

 高等学校教材

互换性与 测量技术基础

薛 岩 刘永田 等编著



HUHUANXING YU CELIANG JISHU JICHU



化学工业出版社

✱ 高等学校教材

互换性与 测量技术基础

薛 岩 刘永田 等编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是高等工科院校机械类和近机械类专业的一门重要的专业基础课教材。内容包括有关互换性、标准和优先数的介绍、孔轴结合的极限与配合、测量技术基础及光滑工件尺寸的检验、几何公差、表面粗糙度、常用标准件的互换性、渐开线圆柱齿轮传动的互换性和实验指导。

本书教学性强,内容注重系统性、实用性,采用了最新颁布的国家标准。每章均配有思考题与习题。

本书适于高等工科院校机械类和近机械类以及各相关专业的教与学使用,也可作为提高工程技术人员素质的培训教材,还可供从事机械设计、制造工艺、标准化和计量测试工作的工程技术人员学习与参考。

图书在版编目(CIP)数据

互换性与测量技术基础/薛岩,刘永田等编著.—2版.—北京:化学工业出版社,2015.8

高等学校教材

ISBN 978-7-122-24324-9

I. ①互… II. ①薛…②刘… III. ①零部件-互换性-高等学校-教材②零部件-测量技术-高等学校-教材 IV. ①TG801

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第129892号

责任编辑:张兴辉

装帧设计:王晓宇

责任校对:宋 玮

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张14 $\frac{1}{4}$ 字数382千字 2015年9月北京第2版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:39.80元

版权所有 违者必究

第二版前言

本教材是以高等工科院校“互换性与测量技术基础”课程教学基本要求为依据编写的。教学总学时数为30~40学时。全书系统地阐述了互换性与测量技术相关的国家标准；介绍了孔轴结合的极限与配合、几何公差、表面粗糙度的基础知识和选用，并配有大量的思考题与习题；介绍了测量技术基础及光滑工件尺寸检验的基础知识和方法；阐述了常用标准件（滚动轴承与孔轴结合、螺纹结合、键和花键连接）和渐开线圆柱齿轮传动的互换性；同时，配有与“互换性与测量技术基础”课程密切相关的实验内容。

本教材是在总结了编者多年的教学经验的基础上，遵循了理论教学以实用为主的原则，本着理论以必需、够用为度编写而成。第二版修订更新了部分标准，精简了部分技术内容，例如删除尺寸链等相关内容，更加符合教学的要求。具有如下特点。

1. 取材和编写突出实用性

突出了常见的几何参数公差要求的标注、查表、解释以及检测方法和数据处理的内容。重点内容配有大量的思考题与习题，以加强学生初步精度设计能力的锻炼。

2. 在各章节的编写中注重系统性

以基本知识—标注—检测—选用为主线，力求由浅入深，由易到难，符合初学者的认知规律。

3. 教材的编写具有新颖性

(1) 贯彻了与“互换性与测量技术”相关的最新颁布的国家标准。

(2) 介绍了与“互换性与测量技术基础”课程密切相关的实验内容，以方便使用。

4. 便于自学

内容叙述力求通俗易懂，方便读者自学。

本教材由山东建筑大学薛岩、刘永田、耿宗亮、刘新莉及济南军区锅炉环境检测站于明编写，由山东大学刘春贵教授主审。本教材在编写过程中，得到了参编单位的领导和老师的大力支持，在此表示感谢！

由于编者水平有限，书中难免存在不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编著者

目 录

绪论	1
思考题与习题	6
第 1 章 孔轴结合的极限与配合	7
1.1 基本术语及定义	7
1.1.1 有关尺寸的术语及定义 (GB/T 1800.1—2009)	7
1.1.2 有关公差与偏差的术语及定义 (GB/T 1800.1—2009)	9
1.1.3 有关“配合”的术语及定义 (GB/T 1800.1—2009)	10
1.2 极限与配合国家标准	14
1.2.1 标准公差系列	14
1.2.2 基本偏差系列	17
1.2.3 公差带与配合的国家标准	22
1.3 极限与配合的选择	24
1.3.1 基准制的选择	24
1.3.2 公差等级的选择	26
1.3.3 配合的选用	27
1.4 线性尺寸的未注公差	30
思考题与习题	32
第 2 章 测量技术基础及光滑工件尺寸的检验	34
2.1 测量技术的基础知识	34
2.1.1 测量的定义	34
2.1.2 有关的常用术语	34
2.1.3 尺寸的传递	35
2.1.4 量块的基本知识	36
2.2 测量器具的分类及主要技术指标	37
2.2.1 测量器具的分类	37
2.2.2 测量器具的主要技术指标 (JJF 1001—1998)	38
2.3 测量方法及测量技术的应用原则	40
2.3.1 测量方法的分类	40
2.3.2 测量技术的基本原则	41
2.4 测量误差及数据处理	41
2.4.1 测量误差的概述	41
2.4.2 随机误差	44
2.4.3 系统误差	46
2.4.4 粗大误差的处理	47
2.5 光滑工件尺寸的检验	47
2.5.1 用通用测量器具检验工件 (GB/T 3177—2009)	48
2.5.2 用光滑极限量规检验工件	51
思考题与习题	56
第 3 章 几何公差	58
3.1 概述	58
3.1.1 几何误差产生的原因及对零件 使用性能的影响	58
3.1.2 几何公差的有关术语	59
3.1.3 几何公差的几何特征及符号	60
3.1.4 几何公差代号和基准符号	60
3.2 几何公差的标注	61
3.2.1 被测要素的标注	61
3.2.2 基准要素的标注	63
3.2.3 几何公差标注示例	63
3.3 几何公差的公差带	64
3.3.1 形状公差及公差带	64
3.3.2 方向公差及公差带	67
3.3.3 位置公差及公差带	73
3.3.4 跳动公差及公差带	76
3.4 公差原则	79
3.4.1 有关术语及定义	79
3.4.2 公差原则的相关内容	82
3.5 几何公差的选择及未注几何公差 的规定	88
3.5.1 几何特征的选择	88
3.5.2 基准的选择	89
3.5.3 公差原则的选择	89
3.5.4 几何公差的公差等级的选择	90

