

科普丛刊(第2期)

电与环保

上海电机工程学会科普委员会 编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

TM-49

7116

184397

2 期)

电 与 环 保

上海电机工程学会科普委员会 编

中国电力出版社

内 容 提 要

本期《科普丛刊》围绕面向 21 世纪电力与环保的主题,在扼要叙述电力工业可持续发展理论的基础上,介绍了我国电力工业展望、电力工业高新技术、新能源与可再生能源、电力工业环保技术等内容。

本书作为科普读物,资料内容新颖、通俗,适用于从事和关心电力行业的社会公众阅读。

科 普 丛 刊
(第 2 期)

电 与 环 保

上海电机工程学会科普委员会 编

*

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

梨园彩色印刷厂印刷

*

1999 年 9 月第一版 1999 年 9 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 32 开本 2.375 印张 49 千字
印数 0001—6060 册

*

书号 155083·33 定价 4.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

编辑委员会

主 任 陈开庸

副主任 施明融 张志竞 郁祖培

委 员 朱 峰 冯亚民 叶采藩

王永珠 黄根寿 李令飞

李亦达 厉建国

主 编 厉建国

编 辑 陈运伸

前 言

在庆祝建国 50 周年和世纪更迭之际，上海市电机工程学会科普委员会遵照党中央提出的加强科学技术普及宣传工作的精神，组织有关科技人员编辑出版《科普丛刊》（第 2 期），旨在适时向社会公众介绍电力工业展望以及当前科技创新对电力工业带来的挑战与机遇。

众所周知，电力工业是国民经济和社会发展的基础产业，电气化程度是衡量一个国家的经济发展和科学技术水平的重要标志，是提高和改善人民生活水平和促进环境改善的必要条件。

据统计，截至 1998 年 12 月底，我国的发电装机容量达 277.289GW，年发电量达 1157.697TWh，居世界第二位，但人均装机容量和发电量及用电量与先进的工业国家相比仍有较大的差距。

当然，电力的发展不仅是装机容量和发电量的增长，更重要的是电能质量和运行管理水平的提高。依靠科学技术进步与科技创新体系，可使电力工业与环保技术的发展相适应，达到以较少的能源消耗换取更大的经济效益、社会效益和环保的效果，

以保障电力工业可持续发展和满足人民生活水平日益提高的需要。

本期介绍了电力工业展望、电力高新技术、新能源与再生能源、电力工业环保技术等内容，希望能对从事和关心电力行业的同志们、朋友们有所启迪。

本刊在编撰过程中，承蒙华东电力集团公司、上海市电力公司和华东电力试验研究院的领导给予指导和资助，在此表示衷心的感谢。同时，衷心地感谢我国著名的电力专家郑健超院士给予本刊精辟的指导，衷心感谢马乃祥教授、周佩白教授等老一辈电力科技工作者对本刊编辑工作给予的热情支持和无私帮助，衷心感谢所有关心、帮助、支持本刊编辑出版工作的同志们和朋友们。

由于编撰时间有限，有关题材收集不全，难免有不足之处，请读者谅解和指正。

上海市电机工程学会科普委员会

1999年7月

目 录

前言

第一章 电力工业展望

实现电力工业的可持续发展	1
面向 21 世纪的电力新技术	4
21 世纪的中国电力工业	11

第二章 电力工业高新技术

先进的清洁煤燃烧发电技术	19
灵活交流输电新技术	24
智能化低压成套开关设备	28
地下变电所和大楼内的变电所	32

第三章 新能源与可再生能源

燃料电池	35
风力发电	40
潮汐能	45
太阳能的利用	49

第四章 电力工业环保技术

电力工业环境保护技术	54
电磁兼容	61
磁暴	67

第一章

电力工业展望

实现电力工业的可持续发展

陈开庸

能源的发展和进步促进了人类社会生产和物质文明的发展与进步。古代人类是以柴草为燃料，以人力、畜力和风力为动力。随着社会的进步和生产发展的需要，终于进入了以煤炭为燃料和以蒸汽机械为动力的年代。自 1831 年法拉第发现电磁感应原理以后，1879 年爱迪生发明了电灯并于 1882 年建成世界上第一座真正意义上的发电厂（6 台直流发电机，总容量 661.5kW）；1885 年美国发明家乔治·威斯汀豪斯研制成交流发电机和变压器，并于次年建成世界上第一个单相交流输电系统；1891 年，德国安装了第一台三相交流发电机，建成第一条三相交流输电线路，实现了远距离大功率电力输送，开创了电力应用的新局面。从此，电力应用走进千家万户，不仅使经济以前所未有的速度飞跃发展，而且也根本改变了人类的生产方式和生活面貌，电力工业受到世界各国政府的高度重视并得到了长足的发展，在我国，特别是改革开放 20 多年来，电力工业也得到了迅速发展。至

