



电气工程手册

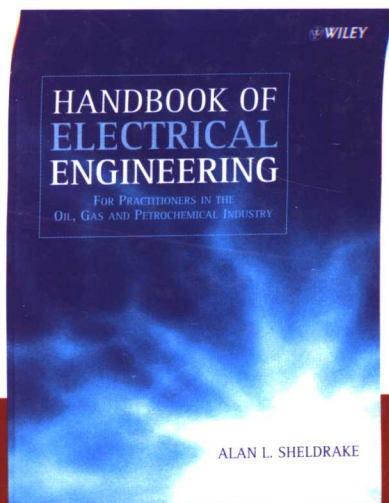
——石化、石油、天然气行业电气工程师用书

Handbook of Electrical Engineering
for Practitioners in the Oil, Gas and Petrochemical Industry

[印度] 艾伦 L. 谢尔德拉克 (Alan L. Sheldrake) 著

孙洪程 马 昕 王同浩 译

Chemical Industry Press



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

电气工程手册

——石化、石油、天然气行业电气工程师用书

[印度] 艾伦 L. 谢尔德拉克 (Alan L. Sheldrake) 著

孙洪程 马 昕 王同浩 译



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

电气工程手册——石化、石油、天然气行业电气工程师用书/[印度]谢尔德拉克 (Sheldrake, A. L.) 著; 孙洪程, 马昕, 王同浩译. —北京: 化学工业出版社, 2005. 8

书名原文: Handbook of Electrical Engineering: for Practitioners in the Oil, Gas and Petrochemical Industry

ISBN 7-5025-7628-2

I. 电… II. ①谢…②孙…③马…④王… III. ①石油化工-电气工程-工程师-手册②石油工业-电气工程-工程师-手册③天然气工业-电气工程-工程师-手册 IV. TE-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 116832 号

Handbook of Electrical Engineering: for Practitioners in the Oil, Gas and Petrochemical Industry/by Alan L. Sheldrake

ISBN 0-471-49631-6

Copyright©2003 by John Wiley & Sons Ltd. All rights reserved.

Authorized translation from the English language edition published by John Wiley & Sons Ltd.

本书中文简体字版由 John Wiley & Sons Ltd. 授权化学工业出版社独家出版发行。未经出版者许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2004-1413

电气工程手册

——石化、石油、天然气行业电气工程师用书

[印度] 艾伦 L. 谢尔德拉克 著

孙洪程 马昕 王同浩 译

责任编辑: 刘哲 宋辉

责任校对: 顾淑云 宋玮

封面设计: 尹琳琳

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

http://www.cip.com.cn

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 34 字数 684 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7628-2

定价: 69.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

译 者 的 话

电气系统是工业生产过程中非常重要的支撑系统。安全稳定的电气系统是生产过程正常运行的保证。现代工业中，特别是某些大型的现代生产过程，没有一个安全可靠的电力系统是难以想像的。电气系统的规划、设计、实施与应用涉及到很多方面的知识，内容非常繁杂，如果能有一本既有理论描述，又有工程分析，并且附有大量工程实例的电气工程手册，那将会对电气工程师提供很大的帮助。

本书是一本非常好的电气工程专业手册，该书基本涵盖了电气工程中各个方面的问题。书中主要针对电气工程各个方面进行了详尽的理论描述和工程分析。又有大量的工程计算，内容比较详实、丰富。该书包括电气工程中的电力负荷估算、自备电站配置、故障计算和稳定性研究、继电保护、接地和屏蔽系统等工程问题；同时还包括发电机、电动机、变压器、电力电子元器件等电气设备的内容。与其他电气工程书籍相比，该书中包含了危险场所的分类与设备的选择内容，这些内容对于石油、天然气、石化行业是至关重要的。书中还介绍了电气设备的选择、技术规格书制订等商务内容。这些内容也是电气工程实施过程中不可缺少的。

该书所涉及的行业包括石油、天然气、石化行业，所涉及的装置包括海上生产平台、钻井系统、陆基天然气厂、输送管道、液化天然气厂、管道泵站、炼油厂和化工厂等，使用领域非常广泛。该书的特点是既有电气工程的一般应用，同时具有非常浓重的行业特色。

