

智能电网通信技术 分析与应用

余江 常俊 施继红 宗容 蔡光卉 著



科学出版社

智能电网通信技术分析与应⽤

余江 常俊 施继红 宗容 蔡光卉 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书围绕智能电网中的通信技术进行分析讨论,介绍了通信对智能电网发展的作用,系统地论述了智能电网通信关键技术及相关理论,详细地讨论了电力通信网中核心通信网、配电通信网、微电网通信技术,并对光纤通信网络优化、提高无线信道和电力线载波通信可靠性、通信组网及服务质量、微网通信控制策略、电网通信安全、电网通信可靠性评估等问题进行了深入地分析研究。全书内容涉及广泛,涵盖了近年来的最新研究成果及应用案例。

本书可作为电力电子、通信工程、信息工程等相关专业高年级本科生和研究生教材。也可作为电力行业科研、工程技术和管理人员以及政府部门、电力用户的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

智能电网通信技术分析与应用/余江等著. —北京:科学出版社, 2015.11

ISBN 978-7-03-046244-2

I. ①智… II. ①余… III. ①智能控制—电力通信网 IV. ①TM73

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第264546号

责任编辑:余 丁 赵艳春 / 责任校对:桂伟利

责任印制:徐晓晨 / 封面设计:迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年11月第 一 版 开本:720×1 000 B5

2015年12月第二次印刷 印张:19 1/2

字数:381 000

定价:88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

化石能源是当今世界各国的主要能源，它的需求量与日俱增，过度开采将导致资源枯竭形成能源危机，同时大量化石能源的燃烧严重污染了环境并导致全球气候变暖，用洁净、绿色能源替代化石能源的新能源技术革命正逐步展开，与之相适应的智能电网建设也蓬勃发展起来。智能电网是分布式能源与需求响应的集成，它把最新的信息技术和各种电力基础设施高度结合，形成一个新型智能化服务网络，达到电力系统清洁、高效、安全、可靠的目标。智能电网将实现电网调度的信息化、数字化、自动化和互动化，实现管理标准化、控制自动化和决策智能化，全面提高电网安全经济运行水平。

电力通信网络应用于电力系统发、输、变、配、用等电力生产运行的各个环节，承担了电网中保护、调度、营销数据等信息的采集、传输，保障了电网的安全正常运行。在智能电网架构下，通信网络及其支撑能力被赋予重要意义。传统的电力通信主干网承载了输电线保护业务、输电网调度业务及数据业务和作为配电通信网的远程传输通道，而智能电网主干通信网在此基础上增加了电力设备在线实时监测、现场作业视频管理、户外设施防盗等全自动化控制过程，强调高可靠、高带宽及传输路由的相对可控，主要变电站形成多路由多方向互联，用网络的健壮性来满足系统的高可靠性。传统的终端接入通信网主要承载配电网自动化业务和用电信息采集业务，而智能电网的终端接入网直接面向用户，实现信息流双向互动，是保证供电质量、提高电网运行效率、创新用户的关键环节。

本书从满足未来智能电网发展需求入手，论述智能电网的通信架构，并对核心通信网、配电通信网中的关键技术进行分析，提出双信道传输模型、通信服务质量 QoS 控制策略、电力线载波通信组网算法、无源光网络动态带宽资源调度算法；为解决未来大量可再生能源接入电网的问题，提出了基于多级代理的配网通信与控制策略；为应对日益严重的电网通信安全性、可靠性问题，提出了智能电网通信可靠性评价方案，对智能电网的建设具有一定的理论和应用价值。

本书共 7 章，第 1 章介绍智能电网对通信的需求和信息通信技术对智能电网的支撑作用，讲述智能电网中涉及的有线通信和无线通信技术，分析智能电网通信系统的组成及应用。

第 2 章介绍智能电网核心通信网，重点论述了核心通信网中的多业务传送平台 MSTP、分组传送网 PTN 技术、自动交换光网络 ASON 等光传输技术的发展。并对电力通信网的抗毁性和拓扑优化进行研究，给出光网络拓扑优化案例。

