第 39 卷 第 16 期 2015 年 8 月 25 日
DOI：10.7500/AEPS20150303001
电力系统自动化
Automation of Electric Power Systems
Vol.39 No.16 Aug.25，2015

中欧智能变电站发展的对比分析

樊 陈[1,2]，倪益民[1]，申 洪[1,2]，刘有为[1]，徐 明[3]，杨 威[1,2]
（1. 中国电力科学研究院（南京），江苏省南京市 210003；
2. 中国国家电网公司葡萄牙能源网公司能源研究中心，里斯本 2685038，葡萄牙；3. 国家电网公司科技部，北京市 100031）

摘要：以中国国家电网公司葡萄牙能源网公司组织召开的未来变电站研讨会为基础，结合国内外的调研，对比分析了中欧智能变电站的发展思路和发展理念。文中介绍了研究背景，论述了中欧智能变电站的定义和内涵，分别从发展驱动力、发展理念、发展效益、发展重点和发展中存在的问题这五个方面对中欧智能变电站的发展进行了对比分析，讨论了中欧智能变电站的发展现状和今后的发展方向，同时也结合欧洲智能变电站的发展思路和理念，对中国智能变电站的后续发展提出了相关建议。

关键词：智能变电站；新一代智能变电站；IEC 61850；电子式互感器

0 引言

进入 21 世纪以来，全球气候变化、能源短缺、经济发展以及电网安全运行的问题日益突出，这些都成为当前电力行业发展亟需面对和解决的问题。电力工业被赋予重要的社会责任，而智能电网成为世界电力工业发展的现实选择，如今已形成全球共识[1-2]。

由于国情不同，世界各国对智能电网的发展规划也存在差异，中国智能电网的发展规划最早由国家电网公司于 2009 年提出，其突出特征在于涵盖发电、输电、变电、配电、用电、调度和信息通信等领域[3-5]。为更好地支撑智能电网发展，作为“变电”环节的智能变电站的发展规划随之被提出，并开展了一系列技术研究、产品研制、标准制定、工程建设、检测调试和运行维护等相关工作，为智能变电站工程的建设提供了保障。

2013 年，国家电网公司入股葡萄牙能源网公司（REN），并由中国电力科学研究院与 REN 共同成立了研发中心（R&D Nester）。为进一步推进中欧之间智能变电站技术的交流，R&D Nester 于 2014 年 5 月在里斯本召开了“未来变电站”的技术研讨会。欧洲各国电网公司、国际电力设备厂家、欧美技术专家等参与了会议。国家电网公司也派出代表做了主旨报告，共同对未来变电站的发展方向进行了探讨和交流，并深入了解了欧洲各国和美国等国家对未来变电站的发展思路。本文以此次研讨会的现场讨论为基础，结合国内外的调研，重点对中国与欧洲国家智能变电站的发展思路进行对比分析，为智能变电站的发展建设提供参考。

1 智能变电站内涵

2004 年，IEC 61850 标准开始在国内变电站推广应用，行业内对采用这一标准的变电站统称为“数字化变电站”，但这一称谓并未获得官方认可。直到 2009 年，国家电网公司正式提出智能电网的发展规划后，“智能变电站”这一名称及定义才由官方和学术界共同认可并逐步推广。国家电网公司同步发布了企业标准《智能变电站技术导则》，对智能变电站进行了明确定义。2012 年，该标准修订更新后升级为国家标准并正式发布，其定义及内涵为：采用可靠、经济、集成、节能、环保的设备与设计，以全站信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化、系统功能集成化、结构设计紧凑化、高压设备智能化和运行状态可视化等为基本要求，能够支持电网实时在线分析和控制决策，进而提高整个电网运行可靠性及经济性的变电站[6-7]。该定义作为智能变电站顶层设计，对智能变电站的发展思路和建设理念提出了系统性要求，为今后智能变电站的发展建设提供了指导。

目前，国外对于智能变电站尚未有明确的定义和统一的认识，但采用 IEC 61850 标准的变电站与

收稿日期：2015-03-03；修回日期：2015-06-09。
国家电网公司科技项目“智能变电站改扩建工程二次系统调试与验证技术研究与应用”；国家电网公司葡萄牙能源网公司“未来变电站”联合科技项目。

