

大地控制網建立的个别問題

第一卷

導 綫 測 量

A. И. 阿格羅斯金 著

測繪出版社

大地控制網建立的个别問題

第一卷

導 綫 測 量

A. И. 阿 格 罗 斯 金 著

武汉測繪学院天文大地測量系 譯

測 繪 出 版 社

1960·北 京

А. И. АГРОСКИН
ОТДЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ
ОПОРНЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

ЧАСТЬ 1

ПОЛИГОНОМЕТРИЯ

本書是苏联專家 А. И. 阿格羅斯金在上海同濟大學講課時的講稿，由武漢測繪學院天文大地測量系整理譯出。全書分三卷出版，本書為第一卷“導綫測量”，敘述有關建立四等導綫測量以及具有特殊用途的導綫測量問題。共分三篇：第一篇為概括性的介紹大地控制網的建立方法；第二篇為介紹導綫測量外業工作，包括導綫的設計、踏勘、埋點、測角用的儀器和方法、懸掛式綫狀尺與直綫丈量；第三篇為介紹導綫測量野外成果的整理，包括導綫的嚴密平差法、導綫網的分別平差法、導綫點位置精度的評定以及外業成果的精度評定。

大地控制網建立的個別問題

第 一 卷

導 綫 測 量

著 者	阿 格 羅 斯 金
譯 者	武漢測繪學院天文大地測量系
出版者	測 繪 出 版 社
北京西四羊市大街地質部內 北京市書刊出版營業證許可證出字第081號	
發行者	新 華 書 店 科 技 發 行 所
經售者	各 地 新 華 書 店
印刷者	北 京 市 印 刷 一 廠
北京西便門南大街乙1號	

印數(京) 1—3200冊

開本 850×1168

字數 200,000

定價(10) 1.60元

1960年3月北京第1版

1960年3月第1次印刷

印張 7 $\frac{1}{2}$ 插頁 2

序 言

为了提高本系教师們对測量学方面的業務水平，我們商請苏联專家阿格罗斯金給我們講述建立大地控制網个别問題課程。講課提綱是考虑了各教研組教师們的願望和專家一起拟訂的。参加听課的，除本系教师外，还有进修教师及生产部門的工程师。

在每次講課前，由于專家編写了講義，所以教师們都能預先自習，这样提高了教师們听課的效率。这是第一部分的講義。叙述的是导綫測量，專家在这部分里有系統的將导綫測量方面苏联的最新經驗講授給我們，并且有多处运用了自己的独到的見解，来証明理論問題，使听課的教师們对問題的了解更深入一步。在导綫測量中有許多問題我們自从听过專家的講課或答疑之后，都获得了解决，例如：导綫的水平角測量誤差問題，悬鏈綫不对称改正的問題以及关于导綫測量实际操作中的問題等。还有关于导綫網的精度預算及平差問題，对我们來說，过去也是生疏的，但是現在我們每个教师，都已掌握了这一門的知識。

專家的講義对于我們不論在講課方面或編写教材方面都有很大的帮助。我們認為这部分导綫測量講義就可以直接作为測量系二年級測量学的主要参考書的一部分。此外在生产实际方面，这部分講義也一样是很有价值的，因为像这样有系統的、深入的、科学的同时又密切联系实际的著述，到目前为止，还是不很多見，同时我国关于替代三角測量的导綫測量工作，还没有很好的开展。所以这部分講義我們應該特別的提出，向有关生产部門推荐，这样对于我国导綫測量的开展是有益的。

專家自来我校后，日夜的辛勤劳动，不論在教学方法或者業務學習方面，对我们都給予了很多的帮助。我們教师們也都很努力的向專家學習。为了更好的發揮專家工作力量起見，今后我們应当更有組織的做好各种准备和配合工作。最后我們二人代表全

