

边涌泉 编著

水平仪的 使用

4

宁夏人民出版社

水平仪的使用

边涌泉 编著

宁夏人民出版社出版

(银川市解放西街161号)

宁夏新华书店发行

宁夏新华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 4.5 字数95千 插页 1

1981年9月第1版第1次印刷

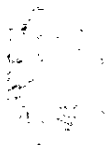
印数 1—4,000册

书号15157·8 定价0.50元

内 容 简 介

本书以理论为依据，通过例题、作图和计算表格，对水平仪检验直导轨机床、圆导轨机床的精度和大平板平面度的误差等作了详尽的论述，文字通俗，说理透彻，便于实际工作者学习使用。

本书读者对象是从事机械加工、装配和机床修理工作的技术人员，计量、检查人员和钳工。



前 言

水平仪是机械制造厂中常用的一种精度检验工具。用它可检验制件表面的水平位置、铅直位置或制件表面的相互平行、相互垂直，检验机床导轨精度、部件运动精度、精密机床的工作台面以及平板工作面的平面度等精度项目。

使用水平仪检验精度时，对检验读数可有很多种处理计算方法，如果处理计算不当，则不能保证被检验机床或平板的精度，影响机床加工工件的精度和平板作为平面基准的合格性。编者希望通过本书的介绍，达到正确使用水平仪、真实反映制件误差的目的。

本书完稿后，承王国美、刘建文两位同志审阅。赵凤林同志为本书出版给予了热情的帮助和支持，特此致谢。由于编者水平所限，书中难免存在缺点和错误，希望读者批评指正。

编 者

1981年2月

目 录

一、水平仪的种类及其工作原理	(1)
(一) 水平仪的种类和用途	(1)
(二) 钳工水平仪和框式水平仪的构造及工作原理	(1)
(三) 光学合像水平仪的构造及工作原理	(9)
二、用水平仪检验直导轨机床	(12)
(一) 导轨在垂直平面内不直度近似曲线的绘制方法	(13)
(二) 导轨不直度的线值法检验计算	(19)
(三) 溜板或工作台移动不直度的线值法检验计算	(50)
(四) 导轨不直度和溜板移动不直度的角值法检验 计算	(61)
(五) 导轨的扭曲和不平行度的检验计算	(66)
(六) 部件移动时倾斜的检验计算	(68)
(七) 在直立平面内部件相互垂直的检验计算	(72)
(八) 在直立平面内部件相互平行的检验计算	(75)
三、用水平仪检验圆导轨机床	(77)
(一) 环形圆导轨不直度的圆周切向法检验计算	(77)
(二) 环形圆导轨不直度的桥板径向法检验计算	(97)
(三) 工作台转动后工作台面不水平度的检验计算	(104)
四、用水平仪检验机床安装水平	(106)
(一) 机床安装水平的检验方法	(106)
(二) 一般金属切削机床的安装水平允差	(108)

五、用水平仪检验制件的平面度	(110)
(一) 平板平面度的检验计算	(110)
(二) 精密机床工作台面平面度的检验计算	(128)
六、保证检验准确的措施	(130)
(一) 水平仪垫板和桥板	(130)
(二) 正确地使用水平仪	(135)

一、水平仪的种类及其工作原理

(一) 水平仪的种类和用途

水平仪是一种角度量具，用它可检验制件表面的水平位置、铅直位置及制件相互位置的垂直性与平行性，还可检验制件表面的不直度与平面度。在机床制造、安装与修理工作中，主要依靠水平仪检验机床的安装水平、导轨的不直度、导轨的扭曲、导轨间的不平行度、机床工作台等部件的运动精度以及平板工作表面的平面度等，所以水平仪是计量检验工作中的重要工具之一。

水平仪按用途可分为钳工水平仪、框式水平仪和光学合像水平仪。钳工水平仪又称条形水平仪，用于检验制件表面的水平位置及各表面间的平行性。框式水平仪除能完成钳工水平仪的各项工作外，还可检验制件表面的铅直位置及各表面间的垂直性。光学合像水平仪则用于对制件表面的水平位置进行精确测定。

(二) 钳工水平仪和框式水平仪的构造及工作原理

1. 构造

钳工水平仪主要由水平仪体 1、主水准管 2 和横水准管 3 三部分组成（图 1—1）。

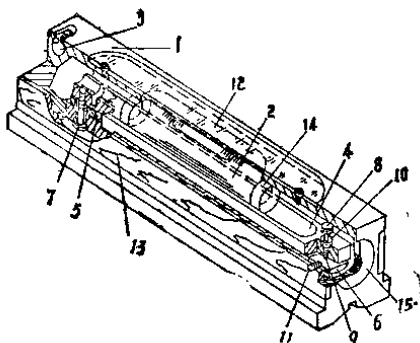


图 1—1 钳工水平仪的构造

1——水平仪体；2——主水准管；3——横水准管；4——托杆；5、6——弧面垫；7、8——螺钉；9——钢珠；10——锁紧螺母；11——紧定螺钉；12——透明塑料板罩；13——绝热柄；14——塑料带；15——弹性挡圈

