

DOI: 10.7667/PSPC160520

高弃风弃光背景下中国新能源发展总结及前景探究

周强^{1,2}, 汪宁渤^{1,2}, 何世恩^{1,2}, 沈琛云³, 杨林⁴, 赵龙^{1,2}, 陈钊^{1,2}

(1. 甘肃省电力公司风电技术中心, 甘肃 兰州 730050; 2. 甘肃省风电并网工程技术研究中心, 甘肃 兰州 730050;
3. 国网北京经济技术研究院, 北京 102209; 4. 国网甘肃省电力公司甘南供电公司, 甘肃 合作 747000)

摘要: 针对当前中国新能源存在的高弃风弃光率问题, 基于 2004 年至 2015 年国家能源局发布的数据, 全面总结了过去十二年中国新能源发展历程。通过对新能源上网电量以及各区域、各省份弃风率和弃光率的计算, 总结了我国新能源发展的六大特点, 分析了造成当前中国新能源高弃风弃光率的五大原因。从实现新能源可持续发展的层面, 提出了解决中国高弃风弃光率的六条措施, 重点需要在国家层面上加强统一的电力系统规划等顶层设计, 增强电力资源配置能力。最后展望了中国新能源未来发展前景, 为当前中国新能源健康发展提供借鉴。

关键词: 高比例新能源; 新能源分布; 高弃风弃光率; 新能源前景

Summary and prospect of China's new energy development under the background of high abandoned new energy power

ZHOU Qiang^{1,2}, WANG Ningbo^{1,2}, HE Shien^{1,2}, SHEN Chenyun³, YANG Lin⁴, ZHAO Long^{1,2}, CHEN Zhao^{1,2}

(1. Wind Power Technology Center of Gansu Electric Power Company, Lanzhou 730050, China; 2. Wind Power Engineering and Technology Research Center of Gansu Province, Lanzhou 730050, China; 3. State Grid Economic Research Institute, Beijing 102209, China; 4. Gannan Power Supply Company of State Grid Gansu Electric Power Corporation, Hezuo 747000, China)

Abstract: In order to analyze the causes of high abandoned new energy rate in China, and using data presented by National Energy Administration from 2004 to 2015, this paper comprehensively summarizes the process of China's new energy development in the past twelve years. By calculating new energy power connected to grid and abandoned new energy rate in regions and provinces of China, it sums up six characteristics of China's new energy development and presents five causes which make high abandoned new energy rate in China. From the realization of the sustainable development of new energy, it puts forward six solutions, which need to strengthen the unified power system plan at the national top-level and enhance power energy allocation ability. Finally, it predicts the development prospects of China's new energy.

This work is supported by National High-tech R & D Program of China (No. 2011AA05A104), Science and Technology Program of State Grid Corporation of China (No. 522727160002), and Gansu Provincial Power Company Program (No. 52272716000G).

Key words: high proportion of new energy sources; new energy distribution; high abandoned new energy power rate; new energy prospect

0 引言

过去的十年是中国新能源发展速度最快、成就最为显著的十年。进入 21 世纪, 中国决策层高瞻远

瞩, 立足新时期全球能源发展变局和国内外经济发展新趋势, 做出了加快新能源开发的战略部署。自此, 中国新能源开发步入了高速发展的快车道, 创造了全球新能源发展史上“中国速度”和“中国模式”^[1-3]。经过十年的发展, 截至 2015 年底, 中国风电、光电累计装机容量及新增装机容量均居世界首位, 成就令世界瞩目。本文将系统分析 2004 年至 2015 年间中国新能源发展历程、取得成就以及

基金项目: 国家高技术研究发展 863 计划项目 (2011AA05A104); 国家电网公司科技项目资助 (522727160002); 甘肃省电力公司科技资助项目 (52272716000G)

存在问题。

1 发展历程回顾

中国风电装机容量从2004年的743 MW到2015年底的145104 MW,增长了195倍;光电装机容量从2004年的64 MW到2015年底的43180 MW,增长675倍。截至2015年底,中国风电、光电累计装机容量及新增装机容量均居世界首位,图1、图2分别是中国2004年至2015年间风电、光电累计装机容量^[4-12]、增长率及占全球比重的统计分布图。



图1 2004—2015年中国风电累计装机容量及全球占比

Fig. 1 Total wind power installed capacity and globe proportion of China between 2004 and 2015



图2 2004—2015年中国光电累计装机容量及全球占比

Fig. 2 Photovoltaic total installed capacity and globe proportion of China between 2004 and 2015

