

# 能源转型中的中国特色新能源 高质量发展分析与思考

陈国平, 董昱, 梁志峰

(国家电网有限公司, 北京市 西城区 100032)

## Analysis and Reflection on High-quality Development of New Energy With Chinese Characteristics in Energy Transition

CHEN Guoping, DONG Yu, LIANG Zhifeng

(State Grid Corporation of China, Xicheng District, Beijing 100032, China)

**ABSTRACT:** With the continuous deepening of the energy transition strategy and the coming new energy grid-parity, both the development characteristics of new energy and the external situation have changed. Thus, there is an urgent need to analyze the basic principles and key issues of high-quality development of new energy in energy transition. This paper summarized the state and trend of new energy development in China, and analyzed the challenges of new energy development in energy transition and measures to promote high proportion of new energy in foreign countries. On this basis, it further clarified the basic principles which high-quality development of new energy should follow, and analyzed several key issues of high-quality development of new energy, and then proposed the evaluation indexes for high-quality development of new energy.

**KEY WORDS:** energy transition; Chinese characteristics; new energy; high-quality development; evaluation indexes

**摘要:** 随着能源转型战略深入推进和新能源逐步进入平价时代, 迫切需结合新能源自身发展特点和外部形势变化, 分析能源转型背景下我国新能源高质量发展的基本原则和关键问题。该文总结了我国新能源发展现状和形势, 分析了能源转型背景下新能源发展面临的挑战; 分析了国外促进高比例新能源接入的措施及其对我国的可借鉴之处。在此基础上, 进一步明确了我国新能源高质量发展应当遵循的基本原则, 分析了适应我国能源转型的新能源高质量发展关键问题, 并构建了新能源高质量发展评价指标体系。

**关键词:** 能源转型; 中国特色; 新能源; 高质量发展; 评价指标

## 0 引言

近年来, 随着我国新能源技术迅速发展, 新能源发电水平持续提升, 发电成本显著下降; 新能源

消纳问题得到逐步缓减, 发电利用水平不断提升。

“十四五”期间, 新能源逐步实现平价上网, 将由规模化发展逐步进入高质量发展的新阶段。

《能源生产和消费革命战略(2016—2030)》提出到 2050 年我国非化石能源占一次能源消费比例过半的发展目标。新能源作为我国能源转型发展的重要力量, 未来还将持续快速发展, 并逐步成为主力电源, 在电力系统稳定运行、新能源高效利用等方面将面临一系列的挑战<sup>[1-3]</sup>。

国内关于新能源发展的相关思考, 大多从政策引导、电力市场、技术进步等其中一个方面切入, 聚焦于提升新能源规模化发展以及促进新能源消纳。文献[4-6]提出政策方面要强化规划引导和注重优化新能源开发模式和布局, 加强对可再生能源产业支持力度, 推动可再生能源可持续快速发展; 文献[7-8]提出通过优化新能源发展布局、加强网源协调、加强调度运行方式, 解决新能源消纳问题。文献[9-11]提出电力市场在实现资源优化配置、促进新能源消纳方面发挥重要作用。文献[12-14]提出电能替代技术发展和优化调度运行控制技术可以有效促进新能源发展和消纳利用水平的提升。

随着新能源进入高质量发展新阶段, 未来新能源将不再单纯追求规模化发展, 不再以新能源发电利用率提升为唯一衡量指标, 需要统筹电力系统可持续、安全、高效等多目标, 综合考虑政策、市场、技术、标准等因素, 开展系统性研究。结合新能源自身发展阶段和能源转型战略实施、市场化改革推进等外部形势变化, 为进一步推动新能源高质量发

展, 本文对我国新能源发展现状和趋势进行总结, 分析能源转型背景下新能源发展面临的挑战, 总结国外促进高比例新能源接入电网的措施及其可借鉴之处, 提出适应我国能源转型的新能源高质量发展的基本原则、关键问题以及解决途径。

## 1 我国新能源发展现状及面临的形势

### 1.1 我国新能源发展历程及现状

2006 年以前, 我国新能源发电规模较小; “十一五”、“十二五”时期新能源发展加快, 处于规模化发展阶段; “十三五”时期, 我国新能源发电规模维持高速增长, 随着消纳矛盾、补贴缺口等问题逐步凸显, 国家出台一系列政策措施, 优化项目管理方式、提高新能源发电利用率、加快新能源补贴退坡, 推动新能源从规模化发展向高质量发展过渡。

#### 1.1.1 规模布局

2006 年起, 我国新能源经历了十余年的快速发展。截至 2019 年底, 我国风光发电装机突破 4.1 亿 kW, 占全国总装机比重达到 21%, 逐年装机情况如图 1、2 所示。发展布局方面, 2015 年以前, 我国新能源装机主要在“三北”地区; 随着新能源发电装机持续增长, 新能源消纳问题逐步显现, 2016 年起, 国家调整新能源发展管理方式, 建立风

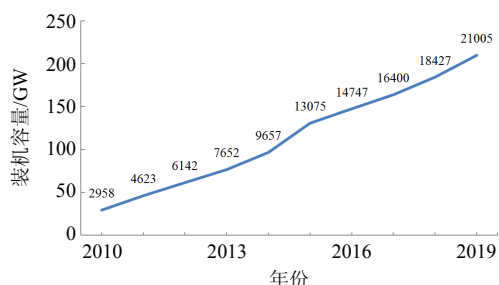


图 1 2010—2019 年我国风电装机容量变化

Fig. 1 Changes in wind power installed capacity of China from 2010 to 2019

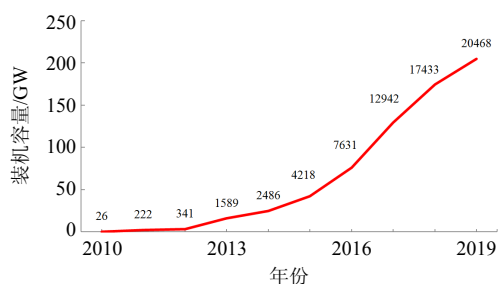


图 2 2010—2019 年我国光伏发电装机容量变化

Fig. 2 Changes in photovoltaic power installed capacity of China from 2010 to 2019

光发电投资监测预警机制, 推动新能源发电布局持续优化, 引导新增装机向东中部等消纳形势较好地区分布, 全国新能源装机分布变化情况如图 3、4 所示。

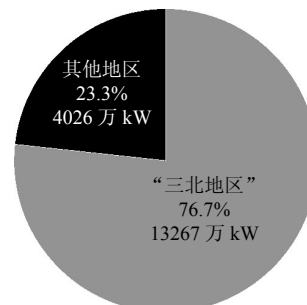


图 3 2015 年全国新能源装机分布

Fig. 3 Distribution of new energy installed capacity of China in 2015

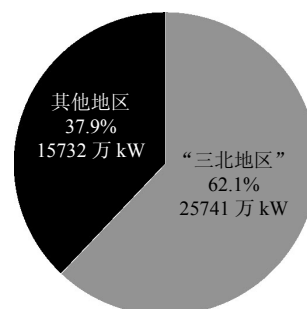


图 4 2019 年全国新能源装机分布

Fig. 4 Distribution of new energy installed capacity of China in 2019

#### 1.1.2 消纳情况

2015 年以前, 我国新能源发电利用率相对较高, 基本未出现明显消纳问题。“十三五”期间, 随着我国新能源发电规模迅速增长, 新能源消纳问题开始显现, 2016 年是我国弃风弃光最为严重的一年, 全年新能源弃电量 567 亿 kW·h, 新能源利用率 84.5%。自 2016 年起, 国家调整新能源发展管理方式, 通过建立风光发电投资监测预警机制、新增项目落实消纳条件、实施消纳保障机制, 新能源发电利用水平不断提升, 消纳形势逐步好转<sup>[15-17]</sup>。2019 年, 全国弃风电量 169 亿 kW·h, 较 2016 年减少 328 亿 kW·h, 全国风电利用率 96%, 较 2016 年提高 13.2 个百分点; 2019 年全国弃光电量 46 亿 kW·h, 较 2016 年减少 24 亿 kW·h, 全国光伏发电利用率 98%, 较 2016 年提高 8.3 个百分点, 风电及光伏发电弃电量及发电利用率变化情况如图 5、6 所示。