本书作者是一位具有丰富电气专业知识的学者，具有坚实的理论水平和丰富的从业经历，特别是在石油、天然气、石化行业的从业经验，这些经验在工程实践中是非常宝贵的。作者在世界各地的许多石油化工企业工作过，受雇于多个世界著名的工程公司，大部分工作围绕着电厂设计、电气系统规划等工作。多年来曾经担任过首席电气工程师、高级电气工程师、多专业项目负责人、顾问以及公司理事等。从这些经历可以看出，该书作者是一位既有高深的理论造诣，又有丰富工程实践的专家。

该书可作为电气工程从业人员的工具参考书，也可作为电气专业本科生、研究生的参考教材。同时，对于工艺专业、设备专业、自动化专业人员也有一定的参考价值。

本书由马昕翻译第1~6章、第14章、第16章；孙洪程翻译第7~13章，第15章、第17~20章由戚建国翻译；附录A~I及关键词英汉对照部分由王同浩翻译。全书由孙洪程统稿。水平有限，疏漏难免，还请各位同仁斧正。

译者

2005年6月

序

石油、天然气以及石化企业需要使用电气供电和电气设备为安全有效的生产运行提供保证，在过去的 50 年里，电气工程行业得到了巨大发展，因此急需出版一本通俗易懂的书来讨论这一复杂深奥的主题。

如果一个有经验的工程师考虑退休，他经过努力获取的全部知识都有可能消失，这是非常令人遗憾的。因此我很高兴艾伦 L. 谢尔德拉克博士不辞辛苦地将他的知识在此记录下来。本书覆盖了现代石油、天然气以及石化企业所需的电气供电的设计、电气设备的技术规范以及存在着潜在危险和可靠性需求的生产场所的发电、供电、保护、用电和安全性问题。

作为一个咨询工程师，我所遇到过的许多问题在此都进行了描述，我只希望这本书尽快问世，为使用者提供详细的解释和说明，以供参考。

这是一本每个石化行业电气工程师的案头都应必备的书，在我的有生之年曾读过许多关于这一主题的书，但没有一本书像本书这样通俗易懂。

每个年轻工程师都应读一读本书，每个需要检查自己设计的有经验的工程师都应深入研究本书，学生们更会在本书中发现对自己的研究有帮助的理论。

本书简单明了地列出了参考资料，包含许多工程示例。对于那些没有时间仔细阅读本书的读者，书中给出了实用的索引（译书中作为英汉关键词对照——编者注。）。

David A. Jones 博士
FREng FIEE FRSA MRI
电气工程师协会 (IEE) 前任主席
前咨询工程师

前 言

本书可用作石油、天然气以及石化企业进行电气工程实施的使用手册，本书作者曾在不同国家为石化企业的员工和大学生进行有关电力系统的系列讲座，本书内容即是在此基础上形成的。书中浓缩了作者多年的知识累积和实践经验。

书中包括了系统设计所必需理论的介绍，同时介绍了选择各种类型的电气设备与系统的实践指导，而这些都是诸如海上生产平台、钻井系统、陆基天然气厂、输送管道、液化天然气厂、管道泵站、炼油厂和化工厂等生产单位经常会遇到的问题。

本书既有足够的数学分析，同时也有很多的实践示例，书中注重从用户的角度出发，为读者提供进行工厂设计所需使用的资料。书中介绍流程工业电气工程师经常会遇见的问题，经常会参考的其他文字、书籍和国际标准，可指导读者作为进一步阅读的资料来源。

流程工业使用的电力系统与公用的大规模发电和远距离输配电所使用的电力系统有明显不同的特征。一个重要区别是这些系统中普遍采用自备发电设备，与公用系统连接在一起使用时几乎没有可靠性问题，这就要在系统中配备备用设备和储能设备，考虑这些设备的相互连接与配置问题。通常这些系统中含需要直接在线启动的大型感应电机，这种大型设备是不允许在公用电网中使用的。因此设计系统时必须保证这些设备的启动不能对其他正在运行的设备造成很大干扰。

着手制定详细方法和使用计算机程序之前，工程师经常会采用一些经验方法对系统进行快速有效的估算，本书会为设计工程师提供一些详细的示例，这些示例中含有一些描述所研究问题的实际参数和数据。有些示例初看起来非常冗长，但是这些示例说明了细节背后的原因。多数情况下这些示例是针对实际问题给出的，这些示例可以很容易地在个人计算机中进行编程，采用单步运行方式，其结果可用来检查程序代码。一旦写好程序，改变输入数据就可以用作其他实际问题，因此可以在非常短的时间里获得有用的结果。

