

天文測量學

下 册

李 鐘 明 主 編



中國人民解放軍測繪學院

1963. 7.

目 录

第八章 天文測量仪器

§ 8-1	概述	1
§ 8-2	天文表的結構	2
§ 8-3	接触天文表 記时器	5
§ 8-4	表差 表速 表差化算至另一时刻	8
§ 8-5	AV天文全能經緯儀的結構	10
§ 8-6	AV天文全能經緯儀的調整	17
§ 8-7	威特 T_4 天文全能經緯儀的結構	20
§ 8-8	威特 T_4 天文全能經緯儀的調整	27
§ 8-9	目鏡測微器絲距的測定	28
§ 8-10	目鏡測微器周值的測定	29
§ 8-11	接触測微器接触条寬及隙动差的測定	38

第九章 无綫电时号

§ 9-1	概述	40
§ 9-2	无綫电时号的格式	40
§ 9-3	平时式时号的收录及归算	48
§ 9-4	科学式时号的收录	45
§ 9-5	科学式时号的归算	49
§ 9-6	授时台的工作 綜合时刻改正	52
§ 9-7	电波传播速度改正 表速改正	54
§ 9-8	按收录时号鉴定天文表的质量	57

第十章 观测恒星天頂距定表差及緯度

§ 10-1	概述	59
§ 10-2	观测恒星天頂距定表差和緯度的基本原理	59
§ 10-3	按天頂距法測定表差和緯度的最佳条件	60
§ 10-4	观测恒星天頂距定表差	61
§ 10-5	观测东星和西星天頂距定表差	65
§ 10-6	观测北极星天頂距定緯度	65
§ 10-7	观测北极星天頂距定緯度的計算用表	67

第十一章 太尔各特法测定緯度

§ 11-1	基本原理	71
§ 11-2	观测前的准备工作	72
§ 11-3	观测方法	75
§ 11-4	计算纬度的基本公式	76
§ 11-5	望远镜倾斜变化改正 (水准器改正)	79
§ 11-6	蒙气差改正	81
§ 11-7	星径曲率改正	82
§ 11-8	按“太尔各特法恒星位置表”计算恒星视位置	86
§ 11-9	太尔各特法测定纬度的实例	87
§ 11-10	一点上緯度结果的平差计算	9

第十二章 金格尔法测定表差

§ 12-1	金格尔法测定表差的基本原理	97
§ 12-2	观测前的准备工作	99
§ 12-3	耳目法观测	101
§ 12-4	计算表差的公式 (用对数计算)	102
§ 12-5	按“金格尔星对星历表”计算表差的公式	105
§ 12-6	望远镜倾斜变化改正 周日光行差改正	110
§ 12-7	金格尔法测定表差的计算例	114
§ 12-8	用威特 T_4 接触测微器观测	120
§ 12-9	用 $AY 2''/10''$ 接触测微器观测	128
§ 12-10	校正移动丝水平的装置	130

第十三章 子午仪测时

§ 13-1	概述	133
§ 13-2	子午仪的结构	134
§ 13-3	子午仪的调整	134
§ 13-4	子午仪的误差及其对中天时刻的影响	136
§ 13-5	子午仪测时的基本公式	137
§ 13-6	方位差的测定	138
§ 13-7	水平差的测定	139
§ 13-8	视准差的测定	141
§ 13-9	观测前的准备工作	143
§ 13-10	使用接触测微器的观测方法	144

§ 13—11	表差的計算	144
§ 13—12	光电子午儀	149

第十四章 經度的測定

§ 14—1	基本原理	153
§ 14—2	无线电法測定經度	153
§ 14—3	章勃短期項改正	155
§ 14—4	經度結果的計算例	159
§ 14—5	人差(人儀差)及其計算例	160
§ 14—6	一、二等点經度最后值的計算及精度估計	162
§ 14—7	基本点經度的測定	163

第十五章 多星等高法同时測定經緯度

§ 15—1	概述	166
§ 15—2	60° 稜鏡等高儀	166
§ 15—3	60° 稜鏡等高儀的誤差及校正	168
§ 15—4	45° 稜鏡等高儀	172
§ 15—5	等高觀測星表的編制	174
§ 15—6	觀測方法和注意事項	177
§ 15—7	解析法計算經緯度	179
§ 15—8	常數項 l 的計算	183
§ 15—9	圖解法計算經緯度	187
§ 15—10	超人差稜鏡等高儀	204

第十六章 方位角的測定

§ 16—1	概述	206
§ 16—2	測定方位角的最佳条件	207
§ 16—3	方位角的觀測	208
§ 16—4	北极星方位角的計算及其改正	209
§ 16—5	水平度盤讀數的几項改正	211
§ 16—6	地面目标方位角的計算	213
§ 16—7	用天文全能經緯儀測定方位角的实例	219
§ 16—8	用普通光学經緯儀測定方位角的实例	221
§ 16—9	觀測太陽定地面目标方位角	222
§ 16—10	觀測太陽时角定方位角的实例	223
§ 16—11	太陽稜鏡	225

第十七章 观测成果的归算

§ 17—1	经纬度和方位角的归心计算	227
§ 17—2	纬度和方位角的观测值归算至椭圆体面上	230
§ 17—3	地极移动	231
§ 17—4	经纬度和方位角的极移改正	232

附 录

- 一、球面三角学的基本公式
- 二、常用微分公式
- 三、常用级数展开式
- 四、微角的三角函数的改正数
- 五、常用仪器的天顶距及指标差计算公式

第八章 天文測量儀器

§ 8-1 概 述

在緒論中已經講過，天文測量的任務，主要是測定地面點的經緯度 (λ, φ) 和某一方向的方位角 (a_N)。但為了決定這三個量，我們經常要測定天體在某一時刻的天頂距或地平經度。所以天文測量所用的觀測儀器，還必須具有能觀測由 0° 到 90° 天頂距的性能。因此，只能測水平角和小垂直角的大地經緯儀（例如 $TT^2/6$ ）就不能用於天文觀測。

目前在天文測量中所用的儀器有，天文全能經緯儀（如威特 T_4 、 $AV^3"/10''$ 、 $AV5''$ ）、子午儀、稜鏡等高儀（普通稜鏡等高儀和超人差稜鏡等高儀）和天頂儀等。此外，還需要有精確的天文表、記時器和收訊機。

