

| 高等职业教育“十三五”工学结合新形态规划教材 |

极限配合与测量技术

(第2版)

● 主 编 张兆隆 张晓芳

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

高等职业教育“十三五”工学结合新形态规划教材

极限配合与测量技术

(第2版)

主 编 张兆隆 张晓芳
副主编 李格平 陈新飏 张月华
主 审 马丽霞

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书分为两篇，第一篇为基础篇，包括绪论、测量技术基础、尺寸公差与配合、几何公差、表面结构等方面的内容，共5章；第二篇为技能篇，包括孔轴尺寸测量、几何误差检测、典型机械产品质量检测、专用量具检测设计等方面的内容，共4章。

本书侧重于基本概念的讲解和标准的应用，同时注重理论联系实际；在各章配置有习题、实训项目，旨在强化基础的同时培养学生的操作技能。本书可作为高职院校机械类和机电类各专业的教学用书，也可作为从事机械设计与制造、标准化、计量测试等工作的工程技术人员的参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

极限配合与测量技术 / 张兆隆, 张晓芳主编. —2 版. —北京: 北京理工大学出版社, 2019. 9 (2019. 10)

ISBN 978-7-5682-7566-8

I. ①极… II. ①张… ②张… III. ①公差-配合-高等学校-教材②技术测量-高等学校-教材 IV. ①TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 196103 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室)

(010)82562903(教材售后服务热线)

(010)68948351(其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 16.25

字 数 / 382 千字

版 次 / 2019 年 9 月第 2 版 2019 年 10 月第 2 次印刷

定 价 / 46.00 元

责任编辑 / 张旭莉

文案编辑 / 张旭莉

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题，请拨打售后服务热线，本社负责调换

前 言

本书是按照“工学结合”的总体思路，根据培养目标要求加强学生职业岗位能力培养，全面推行职业资格证书与教学内容相融合的模式，将职业资格证书要求的“应知”“应会”内容融入教学体系与教学内容中。教学建议围绕岗位技能培养开展，以任务驱动、项目导向方式设计教学组织体系，以理论与实践教学合一的教学模式完成教学过程。本书本着“实际、实用、实效”的原则，突出基本概念、基本原理、基本方法和基本训练，力求做到结构合理、内容充实、文字精练、深入浅出。依据产品质量检验员岗位职业能力的培养要求，融入职业能力标准，选取课程教学内容。

课程目标：

专业能力包括计量仪器的操作能力、机械零件质量检测能力、产品质量合格判断能力以及质量报告的编写能力等。

方法能力包括机械零件质量检测方法能力、资料收集整理的能力、制订、实施工作计划的能力。

社会能力包括语言表达、沟通协调能力、团队协作、安全操作规程、职业道德、责任心等。

教材特色：

(1) 按照质量检验员岗位的职业能力要求，依据机械零件的检测过程，以企业真实工作任务为载体，按照学生认知规律和职业成长规律，开发学习情境，构建基于工作过程的课程教学内容，编写基于工作过程的特色教材，采用学做一体教学模式组织教学，强化专业能力、方法能力和社会能力的综合培养。

(2) 按照质量检验员职业岗位工作流程来组织，教学过程按照检测任务技术分析——检测方案制定——检测仪器校准——产品质量检测——产品质量分析——提交检验报告这一工作流程来组织。

(3) 将人文素质融入课堂教学中，强化职业素质培养，将职业道德、安全规范、环保意识、企业文化等人文素质融入课堂教学中，使学生在掌握专业知识和专业技能的同时，职业素质得到同步协调发展。

本书采用了国家最新的公差标准，突出基本概念、基本方法的讲解，注重实训环节、强化实践技能，培养学生职业岗位能力。

本书由河北机电职业技术学院张兆隆、张晓芳担任主编；李格平、陈新飏、衡水职业技术学院张月华任副主编。第一章由张兆隆编写，第二章、第四章由张晓芳编写，第三章由杨立云编写，第五章、第六章由陈新飏、李格平编写，第七章由张月华编写，第八章、第九章由孙志平、李海涛编写。全书由张兆隆、张晓芳统稿，马丽霞主审。

