系统电效控制技术及应用

郭智勇　主编

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

系统电效控制技术及应用

主　　编　郭智勇
主编单位　中国航天系统工程公司

机械工业出版社

本书从系统工程的角度论述终端电网系统的电效控制，为节能工作提出了一个新的视角，重点介绍了电效监测与审计技术、一体化电效控制技术、电效系统分析与优化技术，最后简要讨论了系统电效控制的计算机辅助设计、终端电网系统电效控制设计。

本书是为企业管理者、节能管理和技术人员编写的参考书籍，考虑到企业实际电网系统管理千变万化，本书力求深入浅出，注重基本理论应用的基本方法的全面概述，以期读者通过对本书的阅读能够对本企业的用电管理和节电改造形成总体概念，指导读者进行进一步的深入研究。

图书在版编目（CIP）数据

系统电效控制技术及应用/郭智勇主编．—北京：机械工业出版社，2009.1

ISBN 978-7-111-25717-2

Ⅰ.系… Ⅱ.郭… Ⅲ.电能-节能-控制系统 Ⅳ.TM92

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 190626 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

责任编辑：朱 林 责任校对：刘志文

封面设计：赵颖喆 责任印制：杨 曦

北京市朝阳展望印刷厂印刷

2009 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm · 20.25 印张 · 498 千字

0001—5000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-25717-2

定价：39.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

销售服务热线电话：（010）68326294

购书热线电话：（010）88379639 88379641 88379643

编辑热线电话：（010）88379045

封面无防伪标均为盗版

前 言

节能减排成为当前企业工作的中心内容，能效指标成为企业考核的约束性指标。但面对量化的节能指标（如20%），企业的管理者却觉得很茫然，如此庞大复杂的用能系统，该从何处着手？使用什么样的手段？能取得多少量化的效果？需要多少资金投入？对企业的经济运行会产生什么样的影响？如何做更好？等等，这些问题困扰着企业管理者。因此，节能工作迫切需要能耗系统效能控制技术的建立和发展，支撑企业的节能决策。

电能是国民经济最重要的能源供给形式，终端用电存在巨大的节能潜力，终端电网成千上万的用电单元不断变化、互相干扰、互相影响，构成最复杂的能源系统，电力能源效率受电网环境、负载工况、配电管理、生产工艺、流程管理、人员等众多因素影响，可能产生和加大电能的无效损耗，导致终端电网系统电效降低，浪费能源，增加用户成本。因此，研究终端电网系统的电力能源效率控制问题是一个复杂而又迫切的工作。

系统电效控制技术是针对企业终端电网系统的能源效率控制要求，在实践中发展的能耗系统效能控制技术。它以实现终端电网最佳的经济运行指标和合理的电力能源效率指标为目标，集合了信息技术、节电技术、技术经济分析技术、系统控制技术等相关内容和研究成果，建立了终端电网系统整体能效指标和系统单元、用电控制与管理、投资与经济运行间的量化分析关系，指导终端电网系统的电效分析、控制、设计与建设。

系统电效控制技术源于当前节能工作的实际需求和实践总结，建立了能源系统管理的基本思想，它的理论和方法在节能减排领域已经得到了成功的应用，并取得了显著的经济效益。它将为以企业为主体的节能工作发挥重要的支撑作用。

本书是为企业管理者、节能管理和技术人员编写的参考书籍，考虑到企业实际电网系统管理千变万化，本书力求深入浅出，注重基本理论应用和基本方法的全面概述，以期读者通过对本书的阅读能够对本企业的用电管理和节电改造形成总体概念，指导读者进行进一步的深入研究。

全书共分7章：

第1章——绪论，简要介绍人类面临的能源危机、我国节能减排的目标要求、电能管理的总体形势、终端用电巨大的节电潜力和节电产业的发展状况。

第2章——系统电效控制技术总述，讨论了终端电网、电力能源效率的概念和影响因素，提出了系统电效控制技术的基本概念，论述了技术架构以及与相关学科的关系。

第3章——电效监测与审计技术，论述了电能的质量标准、计量、统计、管理与考核、审计等内容，建立了终端电网的表述方法。

第4章——一体化电效控制技术，介绍了常见的无功补偿技术、相控调压技术、变频技

术、谐波抑制技术和电磁平衡技术等节电技术，并对辅助电能的新能源技术、电力需求侧管理蓄能技术、低电耗产品的应用进行了概括性介绍。

第5章——电效系统分析与优化技术，讨论了终端电网单元和系统的电效分析模型，建立了系统电效指标与系统、控制和经济评价的数学关系，讨论了电效控制项目的技术经济分析方法和电效控制效果的测试评价方法。

