

零碳电力对中国工业部门布局影响分析

姜克隽^{1*}, 向翩翩², 贺晨旻³, 冯升波¹, 刘昌义⁴, 谭新⁴, 陈莎², 代春艳⁵, 邓良辰¹

(1. 中国宏观经济研究院能源研究所, 北京市 西城区 100038; 2. 北京工业大学环境与生命学部, 北京市 朝阳区 100124; 3. 北京大学环境科学与工程学院, 北京市 海淀区 100871; 4. 全球能源互联网集团有限公司, 北京市 西城区 100031; 5. 重庆工商大学长江上游研究中心, 重庆市 南岸区 400067)

Impact Analysis of Zero Carbon Emission Power Generation on China's Industrial Sector Distribution

JIANG Kejun^{1*}, XIANG Pianpian², HE Chenmin³, FENG Shengbo¹, LIU Changyi⁴, TAN Xin⁴, CHEN Sha²,
DAI Chunyan⁵, DENG Liangchen¹

(1. Energy Research Institute, Chinese Academy of Macro-economics Research, Xicheng District, Beijing 100038, China;
2. Faculty of Environment and Life, Beijing University of Technology, Chaoyang District, Beijing 100124, China;
3. College of Environment Science and Engineering, Peking University, Haidian District, Beijing 100871, China;
4. Global Energy Interconnection Group Co., Ltd., Xicheng District, Beijing 100031, China;
5. Research Center for Economy of Upper Reaches of the Yangtze River, Chongqing Technology and Business University, Nan'an District, Chongqing 400067, China)

Abstract: After EU announced their climate neutrality target in 2019, many industries started to make short-term action plans and measures. This shows that the target is not only a long-term target, but also a near-term started implementing action. In September 2020, China announced that China will make effort to be carbon neutrality before 2060 in UN conference. Carbon neutrality targets will have strong impact on some industrial processes. For some industrial sectors which are difficult to make deep cut of CO₂ emission, such as steel making, cement, ammonia, ethylene, benzene, methanol etc., hydrogen based manufacture process is necessary to be near zero CO₂ emissions. Hydrogen from zero-carbon emission sources will influence the cost of products in these sectors, and then influence the distribution of industry in China. Based on the studies from IPAC modeling team, there will be a significant change in the distribution of industrial sectors by 2050, with consideration of deep cut of CO₂ emission technology options (such as carbon capture and storage), many industries will move to the area with rich and low price of renewable energy, especially solar power

generation, to make local manufacture of electricity from solar, hydrogen electrolytic, and products as a series of manufacture process together. Changing of distribution of these sectors will also bring the re-allocation of down-stream industries, and then this will bring significant change of industry and economy distribution under the carbon neutrality target.

Keywords: carbon neutrality; Paris Agreement targets; China; electricity power; economy distribution

摘要: 欧盟在2019年提出2050年碳中和目标, 这一目标不只是一个长期目标, 很多行业已经开始制定短期的具体行动方案 and 对策, 并启动了实际行动。2020年9月中国在联大会议上宣布, 力争在2060年前实现碳中和。碳中和目标会明显影响未来一些产业的生产工艺。对于工业中难以减排的行业, 如钢铁、水泥、合成氨、乙烯、苯、甲醇等, 为实现深度减排, 氢基产业将是一个重要选项。绿氢的供应将会明显影响这些产业采用氢工艺的成本, 进而影响产业的区域布局。通过本研究可以看出, 未来中国主要基础产业的布局将出现明显变化, 在考虑多种实现产业深度减排技术选择(如碳捕集与封存)的情况下, 不少产业都将转向可再生能源富集和低成本地区, 特别是光伏发电成本优势地区, 以实现本地光伏发电、制氢、产品制造系列化。这些产业的转移也将进一步带动下游产业的转移, 该格局将导致碳中和目标下中国产业布局的明显变革。

关键词: 碳中和; 巴黎协定目标; 中国; 电力; 经济布局

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFA0603804); 全球能源互联网集团有限公司科技项目(52450018000M)。

National Key Research and Development Program of China (2017YFA0603804); Science and Technology Foundation of Global Energy Interconnection Group Co., Ltd.(52450018000M).