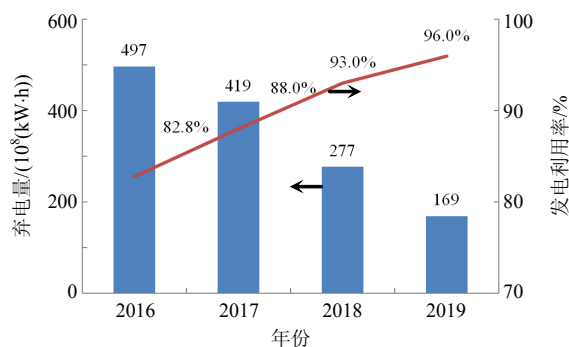


图 5 2016—2019 年全国风电弃电量及发电利用率变化

Fig. 5 Variations of curtailment and generation utilization of wind power of China during 2016–2019

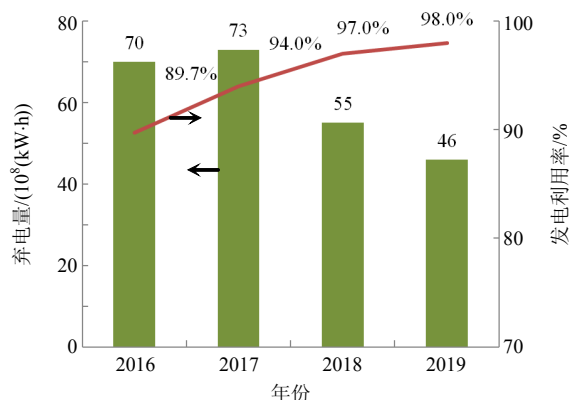


图 6 2016—2019 年全国光伏发电弃电量及发电利用率变化

Fig. 6 Variations of curtailment and generation utilization of photovoltaic power of China during 2016–2019

## 1.1.3 价格补贴

新能源经历了招标和审批电价“双轨制”、固定上网电价、无补贴平价上网的转变过程。2009 年以前，我国新能源以招标电价和政府审批电价为主。2009 年，我国开始实施风电固定上网电价制度；2011 年，我国开始实施光伏发电固定上网电价制度。随后，国家能源主管部门连续 5 次、8 次下调风电和光伏发电的上网标杆电价，详见表 1、2

表 1 我国陆上风电标杆电价/指导电价变化情况

Tab. 1 Changes of China's onshore wind power benchmark price/guidance price

年份	标杆电价/指导电价/(元/(kW·h))			
	I 类	II 类	III 类	IV 类
2009—2014	0.51	0.54	0.58	0.61
2015	0.49	0.52	0.56	0.61
2016—2017	0.47	0.50	0.54	0.60
2018	0.40	0.45	0.49	0.57
2019	0.34	0.39	0.43	0.52
2020	0.29	0.34	0.38	0.47
2021	平价上网			

表 2 我国光伏发电标杆电价/指导电价变化情况

Tab. 2 Changes of China's photovoltaic power benchmark price/guidance price

年份	标杆电价/指导电价/(元/(kW·h))		
	I 类	II 类	III 类
2011	1.15	1.15	1.15
2012—2013	1.00	1.00	1.00
2013—2015	0.90	0.95	1.00
2016	0.80	0.88	0.98
2017	0.65	0.75	0.85
2018.5.31 前	0.55	0.65	0.75
2018.5.31—2019.7.1	0.50	0.60	0.70
2019.7.1—2020.6.1	0.40	0.45	0.55
2020.6.1 后	0.35	0.40	0.49

所示。2019 年起，我国新能源发展逐步进入“后补贴”阶段，通过将新增陆上风电、光伏电站、工商业分布式光伏发电固定上网电价改为指导价、实施竞争性配置方式配置新增风光发电项目，加速新能源补贴退坡。陆上新增风电 2021 年全面将实现平价上网；新增海上风电和光热项目 2022 年起不再纳入中央财政补贴范围。

## 1.1.4 技术进步

随着新能源发电技术不断进步，发电项目建设成本不断下降。2018 年，我国陆上风电投资成本为 7762 元/kW，较 2010 年下降了 19%。2018 年，我国光伏电站装机投资成本为 5817 元/kW，较 2010 年下降 77%，如图 7、8 所示。风电单机容量和轮毂高度持续增加。陆上风电主流机型由兆瓦级以下提高至 2~3MW，风电机组轮毂高度由 80m 增至 120m 甚至 140m。

我国光伏生产工艺水平不断进步，光伏发电电

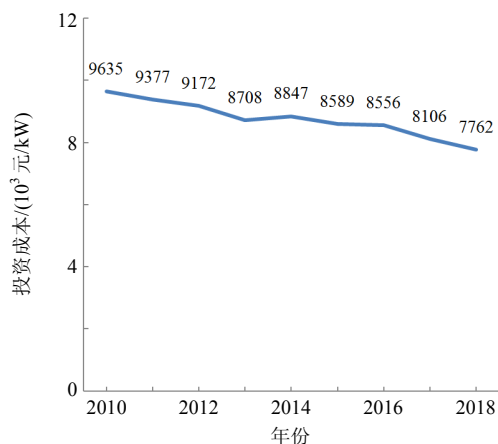


图 7 2010—2018 年我国陆上风电投资成本变化

Fig. 7 Changes of investment cost of China's onshore wind power during 2010–2018

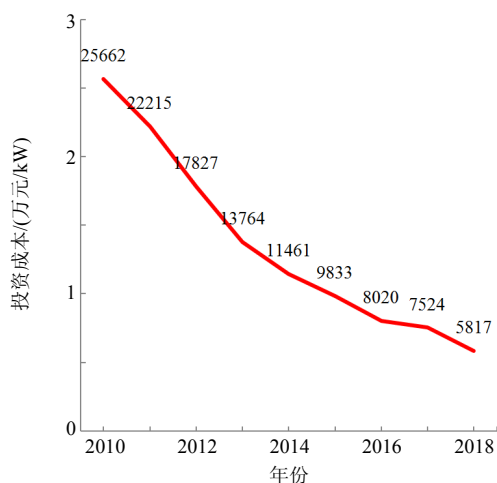


图8 2010—2018年我国光伏发电投资成本变化

Fig. 8 Changes of investment cost of China's photovoltaic power during 2010—2018

池效率不断提升。2018年,规模化生产的多晶黑硅电池效率接近20%;PERC单晶硅和多晶硅电池效率均超过20%,较2010年分别提高约3.5%和4.5%,如图9所示。

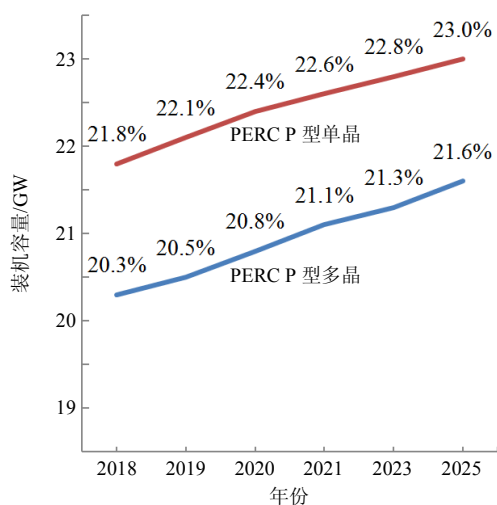


图9 2018—2025年国内PERC P型多晶、单晶硅电池转换效率变化趋势

Fig. 9 Trends of domestic PERC P type polycrystalline, monocrystalline silicon cell conversion efficiency during 2018—2025

