

欧洲智能电网项目的发展与经验

张毅威¹, 丁超杰¹, 闵勇¹, 姜学平², 范明天³, 张祖平³

(1. 电力系统及发电设备控制和仿真国家重点实验室(清华大学电机系), 北京市 海淀区 100084;

2. 国网智能电网研究院, 北京市 昌平区 102211;

3. 中国电力科学研究院, 北京市 海淀区 100192)

Development and Experiences of Smart Grid Projects in Europe

ZHANG Yiwei¹, DING Chaojie¹, MIN Yong¹, JIANG Xueping², FAN Mingtian³, ZHANG Zuping³

(1. State Key Lab of Control and Simulation of Power Systems and Generation Equipment (Department of Electrical Engineering, Tsinghua University), Haidian District, Beijing 100084, China; 2. State Grid Smart Grid Research Institute, Changping District, Beijing 102211, China; 3. China Electric Power Research Institute, Haidian District, Beijing 100192, China)

ABSTRACT: The research and development of smart grid has been carried out world widely for more than ten years and there are successful cases and rich experiences in this field. In 2013, Joint Research Center (JRC) at European Union updated the report about the historical statistics and survey results of the Smart Grid projects in Europe. This paper introduces and discusses the research results and lessons of Europe's smart grid projects in following aspects: the fundamental state of smart grid projects in Europe, the technology applied in smart grid, the smart metering project and customer participation and the issues to be solved. Although the models of electricity market modes and grid operation in China are very different from that in Europe, JRC's report can be helpful for Chinese Smart Grid study and development.

KEY WORDS: smart grid; application technology; European grid

摘要: 智能电网的研究和试点在全球已经开展了十多年, 取得了一些成功的案例和丰富的经验。2013 年欧盟联合研究中心(JRC)提交了欧洲智能电网项目的历史统计和调查结果的更新报告。根据其报告内容, 文章按智能电网项目的基本情况、技术应用范围、智能电表与客户参与、待解决的问题等几方面, 归纳总结了欧洲范围内的智能电网研究成果和发展方向。希望对于我国正在进行的智能电网研究和建设起到积极的启发和借鉴作用。

关键词: 智能电网; 应用技术; 欧洲电网

DOI: 10.13335/j.1000-3673.pst.2014.07.001

0 引言

国际能源署认为, 为实现能源安全、经济发展和减少气候变化的目标, 智能电网是全球的基本发

展方向^[1]。无论在美国和欧洲, 还是在中国, 智能电网都是国家或区域能源战略的重要组成部分^[2-4]。智能电网为各种具有深远影响的新应用打开了大门: 大规模可再生能源(renewable energy resources, RES)的安全接入, 电动汽车(electric vehicle, EV)及分布式发电的接入; 通过需求响应控制电能消费, 促使客户参与电力市场; 通过提高全面控制与监测的能力, 实现更高效、更可靠地供电; 通过网络自动重构避免停电或快速恢复供电(自愈功能)。

智能电网的关键性能^[5]包括分布式能源(distributed energy resource, DER)集成、需求响应集成和 RES 集成。诸多技术的系统集成^[6-8]是智能电网性能的基本保证, 这需要诸多领域不同利益相关者的通力合作, 甚至有可能需要建立新的商业模式和监管环境。特别重要的是, 智能电网的转型必须容纳新型的电力客户, 符合电力客户的需求并使得客户愿意支付相应的实施转型费用。

近十多年来, 世界各地都在不断加强智能电网的研究、示范和实施力度^[9-11]。在智能电网的挑战性转型中, 目前阶段的智能电网项目在明确未来方向方面具有关键作用。欧盟联合研究中心(JRC)在2011年启动了欧洲智能电网项目的全面调查, 2012年发表的报告^[12]获得了很好的反响, 并继续于2013年发表了关于其经验教训和发展现状的最新报告^[13]。本文根据该报告的主要内容, 按项目的基本情况、技术应用、智能电表实施与客户参与、待解决问题等方面, 分别进行介绍和讨论。虽然我国电力系统尤其是配电网的发展阶段、电力市场和电网运行模式与欧洲仍有较大不同, 但本文的归纳比较

