



全国本科院校机械类**创新型**应用人才培养规划教材

互换性与技术测量

主 编 周哲波



列举大量现场实例
采用最新国家标准
课后习题类型丰富



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书为高等工科院校机械类各专业技术基础课教材,是以国家最新颁布的产品几何技术规范标准和制造技术、检测技术为主线,结合现代企业对人才培养的需要编写的。本书共分12章,分别为绪论;极限与配合;几何公差及检测;表面粗糙度及其检测;机械精度设计;测量技术的基础知识;光滑工件尺寸检验与量规设计;滚动轴承的公差与配合;圆锥的公差配合及检测;平键、花键联接的公差与检测;螺纹结合的公差与检测;渐开线圆柱齿轮公差及检测;书中的案例丰富,每章均配有适量的复习思考题。

本书可作为高等院校机械类和近机类各专业的本科和高职高专的教材,也可供一般工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

互换性与技术测量/周哲波主编. —北京:北京大学出版社, 2012.7

(全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-20848-9

I. ①互… II. ①周… III. ①零部件—互换性—高等学校—教材②零部件—技术测量—高等学校—教材 IV. ①TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 132351 号

书 名: 互换性与技术测量

著作责任者: 周哲波 主编

策 划 编 辑: 童君鑫 宋亚玲

责 任 编 辑: 宋亚玲

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-20848-9/TH·0299

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.cn>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.25 印张 419 千字

2012 年 7 月第 1 版 2012 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 35.00 元

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

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

为适应世界市场一体化的发展,近年来,我国相继颁布和实行了《产品几何技术规范(GPS)》等一系列新标准,它们大多都涉及机械产品的众多相关技术标准和规范,这就要求全国工业企业对其产品的技术标准和规范作出重大变化与转换,其中包括产品的设计、制造、生产计划与管理、质量保证与服务等整个产品活动领域。为适应我国机械制造业迅速发展和增强世界市场竞争能力的需要,解决企业急需大批具有高素质、应用与实践能力强的应用综合型人才的矛盾,特编写了此书。本教材是在总结多年来专业教学、为适应现代企业的发展对人才专业技能的要求编写而成的。

本书在编写过程中,注重所选内容的系统性和实用性,取材新颖,结构严谨。编排原则是由浅入深、循序渐进,既讲述基本原理、贯彻最新国家标准,又注重现代最新应用技术与生产实际需要相联系。在突出专业技术应用方面,本书具有较强的针对性和实用性,尽可能以实际应用为例;既考虑本课程的教学对象为刚上专业基础课的学生,又为了避免部分内容的重复教学,本书有意删除了尺寸链一章,使得教学目的性更强;在文字叙述上力求通俗易懂、表达准确。本书适合于“教”与“学”,每章均编写了“教学目标”、“特别提示”和“本章小结”来突出重点和难点,并介绍了相应的学习方法;每章的内容注重理论联系实际,尽量多举现场实例;各章均配有适量的复习与思考题,以便于所学知识的巩固。

本书共有 12 章内容:第 1 章重点阐述了互换性的发展与现状、互换性作用与条件及标准的有关内涵;第 2 章全面论述了极限与配合常用术语与定义、公差与基本偏差的制定原则与应用;第 3 章详细分析了几何公差的定义与公差带的含义、评价与检测方法、公差原则及应用原理;第 4 章综合概述了表面粗糙度轮廓的基本概念、评价参数及检测原理;第 5 章应用实例较综合地枚举了尺寸公差与配合、几何公差、表面粗糙度轮廓的应用方法;第 6 章较为全面地介绍了测量的基本原理与方法、常用测量仪器的分类与功用、测量数值的处理理论与应用;第 7 章较为全面地探讨了光滑工件尺寸检验原则及专用量规的设计方法;第 8 章具体剖析了国家标准制定滚动轴承的公差与配合的基本原理和方法;第 9 章简要介绍了圆锥的公差配合及检测主要评定参数;第 10 章综述性介绍了平键、花键联接的公差选用与检测方法;第 11 章概括性描述了螺纹结合的公差与检测的原理;第 12 章重点总结了渐开线圆柱齿轮各项加工误差产生的原因和防止措施、渐开线圆柱齿轮精度的评定参数与检测方法。其中第 1 章、第 7 章、第 8 章由李君编写,第 2 章、第 6 章由戴雪晴编写,第 3 章、第 5 章由姜志明编写,第 4 章、第 11 章由袁长颂编写,第 9 章、第 10 章由杨丽编写,第 12 章由汤多良、周哲波编写,另外,梁海珍、张同杰、尹超、陈靓、徐建参加了本书的部分内容的修订和图形的绘制工作。全书由周哲波教授主编并统稿,在编写中参阅了有关的教材、资料和文献,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏之处,恳请读者批评指正。

编 者
2012 年 2 月

北京大学出版社教材书目

- ◇ 欢迎访问教学服务网站 www.pup6.cn, 免费查阅下载已出版教材的电子书(PDF 版)、电子课件和相关教学资源。
- ◇ 欢迎征订投稿。联系方式: 010-62750667, 童编辑, 13426433315@163.com, pup_6@163.com, 欢迎联系。

