

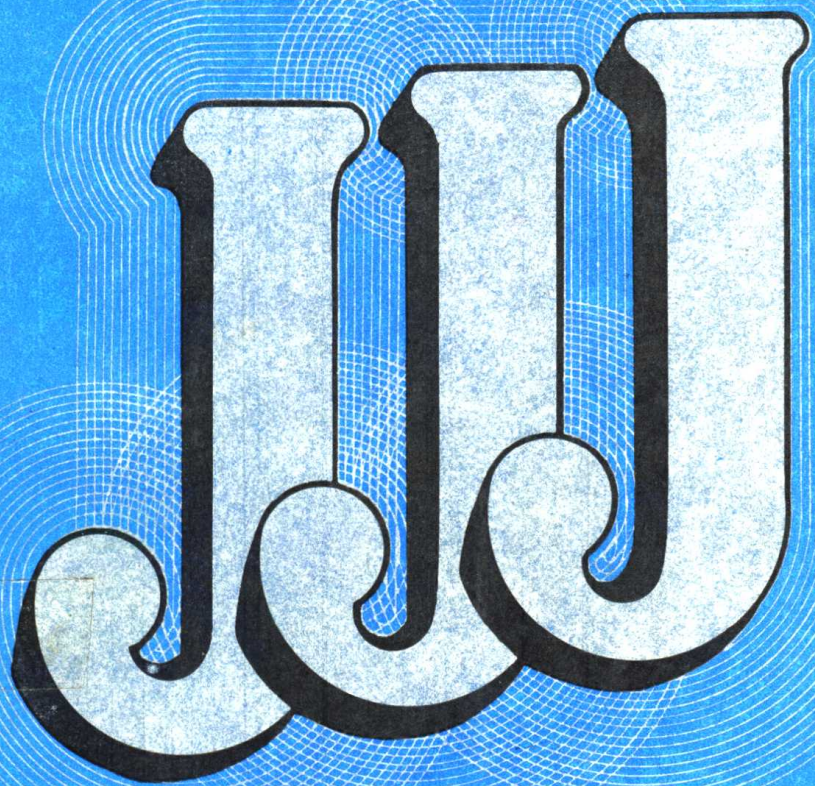
国家机械工业委员会统编

误差与测量

(中级计量鉴定修理工适用)

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



01
8

机械工业出版社

机械工人技术理论培训教材

误差与测量

(中级计量鉴定修理工适用)

国家机械工业委员会统编



机械工业出版社

全书共分四章，即：形位误差测量；渐开线圆柱齿轮与蜗轮蜗杆测量；常用齿轮刀具的测量；生产技术管理。

本书是在《误差与测量》初级分册的基础上，为进一步掌握形位误差、齿轮及齿轮刀具误差的测量和数据处理方法而编写的，并且对工厂生产过程的管理知识也有一个概括的介绍。

本书由沈阳重型机器厂陈阁生、吴凤麒、王福新编写，由沈阳工业大学于秋恩、金嘉琪审稿。

误差与测量

(中级计量鉴定修理工适用)

国家机械工业委员会统编

责任编辑：朱 华

责任校对：丁丽丽

封面设计：林胜利 方 芬

版式设计：罗文莉

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(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

机械工业出版社发行·新华书店经销

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张 $6^{1/4}$ · 字数 137 千字

1988年12月北京第一版·1988年12月北京第一次印刷

印数 00,001—20,600 · 定价：2.50元

ISBN 7-111-01179-1/TH·197

前 言

1981年，原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》，确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此，组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲（试行）》，编写了相应的教材，有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作，初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况，取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准（通用部分）》进行了全面修订，原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求，而且缺少高级部分；编写的教材，由于时间仓促、经验不足，在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此，原机械工业部根据新《标准》，重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》（初、中、高级），于1987年3月由国家机械工业委员会颁发，并根据培训计划、大纲的要求，编写了配套教材148种。

这套新教材的编写，体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神，坚持了文化课为技术基础课服务，技术基础课为专业课服务，专业课为提高操作技能和分析解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上，力求以

基本概念和原理为主，突出针对性和实用性，着重讲授基本知识，注重能力的培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂、长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好，出好这套教材不容易；教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工培训教材编审组

