

2023 年 8 月

山东省中小燃煤电厂低碳高质量发展 路径分析 简版



北京大学能源研究院
INSTITUTE OF ENERGY



山东省热电设计院
SHANDONG HEAT ENERGY AND ELECTRIC POWER DESIGN INSTITUTE



自然资源保护协会
NATURAL RESOURCES DEFENSE COUNCIL



北京大学能源研究院 INSTITUTE OF ENERGY

北京大学能源研究院是北京大学下属独立科研实体机构。研究院以国家能源发展战略需求为导向，立足能源领域全局及国际前沿，利用北京大学学科门类齐全的优势，聚焦制约我国能源行业发展的重大战略和科技问题，按照“需求导向、学科引领、软硬结合、交叉创新、突出重点、形成特色”的宗旨，推动能源科技进展，促进能源清洁转型，开展专业及公众教育，致力于打造国际水平的能源智库和能源科技研发推广平台。



山东省热电设计院（SDHEEPDI）创建于1993年，是集电力、市政、新能源、环保等工程咨询、设计和工程总承包于一体的综合性设计单位。建院以来始终坚持“为热电企业全生命周期提供智力服务”的价值主张，累计设计热电工程700余项，总装机1900万千瓦；市政热力管网900余项，近4000公里；编制了包括各类规划在内的800余项咨询报告，为热电行业的健康发展作出了贡献，在国内热电设计领域拥有良好声誉和较高知名度。



自然资源保护协会（NRDC）是一家国际公益环保组织，成立于1970年。NRDC拥有700多名员工，以科学、法律、政策方面的专家为主力。NRDC自上个世纪九十年代中起在中国开展环保工作，中国项目现有成员40多名。NRDC主要通过开展政策研究，介绍和展示最佳实践，以及提供专业支持等方式，促进中国的绿色发展、循环发展和低碳发展。NRDC在北京市公安局注册并设立北京代表处，业务主管部门为国家林业和草原局。请访问网站了解更多详情 <http://www.nrdc.cn/>

中国煤炭消费总量控制方案和政策研究 （煤控研究项目）

中国是世界煤炭生产和消费第一大国。以煤炭为主的能源结构支撑了中国经济的高速发展，但也对生态环境造成了严重的破坏。为了应对气候变化、保护环境和减少空气污染，国际环保组织自然资源保护协会（NRDC）作为课题协调单位，与政府智库、科研院所和行业协会等20多家有影响力的单位合作，于2013年10月共同启动了“中国煤炭消费总量控制方案和政策研究”项目（即“煤控研究项目”），为设定全国煤炭消费总量控制目标、实施路线图和行动计划提供政策建议和可操作措施，助力中国实现资源节约、环境保护、气候变化与经济可持续发展的多重目标。

重要研究报告

- 《山东省中小燃煤电厂低碳高质量发展路径分析》
- 《双碳背景下发电侧储能综合价值评估及政策研究》
- 《碳中和目标下山西省煤电产业转型升级发展和定位研究》
- 《碳中和目标下山西省焦化产业转型升级发展和定位研究》
- 《汾渭平原深入打好污染防治攻坚战煤炭总量控制研究报告》
- 《面向碳中和的氢冶金发展战略研究》
- 《碳中和目标下中国火电上市公司低碳转型绩效评价报告2022》
- 《山东省“十四五”重点耗煤行业减煤路径研究》
- 《双碳目标下的五大发电集团发电业务低碳转型研究》
- 《“双碳”与空气质量改善双目标下的安阳市中长期控煤路径研究》
- 《“双碳”背景下河南省电力行业中长期控煤路径研究报告》
- 《碳达峰与碳中和背景下山东电力行业低碳转型路径研究》
- 《内蒙古煤炭生产和消费绿色转型研究》
- 《霍林郭勒产业园绿色低碳发展研究》
- 《内蒙古典型城市煤炭消费与大气质量的关联分析及政策建议》
- 《内蒙古采煤沉陷区生态修复与可再生能源利用研究》
- 《“十四五”山西省非煤经济发展研究》
- 《碳达峰碳中和背景下山西煤电行业转型发展研究》
- 《碳达峰碳中和背景下山西焦化行业转型发展研究》
- 《中国典型省份煤电转型优化潜力研究》
- 《碳达峰碳中和目标约束下重点行业的煤炭消费总量控制路线图研究》
- 《碳达峰碳中和目标约束下水泥行业的煤炭消费总量控制路线图研究》
- 《碳达峰碳中和目标约束下电力行业的煤炭消费总量控制路线图研究》

.....

