

# 建设信息时代的智能电网

钟金<sup>1</sup>, 郑睿敏<sup>1</sup>, 杨卫红<sup>2</sup>, 吴复立<sup>1</sup>

- (1. 香港大学 电机电子工程系, 中国香港特别行政区;
2. 国网北京经济技术研究院, 北京市 宣武区 100761)

## Construction of Smart Grid at Information Age

ZHONG Jin<sup>1</sup>, ZHENG Rui-min<sup>1</sup>, YANG Wei-hong<sup>2</sup>, Felix Wu<sup>1</sup>

- (1. Department of Electrical and Electronics Engineering, University of Hong Kong, Hong Kong SAR, China;
2. State Power Economic Research Institute, Xuanwu District, Beijing 100761, China)

**ABSTRACT:** Since a couple of years ago, the topic smart grid has been discussed worldwide by power companies, research institutes as well as communication companies. Smart grid was first proposed to accommodate renewable energy generation by utilizing the latest information and communication technologies. Then, the concept “smart” was expanded from smart measurement system, demand-side response, distribution automation to transmission grid intelligence. Smart grid becomes the trend of power grid development. By applying information technologies in the conventional power grid, smart grid improves the utilization rate of energy and power asset management. The energy saving effects of smart grid can help in emission control and global warming. A mature smart grid has two-way real-time high-speed communication channels in all sections of the power grid, and it integrates advanced technologies, such as, control, IT and management. The system is a self-healing system. Moreover, the power generation, distribution and utilization in smart grid can be optimized scientifically and systematically. In this paper, what is smart grid, the development and the current research of smart grid will be presented. The objectives, key technologies and potential obstacles for constructing a smart grid are discussed. Some issues relating to smart grid on power transmission and distribution as well as consumer side are also discussed.

**KEY WORDS:** smart grid ; smart meter ; advanced measurement infrastructure (AMI) ; distributed energy resource ; strong power grid ; power grid communication technology

**摘要:** 为了迎接电力行业由工业化向信息化转变的新挑战, 提高能源资产利用率, 应对全球环境能源危机, 全球电力企业和研究机构提出了电力行业的可持续发展方向——智能电网。智能电网是一个以电力系统为对象, 结合新型的控制

技术、信息技术和管理技术, 实现从输配电到用户所有环节的智能交流, 能够科学系统地优化电力生产、传输和使用的自愈电网。文章介绍了智能电网的特征、发展和研究现状, 分析了智能电网建设的目标、所需的先进技术和可能遇到的阻碍, 并分别讨论了建设用户侧和输配电网侧智能电网的相关问题。

**关键词:** 智能电网; 智能电表; 高级计量体系(AMI); 分布式电源; 坚强电网; 电网通信技术

## 0 引言

电气化技术被认为是人类在 20 世纪取得的最伟大的科技成就之一, 它为人类社会的文明发展翻开了新的篇章。电力和钢铁的广泛应用, 加速了人类社会的工业化进程。随着以数字化和网络化为特征的信息时代的来临, 电力行业正面临新时代赋予的新挑战<sup>[1]</sup>。

作为关系国计民生的基础性行业, 对“安全第一”的要求决定了电力工业保守的特点。在过去的半个世纪里, 电网建设所应用的技术始终无法紧跟其他工业的现代化步伐。通信和信息技术的兴起, 以及数字化技术在各行业的渗透普及, 给电力网络的发展带来了契机, 同时也对电网的供电服务质量提出了更高的要求。当前以模拟技术为主的电力网络缺乏新型技术的支持, 无法满足信息时代的需求。

环境恶化和能源危机也给电力工业提出新的要求。目前以煤和天然气为主的电力生产模式, 不能满足保护环境、节能减排和可持续发展的要求。越来越多的分布式电源, 包括分布式发电和分布式储能设备, 需要并入电网运行。这给传统的基于单向潮流设计的配电系统带来双向潮流、保护设置和

网络重构等一系列问题<sup>[2-3]</sup>。

此外,美国统计资料显示,目前电网的利用系数仅为 55%,浪费了大量的固定资产投入<sup>[4]</sup>。如何减少负荷曲线波动,优化资产管理,提高投资建设效率是电力企业的新目标。

