

精密导线测量

〔苏联〕B. B. 达尼洛夫 著

北京测绘学院 译

中国工业出版社

目 录

第一版原序	6
第二版原序	11
緒 論	12
1. 建立国家控制網的精密导綫測量法	12
2. 三角測量和精密导綫測量之比較 采用精密导綫測量的条件	14
3. 精密导綫測量的等級	18
4. 精密导綫網的原則性的方案	19

第一章 精密导綫測量中的誤差傳播

§ 5. 精密导綫中邊的方位角(坐标方位角)的誤差	26
§ 6. 精密导綫的縱、橫向誤差和方位角誤差 导綫的总誤差	31
§ 7. 主导綫容許的曲折度	45
§ 8. 插导綫和輔助导綫的容許曲折度	47
§ 9. 坐标傳算誤差以及“自由”导綫中的总誤差	52

第二章 計劃精密导綫測量的基本原則

§ 10. 計算公式	56
§ 11. 导綫的縱、橫向誤差的預先計算	62
§ 12. 計劃精密导綫測量的基本原則	66

第三章 选 点

§ 13. 拟訂导綫的初步計劃	73
§ 14. 主点的勘选	74
§ 15. 詳細选点	78

第四章 导綫測量

§ 16. 中心标 中心标的埋設和使用	81
§ 17. 导綫測量觇标	87

第五章 角度測量

§ 18. 經緯儀 三聯腳架 置中器械	90
§ 19. 觀測水平角最有利的時間 折光差 減弱折光差影響的方法	94
§ 20. 水平角的觀測方法	100
§ 21. 復測法	106

第六章 量距導線測量

§ 22. 器械	108
§ 23. 綫長丈量 綫長歸算	112
§ 24. 間接測距 聯結導線主點	119
§ 25. 高程控制	122
§ 26. 導線與三角系的聯結	123
§ 27. 量距導線測量的野外整理	124
§ 28. 外業工作的組織	125

第七章 視差導線測量

§ 29. 視差環節的各種圖形	126
§ 30. 視差角和基綫的偶然誤差和系統誤差對視差環節長度的影響	134
§ 31. 視差環節各種略圖形的比較	137
§ 32. 視差導線測量	143
§ 33. 視差導線測量的偶然誤差和系統誤差	153

第八章 三角測量法與精密導線測量法的綜合

§ 34. 問題的提出	155
§ 35. 用間接法確定導線主邊預期精度的概算	156

第九章 精密導線鎖的平差

§ 36. 精密導線測量中平差計算的任務	162
§ 37. 導線閉合邊長的計算	165
§ 38. 計算導線主邊長度之例	170
§ 39. 兩固定點和兩固定坐標方位角之間任意形	

式导綫在平面上的平差	172
§ 40. 用直角坐标按条件观测法平差任意形式的导线之例	181
§ 41. 一个或数个中间固定方位角 (坐标方位角的情况)	181
§ 42. 各种特殊情况	184
§ 43. 用大地坐标预先平差一等导綫鎖段	186
§ 44. 用大地坐标最后平差一等导綫鎖段	188

第十章 独立导綫網的平差和导綫網与三角網一併

平差 在平面上的—般严格平差法和近似平差法

§ 45. 以条件观测法严格平差任意导綫網	197
§ 46. 以条件观测法严格—併平差导綫網和三角網	201
§ 47. 用間接观测法严格—併平差三角網和导綫網	208
§ 48. 以条件观测法和間接观测法严格—併平差三角測量 及导綫測量之例	219
§ 49. 导綫網近似平差法概論	231
§ 50. 以条件观测法近似平差导綫網	232
51. 以間接观测法近似平差导綫網	236

参考文献

精密导线测量

〔苏联〕B. B. 达尼洛夫 著

北京测绘学院 译

中国工业出版社

随着物理测距技术的发展,应用精密导线测量法来建立国家控制网的时机将日渐增多,鉴于本书对大地测量学中这一科目进行了全面研究,并陈述了内、外业新方法的理论基础和实验基础,因之,虽然对测距问题不尽适用,但仍有其一定参考价值。