从图中可知,中国风电装机容量从占全球风电装机容量的1.56%增长至2015年的33.06%;光电装机容量从占全球风电装机容量的1.68%增长至2015年的19.20%,取得的成就显著。

2 中国新能源地域分布

2.1 风电

(1) 各区域风电分布^[4-11]

截至2015年底,中国各区域风电累计核准容量、并网容量及新增装机容量^[4-6]如图3所示。

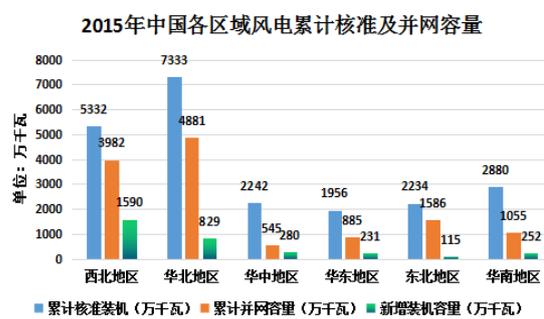


图3 2015年中国各区域风电累计装机容量、并网容量及新增装机容量

Fig. 3 Regional cumulative wind power capacity, grid capacity and new installed capacity in 2015

从图3可知,累计核准容量排在前三位的是华北、西北和华南地区,华北、西北和华中地区新增装机容量排在前三位。其中以分布式开发为主的华南地区,风电开发取得的成绩显著。

(2) 各省风电分布

截至2015年底,中国32个省市均有风电并网,重点省份的风电累计核准容量、并网容量及新增并网容量^[6]如图4所示。

从图4可知,内蒙古、新疆和河北风电累计核准容量位列中国前三位,累计并网容量排在前三位的是内蒙古、新疆和甘肃。

(3) 风电投资业主情况

截至2015年底,中国风电投资企业累计装机容量及累计装机市场份额^[6]如图5所示,新增装机容量及市场份额^[6]如图6所示。

图5所示,风电投资企业累计装机容量排前三位的分别为国电、华能和大唐,所占市场份额分别为16.7%、11.3%和9.2%。从图6可知,风电开发企业新增装机容量排前三位的分别为国电、华能和国电投,所占市场份额分别为11.6%、10.6%和8%。

(4) 风电制造商吊装容量

2015年中国风电制造商风机吊装容量、新增吊装容量和新增吊装容量市场份额^[6]情况分别如图7所示。

从图7可知,金风、华锐和联合动力位列累计吊装容量前三位,吊装容量分别为31130 MW、16240 MW和14450 MW。新增吊装容量位列前三位的是金风、联合动力和明阳,新增装机市场份额分别为21.71%、8.57%和7.03%。

2.2 光电

(1) 各区域光电分布

截至2015年中国各区域累计装机容量和新增装机容量^[7]如图8所示。

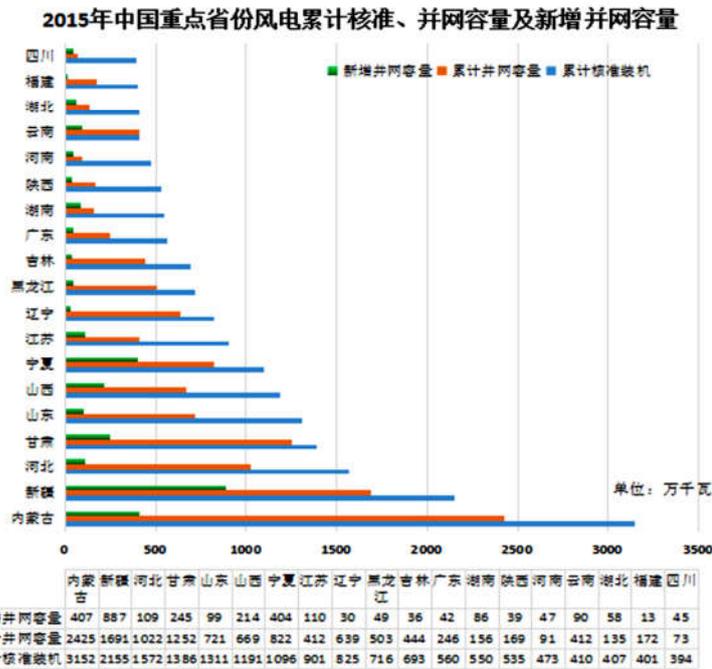


图 4 2015 年中国重点省份风电累计核准容量、并网容量及新增并网容量

Fig. 4 Cumulative wind power approval capacity, grid connected capacity, new increase capacity in provinces of China in 2015



