



主 编 李瑞芬 张 宁
副主编 曹有为

JIXIE JICHU SHIYAN
JIAOCHENG

机械基础实验教程



东北林业大学出版社

机械基础实验教程

主 编 李瑞芬 张 宁

副主编 曹有为

东北林业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

机械基础实验教程 / 李瑞芬, 张宁主编. -- 哈尔滨
: 东北林业大学出版社, 2011. 6
ISBN 978 - 7 - 81131 - 816 - 6

I. ①机… II. ①李… ②张… III. ①机械学—实验—高等学校—教材 IV. ①TH11 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 114224 号

责任编辑: 李学忠

封面设计: 彭宇



NEFUP

机械基础实验教程

Jixie Jichu Shiyan Jiaocheng

主 编 李瑞芬 张 宁

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路 26 号)

东 北 林 业 大 学 印 刷 厂 印 装
开本 787 × 960 1/16 印张 13 字数 229 千字
2011 年 6 月 第 1 版 2011 年 6 月 第 1 次 印 刷
印数 1—2 000 册

ISBN 978 - 7 - 81131 - 816 - 6

定价: 26.00 元

内容提要

为了适应实验教学改革的需要，我们编写了《机械基础实验教程》，本书以机械工程类学生的知识结构为出发点，紧密联系机械基础系列课程的教学实践，结合教学实际情况，在继承传统内容的基础上进行整合、创新，初步形成了机械基础实验的基本内容，旨在为学生掌握机械设计、机械制造技术奠定实验技能基础。

本书内容主要分两大部分。

1. 机械基础实验基本知识

测量的基本概念；量块；计量器具的分类；测量误差和数据处理等。

2. 机械基础实验操作技能

机械运动与动力参数测试实验：机械传动综合、机构创新设计实验等；机械零部件工作能力测试实验；工程材料组织性能分析与金属表面处理实验；材料性能与热处理综合实验；机械零件的几何精度测量实验；轴套组合体的检测综合实验；机械工程测试实验等。

前 言

在面向 21 世纪教学内容和课程体系的改革中，突出强调注重学生素质和能力的培养，实验教学是高等理工科教学中培养学生动手能力和创新能力、实施素质教育的重要组成部分。为了适应“素质、能力教育”的需要，许多高校开始探索机械基础实验教学的改革，我们在借鉴其他院校先进的教学模式基础上，结合我校教学实际，加强了机械基础系列课程建设，从全面培养学生动手能力出发，打破课程界线，整合机械基础实验课，为适应实验教学改革的需要，我们编写了《机械基础实验教程》。本书以机械工程类学生的知识结构为出发点，紧密联系机械基础系列课程的教学实践，结合我校的实际情况，在继承传统内容的基础上进行整合、创新，初步形成了机械基础实验的基本内容，为学生掌握机械工程设计、机械制造技术奠定了实验技能基础。

参加本书编写的有：李瑞芬（第 1 章、第 2 章、第 5 章、第 6 章），张宁（第 3 章、第 4 章），曹有为（第 7 章）。由于编者水平有限及编写时间仓促，书中缺点和错误在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者
2010 年 10 月

目 录

1	绪言	(1)
2	机械基础实验基本知识	(4)
	2.1 测量的基本概念	(4)
	2.2 形位误差的数据处理方法	(12)
3	机械原理实验	(15)
	3.1 绘制平面机构运动简图	(15)
	3.2 齿轮范成实验	(17)
	3.3 动平衡实验	(21)
	3.4 机构运动方案创新设计实验	(27)
4	机械设计实验	(33)
	4.1 带传动实验	(33)
	4.2 滑动轴承实验	(40)
	4.3 轴系结构设计	(49)
	4.4 减速器拆装实验	(52)
5	机械制造基础(机械工程材料实验)	(59)
	5.1 概述	(59)
	5.2 铁碳合金平衡组织观察与分析实验	(59)
	5.3 钢的热处理工艺及组织和性能的检测(综合)	(68)
	5.4 合金钢、铸铁、有色金属的显微组织观察与分析实验	(94)
6	机械精度设计基础实验	(101)
	6.1 概述	(101)
	6.2 长度测量实验	(102)
	6.3 形位误差测量	(114)
	6.4 表面粗糙度测量	(132)
	6.5 圆柱齿轮测量实验	(144)
	6.6 综合实验	(159)