### 1.1.5 市场化进程

可再生能源全额收购的概念在2006年《可再生能源法》当中首次提出。2009年,《可再生能源法》正式提出实行全额保障性收购制度。2016年提出建立健全可再生能源发电全额保障性收购制度,将可再生能源发电项目年发电量分为保障性收购和市场交易电量两部分:保障性电量由电网公司按照标杆上网电价全额收购,市场交易电量通过市场

化方式消纳。

2016年起,鼓励新能源参与电力市场,依靠电力市场配置作用提升新能源发电利用水平。通过建立可再生能源就近消纳试点,完善跨省区中长期交易、推进省间现货交易等方式,推动新能源参与市场。

## 1.2 “十三五”我国促进新能源消纳的措施

“十三五”期间,通过加强特高压通道建设、推动灵活性电源建设、优化调度运行、加快电力市场建设、发挥政策指引等多措并举、综合发力,我国新能源发电利用水平不断提升。

### 1.2.1 加强特高压通道建设,提升电网资源配置能力

截至2019年底,国家电网经营区内累计建成特高压输电工程“十一交、十一直”,累计跨区输送能力9560万kW,电网资源配置能力不断提升,为风光大范围消纳提供了基础平台。

### 1.2.2 推动灵活性电源建设,提升系统灵活性

新能源发展占比不断提升,对系统灵活调节能力提出了更高的要求。2019年,国家电网经营区新增火电机组灵活性改造1640万kW,新核准抽水蓄能电站装机容量548万kW。截至2019年底,国家电网在运抽水蓄能电站22座、总装机容量1953万kW。

### 1.2.3 优化系统调度运行,提升电网平衡能力

“十三五”以来,我国持续优化调度运行,推动新能源发电利用率不断提升。加强全网统一调度,开展源网荷储多元协调的调度控制,提升新能源消纳能力。大力推动调峰辅助服务市场建设,截至2019年底,国家电网经营区4个区域、12个省级电网调峰辅助服务市场正式运行,2019年通过市场机制驱动常规电源调峰,多消纳新能源电量124亿kW·h。通过实施区域旋转备用共享,提升新能源发电利用水平。

### 1.2.4 加快电力市场建设,发挥市场配置资源作用

自《关于进一步深化电力体制改革的若干意见(中发[2015]9号)文》发布以来,为缓解局部地区新能源消纳压力,我国陆续开展了一系列新能源市场化交易的探索,使得新能源参与市场交易电量不断增加,交易组织方式不断完善,全国开展了新能源电力直接交易、发电权交易、跨省区中长期交易、跨区现货交易等各类交易组织方式。2019年,国网经营区新能源市场化交易规模达1451亿kW·h。

### 1.2.5 完善政策制度，发挥政策引导作用

“十三五”以来，国家不断完善新能源政策和制度，调整新能源发展管理方式。建立风光发电投资监测预警机制，红色预警地区暂停新增项目建设，引导新能源发电项目布局向消纳条件好的地区优化调整；实施可再生能源电力消纳保障机制，培育用电侧主体绿色消费意识，提高新能源发电利用率；优化项目建设条件，对于新建新能源发电项目，以落实电力送出和消纳条件为建设前提。

## 1.3 我国新能源发展面临的形势

### 1.3.1 新能源发展外部形势

1) 新能源在电力系统中功能定位发生变化。十三届全国人大常委会第十五次会议第二次全体会议提出，针对当前可再生能源发展形势和问题，适时完善可再生能源法。未来，随着大规模新能源装机并网，新能源发电量及其占比不断增加，逐渐从补充电源过渡为主力电源，将对系统运行产生深刻影响。新能源发电定位也将发生转换，需要作为市场主体公平承担电力平衡义务。

2) 国家能源转型目标坚决落实。提高新能源发电量占比，是提升非化石能源消费比重、实现能源转型目标的关键，也是落实国家提出 2030 年、2050 年能源转型战略目标的关键。

3) 电力市场化改革持续推进。近期，我国电力市场建设仍在持续推进，处于计划与市场的过渡期，要实现新能源在电力系统中的高效利用，需要计划与市场的有序衔接。随着市场化改革进一步推进、市场体系的逐步成熟和新能源技术水平的不断提升，未来，新能源参与电力市场规模将逐步扩大，逐步具备新能源全电量参与市场的外部环境，电力市场将成为促进新能源高效利用的重要手段。

4) 国家总体安全观的明确要求。习近平总书记提出要坚持总体国家安全观，走出一条中国特色国家安全道路。我国油气对外依存度高，提高非化石能源消费占比，有利于增强能源安全保障能力，提升国家整体能源安全水平。

### 1.3.2 新能源自身发展形势

综合考虑能源中长期发展战略目标、新能源发展利用情况、发电成本以及电力市场建设等外部环境，未来新能源自身发展还将面临以下形势。

1) 规模布局方面。近期，受消纳条件的影响，我国新能源发展重心由西部北部地区向东中部地

区转移。长远来看，东中部地区发展潜力有限，随着西部北部消纳矛盾的逐步缓解，新增规模可能还将向西部北部地区回流。

2) 运行消纳方面。随着新能源消纳形势逐步好转，关注高比例新能源消纳带来的系统成本上升，成为实现新能源高质量发展的重点。中远期，随着新能源规模逐步扩大成为主导能源，将对电力电量平衡和系统安全运行带来更多挑战。

3) 价格补贴方面。新能源逐步进入无补贴平价上网时代，但部分新能源项目尚不完全具备成本优势，仍需国家补贴。随着技术成本下降，新能源逐步具备平价甚至低价上网能力后，新能源补贴将全面取消。

4) 技术进步方面。“十四五”以来，风电持续向大容量、低风速方向发展，光伏发电效率持续提升。新能源发电价格不断下降，将逐步具备与常规电源相同的竞争力。

## 2 能源转型背景下我国新能源发展面临的挑战

随着新能源自身发展进入新阶段和外部形势变化，新能源在消纳、系统安全运行等方面将面临挑战，同时对顶层政策设计、电力市场建设、整体效益提升也提出更高要求。

### 2.1 政策机制层面，顶层政策设计不够完善

1) 规划建设方面，国家与地方可再生能源发展规划统筹不够，地方规划的发展目标、建设规模、布局 and 速度有时出现与上级规划不一致的情况。新能源开发规划与电网规划衔接不够，电网规划建设与新能源开发利用不适应，电网建设滞后于新能源发展，输电通道外送能力不足。

2) 价格补贴方面，随着新能源发电持续发展，我国新能源发电补贴资金缺口进一步增加，一方面给我国带来财政压力，另一方面补贴兑付不及时也影响新能源企业资金周转。

### 2.2 东中部消纳空间不足，弃电将成为常态

我国经济已由高速增长转向高质量发展阶段，全社会用电量增速将逐步降低。同时，随着能源清洁转型的推进和“平价时代”的到来，新能源装机仍将大幅增加，装机布局也将明显变化。中东部高电价地区发展平价装机意愿较大，分布式发电和海上风电发展提速，弃电将成为全国普遍现象。