本书中各章的顺序是按照规划和设计一个项目的一般过程编排的。第一步是估算装置全部电力消耗或负载，然后需要决定如何为负载供电，例如可利用公用电网或自备发电机，或者是两者结合起来供电。

接下来是开发合理的分布式系统，可包含各种类型的设备和电机，这些设备和电机在后面章节中将会依次加以介绍。

附录中包含有常用缩略语的详细列表、相关的国际标准、各种计量单位之间的换算系数、详细计算的示例、IEEE关于保护和控制设备的编号系统及其在石油、天然气以及石化企业中应用的介绍。

所有图及图表由图形软件包生成，是用Fortran 77语言为本书特别编写的。

本书是第一次出版，作者非常愿意接受任何评论、建议和补充，以便本书再版时做出修正。

致 谢

我非常感谢以下诸位：感谢 Roselie 夫人热心地录入本书的草稿；感谢 N. Suma latha 小姐耐心地安排各种编辑周期；感谢 Diva Kumar 先生解决了工作中使用的各种电脑所出现的一系列问题，尤其感谢他帮助我准备了大量框图。

同时感谢英国开关装置与仪表有限公司允许我使用其配电盘和电机控制装置计算机管理系统的部分材料。

感谢英国 ALSTOM（阿尔斯托姆）电力有限公司允许我使用其单轴和双轴燃气轮机的转速监测系统原理框图。

我在第 9 章中引用了英国 Anixter（安尼斯特）导线和电缆公司“电缆手册（第 3 期）”中的数据作为参考，为此向贵公司表示感谢。

过去 10 年间，尤其是最近一段时间，我从前在丹麦的 Qatar（卡塔尔）通用石油股份公司以及 Maersk Olie og Gas A/S 的同事们给予我许多鼓励；还有许多在制造行业工作的同伴和朋友们，多年来我们分享了许多快乐时光。

写作本书的想法来源于 20 世纪 80 年代中期进行讲座的经历，当时我在伦敦 Spencer Landes 先生的公司工作，Landes 先生也鼓励我完成本书的写作。

我还要向已故的 Eric Laithwaite 教授和 Bernard Adkins 博士致以谢意，在 1968 年他们为我提供了难得的机会，可以申请到帝国大学参与他们的硕士学业学习。这个环境是不寻常的，他们打破常规，抽出时间耐心地与我面谈。他们将信任传递给我，从此以后我义无反顾，勇往直前。

关 于 作 者

作者的职业生涯从1960年开始，作为英国中心电气发电事业局（CEGB）的学徒在一个火力发电站工作。他用6年的时间对电厂的维护和操作有了全面的掌握，并为CEGB服务至1975年，期间他在CEGB的代理、研发和规划等部门工作过。

从1975年开始，作者在世界各地的许多石油化工企业工作过，受雇于多个世界著名的工程公司，大部分工作围绕着电厂的详细设计和概念设计，例如海上工作平台、天然气厂、液化天然气厂、肥料厂和精炼厂的电力供应等。他的职务包括首席电气工程师、高级电气工程师、多专业项目负责人、顾问以及公司理事等，在这些项目中，他为不同的石化公司的年轻工程师们开设过关于发电、配电、仪表设备、控制和安全等各种主题的讲座，他还参与了关于危险区域设备的会议以及许多面向研究生的学术讲座。

作者于1968年在伦敦帝国大学获得电力系统专业的硕士学位，又于1976年作为非全日制学生从帝国大学获得博士学位。他是英国IEE会员、美国IEEE高级会员、英国管理人协会会员。