2 机械基础实验教程

7 机械测试实验	(166)
7.1 信号的认识及分析实验	(166)
7.2 振动测试实验	(171)
7.3 传感器综合测试实验	(187)
参考文献	(199)

1 绪 言

(1) 实验教学改革的迫切性

实验教学在高校教学体系中占有十分重要的地位，也是衡量一所学校教学质量的关键尺度之一。实验教学是推进素质教育的重要环节，是理论教学的继续与补充。机械基础实验是机械基础系列课程教学中重要的实践性环节，是深化感性知识、理解抽象概念、运用基础理论的主要方法，是培养学生综合设计与创新能力、实验动手能力、分析和解决问题能力的重要途径，同时对培养学生的科学态度、严谨作风和辩证唯物主义世界观也有着重要的意义。

在传统的教学观念中，实验教学仅被看作是理论教学的附属，实验的目的仅仅是验证书本理论，实验的内容基本是验证型的。实验设备陈旧；实验手段落后、不能反映当代测试技术的发展；实验教学的方法也是以教师为主体的“被动”方式；实验方案和步骤均由指导书确定，学生只需照搬，甚至只需按电钮、抄数据，无法引导学生独立思考，更无从培养创新能力。

上述问题的存在，导致实验本身缺乏吸引力，从而挫伤了学生进行实验的积极性，客观上助长了重理论、轻实验的错误导向，极大地影响了实验教学的效果。特别是由于缺少综合型、设计型、创新型的实验内容，缺乏进行实验设计、研究的条件，无法引导学生通过实验来探求未知、培养能力。实验教学的现状已不能适应“素质、能力培养”的要求，实验项目的改造与实验教学方法的改革已势在必行。

(2) 机械基础实验教学改革的思路

为了适应“素质、能力教育”的需要，机械基础实验拟从机械工程学科发展出发，打破课程界线，针对机械工程专业类学生的知识结构需要，组织安排实验教学内容，逐步压缩单纯依附于某门课程验证理论为主的实验；针对培养学生工程能力的需要，整合相关课程的实验内容、创设新型综合性实验，着重培养和提高学生的实践动手能力、综合创新设计能力。

机械基础实验教学的相关课程有机械原理、机械设计基础、机械制造基础、互换性与测量技术基础、机械工程测试技术基础等课程。机械基础实验面向全校机械类和近机械类专业开设实验课，覆盖的专业面广，在教学环节中起着重要的作用。实验内容和实验教学安排上着重解决如下几个问题。

①模块化结构与分层次教学,实现基本实验和综合实验相结合、必开实验和选开实验相结合,在保证基本能力训练的前提下,给学有余力的学生提供更多的实验研究条件。

②处理好实验课与相关理论课的关系,实验课部分内容与理论教学衔接,但大部分实验内容具有相对的独立性,根据实验课自身的体系安排教学。

③实验项目的改造、建设方面遵循教学性、科学性和先进性原则。相当一部分的传统实验项目虽有设备陈旧等不足,但有的还具有直观性好的优点,这对学生理解实验的基本原理和方法起到引导入门的作用。随着科学技术的发展,传感器技术、计算机技术、机—电—气(液)—控一体化技术也在迅速发展,我们会逐步引进此类先进技术,不断更新实验项目的内容和设备,鼓励学生勇于发挥想象力,敢于提出前人没有提出的新理论、新方法、新技术,努力培养学生的创新能力。

(3) 《机械基础实验教程》的作用和内容

为了适应实验教学改革的需要,我们编写了《机械基础实验教程》,本书以机械工程类学生的知识结构为出发点,紧密联系机械基础系列课程的教学实践,结合学校的实际情况,在继承传统内容的基础上进行整合、创新,初步形成了机械基础实验的基本内容,旨在为学生掌握机械工程设计、制造技术奠定实验技能基础。

