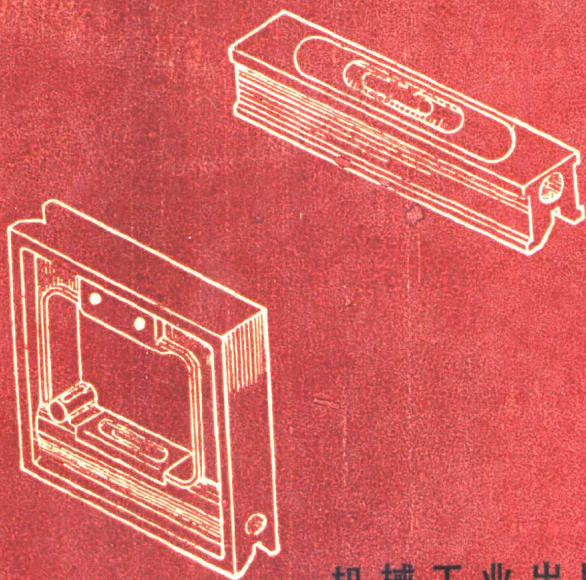


水平仪的应用

刘承启 编著



机械工业出版社

水平仪的应用

刘承启 编著



机械工业出版社

水平仪是角度测量的精密测量仪器之一，由于它的测量精度高、使用方便，因此在机械制造、设备安装和修理过程中得到了广泛的应用。

本书主要介绍水平仪的使用方法，包括水平位置精度、直线度、平面度、平行度、垂直度、倾斜度、装配与安装精度等测量方法，并对水平仪的结构原理、检定方法和维护保养等也作了扼要的介绍。

本书可供维修钳工、安装钳工、计量检验人员及机加工工人学习，也可作为短训班教材。

水平仪的应用

刘承启 编著

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本787×1092 1/32·印张3 3/4·字数79千字
1986年3月北京第一版·1986年3月第一次印刷

印数 00,001-4,350·定价 0.78 元

统一书号：15033·6305

目 录

第一章 结构与工作原理	1
一、种类、结构与用途	1
1. 条形水平仪	1
2. 框式水平仪	2
3. 合象水平仪	4
4. 光学倾斜仪	5
5. 电子水平仪	7
二、工作原理	9
第二章 读数与零位调整方法	14
一、读数方法	14
二、零位调整方法	15
1. 条形和框式水平仪零位的调整方法	16
2. 合象水平仪零位的调整方法	17
3. 光学倾斜仪零位的调整方法	18
4. 电子水平仪零位偏差的检定方法	19
第三章 测量水平位置精度	21
一、把水平仪直接放在被检验表面上	21
二、把水平仪放在专用垫铁上	22
三、把水平仪放在两个尺寸相等的量块或等高块上	23
四、把水平仪放在两个尺寸不等的量块或垫块上	24
五、把水平仪一端放在量块或垫块上, 而另一端 直接放在被检验表面上	25
第四章 测量直线度误差	27
一、测量过程	27
1. 将被测表面大致调到水平位置	28
2. 选择尺寸合适的专用垫铁	28

3. 将角值换算成线值	28
4. 测量	28
5. 读数“+”、“-”号的确定	28
6. 读数方法	29
二、评定方法	31
1. 作图法	31
2. 算法	37
3. 旋转法	42
三、测量误差	44
第五章 测量平面度误差	47
一、测量过程	47
1. 将被测面大致调到水平位置	48
2. 拟定测量截面形式	48
3. 确定水平仪的刻度值和选择尺寸合适的专用垫铁	49
4. 测量方法	49
5. 测量数据的处理	50
二、评定方法	70
1. 最小条件判别准则	70
2. 旋转算法	71
第六章 测量平行度误差	78
一、面对面平行度误差的测量	78
1. 面对面平行度误差的测量方法	78
2. 狭长表面的面对面平行度误差的测量方法	78
二、线对线平行度误差的测量	79
三、机床各导轨面之间平行度误差的测量	80
1. 角值表示法	81
2. 线值表示法	82
第七章 测量垂直度误差	84
一、面对面垂直度误差的测量	84

