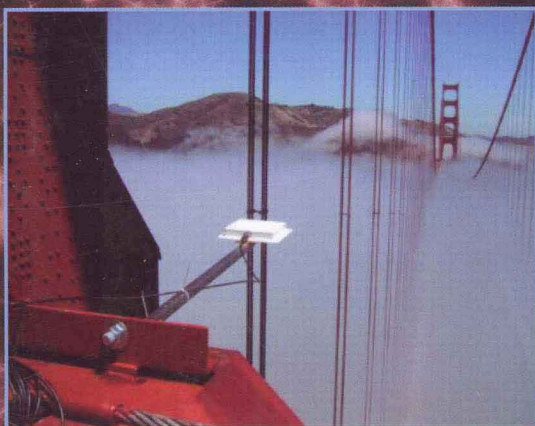


电气工程基础与应用

[美] S.A. Reza Zekavat 著
熊兰 肖冬萍 李辉 译

*Electrical
Engineering
Concepts and Applications*



**ELECTRICAL
ENGINEERING**

Concepts and Applications

S.A. Reza Zekavat

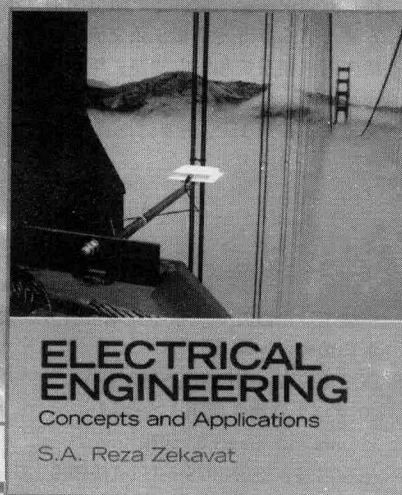
国外电子与

电气工程基础与应用

[美] S.A. Reza Zekavat 著

熊兰 肖冬萍 李辉 译

*Electrical
Engineering
Concepts and Applications*



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

电气工程基础与应用/ (美) 扎克瓦特 (Zekavat, S. A. R.) 著; 熊兰, 肖冬萍, 李辉译. —北京: 机械工业出版社, 2014. 1

(国外电子与电气工程技术丛书)

书名原文: Electrical Engineering: Concepts and Applications

ISBN 978-7-111-44910-2

I. 电… II. ①扎… ②熊… ③肖… ④李… III. 电气工程—教材 IV. TM-43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 282492 号

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

本书版权登记号: 图字: 01-2012-4856

Authorized translation from the English language edition, entitled Electrical Engineering: Concepts and Applications, 1E, 9780132539180 by Zekavat, S. A. Reza, published by Pearson Education, Inc, Copyright © 2013.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

Chinese Simplified language edition published by Pearson Education Asia Ltd., and China Machine Press Copyright © 2014.

本书中文简体字版由 Pearson Education (培生教育出版集团) 授权机械工业出版社在中华人民共和国境内 (不包括中国台湾地区和香港、澳门特别行政区) 独家出版发行。未经出版者书面许可, 不得以任何方式抄袭、复制或节录本书中的任何部分。

本书封底贴有 Pearson Education (培生教育出版集团) 激光防伪标签, 无标签者不得销售。

本书是一本在世界范围内具有一定影响力的电气工程基础教材, 由密歇根大学不同院系的 7 位资深教师共同撰写, 是最适合选作非电类专业电工学课程的教材之一。本书共分为 15 章, 第 1 章概述学习电气工程的原因; 第 2 章介绍电路基础知识; 第 3 章讲述电阻电路的基本内容; 第 4 章阐述电感和电容的串并联和应用; 第 5 章讨论暂态电路的分析方法; 第 6 章讲述单相正弦交流电路的分析方法; 第 7 章介绍 4 种基本的无源滤波器; 第 8 章探讨运算放大电路; 第 9 章介绍三相系统和输电线路; 第 10 章讲述逻辑电路的基本组成; 第 11 章详细讨论测量系统并且阐述其原理; 第 12 章介绍磁路、变压器以及电与磁的关系; 第 13 章介绍以电磁关系为基本运行原理的电气设备; 第 14 章介绍许多常用的测量设备; 第 15 章主要讨论有关电气安全的问题。

机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 谢晓芳

廊坊市京瑞印刷有限公司印刷

2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

185mm×260mm·30 印张

标准书号: ISBN 978-7-111-44910-2

定 价: 89.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzjsj@hzbook.com

出版者的话

文艺复兴以降，源远流长的科学精神和逐步形成的学术规范，使西方国家在自然科学的各个领域取得了垄断性的优势；也正是这样的传统，使美国在信息技术发展的六十多年间名家辈出、独领风骚。在商业化的进程中，美国的产业界与教育界越来越紧密地结合，信息学科中的许多泰山北斗同时身处科研和教学的最前线，由此而产生的经典科学著作，不仅擘划了研究的范畴，还揭示了学术的源变，既遵循学术规范，又自有学者个性，其价值并不会因年月的流逝而减退。