第6章——系统电效控制的计算机辅助设计，讨论了系统电效控制技术计算机辅助分析与设计模型的建立，为技术的工程化应用奠定了基础。

第7章——终端电网系统的电效控制设计，建立了电效控制技术单元与终端电网常见电效单元的匹配关系，并介绍了终端电网系统供电环节、配送环节、用电环节的电效控制基本准则。

本书由郭智勇制定详细的编写大纲，并负责总编纂及承担书稿的最后审定工作；由郭海平负责具体的统稿、修改等工作；由郭智勇、周裕厚、张纯忆、张成泉、陈振林、郭海平、鹿道强、王昀等8位共同撰写。本书的编写受到国防科学技术委员会科技司、计划司和航天科工集团有关单位的大力支持，参阅了大量的文献资料，直接引用了不少实例资料，在此对有关单位领导和文献作者致以衷心的感谢。

从系统工程的角度论述终端电网系统的电效控制，为节能工作提出了一个新的视角，也是一个集成创新的过程。节能技术的发展一日千里，加之作者水平有限，书中难免存在错误和缺点，殷切希望读者批评指正。

郭智勇

2008年9月

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

目　录

前言
第1章　绪论 …… 1
1.1　工业化与节能减排 …… 1
1.2　电能——国民经济能源供给的核心组成部分 …… 2
1.2.1　电能——我国经济建设的重要能源 …… 2
1.2.2　我国电能管理的状况与政策 …… 2
1.3　终端用电巨大的节电潜力和节电产业 …… 3
1.3.1　终端用电巨大的节能空间 …… 3
1.3.2　迅速发展的节电产业 …… 4
第2章　系统电效控制技术综述 …… 6
2.1　电力系统的结构 …… 6
2.1.1　供电系统 …… 6
2.1.2　输配电系统 …… 7
2.1.3　用电系统 …… 7
2.1.4　终端电网系统 …… 7
2.1.5　电效的概念 …… 8
2.1.6　终端电网系统电效的主要影响因素 …… 9
2.2　系统电效控制技术的概念 …… 10
第3章　电效监测与审计技术 …… 12
3.1　终端电网系统的评价标准 …… 12
3.1.1　节能标准体系 …… 12
3.1.2　能源消耗定额 …… 15
3.2　终端电网系统的电能计量 …… 17
3.2.1　终端电网的常见电能计量参数 …… 17
3.2.2　电能计量装置分类 …… 19
3.3　终端电网系统的电效监测 …… 21
3.3.1　电效监测的主要内容 …… 21
3.3.2　供配电系统的监测 …… 22
3.3.3　用电设备的监测 …… 23
3.4　终端电网系统的电能统计 …… 25
3.4.1　电能统计的基本概念 …… 26
3.4.2　电能统计的意义 …… 26

3.4.3 电能统计的分析方法 …… 26
3.4.4 电能统计的手段 …… 28
3.4.5 终端电网电能统计的内容 …… 28
3.5 终端电网系统的电能审计 …… 29
3.5.1 电能审计的目的和范围 …… 29
3.5.2 电能审计的内容 …… 30
3.5.3 电能审计的方法 …… 30
3.5.4 电能审计的程序 …… 32
3.5.5 电能审计的结果 …… 33
第4章 一体化电效控制技术 …… 35
4.1 无功补偿技术 …… 35
4.1.1 无功补偿的基本概念 …… 35
4.1.2 无功补偿的技术参数 …… 36
4.1.3 无功损耗的抑制 …… 38
4.1.4 无功补偿的合理配置原则 …… 50
4.1.5 无功补偿的效益 …… 50
4.2 相控调压技术 …… 56
4.2.1 相控调压技术的基本概念 …… 56
4.2.2 相控调压技术原理 …… 56
4.2.3 相控调压技术的应用 …… 57
4.3 变频技术 …… 58
4.3.1 变频技术的基本概念 …… 59
4.3.2 变频技术原理 …… 60
4.3.3 变频技术的应用 …… 67
4.3.4 变频技术的利弊 …… 85
4.4 谐波抑制技术 …… 86
4.4.1 谐波的基本概念 …… 87
4.4.2 谐波分析 …… 90
4.4.3 公用电网对谐波电压、电流的限制值 …… 99
4.4.4 谐波的危害 …… 106
4.4.5 谐波的抑制 …… 126
4.5 电磁平衡技术 …… 163
4.5.1 电磁平衡技术的基本概念 …… 164
4.5.2 电磁平衡技术原理 …… 164
4.5.3 电磁平衡技术在变压器上的应用 …… 167
4.6 高效的电光转换产品 …… 169
4.6.1 常见电光源 …… 169