为了迎接上述电力行业面临的新挑战,解决电力行业遇到的诸多问题,全球电力企业和研究机构提出了智能电网,并积极推动其建设和发展<sup>[4-10]</sup>。智能电网不是一个局部的解决方案,而是一个现代化或智能化的电力网络,是一系列能使电力网络智能化的技术的总称。本文将介绍智能电网的特征、发展和研究现状,提出智能电网建设的目标以及所需的先进技术,最后分别就用户侧、输配电网侧智能电网的建设展开讨论。

## 1 智能电网概述

### 1.1 智能电网的定义

目前对智能电网尚无统一的定义,但基于智能电网的共识是:智能电网可以优化电力用户峰荷时段的用电量,能够实现分布式电源“即插即用”的并网运行方式,进而达到节能减排的目的。智能电网将在传统电力网络中应用最新的信息化和数字化技术,因此智能电网也是现有输配电网的智能化升级。其目的是进一步优化系统运行,提高系统的安全稳定性,并解决分布式电源并网运行产生的问题。

### 1.2 智能电网的特征

综合目前对智能电网的分析研究,智能电网应该具备以下特征:

1) 坚强。能够监测电网的实时运行状态,预测电网运行状态,及时发现、快速诊断和消除故障隐患;快速辨识人为破坏和自然扰动,有效抵御自然的和人为的攻击,同时能够保证人身和设备的安全;减少人工干预,实现快速隔离故障和自我恢复,避免大规模停电的发生,提高电网运行的可靠性。

2) 交互。用户积极参与电网的运行,根据实时电价调整用电模式;支持用户使用分布式电源,并向电力公司出售剩余电力;变电站可以实时监控用户的用电情况,及时发现排除故障。

3) 环保。支持分布式电源并网运行,做到“即插即用”;支持风力发电和太阳能等大规模可再生能源发电的应用;降低电能从生产环节到消费环节的损耗,提高电能利用率。

4) 经济。优化资源配置,提高设备传输容量和利用率;控制成本,实现电网经济运行。

### 1.3 智能电网的发展历程

智能电网的发展可追溯到 20 世纪 80 年代,大型工业用户开始使用自动读表系统;之后在 90 年代,这些技术逐渐发展成为现在的高级计量体系(advanced metering infrastructure, AMI)<sup>[11]</sup>。作为 AMI 的核心技术之一,智能电表在传统的电表功能上加入了数字化技术,具有连续的通信功能,甚至可以实现电脑控制。意大利电力公司在 2001 年改造并安装了 3000 万台智能电表,建立起了智能化计量网络,但此时的智能网络只是以能够实现峰谷平电量计量功能的电子表计为核心技术的计量网络。

直至 2005 年,坎贝尔利用群体行为原理发明了一种无线控制器,它可以协调用户内部连接在一起的电器的使用,减少用户的峰荷用电量<sup>[12]</sup>。这项技术能够将用户电器智能化,节约电能,从而提高能源的利用率。

2006 年,欧盟理事会发表了名为《可持续的、竞争的、安全的欧洲能源策略》的能源绿皮书,将智能电网作为欧盟未来建设电网的主导方向<sup>[13]</sup>。由于发展策略着重于配网侧的自动化技术,故当时的智能电网是限于配电网侧的智能电网。同年,IBM 公司与全球电力科研机构和电力企业合作提出了被喻为电力系统“中枢神经系统”的智能电网方案。这一方案包括通过使用传感器、智能电表、数字控制分析元件,来实现自动监控优化电网,防止大面积停电和快速恢复供电,并根据实时电价控制用户的联网设备等智能化功能。

2008 年美国科罗拉多州的波尔德(Boulder)建成美国第一个智能电网城,它通过建立新的测量系统,升级现有的变电站,支持新能源分布式电源的并网运行,来实现城市电网的智能化。同年 9 月,Google 与通用电气联合发表声明,正式宣布开发新能源业务,目的是为美国打造智能电网<sup>[14]</sup>。

2009 年 1 月美国白宫发布《复苏计划尺度报告》,计划在美国铺设或更新 3000 英里输电线路,并安装 4000 万只家用智能电表。同年 2 月,我国华北电网公司的智能电网项目——华北电网稳态、动态、暂态三位一体安全防御及全过程发电控制系统在北京通过专家组的验收<sup>[15]</sup>。

