

互换性与测量技术

张秀珩 巴鹏 主编

互换性与测量技术

主 编 张秀珩 巴 鹏
参 编 刘凤丽 刘玉梅 任金玉
主 审 慕 丽



机械工业出版社

本书阐述了“互换性与测量技术”课程的主要内容，介绍并分析了我国公差与配合方面的现行标准，阐述了技术测量的基本概念和方法。本书主要内容包括测量技术基础，孔、轴配合尺寸精度的控制与评定，几何精度的控制与评定，公差原则，表面粗糙度，滚动轴承的公差与配合，普通螺纹公差与配合，渐开线圆柱齿轮传动精度的控制与评定。同时，本书引入了相关国际标准的内容加以对比，且在每章都给出了相关专业术语的英文专业词汇。本书配有习题参考解答及相关章节的课件。

本书可作为高等院校机械类以及机电、车辆工程等近机械类专业的教材，也可供行业内从事产品设计、计量测试、生产检验等工作的工程技术人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

互换性与测量技术/张秀珩, 巴鹏主编. —北京: 机械工业出版社, 2019. 4

ISBN 978-7-111-62441-7

I. ①互… II. ①张…②巴… 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 (2019) 第 062718 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: 王晓洁 责任编辑: 王晓洁

责任校对: 肖琳 封面设计: 严娅萍

责任印制: 李昂

唐山三艺印务有限公司印刷

2019 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 14.75 印张 · 360 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-62441-7

定价: 39.80 元

电话服务

客服电话: 010-88361066

010-88379833

010-68326294

封底无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网: www.cmpbook.com

机工官博: weibo.com/cmp1952

金书网: www.golden-book.com

机工教育服务网: www.cmpedu.com

前 言

互换性与测量技术是机械专业教学中的一门专业技术基础课程，也是高等院校机械类、仪器仪表类及其他近机械类等工科专业学生必修的一门重要课程。该课程基于互换性原理，将标准化生产管理、几何量公差与测量技术等知识有机结合，应用于零件的设计、制造、维修、质量控制与生产管理等整个生命周期中。

互换性与测量技术这门课程概念多、涉及面广，牵涉的国家标准多且标准更新快。本书在参考一些已出版的同类教材的同时，融入了编者多年来教学与科研实践的经验，强调基础，力求概念清楚，突出应用，着重阐述对现行国家标准的理解与使用。本书具有以下主要特点：

(1) 理论体系全面 强调基础理论的应用及知识体系的完整性，侧重对学生基本技能的训练和综合能力的培养。

(2) 标准最新 采用最新的产品几何技术规范标准，有助于理解精度设计的最新技术。

(3) 中英文结合 关键术语、定义在正文中给出英文对照，每章后有相应的英文资料供读者参考，能满足双语教学及培养读者英语文献阅读和技术交流能力。

(4) 突出应用 结合工程应用实例对尺寸公差、几何公差、表面粗糙度等内容进行阐述，脉络清晰，叙述简练。

本书由沈阳理工大学张秀珩、巴鹏任主编，刘凤丽、刘玉梅、任金玉参编。编写分工为：张秀珩编写第3章全部；巴鹏编写第4章全部；刘凤丽编写第6章的中文部分和第7章、第8章全部；刘玉梅编写第2章和第9章的中文部分；任金玉编写第1章和第5章全部，第2章、第6章、第9章的英文部分。本书由沈阳理工大学慕丽教授担任主审，参加审稿的还有沈阳理工大学丛培田教授。

