



能源与电力分析年度报告系列

2015

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

2015

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2014年中国风电、太阳能发电等新能源发电及运行情况、政策法规和新能源发电热点问题进行了全面的分析研究，为关注新能源发电的领导、专家、科技人员、能源行业从业人员提供决策参考和依据。

本报告围绕新能源的开发建设情况、运行及利用情况、标准与并网运行管理、发电及并网技术创新、发电成本、最新颁布的政策法规、国内外发展趋势等进行了全面分析和总结，针对中国现阶段新能源发展出现的新情况、新问题，对2014年新能源发电热点问题进行了专题分析研究。

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. 2015/国网能源研究院编著. —
北京: 中国电力出版社, 2015. 11

(能源与电力分析年度报告系列)

ISBN 978-7-5123-8278-7

I. ①中… II. ①国… III. ①新能源—发电—研究报告—
中国—2015 IV. ①TM61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 223834 号

审图号: GS (2015) 2740 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>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 11 月第一版 2015 年 11 月北京第一次印刷

700 毫米×1000 毫米 16 开本 9.25 印张 110 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 牛忠宝 蒋莉萍 张 玮 周原冰 白建华 胡兆光
李 英 王耀华 马 莉 黄 瀚 单葆国 张义斌
李琼慧 张 勇 郑厚清

《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 王乾坤 樊 昊 汪晓露 孔维政 王彩霞
黄碧斌 胡 静 洪博文 郑漳华

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。

在党中央、国务院的关心支持下，中国培育形成了新能源市场和产业体系，新能源技术快速进步，产业实力明显提升，市场规模不断扩大，新能源并网利用水平不断提高，新能源已经步入全面、快速、规模化发展的重要阶段。

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2014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2014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、能源行业从业人员以及其他读者提供有益的借鉴和参考。

本报告在对中国新能源发电项目开发建设与建设、并网运行及利用、并网及调度管理、并网技术与标准、发电成本、政策法规、发展趋势等分析研究的基础上，对2014年新能源发电热点问题进行了专题分析研究，还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，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章是新能源发电发展基本情况，主要分析了中国新能源开发规模、配套电网工程建设及并网运行利

用等情况；第2章是新能源发电并网运行管理，分析了新能源发电标准及技术规范、并网及运行管理等情况；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、新能源发电并网运行控制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、生物质发电的经济性；第5章是新能源发电产业政策，主要梳理了中国2014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，针对中国风电运行消纳、风电上网电价调整、德国光伏发电发展、光热发电发展前景等热点问题进行了深入分析；第7章是新能源发电发展展望，对世界及中国新能源发电发展趋势进行了展望。

本报告概述部分由谢国辉主笔，第1、2章由谢国辉、樊昊主笔，第3章由谢国辉、郑漳华主笔，第4章由汪晓露主笔，第5章由谢国辉主笔，第6章由谢国辉、黄碧斌、汪晓露、王彩霞主笔，第7章由谢国辉、李琼慧主笔，附录部分由谢国辉、樊昊主笔。本报告统稿工作主要由李琼慧、谢国辉承担。

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，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

2015年7月

目 录

前言

概述 1

1 新能源发电发展基本情况 7

1.1 风电 9

1.1.1 项目开发与建设 9

1.1.2 风电运行及利用 16

1.2 太阳能发电 19

1.2.1 集中式光伏发电 19

1.2.2 分布式光伏发电 22

1.2.3 光热发电 24

1.3 其他新能源发电 26

1.3.1 生物质发电 26

1.3.2 地热发电 28

1.3.3 海洋能发电 29

1.4 新能源配套电网工程建设 30

2 新能源发电并网运行管理 34

2.1 标准及技术规范 34

2.1.1 风电 34

2.1.2	太阳能发电	38
2.1.3	分布式发电	40
2.2	并网管理	41
2.2.1	风电	41
2.2.2	太阳能发电	44
2.3	运行管理	46
2.3.1	可再生能源市场监管	46
2.3.2	风电运行优化管理	48
2.3.3	光伏发电运行管理	49

3 新能源发电及并网技术创新 51

3.1	风力发电技术	51
3.1.1	低速智慧型风机	51
3.1.2	高空风力发电技术	53
3.2	太阳能发电技术	54
3.2.1	晶硅太阳能电池技术	54
3.2.2	薄膜太阳能电池技术	54
3.2.3	钙钛矿太阳能电池技术	55
3.2.4	聚光式光伏发电技术	55
3.2.5	叠层太阳能电池技术	56
3.3	其他新能源发电技术	57
3.3.1	波浪能发电技术	57
3.3.2	核聚变发电技术	58
3.4	新能源发电并网支撑技术	58
3.4.1	储能技术	58

