



国际电气工程先进技术译丛

WILEY

电能效率：技术与应用

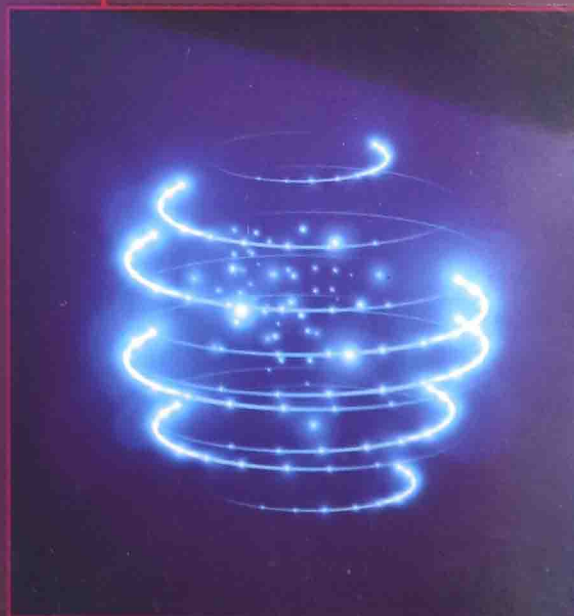
Electrical Energy Efficiency: Technologies and Applications

(西班牙) Andreas Sumper 著
(意大利) Angelo Bagгинi

阚江明 李胜 许彦峰 等译



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际电气工程先进技术译丛

电能效率：技术与应用

(西班牙) Andreas Sumper 著

(意大利) Angelo Baggini

阚江明 李 胜 许彦峰 等译



机械工业出版社

本书介绍了国外许多专家学者近些年在提高电能效率方面所做的工作和一些最新的成果。其内容涉及发电、输电、用电的各个环节,如分布式发电、变压器、电缆、电动机、照明、空调系统等主要电力设备的电能效率问题。同时还以建筑、工厂、数据中心等具体系统为目标,综合考虑提高电能效率的研究方案。

本书既可以作为高等学校电气工程相关专业高年级本科生和研究生的教材和参考书,也可作为企事业单位从事电气工程相关工作的电能设计工程师、安装工程师、M&E 设计师和经济工程师的参考手册,还可以作为能源研究者、政策制定者等从事电能效率相关工作的科技工作人员的辅导材料。

Copyright©2012 John Wiley & Sons, Ltd.

All Right Reserved. This translation published under license. Authorized translation from English language edition, entitled < Electrical energy efficiency. technologies and Applications >, ISBN: 978 - 0 - 470 - 97551 - 0, by Andreas Sumper, Angelo Baggini, Published by John Wiley & Sons. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder.

本书中文简体字版由机械工业出版社出版, 未经出版者书面允许, 本书的任何部分不得以任何方式复制或抄袭。版权所有, 翻印必究。

版权所有, 翻印必究。

北京市版权局著作权合同登记 图字: 01 - 2012 - 8707 号。

图书在版编目 (CIP) 数据

电能效率: 技术与应用/(西)萨姆普,(意)巴吉尼著; 阚江明等译. —北京: 机械工业出版社, 2014. 7

(国际电气工程先进技术译丛)

书名原文: Electrical energy efficiency, technologies and applications

ISBN 978-7-111-47145-5

I. ①电… II. ①萨…②巴…③阚… III. ①电能效率—研究
IV. ①TM92

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 137116 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: 顾 谦 责任编辑: 顾 谦

版式设计: 霍永明 责任校对: 纪 敬

封面设计: 马精明 责任印制: 刘 岚

北京云浩印刷有限责任公司印刷

2014 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·22.5 印张·443 千字

0001—2500 册

标准书号: ISBN 978-7-111-47145-5

定价: 98.00 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

社服务中心: (010) 88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

译者序

电能是我们最方便使用的能源形式，离开了电能，现代的生活简直不可想象。然而电能却主要来源于煤炭、石油、天然气等化石能源。这些化石能源的有限性和不可逆转性使我们随时面临着电能中断的威胁。化石能源的过度使用同时使我们的生存环境受到极大影响，环保问题已成为世界各国的战略性问题。我们正在努力寻找清洁的、可持续使用的新能源来替代化石能源进行发电，尽管已经有了很多成果，但目前距离完全替代化石能源的使用还相距太远。也许在当前，减少电能的消耗才是我们减少化石能源消耗、保护环境资源最直接、最有效的手段。减少电能消耗并不仅仅代表我们不使用或少使用电能，而是要减少电能的浪费，提高电能的使用效率。本书介绍了国外许多专家、学者近些年在提高电能效率方面所做的工作和一些最新的成果。其内容包括发电、输电、用电的各个环节，如分布式发电、变压器、电缆、电动机、照明、空调系统等主要电力设备的电能效率问题。同时还以建筑、工厂、数据中心等具体系统为目标，综合考虑电能效率的提高。这些方面我国的专家们研究得并不是很多，可以作为我们很好的借鉴。

