



钳工

高级

张松生 杨建新 主编



化学工业出版社



钳工

高级

张松生 杨建新 主编

贾明权 马鹏飞 副主编 王维新 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书以国家职业标准中对高级钳工要求为依据,针对我国目前钳工职业技能的培训而编写。本书在内容选择上既体现钳工加工工艺的发展,又适应制造工程的实际需要,介绍了钳工高级技能人才需掌握精密量仪及其应用、精密孔的加工等工艺知识,以及自动装配技术、数控机床等现代制造技术。

本书可作为高职、中职、中技院校及其他工人培训机构的钳工培训教材,钳工的自学和参考图书,也可作为机械加工行业工程技术和工艺人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

钳工:高级/张松生,杨建新主编. —北京:化学工业出版社,2010.6

ISBN 978-7-122-08234-3

I. 钳… II. ①张…②杨… III. 钳工-基本知识
IV. TG9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 068845 号

责任编辑:李玉晖

文字编辑:张绪瑞

责任校对:陶燕华

装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张12 $\frac{3}{4}$ 字数325千字 2010年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:29.80元

版权所有 违者必究

前 言

钳工是机械加工领域中不可缺少的一个工种，也是最基本的工种。随着新技术、新工艺、新材料及新设备的不断发展，为了培养机械工程专业的高级技术工人，满足广大从事钳工的高级技术工人业务学习需要，我们编写了本书。

本书从基本理论和基本技术两方面展开叙述，注重理论和实践的紧密结合。在内容安排上，既保留了有价值的经典理论和技术，又反映了近年来钳工技术的新理论、新工艺和新技术，全书较全面、系统，突出了“新颖”和“实用”的特点。本书内容包括精密量仪及其应用、精密孔的加工、提高刮削和研磨精度的工艺、钻床夹具、气压和液压技术及其应用、金属切削机床的装配调整、机器运行时的振动和测量、机械加工工艺流程、自动装配与柔性装配技术、数控机床和现代制造技术。

本书第1、7章由贾明权编写，第2、3、5、6章由杨建新编写，第4、8、10、11章由张松生编写，第9章由马鹏飞编写，全书由张松生统稿。在编写过程中，参阅了有关教材、资料和文献，在此对有关专家、学者和作者表示衷心感谢。

在本书的编写过程中，江苏大学李金伴教授，王维新、张应龙高级工程师给予了精心的指导和热情的帮助，提出了许多宝贵的意见，并且全书由江苏大学王维新高级工程师担任主审，在此谨向他们表示衷心感谢。

由于编者水平所限，书中缺点和不足在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2010年3月

目 录

第 1 章	精密量仪及其应用	1
1.1	常用精密量仪的结构原理	1
1.2	精密量仪在装配中的应用	7
	复习思考题	15
第 2 章	精密孔的加工	16
2.1	精密孔的钻镗铰	16
2.2	精密孔的光整加工	20
2.3	精密孔的滚压加工	28
	复习思考题	37
第 3 章	提高刮削和研磨精度的工艺	38
3.1	提高刮削精度的工艺方法	38
3.2	提高研磨精度的工艺方法	42
3.3	几种新型精密和超精密研磨工艺	47
	复习思考题	49
第 4 章	钻床夹具	50
4.1	机床夹具的基本概念	50
4.2	工件在夹具中的定位	52
4.3	定位误差分析	60
4.4	夹具的夹紧装置和分度装置	62
4.5	钻床夹具的类型	66
	复习思考题	69
第 5 章	气压和液压技术及其应用	70
5.1	气动基本回路	70
5.2	气动系统应用实例	75
5.3	液压系统的使用、维护和故障分析	77
5.4	液压伺服系统概述	86
	复习思考题	89
第 6 章	金属切削机床的装配调整	90
6.1	磨床的装配调整	90
6.2	铣床的装配调整	99
6.3	镗床的装配调整	111
	复习思考题	123
第 7 章	机器运行时的振动和测量	124
7.1	振动的概念	124

7.2	旋转机械振动标准	127
7.3	振动测量	130
	复习思考题	133
第 8 章	机械加工工艺流程	134
8.1	概述	134
8.2	机械加工工艺流程的编制	136
8.3	提高加工精度和生产率的途径	144
8.4	典型零件的加工工艺分析	149
	复习思考题	151
第 9 章	自动装配与柔性装配技术	152
9.1	概述	152
9.2	自动装配系统与 FAS 的组成和分类	156
9.3	装配机器人	159
9.4	FAS 的发展趋势	160
	复习思考题	163
第 10 章	数控机床	164
10.1	概述	164
10.2	数控机床的程序编制	168
10.3	数控机床的机械部件	175
	复习思考题	187
第 11 章	现代制造技术	188
11.1	概述	188
11.2	CAD/CAM/CAPP	189
11.3	工业机器人 (IR)	190
11.4	柔性制造系统 (FMS)	190
11.5	计算机集成制造系统 (CIMS)	191
11.6	快速成形技术	192
11.7	激光加工	195
	复习思考题	197
	参考文献	198

第 1 章 精密量仪及其应用

1.1 常用精密量仪的结构原理

1.1.1 合像水平仪

(1) 合像水平仪的用途 合像水平仪可测量工件表面的直线度、平面度，也可测量工件的微小倾角，以及检验设备安装位置的正确性等。

合像水平仪的测量范围为 $0 \sim \pm 5\text{mm/m}$ 或者 $0 \sim \pm 10\text{mm/m}$ ，最小分度值为 0.01mm/m 。

