

高等院校教材

# 机械基础实验教程

朱文坚 谢小鹏 黄镇昌 编著



科学出版社  
www.sciencep.com

高等院校教材

# 机械基础实验教程

朱文坚 谢小鹏 黄镇昌 编著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本教材是为培养学生的创新能力、综合设计能力和实际工程意识,在机械基础系列课程实验教学改革和实践的基础上编写而成。

本教材按实验自身系统进行编写,以引导学生掌握机械基础实验的基本原理、基本知识、基本技能与实验方法。

全书共9章,主要内容有三大部分:①实验基础知识:介绍机械基础实验的基本知识;实验常用的仪器;实验数据处理。②机械基础实验内容:机械组成的认识实验;零件几何量的精密测量;机械运动和动力参数的测试;机械性能和工作能力的测试;机械加工工艺设计实验。③拓展实验内容:机械创新设计实验;机电一体化系统实验;实验设计等。各校可根据实际情况选择教材中所介绍的实验项目。

本书可作为高等学校相关专业的教材,也可供教师、工程技术人员和科研人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械基础实验教程/朱文坚,谢小鹏,黄镇昌编著. —北京:科学出版社, 2005

(高等院校教材)

ISBN 7-03-015024-4

I. 机… II. ①朱…②谢…③黄… III. 机械学-实验-高等学校-教材  
IV. TH11-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 011425 号

责任编辑:段博原 于宏丽 / 责任校对:刘小梅

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

丽源印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2005年4月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2005年4月第一次印刷 印张: 21 1/2

印数: 1—4 000 字数: 413 000

定价: 28.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

## 前 言

科学发展的历史表明,许多伟大的发现、发明都来自于科学实验。从人类使用的原始工具到今天的载人宇宙飞船等各种现代机械,都是经过许多科学实验进行探索和验证的结果。实验可帮助人类认识和掌握自然界各种事物的本质和规律,因此科学实验是理论的源泉、科学的基础、发明的沃土、创造人才的育床。随着科学技术的不断发展,科学实验的范围和深度不断拓展和升华,科学实验具有越来越重要的作用,成为自然科学理论的直接基础。

实验教学是高等院校理工科教学中的重要组成部分,它不仅是学生获取知识的重要途径,而且对培养学生严谨的科学态度、科学研究能力、实验工作能力和创新能力起着相当重要的作用。机械基础系列课程是机械类专业重要的技术基础课,但目前该系列课程的实验都是附属于相关的课程,因而实验缺乏系统性,而且也容易出现学生重理论学习、轻实际操作的问题,这与新世纪高层次创新人才的培养要求差距很大。为了配合机械设计系列课程的改革,编者尝试改变以前把实验附属于相关课程的做法,通过对实验自身进行系统的优化整合,并按学科体系安排实验教学,设置机械基础实验课。

本教材重在培养学生掌握现代机械工程基础实验的基本原理和知识、基本技能与方法。教材内容注意处理现代与传统、创新与继承、集中与分散、基本与拓展的辩证关系,采用模块式结构分层次安排实验教学,便于不同学校按具体情况选用。

参加本教材编写工作的有:朱文坚(第1章、6.1节和6.2节、8.4节和8.5节),谢小鹏(第2章、7.1节~7.3节),黄镇昌(第3章、第5章),张铁(8.6节),莫海军(6.3节~6.7节、7.2节部分),张木青(第9章),翟敬梅(8.1节~8.3节),徐晓(8.7节和8.8节),何军(第4章、8.9节、7.2节部分)。由朱文坚、谢小鹏、黄镇昌担任主编。