基金项目: 国家电网公司科技项目资助(新一代智能电网片上系统关键技术研究, SGRI-WD-71-13-014)。

将有助于我国智能电网在应用领域、关键性能、方案设计、项目实施和客户关系等方面的进一步探讨和研究。

1 欧洲智能电网项目基本情况

2008 年欧盟提出了欧盟实现 2020 年可再生能源占 20% 的目标^[14], 这将持续影响欧洲未来十几年的能源市场。为实现这一目标, 需要大幅度增加电能消费(电动汽车或热泵)的比例以及提高可再生能源发电的比例。消费电量增加和分散电源的大量增加, 需要更多的系统容量来支撑, 有 2 种途径可满足这一要求: 传统方式是通过加强电网来实现; 新的方式是通过智能控制更加有效地利用现有电网容量, 也就是智能电网的方式。欧盟 2010 年提出了欧洲电网发展路线和短期实施计划^[3], 并于 2012 年和 2013 年进行了调查和更新^[15-17], 充分肯定了欧洲智能电网的发展方向。从 21 世纪初开始, 欧洲范围内就开展了智能电网技术相关项目的研究, 而在确定欧洲能源目标和欧洲电网转型目标之后, 智能电网项目在数目、规模和涉及范围等方面有了快速发展。从 2011 年开始, JRC 通过问卷的方式对欧洲范围内的智能电网项目进行了调查, 调查主要关心的是智能电网应用(DER, RES 和需求响应)而不仅是技术功能(配电自动化)。

1.1 项目的筛选

筛选智能电网项目的基本条件: 1) 与电网有关的新能源技术和资源项目, 包括储能、电动汽车、分布式可再生能源发电等; 2) 电网智能化项目包括新技术和新的信息通信技术(ICT)功能; 3) 不包括通过常规设计进行电网改造的项目。并且欧盟进一步将智能电网项目按其技术和应用成熟度的不同阶段, 分为研发、示范和实施项目 3 类。分类原则如下:

1) 研发项目。属于基础研究、应用研究和实验开发的项目。

2) 示范项目。可以视为商业化前期的项目。项目目标为在实际环境中测试相关技术在更大范围应用的可行性。

3) 实施项目。在一定的地理(国家或地区)范围内, 将一种技术、应用或系统作为技术解决方案进行普遍实施的项目。

由此共获得了 281 个智能电网研发/示范项目和 90 个智能电表实施项目的信息。

1.2 项目的预算情况

欧洲 30 个国家(欧盟 27 国以及克罗地亚, 瑞士

和挪威)开展的智能电网研发和示范项目共 281 个, 总投资约 18 亿欧元。项目数、预算和平均预算如表 1 所示, 项目平均周期为 35 个月。

表 1 研发项目和示范项目数目及其预算表

Tab. 1 Number and budget share of R&D and demonstration projects

项目分类	项目数	总预算/欧元	平均预算/欧元
研发	151	5 亿	370 万
示范	130	13.3 亿	1 000 万
总数	281	18.3 亿	650 万

每年启动的项目数和预算分别如图 1、2 所示。值得一提的是, 项目统计到 2012 年 5 月。由图 1 可见, 从 2006 年起开展的智能电网项目急剧增加。由图 2 可见, 在 2008—2012 年期间智能电网项目投资年均达 2 亿欧元, 2011 年达到 5 亿欧元。项目预算一直在稳步增长, 大于 2 000 万欧元的项目, 在 2006 年占 27%, 到了 2012 年占 67%。