(2) 合像水平仪的结构和工作原理 合像水平仪的结构和工作原理如图 1-1 所示，由壳体 and 带 V 形槽工作面的底板组成外壳基体。旋钮 3（又称微分盘，其上有 100 等分小格）可以调节主水准器 6 的位置，观察窗 1 能够观察指针指示的刻线位置（粗读数），测量值从窗口 1 和微分盘 3 上读取。内部结构主要由测微螺杆、杠杆放大、水准器和光学合像棱镜等部分组成。工作原理如图 1-1 (b) 所示。

合像水平仪的水准器安装在杠杆架上，转动调节旋钮可以调整其水平位置。气泡两端圆弧通过光学零件反射到目镜，形成左右两个半像。当水平仪处于水平位置时，A、B 两部分像就重合 [图 1-2 (a)]。若水平仪不在水平位置时，两部分像就不重合 [图 1-2 (b)]。

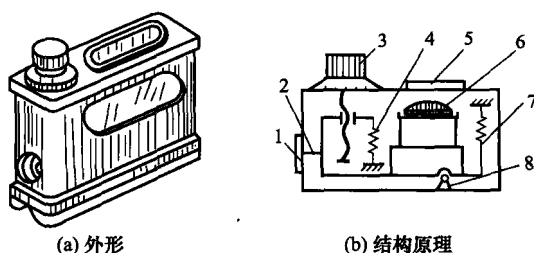


图 1-1 光学合像水平仪

1—指针观视口；2—指针；3—调节旋钮；4,7—弹簧；
5—目镜；6—水准器；8—杠杆

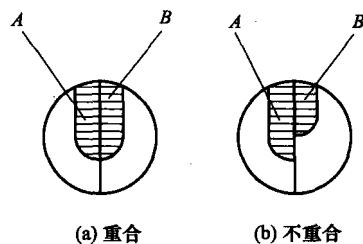


图 1-2 光学合像水平仪气泡

(3) 合像水平仪的使用 测量时，把合像水平仪放在被测件上，眼睛看着目镜 5，用手转动旋钮 3，直到两半像重合为止。这时先从窗口 1 读取 mm/m 读数，再从微分盘 3 上读取 0.01mm/m 的读数。

例如，一平面被测量后，指针观察窗口所指刻度为 1mm ，调整旋钮所示的刻度值为 35 格，则被测表面在 1000mm 长度上相对水平面的倾斜度误差为 1.35mm 。若平面只有 400mm 长，则在此长度上的误差为

$$\Delta H = \frac{1.35}{1000} \times 400 = 0.54 \text{ mm}$$

用合像水平仪检验导轨的直线度时,可把水平仪先放在导轨的某一位置,调整测微螺杆使两半像重合,再把水平仪移到其它位置上,重新调整测微螺杆,使两半像重合,就可以从微分盘的差值上读出测量结果。

因为合像水平仪的测量结果不是从主水准器上直接读出,而是从微分盘刻度和杠杆架指针刻度上读出的,所以测量范围比较大。当被测面的直线度偏差较大时,普通水平仪就读不出数值,而在合像水平仪上就能读出来。

1.1.2 自准直光学量仪

自准直光学量仪是根据光学的自准直原理制造的测量仪器,其基本原理如图 1-3 所示。

光源 S 照亮了位于物镜焦面上的 O 点像,经物镜后成为平行光束射出,这样的简单光学装置称为平行光管。当垂直于光轴安放一反射镜 M 时,则平行光束反射回来,通过物镜仍在原来位置成一实像 [图 1-3 (a)]。这种现象就称为“自准直”。

当反射镜倾斜一 α 角时,如图 1-3 (b) 所示,则按光的反射定律,将在焦面上距 O 点为 t 的 O' 点成像,被测量的倾斜误差可通过 t 反映出来。 t 与 α 角的关系为

$$t = f \tan 2\alpha \approx f 2\alpha \quad (1-1)$$

倾斜角 α 与被测量的尺寸变化量 Δ 的关系为

$$\Delta = B \tan \alpha \approx B \alpha \quad (1-2)$$

比较式 (1-1) 与式 (1-2) 两式得

$$\Delta = \frac{tB}{2f} \quad (1-3)$$

由上可知,自准直仪中像的偏移量,由反射镜转角 α 所决定,与反射镜到物镜的距离无关。因此自准直量仪可以用来测量反射镜对光轴垂直方位的微小偏转。

利用自准直原理制造的光学量仪有自准直

仪、光学平直仪、自准测微平行光管、测微准直望远镜和工具经纬仪等多种。

由于光学量仪在使用过程中具有测量精度高、通用性好和测量范围大等特点,因此在机械设备特别是在精密、大型设备的制造、安装和修理中,得到了广泛的应用。自准直光学量仪配合相应的附件(如靶标、反射镜等),可以精确地测量装配件的微小角度偏差,测量导轨和基准平面的直线度、平面度误差,测量装配件各表面相对位置的平行度、垂直度误差,以及孔的同轴度找正等,与多面棱体或其它仪器配合可测量各类分度机构的分度误差、工作台的回转精度等。

1.1.2.1 自准直仪

自准直仪又称自准直平行光管。图 1-4 (a) 所示为其外观,图 1-4 (b) 所示为其光路系统。从光源 7 发出的光线,经聚光镜 6 照明分划板 8 上的十字线,由半透明棱镜 12 折向测量光轴,经物镜组 9、10 成平行光束出射,再经目标反射镜 11 反射回来,把十字线成像于分划板 5、4 的刻线面上。由鼓轮 1 通过测微丝杆 2 移动,照准双刻线(刻在可动分划板 4 上),由目镜 3 观察,使双刻线与十字线像重合,然后在鼓轮 1 上读数。

