

长度计量测试丛书

形状误差测量

黄福芸 廖念钊 卓兴仁 李硕根 编著



计 量 出 版 社

748-51
9.12

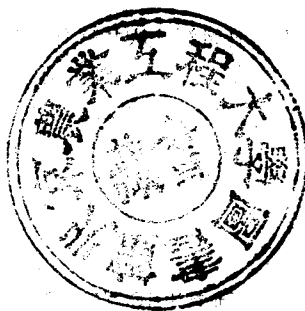
长度计量测试丛书

第十二分册

形状误差测量

黄福芸 廖念钊 卓兴仁 李硕根 编著

长度计量测试丛书编委会审订



计量出版社

1986·北京

内 容 提 要

本书收集了国内有关工厂、科研单位和计量部门关于形状误差测量的一些较为实用的资料编写而成。

书中主要内容包括：形状误差简介及与产品质量的关系；直线度与平面度误差的测量和评定；圆度与圆柱度误差的测量和评定；轮廓度误差的测量和评定。本书着重介绍了形状误差各参数的测量方法，对从事几何量测试的工程技术人员和大专院校的师生具有一定的参考价值。本书还可作为计量测试短训班的教材。

2050/04

长度计量测试丛书第十二分册

形 状 误 差 测 量

黄福芸 廖念钊 卓兴仁 李硕根 编著

长度计量测试丛书编委会审订

责任编辑 刘瑞清

计量出版社出版

(北京和平门内大街11区7号)

北京计量印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

开本 787×1092 1/32 印张 6 7/8

字数 159 千字 印数 1—15 000

1986年5月第一版 1986年5月第一次印刷

统一书号 15210·555

定价 1.50 元

前 言

长度计量测试丛书是根据计量出版社关于按学科分类组编丛书的总体计划，由中国计量测试学会几何量专业委员会配合计量出版社组织编写的。

党的十二大提出：到本世纪末，力争使全国工农业总产值翻两番。为实现此宏伟目标，必须首先发展机械工业，因为机械工业是国民经济的装备部，应当适当超前。而标准化和计量测试仪器与技术则是机械工业发展的基础和先决条件，因此必须更超前于机械工业。在计量测试学科领域中，长度的计量测试是重要的一个方面。随着机械产品愈益向精密方向发展，介绍长度计量测试方面的知识及其科研成果与经验，以便为机械工业未来的发展打好基础、积蓄力量、创造条件，实为当务之急。这就是组织这套丛书的目的。

翻两番，振兴经济必须依靠科学技术进步，科学技术需要大量学有专长的专业人才去掌握。目前，我国计量测试领域内很多职工缺乏必要的科学知识和操作技能，熟练工人和科学技术人员严重不足，为适应未来经济发展的需要，现在必须立即着手培养计量专业的人才，提高现有计量测试人员的科学技术水平。近年来更有大批青年新同志参加工作，他们是发展计量测试科学技术的重要力量，迫切需要系统地学习一些计量基础知识，以便结合工作实践更快地提高技术水平，促进计量科学技术的进步。这套丛书主要是针对这部分人员编写的，当然也可以作为计量测试短训班的教材或参考资料，并可供大专院校师生及有关工程技术人员和科研工作

者参考。

丛书比较全面地将长度计量测试领域中所涉及的基础理论、基本知识和实用技术等进行了深入浅出的阐述。重点放在计量测试技术的实际运用方面，同时也简要地对有关技术的发展动向作些介绍。

整套丛书共有二十个分册，每一分册独立论述一个专题。为照顾系统性和便于读者学习，有些内容在不同的分册中有些重复，但侧重点各不相同，这样就把丛书的系统性和分册的独立性统一起来，读者可根据自己的需要选择学习。

本丛书在组编过程中，得到计量出版社的全面支持，还得到各计量部门、有关大专院校、科研机构、工矿企业和广大计量工作者的支持和关心，我们在此深表谢意。

限于我们的经验和水平，这套丛书可能存在不少缺点和错误，我们衷心欢迎广大读者给予批评指正。

长度计量测试丛书编辑委员会

1983.7.30

长度计量测试丛书编委会

主 编： 梁晋文

副主编： 许金钊 徐孝恩

编 委： (按姓氏笔划排列)