体参加听课的教师对苏联专家阿格罗斯金的无私的帮助，致以衷心的感謝。

上海同济大学 測量系主任 叶雪安

測量学教研組主任 崔希璋

1956年6月11日

上海市

目 录

原序	8
----------	---

第一篇 总 論

第一章 概論	10
§ 1. 大地水准面, 地球橢圓体	10
§ 2. 大地測量成果的归算	13
§ 3. 大地控制網及其建立的方法	20
§ 4. 苏联所采用的大地控制網的建立方案与计划	25

第二篇 导綫測量中的測量工作

第二章 概論	30
§ 5. 概述	30
§ 6. 地面踏勘, 地面埋点	33
第三章 測角仪器	36
§ 7. 在度盤上讀数的理論	36
§ 8. 确定測微器的实际分格值	41
§ 9. 主要的仪器誤差	44
§ 10. 視准軸誤差	45
§ 11. 望远鏡旋轉軸傾斜的誤差	48
§ 12. 仪器旋轉軸傾斜的影响	50
§ 13. 度盤平面傾斜的影响	51
§ 14. 豎盤的理論	53
第四章 水平角測量	57
§ 15. 概述	57
§ 16. 单独角度測量法	59
§ 17. 全圓測回法	61
§ 18. 观测方向归算到标心	63
§ 19. 測角仪器及标牌偏心的影响	67
§ 20. 測角精度的預算	73

§ 21. 根据导线角度闭合差評定野外測量成果的精度	74
第五章 悬挂式綫狀丈量工具。直綫丈量	77
§ 22. 丈量工具的方程式	77
§ 23. 跨度長度的丈量	80
§ 24. 直綫長度丈量	81
§ 25. 直綫水平距離的計算	85
§ 26. 野外測量成果的整理	90
§ 27. 补充改正值的求定	92
§ 28. 悬鏈綫不对称的改正	96
§ 29. 丈量工具分划尺傾斜的改正	102
§ 30. 重力改变的改正	102
§ 31. 直綫測量的誤差	104
§ 32. 直綫丈量成果的精度評定	109
§ 33. 导线边的間接丈量	112

第三篇 野外測量成果的整理

第六章 概論	122
§ 34. 概述	122
§ 35. 高斯投影的一般介紹	123
§ 36. 导线边及水平角測量成果的整理	132
第七章 用最小二乘法进行导线平差	134
§ 37. 概述	134
§ 38. 条件方程式的組成	136
§ 39. 系数法方程式的組成和解算	144
§ 40. 利用 A. C. 契巴塔廖夫教授的数表进行直伸导线的 平差	150
§ 41. 縱向及橫向闭合差的計算	154
§ 42. 导线元素的精度評定	156
第八章 导线網平差	162
§ 43. 根据最小二乘法的导线網平差	162
§ 44. 导线網的条件分別平差法	165
第一組法方程式的組成及其解算	166
第二組及第三組法方程式的組成与解算	172

§ 45. 間接分別平差法	177
第一組未知數的求定	177
第二組及第三組未知數的求定	184
等權代替法的分別平差	186
§ 46. 導線測量線路的分別平差	194
§ 47. 導線網平差的精度評定	195
§ 48. 網內最弱點點位求定的精度	200
第九章 導線測量中的誤差影響	208
§ 49. 概述	208
§ 50. 根據第一次改正角度所算得的坐標增量的 允許直線閉合差	209
§ 51. 線路的縱向及橫向誤差	218
§ 52. 導線的允許曲折度	220
§ 53. 支導線頂點位置的精度評定	229
§ 54. 平差後導線點點位的精度評定	231
§ 55. 導線網中的誤差估算	233
§ 56. 蘇聯對四等導線測量的要求	236
§ 57. 根據導線的閉合差評定野外測量成果的精度	237

原 序

上海同济大学的领导和該校測量系的負責同志希望我对普通測量、大地測量以及工程測量等教研組的教师們講授大地控制網建立的个别問題課程。

講課大綱是和測量系主任以及各專業教研組主任一起擬訂的。在編制大綱時曾考慮到可能用于講課的時間以及上述各教研組內教师們的願望。

整个講稿分成下列三部分：導綫測量、国家水准網的建立和三角測量。

本書是我們講授導綫測量的講稿。

这一部分講稿主要的是敘述与建立四等導綫測量以及特殊用途的導綫測量有關的問題，它包括了对于測量系二年級学生測量學大綱有关这一部分所規定的全部問題。这里有許多問題比起一般对同学所講的作了更多的說明，这样做的目的是为了向專業教研組的教师們更全面的傳達苏联在这一方面所累积起来的丰富經驗，同时也由于对高年級講授高等測量學以及对于專業的課程設計和畢業設計所出現的必要性而決定的。