## 2.3 高比例新能源接入对电力市场设计提出新要求

新能源出力随机性和波动性,增加了市场运行风险。新能源由于边际成本低、容量成本高,考虑补贴后,在电量市场或现货市场报价中易挤压常规电源发电空间。但由于其出力不确定性,易形成高占比、高风险运行情景。

高比例新能源接入的电力系统对市场设计提出新的要求。市场规则若在设计时仅侧重于鼓励降低运营成本、提高经济效益,就会忽略系统运行备用、稳定和安全,忽视对电网安全有重要支撑作用的常规电源的利益,造成电源发展失衡,影响电网安全运行。

## 2.4 高比例新能源接入对电力系统运行带来挑战

### 1) 电力供应保障难度加大。

在电力平衡方面,新能源出力与用电负荷曲线匹配度较低,甚至某些时段完全相反。随着新能源装机规模增大,出力波动幅值不断增加,新能源日内调峰需求也不断增大。在电量平衡方面,新能源新增发电量难以满足用电量增长的需求<sup>[18-21]</sup>。以国家电网公司经营区为例,根据中国科学院研究预测,2020年和2030年我国新能源装机规模分别达到4.9和11.5亿kW,公司经营区用电需求分别为6和8万亿kW·h左右,按照多年资源计算新能源新增装机发电量不足0.5万亿kW·h,到2025年还存在1.5万亿kW·h的用电空间需火电等常规电源兜底保障。

### 2) 电力系统的脆弱性和复杂性不断增加。

随着新能源大规模接入和跨区直流容量的持续增加,深度电力电子化系统的复杂性、跨区直流大功率冲击下系统的脆弱性,成为电力系统稳定问题的新特征。大规模新能源在电压穿越期间的有功、无功响应等特性已成为影响电压、功角甚至频率稳定的重要因素,特别是分布式电源在频率、电压波动期间容易连锁脱网,扩大故障影响范围<sup>[22-27]</sup>。

新能源网络信息安全逐渐成为新的安全风险点。新能源装机容量小,集中式场站和分布式系统数量庞大,网络安全问题突出。以新能源场站为突破口,通过移动设备连接、非法外联、非法直连等方式绕过“物理隔离”直接攻击电力系统内部,有导致电力非正常停运甚至崩溃的风险。

## 2.5 新能源发展需进一步统筹新能源发展目标和发电利用率

一方面,为满足国家能源转型战略实施,推动

非化石能源消费占比不断提升,未来新能源仍需保持一定的发展规模;另一方面,各省新能源消纳能力成为指导新能源规模布局的重要因素。国家要求电网企业发布各区域年度新能源新增消纳能力,新增新能源发电项目需要以落实消纳条件为建设前提。未来,我国新能源发展需以落实国家能源转型战略目标为前提,统筹新能源发展目标和利用率目标。

## 2.6 新能源发展需从电力系统整体效益着眼考虑

“十三五”期间,我国新能源发展迅速,有力支撑电源清洁替代,推动能源转型战略实施。为满足系统灵活性要求,灵活性电源投资和改造持续增加,推动新能源发电利用率不断提升,发电效益持续增加,但从系统整体效益角度来看,为满足高比例新能源消纳,灵活性电源投资、改造、电网调度运行优化等系统性成本也将增加。目前,在新能源发展过程中对于系统整体效益考虑不足。

从输电线路利用效率来看,新能源发电年利用小时数普遍在900~2400h之间,低于常规电源年发电利用小时数。随着新能源发电占比不断提升,对于以输送新能源为主的特高压输电通道,线路利用小时数较低,从而推高电网运行成本。

## 3 国外促进高比例新能源接入措施及其可借鉴之处

### 3.1 国外促进高比例新能源接入的措施

#### 3.1.1 加强电网互联

欧洲已建成统一同步电网,通过跨国互联实现在欧洲大范围内的资源高效利用。丹麦与周边国家跨国输电线路输电容量达到800万kW,是风电装机容量的1.3倍。跨国电力交换在促进丹麦新能源消纳中发挥重要作用。依靠周边国家水电机组灵活调节能力,丹麦在风电大发期将富余电量送到挪威消纳;在无风时期通过接收邻国水电满足自身用电需求,通过跨国互济实现风电高比例消纳。

#### 3.1.2 提高灵活调节电源比重

随着系统中新能源发电占比提升,考虑新能源发电间歇性和波动性,需要相应规模的灵活调节电源支撑,才能满足系统灵活性需求。美国、欧洲部分新能源发电占比较高国家,均高度重视新能源与电网、调峰电源之间的协调发展。2019年底,美国包括抽水蓄能、燃气机组等在内的灵活调节电源装机6.1亿kW,占总装机比重48.8%;西班牙灵活调

节电源装机容量 0.4 亿 kW，占总装机比重接近 40%。

### 3.1.3 依托统一电力市场实现资源大范围优化配置

欧洲在同步大电网基础上构建了统一电力市场，有效促进了风电、太阳能发电高比例消纳。欧洲统一电力市场目前已实现了日前市场和日内市场的大范围耦合，并逐步推进平衡市场的耦合协调。美国电力市场以区域电力市场为主，随着资源配置需求的提升和电网网架的延伸，电力市场的范围也呈现逐步扩大的趋势。

### 3.1.4 完善新能源发展政策推动能源转型

新能源发展离不开经济激励政策的支持，同时新能源发电技术进步潜力大，发电成本变化快，对政策设计的要求很高。国际上很多国家都引入了新能源发电项目竞争性招标制度，并且制定补贴退坡时间表，降低新能源发电成本，推动新能源健康发展。截至 2019 年底，全球至少已有 109 个国家采用竞标方式确定上网电价。

实施可再生能源配额制是促进清洁能源开发利用的重要措施。美国是世界上实施可再生能源配额制的典型国家，虽然联邦层面的配额制政策尚未建立，全国已有 29 个联邦州以及哥伦比亚特区引入能源配额制。为满足配额指标，售电公司与可再生能源发电商签订长期购电协议(power purchase agreement, PPA)。通过签订 PPA 能够证明发电项目的预期收益，从而降低融资难度，确保项目顺利建设。

## 3.2 国外促进高比例新能源接入的措施对我国的借鉴之处

总体来看，国外通过“技术+市场+政策”三方面协同，促进高比例新能源接入。技术方面，灵活电源比例高，系统调节能力强，能够满足高占比新能源场景下对系统灵活性的需求；与周边国家跨省区通道输送容量大，为新能源大范围优化配置提供了基础。市场方面，国外新能源发电占比高的国家，普遍拥有完善电力现货市场，在电力现货市场中，新能源由于自身发电的低边际成本，在市场中可以优先出清，从而通过市场方式实现新能源高效利用。政策方面，国外新能源通过市场实现高效利用，政策调整重在降低新能源发电成本和促进新能源规模发展。

与国外相比，我国促进高比例新能源接入需要考虑自身特点：一是我国灵活性电源占比低，系统

调节能力需要进一步加强。2019 年底，我国包括抽水蓄能、燃气机组在内的灵活调节电源装机容量 1.2 亿 kW，仅占总电源装机比重的 6%。二是我国能源资源与负荷逆向分布，需要依靠大电网和大市场在全国范围统筹资源配置。三是与国外普遍通过成熟电力市场实现新能源优先发电相比，我国电力市场尚处于起步建设阶段，实现高比例新能源消纳需要依靠电力市场、政策机制、调度运行、技术升级等多方面协同发力。

## 4 适应我国能源转型的新能源高质量发展基本原则

考虑未来我国新能源发展面临的形势与挑战，为推动我国新能源可持续发展、实现 2030 年、2050 年能源转型目标，综合研判，未来将不再单纯追求新能源规模化发展，而是进入新能源高质量发展的新阶段。

