



能源与电力分析年度报告系列

2016

中国新能源发电 分析报告

国网能源研究院 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

- 国外电力市场化改革分析报告
- 世界能源与电力发展状况分析报告
- 中国电力供需分析报告
- 国内外电网发展及新技术应用分析报告
- 中国新能源发电分析报告
- 中国发电能源供需与电源发展分析报告
- 国际能源与电力价格分析报告
- 中国节能节电分析报告
- 世界500强电力企业比较分析报告
- 国内外企业管理实践典型案例分析报告



中国电力出版社官方微信



掌上电力书屋



ISBN 978-7-5123-9820-7



9 787512 398207 >

定价：50.00元

上架建议：电力工程 / 综合



能源与电力分析年度报告系列

2016

中国新能源发电 分析报告

国网能源研究院 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2015年中国风电、太阳能发电等新能源发电并网运行情况、政策法规和新能源发电热点问题进行了全面分析研究，以期关心新能源发电的各方面人士提供有价值的参考。

本报告围绕2015年新能源发电开发建设情况、运行消纳情况、发电及并网技术创新、发电成本、最新颁布的政策法规、热点问题等进行了全面分析。总结了“十二五”期间我国新能源发电发展的成就和主要特点，展望了国内外新能源发电发展趋势。

本报告适合能源分析人员、经济分析人员、国家相关政策制定者及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. 2016/国网能源研究院编著. —北京: 中国电力出版社, 2016. 9

(能源与电力分析年度报告系列)

ISBN 978-7-5123-9820-7

I. ①中… II. ①国… III. ①新能源—发电—对比研究—研究报告—中国—2016 IV. ①TM61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 228641 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 9 月第一版 2016 年 9 月北京第一次印刷

700 毫米×1000 毫米 16 开本 9.75 印张 116 千字

印数 0001—2500 册 定价 50.00 元

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

能源与电力分析年度报告

编 委 会

主 任 张运洲

委 员 蒋莉萍 柴高峰 李伟阳 周原冰 李连存 邱忠涛
牛忠宝 李 英 王耀华 马 莉 单葆国 韩新阳
李琼慧 张 勇 李成仁 郑厚清 郑海峰 鲁 刚

《中国新能源发电分析报告》

编 写 组

组 长 李琼慧

副组长 宋卫东

成 员 谢国辉 郑漳华 樊 昊 汪晓露 李梓仟 王彩霞
黄碧斌 胡 静 洪博文 雷雪姣 闫 湖 刘佳宁

前言

国网能源研究院多年来紧密跟踪新能源发电发展规模、并网运行及利用情况、政策法规等，形成年度系列分析报告，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。

为了及时、全面反映中国新能源发电行业情况，特别是新能源发电并网及利用相关情况，国网能源研究院对 2015 年中国风电、太阳能发电等新能源发电情况进行了全面的分析研究，形成了 2016 年度《中国新能源发电分析报告》，力求能够为关注新能源发展的政府主管部门、科技人员、能源行业从业人员及其他读者提供有益的借鉴和参考。

本报告对 2015 年中国新能源发电项目开发建设与建设、并网运行及利用、并网技术与标准、发电成本、政策法规、热点问题等进行了分析研究，并对“十二五”期间中国新能源发电发展成就和特点进行了总结分析，与其他年度报告相辅相成，互为补充。

本报告共分为 7 章。第 1 章是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、配套电网工程建设情况；第 2 章是新能源发电运行消纳情况，分析了新能源发电运行利用水平、弃风弃光电量分布特性、重点地区新能源发电消纳等情况；第 3 章是新能源发电及并网技术创新，分析了风力发电、太阳能发电、其他新能源发电、并网支撑技术的最新发展情况；第 4 章是新能源发电成本，从单位投资成本、度电成本等方面分析了风电、

太阳能发电的经济性；第5章是新能源发电产业政策，主要梳理了中国2015年最新出台的新能源政策法规；第6章是新能源发电热点问题分析，针对新能源消纳市场机制、可再生能源补贴资金、光伏扶贫工程、海上风电发展前景、中国垃圾发电发展、德国可再生能源弃电等热点问题进行了深入分析；第7章是“十二五”新能源发电发展回顾及展望，对“十二五”期间中国新能源发电发展成就和特点进行了总结分析，展望世界及中国新能源发电发展趋势。