我們提請讀者們注意到这样的情况，就是在很多情況下，我們对于个别理論的証明是不同于教科書和測量專業文獻中所采用的証明。我們認為这样將有助于对所講述的資料更好的領會，因为我們是尽量使这些推导簡單和明了。

在編写導綫測量的講稿時，我們廣泛的利用了苏联傑出的測量學者 A. C. 契巴塔廖夫，Ф. H. 克拉索夫斯基及 B. B. 达尼洛夫的測量學和高等測量學教科書，以及有关上述問題的現有測量文獻。在本講稿中都指出了所有这些来源。

講稿譯成中文后，由叶雪安教授和崔希璋教授亲自担任翻譯的总校訂。

講課時是由講師李青岳譯为中文。

李庆海教授、楊銓曾講師以及王家瑄助教也参加了翻譯工作。

以上所有同志都进行了很有成效的工作，他們可貴的劳动帮助了同济大学專業教研組的教师們对于講課的領会。

趁这个机会向学校的领导，科学及教务副校長夏坚白教授，測量系主任兼大地測量教研組主任叶雪安教授，副系主任紀增爵副教授，普通測量教研組主任崔希璋教授，工程測量教研組主任李庆海教授，李青岳講師，一般問題的翻譯周鴻生及孙德本同志，以及系內和学校教材科的全体工作人員对于在工作中給予我們巨大的帮助表示衷心的感謝。

中华人民共和国 上海市 1956年

A. M. 阿格罗斯金

第一篇 总 論

第一章 概 論

主要問題:

1. 大地水准面、地球橢圓体。
2. 大地測量成果归算到橢圓体面上。
3. 大地控制網及其建立的方法。
4. 苏联所采用的大地控制網的建立方案与計劃。

主要参考書:

1. П.С. 薩卡托夫——高等測量学，莫斯科，1950年。
2. А.А. 伊索托夫——根据現代数据的地球形狀与大小，莫斯科，1950年。
3. Ф.Н. 克拉索夫斯基——大地測量学，上卷，第一分冊，莫斯科，1938年。
4. 苏联內务部測繪总局——苏联国家大地控制網法式，莫斯科，1954年。

§ 1. 大地水准面，地球橢圓体

每一个国家都需要反映其国家現代經濟情况及天然富源的測量資料和地圖。这些資料和地圖有助于对生产力的了解和使用，能够进行对于發展科学和国家經濟所必需的科学和工程技术計算。这就說明了为什么社会主义国家和人民民主国家对于發展測量科学和地圖生产事業給予極大注意的原因。

只有对一个国家的領土进行了詳細的測量勘查才能得到上述的資料和地圖。但是在上面进行所有測量工作的地球自然表面是一个非常复杂的面。它不能用来解决在測量学中所产生的几何

問題。

測量學上最重要的問題之一，便是要選擇在形狀和大小上都最接近于地球並且在數學方面最為方便的一個補助體。

大家都知道，在地球上淹蓋着 75% 的水，而大陸高于海洋水平面不超過 10 公里。由於我們的行星的體積很大，因此它總的面貌是決定於水面。在一般的陸地上表現出不很顯著的齒形。所以地球的實際形狀可以認為是大地水準面，也就是說為水面所包圍的物體，它的表面是和完全靜止時的海洋水準面並且具有那樣一種特性的表面相一致，這個特性就是該物體表面上任何一點的法綫都和同一點的垂綫相重合。

