



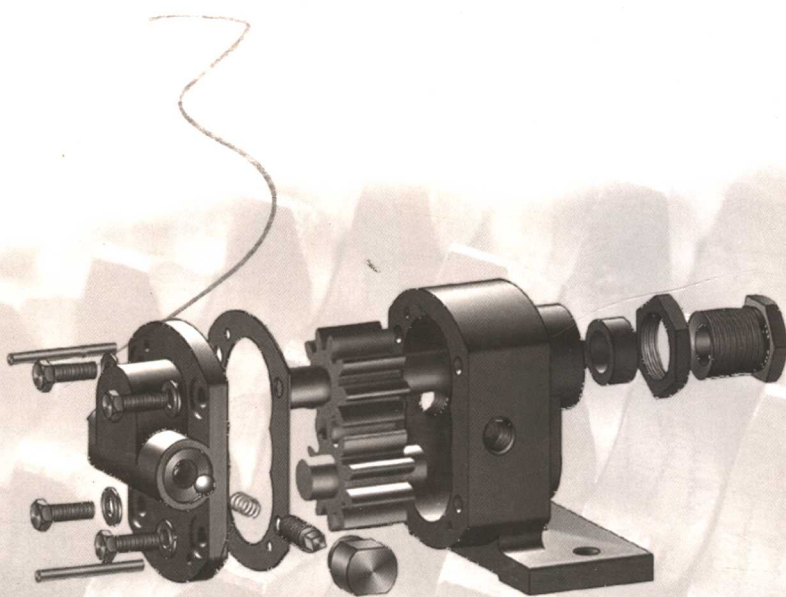
M e c h a n i c a l E n g i n e e r i n g

高等学校 **机械工程** 类规划教材

互换性与

徐学林 主编

测量技术基础



湖南大学出版社

高等学校机械工程类规划教材

互换性与测量技术基础

主 编 徐学林

副主编 李亚非 李鹏南 周光永 夏志华

主 审 杨沿平

湖南大学出版社

2005 年·长沙

内 容 简 介

本书主要针对机械类和近机械类相关专业培养计划中对机械基础课程体系改革的需要而编写的新教材之一。

它主要介绍了互换性的标准及标准化的概念和其在机械制造中的意义;介绍了精度设计和制造中必须掌握的极限与配合、形状和位置公差、表面精度要求以及齿轮、螺纹、键和花键、滚动轴承、圆锥结合等典型零件的精度内容及其配合要求;本书还介绍了几何参数检测的基本知识,误差处理的基本原理和方法以及各典型零件相关几何参数的基本检测原理和方法。

图书在版编目(CIP)数据

互换性与测量技术基础/徐学林主编. —长沙

湖南大学出版社, 2005. 8

(高等学校机械工程类规划教材)

ISBN 7-81053-981-7

I. 互... II. 徐... III. ①互换性—理论—高等学校—教材 ②技术

测量—高等学校—教材 IV. TG8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 089615 号

互换性与测量技术基础

Huhuanxing Yu Celiang Jishu Jichu

作 者: 徐学林 主编

责任编辑: 卢 宇

特约编辑: 陈冠初

装帧设计: 吴颖辉

出版发行: 湖南大学出版社

社 址: 湖南·长沙·岳麓山 邮 编: 410082

电 话: 0731-8821691(发行部), 8821315(编辑室), 8821006(出版部)

传 真: 0731-8649312(发行部), 8822264(总编室)

电子邮箱: press@hnu.net.cn

网 址: <http://press.hnu.net.cn>

印 装: 湖南省地质测绘印刷厂

总 经 销: 湖南省新华书店

开本: 787×1092 16 开 印张: 13

字数: 333 千

版次: 2005 年 8 月第 1 版 印次: 2005 年 8 月第 1 次印刷

印数: 1~4 000 册

书号: ISBN 7-81053-981-7/TH·14

定价: 24.00 元

版权所有, 盗版必究
湖南大学版图书凡有印装差错, 请与发行部联系

高等学校机械工程类规划教材

丛书编委会

主任委员 钟志华

副主任委员 (以姓氏笔画为序)

王艾伦 刘子建 苏旭平 张桂香 陈 循

编委会成员 (以姓氏笔画排列)