0 引言

2015年通过的《巴黎协定》最富有成果的内容是确立了全球2100年和工业化前的1850年相比温升控制在 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下的目标,并提出了更加有雄心的“把温升控制在 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的基础上向 $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 努力”的目标(以下分别简称“ $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 目标”“ $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 目标”)。2019年,欧盟提出了2050年实现温室气体中和的战略路线图^[1],随后很多行业已经开始制定短期的具体行动方案 and 对策,使得这个目标不只是一个长期目标,而是近期就已启动的实际行动。2020年6月,美国众议院气候危机特别委员会提出了2050年实现净零排放的路线图。2020年9月,习近平主席在联大会议上宣布中国力争在2060年前实现碳中和。根据笔者的研究,中国的碳中和目标和巴黎协定目标相一致。

如果要实现碳中和,工业部门中一些难以减排的行业需要采用新的低碳或零碳生产工艺来实现减排。氢是大部分石油化工产品的组分和原料,且是很好的零碳还原剂,因此氢将在未来工业深度减排中扮演重要角色^[2-3]。

目前,利用氢实现减排的工业部门正在逐渐扩展。例如,钢铁行业已经投入使用的直接还原铁(DRI)工艺,就是利用氢替代传统含碳还原剂。2020年,位于中国宁夏的60万t DRI钢铁冶炼厂投入生产。此外,其他国家正在建设安装的DRI工艺生产设备就达十多套。氨(NH_3)是以氢为原料最容易合成的化工产品之一,在合成氨的过程中,利用电解水制氢替代传统化石燃料制氢,可以缩减其生产流程,并大幅减少大气污染物排放。甲醇(CH_3OH)生产和合成氨工艺类似,也可采用零碳或低碳制氢技术进行替代。现阶段,中科院研究团队正在甘肃进行利用捕获的二氧化碳(CO_2)加氢生产甲醇的研究。甲苯(C_7H_8)的生产也相对容易,既有工艺就可以实现。利用氢和碳直接生产乙烯(C_2H_4)还在研究中。

目前,最具潜力的零碳制氢技术是利用可再生能源发电电解水制氢。现有技术电解 1 m^3 氢气需要 5 kWh 电能,未来可以下降到 2.8 kWh ,同时电解水设备成本也将明显下降。当光伏发电成本下降到 0.15 元/kWh 以下时,用电解水制氢来供应上述化工品生产,其成本可以和既有供氢技术竞争。预计2025年太阳能富集地区的光伏发电成本将使电解水制氢技术具备成本竞争力^[4]。电解水制氢技术的商业化发展,将给工业产

业带来变革。本文以实现全球 $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温升目标下排放路径为场景,分析未来的低成本零碳电力发展对中国一些产业发展布局的影响。

1 研究方法

1.1 研究框架

为了分析未来受影响工业部门的再布局,首先利用IPAC-AIM/技术模型(IPAC: Integrated Policy Assessment Model for China; AIM: Asian Integrated Assessment Model)分析这些工业部门的技术发展趋势和排放,得到实现 $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温升目标下的排放路径。再利用IPAC-AIM/省份模型进行31个省级行政区的行业布局研究,分析能够提供绿氢(零碳电力制氢)作为原料和还原剂的可再生能源区域,以及行业利用碳捕集与封存(carbon capture and storage, CCS)的潜力,纳入交通运输距离的成本,进行产品的市场竞争分析,得到2050年在实现 $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温升目标下的中国主要行业的布局。

1.2 计算模型

IPAC-AIM/技术模型对能源服务及其设备的现状和未来发展进行详细描述,对能源消费过程进行模拟。它主要计算未来各种情景下各终端能源部门的分品种能源需求量,进而计算出 CO_2 和其他温室气体,以及大气污染物相关气体的排放量。它的一个重要作用是评价不同的技术对策对技术发展和温室气体减排的影响^[5-8]。