传统变电站有着本质的区别，其对传统变电站是一次革命性的提升。因此，未来采用 IEC 61850 标准的变电站在欧洲总体上被称为“下一代变电站(next generation substation)”。当然，为突出下一代变电站的特点，欧美各国也有着不同的称谓，“intelligent substation”，“smart substation”和“substation of future”均被广泛采用。但总体来说，“smart substation”正在被逐步接纳，类似智能电网从早期的“intelligent grid”到如今的“smart grid”。而对于智能变电站自身的内涵，国外更多是描述性的语言，如更加稳定可靠、可实现设备状态自我感知及更有利于运行维护等。分析其原因，主要是因为各个国家的国情及自身发展重点存在差异，相对于国内提出的智能变电站，欧美国家所涉及的领域均在中国智能变电站的范畴内，但仅涉及其中的部分内容。这是因为国内智能变电站得益于国家电网公司从发电、输电、变电、配电、用电、调度和信息通信等环节的系统考虑，可以从智能电网发展的全局高度进行顶层设计，系统性地提出智能变电站的愿景及内涵，并以此指导智能变电站今后的发展建设。欧洲国家由于自身体制和法律法规的限制(如输配分离等)以及专业领域的精细划分，使得一、二次领域的结合，电力系统和通信领域合作等都需要极大力量的推动，正由于这一力量的缺失，导致了欧洲国家难以系统性地提出智能变电站的定义或者发展理念，更多地关注局部或自身关注的领域。因此，这也意味着中国智能变电站的成果今后在国际推广时具有极强的适应性和兼容性。

2　发展驱动力

从国内变电站发展进程来看，IEC 61850 标准的引入推动了中国传统变电站向数字化变电站发展，并结合电子式互感器的应用，成为数字化变电站最为突出的两大特征，这一发展的驱动力源于技术的革新。若在此基础上进一步发展，则数字化变电站也会逐步向智能化迈进，但总体上发展步伐会较为缓慢，同时也缺乏明确和清晰的发展规划作指导。2009 年 5 月，国家电网公司智能电网发展规划的提出，不仅从整个电网的角度为变电站做出了新的诠释，同时也对变电站提出了更高要求，而以此为指导所形成的新的发展理念与数字化变电站有着本质的区别，从而开启了中国智能变电站的发展历程。由此可以看出，国内智能变电站发展的主要驱动力来自智能电网发展规划的引领，同时也涉及新技术引入所产生的巨大推动。当然，中国经济发展对电力需求的持续增长也是智能变电站发展的主要驱动力之一。大量新建变电站不仅为智能变电站新技术、新设备的研制和应用提供了良好的验证环境，同时也使得试点工程不断得到改进和完善，这种理论与实际的相互验证使得智能变电站总体水平显著提升。

欧洲国家由于电力需求相对稳定，电网建设速度较慢，再加上经济危机的影响，其新建变电站的需求相对较少。但即使如此，欧洲国家仍然积极投身于智能变电站的发展建设，由于欧洲国家在运变电站均为传统变电站，这些变电站设备老化问题突出，后续改造和升级的需求较为强烈，积极采用新技术、新设备来提高变电站及电网的利用效率，成为了其发展智能变电站的驱动力。R&D Nester 在欧洲范围内调研获悉，效率(efficiency)、经济(economic)、国际标准(international standardization)、技术(technological)、生态(ecological)和管理(regulatory)是普遍受认可的几项发展驱动力。根据研讨会现场对智能变电站驱动力的投票统计，效率得到 40%的认可，经济得到 25.7%的认可，国际标准得到 13.3%的认可，技术得到 10.5%的认可，管理得到 7.6%的认可，生态得到 2.9%的认可。

从上述投票结果可以看出，效率成为欧洲国家发展智能变电站最为关键的驱动力，各国对提高变电站的建设效率、调试效率、设备的利用效率以及运行维护效率已经形成共识。经济也是欧洲各大电网公司从投资角度必须要考虑的方面，各公司要在提高效率的同时降低投资成本，充分保障盈利水平。国际标准的采用可以提高互操作水平，降低设备和信息的交互成本；新技术的采用可以提高变电站的效率；而生态环境是可持续发展的考虑，能够降低电网投资的全寿命周期成本。因此，对比中欧之间的发展驱动力，欧洲国家更重视商业利益，而中国更侧重社会责任，突出电网安全。

3　发展理念

国内智能变电站的发展建设包含方案设计、工程建设、技术研究、产品研制、现场调试、运行维护等所有环节，但现阶段，国内智能变电站的发展重点在于工程建设(电力需求持续增长)，而欧洲国家智能变电站的重点在于运行维护(新建变电站较少)。