近年，在全球信息化大潮的推动下，我国的信息产业发展迅猛，对专业人才的需求日益迫切。这对我国教育界和出版界都既是机遇，也是挑战；而专业教材的建设在教育战略上显得举足轻重。在我国信息技术发展时间较短的现状下，美国等发达国家在其信息科学发展的几十年间积淀和发展的经典教材仍有许多值得借鉴之处。因此，引进一批国外优秀教材将对我国教育事业的发展起到积极的推动作用，也是与世界接轨、建设真正的世界一流大学的必由之路。

机械工业出版社华章公司较早意识到“出版要为教育服务”。自1998年开始，我们就将工作重点放在了遴选、移译国外优秀教材上。经过多年的不懈努力，我们与Pearson、McGraw-Hill、Elsevier、John Wiley & Sons、CRC、Springer等世界著名出版公司建立了良好的合作关系，从他们现有的数百种教材中甄选出Thomas L. Floyd、Charles K. Alexander、Behzad Razavi、John G. Proakis、Stephen Brown、Allan R. Hambley、Albert Malvino、Mark I. Montrose、David A. Johns、Peter Wilson、H. Vincent Poor、Dikshitulu K. Kalluri、Bhag Singh Guru、Stephane Mallat等大师名家的经典教材，以“国外电子与电气工程技术丛书”为总称出版，供读者学习、研究及珍藏。这些书籍在读者中树立了良好的口碑，并被许多高校采用为正式教材和参考书籍。其影印版“经典原版书库”作为姊妹篇也越来越多被实施双语教学的学校所采用。

权威的作者、经典的教材、一流的译者、严格的审校、精细的编辑，这些因素使我们的图书有了质量的保证。随着电气与电子信息学科建设的不断完善和教材改革的逐渐深化，教育界对国外电气与电子信息教材的需求和应用都将步入一个新的阶段，我们的目标是尽善尽美，而反馈的意见正是我们达到这一终极目标的重要帮助。华章公司欢迎老师和读者对我们的工作提出建议或给予指正，我们的联系方式如下：

华章网站：www.hzbook.com

电子邮件：hjzsj@hzbook.com

联系电话：(010) 88379604

联系地址：北京市西城区百万庄南街1号

邮政编码：100037



华章科技图书出版中心

译者序

近年来,国内高等院校不断加大在公共课和专业课教学中推广与普及双语教学的力度,推动着双语教学的改革与试点。本教材非常适用于高等院校的机械、化工、土木、建筑、生物、材料等非电专业,作为本科必修课“电工学”课程的双语教材或者辅助教材,也可以作为电气工程、计算机、自动化等专业导论课程的参考教材。

从教材的结构与内容来看,原版教材涵盖的内容丰富,基本吻合国内现行的电工学课程教学大纲和教学基本要求,同时,还增加了如下内容:1)基于计算机的仪表测量系统(包括传感器、信号调理、数据采集和接地);2)电工测量仪器(示波器、频谱分析仪、函数发生器等)的原理介绍与应用举例;3)在暂态电路中增加了对二阶电路的分析;4)在电机中增加各种类型的直流电动机、直流发电机的结构、原理与选型;5)在电气安全中增加了电磁辐射的危害、电弧和爆炸事故等信息;6)每章末尾均采用 MATLAB 和 PSpice 软件进行电路分析,并给出相关示例。

此教材的特点是:1)文字叙述精炼而生动,在介绍电气与电子电路的每个概念时,均实时列举并分析其在工作与生活中的实例,例如,汽车冷却风扇、电阻丝应变仪、汽车加速器、扬声器、收音机的调谐电路、容性位移传感器、汽车点火器、振动传感器、除颤仪、电子设备的电压适配器、心脏起搏器等,通过现实情景展示了机械、化工、土木等工程领域的应用,对初学者有极强的吸引力。2)关于电力系统电路分析的实例非常丰富,结合电力输送,增加了电力系统传输线的等效电阻、电感、电容等分析计算,便于学生了解电气工程领域的专业知识与技术。3)虽然电气安全、电工测量等分别有独立的章节内容,但是整本书的实例均大量涉及带电作业的安全性、电工测量的误差分析、实际电路的寄生电容和电感、电源的工频干扰等信息,切实培养了学生将电气工程的知识和技能植入本专业领域的工程应用的能力。4)每章均基于 PSpice 进行电路分析,举例丰富,详细阐明了软件的应用技巧,有助于教师课堂授课与模拟实验的有机结合,也便于学生动手实验之前的电路分析与自测。5)合理的信息精简与章节组合,例如,在电子电路中介绍了二极管、晶体管(BJT与FET)、运算放大器等器件,重在介绍器件的外特性与基本应用的分析方法,而摒弃了偏置电路下载流子移动以及门电路的电路结构等内容。6)习题量较大,而且每章习题均分为基础题、中等难度题或者难题,便于学生自测。

