

实用天文学

K.A.茨维特考夫著

测绘出版社

实 用 天 文 学

苏联 K. A. 茨维特考夫 著

盧 光 巨
朱 裕 棟 合 譯
張 先 覺

苏联高等教育部審定作為測繪学院及測量系教科書

測 繪 出 版 社

1956·北 京

К. А. Цветков
ПРАКТИЧЕСКАЯ АСТРОНОМИЯ
ГЕОДЕЗИЗДАТ
МОСКВА, 1951

本書係根據苏联測繪書籍出版社 1951 年於莫斯科出版的“实用天文学”譯出，著者 К. А. 茨維特考夫教授是苏联的功勳技術科学家，是苏联大地測量工作中天文測量細則的主編人，因而這本書是与苏联現行的各項天文測量工作的規定密切結合的，成爲这些規定的理論根據，並經苏联高等教育部審定作爲測繪学院和測量系的教科書。

本書由盧光巨、朱裕棟和張先覺同志翻譯，胡明城和何紹基同志校訂。

書号0002 实用天文学 700千字

著者 苏联 К. А. 茨維特考夫
譯者 盧光巨、朱裕棟、張先覺
出版者 測繪出版社
北京宣武門外永光寺西街3号
北京市書刊出版業營業許可証出字第零捌壹号

發行者 新華書店
印刷者 地質印刷廠
北京廣安門內教子胡同甲32号

印數(京)1—2050册 一九五六年一月北京第一版
定價(8)4.09元 一九五六年一月第一次印刷
開本31"×43" 1/16 印張29 1/4 插頁2

序

在「實用天文學」第一版問世後十六年的過程中，在蘇聯天文工作的規定方面已經發生了本質上的變化。祖國所製造的高精度天文儀器出現了，在工作中發明並且採用了新的天文測量方法。

A. B. 馬札耶夫製定了於等高上觀測恆星同時測定經緯度的方法，此法使用萬能經緯儀，並為此配置了進行觀測和計算所需要的全部輔助設備。接觸測微器以前僅僅在子午儀上使用，現在由於 И. H. 道爾高夫的倡導，在萬能儀器上亦被採用了。A. H. 庫茲聶卓夫製定了利用在目鏡上帶有瞬間開閉器的萬能經緯儀觀測金格爾星對的方法。

蘇聯時辰站的工作亦達到了很高的精度。按蘇聯各時辰站的資料所得到的綜合時刻，能够完全保證天文大地工作的需要。同時，有些以前早就熟悉但未經採用的方法，現在在實際工作中畢竟亦採用了（如格傑奧諾夫用萬能經緯儀測定錶差的方法等）。

上述各項，在此重新編定的實用天文學中均已述及。此外，書中亦有幾章談到航海天文和天文工作之規定，其中並單獨分出一節專講祖國實用天文發展的概貌。

除上述增添的資料外，亦同時作了必要的刪減。在舊版中載有、而經過此次刪除的有下列幾項：搬運時錶時其相對權數的決定；泰爾各特法中利用垂直度盤讀數之聯合觀測測回；按太陽之適當高度測定錶差；用子午儀測定緯度及其他較零碎的問題等都刪除了。

實用天文學在莫斯科測繪工程學院從三年級春季開始講授。在這以前，學員能够讀完普通測量學和構造最簡單的儀器，誤差理論和最小二乘法，以及球面天文學。球面天文學中包括時的討論，錶差的概念，天文年曆等類似問題。最後讀大地測量學，並同時詳細地研討大型的大地測量儀器的構造和理論及儀器的檢驗和校正（後一材料與實用天文學平行地講授）。所以讀者在本書中不會找到我應用了那些大家已經知道的資料。但在儀器那一章中，我敘述了天文員在外業工作中所遇到的問題，如儀器檢查、測微器行差之測定和按康斯托克法測定水準器分劃值等。

閱讀此書時，宜於參照天文測量細則，在細則中讀者能找到我在此書中引用的例子。

重編此書時，下列諸位曾給我極大的幫助：如 M. K. 萬特茲里教授，A. H. 庫茲聶卓夫，Л. B. 米先斯基和 M. H. 謝維洛夫講師，B. B. 哈爾洪諾夫助教，H. A. 畢拉耶夫技術科學碩士和 A. И. 高魯巴耶夫研究員。特對上列各位致深忱的感謝。

在本書課文中採用的有下列簡略符號：AE —— 天文年曆；莫斯科測繪書籍出版社1948年細則——一、二、三、四等天文測量細則；TAB —— 載於「中央測繪科學研究所著作集」第30期上的天文計算用表。

技術科學博士

K. A. 茨維特考夫教授。

目 錄

序

第一章 天文測量和儀器

§ 1. 实用天文学的任务	5
§ 2. 測定時刻、緯度和方位角的一般原理	7
§ 3. 天文儀器	11
§ 4. 儀器之檢查	21
§ 5. 檢驗儀器 測定測微器行差 用康斯托克法測定水準器分割值	23
§ 6. 目鏡測微器周值之測定 測定邊垂直絲至中絲之距離	29
§ 7. 天頂距測量	35
§ 8. 垂直度盤之誤差	40
§ 9. 觀測前之準備	42