由于编者水平有限，书中错误和缺点在所难免，恳请读者提出宝贵意见，以便修改。

编 者

目 录

基 础 篇

第1章 绪论	3
1.1 互换性概述	3
1.1.1 互换性的含义	3
1.1.2 互换性的种类	3
1.1.3 互换性的作用	3
1.2 公差的概念及标准化	4
1.2.1 几何参数误差	4
1.2.2 公差	4
1.2.3 公差的标准化	4
1.2.4 优先数系	5
1.2.5 检测与计量	5
1.3 课程的性质、任务和基本要求	5
习题一	6
第2章 测量技术基础	7
2.1 测量技术基本知识	7
2.1.1 测量基本概念	7
2.1.2 长度基准与量值传递	8
2.2 计量器具与测量方法	9
2.2.1 计量器具的分类	9
2.2.2 计量器具的主要性能指标	10
2.2.3 测量方法的分类	12
2.3 测量误差与数据处理	13
2.3.1 测量误差的概念、来源及分类	13
2.3.2 测量精度概念及分类	15
2.3.3 测量列中各类误差的处理	15
2.3.4 等精度直接测量列的数据处理	17
习题二	19
第3章 尺寸公差与配合	20
3.1 基本术语及定义	20
3.1.1 尺寸的术语及定义	20



3.1.2	偏差、公差的术语及定义	21
3.1.3	配合的术语及其定义和配合的种类	23
3.2	公差与配合标准	25
3.2.1	基准制	25
3.2.2	标准公差系列	25
3.2.3	基本偏差系列	28
3.2.4	公差与配合的标注	39
3.2.5	一般、常用和优先的公差带与配合	39
3.3	公差与配合的选用	42
3.3.1	基准制的选择	42
3.3.2	公差等级的选择	43
3.3.3	配合的选择	45
3.4	滚动轴承的公差与配合	47
3.4.1	滚动轴承的公差	48
3.4.2	滚动轴承配合的选择	50
	习题三	55
第4章 几何公差		58
4.1	几何公差概述	58
4.1.1	几何要素术语	59
4.1.2	几何公差项目与符号	60
4.1.3	几何公差标注	61
4.2	几何公差及几何公差带	67
4.2.1	形状公差	67
4.2.2	位置公差	67
4.2.3	几何公差带	70
4.3	公差原则	84
4.3.1	有关术语与定义	84
4.3.2	公差原则	88
4.4	几何公差的选择	97
4.4.1	几何公差项目的选择	97
4.4.2	基准的选择	98
4.4.3	公差原则的选择	99
4.4.4	几何公差值的选择	99
4.4.5	未注几何公差值的确定	107
	习题四	109
第5章 表面结构		113
5.1	概述	113
5.1.1	粗糙度的概念	113



5.1.2	表面粗糙度对零件使用性能的影响	113
5.2	粗糙度评定	114
5.2.1	表面粗糙度基本术语	114
5.2.2	表面粗糙度的评定参数	116
5.3	表面粗糙度参数的选择	119
5.3.1	评定参数的选择	119
5.3.2	评定参数值的选择	119
5.4	表面粗糙度标注	122
5.4.1	标注表面结构的图形符号	122
5.4.2	表面结构完整图形符号的组成	123
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	125
5.5	表面粗糙度的检测	127
	习题五	130
 技 能 篇 		
第6章	孔轴尺寸测量	133
6.1	常用的长度量具与量仪	133
6.1.1	量块	133
6.1.2	游标量具	135
6.1.3	螺旋测微量具	136
6.1.4	机械量仪	137
6.1.5	光学量仪	140
6.1.6	气动量仪	143
6.1.7	电动量仪	144
6.2	实训项目——孔轴尺寸测量	145
6.2.1	内径百分表测量孔径	145
6.2.2	比较仪测量塞规外径	146
6.2.3	万能测长仪测量内径	147
	习题六	148
第7章	几何误差检测	149
7.1	几何误差的评定、检测原则及方法	149
7.1.1	几何误差的评定	149
7.1.2	几何误差的检测原则	152
7.1.3	几何误差的检测方法	153
7.2	实训项目——几何误差检测	164
7.2.1	直线度误差测量	164
7.2.2	平面度误差测量	165



