

21世纪高等院校实验教学改革与创新系列教材

Experiment Courses of
Mechanical Fundamentals

机械基础实验教程



赵又红 谭援强

◎ 主编



湘潭大学出版社

21 世纪高等院校实验教学改革与创新系列教材

机械基础实验教程

主 编 赵又红 谭援强

副 主 编 刘玲令 张高峰

参编人员 (按姓氏笔画为序)

冯建军 李 智 李颂文

刘金刚 刘柏希 杨世平

邱爱红 梁以德

湘潭大学出版社

前 言

实验是机械基础课程中重要的实践性环节,通过实验不仅可以验证理论,加深对理论知识的理解,还可以培养学生的动手能力、观察分析能力和创新能力。

本书是在机械基础系列课程实验教学体系与内容改革研究和实践的基础上,以培养学生的创新能力为目标,根据现代工程图学、工程制图、机械制图、机械原理、机械设计、机械设计基础、机械制造基础、工程材料与热处理、金属学及热处理等课程的教学大纲及其实验教学大纲的要求编写而成的。

本书分为两部分,第一部分为机械基础实验基础知识;第二部分为机械基础实验项目,介绍了现代工程图学、工程制图、机械制图、机械原理、机械设计、机械设计基础、机械制造基础、工程材料与热处理、金属学及热处理等课程的传统实验项目以及一些新增实验项目。不同的专业可从中选择不同的实验。

本书由赵又红、谭援强任主编,刘玲令、张高峰任副主编,李颂文、邱爱红、杨世平、李智、梁以德、刘金刚、冯建军、刘柏希等人参与了编写,湘潭大学龚曙光教授对本书作了全面审阅,并提出了宝贵的修改意见,在此表示诚挚的谢意。

本书可作为高等学校机械类及近机类专业本科生机械基础课程的实验教学用书,还可作为有关教师、工程技术人员和科研人员从事实验活动的参考书。

编 者

2009 年 11 月

总序

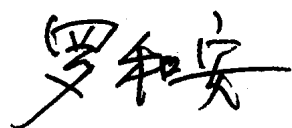
为了提高国家的持续发展能力、综合实力和国际竞争力,党中央、国务院提出构建创新型国家体系、增强自主创新能力的战略,鼓励创造,鼓励创新,特别是鼓励原始创新。创新的关键在人才,人才的成长靠教育。推动教育事业特别是高等教育事业的发展,培养和造就一大批基础扎实、具有创新精神和创新能力的高素质拔尖人才,是构建国家创新体系、建设创新型国家的基础。

正是在这样的背景下,湘潭大学出版社经过精心策划,组织实验教学一线的专家和教师编写了这套“21世纪高等院校实验教学改革与创新系列教材”。实验教学是培养学生创新能力的基本途径,是培养高素质创新人才教学体系的重要组成部分。目前,对作为连接理论与实践的纽带和激发学生发现问题、研究问题、独立解决问题能力的重要环节——实践教学的研究,还显得相对不足;对如何进一步深化实验教学改革,创新实验教学方法、途径,以更好地发挥实验教学对培养学生创新思维与创造技能的平台作用方面的研究与探讨,尚待深入;已出版的实验教材还比较零散,不成体系和规模,高质量、高水平的实验教材建设与实验教学之间还存在一定的差距。随着科技的发展,各种实验手段、实验仪器不断更新,传统实验教学中的许多范例、方法,既不能体现与学科发展相适应的前沿性,也不能体现与产业相衔接的应用性,使许多实验教材严重滞后于实验教学的现实需要和教学改革的进程。要实现创新人才培养的重要目标,必须重视实验教学;而要实现教学目标,达到好的教学效果,则必须以实验教材为基础,必须有好的实验教材作支撑。因此,湘潭大学出版社出版的这套实验教学改革与创新系列教材就非常有意义。

这套教材最大的特点是融入了许多新的实验教学理念和教学方法,引入了新的实验手段与实验方法,尤其是增加了计算机技术在实验中的应用,有利于激发学生的学习兴趣,增强学生对现代高新技术的了解,具有一定的新颖性和前瞻性。教材范围涵盖了物理、化学、计算机、机械等几大传统学科专业,并注意区分了理科和工科教学过程中各自的侧重,做到

了理工交融,也较好地实现了实践性与理论性、基础性与先进性、基本技能与学术视野、传统教学与开放教学的相互结合。好的实验教材既是实验教学成果的直接反映,也是先进的实验教学理念传播的重要载体。相信湘潭大学社出版的这套系列教材,能够为我们提供有益的借鉴,也相信广大教育理论研究者和教师,在不断推进实验教学改革与创新过程中,一定能够探索出新的经验,推出新的成果,编写出更多的精品教材,进一步推广先进的实验教学理念和教学方法,提升实验教学质量与水平,为培养高素质的创新人才,建设创新型国家作出新的贡献。

是为序。

A handwritten signature in black ink, reading '罗和安' (Luo He'an). The characters are stylized and fluid, with the first character '罗' being particularly prominent.