请访问网站了解更多详情 <http://www.nrdc.cn/>

山东省中小燃煤电厂低碳高质量发展路径分析

简版

报告作者

北京大学能源研究院
吴迪、王可珂、康俊杰

山东省热电设计院
刘博、陈安会、王兴华

2023 年 8 月

执行摘要

山东省是全国第一大电力装机大省，2022 年电力总装机约 1.9 亿千瓦，其中煤电装机约 1.09 亿千瓦。作为全国唯一一个煤电装机过亿的省份，在碳达峰与碳中和目标的约束下，山东省背负着巨大的减煤降碳压力。为了实现应对气候变化、新旧动能转换和改善生态环境等多重目标，山东省正加速推动煤电的转型优化，促进构建新型电力系统和建设新型能源体系。

山东省近期出台的多项政策也提出了相应的目标和计划。例如，《山东省能源保障网建设行动计划》提出，到 2025 年和 2030 年分别将煤电装机控制在 1 亿千瓦左右。《山东省建设绿色低碳高质量发展先行区三年行动计划（2023-2025 年）》提出“十四五”期间，建成大型清洁高效煤电机组 1000 万千瓦以上，三类改造（灵活性改造、供热改造、节能改造）各完成 1000 万千瓦左右。有序推进低效小煤电机组关停并转，到 2025 年，30 万千瓦以下抽凝机组基本替代退出。

山东省目前在运煤电机组中还有大量的 30 万千瓦以下的中小燃煤电厂，机组容量占比仅约 20%，但数量占比近 80%。作为全国第一大供热需求大省和第二大电力需求大省，煤电承担着重要的供热和供电功能，发挥着关键的能源保供作用，其中中小燃煤电厂几乎全部为热电联产机组，供热能力位居全国第一，承担着全省 80% 以上的供热需求。然而，在碳达峰与碳中和目标、能源保供形势严峻、煤价与电价机制较为僵化的背景下，中小燃煤电厂生产经营困难，急需寻找低碳高质量发展路径，包括上新压旧、升级改造、优化替代、应急备用、关停退出、保留运营和合理新增等。积极推动山东省中小煤电的低碳高质量发展，不仅将助力山东省加速推动煤电的结构优化，提高清洁能源供热比重，支撑可再生能源高速发展，还将作为典型省级样板，为我国其他供热供电大省在能源安全保供的前提下推动煤电转型减量发展提供重要的借鉴意义。

课题组研究发现，通过以上几种高质量发展路径，山东省在 2030 年前能净淘汰超过 1300 万千瓦的中小煤电机组，约占目前中小煤电总装机比重的 60%，这不仅能推动山东省煤电总装机规模尽早达峰，还能大幅提升存量中小煤电机组的能效和环保水平。由于山东省供电供热需求大，很多中小燃煤热电企业在发电的同时还承担着关键的工业供汽和民生供热功能，且部分机组是高效背压机组，若执行“一刀切”的关停淘汰，不仅对系统安全保供带来极大的不利影响，还将造成大量的资源浪费。针对中小燃煤电厂，山东省亟需制定科学有效转型退出路径，并做好相关保障工作，真正做到“一企一策”，精准施策。不以机组大小作为关掉或准入的标准，而要看机组的能效水平和实际作用。

一、山东省中小燃煤电厂在运情况

课题组总共统计了 2022 年山东省在运的煤电机组约 1.06 亿千瓦，占全省煤电总装机比重的 97%。通过分析发现，30 万千瓦以下的机组装机容量为 2347.6 万千瓦，占比 22.2%，机组总台数 646 台，占比 78.4%。其中有大量的 5 万千瓦及以下的小微燃煤电厂，总装机容量仅 1083.6 万千瓦，占比 10.2%，但机组总台数高达 548 台，占比达 66.5%（图 1）。

