

# 778 光电经纬仪主光学系统的调整

高志荣

**【摘要】** 本文叙述了778光电经纬仪主光学系统的调整方法，最后给出了检测结果。

## 一、前 言

778光电经纬仪主光学系统质量好坏直接影响远距离目标的分辨能力和测量精度，为了提高仪器的测量精度和尽可能地增大作用距离，提高光学系统的成象质量和稳定性是关键性问题。

为了满足光学系统质量要求，必须保证各个光学元件的几何相对位置 and 同轴性要求，特别是主镜和次镜的同轴性。

类似系统的传统装校方法是依靠机械加工的精度使各个光学元件处于基本正确位置，然后于整个系统用星点法进行检查。如发现有像散，则说明系统中某元件受力变形，有球差则说明系统各个元件之间的轴向尺寸有问题，如有慧差，则根据装校人员的经验，由慧差的大小、方向和仪器结构特征，判断偏心元件的部位，再进行试探性校正，事实上，星点像的形状，反映整个光学系统球心分布、元件位置偏差、面形变形等因素的综合影响，因此即使一个很有经验的装校人员也不可能一下子就指出是哪一个元件偏心了，偏心大小和方向怎样。在一般的情况下，对每个元件基本上都要进行试探性的反复多次的校正。显然，这种装校方法盲目性很大，费时、费工，生产效率低，质量也不易保证，并且只能依靠少数有经验的装校人员工作。

为了改变这种落后状态，我们研制了一种新的光学中心偏测量仪对778主光学系统进行校正。

## 二、中心偏测量原理和仪器简介

该仪器基于旋转法球心自准式原理，在一个高精度的空心轴系中安置了偏心测量光学系统，使用时测量头光学系统随本身的基准轴同步旋转，给出一个以基准轴轴线为中心的旋转标记，当被测光学系统的球心与基准轴轴线重合时，则由被测球面自准面的反射象中心在视场内也划出一个与基准轴轴线对称的圆的轨迹，否则反射象中心就划出一个与基准轴线偏心的圆的轨迹。根据被测各面的偏心大小和方向，就可算出球面实际偏心大小和方向。计算原理如图1所示。

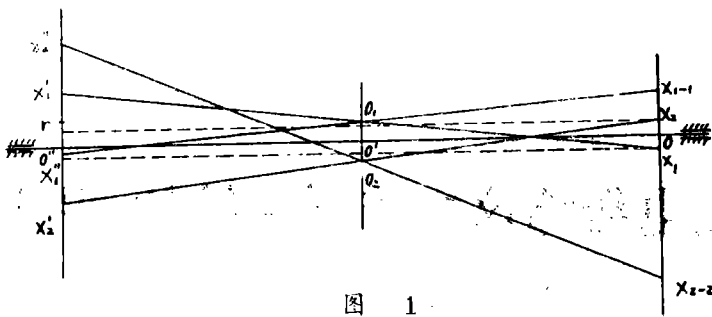


图 1

图中  $00'0''$  代表仪器基准轴轴线。

实际上，测量头十字丝中心，测量头光学系统主点以及被测球面的球心都可能偏离基准轴轴线并位于该轴线的周围任何可能位置，但为了简化计算，我们将这些点均投影在垂直于基准轴轴线的  $x-y$  坐标平面上。

$o x_1$ ,  $o' o_1$ ,  $o'' r$  分别为测量头十字丝中心，测量头光学系统主点，被测球面中心相对于基准轴轴线的偏离。

当测量头处于起始位置时，十字丝中心  $x_1$  通过系统主点  $o_1$  投影在包括被测球心  $r$  垂直于基准轴轴线的平面  $x_1'$  点， $x_1'$  通过被测球面反射后成象在  $x_1''$  点，显然， $x_1'' r = r x_1'$ 。

$x_1''$  点再通过测量头光学系统主点  $o_1$  成象在十字丝平面的  $x_{1-1}$  点，这时我们通过双向望远镜可以测出测量头本身十字丝中心  $x_1$  到  $x_{1-1}$  点的距离  $x_1 x_{1-1}$ 。

当测量头绕基准轴轴线旋转  $180^\circ$  后，十字丝中心，测量头光学系统主点也同时转到与基准轴轴线对称的  $x_2, o_2$  点，显然

$$o x_1 = o x_2, \quad o' o_1 = o' o_2$$

这时由于被测系统不动，故  $r$  点不动。

同理， $x_2$  通过  $o_2$  成象在  $x_2'$ ， $x_2'$  通过被测球面反射后成象于  $x_2''$ ， $x_2''$  再通过测量头光学系统主点  $o_2$  成象于  $x_{2-2}$ 。

