

DOI:10.3969/j.issn.2097-0706.2022.07.009

能耗“双控”向碳排放“双控”转变的实施路径研究

Research on the implementation path of the transition from dual control on energy consumption to dual control on carbon emission

谢典,高亚静,芦新波,刘天阳,赵良,赵勇

XIE Dian, GAO Yajing, LU Xinbo, LIU Tianyang, ZHAO Liang, ZHAO Yong

(中国华能集团有限公司能源研究院,北京 100031)

(Energy Research Institute of China Huaneng Group Company Limited, Beijing 100031, China)

摘要:我国已提出创造条件尽早实现能耗“双控”向碳排放总量和强度“双控”的转变,但如何科学合理地制定相关政策并有效实施还存在诸多问题。在分析我国能源消费与碳排放总量和强度现状的基础上,梳理了能耗“双控”政策提出的背景以及不同时期的内涵及执行情况。结合经济/社会发展水平、能源消费结构、碳排放来源组成、绿色技术发展现状等因素,剖析了能耗“双控”向碳排放“双控”转变的必要性及面临的挑战,从核算体系、实施路径、实施阶段3个方面提出了推进的措施。最后,研究了碳排放“双控”政策对我国能源电力消费的影响,从煤电绿色转型、发展非化石能源、推动负碳技术应用、加强碳资产管理、加快碳中和人才培养5方面提出了发电企业的应对策略。

关键词:碳中和;能源消费“双控”;碳排放“双控”;核算体系;实施路径;碳捕集、利用与封存

中图分类号:TK 01

文献标志码:A

文章编号:2097-0706(2022)07-0073-08

Abstract: China has proposed the stimulations for the quick transformation from dual control on energy consumption to dual control on carbon emission which consists of total volume and emission intensity, but problems on how to formulate policies scientifically and reasonably and how to implement them effectively need to be deeply studied. Based on the analysis on the current situation of the total amount and intensity of domestic carbon emission' from energy consumption, the connotation and implementation of the dual control on energy consumption in different times are expounded. Taking economic and social development level, energy consumption mix, carbon emission sources and development status of green technology into consideration, the necessity and challenges of the transformation from dual control on energy consumption to dual control on carbon emission sre analyzed, and measures and suggestions to promote the transformation are put forward from three aspects: accounting system, implementation path and implementation stage. Finally, the impact of the carbon emission dual control policy on China's energy and power consumption are studied, and the coping strategies of power generation enterprises are put forward from five aspects, green transition of coal-fired power enterprises, development of non-fossil energy, application of carbon-negative technology, strengthening carbon asset management and cultivation talents specializing in carbon neutrality.

Keywords: carbon neutrality; dual control on energy consumption; dual control on carbon emission; accounting system; implementation path; CCUS

0 引言

随着现代工业的迅猛发展和人类活动的日益频繁,气候变化已成为当今世界所面临的一项严峻挑战^[1]。2019年,全球平均温度比工业化前的水平

升高了 $1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[2],联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)发布的《全球升温 $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 特别报告》提出,如无有效控制手段,全球气温将在2030—2052年比工业化前升高 $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[3]。积极应对气候变化已逐步成为全球共识,其中控制以二氧化碳为主的温室气体排放成为关键。化石能源活动是碳排放的主要来源,各国把降低化石能源消耗、加强能耗控制、促进能效提升作为减排的重要手段。

收稿日期:2022-05-17;修回日期:2022-06-28

基金项目:中国工程院咨询项目(2021-HYZD-14);中国华能集团有限公司软科学研究计划重大项目(2021zd-2)

“十一五”期间,我国提出了能源消费总量与强度的能耗“双控”政策,作为控制能源消费总量过快增长和促进能源利用效率提升的重要手段,取得了显著成效。能耗“双控”是推动我国走上以高效、低能耗、面向“碳中和”的新型现代化道路的重要手段^[4]。“十二五”以来,能耗“双控”成为节能工作的主要政策,在积极推动节能降耗的同时,对降低碳排放也发挥了重要作用,为我国碳达峰、碳中和目标的实现奠定了坚实基础^[5]。但我国的能耗“双控”政策仍存在管控较为粗放、未充分考虑地区和行业差异等问题,导致一定程度资源错配^[6-7]。

碳排放与多重因素有关,影响因素分解的研究较多,已有多种成熟的分解模型^[8],较常用的是对数平均迪氏指数法(LMDI)。王利兵等^[9]、齐天宇等^[10]研究了中国能源碳排放的因素分解;彭武元等^[11]研究了中国不同行业终端的能源消费 CO₂ 排放分解;还有一些学者聚焦到工业、化工或采矿业等重点行业,进行碳排放变化驱动因素的研究^[12-14]。相关研究结果均表明,碳排放除了受到能源消费总量和结构的影响,还与技术进步、产业结构等密切相关,尤其是随着能源低碳转型进程的深入推进,能源消费与碳排放量相关性逐步减弱,需要将能耗控制与碳排放控制进行一定区分。

