

机械类

高级技工学校统编教材 高级工培训教材

高级工具钳工技能训练



中国劳动出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

高级工具钳工技能训练/李晓庆等编 —北京: 中国劳动出版社, 1999

ISBN 7-5045-2320-8

高级技工学校机械类统编教材

I. 高…

II. 李…

III. 钳工-工艺

IV. TG9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 04158 号

高级工具钳工技能训练

高级技工学校机械类教材编审委员会组织编写

责任编辑 孟陆英

版式设计 李沙黛

责任校对 袁学琦

中国劳动出版社出版

(100029 北京市惠新东街 1 号)

北京市安泰印刷厂印刷 新华书店总店北京发行所发行

1999 年 5 月第 1 版 1999 年 5 月北京第 1 次印刷

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 18 (1 插页)

字数: 448 千字 印数: 3000 册

定价: 26.80 元

简 介

为了更有效地培养高级技能人才，自1995年起，原劳动部、原机械工业部和中国航空工业总公司依据国家《工人技术等级标准》和《职业技能鉴定规范》，共同组织编写了一套机械类高级技工学校统编教材，本书是其中的一本。

本书着重叙述了高级工具钳工应具备的基本操作技能、专项操作技能、相关工种操作技能、相关工艺理论知识等。对精密量仪的使用，高精度工件的制作，工件的划线，模具制造、装配与调试安排了较多的篇幅；在“综合技能训练”中突出了模具的特种加工和较复杂零件的机械加工工艺分析及工艺编制。

本书可作为高级技工学校机械专业、中级技工学校机械高级班的教材，也可作企业高级工培训和工人自学用书。

本书由中国一拖高级技工学校李晓庆、张仲民、蒋增福、魏旭华、邹呈、陈小铸、陈德智、吴茂龙、李新德、李喜军编写，李晓庆主编，张仲民、蒋增福副主编。由中国一拖集团有限公司孙彬年、刘耀审稿。

前 言

高级技工教育是较高层次的职业技术教育。发展高级技工教育既是我国经济发展和现代化建设的需要,也是提高劳动者素质的需要。为加快培养高级技能人才,原劳动部从1990年开始试办高级技工学校,之后又在省级以上重点技工学校中选择了一批骨干学校陆续建立起高级技工学校几十所。几年来,这些高级技工学校已经成为高级职业培训基地,承担着培养高级技术工人、技师、生产实习指导教师以及其他高级技能人才的任务。

为了规范高级技工学校的教学,较好地解决教材的使用问题,1995年3月,原劳动部职业技能开发司会同原机械工业部教育司和中国航空工业总公司教育局,共同召开了高级技工学校机械类教学计划研讨会,提出“制订教学计划,并通过教学计划对培养目标进行质量检查,是保证高级技工学校健康发展的重要条件”。本套高级技工学校机械类统编教材,就是根据会议通过的高级技工学校机械类教学计划组织编写的。

本套教材以国家颁布的《工人技术等级标准》和《职业技能鉴定规范》为依据,文化基础课教材突出了实用性和服务性;专业课教材注意了从技能培养的需要出发确定编写内容,力求紧密结合企业的技术和生产实际;专业技能训练教材大量吸收了现场工人在生产中总结出来的操作经验和特殊技巧,补充了相关的专业知识,并介绍了国内较先进的技术和工艺。基本做到了从专业工种的实际需要出发,重点讲清知识应用的条件、方法和手段,使文化基础课为专业课服务,

专业课为技能训练服务,最终提高学生的操作技能和分析、解决实际问题的能力。

本套教材既可以作为高级技工学校的教材,也可以作为高级技工的培训教材。但由于我国高级技工教育正处在发展阶段,教材建设还存在着各种各样的问题,因此在选用本套教材时,一定要结合本单位的实际情况安排教学。

在近两年的教材编审工作中,得到了有关方面的大力支持,特别是一些高级技工学校的教师,承担了大量的编审任务,在此一并致以诚挚的感谢。欢迎大家在使用中将发现的问题及时反馈给我们,以便适时修订。

高级技工学校机械类教材编审委员会

1998年12月

目 录

第一单元 基本操作技能训练	(1)
课题 1 精密量仪	(1)
课题 2 高精度工件制作	(24)
第二单元 专项操作技能训练	(63)
课题 1 大型、畸形工件划线	(63)
课题 2 精密夹具的装配和检测	(81)
课题 3 模具制造、装配与调试	(119)
第三单元 相关工种操作技能训练	(158)
课题 1 车刀与车床操作	(158)
课题 2 铣刀与铣床操作	(173)
课题 3 砂轮与磨床操作	(186)
课题 4 热处理工艺及操作	(197)
第四单元 综合技能训练	(210)
课题 1 模具的特种加工	(210)
课题 2 综合练习	(227)
第五单元 技术攻关	(259)
课题 1 新技术、新工艺、新设备、新材料	(259)
课题 2 技术攻关实践	(279)

第一单元 基本操作技能训练

课题1 精密量仪

一、合像水平仪的结构原理及正确使用

(一) 教学要求

1. 熟悉合像水平仪的结构原理。
2. 掌握合像水平仪检测直线度、平面度的方法和技能。
3. 了解测量中应注意的事项。

(二) 相关工艺知识

1. 合像水平仪

合像水平仪的分度值为 0.01 mm/m (即 $2''$)，其外观如图 1.1a 所示。由于采用了光学放大，并以双像重合来提高对准精度，以及水准器玻璃管的曲率半径减小，缩短了气泡达到稳定的时间。加之水平位置可重新调整，使测量的倾斜角大大的超过了钳工水平仪和框式水平仪的范围。因此它具有对准精度高，读数精度高，测量读数范围大，读数直观及不受测量温度变化影响等特点。在机械装配和修理中，常用来校正基准件的安装水平；测量各种设备的导轨、基准平面的直线度和平面度，以及零、部件相对位置的平行度和垂直度误差等。

