

天文測量內業計算規範

K. A. 茨維特考夫編

測繪出版社

天文測量內業計算規範

K. A. 茨維特考夫 編

張 振 玖 譯

張 大 剛

謝 世 傑 校

測繪出版社

1957·北 京

К. А. Пасков
НАСТАВЛЕНИЕ
ПО КАМЕРАЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ
АСТРОНОМИЧЕСКИХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ
1939. ГЕОДЕЗИЗАТ

本書系根据苏联測繪总局1939年出版的“天文測量內業計算
規範”一書譯出，專供一、二、三、四等天文測量計算之用。
凡原書中與現行“一、二、三、四等天文測量細則”一書
之處，或過時部分，都進行了修改或補充。

天文測量內業計算規範

編者	К. А. 茨維特考夫
譯者	張振玖 張大剛
校者	謝世傑
出版者	測繪出版社

北京宣武門外永光寺西街3號
北京市書刊出版營業許可證出字第081號

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35號

印數(京)	1—1,260冊	1957年10月北京第1版
開本	33"×46"1/32	1957年10月第1次印刷
字數	220 000字	印張38/8 插頁4
定價(10)	1.50元	

目 錄

第 一 部 分

1. 一、二、三、四等点上按金格尔法測定表差的計算..... 11
2. 一、二、三、四等点上按太尔各特法用固定垂直絲測定緯度的計算..... 24
3. 一、二、三、四等点上按太尔各特任意时角法測定緯度的計算..... 41
4. 一、二、三、四等点上在一度盤位置觀測南、北星天頂距測定緯度的計算..... 49
5. 三、四等点上按垂直度盤兩個位置觀測北極星天頂距測定緯度的計算..... 79
6. 一、二等点上按別夫卓夫法測定緯度的計算..... 102
7. 三、四等点上按別夫卓夫法測定緯度的計算..... 110
8. 一、二等点上觀測北極星与地面目标間的水平角以測定地面目标方位角的計算..... 116
9. 三、四等点上按北極星測定地面目标方位角的計算..... 137
10. 一、二等点上按無線电法測定經度的計算..... 143
11. 一、二等天文点經度測定的精度推算..... 162
12. 三、四等点上按無線电法測定經度的計算..... 167
13. 一、二等点上緯度、經度和方位角归算至标石

中心及緯度和方位角化归海水面改正的計算·····	182
14. 緯度、經度和方位角归算至平北極·····	186
15. 三、四等点上緯度和經度归算至地面目标及輔助点的方位角的計算·····	188

第 二 部 分

16. 四等点上觀測太陽天頂距測定表差的計算·····	190
17. 四等点上觀測太陽天頂距測定緯度的計算·····	208
18. 三、四等点上觀測太陽測定地面目标方位角的計算·····	222

第 三 部 分

19. 三、四等点上觀測恒星天頂距測定表差的計算·····	240
20. 觀測太陽天頂距測定表差的計算(近似測定)·····	245
21. 按金格尔法測定表差的計算(近似測定)·····	251
22. 觀測恒星中天時刻測定表差的計算(近似測定)·····	251
23. 按無線電時号測定表差的計算(近似測定)·····	252
24. 利用天文年曆觀測北極星天頂距測定緯度的計算(近似測定)·····	253
25. 觀測太陽天頂距測定緯度的計算(近似測定)·····	258
26. 觀測北極星測定方位角的計算(近似測定)·····	263
27. 觀測太陽天頂距測定地面目标方位角和表差的計算(近似測定)·····	267

序

本規範共分三部分：第一部分闡述在一、二、三、四等點上天文觀測的計算方法。

第二部分是勘測中某些情況下所必須進行的觀測太陽的計算方法。

第三部分是近似天文測量的計算。近似天文測量在重力測量、地磁測量以及第一次概略地形測圖等工作中進行。

每一測量方法都分專節說明。每一節中最先說明觀測手簿的處理，然後說明最主要的計算公式和計算程序。每節末尾大半列舉一些示例。所選擇的這些示例，一般能代表作業中可能遇到的各種不同情況，並在計算過程中說明有那些特殊的地方。如果觀測計算中例舉了兩種計算方法，例如用對數法和非對數法，則這些示例就可以用兩種方法計算。

所舉示例中左側（或上方）的名次，是指進行計算的程序。

附注：

第三部分列舉的示例是用5"萬能儀觀測的，其中也有一些是用2"萬能儀觀測的。但在低精度的天文測量作業中也可採用10"和30"經緯儀；當然，在這種情況下，所得的結果就要比書中所舉示例的精度要差些，因而，最後結果的不符值就可能較大。使用10"和30"儀器工作，進行計算時，也應當同樣遵守第三部分用2"和5"儀器算例中的規定。