IPAC-AIM/技术模型采用最小成本法进行分析,即具有所设置的各种成本最小的技术能够被选中以提供能源服务。模型中采用了线性规划方法,并非从单个的技术、而是从工艺系统的观点进行分析,能够分析复杂能源使用过程。在模型分析中,通过假设不同的需求与方法设置各种参数,以扩大分析涵盖的范围。如技术运行成本由过程中的各种投入组成,可以根据不同情况包括能源投入、原料投入以及劳动力投入等其他投入,使技术成本分析更接近实际情况。图1给出了IPAC-AIM/技术模型框架。

IPAC-AIM/技术模型是一个全国模型,目前包括55个部门,近800种技术,覆盖了开采、能源加工转换、消费环节。IPAC-AIM/省份模型包括31个省(自治区、直辖市),以及香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾省的区域模型。IPAC-AIM/省份模型的原

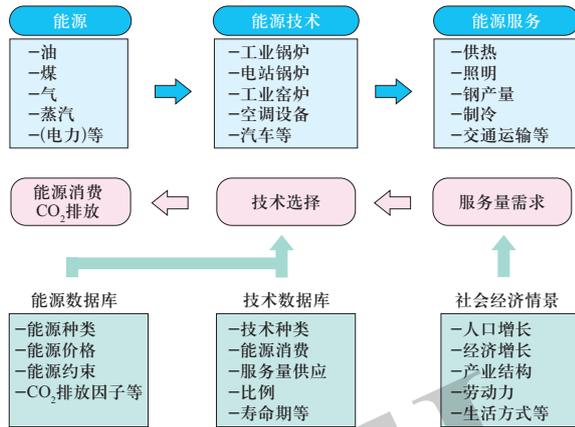


图1 IPAC-AIM/技术模型框架

Fig. 1 Model framework of IPAC-AIM/technology

理和IPAC-AIM/技术模型相同，划分的部门也相同，但是技术数量为450个左右。

2 零碳电力与钢铁和石化行业脱碳的关联

2.1 氢基产业分析

根据IPAC模型研究，实现2050年碳中和，对中国的一些行业影响巨大。这些潜在被影响的行业包括能源供应、钢铁、合成氨、乙烯、甲醇、甲苯等化工和石化业、交通业等^[9]。对于高排放、难减排的钢铁和石化行业，主要采用低碳或零碳技术来实现减排。目前，钢铁和石化行业减碳除了CCS技术，有潜力的零碳技术都是氢基的，利用氢作为还原剂或原料，如DRI技术。

目前的零碳制氢方法包括可再生能源电解水制氢和生物质制氢。由于中国生物质制氢原料分散、转化率低且会产生酸性大气污染物等限制条件，本研究不考虑生物质制氢技术。

由于既有生产工艺也可以通过CCS技术实现近零排放，本研究在计算时考虑了既有工艺引入CCS的技术路线。根据文献[10]研究结果，未来CCS技术封存CO₂的成本即使能降到200~400元/t，其使用还将受限于当地CO₂存储条件，如果没有适合的存储条件，就需要更长距离运输，导致更高的成本。

基于中国经济发展、产业结构调整以及居民物质需求，使用IPAC-AIM模型对这些产品进行了实物量的投入产出分析^[7]，具体未来产量见表1。其中，对二甲苯(PX)未来将主要基于乙烯和甲醇工艺生产。

根据文献[9]的研究结果，到2050年，在综合考虑原材料供应(如铁矿石、废钢等)、运输成本、采用

CCS时的CO₂存储条件等综合成本后，中国要实现钢铁、合成氨、乙烯、甲醇、苯的零碳生产，每年需要绿氢2670万t。

表1 中国主要氢基产业产品产量情景

Table 1 Output scenario of hydrogen based products in China

产品	单位	2015	2020	2030	2040	2050
粗钢	亿t	8.04	9.3	5.7	4.4	3.6
乙烯	万t	1 714.6	2400	2300	2300	2300
合成氨	万t	5791	5200	5000	5000	4500
苯	万t	780	1200	1350	1450	1375
甲醇	万t	4720	4900	5600	8300	9900
对二甲苯	万t	916	1300	3200	4800	4965

