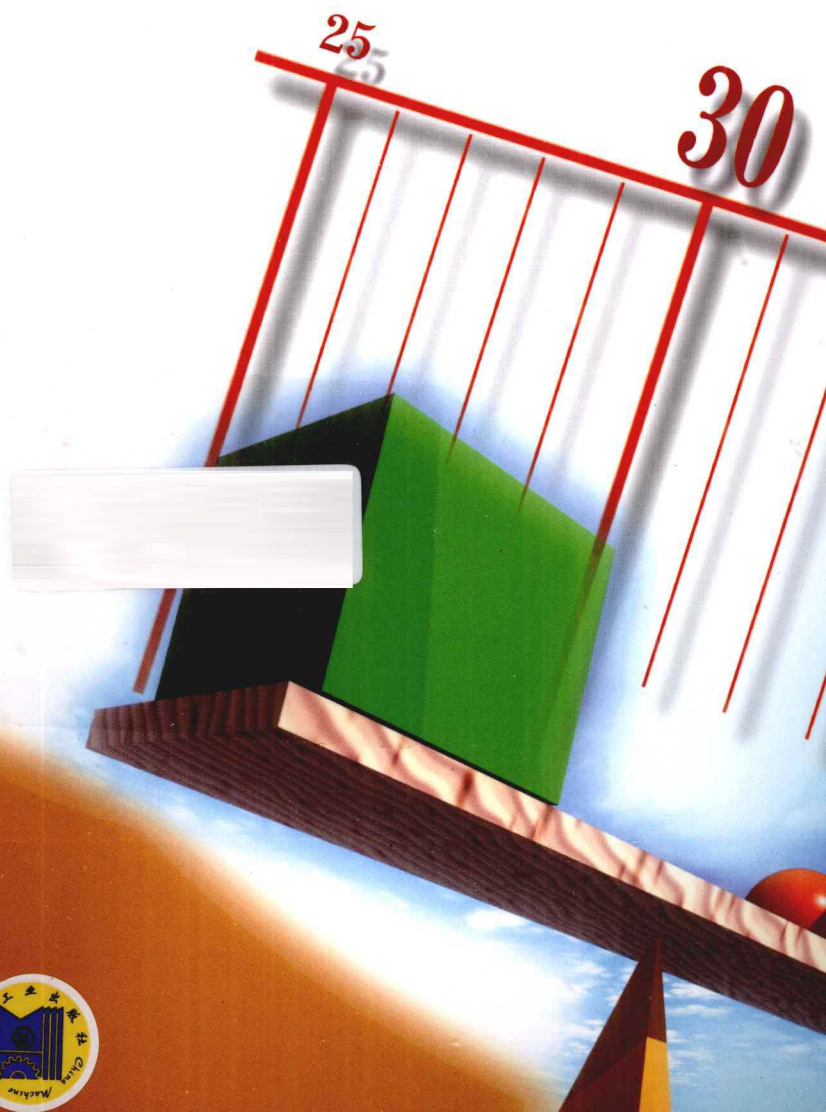


高职高专机电工程类规划教材

互换性与测量技术

第2版

周文玲 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



《互换性与测量技术第2版》以“突出重点、教会方法、重在应用”为目的,采用了最新国家标准,根据当前检测技术的发展,把几何量的误差、公差标准及其应用、检测方法密切地结合起来;对第1版中部分表格进行了精简,使教材更加简练、清晰;增加了适量的实例分析和思考题,以巩固知识;增加了坐标测量机等新设备。全书内容共分10章,包括绪论、尺寸极限与配合、几何公差及其检测、测量基础与常用量具、表面结构及其检测、几种常用标准件的互换性、圆锥配合的互换性、渐开线圆柱齿轮的互换性、尺寸链和典型技术测量实训。

本书可作为高职高专院校机械类、仪器仪表类和机电一体化技术类专业的教学用书,也可供有关工程技术人员作为参考用书。

本书配有电子课件,凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 下载。咨询邮箱: cmpgaozhi@sina.com。咨询电话: 010-88379375。

图书在版编目(CIP)数据

互换性与测量技术/周文玲主编. —2版. —北京:
机械工业出版社, 2013. 1
高职高专机电工程类规划教材
ISBN 978-7-111-41409-4

I. ①互… II. ①周… III. ①零部件-互换性-高等
职业教育-教材②零部件-测量技术-高等职业教育-教材
IV. ①TG801

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第025092号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:王海峰 责任编辑:王海峰
版式设计:霍永明 责任校对:李锦莉
责任印制:张楠
北京京丰印刷厂印刷
2013年3月第2版·第1次印刷
184mm×260mm·13印张·320千字
0 001—3 000册
标准书号: ISBN 978-7-111-41409-4
定价: 25.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
电话服务 网络服务
社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>
销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>
销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>
读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

第2版前言

“互换性与测量技术”课程是机械类、仪器仪表类和机电一体化技术专业必须掌握的一门重要的技术基础课，它是联系机械设计与机械制造类课程的纽带，与机械设计、制造工艺和设备质量控制等多方面密切相关，是机械工程人员和管理人员必备的基本知识和技能。

《互换性与测量技术》第1版自2005年出版以来，受到同行的普遍认同，先后十多次重印，取得了良好的社会效益。

本书第2版根据近年来全国高等教育教学改革的实际情况，收集了许多同仁对《互换性与测量技术》第1版使用的反馈信息，考虑到高职高专院校此类课程的教学要求，在保证教材呈现的知识总量不变的前提下，以“突出重点、教会方法、重在应用”为目的，取材力求全而精；采用了截止到目前为止颁布的最新国家标准，对内容进行了补充和更新，修订了原来的不足和错漏，使教材更加完善。根据当前检测技术的发展，把几何量的误差、公差标准及其应用、检测方法密切地结合起来，增加了坐标测量机等新设备。对原有的表格进行了精简，使教材更加清晰。增加了一定量的实例分析，以巩固学习内容，使学有所用。增加了适量的思考题和习题，使学习者掌握课程最基本的内容，为后续学习奠定基础。

全书以宣贯互换性国家标准为主线，内容共分10章。第1章绪论是教学导入内容，通过学习了解互换性相关知识及其技术的发展，第2章尺寸极限与配合、第3章几何公差及其检测以及第5章表面结构及其检测是重点应掌握的内容，第4章测量基础与常用量具、第6章几种常用标准件的互换性、第7章圆锥配合的互换性、第8章渐开线圆柱齿轮的互换性以应用为主，更注重实用性，第9章尺寸链简单介绍了尺寸链及其解法，第10章典型技术测量实训内容可以穿插在各相应章节中教学。