回顾智能电网的发展历程,电网建设正在以更快的速度、更新的技术和更高的目标实现智能化。

## 1.4 智能电网的研究现状和相关政策

### 1.4.1 现有智能电网系统

目前被称为智能电网的系统,实际是一些较早安装了智能电表的系统。最具代表性的是意大利能源公司埃奈尔(Enel SpA)与凯捷咨询(Capgemini)合作的世界上最大的智能电表安装项目<sup>[16]</sup>。整个项目投入 21 亿欧元,预期的回报是每年 5 亿欧元。大约 2700 万用户安装了智能电表,这些电表具有双向通信、高级计量和管理的能力,并通过低压电力线和 IP 实现数据的分层传输控制。这个由智能电表组成的系统具有以下功能:遥控用户电力的启停,记录用户用电信息,检测故障和窃电,采用分时电价来改变用户的用电计划等。

美国第一个智能电网城市 Boulder,占地 65.7 km<sup>2</sup>,拥有 12 万人口,是一所大学城,也是美国标准局的所在地。艾塞尔能源(Xcel Energy)计划分 2 个阶段,于 2009 年 12 月完成 Boulder 电网的智能化<sup>[17]</sup>。Boulder 的智能电网将会是一个高速、实时的双向通信系统,包括智能变电站和用户能量控制系统。用于网络故障快速诊断和纠错的传感器也将分布在整个波尔德电网中。

以上 2 个智能电网的共同特点是自主研发集成电表技术和管理系统,都采用智能电表作为通信接口。此外,美国太平洋煤气电力公司(PG&E)也在其电力网络中的几百万用户里安装了智能电表<sup>[18]</sup>;卑诗水电公司(BC Hydro)开始了通信基础设施的建设;美国奥斯丁更换了城市 1/3 的传统电表,并在新的系统中开始使用无线网络通信。

### 1.4.2 各国关于智能电网的新政策

美国奥巴马政府力推智能电网,预计在未来 3 年建成一个新的电力智能网,而且会将有效抵御恐怖袭击作为智能电网建设的一个重点<sup>[19]</sup>。为实施智能电网计划,美国电科院(EPRI)设立了以建立开放型标准以便于先进技术的应用为目标的智能电网研究组;美国能源部在 2007 年组建了联邦智能电网课题组,展望于 2030 年实现随时随地高效、廉价、可靠地使用电能,能够应对全球气候变化问题,并降低 CO<sub>2</sub> 的排放量。

欧洲也提出了相似的新政策,如欧洲技术纲领(ETP),计划到 2020 年提高对用户的服务水平,实现可再生能源发电管理。与美国不同,欧洲逐步制定公布政策,如欧盟框架计划(FP)中的 FP5、FP6 和 FP7 等,并且将研究重点放在分布式发电和微电

网方面。

2009 年 1 月,我国财政部和科技部发布了《节能与新能源汽车示范推广管理暂行办法》,运用财政补贴政策鼓励北京、上海和深圳等 13 个城市在公共服务领域率先使用节能与新能源汽车,对推广使用单位购置节能与新能源汽车给予 0.4~50 万元不等的一次性定额补贴。同年 2 月,国家电网公司提出了“深化两个转变,建设坚强的中国智能电网”的电网发展目标。

## 2 智能电网的建设目标

### 2.1 总体建设目标

智能电网的建设目标包括以下 7 个方面:

- 1) 鼓励用户参与电网运行,实现电网与用户的智能互动。
- 2) 提高供电质量和供电可靠性。
- 3) 协调运行传统集中大电源与分布式电源以及发电量不易控制的可再生能源电源。
- 4) 实现电网调度运行智能化。
- 5) 实现电网和通信网的自恢复能力。
- 6) 实现电网经济运行。
- 7) 为电力市场功能的实现提供硬件环境。

### 2.2 用户侧智能电网的建设目标

一项 2007 年夏季全球居民及小型企业的用电调查显示:83%的调查者希望能够自主选择电力供应商;大约 2/3 的用户愿意选择可再生能源电力,或者安装太阳能和风能等小型发电设备来满足自己的用电需求并且可以向电网公司出售剩余电力<sup>[20]</sup>。传统电力公司在用户侧建设方面注重公众服务,采用固定电价;而智能电网力求用户参与电网的运行和建设,用户可以根据实时电价选择和调整用电方式。

