



工业和信息化部“十二五”规划教材

# 机械设计基础实验教程 (第2版)

Jixie Sheji Jichu Shiyan Jiaocheng

主编 杨 洋  
副主编 郭卫东 李晓利 焦宏杰



北京航空航天大学出版社  
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



工业和信息化部“十二五”规划教材

# 机械设计基础实验教程

## (第2版)

主编 杨 洋

副主编 郭卫东 李晓利 焦宏杰

北京航空航天大学出版社

## 内 容 简 介

本书是在机械设计基础实验教学改革和普通高等院校教学实验示范中心建设的基础上,按照机械设计系列课程的实验教学体系编写而成的。旨在培养学生的工程意识、机械设计创新意识、综合设计能力及分析和解决工程问题的能力;引导学生在机械基础认知的基础上,掌握机械设计基础实验的基本原理、基本技能和实验方法。全书共7章,主要介绍机械工程常用物理量的测量知识、机械设计基础实验常用仪器设备、机械设计基础教学认知实验、工程制图实验、机械原理实验、机械设计实验,以及机械系统综合实验。

本书既可作为普通高等学校机械类、近机械类等相关专业本科生的机械基础实验教材,也可供相关教师、工程技术人员和科研人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础实验教程 / 杨洋主编. -- 2版. -- 北京 : 北京航空航天大学出版社, 2016. 1

ISBN 978-7-5124-1984-1

I. ①机… II. ①杨… III. ①机械设计—实验—高等学校—教材 IV. ①TH122-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 305625 号

版权所有,侵权必究。

### 机械设计基础实验教程(第2版)

主 编 杨 洋

副主编 郭卫东 李晓利 焦宏杰

责任编辑 刘永胜

\*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路37号(邮编100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: [goodtextbook@126.com](mailto:goodtextbook@126.com) 邮购电话:(010)82316936

北京兴华昌盛印刷有限公司印装 各地书店经销

\*

开本:787×1092 1/16 印张:12.5 字数:320千字

2016年4月第2版 2016年4月第1次印刷 印数:2000册

ISBN 978-7-5124-1984-1 定价:28.00元

---

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

# 前 言

从原始工具到今天的载人宇宙飞船等各种现代机械,都是人类通过大量的科学实验进行探索和验证的结晶,科学发现、技术发明都离不开实验。随着科学技术的不断发展,科学实验的范围和深度也在不断地拓展和升华,科学实验在当今我国进行自主创新时期将起到越来越重要的作用。

实践教学是高等学校理工科教学的重要组成部分,它不仅是学生获取知识的重要途径,也对培养学生严谨的科学态度,提高科学研究能力、实验工作及创新能力有着重要的意义。特别是近年来教育部推行高等学校教育质量工程,把实践实验教学提高到了一个新的高度。增加实践实验教学的项目和内容,扩大实践教学在教学中的比重势在必行。

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教学大都依附于相关的理论课程。由于缺乏系统性,使学生只重视理论学习,轻视实际操作和实践训练,这与当前高水平研究型创新人才培养的要求差距较大。为了配合机械设计基础系列课程的改革,编者尝试对机械基础系列课程的实验进行系统的优化整合,并按照课程体系安排实验教学,设置机械基础实验课程。

本书是北京航空航天大学机械基础教学实验中心多年来实验教学的总结,是集体智慧的结晶。根据高等学校机械设计基础系列课程教学大纲要求安排实验教学内容,并在此基础上,增加了近年来在北航“985教育振兴行动计划”及在北航教学评优、教改项目、精品课建设等支持下新建的有特色的综合性、创新性实验。教材结合国内外机械设计教材和实验教学的发展,建设了机械基础网络虚拟实验、机构虚拟样机设计实验等利用网络手段和计算机软件环境的机构虚拟样机实验。另外,还增加了自行建设的机械系统综合实验台,用于进行机械系统的综合设计和创新教学。为了开展学生自主动手实验教学,建设了机械设计学生工作室,配合机械基础系列课程,以提高学生的动手能力和对机构组成、机械基本结构的理解和掌握,全面提高学生进行工程设计的能力。同时,学生工作室面向全校学生开放,为学生进行科技创新等实践活动创造条件,提高学生动手实践能力,培养学生分析问题和解决问题的能力,为学生参与生产或科学研究创造条件,打好基础。

为了便于教学,本书参照机械设计系列课程的教学顺序安排。绪论部分介绍机械基础实验教学体系、教学大纲等;第一章介绍机械基础实验中涉及的机械量的测量技术;第二章介绍机械基础实验常用仪器设备的组成、原理;第三章介绍机械设计基础的认知体系和相关实验;第四章至第六章分别是工程制图实验、机械