序号	书 名	标准书号	主 编	定价	出版日期
1	机械设计	978-7-5038-4448-5	郑 江, 许 瑛	33	2007.8
2	机械设计	978-7-301-15699-5	吕 宏	32	2009.9
3	机械设计	978-7-301-17599-6	门艳忠	40	2010.8
4	机械原理	978-7-301-11488-9	常治斌, 张京辉	29	2008.6
5	机械原理	978-7-301-15425-0	王跃进	26	2010.7
6	机械原理	978-7-301-19088-3	郭宏亮, 孙志宏	36	2011.6
7	机械原理	978-7-301-19429-4	杨松华	34	2011.8
8	机械设计基础	978-7-5038-4444-2	曲玉峰, 关晓平	27	2008.1
9	机械设计课程设计	978-7-301-12357-7	许 瑛	35	2009.5
10	机械设计课程设计	978-7-301-18894-1	王 慧, 吕 宏	30	2011.5
11	机电一体化课程设计指导书	978-7-301-19736-3	王金娥 罗生梅	35	2012.1
12	机械工程专业毕业设计指导书	978-7-301-18805-7	张黎骅, 吕小荣	22	2012.5
13	机械创新设计	978-7-301-12403-1	丛晓霞	32	2010.7
14	机械系统设计	978-7-301-20847-2	孙月华	32	2012.7
15	机械设计基础实验及机构创新设计	978-7-301-20653-9	邹旻	28	2012.6
16	TRIZ 理论机械创新设计工程训练教程	978-7-301-18945-0	蒯苏苏, 马履中	45	2011.6
17	TRIZ 理论及应用	978-7-301-19390-7	刘训涛, 曹 贺 陈国晶	35	2011.8
18	创新的方法——TRIZ 理论概述	978-7-301-19453-9	沈萌红	28	2011.9
19	机械 CAD 基础	978-7-301-20023-0	徐云杰	34	2012.2
20	AutoCAD 工程制图	978-7-5038-4446-9	杨巧绒, 张克义	20	2011.4
21	工程制图	978-7-5038-4442-6	戴立玲, 杨世平	27	2012.2
22	工程制图	978-7-301-19428-7	孙晓娟, 徐丽娟	30	2012.5
23	工程制图习题集	978-7-5038-4443-4	杨世平, 戴立玲	20	2008.1
24	机械制图(机类)	978-7-301-12171-9	张绍群, 孙晓娟	32	2009.1
25	机械制图习题集(机类)	978-7-301-12172-6	张绍群, 王慧敏	29	2007.8
26	机械制图(第 2 版)	978-7-301-19332-7	孙晓娟, 王慧敏	38	2011.8
27	机械制图习题集(第 2 版)	978-7-301-19370-7	孙晓娟, 王慧敏	22	2011.8
28	机械制图与 AutoCAD 基础教程	978-7-301-13122-0	张爱梅	35	2011.7
29	机械制图与 AutoCAD 基础教程习题集	978-7-301-13120-6	鲁 杰, 张爱梅	22	2010.9
30	AutoCAD 2008 工程绘图	978-7-301-14478-7	赵润平, 宗荣珍	35	2009.1
31	AutoCAD 实例绘图教程	978-7-301-20764-2	李庆华, 刘晓杰	32	2012.6
32	工程制图案例教程	978-7-301-15369-7	宗荣珍	28	2009.6
33	工程制图案例教程习题集	978-7-301-15285-0	宗荣珍	24	2009.6
34	理论力学	978-7-301-12170-2	盛冬发, 闫小青	29	2012.5
35	材料力学	978-7-301-14462-6	陈忠安, 王 静	30	2011.1
36	工程力学(上册)	978-7-301-11487-2	毕勤胜, 李纪刚	29	2008.6
37	工程力学(下册)	978-7-301-11565-7	毕勤胜, 李纪刚	28	2008.6

