

与电力分析年度报告系列

2017

国内外电网发展 分析报告

国网能源研究院有限公司 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



能源与电力分析年度报告系列

2017

国内外电网发展 分析报告

国网能源研究院有限公司 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

《国内外电网发展分析报告》是能源与电力分析年度报告系列之一,主要分析了2016年以来北美、欧洲、日本、巴西、印度及中国等主要地区和国家的社会概况、能源电力政策要点、电力供应和消费增长、电网发展现状;针对中国电网,还重点分析了电网投资、电网规模、网架结构、运行交易、电网经营等方面的发展,并梳理了发展成效、存在问题与发展重点;分析了国内外电网可靠性及全球大规模停电事故的原因和启示;分析了输配电运营模式和配用电服务模式的创新;分析了电网前沿技术的最新进展,以期为关注和研究电网发展的各方面人士提供借鉴和参考。

本报告适合能源电力行业尤其是电网企业从业者、国家相关政策制定者、科研工作者、高校电力专业学生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

国内外电网发展分析报告. 2017/国网能源研究院有限公司编著. —北京:中国电力出版社, 2017. 11 (2017. 12 重印)

(能源与电力分析年度报告系列)

ISBN 978 - 7 - 5198 - 1369 - 7

I. ①国… II. ①国… III. ①电网—研究报告—世界—2017 IV. ①TM727

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 283905 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 刘汝青 孙 晨 (010-63412382)

责任校对: 马 宁

装帧设计: 张 娟 王英磊

责任印制: 蔺义舟

印 刷: 三河市百盛印装有限公司

版 次: 2017 年 11 月第一版

印 次: 2017 年 12 月北京第二次印刷

开 本: 700 毫米×1000 毫米 16 开本

印 张: 12.5

字 数: 149 千字

定 价: 50.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

能源与电力分析年度报告

编 委 会

主 任	张运洲								
委 员	吕 健	蒋莉萍	柴高峰	李伟阳	李连存	张 全			
	王耀华	牛忠宝	郑厚清	单葆国	郑海峰	鲁 刚			
	马 莉	韩新阳	李琼慧	张 勇	李成仁				

《国内外电网发展分析报告》

编 写 组

组 长	韩新阳								
副 组 长	靳晓凌	王 阳	张 钧						
指导专家	冯庆东								
成 员	代贤忠	张 岩	张 钰	白翠粉	胡 波	杨 倩			
	柴玉凤	张 晨	李 健	翁 强	陈 丹	田 鑫			
	张 玥	杨 方							

国网能源研究院有限公司多年来紧密跟踪国内外能源电力政策法规、电力市场化改革进展、宏观经济发展环境、能源电力供需变化、节能与需求侧管理、能源替代、新能源发展与并网、电网发展、电网安全可靠、电网运营和服务模式创新、电网技术创新、能源电力价格变化、电力企业运营管理等，开展广泛调研和分析研究，形成年度系列报告，为政府部门、电力企业和社会各界提供了有价值的决策参考和信息。

《国内外电网发展分析报告》是能源与电力分析年度报告系列之一。自2016年由《国内外智能电网发展分析报告》更名为《国内外电网发展及新技术应用分析报告》之后，2017年又调整改用现名，拓展对国内外电网发展运营重点研究和分析。

本报告与2016年度《国内外电网发展及新技术应用分析报告》相比做了两个方面的改进和完善。一是报告结构的完善。国外电网发展分析选取五个典型地区和国家，将中国电网发展分析单列一章作为重点，并对电网的安全可靠、服务运营、技术创新进行专题分析。二是分析重点的突出。国内外电网发展分析采用“经济社会发展—能源电力政策—电力供需现状—电网发展分析”的思路，得出各个地区和国家在各自国情、政策导向、现有基础下的电网发展重点。

本报告共分为6章。第1章分析了北美、欧洲、日本、巴西及印度等地区和国家电网发展环境和发展现状，第2章分析了中国电网发展环境、发展现状、存在的问题和发展重点，第3章分析了国内外电网可靠性和大规模停电事故的原因和启示，第4章分析了国内外相关企业在输配电运营和配用电服务模式上的创新发展，第5章介绍了电网互联技术、可再生能源发电及并网消纳技术、电网智能化技术的发展动态，第6章对电网发展趋势进行了展望。