王轼铮 许金钊 朱桂兰

刘瑞清 何 贡 陈林才

李继楨 李隆铸 庾以滦

林洪桦 费业泰 徐孝恩

黄生耀 黄福芸 梁晋文

目 录

第一章 概 述	(1)
一、零件形状误差与产品质量	(1)
二、形状公差与形状误差简介	(1)
第二章 直线度与平面度误差的测量和评定	(19)
一、测量和评定的原理	(19)
二、直线度与平面度误差值的测量方法	(20)
三、直线度误差的评定	(61)
四、平面度误差值的评定	(78)
第三章 圆度与圆柱度误差的测量和评定	(109)
一、圆度误差的测量与评定	(109)
二、圆柱度误差的测量与评定	(155)
第四章 轮廓度误差的测量和评定	(176)
一、线轮廓度误差的测量与评定	(176)
二、面轮廓度误差的测量与评定	(200)

第一章 概 述

一、零件形状误差与产品质量

机器零件经过切削加工后，零件的几何要素不可避免地会存在误差，包括尺寸、形状和位置误差。其中尺寸误差是最基本的，因而在图样上对零件首先给出尺寸公差。然而由于形状误差的存在，零件各处的实际尺寸是不相同的。这种差异将影响机器零件的配合性质和工作性能。如主轴颈存在圆度误差，使局部实际尺寸相差过大，就会影响主轴运转的平稳性。在实际工作中，单纯用提高尺寸精度的办法去控制局部实际尺寸差异的大小，不仅在经济上不合算，而且在技术上也往往是没有必要的。我们可以根据零件几何要素对零件某些功能及互换性的影响大小，在给定尺寸公差之外，再附加给定形状公差，以满足整体尺寸与局部尺寸的要求。因而对形状误差的检测，是机械制造业中经常遇到的问题，本分册专门对形状公差、形状误差及其检测作系统的介绍。

二、形状公差与形状误差简介

根据已颁布的“形状和位置公差”国家标准（GB 1183—80）的精神，现叙述如下：

（一）形状公差

构成机器零件的几何要素，如轴线、轮廓线、平面、圆柱面、曲面等，当仅对其本身的形状给出公差要求时，称为单一要素；单一实际要素的形状所允许的变动量，称为形状

公差。形状公差的公差带就是限制单一实际要素变动的区域。构成零件几何特征的单一实际要素必须在此区域内方为合格。区域的大小由公差值决定。

形状公差的项目和符号见表1—1。

表1—1

序 号	名 称	符 号
1	直线度	—
2	平面度	□
3	圆 度	○
4	圆柱度	⊘
5	线轮廓度	⌒
6	面轮廓度	⌒

(二) 形状误差

1. 形状误差的涵义

形状误差是指被测实际要素对其理想要素的变动量。如果被测实际要素与其理想要素相比较能完全重合，表明形状误差为零；如有偏离，表明有形状误差，其偏离的程度就是该实际要素的形状误差值。

2. 最小条件

当被测实际要素与其理想要素进行比较时，显然，因理想要素所处的方位不同，就会得到不同大小的变动量。因此，评定实际要素的形状误差时，理想要素相对于实际要素的方位，必须有一个统一的评定准则，这个准则就是“最小条件”。所谓最小条件，是指理想要素与实际要素的相互位置应使被测实际要素对其理想要素的最大变动量为最小。

为直观方便起见，习惯上对于轮廓要素（线、面轮廓度

除外)，其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所示， h_1 、 h_2 、 h_3 是相应于理想要素处于不同方位

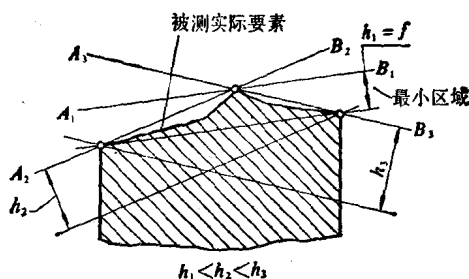


图 1—1

时得到的各个最大变动量，若 $h_1 < h_2 < h_3 < \dots$ ，其中 h_1 值最小，则符合最小条件的理想要素为 A_1-B_1 。

对于中心要素（轴线、中心线、中心面等），符合最小条件的理想要素是通过实际中心区域，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 ，最大变动量为 d_1 。