1. 矩形零件	84
2. 直角形零件	84
二、面对线垂直度误差的测量	85
三、线对线垂直度误差的测量	86
第八章 测量倾斜度误差	87
第九章 测量装配、安装精度	89
一、溜板移动在垂直面内直线度误差的测量	89
二、工作台移动在垂直面内直线度误差的测量	91
三、立柱导轨对底座工作面或工作台面垂直度误差的测量	92
四、溜板移动时倾斜度误差的测量	93
五、工作台移动时倾斜度误差的测量	94
六、立柱移动时倾斜度误差的测量	95
七、横梁移动时倾斜度误差的测量	95
八、安装精度的测量	96
1. 粗调安装水平	96
2. 精调安装水平	97
第十章 水平仪的检定	99
一、检定项目和检定工具	99
二、检定要求和检定方法	100
1. 外观	100
2. 各部分相互作用	100
3. 工作面的平面度	101
4. 水平仪的零位	102
5. 分度值的误差	104
三、检定结果的处理	110
第十一章 维护保养方法	111
一、使用时的注意事项	111
二、维护保养方法	112

水平仪是机械制造工业中角度测量的精密测量仪器之一，主要用于角度的直接测量。水平仪可以用来测量被测表面对水平面或垂直面的微小倾斜角度，也可以用来测量零件表面的直线度、平面度，以及各表面相互之间的平行度、垂直度和倾斜度，还可以用来测量机器的装配精度以及设备的安装精度等。

由于水平仪的测量精度较高，使用方便，因此在机械制造和设备修理安装的生产实践中，得到了广泛的应用。

第一章 结构与工作原理

一、种类、结构与用途

按照水平仪的结构型式，水平仪的类别基本上可以分为：条形水平仪、框式水平仪、合象水平仪、光学倾斜仪、电子水平仪五种。

1. **条形水平仪** 条形水平仪又称钳工水平仪。它是由带有平工作面与V形工作面的主体和读数用的纵向水准器（主水准器）、定位用的横向水准器，以及零位调整装置等主要部分组成，如图1所示。

条形水平仪主要用于测量被测表面对水平面的倾斜角度，也可以测量零件表面的直线度、平面度，部件相互之间的平行度、倾斜度，以及机器的装配精度和设备的安装精度等。



图1 条形水平仪

1—主体 2—主水准器 3—横向水准器 4—零位调整装置

2. 框式水平仪 框式水平仪主要由带有正方形的四个工作平面(底工作面和其中一个侧工作面还带有V形工作面)的主体和读数用的纵向水准器(主水准器)、定位用的横向水准器,以及零位调整装置等部分组成,如图2所示。

框式水平仪除了能够测量零件表面的直线度、平面度,部件相互之间的平行度、倾斜度,机器的装配精度和设备的安装精度以外,还可用于测量部件相互之间的垂直度。

条形和框式水平仪的规格,按照工作面的长度,各分为四种(见表1)。

条形和框式水平仪,按照主水准器的刻度值,每种规格又分为下列四组(见表2)。

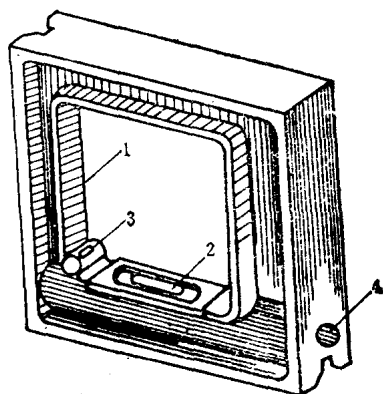


图2 框式水平仪

1—主体 2—主水准器 3—横向水准器 4—零位调整装置

表1 条形和框式水平仪的规格 (毫米)

条形水平仪	150	200	250	300
框式水平仪	150×150	200×200	250×250	300×300

表2 条形和框式水平仪的组别

组别	I	II	III	IV
以毫米/米表示	0.02~0.05	0.06~0.10	0.12~0.20	0.25~0.30
以秒表示	4"~10"	12"~20"	24"~40"	50"~1°

