



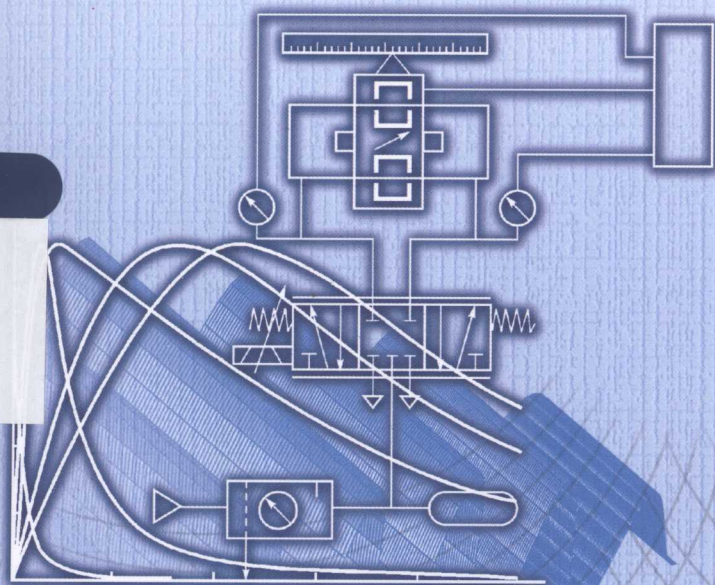
西安交通大学

本科“十二五”规划教材
“985”工程三期重点建设实验系列教材

测试技术层次化实验教程

主 编 刘吉轩 张小栋

副主编 张西宁 张 庆 王 晶



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

014010816

西安交通大学 本科“十
“985”工程三期

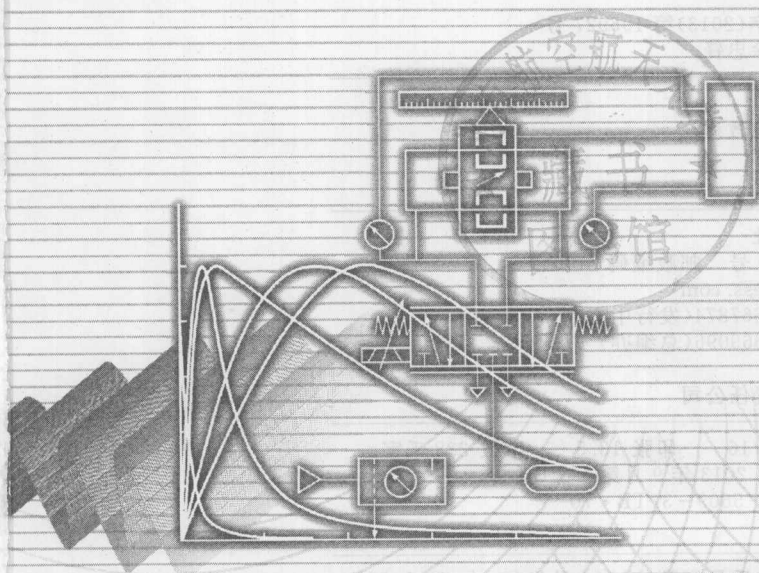
TB4
59



测试技术层次化实验教程

主 编 刘吉轩 张小栋

副主编 张西宁 张 庆 王 晶



北航

C1697095



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

TB4
59

318010410

内 容 提 要

本实验教程被列入西安交通大学“十二五”规划教材。

全书分为三个层次,共 16 章。第一层次为测试基本实验,包括信号分析、测量装置特性仿真、传感器、信号调理、测试虚拟仪器设计几方面的实验;第二层次为测试综合实验,共包括 6 个实验项目,其中两个实验是作为范例,其余是作为学生选做的测试综合实验项目;第三层次为测试创新实验,包括 5 个结合工程实际或科研项目所编写的测试技术创新实验案例,为学生提高测试技术创新能力学习之用。

本书可作为高等院校机械类、测控类、能源动力类、航天航空类、车辆工程类等专业的实验教材,也可供相关专业师生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

测试技术层次化实验教程/刘吉轩,张小栋主编.