图 5 2015 年中国风电投资企业累计装机容量及
累计装机市场份额

Fig. 5 Cumulative installed capacity and total installed capacity of China wind power investment enterprises in 2015



图 6 2015 年中国风电投资企业新增装机容量及市场份额

Fig. 6 Wind power investment enterprises cumulative capacity and approved capacity plans of China in 2015



图 7 2015 年中国风电整机制造企业累计、新增并网容量及新增装机市场份额

Fig. 7 Wind power manufacturers capacity, new increase capacity and market share of China in 2015



图 8 2015 年中国各区域光电累计及新增装机容量

Fig. 8 Cumulative installed capacity and new installed capacity in various region of China in 2015

从图 8 可知, 西北地区、华北地区和华东地区光伏装机容量位列前三位, 其中西北和华北地区主要以光伏电站的形式为主, 华东和华中地区分布式光伏开发占比较高。

(2) 各省光电分布

截至 2015 年底中国重点省份光伏累计装机及新增装机容量^[7]如图 9 所示。

从图 9 可知, 甘肃、新疆和青海光伏装机容量和新增装机容量均位列前三位, 其中新疆和甘肃不但拥有高比例的风电装机, 同时光伏装机高据中国前两位。



图 9 2015 年底中国重点省份光伏累计装机及新增装机

Fig. 9 Cumulative photovoltaic total installed capacity and new install capacity in key provinces of China in 2015

(3) 光电投资业主情况

截至 2015 年底中国主要光电投资企业装机容量^[4,7]如图 10 所示。

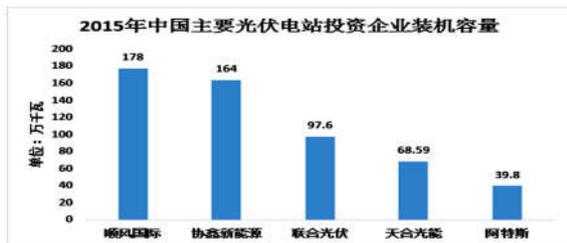


图 10 2015 年底中国主要光电投资企业装机容量

Fig. 10 Installed capacity of China major photovoltaic investment enterprises in 2015

从图 10 可知, 顺风国际、协鑫新能源和联合光伏的电站装机容量均超过或接近百万千瓦, 顺风国际累计装机已达 1780 MW。

(4) 光电制造商吊装容量

截至 2015 年底, 中国主要光伏组件生产企业

产能^[4,7]情况如图 11 所示。

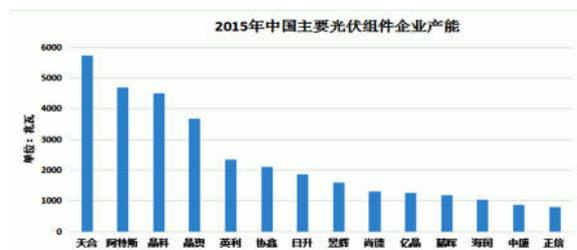


图 11 2015 年中国主要光伏组件生产企业产能情况

Fig. 11 Main PV module production capacity of enterprises of China in 2015

从图 11 可知, 天合光能、阿特斯和晶科光伏组件生产企业产能位列中国前三位, 分别达到 5737.3 MW、4706 MW 和 4511.6 MW。

3 新能源运行情况分析

3.1 风电运行情况

中国 2011 年至 2015 年中国风电上网电量^[4-11]

如图 12 所示。

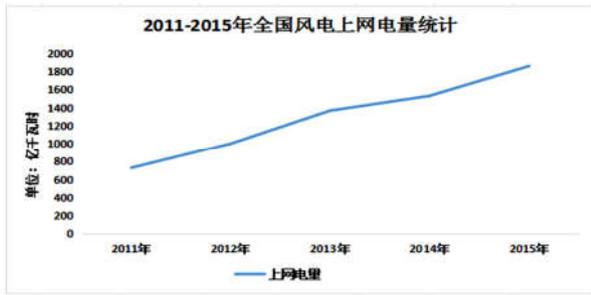


图 12 2011-2015 年中国风电上网电量

Fig. 12 Wind power connected to grid of China between 2011 and 2015

从图 12 可知，自 2011 年以来，风电上网电量持续增加，到 2015 年达到 1863 亿 kWh，2011 年至 2015 年风电上网电量总计为 6503.74 亿 kWh。