本书由重庆大学电气工程学院三位教师进行翻译,由熊兰教授负责组织翻译。其中,熊兰翻译第1章、第7~11章、第14章、第15章和附录;李辉教授翻译第12章和第13章;肖冬萍副教授翻译第2~6章。

在翻译过程中,译者认真总结讲授电工学、电子技术、电路原理和电机学等课程的教学经验,参考了国内外同类和相关中英文教材,力求翻译教材的语言叙述流畅,基本概念解释准确,对实际应用的介绍清晰易懂,在每一章节的衔接处力求内容的连贯性并过渡自然。

由于译者水平有限,书中难免存在缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

熊 兰

前言

密歇根理工大学在美国国家自然科学基金委——工程教育处的资助下，率先实施多学科融合，旨在开设一门课程，并具备以下特色：1) 鼓励学生开展终身学习，紧跟快速革新的工程技术以及不断涌现的交叉学科技术；2) 在课程内容与学生所选择的工程领域之间保持密切联系与衔接；3) 激励学生牢固掌握电气工程概念从而为就业做好准备。

该校不同系别的 7 位教师合作完成了此任务，以下院系参与了本项目：电气工程、化学工程、土木与环境工程、机械工程、生物医学工程以及认知与学习系的教育研究室。课程改革过程如下：首先，收集来自全美国大量工科学院的问卷调查资料；然后，整理汇总开设此课程的不同工科专业对于教学内容的不同要求；最后，集中这些内容需求，确定此课程的教学大纲，从而确定新教材的内容与结构安排。

尽管此教材无法单纯满足某个学院的教学需求，但是教材涵盖的各种主题正是对问卷调查的回馈，使全世界不同高校的教师均能够有效使用并发挥各自的特色。本教材可用于电气工程学院，为那些非电气工程专业学生开设电气工程导论课程，此课程的目标是具有趣味性、启发性和实用性，同时，课程内容在深度和广度上能够尽量覆盖电气工程专业的所有知识。

本书特色如下。

1) 大量基于实际应用的例题

每章均包含从不同工程领域挑选的大量基于实际应用的例题，以便搭建电气工程专业与其他非电气专业领域的桥梁。这些实例有助于回答为什么必须学习此课程之类的问题。非电气专业的学生会更好地理解以下疑问，例如：a) 为什么要学习求解电路？b) 机械、化工和土木工程领域有哪些求解电路的问题？

2) 新增的 PSpice 讲座、例题与习题

本书提供方便的 PSpice 教程，几乎每章都有 PSpice 应用的内容。例如：第 2 章概述该软件；第 3~11 章均增加软件应用的新技巧。这些内容包括帮助学生使用 PSpice 软件的讲座，并可视作嵌入式计算机的上机实验。另外，教材还展示大量 PSpice 应用实例，帮助学生了解搭建电路和求解的过程。每章末尾还有 PSpice 习题要求学生去完成。

3) 创新性章节

基于美国全国性问卷调查的信息，教材各章节的主题均突出展示业界人士认为非常重要的主题，不过，建议使用此教材的教师根据自己的需求取舍以下主题。

• 1.5 节

第 1 章通过现实情景展示了机械工程、化学工程、土木工程领域的电气工程技术应用，1.5 节中的这些案例将在后续章节中作为主题逐一讲解。案例分析有助于鼓励学生将电气工程概念应用于各自的专业领域应用中，相关案例分别由承担美国国家自然科学基金项目的教材组

成员来编写。

- 7.6 节和 7.7 节

第 7 章讨论电路的频率响应，并介绍各种类型的滤波器、MATLAB 和 PSpice 软件例题及其习题。目的是促进学生了解 MATLAB 软件的功能特征，充分应用 MATLAB 和 PSpice 软件来分析电路的频率响应。

- 第 9 章、第 12 章和第 13 章

基于美国全国性问卷调查的信息以及全球关注的温室效应、清洁能源等主题，要求更彻底地管理电能，因此，以下 3 章均涉及功率传输问题。第 9 章介绍三相系统的概念、输电线及其等效电路、功率传输等。第 12 章研究关于能量传输的另一个主要器件——变压器。第 13 章简洁、清晰地介绍电动机和发电机以及各自的应用。