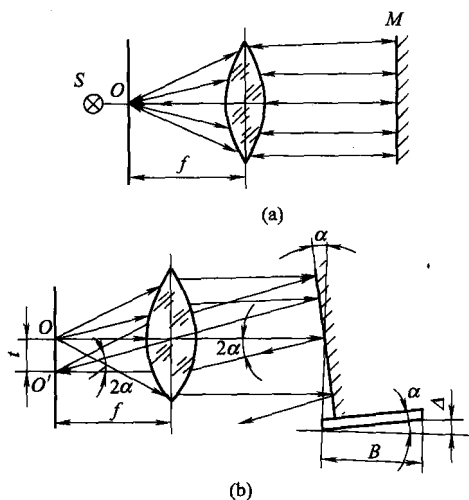


图 1-3 光学的自准直原理

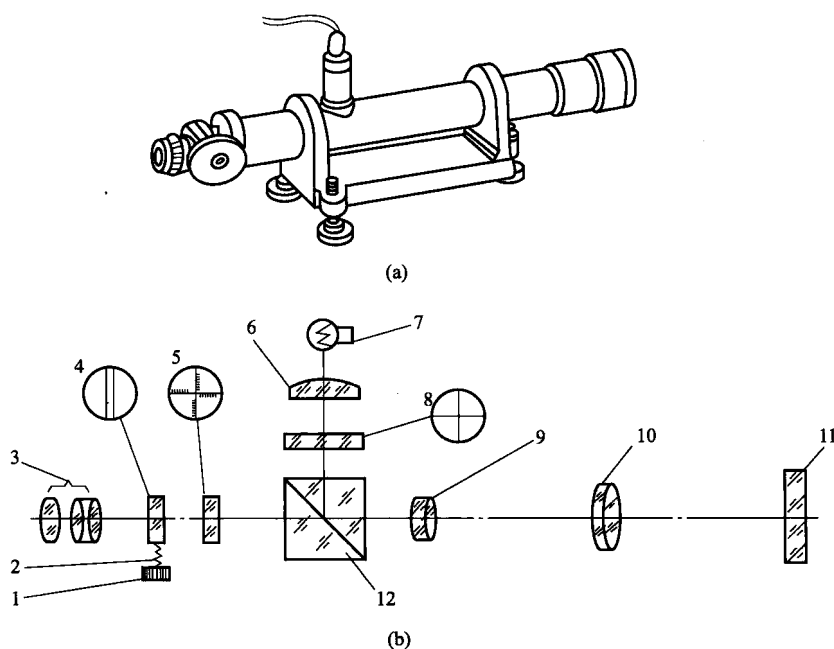


图 1-4 自准直仪光路系统

1—鼓轮；2—测微丝杆；3—目镜；4,5,8—分划板；6—聚光镜；
7—光源；9,10—物镜组；11—目标反射镜；12—棱镜

自准直仪的国产型号有 42J、JZC 等，其主要技术数据大致相同。测微鼓轮示值读数每格为 $1''$ ，测量范围为 $0 \sim 10''$ 。

1.1.2.2 光学平直仪

光学平直仪由平行光管和读数望远镜组成的仪器本体，及配置一个在定长底板上的平面反射镜组合而成。图 1-5 所示为其外观，其光路系统如图 1-6 所示。

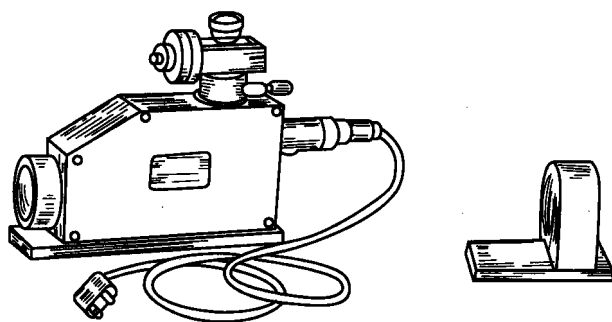


图 1-5 光学平直仪外观

光线由灯泡 12 发出，经绿色滤光片 11 照亮指示分划板 10 上的十字目标物像，该分划板正好位于物镜焦平面上。由分划板发出的亮十字目标物像，经立方棱镜 4、二平面镜 3 及物镜 2 后，形成平行光射出，然后经平面反射镜 1 反射后，经物镜、平面镜、立方棱镜向上聚焦在固定分划板 7 上（其上有粗读数刻度标尺）。若平面反射镜有倾斜变化，则经反射后聚焦在固定分划板上的亮十字目标物像亦随之有位移的变化。转动测微目镜手轮 9，通过测微螺杆 8，借助活动分划板 5（其上刻有单一长线——瞄准线）瞄准，由测微刻度盘直接读出此位移量。

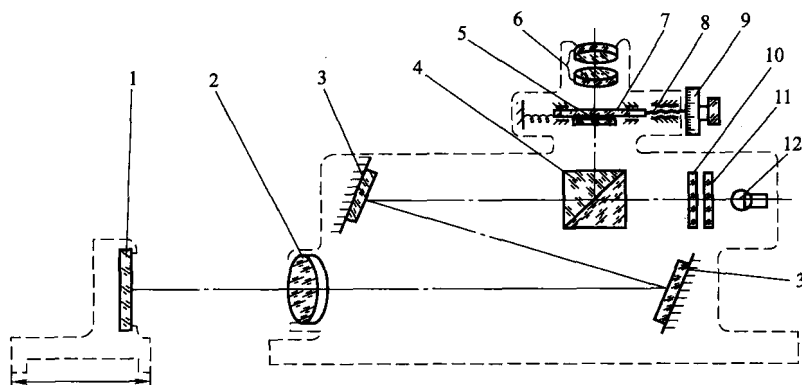


图 1-6 光学平直仪光路系统

- 1—平面反射镜；2—物镜；3—二平面镜；4—立方棱镜；5—活动分划板；
6—放大目镜组；7—固定分划板；8—测微螺杆；9—目镜手轮；
10—指示分划板；11—绿色滤光片；12—光源

