

欧洲能源电力发展路线研究

孙蔚^{1,2}, 申洪^{1,2}, 侯金鸣^{1,2}, 周勤勇³, 张彦涛³

(1. 全球能源互联网发展合作组织, 北京市 西城区 100031; 2. 全球能源互联网集团有限公司, 北京市 西城区 100031; 3. 中国电力科学研究院有限公司, 北京市 海淀区 100192)

Research on European Roadmap for Energy and Electrical Technology

SUN Wei^{1,2}, SHEN Hong^{1,2}, HOU Jinming^{1,2}, ZHOU Qinyong³, ZHANG Yantao³

(1. Global Energy Interconnection Development and Cooperation Organization, Xicheng District, Beijing 100031, China;
2. Global Energy Interconnection Co., Ltd., Xicheng District, Beijing 100031, China;
3. China Electric Power Research Institute, Haidian District, Beijing 100192, China)

摘要: 为在能源转型过程中更准确研判能源形势、科学制定能源政策, 分析了欧盟能源电力政策, 以便为我国制定能源政策提供参考。首先总结了三代能源改革方案、2030 气候与能源框架协议以及战略能源计划等欧盟的能源政策与战略, 分析了部分发展目标对欧盟输电运营商联盟制定十年规划的影响, 展望了未来直流输电相关的关键技术。通过分析, 提出欧盟能源电力政策对我国的启示: 立法先行、考虑革命性技术对电力负荷的影响、加强直流技术储备。

关键词: 能源改革方案; 气候协定; 智能电网; 碳中和; 超级电网

ABSTRACT: In order to study the energy situation more accurately and formulate energy policies scientifically in the process of energy transition, this paper analyzed the European Union (EU) energy and power policy, which provides reference for our country to make energy policy. Firstly, the energy policies of EU including Energy Package, 2030 Climate-energy Package and Strategic Energy Technology Plan were summarized. Secondly, the relationship between ten-year network development plan and the transmission part of roadmap were studied. At last, the key technologies related to future DC transmission were prospected. According to the analysis, this paper presents that the main implication of EU policy on Chinese energy and electrical policy is as follows: legislation should be done first, the effect of revolutionary technology on load forecasting should be considered, and the technical reserve of DC transmission should be strengthened.

基金项目: 国家自然科学基金项目(U1766201)。

Project Supported by National Natural Science Foundation of China (U1766201).

KEY WORDS: energy reform programme; climate agreement; smart grid; carbon neutral; super-grid

0 引言

工业革命以来, 化石能源的大量开发和使用, 在推动经济社会发展的同时也带来环境污染、气候变化等问题, 严重威胁人类的生存和发展。地表平均气温较工业革命前上升 1°C , 经预测, 要将全球温升控制在 2°C 以内, 到 2050 年, 全球的温室气体减排量需达到 1990 年的 80%^[1-2]。为此, 世界各国和地区相继制定了能源气候目标, 大力开发和利用清洁能源代替传统化石能源, 减少温室气体排放。大部分清洁能源需要转化成电能进行传输和利用, 而大量波动性清洁能源接入电网会给传统电力系统的运行控制带来挑战^[3-7]。相应地, 各国也制定了未来电力系统规划、电力市场建设以及电力相关创新技术发展的路线。推动能源转型、实现可持续发展, 已成为各国共识和共同行动。全球 140 多个国家出台了清洁能源发展政策^[8]。2020 年 9 月 22 日, 中国国家主席习近平在七十五届联合国大会一般性辩论上提到要努力争取 2060 年前实现碳中和, 这意味着从 2020 年到 2060 年这 40 年间, 中国的碳排放要从每年的 160 亿 t 降低到几乎不排放。清洁能源的合理健康有序发展与相关政策的推动有较强关系。我国目前正处在能源转型过程中, 这对于更准确研判能源形势、科学制定能源政策提出了新要求、

新标准。因此,我国能源政策和电力规划的制定者需要积极研究先进清洁能源相关政策的有效性、合理性和可行性,为我国能源政策和电力规划的制定奠定基础。

截止到2017年年底,全球清洁能源装机总量达到21.79亿kW,发电量6.08亿kW·h,占全球总发电量的24.5%^[9-10]。由于电力基础设施完善、电力市场经验成熟,欧洲成为可再生能源发电增长较快的地区。德国、英国、丹麦等国家的可再生能源发电量屡创新高。2019年,欧洲清洁能源装机新增容量为3527万kW,总装机容量达到5.73亿kW,占全球清洁能源装机容量的22.6%^[9]。欧盟在能源电力政策制定、电力系统规划、电力技术创新发展等方面都有丰富的经验,欧盟清洁能源发展取得的成绩与欧盟积极的能源政策、严谨的技术路线密切相关。