条形和框式水平仪，按照主水准器的固定方式，可分为固定式水平仪和调节式水平仪两种。

(1) 固定式水平仪：所谓固定式水平仪，就是指主水准器安装在水平仪主体的孔内或槽内时，采用石膏或石膏与化石粉调和物同主体结合，也可以用其它胶凝材料浇注固定，使其主水准器的位置不能调整。这种水平仪的零位固定，使用时比较方便，但制造和修理时却比较困难。

(2) 调节式水平仪：所谓调节式水平仪，就是指主水准器安装在水平仪主体的孔内或槽内时，采用一套调整机构（调节器），调节器的种类很多，但一般多采用偏心或螺丝作调节器，其表面多涂有红色标志。通过旋转调节器（偏心或螺丝），就可以

调整主水准器与水平仪的下工作面平行，使气泡居中，达到水平位置。这种水平仪的零位可以随时调整，制造和修理也比较方便，但调整零位时却比较麻烦。

用偏心轴作调节器的调节式水平仪，如图3所示。

用调整螺丝作调节器的调节式水平仪，如图4所示。

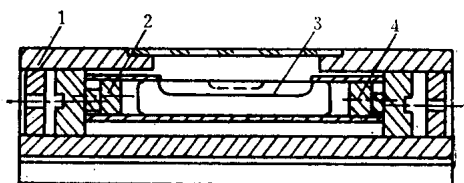


图3 偏心调节式水平仪

1—主体 2—偏心轴 3—主水准器 4—偏心轴套

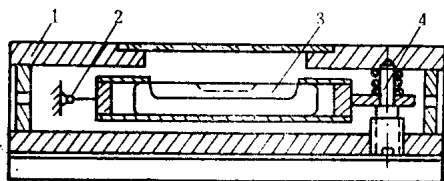


图4 螺丝调节式水平仪

1—主体 2—支点 3—主水准器 4—调整螺丝

3. 合象水平仪 合象水平仪的外形如图5所示。

合象水平仪的内部结构主要由测微螺杆、毫米/米刻度尺、杠杆机构、水准器、光学合象棱镜和目镜（放大镜）等部分组成。其结构原理如图6所示。

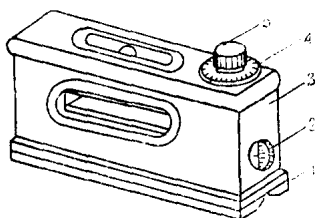


图5 合象水平仪

1—底座 2—毫米/米刻度尺 3—壳体 4—微分刻度盘 5—测微螺杆旋扭 6—目镜

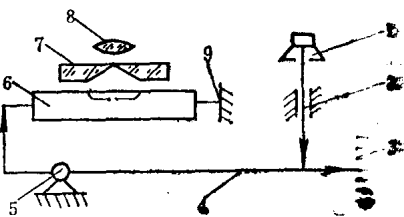


图6 合象水平仪结构原理

1—微分刻度盘 2—测微螺杆 3—毫米/米刻度尺 4—杠杆 5—支点 6—水准器 7—光学合象棱镜 8—目镜 9—水准器固定支点

使用时，把合象水平仪放在被测表面上，然后转动测微螺杆，通过杠杆机构，将水准器调至自然水平位置。在转动测微螺杆的同时，应从目镜中注意观察气泡移动的情况。当气泡移至图7 a或b的位置时，说明水准器仍然是倾斜的，应继续转动测微螺杆，直至气泡象完全重合，如图7 c所示。这时，表明水准器已被调到自然水平位置了，就可以从毫米/米刻度尺和0.01毫米/米微分刻度盘上，读出被测表面对水平面的倾斜数值来。

合象水平仪的水准器，只起确定自然水平位置的作用，所以可将水准器玻璃管的曲率半径减小，使气泡稳

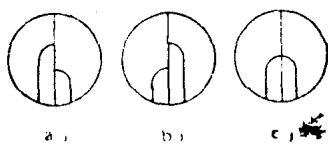


图7 气泡象的位置

定得快,从而节省了测量时间,并避免水准器本身制造误差对测量结果带来的影响。由于合象水平仪采用了光学放大,并以双象重合来提高对准精度,因此合象水平仪的测量精度较高,其刻度值为0.01毫米/米(相当于 $2''$)。又由于合象水平仪增加了测微螺旋副和杠杆机构,扩大了测量倾斜角度的范围,所以合象水平仪的测量范围,一般为 ± 5 毫米/米,最大可达到 ± 10 毫米/米。

