

測量儀器學

C. B. 耶利謝也夫

科學出版社

測 量 儀 器 學

C. B. 耶利謝也夫 著
方 俊 譯

科 學 出 版 社

1 9 5 6

測 量 儀 器 學

翻 譯 者 方 俊

出 版 者 科 學 出 版 社

北京朝陽門大街117號
北京市書刊出版業營業許可證出字第061號

印 刷 者 上海中科藝文聯合印刷廠

總 經 售 新 華 書 店

1956 年 9 月 第 一 版	書 號: 0482	字 數: 440,000
1956 年 9 月 第 一 次 印 刷	開 本: 787×1092 1/16	
(滬) 0001—4,680	印 張: 24 1/2	插 頁: 3

定價: (10) 5.40 元

С. В. ЕЛИСЕЕВ
ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ИНСТРУМЕНТОВЕДЕНИЕ

ГЕОДЕЗИЗДАТ

1 9 5 2

內 容 介 紹

在本書中，從測量工作方面所提出的要求出發來說明測量儀器的計算和設計問題，並且對於不同型類的測量儀器的構造、構件和零件作了詳細的介紹。書中也特別注意到在一般的精密器械製造工藝學中所沒有討論過的測量儀器生產工藝學的特點。

在第一和第二章中作了一般的和歷史的敘述，以及測量儀器的分類、構造的特點和原則性方案等介紹以後，在第三至第九章中分別地討論了水準器、度盤、軸系和測量儀器上的各種設備：瞄視、視距、讀數以及其他。第十章討論了直線量測的器械，而第十一章中則討論了關於測量儀器的設計和製造的技術條件。

本書第十二章說明了根據蘇聯近年測量工作的方向來改進測量儀器構造的問題而結束。

本書是供給測繪學院中“測量器械”專業的學生作為教科書之用。它對於在測量方面的其他專業的工作者以及測量儀器製造業中的工程技術工作者也是很有用的。

序

本書是按照莫斯科大地、航測、製圖工程學院的光學機械系中，對“測量儀器”專業學生講授的課程所寫成的一本教科書。

作者把解答測量儀器的構造、設計和它們各元素的計算問題，以及說明它們的最重要部分在設計和製造上的特點的企圖，作為選擇和解釋資料的基礎。在可能範圍內，還說明了儀器的研究和試驗問題，這對於從事儀器製造的工程師是十分重要的。

根據教學大綱，作者不擬將一般在測量的基本課程中和在個別的參考書[例如 Н. А. 古塞夫 (Н. А. Гусев) 的“測量儀器學”]中所涉及的所有的測量儀器加以闡述，本書的方針是儀器構造的問題。

有些問題，雖然也是十分重要(如羅盤儀的製造、某種測距儀的構造等等)，但是沒有列入本書，藉以減少本書的負擔。

在敘述本書時，假定讀者已具有測量學、應用光學和器械製造技術的知識。

蘇聯的測量儀器製造，根據了他們自己的計算、設計和製造方法，這是由於蘇聯的測量學者和儀器製造學者很多創造性的研究結果，這些學者之中，首先必須提到 Ф. Н. 克拉索夫斯基 Ф. Н. (Красовский), А. С. 契巴塔廖夫 (А. С. Чеботарев), В. В. 達尼洛夫 (В. В. Данилов), Б. В. 佛非洛夫 (Б. В. Фефилов), А. Н. 希利雅也夫 (А. Н. Ширяев), В. А. 貝利曾 (В. А. Белицын), Г. Ю. 斯達都爾克維奇 (Г. Ю. Стодолкевич), А. С. 尤爾凱維奇 (А. С. Юркевич), С. М. 李祖諾夫 (С. М. Лизунов), Н. А. 古塞夫等等。作者將盡其所能將這些蘇聯學者和工程師所創造的理論和實用原理的精華傳達給大家。

在祖國的文獻中，寫一本將測量儀器製造問題作徹底的敘述的書還是一個初次的嘗試，因此，本書裏面將不可避免地存在一些缺點和遺漏的地方。作者希望以後能依靠讀者批評意見的幫助來改進它。