第二章 天文錶的構造和理論 記時器 接觸測微器

§10. 天文錶的構造	45
§11. 接觸天文錶 記時器	50
§12. 使用天文錶時應注意之事項	52
§13. 觀測天體通過望遠鏡蛛絲 記時器筆頭差	52
§14. 接觸測微器，其構造和檢驗	55
§15. 錶差 絕對錶速 錶差化算至另一時刻	59
§16. 天文錶質量之鑑定 外插及內插錶差之精度	60
§17. 天文錶之比較	64
§18. 天文錶比較結果之推移	67
§19. 相對錶速和絕對錶速之計算	68
§20. 用比較的結果計算錶差	71
§21. 天文錶之錶速的系統變化	73

第三章 無線電發授時号

§22. 苏联的時辰工作	79
§23. 時辰站的主要設備	81
§24. 發授時号和科学式時号的程序	84
§25. 科学式時号之收錄	85
§26. 科学式時号的真正時刻之決定	90
§27. 關於科学式時号綜合時刻之推算	94
§28. 電磁波傳播速度改正和錶速改正	98

第四章 依觀測天頂距測定錶差

§29. 依觀測天體之天頂距以測定一地點之時刻	100
§30. 恆星天頂距之觀測和計算的程序	104
§31. 按已觀測之恆星天頂距測定錶差	106
§32. 觀測東星和西星	110

§33.	按已觀測之太陽天頂距測定錶差	111
§34.	恆星時錶和平時錶的錶差之計算	117

第五章 觀測天體之天頂距以定地理緯度

§35.	關於觀測恆星以定地點之緯度	121
§36.	子午圈外之天頂距歸算至子午圈上	124
§37.	關於計算歸算值所用之緯度近似值 φ	129
§38.	緯度之計算	130
§39.	不藉歸算值按北極星測定緯度	134
§40.	觀測北極星定緯度用表	137
§41.	觀測南星和北星	139
§42.	在一度盤位置觀測南星和北星	139
§43.	用目鏡測微器觀測	143
§44.	按太陽天頂距之絕對觀測以定緯度	146
§45.	由幾個觀測計算緯度	152

第六章 泰爾各特測定緯度法

§46.	泰爾各特法原理 主要的緯度計算公式	156
§47.	水準器差和折光差之改正	158
§48.	星徑曲率改正	161
§49.	泰爾各特星對之選取	164
§50.	觀測之實施及緯度計算	166
§51.	1950年泰爾各特法之1967個星的星表	167
§52.	一點上所觀測之各緯度由於採用的測微器周值不正確之平差	175

第七章 双星等高測時 金格爾法

§53.	金格爾法的理論根據	181
§54.	星對作業星曆表之編製	184
§55.	金格爾星對之觀測	188
§56.	錶差計算公式	189
§57.	$2H \cdot K$ 庫里柯夫之錶差計算公式	190
§58.	高度變化改正或水準器改正	193
§59.	周日光行差改正和計算錶差之最後公式	196
§60.	處理金格爾法的觀測值之星曆表	197
§61.	錶差之計算和每晚觀測結果之處理	201
§62.	用接觸測微器按金格爾法測定錶差	206
§63.	採用帶有瞬間開閉器的目鏡按金格爾法測時	211

第八章 双星等高測定緯度 別夫卓夫法

§64.	別夫卓夫法之理論根據	220
§65.	作業星曆表之編算，星對觀測之程序	221
§66.	按每一蛛絲上之觀測計算地點緯度的公式	224
§67.	奧爾洛夫及沙波什尼可夫用平均觀測時刻之緯度計算公式	225
§68.	水準改正	228

第九章 子午儀測時

§69.	輕便子午儀之構造	230
§70.	整置於子午綫上的儀器之邊絲觀測化為中絲觀測	236
§71.	子午儀之誤差	238
§72.	子午儀之檢驗	239
§73.	水平軸傾斜之測定	241
§74.	从中絲歸化至子午綫上	243
§75.	子午儀的基本方程式，天文錶錶差的測定法	244
§76.	藉環極星測定天文錶的錶差	245
§77.	格傑奧諾夫法，成對地觀測南北星決定錶差	247
§78.	用万能儀按格傑奧諾夫法測定錶差	248
§79.	觀測前的準備	251
§80.	附有接觸測微器的子午儀，星的觀測，子午儀方程式	254
§81.	錶差之觀測及計算的規則	256

第十章 方位角之測定

§82.	關於子午綫方向、時和緯度之測定	260
§83.	測定方位角、時和緯度之最有利的條件	261
§84.	關於目標和天體之觀測	264
§85.	水平度盤讀數由於儀器誤差之改正	265
§86.	望遠鏡目鏡測微器的改正數	269
§87.	天體方位角之計算公式	270
§88.	天體方位角由於周日光行差之影响的改正數	272
§89.	直接測定目標與北極星之夾角以確定地面目標之方位角	272
§90.	以北極星之平均觀測時刻計算方位角	285
§91.	測定地面目標方位角之測微器法	287
§92.	按太陽測定地面目標之方位角	289
§93.	$\phi \cdot H$ 克拉索夫斯基教授觀測北極星與輔助星間之水平角以測定地面目標方位角之方法	293
§94.	克拉索夫斯基法測定地面目標方位角之用表	297
§95.	按北極星近似測定地面目標之方位角	301
§96.	觀測太陽之天頂距同時近似測定地面目標之方位角及錶差	304
§97.	按恆星的方位角測定錶差	310
§98.	按恆星方位角測定地點之緯度	316
§99.	巴甫洛夫測定錶差法	319