2021年12月,中央经济工作会议提出,新增可再生能源和原料用能不纳入能源消费总量控制,创造条件尽早实现能耗“双控”向碳排放总量和强度“双控”转变。2022年3月,国家发改委发布了《“十四五”现代能源体系规划》,再次强调推进能耗“双控”向碳排放“双控”转变^[15]。目前,我国实施碳排放“双控”还存在一些问题,如碳排放核算体系不完善、相应的考核体系不健全等;另外,碳排放“双控”进行任务分解时,也需要充分考虑地区、行业的差异^[16-19],合理开展工作。为此,本文在详细梳理了能耗“双控”与碳排放“双控”政策的出发点及内涵后,分析碳排放“双控”面临的主要挑战,并提出推动能耗“双控”向碳排放“双控”转变的相关措施、建议。

1 我国能源消费现状及能耗双控政策

1.1 我国能源消费与碳排放现状

1.1.1 能源消费情况

2020年,我国一次能源消费总量49.8亿tce,占世界总量的26%,全球排名第一;近10年年均消费总量的增长率达到3.3%,约为世界同期增长率的3.3倍(如图1所示)。

从一次能源消费结构看,2020年,我国煤炭、石油、天然气和非化石能源占比分别为56.8%,

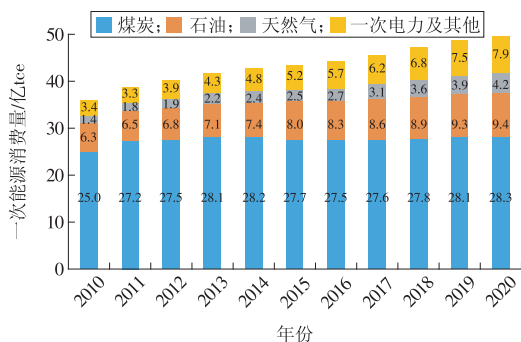


图1 2010—2020年我国一次能源消费总量

Fig. 1 Total consumptions of primary energy in China from 2010 to 2020

18.9%, 8.4% 和 15.9% (如图2所示)。近10年来,我国煤炭消费基本保持在28亿tce左右且占比逐步降低;石油消费略有增加,占比保持在19.0%左右;天然气消费增加幅度较大,但占比始终未超过10.0%;非化石能源消费快速增加,占比已超过15.0%。相比欧美发达国家,我国一次能源消费结构中煤炭占比最高,非化石能源占比有待进一步提升。

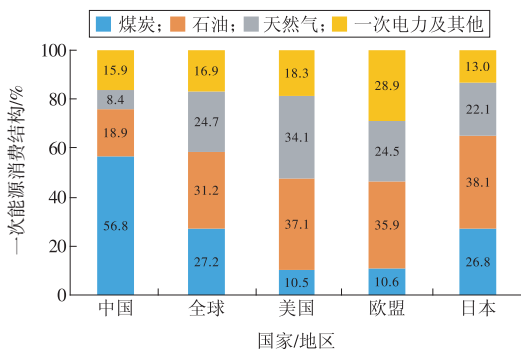


图2 2020年我国与发达国家一次能源消费结构

Fig. 2 Primary energy mix in China and major developed countries in 2020

2010—2020年,我国以38%的能源消费增长支撑了94%的国内生产总值(GDP)增长,能耗强度累计下降28.7%。2020年,我国能耗强度为0.62 tce/万元(2010年可比价),是全球平均值的1.5倍、美国的2.4倍、欧盟的2.7倍、日本的2.9倍,但仍有进一步降低的空间(如图3所示)。

1.1.2 碳排放情况

我国能源活动 CO₂ 排放经历了3个阶段: 1978—2000年为平稳增长期,碳排放年均增速为3.8%; 2001—2013年为快速增长期,碳排放年均增速高达8.7%; 2014—2020年,受我国经济增速放缓、能源结构调整等因素影响,碳排放量呈现波动增长,年均增速仅1.0%左右。据《BP世界能源统计年鉴(2021)》显示,2020年我国能源活动 CO₂ 排放达99亿t,占世界总量的30.7%。

2020年,我国碳排放强度比2015年下降

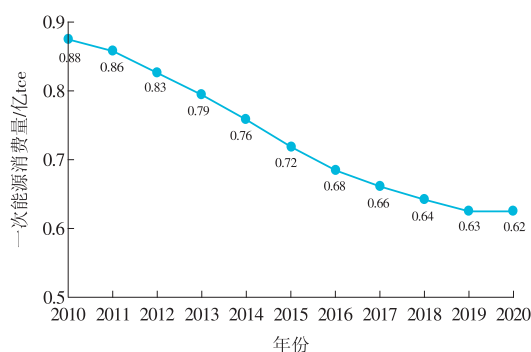


图3 2010—2020年我国能耗强度变化

Fig. 3 Changes in China's energy consumption intensity from 2010 to 2020

18.8%,基本扭转了CO₂排放快速增长的局面:2010—2020年我国GDP和碳排放强度(按2010年可比价计算)的变化趋势如图4所示。目前,我国碳排放强度是全球平均水平的1.8倍、美国的3.2倍、欧盟的4.0倍、日本的3.3倍。