4.6.2 节能灯 …… 177
4.6.3 其他高效电光源 …… 191
4.6.4 照明灯具及其附属装置 …… 195
4.7 高效电热转换产品 …… 202
4.7.1 工业热处理相关产品节能发展 …… 203
4.7.2 环境温度调节相关产品节能发展 …… 208
4.8 常见辅助电能的新能源技术 …… 220
4.8.1 太阳能技术 …… 220
4.8.2 风能技术 …… 221
4.8.3 热泵技术 …… 222
4.9 电力需求侧管理蓄能技术 …… 225
4.9.1 蓄冷技术产品 …… 225
4.9.2 蓄热技术产品 …… 226
4.10 一体化电效控制技术阵 …… 227
第5章 电效系统分析与优化技术 …… 230
5.1 系统单元的电效分析模型 …… 230
5.1.1 终端电网系统的电效单元 …… 230
5.1.2 系统单元的电效控制模型 …… 232
5.2 终端电网系统的电效分析模型 …… 235
5.3 终端电网系统的电效优化分析 …… 236
5.4 系统电效控制的指标模型 …… 237
5.4.1 单位增加值电耗指标模型 …… 237
5.4.2 电能转化效率指标模型 …… 238
5.4.3 单位产品电耗指标模型 …… 238
5.5 电效控制项目的技术经济分析 …… 238
5.5.1 静态分析法 …… 238
5.5.2 动态分析法 …… 239
5.6 电效控制效果的测试评价方法 …… 241
5.6.1 功率测试法 …… 241
5.6.2 电能法 …… 242
5.6.3 单耗对比法 …… 242
第6章 系统电效控制的计算机辅助设计 …… 244
6.1 电效监测与审计电算化的概念 …… 244
6.2 系统电效控制的计算机辅助设计系统架构 …… 245
6.2.1 信息采集 …… 245
6.2.2 电效分析 …… 247
6.2.3 节电规划 …… 249

6.2.4 方案优化 …… 249
6.3 能耗数据多维属性 …… 249
6.4 系统电效控制的计算机辅助设计示例 …… 255
第7章 终端电网系统的电效控制设计 …… 267
7.1 供电环节的电效控制设计 …… 270
7.2 输配电环节的电效控制设计 …… 272
7.3 用电环节的电效控制设计 …… 276
7.3.1 常见电能转换节能设计要点 …… 277
7.3.2 动力用电设计 …… 280
7.3.3 保障用电设计 …… 295
参考文献 …… 312

第1章 绪 论

1.1 工业化与节能减排

热力学第一定律认为“物质不灭，能量守恒”，运动的物质永远循环是宇宙的最终结论，世界总的方向是从无序向有序发展。1850年，德国科学家克劳修斯发表了热力学第二定律，热可以自发地从高温转向低温，但不会自发地逆向传导，能量虽然守恒，但品质却发生变化，熵（加入的热量/绝对温度）会自发增加，但不会自动减少，热向更低的温度散去，直到绝对零度（-273℃），一旦散去将难以聚合，能量形式变化的大趋势是从有序向无序发展。进入20世纪，比利时科学家普里高津对热力学第二定律进行了发展，创立了著名的耗散结构理论。

人类的工业活动具有两种基本功能：一是实现物质转化，创造使用价值，即资源（原料）—生产（转化）—产品—废物的过程；二是实现经济增值，创造价值，即资本—增殖—收益—再投资的过程。总体来说，前者是开环过程，是有效资源和能源的耗散过程，废物越来越多；后者是闭环系统，资本循环速度加快，规模不断扩大。一百多年来人类的工业活动，导致化石能源、地下水资源面临枯竭、二氧化碳排放和全球变暖、臭氧层破坏和物种灭绝等，人类对自然环境的影响，已造成人类空前的能源危机和生存危机，其示意图如图1-1所示。