1998 年底,我国装机容量已达 277.289GW,年发电量 1157.697TWh,用电普及率在城镇已达 99.03%,农村达 95.86%。我国已拥有 6 个跨省区大电网,5 个省独立电网。近年来,随着电子技术、电子计算机和自动化技术的迅速发展,为电力工业的高速发展奠定了良好的物质基础和技术基础,世界各国相继建成“三大”(大机组、大电厂、大电力系统)和“三高”(高电压等级、高运行参数、高度自动化)的现代化电力系统,成为推动国民经济发展和人民生活水平提高的强大动力。目前,200MW 以上机组已成为主力发电机组,至 1997 年底,200MW 以上机组已达 364 台,其中 500~660MW 机组已有 17 台;900MW 级核电机组 2 台,全国百万级以上发电厂达 62 家。同时已建成 220kV 以上输电线路 13 万 km,其中 500kV 输电线路 1.5 万 km。

目前,在我国能源消费结构中,电能约占 32%,煤炭能源消费仍占主导地位。由于过份依赖煤炭,从而使环境污染相当严重,酸雨区面积已达国土面积的 1/3。1990~1995 年,全国 SO_2 排放量从 1571 万 t 增加到 2370 万 t,仅因 SO_2 排放造成的经济损失就占 GNP 的 1.98%。煤炭只有在大型、特大型锅炉(1000t/h 以上)中燃烧才有可能以比较经济的办法做到干净的燃烧,发达国家已将 80% 的煤用于发电,而我国还不到 33%。因此,必须提高电力在能源消费中的比重,将各种工业、生活锅炉及民用所消耗的煤尽量转化成电能,提高能源利用效率和保护环境。到 2010 年,我国发电能源占一次能源总消费的比重,应从目前的 32% 提高到 40% 以上。这样,发电用煤将占我国煤总产量的 50%,从而进一步控制污染,提高综合能源利用率,大幅度

提高生产率,降低生产成本,改善人民生活质量和生存环境,这将是电力工业对我国经济可持续发展的重大贡献。

电力虽然是一种洁净的能源,但在其生产过程中,也会排放出废气、废水和废渣,从而造成环境污染。因此,优化电源结构,发展清洁煤燃烧技术,减少污染物排放,提高煤炭利用效率是实现电力工业可持续发展的重要任务。这样,既要采取燃烧前的处理和净化技术(洗洁处理、型煤加工、水煤浆等),燃烧中的净化处理(先进的燃烧器、硫化床燃烧等)和燃烧后净化(烟气净化、颗粒物控制等)。还要积极应用高效清洁的煤气化和液化技术以及燃气、蒸汽联合循环技术。另外,在发展煤的清洁燃烧技术的同时,还要积极开发利用新能源,努力扩大核电的供电比例。目前,全球核电发电量已占全世界发电量的16%,且有进一步发展的趋势。因此,我国应在沿海地区适当建设核电并加速核电国产化,同时,优先开发我国中西部地区的能源资源,大力发展水电和加速矿口电厂建设,推动中西部电力向东部和沿海地区输送。此外,还应积极开发和应用风能、潮汐能、太阳能、燃料电池发电等新技术,实现能源多样化。

电力是国民经济发展的动力,是提高人民物质生活水平的基础,是现代化的象征。随着社会生产的发展和技术的进步,电力应用将越来越广泛。为了推动国民经济不断发展,电力工业必须不断优化发电能源结构、控制污染、加强电网建设、适应用电结构变化、提高供电水平、开拓电力市场,实现电力工业的可持续发展。

面向 21 世纪的电力新技术

郑 健 超

电力作为高效、便利的二次能源已得到越来越广泛的应用。电力工业作为我国的基础产业，在国民经济与社会发展中具有重要的地位和作用。电力增长与国民生产总值的增长紧密相关。电气化程度的提高可以降低单位产值能耗，提高人民生活水平和促进环境的改善。因此，电力工业的发展将为我国社会经济可持续发展提供有力的保障。随着科学技术的不断发展，新能源技术、能源高效利用技术以及现代输配电技术的开发和应用必将进一步促进电力工业发展。

以下对一些有重要应用前景的技术作一简要介绍。

1 高效洁净的发电技术

目前全球的发电平均效率为 30% 左右。据预测，未来将发电的总效率提高到 60% ~ 70% 是完全可能的，在提高能源终端使用效率方面潜力更大，如果使用新技术新设备，单耗可再降低 50% ~ 90%。因此，提高能源转换和使用效率的技术，特别是高效发电技术在许多国家被视为国家关键技术。