服役年龄方面，山东省 30 万千瓦以下机组的平均服役年龄为 13.9 年，和全国煤电机组的平均服役年龄相当，但随着机组容量越小，服役年龄越短（图 2）。

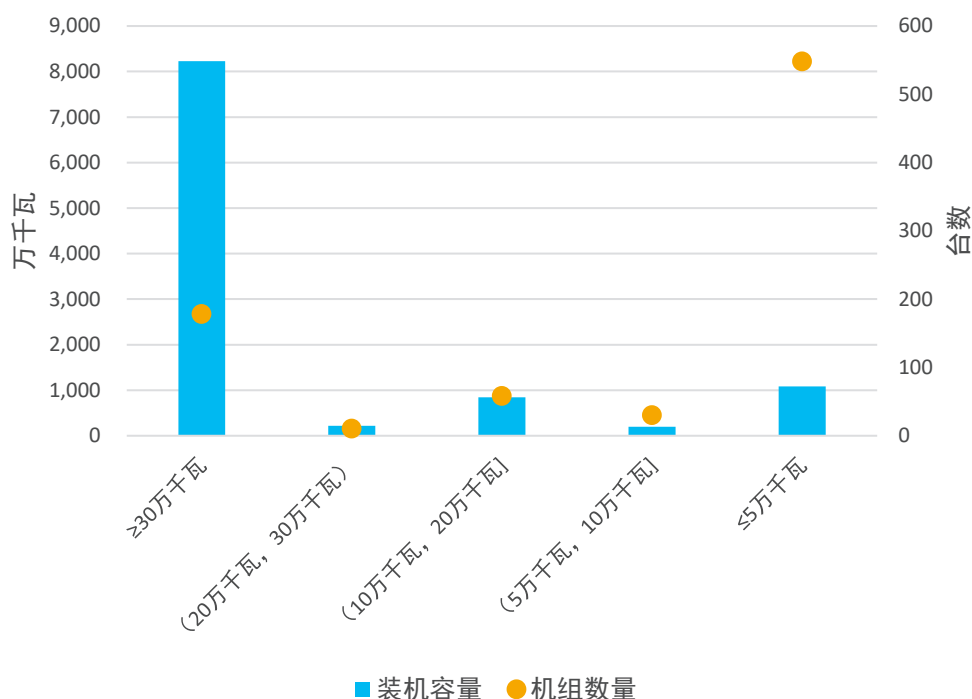


图 1: 山东省煤电机组结构分析（2022 年）

数据来源：山东省发改委、山东省热电设计院

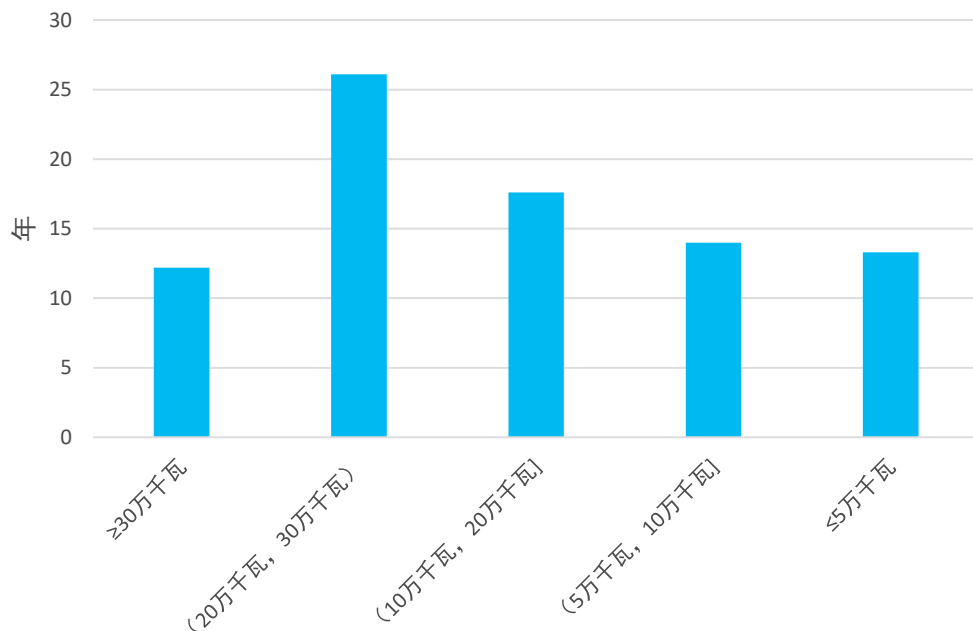


图 2: 山东省煤电机组服役年龄分析 (2022 年)

数据来源: 山东省发改委、山东省热电设计院

从供电煤耗来看, 山东省 30 万千瓦及以上机组平均供电煤耗为 298.3 克标准煤 / 千瓦时, 30 万千瓦以下机组的平均供电煤耗为 267.9 克标准煤 / 千瓦时, 比 30 万千瓦及以上机组低约 30 克。其中, 20 万 -30 万千瓦级机组的平均供电煤耗为 314.8 克标准煤 / 千瓦时, 10 万 -20 万千瓦级机组的平均供电煤耗为 298.8 克标准煤 / 千瓦时, 5 万 -10 万千瓦级机组的平均供电煤耗为 272.6 克标准煤 / 千瓦时, 5 万千瓦及以下机组的平均供电煤耗为 263.4 克标准煤 / 千瓦时 (图 3)。中小煤电机组的供电煤耗更低是由于山东省中小机组几乎全部为热电联产, 而且还存在着很多 5 万千瓦及以下的高效分布式背压机组, 能源效率高, 供电煤耗不足 200 克标准煤 / 千瓦时。