2009年3月

目 录

第一篇 机械基础实验基础知识

第 1 章 绪论

1.1 实验课程的性质、内容和任务	1
1.2 实验课程的要求	1
1.3 实验课程的学习方法	2

第 2 章 机械基础实验常用量具和仪器

2.1 概述	3
2.2 常用测量器具及测量技术的发展	4
2.3 常用传感器	7

第 3 章 测量误差分析与实验数据处理

3.1 误差和精度的基本概念	13
3.2 测量、误差的分析与处理	17
3.3 实验数据处理	24

第二篇 机械基础实验项目

第 4 章 现代工程图学测绘实验

4.1 测绘的实验目的及要求	31
4.2 测绘的方法与步骤	32

第 5 章 工程材料与热处理实验

实验 1 金相显微镜的结构、使用和金相样品的制备	42
实验 2 铁碳合金平衡组织的显微观察	49
实验 3 碳钢热处理后的硬度测试及组织分析	51

第 6 章 机械原理实验

实验 1 机构认知与分析实验	53
实验 2 机构运动简图的测绘和分析实验	55
实验 3 渐开线齿廓的范成实验	58
实验 4 渐开线直齿圆柱齿轮的参数测定与分析实验	62
实验 5 机构运动参数的测定与分析实验	67

实验 6	刚性转子动平衡实验	72
实验 7	回转构件的动平衡实验	78
实验 8	机构创意组合及运动分析实验	82
实验 9	机构多媒体测试、仿真及设计综合实验	90
第 7 章 机械设计实验		
实验 1	机械零件认知与分析实验	127
实验 2	滑动轴承实验	136
实验 3	液体动压滑动轴承实验	143
实验 4	滚动轴承实验	150
实验 5	轴系零件装拆与分析实验	160
实验 6	轴系结构创意组合设计与分析实验	162
实验 7	齿轮传动效率测定实验	165
实验 8	减速器拆装与结构分析实验	171
实验 9	机械系统创意组合及分析实验	174
实验 10	JCY 机械传动性能综合测试分析实验	185
第 8 章 机械制造基础实验		
实验 1	车刀几何角度测量实验	190
实验 2	冲压模具的结构分析与拆装实验	195
实验 3	焊接综合实验	198
实验 4	CA6140 车床结构剖析实验	201
参考文献		205

第一篇 机械基础实验基础知识

第1章 绪 论

1.1 实验课程的性质、内容和任务

机械基础实验是一门技术基础课。在高等工科院校机械设计制造及其自动化、材料成型与控制工程及过程装备与控制工程等专业教学计划中,它是一门主要课程。本课程要求学生在选修机械制图、机械原理、工程材料与热处理、互换性与技术测量、机械设计、机械设计基础和机械制造基础等课程时平行选修相应的实验项目。

机械基础实验是机械基础系列课程教学中重要的实践性教学环节,它是深化感性认识、理解抽象概念、运用基础理论的主要方法,是培养学生实验动手能力、综合运用所学知识分析和解决问题能力、独立工作与创新能力的重要途径。通过实验,使学生能加深理解、巩固课堂授课内容,接受实验技能的基本训练,掌握软件实际操作的基本技能,了解实验基本方法和力学参数、机械量等测定方法,提高学生动手能力、观察分析能力和创新能力。