新能源高质量发展的内涵，是指秉承“创新、协调、绿色、开放、共享”发展理念，实现新能源“又好又快可持续”发展。“好”是指通过确定合理利用率、提升对电力系统稳定支撑能力、优化涉网性能等手段，支撑电力能源系统清洁、低碳、安全、高效转型；“快”是指适应我国经济社会增长速度、有助于实现能源转型目标的新能源健康稳步发展，既包括装机和发电量的稳步增长，也包括电量占比的稳步提升；“可持续”是指通过推动新能源技术不断进步、成本持续下降、新能源产业生态持续优化，最终实现能源供应体系不断完善，新能源高质量发展的内涵如图 10 所示。

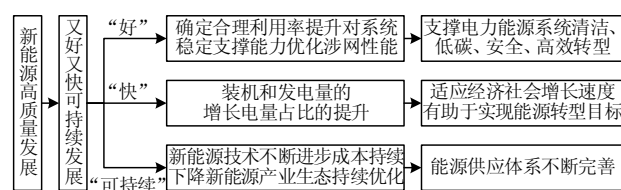


图 10 新能源高质量发展的内涵

Fig. 10 The connotation of high-quality development of new energy

为实现我国新能源高质量发展，应遵循以下基本原则。

### 4.1 坚持以走中国特色高质量发展道路为根本

我国能源资源与负荷呈逆向分布，风能、太阳能集中在西部北部地区，负荷集中在东中部地区。实现新能源高质量发展，必须依托大电网、构建大

市场,通过“西电东送”、“北电南供”,实现能源资源在全国范围的优化配置。

#### 4.2 坚持以实现国际领先水平为追求

我国在新能源开发、大电网建设等方面的部分指标和技术已经达到国际先进水平。为推动实现能源转型背景下的新能源高质量发展,应当继续坚持以实现新能源发展国际领先为追求,在新能源并网技术、电力市场建设等方面,全面对标国际先进水平,助力实现新能源高质量发展。

#### 4.3 坚持以能源转型目标为发展指引

贯彻“四个革命、一个合作”能源安全新战略,是实现新能源高质量发展的最高指引;提升可再生能源发电量占比,是实现能源转型目标的关键。做好包括新能源在内的可再生能源及电力发展的顶层设计,科学合理制定发展目标和时序,做好开发、输送、利用各环节的协调工作。

#### 4.4 坚持以保障电力系统运行安全为首要前提

新能源作为整个电力系统的一个组成环节、电网安全运行的一个组成部分,必须从整体视角看待新能源自身和应具备的技术条件。新能源发展应与电网发展、电力技术进步相适应,保障电力系统稳定运行和可靠供应。电力系统中各类灵活性调节资源的配置,除了要应对用电负荷及电网故障造成的波动,还需承担新能源出力随机波动。

#### 4.5 坚持以市场配置资源为主要手段

随着我国电力体制改革加快推进,利用以市场发现价格、以价格引导电力资源配置的手段,逐步扩大新能源参与市场规模与范围,实现上网电价由市场决定,进而传导至用户侧,实现发用两侧的资源最优配置,依靠市场实现新能源与常规电源一起公平承担电力系统平衡责任,促进新能源消纳和社会福利最大化。

#### 4.6 坚持以全社会环境成本最低、系统整体最优为利用导向

“十四五”及中远期阶段,需要在保障新能源存量项目政策延续性和新能源企业合理收益的前提下,以全社会环境成本最低为目标,引导全社会形成以系统经济性最佳为利用导向,建立“新能源发电量占比+消纳责任权重”双占比为目标的引导制度。发电侧,不断提高新能源发电量占比,推动能源转型战略实施;用户侧,不断提高消纳责任权重指标,通过分省制定消纳责任权重,实现新能源在全国范围内的优化配置。

### 5 适应我国能源转型的新能源高质量发展关键问题及思考

“十三五”期间,我国新能源规模持续扩大,新能源发电利用水平逐步提高。“十四五”期间,我国进入由规模化增长向高质量发展的新阶段。

政策方面,为促进新能源布局优化和发电利用率提升,“十三五”期间提出的消纳保障机制、风光投资监测预警机制、竞争性配置,在“十四五”期间仍将继续实施。“十四五”期间,将继续加强灵活电源建设,加强跨省区通道建设,推进网源协调发展。

市场方面,在“十三五”电力市场初步建设的基础上,“十四五”期间全国统一电力市场建设将加快推进,通过市场优化配置作用不断提升新能源发电利用水平。

技术方面,“十四五”期间,为支撑高比例新能源接入,网源荷储一体化运作将发挥重要作用;依托能源互联网,加快“大云物移智链”等新技术应用,市场化商业模式将不断创新;新能源发电涉网性能逐步提升,新能源作为平等市场主体将公平承担系统调节和电力平衡的责任。

标准方面,随着新能源发电占比不断提升,“十四五”新能源并网、预测技术标准将持续完善,各类灵活性资源设计规范、技术标准也将加快制定。各方面措施对比如表3所示。

结合“十三五”新能源发展现状及未来新能源发展面临的形势与挑战,从政策、市场、技术、标准、指标体系等几个方面阐述新能源高质量发展的关键问题以及相关思考。

#### 5.1 加强适应新能源高质量发展的政策体系顶层设计

协调、贯通的政策机制是新能源健康发展的生命线。需要从规划建设、运行消纳、价格补贴等方面加强新能源政策体系顶层设计。

一是构建统筹协调的规划管理体系。在保障完成国家明确的全国利用率水平的前提下,统筹确定各省差异化利用率目标,基于各省消纳空间合理确定新能源新增规模;完善平价项目管理,推动新增项目实施竞争性配置,促进新能源平价甚至低价上网。逐步推动全面实施竞争性配置。给予地方政府一定自主权,各省区根据差异化的利用率目标及相应电网消纳能力,提出装机规模管理方案。



表 3 “十三五”、“十四五”期间促进新能源发展相关措施对比

Tab. 3 Comparison of measures to promote new energy development between the 13th the 14th five-year plan period

维度	措施内容	“十三五”期间	“十四五”期间
政策	风光监测预警	实施风光监测预警机制，优化新能源项目布局	实施风光监测预警机制，优化新能源项目布局
	竞争性配置	推行竞争性配置，促进新能源发电成本下降	推行竞争性配置，促进新能源发电平价上网
	可再生能源电力消纳保障机制	实施可再生能源电力消纳保障机制，促进新能源发电利用率提升和能源转型推进	实施可再生能源电力消纳保障机制，促进新能源发电利用率提升和能源转型推进
	网源协调规划	加大跨省区通道建设，推进火电灵活性改造，新增发电项目以落实电力送出和消纳为前提	统筹新能源发电项目、灵活性电源、电网建设
	全额保障性收购	保障性收购小时数以内电量电网全额收购，保障小时数以外电量通过参与市场方式消纳	完善全额保障性收购制度，推动新能源参与市场
市场	电力市场建设	探索开展包括中长期交易和现货交易在内的新能源交易	按照“统一市场，两级运作”运作模式推进全国统一电力市场建设
		加快推进电力现货市场试点建设	加快促进新能源高效利用的现货市场建设
	网源荷储一体化	探索开展网源荷储试点建设	推动电力系统源网荷储各环节技术水平升级
技术	新能源发电涉网性能	提升新能源场站涉网性能，支撑大规模新能源接入	研究提升新能源场站故障电压穿越能力，推动新能源机组参与电力系统一次调频
	能源互联网	探索“大云物移智链”新技术的应用场景	推动能源互联网发展，加快“大云物移智链”等新技术在能源互联网中应用；依托能源互联网，探索商业模式创新
标准	新能源并网、预测技术标准	持续完善新能源并网、预测技术标准	加快新能源发电接入标准修订，完善新能源预测及对电力系统的支撑能力、网络安全等相关标准
	灵活性资源标准制定	完善储能技术标准	加快制定储能设计规范、技术标准、试验检测等标准
评价 指标	新能源发展评价指标	以新能源发展规模和新能源发电利用率提高为评价指标	新能源进入高质量发展新阶段，不再以单一追求提高新能源发电利用率为唯一衡量指标

