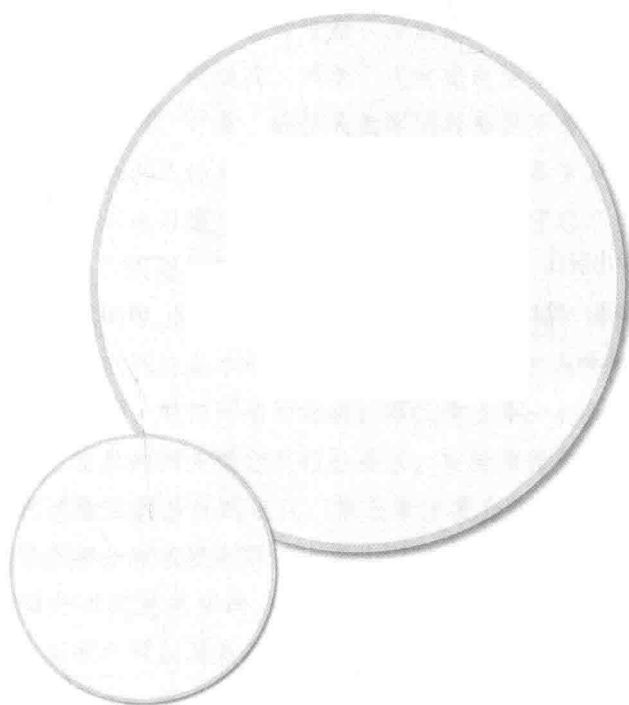


智能电网中 电力电子技术的研究与应用



智能电网中 电力电子技术的研究与应用

王金鹏 著



电子科技大学出版社

University of Electronic Science and Technology of China Press

图书在版编目(CIP)数据

智能电网中电力电子技术的研究与应用 / 王金鹏著.

-- 成都: 电子科技大学出版社, 2017.11

ISBN 978-7-5647-5299-6

I. ①智… II. ①王… III. ①智能控制-电网-电力电子技术-研究 IV. ①TM76

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第280604号

智能电网中电力电子技术的研究与应用

王金鹏 著

策划编辑 李述娜

责任编辑 谭炜麟

出版发行 电子科技大学出版社

成都市一环路东一段159号电子信息产业大厦九楼 邮编 610051

主 页 www.uestcp.com.cn

服务电话 028-83203399

邮购电话 028-83201495

印 刷 三河市华晨印务有限公司

成品尺寸 170 mm × 240 mm

印 张 18.5

字 数 359千字

版 次 2018年5月第一版

印 次 2018年5月第一次印刷

书 号 ISBN 978-7-5647-5299-6

定 价 67.00元

版权所有, 侵权必究

P 前言 PREFACE

电力需求的增长加快了电网的建设,促进了电网联网的规模。特高压输电、新能源发电、交直流混联等并网运行,使得电网设备多、容量大、结构复杂、控制运行难度高。有效抵御各类严重故障,降低事故风险,保证电网运行的高度灵活、智能、可靠和安全成为电网企业的挑战。

电力消费者的要求具有差异性,供电稳定、可靠、质优、费用低、可预约是消费者的基本需求。随着智能电器、智能家居、智慧城市和物联网的建设,消费者对供电的要求将不断提高。风电、光伏发电等家庭分布式电源的组网,微电网的并网、电能控制、计量、数据采集等问题都需要通过智能电表加以控制和解决。目前,智能电网已经成为当今世界电力系统发展变革的新动向,在未来的发展中将对人们的用电习惯以及整个电力系统的运营管理产生重大的影响,世界各国已经作了相关的规划并展开了相应的部署。

本书在内容定位上,突出技术先进性、前瞻性和实用性,全书共九章:第一章主要介绍智能电网的基本问题和技术架构,国内外智能电网的发展现状以及智能电网系统控制中一般性问题的解决;第二章主要分析智能电网中的电能质量分析,包括电能质量的相关概念及指标要求,电能质量监测与分析现状和技术,最后介绍电能质量监测系统想设计;第三章主要介绍电力电子技术及其典型应用;第四章主要介绍分布式发电的基本概念与发展现状及其对智能电网的影响;第五章主要介绍分布式发电并网,其中包括并网概述、并网逆变器系统以及并网标准,最后介绍微电网以及孤岛效应相关的现状及技术;第六章主要介绍电能的转换及电能控制技术;第七章主要介绍能量存储方案以及能量装置的应用;第八章主要分析了高频配电系统,其中包括高频配电系统的发展现状,HFAC 配电系统原理及控制方法,半桥谐振式高频逆变器研究以及 HFAC 在各个领域的应用;第九章主要分析了智能电网与电动汽车中的电力电子技术,其中包括电动汽车充电站发展现状与结构,电动汽车充电站原理以及电动汽车充电站的建设与运行等。希