作者對莫斯科大地、航測、製圖工程學院中以 В. В. 達尼洛夫教授為首的大地測量教研室；以及評閱者：Б. В. 佛非洛夫教授，А. М. 維羅甫茨 (А. М. Вировец) 教授，А. В. 康德拉什科夫 (А. В. Кондрашков) 副教授和以 В. В. 古比雪夫 (В. В. Куйбышев) 命名的軍事工程學院中的測量教研室，主要是 В. А. 李特維諾夫 (В. А. Литвинов) 講師在評閱本書時所提的寶貴意見和所做的巨大評閱工作致以感謝。

作者對於生產單位的同志，如測量機械家 В. В. 華西利也夫 (В. В. Васильев), И. Н.

西蒙諾夫(И. Н. Симонов)等,致以衷心的感謝,由於他們豐富的實際經驗,使作者解決了書中所提出的一系列的問題。

在校閱本書的過程中,作者得到負責校閱者 И. С. 薩卡托夫(И. С. Закалов)教授的巨大和寶貴的幫助,作者要在此致以謝意,同時對於主要的校閱者 М. Л. 魯德什切英(М. Л. Рудштейн)也表示謝意。

技術科學候補博士 С. В. 耶利謝也夫。

目 錄

第一章 緒論	(1)
§ 1. 測量儀器學的對象	(1)
§ 2. 測量儀器的特點和對於它們的基本要求	(2)
§ 3. 測量儀器構造的發展簡述	(5)
§ 4. 帝俄時代的科學家和機械師在測量儀器製造學領域內的工作	(8)
§ 5. 蘇聯的測量儀器製造業	(12)
§ 6. 蘇聯科學家對於發展測量儀器理論上的基本問題的研究	(16)
§ 7. 測量儀器的分類	(18)
§ 8. 應用於蘇聯的各種測量儀器	(20)
第二章 測量儀器構造的基礎和它們原則性的方案	(34)
§ 9. 測量儀器設計上的起始數據	(34)
§ 10. 測量儀器原則性的方案	(37)
§ 11. 關於儀器誤差和儀器個別部分之間的關係的知識	(39)
§ 12. 考慮到系統形成因素的儀器誤差的計算	(46)
§ 13. 測量儀器上量測鏈鎖計算的特點	(57)
§ 14. 關於影響到測量儀器構造的因素的一般知識	(61)
第三章 水準器	(71)
§ 15. 概論及水準器的形成	(71)
§ 16. 水準器的格值	(76)
§ 17. 玻璃管的玻璃和內部液體的選擇	(80)
§ 18. 水準器的靈敏度與引起水準器格值變化的現象	(81)
§ 19. 水準器玻璃管在製造上的特性	(84)
§ 20. 在檢驗器上研究水準器玻璃管 A. C. 華西里也夫的方法	(87)
第四章 度盤	(92)
§ 21. 關於度盤的一般知識以及對於度盤的要求	(92)
§ 22. 刻線的精度、格值、度盤直徑以及格線的容許寬度的確定	(95)
§ 23. 度盤的構造形狀	(101)

