



普通高等教育“十二五”机电类规划教材



互换性与测量技术基础 ((第2版))

庞学慧 主编

武文革 崔宝珍 副主编

精品课程配套教材

采用国家最新标准

配套习题、答案、课件等教学资源

• 教学资源请登录华信教育资源网 (www.hxedu.com.cn) 免费获取



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十二五”机电类规划教材

互换性与测量技术基础

(第2版)

庞学慧 主 编

武文革 崔宝珍 副主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

内 容 简 介

本书全面采用最新的国家标准,并以国家标准为指南,充实理论,加强应用,既满足本、专科教学的基本要求,又适于作为工程技术参考书自学。

全书共分 12 章。除包括绪论、极限与配合及圆柱结合的互换性、测量技术基础、几何公差、表面结构、光滑工件尺寸的检验、滚动轴承的互换性、常用结合件(含键、圆锥、螺纹)的互换性与检测、渐开线圆柱齿轮传动的互换性、尺寸链等 10 章基本内容外,考虑到公差设计与现代测量技术的最新发展,以及拓展读者的视野,并照顾到各层次读者的需要,又增加了计算机辅助公差设计和三坐标测量机简介等两章内容。前 10 章均附有习题和思考题。

本书可供高等院校机械类、仪器仪表及机械电子类专业的师生使用,也可作为工具书供从事机械设计、机械制造、标准化与计量等工作的工程技术人员参考使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

互换性与测量技术基础 / 庞学慧主编. —2 版. —北京: 电子工业出版社, 2015.5

普通高等教育“十二五”机电类规划教材

ISBN 978-7-121-26013-1

I. ①互… II. ①庞… 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 097183 号

策划编辑: 李 洁

责任编辑: 康 霞

印 刷: 北京京科印刷有限公司

装 订: 北京京科印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 17.5 字数: 448 千字

版 次: 2009 年 7 月第 1 版

2015 年 5 月第 2 版

印 次: 2015 年 5 月第 1 次印刷

定 价: 45.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

第二版前言

<<<<< The second edition preface

本书作为教材已使用了五年多的时间。在这五年多的时间里，原作者们在辛勤的科研和教学工作之余，不断地总结和提炼，逐渐发现了书中的一些不足之处；承蒙广大高校教师及同学的厚爱，在使用本书的过程中，也给我们提出了许多很好的修改意见和建议。另外，五年多的时间里，产品几何技术规范（GPS）的理论不断发展，我国也推出了许多新的国家标准、行业标准和计量技术规范。各种因素促成了我们对本书的修订。

首先是与第一版的各位作者进行了认真的讨论，提出了修订计划和建议，梳理了书中的错误及不当之处，对晦涩难懂的论述及可能的内容增减进行了具体研究。其次，进行了修订任务的分工和分解，以庞学慧、武文革、崔宝珍三人为主，具体分工是：中北大学的庞学慧负责第1~3章及第9、10章的修订，武文革负责第4章的修订，崔宝珍负责第6~8章的修订并重新编写了第5章，太原科技大学化学与生物工程学院的王强老师负责第11、12章的修订。另外，中北大学的赵丽琴老师参与了第4、9章的部分修订工作。全书由庞学慧负责最终定稿。

本书配有 PPT 课件，如有需要请登录电子工业出版社华信教育资源网（www.hxedu.com.cn）注册后免费下载。限于作者的水平，书中不免会存在不妥甚至错误，恳请读者予以批评指正。修改意见和建议请发至电子邮箱：pang_x_h@163.com，作者将不胜感激。

编者

2015年1月

第一版前言

《《《《 The first edition preface

《互换性与测量技术基础》是高等工科院校机械类、仪器仪表及机械电子类专业的一门重要的技术基础课。其内容涵盖了实现互换性生产的标准化领域和计量学领域的有关知识,涉及机械与电子产品的设计、制造、质量控制、生产组织管理等许多方面,是“联系设计类课程与制造类课程的纽带,是从基础课向专业课过渡的桥梁”。