王艾伦 刘子建 汤楚宙 苏旭平 李自光

李孟仁 张桂香 陈 循 李新华 钟志华

唐川林 郭迎福 曾立平 蒋寿生

参 编 院 校

湖南大学

中南大学

国防科学技术大学

湘潭大学

长沙理工大学

中南林学院

湖南农业大学

湖南科技大学

株洲工学院

南华大学

湖南工学院

邵阳学院

序

从现在到 2020 年,是我国全面建设小康社会,实现国民经济增长模式根本转变,走新型工业化道路的关键时期。在这个重要的历史时期,机械工程高等教育承担着培养适应和推进新型工业化发展的现代高级人才的历史重任。准确地把握未来教育、科学和技术发展的机遇与挑战,客观地认识我们的教育、科学和技术发展的基础,是指导高等机械工程教育改革与发展的基本出发点。我国目前正处于实现工业化的过程中,要坚持对外开放,我国必须融入世界经济全球化的过程,必须积极承接世界制造业的转移。为了使我国制造业从中、低端产品加工转为世界工业产业中心之一,我们要努力加强研发力量,提高集成能力和创新能力。机械工程的集成与创新的载体是人才。抓住 21 世纪头 20 年的时机,我们以工程带动科技进步,培养从设计、制造工艺到操作、管理的各类各级人才,必将为全面建设小康社会,实现工业化,推动制造业再上台阶发挥更为直接的作用。

目前,我国高等工程教育在适应社会发展需要方面还存在较大差距。问题之一是课程体系和教学方法没有根本性的转变。从 1990 年以来,高等院校开展了大规模的教学内容和课程体系改革,取得了明显成效,推出了一批优秀教材和精品课程。但是,传统的课程体系、教学计划、培养模式并没有普遍深刻的变化,不同科类的知识依然相互分离,综合性的课程还不多见,理论与工程实践脱节的局面并未得到根本改善。随着工业化进程和机械工程科技的发展,教学内容不断增加,教学要求不断提高,我们还是习惯于增加课程、增加学时,而忽视了课程的整合、融合、拓宽、更新和更加注重应用,在教学方法上依然以讲授为主,学生自主学习、自我体验、自由创造的环境还不具备。现代机械工程要求的多学科综合和实践性、适应性的特征在高级工程人才培养的过程中体现得还远远不够。

现代机械工程已是多学科的综合体,今天机械工程科学家、工程师等技术专家的基本作用正是集成与创新,其任务是构建和实现机械系统。我们必须依据所在的高校和专业的固有特点和特殊性质,按照教育目标定位,按照现代机械工程的特点和机械工程技术专家的基本作用来推进机械工程高等教育的内容和课程体系的改革,推进机械工程类教材建设。湖南大学出版社正是为适应机械工程类教学改革的要求,精心组织出版了“机械工程类规划教材”。这套教材已规划了 20 余本,将于近年内陆续推出。规划教材涵盖了机械工程类的主要专业基础课程和部分专业选修课程,其中一些教材此前已经过多次使用,受到教师和学生的好评。这套教材由湖南省机械工程学会、湖南大学等 10 余所高校数十位长期在教学与教研教改第一线工作的教师共同努力编写而成。基于各高校教学改革和教材建设的经验,我们相信这套教材的出版和使用,能够加强各兄弟院校的交流与合作,在教材建设和机械工程高等教育的改革发展方面相互借鉴,相互促进,为我国机械工程技术人才培养起到积极的作用。

教材建设要出精品,而精品决不是一蹴而就的。机械工程科学与技术的发展正突飞猛进,机械技术与计算机技术、信息技术、控制技术、环保技术相结合,使得机械工程的内涵越来越丰富,发展的空间越来越广阔。虽然,这套教材突出了 21 世纪机械工程教育的综合

性、适应性等特点，在整合、拓宽、更新和注重工程应用上下了功夫，对课程内容、体系进行了改革，但是从总体改革思路、改革探索深度、学术水平、工程应用、教学手段到组织工作，不论从哪个方位张望，我们都还有很大的拓展的空间。世界在发展、国家在发展、高校在发展、形势在发展，我们这套教材的建设远不能说已经成熟、完美。我们还需要团结一心，虚心听取各高校教师、学生的批评，在自身的教育实践中进行修正、探索、提炼、变革、创新。

任重道远，行者无疆！

钟志华

2005年8月

前 言

“互换性与测量技术基础”是机械类、测控技术与仪器类专业必修的重要基础课程。它也是一门信息量大，理论性和实用性都很强的课程。机电产品设计有三个不可或缺环节：第一个环节是传动原理的设计；第二个环节是结构的设计；第三个环节是精度的设计。“互换性与测量技术基础”课程主要介绍在精度设计中所必须具备的一些知识，如机械零件中各种要素的精度参数及相关的控制标准以及它们在设计图样上的表示方法等；此外，本课程还有一个重要内容，就是介绍机械制造、使用和维修中必然涉及到的有关互换性、标准化的概念、含义和意义，以及几何要素检测中的一些基本知识。如：长度、角度单位及其传递系统、计量器具、测量方法的基本概念；量规的设计和量具的选择；测量误差的概念和测量数据处理的基本方法等。所以，本教材与“机械精度设计”应该是有区别的。