1.1 超临界机组加低造价的烟气脱硫装置

高效洁净发电的发展方向是超临界机组加上低造价的烟气脱硫装置。现在，超临界机组效率可达 37% ~ 42%；超

超临界机组效率可达 47%。当然,这种效率提高必须以提高蒸汽参数为前提,从锅炉、省煤器到蒸汽轮机都要求耐高温、高强度的材料。

1.2 联合循环发电技术

联合循环是指将燃气轮机和蒸汽轮机组合起来的一种高效率的发电方式。它将在高温区工作的燃气同与在低温区工作的蒸汽轮机结合起来,形成热能的梯级利用,提高了效率,达到节能降耗的目的。80 年代投运的联合循环电站,效率约为 50%;90 年代投运的电站,效率超过 50%。最新推出的联合循环电站的效率可达 58%。此外,联合循环的环保性能好,开、停机容易,可以参加调峰运行,且单位功率的投资较低,建设周期短。我国目前联合循环机组比例不高,随着天然气在燃料构成中比例的增加和提高能效的需要,联合循环机组会得到更多的应用。沿海城市现在正在考虑建设以天然气为燃料的联合循环发电机组。

1.3 燃料电池

燃料电池是将燃料的能量不经过燃烧直接转化为电能的装置。

磷酸型燃料电池技术已成熟,接近商业化,现在已能生产 11MW 的设备。熔融碳酸盐燃料电池在高温(600~700℃)工作时,可用于规模发电,实际效率可达 58.4%。固体电解质燃料电池被称为第三代燃料电池,由于电解质是氧化锆等固体电解质,可用于煤基燃料发电;质子交换膜燃料电池工作于常温,主要用于电动车电源。以氢为燃料的燃料电池,理论效率可达 83%。燃料电池的综合热效率可望达到 80% 以上。

燃料电池具有能快速跟随负荷变化、调峰性能好、噪音小、对环境污染小、省水等优点，并且其安装周期非常短，安装位置也比较灵活，一个 200kW 的燃料电池外形尺寸不超过一辆大轿车的大小，它可以安装在大楼地下室内，也可以露天安装在附近，亦可以和建筑群的配电系统集成一体，从而不必新建输配电系统。

2 提高能源使用效率的技术

提高终端能源使用效率的技术，例如热泵、高效节能灯、建筑节能技术、电力电子学应用于节能技术、分布式的储能系统、需求侧管理技术、能源效益审计技术等，这些技术的广泛应用对提高能源效率将会起到巨大的推动作用。

3 新型输电技术

3.1 灵活交流输电技术 (FACTS)

FACTS 是 80 年代后期出现的新技术，近年来它在世界上发展迅速。预计这项技术将在电力输送和分配方面引起重大变革，它对于充分利用现有电网资源和实现电能的高效利用将会发挥重要作用。所谓灵活交流输电技术，是指把电力电子技术与现代控制技术结合，采用大功率电子器件，如晶闸管、可关断晶闸管、MOS 控制的晶闸管、绝缘门极双极性三极管等作为大功率高压开关，并与其他电力设备组成 FACTS 设备，实现对电力系统电压、参数（如线路阻抗）、相位角、功率潮流的连续调节控制的技术。这样就能大幅度提高输电线路输送能力和电力系统稳定水平，并可降低输电

损耗。

3.2 新型直流输电技术

直流输电已是成熟技术，造价较高是它与交流输电竞争的不利因素。新一代的直流输电是指进一步改善性能、大幅度简化设备、减少换流站的占地、降低造价的技术，如采用户外换流阀、连续调节交流滤波器、有源滤波器、深层接地极等。最近，开发了所谓轻型直流输电系统（lightHVDC），它省去了换流变压器，整个换流站可以搬迁，可以使直流输电用于较短的输送距离也有竞争力，还可以用于配电系统。

3.3 在竞争性环境中互联电网的安全运行技术

为了实现电力资源的优化利用和发展电力市场的需要，区域电网互联势在必行。电网互联一方面大大提高了运营的经济效益；但另一方面也对其可靠性和稳定性提出了更高的要求，因网上任何故障产生的扰动都会危及电网运行的稳定性和安全，严重的事故还会引发大面积停电甚至电网崩溃，因此必须加强开发能确保电网可靠、高效、稳定运行的新技术。

近年来，国际电力专家致力于研究在竞争性的环境中保障电网安全的技术，例如电网动态安全在线评估技术，调度员安全度量体系，广域综合安全通信网（ISN），在规划阶段进行电网的风险评估的技术，研究故障诊断新技术以进行设备的预知性检修，电网事故及设备故障的数据库，广域的测量和事件记录系统等等。