由于编写水平有限且时间较为仓促，书中难免有不足之处，敬请读者批评指正。

编者

目 录

前言	
第1章 绪论	1
1.1 互换性概述	1
1.2 标准与标准化	3
1.3 本课程的研究对象及任务	7
思考与习题	8
英文阅读扩展	8
第2章 测量技术基础	11
2.1 测量技术概述	11
2.2 测量误差与测量不确定度评定	18
思考与习题	27
英文阅读扩展	27
第3章 孔、轴配合尺寸精度的控制与评定	32
3.1 产品几何技术规范标准体系及基本术语	32
3.2 极限与配合基本术语和定义	34
3.3 极限与配合的国家标准	41
3.4 尺寸精度设计的原则及方法	57
3.5 光滑工件检测及光滑极限量规	67
思考与习题	79
英文阅读扩展	80
第4章 几何精度的控制与评定	85
4.1 概述	85
4.2 几何公差的标注方法	92
4.3 形状公差及其误差评定	97
4.4 方向公差及其误差评定	104
4.5 位置公差及其误差评定	110
4.6 几何公差国家标准及其选用	117
思考与习题	125
英文阅读扩展	127
第5章 公差原则	133
5.1 相关术语与定义	133
5.2 公差原则详解	137
思考与习题	147
英文阅读扩展	148
第6章 表面粗糙度	151
6.1 概述	151
6.2 表面粗糙度的评定	152
6.3 表面粗糙度的选用	155
6.4 表面粗糙度的标注方法	158
6.5 表面粗糙度的测量方法	163
思考与习题	163
英文阅读扩展	164
第7章 滚动轴承的公差与配合	170
7.1 概述	170
7.2 滚动轴承公差与配合	171
7.3 滚动轴承配合的选择	174
7.4 轴和轴承座孔的其他技术要求	178
思考与习题	180
英文阅读扩展	180
第8章 普通螺纹公差与配合	186
8.1 概述	186
8.2 螺纹的基本牙型和几何参数	186
8.3 螺纹几何参数误差对螺纹互换性的影响	188
8.4 普通螺纹的公差与配合	190
思考与习题	195
英文阅读扩展	195
第9章 渐开线圆柱齿轮传动精度的控制与评定	200
9.1 齿轮传动的使用要求及加工误差	200
9.2 渐开线圆柱齿轮的评定指标及其检测	203
9.3 齿轮副的评定指标及其检测	213
9.4 渐开线圆柱齿轮精度的国家标准	216
思考与习题	224
英文阅读扩展	224
参考文献	229

第 1 章 绪 论

知识引入

为什么现代的工业产品具有复杂的机械结构，但却安装方便？为什么汽车的配件可以由多个车间甚至厂家进行生产？为什么我们从商店里买来一定规格的零件就可以直接替换原来被损坏的零件？现代工业产品为什么具有标准？标准的零件对我们的生活有什么影响？

1.1 互换性概述

1.1.1 互换性的定义

互换性 (Interchangeability)，广义上是指事物可以相互替换的特性。现代的生产生活都离不开互换性。例如，小到灯泡、计算机的集成芯片，大到汽车、机床等大型设备，其中的零件损坏了，换装上同一规格的新零件，便能保证其正常工作，它们都具有互换性。简而言之，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，并且能满足使用要求的能力。

机械制造中的互换性是指按照规定的几何、物理和力学性能等参数的公差，分别制造的零部件，在装配时，不需要任何挑选或修配，就能装配到机器上去，并能达到规定的使用要求的零部件，被称为具有互换性的零部件。

互换性生产的发展进入了一个新的阶段，从几何参数的互换性发展到其他质量参数的互换性，由机械工业范畴扩展到了其他行业，如汽车行业、电子制造工业以及近年来新兴的信息产业等。互换性概念的应用是现代生产和生活发展的推动力，并为未来社会的发展继续发挥着关键作用。

1.1.2 互换性的发展

基于互换性的生产，可以追溯到美国的独立战争时期。18 世纪中期，第一次工业革命前，大部分的产品生产还采用手工作坊的方式，枪支也不例外。由手工匠人制作枪支需要的周期很长，且不同匠人甚至同一匠人造出的同类的枪支，其零件都不能相互替换。由于战争需要，一位名叫惠特尼·伊莱 (Whitney Eli) 的英国人接到来自美国的一份一万支来复枪的订单，要求这些枪的零件能够相互替换。为了完成订单，他把工匠分为不同的制作小组，每个小组按照一定的尺寸要求制作相同的零件，再将合格的零件进行组装，这样在很短的时间内就按要求完成了订单。同时惠特尼提出了一个新的制造思想——互换性。这一思想由枪械制造领域发展到其他的生产领域，乃至成了第一次工业革命的导火索。基于互换性、并行生产的理念，后来的福特 (Ford) 汽车公司发明了流水线的生产方式。

我国古代也有关于互换性技术的应用，如考古人员在对秦始皇兵马俑进行发掘时发现了

四万多个金属制造的三棱箭头，箭头底边宽度的平均误差不超过 $\pm 0.83\text{mm}$ ，且这些青铜箭头的三个面的轮廓度误差不大于 0.15mm ，这说明数以万计的箭头都是按照相同的技术标准制造的。同时发掘的弩机，其结构中的孔、轴配合都具有互换性。这说明在 2000 多年前，我国已能运用互换性技术进行生产了。