本报告概述部分由谢国辉主笔；第1、2章由樊昊、谢国辉主笔；第3章由郑漳华主笔；第4章由汪晓露主笔；第5章由郑漳华主笔；第6章由谢国辉、郑漳华、汪晓露、黄碧斌、王彩霞，德国国际合作机构（GIZ）的Sandra Retzer、Jana Ohlendorf，中国电力发展促进会可再生能源发电分会的刘映华、刘哲主笔；第7章由谢国辉、郑漳华主笔；附录部分由李梓仟、樊昊主笔。本报告统稿工作主要由谢国辉、郑漳华承担，刘佳宁校核。

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！

特别感谢德国国际合作机构（GIZ）、中国电力发展促进会可再生能源发电分会对本报告编制给予的大力支持，分别就德国可再生能源弃电、中国垃圾发电发展问题分享了宝贵经验，提出了许多建设性意见。

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

编 著 者

2016年9月

目 录

前言

概述 1

1 新能源发电开发建设情况 5

1.1 风电 7

1.1.1 陆上风电 7

1.1.2 海上风电 12

1.2 太阳能发电 13

1.2.1 光伏发电 14

1.2.2 光热发电 20

1.3 其他新能源发电 21

1.3.1 生物质发电 22

1.3.2 地热发电 23

1.3.3 海洋能发电 24

1.4 新能源配套电网工程建设 24

2 新能源发电运行消纳情况 28

2.1 风电 28

2.1.1 运行及利用情况 28

2.1.2 弃风电量分布特性 31

2.1.3 重点地区风电消纳分析 34

2.2	光伏发电	41
2.2.1	运行及利用情况	41
2.2.2	弃光电量分布特性	43
2.2.3	重点地区光伏发电消纳分析	44
2.3	其他新能源发电运行消纳	48

3 新能源发电及并网技术创新 49

3.1	风力发电技术	49
3.1.1	低风速风机	49
3.1.2	无叶片风机	51
3.2	太阳能发电技术	52
3.2.1	太阳电池技术	52
3.2.2	新型光伏发电技术	55
3.2.3	光热发电技术	57
3.3	其他新能源发电技术	58
3.3.1	氢能技术	58
3.3.2	先进核电技术	59
3.4	新能源并网支撑技术	60
3.4.1	大容量储能技术	60
3.4.2	柔性直流输电技术	62
3.5	新能源标准及技术规范	63

4 新能源发电成本 65

4.1	风电成本	65
4.2	光伏发电成本	69
4.3	成本变化趋势分析	72
4.3.1	风电成本变化趋势	72

4.3.2	光伏发电成本变化趋势	73
-------	------------------	----

5	新能源发电产业政策	75
---	-----------------	----

5.1	新能源产业政策	75
5.2	风电产业政策	76
5.3	太阳能发电产业政策	79
5.4	其他新能源产业政策	82

6	新能源发电热点问题分析	85
---	-------------------	----

6.1	电力市场化环境下新能源消纳机制分析	85
6.1.1	电力体制改革新形势对新能源消纳的要求	85
6.1.2	我国新能源优先消纳机制探索及实践	86
6.1.3	国外新能源消纳市场机制的经验	87
6.1.4	我国可再生能源优先消纳机制设计建议	89
6.2	“十三五”可再生能源补贴资金测算及疏导 方式分析	90
6.2.1	补贴政策演变及征收发放情况	90
6.2.2	“十三五”期间可再生能源补贴资金测算	92
6.2.3	可再生能源补贴资金缺口疏导方式	93
6.3	光伏扶贫工程相关问题分析	94
6.3.1	光伏扶贫试点推进情况	94
6.3.2	需要关注的问题分析	95
6.4	海上风电技术经济特性及发展前景分析	99
6.4.1	海上风电发展现状	99
6.4.2	海上风电出力特性	100
6.4.3	海上风电经济性分析	103
6.4.4	海上风电发展前景分析	104