本书主要内容分两大部分。

①机械基础实验基本知识。包括测量的基本概念;量块;计量器具的分类;测量误差和数据处理等。

②机械基础实验操作技能。包括机械运动与动力参数测试实验,机械传动综合实验,机构创新设计实验;机械零部件工作能力测试实验;工程材料组织性能分析与金属表面处理实验;材料性能与热处理综合实验;机械零件的几何精度测量实验;轴套组合体的检测综合实验;机械工程测试实验等。

(4) 机械基础实验课的目标与要求

①课程的目标。在机械基础实验课的教学与学习中,应明确以下目标:
一是使学生掌握机械基础实验的基本原理和方法,掌握数据采集、误差分析处理的基本理论,掌握实验分析测试、机械传动实验等基本技能;

二是培养学生进行综合设计、创新设计和实验设计的能力;

三是培养学生的科学思维、创新意识、严谨作风和钻研探索的精神。

②学习本课程的要求。机械基础实验课是机械工程实践课教学的重要组成部分,它是面向 21 世纪教学内容和课程体系改革的有益尝试与探讨,在

学习本课程的过程中学生应注意以下几点：

一是综合运用先修课程中所学的有关知识与技能，熟练掌握基本实验的原理和方法，不断提高实验技术的理论水平；

二是积极参与、敢于动手实践，努力提高自身的实践、实验能力；

三是提倡创新思维，特别在进行综合性、设计性实验时，充分利用提供的实验条件，进行实验研究，努力开展实验创新；

四是实验报告是显示并保存实验成果的依据，实验报告的质量体现实验的价值，也是实验教学中对学生分析综合、抽象概括、判断推理、文理表达等综合能力的训练，是学生实验成绩评估的重要内容之一，应如同重视实验过程一样重视实验报告的撰写。

编写机械基础实验教程，对机械基础系列教学改革有着重要作用，无论是教师还是学生都是改革的实践者，我们相信经过对机械基础实验的整合，可加强对学生能力的培养，提高教学质量。但是，这些探索尚处在初期阶段，还会遇到新的问题和困难，还需要在实践中不断总结、不断完善和不断提高。

2 机械基础实验基本知识

2.1 测量的基本概念

2.1.1 测量和测量要素

2.1.1.1 测量

测量是把被测量与具有计量单位的标准量进行比较,从而确定被测量的量值的操作过程。若以 x 表示被测量值, E 为所采用的计量单位,则它们的比值 q 为

$$q = \frac{x}{E}$$

即

$$x = q \cdot E$$

2.1.1.2 测量的四要素

一个完整的测量过程包括四个要素:测量对象、测量单位、测量方法和测量精度。

(1) 测量对象

测量对象主要指被测的几何量,包括长度、角度、表面粗糙度和形位误差等。

(2) 测量单位

在长度计量中,规定长度的基本单位为米 (m),其他常用单位有毫米 (mm)、微米 (μm);角度单位是弧度 (rad),实用中常以度 ($^\circ$)、分 ($'$)、秒 ($''$) 为单位。

(3) 测量方法

测量方法是指对指定的被测量对象、所采用的测量原理、计量器具和测量条件等的综合运用。

(4) 测量精度

测量精度是指测量结果与真值的一致程度。通常是用测量误差反映的。测量误差越大说明测量结果偏离真值越远,精度越低。

2.1.2 量块

量块又称块规，是一种没有刻度的平面平行端面量具。其制造材料为特殊合金钢，形状为长方六面体，如图 2-1 所示。其中有两个相互平行的测量面和四个非测量面，且两个测量面的表面粗糙度（ R_a 为 $0.01 \sim 0.016 \mu\text{m}$ ）和平行度（含平面度）要求的精度很高，因此量块组合使用时就具有其重要的特性——研合性。即通过两量块分子间的吸力作用使两量块黏合在一起，利用量块的这一特性，我们可以把量块组合成我们所需要的尺寸。