基于用户侧管理的智能电网的建设目标包括:在网络设计和系统运行中包含用户的设备,并考虑用户的用电模式;使用通信和表计技术跟踪用户的用电量和用电模式,节约电能和降低成本。

### 2.3 输配电侧智能电网的建设目标

目前输配电侧电网存在以下 5 方面问题:

- 1) 线路运行维护与设备管理较为粗放,线路巡视检测、评估诊断与辅助决策技术和模型不够完善;线路运行状态、气象与环境监测区域较小。
- 2) 变电站的自动化技术水平较为先进,但综合利用效益尚未充分发挥。变电站存在新型设备故障率较高,功能架构单一,信息交互困难,设备检修模式落后,设备状态监测技术仍欠成熟,状态评

估与预警工作还处于起步状态等问题。

3) 配电网的网架结构相对薄弱, 自动化覆盖范围小; 相关技术和管理制度不够完善; 缺乏分布式电源与大规模可再生能源电源的相关应用技术。

4) 在调度方面, 实时监控与预警系统的在线分析实用性和调度计划的全局安全经济协调性不高; 缺乏统一的调度系统建设规范标准。

5) 信息平台地区发展不平衡, 集成融合程度不高, 综合决策支持能力不强; 配电和用电环节缺乏可靠、经济、实用的通信方式。

针对以上问题, 配电网侧智能电网建设的目标包括: 全面升级变电站自动化、配电自动化和馈线自动化技术; 使用双向通信和信息技术处理并集成用户侧的用电信息; 实现每个变电站的自治运行; 通过使用传感器和相量测量单元(phasor measurement unit, PMU)等技术实现实时监测, 做到故障前的预警和保护。

输电侧智能电网建设的目标包括: 使用电力电子器件实现潮流控制, 优化系统运行; 通过使用全面的传感器网络、通信网络、可视化技术以及实时高级应用程序实现全网的实时监控、控制和预警, 预测可能发生的故障、并在故障发生前解决问题, 实现系统自愈。

### 3 建设智能电网的关键技术和障碍

#### 3.1 关键技术

实现智能电网所需要的技术大多已经应用于通信以及其它工业领域, 如何将这些技术集成应用到电力系统中, 是建设智能电网亟待解决的问题<sup>[21]</sup>。目前用于智能电网建设的技术主要有以下几个方面:

1) 集成通信技术。包括无线、电力线宽带(BPL)等通信技术, 主要用于变电站自动化(SA), 配电自动化(DA), 监控与数据采集系统(SCADA)和需求侧管理(demand side management, DSM)。

2) 传感器和计量技术。包括高级传感器、智能电表、AMI、PMU、广域测量系统(wide area measurement system, WAMS)等, 用于监视设备运行情况, 估计电网阻塞及稳定性, 为控制策略的选择提供依据。

3) 高级交互界面和决策技术。包括可视化技术, 加密技术, 为系统运行提供多重选择的软件系统, 和用于运行测试和假设分析的仿真系统。

4) 高级控制技术。包括分布式智能代理, 高

级分析软件和高速计算工具, 以及用于调度运行、SCADA、SA、DSM等高级控制技术。

5) 其它高级应用技术。包括用于输电线路建设的超导技术、柔性交流输电(FACTS)和高压直流输电(HVDC), 以及支持分布式电源并网的储能技术和电力电子技术。

除了上述技术之外, 还需要制定相关的标准和规约来规范智能电网的建设。

#### 3.2 建设智能电网的主要阻碍

建设智能电网不会一蹴而就, 可能会遇到一系列阻碍。首先在经济方面, 监管层可能不鼓励或不奖励电力公司为提高运行效率所做出的投资和努力, 电力公司需要衡量智能设备的投资和收益<sup>[22]</sup>。例如安装一个设备可能需要其他公司和用户也安装具有同样功能的设备, 才能使设备发挥作用。而且电力公司可能不会为了满足单一的系统需求(如智能读表系统)而安装整个通信基础设施。当通信系统能够为系统运行提供多种用途时, 如读表、监控远端设备, 开断用户等, 电力公司才有动力建设整个通信基础设施。

