



电网新技术与 电力系统的效能及安全

主 编 姜 冬
副主编 徐春伟



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

电网新技术与 电力系统的效能及安全

主 编 姜 冬
副主编 徐春伟



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书以“电网新技术与电力系统的效能及安全”为主线，围绕电网电企的一系列生产科研活动展开了论述。主要内容包括：绪论；电网新技术的发展及应用；电网新技术与电力系统效能；电网新技术与电力系统安全；电网突发事件管理。

本书适合电力企业及电力管理部门的工作人员参考，也适合相关专业的高校师生参考。

图书在版编目（C I P）数据

电网新技术与电力系统的效能及安全 / 姜冬主编

— 北京：中国水利水电出版社，2018.8

ISBN 978-7-5170-6795-5

I. ①电… II. ①姜… III. ①电网—电力系统运行
IV. ①TM727

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第205285号

书 名	电网新技术与电力系统的效能及安全 DIANWANG XIN JISHU YU DIANLI XITONG DE XIAONENG JI ANQUAN
作 者	主 编 姜冬 副主编 徐春伟
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京合众伟业印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 8.75印张 207千字
版 次	2018年8月第1版 2018年8月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	48.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

在经济全球化日趋成熟、常规能源日趋枯竭、环境污染压力日趋加重、能源战略地位日趋突出、新能源应用日趋广泛等多重因素的作用下，电网新技术的发展、智能电网的研究应用、电网能效的精细化管控、电网的安全等方面是世界各国尤其是我国政府及电力企业必须重视的战略任务。特别是我国作为一个发展中国家，经济发展任务迫切，人民生活对新能源需求巨大，各地区经济发展不平衡，能源蕴藏与能源需求分布严重错位，在诸多因素叠加作用下，我国发展大电网、电网新技术支撑下的智能大电网尤显重要。所以，研究应用电网新技术，发展建设大电网，建设智能电网，提高电网能效，全力保障电网、电企、电力运营通信网络的安全是电力科技、电力管理领域，甚至是政府部门、国家层面的重大任务。

本书以“电网新技术与电力系统的效能及安全”为主线，围绕电网电企的一系列生产科研活动展开了论述。第一章是绪论；第二章是电网新技术的发展及应用；第三章是电网新技术与电力系统效能；第四章是电网新技术与电力系统安全；第五章是电网突发事件管理。

本书适合电力企业及电力管理部门的工作人员使用。书中参阅或借鉴了国内外电网、电力、管理学等方面专家学者的论著和观点，并做了特别标注，在此表示感谢。

由于时间仓促，加之作者水平有限，书中如有不妥之处，请予以批评指正。

作者

2018年8月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 世界电力技术的发展	1
第二节 我国电力技术的发展	2
第三节 电网新技术对电力的影响	4
第四节 电网的效能与安全	6
第二章 电网新技术的发展及应用	8
第一节 智能电网新技术的发展态势	8
第二节 微电网技术	11
第三节 智能电网技术及在电力系统规划中的应用	23
第四节 多端直流输电与直流电网技术	26
第五节 复杂电力电子系统通信网络技术	35
第六节 虚拟现实技术在电力安全培训中的应用	41
第三章 电网新技术与电力系统效能	55
第一节 低碳电力系统与厂网协调模式	55
第二节 PEV 价格响应机制与电力系统效能	60
第三节 智能电网的环境效益	66
第四节 基于 DEA 模型的电网投资建设效益分析	77
第四章 电网新技术与电力系统安全	82
第一节 电力系统安全标准	82
第二节 电力系统安全稳定规划	89
第三节 电力系统安全稳定防御体系	94
第四节 电力系统安全稳定性问题	98
第五节 电力系统在线安全稳定综合辅助决策	103
第六节 国家电网公司安全与信息测评技术	111

第五章 电网突发事件管理	117
第一节 电网突发事件应急管理理论	117
第二节 电网突发事件应急联动体系	120
第三节 电网突发事件应急联动体系构成	121
第四节 电网突发事件应急联动系统	123
第五节 电网突发事件的典型情境预警示例	124
参考文献	130

第一章 绪 论

第一节 世界电力技术的发展

当前世界能源消费以化石能源为主，化石能源日趋枯竭、气候环境恶化成为威胁人类可持续发展的两大关键问题。为了转变旧的能源生产与消费模式，转变以化石能源为主的能源格局，世界各国都在努力探索新的能源生产和消费模式，寻求多元化的能源供应策略，一场以推动可再生能源和新能源发展为核心的新能源革命已风起云涌。在此背景下，为了实现更大范围内能源资源的优化配置，满足大规模新能源的接入、传输和消纳，作为电力传输载体的电网模式将发生哪些变化，未来电网有哪些新的输电方式和控制方式，哪些新技术可以满足未来电网安全、高效和智能运行的要求并为之提供支撑，这些问题是当前能源和电力领域专家学者和企业家最为关注的问题。