3.5.5 几何公差的选择方法与举例	95	思考题与习题	96
第4章 表面粗糙度	100		
4.1 概述	100	4.3.1 表面粗糙度评定参数及数值 的选择	105
4.1.1 表面粗糙度的概念	100	4.3.2 表面结构要求在图样上的标注	107
4.1.2 表面粗糙度对机械零件使用 性能的影响	100	4.4 表面粗糙度的测量简介	113
4.2 表面粗糙度的评定	102	4.4.1 比较法	113
4.2.1 有关基本术语 (GB/T 3505—2009)	102	4.4.2 光切法	114
4.2.2 表面粗糙度的评定参数	102	4.4.3 干涉法	114
4.2.3 表面粗糙度的数值规定	104	4.4.4 针描法	114
4.3 表面粗糙度的选择和标注	105	思考题与习题	115
第5章 常用标准件的互换性	117		
5.1 滚动轴承与孔轴结合的互换性	117	5.2.3 普通螺纹的公差与配合	127
5.1.1 滚动轴承的组成和形式	117	5.2.4 普通螺纹的检测	132
5.1.2 滚动轴承的精度等级及应用	117	5.3 平键和花键连接的互换性	133
5.1.3 滚动轴承与轴颈、外壳孔的配 合特点及选择	118	5.3.1 概述	133
5.2 螺纹连接的互换性	125	5.3.2 平键连接的互换性	135
5.2.1 概述	125	5.3.3 花键连接的互换性	137
5.2.2 螺纹几何参数公差原则的选用	127	思考题与习题	142
第6章 渐开线圆柱齿轮传动的互换性	143		
6.1 概述	143	6.3.2 齿轮精度等级的选择	159
6.1.1 齿轮传动的使用要求	143	6.3.3 单个齿轮检验项目的确定	160
6.1.2 齿轮加工误差的来源	144	6.4 齿轮坯精度及齿轮副误差的检验 项目	161
6.2 渐开线圆柱齿轮的精度制	145	6.4.1 齿轮坯精度	161
6.2.1 轮齿同侧齿面偏差	145	6.4.2 齿轮副误差的检验项目	163
6.2.2 径向综合偏差	148	6.5 齿轮的精度设计	168
6.2.3 径向跳动	148	6.5.1 齿轮精度设计方法及步骤	168
6.2.4 渐开线圆柱齿轮精度各项目的 检验	149	6.5.2 齿轮精度设计举例	168
6.3 渐开线圆柱齿轮的精度标准及选用	152	思考题与习题	171
6.3.1 齿轮精度标准	152		
第7章 实验指导	172		
7.1 光滑工件尺寸测量	172	7.2.3 圆跳动误差测量	185
7.1.1 用比较仪测量光滑极限量规	172	7.2.4 平面度误差测量	185
7.1.2 用内径百分表测量内径	174	7.2.5 圆度误差测量	188
7.1.3 用卧式测长仪测量内径	176	7.3 表面粗糙度测量	191
7.2 几何误差测量	179	7.3.1 用光切显微镜测量表面粗糙度	191
7.2.1 用平面度检查仪测量直线度 误差	179	7.3.2 用电动轮廓仪测量表面粗糙度	194
7.2.2 箱体方向、位置和跳动误差 测量	181	7.3.3 用干涉显微镜测量表面粗糙度	197
		7.4 圆柱螺纹测量	199
		7.4.1 用影像法测量外螺纹	199

7.4.2	用三针法测量外螺纹中径	203	7.5.5	齿轮齿厚偏差测量	211
7.5	圆柱齿轮测量	205	7.5.6	齿轮公法线平均长度偏差测量 ...	212
7.5.1	齿轮单个齿距偏差和齿距累积 总偏差测量	205	7.6	常用的测量器具	214
7.5.2	齿轮径向跳动测量	208	7.6.1	游标卡尺	214
7.5.3	齿轮齿廓偏差测量	209	7.6.2	外径千分尺	216
7.5.4	齿轮径向综合偏差测量	210	7.6.3	百分表	218
			7.6.4	万能角度尺	219
参考文献					222

绪 论

(1) 互换性的概述

① 互换性的定义 互换性在日常生活中随处可见。例如，灯泡坏了换个新的，自行车的零件坏了也可以换个新的规格相同的，即可使用。这是因为合格的产品和零件都具有在材料性能、几何尺寸、使用功能上彼此互相替换的性能，即具有互换性。广义上说，互换性是指一种产品、过程或服务能够代替另一种产品、过程或服务，并且能满足同样要求的能力。

制造业生产中，零（部）件的互换性就是指同一规格的一批零（部）件中，任取其一，不需要任何挑选或附加修配，就能与其他零件安装在一起而组成一台机器，并且达到规定的功能要求。在现代化的大量或成批生产中，要求互相装配的零件或部件都要符合互换性原则。例如，从一批规格为 $\phi 10\text{mm}$ 的油杯中，如图 0-1 所示，任取一个装入尾架端盖的油杯孔中，都能使油杯顺利装入，并能使它们紧密结合，就两者的顺利结合而言，油杯和端盖都具有互换性。

