

高等学校教学参考书

互换性与测量技术基础

上册

李柱主编

计量出版社

高等学校教学参考书

互换性与测量技术基础

(上册)

李 柱 主编

计 量 出 版 社

1984·北京

内 容 提 要

本书共十九章,分上、下两册出版。上册十章包括:互换性与标准化概论,测量技术概论,误差理论及其应用,尺寸公差与圆柱结合的互换性,长度测量及其器具,形状和位置公差,形状和位置误差的测量,表面粗糙度及其测量,滚动轴承与孔、轴结合的互换性,量规与光滑工件尺寸的检测;下册九章,包括键、花键结合的互换性及其检测,角度公差和圆锥结合的互换性,角度与锥度的测量,螺纹结合的互换性与检测,齿轮传动的互换性,齿轮传动的测量,尺寸链,自动检测以及统计检验。

本书概括了互换性与测量技术这门基础学科的主要内容,既重视对基本理论和规律性知识的论述,也重视对本学科应用与发展的分析。

本书读者对象,主要是大专院校机械类与仪器仪表类有关专业的学生、研究生、教师,机械行业的工厂和研究所从事设计、工艺、计量、检验、标准化以及科研工作的工程技术人员。也可供其他行业的工程技术人员和管理干部参考。

高等学校教学参考书

互 换 性 与 测 量 技 术 基 础

(上 册)

李 柱 主编

责任编辑 刘瑞清

*

计量出版社出版

(北京和平里11区7号)

煤炭部出版社印刷厂排版

北京通县曙光印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 37 3/4

字数 916千字

印数 1—14 500 (精)

1984年10月第一版

1984年10月第一次印刷

统一书号 15210·370

定价 6.80 元

科技新书目: 82—117

互换性与测量技术基础

主 编: 李 柱
副主编: 花国梁 赵卓贤 席宏卓
编 委: 许定奇 刘瑞清 李 柱 李光瀛
花国梁 范治渊 范德梁 赵卓贤
袁长良 席宏卓

主 审: 梁晋文
副主审: 何 贡 李纯甫

编著者

丁志华	王乃梁	邓秀儒	古莹庵	许大卫
许定奇	江天一	过馨葆	何 贡	李 柱
李光瀛	李纯甫	陈宏杰	陈鸿儒	杨叔子
花国梁	武文堂	范治渊	范鸿溢	范德梁
赵卓贤	袁长良	凌兆伦	席宏卓	高延新
梁伊珍	强锡富	董树信	鲍迺强	葛梦周
蔡华麟				

(以上名单按姓氏笔划为序)

特约审稿人: 吴忠葵 陈文祥

编写说明

本书从1977年开始编写，历时七年之久。此期间，曾开过多次审稿会，对全书进行了反复修改、删减补充，所保留的内容都是基本的、新颖的、总结性的、实用的和有特色的。

本书编写的指导思想是“编”与“著”相结合，“编”的要求是“求全求新”，“著”的重点是“求精求专”，各章的侧重有所不同。

本书在编写过程中，融合了各家的见解，是集体智慧的结晶。除本书署名的作者及编审人员外，还得到中国计量科学研究院、机械工业部标准化研究所、郑州机械研究所、洛阳轴承研究所、成都工具研究所的大力支持与帮助。对本书各章初稿校阅并提出修改意见的主要有：赵智修、毛起广、蒋卓、于源、詹昭平、汪昌瑞、谈宗、熊友伦等同志。协助整理、补充书稿的有徐振高、谢铁邦、高咏生及于向光等同志。

在本书编著和出版的过程中，特别得到朱九思、汤永厚、余庭和等同志的关心与指导，得到李德焕、官思勤等同志的支持，得到贺麓厂、朱桂兰、余声文等同志的帮助，谨此表示感谢！

