

普通高等教育智能建筑规划教材

供配电系统

第2版

雍 静 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育智能建筑规划教材

供 配 电 系 统

第 2 版

主 编 雍 静
参 编 杨 岳
曾礼强



机 械 工 业 出 版 社

本书主要介绍中、低压供配电系统的基本知识、基础理论、系统的计算及构成方法、电气设备的选择及运行管理等。

本书在编排上由整体到局部,首先对供配电系统作总体的介绍,再逐步深入到各个局部进行分析和讲解,使读者接受更为容易。本书强调理论与工程实际的结合,突出新技术、新产品的应用,书中实例和习题大都来自于实际工程中。本书中图形符号和文字符号采用最新国家标准,专业术语以国家标准和 IEC 标准为准,表述严谨,数据翔实。本书侧重民用中、低压供配电系统的介绍,通过对问题简明、易懂的分析,使读者对中、低压供配电系统有较全面的认识。

本书内容紧密结合工程实际,实用性强。不仅可作为电气类专业本科生(尤其是建筑电气专业方向)的教学用书,也可作为相关工程技术人员的培训用书和参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

供配电系统/雍静主编. —2版. —北京:机械工业出版社, 2011.6
普通高等教育智能建筑规划教材
ISBN 978-7-111-34071-3

I. ①供… II. ①雍… III. ①供电系统-自动化技术-高等学校-教材②配电系统-自动化技术-高等学校-教材 IV. ①TM72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 060336 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:贡克勤 责任编辑:贡克勤
版式设计:霍永明 责任校对:李锦莉
封面设计:张静 责任印制:杨曦
北京京丰印刷厂印刷
2011 年 6 月第 2 版·第 1 次印刷
184mm×260mm·21.5 印张·534 千字
标准书号:ISBN 978-7-111-34071-3
定价:42.00 元

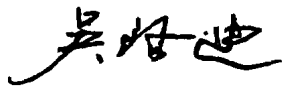
凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
电话服务 网络服务
社服务中心:(010)88361066 门户网:<http://www.cmpbook.com>
销售一部:(010)68326294 教材网:<http://www.cmpedu.com>
销售二部:(010)88379649
读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

序

20 世纪，电子技术、计算机网络技术、自动控制技术和系统工程技术获得了空前的高速发展，并渗透到各个领域，深刻地影响着人类的生产方式和生活方式，给人类带来了前所未有的方便和利益。建筑领域也未能例外，智能化建筑便是在这一背景下走进人们的生活。智能化建筑充分应用各种电子技术、计算机网络技术、自动控制技术、系统工程技术，并加以研发和整合成智能装备，为人们提供安全、便捷、舒适的工作条件和生活环境，并日益成为主导现代建筑的主流。近年来，人们不难发现，凡是按现代化、信息化运作的机构与行业，如政府、金融、商业、医疗、文教、体育、交通枢纽、法院、工厂等，他们所建造的新建筑物，都已具有不同程度的智能化。

智能化建筑市场的拓展为建筑电气工程的发展提供了宽广的天地。特别是建筑电气工程中的弱电系统，更是借助电子技术、计算机网络技术、自动控制技术和系统工程技术在智能建筑中的综合利用，使其获得了日新月异的发展。智能化建筑也为其设备制造、工程设计、工程施工、物业管理等行业创造了巨大的市场，促进了社会对智能建筑技术专业人才的急速增加。令人高兴的是众多院校顺应时代发展的要求，调整教学计划、更新课程内容，致力于培养建筑电气与智能建筑应用方向的人才，以适应国民经济高速发展需要。这正是这套建筑电气与智能建筑系列教材的出版背景。

我欣喜地发现，参加这套建筑电气与智能建筑系列教材编撰工作的有近 20 个姐妹学校，不论是主编者或是主审者，均是这个领域有突出成就的专家。因此，我深信这套系列教材将会反映各姐妹学校在为国民经济服务方面的最新研究成果。系列教材的出版还说明一个问题，时代需要协作精神，时代需要集体智慧。我借此机会感谢所有作者，是你们的辛劳为读者提供了一套好的教材。



写于同济园
2002 年 9 月 28 日

第2版前言

本书是普通高等教育智能建筑规划教材。本书既可作为电气专业本科教材，也可作为相关专业工程技术人员的培训用书和参考用书。

本书共分九章。首先从基本概念和供配电系统的整体层面讲述了供配电系统的定义和特点，本课程的任务、目的和要求，以及一些学习本课程的预备知识。紧接着介绍供配电系统的结构——主结线及供配电网络，以便读者能尽快建立起总体概念。然后分别介绍负荷计算、短路电流计算的基本方法，中、低压供配电系统的保护方法，电气设备及线缆的选择方法，电能质量改善与配电自动化的基本知识，过电压的防护与接地等。为了便于学生理解所学内容，一些关键章节都配有作了详细分析解答的例题，同时每章都配有习题，书末附有必要的技术参数和设备参数。本书是修订版，在第1版基础上增加了供配电系统经济性评估方法、新能源及其接入系统时对电能质量影响的介绍，并根据国家标准和规范的更新对相关内容进行了更新，同时删去了一些繁琐的理论推导内容。

本书是在查阅了大量的相关书刊、资料以及现行的国家标准、规范，并结合本编写组人员多年的教学经验和工程实践经验的基础上编写而成。在此向所有参考文献的作者致以衷心的感谢。