随着科学研究与技术创新的不断推进,新一代产品几何技术规范(Geometrical Product Specification and Verification, GPS)已基本建立,它以几何学理论为基础,覆盖从宏观到微观的产品几何特征,涉及产品开发、设计、制造、验收、使用以及维修、报废等产品生命周期的全过程。新一代GPS标准体系是对传统公差设计和控制思想的一次大的变革,是集产品规范与认证于一体的信息时代的新型标准体系,它标志着标准和计量进入了一个新的时代。基于对新一代GPS标准体系的认同,我国近些年来加快了国家标准的修订工作。为了更好地与国际接轨,国家标准一般都等效采用国际标准。本书的编写,遵循新一代GPS的思想,以最新国家标准为指南,既保证书中内容的新鲜和权威,又充分照顾到新旧国家标准的衔接。

由于目前教学时数普遍压缩,编写过程中,力求基本概念清楚、准确,标准化与测量部分内容精练。对实验课将涉及的测量仪器原理、结构及使用方法等内容未作编写。考虑到公差设计与现代测量技术的飞速发展,以及为使学生将来更好地从事科学研究和工程技术工作,特增加了“计算机辅助公差设计”和“三坐标测量机简介”两章。

本书由庞学慧、武文革共同策划和担任主编。其中,第1、2章由吴淑芳编写,第3、10章由郑智贞编写,第4章4.3节和4.4节及第9章由范国勇编写,第5、6、7章由崔宝珍编写,第8、11、12章由成云平编写。此外,庞学慧还编写了第4章的4.1节和4.2节,以及第1~5章的初稿;武文革编写了第4章五、六节,以及第6~10章的初稿。全书由庞学慧负责统稿。

限于编者的水平和编写时间的紧迫,书中难免存在不妥甚至错误之处,恳请广大读者予以批评和指正。

编者

2009年4月

目录

CONTENTS

第 1 章 绪论

1.1 互换性概述	1	1.2.2 优先数系和优先数	3
1.1.1 互换性的含义	1	1.3 产品几何技术规范 (GPS) 简介	5
1.1.2 互换性的分类	1	1.3.1 GPS 概述	5
1.1.3 互换性的作用	2	1.3.2 GPS 的体系结构	6
1.2 标准化与优先数	2	习题	7
1.2.1 标准化概述	2		

第 2 章 极限与配合及圆柱结合的互换性

2.1 概述	8	2.4.2 轴基本偏差的标准化	17
2.2 极限与配合的基本术语及定义	8	2.4.3 孔的基本偏差	18
2.2.1 孔和轴	8	2.5 常用尺寸段公差带与配合的标准化	24
2.2.2 尺寸	9	2.6 线性尺寸的未注公差	26
2.2.3 偏差与公差	10	2.6.1 一般公差的概念	26
2.2.4 配合与基准制	11	2.6.2 一般公差的公差等级和极限偏差	27
2.3 标准公差系列	14	2.7 公差与配合的选用	27
2.3.1 标准公差因子 i	14	2.7.1 基准制的选用	28
2.3.2 公差等级	14	2.7.2 公差等级的选用	29
2.3.3 基本尺寸分段	15	2.7.3 配合的选用	30
2.4 基本偏差系列	16	习题	33
2.4.1 基本偏差及其代号	16	思考题	34

第 3 章 测量技术基础

3.1 概述	35	3.3.2 测量精度	45
3.1.1 技术测量概念	35	3.3.3 随机误差	46
3.1.2 尺寸传递	36	3.3.4 系统误差	49
3.2 测量器具与测量方法的分类及常用术语	40	3.3.5 函数误差	49
3.2.1 测量器具的分类	40	3.4 测量误差产生的原因及测量的基本原则	51
3.2.2 测量方法的分类	41	3.4.1 测量误差产生的原因	51
3.2.3 测量器具与测量方法的常用术语	42	3.4.2 测量技术中的基本原则	51
3.3 测量误差与数据处理	44	习题	52
3.3.1 测量误差的基本概念	44	思考题	53