本报告中的经济、能源消费、电力装机容量、发电量、用电量、用电负荷、供电可靠性等指标的最新数据，主要以各地区和国家电网的2016年统计数据为准；限于数据来源渠道不足，部分指标的数据有所滞后，以2015年数据进行分析；重点政策、重大事件等更新到2017年。

本报告概述部分由王阳主笔，第1章由张岩、张钰、王阳主笔，第2章由代贤忠、陈丹、王阳、张钧、张玥主笔，第3章由张钧、杨倩主笔，第4章由白翠粉、柴玉凤、王阳主笔，第5章由胡波、张晨、田鑫主笔，第6章由王阳主笔。雷恺杰、余新旋、张慧娟、王俊芳、苏颖、李娜、吕静、杨凤丽、张闻、王梦真等实习生参与了信息、数据的搜集和整理工作。全书由王阳、张钧统稿，由韩新阳、靳晓凌、冯庆东审核。

在本报告的调研、收资和编写过程中，得到了国家电网公司联办、研究室、发展部、安质部、营销部、科技部、国际部、国调中心、交易中心等部门专家和领导的悉心指导，还得到了中国电力企业联合会张卫东处长、华北电力设计院任胜军总经理、清华大学张毅威教授、华北电力大学董军教授、南方电网公司叶骏博士等专家的大力支持，在此表示衷心感谢！

限于作者水平，虽然对书稿进行了反复研究推敲，但难免存在疏漏与不足之处，恳请读者谅解并批评指正！

编 著 者

2017 年 10 月

目 录

前言

概述 1

1 国外典型电网发展分析 9

- 1.1 北美联合电网 11
 - 1.1.1 经济社会发展概况 11
 - 1.1.2 能源电力政策 12
 - 1.1.3 电力供应和电力消费增长 16
 - 1.1.4 电网发展 19
- 1.2 欧洲互联电网 23
 - 1.2.1 经济社会发展概况 24
 - 1.2.2 能源电力政策 26
 - 1.2.3 电力供应和电力消费增长 28
 - 1.2.4 电网发展 32
- 1.3 日本电网 36
 - 1.3.1 经济社会发展概况 36
 - 1.3.2 能源电力政策 37
 - 1.3.3 电力供应和电力消费增长 41
 - 1.3.4 电网发展 44

1.4 巴西电网	47
1.4.1 经济社会发展概况	47
1.4.2 能源电力政策	49
1.4.3 电力供应和电力消费增长	50
1.4.4 电网发展	52
1.5 印度电网	56
1.5.1 经济社会发展概况	56
1.5.2 能源电力政策	57
1.5.3 电力供应和电力消费增长	59
1.5.4 电网发展	62
1.6 小结	69

2 中国电网发展分析 71

2.1 中国电网发展环境	72
2.1.1 经济社会发展概况	72
2.1.2 能源电力政策	75
2.1.3 电力供应和电力消费增长	80
2.2 中国电网发展现状	84
2.2.1 电网投资	84
2.2.2 电网规模	87
2.2.3 网架结构	92
2.2.4 运行交易	98
2.2.5 电网经营	104
2.3 中国电网存在的问题与发展重点	106
2.3.1 电网的发展成效	106

2.3.2 电网存在的问题	116
2.3.3 电网的发展重点	117
2.4 小结	118

3 电网安全可靠性的可靠性 120

3.1 主要地区和国家电网可靠性	120
3.1.1 电网可靠性情况	120
3.1.2 电网可靠性提升经验	126
3.2 大规模停电事故	129
3.2.1 停电事故主要原因	129
3.2.2 典型停电事故分析	132
3.2.3 影响电网安全的新风险点	139
3.3 小结	140

4 输配电运营和配用电服务模式创新 142

4.1 输配电运营模式创新	142
4.1.1 组织模式	142
4.1.2 运营创新	144
4.2 配用电服务模式创新	149
4.2.1 业务模式	149
4.2.2 服务创新	150
4.3 小结	161