2.2 零碳电力成本分析

氢基减排技术的商业化发展需要合理的成本，其中氢供应成本在氢基减排技术成本中占主导地位，进而决定了未来氢基产业的布局。研究中设定氢的生产和使用都在本地进行，氢供应成本主要取决于制氢成本，包括电解水制氢设备成本与电力成本^[11]。在实现1.5℃温升目标下，中国的可再生能源电力、核电等零碳电力将会成为主导能源，其中除水电外的其他发电类型成本将显著下降^[12]。

因此，在碳中和目标下，钢铁和化工产业的布局将与低成本的零碳电力紧密关联。经过IPAC-AIM模型分析，如果可再生能源电力的价格低于0.15元/kWh，氢基产业生产技术与既有生产工艺相比将有很大的竞争力。因而，本文的分析选择0.15元/kWh作为标准评估未来零碳电力供应潜力和布局。

未来低成本零碳电力主要包括光伏、风电、水电以及核电。在这些发电方式中，目前光伏发电成本最低，在2020年7月的国际新项目中，上网电价已经0.1元/kWh左右，资源丰富地区光伏发电有望低至0.1元/kWh以下。风电目前最低成本也已经可以接近0.2元/kWh，未来还将进一步下降。核电在第三代技术规模化建设以后，成本有可能下降到0.25元/kWh。考虑到核电发展地区的不确定性，水电的成本下降空间不足，同时水电的布局也和目前的产业布局不相匹配，风电成本下降潜力有限，光伏发电成为大规模制氢最具成本优势和可能性的零碳电源。同时，从电力系统运行角度，大规模的光伏制氢和当地氢基产业也可以作为一种灵活性和备用资源。

2.3 低成本光伏发电的地域分布和制氢潜力

中国太阳能资源地区性差异较大,总体上呈现高原、少雨干燥地区大,平原、多雨高湿地区小的特点。2019年,中国东北西部、华北北部、西北大部 and 西南中西部年水平面总辐照量超过1400 kWh/m²。其中甘肃西部、内蒙古西部、青海北部、西藏中西部年水平面总辐照量超过1750 kWh/m²,太阳能资源最丰富;新疆大部、内蒙古大部、甘肃大部、宁夏、陕西北部、山西北部、河北中北部、青海东部、西藏东部、四川西部、云南大部、海南等年水平面总辐照量1400~1750 kWh/m²,太阳能资源很丰富^[13]。表2为IPAC模型组估算的中国2030年后典型地区低成本(低于0.15元/kWh)光伏开发潜力及对应的可制氢量。新疆、青海和甘肃等光伏资源丰富地区的可制氢量巨大。

表2 2030年典型地区低成本(低于0.15元/kWh)光伏装机容量、发电量以及可制氢量(IPAC模型情景)

Table 2 Installed capacity, power generation and hydrogen output potential in typical regions in China with power generation cost lower than 0.15 yuan/kWh (IPAC Model Scenario)

地区	光伏装机容量/万kW	发电量/亿kWh	可制氢量/万t
北京	260	31.2	7.1
天津	300	36	8.2
海南	800	96	21.8
黑龙江	3000	360	81.8
辽宁	3200	384	87.3
吉林	3500	420	95.5
陕西	4000	480	109.1
河北	4500	540	122.7
山东	5000	600	136.4
山西	5000	600	136.4
内蒙古	60 000	9000	2 045.5
宁夏	60 000	9000	2 045.5
甘肃	120 000	18 000	4 090.9
青海	150 000	22 500	5 113.6
新疆	200 000	30 000	6 818.2
合计	619 560	92 047.2	20 919.8

3 零碳电力对经济工业部门布局影响的分析

图2—图8给出了利用IPAC模型的计算结果,展示了中国主要氢基产业目前和2050年布局的变化情况。

如2.1节所述,模型计算时考虑了产品成本、运输成本等以及CCS技术,未考虑生物质制氢技术。

可以看出,这些基础工业的布局出现了明显的变化。在实现深度减排情景中,可以利用氢作为原料的产业明显出现了转向可再生能源富集地区的趋势,而在没有良好的可再生能源资源、同时又缺乏CCS应用基础的地区,原有石油天然气为基础的产业就会出现明显的萎缩。