本着教材主要是给学生传递知识的宗旨，它与“教学参考书”或“专著”是有区别的。所以编写本教材时既考虑到了原“高等工业学校‘互换性与测量技术基础’课程教学指导小组”审定的对本课程教学的基本要求（1990年10月），也充分考虑到当前各高校的教学改革和本课程教学学时较少的因素，并结合编者多年的教学经验，力求内容精练，符合教学要求，同时提供选讲章节供学有余力的学生课后自学，这部分内容用*号标出（当然，学时多的院校也可由教师讲授）。

本教材共分12章。第1章、第2章由中南林学院徐学林执笔；第3章由湖南农业大学周光永执笔；第4章由中南林学院陈飞执笔；第5章、第7章由株洲工学院夏志华执笔；第6章由湘潭大学唐新姿执笔；第8章由中南林学院闵淑辉执笔；第9章由湖南大学杨沿平执笔；第10章由长沙理工大学李亚非执笔；第11章由中南林学院张艳君执笔；第12章由湖南科技大学李鹏南执笔。

全书由中南林学院徐学林教授担任主编，负责全书统稿；李亚非、李鹏南、周光永、夏志华任副主编，本书由湖南大学杨沿平教授主审。

本教材中凡涉及的标准一律采用最新颁布的国家标准或专业标准。

本教材各章的习题与练习仍采用由杨沿平主编，湖南大学出版社出版的《互换性与测量技术基础练习册》中的相关内容。

在本书出版过程中得到了湖南大学出版社的大力支持，在此一并表示诚挚的谢意。

编者

2005年6月

目 录

序

前 言

第 1 章 绪论

- 1.1 互换性概述..... (1)
- 1.2 互换性在机械工程中的意义..... (2)
- 1.3 标准与标准化..... (3)
- 1.4 优先数系..... (6)

第 2 章 测量技术基本知识与测量误差概述

- 2.1 概述..... (9)
- 2.2 测量方法和测量器具的分类及其主要技术指标..... (14)
- 2.3 测量误差和数据处理..... (17)

第 3 章 圆柱体公差配合及其标准化

- 3.1 概述..... (27)
- 3.2 基本术语与定义..... (27)
- 3.3 公差带大小的标准化..... (31)
- 3.4 公差带位置的标准..... (33)
- 3.5 公差带与配合的优化..... (40)
- 3.6 圆柱结合的精度设计..... (42)
- 3.7 线性尺寸的未注公差..... (53)

第 4 章 形状和位置公差

- 4.1 概述..... (54)
- 4.2 形状公差..... (57)
- 4.3 位置公差..... (59)
- 4.4 形状误差的评定..... (63)
- 4.5 位置误差的评定..... (67)
- 4.6 公差原则与公差要求..... (69)
- 4.7 形位公差的选用..... (77)
- 4.8 形位误差检测原则..... (81)
- * 4.9 三坐标测量机..... (82)

第 5 章 表面粗糙度

- 5.1 概述..... (85)
- 5.2 表面粗糙度的评定..... (86)
- 5.3 表面粗糙度的符号、代号及其标注..... (90)
- 5.4 表面粗糙度的选用..... (93)

5.5 表面粗糙度的测量	(97)
第6章 光滑工件尺寸的检验	
6.1 概述	(99)
6.2 光滑极限量规	(100)
6.3 通用计量器具	(107)
第7章 滚动轴承的公差配合	
7.1 概述	(112)
7.2 滚动轴承的精度及其应用	(112)
7.3 与滚动轴承配合的孔、轴公差带及选用原则	(113)
7.4 孔、轴配合表面的粗糙度与形位公差	(119)
第8章 键和花键的互换性	
8.1 平键联结的互换性	(123)
8.2 矩形花键联结的互换性	(126)
* 8.3 花键量规的设计	(131)
第9章 螺纹结合的互换性	
9.1 概述	(136)
9.2 螺纹几何参数误差对螺纹互换性的影响	(137)
9.3 普通螺纹的公差与配合	(140)
* 9.4 梯形螺纹的公差与配合	(144)
9.5 螺纹的检测	(147)
第10章 渐开线圆柱齿轮传动的互换性	
10.1 概述	(150)
10.2 齿轮的加工误差	(151)
10.3 单个渐开线圆柱齿轮的精度评定指标	(151)
10.4 齿轮副的精度评定指标	(155)
10.5 渐开线圆柱齿轮精度设计	(159)
* 10.6 渐开线圆柱齿轮的测量	(166)
* 第11章 圆锥结合的互换性	
11.1 概述	(172)
11.2 圆锥结合的误差分析	(174)
11.3 圆锥系列及圆锥公差	(176)
11.4 锥角的测量	(184)
第12章 尺寸链	
12.1 概述	(186)
12.2 极值法计算尺寸链	(189)
* 12.3 统计法计算尺寸链	(193)
* 12.4 计算装配尺寸链的其他方法	(194)
* 12.5 统计尺寸公差	(197)