5 电网技术创新 163

5.1 电网互联技术	163
5.1.1 特高压交直流输电技术	163

5.1.2	柔性直流输电技术	164
5.1.3	交直流混联电网协同控制技术	165
5.1.4	统一潮流控制器技术	166
5.1.5	无线输电技术	167
5.1.6	管道输电技术	168
5.2	可再生能源发电及并网消纳技术	169
5.2.1	太阳能电池材料	169
5.2.2	新能源虚拟同步发电技术	170
5.2.3	主动配电网技术	172
5.2.4	储能技术	174
5.3	电网智能化技术	175
5.3.1	物联网技术	175
5.3.2	大数据技术	177
5.3.3	人工智能技术	179
5.3.4	虚拟现实与增强现实技术	180
5.4	小结	181

6 展望 183

参考文献	186
------------	-----

概 述

2016 年，世界经济增长缓慢，增长率仅有 2.4%，发达国家经济缓慢复苏，新兴市场和发展中经济体走势继续分化，中国和印度经济增速分别为 6.7% 和 7.1%，是世界经济增长的主要动力，而巴西为 -3.6%。全球能源市场正处于转型期，能源消费增速放缓，主要增长点来自以亚洲为代表的发展中经济体，电能占终端能源消费的比重继续提高。电力装机仍以化石能源类型为主，但可再生能源装机增长较快，地区差异较大。全球发电量稳步增长，中国和美国发电量稳居世界前两名，可再生能源发电市场份额进一步扩大。在可再生能源快速发展、能源资源与负荷中心逆向分布、各类交易政策等因素的推动下，全球互联电网网架和交易机制不断完善。中国电网的发展已取得举世瞩目的成就，支撑经济社会稳定发展，国家电网公司连续两年位列《财富》世界 500 强第 2 名，成为全球最大的公用事业公司。本报告从发展背景、能源电力政策、电力供应和用电需求等方面入手，系统介绍了 2016 年北美、欧洲、日本、巴西、印度五个国外典型地区和国家电网的发展概况，着重分析了中国电网的发展现状、发展成效、存在问题和发展重点，之后从电网安全、运营和服务模式创新、技术创新三个特定视角展示国内外电网一年来的发展成效。

（一）国外典型电网发展情况

欧洲、美国、日本等发达地区和国家能源消费基本不变，印度和巴西等发展中国家能源消费随经济增长而增长。2016 年，北美、欧

洲和日本等发达地区和国家经济增长率在 1%~2%，能源强度在持续下降。在经济增长缓慢和能源强度下降的双重作用下，北美、欧洲能源消费总量与上年持平，日本能源消费总量小幅下降。印度经济增长为 7.1%，列主要经济体首位，虽然能源强度下降较快，但受人口增长和城市化推进的影响，能源消费仍保持较快增长。受投资、消费持续收缩影响，巴西经济深陷衰退，同比减少 3.6%，能源强度在基础设施投资拉动的作用下不降反升，能源消费总量同比减少 3%，降幅窄于 GDP 降幅。北美地区仍是典型地区和国家中能源消费规模最大的地区，印度是人均能源消费最低的国家。

世界上一些国家积极出台政策以保障能源安全、推动清洁能源发展，同时加强对新一代电力系统的规划和建设，以适应可再生能源和电动汽车的发展。2016 年，为促进能源独立、实现经济持续发展，美国从支持可再生能源发展转向促进化石能源清洁化发展，印度政府计划成立国家能源政策审查委员会，发布《能源独立》(NEP) 草案；为推动能源清洁化发展，实现能源转型升级，加拿大做出 2020 年减少 17% 温室气体排放、2030 年之前关闭所有燃煤电厂的承诺，欧盟发布《欧洲清洁能源计划》，日本发布《能源革新战略》《能源环境技术创新战略 2050》《全球变暖对策》等政策，巴西通过一系列政策支持太阳能行业发展，英国、法国、挪威等国家以不同方式宣布未来禁止销售柴油和汽油车；为进一步促进电网发展，实现源网荷协调发展，美国与加拿大政府联合发布《美国 - 加拿大电网安全性与弹性联合发展战略》，欧盟 2016 年底发布第四版《十年电网发展规划》，日本政府发布《日本振兴计划》，明确将建立安全方便经济的下一代电力系统，印度中央电力管理局公布第三份《国家电力规划》。

