

高度集成 智能变电站技术

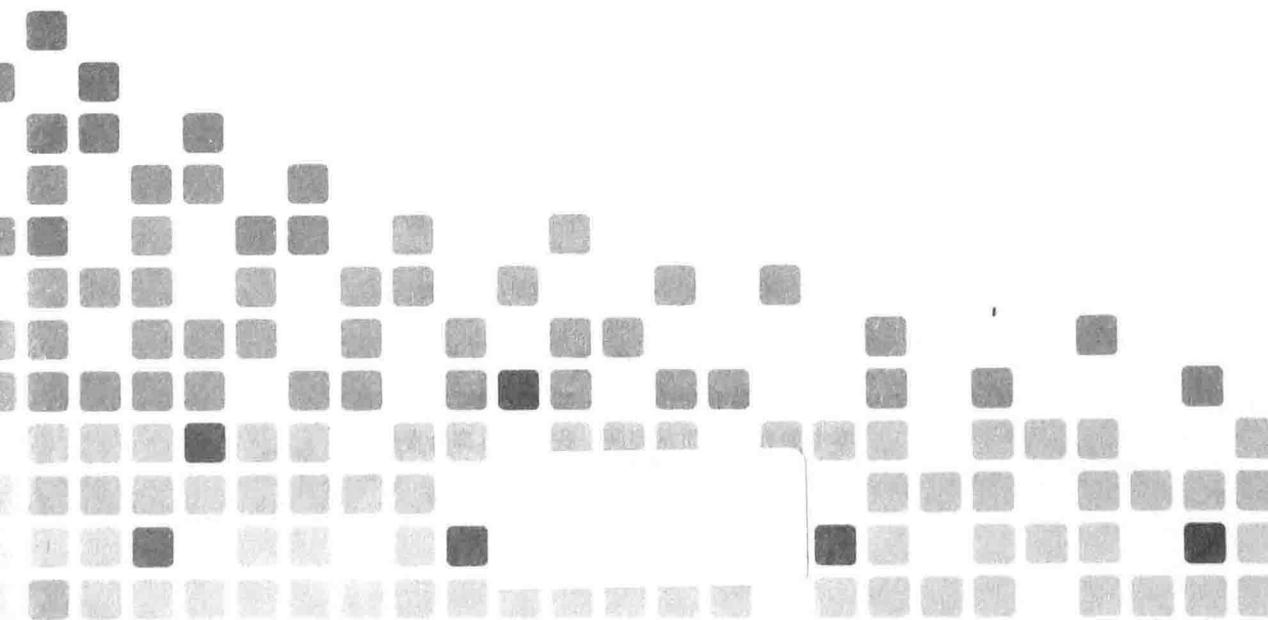
王芝茗 主 编
葛维春 张新昌 黄 旭 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

高度集成 智能变电站技术

王芝茗 主 编
葛维春 张新昌 黄 旭 副主编



内 容 提 要

本书全面详细地介绍了高度集成智能变电站技术研究的最新成果,内容包括了智能变电站在智能电网中的作用、发展现状和发展趋势,智能变电站通信协议,智能变电站组成及关键技术,高度集成智能变电站的技术分析及关键技术,以及高度集成智能变电站的实际工程应用的方案及经济效益、动模试验和实际运维检修处理策略等。

本书内容全面丰富,技术先进,紧密联系实际,适合智能变电站方案研究、设计、运行维护专业人员和电力自动化设备厂家的产品技术开发设计人员阅读,也可供高等院校的电力系统自动化相关专业师生阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

高度集成智能变电站技术/王芝茗主编. —北京:中国电力出版社, 2015. 5

ISBN 978-7-5123-6052-5

I. ①高… II. ①王… III. ①变电所—智能技术 IV. ①TM63

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第131134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.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015年5月第一版 2015年5月北京第一次印刷

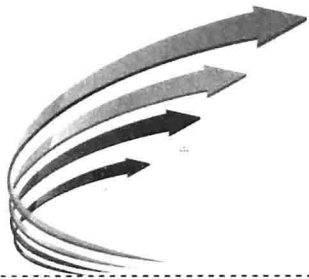
787毫米×1092毫米 16开本 11.25印张 268千字

印数0001—2000册 定价30.00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



前 言

伴随着国家智能电网战略的整体推进，变电站技术领域出现了重大技术变革。状态监测及评价体系的建设，基于网络的保护测控技术发展，电子式互感器的试点应用等，发生了明显地变化。

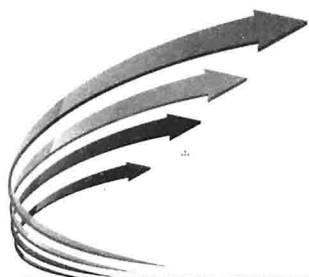
2006年以来，国网辽宁省电力有限公司开展了智能变电站技术研究和实践工作，提出了以变电站为对象的保护和测控技术，先后在66kV小坨子变电站、220kV王铁变电站、220kV何家变电站实现了高度集成保护测控技术，并历经集中式保护测控结合罗氏线圈互感器在66kV变电站工程应用的初探，插件式集中保护测控结合磁光玻璃光互感器在220kV变电站工程应用的深化，高度集成保护测控结合磁光玻璃光互感器与纯光纤光互感器在220kV变电站工程应用的升华三个阶段，未来高度集成保护测控将体系化并向区域控制保护方向拓展。