38	液压传动	978-7-5038-4441-8	王守城, 容一鸣	27	2009.4
39	液压与气压传动	978-7-301-13129-4	王守城, 容一鸣	32	2012.1
40	液压与液力传动	978-7-301-17579-8	周长城等	34	2010.8
41	液压传动与控制实用技术	978-7-301-15647-6	刘 忠	36	2009.8
42	金工实习(第2版)	978-7-301-16558-4	郭永环, 姜银方	30	2012.5
43	机械制造基础实习教程	978-7-301-15848-7	邱 兵, 杨明金	34	2010.2
44	公差与测量技术	978-7-301-15455-7	孔晓玲	25	2011.8
45	互换性与测量技术基础(第2版)	978-7-301-17567-5	王长春	28	2010.8
46	互换性与技术测量	978-7-301-20848-9	周哲波	35	2012.6
47	机械制造技术基础	978-7-301-14474-9	张 鹏, 孙有亮	28	2011.6
48	先进制造技术基础	978-7-301-15499-1	冯宪章	30	2011.11
49	机械精度设计与测量技术	978-7-301-13580-8	于 峰	25	2008.8
50	机械制造工艺学	978-7-301-13758-1	郭艳玲, 李彦蓉	30	2008.8
51	机械制造工艺学	978-7-301-17403-6	陈红霞	38	2010.7
52	机械制造工艺学	978-7-301-19903-9	周哲波, 姜志明	49	2012.1
53	机械制造基础(上)——工程材料及热加工工艺基础(第2版)	978-7-301-18474-5	侯书林, 朱 海	40	2011.1
54	机械制造基础(下)——机械加工工艺基础(第2版)	978-7-301-18638-1	侯书林, 朱 海	32	2012.5
55	金属材料及工艺	978-7-301-19522-2	于文强	44	2011.9
56	工程材料及其成形技术基础	978-7-301-13916-5	申荣华, 丁 旭	45	2010.7
57	工程材料及其成形技术基础学习指导与习题详解	978-7-301-14972-0	申荣华	20	2009.3
58	机械工程材料及成形基础	978-7-301-15433-5	侯俊英, 王兴源	30	2012.5
59	机械工程材料	978-7-5038-4452-3	戈晓岚, 洪 琢	29	2011.6
60	机械工程材料	978-7-301-18522-3	张铁军	36	2012.5
61	工程材料与机械制造基础	978-7-301-15899-9	苏子林	32	2009.9
62	控制工程基础	978-7-301-12169-6	杨振中, 韩致信	29	2007.8
63	机械工程控制基础	978-7-301-12354-6	韩致信	25	2008.1
64	机电工程专业英语(第2版)	978-7-301-16518-8	朱 林	24	2012.5
65	机床电气控制技术	978-7-5038-4433-7	张万奎	26	2007.9
66	机床数控技术(第2版)	978-7-301-16519-5	杜国臣, 王士军	35	2011.6
67	数控机床与编程	978-7-301-15900-2	张洪江, 侯书林	25	2011.8
68	数控加工技术	978-7-5038-4450-7	王 彪, 张 兰	29	2011.7
69	数控加工与编程技术	978-7-301-18475-2	李体仁	34	2012.5
70	数控编程与加工实习教程	978-7-301-17387-9	张春雨, 于 雷	37	2011.9
71	数控加工技术及实训	978-7-301-19508-6	姜永成, 夏广岚	33	2011.9
72	现代数控机床调试与维护	978-7-301-18033-4	邓三鹏等	32	2010.11
73	金属切削原理与刀具	978-7-5038-4447-7	陈锡渠, 彭晓南	29	2012.5
74	金属切削机床	978-7-301-13180-0	夏广岚, 冯 凭	32	2008.5
75	精密与特种加工技术	978-7-301-12167-2	袁根福, 祝锡晶	29	2011.12
76	逆向建模技术与产品创新设计	978-7-301-15670-4	张学昌	28	2009.9
77	CAD/CAM 技术基础	978-7-301-17742-6	刘 军	28	2012.5
78	CAD/CAM 技术案例教程	978-7-301-17732-7	汤修映	42	2010.9
79	Pro/ENGINEER Wildfire 2.0 实用教程	978-7-5038-4437-X	黄卫东, 任国栋	32	2007.7
80	Pro/ENGINEER Wildfire 3.0 实例教程	978-7-301-12359-1	张选民	45	2008.2
81	Pro/ENGINEER Wildfire 3.0 曲面设计实例教程	978-7-301-13182-4	张选民	45	2008.2
82	Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 实用教程	978-7-301-16841-7	黄卫东, 郝用兴	43	2011.10
83	Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 实例教程	978-7-301-20133-6	张选民, 徐超辉	52	2012.2
84	SolidWorks 三维建模及实例教程	978-7-301-15149-5	上官林建	30	2009.5

85	UG NX6.0 计算机辅助设计与制造实用教程	978-7-301-14449-7	张黎骅, 吕小荣	26	2011.11
86	Cimatron E9.0 产品设计与数控自动编程技术	978-7-301-17802-7	孙树峰	36	2010.9
87	Mastercam 数控加工案例教程	978-7-301-19315-0	刘 文, 姜永梅	45	2011.8
88	应用创造学	978-7-301-17533-0	王成军, 沈豫浙	26	2012.5
89	机电产品学	978-7-301-15579-0	张亮峰等	24	2009.8
90	品质工程学基础	978-7-301-16745-8	丁 燕	30	2011.5
91	设计心理学	978-7-301-11567-1	张成忠	48	2011.6
92	计算机辅助设计与制造	978-7-5038-4439-6	仲梁维, 张国全	29	2007.9
93	产品造型计算机辅助设计	978-7-5038-4474-4	张慧姝, 刘永翔	27	2006.8
94	产品设计原理	978-7-301-12355-3	刘美华	30	2008.2
95	产品设计表现技法	978-7-301-15434-2	张慧姝	42	2012.5
96	产品创意设计	978-7-301-17977-2	虞世鸣	38	2012.5
97	工业产品造型设计	978-7-301-18313-7	袁涛	39	2011.1
98	化工工艺学	978-7-301-15283-6	邓建强	42	2009.6
99	过程装备机械基础	978-7-301-15651-3	于新奇	38	2009.8
100	过程装备测试技术	978-7-301-17290-2	王毅	45	2010.6
101	过程控制装置及系统设计	978-7-301-17635-1	张早校	30	2010.8
102	质量管理与工程	978-7-301-15643-8	陈宝江	34	2009.8
103	质量管理统计技术	978-7-301-16465-5	周友苏, 杨 飒	30	2010.1
104	人因工程	978-7-301-19291-7	马如宏	39	2011.8
105	工程系统概论——系统论在工程技术中的应用	978-7-301-17142-4	黄志坚	32	2010.6
106	测试技术基础(第2版)	978-7-301-16530-0	江征风	30	2010.1
107	测试技术实验教程	978-7-301-13489-4	封士彩	22	2008.8
108	测试技术学习指导与习题详解	978-7-301-14457-2	封士彩	34	2009.3
109	可编程控制器原理与应用(第2版)	978-7-301-16922-3	赵 燕, 周新建	33	2010.3
110	工程光学	978-7-301-15629-2	王红敏	28	2012.5
111	精密机械设计	978-7-301-16947-6	田 明, 冯进良等	38	2011.9
112	传感器原理及应用	978-7-301-16503-4	赵 燕	35	2010.2
113	测控技术与仪器专业导论	978-7-301-17200-1	陈毅静	29	2012.5
114	现代测试技术	978-7-301-19316-7	陈科山, 王燕	43	2011.8
115	风力发电原理	978-7-301-19631-1	吴双群, 赵丹平	33	2011.10
116	风力机空气动力学	978-7-301-19555-0	吴双群	32	2011.10
117	风力机设计理论及方法	978-7-301-20006-3	赵丹平	32	2012.1