第 3 章介绍智能配用电通信技术，重点论述了电力线载波通信信道模型及信道估

计算法、WiMAX 无线专网系统、WSN 组网覆盖、WiMAX 与 WSN 混合组网技术应用,并对双信道传输方式进行了深入分析。

第4章介绍智能配电通信网组网技术,重点论述配电通信网服务质量 QoS、低压电力线载波组网、无源光网络动态带宽资源调度等关键技术。并对配电通信网 QoS 性能、低压电力线载波组网路由算法、PON 系统带宽分配算法等进行了深入的分析讨论。

第5章介绍微电网的通信与控制,重点论述智能微电网的运行模式、智能微电网通信与控制策略,并对基于多代理的微网结构、通信协议、控制策略等进行了深入讨论。

第6章介绍智能电网通信安全,重点论述网络安全技术,并对安全隔离度模型和算法、多源安全事件融合系统设计和实现进行了深入的分析讨论。

第7章介绍智能电网通信可靠性评价,重点论述通信网可靠性评价测度指标及层次结构,并根据实际案例,通过可靠性评估需求分析、系统设计、系统实现等展示了电力通信网可靠性评估过程。

本书的写作是课题组对前期科研项目的总结及对国内外最新成果的收集整理。第1章、第3章由余江执笔,第4章、第6章由常俊执笔,第5章由施继红执笔,第2章由宗容执笔,第7章由蔡光卉执笔。本书的写作得到云南电网公司的大力支持,本院的许多教师及实验室的研究生在完成项目及资料收集整理方面做了大量工作,本书还得到国家自然科学基金(编号 61162004)的资助,在此一并表示衷心的感谢。

由于笔者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请读者批评指正。

作者

2015年8月

目 录

前言

第 1 章 智能电网及其通信技术	1
1.1 概述	1
1.2 智能电网	2
1.2.1 智能电网概念	2
1.2.2 智能电网的特点	3
1.2.3 智能电网建设	4
1.2.4 智能电网进展	4
1.3 智能电网与信息通信	5
1.3.1 智能电网通信需求	5
1.3.2 信息通信技术对智能电网的支撑	5
1.4 智能电网通信与控制系统	6
1.4.1 高级计量架构	7
1.4.2 控制中心	7
1.4.3 核心通信网	9
1.4.4 配电通信网	10
1.4.5 用户前端	12
小结	13
参考文献	13
第 2 章 智能电网核心通信网	14
2.1 光纤通信	14
2.1.1 光纤通信系统特点与组成	14
2.1.2 电力通信网承载业务及传输数据分类	15
2.1.3 电力通信核心网拓扑结构	17
2.2 电力光缆	19
2.2.1 电力光缆的分类	19
2.2.2 电力线附加型光缆	19
2.2.3 杆塔添加型光缆	19
2.2.4 电力线复合型光缆	20
2.3 智能电网核心通信网技术	23

2.3.1	光传输技术的发展趋势	23
2.3.2	准同步数字系列 (PDH)	24
2.3.3	同步数字系列 (SDH)	25
2.3.4	波分复用技术 (WDM)	27
2.3.5	多业务传送平台 (MSTP)	30
2.3.6	分组传送网 PTN 技术	35
2.3.7	自动交换光网络 (ASON)	38
2.4	网络生存性	41
2.4.1	光纤网络生存性	41
2.4.2	SDH 的业务保护	41
2.4.3	PTN 网络生存性分析	47
2.5	核心通信网的抗毁性和拓扑优化分析	58
2.5.1	OTN+PTN 在电力通信网中的应用	58
2.5.2	电力通信网的抗毁性和拓扑优化	59
2.5.3	光网络拓扑优化案例	62
	小结	64
	参考文献	64
第 3 章	智能配用电通信技术及应用	66
3.1	概述	66
3.2	电力线载波通信	66
3.2.1	电力线载波通信方式	66
3.2.2	电力线载波通信信道分析	67
3.2.3	电力线信道估计算法分析	73
3.2.4	电力线载波通信应用	81
3.3	无线通信技术应用	82
3.3.1	WiMAX 技术	82
3.3.2	WSN 技术	84
3.3.3	WiMAX 与 WSN 或 PLC 混合组网技术应用	89
3.4	双信道通信技术分析	91
3.4.1	双信道传输方式	91
3.4.2	双信道传输分析	92
3.4.3	双信道传输编码分析	97
	小结	105
	参考文献	106