1987年11月

目 录

前 言

第一章	形位误差的测量	1
第一节	概述	1
第二节	形状误差的测量	8
第三节	位置误差的测量	33
复习题		39
第二章	渐开线圆柱齿轮与蜗轮蜗杆的测量	41
第一节	渐开线圆柱齿轮的基本概念与尺寸计算	41
第二节	渐开线圆柱齿轮的单项误差测量	48
第三节	齿轮误差的综合测量	91
第四节	蜗轮蜗杆测量	95
第五节	蜗杆的测量	106
第六节	蜗轮的测量	122
复习题		126
第三章	常用齿轮刀具的测量	128
第一节	盘形齿轮铣刀的测量	128
第二节	齿轮滚刀的测量	144
第三节	插齿刀的测量	165
第四节	直齿圆锥齿轮刨刀的测量	174
复习题		180
第四章	生产技术管理	182
第一节	产品的生产过程	182
第二节	生产技术管理机构与任务	184
第三节	计量机构与其他生产技术管理机构的关系	188
第四节	编制量具检定规程	190
复习题		194

第一章 形位误差的测量

形位误差的测量是认识零件形位精度的基本手段。根据测量得到的形位误差值，可判断零件是否合格，也可分析产生误差的原因，从而采取措施改进工艺，以保证不断提高产品的制造精度。

形位误差的测量是一个比较复杂的问题。随着形位公差标准的贯彻，无论是在形位误差的概念、还是在检测方法和数据处理等方面都有了较大的发展。尤其是采用电子计算机来进行测量和数据处理，为形位误差检测技术的现代化创造了条件。

本章就形位误差测量的一般方法作一简单介绍。

第一节 概 述

一、形位误差的概念

无论是简单的还是复杂的机械零件，总是由一些基本的几何要素组成。这些要素就是点、线、面。其中能见到的要素称为轮廓要素；对中心点、轴线和中心面等假想要素称为中心要素。轮廓要素、中心要素都是形位误差的研究对象。

给出了形位公差的要素称为被测要素。其中只对自身有要求的被测要素叫做单一要素；与其他要素发生相对关系的被测要素叫做关联要素。

在设计图样上给出的被测要素是理想的。当零件加工出来后，由于各种工艺因素的影响，被测实际要素总是偏离其理想要素，对于关联要素还有偏离其理想方位等问题，因此

形位误差就是被测实际要素对其理想要素的变动量。按国家标准规定，形位误差共有十四个项目，见表1-1所示。

表1-1 形位误差分类

被测要素	误差分类		误差项目	符 号
单一要素	形状误差		直线度误差	—
平面度误差				
圆度误差			○	
圆柱度误差				
单一要素或 关联要素			线轮廓度误差	
面轮廓度误差				
关联要素	位置误差	定向误差	平行度误差	//
			垂直度误差	⊥
			倾斜度误差	∠
		定位误差	同轴度误差	◎
			对称度误差	≡
			位置度误差	⊕
		跳 动	圆跳动	
			全跳动	

二、形位误差的评定

1. 最小条件 形位误差是由被测实际要素与其理想要素进行比较的结果。在比较过程中,如果理想要素处于不同的位置,就会得到不同大小的变动量,因此在评定实际要素的形位误差时,理想要素相对于实际要素的位置,必须有一个统一的评定准则。我国国标规定的这个准则就是“最小条件”。

“最小条件”是指被测实际要素与其理想要素的最大变动量为最小。如图1-1所示,评定给定平面内实际线的直线度误差时,若在被测直线之外作一理想直线 I-I,则实际线到直线 I-I 的最大变动量为 f_1 ; 作理想直线 II-II,则最大变动量为 f_2 。作理想直线 III-III,则最大变动量为 f 。显然理想要素在 I-I 和 II-II 这两种位置时,被测要素的最大变动量并非最小,因此它不能代表被测实际线的直线度误差。从图中可以看出, $f < f_1 < f_2 \dots\dots$ 。可见符合最小条件的理想要素方位应是 III-III,实际的直线度误差为 f 。