原理实验、机械设计实验;第七章介绍机械系统的综合性、自主性及创新性实验。

在第一版的基础上,结合新的教学改革和教学模式的推进,本书增加如下内容:绪论中增加了机械设计综合实践课程的相关实验内容和大纲;第二章增加了凸轮机构动态测试实验台、机械装配调试实验台等内容;第五章增加了凸轮机构动态测试实验;第七章增加了机械装置装配调试实验内容。

参加本教材编写工作的有:杨洋(绪论,1.1,1.2,1.3,2.6,2.9,2.11,2.12,2.13,3.2,3.3,第四章,5.4,5.5,5.7,6.5,7.2,7.5,7.7),郭卫东(2.4,2.5,2.7,2.8,5.1,5.2,5.3,5.6,5.8,7.1),李晓利(2.1,2.2,6.2,6.3,7.4),焦宏杰(1.4,3.1,6.1,6.7,7.3),韩晶京(2.3,3.4,6.4,6.6),陈殿生(2.10,7.6)。由杨洋担任主编。

由于编者水平有限,教材中难免存在误漏,敬请广大读者批评指正。

编者

2015年12月

# 目 录

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 绪 论                     | 1  |
| 0.1 机械设计基础实验教学的地位与作用    | 1  |
| 0.2 机械设计基础课程实验教学体系      | 2  |
| 0.3 机械设计基础课程实验内容、分类与要求  | 6  |
| 0.3.1 基础陈列与认知实验         | 6  |
| 0.3.2 工程制图实验            | 6  |
| 0.3.3 机械原理实验            | 7  |
| 0.3.4 机械设计实验            | 8  |
| 0.3.5 机械设计综合实践          | 9  |
| 0.3.6 机械系统综合实验          | 9  |
| 0.4 机械设计基础教学实验大纲        | 10 |
| 0.4.1 机械设计基础认知实验大纲      | 10 |
| 0.4.2 机械制图实验大纲          | 11 |
| 0.4.3 机械原理实验大纲          | 11 |
| 0.4.4 机械设计实验大纲          | 12 |
| 0.4.5 机械设计基础实验大纲        | 13 |
| 0.4.6 机械设计综合实践课程 A 实验大纲 | 14 |
| 0.4.7 机械设计综合实践课程 B 实验大纲 | 14 |
| 第一章 机械工程常用物理量的测量        | 15 |
| 1.1 位移、速度、加速度的测量        | 15 |
| 1.1.1 位移的测量             | 15 |
| 1.1.2 速度的测量             | 17 |
| 1.1.3 加速度的测量            | 19 |
| 1.2 力和转矩的测量             | 20 |
| 1.2.1 力的测量              | 20 |
| 1.2.2 转矩的测量             | 22 |
| 1.3 常用传感器及其原理           | 22 |
| 1.3.1 编码器               | 22 |
| 1.3.2 光栅式传感器            | 24 |
| 1.3.3 JC 型转矩转速传感器       | 25 |
| 1.3.4 磁粉制动器             | 27 |
| 1.4 误差分析与数据处理           | 28 |
| 1.4.1 有关数据处理的基本概念       | 28 |