- 第 15 章

第 15 章讨论关于电气安全的问题，便于用电者或者电工在工作、生活中能够安全用电。

4) 例题与每章末尾的习题

本书提供 1100 多道例题和习题（在各章末尾），每章习题均按难度系数分类，有利于教师根据需要选择基础题、中等题或者难题。

5) 一部完整的习题解答手册

本书提供一部完整的解题手册，便于学生牢固掌握基础知识。

致 谢

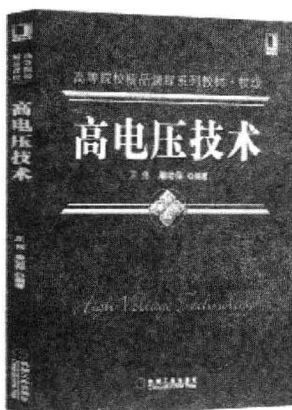
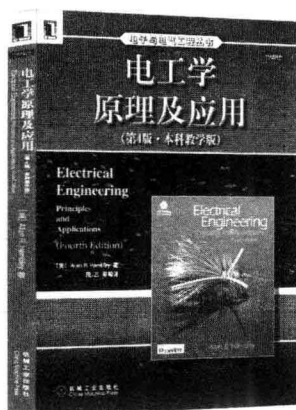
William Bulleit 教授（密歇根理工大学，土木与环境工程系），Tony Rogers 教授（密歇根理工大学，化学工程系）和 Harold Evensen（密歇根理工大学，机械工程系、工程力学系）编写了第 1 章。美国国家自然科学基金项目研究得到了许多教师的支持，这里，我感谢 Bulleit 教授、Rogers 教授和 Evensen 教授，同时还要感谢 Kedmon Huangwe 教授（密歇根理工大学，教育系）、Glen Archer（密歇根理工大学，电气与计算机工程系）、Corina Sandu 教授（弗吉利亚理工大学，机械工程系）、David Nelson 教授（南阿拉巴马大学，机械工程系）、Sheryl Sorby 教授（密歇根理工大学，机械工程系、工程力学系）和 Valorie Troesch 教授（密歇根理工大学，交叉学科研究院）。没有众多研究生的参与，本书不可能顺利完成，这里感谢 Luke Mounsey、Xiukui Li、Taha Abdelhakim、Shu G. Ting、Wenjie Xu、Zhonghai Wang、Babak Bastaa-mi、Manaas Majumdar、Abdelhaseeb Ahmed、Daw Don Cheam、Jafar Pourrostam 和 Greg Price，非常感谢他们。另外，我要感谢本书的审核者 Peter A. Larsen（资助的项目，密歇根理工大学），他的帮助提高了本书的质量。最后，感谢审阅本书并给予非常有价值的评估与反馈的同事们，他们的姓名如下：

Paul Crilly——田纳西大学
Timothy Peck——伊利诺伊大学
George Shoane——罗格斯大学
Ziqian Liu——纽约州立大学海事学院
Ralph Tanner——西密歇根大学
Douglas P. Looze——马萨诸塞大学
Jaime Ramos-Sala——得克萨斯大学
Dale Dolan——加州城市科技州立大学
Munther Hassouneh——马里兰大学
Jacob Klapper——新泽西理工学院
Thomas M. Sullivan——卡内基梅隆大学
Vijayakumar Bhagavatula——卡内基梅隆大学
S. Hossein Mousavinezhad——爱达荷州立大学
Alan J. Michaels——Harris 公司
Sandra Soto-Caban——马斯京根大学
Wei Pan——爱达荷州立大学

最后，感谢前科罗拉多州立大学电气与计算机系已故的主任 Derek Lile 教授的帮助，当我在科罗拉多州立大学攻读博士期间，就萌生了实施本项目的念头。

S. A. Reza Zekavat
密歇根理工大学

推荐阅读



电工学原理及应用

作者: Allan R. Hambley ISBN: 978-7-111-29336-1 定价: 59.00元

本书基于该书第4版进行改编,保留其中的基本内容,压缩或删除了一些高级内容。第4版还为教师和学生提供了功能强大的网络信息资源套装,详情请登录培生教育的工程实验室网站<http://www.myengineeringlab.com>。本书适用于化工、生物、土木工程等非电专业学生的“电工学”课程,也可以作为电气工程、计算机、自动化等专业学生的专业导论课程的参考教材。

高电压技术

作者: 王伟 屠幼萍 ISBN: 978-7-111-33081-3 定价: 28.00元

本书着重介绍高电压技术最基本的概念、理论和实用方法,主要内容包括气体放电的基本物理过程,气体介质的电气强度,高电压绝缘中气体、固体、液体和组合绝缘的电气特性,电气设备绝缘预防性试验,电气设备绝缘在线监测,输电线路和绕组中的波过程,雷电及防雷保护装置,输电线路的防雷保护,发电厂和变电站的防雷保护,电力系统内部过电压以及电力系统的绝缘配合原则等。

PLC原理及应用

作者: 张国德 李红 ISBN: 978-7-111-29221-0 定价: 29.00元

本书以在工业控制领域中应用广泛的S7-300系列PLC为样本,面向高校学生及工程技术人员,本着简化理论、突出实践的指导思想,精简那些对实际工程设计操作使用不多的基础理论,加强工程实践环节。全书辅以多个实例,重点突出,语言简练。