本书全面总结了国网辽宁省电力有限公司开展的高度集成智能变电站技术研究成果，其内容包括智能变电站在智能电网中的作用、发展现状和发展趋势，IEC 61850通信协议的技术特点和核心技术，智能变电站的组成及关键技术，高度集成智能变电站的整体架构和关键技术，以及高度集成智能变电站的实际工程应用的方案及经济效益、动模试验和实际运维检修处理策略等。

本书是理论研究和实际工程建设经验的总结。编写过程中得到了许继集团的大力支持。由于篇幅限制，编者手中大量的资料没有写入书中，对书中阐述观点有疑问或者需要进一步了解的读者可以与编者联系。由于编者水平及阅历有限，不当之处还请各位读者不吝指正。

作者

2014.10



目 录

前言	
第 1 章 概述	1
1.1 智能电网及国内外现状	1
1.2 变电站自动化技术在智能电网中的作用	5
1.3 电网发展趋势及新要求	8
第 2 章 智能变电站通信协议	12
2.1 变电站通信协议概述	12
2.2 IEC 61850 标准的产生与发展	14
2.3 IEC 61850 标准总体架构	14
2.4 IEC 61850 标准的主要技术特点	15
2.5 IEC 61850 标准的几个核心技术要点	17
2.6 IEC 61850 标准在智能变电站应用的价值	24
第 3 章 智能变电站组成及关键技术	26
3.1 智能变电站的基本概念	26
3.2 智能变电站的结构	29
3.3 电子式互感器	33
3.4 对时同步技术	52
3.5 站内通信网络技术	57
3.6 一体化监控系统	59
3.7 智能变电站的国内外建设现状	83
第 4 章 高度集成智能变电站的技术分析	88
4.1 现有智能变电站系统局限性	88
4.2 高度集成智能变电站的研究	89
第 5 章 高度集成智能变电站关键技术	94
5.1 过程层三网合一技术研究	94
5.2 时钟源无缝切换方案	105
5.3 合并单元与对侧差动保护同步方案	109
5.4 集中式保护控制软硬件平台技术	114
5.5 集中式保护控制系统功能分解	119
5.6 检修方案	132
5.7 HGIS 外卡式光学电流互感器	135
5.8 变压器油色谱检测“一拖二”技术	136

5.9	全无线式在线监测系统	140
第6章	智能变电站实际工程实例	145
6.1	辽宁何家变电站工程配置方案	145
6.2	动模验证	152
6.3	经济效益分析	163
6.4	实际的运维检修处理策略	164
	参考文献	172

概 述

1.1 智能电网及国内外现状

1.1.1 智能电网

能源是经济发展和社会生活的重要物质基础，保障能源的长期稳定可靠供应是世界各国共同追求的目标。进入 21 世纪以来，能源短缺、资源紧张、气候变化等问题日益突出，过去十年世界能源消费累计增长 28%，比 20 世纪后十年消费增速高出近 1 倍，全球在能源安全、能源效率、能源环境等方面面临重大挑战。电网是国家能源产业链的重要环节，是国家综合运输体系的重要组成部分，其发展状况对以上问题有着直接的影响。与此同时，各行业对电力的依赖增强，用户对供电可靠性及电能质量的要求也日益提高，因此，世界各国都对电网建设提出了更高的要求。依靠现代信息、通信和控制技术，提高电网智能化水平，适应未来可持续发展的要求，是世界各国电力工业积极应对未来挑战的共同选择^[1]。

智能电网是当今世界能源产业发展变革中，电网建设发展的最新动向，它体现了社会的进步，代表着电网未来发展的方向^[2]。目前，建设智能电网的必要性已经在世界范围内被广泛接受，由于各国国情和发展现状的不同，对智能电网的概念和特征的总结不完全一致。但从技术发展和应用的角度看，世界各国、各领域的专家以及学者普遍认同以下观点：智能电网是将先进的传感测量技术、信息通信技术、分析决策技术和自动控制技术与能源电力技术以及电网基础设施高度集成而形成的新型现代化电网；同时，智能电网具备优越的透明开发与互动性，能够让用户了解更多的电源和电能质量信息，使得电网能够构建新型商业模式，发挥用户的积极性，向用户提供电力的优质和增值服务、节约用电和能源等，从而为拓展电网的战略发展提供更大的空间。

从世界能源的最新发展趋势和满足经济社会发展对电力的需求出发，结合我国经济发展布局和能源禀赋特点，我国的智能电网首先应当是一个坚强的电网。“坚强”是指电网的结构合理、运行安全，具有强大的资源配置能力和抵御风险能力。“智能”是指电网的运行控制更高效、更灵活，具有高度的自动化水平和自适应能力。坚强是智能电网的基础，智能是坚强电网充分发挥作用的关键，两者相辅相成、有机统一。坚强智能电网是一个完整的智能电力系统，包含发电、输电、变电、配电、用电、调度等各个环节，覆盖所有电压等级。各环节的发展要紧密衔接、相互协同，整体功能和优势才能充分发挥。

我国之所以发展坚强智能电网，主要基于以下四个方面^[2]。

(1) 我国作为发展中国家的基本国情。改革开放 30 年来，我国国民经济实现年均 9.8% 的增长，创造了经济高速增长的奇迹。尽管受到国际金融危机的影响，但我国经济、社会发展的基本态势并没有发生改变，即经济、社会将长期处于快速发展的历史阶段。电