合象水平仪不仅可以用于测量制件表面的直线度、平面度和部件相互之间的平行度,还可以测量设备的修理、安装精度和机器的装配精度。由于合象水平仪的测量范围较大,测量精度较高,因此特别适用于测量零部件微小角度的变化。

4. 光学倾斜仪 光学倾斜仪又名光学象限仪。它主要由带有V形面与平工作面的底座、壳体、纵向水准器(主水准器)、反射镜、制动扳手、读数显微镜、外圆盘、横向水准器、指示标线和装在壳体内的光学度盘等部分组成,如图8所示。

使用时,将光学倾斜仪放在被测表面上,如果主水准器的气泡不在中间位置,说明被测表面相对于水平面有倾斜。这时可放松制动扳手,旋转外圆盘,进行粗调整,使主水准器的气泡大致处于中间位置。然后,扳动制动扳手,固定外圆盘,再用微

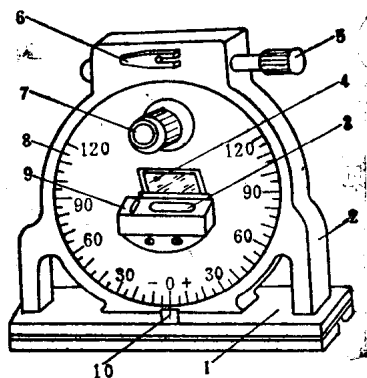


图8 光学倾斜仪

- 1—底座 2—壳体 3—纵向水准器 4—反射镜 5—微动螺丝 6—制动扳手 7—读数显微镜 8—外圆盘 9—横向水准器 10—指示标线

309781

动螺丝进行精调，使气泡恰好居于中间位置。这时由读数显微镜中就可以读出被测表面相对于水平面倾斜角度的具体角度数值来。光学倾斜仪的读数方法，如图9所示。

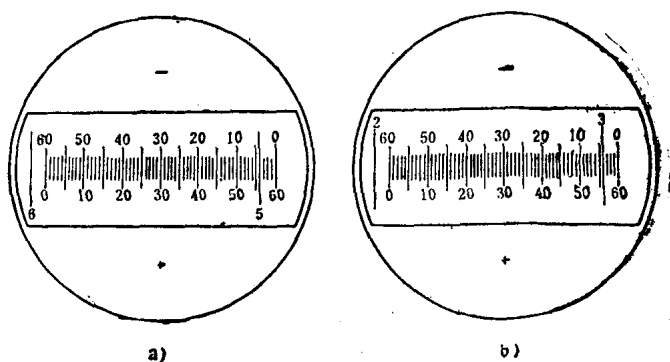


图9 光学倾斜仪的读数方法

a) 读数为 $+5^{\circ}56'$ b) 读数为 $-3^{\circ}4'$

如需调整工件表面使之倾斜某一角度时，可先将光学倾斜仪调至所需角度，然后将其放在工件表面上，再使工件倾斜，直至主水准器的气泡恰好居于中间位置时为止。由此可见，光学倾斜仪的主水准器与合象水平仪一样，只起确定自然水平位置的作用，不能用来直接读数。

光学倾斜仪由于采用了光学度盘，因此扩大了测量倾斜角度的范围。一般常用的光学倾斜仪的测量范围为 $\pm 120^{\circ}$ ，其分度值为 $1'$ 。但也有分度值为 $30''$ 、 $10''$ 、 $6''$ 及 $0.2''$ 的光学倾斜仪。