水平仪体呈条形，系铸铁材料制成，仪体的底面是工作面。工作面有V形导槽，便于检验圆柱制件时，导槽与圆柱表面成两条线接触，使水平仪不致沿圆柱长度方向歪斜。

主水准管是水平仪的主要零件之一，它是一个圆形截面的长玻璃管，管上刻有间隔为2毫米的刻度。玻璃管的内壁沿长度方向按要求研磨成一定半径的弧，管中封入乙醚或酒精，从管外可见少许空气泡，这气泡被乙醚或酒精的蒸汽所饱和。水平仪在任何倾斜位置时，水准管内的液面总是呈一水平面，气泡处于液面之上。根据气泡末端的刻度，可判定水平仪倾斜角的大小，即水平仪所测平面倾斜角的大小。

塑料带14将主水准管两端固定粘结于托杆4上。托杆的左端底面下有一弧面垫5，用螺钉7将托杆左端固定在水平仪体上。托杆右端与螺钉8相连，螺钉8通过前端锥窝下的钢珠9压在弧面垫6上。由于托杆左端开有2毫米宽的槽口，所以调节螺钉8可使托杆围绕左端转动一小角度，借以调节主水准管的水平位置。主水准管的水平位置调节好以后，应将锁紧螺母10及托杆两侧的紧定螺钉11紧固。

主水准管对水平仪体下工作面是平行的，这在水平仪出厂前，已由制造单位预先调整好，使用者不应擅自调整。为了保护主水准管不致破碎，在其上方有一透明塑料板罩12。水平仪体两侧的木制绝热柄13，是为便于拿持和避免将手上的热传到水平仪体上，使不致影响检验准确度。

横水准管3的构造与主水准管类似。检验圆柱制件时，应注意使横水准管3的气泡在正中位置，以保证从圆柱的端面看水平仪放置也是端正的。因水平仪的主水准管只是在有刻度的面上有严格地按一定半径研磨成的弧面，如果水平仪体倾斜，主水准管气泡将偏离有刻度的一面，导致检验读数不准确。

框式水平仪（图1-2）呈框形，框的四边皆为工作面，各工作面的平度及其相互垂直度要求都很严格。为检验圆柱制件，水平仪体下工作面及一侧工作面有V形导槽。框的上侧装有绝热柄。

框式水平仪的水准管构造与钳工水平仪相同，

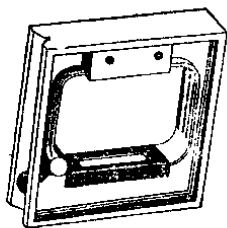


图1-2 框式水平仪

2. 工作原理

用水平仪检验制件表面F的水平位置时（图1-3），如果F面处在水平位置，则水平仪的主水准管气泡在水准管的正中位置A；如果F面倾斜 θ

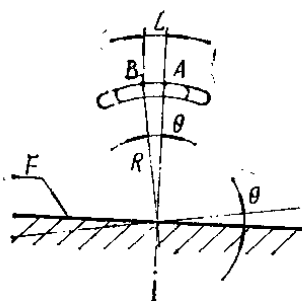


图 1—3 气泡移动距离 L 与水准管曲率半径 R 的关系

角，则主水准管也倾斜 θ 角，主水准管的正中位置A将移动圆弧距离L到位置B，而气泡永远处于水准管内的最高点，在位置A上不动，即气泡相对于主水准管的正中位置移动了圆弧距离L。倾斜角 θ 、圆弧距离L与主水准管内壁曲率半径R的关系如下：

$$\theta = \frac{L}{R} \quad (\text{弧度})$$

当曲率半径R比较大，面圆弧距离L很小时，可近似地把L当做直线距离。按同样道理，主水准管的一个刻度间隔 α 和与它对应的倾斜角 ϕ 的关系为（图1-4）：

$$\phi = \frac{\alpha}{R} \quad (\text{弧度})$$

当 ϕ 以秒为单位计算时，

$$\phi = 57.2957 \cdot 60 \cdot 60 \frac{\alpha}{R} = 206265 \frac{\alpha}{R} \quad (\text{秒})^{**}$$