本书由重庆大学雍静任主编，负责全书的构思、编写组织和统稿工作。第四章由重庆大学杨岳编写，第九章由重庆大学杨岳和雍静合作编写，第六、七、八章由重庆大学曾礼强和雍静合作编写，其余部分由雍静编写。研究生娄方桥、文充、桂小智、晏小龙等参与了本书的部分插图绘制和校对工作。

本书的出版得到中国电工技术学会电气工程教育委员会的具体指导，也得到重庆大学电气工程学院领导和同志们的关心和大力支持。在此向他们表示真诚的感谢！

由于作者水平有限，书中不妥和错误之处在所难免，恳请使用和阅读的读者和同行不吝赐教，作者万分感激。

编者

第1版前言

本书是高等院校智能建筑规划教材之一，由智能建筑系列教材编审委员会组织编写。本书既可作为电气专业本科教材，也可作为相关专业工程技术人员的培训用书和参考用书。

本书共分九章。首先讲述了供配电系统的定义和特点，本课程的任务、目的和要求，以及一些学习本课程的预备知识。紧接着介绍供配电系统的结构——主结线及供配电网络，以便读者能尽快建立起总体概念。然后分别介绍负荷计算、短路电流计算的基本方法，电气设备、线缆的选择方法，中、低压系统的保护方法，二次回路与配电自动化的基本工作原理，过电压的防护等。最后介绍电能质量的评价方法和改善措施。为了便于学生理解所学内容，一些关键章节都配有作了详细分析解答的例题，同时每章都配有习题，书末附有必要的技术参数和设备参数。

本书是在查阅了大量的相关书刊和资料，并结合本编写组人员多年的教学经验和工程实践经验的基础上编写而成。在此向所有参考文献的作者致以衷心的感谢。

本书的出版得到机械工业出版社教材编辑室的关心和重视，得到中国电工技术学会电气工程教育委员会的具体指导。本书由重庆大学雍静任主编，负责全书的构思、编写组织和统稿工作。本书第四章由重庆大学杨岳编写，第八章由重庆大学杨岳和雍静合作编写，第六、七、九章由华东交通大学何人望和重庆大学雍静合作编写，其余部分由雍静编写。本书由东南大学唐国庆任主审，唐国庆教授对本书提出了宝贵的意见。

本书在编写过程中得到重庆大学电气工程学院领导和同志们的关心和大力支持。参加审稿会的谢永茂、邓申军、陈家国、周齐国、龙莉莉、赵宏伟、魏明、冯黄碧、杨琳等专家教授对教材进行了详细的审阅，并提出了宝贵的意见和建议。在此向他们表示真诚的感谢！

由于作者水平有限，书中不妥和错误之处在所难免，恳请使用和阅读本书的读者和同行不吝赐教。

编者

目 录

序	
第 2 版前言	
第 1 版前言	
第一章 绪论	1
第一节 电能与能源	1
第二节 新能源	3
第三节 电力系统的基本概念	7
第四节 电力系统的标准电压	9
第五节 供电系统的概念	12
第六节 供电系统投资经济性 评估	13
第七节 供电系统的设计原则 和要求	18
第八节 供电系统电能质量的 概念	20
第九节 本课程的主要内容	24
习题	25
第二章 供电系统的构成	26
第一节 供电可靠性与负荷等级	26
第二节 变、配电站主结线	29
第三节 变、配电站的结构与布置	42
第四节 供电网络结构	55
第五节 供电线路的结构与安装	58
习题	68
第三章 负荷预测与负荷计算	71
第一节 负荷预测	71
第二节 负荷曲线绘制及其特征参数	76
第三节 计算负荷的概念	78
第四节 负荷计算的方法	81
第五节 单相用电设备的负荷计算	89
第六节 供电系统的功率损耗和电 能损耗	91
第七节 功率因数计算与无功功率 补偿	93
第八节 供电系统负荷计算举例	97
第九节 城市用电负荷的预测	101
习题	104
第四章 短路电流计算	107
第一节 供电系统的中性点运行 方式	107
第二节 短路发生的原因、种类、 危害	108
第三节 无限大容量电源供电系统三相 短路暂态过程分析	110
第四节 短路回路中各元件阻抗计算	115
第五节 无限大容量电源系统三相短 路电流计算	119
第六节 异步电动机对短路冲击电流的 影响及计算	129
第七节 不对称短路的短路电流 计算	130
习题	137
第五章 中压供电系统保护及配电 自动化	139
第一节 保护的作用、基本原理及 要求	139
第二节 常用保护元件及接线	142
第三节 中压单端供电网络线路的 保护	148
第四节 中压系统电力变压器的保护	162
第五节 中压电动机的保护	168
第六节 供电系统自动装置	170
第七节 微机保护	172
习题	176
第六章 低压配电系统保护	178
第一节 低压配电系统的形式	178
第二节 低压断路器的保护原理和 特性	182