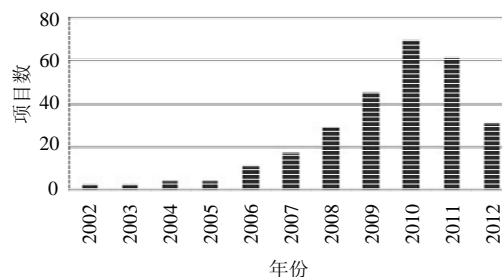


图 1 每年启动的项目数

Fig. 1 Number of R&D and demonstration projects starting each year

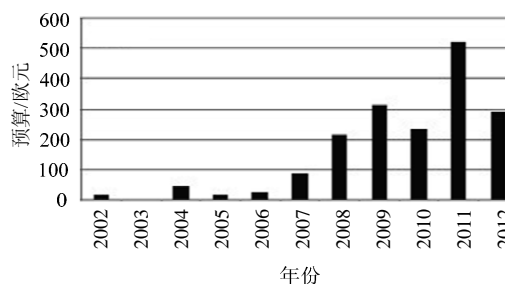


图 2 每年启动项目的预算

Fig. 2 Budget of R&D and demonstration projects starting each year

到 2013 年 6 月, 欧盟 27 个国家中经济较发达的 15 国(德、法、英、意、奥、比、波、挪、丹、芬、荷、卢、瑞典、西、匈)的项目占 93%, 其他经济欠发达的 12 国的项目很少。丹麦、德国、意大利、英国、法国、西班牙和荷兰 7 个国家占项目投资的 70%。另外, 按人均来说, 丹麦是投资智能电网项目最多的国家, 人均投资达到 30 欧元。丹麦也是最积极参与研发项目的国家, 支持了很多小型项目。

大约有 60 个项目属于合作的多国项目, 95% 的多国项目由欧盟资助。多数合作关系来自欧盟 15

国的国家组织之间,跨国项目的牵头组织几乎全部来自欧盟 15 国,西班牙、法国和德国对于多国项目最为积极。

1.3 项目参与机构的多样性

大部分项目都有不同的机构(如配电运营商 DSO、大学、研究中心、输电网运营商 TSO、通信和电信公司等)在不同程度上来参与,充分显示出参与机构的多样性。各类机构参与项目的比例如表 2 所示。

表 2 各类机构参与的项目数比例和投资比例		
Tab. 2 Participation by type of organization		
机构类型	参与项目数比例/%	投资比例/%
DSO	>80	55
大学/研究中心	>70	23
制造商	45	4
IT/电信	35	3
TSO	20	9
集结商/零售商	15	1
发电公司	10	<1

在所有项目中,DSO(配电运营商、配电网公司和能源公司)最具代表性,参与了 80% 以上的项目,并就投资方面来说走在了前面(占 55%),达到 10 亿欧元。大学/研究中心紧随其后,参与了 70% 的项目,投资达到 23%,在与其他组织进行合作方面,这些机构也是最活跃的。TSO 参与了 20% 的项目,主要研究课题有:输电网与配电网的配合,在输电网中集成需求侧管理,由配电网提供输电网辅助服务;不同输电网运营商的输电网协调运行新工具;大规模 RES 接入,包括预测工具等。TSO 的牵头项目约占 10%,主要由欧盟资助。IT 和电讯公司主要关注支持配电网运行的通信基础设施,研究课题与“集结”、“智能客户”和“智能家居”有关,重点是采用 ICT 技术实现灵活的发电(间歇性 DER 的接入,储能)和消费(家庭能量管理,客户参与)。制造商参与的项目主要在于新技术应用概念的开发和测试,比如 RES 和电网的优化与控制,DER 集成(光伏电站的电压控制,热泵和热水器的能效控制),储能设备的集成(燃料电池),数据交换平台等。集结商/零售商/服务供应商参与的项目数量十分有限,另外他们的参与也遇到了障碍,例如标准化的问题和法规的不确定性,因而无法深入参与提供给消费者的智能电网创新产品和服务。