第4章 几何公差

4.1 几何公差分类及常用术语	54	4.3.2 线轮廓度公差与面轮廓度公差及公差带	69
4.1.1 几何公差分类	54	4.3.3 方向公差及公差带	71
4.1.2 几何要素	55	4.3.4 位置公差及公差带	76
4.1.3 公差带	56	4.3.5 跳动公差及公差带	81
4.1.4 基准	58	4.4 公差原则	84
4.1.5 理论正确尺寸	58	4.4.1 与公差原则有关的术语和定义	84
4.2 几何公差的标注	59	4.4.2 公差原则	86
4.2.1 几何公差标注附加符号	59	4.5 几何公差的选用	91
4.2.2 公差框格	59	4.5.1 几何公差项目的选择	91
4.2.3 被测要素的标注	60	4.5.2 几何公差值的选择	93
4.2.4 公差带的标注	61	4.5.3 未注几何公差	96
4.2.5 基准的标注	63	4.5.4 几何公差应用举例	98
4.2.6 附加标注	64	4.6 几何误差的检测	99
4.2.7 限定性规定	64	4.6.1 几何误差及其评定	99
4.2.8 延伸公差带	65	4.6.2 基准的建立和体现	102
4.2.9 最大实体要求和最小实体要求	65	4.6.3 几何误差的检测原则	107
4.2.10 自由状态下的要求	66	4.6.4 举例	109
4.3 几何公差及公差带	67	习题	113
4.3.1 形状公差及公差带	67	思考题	115

第5章 表面结构

5.1 概述	117	5.3.2 加工方法与表面波纹度的关系	126
5.1.1 表面结构基本术语及定义	117	5.4 表面结构的标注	127
5.1.2 表面结构几何参数术语及定义	119	5.4.1 表面结构的图形符号	127
5.1.3 表面轮廓评定参数	120	5.4.2 表面结构完整图形符号的组成	128
5.2 表面粗糙度	122	5.4.3 表面结构要求在图样和其他技术产品文件中的标注	130
5.2.1 表面粗糙度评定参数的数值规定	122	5.5 表面缺陷	132
5.2.2 表面粗糙度评定参数的选用	124	5.5.1 表面缺陷的一般术语与定义	132
5.2.3 表面粗糙度评定参数值的选用原则	124	5.5.2 表面缺陷的特征及参数	133
5.3 表面波纹度	125	5.5.3 表面缺陷的类型	134
5.3.1 表面波纹度评定参数及其数值规定	125	习题	136
		思考题	137

第6章 光滑工件尺寸的检验

6.1 尺寸误检的基本概念	138	6.2.1 验收极限	138
6.2 用普通计量器具测量工件	138	6.2.2 计量器具的选择	140

6.3 光滑极限量规	142	6.3.3 量规设计	144
6.3.1 概述	142	习题	147
6.3.2 量规公差带	143	思考题	147

第7章 滚动轴承的互换性

7.1 概述	148	7.4.2 轴承配合的选择	153
7.2 滚动轴承的公差等级	148	7.4.3 配合表面的几何公差与表面粗糙度	156
7.3 滚动轴承内外径公差带及其特点	151	习题	158
7.4 滚动轴承与轴、壳体的配合及选用	152	思考题	159
7.4.1 轴和壳体的尺寸公差带	152		

第8章 常用结合件的互换性与检测

8.1 键结合的公差配合与检测	160	8.3.2 螺纹的基本牙型及主要几何参数	179
8.1.1 平键联结的公差配合与检测	160	8.3.3 螺纹几何参数的公差原则应用	181
8.1.2 矩形花键联结公差配合与检测	163	8.3.4 普通螺纹的公差、配合及其选用	181
8.2 圆锥结合的公差配合与检测	166	8.3.5 机床丝杠、螺母公差	188
8.2.1 锥度与锥角	167	8.3.6 螺纹的检测	194
8.2.2 圆锥公差	169	习题	196
8.2.3 圆锥配合	174	思考题	196
8.2.4 圆锥的检测	176		
8.3 螺纹结合的公差配合与检测	178		
8.3.1 螺纹的分类及使用要求	178		

第9章 渐开线圆柱齿轮传动的互换性

9.1 概述	198	9.3 齿轮副的安装精度与侧隙	206
9.1.1 齿轮传动的精度要求	198	9.3.1 齿轮副的安装精度	206
9.1.2 齿轮的加工误差分析	198	9.3.2 齿轮副的配合	208
9.2 齿轮精度	200	9.4 渐开线圆柱齿轮精度标准及应用	210
9.2.1 齿距精度	200	9.4.1 渐开线圆柱齿轮的精度标准	210
9.2.2 齿廓精度	201	9.4.2 渐开线圆柱齿轮的精度设计及图样标注	224
9.2.3 齿向精度	202	习题	226
9.2.4 综合精度	204		