双向测微目镜是与测量头同步旋转的。这时我们可以测出  $x_2$  到  $x_{2-2}$  的距离  $x_2 x_{2-2}$ 。

$$\text{令 } o x_1 = o x_2 = a$$

$$o' o_1 = o' o_2 = b$$

$$o'' r = c$$

$$oo' / o' o'' = M$$

根据图 1 可导出：

$$(o'' x_1' + a) / (oo' + o' o'') = (a + b) / oo'$$

$$x_1' x_1'' = 2(o'' x_1' - c)$$

$$x_{1-1} x_1 = M \cdot x_1' x_1'' = 2M(o'' x_1' - c)$$

$$= 2Mb - 2Mc + 2a + 2b \quad (1)$$

$$(o'' x_2' + a) / (o'' o' + o' o'') = (a + b) / o' o'$$

$$x_2' x_2'' = 2(x_2' o'' + c)$$

$$x_{2-2} x_2 = M x_2' x_2'' = 2M(x_2' o'' + c)$$

$$= 2Mb + 2Mc + 2a + 2b \quad (2)$$

如果以测量头十字丝中心为动座标原点，在座标原点上为正，下为负，则(2) + (1) 得：

$$(x_{1-1}x_1) + (-x_{2-2}x_2) = -4Mc$$

$$c = (x_{1-1}x_1) + (-x_{2-2}x_2) / -4M \quad (3)$$

即偏心量  $c$  与测量头十字丝中心和测量头光学系统主点与基准轴轴线的偏离  $a$  和  $b$  无关，其数值大小等于测量头在对经  $180^\circ$  两个位置时，十字丝反射回来的象的中心到十字丝中心的距离座标值的和除以四倍的测量头在该位置时的倍率  $M$ 。

当  $M$  为负值（倒象）时，偏心值  $c$  的方向与座标值的绝对值大的方向相反，当  $M$  为正值时， $c$  的方向与座标值的绝对值大的方向同向。

这样，我们利用双向测微目镜可以同时测出球心自准直像在垂直于基准轴线的  $x-y$  座标平面上的两个分量。

$$c_x = (x_{1-1}x_1 + x_{2-2}x_2) / 4M \quad (4)$$

$$c_y = (y_{1-1}y_1 + y_{2-2}y_2) / 4M \quad (5)$$

则球心偏  $\bar{c}$  的大小为

$$\bar{c} = \pm \sqrt{c_x^2 + c_y^2} \quad (6)$$

其偏心的方向角为

$$\alpha = \arctg \frac{c_y}{c_x} \quad (7)$$

偏心量  $\bar{c}$  所处的座标象限取决于  $c_x$ 、 $c_y$  的正负号， $c_x$  在基准轴线的右侧为正，左侧为负， $c_y$  在基准轴线的上方为正，下方为负。

我们依次对被测光学系统的每个面的球心通过其前面光学系统所成象的偏心进行测定通过公式(4)、(5)即可算出整个光学系统算的所有球面中心通过其前面光学系统所成的偏心大小，再根据如下公式<sup>2</sup>：

$$c_{I_x} = c_{(I+1)_x} + B_{I_x} + \sum_{J=I+1}^{F-1} A_{IJ} (c_{(J+1)_x} - c_{J_x}) \quad (8)$$

$$c_{I_y} = c_{(I+1)_y} + B_{I_y} + \sum_{J=I+1}^{F-1} A_{IJ} (c_{(J+1)_y} - c_{J_y}) \quad (9)$$

即可算出被测光学系统的所有球面中心实际偏离基准轴轴线的大小和方向了。

中心偏测量仪共分三大部份如图2所示。其光学系统示于图3。

图3中1、2、3、4、5、27为光路偏离器，是专为测量和校正中心带遮栏的大型望远系统而设计的，它可以由测量头上取下，以便后面的测量头部份测量和校正不带遮栏的光学系统中心偏之用。

棱镜分划板12被光源14和聚光镜13照明后通过调焦物镜7



图2 旋转式光学中心偏测量仪外观

和固定物镜6将十字丝成象在待测球面的球心附近，被球面反射后按原路返回分划板表面，由于分划板面相对于主光路有20度倾角，故返回的十字丝象偏转后通过反射镜26、10倍物镜23、反射镜22、16、14成象在测量分划板18上进行测量。