本书由周文玲任主编，负责全书的统稿工作；周渝明任副主编，负责教学光盘的统筹工作；广东轻工职业技术学院康俊远教授、杭州中亚机械制造有限公司吉永林总工程师负责主审工作。周文玲编写第1、2章及附录，周渝明编写第3、9、10章，刘安静编写第4章4.1~4.3节和第5、6章，吴任和编写第7、8章及4.4节。

本书在编写过程中，得到了广东轻工职业技术学院刘战术教授、徐百平教授等的悉心指导和帮助，同时，也得到兄弟院校同仁的大力协助，在此一并致以衷心的感谢！

限于编者的水平，书中不足之处和错漏，恳请读者批评和指正。

编者

第1版前言

“互换性与测量技术”课程是机械类各专业必须掌握的一门重要的技术基础课，它与机械设计基础、机械制造基础等课程有着密切的联系，它紧紧围绕机械产品零部件的制造误差和公差及其关系，研究零部件的设计、制造精度与技术测量方法。

本书在编写过程中，以贯彻互换性国家标准为主线，以讲清楚互换性与测量基本概念为前提，以学会运用为目的，结合我国高职高专教育的特点和教学要求，注重实用性，力求内容精练、重点突出、易读易懂，并贯彻执行国家最新标准，吸收了多年来的科研成果和教学经验。

本书内容共分10章。第1章绪论，以阐述互换性概念为主；第2章尺寸极限与配合，是本书重点内容之一；第3章形状和位置公差及其检测，是重点和难点内容；第4章测量技术基础，与光滑极限量规融合讲述；第5章表面粗糙度基本理论；第6章介绍几种常见的标准件如轴承、键、螺纹联接的互换性；第7章圆锥配合的互换性，可与第2章对比学习；第8章讲述渐开线圆柱齿轮的互换性；第9章介绍尺寸链及其解法；第10章几个典型的公差实验，实践性较强，可与第4章结合学习。在书的最后附有常用孔与轴的极限偏差数值表，以方便查阅。本书为高职高专院校机械工程类专业教材，也可供相关技术人员参考使用。

本书由广东轻工职业技术学院周文玲担任主编，负责统稿工作，并编写第1、2、5、6章及附录；广东轻工职业技术学院康俊远编写第4、7、8章；广东工贸职业技术学院周渝明编写第3、9、10章。陕西科技大学董继先教授担任主审并给予悉心指导，杭州中亚机械有限公司吉永林总工程师参加审稿并提出宝贵的修改意见。

在编写过程中，同时得到了相关院校领导及有关人士的大力支持和帮助，在此一并表示衷心地感谢！

由于编者水平所限，书中难免出现缺点和错漏之处，恳请读者提出宝贵意见。

编者

2005年5月

目 录

| | |
|-----------------------|-----|
| 第2版前言 | |
| 第1版前言 | |
| 第1章 绪论 | 1 |
| 1.1 互换性概述 | 1 |
| 1.2 标准化与优先数系 | 3 |
| 1.3 互换性生产的技术发展 | 4 |
| 1.4 本课程的性质与任务 | 5 |
| 思考题与习题 | 6 |
| 第2章 尺寸极限与配合 | 7 |
| 2.1 极限与配合的基本术语 | 7 |
| 2.2 极限与配合国家标准 | 14 |
| 2.3 一般公差简介 | 30 |
| 2.4 极限与配合的选用 | 31 |
| 思考题与习题 | 39 |
| 第3章 几何公差及其检测 | 41 |
| 3.1 几何公差概述 | 41 |
| 3.2 几何公差及其检测 | 45 |
| 3.3 公差原则 | 69 |
| 3.4 几何公差的选择 | 76 |
| 思考题与习题 | 81 |
| 第4章 测量基础与常用量具 | 86 |
| 4.1 测量基础 | 86 |
| 4.2 量块及其使用 | 98 |
| 4.3 光滑极限量规及其使用 | 100 |
| 4.4 坐标测量机简介 | 104 |
| 思考题与习题 | 106 |
| 第5章 表面结构及其检测 | 107 |
| 5.1 表面结构的含义及其影响 | 107 |
| 5.2 表面结构的评定 | 108 |
| 5.3 评定参数的选用及标注 | 111 |
| 5.4 表面结构的检测 | 119 |
| 思考题与习题 | 121 |
| 第6章 几种常用标准件的互换性 | 122 |
| 6.1 滚动轴承的互换性 | 122 |
| 6.2 键联接的互换性 | 127 |
| 6.3 普通螺纹的互换性 | 134 |
| 思考题与习题 | 142 |
| 第7章 圆锥配合的互换性 | 144 |
| 7.1 圆锥配合的基本知识 | 144 |
| 7.2 圆锥配合公差及其选用 | 147 |
| 7.3 圆锥的检测 | 150 |
| 思考题与习题 | 151 |
| 第8章 渐开线圆柱齿轮的互换性 | 152 |
| 8.1 齿轮传动的基本要求及齿轮的加工误差 | 152 |
| 8.2 圆柱齿轮的误差分析及评定参数 | 154 |
| 8.3 齿轮副的误差项目及其评定指标 | 160 |
| 8.4 圆柱齿轮的精度标准及应用 | 162 |
| 思考题与习题 | 171 |
| 第9章 尺寸链 | 172 |
| 9.1 尺寸链概述 | 172 |
| 9.2 用完全互换法解尺寸链 | 174 |
| 9.3 用大数互换法解尺寸链 | 178 |
| 9.4 用其他方法解装配尺寸链 | 181 |
| 思考题与习题 | 182 |
| 第10章 典型技术测量实训 | 184 |
| 10.1 外径千分尺测量轴径 | 184 |
| 10.2 内径百分表测量孔径 | 186 |
| 10.3 平面度、平行度误差的检测 | 188 |
| 10.4 游标万能角度尺测量角度 | 189 |
| 10.5 公法线平均长度偏差的测量 | 191 |
| 10.6 齿轮径向跳动的测量 | 191 |
| 思考题与习题 | 192 |
| 附录 | 194 |
| 附录A 孔的极限偏差 | 194 |
| 附录B 轴的极限偏差 | 198 |
| 参考文献 | 202 |