由于本书篇幅较大，缺点错误在所难免，热忱欢迎读者批评指正。

编 著 者

1984年2月于北京

序 言

互换性与测量技术是与机械工业发展紧密相联系的基础学科，它不仅将标准化领域与计量学领域的有关部分结合在一起，而且涉及机械设计、机械制造、质量控制、生产组织管理等许多方面，因此本学科实际上是一门综合性应用技术基础科学。

现代科学技术已进入以微型电子计算机、激光、光导纤维、新能源、新材料、遗传工程等学科为标志的新的技术革命时期。目前，工业正处于由劳动密集、资本密集，逐步向科学技术密集、智力密集方向发展；由单一品种、大批量生产，逐步向多品种、小批量综合生产系统发展的阶段。这些新生产系统的采用与实施依赖于基础技术科学的开发与研究。因而本学科的重要性就更加显得突出，这是因为互换性与测量技术不仅是现代机械工业发展的基础，而且也与这些带头学科本身的发展密切相关。这一点不仅已为世界各国经济发达国家的发展历史所证实，也为我国机械工业发展的许多经验所证实。显然，加强本学科的教学与科学研究工作，努力提高本学科的理论水平与应用水平，对于培养提高工程科技人才的素质，贯彻教育面向现代化建设、面向世界、面向未来的战略方针有非常重要的作用。加强本学科的研究工作，也是促进我国机械工业的改造与发展，提高我国工业产品在国际市场上竞争能力，加速我国工业、农业、国防和科学技术现代化的一个重要措施。

近年来，本学科的教材建设发展较快，据不完全统计，约有十种版本，累计印数超过五十万册，这说明本学科的重要性已愈益广泛地为人们所认识。但由于是教材，其篇幅与内容都受到教学时数的限制，故不能满足生产应用与科研工作的要求，也不能适应教学上进一步参考的需要。而这本《互换性与测量技术基础》是一部综合性参考书，它不仅弥补了教材的不足，而且为生产、科研实际需要提供了很好的参考资料。

本书作者达三十余人，他们分别在华中工学院、清华大学、西安交通大学、南京工学院、东北工学院、太原工学院、山东工学院、哈尔滨工业大学、合肥工业大学、重庆大学、同济大学、河北工学院等十六所高等院校，从事本学科的教学与科研工作有二、三十年之久；近几年他们又分别参加“公差与配合”、“形状与位置公差”、“螺纹的公差与配合”、“锥体公差”、“光滑极限量规”、“光滑工件尺寸的检验”、“表面粗糙度”、“公差原则”、“过盈配合的计算与选择”、“统计公差”以及“尺寸链”等国家标准的制订或修订工作，是各个国家标准工作组成员，掌握第一手材料，这是编著本书的有利条件。

本书特点是：①既重视对本学科基本理论和规律性知识的论述，也重视对本学科应用与发展的分析；②积极采用国际标准和国外先进标准是我国重要的技术经济政策，也是技术引进的重要组成部分。因此，本书以论述新的国家标准与国际标准（ISO）为主，兼顾对其他工业先进国家标准的介绍，同时考虑了我国新旧标准的过渡问题；③对测量技术，以论述原理、原则及方法为主，兼顾对量仪结构的分析；④将“公差”与“测量”紧密结合，但又保持二者的相对独立性，使“测量”有助于理解“公差”的意义，“公差”有助于明确“测量”的目的性，同时又保留了各自的系统性；⑤取材广泛，内容丰富，具有较高学术水平与实用价值。对于工矿企业进行技术改造，贯彻新的国家标准及向国际标准过渡，本书为一本良好参

考书。

这本书和最近几年出版的较有特色的有关本学科的教材对本学科的发展具有重要意义。对我国互换性与测量技术的科学研究和教学工作水平的提高，对我国的工业经济建设必将起到很好的作用。