由于作者水平有限,书中误漏和不当之处恳请读者批评指正。

编 者  
2005年1月

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 机械基础实验课程的重要性及任务 .....	1
1.2 机械基础实验课程的主要内容 .....	2
1.3 机械基础实验课程的要求与实验方法 .....	4
<b>第 2 章 机械基础实验常用的仪器设备</b> .....	6
2.1 概述 .....	6
2.2 带传动实验设备 .....	6
2.3 滑动轴承性能实验设备 .....	8
2.4 螺栓联接实验台.....	10
2.5 动平衡实验台.....	12
2.6 机械运动创新方案拼接实验台.....	12
2.7 综合设计型机械设计基础实验台.....	14
<b>第 3 章 实验数据采集与数据处理</b> .....	18
3.1 实验与测量.....	18
3.2 测量基本知识.....	19
3.3 测量误差与测量不确定度.....	25
3.4 实验数据处理.....	29
3.5 非电量电测与数据采集.....	49
3.6 数据采集系统的组建.....	63
3.7 虚拟仪器简介.....	71
<b>第 4 章 机械组成的认识实验</b> .....	73
4.1 机械的组成.....	73
4.2 机械拆装与测试实验.....	75
4.3 对机器中某些部件的改进设计.....	79
4.4 机构运动简图测绘.....	85
4.5 实验的实例.....	88
<b>第 5 章 机械零件几何量的精密测量</b> .....	94
5.1 几何量精密测量基础.....	94
5.2 几何尺寸的精密测量.....	96

5.3	形状和位置误差的测量 .....	104
5.4	表面粗糙度测量 .....	125
5.5	角度和锥度测量 .....	139
5.6	螺纹测量 .....	144
5.7	圆柱齿轮参数和误差测量 .....	155
5.8	几何量测量虚拟仪器应用实验 .....	174
<b>第 6 章</b>	<b>机械运动和动力参数测试</b> .....	<b>205</b>
6.1	概述 .....	205
6.2	机构运动参数测定与分析实验 .....	211
6.3	回转件的平衡 .....	214
6.4	回转件的平衡实验原理简介 .....	216
6.5	回转构件动平衡实验 .....	218
6.6	凸轮检测技术 .....	222
6.7	凸轮轮廓检测实验 .....	223
<b>第 7 章</b>	<b>机械性能及工作能力测定实验</b> .....	<b>229</b>
7.1	概述 .....	229
7.2	齿轮检测技术 .....	229
7.3	机械传动性能综合试验 .....	241
<b>第 8 章</b>	<b>机械创新设计实验</b> .....	<b>247</b>
8.1	概述 .....	247
8.2	基于机构组成原理的拼接实验 .....	249
8.3	基于机构创新原理的拼接设计 .....	258
8.4	人机工程创新设计实验 .....	276
8.5	创新思维与机械制作实验 .....	279
8.6	智能移动机器人设计实验 .....	282
8.7	轴系结构分析和拼装实验 .....	293
8.8	机械传动系统方案的设计 .....	297
8.9	慧鱼技术创新设计实验 .....	303
<b>第 9 章</b>	<b>机械加工工艺设计实验</b> .....	<b>314</b>
9.1	机械加工工艺的设计原则、原始资料及步骤 .....	314
9.2	机械加工工艺过程的基本概念 .....	315
9.3	机械加工工艺设计的内容 .....	316
9.4	例题分析 .....	324
9.5	计算机辅助工艺设计简介 .....	333

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 机械基础实验课程的重要性及任务

### 1.1.1 机械基础实验课程的重要性

实验一般指科学实验,即自然科学实验。实验是根据一定的目的(或要求),运用必要的手段和方法,在人为控制的条件下,模拟自然现象来进行研究、分析,从而认识各种事物的本质和规律的方法。实验是将各种新思想、新设想、新信息转化为新技术、新产品的必要环节。科学发展的历史说明,许多伟大的发现、发明和重大的研究成果都产生于科学实验,例如,居里夫人就是在实验室里夜以继日工作了 10 多年才发现和提炼了铀。回顾机械的发展历史,人类从使用原始工具到原始机械、古代机械、近代机械乃至今天的智能机器人、宇航飞机、载人宇宙飞船等现代机械,都是经过艰辛的科学实验而实现的。随着科学技术的发展,科学实验的范围和深度不断拓展和深入,科学实验具有越来越重要的作用,成为自然科学理论的基础。诺贝尔奖被公认为代表自然科学最高水平的一个标志,据资料表明,诺贝尔奖自 1901 年以来的 91 个奖项中,可以认为 72% 以上的是与实验相关的。由此可见实验对理论和科学研究的重要性,可以认为它是理论的源泉、科学的基础。

今天由于科学的迅速发展,高新技术产品不断问世,高等院校绝大多数的科研成果和高新技术产品都是在实验室里通过实验而研究成功的。科学实验是探索未知、推动科学发展的强大武器,对经济持续发展、提高综合国力和巩固国防具有十分重大和深远的现实意义。