—西安:西安交通大学出版社,2013.9

ISBN 978-7-5605-5609-3

I. ①测… II. ①刘… ②张… III. ①测试技术-实验-高等学校-教材 IV. ①TB4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 196927 号
策 划 程光旭 成永红 徐忠锋

书 名 测试技术层次化实验教程
主 编 刘吉轩 张小栋
责任编辑 雷萧屹

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)

网 址 <http://www.xjtupress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315 82669096(总编办)

传 真 (029)82668280
印 刷 西安建科印务有限责任公司

开 本 727mm×960mm 1/16 印张 13.5 字数 238 千字
版次印次 2013 年 9 月第 1 版 2013 年 9 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-5609-3/TB·70
定 价 25.00 元

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82664954

读者信箱:jdlgy@yahoo.cn

版权所有 侵权必究

编审委员会

主 任 冯博琴

委 员 （按姓氏笔画排序）

邓建国 何茂刚 张健保 陈雪峰

罗先觉 郑智平 徐忠锋 黄 辰

Proface 序

教育部《关于全面提高高等教育质量的若干意见》(教高〔2012〕4号)第八条“强化实践育人环节”指出,要制定加强高校实践育人工作的办法。《意见》要求高校分类制订实践教学标准;增加实践教学比重,确保各类专业实践教学必要的学分(学时);组织编写一批优秀实验教材;重点建设一批国家级实验教学示范中心、国家大学生校外实践教育基地……。这一被我们习惯称之为“质量30条”的文件,“实践育人”被专门列了一条,意义深远。

目前,我国正处在努力建设人才资源强国的关键时期,高等学校更需具备战略性眼光,从造就强国之才的长远观点出发,重新审视实验教学的定位。事实上,精心设计的实验教学更适合承担起培养多学科综合素质人才的重任,为培养复合型创新人才服务。

早在1995年,西安交通大学就率先提出创建基础教学实验中心的构想,通过实验中心的建立和完善,将基本知识、基本技能、实验能力训练融为一炉,实现教师资源、设备资源和管理人员一体化管理,突破以课程或专业设置实验室的传统管理模式,向根据学科群组建基础实验和跨学科专业基础实验大平台的模式转变。以此为起点,学校以高素质创新人才培养为核心,相继建成8个国家级、6个省级实验教学示范中心和16个校级实验教学中心,形成了重点学科有布局的国家、省、校三级实验教学中心体系。2012年7月,学校从“985工程”三期重点建设经费中专门划拨经费资助立项系列实验教材,并纳入到“西安交通大学本科‘十二五’规划教材”系列,反映了学校对实验教学的重视。从教材的立项到建设,教师们热情相当高,经过近一年的努力,这批教材已见端倪。

我很高兴地看到这次立项教材有几个优点:一是覆盖面较宽,能确实解决实验教学的一些问题,系列实验教材涉及全校12个学院和一批重要的课程;二是质

量有保证,90%的教材都是在多年使用的讲义的基础上编写而成的,教材的作者大多是具有丰富教学经验的一线教师,新教材贴近教学实际;三是按西安交大《2010版本科培养方案》编写,紧密结合学校当前教学方案,符合西安交大人才培养规格和学科特色。

最后,我要向这些作者表示感谢,对他们的奉献表示敬意,并期望这些书能受到学生欢迎,同时希望作者不断改版,形成精品,为中国的高等教育做出贡献。

西安交通大学教授

国家级教学名师

2013年6月1日

Foreword 前言

课程实验教学是培养学生实践动手能力和创新意识的重要途径。测试技术实验教学是测试技术课程教学的重要组成部分,它不仅是学生获取测试技术知识的重要手段,而且对培养学生在测试技术方面的实践能力、工程意识、科研能力和创新能力至关重要。