本文重点分析了在能源政策的推动下,欧盟制定的输配电技术发展路线和欧盟输电网运营商联盟(ENTSO-E)以及相关研究团体制定的输电网技术创新发展路线和未来直流电网技术发展路线。分析了电力发展路线对规划的影响,总结了欧盟在能源电力发展中的经验,提出了欧盟政策措施对我国能源政策及电网规划的借鉴作用。

1 欧盟能源电力发展路线

1.1 欧盟能源政策

欧盟的能源政策主要有3个驱动力:长期的气候目标、降低欧洲温室气体排放和欧洲经济“去碳化”。围绕这3个目标,20世纪90年代初期,欧盟委员会为欧盟统一的能源市场设计并制定了规则框架,旨在为能源消费者提供持续、安全以及经济的能源。欧盟能源市场经历3轮立法,出台了著名的“能源改革方案”,能源改革方案旨在提高欧盟能源市场的功能,解决能源结构问题。3轮“能源改革方案”的制定深刻影响了欧盟能源系统,尤其是电力系统,促使电力市场参与者(发电商、电力交易机构、辅助服务机构)与市场规则制定者(输电网运营商联盟TSO和配电网运营商DSO)以及国家监管机构(NRAs)和欧盟的能源监管合作机构(ACER)相继参与到市场中^[11-14]。

1) 第一代能源改革方案。

20世纪90年代,为解决能源部门(电力和天然气)的分拆问题,欧盟制定了第一代能源改革方案。

2) 第二代能源改革方案。

2000年初,欧盟制定了第二代能源改革方案,更新了能源市场(电力和天然气)的功能,促进了可再生能源发展和跨区电力交易。在该政策影响下,根据欧盟的绿色能源文件《欧洲战略——可持续、有竞争力且安全的能源》^[15],欧盟委员会于2006年开始制定战略能源计划(SET Plan)^[16],旨在加速欧盟从传统能源向清洁能源转型。此后,根据欧盟的能源发展情况,不定期调整该计划,并对计划执行情况进行总结^[17]。

2007年3月,欧盟理事会提出到2020年温室气体排放至少比1990年的排放水平减少20%;可再生能源占比至少达到20%。欧盟委员会要求每一个成员国依据其人均GDP制定具体减排目标。此外,还允许成员国按《京都议定书》的规定,使用国际减排额度,最高限制为2005年排放量的3%^[12]。

3) 第三代能源改革方案。

2009年年底,欧盟制定了第三代能源改革方案,为欧盟内部电力和天然气市场制定了规则,如跨区电力交易准入条件。在该政策的影响下,欧盟制定了一系列的相关规划:

2011年,欧盟发布了能源领域的长期规划《能源路线图2050》,提出到2050年实现欧盟经济“去碳化”达到1990年的80%~95%,坚持继续提高能源效率、发展可再生能源、新建能源基础设施、增加储能容量以及促进科研技术创新。该规划与欧盟委员会2007年提出的2020可再生能源政策一致。

2014年,欧盟委员会制定了《2030年气候与能源框架协议》,欧盟各成员国达成一致意见,要求到2030年实现可再生能源占比达到27%,能源效率提高27%,温室气体排放水平降低到1990年排放水平的40%,欧盟内部电力市场互联比例达到15%。该能源改革方案提出了5条相辅相成、紧密联系的政策。政策主要涉及能源安全、团结

和互信、欧盟能源市场整合、提高能源效率从而缓和能源需求、“去碳化”经济和研究创新计划。

2014 年, 欧盟委员会更新了《综合战略能源计划》^[18], 该计划旨在研究高效且兼具经济性的低碳技术。2015 年, 欧盟委员会再次更新了战略能源计划, 发布《战略能源计划 2007—2017》^[19]。该计划定义了新的管理架构和 10 项重要活动。其中活动 3(发展智能家居技术和服务)和活动 4(增加能源系统的弹性、安全性和智能性)对电力系统影响较大。