机械工业与机械工程历来是国家经济建设的支柱产业和支柱学科之一,而且是基础产业与基础学科之一。随着科学技术的不断发展,对机械学科和机械类专业人才也提出了更高的要求。高等院校工科学生,尤其是机械类专业的学生,要求具有较高的实践能力和综合设计能力。实验正是培养学生具有这些能力的极好的教学环节。实验教学是高等院校理工科专业教学中重要的组成部分,它不仅是学生获得知识的重要途径,而且对培养学生的自学能力、工作态度、实际工作能力、科学研究能力和创新能力具有十分重要的作用,对实现培养学生的知识、能力、素质起着关键的作用。

### 1.1.2 机械基础实验课程的任务

机械基础系列课程包括金属工艺学、互换性与技术测量、机械原理、机械设计

等课程。这些课程是重要的技术基础课,是连接基础课与专业课的重要环节。这些课程都分别开设相应的实验。但目前对学生开设的实验普遍存在以下问题:

- 1) 实验多为常规性、传统实验,内容较为陈旧。
- 2) 实验侧重于验证书本理论,学生不能从实验中探求未知、研究和开拓。
- 3) 实验方案和实验步骤均由指导书确定,约束了学生创造能力的发挥。
- 4) 实验手段和测试方法落后,不能反映当代实验技术的发展。
- 5) 实验仅作为教学的附属,学生普遍不重视实验,课程成绩亦不能反映学生的实验能力和水平。
- 6) 各门机械基础课程的实验相互独立,没有形成系列课程实验教学体系。

上述问题的存在,造成不能调动和发挥学生参加实验的积极性和主动性,客观上助长了轻实验、重理论的错误观点,影响了学生个性和创造性的发挥,极大地影响和降低了实验教学的质量,失去了实验的意义和应有的作用。因此实验教学的现状与培养高层次技术人员的要求相差很大,为了适应知识经济和技术创新的时代要求,我们尝试把机械基础系列课程的实验进行整合,开设机械基础综合实验课程。

本实验课程的任务是培养学生:

- 1) 具有不怕困难、勇于探索创新和实事求是的科学态度。
  - 2) 能严格按科学规律从事实验工作,具有遵守实验操作规程的实验者素质。
  - 3) 具有能理解、构思、改进实验方案的基本能力。
  - 4) 具有能熟练操作仪器、设备、系统的技能。
  - 5) 具有能利用测试设备和仪器进行采集、分析及处理实验数据和实验误差的综合分析能力。
  - 6) 注意养成善于观察、分析事物和现象的习惯,并能综合思考的良好学风,训练理性思维,在严谨的科学实验中提高科学实验能力。
  - 7) 能注意引入其他相关学科的新技术、新成果,如激光测量、图像处理、智能控制、虚拟仪器等,提高实验的质量和水平。
- 学生通过本实验课程的学习和实践,可培养和提高学生的自学能力、科学研究能力、分析思维能力、实际动手能力、撰写实验报告的表达能力、独立工作能力和团队合作精神。

## 1.2 机械基础实验课程的主要内容

### 1.2.1 机械基础实验课程的指导思想

机械基础实验课程打破每门课程“各自为政”的界限,以机械基础实验方法自身的系统为主线设置实验课,成绩单独考核和计分。实验课的教学内容注意培养



学生的创造能力和综合设计能力。重视实验内容由“验证性”转为“开发性”，“单一性”转为“综合性”，注意实验内容的创新性，增加实验内容和选题的自主性，改进实验指导方法，尽量发挥教师导学、学生自学的作用。

机械基础实验分为基本实验和实验设计研究两个层次。机械基础基本实验包括必修和选修两个部分。选修实验含有一定的实验设计和研究内容，供学有余力的学生使用。本实验教程增加实验内容和选题的柔性及开放性，以发挥学生的个性和创造能力，鼓励学生充分发挥想像力，敢于打破“思维定势”的约束，提出新方案、新方法、新技术。实验设计属于研究型的综合实验，要求学生根据实验题目或专题(如机械加工工艺设计实验、机器人性能设计实验等)进行实验设计。学生明确任务后通过查阅资料、确定实验方案、选用实验设备和测试仪器完成实验设计，实验后获取和处理实验数据，并撰写具有分析内容的实验设计研究报告。机械基础实验课程的实验内容应在某种程度上反映机械学科的发展方向，通过在实验中引入可编程控制器控制和机电一体化技术等先进的实验设备、实验内容、实验手段，使学生能掌握较新的科学技术。