本实验教程是与陈花玲等主编的《机械工程测试技术》教材相配套,主要内容包含三个层次的实验。第一层次:测试技术基本实验,包括信号虚拟分析实验、测量装置的动态特性仿真实验、传感器及其性能标定实验、动态测量信号调理实验、测试技术虚拟仪器设计实验等;第二层次:测试技术综合实验,包括气缸位移和压力检测及其伺服控制综合实验、转子不对中检测和定量分析综合实验、转子实验台振动和噪声测试综合实验、机械结构振动模态测试与分析综合实验、距离(大位移)测量与分析综合实验、模拟自动生产线检测综合实验等;第三层次:测试技术创新实验,包括气缸运动摩擦力测试与自动补偿实验、基于光纤位移传感器的滑动轴承油膜厚度测量实验、脑电信号测量实验、基于彩色视觉信息的柴油机状态监测诊断实验、基于 LXI 的网络化远程测控实验等。

参加本实验教程编写的作者有:刘吉轩、张小栋(绪论、第 1 章、第 2 章),刘吉轩(第 3 章、第 4 章、第 5 章、第 6 章、第 8 章、第 9 章、第 10 章、第 11 章、第 12 章),张小栋(第 13 章),张西宁(第 7 章、第 15 章),王晶(第 14 章),张庆(第 16 章)。刘吉轩、张小栋两位共同担任主编,负责全书的统稿、审定工作。

在本教程编写过程中得到陈花玲教授、徐光华教授、张周锁教授、景敏卿教授关心;同时得到西安交通大学教务处、机械工程学院的大力支持,将该书列为西安交通大学“十二五”规划教材;特此一并表示致谢。

由于时间仓促,书中存在不足在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2013 年 4 月

Contents 目录

第0章 绪论	(001)
0.1 测试技术实验教学的重要性	(001)
0.2 测试技术层次化实验	(003)
0.3 本实验教程的主要内容及特色	(005)

第一层次:测试技术基本实验

第1章 周期信号与非周期信号分析实验	(007)
1.1 实验目的	(007)
1.2 实验原理	(007)
1.3 实验内容	(011)
1.4 实验装置	(011)
1.5 实验步骤	(011)
1.6 实验报告要求	(016)
1.7 思考题	(017)
第2章 测量装置特性仿真分析实验	(018)
2.1 实验目的	(018)
2.2 实验原理	(018)
2.3 实验仪器设备	(020)
2.4 实验方法	(021)
2.5 实验软件简介	(024)
2.6 实验报告要求	(029)
2.7 思考题	(029)

第3章 传感器性能标定及工程量测量实验	(030)
3.1 传感器性能标定的基本理论	(030)
3.2 电阻应变片静态标定及力(荷重)测量实验	(032)
3.3 电涡流传感器静态标定及位移测量实验	(040)
3.4 光纤传感器静态标定及位移测量实验	(045)
3.5 电容式传感器静态标定及位移测量实验	(048)
3.6 热电阻传感器标定及温度测量实验	(052)
3.7 电涡流传感器动态性能标定实验	(060)
3.8 压电加速度传感器动态性能标定实验	(064)
第4章 动态测量信号调理实验	(069)
4.1 信号调制与解调实验	(069)
4.2 压电加速度传感器测量振动信号调理实验	(073)
4.3 电涡流传感器测量振动信号调理实验	(077)
4.4 光电传感器测量转速的信号调理实验	(079)
4.5 应变片交流全桥测量振动信号调理实验	(081)
第5章 测试虚拟仪器设计实验	(086)
5.1 实验目的	(086)
5.2 LabVIEW 简介	(086)
5.3 虚拟仪器设计入门	(089)
5.4 虚拟仪器设计举例	(091)
5.5 测试虚拟仪器设计实验要求	(092)

第二层次:测试技术综合实验

第6章 气缸位移和压力检测及其伺服控制综合实验(范例一)	(093)
6.1 概述	(093)
6.2 实验目的	(094)
6.3 实验基本要求	(095)
6.4 实验条件	(095)
6.5 实验原理及方法	(095)
6.6 测试方案设计与系统搭建	(100)