2018 年 6 月, 欧盟更新了气候与能源框架协议。欧盟委员会、欧洲议会、欧盟理事会签署协议, 将可再生能源占能源消费比例的目标定在 32%^[20]。

1.2 欧盟电力发展路线

在欧盟能源政策的推动下, 为发挥电力技术对实现欧洲能源转型目标的支撑作用, 欧盟设立了智能电网技术创新平台, 联合欧洲输电运营商联盟(ENTSO-E)、配电运营商联盟(EDSO)、欧洲储能协会(EASE)、Technofi 等组织定期发布科技创新路线, 指导欧洲电力技术发展。最新版的《智能电网研究与创新路线 2017—2026》发布于 2016 年年底。该路线研究了欧盟气候和能源政策对欧盟电力系统发展的影响, 尤其是对电网运营商的影响, 并针对输电技术制定了 21 项(T1—T21)技术创新发展目标, 针对配电技术制定了 14 项(D1—D14)技术创新发展目标。此外, 在发展路线的基础上, 该组织还定期发布执行计划, 用于指导相关单位或组织通过执行实际项目推动发展战略落地^[21]。

新版路线分析了欧盟在能源转型过程中面临的挑战, 主要有可再生能源大规模接入、终端能源消费的电能替代、电网与其他能源网络相互影响、欧洲内部能源市场整合等。电力系统面临的挑战是波动性电源增多、电动汽车以及热泵等新型负荷增加、泛欧洲电力系统的整合以及欧盟内部能源市场的充足性和安全性。对于输电网运营商(transmission system operator, TSO), 未来应利用交直流混联输电技术建设跨区输电通道, 降低电网对环境的影响; 采用数据挖掘技术和高速计

算机系统管理电网, 使电网运行在其物理极限; 加强各 TSO 之间的合作, 采用新材料和新技术提高电网柔性及可再生能源占比较大的电网故障防御和重构能力。另外, 未来电力系统发展还将呈现多种趋势, 例如, 电网运营商的作用愈加重要, 扩建电网公众接受度低, 电制冷和电供热与电力生产耦合, 电气化交通与电力系统耦合, 电力和燃气零售市场结合等。

针对输电网运营商, 本路线共制定了 5 类 21 项技术创新发展目标。5 类包含 C1 现代化电力系统、C2 电力系统安全性和稳定性、C3 电力系统灵活性、C4 电力系统经济性和效率、C5 电力系统通信, 涵盖电力系统规划、需求侧响应、储能、电力市场商业模式、电力系统大数据等多个热点研究领域。针对这 5 类工作包, 工作组制定了相应的 21 项目标, 并详细解释了每个目标面临的挑战、研究内容、所需经费以及预期成果, 为未来电力系统规划指明了发展方向。实现路线的总资金投入约 9.5 亿欧元, 其中欧盟基金可以支持部分投资, 如地平线 2020 项目每年可提供 1 亿欧元资助^[22], 但仍需要大量自筹资金和其他筹资渠道来实现。

2 ENTSO-E 输电技术研究创新路线

2.1 研究创新路线

根据“第三代能源改革方案”的规定, ENTSO-E 的职责是执行综合战略能源技术计划, 通过相关的措施协调电网运营商在电网正常运行和故障时的工作; 同时也负责战略能源计划中电力系统相关的研究和创新项目。为落实欧盟的能源电力技术研究路线, 根据《2017—2026 智能电网研究与创新路线》中对输电技术发展的规划, ENTSO-E 每 5 年制定一次相应的研究创新路线, 每年制定一次研究创新实施计划和项目进展监督报告。ENTSO-E 首先制定创新研究路线(每 5 年发布一次), 然后根据路线评估目前的技术差距。通过跟各电网运营商充分讨论, 确定研究项目的优先级, 制定创新研究项目的执行计划(每年发布)。之后, ENTSO-E 开始寻找基金资助项目, 各研究机构、高校、公司等都可以申请项目, 并

自筹部分资金。ENTSO-E 负责监督项目执行情况,并每年发布监督报告,流程见图1。2017年,ENTSO-E 相继发布了《研究和创新路线图2017—2026》^[23]和《研究和创新项目执行计划2017—2019》^[24]。