第 1 章 绪 论

本章重点：互换性的概念，实质，意义及其与公差的关系。

1.1 互换性概述

1.1.1 互换性与公差的含义

互换 (interchange) 是一个有时空内涵的广义的概念，字面上的含义并不难理解。它应包括在一定时空条件下的“等价”，“等质量”，“等尺寸”甚至“等利益”等广泛的社会含义。当然，这里的“等”并不是数学式子中的严格符号。而本教材中所指的互换性 (interchangeability) 是特指在机械设计和制造中为了在一定的时间和空间条件下 (如全球，国家，地区，专业，企业等) 尽量满足用方和产方的利益而提出的一个概念。这个概念的前提是必须按约定的标准或规定的技术条件进行设计和制造。在这个前提下生产出来的同规格的合格产品 (主要指零件或部件)，在机器装配时，在随机的取样条件下是可互换的。在我们的日常生活中，很多机电产品都具备这种性质，例如灯头和灯泡，相同规格的螺栓和螺母，同型号的轴承、链条、轮胎等均是可互换的。如果更进一步考察各种机器产品，就会发现更多具有互换性的零部件，如齿轮，变速箱，液压元件，发动机活塞，连杆，曲轴等，只要是同规格的合格产品，无论哪个厂家生产的均可互换。

具有互换性的零件或部件，实质是由它们的质量参数所决定的，如几何参数 (尺寸参数，形状参数，位置参数，表面粗糙度参数等)，物理参数 (硬度，强度，刚度等)，化学参数 (构成材料的成分) 等。

无论是几何参数和物理、化学参数，零件 A 与零件 B 可互换，并不意味着零件 A = 零件 B，因为在制造过程中，对于任何定量的参数都存在加工误差。众所周知，数学理论中的“等于”是用于不存在误差的两者之间的，如果两者之间存在误差则应该是近似等于。零件间的参数也是如此，只要参数的误差在约定的范围内，即公差 (tolerance) 范围内 (如尺寸参数在规定的尺寸公差范围内)，我们就认为它们近似相等，在实际中就不会影响使用性能，为此，该规格零件就具备了互换性的这一条件。值得指出的是这里引进了误差和公差两个概念。误差是实际存在的，公差是人为约定的，即公差是允许误差的变动量。

综上所述，我们对机械设计制造中的互换性概念表述如下：

“机器制造中的互换性，是指按规定的几何、物理、化学及其他质量参数的公差，分别制造合格的零部件，在其装配与更换时随机任取其一，无需再经辅助加工或修配，便能达到设计时规定的使用要求。”互换性的这种表述，不仅有时空的含义，更重要的是它指出了现代机械制造中面向市场竞争的快和省的重要原则。

由于机械制造是严格按照设计文件进行的，而且通常都不是单一生产，尤其是零件和部件都是批量化和专业化制造。从材料到尺寸精度，设计文件中都有严格规定。一批零件一旦材料和处理工艺规定以后，它的理化参数就基本是固定的了，所以影响其互换性的主要是加工过程中形成的尺寸参数。为此，本教材讨论的互换性概念主要是几何尺寸参数的互换性。

1.1.2 互换性分类

在几何尺寸参数的加工中,由于加工精度、批量、技术经济指标等因素的要求不同,机械制造中的互换性按互换的程度分,可分为完全互换和不完全互换两类。

1.1.2.1 完全互换

是指同一规格的一批零件或部件,在装配或更换时,不需经过任何挑选、辅助加工或附加修配(如钳工修配)及调整,就能装配到机器上,并能达到设计时规定的功能要求。这种互换适合于机器中大量的通用件和标准件。

1.1.2.2 不完全互换

这是相对于完全互换而言的,完全互换的实质是不允许挑选、修配或调整;而不完全互换则允许挑选、修配或调整。根据对机械零件的精度要求和技术经济指标的不一样,不完全互换又可分为大数互换(概率互换)、分组互换、调整互换与修配互换等。

(1) 大数互换 如果说完全互换是同批量零部件中100%可互换的话(即危率 $\alpha=0$),那么大数互换是根据实际加工误差(随机误差)分布的规律,在大批量生产中,绝大多数尺寸均趋向它们的期望值(平均值),而分布于极限位置附近(即公差带两端)的尺寸是很少的,为此根据需要,人为规定一个小于1的危率 α (我国以及世界上大多数国家通常规定 $\alpha=0.0027$),使互换性概率控制在 $P=1-\alpha$ 范围内,这种互换我们就称其为大数互换。