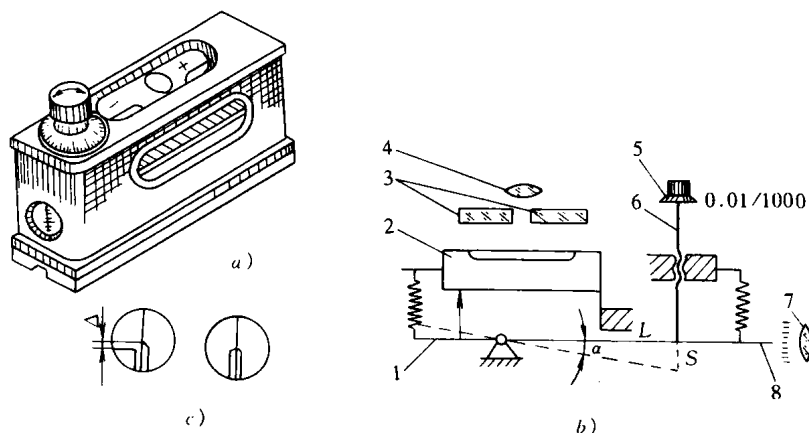


图 1.1 合像水平仪结构原理图

1—杠杆 2—水准器 3—棱镜 4—目镜
5—旋钮 6—测微螺杆 7—放大镜 8—标尺指针

合像水平仪的结构原理如图 1.1b 所示。水准器 2 安装在杠杆架上特制的底板内，水准器内气泡两端的圆弧，通过棱镜 3 反射至目镜 4，形成左右两半合像。使用时将已调平的合像水平仪放在被测面上，此时气泡如图 1.1c 所示，然后转动测微螺杆 6，直至从目镜 4 中

观察到气泡重合为止。这时从放大镜 7 中读取指针 8 所指的粗读数，从测微旋钮 5 上读取细读数。粗读数的分度值为 1 mm/m，细读数的分度值为 0.01 mm/m。

2. 直线度及其检测

直线度是一项控制直线形状误差的指标，直线度误差是指被测实际直线对理想直线的变动量。给定平面内的直线度误差是包容实际直线且距离为最小的两平行直线间的距离。现有的测量方法分为直接测量法和间接测量法两大类。合像水平仪一般应用于垂直面上直线度的间接测量，其读数值表示各段相对测量基准线的倾斜度，然后再换算成线值距离。

测量时，将合像水平仪放在被测长度选定的适当跨距（为便于换算，一般选取 10 的整数倍，如 200，250，300……）的桥板上，如图 1.2 所示。首尾相接地移动桥板，分段沿长度方向逐次进行测量，使前一次桥板的末点与后一次桥板的始点相重合，在合像水平仪上读出每个测量位置的读数，该读数为后一点相对于前一点的测量值。

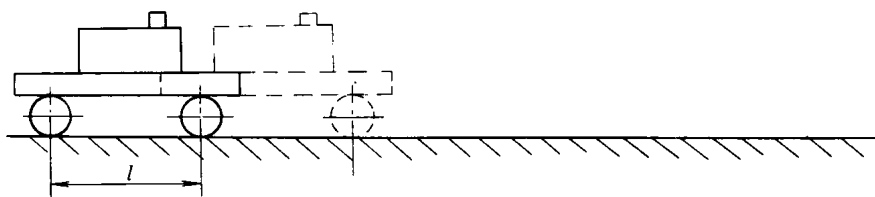


图 1.2 合像水平仪的安放

通常，后一点比前一点高时，取读数为正，后一点比前一点低时，取读数为负。线值误差则通过图解法或算法由分析后得出。

(1) 图解法 用图解法时，以横轴代表被测长度，纵轴代表各分段得出的测量数值。相对起始点累积值建立坐标，连接各坐标点，绘出被测表面的误差曲线。由于纵、横坐标所取比例不同，因而图中直线度误差曲线被大大地夸张了，所以坐标图上得到的误差曲线图不是实际线的实际图形，它仅反映出实际线的误差大小。按精度规定的端点连线法或按照符合直线度定义的最小区域法，来确定被测表面的直线度误差和误差曲线形状。

以两端点连线法确定误差时，误差曲线必须处于两端点连线的同一侧，误差是以误差曲线与端点连线之间的最大纵坐标值计。并规定：误差曲线在端点连线之上时，形状为凸；误差在端点连线之下时，形状为凹。如曲线有凸、凹的形状时称为波折，一般要采用最小区域法来确定误差。

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 ，分别称为上包容线和下包容线。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。该纵坐标距离 Δ 即为被测表面的直线度误差。

例 1.1 用精度为 0.01/1 000 的合像水平仪测量某机床导轨的直线度。已知导轨长为 1 200 mm，桥板长为 200 mm，自左至右依次测得示值读数分别为：+3.5，+5.5，-3.2，0，-3，+3.2。试用图解法并按端点连线法和最小区域法确定其直线度误差和误差形状。