§ 24. 度盤變形的原因及現象	(103)
§ 25. 度盤材料的選擇以及加工製造的特點	(110)
§ 26. 金屬和玻璃度盤上的刻度工作	(112)
§ 27. 圓盤刻度機的構造特點和工作誤差	(115)
§ 28. 概論度盤刻度誤差的研究	(124)
§ 29. 研究刻度誤差的方法以及所用的儀器及設備	(125)
第 五 章 軸系	(139)
§ 30. 軸系在設計和製造上的一般要求	(139)
§ 31. 軸的置中精度和偏出於規定方向的容許偏差	(140)
§ 32. 軸系零件偏出於正確的幾何形狀的公差	(145)
§ 33. 溫度、摩擦和滑油的變化對於測量儀器軸系以及其他主要部分的影響	(148)
§ 34. 軸系的磨損和變形	(156)
§ 35. 軸系的變形以及對於構造的要求	(159)
§ 36. 軸的形式	(162)
§ 37. 軸系構造的發展	(173)
§ 38. 豎軸系的近代構造	(176)
§ 39. 橫軸	(183)
§ 40. 軸頸不正確的影響	(191)
第 六 章 安放設備	(195)
§ 41. 安放設備的用途和形式	(195)
§ 42. 安放設備的計算基礎	(196)
§ 43. 水平螺絲、制動設備及瞄準設備的構造	(200)
第 七 章 瞄準及視距設備	(206)
§ 44. 測量儀器的望遠鏡和它的主要作用	(206)
§ 45. 測量儀器上的視距設備的型類	(209)
§ 46. 瞄準精度和望遠鏡的鑑別力	(215)
§ 47. 影像的亮度、出光瞳大小的選擇及望遠鏡的相對孔徑	(222)
§ 48. 望遠鏡放大率及孔徑和物鏡焦距的選擇	(225)
§ 49. 望遠鏡物鏡以及它的框架的構造	(229)
§ 50. 對於測量儀器望遠鏡目鏡的要求與特點	(231)
§ 51. 望遠鏡內的絲網以及它的計算	(232)

§ 52. 測量儀器望遠鏡的形式和各種望遠鏡的優缺點以及它們的應用範圍···	(235)
§ 53. 內對光望遠鏡·····	(238)
§ 54. 內對光望遠鏡內的視距設備和關於 B. B. 佛非洛夫測距望遠鏡原理的 簡短介紹·····	(246)
§ 55. 由三部分組成的內對光望遠鏡物鏡和反光鏡-透鏡光具組 ·····	(252)
第八章 讀數設備 ·····	(257)
§ 56. 最簡單的讀數設備和計算讀數設備的起始數據·····	(257)
§ 57. 讀數設備中的放大鏡和顯微鏡以及顯微鏡的二種型類·····	(260)
§ 58. 顯微鏡基本參數的計算·····	(265)
§ 59. 螺絲測微器·····	(271)
§ 60. 讀數設備的光學測微器和應用於這種測微器之上的平行平面玻璃·····	(278)
§ 61. 量角用的測量儀器中的重合讀數原則·····	(283)
§ 62. 量角儀器上所用重合讀數法的光學測微器的計算根據·····	(289)
§ 63. 讀數設備上的光具組構造的特點·····	(300)
§ 64. 水準儀的讀數設備·····	(305)
第九章 測定水平位置以及高程差的自動設備 ·····	(314)
§ 65. 一般介紹·····	(314)
§ 66. П. Ю. 斯達都爾克維奇的測高儀·····	(317)
§ 67. 光學-機械轉變器 ·····	(322)
第十章 直線測量用的器械及分割尺 ·····	(330)
§ 68. 直線測量器械的概述和要求·····	(330)
§ 69. 和直線量測中的儀器誤差有關的計算·····	(337)
§ 70. 量測直線的器械和分割尺的幾種構造·····	(342)
§ 71. 製造工作量器用的一些特殊材料,和它們的加工工藝學的知識 ·····	(349)
§ 72. 製造殷鋼線尺的工藝知識·····	(352)
§ 73. 石英·····	(355)
§ 74. 基本形式的長度刻度機的特點和分割尺分格線誤差的關係·····	(356)
§ 75. 在測量器械的直線分割尺上的刻度方法·····	(358)
§ 76. 直線分割尺的檢定·····	(360)
第十一章 測量儀器設計和製造上的技術文件的編製 檢定書和說明書 ·····	(365)
§ 77. 技術任務和條件的內容與構成它們的程序·····	(365)

§ 78. 儀器的檢定書和說明書.....	(369)
第十二章 關於改進測量儀器的途徑的一些概念	(371)
§ 79. 關於蘇聯測量工作方式的簡短介紹.....	(371)
§ 80. 蘇聯在建立大地基本網時所採用的基本儀器.....	(375)
§ 81. 測圖以及圖根測量用的測量儀器.....	(380)

