

长度计量测试丛书

位置误差测量

李继桢 庚以滦 何贡 吕林森 李隆铸 编著



中国计量出版社

长度计量测试丛书

第十三分册

位置误差测量

李继桢 庚以滦 何 贡

吕林森 李隆铸 编著

长度计量测试丛书编委会审订

中国计量出版社

新登(京)字 024 号

内 容 提 要

机械零件通过机械加工以后,存在着尺寸误差、形状误差和位置误差。本书收集了国内有关工厂、科研单位和计量部门关于位置误差测量的一些较为实用的资料,对位置误差、位置公差、位置误差的检测和评定,以及有关检测数据的处理作了全面的介绍。

本书共分九章,主要内容包括:位置误差和位置公差简介;位置误差及其评定;位置误差的检测原则;平行度和垂直度误差的测量;倾斜度误差的测量;同轴度和对称度误差的测量;位置度误差的测量;跳动的测量;位置量规各工作部位的尺寸、形状、方向和位置,以及位置量规的公差、技术要求及设计计算。本书着重介绍位置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师生具有较好的参考价值。本书还可作为计量测试短训班的教材。

2050/05

长度计量测试丛书第十三分册

位置误差测量

李继楨 庚以深 何 贡 吕林森 李隆铸 编著

长度计量测试丛书编委会审订

责任编辑 刘瑞清

—*—

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

—*—

开本 787×1092/32 印张 7.875 字数 178 千字

1993年11月第1版 1993年11月第1次印刷

印数 1—5000

ISBN 7-5026-0640-8/TB·431

定价 5.60 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

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）

王戟铮	许金钊	朱桂兰
刘瑞清	何一贡	陈林才
李继楨	李隆铸	庾以溱
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 位置误差与产品质量.....	(1)
二 位置误差和位置公差简介.....	(1)
三 被测实际要素的体现.....	(5)
四 位置误差及其评定.....	(8)
五 基准的建立和体现.....	(12)
六 位置误差的检测原则.....	(22)
第二章 平行度误差的测量	(26)
一 平行度误差及其评定.....	(26)
二 平行度误差的测量.....	(31)
第三章 垂直度误差的测量	(55)
一 垂直度误差及其评定.....	(55)
二 垂直度误差的测量.....	(60)
第四章 倾斜度误差的测量	(83)
一 倾斜度误差及其评定.....	(83)
二 面对面倾斜度误差的测量.....	(88)
三 线对面倾斜度误差的测量.....	(90)
四 面对线倾斜度误差的测量.....	(94)
五 线对线倾斜度误差的测量.....	(96)
第五章 同轴度误差的测量	(101)
一 同轴度误差及其评定.....	(101)
二 同轴度误差的检测方法.....	(102)
第六章 对称度误差的测量	(127)
一 对称度误差的类型及其评定.....	(127)
二 对称度误差的测量.....	(131)

第七章	位置度误差的测量	(146)
一	概述	(146)
二	位置度的类型	(147)
三	位置度误差及其评定	(164)
四	位置度误差的测量	(167)
五	位置度误差测量的数据处理	(184)
第八章	跳动的测量	(202)
一	跳动及其特点与分类	(202)
二	跳动的测量方法	(207)
三	跳动的测量误差	(212)
四	跳动与其他一些形位误差项目的关系	(214)
第九章	位置量规	(217)
一	概述	(217)
二	位置量规各工作部位的尺寸、形状、方向和位置	(219)
三	位置量规的公差及技术要求	(222)
四	位置量规的设计计算	(231)
参考文献		(244)

第一章 概 述

一、位置误差与产品质量

机械零件通过机械加工以后，其几何要素往往存在着这样或那样的误差。主要有尺寸误差、形状误差和位置误差。尺寸误差和形状误差对产品质量的影响，本丛书的其他分册已有专题论述。本分册将对位置误差、位置公差、位置误差的检测和评定，以及有关检测数据的处理作全面的介绍。

零件的位置误差严重地影响着产品的质量。众所周知，齿轮上轮齿分布的不均匀出现了周节误差，即齿轮上轮齿存在着位置误差，以致齿轮运转时快时慢，不平稳，而且有噪音，又如车床前后顶架不共轴（存在同轴度误差）时，被加工的圆柱面必然出现误差，这样就影响了轴孔的配合性质，甚至破坏了零件的互换性。对精密的零部件，位置误差与产品质量之间的关系更密切，更显著，更重要。