值此参考书即将由计量出版社出版之际，谨记述如上，作为本书之序。

梁 晋 文

一九八四年二月于清华园

目 录

第一章 互换性与标准化概论

1—1 互换性.....	(1)
一、互换性的意义.....	(1)
二、互换性分类.....	(1)
三、互换性在机械制造中的作用.....	(2)
四、互换性生产发展简史.....	(3)
1—2 公差与配合的基本概念、术语及定义.....	(5)
1—3 标准化.....	(13)
一、标准化的意义.....	(13)
二、标准化的基本原理.....	(13)
1—4 优先数和优先数系.....	(15)
一、优先数系的原理和数学特征.....	(16)
二、优先数系的优点.....	(18)
三、优先数系的应用.....	(20)

第二章 测量技术概论

2—1 测量技术的意义.....	(23)
2—2 计量单位与国际单位制 (SI)	(24)
2—3 测量方法与测量器具的分类.....	(27)
一、测量方法分类.....	(27)
二、测量器具分类.....	(30)
2—4 测量器具的基本度量指标.....	(31)
一、分度间距与分度值.....	(31)
二、示值范围与测量范围.....	(31)
三、灵敏度与灵敏限.....	(31)
四、示值误差与示值变动性.....	(32)
五、滞后误差.....	(32)
六、测量力.....	(32)
2—5 被测的量在测量过程中的转换.....	(32)
一、机械转换.....	(33)
二、气动转换.....	(36)

三、光学转换·····	(37)
四、电学转换·····	(41)
2-6 测量误差来源与测量技术的基本原则·····	(42)
一、测量误差的来源·····	(42)
二、测量技术中的基本原则·····	(44)
2-7 测量技术发展概况·····	(56)
一、历史与现状·····	(56)
二、现代几何量测量技术的特点·····	(57)

第三章 误差理论及其应用

3-1 概述·····	(58)
3-2 概率与数理统计的基本知识·····	(60)
一、概率的基本概念·····	(60)
二、随机量的分布特性参数·····	(62)
三、随机量的分布律·····	(67)
3-3 概率与数理统计在公差配合中的应用·····	(84)
一、间隙与过盈的概率, 独立随机量之和的分布·····	(84)
二、统计公差·····	(87)
3-4 测量误差与测量结果的处理·····	(89)
一、随机误差的处理与评定·····	(89)
二、系统误差的消除·····	(97)
三、粗误差的判别与剔除·····	(102)
四、直接测量结果的处理·····	(108)
五、间接测量结果的处理·····	(111)
六、不等精度测量结果的处理·····	(115)
七、组合测量结果的处理·····	(117)
八、测量计算中的有效数字及其处理·····	(119)
3-5 相关分析·····	(121)
一、相关分析的基本概念·····	(121)
二、直线相关·····	(123)
三、多个量的相关·····	(128)
四、曲线相关联系·····	(129)
五、相关分析应用举例·····	(129)
3-6 随机过程及其数据处理简介·····	(130)
一、随机过程及其特征量·····	(130)
二、平稳随机过程的特征量·····	(133)
三、随机过程的简化处理·····	(139)
3-7 时间序列方法·····	(140)

一、时间序列方法的基本知识	(140)
二、ARMA(n, m)模型的特性	(143)
三、最佳预测	(147)
四、建模	(150)

第四章 尺寸公差与圆柱结合的互换性

4—1 概述	(158)
4—2 公差制发展的历史概况及基本结构分析	(158)
一、公差与配合的萌芽	(158)
二、初期公差制	(159)
三、旧公差制	(160)
四、国际公差制	(165)
五、关于我国公差制的修订	(169)
4—3 标准公差系列	(171)
一、公差单位	(171)
二、公差等级	(173)
三、尺寸分段	(174)
四、尾数化整规则	(177)
4—4 基本偏差	(177)
一、基本偏差的意义与代号	(177)
二、轴的基本偏差的计算	(179)
三、孔的基本偏差的计算	(182)
4—5 常用尺寸段的公差与配合	(190)
一、轴、孔公差带	(190)
二、配合	(191)
三、新旧国标公差与配合对照	(194)
4—6 大尺寸的公差与配合	(194)
一、大尺寸公差与配合的特点	(194)
二、大尺寸的公差单位	(198)
三、大尺寸的孔、轴公差带	(199)
四、配制配合	(200)
4—7 小尺寸的公差与配合	(201)
一、小尺寸公差与配合的特点	(201)
二、轴、孔公差带	(204)
4—8 未注公差尺寸的极限偏差	(206)
4—9 公差与配合选择综合分析	(207)
一、公差与配合选择的意义、原则与方法	(207)
二、基准制的选择	(210)