2 智能电网项目的主要应用领域

JRC 报告将智能电网的技术应用分为以下几方面:智能电网管理、DER 集成、RES 集成、需求响应集成、智能家居和智能客户、EV 和其他(通信基

础设施,储能等)。各个应用领域的项目数比例和预算比例分别如图 3 和图 4 所示。

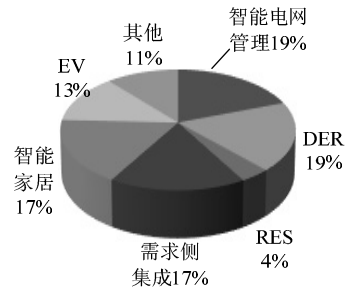


图 3 各类技术应用的项目数比例
Fig. 3 Proportion of the project number by technology applications

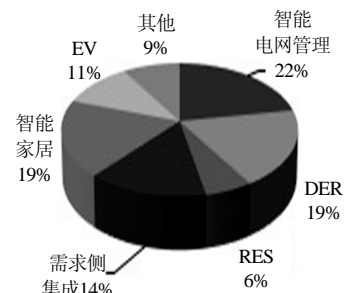


图 4 各类技术应用的预算比例
Fig. 4 Proportion of the project budget by technology applications

2.1 智能电网管理

这部分项目旨在提高电网的灵活性,如变电站自动化、电网监控等,特别关注的是改善中低压配电网的可观性和可控性。在这一技术层面,DSO 起到了主导作用。事实上,技术架构也是市场架构的基础(利用市场信号协调分散的客户行为和考虑网络约束条件)。通过新型的控制/自动化系统,提高电网的可观性和可控性,已得到广泛的肯定,以此可不断提高 DER 的接入容量。

改善电网可观性的研究主要包括:1) 提高智能电表水平,按照命令实时地收集和储存个别客户和客户群的特定质量和准确度的数据;2) 改善电网监视水平,以配合电网状态的易变性;3) 实时状态监测;4) 故障识别定位。总体来说,研究人员认为这方面的技术比较成熟。需要改善的是:标准化和互动性,尤其是相关的通信设施;输电网方面的可观性技术,包括泛欧电网的协调运行、仿真和状态估计的工具。

改善电网可控性的研究主要包括:1) 实施频率控制、无功控制和潮流控制的新功能;2) 可控的配电网配变电站,可控的换流器和充电站;3) 分布式发电和负荷智能控制器的开发与测试;4) 智能保护选择性;5) 智能自动网络重构,可靠的在

线分接头变换；6) 动态线路限值；7) 在中低压电网的重要配电变压器中，优化配置并使用电容器、无功控制设备和电力电子设备，以降低网损。研究人员认为电网控制技术已经比较成熟和有效了，需要改进的是网络安全性，从小规模项目到大规模应用的可扩展性问题。

2.2 RES 的大规模集成

这部分项目主要涉及输电网层面的大规模 RES 集成，包括：1) 可再生能源的规划、控制和运行的简易性及其市场集成；2) 配电网的需求侧管理和辅助服务的集成，以支持输电网运行；3) 预测 RES 发电出力的工具；4) 海上风电接入的离岸网。

2.3 DER 集成

这部分项目主要关注 DER 集成的控制方法、新型的硬件/软件解决方案，以保证系统的可靠性和安全性。

这些项目关注于技术的解决方案，比如：1) 以主动配电网的方式支持分布式电源(通过电压无功控制给予分布式电源相关的辅助服务)；2) 分布式发电的预测和有功/无功功率的测量以满足可观性；创新的分布式电源保护整定以防孤岛运行；3) 集中式和分布式(如代理式)的控制架构；4) 分布式发电与储能装置协同，进行电压控制和电压波动的调整 and 平衡；5) 将可控的分布式电源集结为技术性虚拟电厂和微电网结构。项目结果显示：分布式电源的技术解决方案变得十分一致。需要改善的是逆变器的灵活性，使得可再生能源能够提供的系统服务，具有成本效益。

项目结果同样也清晰地显示，DER 集成不仅仅需要技术解决方案，还需要如下几方面的重大发展：1) 需要一个监管框架及其相应的市场模式，提供基于分布式电源的相关辅助服务(例如，明确利益相关者的作用和责任，激励 DSO 运行技术性虚拟电厂)；2) 需要电网和市场的协调(在电网和市场平台之间)，例如，商业交易的技术有效性；3) 控制和通信技术的标准化，避免昂贵的定制配置。