世界范围内多个国家和机构已开始电网和电力技术发展路线和战略的研究和制定。总体而言，低碳化是未来能源发展的基本路线，而电网除了安全、经济等固有的特征外，新出现低碳、智能等技术特征。美国和欧洲近年在能源和电力战略研究方面有一系列重大突破。

美国近几年在能源战略上发生了重大转变，除了更加重视节能改造、利用高新技术提高能效外，也更加重视风能、太阳能等可再生能源和核能的开发利用。针对电网设备老化、输电瓶颈的出现、解除管制和市场化改革、与电网投资及运营相关的立法问题等，美国前总统布什提出了“电网现代化”的庞大研究计划，在“Grid 2030”中提出了对美国未来电网的设想，即在现有输电网络基础上，采用超导 HVDC、新型 HVDC、合成导线 HVAC 等新技术，建设国家主干网，将美国东西海岸、加拿大及墨西哥联系起来，实现资源优化配置，扩大电力供应范围。随后还提出了相应的“国家电力传输技术发展路线图”，详细列出了实现 2030 年美国电网愿景的近期、中期和远期研发及示范活动的详细目标及时间计划。美国前总统奥巴马上任伊始，提出以智能电网、新能源和节能增效为核心的能源战略，作为全面推进美国经济复苏计划的核心支撑，将智能电网提升为美国国家战略。

欧洲对化石能源的依赖度较高，一次能源的 80% 来自化石能源。为了保证能源安全，应对气候变化，已有众多学者和科研机构以及政府机构提出建设欧洲“超级电网”的建议，进一步整合各国电网，形成真正的以市场为基础的泛欧洲电网，在未来 10 年内建立一套横贯欧洲大陆的高压直流电网，以实现 2020 年可再生能源发电量占 20% 的目标。早在 2003 年即有学者提出泛地中海新能源合作的想法，计划采用高压直流输电线路将欧洲的海上风电、北非及近东的风电、太阳能发电与欧洲电网相连。2008 年，欧盟提出“北海各国海上风电计划”，该计划旨在创建可连接跨越欧洲北部海域的风电和其他可再生能



源的综合海上能源网络。2010 年欧洲气候基金会制定了 2050 年的技术路线图,对一系列可能的技术路线进行了技术和经济评估。可以看出,欧洲“超级电网”计划不仅仅是对未来电网的设想,该计划正在实际中不断地向前迈进。

第二节 我国电力技术的发展

我国是迅速崛起的能源消费大国,按照目前的能源消费模式和能源供应能力,难以支撑经济社会可持续发展。有关机构的研究报告认为,现在到 21 世纪中叶将是我国实现现代化的关键时期,也是我国能源发展的重要过渡期和转型期。我国要从比较低效、粗放、污染的能源体系,逐步转变为洁净、高效、节约、多元、安全的现代化能源体系。

在新能源革命条件下,电网的重要性日益突出。电网将成为大规模新能源电力的输送和分配网络;与分布式电源、储能装置、能源综合高效利用系统有机融合,成为灵活、高效的智能能源网络;具有极高的供电可靠性,基本排除大面积停电风险;与信息通信系统广泛结合,建成能源、电力、信息综合服务体系。

按不同发展阶段的主要技术经济特征,电网可分为三代。第一代电网是第二次世界大战前以小机组、低电压、孤立电网为特征的电网兴起阶段。第二代电网是第二次世界大战后以大机组、超高压、互联大电网为特征的电网规模化阶段,当前正处在这一阶段。第二代电网严重依赖化石能源,大电网的安全风险难以消除,是不可持续的电网发展模式。未来电网是第三代电网,是第一、第二代电网在新能源革命条件下的传承和发展,支持大规模新能源电力,大幅降低大电网的安全风险,并广泛融合信息通信技术,是电网的可持续化、智能化发展阶段。

智能电网是近年兴起的新概念,已被很多国家视为推动经济发展和产业革命、应对气候变化、建立可持续发展社会的新基础和新动力。一般认为智能电网是集成了现代电力工程技术、分布式发电和储能技术、高级传感和监测控制技术、信息处理与通信技术的新型输配电系统。智能电网是未来电网的一个重要特征,强调了智能化的趋势,并在一定程度上结合了新能源革命的特征。电力需求、电源结构、电力流及电网格局是影响我国电网发展的四个关键问题。经济发展决定电力需求,电力需求、发电资源分布和环境约束影响电源结构和布局,电源与负荷的格局决定电力流及电网格局,电力流及电网格局和技术发展进步影响电网发展模式。

