

# 碳中和目标下的中国核能发展建议

周丽<sup>1</sup>, 姚子麟<sup>2</sup>, 步伟东<sup>2</sup>

1. 清华大学能源环境经济研究所, 北京 100084

2. 中核核电运行管理有限公司, 浙江 314300

**摘要** 中国提出了力争于2060年前实现碳中和的积极愿景,核能作为非化石能源有望得到进一步发展。“十三五”期间核电技术已经得到了长足发展,但是核电未来发展还有很多不确定性和挑战,包括核电厂址资源规模的争议、核电在未来电力结构中的发展定位、近零排放能源体系的新需求、电力体制改革对经济效益的影响、民众担忧与地方压力等。为此,建议应更加明确核能发展定位,丰富利用路径,凸显减碳作用。同时,应通过完善配套政策机制、加强民众宣传工作,尽量减小核能发展中面临的多方阻力。

**关键词** 碳中和;核能;核电

2020年9月22日,习近平总书记在第七十五届联合国大会一般性辩论上提出:应对气候变化《巴黎协定》代表了全球绿色低碳转型的大方向,中国将提高国家自主贡献力度,采取更加有力的政策和措施,二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和<sup>[1]</sup>。根据IPCC《全球升温1.5℃特别报告》,碳中和是指某个地区或组织一年内的二氧化碳排放通过二氧化碳去除技术抵消并实现净零排放<sup>[2]</sup>。为实现碳中和目标和满足人民美好生活的能源需求,未来清洁低碳电力需要得到大幅发展。其中,核电作为稳定低碳的供电技术,需要得到进一步的发展。

## 1 中国核电发展形势

2019年全国累计发电量为71422.10亿kWh,其中,核电累计发电量为3481.31亿kWh,比2018年同期上升了18.09%;累计上网电量为3263.24亿kWh,比2018年同期上升了18.15%<sup>[3]</sup>。2019年以来,中国陆续核准新核电项目,打破了“十三五”时期的“零核准”记录。在各省发布的《2020年能源项目名单》中,包含了8个省共11个核电项目<sup>[4-11]</sup>。“十三五”以来,中国核电建设投资总计约2500亿元,在全球率先实现从二代向三代的转变。全国“十三五”核电新增装机2345万kW,新投产核电机

收稿日期:2020-11-20;修回日期:2021-04-15

基金项目:科技部重点专项(2018YFC1509006);清华-秦山核电项目

作者简介:周丽,副研究员,研究方向为气候变化和能源问题相关关键技术和国家政策,电子信箱:zhoulizl@tsinghua.edu.cn

引用格式:周丽,姚子麟,步伟东. 碳中和目标下的中国核能发展建议[J]. 科技导报, 2021, 39(19): 43-47; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.

2021.19.005

组 20 台。截至 2020 年,全国共有 66 台机组和 7075 万 kW 装机。其中,在运 48 台,累计 4989 万 kW,居世界第三;核准在建 18 台,共 2087 万 kW,居世界第一<sup>[12]</sup>。不过,目前中国能源结构中的核电装机占比仍不足 3%,未来发展仍有一定空间。

中国核电技术得到了长足发展,中国三代核电的安全性及经济性比第二代有所提高,通过自主创新,中国已经完全掌握了自主知识产权的三代核电技术“华龙一号”。2020 年 11 月 27 日,“华龙一号”全球首堆——中核集团福清核电 5 号机组首次并网成功。该技术不仅是中国核电技术创新的重要里程碑,也是未来发展的主要方向之一。同时,目前正处于原型堆技术研发阶段的第四代技术则是强化了防止核扩散的要求,未来潜力不可估量。2012 年,中国自主研发的世界首座具有第四代核电特征的华能石岛湾高温气冷堆核电站在山东省荣成市开工建设。2020 年 10 月,其首台反应堆冷态功能试验一次成功,标志着中国具有完全自主知识产权的国家科技重大专项高温气冷堆核电站示范工程通过了针对反应堆性能的首次全面考验<sup>[13]</sup>。

## 2 碳中和目标下核电发展的问题与挑战

根据相关研究发现:中国到 2050 年必须建成以新能源和可再生能源为主体的“近零排放”的能源体系,非化石能源在整个能源体系中的占比要达到 70% 或 80% 以上。其中,风电和太阳能等可再生能源会得到大力发展并成为非化石能源的主要来源。核能作为一种非化石能源也有望得到一定发展,但是核电的发展还有很多不确定性和挑战。

### 1) 核电厂址资源规模仍有较大争议。

核电选址实际上并无沿海与内陆之分,其选址原则都是一致的,对于地震、水源、大气弥散等地质条件以及放射性废物排放规定并无区别<sup>[14]</sup>。国际上,将近 1/2 核电位于内陆。其中,美国、法国和俄罗斯的内陆核电占比都超过 60%。日本、韩国、英国等则因为本身是岛国或半岛国家,核电厂沿海而建。但是由于公众对水安全问题十分敏感,水资源