目 录

出版者的话
译者序
前言
致谢

第 1 章 为什么学习电气工程基础	1
1.1 简介	1
1.2 电气工程与职业成功	1
1.3 电气工程基础简介	2
1.4 职业成功案例	2
1.5 工作中会遇到的典型工程案例	3
扩展阅读	9
第 2 章 电路基础	10
2.1 简介	10
2.2 电荷与电流	11
2.3 电压	12
2.4 电流和电压的方向	13
2.5 基尔霍夫电流定律	13
2.6 基尔霍夫电压定律	15
2.7 欧姆定律和电阻	18
2.8 功率和能量	21
2.9 独立源和受控源	24
2.10 基于 PSpice 的电路分析	26
2.11 本章小结	33
习题	33
第 3 章 电阻电路	40
3.1 简介	40
3.2 电阻的串联、并联与等效电阻	40
3.3 分压和分流原理	46
3.4 节点和网孔分析法	51
3.5 特殊情况：超节点	58
3.6 戴维南/诺顿等效电路	62

3.7 叠加原理	69
3.8 最大功率传输	72
3.9 PSpice 电路分析	75
3.10 本章小结	76
习题	77
第 4 章 电容和电感	85
4.1 简介	85
4.2 电容	85
4.3 电容的串联和并联	89
4.4 电感	92
4.5 电感的串联和并联	93
4.6 电容和电感的应用	95
4.7 利用 PSpice 分析含电容和电感的 电路	97
4.8 本章小结	99
习题	99
第 5 章 暂态电路分析	104
5.1 简介	104
5.2 一阶电路	104
5.3 直流稳态	117
5.4 含电容和电感电路的直流 稳态	118
5.5 二阶电路	119
5.6 正弦激励的暂态电路分析	124
5.7 利用 PSpice 分析 RL 电路和 RC 电路的暂态过程	127
5.8 本章小结	131
习题	132
第 6 章 正弦稳态电路分析	138
6.1 正弦电压和电流	138
6.2 相量	142
6.3 复阻抗	144

6.4 利用相量分析正弦稳态电路	148	第 10 章 逻辑电路基础	290
6.5 相量形式的戴维南和诺顿 等效电路	153	10.1 简介	290
6.6 交流稳态电路的功率	156	10.2 数字系统	291
6.7 利用 PSpice 分析正弦稳态 电路	166	10.3 布尔代数	297
6.8 本章小结	169	10.4 基本逻辑门	303
习题	170	10.5 时序逻辑电路	308
第 7 章 频率分析	177	10.6 利用 PSpice 软件分析数字 逻辑电路	313
7.1 简介	177	10.7 本章小结	318
7.2 一阶滤波器	177	习题	319
7.3 低通滤波器	178	第 11 章 基于计算机的仪表测量 系统	324
7.4 高通滤波器	184	11.1 简介	324
7.5 二阶滤波器	187	11.2 传感器	325
7.6 Matlab 软件的应用	190	11.3 信号调理	336
7.7 用 PSpice 分析频率响应	194	11.4 数据采集	340
7.8 本章小结	199	11.5 接地问题	343
习题	200	11.6 利用 PSpice 研究基于计算机的 仪器	344
第 8 章 电子电路	205	11.7 本章小结	346
8.1 简介	205	扩展阅读	347
8.2 p 型和 n 型半导体	205	习题	347
8.3 二极管	207	第 12 章 机电原理	351
8.4 晶体管	219	12.1 简介	351
8.5 运算放大器	241	12.2 磁场	351
8.6 利用 PSpice 研究二极管和晶 体管	244	12.3 磁路	355
8.7 本章小结	248	12.4 互感和变压器	361
扩展阅读	249	12.5 不同类型的变压器	366
习题	249	12.6 利用 PSpice 软件仿真互感及 变压器	367
第 9 章 电力系统与输电线路	258	12.7 本章小结	370
9.1 简介	258	习题	370
9.2 三相系统	258	第 13 章 电机	375
9.3 输电线路	270	13.1 简介	375
9.4 利用 PSpice 软件研究三相系统	284	13.2 直流电动机	376
9.5 本章小结	286	13.3 不同类型的直流电动机	379
扩展阅读	286	13.4 直流电动机的调速方法	386
习题	286		

13.5 直流发电机	388	14.7 函数发生器	435
13.6 不同类型的直流发电机	390	14.8 本章小结	436
13.7 交流电动机	391	习题	436
13.8 交流发电机	400	第 15 章 电气安全	441
13.9 特种电动机	404	15.1 简介	441
13.10 如何选择最合适的电动机	408	15.2 电击	441
13.11 利用 PSpice 软件建立简单 直流电动机电路	409	15.3 电磁辐射的危害	443
13.12 本章小结	414	15.4 电弧和爆炸	447
扩展阅读	414	15.5 美国国家电气规程	449
习题	414	15.6 本章小结	454
第 14 章 电工测量仪器	419	参考文献	455
14.1 简介	419	习题	455
14.2 测量误差	419	附录 A 求解线性方程	459
14.3 基本测量仪器	421	附录 B 拉普拉斯变换	460
14.4 时域和频域分析	425	附录 C 复数	463
14.5 示波器	427	附录 D 部分习题答案	467
14.6 频谱分析仪	431		