未来几十年是我国迈向现代化的关键时期,经济发展将从目前的高速增长逐渐进入平稳较快增长,经济发展方式从粗放型向集约型转变,经济结构实现战略性调整,区域经济协调发展,形成资源节约型、环境友好型社会。2031—2050 年我国人均 GDP 将迈入中等发达国家水平。根据人均 GDP 发展目标判断,届时我国人均年用电量可达到当前日本、德国等发达国家水平,约人均 $8000\text{kW}\cdot\text{h}$ 。若未来按 15 亿人口测算,则我国电力消费需求总量将达到 12 万亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,是 2013 年 5.322 万亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 的 2.25 倍。

我国目前粗放的能源体系将经历一场革命性的转变,实现这一转变的关键在于贯彻能源消费总量控制的能源发展战略,实现“科学供给满足合理需求”的能源电力发展模式,为此设定水电、风电、太阳能、核电、气电等清洁能源电力的发电量占总发电量的比例为



50%~70%，余下部分是煤电，约占30%~50%。以煤电和清洁能源发电的发电量比例指标，按能源发展与第三代电网的战略目标划分为初步达到（50：50）、基本实现（40：60）、充分完成（30：70）3种情景。就2030—2050年期间人均年消费电8000kW·h的中长期目标对中国装机容量和电源结构进行预测，水电、核电发展目标相对明确：水电开发率达到90%，装机容量4.5亿kW，发电量1.57万亿kW·h；核电按乐观预测，装机容量3亿kW，发电量2.1万亿kW·h。测算结果显示，3种情景下全国总发电装机容量分别达29.42亿kW、33.68亿kW、37.95亿kW，煤电装机容量分别为12.0亿kW、9.6亿kW、7.2亿kW，非水可再生能源（风能、光伏发电等）发电量比重分别为11.86%、21.88%、31.88%。

未来40年中，电力负荷将呈现从高速增长向相对缓慢增长过渡、负荷中心“西移北扩”两大特点，但总体上负荷中心仍主要分布在中东部地区。随着工业化进程及城市化进程的推进，未来我国第二产业的用电比重将不断下降，第三产业和居民用电的比重将不断上升。在珠三角、长三角、环渤海等传统负荷中心以外，将在华中、西北、东北、西南等地形成新的负荷中心。预计2050年中东部主要负荷中心用电量比例仍将占全国75%左右。

远期来看，煤电主要分布在煤炭资源丰富的西部、北部，以及中东部负荷中心，按西部和中东部各占50%考虑；水电，包括大型水电基地和小水电取决于资源分布，中东部占20%，西部占80%，其中西南地区占60%；风电、太阳能等非水可再生能源发电，中东部约占50%，包括沿海风电和分布式开发，西部、北部占50%，主要是大基地的集中式开发；核电、气电则主要分布在中东部负荷中心。以此推算，2050年电源分布为中东部装机容量略大于西部、北部之和，大致比例是53：47。

设定中东部地区的电源发电量就地消纳，西部、北部电力电量外送比例按40%~50%考虑。根据全国电力电量平衡，在上述煤电和清洁能源发电量比例3种情景下进行推算，西部、北部外送40%时，外送的电力流总容量为4.41亿kW，3种情景下外送容量占总装机容量的14.98%、13.09%、11.62%，中东部地区接受外来电容量比例为21.76%、19.68%、17.97%；3种情景下外送总电量相同，均为1.989万亿kW·h，占全部电量的16.57%，占中东部电量的22.06%。西部、北部外送50%时，外送的电力流总容量为5.51亿kW，3种情景下外送容量占总装机容量的18.73%、16.36%、14.52%，中东部地区接受外来电容量比例为25.79%、23.45%、21.50%；3种情景下外送总电量相同，均为2.486万亿kW·h，占全部电量的20.72%，占中东部电量的26.13%。由以上测算结果可得出，中国中长期2031—2050年期间按人均年消费8000kW计，西部、北部远距离向中东部输送的电力容量为4.41亿~5.51亿kW，输送的电量为1.989万亿~2.485万亿kW·h。

总结起来，未来“西电东送”“北电南送”的电力流格局没有改变，只是由目前以水电和煤电为主的大容量远距离外送，逐步转变为水电、煤电、大规模风电和荒漠太阳能电力并重外送。因此，电网的功能由纯输送电能转变为输送电能与实现各种电源相互补偿调节相结合。我国未来电网的发展，既要适应水能、风能、太阳能发电等大规模可再生能源电力以及清洁煤电、核电等集中发电基地的电力输送、优化和间歇性功率相互补偿的需要，也要适应对分布式能源电力开放、促进微网发展、提高终端能源利用效率的需求。从