第三节	低压熔断器的保护特性	188	第二节	电压波动和闪变及改善措施	251
第四节	剩余电流保护器的保护特性	189	第三节	三相电压不对称度及改善措施	257
第五节	低压配电系统保护设置	192	第四节	谐波及改善措施	258
第六节	低压配电线路的短路和过负荷保护	193	第五节	新能源接入对电能质量的影响	263
第七节	低压配电系统接地故障保护	195	第六节	配电网自动化	267
第八节	保护电器的级间配合	201	习题	习题	273
习题	习题	203	第九章	过电压防护与接地	275
第七章	供配电系统设备及线缆的选择	204	第一节	过电压的种类和危害	275
第一节	短路电流的力效应和热效应	204	第二节	雷电过电压的特性	277
第二节	开关电器的灭弧原理	209	第三节	接地与接地装置	280
第三节	电气设备选择的一般原则	213	第四节	直击雷的防护	284
第四节	开关电器及其选择	216	第五节	雷电过电压的防护	292
第五节	熔断器及其选择	222	第六节	防雷击电磁脉冲的系统措施	298
第六节	互感器及其选择	227	第七节	民用建筑物的防雷分类与防雷措施	306
第七节	电力线缆的选择	233	习题	习题	310
第八节	电力变压器和柴油发电机的选择	240	附录	附录	312
习题	习题	244	参考文献	参考文献	336
第八章	电能质量改善与配电自动化	246			
第一节	电压偏差及改善措施	246			

第一章 绪 论

供配电系统是电力系统的一个重要组成部分。本章主要讲授电力系统的基本概念、运行特点、新能源的种类和特点，电力系统标准电压的规定及适用范围，电力系统与供配电系统的关系，供配电系统的概念，供配电系统经济性评估，供配电系统的设计原则和要求，供配电系统电能质量的概念等学习“供配电系统”课程的预备知识。并对本课程各章主要内容及其之间的关系进行介绍。

第一节 电能与能源

电能是一种清洁的二次能源。它是由自然界中存在的一次能源中储存的能量（如燃料中的化学能、水的势能、核能、风能、太阳能等）转换而来的；同时，电能又能很方便地转换为人们所需要的其他形式的能量（如用电炉将电能转换为热能，用电动机将电能转换为机械能，用电灯将电能转换为光能，用蓄电池将电能转换为化学能等）。

电能有下述特点和优势：产生电能的一次能源非常丰富，电能可以与多种形式的能源进行相互转换；电能具有一次能源所不具备的便于大规模生产、远距离传输的特点；电能分配系统中可以无限分割、易于精密控制，能够精确地实现分散、定时、定量、定点使用；电能是化石燃料清洁利用的最好方式，新能源和可再生能源必须转换成电能才能被方便利用，合理使用电能可以节约一次能源。总之，电能是最清洁、高效、安全、优质的能源，电能消费水平反映了一个国家电气化程度，也成为表征一个国家现代化进程和人民生活水平的重要标志。

一、我国的电气化水平增速

衡量一个国家的电气化水平的三个主要指标是人均用电量、发电用能占一次能源比重和电能占终端能源消费比重，反映电力消费增长速度与国民经济增长速度之间比例关系的指标是电力消费弹性系数。

（一）人均用电量

人均用电量指标由于各个国家或地区地理位置不同、资源环境不同、经济结构不同而呈现较大的差异。表 1-1 是 2006 年世界一些国家或地区的人均用电量。该指标反映了我国和世界发达国家在人均用电水平上的差距。

表 1-1 2006 年世界一些国家或地区的人均用电量 (单位: kW·h)

国家或地区	加拿大	瑞典	美国	澳大利亚	新西兰	日本	韩国	德国	英国	中国香港	中国
人均用电量	16753	15231	13550	11332	9646	8451	7995	7174	6185	5882	2100

（二）发电用能占一次能源比重和电能占终端能源消费比重

发电用能占一次能源比重和电能占终端能源消费比重指标反映了电能在整个能源系统中

的地位。从世界各国能源利用规律看，随着经济的发展，电能占终端能源消费的比重不断攀升，电能消费量的年均增速始终快于终端能源消费增速。

能源效率用单位能源消耗创造的 GDP 表示，即单位 GDP 能耗的倒数。图 1-1 显示了我国 1980~2006 年能源效率与上述两个指标（发电用能占一次能源比重、电能占终端能源消费比重）在不同年份的实际值。我国能源效率的不断提高伴随着电气化水平的不断提高。2005 年，我国能源效率为 0.82 万元/tce（吨标准煤当量），发电用能比重为 41.7%，电能占终端能源消费比重达到 18.02%。与 1980 年相比，我国能源效率提高 2.78 倍（以 2005 年不变价格计算，下同），发电用能比重增加 21.1 个百分点，电能占终端能源消费的比重增加了 11.5 个百分点。