總 則

1. 本規範所述及的天文觀測成果內業計算程序、計算格式和示例都符合于全体必須遵守的「一、二、三、四等天文測量細則」所規定的外業天文測量工作的程序和方法。

2. 所有需作內業計算的天文觀測外業資料应当完整而有系統，应符合上述細則的要求，并滿足細則中外業檢查的規定。

3. 計算所有的觀測資料時，恒星的視位置均由 FK_3 系統的星表中查取。

按太爾各特法測定緯度進行計算時，采用蘇聯理論天文研究所1948年出版的「太爾各特法1967恒星星表」和1956年中國科學院地理研究所出版的「太爾各特法2628恒星星表」（測量專刊第三號）。

4. 計算緯度時，為了保證必須的檢查，應當由兩名計算員同時進行計算。按太爾各特法進行緯度平差時，由一名計算員利用檢查公式進行。

表差計算由一人進行，而用各個表差結果的符合程度作為檢查。

經度計算由一人利用檢查公式進行。方位角由兩人進行計算。

只有在將兩名計算員算得的結果或將按檢查公式算得的結果加以精細比較後，計算工作才能認為是最后完成。

5. 天文觀測的成果只有在其中誤差不超過「一、二、三、四等天文測量細則」所規定的限差時，才能認為是有價值的，亦即：

1) 一、二等基綫網點和一等三角鎖中間點上，測定緯度的中誤差不得超過 $\pm 0''.3$ ；

- 2) 三等点的緯度不得超过 $\pm 0''.6 - \pm 1''.0$;
- 3) 四等点的緯度不得超过 $\pm 1''.0 - \pm 7''.0$;
- 4) 一等基綫網点和一等三角鎖中間点的經度不得超过 $\pm 0''.03$;
- 5) 二等点的經度不得超过 $\pm 0''.05$;
- 6) 三等点的經度不得超过 $\pm 0''.06 - \pm 0''.10$;
- 7) 四等点的經度不得超过 $\pm 0''.10 - 0''.50$;
- 8) 一等基綫網点的方位角不得超过 $\pm 0''.5$;
- 9) 二等点的方位角不得超过 $\pm 1''.0$;
- 10) 三等点的方位角不得超过 $\pm 5'' - \pm 30''$;
- 11) 四等点的方位角不得超过 $\pm 60''$ 。

附注:

1. 第4)、5)兩項所規定的中誤差，可以認作是測時中誤差、周日表速变化中誤差、科学时号校准时刻誤差（等于 $\pm 0''.01$ ）测定人差的中誤差及人差变化中誤差的总合，由全部外業資料中算出。

2. 在一等点上按一星对測时的中誤差不应超过 $\pm 0''.08$ ；相鄰兩次测定人差結果之差不应大于 $\pm 0''.08$ 。如果天文測量員沒有推算出自己工作中的誤差值，則人差的变化值可取 $\pm 0''.025$ 。

3. 根据各个結果与相应中数的差推得一等点經度概略結果的中誤差，其中未計及人差和人差的变化，則不得超过 $\pm 0''.023$ 。

4. 計及拉伯拉斯方程式的正、反方位角的互差不得超过 $\pm 2''.5$ 。

6. 計算时必须利用本規範中各种相应情况所規定的常数和用表進行。

7. 在成果总表中通常应記入所有的单独觀測成果，只有那些与相应的中数相差很大，顯然是質量低劣的成果才能捨去。例如，觀測緯度时發現：目鏡測微器讀数具有較大的測微器差、水准器傾斜較大、因有云霧能見度不好以及觀測小的恒星；觀測經度时發現：表差数目較少、表差間的符合程度不好、星的能見度不好、收錄的無綫电时号不可靠；觀測方位角时發現：水准器零点和照准差有变动、根据地面目标及北極星推算得的照准差發現

有互差、水平軸傾斜較大、影像不好等。

計算方位角時，各個測回結果的變動一等點不得超過 $5''$ — $6''$ ，二等點不得超過 $9''$ 。

附注：

凡不能滿足此條件的測回一般應作廢，並在野外進行重測。如果重測的兩結果的差小於上述限差，則取其中數記入成果總表中，不然，則取與所有測回的方位角中數較接近的結果記入成果總表中。

