DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.200573

中国智能电网发展综述

张 瑶，王傲寒，张 宏

（陕西科技大学，陕西 西安 710021）

摘要：随着中国经济的进一步发展，电力负荷增长迅速，电网供电压力增大，传统电网已无法满足日益增长的电力需求。因此，建立统一坚强的智能电网是中国电网发展的方向。介绍了智能电网的背景和定义以及智能电网的基本信息；叙述了中国智能电网发展现状涵盖了目前国家对智能电网的政策、投资以及智能电网示范项目；分析了中国智能电网发展在政策投资、相关技术研究、基础设施建设、概念推广方面存在的问题。指出为在资源与环境的约束下提高电力生产效率，改善电力结构，以最小社会成本满足最大经济发展需求，中国智能电网的发展势在必行。

关键词：智能电网；相关技术；国家政策；投资；示范项目

Overview of smart grid development in China

ZHANG Yao, WANG Aohan, ZHANG Hong

(Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract: With the further development of China's economy, the power load is growing rapidly, the grid power supply pressure is increasing, and the traditional power grid can no longer meet the growing demand for electricity. Therefore, establishing a unified and strong smart grid is the direction of China's power grid development. This paper introduces the background and definition of the smart grid and its basic information, including its characteristics and those of related technologies. It describes the current status of smart grid development in China, covering current State policy, investment and smart grid demonstration projects. It analyzes the problems existing in China's smart grid development in policy, investment, related technology research, infrastructure construction, and concept promotion. It is pointed out that in order to improve power production efficiency under the constraints of resources and environment, as well as improving power structure, and meeting the maximum economic development demand with minimum social cost, the development of China's smart grid is imperative.

This work is supported by the Youth Science Fund Project of the National Natural Science Foundation of China (No. 51806133).

Key words: smart grid; related technologies; national policies; investment; demonstration projects

0 引言

近年来，随着对不可再生能源的大量开采，不可再生能源临近枯竭，同时使用传统能源造成的环境问题也日益严重。仅仅依赖攫取不可再生能源以促进中国经济发展的方式显然已不符合现如今中国的国情，以石油和煤炭为核心的化石能源时代注定在不远的将来宣告结束，新能源和化石能源互补的“混合能源时代”是中国在未来经济发展过程中要面临的新时代。为了适应即将到来的“混合能源时代”，中国亟需以新一轮技术革命、产业革命为支点，用更为科学的、环保的、可持续的发展模式来替代以往粗放的发展模式[1]。因此，为了保证电力系统在国民经济建设中继续发挥中流砥柱的作用，智能电网在中国迅速发展。同时，各类相关技术的快速发展也为智能电网的发展提供了基础和动力[2]。

相对于美国、日本等发达国家，中国智能电网技术起步较晚，从 2007 年 10 月，华东电网公司启动了智能电网可行性研究项目，到 2009 年 5 月国家

基金项目：国家自然科学基金青年科学基金项目资助（51806133）

电网对外公布“坚强智能电网”计划，智能电网才逐步成为中国电网发展的一个新方向[3]。经过数十年研究探索，智能电网在中国建设发展前景日趋明朗。

1　智能电网的背景和定义

随着社会的快速发展与进步，传统电网越来越不能满足人们的日益增长的需求。因此，在电网发展的瓶颈时期，亟需一个能够集能源资源开发、输送技术，传统电网已有的发电、输电、配电、售电功能，以及对终端用户各种电气设备和其他用能设施连接共享信息的数字化网络为一体的智能系统，这种智能系统在提高能源利用效率的同时还兼顾环境保护[3]。在这种情况下，智能电网的概念应运而生。

由于各国和地区经济发展状况不同，对建立智能电网的目标也存在差异，因此到目前为止对智能电网尚未有一个世界范围内的定义。各国和地区根据自身国情对智能电网的定义如表 1 所示。可以看出，现阶段中国智能电网建设的主要目标是协调各级电网，优化电力资源配置，最大限度提高电力资源利用效率，但在智能电网深度建设方面，与其他国家和地区还有一定差距。

表 1　各国(地区)智能电网定义

Table 1 Definition of smart grid in different countries (regions)

