制圖工作，特別是在廣闊的領土上，是不可能的。

建立三角測量，也就是国家精密測量控制網，供給研究地球体形的資料，应当根据科学的原理并用适当的、周密考虑的方法和技术工具来保証。所以在大地測量学的範圍內也包括着一系列的技术問題，例如制訂高度精密的測角方法和丈量方法，高度精密地測定地面上相距很远的点子的高程差的方法，以及高度精密測量儀器的檢驗方法，三角点和多边測量点坐标計算的方法。

地面点大地坐标和高程的重复測定，或是按特殊方案进行的高度精密的測定，对于判断地壳运动和变形的性質和大小，以及确定海水面的高差，供給寶貴的資料。这种資料被用于解决地球物理学、地質学和水象学的問題。因此，大地測量学在一些程度上是与这些科学相关的。解决第三个問題对于將相当大部分的地面表象在平面上是必要

的。由此也就产生了大地測量学与制圖学的联系。

用大地測量方法建造的控制点網应当在地理方面定向。这个任务要用实用天文学来解决——用天文学中直接有关于測定地面点經緯度和地面目标(天文点)方位角的这一部分,时常称为大地天文学。应当指出,对于推算地球的大小,天文定位也是必需的。

制圖工作者应当清楚地認識到用各种不同方法測定控制点坐标的質量的一面。制圖工作者也將关心天文大地測量業務的發展和現狀,它們的評價和編目問題。所有这些因素在一定程度上構成本書最后的第四部分的内容。

与制圖工作者有关的大地測量和天文測量作業的成果对于苏联国民經濟及社会主义建設具有重大的现实意义。

如所周知,对于第一个五年計劃的最重要的建筑工程以及巨大的水力發電站的建設(斯大林格勒水力發電站、古比雪夫水力發電站、以B. И. 列宁命名的伏尔加—頓河运河等)进行了大地測量和天文的工作。1919年由俄罗斯苏維埃联邦社会主义共和国人民委員會主席B. И. 列宁所簽署的关于成立測量总局機構的命令中,用地形測量方法研究苏維埃国家領土被看作是“提高与發展国家生产力的措施”。

苏維埃的測量机关成功地解决了無数的問題。它保証了在短时期內和困难的自然地理条件下,实施了在形式上多种多样而在范围上广泛的高度精密的大地測量和天文工作。苏維埃的測量工作人員利用着自己同胞的方法和工具,完全担当起来这个困难的任务。苏联的天文大地作業成果在数量上是十分巨大的,而又以高度的質量著称。这种情况就使得由苏联測量工作者所获得的成果具有国际的意义,特別在确定地球形狀与大小問題方面。

§ 2. 大地測量中地球体形的概念

在編繪地圖时必须解决將一部或全部地球自然表面縮小表現于平

面上這個問題。要解決這個問題，須要用測量方法確定這個表面上往往相距甚遠的若干點的相互位置。但是測量工作是在地球自然表面上進行的，而地球自然表面並不是一個正規的曲面，它具有許多各種不同的起伏——從高山到深谷。因此這些點的位置必須根據一個具有水准面性質的理想面來決定。所謂水准面就是到處都水平的面，也就是在面上任一點都與鉛垂綫相交成直角的面。

可以想像有無數的地球水准面。取水體處於完全靜止狀態的海洋面，並且延長到大陸之下，使其到處與鉛垂綫相交成直角，將為地球水准面之一。這個面稱為大地水准面，採用作為地球的基本水准面。

大地水准面本來應當看做是測定地球自然表面上點位的投影面。而且事實上我們用水准測量方法所求定的點位坐標之一——高程——就是參照着海洋的水面——大地水准面。但是這個面的精確形狀是相當複雜的，因為測定大地水准面形狀的鉛垂綫方向，或者重力方向，是決定於地球質量的吸引作用，而這質量在大地內部的密度分布得並不均勻。除此以外，我們對於大地水准面的形狀還不確切知道，而投影到一個未知的表面上是不能實現的。由此可見，必須用另外一個尽可能接近於大地水准面的輔助面來代替前者。設想我們已經設法將地球自然表面上幾條輪廓綫沿重力方向投影到大地水准面上，其次又在輔助面上得到了同樣這幾條輪廓綫。顯然輔助面與大地水准面間的差別愈小，這兩個投影的外形和大小相似之處也就愈多。

牛頓早就確定了地球的理想體形應當是一個扁球體，也就是一個近於圓球而在兩極方向略扁的體形。最簡單的扁球體是扁率很小的旋轉橢圓體。最接近符合於大地水准面的橢圓體，稱為地球橢圓體，就被採用作為輔助的參考面，將測量控制點沿着在這些點的法綫投影到這個面上。

為了說明上面所敘述的，讓我們來看圖 1。命 FF 為地球自然表面的剖面，含有 P, N 兩點； gg 為大地水准面，與鉛垂綫 Pp 和 Nn 正交