改革陈旧的实验内容和实验装置是必须的，但在短时间内对所有的实验装置进行更新是不现实的。因此，我们要充分考虑现有的工作条件，处理好传统实验与综合性实验、创新性实验之间的关系，充分发挥传统实验的潜能。事实上，传统实验除了具有验证性和演示性功能外，还提供了其他更多的信息载体，因此我们在发挥传统实验作用的基础上，可以采取：①开发更先进的实验装置；②增加实验设计内容；③引进先进的数据采集和数据处理手段，实现计算机技术在机械基础实验上的应用等。这样既可利用原来的部分实验设备，又可达到培养学生的创新能力和综合设计能力的目的。

本实验课程有较多的创新设计实验内容和允许学生实现自己构思的原理方案，为了节省经费又不会约束学生的新构思，部分实验装置采用在一定条件下的组装式实验模块。此外在机械基础部分实验中采用计算机仿真技术和虚拟仪器技术，增加了实验的柔性，让学生在实验中能充分体现自己的构思。

### 1.2.2 机械基础实验课程的主要内容

本实验教程的主要内容有三部分：

1) 实验的基本知识，包括机械基础实验课程概论；机械基础实验常用仪器设备；实验数据采集和误差分析及处理。

2) 基本实验，包括机械组成的认识实验；机械零件几何精度的测量；机械运动和动力参数测试；机械性能及工作能力测定。

3) 拓展实验，包括机械创新设计实验；实验设计及虚拟仪器实验。

本实验教材的各个实验之间有相对独立性，便于不同学校、不同层次要求的学

生根据具体实际情况进行使用。

## 1.3 机械基础实验课程的要求与实验方法

### 1.3.1 机械基础实验课程的要求

机械基础实验课程是机械工程实验教学的重要组成部分,是机械基础系列课程教学内容和课程体系改革的主要内容之一。学生通过本课程的学习和实验实践,要求掌握下面的基本内容:

- 1) 科学实验的作用及其重要意义。
- 2) 了解和熟悉机械基础实验常用的仪器和装置。
- 3) 能熟练使用机械基础实验常用的仪器、工具、量具。
- 4) 掌握机械基础实验的实验原理、实验方法、测试技术、数据采集、误差分析与处理等基本理论和基本技能。
- 5) 了解并进行机电一体化系统的测控实验。
- 6) 了解及研究机械基础实验设计。
- 7) 了解虚拟仪器设计的基本方法。

### 1.3.2 机械基础实验课程的实验方法

实验包括实验者、实验手段和实验对象三要素。机械基础实验的实验者为学生,实验对象是被测试的物体(目标),实验手段包括实验方法和实验设备、仪器等。实验者在充分理解实验要求和原理的基础上,采用各种测试手段取得各种实验数据,以及对数据进行处理和分析。

工程实验的基本程序如图 1-1 所示。

在这里需要明确的是对于同一实验要求,可以有各种不同的实验原理、实验方法和测试手段。例如测量物体的运动速度,可以通过测量其线速度、转速或加速度来获得。测量构件加速度的方法可通过测量构件的位移或速度,然后通过微分电路获得加速度值;也可以直接用加速度传感器把运动构件的加速度转换成电量,然后再进行检测。又如测量转速有计数式(机械式、光电式、电磁式)、模拟式(机械式、发电机式、电容式)、同步式(机械式、闪光式)等方法。选择实验方法时既要考虑能满足实验要求,也要考虑设备的配备、测量范围、精度、成本等问题,争取用最简单的方法和手段得到最好的实验结果。

实验完成后,必须撰写实验报告,实验报告是显示并保存实验成果的依据。通过撰写实验报告可培养学生综合分析、抽象概括、判断推理等思维能力,也可训练学生对语言、文字、曲线、图表、数理计算等方面的表达能力,因此实验报告是实验教学的重要组成部分。