国家(地区)	智能电网定义
美国	用数字技术来提高从大型发电厂到电力用户的供电系统，以及越来越多的分布式发电和存储资电力系统的可靠性、安全性和效率(经济性和能源性)[4]
欧洲	可以智能地集成所有电力生产者和消费者的行为和行动，以保证电力供应的可持续性、经济性和安全性[5]
日本	一个可以促进更多地使用可再生和未使用的能源和本地产生的热能用于本地消费，并有助于提高能源自给率和减少二氧化碳排放，提供稳定的电力供应，并优化从发电到用户整个电网运行的系统[6]
中国	以特高压电网为骨干网架、各级电网协调发展的坚强电网为基础，利用先进的通信、信息和控制技术，构建以信息化、自动化、数字化、互动化为特征的统一的坚强智能化电网[7]

2　智能电网基本信息

2.1　智能电网特点

智能电网的特点主要有自愈性、可靠性、兼容性、高效性、交互性。表 2 将传统电网与智能电网相比较，对智能电网的特点进行了具体介绍。通过对比可以看出，相较于传统电网，智能电网不仅可以提供可靠、高效的电力保障，并且兼容各类设备的接入，进一步优化电力资源配置，同时，消费者的参与也使电网运营方式更加丰富。

2.2　智能电网相关技术

关键技术是支撑智能电网发电、输电、变电、配电、用电、调度六个环节流畅运行的基础，同时也是实现各个环节之间能量流与信息流互通的保障。在智能电网的运行中主要涉及以下四种关键技术。

表 2　传统电网与智能电网特点对比

Table 2 Comparison of characteristics between traditional power grid and smart grid

特点	传统电网	智能电网
自愈性	不能及时定位故障发生地点，供电恢复依赖于人工	对电网进行监控，降低故障发生几率；在故障发生后短时间内定位故障发生地点并自动隔离，避免大规模停电[8]
可靠性	可靠性差，倾向于大面积停电[9]	对电网运行状态的实时监控和评估，大大提高了电网抵御自然灾害和网络攻击的能力[10]
兼容性	大规模集中发电，不能适应小型分布式电源的接入[11]	兼容大量小型发电设备和储能设备的接入[12]
高效性	电网运行效率受人工、制度等多方面因素的影响	利用数字信息技术，可以动态优化电力资源配置，提高电网运行效率
交互性	终端用户只是单一的消费者，用户与电力公司的信息互动很少	用户可以实时了解电价以及用电信息从而合理安排用电，并且从单一的消费者转变成电力交易的参与者[13]

1) 输、配电系统技术

具有灵活的可重构的配电网络拓扑和实时识别系统异常信号并对故障进行预测以及在受到干扰后做出反应能力的电网是智能电网自愈功能的重要保障[14]。

2) 高级通信技术

为确保智能电网各设备、系统之间协调、有效、即插即用必须依赖于高效的通信技术。通信网络可简化设备的连接方式，实现各类设备的网络集成和信息共享[15]。

3) 分布式能源管理技术

对分布式电源、分布式储能系统等进行优化管理，减小分布式发电并网时对电网稳定性造成的影响，保证电网正常运行[16]。

4) 高级计量体系和需求侧管理

安装在用户端的智能电表、位于电力公司内的计量数据管理系统和连接它们的通信系统共同构成了高级计量体系。双向通信的智能电表使得用户可以根据实时电价和用电信息及时对室内用电负荷进行控制，达到需求侧管理的目的[17]。

3　中国智能电网发展现状和成果

为促进中国智能电网的发展，国家出台了一系列相关政策，积极推进各方对智能电网的投资，经过数十年的发展中国在特高压输电等方面取得了一系列成果，建成了一批智能电网综合示范项目。

3.1 相关政策

2009 年国家电网公司将中国“坚强智能电网”的建设分为了规划试点、全面建设和引领提升三个阶段[18]。在此之后，中国相继出台一系列支持引导智能电网发展的政策。表 3 总结了部分中国政府对智能电网的政策支持情况。可以看出，各类相关政策的出台，一方面在一定程度上引导了中国智能电网的发展方向，另一方面也促进了智能电网相关项目的建设。未来，“坚强智能电网”的全面建成亟需一些针对性政策及明确的智能电网发展框架体系。