2. 形状误差的评定 形状误差是被测实际要素对其理想要素的变动量,理想要素的位置应符合最小条件。对于轮廓要素(线、面轮廓度除外),符合最小条件的理想要素是处于实体之外与被测实际要素相接触,使被测实际要素的最大变动量为最小。如图1-1中的理想直线 III-III,对于中心要素(轴线,中心线,中心平面等),符合最小条件的理想要素是位于实际要素之

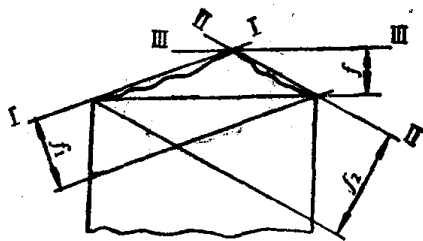


图1-1 符合最小条件的直线度误差评定

中,使实际中心要素的最大变动量为最小。如图 1-2 所示,符合最小条件的理想轴线为 L_1 , 其最大变动量为 d_1 。

形状误差数值的大小,用最小包容区域(简称最小区域)的宽度或直径表示。所谓最小区域宽度是指包容被测实际要素时,具有最小宽度 f 或直径 ϕf 的包容区,如图 1-3 所示。

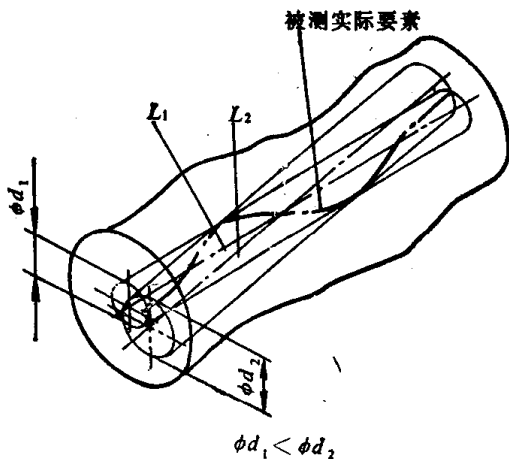


图 1-2 符合最小条件的中心要素

按最小包容区域评定形位误差值的方法称为最小区域法,因其理想要素的位置符合最小条件,所得形状误差的评定值为最小。故结果是唯一的。

实际测量中,在满足零件功能的前提下,允许采用近似

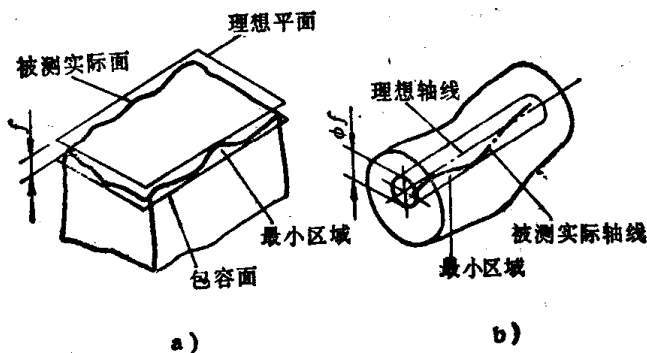


图 1-3 最小包容区域

a) 对轮廓要素 b) 对中心要素

的方法来评定。例如以两端点连线作为理想直线来评定直线度误差，以两对角线建立理想平面评定平面度误差等。但近似方法的评定结果不是最小的。因此，不能作为仲裁依据。

3. 位置误差的评定 位置误差分为定向误差，定位误差和跳动误差三类。

(1) 定向误差：定向误差是指被测实际要素，对其具有确定方向的理想要素的变动量，理想要素的方向由基准确定。

评定定向误差时，对于轮廓要素，其理想要素应在被测要素的实体之外与其接触，而且在保持与基准确定方向的前提下，使被测实际要素对其理想要素的最大变动量为最小，如图1-4a所示。对于中心要素，其理想要素应穿过被测实际要素，在保持与基准确定方向的前提下，使实际要素对其理想要素的最大变动量为最小，如图1-4b所示。

