

apqi ASIA
POWER
QUALITY
INITIATIVE

“十二五”国家重点图书出版规划项目

现代电能质量技术丛书

电能质量实用控制技术

亚洲电能质量联盟中国合作组 组编
赵东元 王轩 编著

 中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

现代电能质量技术丛书

电能质量实用控制技术

亚洲电能质量联盟中国合作组 组编
赵东元 王轩 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

近年来,电能质量控制技术逐渐由理论研究进入工程应用,为了让科研人员和工程技术人员对电能质量控制技术更加了解,编者编写了本书。本书重点介绍了各种常见电能质量控制装置的工作原理、工程应用技术、设备标准、典型工程应用等,并介绍了新型电能质量控制技术。

本书可供对电能质量控制技术感兴趣的工程技术人员和科研人员阅读,工程技术人员可通过本书系统地了解 and 掌握电能质量实用控制技术,科研人员可了解理论研究在工程实践中的检验结果,并发掘新的研究方向。

图书在版编目(CIP)数据

电能质量实用控制技术 / 赵东元, 王轩编著; 亚洲电能质量联盟中国合作组组编. —北京: 中国电力出版社, 2015.12

(现代电能质量技术丛书)

ISBN 978-7-5123-6818-7

I. ①电… II. ①赵… ②王… ③亚… III. ①电能-质量控制
IV. ①TM60

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 275990 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 12 月第一版 2015 年 12 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 17.5 印张 334 千字

印数 0001—3000 册 定价 70.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

丛书前言

电能质量问题近年来受到更多的关注。究其缘由，想来有三：第一，大量的非线性和冲击性负荷的广泛应用，对供电系统电能质量造成了严重的污染，恶化了电气设备的电磁环境；第二，以微电子控制技术为核心的高度自动化和智能化设备极其敏感，抗扰度能力不足，对电能质量的要求越来越高；第三，伴随行业的发展，相关组织和单位举办了各类交流会议以及展览，吸引大量媒体关注报道电能质量。在这样的大背景下，电能质量问题从冷门慢慢热了起来。

行业的健康发展，离不开理论的指导和技术经验的交流分享。但是，国内关于电能质量的书籍不是很多，系列丛书更是没有。基于这样的现状，亚洲电能质量联盟中国合作组（简称合作组）发起编写“现代电能质量技术丛书”，这个倡议当时获得了业内很多专家学者的支持。大家共同推选了林海雪教授担当丛书的牵头人，中国电力出版社也欣然应允出版这套丛书，并作为重点图书报送国家新闻出版总署（现为国家新闻出版广电总局），获批列入“‘十二五’国家重点图书出版规划项目”。原计划两年内完成的这套丛书，因多位作者身体抱恙，直至今天才最终陆续付梓，真是好事多磨。

姗姗来迟的这套丛书，从不同的维度介绍了电能质量，以及相应的

测量与控制技术。以基本理论与方法为主的，有《电力系统中电磁现象和电能质量标准》和《电能质量数学分析方法》；以介绍现代测量与实用控制为主的，有《现代电能质量测量技术》和《电能质量实用控制技术》；还有以热点或新问题为主的，有《电气化铁路供电系统及其电能质量控制技术》、《分布式电源接入电网的电能质量》、《电网中电压暂降和短时间中断》、《电力系统直流干扰》及《交流配电系统的接地方式及过电压保护》。

这套丛书整体适合从事电能质量工作的工程师和管理人员作为理论和实践的指引，也适宜对于电能质量问题感兴趣的相关人士阅读，从不同的侧面了解电能质量问题及其影响。希望我们编著的这套丛书可以更好地促进电能质量知识及技能的传播，使读者有所收获，这也是合作组与作者最希望达到的效果。另外，丛书也将成为由合作组作为主办方之一，并由国家人力资源和社会保障部教育培训中心考核认证的“高级电能质量工程师”培训的指定参考书。