大地水準面的形狀對於解決測量問題同樣是不方便的。問題在於大地水準面的形狀是決定於鉛垂綫的方向，而後者又是隨着地球內部分佈不均勻的物質的吸引作用而有所不同。所以大地水準面的形狀在幾何關係上同樣是很複雜，並且對大地測量工作不方便。

由上所述，在現代認為對於解決測量學中所遇到的幾何問題最方便的形狀就是選擇最適合於地球形狀的橢圓體。

地球橢圓體的大小及其在地球體內的定向是根據在地球自然表面上所作的天文——大地和重力測量的結果來確定。這個問題，大家都知道，在蘇聯克拉斯夫斯基、莫洛琴斯基、伊索托夫以及其他測量學家的著作中得到了很好的解答。

用以確定地球橢圓體在地球體內定向的這些數據稱為大地基準點。大地基準點確定了大地表面上其中一點在橢圓體上的位置，以及該點在橢圓體之上的高度，並確定了起始於該點的其中一直綫在橢圓體上的方向。

關於這個問題可以參考[1]第 359—365 頁和[2]第 64—68 頁。

到現在為止，在不同的國家里使用着不同大小和具有不同定向的橢圓體。這些橢圓體，不同於一般的橢圓體，稱為參考橢圓體。

这里说明，研究大地水准面的形状实际上可以用下述方法进行：首先根据天文、大地和重力测量的资料，在使椭圆体尽可能几何上接近于整个大地水准面的条件下来确定椭圆体的大小，然后确定大地水准面内各个点相对于这一椭圆体的起伏。

现在我们对以上所讲的作一结论。

地球体总的形状是大地水准面的形体。由于地球体内质量分布得不均匀，大地水准面的形状是一个不适于解决测量学中所产生的几何问题的，而且是一个极为复杂的形体。所以研究真正地球的表面，在测量学中是利用另外一个起着补助作用的椭圆体来进行。椭圆体之所以被测量学者们选定作为研究地球的补助体；一方面因为它在形状上很接近于大地水准面，而另一方面它便于解决测量学上所产生的数学问题。重要的仅仅是正确的选择椭圆体的大小和给予这个物体以正确的定向。

研究地球实际表面的问题是在于确定地球自然表面上的各个点相对于所选定椭圆体的位置。因此，在地形图上所表示的不是地球自然表面上点子的相对位置，而是它们在椭圆体上的投影。

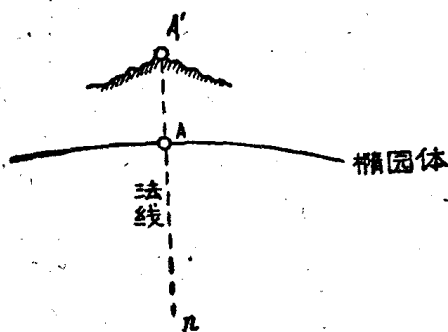


图 1

地面点投影到椭圆体上是依据椭圆体面上的法线。

在这样研究地球表面的办法下，地面任何一点 A'

(图 1) 的位置将由三个坐标完全确定下来。其中两个坐标确定点 A 在椭圆体面上的位置 (例如点子的纬度和经度)，而第

三个坐标表明地球自然表面上的点相对于椭圆体的高度。即 $H = AA'$

由此可以理解到，所选定的椭圆体愈接近于大地水准面，则在我們地形图上所繪出的一切將愈接近于真实。这就是为甚么在测量上对于选择适合于测量工作的椭圆体予以很大重视的原因。

确定椭圆体的大小，以及确定椭圆体在地球体内定向的大地基准点，在科学同实践方面都是复杂的问题。在测量学中是在弧度测量这一章内讨论它。

§ 2. 大地测量成果的归算

所有大地测量是在地球自然表面上实施的，而大地测量计算则是在椭圆体面上进行的。在地形图上所反映出来的那种情况，是假想将地球上的所有地物预先投影到椭圆体面上之后，我们再来观测它们，因为一切地面点都是根据代表着它们在椭圆体上位置的大地坐标来画到地图上的。