(2) 分组互换 因为误差具有传递性,也就是说一个系统中的总误差是组成该系统的各分误差的合成。若总误差要求控制在很小的范围(即精度要求很高),那么组成该系统的各分误差就应更小(即精度更高)。对于一个机械产品(如滚动轴承的内外圈与滚动体,发动机的活塞与活塞销、连杆、曲轴等)由多个零件所组成,部件的精度要求高,根据误差合成的原理,各零部件的精度要求就更高,这势必要增加零件的加工成本,有的甚至用常规的加工方法还难于达到精度要求。为此可增大零件的加工误差,然后将相关的零件尺寸一一测量出来,根据零件的实际尺寸分成若干组(装配精度要求越高,分组数就越多),按组进行装配,仅组内零件可互换,组与组之间不可互换。这种方法就称其为分组互换法。滚动轴承等精度要求高的产品,都是按这种方法生产的。

(3) 调整互换 由于受装配精度的要求或受装配误差累积的影响,有些机械产品(如机床、齿轮箱等),在装配过程中除留下某一个零件或零件位置作为装配环中的精度调整或累积误差的补偿外,装配环中的其他各零件仍按互换性原则生产。因为有调整环存在,所以在不改变调整环尺寸的条件下,装成的机械产品的零件是不能互换的。除非重新设置调整环零件的尺寸。这种采用更换零件或改变零件位置(如增减或更换垫片、垫圈等)来改变补偿环尺寸大小的方法则称调整互换。

(4) 修配互换 与调整互换原理类似,只是将补偿环的零件用钳工或其他方法精确地修配(通常是去除多余的材料),以期达到装配精度的要求。

1.2 互换性在机械工程中的意义

现代机械工程的含义应该涵盖设计、制造、销售、使用和维修几个方面。那么,互换性原则无论在哪个方面都体现了它的技术意义和经济意义。

1.2.1 互换性原则的技术意义

互换性原则的技术意义在设计、制造、使用和维修方面都有充分的体现:

在设计方面,机械产品如果采用大量的互换性零部件,独立机构和总成,则可节省很多设计工作(如计算、绘图等),缩短产品的设计周期。这有利于新产品的开发,有利于增加产品规格的多样性,有利于结构性能的改进,有利于成组技术的应用。

在制造方面,有利于专业化制造。在现代制造中,专业化制造可极大地提高经济效益和市场竞争力。由于产品相对较单一(尤其是一些标准件),数量多,分工细,有利于提高产品的加工质量和加工过程中的管理水平。从装配角度看,由于大量采用互换性零部件,缩短了机器的装配周期,装配采用流水作业法及机器人操作,大大减轻工人的劳动强度,有利于提高生产效率。

在使用和维修方面,由于大量应用具有互换性的零部件,使得机械产品成本下降,提高产品的市场竞争力,而且对产品的售后服务和用户的维护都带来极大的便利。

1.2.2 互换性原则的社会意义

互换性原则不仅是机械制造中的一种技术措施,而且是一个社会技术进步的标志。它为现代制造业奠定了基础,而制造业在整个国民经济中所占的比例很大,它是社会财富的主要来源。

目前,世界上经济发达的国家,如日本、美国、欧洲等均是在第二次世界大战后起飞的。所谓的亚洲“四小龙”也无不如此。我国近年的经济迅速增长,其主要增长点也是在制造业上。

所以说互换性生产是社会技术进步,经济发展的重要标志。

1.3 标准与标准化

前面提到按照约定的标准进行设计和制造,是互换性的前提,而要在更大的范围内实现产品的互换,就必须对产品实现系列化和通用化设计,对工艺过程、原材料、外协件的购进和储备、保管、运输等必须进行标准化管理。

那么什么是标准?什么是标准化?下面我们将进一步讨论这个问题。

1.3.1 标准 (Standard)

标准是指在一定的范围内为了获得最佳秩序,经有关方面协商一致,对重复性事物和概念通过科学的简化、优选后做出的统一规定。并将其制成规范性文件,通过主管机构批准发布,作为共同遵守的准则和依据。

标准应有下面的一些内涵。

(1) 标准的展示形式 标准一般以文字、图表的形式出现。如机械工程中的“制图标准”,各种“公差标准”等。标准有的也以实物形式出现,通常称其为“实物标准”,如各种计量标准中的“标准质量(砝码)”,“标准长度(标准米尺)”,“标准电阻”等。

(2) 标准的种类 按标准化工作对象,标准可分为技术标准,管理标准和工作标准;按标准的性质,标准又可分为基础标准,产品标准,方法标准,安全标准,卫生标准和环保标准等。其中基础标准主要是对一些共性的问题所做出的一些统一规定,如机械制图标准,尺寸的极限与配合标准都是机械工程领域中的基础标准;产品标准是针对某种具体产品的质量指标和规格所做的统一规定,其中包括产品系列标准,产品质量标准和产品包装、储存、运输、验收标准等。