目 录

第 1 章 装置电力负荷估算	1
1.1 单线图初步	1
1.2 负载调度	2
1.3 电源容量的确定	8
1.4 裸电缆馈电与变压器馈电的备用容量.....	11
1.5 与原动机有关的发电机额定参数.....	12
1.5.1 低环境温度下运行.....	12
1.5.2 原动机的更新.....	12
1.6 与从动机相关的电机额定参数.....	12
1.7 单线图的开发.....	13
1.7.1 单线图要点.....	13
1.7.2 独立配电盘和电机控制装置.....	14
1.8 与其他专业的相互协调.....	15
1.8.1 工艺工程师.....	15
1.8.2 机械工程师.....	15
1.8.3 仪器仪表工程师.....	16
1.8.4 通信与系统安全工程师.....	16
1.8.5 生产装置与操作工程师.....	16
参考文献	16
第 2 章 燃气轮机驱动的发电机	17
2.1 燃气轮机发动机的分类.....	17
2.1.1 由航空工业派生的燃气轮机.....	17
2.1.2 轻工业燃气轮机.....	17
2.1.3 重工业燃气轮机.....	18
2.1.4 单轴与双轴燃气轮机.....	18
2.1.5 燃气轮机的燃料.....	20
2.2 由燃气轮机获取能量.....	20
2.2.1 低效率的压缩机与涡轮机的作用效果.....	23
2.2.2 发电机最大做功.....	25
2.2.3 比热容的变化.....	26
2.2.4 管道压降以及燃烧室压降的影响.....	27
2.2.5 热流率以及燃料消耗.....	28
2.3 燃气轮机的功率输出.....	30
2.3.1 机械能损耗以及电能损耗.....	30

2.3.2 电力装置设计阶段需要考虑的因素	31
2.4 燃气轮机启动方法	32
2.5 燃气轮机速度调整	33
2.5.1 开环转速-转矩特性	33
2.5.2 闭环转速-功率特性	34
2.5.3 燃气轮机调速系统	36
2.5.4 有静差调整的燃气轮机的负载分配	37
2.5.5 负载分配控制器	41
2.6 燃气轮机转速调整系统的数学模型	43
2.6.1 现代实践	43
2.6.2 转速调整系统典型参数值	48
参考文献	49
其他资料	49
第3章 同步发电机与同步电机	50
3.1 发电机与电机的共同之处	50
3.2 简化的发电机运行理论	50
3.2.1 稳态电枢反应	51
3.2.2 瞬态电枢反应	51
3.2.3 次瞬态电枢反应	52
3.3 电压与电流相量图	52
3.4 导出电抗	54
3.5 发电机传送的有功功率和无功功率	56
3.5.1 一般情况	56
3.5.2 凸极发电机特殊情况	57
3.5.3 凸极发电机简化情况	58
3.6 凸极发电机功率-角度图	59
3.7 发电机电压选择	60
3.8 发电机典型参数	60
3.9 高压发电机与高压感应电机的结构特点	62
3.9.1 外壳	63
3.9.2 电抗	63
3.9.3 定子绕组	64
3.9.4 接线盒	64
3.9.5 冷却方法	65
3.9.6 轴承	65
参考文献	66
第4章 自动电压调整	67
4.1 现代实践	67
4.1.1 测量电路	67

4.1.2	误差测量电路	68
4.1.3	功率放大器	68
4.1.4	主激励器	71
4.2	IEEE 标准自动电压调整模型	72
4.2.1	示例一	74
4.2.2	示例二	74
4.2.3	饱和常数的确定	74
4.2.4	自动电压调整系统典型参数值	78
	参考文献	78
第 5 章	感应电机	79
5.1	三相电机运行原理	79
5.2	基本特性	80
5.2.1	电机转矩-转速特性	80
5.2.2	电机启动电流-转速特性	85
5.2.3	负载转矩-转速特性	86
5.2.4	电阻和电抗改变时对特性曲线的影响	87
5.2.5	示例	88
5.2.6	两极和四极感应电机的典型阻抗数据	91
5.2.7	用两条并联支路描述深槽效应	94
5.3	感应电机结构	96
5.4	缩减系数	97
5.5	电机额定功率和从动机额定功率的匹配	98
5.6	电源电压对额定功率的影响	99
5.7	系统故障等级的影响	99
5.8	电缆电压降的考虑	100
5.9	电机的临界时间	101
5.10	感应电机启动方法	101
5.10.1	星-角方法	102
5.10.2	科恩道夫自动变压器方法	102
5.10.3	电力电子学软启动方法	104
5.10.4	串电抗器方法	104
5.10.5	部分绕组方法	104
	参考文献	104
第 6 章	变压器	106
6.1	工作原理	106
6.2	变压器效率	108
6.3	变压器调整率	108
6.4	三相变压器绕组连接	109
6.5	变压器结构	111