望能够通过本书的研究为从事电力电子技术以及智能电网相关研究的学者和相关专业师生提供参考。

本书在编写过程中，参考了大量国内外学者的专著、论文等相关文献资料，同时在编撰过程中还引用、借鉴了大量报纸、杂志、书籍以及网络资料，在此一并致谢！由于时间仓促，编者水平有限，本书难免存在不足之处，恳请广大读者批评指正。

第一章	引 言	001
第一节	智能电网概述	002
第二节	国内外智能电网的研究现状与发展	019
第三节	智能电网系统控制中一般性问题的解决	043
第二章	智能电网中的电能质量监测	057
第一节	电能质量概述	057
第二节	电能质量监测与分析	065
第三节	电能质量监测系统的设计	075
第三章	电力电子技术及其典型应用	093
第一节	电力电子技术概述	093
第二节	换流器的原理	097
第三节	电力电子技术的典型应用	100
第四章	分布式发电及其对智能电网的影响	109
第一节	分布式发电及发展现状	110
第二节	分布式发电对智能电网的影响	117
第五章	分布式发电并网及微电网	121
第一节	分布式发电并网概述	121
第二节	并网逆变器系统	124
第三节	分布式发电互联标准	130

第四节	微电网	/	135
第五节	孤岛效应与反孤岛效应	/	145
第六章	智能电网中电能的转换与控制技术		154
第一节	电能转换技术	/	154
第二节	基于 FACTS 的电力电子换流器件	/	161
第三节	输变电在线安全运行控制技术	/	164
第四节	基于广域信息的快速自愈控制技术	/	181
第五节	基于广域信息的快速后备保护技术	/	191
第七章	能量储存系统		201
第一节	能量储存方案	/	201
第二节	储能装置的应用	/	216
第八章	高频交流配电系统		225
第一节	高频交流配电系统概述	/	225
第二节	HFAC 配电系统原理及控制方法	/	230
第三节	半桥谐振式高频逆变器研究	/	235
第四节	HFAC 在各个领域的应用	/	242
第九章	智能电网与电动汽车中的电力电子技术		253
第一节	电动汽车充电站发展现状与结构	/	253
第二节	电动汽车充电站原理	/	265
第三节	电动汽车充电站的建设与运行	/	272
参考文献			285

第一章 引言

智能电网的建立是一个巨大的历史性工程。目前很多复杂的智能电网项目正在进行中，但缺口仍是巨大的。对于智能电网技术的提供者来说，所面临的推动发展的挑战是配电网络系统升级、配电站自动化和电力运输、智能电网网络和智能仪表。

智能电网是电网技术发展的必然趋势。通信、计算机、自动化等技术在电网中得到广泛深入的应用，并与传统电力技术有机融合，极大地提升了电网的智能化水平。传感器技术与信息技术在电网中的应用，为系统状态分析和辅助决策提供了技术支持，使电网自愈成为可能。调度技术、自动化技术和柔性输电技术的成熟发展，为可再生能源和分布式电源的开发利用提供了基本保障。通信网络的完善和用户信息采集技术的推广应用，促进了电网与用户的双向互动。随着各种新技术的进一步发展、应用并与物理电网高度集成，智能电网应运而生。

据中国产业调研网发布的 2016—2022 年中国智能电网行业现状分析与发展趋势研究报告显示，发展智能电网是社会经济发展的必然选择。为实现清洁能源的开发、输送和消纳，电网必须提高其灵活性和兼容性。为抵御日益频繁的自然灾害和外界干扰，电网必须依靠智能化手段不断提高其安全防御能力和自愈能力。为降低运营成本，促进节能减排，电网运行必须更为经济高效，同时须对用电设备进行智能控制，尽可能减少用电消耗。分布式发电、储能技术和电动汽车的快速发展，改变了传统的供用电模式，促使电力流、信息流、业务流不断融合，以满足日益多样化的用户需求。