(1) 各区域风电上网电量

2015 年中国各地区风电上网电量、弃风电量及弃风率^[6]如图 13 所示。

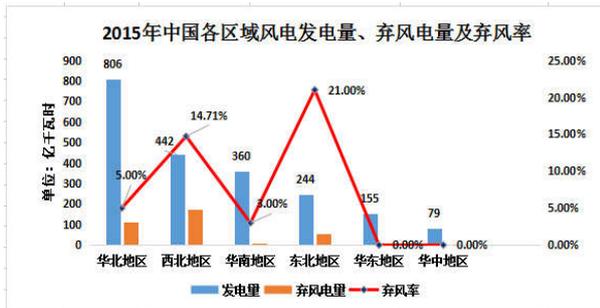


图 13 2015 年中国各区域电网风电上网电量、弃风电量及弃风率

Fig. 13 Wind abandoned power and abandoned wind power rate in regions of China in 2015

从图 13 可知，华北、西北和华南地区风电上网电量位居前三位，分别达到 806 亿 kWh、442 亿 kWh 和 360 亿 kWh。随着近年来风电装机容量的不断攀升，东北和西北地区陷入弃风窝电的困境，弃风率分别达到 21%和 14.71%。

(2) 重点省份风电上网电量

2015 年中国主要省份风电上网电量、弃风电量和弃风率^[8]情况如图 14 所示。

从图 14 中可知，内蒙古、河北和新疆风电上网电量居前三位，其中内蒙古、甘肃和新疆总弃风电量位列中国前三位，弃风率分别达到 18%、32%和 39%。

(3) 风电利用小时数

2011 年至 2015 年中国各地区平均利用小时数统计^[4-11]情况如图 15 所示。

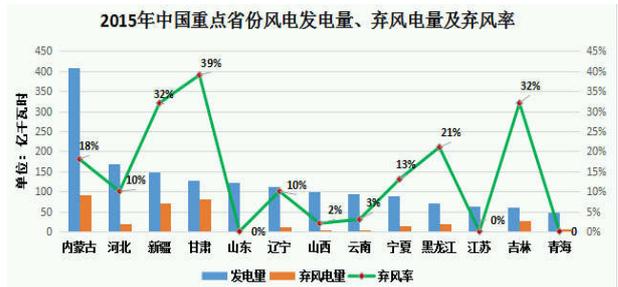


图 14 2015 中国重点省份风电上网电量、弃风电量及弃风率

Fig. 14 Wind power connected to grid, wind abandoned power and wind power abandoned rate in key provinces of China in 2015



图 15 2011—2015 年中国各区域风电平均利用小时数统计

Fig. 15 Wind power average utilization hours in regions of China between 2011 and 2015

从图15可以看出，作为中国风电重点区域的“三北”地区同时也是中国风电高弃风区域，其中风电利用小时数最小为东北地区，过去五年的平均利用小时数为 1901 h。中国风电主要省份风电利用小时数^[4-11]统计如图 16 所示。



图 16 2011—2015 年中国主要省份平均利用小时统计

Fig. 16 Average utilization hours of key provinces of China between 2011 and 2015

从图 16 可以看出，在过去四年里，风电平均利用小时数最高的为新疆，同样作为风电大省的吉林、甘肃，风电平均利用小时数均不高。

3.2 光电运行情况

(1) 光伏发电量

2015 年中国光伏上网电量情况^[4,7]如图 17 所示。

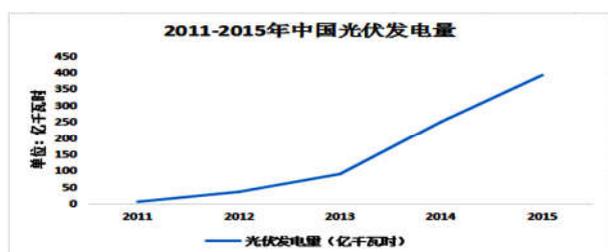


图 17 2011—2015 年中国光伏发电量统计

Fig. 17 Photovoltaic power connected to grid of China between 2011 and 2015

从图 17 可知, 自 2011 年起, 中国光伏上网电量持续增加, 到 2015 年达到 392 亿 kWh, 2011 年至 2015 年总的光伏上网电量达到 774 亿 kWh。

(2) 光伏发电利用小时

2011—2015 年中国重点省份光伏发电满负荷小时数^[4,7]的统计如图 18 所示。



图 18 2011—2015 年中国光伏新增装机及光伏利用小时数

Fig. 18 Photovoltaic power generation full use hours in key provinces of China between 2011 and 2015