|                           |                      |           |
|---------------------------|----------------------|-----------|
| 1.4.2                     | 实验数据处理               | 31        |
| <b>第二章 机械设计基础实验常用仪器设备</b> |                      | <b>35</b> |
| 2.1                       | 螺栓连接实验台              | 35        |
| 2.1.1                     | 螺栓连接实验台的功能           | 35        |
| 2.1.2                     | 螺栓连接实验台的组成           | 35        |
| 2.1.3                     | 螺栓连接实验台的工作原理         | 36        |
| 2.1.4                     | 螺栓连接实验台主要技术参数        | 38        |
| 2.2                       | 带传动实验台               | 38        |
| 2.2.1                     | 带传动实验台的功能            | 39        |
| 2.2.2                     | 带传动实验台的组成            | 39        |
| 2.2.3                     | 带传动实验台的工作原理          | 39        |
| 2.2.4                     | 带传动实验台主要技术参数         | 40        |
| 2.3                       | 滑动轴承实验台              | 40        |
| 2.3.1                     | 滑动轴承实验台的功能           | 40        |
| 2.3.2                     | 滑动轴承实验台的组成           | 41        |
| 2.3.3                     | 滑动轴承实验台的工作原理         | 41        |
| 2.3.4                     | 滑动轴承实验台主要技术参数        | 42        |
| 2.4                       | 动平衡实验台               | 42        |
| 2.4.1                     | 动平衡实验台的功能            | 42        |
| 2.4.2                     | 动平衡实验台的组成            | 43        |
| 2.4.3                     | 动平衡实验台的工作原理          | 44        |
| 2.4.4                     | 动平衡实验台主要技术参数         | 44        |
| 2.5                       | 连杆机构创意设计实验台          | 44        |
| 2.5.1                     | 连杆机构创意设计实验台的功能       | 44        |
| 2.5.2                     | 连杆机构创意设计实验台的组成       | 44        |
| 2.5.3                     | 连杆机构创意设计实验台的工作原理     | 45        |
| 2.5.4                     | 连杆机构创意设计实验台主要技术参数    | 46        |
| 2.6                       | 凸轮机构动态测试实验台          | 46        |
| 2.6.1                     | 凸轮机构动态测试实验台的功能       | 46        |
| 2.6.2                     | 凸轮机构动态测试实验台的组成       | 46        |
| 2.6.3                     | 凸轮机构动态测试实验台的工作原理     | 47        |
| 2.6.4                     | 凸轮机构动态测试实验台主要技术参数    | 48        |
| 2.7                       | 机组运转及飞轮调速实验台         | 48        |
| 2.7.1                     | 机组运转及飞轮调速实验台的主要功能    | 48        |
| 2.7.2                     | 机组运转与飞轮调速实验台的组成及工作原理 | 49        |
| 2.7.3                     | 机组运转及飞轮调速实验台主要技术参数   | 52        |
| 2.8                       | 机械系统运动方案创新设计实验台      | 52        |
| 2.8.1                     | 实验台的功能               | 52        |
| 2.8.2                     | 实验台的组成               | 52        |



|                         |                     |           |
|-------------------------|---------------------|-----------|
| 2.8.3                   | 实验台的工作原理            | 58        |
| 2.8.4                   | 实验台主要技术参数           | 58        |
| 2.9                     | 机械系统综合实验台           | 58        |
| 2.9.1                   | 实验台的主要功能            | 58        |
| 2.9.2                   | 实验台的组成及工作原理         | 59        |
| 2.9.3                   | 实验台主要技术指标           | 62        |
| 2.10                    | 机械运动控制实验台           | 64        |
| 2.10.1                  | X-Y工作台的主要功能         | 64        |
| 2.10.2                  | 实验台的组成              | 65        |
| 2.10.3                  | 实验台的工作原理            | 66        |
| 2.10.4                  | 实验台主要技术参数           | 66        |
| 2.11                    | 机械设计学生工作室设备简介       | 67        |
| 2.11.1                  | 机械设计学生工作室的主要功能      | 68        |
| 2.11.2                  | 机械设计学生工作室的主要设备      | 68        |
| 2.12                    | 机械设计基础网络虚拟实验室       | 69        |
| 2.12.1                  | 机械设计基础网络虚拟实验室的构建    | 69        |
| 2.12.2                  | 机械设计基础网络虚拟实验室的功能    | 70        |
| 2.13                    | 机械装配调试实验台           | 73        |
| 2.13.1                  | 机械装配调试实验台的功能        | 73        |
| 2.13.2                  | 机械装配调试实验台的组成        | 74        |
| 2.13.3                  | 机械装配调试实验台的工作原理      | 74        |
| 2.13.4                  | 机械装配调试实验台的配置和主要技术指标 | 75        |
| <b>第三章 机械设计基础教学认知实验</b> |                     | <b>78</b> |
| 3.1                     | 机械的组成               | 78        |
| 3.2                     | 机械设计基础教学认知体系        | 79        |
| 3.2.1                   | 机械设计基础教学认知体系的建设理念   | 79        |
| 3.2.2                   | 机械设计基础认知实验硬件环境建设    | 80        |
| 3.2.3                   | 机械设计基础认知的网络环境       | 81        |
| 3.3                     | 常用机构认知实验            | 82        |
| 3.3.1                   | 实验目的                | 82        |
| 3.3.2                   | 实验内容                | 82        |
| 3.3.3                   | 思考题                 | 84        |
| 3.4                     | 机械零件现场认知实验          | 85        |
| 3.4.1                   | 目的和要求               | 85        |
| 3.4.2                   | 教学内容                | 86        |
| 3.4.3                   | 填空题                 | 87        |
| 3.4.4                   | 新型减速器展示             | 88        |
| 3.4.5                   | 直升机主传动系统展示          | 88        |