目 录

第1章 绪论	1	第3章 几何公差及检测	46
1.1 互换性的发展简介	2	3.1 概述	47
1.2 互换性概念及作用	3	3.1.1 几何公差的研究对象、 基本术语与定义	48
1.3 标准与标准化基础	5	3.1.2 几何公差的特征与符号	50
1.3.1 公差与检测	5	3.1.3 几何公差和几何公差带的 特征	51
1.3.2 标准和标准化	6	3.1.4 几何公差的标注	53
1.3.3 优先数和优先数系 (GB/T 321—1980)	7	3.2 形状公差	59
1.3.4 质量工程简介	9	3.3 方向、位置和跳动公差	61
1.4 本课程的性质与特点	11	3.3.1 方向公差与公差带	61
本章小结	12	3.3.2 位置公差与公差带	66
习题与思考题	13	3.3.3 跳动公差与公差带	68
第2章 极限与配合	14	3.4 轮廓度公差	71
2.1 极限与配合的常用术语与定义	16	3.5 公差原则	72
2.1.1 有关尺寸的术语与定义	16	3.5.1 有关公差原则的术语及 定义	73
2.1.2 有关公差与偏差的术语及 定义	17	3.5.2 独立原则	74
2.1.3 有关“配合”的术语与 定义	20	3.5.3 相关要求	75
2.2 标准公差系列	23	3.6 几何公差及其未注公差值	82
2.2.1 标准公差等级与代号	23	3.6.1 几何公差的国家标准	82
2.2.2 标准公差数值	24	3.6.2 未注几何公差的规定	85
2.3 基本偏差系列	26	3.7 几何误差的评定与检测原则	86
2.3.1 基本偏差代号	26	3.7.1 几何误差的评定	86
2.3.2 基本偏差数值	27	3.7.2 几何误差的检测原则	91
2.3.3 公差带与配合的标注	36	本章小结	93
2.4 一般、常用和优先的公差带与 配合	37	习题与思考题	94
2.5 一般公差(线性尺寸的未注 公差)	40	第4章 表面粗糙度及其检测	98
本章小结	41	4.1 表面粗糙度的基本概念及作用	99
习题与思考题	41	4.2 表面粗糙度的评定	100
		4.2.1 有关表面粗糙度的一般 术语与定义	101



4.2.2 几何参数	103
4.2.3 表面轮廓参数	103
4.3 表面粗糙度轮廓的技术要求	105
4.4 表面粗糙度技术要求在零件图上 标注的方法	108
4.4.1 表面粗糙度的符号和 代号	108
4.4.2 表面粗糙度的标注 实例	110
4.5 表面粗糙度轮廓的检测	112
本章小结	115
习题与思考题	115
第 5 章 机械精度设计	117
5.1 概述	118
5.2 尺寸精度的设计	119
5.3 几何精度的设计	130
5.4 表面粗糙度的选用	136
5.5 机械精度设计举例	138
本章小结	140
习题与思考题	141
第 6 章 测量技术的基础知识	143
6.1 测量的基本概念	144
6.2 测量基准和尺寸传递系统	145
6.3 计量器具的分类及其主要 技术指标	148
6.4 测量方法	151
6.5 测量误差与测量结果处理	153
6.5.1 测量误差的概述	153
6.5.2 测量结果的处理	156
本章小结	164
习题与思考题	164
第 7 章 光滑工件尺寸检验与 量规设计	167
7.1 光滑工件尺寸检验	168
7.1.1 验收原则、验收极限与 安全裕度	168
7.1.2 计量器具的选择	170
7.2 光滑极限量规设计	174

7.2.1 量规的作用与分类	174
7.2.2 量规的设计原理	176
7.2.3 量规公差带	177
7.2.4 量规的技术要求	179
本章小结	181
习题与思考题	181

第 8 章 滚动轴承的公差与配合

8.1 滚动轴承精度等级	184
8.2 滚动轴承与座孔、轴颈的公差与 配合	186
8.3 滚动轴承与座孔、轴颈配合 选用	188
8.3.1 滚动轴承与座孔、轴颈配合时 应考虑的主要因素	188
8.3.2 配偶件公差等级的 确定	192
8.3.3 滚动轴承的配合、配偶件的 图样标注	194
本章小结	195
习题与思考题	195