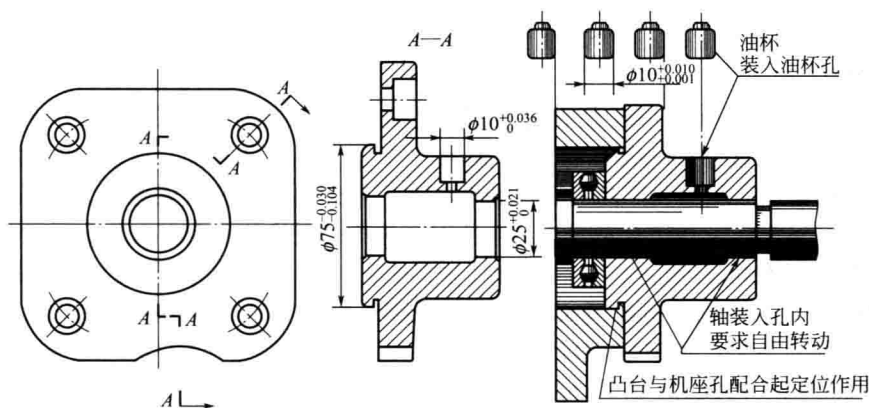


图 0-1 互换性基本概念图例

② 互换性的分类 从广义上讲，零（部）件的互换性应包括几何量（如尺寸、形状）、力学性能（如强度、硬度）和理化性能等方面的互换。本课程仅讨论零（部）件几何量的互换性，即几何量方面的公差和检测。

a. 按确定的参数不同，互换性可分为几何参数互换性和功能互换性。

几何参数互换性，是指通过规定几何参数的公差所达到的互换性。这种互换性为狭义互换性，因为有时仅限于保证零（部）件尺寸配合的要求。

功能互换性，是指通过规定功能参数所达到的互换性。功能参数除了包括几何参数之外，还包括其他一些参数，如力学、化学、电学等参数。这种互换性为广义互换性，往往侧重于保证除几何参数要求以外的其他功能要求。

b. 按零（部）件互换程度的不同，互换性可分为完全互换和不完全互换。

完全互换，是以零（部）件在装配或更换时，不需要挑选和附加修配为条件。例如，螺纹紧固件和连接件都具有完全互换性。完全互换的主要优点是：能做到零（部）件的完全互

换和通用,为专业化生产和相互协作创造了条件,提高了经济效益。它的主要缺点是:当组成产品的零件较多、整机精度要求较高时,分配到每一个零件上的尺寸允许变动量(即尺寸公差)必然较小,造成加工困难、成本提高。当装配精度要求很高时,会使加工难度和成本大大提高,甚至无法加工。为此,可采用不完全互换或修配的方法达到装配精度要求。

不完全互换也称有限互换,在零(部)件装配时允许有附加条件的选择或调整。即在零(部)件加工完毕之后,再用测量器具将零(部)件按实际组成要素的尺寸的大小分为若干组,使不完全互换可以采用概率法、分组装配法、调整法等工艺措施来实现。不完全互换的主要优点是:在保证装配功能的前提下,能适当放宽尺寸公差,使得加工容易,降低制造成本。它的主要缺点是:降低了互换程度,不利于部件、机器的装配和维修。

在装配时,若零件需要进行附加修配,则不具有互换性。

c. 对标准零(部)件或机构来讲,其互换性又可分为内互换和外互换。

内互换是指部件或机器内部组成零件间的互换。外互换是指部件或机器与其相配合件间的互换。例如,滚动轴承内、外圈滚道直径与滚动体(滚珠或滚柱)直径间的配合为内互换;滚动轴承内圈与传动轴的配合以及滚动轴承外圈与壳体孔的配合为外互换。内互换可以是完全互换,也可以是不完全互换;但外互换应为完全互换。

③ 互换性的作用 可以从下面三个方面理解互换性的作用。

a. 在设计方面:若零(部)件具有互换性,就能最大限度地使用标准件,可以简化绘图和计算等工作,使设计周期变短,有利于产品更新换代和计算机辅助设计(CAD)技术应用。

b. 在制造方面:互换性有利于组织专业化生产,使用专用设备和计算机辅助制造(CAM)技术。

c. 在使用和维修方面:可以及时更换那些已经磨损或损坏的零部件,对于某些易损件可以提供备用件,以此提高机器的使用价值。

互换性在提高产品质量、产品可靠性和经济效益等方面均具有重大意义。互换性原则已成为现代制造业中一个普遍遵守的原则,互换性生产对我国现代化生产具有十分重要的意义。

(2) 标准和标准化

现代制造业生产的特点是规模大、分工细、协作单位多、互换性要求高。为了适应生产中各部门的协调和各生产环节的衔接,必须有一种手段,使分散的、局部的生产部门和生产环节保持必要的统一,成为一个有机的整体,以实现互换性生产。标准与标准化正是联系这种关系的主要途径和手段,实行标准化是互换性生产的基础。

① 标准 标准是指为了在一定的范围内获得最佳秩序,对人类实践过程中共同的和重复性的事物做出统一规定,并以特定的形式颁布的技术法规。简单地说,标准就是评价产品质量好坏的技术依据。

② 标准分类

a. 按标准的级别分类。按《中华人民共和国标准化法》规定,我国标准分为四级,即国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。