2.4 集结机制

这一类项目关注集结机制(比如虚拟电厂和需求响应)的应用，以集结分散发电和需求等灵活资源，响应电网约束条件和市场信号，数据证实，大部分项目侧重于分布式 ICT 结构以协调分布式资源，提高需求及供电的弹性。

最近 5 a 的研究，主要集中于需求响应和虚拟电厂方面。在 2007 年之前，只有几个有限预算的项目致力于在实验室环境下的应用测试。之后，用

于集结应用的预算大幅度快速增长。ICT 公司逐渐加入集结项目，一些像 IBM 这样著名的参与者在一些主要的集结项目论证上十分积极。

早期(一直到 2008、2009 年)的项目主要关注技术的可行性(考虑网络变量和约束条件)。广泛采用分布式智能的多代理体系结构，进行技术性虚拟电厂的试验取得了成功(如通过协调 DER 进行电压调节)，证实了集结机制的技术可行性，这些技术将可应用于更大规模的电网。新建的一些大规模示范项目已推出试验性虚拟电厂(VPP)与市场信号和电网约束条件的协调技术(集结技术和商业化的 VPP)。有些示范项目在考虑电网约束条件和市场信号、考虑需求和供电弹性的情况下，测试了分布式客户的复杂协调机制。这个领域的主要挑战还有：

1) 分析集结计划的市场潜力；分析通过市场信号实现商业模式和客户参与的可能性。

2) 需求响应项目的关键问题是客户参与程度。简单的合同规则和财务的可预见性(例如，按月固定价格)可能会更加鼓励小规模分布式电源和客户参与。

3) 控制和通信的解决方案需要标准化，避免定制设施，从而有利于小规模客户的参与。

4) 考虑到未来需要协调成千上万的代理商，需要更多的试验来测试研发平台的可扩展性，尤其必须考虑实际的实时电网条件和市场信号。广泛的智能电表设施同样是集结分布式客户的关键因素。

5) 对于参与虚拟电厂的机组，需要清晰的监管条例。

6) 监管条例和市场障碍似乎是对集结客户的商业可行应用的主要障碍。例如，需要为系统运营商建立明确条例，用作灵活的供电/需求(需求响应)交互的技术验证；物理数据和市场数据交换情况下的技术/商业配置；清晰的市场角色和责任，以及成本和收益的公平共享；新的合同方式等。

需求响应在工业客户层面上是一个更加通行的应用，挑战主要集中在规模问题和特殊的工业要求。在未来使用 ICT 及不危害电网稳定性的条件下，分布式小型供电商的集结将是可行的。在能源市场里至少应该有一个新的市场功能——弹性运营者可以保证小型供电商的市场准入权，将他们的能源输出和灵活性捆绑为可进入市场的单元，提供给电力运营商和电力交易市场。

2.5 智能客户和智能家居

涉及智能客户和智能家居的项目，主要包括测试电价新方案的智能应用和家居自动化。这些项目

需要客户主动参与,目标在于分析客户的行为或培养客户参与。项目的主要教训包括:

1) 有些项目目的在于测试动态电价的预期结果(例如约有6%~8%的负荷浮动)。经济激励和教育导致显著的行为变化(约5%~10%的潜在能量节约),但是长期的可持续变化只可能通过自动化系统得到。

2) 动态电价(比如基于电价、预测、残余负荷、电网状态的变化)是调节需求与电网状态一致的最好方式,但是目前的固定电价阻止了客户发挥潜力。监管条例需要更新,与灵活的新机会相协调,通过智能电网技术提供的详细电网信息,可以形成弹性的电网费用。