1.2 实验课程的要求

1. 登记实验课时间

根据教研室和实验中心(实验室)的教学安排,于实验前1~2周,到实验中心(实验室)登记,确定上实验课的时间。

2. 预习实验

在上实验课前,准备好实验用书、文具、纸张及计算器等。认真预习实验教程,了解实验的目的、实验用仪器设备的结构及工作原理、实验操作步骤,复习与实验有关的理论知识。

3. 上实验课

(1) 按时上、下课,不得迟到、早退和无故旷课。

(2) 进入机械基础实验中心,必须遵守机械基础实验中心各项规章制度,服从教师的指导和安排,在规定的实验室内用指定的实验设备与仪器进行实验。

(3) 实验中,应爱护实验设备和器材,仔细了解有关实验设备与仪器的性能和使用方法,严格按照安全操作规程或听从教师的指导进行操作。

(4) 上课时认真回答教师提问,虚心接受教师的指导。认真进行实验,细心操作,注

意安全。

(5) 上课时注意观察实验现象,认真分析,准确地记录下实验原始数据,并交由指导教师检查。

(6) 实验结束后及时关掉电源,对所用仪器设备进行整理,恢复到原始状态。

4. 撰写实验报告

(1) 实验报告用统一的实验报告纸撰写。

(2) 实验报告正文的内容一般应包括实验目的、实验仪器设备及其工作原理、实验步骤、实验原始数据、实验结果与分析等。

(3) 书写工整,曲线画在坐标纸上,并用曲线板绘制。

(4) 对实验结果进行误差分析。

实验成绩占课程总成绩的一部分,实验成绩根据实验操作和实验报告来综合评定。若平时漏做实验,应及时和实验中心联系补做实验。

1.3 实验课程的学习方法

1. 注意理论知识与实践知识相结合,综合应用所学知识

机械基础实验课程与理论课程平行进行。在实验中,注意用理论联系实际的方法去分析和解决与本课程有关的工程实际问题,进一步巩固所学的理论知识。同时,它作为一门技术基础课涉及多门理论课程的知识,特别是一些较复杂的综合设计型实验更是对多门学科知识的有机结合应用。在实验中要注意将多门学科的理论基础知识有机结合,将当前学习与已学知识相联系,在理论指导下综合利用各种实验设备和仪器构思出新的实验方案,培养研究能力。

2. 重视实际动手能力的培养,养成一丝不苟的工作作风

机械基础实验是一门以学生实际操作为主的技术基础课程,在具体的实验过程中需要使用多种设备和工具,因此,要求学生具有较强的实践动手能力。培养实践动手能力不仅要学会操作使用各种仪器设备和工具,而且还要培养小心谨慎的工作作风,注重细节,掌握各种工具的使用规范和注意事项。

3. 养成重视分析和思考的习惯,培养创新能力

许多学生在做实验的过程中,往往是按照实验步骤机械模仿,很少对于实验过程和实验结果进行分析和思考,尤其对于验证性实验,认为其无非是对理论的检验,没有什么值得思考的。这种做法使学生在做完实验后只是验证了某个理论,分析能力和思维能力并不能得到提高,失去了做实验的意义。学习本课程应该有意识地对实验结果和实验过程中观察到的一些现象进行分析和思考;充分发挥想象力。在重视动手能力的同时培养创新能力,首先要培养一颗好奇心,其次要正确处理独创与继承的关系。

4. 具有顽强进取的坚韧毅力及团队协作的精神

机械基础实验课程是一门实践性很强的课程,它与工程实践密切相关。实验过程中,往往难以避免油污、铁屑等脏物。学生应该具有吃苦耐劳的精神,克服实验环境中的各种困难,严格按照要求完成实验。培养不怕苦不怕累,勇于进取的精神。同时还要培养团结协作能力,多与教师和同学交流、讨论。一个人的见识和智慧是有限的,在规定的时间内完成一个较复杂的综合设计型实验往往需要多人的协作。

第2章 机械基础实验常用量具和仪器

2.1 概述

测量就是为确定量值而进行的实验过程。在测量中假设 L 为被测量值, E 为所采用的计量单位, 那么它们的比值为:

$$q = \frac{L}{E} \quad (2.1)$$

这个公式表明: 在被测量值 L 一定的情况下, 比值 q 的大小完全取决于所采用的计量单位 E , 而且是成反比关系。同时它也说明计量单位的选择取决于被测量值所要求的精确程度。这样经比较而得的被测量值为:

$$L = qE$$

由上式可知: 任何一个测量过程必须有被测对象和所采用的计量单位。此外还有二者是怎样进行比较和比较后精确程度如何的问题, 即测量的方法和测量的精确度问题。这样, 测量过程就包括: 测量对象、计量单位、测量方法及测量精确度等 4 个要素。本章只涉及机械制造中最普遍的测量对象, 即几何量的测量。

测量对象: 这里主要指几何量, 包括长度、角度、表面粗糙度以及形位误差等。由于几何量种类繁多, 形状各式各样, 因此对于它们的特性、被测参数的定义以及标准等都必须加以研究和熟悉, 以便进行测量。