目镜观察视场的情况如图 1-7 所示。图 1-7 (a) 是平直仪测量调整时作为起始位置的视场；图 1-7 (b) 是平面反射镜移动时，出现相对倾斜偏角的视场；图 1-7 (c) 是转动测微目镜手轮，借助活动分划板瞄准，将长单刻线对准亮十字形指示标的中间时进行读数的视场；图 1-7 (d) 是将整个读数机构转动 90° ，进行水平面测量时的读数视场。

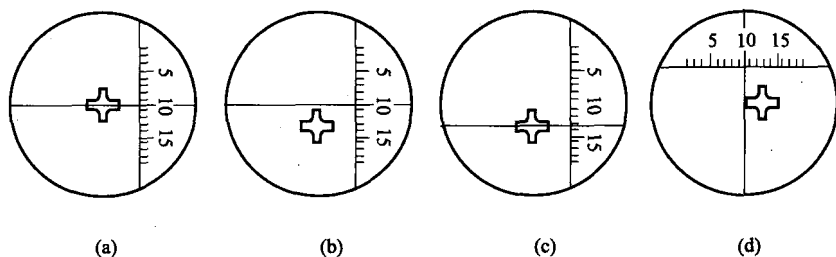


图 1-7 光学平直仪目镜观察视场

光学平直仪的国产型号有 HYQ03、ZY2、Z70-1 等，其主要技术数据大致相同，测微鼓轮示值读数每格为 $0.005\text{mm}/1000\text{mm}$ ，测量范围为 $\pm 0.5\text{mm}$ ，最大测量工作距离为 $5\sim 6\text{m}$ 。

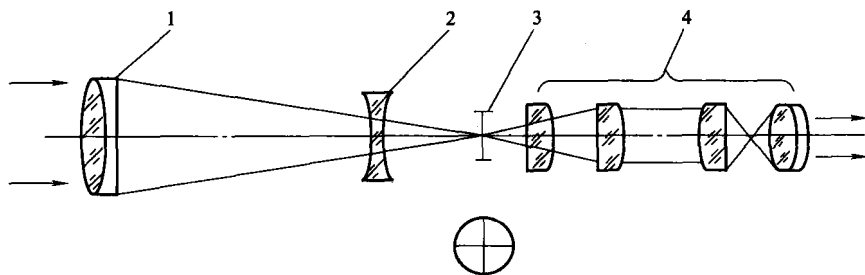


图 1-8 测微准直望远镜光路系统

- 1—物镜；2—调焦透镜；3—十字线平板；4—四个透镜

1.1.2.3 测微准直望远镜

测微准直望远镜用来提供一条测量用的光学基准视线。图 1-8 为凹透镜调焦测微准直望远镜的光学系统，物镜 1 固定在镜管上，调焦透镜 2 可移动，设置于物镜 1 的后面。通过调

焦透镜的作用,可使物镜前的目标聚焦在十字线平板3上,形成倒立的像。通过后面的四个透镜4,用来使十字线平板上的倒立像形成正像,正像透镜中的第四个透镜将正像放大。

国产测微准直望远镜 GJ101 型的示值读数每格为 0.02mm 。测微准直望远镜的光轴与外镜管几何轴线的同轴度误差不大于 0.005mm ,平行度误差不大于 0.002mm 。这样,当以外镜管为基准安装定位时,严格确定了光轴位置,也即确定了基准视线位置。

建立测量基准视线的方法如下。

(1) 基本方法 建立测量基准线的基本方法,是依靠光学量仪提供一条光学视线,同时合理选择靶标,并将靶标中心与量仪光学视线中心(如测微准直望远镜分划板十字线中心)调至重合。此时在量仪与靶标之间,会建立起一条测量基准线。装配中可将测量对象放置在量仪与靶标之间进行测量和校正。

例如为测量和校正多支承孔的同轴度,可将测微准直望远镜安放在被测件外约 1m 处。在两端支承孔中放好定心中心靶标,调整测微准直望远镜,使分划板十字中心线与靶标中心重合,如图 1-9 所示,此时在量仪与靶标之间就建立起一条测量基准线。然后将所需测量和校正的机械部件放置在靶标之间进行测量和校正。

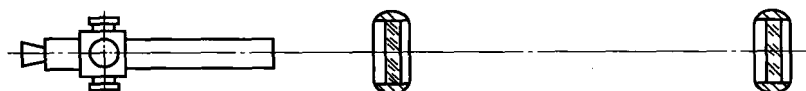


图 1-9 利用两个靶标建立基准线

(2) 建立与基准线垂直的辅助线方法

① 用自准直原理建立与量仪视线成垂直的反射镜面,其工作原理如图 1-10 所示。装在测微准直望远镜内的十字分划板由光源照亮,并通过物镜平行出射,遇反射镜面后,在反射镜的右方远处形成一个虚像,这个虚像相对于反射镜来说,又在反射镜的左方形成另一虚

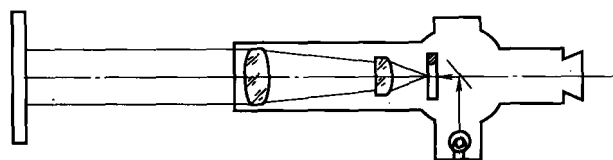


图 1-10 按自准直原理建立垂直的反射镜面

像。如反射镜面与望远镜视线相垂直,则反射十字像与分划板的十字线重合。如反射镜与视线不垂直,两十字线就偏离开来,如图 1-11 所示。

② 应用光学直角头(或光学直角器)附件,建立与基准线垂直的辅助线。光学直角头的主要元件是一个五角棱镜,如图 1-12 所示。光经二次反射,方向改变 90° ,只要两反射面