• 本书文字中的 α 与图中的 α 通用。

** 1 弧度 = $57.2957 \cdot 60 \cdot 60$
= 206265 秒。

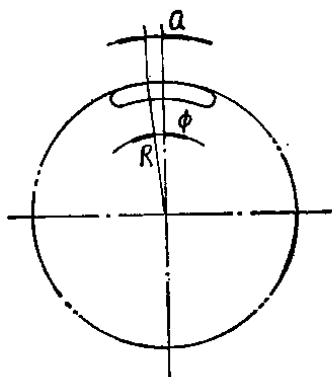


图 1—4 刻度间隔 a 与水准管内壁曲率半径 R 的关系

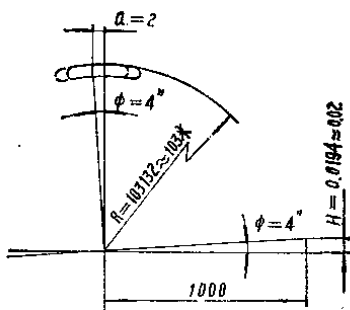


图 1—5 分度值为0.02毫米/米的水平仪的解释

$$\text{或 } a = \frac{R\phi}{206265} \text{ (毫米)}$$

式中 a ——水平仪主水准管一个刻度的间隔 (毫米)；

R ——水平仪主水准管内壁的曲率半径 (毫米)；

ϕ ——相当于一个刻度间隔的倾斜角。

由上式可以看出,主水准管的刻度间隔 a 与主水准管内壁曲率半径 R 及每一个刻度间隔所代表的倾斜角 ϕ 有关。当 R 增大时,每单位倾斜角对应的刻度间隔 a 则增大,这样便于读数,视差的影响较小。但当 R 太大时,将导致主水准管气泡的稳定性差,周围稍有振动,气泡即随之振动,影响测量时间增长。反之,当 R 太小时,由于刻度间隔太小,将增大视差的影响。一般取刻度间隔 a 近于2毫米。例如:取刻度间隔 $a = 2$ 毫米,并取相当于一个刻度间隔的倾斜角 $\phi = 4''$ (图1—5),则:

$$\begin{aligned} R &= 206265 \frac{a}{\phi} \\ &= 206265 \cdot \frac{2}{4} \\ &= 103132 \text{ 毫米} \\ &\approx 103 \text{ 米。} \end{aligned}$$

又因角度以秒计和角度以弧度计的关系为:

$$\begin{aligned} 1'' &= 4.8481 \cdot 10^{-6} \\ &\approx 4.85 \cdot 10^{-6} \text{ 弧度。} \end{aligned}$$

而且在小角范围内,弧度值几乎等于正切值。所以当半径为1米,倾斜角为 $4''$ 时,与它相对应的圆周长(或近似地看作一端抬起的高度) H 为:

$$\begin{aligned} H &= 1000 \cdot \operatorname{tg} 4'' \\ &= 1000 \cdot (4 \cdot 4.85 \cdot 10^{-6}) \end{aligned}$$

$$\approx 0.0194$$

$$\approx 0.02 \text{ 毫米。}$$

从以上计算可知,用主水准管内壁曲率半径 $R = 103$ 米、刻度间隔 $a = 2$ 毫米的水平仪,放在 1 米长的垫板上,若垫板的上、下两个工作面绝对平行,且垫板的工作面处于水平位置,则水平仪主水准管气泡在正中位置,即读数为零。若垫板的一端抬起 0.02 毫米,主水准管气泡则偏移一个刻度间隔。

分度值为 0.02 毫米/米 (即分度值为 $0.02/1000$) 的水平仪,就是主水准管气泡每偏移一个刻度单位 (1 格) 代表水平仪长度延长到 1 米 (水平仪实际只有 200~300 毫米长) 时,其一端比另一端翘起 0.02 毫米。也就是以角度的正切值 $0.02/1000$ 或角度的弧度值 $0.02/1000$ 代表水平仪的分度值,它的每格刻度所对应的倾斜角为 $4''$ 或 $0.02/1000$ 弧度。同样道理:分度值为 0.05 毫米/米的水平仪,每格刻度所对应的倾斜角为 $10''$ 或 $0.05/1000$ 弧度;分度值为 0.10 毫米/米的水平仪,每格刻度所对应的倾斜角为 $20''$ 或 $0.10/1000$ 弧度。水平仪读数无论以格数表示还是以千分之几 (如 $0.02/1000$ 、 $0.03/1000$ 等) 的分数表示,都称为角值读数。

水平仪试行检定规程 (38-58) 规定,钳工水平仪和框式水平仪按分度值分为四组:

I 组为 0.02~0.05 毫米/米;

II 组为 0.06~0.10 毫米/米;