6.6	变压器浪涌电流	113
	参考文献	115
第7章	开关装置与电机控制装置	116
7.1	公用词汇	116
7.2	结构	116
7.2.1	电源汇流排	117
7.2.2	接地汇流排	118
7.2.3	馈线与汇流排开关装置	118
7.2.4	分离类型	120
7.2.5	环境温度的影响系数	121
7.2.6	额定标称电流	121
7.2.7	故障峰值电流	121
7.2.8	基频 AC 部分	122
7.2.9	DC 部分	122
7.2.10	双频 AC 部分	123
7.2.11	故障分断电流	123
7.2.12	故障周期	126
7.3	开关装置	126
7.3.1	开关装置的出口开关装置	126
7.3.2	MCC 的出口开关装置	126
7.4	MCC 的出口电路熔断器	127
7.5	安全联锁装置	128
7.6	控制与指示装置	129
7.6.1	电机的再启动与再加速	129
7.6.2	微机化系统	130
7.7	铸壳断路器	133
7.7.1	与熔断器比较	133
7.7.2	工作特性	133
7.7.3	预期电流与切断电流	134
7.7.4	I^2t 特性	135
7.7.5	断路器的完全串接与部分串接	135
7.7.6	断路器串联下相互协调示例	137
7.7.7	成本与经济性	141
	参考文献	141
第8章	熔断器	142
8.1	概述	142
8.2	熔断器的工作过程	143
8.3	电路阻抗比的作用	143
8.4	I^2t 特性	144

参考文献	149
第9章 电缆、电线及电缆敷设	150
9.1 电缆中电气材质	150
9.1.1 铜和铝	150
9.1.2 锡	151
9.1.3 磷青铜	151
9.1.4 电镀钢板	152
9.1.5 铅	152
9.2 电缆中非导电材料	153
9.2.1 橡胶	153
9.2.2 弹性材料	153
9.2.3 聚合物	153
9.2.4 塑料	153
9.2.5 树脂	154
9.2.6 热塑性树脂	154
9.2.7 热固性树脂	155
9.3 电力电缆与控制电缆的结构	156
9.3.1 电缆结构说明	156
9.3.2 导线	157
9.3.3 导线的半导体屏蔽层	160
9.3.4 绝缘	161
9.3.5 绝缘层的半导体屏蔽	161
9.3.6 内护套	161
9.3.7 铅护套	162
9.3.8 铠装电缆	162
9.3.9 外护套	162
9.4 电力电缆的额定电流	162
9.4.1 持续负载电流	163
9.4.2 电缆额定持续电流	163
9.4.3 电缆电压降	172
9.4.4 过流保护	197
9.5 增强型电缆	198
9.5.1 阻燃性能	198
9.5.2 耐火性能	199
9.5.3 散发毒气与烟气的性能	199
9.5.4 阻燃电缆与耐火电缆的应用	200
参考文献	200
第10章 危险区域分类与设备选择	201
10.1 历史发展	201

10.2	当前情况	201
10.3	危险区域分类基础	202
10.3.1	气体与蒸汽	203
10.3.2	温度类别	203
10.3.3	气体与蒸汽分组	203
10.4	危险区	204
10.4.1	非危险区域	204
10.4.2	危险区域 2 区	204
10.4.3	危险区域 1 区	204
10.4.4	危险区域 0 区	205
10.4.5	相邻危险区	205
10.5	危险区保护类型	205
10.5.1	d 型保护类型	206
10.5.2	e 型保护类型	206
10.5.3	i 型保护类型	207
10.5.4	m 型保护类型	207
10.5.5	N 型和 n 型保护类型	207
10.5.6	o 型保护类型	208
10.5.7	p 型保护类型	208
10.5.8	q 型保护类型	209
10.5.9	s 型保护类型	209
10.5.10	de 型保护类型	209
10.6	防水和防尘保护类型	210
10.6.1	欧洲标准	210
10.6.2	美国标准	211
10.7	危险区域设备认证	213
10.8	设备铭牌标记	214
	参考文献	214
	其他资料	215
第 11 章	故障计算与稳定性分析	216
11.1	概述	216
11.2	高压恒压源	216
11.3	低压恒压源	218
11.4	非恒压源——所有电压等级	219
11.5	故障发生在发电机一侧时的故障计算	220
11.5.1	故障前条件或初始条件	220
11.5.2	计算对称故障电流的有效值	221
11.6	计算次瞬态过程对称故障电流有效值分量	224
11.7	采用倍增系数对 11.6 节中的故障电流 I''_{frms} 进行计算	231

