



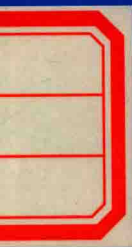
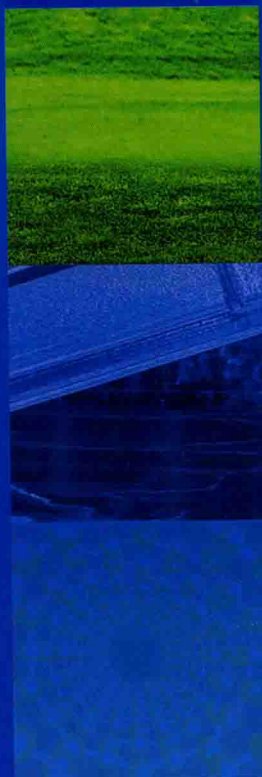
国际制造业先进技术译丛

CENGAGE
Learning™

可再生能源的 电气技术

Electrical Theory
for Renewable Energy

[美]加里·古德斯塔尔 (Gary Goodstal) 著
郑青阳 赵铭姝 译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS





国际制造业先进技术译丛

可再生能源的电气技术

[美] 加里·古德斯塔尔 (Gary Goodstal) 著

郑青阳 赵铭姝 译



机械工业出版社

Electrical Theory for Renewable Energy

Gary Goodstal 著; 郑青阳, 赵铭姝译

Copyright © 2013 by Delmar, Cengage Learning.

Original edition published by Cengage Learning. All Rights reserved. 本书原版由圣智学习出版公司出版。版权所有, 盗印必究。

China Machine Press is authorized by Cengage Learning to publish and distribute exclusively this simplified Chinese edition. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only (excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan). Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. No part of this publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

本书中文简体字翻译版由圣智学习出版公司授权机械工业出版社独家出版发行。此版本仅限在中华人民共和国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区及中国台湾)销售。未经授权的本书出口将被视为违反版权法的行为。未经出版者预先书面许可, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Cengage Learning Asia Pte. Ltd.

151 Lorong Chuan, #02 - 08 New Tech Park, Singapore 556741

本书封面贴有 Cengage Learning 防伪标签, 无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记 图字: 01 - 2014 - 2034 号。

图书在版编目 (CIP) 数据

可再生能源的电气技术/ (美) 加里·古德斯塔尔 (Gary Goodstal) 著; 郑青阳, 赵铭姝译. —北京: 机械工业出版社, 2016. 9

(国际制造业先进技术译丛)

书名原文: Electrical Theory for Renewable Energy

ISBN 978-7-111-54588-0

I. ①可… II. ①加…②郑…③赵… III. ①再生能源 - 电工技术 IV. ①TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 194098 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 陈保华 责任编辑: 陈保华 臧弋心

责任校对: 刘雅娜 封面设计: 鞠 杨

责任印制: 李 飞

北京玥实印刷有限公司印刷

2016 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·21.25 印张·405 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-54588-0

定价: 99.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88379833

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-88379649

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

本书介绍了电路理论的基本概念和原理,讨论了电池、逆变器、控制器等广泛应用于可再生能源发电系统的设备,重点对光伏太阳能发电、风力发电和燃料电池技术进行了讲解。本书具有综合性和实用性,能够帮助读者建立较为完整的知识结构,同时通过大量实例讲解可使读者提高相关知识的运用能力。每章后面附有习题,有利于读者对所学内容进行复习和小结。

本书可供大中专学校和职业技术培训机构的教师、学生以及其他对可替代能源技术感兴趣的人士阅读。

著 (GARY GOODALE) 加里·古德代尔 [美]
译 蔡海林 周青联

机械工业出版社

译 丛 序

一、制造技术长盛永恒

先进制造技术是在 20 世纪 80 年代提出的,它由机械制造技术发展而来,通常认为是机械、电子、信息、材料、能源和管理等方面的技术的交叉、融合和集成。先进制造技术综合应用于产品全生命周期的整个制造过程,包括市场需求、产品设计、工艺设计、加工装配、检测、销售、使用、维修、报废处理、回收利用等,可实现优质、敏捷、高效、低耗、清洁生产,快速响应市场的需求。因此,当前的先进制造技术是以产品为中心,以光机电一体化化的机械制造技术为主体,以广义制造为手段,具有先进性和时代感。

制造技术是一个永恒的主题,与社会发展密切相关,是设想、概念、科学技术物化的基础和手段,是所有工业的支柱,是国家经济与国防实力的体现,是国家工业化的关键。现代制造技术是当前世界各国研究和发展的主题,特别是在市场经济高度发展的今天,它更占有十分重要的地位。