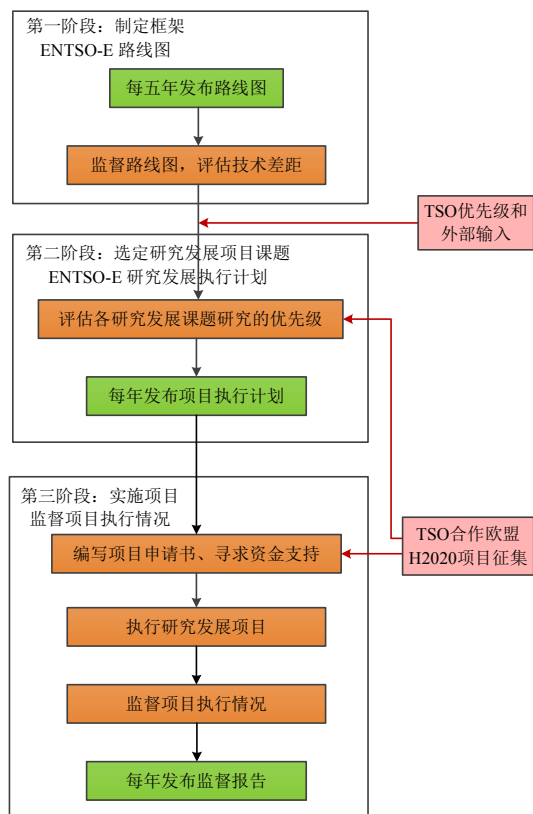


图1 ENTSO-E 电力技术规划制定流程

Fig. 1 Planning process of power technology of ENTOS-E

ENTSO-E 制定的《研究和创新路线2017—2026》^[23]目标设置与欧盟《智能电网研究与创新路线2017—2026》保持一致,也分为五大类21项创新发展目标,并且明确各项创新目标与电网运营商任务之间的关系,如表1所示。其中与电网规划密切相关的目标是T1(优化电网设计)和T12(可再生能源出力预测)。

ENTSO-E 的《研究和创新路线2017—2026》细化了各研究目标的实施计划,预计在2026年前全部完成,如表2所示。21项研究目标中,已经有9项在欧盟资助的研究创新计划《Horizon 2020》中立项(表2中黄色的项目)。

基于《研究和创新路线2017—2026》,ENTSO-E 相应发布了《研究和创新项目执行计划

2017—2019》,该执行计划详细列出了研究课题的名称、研究背景、研究内容、预期成果、经费和执行时间,并分析了每个课题与《研究和创新路线2017—2026》中各目标的关系,见表3。

表1 各研究创新目标与电网运营商职责的对应关系

Tab. 1 Relationship between research objectives and TSO's responsibilities

输电网运营	挑战——外部驱动的宏观趋势				
商的任务	C1 现代化	C2 安全性	C3 柔性	C4 经济性	C5 ICT
运行	T15 T16 T17		T10 T11		T18
资产评估	T2 T3		T13		T21
规划	T1		T12		
市场规则	T15 T17				T20
电网投资商					
责任和社会	T4		T14	T16	T19
责任					

2.2 研究创新路线对电网规划的影响

为保证电网的持续健康发展,ENTSO-E 每2年制定一次《十年电网发展规划》(TYNDP),并不定期更新《电网导则》。TYNDP 规划了详细的电网网架,是电网发展的“硬件保证”;《电网导则》规定了电网的安全稳定要求,是电网发展的“软件保证”。ENTSO-E 制定的研究创新路线、研究创新项目执行计划与 TYNDP、《电网导则》之间是相辅相成的关系,见图2。路线与执行计划指导、支撑电网规划和电网导则制定,反过来,根据电网规划和导则制定过程中遇到的问题,可以修正路线和执行计划中的相关目标。《研究和创新路线2017—2026》对 TYNDP 的影响主要体现在以下3方面:

1)《研究和创新路线2017—2026》的目标T14中提出未来电网规划需考虑“电网与非能源网的相互作用”。该目标指导 ENTSO-E 首次与 Entso-g 共同编制《十年规划报告2018》^[24],提出未来能源需求的场景,从天然气和电力发展两方面指导未来欧洲能源互联网规划及项目投资。

2)《研究和创新路线2017—2026》的目标T10提出研究未来储能设备作为电源并网运行。该目标指导 ENTSO-E 在《十年规划报告2018》中首次明确规划了未来电池储能设备的装机容量。在全球气候行动场景下,2040年欧洲电池储