力工业是国民经济基础产业，为经济、社会发展提供动力支持。根据全面建设小康社会的奋斗目标，预计到 2020 年，我国用电需求将达到 7.7 万亿 kWh，发电装机将达到 16 亿 kW 左右，在目前基础上翻一番，未来电力发展空间巨大。而我国电网发展却相对长期滞后，优化配置资源的能力不强。因此，我国的智能电网首先应该是具有坚强网架结构的电网，能够实现能源资源的大范围优化配置。建设坚强智能电网，必须以坚强网架为基础。

(2) 提升电网的大范围资源优化配置能力。我国能源资源贫乏，人均能源资源拥有量远远低于世界平均水平。能源结构以煤为主，能源资源分布与生产力布局很不平衡。随着能源开发重点逐渐西移和北移，能源的远距离、大规模输送是必然趋势。通过建设坚强的智能电网，可以促进新技术、新材料、新工艺的应用，有效提高线路输送能力和运行控制的灵活性，最大限度提高能源输送效率，提升电网大范围优化配置资源的能力；促进发电侧应用先进、高效的发电技术，提升发电设备综合利用效率，从而降低一次能源消耗，减少二氧化硫等污染物排放，促进能源的可持续发展。

(3) 提升系统的清洁能源接纳能力。我国政府明确提出 2010 年可再生能源在能源消费中的比重达到 10%，2020 年达到 15% 的目标。我国太阳能、风能等资源大都远离能源消费中心，必须走“大规模集中开发”的发展道路，通过大电网在全国范围内消纳。根据规划，将在甘肃河西走廊、苏北沿海和内蒙古重点建设千万千瓦级风电基地，打造“风电三峡工程”；在西北部地区建设大规模太阳能光伏发电基地。通过建设坚强智能电网，可以实现清洁能源并网接入标准化和运行控制智能化，实现清洁能源的柔性接入和大规模、远距离输送。

(4) 满足用户需求的多元化和不断提高供电可靠性。随着人民生活水平不断提高，对电力可靠性和电能质量的要求不断提高。同时，电网运行的环境日益复杂，影响电网安全的风险因素也不断增加。坚强的智能电网可以有效抵御自然灾害、外力破坏和网络攻击等各类突发事件给电力系统造成的影响，及时、准确地预测和处理各种故障；可以实现电网与电力用户双向互动，通过智能电能表等高级计量体系，为用户提供实时电价和用电信息，实现用电管理优化、能效诊断等增值服务。同时，智能电网通过引导用户将高峰时段的用电负荷转移到低谷时段，将减少电力用户的电费支出，具有显著的社会效益和经济效益。

智能电网具备以下七个特征^[3]：

(1) 坚强。在电网发生大扰动和故障时，仍能保持对用户的供电能力，而不发生大面积停电事故；在自然灾害、极端气候条件下或外力破坏下仍能保证电网的安全运行；具有确保电力信息安全的能力。

(2) 自愈。具有实时、在线和连续的安全评估和分析能力，强大的预警和预防控制能力，以及自动故障诊断、故障隔离和系统自我恢复的能力。

(3) 互动。实现电力公司与用户的交互，以及进一步地高效互动，让用户了解更多的电源和电能质量信息，满足用户多样化的电力需求并提供对用户的增值服务。

(4) 兼容。支持清洁能源、可再生能源的有序、合理接入，适应分布式电源和微电网的接入。

(5) 经济。支持电力市场运营和电力交易的有效开展，实现资源的优化配置，降低电网损耗，提高能源利用效率。

(6) 集成。实现电网信息的高度集成和共享,采用统一的平台和模型,实现标准化、规范化和精益化管理。

(7) 优化。优化资产的利用,降低投资成本和运行维护成本。

与现有电网相比,智能电网体现出电力流、信息流和业务流高度融合的显著特点,其先进性和优势主要表现在以下几方面^[4]:

(1) 具有坚强的电网基础体系和技术支撑体系,可提高抵御各类外部干扰和攻击的能力,能够适应大规模清洁能源和可再生能源的接入,电网运行的坚强性得到巩固和提升。

(2) 信息技术、传感器技术、自动控制技术与电网基础设施有机融合,可获取电网的全景信息,及时发现、预见可能发生的故障。故障发生时,电网可以快速隔离故障,实现自我恢复,从而避免大面积停电的发生。

(3) 柔性交/直流输电、网厂协调、电力储能、配电网自动化等技术的广泛应用,使电网运行控制更加灵活、经济;并能适应大量分布式电源、微电网及电动汽车充放电设施的接入。

(4) 通信、信息和现代管理技术的综合运用,将大大提高电力设备使用效率,降低电能损耗,使电网运行更加经济和高效。

(5) 实现实时和非实时信息的高度集成、共享与利用,为单位运行管理展示全面、完整和精细的电网运营状态图,同时能够提供相应的辅助决策支持、控制实施方案和应对预案。

(6) 建立起电力公司与电力用户之间双向互动的服务模式,用户可以实时了解电源的供电能力、电能质量、电价状况和停电计划信息,合理安排电器使用;电力公司可以获取用户的详细用电信息,为其提供更多的增值服务。

总之,坚强智能电网是安全可靠、经济高效、清洁环保、透明开放、友好互动的现代电网,在经济、社会、能源、环境、民生等方面具有巨大的综合价值。坚强智能电网的发展,必将深刻改变传统电网的功能、形态和作用,深刻改变世界能源生产和利用格局,深刻影响经济发展方式和人们生活方式,在现代社会中发挥越来越重要的作用。