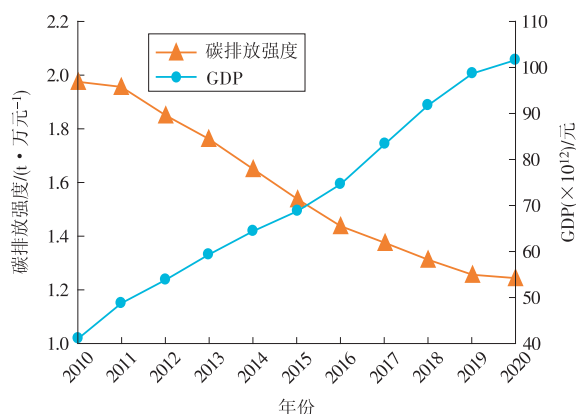


图4 2010—2020年我国碳排放强度变化

Fig. 4 China's carbon emission intensity from 2010 to 2020

1.2 能耗“双控”政策及执行情况分析

1.2.1 能耗“双控”政策

能耗“双控”主要指对能源消费总量和能耗强度的控制。能源消费总量是指一定地域内,国民经济各行业和居民家庭在一定时期消费的各种能源的总和。能源强度是指一定时期内一个地区每生产一个单位的GDP所消费的能源。能耗“双控”是为应对经济粗放式发展、能源消费快速增长、能源供应安全和生态环境等问题采取的重要政策措施。“十一五”规划首次将降低单位GDP能耗作为约束性指标,规划提出合理控制能源消费总量的要求。党的十八届五中全会提出实行能源消耗总量和强度“双控”行动,《“十三五”节能减排综合工作方案》将任务分解至各地区,从考核机制来看,能耗“双控”中能耗强度的优先度更高。“十四五”以来,我国能耗“双控”政策进一步完善。2021年9月,国家发

改委发布《完善能源消费强度和总量双控制度方案》,提出了一系列完善措施。2021年12月,中央经济工作会议进一步明确提出,新增可再生能源和原料用能不纳入能源消费总量控制,创造条件尽早实现能耗“双控”向碳排放总量和强度“双控”转变,加快形成减污降碳的激励约束机制,防止目标任务简单层层分解。2022年3月,国家发改委发布了《“十四五”现代能源体系规划》,再次强调推进能耗“双控”向碳排放“双控”转变。

1.2.2 能耗“双控”政策执行情况

能耗“双控”政策的实施显著促进了我国能效提升,取得了良好成绩,主要体现为以下3点。

(1)能源消费增长明显放缓。“十三五”时期,我国明确要求2020年单位GDP能耗比2015年降低15%,能源消费总量控制在50亿tce以内。2020年,我国成功完成能源消费总量控制目标,能耗强度比2015年下降13.2%,基本完成“十三五”规划目标。“十三五”期间,我国能源消费总量年均增长2.8%,经济增长保持了年均5.7%的水平,节能总量约占同期世界节能总量的1/2。

(2)煤炭消费占比持续下降。煤炭占能源消费总量的比重由2010年的69.2%下降至2020年的56.8%,超额完成“十三五”煤炭去产能、淘汰煤电落后产能的目标任务。碳排放强度比2015年下降18.8%,超额完成“十三五”规划约束性目标,比2005年下降48.4%,实现了中国向国际社会做出的自主减排承诺,累计减排二氧化碳58亿t。

(3)各地区积极执行能耗“双控”政策。各省陆续出台了一系列举措,采用限制高耗能企业用能、分时电价、差别电价等手段,控制能源消费总量,降低能耗强度。但是,部分地区实现控制目标的难度仍较大。

以2020—2021年为例,国家发改委公布的各地区能耗“双控”目标季度完成情况晴雨表(如图5所示),其中,能耗强度和能耗总量均为三级预警:绿标表示节能工作基本完成,仅有10个省(区)显示完成;其余省(区)均为一级预警(红标,节能形势十分严峻)或二级预警(黄标,节能形势比较严峻)。

2 实施碳排放“双控”政策的必要性及问题

2.1 能耗“双控”向碳排放“双控”转变的必要性

能耗“双控”和碳排放“双控”侧重点有所不同。能耗“双控”主要是基于提高能效、发展经济提出的目标,目的是提升能源投入产出比。碳排放“双控”是基于改善生态环境提出的目标,目的是通过控制碳排放,解决绿色低碳可持续发展的问题。

地区	2019 年 “双控” 目标考 核结果	2020 年前 3 季度		2021 年第 1 季度		2021 年上半年	
		能耗强度降 低速度目标 预警等级	能耗总量控 制进度目标 预警等级	能耗强度降 低速度目标 预警等级	能耗总量控 制进度目标 预警等级	能耗强度降 低速度目标 预警等级	能耗总量控 制进度目标 预警等级
北京	超额完成	●	●	●	●	●	●
天津	超额完成	●	●	●	●	●	●
河北	完成	●	●	●	●	●	●
山西	完成	●	●	●	●	●	●
内蒙古	未完成	●	●	●	●	●	●
辽宁	基本完成	●	●	●	●	●	●
吉林	完成	●	●	●	●	●	●
黑龙江	完成	●	●	●	●	●	●
上海	超额完成	●	●	●	●	●	●
江苏	完成	●	●	●	●	●	●
浙江	完成	●	●	●	●	●	●
安徽	超额完成	●	●	●	●	●	●
福建	超额完成	●	●	●	●	●	●
江西	完成	●	●	●	●	●	●
山东	完成	●	●	●	●	●	●
河南	超额完成	●	●	●	●	●	●
湖北	完成	●	●	●	●	●	●
湖南	完成	●	●	●	●	●	●
广东	超额完成	●	●	●	●	●	●
广西	完成	●	●	●	●	●	●
海南	完成	●	●	●	●	●	●
重庆	超额完成	●	●	●	●	●	●
四川	超额完成	●	●	●	●	●	●
贵州	完成	●	●	●	●	●	●
云南	完成	●	●	●	●	●	●
陕西	完成	●	●	●	●	●	●
甘肃	超额完成	●	●	●	●	●	●
青海	完成	●	●	●	●	●	●
宁夏	完成	●	●	●	●	●	●
新疆	完成	●	●	●	●	●	●