6.7	实验数据采集与处理	(102)
6.8	实验结果分析	(107)
第 7 章	转子不对中检测和定量分析综合实验(范例二)	(108)
7.1	实验目的	(108)
7.2	实验基本要求	(108)
7.3	实验条件	(108)
7.4	检测原理	(110)
7.5	数据处理算法	(113)
7.6	数据分析处理软件	(117)
7.7	实验装置的调整 and 设定	(120)
7.8	实验数据及其分析	(120)
7.9	检测误差和原因分析	(122)
第 8 章	转子实验台振动和噪声测试综合实验	(125)
8.1	实验目的	(125)
8.2	实验基本要求	(125)
8.3	实验仪器设备	(125)
8.4	实验原理及方法	(126)
8.5	测试方案设计要求和目标	(127)
8.6	测试系统搭建要求和目标	(127)
8.7	数据采集要求和目标	(127)
8.8	信号处理与分析要求和目标	(127)
第 9 章	机械结构振动模态分析综合实验	(128)
9.1	实验目的	(128)
9.2	实验基本要求	(128)
9.3	主要仪器设备	(128)
9.4	实验原理及方法	(129)
9.5	测试方案设计要求和目标	(129)
9.6	测试系统的搭建要求和目标	(129)
9.7	数据采集要求和目标	(129)
9.8	信号处理与分析要求和目标	(130)

第 10 章 距离(大位移)测量与分析综合实验	(131)
10.1 实验目的	(131)
10.2 实验基本要求	(131)
10.3 实验仪器设备	(132)
10.4 实验原理及方法	(132)
10.5 测试方案设计要求和目标	(134)
10.6 测试系统搭建要求和目标	(134)
10.7 数据采集要求和目标	(134)
10.8 信号处理与分析要求和目标	(135)
第 11 章 模拟自动生产线检测综合实验	(136)
11.1 实验目的	(136)
11.2 实验基本要求	(136)
11.3 实验仪器设备	(137)
11.4 测试方案设计要求和目标	(138)
11.5 测试系统搭建要求和目标	(138)
11.6 数据采集要求和目标	(138)
11.7 信号处理与分析要求和目标	(138)

第三层次:测试技术创新实验

第 12 章 气缸摩擦力测试与自动补偿实验	(139)
12.1 测试问题	(139)
12.2 实验目标	(139)
12.3 气缸摩擦力测试方法	(140)
12.4 气缸运动摩擦力测试原理	(141)
12.5 摩擦力测试与补偿实验系统创新设计思路	(142)
12.6 实验系统软件创新设计与系统搭建	(143)
12.7 气缸摩擦力测试与自动补偿伺服控制	(148)
12.8 实验预期结果	(151)

第 13 章 基于光纤位移传感器的滑动轴承油膜厚度测量实验	(152)
13.1 测试问题	(152)
13.2 实验目标	(153)
13.3 润滑膜厚度测量方法	(153)
13.4 润滑膜厚度光纤动态测量基本原理	(158)
13.5 润滑膜厚度光纤测量与补偿系统创新设计思路	(161)
13.6 创新设计与研究的实验平台	(165)
13.7 实验预期结果	(169)
第 14 章 脑电信号测量实验	(170)
14.1 测试问题	(170)
14.2 实验目标	(170)
14.3 脑电信号测量方法	(170)
14.4 脑电信号测量实验条件	(171)
14.5 脑电信号测量实验内容	(173)
14.6 算法设计及结果分析	(174)
14.7 实验预期结果	(177)
第 15 章 基于彩色视觉信息的柴油机状态监测诊断实验	(178)
15.1 测试问题	(178)
15.2 实验目的和预期目标	(178)
15.3 现有的柴油机状态监测和故障诊断方法	(179)
15.4 创新实验的思路及方法	(179)
15.5 实验用仪器设备	(182)
15.6 测试系统设计与构建	(183)
15.7 振动信号处理软件设计	(184)
15.8 发动机振动信号处理	(187)
15.9 实验预期结果	(188)
第 16 章 基于 LXI 的网络化远程测控实验	(189)
16.1 测试问题	(189)
16.2 实验目标	(189)
16.3 基于 LXI 的网络化远程测控方法	(189)
16.4 基于 LXI 的网络化远程测控实验条件	(190)

16.5 基于 LXI 的网络化远程测控实验内容	(192)
16.6 基于 LXI 的网络化远程测控实验创新点	(196)
16.7 实验预期结果	(196)
附录	(197)
附件 I :测试综合实验报告及成绩考评要求	(197)
附件 II :测试创新实验报告要求	(197)
参考文献	(199)