时至今日，互换性已经深入人们生产生活的方方面面，尽管现代技术可以保障人们对个性化产品的追求，但提高设计质量和设计效率，降低设计成本，缩短设计时间、生产准备周期，仍然需要互换性加以保证。

1.1.3 互换性的分类

根据使用要求以及互换的参数、程度、部位和范围的不同，互换性可以分为不同的种类。

1. 按照参数或参数的功能分类

(1) **几何参数互换性** 几何参数互换性是指通过规定几何参数的极限范围以保证产品的几何参数值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，有时也局限于指保证零件尺寸配合或装配要求的互换性。

几何参数主要包括尺寸大小、几何形状（宏观、微观）以及相互的位置关系等。为了满足互换性的要求，最理想的情况是同规格的零部件的几何参数完全一致。但在生产实践中，由于各种因素的影响，这是不可能实现的，也是不必要的。实际上，只要零部件的几何参数在规定的范围内变动，就能满足互换的目的。

(2) **功能互换性** 功能互换性是指通过规定功能参数的极限范围所达到的互换性。功能参数既包括几何参数，也包括其他一些参数，如材料物理力学性能、化学、光学、电学、流体力学等参数。此为广义互换性，往往着重于保证除几何参数互换性或装配互换性以外的其他功能参数的互换性要求。

2. 按照互换的程度分类

(1) **完全互换性** 以零部件装配或更换时不需要挑选或修配为条件。概率互换（以一定置信水平为依据）属于完全互换。

(2) **不完全互换性** 不完全互换性也称为有限互换性，在零部件装配时允许有附加条件地进行选择或调整。对于不完全互换性，可以采用分组装配法、调整法或其他方法来实现。例如，当装配精度要求很高时，采用完全互换性，将使零件的制造公差变小，加工难度加大，成本增高，甚至无法加工。这时，将零件的制造公差放大，以便于加工，在装配前，增加一道检测选择工序，即按相配零件实际尺寸的大小分成若干对应组，使各组内零件间提取要素的局部尺寸的差别变小，在装配时，按组进行装配。这样既保证了预定的装配精度，又解决了加工困难，也不会过多地增加成本。这种组内零件具有互换性，但组与组之间的零件不具备互换性的情况就属于不完全互换性。

一般来说，零部件需厂际协作时应采用完全互换性，部件或构件在同一厂制造和装配时，可采用不完全互换性。

3. 按照部位或范围分类

对独立的标准部件或机构来讲，其互换性可以分为内互换和外互换。

(1) **内互换** 内互换是指部件或机构内部组成零件间的互换性。例如，滚动轴承内、

外套圈的滚道分别与滚动体（滚珠、滚柱等）之间的互换性。因为这些零件的精度要求高，加工难度大，生产批量大，故它们的内互换采用分组互换。

(2) **外互换** 外互换是指部件或机构与其相配合件间的互换性。例如，滚动轴承内圈内径与传动轴的配合、滚动轴承外圈外径与壳体孔的配合为外互换性。从使用方便考虑，滚动轴承作为标准部件，其外互换采用完全互换。

1.1.4 互换性的作用

互换性对现代机械制造业具有非常重要的意义。只有机械零部件具有互换性，才有可能将一台复杂的机器中成千上万的零部件分散到不同的工厂、车间进行高效率的专业化生产，然后再集中到总装厂或总装车间进行装配。因此，互换性是现代化机械制造业进行专业化生产的前提条件，不仅能促进自动化生产的发展，也有利于降低成本、提高产品质量。机械制造业中，互换性的作用体现在产品的设计、制造、装配、使用和维护等方面。

(1) 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，便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）技术的应用。

(2) 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；有利于实现加工和装配过程的机械化、自动化，从而减轻工人劳动强度，提高生产效率，保证产品质量，降低生产成本。