安全成为其关注的焦点问题之一。核电厂选址中,需要考虑水资源约束条件,包括水资源配置与管理、供水可靠性、排水的稀释扩散条件及水资源影响预防和监控方面等方面<sup>[15]</sup>。根据中国能源研究会统计<sup>[16]</sup>,中国当前可支撑装机规模约 3.6 亿 kW,其中内陆约为 1.6 亿 kW,沿海约为 2 亿 kW。姜克隽等<sup>[17]</sup>认为根据各省核电地址分布统计,中国核电厂址资源为 5 亿 kW,其中内陆核电和沿海核电厂址各占 1/2。中国核电厂址资源可支撑的装机规模还有待进一步研究。

2) 核电在未来电力结构中的发展定位有待进一步明确。

碳中和情景下,随着工业、交通、建筑部门电气化率的逐步提高,中国未来电力需求仍将持续增加。相对于太阳能和风能等可再生能源,核电可以提供更稳定的电力基荷。2019 年,中国核电发展中心、国网能源研究院发布《我国核电发展规划研究》,指出 2050 年核电装机可为 3.35 亿 kW<sup>[18]</sup>。根据国家发展和改革委员会能源研究所研究,2050 年核电装机容量增加到 5.54 亿 kW<sup>[19]</sup>。根据清华大学研究人员研发的模型,2060 年核电装机将增加 6 倍<sup>[19]</sup>。根据能源基金会《中国长期低碳发展转型战略与路径》研究,2050 年核电装机会增长到 3.27 亿 kW<sup>[20]</sup>。从这些研究发现,未来核电发展规模预测基本在 3~6 亿 kW,具有一定不确定性,其未来定位仍有待进一步明确。

### 3) 近零排放能源体系对核电技术提出新要求。

为了实现碳中和目标,未来中国需要建立近零排放能源体系,对氢能、清洁供暖、清洁工业供汽等技术提出了更多的需求<sup>[17]</sup>。目前,中国核电基本是“单一供电”模式,现有模式无法适应新的能源体系。核电已经具备了非电领域的应用的潜力,英国新核观察研究所(NNWI)指出核电制氢成本低于风电制氢成本 20% 以上<sup>[21]</sup>,2018 年国内首个核能供暖示范项目开展前期工作<sup>[22-23]</sup>,但现有技术应用水平与应用规模还有待进一步加强。

4) 电力体制改革对核电建设与运行经济性提出严峻挑战。

目前,核电现有成交电价远低于标杆电价。

2016—2018年,秦山等6个核电基地核电市场交易电价在0.26~0.37元/kWh之间,而同期上网标杆电价则在0.4元/kWh左右<sup>[24]</sup>。随着中国电力市场化改革的逐步推进,其经济性面临严峻挑战。市场化交易体系下,核电企业必须顺应市场要求,深挖潜力,严格控制工程造价等投资成本和运营成本,建立新的适应电力市场改革的管理体系,提升核电企业参与电力市场的竞争力。

5) 民众意愿是核电产业发展规模的重要制约因素之一。

核电规模扩大和选址过程中,邻避效应越来越成为涉核项目的难题。民众担忧与地方压力已经成为制约中国核电发展的重要因素之一。特别是发生日本福岛核事故后,瑞士、德国、意大利相继提出永久弃核。受此影响,国内江西彭泽核电项目、广西北海核电项目、广东江门核燃料项目等核电相关项目或产业园的建设或核准在受到民众反对后被迫搁置或取消<sup>[25-26]</sup>。同时,地方政府支持力度的变化也使得核电厂址落地存在一定不确定性。

### 3 建议

为实现碳中和愿景,核能在中国清洁能源低碳系统中的定位应更加明确,利用路径应更加丰富,作用也应该更加凸显。同时,应该通过完善配套财税政策与补偿机制、加强民众宣传工作,减小核能发展中面临的多方面阻力。

1) 进一步研究并尽快明确核能发展定位。

核电不仅具备火电机组供给可靠性高的特点,也同时具备风电、光伏等可再生能源低碳清洁的特点。在碳中和目标下的能源体系中,核电作为唯一稳定的、大规模替代化石能源的基荷电源,具备显著优势。核电应与波动性强、不易调配的风电、光伏等可再生能源协同发展。在相关政策文件中,建议强化核电作为低碳能源体系的重要组成的作用,在中国“十四五”及中长期规划中提高核电的一次能源占比。

2) 尽快强化近中远期核电发展目标。

基于中国核电发展已有基础和条件,建议在

2020—2035年期间有计划的稳定开工建设,力争2050年核电规模不低于3亿kW。为满足该核电产业规模化发展目标,应尽快制定近中远期核电发展规划,强化发展目标,明确重点项目,细化技术路线,提高技术研发支持力度,加强人才队伍培养,促进装备制造等配套领域发展。