表 2 各研究目标的实施计划

Tab. 2 Plan for each research goal

任务包	目标	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
C1 现代化电力系统	T1 优化电网设计										
	T2 智能资产管理										
	T3 新材料和电力技术的应用										
	T4 新材料和电力技术的应用										
C2 电力系统安全性和稳定性	T5 电网监测										
	T6 电网控制										
	T7 专家系统和工具										
	T8 可靠性和适应性										
C3 电力系统灵活性	T9 提高辅助服务能力										
	T10 储能并网										
	T11 需求侧响应										
	T12 可再生能源预测										
C4 电力系统经济性和效率	T13 电网柔性装置使用										
	T14 与非电能源网的相互作用										
	T15 电力市场										
	T16 商业模式										
C5 电力系统通信和数字化	T17 灵活市场设计										
	T18 大数据										
	T19 标准化和数据交互										
	T20 物联网										
	T21 互联网安全性										

表 3 研究和创新项目课题列表

Tab. 3 List of research and innovation projects

课题序号	课题名称	主要目标	次要目标
1	柔性输电系统规划	T1	T7, T13
2	提高电网的可观性	T5, T13	T6
3	跨区的辅助服务和柔性服务	T9	T1, T13
4	泛欧洲电力系统稳定性评估	T6, T7	T1
5	集中式和分布式电源的协调	T22, T16, T19	T5, T6
6	电力系统柔性的测量和预测	T13, T16	T1, T4
7	多服务目标的储能系统应用	T6, T10	—
8	需求侧相应工程	T11, T19	T5, T6, T13, T15, T17, T19
9	柔性电力市场设计	T17	T15, T16
10	用于数据管理的 ICT 工具	T18, T19	T11, T14, T16, T21
11	用于电力系统控制的 ICT 系统和数据处理技术	T18, T19	T5, T6, T7
12	能源系统的互联网物理安全性	T21	—
13	基于大数据的智能资产管理	T2	—
14	与其他能源系统的相互作用	T1	T6, T8, T10, T12
15	采用最具经济性的技术进行电网优化, 使电网更具柔性	T1	T4, T10, T13
16	公众认可和利益相关者的参与	T4	T1, T2, T3, T14, T20
17	改进可再生能源预测、优化容量运行	T12	T7, T10, T11, T13, T15, T16
18	发电系统充分规划的可行方法	T1, T8, T13	T10, T11, T12
19	电力系统低概率事件的影响	—	—
20	储能电厂的优化	T10	T8, T9, T13
21	互联网安全性的经验	T21	T18
22	OHL 的部分绝缘	T13	—
23	基于大数据的电力系统监测工具开发	T18	—

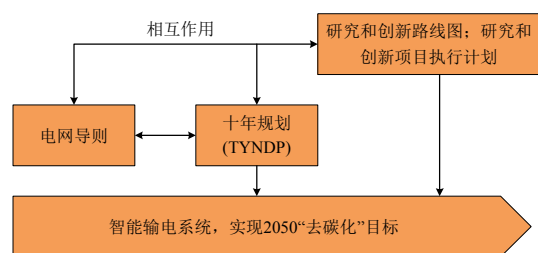


图 2 研究创新路线与 TYNDP 的关系
Fig. 2 Relationship between innovation
roadmap and TYNDP

能装机容量将达到 3 573 万 kW，占比 1.7%；发电量达到 46.8 亿 kW·h，占比 0.3%。

3) 《研究和创新路线 2017—2026》的目标 T11 提出研究未来电动汽车技术在电网需求侧响应中的影响，目标 T14 提出研究未来考虑供暖系统对电力系统的影响。该目标指导 ENTSO-E 在《十年规划报告 2018》中的电力需求预测中量化考虑了电动汽车和热泵对未来负荷增长的影响。在分布式发电场景下，预计 2040 年欧洲纯电动汽车数量将达到 7 750 万辆，电热泵和混合动力热泵数量分别达到 3 466 万台和 2 167 万台，成为欧洲重要的电力需求增长点。

2.3 电网规划实施情况

根据欧盟的详细规划，欧洲 ENTSO-E 统计了近 3 年来欧洲在建的主要输电工程数据，详细信息见表 4。在规划的指导下，欧洲主要国家的联网、直流电网的建设都在有条不紊地进行。

表 4 欧洲主要输电工程数据

Tab. 4 Main transmission projects in Europe

序号	工程名称	输电类型	电压等级/kV	运营商
1	Italy-France	直流	±320	TERNA
2	IFA2	直流	±320	NGIHL
3	CZ Southwest-east corrido	交流	400	CEPS
4	Norway-Germany,NordLink	直流	±500	Statnett
5	Norway-Germany,NordLink	交流	400	Statnett
6	DKW-DE, step 3	交流	380	TenneT-DE
7	COBRA cable	直流	±400	Energinet
8	NEMO-Link	直流	±400	NGET
9	Modular Offshore Grid	交流	220	ELIA
10	GerPol Improvement	交流	400	50Hertz