本书首先提出了任意形状的导线网的独立平差以及导线网与三角系一併平差的一般严格方法(用条件观测法和间接观测法),因而使这个问题具备了至今仅在三角系平差中所具有的明确性和完备性。其次,本书对于一系列的其他问题作了新的研究,例如导线测量中的误差影响,导线的設計和选点,三角测量法和精密导线法的配合等。与三角测量法共同的问题,例如埋石和角度观测法等,在这里作了新的阐述。本书省略了所有与三角测量法完全相同的问题。

本书供测量专业人员、教师、研究人员以及高等测量学校的学生作为研究大地测量学中精密导线测量一章的参考。

В. В. Данилов
ТОЧНАЯ ПОЛИГОНОМЕТРИЯ
2-е исправленное издание
ГЕОДЕЗИЗДАТ
Москва 1953

* * *
精密导线测量

北京测绘学院 译

(根据原苏联出版社纸型重印)

*
国家测绘总局测绘书刊编辑部編輯 (北京三里河国家测绘总局)

中国工业出版社出版 (北京佟麟阁路10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*
开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $7^{5/8}$ ·插页2·字数204,000

1959年12月北京第一版

1966年6月北京新版·1966年6月北京第一次印刷

印数0001—1,050·定价(科五) 1.10元

*
统一书号: 15165·4630 (测绘-177)

目 录

第一版原序	6
第二版原序	11
緒 論	12
1. 建立国家控制網的精密导綫測量法	12
2. 三角測量和精密导綫測量之比較 采用精密导綫測量的条件	14
3. 精密导綫測量的等級	18
4. 精密导綫網的原則性的方案	19

第一章 精密导綫測量中的誤差傳播

§ 5. 精密导綫中邊的方位角(坐标方位角)的誤差	26
§ 6. 精密导綫的縱、橫向誤差和方位角誤差 导綫的总誤差	31
§ 7. 主导綫容許的曲折度	45
§ 8. 插导綫和輔助导綫的容許曲折度	47
§ 9. 坐标傳算誤差以及“自由”导綫中的总誤差	52

第二章 計劃精密导綫測量的基本原則

§ 10. 計算公式	56
§ 11. 导綫的縱、橫向誤差的預先計算	62
§ 12. 計劃精密导綫測量的基本原則	66

第三章 选 点

§ 13. 拟訂导綫的初步計劃	73
§ 14. 主点的勘选	74
§ 15. 詳細选点	78

第四章 导綫測量

§ 16. 中心标 中心标的埋設和使用	81
§ 17. 导綫測量觇标	87

第五章 角度測量

§ 18. 經緯儀 三聯腳架 置中器械	90
§ 19. 觀測水平角最有利的時間 折光差 減弱折光差影響的方法	94
§ 20. 水平角的觀測方法	100
§ 21. 復測法	106

第六章 量距導線測量

§ 22. 器械	108
§ 23. 綫長丈量 綫長歸算	112
§ 24. 間接測距 聯結導線主點	119
§ 25. 高程控制	122
§ 26. 導線與三角系的聯結	123
§ 27. 量距導線測量的野外整理	124
§ 28. 外業工作的組織	125

第七章 視差導線測量

§ 29. 視差環節的各種圖形	126
§ 30. 視差角和基綫的偶然誤差和系統誤差對視差環節長度的影響	134
§ 31. 視差環節各種略圖形的比較	137
§ 32. 視差導線測量	143
§ 33. 視差導線測量的偶然誤差和系統誤差	153

第八章 三角測量法與精密導線測量法的綜合

§ 34. 問題的提出	155
§ 35. 用間接法確定導線主邊預期精度的概算	156

第九章 精密導線鎖的平差

§ 36. 精密導線測量中平差計算的任務	162
§ 37. 導線閉合邊長的計算	165
§ 38. 計算導線主邊長度之例	170
§ 39. 兩固定點和兩固定坐標方位角之間任意形	