第 4 章 智能配电网通信组网技术分析	108
4.1 智能配电通信网	108
4.1.1 智能配电网	108
4.1.2 通信需求	109
4.1.3 配电通信网架构	111
4.1.4 关键通信问题与技术	112
4.2 配电通信网服务质量研究	114
4.2.1 服务质量 (QoS)	114
4.2.2 基于 DiffServ 的配电通信网 QoS 机制	115
4.2.3 基于 MPLS VPN 配电通信网的 QoS 研究	122
4.2.4 基于确定网络演算的 QoS 性能界分析	131
4.2.5 基于统计网络演算的 QoS 性能界分析	139
4.3 低压电力线载波组网研究	144
4.3.1 组网问题	144
4.3.2 自适应加权分簇路由算法	147
4.3.3 混合遗传蚁群 (GAAC) 算法	154
4.3.4 基于鱼群算法的路由优化算法	159
4.4 无源光网络动态带宽资源分配研究	165
4.4.1 无源光网络 (PON)	165
4.4.2 EPON 系统带宽分配算法	169
4.4.3 下一代 LR-EPON 的 DBA 算法	177
4.4.4 混合 TDM/WDA PON 的带宽分配算法	182
小结	191
参考文献	191
第 5 章 智能微电网的通信与控制	193
5.1 概述	193
5.2 智能微电网	193
5.2.1 智能微电网的概念	193
5.2.2 智能微电网的组成	195
5.2.3 智能微电网的控制方法	197
5.2.4 智能微电网的保护	201
5.3 智能微电网的运行模式	204
5.3.1 微电网的联网运行	205
5.3.2 微电网的离网运行	205
5.4 基于多代理的智能微电网通信与控制	206

5.4.1	多代理的结构	206
5.4.2	多代理通信协议和通信策略	215
5.4.3	多代理控制策略	227
小结		235
参考文献		236
第 6 章	智能电网通信安全	237
6.1	电力通信安全	237
6.1.1	威胁产生的原因	237
6.1.2	威胁的分类与特征	238
6.1.3	电力通信安全标准	241
6.2	安全技术	243
6.2.1	保密通信	243
6.2.2	虚拟专用网	245
6.2.3	认证与数字签名	249
6.2.4	病毒防护	250
6.2.5	入侵检测系统	252
6.2.6	防火墙	255
6.3	安全隔离量化研究	258
6.3.1	问题的提出	258
6.3.2	隔离度模型	259
6.3.3	应用举例	263
6.4	多源安全事件融合系统	265
6.4.1	系统功能	265
6.4.2	系统框架结构	266
6.4.3	采集子系统	266
6.4.4	融合分析子系统	270
6.4.5	响应与输出子系统	276
小结		277
参考文献		277
第 7 章	智能电网通信可靠性评价	278
7.1	概述	278
7.1.1	智能电网通信可靠性评价的意义	278
7.1.2	智能电网通信可靠性评价方法	279
7.2	电力通信网可靠性评价指标体系的构建	283
7.2.1	评价指标体系的建立流程	283

7.2.2	通信网可靠性评价指标体系	283
7.3	电力通信网可靠性评价测度指标及层次结构	286
7.3.1	电力通信网可靠性评价	286
7.3.2	网络拓扑可靠性评价	286
7.3.3	站点设备可靠性评价	288
7.3.4	环境变量可靠性评价	289
7.3.5	管理因素可靠性	291
7.4	电力通信网可靠性评估系统实现	293
7.4.1	电力通信网可靠性评估需求分析	293
7.4.2	电力通信网可靠性评估系统设计	296
7.4.3	电力通信网可靠性评估系统实现	298
	小结	301
	参考文献	301