第1章 绪 论

1.1 互换性概述

1.1.1 互换性的概念和种类

1. 互换性的概念

一台机器是由许多零部件装配在一起构成的。机器在装配或更换零部件时，从大批生产出来的同一规格的零部件中，任取一件，不需要任何挑选、附加调整或修配，就能够组装成部件或整机，并且能够达到规定的性能和要求，这种技术特性称为互换性。这类零部件称为具有互换性的零部件。能够保证零部件具有互换性的生产，称为遵循互换性原则的生产。

互换性生产是现代化机械工业按照专业化协作原则组织生产的基本条件，它广泛应用于机械产品零部件的设计、生产、使用和维修等方面。例如，自行车、缝纫机的零部件坏了，可以迅速地更换新的零件，更换后仍能满足使用要求，就是因为这些零部件具有互换性。

2. 互换性的种类

1) 互换性按互换的参数不同，可分为几何参数互换性和功能互换性。几何参数互换性是指通过规定零部件几何参数的公差所达到的互换性，属于狭义的互换性；几何参数又称几何量，一般分为长度参数和角度参数，主要包括尺寸、几何形状、几何要素的相互位置和表面粗糙度等；几何参数互换性有时仅限于保证零部件尺寸配合的要求。功能互换性是指通过规定零部件的机械性能、物理性能和化学性能等参数所达到的互换性，如强度、刚度、硬度、使用寿命、抗腐蚀性、导电性、热稳定性等，属于广义的互换性。本课程主要研究零部件的几何参数互换性。

2) 互换性按互换的程度不同，可分为完全互换性和不完全互换性。完全互换性是指零部件在装配或更换前不作任何选择，装配或更换时不作调整或修配，更换后便能满足预定使用要求，这样的零部件具有完全互换性，也称为无限互换性。不完全互换性是指零部件在装配前允许有附加的选择如预先分组，装配时允许有附加的调整，但不允许修磨，装配后能满足预定使用要求，这样的零部件属于不完全互换性，也称为有限互换性。

当机器装配精度要求很高时，若采用完全互换，将使相配合的零件尺寸公差很小，这会导致加工困难，制造成本提高，甚至无法加工，因此，实际生产中为了便于加工、降低成本，往往把零件的尺寸公差适当放大，而在加工后根据实际测量的尺寸大小，将相互配合的零件各分成若干组，使同组的尺寸差别比较小，然后按照对应组进行装配，这样既保证了装配精度，又解决了零件加工上的困难。这种分组装配法即属不完全互换性。因为仅为同一组内的零件可以互换，组与组之间不可以互换，故称为不完全互换性。

不完全互换零部件常用于部件或机构的制造企业内部的生产和装配；不同地域、不同企业之间的协作，则要求完全互换性。

3) 互换性按互换部件或机构的不同,可分为内互换和外互换。内互换是指部件或机构内部组成零件之间的互换性,如滚动轴承内、外圈滚道与滚动体之间的装配。外互换是指部件或机构与其相配合零件间的互换性,如滚动轴承的内圈与轴之间的配合、外圈与壳体孔之间的配合。

对于标准化部件或机构,内互换是指组成标准化部件的零件之间的互换性,外互换是指标准化部件与其他零部件之间的互换。组成标准化部件的零件精度要求高,加工困难,为了制造方便和降低成本,内互换应当采用不完全互换;而为了便于用户使用,标准化部件的外互换应当采用完全互换。

1.1.2 互换性的技术经济意义

互换性生产已经成为现代机械制造业中一个普遍遵守的原则,它对保证产品质量、提高生产率和增加经济效益具有重要意义,主要体现在以下几个方面:

1) 从设计方面看,采用具有互换性的零部件,有利于产品进行模块化、程序化的设计和改进。特别是采用标准零部件(如螺钉、销钉、滚动轴承等),可大大减轻计算与绘图的工作量,缩短设计周期。

2) 从制造方面看,互换性是提高生产水平和进行文明生产的有力手段。装配时,由于零部件具有互换性,不需要辅助加工修配,可以减轻装配工的劳动量,缩短装配周期,使生产效率显著提高。加工时,由于按照公差规定加工,同一部机器上的各个零件可以分别由各专业厂同时制造。另外,各专业厂产品专业化,生产批量大,分工细,所以有条件采用高效率的专用设备,使产品的质量明显提高。

3) 从使用方面看,零部件具有互换性,一旦某个零件被损坏,可以很快地用同一规格型号的备件替换,缩短了机器维修时间,保证了机器工作的连续性和持久性,提高了机器的使用价值。

1.1.3 实现互换性的条件

机械零部件在加工过程中,加工误差是不可避免的。要想使同一规格的一批零件的几何参数完全一致是不可能的,也是不必要的,实际上只要把零件的几何参数误差控制在允许变动的范围内就可以了,这个允许误差的变动量就是公差。如果零件是在其规定的公差范围内制造出来,就能满足互换性的要求。

零部件的制造精度由加工误差体现,而误差由公差控制。对于同一尺寸,公差大者,允许加工误差就大。也就是说零件精度要求较低,容易加工,制造成本较低;反之,则加工难,制造成本高。因此,合理确定零部件的几何参数公差是实现互换性的一个必备条件。

已加工好的零件是否满足公差要求,要通过技术测量即检测来判断。如果只规定零部件公差,而缺乏相应的检测措施,则不可能实现互换性生产。因此,正确地选择、使用测量工具是制造和检测的基本要求,也是必须掌握的技能。检测不仅用于评定零件合格与否,也常用于分析零件不合格的原因,以便及时调整生产工艺,预防废品产生。因此,技术测量措施是实现互换性的另一个必备条件。

1.2 标准化与优先数系

1.2.1 标准与标准化

GB/T 20000.1—2002 对于标准化的定义是：为了在一定范围内获得最佳社会秩序，对现实问题或潜在问题制定共同使用或重复使用的规则的活动。由此，标准化就是指以制定标准、贯彻标准、修改和补充标准为主要内容的全部活动过程。标准化是一个不断循环而又不断提高的过程。采用标准化的原理和方法，把一些重复性事物和概念加以集中简化、优选、协调和统一，并以文件的形式体现出来，这就是标准。

标准按其性质可分为技术标准、生产组织标准和经济管理标准三大类。通常机械制造业所说的标准，大多数是指技术标准。技术标准（简称标准）是指为产品和工程的技术质量、规格及其检验方法等方面所作的技术规定，是从事生产、建设工作的一种共同技术依据。它是科学技术和实践经验的综合成果，在充分协商的基础上，对具有多样性、相关性特征的重复事物，以特定程序、特定形式颁发的统一规定，在一定范围内作为共同遵守的技术原则。