二、位置误差和位置公差简介

为了便于对《形状和位置公差》国家标准（GB 1183—80）所规定的八项位置公差的含义和其相应误差的评定有确切的理解，首先就有关概念和术语叙述如下。

（一）零件的几何要素

构成零件的几何要素，简称要素。要素有轮廓要素和中心要素之分。圆柱面、平面、球面、圆锥面，素线和圆锥顶点等都是轮廓要素见图 1-1，它们构成了零件的形体。轴

线、中心平面、中心点（球心、弧心）等都是中心要素。中心要素是随伴着相应的轮廓要素的存在而假想存在的，比如由于圆柱面的存在才假想其轴线的存在。

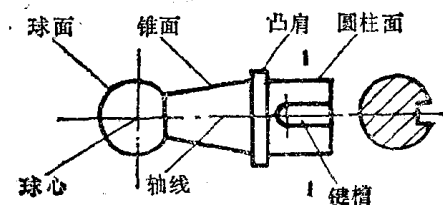


图 1-1

要素有单一要素和关联要素之分。单一要素如一个平面，一个圆柱面，一个球面等，是形状误差研究的对象。关联要素如两平面之间的平行度，一平面（或线）对另一平面（或线）的垂直度等是位置误差研究的对象。可见，关联要素是指对其它要素有功能关系的要素而言。一般来说，这里所说的其它要素是指用来确定关联要素的方向或位置的要素，称其为基准要素。基准要素应具有理想状态。

（二）位置误差

在图样上给出零件几何特征的点、线、面等要素，都是指具有几何学意义而言的要素，关联要素之间的方向和位置关系也是这样，所以称为理想要素。通过加工，必然存在加工误差而形成真实要素。通过检测，由于检测误差的影响，使真实要素变成实际要素。所以实际要素不是加工后的真实要素。一般用实际要素代替真实要素，这在具有一定的检测精度的情况下是许可的。

在实际要素与其理想要素进行比较时，应符合“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实际要素对其理想要素的最大变动量为最小。

(三) 位置公差

位置公差是用来限制关联实际要素在方向、位置上对基准要素的变动全量，或关联实际要素绕基准轴线回转时的变动全量。

按图样上关联要素与基准要素之间相对位置的特征，位置公差可分为定向公差、定位公差和跳动公差三类（见表1-1）。

表 1-1 位置公差的分类

分 类		项 目	符号
位 置 公 差	定 向	平行度	//
		垂直度	⊥
		倾斜度	∠
	定 位	同轴度	◎
		对称度	≡
		位置度	⊕
	跳 动	圆跳动	↗
		全跳动	↗

定向公差是指关联实际要素对其基准在方向上允许的变动全量。定向公差包括平行度、垂直度和倾斜度三项公差。

定位公差是指关联实际要素对其基准在位置上允许的变动全量。定位公差包括同轴度、对称度和位置度三项公差。

跳动公差是以测量方法为依据而规定的位置公差项目。跳动公差分为圆跳动公差和全跳动公差。

综上所述，位置公差带是限制实际要素相对于基准要素的变动区域。

(四) 公差原则

公差原则是指确定和处理尺寸公差与形位公差之间关系的原则。公差原则中规定了相关原则和独立原则。独立原则是指图样上给定的形位公差与尺寸公差相互无关的公差原则。

相关原则是指图样上给定的形位公差与尺寸公差相互有关的公差原则。根据被测实际要素所遵守的理想边界的不同，相关原则又分为最大实体原则和包容原则。

关联要素遵守包容原则时，要求实际要素处处位于具有理想形状的边界之内，该边界应与基准保持图样上给定的几何关系，其尺寸应为最大实体尺寸，并在图样的公差框格内标注符号“0 $\textcircled{M}$ ”，如图 1-2 所示。图中表示，孔的实际轮廓处处不得超越尺寸为 $\phi 49.92 \text{ mm}$ ，且垂直于基准 A 的最大实