第10章 尺寸链

10.1 尺寸链的基本概念	228	10.2.3 尺寸链的计算	231
10.2 尺寸链的建立和计算	230	10.3 保证装配精度的其他方法	238
10.2.1 装配尺寸链的建立	230	习题	239
10.2.2 工艺尺寸链的建立	231		

第11章 计算机辅助公差设计

11.1 概述	242	11.1.1 计算机辅助公差设计的意义	242
---------	-----	---------------------	-----

11.1.2	计算机辅助公差设计的发展	242	11.2.1	公差信息的表示	245
11.1.3	计算机辅助公差设计的基本概念	243	11.2.2	公差并行设计	247
11.1.4	计算机辅助公差设计的分类	244	11.2.3	工序公差设计	250
11.2	计算机辅助公差设计理论	245	11.2.4	其他的公差设计理论	253

第 12 章 三坐标测量机简介

12.1	概述	255	12.3	三坐标测量机的测头	263
12.1.1	三维测量的作用与意义	255	12.3.1	测头的功用与类型	263
12.1.2	三坐标测量机的组成	255	12.3.2	机械式测头	264
12.1.3	三坐标测量机的分类	257	12.3.3	光学非接触测头	264
12.2	三坐标测量机的主机	258	12.3.4	电气测头	265
12.2.1	三坐标测量机的主体结构	258	12.4	三坐标测量机的软件	266
12.2.2	三坐标测量机的标尺系统	261	12.4.1	三坐标测量软件的分类	266
12.2.3	三坐标测量机的其他机构与部件	262	12.4.2	几个重要概念	266
			12.5	三坐标测量机的应用	269

参考文献

第 4 章 绪论

1.1 互换性概述

1.1.1 互换性的含义

许多产品如汽车、自行车、钟表、机器设备等的零件坏了以后，我们常常会购买一个新的，在更换与装配后，通常都能很好地满足使用要求。之所以能这样方便，就是因为这些零件都具有互换性。

要使零件具有互换性，不仅要求决定零件特性的那些技术参数的公称值相同，而且要求将其实际值的变动限制在一定范围内，以保证零件充分近似，即应按“公差”来制造。公差即允许实际参数值的最大变动范围。

由此可将互换性（interchangeability）的含义阐述如下：“机械制造中的互换性，是指按规定的几何、物理及其他质量参数的公差，来分别制造机械的各个组成部分，使其在装配与更换时，不需辅助加工及修配便能很好地满足使用和生产上的要求”。

1.1.2 互换性的分类

（1）几何参数互换性与功能互换性

按决定参数或使用要求，互换性可分为几何参数互换性与功能互换性。

几何参数互换性——规定几何参数的公差以保证合格零件的几何参数充分近似所达到的互换性。此为狭义互换性，即通常所讲的互换性，有时也局限于保证零件尺寸配合要求的互换性。

功能互换性——规定功能参数的公差所达到的互换性。功能参数当然包括几何参数，但还包括其他一些参数，如材料机械性能参数，化学、光学、电学、流体力学等参数。此为广义互换性，往往着重于保证除尺寸配合要求以外的其他功能要求。

（2）完全互换与不完全互换

按互换程度，互换性可分为完全互换与不完全互换。

若零部件在装配或更换时，不需辅助加工与修配，并且不需选择，则为完全互换。当装配精度要求很高时，采用完全互换将使零件尺寸公差很小，加工困难甚至无法加工。对批量较大的零件，这时可将其制造公差适当放大，待加工完毕后，通过测量将零件按实际尺寸大小分为若干组，使同组零件间的差别减小，按组进行装配。这种仅组内零件可以互换，组与组之间不可互换，称为不完全互换。一般而言，不完全互换只限于部件或机构制造厂内部的装配。至于厂外协作，即使产量不大，往往也要求完全互换。