按照《中华人民共和国标准化法》的规定，我国标准按照行政体制分为四级：国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。

国家标准指由国家机构通过并公开发布的标准。我国的国家标准由国务院标准化行政主管部门编制计划和组织起草，并统一审批、编号和颁布，必须在全国范围内执行的标准。国家标准是四级标准体系中的主体，其他各级标准不得与国家标准相抵触。按照标准的法律属性，国家标准又分为强制性标准和推荐性标准，强制性国家标准代号为“GB”，推荐性国家标准代号为“GB/T”。本课程涉及的国家标准大多为推荐性标准。

行业标准是指对于没有国家标准而又需要在全国某个行业内统一的技术要求所制定的标准，它是对国家标准的补充，是在全国范围的某一行业内统一的标准。当有了相应的国家标准实施后，行业标准应自行废止。目前，我国国务院标准化行政主管部门已批准发布了 61 个行业的标准代号，如机械、轻工、纺织和铁路运输行业的标准代号分别为 JB、QB、FJ 和 TB。

地方标准是指对于没有国家标准和行业标准，而又需要在省、自治区、直辖市范围内统一的技术要求所制定的标准，在本行政区域内实施。地方标准由省、自治区、直辖市政府的标准化行政主管部门编制计划、组织起草、审批、编号并发布，报国务院标准化行政主管部门备案。当有了相应的国家标准或行业标准实施后，地方标准应自行废止。地方标准代号为“DB”加上地方行政区划代码的前两位数，如北京市地方标准代号为“DB11”、广东省地方标准代号为“DB44”。

企业标准是指企业所制定的在其内部需要协调、统一的技术要求、管理和工作要求。企业生产的产品没有国家标准、行业标准和地方标准的，应当制定企业标准，作为组织生产的依据。对于已有可执行的国家标准、行业标准和地方标准，国家鼓励企业制定严于上述标准的企业标准，在企业内部适用。企业标准由企业组织制定，并按省、自治区、直辖市人民政府的规定备案。

1.2.2 优先数系和优先数

优先数系和优先数是工程上对各种技术参数的数值进行协调、简化和统一的一种科学的数值标准。优先数系是一种十进制的近似等比数列，其代号为 R_r ，数列中每项的数值称为优先数。R 是优先数系创始人 Renard 名字的第一个字母， r 代表 5、10、20、40 和 80 等数字。

R5、R10、R20、R40 为基本系列，是常用的数系，R80 为补充系列。标准规定的五种优先数系的公比如下：

R5 数系，公比为 $q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.60$ ；

R10 数系，公比为 $q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$ ；

R20 数系，公比为 $q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.12$ ；

R40 数系，公比为 $q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06$ ；

R80 数系，公比为 $q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.03$ 。

《优先数和优先数系》GB/T 321—2005 中列出的范围 1~10 的优先数基本系列的常用数值见表 1-1。

表 1-1 优先数系基本系列的常用值（摘自 GB/T 321—2005）

| R5 | R10 | R20 | R40 | R5 | R10 | R20 | R40 | R5 | R10 | R20 | R40 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 2.50 | 2.50 | 2.24 | 2.24 | 6.30 | 6.30 | 5.00 | 5.00 |
| | | 1.06 | 1.06 | | | 2.36 | 2.36 | | | 5.30 | 5.30 |
| | | 1.12 | 1.12 | | | 2.50 | 2.50 | | | 5.60 | 5.60 |
| | | 1.18 | 1.18 | | | 2.65 | 2.65 | | | 6.00 | 6.00 |
| 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 3.15 | 3.15 | 2.80 | 2.80 | 8.00 | 8.00 | 6.30 | 6.30 |
| | | 1.32 | 1.32 | | | 3.00 | 3.00 | | | 6.70 | 6.70 |
| | | 1.40 | 1.40 | | | 3.15 | 3.15 | | | 7.10 | 7.10 |
| | | 1.50 | 1.50 | | | 3.35 | 3.35 | | | 7.50 | 7.50 |
| 1.60 | 1.60 | 1.60 | 1.60 | 4.00 | 4.00 | 3.55 | 3.55 | 10.00 | 10.00 | 8.00 | 8.00 |
| | | 1.70 | 1.70 | | | 3.75 | 3.75 | | | 8.50 | 8.50 |
| | | 1.80 | 1.80 | | | 4.00 | 4.00 | | | 9.00 | 9.00 |
| | | 1.90 | 1.90 | | | 4.25 | 4.25 | | | 9.50 | 9.50 |
| 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 4.50 | 4.50 | 4.50 | 4.50 | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00 |
| | | 2.12 | 2.12 | | | 4.75 | 4.75 | | | 10.00 | 10.00 |

优先数适用于能用数值表示的各种量值的分级，特别是产品的参数系列，在机械工程中，常见量值如直径、长度、面积、体积、载荷、应力、转速、速度、时间、功率、电流、电压、流量等的分级数值，一般都按照优先数系进行。本课程所设计的许多标准，例如尺寸分段、标准公差数值以及表面粗糙度参数系列等，也都是优先数系。