计量单位: 国务院于 1977 年 5 月 27 日颁发的《中华人民共和国计量管理条例 (试行)》第三条规定中重申: “我国的基本计量制度是米制 (即公制), 逐步采用国际单位制。” 1984 年 2 月 27 日正式公布中华人民共和国法定计量单位, 确定米制为我国的基本计量制度。在长度计量中单位为米 (m), 其他常用单位有毫米 (mm) 和微米 (μm)。在角度测量中以度、分、秒为单位。

测量方法: 在进行测量时所采用的计量器具和测量条件的综合。根据被测对象的特点, 如精度、大小、轻重、材质、数量等来确定所用的计量器具; 分析研究被测参数的特点和与其他参数的关系, 确定最适合的测量方法以及测量的主客观条件 (如环境、温度等)。

测量精确度 (即准确度): 测量结果与真值的一致程度。由于任何测量过程总不可避免地会出现测量误差。误差大, 说明测量结果离真值远, 精确度低。因此精确度和误差是两个相对的概念。由于存在测量误差, 任何测量结果都是以近似值来表示, 或者说测量结果的可靠有效值是由测量误差确定的。

2.2 常用测量器具及测量技术的发展

2.2.1 测量方法和计量器具的分类

1. 计量器具的分类

计量器具可以按计量学的观点进行分类,也可以按器具本身的结构、用途和特点进行分类。根据用途和特点的不同,计量器具可分为标准量具、极限量规、检验夹具以及计量仪器等四类。

1) 标准量具

这种量具只有某一个固定尺寸,通常是用来校对和调整其他计量器具或作为标准用来与被测工件进行比较的。如量块、直角尺、各种曲线样板及标准量规等。

2) 极限量规

极限量规是一种没有刻度的专用检验工具,用这种工具不能得出被检验工件的具体尺寸,但能确定被检验工件是否合格。

3) 检验夹具

检验夹具也是一种专用的检验工具,可配合各种比较仪,用来检查更多更复杂的参数。

4) 计量仪器

计量仪器是能将被测的量值转换成可直接观察的指示值或等效信息的计量器具。根据构造上的特点,计量仪器还可分为以下几种:

(1) 游标式量仪。有游标卡尺、游标高度尺及游标量角器等。游标卡尺如图 2.1 所示。

(2) 微动螺旋副式量仪。有外径千分尺、内径千分尺等。外径千分尺如图 2.2 所示。

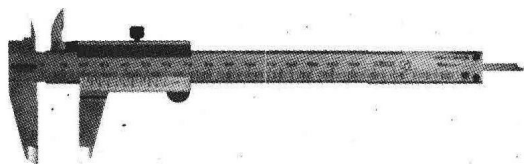


图 2.1 游标卡尺

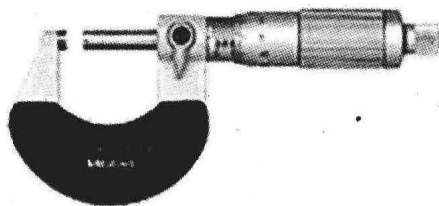


图 2.2 外径千分尺

(3) 机械式量仪。有百分表、千分表、杠杆比较仪、扭簧比较仪等。千分表、扭簧比较仪分别如图 2.3、2.4 所示。

(4) 光学机械式量仪。有光学计、测长仪、投影仪、干涉仪等。

(5) 气动式量仪。有压力式、流量计式等。

(6) 电动式量仪。有电接触式、电感式、电容式等。

(7) 光电式量仪。有激光干涉、激光图像、光栅等。

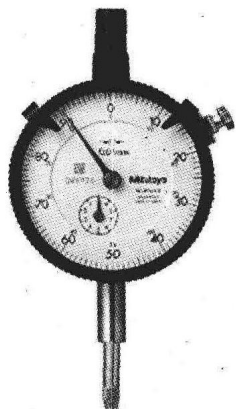


图 2.3 千分表

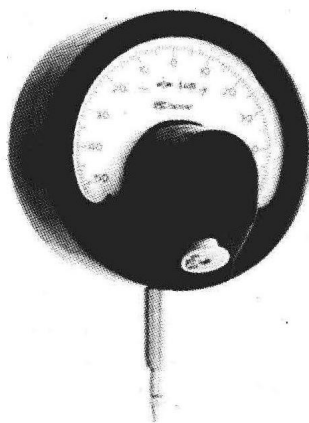


图 2.4 扭簧比较仪

2. 测量方法的分类

测量方法可以按各种不同的形式进行分类。如直接测量与间接测量，综合测量与单项测量，接触测量与非接触测量，被动测量与主动测量，静态测量与动态测量等。

1) 直接测量

直接测量就是无需对被测量与其他实测量进行一定函数关系的辅助计算，直接得到被测量值的测量。直接测量又可分为绝对测量与相对（比较）测量。若由仪器刻度尺上读出被测参数的整个量值，这种测量方法称为绝对测量，例如用游标尺、千分尺测量零件的直径。若仪器刻度尺指示的值只是被测参数对标准量的偏差，这种测量方法称为相对（比较）测量。由于标准量是已知的，因此被测参数的整个量值等于仪器所指偏差与标准量的代数和。例如用量块调整比较仪测量直径。

2) 间接测量

间接测量就是通过直接测量与被测参数有已知关系的其他量而得到该被测参数量值的测量。其精确度取决于有关参数的测量精确度，并与所依据的计算公式有关。例如，在测量大的圆柱形零件的直径 D 时，可以先量出其圆周长 L ，然后通过 $D = L / \pi$ 计算零件的直径 D 。

3) 综合测量

综合测量就是同时测量工件上的几个有关参数，从而综合地判断工件是否合格。其目的在于限制被测工件在规定的极限轮廓内，以保证互换性的要求。例如，用极限量规检验工件，花键塞规检验花键孔等。

4) 单项测量

单个地彼此没有联系地测量工件的单项参数称为单项测量。例如测量圆柱体零件某一剖面的直径，或分别测量螺纹的螺距或半角，或分析加工过程中造成次品的原因时，多采用单项测量。

5) 接触测量

测量时，仪器的测量头与工件的被测表面直接接触，并有机机械作用的测力存在，对零件表面油污、切削液、灰尘等不敏感，但由于有测力存在，会引起零件表面、测量头以及

计量仪器传动系统的弹性变形。

6) 不接触测量

测量时, 仪器的测量头与工件的被测表面之间没有机械的测力存在。

7) 被动测量

零件加工后进行的测量。此时测量结果仅限于发现并剔出废品。

8) 主动测量

零件在加工过程中进行的测量。此时测量结果直接用来控制零件的加工过程, 决定是否继续加工或需调整机床或采取其他措施。因此它能及时防止与消灭废品。

由于主动测量具有一系列优点, 因此是技术测量的主要发展方向。主动测量的推广应用将使技术测量和加工工艺紧密地结合起来, 从根本上改变技术测量的被动局面。

9) 静态测量

测量时, 被测表面与测量头是相对静止的。例如用千分尺测量零件直径。

10) 动态测量

测量时, 被测表面与测量头有相对运动, 它能反映被测参数的变化过程。例如用激光比长仪测量精密线纹尺, 用激光丝杠动态检查仪测量丝杠等。

动态测量也是技术测量的发展方向之一, 它能较大地提高测量效率和保证测量精度。

2.2.2 现代测量技术的发展

在传统的坐标测量机中, 常用光学刻度尺作为检测元件。随着生产的发展, 光学刻度尺的使用愈来愈少, 数字显示越来越显出它的优点, 如数显式游标卡尺、数显式外径千分尺、数显式公法线千分尺、数显式螺纹中径千分尺、数显式角度仪、数显式千分表等。

随着计算机及激光技术的发展, 光、机、电一体测量仪器设备不断涌现, 激光在长度计量中的应用愈来愈广, 不但可用于干涉法测量线位移, 还可用于双频激光干涉法测量小角度, 环形激光测量圆周分度, 以及用激光束作基准测直线度误差等。目前我国已生产出双频激光测长机, 其测量长度达 12 m。

坐标测量机是一个不断发展的概念。如测长机、测长仪可称为单坐标测量机; 工具显微镜可称为两坐标测量机。随着生产的发展, 要求测量机能测出工件的空间尺寸, 由此产生了三坐标测量机。三坐标测量机是 20 世纪 60 年代后期发展起来的一种高效率的精密测量仪器。它的出现, 一方面是由于生产发展的需要, 即高效率加工机床的出现, 产品质量要求进一步提高, 复杂立体形状加工技术的发展等都要求有快速、可靠的测量设备与之配合; 另一方面也由于电子技术、计算技术及精密加工技术的发展, 为三坐标测量机的出现提供了技术基础。目前, 三坐标测量机广泛应用于机械制造、仪器制造、电子工业、航空和国防工业各部门, 特别适用于测量箱体类零件的孔距和面距、模具、精密铸件、电子线路板、汽车外壳、发动机零件、凸轮以及飞机型体等带有空间曲面的工件。有的坐标测量机带有许多附件, 其测量范围更广, 又称万能测量机。