在我國目前的情況下，一二等天文測量用全能經緯儀（ $AV^3"/10''$ 或威特 T_4 ）。三四等天文測量可用 $AV5''$ 全能經緯儀或普通稜鏡等高儀（威特 T_3 或 T_2 附加 -60° 等邊稜鏡），也可用光學經緯儀（ T_3 、 T_2 ，蔡司 010 等）。子午儀、天頂儀和超人差稜鏡等高儀等則多為天文台、緯度站或測定天文基本點（主點）時所用。

全能經緯儀、子午儀和天頂儀等儀器，都裝有精密的檢驗水平軸傾斜用的跨乘（或懸垂）水準器和檢驗望遠鏡傾斜變化的太爾各特水準器；而且裝有目鏡測微器和 7 至 9 根平行固定絲的絲網。所以這些儀器的觀測精度較高，故用於一二等天文測量。普通光學經緯儀沒有這些特殊裝置，而且光學性能及水平軸的軸頸等在構造上也不如上述儀器的質量好，所以觀測精度較低，只能用於三四等天文測量。

現代在天文方面所用的鐘表有很多類型。天文台或授時站過去都採用機械的天文擺鐘，如里弗列爾鐘和邵特鐘等。但最近幾年來一般已採用石英鐘、分子鐘或原子鐘。由於天文鐘不宜於經常搬動，故在天文測量外業中一般都使用天文表（如恆時表）。恆時表裝有一個溫度抵償平衡輪，可以消除溫度變化的影響，因而它的運行速度得以保持一定的穩定性，故恆時表比普通時表準確。其周日速度變化大約在 ± 0.1 至 ± 0.5 左右。天文擺鐘不用發條作動力，而用一重錘代替發條。這些鐘也設有調節溫度的裝置，如里弗列爾鐘鐘筒內的氣壓比一大氣壓約低 100 毫米水銀柱，這樣就可以用改變氣壓的方法來調節鐘速。邵特鐘則分為主鐘和工作鐘兩部分，主鐘放在恆溫的鐘室內，工作鐘則放在工作室內，兩個鐘以電線連接起來，整個鐘的鐘速由主鐘控制着。天文擺鐘比恆時表準確。它的周日速度變化在 ± 0.002 以內。但所有天文擺鐘有一個共同缺點，就是易受地震或其他外力的影響。而且在機械製造上也很難再提高精度。於是在 1924 年利用石英晶體本身的物理特性而制成了石英鐘。它是利用石英晶體高度穩定的振動頻率來代替天文擺鐘的擺的振動。所以石英鐘的精度，遠遠超過所有的天文擺鐘。它的周日速度變化小至萬分之幾秒。最近制成的分子鐘和原子鐘比石英鐘有更高的穩定性，它的周日速度變化小到一百萬分之一秒。

石英鐘是由石英晶體振蕩器、恆溫器、振蕩播送器、分頻器、放大器、同步馬達和電鐘

机构等组成（見示意图 8—1）。石英晶体的振荡频率很高（与其厚薄和长短有关），一般石英钟采用每秒 100000 周（或 60000 周）。但钟内的同步马达要求的供电频率较低，常为 50—1000 周。故必须先用电分频器将石英晶体振荡器发出的高频率逐次降低，使它变成 50 周低频率的电流，再经过放大器就可以得到稳定的 50 周交流电流，用它来使同步马达转动，从而带动电钟的计时齿轮机件作等速的转动，这样电钟的指针便能均匀而正确地指示出时刻。由于石英片的振荡频率非常稳定（其稳定度可达 10^{-7} 以上），因而保证了石英钟运行的均匀性。

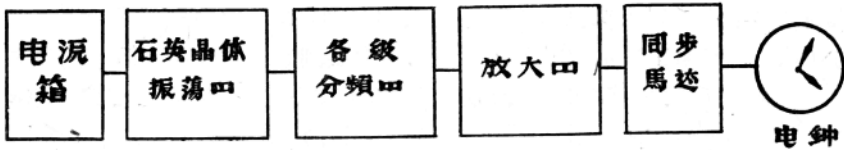


图 8—1

至于记录时刻的记时器也有很多类型，常用的有：书写记时器、印字记时器、摄影记时器等，在野外天文观测中采用书写记时器较多。其他几种多为天文台或授时站所采用。

收讯机在天文测量中的主要作用是接收天文台或授时站播送的无线电时刻讯号，在野外工作时一般采用 7—12 个灯的直流收讯机。

在本章内，主要是讲述在一二等天文测量中所采用的几种仪器，如天文表、记时器、全能经纬仪（AY 和威特 T_4 ）。至于子午仪、棱镜等高仪等将在有关的各章节里论述。

§ 8—2 天文表的 结 构

天文表是在野外进行天文观测时所用的一种计时的仪器，目前有两种天文表：按恒星时运行的叫做恒星表。按平太阳时运行的叫做平太阳时表（简称平时表）。它们的结构完全一样，只是运行的速度不同而已。

天文表的结构和其他钟表大致相同，主要是由调速、传动、计数和发动器四个部份组

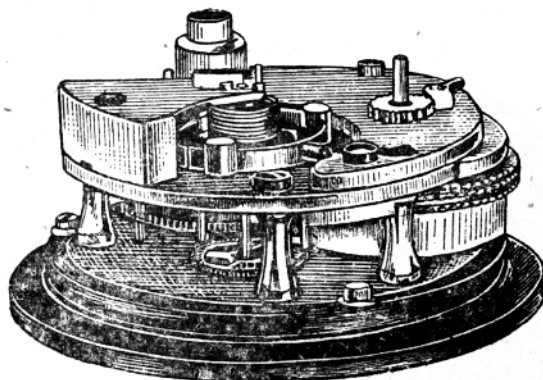


图 8—2

成，但天文表的調速和傳動兩部分的結構比較特殊，故能使它的運行速度較為穩定。天文表內部的形狀如圖 8—2 所示

一、調速部分 調速裝置主要是由一螺旋狀的彈簧和一鋼銅合成的平衡輪所組成，如圖 8—3 所示。平衡輪 KK' 的中心固定在 OO' 軸下端，彈簧 ff' 的一端固定在座架的上板上，另一端連結在 OO' 軸的平衡輪中心位置上。若對平衡輪稍加一外力，使它向一方向轉動，則彈簧失去平衡，並立即反抗平衡輪的轉動。當對平衡輪所加的外力為彈簧的反抗力所抵消時，在彈簧的慣性作用下，它又開始向相反的方向轉動。因而平衡輪便產生左右往返的擺動。若無外在阻力的影響，這種現象將永遠繼續下去，因此平衡輪不斷地由平衡位置向兩邊擺動。事實上這是不可能的，除非經常給予一定的外力，否則平衡輪的擺幅逐漸減小而終於停止擺動，所以天文表和一般的鐘表一樣，必須有一發勁器。