解：绘制误差曲线图并作端点连线和包络线 l_1 和 l_2 ，如图 1.3 所示。

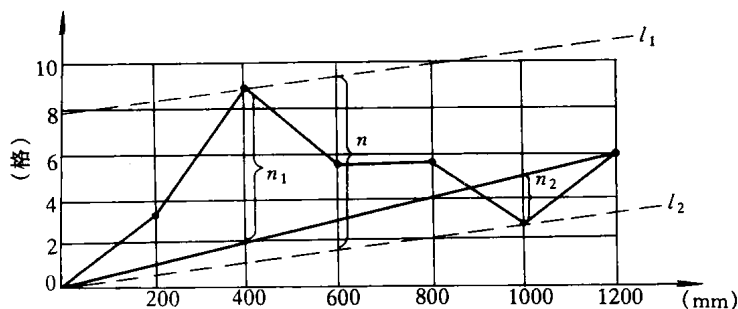


图 1.3 误差曲线图

以端点连线确定误差，直接从图中量出或利用相似三角形对应边成比例和线段间的差值关系求出 $n_1=7$ (格)， $n_2=2.2$ (格)

则最大纵坐标值 $7+2.2=9.2$ (格)

代入公式求出直线度误差

$$\begin{aligned}\Delta &= ncl \\ &= 9.2 \times 0.01 / 1\,000 \times 200 \\ &= 0.018 \text{ mm}\end{aligned}$$

式中 Δ ——直线度误差，mm；

n ——合像水平仪测量格数；

c ——合像水平仪分度值，mm/m；

l ——桥板长度，mm。

由图可知，该导轨误差曲线形状为波折。

以最小区域法确定误差时，过两个最低点作下包容线 l_2 和过一个最高点作 l_1 平行于 l_2 ，且最高点在误差曲线的方向上位于两个最低点之间，符合最小条件。可直接从图中量出或利用相似三角形对应边成比例和线段间的差值关系求出 $n=7.88$ (格)

代入公式求出直线度误差

$$\begin{aligned}\Delta &= ncl \\ &= 7.88 \times 0.01 / 1\,000 \times 200 \\ &= 0.016 \text{ mm}\end{aligned}$$

由此可见，采用端点连线法确定的误差偏于保守。

(2) 计算法 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重合 (或平行)。此时，导轨的误差值 Δ 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。用计算法时，不需要作图。变换各段读数终点累积值必然为零，否则计算有误。变换后各段端点坐标值均为正值时，误差曲线形状为凸；均为负值时，误差曲线形状为凹；若有正有负时的形状为波折。该方法简便、实用。能满足一般精度要求，故在生产实践中被广泛采用。对于高精度的工件，如直线度曲线出现波折时，可按最小区域法确定其直线度误差。

端点连线算法可按以下步骤进行：

1) 按顺序记录各段测量读数；

- 2) 求出各段读数代数和的平均值 $\bar{n}$;
- 3) 将各段读数各减去平均值;
- 4) 将减后的各段读数进行累积;
- 5) 确定直线度的误差值。

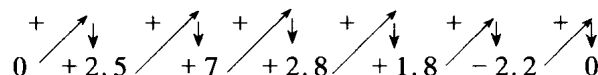
例 1.2 按上列步骤对例 1.1 所给定的数据进行计算。

解:

1) 各段读数 +3.5 +5.5 -3.2 0 -3 +3.2

2) 求平均值 $\bar{n} = \frac{3.5+5.5-3.2+0-3+3.2}{6} = 1$

3) 各减平均值 +2.5 +4.5 -4.2 -1 -4 +2.2

4) 累积读数 

5) 求直线度误差 $n = |7 - (-2.2)| = 9.2(\text{格})$

$$\begin{aligned}\Delta &= ncl \\ &= 9.2 \times 0.01 / 1000 \times 200 \\ &= 0.018 \text{ mm}\end{aligned}$$

该导轨误差形状为波折。

按最小区域法来确定误差值的计算法的实质是: 同样通过对各段测量读数的坐标位置进行变换, 使最大读数相对评定基准(上、下包容线)具有最小值, 此时, 其最大读数即为直线度误差。该方法确认及计算较为繁琐, 此处略。

3. 平面度及其检测

平面度是一项控制被测平面形状误差的指标。平面度误差是被测实际表面对理想平面的变动全量, 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。生产中常用的测量方法有直接测量法和间接测量法两大类。

(1) 直接测量法 能直接获得线值结果的测量方法。常用的直接测量法有平晶法和打表法两种。

1) 平晶法 常用于测量高精度的小平面工件, 如量块工作面、千分尺测砧平面等, 多用平晶以光波干涉的原理测量其平面度。

测量时将平晶贴在被测面上, 并稍加压力, 当干涉条纹的数目为最少时进行读数, 如图 1.4 所示。被测表面的平面度误差为封闭的干涉条纹数乘以波长之半, 对不封闭的干涉条纹为条纹的弯曲度 a 与相邻两条纹间距 b 之比乘以光波波长之半。当干涉条纹为直线时, 说明被测表面是平的。图 1.4a 的平面度误差为 $F = \frac{\lambda}{2}$; 图 1.4b 的平面度误差为 $F = \frac{a}{b} \cdot \frac{\lambda}{2}$ (式中 λ 为波长)。