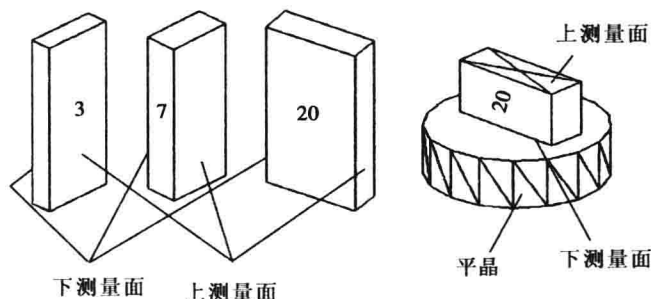


图 2-1 量块

量块主要用作尺寸传递系统中的中间标准量具，或在用相对法测量时以它作为基准尺寸来调整仪器的零位，也可以用来直接测量零件。

量块的尺寸标记：公称尺寸小于 5.5 mm 的量块，有数字的一面为上测量面；尺寸大于 6 mm 的量块，有数字平面的右侧为上测量面。量块的工作尺寸是把量块的一个工作表面研合在平晶的平面上后，另一个工作表面的中心（即对角线的交点）到平晶平面的垂直距离（见图 2-1）。

量块的精度划分有两种：按“级”划分和按“等”划分。

按量块的制造精度分为 6 “级”，即 00, 0, K（校准级），1, 2, 3 级，其中 00 级精度最高。按“级”使用量块时，是以标记在量块上的标称尺寸为准。该尺寸含有量块的制造误差和磨损误差。

按量块检定精度分为六“等”，即 1, 2, 3, 4, 5, 6 等，其中 1 等精度最高。当按“等”使用量块时，量块的工作尺寸不是按其标称尺寸计算，而是以量块检定时实际尺寸为准。因此，按“等”使用量块，其尺寸不含量块本身的制造误差，只包含检定量块时较小的检定误差和检定后量块的

磨损误差,从而获得较高的测量精度。在实际测量时,按“等”使用量块比按“级”使用量块的精度高。

量块是成套使用和供应的,每套装一盒。每盒中有各种不同尺寸的量块,按照一定的尺寸进间隔和一定的数字规律,有83块、46块、38块和9块等多种规格。其部分成套量块的尺寸系列如表2-1所示。

表2-1 成套量块的编组

组	间隔	成套量块					
		83块		38块		9块	
		尺寸/mm	块数	尺寸/mm	块数	尺寸/mm	块数
1	0.001	0.005	1	1.005	1	1.001~1.009	9
2	0.01	1.01~1.49	49	1.01~1.09	9		
3	0.1	1.6~1.9	4	1.1~1.9	9		
4	0.5	1.5~9.5	19	1~9	9		
5	10	10~100	10	10~100	10		

量块的组合:

使用量块时,首先将选用的量块工作面擦净,然后轻轻推压即可黏合在一起,如图2-2所示,黏合后的量块不会自行分开。



图2-2 量块的组合

组合量块时,首先要参照成套量块尺寸表选用所需要尺寸的量块,应以量值的最小位数的尺寸逐次选取,而且黏合在一起,如图2-2(b)所示。为了减少量块累计误差的影响,要求量块组的块数越少越好,一般不得超过四块,现举例说明。用83块一套的量块,组合尺寸为23.265 mm所需的量块。

$$\begin{array}{r}
 23.265 \\
 - 1.005 \\
 \hline
 22.260 \dots\dots\dots \text{第一块}
 \end{array}$$

- 1.060	第二块
21.200		
- 1.200	第三块
20.000	第四块

这样用上述四块量块就可以组成所需要的尺寸。组合量块时,首先用高号汽油将所选用的量块清洗干净,用纱布擦干,以尺寸较大的量块为基础,按尺寸由大到小顺序进行黏合。用完后也要清洗,擦干并涂上凡士林油。千万注意不得使量块掉在地上或工作台上,也不能用手直接接触及量块。

