



能源与电力分析年度报告系列

2018

中国新能源发电 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

电力分析年度报告系列

2018 中国新能源发电 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

《中国新能源发电分析报告》是能源与电力分析年度报告系列之一，主要对 2017 年风电、太阳能发电等并网运行情况、相关政策法规和热点难点问题进行了全面的分析与研究。本报告已成为新能源领域十分重要的借鉴。

本报告翔实总结了 2017 年新能源发电的开发建设和运行消纳情况，针对新能源发电技术，进行了深入的成本分析；结合产业政策的全面梳理，展望了国内外发展趋势，力求对中国新能源进行全景式扫描，并围绕业界关心的热点难点问题从六个方面进行剖析，增强了认识的深刻性和丰富性。

本报告适合于能源电力行业相关的从业者，特别是政策制定者和科研工作者参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

中国新能源发电分析报告. 2018/国网能源研究院有限公司编著. —北京: 中国电力出版社, 2018. 6
(能源与电力分析年度报告系列)

ISBN 978-7-5198-2189-0

I. ①中… II. ①国… III. ①新能源—发电—研究报告—中国—2018 IV. ①TM61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 135766 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 曹 慧 (010-63412382)

责任校对: 郝军燕

装帧设计: 赵姗姗

责任印制: 蔺义舟

印 刷: 北京博图彩色印刷有限公司

版 次: 2018 年 6 月第一版

印 次: 2018 年 6 月北京第一次印刷

开 本: 787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张: 9

印 数: 0001—2000 册

字 数: 126 千字

定 价: 88.00 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 郑厚清 单葆国 马 莉

郑海峰 代红才 鲁 刚 韩新阳 李琼慧

张 勇 李成仁

《中国新能源发电分析报告》

编 写 组

组 长 李琼慧

副组长 谢国辉

成 员 刘佳宁 汪晓露 李娜娜 闫 湖 胡 静

李梓仟 冯凯辉 王彩霞 栾凤奎 黄碧斌

洪博文 雷雪姣 时智勇 肖婉婷

前言

国网能源研究院有限公司多年来紧密跟踪新能源发电领域发展情况，尤其重视相关数据持续积累和分析，形成年度系列分析报告，为有关方面研究决策提供具有专业价值的决策参考和信息。笔者认为，在推进能源生产和消费革命、加快供给侧结构性改革的大背景下，加强对新能源发电的全面深入的分析与研究，对及时总结中国国情下能源转型的节奏和力度，充分借鉴消化国际发展经验，而非照搬照抄，已显得十分具有现实紧迫性。本报告力求把握时代脉搏，鉴往知来，特别是与我院其他年度报告相辅相成，为关系中国新能源的各方人士提供了更为广阔和清晰的图景。这一图景不是静态、单调的，而是与时俱进、充满丰富想象力的。

本报告共分为6章。第1章为新能源发电开发建设情况，主要分析了中国新能源开发规模、布局和新能源配套电网工程建设情况；第2章为新能源发电运行消纳情况，主要分析了2017年度新能源运行利用情况和消纳情况，创新引入了新能源消纳预警指数，进一步评判并印证了重点地区消纳状况；第3章为新能源发电技术和成本，梳理总结了新能源发电技术的最新情况，从单位投资成本、度电成本等方面分析了风电、太阳能发电和储能的经济性，预判未来成本变化趋势；第4章为新能源发电产业政策，梳理了中国2017年最新出台的新能源产业政策；第5章为新能源发电发展展望，展望世界及中国新能源发电发展趋势；第6章为新能源发电热点问题分析，选取本年度新能源发电领域6个热点问题，进行了深入分析和解读。

本报告概述部分由刘佳宁、汪晓露主笔，第1章由刘佳宁主笔，第2章由刘佳宁、李娜娜主笔，第3章由谢国辉、汪晓露主笔，第4章由汪晓露、李娜娜、刘佳宁主笔，第5章由汪晓露、刘佳宁主笔，第6章由谢国辉、胡静、汪晓露、闫湖、李娜娜、李梓仟、王彩霞主笔，附录部分由李梓仟、刘佳宁、冯凯辉主笔。全书由李琼慧、谢国辉、刘佳宁统稿，汪晓露校核。

在本报告的编写过程中，得到了能源电力领域多位专家的悉心指导和帮助，在此一并表示深切的谢意！特别感谢 CSPPLAZA 光热发电网及美国波动性电源并网组织（UVIG）对本报告编制给予的大力支持，CSPPLAZA 就中国光热发电发展现状和趋势，UVIG 对美国新能源行业最新动态分享了宝贵经验，提出了许多建设性意见。这些让笔者体会到，中国新能源经历了曲折的发展，已与世界潮流息息相关，它不仅关乎中国的现实与未来，更是影响着全球能源命运共同体的构建。