3 超级电网技术路线

2015 年 2 月，欧盟委员会发布了欧盟能源政

策，该政策包含了五大重要观点，为欧盟今后的能源发展指明了方向，形成了清晰的框架。五大观点是：

- 1) 增加能源供应的安全性；
- 2) 形成内部统一的能源市场；
- 3) 提高能源利用率；
- 4) 发展低碳型经济，使欧盟成为清洁能源领导者；
- 5) 激发更多研究、创新力和竞争力。

该政策框架涉及很多欧盟相关机构的研究成果，例如 ENTOS-E 制定的《十年规划报告》^[25]；欧盟气候变化基金会制定的《2050 路线图：繁荣低碳欧洲实用指南》^[26]；Dii 公司制定的《沙漠能源：环地中海地区可再生电力手册》^[27]；北海国家海上电网促进会制定的《北海海上电网 2012 报告》^[28]，以及欧盟制定的《电力高速公路 2050》^[29]。

基于欧盟的政策框架以及德国、瑞典、西班牙、苏格兰、爱尔兰、北爱尔兰、北欧等国家和地区电网公司制定的区域电网发展规划、各国电网发展规划的技术需求，为应对未来可再生能源大范围及大规模接入的情况，欧洲部分学者提出超级电网概念。在欧盟的支持下，10 家跨国公司成立了超级电网合作组织(friends of the super grid, FOSG)，推动实现欧洲电网的智能化，加强跨区电网互联。该组织在 2012 年首次发布了超级电网路线^[30]，2016 年更新了技术路线，发布了《超级电网技术路线图 2016》^[31]，对未来实现超级电网所需的技术进行了展望，详细分析了未来输电技术的发展趋势。

由文献[31]可知，未来欧洲输电技术的发展方向是直流电网。2025 年的目标是建成具有网孔结构的直流电网。因此，直流电网相关关键设备将实现技术突破，例如，2025 年前完成 DC/DC 变换器的示范工程、开发具有直流故障阻断功能的直流换流站和直流断路器、直流换流站电压等级达到±600 kV，输电容量达到 250 万 kW、建成直流 GIL 线路。

该路线展望了直流换流阀、直流变压器、直流电缆等直流电网关键设备未来的技术需求，是

更为详细的技术规划。由于资金问题,该规划还未能得到有效执行。

4 对我国的启示

4.1 对我国能源电力发展路线制定的启示

欧洲能源电力发展路线制定的流程是先进行立法,通过法律为能源电力政策或战略提供保障。对我国的启示是:通过立法保证政策和战略的合法性是首要解决的问题。在立法的框架下,联合研究机构和利益相关者,共同制定政策或战略文件,可以提高民众的接受度。

4.2 对我国电网规划的启示

ENTSO-E 制定的《电网十年规划》参考了欧盟的能源政策,例如《2017—2026 智能电网研究与创新路线》,并将研究与创新路线里提到的新技术、新趋势用于负荷预测。我国的电网规划偏重于从技术角度去预测负荷增长,并内化政策导向对负荷的影响,但较少考虑技术革新带来的负荷变化。而根据欧洲的经验,我国电网规划应进行多种场景预测,分析技术快速革新(例如热泵、电动汽车等革新性技术的快速推广)对负荷预测的影响,从而优化电网规划。

4.3 对我国发展直流输电技术的启示

在长距离大容量输电方面,直流输电技术具有优势。目前我国在直流输电技术研发方面已经走在了世界前列,2020年6月,国家电网公司在张北建设 ± 500 kV 直流柔性电网试验示范工程首次实现四端联网方式带电运行,这是世界第一个具有网络特性的柔性直流电网示范工程。2020年7月中国南方电网公司投资建设的国家西电东送重点工程——乌东德电站送电广东广西特高压多端直流示范工程提前实现阶段性投产,这是世界上第一条 ± 800 kV 特高压多端柔性直流输电。

由于资金及跨国输电机制等问题,欧洲一直未能很好地推动超级直流电网规划,但是欧盟委员会一直把直流输电技术作为欧洲的一项重要技术储备。通过制定针对各项直流输电设备(直流换流阀、变流器、直流电缆等)的技术规范和发展规划,推动产业链的形成和完善,为将来在直流输