电力流的预测结果来看,我国将始终存在大容量、远距离输送电力的基本需求。2031—2050 年的中长期内,虽然经济和技术发展的不确定性因素较多,但可以肯定的基本趋势将是我国西部水电、西部北部超大规模荒漠太阳能电站、北部西北部大规模风电等将有很大发展,未来电网的发展必须适应这种情况。

对我国未来能源布局和负荷分布的预测,兼顾中间落点负荷需求的大容量远距离输电模式将是我国未来电力输送的主要格局。从现在起到 2050 年将是我国电网由第二代向第三代转型的过渡期。与电源的转型相配合,电网发展的总体趋势将是朝向国家主干输电网与地方输配电网、微网相结合的发展模式。受经济、能源、技术等因素发展的巨大惯性影响,电网模式具体技术方案的转变将是漫长的。

以 20 年为周期进行考虑,分为近中期(2011—2030 年)、中长期(2031—2050 年)两个阶段进行分析。从现在起至 2030 年的近中期阶段,我国电网将延续第二代电网的基本形态,其主干输电网在形态上应是超大规模、超/特高压交直流混联的复杂电网。多端直流输电技术、FACTS 及 VSC-HVDC 等电力电子技术的应用将得到较广泛应用,储能技术有可能取得较大进展,为后期电网的转型奠定技术基础。2030—2050 年的中长期阶段,第三代电网的特征将逐渐显现和发展,技术发展的积累和突破对电网模式将有可能产生较大的影响,其中主干输电网主要有两种可能的模式,即超/特高压交直流输电网模式和多端高压直流输电网(超导或常规导体)模式,后者依赖于相关先进技术的重大突破。一方面间歇性、波动性电源的比重不断提高,在全国范围内建设灵活可控、低损耗、高可靠性的跨大区超级输电网络,将成为大范围资源优化配置和相互补偿所必需;另一方面基于高性能电力电子设备的多端高压直流输电技术(如 MMC-VSC-MTDC)和直流输电网技术将趋于成熟,高温超导输电技术有可能取得突破,为建设基于常规导体线路和设备或基于高温超导体线路和设备的超级直流输电网提供了技术条件。

2031—2050 年,中东部受端电网发展速度放缓,延续原有发展模式并局部强化;在基于 VSC 的多端直流输电技术已成熟条件下,西部送端将可能出现直流输电网,以连接西部和北部煤电基地、西南水电基地、西部风电与太阳能发电基地,取得不同发电特性电源互补的效益,并远距离输送到京津冀鲁、华中、华东、珠三角等负荷中心,全国有可能形成西部高直流输电网与中东部超/特高压交直流混联输电网相合构成的主干输电网格局。

第三节 电网新技术对电力的影响

科学技术是应对新能源革命,影响、建设和发展第三代电网的关键。新能源革命下,第三代电网除了提升电网本身性能的技术需求,还受到新能源电力发展、智能化两方面技术发展趋势的作用,另外一些先进的或前瞻性的电网技术也对电网发展具有巨大的潜在影响。

新能源电力发展,包括大型集中式和小型分布式的新能源电力接入,由于其随机性和波动性,新能源电力的性能相比传统能源电力相差极大,给整个电力系统的调度、运行和控制带来前所未有的复杂性。在信息通信技术的深度介入下,形成电力系统的“物联网”,为输电网优化电力输送的协调运行,为配电网支持分布式电源和储能的双向互动以及需求



侧管理和需求响应,为第三代电网的安全性、可靠性、经济性和灵活性,都提供了新的技术可能性。先进/前瞻性技术中,对未来电网发展模式影响最大的3项先进/前瞻性技术是多端直流输电技术、超导输电技术和储能技术。多端直流输电技术和超导输电技术对远期电网模式具有重大影响,是超/特高压交直流混合输电模式的未来替代技术方案。储能技术包括抽水蓄能、电池储能、电动汽车、空气储能、飞轮储能以及超导储能等,适合于不同的应用需求,成熟的储能技术对电网发展具有革命性意义。

以上3个技术发展因素对提升电网性能既提供了新的可能性,也提出了新的问题和挑战。为适应新的技术发展形势,在远距离大容量输电等一次系统技术以及交直流混合电网的规划、调度、运行、控制、仿真分析等方面的传统理论和技术,都需要有新的突破。