式导綫在平面上的平差	172
§ 40. 用直角坐标按条件观测法平差任意形式的导线之例	181
§ 41. 一个或数个中间固定方位角 (坐标方位角的情况)	181
§ 42. 各种特殊情况	184
§ 43. 用大地坐标预先平差一等导綫鎖段	186
§ 44. 用大地坐标最后平差一等导綫鎖段	188

第十章 独立导綫網的平差和导綫網与三角網一併

平差 在平面上的—般严格平差法和近似平差法

§ 45. 以条件观测法严格平差任意导綫網	197
§ 46. 以条件观测法严格—併平差导綫網和三角網	201
§ 47. 用間接观测法严格—併平差三角網和导綫網	208
§ 48. 以条件观测法和間接观测法严格—併平差三角測量 及导綫測量之例	219
§ 49. 导綫網近似平差法概論	231
§ 50. 以条件观测法近似平差导綫網	232
51. 以間接观测法近似平差导綫網	236

参考文献

第一版原序

精密导綫測量法与三角測量法同样是建立国家控制網方法之一，它大約产生于三十年前。在近二十年来已出版了許多关于精密导綫測量問題文献，但除 $\Phi.H.$ 克拉索夫斯基和 $B.B.$ 达尼洛夫的名著“大地測量学”中的很少章节（上卷第二分冊第十五章）外，如果沒有一本根据各种刊物和杂志彙集起来的書籍作詳細陈述，就会使工程师和学生們在研究精密导綫測量时大感困难。本書的目的，就是要弥补这个缺点；在这本对于許多大地測量学者們完全必要的参考書尚未出版以前，我不能認為自己在精密导綫測量領域中从事二十多年的工作已結束了。

在着手写此書时，我并不要写一本什么指南或教科書。本書的主要目的，是为了正确地解釋精密导綫測量中的野外工作方法和平差計算，而給予一些經驗所証实了的理論基础，根据这些理論基础可以批判地对待所得的成果，以便在今后改进此种大地測量工作方面进行創造性的工作。同时附帶彙集了过去所写的理論和实际性的著作，并引証一些主要文献的史料，使讀者根据这些文献可以更詳細了解一些与此有關的問題。为了达到这些目的，本書采取不广泛联系的方式是合适的。但是，在写作的过程中，对有詳細阐述必要的某些实际問題——新的尚未充分研究过的或按其作用很重要的問題，在本書都作了充分的說明。因此，本書对于从事实践的工程师將更为有用。

我認為以后不需要編写精密导綫測量法的專門指南或教科書。如果真的写精密导綫測量教科書，那末無論在原則上和实际

上都是錯誤的，因为兩種方法——三角測量和精密導綫測量——是同等的、是互相替代的，并具有共同的理論基礎和實踐基礎，它們应在同一本大地測量學中加以論述。但可惜得很，這種意圖未能得到完全採納。甚至在近代最完善的 $\Phi.H.$ 克 拉索夫斯基教授所著的大地測量學里，关于国家天文大地網的建立和平差問題的說明中，几乎完全沒有談到精密導綫測量法，而只用很小的篇幅孤立地在十五章敘述了精密導綫測量問題，在某種程度上是补偿了此缺点；但仍未完全涉及到導綫測量与三角測量一併平差的問題。由于这些情况及兩種方法的基礎之共同性，所以在本書中采取了另一个方針，即將所有精密導綫測量法和三角測量法相同的和在 $\Phi.H.$ 克 拉索夫斯基的著作中已詳細說明了的問題一概略去；这样就可以大大地减少本書的篇幅；因此，本書又是 $\Phi.H.$ 克 拉索夫斯基教授的“大地測量學”一書的不可缺少的补充資料。根据这些情况，本書在某種程度上可供莫斯科測繪工程學院三、四年級學生研究精密導綫之用。当然，它也給高等測量學校教師和研究生帶來極大的好处。