第十一章 經差之測定

§100.	經差測定法之一般原理	325
§101.	測定經差的各種方法	326
§102.	一、二等點上的觀測綱要及觀測結果的計算	328
§103.	經度之短期章動項改正	338
§104.	一、二等經度的最後值之推求及精度估計	343
§105.	三、四等點之觀測綱要及觀測結果之計算	345
§106.	三、四等經度最後值之推求及精度估計	352
§107.	觀測員之人差及其計算法	355
§108.	基本點的經度之測定	360
§109.	用時錶搬運法測定經度，概論及作業綱要	362

§110. 各種測程之經度計算公式，精度的推求	364
-------------------------	-----

第十二章 按等高法測定天文點的經度和緯度（阿·維·馬扎耶夫法）

§111. 觀測方法	367
§112. 用解析法處理觀測結果以計算經緯度	368
§113. 常數項 l 之計算	371
§114. 常數項之改正	372
§115. 處理觀測結果之圖解計算法	375
§116. 按阿·維·馬扎耶夫法觀測之星曆表	376
§117. 稜鏡等高儀	382

第十三章 航海天文学

§118. 航海天文学的目的、任務和特點	383
§119. 六分儀	383
§120. 指標差之測定	387
§121. 六分儀觀測法	388
§122. 天體的觀測高度之改正	389
§123. 桑聶爾法	392
§124. 根據不同方位上的各星之絕對高度同時測定經度和緯度	397
§125. 用觀測地點之量得的坐標計算天頂距和方位角以及處理觀測結果的解析法	398
§126. 處理觀測結果之圖解法	401
§127. 飛行中天文定向之要素	405

第十四章 天文觀測成果歸算至標石中心、海水面和平北極

§128. 緯度和經度歸算至標石中心，方位角之歸算	408
§129. 緯度和方位角之化歸海水面改正	412
§130. 緯度、經度和方位角歸算至平北極	418

第十五章 處理勘察中所完成的觀測結果之特點

§131. 推求緯度和經差之近似值的步驟	430
§132. 觀測結果之計算	432

第十六章

§133. 蘇聯實用天文学發展簡史	435
-------------------	-----

附錄 輔助數學問題

§134. 球面三角學公式	446
§135. 級數展開式	448
§136. 微角的三角函數的自然值和对數之計算	449
§137. 和及差之对數計算表	454
§138. 就不同精度的計算選擇对數表和三角函數自然值表，計算格式	459
§139. 內插法	463

第一章

天文測量和儀器

§ 1. 實用天文學的任務

實用天文學是天文學中的一部分。天文學的任務，包括天體精確位置的測定，地面上各點的地理坐標和方向的方位角的測定，同樣也包括測時（時辰工作）。

測定地面上各點的地理坐標和方向的方位角，是實用天文學的任務。

實用天文學的內容，就是研討測定地理坐標和方位角的方法，這些工作中所使用的儀器，以及天文觀測計算的問題。

地面上一點的位置，是用它的地理緯度、該點與另一採取作為首子午綫之點的經度差和該點對於採用作為高程起算原點的水準面之高程來決定的。從天文觀測中可以決定緯度和經度差的值，因地面上兩點的經度差，就是這兩點在同一自然瞬間的同類時刻之差，所以測定這一元素的問題，顯然是在於在兩點上同時測定時刻和計算時刻之差。我們以後將要見到，現代實用天文學上的方法，能使天文員不必在兩個點上進行天文觀測。除緯度和經度差以外，還可以由天文觀測中求得該地子午綫的方向，亦即是測定天體的方位角。由天體的方位角我們就易於求得地面目標的方位角。由此，藉天文觀測能夠決定：該地緯度、時刻、經度差和地面目標的方位角。點的高程由大地測量方法決定。

在上述的任務範圍內，實用天文學與大地測量有最密切的聯系，所以有時甚至叫它為大地測量天文學。

在全國性三角網的各點上所進行的天文測量，對正確處理大地測量結果有重大意義。當確定全國性三角系之起算點的大地坐標時，即確定起算大地緯度、經度和方位角時，須進行天文觀測。這些大地坐標決定參考橢圓體在地球體內的定向。這樣，起算點上的天文觀測就確定了全國性的三角系的地理位置。

三角點上天文方位角的測定，即所謂拉伯拉斯方位角，對三角系和導綫中的角度測量給予了檢查的可能性。當處理三角系中的觀測結果時，顧及拉伯拉斯方位角，可以保證三角系保持起算點上所取得的定向。

天文測量的成果，是天文和天文重力水準測量的不可缺少的組成部分，其目的是為了研究大地水準面的形狀，不知道這種形狀，欲正確處理三角系是不可能的。另一方面，天文和天文重力水準測量現在是研究地球這一行星的形狀和大小的基本方法，這對於自然科學某些部門（地質學、地球物理學、天體力學等）有最重要的意義。

