

“十二五”国家重点图书出版规划项目

先进制造理论研究与工程技术系列

EXPERIMENTS FOR MECHANICAL ENGINEERING

机械基础实验

张锋 主编 陈铁鸣 主审

非
外
借



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

“十二五”国家重点图书出版规划项目

先进制造理论研究与工程技术系列

EXPERIMENTS FOR MECHANICAL ENGINEERING

机械基础实验

张 锋 主编 陈铁鸣 主审



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

“机械基础实验”是高等工科院校核心课程“机械原理”“机械设计”和“机械设计基础”实践环节的重要组成部分,对于贯彻落实“以学生为中心,学生学习与发展成效驱动”的教育教学理念,突出“厚基础,强实践,严过程,求创新”的人才培养特色有着重要的作用,是培养学生综合设计能力、工程实践能力、科学实验能力、创新能力、动手能力和团队合作能力必不可少的过程。本书按照教学体系分为基本型实验、综合型实验和综合创新型实验三大类实验。内容主要包括:机构运动简图测绘与分析实验、渐开线齿轮范成原理实验、渐开线齿轮参数测定实验、机器组成及典型机械零部件认识与分析实验、带传动实验、滑动轴承实验、减速器拆装实验、刚性转子动平衡设计与实验、轴系部件设计与分析实验、摩擦磨损与润滑实验、机械系统运动方案及结构分析实验、典型机械拆装与分析实验、典型机构运动学仿真与验证、典型机械部件设计组装与测试实验和一般机械运动方案设计与实现等。

本书的重要知识点均配有二维码,扫描二维码可以看到视频、图片、word 文件和 PPT 文件。

本书可作为高等工科院校机械类、近机类及其他专业“机械原理”“机械设计”和“机械设计基础”课程的实验教材,也可作为相关人员进行教学、科研及实际工作的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械基础实验 / 张锋主编. — 哈尔滨: 哈尔滨
工业大学出版社, 2017.8
ISBN 978-7-5603-6663-0

I. ①机… II. ①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(2017)第 111823 号

策划编辑 王桂芝 张 荣
责任编辑 张 荣 王桂芝
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 黑龙江艺德印刷有限责任公司
开 本 787mm×1 092mm 1/16 印张 9.25 字数 200 千字
版 次 2017 年 8 月第 1 版 2017 年 8 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5603-6663-0
定 价 25.00 元

(如因印装质量问题影响阅读, 我社负责调换)

前 言

哈尔滨工业大学机械基础实验中心具有悠久的历史,1952年在苏联专家的帮助下建立了相当规模的教学实验室,当时就对国内本课程实践环节的示范和推广起到了良好的作用。65年来,实验中心不断发展和提高,在教学工作中取得了丰硕的成果:1999年获批世界银行贷款“高等教育发展”项目;2003年通过黑龙江省普通高等学校“双基”实验室评估;2005年获批“国家工科基础课程教学基地”;2006年获批国家级“机械工程实验教学示范中心”;2008年获批国家级“机械基础系列课程教学团队”。实验中心多年来以学生的能力培养为核心,在实验环节注重学生的动手能力、创新能力和团队合作能力的培养;结合理论课教学和教师的科研成果开发了一大批实验设备用于本科生教学,并且不断改进提高,其中的滑动轴承实验台已经发展到第四代产品。

随着“工业4.0”和“中国制造2025”的提出,面向国家需要的关键零部件的智能设计和智能制造,成为培养学生的重要目标。实验中心对教学体系、教学内容进行了调整,加大了预习力度,把重要的知识点做成二维码编入本书,二维码包括视频、图片和文本。并完成MOOC网站的制作,为学生预习和复习提供更多的资源。同时开发了融入智能元素来满足学生个性化培养和加强团队合作精神的新实验。

本书共分4章,由张锋任主编,陈铁鸣任主审。参加编写的还有杨清香、孙厚涛、刘占山、宋宝玉、丁刚、梁风和高石,由杨清香完成了全书图稿的整理工作,孙厚涛完成CAD图的绘制工作。