最后特别感谢美国国际铜专业协会对于亚洲电能质量联盟中国合作组编著丛书的大力支持，感谢牵头人林海雪教授多年来的辛勤工作，感谢所有丛书作者的认真与执著，感谢编辑们的耐心与信任，感谢丛书审稿专家们提出的建设性的意见和建议。亚洲电能质量联盟将继续努力耕耘，为读者带来更多的接地气的电能质量专著。

亚洲电能质量联盟秘书长 黄炜



本书前言

近 20 年来,电能质量已经成为电气工程领域的研究热点。相关研究主要集中在电能质量现象分析与评估基础理论和电能质量控制技术(也叫电能质量治理技术)等方面。前者的受关注度能够从爆炸式增长的文献数量体现出来,后者的受关注度也能够从产业的快速发展得到说明。虽然利用 Google、百度或亚马逊书店等可以在互联网上检索出众多的理论研究书籍,但是系统性介绍电能质量控制技术的工程技术书籍相对较少,研究内容一般分散在电力电子书籍的部分章节。电能质量控制技术进入实际工程应用是近十年的事情,现有书籍侧重于理论研究和原理性样机也是一个不争的事实。工程技术人员花费大量的时间和精力从巨大的信息海洋中寻找真正需要的资料犹如大海捞针,因此,编写一本兼顾理论与工程技术的电能质量控制技术图书适逢其时。

作者从事电能质量研究十多年的时间,深感才疏学浅。在亚洲电能质量联盟中国合作组组织编写“现代电能质量技术丛书”之际,受到林海雪教授的盛情邀请,同时也希望能够为同行贡献微薄之力,所以因缘巧合促成了本书的编写。基于此,本书的根本出发点是为了方便对电能质量领域感兴趣的科研人员和工程技术人员。科研院校的研究人员通过本书能够了解理论研究在工程实践中的检验结果,并作为研究方向的参考;从事设备制造的工程技术人员通过本书能够系统地了解 and 掌握电能质量控制技术的实用化工程技术。

作为“现代电能质量技术丛书”之一,本书篇幅安排的重点在于电能质量控制技术的工程实用化技术,尽量减少基础理论研究内容。本书共分 9 章。第 1 章为概述,主要介绍电能质量控制技术的历史发展与分类。现代供电系统的发展对电能质量研究不断提出新的需求,同时,功率器件及阀组件技术、电能质

量理论与控制保护技术的发展也在不断地推动着电能质量控制技术的进步。第2章为电力电子器件及换流阀组件技术，主要介绍电能质量控制装置所采用的基本电力电子变换电路以及换流阀组件应用技术。此章也是全书所讨论的各类电能质量治理装置的共性内容。第3章为并联电容器型无功补偿装置，主要介绍其工作原理、工程应用技术、设备标准以及典型工程应用等。第4章为晶闸管控制电抗器型静止无功补偿器（TCR-SVC），主要介绍其工作原理、工程应用技术、设备标准以及典型工程应用等。第5章为静止同步补偿装置（STATCOM），主要介绍其工作原理、工程应用技术、设备标准以及典型工程应用等。第6章为电力滤波装置，主要介绍电力滤波装置（包括无源电力滤波器和有源电力滤波器）的工作原理以及工程应用中存在的技术问题。第7章为动态电压恢复器（DVR），主要介绍其工作原理、工程应用技术、设备标准等。第8章为网络重构装置，主要介绍固态切换开关（SSTS）和固态开关（SSB）的工作原理、工程应用技术、设备标准等。第9章为新型电能质量控制技术。主要介绍统一电能质量控制器、电力电子变压器以及储能技术与电能质量控制技术的结合应用。

在历时两年的编写过程中，作者得到了清华大学陈建业教授、华北电力大学韩民晓教授的孜孜教诲与诚恳建议，也得到了中国电力科学研究院李松洁教授、周飞高级工程师、孙雯高级工程师的指点与帮助。与此同时，通过企业走访与文献调研，作者时刻感受到林海雪教授、肖湘宁教授、王兆安教授、李永东教授等众多前辈在本领域的卓越建树和深远影响。本书内容中的亮点都是在以上前辈的研究基础上以及同行的帮助下取得的。作者向他们表达最诚挚的谢意！