国家标准,是指由国家机构通过并公开发布的标准。中华人民共和国国家标准,是指对我国经济技术发展有重大意义,必须在全国范围内统一的标准。对需要在全国范围内统一的技术要求,应当制定国家标准。我国国家标准由国务院标准化行政主管部门编制计划和组织草拟,并统一审批、编号和发布。国家标准在全国范围内适用,其他各级标准不得与国家标准相抵触,国家标准是四级标准体系中的主体。

行业标准,是指对没有国家标准而又需要在全国某个行业范围内统一的技术要求所制定的标准。行业标准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。行业标准

在相应国家标准实施后,应自行废止。目前,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 JB、QB、FZ、TB 等分别是机械、轻工、纺织、铁路运输行业的标准代号。

地方标准,是指在国家的某个地区通过并公开发布的标准。对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工业产品的安全和卫生要求,可以制定地方标准。地方标准由省、自治区、直辖市人民政府标准化行政主管部门编制计划,组织草拟,统一审批、编号、发布,并报国务院标准化行政主管部门和国务院有关行政主管部门备案。地方标准在本行政区域内适用。在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”加上省、自治区、直辖市的行政区划代码,如山东省的地方标准为 DB 37。

企业标准,是指企业所制定的产品标准和对在企业内需要协调、统一的技术要求、管理和工作要求所制定的标准。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。对已有国家标准、行业标准和地方标准的,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。

四级标准之间的关系是:上级标准是下级标准的依据;下级标准是上级标准的补充;互不重复,互不抵触。

另外,国家标准化行政主管部门于 1998 年通过《国家标准化指导性技术文件管理规定》,出台了标准化体制改革的一项新举措,即在四级标准之外,又增设了一种“国家标准化指导性技术文件”,作为对四级标准的补充。注意:国家标准化指导性技术文件不是第五级文件。

国家标准化指导性技术文件,是指为仍处于技术发展过程中(如变化快的技术领域)的标准化工作提供指南或信息,供科研、设计、生产、使用和管理等有关人员参考使用而制定的标准文件。国家标准化指导性技术文件的代号:GB/Z。

b. 根据标准实施的强制程度分类。标准分为强制性标准、暂行标准和推荐性标准。

强制性标准是国家通过法律的形式明确要求,对于一些标准所规定的技术内容和要求必须执行,不允许以任何理由或方式加以违反、变更,这样的标准称之为强制性标准,包括强制性的国家标准、行业标准和地方标准。对违反强制性标准的,国家将依法追究当事人法律责任。例如,强制性国家标准代号为 GB;山东省的强制性地方标准代号为 DB 37。

推荐性标准是指国家鼓励自愿采用的,具有指导作用而又不宜强制执行的标准,即标准所规定的技术内容和管理要求具有普遍的指导作用,允许使用单位结合自己的实际情况,灵活加以选用。例如,推荐性国家标准代号为 GB/T;山东省的推荐性地方标准代号为 DB/T 37。

暂行标准是由一个标准化团体暂时制定并公开发布的文件,以使其作为一个标准,在应用中获得必要的经验。暂行标准一般应规定一个试行期限,试行期内达不到的某些要求和指标,可呈报有关部门酌情放宽执行。

c. 按照标准的作用和有效的范围分类。标准划分为国际标准、区域标准、国家标准、行业标准、地方标准和企业(公司)标准。

国际标准是由国际标准化或标准组织制定,并公开发布的标准。如由 ISO(国际标准化组织)、IEC(国际电工委员会)批准、发布的标准是目前主要的国际标准。ISO 认可并列入《国际标准题内关键词索引》的一些国际组织,如国际计量局(BIPM)、食品法典委员会(CAC)、世界卫生组织(WHO)等组织制定、发布的标准也是国际标准。

区域标准又称为地区标准,泛指世界某一区域标准组织所制定,并公开发布的标准。如欧洲标准化委员会(CEN)发布的欧洲标准(EN)就是区域标准。

d. 按照标准的对象分类。标准分为技术标准、管理标准和工作标准。

技术标准是指对标准化领域中需要协调统一的技术事项所制定的标准。技术标准包括技术基础标准、产品标准、工艺标准、检测试验方法标准及安全卫生、环保标准等。技术基础标准是指以标准化共性要求和前提条件为对象的标准,是为了保证产品的结构功能和制造质量而制定的、一般工程技术人员必须采用的通用性标准,也是制定其他标准时可依据的标准。例如术语标准、符号、代号、代码标准、量与单位标准等,都是目前广泛使用的综合性基础标准。

管理标准是指对标准化领域中需要协调统一的管理事项所制定的标准。管理标准包括管理基础标准、技术管理标准、经济管理标准、行政管理标准和生产经营管理标准等。

工作标准是指对工作的责任、权利、范围、质量要求、程序、效果、检查方法和考核办法所制定的标准。工作标准一般包括部门工作标准和岗位(或个人)工作标准。

③ 标准化 标准化是指为了在一定的范围内获得最佳秩序,对实际或潜在的问题制定共同的和重复使用的规则的活动。标准化是社会化的重要手段,是联系设计、生产和使用方面的纽带,是科学管理的重要组成部分。标准化对于改进产品、过程和服务的适用性,防止贸易壁垒,促进技术合作等方面,具有特别重要的意义。

标准化工作包括制定标准、颁布标准、组织实施标准和对标准的实施进行监督的全部活动过程。这个过程是从探索标准化对象开始,经调查、实验和分析,进而起草、制定和贯彻标准,而后修订标准。因此,标准化是一个不断循环又不断提高其水平的过程。