3) 大多数项目认为能量管理系统是动态电价的必要补充。另外,需要复杂的算法给家居的智能家电进行优化配置并优化其运行。

4) 在可扩展性方面,广泛使用基于代理的技术,并已显示出令人满意的结果。

5) 目前没有广泛的标准化解决方案,依然不清楚哪一种通信方式和通信协议可以在市场中起到主导作用。这意味着必须使用高成本的定制装置。同时具有全远程控制功能的电器依然受到大型家用电器制造商的限制(终止一个循环可能影响质量),未来增加智能电器的新性能(比如自调整)将有可能起到有利的作用。

6) 智能家居应用方面,客户的抵制一直是一个重要因素。消费者害怕失去控制自己家庭电器的权力,对于新的电价和应用也表示出怀疑。

2.6 EV 及其应用

EV 项目主要关注 EV 和混合动力车在电网中的接入。这些研究致力于回答这样的问题:EV 怎样与当地的分布式电源合作以减少电网上的峰荷;在 EV 充放电的网络上,我们怎样获得最大利益;从经济和技术方面来看,EV 集成是否可行。这类项目的60%以上是从2010年开始实施,这一事实说明对于这个领域的兴趣在不断增长。

一些项目将 EV 的电网集成作为项目目标,这些项目的总预算约为1.9亿欧元,涉及到几百个电动汽车和充电站。大部分 EV 项目为小型预算项目(<1 000万欧元)。同时还有其他15个宽泛的智能电网项目包括了 EV,但是这些项目仅仅关注充电站的安装,没有提及 EV 的电网集成。调研显示,这一领域的工作很有希望,但仍然处于研究的初期阶段。

大多数 EV 项目致力于如下技术问题:1) 标准化和互动性;2) IT 架构,可认证的表计功能,客

户记账管理;3) 分析客户需要、充电时间和模式、电网负荷;4) 优化充电基础设施以满足不同类型、数量、地点、客户接受性的需要和网络加强成本。

分析显示,在冒险进入更复杂的应用之前,如汽车-电网(V2G)服务,目前重点是先确保充电和通信基础设施工程。目前还没有利用电动汽车提供系统服务、依据价格信号改变充放电循环的示范项目。目前市场上的充电桩也不支持 V2G 功能。

2.7 智能电网未来项目的主要研究方向

始于2012年的项目主要关注3个方面的应用:

1) 需求响应与客户参与,通过市场机制(需求响应,动态电价和家庭能量管理控制器)使客户主动参与网络运行,客户数目在以往的试点范围内(>1000)。对于大客户的需求响应已进行到了更成熟的阶段。

2) 使用储能作为电网灵活性的补充资源是2012年启动项目的关键主题之一,包括使用分布式储能的虚拟电厂和利用储能集成提高网络的灵活性;项目调查的内容仅仅关于其电网应用,并不关注储能技术的发展。虚拟电厂中应用储能(抽水蓄能,电池,飞轮)作为短期的负荷平衡,还有其他的项目涉及长期平衡的储能和研究其他的储能选择(比如氢能)。

3) 创新性电网技术和工具的开发,例如基于概率方法的运行动态仿真,此方法超越了目前的N-1方法,优化不同区域(国家、区域和泛欧)和不同的时间框架(48h,日前、日内、实时)的电网传输容量。

3 智能电表项目和用户参与情况

截至2012年5月,欧洲范围内的智能电表实施项目有90个。智能电表投资额已达40亿欧元,主要投资为意大利21亿欧元和瑞典15亿欧元。基于一些国家的正式承诺或浓厚兴趣,预计在2020年之前,欧盟27国至少安装1.7~1.8亿台智能电表,投资将达300亿欧元。

3.1 智能电表对客户的好处

安装智能电表的主要目的是提高网络侧的自动化和控制性能,满足客户的需求侧管理和能量管理应用的要求。调查显示,安装智能电表对客户的好处主要表现在以下几方面:

1) 节能。统计结果表明,能源节约可以达到2%~3%。对于激励能源节约和削峰填谷方面,户内显示器对于智能电表有着很好的补充。如果户内显示器的花费不大(大约几十欧元),其安装对于节能