2) 打表法 将被测工件用三个可调支承安放在标准平板上, 以标准平板为测量基面。通过支承调整使被测平面的两对角点连线与基准平板工作面平行, 或使被测表面最远三点等高。用测微表沿被测表面上各点或按一定的布点测量被测平面, 如图 1.5 所示。通常用测微表最大、最小读数的差值近似地作为平面度的误差值。当要求高时, 可根据记录的各点读数, 用基面旋转法按最小条件得到平面度误差。

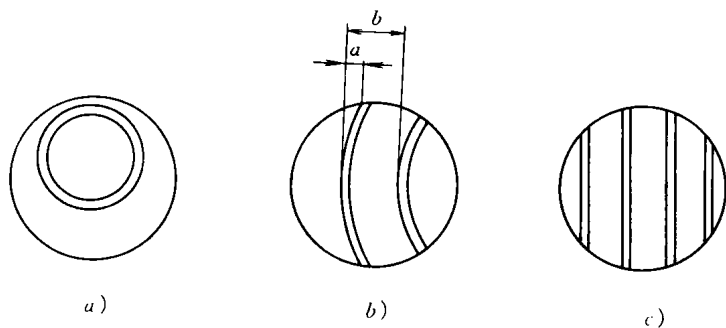


图 1.4 平晶观察视场

a) 封闭形干涉条纹 b) 非封闭形干涉条纹 c) 直线形干涉条纹

(2) 间接测量法 合像水平仪测量平面度是采用间接测量法，测量读数后对测量数据的处理有对角线法和最小区域法两种方法。对角线法可通过计算法或作图法得到测量结果，最小区域法通过基面转换或计算得到测量结果。这里重点讲述最小区域法，它是按最小区域确定的理想平面作为基面来评定平面度的方法。

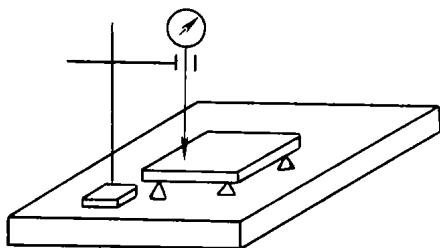


图 1.5 平面度检测示意图

先测出被测表面上各测点相对于同一测量基准的原始数据，然后通过基面转换的方法——旋转法（也可用作图或解析法），使其出现符合下面三种情况之一形式者，即认为符合最小条件，构成最小区域，此时各测点中的最大值与最小值之差作为被测平面的平面度误差。

形式 1：三角形准则。一个最低（高）点的投影正好落在三个等值最高（低）点所组成的三角形之内，如图 1.6a 所示。

形式 2：交叉准则。两等值最高点的投影位于两等值最低点连线的两侧，如图 1.6b 所示。

形式 3：直线准则。一个最高（低）点的投影位于两个等值最低（高）点的连线上，如图 1.6c 所示。

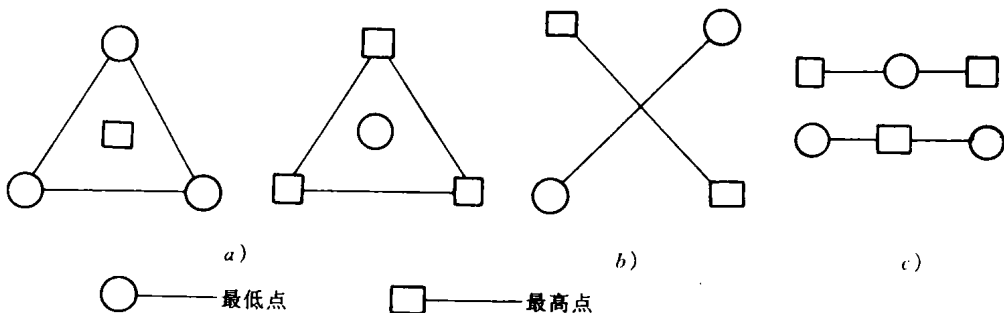


图 1.6 判别最小条件准则

a) 三角形准则 b) 交叉准则 c) 直线准则

○—最低点 □—最高点

下面通过实例介绍旋转法测量平面的方法步骤：

例 1.3 设被测表面上各测点相对于同一测量基准的测得数据如图 1.7a 所示，按最小

条件用旋转法求解平面度误差值。

解：由原始数据可看出被测表面中点为最高，因此建立转轴和旋转的目的是设法找三个等值最低点以实现三角形准则。

为此，首先以 I - I ($\overline{c_1a_3}$) 为转轴，使 -30 (b_1) 与 -40 (c_2) 两点等高。因为该两点所在的 $\overline{b_1a_2}$ 、 $\overline{c_2b_3}$ 线距转轴 I - I ($\overline{c_1a_3}$) 的间距数均为 1，且 b_1 、 c_2 两点的高度差为 $-30 - (-40) = 10 \mu\text{m}$ ，故使 b_1 、 c_2 等高，绕轴 I - I 的旋转量为：

$$\text{旋转量} = \frac{\text{高度差}}{\text{间距数}} = \frac{-30 - (-40)}{1 + 1} = 5 \mu\text{m}$$

$\overline{c_2b_3}$ 线与转轴 I - I 的间距为 1，故 c_2 、 b_3 点均应升高一个旋转量 $5 \mu\text{m}$ ， c_3 点距轴 I - I 的间距为 2，故该点应升高两个旋转量 $5 \times 2 = 10 \mu\text{m}$ ，而 $\overline{b_1a_2}$ 与转轴 I - I 有一个间距，故应降低一个旋转量 $5 \mu\text{m}$ 。 a_1 点与转轴有两个间距，故应降低两个旋转量 $5 \times 2 = 10 \mu\text{m}$ 。转轴 I - I 上各点数值不变。旋转后数值如图 1.7b 所示，实现了 b_1 、 c_2 两点等高。