下面我们对智能电网的相关概念、研究现状以及智能电网的技术架构进行介绍。

第一节 智能电网概述

智能电网就是电网的智能化,也被称为“电网 2.0”,它是建立在集成的、高速双向通信网络的基础上,通过先进的传感和测量技术、先进的设备技术、先进的控制方法以及先进的决策支持系统技术的应用,实现电网的可靠、安全、经济、高效、环境友好和使用安全的目标,其主要特征包括自愈、激励和包括用户、抵御攻击、提供满足 21 世纪用户需求的电能质量、容许各种不同发电形式的接入、启动电力市场以及资产的优化高效运行。

一、智能电网的定义

关于智能电网,不同部门给出了不同的定义。

1. 美国能源部《Grid 2030》:一个完全自动化的电力传输网络,能够监视和控制每个用户和电网节点,保证从电厂到终端用户整个输配电过程中所有节点之间的信息和电能的双向流动。

2. 中国物联网校企联盟:智能电网由很多部分组成,可分为:智能变电站,智能配电网,智能电能表,智能交互终端,智能调度,智能家电,智能用电楼宇,智能城市用电网,智能发电系统,新型储能系统。现在对其中的一部分做简单介绍。

3. 欧洲技术论坛:一个可整合所有连接到电网用户所有行为的电力传输网络,以有效提供持续、经济和安全的电力。

4. 国家电网中国电力科学研究院:以物理电网为基础(中国的智能电网是以特高压电网为骨干网架、各电压等级电网协调发展的坚强电网为基础),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。它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。

二、智能电网的目标

智能电网的目标是实现电网运行的可靠、安全、经济、高效、环境友好和使用安全,电网能够实现这些目标,就可以称其为智能电网。具体来说,包括以下几方面。

1. 智能电网必须更加可靠。智能电网不管用户在何时何地，都能提供可靠的电力供应。它对电网可能出现的问题提出充分的告警，并能忍受大多数的电网扰动而不会断电。它在用户受到断电影响之前就能采取有效的校正措施，以使电网用户免受供电中断的影响。

2. 智能电网必须更加安全。智能电网能够经受物理的和网络的攻击而不会出现大面积停电或者不会付出高昂的恢复费用。它更不容易受到自然灾害的影响。智能电网必须更加经济——智能电网运行在供求平衡的基本规律之下，价格公平且供应充足。智能电网必须更加高效——智能电网利用投资，控制成本，减少电力输送和分配的损耗，电力生产和资产利用更加高效。通过控制潮流的方法，以减少输送功率拥堵和允许低成本的电源包括可再生能源的接入。

3. 智能电网必须更加环境友好。智能电网通过在发电、输电、配电、储能和消费过程中的创新来减少对环境的影响。进一步扩大可再生能源的接入。在可能的情况下，在未来的设计中，智能电网的资产将占用更少的土地，减少对景观的实际影响。智能电网必须是使用安全的——智能电网必须不能伤害到公众或电网工人，也就是对电力的使用必须是安全的。

三、智能电网的主要特征

智能电网包括八个方面的主要特征，这些特征从功能上描述了电网的特性，而不是最终应用的具体技术，它们构成了智能电网的完整图像。

1. 智能电网是自愈电网。“自愈”指的是把电网中有问题的元件从系统中隔离出来，并且在很少或不用人为干预的情况下可以使系统迅速恢复到正常运行状态，从而几乎不中断对用户的供电服务。从本质上讲，自愈就是智能电网的“免疫系统”。这是智能电网最重要的特征。自愈电网进行连续不断的在线自我评估以预测电网可能出现的问题，发现已经存在的或正在发展的问题，并立即采取措施加以控制或纠正。自愈电网确保了电网的可靠性、安全性、电能质量和效率。自愈电网将尽量减少供电服务中断，充分应用数据获取技术，执行决策支持算法，避免或限制电力供应的中断，迅速恢复供电服务。基于实时测量的概率风险评估将确定最有可能失败的设备、发电厂和线路；实时应急分析将确定电网整体的健康水平，触发可能导致电网故障发展的早期预警，确定是否需要立即进行检查或采取相应的措施；与本地和远程设备的通信将帮助分析故障、电压降低、电能质量差、过载和其他不希望的系统状态，基于这些分析，采取适当的控制行动。自愈电网经常应用连接多个电源的网络设计方式。当出现故障或发生其他的问题时，在电