1.1.2 智能电网国外研究现状

发达国家对智能电网的研究,尤其是前期研究的起步相对较早。美国、欧洲主要发达国家以及亚洲的日、韩等国都已初步形成或正在抓紧研究与各自国情相适应的智能电网发展战略目标、发展路线图以及政策措施,试点工程建设和技术标准制定等实践工作也正在紧锣密鼓地进行中。由于各国经济社会发展阶段、电网发展现状、资源分布等情况不同,不同地区和国家在智能电网发展基础与技术侧重也有所区别。从本国资源分布和需求入手,以经济发展和电力发展的实际状况为基础,是目前各国开展智能电网建设的基本原则。

美国的电力行业面临着电力设施老化、可靠性差、管理模式多样以及环境保护制约等问题,世界恐怖活动和“8·14”美加大停电事故使电网安全问题备受关注。金融危机爆发后,美国新任政府希望以智能电网改造和建设推动经济复苏。改造电网基础设施、提升电网智能化水平、提高电网运行的安全性、降低电网损耗,是美国智能电网建设的基本目标。在发展思路,美国更注重商业模式的创新和用户服务的提升,通过技术创新占领智能电网技术制高点,促进新能源产业发展^[5]。

欧洲的情况则不同，各国电力需求趋于饱和，其能源政策强调对环境的保护和可再生能源发电的发展，欧洲国家更关注可持续、经济、安全、优质的电力供应。欧洲智能电网采用集中式发电和分散式发电相结合的思路，吸纳了可再生能源、需求响应、需求侧管理和储能技术，特别强调分布式能源和可再生能源的充分利用，同时保持大范围的电力传输和能量平衡，注重跨越欧洲的电网国际互联。例如，丹麦因矿藏少，而风力充足，风电装机容量比居世界第一位，所以丹麦将建设智能电网的关键放在利用储能技术解决风电间歇性上，用电动汽车的电池来存储多余的风电，有需要时电池再将电力回输到电网中。意大利的国土面积和人口大致相当于我国一个中等省份，能源比较短缺，电力峰谷差不断拉大，因此他们发展智能电网的重点是推进智能电网计量项目，结合分时电价，削减高峰负荷，节省基础设施投资，提高服务水平^[6]。

日本电网是世界上技术最先进的电网之一，电网结构坚强，安全可靠水平高，但日本主要围绕大规模开发太阳能等新能源，同时确保电网系统稳定这一目标构建智能电网，强调节能与优质服务，注重用智能电网实现各种能源的兼容优化利用。日本电网经过多年的建设和改造，已经具备了一定的智能化水平，设备已达到世界一流水平。今后日本智能电网的发展将更偏重于提高资源利用率、降低电网损耗、提高供电服务质量以及开发储能技术、电动汽车技术等高科技产业，进一步提高电网的先进性、环保性和高效性。

智能电网已成为未来世界电网发展的必然趋势。美、欧、日、韩等国家和地区智能电网发展的动因及发展重点各有差异，推动智能电网建设的进程和模式也各具特点。总结和借鉴优秀经验，有益于探索和构建适合我国及地区特色的坚强智能电网发展模式，最大限度发挥坚强智能电网的社会经济效益。

1.1.3 智能电网国内研究现状

我国电力工业也面临着类似于欧、日、美等国家和地区的情况：在宏观政策层面，电力行业需要满足建设资源节约型和环境友好型社会的要求，适应气候变化；在市场化改革层面，交易手段与定价方式正在发展，市场供需双方的互动将会越来越频繁。

我国建设坚强智能电网是以特高压电网为骨干网架，各级电网协调发展的坚强网架为基础，相应的工程实践以特高压交直流输电示范工程和智能电网工程为主，有序开展研究实践活动。自2004年以来，我国立足自主创新，坚持统筹规划、统一标准，制定了特高压和智能电网发展规划，在发电、输电、变电、配电、用电、调度等各环节全面开展坚强智能电网建设，取得了重要成果^[7]。

(1) 坚强网架建设取得重大突破。全面掌握了特高压交、直流输电核心技术，成功建设和投运了1000kV特高压交流工程和±800kV特高压直流工程，在我国实现了超远距离、超大规模输电。连接我国西部煤炭基地、北部风电基地、西南水电基地的多条特高压交、直流工程正在加快推进。

(2) 电网接纳新能源的能力显著增强。在风力发电和太阳能发电大规模并网、风光储联合运行等方面取得重要突破，适应了新能源快速发展的要求。目前，国家电网接入的风电和太阳能发电装机分别达到3792万kW和44.6万kW。

(3) 电网智能化水平持续提高。建成投运了具有电网全景监控、动态分析、实时预警功能的智能调度系统，总体实现了220kV及以上电网的一体化调度。全面推广应用输变电设备智能巡检、状态监测等技术，正在23个城市核心区建设智能配电网。制定了电动

汽车智能充换电服务网络发展规划,建设108座充换电站和7200多个充电桩;在青岛、杭州等城市建成了智能充换电服务网络。安装应用智能电能表5850万块。在天津建成了智能电网综合示范工程。在北京、上海等大城市建设了一批智能社区。

(4) 电网试验研究能力全面提升。建成了特高压交流、直流、高海拔、工程力学试验基地,建设了大型风电并网、太阳能发电、智能用电技术等国家级研发(实验)中心,形成了具有国际领先水平的试验研究体系,在大容量输变电设备、储能电池等技术研发和设备研制方面取得一大批成果,获得专利1529项。