2.1.3 计量器具和测量方法的分类

2.1.3.1 计量器具分类

计量器具是测量仪器和测量工具的统称。测量几何量的计量器具可分为以下三类。

(1) 标准计量器具

它是测量时用以体现标准量值的器具,如基准米尺,量块等。

(2) 量规

它是没有刻度的、用以检验零件尺寸或形状和相互位置的检验工具。它不能量出被测量的具体数值,只能判断零件是否合格。

(3) 通用量具和量仪

它包括刻度尺,各种游标尺和游标量角器以及各种机械的、气动的、光学、电的和机、电、光组合的量仪。

2.1.3.2 测量方法分类

测量方法可按不同特征进行分类。

(1) 直接测量和间接测量

直接测量是指用计量器具直接测量被测量。例如用游标卡尺或千分尺直接测量工件的直径和长度等。

间接测量是指直接测量与被测量有一定函数关系的其他量。经过计算才能得到被测量。例如,为了测量非整圆工件的直径 D ,可采用弓高弦长法测量,如图 2-3 所示。通过测量弦长 b 和其相应的弓高 h ,按下式即可计算出直径 D 。

$$D = 2R = \frac{b^2}{4h} + h$$

(2) 绝对测量和相对测量

绝对测量是指可直接从计量器具读出被测量的数值的测量。例如用游标

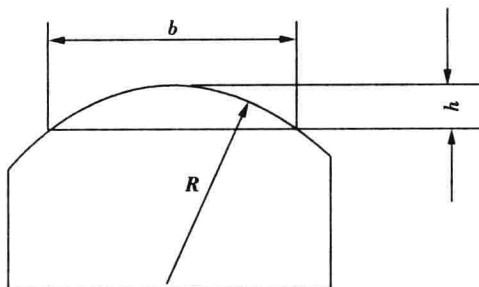


图 2-3 间接测量法

卡尺测量工件时，可以从卡尺的读数中读出工件直径或长度的数值。

相对测量是指用标准量具调整仪器的零点，然后测量出被测量相对于标准量的偏差的测量手段。一般来说，相对测量具有较高的精度。

(3) 综合测量和单项测量

综合测量是指对零件某些相关联的几何参数误差的综合效果进行测量，从而综合地判断工件是否合格的测量。例如用螺蚊量规检验螺纹。

单项测量是指分别测量零件的各个参数的测量。例如分别测量螺纹的中径、螺距和牙型半角。

(4) 静态测量和动态测量

静态测量是指在测量过程中，工件的被测表面与测头处于相对静止的状态。

动态测量是指在测量过程中，工件的被测表面始终与测量头处于相对运动的状态，或者整个测量过程是模拟零件在实际工作或在加工中的运动状态。它反映了被测参数的变化过程。

2.1.4 计量器具的度量指标

2.1.4.1 分度值

分度值 (i) —— 计量器具的刻尺或度盘上相邻两刻线所代表的量值之差。例如，千分尺微分套筒上的分度值为 $i = 0.01 \text{ mm}$ 。分度值是量仪能示出的被测尺寸的最小单位。将数显式仪器的分度值称之为分辨率。它表示最末一位数字间隔所代表的量值之差。一般说来，量仪的分度值 i 越小，其测量精度越高。

2.1.4.2 刻度间距

刻度间距 (a) —— 量仪的刻度尺或主盘上相邻两刻线的中心距离。一

般量仪的刻度间距为 $1 \sim 1.25 \text{ mm}$ 。

2.1.4.3 示值范围

示值范围——计量器具所显示或指示的最低值到最高值的范围，例如，机械比较仪的示值范围为 $\pm 100 \mu\text{m}$ 。

2.1.4.4 测量范围

测量范围——在允许误差限内，计量器具所能测量零件的最低值到最高值的范围。例如，某一千分尺的测量范围为 $25 \sim 50 \text{ mm}$ 。

2.1.4.5 灵敏度

灵敏度 (k)——量仪的示数装置对被测量变化的反应能力，也叫作放大比。灵敏度与分度值、刻度间距的关系用以下公式表示。

$$k = \frac{a}{i}$$

2.1.4.6 灵敏限

灵敏限 (灵敏阈)——引起计量器具示值可觉察变化的被测量的最小变化值。灵敏限越小，测量仪器越容易反映零件尺寸的微小变比。对于圆度、表面粗糙度、跳动等高精度的连续变动量，宜选用灵敏度小的量仪。