(170)	第 14 章 基于 LXI 的网络化远程测控实验内容
(170)	14.1 实验目的
(170)	14.2 实验内容
(170)	14.3 实验预期结果
(171)	14.4 实验创新点
(173)	14.5 实验预期结果
(174)	14.6 实验预期结果
(175)	14.7 实验预期结果
(178)	第 15 章 基于 LXI 的网络化远程测控实验内容
(178)	15.1 实验目的
(178)	15.2 实验内容
(179)	15.3 实验预期结果
(179)	15.4 实验创新点
(182)	15.5 实验预期结果
(183)	15.6 实验预期结果
(184)	15.7 实验预期结果
(184)	15.8 实验预期结果
(188)	15.9 实验预期结果
(189)	第 16 章 基于 LXI 的网络化远程测控实验内容
(189)	16.1 实验目的
(189)	16.2 实验内容
(189)	16.3 实验预期结果
(190)	16.4 实验创新点

第0章 绪论

0.1 测试技术实验教学的重要性

测试不仅是人类认识客观世界的手段之一,是科学研究的基本方法,而且是工程技术领域中一个重要的技术,工程研究、产品开发、生产监督、质量控制和性能试验等都离不开测试技术。为此,普通高校,特别是工科院校自上世纪80年代起先后为本科生、研究生开设了相应的测试技术课程,其主要讲授工程技术人员所应具备的测试理论、方法和技术等。该门课程的主要特点包括以下几个方面。

(1)课程涉及的知识面广 综合运用了多学科原理和技术,涉及到的知识面相当广泛,与力学、电磁学、光学、声学、材料学、微电子、工程数学、数据处理理论与方法、控制工程和计算机技术密切相关。

(2)课程的内容更新快 随着传感器技术、信息技术、材料技术、先进制造技术、计算机技术、微电子技术等学科不断发展,这些新的技术也不断渗透到工程测试技术当中,迫使测试技术课程的相应地内容也在不断更新。

(3)课程的实践性很强 测试技术课程讲授的内容中,测试信号分析与测试系统特性部分的理论抽象,传感器及其信号调理电路的类型众多且不断发展,计算机测试系统软硬件结合的形式多样且不断更新,诸如此类就决定了这门课程的实践性很强。

因此,如何针对测试技术课程所具有的上述特点,有效提高本课程的教学效果,是需要认真研究的问题。正因为“测试技术”是一门实践性很强的课程,在理论教学方面学生首先接触到的是:测试信号分析理论抽象,不易理解;测试装置的特性优劣对测量结果影响很大,但却没有体会;讲授的传感器种类繁多,结构不同,功能不一,但不如眼见为实,缺乏感性认识;相似的原理介绍让学生觉得抽象、枯燥,很难引起学生的学习兴趣,也难以达到较好的教学效果。为了提高测试技术课程教学效果,必须将抽象的测试理论具体化,将测试传感器教学实物化,将计算机测试教学系统化,将各种测试技术实用化,培养学生兴趣,激发学习热情。

爱因斯坦说:“兴趣是最好的老师。”兴趣属于一种行为动机,是学习的内驱力,是创造才能的催化剂。学生的学习兴趣是构成学习动机中最现实的成分,它能促进学生去探索知识、开拓视野,激发学生用心去学习、钻研,从而提高学习效果。可

见,兴趣的力量是巨大的。只有对学习产生了兴趣,才能激发学生的学习热情,激发学习的内驱力。

如何激发学生的学习兴趣是测试技术课程教学首先要回答的问题!长期的教学实践证明,“重视基础,强化实践,分层教学,学以致用”是激发学生学习兴趣、提高测试技术课程教学质量应遵循的教学方针。下面举两个简单例子说明这个问题。

(1)学生在学习信号分析部分的内容时,往往感觉到理论抽象,不易理解。这方面内容要求学生对信号分析的理论掌握扎实,并且能够通过实验来验证相关的理论,从而达到深刻理解、熟练掌握的目的。例如要求学生运用简谐波合成一个周期性方波信号,首先要求学生熟悉周期性方波信号的傅里叶级数展开式的理论表达形式——理论;然后通过实际操作实验软件一步一步完成周期性方波信号的合成——实践;并且清楚在工程上需要合成周期性方波信号时,就可以采用此种方法设计虚拟的方波信号发生器——应用。这样就容易激发学生的学习兴趣,提高了测试技术课程中这部分内容的教学效果。