本书第1、2、8章由阚江明、庞帅、崔鑫彤负责翻译，第3、6、9章由许彦峰、柏晓鹤、陈芑、张智鹏、刘欢负责翻译，第5、7、10章由李胜、朱阅、詹传栋、刘念、王亚雄负责翻译，第4、13章由郑一力、葛桃桃、单芳婷、李晨乐、魏豪杰负责翻译，第11、12章由闫磊、王明枝负责翻译。统稿由阚江明负责。由于译者水平有限，错误之处难免，欢迎广大同仁批评指正。

译者

原 书 序

毋庸置疑，能源安全和气候变化是被政策制定者讨论最频繁的两个话题。石油价格现在大概在 100 美元/桶，而且由于需求的增长和储量的持续减少，石油价格将会保持这个水平甚至可能会增长。在科学界，人类在气候变化上的影响已无争议，同时还有一些令人担忧的消息，例如不可逆转的影响也已经开始，只有显著降低 CO₂ 排放量才能减轻其对社会产生的巨大和成本高昂的影响。

作为许多国家和国际战略的关键组成部分，能源效率和能源保护得到了重视，用来减轻气候变化的影响，提高能源供应的安全性，增加竞争力，保护自然资源（其中包括能源、材料和水等），并且减少其他与能源相关的环境污染。然而，建筑、设备和工业系统领域从研发到实施在能源效率技术的投入远低于其在经济、能源和气候变化所应有的投入。

能源效率的政策、项目和支持方案仍然很需要克服来自市场、制度、财政和法律的障碍，并且在一个可以证明合理的经济行为水平上，为能源效率投资创造良好的市场。特别是对能源效率技术的支持方案上饱受争议，如大多数人认为未来能源节约成本的诸多考虑应该合理，能够激励终端用户应用能源效率技术。

另一个主要问题是我们要意识到如果想要减少不可避免的全面的气候变化影响，减少绝对能源需求才是最重要的。能源需求的降低可以通过改善服务提供（技术的方面）的能源效率和不通过进行技术改革（行为方面，例如减少过度加热或者过度制冷及减少驾驶）来实现能源节约。能源效率是实现能源节约的一个重要的组成部分，因为它允许在更少的能源消耗下具有相同的服务（例如照明、制冷和加热）。然而，改进的能源效率，也就是说用一个更有效率的技术去替代原有的技术，本身并不能保证节约能源。这里有大量相关案例，引入更高效的技术结果导致它的实际消耗量却增加，这是由于反弹效应或是更大、更多的装置与设备（体积更大、使用更频繁的设备）的安装造成的。

众多的政策制定者、经济学家和学者（来自科技、经济、政策和人类行为等各个方面）对能源效率和节能方面越来越感兴趣，这就需要更深入探索节能技术（例如控制系统、半导体照明、变速传动和真空绝缘装置），并且收集在政策和与

能源使用、消耗和行为相关的社会经济问题上的新证据。与此同时，随着在能源效率和能源节约领域的政策活动的增加，对于在不同的国家评价过去和现在的政策有一个新的需求，以此来表明能源效率在能源安全和减轻气候变化影响方面的明确贡献。

Paolo Bertoldi

欧盟委员会

联合研究中心

伊斯普拉，意大利

原书前言

能源效率技术是不同工程领域的一项常用（共性）技术，用来减少提供产品和服务所需要的能量。正如电能是人们所知的最为灵活的能量形式，且也是在工业和商业应用中最重要能源形式之一，因此电能效率值得特别关注。电能效率技术是一套用来提高电能应用效率的工程技术，这些工程技术应用得非常广泛，并且与电能质量工程及电能应用中的热能工程有所不同，还包括经济方面的内容。

在未来几年，连同电能安全一起，电能效率将会成为包括安装和建设等每一道工序的强制性设计准则。

电能效率工程的困难在于如何获得具体应用的整体认识。在大多数情况下，需要具备具体应用的专业知识，同时为了实现全面的效率目标，对于工业工序和要解决的问题的深入理解也是必需的。通常部分问题最优解决方案对工序的全面能源效率提供了一个适度的贡献。工程师应该掌握多学科的专业知识，例如电力应用、电能质量、控制技术和热能传递等相关专业知识。此外，工程师还应具有分析工业过程和决定需要采取什么样的效率行动的能力。