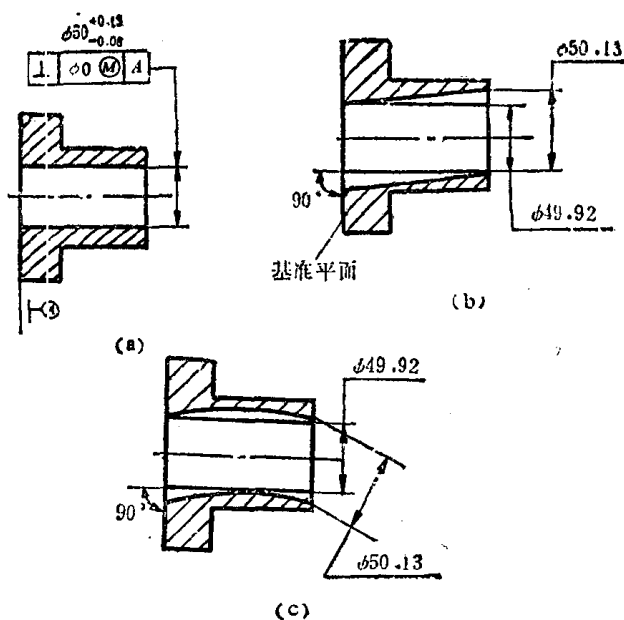


图 1-2

体边界，而局部实际尺寸不得大于 $\phi 50.13 \text{ mm}$ 。如果孔的局部实际尺寸处处为 $\phi 49.92 \text{ mm}$ 时，该孔应是一个垂直于基准A的理想圆柱面，垂直度允许误差等于0。包容原则主要应用于有配合要求，且其极限间隙或极限过盈要求严格得到保证的要素。

关联要素应用最大实体原则时，要求实际要素遵守实效边界，即要求关联作用尺寸不得超越实效边界，而其局部尺寸应在最大实体尺寸与最小实体尺寸之间。遵守最大实体原则的关联要素，应在相应的位置公差框格内加注符号“M”。

图 1-3 所示为关联要素应用最大实体原则的示例。图样要求：轴的实际轮廓必须位于尺寸为 $\phi 45.03 \text{ mm}$ （关联实效尺寸）、且与基准A垂直的关联实效边界内，而轴的局部实际尺寸应位于 $\phi 45 \text{ mm}$ （最大实体尺寸）与 $\phi 44.961 \text{ mm}$ （最小实体尺寸）之间，图样上给定的垂直度公差值 $\phi 0.03 \text{ mm}$ 是轴处于最大实体状态时给定的，当实际轴偏离最大实体状态时，垂直度公差可以得到补偿，最大补偿量为 $\phi 0.039 \text{ mm}$ 。最大实体原则主要应用于保证装配互换的场合。

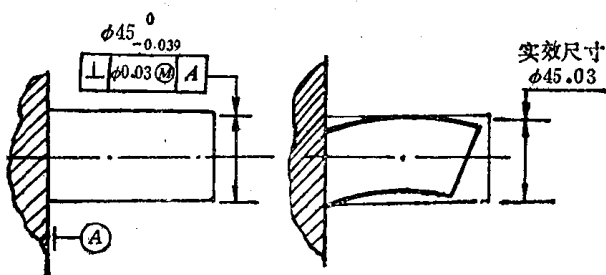


图 1-3

三、被测实际要素的体现

零件经过加工，使图样上的理想要素变为真实要素，但由于测量误差的存在，真实要素用实际要素来体现。评定零

件的位置误差值时，用测量所得的实际要素来代替具有加工误差的真实要素。因此，如何来体现测量所得的实际要素，是一个值得研究的问题。

（一）轮廓要素的体现

对轮廓要素，以有限的离散点或局部的离散数据来代替连续的全部轮廓。例如，测量平板的平面度误差时，只能测量具有代表性的若干离散点，由这些离散的测点，通过数据处理，来代替被测的实际表面。

（二）中心要素的体现

中心要素是通过相应的轮廓要素而假设存在的，因此，中心要素由相应的轮廓要素来体现。

1. 中心线

在给定平面内，从两对应实际线上的各对应点的连线上，取其中点，这些中点的连线，就是中心线的体现（见图1-4）。

2. 中心平面

从两对应的实际表面上，测得各对应点的连线，连线中点所构成的面，就是中心平面的体现。如图1-5所示。

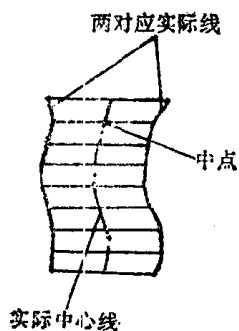


图 1-4

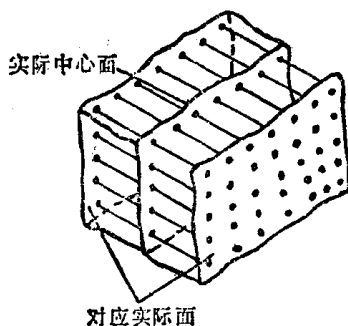


图 1-5

3. 轴 线

实际轴线可用实际回转体各横截面上测得轮廓的中心点的连线来体现。测得轮廓的中心点是指该轮廓符合最小条件的理想圆的圆心。也可以用最小二乘法、最小外接圆法（对轴）或最大内接圆法（对孔）求轮廓的中心，并以中心连线来体现轴线，如图 1-6 所示。