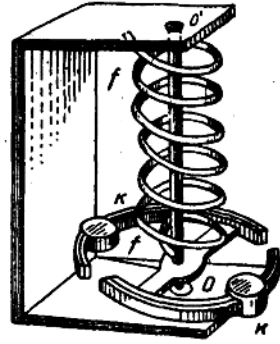


圖 8—3

鐘表設計的主要要求是保持平衡輪或擺的擺動周期不變。而使擺動周期發生變化的原因是溫度的變化。現在我們根據擺動周期的表达式來看天文表的設計，看它是如何抵償溫度的影響的。

根據物理學我們知道，天文表平衡輪的擺動周期為

$$\tau = \pi \sqrt{\frac{I}{N}}$$

式中， $I = \Sigma m r^2$ ——平衡輪的慣性力矩。

$N = f \cdot r$ ——彈簧的彈性力矩。它與彈簧的長度成反比。

由上式可知：擺動周期與彈簧的彈性力矩的平方根成反比，與平衡輪的慣性力矩的平方根成正比。當溫度增加時，彈簧增長而彈力減弱，因此彈性力矩 N 也隨之減小；此時平衡輪亦因膨脹而擴大，輪環上每一點至軸的距離也增大，於是 I 亦隨之增大，結果平衡輪的擺動周期便增大。因此天文表就走得慢些。在溫度下降時，情況就相反，天文表則走得快一些。溫度對於擺動周期 τ 的影響是很顯著的。當溫度升高 1°C 時，就會使時表一日慢 10 多秒。

為了盡量消除溫度對天文表運行速度的影響，使天文表的平衡輪具有抵償溫度變化的特性。這種平衡輪稱為抵償性的平衡輪。就是當溫度增加時，它不但不擴大，反而要縮小，以使其擺動周期不變。為了達到這一目的，天文表的平衡輪是用兩片不同膨脹系數的金屬製成（見圖 8—4）。其內環用鋼，外環用銅，並且不製成一個整環，而把它在兩處切開，分為兩個半圓環。每個半環的一端固定在鋼質的杆上（平衡輪的轉軸 OO' 通過這個鋼杆的中心），另一端為自由端，附有配重 K 、 K' 。

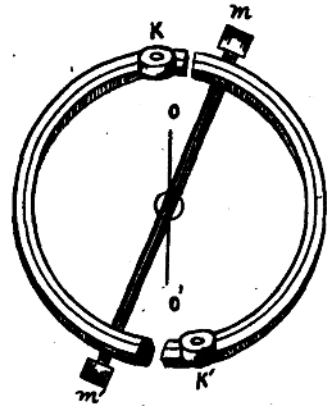


圖 8—4

在上述設計的情況下，當溫度升高時，平衡輪外層的銅比內層的鋼膨脹得快些，而它們

又焊接为一个整体，故自由端便向内弯曲而使配重靠近转动轴；于是平衡轮的转动惯性力矩就减小，即此时平衡轮的摆动周期变小；这样，恰好抵消了弹簧因温度升高而伸展所产生的摆动周期增大的影响，以使摆动周期保持不变。当温度降低时，则弹簧缩短而使摆动周期减小；但此时平衡轮的配重离开转动轴远一些，它的惯性力矩因此增大而使摆动周期变大，这样也可使摆动周期不变。此外，在平衡轮直径的两端装有调整螺旋 m 、 m' ，借此螺旋的旋进或旋出，可以调节平衡轮的转动速度，使天文表按恒星时或平太阳时运行。

二、传动部分 天文表传动器的作用，在于把调速器的规律摆动传递给计数部份齿轮组的最后一个棘齿轮 E ，在调速器的作用下，棘齿轮 E 以规律的跳动旋转着；同时它又给平衡轮以轻微的冲击，使平衡轮能继续它的摆动。为了使平衡轮能自由地摆动，设计这种装置时，要使调速器与棘齿轮 E 冲击的瞬间极为短促，借以阻止 E 轮的运动，并承受它的冲击以维持平衡轮本身的运动。天文表安装的是自由传动器，它是传动装置设计中最好的一种，其结构如图 8—5 所示。

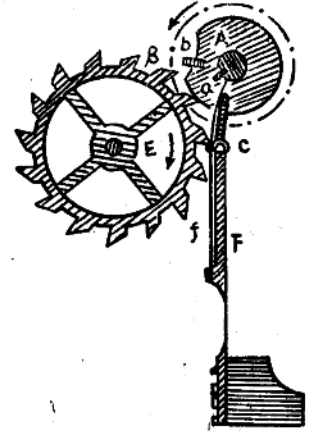


图 8—5

在图中，弹簧 F 的一端固定在天文表的外框上，另一端是自由端。在靠近自由端处有一用宝石做成的凸出挡片(制动器) C ，它可以依次阻止棘齿轮 E 的十五个齿中每一个齿；在弹簧 F 上又固定着一根很柔韧的金属弹簧 f 。这两个弹簧是装在与 E 轮不同的平面上，但制动器 C 较弹簧 f 宽，故能挡住 E 轮的齿。在平衡轮下面的转轴上，设有两个装置：一个是与弹簧 f 在同一平面上的凸片 a ，另一个是在 E 轮平面内并带有一凸片 b 的圆盘 A 。于是当平衡轮循图中虚线上的箭头方向转动时，坚硬的凸片 a 由左向右推动弹簧 f ，使弹簧 F 的自由端离开它的原有位置，于是卡着棘齿轮的制动器 C 便放过一个棘齿，而弹簧 F 立即恢复它原来的位置，制动器 C 又擋住第二个棘齿，阻止 E 轮的转动。当它与 E 轮接触时，我们便听到表的响声。当平衡轮回轉由右向左转动时，凸片 a 很自由地推开弹簧 f ，而弹簧 F 保持不动。跟着平衡轮又开始由左向右转动，当 a 再次经过弹簧 f 时，照样把弹簧 F 挤开而放过第二个棘齿，接着第三棘齿 β 又与制动器 C 接触，再度阻止 E 轮的转动，同时我们又听到表发出第二次响声。这种现象按上述的次序不断地重复进行着。平衡轮往返的摆动周期为 0.5 ，因此天文表每半秒发出一响声。其次，每当制动器 C 放过一个棘齿时， E 轮便开始按顺时针方向转动，于是 E 轮上的 β 齿恰好赶上圆盘 A 上的凸片 b 给以轻微的冲击，使平衡轮能维持它本身的转动。