最後，在居民稀少的地區進行1:100000或更小比例尺的測圖時，其所利用的控制點之坐標，可以由天文觀測求得之。

根據蘇聯各機關和單位必須遵行的「一、二、三、四等天文測量細則」（莫斯科測繪

書籍出版社，1948年出版），按照天文測量的目的，現在採用了如下的天文等級。

「(一) 一等天文測量 在一等鎖系交叉處的基綫網上和中間基綫網上，以及在一等三角鎖每隔約 70—110 公里的中間點上進行；在一等導綫的交叉處和中間點上，亦進行一等天文測量。

註：在三角鎖和導綫的中間點上不測定方位角。

(二) 二等天文測量 在二等三角基本鎖和補充網的基綫網上進行，視需要亦在二等基本鎖的中間點上進行；在二等導綫的交叉處和中間點上進行。

(三) 三、四等天文測量 在難以到達及未經探測的地區的單獨點上進行。

三等天文測量亦在三等三角鎖和連續網的基綫網上進行。

天文測定的精度，以下列中誤差鑑定之：

(一) 在一等基綫網上和一等導綫的交叉處：

主點上之緯度為 $\pm 0'', 20$ ，檢查點上之緯度為 $\pm 0'', 40$ ，

兩點上之經度為 $\pm 0'', 03$ ，

兩點上之方位角為 $\pm 0'', 50$ 。

(二) 在一等三角鎖和導綫的中間點上：

緯度 $\pm 0'', 40$ ，

經度 $\pm 0'', 03$ 。

(三) 在二等點上：

緯度 $\pm 0'', 40$ ，

經度 $\pm 0'', 05$ ，

方位角 $\pm 1'', 00$ 。

(四) 在三等點上：

緯度 $\pm 0'', 6 - \pm 1'', 0$ ，

經度 $\pm 0'', 06 - \pm 0'', 10$ ，

方位角 $\pm 5'' - \pm 30''$ 。

(五) 在四等點上：

緯度 $\pm 1'', 0 - \pm 7'', 0$ ，

經度 $\pm 0'', 10 - \pm 0'', 50$ ，

方位角 $\pm 60''$ 。

三、四等天文點的測定精度，在本細則上述之範圍以內，在每一個別情況下，根據作業之目的，以技術計劃為基礎加以規定，並於給予外業觀測執行者的命令中指明之。

測量一、二等天文點的目的為：

(一) 對於一、二等三角和導綫角度測量之平差和檢查提供資料；

(二) 對於全國性三角系大地起算數據之確定提供資料，以及對於有關地球大小和形狀之科學探討提供資料。

測量三等天文點的目的，在於供給未勘測的地區所進行之地面和空中測圖的製圖工作之控制基礎，以期得到最近似的地圖，以及供給在這些地區進行的 1:100000 及更小比例尺地形測圖的控制基礎。

除上述者外，測量三等天文點的目的，還在於供給未與全國性三角系相連接的三等三

角鎖和連續網的起算坐標和方位角。

測量四等天文點的目的，在用於地理調查和其他特殊工作。]

現在進行大地測量工作以新的規定*為指南，在執行天文測量工作時，按照新的規定，在拉伯拉斯點上的天文測定誤差不應超過：

緯度 $\pm 0'',3$,

經度 $\pm 0'',03$,

方位角 $\pm 0'',5$ 。

拉伯拉斯點僅在一等三角鎖或網的起算邊的兩端點上測定。在一等三角鎖每個鎖部之中央的一個點上，以上述的精度測定天文緯度和經度。

沿某些一等三角鎖，規定進行天文重力水準測量，沿這些鎖之每隔 40—50 公里的點上，亦必須以上述的精度測定天文緯度和經度。

§ 2. 測定時刻、緯度和方位角的一般原理

我們來探討測定緯度、時刻和地面目標之方位角的一般條件。這些元素能夠從解算定位三角形 $PZ\sigma$ (圖 1) 中得到，其中 $PZ=90^\circ-\varphi$, $P\sigma=90^\circ-\delta$, $Z\sigma=z$, 角 $ZP\sigma=t$, 角 $PZ\sigma=180^\circ-A$ 。

假設需要測定地點之緯度，顯然，問題在於計算定位三角形中之 PZ 邊。如任意三個元素為已知，此球面三角形就可以解出；觀測天體 σ ，我們能夠從天文年曆中找到它的視赤緯，如此，三角形中的 $P\sigma$ 邊可認為已知；剩下還須從觀測中找出兩個元素。比如說，如果測定天頂距 z 以及時角 t ，則緯度可由下式中求得：

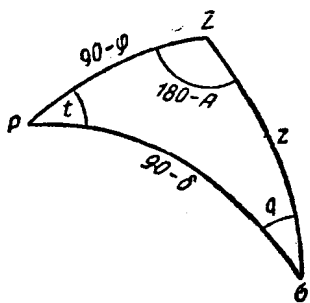


圖 1

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

式中僅含有一個未知數 φ 。同樣，如測出天體之方位角 A 和時角 t ，則 φ 可由下式：

$$\operatorname{tg} \delta \cos \varphi = -\operatorname{ctg} A \sin t + \sin \varphi \cos t \quad (b)$$