来说是值得的。

2) 用于需求响应：接收数据，接收分时电价、动态电价和事件电价(特高与特低的电价)，从而在了解电网和市场条件的变化情况下，引起需求侧和电源侧的更大弹性。在一些实际示范项目中，分散的参与者参加了基于市场情况的自动谈判系统。对于一级和二级储备的市场弹性，还没有可能，但是事实上需求响应可以提供几近实时的能量平衡以及提供一些辅助服务(电压控制、频率控制、无功补偿等)。

3) 提供创新的客户服务：智能家居服务(家居能量管理和需求响应)和创新家居自动化服务。对于客户来说，智能电器、微发电和电动汽车可以变成具有经济吸引力的选择，有可能以较低的电费提高舒适度。

4) 提高客户在销售市场的竞争力：使得供应商的处理过程更便利；可以让客户按照自己的消费模式选择不同的服务和供应商；使得客户可以接收更加透明和准确的账单。

3.2 相关通信基础设施

调研显示，智能电表有3种适用的通信基础设施可选：电力线载波通信(PLC)，电话线和电缆通信(ADSL线，电视机电缆)和无线通信(手机，无线频道)。选择特殊的通信方式主要取决于就地条件。目前最广泛的使用方式为采用PLC作为配变站智能电表信息集中器的连接方式，或者采用移动通信技术(GSM/GPRS)作为数据管理系统集中器的连接方式。

另外，考虑到选择的通信设施不同，智能电表功能的不同，就地条件不同(比如，城市或农村，经济规模)，智能电表的造价依据国家和地区而有很大不同。数据显示，每个计量点的智能电表造价在100~400欧元之间，但其使用年限大约都是15a。

3.3 多用途的智能表计结构

项目中也包括了安装多用途智能电表的试点测试项目，这些电表可以共同使用一个公用的通信设备，进行电力、天然气、水的计量。这种结构要求多用途通信接口收集所有计量表的数据。但是，目前的数据显示，多用途表计的安装速度变慢了，大多数项目仅仅关注智能电表的安装。大家还不能确定多用途结构的盈利能力，尤其是水和气的额外花费能否由额外的盈利来抵消。

3.4 客户参与

客户参与是智能电网成功的保证。目前来说，愈来愈多的项目关注于客户参与，更多的多国项目

指出客户参与是智能电网的重点问题。客户参与的项目主要为示范项目，大部分项目关注的是居民客户群，但是客户参与的规模很有限，在2000户或更低的范围。专注于客户参与的项目牵头组织是DSO或与DSO相关的能源公司。DSO开发项目的目的在于了解客户的爱好和行为以及客户的决定对配电网运行的影响。集结商和零售商虽然与客户有互动的商业关系，但是似乎在这些项目中的作用有限。

激发客户参与的主要因素是降低电费和保护环境，但客户不愿参与项目的现象依然显著。参与项目的客户是典型的志愿者(如技术爱好者，绿色客户等)，在积极性和行为弹性方面，不具有大规模客户群的代表性。许多项目承认客户怀疑程度大，并强调与客户建立信任关系的重要性。在提高客户的意识和愿意利用智能电网的新功能方面，可信的第3方(独立机构，客户协会)可以扮演关键的角色。

4 待解决的问题

欧洲智能电网项目所遇到的主要障碍与中国的情况类似，主要与政策、社会或法规有关，而不是技术问题。因此理解和分享欧洲智能电网项目所遇到的困难，具有很大的价值，可以为我国未来新项目的设计提供帮助。主要涉及以下几个方面的问题：

1) 标准化问题。将成功的开发项目扩展到大规模实施时，标准化是其基础。目前的技术方案和设备主要还处于试点项目中，需要研究和开发网络运行的标准化工具，包括具有互动性的连接标准，智能电网设备的互动性标准，电动汽车通信标准，智能电网设备的通信标准，家庭路由器与智能电网应用的互动性标准等。

2) 监管障碍的问题。在新的智能电网应用中角色和责任的不确定性，共享成本和收益的不确定性，这些因素造成新商业模式的不确定性，从而也妨碍了投资。在试验性应用的大规模实施中，这是特别显著的障碍。