（3）外互换与内互换

对标准件或机构来说，互换性可分为外互换与内互换。

外互换——指部件或机构与其相配件间的互换性，如滚动轴承与相配的轴颈、轴承座孔的配合。外互换应为完全互换。

内互换——指部件或机构内部组成零件间的互换性，如滚动轴承内圈、外圈、滚动体等件的配合。内互换可以是完全互换，也可以是不完全互换。

1.1.3 互换性的作用

从使用看，若零件具有互换性，则在磨损或损坏后，可用新的备件代替。由于备件具有互换性，不仅维修方便，而且使机器的修理时间和费用显著减少，可保证机器工作的连续性和持久性，从而显著提高机器的使用价值。在一些特殊行业，如发电厂、通信系统，其设备零部件具有互换性所起的作用，往往很难用经济价值来衡量。对于兵器这样的特殊器械，保证零部件的互换性也是绝对必要的。

从制造看，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，不需辅助加工和修配，这能减轻装配工的劳动量，缩短装配周期，并且可以使装配工作按流水作业的方式进行，以至进行自动装配，从而使装配生产率大大提高。加工时，由于规定有公差，同一部机器上的各个零件可以同时分别加工。批量、大规模生产的零件还可由专门车间或工厂，采用高效率的专用设备加工。这样，产量和质量必然会得到提高，成本也会显著降低。

从设计看，由于采用按互换性原则设计和生产的标准零件和部件，可简化绘图、计算等工作，缩短设计周期，并提高设计的可靠性。这对发展系列产品和促进产品结构、性能的不断改进，都有重大的作用。

总之，在机械制造中遵循互换性原则，不仅能显著提高劳动生产率，而且能有效保证产品质量和降低成本。所以，互换性是机械制造中的重要生产原则与有效技术措施。

1.2 标准化与优先数

1.2.1 标准化概述

在机械制造中，标准化（Standardization）是广泛实现互换性生产的前提，而极限与配合等互换性标准是重要的基础标准。

从概念讲，标准化是指制订、贯彻技术标准，以促进全面发展的整个过程。技术标准（简称标准）是从事生产、建设工作以及商品流通等的一种共同技术依据，它以生产实践、科学试验及可靠经验为基础，由有关方面协调制订，经一定程序批准后，在一定范围内具有约束力。

标准可以按不同级别颁布。我国技术标准分为国家标准、部标准（专业标准）和企业标准三级。从世界范围看，还有国际标准与区域性标准。近十几年来，为了适应技术科学与工程的快速发展，我国国家标准更新很快，同时为了便于和国际接轨，新的国家标准基本都是等效采用国际标准的。

从内容讲，标准化的范围极其广泛，几乎涉及人类生活的各个方面。因此，技术标准种类繁多。按照标准化对象的特征，技术标准大致可归纳为以下几类：

(1) 基础技术标准

基础技术标准是以标准化共性要求和前提条件为对象的标准。包括计量单位、术语、符号、优先数系、机械制图、极限与配合、零件结构要素等标准，例如：

中华人民共和国国家标准 国际单位制及其应用 GB 3100—93；

中华人民共和国国家标准 技术制图 通用术语 GB/T 13361—2012；

中华人民共和国国家标准 焊缝符号表示法 GB/T 324—2008。

(2) 产品标准

产品标准以产品及其构成部分为对象的标准。包括机电设备、仪器仪表、工艺装备、零部件、毛坯、半成品及原材料等基本产品或辅助产品的标准等。产品标准包括产品品种系列标准和产品质量标准，例如：