二是完善新能源运行消纳机制。近期，在保障性收购相关政策要求下，全部电量作为优先发电量保障消纳，鼓励超出保障性收购利用小时数的新能源开展市场化交易；通过实施可再生能源电力消纳保障机制，深挖省内新能源消纳空间，同时不断扩大资源优化配置范围。长期来看，逐步降低保障性收购小时数，推动新能源全电量参与市场；逐步完善电力平衡责任管理，弃电责任由电网兜底转为市场补偿。

三是加快新能源补贴退坡，推动新能源平价上网。近期，对于存量国家财政补贴项目，保障存量项目政策延续性和合理收益，推行“价补分离、总额管控”模式；新建项目分类管理、以收定支、补贴退坡；长期来看，持续推动补贴退坡，全面实现平价、低价上网。

5.2 完善新能源参与市场机制实现大范围消纳利用

完善电力市场体系建设、推动新能源参与市场，发挥市场资源配置作用，是促进新能源消纳的重要手段。从市场顶层设计、适应新能源的市场建设、辅助服务市场建设三方面提出建议。

一是推进满足能源转型的电力市场顶层设计。

近期，采取“统一市场，两级运作”模式，明确省间、省内交易定位，处理好各市场成员在两级市场的衔接。中远期，随着发用电计划逐步放开，探索建立多省统一优化的区域级电量市场，实现一级运作的全国统一电力市场，并适时开展容量交易、输电权交易。建立完备的电力市场体系，做好碳市场、绿色证书市场和电力市场的衔接。

二是加快适应新能源消纳的电力现货市场建设。考虑新能源发电的间歇性和波动性，相比于中长期市场，新能源更适合参与短期现货市场，通过低边际成本优势在电力现货市场优先出清。电力现货市场对于促进新能源消纳具有重要意义。加快电力现货市场建设，推动新能源以报量报价或报量不报价方式参与现货市场，建立针对新能源的偏差考核机制，激励新能源提升预测准确性。完善省间与省内市场、现货与中长期市场衔接机制，通过多时间尺度、多市场空间的衔接最大程度促进新能源消纳。

三是完善电力辅助服务市场机制。完善电力调峰辅助服务市场建设，推动与现货市场的衔接并逐步融合；健全调频、备用辅助服务市场交易品种，

对各类市场主体按照权责对等原则对辅助服务成本和收益进行分配。扩大辅助服务提供主体范围,鼓励具备调节能力的需求侧资源等新兴主体参与辅助服务市场,提升系统平衡调节和新能源消纳能力。

### 5.3 适应高比例新能源接入的电力系统技术水平升级

推动电力系统技术水平升级,是实现高比例新能源接入和高效利用的关键支撑。

一是推动电力系统源网荷储各环节技术水平升级。在电源侧,基于我国未来一段时间内以煤电为主的基本国情,发展清洁高效煤电技术,保持煤电对电力系统运行的支撑能力,发挥电力安全可靠供应的“压舱石”作用。在电网侧,研究高比例新能源接入的大电网运行规律和安全机理,提高电网认知能力、仿真分析能力和调控能力。在负荷侧,大力发展需求侧响应技术。以国网 2019 年为例,各省负荷均转移 10%,可减少新能源弃电量约 57 亿 kW·h,占总弃电量的 1/3。加强源网荷储协调调度控制,提高电力系统灵活调节能力。

二是提升新能源发电涉网性能。按照主力电源的要求,研究提升新能源场站故障电压穿越技术,推动新能源机组参与电力系统一次调频,使其与常规电源一同承担支撑电网安全稳定运行的重要任务,以满足 2035、2050 年新能源成为主力电源时的系统运行需求。

三是推动能源互联网发展,加快“大云物移智链”等新技术在能源互联网中应用。能源互联网是未来能源系统发展的重要趋势,也是通过推动多能协调互补进而推动清洁能源消纳、实现能源绿色转型的重要手段。以建设中国特色国际领先的能源互联网为目标,完善能源互联网顶层设计,研究基于“大云物移智链”的能源互联网关键技术,构建实现电、热、气多类型能源的源-网-荷-储多环节互联互通、互济互动。依托能源互联网,探索商业模式创新,开展网、源、荷一体化运营示范。

### 5.4 完善新能源技术标准体系提升新能源对电网支撑作用

随着电力系统中新能源发电占比不断增加,应与时俱进,逐步完善并提高相关技术标准,这也是维持系统安全运行的必要手段。

一是完善新能源并网、预测等技术标准。近期,加快新能源发电接入系统技术规定的修订,完善新能源预测以及对电力系统的支撑能力、网络安全等

相关标准。中远期,按照主力电源的定位,引导新能源发电从单纯的电量消纳,向保障电力安全稳定、可靠供应转型。

二是开展新型储能等灵活性资源标准制定。加快制定电化学储能电站设计规范、技术标准、试验检测等标准。在物理储能领域,开展电力储能用飞轮系统、压缩空气储能电站的设计规范、运行维护规程等相关标准的制定。建立虚拟电厂等新型灵活性资源标准制定。

### 5.5 构建我国新能源高质量发展评价指标体系

“十四五”我国新能源进入高质量发展新阶段,新能源发展不再以单一追求提高新能源发电利用率为唯一衡量指标。为适应新能源高质量发展,亟需转变新能源发展评价方式,建立涵盖新能源发展指标、新能源利用指标、新能源安全运行指标、新能源政策机制指标、新能源技术经济性指标等在内的综合评价指标体系,实现新能源“又好又快可持续”发展,评价指标体系框架如图 11 所示。

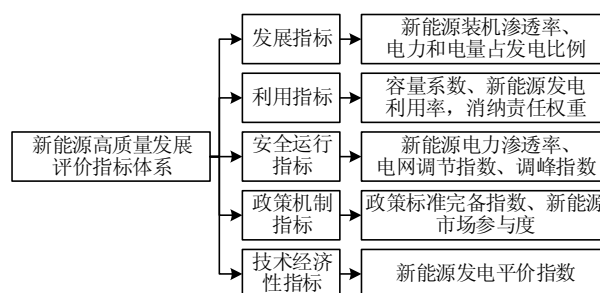


图 11 新能源高质量发展评价指标体系框架

Fig. 11 The systemic framework of new energy high quality development evaluation index

新能源发展指标,主要表征电力系统清洁化替代程度;新能源利用指标,主要反映系统中新能源利用效率水平;新能源安全运行指标,主要反映新能源对电力系统运行的影响程度、以及系统对新能源的调节能力;新能源政策机制指标,主要反映新能源政策完备程度和参与市场情况;新能源技术经济性指标,主要反映新能源发电技术进步程度和经济性,适应我国能源转型的新能源高质量发展评价指标体系如表 4 所示。

## 6 结论与展望

本文通过对我国新能源发展现状和趋势进行总结,分析了能源转型背景下新能源发展面临的顶层政策设计、新能源消纳、电力市场建设、电力系统运行安全、发展目标统筹、系统效益等方面的挑

表 4 适应我国能源转型的新能源高质量发展评价指标体系

Tab. 4 New energy high quality development evaluation index system in adaptation to China's energy transition