在成书过程中得到了哈尔滨工业大学于红英教授的大力支持,在此深表谢意。

限于作者水平,书中难免存在疏漏和不妥之处,敬请读者批评指正。同时欢迎兄弟院校一起交流实验教学的心得,共享研究成果。

编 者

2017年5月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 机械基础实验课程的重要性	1
1.2 机械基础实验课程的培养目标	2
1.3 机械基础实验课程的主要内容	2
1.4 机械基础实验课程的要求	3
第 2 章 基本型实验	5
2.1 机构运动简图测绘与分析实验（机械类）	5
2.1.1 实验目的	5
2.1.2 实验预习内容	5
2.1.3 实验设备及用品	8
2.1.4 实验原理及方法	8
2.1.5 实验举例	10
2.1.6 实验设备及提示	12
2.1.7 实验要求	14
2.1.8 实验报告内容与要求	14
2.2 机构运动简图测绘与分析实验（近机类）	14
2.2.1 实验目的	14
2.2.2 实验预习内容	14
2.2.3 实验设备及用品	15
2.2.4 实验方法及步骤	15
2.2.5 实验举例	16
2.2.6 实验内容及要求	17
2.2.7 实验报告内容及要求	17

2.3 渐开线齿轮范成原理	17
2.3.1 实验目的	17
2.3.2 实验预习内容	18
2.3.3 实验设备及用品	18
2.3.4 实验原理及方法	18
2.3.5 实验步骤	20
2.3.6 实验报告内容及要求	21
2.4 渐开线齿轮参数测定实验	22
2.4.1 实验目的	22
2.4.2 实验预习内容	22
2.4.3 实验设备及用品	22
2.4.4 实验原理及方法	22
2.4.5 实验步骤	25
2.4.6 实验报告内容	26
2.5 机器组成及典型机械零部件认识与分析实验	26
2.5.1 实验目的	26
2.5.2 实验进行方式	27
2.5.3 实验报告内容及要求	27
2.6 带传动实验	28
2.6.1 实验目的	28
2.6.2 实验预习内容	28
2.6.3 带传动实验台的结构和工作原理	28
2.6.4 带传动的弹性滑动和打滑	30
2.6.5 转矩的测量与 ε 、 η 及 P_2 的测量	32
2.6.6 实验步骤	34
2.6.7 实验报告	34
2.6.8 实验报告内容及要求	37
2.7 滑动轴承实验	38
2.7.1 实验目的	38
2.7.2 实验预习内容	38
2.7.3 实验设备	38
2.7.4 实验设备结构和工作原理	38

2.7.5 实验内容及实验步骤	44
2.7.6 已知条件	48
2.7.7 思考题	48
2.7.8 实验报告要求	48
2.8 减速器拆装与分析实验	48
2.8.1 实验目的	48
2.8.2 实验要求	48
2.8.3 实验设备及工具	49
2.8.4 实验步骤	49
2.8.5 思考题	53
2.8.6 实验报告内容	53
第3章 综合型实验	54
3.1 刚性转子动平衡设计与试验	54
3.1.1 实验目的	54
3.1.2 实验设备及工具	54
3.1.3 实验预习内容	55
3.1.4 动平衡机的结构及其工作原理	59
3.1.5 实验步骤	62
3.1.6 思考题	65
3.1.7 实验报告内容	65
3.2 轴系部件设计与分析实验	66
3.2.1 实验目的	66
3.2.2 实验预习内容及准备	66
3.2.3 实验设备及工具	66
3.2.4 轴系部件设计实验方案及轴系部件装配图示例	67
3.2.5 实验内容与要求	67
3.2.6 实验报告的内容	67
3.3 摩擦磨损与润滑实验	71
3.3.1 实验目的	71
3.3.2 实验设备及原理	71
3.3.3 实验内容	77
3.3.4 实验步骤与方法	78
3.3.5 实验记录与数据处理	79

3.3.6 实验报告要求	80
3.4 机械系统运动方案及结构分析实验	80
3.4.1 实验目的	80
3.4.2 实验预习内容	80
3.4.3 实验设备	80
3.4.4 实验内容	83
3.4.5 实验方法与步骤	83
3.4.6 注意事项	83
3.4.7 实验报告内容	84
第4章 综合创新型实验	85
4.1 典型机械拆装与分析实验	85
4.1.1 实验目的	85
4.1.2 实验设备及工具	85
4.1.3 实验预习内容	86
4.1.4 实验方法与步骤	92
4.1.5 注意事项	93
4.1.6 实验报告内容	93
4.2 典型机构运动学仿真与验证	93
4.2.1 实验目的	93
4.2.2 实验预习内容	94
4.2.3 实验设备及原理	94
4.2.4 实验方法和步骤	99
4.2.5 实验要求	101
4.2.6 实验报告内容	101
4.3 典型机械部件设计组装与测试实验	102
4.3.1 实验目的	102
4.3.2 实验预习内容	102
4.3.3 实验设备及工具	102
4.3.4 相关基础知识	104
4.3.5 步进输送机的工作原理	108
4.3.6 实验内容及步骤	109
4.3.7 实验报告内容	115
4.4 一般机械运动方案设计与实现	116