提高能源效率是降低能源消耗的重要途径。图 1-1 说明了我国能源效率的提高和发电用能占比提高、电能占终端能源消费的提高是同步的。

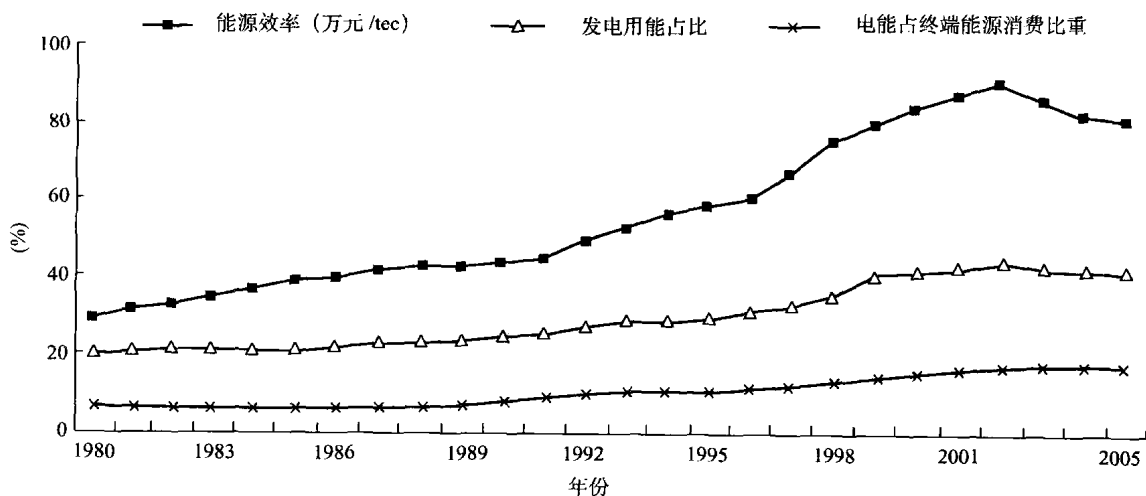


图 1-1 1980~2006 年我国能源效率与电气化指标 (2005 年不变价格计算能源效率)

(三) 电力消费弹性系数

根据国际能源机构统计：1990~2000 年世界平均能源消费弹性系数（在某一时期内能源总消费量年平均增长率与同一时期国民生产总值（或国内生产总值）年平均增长率的比值）为 0.46，而同期电力消费弹性系数（在某一时期内电力总消费量年平均增长率与同一时期国民生产总值（或国内生产总值）年平均增长率的比值）则为 1.01。电力消费的增长速度远远高于能源消费的增长速度，表明越来越多的能源正被转换成电能的形式加以利用。1990~2001 年，在世界终端能源消费构成中，电能的比重由 16.14% 上升到 18.99%。其中，经济合作与发展组织（OECD）成员国由 18.26% 升至 20.14%；我国则从 9.14% 升至 18.16%，升幅最大，已接近世界平均水平；2001~2004 年，我国用电量又有高达 47.3% 的新增长。

二、电能在能源工业中地位提升的原因

电能供应在推动国民经济进步中起到了不可或缺的作用，并随着经济的发展，其在能源工业中的地位将得到进一步提升。原因如下：

(一) 电力的消费需求将进一步呈刚性增长

(1) 世界各国的发展过程表明，经济增长对能源的消费具有明显的拉动作用，而且电

力的消费增长速度超过能源总体的增长速度。

(2) 工业用电仍将维持增长趋势。我国工业用电一直占全社会用电的很大份额，而且增长速度也最强劲，超过同期全社会用电量的增长速度。

(3) 经验表明，在经济快速发展阶段，能源、电力消费的年均增速明显快于工业化后期及更高发展阶段，在经济发展到高级阶段后，人均能源消费量基本维持稳定，但人均电力消费则依然继续稳步攀升。同时，城镇化、信息化和新农村、小康社会建设将进一步刺激电力消费。

(二) 一次能源中用于电力生产的比例将进一步增加

(1) 由于我国以火电为主的电源结构在短期不会改变，而且火电装机容量在总装机中的比重在近几年还将持续上升，因此，电煤的消耗仍将继续增加。工业化国家绝大多数都把煤用来发电。1999年，美国发电用煤就占煤炭总消费量的90.5%，OECD国家也达到80.4%，而当时我国仅为37%。2006年，我国电煤比重提升到55.37%，而同期英国、德国和澳大利亚这一比重分别为72%、78%、80%，除了部分煤炭用于煤化工外，几乎全部用作发电。尤其在环保的压力下，将煤炭转化为洁净的电力能源是最好的选择。

(2) 随着新能源和可再生能源的兴起，核能、太阳能、水能、风能、生物质能等可再生能源转化为电能的比例越来越大，这也增加了电力生产消耗一次能源的比例。

(三) 电力在能源安全中的地位更重要

电力不仅影响终端能源的供应安全，还影响一次能源的供应安全。虽然作为电力生产的主要原料，煤炭同石油、天然气等一次能源一样，属于有限的不可再生能源，但电力还有丰富的水能、风能等可再生能源支持。可再生能源将会有效地改善我国的发电生产以煤为主的结构，对保障能源的可持续发展和能源供应安全具有十分重要的战略意义。电力安全关系国民经济的持续健康发展、社会秩序的稳定和千家万户的生活，比其他能源行业安全的影响面更广、影响力更大。

(四) 电力行业关系到节能减排的整体成效

目前，电煤消耗占全国煤炭产量的一半以上，火电用水占工业用水的40%，二氧化硫排放量占全国排放量的52%，烟尘排放量占全国排放量的20%，产生的灰渣占全国的70%，电力工业成为我国节能降耗和污染物减排的重点领域。

第二节 新 能 源

新能源又称非常规能源，是指传统能源之外的，刚开始开发利用或正在积极研究、有待推广的各种能源形式。相对于常规能源而言，在不同的历史时期和科技水平情况下，新能源有不同的内容。目前，新能源通常指核能、太阳能、风能、水能、地热、潮汐能、波浪能、海流能、生物质能（生物燃油）等。