从以上所讲的可以明白看出，一切野外的大地测量成果，在着手计算这些物体的大地坐标之前就应该将其归算到所选定的椭圆体面上去。

为了研究这个问题，就必须谈到一个现象，这个现象在测量学中称之为垂线偏差。

大家知道，自然界中的一切物体都是处在作用于地球某点的垂线方向上，这就是说，在测量的过程中，测量仪器的轴在地面上是被安置在作用于测站的铅垂方向上，而不是通过该仪器站点椭圆体面的法线方向。

当地球上某一点的垂线与经过该一地面点所作的椭圆体面法线方向不相符合时，这种现象即称为垂线偏差。

因此要记住，我们在地面上的所有大地测量成果都是与作用于测站上的垂线方向有关，而为了大地测量的目的，则必须使它们与通过这些仪器站点在选定的椭圆体上所作的法线发生关系。

由图2可以看出，地面上 A' 及 B' 两点之间所测直线的水平距离，根据垂线来归算时，在椭圆体上得到 A_1B_1 弧，而根据法线来归算时，则得 AB 弧，这些点上的垂线偏差相差愈大，则弧长的差别也愈大。

在归算角度时也将看到相似的情形。在实地用经纬仪测量角度时，我们得到了两面角，垂线（测角仪器的轴）便是两面角的棱

綫，而在橢圓體上我們所需要的兩面角是以測站上的橢圓體法綫作為兩面角的稜綫。圖3表示 AB 綫(方向)方位角測量的情形。

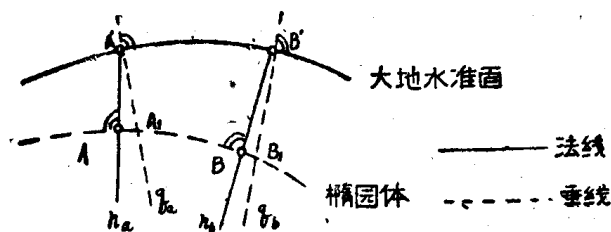


圖 2

EPE_1P_1 A 点的子午面

An 法綫

A_1 垂綫

AnB 法截面

AqB 垂綫截面

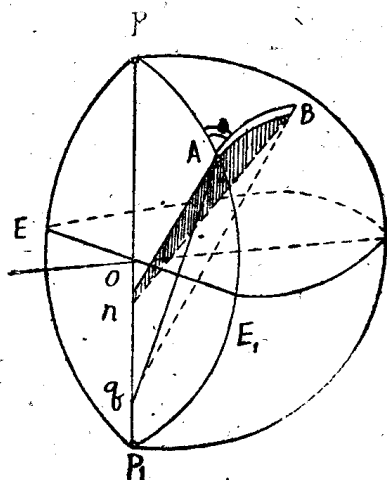


圖 3

垂綫與橢圓體法綫間之所以發生偏差是由于兩個原因：一個原因是地球體中質量分佈之不均勻與各種不同的吸引作用，另一原因由於大地水準面與所選定的橢圓體面不相符合的關係。這些面的不相符合將隨着所選定的橢圓體的大小與定位而有不同。

實驗證明，當採用最適合的橢圓體的時候，垂綫偏差的大小在一般情況下為 $2''-6''$ ，但在重力異常的區域，這個偏差可能達到 $10''-30''$ ，甚至更大一些。

在蘇聯的實際工作中，只有將一等三角點上的觀測角度歸算到橢圓體上時才顧及垂綫偏差的影響，而對其餘等級僅是根據異

常区域中的需要程度而定，在低等三角测量及导线测量中，这些改正值对于实用的目的是察觉不到的。在丈量基线方面也可以这样讲法。本章内我们将不谈及观测角度中对垂线偏差归化改正值的计算公式的推导，因为这个问题适宜于在高等测量学中的另一部分讨论。