6.5 中国垃圾发电发展现状和前景分析 107

6.5.1 垃圾发电的发展现状 107

6.5.2 垃圾发电面临的主要问题 108

6.5.3 垃圾发电的发展趋势 110

6.6 德国可再生能源限电现状研究和经验分析 111

6.6.1 现状研究 111

6.6.2 经验分析 114

7 “十二五” 新能源发电发展回顾及展望 119

7.1 “十二五” 新能源发电发展回顾 119

7.2 新能源发电发展展望 123

7.2.1 全球新能源发电发展趋势 123

7.2.2 中国新能源发电发展趋势 125

附录 1 2015 年世界新能源发电发展概况 128

附录 2 国外最新出台新能源发电产业政策动态 135

附录 3 世界新能源发电数据 139

附录 4 中国新能源发电数据 141

参考文献 146

概 述

目前新能源尚未有规范的定义，本报告中新能源主要是指风能、太阳能、生物质能、地热能、潮汐能等非水可再生能源。本报告对中国新能源发电项目开发建设与建设、并网运行及利用、发电技术创新、发电成本、政策法规、发展趋势等进行了全面分析研究，并对 2015 年新能源发电热点问题进行了专题分析研究。报告还总结了“十二五”期间中国新能源发电发展情况，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。

本报告主要概述如下：

中国风力发电发展保持强劲增长势头，累计并网容量突破 1 亿 kW。中国风电自 2006 年开始持续快速增长，2006 年全国风电装机容量仅 200 万 kW，到 2012 年突破 6000 万 kW，超过美国成为世界第一，仅仅用了 5 年半的时间，走过了欧美等国 15 年的发展历程。“十二五”期间，全国年均新增装机容量 1974 万 kW，相当于每年新增 4 个丹麦风电装机。2015 年，中国全年风电新增并网容量 3173 万 kW，新增并网容量创历史新高，累计风电装机容量达到 12 830 万 kW，约占全球风电总装机容量的 30%。

太阳能发电新增装机容量创历史新高，光伏累计装机容量成为世界第一。中国太阳能发电经过了多年的探索和起步，从 2009 年开始进入快速发展时期，规模持续扩大。2015 年，中国新增太阳能并网容量 1513 万 kW，创历史新高，累计装机容量达到 4319 万 kW，同

比增长 54%。“十二五”期间，中国太阳能发电实现跨越式增长，光伏发电装机容量年均增长 846 万 kW，新增装机容量连续三年居世界首位，累计装机容量超过德国，成为世界第一；光热发电试验示范工程取得突破，建成我国第一座商业化运行塔式光热电站。

新能源运行消纳形势严峻，区域间呈现出不同的消纳特性。2015 年全国因弃风限电造成的损失电量达 339 亿 kW·h，弃风率为 15.5%，8 个省级电网弃风率超过 10%；弃光电量为 48 亿 kW·h，弃光率为 10.3%，5 个省级电网发生弃光，甘肃、新疆弃光率超过 20%，分别达 31%和 20%。从地域分布来看，弃风、弃光电量主要分布在“三北”地区；从时段分布来看，东北、华北地区弃风主要集中在冬春的供暖期和后夜低谷时段；西北弃风分布无明显规律，主要受外部环境的影响波动较大。

新能源发电及并网技术创新持续发展，对未来新能源发电产业的发展将产生重要影响。低风速、无叶片成为风力发电技术发展的新热点。太阳能发电技术取得新的进展，不同类型太阳能发电技术效率进一步提高，旋转太阳电池、球形太阳电池和塔式熔岩光热发电等新型技术创新发展。以锂离子为代表的电化学储能技术在能量密度、使用寿命、充电时间、续航能力等方面实现了新的突破。

新能源发电成本降幅收窄，但市场竞争力持续提升。2015 年，全球风电、太阳能发电成本均继续下降，但与 2010—2014 年间逐年降幅相比明显减缓。2015 年，全球可再生能源发电技术的成本竞争力进一步提升，陆上风电发电成本已经可以与化石燃料发电竞争，太阳能光伏发电平准化发电成本比 2010 年减少了一半以上。

“十三五”可再生能源补贴缺口扩大，疏导机制急需建立。参照“十二五”调价幅度，风电、光伏发电年均下调 0.02、0.03 分/(kW·h)，按照燃煤机组标杆上网电价不变测算，“十三五”期间补贴资金需求