(3) 在装配方面 由于装配时不需附加加工和修配，减轻了工人的劳动强度，缩短了劳动周期，并且可以采用流水作业的装配方式，大幅度地提高了生产效率。

(4) 在使用和维修方面 零部件具有互换性，可以及时更换那些已经磨损或损坏的零部件。因此，给某些易损件提供备用件，可以提高机器的使用价值。

1.2 标准与标准化

1.2.1 标准与标准化概述

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（Standard）是指为了在一定的范围内获得最佳秩序，对活动或其结果规定共同的和重复使用的规则、导则或特性的文件。标准对于改进产品质量，缩短产品制造周期，开发新产品和协作配套，提高社会效益，发展社会主义市场经济和对外贸易等有很重要的意义。

2. 标准化

标准化（Standardization）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，促进技术合作方面具有特别重要的意义。

标准化工作包括制定标准、发布标准、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。

在国际上，为了加强世界各国之间的交流，促进各国之间在技术上的统一，先后成立了国际电工委员会（IEC）和国际标准化组织（ISO），并由这两个组织负责起草、制定和颁布国际标准。经过多年的发展和完善，目前，标准化正处于新的历史时期。为了增进国际合作，使产品走向国际市场，我国于1978年恢复参加ISO组织后，陆续修订了原有的国家标准。修订原则为：在立足我国生产实际的基础上向ISO靠拢，以利于加强我国在国际上的技术交流与合作。近年来，随着我国科技发展，新修订的标准越来越多地等同采用了ISO标准。

按照标准化对象的特性，标准可分为基础标准、方法标准、产品标准、安全标准等，具体如图1-1所示。按标准产生的层次可分为国际标准、区域标准、国家标准、行业标准、地方标准和企业标准六类，如图1-2所示。

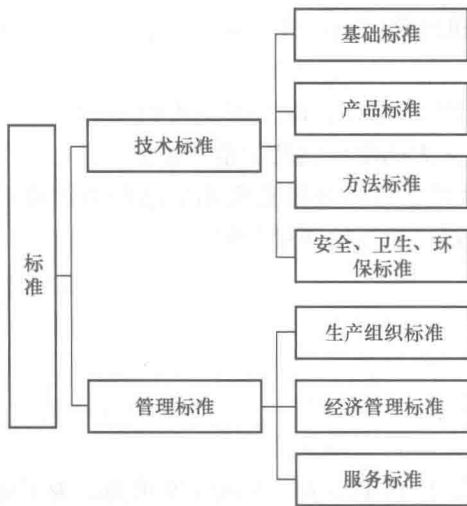


图 1-1 标准的用途分类

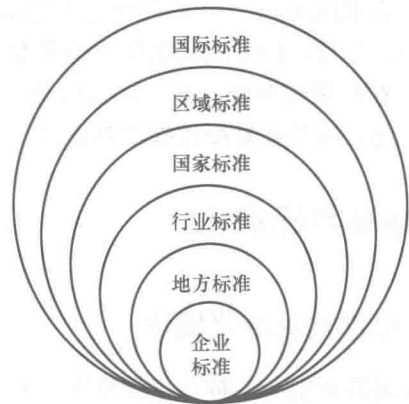


图 1-2 标准的分类

国家标准就是需要在全国范围内有统一的技术要求时，由国家市场监督管理总局颁布的标准。

行业标准就是在没有国家标准，而又需要在全国某行业范围内有统一的技术要求时，由该行业的国家授权机构颁布的标准。但在有了国家标准后，该项行业标准即行废止。

地方标准就是在没有国家标准和行业标准，而又需要在省、自治区、直辖市范围内有统一的技术安全、卫生等要求时，由地方政府授权机构颁布的标准。但在公布相应的国家标准或行业标准后，该地方标准即行废止。

企业标准就是对企业生产的产品，在没有国家标准、行业标准及地方标准的情况下，由企业自行制定的标准，并以此标准作为组织生产的依据。如果已有国家标准或行业标准及地

方标准，企业也可以制定严于国家标准或行业标准的企业标准，在企业内部使用。

1.2.2 优先数系及优先数

任一产品的技术参数不仅与自身的技术特性参数有关，而且还直接或间接地影响到与其配套的一系列产品的参数。例如，螺母直径影响并决定螺钉直径数值及丝锥、螺纹塞规、钻头等一系列产品的数值。为了避免产品数值的杂乱无章、品种规格过于繁多，减少给组织生产、管理与使用等带来的困难，必须把数值限制在较小范围内，并进行优选、协调、简化和统一。为了满足用户各种各样的需求，同一种产品的同一参数就要从小到大取不同的值，从而形成不同规格的产品系列，这个系列确定得是否合理，与所取的数值如何分级直接相关。优先数和优先数系是一种科学的数值制度，也是国际上统一的数值分级制度，它不仅适用于标准的制定，也适用于标准制定前的规划、设计，从而把产品品种的发展从一开始就引向科学的标准化轨道。因此，优先数系是国际上统一的一个重要的基础标准。