不同行业实现深度减排时考虑的因素不同。粗钢未来生产分布主要取决于粗钢需求地、铁矿石供应地、绿氢成本、运输成本以及CCS成本。图9给出了考虑上述因素的中国未来粗钢生产情景。各地区利用CCS的潜力受当地CO₂存储条件的影响,如果要减少输送CO₂的成本,就需要选择在CO₂存储条件较好的地区。根据相关研究^[10],中国CO₂存储富集地区多在华北和东北,而南方相对缺乏。因此,对于绿氢成本高、且缺乏CO₂存储条件的中国南方和东部能源消费中心来说,需要较多考虑利用电炉钢工艺。

合成氨的分布主要由绿氢成本和运输成本决定。乙烯、苯、对二甲苯的布局则主要由绿氢的成本决定。所有这些产品生产布局也考虑了下游产品生产的再布局,以及随之而来的运输成本。

中国可再生能源资源丰富,特别是光伏。根据光伏资源的分布,加之未来光伏发电组件的成本预计会持续下降到2000元/kW以下,使得中国光伏发电成本可以达到0.07~0.2元/kWh。尽管风力发电成本也有达到0.1元/kWh的潜力,但其布局有限,而低成本光伏的布局很广泛(如表2所示)。但是在考虑不同区域运

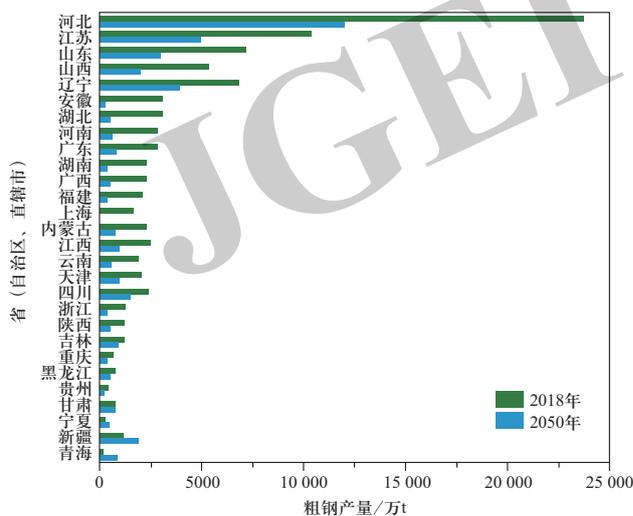


图2 粗钢生产分省布局

Fig. 2 Distribution of raw steel output by provinces

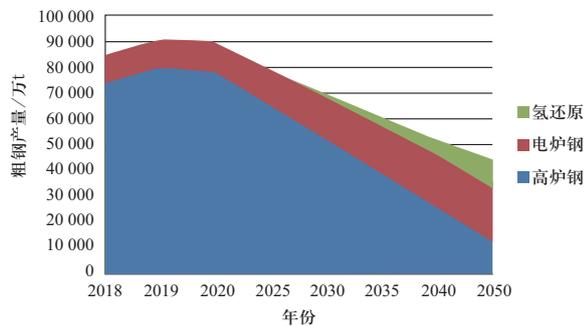


图9 中国粗钢生产情景

Fig. 9 Output of raw steel by processes in China

输成本时, 可以根据光伏成本的布局来开发不同的产品, 甚至利用核电来电解制氢生产化工产品。

4 结论

碳中和目标会明显影响未来一些产业的生产工艺。对于工业部门中难以减排的行业, 如钢铁、水泥、合成氨、乙烯、苯、甲醇等, 要实现深度减排, 氢基产业将是一个重要选项。绿氢的供应将明显影响这些产业采用氢工艺的成本, 进而影响产业的区域布局。通过本研究可以看出, 未来中国主要基础产业的布局出现了明显的变化, 在考虑多种实现产业深度减排技术(如CCS)的情况下, 不少产业都将转向可再生能源富集和低成本地区, 特别是光伏发电成本优势地区, 以实现本地光伏发电、制氢、产品制造的系列化。这些产业的转移也将进一步带动下游产业的转移, 本地生产下游产业的产品, 使得运输成本能够被更好消化。这样的格局将导致碳中和目标下中国工业部门布局发生变革, 中国的经济和发展战略应有所准备。同时, 产业布局的变化与国家西部开发和东北振兴战略相一致。