网设备中的先进的传感器确定故障并和附近的设备进行通信,以切除故障元件或将用户迅速地切换到另外的可靠的电源上,同时传感器还有检测故障前兆的能力,在故障实际发生前,将设备状况告知系统,系统就会及时地提出预警信息。

2. 智能电网激励和包括用户。在智能电网中,用户将是电力系统不可分割的一部分。鼓励和促进用户参与电力系统的运行和管理是智能电网的另一重要特征。从智能电网的角度来看,用户的需求完全是另一种可管理的资源,它将有助于平衡供求关系,确保系统的可靠性;从用户的角度来看,电力消费是一种经济的选择,通过参与电网的运行和管理,修正其使用和购买电力的方式,从而获得实实在在的好处。在智能电网中,用户将根据其电力需求和电力系统满足其需求的能力的平衡来调整其消费。同时需求响应(DR)计划将满足用户在能源购买中有更多选择的基本需求,减少或转移高峰电力需求的能力使电力公司尽量减少资本开支和营运开支,通过降低线损和减少效率低下的调峰电厂的运营,同时也提供了大量的环境效益。在智能电网中,和用户建立的双向实时的通信系统是实现鼓励和促进用户积极参与电力系统运行和管理的基础。实时通知用户其电力消费的成本、实时电价、电网目前的状况、计划停电信息以及其他一些服务的信息,同时用户也可以根据这些信息制订自己的电力使用的方案。

3. 智能电网能抵御攻击。电网的安全性要求一个能降低对电网物理攻击和网络攻击的脆弱性,并快速从供电中断中恢复的全系统的解决方案。智能电网应具备被攻击后快速恢复的能力,甚至是对付从那些决心坚定和装备精良的攻击者发起的攻击。智能电网的设计和运行都将阻止攻击,最大限度地降低其后果和快速恢复供电服务。智能电网也能同时承受对电力系统的几个部分的攻击和在一段时间内多重协调的攻击。智能电网的安全策略将包含威慑、预防、检测、反应,以尽量减少和减轻对电网和经济发展的影响。不管是物理攻击还是网络攻击,智能电网要通过加强电力企业与政府之间重大威胁信息的密切沟通,在电网规划中强调安全风险,加强网络安全等手段,提高智能电网抵御风险的能力。

4. 智能电网提供满足 21 世纪用户需求的电能质量。电能质量指标包括电压偏移、频率偏移、三相不平衡、谐波、闪变、电压骤降和突升等。由于用电设备的数字化,对电能质量越来越敏感,电能质量问题可以导致生产线的停产,对社会经济发展具有重大的损失,因此提供能满足 21 世纪用户需求的电能质量是智能电网的又一重要特征。但是电能质量问题不是电力公司一家的问题,因此需要制定新的电能质量标准,对电能质量进行分级,因为并非所有的商业企业用户和居民用户,都需要相同的电能质量。电能质量的分级可以从“标准”到“优质”,取决

于消费者的需求，它将在一个合理的价格水平上平衡负载的敏感度与供电的电能质量。智能电网将以不同的价格水平提供不同等级的电能质量，以满足用户对不同电能质量水平的需求，同时要将优质优价写入电力服务的合同中。

5. 智能电网将减轻来自输电和配电系统中的电能质量事件。通过其先进的控制方法监测电网的基本元件，从而快速诊断并准确地提出解决任何电能质量事件的方案。此外，智能电网的设计还要考虑减少由于闪电、开关涌流、线路故障和谐波源引起的电能质量的扰动，同时应用超导、材料、储能以及改善电能质量的电力电子技术的最新研究成果来解决电能质量的问题。另外，智能电网将采取技术和管理手段，使电网免受由于用户的电子负载所造成的电能质量的影响，将通过监测和执行相关的标准，限制用户负荷产生的谐波电流注入电网。除此之外，智能电网将采用适当的滤波器，以防止谐波污染送入电网，恶化电网的电能质量。

6. 智能电网将容许各种不同类型发电和储能系统的接入。智能电网将安全、无缝地容许各种不同类型的发电和储能系统接入系统，简化联网的过程，类似于“即插即用”，这一特征对电网提出了严峻的挑战。改进的互联标准将使各种各样的发电和储能系统容易接入。从小到大各种不同容量的发电和储能能在所有的电压等级上都可以互联，包括分布式电源如光伏发电、风电、先进的电池系统、即插式混合动力汽车和燃料电池。商业用户可以安装自己的发电设备（包括高效热电联产装置）和电力储能设施将更加容易和更加有利可图。在智能电网中，大型集中式发电厂包括环境友好型电源，如风电和大型太阳能电厂和先进的核电厂将继续发挥重要的作用。加强输电系统的建设使这些大型电厂仍然能够远距离输送电力。同时各种各样的分布式电源的接入一方面可减少对外来能源的依赖，另一方面可提高供电可靠性和电能质量，特别是对应对战争和恐怖袭击具有重要的意义。