目前, 坐标测量机和数控机床中作为检测元件而广泛使用的光栅、磁栅、感应同步器和激光, 其优点是能采用脉冲计数, 数字显示和便于实现自动测量等。

电子式万能测量仪, 即使在恶劣的环境条件下, 也能方便、可靠地进行测量。它能够用于测量大尺寸半圆或圆周的內、外圆直径, 也可测量高度和角度; 能够直接显示圆的所

有相关数据,也可直接把数据输出给打印机进行打印;还可以测量范围为350~20 000 mm的台阶高度,以及角度。

光学测量机可对回转体进行光测。通过一平行光束照射在回转体零件上,把零件的影像转化成数据信号,通过数据接口输给计算机,计算机进行数据处理生成工程图,并显示零件所有的尺寸。光学测量机测量速度快,精度高,而且稳定可靠。

便携式表面粗糙度测试仪可以测量工件表面 R_a 、 R_z 、 R_y 、 R_{max} 等7个参数;评定长度范围为0.48~15 mm,取样长度范围为0.08~2.5 mm;具有RS232数据输出接口与计算机联接。JB-4C精密粗糙度测试仪是一种高精度针描式表面粗糙度测量仪器,该仪器可对平面、斜面、外圆柱面、内孔表面、深槽表面、圆弧面和球面等各种零件表面进行测试,并实现表面粗糙度的多种参数测量。

数显式比较仪可以方便、可靠地测量,具有在测量范围内任何位置上置零的功能,通过按钮进行数据输入,具有RS232数据输出接口,精度可达0.001 mm。

数显式水平尺除具有普通水平尺的功能外,还具有数字显示、数据输出功能。

轮廓投影仪能对小型或微型零件进行测量,如可对螺纹牙形、小孔(或微孔)、电路板等进行高精度测量。

测量显微镜是一种非接触显微光学测量仪,能进行一维、二维和三维测量。这种仪器的精密度很高,在150 mm长度上的误差低于2.6 μm ,并且具有分析、显示、打印的多种输出功能。

、现代的测量仪器大多有输入和输出接口,可为数据采集与处理提供方便。

2.3 常用传感器

工程上通常把直接作用于被测量,并能按一定规律将其转换成同种或别种量值输出的器件,称为传感器。

传感器的作用类似于人的感觉器官。它把被测量,如力、位移、温度等,转换为易测信号,传送给测量系统的信号处理环节,以便最后得到所需的测量数据。

传感器处于测试装置的输入端,其性能将直接影响整个测试装置的工作质量。

2.3.1 传感器的分类

工程中应用的传感器种类繁多,往往一种被测量可用多种类型的传感器来检测。传感器分类方法很多,如:

(1) 按被测量分类,可分为位移传感器、速度传感器、加速度传感器、力传感器、温度传感器等。

(2) 按传感器工作原理分类,可分为机械式传感器、电阻应变计式传感器、电感式传感器、电磁式传感器、光学式传感器、流体式传感器等。

(3) 按敏感元件与被测对象之间的能量关系,可分为能量转换型传感器与能量控制型传感器。

(4) 按输出信号分类,可分为模拟式传感器和数字式传感器。

(5) 按信号变换特征可概括分为物理型传感器和结构型传感器。物理型传感器是依靠敏感元件材料本身物理化学性质的变化来实现信号变换的,例如压电测力计是利用石英晶

体的压电效应等；结构型传感器则是依靠传感器结构参数的变化实现信号转换的，例如电容式传感器依靠极板间距离变化引起电容量的变化等。

2.3.2 电阻应变计式传感器

1. 电阻应变计式传感器的基本工作原理

导体或半导体材料在外力作用下产生机械变形时，其电阻值亦将发生变化，这种现象称为电阻应变效应。根据这种效应可将应变片粘贴于被测材料上，这样被测材料受到外力的作用产生的应变就会传到应变片上，使应变片的电阻值发生变化，通过测量应变片电阻值的变化就可得知被测量的大小。因此，应变计可用于对任何能使应变片产生应变的其他物理量的测量。