3.4.2 并网运行控制技术	60
----------------------	----

4 新能源发电成本	62
------------------------	-----------

4.1 风电成本	62
4.2 太阳能发电成本	67
4.2.1 光伏发电成本	67
4.2.2 光热发电成本	72
4.3 生物质发电成本	74
4.4 新能源发电成本变化趋势	78
4.4.1 风电	78
4.4.2 太阳能发电	78
4.4.3 生物质发电	79

5 新能源发电产业政策	80
--------------------------	-----------

5.1 新能源产业政策	80
5.2 风电产业政策	82
5.3 太阳能发电产业政策	84
5.4 其他新能源产业政策	86

6 新能源发电热点问题分析	88
----------------------------	-----------

6.1 中国大规模风电消纳的实现途径分析	88
6.1.1 大规模风电消纳需要的三大途径	88
6.1.2 “十三五”风电消纳途径研究	90
6.1.3 三大途径消纳风电的贡献度	91
6.2 风电上网电价调整及其影响分析	93
6.2.1 风电上网电价政策调整情况	93

6.2.2	风电分区盈利水平测算分析	94
6.2.3	对风电发展的影响分析	96
6.3	德国光伏发电并网运行最新情况分析	96
6.3.1	2014 年德国光伏发电发展现状	96
6.3.2	德国光伏发电政策最新调整情况	97
6.3.3	2015 年 3 月德国日食相关情况分析	98
6.3.4	对中国光伏发电发展的相关启示	101
6.4	光热发电技术经济性及发展前景分析	102
6.4.1	光热发电技术特性及系统价值	102
6.4.2	光热发电的经济性分析	106
6.4.3	光热发电的发展前景	106
7	新能源发电发展展望	108
7.1	世界新能源发电发展趋势	108
7.2	中国新能源发电发展趋势	110
附录 1	2014 年世界新能源发电发展概况	113
附录 2	国外最新出台新能源发电产业政策动态	121
附录 3	世界新能源发电数据	124
附录 4	中国新能源发电数据	126
参考文献		137

概 述

目前新能源尚未有规范的定义，本报告中的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。本报告在对我国新能源发电项目开发建设与建设、并网运行及利用、并网及调度管理、并网技术与标准、发电成本、政策法规、发展趋势等分析研究的基础上，对 2014 年新能源发电热点问题进行了专题分析研究，还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，与其他年度报告相辅相成，互为补充。

本报告主要概述如下：

2014 年中国新能源发电发展势头依然强劲，累计并网容量突破 1 亿 kW。2014 年，中国新能源发电累计并网容量突破 1 亿 kW，占全部发电装机容量的 9.8%；全年发电量超过 2000 亿 kW·h，占全部发电量的 3.9%，相当于节约 6900 万 t 燃煤，减排 1.7 亿 t 二氧化碳。其中，风电并网容量 9581 万 kW，太阳能发电并网容量 2807 万 kW，合计占全部新能源装机容量的 93%。

风电新增并网容量创历史新高，累计并网容量全球第一。2014 年全国新增风电并网容量 1929 万 kW，同比增加 419 万 kW，创历史新高，继续引领世界风电发展，占全球风电新增容量的 40% 以上；累计并网容量达到 9581 万 kW，同比增长 25%，占全球风电并网容量的 1/4 以上。其中，消纳相对较好的地区新增装机比重提高明显，西北和华北地区分别新增 751 万、576 万 kW，合计占全国风电新增

并网容量的 69%。

光伏并网容量保持快速增长，新增并网容量居全球首位。2014 年，全国光伏产业整体呈现稳中向好和有序发展局面，全年新增太阳能并网容量 1060 万 kW，增速较 2013 年稍有回落，仍居世界首位；太阳能发电累计并网容量达到 2807 万 kW，同比增长 61%，位居世界第二。其中，集中式光伏发电新增并网容量 855 万 kW，继续保持较快增长速度。

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。目前，风电技术进一步向智慧型风机、高空风力发电机方向发展。太阳能发电技术取得新的进展，不同类型的太阳能发电技术效率进一步提高，其中商业化应用的晶硅太阳能电池技术转换效率超过 25%，叠层太阳能电池效率更是达到了 46%。电化学储能技术进一步发展，石墨烯、铝空气电池、纳米点电池等技术在能量密度、使用寿命、充电时间、续航能力等方面实现了新的突破。