表 3 中国支持智能电网政策

Table 3 China's support policies for smart grid

日期	政策	主要相关内容
2012.07	《需求侧管理城市综合试点项目》，财政部	为实施需求侧管理的城市予以补贴[19]
2015.05	《中国制造 2025》，国务院	推进新能源和可再生能源装备、先进储能装置、智能电网输变电及用户端设备发展[20]
2015.08	《关于加快配电网建设改造的指导意见》，国家发展改革委	解决配电网薄弱问题，提高新能源接纳能力[21]
2015.10	《关于加快电动汽车充电基础设施建设的指导意见》，国务院	加快电动汽车充电基础设施建设[22]
2017.01	《“十三五”节能减排综合工作方案》，国务院	开展工业领域电力需求侧管理专项行动，推动可再生能源在工业园区的应用，将可再生能源占比指标纳入工业园区考核体系[23]
2018.09	《关于加强电力行业网络安全工作的指导意见》，国家能源局	坚持新能源、配电网及负荷管理等领域智能终端、智能单位安全[24]
2019.06	《国家发展改革委关于全面放开经营性电力用户发用电计划的通知》，国家发展改革委	积极支持中小用户由售电公司代理参加市场化交易[25]
2020.03	《关于加快建立绿色生产和消费法规政策体系的意见》，国家发展改革委	促进能源清洁发展，建立健全可再生能源电力消纳保障机制[26]

3.2 投资

经济基础决定上层建筑，目前中国智能电网的投资主要来自国家电网公司。2009—2020 年国家电网预计投资电网相关项目 3.45 万亿元，其中智能化投资 3 841 亿元，占电网总投资的 11.1%[27]。图 1 显示了 2009—2020 年中国电网年均总投资与智能化投资的趋势。可以看出，年均智能化投资占年均电网投资的比例呈上升趋势，表明智能电网是国家电网建设的重点方向。

智能电表和用电信息采集系统产品作为智能电网建设的关键终端产品之一，对于电网实现信息化、自动化、互动化具有重要支撑作用。中国对于智能电表的投资力度主要展现在智能电表的招标数量上。图 2 显示了 2011—2017 年国家电网智能电表安装数量。

自 2009 年国家电网发布智能电网规划以来，国家电网大幅增加智能电表招标数量，智能电表覆盖率逐年提高。截至到 2018 年 5 月国网公司已累计安装超过 4.57 亿只智能电表，覆盖了 99.57%的用户。对于电表这种强制检定设备，规定更换周期一般为 8 年，即 2018 年后将迎来大规模智能电表更换。预计“十三五”期间，两网公司将招标 5.03 亿台智能电表，其中 4.63 亿台为更换需求[28]。

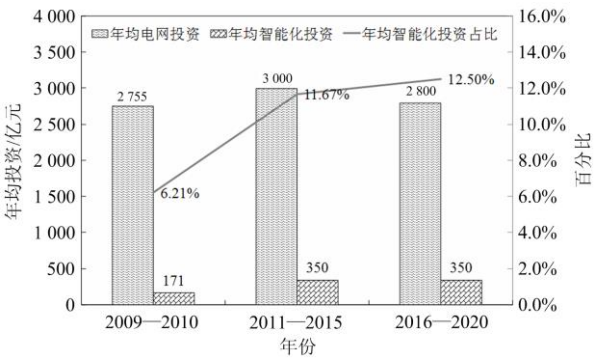


图 1 2009—2020 年中国电网年均总投资与智能化投资趋势图

Fig. 1 Annual average grid and intelligent investment from 2009 to 2020

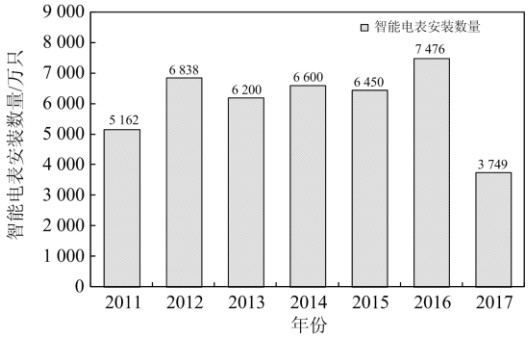


图 2 2011—2017 年国家电网智能电表安装数量图

Fig. 2 Installation number of smart meters installed by SGCC from 2011 to 2017

3.3 项目和成果

经过数十年建设发展，中国特高压网络已初具规模，各类试点工作也在有条不紊开展。

1) 特高压(Ultra-High Voltage, UHV)