(5) 电网技术标准体系不断健全。建立了系统的特高压与智能电网技术标准体系,发布企业级标准267项、行业标准39项、国家标准20项,受托编制国际标准7项。经过努力,坚强智能电网建设取得了实质进展和重大突破,进入了全面加快发展的新阶段。

我国政府已将发展特高压和智能电网纳入国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要,将全面加快坚强智能电网建设。未来5年计划建设连接我国大型能源基地和主要负荷中心、“二纵二横”结构的特高压骨干网架;打造高度智能化的输配电网络,建设110kV及以上智能变电站6100座,新建电动汽车充换电站2900座和充电桩54万个,安装智能电能表2.3亿只。能够满足2.6亿kW电力大范围优化配置的需要,支撑9000万kW风电和800万kW太阳能发电的接入和消纳,保障80万辆以上电动汽车的应用,实现全部客户用电信息的自动采集。

到2015年,我国电网的资源配置能力、安全保障能力和公共服务能力将得到全面提升。到2020年,将全面建成坚强智能电网,形成“五纵六横”的特高压骨干网架,实现电网的实时状态监测和智能调度控制,形成电动汽车充换电服务网络。届时,我国电网将综合集成特高压等先进输电技术、物联网等现代信息技术以及云计算等高性能计算与控制技术,与电信网、广播电视网、互联网等紧密融合,成为功能强大、连接广泛的智能服务体系,成为现代社会和智能时代的重要物质基础,为高效利用能源、享受现代生活、推动社会发展提供有力支撑。

1.2 变电站自动化技术在智能电网中的作用

变电站自动化技术是将变电站二次设备(测量仪表、信号系统、继电保护、自动装置、远动装置等)经过功能的组合和优化,利用先进的计算机技术、现代电子技术、通信技术和信号处理技术,实现对全变电站的主要设备和输、配电线路的自动监视、测量、控制、保护以及远动信息传送等综合自动化功能的技术,是测量、自动化、计算机和通信等技术在变电站领域的综合应用^[8]。

随着智能电网建设的逐步推进,远距离大容量输电线路和互联电网的发展,高压和超高压变电站在规模和容量方面日益增加,对变电站自动化技术的可靠性提出了更高的要求^[9]。高压、超高压变电站自动化系统的主要作用有五个方面:

(1) 当电力系统发生故障时,继电保护系统准确检测故障,跳开相应开关,迅速切除故障,不造成故障连锁反应,使故障造成的影响限制在尽可能小的范围。

(2) 收集、处理各种设备的运行信息和数据,按要求发送到集控中心和远方调度控制中心,满足调度部门对电力系统的监视、控制和运行操作。

(3) 收集设备的状态数据,支持设备的状态维修和实现以可靠性为中心的维修系统,

提高设备可用率和使用寿命。

(4) 在集控中心或调度控制中心对变电站失去监控的情况下，变电站的后备控制能对变电站进行控制。

(5) 收集并及时传送电力市场实时交易所需的技术数据，促进安全交易，减少交易风险。

智能变电站是坚强智能电网的重要基础和支撑，是电网运行数据的采集源头和命令的执行终端，是数据的传输、分析、验证和存储、管理单元。提高智能变电站自动化系统的通信安全性、可靠性，提高系统集成度，使系统紧凑化、一体化，并增强其高级应用功能和一次设备智能化是建设“两型一化”智能变电站的重要内容^[10]。

智能变电站自动化技术遵循 IEC 61850 标准，按照全站信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化的基本要求，通过系统集成优化，实现全站信息的统一接入、统一存储和统一展示，实现运行监视、操作与控制、综合信息分析与智能告警、运行管理和辅助应用等功能。

智能变电站自动化系统由一体化监控系统和输变电设备状态监测、辅助设备、时钟同步、计量等共同构成，按分层分布式来实现智能变电站内电气设备间的信息共享和互操作性，如图 1-1 所示。

智能变电站自动化技术不仅很好地解决了常规变电站所存在的诸多缺陷，同时也消除了变电站内的信息孤岛，提供了统一断面的全景数据采集，为电网的智能化打下了良好的信息基础，为智能电网的分析、决策系统提供了信息及功能支撑。智能变电站自动化技术对智能电网的支撑作用主要体现在以下几个方面：

(1) 可靠性。可靠性是变电站最主要的要求，具有自诊断和自治功能，做到设备故障早预防和预警，自动将供电损失降低到最低程度。

(2) 信息化。提高可靠、准确、充分、实时、安全的信息。除传统“四遥”的电气量信息外，还应包括设备信息、环境信息、图像信息等，并具有保证站内与站外的通信安全及站内信息存储及信息访问安全的功能。

(3) 数字化。具备电气量、非电气量、安全防护系统和火灾报警等系统的数字化采集功能。

(4) 自动化。实现系统工程数据自动生成、二次设备在线/自动校验、变电站状态检修等功能，提高变电站自动化水平。

(5) 互动化。实现变电站与控制中心之间、变电站与变电站之间、变电站与用户之间和变电站与其他应用需求之间的互联、互通和互动。

(6) 资源整合。通过统一标准、统一建模来实现变电站内外的信息交互和信息共享。将保护信息子站、SCADA、五防、PMS、DMS、WAMS 等功能应用或业务支持集于一身，优化资源配置，减少重复浪费现象。