指标维度	指标名称	定义	表征含义
发展指标	新能源装机渗透率	新能源发电装机/系统总装机	电源结构清洁化程度
	新能源电力电量占比	新能源电力/发电侧总出力, 新能源电量/发电侧总电量	运行阶段新能源对系统发电出力和电量的贡献程度
	容量系数	新能源年度发电利用小时数/8760	新能源发电设备的实际利用效率
利用指标	新能源发电利用率	新能源预期发电量/新能源可发电量	电网接纳新能源的空间
	消纳责任权重	新能源消纳量/全社会用电量	地区用电的清洁化程度
	新能源电力渗透率	新能源最大发电出力/最大用电负荷	新能源发电对系统安全稳定运行的影响程度
安全运行指标	电源调节指数	(电源最大可调出力-最小技术出力)/新能源最大发电出力	电网调节能力覆盖新能源的波动情况
	调峰指数	(负荷高峰时新能源出力/负荷低谷时新能源出力)/(高峰负荷/低谷负荷)-1	新能源出力波动与负荷波动的关系
	新能源政策标准完备指数	新能源发展、消纳政策、技术标准等完备程度和与时俱进的更新程度	新能源政策标准完备程度
技术经济性指标	指标	新能源市场参与度	新能源参与电力市场化交易的程度
	新能源发电平价指数	新能源发电资源区指导电价/燃煤发电标杆上网电价	新能源发电与常规电源相比的竞争力

战, 总结国外促进高比例新能源接入措施及对我国的可借鉴之处, 提出适应我国能源转型的新能源高质量发展的六项基本原则, 并对我国新能源高质量发展的关键问题进行了分析与思考, 构建了新能源高质量发展评价指标体系。

推动新能源高质量发展是一项复杂的系统工程, 需要政府的科学引导和全行业共同努力。政府层面, 通过加强顶层设计、健全政策机制, 科学引导新能源高质量发展; 电网企业层面, 依托构建中国特色国际领先的能源互联网, 加大科技创新、实施促进新能源发展消纳的重点举措, 全力服务新能源高质量发展; 新能源企业层面, 提升预测水平、涉网性能, 发挥对电力系统安全稳定运行的支撑作用; 社会层面, 加大舆论引导, 树立全社会绿色消费观念, 提升消费侧电力用户绿色消费水平。

参考文献

[1] 习近平. 决胜全面建成小康社会 夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利: 在中国共产党第十九次全国代表大会上的报告[N]. 新华网, 2017-10-18.  
Xi Jinping. Win the battle and build a well-off society in an all-round way and win the great victory of socialism with Chinese characteristics in the new era: report at the nineteenth National Congress of the Communist Party of China[N]. Xinhua, 2017-10-18(in Chinese).

[2] 国家发展改革委 国家能源局关于印发《能源生产和消费革命战略(2016-2030)》的通知(发改基础[2016]2795号)[EB/OL]. 北京: 国家发展改革委, 2016[2016-12-29]. [https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201704/t20170425\\_962953.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201704/t20170425_962953.html).

The National development and Reform Commission, the National Energy Administration, energy production and consumption revolution strategy (2016-2030) (NDRC [2016] No.2795)[EB/OL]. Beijing: NDRC, 2016 [2016-12-29]. [https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201704/t20170425\\_962953.html\(in Chinese\)](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201704/t20170425_962953.html(in Chinese)).

[3] 国家能源局 2020 年一季度网上新闻发布会文字实录 [EB/OL]. 北京: 国家能源局, 2020[2020-03-06]. [http://www.nea.gov.cn/2020-03/06/c\\_138850234.html](http://www.nea.gov.cn/2020-03/06/c_138850234.html).  
Transcript of online press conference in the first quarter of 2020 of the National Energy Administration[EB/OL]. Beijing: NEA, 2020[2020-03-06]. [http://www.nea.gov.cn/2020-03/06/c\\_138850234.html\(in Chinese\)](http://www.nea.gov.cn/2020-03/06/c_138850234.html(in Chinese)).

[4] 伍勇旭, 杨光. 关于我国可再生能源发展的政策思考[J]. 中国能源, 2016, 38(9): 23-25.  
Wu Yongxu, Yang Guang. Considerations on China renewable energy development policy[J]. Energy of China, 2016, 38(9): 23-25(in Chinese).

[5] 华烨. 发展我国可再生能源的思考[J]. 建材与装饰, 2017(48): 224-225.  
Hua Ye. Thoughts on renewable energy development in China[J]. Construction Materials & Decoration, 2017(48): 224-225(in Chinese).

[6] 张琳. 关于我国新能源发展的思考[J]. 电气时代, 2017(2): 29-32.  
Zhang Lin. Thoughts on new energy development in China[J]. Electric Age, 2017(2): 29-32(in Chinese).

[7] 周大地. 我国“十三五”能源发展战略问题思考[J]. 石油科技论坛, 2016, 35(5): 1-8, 19.  
Zhou Dadi. Opinions on energy development strategy of China's 13th five-year plan[J]. Oil Forum, 2016, 35(5): 1-8, 19.

- [8] 李俊峰, 刘强, 李高. 我国低碳能源发展思考[N]. 光明日报, 2015-06-05(010).  
Li Junfen, Liu Qiang, Li Gao. Thinking on the China's low carbon energy development[N]. Guangming Daily, 2015-06-05(010)(in Chinese).
- [9] 赵佳伟. 促进高比例新能源消纳的市场机制效益量化研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2019.  
Zhao Jiawei. Market mechanism quantitative research for promoting high proportion of new energy consumption[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2019(in Chinese).
- [10] 叶泽. 可再生能源消纳的市场价格机制选择[J]. 中国电力企业管理, 2017(25): 17-21.  
Ye Ze. Choice of market price mechanism for renewable energy consumption[J]. China Power Enterprise Management, 2017(25): 17-21(in Chinese).
- [11] 郑翔宇, 贾嵘, 温栋, 等. 考虑新能源消纳的跨省跨区发电权新型交易模式研究[J]. 高压电器, 2017, 53(5): 121-126.  
Zheng Xiangyu, Jia Rong, Wen Dong, et al. Research of the inter-district trans-provincial power generation right new exchange pattern based on new energy accommodation[J]. High Voltage Apparatus, 2017, 53(5): 121-126(in Chinese).
- [12] 秦海岩, 王世江, 曾鸣, 等. 新一代信息技术将有力促进新能源消纳[J]. 国家电网, 2019(12): 30-35.  
Qin Haiyan, Wang Shijiang, Zeng Ming, et al. New generation information technology will promote new energy consumption[J]. State Grid, 2019(12): 30-35(in Chinese).
- [13] 于金莹. 浅析电力物联网支撑下面向清洁能源消纳的需求侧热控负荷集群协同技术[J]. 科技视界, 2019(21): 111-112.  
Yu Jinying. Analysis on the demand-side thermostatic controlled load cluster collaborative technology supported by the internet of electric power for clean energy consumption[J]. Science & Technology Vision, 2019(21): 111-112(in Chinese).
- [14] 仲逸, 沈甜甜. 面向新能源消纳的电替代技术分析[J]. 南方农机, 2020, 51(10): 204.  
Zhong Yi, Shen Tiantian. Analysis of power substitution technology for new energy consumption[J]. China Southern Agricultural Machinery, 2020, 51(10): 204(in Chinese).
- [15] 舒印彪, 张智刚, 郭剑波, 等. 新能源消纳关键因素分析及解决措施研究[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(1): 1-8.  
Shu Yinbiao, Zhang Zhigang, Guo Jianbo, et al. Study on key factors and solution of renewable energy accommodation[J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(1): 1-8(in Chinese).
- [16] 陈国平, 梁志峰, 董昱. 基于能源转型的中国特色电力市场建设的分析与思考[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(2): 369-378.  
Chen Guoping, Liang Zhifeng, Dong Yu. Analysis and reflection on the marketization construction of electric power with Chinese characteristics based on energy transformation[J]. Proceedings of the CSEE, 2020, 40(2): 369-378(in Chinese).
- [17] 董存, 李明节, 范高峰, 等. 基于时序生产模拟的新能源年度消纳能力计算方法及其应用[J]. 中国电力, 2015, 48(12): 166-172.  
Dong Cun, Li Mingjie, Fan Gaofeng, et al. Research and application of renewable energy accommodation capability evaluation based on time series production simulation[J]. Electric Power, 2015, 48(12): 166-172(in Chinese).
- [18] 周孝信, 陈树勇, 鲁宗相, 等. 能源转型中我国新一代电力系统的技术特征[J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(7): 1893-1904.  
Zhou Xiaoxin, Chen Shuyong, Lu Zongxiang, et al. Technology features of the new generation power system in China[J]. Proceedings of the CSEE, 2018, 38(7): 1893-1904(in Chinese).
- [19] 李明节, 陈国平, 董存, 等. 新能源电力系统电力电量平衡问题研究[J]. 电网技术, 2019, 43(11): 3979-3986.  
Li Mingjie, Chen Guoping, Dong Cun, et al. Research on power balance of high proportion renewable energy system[J]. Power System Technology, 2019, 43(11): 3979-3986(in Chinese).
- [20] 吴俊, 薛禹胜, 舒印彪, 等. 大规模可再生能源接入下的电力系统充裕性优化(一)旋转级备用的优化[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(8): 101-109.  
Wu Jun, Xue Yusheng, Shu Yinbiao, et al. adequacy optimization for a large-scale renewable energy integrated power system Part one spinning-grade reserve optimization[J]. Automation of Electric Power Systems, 2019, 43(8): 101-109(in Chinese).
- [21] 沈运帷, 李扬, 高赐威, 等. 需求响应在电力辅助服务市场中的应用[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(22): 151-161.  
Shen Yunwei, Li Yang, Gao Ciwei, et al. Application of demand response in ancillary service market[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(22): 151-161(in Chinese).
- [22] 陈国平, 李明节, 许涛, 等. 关于新能源发展的技术瓶颈研究[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(1): 20-26.  
Chen Guoping, Li Mingjie, Xu Tao, et al. Study on technical bottleneck of new energy development[J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(1): 20-26(in Chinese).