第1章 智能电网及其通信技术

1.1 概 述

化石能源是当今世界各国的主要能源，它的需求量与日俱增，而化石能源的储量是有限的，过度开采将导致资源枯竭形成能源危机。另一方面，大量化石能源的燃烧严重污染了环境并导致全球气候变暖，曾经给人类带来繁荣昌盛的化石能源而今成了危害人类生存和继续发展的重要因素，能源结构必须改变，新能源技术革命迫在眉睫。新能源技术革命就是用洁净、绿色能源替代化石能源，而洁净能源一般指水利能、核能、生物能等，绿色能源主要指风能、太阳能等。一般情况下这些能源是分布式的，且大都转换成电能方式加以利用，显然其开发利用与电网有密切关系。对于新能源的主要方式——风电和光伏电的开发利用单靠建设大型风力、太阳能发电厂是不够的，还需要开发微型低成本风、光发电设备，使之像家电一样进入寻常百姓家，形成政府与全民一起投资办电的新能源革命的新浪潮。新能源格局的快速开发与建设除了有充足的投资来源还必须有一个技术平台做支撑，这个技术平台就是智能电网。

智能电网是分布式能源与需求响应的集成，它包括了可再生能源、储能、电力交通工具和用户参与控制。通过分布式电源来减少事故风险，降低电能损耗；通过分布式储能和电力交通工具，增加可用电量；通过与用户的互动，减少用电高峰时的负荷量。

智能电网把最新的信息技术和各种电力基础设施高度结合，形成一个新型智能化服务网络，实现电力系统清洁、高效、安全、可靠的目标。智能电网可以提高能源效率、有效地利用资源、减少对环境的影响、提高供电的安全性和可靠性、减少输电网的电能损耗；还通过实时掌控电网运行状态，及时发现、快速诊断和消除故障隐患，提升电网运行的可靠性。智能电网相关技术主要包括：综合通信、遥感和测量、先进的设备、控制技术、改进的界面和决策支持。综合通信是建立实时信息和实时控制的基础；遥感和测量技术支持更远和更精确的响应，如远程监控、实时电价、需求侧管理；先进的设备将应用超导、储存、电力电子和诊断上最新的研究成果；先进的控制方式、监控关键部件能够迅速地分析和恰当地解决各种问题；改进的界面和决策支持给调度员提供可视化的监控，增强人的决策能力。

1.2 智能电网

1.2.1 智能电网概念

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，同时也是各行各业的基础。因此，世界各国都对电网的发展模式进行了思考和探索，提出电网应该具备：高效、清洁、安全、可靠、交互的特征，以提高电网的运行水平。

1. 各国智能电网的提出

2001 年，美国电力科学研究院（EPRI）提出 Intelligrid（智能电网）的概念，并于 2003 年提出“智能电网研究框架”；美国能源部（DOE）随即发布 Grid2030 计划，通过采用先进的材料技术、超导技术、电力电子技术，重点研究控制技术、广域测量技术、实时仿真技术、储能技术、可再生能源发电技术、微型燃气轮机发电技术等，以构建全美骨干电网、区域性电网、地方电网和微型电网（分布式电力系统）等多层次的电力网络，争取到 2030 年建成完全自动化、高效能、低投资、安全可靠、灵活应变的输配电系统，以保障大电网的安全性、稳定性，提高供电的可靠性及电能质量。

2005 年欧洲提出类似的 SmartGrid 概念，2006 年，欧盟智能电网技术论坛推出了“欧洲智能电网技术框架”，认为智能电网技术是保证欧盟电网电能质量的一个关键技术和发展方向，主要着重于输配电过程中的自动化技术。