限于作者水平，虽然对书稿进行了用心打磨并反复推敲，但仍可能存在疏漏与不足之处，恳请读者谅解并批评指正！

编著者

2018 年 4 月

目 录

前言

概述	1
1 新能源发电开发建设情况	6
1.1 新能源发电	7
1.2 风电	9
1.2.1 陆上风电	9
1.2.2 海上风电	10
1.3 太阳能发电	12
1.3.1 光伏发电	12
1.3.2 光热发电	14
1.4 其他新能源发电	15
1.5 新能源配套电网工程建设	16
2 新能源发电运行消纳情况	20
2.1 新能源运行及利用情况	21
2.1.1 风电运行及利用情况	21
2.1.2 光伏运行及利用情况	25
2.2 新能源消纳预警指数分析	28
2.2.1 消纳预警指数编制方法	28
2.2.2 消纳预警指数计算结果	30

3	新能源发电技术和成本	41
3.1	新能源发电技术	42
3.1.1	风力发电技术	42
3.1.2	太阳能电池技术	44
3.1.3	其他新能源发电技术	49
3.2	新能源发电成本	50
3.2.1	风电成本	50
3.2.2	太阳能发电成本	53
3.2.3	储能成本	55
3.2.4	未来成本变化趋势	58
4	新能源发电产业政策	62
4.1	新能源产业政策	63
4.2	风电产业政策	66
4.3	太阳能发电产业政策	68
4.4	其他新能源产业政策	71
5	新能源发电发展展望	72
5.1	世界新能源发电发展趋势	73
5.2	中国新能源发电发展趋势	74
6	新能源发电热点问题分析	77
6.1	2017 年新能源消纳现状评估及趋势分析	78
6.1.1	我国新能源消纳影响因素分析	78
6.1.2	2017 年各种影响因素的贡献度评估	80
6.1.3	我国新能源消纳趋势分析	82
6.2	储能相关政策及发展前景分析	83
6.2.1	储能发展现状	83
6.2.2	全球储能支持政策及对我国的借鉴	85
6.2.3	我国储能发展前景分析	88
6.3	光伏发电补贴退坡经济性分析	90

6.3.1	光伏发电价格及补贴调整	90
6.3.2	补贴退坡对光伏发电经济性的影响	90
6.3.3	光伏价格调整和补贴退坡机制对市场的影响	94
6.4	分布式光伏高比例接入对电网影响的分析	96
6.4.1	分布式光伏发展现状及特点	96
6.4.2	分布式光伏高比例接入给电力系统带来新挑战	97
6.4.3	电网适应分布式光伏高比例接入的建议	98
6.5	氢能发展现状及发展前景分析	99
6.5.1	氢能技术概况	99
6.5.2	国内外氢能发展现状	100
6.5.3	氢能应用前景分析	103
6.6	美国新能源行业最新动态	104
6.6.1	美国新能源行业政策及市场动态	104
6.6.2	美国新能源行业发展动态	105
6.6.3	美国新能源产业未来发展趋势	107
附录 1	2017 年世界新能源发电发展概况	108
附录 2	世界新能源发电数据	115
附录 3	中国新能源发电数据	117
附录 4	2017 年新增行业标准目录	125
参考文献		134

概 述

本报告在对中国新能源发电^①项目开发建设与、并网运行及利用、发电技术创新、发电成本、政策法规、发展趋势等分析研究的基础上，对当年新能源发电热点难点问题进行了专题分析研究，对世界新能源发电发展趋势和中国新能源发电发展形势进行了展望。

2017 年中国新能源发电发展主要呈现以下特点：

2017 年我国新能源发展取得显著成就。新能源发电装机规模不断扩大。新能源发电并网容量达到 2.94 亿 kW，同比增长 31%；新能源发电新增装机容量 6809 万 kW，占全国电源新增装机容量的 52%。风电装机平稳增长，海上风电快速发展；光伏发电成为电源增长的主力，新增装机容量首次超过火电，累计装机容量突破 1.3 亿 kW，分布式光伏爆发式增长；20 个省份新能源装机容量占比超过 10%。

新能源消纳状况持续改善。2017 年，党中央、国务院对新能源消纳工作作出重要部署，出台了一系列政策措施，推动我国新能源消纳明显改善，弃风弃光增长势头得到遏制。2017 年，全国弃风电量 419 亿 kW·h，同比减少 78 亿 kW·h；弃风率 11.8%，同比下降 5.2 个百分点；“三北”（华北、西北、东北）地区风电消纳明显好转。全国弃光电量 73 亿 kW·h，同比减少约 1 亿 kW·h；弃光率 5.7%，同比下降 4.3 个百分点；西北地区弃光矛盾缓解，弃光电量同比下降 6%，弃光率同比下降 5.3 个百分点。