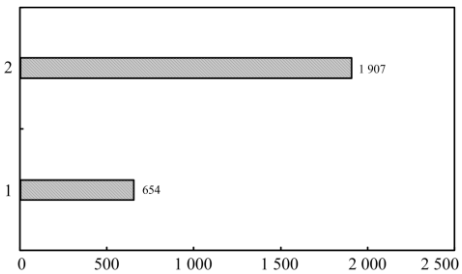
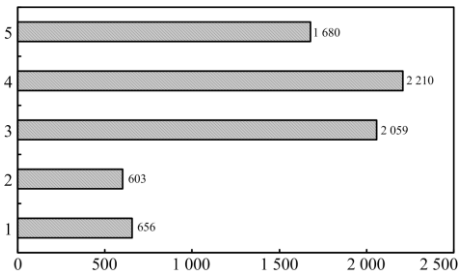
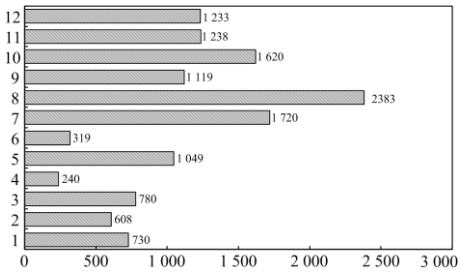
截至 2019 年 6 月，特高压建成“九交十直”、核准在建“三交一直”工程，建成和投运特高压工程线路长度达到 2.75 万公里、变电(换流)容量超过 2.96 亿 kVA(kW)。特高压输电通道累计送电超过 11 457 亿 kWh，在保障电力供应、促进清洁能源发展、提升电网安全水平等方面发挥了重要作用[29]。表 4 介绍了中国特高压示范项目的主要情况，图 3 介绍了 2009—2019 年中国特高压线路发展、建设概况。经过数十年发展，中国建设了近二十条不同长度，跨越不同地区的交直流特高压线路，积累了宝贵经验，并且区域网络化特高压线路已初具规模。

2) 综合示范项目

为了智能电网技术的大规模普及应用，促进“智慧城市”的发展，中国选取了一些地区作为试点，建成了中新天津生态城、上海世博园等一批智能电网综合示范项目，首批 55 个“互联网+”智慧能源(能源互联网)示范项目大部分已验收通过或正在验收。表 5 对首批“互联网+”智慧能源(能源互联网)部分示范项目进行了简要介绍[30]。

表 4 中国在运特高压线路

Table 4 China's in-operation UHV lines

年份	项目	长度/km	电压等级/kV	项目效益
2009—2012	两条线路 (晋东南-南阳-荆门 向家坝-上海)		交流：1 000	中国特高压线路建设的开端 为之后特高压线路建设 提供宝贵的经验
2012—2015	五条线路 (淮南-浙北-上海 锦屏-苏南，等)		交流：1 000 直流：±800	逐渐掌握核心技术，特高压 进入快速发展阶段
2015—2019	十二条线路 (锡盟-山东 宁东-浙江，等)		交流：1 000 直流：±800	更好地促进中国西部和北部的 能源消耗，并确保中国东部 能源消费中心供给

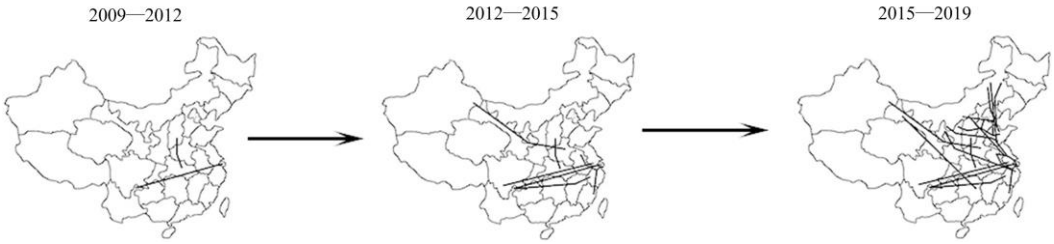


图 3 2009—2019 年中国特高压线路发展、建设示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the development and construction of China's UHV lines from 2009 to 2010