再以 II - II 为转轴，使 a_3 (10) 与 b_1 (-35) 等高，因 a_3 点与转轴 II - II 的间距为 2， $\overline{b_1c_2}$ 与转轴的间距为 1， a_3 与 b_1 的高度差为 $10 - (-35) = 45 \mu\text{m}$ ，故旋转量 = $\frac{10 - (-35)}{2 + 1} = 15 \mu\text{m}$ ， b_1 、 c_2 点升高一个旋转量 $15 \mu\text{m}$ 后变为 -20 μm ， a_3 点降低两个旋转量 $15 \times 2 = 30 \mu\text{m}$ 变为 -20 μm 。其他各点旋转后数值见图 1.7c。可以看出，经两次旋转后，符合三角形准则。故该被测表面按最小区域法评定时，其平面度误差 $\Delta = 80 - (-20) = 100 \mu\text{m}$ 。

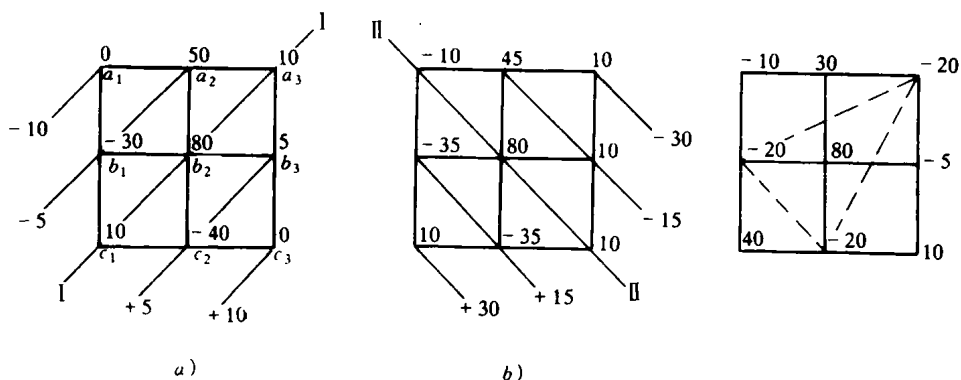


图 1.7 基面旋转法

例 1.4 图 1.8a 为一组原始数据，图 b、c 分别是经第一、第二次旋转后的结果。可以看出经两次旋转后符合交叉准则。

该表面的平面度误差为 $\Delta = 2 - (-5) = 7 \mu\text{m}$

第一次旋转以 I - I 为转轴，使 a_1 、 c_3 等高。

$$\text{旋转量} = \frac{3 - 1}{2 + 2} = 0.5 \mu\text{m}$$

第二次旋转以 II - II 为转轴，使 a_2 、 b_1 等高。

$$\text{旋转量} = \frac{-4.5 - (-5.5)}{1 + 1} = 0.5 \mu\text{m}$$

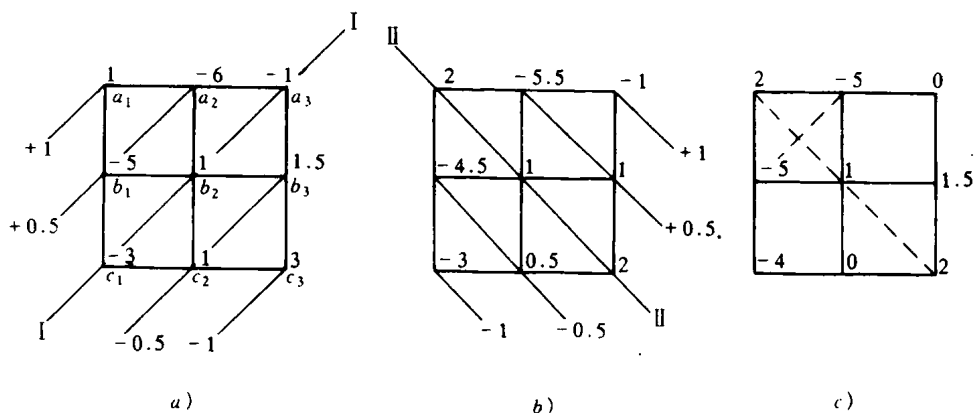


图 1.8 基面旋转法

应当指出, 当被测表面粗略估算或要求不高时, 不必按最小区域法拘泥于满足 3 个准则, 可按对角线法进行旋转。即使对角线 $\overline{a_1c_3}$ 两端点等高, 使另一条对角线 $\overline{c_1a_3}$ 两端也等高, 这样旋转后, 各点的最大与最小之差值为所求平面度误差。显然, 由于这样不符合最小条件, 故求得的值要比最小区域法求得的值要大一些。如例 1.4 按对角线法旋转见图 1.9。