第一章

緒論

§1. 測量儀器學的對象

測量儀器學研究和探討測量儀器的計算和設計問題，特別重要的是它們的製造和檢驗問題。這種測量儀器學的內容反映了蘇聯科學和技術上的特點，他們創造了一系列的新的原理，闡明了設計上的理論和方法以及在製造特殊機件和器械上的技術。

測量儀器學是從測量上的要求出發並以精密機械製造的條件為基礎來解決它們的問題。

在過去，測量儀器學是作為測量學內的一個組成部分來研究不同的測量儀器，而不是從整體上去討論它們的原理。誠然，在十月革命以前，В. Я. 斯特魯維(В. Я. Струв), А. Н. 薩維奇(А. Н. Савич)以及其他俄羅斯學者的研究對於測量儀器的理論作了不少的貢獻，但是只有在蘇聯的學者 Ф. Н. 克拉索夫斯基(Ф. Н. Красовский), А. С. 契巴塔廖夫(А. С. Чеботарев), В. В. 達尼洛夫(В. В. Данилов)等發展了這種理論以後，才有可能將測量上的要求和儀器的設計及製造問題適當地結合起來。在斯大林的五年計劃年代中，祖國的測量儀器製造事業的巨大發展對於製造測量儀器的很多問題要求解決，這樣就促使測量儀器學的形成，使其成為測量學和應用天文學上的要求與精密儀器製造部門相聯系的一門獨立學科。

因此，測量儀器學的對象包括：

- а) 闡明原始計算數據¹⁾ 這是根據測量上所要求的精度和工作條件來設計儀器和器械的基礎；
- б) 計算這種數據的方法；
- в) 確定影響所計算數據的穩定性的原因；
- г) 構造的分析，並確定儀器製造的技術特點；
- д) 對於新測量器械和儀器的科學研究，以促進測量工作的改良和適應近代測量的技術水平。

¹⁾ 在某種情況下，這些計算數據就是“基本容許值”，也就是說，按照儀器或器械上不同部分或環節所負的使命，在製造時的容許值。

近代測量儀器的複雜性，首先是在工作中對於精度的嚴格要求，使我們不易用計算方法來求出在設計一個器械時所有數據的準確數字；同時更必須將這種數據和決定它們的一切因素之間的關係從理論方面建立起來。在測量儀器學上，另外有一種處理問題的途徑，這就是資本主義國家的特點，根據這個途徑，他們只按照市場上的需要來研究和選擇他們出品的型類。不用說，這種途徑堵塞了測量儀器研究方法的發展道路，並且妨礙了儀器和器械製造以及新型的創造。

近代測量儀器製造事業的特徵是它吸收了以晚近科學和技術上的新成就為基礎的新因素。我們看到讀數的光學記錄法、光學-機械的角度改變器在速測儀上的應用、光波定位法和無線電定位法之用於長度測量、光電設備以及其他等等。把這些新因素應用於測量儀器的設計上時，首先必須確定一個能測定儀器的有限精度的新數據。例如，假如說在近代的測量儀器中，瞄準的精度隨着望遠鏡的放大率而異，但是在應用光電設備時，這個精度是決定於其他因素的。也可以舉出另外一些例子。根據 Г. Ю. 斯達都爾克維奇 (Г. Ю. Стодолкевич) 所發明的用機械方法轉變角度為直線量的器械，以及一般具有游標的豎直度盤的精度，都隨着在設計時的計算數據的不同而變異。

因此，闡明對於測量成果的有限精度有影響的各項因素，和推算決定儀器在製造時的各種參數都是測量儀器學上的基本問題。這裏必須特別指出，最重要的任務是進行以最新量測方法為基礎的測量儀器構造的科學研究，藉以促進測量工作至於最完善的地步。