图 5 各省(区)能耗“双控”目标完成情况

Fig. 5 Completion of energy consumption dual control targets in various provinces (regions)

2.1.1 能耗“双控”已不能完全适应当前经济社会的发展需求

能耗“双控”对能源消费总量进行了控制,不仅包含传统化石能源,也包含了核能、可再生能源等非化石能源,非化石能源是零碳可再生的清洁能源,应该加以支持鼓励。此外,原料用能也是能耗“双控”任务的一部分。原料用能指石油、煤炭、天然气等能源产品不作为燃料、动力使用,而作为生产产品的原材料使用,这部分化石能源一般只有 20% 左右的碳形成了二氧化碳排放至大气。碳排放总量控制侧重于化石能源消费总量控制,实施碳排放总量控制可以有效避免能源总量控制制度的局限性,在控制化石能源消费的同时鼓励可再生能源发展,强化绿色低碳科技创新,推动相关优势产业集聚发展。

2.1.2 能耗“双控”对降低非能源领域的碳排放作用有限

根据中国社会科学院《应对气候变化报告(2021)》^[20],在 2016 年、2018 年我国向国际社会递交的履约文件中,碳排放核算口径均设定为能源消费活动的 CO₂ 排放量。目前,我国能源活动碳排放占碳排放总量的 88%,是最主要的碳排放来源。“十三五”期间,通过实施能耗“双控”,不仅提升了能源利用效率,也有效控制了碳排放总量,推动碳排放强

度下降 18% 目标的实现。但除能源消耗外,碳排放来源还包括工业过程、土地利用、废弃物等,非能源领域的碳排放量占到碳排放总量的 12%。随着能源清洁转型的推进,非能源领域碳排放将成为减排的难点。目前,能耗“双控”对降低非能源领域碳排放的作用十分有限,在保持能耗“双控”的管控力度基础上,将碳排放“双控”作为硬性指标,是实现“双碳”目标的必要条件。

2.1.3 碳排放“双控”有利于推动绿色技术的创新发展

碳排放总量和强度控制,有助于促进低碳/零碳/负碳技术的进步及其在相关产业的应用。随着可再生能源、储能、氢能的发展,尤其是碳捕集、利用与封存(CCUS)技术^[21-22]和生物质能碳捕集与封存(BECCS)技术^[23-24]的应用,化石能源消耗带来的碳排放将显著降低,能源消耗与碳排放之间的耦合关系将进一步削弱。实施碳排放“双控”有助于推动清洁能源技术发展,促进绿色交通、低碳建筑、新型材料等领域的科技创新,带动相关产业上下游共同发展。

2.2 我国实施碳排放“双控”面临的问题

2.2.1 碳排放核算体系尚不完善

能源利用和工业过程是碳排放的 2 个主要领域。这 2 个场景的碳排放核算均离不开对各种经济活动的活动水平或能耗统计及对各种能源的碳排放因子参数的测度。由于不同利用场景下不同能源的品质或多或少存在差异,具有代表性的平均排放因子需要进行广泛抽样调查,并通过统计方法归纳。因此,对样本选取、权重设置、动态特性识别等方面的不同认识,易导致排放因子的测度结果出现差异。在我国碳排放核算的实际工作中,各类化石能源消费统计及碳排放因子测度容易出现较大偏差,从而导致碳排放核算结果出现较大误差。

2.2.2 碳排放“双控”实施机制尚待明确

“十三五”以来,我国能耗“双控”取得显著成效,但也暴露出能源消费总量管理缺乏弹性和差别化管理措施等问题,“一刀切”的能源消费总量控制带来了诸多现实困扰。从能耗“双控”向碳排放“双控”转变,尚缺乏清晰的制度设计,在协调经济发展与碳减排、合理设定碳排放总量和强度目标、统筹地区差异与任务分解、科学安排碳排放“双控”时间进程等方面,缺乏统一完善的实施方案。可充分借鉴能耗“双控”的成熟经验,制定科学的碳排放“双控”实施机制。