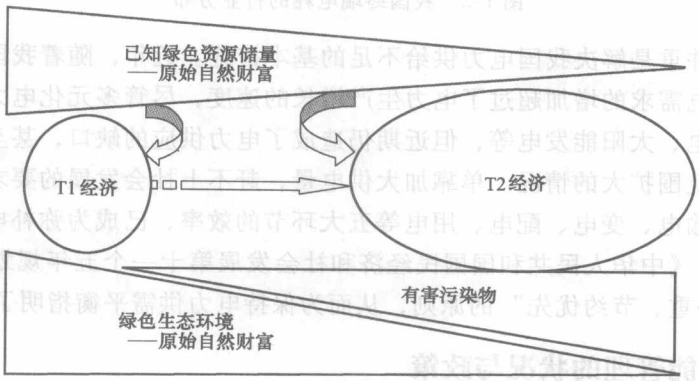

图1-1 经济与资源的背离

客观规律告诉我们：物质不灭，但品质在递减；能量守恒，但品位在下降；运动的物质是具有方向性的，它不能永远周而复始。地球上的资源和能源不会随着技术的进步“取之不尽，用之不竭”，如同时间一样，人类无法逆转熵的方向，地球上的能源和资源，一旦散去将难以聚合。人类虽然无法改变客观规律，但可以减缓有效资源和能源耗散的速度和过程。通过对自身生活方式和行为模式的调整和约束，通过科学技术和社会观念的进步与发展，把工业化生产技术与节能技术相结合，把工业化生产技术与环境保护技术相结合，通过

清洁生产、循环经济、节能减排，减缓有效资源和有效能源的耗散速度，提高能源利用效率，促进经济社会的可持续发展。

1.2 电能——国民经济能源供给的核心组成部分

1.2.1 电能——我国经济建设的重要能源

作为清洁、高效、便利、优质的终端能源载体，电能在我国国民经济建设中居于举足轻重的地位。目前，我国的发电装机容量和用电量稳居世界第二位。2005 年，我国终端能源消费总量约 17.92 亿 t 标准煤，电能消费量折合标准煤约 3.06 亿 t，占终端能源消费中的 17.10%，主要分布在电力蒸汽及热水、生活消费、钢铁工业 、化学原料及制品、机械、非金属和电解铝等高电耗领域，其总量占 61.1%，如图 1-2 所示。

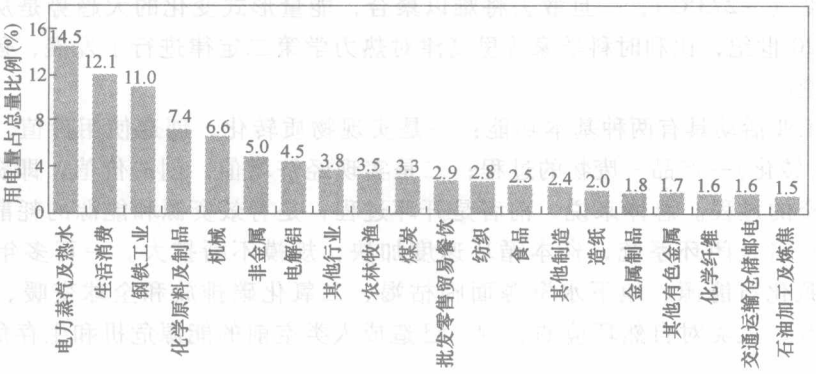

图 1-2 我国终端电耗的行业分布

开发与节约并重是解决我国电力供给不足的基本措施。近年，随着我国工业化和城镇化步伐的加快，用电需求的增加超过了电力生产增长的速度，尽管多元化电力来源的引入，如水电、核电、风电、太阳能发电等，但近期仍造成了电力供应的缺口，甚至出现用电高峰期拉闸限电频发和范围扩大的情况。单靠加大供电量，赶不上社会发展的要求。因此，提高电力系统的发电、输电、变电、配电、用电等五大环节的效率，已成为弥补电力缺口的一个既快又省的好途径。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》中重申了“坚持开发节约并重、节约优先”的原则，从而为保持电力供需平衡指明了方向。

1.2.2 我国电能管理的状况与政策

大力推进电力需求侧管理技术。电力需求侧管理是当今国际上推行的一种先进的资源管理方法和管理技术，是指采取有效的激励和诱导等措施，与电力用户协同改善用电特性，提高终端用电效率，在满足同样电能服务的同时，减少高峰电力的需求和用电量的节约，从而达到节约资源和保护环境及提高经济效益的目的。

加强对电价的控制，大力推行差别电价政策，作为最重要的国家利用经济杠杆调控电力供需的政策手段，引出了多种浮动售电价格形式，以期更能合理引导社会供需电能，如销售电价实行峰谷、丰枯和季节电价，具备条件的地区，销售电价可实行高可靠性电价、可中断