§ 2. 測量儀器的特點和對於它們的基本要求

測量儀器的特點最好按照它們的用途來說明。測量儀器是用來測定地面上各點之間的相對位置，並且須達到一定的精度。因此，我們可以利用測量儀器來量測：直線的長度，水平和豎直角以及點的相對高度，利用測量儀器還可以按照各點的已知坐標來求出它們的位置，例如，將計劃搬到地面之上，這就是建築物在地面上的“定線”工作。但是這種特殊的功能並不是測量儀器所獨有。我們也可以用其他型類的器械來測定各點的相對位置，例如：可用台式（觀測台用）的天文儀器，控制量測儀器和器械等等。所差者是點和點之間所能測量的距離限度。用測量儀器所能直接量出的距離可以從幾米到幾十千米，而在例外的情況下，還可以量到幾百千米。

由於測量儀器可以量角和距離，它們在原則上和軍用的尋找目標（流動的或固定的）方向的器械和決定目標距離的器械（照準器、全景望遠鏡、潛水望遠鏡、測距儀）十分接近。而軍用器械中也有和測量儀器相似的：大號立體望遠鏡、砲兵羅盤儀、工兵測距

儀及其他等等。攝影測量的器械也有和測量儀器相似的,但是應用前者不能決定點在空間的位置,因為攝影測量是在照片上去量出所需的數值,是和野外工作脫離的。

除了以上所說的以外,還有一系列介於兩者之間的型類和構造。測量儀器上採用照像記錄的方法來記錄所觀測的目標和記錄讀數,則這種儀器就接近於地形攝影測量器械——攝影經緯儀和航測用的器械。

介於天文和測量儀器的則有:用來測定地面上某點的地理位置的子午儀和天頂儀,從這種儀器的用途來說,是屬於測量儀器的,但是從它們的構造來說,則和台式天文儀器相似,所不同的是它們的大小、重量和在搬運上的便利與否。

測量儀器的另一個特點是利用它們來量測時,可以達到高度的精度,因此,在製造時,對於精度的要求是十分嚴格的。例如,在測定兩點間的距離時,最準確的結果是一般的相對誤差為 1×10^{-6} 。讓我們來決定相當於上述直線誤差等級的角度誤差的等級。

如果我們更具體地說:角度誤差所產生的點位變化不能大於直線的誤差時,我們可以從另一種見解來考慮,即假定它和點位的橫向限制變化有關係(圖1),這個橫向變化不能超過距離的誤差。

假設測定兩點間距離的相對限制誤差為 $\frac{\Delta L}{L}$ 。又設 $\Delta\alpha$ 為量角誤差的限制影響,則自圖1,因為 $\Delta\alpha$ 為小角:

$$\Delta\alpha'' = \frac{\Delta L}{L} \rho'' \quad (1-I)$$

我們不難看出,當 $\frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{200\,000}$ 時, $\Delta\alpha'' \approx 1''$ 。

一般地說,測量的相對誤差的限度為自 $\frac{1}{500\,000}$ 至 $\frac{1}{1\,000}$ 。所以,在角度測量上所

要求的精度是十分高的 ($\Delta\alpha$ 在限度 $0''.5$ 至 $2'$ 之間)。

按照類似的理由,我們不難明瞭:用水準測量來測定高度的誤差也可以變換成同等級的角度誤差。

假定由於不同的原因,儀器的某一部分產生了角度的變動,它的等級小於或在任何情形下不大於 $\Delta\alpha$ 。我們現在來決定直線量的等級。

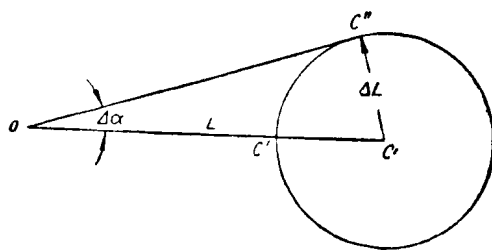


圖1. 角度與長度的關係

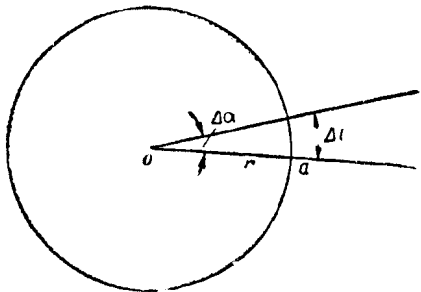


圖2. 儀器部分的角度和直線變動

在這裏，我們必須考慮到儀器的構造。

設在圖 2 中， r 為從通過測站 o 的儀器軸到儀器上任何一點 a 的距離，而 Δl 則為這個點子受了某種原因的影響後的直線移動量。自圖，由於 $\Delta\alpha$ 為微量，可得以下的關係：