从图 18 可知, 2011 年至 2012 年, 新增装机容量减少, 但光伏利用小时数增加。2012 年至 2015 年随着新增光伏装机容量增加, 官方利用小时数从 2013 年的 1368 h 减少至 2015 年的 1133 h。

4 弃风弃光情况

4.1 弃风情况

在过去五年中国风电发展历程中, 一直有两种现象伴随始终: 一是风电装机容量持续攀升的“捷报”; 其次是消纳能力不足而造成的弃风困局, 这成为中国当前新能源开发的显著标志。2011 年至 2015 年中国弃风电量统计^[4-11]情况如图 19 所示。

对比图 12 和图 19 可知, 2011 至 2012 年伴随着风电上网电量的增加中国弃风电量也持续上升, 在 2012 年底达到了最高点。在之后的 2013 年至 2014 年由于国家主管部门出台的相关政策的效力下, 虽然这段时间装机容量依然保持高速增长, 但弃风现象有了一定的缓解。但进入 2015 年, 2015

年全年的弃风电量 339 亿 kWh, 同比增加 213 亿 kWh, 平均弃风率 15%, 弃风电量再创新高, 2011 年至 2015 年总弃风电量达到 959 亿 kWh, 平均弃风率达到 13.4%。2011 年至 2015 年中国重点省份平均弃风率的统计情况如图 20 所示^[4-11]。

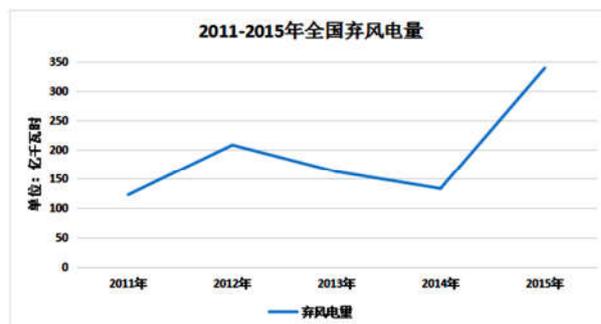


图 19 2011—2015 年年中国弃风电量统计

Fig. 19 Disposable wind power of China between 2011 and 2015



图 20 2011—2015 年中国重点省份弃风率统计

Fig. 20 Abandoned wind power rate in key provinces of China between 2011 and 2015

从图中可知, 2011 年至 2015 年间平均弃风率最高的前三省份为吉林、甘肃和蒙东, 中国风电陷入了弃风窝电的发展困局。

4.2 弃光情况

自 2012 年之后中国光伏装机容量开始高速增长, 由于跟同时期风电并网容量持续增长的叠加下, 继“弃风”之后“弃光”问题也逐渐凸显。根据国家能源局发布的《2015 年光伏发电相关统计数据》及国家电网公司数据, 2015 年中国累计光伏发电量 392 亿 kWh, 国网电网调度范围(不含蒙西)弃光电量为 46.5 亿 kWh, 弃光率为 12.62%, 主要集中在西北地区的甘肃、青海、新疆和宁夏四个省区, 2015 年西北地区弃光电量及弃光率^[4,7]如图 21 所示。

其中, 甘肃省弃光电量 26.19 亿 kWh, 弃光率 31%, 新疆(含兵团)弃光电量 15.08 亿 kWh, 弃光率 26%。继风电遭遇“弃风”之后, 中国光伏发电也陷入“弃光”困境。

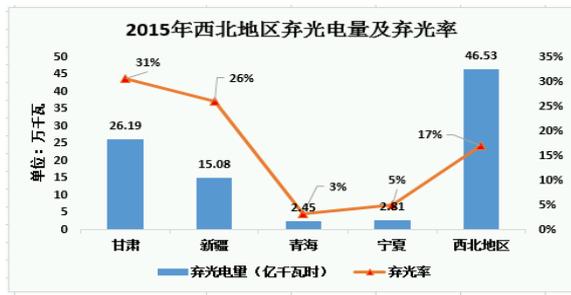


图 21 2015 年西北地区弃风电量及弃风率统计

Fig. 21 Abandoned wind power and abandoned wind rate in northwest region of China in 2015