信息技术的发展并引入到制造技术,使制造技术产生了革命性的变化,出现了制造系统和制造科学。制造系统由物质流、能量流和信息流组成,物质流是本质,能量流是动力,信息流是控制;制造技术与系统论、方法论、信息论、控制论和协同论相结合就形成了新的制造学科。

制造技术的覆盖面极广,涉及机械、电子、计算机、冶金、建筑、水利、电子、运载、农业以及化学、物理学、材料学、管理科学等领域。各个行业都需要制造业的支持,制造技术既有普遍性、基础性的一面,又有特殊性、专业性的一面,制造技术既有共性,又有个性。

目前世界先进制造技术沿着全球化、绿色化、高技术化、信息化、个性化和服务化、集群化六个方向发展,在加工技术方面主要有超精密加工技术、纳米加工技术、数控加工技术、极限加工技术、绿色加工技术等,在制造模式方面主要有自动化、集成化、柔性化、敏捷化、虚拟化、网络化、智能化、协作化和绿色化等。

二、图书交流源远流长

近年来,国际间的交流与合作对制造业领域的发展、技术进步及重大关键技术的突破起到了积极的促进作用,制造业科技人员需要及时了解国外相关技术领域的最新发展状况、成果取得情况及先进技术的应用情况等。

国家、地区间的学术、技术交流已有很长的历史,可以追溯到唐朝甚至更远一些,唐玄奘去印度取经可以说是一次典型的图书交流佳话。图书资料是一种传统、永恒、有效的学术、技术交流方式,早在 20 世纪初期,我国清代学者严复

就翻译了英国学者赫胥黎所著的《天演论》，其后学者周建人翻译了英国学者达尔文所著的《物种起源》，对我国自然科学的发展起到了很大的推动作用。

图书是一种信息载体，虽然现在已有网络通信、计算机等信息传输和储存手段，但图书仍将因其具有严谨性、系统性、广泛性、适应性、持久性和经济性而长期存在。纸质图书有更好的阅读优势，可满足不同层次读者的阅读习惯，同时它具有长期的参考价值和收藏价值。当然，技术图书的交流具有时间上的滞后性，不够及时，翻译的质量也是个关键问题，需要及时、快速、高质量的出版工作支持。

机械工业出版社希望能够在先进制造技术的引进、消化、吸收、创新方面为广大读者做出贡献，为我国的制造业科技人员引进、吸纳国外先进制造技术的出版资源，翻译出版国际上优秀的先进制造技术著作，从而提升我国制造业的自主创新能力，引导和推进科研与实践水平的不断进步。

三、选译严谨、质高面广

(1) 精品重点高质 本套丛书作为我社的精品重点书，在内容、编辑、装帧设计等方面追求高质量，力求为读者奉献一套高品质的丛书。

(2) 专家选译把关 本套丛书的选书、翻译工作均由国内相关专业的专家、教授、工程技术人员承担，充分保证了内容的先进性、适用性和翻译质量。

(3) 引纳地区广泛 主要从制造业比较发达的国家引进一系列先进制造技术图书，组成一套“国际制造业先进技术译丛”。当然其他国家的优秀制造科技图书也在选择之内。

(4) 内容先进丰富 在内容上应具有先进性、经典性、广泛性，应能代表相关专业的技术前沿，对生产实践有较强的指导、借鉴作用。本套丛书尽量涵盖制造业各行业，如机械、材料、能源等，既包括对传统技术的改进，又包括新的设计方法、制造工艺等技术。

(5) 读者层次面广 面对的读者对象主要是制造企业、科研院所的专家、研究人员和工程技术人员，高等院校的教师和学生，可以按照不同层次和水平要求各取所需。

四、鸣谢

首先要感谢许多热心支持“国际制造业先进技术译丛”出版工作的专家学者，他们积极推荐国外相关优秀图书，仔细评审外文原版书，推荐评审和翻译的知名专家，特别要感谢承担翻译工作的译者，对各位专家学者所付出的辛勤劳动表示深切的敬意，同时要感谢国外各家出版社版权工作人员的热心支持。