$$\Delta l = \frac{r \Delta\alpha''}{\rho''} \quad (2-1)$$

當 $\Delta\alpha = 1''$ 時， $\Delta l = 5 \times 10^{-6} r$ ，而當 $\Delta\alpha = 1'$ 時， $\Delta l = 3 \times 10^{-4} r$ 。

所以，若 $r = 140$ 毫米，則當 $\Delta\alpha = 1''$ 時，高精度的量角儀器的變動（例如，螺絲的變動）不能超過 0.7μ ；這個數量和度盤上刻劃的直線誤差的等級相當。在 $1'$ 游標的經緯儀上，若 $r = 70$ 毫米，則三角座旋轉 $1'$ 時，度盤周的直線變動等於 21μ 。

測量直線的器械，特別是高精度的，長度變化也限制甚嚴。若 $\frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{500\,000}$ ，和一般的線尺（24 米）的長度時， $\Delta L \approx 48 \mu$ ，在這裏包括所有的量測誤差的來源，因為這個緣故，線尺長度的容許變化必須遠遠地小於 48μ 。

在四等水準測量內，水準標尺的“讀尺”限制誤差規定為 ± 2.5 毫米。如果尺的距離為 100 米，則 $\frac{\Delta L}{L} = 2.5 \times 10^{-3}$ ，這個數量也和上述的等級相當。

因此，測量儀器的主要特點之一是：它們必須保證機件在工作上的高精度，並且在不同的和隨時在變化的外界條件之下，仍能維持這種精度。這裏必須指出，測量儀器常常是具有很多零件的複雜的光學機械工具¹⁾。

測量儀器最主要的特點是在一般情況下，它是用於野外（勘測）條件之下的，這種加於儀器身上的條件，有以下的三種特徵：

a) 各種各樣的氣象條件以及它們的變化（溫度在 -40° 至 $+50^\circ$ 的限度內變化，濕度可由完全乾燥的空氣至濕度飽和的空氣）；

б) 各種各樣的運輸條件（長距離的鐵路、水上、空中、汽車和大車運輸；牲畜馱運，長距離搬運）；

в) 有計劃的預防性修理的不規則性。

除了上述的要求以外，在進行測量工作時，還要求儀器的體積小，如此方能便於搬運和適宜於操縱，此外，它們還必須具備簡單而穩固的校正設備。

因此，我們可以將對於測量儀器所提出的主要要求扼要的歸納如下：

a) 測量結果的高精度；

б) 測量結果受外來的因素，以及它們在工作過程中的變化的影響為最小；

¹⁾ 全能經緯儀 АЗ 2"/10' 約有 700 個零件，而光學經緯儀 OT-02 則有 800 件，其中 70 件是光學的。

в) 測量結果的精度的穩定性,並且在野外和運輸條件之下,經過長期應用後仍能維持它們的效能;

г) 便於操縱,體積和重量小,校正設備簡便而可靠。

§3. 測量儀器構造的發展簡述

最原始的測量儀器在人類社會形成的上古時代已經出現。很多經濟問題的解決:土地區域的丈量、溝渠的開掘、以及其他等等,在以後的時期中,還有天文的觀測——所有這一切都是推動測量儀器製造的因素,開始之時十分簡陋,後來越來越複雜。

中國在紀元前的第九至第十世紀,已經採用了量鏈來測量長度,而在測量汎濫區域的界線時,更採用了具有活動規標的標尺來進行水準測量。

埃及在紀元前的第六世紀開築連接紅海和地中海的運河,採用了大約六米長、內部灌滿了水的槽形水準器;在槽的兩端懸掛垂線以決定點子的高度。

古巴比倫已經知道量角的方法,那時已經開始將圓周分為 360° 。

天文學的發展使量角方法和所用儀器得到改良。星位儀 (астролябия)¹⁾ 的發明和希臘偉大的天文學家吉巴爾赫 (Гиппарх) 的名字是分不開的。從科學家和發明家赫爾隆 (Герон) 在討論量角和水準儀器 (後一種儀器的主要部分是灌了水的彎曲管子) 的論文“關於照準器”中,我們可以知道,在紀元前一世紀多時,亞歷山大地方的儀器製造技術已經達到很高的水平。