表 5 首批“互联网+”智慧能源(能源互联网)部分示范项目

Table 5 The first batch of "Internet +" smart energy (energy internet) partial demonstration projects

项目名称	项目位置	项目概况
支持能源消费革命的城市—园区双级“互联网+”智慧能源示范项目	广东珠海	作为首个通过验收的项目，珠海国家能源互联网示范工程围绕珠海全市及两个园区展开，按照“物理层、应用层、信息层”分层示范建设
北京延庆能源互联网综合示范区	北京延庆	通过多场景，多层面，多模式开展城市能源互联网综合示范
崇明能源互联网综合示范项目	上海崇明	涵盖了在崇能源企业和在沪的众多能源互联网相关企业共同参与，覆盖了崇明三岛的能源供应、输配单位和各类能源用户
江苏大规模源网荷友好互动系统示范工程	江苏	变革电网互动模式，将传统单一的源随荷动模式转变为“源随荷动、荷随网动”的友好互动模式，建立全时间尺度大规模源网荷友好互动技术体系
浙江嘉兴城市能源互联网综合试点示范项目	浙江嘉兴	实现清洁能源、高效电网、低碳建筑、智慧用能、绿色交通的广泛开放互联，实现电网侧与消费侧的绿色共享

(1) 中新天津生态城智能电网示范工程

位于天津滨海新区的中新天津生态城智能电网综合示范工程是中国智能电网标志性的综合示范工程，自建成投运以来，生态城供电可靠率可达 99.999%，电压合格率可达 100%，综合线损率降低 1.18%，保证了用户的用电可靠性[31]。中新天津生态城智能电网项目主要包括 5 个发电侧项目，5 个电网侧项目和 7 个用户侧项目[32]，如图 4 所示。

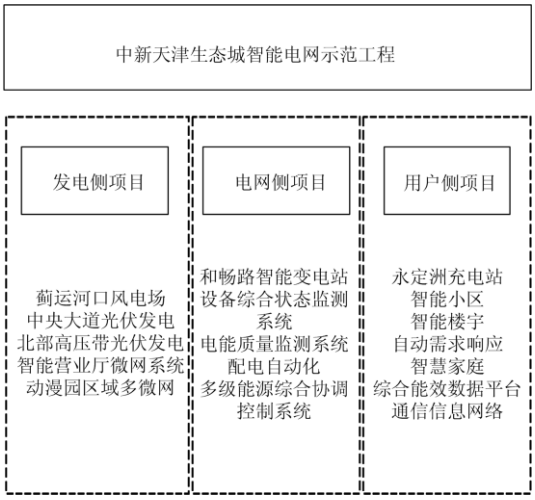


图 4 中新天津生态城智能电网主要项目

Fig. 4 China-Singapore Tianjin Eco-City smart grid main projects

(2) 上海世博园智能电网示范工程

上海世博园智能电网示范工程是国家电网第一批智能电网示范工程[33]，此工程包含了新能源接入、储能系统、智能变电站、配电自动化系统、故障抢修管理系统、电能质量监测、用电信息采集系统、智能家居及智能用电小区/楼宇、电动汽车充放电站 9 个项目[34]，如图 5 所示。

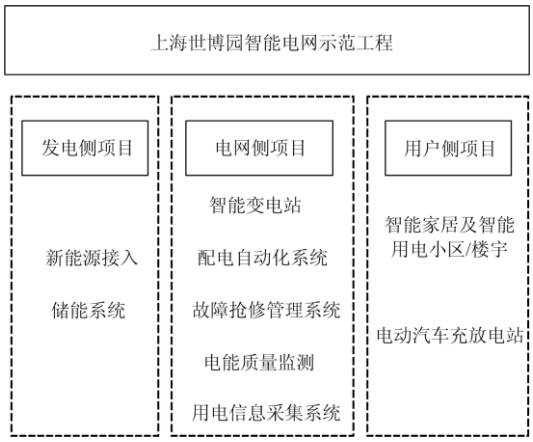


图 5 上海世博园智能电网示范工程

Fig. 5 Shanghai Expo Park smart grid demonstration project

各类智能电网综合示范项目的推进不仅可以检验数十年来中国在智能电网领域的理论研究成果，

验证其未来在中国可以进一步发展的可能性，还可以为之后智能电网工程的建设提供经验和参考，为大规模智能电网及智慧城市在中国的建设与运营建立一系列相关标准体系。另外，智能电网综合示范项目所带来的一系列经济和环境效益，一方面是对智能电网概念的有力推广，另一方面也可以吸引更多投资到中国智能电网的建设项目中来。