三、公差等级的选择	(214)
四、配合选择	(216)
五、标准温度与热变形	(218)
六、装配变形	(221)
七、尺寸分布特性对配合的影响	(223)
八、精度储备	(224)
九、新旧国标过渡问题	(226)
4—10 间隙配合的选择与计算	(227)
一、概述	(227)
二、设计计算基本公式	(227)
三、选择配合的近似图解法	(239)
四、干摩擦, 半液体摩擦轴承及直线运动导轨的极限功能间隙的计算	(241)
五、间隙配合计算与选择实例	(241)
六、用类比法选择间隙配合的补充分析	(245)
4—11 过盈配合的选择与计算●	(249)
一、概述	(249)
二、极限过盈的计算	(253)
三、小尺寸及大尺寸过盈配合的计算	(259)
四、使用过程中引起过盈变化的因素	(263)
五、计算与选择过盈配合实例	(266)
六、计算与选择过盈配合的图表法	(270)
七、提高过盈配合强度的建议	(272)
4—12 过渡配合的选择	(274)

第五章 长度测量及其器具

5—1 长度基准	(277)
一、端面基准——量块	(277)
二、线纹基准	(287)
三、长度的尺寸传递系统	(289)
5—2 机械量仪	(289)
一、游标类量具	(289)
二、测微螺旋副类量具	(290)
三、杠杆、齿轮传动类量仪	(291)
四、利用弹性元件作放大机构的量仪	(294)
5—3 光学量仪	(295)
一、光学杠杆类量仪	(295)
二、测长仪	(300)
三、测长机	(304)

四、工具显微镜.....	(305)
五、投影仪.....	(308)
六、光波干涉量仪.....	(309)
5—4 电学量仪及传感装置.....	(311)
一、电感式量仪.....	(311)
二、电容式量仪.....	(314)
三、光电脉冲计数刻线尺.....	(315)
四、光栅式位置检测装置.....	(315)
五、感应同步器.....	(316)
六、磁栅式位置检测装置.....	(317)
5—5 激光干涉仪.....	(319)
一、激光测长仪.....	(319)
二、双频激光干涉仪.....	(321)
5—6 气动测量.....	(322)
一、低压水柱式气动量仪.....	(323)
二、浮标式气动量仪.....	(324)
三、薄膜式气动量仪.....	(325)
四、水银柱差压式气动量仪.....	(326)
五、带差动测头的波纹管气动量仪.....	(327)
六、引射式气动测量系统.....	(327)
5—7 三坐标测量机.....	(328)
一、三坐标测量机的布局类型.....	(328)
二、三坐标测量机的测量系统.....	(329)
三、三坐标测量机的应用.....	(330)
5—8 小尺寸测量.....	(336)
一、小尺寸测量的特点.....	(336)
二、小轴直径测量.....	(338)
三、小孔直径测量.....	(343)
5—9 大尺寸测量.....	(348)
一、大尺寸测量的特点.....	(348)
二、大直径的测量.....	(349)
三、大长度的测量.....	(353)

第六章 形状和位置公差

6—1 概述.....	(354)
6—2 基本概念和术语.....	(355)
一、零件的要素.....	(355)
二、形位公差及其公差带.....	(355)