3) 丰富核能非电综合利用技术路径。

“小型化、智能化、多功能化”是目前全球核能产业技术开发的方向。随着核电技术安全性和经济性的提高,为满足近零排放能源体系的多样化新需求,要积极推动核电企业在非电领域的技术研发与应用,特别是核能余电制氢、清洁采暖、工业供汽等技术方向。积极推动核电从“单一供电”模式向“多样化、综合性”模式转变。

4) 完善配套财税政策与补偿机制。

针对目前的电力体制改革体系,要深入分析核电现有管理运行模式的现状与特点,研究现有财税政策与补偿机制的不足,提出更适于核电站建设、运行、金融等相关环节的配套政策措施和补偿机制。特别的,要探讨当地政府、民众与核电企业的利益共享机制。在保证核安全基础上,减少各方面阻力,推动核电顺利发展。

5) 加强民众宣传工作,赢得公众支持。

“邻避效应”问题是影响核电发展的关键问题。针对“邻避效应”问题,要多角度、多渠道、多时段的加强宣传工作。特别的,要积极的、坦诚的公开核电相关项目多个节点的信息。针对民众最担忧的问题,要通过专家论证等各种途径及时为民众答疑解惑。问题解决的好,才能够得到民众的理解与支持,保障核电相关项目的落地与实施。

### 参考文献(References)

- [1] 新华社. 习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上的讲话(全文)[EB/OL]. (2020-09-22) [2021-01-15]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1678546728556033497&wfr=spider&for=pc>.
- [2] IPCC. Global warming of 1.5°C [EB/OL]. (2018-10-06) [2021-01-23]. <https://www.ipcc.ch/sr15/>.
- [3] 中国核能行业协会. 2019年1-12月全国核电运行情况