1.3 互换性生产的技术发展

1.3.1 公差标准的建立和发展

互换性标准的建立和发展随着制造业的发展而逐步完善。从图 1-1 可以清楚地看出它的百年发展史。

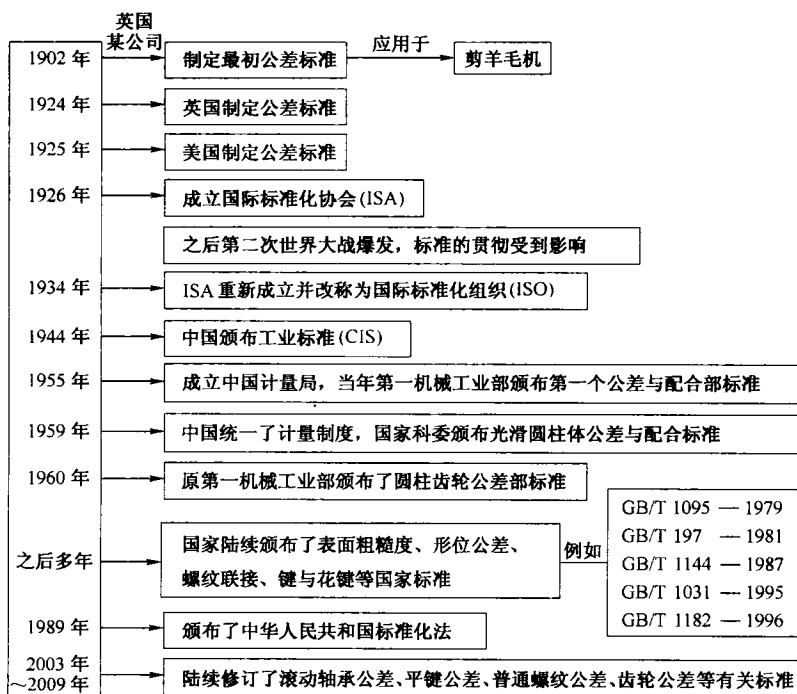


图 1-1 互换性生产的发展史

1.3.2 检测技术的发展

检测技术水平在一定程度上反映了机械制造的精度和水平。机械加工精度的提高与检测技术水平的提高相互依存、相互促进。根据国际计量大会统计，零件的机械加工精度大约每 10 年就会提高一个数量级，这与检测技术的发展有关。例如，1940 年由于有了机械式比较仪，使加工精度从过去的 $3\mu\text{m}$ 提高到 $1.5\mu\text{m}$ ；1950 年有了光学比较仪，使加工精度提高到 $0.2\mu\text{m}$ ；1960 年有了电感、电容式测微仪和圆度仪，使加工精度提高到 $0.1\mu\text{m}$ ；1969 年有了激光干涉仪，使加工精度提高到 $0.01\mu\text{m}$ ；1982 年发明的扫描隧道显微镜 (STM)、1986 年发明的原子力显微镜 (AFM)，使加工精度达到纳米级。

测量仪器的发展已经进入自动化、数字化和智能化时代，测量技术已从人工读数测量发展到自动定位、瞄准和测量，计算机处理测量数据，自动输出测量结果。测量空间已由一维、二维空间发展到三维空间。

总之，互换性是现代化生产的重要生产原则，标准化是广泛实现互换性生产的前提；检测技术和计量测试是实现互换性的必要条件和手段，是工业生产中进行质量管理、贯彻质量标准必不可少的技术保证。因此，互换性、标准化和检测技术三者形成了一个有机整体。

1.4 本课程的性质与任务

1.4.1 本课程的性质与特点

本课程是机械类、近机械类和仪器仪表类各专业必须掌握的一门技术基础课，它与机械

设计、机械制造等课程有着密切的联系。它以互换性内容为主线，围绕零部件的制造误差和公差及其关系，包括尺寸极限与配合、几何公差、表面粗糙度和技术测量等几部分，研究零件的设计、制造精度与测量方法。掌握这些基本知识和技能，能够为后续学习相关专业课、从事实际工作奠定必要的基础。

本课程的特点是术语、符号、代号、图形、表格多；公式推导少；经验数据、定性解释多；内容涉及面广，每一部分都具有独立的知识体系；实践性强。

1.4.2 本课程的要求与学习方法

1. 课程要求

- 1) 掌握课程中有关互换性的国家标准。
- 2) 学会并掌握确定零部件的公差原则和方法。
- 3) 学会查用各类表格，能正确标注技术图样。
- 4) 了解典型的测量方法，学会常用计量器具的使用。

2. 学习方法

- 1) 注意实践环节的训练，做到理论与实践相结合。
- 2) 与相关课程的知识联系起来学习，使互换性知识学以致用。

思考题与习题

- 1.1 互换性在机械制造业中有何重要意义？举出互换性应用实例 2~3 个。
- 1.2 完全互换与不完全互换有什么区别？它们主要用于什么场合？
- 1.3 实现互换性的条件是什么？
- 1.4 什么是优先数系？为什么要采用优先数？
- 1.5 我国标准分为哪四个级别？它们之间的关系是什么？

第2章 尺寸极限与配合

机械零件在制造过程中由于存在各种误差，使得制造出来的零件实际尺寸与理想尺寸存在一定的差异，为了保证零件的使用性能，就必须对尺寸的变化范围加以限制。尺寸极限与配合就是研究如何进行尺寸的精度设计，控制尺寸的误差变化范围，以保证零件具有良好的互换性。它不仅体现在光滑圆柱体之间的结合，同时也适用于其他表面或结构尺寸组成的配合。

极限与配合国家标准是机械制造业重要的基础标准之一，有关标准如下：

GB/T 1800.1—2009《产品几何技术规范（GPS）极限与配合 第1部分：公差、偏差和配合的基础》。

GB/T 1800.2—2009《产品几何技术规范（GPS）极限与配合 第2部分：标准公差等级和孔、轴极限偏差表》。

GB/T 1801—2009《产品几何技术规范（GPS）极限与配合 公差带和配合的选择》。

GB/T 1803—2003《极限与配合 尺寸至18mm孔、轴公差带》。

GB/T 1804—2000《一般公差 未注公差的线性角度尺寸的公差》。

本章将以上述国家标准（GB/T）为依据，介绍尺寸极限与配合的相关知识。

2.1 极限与配合的基本术语

2.1.1 孔轴和尺寸

1. 孔与轴

在尺寸极限与配合中，通常所讲的“孔”和“轴”具有广义性，二者装配后表现为包容和被包容的关系。所谓“孔”是指工件的圆柱形内表面，也包括非圆柱形内表面（由两平行平面或切平面形成的包容面）。所谓“轴”是指工件的圆柱形外表面，也包括非圆柱形外表面（由两平行平面或切平面形成的被包容面）。

例如，如图2-1所示，由尺寸 D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 和 D_5 所确定的内表面（包容面）都视作孔。它们都是由两平行平面（或切平面）形成的。由尺寸 d_1 、 d_2 、 d_3 和 d_4 所确定的外表面（被包容面）都视作轴。

2. 尺寸

尺寸是指以特定单位表示线性尺寸值的数值，也称线性尺寸或长度尺寸。线性尺寸指两点之间的距离，如直径、宽度、深度、中心距等。国家标准规定在技术图样上所标注的线性尺寸均以毫米为单位，且省略单位符号“mm”；角度尺寸常以度、分、秒为单位来标注，且必须标明单位符号，如 30° 、 $15^\circ30'$ 等。