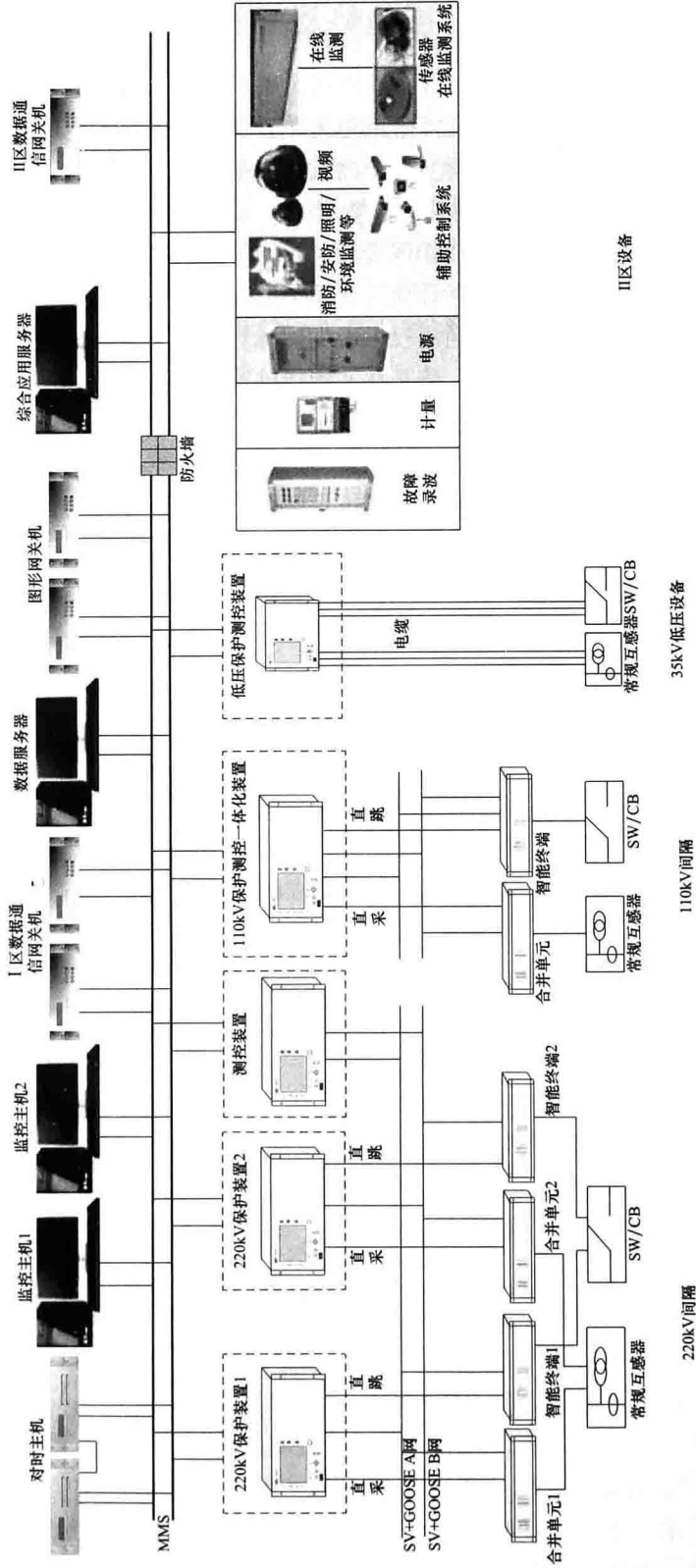


图1-1 智能变电站自动化系统

1.3 电网发展趋势及新要求

1.3.1 电网发展趋势

经济、社会的快速发展对作为重要基础产业的电力工业发展，尤其是电网发展提出了更高的要求。我国大范围能源资源配置和可再生能源的大规模集中接入要求电网结构更加坚强合理，控制管理更加灵活便利。“资源节约型、环境友好型”社会建设要求电网在确保安全可靠的前提下，着重提升其运行效率和灵活管理能力。人们生活水平的不断提高要求电网不断改善供电服务质量，丰富服务内容。国际社会对气候变化问题的高度关注，使能源结构优化和提高能源效率成为世界各国获得国际话语权、彰显国际竞争力和实现可持续发展的重要内容，电网作为能源供应体系的重要环节，势必在节能减排领域承担更加艰巨的任务。

我国在分析经济、社会和能源电力发展趋势，借鉴国外智能电网有关研究的基础上，结合基本国情和电力工业实际，提出了立足自主创新，加快建设以特高压电网为骨干网架，各级电网协调发展，具有信息化、自动化、互动化特征的坚强智能电网发展目标，力争使电网具备坚强的网架结构，能支持各类电源的友好接入及使用，能提供大范围资源优化配置能力，给用户全面的服务，以实现安全、可靠、优质、清洁、高效、互动的电力供应，推动电力行业及相关产业的技术升级，满足经济社会全面、协调、可持续发展要求。

我国智能电网建设的发展趋势分以下五个方面^[11]：

(1) 提高电网输送能力，确保电力的安全可靠供应，具备坚强的网架结构，打造坚强可靠的电网。因此，需要全面掌握特高压交/直流输电技术，加快特高压骨干网架建设，以构成坚强的电网构架，服务于更大范围的资源优化配置；通过灵活交/直流输电技术的研究和应用，提高电网输送能力和控制灵活性；进一步开展大电网安全稳定、智能调度、状态检修、全寿命周期管理和智能防灾等技术的研究，以提高大电网的安全稳定运行水平。

(2) 提高能源资源的利用效率，提高电网运行和输送效率，打造经济高效的电网。因此，需要研究先进储能技术、电力电子等技术，提高发电资源利用效率；需要进一步深入研究各类电网优化分析技术，安排合理运行方式，降低电网全局损耗；需要研究需求侧智能化管理技术，提高用户侧能源资源利用效率。