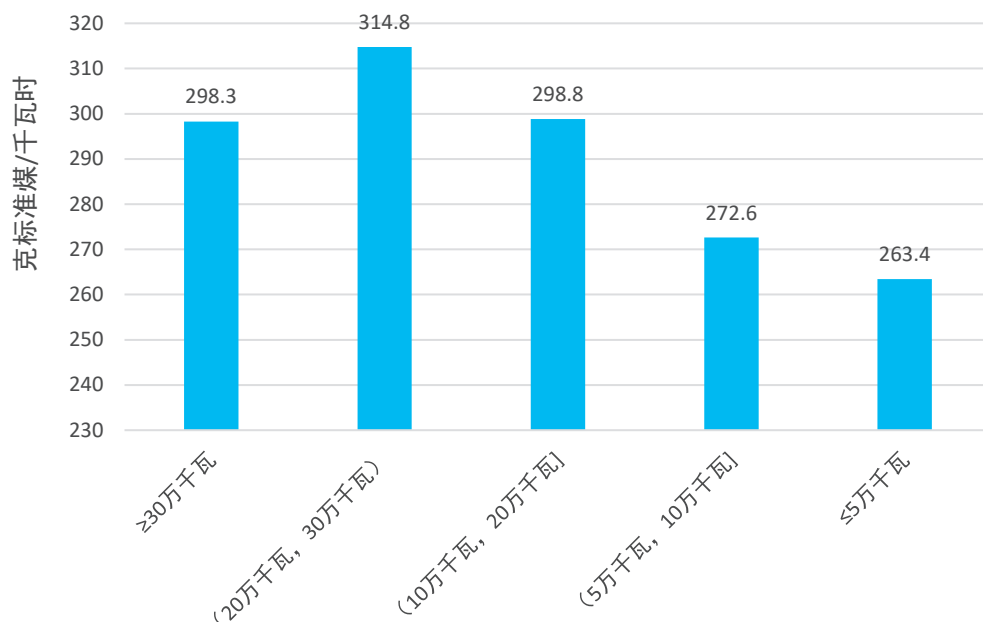


图 3: 山东省煤电机组平均供电煤耗分析 (2021 年)

数据来源: 山东省发改委、山东省热电设计院

纯凝机组: 不进行供热, 蒸汽全部用于发电的机组。

抽凝机组: 由汽轮机中间级抽出一部分蒸汽供给用户, 即在发电的同时还供热的机组。

背压机组: 以热负荷来调整发电负荷的机组, 即发电量跟着外界供蒸汽的多少来变化。

从供热能力来看, 山东省 30 万千瓦及以上机组以纯凝机组和抽凝机组为主, 主要发挥供电和提供系统灵活性的作用。其中, 纯凝机组容量占比 27.4%, 抽凝机组容量占比 71.7%, 合计占比约 99%。30 万千瓦以下机组主要为抽凝机组和背压机组, 合计占比约 98%, 主要发挥供热作用。随着机组容量大小逐渐变低, 背压机组占比逐渐增高, 愈加发挥以供热为主的作用 (图 4)。其中 20 万 -30 万千瓦级机组全部为抽凝机组, 10 万 -20 万千瓦级抽凝机组容量占比超过 92%, 5 万 -10 万千瓦级抽凝机组和背压机组容量占比分别为 56.1% 和 43.9%, 5 万千瓦及以下抽凝机组和背压机组分别容量占比 43.9% 和 55.9%。

供热量方面, 山东省 2021 年供热面积和供热能力都位居全国第一。全年全省燃煤热电机组供热量达 14.4 亿吉焦, 其中 30 万千瓦及以上热电供热量 2.3 亿吉焦, 占比 16%; 30 万千瓦以下热电供热量 12.1 亿吉焦, 占比 84%, 特别是 5 万千瓦及以下的小微热电机组, 供热量 9.3 亿吉焦, 占总供热量的 64.6%。

供热煤耗方面, 30 万千瓦及以上的大机组和 30 万千瓦以下的中小机组的平均供热煤耗分别为 39.25 千克标准煤 / 吉焦和 39.51 千克标准煤 / 吉焦, 都低于《热电联产单位产品能源消耗限额》中规定的一级指标 40.5 千克标准煤 / 吉焦。

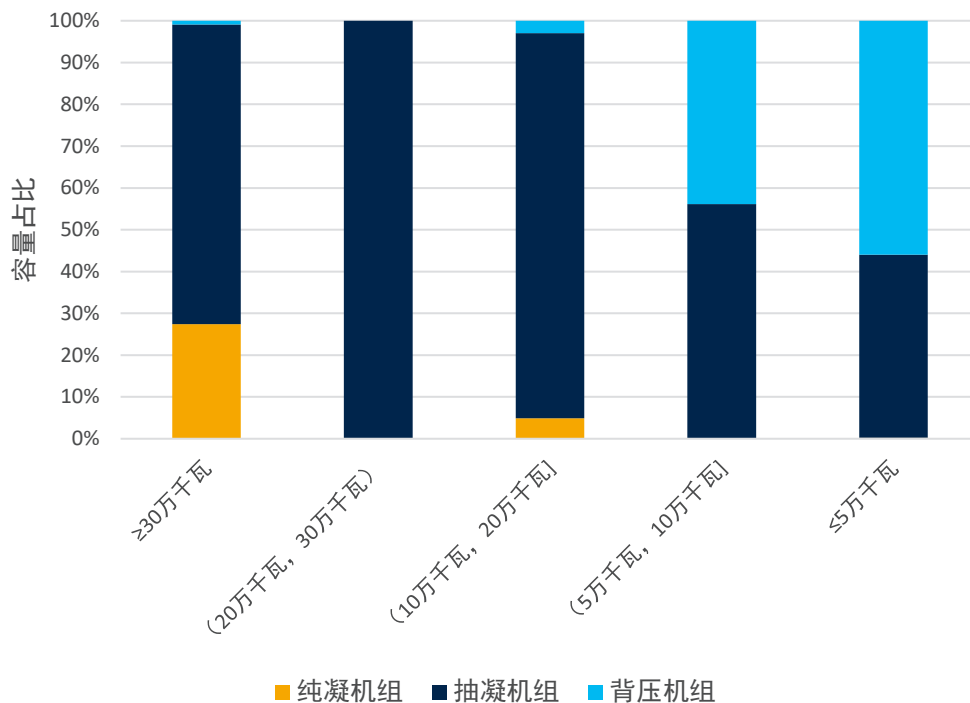


图 4: 山东省煤电机组供热能力分析（2022 年）

数据来源：山东省发改委、山东省热电设计院

综上所述，山东省的中小燃煤机组中有大量高效分布式背压机组，同时还承担着全省重要的供热功能。因此，山东省应综合考虑煤电的发电和供热功能，辩证地看待机组容量大小与能源效率之间的关系。