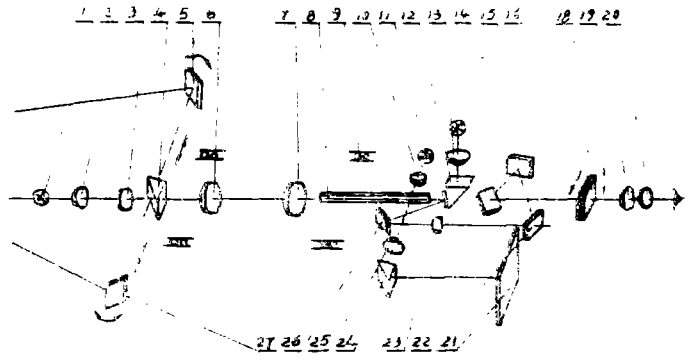


图3 中心偏测量仪光学系统

距离刻尺8和调焦镜7固定在一起，因此当调焦镜调焦时带动距离刻尺8一起运动，刻尺通过光源11、聚光镜10照亮后，通过投影物镜25、棱镜24将距离刻划成象在投影屏21上。

1、11、14光源，2、10、13聚光镜，3分划板，4、24直角棱镜，5、15、16、22、26、27反射镜，6固定物镜，7调焦物镜，8距离分划板，9旋转轴，12棱镜分划板18测量分划板19、20目镜，23物镜，25投影物镜，21，投影屏

### 三、778主光学系统调整

主镜口径 $\phi 450$ 毫米；次镜为一后反射的双胶合镜组，口径 $\phi 100$ 毫米。第一象面位于场镜后7.5毫米，后面是调焦组和变倍组。整个光学系统组合起来进行象差校正，最后在摄影机像面上拍摄目标象。组合焦距有3米和5米两种。主系统不同心度不大于15角秒，视场中心鉴别率分别要求达到43和40对线/毫米。

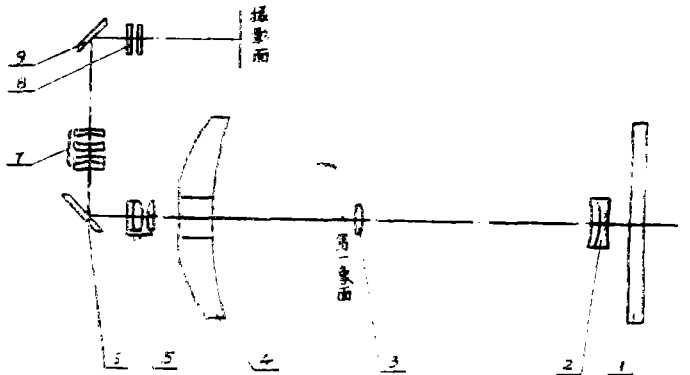


图4 778主光学系统

#### 1. 主镜的校正

主镜结构和调整装置如图5所示。

1.保护玻璃 2.次镜 3.场镜 4.主镜 5.调焦镜  
6.反射镜 7.变倍物镜 8.滤光镜 9.反射镜

主镜是整个光学系统的关键，主镜面形误差要求不低于0.1波长，中心孔与轴套的配合间隙为0.02~0.03毫米。轴套与主镜中心孔研配后需用胶胶牢，我们使用的是洋干漆的酒精稀溶液，由于间隙小，洋干漆干后比较牢固，胶好后用刀口仪阴影法检查未发现面形改变。在托盘和主镜底面之间有10个弹性支承，每个支承均单独与主镜底面和托盘之间的间隙

研配好，使能轻轻推入，然后用光学胶胶牢。再用刀口仪（使用0.02星点）阴影法和星点法检查面形，保证面形不变。

镜座托盘中心安装调焦筒。调焦筒的外径与内套内径研配后以适当过盈装有 $\phi 2$ 钢球，作为轴向调焦的导轨。为了保证主镜球心与调焦筒中心偏离不大于0.03毫米，我们做了一个工具心轴，使之与调焦筒内孔研配，作为调整基准。

调整前，首先将心轴固定在一个基准旋转轴上，调整心轴的位置，使心轴与基准轴轴线偏离不大于0.002毫米，然后将主镜调焦筒连同主镜和托盘一起装在心轴上，当轴旋转时，用百分表测量托架的连接基准面的跳动，用修研托架下的修正环的方法使百分表指示跳动不大于0.01毫米。

在主镜上方架一平面反射镜。刀口仪和测量显微镜。在显微镜视场内找到主镜的球心象并用双向测微目镜测出球心象的位置；基准轴转180度，再次用双向测微目镜测出球心象的位置。两次测量结果的差就是球心象的划圆量。显微镜物镜为3倍，则球心象的划圆量应不大于0.36毫米。可以通过调整托架和主镜之间的相互位置来保证，调好后用专用工具将主镜部份装入水平轴方箱内。