第 9 章 圆锥的公差配合及检测

9.1 术语及定义	199
9.2 锥度与锥角	200
9.3 圆锥公差	202
9.4 圆锥配合	207
9.5 锥度的测量	211
本章小结	214
习题与思考题	214

第 10 章 平键、花键联接的公差与 检测

10.1 平键联接的公差与配合	217
10.2 花键联接	220
本章小结	226
习题与思考题	227

第 11 章 螺纹结合的公差与检测

11.1 概述	229
11.2 普通螺纹的公差与配合	232

第1章

绪论



本章教学目标

能力培养	知识要点
掌握互换性的含义及作用	互换性的概念、作用、分类和意义
了解互换性与标准化的关系及其在现代生产中的重要意义	公差与检测的概念、作用；标准及标准化的概念、作用、分类和意义
了解优先数系的基本原理及其应用	优先数系的基本原理、特点及应用
了解质量工程概念	质量工程的发展阶段及发展趋势



导入案例

机械零件是机械产品的基础,例如大多数手表(图 1.0)的各种零、部件均是由不同地方、不同企业生产加工出来的,使它们具有不同尺寸、不同形状、不同要求,批量生产,最后组装而成满足设计的功能。这些机械零件是依据什么原理和规则来进行设计、制造以及快速维修的呢?



图 1.0 手表

1.1 互换性的发展简介

互换性这门技术科学的产生与发展,始终与生产方式紧密相关。机械制造初期,对于互相配合的零件都是按“配作”的方式制造的。如一对有一定配合要求的孔、轴,在制造时,先制造好孔或轴,然后以此孔或轴为基准件,配制与其相配合的轴或孔,进行试装,若太紧则进行修配,直到符合要求为止。显然,这种方式的生产,完全没有互换性,生产效率极低。

后来,发现具有一定间隙的配合工件,工作时工作性能会很好,为得到这种大小合适的间隙配合,就把其中的孔、轴当做标准,按照其尺寸分别制造精确的塞规和卡规(或环规),后称为标准量规。在诞生了标准量规以后,互配零件便可分开单独制造。加工时,只要使每一个孔恰好为塞规通过,使每一个轴恰好为卡规(环规)通过,即可保证一批中的任一孔、轴装配在一起都能得到所要求的配合性质,不仅生产效率大为提高,更重要的是使得这类零件具备了互换性。但标准量规有一突出的缺点,即零件精度要求过高(量规要恰好紧密地通过零件),故当时仅应用于兵器工业。经使用经验表明:对其提出如此高的精度要求也是不太必要,配合间隙略有变动,工作情况也会良好。即允许间隙在一定范围内变动,也就是允许孔、轴实际尺寸在一定范围内变化。于是就可按孔、轴允许的最大尺寸和最小尺寸,分别制成两套量规,称为极限量规——通规与止规。只要工件能被通规通过,而止规通不过,就被判定是合格件,可保证配合要求,具有互换性。

极限量规的出现,使零件不必按理论正确尺寸来加工,而只需按极限尺寸的范围来制造就能满足使用要求,即按公差加工。这对零件精度的要求就为合理,不再像标准量规那么苛刻。在 19 世纪末,当极限量规应用于生产后,互换性的发展就更加迅速,由兵器工业快速扩大到一般机器制造业。19 世纪末和 20 世纪,在一定程度上它促成了公差与配合制度诞生。如今,通过标准化及对几何参数有效地检测与控制,各类机械零件均可按成批大量制造,使互换性生产方式应用得极为广泛,已从狭义的几何参数的互换性发展到广义的功能参数的互换性。

从互换性的发展历程来看,不论是国内,还是国外早期的互换性生产方式均源于军工制造业。古代我国用互换性进行生产方式来制造兵器,更是史上鲜见,遥遥领先于世界。

如西安秦始皇兵马俑坑中出土的用青铜制造的弩机(即弓上射箭的扳机),研究表明:弩机上多处的孔、轴结合都具有很好的互换性能。再如从出土的大量青铜镞(箭头)的研究结果来看,不仅每一个镞的3个刃口的等分尺寸和刃口长度尺寸差别都很小,且一批镞之间的尺寸差别也不太大,制造精度、表面粗糙度同样达到相当高的水平。还有我国出土的古代装配式的铜人和铜车马(马的装饰带就由成百个铜销等零件构成),研究人员发现其各个部件或零件均具有良好的互换性。

近代互换性生产始于18世纪后半期,如沙皇俄国的最早记载是在1760—1770年期间,土里斯基兵工厂就已经按互换性原理的生产方式来制造军火;1798年美国也确立了按互换性原理来进行大批量步枪制造;稍晚一些时候,日本在引进步枪技术后,也开始在军工及机械行业着力推广互换性原理的生产方式,大大地增强了日本的军事装备力量,使日本军火工业与机械工业得到了空前的发展;我国1931年的沈阳兵工厂和1937年的金陵兵工厂,也已经采用互换性原理来进行兵器制造。随着人们对军工业采用互换性原理的生产方式所带来的巨大效益的认识与反思,这种生产方式便一步一步地被应用于民用产品中。