|                           |     |
|---------------------------|-----|
| <b>第四章 工程制图实验</b> .....   | 90  |
| 4.1 典型零件测绘实验 .....        | 90  |
| 4.1.1 实验目的 .....          | 90  |
| 4.1.2 实验仪器及工具 .....       | 90  |
| 4.1.3 实验内容及步骤 .....       | 90  |
| 4.2 单级圆柱齿轮减速器的综合测绘 .....  | 94  |
| 4.2.1 实验目的 .....          | 94  |
| 4.2.2 实验设备及工具 .....       | 94  |
| 4.2.3 实验步骤 .....          | 94  |
| 4.2.4 实验报告要求 .....        | 94  |
| <b>第五章 机械原理实验</b> .....   | 95  |
| 5.1 机构运动简图测绘 .....        | 95  |
| 5.1.1 实验目的 .....          | 95  |
| 5.1.2 实验基本要求 .....        | 95  |
| 5.1.3 实验方法与步骤 .....       | 95  |
| 5.1.4 实物模型 .....          | 96  |
| 5.1.5 实验报告 .....          | 96  |
| 5.1.6 思考题 .....           | 96  |
| 5.2 连杆机构创意设计实验 .....      | 97  |
| 5.2.1 实验目的 .....          | 97  |
| 5.2.2 实验基本要求 .....        | 97  |
| 5.2.3 实验方法与步骤 .....       | 97  |
| 5.2.4 实验报告 .....          | 97  |
| 5.2.5 设计题目 .....          | 97  |
| 5.3 机构虚拟样机分析与设计实验 .....   | 105 |
| 5.3.1 实验目的 .....          | 105 |
| 5.3.2 实验基本要求 .....        | 105 |
| 5.3.3 实验设备及工具 .....       | 106 |
| 5.3.4 实验方法与步骤 .....       | 106 |
| 5.3.5 实验报告 .....          | 106 |
| 5.3.6 设计与分析题目 .....       | 106 |
| 5.3.7 思考题 .....           | 109 |
| 5.4 凸轮机构动态测试实验 .....      | 109 |
| 5.4.1 实验目的 .....          | 109 |
| 5.4.2 实验设备及工具 .....       | 109 |
| 5.4.3 实验内容 .....          | 109 |
| 5.4.4 实验方法与步骤 .....       | 109 |
| 5.5 渐开线直齿圆柱齿轮虚拟范成实验 ..... | 110 |



|            |                     |            |
|------------|---------------------|------------|
| 5.5.1      | 实验目的 .....          | 110        |
| 5.5.2      | 实验设备及工具 .....       | 110        |
| 5.5.3      | 实验原理及方法 .....       | 110        |
| 5.5.4      | 实验步骤及要求 .....       | 111        |
| 5.5.5      | 思考题与实验报告 .....      | 112        |
| 5.6        | 刚性转子动平衡实验 .....     | 112        |
| 5.6.1      | 实验目的 .....          | 112        |
| 5.6.2      | 实验基本要求 .....        | 112        |
| 5.6.3      | 实验设备及工具 .....       | 112        |
| 5.6.4      | 实验方法与步骤 .....       | 113        |
| 5.6.5      | 实验报告 .....          | 115        |
| 5.6.6      | 思考题 .....           | 115        |
| 5.7        | 机构运动参数测定实验 .....    | 116        |
| 5.7.1      | 实验目的 .....          | 116        |
| 5.7.2      | 实验设备及工具 .....       | 116        |
| 5.7.3      | 实验方法与步骤 .....       | 116        |
| 5.7.4      | 实验报告 .....          | 121        |
| 5.7.5      | 思考题 .....           | 121        |
| 5.8        | 机组运转及飞轮调速实验 .....   | 121        |
| 5.8.1      | 实验目的 .....          | 121        |
| 5.8.2      | 实验仪器及设备 .....       | 121        |
| 5.8.3      | 实验操作步骤 .....        | 121        |
| 5.8.4      | 实验报告 .....          | 123        |
| 5.8.5      | 思考题 .....           | 125        |
| <b>第六章</b> | <b>机械设计实验 .....</b> | <b>126</b> |
| 6.1        | 减速器拆装与结构分析实验 .....  | 126        |
| 6.1.1      | 减速器概述 .....         | 126        |
| 6.1.2      | 实验目的及要求 .....       | 128        |
| 6.1.3      | 实验方法与步骤 .....       | 129        |
| 6.1.4      | 实验报告 .....          | 129        |
| 6.1.5      | 思考题 .....           | 129        |
| 6.2        | 螺栓组连接实验 .....       | 130        |
| 6.2.1      | 实验目的 .....          | 130        |
| 6.2.2      | 实验内容 .....          | 130        |
| 6.2.3      | 实验设备及工具 .....       | 130        |
| 6.2.4      | 实验步骤 .....          | 131        |
| 6.2.5      | 实验报告 .....          | 132        |
| 6.3        | 带传动实验 .....         | 133        |
| 6.3.1      | 实验目的 .....          | 133        |