电领域的技术竞争典型基础。

欧盟在直流输电方面的规划对我国的启示是:我国一方面要应保持在直流输电技术领域的优势,另一方面要制定整个直流输电领域更为详细和完善的规划,形成技术标准+发展规划+示范工程的产业支撑体系,推动产业链的完善,促进技术的进步。

5 结论

为实现欧盟气候目标、降低碳排放、实现能源转型,从20世纪90年代初至2009年,欧盟制定了“三代能源改革方案”,通过立法,确定了欧盟今后的能源战略。此后,欧盟委员会又相继出台了《能源路线2050》《2030年气候与能源框架协议》和《战略能源技术计划》等政策文件,确保欧盟的能源系统向低碳化、可持续化发展,为欧洲未来能源电力技术发展指明了方向。

为对接欧盟的能源政策与战略,欧盟委员会发布了《2017—2026 智能电网研究与创新路线》,其中,针对输电网运营商,本路线共制定了五大类21项技术发展目标,为欧盟输电网运营商明确了电力技术发展目标。基于该路线,ENTSO-E相应制定了《研究和创新路线2017—2026》,细化了各研究目标的实施计划,预计2026年前全部完成。同时,ENTSO-E还制定了创新研究项目的执行计划,该执行计划详细列出了路线中每个发展目标对应的研究课题的名称、研究背景、研究内容、预期成果、经费和执行时间。通过这一系列活动,ENTSO-E有效推动了欧盟电力技术的发展,并正确指导了输电网十年规划。

欧盟的经验对我国能源电力发展路线的制定、电网规划的制定和直流输电技术的发展都有一定的借鉴意义。我国可以从立法制定保障,基于不同技术发展场景进行预测负荷,结合技术规范 and 示范工程制定规划,推动产业链完善,促进技术进步。