11.7.1	示例	231
11.7.2	分断电流能力	233
11.8	计算故障电流的计算机程序	234
11.8.1	故障电流计算——对称电流的有效值和峰值	235
11.8.2	最简单情况	235
11.8.3	已知电路的阻抗比	235
11.8.4	已知发电机的详细数据	235
11.8.5	电机对故障电流的影响	235
11.9	电抗器的应用	236
11.10	关于 IEC60363 和 IEC60909 的应用说明	240
11.11	稳定性分析	241
11.11.1	静态稳定性	241
11.11.2	瞬态稳定性	244
	参考文献	248
	其他资料	249
第 12 章	继电保护	250
12.1	过流保护介绍	250
12.2	发电机保护	252
12.2.1	电源发电机	252
12.2.2	过流	253
12.2.3	定子微分电流保护继电器	256
12.2.4	磁场故障继电器	257
12.2.5	反向作用功率继电器	258
12.2.6	反相序继电器	259
12.2.7	定子接地故障继电器	259
12.2.8	端子电压过压保护	261
12.2.9	端子电压欠压保护	261
12.2.10	欠频与超频保护	261
12.3	应急柴油发电机	262
12.4	馈线变压器保护	262
12.4.1	过流保护	264
12.4.2	高设定或瞬间电流	266
12.4.3	上游电源设备特性	267
12.5	电源电缆保护	268
12.5.1	过流保护	268
12.5.2	短路保护	268
12.5.3	接地故障保护	268
12.6	配电盘中的汇流排	269
12.6.1	汇流排区段保护	269

12.6.2	过流保护	270
12.6.3	欠压保护	270
12.7	高压感应电机保护	271
12.7.1	过载或热保护	272
12.7.2	瞬间过载电流或高设定过载电流	274
12.7.3	反相序	274
12.7.4	线芯平衡接地故障	274
12.7.5	定子微分电流	275
12.7.6	失电流	275
12.7.7	限定电机连续启动次数	276
12.7.8	欠电流	276
12.7.9	绕组超温	276
12.7.10	轴超温	276
12.7.11	剧烈振动	276
12.8	低压感应式电机	277
12.8.1	过载或热保护	277
12.8.2	瞬间或高设定过流	278
12.8.3	反相序	278
12.8.4	线芯平衡接地故障	279
12.8.5	失电流	279
12.8.6	限定电机连续启动次数	279
12.9	低压静态负载保护	279
12.9.1	延时过流保护	279
12.9.2	瞬时或高设定过流保护	280
12.9.3	线芯平衡接地保护	280
12.10	标准反比时间继电器、高反比时间继电器和超反比时间继电器的数学公式	280
	参考文献	282
第 13 章	接地与屏蔽	283
13.1	接地的用途	283
13.1.1	电击	283
13.1.2	设备损坏	284
13.1.3	零参考电位	285
13.2	现场设备	285
13.2.1	钢结构	285
13.2.2	就地装置	286
13.2.3	砖混结构	287
13.3	接地系统设计	287
13.3.1	高压系统	288

13.3.2	低压三相系统	289
13.3.3	IEC 中的接地系统类型	290
13.3.4	接地回路阻抗	294
13.3.5	接地棒与接地栅	296
13.4	接地的结构细节	299
13.4.1	金属框架、外壳与机柜钢架	299
13.4.2	螺纹孔入口和光孔入口	300
13.4.3	电缆单端接地	300
13.5	电子线路中电缆的屏蔽与接地	301
13.5.1	电容与电感机理	301
13.5.2	抗外部干扰的屏蔽层	302
13.5.3	屏蔽接地	305
13.5.4	高频屏蔽	306
13.5.5	电源接地、机柜与干净地	307
	参考文献	308
第 14 章	变速电气驱动	310
14.1	介绍	310
14.1.1	环境	311
14.1.2	电源	311
14.1.3	经济性	312
14.2	第一类方法	312
14.2.1	简单的变压电源	313
14.2.2	定子绕组变极	314
14.2.3	磁极调幅电机	315
14.2.4	绕线型转子感应电机	315
14.3	第二类方法	316
14.3.1	变压恒频供电	316
14.3.2	变频变压供电	316
14.4	变速直流电机	317
14.5	潜水泵	318
14.5.1	简介	318
14.5.2	潜水泵结构	318
14.6	交流电机控制系统	320
	参考文献	323
第 15 章	谐波电压和谐波电流	324
15.1	概述	324
15.2	整流器	325
15.2.1	二极管桥路	325
15.2.2	晶闸管桥路	327