(3) 标准的等级 按照标准适用范围,我国的标准可分为国家标准(代号:GB),专业

标准（如机械：JB；石油：SY；化工：HG；冶金：YB 等），地方标准（通常以省、市、自治区划分）和企业（公司）标准。另外，我国还有国家军用标准（GJB），兵器标准（WJ）等。通常级别低的标准在技术水平上应高于级别高的标准，如专业标准的技术水平应高于国家标准，其余依次类推。

此外，国际上还有“国际标准化组织（ISO: International Organization for Standardization）”的标准，如 ISO9000 质量管理体系标准和 ISO14000 环境管理体系标准等；“国际电工委员会（IEC: International Electrotechnical Commission）”标准；“国际电信联盟（ITU: International Telecommunication Union）”标准等。

另外，有些主要工业发达国家的国家标准，在世界上也有一定影响，它们主要有：

美国国家标准学会（ANSI: American National Standards Institute，其制定的标准代号为 ANSI）；

英国标准学会（BSI: British Standards Institute，其制定的标准代号为 BSI）；

德国标准学会（DNA: [德] Deutscher Normenausschub，其制定的正式工业标准代号为 DIN: [德] Deutsche Industrie-Norm）；

法国标准化协会（AFNOR: [法] Association Francaise de Normalisation，其制定的标准代号为 NF: [法] Normes Franc）；

日本工业标准调查会（JISC: Japanese Industrial Standards Committee，其制定的日本工业标准代号为 JIS）；

美国的军用规范（MIL-SPEC: Military Specifications）；

美国的军用标准（MIL-STD: Military Standards）。

（4）标准的性质 按照我国《标准化法》的规定，我国国家标准和行业标准分为强制性标准和推荐性标准两类。强制性标准是指涉及到人身、财产安全、人体健康方面的标准，如电器产品标准，医药，食品卫生，生物产品等标准。我国国家质量监督检验检疫总局于 2001 年 12 月 3 日颁布了《强制性产品认证管理规定》，明确规定了凡列入了强制性认证的产品，必须经国家指定的认证机构认证合格，取得了指定认证机构颁发的认证证书，取得了认证标准后方可进入市场。认证标志即为“中国强制认证”的英文缩写“CCC”（China Compulsory Certification），市场上称为“3C”标准。上述规定自 2005 年 5 月 1 日起施行。目前，我们在市场上看到的一些国产名牌电器产品已经开始有“CCC”认证标准了。

1.3.2 标准化

标准化（standardization）是指在一定范围内的经济、技术、科学及管理 etc 等社会实践活动中，对存在的重复性事物（如产品）和概念（如术语、量值等），通过制订、发布和实施标准，达到统一，以获得最佳秩序和社会效益的活动过程。

标准化是一个“活动过程”，而且是一个循序渐进的过程。显然，制订标准和实施标准是这个过程的核心内容。

1.3.2.1 标准化的原则

所谓“原则”就是应该遵循的基本规则或者称为“约束条件”。人类进入文明社会以后，任何一个涉及群体的活动过程，都必须有一定的原则。标准化作为文明人类的“活动过程”，有下面几个应遵循的基本原则：

（1）规范原则 人类生产活动和社会活动中，创造和发明的各种各样的方法、概念、名词、术语、符号等，随着活动的拓展和深入，各种创造和发明越来越多，由此而带来的方

法、概念、名词、术语等越来越复杂，达到一定无序状态后，就必须进行规范。

(2) 简化原则 这是从事标准化的一个重要原则。就是对标准化所涉及到的众多的事物（结构形式，表述方法等）和概念（术语，定义，称谓等）进行筛选，整合，科学合理地删繁就简，在高效能的前提下以尽可能少的元素覆盖尽量大的标准化空间。如很多中国的传统产品（瓷器，陶器，家具，农机等），在对它们实行标准化前，对同一产品部件其名词术语五花八门，叫法不一。实行标准化后，将这些不同的称谓归一简化，并给出定义。其实，对任何一种行业或产品，在标准化过程中均用到了简化原则。

(3) 协调原则 是指在标准化过程中，对所涉及的标准与标准事物、事物概念与概念以及它们相关的内外因素的内容、结构等方面进行协调，以防止或减少重复、耗散和无序，以求达到效能较高的相对平衡状态。当然，这种协调不是永恒的而是周期性的。因为根据系统论的原理，无论是人造系统或自然系统的演变规律均是遵循从有序至无序，再从无序至有序的周期演变过程。

(4) 优化原则 标准化工程是人们根据客观需要而设计出的人造系统。任何人造系统都是人们根据特定的目标（在这里主要是指最佳效能目标或最佳经济效益或安全、卫生、环保目标）设计或营造的，为了实现这种特定的目标，必须对影响系统的各种主、次因素设定不同强度的约束条件，以期达到标准化目标的最佳。