|                           |                    |            |
|---------------------------|--------------------|------------|
| 6.3.2                     | 实验设备及工具 .....      | 133        |
| 6.3.3                     | 实验操作步骤 .....       | 133        |
| 6.3.4                     | 实验报告 .....         | 134        |
| 6.3.5                     | 思考题 .....          | 135        |
| 6.4                       | 滑动轴承实验 .....       | 135        |
| 6.4.1                     | 实验目的 .....         | 135        |
| 6.4.2                     | 实验内容 .....         | 135        |
| 6.4.3                     | 实验设备及工具 .....      | 135        |
| 6.4.4                     | 实验方法与步骤 .....      | 135        |
| 6.4.5                     | 实验报告 .....         | 137        |
| 6.4.6                     | 思考题 .....          | 138        |
| 6.5                       | 机械结构虚拟装拆实验 .....   | 138        |
| 6.5.1                     | 实验目的 .....         | 138        |
| 6.5.2                     | 实验设备及工具 .....      | 138        |
| 6.5.3                     | 实验内容 .....         | 138        |
| 6.5.4                     | 实验步骤 .....         | 139        |
| 6.5.5                     | 思考题 .....          | 141        |
| 6.6                       | 轴系结构组合设计实验 .....   | 142        |
| 6.6.1                     | 实验目的 .....         | 142        |
| 6.6.2                     | 实验内容 .....         | 142        |
| 6.6.3                     | 实验设备及工具 .....      | 143        |
| 6.6.4                     | 实验方法与步骤 .....      | 143        |
| 6.6.5                     | 实验报告 .....         | 144        |
| 6.6.6                     | 思考题 .....          | 144        |
| 6.7                       | 机械传动性能参数测试实验 ..... | 145        |
| 6.7.1                     | 实验目的 .....         | 145        |
| 6.7.2                     | 基本要求 .....         | 145        |
| 6.7.3                     | 实验设备与实验原理 .....    | 145        |
| 6.7.4                     | 实验内容 .....         | 146        |
| 6.7.5                     | 实验步骤 .....         | 147        |
| 6.7.6                     | 实验报告 .....         | 151        |
| <b>第七章 机械系统综合实验 .....</b> |                    | <b>152</b> |
| 7.1                       | 机械运动方案创意设计实验 ..... | 152        |
| 7.1.1                     | 实验目的 .....         | 152        |
| 7.1.2                     | 实验设备及工具 .....      | 152        |
| 7.1.3                     | 实验内容 .....         | 152        |
| 7.1.4                     | 实验方法与步骤 .....      | 153        |
| 7.1.5                     | 实验报告 .....         | 154        |
| 7.1.6                     | 思考题 .....          | 154        |



|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 7.2 机械装置装配调试实验 .....            | 154 |
| 7.2.1 实验目的 .....                | 154 |
| 7.2.2 实验设备及工具 .....             | 154 |
| 7.2.3 实验内容及要求 .....             | 155 |
| 7.2.4 实验方法与步骤 .....             | 155 |
| 7.2.5 实验报告 .....                | 161 |
| 7.2.6 思考题 .....                 | 161 |
| 7.3 机械传动模块交互创新设计实验 .....        | 162 |
| 7.3.1 实验目的 .....                | 162 |
| 7.3.2 实验设备及工具 .....             | 162 |
| 7.3.3 实验内容 .....                | 163 |
| 7.3.4 实验步骤 .....                | 164 |
| 7.4 精密机电综合实验 .....              | 165 |
| 7.4.1 软盘驱动器拆装实验 .....           | 166 |
| 7.4.2 软盘驱动器的主要零件测绘实验 .....      | 169 |
| 7.4.3 软盘驱动器磁场头运动控制和编程实验 .....   | 172 |
| 7.4.4 光驱拆装及结构分析实验 .....         | 175 |
| 7.5 机电传动模块创意实验 .....            | 178 |
| 7.5.1 概 述 .....                 | 178 |
| 7.5.2 实验目的 .....                | 178 |
| 7.5.3 实验设备及工具 .....             | 179 |
| 7.5.4 实验原理 .....                | 179 |
| 7.5.5 实验步骤 .....                | 179 |
| 7.5.6 举 例 .....                 | 179 |
| 7.6 机械运动控制实验 .....              | 183 |
| 7.6.1 直线运动单元速度控制系统建模、仿真分析 ..... | 183 |
| 7.6.2 电机与驱动装置实验 .....           | 184 |
| 7.6.3 直流伺服电机位置闭环实验 .....        | 185 |
| 7.7 机械设计学生自主创新设计实验 .....        | 186 |
| 7.7.1 实验目的 .....                | 186 |
| 7.7.2 实验内容 .....                | 186 |
| 7.7.3 实验设备及工具 .....             | 186 |
| 7.7.4 实验步骤 .....                | 186 |
| 7.7.5 实验报告 .....                | 187 |
| 7.7.6 思考题 .....                 | 187 |
| 参考文献 .....                      | 188 |