其次在通信智能化方面, AMI在向用户提供实时电价的同时, 也实时记录了用户的用电情况和模式, 所以需要解决如何保护用户隐私的问题。同时, 开放的信息系统更容易受到黑客的入侵和病毒的攻击, 这也给开发加密技术和设置机密级别提出了更高的要求。此外, 相关规约标准的制定也是建设智能电网的一个急需解决的问题。

最后, 电力公司需要具备在短时间内改变其商业运作模式以及系统运行模式的能力。每个电力公司特有的管理方式、商业模式和投资策略, 使得不同电力公司的建设方式和速度不一致。

综合以上分析, 智能电网的建设面临2方面问题: 1) 必须要有完善的通信系统与电子计算机系统, 及其相关的统一标准; 2) 投资巨大, 风险高, 短期内看不到显著收益。

### 4 用户侧智能电网的建设

用户侧智能电网的建设目前阶段主要包括智能电表和AMI 2部分。

#### 1) 智能电表。

智能电表是智能电网建设的重要基础设备, 也是目前众多智能电网建设的启动项目。它是安装于用户处的智能终端设备, 具有采集数据、双向通信、停电监测、窃电监测、控制用户设备、远程维护升

级等作用。其连续通信功能可以用于电力系统中的实时监控，并可以作为需求侧管理的接口，从而实现了对需求侧的实时管理操作。

智能电表所产生的效益与区域用电情况以及配套设施有很大关系，如：需求侧响应管理、可靠性要求、配电网自动化水平。Google 的研究显示：如果家庭用户能够及时了解家用电器的耗电详细信息，就会使自己每月的电费开支下降 5%~15%；如果全美国有一般家庭每个月节省这么多开支，会减少相当于 800 万辆行驶中的汽车的碳排放量。

## 2) AMI。

AMI 由智能电表、通信系统和电表数据管理系统组成，是智能电网的基础设施。它使用智能电表通过多种通信设备，按照需求或已设定的方式测量、收集并分析用户用电数据。用户可以根据电价变化来选择用电时间，也可以利用其分布式电源装置参与削峰填谷，从而使用户从单一被动的电力消费者变为电网运行控制的积极参与者。如表 1 所示，AMI 不同于传统的自动读表 (automatic meter reading, AMR) 技术，它是 AMR 的新发展。

表 1 AMI 与 AMR 技术的区别

Tab. 1 Differences between AMI and AMR

对比项目	AMI	AMR
数据收集	按需收集各种用户用电数据，记录用户的用电模式	按月记录用户用电量
通信	开放式双向通信	单向通信
电价模式	实时电价	采用固定电价
用户自动化	支持用户自动化：控制用电设备起停，与智能设备通信	不支持用户自动化

目前美国已建成的 AMI 示范区域，平均用电量减少 11%。美国对 38 家电力公司有关 AMI 的调查显示，如果能为用户提供精确的用电信息，预计用户的高峰用电量可减少 50%。例如通过网络为用户提供以 15 min 为间隔的用电数据和主要的峰荷时段电价，用户可以在非峰荷时段开启空调制冷房间。南加州爱迪生公司(SCE)为 530 万用户安装了智能电表，其投资回报率为 22.3%。这种规模的 AMI 每年可节约 350~1870 亿度电，相当于每年减少 400~2000 万辆汽车<sup>[23]</sup>。

## 5 智能输配电网络的建设

### 5.1 智能控制中心

智能控制中心犹如计算机的 CPU，是整个智能电网的核心。它将通过结合智能化的 EMS、DMS、SCADA、虚拟电厂 (virtual power plant, VPP) 等技术，

来实现以下功能：可视化互操作平台、准确的预测功能、交易与调度功能、快速安全稳定分析功能、智能保护整定、预警报警与事故处理和控制中心的镜像备用等。在实际研究中，以分层分区的原则，根据不同级别的控制中心的权责和需求，对国家、大区、省地市的控制中心功能进行有针对性的设计。

### 5.2 智能输配电网

#### 5.2.1 智能输电网

作为电力传输的通道，输电网关系着发电和用电的供需平衡，因此坚强的输电网是电力系统安全稳定运行的重要前提。目前，输电网存在输电阻塞、输电损耗率高和输电线路维护不便等问题<sup>[24]</sup>。而且随着输电电压等级的日益提高，电磁环境对输电走廊的生态平衡的影响引起了全球性的关注。因此，建设输电网智能化可以从以下 3 个方面进行：