應該注意，現有的关于精密導綫測量方面的參考書籍，無論如何也不能令人滿意。在这些書籍中只注意到四—六等導綫測量和一些特种形式的導綫測量，例如城市導綫測量，也就是說，只是相应于普通測量教程中之一部分。但精密導綫測量是建立国家控制網的方法之一，是大地測量學的一个組成部分，因而，应作适当的敘述。这就是为什么在写作本書的过程中要重新研究某些問題，例如誤差影响（第一章）、設計和选点（第二、三章）、精密導綫測量和三角測量的綜合（第八章），特別是平差計算等問題（第九、十章）。

事实上，直到導綫測量应用于極小面积上建立低等控制網——四—六等加密網——时为止，在平差計算方面只限于研究严格平差單独導綫或附有兩三个結点的最簡單導綫網的情况，而在較复杂的情况下，則进行各种簡化，有时以任意的假定来进行平差。实际上，敷設于極大面积上（甚至直到一个或更多的一等

三角鎖环的面积)的精密导綫測量, 应与三角測量同样有一严格平差任意形狀导綫網的一般方法。但無論在我国和外国, 对这一問題的研究都是不能令人滿意的。因此, 直到最近以前, 严格一併平差三角測量和导綫測量的問題仍未能認真地提出来。这就是为什么說叙述严格平差单独导綫網和导綫網与三角測量一併严格平差的一般方法(条件觀測和間接觀測)之第十章是特別重要的, 而且大部分是新的材料。

現在把本書的主要內容分別說明如下。

在第一章中导出了概算自由导綫和非自由导綫中誤差所需的全部公式, 同时也导出了計算导綫容許曲折度所必需的公式。利用所导出的公式, 可以仔細地比較一下导綫測量和三角測量的精度, 以便更清楚地了解它們的特性和拟定这两种方法傳算坐标的精度相等的途徑。作者首次导出了“自由”导綫 (§9) 傳算坐标的中誤差公式。

第二章所述是計算公式的彙集 (§10) 和所設計的导綫鎖各要素的根据 (§12)。

第四章是說明一些关于标石、埋石方法以及其在永远冻结、深冻结、間断層和流沙等自然地理地区內保存和使用的基本原理。这一章里并引用了中央測繪科学研究所土壤冻结研究委员会多年来的工作成果; 我在 1933 年至 1937 年曾是此委员会的主席和参加者。从这样的观点来談标石的問題, 在文献中还是第一次, 因此我想这也是大家所关心的。

第五章所述是角度觀測問題, 也是大家所关心的問題, 同时补充和修正了我在克拉索夫斯基和达尼洛夫的“大地測量学”(上卷第二分冊)中所写的第九章。在这一章里較詳細地叙述了折光差和减弱它的方法等問題 (§19); 又一次說明了(虽然較簡略, 但我認為更适当, 也更明确)在用經緯仪測角时, 彈性后效的影响及削弱它的方法等問題 (§20); 同时指出和論証了用复測法測量角度的某些有效的改进 (§21)。因此, 第五章是簡述了我在測量水平角方法的問題上多年工作(从 1929 年开始)的最后結果。

第八章中，非常完整地敘述了關於沿西伯利亞人烟稀少地區的大河流敷設一、二等大地鎖時，綜合應用三角測量法和精密導線測量法各種可能的形式，並證明了在這種情況下，甚至對於一等鎖的主邊也能獲得足夠的精度（§35）。

第九章中敘述了以條件觀測法嚴格平差精密導線單獨鎖的問題。這一章只對一般情況作了獨創而詳細的說明。§43 和 §44 是新創的，在這兩節中談到關於用大地坐標嚴格平差一等導線鎖段（概略平差和最後平差）的問題，這在我國文獻中還是第一次，這就彌補了目前關於平差一等大地鎖問題所存在的缺點。