1.3.2.2 标准化的方法

(1) 统一化 这种方法，在人类早期的标准化活动中已出现，如语言、文字、历法、货币、度量衡等。现代的标准化活动中也是一种常用的方法，如符号表述、程序编制、产品规格、工艺过程等均大量采用了这种方法，可以说几乎在每个标准的制定中都有所采用。

(2) 通用化 以统一为前提的一种标准化方法。通用化，在机电行业，一般是指零部件通用。如某系列柴油机的活塞、连杆是通用的，同型号的电池是通用的。所以说标准化是实现互换性的前提。

一部机器的零部件通常由自制件，外购件组成，而无论是自制件或外购件都可能有标准件（按国家标准，行业标准，企业标准制造的零件），通用件（本企业两种以上的产品共同使用的零件），专用件（只限于某一种产品使用的零件）。

根据机器采用的各种类零件的数量和其零件总数量之比，可算出其标准化系数：

$$\gamma_B = \frac{A_B + A_T}{A_Z} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中， A_B 为机器中所含标准零件数； A_T 为机器中所含通用零件数； A_Z 为机器中所有零件总数。

可见标准件和通用件数量越多，产品的标准化系数就越高。

(3) 系列化 系列化是标准化发展到一定水平后提出的。它是一种较高级的形式。它是根据一定的要求，按一定的规律（如优先数系），将产品合理分级、分档，使产品的规格形成某种系列，以便满足各种使用要求。

产品系列化工作包括下面三部分内容：

①制定产品参数系列：参数主要指尺寸参数（如主要零部件的直径、长度等），工况参数（转速、压力、行程等），性能参数（载重量、最大加工对象的尺寸等），技术经济指标（耗油量、效率等）。

如车床的参数有最大加工直径，长度，主轴的转速，进给量等。参数有主参数和副参数

之分。主参数起主导作用，它要能反映产品的基本特征，如电动机的功率，车床的最大加工直径，挖穴机旋转器直径，油锯的马力等。

②编制系列型谱：是指定出产品的参数系列后，对参数系列所限定的各个规格的产品定出若干种形式。通常系列型谱用图表形式来表达。

如 135 系列柴油机有四种规格：2135 型（2 缸 40 马力），4135 型（4 缸 60 马力），6135 型（6 缸 120 马力）和 12315 型（12 缸 240 马力）。每一规格中又有一个基本型和若干变型。基本型就是常见的普通柴油机。变型则有船用、车用、电站用等若干变型。变型和基本型的主要结构是相同的，它们的区别是去掉和增加了一些零部件，以满足专门的需要。

这里必须指出的是系列型谱的制定既要考虑现在，也要考虑其发展，即要能延伸。

③系列设计：就是根据系列型谱对整个系列的产品进行统一的设计。这里可选定一个用得最普遍的型号作为基本型，把基本型设计好后，再依据型谱向两边延伸。如前述的 135 系列柴油机中的 2135 型用得最多，就以它为基础把各零部件设计好，其他各型号就以此为基础。这就可减少很多工作量，也能使系列型谱能名符其实。

标准化是一门既古老又新型的学科。有关标准化原理方面的探讨，国内外尚未见到较公认的权威的著作。现在有人开始试图用“新三论”（协同学，耗散结构，突变论）去阐述标准化原理，然而这仅仅是开始的一个探索。希望同学们对此产生兴趣。

1.4 优先数系

1.4.1 优先数系的基本概念

1.4.1.1 数系的传播

数系的传播，自有人类历史以来就存在。如工具的长短、轻重依人的身高、力气的大小而定；炊具的大小依人的食量和进餐人数而定；衣服的大小依人的高矮胖瘦而定，由此而引出的布幅面的大小要依方便作衣服而定。凡此种种，说明人类早就在使用着数系传播来为自身服务。

随着人类进入了文明的工业社会，数系的传播越来越广泛。如纸张的大小决定了报纸、书本的大小；书本的大小，进而影响到印刷机、打字机、复印机、书架等的尺寸；动力机械的功率和转速必然会影响到与其有关的锅炉、发电机等的参数及其自身各零部件的物理几何参数。又如一个产品的精度等级一经确定，组成该产品的一系列零件的精度就要与之相适应。数系的传播如同一个网络，真可谓是“牵一发而动全身”。