值得注意的是, 欧盟、美国等都已经进行了氢基产业战略部署^[14], 而中国尚处于讨论中。为了不在新的技术和经济发展中落后, 需要在国家科技研发以及产业应用中尽快推进部署。

未来碳中和目标下的减排更多的是技术和经济的竞争, 与能源转型相比, 碳中和目标将对经济带来更为明显的影响^[9,15]。因而未来碳中和目标下经济和行业如何发展将是一个重要的研究议题, 也是新型气候变化经济学的研究内容。工业产业的再布局会对国家经济发展产生深远的影响, 为了引导近期投资方向, 目前就应明晰与碳中和目标相一致的产业发

展战略, 促进国家经济高质量发展。产业再布局也会带来人口的再布局, 因而也需要社会发展战略与之相适应。

参考文献

- [1] FCH. Hydrogen roadmap Europe: a sustainable pathway for the European energy transition[R/OL]. (2019)[2020-10]. https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe_Report.pdf.
- [2] 赵一冰, 蔡闻佳, 丛建辉, 等. 低碳战略下供给侧减缓技术的综合成本效益分析[J]. 全球能源互联网, 2020, 3(4): 319-327.
ZHAO Yibing, CAI Wenjia, CONG Jianhui, et al. Comprehensive cost-benefit evaluation of supply side mitigation technologies for low-carbon strategy[J]. Journal of Global Energy Interconnection, 2020, 3(4): 319-327(in Chinese).
- [3] 李佳蓉, 林今, 肖晋宇, 等. 面向可再生能源消纳的电化工(P2X)技术分析及其能耗水平对比[J]. 全球能源互联网, 2020, 3(1): 86-96.
LI Jiarong, LIN Jin, XIAO Jinyu, et al. Technical and energy consumption comparison of power-to-chemicals (P2X) technologies for renewable energy integration[J]. Journal of Global Energy Interconnection, 2020, 3(1): 86-96(in Chinese).
- [4] 黄格省, 阎捷, 师晓玉, 等. 新能源制氢技术发展现状及前景分析[J]. 石化技术与应用, 2019, 37(5): 289-296.
- [5] JIANG K J, HU X L, MATSUOKA Y, et al. Energy technology changes and CO₂ emission scenarios in China[J]. Environmental Economics and Policy Studies, 1998, 1(2): 141-160.
- [6] JIANG K, HU X, ZHU S. Multi-gas mitigation analysis by IPAC[J]. The Energy Journal, 2006.
- [7] JIANG K J, ZHUANG X, MIAO R, et al. China's role in attaining the global 2 °C target[J]. Climate Policy, 2013, 13(supplement 1): 55-69.
- [8] JIANG K J, HE C M, DAI H C, et al. Emission scenario analysis for China under the global 1.5 °C target[J]. Carbon Management, 2018, 9(5): 481-491.
- [9] JIANG K, HE C, JIANG W, et al. Transition of the Chinese economy in the face of deep greenhouse gas emissions cuts in the future[J]. Asian Economic Policy Review (accepted).
- [10] 中国21世纪议程管理中心. 中国碳捕集利用与封存技术发展路线图. 2019.
- [11] JIANG K, HE C, CHEN S, et al. Role of hydrogen in China's deep cut of GHGs scenarios toward to Paris 1.5 °C target: IPAC analysis[J]. Advance in Climate Change Research (under review).
- [12] JIANG K, HE C, XU X, et al. Transition scenarios of power generation in China under global 2 °C and 1.5 °C targets[J].

Global Energy Interconnection, 2018, 1(4):79-88.

- [13] 中国气象局风能太阳能资源中心, 中国气象服务协会. 2019年中国风能太阳能资源年景公报[R]. 北京: 2020.
- [14] European Union. The European Green Deal[Z]. 2019.
- [15] 姜克隽, 冯升波. 走向巴黎协定温升目标: 已经在路上[J]. 气候变化研究进展 (已接收).