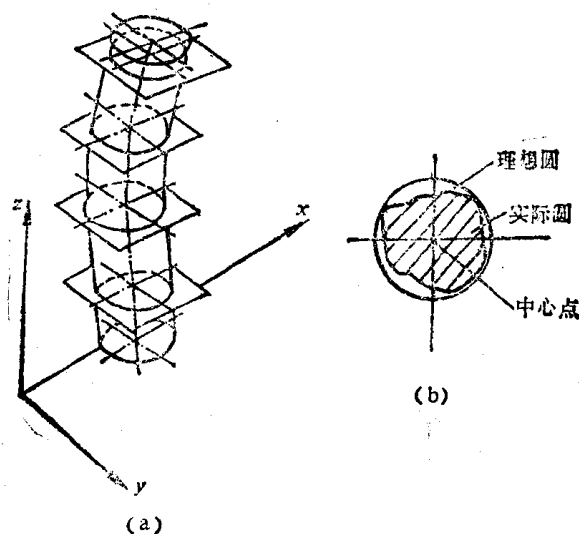


图 1-6

在生产现场，为了方便，测量定向、定位误差时，被测实际中心要素用模拟法来体现。

对于孔的轴线，用心轴的轴线来模拟（图1-7）。将可胀式心轴或与孔成无间隙配合的心轴插入孔中，用心轴的轴线代替孔的实际轴线。在实际生产中，可以根据孔径的公差带制造几根不同直径的心轴选配使用，让孔轴有稳定的接触状态，以利孔的轴线体现。如果接触状态不稳定，应作调整，

让孔轴之间的最大动程相等（见图1-8），以利减少甚至消除这项误差的影响。

在体现由两平行平面构成的槽的中心平面时，可用平行平面块来模拟（图1-9），与用心轴模拟孔的轴线类似。由于定位块与实际表面之间作无间隙配合，消除了被测实际中心要

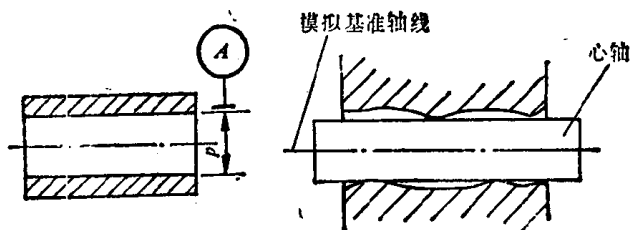


图 1-7

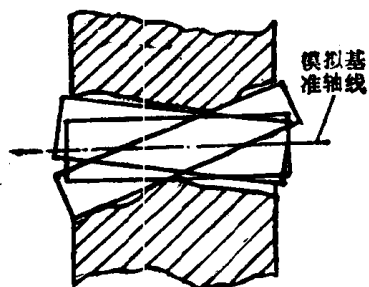


图 1-8

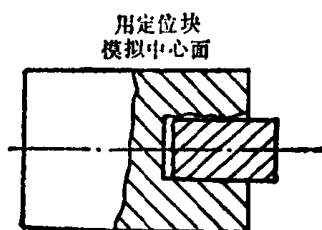


图 1-9

素的形状误差。实测中心要素的实测范围与所要求的范围有差异时，其误差值按比例计算。

四、位置误差及其评定

位置误差是指关联实际要素相对于其理想要素的变动量。与位置公差相对应，位置误差按其特征，分为定向误差、定位误差和跳动三类。

(一) 定向误差及其评定

定向误差是指被测实际要素对一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，即理想要素对基准要保持平行、垂直或某一理论正确角度的方向关系。定向误差包括平行度误差、垂直度误差和倾斜度误差。

为便于定向误差的评定，国家标准《形状和位置公差 检测规定》(GB 1958—80)中规定，被测要素为中心要素时，其理想要素位于被测实际要素之中，如图 1-10 所示；当被测要素为轮廓要素时，其理想要素位于被测实际要素之外，且与其相接触，如图 1-11 所示。

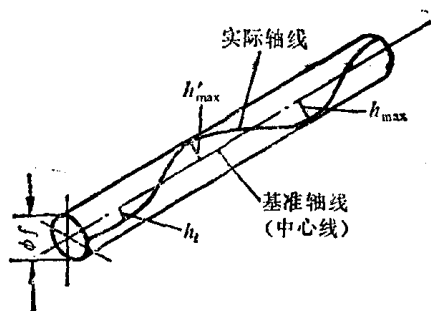


图 1-10

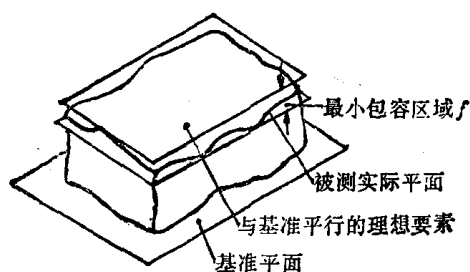


图 1-11