希望本套丛书能对广大读者的学习与工作提供切实的帮助，希望广大读者不吝赐教，提出宝贵意见和建议。

译者序

本书是一本可再生能源发电领域的读物，可作为该领域职业培训的教材使用。作者从原子结构和电流的产生这些最基本的知识讲起，详细地介绍了电阻器、电容器、电感器等电子元器件，以及电路的基本测量和计算方法，旨在为那些“零基础”的读者奠定一定的电气理论基础。随后本书介绍了在各类可再生能源电气系统中广泛应用的电池、逆变器、控制器等通用设备。本书的最后四章对光伏太阳能发电、风力发电和燃料电池技术进行了较为系统的讲解，并于中间穿插了对半导体、电磁感应和电机原理的介绍。与众多可再生能源发电方面的书籍相比，本书具有两个鲜明的特色。本书的第一个特色是融合性好。事实上这本书将基础电气理论和可再生能源发电的专业知识进行了有机的结合，正如作者所述，可以大致将本书分为上下两部分来使用。这样，在面向仅具有初级基础的人员开展教学时，本书可作为一本综合性教材，能为教师和学生省去不少麻烦。对于已经具备一定电气理论知识的读者，可以将前6章作为复习或参考，而把主要精力放在后7章的专业内容上。本书的第二个特色是实用性强。对于各种电气理论和概念，本书主要进行结论性的介绍，紧接着就会举出应用实例进行讲解，这使得读者能够提高对知识的运用能力，从而在较短的时间内掌握实用的技能。通过每章后面的习题，读者可以方便地对所学内容进行复习和小结。书中的“探索”题目促使读者进行更深一步的思考和开展相关问题的研究，从而在一定程度上弥补了本书深度不足的问题，使得结构体系更加完整。在翻译过程中，译者对原书中的个别问题进行了适当修正。在此向所有对本书翻译出版提供帮助的人们表示感谢，同时欢迎广大读者批评指正。

译者
于西安

致 谢

本书的作者和出版商对在本书编印过程中提供有益反馈和建议的以下审阅者表示感谢:

Sam Abboud, 圣马特奥学院/莱尼学院, 圣马特奥, 加利福尼亚州。

Ernest Arko, 新墨西哥中部社区学院, 阿尔伯克基, 新墨西哥州。

Wes Golomb, 湖区社区学院, 拉科尼亚, 新罕布什尔州。

Jeff Stevens, 阿尔弗雷德州立学院, 威尔斯维尔, 纽约州。

作者还要感谢那些为本书免费提供产品图片和技术参数的公司与个人。特别感谢 Solar Alchemy 公司, 他们第一个为作者提供图片并给予了作者鼓励。BOCES 培训学校 Ulster 分校的同事们也在本书撰写之时提供了帮助, 并为作者联系了出版商。同时, 还要特别感谢本书的编辑们, 他们学识渊博, 在书稿撰写和出版时给予了作者重要的指导。

前言

几年前,有人建议我开设一门电气理论的入门课程,受众对象是那些对光伏技术感兴趣以及准备从事可再生能源领域工作的人。

我的目标是开设一门短期课程,在使学生奠定坚实电气理论基础的同时,突出太阳电池技术,从而使学习该课程的学生能够参与到综合性的光伏项目中。

我曾经考虑选取一本书来构建这门课程,该书可作为课程的教学用书。然而我找不到一本合适的书能与我的目标吻合。有一些书用800多页来详细讲授直流和交流电气理论,有的书聚焦于半导体技术,有些书旨在使读者深入学习光伏电池或燃料电池技术却只对电气理论进行了非常概要的讲述(他们假定读者懂得电气理论和实际应用方面的知识)。因此,我不得不撰写了许多“注解”用于这门课程。

本书就是源于这些注解和我在课堂上的讲授。然而,尽管我的这些注解和讲座主要采用了光伏技术的电气实例,本书仍然可以为光伏、风电和燃料电池系统提供坚实的电气理论基础。同时,前7章所讲授的内容是所有相关从业者为理解任何可再生能源发电系统时所应当知悉的。

在许多情况下,可再生能源系统的安装者、现场技师、系统设计者和产品工程师之间均存在知识的差距。这些人常常无法进行技术交流,只因为缺乏基本的电气理解或基础技术语言。

在可再生能源发电系统的建设中,技师、设计人员、安装者和工程师必须组成团队、协同工作。本书在可再生能源从业者的实践和理论之间搭建了一座桥梁,并介绍了常用的技术语言和知识基础。

本书的第一部分涵盖了直流电(DC)和交流电(AC)的电路及原理。还介绍了测量仪表、欧姆定律、无功功率、功率因数、单相和三相电、变压器和蓄电池等内容。

本书第二部分涵盖了光伏和风电系统均在使用的控制器和逆变器。讲述了相关光伏器件的工作原理,包括辐照强度、温度与 $I-V$ 曲线的关系等。同时介绍了电池材料和制造方法,阐述了如何利用最大功率点跟踪器来提高系统的效率,并讨论了其在不同系统的应用。