1. 优先数系

优先数系 (Series of Preferred Numbers) 是国家统一的数值制度，是技术经济工作中统一、简化和协调产品参数的基础。

优先数系的公比 $q_r = \sqrt[r]{10}$ 。国家标准 GB/T 321—2005《优先数和优先数系》规定 r 值有 5、10、20、40 和 80 五种，分别采用国际代号 R5、R10、R20、R40 和 R80 表示，称为 R_r 系列。其中前 4 个系列是常用的基本系列，见表 1-1，而 R80 则作为补充系列，仅用于分级很细的特殊场合。

(1) 基本系列 (Basic Series)

R5 系列: $q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.5849 \approx 1.60$;

R10 系列: $q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.2589 \approx 1.25$;

R20 系列: $q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.1220 \approx 1.12$;

R40 系列: $q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.0593 \approx 1.06$ 。

(2) 补充系列 (Complimentary Series)

R80 系列: $q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.0292 \approx 1.03$ 。

表 1-1 优先数系基本系列常用值 (摘自 GB/T 321—2005)

基本系列 (常用值)				计算值
R5	R10	R20	R40	
1.00	1.00	1.00	1.00	1.0000
			1.06	1.0593
			1.12	1.1220
			1.18	1.1885
		1.25	1.25	1.2589
			1.32	1.3335
			1.40	1.4125
			1.50	1.4962

(续)

基本系列 (常用值)				计算值
R5	R10	R20	R40	
1.60	1.60	1.60	1.60	1.5849
			1.70	1.6788
	2.00	2.00	1.80	1.7783
			1.90	1.8836
			2.00	1.9953
			2.12	2.1135
			2.24	2.2387
			2.36	2.3714
2.50	2.50	2.50	2.50	2.5119
			2.65	2.6607
	3.15	3.15	2.80	2.8184
			3.00	2.9854
			3.15	3.1623
			3.35	3.3497
			3.55	3.5481
			3.75	3.7584
4.00	4.00	4.00	4.00	3.9811
			4.25	4.2170
	5.00	5.00	4.50	4.4668
			4.75	4.7315
			5.00	5.0119
			5.30	5.3088
			5.60	5.6234
			6.00	5.9566
6.30	6.30	6.30	6.30	6.3096
			6.70	6.6834
	8.00	8.00	7.10	7.0795
			7.50	7.4989
			8.00	7.9433
			8.50	8.4140
			9.00	8.9125
			9.50	9.4406
10.00	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000

2. 优先数

优先数系中的任何一个项值均称为优先数 (Preferred Number)。优先数的理论值为

$(\sqrt[10]{10})^{N_r}$ 。其中 N_r 是任意整数。按照此式计算得到的优先数的理论值,除 10 的整数幂外,大多为无理数,工程技术中不宜直接使用,实际应用的数值都是经过圆整处理后的近似值。

3. 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 R5、R10、R20、R40 的顺序选用;若基本系列不能满足要求,可选用派生系列,需注意应优先选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,还可分段选用合适的系列,组成复合系列。

优先数系具有一系列的优点:任意相邻两项间的相对差近似不变,前后衔接不间断,简单易记,运算方便,同一系列中任意几项的积、商或任意项的整数幂仍为该系列中的一个优先数。在标准的制定、零部件的设计、新产品的的设计等方面,应尽可能地采用优先数系。

1.3 本课程的研究对象及任务

本课程是机械类各专业及相关专业的一门重要专业基础课,在教学计划中起着联系基础课及其他专业基础课与专业课的桥梁作用,同时也是联系机械设计类课程与机械制造工艺类课程的纽带。