第三代电网的技术特征按可持续发展、智能化和电网性能提升3个方面加以概括。可持续发展是指电网对新能源与可再生能源的支持,这是新能源革命中最关键的技术。智能化包括信息化和灵活性,信息化包括传感、加工、处理3个层次,灵活性指电网对能量流动的波动性、双向性的支持,主要是能源和控制方面的技术。电网性能提升是指电网中传统技术性能的提升,包括电力一次系统性能、控制保护二次系统性能2个方面,前者又可按输电、配电、用电、储能等领域细分。集合国内众多电力专家的思想,提炼出影响未来电网发展的十项关键技术如下:

- (1) 大规模新能源与可再生能源电力友好接入技术(含分布式)。
- (2) 大容量输电技术。
- (3) 先进传感网络技术。
- (4) 电力通信与信息技术。
- (5) 大容量储能技术。
- (6) 新型电力电子器件及应用技术。
- (7) 电网先进调度、控制与保护技术。
- (8) 电力系统先进计算仿真技术。
- (9) 智能配电网和微网技术。
- (10) 智能用电技术。

为适应未来几十年新能源革命中电网技术发展的巨大变化,并在新一代电网形成的过程中掌握关键技术、形成科技优势,应及早制定战略性的科技发展规划,支持和促进基础性、前瞻性的电网技术及其相关支撑科技的研究和发展,迫切需要开展下列基础科学问题:

- (1) 物理学和材料科学,具体包括电磁学、等离子物理、超导材料、电力电子材料、化学储能材料、绝缘材料、纳米材料。
 - (2) 数学与系统科学,具体包括建模和仿真实论、动态系统及其稳定性、预测理论、复杂系统、非线性系统、人工智能、可靠性、随机过程、决策理论。
 - (3) 最优化理论与控制科学,具体包括运筹学、规划理论和算法、最优化理论算法、最优控制、模式识别与智能系统、控制与仿真。
 - (4) 信息与计算科学,具体包括信息系统、网络理论、数值仿真与计算、系统辨识。
- 而电力前沿技术主要包括:



- (1) 新型输电技术, 包括无线输电、地下管道输电、超导输电等。
- (2) 先进储能技术, 包括化学储能、物理储能等。
- (3) 新型电力电子器件, 包括碳化硅等材料器件。
- (4) 新型输变电设备, 如直流断路器。
- (5) 先进传感技术和信息通信网络, 如大数据、物联网。
- (6) 先进计算和仿真技术, 包括并行计算和分布计算、云计算等。

第四节 电网的效能与安全

电网企业是高危行业, 电网生产安全一直以来备受关注。伴随着生产力的发展、技术的进步, 电网企业在生产过程中越来越重视安全问题, 对于安全生产的要求也越来越高, 与此对应的对于安全的投入也在持续加大。如何处理好安全成本和经济效益之间的关系, 就成为电网企业迫切需要解决的问题。每当提到电网企业的安全生产, 人们便很自然地会想到安全帽、安全带、绝缘手套、绝缘鞋、安规等一系列的安全防护工具或者安全管理制度, 当然, 这一切都没有错, 只有在熟悉安全规则的前提下, 准备好安全器具, 严格执行安全管理制度才能保证设备不出故障, 人员不出事故, 企业不出问题。

当前中国正处于市场经济时代, 没有效益, 企业就不能生存和发展, 对于供电企业来说, 同样如此。然而电网企业又是一个特殊的高危行业, 企业的安全至关重要, 同样关系到企业的生存与发展甚至是社会的安定与进步。因此, 正确认识处理安全生产与经济效益关系, 把安全生产看成是潜在的效益, 像抓经济效益一样抓安全生产工作, 是做好企业安全工作的关键。

从全国供电企业的安全生产的状况分析, 目前电网企业在生产成本科目中设置了一个科目“安全费”, 根据《国家电网公司会计核算办法》的规定, 安全费核算供电企业发生的安措费, 包括: 为完善、改造和维护安全防护设备、设施支出; 配备必要的应急救援器材、设备和现场作业人员安全防护物品支出; 安全生产检查与评价支出; 重大危险源、重大事故隐患的评估、整改、监控支出; 安全技能培训及进行应急救援演练支出等。由此可见, 目前电网企业对于安全成本的核算比较粗放, 并没有细化明细科目, 核算范围也比较有限, 因此导致安全工程、措施和方案没有进行技术经济分析和科学合理的论证, 安全工作的技术先进性和合理性不能很好地统一, 安全的投入比较盲目, 资源浪费现象比较普遍, 使其成为成本管理、提高经济效益的“真空地带”。