# 绪 论

## 0.1 机械设计基础实验教学的地位与作用

根据国家“十一五”规划,创建具有自主创新和自主知识产权的科技创新型体系,高等教育的目标是提高高等教育的办学质量。在此情况下,北京航空航天大学已经提出在新的发展时期的发展战略,在拓展办学规模的基础上,向全面提高办学质量转变;在有效培养常规型科技人才的基础上,向注重培养创新型专业人才转变。为此,本科教学的教改思路是“强化基础,突出实践,重在素质,面向创新”。

未来,中国将由制造大国发展为制造强国,产品将进入自主创新的时代。“中国设计”必须从仿照设计到创新设计,再到原创性设计。那么一个产品能否体现出自主创新和自主知识产权,其关键环节在于设计。自主创新需要加强学生机械设计的能力。工程图学、机械原理与机械设计是设计系列课程中的核心,加强机械设计全过程的学习与实践对机械产品的自主创新至关重要。

机械设计基础系列课程是以工科为主的覆盖面广的主干课程,其实验课程可以使工科学生具有丰富的实验思想、方法、手段,同时能提供综合性很强的基本实验技能训练,是培养学生机械设计、研究、开发能力的一个重要环节。在新时期尤其可以为培养自主创新人才、研究型工程创新人才奠定坚实的基础。它在培养学生严谨的治学态度、活跃的创新意识、理论联系实际和适应科技发展的综合能力等方面具有其他实践类课程不可替代的作用。

现代教育理念已从知识型教育、智能型教育走向素质教育、创新教育。高等教育在探索如何实施以人的全面发展为价值取向的素质教育的过程中,逐步意识到理论教学和实验教学具有同等重要的地位和作用。尤其是我国在进入知识创新工程的时代,以中国设计逐步替代中国制造。工业实践表明,产品的创新70%取决于设计阶段。机械工业产品也不例外,因此机械工程专业基础知识的获取是机械产品的创新设计的可靠保证。

知识的获取不仅仅是从理论教学和教科书获取,尤其是对工科学生而言,也需要从实验和实践中获取知识。实验教学是理论知识与实践活动、间接经验与直接经验、抽象思维与形象思维、传授知识与训练技能相结合的过程。要在实验教学中培养学生的创新能力,就要重视实验教学方法,使实验课程成为学生有效地学习和掌握科学技术与研究科学理论及方法的途径。学生通过一定数量的、有水平的实验和有计划的实验操作技能训练,可以达到扩大知识面,增强实验设计能力、实际操作能力,提高分析问题和解决问题的能力,培养科研协作精神,使自身素质得到全面提高的目的。

机械设计基础系列课程是机械工程学科的重要的专业基础,系列课程包括机械设计工具(画法及工程制图)、机械原理和机械设计等。其教学目标是为从事机械及相关专业的学生奠定专业基础知识,培养学生工程意识和工程设计的能力。机械设计基础实验课程主要是针对机械设计系列课程进行实验和实践教学。一方面结合系列课程的特点,展开相关的机械设计及原理理论的验证实验;另一方面,机械设计基础实验课程在基础性、验证性实验的基础上,从



实践和认知理念入手,通过开放性实验和网络实验使学生加深对机械研究对象的认知和理解,做好课程的启蒙,培养学生工程意识,挖掘学生学习机械设计系列课程的潜力。根据机械专业的特点和现代机械工业的发展,展开结合课程的设计性和综合性实验,培养学生分析问题和解决问题的能力以及进行机械运动、传动方案设计的创新意识,为机械产品的中国设计创造条件。

在实验中,通过实验设备的操作、仪表调试、观察现象、处理数据、书写报告等一系列实践性教学环节,使学生掌握操作技能、提高独立工作和动手能力。整个实验过程要求认真、准确、细致和尊重客观事实,有效地培养了学生严肃认真、一丝不苟、实事求是的科学工作作风,这对于今后工作更有其深远意义。