相对于传统能源，新能源普遍具有污染少、储量大、分布均匀的特点，对于解决当今世界严重的环境污染问题和资源问题，特别是化石能源枯竭的问题具有重要意义。随着石油、煤炭等资源的加速减少，新能源将成为主要能源。

一、新能源的形式

(一) 太阳能

太阳能一般指太阳光的辐射能量。太阳能的转换主要有太阳能的光热转换、光电转换以及光化学转换三种主要方式。广义上的太阳能是地球上许多能量的来源，如风能、化学能、水的势能等都是由太阳能导致或转化成的能量形式。

利用太阳能的方法主要有：

1. 太阳能光伏 光伏板组件是一种暴露在阳光下便会产生直流电的发电装置，由几乎全部以半导体材料（例如硅）制成的固体光伏电池组成。由于没有活动的部分，故可以长时间操作而不会导致任何损耗。简单的光伏电池可为手表及计算机提供能源，较复杂的光伏系统可为房屋照明和电网供电。光伏板组件可以制成不同形状，而组件又可连接，以产生更多电力。建筑物屋面及其他表面均可使用光伏板组件，甚至被用作窗户、天窗或遮蔽装置的一部分，这些光伏设施通常被称为附设于建筑物的光伏系统。

2. 太阳能热利用 现代的太阳热能科技将阳光聚合，并运用其能量产生热水、蒸汽和电力。除了运用适当的科技来收集太阳能外，建筑物也可直接利用太阳的光和热能，方法是在设计时加入合适的装备，例如巨型的向南窗户或使用能吸收及慢慢释放太阳热力的建筑材料。目前，太阳能热发电是开发利用的重点。

（二）核能

核能是原子核内部结构发生变化而释放出的能量。核能通过以下三种核反应之一释放：

1. 核裂变能 所谓核裂变能是通过一些重原子核（如铀-235、铀-238、钚-239等）的裂变释放出的能量。核裂变容易控制和引发，可用于核能发电。

2. 核聚变能 由两个或两个以上氢原子核（如氢的同位素——氘和氚）结合成一个较重的原子核，同时发生质量亏损释放出的巨大能量。核聚变目前还不可控，但是多国已经开始研究了，相信在不久的将来可控核聚变将用来发电。

3. 核衰变 核衰变是一种自然的慢得多的裂变形式，因其能量释放缓慢而难以加以利用。

核能利用存在的主要问题是：资源利用率低；反应后产生的核废料成为危害生物圈的潜在因素，其最终处理技术尚未完全解决；反应堆的安全问题尚需不断研究及技术改进；核不扩散要求的约束，即核电站反应堆中生成的钚-239受控制；核电建设投资费用仍然比常规能源发电高，投资风险较大。

（三）海洋能

海洋能指蕴藏于海水中的各种可再生能源，包括潮汐能、波浪能、海流能、海水温差能、海水盐度差能等。这些能源都具有可再生性和不污染环境等优点，是一项亟待开发利用的具有战略意义的新能源。

1. 波浪发电 据科学家推算，地球上波浪蕴藏的电能高达90万亿kW·h，是一种取之不尽、用之不竭的无污染可再生能源。海上导航浮标和灯塔已经可以使用波浪发电机发出的电来照明。大型波浪发电机组也已问世，日本的一座海洋波浪能发电厂已运行8年，美国、英国、印度等国家已建成几十座波浪能发电站，且均运行良好。中国也在对波浪发电进行研究和试验，并制成了供航标灯使用的发电装置。近年来，在各国的新能源开发计划中，波浪能的利用已占有一席之地。尽管波浪能发电成本较高，需要进一步完善，但进展已表明了这种新能源潜在的商业价值。

2. 潮汐发电 据世界动力会议估计，到2020年，全世界潮汐发电量将达到1000~3000

亿 kW。世界上最大的潮汐发电站是法国北部英吉利海峡上的朗斯河口电站，发电能力 24 万千瓦，已经工作了 30 多年。中国在浙江省建造了江夏潮汐电站，总容量达到 3000kW。

3. 海水盐度差能发电 如果有两种盐溶液，一种溶液中盐的浓度高，一种溶液的浓度低，那么把两种溶液放在一起并用一种渗透膜隔离后，会产生渗透压，水会从浓度低的溶液流向浓度高的溶液。江河里流动的是淡水，而海洋中存在的是咸水，两者也存在一定的盐度差。在江河的入海口，淡水的水压比海水的水压高，如果在入海口放置一台涡轮发电机，淡水和海水之间的渗透压就可以推动涡轮机来发电。

（四）风能

风能是太阳辐射下空气流动所形成的。风能与其他能源相比，具有明显的优势，它蕴藏量大，是水能的 10 倍，分布广泛，永不枯竭，对交通不便、远离主干电网的岛屿及边远地区尤为重要。风力发电，是当代人利用风能最常见的形式。自 19 世纪末丹麦研制成风力发电机以来，人们认识到石油等能源会枯竭，已经开始重视风能发电的发展。

1977 年，联邦德国在著名的风谷——石勒苏益格·荷尔斯泰因州的布隆坡特尔建造了一个世界上最大的发电风车。该风车高 150m，每个浆叶长 40m，重 18t，用玻璃钢制成。截止到 2008 年 12 月底，全球的风电总装机容量已经超过了 1.2 亿 kW。2008 年，全球风电增长速度达到 28.8%，新增装机容量达到 2700 万 kW，同比增长 36%。