定向误差值，用定向最小包容区域的宽度或直径表示。

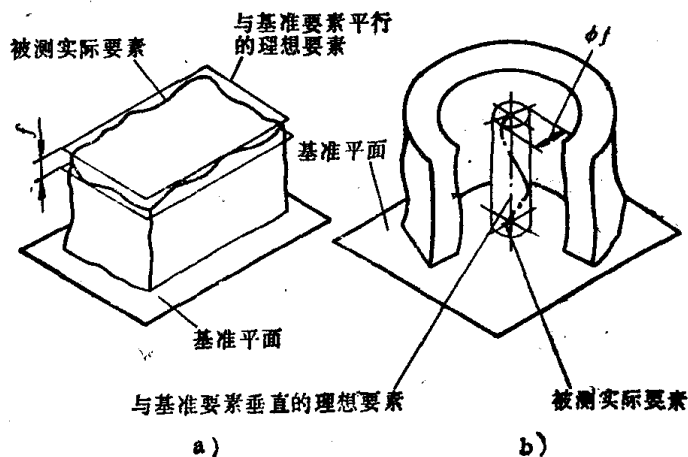


图1-4 定向误差的评定

定向最小区域是指按理想要素的方向来包容被测实际要素时,具有最小宽度 f 或直径 ϕf 的包容区域(见图1-4)。

(2) 定位误差: 定位误差是指被测实际要素,对其具有确定位置的理想要素的变动量。理想要素的位置由基准和理论正确尺寸确定。

定位误差值用定位最小包容区域(简称定位最小区域)的宽度或直径表示。定位最小区域是指以理想要素定位来包容被测实际要素时,具有最小宽度 f 或直径 ϕf 的包容区域,如图1-5所示。

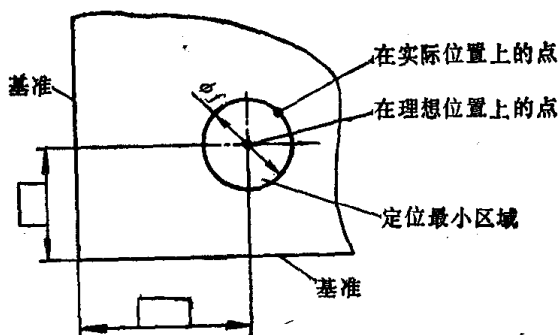


图1-5 定位误差的评定

(3) 跳动误差: 跳动误差分为圆跳动误差和全跳动误差。

圆跳动是被测实际要素,绕理想基准轴线作无轴向移动回转一周时,由位置固定的指示器在给定方向上测得的最大与最小读数之差。

全跳动是被测实际要素,绕理想基准轴线作无轴向移动回转,同时指示器沿理想素线连续移动(或被测实际要素每回转一周,指示器沿理想素线作间断移动),由指示器在

给定方向上测得的最大与最小读数之差。

三、测量基准

测量基准是反映被测对象，在测量过程中变化情况的参考对象，是获得测量数据的根据。在形位误差测量中，测量基准有时也是被测要素的理想要素的具体体现。例如用一精密平台作为根据，并用指示计去测量一平面，这里的精密平台既是测量基准，也是理想平面的具体体现，而指示计上的读数变化，反映了被测要素相对于测量基准的变化情况。被测要素的测量基准和理想要素，通常可用模拟方法体现。例如用刀口尺、平尺、几何光束、水平面等来模拟基准直线；用精密平台、平晶、水平面等来模拟基准平面；用精密轴系回轮的轨迹等来模拟基准圆等等。

在测量中，测量基准与被测要素之间必须有正确的相对位置。理想的相对关系是测量基准与设计基准相一致。但符合最小条件方位的理想要素，要通过对被测要素测量后，掌握了被测实际要素的具体情况才能确定下来。因此，要使测量基准与理想要素的方向完全一致是很困难的。在测量前只能做近似的调整，以不过分影响测量精度为准。

对不同的被测实际要素，测量基准位置调整的方法各不相同。对轴线、直线通常连接两个端点来调整，就是使被测实际要素的两个端点与测量基准等距或重合。对平面通常按被测实际要素上相距最远的三点或两对角线的端点调整到与测量基准等距。在测量定向或定位误差时，则按给出的基准进行调整。若用模拟方法体现基准，则是测量基准与设计基准取得一致的最简便的方法。