虽然很希望做到尽善尽美，但由于作者能力有限，对于本书中的疏漏之处，恳请读者原谅，也欢迎直接联系作者进行交流（联系方法：smthato@163.com）。最后，希望本书能够有益于任何一位有缘的读者。

编者

2015年1月

目录

丛书前言
本书前言

1	概述	1
1.1	电能质量发展综述	1
1.2	电能质量现象及危害	7
1.3	电能质量控制技术的发展	11
1.4	电能质量控制技术分类	18
	参考文献	22
2	电力电子器件及换流阀组件	23
2.1	基本变换电路	23
2.2	电力电子器件介绍	25
2.3	电力电子器件驱动与保护技术	28
2.4	器件串联与并联技术	41
2.5	大功率晶闸管换流阀组件	47
2.6	全控器件 IGBT 换流阀组件	63
	参考文献	74
3	并联电容器型无功补偿装置	76
3.1	工作原理	76
3.2	工程应用关键技术	80
3.3	设备标准	94
3.4	工程实例	95
	参考文献	97

4	晶闸管控制电抗器型静止无功补偿器	98
4.1	工作原理	98
4.2	工程应用关键技术	104
4.3	设备标准	112
4.4	工程实例	116
	参考文献	118
5	静止同步补偿装置	119
5.1	工作原理	120
5.2	工程应用关键设计	125
5.3	设备标准	134
5.4	工程实例	143
	参考文献	146
6	电力滤波装置	147
6.1	工作原理	147
6.2	工程应用关键技术	154
6.3	设备标准	175
6.4	工程实例	177
	参考文献	180
7	动态电压恢复器	181
7.1	工作原理	181
7.2	工程应用关键技术	203
7.3	设备标准	211
7.4	工程实例	214
	参考文献	215
8	网络重构装置	217
8.1	工作原理	218
8.2	工程应用关键技术	221
8.3	设备标准	233
8.4	工程实例	234

参考文献	236
9 新型电能质量控制技术	237
9.1 统一电能质量控制器	237
9.2 电力电子变压器	248
9.3 电能质量控制装置中的储能技术	254
参考文献	268

随着电力技术的进步与发展,电能的应用已深入到国民经济生产与生活的各个方面,成为人类社会赖以生存与发展的基础能源。电能是一种经济实用、清洁方便且容易传输、控制和转换的能源形式,也是一种由供电部门向电力用户提供,并由供、用双方共同保证质量的特殊产品。进入 21 世纪以来,现代工业快速发展,社会信息化程度日益提高,对供电质量提出更高的要求。本章概括地论述了现代电力系统的新发展对电能质量的深刻影响,并且介绍电能质量控制技术的发展情况和分类方法。

1.1 电能质量发展综述

电能广泛地应用在人们的日常生活中,它是衡量一个国家发展水平和综合国力的重要评价指标因素,同时,电力工业也已经成为世界各国最重要的工业基础支柱之一。进入 21 世纪以来,为缓解环境压力和解决气候变暖问题,以低碳排放为重要特征的再生清洁能源在世界能源中所扮演的角色越来越重要,所占份额也大幅度提升。这些新能源对电网接纳能力的要求,不断推动着电能质量技术的发展。与此同时,现代智能电网的建设以及用户侧各类新型工业设备的出现,也都在深刻地改变着电网结构和供电方式,直接影响到电能质量相关技术的发展。

如图 1-1 所示,在 20 世纪传统的无源辐射状电网结构中,电能沿着“发—输—变—配—用”的路径单方向地从发电厂进入用户。通常情况下,发电环节为火电厂或水电厂;输电环节为安装有调相机或固定电容补偿装置的 110~220kV 的区域网架;变—配环节为各类高压开关和变压器;用电环节多为工厂电动机负载和居民照明负载。进入 21 世纪以来,这种电网结构发生了翻天覆地的变化,呈现出有源网络化结构。如图 1-2 所示,在发电环节,为缓解环境压力和解决全球气候变暖,以风力发电、太阳能发电为代表的再生清洁能源发电形式已经成为重要的能源形式,并占有越来越多的份额;在输电环节,以特高压电网(交流 1000kV,直流±800kV)为骨