（五）生物质能

生物质能来源于生物质，也是太阳能以化学能形式贮存于生物中的一种能量形式，它直接或间接地来源于植物的光合作用。生物质能是贮存的太阳能，更是一种唯一可再生的碳源，可转化成常规的固态、液态或气态的燃料。地球上的生物质能资源较为丰富，而且是一种无害的能源。地球每年经光合作用产生的物质有 1730 亿 t，其中蕴含的能量相当于全世界能源消耗总量的 10~20 倍，但利用率不到 3%。

（六）地热能

地热能是来自地球深处的可再生热能，源自地球的熔融岩浆和放射性物质的衰变。中国地热资源丰富，分布广泛，已有 5500 处地热点，地热田 45 个，地热资源总量约为 320 万 MW。

（七）氢能

氢能在 21 世纪有可能在世界能源舞台上成为一种举足轻重的二次能源。它是一种极为优越的新能源，其主要优点有：燃烧热值高，每千克氢燃烧后的热量，约为汽油的 3 倍，酒精的 3.9 倍，焦炭的 4.5 倍。氢燃烧的产物是水，是最干净的能源。氢能资源丰富，氢可以由水制取，而水是地球上最为丰富的资源，演绎了自然物质循环利用、持续发展的经典过程。

二、新能源的发展现状与趋势

目前，部分可再生能源利用技术已经取得了长足的发展，并在世界各地形成了一定的规模。生物质能、太阳能、风能以及水力发电、地热能等的利用技术已经得到了应用。

国际能源署（IEA）对 2000~2030 年国际电力的需求进行了研究，研究表明，来自可再生能源的发电总量年平均增长速度将最快。IEA 的研究认为，在未来 30 年内非水利的可再生能源发电将比其他任何燃料的发电都要增长得快，年增长速度近 6%，在 2000~2030 年间其总发电量将增加 5 倍，到 2030 年，它将提供世界总电力的 4.4%，其中生物质能将

占其中的 80%。

风力发电在 19 世纪末就开始登上历史的舞台，在一百多年的发展中，一直是新能源领域的独军奋战者。由于其造价相对低廉，成为各国争相发展的新能源首选。然而，随着大型风电场的不断增多，占用土地日益扩大，产生的社会矛盾也日益突出。太阳能发电具有安装及维护方便等特点，应用面较广，现在全球装机总容量已经开始追赶传统风力发电，在德国甚至接近全国发电总量的 5%~8%。但随之而来的问题是，太阳能发电的时间局限性导致了对电网的冲击。如何解决这些问题成为能源界的一大困惑。

早在 2001 年，MUCE 公司就为开拓稳定的海岛通信电源而开展了一项研究，经过 6 年多研究和实践，终于将一种成熟的新型应用方式，即 MUCE 风光互补系统向社会推广。这种系统采用了中国自主研发的新型垂直轴风力发电机（H 型）和太阳能发电进行 10:3 的结合，形成了相对稳定的电力输出。该系统在建筑上，在野外，在通信基站、路灯、海岛等均进行了实际应用，获得了大量可靠的使用数据。这一系统的研究成果将为中国乃至世界的新能源发展带来新的动力。新型垂直轴风力发电机（H 型）突破了传统的水平轴风力发电机起动风速高、噪声大、抗风能力差、受风向影响等缺点，采取了完全不同的设计理论，采用了新型结构和材料，具有微风起动、无噪声、抗 12 级以上台风、不受风向影响等特点，可大量用于别墅、多层及高层建筑、路灯等中小型应用场合。以它为主建立的风光互补发电系统，具有电力输出稳定、经济性高、对环境影响小等优点，也解决了太阳能发展中对电网冲击影响等问题。

但就目前状况而言，可再生能源的利用在一次能源中的比例总体上偏低，其原因，一方面是与不同国家的重视程度与政策有关，另一方面与可再生能源技术的成本偏高有关，尤其在技术含量较高的太阳能、生物质能、风能等的利用上更为突出。据 IEA 的预测研究，在未来 30 年可再生能源发电的成本将大幅度下降，从而增加它的竞争力。虽然可再生能源利用的成本与多种因素有关，其成本预测结果具有一定的不确定性，但这些预测结果表明了可再生能源利用技术成本将呈不断下降的趋势。

随着能源危机日益临近，新能源已经成为今后世界上的主要能源之一。其中太阳能已经逐渐走入人们寻常的生活，风力发电偶尔可以看到或听到，可是它们作为新能源如何在实际中去应用？新能源的发展究竟会是怎样的格局？这些问题将是在今后很长时间里需要探索的。

三、几种未来的新能源

1. 可燃冰 这是一种与水结合在一起的固体化合物，它的外形与冰相似，故称“可燃冰”。可燃冰在低温高压下呈稳定状态，融化所释放的可燃气体相当于原来固体化合物体积的 100 倍。据测算，可燃冰的蕴藏量比地球上的煤、石油和天然气的总和还多。