2.2.3 碳排放“双控”市场机制尚待探索

碳市场、碳金融、碳资产管理等市场机制将在

碳排放“双控”中发挥重要作用。比如,通过碳市场交易可以逐年收紧高碳排放企业碳排放配额约束或提高碳市场基准线标准,从而激励生产效率高的企业发挥竞争优势。但市场机制如何设计才能有效调动企业减排积极性,并减小对产业健康发展的冲击,仍有待深入研究。全国碳排放市场已正式运行,但目前仅吸纳了发电行业,配额相对宽松,市场活跃度不足。未来需要不断探索和完善市场机制,以促进碳排放“双控”工作落实。

3 推动能耗“双控”向碳排放“双控”转变

3.1 建立完善的碳排放核算体系

3.1.1 加强基础数据统计与分析

实现能源统计全口径覆盖,制定各品类能源的能量含量假设及等效折算标准,提升能源消费统计数据质量。加强对各细分品类的煤炭、石油、天然气制品碳排放因子的调查统计。建立完善的碳排放统计体系,摸清各地区、各部门情况,将现有能耗、碳排放的国家级、省级和地市级管控指标、监测数据进行平台整合,形成多来源、互补式的数据监测系统。出台能耗计量、排放因子等核算基本方法和基础参数的国家级标准,提高核算数据的科学性和可靠性。

3.1.2 深入开展企业碳排放核算工作

加快推进全国性企业碳排放核算工作,重点是明确全流程、全产业链碳足迹核算标准,探索碳排放责任分摊方法,制定直接碳排放、间接碳排放、碳排放责任方面的准则。碳排放责任分摊方法是实施企业碳排放核算的重要环节,主要有跟踪全过程各个环节碳排放量法和基准值法2种,应结合实施成本、整体可控性与可操作性、预期减排效果、是否利于发挥市场作用等因素,采用适宜的核算方法。

3.1.3 推动碳排放监测技术应用

除通过排放因子计算外,碳排放量还可采用实测法进行核算。推动碳排放实测技术发展,加快遥感测量、大数据、云计算等新兴技术在碳排放实测领域的应用,提高统计核算水平。对于电力、热力等间接碳排放的测算,需要充分反映其生产时空特性、促进多市场协调发展,达到通过碳排放控制引导企业优化用能、节约用能的目的。建议探索采用基于电力潮流追踪或基于电力交易流追踪的用电侧碳排放因子计算方法,实现更为精确的测算。

3.1.4 强化碳排放核算工作推进机制

2021年9月,国家碳排放统计核算工作组成立,负责组织协调全国及各地区、各行业的碳排放统计核算工作。建议进一步强化工作机制,在已有的各

省级碳排放核算方法体系基础上,进一步规范化定期运行与完善制度,建立省级数据与国家数据统一的检验机制,以有效验证和支持国家层面的核算结果,为科学核定碳排放量和排放强度提供支撑。

3.2 综合考虑地区、行业差异统筹推进“双控”工作

3.2.1 构建科学合理的碳排放“双控”目标分解体系

综合考虑经济发展、能源安全保障、新能源渗透率、技术进步及高耗能产业发展等因素,科学设定碳排放总量控制目标,并及时进行动态优化调整。空间布局上,结合各地区经济发展水平、产业结构布局、能源结构和消费状况等,科学合理分解,促进各地特别是欠发达地区产业转型升级。时间安排上,充分考虑产业布局和能源基础设施建设的长周期性和能源消费的季节性,从更长时间统筹分解分配指标。

3.2.2 开展地区及行业的碳排放“双控”试点工作

结合全国各地区经济水平、产业结构及各行业的能源消费和碳排放特点,选取适宜的地区及行业开展碳排放“双控”试点工作,为全国推行积累经验。建议选择经济发展水平较高、地域范围具有一定广度的地区作为试点,在减少对地方经济发展影响的同时,保证市场具有足够的容量和交易主体。在试点行业选择方面,由于不同试点地区的区域经济发展特征、自然条件有较大差异,建议选取具有减排成本低、产业竞争度低、排放数据易于获取等特点的行业。此外,要在合适的试点探索行业指标与地区指标相补充的分配机制。

3.2.3 建立灵活的碳排放“双控”考核机制

借鉴能源“双控”的发展历程,按照先强度、后总量,预期指标与约束指标相结合的思路,逐步形成碳排放“双控”政策的制度性约束机制。同时,牢固树立碳排放“双控”政策是促进经济高质量发展的理念,结合各个区域资源禀赋和经济社会发展水平,进行差异化考核,尤其面对因国家发展需要、“黑天鹅”事件冲击等因素导致的指标变化,需及时调整考核要求。探索不同省区间如何通过配额、碳汇等交易方式完成碳排放“双控”考核指标。

3.3 分阶段实现能耗“双控”向碳排放“双控”转变

3.3.1 结合碳达峰目标的实施路径,调整能耗“双控”指标

碳达峰阶段,仍以能耗“双控”为主,但需要调整其控制范围和控制方式,碳排放主要控制排放强度,完成单位GDP碳排放下降目标。目前,我国已提出新增可再生能源和原料用能不纳入能源消费总量控制,旨在避免简单将能源消费总量与“双碳”

目标挂钩等运动式减碳行为。下一步,还要进一步细化原料品种、用途,精细化界定可不纳入能源消费总量控制的原料范畴,坚持节能优先,优化能耗管控机制,允许能源消费总量保持合理弹性,逐步加大非化石能源在中国能源结构中所占的比例,稳步有序实现能源替代。