4　中国智能电网发展需要解决的问题

按照国家电网提出的规划，中国对智能电网的建设已经进入到第三阶段，虽然在各个方面都取得了长足的发展，但与完全的坚强智能电网还有着一定的差距。目前中国智能电网发展主要有政策投资、相关技术、基础设施、概念推广四个方面的问题亟需解决[35]。

4.1 政策投资

智能电网的建设在中国经济的发展中处于基础性战略地位，为了引导智能电网建设的发展，中国政府出台了大量的政策。但是到目前为止出台的政策并没有对智能电网的建设有明确的指引，大多数政策都是与新能源以及环境保护有关，只是在其中涉及到了智能电网。在投资方面，目前中国对于智能电网投资方式比较单一，主要是由国家电网公司进行建设，未来智能电网建成后带来的效益也必然是属于国家电网，私人资金难以加入，也降低了一部分投资者对于智能电网的积极性。

4.2 相关技术

各类相关技术是智能电网建设的有力支撑，但目前中国相关技术的发展还无法支持未来智能电网的正常运行。问题主要体现在以下几个方面，首先在输、配电系统技术方面，中国在电网故障的检测、定位技术方面已取得了一定成果，但电网的自动修复目前还无法实现；其次在高级通信技术方面，目前中国电网与互联网的结合、运作并不完善，互联网方便、快捷的优势在电网运行中体现不明显，另外，中国部分地区的互联网通信发展也相对落后；在分布式能源管理技术方面，大规模的分布式发电并网对电网潮流、电压及运行稳定性的影响也亟需解决；最后，目前中国还未能普及可以实现双向通信及实时显示各类用电信息的智能电表，这也是未来需求侧管理项目发展过程中所需解决的问题。

4.3 基础设施

智能电网的自愈性是建立在大规模分布式电源投入使用的基础上的，未来智能电网运行过程中，大规模分布式电源的接入是电网可靠性的保障。然而目前中国小型风电、小型光伏以及小型热电联产设备并没有开始普及。在电网自身方面，部分老旧电网无法承受大量分布式电源的接入，亟需升级改造。并且作为“坚强智能电网”骨干的特高压线路距离真正意义上的网络化还有一定差距。

4.4 概念推广

智能电网在中国的起步较晚，大多数人对于未来智能电网对于节约资源和保护环境以及带来的经济利益没有一个深入的认识，对于分时电价、实时电价等电价新形式没有概念。因此如何将智能电网的概念在社会中推广开来，特别是鼓励更多的终端用户参与到需求侧管理项目中来，也是中国智能电网建设过程中不能忽略的一个方面。

5　总结

对于以上四个方面的问题，在接下来智能电网的建设过程中，可以从以下几个方面进行改进：(1) 在政策方面，中国政府应明确智能电网的相关标准，出台专项政策，制定更加具体的智能电网发展路线。在投资方面，吸引社会资金的加入，不仅可以促进中国经济的发展，缓解国家电网公司压力，也可以让智能电网的概念得以推广。(2) 在已有电网故障检测定位的基础上对电网自动修复功能进一步研究，形成一套完整的电网自愈系统。在通信技术方面，可以借助中国 5G 通信发展的优势，将先进的通信技术应用到智能电网的建设中，增强电力公司和终端用户双向交流的能力。(3) 未来分布式电源想要大规模普及主要涉及到两个方面，其一是分布式电源设备本身，既要保证风力和光伏发电设备的小规模化，以方便终端用户的安装，又要保证设备的发电效率是未来中国分布式电源设备制造企业研究的方向；其二，要让终端用户从中受益，大范围设备的安装才可以顺利进行。在新老电网的过渡方面，目前中国特高压线路的建设数量还不能满足智能电网建设的需求，加快特高压线路的建设，最终使大量的特高压线路连接成坚强的特高压网络，是坚强智能电网的基础。最后，加强对智能电网的宣传，建设更多的智能电网示范工程，让用户参与到建设中来，对于智能电网概念的推广有积极作用。