国内智能变电站为了突显变电站“智能”的特点，采用了大量新技术、新设备、新材料、新工艺及新设计，其首要目的是在为智能电网提供坚强、可靠的节点(变电环节)支撑的同时，全面提高变电站智能化整体水平，技术的先进性成为了当前发展关注的焦点。当然，在经过几批智能变电站试点工程建设

后，国内智能变电站进入了新的阶段，不再仅仅强调新技术的应用，而开始兼顾建设成本。因此，占地少、造价省、效率高的新一代智能变电站成为了今后的发展方向，而配送式模块化变电站建设就是其中的一种尝试和探索。

欧洲的智能变电站发展思路与中国存在较大差异，利用新技术、新设备来服务于变电站的运行和维护是其核心发展理念。R&D Nester 调研汇总出欧洲国家 6 项典型的发展理念，分别是新技术（future proof）、独立的厂商（vendor independent）、便于运行和维护（easy to operate and repair）、可扩展（scalable）、安全（secure）和遵循标准（based on standards）。根据讨论会现场的投票，对这 6 项发展理念的支持率分别为：便于运行和维护 38.2%；安全 22.5%；新技术 18.6%；遵循标准 13.7%；可扩展 3.9%；独立的厂商 2.9%。

从上述结果可以看出，欧洲国家优先考虑的是运行维护的便利性，其次是电网安全、技术的先进性、建设的标准化以及可扩展性等，并在此发展理念的指导下选择其具体的发展建设模式以及可采用的新技术。而新技术、标准化、可扩展及独立厂商的需求，其本质都是为了确保变电站运行维护的便利性和安全性，由此可以看出，欧洲国家智能变电站的发展理念就是在经济高效的驱动力下，围绕运行维护便利性和可靠性来开展技术研究、设备研制以及工程建设，这也使得其发展建设思路更加具有针对性。

4　发展效益

发展理念的差异也导致了中欧在智能变电站建设所产生的效益方面的差别。R&D Nester 在欧洲范围内针对经济效益的调研结果集中体现在节约占地面积（space saving）、功能高度集成（better function integration）、提升的可靠性（improved reliability）、新能源的便捷接入（easier integration of renewables）、服务质量的提升（improved quality of service）和总成本的优化（total cost of optimization）。研讨会上，参会人员对效益调研结果的认可度为：总成本的优化 38%；功能高度集成 22.9%；服务质量的提升 21.9%；提升的可靠性 13.3%；新能源的便捷接入 2.9%；节约占地面积 1%。

从上述结果可以看出，由于欧洲国家的电网公司大多采用商业化运作，在经济高效的驱动力推动下，其发展智能变电站所获得的最直接的效益就是总成本的降低（这个成本既包含前期的设计和建设成本，也包括后期的运行和维护成本），其次是设备功能的集成（目的也是便于操作和维护）以及服务质量的提升，最后才是电网的可靠性、新能源的便捷接入，而中国智能变电站建设所看重的减少占地面积这一因素则不在欧洲国家优先考虑的范围之内。相比之下，中国发展智能变电站所产生的效益首先是能够为智能电网的发展建设提供支撑，进一步保障电网运行的安全和可靠；其次是技术的创新性，能够提高变电站的整体技术水平，最后才是经济性和便利性的考虑，这也与发展驱动力所述的社会责任相吻合。

5　发展重点

5.1　IEC 61850 标准

IEC 61850 标准是中国与欧美共同认可的国际标准。自 2004 年发布以来，已在数字化变电站和智能变电站大量应用，成为中国智能变电站乃至新一代智能变电站建设的基础。欧洲国家由于需求、投资等方面的因素，基于该标准的工程应用相对较少，因此对此标准工程应用的推进力度较小。但由欧洲 34 个国家的 41 家输电运营商（TSO）组成的欧洲互联电网组织 ENTSO-E（European Network of Transmission System Operator for Electricity）则坚定地认为，IEC 61850 标准是未来变电站发展建设的基础，整个欧洲国家可以通过该标准的推广应用获得经济和技术上的效益，并呼吁全面推广应用。从这一点来看，中欧完全一致。欧洲各国在统一认识，广泛呼吁的时候，国内对于 IEC 61850 标准已具有十多年工程应用的经验。但随着 IEC 61850 标准第二版的逐步发布，现阶段的智能变电站不仅面临进一步的升级和完善，同时也将面临一些新技术的应用，而这仍将会是中欧共同关注的焦点[8-9]。