求得。天體之天頂距和方位角，藉便於攜帶的天文儀器測得，時角 t 的測定，須利用按平時或恆星時運行的天文錶。設我們有一恆星時錶，並已知其錶差 u ；如果在觀測恆星的天頂距和方位角時讀得之錶面時為 T ，則此時之恆星時等於 $T+u$ 。但大家都知道，恆星時等於 $\alpha+t$ ， α 為視赤經，由天文年曆中取得。則

$$T+u=\alpha+t,$$

由此

$$t=T+u-\alpha。$$

* 參看「蘇聯全國性大地網條例」(草案)(莫斯科測繪書籍出版社, 1948年版)。

這樣，爲了計算時角 t ，須由觀測中獲得於觀測天體之天頂距或方位角的錶面時 T ，此外，尚須知道錶差 u 。由此得出結論：爲了測定地理緯度，必須已知錶差。

其次，如果須由觀測中測定恆星時。大家知道，測時的問題，就是測定錶差的問題。在此種情況下，顯然，應就時角 t 解算定位三角形，並按時角 t 由下式求錶差：

$$u = \alpha + t - T.$$

由天文觀測中我們可求得天體之天頂距或方位角， $P\sigma$ 邊爲已知，爲了解算定位三角形，還須知道地點之緯度；於是 t 之值可由 (a) 式或 (6) 式求出。由此可得結論：爲了測定錶差（恆星時），必須已知地點之緯度。

第一種方法爲天頂距法，即由觀測中得出天頂距，稱爲由觀測天體之天頂距以測定時刻或緯度的方法；第二種方法爲方位角法，稱爲按天體之方位角測定時刻或緯度的方法。

測定緯度和錶差的天頂距法，應用得很廣泛，其中要觀測天頂距相同的兩個星（星對），在此情況下，可寫出：

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta_1 + \cos \varphi \cos \delta_1 \cos (T_1 + u - \alpha_1) \text{ 第一個星,}$$

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta_2 + \cos \varphi \cos \delta_2 \cos (T_2 + u - \alpha_2) \text{ 第二個星.}$$

由此可得

$$\begin{aligned} & \sin \varphi \sin \delta_1 + \cos \varphi \cos \delta_1 \cos (T_1 + u - \alpha_1) \\ &= \sin \varphi \sin \delta_2 + \cos \varphi \cos \delta_2 \cos (T_2 + u - \alpha_2) \end{aligned} \quad (B)$$

在本質上，此法無須觀測天頂距，全部的觀測，在於求出兩星通過一定的水平蛛絲時，亦即當二星通過某一共同的等高圈時之錶面時 T_1 和 T_2 。

由方程式 (B)，在 φ 爲已知的條件下，可決定未知數 u ；反之，於已知錶差時，可以求出 φ 。此法稱爲由兩星之相同高度測定時刻或緯度的方法，當測定錶差時名爲金格爾法。測定緯度時名爲別夫卓夫法，這是引用製定此法和應用此法的著名的俄國天文大地學家的名字。除去所提的測定緯度和錶差的方法外，還可指出許多現代所採用的方法：如用子午儀或萬能經緯儀在子午面或卯西面中測定時刻和緯度，測量兩個或一個星的天頂距的微小差以測定緯度的方法（泰爾各特法），由南星之方位角測定錶差的方法（斯特魯維法），等高法（馬扎耶夫法）等。這些方法在後面都將詳細地述及，另外我們還將順便指出，由於蘇聯學者們的辛勞，許多測定時刻的古典方法都獲得了進一步的發展。

測定緯度要求知道錶差，以及測定錶差要求知道緯度，這種情況沒有造成任何困難；我們可以採用錶差的近似值，用以計算緯度的第一值，用此緯度值計算觀測結果以決定錶差，求得較精確的錶差值，再用它重新計算緯度，即得較精確之緯度值，這樣進行，即採用逐漸趨近的方法，可得錶差和緯度的最後值。通常，天文員不得不採用這樣麻煩的方法來計算自己的觀測結果；藉助於微分公式計算就較迅速。

地面目標的方位角之測定，一般在於測定天體的方位角，以及觀測天體和地面目標間的水平角。

爲了求出地面目標 B 的方位角（圖2），必須測定天體 σ 之天文方位角 A ，以及觀測地面目標 B 與天體 σ 間之水平角 $Q = B M \sigma$ 。我們可由下列公式求得地面目標 B 之方位角 a_s ：

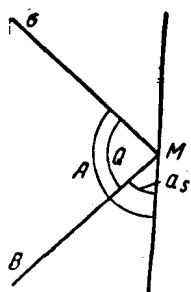


圖 2

$$\alpha_s = A - Q,$$

天體 σ 之方位角 A 從解算定位三角形 $PZ\sigma$ (圖1) 中求得。在三角形中, $P\sigma$ 和 PZ 邊認為是已知的, 同樣錶差 u 也知道, 亦即認為緯度和錶差已經測出, 而赤緯 δ 由天文年曆查取, 由觀測中需要求的將為第三個元素。觀測時記錄錶面時 T , 按下式

$$t = T + u - \alpha$$

算出時角 t 後, 天體之方位角 A 可由下式求得:

$$\operatorname{tg} A = - \frac{\cos \delta \sin t}{\cos \varphi \sin \delta - \sin \varphi \cos \delta \cos t}.$$

如果觀測時測出天體之天頂距 z , 則求 A 之公式為:

$$\cos A = \operatorname{tg} \varphi \operatorname{ctg} z - \sin \delta \sec \varphi \operatorname{cosec} z.$$