显然，智能电网在中国良好的发展前景是不可否认的。本文介绍了智能电网相关信息及目前中国智能电网发展现状，还指出了中国在政策投资、相关技术研究、基础设施建设、概念推广方面存在的问题并给出相应建议。目前，在智能电网研究方面中国与欧美等发达国家还有一定差距。因此，加强与发达国家的交流，开放中国电力市场，积极引入国外先进技术对于中国特色坚强智能电网体系的建

成也是至关重要的。

参考文献

[1] 曾鸣, 杨雍琦, 刘敦楠, 等. 能源互联网“源-网-荷-储”协调优化运营模式及关键技术[J]. 电网技术, 2016, 40(1): 114-124.
ZENG Ming, YANG Yongqi, LIU Dunnan, et al. “Generation-grid-load-storage” coordinative optimal operation mode of energy internet and key technologies[J]. Power System Technology, 2016, 40(1): 114-124.

[2] 宋璇坤, 韩柳, 鞠黄培, 等. 中国智能电网技术发展实践综述[J]. 电力建设, 2016, 37(7): 1-11.
SONG Xuankun, HAN Liu, JU Huangpei, et al. A review on development practice of smart grid technology in China[J]. Electric Power Construction, 2016, 37(7): 1-11.

[3] 罗明志. 智能电网综述[J]. 中国电力教育, 2010(16): 239-242.
LUO Mingzhi. Survey on smart grid[J]. China Electric Power Education, 2016, 37(7): 1-11.

[4] 刘振亚. 智能电网知识读本[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.

[5] Assessing smart grid benefits and impacts: EU and U.S. initiatives[EB/OL]. [2019-01-01]. https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/eu-us_smart_grid_assessment-final_report-online_version.pdf. 2019.

[6] Japan Smart Community Alliance[EB/OL]. [2019-05-10]. https:// www.smart-japan.org/english/2019.

[7] 李兴源, 魏巍, 王渝红, 等. 坚强智能电网发展技术的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(17): 1-7.
LI Xingyuan, WEI Wei, WANG Yuhong, et al. Study on the development and technology of strong smart grid[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(17): 1-7.

[8] 静恩波. 智能电网发展技术综述[J]. 电工文摘, 2010(3): 1-5.
JING Enbo. Overview of development and technology of smart grid[J]. Electrical Engineering Abstracts, 2010(3): 1-5.

[9] 罗剑波, 郁琛, 谢云云, 等. 关于自然灾害下电力系统安全稳定防御方法的评述[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(6): 158-170.
LUO Jianbo, YU Chen, XIE Yunyun, et al. A review on risk assessment of power grid security and stability under natural disasters[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(6): 158-170.

[10] 王昊昊, 罗建裕, 徐泰山, 等. 中国电网自然灾害防御技术现状调查与分析[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(23): 5-10, 118.
WANG Haohao, LUO Jianyu, XU Taishan, et al. Questionnaire survey and analysis of natural disaster defense techniques of power grids in China[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(23): 5-10, 118.

[11] 谈竹奎, 程乐峰, 史守圆, 等. 能源互联网接入设备关键技术探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(14): 140-152.
TAN Zhukui, CHENG Lefeng, SHI Shouyuan, et al. Discussion on key technologies of energy internet access equipment[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(14): 140-152.

[12] 廖怀庆, 刘东, 黄玉辉, 等. 基于大规模储能系统的智能电网兼容性研究[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(2): 15-19.
LIAO Huaiqing, LIU Dong, HUANG Yuhui, et al. A study on compatibility of smart grid based on large-scale energy storage system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(2): 15-19.

[13] 张钦, 王锡凡, 王建学, 等. 电力市场下需求响应研究综述[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(3): 97-106.
ZHANG Qin, WANG Xifan, WANG Jianxue, et al. Survey of demand response research in deregulated electricity markets[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(3): 97-106.

[14] 静恩波. 智能电网发展技术综述[J]. 低压电器, 2010(6): 14-18.
JING Enbo. Overview of development and technology of smart grid[J]. Low Voltage Apparatus, 2010(6): 14-18.