8. 緯度、經度和方位角的觀測成果應歸算至標石中心。為了將方位角歸算至標石中心，就必須及時由三角測量成果中算出相應各三角形的邊長。

9. 一、二等三角點上的緯度和方位角的觀測成果必須化算至海水面。歸算緯度時，所知該點海拔高程的誤差不得大於 ± 25 公尺；而歸算方位角時，則只需知該點的高程的誤差不得大於 ± 100 公尺即可。

10. 緯度、經度和方位角的觀測成果必須歸算至平北極。歸算是否作好應在最後資料中（總表、總結）作適當的說明。

用以計算經度、緯度和方位角歸算改正數的瞬間極坐標 x 和 y ，由各個作者逐年計算並刊載於下列文獻中：

1) 1900—1906 年間載於：『*Resultate des Internationalen Breitendienstes*』。Bd III, 223—224 頁 (Albrecht u. Wanach)。

2) 1906—1912 年間載於：『*Resultate des Internationalen Breitendienstes*』Bd V, 180—182 頁 (Wanach)。

本書第 196 頁載有用另一種方法算出之 1900—1912 年間全部觀測時間的瞬間極坐標。

3) 1912—1922, 1927 年間載於：『*Ergebnisse des Internationalen Breitendienstes*』222 頁 (Wanach und Mahnkops)。

4) 1922, 1927—1931 年間載於：『*Results of the International Latitude Service*』vol. VII, 159 頁 (Kimura)。

5) 1931—1935 年間載於：『*Proceedings of the Imper. Aca-*

demu Tokyo] vol. VII₃, IX₄, X₄, XI₄, (Kimura) .

6) 1936年間載于『*Astronomische Nachrichten*』, № 6290, Bd263, 17頁 (Carnera) .

А. Я. 奥尔洛夫教授將 1892—1937 年期間內北極运动的全部觀測作了总的綜合, 所根据的資料是由苏联科学院提供的。

11. 天文觀測內業計算结束后, 須編制天文点坐标成果表。

12. 將該年的計算資料按点進行搜集, 并分組分冊裝訂。

第一部分

§ 1. 一、二、三、四等点上按金格尔法 測定表差的計算

采用这种方法進行观测时，可用『計时仪』測定恒星通过蛛絲的时刻，也可用『目鍵法』观测，或不用計时仪而用『耳目法』進行观测。按『耳目法』观测时，可以直接進行观测手簿的处理和以后的計算工作；如用計时仪或用『目鍵法』观测时，則必須首先量測計时仪紙帶，然后将量得的结果記入观测手簿。

I. 計时仪紙帶的量測

用接触天文表和計时仪進行天文观测时，恒星通过望远镜蛛絲的时刻就記錄在計时仪紙帶上。

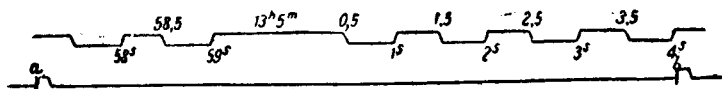


圖 1

圖 1 是計时仪紙帶上的圖形。上面的齒狀綫是天文表半秒一响的逐次記錄；長間隔（1.5秒）作为每一分鐘开始的記号。下面的一條綫上的 a 和 b 是恒星通过望远镜蛛絲时刻的記号。

为了按天文表求得記号的时刻，必須沿計时仪紙帶中心軸量測在下面一條直綫上的由記号到最近較小的半秒的距离（由断电时刻量起）。

量測計時器紙帶時，利用專門的歐波蔡爾式或普列依比奇式量時器，或者用玻璃尺進行。

歐波蔡爾式量時器

這種量時器裝置在長約 70cm 的木板上，木板邊側鑲有一條寬為 2cm 的凹槽，而卷在裝設於木板左端輪子上的紙帶就沿這條槽移動。

槽內鑲一刻有 10cm 綫划長的金屬薄板。在木板上，與金屬板相對的地方有一個機械裝置，借助於這個機械的作用，可使垂直於槽軸的移動絲沿金屬板來回移動。

除移動絲外，量時器還有兩根固定絲，固定絲之間的距離可以用特制的螺旋調整，以使其等於計時器紙帶上 1' 或 2' 的距離。

為了計算位於兩根固定絲間間隔的小數，將導板沿機械導杆的方向移動，而這導板的指標就沿着固定在盒子上蓋的分划尺滑動。分划尺計分成 200 等分。

由於杠桿系統的作用、導板的移動和移動絲的移動的相互關聯，所以當導板指標由分划尺的零分划滑動到 200 分划時，移動絲也相應地由左邊絲移動到右邊絲。

如果兩固定絲之間安置的距離相應於計時儀紙帶上記載的 2'，則分划尺上的一個分划就相應於 0.01。

量測前，量時器的安置和調整包括下列數項：

- 1) 檢查機械的轉動是否平穩；
- 2) 使移動絲與左邊的「固定絲」重合，並將指標安置和固定在零位置上；
- 3) 先將指標旋到 200 分划上，之後旋動銅盒右側下面的校正螺旋，使右邊的「固定絲」和移動絲重合。