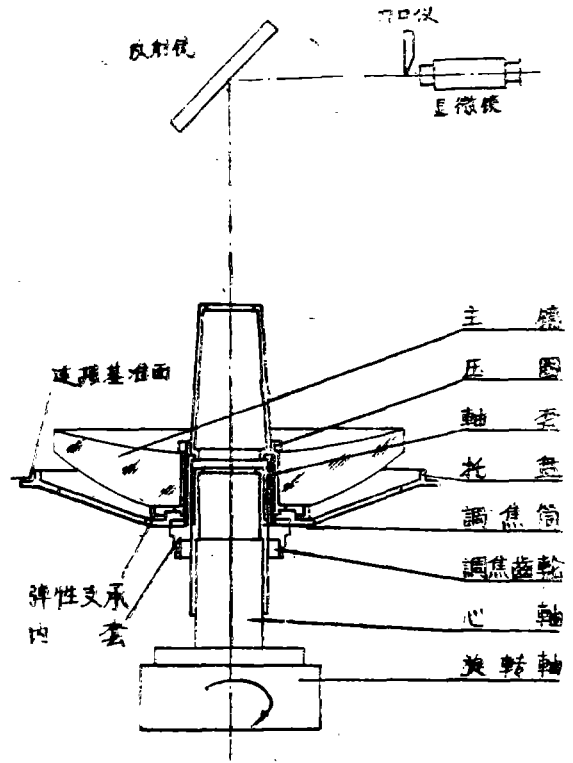


图5 主镜结构和调整装置

## 2. 次镜的校正

次镜的校正是在保证次镜顶点和主镜顶点的距离为  $952 \pm 0.5$  毫米的间隔时才能进行，依靠修磨次镜镜座后的修正环来保证。次镜装入镜框后我们用刀口仪仔细地检查好面形后才进行校正工作。

调整装置如图6所示。

我们用的只是中心偏测量仪的测量头部份。测量头的轴外径与调焦筒内孔不同心度不大于0.01毫米，测量头外径与旋转轴不同心度不大于0.002毫米。这样就间接地保证了中心偏测量仪的旋转轴线与主镜球心偏离不大于0.02毫米。

调整前首先要算出次镜的三个面的球心象位置。中心偏测量仪前表面距次镜第一表面顶点距离为1192毫米，则在偏心仪视场内三个球心象的位置分别为  $\bar{R}_1 = 707$  毫米， $\bar{R}_2 = 992$  毫米， $\bar{R}_3 = 1863$  毫米。偏心仪中三个球心象倍率为  $\beta_1 = 3.15$ ， $\beta_2 = 2.25$ ， $\beta_3 = 1.15$ 。转动偏心仪的调焦筒，在上述三个位置找到三个球心自准直十字丝象。测量时先在  $0^\circ$  位置用双向测微目镜测量十字丝反射象与仪器本身十字丝中心的坐标位置，然后又分别在  $90^\circ$ ， $180^\circ$ ， $270^\circ$  几个对称位置时测量球心象与偏心仪本身十字丝中心的坐标距离，计算出它们的偏心大小和方向。然后修研次镜框后的修正环的倾斜和沿径向位移次镜框，保证每个球心相对于偏心仪