参考文献

- [1] 刘振亚. 全球能源互联网[M]. 北京: 中国电力出版

- 社, 2015: 125.
- LIU Z Y. Global energy internet[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2015: 125.
- [2] 联合国. 联合国气候变化框架公约[EB/OL]. (1994-03-21)[2020-08-05]. [https://www.un.org/zh/documents/treaty/files/A-AC.237-18\(PARTII\)-ADD.1.shtml](https://www.un.org/zh/documents/treaty/files/A-AC.237-18(PARTII)-ADD.1.shtml).
- The United Nations. United Nations Framework Convention on Climate Change[EB/OL]. (1994-03-21)[2020-08-05]. [https://www.un.org/zh/documents/treaty/files/A-AC.237-18\(PARTII\)-ADD.1.shtml](https://www.un.org/zh/documents/treaty/files/A-AC.237-18(PARTII)-ADD.1.shtml).
- [3] 刘志超, 王洪彬, 沙浩, 等. 我国风电利用技术现状及其前景分析[J]. 发电技术, 2019, 40(4): 389-395.
- LIU Z C, WANG H B, SHA H, et al. Status and prospect analysis of wind power utilization technology in China[J]. Power Generation Technology, 2019, 40(4): 389-395.
- [4] 焦瑞浩, 丁剑, 任建文, 等. 适应大规模清洁能源并网和传输的未来新型直流电网研究[J]. 智慧电力, 2019, 47(6): 9-18.
- JIAO R H, DING J, REN J W, et al. Future new DC power grids for large-scale clean energy integration and transmission[J]. Smart Power, 2019, 47(6): 9-18.
- [5] 张柏林, 郁娇山, 黄万龙, 等. 甘肃地区高比例新能源大外送电网面临的挑战及思考[J]. 电网与清洁能源, 2020, 36(4): 81-89.
- ZHANG B L, YU J S, HUANG W L, et al. Challenges and reflections on the power grid of high proportion of new energy in Gansu province[J]. Power System and Clean Energy, 2020, 36(4): 81-89.
- [6] 钱峰, 陈艺, 刘俊磊, 等. 大规模风电接入的电力系统协调控制策略[J]. 广东电力, 2019, 32(11): 12-18.
- QIAN F, CHEN Y, LIU J L, et al. Coordinated control strategy for power systems with large-scale wind power integration[J]. Guangdong Electric Power, 2019, 32(11): 12-18.
- [7] 傅旭, 赵娟, 张更贺, 等. 风电场接入对送端电网暂态特性的影响研究[J]. 分布式能源, 2019, 4(1): 17-21.
- FU X, ZHAO J, ZHANG G H, et al. Influence of wind power generation on transient characteristics of sending-end power grid[J]. Distributed Energy, 2019, 4(1): 17-21.
- [8] 全球能源互联网发展合作组织. 全球能源互联网落实联合国 2030 年可持续发展议程行动计划[R]. 北京: 全球能源互联网发展合作组织, 2017.
- Global Energy Internet Development Cooperation Organization. The global energy internet implements the action plan of the UN 2030 agenda for sustainable development[R]. Beijing: Global Energy Internet Development Cooperation Organization, 2017.
- [9] IRENA. Renewable energy statistics 2018 [R]. Abu Dhabi: IRENA, 2018.
- [10] REN21. Renewables 2018: global status report [R]. Paris: REN21, 2018.
- [11] TECHNOFI, EASE, EDSO. Final 10-year ETIP SNET R&I roadmap covering 2016—2026[Z]. 2016.
- [12] European Commission. An energy policy for Europe [R]. Bruxelles: European Commission, 2007.
- [13] European Commission. Energy roadmap 2050 [R]. Bruxelles: European Commission, 2011.
- [14] European Commission. 2030 Climate-energy package [R]. Bruxelles: European Commission, 2014.
- [15] European Commission. A European strategy for a sustainable, competitive, and secure energy [R]. Bruxelles: European Commission, 2006.
- [16] European Commission. Towards a European strategic energy technology plan[R]. Bruxelles: European Commission, 2006.
- [17] European Commission. Progress in 2016: transforming the European energy system through innovation [R]. Bruxelles: European Commission, 2016.
- [18] European Commission. Communication-towards an integrated strategic energy technology (SET) Plan [R]. Bruxelles: European Commission, 2015.
- [19] European Commission's Directorates-General for Research and Innovation. The strategic energy technology plan: 2007—2017[R]. Bruxelles: Publications Office of the European Union, 2017.
- [20] European Commission. 2030 Climate-energy package [R]. Bruxelles: European Commission, 2018.
- [21] TECHNOFI, RSE, BACHER, et al. ETIP SNET implementation plan 2017—2020[Z]. Bruxelles: European Commission, 2017.
- [22] European Commission. Horizon 2020 work programme 2018-2020[R]. Bruxelles: European Commission, 2016.
- [23] ENTSO-E. Research and innovation roadmap 2017—2026[R]. Bruxelles: ENTSO-E, 2016.
- [24] ENTSO-E. Research and innovation implementation plan 2017—2019[Z]. Bruxelles: ENTSO-E, 2017.
- [25] ENTSO-E, ENTSoG. TYNDP 2018 scenario report [R]. Bruxelles: ENTSO-E, 2017.

- [26] European Climate Foundation. Roadmap 2050: a practical guide to a prosperous, low-carbon Europe [R]. Bruxelles: European Commission, 2010.
- [27] Dii. Desert power: the manual for renewable electricity in MENA[Z]. Dii, 2013.
- [28] ORTHS A, GREEN D, FISHER E, et al. The european north-sea countries offshore grid initiative[C]// Power & Energy Society General Meeting. IEEE, 2013.
- [29] European Commission. e-Highway 2050-modular development plan of the pan-European transmission system 2050[R]. Bruxelles: European Commission, 2013.
- [30] Friends of the Supergrid. Roadmap to the supergrid technologies 2012[R]. Friends of the Supergrid, 2012.
- [31] Friends of the Supergrid. Roadmap to the supergrid technologies 2016[R]. Friends of the Supergrid, 2016.

收稿日期: 2020-09-25。

作者简介:



孙蔚

孙蔚(1982), 女, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为风电接入电力系统稳定性分析、风电机组建模与控制、直流电网运行与控制、清洁能源资源评估与宏观选址、清洁能源发电技术经济性, wei-sun@geidco.org;



申洪

申洪(1971), 男, 博士, 教授级高工, 研究方向为电力系统规划、电网新技术应用和新能源并网;



侯金鸣

侯金鸣(1981), 男, 高级工程师, 研究方向为电网调度管理、运行分析及电网规划;



周勤勇

周勤勇(1977), 男, 博士, 教授级高级工程师, 主要研究方向为电网规划技术、电力系统安全稳定控制, qyzhou@epri.sgcc.com.cn;



张彦涛

张彦涛(1980), 男, 硕士, 教授级高级工程师, 研究方向为电力系统规划与运行、电力系统仿真分析。

(责任编辑 辛培裕)