新能源发电及并网技术取得新突破。风电单机容量持续增大；产业化太阳能单晶硅电池效率在 20%~23%，使用 PERC 电池技术的单晶电池效率达 21% 左右，未来仍有较大的技术进步空间；薄膜电池以碲化镉（CdTe）薄膜电池和铜铟镓硒（CIGS）薄膜电池为主，产业化技术逐步成熟，发展前景广阔；钙钛矿太阳能电池的稳定性再创新高，电池的稳定性达到 95%；干热岩发电技术、

① 如无特殊说明，本报告中的新能源发电仅含风电、太阳能发电，后同。

氢燃料电池技术等均取得重要进展。

风电、光伏发电成本进一步下降。2017年,我国风电机组价格略有下降。受中东部和南部地区土地资源越来越紧张和建设条件越来越复杂等因素的制约,风电投资成本同比基本持平,约8000元/kW左右。2017年,我国陆上风电项目平均度电成本约为0.478元/(kW·h),同比下降4%。2017年,我国光伏发电系统平均投资成本约为6.6元/W,同比下降约6%,前期开发、电网接入、逆变器、汇流箱等主要电气设备成本也有不同程度的下降。度电成本波动范围为0.444~0.719元/(kW·h),平均度电成本为0.520元/(kW·h),同比下降23%。

新能源参与市场交易、优化调度、用电需求增长对促进2017年新能源消纳的作用明显。初步测算,2017年新能源市场交易电量对新能源消纳的贡献最大,贡献度^①达到50%,其次是优化调度和用电需求增长,贡献度分别为23%和18%。从新能源市场交易的各项措施来看,跨省跨区新能源电量交易对促进新能源消纳的作用最大,贡献度达到26%,其次是新能源参与跨区现货交易,贡献度达到12%。从优化调度各项措施来看,省间调峰互济对促进新能源消纳的作用最大,贡献度达到14%,其次是区域旋转备用容量共享和省内关键输电断面能力提升,贡献度分别为9%和8%。

我国储能将迎来大规模发展,但在商业盈利初期还需要相关政策及市场的推动。美国、德国、日本等国通过政策补贴和市场机制推动了储能的快速发展。我国已于2017年出台《关于促进我国储能技术与产业发展的指导意见》,提出了未来10年我国储能产业的发展目标和主要任务。“三北”、南方电网和山西等地也围绕储能参与辅助服务开展试点或制定实施细则。在政策推动、市场引导、成本下降的多重影响因素下,我国在“十三五”末,储能规模预计将达到43.79GW,其中抽水蓄能40GW,电化学储能1.78GW。主要发展模式有:在发电侧,以储能参与调频辅助服务项目为主;在大电网侧,以大规模储能调

① 以国家电网公司经营区域为案例测算。

峰电站为主；在配电网侧，以电网侧分布式储能电站为主；在用户侧，以用户侧分布式储能和综合能源系统储能为主。

补贴退坡机制使普通光伏电站的收益下降，光伏扶贫项目和“自发自用，余量上网”模式分布式光伏发电经济性更优。根据《关于2018年光伏发电项目价格政策的通知》，2018年电价下调后，Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类资源区项目内部收益率将分别下降约2个、1.9个、1.8个百分点。如需提高项目内部收益率回归到8%以上，则组件价格仍需要进一步下降约30%。此次价格调整，除扶贫项目未做下调外，分布式光伏的度电补贴下调幅度低于普通光伏电站，使得自发自用模式分布式光伏发电项目更具有竞争性。2018年电价和补贴调整之后，“自发自用、余量上网”电价高于“全额上网”电价的省区从2017年的17个增加到31个。从收益来看，“自发自用，余量上网”模式在大部分地区收益要高于“全额上网”电价。

分布式光伏爆发式增长，高比例接入对电力系统带来新挑战。一是配用电网络的功能和形态发生显著变化。原有的“源、网、荷”竖井关系逐步打破，功能向多源对等、开放互动、自愈主动方向发展。二是对电力系统调频调压产生冲击，影响电力系统安全运行。三是对电网调度运行管理中的负荷预测、继电保护、信息安全等带来挑战。四是对电能质量水平产生一定影响，易导致谐波、电压闪变等电能质量指标超标。为适应分布式光伏高比例接入，对电网的策略建议如下：一是严把分布式光伏并网关口，杜绝带缺陷接入。二是构建分布式光伏接纳能力分区评级机制，按照接纳能力将不同供电区域分别划分为推荐区、限制区和控制区，定期发布评估结果。三是鼓励分布式光伏+、微电网、综合能源系统发展模式。