④ 标准化的发展历程

a. 国际标准化的发展。标准化在人类开始创造工具时就已出现。标准化是人类进行社会生产劳动的产物,标准化在近代工业兴起和发展的过程中显得重要起来。早在 19 世纪,标准化在国防、造船、铁路运输等行业中的应用十分突出。到了 20 世纪初,一些国家相继成立全国性的标准化组织机构,推进了本国的标准化事业。以后由于生产的发展,国际交流越来越频繁,因而出现了地区性和国际性的标准化组织。1926 年成立了国际标准化协会(简称 ISA)。1947 年重建国际标准化协会并改名为国际标准化组织(简称 ISO)。现在,这个世界上最大的标准化组织已成为联合国甲级咨询机构。ISO 9000 系列标准的颁发,使世界各国的质量管理及质量保证的原则、方法和程序,都统一在国际标准的基础之上。

b. 我国标准化的发展。我国标准化是在 1949 年中华人民共和国成立后,得到重视并发展起来的。1958 年颁布第一批 120 项国家标准。从 1959 年开始,陆续制定并颁布了极限与配合、几何公差、公差原则、表面结构、光滑极限量规、渐开线圆柱齿轮精度等许多公差标准。我国在 1978 年恢复为 ISO 成员国,承担 ISO 技术委员会秘书处工作和国际标准草案的起草工作。此后,我国的公差标准随着国际标准的不断更新,并结合我国的生产实际也在不断地进行修改和完善,标准化水平在社会主义现代化建设过程中不断得到发展与提高,并对我国经济的发展做出了很大的贡献。

(3) 优先数和优先数系(GB/T 321—2005)

统一的数值标准是标准化的重要内容。

各种产品的技术参数都需要用数值来表达。这些技术参数的数值在生产各环节中往往不是孤立的,具有扩散性。如螺栓的尺寸一旦确定,将影响螺母以及加工它们用的丝锥和板牙的尺寸,也会影响检验它们的量规的尺寸,还有螺栓孔和垫圈孔的尺寸以及紧固螺母用的扳手尺寸也将受到影响。这些技术参数,即使只有很小的差别,经过多次传播以后,也会造成尺寸规格的繁多杂乱,以致给生产的组织、协调配套和使用维修等带来很大的困难。因此,对各种技术参数,必须从全局出发,加以协调优化。优先数和优先数系是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制度。

① 优先数系及其公比 优先数系是公比为 $\sqrt[5]{10}$ 、 $\sqrt[10]{10}$ 、 $\sqrt[20]{10}$ 、 $\sqrt[40]{10}$ 和 $\sqrt[80]{10}$ ，且项值中含有 10 的整数幂的几何级数的常用圆整值。分别用 R5、R10、R20、R40、R80 表示，其中前四个为基本系列，最后一个作为补充系列，仅用于分级很细的特殊场合。基本系列 R5、R10、R20、R40 的 1~10 的常用值，如表 0-1 所示。

表 0-1 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				2.24		5.00	5.00	5.00
			1.06				2.36				5.30
		1.12	1.12	2.50	2.50	2.50	2.50			5.60	5.60
			1.18				2.65				6.00
	1.25	1.25	1.25				2.80	6.30	6.30	6.30	6.30
			1.32				3.00				6.70
		1.40	1.40			3.15	3.15			7.10	7.10
			1.50				3.35				7.50
1.60	1.60	1.60	1.60				3.55		8.00	8.00	8.00
			1.70				3.75				8.50
		1.80	1.80	4.00	4.00	4.00	4.00			9.00	9.00
			1.90				4.25				9.50
	2.00	2.00	2.00				4.50	10.00	10.00	10.00	10.00
			2.12				4.75				

优先数系是十进等比数列，其中包含 10 的所有整数幂 ($\dots$, 0.01, 0.1, 1, 10, 100, $\dots$)。只要知道一个十进段内的优先数值，其他十进段内的数值就可由小数点的前后移位得到。优先数系中的数值可方便地向两个方向无限延伸，由表 0-1 中的数值，使小数点前后移位，便可以得到所有小于 1 和大于 10 的任意优先数。

符合 R5、R10、R20、R40 和 R80 系列的圆整值即为优先数。

优先数的理论值一般为无理数，不便于实际应用。在作参数系列的精确计算时可采用计算值，即对理论值取 5 位有效数字。计算值对理论值的相对误差小于 1/20000。

R5、R10、R20 和 R40 基本系列中的优先数常用值，对计算值的相对误差在 $+1.26\% \sim -1.01\%$ 范围内。各系列的公比分别如下。

$$\text{R5 系列: } q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.60$$

$$\text{R10 系列: } q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$$

$$\text{R20 系列: } q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.12$$

$$\text{R40 系列: } q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06$$

② 优先数的优点

a. 最佳的级数。从规律性的观点，以及通过插入中间值组成较密系列，以适应新的需要的可能性来说，优先数能保证得到最佳的级数。

b. 广泛的适应性。优先数提供了逻辑性最强的方法，能在给定的领域内（电动机的功率、泵的输出量等），前后衔接不间断地满足整个范围的需要。

c. 使技术和商业计算简单化。因为优先数的积和商按定义也是优先数，所以可用对数值或序号而不用优先数自身进行计算，尤其是当系列（尺寸、表记价格等）按同样比例相乘或相除时，使计算大为简化。

d. 便于计量单位的换算。当测量系列值为优先数，同时换算系数近似为优先数时，能很方便地换算成其他计量单位。

③ 优先数系的派生系列 为使优先数系具有更宽广的适应性，可以选用派生系列。派

生系列是从基本系列或补充系列 R_r 中, 每 p 项取值导出的系列, 以 $R_{r/p}$ 表示, 比值 r/p 是 1~10、10~100 等各个十进制数内项值的分级数。