6000 亿元。若可再生能源电价附加征收标准保持 0.019 元/(kW·h), 可征收 4373 亿元, 补贴资金缺口达到 1627 亿元。提出四种疏导方式, 包括可再生能源发展规模与补贴资金相协调、明确可再生能源上网电价动态调整机制、上调可再生能源电价附加标准至 0.03 元/(kW·h)、调整补贴期限等。

推进光伏扶贫工程重点需要解决好四个方面的问题。一是户用光伏扶贫项目的商业模式仍需进一步优化完善, 现有部分模式下贫困户收益较少或长期收益存在不确定性; 二是可再生能源补贴资金下拨拖后问题, 影响扶贫效果, 但为实现按时转拨, 电网企业长期垫付压力较大; 三是试点县规划目标过高, 超过县域电网消纳能力, 增加电网安全运行风险; 四是户用分布式光伏项目运维保障难度较大, 不利于项目长期高效发电。

垃圾发电逐渐引起关注, 垃圾发电量增长快速。随着中国“垃圾围城”的现象越来越严重, 垃圾焚烧发电项目获得了快速发展。2009—2014 年, 垃圾焚烧发电装机容量从 130 万 kW 增长到 359 万 kW, 年均增速 23%, 全年发电量从 67.48 亿 kW·h 增长到 176 亿 kW·h, 年均增速 21%。进入“十三五”期间, 随着全国生活垃圾产生量持续增长以及垃圾焚烧处理的比例进一步提高, 垃圾焚烧发电有望延续“十二五”期间快速发展的态势, 项目投运数量将持续快速增长。预计 2020 年, 垃圾焚烧发电量约为 7.7 万亿 kW·h, 垃圾焚烧发电量将占中国电力总发电量的 0.82% 左右。

“十二五”期间我国新能源发电发展取得巨大成就, 具有五个方面的特点。一是新能源发电开始由补充电源向替代电源转变。新能源发电量占全社会用电量的比例从 1.2% 提高到 4.8%。2015 年, 新能源新增发电量首次超过全部电源新增发电量。二是光伏发电呈现爆发式增长。自 2013 年起, 光伏发电发展进入快速发展阶段。2013—

2015 年，光伏发电年均新增并网容量 1169 万 kW，年均增速高达 86%。三是新能源发电和并网调控技术创新取得显著进步。风机呈现大容量发展趋势，多种太阳能光伏电池竞相发展，转换效率不断提高。光热发电技术取得新突破，塔式技术开始示范应用。大规模新能源并网调控技术走在世界前列。四是新能源发电成本进一步下降，光伏发电下降明显。2010—2015 年，陆上风电、光伏电站单位投资成本降幅分别达到 11%、56%。五是新能源配套跨区电网建设取得重要成就。建成了多个重大新能源配套跨区输电工程，新能源并网及送出线路累计长度超过 4 万 km，相当于绕地球一周。

未来我国风电、太阳能发电等新能源发电将继续保持较快发展速度，发展前景广阔。预计 2016 年，陆上风电继续保持平稳增长，新增风电并网容量维持在 2500 万 kW 左右，中东部地区风电将加快发展。海上风电发展有望进一步提速，新增海上风电并网容量超过 200 万 kW，累计并网容量有望超过 300 万 kW。光伏发电迅猛增长，全年新增并网容量有望达到 3000 万 kW 左右，累计并网容量将超过 7000 万 kW，同比增长约 60%。光热发电将进入加快发展阶段，新增并网容量有望超过 200 万 kW。

新能源发电开发建设情况

经过近十年的艰苦努力,我国新能源发展已经走在了世界前列。2015年,我国新能源发电新增装机容量超过5000万kW,累计装机容量超过1.8亿kW,占全球新能源装机的1/4。其中,风电装机容量连续四年世界第一,太阳能发电装机容量为4319万kW,首次超越德国成为世界第一,成为我国新能源发展史上新的里程碑。

截至2015年底,我国新能源发电并网容量约18215万kW,同比增长37%,如图1-1所示。其中,风电并网容量12830万kW,太阳能发电并网容量4319万kW,其他新能源发电并网容量约1065万kW,分别占新能源发电并网容量的70%、24%、6%。2015年我国新能源发电并网容量构成如图1-2所示。并网新能源装机容量约