3) 监管条例和市场规则的问题。不同的监管条例和市场规则有着很重要的作用，将项目结果从一个国家转移到另一个国家可能会存在很大的障碍。

4) 客户不愿参与试验的问题。探讨如何吸引客户参与，是大家非常感兴趣的话题。

5) 有些新开发的设备不够成熟的问题。

5 结论

智能电网为各种具有深远影响的新应用打开了大门，并将决定国家或区域的能源发展和利用水平。在过去的十几年中，欧洲在智能电网方面进行

了大量的研究和投资,取得了一些成功经验和宝贵教训。本文总结了欧洲智能电网项目的主要应用范围及其问题,包括智能电网管理、RES集成、DER集成、集结机制、智能家居等,以及客户参与状况和有待解决的问题等。我国正处于智能电网的发展时期,本文的内容对于我国智能电网在功能布局、方案设计、项目实施以及处理客户关系等方面都将具有一定的参考作用。

参考文献

- [1] International Energy Agency, OECD. Technology roadmap smart grids[R]. Paris, France, 2011.
- [2] United States Department of Energy. Grid 2030: a national vision for electricity's second 100 year[R]. 2003.
- [3] EDSO, ENTSOE. The European electricity grid initiative: roadmap 2010-2018 and detailed implementation plan 2010-2012, EEGI[R]. 2010.
- [4] 刘振亚. 智能电网与第三次工业革命[N]. 科技日报, 2013-12-05.
- [5] United States Department of Energy. Smart grid system report[R]. 2009.
- [6] 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).
- [7] 张文亮, 刘壮志, 王明俊, 等. 智能电网的研究进展及发展趋势[J]. 电网技术, 2009, 33(13): 1-11.
Zhang Wenliang, Liu Zhuangzhi, Wang Mingjun, et al. Research status and development trend of smart grid[J]. Power System Technology, 2009, 33(13): 1-11(in Chinese).
- [8] 胡学浩. 智能电网: 未来电网的发展态势[J]. 电网技术, 2009, 33(14): 1-5.
Hu Xuehao. Smart grid: a development trend of future power grid[J]. Power System Technology, 2009, 33(14): 1-5(in Chinese).
- [9] 国网能源研究院. 2011 国内外智能电网发展分析报告[M]. 北京: 中国电力出版社, 2011: 1-5.
- [10] 国网能源研究院. 2012 国内外智能电网发展分析报告[M]. 北京: 中国电力出版社, 2012: 1-5.
- [11] 国网能源研究院. 2013 国内外智能电网发展分析报告[M]. 北京: 中国电力出版社, 2013: 1-4.
- [12] European Commission. Smart grid projects in Europe: lessons learned and current development[R/OL]. 2011[2013]. <http://ses.jrc.ec.europa.eu/>.
- [13] Giordano Vincenzo, Alexis Meletiou, Catalin Felix Covrig, et al. Smart grid projects in Europe: lessons learned and current developments-2013 update[R]. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2013.
- [14] European Renewable Energy Council. Renewable energy technology roadmap: 20% by 2020[R]. Brussels, Belgium, 2008.
- [15] EDOS-SG, ENTSO-E. The European electricity grid initiative: roadmap for public consultation[R]. 2012.
- [16] EDOS4SG, ENTSO-E, Grid+. European electricity grid initiative: research and innovation roadmap 2013-2022[R]. 2013.
- [17] EDOS4SG, ENTSO-E, Grid+. European electricity grid initiative implementation plan 2014-2016[R]. 2013.



张毅威

收稿日期: 2014-01-04。

作者简介:

张毅威(1961), 女, 博士, 研究领域为电力系统稳定与控制、配电系统规划与发展、智能配电网, E-mail: ywzhang@mail.tsinghua.edu.cn;
丁超杰(1991), 男, 本科, 研究方向为需求响应;
闵勇(1963), 男, 博士, 研究领域为电力系统分析、智能电网。

(责任编辑 李兰欣)