在形位误差测量中，由于很难使测量基准与理想要素相一致，而在某一具体测量中，测量基准的位置和方向也可能

是不相同的。因此，往往需要对测量的数据进行处理后，才能获得所求的形位误差值。所谓数据处理就是将相对于测量基准获得的参数值，换算成相对于理想基准的数值。数据处理的方法，大体上可分为图解法和算法两类。

四、形位误差测量总误差的组成因素

与其他任何测量一样，形位误差的测量也存在着误差，形位误差测量总误差是由以下三方面因素综合的结果：

(1) 用测得要素，代替实际被测要素引起的误差。如按规定的布点测量平板上有限点，此时不能反映平板表面的真实情况，因此经数据处理后所得的平面度误差值也具有误差。

(2) 测量设备、温度、测量力等因素引起的误差。

(3) 采取近似方法评定时引起的误差。

第二节 形状误差的测量

一、直线度误差的测量

1. 直线度误差的评定 直线度误差是指被测实际线对理想直线的变动量，理想直线的位置应符合最小条件。根据不同的给定条件，直线度误差分为在给定平面内的、在给定方向上的和任意方向上的三种。

直线度误差有两种评定方法，一种是指按定义评定的方法，简称为最小区域法；另一种是按两个端点确定理想直线的方法，简称为“两端点连线法”。现分述于下。

(1) 最小区域法：用最小区域法评定直线度误差，是以最小包容区域的宽度或直径来表达直线度误差值。

1) 给定平面内的直线度误差：在给定平面内的直线度误差，是以两平行直线包容被测实际线所构成的最小区域宽

度 f 来表示, 见图1-6所示。

最小包容区域的判别准则是: 当两平行直线包容被测实际线时, 成高低相间 三点接触, 见图1-7所示, 则此包容线构成的包容区域为最小区域。

2) 给定方向上的直线度误差: 在给定方向上的直线度误差值, 是以与给定方向相垂直的两平行平面所构成的最小包容区域宽度来表示的。如图 1-8 所示,

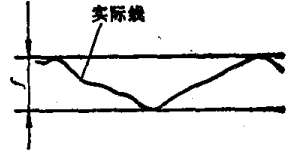


图1-6 给定平面内的直线度误差评定

在垂直于给定方向作两平行平面 M_1 和 M_2 包容被测实际线 L , 使两平行平面与实际线 L 至少有高低相间的三点接触, 即构

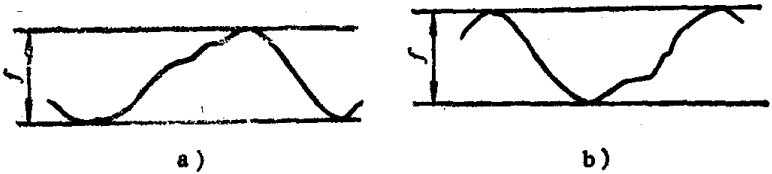
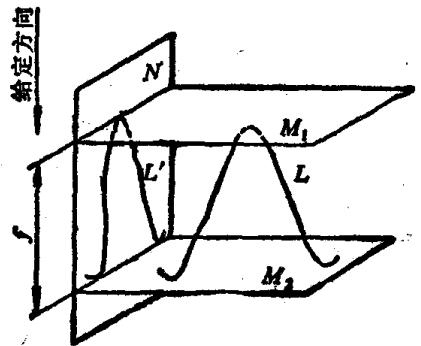


图1-7 评定直线度误差的最小区域判别准则

a) 低-高-低 b) 高-低-高

成最小区域。最小区域的宽度 f 即为给定方向上的直线度误差值。

为便于判别最小区域, 可将被测实际线 L 投影于与 M_1 和 M_2 垂直的 N 平面上, 如图1-8 中 L' 。再按给定平面内的最小区域判别准则确定直线度误差值。



3) 任意方向上的直

图1-8 给定方向上的直线度误差评定

线度误差：任意方向上符合最小条件的直线度误差，是用包容被测实际轴线，直径为 ϕf 的圆柱面最小区域来表示的，如图1-9所示。

构成圆柱面最小区域的形式繁多，有三点接触，四点接触，五点接触等多种类型，判别方法十分复杂。因此，按最小区域法评定任意方向上的直线度误差，只有采用电子计算机才便于实现。