(3) 促进可再生能源发展与利用，降低能源消耗和污染物排放，合理配置电源结构，打造清洁环保的绿色电网。因此，需要研究可再生能源并网、监视、预测、分析、控制相关技术，服务于节能减排和清洁能源振兴规划；需要研究分布式电源接入和微电网等技术，促进用户侧可再生能源的利用，提升用电可靠性。

(4) 促进电源、电网、用户协调互动运行，打造灵活互动的电网。因此，需要研究机网协调运行控制技术，推进机网信息双向实时交互；需要研究推广发电厂辅助服务考核技术，提高发电企业主动参与电网调节的积极性；需要研究互动营销、智能电能表等技术，提高电网、用户间的互动水平和用户服务质量。

(5) 实现电网、电源和用户的信息透明共享，打造友好开放的电网。因此，需要研究用电信息采集技术和营销信息化技术，确保电网与用户间信息透明开发；需要研究多周期、多目标调度计划技术、电力市场交易相关技术，构建公正透明的调度计划运作平台、电力市场交易平台，确保电网与电源信息的透明共享。

1.3.2 调控一体化运行模式

电网调度机构是电力系统内部的一个负责保障电网安全、优质、经济运行的组织机构，是发、输、变、配、用的电网运行组织、指挥、指导和协调中心。

调度机构既是生产运行单位，又是电网经营企业的职能机构，它代表本级电网经营企业在电网运行中行使调度权。各级调度机构分别由本级电网经营企业直接领导。电网运行实行统一调度、分级管理。各级调度机构在电网调度业务活动中是上、下级关系。下级调度机构必须服从上级调度机构的调度。凡并入电网的各发电、供电、用电单位，必须服从统一调度管理，遵守调度纪律。各级调度机构按照分工在其调度管理范围内实施电网调度管理，依靠法律、经济、技术并辅之必要的行政手段，指挥和保证电网安全稳定经济运行，同时维护各利益主体的利益。

随着智能电网建设的迅速推进，我国电网生产技术、设备装备水平和人员水平有了显著提高，创新变电运行管理模式，利用“科技增效”的手段提高电网运行经济效益，提升电网综合管理水平，已成当务之急，大势所趋。调控一体化模式是对现有电网调度和设备运行集控功能实施集约融合、统一管理，促进各级调度一体化运作，优化调整管理体系和工作机制，提升整体管理水平和营运效率，以实现精益化管理、标准化建设和集约化发展的思路^[12]，调控一体化系统如图 1-2 所示。

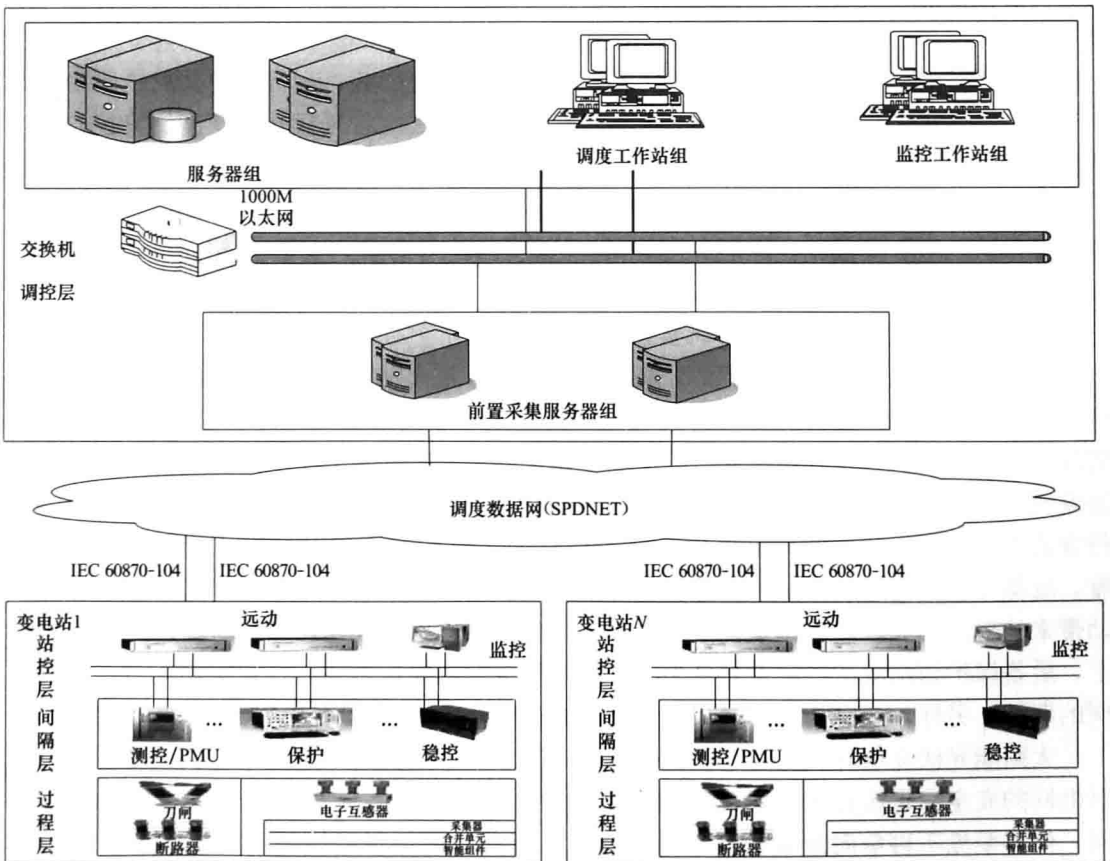


图 1-2 调控一体化系统

调控一体化运行模式将监控业务与调度业务融合，实现电网调度与电网监控一体化管理，形成“电网调度监控中心+运维操作站”的调度运行管理模式^[13]。调控人员负责电网调度和设备监控、遥控操作等工作，调度命令不再下达至集控中心，而是直接下达至运行维护操作人员，由运行维护操作人员负责设备巡视、消缺、现场操作及应急处置等，它具备以下优点^[14]：