本课程是从“精度”与“误差”两方面分析研究机械零件及机构的几何参数的。设计任何一台机器,除了进行运动分析、力学分析以及强度和刚度校核以外,还要进行精度设计。机器精度直接影响到机器的工作性能、振动、噪声、生产成本、寿命的各个方面。随着科技迅速发展,对机械精度的要求越来越高,对互换性的要求也越来越高,如何处理机器的功能要求与制造工艺之间的关系,协调精度与生产成本之间的关系,使质量与成本的关系达到平衡,成为机械类相关学科中重要的组成部分。因此,学习和研究互换性与测量技术中的最新成果,不仅是高等工科院校相关师生的任务,也是科研院所、工矿企业的工程技术人员的责任。

学生在学习本课程后应达到下列要求:

- 1) 掌握互换性和标准化的相关概念。
- 2) 了解本课程所介绍的各个公差标准和基本内容,掌握其特点和应用原则。
- 3) 初步学会根据机器和零件的功能要求,选用合适的公差与配合,并能正确地标注到图样上。
- 4) 掌握一般几何参数测量的基础知识,能够测量典型零件的几何误差。
- 5) 了解各种典型零件的测量方法,学会使用常用的计量器具。

本课程由公差与互换性和测量技术基础两部分组成。公差与互换性部分主要介绍互换性及相关的公差标准,属于标准化范畴;测量技术基础则属于计量学范畴。两部分既相互独立又相辅相成,是研究和保证机械产品质量所必需的两个重要的技术环节。

本课程涉及的公差标准、基本概念、专业术语很多,因此符号代号多、叙述性内容多、经验总结和应用实例多,对学生来说,应及时纠正自己的学习方法,不要死背概念和记忆公式,在学习时应多通过标注练习、测量实验及实训课程来加深对概念和规则的理解。

思考与习题

- 1-1 试列举各专业领域互换性的应用实例，并分析互换性的作用。
- 1-2 完全互换与不完全互换的区别是什么？各用于何种场合？
- 1-3 试述标准化与互换性及测量技术的关系。
- 1-4 什么是优先数系？如何应用？第一个数为10，按R5系列确定后五项优先数。
- 1-5 写出下列派生系列：R10/2，R10/3，R20/3。
- 1-6 调查各种产品、机器的主要参数应用优先数系的情况，说明优先数系起的作用。
- 1-7 调查本专业与精度、质量相关的标准。

英文阅读扩展

Fundamentals of International Standard

ISO overview

ISO (International Organization for Standardization) is a worldwide federation of national standards bodies (ISO member bodies). The work of preparing International Standards is normally carried out through ISO technical committees. Each member body interested in a subject for which a technical committee has been established has the right to be represented on that committee. International organizations, governmental and non-governmental, in liaison with ISO, also take part in the work.

Draft International Standards adopted by the technical committees are circulated to the member bodies for approval before their acceptance as International Standards by the ISO Council. They are approved in accordance with ISO procedures requiring at least 75% approval by the member bodies voting.

Users should note that all International Standards undergo revision from time to time and that any reference made herein to any other International Standard implies its latest edition, unless otherwise stated.

About Interchangeability

When the service life of an electric bulb is over, all you do is to buy a new one and replace the bulb. This easy operation, which does not need a fitter or a technician, would not be possible without two main concepts, interchangeability and standardization. Interchangeability means that identical parts must be interchangeable, i. e., able to replace each other, whether during assembly or subsequent maintenance work, without the need for any fitting operation. As you can easily see, interchangeability is achieved by establishing a permissible tolerance, beyond which any further deviation from the nominal dimension of the part is not allowed. On the other hand, standard involves limiting the diversity and total number of varieties to a definite range of standard dimensions. This is exemplified by the standard gauge system for wires and sheets. Instead of having a very large number of sheet thicknesses in step of 0.001 inch, the number of thickness produced was limited to only 45

(in U. S. standard) . As you can see, standardization has far - reaching economical implications and also promotes interchangeability . It is obvious as well that the engineering standard differ for different countries and reflect the quality of technology and the industrial production in each case. In Germany, the standards are referred to as DIN (Deutsche Ingenieure Normen), which are finding some popularity worldwide. The former Soviet Union adopted the GOST, which was suitable for the period of industrialization of that country.

Modern industry is based on flow - type “mass” components into machines, units, or equipment without the need for any fitting operations performed on those components. That was the case in the early days of the Industrial Revolution, where machines or goods were individually made and assembled, and there was always the need for the “fitter”, with his or her file to make final adjustments before assembling the components.