7. 智能电网将使电力市场蓬勃发展。在智能电网中，先进的设备和广泛的通信系统在每个时间段内支持市场的运作，并为市场参与者提供了充分的数据，因此电力市场的基础设施及其技术支持系统是电力市场蓬勃发展的关键因素。智能电网通过市场上供给和需求的互动，可以最有效地管理如能源、容量、容量变化率、潮流阻塞等参量，降低潮流阻塞，扩大市场，汇集更多的买家和卖家。用户通过实时报价来感受到价格的增长从而将降低电力需求，推动成本更低的解决方案，并促进新技术的开发，新型洁净的能源产品也将给市场提供更多选择的机会。

8. 智能电网优化资产应用，使运行更加高效。智能电网优化调整电网资产的管理和运行以实现用最低的成本提供所期望的功能。这并不意味着资产将被连续不断地用到极限，而是有效地管理需要什么资产以及何对需要，每个资产将和所

有其他资产进行很好的整合,以最大限度发挥其功能,同时降低成本。智能电网将应用最新技术优化其资产的应用。例如,通过动态评估技术使资产发挥其最佳的能力,通过连续不断地监测和评价其能力使资产能够在更大的负荷下使用。

综上所述,智能电网通过高速通信网络实现对运行设备的在线状态监测,以获取设备的运行状态,在最恰当的时间给出需要维修设备的信号,实现设备的状态检修,同时使设备运行在最佳状态。系统的控制装置可以被调整到降低损耗和消除阻塞的状态。通过对系统控制装置的这些调整,选择最小成本的能源输送系统,提高运行的效率。最佳的容量、最佳的状态和最佳的运行将大大降低电网运行的费用。此外,先进的信息技术将提供大量的数据和资料,并将集成到现有的企业范围的系统中,大大加强其能力,以优化运行和维修过程。这些信息将为设计人员提供更好的工具,创造出最佳的设计来,为规划人员提供所需的数据,从而提高电网规划的能力和水平。这样,运行和维护费用以及电网建设投资将得到更为有效的管理。

四、智能电网的技术架构

(一) 智能电网的结构组成

智能电网就是通过传感器把各种设备、资产连接到一起,形成一个客户服务总线,从而对信息进行整合分析,以此来降低成本,提高有效率,提高整个电网的可靠性,使运行和管理达到最优化。不仅电力公司可以读到用户的电表,用户也能看到整个城市的电力供求情况,在功能上实现了数据读取的实时(real-time)、高速(high-speed)、双向(two-way)。

从广义上来说,智能电网包括可以优先使用清洁能源的智能调度系统、可以动态定价的智能计量系统以及通过调整发电、用电设备功率优化负荷平衡的智能技术系统。电能不仅从集中式发电厂流向输电网、配电网直至用户,同时电网中还遍布各种形式的新能源和清洁能源;此外,高速、双向的通信系统实现了控制中心与电网设备之间的信息交互,高级的分析工具和决策体系保证了智能电网的安全、稳定和优化运行。

从物理层次上来看,智能电网的结构可以分成如下四层。

1. 发输配用层——智能元件,智能电器

其“发输配用”环节的技术包括:(1)发电:风电、分布式电源、光伏、接入等;(2)输电:互济、超导、特高压、网架等;(3)配电:微网、虚拟电厂、先进表计网络设施、需求侧响应等;(4)用电:智能电器、用电自动控制、移动电力供应车、储能技术等。

2. 传感量测保护控制层——智能控制

主要通过二次智能设备来实现智能控制，如：

传感器与测量——用来评估阻塞和电网稳定性，监控设备健康情况、防止窃电以及控制策略支持等。其技术包括：先进微处理器和表计读数装置、广域监控系统、动态线路定级、电磁信号测量与分析、用电时间的实时定价工具、先进开关和电缆、分散无线电通信技术以及数字继电器等。