显然，对于这种传播，如果没有一定的规则 and 标准加以协调和引导，就会造成产品尺寸规格的杂乱。所以数系的传播也存在有优化问题，这就是所谓“优先数系”。

1.4.1.2 “优先数系”的介绍

数系的优化也有个过程。标准化初期，人们采用的是算术数列（即等差数列）：

$$a, a+d, a+2d, \dots, a+nd,$$

其优点是可以无限延伸，且相邻项之差为一常数，但延伸率不相等，即相对差不相等，而且变化很大。如算术数列：

$$1, 2, 3, \dots, 10, 11, \dots$$

1 和 2 之间相对差为：

$$\frac{2-1}{1} \times 100\% = 100\%,$$

10 和 11 之间相对差为:

$$\frac{11-10}{10} \times 100\% = 10\%。$$

显然随着数的增长,其延伸率越来越小,这就造成分级疏密不均匀,这样对有些产品的分级是不合适的。例如有的产品要求在小尺寸段分级密些,大尺寸段分级疏些(如沉头螺钉、木工螺钉等),若使用算术数列则适得其反。另外,算术数列经乘、除、乘方、开方运算后就不再是算术数列的一项了。例如某材料的直径按算术数列分等,其面积却再不是该数系中的数了。

为了克服以上缺点,后来在标准化过程中,越来越多地采用了几何数列(等比数列):

$$a, ar, ar^2, ar^3, \dots, ar^n \quad (n=1, 2, 3, \dots),$$

其任一相邻两项的相对差为常数:

$$\frac{ar^n - ar^{n-1}}{ar^{n-1}} = r - 1,$$

而且几何数列经乘、除、开方的运算后,仍是该数系中的项,如上面所说的材料直径如果采用几何级数分布,那么其面积也是该级数中的一项,这样在转换过程中就不致引起混乱。

1.4.2 我国采用的优先数系

1.4.2.1 优先数系的种类

我国在标准化工作过程中,于 1964 年颁布了 GB 321—1964 “优先数和优先数系”国家标准。随着我国在 1978 年以“中国标准化协会”的名义加入 ISO 后,1979 年底对此标准进行了修订和补充,颁布了 GB 321—1980。该标准采用了 ISO 所推荐的 $m=5, 10, 20, 40, 80$ 五种数系,统称为雷诺数系,记作 R5, R10, R20, R40, R80。它们的公比分别为:

$$\text{R5 系列: } q_5 = (q_{40})^8 = \sqrt[5]{10} \approx 1.6;$$

$$\text{R10 系列: } q_{10} = (q_{40})^4 = \sqrt[10]{10} \approx 1.25;$$

$$\text{R20 系列: } q_{20} = (q_{40})^2 = \sqrt[20]{10} \approx 1.12;$$

$$\text{R40 系列: } q_{40} = (q_{40})^1 = \sqrt[40]{10} \approx 1.06;$$

$$\text{R80 系列: } q_{80} = (q_{40})^{\frac{1}{2}} = \sqrt[80]{10} \approx 1.03。$$

其中 R5, R10, R20, R40 为基本系列; R80 为补充系列。它是在 R40 系列中的相邻两项中间插入一项而得到的,所以它是最密的系列,用于某些特殊需要时。

可对优先数系进行乘、除、乘方、开方运算。

1.4.2.2 我国的优先数系应用实例

优先数系可用于尺寸分段、产品规格、物理化学指标等。下面举几个应用于机电方面的例子:

(1) 公差等级 IT5~IT18, 采用 R5 系列:

IT5 IT6 IT7 IT8 IT9 IT10 IT11 IT12 ...

7i 10i 16i 25i 40i 64i 100i 160i ...

(2) 矩形截面的导线,厚度按 R20 系列,宽度按 R40 系列:

厚为 0.80, 0.90, 1.00, 1.12, ..., 2.00;

宽为 2.00, 2.12, 2.24, 2.36, ..., 3.00;

(3) 显微镜的物镜放大倍数采用 R5 系列:

1.6X, 2.5X, 4X, 6.3X, 10X, 25X, 40X, 63X, 100X;

(4) 表面粗糙度 R_a 值 (第一系列) 采用 R10/3 派生系列:

0.012, 0.025, 0.050, 0.10, 0.20, ..., 50;

(5) 水泵流量 (m^3/h) 采用 R10/3 派生系列:

6.3, 12.5, 25, 50, 100, 400;

(6) 水泵扬程 (m) 采用 R10/2 派生系列:

5.8, 12.5, 20, 32, 50, 80, 125;

(7) CA6140 普通车床 (沈阳第一机床厂产品) 主轴转速采用 R10 和 R20 组合的复合系列:

10, 12.5, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 250, 320,

R10 系列

400, 450, 500, 560, 710, 900, 1 120, 1 400。

R20 系列

R10 系列

采用优先数系时, 通常有以下经验:

一般机械的主要参数可按 R5 或 R10 系列; 专用工具的主要参数按 R10 系列; 一般材料、零件和工具的尺寸按 R20 或 R40 系列 (R40 应少用)。

派生系列通常用于因变量, 如油缸直径用 R10, 活塞面积 $F = \frac{\pi}{4}d^2$, 则为 R10/2 系列。

采用复合系列时, 要注意两个系列的衔接处, 公比的变化不能太大, 否则会使产品系列产生“缺段”。