二、山东省热电行业发展面临的主要问题及误区

课题组通过对山东省中小燃煤电厂的在运情况分析，再结合相关典型电厂的实地调研，总结分析了山东省热电行业发展目前面临的误区。

第一，将高效热电联产机组或分布式热电简单地等同于落后小火电。山东省大部分中小燃煤热电实则为分布式热电，这些电厂是热电联产，能源利用效率高，供电煤耗低，且靠近用能终端，实现了在能源的输送和利用上分片布置，减少了长距离输送能源的损失，有效地提高了能源利用效率和安全性、灵活性、经济性。

第二，没有充分考虑大型热电与中小燃煤热电的区别，认为应该“一刀切”地推进“上大压小”。大型热电目前绝大多数为抽凝机组，是以发电为主的热电联产；中小燃煤热电以背压机组为主，是以供热为主的热电联产。另外，常规统调大型热电机组主要供应居民采暖热水，少量供应蒸汽，由于还要接受电网的发电计划调度并为新能源进行调峰，因此常规统调大型热电机组以发电与调峰为主，供热为辅，供热稳定性受到电网发电计划的制约。中小燃煤背压机组根据各行业不同的蒸汽需求从而供应不同参数的工业蒸汽，工业蒸汽的用汽量决定了中小燃煤热电的发电量，真正体现了“以热定电、热电联产”的意义。值得明确的是，针对以发电为主的中小煤电机组或低效背压机组，由于其机组效率低或容易被网电所替代，应加快推动其他更加清洁供能方式对其的优化替代。

第三，认为中小燃煤热电“全厂背压”比“一抽多背”效率更高。在热负荷稳定状态下，单台背压机组比单台抽凝机组效率高，但是，在实际生产中，背压机组可能会面临生产用汽昼夜波动大、季节波动大等不稳定情况，或遇到采暖季运行但非采暖季因工业热负荷低而无法运行的情况（为保证工业用蒸汽只有停运机组或减温减压运行，反而降低了能源利用效率）。而“一抽多背”模式全厂效率更高、更加灵活。在目前减煤降碳的大背景下，抽凝机组宜采用非煤机组，而背压机组可考虑燃煤机组。

此外，山东省热电联产行业还面临热电联产规划未起到引领作用的问题。例如，缺乏地区级别的热电联产规划，造成企业在设备升级改造、新旧动能转换、扩大投入等方面不敢“大刀阔斧”地进行，同时“一刀切”的做法造成了很大的资源浪费；热负荷与选用机组不匹配，表现在许多工业园区的《热电联产规划》与实际不相符，造成非供暖季需求不足，因此出现民生供暖为主的热电企业非采暖季停产，造成人员和资产闲置，浪费极大；未考虑到燃煤逐步减少和新能源发展等因素，供热机组的选择缺乏方案比较，欠缺对厂外热力管网和供热管理体制的论述，经济效益计算与实际相差较大。

与此同时，煤价和电价、热价的倒挂也导致热电企业亏损严重，严重影响企业正常的生产经营。热电联产行业的优惠政策也较少且落实不利，企业面临融资难和融资贵的问题，这些都对能源保供产生了不利影响。

三、山东省中小燃煤电厂低碳高质量发展评价指标体系

为了评估山东省中小煤电转型退出的优先级和发展路径，课题组针对山东省 30 万千瓦以下的中小燃煤电厂，结合国家和山东省下发的相关政策文件和行业标准，建立了定量评价指标体系。该指标体系包括四个一级指标，即能效指标、技术指标、控制指标、可替代指标。

- 能效指标主要衡量机组的环境影响，具体又分为供电煤耗和供热煤耗；
- 技术指标主要衡量机组的技术参数，具体又分为机组压力参数和机组类型；
- 控制指标主要是对不满足条件的机组直接考虑关停，主要为效率极低或者服役年限到期的机组，不满足控制指标的机组将不再进行其他项的评分；
- 可替代指标主要考虑机组退役是否会对系统供电供热产生较大影响，以小机组周边是否有大型热电联产机组来衡量。具体指标设定和相应分值与权重请见表 1。