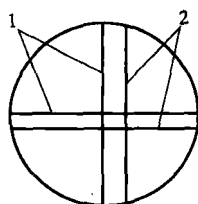


图 1-11 当反射镜与视线不垂直时的视场

1—角度分划板十字线;

2—十字线反射像

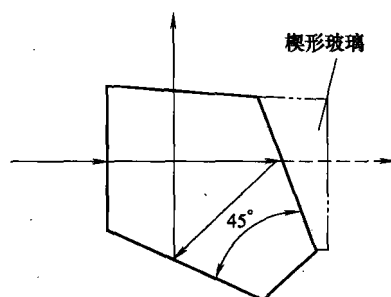


图 1-12 五角棱镜

夹角为 45° ，则入射光与出射光的夹角恒为 90° ，五角棱镜 90° 的折转误差为 $\pm(1''\sim 2'')$ 。如在五棱镜的第一反射面上紧贴一块楔形玻璃，则望远镜视线除了折转 90° 外，还可以一直向前，而不改变方向。

如将光学直角头装在准直望远镜的端部，即可建立如图 1-13 所示的与测量基准线垂直的视线，作为垂直坐标的测量基准线。

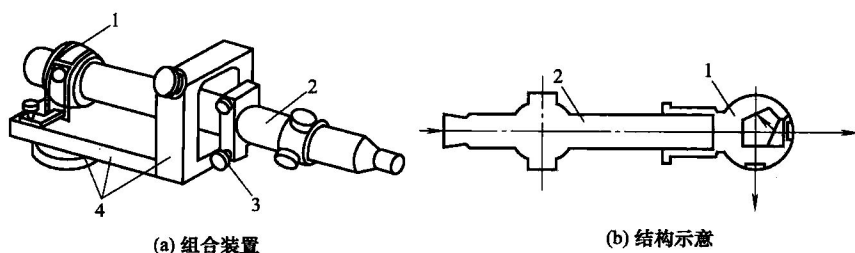


图 1-13 光学直角头与准直望远镜组合

1—光学直角头；2—准直望远镜；3—正切螺钉；4—望远镜支架

1.1.2.4 经纬仪

经纬仪是一种高精度的光学测角仪器，在机械装配和修理中，主要用来测量精密机床的水平转台和万能转台的分度精度。

图 1-14 所示为 J2 型光学经纬仪的外观。经纬仪的光学原理与测微准直望远镜没有本质的区别。它的特点是具有竖轴和横轴，可使瞄准望远镜管在水平方向作 360° 的方位转动，也可在垂直面内作大角度的俯仰。其水平面和垂直面的转角大小可分别由水平度盘和垂直度盘示出，并由测微尺细分，测角精度为 $2''$ 。

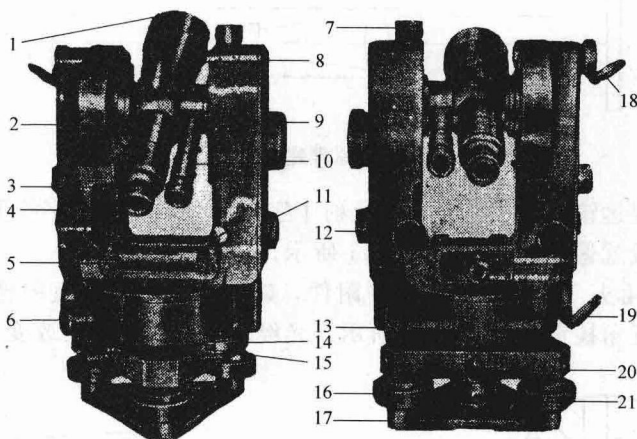


图 1-14 J2 型经纬仪外观

1—望远镜物镜；2—望远镜调焦手轮；3—读数显微镜目镜；4—望远镜目镜；5—水准器；6—照准部制动手轮；
7—望远镜制动手轮；8—光学瞄准器；9—测微手轮；10—读数显微镜镜管；11—换像手轮；
12—望远镜微动手轮；13—照准部微动手轮；14—换盘手轮护盖；15—换盘手轮；
16—脚螺旋；17—三角基座底板；18—竖盘照明反光镜；19—水平度盘
照明反光镜；20—三角基座制动手轮；21—固紧螺母

1.2 精密量仪在装配中的应用

在机械制造和装配的过程中,工件直线度误差的检测是必不可少的,平面直线度误差测量广泛采用间接测量法(节距法)。它是将被测平面分成若干段,然后测量各段对理想水平面的倾斜角度值,并通过绘制坐标图来确定平面的直线度误差。测量仪有水平仪、合像水平仪、光学平直仪等。

1.2.1 直线度测量

1.2.1.1 间接测量法

间接测量法(节距法)所用的仪器一般有框式水平仪、合像水平仪及自准直的光学量仪等。

在用合像水平仪或自准直仪测量直线度误差时在合像水平仪或自准直仪1的反射镜2下应放一双脚底座3(见图1-15),其作用是使量仪有一个稳固的安装面,保证被测表面能在规定的分段长度上进行测量,同时底座底面的两端与被测面能得到良好接触。测量时,水平仪或反射镜随同底座从一端到另一端逐段依次测量,取得各段量仪的示值读数。