目前,从广义上讲,现代制造业中,无论是大批量生产还是单件生产,无不遵循这一原则。任何产品,无论是在设计过程中,还是在制造过程中,互换性的原则一直被贯穿始终。

1.2 互换性概念及作用

1. 互换性的定义

互换性广义上的定义是:“一种产品、过程或服务代替另一种产品、过程或服务能满足同样要求的能力”。在机械工业中,互换性是指同一规格的一批零件或部件中,任取其一,不需作任何挑选或附加修配(如钳工修配)就能装在机器上,且达到规定的功能要求。这样的一批零件或部件就称为具有互换性的零、部件。

在日常生活中,互换性的应用实例随处可见。如汽车、手表、家用电器、计算机及其外部设备等,在使用过程中任一零件或部件受到损坏,只需将同一规格的一零件或部件更换上,便能恢复原有功能照样继续使用。之所以这么方便,就是因为这些零件或部件均具有能够彼此互相替换的性能,即具有“互换性”。

2. 互换性分类

(1) 按互换参数范围或使用要求,互换性可分为以下两类。

① 几何参数互换性。通过对零件几何要素的形状、大小及相对位置提出适当要求,以保证零件在装配中的互换,这种互换性又称狭义互换性,即通常所讲的互换性。为本课程讨论的内容。

② 功能互换性。除了对零件几何要素规定要求外,还对零件的物理、化学性能和机械性能等方面的参数提出互换要求。故功能互换性又称广义互换性。

(2) 按互换程度,互换性可分为以下两类。

① 完全互换性。它是指零、部件在装配或更换时,不需挑选、辅助加工或修配就能



顺利装在机器上并满足使用的性能。如常用的、大批量生产的标准联接件和紧固件等都具有完全互换性。

② 不完全互换性。它是指零、部件在装配时允许有附加条件的选择或调整,才能达到装配精度的要求,又称有限互换性。如内燃机活塞销与活塞销孔装配时的分组法装配、减速器轴承盖装配时的垫片厚度调整法装配等。此外不完全互换性还包括概率法装配、修配法装配等。

(3) 对标准部件或机构来说,互换性可分为以下两类。

① 内互换。是指部件或机构内部组成零件间的互换性,如滚动轴承内、外圈滚道与滚珠(滚柱)的配合。

② 外互换。是指部件或机构与其相配件的互换性,如滚动轴承内圈内径与轴的配合、外圈外径与轴承座孔的配合。

在高精度时,内互换可采用不完全互换,而外互换一定要采用完全互换。

在产品设计的过程中,设计者究竟采用何种互换性,必须要在对产品精度和复杂程度、生产规模、生产设备、技术水平等因素的综合评价之后,才能确定。只要具备完全互换性原则的生产方式,就应优先采用完全互换原则。当产品结构复杂,装配精度要求较高,且采用完全互换性原则有困难、不经济时,在局部范围内可选用不完全互换。概率法原理主要是用于因零件数量较多而影响装配精度的生产过程;分组互换最适合于批量较大,且使用精度要求较高的结合件生产中;调整互换应用最为普遍;为保证装配精度所采用的修配法,一般只用于单件或小批量的生产过程中。一般而言,对于厂际协作应采用完全互换,不完全互换仅限于厂内的生产装配。



特别提示

决定互换性的条件是产品精度、批量、工艺,在产品设计时就应考虑。当产品结构复杂、装配精度高时,局部采用不完全互换,装配时,还需要附加修配的零件,不具有互换性。

3. 互换性的作用

互换性原则在机械制造业中的作用十分突出,被广泛应用于产品设计、零件加工和装配、机器的使用和维修等各方面。

在设计方面,按照互换性进行设计,就可最大限度地采用标准件、通用件,大大减少设计、计算、绘图等工作量,缩短设计周期,并有利于产品品种的多样化和计算机辅助设计。对保证产品品种的多样化和结构性能的及时改进,具有重要意义。



特别提示

设计者在产品的设计过程中,应尽可能选用标准件和通用件,同时还要做到自己所设计的零、部件也能被他人方便选用。

在加工和装配方面,按互换性进行生产,可实现分散加工,集中装配。有利于组织跨地域的专业化厂际协作;有利于先进工艺和高效率的专用装备或计算机辅助制造的应用,实现生产过程的自动化、机械化。在装配过程中,由于零部件具有互换性,可在按同一标

准制成的零部件中,任取一件进行装配,保证装配过程连续、顺利地进行,可实行流水线或自动线组织生产,减轻劳动强度、缩短装配周期、保证装配质量。

互换性生产是随着大批量生产而发展和完善起来的,它不仅在大批量生产中广为采用,而且从单一品种的大批量生产,逐步向多品种、小批量生产推广,由传统的生产方式向现代化的数字控制(NC)、计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)及柔性制造系统(FMS)和更先进的计算机集成制造系统(CIMS)的逐步过渡。科学技术越发展,对互换性的要求就越高、越严格。如根据市场需求来随时调整生产线上生产的产品型号和种类的柔性制造系统,当生产线上的某些工序发生变动时,可将这些信息传送给多品种控制处理单元,由控制处理单元接收并对机器人或机械手下达相应指令,确保机器人或机械手正确选择将要进行装配的零件,进行对位装配,经校核后送到下一执行工序。库存零件被提取后,中控计算机就会及时告知加工站补充零件。此生产系统内的每一环节均对互换性的要求非常严格。