7.2.3 圆度误差测量	165
7.2.4 位置误差测量	166
7.2.5 跳动误差测量	168
习题七	169
第8章 典型机械产品质量检测	170
8.1 圆锥的公差配合与检测	170
8.1.1 概述	170
8.1.2 圆锥公差与配合	173
8.1.3 圆锥的检测	179
8.2 键、花键的公差配合与检测	181
8.2.1 概述	181
8.2.2 平键联结的公差与配合	183
8.2.3 矩形花键联结的公差与配合	185
8.2.4 键和花键的检测	190
8.3 螺纹结合的公差及检测	192
8.3.1 概述	192
8.3.2 普通螺纹的基本几何参数	193
8.3.3 普通螺纹的公差与配合	195
8.3.4 螺纹的检测	201
8.4 圆柱齿轮公差及检测	203
8.4.1 概述	203
8.4.2 单个齿轮的精度指标	207
8.4.3 齿轮副的侧隙指标和齿轮副的精度指标	211
8.4.4 渐开线圆柱齿轮精度标准	214
8.5 实训项目——典型机械产品质量检测	229
8.5.1 光切显微镜测量粗糙度轮廓	229
8.5.2 表面粗糙度测量仪测量粗糙度轮廓	229
8.5.3 正弦规测锥度误差	230
8.5.4 外螺纹中径测量	230
8.5.5 工具显微镜测量外螺纹	231
8.5.6 齿距偏差与齿距累积误差的测量	234
8.5.7 齿轮齿圈径向跳动的测量	235
8.5.8 齿轮公法线的测量	236
8.5.9 齿轮齿厚偏差的测量	237
8.5.10 齿轮基节偏差的测量	237
8.5.11 齿形误差的测量	239
习题八	240



第9章 专用量具检测设计	242
9.1 光滑极限量规概述	242
9.2 量规设计	243
9.2.1 极限尺寸判断原则（泰勒原则）	243
9.2.2 量规公差带设计	243
9.2.3 量规结构	245
9.2.4 量规其他技术要求	248
9.2.5 工作量规设计举例	248
习题九	250
参考文献	251



基础篇

绪 论

1.1 互换性概述

在生产水平低下的情况下，社会的主要经济形态是自然经济。一家一户或一个小作坊，就可以完成某些产品的整个生产过程。但是，现代化工业采用专业化大生产，分散加工、集中装配，以保证产品质量、提高生产率和降低成本。要实现专业化生产，必须采用互换性原则。

在日常生活中，也经常会遇到零件互换使用的情况。例如，机器、汽车、拖拉机、自行车、缝纫机上的零件坏了，只要换上相同型号的零件就能继续正常运转，不必要考虑生产厂家，之所以这样方便，就是因为这些零（部）件具有互相替换的性能。

1.1.1 互换性的含义

在机械工业中，互换性是指相同规格的零（部）件，装配或更换时，不经挑选、调整或附加加工，就能进行装配，并且满足预定的使用性能的特性。零（部）件的互换性应包括其几何参数、机械性能和理化性能等方面的互换性。本课程主要研究几何参数的互换性。

1.1.2 互换性的种类

按互换的程度，互换性可分为完全互换性与不完全互换性。

(1) 完全互换性。若零（部）件在装配或更换时不经挑选、调整或修配，装配后满足预定的使用性能，这样的零（部）件具有完全互换性。

(2) 不完全互换性。若零（部）件在装配或更换时，允许有附加选择或附加调整，但不允许修配，装配后满足预定的使用性能，这样的零（部）件具有不完全互换性。

应该指出，并不是在任何情况下，互换性都是有效的生产方式。例如，为保证达到机器的装配精度和满足使用和生产中的要求，在装配时也可采用机械加工或钳工修配来获得所需要的装配精度，称为修配法。用移动或更换某些零件以改变其位置和尺寸的办法来达到所需的精度，称为调整法。这些生产方式，通常在单件、小批生产中，特别是在重型机器、高精度的仪器制造中应用较广泛。