平面度误差 $\Delta = 2 - (-6) = 8 \mu\text{m}$ 。

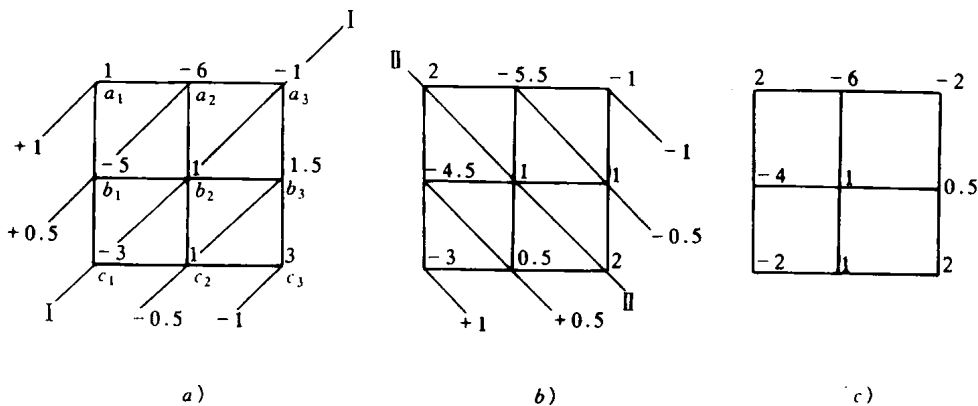


图 1.9 基面旋转法

可以看出, 对同一组数据, 用对角线法的结果 $\Delta = 8 \mu\text{m}$, 而用最小区域法 $\Delta = 7 \mu\text{m}$ 。

(三) 操作实习

1. 内容和要求

(1) 用合像水平仪测量长度 $L \geq 1500 \text{ mm}$ 平尺的直线度, 用图解法按最小区域法评定误差。

(2) 用合像水平仪测量长度 $L \leq 2000 \text{ mm}$ 机床导轨在垂直平面内的直线度, 分别用图解法和计算法按端点连线法评定误差。

(3) 用基准平板和测微表测量规格为 $300 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$ 平板的平面度, 用最小条件评定法确定其误差值。

(4) 完成测量实习内容后, 写出测量内容、方法、测量数据和误差结果的报告。

2. 测量中的注意事项

(1) 被测件支承要稳定, 被测表面应调到大致处于水平位置。

(2) 确定合适的桥板长度和测量点数。桥板跨距 l 的选取, 应保证 L/l 为整数 (L 为被测件长度)。测点 n 的多少与测量精度、被测件形状有关, 测量平面时一般取 n 为奇数。

(3) 注意桥板的移动轨迹。桥板在移动过程中, 除注意保证在前后两次测量中桥板首尾两点应很好的衔接外, 还应注意其移动轨迹尽可能成一直线。

(4) 起始点的读数“0”不能丢掉。

(5) 记住仪器读数的“+”、“-”号, 合像水平仪在逐段测量中, 仪器读数表示后一点对前一点的状态, 当后一点比前一点读数大时应为“+”, 否则为“-”。

(6) 用坐标距离代替垂直距离。在误差曲线图上, 直线度误差不能采用两条包容线之间的垂直距离, 而应采用两条包容线之间的纵坐标距离。

(7) 注意计量单位的换算, 将格数值换算成线值。

(8) 测量前, 严格校准合像水平仪的零位, 特别是在测量平面度时, 水平仪自身的零位误差将会影响读数值的准确度。

二、光学自准直仪的结构原理及正确使用

(一) 教学要求

1. 熟悉光学自准直仪的结构原理。

2. 掌握光学自准直仪检测技能。

3. 了解测量中应注意的事项。

(二) 相关工艺知识

1. 光学自准直仪的原理

光学自准直仪是一种应用光学自准直成像测微原理工作的高精度测试仪器, 其基本原理如图 1.10 所示。

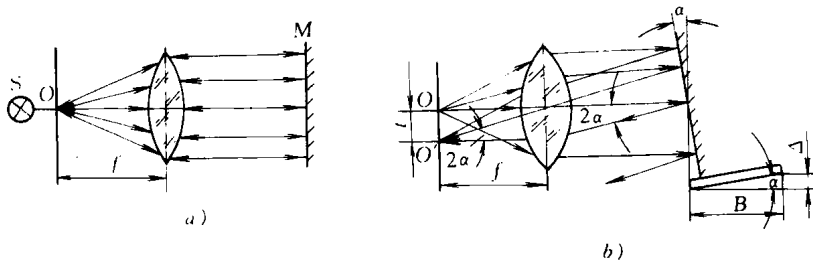


图 1.10 光学的自准直原理

光源 S 发出的光, 照亮了位于物镜焦面上的 O 点 (焦点) 像, 经物镜后成为与光轴平行的光束射出, 这样的简单光学装置称为平行光管。垂直于光轴安放一反射镜 M , 则平行光束遇 M 按原路返回, 再次通过物镜在焦面上原来的位置成一实像 (图 1.10a), 这种现象就称为“自准直”。

若平面反射镜 M 倾斜一个 α 角时, 如图 1.10b 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:

$$t = f \cdot \tan 2\alpha \approx f \cdot 2\alpha \quad (\text{式中 } f \text{ 为物镜的焦距})$$

倾斜角 α 与被测量的尺寸变化量 Δ 的关系为:

$$\Delta = B \cdot \tan \alpha \approx B \cdot \alpha \quad (\text{式中 } B \text{ 为反射镜底座长度})$$

比较以上两式得

$$\Delta = \frac{t \cdot B}{2f}$$

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。因此自准直仪可以用来测量反射镜对光轴垂直方位的微小角度偏转。

2. 光学平直仪

它由平行光管和读数目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 1.11a 为其外观图, 图 1.11b 为其光路系统图。