光学倾斜仪是用来测量和安放平面或圆柱面在空间与水平面之间的角度位置的计量仪器。它可应用于测量较大工件的角度，以及大型工件相互之间的夹角，也可用于测量机器各

部件之间的平行度和垂直度，还可应用于测量机床工作台面的回转角度和设备的安装精度等。

5. 电子水平仪 根据结构原理，电子水平仪可分为电感式、电容式和电阻式三种。

图10为电子水平仪的外形。

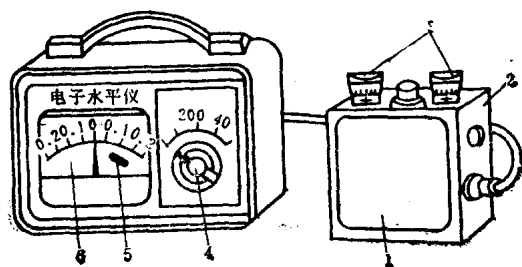


图10 电子水平仪

1—传感器 2—壳体 3—微分筒 4—量程旋鈕 5—电池校验标志
6—指示器

电子水平仪主要由测量部分和指示仪表两大部分组成。

电子水平仪的测量部分主要由壳体、测微装置和电极水泡式传感器组成。电极水泡式传感器与一般水平仪的水准器的作用相似，但结构不同。电极水泡式传感器是由直径为14毫米、长度为100毫米的封闭玻璃管制成。其内壁研磨成曲率半径为206265毫米的圆弧曲面，并压有4片相互对称的铂金电极片，电极接线为铂丝，管内灌以电解液，且留有一定长度的气泡，如图11所示。

传感器中两对电极A和C及B和C之间的阻抗分别为 Z_{AC} 和 Z_{BC} ，阻抗 Z_{AC} 和 Z_{BC} 的值随电极间气泡位置的改变而改变。 Z_{AC} 、 Z_{BC} 分别与电阻 R_1 、 R_2 相接，组成交流差动电桥，如图12所示。

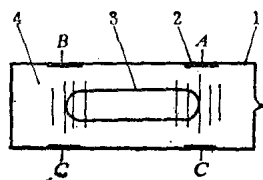


图11 电极水泡式传感器

1—玻璃管 2—铂金电极片 3—气泡
4—电解液

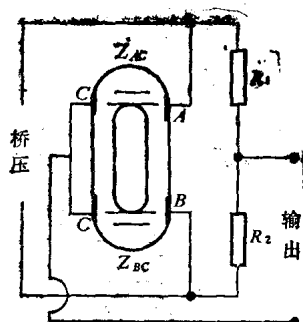


图12 交流差动电桥

使用时，将测量部分放在被检表面上。当气泡处于传感器中间位置（即传感器处于水平位置）时，两对电极间的阻抗相等，即 $Z_{AC} = Z_{BC}$ 。此时，电桥平衡而无讯号输出，电表指示为零，说明被检表面处于自然水平位置。

如果被测表面倾斜，气泡就会偏离中心。当气泡向某一个方向移动时，气泡在两对电极中间所占的比值，就会改变。若电极间阻抗 Z_{AC} （或 Z_{BC} ）增大， Z_{BC} （或 Z_{AC} ）则减小，使电桥失去平衡而有相应讯号输出，此讯号经放大、相敏检波后，直接由电表指示出被测表面倾斜的角度大小和方向。

电子水平仪的指示仪表主要由电子放大器、指示电表和测量范围工作选择开关等部分组成。测量范围工作选择开关，可按测量要求选择其测量范围和“检”或“测”的工作状态。

电子水平仪的测量范围分为 ± 0.1 毫米/米和 ± 0.2 毫米/米两种，刻度值分为 0.005 毫米/米、0.01 毫米/米和 0.02 毫

米/米三种。

电子水平仪是将微小角位移转换成电量，经放大后由电表指示读数的一种角度测量仪器。由于电子水平仪具有测量精度高、反应迅速、读数方便、测量范围可变等特点，因此电子水平仪主要用于精密测量被测表面对于水平面的倾斜角，精密测量制件表面的平面度、直线度和部件之间的平行度，以及用于远距离和自动测量。

二、工 作 原 理

水准器是水平仪进行测量和读数的基本元件。条形和框式水平仪各有一个读数用的主水准器和一个定位用的横水准器，而合象水平仪和光学倾斜仪只有一个能够确定自然水平位置的水准器。