对风力机的学习则从风功率密度是如何受到风速和风轮扫掠面积的影响开始的。本书讨论了风力机输出功率的计算方法,以及影响输出功率效率的因素。设计者可以从相关图表中得到所需系统应用的数据。本书还讨论了包括异步感应电

机在内的风力发电机，并阐述了其在不同系统中的应用。

燃料电池是通过燃料的电化学反应而不是直接燃烧来发电的。燃料电池的输出是电能、水和某些应用场合产生的少量二氧化碳。燃料电池因可以利用可再生能源而被归入本书。本书的最后一章介绍了氢-氧燃料电池的工作原理，解释了在阴极和阳极发生的化学反应，并阐述了电池电解质的关键功能。最后一章还介绍了工作温度、压力和各种电解质对于燃料电池系统应用的影响。

本书具有的许多特点可以帮助读者更好地理解这些理论和应用，例如：

1) 本书没有用专门的章节讨论电气测量仪表的设计，而是结合具体应用介绍了用仪表进行电路测量的方法以及仪表特点对测量结果的影响。

2) 本书并未单独介绍变压器，而是结合电力传输和配电对其进行了讲解。在讨论磁感应和互感原理时，对变压器的工作过程也有所述及。

3) 光伏电池由半导体材料制成，因此在讨论光伏电池的设计制造时首先对半导体理论进行了介绍。二极管的工作原理也是在讲授光伏电池设计时进行了介绍。

4) 感应式电动机和发电机也是在介绍风力发电机时进行了讲解，而并未独立讲授。

5) 每章都附有“探索”题目，旨在促使读者进一步学习相关内容，但是并未展开介绍。

6) 大部分电气理论书籍采用电池组或常见的交流市电作为电源，但是本书中的许多例子则使用光伏系统和风力机作为发电源。

“水涨众船高”愿那些与我们一同开始这段学习旅程的人们好运!

Gary Goodstal

目 录

译丛序	1
译者序	2
致谢	3
前言	4
绪论	1
第1章 原子	3
1.1 原子的结构	4
1.2 电流	7
1.3 电荷法则	8
1.4 电气材料	8
1.5 光的特性	9
第2章 电气测量与欧姆定律	11
2.1 电流	12
2.2 安培	12
2.3 电路	15
2.4 电压	18
2.5 电压表	20
2.6 欧姆	22
2.7 欧姆表	23
2.8 选择仪表的量程	29
2.9 欧姆定律	30
2.10 故障电路的诊断	31
2.11 功率	34
2.12 使用国际单位制词头	38
第3章 电阻器、电容器和电感器	42
3.1 电阻器	42
3.2 电容器	48

3.3	电感器	52
3.4	元件的测试	54
第4章	串联直流电路	57
4.1	串联电路中的电流	57
4.2	串联电路中的电压	58
4.3	串联电路中的电阻	59
4.4	串联电路中的功率	59
4.5	计算串联电路参数的规则	60
4.6	压降的极性	62
4.7	测量对地电压	63
4.8	电源的串联	64
第5章	并联直流电路	71
5.1	并联电路	71
5.2	计算并联电路参数的规则	82
5.3	恒流源	82
5.4	分流电路	83
5.5	串-并联电路	85
第6章	交流电介绍	91
6.1	交流电相对于直流电的优点	92
6.2	公共电网	92
6.3	电磁场	93
6.4	变压器原理	94
6.5	直流和交流波形	97
6.6	三相交流电	104
第7章	交流$R-C$和$R-L$电路	108
7.1	交流电路中的电容器	108
7.2	阻抗	110
7.3	$R-C$ 电路	111
7.4	交流电路中的电感器	114
7.5	$R-L$ 电路	114
7.6	有功功率、无功功率和视在功率	117

7.7 $R-C$ 电路的功率	117
7.8 $R-L$ 电路的功率	121
7.9 $R-L-C$ 电路	123
7.10 功率因数	125
7.11 功率因数校正	128
第8章 电池	132
8.1 电池的发展历程	132
8.2 一次电池	133
8.3 二次电池	133
8.4 内阻	134
8.5 电解质	135
8.6 放电过程	135
8.7 充电过程	136
8.8 电池的结构	137
8.9 硫酸盐化	137
8.10 层化	138
8.11 荷电状态	138
8.12 放电速率	138
8.13 容量	139
8.14 自持时间	140
8.15 放电深度	140
8.16 电池的充电方法	140
8.17 电池的类型	141
8.18 氢-氧燃料电池	142
8.19 电池使用的通用安全防护规定	143
8.20 电池的串联、并联和串-并联	144
8.21 电池组的规模设计	145
第9章 逆变器、控制器及其应用	148
9.1 光伏电池的特性	149
9.2 逆变器	150
9.3 逆变器的输出波形	152
9.4 效率	156
9.5 谐波失真	157