派生系列的公比为: $q_{r/p} = q_r^p = (\sqrt[p]{10})^p = 10^{p/r}$ 。

比值 r/p 相等的派生系列具有相同的公比, 但其项值是多义的。例如, 派生系列 $R_{10/3}$ 的公比 $q_{10/3} = 10^{3/10} = 1.2589^3 \approx 2$, 可导出三种不同项值的系列:

1.00, 2.00, 4.00, 8.00

1.25, 2.50, 5.00, 10.0

1.60, 3.15, 6.30, 12.5

④ 优先数系的选用规则 优先数系的应用很广泛, 它适用于各种尺寸、参数的系列化和质量指标的分级, 对保证各种工业产品的品种、规格、系列的合理化分档和协调配套具有十分重要的意义。选用基本系列时, 应遵守先疏后密的规则。即按 R_5 、 R_{10} 、 R_{20} 、 R_{40} 的顺序选用; 当基本系列不能满足要求时, 可选用派生系列。注意应优先采用公比较大和延伸项含有项值 1 的派生系列; 根据经济性和需要量等不同条件, 还可分段选用最合适的系列, 以复合系列的形式来组成最佳系列。

思考题与习题

- 0-1 什么是互换性? 说明互换性有什么作用? 互换性的分类? 各用于什么场合? 试举例说明。
- 0-2 什么是标准和标准化? 标准化与互换性生产有何联系?
- 0-3 优先数系是一种什么数列? 它有何特点?
- 0-4 有哪些优先数的基本系列? 什么是优先数的派生系列?
- 0-5 试写出下列基本系列和派生系列中自 1 以后共 5 个优先数的常用值: R_{10} , $R_{10/2}$, $R_{20/3}$, $R_{5/3}$ 。
- 0-6 在尺寸公差表格中, 自 6 级开始各等级尺寸公差的计算公式为 $10i$, $16i$, $25i$, $40i$, $64i$, $100i$, $160i$, ...; 在螺纹公差表中, 自 3 级开始的等级系数为 0.50, 0.63, 0.80, 1.00, 1.25, 1.60, 2.00。试判断它们各属于何种优先数的系列。

第 1 章 孔轴结合的极限与配合

孔轴结合是在机械制造中应用最广泛的一种结合,这种结合的极限与配合是机械工程中重要的基础标准,它不仅应用于圆柱体内、外表面的结合,也应用于其他结合中由单一尺寸确定的表面和结构,例如键结合中键与键槽、花键结合中的花键孔与花键轴等。

尺寸的“公差”主要反映机器零件使用要求与制造要求的矛盾;而“配合”则反映组成机器的零件之间的关系。极限与配合标准化有利于机器的设计、制造、使用和维修,它不仅是机械工业各部门进行产品设计、工艺设计和制定其他标准的基础,而且也是广泛组织协作和专业化生产的重要依据。极限与配合标准几乎涉及国民经济的各个部门,因此它是特别重要的基础标准之一。

随着科学技术的飞跃发展,产品精度的不断提高,国际技术交流的日益扩大,我国的基础标准也在不断地与国际标准接轨,并参照 ISO 国际标准制定。其中“极限与配合”国家标准包括以下两部分:

GB/T 1800.1—2009《极限与配合 第 1 部分:公差、偏差和配合的基础》;

GB/T 1800.2—2009《极限与配合 第 2 部分:标准公差等级和孔、轴极限偏差表》。

本章主要阐述极限与配合国家标准的构成与特征。

1.1 基本术语及定义

1.1.1 有关尺寸的术语及定义 (GB/T 1800.1—2009)

(1) 有关孔和轴的定义

孔和轴的区分:从装配后的包容面与被包容面之间的关系看,被包容面属于轴,包容面属于孔;从工件的加工过程来看,随着加工余量的切除,轴的尺寸是由大变小,而孔的尺寸是由小变大。

① 孔:通常是指工件的圆柱形或非圆柱形(如键槽等)的内表面尺寸要素,其公称尺寸代号用 D 来表示。

② 轴:通常是指工件的圆柱形或非圆柱形(如键等)的外表面尺寸要素,其公称尺寸代号用 d 来表示。

必须指出,尺寸要素是指由一定大小的线性尺寸或角度尺寸确定的几何形状。

(2) 有关尺寸的术语定义

尺寸是指以特定单位表示线性尺寸值的数值。尺寸由数字和单位组成,用于表示零件几何形状的大小。线性尺寸包括直径、半径、长度、高度、宽度、深度、厚度和中心距等。机械制图国家标准规定:在图样中(包括技术要求和其他说明)的尺寸以 mm 为单位时,不需要标注其计量单位的代号或名称,若采用其他单位时必须注明相应的单位符号。

① 公称尺寸 公称尺寸是由图样规范确定的理想形状要素的尺寸。它是根据零件的强度计算、结构和工艺上的需要设计给定的尺寸,需选用标准尺寸按表 1-1 所示定出。选用标准尺寸可以压缩尺寸的规格数,从而减少标准刀具、量具、夹具的规格数量,以获得最佳经