1.1.3 互换性的作用

从设计上看，采用具有互换性的标准件、通用件，可使设计工作简化，设计周期短，并



便于计算机辅助设计。

从制造上看，互换性是组织专业化协作生产的重要基础，可以分散加工，集中装配；有利于使用现代化的工艺装备，有利于组织流水线和自动线等先进的生产方式，有利于产品质量和生产率的提高，有利于生产成本的下降。

从装配上看，由于装配时不需附加加工和修配，所以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，从而大幅度地提高了生产率。

从使用上看，由于零（部）件具有互换性，生产中各种设备的零（部）件及人们日常使用的拖拉机、自行车等零（部）件损坏后，在最短时间内用备件加以替换，可很快地恢复其使用功能，减少了修理时间及费用，从而提高了设备的利用率，延长了它们的使用性能。

综上所述，互换性是现代化生产基本的技术经济原则，在机器的制造与使用中具有很重要的作用。

1.2 公差的概念及标准化

1.2.1 几何参数误差

具有互换性的零（部）件，其几何参数一定要做得绝对准确吗？从加工角度上是不可能的。因为在零件的加工过程中，无论设备的精度和操作者的技术水平多高，几何参数绝对准确一致的零件是加工不出来的，加工误差是客观存在的，从满足使用要求上也是没有必要的。几何参数误差是零件加工后的实际几何参数相对其理想几何参数的偏离量。

1.2.2 公差

几何参数误差对零件的使用性能和互换性会有一定影响，实践证明，只要把零件的几何参数误差控制在一定的范围之内，零件的使用性能和互换性就能得到保证。

零件几何参数允许的变动量称为几何参数公差，简称公差。公差是限制误差的，以保证互换性的实现。零件加工后的误差值若在公差范围内，则零件合格，否则为不合格零件。所以，公差也是允许的最大误差。

1.2.3 公差的标准化

标准化是指制定标准与贯彻标准的全过程。

我国标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。标准即技术上的法规。标准经主管部门颁布生效后，具有一定的法制性，不得擅自修改或拒不执行。

标准化水平的高低影响了一个国家现代化的程度。在现代化生产中，标准化是一项重要的技术措施。一种机械产品的制造过程往往涉及许多部门和企业，甚至还要进行国际协作，为了适应生产上各部门与企业之间技术上相互协调的要求，大家必须遵守一个共同的技术标准。

公差的标准化，有利于机器的设计、制造、使用和维修，有利于保证产品的互换性和质量，有利于刀具、量具、夹具、机床等工艺装备的标准化。



1.2.4 优先数系

在制定公差标准及设计零件的结构参数时，都需要通过数值表示。

任一产品的参数值不仅与自身的技术特性参数有关，而且还直接、间接地影响与其配套的一系列产品的参数。例如，螺母直径数值，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。

实践证明，优先数系是一种科学的数值系列，不仅对数值的协调、简化起重要的作用，而且是制定有关标准的依据。

优先数系是一种十进制几何级数。所谓十进制，即几何级数的各项数值中包括1，10，100，…， 10^n 和0.1，0.01，0.001，…， 10^{-n} 组成的级数（ n 为正整数）。几何级数的特点是任意相邻两项之比为一常数（公比），优先数系中的任何一个数为优先数。

国家标准 GB 321—1980 与国际标准 ISO 推荐了五个系列，分别为 R5 系列、R10 系列、R20 系列、R40 系列、R80 系列，各系列公比如下：

$$\text{R5 系列: } q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.6;$$

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

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

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

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

1.2.5 检测与计量

在机械制造中加工与测量是相互依存的，遵循通用的公差标准，科学、合理地运用计量技术，零件的使用功能和互换性才能得到保证。

在计量工作方面，1955 年我国成立了国家计量局；1959 年统一了全国计量制度，正式确定在长度方面采用米制为计量单位；1977 年颁布了计量管理条例；1984 年颁布了法定计量单位；1985 年颁布了计量法。