Geometrical product specifications (GPS) — Matrix model

ISO GPS is concerned with geometrical properties such as size, location, orientation, form, surface texture, etc. Nine geometrical properties are identified in the ISO GPS system. Additional geometrical properties may be added in the future. The properties are:

- size;
- distance;
- form;
- orientation;
- location;
- run - out;
- profile surface texture;
- areal surface texture;
- surface imperfections.

The ISO GPS standards relating to each of these nine geometrical properties are grouped together in a series of nine categories of standards. Each category may be further sub - divided into a number of more specific elements, and each of these specific elements identifies a chain of standards. For example, size is a geometrical property category. Size can then be subdivided into size of cylinders, size of cones, size of spheres, etc. , each of which corresponds to a chain of standards. Angles are covered within the properties of size and distance, and radii are covered within the properties of distance and form.

For each geometrical property, it is necessary to be able to define a specification for that property, it is necessary to be able to measure the property, and it is necessary to be able to compare the measurement with the specification. The GPS standards relating to these requirements are defined as a series of seven links in each chain of standards.

A geometrical property category consists of all the general ISO GPS standards which relate to a particular geometrical property, such as size, distance or location. There are currently nine geometrical property categories.

Different ways can be used to identify specific standards or groups of standards relating to a spe-

cific geometrical characteristic, or a specific chain link in which the GPS matrix. Matrix used to identify standards relating to size characteristic, see Table 1-2.

Table 1-2 ISO GPS standards matrix model

		Chain links						
		A	B	C	D	E	F	G
		Symbols and indication	Feature requirements	Feature properties	Conformance and non - conformance	Measurement	Measurement equipment	Calibration
Size		ISO 14405 - 1	ISO 14405 - 1	ISO 286 - 1	ISO/TR 16015	ISO 1938 - 1	ISO 463	ISO/TS 15530 - 3
		ISO 286 - 1	ISO 286 - 1	ISO/TS 16610 series	ISO 14253 series		ISO 13385 - 1	ISO/TS 15530 - 4
			ISO 286 - 1				ISO 13385 - 2	ISO/TR 16015
							ISO 3650	ISO/TS 16610 series
							ISO/TR 16015	ISO 14253 series
							ISO/TS 23165	
							ISO 14253 series	
							ISO 10360 series	

第 2 章 测量技术基础

知识引入

互换性是指通过几何量公差来实现零件彼此可以替代。设计者将设计精度以几何公差形式标注在设计图样上；加工者按照图样上标注的几何公差加工出零件。加工出的零件是否满足公差要求，就必须通过检测来实现。测量技术就是通过检验和测量的手段来确定零件合格性的。

2.1 测量技术概述

测量 (Measurement)：以确定量值为目的的一组操作，也就是为确定被测对象的量值而进行的实验过程。

测量过程：将被测量与一个作为测量单位的标准量进行比较，以求其比值的过程。

设被测量为长度 L ，计量单位为 u ，测量过程可以用一个基本公式来表示，在被测量一定的情况下，比值 K 与所采用的计量单位成反比关系，即

$$L = Ku \quad (2-1)$$

这里所指的长度是广义的，这个长度包括长度值（线值）、角度以及被测几何形体表面的形状、位置和粗糙度等各种形式的几何量。

任何一个完整的测量过程，都包括被测对象与被测量、计量单位与标准量、测量方法、测量不确定度四个方面，通常将它们统称为测量过程四要素。被测对象和被测量的特性是确定测量方法的主要依据。

互换性技术测量 (Technical Measurements) 是指几何参数的测量，包括长度、角度、形状误差、位置误差、表面微观形貌等。对测量技术的基本要求是：采用正确的测量方法与测量器具，将测量误差控制在允许限度内，正确判断测量结果是否符合**技术规范 (Specification)** 的要求。此外，还要求保证所需的测量效率和经济性。

2.1.1 计量单位、标准量及量值传递体

计量单位是有明确定义和名称且其数值为 1 的一个固定物理量，要求其要统一稳定，能够复现，便于应用。现在普遍采用的计量单位制为国际单位制 (SI)，即公制 (米制)，其基本长度单位为米 (m)。机械制造中常用的公制长度单位为毫米 (mm)，技术测量和精密测量时，多以微米 (μm) 及纳米 (nm) 为单位。