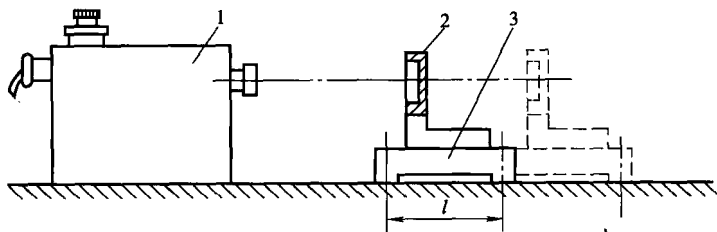
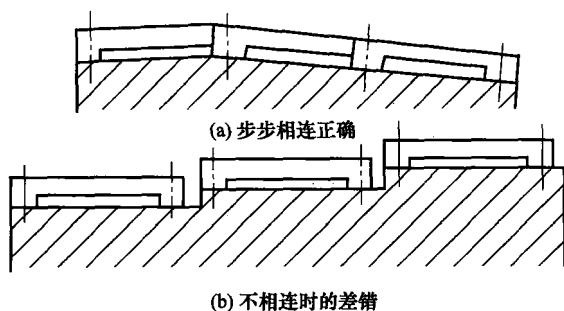


图 1-15 量仪的安放

1—自准直仪; 2—反射镜; 3—脚底座



(b) 不相连时的差错

图 1-16 测量时的分段连接

这里要注意,底座两支承面的中心距大小应综合考虑选择,如果太短,导致测量次数太多,会引起计量累积误差;太长,不能反映局部差。此外,底座移动时,后一段的前支承要与前一段的后支承重合,步步相连,如图1-16(a)所示,否则测量会导致差错,图1-16(b)是一个夸张的例子,如果每段毫无联系,就反映不出误差。

在用合像水平仪或自准直的光学量仪(如光学平直仪和自准直仪等)测量时,其分段测量取得的量仪各分段示值读数,反映了各分段的倾斜值误差。它不能直接反映被测表面直线度的线值误差情况,线值误差还必须采用图解法或算法进行分析得出。

(1) 图解法 用图解法时,是将量仪在被测表面各分段上得出的测量数值。在坐标纸上,以横坐标表示被测表面长度方向,纵坐标表示测量读数,绘出被测表面的误差曲线,并按照符合直线度定义的最小区域法或按精度规定的端点连线法,来确定被测表面的直线度误差值和误差形状。

例如,刻度值 $c=0.01\text{mm}/1000\text{mm}$ 的合像水平仪,测量三条长 $L=1200\text{mm}$ 导轨的直线度误差,测量分段长 $l=200\text{mm}$,当测量读数分别为表 1-1 所列数值时,便可相应地绘制出如图 1-17 所示的导轨误差曲线。

表 1-1 导轨直线度测量时的水平仪读数

导轨编号	水平仪测量位置及示值读数/格						直线度误差 Δ/mm	误差形状
	1	2	3	4	5	6		
I	+4	+6	0	-2	0	-3.2	$\Delta=0.014$	凸
II	-4	-2	+2	+4	0	+2.4	$\Delta=0.014$	凹
III	+3	+6	-3	-1	-3	+4	$\Delta=\Delta_1+\Delta_2=0.02$	波折

以端点连线法确定误差时,误差是以误差曲线与端点连线之间的最大纵坐标值计。本例各导轨的直线度误差值,分别为表中所示。并规定,误差曲线在端点连线之上时,形状为凸;误差曲线在端点连线之下时,形状为凹;有凸有凹称为波折。

以最小区域法确定误差时,在误差曲线上作两条包络平行线 l_1 和 l_2 ,分别称上包容线 and 下包容线。这两条平行线中有一条与误差曲线上的一个最高点(或最低点)相切,另一条与两个最低点(或最高点)相切,且最高点(或最低点)在误差曲线的方向上应位于两个最低点(或最高点)之间。则此包容误差曲线的两个平行直线之间的距离为最小。这个距离 Δ 即为被测表面的直线度误差。此时,导轨 I 误差为 0.017mm ;导轨 II 误差为 0.14mm ;导轨 III 误差为 0.0164mm 。

(2) 计算法 以上两种评定直线度误差的方法,除图解法外,也可用计算法。在用端点连线法确定误差值时,计算法的实质是将各段读数的坐标位置进行变换,使两端点最终能与横坐标轴重合(或平行)。此时,导轨的误差值就等于其中最大纵坐标值与最小纵坐标值的代数差的绝对值。