第十章闡述了關於任意導線網的獨立平差以及導線網與三角網一併平差的一般嚴格方法（條件觀測和間接觀測法）。這裡 §49, §50 所述的是以條件和間接觀測法平差任意形式導線網的一般趨近法（分別敘述），來代替現存的、較簡單同時也較普通的“波波夫法”和“等價代替法”。

第九、十兩章中，對於嚴格平差導線網以及導線網與三角測量一併嚴格平差的問題，已經賦予了直到現在僅在三角測量中才具有的那種完整性、明確性和共同性。當然，平差導線網的問題一般只適合於平面上平差的情況，但是，這裡對於解答此問題所用的必要數學公式和方法都是在橢圓面上求得的。

第十一章中所述的是關於精密導線測量法的發展簡史以及引用的文獻。在這裡最後的 §54 和 §55 中談到了精密導線測量法有利的各方面，並說明了在我國實踐中沒有充分採用它的原因以及消除這些原因的辦法。

我想，我從事了二十餘年精密導線測量方面的科學研究工作所完成的這本書，對蘇聯大地測量學者們在研究這門大地測量學的新科目時，將是有用的，同時也可作為今後在這方面發展的新推動力。如果我的學生們——莫斯科測繪工程學院的學生們，讀了這本在偉大的衛國戰爭年代——艱苦的和偉大勝利的年代里、在法西斯炮火的轟擊和我們勝利的禮炮齊鳴下——所寫成的書時，能滿懷着對自己專業的熱愛和創造性的探討精神，從而如我

所希望的，將這本書更加充實完善，並沿着發展道路將它向前推進，使之成為我們偉大祖國的一份財產，那麼，我將因自己的勞動而感到非常愉快。

最後，我應該真誠地感謝 A.M. 維洛威茨教授和博士 H.A. 烏爾馬耶夫教授，他們在評閱本書時曾提出了寶貴的意見並作了修正。

技術科學博士 **B. 達尼洛夫教授**

1944 年 8 月 24 日於莫斯科

第二版原序

近些年来，阻碍着精密导綫測量法运用到生产中去条件有了重大的变化，相反地，已出現了一些新的有利因素，例如布置大規模的大比例尺測圖时，为了控制这种測圖，精密导綫測量法最为适合。实际上，我国工業已經开始制造一些質量优良的新型光学經緯仪，已經会制造殷鋼的和超殷鋼的綫狀尺和帶狀尺，并已开始制造改良过的整套基綫測量和导綫測量装备；我国高等測繪院校講授精密导綫測量这一課程已十余年了，并造就出許多通曉新作業法的測量工程师。因此，在生产中广泛采用精密导綫測量，特別是視差导綫測量，在干部和專門器材方面都不缺乏了。視差导綫測量就其实質上而言，是負有使一等三角控制網加密到供斯大林时代偉大共产主义建設的 1:10 000 和 1:5000 比例尺航測成圖所需要的密度的任务。

新出版的“精密导綫測量”里，消除了某些在第一版中所發現的錯誤；除了因在这一段時間內所發現某些新事物，例如新的光学經緯仪，新的国家三角測量方案等等，而需要加以修改外，其余的原文几乎沒有改变。第十章 § 46 中补充了已条件觀測法一併严格平差三角測量和导綫測量时，縱橫坐标条件方程式的普遍公式的推导，这样就使对这个問題的說明簡化了。在本版里我沒有增加平差的例題，因为上版中所引用的那些例子已足以說明平差法的實質了。除此之外，省略第十一章“精密导綫測量法發展的各个主要阶段”，因为，对这些問題感到兴趣的人們，可以根据第一版来研究。