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

负荷电价、节假日电价、分档递增或递减电价等电价形式。近来又大力推行差别电价政策，有利于遏制高耗能产业的盲目发展和低水平重复建设，淘汰落后生产能力，促进产业结构调整和技术升级，缓解能源供应紧张局面。总体思路是，根据国家产业政策，对允许和鼓励类企业执行正常电价水平；对限制类、淘汰类企业用电适当提高电价；禁止各地擅自对高耗能企业实行优惠电价。通过加大差别电价实施力度，并提前公布今后3年内对限制类、淘汰类高耗能企业的电价加价标准，引导高耗能企业加快节能降耗技术改造，逐步淘汰落后生产能力，实现资源优化配置，达到促进产业结构调整、促进资源节约和保护环境的目的。

加强节能工作的法制建设。1998年1月1日《中华人民共和国节约能源法》正式实施，该法明确规定节约能源是我国发展经济的一项长远战略方针，各级人民政府应加强节能管理工作，合理调整产业结构，优化资源配置，推动节能技术进步，逐步提高能源利用效率，促进国民经济向节能型可持续方向发展。根据《中华人民共和国节约能源法》的规定，国家经贸委制定并发布了《重点用能单位节能管理办法》、《中国节能产品认证管理办法》等配套的节能管理法规，部分省（市）、区也相继出台了一些地方性节能管理的法规、政策及实施细则。为了便于节能工作的科学管理，国家标准化行政主管部门还制定了《企业能源审计技术通则》、《节能监测技术通则》、《工业企业能源管理导则》、《评价企业合理用电技术导则》等一系列方法、标准，这些进一步规范了政府及行业节能管理部门对企业能源利用情况的监督管理。

1.3 终端用电巨大的节电潜力和节电产业

1.3.1 终端用电巨大的节能空间

节能对于经济建设和节能减排的意义十分重大。2005年全国共有26个省级电网拉闸限电，给国家造成了逾万亿元的经济损失。大面积的电荒直接触及国人的能源短缺之痛。有专家指出，除经济持续快速发展导致电力需求量扩大之外，用电效率不高和严重的用电浪费，也是中国电力供应紧张的重要原因。

有关专家指出，我国电力利用效率很低，单位GDP耗电量是发达国家的3~5倍，终端用电设备的节能潜力巨大，约为2000亿kW·h，约占我国2005年一年发电量（24747亿kW·h）的10%，相当于两个三峡电站的年发电量。企业通过应用节电设备和节电技术，可节省10%电量以上。我国的工业用电设施，尤其是终端用电设施与国际先进水平相比，还比较落后，这些设备的节能潜力还有待深入挖掘。占我国用电总量60%的电动机，效率只有92%，而美国的电动机效率达到94.5%，据国际节能研究所预测，如果中国电动机的效率达到美国水平，其节能潜力将达到330亿kW·h。而目前占用电量40%的风机、泵、空压机的设计、制造和运行水平只有先进国家的1/3。

显然，提高用电效率，降低单位产出的电耗，已是我国电力供求管理的重要课题。对于能源密集型的冶金、化工、纺织和加工等工业企业，电费已经成为紧随物料成本和人工成本之后的第三、第四项大的开支；对于酒店、超市、商场等商业企业，电费成本通常是除场地费用和人工成本以外的最大支出。此外，现阶段我国的电力质量水平相对较低，电力线路中浪涌、谐波、电噪声、过电压、欠电压、过电流等现象相对频繁地出现，这就造成了用电附

加成本（包括安全用电成本，设备的维护、更新的成本，系统增容费用）等居高不下。因此，节能增效水平的高低直接决定了这些企业的发展。《华尔街日报》曾调查比较各种投资形式，结论显示：节电投资是回报最快、最稳妥的一种投资方式，企业将因此得到至少不低于50%的回报（股市、地产行业的投资回报率约在25%）。

1.3.2 迅速发展的节电产业

我国电力能源的低效转换，为节电产业带来了巨大的发展空间。有专家指出，我国节电领域目前大约有3000亿元左右的市场，且这个市场还会随着年均10%的用电增长而不断攀升，与建设新电站的周期和对环境的负面影响相比，节电显得更为经济、环保和可行。我国当前的政策、经济、消费观念、技术、行业环境都为节电产业的发展提供了有利条件。

巨大潜在市场吸引了大量的“淘金者”，新西兰亚太、德国诺比、美国的英福特、美国节约能源公司、英国的节电宝、韩国的比尔特等公司竞相涌入，国内的技术、资本也迅速集结，近两百家节电企业先后入市，短短几年的发展时间，市场已经步入高速发展阶段，初步形成了珠海、深圳、北京三大节电产品基地，我国节电产业初具规模，行业市场将进入大发展的成熟阶段。当前节电市场的主要产品有：