需要说明的是，煤电厂环保安全指标没有被纳入评价指标体系。因为环保、污水排放、运行安全等指标是硬约束条件，不符合要求，机组就无法运行，或必须进行改造。

表 1：山东省 30 万千瓦以下煤电机组评价指标体系

指标名称		指标控制值	指标权重	分值	备注
能效指标	供电煤耗	> 304 克标准煤 / 千瓦时	35%	0	1. 机组最终得分为各项指标得分与指标权重乘积的总和。 2. 对于能效指标，若机组为纯凝机组，则供电煤耗权重为 60%。 3. 对于供电煤耗和供热煤耗的计分方法，根据煤耗所在指标的区间，利用差值法计算该项得分。
		(295 克标准煤 / 千瓦时，304 克标准煤 / 千瓦时]		[40, 60)	
		(280 克标准煤 / 千瓦时，295 克标准煤 / 千瓦时]		[60, 80)	
		(270 克标准煤 / 千瓦时，280 克标准煤 / 千瓦时]		[80, 100)	
	供热煤耗	≤270 千克标准煤 / 千瓦时	25%	100	
		> 42.5 千克标准煤 / 吉焦		0	
		(41.5 千克标准煤 / 吉焦，42.5 千克标准煤 / 吉焦]		[60, 80)	
		(40.5 千克标准煤 / 吉焦，41.5 千克标准煤 / 吉焦]		[80, 100)	
	技术 指标	次高温次高压及以下	20%	0	
		高温（超）高压		60	
		高温超高压以上		100	
控制指标	机组类型	纯凝	15%	0	纯凝和抽凝机组的服役年限设定为 25 年，背压机组设定为 30 年，超过年限即关停。
		抽凝		50	
		背压		100	
	机组寿命	纯凝与抽凝	-	-	
		背压	-	-	
	压力等级	中温中压	-	-	



指标名称		指标控制值	指标权重	分值	备注
可替代指标	与 30 万千瓦及以上热电大机组距离	≤15 公里	5% ¹	0	仅考虑抽凝机组，纯凝机组为零分，背压机组为满分。
		(15 公里，30 公里]		50	
		> 30 公里		100	
100%					

结合上述评价体系，课题组对山东中小煤电进行了定量评价。综合得分低的机组代表效率较低，具有较高转型退出的优先级，综合得分高的机组则与之相反，可暂时保留运营。山东省 80 分及以上的中小煤电机组共计 189 台，总容量 502.5 万千瓦，其中以背压机组为主，容量占比超过 92%；60（含）至 80 分的机组共计 153 台，总容量 740.95 万千瓦，其中以抽凝机组为主，容量占比超过 85%；60 分以下的机组共计 282 台，总容量 1052.05 万千瓦，其中以抽凝机组为主，容量占比约 83%。60 分以下机组容量占中小煤电总装机比重的 44.8%。此外，还有 22 台数据不全的机组（总容量 52.1 万千瓦），暂不纳入评价范围。

四、山东省中小燃煤电厂低碳高质量发展路径分析

课题组结合指标体系的评价结果，根据每个中小燃煤电厂的机组参数和运行情况及其地理位置、地区供热需求、非煤资源禀赋和替代潜力等因素，逐台机组分析了中小燃煤电厂的高质量发展路径，主要可分为上新压旧、升级改造、产能优化替代、应急备用、关停淘汰、保留运营，以及合理新增。

- 上新压旧：在用热量不足以建设大型机组，拆除落后小机组后又无法满足供热需求的地市，可以合理布局高效背压机组，替代原有的供热能力。
- 升级改造：进一步提高机组的效率和运行可靠性，从而更好地满足企业的需求。由于现有机组升级改造只需要对部分设备进行调整改造和增加，建设周期相对较短，能够更快速地投入使用，并有效地提高其经济效益和运行效率。

¹ 注：为了避免效率低的机组因为地理位置获得较高的评分和存量大型热电供热能力提升有限等因素，此项权重设定相对较低。

- 产能优化替代包括大机组替代、生物质、燃气和其他非煤资源替代。
 - ◎ 若中小煤电机组周边有热电联产大机组或者供热核电机组，且满足替代能力，考虑大机组 15 公里范围内替代；
 - ◎ 在生物质资源丰富的地区，若锅炉有改造价值，考虑生物质替代；
 - ◎ 没有大机组替代，也没有生物质燃料，且机组容量较小，企业也有一定意愿，考虑天然气替代。
 - ◎ 针对部分自备电厂非煤资源（比如工业废料，污泥等）丰富的，考虑非煤资源燃料替代。
- 应急备用机组是指为了满足供电和供热需要，在常规用电或供热系统失效时提供备用电源或热源的机组，通常可以在短时间内响应并提供必要的电力和热力支持，以保障生产运行和生命安全。
- 关停淘汰是为了推进能源转型升级，实现绿色发展和节能降耗等目标所采取的措施。这部分机组服役年限长、机组能效水平差、且替代方式较为明确，大部分为本厂背压机组替代或者附近其他厂背压机组替代；还有部分纯凝机组，无需供热替代。在电力替代方面，因为这部分机组容量不大，对电网的影响微乎其微，可以直接考虑网电替代。
- 保留运营是指无需改造，能源效率高、服役年龄短的高效机组，可暂时继续运营。
- 合理新增主要是“十四五”时期在建或规划新建、用来补充地方热源的机组。