三、计数齿轮组

棘齿轮 E 的转动借同轴的齿轮传给另一齿轮，在这齿轮的轴上装有秒针，这秒针随着此轮轴的转动得以在一分钟内在秒盘上走一周。在秒轮的轴上又有其他齿轮

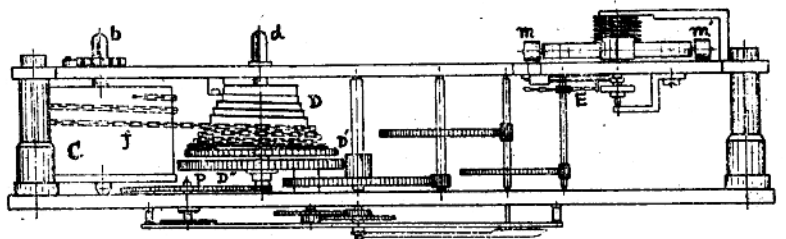


图 8—6

接連着，在這些齒輪的軸上裝有每小時和每十二小時在鐘面上走一周的分針和時針。這些齒輪彼此接連着，最後還與天文表的原動齒輪 D'' 相連，如圖 8—6 所示。原動齒輪 D'' 是借天文表的發動器而轉動的。

四、發動器 發動器是用薄的、彈性極大的鋼質發條作動力，這發條卷成螺旋狀裝在鼓形的圓筒 C 內，它的一端與圓筒的軸 b 連結，另一端則固定在圓筒 C 外殼的內面上。在圓筒外殼的外面繞着一條小鏈 f （見圖 8—6）。小鏈的一端固定在圓筒 C 上，另一端引向塔形鍵盤 D ，並固定在這鍵盤上。鍵盤 D 是固定在旋轉軸 d 上的一個金屬錐體，在其外表面上沿螺旋線方向設有纏繞小鏈的小槽；在鍵盤的軸上套着一個原動齒輪 D'' 。在發條時，將鑰匙套在 d 軸上，並按逆時針方向旋轉鍵盤的軸；這樣，小鏈便一直卷到鍵盤的上部。此時在圓筒 C 內的彈簧發條則緊繞在固定軸 b 上。因此，當發條作用于圓筒外殼而使它轉動時，小鏈又重新繞回鼓殼上，並使鍵盤循順時針方向旋轉，於是原動齒輪 D'' 便得到一種動力，並促使其他齒輪轉動。顯然，當發條上緊，彈簧的力量最大時，小鏈正繞在鍵盤上部半徑最小的地方，故此時消耗彈簧的力量也最大；當彈簧逐漸松弛時，小鏈也逐漸移到半徑漸大，消耗彈簧力漸小的鍵盤下部。因此，鍵盤的轉動始終是均勻的。也就是說天文表的原動力是始終保持均勻的。

在鍵盤軸上有一個小齒輪 P 相連着，在 P 輪軸上裝有計算發條彈力持續時間的指針（當發條旋緊到極限時，發條指針指向 0 ）。此外，在鍵盤軸上還裝有一個斜齒齒軸 D' ，稱為止動齒輪，它的作用在於當轉動鍵盤軸上發條時，使原動齒輪 D'' 保持不動，即用鑰匙按反時針方向旋轉 d 軸時不使天文表停走。原動齒輪 D'' 帶動天文表全部齒輪組運轉。

由上述可知，天文表的四個主要部分是緊密地互相連系着的，其中發條是使天文表保持運行的動力。圓筒外殼在發條彈力的作用下依反時針方向旋轉，於是小鏈 f 被牽引而使鍵盤上的原動齒輪 D'' 轉動，而原動齒輪與秒輪軸上的齒輪連結着；因此，秒輪不斷地得到發條彈力由齒輪組送來的動力而不停地轉動。同時秒輪軸上的齒輪又與分鐘和時針的齒輪連系着。因此，整個天文表在發條彈力的作用下連續地運轉着。但這種運轉是否均勻，就要看原動力是否均勻和調速器是否完善了。從上述可以看出，天文表的動力是保持均勻的，調速器又有溫度抵償裝置，使平衡輪的擺動周期不變。所以這些特殊的發動器和調速器保證了天文表運行的均勻性和準確性。

§ 8—3 接觸天文表 記時器

一、接觸天文表

裝有通電、斷電接觸裝置的天文表，稱為接觸天文表。這種天文表一般是半秒通電，半秒斷電，如此循環地進行着。但有的天文表在每半秒中，有 0.1 是斷電，有 0.4 是通電，在斷電那一瞬間就是整秒或半秒開始的瞬間。

天文表的接觸裝置並不複雜，如常見的納丁天文表，在表內的秒齒輪軸上加裝一個具有 60 個斜齒的齒輪 A （見圖 8—7），並在固定軸 C 上連結着一金屬杆 B ，它可繞 C 軸轉動；金屬杆 B 的一端設有一個堅硬的寶石 a ，這寶石伸入到齒輪 A 的各個斜齒之間，其另一端裝有白金接觸點 b ，這接觸點可與固定在銅片 D 上的一個接觸點 d 接觸。銅片 D 則借一硬橡皮絕緣板與天文表外殼相連。若將銅片 D 與記時器連接，則電流可通過記時器。

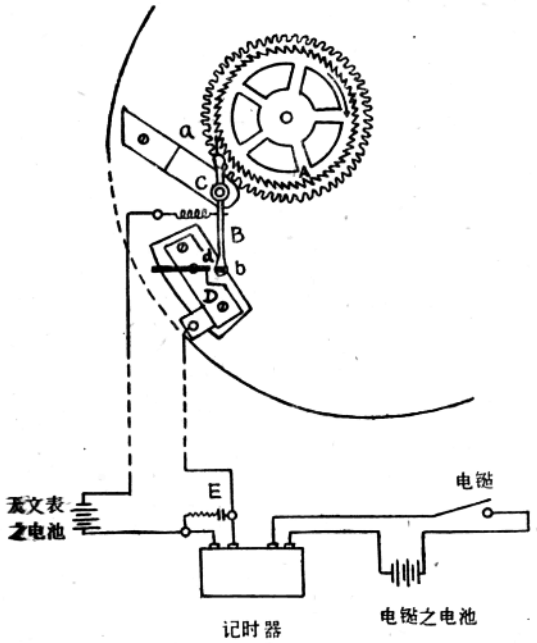


图 8—7

种类型，这里只介绍野外天文测量使用的书写记时器。图 8—8 就是常见的书写记时器的一种（附于威特 T₄ 的记时器）。这种记时器的主要结构一般分为两个部分：机械部分和电磁部分。