干网架的坚强智能电网初步形成，同时以灵活交流输电技术（FACTS）为代表的电力电子技术已经成为提高电网输送容量、潮流控制能力和电网安全稳定性能的重要措施；在变—配电环节，为满足现代工业用户迫切需求，电能质量控制技术发挥着重要作用；在工业用户环节，一方面电气化高速铁路牵引机车、电动汽车充电站等大型冲击性负荷不断出现，给电网带来更多的电能质量问题，另一方面芯片制造、航天卫星控制、金融数据库以及依赖于高精度数控机床的敏感用户又对电能质量提出更高要求；在居民用户环节，智能化小区的建设，以及楼宇太阳能、小型储能系统也正在改变着电网的潮流方向和结构，能源形式日趋多样，电网结构日趋复杂。

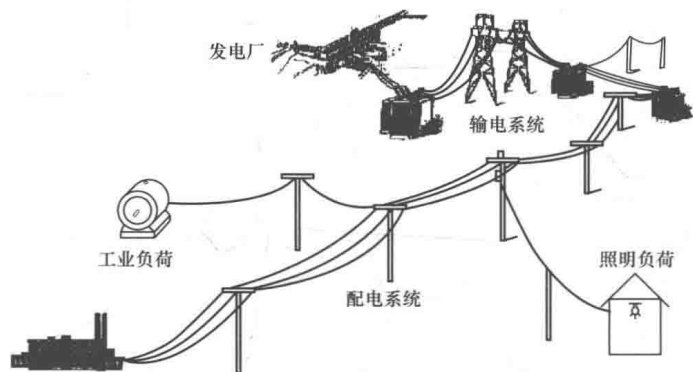


图 1-1 传统电网结构

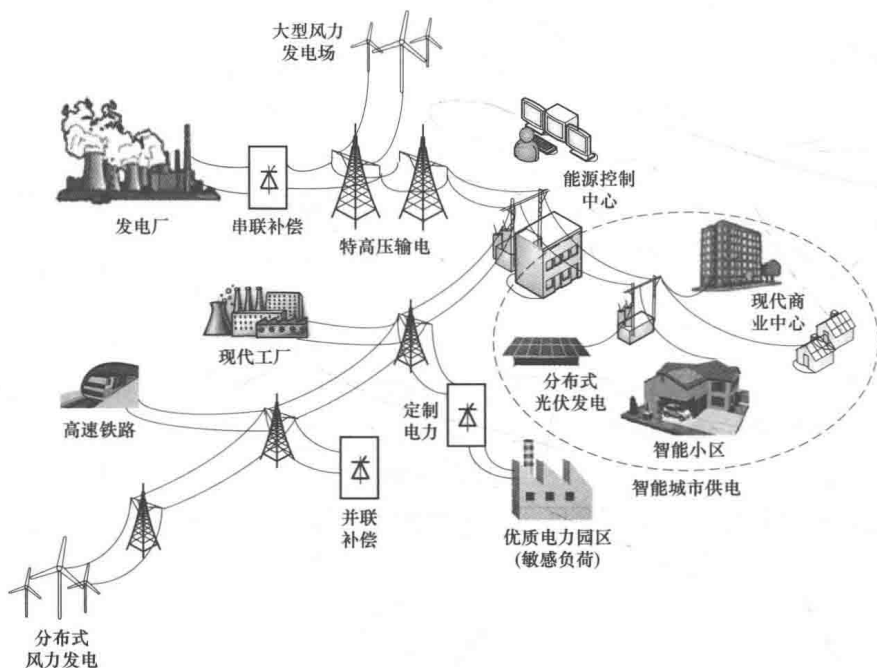


图 1-2 现代电网结构

(1) 新能源发展对电能质量的影响与要求。

新能源利用主要包括两个技术方向：一是新能源的规模化利用，例如大型荒漠光伏电站和风力发电的“陆上三峡通道”等；二是新能源分布式接入，例如建筑楼宇太阳能发电、生物质发电等。由于太阳能和风力发电的功率波动的自然特性，这种随机的、波动的功率注入电网，将对电网的电能质量造成影响。小规模新能源并网会引起电能质量问题，而大规模新能源并网则会引起电网稳定性和调峰、调频等问题。随着新能源发电规模的不断增大，其接入电网后引起的电能质量问题必将越来越严重，电能质量已经成为制约新能源发展的重要因素。

(2) 智能电网建设对电能质量的影响与要求。

智能电网已经成为世界电网发展的重要趋势^[1]。在中国，国家电网公司依据国情倡导建设以特高压电网为骨干网架、各级电网协调发展的坚强电网为基础，利用先进的通信、信息和控制技术，构建以信息化、自动化、互动化为特征的统一坚强智能化电网。满足电力负荷需求是统一坚强电网的首要要求，同时保证供电安全性和电能质量也是其重要的内容和特征。在美国，他们的目标是建设以物理电网为基础，将现代先进的传感测量技术、通信技术、信息技术、计算机技术和控制技术与物理电网高度集成而形成的新型电网。其主要特征是以充分满足用户对电力的需求和优化资源配置、确保电力供应的安全性、可靠性和经济性、满足环保约束、保证电能质量、适应电力市场化发展等为目的，实现对用户可靠、经济、清洁、互动的电力供应和增值服务。如图 1-3 所示。由此可见，提高清洁能源接纳能力，提升供电品质与可靠性是世界各国智能电网建设的共性内容。