科学技术的迅猛发展，为测量技术的现代化创造了条件，长度计量器具的精度已由 0.01 mm 级提高到 0.001 mm 级，甚至提高到 0.000 1 mm 级。测量空间已由二维空间发展到三维空间。测量的自动化程度已由人工读数测量发展到计算机辅助测量。

此外，测量技术应用的最终目的，不仅仅是判断零件是否合格，还要根据测量的结果，分析产生废品的原因，以便设法减少废品。

1.3 课程的性质、任务和基本要求

本课程是机械类专业的一门必修课。

本课程的主要任务是：使学生具备机械加工高素质操作者所必要的机械零件的几何精度及公差与配合的基本知识、几何参数测量的基本理论和检测产品的基本技能，为学生毕业后



胜任岗位工作，增强适应职业变化能力和继续学习打下一定的基础。

通过本课程的教学，学生应达到下列基本要求：

- (1) 掌握标准化和互换性的基本概念及有关的基本术语和定义；
- (2) 掌握本课程中几何量公差标准的主要内容；
- (3) 学会根据机器和零件的功能要求，选用几何量公差与配合；
- (4) 掌握测量技术的基本概念、基本规定；
- (5) 掌握常用测量器具的种类、应用范围及使用方法；
- (6) 了解与本课程有关的技术政策法规；
- (7) 具有与本课程有关的识图、标注、执行国家标准、使用技术资料的能力；
- (8) 正确选用现场计量器具检测产品的基本技能及分析零件质量的初步能力。



习题一

- 1-1 什么是互换性？请举例说明。
- 1-2 简述互换性在机械制造业中的重要意义有哪些？
- 1-3 零件为什么要规定公差？
- 1-4 什么是标准化？

测量技术基础

2.1 测量技术基本知识

2.1.1 测量基本概念

为了满足机械产品的功能要求，在正确合理地完成了可靠性、使用寿命、运动精度等方面的设计以后，还须进行加工和装配过程的制造工艺设计，即确定加工方法、加工设备、工艺参数、生产流程及检测手段。其中，特别重要的环节就是质量保证措施中的精度检测。

“检测”就是确定产品是否满足设计要求的过成，即判断产品合格性的过程。检测是检验与测量的总称。

“检验”只能得到被检验对象合格与否的结论，而不能得到其具体的量值。因其检验效率高、检验成本低，故在大批量生产中得到广泛应用。

“测量”是以确定被测量的量值为目的的全部操作过程。测量过程实际上就是一个比较过程，也就是将被测量与标准的单位量进行比较，确定其比值的过程。若被测量为 L ，计量单位为 u ，确定的比值为 q ，则被测量可表示为

$$L=q \cdot u$$

例如，用游标卡尺对一轴径的测量就是将被测量对象（轴的直径）用特定测量方法（游标卡尺）与长度单位（毫米）相比较。若其比值为 30.52，准确度为 ± 0.03 mm，则测量结果可表达为 (30.52 ± 0.03) mm。

显然，对任一被测对象进行测量，首先要建立计量单位，其次要有与被测对象相适应的测量方法，并达到所要求的测量精度。因此一个完整的测量过程包括被测对象、计量单位、测量方法和测量精度 4 个要素。

(1) 被测对象：几何量测量中被测对象为零件的几何量（长度、角度、表面粗糙度、形状和位置误差、螺纹及齿轮的各几何参数等）。

(2) 计量单位：几何量中的长度、角度单位。我国规定采用以国际单位制（SI）为基础的“法定计量单位制”。它是由一组选定的基本单位和由定义公式与比例因数确定的导出单位所组成的。长度基本单位是米（m）、其他常用的长度单位有毫米（mm）、微米（ μm ）和纳米（nm）。角度单位为弧度（rad）、微弧度（ μrad ）及度（ $^\circ$ ）、分（'）、秒（"）。