3.3.2 逐步实施能耗“双控”与碳排放“双控”指标并重考核

随着清洁能源占比不断提升,能耗水平与碳排放水平耦合程度逐步减弱,要合理确定并重的能耗双控与碳排放双控指标。结合能源结构和产业结构等要素,设定碳减排目标、下达总量控制任务,同步实施能耗双控和碳排放“双控”,将发展重心转向提质增效,以提升能源产出率为导向,创新发展理念、模式和业态,不断缩小技术、产业等与国际先进水平的差距。

3.3.3 产业结构转型基本完成后,以碳排放“双控”指标为主

随着科技进步和能源利用效率提高,经济发展水平和产业发展质量进一步提升,经济增长和能源消费及碳排放逐渐脱钩,经济增长的要素贡献发生明显的结构性变化,低能耗低排放产业在国内生产总值中的比重不断上升。届时,宜将碳排放“双控”指标作为主要考核指标,能耗“双控”指标作为辅助性指标,通过碳排放“双控”推动低碳/零碳/负碳技术创新与应用,助力我国实现碳中和目标。

4 “双控”政策下发电企业应对策略建议

4.1 “双控”政策转变对能源电力消费的影响

4.1.1 全社会用电量持续增长

碳排放“双控”政策的实施将推动各地区、各行业压减化石燃料消费,电能替代有望加快推动全社会用电量持续增长。在钢铁、有色金属、造纸、纺织等重点工业中,电气化水平将不断提升,建筑供暖、道路运输等领域也将加快推进电气化,热泵、电动汽车等产业规模持续扩大。

4.1.2 可再生能源电力占比进一步提升

新增可再生能源不纳入能源消费总量控制,将鼓励企业多消费可再生能源电力,加大可再生能源发展力度,促进绿色节能和新能源产业的发展。消费侧需求的不断增长不仅有利于可再生能源的消纳,更将增强企业投资可再生能源发电的动力,形成良性循环。绿电消费不仅在保障生产生活用能的基础上实现了减碳,满足碳排放“双控”要求,还将有效降低欧盟碳边境调节机制(CBAM)对国内重要行业带来的负面影响。

4.1.3 电力系统安全稳定运行面临更严峻的挑战

随着可再生能源电力需求增长,电力系统的“双高”的特征(高比例新能源、高比例电力电子设备)更加凸显,系统随机性、波动性显著增强,电力系统长期、中期和日内平衡难度都将加大。全国各省(市、自治区)碳排放总量和强度差异显著,碳排放“双控”政策下,不同省份面临的控碳、减碳压力迥异,清洁电力跨区域输送需求规模增大。需要加强能源互联网建设,增强电力系统灵活调节能力,提高电网安全稳定运行能力。

4.1.4 促进可再生能源发展相关体制机制有待进一步完善

能耗“双控”向碳排放“双控”的转变,亟须完善碳市场、电力市场等相关体制机制。建立绿电与碳排放权联动体系、碳税与碳交易联动的碳定价政策机制以及国际碳关税互认机制,逐步扩大碳市场范围,适时引入拍卖机制,结合电力市场化改革政策,疏通全价值链的碳价传导机制。

4.1.5 化石原料用能范围亟待界定

新的政策增强了管理弹性,增加了差别化管理措施,客观反映了石化化工等行业发展诉求和能源利用情况,在符合国内大循环、产业布局、资源环境承载力等要求的基础上,保障了必需的原料用能,有利于相关产业健康发展。例如,在石化、化工等行业中,相当一部分作为原材料而非能源动力的煤炭、石油将不再纳入能源消费总量控制。未来还需要进一步对原料用能和燃料用能进行界定和区分,以推动石化化工等产业转型升级。

4.2 发电企业应对策略

基于我国国情,传统发电企业的煤电装机和发电量占比均较高,随着碳排放“双控”逐步实施,减排压力不断增大,提出如下应对策略。

4.2.1 推进煤电绿色低碳转型

加强对企业各类煤电机组寿命、运营状况、碳排放情况等方面的摸排,制定碳中和背景下企业煤电发展战略。按机组分类实施超低排放改造、灵活性改造、节能降碳改造、多能联供改造,实现高碳到低碳的转变。通过掺烧废弃物、污泥耦合发电等技术,使“煤电+”成为城市生态环保综合治理平台^[24-25]。

4.2.2 大力发展非化石能源

集中式与分布式能源并举,全力推动新能源跨越式发展。各企业结合自身产业技术基础,合理布局水电、核电、海上风电等,建设“风-光-水-火-储一体化”“源-网-荷-储一体化”清洁能源基地。

4.2.3 推动零碳/负碳技术示范应用

对二氧化碳捕集、运输、利用、封存及监测等各

环节的关键技术开展攻关,加快推进 BECCS 关键技术研发。建设更大捕集规模、更多二氧化碳利用场景、全流程成本更低的 CCUS 示范工程,探索生物质耦合燃煤 BECCS 示范技术的应用。