5 中国新能源发展总结

中国以风电为代表的新能源自 2004 年起步，于 2008 年步入高速发展的快车道，装机容量持续攀升；继风电之后，光电在 2010 年后也以“井喷式”的发展模式装机容量不断倍增，中国新能源的发展以世界罕见的“中国速度”创造了举世瞩目的辉煌成就，极大地带动了中国风电、光伏产业链的高速增长^[11-15]。截至 2015 年底，中国风电、光电装机容量均位居世界首位。回首过去 12 年的发展历程，这一时期中国新能源发展特点和做法主要有：

(1) 立足国内资源禀赋，统筹规划新能源开发顶层设计

根据中国能源资源分布不均的现状，经济发展水平相对落后的“三北”（即：西北、东北和华北）地区资源丰富，而在经济发达的华东、华中地区资源匮乏，为保障经济可持续性发展，国家决策层从国家能源战略角度统筹规划了八个新能源基地（即：甘肃、内蒙古、新疆、河北、吉林、江苏、山东），为中国新时期经济社会发展的构建了坚实的能源屏障。

(2) 积极利用制度优势，开创高比例集中式开发新模式

以 2008 年甘肃酒泉首个千万千瓦级风电基地获批建设为标志，中国进入了轰轰烈烈的新能源建设热潮，中国高比例集中式开发、远距离输送的新能源开发帷幕开启，中国风电、光电装机容量持续攀升，截至 2015 年底，风电、光电装机容量均位居世界首位。

(3) 风电先行光电跟进，创风光电装机容量现象级增长

风电由于其自身的优势，长期以来充当着中国新能源开发的“先锋”角色，装机容量自 2004 年到 2015 年增长了 195 倍；在这期间，随着中国新能源战略的横向深化和纵向推进，继风电的“井喷式”

发展之后，中国光电也迎来“爆发式”发展，装机自 2004 年至 2014 年增长 675 倍，创造了全球新能源开发史上的奇迹。

(4) 科学布局鼓励创新，培育门类齐全结构合理产业链

过去十年，伴随着中国新能源战略的出台和实施，政府决策层从国家层面出台了一系列政策措施，从全局角度积极布局中国风电和光电产业链条，鼓励和支持新能源制造企业的自主创新。经过十年发展，中国在风机和光伏领域已拥有从原件级到成套设备的全产业链，并培育了多家世界级的风机和光伏制造企业，并有多家企业已走出国门，将中国品牌的风机和光伏装备卖到了世界各地，全面提升了中国品牌的品牌形象。

(5) 发用与用电市场逆向错位，新能源电力配置能力不足

从图 3、图 4 可知，中国新能源装机容量大省基本都位于经济发展水平较为落后的“三北”地区，负荷水平不高，而中国的负荷中心在华东和华中地区，存在着发电和用电市场的逆向错位，由于输送线路和政策的不健全，当前中国新能源电力的配置能力不足。

(6) 大范围弃风弃光比率攀升，新能源开发陷入消纳困局

近十年中国新能源开发“高歌猛进”，不断刷新的新能源装机容量创造了令世界惊叹的巨大成就，但在新能源“一片繁荣”的背后，隐匿着高比例的弃风、弃光，2011 年至 2015 年中国总弃风电达到 959 亿 kWh，中国风电大省无一例外地陷入弃风弃光困局，2011 年至 2015 年间吉林、甘肃、蒙东平均弃风率分别达到 22.7%、30.51%、30.06% 和 20.95%，中国新能源的发展陷入了消纳之殇。

6 存在的问题及前景预测

6.1 存在的问题总结

从图 1 和图 6 可知，自 2011 年起，中国新能源发展进入了高装机容量、高装机增速、高弃风率、高补贴和低利用率（即“四高一低”）的发展阶段，这也是当前阶段中国新能源产业的主要特征。在中国新能源高速发展、取得辉煌成就的同时，也存在以下五大问题：

(1) 在国家层面上缺乏顶层的电力系统规划，没有统一的电源与电网的规划，电源建设速度远超电网建设速度，导致新能源配置能力不足。

在过去十年电力综合规划缺失期间，虽然各种电源、电网都制定了各自规划，但均是“各行其是”，

缺乏统一的协调和联动,这种电源与电网建设脱节,导致了过去十年中频繁出现东部省份负荷高速增长“缺电频发”,而“三北”地区却是由于风电、光电无法送出的“窝电”,能源配置机制失控。

(2) 当前新能源消纳方式单一,特高压外送通道缺乏,导致配置能力不足,中国新能源发展陷入消纳困境。

当前中国新能源开发主力“战场”是经济欠发达的“三北”地区,当地消纳能力有限,新能源装机容量远超其消纳能力,当前主要解决途径是借助特高压输电通道,但由于外送通道不足,弃风、弃光比例持续增大。