4.4.1	实验简介	116
4.4.2	典型机器的运动方案分析	116
4.4.3	典型机械及典型零部件的拆装	121
4.4.4	实现往复运动的机械运动方案的实物搭建及分析	122
4.4.5	实验报告内容	128
附录		129
附录 1	基圆齿距 $p_b = \pi m \cos \alpha$ 的数值	129
附录 2	仿真实验开发环境和系统界面使用说明	131
附录 3	常用电动机的结构特征、优缺点及应用范围	134
附录 4	机械传动的分类	136
附录 5	机械运动方案设计综合训练软件简介	137
参考文献		138

第 1 章 绪 论

1.1 机械基础实验课程的重要性

机械基础实验既是机械原理、机械设计和机械设计基础三门技术基础课的配套实验，又是培养学生的工程意识、创新精神和综合设计能力，具有完整体系的一个综合实践平台，工程教育专业认证中要求工程实践与毕业设计（论文）至少占总学分的 20%，要设置完善的实践教学体系，培养学生的工程意识、协作精神以及综合应用所学知识解决实际问题的能力。还有些国家甚至要求实践教学环节占总学分的 40%左右。实验是实践教学的重要组成部分。它不仅是获得知识的重要途径，而且对培养学生的实际工作能力、科学研究能力和创新能力具有十分重要的作用。

机械工程学科是实践性很强的学科，而实践性教学环节在培养学生的科学思维、创新意识和提高学生的综合能力方面是课堂理论教学所无法替代的。

机械工程实验的水平在一定程度上标志了一个国家的机械工业水平。因此，在我们的教学中，必须十分重视对机械专业学生的实验知识和技能的培养，进而提高机械设计的能力，满足工业 4.0、中国制造 2025 对毕业生提出的新要求。

机械专业的培养目标是适应科学技术进步和社会经济发展所需要的，具有优良的思想素质、科学素质和人文素质，具备宽厚的机械工程基础知识及应用能力、创新意识、组织协调能力和具有国际视野、爱国敬业、诚信务实、身心健康，具有面向智能装备系统从事机电产品的设计与制造、应用研究、科技开发及运行管理等方面工作能力的一流工程技术人才。机械基础实验给下面几条培养要求提供了有力的支撑。

(1) 能够设计针对复杂工程问题的解决方案，设计满足特定需求的机械系统、单元（部件）或工艺流程，并能够在设计环节中体现创新意识，全面考虑社会、健康、安全、法律、文化以及环境等因素。

(2) 能够基于科学原理并采用科学方法对复杂工程问题进行研究，包括设计实验、分

析与解释数据，并通过信息综合得到合理有效的结论。

(3) 能够针对复杂机械工程问题，开发、选择与使用恰当的技术、资源、现代工程工具和信息技术工具，包括对复杂机械工程问题的预测与模拟，并能够理解其局限性。

(4) 能够基于工程相关背景知识进行合理分析，评价专业工程实践和复杂工程问题的解决方案对社会、健康、安全、法律以及文化的影响，并理解应承担的责任。

(5) 能够理解和评价针对复杂工程问题的工程实践对环境、社会可持续发展的影响。

培养和训练具有解决科学问题能力和综合实践能力的人才要比培养单纯接受知识的学生重要得多。在机械类学科建设一个综合设计性和创新性实验平台，对培养和提高学生的创新意识和综合实践能力具有重要的作用。