1) 潮流控制技术。先进的潮流控制技术是解决输电阻塞的有效方法，如：高级的 FACTS 和 HVDC 设备能够有效控制网络潮流。

2) 降低输电损耗。电能传输损耗一直是输电研究的重点，包括如何降低线路损和如何分摊网损 2 方面。目前我国输电线损耗率为 7.18%，每年损失电量约 1000 亿 kWh，相当于大亚湾核电站 14 a 的发电总量。特高压技术和超导高温技术可以有效降低输电线路损耗，实现远距离电能传输。此外，先进的智能无功控制设备也可以大大降低输电线路的损耗，如：可以控制无功潮流的移相变压器 (PST)、静止无功补偿器(SVC)和 FACTS 装置等。

3) 设备监测和故障隔离。设备监测的智能化主要通过分布于电力线路间的具有信号处理和通信功能的智能传感器组成的传感器网络来实现，是实现输电网自恢复能力的重要组成部分。这些分布式传感器可用于测量线路参数、架空线的垂度和温度、电力线路摆动和覆冰情况、杆塔的机械强度、杆塔与绝缘子的绝缘情况和感应线路与地面植物的距离等。通过传感器对网络中各节点的参数和输电设备运行状况的监测，输电系统可以提前自动检测、分析和响应紧急状态，从而使传统的继电保护作为最后一道屏障。此外，先进的输电设施维护技术能够自动完成导线清洁和除冰、动作元件的清洁和润滑以及螺栓的开启关断和替换。

#### 5.2.2 智能配电网

配电网直接面向用户，控制、保障用户的供电质量。目前用户停电 95%是由配电系统引起，电网

50%的损耗发生在配电网中,但是现在配电网的自动化程度远低于输电网,因此配电网智能化是建设智能电网的重要环节。

智能配电网是配电自动化的升级,它们都以现代测控、通信和信息为技术基础。不同的是智能电网支持分布式电源的大量接入技术和微网技术,强调系统接口的统一性和开放性,并且要求一次、二次设备的协调。

智能配电网可分为配电网运行智能化、配电网管理智能化和分布式电源智能并网。除了上述智能输电网中电力传输线路的相关智能技术,建设智能配电网的关键技术还包括:IP通信网络、VPP和定制电力等先进技术。

1) IP通信网络。IP通信网络基于TCP/IP协议,支持点对点等的实时通信。它采用开放式接口,使得终端设备能够即插即用。对主干通信网络,可以采用无线宽带网络技术,如WiMAX;而对于支线通信网络,采用短距离、低速率无线网络技术,如ZigBee。

2) VPP。VPP是将局域分布式电源看成一个合成的发电厂,进行有效的管理和控制。它使得小型分布式电源能够大量接入和高效运行在配电网中。同时,VPP能为配电调度和分布式电源业主提供必要的系统接口与人机界面,使分布式电源高效运行。

3) 定制电力。定制电力是指运用高级电子电力设备改善电能质量,以满足用户对电能质量的特定需求。为了实现定制电力,静止无功补偿器、静止同步补偿器、有源滤波器、动态电压恢复器和固态断路器等电力设备,都需要进一步智能化。

## 5.3 智能变电站

### 5.3.1 概述

作为输电和配电的集结点,变电站是电力系统中变换电压、接受和分配电能、控制电力流向和调整电压的重要电力设施。智能变电站在目前变电站综合自动化的基础上,将向高度集成化、数字化、信息化和标准统一化的方向发展。

### 5.3.2 变电站集成化

先进的集成电路和计算机技术使保护和测控装置更加小型集成化,通信、数据存储及处理能力更强。这些技术包括数字信号处理芯片(DSP)、高速数据采集系统、嵌入式实时操作系统、大容量Flash、可编程逻辑器件CPLD、现场可编程门阵列FPGA等。

同时,先进的模块化技术可以将间隔的控制、保护、故障录波、时间记录和运行支持系统的数据处理等功能,集成在一个统一的智能装置内,使间隔内部和间隔间以及间隔同站之间的通信统一用一层光纤以太网来实现,进而实现智能变电站的高度集成化。