量測紙帶或按天文表取得相應於電鍵記號的時刻，按下列次序進行：

1) 使大的一秒的末端与右边的『固定絲』重合，而后旋轉調節螺旋使最靠近于記号的小的一秒的起点与左边固定絲相重合；

2) 將指标沿分划尺移动，直到移动絲与記号的起点重合，然后按分划尺讀出百分之一秒的讀数。

普列依比奇式量时器在構造上与欧波蔡尔式量时器相似，其調整和紙帶量測的程序相同。

玻璃的或賽璐珞的楔形测时板也都是用來量測紙帶的。它們的圖形參看圖 2。

圖上繪有 21 条收斂直綫。

利用楔形测时板量測紙帶按下列次序進行：

1) 將楔形测时板放在紙帶上，上、下移動，直到边絲和中絲与兩整秒重合得很好时为止；

2) 讀出記号的起点与秒綫相交的 a 点的讀数；此讀数將相应于恒星通过蛛絲的时刻。

例如，在圖 2 上按天文表讀出的記号的时刻为 $12^h 4^m 57^s.23$ 。

除了量測金格爾星对觀測記錄的紙帶外，还需要量測測定筆头差的記錄，以供最后計算表差时应用。

某些觀測員在觀測过程中，并不量測筆头差，因而当然也就沒有測定筆头差的記錄；而另有一些觀測員却專門進行筆头差的測定。

測定筆头差可按下述兩法進行，

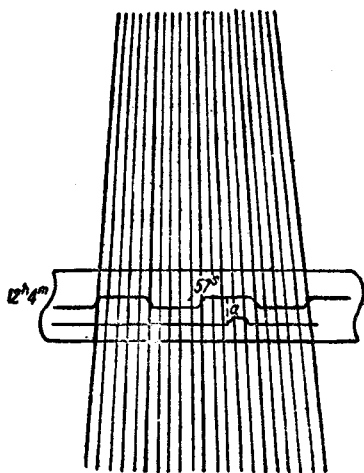


圖 2

如果只有一个接触天文表，則將兩個电磁鉄与作業表联結后，就可得到两个筆头記下的秒的記錄，并可測定两个筆头在紙帶上所記下的秒的起点之差。

在記时仪紙帶上不同的地方，如是量測十次并取其中数。此中数即是筆头差之值；如果下筆头的秒的注記位于上筆头秒注記的左边，則符号为正，反之为負。

用这种方法測出的筆头差，較之下述另一种方法測出的精度要差。

如果有两个接触天文表；則將作業表与观测时記錄秒的第一支筆相联，另外一个輔助表与第二支筆相联。开动計时仪，直到两个筆头的划綫得出作業表的整分注記为止；然后变换天文表，使第一支筆与輔助表相联，第二支筆与作業表相联，再重新在紙帶上得出有輔助表的整分注記。量測紙帶，根据第二支筆头的秒数測定第一支筆头通电的整秒数。两种联結各測五次。

这样，筆头差即可按下列公式測定：

$$a_1 = T_{\text{業}} - (T_{\text{輔}} + \pi) = (T_{\text{業}} - T_{\text{輔}}) - \pi;$$

$$a_2 = (T_{\text{業}} + \pi) - T_{\text{輔}} = (T_{\text{業}} - T_{\text{輔}}) + \pi;$$

$$\pi = \frac{a_2 - a_1}{2},$$

式中 $T_{\text{業}}$ 是作業表的表面时， $T_{\text{輔}}$ 是輔助表的表面时， π 是筆头差。

下面是使用两个天文表測定筆头差的示例。№ 2709 是作業表，№ 2711 是輔助表。

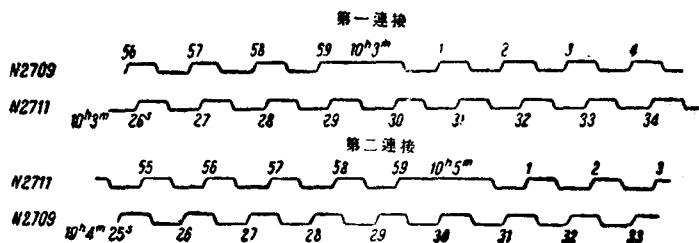


圖 8

第一次联結

№ 2709	№ 2711
10 ^h 2 ^m 56 ^s	10 ^h 3 ^m 25 ^s .73
58	27.72
3 0	29.72
2	31.72
4	33.72
10 ^h 2 ^m 56 ^s	10 ^h 3 ^m 25 ^s .722