在使用和维修方面,互换性有其不可替代的优势。当机器的零、部件突然损坏或按计划定期维修时,若零、部件具有互换性,就可保证能迅速选用到同规格的零、部件来进行更换,使维修时间和费用显著减少,提高机器使用效率,延长产品使用寿命。在某些情况下,互换性所起的作用难以用经济价值来衡量。如在对国民经济和财产生命安全影响重大的设备中(电厂设备、消防设备等),必须采用互换性好的零、部件,才能保证设备安全、持久运转;再如军工产品的易损、易耗件,如子弹、炮弹等具有互换性也是相当重要的。

另外,从机械设备管理上来看,无论是技术和物资供应,还是计划管理,只有很好地贯彻零、部件具有互换性的生产理念,才能实现科学化管理。互换性原则是机械工业生产的基本技术经济原则,是设计、制造中必须遵循的原理。即使是单件、小批生产,零件不具有互换性,也应很好地贯彻其基本思想,因为不论采用什么样的生产方式,都不可避免地要采用具有互换性的刀具、夹具及量具等工艺装备,更何况在整台产品中一定会用到大量具有互换性的标准零、部件。

不仅如此,现代社会生产活动一定是建立在先进技术装备、严密分工、广泛协作基础上的社会化大生产。产品的互换性生产,无论是从深度来讲,还是从广度来看,采用互换性原理来组织生产都已进入了一个新的发展阶段,远超出机械工业的范畴,早已扩展到国民经济各个行业和领域。

1.3 标准与标准化基础

1.3.1 公差与检测

为满足互换性要求,最理想的是将同一规格零部件的几何参数制造成完全一致,但在实际中是不可能实现的,也是不必要的。零件在加工过程中,无论设备精度和操作工人的技术水平多么高,被加工零、部件的几何参数不可避免地会产生各种误差,这些误差被称为几何量误差。尽管几何量误差可能会影响零、部件的互换性能,但实践证明:只要将同规格的零、部件的几何参数控制在一定的范围内就能保证它们之间的互换性。

人们将允许零件尺寸和几何参数的变动范围称为“公差”。它包括尺寸公差、形状公



差、位置公差等，用来控制加工中的误差，以保证互换性的实现。

为保证互换性要求，确保全国范围内企业间协作和国际技术合作，设计者不可任意规定公差数值，而应按一定的精度要求和标准规定，合理选用标准的公差数值。因此，建立各种几何参数的公差标准是实现零件误差控制和保证互换性的基础。

加工后的零件是否满足公差要求，只有通过技术测量即检测才能判定。检测包含检验与测量。几何量的检验是指确定零件的几何参数是否在规定的极限范围内，并做出合格与否的判断，而不必得出被测量的具体数值；测量是将被测量与作为计量单位的标准量进行比较，以确定被测量具体数值的过程。检测不仅用来评定产品质量，而且可用于分析产品不合格的原因，从而及时调整生产，改进工艺过程，预防废品产生。产品质量的提高，除设计和加工精度的提高外，检测精度的提高也至关重要。



特别提示

合理确定几何参数的公差、正确进行检测，是保证产品质量、实现互换性生产的必不可少的条件和手段。

1.3.2 标准和标准化

现代生产的特点是品种多、规模大、分工细和协作广。为使社会生产有序地进行，必须通过标准化使产品规格、品种简化，使分散的、局部的生产环节相互协调和统一，从而保证产品具有互换性。

标准是对重复性事物和概念所做的统一规定。重复性事物和概念是指在人类实践过程中重复发生的事物。如零件的批量生产，某种零、部件在不同产品中得到应用，设计中反复使用的图形、符号、概念、计算公式和计算方法等。标准是以科学、技术和实践经验的综合成果为依据的，经有关方面协商一致，由主管机构批准，以特定形式发布，作为共同遵守的准则和依据。

标准按不同的级别颁发。我国的标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。

国家标准(代号 GB，其中 GB/T 为推荐性国家标准代号)是指对全国经济、技术发展有重大意义，必须在全国范围内统一执行的标准。它由国家质量技术监督局委托有关部门起草，经审批后由国家质量技术监督局颁布；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规范，可制定行业标准，如机械标准(JB)、煤炭行业标准(MB)等；对没有国家标准和行业标准而又需要在某个范围内统一的技术规范，可制定地方标准或企业标准，它们的代号分别用 DB、QB 表示。有的企业为了提高产品质量，强化竞争力，制订出高于国家标准的“内控标准”。

标准化是指在经济、技术、科学及管理等社会实践中，对重复性事物和概念通过制定、发布和实施标准，达到统一，以获得最佳秩序和社会效益的全部活动过程。标准化不是一个孤立的概念，而是一个活动过程，该过程包括制定、贯彻、修订标准，循环往复，不断提高。制定、贯彻、修订标准是标准化的主要任务，在标准化的全部活动中，贯彻标准是核心环节。同时，标准化在深度上是没有止境的，无论是一个标准，还是整个标准系统，都在不断提高、不断完善，向更深的层次发展。

**特别提示**

标准和标准化是两个不同的概念，但又有着不可分割的联系。没有标准，就没有标准化；反之，没有标准化，标准也就没有意义。

在科学技术蓬勃发展的今天，标准化的必要性和效益越来越明显。标准化水平已成为衡量一个国家科技水平和管理水平的尺度之一，是现代化程度的一个重要标志，它已超出工厂的范围，跨过国家疆界，走向全世界。