3. 形状误差值的评定

评定形状误差时，形状误差数值的大小用最小包容区域（简称最小区域）的宽度或直径来表示。所谓最小区域，是指包容被测实际要素时，具有最小宽度 f 或直径 ϕf 的包容区域，如图1—1和图1—2所示。各项形状误差最小区域的形状，分别与其公差带形状一致，其宽度或直径决定于对被测实际要素本身的要求。

按最小包容区域原则评定形状误差值的方法，称为最小

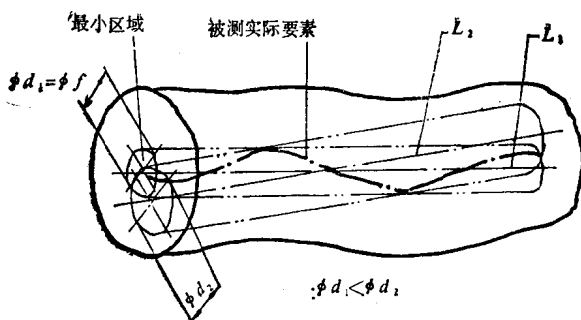


图 1-2

区域法。显然，按最小区域法评定的形状误差值为最小，因而可以保证最合理地使合格件通过。

国家标准规定最小条件是评定形状误差的一个基本原则，但在实际检测时，在满足零件功能要求的前提下，也允许采用近似方法来评定形状误差。如评定直线度误差时，常以两端点连线作为理想直线进行评定；评定平面度误差时，常以最远三点建立的理想平面，或由两对角线建立的理想平面，等等。通常按近似方法评定的形状误差值，均大于按最小区域法评定的数值，如该值符合图样要求，则实际使用效果将更好，故能保证质量。当对因采用不同的评定方法获得的测量结果有争议时，应以最小区域法评定的结果作为仲裁的依据。若图样上已给定检测方案时，则按给定的方案进行仲裁。

(三) 各项形状公差带及其误差值

1. 直线度

在图纸上，直线度以符号“—”来表示。根据零件的功能要求，直线度可分为在给定的平面内、在给定的方向上和在任意方向上三种情况。

(1) 在给定平面内的直线度公差带和误差值

在给定平面内的直线度公差带，是距离为公差值 t 的两平行直线之间的区域。如图1—3所示导轨的导向面，直线度

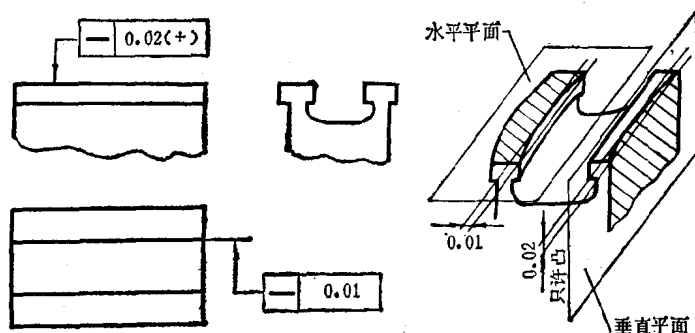


图 1—3

公差值为 0.01 mm ，就是说，导轨完工后，任一水平平面与导轨的导向面相截形成的实际轮廓线，只允许落在该水平面上相距 0.01 mm 的两平行直线之间；同理，导轨支承面的直线度公差值为 0.02 mm ，并注有附加符号 $(+)$ ，就是说，任一垂直平面与导轨支承面相截形成的实际轮廓线，只允许落在该垂直平面上、相距 0.02 mm 的两平行直线之间，并且实际轮廓线只许中间向材料之外凸起。

给定平面内的直线度误差值的评定方法，除最小区域法外，常用的还有两端点连线法。如图1—4中的折线，即为对实际轮廓线测得的直线度误差图象，简称误差曲线，按最小包容区域的宽度评定的误差值为 $2.7\text{ }\mu\text{m}$ ；若按两端点连线法进行评定，则以 OE 连线作为理想直线，最大正偏差在 D 点为 $+2.6\text{ }\mu\text{m}$ ，最大负偏差在 A 点为 $-0.6\text{ }\mu\text{m}$ ，直线度误差值为 $3.2\text{ }\mu\text{m}$ 。如果这一误差值符合图样要求，不按最小区域