(2)学生在学习机械振动信号测量与分析的内容时,往往对应该采用什么测量方法,应该选用什么传感器和信号调理装置等,感到十分茫然。这方面的内容就要求学生首先清楚需要测量振动的对象特征是什么?是要测量振动位移、振动速度、还是振动加速度?需要测量的振动频率范围是多少?等等。这些问题如果仅仅依靠课堂理论教学,会让学生感到枯燥、乏味,也很难让学生非常熟练地掌握这些内容!例如要求学生测量振动台的振动位移量,首先学生应当根据自己学到的测试基础理论知识,通过实际接触各种可测量振动的传感器及信号调理器,选择合适的测量方法和手段。这些传感器包括:压电加速度传感器、磁电式速度传感器、电涡流位移传感器等都可以测量振动信号,但是这几种传感器所具有的特点不同。其中压电加速度传感器安装上属于接触式安装方式,它是采用电荷放大器做信号调理的发电式传感器,可直接测量振动加速度信号;磁电式传感器安装上也属于接触式安装方式,它是采用电压放大器做信号调理的发电式传感器,可直接测量振动速度信号;电涡流位移传感器安装方式上属于非接触式安装方式,它是采用电压放大器做信号调理的参数式传感器,可直接测量振动位移信号。若选择电涡流位移传感器测量振动,直接就可得到振动位移量,但是若采用磁电式速度传感器或者压电加速度传感器测量振动,就需要对测量信号进行一次积分或者二次积分才可得到振动位移信号。通过实验过程可以使学生比较容易地掌握这些知识。

0.2 测试技术层次化实验

根据测试技术实验教学不同层面的要求,并且真正达到“重视基础,强化实践,分层教学,学以致用”的目的,本教程将测试技术实验划分为三个层次,即测试技术基础实验、测试技术综合实验和测试技术创新实验。

(1)测试技术层次化实验的内涵 机械工程测试技术课程的层次化实验是指根据课程的教学要求、实验的教学定位、学生的能力和兴趣,将测试技术教学实验划分为测试技术基本实验、综合实验和创新实验三个层次。其中测试技术基本实验注重培养学生对测试技术课程基本概念和基本知识的理解,并且培养学生的测试基本技能;测试技术综合实验注重培养学生综合运用测试技术知识分析和解决测试问题的能力;测试技术创新实验注重培养学生开展与测试技术有关的研发、设计及应用的创新意识、探索精神和实践能力。

(2)测试技术层次化实验教学的必要性 《机械工程测试技术》是一门实践性非常强的专业基础课程,课程内容涵盖了信号分析、测量装置特性、传感器、信号调理、计算机测试系统、测试虚拟仪器设计、典型测量系统设计等诸多方面,学生在学习测试技术课程过程中,普遍存在对测试基本概念和物理含义理解不透彻,对测试基本方法和手段掌握不熟练,对测试系统构成和测试技术的运用不自如的问题。因此,通过不同层次的测试技术实验和实践过程,有助于学生更好地理解所学测试技术基本知识和概念,较熟练掌握测试的方法和手段,有效提高测试技能,能够培养学生分析和解决测试问题的能力,提高开展与测试技术有关的研发、设计及应用的创新意识和能力。

(3)测试技术层次化实验教学的目标 测试技术基本实验为必做实验,要求学习测试技术课程的学生都必须完成这一层次的实验,而且必须达到规定的实验要求。实验目标是:通过完成测试基本实验,能够加深对信号分析基本概念的理解和对基本方法的掌握;能够掌握测量装置静态、动态特性实质,能够充分理解测量装置不失真条件,并且能够对测量误差进行分析;能够较深入了解机械工程中常用传感器的实际结构特点和使用方法,掌握几种典型传感器的静态、动态性能标定方法;能够较好地掌握机械动态信号测量中信号调理方法和手段;能够进行基本测试虚拟仪器设计。