具体方法可按以下步骤进行计算。

- ① 记录各段测量示值的读数。
- ② 计算出各段读数代数值的平均值 $\bar{n}$ 。
- ③ 将各段测量示值读数各减去平

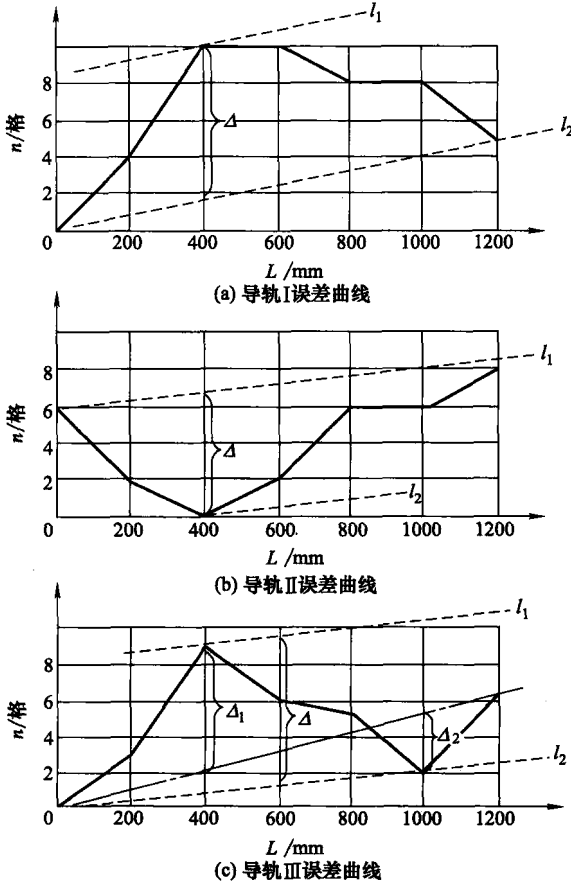


图 1-17 误差曲线图

均值。

④ 将减后的各段读数，变换成各段测点的坐标值。

⑤ 求出导轨误差。

例如，按上列步骤，对前例导轨 I 进行计算，分析情况如下。

① 测量示值原始读数 +3、+6、-3、-1、-3、+4。

② 平均读数 $\bar{n} = \frac{+3+6-3-1-3+4}{6}$

③ 各减平均值

④ 各段端 + $\begin{array}{c} +2 \\ \nearrow \\ 0 \end{array}$ + $\begin{array}{c} +5 \\ \nearrow \\ +2 \end{array}$ + $\begin{array}{c} -4 \\ \nearrow \\ +7 \end{array}$ + $\begin{array}{c} -2 \\ \nearrow \\ +3 \end{array}$ + $\begin{array}{c} -4 \\ \nearrow \\ +1 \end{array}$ + $\begin{array}{c} +3 \\ \nearrow \\ -3 \end{array}$ + $\begin{array}{c} \\ \nearrow \\ 0 \end{array}$ 点坐标值

$$n = | +7 - (-3) | = 10 \text{ 格}$$

⑤ 求出导轨直线度误差 $\Delta = ncl = 0.02\text{mm}$

误差形状为波折

1.2.1.2 光线基准法

用光线基准法时，通常采用测微准直望远镜与可调靶标或平行光管配套测量，特别适用于较长导轨的直线度测量。

图 1-18 所示为用测微准直望远镜测量和校正接长导轨的直线度。主要测量程序如下。

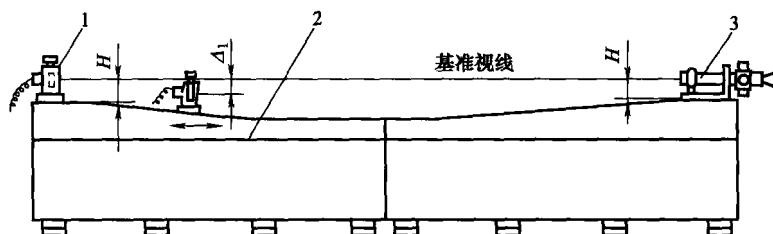


图 1-18 用测微准直望远镜与靶标配合测量接长导轨的直线度

1—可调靶标座；2—接长导轨；3—望远镜

首先分别在接长导轨 2 的两端安装测微准直望远镜 3 和装有靶标的可调靶标座 1。随后将测微准直望远镜瞄准靶标。将靶标座移到望远镜前，观察靶标中心是否与望远镜光轴视线重合。如果不重合，应调整靶标高度与望远镜位置，使望远镜的光轴视线和靶标中心在相同高度上。此时望远镜的光轴视线，即为所建立的测量基准线。测量时，移动靶标在导轨的各被测位置，观察该处靶标中心与光轴视线的位置偏差（高度差），其最大差值即为接长导轨的直线度误差。

图 1-19 所示为用测微准直望远镜与平行光管配合测量长导轨的直线度。测量前，将平

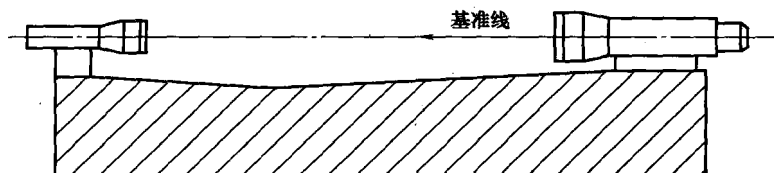


图 1-19 用测微准直望远镜与平行光管配合测量长导轨的直线度

行光管和测微准直望远镜分别置于被测工件两端，然后调整两者的光轴，以建立基准线。测量时，移动平行光管，通过望远镜目镜观察分划板同心圆刻线或双十字刻线相对基准线的偏移量，其值可从测微器上读出。

图 1-20 所示为望远镜目镜的观察视场。图 1-20 (a) 为平行光管的光轴，相对测微准直望远镜的光轴调整重合的情形；图 1-20 (b) 为两者光轴平行，但不重合，此时同心圆刻线中心偏离视场中心，其偏离量可由测微器读出；图 1-20 (c) 为平行光管的光轴有倾斜，而分划板仍与光轴同心，此时角度分划板的双十字刻线有偏移，其偏移量亦可由测微器读出。

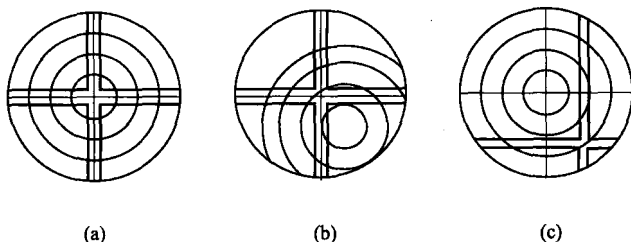


图 1-20 测微准直望远镜的目镜视场

1.2.1.3 实物基准法

对于中等尺寸表面的直线度误差测量，可用基准平尺的工作面作为实物测量基准线，应用指示表将被测面与基准直线比较，即可测得直线度误差的原始数据。如测刮削表面，最好用量块放置在测头与被测表面之间测量，以避免刮削凹坑对测量精度的影响。