电网企业在保证安全生产的前提下, 适当地进行安全成本投入, 降低安全事故的发生, 需要企业加强对安全成本的有效管理, 依据安全成本支出的实际数据, 进行科学的分析和合理的决策, 从而提升电网企业的经济效益。

编者认为, 电网企业可以依据自身实际情况, 采取以下措施。第一, 做好安全成本的会计核算。财务数据是企业的晴雨表, 是企业的情报中心、数据处理中心, 如果会计核算细化管理, 能够给企业的决策者提供真实、可信、翔实的数据, 能对于企业的安全生产起到至关重要的作用。第二, 建立安全成本分析机制。基于安全成本翔实的财务数据, 电网企业应该建立多部门联动, 对安全成本数据进行整理和分析, 各部门基于本专业的情况,



同时比对历史数据和同行业数据，总结出适合本企业的安全成本支出合理水平。第三，加强职工安全教育，提高职工安全意识。职工的安全意识薄弱是导致电网企业事故发生的重要因素之一。电网企业要从根本上解决电网安全生产隐患，提高经济效益，还得从“人”这个因素出发，多组织安全知识培训、安全知识竞赛、安全生产技能比武等，更好地激发员工的安全意识，更大限度地普及安全知识，提高员工的安全工作技能。第四，完善电网企业的安全生产规程，建立奖惩机制。企业的安全需要一整套流程和制度做保障，建立公平合理的奖惩机制，能够有效地保证前期的安全生产各项成本投入取得实效。建立并完善安全管理机构和人员配备，所有部门都必须参与到企业的安全生产过程中，从而使得电网企业资金安全，生产设备安全，人员安全。

安全生产是电网企业实现经济效益的前提保证，经济效益是安全生产的必要条件。只有搞好安全生产工作才能保证正常生产秩序，才有经济效益；有了经济效益，安全防范设施才有条件得以保障和改善。两者不可偏废，它们的关系就如同飞机的两翼：没有安全就没有效益；同样，没有效益也就没有安全。只有二者同时发挥作用，才能为企业的发展保驾护航，实现企业又好又快的发展。

第二章 电网新技术的发展及应用

第一节 智能电网新技术的发展态势

一、概述

随着科学技术的发展,电网的相关技术也推陈出新,因为发展的需要,世界各国都不约而同地把目光放在了智能电网上,加大对智能电网的研发力度。由于世界各国的国情、环境、经济驱动方式等很多方面都存在着很大的差异,各国研究的方向、思路、侧重点等都不同,各国对智能电网的定义也都不同。总体上,智能电网的新技术发展正处于初级阶段。

世界各国对智能电网的定义不同,新技术的发展情况也不同。美国对智能电网的定义是:一个完全自动化的电力传输网络,这个网络可以控制和监测每个电力用户和电网节点,可以实现在整个输配电过程中全部信息和电能的双向交流。而我国的智能电网是以物理电网为基础,将现代各种可以应用到电网的新型技术和物理电网高度集成,从而形成可观测、可控制、完全自动化和系统综合优化平衡的新型电网,可提高电力系统的清洁、可靠、安全、高效。

二、智能电网

智能电网又称为“电网 2.0”,也就是应用现代科学技术实现电网的智能化。智能电网是通过使用先进的生产设备、传感和测量技术、控制方法、控制系统、决策系统、智能技术等一切可以结合的先进科学技术,对高速、集成的双向网络进行优化、更新,提高电网的安全性、经济性、高效性、节能性,实现安全使用、保护环境等目标。

智能电网的主要特征是满足用户对电能数量和质量的需求,保护用户的使用安全,抵御外来攻击;传递各个电网节点的信息,并对信息进行分析,挑选出其中的核心信息;合理利用各种不同发电形式的电力,保证接入安全;保证电力设备和资源的高效运行。

三、欧美智能电网的技术发展

(一) 欧盟智能电网技术发展

2007 年,欧盟内部正式提出建设超级智能电网的战略构想。2009 年年初,欧盟明确提出,智能电网是在欧洲原有电网的基础上融入海上风力发电和太阳能发电。2010 年,欧洲北海国家制定了建立可再生能源超级电网的巨大计划,这个工程计划将各个国家的可再生能源连接在一起,用来满足欧盟部分成员国之间的电力需求。其中的可再生能源包括苏格兰、比利时和丹麦三个国家的风力发电,德国的太阳能发电和挪威的水力发电。欧盟国家科学技术发展水平高,对可再生能源利用技术已经有一定的研究,再生能源利用后还可以在自然界再生循环。