1.2 机械基础实验课程的培养目标

机械基础实验主要培养学生以下技能：

(1) 了解机械工程领域实验的常用工具、仪器、设备和实验方法，具有熟练使用相关工具，操作实验仪器、设备系统的基本技能。

(2) 具有利用测试设备、仪器进行采集、分析和处理实验数据和实验结果的能力。

(3) 学会对实验结果进行分析，不仅能够按照实验步骤完成实验，同时考虑现有的实验方法和实验设备是否是最优的，如果需要改进，应该采用什么方法。

(4) 养成观察、分析事物和现象的习惯，综合思考，勇于创新。

(5) 提高自学能力，通过实验前的预习和实验过程的动手实践，独立思考，培养科学实验的能力。

(6) 培养学生的团队协作精神，合理分工，通过讨论共同提高。

1.3 机械基础实验课程的主要内容

机械基础实验课程主要包括三方面的内容，第一类是基本型实验，是课堂理论知识的验证性实验，包括机构运动简图测绘与分析实验、渐开线齿轮范成原理实验、渐开线齿轮参数测定实验、机器组成及典型机械零部件认识与分析实验、带传动实验、滑动轴承实验和减速器拆装与分析实验；第二类实验是综合型实验，是课堂理论知识的延展性实验，包括刚性转子动平衡设计与试验、轴系部件设计与分析实验、摩擦磨损与润滑实验、机械系统运动方案及结构分析实验；第三类实验是综合创新型实验，包括典型机械拆装与分析实验、典型机构运动学仿真与验证、典型机械部件设计组装与测试实验和一般机械运动方案设计与实现等。

1.4 机械基础实验课程的要求

1. 实验预习

在上实验课前，必须认真预习实验指导书（可以扫描二维码或上 MOOC 网站），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，复习与实验相关的理论知识。

2. 实验过程

- (1) 按时上、下课，不得迟到、早退和旷课。
- (2) 上课前请做好签到。
- (3) 上课时要认真回答教师提问，要虚心接受教师的指导。同时注意跟同组同学的沟通交流，培养团队协作精神。
- (4) 遵守学生实验守则，精心操作，注意安全。
- (5) 要注意观察，认真分析，准确地记录实验原始数据，并经指导教师检查和签字。
- (6) 实验结束后要及时关掉电源，对所用仪器设备进行整理，恢复到原始状态。
- (7) 经指导教师允许后方可离开。

3. 撰写实验报告

- (1) 实验报告要写在实验中心统一编写的规范模板中。
- (2) 实验报告由封皮和正文组成，要装订成册（装订线在左侧），封皮由教务处统一印制。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、实验结果与分析等内容。
- (3) 书写要工整，曲线要画在坐标纸上，采用曲线板绘制。
- (4) 对实验结果要进行误差分析。

希望同学们认真执行上述规定，并遵守实验中心的各项制度，爱护公物，保持环境卫生，养成良好的工作习惯。

哈尔滨工业大学机械基础实验中心是面向全校开放的技术基础课教学实验室，位于机械楼四楼 4001~4009，是国家级机械基础系列课程教学团队、国家工科机械基础教学基地、国家级机械工程示范中心的重要组成部分，获得世界银行贷款资助，通过了黑龙江省教育厅组织的“双基”实验室合格评估。本中心拥有一支综合素质优良、敬业爱岗、团结合作的教师队伍，有各种仪器设备（ ≥ 800 元/件）800 多台件，承担机械原理、机械设计和机械设计基础等课程的实验教学任务，可开设实验 20 余项。机械基础实验中心坚持“培养学生为中心，用开放式的管理和分层次的实验内容，使学生可以充分利用实验中心的条件，进行课内外学

习、实验研究和科技创新活动”的指导思想，培养学生的创新精神和综合实践能力。机械基础实验中心全天对同学们开放，欢迎同学们到实验中心来！

第 2 章 基本型实验

2.1 机构运动简图测绘与分析实验（机械类）

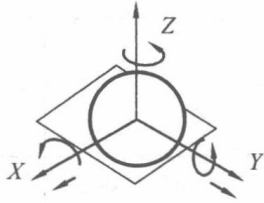

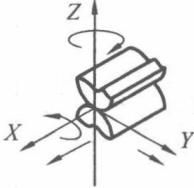
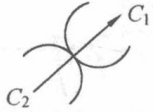
2.1.1 实验目的

通过对实际机械的测绘和结构分析，掌握绘制机构运动简图的方法，学会在设计新机械时使用机构运动简图表达新机械的运动方案。

2.1.2 实验预习内容

- (1) 机构组成要素。
- (2) 机构自由度及其计算。
- (3) 机构具有确定运动的条件。
- (4) 运动副图形符号（参见国家标准 GB/T 4460—1984），常用运动副模型及符号见表 2.1，常用机构运动简图符号见表 2.2。