因此, 第一種方法稱為由天體之時角測定方位角, 第二種方法稱為由已測得之天體的天頂距測定方位角。

探尋子午綫方向, 一般在於測定地面目標的方位角。

如果 PMM_S (圖3) 當真是地點 M 的子午綫, α_s 是由觀測中測定的地面目標 B 之天文方位角, 則常常可以經 M 點定出子午綫 $M_S P$ 之方向; 為此, 須將儀器置於 M 點, 使望遠鏡向 B 照準, 得出與此方向相應之讀數 R , 然後再將照準部置於新讀數 $M_s = R - \alpha_s$, 此時無照準差的儀器面將與子午面相重合。

測定地面目標方位角的方法在第十章中討論, 同時該章對計算方位角之公式亦有所推證, 其中方位角之方向與大地測量學中採取者相同, 即由北方起經東、南以至西。

此方位角與天文方位角相差 180° 。

由圖 3a 可看出由南方和北方起算的地面目標之方位角 α_s 和 α_N 的計算方法:

$$M_S = R' - A_S; \quad \alpha_s = R - M_S;$$

$$M_N = R' - A_N; \quad \alpha_N = R - M_N.$$

知道了地面目標 B 的方位角, 我們也可以將儀器定向, 即整置儀器的水平度盤, 以使當望遠鏡位於子午面上時, 兩顯微鏡之讀數為 0° 和 180° 。

由上可見, 欲測定任一元素, 存在有數種方法, 這些方法的採用, 須視觀測員的儀器和進行工作時的其他條件而定。但不論使用何種方法和儀器, 必須注意在該情況下所採用的儀器和觀測方法所特有的誤差——系統誤差和偶然誤差。為了得到最完善的結果, 必須特別注意系統誤差, 並消除其對觀測結果和最後推算結果的影響。如果系統誤差能於事先估計, 則於決定其影響後, 可以於觀測結果中加一相應的改正數; 如不可能這樣作, 則應儘量設法配置觀測本身, 俾使在最後推算結果中能消除此誤差之影響。至於偶然觀測誤差, 可用對同一元素的多次測量以削弱其影響; 由於此種誤差存在所引起的各個推算結果之不符值, 能够決定所獲得的最後結果的精度。

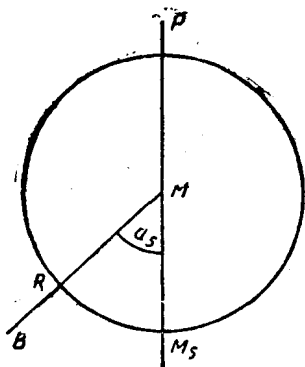


圖 3

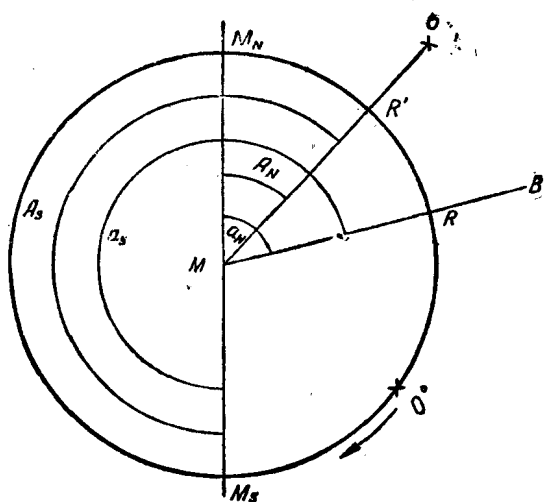


圖 3a

從測定緯度、時刻和子午綫方向的一般條件之研討中，可得出結論：爲了計算這三種元素，某些量須由觀測中得到，而另一些量則採取作爲已知的。設 $y, z, v, w \dots$ 爲由觀測中求得的量或已知量的精確值；今需要按這些量計算 x ，於是可得：

$$x = f(y, z, v, w, \dots)$$

一般地說，對括號內的各量，我們只能求得其近似值 $y_0, z_0, v_0, w_0 \dots$ ，與其真值相差未知誤差 $\Delta y, \Delta z, \Delta v, \Delta w \dots$ ，顯然，用這些值計算所求之元素時，可求得其值：

$$x_0 = f(y_0, z_0, v_0, w_0, \dots),$$

此值與真值相差之量爲：

$$\Delta x = x - x_0.$$

因此得：

$$x = x_0 + \Delta x = f(y_0 + \Delta y, z_0 + \Delta z, v_0 + \Delta v, w_0 + \Delta w, \dots).$$

因爲誤差 $\Delta y, \Delta z, \Delta v, \Delta w \dots$ 於周密進行天文工作的條件下常常很小，所以爲了求 Δx ，可將上式展開成級數，只限於含有誤差之一次冪的各項，於是得：

$$\Delta x = \Delta y \frac{\partial f}{\partial y} + \Delta z \frac{\partial f}{\partial z} + \Delta v \frac{\partial f}{\partial v} + \Delta w \frac{\partial f}{\partial w}.$$

此公式可用以研討任一測定緯度、時刻或地面目標方位角的方法之最有利的條件。顯然， Δx 的值爲最小時，是爲最有利的條件，即在此種條件下，誤差 $\Delta y, \Delta z, \Delta v, \Delta w \dots$ 之係數（ y, z, v, w 之偏導數）爲零或得出最小值。