每种路径的评价分值、机组特点、容量大小变化、环境效益总结见表 2。



表 2：山东省中小燃煤电厂的低碳高质量发展路径

	评价分值	机组特点	容量大小变化	环境效益
上新 压旧	60 分以下落后 背压和抽凝机组	能效低、设备 老旧、无节能 改造潜力、无 其他替代资源	-68 台，99.75 万千瓦； +29 台，78 万千瓦	年节约标煤约 246 万吨，减少碳排放 约 664 万吨
升级 改造	60 分以下和 60 （含）-80 分背 压机组（升级改 造背压）；	部分指标偏高、 有改造价值、 地区唯一供热 机组	71 台，152.35 万千瓦	不同机组改造内容 差别大，效益较难 估算。
	60 分以下和 60 （含）-80 分抽 凝机组（抽凝改 背压）		-91 台，391 万千瓦； +71 台，188.1 万千瓦	年节约标煤约 450 万吨，减少碳排放 约 1200 万吨
产能 优化 替代	60 分以下抽凝 和背压机组； 60（含）-80 分 抽凝机组	15 公里范围内 有大机组或有 改造生物质、 燃气、非煤资 源的潜力。	-148 台，978.5 万千瓦 （其中大机组替代 912.95 万千瓦）	非大机组替代方式 年节约标煤约 210 万吨，减少碳排放 约 560 万吨
应急 备用	60（含）-80 分 抽凝机组	直调机组，在 寿命期内，机 组容量大	-3 台，47.5 万千瓦	/
关停 淘汰	不在以上路径的 80 分以下机组	服役年龄时间 长、能效水平 差且替代方式 较为明确。	-54 台，123.9 万千瓦	年节约标煤约 400 万吨，减少碳排放 约 1000 万吨
保留 运营	80 分及以上背 压和抽凝机组	能效高、服役 年龄短、压力 参数高	189 台，502.5 万千瓦	/
合理 新增	/	高效背压机组	+16 台，62.9 万千瓦	/

结合上述各高质量发展路径，山东省到 2030 年前中小燃煤机组总容量约 1035.95 万千瓦（在不考虑“十五五”期间允许新增中小机组的情况下），是优化前总量的 42.5%，净淘汰机组总量约 1311.65 万千瓦（图 5）。共减少标煤消费至少 1300 万吨，减少碳排放至少 3400 万吨。剩余机组台数 397 台，是优化前总量 61.5%，净淘汰 249 台。

2030 年之后，随着山东省供热需求增速放缓、存量机组服役年限的增加，以及清洁供电供热技术的进一步发展，则可以重点着手推动存量中小煤电机组的关停淘汰，以大机组和非煤资源进行替代。

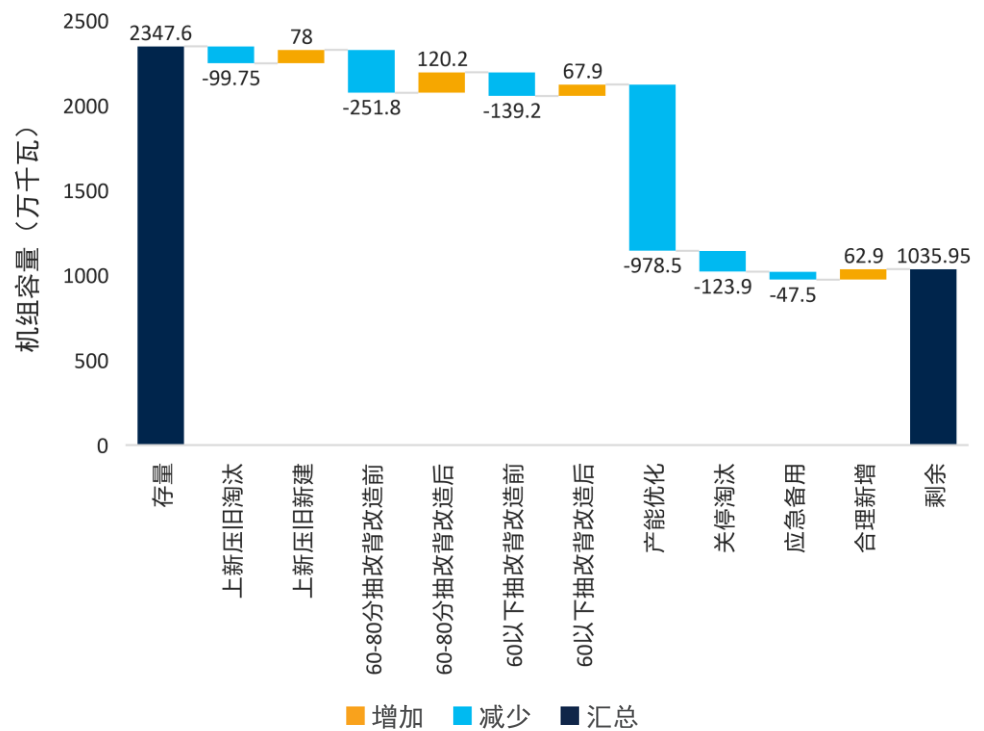


图 5: 山东省中小燃煤热电厂的低碳高质量发展路径

五、山东省中小燃煤电厂低碳高质量发展政策建议

第一，因地制宜制定中小燃煤电厂的转型优化路径，促进煤电行业的低碳高质量发展。山东省应保持严控煤电项目的战略定力，平衡好中小煤电在安全保供和电力行业清洁低碳发展之间的相关关系，积极推动各地因地制宜制定和落实中小燃煤电厂的控制目标和路径，坚决不搞“一刀切”的发展模式。