清洁能源装机比例增长迅速，电气化程度不断提高。2016 年，各国都在积极发展太阳能、风能、生物质能等可再生能源发电装机，

除此之外，以天然气、水电为主的清洁能源发电装机也增长迅速，电源结构继续向大规模清洁化发展。本报告选取的五个典型地区和国家中，除印度长期缺电外，其余国家或联合电网电力供应充足。从电力消费来看，除日本、巴西外，用电高峰负荷在 2014 年后均有所增长。随着电网的不断发展、智能化水平的不断提高，各国电气化程度均在不断提高，其中以日本电气化程度最高，2016 年日本电能在终端能源消费中占比达到 28%。

智能化改造、大规模清洁能源消纳和储能成为各国电网发展的重点和热点。2016 年，受经济增长缓慢的影响，北美、欧洲、日本的电网发展较为缓慢，线路长度和变电容量增长率小于 1%；印度和巴西等发展中国家仍加大电网基础设施建设力度，线路长度和变电容量增长率达到 4%~8%。大规模清洁能源的消纳给各国电网运行带来较大压力，各国通过加强互联互通建设、促进跨国跨区交易，实现大范围供需平衡。为适应分布式能源接入、缓解电力设备老化问题、适应竞争市场下新型服务模式的发展，各国通过推进智能电表部署、加速配电自动化覆盖等措施推动电网智能化。高成本的储能主要在电力市场活跃地区有较大规模应用，通过创新的商业模式促进清洁能源消纳，获取投资回报。

（二）中国电网发展情况

经济增长为电网发展提供了持续动力，能源结构进一步优化，电气化水平不断提高。2016 年，中国 GDP 同比增长 6.7%，增速仅次于印度，远高于世界 2.4% 的平均水平，对世界经济增长的贡献位居第一；能源消费强度延续多年持续下降趋势，达到 0.179kgoe/美元（2005 年价），但仍高于北美、欧洲、日本、印度、巴西 5 个典型地区和国家；能源消费总量同比增长 1.5%；电能替代稳步推进，电能占终端能源消费比重上升到 22%；电力装机容量较快增长，其中非

化石能源发电装机容量占新增装机容量的比重超过一半，抽水蓄能电站和光伏电站发展迅猛。

电源侧政策注重引导电源合理投资、推动可再生能源发展，电网侧政策注重电力市场化改革，负荷侧政策注重推动电能替代，促进电网平台作用的发挥。2016年，中国通过化解煤电潜在过剩风险、引导风电和太阳能企业理性投资等一系列政策调控电源规划建设，缓解电力过剩产能。《能源生产和消费革命战略（2016—2030）》《关于促进可再生能源供热的意见（征求意见稿）》《推进并网型微电网建设试行办法》等政策鼓励可再生能源发展。《关于推进电能替代的指导意见》明确了中国将在北方居民采暖、生产制造、交通运输、电力供应与消费四个重点领域推进电能替代。交通领域的政策继续发力，新能源汽车“双积分”政策与工业和信息化部启动制订停止销售传统能源汽车时间表，推动新能源汽车快速发展。

电网工程投资稳步增长，逐渐向配电网倾斜，电网规模不断扩大，特高压交直流投产运行较多，跨区电力交换能力进一步提高。2016年，中国电力工程建设完成投资8855亿元，同比增长3.3%，其中，电源投资3429亿元，同比下降12.9%；电网投资连续4年提高，首次超过5000亿元，达到5426亿元，同比增长16.9%，其中220kV及以上电网工程投资2306亿元，同比增长5.5%，而配电网在新一轮农网升级改造的拉动下完成投资3120亿元，同比增长27.1%，在所有电网投资中所占比重接近60%。截至2016年底，中国220kV及以上输电线路长度达64.5万km，同比增长5.9%，其中特高压交流、直流线路长度分别增长132.7%和16.2%；220kV及以上变电设备容量达36.9亿kV·A，同比增长9.7%，其中特高压交、直流变电设备容量分别增长73.7%和53.5%。全国跨区交换电量3777亿kW·h，同比增长7.0%。截至2017年10月底，中国在运特