我国在智能电网概念的提出方面虽然稍晚，但之前就在相关技术领域开展了大量的研究和实践。1999 年进行的“我国电力大系统灾变防治和经济运行的重大科学问题研究”，就已经提出过数字电力系统的概念。2007 年 10 月，华东电网正式启动了智能电网可行性研究项目，计划建成具有自愈能力的智能电网。2008 年 11 月 11~13 日，中美清洁能源合作组织特别会议召开，在会上开始使用 SmartGrid，中国将之翻译为智能电网，并在国内统一推广这一概念，以指导相关研究的开展。在 2009 年 5 月召开的特高压输电技术国际会议上，中国国家电网公司正式提出坚强智能电网的概念，并计划于 2020 年基本建成中国的坚强智能电网，正式拉开了中国坚强智能电网的研究与建设序幕。

2. 智能电网概念

（1）美国将智能电网的概念描述为：智能电网是一种新的电网发展理念，通过利用数字技术提高电力系统的可靠性、安全性和效率，利用信息技术实现对电力系统运行、维护和规划方案的动态优化，对各类资源和服务进行整合重组。智能电网的范畴不仅涵盖配电和用电，还包括输电、运行、调度等方面。

（2）欧洲电力工业联盟在 2009 年 5 月给出了智能电网的概念：智能电网通过采用创新性的产品和服务，使用智能检测、控制、通信和自愈技术，有效整合发电方、

用户或者同时具有发电和用电特性成员的行为和行动,以期保证电力供应持续、经济和安全。它能够交互运行,可容纳广大范围的小型分布式发电系统并网。

(3) 我国的智能电网必须以特高压骨干输电网为基础,建立坚强的输电系统,以便于实现能源的大范围合理配置,为电力系统更高层次的智能化提供坚实的基础。国家电网公司提出的坚强智能电网概念: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,以通信信息平台为支撑,具有信息化、自动化、互动化特征,包含电力系统的发电、输电、变电、配电、用电和调度各个环节,覆盖所有电压等级,实现“电力流、信息流、业务流”的高度一体化融合的现代电网。

1.2.2 智能电网的特点

各国对智能电网的根本要求是一致的,即电网应该“更坚强、更智能”。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、协调统一,本书主要围绕中国坚强智能电网展开。

中国坚强智能电网的基本特征:

(1) 信息化,能采用数字化的方式清晰表述电网对象、结构、特性及状态,实现各类信息的精确高效采集与传输,从而实现电网信息的高度集成、分析和利用。

(2) 自动化,提高电网自动运行控制与管理水平提升。

(3) 互动化,通过信息的实时沟通及分析,使整个系统可以良性互动与高效协调。

因此,电网应该具备以下几个方面的特性:

(1) 坚强。在电网发生大扰动和故障时、在自然灾害和极端气候条件下、或人为的外力破坏下仍能保证电网的安全稳定运行,不发生大面积的停电事故;具有确保信息安全的能力和防止计算机病毒破坏的能力。

(2) 自愈。具有实时、在线连续的安全评估和分析能力,强大的预警控制系统和预防控制能力,自动故障诊断、自我隔离和系统自我恢复的能力。可以在故障发生后的短时间内及时发现并自动隔离故障,防止电网大规模崩溃,这是智能电网最重要的特征。

(3) 高可靠性。这是电网建设持之以恒追求的目标之一,一方面需要提高电网内关键设备的制造水平和工艺,提高设备质量,延长使用寿命;另一方面,随着通信、计算机技术的发展,对设备的实时状态监测成为可能,便于及早发现事故隐患。

(4) 兼容。能支持可再生能源的正确、合理地接入,适应分布式发电和微电网的接入,能使需求侧管理的功能更加完善和提高,实现与用户的高效互动。

(5) 经济。支持电力市场和电力交易的有效开展,实现资源的合理配置,降低电网的损耗,提高能源利用率。

(6) 资产优化管理。电力系统是一个高科技、资产密集型的庞大系统,电网运行设备种类繁多,数量巨大。智能电网采用数字化处理手段达到对设备的信息化管理,从而延长设备正常运行时间,提高设备资源利用效率。