(3) 新能源装机容量批复节奏过快,集中管控力度不够,新能源开发一度呈现“失控”态势。

国家主管部门对于新能源审批采取“管大放大”的方式来管理,在过去很长一段时间里,超过 50 MW 的风电场由国家能源局审批,低于 50 MW 的风电场则有地方政府审批,而地方政府为了自身利益,将很多风电场拆分成 49.5 MW 以下风电场,这种政策造成了中国范围内 49.5 MW 风电场的大量出现,使得很多省份的风电装机总量超过了国家主管部门总体规划批复的装机容量。

(4) 随着装机容量的持续攀升,国家可再生能源基金补贴额度如滚雪球一样缺口持续增加,新能源产业自身“造血”功能不足影响了可持续发展。

在当前政策背景下,中国对于风电、光电均按照当地火电脱硫标杆电价来收购,超出的部分有国家可再生能源基金补贴,随着中国新能源并网容量的持续攀升,补贴金额也“水涨船高”,总体缺口不断增大,新能源自身“造血”功能不足,影响中国新能源的可持续性发展。

(5) 当前中国风电、光伏新能源装备制造企业同质化竞争严重,核心技术缺乏,可持续发展潜力不足。

自 2008 年起在中国新能源蓬勃发展的浪潮中,国内新能源装备制造企业抓住了超常规发展的历史机遇,实现了快速崛起,短期内培育了一批知名的新能源装备制造企业,快速占领了国内广阔新能源装备市场,并有个别企业走向海外,在国外站稳了脚跟,使得“中国制造”扬名海外。在这些辉煌的背后,风机控制系统等核心技术方面仍掌控在国外企业手里,但是为了抢占市场占有率,企业之间以“价格战”为主要手段,通过不断地压低价格来打压对手,随着中国新能源产业整体进入平缓发展期,核心竞争力不足和同质化竞争导致的短板逐渐显现,新能源装备制造企业步入了发展的寒冬期。

6.2 可采取的措施

在这种背景下,基于当前中国新能源发展存在的问题,为了促进中国新能源健康可持续发展,可以采取以下六条措施。

(1) 针对“三北”地区消纳能力有限,外送通道不足的问题,需要开拓思路,突破传统思维,创新新能源利用途径,比如可以利用电解水制氢气、发展高效率储能和继续推广电动汽车等途径多措并举推进新能源消纳。

(2) 营造自主创新的良好氛围,出台培育一流企业的产业政策,引导新能源装备制造企业从重“数量”到重“质量”的良性转变,培育核心竞争力,真正实现从“中国制造”到“中国智造”的转变。

(3) 改革现有依托国家可再生能源补贴基金促进新能源开发的政策,引入竞争机制,增强新能源企业自身“造血”能力,破解可再生能源补贴缺口难题。

(4) 统筹全局,立足长远,在国家战略层面制定全局的新能源及消纳规划,强化执行监督,加强地方政府审批管控,促进新能源健康可持续发展。

(5) 在国家层面制定涵盖电源和电网统一的短期及长期电力系统规划,促进电源和电网的同步协调建设,改善现有电源建设速度远超电网建设进度的“扭曲”局面。

(6) 在现有基础上继续制定和完善中国新能源相关政策法规,优化制度机制的顶层设计,为中国新能源产业可持续发展提供完备的政策“软通道”土壤。

6.3 发展前景预测

(1) 短期内发展前景

在短期内,中国新能源依然会保持高速发展的态势,但发展道路充满荆棘。在内因方面:自 2008 至 2015 年在高速发展了七年后,中国新能源产业进入了政策效力集中“凸显期”和“后消化期”,因此,装机容量依然会继续高速增长。在外因方面:由于当前中国宏观经济从高速增长步入中低速增长的新常态,第二产业及高载能产业进入产业“寒冬”,总的用电量持续下滑,并且随着新常态成为中国今后一段时期内经济发展的主要形态,因此在短期内,由于消纳困难造成的“弃风、弃光”问题在一段时间内依然会存在,很难有效化解。

(2) 长期发展前景

从长期来看,中国新能源将依然会保持高速发展的态势。这主要因为,在经过中国经济经历三十多年的快速增长之后,在取得巨大成就的背后,环境和资源问题日益显现。近年来频发的环境问题为