2. 煤层气 煤在形成过程中由于温度及压力增加，在产生变质作用的同时也释放出可燃性气体。从泥炭到褐煤，每吨煤产生 68m^3 气；从泥炭到肥煤，每吨煤产生 130m^3 气；从泥炭到无烟煤每吨煤产生 400m^3 气。科学家估计，地球上煤层气可达 2000Tm^3 。

3. 微生物 世界上有不少国家盛产甘蔗、甜菜、木薯等，利用微生物发酵，可制成酒精。酒精具有燃烧完全、效率高、无污染等特点。用酒精稀释汽油可得到“乙醇汽油”，据报道，巴西已改装“乙醇汽油”或酒精为燃料的汽车达几十万辆，减轻了大气污染。此外，利用微生物可制取氢气，以开辟能源的新途径。

第三节 电力系统的基本概念

一、电力系统的组成

电力系统是由发电厂、变电站、电力线路和用电设备联系在一起组成的统一整体。上述各组成部分分别起到生产、转换、分配、输送和使用电能的作用。

图 1-2 所示为电力系统示意图。

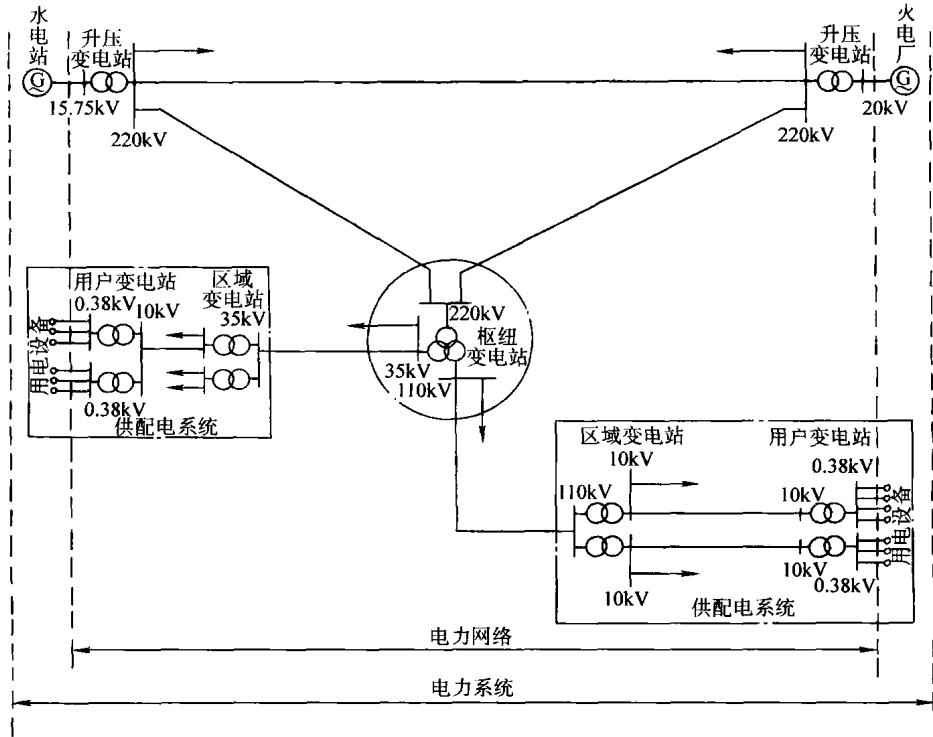


图 1-2 电力系统示意图

1. 发电厂 它是将自然界蕴藏的各种一次能源转化成电能的场所。由一次能源的性质可分成火力发电厂、水力发电厂、核电厂、风力发电场等。

2. 变电站 它是进行电压变换以及电能接受和分配的场所。

根据变电站的性质可分为升压和降压变电站：

(1) 升压变电站是将发电厂发出的电能进行升压处理，便于大功率和远距离传输。

(2) 降压变电站是对电力系统的高电压进行降压处理，以便电气设备的使用。在降压变电站中，根据变电站的用途可分为枢纽变电站、区域变电站和用户变电站。

1) 枢纽变电站起到对整个电力系统各部分的纽带联结作用，负责对整个系统中电能进行传输和分配。

2) 区域变电站是将枢纽变电站送来的电能做一次降压后分配给电能用户。

3) 用户变电站接受区域变电站的电能，将其降压为能满足用电设备电压要求的电能且合理地分配给各用电设备。

只进行电能接受和分配，没有电压变换功能的场所称为配电所。

3. 电力线路 电力线路是进行电能输送的通道。分为输电线路和配电线路两种。输电线路是将发电厂发出的经升压后的电能送到邻近负荷中心的枢纽变电站，或连接相邻的枢纽变电站，或由枢纽变电站将电能送到区域变电站，其电压等级一般在 220kV 以上；配电线路则是将电能从区域变电站经降压后输送到电能用户的线路，其电压等级一般为 110kV 及以下。

4. 用电设备 从电力系统中汲取电能，并将电能转化为机械能、热能、光能等。如电动机、电炉、家用电器、照明器等设备。

在电力系统中除去发电厂和用电设备以外的部分称为电力网络，简称电网，如图 1-2 所示。

二、电力系统组网运行的原因

用电设备使用的电能最终来自发电厂，那么，为什么要构成一个电力网络，而不是由发电厂直接向电能用户提供电能呢？原因如下：

1. 降低成本、提高一次能源使用效率 主要表现在：

(1) 由于大容量机组的效率高于小容量机组，所以系统组网运行后，因不受区域负荷的限制，可以用增大发电机组容量的方式来提高效率。

(2) 由于一次能源运输困难，甚至不能运输（如水力资源，其发电成本最低），就地设发电厂，通过电网组网运行的方式，向需用电能的地方输送，可有效利用一次能源，降低发电成本。