- [23] 张智刚, 夏清. 智能电网调度发电计划体系架构及关键技术[J]. 电网技术, 2009, 33(20): 1-8.  
Zhang Zhigang, Xia Qing, Architecture and key technologies for generation scheduling of smart grid[J]. Power System Technology, 2009, 33(20): 1-8(in Chinese).
- [24] 舒印彪, 张文亮. 特高压输电若干关键技术研究[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(31): 1-6.  
Shu Yinbiao, Zhang Wenliang. Research of key technologies for UHV transmission[J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(31): 1-6(in Chinese).
- [25] 李明节, 于钊, 许涛, 等. 新能源并网系统引发的复杂振荡问题及其对策研究[J]. 电网技术, 2017, 41(4): 1035-1042(in Chinese).  
Li Mingjie, Yu Zhao, Xu Tao, et al. Study of complex oscillation caused by renewable energy integration and its solution[J]. Power System Technology, 2017, 41(4): 1035-1042(in Chinese).
- [26] 李明节. 大规模特高压交直流混联电网特性分析与运行控制[J]. 电网技术, 2016, 40(4): 985-991.  
Li Mingjie. Characteristic analysis and operational control of large-scale hybrid UHV AC/DC power grids[J]. Power System Technology, 2016, 40(4): 985-991(in Chinese).
- [27] 鲁宗相, 李海波, 乔颖. 高比例可再生能源并网的电力系统灵活性评价与平衡机理[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(1): 9-19.  
Lu Zongxiang, Li Haibo, Qiao Ying. Flexibility evaluation and supply/demand balance principle of power system with high-penetration renewable electricity[J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(1): 9-19(in Chinese).



陈国平

在线出版日期: 2020-08-17。

收稿日期: 2020-06-12。

作者简介:

陈国平(1965), 男, 博士, 教授级高级工程师, 研究方向为电力系统调度运行与控制等, chen-guoping@sgcc.com.cn;

董昱(1974), 男, 硕士, 教授级高级工程师, 研究方向为电力系统调度运行控制与管理等;

梁志峰(1984), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为新能源调度运行与管理等, liang-zhifeng@sgcc.com.cn。

(责任编辑 李泽荣)

# Analysis and Reflection on High-quality Development of New Energy With Chinese Characteristics in Energy Transition

CHEN Guoping, DONG Yu, LIANG Zhifeng

(State Grid Corporation of China)

**KEY WORDS:** energy transition; Chinese characteristics; new energy; high-quality development; evaluation indexes

In recent years, with the rapid development of new energy in China, new energy power generation cost has decreased significantly, and the utilization rate of new energy power generation has been improved. In order to promote China's new energy sustainable development and achieve the goal of energy transition, in the future, to pursue the scale development of new energy will no longer be the only purpose. New energy will enter into a new stage of pursuing high-quality development.

The connotation of high-quality development of new energy refers to adhering to the development concept of “innovation, coordination, green, openness and sharing”, so as to realize the “good, fast and sustainable” development of new energy. “Good” means to support the clean, low-carbon, safe and efficient transformation of power energy system by means of determining reasonable utilization rate, improving the power system stability, and optimizing network related performance. “Fast” refers to the healthy and steady development of new energy in adaptation to China's economic and social growth rate and achieving the goal of energy transition. “Sustainable” refers to the continuous improvement of energy supply system by promoting the continuous progress of new energy technology, the continuous decrease of cost and the sustainable optimization of new energy industry ecology.

In order to realize the high-quality development of new energy in China, firstly it needs to adhere to the high-quality development path with Chinese characteristics as the fundamental, consider reverse distribution characteristics of China's energy resources and load, rely on the large power grid and build a large market, to realize the optimal allocation of energy resources in the whole country. Secondly, it needs to adhere to achieving international leading development level in the aspects of new energy grid connection technology and power market construction. Thirdly, it needs to insist on taking the energy transition goal as the

development guidance, promoting the proportion of renewable energy power generation. Fourthly, it needs to insist on taking the security of power system operation the primary premise. Fifthly, it needs to insist on the market allocation of resources as the main methods, gradually expand the scale and scope of new energy participating in the market. Sixthly, it needs to adhere to the principle of taking the lowest environmental cost of the whole society and the overall optimization of the system as the utilization orientation, and take the lowest environmental cost of the whole society as the goal, guide the whole society to form the utilization orientation of the best system economy, and establish guidance system based on “new energy generation proportion + renewable portfolio standard”.

To realize the high-quality development of new energy in China, it needs to make comprehensive efforts from the aspects of policy, market, technology, standard and index system. In terms of policy, it should strengthen the top-level design of the policy system from the aspects of planning, construction, operation, consumption, and price subsidies. In terms of the market, it should improve the top-level design of the electricity market, accelerate the construction of the spot market and auxiliary services market. In terms of technology, it needs to promote the upgrading of the technical level of power, network, load and storage, improve the network related performance of new energy power, and promote energy Internet development. In terms of standards, technical standards such as grid connection and new energy generation prediction should be improved, and flexible resource standards should be developed. In terms of index system, it is urgent to change the evaluation method of new energy development, and establish a comprehensive evaluation index system including new energy development, utilization, safe operation, policy mechanism, technical and economic indicators, so as to realize the “good, fast and sustainable” development of new energy.