1、机械部分 这一部分和钟表一样，是由一弹簧发条和传动齿轮组所组成，并设有一调速装置。将发条旋紧后，它的弹力便由齿轮组传送到记时器外部的一个旋轮上，因而旋轮得到动力而旋转。旋轮又与一橡皮轮相接触，在这两个轮的中間可以通过一条记时纸带。旋轮的转动速度又受着由一金属薄片的音叉和一调速齿轮组成的调速装置的控制而作等速转动，因此记时纸带也作等速移动。

调速装置的音叉一端与齿轮组的最后一个棘齿轮（调速齿轮）相接触，当调速齿轮通过音叉的次数恰好等于音叉的共振频率时，则音叉每振动一次，调速齿轮就恰好转过一个齿，因为音叉的振动次数是不变的，所以能使调速齿轮获得等速运动。音叉上有三个螺旋，松紧这些螺旋可以调节旋轮的转速。移动附加在音叉上的配重位置，也可以调节音叉的振幅而改变旋轮的转速。

2、电磁部份 这部份是由线圈、电磁铁、电阻、电容和电池等组成。其线路如图 8—9 所示。在电路中可装一个电键，或把它与接触天文表的接触装置串联（见图 8—7）。另外在杠杆的另一端装有一钢针状的记录笔头。共有两个这样的线路装置，两个记录笔头同装在一个框架内，笔尖与记录纸带相接触。这样，如果把记时器与接触天文表连接，则只要开动记时器的旋轮，笔尖就相应地将天文表的时刻记录在纸带上。这一作用是这

接触装置的作用是这样：斜齿齿轮 A 随着秒轮按顺时针方向转动，因此，当宝石 a 落入 A 轮的齿隙内时，接触点 b 与 d 接触，于是电路成通路；随后宝石 a 由齿隙移到齿尖，此时金属杆 B 被齿尖顶住，使得 b 与 d 分开而成断路。由此可知，A 轮使电路半秒通电和半秒断电。为了便于表示出整分数，一般将 60 个斜齿中的一个削去，所以当金属杆 B 的宝石 a 落在这个地方的时候，通电时间就成为一秒半。因此，其开始通电的瞬间为 59^s.0，断电瞬间为后一分钟的 0^s.5。

二、记时器

记时器是用来记录接触天文表和观测恒星通过望远镜蛛丝的时刻的一种仪器，它也可以用来收录无线电时刻讯号（无线电时号，在下一章讨论）。记时器有很多

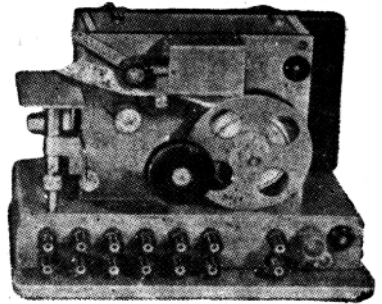


图 8—8

通过天文表接触的半秒时，电路便成通路，电流通过线圈；电磁铁吸引杠杆，笔头也随之作横向移动；因此笔尖在移动着的纸带上便划出相应于半秒的直线。又当天文表运行到不接触的半秒时，这一电路便成断路，无电流经过线圈，笔头就不被吸引，并立即被另一弹簧拉回原位置，于是在纸带上又划出另一半秒的直线。如图 8—10 所示。由于接触天文表在 $59^{\circ}0'$ 至 $0^{\circ}5'$ 间有一秒半时间为通电，在纸带上划出一秒半长的直线，故在记录纸带上很容易找出

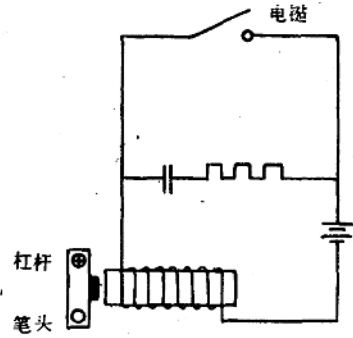


图 8—9

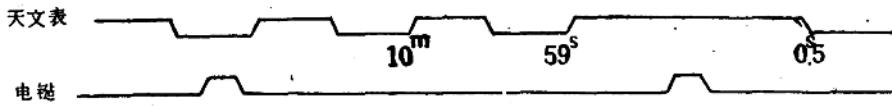


图 8—10

整分的记号。另外，把另一电路与电键连接，观测员在恒星通过蛛丝的瞬间按一下电键，笔头便立即在纸带上划出观测瞬间的记号。这一观测记号与天文表的时刻记号是同时记录在同一纸带上的，所以在纸带上可用量时尺把观测时刻量度出来。

用于量取纸带上的观测时刻记录的工具（量时尺）也是多种多样的，但最简便的是玻璃楔形尺，它是由一组刻划在玻璃板上的二十根斜线所组成。在量取观测时刻记录时，可将玻璃板上下移动，使量时尺上的两根粗斜线与整秒记号相重合。这样，如图 8—11 中的情况就

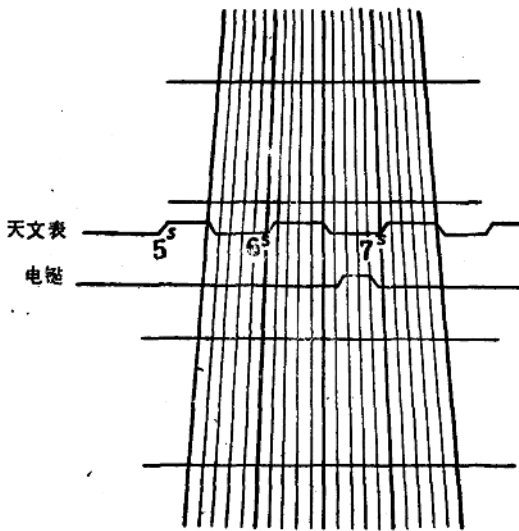


图 8—11

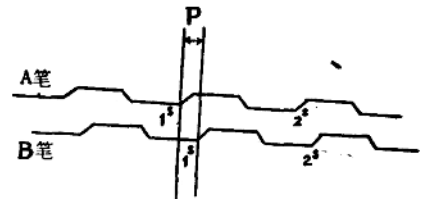


图 8—12

可讀得观测时刻为 $6^{\text{h}}62$ 。这种量时尺可直接量出十分之一秒，百分之一秒是靠估计讀取的。此外，还有一些机械的量时尺，如全苏度量衡科学研究所制造的奥波尔采尔量度器，它可以直接量取百分之一秒，估讀得千分之一秒。