在恩格斯所譬喻成“中世紀黑夜”的時代,古代的技术成就都已從基礎上被摧毀,但是就在這個時期中,儀器製造仍舊在古代的薩馬康特,霍雷茲默和阿剌伯的哈蘭教主城等地繼續發展。

在這個時代內有霍雷茲默的科學家比魯尼 (Бируни, 973—1048) 關於刻度機上的原尺的製造——按照複寫原理進行工作的設備。

在改進星位儀以及其他儀器製造過程的同時,出現了關於這種問題最早的論文:在815年出現的馬沙爾 (Машалл) “關於星位儀的設計和用法”;法爾干 (Фаргани) “關於星位儀的製造”以及其他。以上所說的作者製造了不同大小的青銅星位儀,其中最小度盤的半徑為75毫米。

在中世紀以後,技術的普遍發展,一系列的發明和技術的改良,以及天文觀測技術的成就,也使測量儀器製造事業得到劃時代的發展。恩格斯形容這個時代為:“在中世紀的漫長黑夜之後,科學以夢想不到的力量一下子重新興起,並且以神奇的速度發展起

¹⁾ 星位儀是古代測定星的位置的儀器——譯者。

來，那末我們也得把這個奇蹟歸功於生產。第一，從十字軍東征以後，工業巨大地發展起來，並產生了很多力學上的（紡織、鐘錶製造、磨坊）、化學上的（染色、冶金、釀酒）以及物理學上的（透鏡製造）新事實，這些事實不但提供了大量的可供觀察的材料，而且自身也給與了和已往完全不同的實驗工具，並使新的儀器的製造成為可能”（恩格斯，自然辯證法，曹葆華等譯，人民出版社出版，1955年，149頁。）

在十五世紀的後半紀，由於航海和地理開發的需要，使研究地球形狀的科學得到發展。在同一時期，軍事和經濟問題使測量製圖工作也得到發展，因此，對於測量儀器又有了新而更高的要求。在量角儀器的發展上，我們可以看到由度盤平面和量角平面相合為一的星位儀發展到具有兩個度盤和一個瞄準設備以及將水平度盤的軸安成垂直的經緯儀，值得一提的是尼科洛·塔爾塔里雅（Николо Тарталья, 1501—1559）¹⁾所記載的一種過渡性的構造“全測儀”（пантометр），這個儀器有兩個度盤和量水平與豎直角的兩對照準器。

在荷蘭所發明的望遠鏡——這個發明幾乎和意大利的伽利略（Галилея）的發明（1609年）同時——是一個重要的事件，這個發明改變了測量儀器的構造；望遠鏡經過刻普勒（Кеплер, 1571—1640）的改良，後來又在它的上面加了十字絲網，對於測量儀器的製造更有重大的意義。

用來代替照準器的具有絲網的望遠鏡先用水準儀上，後來又用在經緯儀上，而在1660年發明了管形水準器，和原有的結構相配合，構成了近代測量儀器的基本形式。

在1609年發明了顯微鏡，而在這世紀的前半紀，發明了在窺管視野中量小間隔的目鏡測微器；在十七世紀的後半紀，丹麥的天文學家奧拉夫-魯默爾（Олаф Рёмер, 1644—1710）將測微器和顯微鏡連在一起用來讀度盤。這樣就將具有照準器的星位儀和象限儀轉變為和近代儀器十分接近的、具有望遠鏡的測量儀器。