当必须利用天文点作为地形测量的测量控制的时候，那又是另外一回事。

设想在地形测量的图板内给出了两个天文点，为了讨论简单起见，假设它们是分佈在同一子午圈上，由图4可以看出，地球表面上某一点A的天文纬度 φ 与该点大地纬度 B 相差如下数值：

$$B - \varphi = \xi \quad (1.1)$$

这个数值等于观测站点在子午面内的垂线偏差。

由高等测量学中知，

子午线弧长等于：

$$S = M \frac{\Delta B''}{\rho''} \quad (1.2)$$

此处 $\Delta B''$ 为弧线端点间的纬度差， M 为子午圈曲率半径，根据这一子午线弧长公式，在A、B两点之间对于天文纬度将等于：

$$S_{\text{天}} = M \frac{\Delta \varphi''}{\rho''} \quad (1.3)$$

而对于大地纬度，

$$S_{\text{大}} = M \frac{\Delta B''}{\rho''} \quad (1.4)$$

由下式即可求得这些长度的差：

$$\Delta S = \frac{M}{\rho''} (\Delta B'' - \Delta \varphi'') \quad (1.5)$$

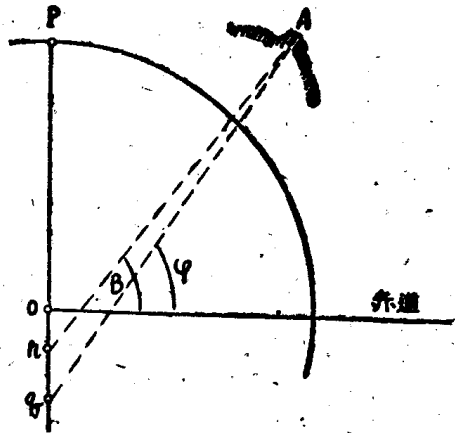


图 4

或者顧及(1.1)式即可写成下列形式:

$$\Delta S = \frac{M}{\rho''} (\xi_A - \xi_B)'' = -\frac{M}{\rho''} \Delta \xi'' \quad (1.6)$$

在比例尺 1:100 000 的梯形圖廓內, 垂綫偏差的变化可能达到 5'', 而在山区及異常地区則更大。由公式(1.6)取 $\Delta \xi = 5''$, 在垂綫偏差的影响下天文观测控制点的相互位置將錯到 150 米。当这些点是分佈在比例尺 1:100 000 的梯形圖廓的边緣上, 也就是說距离不大于 40 公里时, 这个誤差为 1:200, 在确定控制点的相互位置, 甚至是敷設普通精度的經緯仪导綫时, 这样的精度是不适用的。

現在討論將距离測量成果归算到橢圓体面上的問題, 并給出必要公式的簡單推导。

假設根据野外的測量成果, 我們已經知道了某一直綫在 O 点 (圖 5) 的水平面上的水平距离, O 点在橢圓体上的高度等于 H_m 。我們用 L 来代表根据野外測量成果所得到的水平距离的長度。在圖 5 上, 該距离表示成弧形 A_1B_1 。

現在証明, 所求距离的归算長度 $AB = D$ 在实用上可由下面大家所熟悉的公式求得之([3], 236 頁):

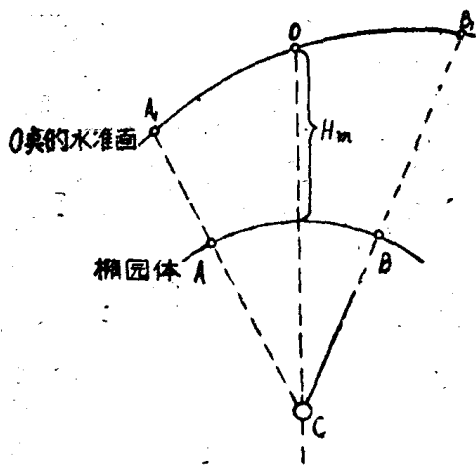


圖 5

$$D = L - \frac{H_m}{R} L + \frac{H_m^2}{R^2} L \quad (1.7)$$

为了証明起見, 經过 A_1 及 B_1 点作橢圓体的法綫, 这些法綫就給出我們所求的長度 AB (圖 5 及圖 6)。

其次, 通过 O 点作一弧平行于橢圓体面。在該弧上截取(圖 6),