中华人民共和国机械行业标准 数控卧式车床 系列型谱 JB/T 4368.1—1996；

中华人民共和国国家标准 旋转电机结构及安装形式（IM 代号） GB/T 997—2003；

中华人民共和国国家标准 交流电梯电动机通用技术条件 GB/T 12974—2012。

(3) 方法标准

方法标准是以生产技术活动中的重要程序、规划、方法为对象的标准。包括设计计算方法、工艺规程、测试方法、验收规则及包装运输方法等标准，例如：

中华人民共和国国家标准 圆柱螺旋弹簧设计计算 GB/T 23935—2009；

中华人民共和国国家标准 数控车床和车削中心检验条件 第1部分：卧式机床几何精度检验 GB/T 16462.1—2007；

中华人民共和国国家标准 仪器仪表包装通用技术条件 GBT 15464—1995。

(4) 安全与环境保护标准

安全与环境保护标准是专门为了安全与环境保护目的而制定的标准。例如：

中华人民共和国国家标准 工业企业厂界环境噪声排放标准 GB12348—2008；

中华人民共和国国家标准 金属切削机床 安全防护通用技术条件 GB15760—2004。

从作用讲，标准化的影响是多方面的。标准化是组织现代化大生产的重要手段，是实现专业化协作生产的必要前提，是科学管理的重要组成部分。标准化同时是联系科研、设计、生产、流通和使用等方面的技术纽带，是使整个社会经济合理化的技术基础。标准化也是发展贸易，提高产品在国际市场上竞争能力的技术保证。

1.2.2 优先数系和优先数

工程上各种技术参数的协调、简化和统一，是标准化的重要内容。

在生产中，当选定一个数值作为某种产品的参数指标时，这个数值就会按照一定的规律向一切相关的制品、材料等的有关参数指标传播扩散。例如电动机的功率和转速的数值确定后，不仅会传播到有关机器的相应参数上，而且必然会传播到其本身的轴、轴承、键、齿轮、联轴节等一整套零部件的尺寸和材料特性参数上，并将传播到加工和检验这些零部件的刀具、量具、夹具及专用机床等的相应参数上。因此，对于各种技术参数，必须从全局出发加以协调。另外，从方便设计、制造、管理、使用和维修等来考虑，对技术参数的数值，也应进行适当的简化和统一。

优先数系和优先数就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) 优先数系和优先数的定义

1) 优先数系 (Series of preferred numbers), 即公比为 $\sqrt[5]{10}$ 、 $\sqrt[10]{10}$ 、 $\sqrt[20]{10}$ 、 $\sqrt[40]{10}$ 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。优先数系可向两个方向无限延伸, 表 1-1 仅为基本系列 1~10 范围的圆整值。

2) 优先数 (Preferred numbers), 符合 R5, R10, R20, R40 和 R80 系列的圆整值即为优先数。优先数有理论值、计算值、常用值和圆整值之分。

优先数的理论值一般是无理数, 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, 即对理论值取五位有效数字。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%~-1.01% 范围内。各系列的公比分别为:

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

R10 系列 公比 $q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$;

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

R40 系列 公比 $q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06$ 。

工程应用中, 一般机械产品的主要参数通常采用 R5 系列和 R10 系列, 专用工具的主要尺寸采用 R10 系列。

3) 优先数系的派生系列, 当优先数系的基本系列无一能满足分级要求时, 还会用到派生系列。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:

$$q_{r/p} = q_r^p = (\sqrt[r]{10})^p = 10^{p/r}$$

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 R10/3 的公比 $q_{10/3} = 10^{3/10} \approx 2$, 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

表 1-1 优先数系的基本系列 (常用值)

R5	R10	R20	R40	R5	R10	R20	R40	R5	R10	R20	R40
1.00	1.00	1.00	1.00			2.24	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	2.80	6.30	6.30	6.30	6.30
			1.32				3.00				6.70
		1.40	1.40		3.15	3.15	3.15			7.10	7.10
			1.50				3.35				7.50
1.60	1.60	1.60	1.60			3.55	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	4.50	10.00	10.00	10.00	10.00
			2.12				4.75				

移位系列也是一种派生系列，它的公比与某一基本系列相同，但项值与该基本系列不同。例如，项值从 25.0 开始的 R80/8 系列，是项值从 25.0 开始的 R10 系列的移位系列。

设计中，在所有需要数值分级的场合，首先是按一个或几个数系对特征值的分级标准化，以最少项数满足全部要求。优先数系则正好符合这些要求。优先数与优先数系的主要优点如下：

- ① 相临两项的相对差均匀，疏密适中，而且计算方便，容易记忆。
- ② 在同一系列中优先数的积、商、整数（正或负）次乘方仍为优先数。
- ③ 包含任一项值的全部十进倍数和十进分数。
- ④ 可以向大、小数值两端无限延伸。