第二次联結

№ 2711	№ 2709
10 ^h 4 ^m 55 ^s	10 ^h 4 ^m 25 ^s .30
57	27.29
59	29.31
5 1	31.30
3	33.28
10 ^h 4 ^m 55 ^s	10 ^h 4 ^m 25 ^s .296

$$a_1 = \text{№ 2709} - \text{№ 2711} = -0^m 29^s.722$$

$$a_2 = \text{№ 2709} - \text{№ 2711} = -0^m 29^s.704$$

$$\pi = +0^s.009$$

如果在記時儀上安裝有變換筆頭的特殊電路，同時在觀測中已將筆頭進行互換，則在最後結果中無需計算筆頭差。

II. 觀測手簿的處理

1. 計算各蛛絲中數和三欄中每一欄的中數；所有計算都算到0.01。最後一欄的中數是 $\frac{1}{2} (T_W + T_E)$ ；它應當等於（在湊整範圍內）第一、二欄所算得中數的半和。

2. 計算 $\frac{1}{2} (T_W - T_E)$ ，算到0.1。

3. 計算 $i_W - i_E$ ，以水準器半分劃為單位，算到0.01。

採用下列相應公式計算 i ：

- 1) 水準器管零分劃（或小分劃 m_1 ）距物鏡近， m （或小分劃 m_2 ）距物鏡遠

$$\left\{ \begin{array}{l} i = (\text{左} + \text{右}) - m \\ i = (\text{左} + \text{右}) - (m_1 + m_2) \end{array} \right.$$
- 2) 零分劃（或 m_1 ）距物鏡遠， m （或 m_2 ）距物鏡近

$$\left\{ \begin{array}{l} i = m - (\text{左} + \text{右}) \\ i = (m_1 + m_2) - (\text{左} + \text{右}) \end{array} \right.$$

3) 零分劃在水準器管中央； $i = (\text{左} + \text{右})$ ，同時，氣泡在零分劃至物鏡一端為魚尾號，而在另一端為魚頭號。

根据上述規則，計算 $i_W - i_E$ 的公式計有：

在第 1) 种情況下 $i_W - i_E = (\text{左} + \text{右})_W - (\text{左} + \text{右})_E$

在第 2) 种情況下 $i_W - i_E = (\text{左} + \text{右})_E - (\text{左} + \text{右})_W$

在第 3) 种情況下 $i_W - i_E = (\text{左} + \text{右})_W - (\text{左} + \text{右})_E$

III. 用金格尔星对年曆進行計算

按下式計算表差：

$$u = M - \frac{1}{2} (T_W + T_E) + r + \delta T + \delta u + \delta \alpha.$$

根据这一公式按下述程序進行計算：

1) 根据該星对的观测次序 (EW 或 WE) 由年曆中用內插法計算 M 和 u 值，并抄取 m_1 和 n_1 值。

附注：內插时应遵守下列規定：

1. 必須將每一观测都归算到最接近的子正，例如，在 1956 年 1 月 14 日至 15 日的晚間進行观测，不論子正前后观测，都应記为 1 月 15 日。

2. 由金格尔星对年曆中找出在观测日期之前的、最接近的表列日期，例如 № 121 在 1956 年 1 月 14 日至 15 日晚間观测，則 1 月 11 日即为观测日期之前的、最接近的表列日期。

3. 內插因子可根据观测日期和表列日期的差数由金格尔星对年曆表 1 中查取。

4. 当內插因子为正时，則向下內插；若因子为負，則向上內插。

2) 按下式計算

$$r = n \operatorname{tg} \varphi + \sigma_0(r)$$

式中 $\sigma_0(r)$ 由年曆中的第 IV 表按引数 $r_0^* = n \operatorname{tg} \varphi$ 查取，其符号与 $n \operatorname{tg} \varphi$ 相同。

3) 計算 δT —— 观测星对之时刻半和化为标准時間段（等于 5^m）的改正数。此改正数按下式計算，

式中：

$$\delta T = K_1 \Delta z,$$