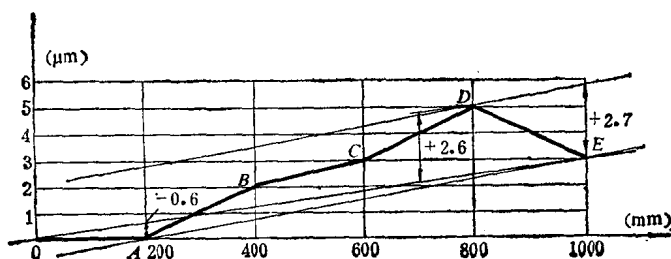


图 1—4

法评定，也能保证质量。

必须指出，最小包容区域的宽度，应根据“误差读取方向不变原则”按误差曲线的坐标方向读取，而不应按与理想直线垂直的方向读取。因为描绘误差曲线的横坐标是以毫米计的缩小比例表示的，纵坐标是以微米计的放大比例表示的，误差值按坐标值读取和按与理想直线垂直的方向读取，从图形上看似乎相差很大，实际相差很微小，不会影响测量结果的精确度。

按最小区域法评定直线度误差值的另一重要问题，是如何判别最小包容区域？判别的方法是：当两条平行直线包容误差曲线，若误差曲线上的高低点与上下包容线成相间的三点接触时，如低—高—低，或高—低—高（图1—5），则此

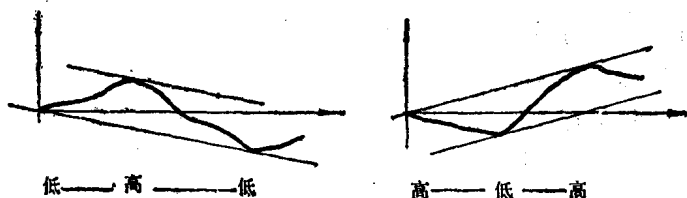


图 1—5

包容线构成的包容区域即为最小区域。这一判别方法，常称为相间准则。

(2) 在给定方向上的直线度公差带和误差值

在给定方向上的直线度公差带形式有两种，当给定一个方向时，公差带是距离为公差值 t 的两平行平面之间的区域（图1—6 a）；当给定相互垂直的两个方向时，公差带是正截面尺寸为公差值 $t_1 \times t_2$ 的四棱柱内的区域（图1—6 b）。

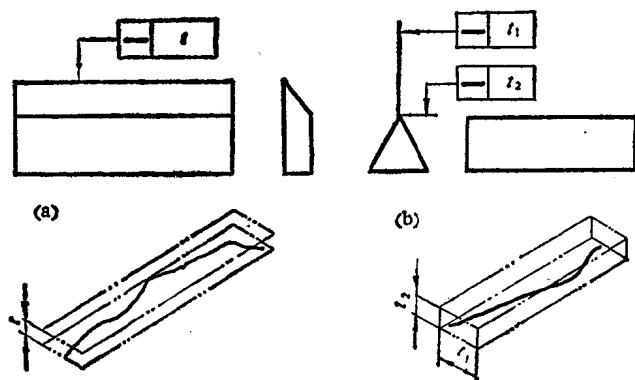


图 1—6

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构成的最小区域宽度来表示。如图1—7所示，在垂直于给定方向上作两平行平面 M_1 和 M_2 包容被测实际线 L ，

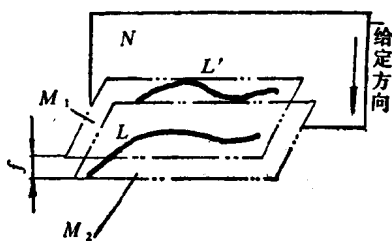


图 1—7

使两平行平面与实际线 L 至少有高低相间的三点接触，即

构成最小区域，最小区域的宽度 f 即给定方向上的直线度误差值。

为了便于判别最小区域，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—7中的 L' ，再按给定平面内的最小区域判别准则进行判别。