3.4 与环境友好的变电所和架空输电线路

与环境友好的变电所要求实现变电所紧凑化，减少占地，减少对景观的影响；要求控制噪声，减少电磁场的影

响,无泄漏,并有良好的废弃物管理。与环境友好的架空输电线路同样要求线路紧凑化,尽量减少线路走廊,在同样的走廊上输送更大的功率,这就要求降低线路的波阻抗。这一目标可以通过改变线路导线或次导线的布置来实现,也就是所谓的紧凑型线路。同时,还要求减少线路工频电磁场的影响,减少电晕的无线电干扰影响,减少对景观的影响。

4 现代配电技术和电能质量控制技术

4.1 现代城市配电技术

现代城市配电技术包括:配电设备紧凑化技术、超高压线路直接进入市区技术、配电设备的集成技术、配电网保护监控设备的集成技术、配电线路地下化、新型电缆施工系统、配电设备故障诊断定位、火灾不蔓延设备、高压直流配电技术等等。

4.2 定质电力技术

定质电力(CUSTOM POWER)技术是应用现代电力电子技术和控制技术为用户提供用户特定要求的电能质量的技术。在现代化企业中,由于机器人、自动生产线、可编程控制、计算机信息系统的日益广泛使用,对电能质量的控制提出了更加严格的要求。这些设备对电源的波动和各种干扰十分敏感,任何供电质量的恶化都可能引起产品质量下降,造成重大损失。目前,重要的用户往往自己采取措施,如安装不停电电源(UPS)等。然而这些措施并非经济合理的解决办法,根本的出路应由供电部门大幅度地提高供电的可靠性和电能质量。因此,以电力电子技术和现代控制技术为基础的定质电力技术便应运而生。为提高配电网的电力质量,

已开发出用于配电网的静止同步补偿器。它由储能电路、变换电路和变压器组成,其功能是快速调节电压,发出和吸收电网的无功功率,同时可以抑制电压闪变,是“定质电力”的关键设备之一。此外,静止无功发生器和固态开关配合,可以在电网发生故障时完成由故障线路向健全线路的快速切换。另一关键设备是动态电压恢复器(Dynamic Voltage Restorer),它由直流储能电路、变换器和次级串联在供电线路中的变压器构成。变换器根据检测到的线路的电压波形情况产生补偿电压,使合成的电压动态保持恒定。无论是短时的电压低落或过电压,通过 DVR 均可使负载上的电压保持动态恒定。此外,固态高压开关是未来配电系统的重要设备。与常规的机械开关相比,它能在一个工频半波以内完成切换,这是一般机械开关无法比拟的。

5 超导电力技术

5.1 超导储能技术

随着分布式电源的应用以及提高电网可靠性和调峰的需要,分散蓄能系统的重要性日益增加。除了电池储能系统外,超导储能系统将是未来的重要蓄能系统。超导储能是将电能转变为超导线圈中的磁场能的储能方式,由于其能量存取响应速度快,多用于电力系统的稳定控制、旋转备用、负载快速调节,1800MJ 的高温超导储能系统已在国外兴建。由于高温超导悬浮轴承和高强材料的应用,超高速飞轮储能系统前景看好,其单位质量储能密度已与蓄电池的储能密度相近,而其功率密度则更胜一筹,是一种有前途的分布式储能系统。

5.2 超导故障电流限制器

快速限制故障电流对电网安全运行甚为重要。理想的故障电流限制器应具有如下特性：正常运行时阻抗为零，故障时则阻抗足够大，限制故障电流的全过程应小于 10ms，清除故障后立即返回原状态，短期内可承受多次故障冲击等等。现有的高压开关、高阻抗变压器、熔丝、空心电抗器等都不能满足这些要求，而高温超导材料本身就是天然的故障电流限制器，当磁场强度超过临界值时会自动失去超导性能。目前许多国家都在研究超导故障电流限制器。

6 现代表计系统

现代表计系统（Advanced Metering）是未来输配电的重要组成部分。以电能表为例，现代电能表计系统除具有智能化、模块化、数字化等一般的现代仪表的特征以外，还具有多功能、多用途的特征，如负荷调查功能。此外，可扩展性、双向通信功能、用户访问功能、自诊断及警报功能、误差软件补偿功能等也是重要的功能。

科学技术是第一生产力。我国电力系统的广大科技工作者正以前所未有的热情投入新技术的研制和开发，日新月异的电力高新技术的广泛应用必将推动电力工业持续不断地发展，为经济发展和人民生活提供更加充裕、稳定、优质的电能。