5.2　电子式互感器

中国的电子式互感器实际是电子式电压互感器、电子式电流互感器以及光学互感器的总称，其自 IEC 61850 标准推广应用之际就一同试点应用，并与 IEC 61850 标准一起成为数字化变电站的两大核心特征。虽然目前国内的电子式互感器在实际工程中暴露出运行不稳定等一系列问题，但不可否认的是，电子式互感器仍然被认为是今后技术发展的趋势，这一点在行业里已形成共识。因此，虽然国内智能变电站和新一代智能变电站的发展建设中电子式互感器并未作为必备的配置，但仍然将其作为可选配置，这在一定程度上为其技术的改进和完善、产品稳定性和可靠性的提升预留了空间[10-11]。

欧洲国家将电子式互感器统称为“非传统电磁式互感器（non-conventional instrument

transformer，NCIT)”，由于其优越的性能，被认为是今后的发展方向。与之配套的合并单元数字化采样技术、开关设备、基于面向通用对象的变电站事件(GOOSE)报文的网络跳闸技术等也被认为是今后发展的趋势。研讨会上，美国专家代表提出过程层总线技术将是未来变电站发展应用的方向。由此可以看出，以电子式互感器和 GOOSE 应用为基础的过程层总线技术将成为欧洲乃至美国今后发展的重点。国内在此领域已开展了较为深入的试点应用，也取得了较多的工程应用经验，现阶段处于总结改进和完善提升的阶段[12]。

5.3　其他技术

除了 IEC 61850 标准和电子式互感器两大突出的技术外，欧洲国家还针对智能变电站提出了如下技术发展方向：变电站内部数据的便捷交互(状态监测、设备自检、远程调试和远程整定)、新的系统功能(同步相量、自动运行和分布式状态估计)、状态监测及评估、改进的变电站站间闭锁功能、系统和保护的即插即用、广域保护和监测、约束管理、柔性应用和简单的调试流程等。这些新技术或者新功能绝大多数都是以运行维护为基础提出的。

上述新技术虽然多，但却来自欧洲不同的国家，而中国智能变电站由于具有系统性的特点，使得其涉及的领域除了涵盖上述所有技术及功能之外，还具有更多智能化的功能。中国智能变电站是以智能化的一次设备、网络化的二次设备为基础，通过规范信息的标准化采集、传输和接入，构建一体化监控系统，从而实现全站信息的统一存储、统一管理和统一分析，也因此具备了更多智能化功能实现的基础，如智能告警及信息综合应用等。文献[13]涉及的一体化监控系统、变电站辅助设备和系统的接入、一次设备状态监测系统的管理、运行管理系统与一体化监控系统的交互等就是其具体的体现，这也充分体现了中国智能变电站总体架构的高度。

6　存在的问题

针对智能变电站发展存在的问题，中国与欧洲国家因发展理念及所处发展阶段的不同而存在显著的差异。国内已有大量智能变电站工程建设的实例，因此目前大多关注工程建设所暴露出的实际问题。欧洲国家对于智能变电站还处于筹划起步阶段，因此大多提出预见性以及结合实际试点工程情况所预测的潜在性问题。

从 2009 年智能变电站工程开始试点建设，到 2011 年全面推广应用，再到 2013 年新一代智能变电站试点工程建设，中国智能变电站已经过多次改进和完善，总体水平有效提升，但结合当前的实际，还存在以下问题。

1)一次设备智能化水平不高。现阶段对一次设备智能状态监测数据的准确性缺乏检测手段，也缺乏对数据完善的评估分析能力，不能对设备的状态进行趋势性分析。另外，一次设备状态监测所依赖的传感器寿命短于一次设备，传感器嵌入后对一次设备本体的稳定性及可靠性产生的影响缺乏相关研究，也未能提出有效的解决手段。欧洲国家在一次设备智能化方面虽然早有尝试，但推广应用程度不高。

2)电子式互感器运行的稳定性较差，且通信接口不规范。国内目前已大量采用各类电子式电压、电流互感器和全光纤电流互感器，但运行的稳定性和可靠性还存在缺陷，尤其是对温度、湿度和振动等外部环境的自适应能力较差，抵抗电磁干扰的能力也存在不足，给现场运行带来了困难。欧洲国家对电子式互感器的应用较少，且由于造价较高，推广应用有限。

3)变电站高级应用功能实用化和智能化水平不高。顺序控制、智能告警与分析决策、故障综合分析和分布式状态估计等高级应用功能是决定变电站智能化水平的关键因素，但目前其功能的实用化程度不高，且大量依赖人工配置来实现告警分析功能，导致配置调试工作量增加、配置错误率提升，严重影响了其工程应用。欧洲国家提出了相关发展诉求，但现阶段并未开展。