第1章

为什么学习电气工程基础

1.1 简介

当你阅读以下内容时，你一定是一名将要学习电气工程基础课程的工科学生，也可能是一名希望了解电气工程领域的工程师。不管怎样，你是否思考过自己为什么要学习电气工程概念与应用呢？

作为一名工科学生，学习这门课程的理由不外乎分为以下两类：1) 这是你的专业计划要求，你不得不学；2) 你相信学习本教材能帮助你通过全国工程基础（FE）考试，在你毕业之前或者很快你就会参加这个考试。如果你已经是一名工程师，那么你阅读本教材的目的必然是准备参加大学毕业前没有参加的工程基础（FE）考试，或者希望通过学习而更好地工作。实际上，还有第二个原因，一名工程师应该考虑更长远的发展。学习电气工程基础对你的职业有帮助吗？简单的回答是肯定，而更准确的答案如下。

1.2 电气工程与职业成功

作为一名工程师，在实施一个项目的过程中，通常会与大量不同学科和专业的工程师合作。工程师之间的交流对项目的顺利完成非常重要。如果你具有电气工程基础知识，在与电气系统的工程师交流工作方案或者经验时，你会更具优势。当然，仅凭学习这门课不可能完成对复杂电气系统的设计，不过，你会熟悉整个系统的工作原理，能更好地指出电气系统与非电系统之间的结合点。例如，机械工程师时常为电子系统设计封装。如何处理好电子器件的热损耗是很重要的问题，这时，机械工程师就能够帮助电气工程师考虑如何放置器件，从而优化散热的问题。简言之，没有哪一个工程师是孤军奋战的，你和别人交流得越多，你的收获就越大，成果越丰富。

企业已经充分认识到跨行业经验交流的重要性，通常会安排职员进行工程培训，帮助他们熟悉相关电气工程领域以及工作涉及的其他领域知识。如果你在学生阶段已经学习了电气工程，也就具有了学习该公司电气工程项目的良好基础，使你更容易适应岗前培训，培训的费用就更少。可见，学习过电气工程的学生更容易被公司录用。

另外，某些工作要求直接面对各种电气或者电子器件，因此要求职员已熟练掌握相关知识。例如，许多从事制造加工的工程师未来可能需要使用电气或者电子产品，过去从事机械系统工作的员工现在改为面向电子系统（例如，电子燃油喷射和电子油门），这时就必须掌握惠斯通电桥（一种电子电路）以便更好地使用该测试设备。事实上，目前大多数机械测量都会先将机械参量转换为电信号，再进行测试。最后，当购买电气元件与设备时，仍然需要足够的电气工程基础知识，才能与卖家讨价还价，买到公司需要的设备。可见，学习电气工程知识，才能更好地选取和使用电气元件与设备。

学习电气工程理论和实验可促使你在学科交叉领域建立创新性课题甚至独创性发明。例如，你的工作职责可能是管理一套监控系统，需要进行大量冗长乏味的手工劳动。当你熟悉此系统之后，结合电气工程知识，开展深入研究，并设计、建造一套更快速、更智能化的监控系统。这个发明或许申请专利，也或者为公司节约大量的资金。可见，学习电气工程（以及其他学科的基础知识）会使你在学科交叉领域取得创新性成果，解决实际工程难题。

综上所述,学习电气工程知识不仅有助于通过电气工程考试,也会使你更具备工程实践的工作能力和自信心,更重要的是你能够以创新的方式来解决问題。

1.3 电气工程基础简介

电路是目前绝大多数电气产品的组成部分。任何工程师都需要熟悉电路及其组成器件(包括电阻、电容、晶体管、电源、开关等),掌握电路分析方法,来确定电压、电流与功率的相互关系。在工作时,公司可能需要购买电气设备,那么必然先要确定设备的技术参数。另外,使用电气设备存在某些危险,因此你需要学会遵循电气系统的使用方法,安全地使用它们。

尽管任何学科的工程师在很多工作中都需要了解并使用电气系统、电源和电路,但并非需要成为电气专家。例如,许多非电气工程师是电厂管理员,管理着采暖与空调系统,尽管他们无须设计系统或者器件,却需要一些电气工程的基础知识进行日常管理。运行工程师则必须能够设计和分析简单的电路,对卖家、电工、电气工程师与电脑专家提出技术要求。

一个典型的工程应用是通过温度、压力和流速传感器采集数据,监测工作进程或者试验设备的运行。炼油厂的过程控制与监测环境要求涵盖数据采集与存储、信号处理、模数转换、串口通信和控制器等,通过传感器进行在线化学分析,有时与实时监测温度、压力和流速同样重要。

工程师对电力系统中的发电机与电动机工作原理以及电网运行的充分认识也是非常重要的。电气工程师的重要任务是减少设备消耗尤其是电力损耗。例如,电气工程知识有助于设计和实施工业废热发电系统。在这种情况下,在电力生产系统中可通过对高压蒸汽节流,流经汽轮机发电机来实现更经济的发电,而适当降低排汽压力在发电厂是可行的。还有一种办法是燃烧天然气使燃气发电机发电,并且可使锅炉中的气体以蒸汽形式排出。不过,其中的一个争议问題是如何操作该系统才能与电厂的电力规格相匹配。