(3) 充分利用发电厂的季节优势（如利用水电厂丰水季节多发廉价电力），合理调度发电厂的发电量，达到系统经济运行的目的。

2. 保证电力供应的可靠性 组网运行后，整个系统崩溃的可能性减小，可使对可靠性要求高的重要设备的供电连续性得到保证。

3. 增强系统的稳定性 电力系统稳定性是指系统受到一定的干扰后继续运行的能力。包括同步运行稳定性、频率稳定性和电压稳定性。

(1) 同步运行稳定性。电力系统在运行过程中不断受到各种干扰（如负荷的波动、各种形式的故障等），使同步发电机机械输入转矩与电输出转矩失去平衡，出现各发电机之间的相对加速和减速，各发电机转子相对功角发生不断的变化。如果这个过程不能得到抑制，则发电机将失步，从而导致系统由于同步运行稳定性的破坏而崩溃。

(2) 频率稳定性。电力系统正常运行时，电源和负荷的有功功率是平衡的，频率也正常。但当系统中有大量有功功率缺额时，频率会大幅下降，影响发电机组出力，甚至跳闸，进一步造成频率下降，使系统中有功出力再减少。如此恶性循环，最终导致系统大面积停电，这种情况叫频率稳定性被破坏。

(3) 电压稳定性。正常运行情况下，由于负荷的电压效应以及无功补偿的作用，当负荷变动时，系统电压就会随之变动并稳定于某一定值。由于静电电容器的无功功率与电压二次方成正比，当系统电压低到某一数值后，将导致输入系统的无功功率减少。当输入系统的无功功率小于负荷需吸收的无功功率时，系统电压将不断下降，以致输电线路、变压器、发电机等因为过负荷或失步而跳闸，造成大面积停电，这种情况叫电压稳定性被破坏。

电力系统组网运行可有效减少上述情况的发生。

4. 保证电能质量 电能质量主要反映在电压质量和频率质量上。组网运行后，系统的容量大，用电设备的负荷波动对系统中电气参数的影响减小，因而，系统向用电设备提供的电能质量也相对较好。

三、电力系统运行的特点

1. 电能生产的重要性 由于电能与其他能量之间转换方便，易于大量生产、集中管理、远距离输送、自动控制，因此电能是国民经济各部门使用的主要能源，电能供应的中断或不足将直接影响国民经济各部门的正常运转。这就要求系统运行的可靠和电能供应的充足。

2. 系统暂态过程的快速性 发电机、变压器、电动机、电力线路等设备和线路的投入和退出，电力系统的短路等故障都在一瞬间完成，并伴随非常短促的暂态过程的出现。这就要求系统有一套非常迅速和灵敏的监视、测量、控制和保护装置。

3. 电能发、输、配、用的同时性 电能的生产、分配、输送和使用几乎是同时进行，即发电厂任何时刻生产的电能必须等于该时刻用电设备使用的电能与分配、输送过程中损耗的电能之和。这就要求系统结构合理，便于运行调度。

第四节 电力系统的标准电压

一、电力系统标准电压的规定

众所周知，三相交流系统中，三相视在功率 S 和线电压 U 、线电流 I 之间的关系为

$$S = \sqrt{3}UI \quad (1-1)$$

当输送功率一定时，电压越高，电流越小，线路、电气设备等的载流部分所需的截面积越小，有色金属投资也就越小；同时，由于电流小，传输线路上的功率损耗和电压损失也较小。另一方面，电压越高，对绝缘的要求则越高，变压器、开关等设备以及线路的绝缘投资也就越大。综合考虑这些因素，对应一定的输送功率和输送距离都有一个最为经济、合理的输电电压。由图 1-2 所示系统可见，各部分电压等级是不同的。

从设备制造角度考虑，为保证产品生产的标准化和系列化，又不宜任意确定电网电压，甚至规定的标准电压等级过多也不利于电力设备制造和运行业的发展。

国际电工委员会（IEC）标准 IEC60038（2002）提供了以 50Hz 和 60Hz 为基本参数的两个标准电压系列，并在每个系列中综合提供了该系列的基本电压等级。各国可根据本国情况选择其中的标准电压系列和该系列的基本电压等级。同时该标准规定了任一国家和地区内，相邻两级电压之比不应小于二倍的原则。

针对标准电压，有如下一些术语及其定义：

- (1) 系统标称电压 (Nominal System Voltage)：用以标志或识别系统电压的给定值。
- (2) 系统最高电压 (Highest Voltage of a System)：在正常运行条件下，在系统的任何时间和任何点上出现的电压最高值。
- (3) 系统最低电压 (Lowest Voltage of a System)：在正常运行条件下，在系统的任何时间和任何点上出现的电压最低值。
- (4) 供电电压 (Supply Voltage)：供电点处的线电压或相电压。
- (5) 供电电压范围 (Supply Voltage Range)：供电点处的电压范围。
- (6) 用电电压 (Utilization Voltage)：设备受电端上的线电压或相电压。