4)智能变电站跨专业之间的技术融合未能深入开展。“大运行”和“大检修”的发展建设对变电站内部监控、保护、计量、状态监测、视频、辅助监控和生产信息管理等业务提出了不断融合的新需求，但受限于现有的管理模式，专业之间的技术融合较为困难，跨专业的数据交互也不够通畅，这些都制约了变电站智能化水平的体现。欧洲国家现有专业的细分也存在同样的问题。

5)智能变电站运行维护水平和检修效率较低。由于缺乏有效的调试和运行维护工具，各类新建智能变电站的运行维护目前只能依靠设备厂家和调试单位来实现。随着智能变电站的全面推广建设，今后运行维护的工作量十分巨大。另外，由于国内二次设备的全寿命周期较国外产品短，且故障发生率较高，加大了运行检修的工作量。欧洲国家目前由于智能变电站工程少，在此方面也缺乏运行维护的经验和有效的检修手段。

6)智能变电站自动化检测调试能力不足。目前，智能变电站的检测调试大多依赖人工检测，工作

量大且效率低，还未能开发出可以实用的自动化检测工具及设备以提升检测调试能力和效率，以满足智能变电站大规模建设的发展需求。欧洲国家因为工程需求较少，目前也没有自动化的调试设备。

欧洲国家中，有过 IEC 61850 标准工程建设的电力公司（如法国 RTE、西班牙 REE 等）及设备厂家对于智能变电站发展建设中的问题有着强烈的感受，主要表现如下。

1）缺乏统一的 IEC 61850 标准配置工具。IEC 61850 标准虽然制定了统一的信息模型及配置流程，但却没有规定配置工具的具体技术要求，导致配置工具之间缺乏互操作性。很多厂家的配置工具仅适用于自身产品，即使一些工具能够兼容多个厂家的模型，但在智能电子设备（IED）与一次拓扑的关联上又再度缺乏统一的实现方式，这给工程应用带来了困难。这一问题对于中国也同样存在，而且问题还更为突出，因为国内变电站一次接线的拓扑结构配置目前并未实际开展。现阶段，国内智能变电站的配置工具实现了单个装置 IED 能力描述（ICD）文件的配置和变电站系统描述（SCD）文件的配置，而 SCD 文件仅仅是所有二次设备的 ICD 文件集合，并未实现一次拓扑结构图变电站规范模型文件（SSD）与 ICD 文件之间的融合及设备的关联。

2）互操作性存在问题。欧洲国家由于对 IEC 61850 标准理解存在差异，在具体工程实施中存在一系列互操作问题。虽然欧美之间的互操作测试开展的较早，如早期 ABB 和 SIEMENS 等产品间的 GOOSE 跳闸测试等，但这仅仅是部分互操作，与真正工程化应用还存在差距，由于缺乏统一的指导，一旦在通信交互上出现理解偏差，就给现场调试带来了困难。国内有统一的指导和协调，因此并不存在问题，尤其是国调中心早期组织设备厂家开展的 6 次互操作试验，为当前不同厂家之间的互操作奠定了基础。

另外，欧洲国家发展智能变电站还存在一些非技术因素阻碍，如欧洲国家普遍认为员工抵制、新技术缺乏（如通信技术）以及设备及系统的生命周期较短将会是今后智能变电站发展存在的潜在问题和主要阻力，具体如下。

1）员工抵制。由于欧洲国家员工分工细致，各专业仅专注自身领域，新技术的应用会造成大量跨专业业务的产生，会造成多专业员工之间协同配合的局面。协同部门数量越多，工作难度也就越大，甚至会出现工作无法开展的局面。另外，由于智能变电站打破了传统专业分工的固有领域，这给当前欧洲各国现有的管理结构带来了冲击，导致不同领域人员工作职能和职位的调整。

2）新技术的缺乏。由于智能变电站相比传统变电站有革命性变化，大量新技术将会被广泛应用，如信息通信技术、数字化采样技术等，但现有的人员显然缺乏对新技术的了解，因此其结果是增加了员工工作难度，延缓了工作进度，降低了工作效率和工作质量，同时进一步增加了员工对智能变电站发展的抵触情绪。

3）设备及系统生命周期变短。由于大量新技术、新设备尚未稳定成熟，且在可预计的短期时间内还会有持续的技术改进和提升，因此，现阶段发展建设智能变电站所采用的新技术、新设备很快会面临淘汰、升级或更新换代的问题，这会造成设备生命周期变短，投资回报率降低，会受到各电力公司股东们的抵制。