电能效率的提高与采取的效率措施的评价密切相关，主要由投资分析进行评价。高效的解决方法通常需要更高的投资，并且这些经常需要管理部门的许可。管理者也必须理解能源高效的解决方法是如何提高过程效率及如何实现更高的生产率。

在2000年，一个由学者和工业家组成的团体推动了一个由欧盟委员会联合资助的终身学习项目，该项目致力于被称作“莱昂纳多电能质量倡议”（Leonardo Power Quality Initiative, LPQI）的电能质量问题的解决，并组建了一个能源专家网络。该能源专家网络推动了数个后续项目，如LPQIves和莱昂纳多能源。关于这些项目的更多信息可以在莱昂纳多能源主页上查找到（<http://www.leonardo-energy.org>）。受到这些项目的启发，部分工作组成员撰写了Handbook of Power Quality（电能质量手册），该手册在2008年由Angelo Baggini编辑。

2008年在布鲁塞尔的一个项目会议上，能源专家们产生了撰写电能效率综合图书的想法，并且在随后的几年中，这本书的内容被逐渐撰写完成。

本书的创新之处是通俗易懂地向读者介绍提高电能效率技术与应用的知识。读者将会发现在这本综合性图书中，对电力工程最重要的工业和商业领域的电能效率技术都给出了专家观点。本书每一章都覆盖了一种不同的技术，这些技术的目的是在一个很宽泛的应用领域中实现节能目标。

在开始学习本书之前，我们要感谢来自不同国家对本书各章做出贡献的作者，没有他们的专业观点，这项工作是不可能完成的。我们希望你会饶有兴致地阅读本书。

Andreas Sumper, 巴塞罗那, 西班牙

Angelo Baggini, 帕维亚, 意大利

作者名单

Angelo Baggini
Industrial Engineering Department
University of Bergamo
Via Marconi 5 24044 Dalmine BG, Italy

Joan Bergas-Jané
Centre d'Innovació Tecnològica en
Convertidors Estàtics i Accionaments
(CITCEA)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Industrial de Barcelona
Av. Diagonal, 647. Planta 2 08028
Barcelona, Spain

Franco Bua
ECD Engineering Consulting and Design
Vai Maffi 21
27100 Pavia, Italy

Mircea Chindris
Electrical Power Systems Dept.
Technical University of Cluj-Napoca
15, C.Daicoviciu st.
400020 Cluj-Napoca, Romania

Andrei Czicker
Electrical Power Systems Dept.
Technical University of Cluj-Napoca
15, C.Daicoviciu st.
400020 Cluj-Napoca, Romania

Wim Deprez
Dept. Electrical Engineering ESAT

K.U. Leuven, Research group ELECTA
Kasteelpark Arenberg 10
3001 Heverlee, Belgium

Stefan Fassbinder
Beratung elektrotechnische Anwendungen
Deutsches Kupferinstitut
Am Bonnheshof 5
D-40474 Dusseldorf, Germany

Zbigniew Hanzelka
University of Science and Technology –
AGH
30-059 Cracow, Al. Mickiewicza 30
Poland

Joris Lemmens
Dept. Electrical Engineering ESAT
K.U. Leuven, Research group ELECTA
Kasteelpark Arenberg 10
3001 Heverlee, Belgium

Annalisa Marra
ECD Engineering Consulting and Design
Vai Maffi 21
27100 Pavia, Italy

Daniel Montesinos-Miracle
Centre d'Innovació Tecnològica en
Convertidors Estàtics i Accionaments
(CITCEA)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Industrial de Barcelona

Av. Diagonal, 647. Planta 2 08028
Barcelona, Spain

Paola Pezzini
Centre d'Innovació Tecnològica en
Convertidors Estàtics i Accionaments
(CITCEA)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Industrial de Barcelona
Av. Diagonal, 647. Planta 2 08028
Barcelona, Spain

Krzysztof Piątek
University of Science and Technology –
AGH
30-059 Cracow, Al. Mickiewicza 30,
Poland

Edris Pouresmaeil
Centre d'Innovació Tecnològica en
Convertidors Estàtics i Accionaments
(CITCEA)
Universitat Politècnica de Catalunya
(UPC)
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Industrial de Barcelona
Av. Diagonal, 647. Planta 2 08028
Barcelona, Spain

Jaume Salom
Institut de Recerca en Energia de Catalunya
(IREC)
Jardins de les Dones de Negre 1, 2^a pl.
08930 Sant Adrià de Besòs, Spain