由此，可得進行上述研討的一般次序在於：

(一) 組成表示所求量和已知量間之關係的公式，

(二) 求其全微分，

(三) 將後者進行分析。

由所得的公式同樣可看出，任一已知量之誤差對於結果的影響，可以作為該誤差與其相應的導函數之乘積而求得之，即

$$\Delta x_y = \Delta y \frac{\partial f}{\partial y}, \Delta x_z = \Delta z \frac{\partial f}{\partial z}, \Delta x_v = \Delta v \frac{\partial f}{\partial v}.$$

如果 $m_y, m_z, m_v, m_w \dots$ 為按以計算 x 之值的各量之中誤差，則 x 的中誤差可由下式求得：

$$m_x = \pm \sqrt{m_y^2 \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 + m_z^2 \left(\frac{\partial f}{\partial z} \right)^2 + m_v^2 \left(\frac{\partial f}{\partial v} \right)^2 + m_w^2 \left(\frac{\partial f}{\partial w} \right)^2 + \dots} \quad (1)$$

由此總括性的研討中得知，從事點的地理位置之測定的天文大地測量員，必須熟知測量工作中所使用的工具和儀器，通曉各種方法的理論根據，以便在此種裝備下和相應的當地條件下，由這些方法中能夠選擇最適用的方法，善於進行觀測，處理觀測資料，即計算觀測中所要推求的元素，將已計算的資料經過彙集整理後，得出最後結果，最後，並對此結果進行精度估計。

§ 3. 天 文 儀 器

如上節所述，緯度、經度和方位角是從觀測天體測定的。這種情況就需要觀測由 0° 到 90° 的天頂距（測方位角時觀測地面目標的方向）。並非任何用於觀測水平角或小垂直角

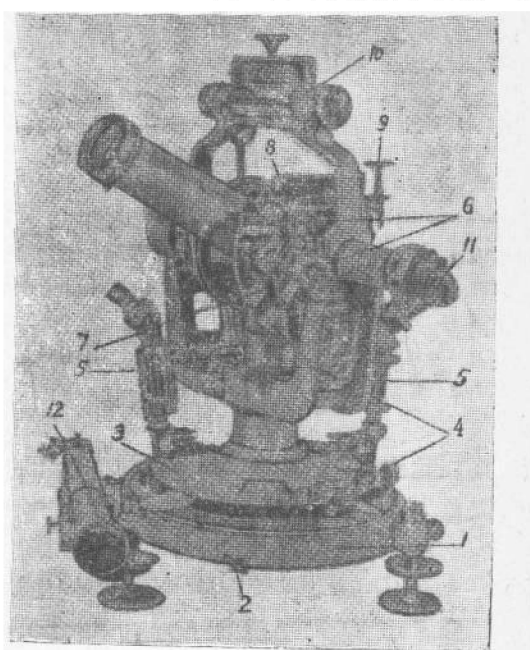


圖 4 「測量儀器」廠 2"/10" 天文萬能經緯儀

1. 帶有加強環的底座； 2. 度盤制動螺旋； 3. 水平度盤護罩； 4. 制動和微動螺旋； 5. 水平度盤顯微鏡； 6. 垂直度盤顯微鏡和水準器； 7. 垂直度盤； 8. 望遠鏡上之水準器，帶有反射鏡； 9. 望遠鏡上水準器之傾斜螺旋； 10. 有反射鏡之跨來水準器； 11. 能旋轉 90° 之目鏡測微器； 12. 偏扭觀察鏡

的大地測角儀器都可用於天文測量。比如，「測量儀器」製造廠出品的三角測量經緯儀 $TT^{2''}/6''$ ，就不能用於天文測量，因其所配有望遠鏡是直式中心長焦距的，且其支架較小，不能將望遠鏡照準天頂距較小之天體。

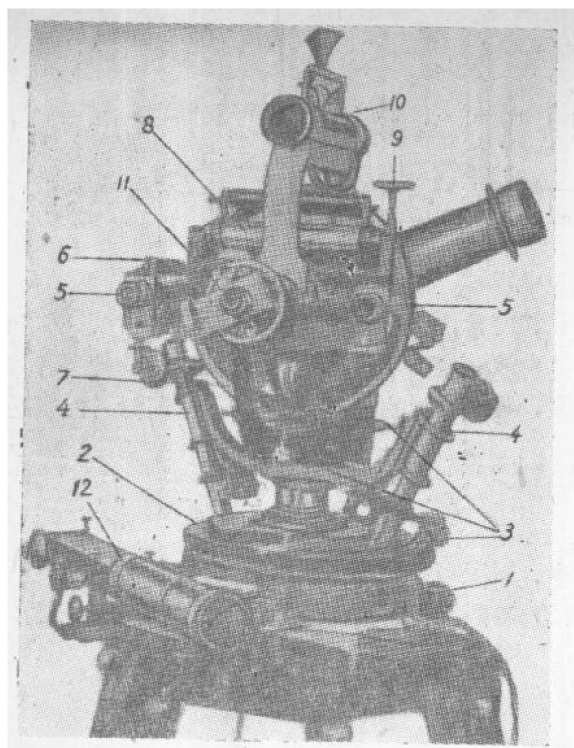


圖5 「測量儀器」廠五秒萬能經緯儀

- | | |
|----------------------------|--------------------|
| 1. 帶有加強環之底座； | 2. 水平度盤護罩； |
| 3. 制動和微動螺旋； | 4. 水平度盤顯微鏡； |
| 5. 垂直度盤顯微鏡； | 6. 垂直度盤顯微鏡之水準器台； |
| 7. 垂直度盤； | 8. 望遠鏡上之水準器，附有反射鏡； |
| 9. 望遠鏡上之水準器的傾斜螺旋； | 10. 有反射鏡之跨乘水準器； |
| 11. 能旋轉 90° 之目鏡測微器； | 12. 偏扭觀察鏡 |