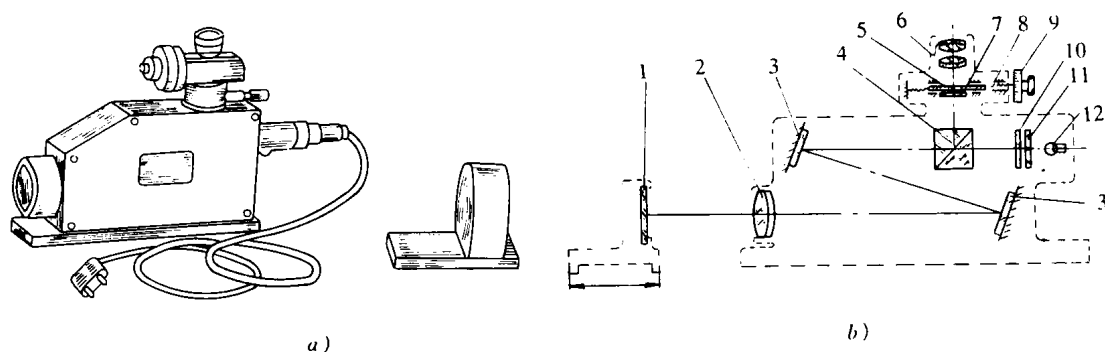


图 1.11 光学平直仪光路系统

- 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—绿色滤光镜 12—光源

光源 12 经绿色滤光镜 11 照亮指示分划板 10 上的十字形透光指标, 该分划板正好位于物镜焦平面上。由分划板发出的亮十字形指标经立方棱镜 4, 二平面镜 3 及物镜 2 后, 形成平行光射向平面反射镜 1, 经平面反射镜 1 返回后, 经物镜、平面镜、立方棱镜向上折射, 成像于固定分划板 7 上 (其上有粗读数刻度尺), 并刻有数字 5, 10, 15。若反射镜有倾斜变化, 经反射后聚焦于固定分划板上的亮十字形指标像亦随之有位移的变化。活动分划板 5 上有一长单刻线 (瞄准线), 转动测微目镜手轮 9, 经螺杆 8 调整位置, 使长单刻线处于亮十字形指标像中间的位置。由测微刻度盘直接读出位移量。其测微手轮的刻度值有两种: 一种以角值表示; 另一种以线值表示。前者最小单位值为 $1''$; 后者单位值为 $0.005/1\ 000$, 相当于在 $1\ 000\ \text{mm}$ 的长度, 其中一端升高 $0.005\ \text{mm}$ 。

目镜观察视场的情况如图 1.12 所示。其中图 a 是平直仪测量调整时作起始位置的视场; 图 b 是平面反射镜移动时, 出现相对倾斜偏角时的视场; 图 c 是转动测微目镜手轮, 借助活动分划板瞄准, 即将长单刻线对准亮十字形指标像的中间时, 进行读数的视场; 图 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。

3. 平导轨的直线度测量

图 1.13 是用光学平直仪测量平导轨直线度时的安装示意图。平面反射镜 3 的底座支承点间跨距 l 应根据导轨长度和所要求的测量精度来选择。 l 过大不易反映导轨直线度的真实情况, 过小势必增加测量次数, 增加累积误差。一般采用被测件全长的 $1/10 \sim 1/15$ 为宜。光学平直仪 2 应稳固地安装在自制的调整平台 1 上。先把反射镜置于导轨的一端, 调整平台 1 和光学平直仪 2, 使反射十字形指标像位于目镜视场中心, 然后再把反射镜移到导轨的另

一端，在目镜视场中仍能观察到十字形指标像。否则应调节仪器或反射镜，直到导轨两端十字形指标像均在视场中心，并同时成像清晰为止。

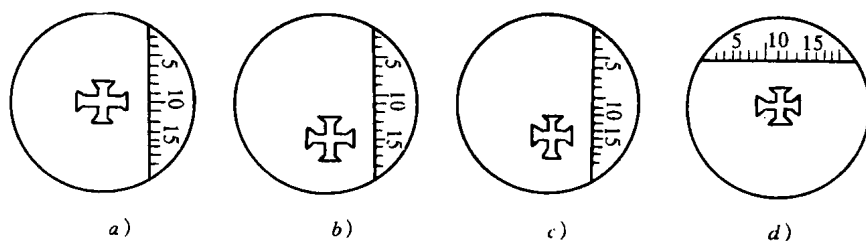


图 1.12 光学平直仪目镜观察视场

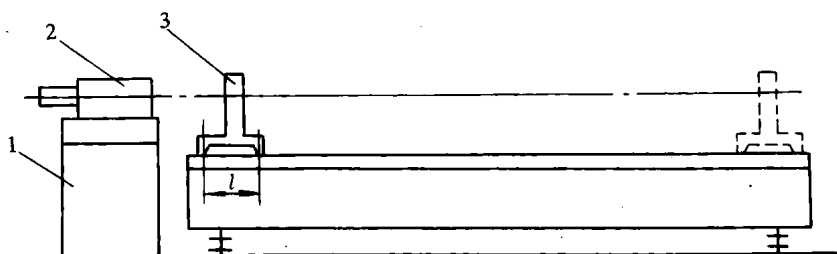


图 1.13 平导轨直线度检测

1—调整平台 2—光学平直仪 3—平面反射镜

测量时，反射镜依次由近到远移动一个跨距并首尾衔接，逐点进行读数。然后将反射镜返回移动，重新在各个位置上读数，反射镜返回移动的位置应与前者一致，取各跨距两次读数的平均值作为该跨距测量结果，再对数据进行处理，便可求得导轨的直线度误差。