而上述问题在中国却不存在，虽然各电网公司员工对新技术也同样缺乏了解，但从国家电网公司层面，始终都有统一的规划来加强员工的学习与培训，推进跨专业之间的协同合作，并不断更新完善新技术、新设备来提高电网安全水平，这就为中国智能变电站的发展建设提供了有力保障。

7　发展方向

目前，欧洲国家建立了智能变电站学术交流的网站，并于 2013 年 11 月 26 日至 28 日，在德国法兰克福召开了“下一代智能变电站（next-generation smart substations）”的研讨会，来自 SIEMENS，ABB，GE，SUBNET 的设备厂商及法国、西班牙、葡萄牙等国的电力企业参与了研讨，重点针对智能变电站投资、网络安全、IEC 61850 标准应用、电网通信、数据管理和分析及新能源集成等领域进行了讨论，同时在会议结束后还召开了 GOOSE 和采样值（SV）应用的研讨会[14]。2014 年 10 月 15 日至 16 日，欧洲国家针对 IEC 61850 标准的应用，在捷克布拉格召开了在智能电网架构下，推动 IEC 61850 标准在输电网和配电网大规模应用的研讨会，来自欧洲输电组织联盟（ENTSO-E）、欧洲配电组织（EDSO）、英国国家电网、法国电网公司、西班牙国家电网公司、西班牙配电网公司、丹麦国家电网公司以及欧姆克朗（OMICRON）等测试设备厂家参会，重点对 IEC 61850 标准第二版的影响和应用、基于 IEC 61850 标准的系统结构优化、高级应用功能、变电站运行和维护、系统工具开发以及未来智能电网应用进行了讨论[15]。可以看出，欧洲国家目前

及今后一段时间的重点仍然是新技术应用的深入分析、理解及相关技术的探讨交流，之后才会是IEC 61850标准和电子式互感器等技术的大量推广应用。

截至2015年初，1 000多座智能变电站以及6座新一代智能变电站试点工程的建成投运为国内智能变电站技术的推广应用及建设经验的积累奠定了坚实的基础[16]。大量工程的实践不仅验证了一系列新技术、新设备，同时也暴露出一些技术缺陷，为此，国内智能变电站今后的发展重点一方面是要不断解决和消除当前智能变电站存在的问题，同时也会进一步向着设备高度集成、系统深度整合、结构更加开放、功能更加智能的方向发展，并以此为导向，开展系统高度集成、结构布局合理、装备先进适用、经济节能环保、支撑调控一体的新一代智能变电站建设。

8　结语

汇总欧洲国家对变电站未来的发展思路和功能需求，对比国内智能变电站的发展建设，得出以下结论。

1)智能变电站就是未来的变电站。尽管欧洲国家没有广泛采用“smart substation”这一说法，但其对未来变电站的功能定位总体上还是符合智能变电站的特征的，只是暂用“substation of future”等类似术语来表述。但从实质上，用智能变电站来替代表述更加贴切，也更能够体现与传统变电站的区别，目前欧洲一些国家和行业专家也在逐步采用“smart substation”的相关称谓。

2)国家电网公司智能变电站的工程建设国际领先。国外同行所提出的未来变电站相关功能展望均符合国内智能变电站当前建设的范畴，国内智能变电站发展建设的规划不仅十分清晰，而且绝大多数技术都已经进行了工程实践，且部分设备和功能已进行多次改进和完善，总体性能还在进一步提升中；但对于大多数欧洲电网公司来讲，智能变电站对其更多只是未来的愿景，绝大多数未开展实质性的建设，且现有部分发展思路在技术应用上还缺乏有效的验证及工程应用，因此其工程建设及应用明显滞后。

3)国家电网公司技术研究与工程建设相结合发展模式的正确性。以IEC 61850标准推广应用为例，虽然标准由欧美国家主导制定，但其工程应用步伐缓慢，缺乏系统集成的经验。相反，中国在技术研究与试点工程建设相结合模式下却使得技术日益成熟，通过试点工程验证新技术的研究成果，通过新技术的改进提升再逐步推动试点工程的完善，通过多次反复迭代，尤其是多个试点工程的建设，使得国内智能变电站建设取得领先，也再次印证了国家电网公司当前发展思路和建设模式的正确性。