智能表计（AMI）——它可提供从发电厂到电力出口（智能槽）以及其他智能电网设备间的通信路径，且用户可以在高峰期关断这样的设备。

相角测量单元（PMU）——作为高速传感器的 PMU 分布在电网中，用于监控电能质量，在某些情况下自动响应于电能质量状况。在 20 世纪 80 年代，全球定位系统 GPS 的时钟脉冲用于电网中的精确时间测量。随着大量 PMU 的应用以及电网中任何地点交流的形状比较，研究人员建议自动系统应改变电力系统管理来快速动态响应系统状况。

广域测量系统（WAMS）——基于相量测量装置（PMU）的 WAMS，既支持具有快速、准确特点的状态估计，使得对电压失稳及低频振荡的监视报警、系统动稳极限输电功率的确定等高级系统分析成为可能，又可与稳控装置终端相结合，组成广域稳定控制的快速保护系统，或称广域保护 / 广域控制系统（WAPS/WACS）。

3. 信息通信网络层——智能网络

建立一个完全集成的统一智能通信网络，并且通过网络直接连接。涉及领域有：变电站自动化、需求响应、配电自动化、监控和数据采集（SCADA）、能量管理系统、无线网与其他技术、电线载波通信以及光纤通信等。其功能是：实时控制、信息和数据交换达到最佳的系统可靠性、最好资产利用以及最高安全性。

4. 高级调度中心层——智能运行

与面向物理系统便于采用精确解的安全防护不同，灾变防御除面对电力系统外，还涉及自然和社会诸多因素，因此必须与知识工程（如 Multi-Agent）的智能解相结合。面向 Agent 是继面向过程和面向对象之后的新一代软件系统工程技术。推理等人工智能（AI）技术会得到广泛的应用。同时，为了实现整个系统范围内的协调控制，分散式智能代理及其网状控制结构等形式的设计具有非常关键的作用。它们可以支持分散式决策，也可以在此基础上进行集中协调。发达的通信能力为这种设计提供了坚实的技术支撑。

(二) 智能电网的主要技术组成与功能

智能电网的技术组成主要有四部分：高级量测体系、高级配电运行、高级输电运行以及高级资产管理。

(1) 高级量测体系。包括智能电表、通信网络、计量数据管理系统、用户室内网等、主要功能为面向用户，使用户得到电网实时信息从而能支持电网运行。

(2) 高级配电运行。包括高级配电自动化，高级保护与控制，配电快速仿真与模拟等，主要功能为维持电网稳定运行，实现智能控制从而达到电网自愈的目的。

(3) 高级输电运行。包括变电站自动化、输电地理信息系统、广域测量系统等，与其他主要技术功能相配合实现输电系统的运行和管理优化。

(4) 高级资产管理。包括优化资产使用的运行、输配电网规划等，该技术需装设大量高级传感器以收集实时信息。

1. 高级量测体系

高级量测体系(AMI)主要功能是授权给用户，使系统同负荷建立起联系，使用户能够支持电网的运行。AMI是许多技术和应用集成的解决方案，其技术组成和功能主要包括：

(1) 智能电表。可以定时或即时取得用户带有时标的分时段的(如15min, 1h等)或实时(或准实时)的多种计量值，如用电量、用电功率、电压、电流和其他信息；事实上已成为电网的传感器。

(2) 通信网络。采取固定的双向通信网络，能把表计信息(包括故障报警和装置干扰报警)接近于实时地从电表传到数据中心，是全部高级应用的基础。

(3) 计量数据管理系统(MDMS)。这是一个带有分析工具的数据库，通过与AMI自动数据收集系统的配合使用，处理和储存电表的计量值。

(4) 用户室内网(HAN)。通过网关或用户入口把智能电表和用户户内可控的电器或装置(如可编程的温控器)连接起来，使得用户能根据电力公司的需要，积极参与需求响应或电力市场。

(5) 提供用户服务(如分时或实时电价等)。

(6) 远程接通或断开。

2. 高级配电运行

高级配电运行(ADO)的技术组成和功能主要包括：

(1) 高级配电自动化。

(2) 高级保护与控制。

(3) 配电快速仿真与模拟。

- (4) 新型电力电子装置。
- (5) 可再生能源与分布式能源的接入。
- (6) 运行管理系统(带有高级传感器)。

ADO 主要的功能是使系统可自愈。为了实现自愈,电网应该具有灵活的可以重构的配电网络拓扑和实时监控、分析系统目前状态的能力。后者既包括识别故障早期征兆的预测能力,也包括对已经发生的扰动做出响应的能力。而在系统中安装大量的监视传感器并把它们连接到一个安全的通信网上去,是做出快速预测和响应的关键。