[15] 马韬韬, 李珂, 朱少华, 等. 智能电网信息和通信技术关键问题探讨[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(5): 87-91.
MA Taotao, LI Ke, ZHU Shaohua, et al. Discussion about information and communication technology of smart grid[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(5): 87-91.

[16] BADAL F R, DAS P, SARKER S K, et al. A survey on control issues in renewable energy integration and microgrid[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2019, 4(1): 87-113. DOI: 10.1186/s41601-019-0122-8.

[17] 余贻鑫, 栾文鹏. 智能电网[J]. 电网与清洁能源, 2009, 25(1): 7-11.
YU Yixin, LUAN Wenpeng. Smart grid[J]. Power System and Clean Energy, 2009, 25(1): 7-11.

[18] 于钊, 刘建坤. 坚强智能电网应关注的问题和关键技术[J]. 电力系统通信, 2010, 31(10): 1-5.
YU Zhao, LIU Jiankun. Major issues and key technologies to a strong and smart grid in China[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2010, 31(10): 1-5.

[19] 中华人民共和国财政部. 城市需求侧管理综合试点项

目[R]. 北京: 中华人民共和国财政部, 2012.
[20] 中国国务院. 中国制造 2025[R]. 北京: 中国国务院 2015.
[21] 中华人民共和国发展和改革委员会. 关于加快配电网建设改造的指导意见[R]. 北京: 中华人民共和国发展和改革委员会, 2015.
[22] 中国国务院. 关于加快电动汽车充电基础设施建设的指导意见[R]. 北京: 中国国务院, 2015.
[23] 中国国务院. “十三五”节能减排综合工作方案[R]. 北京: 中国国务院, 2017.
[24] 国家能源局. 关于加强电力行业网络安全工作的指导意见[R]. 北京: 国家能源局, 2018.
[25] 国家发展改革委. 关于全面放开经营性电力用户发用电计划的通知[R]. 北京: 国家发展改革委, 2019.
[26] 国家发展改革委. 关于加快建立绿色生产和消费法规政策体系的意见[R]. 北京: 国家发展改革委, 2020.
[27] 国家电网公司. 国家电网智能化规划总报告(修订稿)[R]. 北京: 国家电网公司, 2010.
[28] 葛晓旭, 张钰. 互联网+智能电表发展前景分析及市场容量预测[J]. 黑龙江电力, 2020, 42(1): 56-60.
GE Xiaoxu, ZHANG Yu. Development prospect analysis and market capacity prediction of internet plus smart meters[J]. Heilongjiang Electric Power, 2020, 42(1): 56-60.
[29] 国家电网公司. 特高压[EB/OL]. [2017-04-12]. http://www.sgcc.com.cn/html/sgcc_main/col2017041259/column_2017041259_1.shtml?childColumnId=2017041259.
[30] 国家能源局. 关于开展“互联网+”智慧能源(能源互联网)示范项目验收工作的通知[R]. 北京: 国家能源局, 2019.
[31] 谢开, 刘明志, 于建成. 中新天津生态城智能电网综合示范工程[J]. 电力科学与技术学报, 2011, 26(1): 43-47.
XIE Kai, LIU Mingzhi, YU Jiancheng. Summary on smart grid integrate demonstration project of Sino-Singapore Tianjin Eco-City[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2011, 26(1): 43-47.
[32] 姜琳. 《天津中新生态城智能电网主题展馆讲解词》英译实践报告[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2016.
[33] 滕乐天. 建设智能电网的实践和深入思考[J]. 供用电, 2010, 27(5): 1-4, 14.
TENG Letian. Implementation and deep consideration on construction of smart grid[J]. Distribution & Utilization, 2010, 27(5): 1-4, 14.
[34] 滕乐天. 上海世博园智能电网综合示范工程[C] // 中国电机工程学会可靠性专业委员会、城市供电专业委员会 2010 年学术年会论文集, 2010, 中国, 上海: 1-12.
[35] 余贻鑫. 智能电网实施的紧迫性和长期性[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(17): 1-5.
YU Yixin. Urgency and long-term nature of smart grid implementation[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(17): 1-5.

收稿日期：2020-05-22；　**修回日期：**2020-08-23

作者简介：

张　瑶(1990—)，女，博士，副教授，硕士生导师，主要从事智能社区体系构建及其商业化模型研究等。

(编辑　魏小丽)