新能源发电成本逐年下降，成本竞争力达历史最高水平。2014 年中国风电发电成本继续下降，陆上风电单位造价约 8000 元/kW，平均度电成本 0.37 元/（kW·h）；海上风电造价约为陆上风电的 2 倍。光伏发电价格持续下降，地面光伏电站单位造价低于 10 000 元/kW，度电成本最低能够达到 0.6 元/（kW·h），分布式光伏发电约为 0.9~1.2 元/（kW·h）。不同类型的生物质发电单位造价存在较大差异，农林生物质发电最低，为 9000~11 000 元/kW。根据 IRENA 统计数据，2014 年，全球可再生能源发电技术的成本竞争力达到历史最高水平。生物质发电、水电、地热和陆上风电发电成本竞争力接近化石燃料发电，太阳能光伏发电的度电成本（LCOE）在 2010—2014 年之间减少了一半，大规模光伏电站的成本竞争力持续提升。

国家发布未来能源发展战略，再次强调新能源的战略地位和发展目标。习近平主席在中央财经领导小组第六会议明确提出要推动能源供给革命，形成煤、油、气、核、新能源、可再生能源多轮驱动的能源供应体系。2014年11月，中美发表气候变化联合声明，承诺我国2030年左右二氧化碳排放达到峰值且将努力早日达峰，并计划到2030年非化石能源占一次能源消费比重提高到20%左右。同月，国务院办公厅印发《能源发展战略行动计划（2014—2020年）》，提出加快构建清洁、高效、安全、可持续的现代能源体系，重点实施节约优先战略、立足国内战略、绿色低碳战略、创新驱动战略四大战略。

国家能源局加快职能转变，加强新能源市场监管。印发《能源监管行动计划（2014—2018年）》，明确了未来五年能源监管的目标、重点任务和 Related 措施，加强职能转变和简政放权后能源事中、事后监管。国家能源局根据《2014年市场监管工作要点》要求，深化可再生能源发电全额保障性收购监管，加强风电、光伏等新能源发电并网和运行管理，关注发电利用小时数及重点地区弃风、弃光情况，先后发布了《可再生能源发电项目审批简政放权落实情况驻点江苏监管报告》《可再生能源发电并网驻点甘肃监管报告》《分布式发电并网收购及补贴落实情况驻点河北监管报告》。

国家能源局继续加强新能源发电项目管理，规范开发建设秩序。首次对光伏发电进行年度计划管理，印发《关于下达2014年光伏发电年度新增建设规模的通知》，2014年全年新增备案总规模1400万kW，其中分布式800万kW，光伏电站600万kW。继续加强风电核准计划管理，2014年初，国家能源局发布第四批风电项目核准计划，同时取消第一批进入风电项目核准计划但未完成核准项目的核准资格。12月，发布《全国海上风电开发建设方案（2014—2016）》，共涉及

未来三年 44 个海上风电项目的开发建设，总容量达 1053 万 kW。

国家陆续出台多项政策，推动分布式光伏发电发展。《关于进一步落实分布式光伏发电有关政策的通知》（国能新能〔2014〕406 号），要求加强分布式光伏发电应用规划工作，放开分布式光伏年度指导规模，鼓励光伏发电示范区转供电，同时允许分布式光伏运营模式变更，完善分布式光伏发电的电费结算和补贴拨付等。《关于国家电网公司购买分布式光伏发电项目电力产品发票开具等有关问题的公告》，明确国家电网公司所属企业从分布式光伏发电项目发电户处购买电力产品，可由国家电网公司所属企业开具普通发票；光伏发电项目发电户销售电力产品，按照税法规定应缴纳增值税，由国家电网公司所属企业按照增值税简易计税办法计算并代征增值税款。《关于加快培育分布式光伏发电应用示范区有关要求的通知》，提出在已有分布式光伏发电应用示范区建设工作基础上培育一批分布式光伏发电示范区，进一步加大分布式光伏的推进力度。