快速仿真与模拟(Fast Simulation and Modeling, FSM)是 ADO 的核心软件,其中包括风险评估、自愈控制与优化等高级软件系统,为智能电网提供数学支持和预测能力,以期达到改善电网的稳定性、安全性、可靠性和运行效率的目的。配电快速仿真与模拟(DFSM)需要支持 4 个主要的自愈功能。

- (1) 网络重构。
- (2) 电压与无功控制。
- (3) 故障定位、隔离和恢复供电。
- (4) 当系统拓扑结构发生变化时继续保持再整定。

上述主要功能相互联系,致使 DFSM 变得很复杂。例如,电网的任一重构要求一个新的继电保护配合和新的电压调节方案,还包含恢复供电功能。DFSME 通过分布式的智能网络代理(Intelligent Network Agents, INAs)来实现跨地理边界和组织边界的智能控制,从而实现系统的自愈功能。这些智能网络代理,能收集和交换系统信息并对(诸如继电保护操作这样的)局部控制做出决策,同时根据整个系统要求协调这些决策。ADO 中的高级配电自动化(ADA)是智能电网实现自愈的基础。与传统配电自动化相比,ADA 是革命性的。因为 ADA 是用于电力交换系统的(由于分布式电源上网运行,而使配电网支路上的潮流可能是双向的),其中将使用电力电子、信息、分布式计算与仿真方面的新技术;同时,ADA 可为用户提供新的服务。

3. 高级输电运行的技术与功能

智能电网对输变电安全运行的要求与传统电网发生了很大的变化。首先,对在线安全监测及状态信息获取等方面,不同于传统电网的局部、外散、孤立信息,对于智能电网而言,其所监测的状态信息具有广域、全景、实时、全方位、同一断面、准确可靠的特征。由于电网是统一协调的系统,未来智能电网的状态监测需要通过对涵盖发电侧、电网侧、用户侧的状态信息,进行关联分析、诊断和决

策。因此,智能电网的在线安全监测必须是广域的全网状态信息。其次,电网运行状态不仅依赖于电网装备状态、电网实时状态,还与供需动态及趋势、甚至自然界的状态相关。因此,未来智能电网的状态监测信息不仅有电网装备的状态信息,如输变电设备的健康状态、劣化趋势、安全运行承受范围、经济运行曲线等;还应有电网运行的实时信息,如机组运行工况、电网运行工况、潮流变化信息、用电侧需求信息等;还应有自然物理信息,如地理信息、气象信息、灾变预报信息等。因而,智能电网的状态监测信息应是全景、实时、全方位的。同时,智能电网必须要求对所获取的全网实时数据进行快速的筛选与分析,迅速、准确而全面地掌握电力系统的实际运行状态,同时预测和分析系统的运行趋势,对运行中发生的各种问题提出对策,并决定下一步的决策,为输变电系统的安全运行保驾护航。

高级输电运行(ATO)强调阻塞管理和降低大规模停运的风险,ATO同AMI、ADO和AAM的密切配合实现输电系统的(运行和资产管理)优化。输电网是电网的骨干,ATO在智能电网中的重要性毋庸置疑,其技术组成和功能如下:

- (1) 变电站自动化。
- (2) 输电的地理信息系统。
- (3) 广域量测系统。
- (4) 高速信息处理。
- (5) 高级保护与控制。
- (6) 模拟、仿真和可视化工具。

(7) 高级的输电网络元件,如电力电子(灵活交流输电,固态开关等)先进的导体和超导装置。

(8) 先进的区域电网运行,如提高系统安全性,适应市场化和改善电力规划和设计的规范与标准(特别注意电网模型的改进,如集中式的发电模型以及受配电网和有源电力用户影响的负荷模型)。

4. 高级资产管理

AMI、ADO和ATO同高级资产管理(AAM)的集成将大大改进电网的运行和效率。实现AAM需要在系统中装设大量可以提供系统参数和设备(资产)“健康”状况的高级传感器,并把所收集到的实时信息与如下过程集成:

- (1) 优化资产使用的运行。
- (2) 输、配电网规划。
- (3) 基于条件(如可靠性水平)的维修。