三、形位公差采用公差带概念的特点	(356)
四、理论正确尺寸和几何图框	(356)
五、基准	(356)
六、局部实际尺寸和作用尺寸	(357)
七、理想边界	(358)
八、公差原则	(359)
6-3 形状公差	(363)
6-4 位置公差	(366)
一、位置公差分类	(366)
二、位置公差的主要特点	(367)
三、定向公差	(367)
四、定位公差	(373)
6-5 跳动公差	(376)
6-6 基准	(379)
一、基准及基准要素	(379)
二、三基面体系	(380)
三、基准目标	(381)
四、基准要素的类型	(382)
五、基准的选择	(383)
6-7 相关原则的应用	(387)
一、包容原则的应用	(387)
二、最大实体原则的应用	(388)
三、最小实体原则的应用	(396)
6-8 用位置度限制孔的轴线的位置误差	(397)
一、位置度公差注法的特点	(397)
二、延伸公差带的应用	(402)
三、位置度公差值与尺寸公差值的换算	(403)
四、位置度公差用法举例	(404)
6-9 形状和位置公差的选用	(407)
一、形位公差项目的选择	(407)
二、形位公差值的确定	(408)
6-10 形状和位置公差标准的发展概况	(411)

第七章 形状和位置误差的测量

7-1 基本概念	(413)
7-2 形状误差的测量	(415)
一、直线度误差的测量和评定	(415)
二、平面度误差的测量和评定	(420)

三、圆度误差的测量和评定	(435)
四、圆柱度误差的测量和评定	(443)
五、轮廓度误差的测量	(444)
7—3 位置误差的测量	(445)
一、概述	(445)
二、平行度误差的测量和评定	(445)
三、垂直度误差的测量和评定	(451)
四、倾斜度误差的测量	(459)
五、同轴度误差的测量	(461)
六、对称度误差的测量	(462)
七、位置度误差的测量	(462)
7—4 跳动误差的测量	(465)
一、圆跳动误差的测量	(465)
二、全跳动误差的测量	(465)

第八章 表面粗糙度及其测量

8—1 基本概念	(467)
8—2 评定基准及评定参数	(469)
一、评定基准	(469)
二、评定参数	(471)
三、新国标简介及评定参数的数值系列	(483)
8—3 表面粗糙度的选用	(486)
8—4 表面粗糙度特征代[符]号及其标注	(490)
8—5 表面粗糙度的测量	(492)
一、比较法	(492)
二、光切法	(493)
三、干涉法	(497)
四、针描法	(500)
五、激光在表面粗糙度测量中的应用	(503)
六、光点扫描法	(506)
七、印模法	(507)
八、新的在线测量技术	(509)

第九章 滚动轴承与孔、轴结合的互换性

9—1 滚动轴承精度等级及其应用	(510)
9—2 滚动轴承直径的公差带	(512)
一、滚动轴承内径和外径的公差带	(512)

二、滚动轴承平均直径 (d_m 或 D_m) 公差带的特点	(513)
9—3 滚动轴承配合	(514)
9—4 滚动轴承配合的选用	(517)
一、负荷类型	(517)
二、其他因素	(523)
9—5 滚动轴承与轴、轴承座孔配合对轴承径向游隙的影响	(528)
9—6 滚动轴承的检验	(528)
9—7 滚动轴承公差国际标准简介	(535)
一、滚动轴承公差国际标准修订概况	(535)
二、ISO492—1981向心轴承公差标准介绍	(536)

第十章 量规与光滑工件尺寸的检测

10—1 光滑极限量规	(540)
一、量规的基本概念	(540)
二、泰勒原则及其应用	(541)
三、量规公差	(542)
四、光滑极限量规国家标准	(543)
五、量规管理	(549)
10—2 直线尺寸量规	(550)
一、整体式直线尺寸量规	(551)
二、台阶式直线尺寸量规	(553)
三、带表式直线尺寸量规	(554)
10—3 综合量规	(555)
一、检验原理	(555)
二、综合量规的基本尺寸	(556)
三、综合量规的公差带图	(557)
四、综合量规的公差数值	(559)
五、量规公差带的位置参数	(560)
六、设计示例	(563)
10—4 工件的测量验收	(571)
一、测量误差与误判概率	(571)
二、两点量法与泰勒原则	(576)
三、工件的测量验收	(582)