1）变频器，在国内各行业已获得广泛应用，其良好的调速控制性能及节电效果得到了广泛认同，国内外品牌繁杂众多，从事变频器工程应用的企业更是遍布全国。

2）电动机节电控制器，我国的三相电动机采用量有大约为8000万台，市场潜力远大，电动机节电控制器普遍具有软起动开关和完善的保护功能，容易得到良好节电效果。

3）系列安全节电器，这一产品目前在市场上比较流行，为节电提供商的支柱产品，由于通用性强和并联的安装结构及免维修，为用户所接受，缺点是不能即时得到明显的节电效果，这类节电器主要通过对瞬流和谐波的控制，减少电动机失调和无功损耗而实现节电。

4）三相灯光节电器，有电方式和电磁方式两种，以微处理器控制实现采用电压下降，从而实现节电。

5）抽油机节电器，为一种间歇式控制，即检测电动机负荷或检测原油含水量，控制抽油机的开停，这种方式容易取得较高的节电率。

6）低压无功补偿节电器，通过把电容器屏的集中补偿改为终端补偿，提高功率因数、减少线路损耗以实现节电，这类产品受终端价格压力，市场比较混乱。

7）电加热设备节电，与三相灯光节电器技术基础相同。

8）有源电力滤波器，这是目前较为理想的通用节电及谐波滤除设备，价格较贵，如能产品国产化，大幅降低成本，以相对低的价格介入市场，应具有巨大的市场潜力。

9）其他节电器，如空调节电器、锅炉节电器，主要通过对温度等其他参数的检测及控制以实现节电节能，技术相对简单。

此外，新能源技术发展的太阳能、热泵、冰蓄冷等节电产品也已广泛见诸于市场并发展迅速，这些产品投资较大，易受条件限制，但节能效果明显，在新建项目中应用较多。

国内节电市场状况和存在的问题有如下几个方面：

1）节电技术研究和产品开发较多，水平参差不齐，产业化水平差，中试阶段未完成，甚至实验室产品直接进入市场，后遗症较多。

2）概念炒作严重，节电产品鱼龙混杂，价格混乱。“王婆卖瓜”、“包打天下”，产品本

身的技术可高可低，而且在节电率的计算或测试上也不尽一致，节能效果确定困难。真正节能形成规模和品牌、具有技术实力的厂商不多，劣质产品、低价格和低技术含量的产品对技术含量较高的节电产品形成较大的冲击。

3）服务缺失，用户莫衷一是，节电产业链尚未发育成熟。好比“病人、医院、制药厂”，“节能医院”缺失，“制药厂”直接对病人，自然是自家的药“包治百病”。难以帮助客户有效实施节电改造工程，不能最大程度地降低客户的投资风险、技术风险和使用成本，也不能形成包括电力诊断、咨询、融资、超前的调查和售后支持的全程式服务。

4）系统节电技术亟待发展。节电设施通常都是在原有设备上安装一些所谓“节电器”一类的产品，但简单安装几个节电设备是远远不够的，这有些像“头疼医头，脚疼医脚”，只能以堵漏洞的形式暂解一时危机，但治表不治里，难以真正提高能效。节电需要根本的解决之道，应该根据每个用电单位、设备的不同特点，制定相应的、完备的解决方案，对症下药，全面解决。从单纯的设备节电向用电系统的优化配制迈进，实现系统节电，提高用电效率，采用网络技术对企业范围的供电线路实施综合监控、配置、优化。

5）加强融资能力，推进合同能源管理。当前节电工程的投资依然以用户自投为主，社会资本尚未全面进入节电市场，在西方取得巨大成功的合同能源管理商业模式，亟待发展。

6）行业起步较晚，法律法规不健全，公信机构缺失，缺乏整个行业的监督机制。一方面导致节电产品参差不齐，市场上假冒伪劣产品现象时有发生且影响用户利益，另一方面导致节电企业资金回收困难，影响产业发展。

节电产业虽然是一个巨大的市场，一个有大好发展前景的朝阳产业，但并不是任何公司都可以在此攻城掠地，如想在这个产业掘金，只有通过尖端的节电技术、多系列的产品结构、独特的营销模式、快速的市场反应、周到完善的服务体系、绝对的市场操控能力，才能成为节电市场的赢家。

第 2 章　系统电效控制技术综述

2.1　电力系统的结构

一般来讲，由发电、输电、变电、配电、用电设备及相应的辅助系统组成的电能生产、输送、分配、使用的统一整体称为电力系统；由输电、变电、配电设备及相应的辅助系统组成的联系发电与用电的统一整体称为电力网。因此，电力系统也可描述为是由电源、电力网和电力用户组成的整体，通常如图 2-1 所示。