在国际上，由国际标准化组织(ISO)和国际电工委员会(IEC)等国际组织负责制订和颁布国际标准。此外，还有区域标准，是指世界某区域标准化团体颁布的标准或采用的技术规范，如欧洲标准化委员会(EN)、经济互助委员会标准化常设委员会(DB)所颁布的区域标准。国际标准属于推荐和指导性标准。

采用国际标准已成为各国技术经济工作的普遍发展趋势。其主要有以下几个原因。

(1) 由于产品的质量和数量的提高，要依靠科学的进步，国外许多已解决了的技术问题及先进科技成果，常集中反映在国际标准和国外先进标准中。采用国际标准乃是一种廉价的技术引进。经认真分析，把它们作为依据，有计划、有目标地改进设计和制造工艺，配置一定的生产设备、工艺装备和检测手段，必将促进企业管理，建立正常的生产秩序，确保产品质量的不断提高。

(2) 当前国际市场竞争十分激烈，如不采用国际上普遍认同的技术标准，就制造不出高标准的产品，就很难在国际市场上拥有竞争力。

(3) 现代化生产的发展趋势是专业化协作替代一厂或一企业全能式生产。协作范围已冲破国家之间的界线，形成了全世界范围内的专业分工和生产协作。各国都遵循和采用国际标准，这是在国际交流中消除技术壁垒的基本条件。

我国是 ISO 的成员国，参照国际标准制定和修订我国的国家标准，是我国重要的技术政策，从而为加快我国工业进步奠定了基础。

1.3.3 优先数和优先数系(GB/T 321—1980)

工程上各种技术参数的简化、协调和统一是标准化的重要内容。

各种产品的性能参数和尺寸规格参数都需要通过数值来表达，这些参数在生产各环节中往往不是孤立的，当选定一个数值作为某种产品(或零、部件)的参数指标后，这个数值就会按照一定规律，向一切有关参数传播。如螺栓尺寸一旦确定，将影响螺母以及加工它们所使用的丝锥和板牙的尺寸，也会影响检验的量规的尺寸，还有螺栓孔和垫圈孔的尺寸以及紧固螺母用的工具扳手尺寸；纸张的大小将影响印刷、打印设备的相关参数。这种技术参数的传播扩散在实际生产中是极为普遍的现象。

由于参数值如此不断关联、不断传播，所以参数值不能随意确定，否则将会导致相应产品尺寸规格繁多、杂乱，给生产协作及使用维修带来困难。为使产品的参数选择能遵守统一的规律，使参数选择一开始就纳入标准化轨道，必须对各种技术参数的数值做出统一规定。优先数和优先数系就是国际上统一的对各种技术参数进行简化、协调的一种科学的数值制度。



1. 优先数系的构成

GB/T 321—1980 中规定优先数系由一系列十进制等比数列构成,代号 R_r ($r=5、10、20、40、80$ 等)。R5、R10、R20、R40 这 4 个常用系列称为基本系列, R80 称为补充系列。优先数系中的每个数都是一个优先数。

将十进制区间 $0.1\sim 1\sim 10\sim 100\sim 1000$ (两边可延伸) 中按一定公比 q 插入一些数, 得到如下优先数系列, 见表 1-1。各优先数系列的公比为 $\sqrt[r]{10}$, 例如 R5 系列的公比 $q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.60$; 其余各系列的公比分别为 $q_{10} \approx 1.25$; $q_{20} \approx 1.12$; $q_{40} \approx 1.06$; $q_{80} \approx 1.03$ 。

按公比计算出的优先数的理论值一般都是无理数, 工程上不能直接应用, 实际应用的 是经过圆整后的常用值和计算值。常用值是经常使用的通常所称的优先数, 取三位有效数字, 计算值取五位有效数字, 供精确计算用。表 1-1 中列出了 $1\sim 10$ 范围内基本系列的常用值。将这些值乘以 10, 100, $\dots$, 或乘以 0.1, 0.01, $\dots$, 即可向 >1 和 <1 两边无限延伸, 得到大于 10 或小于 1 的优先数。每个优先数系中, 相隔 r 项的末项与首项相差 10 倍; 每个十进制区间中各有 r 个优先数, 例如 R5 系列在 $1\sim 10$ 这个十进制区间有 1、1.6、2.5、4、6.3 这 5 个优先数。

表 1-1 优先数系基本系列的常用值 (摘自 GB/T 321—1980)

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

2. 优先数的派生系列和复合系列

由于生产需要, 优先数系 R_r 还有变形系列, 即派生系列和复合系列。

(1) 派生系列: 在 R_r 系列中, 按一定的项差 P 取值所构成的系列, 即 R_r/P 系列。若在 R10 系列中按项差 $P=3$ (每隔两项) 取值, 则构成 R10/3 系列, 其公比 $q_{10/3} = (\sqrt[10]{10})^3 = 2$ 。如 1, 2, 4, 8, $\dots$; 1.25, 2.5, 5, 10, $\dots$ 等均属于该系列, 它即是常用的倍数系列。

(2) 复合系列: 由若干公比系列混合构成的多公比系列, 如 10、16、25、35.5、50、71、100、125、160 这一系列, 它们分别由 R5、R20/3、R10 这 3 种系列构成混合系列。