测试技术综合实验为选做实验,要求学习测试技术课程的学生根据情况选做其中的部分实验。实验方法是结合具体对象和测试目标,要求学生能够正确设计实验方案、合理选用传感器和信号调理仪器、搭建测试实验系统、进行信号采集和数据处理以及实验结果分析等;实验的目标是:通过选做其中的综合实验项目,能

够系统掌握机械工程领域常遇到的位移与转速、力与压力、振动与噪声等工程量的综合测试技术,为测试技术工程应用打下坚实基础。

测试技术创新实验为开放实验,从实验的内容到形式上都是以开放的方式进行。实验的目标是:学生根据自己的能力和兴趣,结合工程实际、科研训练或创新实践项目中有关的测试技术问题,提出具有创新意义的测试方案或测试方法,开发部分测试实验装置或测试实验软件,完成测试技术创新实验内容,得出对解决工程实际问题或完成科研训练项目具有应用或参考价值的实验结果,并且能够对实验结果进行分析和研究。

(4)测试技术层次化实验教学内容体系 测试技术层次化实验教学内容体系是由测试基础实验、测试综合实验和测试创新实验组成,如图0-1所示。其中,测试基础实验内容主要涉及到周期与非周期信号分析、测量装置特性仿真、传感器及其性能标定、动态测量信号调理以及测试技术虚拟仪器设计等几方面的实验;测试综合实验内容主要涉及到机械结构、机电系统以及其他实验对象的振动、噪声、位

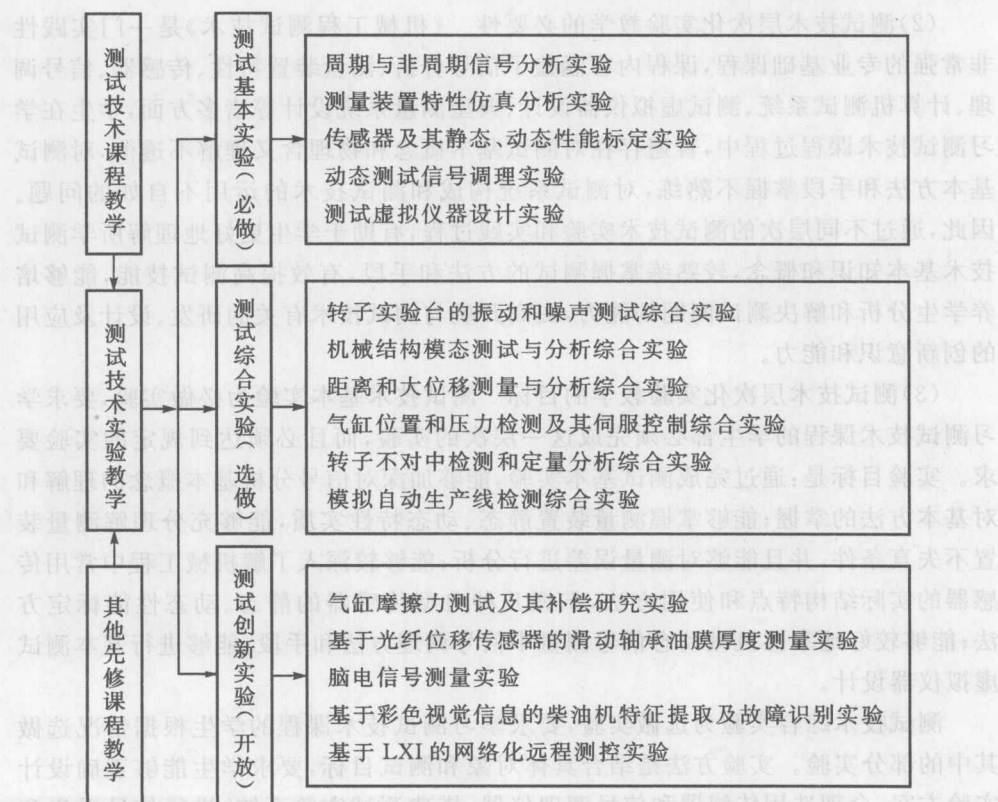


图0-1 测试技术层次化实验教学内容体系