过程工程师也需要通过处理高热动力流(例如高压或者高温的工业生产液流)来再回收能源(如发电)。通常情况下,可以通过膨胀机(涡轮机)流等熵过程产生的轴做功来推动发电机发电。

电化学涉及的知识包括恒电位仪的使用、电池检测设备、周期伏安法测量、电极选择和电化学电池,电镀操作也是化学工程师感兴趣的。在电气工程的背景下可以帮助您了解这些和其他的相关进程。

1.4 职业成功案例

工程师常常需要考虑运行过程的经济性。利益最大化是最高要求,安全性和环保要求制约着系统的设计与运行。电气工程原理通常直接影响着过程的获利与可操作性。因此,学习和应用本教材的概念将有助于在未来的工作中因为企业节约成本而受到关注或者青睐。

举例如下:一名化学工程师毕业后,在一家大型炼油厂工作了几年,该企业最近引入了一套同时生产热和电的系统。一个燃烧天然气的锅炉排出高压蒸汽,随后蒸汽流经涡轮膨胀,使曲轴做功,驱动发电机工作。发出的电如果作为发电厂内部用电,则按照零售电价计。若多余的电对外出售,则必须由 PUPA(公共设施资源权利法案)来管理,企业生产电的最低成本称为规避成本。新员工通过技术经济分析,计算生产设备投入资金及运行成本与预期的节电费用之间的差额,也就找到了预期的节电费用。这时,如果发现此类热发电措施导致企业亏损,则员工会建议停止发电。通常,在炼油厂管理过程中不会出现上述结论,不过,职员进行经济分

析和建议是值得称道的，这类经济性计算依赖于员工对于发电过程与设备的熟悉。显然，为老板省钱将会开启员工升职的机会。

1.5 工作中会遇到的典型工程案例

本节案例分析主要涉及与专业相关的项目，以此阐述教材中的基本理论如何应用于实际工作或者研究中。阅读以下内容后，你将更好地理解电气工程基础知识的应用场所、方法以及目标。直到你学完该课程，这些案例分析中的某些术语可能还比较陌生，这说明在实际工作中遇到这些情况之前，学习该门课程的重要性。如果需要了解更多关于设备和过程的案例分析，请阅读本书附赠的 PPT 课件。

1.5.1 工程案例 1：主动结构控制

假设你是南卡州查里斯顿地区（该地区历史上有过多次强烈地震）的一名土木工程师，正在设计和建造一栋 15 层大楼（楼内安装了运动敏感设备），要求能够承受台风和地震的袭击。由于要求在飓风和地震发生时控制该建筑的运动，则必须对大楼进行主动结构控制。虽然同时也需要进行被动结构控制，本例仅介绍主动结构控制系统。

现在，你负责同设计与安装主动控制系统的公司联络，这时，你必须提供大楼的相关信息以便设计此控制系统，同时，把设计公司的信息反馈给本公司设计大楼的工程师。如果大楼的设计与你描述的信息相吻合，则设计过程只是一个简单的反馈环路：初始建筑设计方案会影响控制系统的设计方案；反过来，控制系统设计也会影响大楼的建筑设计，建筑设计再影响控制系统设计，如此往复直到二者相互兼容。显然，你必须清楚地掌握大楼的设计方案（这是你的专业），以及了解主动控制系统（这并非你的专业——这其中就涉及了电气工程领域中的概念）。

一般而言，结构控制是控制建筑与桥梁等结构体的动态行为。当建筑易弯曲（例如高层大楼、大跨径桥梁）或者易损坏（例如地震带的建筑遗迹）时，这类控制变得非常重要。工程师控制结构的目的是：1）在大风或者较弱的地震时，防止造成损坏或者引起住户的不适感；2）在大事件例如强烈地震发生时，避免建筑结构崩塌。因此，建筑物内体应具有震动敏感器件，建筑物能承受飓风和地震的强烈冲击。

结构控制以三种方式来实现，即被动控制、主动控制或者混合控制。被动控制通过质量、刚度和阻尼来完成，不过，被动控制系统不能轻易改动。本例介绍的主动控制系统则通过控制传动装置来修正系统的动态行为，这种控制需要外加能量。一个主动控制系统具有自适应性。混合控制则指被动控制与主动控制的组合应用。

当你第一次到达控制系统设计公司时，那里的工程师会给你一张主动控制系统的原理图，如图 1.1 所示。你首先会发现这个系统是具有反馈特征的，反馈的概念在电气工程或者其他课程中已经学习过。就大楼设计而言，激励将记录历史上强风作用时间和地震引起地面加速移动等，对现有大楼的激励就是真实的大风和地震。