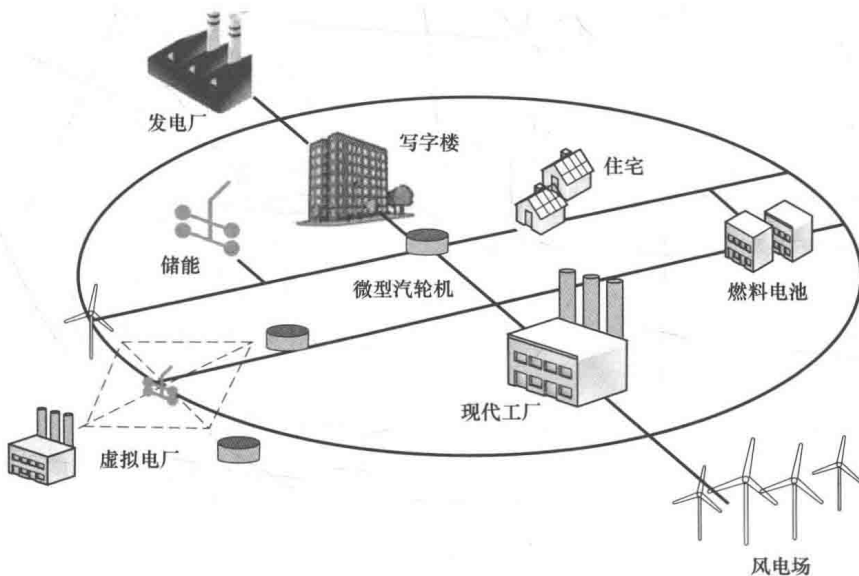


图 1-3 美国式的智能电网

配电系统直接与用户相连，是电力系统向用户供应电能和分配电能的重要环节，其安全可靠将直接影响着国民经济发展和人民生活水平。据不完全统计，我国用户停电故障中的80%是由于配电网故障引起的。配电系统用户供电可靠性是衡量供电系统对用户持续供电能力的一个主要指标。我国自1998年开始投入巨资启动大规模主网和城乡两网建设和改造，主要措施包括改善配电网网架、加快新旧设备换代、提高配网自动化水平和运行维护管理水平等。城乡两网改造后，配电网装备水平和供电质量有很大的提高。根据中国电力企业联合会统计数据，2008年全国共366个供电企业10kV用户的平均供电可靠率为99.8626%，重点城市的平均供电可靠率更高，如北京达到99.954%，上海达到99.978%。但是电力系统一直承受着用电需求快速增长的压力。目前配电网的现状是“以架空线为主，以35、10、0.4kV电压供电为主，以直馈方式为主”的“三主”方式。这种供电模式，虽然能够满足居民用电和普通工业用户的需求，但不能满足高新企业对供电品质极为苛刻的电能质量要求，尤其是暂态电能质量要求。我国智能电网在配电领域的发展目标要求，“配电网具备灵活重构、潮流优化和方便接纳可再生能源能力，显著提高供电可靠性和电能质量，在发生紧急状况时支撑主网安全稳定运行；要完成实用性配电自动化系统的全面建设，主要技术装备达到国际领先水平，在重点城市建成具有自愈、灵活、可调能力的智能配电网”^[1]。因此，从智能配电网的发展目标出发，优化配电网结构，利用现代电能质量控制技术提高供电可靠性和电能质量也是今后配电网发展的主要方向之一。

（3）用户设备发展对电能质量的影响与要求。

现代电力负荷结构发生了很大的变化且日趋复杂，主要表现在以下方面。

1) 波动性、冲击性工业用户增多。