2.1.4.7 测量力

测量力——测量过程中，计量器具与被测表面之间的接触力。在接触测量中，希望有一定的测量力，且此力保持恒定。太大的测量力会使被测零件产生变形，而测量力的变化会使示值不稳定。

2.1.4.8 示值误差

示值误差——量具标称值或计量仪器的示值和被测量真值之间的差值。计量器具的示值误差允许值可从其使用说明书或检定规程中查到，也可通过实验分析或实验统计确定。

2.1.4.9 示值变动性

示值变动性——在测量条件不变的情况下，对同一被测量进行多次重复测量读数时 (一般 $5 \sim 10$ 次)，其读数值的最大变动量。

2.1.4.10 回程误差

回程误差 (滞后误差)——在相同条件下，对同一被测尺寸进行往返两个方向测量时，量仪示值的变化范围。

2.1.4.11 修正值

修正值——为了消除计量器具的系统误差，用代数法加到测量结果上的值。

2.1.4.12 不确定度

不确定度——在规定条件下测量时，由于测量误差的存在，被测量值不

能肯定的程度。不确定度用误差界限表示。计量器具不确定度是一个综合精度指标。它包括量仪的示值误差、示值变动性、回程误差、灵敏度以及调整标准件的误差等。例如，分度值为 $\pm 0.01\text{ mm}$ 的外径千分尺，在车间条件下测量尺寸为 $0\sim 50\text{ mm}$ 的零件时，其不确定度为 $\pm 0.004\text{ mm}$ 。这就说明在此情况下，测量结果与被测真值之间的差最大不会大于 $+0.004\text{ mm}$ ，最小不会小于 -0.004 mm 。

2.1.5 测量误差和数据处理

2.1.5.1 测量误差

测量误差是指测得值与被测量真值之差。按其性质可分为三类。

(1) 系统误差

系统误差是指在相同条件下，多次测量同一量值时，误差的大小和符号保持不变，或按一定规律变化的误差。前者为定值系统误差，后者为变值系统误差。

(2) 随机误差

在相同条件下，多次测量同一几何量时，大小和符号均以不可预定的方式变化的误差称之为随机误差。它是由于测量过程中的不稳定因素综合形成的（如量仪示值的变化、读数不一致、温度波动、测量力不恒定等）。在单次测量中出现的随机误差无确定规律可循，但是，若对其进行多次重复测量，当测量次数足够多时，就可以发现随机误差是符合统计规律的。

(3) 粗大误差

粗大误差在系列测得值中有个别数值明显过大，超出在规定条件下预期的误差。粗大误差的产生是由于某些不正常的原因所造成的。例如测量者的粗心大意，测量仪器和被测件的突然振动。由于粗大误差一般数值较大，它会显著地歪曲测量结果。对于这种有显著差异的测量值，应剔除不用。

2.1.5.2 测量结果的数据处理

在测量误差中，系统误差，特别是定值系统误差，通常是可以消除的。用计算或试验的方法找出系统误差，在测得值中加入与误差值大小相等而符号相反的数值（即修正值），就可以将系统误差从测量结果中除去。随机误差的出现是不规则的，不能用加校正值的方法消除，但可用数理统计方法对一系列测得值作统计处理，以便能较好地估计和测定测量结果。

在系统误差和粗大误差均已剔除的前提下，随机误差的数据处理及步骤如下（这里所介绍的是直接测量的数据处理）。

(1) 计算算术平均值 \bar{x}