表 1-1 标准尺寸（摘自 GB 2822—2005）（部分）

R			Ra			R			Ra		
R10	R20	R40	Ra10	Ra20	Ra40	R10	R20	R40	Ra10	Ra20	Ra40
10.0	10.0		10	10			35.5	35.5		36	36
	11.2			11				37.5			38
12.5	12.5	12.5	12	12	12	40.0	40.0	40.0	40	40	40
		13.2			13			42.5			42
	14.0	14.0		14	14			45.0			45
16.0		15.0	16		15	50.0	50.0	47.5	50	50	48
	16.0	16.0		16	16			53.0			53
		17.0			17			56.0			56
	18.0	18.0		18	18			60.0			60
20.0		19.0	20		19	63.0	63.0	63.0	63	63	63
	20.0	20.0		20	20			67.0			67
		21.2			21			71.0			71
	22.4	22.4		22	22			75.0			75
25.0		23.6	25		24	80.0	80.0	80.0	80	80	80
	25.0	25.0		25	25			85.0			85
		26.5			26			90.0			90
	28.0	28.0		28	28			95.0			95
31.5		30.0	32		30	100.0	100.0	100.0	100	100	100
	31.5	31.5		32	32						
		33.5			34						

注：Ra 系列中的黑体字，为 R 系列相应各项优先数的化整值。

济效益。通过它应用极限偏差可算出极限尺寸，孔与轴配合的公称尺寸是相同的。

② 实际（组成）要素 由接近实际（组成）要素所限定的工件实际表面的组成要素部分。由于在测量过程中，不可避免地存在测量误差（测量误差的产生受测量仪器的精度、环境条件及操作水平等因素的影响），同一零件的相同部位用同一量具重复测量多次，其测量的实际（组成）要素的尺寸也不完全相同。因此实际（组成）要素的尺寸并非尺寸的真值。另外，由于零件形状误差的影响，同一截面内不同部位的实际（组成）要素的尺寸也不一定相同，在同一截面不同方向上的实际（组成）要素的尺寸也可能不相同，如图 1-1 所示。

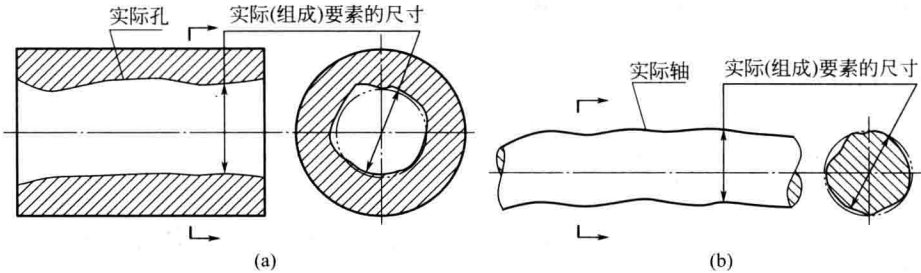


图 1-1 实际（组成）要素

③ 提取组成要素 按规定方法，由实际（组成）要素提取有限数目的点形成实际（组成）要素的近似替代。对于一个孔或轴的任意横截面中的任一距离，也即一切提取组成要素上两相对点之间的距离称为提取组成要素的局部尺寸。换言之，用两点法（如用卡尺或千分尺测量）所得到的尺寸为提取组成要素的局部尺寸，如图 1-2 中任一尺寸。

④ 极限尺寸 由一定大小的线性尺寸或角度尺寸确定的几何形状称为尺寸要素。尺寸要素允许的尺寸的两个极端称为极限尺寸。也即，尺寸要素允许的最大尺寸，称为上极限尺

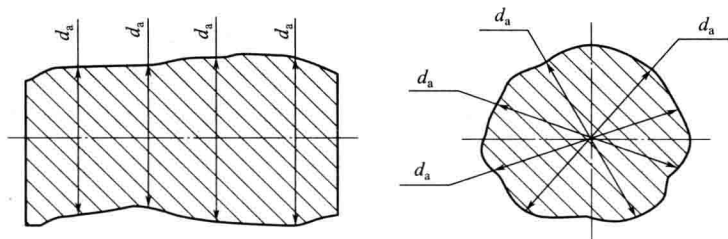


图 1-2 提取组成要素的局部尺寸

寸, 孔、轴分别用 $D_{\max}$ 和 $d_{\max}$ 来表示; 而尺寸要素允许的最小尺寸, 称为下极限尺寸, 孔、轴分别用 $D_{\min}$ 和 $d_{\min}$ 来表示。极限尺寸是以公称尺寸为基数来确定的。提取组成要素的局部尺寸应位于其中, 也可达到极限尺寸。实际 (组成) 要素必须位于其中, 也可达到极限尺寸。若完工的零件测量时, 任一位置的实际 (组成) 要素的尺寸都在此范围内, 即实际 (组成) 要素的尺寸小于或等于上极限尺寸, 大于或等于下极限尺寸的零件为合格。

1.1.2 有关公差与偏差的术语及定义 (GB/T 1800.1—2009)

(1) 尺寸偏差 (简称偏差)

尺寸偏差是指某一尺寸 [实际 (组成) 要素的尺寸、极限尺寸等] 减其公称尺寸所得的代数差, 它包括极限偏差 (上极限偏差、下极限偏差) 和实际偏差。

上极限偏差为上极限尺寸减其公称尺寸所得的代数差 (孔用 ES 表示, 轴用 es 表示)。即:

$$ES = D_{\max} - D \quad (1-1)$$

$$es = d_{\max} - d \quad (1-2)$$

下极限偏差为下极限尺寸减其公称尺寸所得的代数差 (孔用 EI 表示, 轴用 ei 表示)。即:

$$EI = D_{\min} - D \quad (1-3)$$

$$ei = d_{\min} - d \quad (1-4)$$

实际偏差是指实际 (组成) 要素的尺寸减去公称尺寸所得的代数差。

由于实际 (组成) 要素的尺寸和极限尺寸可能大于、小于或等于公称尺寸, 故尺寸偏差可以是正、负或零。

(2) 尺寸公差 (简称公差)