旋转轴线的角偏心不大于15角秒。实测偏心数据如表1所示。

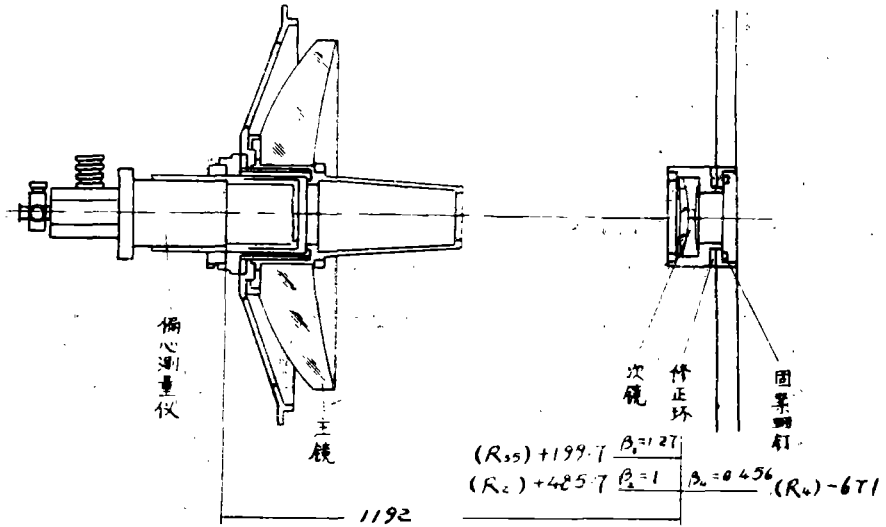


图6 次镜调整装置

表1

单位:毫米

		0°	90°	180°	270°	0° + 180°	90° + 270°	平均值
R <sub>2</sub>	x	+0.35	+0.41	-0.43	-0.50	-0.08	-0.09	$\overline{\Delta x} = -0.085$
	y	+0.44	-0.40	-0.47	+0.38	-0.03	-0.02	$\overline{\Delta y} = -0.025$
R <sub>3</sub>	x	+0.25	+0.20	-0.20	-0.15	+0.05	+0.05	$\overline{\Delta x} = +0.05$
	y	+0.21	-0.18	-0.15	+0.25	+0.06	+0.07	$\overline{\Delta y} = +0.065$
R <sub>4</sub>	x	+0.13	+0.10	-0.16	-0.12	-0.03	-0.02	$\overline{\Delta x} = -0.025$
	y	+0.10	-0.16	-0.13	+0.13	-0.03	-0.03	$\overline{\Delta y} = -0.030$

根据公式(4)、(5)就可算出每个球面的球心通过其前面光学系统所成的球心像偏离偏心仪旋转轴的数值  $\overline{c_x}$ ,  $\overline{c_y}$ , 然后再根据公式(8)、(9), 通过计算机算出每个球面的球心实际偏离偏心仪旋转轴轴线的大小  $c$ , 角偏心和方位角, 计算结果如表2所示。

由表2可知, R<sub>2</sub>和R<sub>4</sub>的角偏心不大于10角秒, R<sub>3</sub>角偏心稍大, 但由于该面前后介质的折射率差为0.1562, 相差较小, 对象差影响较小。

次镜调好后, 螺钉和顶丝用胶封死。

主系统的场镜在第一象面前7.5毫米, 主要是校正轴外象差用, 其同心度要求不高, 主要是依靠机械加工的定位精度来保证。

主系统后的调焦镜和准直镜, 由于其要求同心度并不十分严格并且由于有加工较好的机械内孔的定位来保证, 因此同心度易于保证, 装调方法从略。

表 2

	$\beta_1$	视见球心偏	实际偏心	C	角偏心	方位角	
R <sub>2</sub>	0.945	x	-0.0225	-0.0225	0.023	9.95"	196°
		y	-0.0066	-0.0066			
R <sub>3</sub>	0.66	x	+0.0190	+0.0110	0.022	10.73"	59°
		y	+0.0246	+0.0190			
R <sub>4</sub>	0.3456	x	-0.018	-0.0340	0.081	-7.5	245°
		y	-0.0217	-0.0740			

#### 四、结果和结论

整个系统装校完成后,我们用 $\phi 700$ 毫米,  $F=5$ 米的平行光管进行目视鉴别率检查和摄影鉴别率检查结果如下:

目视鉴别率:  $F=5$ 米, 133线对/毫米, 达到理论值。

摄影鉴别率(轴上):

$F=5$ 米, 摄影频率40帧/秒, 设计要求鉴别率 $\geq 40$ 线对/毫米, 实测为51线对/毫米;

$F=3$ 米, 摄影频率40帧/秒, 设计要求 $\geq 43$ 对线/毫米, 实测为62对线/毫米;

$F=3$ 米, 摄影频率200帧/秒, 设计要求 $\geq 35$ 对线/毫米, 实测为57对线/毫米。

上述方法由于偏心仪与778连为一体, 即使仪器有移动, 但只要不把偏心仪从778上拿下来, 则偏心仪和778主光学系统的相对位置就不会改变, 也不会影响测量精度, 使用和装调比较可靠, 精度较高, 且能定量地给出偏心值。

#### 参 考 文 献

- [1] 高志荣, 高精度中心偏测量仪的设计和使用, 光学工程, 1983年第3期, P.40~48。
- [2] 高志荣, 光学系统实际中心偏的计算, 光学工程, 1984年第5期, P.25~31。
- [3] 高志荣, 高精度摄影物镜的装配与校正, 光学工程, 1980年第4期, P.33~41。

## The Alignment of Main Optical System for the photoelectric Theodolite 778

Gao Zhirong

#### Abstract

The alignment of the main optical system is given in the Paper, and the final results of testing are also presented.