GB/T 1800.1—2009将尺寸分为公称尺寸、提取组成要素的局部尺寸和极限尺寸。

(1) 公称尺寸 指由图样规范确定的理想形状要素的尺寸。它可以是一个整数或一个

小数值，例如 15、8、0.5 等。

在机械设计中，公称尺寸是设计者根据零部件的使用要求，通过刚度、强度或结构等方面的考虑，用计算、试验或类比等方法确定的尺寸。计算得到的公称尺寸数值应按照 GB/T 2822 《标准尺寸》予以标准化，其目的是为了减少定值刀具（如钻头、铰刀）、定值量具（如塞尺、卡规）、定值夹具（如弹簧夹头）及型材等的规格。

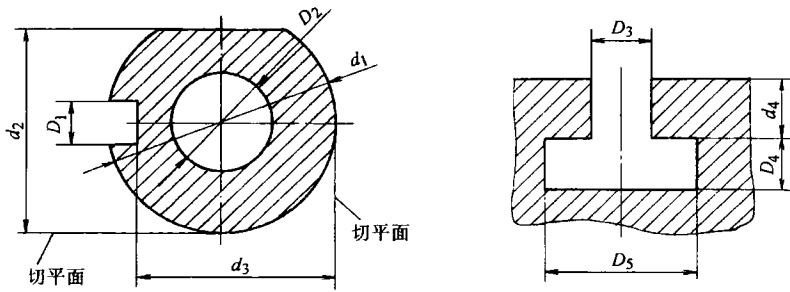


图 2-1 孔与轴

为方便起见，孔和轴的公称尺寸分别用 D 和 d 表示。

(2) 提取组成要素的局部尺寸 提取组成要素的局部尺寸是一切提取组成要素上两对应点之间的距离的统称。所谓提取组成要素是指按照规定方法，由实际（组成）要素提取有限数目的点所形成的实际（组成）要素的近似替代。

在以前的国家标准版本中，将实际（组成）要素称为实际尺寸，将提取组成要素的局部尺寸称为局部实际尺寸。实际尺寸通过测量而得，由于存在测量误差，不同的人、使用不同的测量器具、采用不同的测量方法所提取要素的对应点的值可能不完全相同。因此，提取组成要素的局部尺寸实际是零件上某一位置的测量值，即零件的局部实际尺寸。

(3) 极限尺寸 即允许尺寸变动的两个尺寸界限值。它以公称尺寸为基数来确定两个界限值。允许的最大尺寸称为上极限尺寸，允许的最小尺寸称为下极限尺寸。孔的上极限尺寸和下极限尺寸分别用 D_{max} 和 D_{min} 表示，轴的上极限尺寸和下极限尺寸分别用 d_{max} 和 d_{min} 表示，如图 2-2 所示。

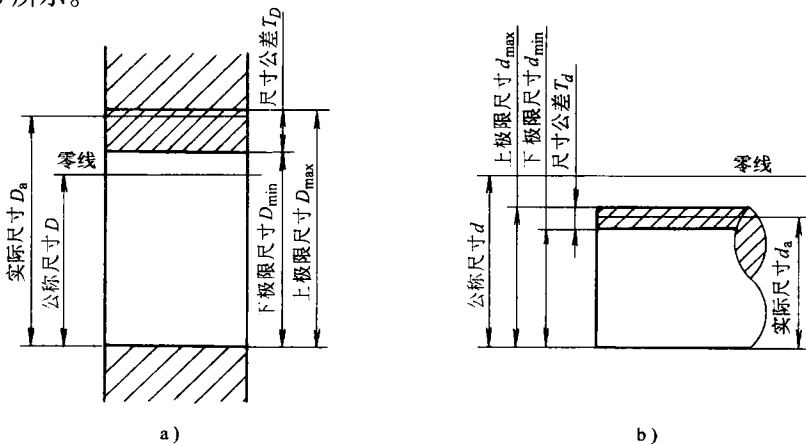


图 2-2 公称尺寸和极限尺寸

a) 孔 b) 轴

极限尺寸用来限制加工零件的尺寸变动，因此，提取组成要素的局部尺寸应位于两个极限尺寸之间，也可达到极限尺寸。

2.1.2 偏差和公差

1. 尺寸偏差（简称偏差）

尺寸偏差是指某一尺寸减其公称尺寸所得的代数差。实际尺寸减其公称尺寸所得的代数差称为实际偏差；极限尺寸减其公称尺寸所得的代数差称为极限偏差。上极限尺寸减其公称尺寸所得的代数差，称为上极限偏差；下极限尺寸减其公称尺寸所得的代数差，称为下极限偏差；上极限偏差与下极限偏差统称为极限偏差。

国家标准规定：孔的上极限偏差代号用大写字母 ES 表示，下极限偏差代号用大写字母 EI 表示；轴的上极限偏差代号用小写字母 es 表示；下极限偏差代号用小写字母 ei 表示。

孔和轴的上、下极限偏差分别用下式表示：

$$ES = D_{\max} - D, \quad es = d_{\max} - d \quad (2-1)$$

$$EI = D_{\min} - D, \quad ei = d_{\min} - d \quad (2-2)$$

由于提取组成要素的局部尺寸有可能大于、小于或等于公称尺寸，所以偏差值可能为正、负值或零，在计算或书写偏差值时必须带有正、负号。

2. 尺寸公差（简称公差）

尺寸公差即允许尺寸的变动量，等于上极限尺寸与下极限尺寸代数差的绝对值，也等于上极限偏差与下极限偏差代数差的绝对值。孔和轴的公差分别用 T_D 和 T_d 表示。用公式表示如下：

$$T_D = D_{\max} - D_{\min} = ES - EI \quad (2-3)$$

$$T_d = d_{\max} - d_{\min} = es - ei \quad (2-4)$$

注意：尺寸公差是给定的允许尺寸误差的范围，或者说，公差是设计者根据零件的使用要求规定的误差允许值，它体现了对加工方法的精度要求，不能通过测量而得到；而尺寸误差是一批零件的实际尺寸相对于公称尺寸的偏离范围，当加工条件一定时，尺寸误差也能体现出加工的精度。所以公差不能取零值，更不能为负值。

3. 尺寸公差带与公差带图

由代表上极限偏差与下极限偏差或上极限尺寸与下极限尺寸的两条直线所限定的区域带，即尺寸公差带，简称公差带。它在垂直于零线方向的宽度代表公差值。

表明两个相互结合的孔、轴的公称尺寸、极限尺寸、极限偏差与公差的相互关系图形，就是公差带图，如图 2-3 所示。在公差带图中，代表公称尺寸的基准直线称为零偏差线，简称零线。零线以上的偏差为正偏差，零线以下的偏差为负偏差。在实际应用中，不必绘出孔与轴的全形，只要将有关的部分放大绘出即可。