为了使記时器正常工作，电路中的电流一般为10—100毫安，直接把天文表連接在記时器的記錄笔头的电路中，很容易将天文表的 b 、 d 接触点烧毁，并会引起表速發生很大的变化，因此在这电路中应装有消灭火花的装置，这个装置（见图8—7）是将一个电容器和一个电阻串联起来，然后把它連接在天文表綫路中。

記时器的两只記錄笔头，一般不可能正确地同装在与紙带移动方向成垂直的平面內，而且連接两个記錄笔头的电路的电阻也不可能完全相同，因此当这两个笔头同时与一个天文表相連时，它們所划出来的秒記号就先后不一致，其間存在一差异，此差异称为笔头差。如圖8—12中的 P 。显然，笔头差 P 可以用这一方法測定其值。并把它作为一个改正数加入观测时刻內，以消去笔头差的影响。但我国現在所用的記时器（如威特 T_4 附的FAVAG記时器）一般都設有变换笔头的装置，在观测中可利用这装置調換天文表和电鍵的笔头进行記錄，这样便可消除笔头差的影响。这种装置及其作用将在第十二章讲述。

在天文观测中使用記时器記錄时刻，其精度与紙带移动的速度是否均匀和每秒移动的长度有关。轉速不均匀的記时器不能用于精密的天文观测。每秒紙带移动的长度越短，从紙带上量取时刻的精度就越差，所以在一、二等天文測量中規定，紙带每秒移动的长度不得小于10毫米。

§ 8—4 表差 表速 表差化算至另一时刻

一、表差

所有的钟表，都应该按照正确的时刻运行，但因种种原因，时表的表面时与正确时刻不一致。在任一瞬間正确时刻与該瞬間表面时之差，称为这一瞬間时表的表差。一般以字母 u 表示。設恒星时表的表面时刻为 s' ，相应这一瞬間的正确恒星时为 s 。平时表的表面时刻为 T' ，相应这一瞬間的正确民用时刻为 T 。于是这两个时表的表差为

$$\left. \begin{array}{l} \text{恒星时表:} \quad u = s - s' \\ \text{平时表:} \quad u = T - T' \end{array} \right\} \quad (8-1)$$

按上式可知：表差的符号有正有負，正号表示时表慢了（因此时表面时比正确时刻小），負号则表示快了。例如于1962年6月15日观测織女星（ α Lyr）上中天的表面时为 $18^{\text{h}}35^{\text{m}}44^{\text{s}}.8$ ，但此时正确的时刻为 $18^{\text{h}}35^{\text{m}}41^{\text{s}}.2$ （ $s = \alpha$ ），于是得观测瞬間的表差为

$$u = 18^{\text{h}}35^{\text{m}}41^{\text{s}}.2 - 18^{\text{h}}35^{\text{m}}44^{\text{s}}.8 = -3^{\text{s}}.6$$

这說明时表在表面时 $18^{\text{h}}35^{\text{m}}44^{\text{s}}.8$ 瞬間快了3.6秒。

二、表速

無論是天文表或是石英钟，虽然在設計上尽可能地使它們的运行速度保持一定的稳定性；但由于种种原因，例如溫度气压变化的影响和受調整精度的限制等，使得它們的运行速度不能与平春分点（或平太阳）的周日視运动速度一致；所以钟表的运行速度总是会發生变

化，而且其变化是不均匀的。由此可见，时表的表差就不可能是一个常数；通常我们把表差在单位时间内的变化称为表速，以 ω 表示。若设时表在表面时 X_1 、 X_2 两个瞬间的表差为 u_1 、 u_2 ，则该时表在这时间段内的表速（实际上是 $X_2 - X_1$ 时间段内的平均表速）为

$$\omega = \frac{u_2 - u_1}{X_2 - X_1} = \frac{u_2 - u_1}{\tau} \quad (8-2)$$

式中的时间段 $\tau = (X_2 - X_1)$ 可以用日、小时、十分钟或一分钟为单位。由 (8-2) 式算得的表速则相应地称为周日表速、每时表速、每十分钟表速和每分钟表速。

例如在 $X_1 = 18^h 35^m 7^s$ 瞬间的表差为 $u_1 = -3^s.6$ ，在 $X_2 = 20^h 35^m 7^s$ 瞬间的表差为 $u_2 = -3^s.4$ 。于是按 (8-2) 式可算得不同时间单位的表速为：

$$1. \text{ 每时表速 } \omega_h: \omega_h = \frac{-3^s.4 - (-3^s.6)}{(20^h 6 - 18^h 6)^h} = \frac{+0^s.2}{2^h} = +0^s.1$$

$$2. \text{ 每十分钟表速 } \omega_{10m}: \omega_{10m} = \frac{+0^s.2}{(20^h 6 - 18^h 6) \times 6} = +0^s.017$$

$$3. \text{ 每分钟表速 } \omega_m: \omega_m = \frac{-3^s.4 - (-3^s.6)}{20^h 35^m 7^s - 18^h 35^m 7^s} = +0^s.0017$$

$$4. \text{ 周日表速 } \omega_d: \omega_d = \frac{-3^s.4 - (-3^s.6)}{\frac{20^h 6 - 18^h 6}{24}} = +2^s.4$$

表速的符号也是有正有负，它是依时表运行速度的快慢而定。例如某一恒星时表的运行速度比平春分点的周日运动速度快，则两瞬间表面时之差 $X_2 - X_1$ 要比相应的正确恒星时之差 $s_2 - s_1$ 大，即

$$X_2 - X_1 > s_2 - s_1$$

由此得

$$s_1 - X_1 > s_2 - X_2$$

所以

$$u_1 > u_2$$

因此

$$\omega = \frac{u_2 - u_1}{X_2 - X_1} \text{ 为负值}$$

由此可知，天文表运行得快，表差逐渐减小，故表速为负；反之，表走的速度慢，表差逐渐增加，则表速为正。显然，如果恒星时表的运行速度与平春分点的周日运动速度一致，那么，这个表的表速等于零。