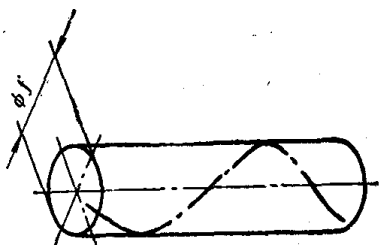


图1-9 任意方向上的直线度误差评定

(2) 两端点连线法：按两端点连线法评定直线度误差，是以被测要素的两端点连线作为理想直线，被测要素对该理想直线的最大变动量就是直线度误差值。如图1-10所示，被测要素的两端点连线OA，则被测要素的最高点B和最低点C至OA的纵坐标距离之和($f_1 + f_2$)即为直线度误差。

一般情况，以两端点连线获得的误差值，往往大于按最小区域法获得的误差值。但是当被测要素为全凹形或全凸形时，两种方法的评定结果相同。

2. 直线度误差的测量 直线度误差可用如下方法测量。

(1) 用刀口尺测量：用刀口尺与被测要素直接接

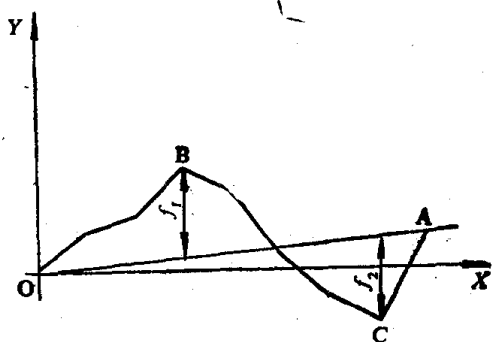


图1-10 两端点连线法评定直线度误差

触,如图1-11a所示。并使两者之间的最大间隙为最小,则此最大间隙即为被测要素的直线度误差。当间隙较小时,可用标准光隙估读,间隙 $>2.5\mu\text{m}$ 时,光隙呈白光;间隙为 $1.25\sim 1.75\mu\text{m}$ 时,光隙呈红光;间隙约为 $0.8\mu\text{m}$ 时,光隙呈蓝光;间隙 $<0.5\mu\text{m}$ 时,则不透光。当间隙大于 $30\mu\text{m}$ 时,可用塞尺来测量。

(2) 用优质钢丝和测量显微镜测量:如图1-11b所示,调整钢丝的两端,使从测量显微镜中观测所得两端点位置的读数相等。将测量显微镜沿被测要素移动,在其全长内作等距离测量,即可得到直线度误差的原始数据。

(3) 用水平仪测量:如图1-11c,将水平仪放在板桥上,先调整被测零件,使被测要素大致处于水平位置,然后

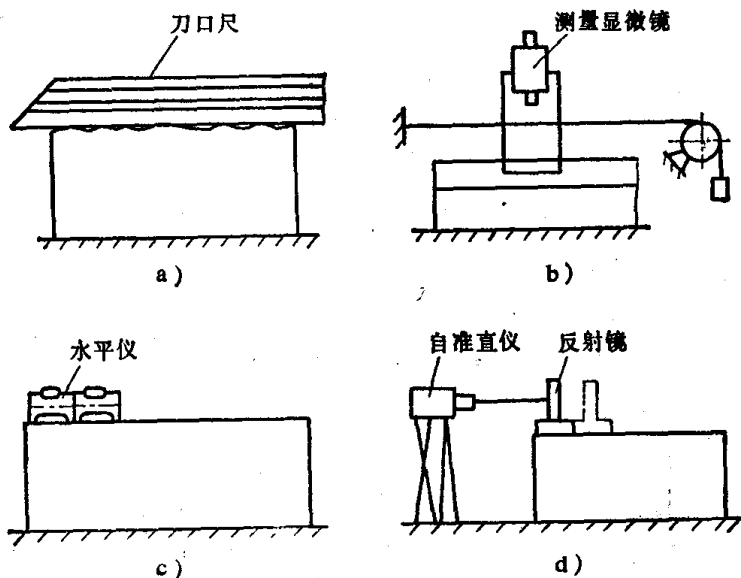


图1-11 直线度误差的测量