水准器是一个封闭的玻璃管，内装储液乙醇（酒精）或乙醚，在管内留有被储液所饱和的一定长度的蒸气泡，玻璃管内壁研磨成一定的曲率半径。因此，不论把水平仪放在什么位置，水准器内的储液总是向低处流动，使液面处于水平位置，而气泡总是向高处移动，停留在圆弧面的最高位置。水平仪就是根据这个道理制成的。

在水准器玻璃管外表面上方，刻有与内壁曲率半径相适应的间距的刻线，在主水准器的两端至少各刻有 8 条刻线。其中两条长刻线表示零线，在 $+20^{\circ}\text{C}$ 时，气泡的长度恰好等于两条零刻线之间的距离。

当水准器倾斜 τ 角时，水准器的最高点就由 A 点移到 B 点，同时气泡的中点（或端点）也移动一个相应的距离 L ，如图 13 所示。

水准器倾斜角 τ ，与玻璃管内表面在其轴线截面内的曲率

半径 R 、气泡移动距离 L 之间的关系如下：

$$L = R\tau$$

式中 L ——气泡移动的距离（毫米）；

R ——玻璃管内表面的曲率半径（毫米）；

τ ——水准器的倾斜角（弧度）。

由上式可知，水平仪的刻度值是由刻线间距和曲率半径来决定的。

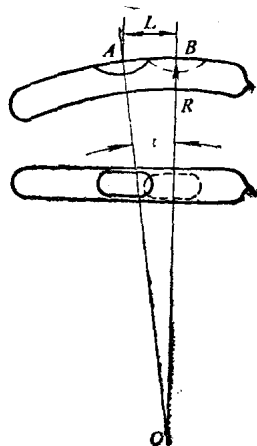


图13 水平仪的原理

当刻线间距 $L = 2$ 毫米，刻度值 $\tau = 1''$ 时，则曲率半径为：

$$R = \frac{L}{\tau}$$

$$\therefore 1'' = \frac{206265}{1} \text{ (弧度)}$$

$$\therefore R = \frac{L}{\tau} = \frac{2}{\frac{1}{206265}}$$

$$= 412530 \text{ (毫米)}$$

$$= 412.530 \text{ (米)}$$

如 $L = 2$ 毫米

当 $\tau = 2''$ 时，则 $R = 206.265$ 米

$\tau = 4''$ 时，则 $R = 103.1325$ 米

$\tau = 5''$ 时 则 $R = 82.506$ 米

$\tau = 10''$ 时，则 $R = 41.253$ 米

$\tau = 30''$ 时，则 $R = 13.751$ 米

这就是水平仪刻度值(当刻线间距确定后)与曲率半径的关系。

上述讨论是用角度单位“秒”来表示水平仪刻度值的。但是,在生产实践中,水平仪的刻度值是指气泡移动一个格时的倾斜度。而倾斜度是以1米长度上的升高(或降低)量(毫米)来表示的。因此,水平仪刻度值的单位应用毫米/米来表示。

假如水准器玻璃管上的刻线间距为2毫米,检验时把水平仪放在1米长的直尺工作面上,当直尺作微小倾斜得垂直距离 H ,而气泡的端点(或中点)恰好移动一个刻度时,此 H 即为水平仪的刻度值,如图14所示。

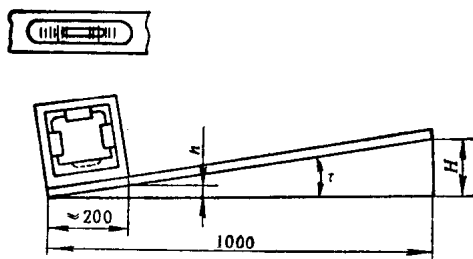


图14 水平仪读数的几何意义

当 $H=0.02$ 毫米、气泡恰好移动一个格时,这个水平仪的刻度值就是0.02毫米/米(或写成 $\frac{0.02}{1000}$ 毫米)。这时直尺(即水平仪)倾斜角 τ 的大小,可用下式计算:

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{0.02}{1000} = 0.00002$$

则 $\tau \approx 4''$

这说明,0.02毫米/米的水平仪,其气泡每移动一个刻度,