高压线路达到“八交十直”。

电力市场化改革持续推进，交易电量规模不断增长，清洁能源消纳水平提升。2016年，各项深化电力体制改革的政策文件相继出台，全国电力市场交易电量为1万亿kW·h，同比增长7%，占全社会电量的19%。其中，省内市场交易电量0.8万亿kW·h。平均降低电价约7.23分/(kW·h)，为用户节约电费超过573亿元。全年累计消纳清洁能源1.7万亿kW·h，其中，74%通过特高压线路输送；可再生能源跨省跨区消纳电量占总交易电量的34.6%。

虽然电网发展取得了巨大成就，但仍然存在一些矛盾和问题，亟待解决。当前全国电网存在特高压电网与配电网“两头薄弱”、特高压电网“强直弱交”、城乡电网发展不平衡等问题，需要针对问题找准电网发展重点，进一步完善特高压电网网架，建设智能电网，提升电网资源配置能力，推进城乡电网建设，强化电网与互联网融合发展，提升电网安全稳定经济运行水平。

（三）电网安全可靠情况

2016年以来，国际大规模停电事故主要有8起，关键设备故障与自然灾害是电网事故的主要原因。2016年9月28日的南澳州停电由极端天气引发，是自1998年以来断网时间最长、影响面积最大的一次，所供负荷全部甩掉；2017年8月15日的中国台湾停电是人为误操作引发的大事故，也是台湾省史上最大规模的停电事故；日本东京，美国纽约、洛杉矶国际机场、旧金山，中美洲国家巴拿马、哥斯达黎加、尼加拉瓜等国，俄罗斯远东地区等发生的停电事故，主要由设备或变电站故障引发。

多年来国内外电网通过一系列措施提升了电网可靠性，新形势下电网安全需重点关注可再生能源、信息化、分布式电源等新风险点。从国外主要国家电网可靠性提升的经验来看，电网可靠性持续提升主

要通过合理的电网规划、有序的电力设备更新换代、大力推广配电自动化、开展配电网不停电作业等举措。大面积停电事故主要原因有关键设备故障、自然灾害、系统保护等技术措施不当或处置不力、电网结构不够坚强、电源结构不合理、网络攻击等，新形势下，还应重点关注可再生能源迅速发展，电网信息化提升及分布式电源、储能系统、微电网等带来的新的安全风险点。

（四）电网运营和服务模式创新情况

输配电企业的运营模式创新主要集中在电网建设运行、电网调度控制和电力市场交易三个方面。2016—2017 年输配电企业在电网建设运行方面的创新动向主要包括规划模式创新、负荷预测模式创新、电力需求预测方法创新等，以降低运行成本；在电网调度控制方面的创新动向主要包括电网发展理念创新、分布式能源调度模式创新、电网潮流智能化灵活控制创新，以提高运行效率；在电力市场交易方面的创新动向主要包括气电市场交易流程创新、市场手段创新、价格形成机制创新、统一电力市场建设创新，以提高交易水平。

配用电服务模式创新的维度丰富，主要表现在智能配电网、智能用电、需求侧响应、综合能源、基础平台五方面业务模式的创新。2016—2017 年配用电企业在智能配电网方面的创新动向主要包括挖掘储能价值提升电网运行灵活性、推动配电网的数字化转型、挖掘智能电表数据价值提升配电网运维管理水平；在智能用电方面的创新动向主要包括电费计划创新、基于互联网的服务手段创新、车联网平台服务模式创新；在需求侧响应方面的创新动向主要包括抵扣、红包等方式的激励手段创新，利用快速调频储能、虚拟电厂等调节方式的技术手段创新，提升需求响应能力和规模的组织管理创新；在综合能源方面的创新动向主要包括综合能源供应服务创新，捆绑销售、多表费用集抄等在内的综合能源营销服务创新，全程一体的综合能源服务管