(7) 互动。目前用户获得用电消费信息的手段单一,信息量有限,借助于通信技术的发展,用户可以实时了解电价状况和计划停电信息,以合理安排电器使用;电力公司可以获取用户的详细用电信息,以提供更多的增值服务供用户选择。

(8) 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、规范化和精细化的管理。

1.2.3 智能电网建设

国家电网公司在认真分析国内经济发展形势和技术水平的基础上,根据国情现状,按照统筹规划、统一标准、试点先行、整体推进的原则,分阶段推进坚强智能电网的建设。

(1) 2009~2010 年为规划试点阶段:重点开展电网智能化发展规划工作,制订技术标准和管理标准,开展关键技术研发和设备研制,开展各环节的试点工作。

(2) 2011~2015 年为全面建设阶段:加快特高压电网和城乡配电网建设,初步形成智能电网运行控制和互动服务体系,关键技术和装备实现重大突破和广泛应用。

(3) 2016~2020 年为引领提升阶段:基本建成坚强智能电网,使电网的资源配置能力、安全水平、运行效率,以及电网与电源、用户之间的互动性显著提高。

建设智能电网是一个庞大而系统的工程,需要全社会共同努力来完成。美国已将发展智能电网作为国家能源和经济政策的重要组成部分,上升为国家战略。我国正处在加速工业化和城市化的发展阶段,能源和电力需求将在较长时期内保持较快增长,建设坚强智能电网的任务十分艰巨和紧迫,必须在政府宏观层面的大力引导与支持下进行统筹规划建设。

1.2.4 智能电网进展

近年来,我国深入开展电网现代化建设和运行管理技术的相关研究和实践工作,部分项目已进入试点阶段,大量科研成果已转化并广泛应用到实际工程中,部分电网技术和装备已处于国际领先水平,为建设坚强智能电网提供了坚实的技术支撑和设备保障,并积累了较丰富的工程实践经验。

2009 年 8 月,国家电网公司启动第一批城市配电自动化试点工程,在北京、杭州、银川、厦门 4 个城市的中心区域进行。第二批试点城市在第一批试点城市配电自动化一期建设的基础上,进行第二期建设,重点是拓展分布式电源接入技术支持,完善配电网高级应用及调控一体化技术支持平台建设,以实现配电网调度运行控制的一体化管理。

2011 年以来,国家电网公司智能电网建设进入全面建设阶段,建设工作覆盖国家电网公司经营范围内的 26 个省(区、市),涵盖发电、输电、变电、配电、用电、调度六大环节,以及通信信息平台。

2013 年,国家能源局第一、二批智能电网试点项目相继建成,国家发改委物联网应用示范工程基本完成,截止 2013 年底,国家电网公司已累计建成公司级智能电网试点项目 29 类 298 项、国家级智能电网项目 32 项,累计建成智能变电站 843 座,配电

自动化 10kV 线路 6185 条, 电动汽车充换电站 400 座、充电桩 1.9 万个, 推广智能电表 1.82 亿只。

预计到 2020 年, 我国将全面建成统一的坚强智能电网, 电网的治愈能力得到完善, 坚强的特高压目标网架形成, 技术和装备全面达到国际先进水平, 并实现面向企业管理和用户需求的智能决策支持。

1.3 智能电网与信息通信

1.3.1 智能电网通信需求

智能电网将实现电网调度的信息化、数字化、自动化和互动化, 实现电力生产的科学组织、精确指挥、前瞻指导和高效协调, 实现管理标准化、控制自动化和决策智能化, 全面提高电网安全经济运行水平。在配用电侧, 将利用高级量测、高效控制、高速通信、快速储能等技术, 实现响应迅速、计量准确、数据实时、收费多样、服务便捷, 电力流、信息流、业务流实时互动的新型供电关系。为适应智能电网管理和控制信息传输、交换需求, 通信网需要在传输速率、可靠性和安全性等方面进一步提升, 建成大容量、高速、实时、具有时间同步能力与业务感知能力的下一代光传输网络。