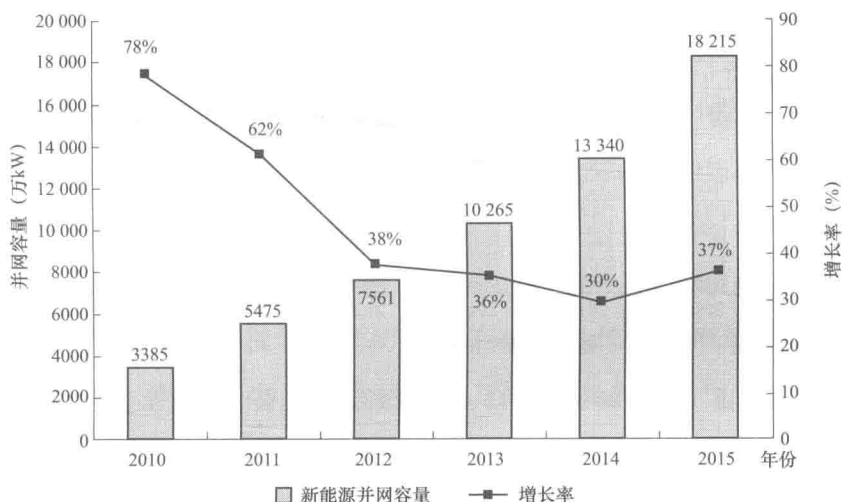


图 1-1 2010—2015 年中国新能源发电并网容量及增长率

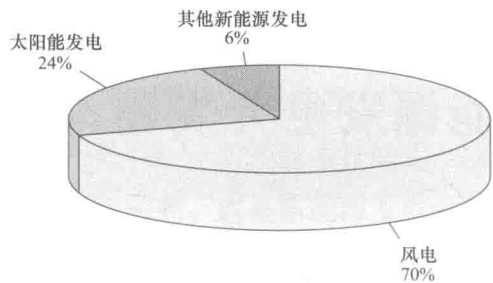


图 1-2 2015 年中国新能源发电并网容量构成

占我国全部发电装机容量^①的 12.1%，比 2014 年提高 2.3 个百分点。

2015 年，我国新能源发电量约 2753 亿 kW·h，同比增长 24%，如图 1-3 所示。其中，风电发电量 1851 亿 kW·h，太阳能发电量 383 亿 kW·h，其他新能源发电量约 519 亿 kW·h，分别占新能源发电量的 67%、14%、19%。2015 年我国新能源发电量构成如图 1-4 所示，

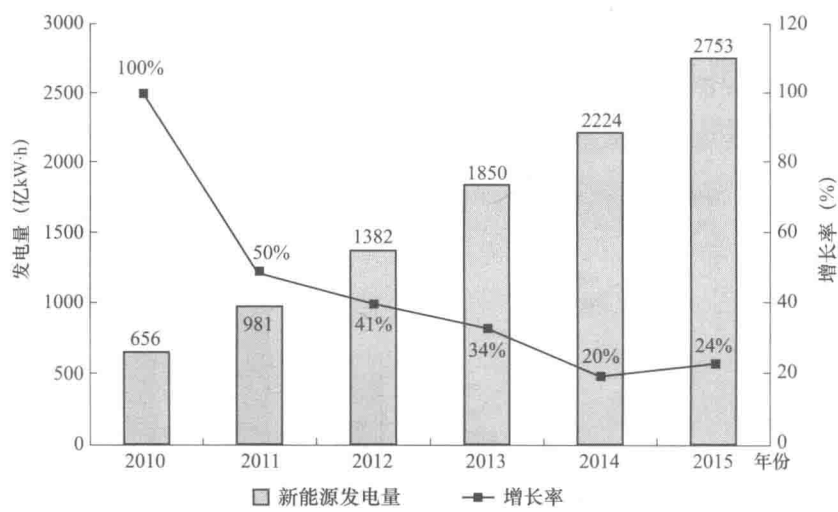


图 1-3 2010—2015 年中国新能源发电量及增长率

① 数据来源：中国电力企业联合会，2015 年全国发电装机容量为 150 673 万 kW。