由图 2-3 可见，公差带有大小和位置两个要素。公差带大小取决于公差值，公差带位置即公差带相对于零线的位置，取决于某一个极限偏差值。

公差带图的绘制步骤如下：

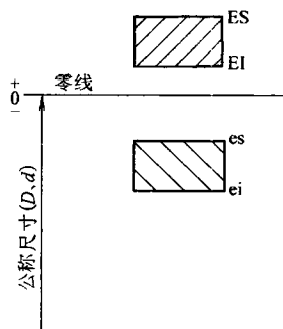


图 2-3 公差带图

1) 画零线, 标出“0”“+”“-”, 用箭头指向零线表示公称尺寸并标出其数值。
2) 按照相同比例画出孔、轴的公差带。通常将孔的公差带打上 45° 剖面线, 轴的公差带打上 -45° 剖面线, 以示区别。

3) 标出孔和轴的上、下极限偏差值及其他要求标注的数值。

例 2-1 已知某一对相互配合的孔与轴, 其公称尺寸为 60mm , 孔的上极限尺寸 $D_{\max} = 60.030\text{mm}$, 下极限尺寸 $D_{\min} = 60\text{mm}$, 轴的上极限尺寸 $d_{\max} = 59.990\text{mm}$, 下极限尺寸 $d_{\min} = 59.971\text{mm}$, 轴加工后测得其实际尺寸分别为 60.010mm 和 59.980mm 。求孔与轴的极限偏差、实际偏差及公差, 并绘制公差带图。

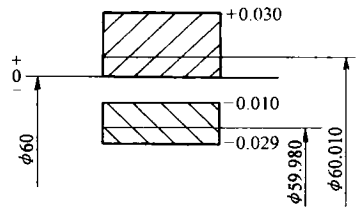


图 2-4 例 2-1 图

解 1) 孔的极限偏差 $ES = D_{\max} - D = 60.030\text{mm} - 60\text{mm} = +0.030\text{mm} = +30\mu\text{m}$

$$EI = D_{\min} - D = 60\text{mm} - 60\text{mm} = 0$$

轴的极限偏差 $es = d_{\max} - d = 59.990\text{mm} - 60\text{mm} = -0.010\text{mm} = -10\mu\text{m}$

$$ei = d_{\min} - d = 59.971\text{mm} - 60\text{mm} = -0.029\text{mm} = -29\mu\text{m}$$

2) 孔的实际偏差 $= 60.010\text{mm} - 60\text{mm} = +0.010\text{mm} = +10\mu\text{m}$

轴的实际偏差 $= 59.980\text{mm} - 60\text{mm} = -0.020\text{mm} = -20\mu\text{m}$

3) 孔的公差 $T_D = D_{\max} - D_{\min} = 60.030\text{mm} - 60\text{mm} = 0.030\text{mm} = 30\mu\text{m}$

轴的公差 $T_d = d_{\max} - d_{\min} = 59.990\text{mm} - 59.971\text{mm} = 0.019\text{mm} = 19\mu\text{m}$

4) 绘制公差带图, 如图 2-4 所示。

2.1.3 有关配合术语

1. 间隙和过盈

孔的尺寸减去与之相配合的轴的尺寸所得的代数差, 此差为正值时即为间隙, 为负值时即为过盈。间隙用 X 表示, 数值为正; 过盈用 Y 表示, 数值为负。

2. 配合

配合即公称尺寸相同, 且相互结合的孔与轴公差带之间的关系。它反映了相互结合的零件之间结合的松紧程度。配合分为间隙配合、过盈配合和过渡配合。

(1) 间隙配合 具有间隙的配合即间隙配合, 包括最小间隙为零的配合。间隙配合孔的公差带在轴的公差带上方, 如图 2-5 所示。其孔、轴极限尺寸的关系为 $D_{\min} \geq d_{\max}$ 。

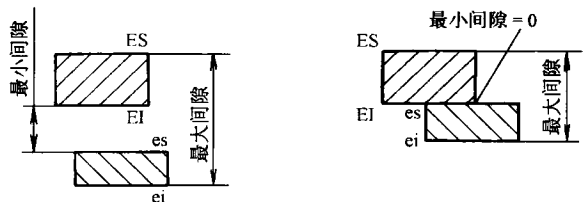


图 2-5 间隙配合尺寸示例

1) 最大间隙(X_{\max})。孔的上极限尺寸减去轴的下极限尺寸, 或孔的上极限偏差减去轴的下极限偏差所得的代数差。

2) 最小间隙(X_{\min})。孔的下极限尺寸减去轴的上极限尺寸, 或孔的下极限偏差减去轴的上极限偏差所得的代数差。

3) 平均间隙(X_m)。最大间隙与最小间隙的平均值。用公式表示为

$$X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei \quad (2-5)$$

$$X_{\min} = D_{\max} - d_{\max} = EI - es \quad (2-6)$$

$$X_m = (X_{\max} + X_{\min}) / 2 \quad (2-7)$$

(2) 过盈配合 具有过盈的配合即过盈配合, 包括最小过盈为零的配合。过盈配合孔的公差带在轴的公差带下方, 如图 2-6 所示。其孔、轴极限尺寸的关系为 $D_{\max} \leq d_{\min}$ 。

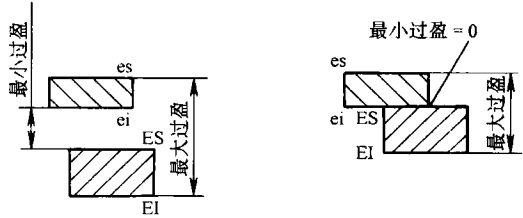


图 2-6 过盈配合尺寸示例

1) 最大过盈 (Y_{\max})。孔的下极限尺寸减去轴的上极限尺寸, 或孔的下极限偏差减去轴的上极限偏差所得的代数差。

2) 最小过盈 (Y_{\min})。孔的上极限尺寸减去轴的下极限尺寸, 或孔的上极限偏差减去轴的下极限偏差所得的代数差。

3) 平均过盈 (Y_m)。最大过盈与最小过盈的平均值。用公式表示为

$$Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es \quad (2-8)$$

$$Y_{\min} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei \quad (2-9)$$

$$Y_m = (Y_{\max} + Y_{\min}) / 2 \quad (2-10)$$

(3) 过渡配合 可能具有间隙或过盈的配合是过渡配合。此时, 孔的公差带与轴的公差带相互交叠, 如图 2-7 所示。其孔、轴极限尺寸的关系为 $D_{\max} > d_{\min}$, 且 $D_{\min} < d_{\max}$ 。