由於被觀測的目標不同，致使得用於高精度測量的測角儀器在現代的製造上分為兩種不同類型：帶有直式望遠鏡的大地測量經緯儀，以及帶有折式中心望遠鏡的萬能經緯儀 $AY^{2''}/10''$ （圖4）和 $J5''$ （圖5）。天文測量的特點和方法的多樣性，如前節中已簡略提到的，使得除了萬能經緯儀外，還須製造許多旨在測定各種不同坐標的儀器，例如按星對的相應高度測定緯度和錶差（經度）的天頂儀（圖6），由觀測天頂距而測定緯度和經度的垂直圈儀（圖7），測定時刻和緯度的子午儀（圖8），萬能經緯儀幾乎能用所有流行的天文方法測定緯度、經度和方位角。

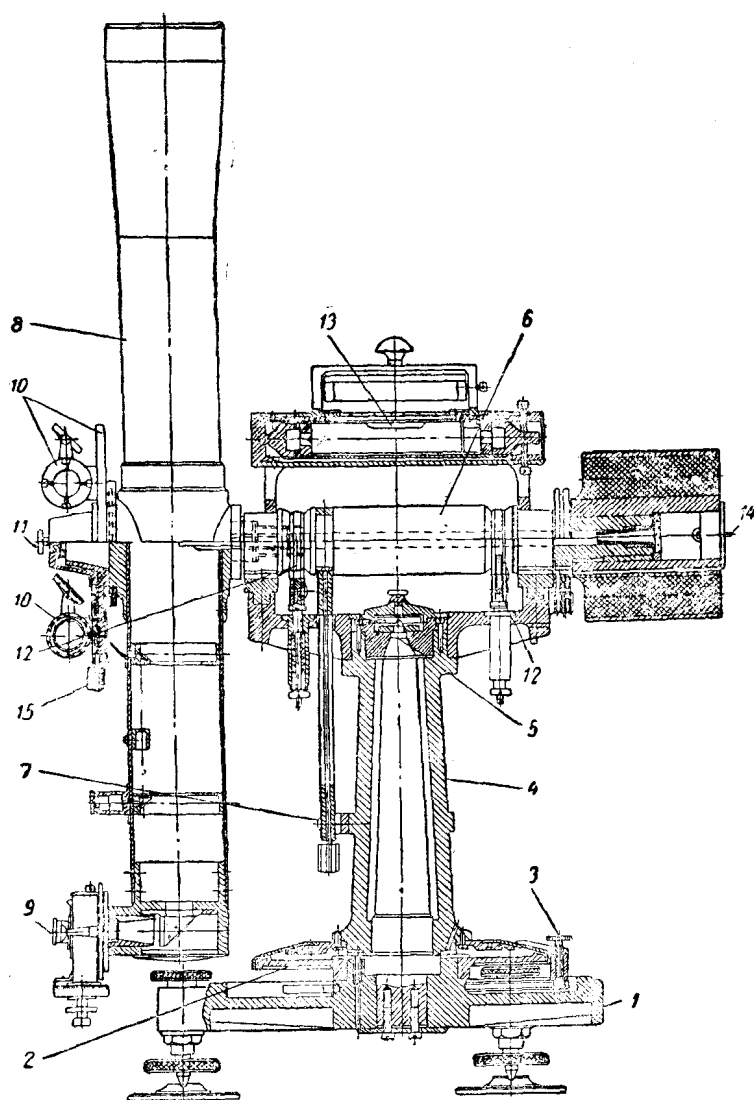


圖6 「測量儀器」 廠天頂儀

- | | |
|---------------------------|-------------------|
| 1. 帶有加強環的底座； | 2. 水平度盤； |
| 3. 照準部的制動和微動螺旋； | 4. 護套； |
| 5. 垂直軸； | 6. 連有望遠鏡的水平軸； |
| 7. 望遠鏡的制動和微動螺旋； | 8. 望遠鏡； |
| 9. 目鏡測微器； | 10. 尋星盤和望遠鏡上之水準器； |
| 11. 將望遠鏡上之水準器固定於望遠鏡軸上的螺旋； | 12. 裝有滑輪之軸承； |
| 13. 跨乘水準器； | 14. 平衡錘和視野電光照明器； |
| 15. 尋星盤照準部之制動和微動螺旋 | |

旨在精確觀測水平角和天頂距，並因此而能用於天文上測定時刻、緯度和方位角的儀器，一般稱為萬能經緯儀或萬能儀；在這種儀器上，兩個度盤——水平和垂直度盤——一般都有同樣的大小，並藉顯微鏡測微器可從兩度盤上取得精度相同的讀數。必須注意，我