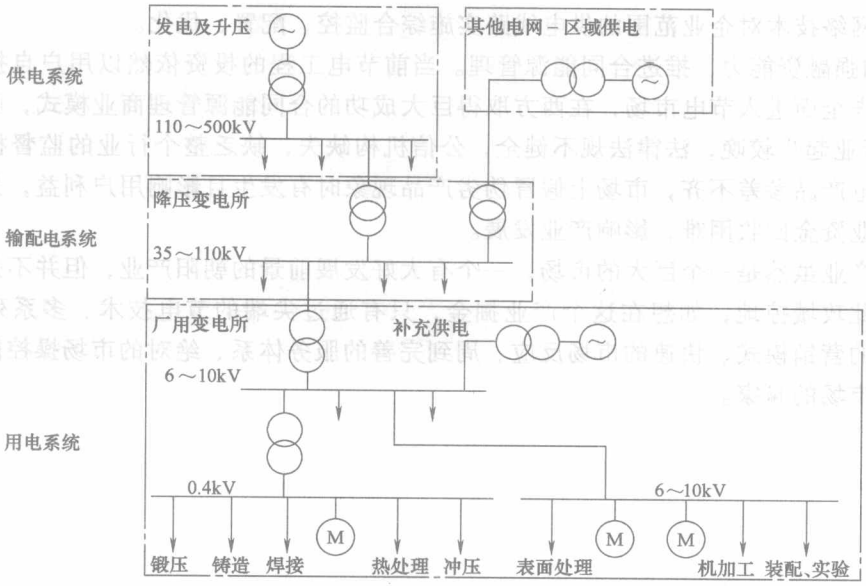

图 2-1　电力系统组成示意图

2.1.1　供电系统

供电系统是指电力系统的电力输入方，当前供电方式主要有火力发电、水力发电、核能发电和新能源发电 4 类。

火力发电是利用煤、石油和天然气等自然界蕴藏量丰富的化石燃料，将其燃烧，以用其所得到的热能来发电的一种能量转换形式。按发电方式，可分为汽轮机发电、燃气轮机发电、内燃机发电和燃气-蒸汽联合循环发电，以及火电动机组既供电又供热的“热电联产”发电。

水力发电就是利用天然水流的水能通过导流引到下游形成落差推动水轮机旋转来带动发电机生产电能，其发电功率主要取决于河流的落差及流量，出力调整范围较宽，负荷增长速度很快，机组起停迅速方便，调整出力和起停都无需额外耗费能量。

核能发电又称原子能发电，是利用核反应堆中核燃料（如铀）产生的原子核裂变能量，将水加热成蒸汽，用蒸汽冲动汽轮机，带动发电机发电。

新能源发电：风力发电是利用风力吹动建造在塔顶上的大型螺旋桨叶带动发电机旋转发电；利用地球内部释放到地表的地热能量发电；利用海流动能、海洋温差热能、波浪和潮汐等海洋能发电的海洋能发电；以宇宙空间太阳能电站为代表的利用太阳能热和太阳能光发电的太阳能发电；利用矿井瓦斯为能源的瓦斯发电等。

2.1.2　输配电系统

输电网是电力系统中最高电压等级的电网，是电力系统中的主要网络（简称主网），起到电力系统骨架的作用，所以又可称为网架。在一个现代电力系统中，既有超高压交流输电，又有超高压直流输电。这种输电系统通常称为交、直流混合输电系统。在电力系统中，电网按电压等级的高低分层，按负荷密度的地域分区。不同容量的发电厂和用户应分别接入不同电压等级的电网。大容量主力电厂应接入主网，较大容量的电厂应接入较高电压的电网，容量较小的可接入较低电压的电网。

配电网是将电能从枢纽变电站直接分配到用户区或用户的电网，它的作用是将电力分配到配电变电站后再向用户供电，也有一部分电力不经配电变电站，直接分配到大用户，由大用户的配电装置进行配电。配电网应按地区划分，一个配电网担任分配一个地区的电力及向该地区供电的任务。因此，它不应当与邻近的地区配电网直接进行横向联系，若要联系应通过高一级电网发生横向联系。配电网之间通过输电网发生联系。不同电压等级电网的纵向联系通过输电网逐级降压形成。不同电压等级的电网要避免电磁环网。

电力输配电系统包括 500、330、220、110、66、35、10kV 和 380/220V 多级变配送，一般情况下 380/220V 的接地电网，为各类终端用电设备提供电力，电力系统之间通过输电线连接，形成互联电力系统。连接两个电力系统的输电线称为联络线。