Antoni Sudrià-Andreu
Centre d'Innovació Tecnològica en
Convertidors Estàtics i Accionaments
(CITCEA)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Industrial de Barcelona
Av. Diagonal, 647. Planta 2 08028
Barcelona, Spain

Andreas Sumper
Centre d'Innovació Tecnològica en
Convertidors Estàtics i Accionaments
(CITCEA)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)
Escola Universitària d'Enginyeria Tècnica
Industrial de Barcelona
Carrer Comte d'Urgell, 187 - 08036
Barcelona, Spain

and

Institut de Recerca en Energia de Catalunya
(IREC)
Jardins de les Dones de Negre 1, 2^a pl.
08930 Sant Adrià de Besòs, Spain

Waldemar Szpyra
University of Science and Technology –
AGH
30-059 Cracow, Al. Mickiewicza 30,
Poland

Roman Targosz
Polish Copper Promotional Centre
Plac Jana Pawła II 1-2
50-136 Wrocław, Poland

Roberto Villafáfila-Robles
Centre d'Innovació Tecnològica en
Convertidors Estàtics i Accionaments
(CITCEA)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)
Escola Universitària d'Enginyeria Tècnica
Industrial de Barcelona
Carrer Comte d'Urgell, 187 - 08036
Barcelona, Spain

Irena Wasiak
Politechnika Łódzka
Wydział Elektrotechniki, Elektroniki,
Automatyki i Informatyki
Instytut Elektroenergetyki
ul. Stefanowskiego 18/22
90-924 Łódź, Poland

目 录

译者序

原书序

原书前言

作者名单

第 1 章 能源效率标准化概述	1
1.1 标准	3
1.1.1 ISO	3
1.1.2 IEC	4
1.1.3 CEN 与 CENELEC	5
深入阅读材料	7
第 2 章 电缆和线路	8
2.1 热传递原理	8
2.1.1 传导	9
2.1.2 对流	9
2.1.3 辐射	9
2.2 架空电缆的额定电流值	10
2.3 经济因素	13
2.4 电流额定值计算：总体费用	14
2.4.1 CJ 估计	14
2.5 经济导体尺寸的决定	16
2.5.1 经济电流范围计算	16
2.5.2 给定负荷的经济导体尺寸计算	16
2.6 小结	17
参考文献	17
第 3 章 电力变压器	18
3.1 变压器中的损耗	20
3.1.1 无负荷损耗	20
3.1.2 有负荷损耗	20

3.1.3 辅助设施损耗	21
3.1.4 由于谐波、不平衡和无功功率所产生的额外损耗	21
3.2 效率和负荷因数	25
3.3 损耗和冷却系统	27
3.4 能效标准和规则	27
3.4.1 MEPS	32
3.4.2 强制性标识	32
3.4.3 非强制性项目	32
3.5 生命周期成本	35
3.5.1 变压器的生命周期成本	35
3.5.2 细节问题	38
3.6 设计、材料和制造	41
3.6.1 铁心	42
3.6.2 绕组	46
3.6.3 其他发展	47
3.7 案例研究——工业变压器的约束理论评价	48
3.7.1 方法	49
3.7.2 结果	50
3.A 附录	53
3.A.1 MEPS 选录	53
参考文献	60
深入阅读材料	61
第4章 楼宇自动化、控制和管理系统	62
4.1 节约能源的自动化功能	63
4.1.1 温度控制	64
4.1.2 采光	64
4.1.3 驱动器和电动机	65
4.1.4 技术报警和管理	65
4.1.5 远程控制	66
4.2 自动化系统	66
4.2.1 KNX 系统	67
4.2.2 SCADA 系统	71
4.3 自动化设备自身的消费	74
4.4 基本计划	75
4.4.1 加热和冷却	75

XII 电能效率：技术与应用

4.4.2	通风及空气调节	83
4.4.3	照明	93
4.4.4	遮光系统	96
4.4.5	建筑技术管理	96
4.4.6	建筑内的技术安装	97
4.5	建筑节能性能评估	99
4.5.1	欧洲标准 EN 15232	99
4.5.2	方法的比较	103
	深入阅读材料	108
第5章	电能质量现象与指标	109
5.1	电压有效值	110
5.1.1	电源	111
5.1.2	对能量效率的影响	111
5.1.3	调节方法	113
5.2	电压波动	114
5.2.1	扰动描述	115
5.2.2	电压波动的来源	115
5.2.3	效能与成本	117
5.2.4	缓解方法	119
5.3	电压和电流的不平衡	120
5.3.1	扰动描述	120
5.3.2	电源	121
5.3.3	效能与成本	121
5.3.4	缓解方法	124
5.4	电压和电流的畸变失真	125
5.4.1	干扰描述	125
5.4.2	失真源	127
5.4.3	能效与成本	128
5.4.4	缓解方法	132
	参考文献	138
	深入阅读材料	139
第6章	现场发电和微电网	140
6.1	分散能源技术	141
6.1.1	能量来源	141