通过实验教学,还可以使学生认知机械设备与机械装置、掌握绘制实际机构运动简图的技能,掌握对机械参数测试的手段,培养学生的测试技能,提高学生独立思考问题、分析问题和解决问题的能力,获得实际操作的基本工程训练和对实验结果进行分析的能力。

在实践中培养学生的创新意识和创新能力尤为重要,开设具有创造性的实验对培养学生创新意识和创新素质有很大帮助,在培养学生全局教育中起着重要作用。

## 0.2 机械设计基础课程实验教学体系

纵观国外著名大学的工程教育体系,可以看出,首先强调工程素质、技能的培养,重视学生的主动学习,认为主动学习是创新设计的关键。现代工程对协作精神的要求越来越高,有本专业内合作,也有跨专业合作,通过项目贯穿学习的始终,在项目中启发学生主动思维,锻炼创新能力,巩固所学知识并培养团队精神。

针对机械设计基础系列课程,以机械设计基础实验中心和 CAD 中心为实验教学环境,构建出中心的新型实验教学体系(图 0.1)。其主要思路是:以开放式的实验室为基地,在培养学生工程素质、技能的基础上,掌握进行工程设计的现代工具;拓展学生对机械设计对象形态、组成、结构及工作原理的认知和理解;利用现代测试技术和各种手段,培养学生自主地进行实验测试能力;通过设计性综合性实验项目和科技创新学生活动,培养学生进行机械设计的创新思维能力和相互协作的科研精神;通过实践增强实践情感和实践观念,培养良好的公德意识和责任意识,实事求是、严肃认真的科学态度和刻苦钻研、坚忍不拔的工作作风,培养探索精神和创新精神。

### 1. 以工程素质、技能培养为基础

首先,现代工程创新型人才培养最基本的是使学生掌握本领域的几种工具,这就是“工欲善其事,必先利其器”的道理。在工程设计中,工程图形作为构思、设计与制造中工程与产品信息定义、表达和传递的主要媒介。CAD 中心紧密结合课堂理论教学和实践,率先在全国开设了“工程设计工具”软件环境实践课程,面向机械类学生建立了培养学生计算机应用能力的实践平台。学生通过学习掌握进行工程设计的文档制作工具 Word 软件、工程表格处理计算工具 Excel 软件,以及进行机械设计的工程绘图工具所使用的从二维工程图绘制到三维实体建模软件,培养学生从事机械设计的基本表达能力和工程绘图能力,使学生具有工程素质和严谨工作的能力。





## 2. 结合航空航天特色,拓宽工程设计对象的认知体系

知识的获得来源于两个途径,一个是学习,另一个是观察和认知。机械设计对象的形态、组成、结构、机构及工作原理的学习和理解必须通过实际的模型、形体、零部件、装置及机器等进行。认知体系贯彻虚实结合的原则,构成了立体化认知结构体系。

为此,本中心在原有的常用机械零件及常用机构陈列室基础上,在教育振兴行动计划的支持下,建设了机械设计陈列厅、复杂几何形体模型陈列室、常用机构及典型机构陈列室,并面向全校全天候开放。这些陈列室保证学习机械设计系列课程的学生对机械形体、组成、零部件结构、常用机构原理的认知,在此基础上,建设结合航空航天特色的以直-5飞机主传动陈列室为主的装置认知环境(图0.2、图0.3),如航空航天零件陈列、汽车结构传动陈列室。通过对航空等机械设计对象的认知,激发学生的主动学习潜能。



图 0.2 航空航天类零件

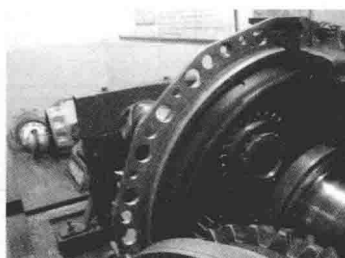


图 0.3 直-5飞机主减速器

对于航空航天的认知,利用我校的飞机结构陈列室、北京航空馆的资源,使学生通过参观和认知各种飞机和航空航天知识,培养学生刻苦学习机械设计课程、立志献身航天的学习精神和兴趣。

另外,本中心建设的网站已在校园网上公开,提供了机械百科知识、机械发展史及现代机械发展等栏目。在建设的网上虚拟实验室中,建设了机械常用零部件的交互认知实验,学生可以利用网络资源进行学习。