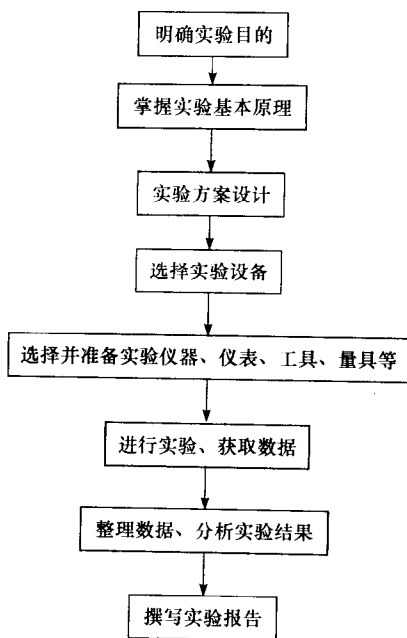


图 1-1 实验基本程序

机械基础综合实验报告多数为实验实践报告,这些实验主要以掌握实验技能和实验方法,验证某一理论为主。实验报告包括实验名称、实验目的、实验原理、实验装置、实验步骤、数据处理、实验结果、分析与结论、附录等内容。

实验报告的文字应简洁明了。如果实验在某一方面有新的发现或成果,应在报告中重点详细描述。此外,也可以写一些实验的经验和教训,使其他实验者引以为鉴,少走弯路。

### 参 考 文 献

陈秀宁. 2002. 现代机械工程基础实验教程. 北京: 高等教育出版社

国家教育委员会高等教育司. 1997. 高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革经验汇编(II). 北京: 高等教育出版社

## 第 2 章 机械基础实验常用的仪器设备

### 2.1 概 述

机械基础课程通常的实验有带传动实验、链传动实验、滑动轴承性能实验、螺栓联接特性测定实验、回转件动平衡实验、凸轮轮廓曲线测定实验、机械零件几何精度的测量、机械运动简图测绘、机械拆装与测试实验等。本章我们只介绍一些国产基本实验设备,尤其是近年来我国教育、科技工作者共同研究开发的综合型机械设计实验台。

### 2.2 带传动实验设备

带传动实验的目的是:①观察带传动的弹性滑动和打滑现象;②测出带传动的弹性滑动系数、效率和负载的关系,并绘制弹性滑动曲线和效率曲线等。图2-1是早期使用的PX-1型带传动试验台的结构和原理图。它主要由动力及传动系统、负载调节系统、转矩测量和弹性滑动显示装置等部分组成。

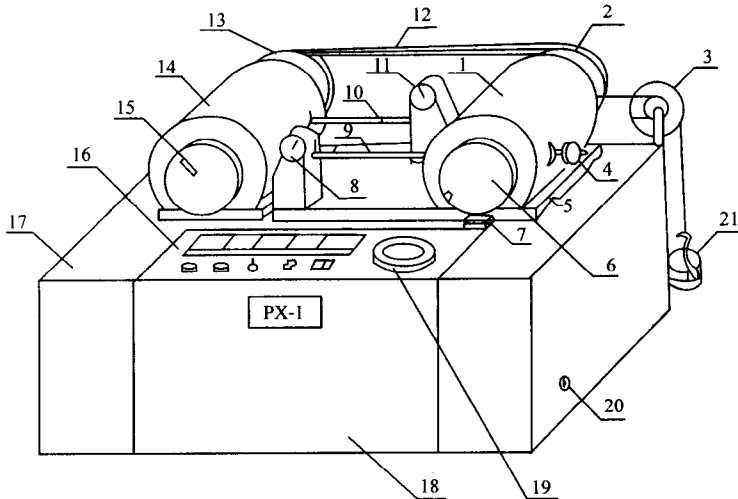


图 2-1 PX-1 型带传动试验台的结构和原理图

1:电动机支承罩; 2:主动轮; 3:滑轮; 4:配重; 5:滚珠导轨; 6:镶有磁钢的圆盘; 7:舌簧管; 8:1号拉力计; 9:电动机测力杆; 10:发电机测力杆; 11:2号拉力计; 12:V型带; 13:从动轮; 14:发电机支承罩; 15:装有光轴的测转差盘; 16:面板; 17:机身; 18:电器箱; 19:调压器; 20:电源入口; 21:砝码

图 2-2 为 PC-A 型带传动试验台的实物外型图;图 2-3 是在 PC-A 型基础上改进设计的电脑测绘新型皮带实验台 PC-B 型,它能利用计算机强大的数据处理分析功能,良好的人机互动功能和虚拟的仪表功能将传感器采集的数据进行分析、处理。图 2-4 是 PDJ-4 型国产皮带传动实验机,它的优点是体积小、质量轻、噪声低、可靠性高。这种实验台不仅能测量数据,而且还能让实验者直接观察到带传动从弹性滑动到完全打滑现象的全过程。