6.1.2 能量储存	143
6.2 DG 在分布式电网中能源损耗的影响	148
6.3 微电网	151
6.3.1 概念	151
6.3.2 储能的应用	153
6.3.3 管理和控制	155
6.3.4 微电网中的电能质量和可靠性	157
参考文献	158
深入阅读材料	160
第7章 电动机	161
7.1 电动机损耗	162
7.1.1 功率平衡和能源效率	162
7.1.2 损耗分类	164
7.1.3 影响因素	166
7.2 电动机能效标准	170
7.2.1 功能分类标准	170
7.2.2 测量标准	171
7.2.3 变速驱动器的未来标准	177
7.3 高效电动机技术	178
7.3.1 电动机材料	180
7.3.2 电动机设计	188
7.3.3 电动机制造	192
参考文献	194
第8章 照明	196
8.1 能源和照明系统	196
8.1.1 照明系统中的能源消耗	196
8.1.2 照明系统的能源效率	197
8.2 规定	199
8.3 照明系统技术进展	200
8.3.1 高效光源	200
8.3.2 高效镇流器	205
8.3.3 高效灯具	206
8.4 室内照明系统的能源效率	207
8.4.1 支持能源效率的政策	207

8.4.2	改造还是重新设计	209
8.4.3	照明控制	211
8.4.4	采光	215
8.5	户外照明系统的能源效率	216
8.5.1	高效光源和灯具	216
8.5.2	户外照明控制	218
8.6	照明系统维护	221
	参考文献	222
	深入阅读材料	224
第9章	电气驱动和电力电子	225
9.1	感应电动机和 PMSM 的控制方法	227
9.1.1	V/f 控制	228
9.1.2	矢量控制	231
9.1.3	DTC	233
9.2	能量最优控制法	235
9.2.1	变换器的损耗	236
9.2.2	电动机损耗	236
9.2.3	能量最优控制策略	237
9.3	VSD 拓扑结构	237
9.3.1	输入阶段	238
9.3.2	直流母线	239
9.3.3	逆变器	240
9.4	功率半导体的新趋势	241
9.4.1	调制技术	241
9.4.2	不同调制方式的回顾	243
	参考文献	250
	深入阅读材料	252
第10章	工业热处理	253
10.1	工业电力加热的通用特性	256
10.2	主要电加热技术	259
10.2.1	电阻加热	259
10.2.2	红外加热	265
10.2.3	感应加热	268
10.2.4	介电加热	271

10.2.5 电弧炉	278
10.3 增加工业加热进程中能源效率的具体方法	279
10.3.1 更换传统加热技术	279
10.3.2 选择最合适的电子技术	281
10.3.3 现代电子技术设备效率的提高	281
参考文献	284
深入阅读材料	285
第 11 章 HVAC	286
11.1 基本概念	287
11.2 环境热舒适度	288
11.3 HVAC 系统	292
11.3.1 能源转换	294
11.3.2 能量平衡	296
11.3.3 能源效率	297
11.4 HVAC 系统的能源效率措施	298
11.4.1 终端服务	298
11.4.2 被动方法	298
11.4.3 变换装置	301
11.4.4 能源	302
参考文献	303
深入阅读材料	303
第 12 章 数据中心	304
12.1 标准	304
12.2 消耗概况	305
12.2.1 能源性能指标	306
12.3 IT 基础设施与设备	307
12.3.1 刀片式服务器	307
12.3.2 存储器	307
12.3.3 网络设备	308
12.3.4 整合	308
12.3.5 虚拟化	309
12.3.6 软件	309
12.4 设备基础设施	309
12.4.1 电力设备基础设施	309

12.4.2 HVAC 基础设施	311
12.5 DG 和 CHP 的数据中心	314
12.6 组织能源效率	315
深入阅读材料	316
第 13 章 无功补偿	317
13.1 公用电力网络中的无功补偿	319
13.1.1 无功补偿的经济效益	322
13.2 工业网络的无功补偿	325
13.2.1 线性负荷	326
13.2.2 组补偿	327
13.2.3 非线性负荷	331
13.3 无功补偿	335
13.3.1 同步冷凝器	335
13.3.2 电容器组	337
13.3.3 电力电子补偿器/稳定器	337
参考文献	342
深入阅读材料	342