技术科学博士 B. 达尼洛夫教授

1951 年 10 月 31 日于莫斯科

緒 論

§ 1. 建立国家控制網的精密导綫測量法

大家都知道，在导綫測量法中，控制点是某一折形导綫的頂点，而該导綫的所有各边及轉折角均于實地上直接測得。因此，每后一控制点对前一控制点的位置是用極坐标来确定的，也即是說由至前一点的距离（导綫边）和方向（对前一控制点的轉折角）来确定。在建立大地控制網的各种方法發展的初期，直接在實地量測上述的極坐标似乎最簡單和最自然；因此，精密导綫測量实际上就是大地測量工作者曾用来解决国家地形測圖、經濟測圖、工程技术測圖控制的实用問題和解决科学問題（布置所謂弧·度·測·量）的第一个方法。当然，最初綫長丈量的精度是不高的；綫長是用某一量距仪器（木杆尺和測鏈等等）沿着地面于測綫的方向綫上直接量得的；当时低精度的角度測量是与低精度的綫長丈量相适应的；角度是用所謂象·限·儀測得的，而在后一时期是用具有照准設備的測角儀測得的。一般來說，当时导綫測量是不够精密的，而主要的是沒有进一步提高精度的远景。实际上，就是較明确的丈量綫長的方法（木杆尺放在木樁上測量的方法）也不能有效地用于导綫測量中，因为这种方法太慢，并且不能越过地面上較大的障碍物。

由于上述原因，自然就会产生关于間接測定距离的問題，这便是十七世紀荷蘭大地測量学家斯奈留斯所提議的众所周知的三角測量法^①，并且于 1614—1616 年在阿尔克瑪爾城和卑根城之間敷設了由 22 个三角形所組成的三角鎖进行了試驗。在三角測

① 一般意見認為斯奈留斯是創立三角測量法的第一人其实这是不正确的，早在古代埃及就已采用了这种方法。显然，中世紀以后的西·世·紀，即腓力浦二世的年代里，以 d'Alcala de Henare's 大学数学教授 Pecro Esquivel 为代表的西班牙人，在大地測量工作中已第一次采用了它。

量法中，綫長丈量是直接丈量为数甚少的短基綫（斯奈留斯丈量的基綫由 200 到 700 米），这些基綫所在的位置，便于在当时的技术水平之下能以較高的精度丈量，而且在任何情况下，均远比丈量導綫各边的精度为高。因此，在三角測量中，重点就放在与地面障碍物和地貌無關的角度測量了，这就使得三角測量法与導綫法相比較，有着較大的灵活性，甚至在当时其精度亦比導綫为高。法国大地測量学家皮卡尔在 1669—1670 年曾于巴黎—亞眠地区沿子午綫敷設弧度測量，在这次工作中，他第一次用有交合系的望遠鏡来觀測水平角，从而更加提高了三角測量法的精度，并且最后巩固了三角測量的地位。結果从十七世紀末起，在弧度測量中，三角測量完全代替了導綫測量，并且成为建立高等国家控制網的唯一方法。二十世紀的开端，導綫測量只用于控制小面积的測圖和將三角測量所获得之国家控制網加密到五—六等控制点。

在十九世紀末，一方面發明了精密丈量綫長的仪器——耶德林尺，另一方面發明了殷鋼，因而在頗大的程度上消除了过去在直接精确丈量導綫边时所存在的困难；量距仪器离开地面，而悬挂起来，这样就消除了地面的起伏和在地面摩擦对于測量精度的影响；殷鋼綫尺和帶尺極小的膨脹系数，大大地縮小了溫度对測量精度的影响；精密綫長丈量的速度也提高到每个工作日 4—6 公里（單程測量）；量距仪器使測量时能够易于越过地面上 24 公尺或更長些的像凹地、小溪、小河等障碍物，所受到的地形限制較小。另一方面，由于所謂測定距离的視差法創立，使得有可能間接測量導綫的各边，这样就使導綫法有着較大的灵活性，以致最后巩固了它作为建立国家控制網的方法的位置。

現在精密導綫測量法和三角測量法一样地用于建立直到一等国家控制網。

在苏联導綫測量法最初只是在北部森林地区为了控制 1:100 000 和更小比例尺測圖加密控制網之用（即所謂經緯仪導綫的形式，以后为四等視差導綫所代替）；也曾以一等導綫来代替