2. 电阻应变计式传感器的应用

1) 位移传感器

应变计式位移传感器是把被测位移量转变成弹性元件的变形和应变，通过应变计和应变电桥，输出正比于被测位移的电量。它可用来近测或远测静态与动态的位移量。因此既要求弹性元件刚度小，对被测对象的影响反力小，又要求系统的固有频率高，动态频响特性好。

2) 测力传感器

应变计式测力传感器的主要用途是测力和称重。这种测力传感器的结构由应变计、弹性元件和一些附件组成。视弹性元件结构形式（如柱形、筒形、梁形等）和受载性质（如拉、压、弯曲等）的不同，它们有许多种类。

2.3.3 电容式传感器

电容式传感器是将被测非电量的变化转换为电容量变化的一种传感器。它的独特优点是结构简单、分辨率高、可非接触测量，并能在高温、辐射和强烈振动等恶劣条件下工作。

电容式传感器有变极距型、变面积型和变介质型 3 种。

1. 电容式位移传感器

图 2.5 所示为一种变面积型电容式位移传感器。它采用差动式结构、圆柱形电极，与测杆相连的活动电极随被测位移而轴向移动，从而改变活动电极与两个固定电极之间的覆盖面积，使电容发生变化。它用于接触式测量，电容与位移呈线性关系。

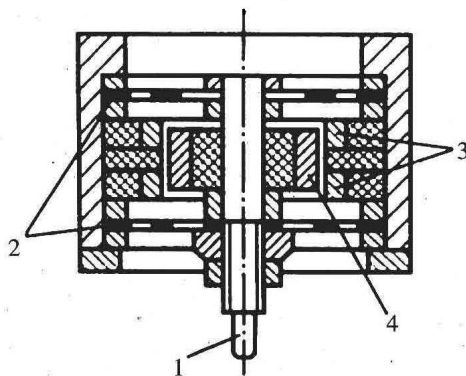


图 2.5 电容式位移传感器

1. 测杆；2. 开槽簧片；3. 固定电极；4. 活动电极

2. 电容式加速度传感器

图 2.6 所示为电容式传感器及其构成的力平衡式挠性加速度计。感应加速度的质量组件由石英动极板及力发生器线圈组成，并由石英挠性梁弹性支承，其稳定性极高。固定于壳体的 2 个石英定极板与动极板构成差动结构；两极面均镀金属膜形成电极。由 2 组对称

E形磁路与线圈构成的永磁动圈式力发生器互为推挽结构,这大大提高了磁路的利用率和抗干扰性。

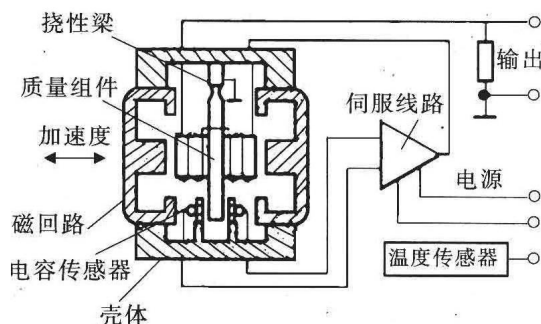


图 2.6 电容式挠性加速度计

工作时,质量组件感应被测加速度,使电容传感器产生相应输出,经测量(伺服)电路转换成比例电流输入力发生器,使其产生一电磁力与质量组件的惯性力精确平衡,迫使质量组件随被加速的载体而运动。此时,流过力发生器的电流精确反映了被测加速度值。

在这种加速度计中,传感器和力发生器的工作面均采用微气隙压膜阻尼,使它比通常的油阻尼具有更好的动态特性。典型的石英电容式挠性加速度计的量为 $0 \sim 150 \text{ m/s}^2$,分辨率为 $1 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,非线性误差和不重复性误差均不大于 $0.03\% \text{ F.S.}$ (全量程)。

3. 电容式压差传感器

图 2.7 所示为一种典型的小型差动电容式压差传感器结构。加有预张力的不锈钢膜片作为感压敏感元件,同时作为可变电容的活动极板。定容的 2 个固定极板是在玻璃基片上镀有金属层的球面极片。在压差作用下,膜片凸向压力小的一面,导致电容发生变化。球面极片(图中被夸大)可以在压力过载时保护膜片,并改善性能。其灵敏度取决于初始间隙 δ_0 , δ_0 越小,灵敏度越高;而其动态响应主要取决于膜片的固有频率。