（二）美国智能电网技术发展

美国是世界上最发达的国家，也是用电大户，原有的电力供应已经不能满足本国的需求，所以美国大力发展智能电网技术。美国的智能电网体系是充分利用智能网络把用户的电源连接在一起，这样可以有效解决水电能、太阳能、氢能和车辆电能的存储，进一步改善电网系统回收电池系统剩余电能的情况。目前，美国政府大力鼓励智能电网的建设，提供充足的技术支持，智能电网已经进入稳步推进阶段。

2006 年，全球最大的信息技术和业务解决方案企业——IBM 公司向美国政府提出智能电网的相关业务解决方案。这个解决方案主要是针对电网运行的安全性、提高电网输电的可靠性方面的问题，在已掌握的实际数据基础上进行相关分析，以优化电力系统的运行和管理。美国前总统奥巴马提出了能源计划，计划建设覆盖美国全境的统一电网，大力发展智能电网，充分利用国家电网，提高电网的利用效率和实际价值。

（三）欧美智能电网的共同点

欧美国家的科技发展水平世界领先，在发展智能电网时，可以利用已有的科学技术，加大研究力度。欧美智能电网的目的是在环境以及生态友好的前提下，改善现有电网技术，满足境内的能源需求。因此，欧美智能电网的侧重点都是连接传统发电和可再生能源发电，大规模开发利用可再生能源，建设合理的智能电网配电侧和输电侧。欧美智能电网在较大的地理范围内，充分利用不同地区的电力使用情况，对常规水电站、燃气电站以及抽水蓄能电站等电力来源进行调节，在用电高峰减少用电量并把这部分用电量转移至非高峰使用，对用电高峰进行调节以及水电互补，解决了因可再生能源的不连贯和随机而产生的问题。

四、我国智能电网技术的发展

（一）我国目前智能电网发展状况

直到 2006—2007 年，智能电网的概念才从国外引进到中国，在国内大范围传播。2007 年，华东电网公司进行了智能电网在中国的可行性研究，之后又对智能电网进行了试点工程，启动了统一信息平台 and 高级调度中心等工程。2008 年，华北电网公司把部分精力放在如何有效建设智能调度体系，研究和建设有关智能电网的主体——电网信息构架。2009 年，国家电网公司首次提出“坚强的电网”计划，并于 2010 年 4 月公示《绿色发展白皮书》，计划 2020 年在全国范围基本完成“坚强智能电网”的建设，建设绿色能源的配置平台。这个计划要求在大规模电力输送过程中，输送清洁能源，提升电力系统的建设能力，提高能源利用效率，扩大电力的利用范围，减少空气污染，建设资源节约型，环境友好型社会。

我国在“863 计划”中首次在国家层面提出对智能电网开展相关研究，计划在“十二五”期间投资 10.5 亿元对智能电网进行专项研究。这项研究包括二十几个课题，研究内容主要是风电接入原有电网、太阳能发电技术、输变电设备、电力利用新技术等，每一个课题都会落实一个试点项目，进行试验，如果成功将在适当调整后进行全国范围的推广。

（二）我国智能电网与欧美国家的区别

世界各个国家对智能电网的建设工作已经初步开展，虽然进行了一定程度的研究，仍然处于起步阶段。全世界智能电网相关计划主要有：美国的全国统一智能电网计划、欧盟



的超级智能电网计划和我国的坚强智能电网计划。因为我国的国情复杂，国土疆域辽阔，智能电网的计划和建设存在较大的特殊性，与世界其他正在发展智能电网的国家存在一定程度的区别。

我国在智能电网的相关领域，如交流远程输送技术、特高压电流、输电侧等方面处于世界领先地位，获得重大的突破，取得相当程度的成就，但是在一些领域仍然远远落后于世界平均水平，如配电领域等方面。美国的高级量测体系覆盖率达到 6%，自动抄表系统达到 30%，而中国在这两方面则几乎为零。

五、我国智能电网新技术的现状

目前，我国经济持续高速发展，连续多年快速增长，城市化和工业化速度逐年增长，这对我国智能电网建设提出了较高的要求，要求智能电网既要一如既往地给社会供应充足电力，在原有电网的基础上要更加经济、安全、可靠、高效，还要适应时代发展，积极开发利用新能源和可再生能源，提供清洁、干净的能源，还要保护环境、节约能源。

（一）发电领域

智能发电的主要内容是新能源的有效使用技术和并入原有电网技术，新能源和可再生资源发电具有不容忽视的作用，拥有着传统能源不具有的优势，在并入原有电网方面需要进一步研究。增加新能源和可再生能源的使用，可以优化原有的电网能源结构，促进节能减排工作的开展，保护现有的生态环境，提高发电量，满足人们日益增长的用电需求。在新能源接入电网方面，可以加大研究力度，在现有的交流输电技术的基础上进一步开发，利用电力电子技术的灵活性，还可以提高电源容纳量，对可再生能源接入后的电网故障进行诊断，然后进行排除。