(3) 测量方法：进行测量时所采用的测量原理、测量器具（计量器具）和测量条件（环境和操作者）的总和。测量方法是根据一定的测量原理，在实施测量过程中对测量原理的运用及其实际操作。在实施测量过程中，应该根据被测对象的特点（如材料硬度、外形



尺寸、生产批量、制造精度、测量目的等) 和被测参数的定义来拟定测量方案、选择测量器具和规定测量条件, 合理地获得可靠的测量结果。

(4) 测量精度 (测量误差): 测得值与被测量真值相一致的程度。不考虑测量精度而得到的测量结果是没有任何意义的。真值是指某量能被完善地确定并能排除所有测量上的缺陷时, 通过测量所得到的量值。由于测量会受到许多因素的影响, 其过程总是不完善的, 即任何测量都不可能没有误差。对于每一个测量值都应给出相应的测量误差范围, 说明其可信度。

2.1.2 长度基准与量值传递

1. 长度基准

米的定义: 1983 年第十七届国际计量大会根据国际计量委员会的报告, “一米是光在真空中在 $1/299\,792\,458$ 秒时间间隔内的行程长度”。

使用波长作为长度基准, 虽然可以达到足够的精确度, 但显然这个长度基准不便在生产中直接用于对零件进行测量。因此, 需要将长度基准的量值按照定义的规定, 复现在实物计量标准器上 (需要有一个统一的量值传递系统, 将米的定义长度一级一级地传递到工作计量器具上), 再用其测量工件尺寸, 从而保证量值的统一。

测量基准指复现和保存计量单位并具有规定计量单位特性的计量器具。在几何量计量领域内, 测量基准可分为长度基准和角度基准两类。常见的实物计量标准器有量块 (块规) 和线纹尺。

2. 长度量值传递系统

量值传递是 “将国家计量基准所复现的计量值, 通过检定 (或其他方法) 传递给下一等级的计量标准 (器), 并依次逐级传递到工作计量器具上, 以保证被测对象的量值准确一致的方式”。我国长度量值传递系统如图 2-1 所示, 从最高基准谱线向下传递, 有两个平等的系统, 即端面量具 (量块) 和刻线量具 (线纹尺) 系统, 其中尤以量块传递系统应用最广。

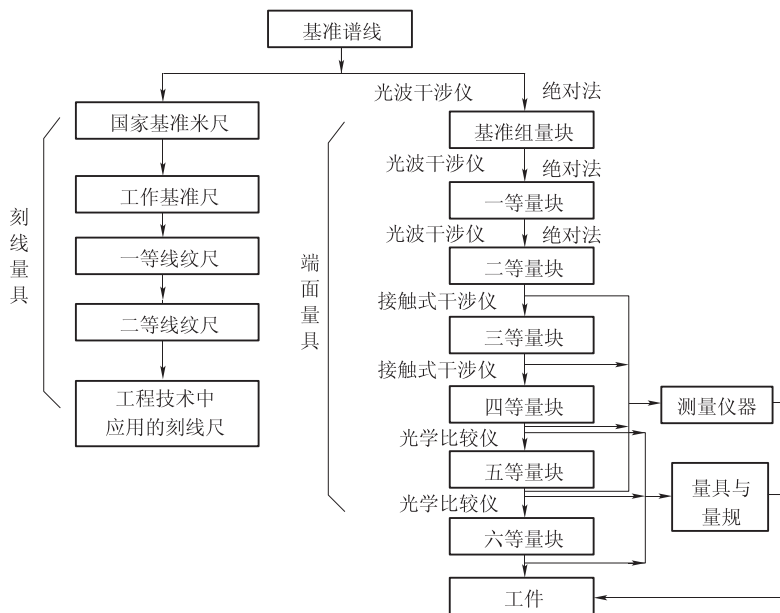


图 2-1 长度量值传递系统