第一章 互换性与标准化概论

1—1 互 换 性

一、互换性的意义

自行车、手表、缝纫机、汽车、拖拉机等零件坏了，都可以迅速换上一个新的，并且在更换与装配后，能很好地满足使用要求。其所以能这样方便，就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（基本值）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量。

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”。

二、互换性分类

按决定参数或使用要求分，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（interchangeability of geometrical parameters）——规定几何参数公差以保证成品的几何参数充分近似所达到的互换性。此为狭义互换性，即通常所讲互换性，有时也局限于指保证零件尺寸配合要求的互换性。

功能互换性（functional interchangeability）——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。

互换性按其程度可分为完全互换（绝对互换）与不完全互换（有限互换）。

若零件（或部件）在装配或更换时，不仅不需辅助加工与修配，而且不需选择，则具有完全互换性。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，成本很高，甚至无法加工。这时，对某些形状误差很小而生产批量较大的零件，可将其制造公差适当地放大，以便于加工，而在加工完毕后，再用测量器具（计量器具）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。这样，既可保证装配精度与使用要求，又可解决加工困难，降低成本。此时，仅组内零件可以互换，组与组之间不可互换，故叫不完全互换。

对标准部件或机构讲，其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。例如：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。

内互换——指部件或机构内部组成零件间的互换性。例如，滚动轴承内、外圈滚道直径与滚珠（滚柱）直径的装配。

为使用方便起见，滚动轴承的外互换为完全互换；至于其内互换则因其组成零件的精度要求高，加工困难，故采用分组装配，为不完全互换。

一般而言，不完全互换只限于部件或机构的制造厂内部的装配。至于厂外协作，即使产量不大，往往也要求完全互换。

究竟采用完全互换，不完全互换或者修配，要由产品精度要求与复杂程度、产量大小（生产规模）、生产设备、技术水平等一系列因素决定。

三、互换性在机械制造中的作用

从使用看，若零件具有互换性，则在磨损或损坏后，可用另一新的备件代替。例如，汽车、拖拉机的活塞、活塞销、活塞环等就是这样的备件。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。而在某些情况下，互换性所起作用还很难用价值来衡量。例如，在发电厂要迅速排除发电设备的故障，继续供电；在战场上，要立即排除武器装备的故障，继续战斗，在这些场合，保证零部件的互换性是绝对必要的。

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，故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。用得极多的标准件还可由专门车间或工厂单独生产。由于产品单一，数量多，分工细，可采用高效率的专用设备，乃至采用计算机辅助加工。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，由于采用按互换原则设计和生产的标准零件和部件，故可简化绘图、计算等工作，缩短设计周期，并便于用计算机进行辅助设计。这对发展系列产品和促进产品结构、性能的不断改进，都有重大作用。例如，手表采用具有互换性的统一机芯，发展新品种的设计周期和生产准备周期都可以缩短。这一点对于国防工业尤为重要。

综上所述，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。

在单件小批生产中，特别是在重型机械和精密仪器制造中，往往用到“修配法”与“调整法”。在装配时，修配法是利用补充的机械加工或钳工修刮获得所需精度；调整法是用移动或更换某个零件，以改变其位置与尺寸来达到要求的精度。但是，即使在这种情况下，互换性仍然是必须遵循的基本原则，因为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还可能用到许多具有互换性的零件与部件。

就整台机器的制造来讲，其互换性水平可用互换性系数来评定，即

$$C_i = \frac{W_i}{W_T}$$

式中 C_i ——互换性系数；

W_i ——制造互换性零、部件的劳动量；