(1) 调度掌握设备运行信息更加及时、全面、准确，事故异常处理快捷。

(2) 提高自动化控制水平，实现智能化运行监控；简化组织机构，优化配置电网设备检修、运行维护资源，实现专业化管理，提高管理水平；节省投资，提高人力资源使用效率。

(3) 融合了监控业务，对调控一体化系统的可靠性和处理容量要求较高。

如果把传统的、负责电网监测和基本分析工作的调度自动化称为“调度的眼睛”，那么智能的调控一体化则是“调度的大脑”。从电网集约化管理角度看，调控一体化模式将是智能电网变电运行管理的发展方向。

调控一体化模式的实施也使调度中心的责任加重，尤其对于变电站分布范围广的地区，电网调度任务加重更明显。调控一体化模式的运行管理应站在全局生产运行与管理的角度，优化资源与配置，制定管理规范，人员也按照大生产与大运行需求进行整合与配置。需要依照总体规划、分步实施的原则，整合目前调度、集控、通信、变电与自动化多个专业，建立符合大运行、大生产的调度生产管理与指挥中心。在管理上，建立适应调控一体化发展的调控中心，将集控运行人员与职能归入调控中心，运行维护操作队归变电部门管理。在业务流上，初期可采用调度、集控、操作队二级管理模式。调度、集控、操作队使用同一套技术支持系统，调度与集控人员运行职责分开，集控人员负责原有集控站运行业务，接受调度命令，负责受控变电站设备监视、遥控操作等工作；最终实现调度集控、操作队二级管理模式，缩短管理链条，优化资源与人员配置，由调控人员全面负责电网调度、设备监控、遥控操作等工作^[15]。

1.3.3 电网对继电保护的新要求

智能电网采用大容量、远距离、高电压输电，分布式发电、交互式供电使得电网结构日趋复杂，运行方式更为多变。为实现电网的安全可靠高效运行，必须提高输电的效率，实现灵活地控制，大量采用诸如可控串联补偿、静止无功补偿、电能质量控制装置、统一潮流控制器及 STATCOM 等交流灵活输电技术^[16]。智能电网复杂网架的建设提供了多运行方式下传输超大功率的输电能力，但使得阶段式原理的后备保护保证选择性越来越困难，后备保护的整定、调试和运行管理占据了保护人员绝大部分的精力，经常担心它们误动带来的事故扩大。超高压系统中主保护双重化配置，故障快速切除率已经达到 99.5% 以上，后备保护切除故障的记录几乎为零，利用广域信息简化后备、取消定值配合，成为共同的期盼。另外，电网的交/直流混合输电的特征也使非线性可控电力元件数量大大增加。

太阳能光伏发电和风力发电装机容量在电网中所占比例越来越高，它们自身的波动性对电网的安全稳定运行带来了越来越大的挑战。新能源发电主要以分布式能源的形式并网，使得潮流不再单向地从变电站母线流向各负荷，增加了潮流的不确定性^[17]。当发生故障时，短路瞬间会有分布式发电的电流注入电网，增加了电网的短路电流水平，而且由新能源发电提供的电流大小也是随机的，这给继电保护装置的定值整定带来了很大的难

题。传统继电保护“事先整定、实时动作、定期检验”的运行模式不能适应这种变化。继电保护需要具备在线自适应能力，即自动在线计算与保护性能有关的系统参数；自动在线计算整定值；实时判断系统运行状态，自适应调整保护动作方式。

综上所述，以电力电子器件的广泛应用为特征的智能电网的故障暂态过程与传统电力系统将有显著的不同，电网暂态过程的复杂性及电网运行方式灵活控制造成的多变性，对继电保护的运行管理模式、装置特性及保护算法提出了更高的要求^[18]。为满足智能电网发展对继电保护的新要求，需要重新审视习以为常的配置配合方式，以极小的二次系统代价获取一次系统的很大效益，在广域信息网络条件下，解决以上问题是可能的^[19]。充分利用广域信息条件，更新现有的主保护、后备保护的配置方式，不仅可以减轻整定、配合工作量，还可以简化保护配置。所提的集中式后备保护，具有很高的容错性和较高的可靠性。

要真正实现保护对系统运行方式和故障状态的自适应，必须获得更多的系统运行和故障信息，这就要求将全系统各主要设备的保护装置用计算机网络连接起来，即实现微机保护装置的网络化^[20]。实现网络化，每个保护单元都能共享全系统的运行和故障信息的数据，各个保护单元与重合闸装置在分析这些信息和数据的基础上协调动作，从而保证全系统的安全稳定运行。

因此，在智能电网条件下，继电保护在运行管理模式、装置特性、算法研究等方面都面临更高的要求，具备智能化、网络化、功能高度集中特性的新型继电保护装置的研发必将成为未来智能电网建设的重点内容之一^[21]。