中国以往的能源消费模式敲响了警钟,中国资源环境领域的短板凸显,非化石能源发展与现行能源体系和体制机制的矛盾日益突出,当前严峻的资源环境压力倒逼中国必须加快能源体制机制转型发展,中国生态文明建设和全面深化改革都决定了发展清洁能源将是中国能源战略的重点,因此,装机容量依然会继续高速增长。

7 总结

本文通过国家主管部门发布的权威数据,全面总结了我国过去十二年以风电和光电为核心的新能源发展历程,分区域和省份(重点新能源省份)对新能源装机容量、利用小时数、上网电量、弃风率、弃光率进行了统计分析,总结了我国新能源发展的六大特点,存在的五大问题,提出了六条解决思路,最后对我国新能源的发展前景进行了预测。可为我国主管部门下一步新能源政策的制定提供参考和借鉴。

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.
- [2] 周强, 汪宁渤, 冉亮, 等. 中国新能源弃风弃光原因分析及前景探究[J]. 中国电力, 2016, 49(9): 7-12, 159.
ZHOU Qiang, WANG Ningbo, RAN Liang, et al. Cause analysis on wind and photovoltaic energy curtailment and prospect research in China[J]. Electric Power, 2016, 49(9): 7-12, 159.
- [3] 董永平, 何世恩, 刘骏, 等. 低碳电力视角下的风电消纳问题[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(5): 12-16.
DONG Yongping, HE Shien, LIU Jun, et al. Wind power consumption problem in the view of low carbon power[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(5): 12-16.
- [4] 全球新能源发展报告 2015[R]. 北京: 中国工商联新能源商会, 2015.
New global energy development report in 2015[R]. Beijing: National Federation of New Energy Chamber of Commerce, 2015.
- [5] 2015 年风电产业发展情况[R]. 北京: 国家能源局, 2015.
National wind power operation report in 2015[R]. Beijing: National Energy Board, 2015.
- [6] 2015 年中国风电装机容量统计[R]. 北京: 中国可再生能源协会风能专业委员会, 2015.
China wind power installed capacity statistics in 2015[R]. Beijing: China Renewable Energy Association wind Energy Specialized Committee, 2015.
- [7] 2015 年光伏发电统计信息[R]. 北京: 国家能源局, 2015.
Statistics of photovoltaic power generation in 2015[R]. Beijing: National Energy Board, 2015.
- [8] 2015 年电力工业运行简况[R]. 北京: 国家能源局, 2015.
Electric power industry profiles in 2015[R]. Beijing: National Energy Board, 2015.
- [9] 2014 年风电产业监测情况[R]. 北京: 国家能源局, 2014.
Wind power industry monitoring report in 2014[R]. Beijing: National Energy Board, 2014.
- [10] 2013 年风电产业监测情况[R]. 北京: 国家能源局, 2013.
Wind power industry report in 2013[R]. Beijing: National Energy Board, 2013.
- [11] 2012 年重点区域风电消纳监管报告[R]. 北京: 国家电力监管委员会, 2012.
Key areas of wind power consumptive regulatory report of China in 2012[R]. Beijing: State Electricity Regulatory Commission, 2012.
- [12] 2011 年重点区域风电消纳监管报告[R]. 北京: 国家电力监管委员会, 2011.
Key areas of wind power consumptive regulatory report of China in 2011[R]. Beijing: State Electricity Regulatory Commission, 2011.
- [13] 李生福, 张爱玲, 李少华, 等. “风火打捆”交直流外送系统的暂态稳定控制研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(1): 108-114.
LI Shengfu, ZHANG Ailing, LI Shaohua, et al. Study on transient stability control for wind-thermal-bundled power transmitted by AC/DC system[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(1): 108-114.
- [14] 刘欣, 郑涛, 黄少锋, 等. 自动重合闸引起风电场连锁脱网的解决策略分析[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(5): 51-56.
LIU Xin, ZHENG Tao, HUANG Shaofeng, et al. Analysis on solution of cascade failure caused by automatic reclosing[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(5): 51-56.
- [15] 滕予非, 行武, 张宏图, 等. 风力发电系统短路故障特征分析及对保护的影响[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(19): 29-36.
TENG Yufei, XING Wu, ZHANG Hongtu, et al. Analysis of characteristics of short circuit fault of wind power system and the impact on the protection[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(19): 29-36.

收稿日期: 2016-04-13; 修回日期: 2016-10-18

作者简介:

周强(1985-), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为新能源并网技术及政策研究。E-mail: eezhouqiang@163.com

(编辑 张爱琴)