长导轨在水平面内的直线度测量，除可采用光学量仪外，还可采用拉钢丝的测量法。其测量方法如图 1-21 所示。将钢丝 3 的一端固定（钢丝直径一般在 $0.1 \sim 0.3\text{mm}$ ），另一端用重锤 4 拉紧，从而建立一直度基准。将拉紧的钢丝平行置于被测工件 1 的表面上方，使平行于被检线的总方向。将有水平调整测微装置的显微镜 2 垂直安装在可移动的支架上。移动支架，这样就可逐点测出被测表面在水平面内直线度误差的原始数据。

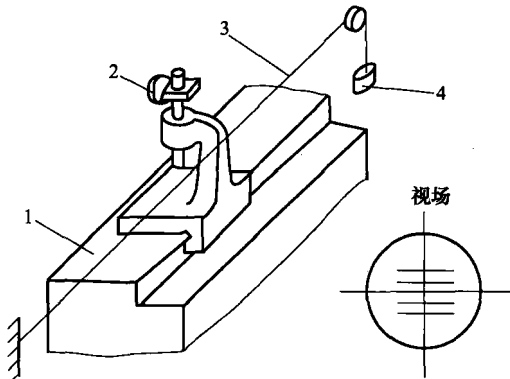


图 1-21 用钢丝和显微镜测量直线度

1—被测工件；2—显微镜；3—钢丝；4—重锤

1.2.2 平面度测量

精密机床的工作台面或基准平板工作面的平面度测量，对小型件可采用标准平板研点法、平尺千分表法等检验，对较大型件可采用如下方法测量。

1.2.2.1 间接测量法

所用的量仪有合像水平仪、自准直光学量仪等。根据定义，平面度误差要按最小条件来评定，即平面度误差是包容实际表面且距离为最小的两平行平面间的距离。由于该平行平面对不同的实际被测平面具有不同的位置，且又不能事先得出，因而测量时需先用过渡基准平面来进行评定。评定的结果称为原始数据。然后，由获得的原始数据再按最小条件进行数据变换，得出实际的平面度误差。但是，这种数据变换较复杂，在实际生产中常采用对角线法的过渡基准平面作为评定基准。虽然它不符合最小条件，但较接近最小条件。

对角线法测量平面平面度的方法说明如下。

对角线法的过渡基准平面，是通过被测表面的一条对角线，且平行于被测表面的另一对角线的平面。对矩形被测平面，测量时的布线方式如图 1-22 所示，其纵向和横向布线应不少于三个位置。用对角线法，由于布线的原因，在各方向测量时，应采用不同长度的支承底座。测量时首先按布线方式测出各截面上相对于端点连线的偏差，然后再算出相对过渡基准平面的偏差，平面度误差就是最高点与最低点之差。

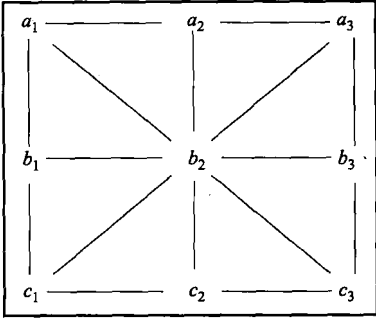


图 1-22 对角线法的测量布线方式

【例 1-1】 刻度值为 0.01mm/1000mm 的光学合像水平仪，测量规格为 400mm×400mm 平板的平面度误差，按对角线法测量，确定其误差。

解 测点选择为 9 点，见图 1-22。测量截面为 $a_1a_2a_3$ 、 $c_1c_2c_3$ 、 $a_1b_1c_1$ 、 $a_3b_3c_3$ 、 $a_1b_2c_3$ 、 $a_3b_2c_1$ 六个截面。每个截面内有三个测点。很明显，测量前面四个截面时桥板中心距长度为 200mm，测量后面两个截面时桥板中心距长度为 $\sqrt{2} \times 200\text{mm} \approx 283\text{mm}$ 。

用测量直线度误差的方法，在每个截面内分段连接各测点进行测量。设测得各截面内的两个读数如表 1-2 所示，其平面度误差的确定过程如下。

表 1-2 量仪的测量读数

截 面	读数/格	截 面	读数/格
$a_1b_2c_3$	0, +1	$c_1c_2c_3$	-1.5, 0
$a_3b_2c_1$	+1, -1	$a_1b_1c_1$	-1, 0
$a_1a_2a_3$	-0.5, +1.5	$a_3b_3c_3$	+0.5, -0.5

① 根据测量读数，用计算法求出各截面内各测点相对于端点连线的偏差，见表 1-3。

表 1-3 各截面内各测点相对于端点连线的偏差

截面标记	$a_1b_2c_3$		$a_3b_2c_1$		$a_1a_2a_3$	$c_1c_2c_3$	$a_1b_1c_1$	$a_3b_3c_3$
测量读数 a_i /格	0	+1	+1	-1	-0.5 +1.5	-1.5 0	-1 0	+0.5 -0.5
平均值	+0.5		0		+0.5	-0.75	-0.5	0
各减平均值	-0.5		+1		-1	-0.75	-0.5	+0.5
	+0.5		-1		+1	+0.75	+0.5	-0.5
各点累积值	0	-0.5	0	+1	0	-1	0	-0.5
	0		0		0	0	0	0
各值偏差 δ_i /mm	0	-1.4	0	+2.8	0	-2	0	-1
	0		0		0	0	0	0

② 取过渡基准平面 A_0 。通过对角线 $\overline{a_1c_3}$ 且平行于另一条对角线 $\overline{c_1a_3}$ ，按各截面内各测量点对端点连线的偏差值，再通过图解计算转换成相对基准平面 A_0 的偏差值。

$a_1b_2c_3$ 截面：

因为 a_1 、 c_3 两点在过渡基准平面 A_0 上（图1-23），故 a_1 、 b_2 、 c_3 各点相对过渡基准平面的偏差为

$$\Delta_{a_1} = \Delta_{c_3} = 0$$