我国风电仍将加快发展，解决大规模风电消纳需要电源、电网、负荷三大途径共同作用。“十三五”期间，我国风电仍将加快发展，“三北”地区是风电开发的重点，大规模风电消纳已经成为未来风电发展的突出问题。结合各省级电网、各区域电网以及跨区消纳的分析结果，2020 年实现全国消纳 2 亿 kW 风电的目标，需要提高电源灵活性、实施需求侧管理、扩大电网范围三大途径合力。2015—2020 年全国新增风电装机容量约 12 600 万 kW，其中电源侧消纳 1890 万 kW，电网侧消纳 4170 万 kW，负荷侧消纳 6540 万 kW。电源侧、电网侧、负荷侧的举措对全国风电消纳的贡献度分别为 15.0%、33.1% 和 51.9%。

陆上风电标杆上网电价下调，引导风电布局调整。2014 年 12 月 31 日，国家发展改革委下发《关于适当调整陆上风电标杆上网电价

的通知》(发改价格〔2014〕3008号),决定将第Ⅰ类、Ⅱ类和Ⅲ类资源区风电标杆上网电价每千瓦时降低2分钱,调整后的标杆上网电价分别为0.49、0.52、0.56元/(kW·h);第Ⅳ类资源区风电标杆上网电价维持现行0.61元/(kW·h)不变。上网电价调整后,对“三北”地区风电场项目内部收益率的影响约为0.5个百分点,进一步降低了这些地区风电项目的盈利水平;中东部大部分地区属于第Ⅳ类资源区,风电运行基本不存在弃风,风电场的内部收益率超过9%,总体上盈利水平较好,预计风电将加快发展。

德国成功应对日全食对光伏发电影响,对我国高比例可再生能源接入条件下电力系统安全稳定运行等有重要借鉴意义。2015年3月20日上午9点33分至11点52分,德国迎来日全食,造成光伏出力短时大幅波动,德国电网通过精确预测光伏出力做好充分预案、准备充足备用容量、充分利用灵活电源及欧洲互联电网实时调节能力等手段成功应对。德国光伏发电发展对我国光伏发电发展有重要借鉴意义:一是我国可再生能源法律法规的制定修订应借鉴德国的历史轨迹和经验教训,二是高比例光伏接入条件下的电网安全稳定运行需要充分发挥电网互联、新能源发电预测等重要作用,并保障充足的可调度资源。

光热发电具有良好的系统价值和成本下降潜力,具有较好的发展前景。从电网系统的角度来看,光热发电可通过配备储热/燃气平滑出力曲线,并更好地与负荷匹配,与光伏发电相比还可以减小系统备用等辅助服务成本,具有更好的电网友好性。同时,光热发电成本进一步下降,青海中控德令哈塔式光热发电站的度电成本能够降至1.2元/(kW·h)。未来,随着光热发电技术的进步,光热发电成本下降的潜力将更大。

预计2015年,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 2015 年我国风电由高速增长期步入稳定增长期，风电累计装机容量将达到 1.2 亿 kW，突破“十二五”风电规划目标已成定局；光伏发电将继续快速增长，2015 年预计新增 1900 万 kW 左右。

新能源发电发展基本情况

经过近 10 年的艰苦努力,我国新能源发展已经走在了世界前列。2012 年风电累计并网容量位居全球第一,2013 年光伏发电累计并网容量位居世界第二,新能源开发利用水平与欧美等先进国家相当。2014 年,我国新能源发电累计并网容量突破 1 亿 kW,全年发电量超过 2000 亿 kW·h,相当于节约 6900 万 t 燃煤,减排 1.7 亿 t 二氧化碳。

截至 2014 年底,我国新能源发电并网容量约 13340 万 kW,同比增长 30%,如图 1-1 所示。其中,风电并网容量 9581 万 kW,太阳能发电并网容量 2807 万 kW,其他新能源发电并网容量约 952 万 kW,分别占新能源发电并网容量的 72%、21%、7%。2014 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占我国全部发电装机容量^①的 9.8%,比 2013 年提高 1.6 个百分点。

2014 年,我国新能源发电量约为 2190 亿 kW·h,同比增长 18%,如图 1-3 所示。其中,风电发电量 1563 亿 kW·h,太阳能发电量 208 亿 kW·h,其他新能源发电量约 418 亿 kW·h,分别占新能源发电量的 71%、10%、19%。2014 年我国新能源发电量构成如图 1-4 所示,我国新能源总发电量约占全部发电量^②的 3.9%,比 2013 年提高 0.5 个百分点。

① 数据来源:中国电力企业联合会《2014 年电力工业统计快报》,2014 年全国发电装机容量为 136 019 万 kW。

② 数据来源:中国电力企业联合会《2014 年电力工业统计快报》,2014 年全国全口径发电量为 55 459 亿 kW·h。