(3) 在任意方向上的直线度公差带和误差值

在任意方向上的直线度公差带，是直径为公差值 t 的圆柱面内的区域，如图1—8所示。

在任意方向上的直线度误差值，若按最小区域法评定，为被测实际轴线的最小包容区域的直径 ϕf (图1—2)。

最小区域的判别方法与被测实际轴线同包容面的接触点数有关。若是三点接触，如图1—9中的1、2、3接触点，当此三点在同一轴剖面上，1、3两点又在同一素线上时，则

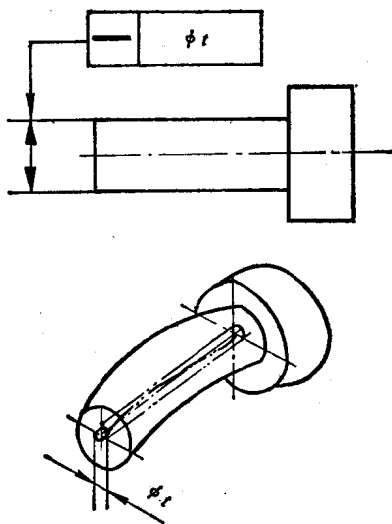


图 1—8

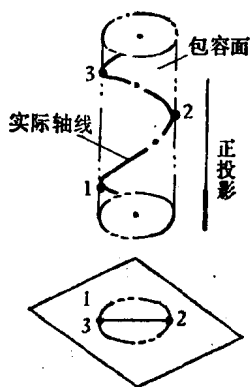


图 1—9

包容该实际轴线的圆柱面区域即最小区域；若是四点或五点接触，则判别方法就复杂得多（见 GB 1958—80 附录二）。因此，按最小区域法评定任意方向上的直线度误差值，只有用电算法才便于实现。

通常评定任意方向上的直线度误差值时，大多采用近似方法。如评定实际轴线在任意方向上的直线度误差值，可将实际轴线的各测量点向垂直于测量基准的平面投影，如图 1—10 a 所示。然后作圆包容各测量点，若该圆通过相距最远的三点（或两点），又包容其余各测点，则其直径即所求的直线度误差值 ϕf （图 1—10 b）。

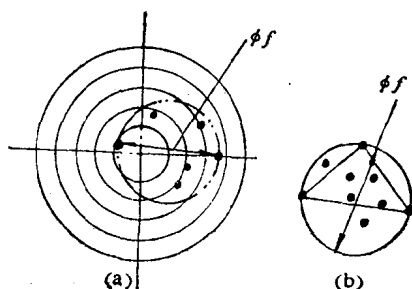


图 1—10

2. 平面度

在图纸上，平面度用“□”符号表示。平面度公差带是距离为公差值 t 的两平行平面之间的区域。如图 1—11 上面所示零件的上表面，完工后必须位于距离为公差值 0.03mm 的两平行平面之间，并且只许中间向材料内凹下。图 1—11 下面所示零件的上表面，除有同样要求外，在实际表面的任意 $100 \times 100 \text{ mm}^2$ 范围内，都必须位于距离为公差值 0.01 mm 的两平行平面之间。

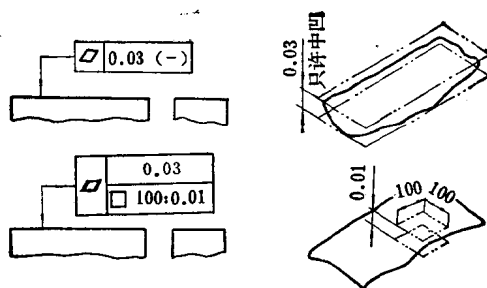


图 1-11

平面度误差值的评定方法，除国标规定的最小区域法外，常用的还有对角线法和三点法。

(1) 最小区域法

按最小区域法评定时，被测实际表面最小包容区域的宽

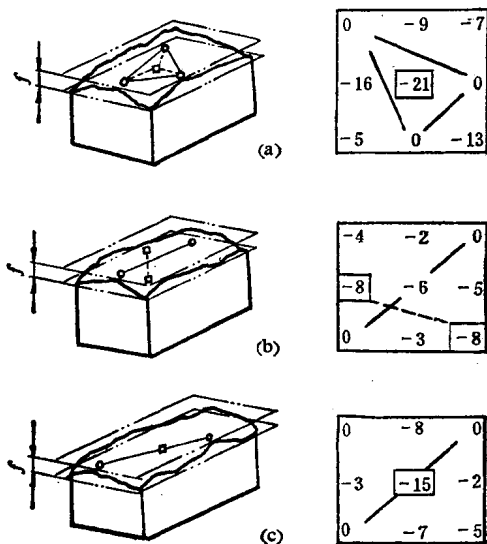


图 1-12