尺寸公差是允许尺寸的变动量。它等于上极限尺寸减下极限尺寸之差, 或上极限偏差减下极限偏差之差。它是一个没有符号的绝对值 (孔用 T_h 表示, 轴用 T_s 表示), 即:

$$T_h = |D_{\max} - D_{\min}| = |ES - EI| \quad (1-5)$$

$$T_s = |d_{\max} - d_{\min}| = |es - ei| \quad (1-6)$$

必须指出, 公差大小确定了允许尺寸变动范围的大小。若公差值大则允许尺寸变动的范围大, 因而要求加工精度低; 反之, 公差值小则允许尺寸变动的范围小, 因而要求加工精度高。

以上所述公称尺寸、极限尺寸、极限偏差和公差之间的关系见图 1-3 所示。

(3) 零线与公差带

① 零线 在极限与配合图解中, 如图 1-3 所示, 零线是表示公称尺寸的一条直线, 以其为基准来确定偏差和公差。极限偏差位于零线的上方, 则表示偏差为正; 位于零线的下方, 则表示偏差为负; 当与零线重合时, 表示偏差为零。

② 公差带 表示零件的尺寸相对其公称尺寸所允许变动的范围, 叫做公差带。用图所表示的公差带, 称为公差带图, 如图 1-4 所示。在公差带图解中, 公差带是由代表上极限偏

差和下极限偏差或上极限尺寸和下极限尺寸的两条直线所限定的一个区域。它由公差大小（由标准公差等级来确定）和其相对零线的位置，即基本偏差来确定。

基本偏差是在国家标准极限与配合制中，确定公差带相对零线位置的那个极限偏差。它可以是上极限偏差或下极限偏差，一般为靠近零线的那个偏差，如图 1-4 所示，孔的基本偏差为下极限偏差，而轴的基本偏差为上极限偏差。

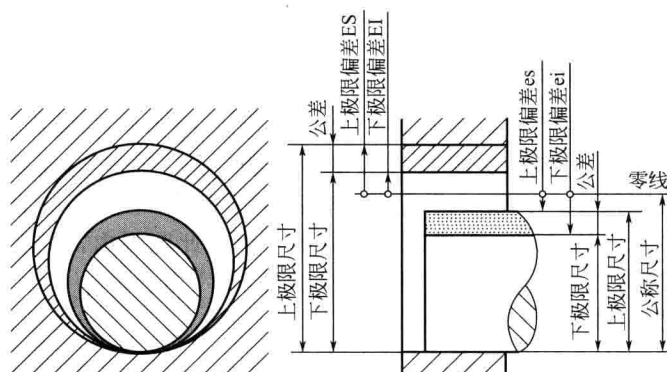


图 1-3 轴与孔配合示意图

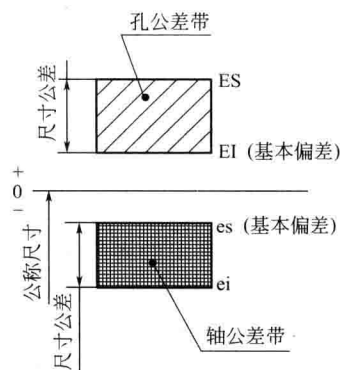


图 1-4 公差带图解

(4) 公差与偏差的区别

通过以上讨论分析可见公差与偏差有两点区别：

① 从概念上讲，极限偏差是相对于公称尺寸偏离大小的数值，即是确定了极限尺寸相对公称尺寸的位置，它是限制实际偏差的变动范围。而公差仅表示极限尺寸变动范围的一个数值。

② 从作用上讲，极限偏差表示了公差带的确切位置，可反映零件配合的松紧程度。而公差只表示公差带的大小，反映了零件的配合精度。

1.1.3 有关“配合”的术语及定义（GB/T 1800.1—2009）

所谓配合是指公称尺寸相同，相互结合的孔与轴公差带之间的关系。

(1) 间隙或过盈

孔的尺寸减去相配合轴的尺寸所得的代数之差。此差值为正时是间隙，用大写字母 X 表示；为负时是过盈，用大写字母 Y 表示。

(2) 配合的种类

国家标准根据零件配合的松紧程度的不同要求，即孔和轴公差带之间的关系不同，将配合分为三大类：间隙配合、过盈配合和过渡配合。

在机器中，由于零件的作用和工作情况不同，故相结合两零件的配合性质（即装配后相互配合零件之间配合的松紧程度）也不一样，如图 1-5 所示三个滑动轴承，图 1-5(a) 所示为轴直接装入座孔中，要求自由转动且不打晃；图 1-5(c) 所示要求衬套装在座孔中要紧固，不得松动；图 1-5(b) 所示衬套装在座孔中，虽也要紧固，但要求容易装入，且要求比图 1-5(c) 的配合要松一些。

① 间隙配合 间隙配合是指具有间隙（包括最小间隙等于零）的配合。此时，孔的公差带在轴的公差带之上，如图 1-6 所示。由于孔和轴在各自的公差带内变动，因此装配后每对孔、轴间的间隙也是变动的。当孔制成上极限尺寸、轴制成下极限尺寸时，装配后得到最大间隙，用 $X_{\max}$ 表示；当孔制成下极限尺寸、轴制成上极限尺寸时，装配后得到最小间隙，用 $X_{\min}$ 表示。即：

$$X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei \quad (1-7)$$