4.2.4 加强碳资产管理

在企业层面,建立碳管理信息化平台,实现全面、高效、准确的碳资产管理。利用好国家核证自愿减排量(CCER)碳抵消机制,推动碳资产开发。加强碳市场预测分析,预测未来碳价走势,制定中长期投资规划,优化交易决策。

4.2.5 加快碳中和领域人才队伍建设

根据企业产业布局情况,引进一批研发低碳/零碳/负碳技术的创新型人才。依托国家重大科技任务和创新平台,建立产学研交融协同的人才培养模式。优化人才考核体系,建立健全有利于人才自我实现的企业文化和制度,激发创新潜力。

5 结论

从能耗“双控”向碳排放“双控”转变,是进一步推动能源转型、实现新能源安全可靠替代的重要举措,是经济社会可持续发展的保障。主要结论及建议如下。

(1) 建立完善的碳排放核算体系。加强对各类能源消费量及其碳排放因子等基础数据统计,深入开展企业碳排放核算工作,推动碳排放监测技术应用。

(2) 综合考虑地区和行业差异,设定碳排放总量与强度控制目标。充分考虑产业布局和能源基础设施建设的长周期性、能源消费的季节性,合理分解指标,建立灵活的碳排放双控考核机制。

(3) 分阶段实现能耗“双控”向碳排放“双控”转变。结合当前发展现状,调整能耗“双控”指标,新增可再生能源和原料用能不纳入能源消费总量控制,在碳排放核算体系更趋完善的基础上,实施能耗“双控”与碳排放“双控”指标考核并重,逐步实现以碳排放“双控”为主的考核机制。

(4) 碳排放“双控”政策的实施将推动绿电消费加快增长。传统发电企业需要加快产业布局转型,推动煤电绿色低碳转型,大力发展新能源、水电、核电,加快零碳/负碳技术示范应用,加强企业碳资产管理,高度重视碳中和人才培养。

参考文献:

- [1] GASBARRO F, IRALDO F, DADDI T. The drivers of multinational enterprises' climate change strategies: A quantitative study on climate-related risks and opportunities [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 160: 8-26.
- [2] United Nations Environment Programme. Emissions gap report 2020 [R]. Nairobi: United Nations Environment Programme (UNEP) and UNEP DTU Partnership (UDP), 2020.
- [3] 喻小宝, 郑丹丹, 杨康, 等. “双碳”目标下能源电力行业的机遇与挑战[J]. *华电技术*, 2021, 43(6): 21-32.
YU Xiaobao, ZHENG Dandan, YANG Kang, et al. Opportunities and challenges faced by energy and power industry with the goal of carbon neutrality and carbon peak [J]. *Huadian Technology*, 2021, 43(6): 21-32.
- [4] 白泉. 建设“碳中和”的现代化强国始终要把节能增效放在突出位置[J]. *中国能源*, 2021, 43(1): 7-16.
- [5] 吴滨, 高洪玮. 能耗“双控”政策的碳减排效应分析[J]. *中国能源*, 2021, 43(6): 39-45.
- [6] 谷宇辰, 张达, 张希良. 关于完善能源消费“双控”制度的思考与建议——基于“十三五”能源消费变化的研究[J]. *中国能源*, 2020, 42(9): 4-9.
- [7] 王兵, 赖培浩, 杜敏哲. 用能权交易制度能否实现能耗总量和强度“双控”? [J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(1): 107-117.
WANG Bing, LAI Peihao, DU Minzhe. Whether the energy-consuming right transaction system can achieve the dual control of both energy consumption and intensity? [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2019, 29(1): 107-117.
- [8] 张中华, 赵玉焕, SU Bin, 等. 能源需求与碳排放驱动因素分解模型发展评述[J]. *生态经济*, 2019, 35(4): 13-19.
ZHANG Zhonghua, ZHAO Yuhuan, SU Bin, et al. Review on the development analysis of driving factors applied on energy demand and carbon emission [J]. *Ecological Economy*, 2019, 35(4): 13-19.
- [9] 王利兵, 张赞. 中国能源碳排放因素分解与情景预测[J]. *电力建设*, 2021, 42(9): 1-9.
WANG Libing, ZHANG Yun. Factors decomposition and scenario prediction of energy-related CO₂ emissions in China [J]. *Electric Power Construction*, 2021, 42(9): 1-9.
- [10] QI T, WENG Y Y, ZHANG X L, et al. An analysis of the driving factors of energy-related CO₂ emission reduction in China from 2005 to 2013 [J]. *Energy Economics*, 2016, 60: 15-22.
- [11] 彭武元, 姚焯亨. 中国分行业终端能源消费 CO₂ 排放分解研究[J]. *生态经济*, 2021, 37(8): 21-27.
PENG Wuyuan, YAO Langting. Decomposition of China's industrial CO₂ emissions from final energy consumption [J]. *Ecological Economy*, 2021, 37(8): 21-27.
- [12] LIN B Q, LONG H Y. Emissions reduction in China's chemical industry-based on LMDI [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 53: 1348-1355.