表 2.1 常用运动副模型及符号

名称	图形	简图符号	副级	自由度
球面高副			I	5
柱面高副			II	4

续表 2.1

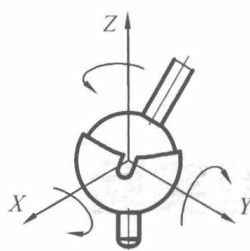

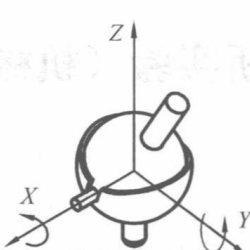
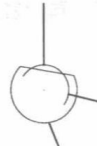
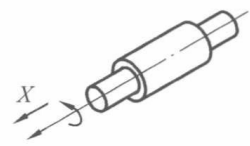
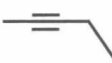
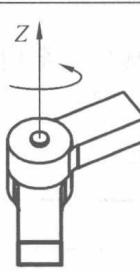
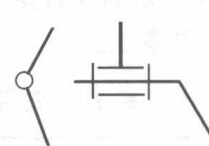
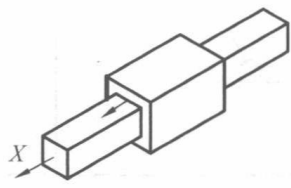
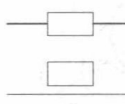
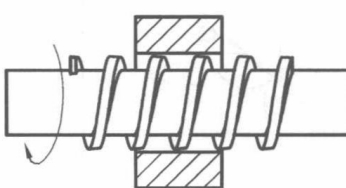

名称	图形	简图符号	副级	自由度
球面低副			III	3
球销副			IV	2
圆柱套筒副			IV	2
转动副			V	1
移动副			V	1
螺旋副			V	1

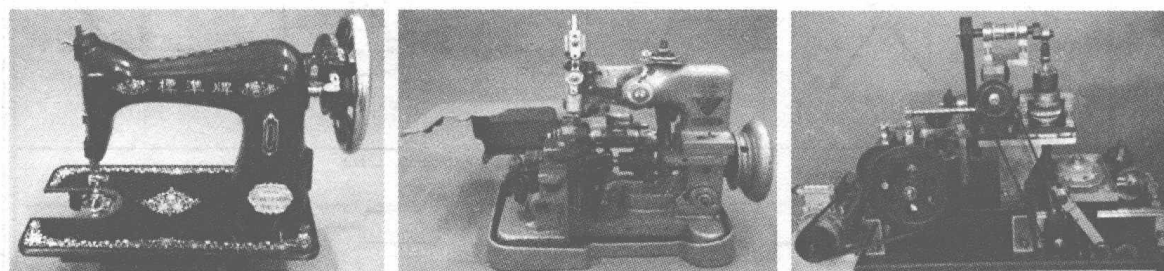
表 2.2 常用机构运动简图符号

	两运动构件形成的运动副		两运动构件之一为机架时所形成的运动副	
转动副				
移动副				
齿轮机构	外啮合齿轮	内啮合齿轮	圆锥齿轮	蜗轮蜗杆
凸轮及其他机构	凸轮机构	棘轮机构	带传动	链传动
其他常用符号	机架	轴杆	构件组成部分与轴(杆)的固定连接	
	构件组成部分的永久连接		二副元素构件	三副元素构件

2.1.3 实验设备及用品

(1) 实验设备：缝纫机、码边机和插齿机床，如图 2.1 所示。

(2) 实验用品：白纸、铅笔、橡皮、直尺、圆规等（自备）。



(a) 缝纫机

(b) 码边机

(c) 插齿机床

图 2.1 实验设备

2.1.4 实验原理及方法

1. 实验原理

无论是对现有机构进行分析，还是设计新的机械，人们都需要利用一种工程语言将其分析或设计的思想表达出来，尤其是在设计新机械的运动方案以及对组成新机械的各种机构做进一步的运动及动力设计与分析时更是如此。从机械的原理方案设计角度看，机构能否实现预定的运动规律以满足机械的功能需求，是由原动件的运动规律、机构中各运动副的类型和各运动副间的相对位置尺寸（即机构的运动尺寸）所决定的，而与构件的具体结构、外形（高副机构的轮廓形状除外）、断面尺寸、组成构件的零件数目及固连方式等无关。因此，可用国家标准规定的简单符号和线条代表运动副和构件，并按一定的比例尺表示机构的运动尺寸，绘制出表示机构的简明图形。这种用以表示机构运动传递情况的简明图形称为机构运动简图。

若只是为了表明机械的组成状况和机构特征，也可以不严格按比例来绘制机构运动简图，这样的简图通常称为机构示意图。

2. 实验方法

(1) 分析机构的运动情况，判别运动副的性质。

通过观察和分析机构的工作原理、实际组成和运动情况，确定组成机构的各个构件，识别出原动件和执行构件。

通过机构缓慢运动，然后循着运动传递的路线，逐一分析每两个构件间相对运动的性质，