1983 年第 17 届国际计量大会上正式通过了米的新定义：米是光在真空中 ($1/299792458$) s 时间间隔内所经路径的长度。采用这样的自然基准，不仅可以保证长度测量单位的长期稳定、可靠和统一，而且便于各国直接比对。

在实际应用中，不是直接使用光波作为长度基准进行测量，而是采用各种测量器具进行

测量。为了保证量值统一，必须把长度基准的量值准确地传递到生产中应用的计量器具和被测工件上。长度基准的量值传递系统如图 2-1 所示。

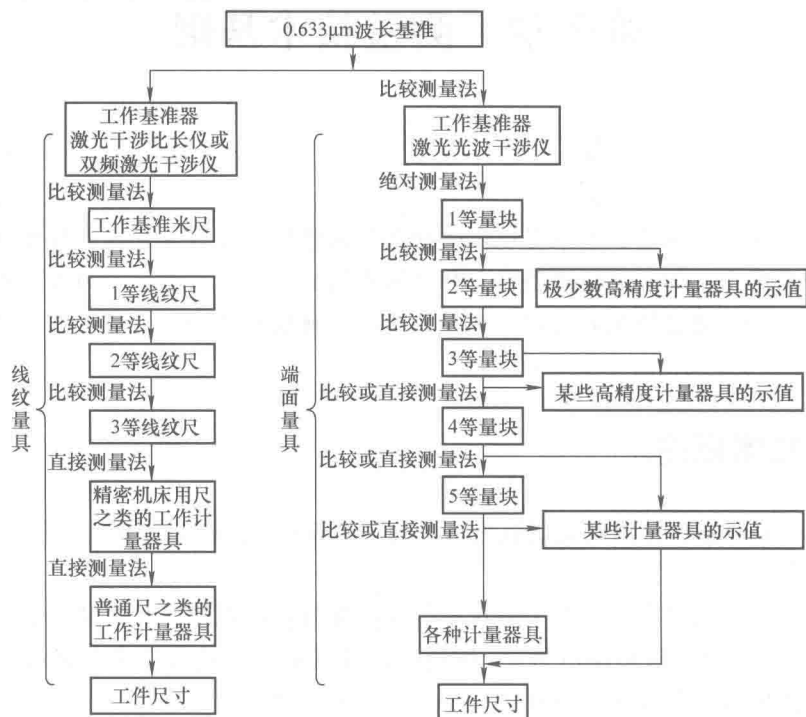


图 2-1 量值传递系统

按照 GB/T 6093—2001 《几何量技术规范 (GPS) 长度标准 量块》，量块是一种平面平行长度端面量具，一般用铬锰钢，或用线膨胀系数小、性质稳定、耐磨、不易变形的其他材料制成。其主要形状是长方体（图 2-2），上下两测量面之间的距离 l_c 称为工作尺寸。按量块尺寸检定测量方法，此工作尺寸定义为上测量面中心与下测量面研合平板之间的距离（图 2-2），此尺寸非常精确。

量块除可作为长度量值的传递媒介，用于体现测量单位外，还广泛用于检定和校准量具及量仪，比较测量时用来调整仪器零位，有时允许直接用于检验零件，或者用于机械加工中的精密划线和精密机床调整。

量块的精度虽然很高，但其测量面亦非理想平面，两测量面也非绝对平行。为了满足不同应用场合对量块精度的要求，量块按照制造精度分为 K、0、1、2、3 级，其中 K 为标准级，K、0 级准确度最高，3 级的准确度最低。各级量块的长度极限偏差和长度变动量最大允许值见表 2-1。按量块检测准确度分为 1、2、3、4、5 等。其中 1 等准确度最高，5 等准确度最低。测量不确定度和长度变动量最大允许值，见表 2-2。

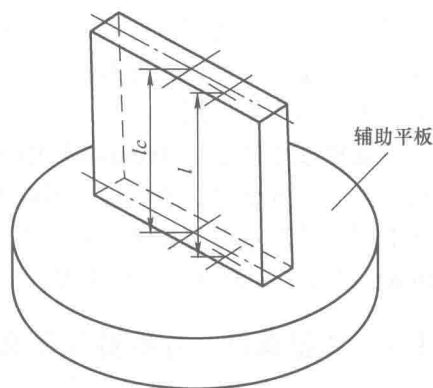


图 2-2 量块及相研合的辅助体