这时，你的工作是同控制系统设计者一起研发一个数学模型，用于分析带有控制系统的大楼，以此作为安装控制系统并

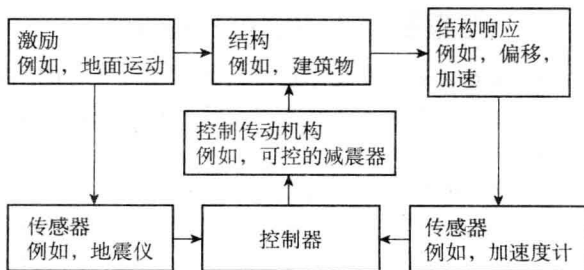


图 1.1 一个结构控制系统的原理图

修建大楼的依据。

控制系统包括多个可控的减震器、一个质量减震器、一些其他类型的系统或多种组合形式等。减震器是一种机械设备，用于吸收冲击或者震动，避免结构损坏。控制系统专家会推荐使用具有主动减震功能的（AMD）系统，如图 1.2 所示，该系统已在日本得到应用。在日本大阪中 EMA 赞誉之塔 Applause Tower 上安装 AMD 系统的目的是在强风和小到中级地震发生时能够抑制建筑物的震动；同样的，可确保正在修建的大楼在飓风和强震到来时能够减小损失。日本很多高层建筑物的屋顶均安装了 AMD 系统，效果非常棒，因为这样既可减震，又可作为直升机场。

接下来，你需要更好地理解如何使用 AMD 系统实现控制。以两层建筑物为例，说明 AMD 系统的功能，如图 1.3 所示。

图 1.3 中包含两个刚性体（两层地板）： m_1 和 m_2 ，与大楼的框架相连。采用的控制执行器为 AMD，混凝土块 m_a 为控制体，在计算机控制器的控制信号作用下前后移动，参见图 1.1。

计算机控制器接收来自结构体的响应信息，例如，每层地板的移动加速度 a_1 和 a_2 ，以及质量 m_1 和 m_2 。这些加速度值由每层安装的加速度计来监测；在减震器中，对混凝土块 m_a 相对于结构体的位移由电位计来测量。结构体由一个基本加速度 a_g （表示地震时地面移动的加速度）来激励，也可以采用风力来激励。在图 1.1 中，激励源信号也通过传感器来监测，并传递信息到控制器。对于简单结构的建筑物，通常无需监测激励源，只需安装 1~3 个加速度传感器在地基，以便检测地基的加速度。

由图 1.3 及其描述可知，没有电气工程的基础知识，你将无法理解这些概念和器件，例如，D/A 和 A/D 是什么意思？加速度计是怎样工作的？为什么需要一个放大电路？计算机控制器如何工作？什么是电位计？没有电气工程基础知识，你将难以胜任此类工作。注意：如果你现在就想找到以上问题的解答，参见第 11 章的内容。

1.5.2 工程案例 2：化学过程控制

在此案例中，假设你是一名化学工程专业的毕业生，刚刚就职于洛杉矶 Baton Rouge 的一家石油公司。由于石油储备以及政府对替换燃油企业的补贴不断减少，你的公司开始生产燃料级乙醇。

企业的生产过程见图 1.4，通过玉米（谷物）的发酵产生稀释的酒精，以及后期提存来生产燃料级乙醇。把玉米、糖、酵母饼、水和养料持续送入发酵桶，产生 CO_2 、废酵母和谷物，以及稀释的（约 8%）乙醇溶液。这些溶液经过过滤和澄清以去除酵母和谷物，然后送入一台预热器（见图 1.5）。被加热的乙醇溶液再被送入蒸馏罐中，最后从罐顶部获得浓度 95%~96% 的乙醇。由于需要大量的能量来分离乙醇和水，要求始终保持稀释液的温度足够高。但

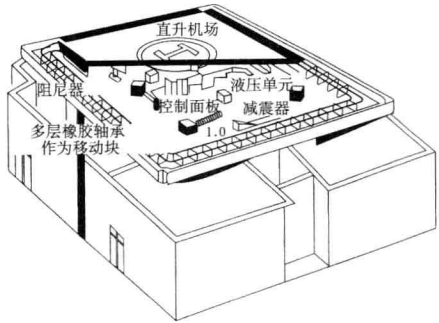


图 1.2 主动质量减震器（AMD）控制系统的一个应用 AMD 通常应用于屋顶直升机场

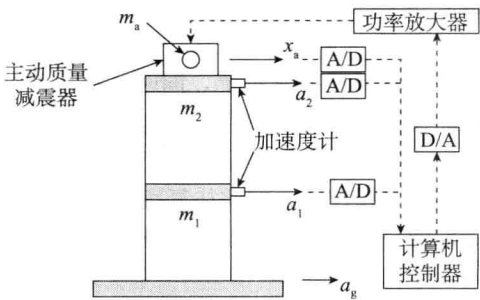


图 1.3 简单的建筑结构及 AMD 控制系统