电气化铁路机车、电弧炉、大型轧钢机、大型吊车等大容量冲击性、波动性、非对称性负荷的运行，不仅给电网注入了大量的谐波，而且还会产生严重的电压波动、电压闪变和三相不平衡等电能质量问题。例如，根据国务院批准的《中长期铁路网规划》，到2020年，我国铁路总里程将达到120000km，其中电气化70000km，主要干线铁路将实现电气化。对于电力系统而言，高速铁路牵引机车是一种特殊的流动性负荷，其实际负荷的大小与列车的速度、牵引重量、路况、编组方式等因素有关，具有较大的时变性和随机性。电气化铁路由于非线性、冲击性、非对称性等自身特性，不可避免的对接入点带来一系列的电能质量问题，主要有谐波、负序等。而相比普通电气化铁路而言，高速铁路电力机车所需的牵引功率显著增大，其引起的电能质量问题对电力系统的影响也更加严重。京沪高铁采用交直交型高速动车组，低次谐波的含量大幅度降低，但低次谐波的有效值还较大，同时，谐波频谱范围大幅度增加，高次谐波的频率达到基波频率的几十倍，因此更加容易引起高频谐

振现象。高速铁路的这些新的特点增加了电力系统运行的安全隐患。在铁路贯通线上,为了解决线路压降和电压波动问题,急需一种能解决全线电能质量问题的新型动态无功补偿装置和补偿模式。

2) 敏感用户增多。

采用微电子技术、计算机技术、数字控制的自动化生产线等大批新兴产业迅速崛起,而且它们完全依赖于数字信息,对于各种电磁干扰都极为敏感,原本对电动机负载没有影响的微小的电压波动,都可能影响到电子控制系统的正常工作,甚至导致跳闸或生产停顿,严重时造成较大的经济损失。所谓负荷敏感度是指负荷对电能质量的敏感程度。根据负荷敏感度以及经济损失、社会和政治影响等因素,一般可以将负荷分为三类:普通负荷、敏感负荷和重要负荷。

对于敏感用户,提高传统定义上的供电可靠性已经远不能够满足用户需求。例如,某半导体制造厂,供电可靠性计算指标很高,一直满足供电协议规定,但一次幅值低于90%,持续时间超过35ms的电压跌落便可造成约为100万美元的直接损失。