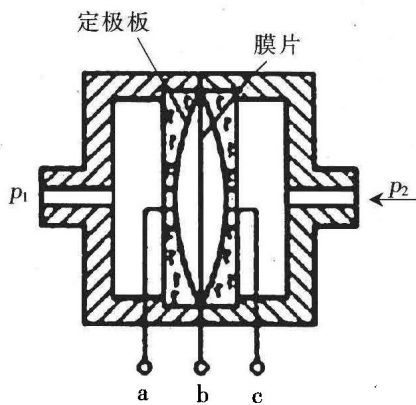


图 2.7 电容式压差传感器

2.3.4 电感式传感器

电感式传感器是利用电磁感应原理,将被测非电量的变化转换成线圈的电感(或互感)变化的一种机电转换装置。利用电感式位移传感器可以把连续变化的线位移或角位移转换成线圈的自感或互感的连续变化,经过一定的转换电路再变成电压或电流信号以供显示。它除了可以对直线位移或角位移进行直接测量外,还可以通过一定的感受机构对一些能够转换成位移量的其他非电量,如振动、压力、应变等进行检测。

电感式传感器按转换原理的不同,可分为自感式(可变磁阻式与电涡流式)、互感式(差动变压器式)2大类。可变磁阻式与互感式属于接触型传感器,而电涡流式属于非接触型传感器,但它局限于被测物体为导体。

电感式传感器主要用于测量位移与尺寸,也可测量能转换成位移变化的其他参数,如力、张力、压力、压差、振动、应变、转矩、流量等。

1. 位移与尺寸的测量

电感式传感器常用于测量零点几到几百毫米的位移,线性度通常为0.5%F.S.(量程),分辨率可达 $0.1\sim 0.01\mu\text{m}$,采用摆动支承结构的电感式表面轮廓传感器分辨率可达 $1\mu\text{m}$ 。

图2.8是利用电感式传感器构成的测厚仪原理图。被测带材2在上、下测量滚轮3与1之间通过。开始工作前,先调节测微螺杆4至给定厚度值(由度盘5读出)。当钢带厚度偏离给定厚度时,上测量滚轮3将带动测微螺杆上下移动,通过杠杆7将位移传递给衔铁6,使 L_1 、 L_2 变化。这样,厚度的偏差值由指示仪表显示。被测带材的厚度是度盘5的读数(给定值)与指示仪表示值(偏差)之和。

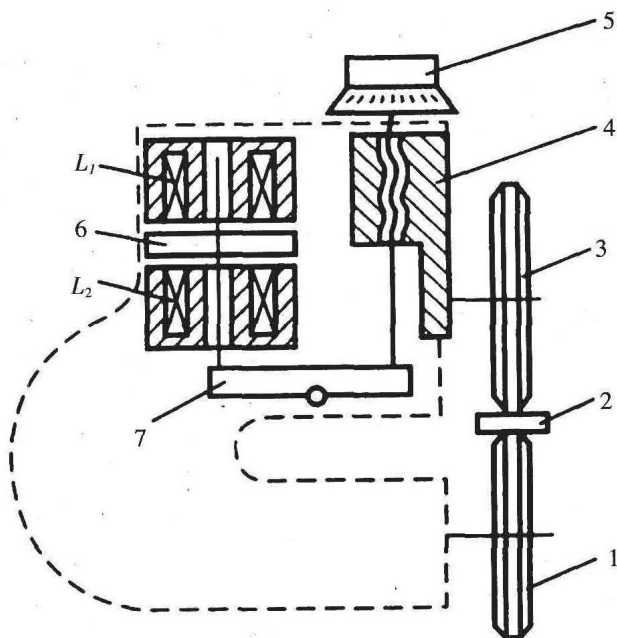


图 2.8 电感测厚仪原理图

1、3. 滚轮; 2. 带材; 4. 螺杆; 5. 度盘; 6. 衔铁; 7. 杠杆

2. 压力的测量

电感式传感器与弹性敏感元件(膜片、膜盒和弹簧管等)相结合,可以构成开环压力传感器和闭环力平衡式压力计,用来测量压力或压差。

3. 力和力矩的测量

电感式传感器与弹性元件相结合还可用来测量力和力矩。

如果将弹性元件设计成敏感圆周方向变形的结构,并配以相应的电感式传感器,就能构成力矩传感器。这种传感器已成功地应用于船模运动的测试分析中。