由于表速不能保持绝对不变，表差又随着表速的变化而变化，所以应用表速时，必须注意它是那一时间段内的表速，而表差则必须指出它是那一瞬间的表差。否则就毫无意义了。

三、表差化算至另一时刻

由 (8-2) 式可以知道，如果已知某一瞬间 X_1 的表差 u_1 ，并知道表速 ω ，便可按下式

$$u = u_1 + \omega(X - X_1) \quad (8-3)$$

求得任一瞬間 X 的表差 u 。

若 ω 是由 X_1 、 X_2 兩瞬間的已知表差 u_1 、 u_2 求出的表速，而且所求時刻 X 也是在 X_1 和 X_2 之間，那麼按 (8-3) 式求 X 瞬間的表差 u 的方法，叫做內插。若瞬間 X 在 X_1 和 X_2 之外，則稱為外插。用內插求得的某一瞬間的表差比外插精確。

我們知道，表速不是一個常數，它的變化也是不均勻的；但我們按 (8-3) 式推求任一瞬間的表差時，所用的表速是在 $X_2 - X_1$ 時間段內的平均表速；顯然，拿這個平均表速作為 $X - X_1$ 時間段內的表速來計算，自然會帶來一定的誤差；為了減弱表速誤差對所求表差的影響，則 $X - X_1$ 時間段不宜過長。其次，由 (8-2) 式也可以看出，若表差 u_1 和 u_2 也含有誤差，那麼，為了減弱表差誤差對表速的影響，則 $X_2 - X_1$ 時間段又不宜過短。也就是說不宜用相隔很短的兩個瞬間的表差去求表速。在天文測量中，一般採用相隔兩小時的表差來計算表速。

(例) 設已知恒星時表在下列瞬間的表差

$$X_1 = 17^h 29^m 3^s.889, \quad u_1 = +1^m 12^s.551$$

$$X_2 = 19^h 29^m 23^s.279, \quad u_2 = +1^m 12^s.874$$

求 $18^h 15^m 30^s.0$ 瞬間的表差。

$$\omega = \frac{u_2 - u_1}{X_2 - X_1} = \frac{+0^s.323}{120^m.3} = +0^s.0027$$

於是 $X = 18^h 15^m 30^s.0$ 瞬間的表差為

$$u = +1^m 12^s.551 + 0^s.0027 \times (18^h 15^m 5^s - 17^h 29^m 1^s) = +1^m 12^s.676$$

§ 8-5 AV 天文全能經緯儀的結構

蘇聯航空大地測量儀器廠製造的天文全能儀，目前有 $AV 2''/10''$ 和 $AV 5''$ 兩種類型。 $AV 2''/10''$ 與該廠製造的大地測量經緯儀 $TT 2''/6''$ 有很多類似的地方，例如水平度盤的格值都是 $5'$ ，顯微測微器測微鼓的格值均為 $2''$ ，以及垂直軸都是屬於列普索爾德型的鋼質圓錐體等。現將 $AV 2''/10''$ 儀器的結構分別說明於下。

$AV 2''/10''$ 儀器的結構可分為兩個主要部份：I、基座——包括底座和垂直軸。II、視準部——包括望遠鏡、望遠鏡支架和水平軸，這種儀器的外形和各部份的名稱見圖 8-13。

I、基座：附有三個腳螺旋的底座與圓錐體的垂直軸連結在一起構成儀器的基座。在垂直軸上裝有一個水平度盤；偏扭觀察鏡安在底座環上。

II、視準部：望遠鏡與水平軸連結在一起，並借水平軸兩端的軸頸安置在杯形支架的軸承上。為了減輕望遠鏡部分對支架軸承的壓力和避免水平軸的彎曲，在支架底部還裝有一平衡裝置，平衡裝置的兩個支柱上端各裝有兩個滑輪，這四個滑輪借平衡裝置中彈簧的彈力托住水平軸。在水平軸上靠近望遠鏡目鏡那一端裝有垂直度盤和太爾各特水準器。還有一跨乘水準器可以跨在水平軸上。支架用軸套套在垂直軸上，整個視準部便可繞着垂直軸旋轉。

為了更清楚地熟悉這個儀器的結構，下面再把它的一個主要部件加以較詳細的介紹。

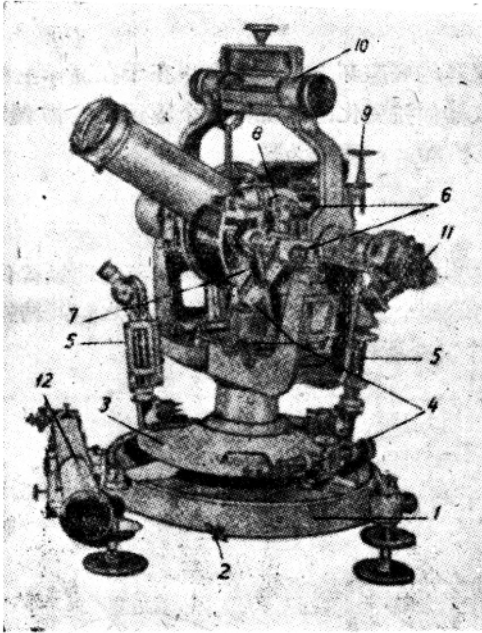


图 8-13

1. 带有加强环的底座 2. 度盘制动螺旋 3. 水平度盘护罩 4. 制动和微动螺旋 5. 水平度盘显微镜
6. 垂直度盘显微镜和水准器 7. 垂直度盘 8. 塔尔各特水准器 9. 塔尔各特水准器的倾斜螺旋 10. 跨乘水准器 11. 目镜测微器 12. 偏扭观察镜

鏡焦距为 450mm ，目鏡焦距为 8mm 和 10mm ，放大率为 $45\times$ 和 $56\times$ ，視野为 $0^\circ 54'$ 。

(一) 望遠鏡 (分主望遠鏡和偏扭觀察鏡)