略微介紹一下關於天文儀器製造的發展也是有意義的。圖3所示為但澤天文家蓋維利亞（Гевелия）的儀器；自圖中，特別可以看出當時對於儀

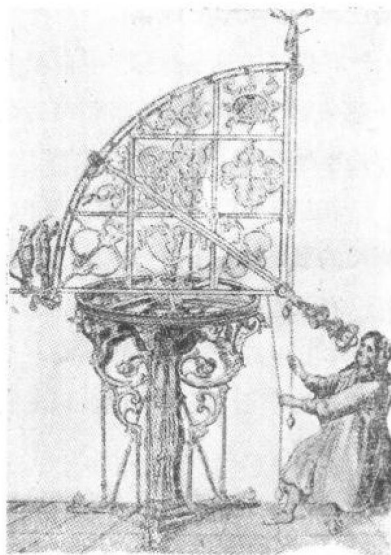


圖3. 十七世紀蓋維利亞的象限儀

¹⁾ F. Schmidt, Geschichte der geodätischen Instrumente und Verfahren im Altertum und Mittelalter, 1935 (古代和中古測量儀器及測量方法史)。

器的外表和裝飾是很注意的，儀器用美術的形象作點綴，並且常常在儀器上面鍍金。

十五和十六世紀的傑出天文學家，例如，烏魯格貝克 (Улугбек, 1394—1449)，齊霍-傑-白拉格 (Тихо де Браге, 1546—1601)，用照準儀來觀測，達到很準確的結果。分析他們所採用的儀器的構造，證明在那個時代所以能夠在量角上達到很高的精度，主要是由於採用大尺寸的度盤（度盤上的刻劃是用兩腳規逐步在它上面分刻，而增加度盤的直徑可以減小刻劃誤差以及讀角誤差）。

例如，十五世紀的偉大天文學家烏魯格貝克在薩馬干特天文台製造了直徑大約等於 8—10 米的地平圈；這個天文台內的豎角儀的半徑大約為 40 米。

在開始時，望遠鏡的應用並沒有將儀器的體積縮小，這是因為消色差的物鏡很晚 (1757 年) 才出現。大家知道，在 1783 年英國製造了度盤直徑為 90 厘米，重 91 千克的經緯儀，用特製的“四輪彈簧馬車”來運輸。俄國的測量者 А. Д. 克拉西爾聶科夫 (А. Д. Красильников) “用具有沒有消色差的望遠鏡，半徑為四吋的象限儀”來完成他的探險工作。因此，在那個時代有限的技術成就（刻度的精度不高、望遠鏡的光學和讀數設備上的不完備），在整個儀器製造事業上留下了一個痕跡。

對於測量方法的研究，藉以減小上文所提到的一些缺點的影响，使人們發現了複測方法。波達 (Борд, 1733—1799) 所創造的複測度盤以及彼得堡參謀本部的機械企業所製造的 (圖 4)、供給俄國天文及大地測量學家 В. Я. 斯特魯維 (1793—1864) 用的 4" 游標

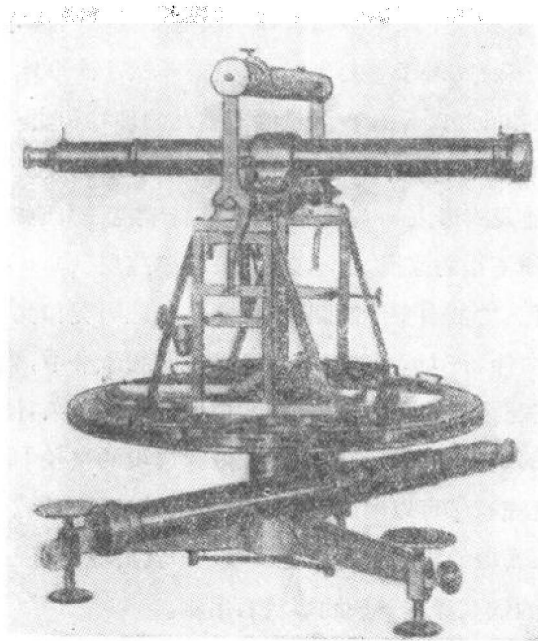


圖 4. 十九世紀初期在參謀本部機械企業局所製造的經緯儀