## 3. 以提高分析问题能力为目标,强化工程设计能力培养

为了培养学生机械设计专业技能,提高发现问题、解决问题和动手操作的能力,本中心建设的实验项目通过现代测试技术手段及软件分析手段,使学生在以下几方面的机械设计能力得到提高。

(1) 分析零件、机构的工作原理和结构特点,掌握工程分析技术手段,加深理解零件、机构等工作原理。机构简图测绘实验就是利用实际机器或典型机构模型,通过运动简图测绘,进行实物—图形的抽象,抽象的结果作为进一步的分析使用。在机器结构方面,通过对典型机器——减速器的装拆和分析,理解减速器的工作原理、组成以及结构等,建立进行机械结构设计整体思想。

(2) 机械设计对象的性能分析,利用现代测试技术手段,对典型机构进行运动参数测量和分析,获得机构的运动性能,对机构进行设计方案的评价。利用动平衡实验台,通过测试机械转子的动不平衡,根据动平衡理论进行转子动平衡实验。

对常用机械零件,通过对螺栓组加载进行实验,观察螺栓的工作情况和承载机理,理解螺栓组使用中的特点,加深螺栓强度设计的学习。此类实验还有滑动轴承实验。机械传动是机





械设计中的主要部分,在自行开发的实验台上进行常用齿轮、带传动、蜗杆传动及链传动的动力及运动参数的测定,并且根据分析软件分析这些传动的效率,为工程设计提供依据,并且作为工程设计的评价体系。

(3) 利用现代机械工程分析软件,进行机械的运动、动力仿真、机械结构的三维建模和装配仿真。机械原理实验室利用中心配有的 ADAMS 机构运动学和动力学分析软件提供的虚拟分析实验平台(图 0.4),使学生对已有的机构或设计的新机构进行结构分析、运动学和动力学分析,理解机构的运动特点和性能。机械设计实验室利用三维建模软件 SolidWorks 进行机械结构的干涉和装配检测(图 0.5),分析机械结构的合理性及结构装配过程。

学生通过这些实验环节,提高了机械设计的工程测试及分析的能力。同时,加强了对理论的深化和理解,有利于巩固课程知识,提高工程意识。

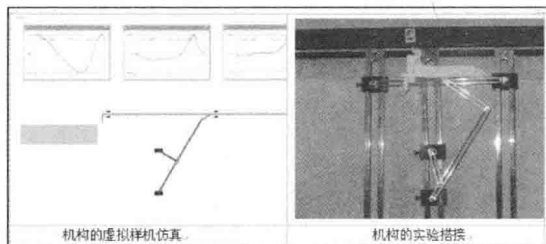


图 0.4 机构虚拟样机实验

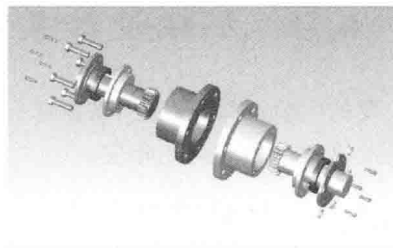


图 0.5 机械结构的虚拟装配

#### 4. 通过多种途径,培养学生的工程创新能力

自主创新能力的培养主要体现在以下几个方面。

(1) 结合课程进行创意设计基础训练。机械原理实验室自行开发了连杆机构创新设计实验台,在这个实验台上,学生根据自己所设计的机构创新方案进行实物搭接,验证机构的合理性。通过自主进行实验,学生动手能力得到进一步的提高。机械设计实验室开发的机械传动综合实验台(图 0.6),提供了常用的机械传动五大模块,学生根据工作要求进行组合创意,自主动手进行传动模块的配置和设计。轴系组合设计实验通过给定轴的工作要求和结构形式,学生根据给定的模块组合出机械轴系结构。这些一方面进行课程知识的加深学习,同时也是为进行创新设计奠定基础。



图 0.6 机械传动系统综合实验

(2) 机械设计方案的创新设计训练。方案设计是决定产品性能的关键环节,通过下面设计方案的训练,使学生对机械设计有一个系统的理解和体验。

利用机械原理实验室的机械运动方案创新实验仪,学生进行方案设计的基础上,运用机械原理所学的知识进行搭接组装。通过电、气驱动可以进行真实的机械运动,学生可以自主进行创意设计,组合多种方案进行验证、评价。

根据机械传动综合实验台,进行传动方案的设计及机构设计,通过一系列的运动和动力参数测试,评价设计方案的合理性和可行性。

机电创意设计实验利用德国慧鱼模块(图 0.7),进行机械-控制等创新设计训练。学生自发地组成项目小组(图 0.8),自己找题目,进行方案答辩论证,通过讨论确定项目内容,在自行