- [13] SHAO S, LIU J H, GENG Y, et al. Uncovering driving factors of carbon emissions from China's mining sector [J]. Applied Energy, 2016, 166: 220–238.
- [14] FATIMA T, XIA E J, CAO Z, et al. Decomposition analysis of energy-related CO₂ emission in the industrial sector of China: Evidence from the LMDI approach [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2019, 26 (21): 21736–21749.
- [15] 国家发展改革委, 国家能源局. 关于印发《“十四五”现代能源体系规划》的通知 (发改能源〔2022〕210 号) [EB/OL]. (2022-01-29) [2022-03-25]. https://www.ndrc.gov.cn/xwtd/tzgg/202203/t20220322_1320017.html?code=&state=.
- [16] 张俊锋, 许文娟, 王跃铸, 等. 面向碳中和的中国碳排放现状调查与分析 [J]. 华电技术, 2021, 43(10): 1–10. ZHANG Junfeng, XU Wenjuan, WANG Yueqi, et al. Investigation and analysis on carbon emission status in China on the path to carbon neutrality [J]. Huadian Technology, 2021, 43(10): 1–10.
- [17] 刘亦文, 阳超, 蔡宏宇. 中国碳排放总量与强度的省际差异与因素分解 [J]. 湖南工业大学学报, 2022, 36(1): 1–9. LIU Yiwen, YANG Chao, CAI Hongyu. Inter-provincial diversity and factor decomposition of the totality and intensity of carbon emissions in China [J]. Journal of Hunan University of Technology, 2022, 36(1): 1–9.
- [18] 王勇, 程瑜, 杨光春, 等. 2020 和 2030 年碳强度目标约束下中国碳排放权的省区分解 [J]. 中国环境科学, 2018, 38(8): 3180–3188. WANG Yong, CHENG Yu, YANG Guangchun, et al. Provincial decomposition of China's carbon emission rights under the constraint of 2020 and 2030 carbon intensity targets [J]. China Environmental Science, 2018, 38(8): 3180–3188.
- [19] 王勇, 王颖. 中国实现碳减排双控目标的可行性及最优路径能源结构优化的视角 [J]. 中国环境科学, 2019, 39 (10): 4444–4455. WANG Yong, WANG Ying. Feasibility and optimal pathway of China's double targets for carbon reduction—The perspective of energy structure optimization [J]. China Environmental Science, 2019, 39(10): 4444–4455.
- [20] 谢伏瞻, 庄国泰, 巢清尘, 等. 应对气候变化报告 2021: 碳达峰碳中和专辑 [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2021.
- [21] 张贤, 李凯, 马乔, 等. 碳中和目标下 CCUS 技术发展定位与展望 [J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(9): 29–33. ZHANG Xian, LI Kai, MA Qiao, et al. Orientation and prospect of CCUS development under carbon neutrality target [J]. China Population, Resources And Environment, 2021, 31(9): 29–33.
- [22] 米剑锋, 马晓芳. 中国 CCUS 技术发展趋势分析 [J]. 中国电机工程学报, 2019, 39(9): 2537–2544. MI Jianfeng, MA Xiaofang. Development trend analysis of carbon capture, utilization and storage technology in China [J]. Proceedings of the CSEE, 2019, 39(9): 2537–2544.
- [23] 樊静丽, 李佳, 晏水平, 等. 我国生物质能-碳捕集与封存技术应用潜力分析 [J]. 热力发电, 2021, 50(1): 7–17. FAN Jingli, LI Jia, YAN Shuiping, et al. Application potential analysis for bioenergy carbon capture and storage technology in China [J]. Thermal Power Generation, 2021, 50(1): 7–17.
- [24] 鲁军辉, 王随林, 唐进京, 等. 可再生能源与余热协同辅助碳捕集技术研究现状与展望 [J]. 华电技术, 2021, 43(11): 97–109. LU Junhui, WANG Suilin, TANG Jinjing, et al. Review and prospects of carbon capture technology assisted by renewable energy, waste heat and combination of them [J]. Huadian Technology, 2021, 43(11): 97–109.
- [25] 陈全喜, 付江涛. 市政污泥耦合燃煤电厂发电关键因素分析与展望 [J]. 华电技术, 2021, 43(10): 50–60. CHEN Quanxi, FU Jiangtao. Analysis and prospect of key factors affecting the coupling of municipal sludge combustion and coal-fired power plants [J]. Huadian Technology, 2021, 43(10): 50–60.

(本文责编: 陆华)

作者简介:

谢典(1990), 男, 工程师, 博士, 从事能源低碳转型、再电气化等方面的研究, xie_dian@chnng.com.cn;

高亚静(1980), 女, 副教授, 博士, 从事能源电力经济、电力低碳转型等方面的研究, gao_yajing@chnng.com.cn;

芦新波(1988), 男, 工程师, 硕士, 从事电力系统分析、能源电力规划研究工作, xinbo_lu@chnng.com.cn;

刘天阳(1993), 男, 工程师, 硕士, 从事电力系统分析、能源电力规划等方面的研究, tianyang_liu@chnng.com.cn;

赵良(1972), 男, 正高级工程师, 博士, 从事电力系统分析、能源电力规划等方面的研究, zhao_liang@chnng.com.cn;

赵勇(1968), 男, 正高级工程师, 博士, 从事能源战略、能源电力经济等方面的研究, yong_zhao@chnng.com.cn。