智能电网的通信系统必须满足以下技术要求。

(1) 数据量要求。智能电网通信系统不仅要考虑目前数据传输的需要, 还要考虑系统升级的要求。

(2) 实时性要求。智能电网对信息通信通道的实时性要求是: 变电站内部延迟小于 1ms, 其他小于 500ms; 同步时间偏差小于 1ms。据 IBM 对带宽需求的预测, 每个先进的变电站需 0.2~1.0Mbit/s 带宽, 连续抄表每百万先进的电表需 1.85~2.0Mbit/s 带宽, 每万个智能传感器需 0.5~4.75Gbit/s 带宽。

(3) 环境适应性要求。由于智能电网的绝大部分通信设备都在室外, 环境恶劣, 因此, 不但要能抵御各种冰雹、风雪、雷电、高温低温, 日晒雨淋等自然环境的侵蚀, 还要求避免各种电磁干扰, 能够长期、有效的工作。

(4) 网络安全性要求。主要是指通信网络的安全即通信网络自身的可靠性、生存性, 信息传递过程中信息的安全性、完整性。智能电网通信网络安全涉及攻击防范、检测、控制、管理、评估等多方面的基础理论和实施技术。

1.3.2 信息通信技术对智能电网的支撑

建立高速、双向、实时、集成的通信系统是实现智能电网的基础, 没有这样的通信系统, 任何智能电网的特征都无法实现, 因为智能电网的数据获取、保护和控制都需要强大的通信系统来支持。目前存在及未来出现的各种通信技术大部分都能用于支撑智能电网, 按传统的分类方法, 可简单地分为有线方式和无线方式。其中, 有线方

式包括 NGN、光纤通信、电力线载波通信 PLC 等；无线方式包括 GPRS/CDMA 通信、3G/4G 通信、卫星通信、微波通信、宽带无线 WiMAX、短距无线通信等。下面对几种主要的通信技术及其应用前景做简要介绍。

(1) NGN。下一代通信网络 (Next Generation Network, NGN) 结合了因特网和电信网的特点,它是分组的网络,能够提供电信服务。引入以多协议标签交换 (MPLS) 和 IPv6 为核心的具有 QoS 的分组路由交换网,采用 IPv6 协议和 128 位编码,地址资源极端丰富。借助于高性能主干网和多协议标签交换 (MPLS) 服务质量 (QoS),可直接支持集成 QoS 敏感的应用。目前绝大多数信息系统应用都是基于网络平台开发的,智能电网也不例外,因此可以预见,网络仍将是信息化建设包括智能电网实现最主要的平台,而具有高容量、高传输效率、高服务质量的 NGN 无疑会对智能电网的实施和完善产生巨大影响。

(2) 光纤通信。光纤通信高速稳定可靠、抗干扰能力强,已经成为势不可挡的发展趋势。在智能电网核心通信网、配电通信网大量采用光纤通信的基础上,电力光纤到户可以在布放电力电缆的同时构建覆盖居民用户的高速通信网络平台,现在光纤的成本非常低,光纤复合低压电缆可以在较大幅度上降低成本,避免二次施工造成的资源浪费。随着光纤复合低压电缆的成功研制,在智能电网全面建设中,光纤通信技术逐渐成为智能电网通信网络的首选。

(3) 3G/4G 移动通信。3G 覆盖范围广,永远在线,接入速度快,支持中高速数据传输,非常适合应用到电力通信。3G 可以用于应急抢险指挥通信、负荷管理通信、无线视频接入通信等,但最重要是可以用于配电网通信。与 3G 移动通信相比,4G 通信速度更快,频谱更宽,智能性更高,终端兼容更好,更适用于智能电网通信。