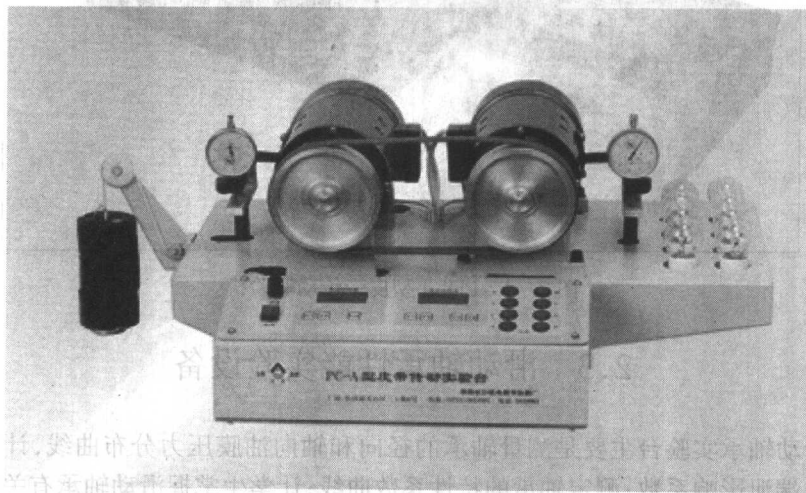


图 2-2 PC-A 型带传动试验台



图 2-3 PC-B 型新型皮带实验台

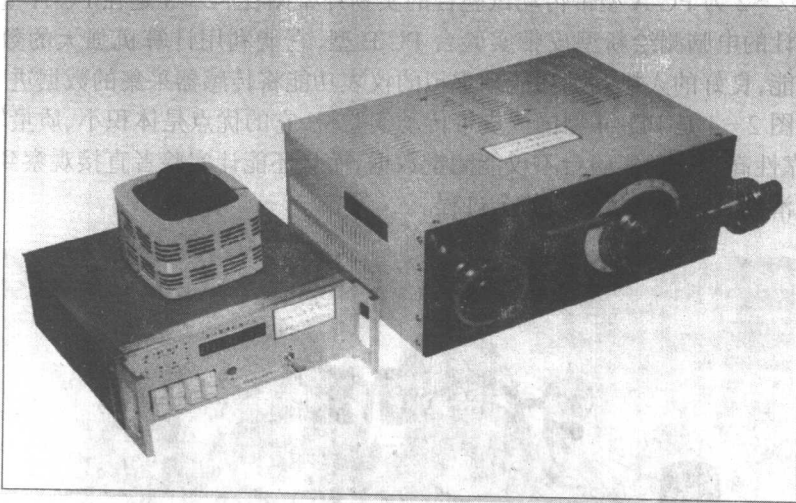


图 2-4 PDJ-4 型皮带传动实验机

### 2.3 滑动轴承性能实验设备

滑动轴承实验台主要是测量轴承的径向和轴向油膜压力分布曲线,计算轴承的轴向端泄影响系数;测定轴承的特性系数曲线;让学生掌握滑动轴承有关参数的测量方法和基本实验技能。图 2-5 是滑动轴承实验台的基本工作原理图。图 2-6 是 HZS-1 型滑动轴承实验台的结构图。图 2-7 是国产的 HS-A 型液体动压

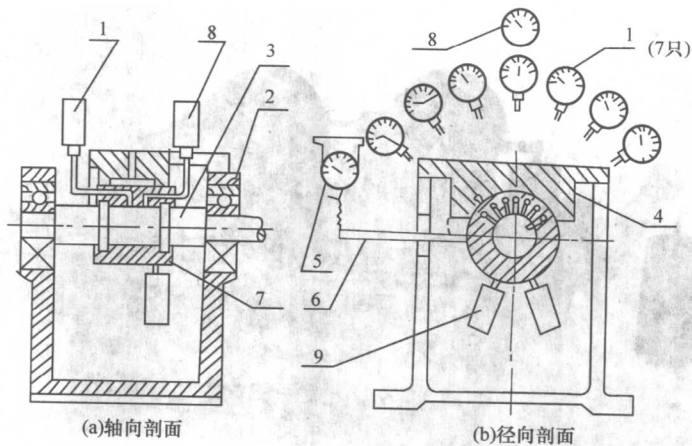


图 2-5 滑动轴承实验台的基本工作原理图

- 1: 径向油压表(7只); 2: 滚动轴承; 3: 试验轴; 4: 加载盖板; 5: 测力计;
- 6: 加载杆; 7: 试验轴承; 8: 轴向油压表; 9: 平衡重