1. 主望遠鏡 (即一般所稱的望遠鏡)。

在 § 8-1 中已提到，在天文觀測中，經常要測天頂距較小的天體，所以天文全能儀的望遠鏡一般都是採用折式的。

圖 8-14 是 4Y 天文全能儀的折式望遠鏡，在水平軸上的空心立方體內安裝一個等邊直角稜鏡，恆星光線通過物鏡進入望遠鏡筒內，再經過直角稜鏡斜面的反射，最後在目鏡前的焦平面上成像。於是觀測者在視野內可以看到星像，而且借照明燈的燈光在視野內同時可以看到絲網。水平軸兩端的軸頭是水平軸旋轉時與支架軸承接觸的部分，所以對它的質量要求很高，以保證水平軸旋轉的穩定性。

望遠鏡的物鏡口徑為 55mm ，物

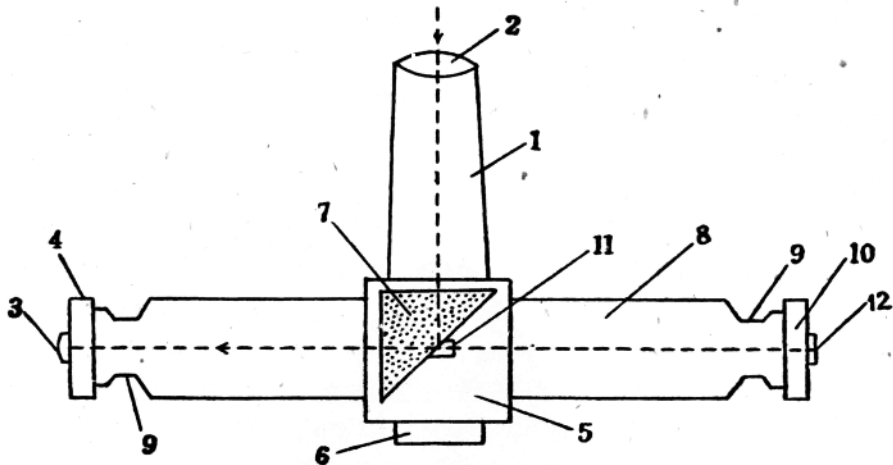


图 8-14

1. 望遠鏡筒 2. 望遠鏡物鏡 3. 望遠鏡目鏡 4. 目鏡測微器 5. 空心立方體 6. 平衡配重 7. 直角稜鏡
8. 空心水平軸 9. 軸頭 10. 配重 11. 小稜鏡 12. 視野照明光孔

2. 偏扭观察镜

偏扭观察望远镜是直式的，它安装在仪器的底座环上。它的作用在于在高标上观测水平角时，用它照准地面上一固定标志来检查仪器偏扭变化的情况，这个望远镜的物镜口径为 36^{mm} ，物镜焦距为 360^{mm} ，目镜放大倍率为 $30\times$ ，视野为 1° 。

(二) 目镜测微器

主望远镜的目镜测微器是天文全能仪主要组成部分之一，它的结构与大地经纬仪的目镜测微器大致相同。用它可以测定同在视野内的两个目标的水平角或天顶距之差其结构如图8—15(a)所示，由动框、固定框和测微鼓三个部分所组成。

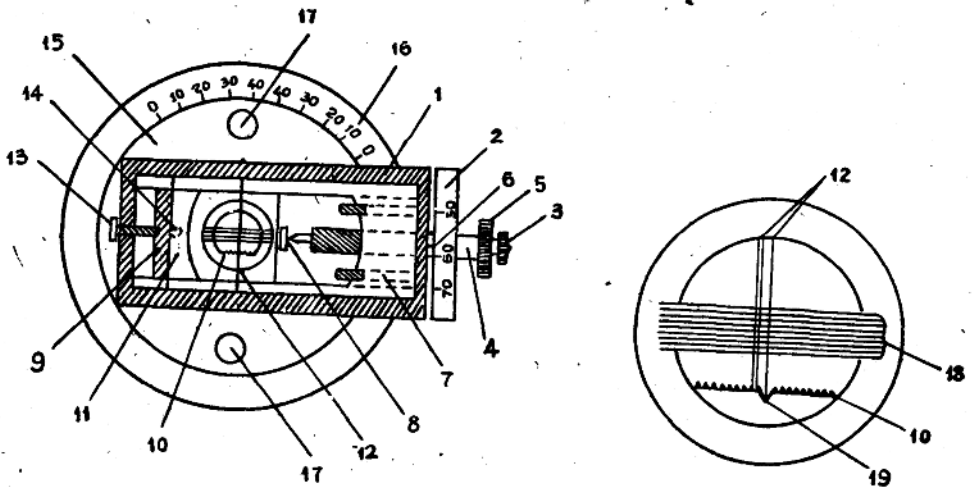


图8—15(a)

图8—15(b)

1. 目镜测微器箱 2. 测微鼓 3. 测微鼓零点固定旋鈕 4. 测微螺旋杆 5. 螺杆手輪 6. 指标 7. 彈簧杆
8. 螺旋制子 9. 固定框 10. 計数齿 11. 动框 12. 移动絲 13. 中凹调节螺旋 14. 中凹制動螺旋 15. 轉动圓板 16. 分划圓板 17. 圓板旋轉制動螺子 18. 固定絲 19. 中凹

在目镜测微器的固定框中间装有9根等间隔的固定丝，见图8—15(b)，装这么多蛛丝的目的，在于增加天体通过蛛丝的观测次数，以减少观测偶然误差的影响。在定框的一边边上还装有计数齿，计数齿中央的大齿凹称为中凹，以中凹的中央作为测微器的零点。在中凹的左右两边各有九个齿。另外，在动框上装有一组与固定丝垂直的移动丝（一根单丝和两根相距很近的双丝），而动框又与测微鼓的螺杆連結在一起。所以当转动测微鼓一周（100个分划）时，移动丝在视野内随着动框刚好移动一个齿距；因此，移动丝移动的齿数等于测微鼓转动的周数。显然，移动丝不足一周的移动量可由测微鼓相应的转动分划数来求出。测微鼓转动一周所相应的距离（称为周值）约为 $115''$ ，此值可通过观测恒星来决定（在§8—10讨论）。

整个测微器箱与转动圆板固定在一起，转动圆板又借两个旋转制动螺子与分划圆板連結着。若松开两个制动螺子，目镜测微器箱便可沿着分划圆板旋转，旋转的度数可由分划圆板