(4) ZigBee。无线个域网 ZigBee (IEEE802.15.4) 技术是一种应用于短距离范围内、低传输速率下的各种电子设备之间的无线通信技术。ZigBee 具有高通信效率、低功耗、低成本以及全数字化等诸多优点,是一个适用于能源监测、家庭自动化、自动抄表等领域的理想技术。

(5) WiMAX。WiMAX 是一种基于 IEEE802.16 标准的新兴无线通信技术,能提供面向互联网的高速连接。相对于主流的 3G 技术来说,WiMAX 技术体制显得与众不同,它在物理层上吸收了 WiFi 技术的成功因素,同时在核心网采用了全 IP 的扁平化结构。WiMAX 的无线信号传输距离较远,理论上最远可达 50km,其网络覆盖面积是 3G 基站的 10 倍。WiMAX 接入速率高,最高接入速率是 74.81Mbit/s,是 3G 所能提供的宽带速度的 30 倍。通过 WiMAX 技术,电力部门可以建立完全由自己掌握的专用数据通信网络,具有更好的可扩展性和安全性。

1.4 智能电网通信与控制系统

电力系统的通信网络应用于电力系统发、输、变、配、用等电力生产运行的各个环节,是电网二次系统的重要组成部分,承担了电网中保护、调度、营销数据等信息

的远程传输,保障了电网的安全正常运行。在智能电网架构下,通信网络及其支撑能力被赋予重要意义。按适用范围可分为电力生产过程监控的通信网络(通信主干网)和面向智能电网用户服务的通信网络(终端接入网)两个部分。传统的电力通信主干网承载了输电线保护安稳业务、输电网调度业务及数据业务和作为配电通信网的远程传输通道。智能电网主干通信网在此基础上增加了电力设备在线实时监测、现场作业视频管理、户外设施防盗等全自动化控制过程,强调高可靠、高带宽及传输路由的相对可控,主要变电站形成多路由多方向互联,用网络的健壮性来满足系统的高可靠性,这部分主要以下一代光网络通信为基础。传统的终端接入通信网主要承载配电网自动化业务和用电信息采集业务,是电力通信网最靠近用户的部分。智能电网的终端接入网直接面向用户,是保证供电质量、提高电网运行效率、创新用户的关键环节。

1.4.1 高级计量架构

高级量测体系(Advanced Metering Infrastructure, AMI)是一套完整的包括智能电表、先进通信网络、采集器与集中器、后台软件的系统,它能够利用双向通信系统和记录有用用户详细负荷信息的智能电表,定时和即时获得用户带有时标的多种计量值,如用电量,用电需求,电压,电流等信息,同时向用户端发布命令和信息,与用户建立紧密联系。主要的功能体现为:改进客户服务、停电管理、窃电监测、线损监测、远程连接/断开用户、电能质量管理、负荷预测、远程改变计量参数、远程升级仪表固件、预付电费购电、电价/事件信息通知。因此 AMI 是在智能电表和电网公司之间的一种自动双向流通的架构。

AMI 系统架构即 AMI 计量主站系统设备,主要包括:数据集中器,通信通道,智能电表,及用户户内网络,是一个用来测量、收集、储存、分析和运用用户用电信息的完整的网络和系统。

AMI 系统可以工作在轮询和定时数据接收状态。在轮询状态,数据处理中心通过发出命令的方式让数据集中器来收集数据;在定时数据接收状态,数据集中器在特定时间收集并发出数据给数据处理中心。数据种类和间隔时间可以由数据处理中心的 MDMS 设置。

AMI 系统的工作步骤:①数据收集器从相应的智能仪表收集要求的数据,例如三相电压、电流、功率;②数据通过通信网络传输;③在数据处理中心,数据分析管理软件帮助操作员计算必要的静态量并且创建报表。通过计算和分析,收集的数据用来分析负荷的消费特性、电压分布等,并将数据通过公用数据库提供给其他管理系统使用。此外,通过双向通信消费者能够得到自身的运行信息,例如电价、账单、预付款、警告等。

1.4.2 控制中心

随着电网的发展,电网控制中心装备的系统种类不断增多,从调度自动化系统到