(2) 优先数系和优先数的应用

鉴于优先数系和优先数会给机械设计、制造过程带来许多便利，与国家标准《优先数和优先数系》（GB/T 321—2005）同时，又颁布了《优先数和优先数系的应用指南》（GB/T 19763—2005）和《优先数和优先数化整值系列的选用指南》（GB/T 19764—2005）两项国家标准。

制订参数分级方案时，系列值的选择取决于对制造、使用综合考虑的技术与经济的合理性。对于参数系列化尚无明确要求的单个参数值，也应采用优先数，随着生产的发展逐步形成有规律的系列。

在确定自变量参数（即项值的选择不受已有标准或配套产品等因素限制的参数）的系列方案时，只要能满足技术与经济上的要求，应当按照 R5, R10, R20, R40 的顺序，优先选用公比较大的基本系列。以后如有必要，可插入中间值变成公比较小的系列。

当基本系列的公比不能满足分级要求时，可选用派生系列。选用时应优先采用公比较大和延伸项中含有项值 1 的派生系列。移位系列只宜用于因变量参数的系列。

当参数系列的延伸范围很大，从制造和使用的经济性考虑，在不同的参数区间需要采用公比不同的系列时，可分段选用最适宜的基本系列或派生系列，以构成复合系列。

1.3 产品几何技术规范（GPS）简介

1.3.1 GPS 概述

产品几何技术规范（Geometrical Product Specification and Verification, GPS）是一套关于产品几何参数完整的技术标准体系，它覆盖了工件尺度、几何形状、位置关系及表面形貌等各个方面，贯穿于产品的研究、设计、制造、验收、使用及维修等全过程。

第一代的产品几何技术规范是以几何学为基础的标准，包括尺寸公差、形状和位置公差、表面粗糙度、测量仪器、测量器具、测量不确定度等标准，是由原 ISO/TC3（极限与配合，尺寸公差及相关检测）、ISO/TC10/SC5（几何公差与相关检测）和 ISO/TC57（表面纹理与相关检测）三个技术委员会各自独立制定的。三者间出现了重复、空缺和不足，产生了术语定义、基本规则及综合要求的差异和矛盾，使得标准之间出现众多不衔接和矛盾之处。同时，基于几何学的标准体系，虽然为几何产品的设计、制造及检验提供了技术规范，但因其局限于描述理想几何形状的工件，没有考虑几何规范与产品功能要求的联系，缺乏表达各种功能和控制要求的图形语言，不能充分精确地表述对几何特征误差控制的要求，从而造成功能要求失控；在设计规范中没有给出测量评定方法，检验过程缺乏误差控制的设计信息，使得产品合格评定缺乏唯一的准则，从而造成测量评估失控，导致产品质量评定的纠纷。

1996年6月，ISO技术管理局（ISO/TMB）成立了新的技术委员会ISO/TC213，全面负责构建一个新的、完整的产品几何技术规范国际标准体系，即新一代GPS标准体系。新一代GPS以数学作为基础语言结构，以计量数学为根基，给出产品功能、技术规范、制造与检验之间的量值传递的数学方法，它蕴涵了工业化大生产的基本特征，反映了技术发展的内在需要，为产品技术评估提供了“通用语言”，为设计、制造、产品开发及计量检验人员建立了一个交流的平台。

新一代GPS是引领世界制造业前进方向的、基础性的新型国际标准体系，是实现数字化制造和发展先进制造技术的关键。这一标准体系与现代设计制造技术相结合，是对传统公差设计和检验的一次大的变革。GPS的发展与应用有多种原因，最根本的是使产品的一些基本性能得到了保证，体现在产品的功能性、安全性、独立性及互换性等方面。

GPS的应用不仅局限于工业领域，它早已渗透到了商业领域及国民经济的各个部门。随着制造与经济的全球化，基于“标准和计量”的新一代GPS标准体系的重要作用日益得到国际社会的认同，其发展和应用水平，不但影响一个国家的经济发展，而且对一个国家的科学技术和制造水平有着决定性的作用。

1.3.2 GPS的体系结构

ISO/TR 14638给出了新一代GPS体系的总体结构，如图1-1所示。它包括四种类型的GPS标准，分别是全局、基础、通用和补充GPS标准，大约由200多个ISO、ISO/TR及ISO/TS文件组成。