3) 可再生能源分布式接入。

建筑楼宇太阳能发电等小型可再生能源具有能量密度低、平稳性差的缺点,但是采用可再生能源与储能技术相结合的路线,可以有效避免这类问题。例如城市建筑并网光伏系统与电动汽车充电装置相结合,可以达到削峰填谷、减少系统备用需求的作用,甚至在政策的允许下,居民也可以向电网公司售电,国外已经有相关案例。可再生能源的分布式接入将极大地改变电能供应模式。

综上所述,电能质量问题已经成为影响国民经济建设的重要因素。

(4) 电能质量控制技术的提出及其与电力电子技术的关系。

优质供电是电网发展亘古不变的主旋律。在市场条件下,电能是关系到供电部门、用户和设备供应商等多方利益的特殊商品,电能质量的改善需要各方的共同努力。为了保证用户的供电质量,一方面要加强输电系统的输送能力和配电系统的供电可靠性,另一方面应抑制或消除各种(包括来自系统侧的和用户侧的)干扰对电能质量的污染。在供电可靠性大力发展且提升空间有限的前提下,针对电能质量问题及其引起的巨大经济损失,国内外研究工作者提出了“电能质量控制技术”,并成为电气工程领域近几十年来最受关注的热点研究方向之一。

电力电子技术与电能质量控制技术之间的区别仅仅在于它们是分别从学科发展和应用需求的不同角度出发所定义的不同领域,二者具有相当多的共性研究内容,它们共同发展,相互促进。

电力电子学是研究电能变换原理与变换装置的综合性学科。它利用半导体功率器件和无源功率元件、微处理器及大规模集成电路、变换理论、传感与信息处理技术、现代控制理论、计算机技术,以功率变换电路为核心对电能进行变换和控制。

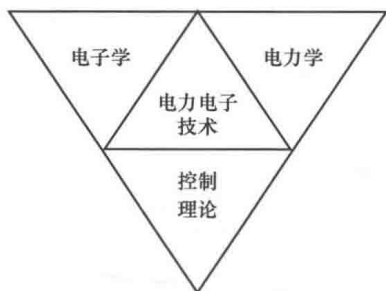


图 1-4 电力电子学的学科结构

1974 年，美国的 W. Newell 用图示的倒三角形对电力电子学进行了描述，被全世界普遍接受^[2]。如图 1-4 所示。

过去几十年中，电力电子技术取得了飞速发展，被誉为 21 世纪的重要发展方向之一。电力电子技术的应用已经贯穿电力系统的“发—输—变—配—用”整个环节中，如图 1-5 所示。在发电环节，电力电子技术主要用于提高发电机组的运行特性以及新能源并网，如大型发电机的静止励磁控制、水力发电机的变速恒频励磁、新能源并网装置等。在交流输电环节，电力电子技术用于提高交流系统的输送容量、提高系统安全稳定性能，实现对交流输电潮流的灵活控制，典型装置如 FACTS 家庭的晶闸管控制串联补偿电容器（TCSC）、静止无功补偿器（SVC）等。在直流输电系统中，基于电力电子技术的换流阀更是承担了高压直流（HVDC）以及柔性直流输电（VSC-HVDC，也称 HVDC Light）最重要的角色。在变—配电环节，电能质量控制技术、定制电力技术（Custom Power, CP）以及分布式电源也都是基于电力电子技术的能源变换装置。在用电环节，电气化铁路、汽车电路系统以及电动汽车的充电站、家用电器等也都含有电力电子设备^[3~5]。