当然，在总结国内智能变电站发展建设成就时，也发现欧洲各电网公司或电力同行们的观点能够为国内智能变电站的发展提供补充和完善。

1)注重底层技术的研究。尽管国内智能变电站对众多新技术进行了尝试，且经过多次改进和完善，取得了有效成果，但也有较多技术的研究深度与欧洲仍然存在差距，如IEC 61850标准与IEC 61970标准的协调等方面，且一些新的技术国内也并未有效开展，如网络可靠性等技术，这些都需要今后开展更加深入和务实的研究。此外，随着高级应用功能需求的日益凸显，支撑智能告警与分析等相关高级应用功能所需的基础数据采集、分析及处理的底层技术也需要开展研究，为其今后的智能化应用奠定基础。

2)注重智能变电站全寿命周期成本的控制。2012年，国家电网公司在现有智能变电站的基础上开展了新一代智能变电站的试点建设，目的是要进一步提高变电站的效率，降低建设成本。减少现有设备数量、减少占地面积固然可降低成本，但在一定程度上却也带来了设备维护成本高、寿命周期短等新的问题。建议智能变电站今后的发展要从全寿命周期进行考虑，实现从设计、建设、研制、检测、调试和运行维护等整个环节成本的最优化。

3)注重智能变电站运行维护的便利性。当前智能变电站的发展建设主要侧重于新技术、新设备的使用，对运行维护的便利性还缺乏考虑。建议从全站设计、设备研制和检测调试环节均充分考虑运行维护人员的建议，积极开展运行维护技术的相关研究，促使智能变电站维护管理更加便利、高效，这不仅可以降低变电站全寿命周期成本，同时也能够进一步提升变电站运行的安全性和可靠性。

4)注重并推动新技术带来的运行和管理模式的转变。新技术的引入要能够为当前电网的建设、运行和管理带来便利，管理部门也要能够适应新技术应用给各专业分散管理带来的冲击。新技术的应用逐渐模糊了现有专业管理的边界，跨专业的多部门合作将会成为今后新的管理趋势。建议结合国内智能变电站发展建设的实际情况以及新特点，在专业管理和新技术应用方面进行综合考虑，实现智能变电站在管理和技术上的和谐发展。

总之，中国和欧洲国家之间虽然对于智能变电站的发展理念、发展思路等方面存在差异，但总体上看，两者的发展方向是相吻合的，现阶段的差异主要是因为所处发展阶段不同而已，欧洲国家侧重的经济高效、运行维护便利将会成为中国智能变电站下一阶段的发展重点，即在兼顾企业社会责任的基础上，逐步凸显企业经济效益，实现两者的有机统一和高度融合。

另外，虽然国内智能变电站借助系统性和集成性的优势取得了工程建设国际领先的优势，但在很多技术领域相比欧洲国家仍明显落后，如电子式互感器的稳定性和可靠性、高压设备的运行维护及IEC 61850标准的制定等，相关核心技术也仍由国外掌握，智能变电站发展建设的关键标准都由欧美国家提出并主导，中国仍然处于跟踪引进、消化吸收的状态。但由于国内大量的工程建设为技术的应用提供了验证平台，在积累丰富经验的同时也发现了国际标准存在的问题。由于国际标准还在不断的制定和完善，中国可以以此为契机，积极参与国际标准的修订和完善，逐步提高自身的国际影响力。同时，国内智能变电站的工程建设在设备研制、检测调试、运行维护等方面积累了丰富的经验，可以以此为契机积极参与国际学术组织的技术交流，积极宣传国内智能变电站发展建设的成果，积极开展检测调试、运行维护等领域相关国际标准的制定，逐步提高中国在国际上的话语权。

感谢中国国家电网公司葡萄牙能源网公司能源研究中心（R&D Nester）“substation of future”项目组的 Joao Afonso，Ricardo Cartaxo，Andre Santos，Fernado Matos。

参考文献

[1] 肖世杰.构建中国智能电网技术思考[J].电力系统自动化，2009，33(9)：1-4.
XIAO Shijie. Consideration of technology for constructing Chinese smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems，2009，33(9)：1-4.

[2] 陈树勇，宋书芳，李兰欣.智能电网技术综述[J].电网技术，2009，33(8)：1-7.
CHEN Shuyong，SONG Shufang，LI Lanxin. Survey on smart grid technology[J]. Power System Technology，2009，33(8)：1-7.

[3] 常康，薛峰，杨卫东.中国智能电网基本特征及其技术进展评述[J].电力系统自动化，2009，33(17)：10-15.
CHANG Kang，XUE Feng，YANG Weidong. Review on the basic characteristics and its technical progress of smart grid in China[J]. Automation of Electric Power Systems，2009，33(17)：10-15.