此外,智能变压器监视系统和断路器监视系统,分别可以监视分析变压器油中气体、有载分接开关和记录断路器动作次数,监测绝缘油的绝缘情况等。

### 5.3.3 变电站数字化

智能变电站需要有数字化平台,能够自治运行,并实现智能测量。其中,自治运行是指一个变电站的运行可独立于控制中心和其它变电站,但是可以与其它站以及控制中心互相通信;而且变电站内部的每个元件和设备都能够自治运行。同时,数字化的智能开关设备以及频道宽、准确性高、维护成本低的光电式电压和电流互感器等智能装置的开发应用也将加快智能变电站的数字化。

### 5.3.4 变电站信息化

智能变电站将有独立的局域网和具有自恢复能力的通信网络。因此智能变电站需要可以容纳有线及无线通信应用的平台,不可中断的数据采集与监控系统以及通信协议。用智能传感器、智能控制回路取代传统的一次回路,将变电站层、间隔层和过程层连接起来,实现智能变电站的统一通信标准。

基于全球定位系统(global positioning system, GPS)的PMU的成功研制,实现了电力系统的同步相量测量。其在电力系统的广泛应用,形成了电网的WAMS。通过高速通信网络,WAMS能够实现广域电网运行状态的在线同步测量和相量数据的汇总,进而为电网全局电压稳定性在线同步监测创造了条件。

用PMU取代传统的远程终端单元(CRT),变电站所有测量参数都有通过GPS信号获得的高精度的时间戳。为了减少通信数据流量,一些计算功能将在智能感应器和智能测量单元中实现。同时,智能变电站还应具备一定的数据管理能力,并且达到较高的可视化水平。

## 6 结语

智能电网的基础是多种高级技术在电力系统中的应用,首先通过智能监测技术获得更精确的系统实时数据、用户的用电方式、可再生能源发电的

准确信息; 利用智能仿真和高级计算技术, 准确估测系统运行的状态, 预测故障, 优化系统运行、用户用电和储能行为; 并结合智能分析工具, 用友好的可视化方法提高运行人员的操作水平; 从而将电网建设成为紧随时代发展的更加安全稳定的坚强智能电网。