全局GPS标准 (The Global GPS Standards)								
链环号	1	2	3	4	5	6	7	
	产品图样表达	公差的定义	实际要素特征的定义	工件误差的评判—与规定极限的比较	要素的特征计量值的提取	计量设备要求	计量设备的标定标准	
1	尺寸							
2	距离							
3	半径							
4	角度							
5	与基准无关的线的形状							
6	与基准有关的线的形状							
7	与基准无关的面的形状							
8	与基准有关的面形状							
9	方向							
10	位置							
11	圆跳动							
12	全跳动							
13	基准							
14	轮廓粗糙度							
15	轮廓波纹度							
16	基本轮廓							
17	表面缺陷							
18	边沿							
补充GPS标准 (The Complementary GPS Standards)								

图 1-1 GPS 的总体结构

GPS 体系结构中,通用 GPS 标准 (General GPS Standards) 是主体,用来确定零件的不同几何特性在图样上表示的规则、定义和检验原则等标准。通用 GPS 标准构成了一个 GPS 矩阵,其中“行”是不同几何要素的分类,“列”是标准与计量。矩阵中每一行构成一个标准链,给出了从设计规范、检测技术到比对原则和量值溯源的标准关系。在通用 GPS 标准矩阵中包括 18 种几何要素,每种几何要素对应一个标准链,每个标准链由七个环组成,每个环中至少包含一个标准,它们之间相互关联,并影响着其他环节的标准。

目前,我国新修订的 GPS 国家标准,基本都采用了 ISO 标准。但是,标准化是一个复杂的系统工程,正处在不断地研究、发展和完善的过程。本教材所介绍的内容,仅仅是 GPS 的初级知识。

习题

1. 简述互换性的基本含义。按互换性组织生产活动有哪些优越性?
2. 完全互换性与不完全互换性有何区别?各用于何种场合?
3. 标准的种类和级别各有哪些?
4. 写出下列优先数系列: R5, R20/3 (第一个项为 10, 写出后五项优先数)。
5. 下面两列数据属于哪种系列?公比为多少?
 - (1) 电动机转速: 375r/min, 750r/min, 1500r/min, 3000 r/min……
 - (2) 摇臂钻床的最大钻孔直径: 25mm, 40mm, 63mm, 80mm, 100mm, 125mm 等。

第 2 章 极限与配合及圆柱

结合的互换性

2.1 概述

圆柱结合是机械制造中应用最广泛的一种结合，由孔和轴构成。这种结合由结合直径与结合长度两个参数确定。从使用要求看，直径通常更重要，而且长径比可规定在一定范围内。因此，对圆柱结合可简化为按直径这一主参数考虑。

圆柱结合的公差制是机械工程方面重要的基础标准，包括极限制、配合制、检验制及量规制等。这种公差制不仅用于圆柱形内、外表面的结合，也适用于其他结合中由单一尺寸确定的部分，例如键结合中的键（槽）宽，花键结合中的外径、内径及键（槽）宽等。

“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。公差与配合的标准化有利于机器的设计、制造、使用和维修。

20 世纪 90 年代后期，我国将原国家标准“公差与配合”（GB/T 1800~1804—79）修订并更名为“极限与配合”（包括 GB/T 1800, GB/T 1801 和 GB/T 1803）。“极限与配合”的标准化，是使机械工业能广泛组织专业化集中生产和协作并实现互换性生产的一个基本条件，国际上公认它是特别重要的基础标准之一。

2.2 极限与配合的基本术语及定义

国家标准《极限与配合 基础 第 1 部分：词汇》（GB/T 1800.1—1997）规定的基本术语，适用于各技术标准、文件及科技出版物等。

2.2.1 孔和轴

1. 孔 (Hole)

通常指工件的圆柱形内表面，也包括非圆柱形内表面（由二平行平面或切面形成的包容面）。

2. 轴 (Shaft)

通常指工件的圆柱形外表面，也包括非圆柱形外表面（由二平行平面或切面形成的被包容面）。

孔和轴的显著区别主要在于，从加工方面看，孔是越加工越大，轴是越加工越小；从装配关系看，孔是包容面，轴是被包容面。在国家标准中，孔和轴不仅包括通常理解的圆柱形内、