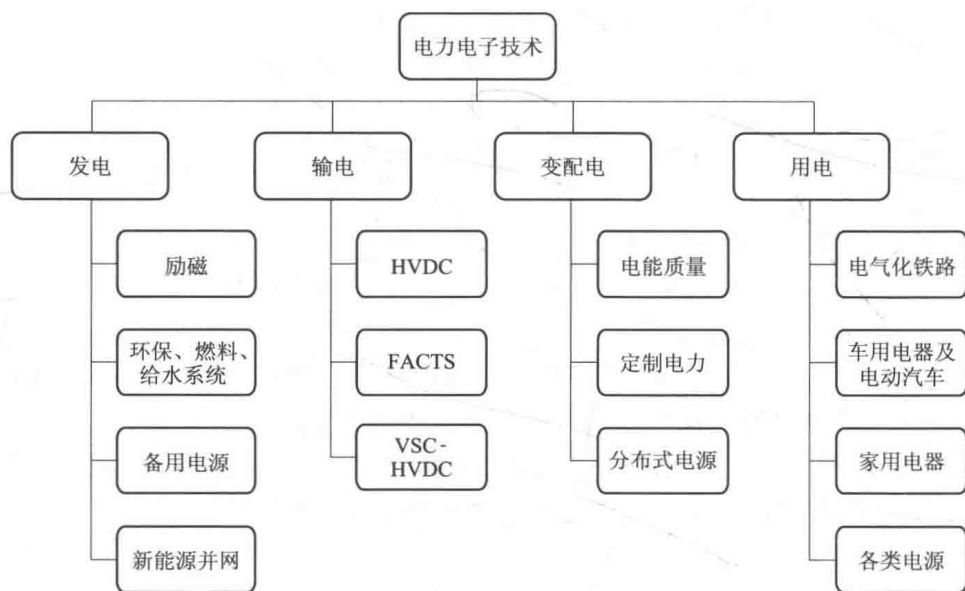


图 1-5 电力电子技术在现代电力系统中的应用

电力电子技术与电能质量的关系生动地反映了事物的两面性。一方面，电力电

子技术的应用是造成电能质量问题的重要原因，比如用户大量地使用基于电力电子技术的非线性负荷，导致产生了谐波、负序、电压波动等电能质量问题；另一方面，电能质量控制技术也主要是利用电力电子技术作为解决电能质量中停电、电压跌落和谐波等突出问题的必要手段。

1.2 电能质量现象及危害

对于电能质量现象可以根据不同基础来分类^{[7][8]}。例如，IEC 和 IEEE 以电磁现象及相互干扰的途径和频率特性为基础，制定了广义的电磁扰动的基本现象分类。欧洲能源监管委员会（CEER）以用户服务质量为基础对供电质量提出定义和分类。本书从电磁兼容的角度出发，定义电能质量为：导致用电设备故障或不能正常工作的电压、电流或频率的偏差，其内容包括频率偏差、电压偏差、电压波动与闪变、三相不平衡、暂时或瞬态过电压、波形畸变、电压暂降与短时间中断以及供电连续性等。简单地说，电能质量（Power Quality）就是指优质供电。

根据 IEEE 制定的电力系统典型电磁现象的分类，电能质量现象有七大类。在实际生产中这些现象都会给安全供电带来不同程度的危害，但是电压暂降、电压波动和闪变、谐波及负序电能质量现象危害最为严重，发生最为频繁，约占电能质量现象的 90% 以上，因此本书将重点介绍这四类现象的起因和危害。如果读者希望完整认识电能质量现象，可查阅本套丛书的其他专辑。

（1）电压暂降，也称电压跌落（Sags or Dips）。

在工程中通常用两个变量来描述电压暂降：跌落幅度（Sag Magnitude）和持续时间（Duration Time）。在各种电能质量问题当中，电压暂降是发生概率最高的。导致电压暂降的原因非常复杂，有自然因素，也有人为因素，有供电部门系统保护的因素，也有企业内部的设备原因和误操作等因素^[7]。

引起电压暂降最常见的原因有如下几种：

- 1) 线路发生短路故障引起的电压暂降；
- 2) 大型感应电动机启动引起的电压暂降；
- 3) 变压器励磁涌流引起的电压暂降；
- 4) 雷击引起的电压暂降。

电压暂降造成的危害与设备自身的特性以及用户的要求密切相关。近年来，由于高科技经济的发展，敏感负荷也逐渐增加，由电压暂降造成的经济损失也随着上升。很多电压暂降发生时我们是感觉不到的，大多数机器仍在工作，而有些机器却突然间停机了，这样的事故虽然不是特别多，但平均起来每个月都会发生几次，这