- [EB/OL]. (2020-02-12)[2021-01-16]. <http://www.china-neo.cn/site/content/36862.html>.
- [4] 广东省发展和改革委员会. 广东省发展改革委关于下达广东省2020年重点建设项目计划的通知[EB/OL]. (2020-03-05)[2021-02-11]. [http://drc.gd.gov.cn/ywtz/content/post\\_29152\\_78.html](http://drc.gd.gov.cn/ywtz/content/post_29152_78.html).
- [5] 福建省发展和改革委员会. 福建省发展和改革委员会关于印发2020年度省重点项目名单的通知[EB/OL]. (2020-02-25)[2021-01-13]. [http://fgw.fujian.gov.cn/zfxgkzl/zfxgkml/yzdgdqtxx/202002/t20200225\\_5202487.htm](http://fgw.fujian.gov.cn/zfxgkzl/zfxgkml/yzdgdqtxx/202002/t20200225_5202487.htm).
- [6] 山东省发展和改革委员会. 山东省人民政府关于下达2020年省重大项目名单的通知[EB/OL]. (2020-02-13)[2021-01-13]. [http://fgw.shandong.gov.cn/art/2020/2/13/art\\_91082\\_8808194.html](http://fgw.shandong.gov.cn/art/2020/2/13/art_91082_8808194.html).
- [7] 广西壮族自治区发展和改革委员会. 广西壮族自治区重大项目建设推进领导小组办公室关于印发《2020年第一批自治区层面统筹推进重大项目建设实施方案》的通知[EB/OL]. (2020-03-03)[2021-01-13]. [http://fgw.gxzf.gov.cn/cszz/zdc/wjgg\\_57463/t2243244.shtml](http://fgw.gxzf.gov.cn/cszz/zdc/wjgg_57463/t2243244.shtml).
- [8] 浙江省发展和改革委员会. 浙江省发展改革委关于印发2020年省重点建设及预安排项目计划的通知[EB/OL]. (2020-04-28)[2021-01-13]. [http://www.zjda.gov.cn/art/2020/4/28/art\\_1378514\\_49231507.html](http://www.zjda.gov.cn/art/2020/4/28/art_1378514_49231507.html).
- [9] 海南省发展和改革委员会. 关于印发海南省2020年重点项目投资计划的通知[EB/OL]. (2020-03-23)[2021-01-13]. [http://plan.hainan.gov.cn/sfgw/0400/202003/t29f4-badfed\\_4ee983c3c307591cac7f.shtml](http://plan.hainan.gov.cn/sfgw/0400/202003/t29f4-badfed_4ee983c3c307591cac7f.shtml).
- [10] 辽宁省发展和改革委员会. 辽宁省人民政府办公厅关于印发2020年省政府“重实干、强执行、抓落实”专项行动实施方案的通知[EB/OL]. (2020-03-05)[2021-01-13]. [http://www.ln.gov.cn/zfxx/zcjd/202003/t20200305\\_3757408.html](http://www.ln.gov.cn/zfxx/zcjd/202003/t20200305_3757408.html).
- [11] 江苏省发展和改革委员会. 江苏省2020年重大项目投资计划[EB/OL]. (2020-02-15)[2021-01-13]. [http://www.jiangsu.gov.cn/art/2020/2/15/art\\_76928\\_8975143.html](http://www.jiangsu.gov.cn/art/2020/2/15/art_76928_8975143.html).
- [12] 中国电力报. “十三五”核电发展综述[EB/OL]. (2021-01-17)[2021-01-13]. <https://www.cnnpn.cn/article/230-59.html>.
- [13] 全国能源信息平台. 国家科技重大专项高温气冷堆核电站示范工程首堆冷试一次成功[EB/OL]. (2020-10-21)[2021-01-17]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1681-170539933773665&wfr=spider&for=pc>.
- [14] 黄欢, 丁文杰, 郭海兵. 影响我国内陆核电发展的关键性问题分析[J]. 南华大学学报(社会科学版), 2019, 20(3): 9-15.
- [15] 黄彦君, 覃春丽, 姜秋, 等. 我国内陆核电厂选址中的水资源约束条件研究[J]. 水利发展研究, 2017, 5: 47-52.
- [16] 中国能源研究会. 中国能源展望2030[M]. 北京: 经济管理出版社, 2016.
- [17] Xiao X J, Jiang K J. China's nuclear power under the global 1.5°C target: Preliminary feasibility study and prospects[J]. Advances in Climate Change Research, 2018(9): 138-143.
- [18] 中国核能行业协会. 报告摘读: 我国核电发展规划研究[EB/OL]. (2020-04-02)[2021-01-13]. <http://www.china-neo.cn/site/content/37096.html>.
- [19] Smriti M. How China could be carbon neutral by mid-century[J]. Nature, 2020(586): 482-483.
- [20] 项目综合报告编写组. 《中国长期低碳发展战略与转型路径研究》综合报告[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(11): 1-25.
- [21] NNWI. On the role of nuclear power in the development of a european hydrogen economy[EB/OL]. (2020-12-16)[2021-01-13]. [https://e2418dea-885f-4b73-9d8e-51a9-0019407d.filesusr.com/ugd/2bb616\\_4b0047791cd84c8a-84e632fa6d0b72bd.pdf](https://e2418dea-885f-4b73-9d8e-51a9-0019407d.filesusr.com/ugd/2bb616_4b0047791cd84c8a-84e632fa6d0b72bd.pdf).
- [22] 国家发展和改革委员会. 关于印发北方地区冬季清洁取暖规划(2017-2021年)的通知[EB/OL]. (2017-12-20)[2021-01-13]. [http://www.gov.cn/xinwen/2017-12/20/content\\_5248855.html](http://www.gov.cn/xinwen/2017-12/20/content_5248855.html).
- [23] 第一财经. 中国首个核能供暖项目获批, 治雾霾新利器要来了[EB/OL]. (2018-02-09)[2021-01-13]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1591908407683314258&wfr=spider&for=pc>.
- [24] 中国能源报. 核电艰难探路市场化[EB/OL]. (2019-11-21)[2021-01-13]. <https://new.qq.com/omn/20191121/20191121A0HLQL00.html>.
- [25] 钟英强. 核电新项目开发遭遇公众支持瓶颈的思考[J]. 中国核工业, 2013(1): 40-42.
- [26] 曾敏捷. 广东江门核燃料项目邻避冲突事件的分析—基于风险的社会放大框架[D]. 广东: 华南农业大学, 2017.

## Policy suggestions for China's nuclear power development towards the carbon-neutral target

ZHOU Li<sup>1</sup>, YAO Zilin<sup>2</sup>, BU Weidong<sup>2</sup>

1. Institute of Energy, Environment and Economics, Tsinghua University, Beijing 100084, China
2. CNNC Nuclear Power Operations Management Co., Ltd., Zhejiang 314300, China

**Abstract** China has put forward a positive vision to achieve carbon neutrality by 2060. Nuclear power is expected to be further developed as a non-fossil energy source. Although the national nuclear power technology made great progress in 13th Five-Year Plan period, there are many uncertainties and challenges for its development in the future, including dispute on scale of nuclear power site resources, nuclear power role in the future energy structure, new demand on near-zero emission energy systems, impact of electric power system reform on economic benefits, public concern & local pressure and so on. Therefore, the paper suggests that nuclear power development should be defined more clearly, that utilization paths should be enriched, and that the affect of carbon reduction should be highlighted. At the same time, it is necessary to improve supporting policies and mechanisms and strengthen public publicity to minimize obstacles in the development of nuclear energy.

**Keywords** carbon-neutral; nuclear power; nuclear power ●



(责任编辑 祝叶华)