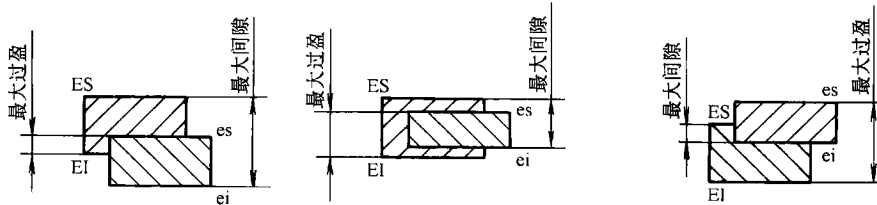


图 2-7 过渡配合尺寸示例

在过渡配合中, 随着孔、轴的实际尺寸在其极限尺寸范围内变化, 配合的松紧程度会发生变化, 可能从最大间隙变化到最大过盈。

最大间隙的计算方法为式 (2-5), 最大过盈的计算方法为式 (2-8)。最大间隙与最大过盈的代数和为正值时是平均间隙 (X_m), 为负值时是平均过盈 (Y_m)。用公式表示为

$$X_m \text{ (或 } Y_m) = (X_{\max} + Y_{\max}) / 2 \quad (2-11)$$

必须指出: 间隙配合、过盈配合和过渡配合是对于一批孔和轴而言, 具体到一对孔与轴装配后, 只能出现要么是间隙要么是过盈, 包括间隙或过盈为零的情况, 而不会出现过渡配合的情况。例如, 一批尺寸为孔 $\phi 80^{+0.030}_0$ 与轴 $\phi 80^{+0.030}_{+0.011}$ 加工后, 在一批合格零件中随机挑选进行装配, 结果就会出现有过盈、有间隙的情况。

3. 配合公差与配合公差带

组成配合的孔与轴的公差之和即配合公差, 用 T_f 表示。它是允许配合间隙或过盈的变动量, 表明配合松紧的变化程度, 是衡量配合精度的重要指标。

配合公差可用配合公差带图表示, 它是由代表极限间隙或过盈的两条直线所限定的区

域,如图 2-8 所示。图中,零线代表间隙或过盈等于零。零线以上表示间隙,零线以下表示过盈。因此,配合公差带在零线以上表示间隙配合;在零线以下表示过盈配合;位于零线两侧表示过渡配合。

配合公差带与尺寸公差带相似,也有大小和位置两个要素。其大小由配合公差确定;其位置由极限间隙或极限过盈确定。

间隙配合的配合公差为最大间隙与最小间隙之差的绝对值;过盈配合的配合公差为最大过盈与最小过盈之差的绝对值;过渡配合的配合公差为最大间隙与最大过盈之差的绝对值。用公式表示为:

$$\text{间隙配合} \quad T_f = |X_{\max} - X_{\min}| = T_D + T_d \quad (2-12)$$

$$\text{过盈配合} \quad T_f = |Y_{\max} - Y_{\min}| = T_D + T_d \quad (2-13)$$

$$\text{过渡配合} \quad T_f = |X_{\max} - Y_{\max}| = T_D + T_d \quad (2-14)$$

对于形成配合的孔与轴,确定其配合方式时,应根据其功能要求确定极限间隙或极限过盈,再根据此分别确定相配合的孔、轴极限尺寸或极限偏差。

例 2-2 已知孔 $\phi 35_{-0.015}^{+0.021}$ 与轴 $\phi 35_{+0.015}^{+0.028}$ 组成过渡配合,求极限间隙或过盈、配合公差、平均间隙或过盈,并画出公差带图。

解 1) 由式 (2-5) 计算最大间隙

$$X_{\max} = ES - ei = (+0.021) \text{ mm} - (+0.015) \text{ mm} = +0.006 \text{ mm} = +6 \mu\text{m}$$

由式 (2-8) 计算最大过盈

$$Y_{\max} = EI - es = 0 \text{ mm} - (+0.028) \text{ mm} = -0.028 \text{ mm} = -28 \mu\text{m}$$

由式 (2-11) 计算平均过盈

$$Y_m = (X_{\max} + Y_{\max}) / 2 = (-0.011) \text{ mm} = -11 \mu\text{m}$$

由式 (2-14) 计算配合公差

$$T_f = |X_{\max} - Y_{\max}| = |(+0.006) - (-0.028)| \text{ mm} = 0.034 \text{ mm} = 34 \mu\text{m}$$

2) 画公差带图,如图 2-9 所示。

例 2-3 设某配合的公称尺寸为 $\phi 60 \text{ mm}$, 配合公差 $T_f = 49 \mu\text{m}$, 最大间隙 $X_{\max} = 19 \mu\text{m}$, 孔的尺寸公差 $T_D = 30 \mu\text{m}$, 轴的下极限偏差 $ei = +11 \mu\text{m}$ 。试绘制孔、轴的尺寸公差带图和该配合的配合公差带图,并说明配合类别。

解 根据公式 $T_f = T_D + T_d$

$$\text{得} \quad T_d = T_f - T_D = (49 - 30) \mu\text{m} = 19 \mu\text{m}$$

由式 (2-4) $T_d = es - ei$

$$\text{得} \quad es = T_d + ei = [19 + (+11)] \mu\text{m} = 30 \mu\text{m}$$

故轴的尺寸为 $\phi 60_{+0.011}^{+0.030} \text{ mm}$

由式 (2-5) $X_{\max} = ES - ei$

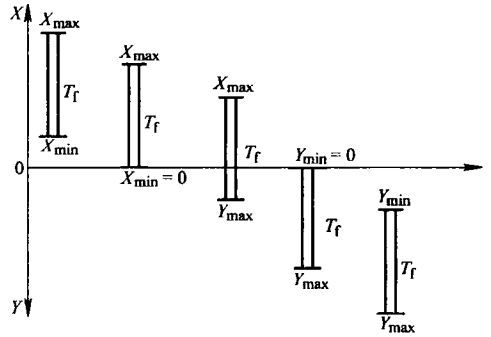


图 2-8 配合公差带图

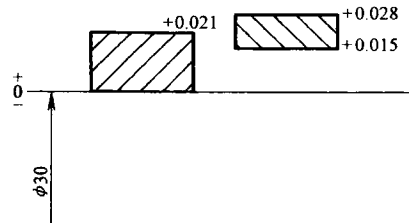


图 2-9 例 2-2 图