## 参考文献

- [1] United States Department of Energy Office of Electric Transmission and Distribution. Grid 2030: A national vision for electricity's second 100 years[EB/OL]. [2009-04-01]. <http://www.ferc.gov/eventcalendar/files/20050608125055-grid-2030.pdf>.
- [2] 康重庆, 陈启鑫, 夏清. 低碳电力技术的研究展望[J]. 电网技术, 2009, 33(2): 1-7.  
Kang Chongqing, Chen Qixin, Xia Qing. Prospects of low-carbon electricity[J]. Power System Technology, 2009, 33(2): 1-7(in Chinese).
- [3] 李斌, 刘天琪, 李兴源. 分布式电源接入对系统电压稳定性的影响[J]. 电网技术, 2009, 33(3): 84-88.  
Li Bin, Liu Tianqi, Li Xingyuan. Impact of distributed generation on power system voltage stability[J]. Power System Technology, 2009, 33(3): 84-88 (in Chinese).
- [4] Richard M G. Efficiency is crucial to a green future[EB/OL]. [2009-3-29]. [http://www.treehugger.com/files/2007/01/efficiency\\_cruc.php](http://www.treehugger.com/files/2007/01/efficiency_cruc.php).
- [5] Zhang X P. A framework for operation and control of smart grids with distributed generation[C]. Power and Energy Society General Meeting: Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 2008.
- [6] United States Department of Energy Office of Electric Transmission and Distribution. National electric delivery technologies roadmap [EB/OL]. <http://www.oe.energy.gov/smartgrid.htm>.
- [7] United States Department of Energy Office of Electric Transmission and Distribution. GridWise action planning[EB/OL]. <http://www.oe.energy.gov/htm>.
- [8] 陈树勇, 宋书芳, 李兰欣, 等. 智能电网技术综述[J]. 电网技术, 2009, 33(8): 1-7.  
Chen Shuyong, Song Shufang, Li Lanxin, et al. Survey on smart grid technology[J]. Power System Technology, 2009, 33(8): 1-7(in Chinese).
- [9] 谢开, 刘永奇, 朱治中, 等. 面向未来的智能电网[J]. 中国电力, 2008, 41(6): 19-22.  
Xie Kai, Liu Yongqi, Zhu Zhizhong, et al. The vision of future smart grid[J]. Electric Power, 2008, 41(6): 19-22(in Chinese).
- [10] 余贻鑫. 面向 21 世纪的智能配电网[J]. 南方电网技术研究, 2006, 2(6): 14-16.  
Yu Yixin. Intelli-D-Grid for the 21st century[J]. Southern Power System Technology Research, 2006, 2(6): 14-16(in Chinese).
- [11] Hart D G. Using AMI to realize the smart grid[C]. IEEE Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 2008.
- [12] Kulyk R, Kerbel M. Method and apparatus for managing an energy consuming load[EB/OL]. [2009-04-01]. <http://www.freepatentsonline.com/y2008/0015742.html>.
- [13] Commission of the European Communities. GREEN PAPERS: A European strategy for sustainable, competitive and secure energy [EB/OL]. [2009-04-05]. [http://ec.europa.eu/energy/green-paper-energy/doc/2006\\_03\\_08\\_gp\\_document\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/energy/green-paper-energy/doc/2006_03_08_gp_document_en.pdf).
- [14] Lamonica M. Google and GE team up on clean-energy policy, tech [EB/OL]. [2009-04-01]. [http://news.cnet.com/8301-11128\\_3-10044239-54.html](http://news.cnet.com/8301-11128_3-10044239-54.html)
- [15] 李岚峰. 华北电网智能电网建设再迈进一步[EB/OL]. [2009-04-11]. <http://www.in-en.com/power/html/power-1049104999309019.html>.
- [16] Rogai S. TELEGESTORE project progress & results[EB/OL]. [2009-04-01]. <http://www.ieee-isplc.org/2007/docs/keynotes/rogaipdf>.
- [17] XCEL ENERGY. Xcel Energy smart grid a white paper [EB/OL]. [2009-04-06]. <http://smartgridcity.xcelenergy.com/media/pdf/SmartGridWhitePaper.Pdf>.
- [18] Moresco J. PG&E installs its 2.3 millionth smart meter [EB/OL]. [2009-04-15]. <http://www.redherring.com/home/26026>.
- [19] Fehrenbache. Securing the smart power grid from hackers [EB/OL]. [2009-04-15]. [http://www.businessweek.com/technology/content/mar2009/tc20090320\\_788163.htm](http://www.businessweek.com/technology/content/mar2009/tc20090320_788163.htm).
- [20] IBM Institute for Business Value. 2007 IBM Energy and utilities global residential/ small business consumer survey selected results [EB/OL]. [2009-03-20]. [http://www-935.ibm.com/services/us/gbs/us/pdf/2007\\_ibv\\_consumer\\_survey\\_results\\_v1\\_1212a.pdf](http://www-935.ibm.com/services/us/gbs/us/pdf/2007_ibv_consumer_survey_results_v1_1212a.pdf).
- [21] Novosel D. Emerging technologies in support of smart grids[C]. IEEE Power and Energy Society General Meeting- Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 2008.
- [22] Amin M. Challenges in reliability, security, efficiency, and resilience of energy infrastructure: Toward smart self-healing electric power grid[C]. IEEE Power and Energy Society General Meeting- Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 2008.
- [23] Mcdermott M. 5.3Million smart meters to be installed by Southern California Edison [EB/OL]. [2009-3-20]. <http://www.treehugger.com/files/2008/09/southern-california-edison-smart-connect-smart-meter-program.php>.
- [24] O'neill R. Smart grids sound transmission investments in my view[J]. IEEE Power and Energy Magazine, 2007, 5(5): 102-104.



钟金

收稿日期: 2009-05-12。

作者简介:

钟金(1973—), 女, 博士, 助理教授, 主要研究方向为智能电网、电力市场、微网、分布式电源, E-mail: jzhong@eee.hku.hk;

郑睿敏(1982—), 女, 博士研究生, 主要研究方向为分布式发电和储能技术;

杨卫红(1972—), 女, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统规划、技术经济与管理;

吴复立(1944—), 男, 博士, 讲座教授, 研究方向为电力系统分析与控制。

(责任编辑 李兰欣)