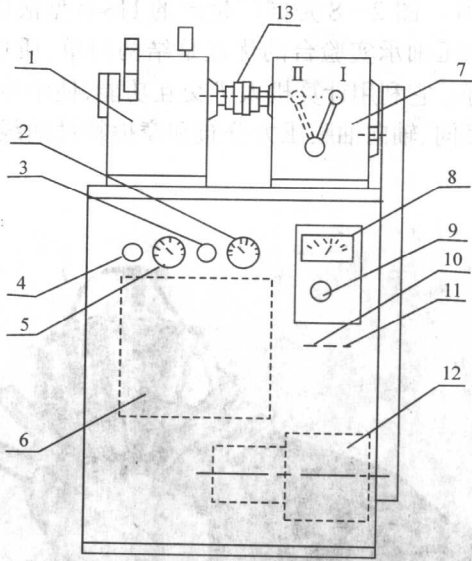


图 2-6 HZS-1 型滑动轴承实验台的结构图

- 1: 试验轴承箱; 2: 供油压力表; 3: 供油旋钮; 4: 加载旋钮;  
 5: 加载压力表; 6: 液压箱; 7: 变速箱; 8: 转速表; 9: 调速旋钮;  
 10: 油泵开关; 11: 电机开关; 12: 调速电机; 13: 联轴器

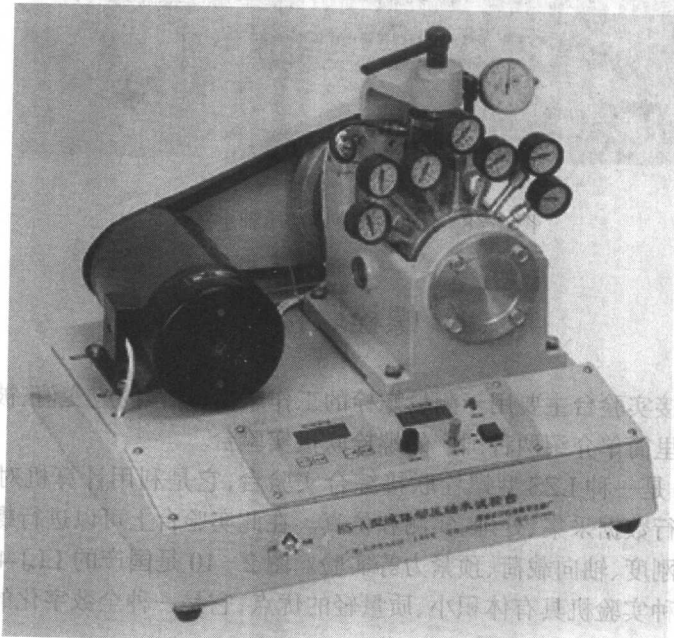


图 2-7 HS-A 型液体动压轴承实验台

轴承实验台的实物照片。图 2-8 是同厂生产的 HS-B 型液体动压轴承实验台实物图。HS-B 型液体动压轴承实验台的优点是结构简单、质量轻、体积小、测量直观、精度与稳定性较好。它利用计算机人机交互功能,使学生在软件界面指导下,独立进行实验,完成径向、轴向油膜压力分布和摩擦特性曲线的仿真与实测,将理论与实验结合起来。