（二）配电领域

国家对配电领域的重点研究投资项目是储能技术、电力应用于汽车和配电自动化。研究储能系统，有益于新能源并网的补充，增加接入电网的稳定，可以进行电力调峰，优化现有的储能技术和能源配置。电力应用于汽车可以有效减少汽油的使用量，降低汽车排放量，减少空气中污染物，还可以降低汽车的部分成本，增加汽车行业的效益。集计算机技术、数据传输、控制技术、现代化先进设备以及管理于一体的配电自动化具有明显优势，可以提高供电可靠性和电能的质量，提供优质服务给客户。

（三）输电领域

我国在网量域测技术、传感器技术和量测技术等输电行业技术方面已经达到国际先进水平，可以进一步提高发展水平。加大 PMU 装置的投入使用，研发新型技术，提高测量的精确度，有效利用测量数据所获取的信息；在电力系统中安装电子监控、控制装置，增强电网对电压、电流的控制，提高电力传输效果。

（四）用户领域

我国加强智能电网的开发研究主要就是为了提供给用户更舒适的使用感觉，减少用户在用电高峰产生的问题。国家在用户领域推动 SG186 一体化平台的建设，在全国试点运行，部分省市的电力公司率先建立了智能化的服务系统，在试点过程中发现问题后及时更正，效果良好则在全国推行。建设完善用户信息采集系统、营销业务系统信息化等，全面采集用户的信息，预计用户未来的用电使用情况，制订行之有效的计划。



（五）控制系统

智能电网控制系统研发与应用涉及多个单位，技术目标是软件与硬件具备较高的安全性能，而计算机集群技术的应用则能够使系统处理能力和运输可靠性得到有效提升，所应用的体系结构能够有效提升系统互联能力，从而使原有的相互独立的系统横向集成，包括了不同的应用与基础平台，应用包括了预警与实时监控、安全校核与调度计划、管理等，能够实现对不同级别调度业务协调与控制，支持实时画面与数据，全网共享等。智能电网应用满足了大电网建模、实时数据库、实时图形浏览等一系列关键技术，多级协调、智能报警、协调控制等多项技术难题得以解决。智能电网调度控制系统开发与应用，调度技术也实现了换代与升级，使调度技术横向集成目标得以实现。电网监测工作从稳态转变为动态，分析工作从离线转变到在线，调度工作从局部转向整体，调度管理部门对整体电网的驾驭能力得到了强化。能够对大范围内资源进行有效的配置，并且故障处理能力也得到提升，从而确保电网能够正常安全稳定运行。

（六）电网标准

中国电力科学院组织多位电力专家，根据我国实际情况进行研究符合国情的智能电网标准，实现智能电网的标准化，不因为各个地区的不同情况而产生实施标准的差异。

“十二五”新兴能源重点扶持的领域之一就是智能电网建设，智能电网的建设可以为国家节约大量能源，促进资源节约型、环境友好型社会的建设。智能电网是未来世界各国重点发展的产业之一，是各国重要研究的方向，对各个国家都非常重要。发展智能电网，可以推动相关科学技术的发展，带动服务、金融、设备制造等相关产业的发展，加快电力应用于社会。

第二节 微电网技术

一、概述

微电网是一种将分布式电源、负荷、储能装置、变流器以及监控装置有机整合在一起的小型发配电系统。凭借微电网的运行控制和能量管理等关键技术，可以实现其并网或孤岛运行，降低间歇性分布式电源给配电网带来的不利影响，最大限度地利用分布式电源出力，提高供电可靠性和电能质量。将分布式电源以微电网的形式接入配电网，被普遍认为是利用分布式电源的有效方式之一。微电网作为配电网和分布式电源的纽带，使得配电网不必直接面对种类不同、归属不同、数量庞大、分散接入的（甚至是间歇性的）分布式电源。国际电工委员会（IEC）在《2010—2030 应对能源挑战白皮书》中明确将微电网技术列为未来能源链的关键技术之一。

近年来，欧盟、美国、日本等均开展了微电网试验示范工程研究，以进行概念验证、控制方案测试及运行特性研究。国外微电网的研究主要围绕可靠性、可接入性、灵活性 3 个方面，探讨系统的智能化、能量利用的多元化、电力供给的个性化等关键技术。微电网在我国也处于实验、示范阶段，截至 2012 年年底，国内已开展微电网试点工程 14 个，既有安装在海岛孤网运行的微电网，也有与配电网并网运行的微电网。这些微电网示范工程普遍具备 4 个基本特征：