[4] 姚建国，赖业宁.智能电网的本质动因和技术需求[J].电力系统自动化，2010，34(2)：1-4.
YAO Jianguo，LAI Yening. The essential cause and technical requirements of the smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems，2010，34(2)：1-4.

[5] 李威，丁杰，姚建国.智能电网发展形态探讨[J].电力系统自动化，2010，34(2)：24-28.
LI Wei，DING Jie，YAO Jianguo. Views on smart grid evolution[J]. Automation of Electric Power Systems，2010，34(2)：24-28.

[6] 国家电网公司.智能变电站技术导则[S].2010.

[7] 中国国家标准委员会.智能变电站技术导则[S].2013.

[8] 任雁铭，操丰梅.IEC 61850新动向和新应用[J].电力系统自动化，2013，37(2)：1-6.
REN Yanming，CAO Fengmei. New development and new application of IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems，2013，37(2)：1-6.

[9] 任雁铭，操丰梅，张军.IEC 61850 Ed2.0技术分析[J].电力系统自动化，2013，37(3)：1-5.
REN Yanming，CAO Fengmei，ZHANG Jun. Technical analysis of IEC 61850 Ed2.0[J]. Automation of Electric Power Systems，2013，37(3)：1-5.

[10] 国家电网公司.智能变电站建设技术[M].北京：中国电力出版社，2011.

[11] 国家电网公司.智能变电站试点工程技术总结报告[R].北京，2011.

[12] 樊陈，倪益民，窦仁晖.智能变电站过程层组网方案分析[J].电力系统自动化，2011，35(18)：67-71.
FAN Chen，NI Yimin，DOU Renhui. Analysis of network scheme for process layer in smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems，2011，35(18)：67-71.

[13] 樊陈，倪益民，窦仁晖.智能变电站一体化监控系统有关规范解读[J].电力系统自动化，2012，36(19)：1-5.
FAN Chen，NI Yimin，DOU Renhui. Interpretation of relevant specifications of integrated supervision and control systems in smart substations[J]. Automation of Electric Power Systems，2012，36(19)：1-5.

[14] The Phonix Forum. 2nd annual next-generation substation [EB/OL]. [2014-12-01]. http://www.intellisub-europe.com/index.html.

[15] The Phonix Forum. 2nd annual conference，exhibition&networking forum [EB/OL]. [2014-12-31]. http://www.iec61850-europe.com/index.html.

[16] 国家电网公司.新一代智能变电站试点工程技术总结报告[R].北京，2014.

樊　陈（1982—），男，通信作者，工程师，主要研究方向：电力系统保护控制和自动化、IEC 61850标准应用、智能变电站。E-mail：fanchen@epri.sgcc.com.cn

倪益民（1967—），男，高级工程师，主要研究方向：电力系统自动化的研发和管理。

申　洪（1971—），男，博士，高级工程师，主要研究方向：电力系统规划研究及管理。

（编辑　王梦岩　章黎）

（下转第15页　continued on page 15）

（上接第 7 页　continued from page 7）

Comparative Analysis on Development of Smart Substations in China and Europe

FAN Chen[1,2], *NI Yimin*[1], *SHEN Hong*[1,2], *LIU Youwei*[1], *XU Ming*[3], *YANG Wei*[1,2]

(1. China Electric Power Research Institute (Nanjing), Nanjing 210003, China;

2. R&D Nester of State Grid Corporation of China and REN, Lisbon 2685-038, Portugal;

3. Department of Science&Technology, State Grid Corporation of China, Beijing 100031, China)

Abstract: The development of smart substations in China and Europe is analyzed based on survey and discussion by the workshop of "Substations of the Future" organized by the R&D Nester belonging to the State Grid Corporation of China and REN of Portugal. Firstly, the background is described; secondly, the definition of smart substation is presented, thirdly, the drive of development, the philosophy of smart substation, the benefit of smart substation, the focus and potential problems of development and construction of smart substation are discussed in detail. Then, the state of art and next step work of smart substation between China and Europe are presented. Finally, relevant suggestions for follow-up development of smart substations in China are made by referring to the concept of expansion of smart substations in Europe.

This work is supported by State Grid Corporation of China and R&D Nester (Centro de Investigacao em Energia REN-SGCC, SA).

Key words: smart substation; new-generation smart substation; IEC 61850; non-conventional instrument transformer