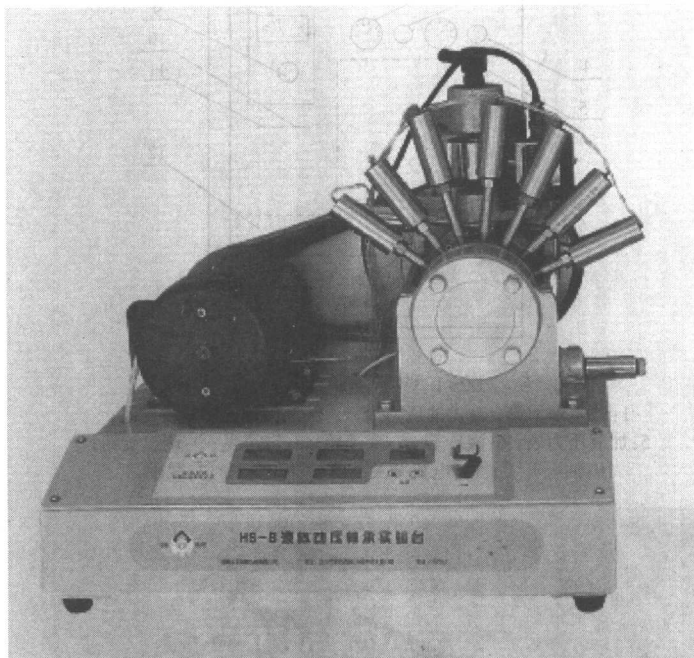


图 2-8 HS-B 型液体动压轴承实验台

## 2.4 螺栓联接实验台

螺栓联接实验台主要用于测量螺栓的工作载荷、螺栓的应变值、被联接件的应变值等。这里简单介绍两种国产的螺栓联接实验台。

图 2-9 是一种 LZS 型螺栓联接综合实验台,它是利用计算机对螺栓联接静动态参数进行数据采集、处理、实测和仿真。在此实验台上可以进行螺栓的静动态受力、变形、刚度、轴向载荷、预紧力等实验。图 2-10 是国产的 LLJ-4 型螺栓联接实验机。这种实验机具有体积小、质量轻的优点,它是一种全数字化的即插即用的实验设备。



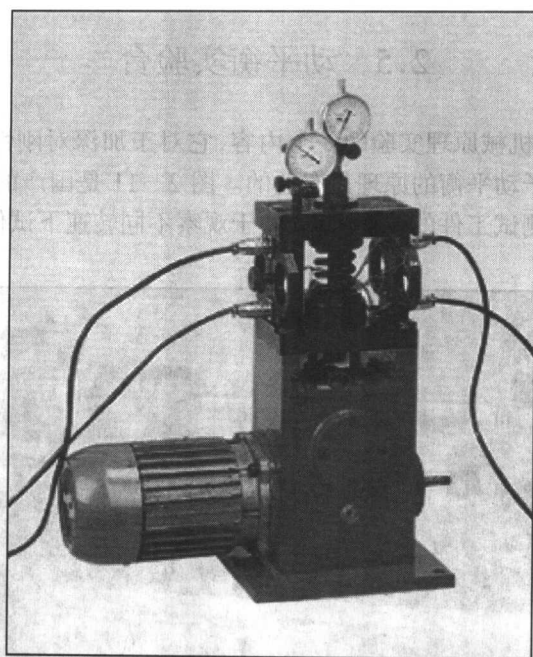


图 2-9 LZS 型螺栓综合实验台

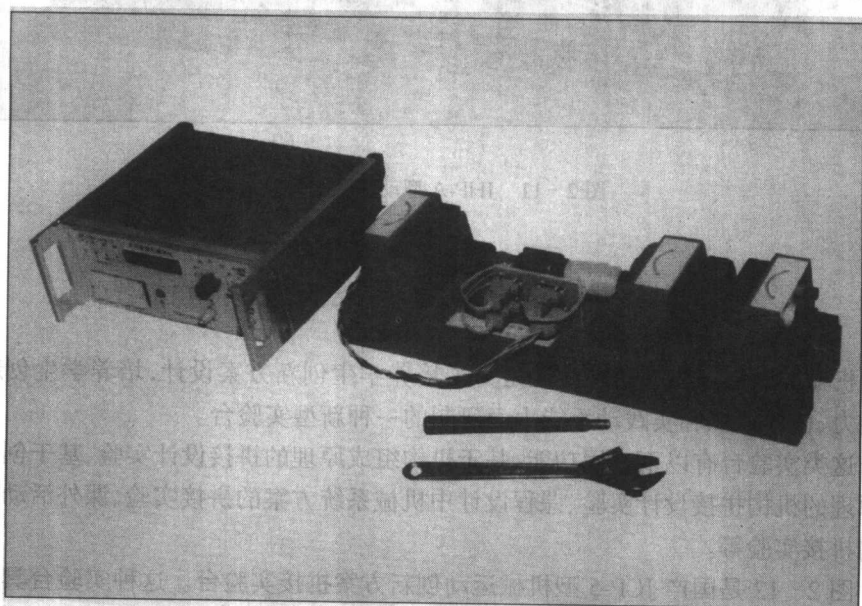


图 2-10 LLJ-4 型螺栓联接实验机