9.6	生成修正方波	158
9.7	生成正弦波	159
9.8	正弦波逆变器	160
9.9	脉冲宽度调制	161
9.10	组串型逆变器和微型逆变器	165
9.11	电网电力的质量	166
9.12	孤岛效应	166
9.13	逆变器的应用	166
9.14	最大功率传输	169
9.15	最大功率点跟踪	171
9.16	DC - DC 变换器	176
9.17	浪涌电流	180
9.18	充电控制器	180
9.19	利用 PWM 控制器产生充电电流	184
9.20	电池的记忆	185
9.21	控制器的选择及特性	185
9.22	电源配电柜	186
9.23	光伏组件的可靠性	187
9.24	逆变器和控制器的标准	188
9.25	成功的筹划	188
第 10 章	光伏电池与应用	192
10.1	光伏电池	193
10.2	掺杂	193
10.3	半导体理论	193
10.4	光伏作用	195
10.5	太阳辐射波谱	195
10.6	电池电压和电流	196
10.7	$I - V$ 曲线	198
10.8	单体和组件通过连接增加电压和电流	199
10.9	$I - V$ 曲线上的 MPP	202
10.10	太阳辐射强度 (辐照度) 的变化对电流和电压的影响	203
10.11	电压、电流与温度的关系	204
10.12	电学和热学特性	205
10.13	温度系数	205

10.14	计算温度变化后的 V_{OC} 和 P_{MPP}	206
10.15	标准测试条件	207
10.16	测试光伏阵列与绘制 $I-V$ 曲线	208
10.17	转换效率	209
10.18	串联组件的 $I-V$ 曲线	210
10.19	并联组件的 $I-V$ 曲线	211
10.20	作为电流源的光伏器件	212
10.21	填充因子	214
10.22	防反二极管	215
10.23	旁路二极管	216
10.24	性能	216
10.25	系统的效率	218
10.26	电池材料和制造工艺	218
10.27	组件安装	219
10.28	光伏组件的规模选择	220
10.29	场地评估	221
10.30	组件测试与性能	222
10.31	面板认证	223
第 11 章 风力机功率测量与机械结构		
11.1	风力涡轮机的基本设计方案	227
11.2	风速	227
11.3	风能密度	229
11.4	面积对功率的影响	230
11.5	贝兹法则	231
11.6	采用风速表和分布图确定风能密度	232
11.7	$1/7$ 幂定律	233
11.8	功率曲线	235
11.9	年发电量	237
11.10	效率	237
11.11	容量系数	238
11.12	风力机的机械构造简介	238
11.13	超速控制	241
11.14	齿轮箱	241

第 12 章 风力机与发电	243
12.1 电动机的基本原理	244
12.2 基本交流电动机	244
12.3 交流感应发电机	246
12.4 三相交流电	246
12.5 三相发电机	247
12.6 三相旋转磁场	248
12.7 异步感应发电机	250
12.8 转差	251
12.9 转矩 - 转速曲线	252
12.10 笼型感应转子	253
12.11 有功功率与无功功率	255
12.12 绕线转子感应电动机	255
12.13 三相绕线转子异步感应发电机	256
12.14 双馈感应发电机	256
12.15 带有叶片转速和桨距控制的双馈感应发电机	258
12.16 三相同步发电机	260
12.17 关于感应式电动机和发电机的更多讨论	261
12.18 发电机的频率	262
12.19 发电机的输出电压和电流	263
12.20 机械功率	264
12.21 效率	264
12.22 发电机的并联	265
12.23 风力机的配置	266
12.24 三相交流电压、电流和功率的计算	269
12.25 三相功率	270
12.26 平衡与非平衡负载	272
12.27 电力传输	272
12.28 电网连接	274
12.29 风电场	274
12.30 风力机的额定功率	275
第 13 章 燃料电池	278
13.1 一些有用的术语	279
13.2 什么是燃料电池?	279

13.3 电解	281
13.4 燃料电池的工作原理	282
13.5 氢氧燃料电池的电气特性	283
13.6 燃料电池的基本电化学反应	285
13.7 电池堆叠	285
13.8 燃料电池的优点	287
13.9 燃料电池的类型	288

附录	301
----	-----

术语表	313
-----	-----