III 组为 0.12~0.20 毫米/米;

IV 组为 0.25~0.5 毫米/米。

按照一般精度机床 (普通车床、卧式镗床和龙门刨床等) 的精度要求,检验精度时须采用分度值为 0.02 毫米/米

的水平仪。

从公式

$$H = 1000 \cdot \operatorname{tg} 4''$$

还可看出，如果距离1000减小为500、250或200毫米，则 H 尺寸将相应地减小。

另外，从图 1—6 也可看出，由于水平仪垫板有200、250和500毫米等不同长度，检验时，虽然同样倾斜0.02/1000（倾斜4''），垫板一端比另一端抬起的高度是不同的，如：

垫板长200毫米时，

$$\begin{aligned} \Delta H_1 &= 0.02 \cdot \frac{200}{1000} \\ &= 0.004 \text{ 毫米;} \end{aligned}$$

垫板长250毫米时，

$$\begin{aligned} \Delta H_2 &= 0.02 \cdot \frac{250}{1000} \\ &= 0.005 \text{ 毫米;} \end{aligned}$$

垫板长500毫米时，

$$\begin{aligned} \Delta H_3 &= 0.02 \cdot \frac{500}{1000} \\ &= 0.01 \text{ 毫米。} \end{aligned}$$

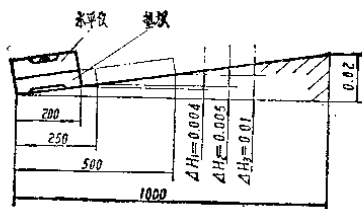


图 1—6

水平仪倾斜同一角度时，它的垫板愈长，制品一端抬起高度愈大

由此可知，用水平仪检验制件时，所用的水平仪垫板支点间距离，直接影响其一端抬起高度的大小。

（三）光学合像水平仪的构造及工作原理

1. 构造

光学合像水平仪主要由微动螺丝 1、杠杆系统 2、主水准管 3、壳体 4、棱镜 5 及本体 6 等部分组成（图 1—7）。

主水准管 3 的两端固定在壳体 4 上，壳体 4 的右端与弹

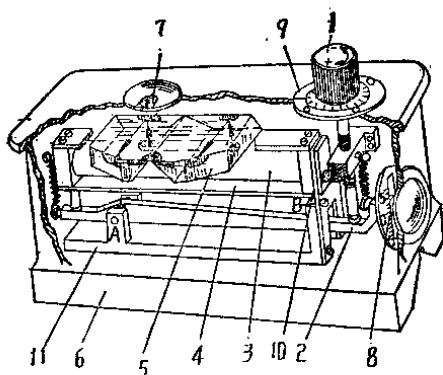


图 1—7 光学合像水平仪

- 1 —— 微动螺丝； 2 —— 杠杆系统； 3 —— 主水准管； 4 —— 壳体；
 5 —— 棱镜； 6 —— 本体； 7 —— 目镜； 8 —— 刻度尺；
 9 —— 刻度盘； 10 —— 弹簧片； 11 —— 杠杆支脚

•

—

的准确度已不决定于主水准管的曲率半径了，而是与杠杆系统的放大倍数有很大关系。

杠杆系统的放大原理，参看图 1—8。微动螺丝的刻度盘分为 n 等分，微动螺丝的螺距为 S ， A 、 B 为支点，臂长分别为 a 、 b 和 c ，主水准管置于臂长为 c 的杠杆上。由图可以看出，当微动螺丝刻度盘转动 1 格时，主水准管倾斜角的改变值 ϕ 为：

$$\phi = \frac{\frac{S}{n} \cdot \frac{a}{b}}{c} \quad (\text{弧度})$$

当 ϕ 角以秒为单位计算时，上式变为：

$$\begin{aligned} \phi &= \frac{\frac{S}{n} \cdot \frac{a}{b}}{c} \cdot 57.2957 \cdot 60 \cdot 60 \\ &= 206265 \frac{S \cdot a}{n \cdot b \cdot c} \quad (\text{秒}) \end{aligned}$$

为使微动螺丝刻度盘每转动 1 格，光学合像水平仪倾斜角改变 $2''$ （或 0.01 毫米/米），应将水平仪杠杆系统各有关参数合理配置。例如，取

$$S = 0.5 \text{ 毫米},$$

$$n = 100 \text{ 等分},$$

$$a:b:c = 19.4:100:100.$$

则：

$$\phi \approx 206265 \frac{0.5 \cdot 19.4}{100 \cdot 100 \cdot 100} \approx 2''.$$

由于光学合像水平仪结构的优越性，和钳工水平仪相比，它允许在制件表面倾斜角度较大的情况下进行检验。