收稿日期: 2020-12-06; 修回日期: 2020-12-26。

作者简介:



姜克隽

姜克隽 (1965), 男, 研究员, 研究方向为能源系统分析, 能源和气候变化政策评估, 能源和环境综合评估模型开发和应用。通信作者, E-mail: kjiang@eri.org.cn。

向翩翩 (1993), 女, 博士生, 研究方向能源环境政策评估, E-mail: xiangpp@bjut.edu.cn。

(责任编辑 李锡)

“能源转型中的电力系统规划关键技术及案例研究” 专题征稿启事

2020年9月, 中国提出力争2030年前碳达峰与2060年前碳中和的宏伟目标, 根据国际气候变化治理相关研究, 较全社会口径, 电力系统应提前10年实现碳中和, 转型压力愈发紧迫。以电为核心的新型能源供应体系低碳发展, 将面临技术、市场、政策变革等多方面不确定性压力, 在此背景下, 电力系统规划不但要适应高不确定性、多部门耦合、环境约束等系统性新要求, 还要充分考虑各类储能、电力电子、信息通信、清洁发电、输电等新技术、新业态加速发展给电力系统整合各种内外资源带来的机遇。

为促进新形势下电力系统规划新理论、新技术和新实践研究, 《全球能源互联网》编辑部邀请英国伯明翰大学张小平教授、清华大学鲁宗相特聘副教授、中国电力科学研究院马世英教高共同担任特约主编, 策划“能源转型中的电力系统规划关键技术及案例研究”专题, 诚挚邀请国内外研究团队积极投稿。

专题拟于2021年7月出版, 截稿日期2021年3月31日。

一、专题征稿范围 (包括但不限于以下方向的理论、方法、技术和案例研究)

- 1) 碳中和目标导向下的电力系统发展态势和关键技术展望;
- 2) 大规模新能源基地外送电力系统规划;
- 3) 高渗透率可再生能源配电网规划及输配电网协同规划;
- 4) 极端事件下电力系统供应充裕性和韧性规划;
- 5) 多类型清洁能源联合发电规划;
- 6) 海上风电集群开发规划;
- 7) 与建筑、交通、工业等跨部门能源系统规划;
- 8) 面向(近)零碳的区域发输用电集成规划;
- 9) 电力系统和能源系统规划平台开发与典型应用;
- 10) 国内外电力系统中长期规划案例研究。

二、投稿要求

- 1) 摘要应该对论文的内容不加注释和评论地简洁陈述, 扼要地说明研究工作的研究目的、研究方法、研究结果和研究结论, 其中结论是重点。
- 2) 引言应简要介绍论文的写作背景和目的, 该领域的主要研究现状、当前研究热点以及目前存在的问题, 应当重点说明本研究与前人所做工作的关系, 借此引出本文的主题给读者以引导, 并对自己的研究思路做一总体介绍。

- 3) 正文部分要求层次清晰、重点突出、论述严谨、文字简练, 字数以不超过8000字(包括图表)为宜。
- 4) 遵循学术道德规范和论据可追溯原则, 对前人研究方法、结论和数据等, 给出准确引用文献信息。

三、投稿方式

请前往www.gei-journal.com/cn, 在线提交全文, 专题栏目选择“能源转型中的电力系统规划关键技术及案例研究”。投稿前请仔细阅读投稿指南。

论文请按照《全球能源互联网》投稿模板撰写。请在期刊网站点击“我要投稿—投稿模板下载”, 或关注“全球能源互联网期刊”微信公众号, 在“中文期刊—投稿模板”中下载投稿模板, 模板详细列出了论文各要素内容和版式要求, 可方便套用。

四、联系方式

张小平: x.p.zhang@bham.ac.uk
 鲁宗相: luzongxiang98@tsinghua.edu.cn
 马世英: mashiy@epri.sgcc.com.cn
 《全球能源互联网》期刊编辑部:
 kai-bai@geidco.org
 xi-li@geidco.org
 zhangyu@geidco.org
 zhang-peng@geidco.org