未来氢能将在我国交通运输减排、电能替代等方面发挥重要作用。国际氢能委员会预测2050年氢能源需求将达到目前的10倍，占终端能源消费量的比例超过15%，对全球二氧化碳减排量的贡献度将达到20%。作为国家战略性新兴产业的重要组成部分，我国将加快推动氢能开发和产业应用。一是与电动汽车

互为补充，共同推动交通运输领域碳减排。二是建设氢能源发电系统，未来在用户侧推广应用小型氢燃料电池分布式发电系统，满足家用热电联供的需要，推动家庭电气化进程，促进电能替代。

未来我国新能源仍将保持持续增长态势。据预测，2018 年，我国新能源发电装机容量持续增长，占比稳步提高。其中，风电新增装机容量超过 2000 万 kW，太阳能发电新增装机容量约 3000 万 kW，分别占新增装机容量的比重为 21.1% 和 26.9%。按照《关于可再生能源发展“十三五”规划实施的指导意见》，到 2020 年底，全国风电装机容量 2.1 亿 kW 以上，太阳能发电装机容量 1.6 亿 kW 以上。2030 年底，全国新能源发电总装机容量至少要达到 8.8 亿 kW，占全部电源装机容量的比重达到 30% 左右，其中风电装机容量 4.5 亿 kW 左右，太阳能发电装机容量 4 亿 kW。

1

新能源发电开发建设情况

1.1 新能源发电^①

2017 年我国新能源发展取得显著成就。新能源发电^②装机规模不断扩大，光伏发电成为电源增长的主力，新增装机容量首次超过火电，分布式光伏爆发式增长。

截至 2017 年底，我国新能源发电累计装机容量 29 393 万 kW，同比增长 31%，如图 1-1 所示；新能源发电新增装机容量 6809 万 kW，占全部电源新增装机容量的 52%。



图 1-1 2011—2017 年我国新能源发电累计装机容量和同比增长比例

截至 2017 年底，我国新能源发电占全部电源的比例达到 17%，其中风电占比 9%，太阳能发电占比 8%，如图 1-2 所示。

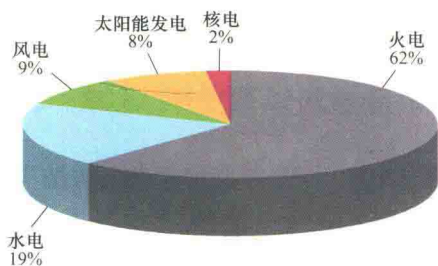


图 1-2 2017 年底我国电源结构

① 数据来源：中国电力企业联合会《2017 年全国电力工业统计快报》。

② 此处的新能源发电含风电、太阳能发电，后同。

20 个省份新能源发电装机容量占比超过 10%，见表 1-1。甘肃、青海、宁夏、新疆、河北、内蒙古等 19 个省（区）新能源发电成为第一、第二大电源。

表 1-1 新能源发电装机容量占比超过 10%的 20 个省（区）

项目名称	甘肃	青海	宁夏	新疆	河北	内蒙古	西藏	吉林	黑龙江	陕西
风电（万 kW）	1282	162	942	1806	1181	2670	1	505	570	363
太阳能发电（万 kW）	786	791	620	933	868	743	79	159	94	524
新能源发电装机容量占比（%）	41.4	37.5	37.3	32.2	30.1	28.9	28.4	23.2	22.4	20.4

项目名称	江西	辽宁	山西	安徽	山东	江苏	云南	河南	浙江	湖南
风电（万 kW）	169	711	872	217	1061	656	819	233	133	263
太阳能发电（万 kW）	449	223	590	888	1052	907	233	703	814	176
新能源发电装机容量占比（%）	19.5	19.2	18.1	17.1	16.8	13.6	11.8	11.7	10.6	10.3

甘肃省新能源发电成为第一大电源。截至 2017 年底，甘肃省新能源发电装机容量 2068 万 kW，占当地电源总装机容量的 42%，如图 1-3 所示。

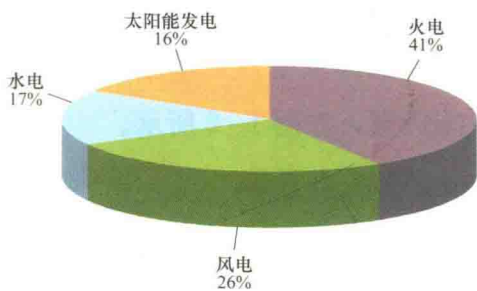


图 1-3 2017 年底甘肃省电源结构

新能源发电新增装机持续向东中部地区转移。新增装机容量主要集中在东中部地区。东中部地区新能源发电新增装机容量占全国新能源发电新增装机容量的比例由 2016 年的 30%提高至 2017 年的 46%。

新能源发电装机仍主要集中在“三北”地区。截至 2017 年底，“三北”地区