4. V 形导轨的直线度测量

光学自准直仪可在一次设置中分别测得零件在水平、垂直这两个正交平面上的直线度误差，目前已在机器制造行业，特别是在 V 形导轨直线度误差的测量中，得到广泛的采用。下面着重介绍用光学自准直仪测量 V 形导轨水平面和垂直面直线度后误差数据的处理。

所谓误差数据处理，就是将光学自准直仪测得的 V 形导轨在水平面、垂直面上直线度的综合误差，分解为分别垂直于两导轨侧面的各自独立的直线度误差，并以此来评价该 V 形导轨的直线度精度及其修整方法。

(1) 误差方向的定义 导轨面有凸有凹，为了便于分析计算，我们设定，在面向导轨延伸的方向上观察：

1) 处于左手方位的 V 形导轨侧面称为左导轨面，计算公式中均以下角标“左”表示；右手方位的 V 形导轨侧面称为右导轨面，以下角标“右”表示。

2) 在垂直测量面上，导轨面凸起为正值，凹下为负值。

3) 在水平测量面上，导轨自右向左凸起为正值，自左向右凸起为负值。

4) 在左、右两导轨侧面的垂直方向上，导轨面凸起为正值，凹下为负值。

(2) 误差计算公式 为了便于公式推导，我们将 V 形导轨实际位置相对于理想（论）位置分别作垂直偏移和水平偏移，如图 1.14 所示。

设综合垂直偏移量为 $\delta_{\text{垂}}$ ，它影响到左、右导轨面的偏移量分别为 $\delta_{\text{左垂}}$ 及 $\delta_{\text{右垂}}$ ，如图

1.14a 所示。

设综合水平偏移量为 $\delta_{\text{平}}$ ，它影响到左、右导轨面的偏移量分别为 $\delta_{\text{左平}}$ 及 $\delta_{\text{右平}}$ ，如图 1.14b 所示。

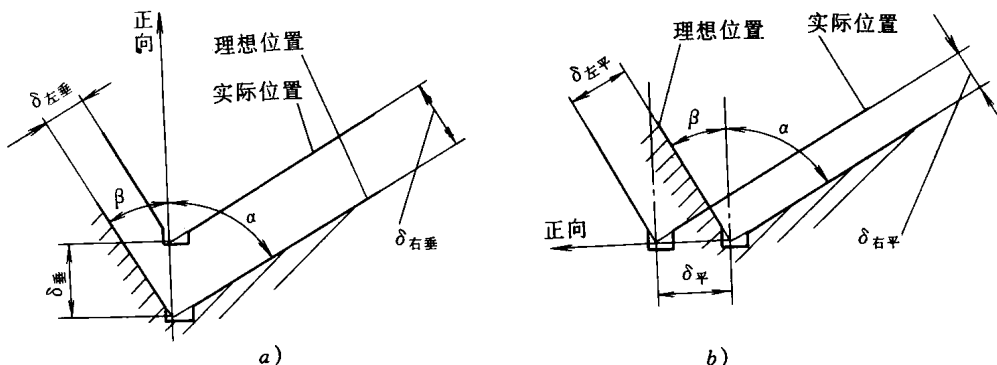


图 1.14 V 形导轨偏移

a) 垂直偏移 b) 水平偏移

右导轨面与垂线的夹角为 α ；左导轨面与垂线的夹角为 β 。

由图中用三角函数推导，可见：

$$\delta_{\text{右垂}} = \delta_{\text{垂}} \cdot \sin \alpha$$

$$\delta_{\text{左垂}} = \delta_{\text{垂}} \cdot \sin \beta$$

$$\delta_{\text{右平}} = \delta_{\text{平}} \cdot \cos \alpha$$

$$\delta_{\text{左平}} = -\delta_{\text{平}} \cdot \cos \beta$$

右侧导轨面的直线度误差为 $\delta_{\text{右}}$

$$\delta_{\text{右}} = \delta_{\text{垂}} \cdot \sin \alpha + \delta_{\text{平}} \cdot \cos \alpha$$

左侧导轨面的直线度误差为 $\delta_{\text{左}}$

$$\delta_{\text{左}} = \delta_{\text{垂}} \cdot \sin \beta - \delta_{\text{平}} \cdot \cos \beta$$

在 V 形对称导轨中，当 $\alpha = \beta = 45^\circ$ 时：

$$\sin \alpha = \cos \alpha = \sin \beta = \cos \beta = 0.707$$

$$\delta_{\text{右}} = (\delta_{\text{垂}} + \delta_{\text{平}}) \times 0.707$$

$$\delta_{\text{左}} = (\delta_{\text{垂}} - \delta_{\text{平}}) \times 0.707$$

测值经过 0.707 换算后，得数有整有零，给以后的数据分析带来诸多不便，所以在 $\alpha = \beta = 45^\circ$ 这种特定情况时，可以先不换算，直接进行数据处理，得到各侧导轨面的直线度后再乘以 0.707，即得到各导轨面直线度误差值。

(3) 误差数据分析实例 用反光镜垫板长度为 200 mm 的光学自准直仪测量 $\alpha = \beta = 45^\circ$ ，长度为 2 000 mm 的 V 形导轨水平面及垂直面的直线度，且经过直线度数据处理，使其首尾点处于同一条水平线上以后，如图 1.15 所示，每个图的上方标出该导轨每段 (200 mm 长) 的段号，下方标出该段处理后的测值 (单位： μm)。