2.1.3　用电系统

用电系统是指由一切耗电设备组成的系统。对于企业来说，通常表述为动力用电和保障用电两类。动力用电，主要是指直接用于企业产品生产的电力。其设备主要包括通用用电设备——电动机、风机水泵、电加热设备等，以及针对于锻造、热处理、焊接、冲压、表面处理（电镀、涂装）、机械加工和工具机修、装配、试验等方面的专用生产设备。保障用电一般指保障生产环境和条件的设备用电，其中空气调节系统、照明系统等都是比较典型的保障用电系统。

2.1.4　终端电网系统

终端电网系统是指配电网以下的电力系统，是一个相对概念，是根据问题分析的需要而界定的。通常包括配变电站、配电网、用电系统和内部电站等。终端电网系统的电力来源包括电力系统输电网的外部供电和内部产电两部分。

内部电站，是指以小规模、分散式的方式布置在用户附近发电系统，方式多种多样，根据燃料不同，可分为化石能源与可再生能源；根据用户需求不同，有自备发电、余能利用等，包括电力单供方式与热电联产方式，或冷热电三联产方式；根据循环方式不同，可分为

燃气轮机发电方式，蒸汽轮机发电方式或柴油机发电方式等。分布式供电电源与“小机组”已不是同一概念。分布式供电具有没有或很低输配电损耗特性；无需建设配电站，可避免或延缓增加的输配电成本；适合多种热电比的变化，可使系统根据热或电的需求进行调节，从而增加年设备利用小时；土建和安装成本低；各电站相互独立，用户可自行控制，不会发生大规模供电事故，供电的可靠性高；可进行遥控和监测区域电力质量和性能等优点，非常适合对乡村、牧区、山区、发展中区域及商业区和居民区提供电力。

一般来说，大型企业电力系统由一个或多个终端电网系统组成，一个终端电网也可以包括多家用电企业实施分户计量。因此，系统电能效率的控制可以对一家企业的一个或多个终端电网系统实施，也可以对一个终端电网内的多家企业或部分企业实施。

终端电网是电力系统的组成部分，依据终端电网的结构，按功能分为供电环节、配送环节和用电环节三部分。我们将终端电网系统中影响电能转化效率的单元称为电效单元。供电环节主要包括来源于电力系统的外部供电系统电效单元、内部电站电效单元等；配送环节主要包括变压器、电缆、导线等电效单元；用电环节主要包括各种生产设备和生产保障设备等电效单元。终端电网系统一般情况下由成千上万个电效单元组成，各单元不断变化、互相干扰、互相影响，构成一个复杂巨系统。

2.1.5 电效的概念

1. 电力能源效率的定义

电力能源效率简称为电效。能源效率（Energy Efficiency）即能源使用效率，能源技术效率或能源系统效率的统称，简称为能效，是指使用能源活动（不包括开采）中所取得的有效能源量与实际输入的能源量之比，也是一项由总体能源结构、产业用能比重、能源利用技术等多种因素形成的综合指标。

按照世界能源委员会在1995年出版的《应用高技术提高能效》中的定义，“能源效率”的提高指的是能源转换设备，由于技术的更新，在使用较少的能源下而能提供同样的能源服务。与“能源效率”密切相关的另一个概念是“节能”。按照世界能源委员会1979年提出的定义，节能是“采取技术上可行、经济上合理、环境和社会可接受的一切措施，来提高能源资源的利用效率。”即通过一些技术的应用提高了能源效率或减少了能源浪费，就是节能。节能的目的是降低能源强度（单位增加值能耗），在能源系统的所有环节，包括开采、加工、转换、输送、分配到终端利用，从经济、技术、法律、行政、宣传、教育等方面采取有效措施，来减少能源的浪费。从国际权威机构对“能源效率”和“节能”分别给出的定义来看，两者的涵义是一致的。

这两个概念的提出是随着技术的进步、人们思想观念的变化、气候变化影响的加剧和能源规划的不同目标而形成的。一些西方发达国家的能源发展规划大体经历了4个时期：第一个时期是减能阶段，始于20世纪70年代的能源危机，目标是减少能源的使用量，控制能源消费总量的上升趋势；第二个时期是能源守恒阶段，产生于80年代末期，期望在总能源消费量基本不增长的情况下发展经济；第三个时期是90年代的提高能效阶段，目标就是提高能源利用效率；第四个时期为最近几年产生的气候变化影响下的能源规划，主要目标是降低温室气体的排放。

因此，提高能效有别于早期的减能，后者是通过节约和缩减来应付能源危机，在减少能

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com