对煤耗水平高、机组压力等级低、运行年限超过折旧年限、人员安置容易的中小煤电机组应坚决执行淘汰和关停政策。若该类型机组是周边地区唯一供热热源，应努力寻找周边大机组或清洁资源进行供热供电替代，或允许新建少量高效的分布式背压机组，保障系统安全稳定运行，避免出现临时供电、供热中断风险。对目前在运的环保能效水平一般、机组服役年龄中等的中小煤电机组，应充分结合机组的实际运行情况和企业发展意愿，采取关停淘汰、更新改造、应急备用等发展方式。针对目前能效水平高，机组服役年龄短的中小煤电机组，则可暂时保留运行，待“十五五”时期之后重点推动这部分煤电机组的关停淘汰和优化替代。

值得强调的是，若因地方能源保供要求，有必要新建高效背压机组，则应做到不以大小作为主要准入标准，而以应用场景和能效水平作为主要考虑因素。假如针对较小的用能需求采用建设大机组的方式，则将造成较大的资源浪费。

第二，强化市场机制对中小燃煤电厂退出的引领作用。目前山东省主要依赖于行政手段强制中小燃煤电厂进行关停淘汰。未来，山东省应逐步引入市场机制推动落后煤电机组的退出。虽然目前山东省对 2022—2025 年关停退出煤电机组的企业，每千瓦分别给予 50-10 元的财政资金奖励，但由于中小燃煤电厂装机容量相对较小且补贴支持力度低，不足以影响企业的决策。例如，调研发现一个 5 万千瓦的燃煤电厂，在 2022 年关停后只能得到 250 万元的补偿，而该厂在 2022 年日均亏损都高达几十万元。

未来，山东省可以结合双碳目标和煤电转型目标，参考德国等发达国家的经验，引入中小煤电退出竞拍机制，部分唯一的民生供热机组在没有明确的替代方案之前暂时不纳入退出竞拍机制中（或设定系统稳定安全因子调整这部分机组的竞拍结果），针对部分高效背压机组，山东省也可考虑暂时不纳入退出竞拍机制中，或设定相关调整因子。参加竞拍的机组同时申报退出金额（人民币/兆瓦）和机组的碳排放情况（吨二氧化碳/兆瓦），最后根据竞拍总量和各机组申报价格（人民币/吨二氧化碳）决定成功竞拍退出的中小燃煤电厂。申报价格较低的机组，即每吨碳排放的削减价格较低的机组将获得申报价格的补贴进行直接关停退出，直到满足该期限内煤电竞拍退出总量为止。对部分落后的中小煤电机组，若其没有成功获得竞拍退出，山东省也应设立相应时间期限进行强制关停并不再提供任何财政补贴，以激励这部分机组积极参与竞拍过程。

德国煤电退出的竞拍机制

作为欧洲煤电装机最大的国家，德国计划于到 2035 年（最晚 2038 年）在全国范围退出煤电。针对煤电退出方案，德国煤炭委员会提出了煤电退出竞拍机制。竞拍机制中，电厂提供报价，包括其净装机容量退出的单位价格（欧元/兆瓦），以及过去三年认证的二氧化碳排放量。德国政府根据出价和碳排放强度，计算出投标电厂的单位减排价格（欧元/吨二氧化碳）。在此基础上，德国政府还会为其加上一个“电网影响因子”，以评估投标电厂对保障电网稳定运行的重要性，最后形成该电厂最终的评标价格（欧元/吨二氧化碳）。德国政府根据这个最终评标价格进行评标，价格最低的电厂中标，获得相应的退出补偿。对于迟迟不愿参与竞拍的煤电厂，《煤炭退出法》规定政府有权强制关闭电厂，并不给予经济补偿（即“胡萝卜+大棒”的管理方法）。此外，热电联产在德国电力系统中发挥着重要作用。德国 57% 的煤电厂都能供热。德国政府规定如果运营商对其燃煤热电联产电厂进行低碳改造，比如改为天然气作为燃料，运营商可以得到一笔“燃煤替换奖金”，不过获得“燃煤替换奖金”的热电联产电厂将不能参与退煤竞拍。

德国煤电退出竞拍从 2020 年开始，每半年进行一次，共 7 轮。前两轮竞拍容量由《煤炭退出法》规定，分别为 4 吉瓦和 1.5 吉瓦。随后各年的竞拍容量为该年实际在运燃煤电厂容量与《煤炭退出法》规定的该年份最大允许发电容量之间的差额。每轮竞拍都设有招标控制价，即参加竞拍燃煤电厂单位容量（即每兆瓦）的最高最终投标价格。招标控制价递减反映了随着淘汰煤电最终日期的临近，国家对于关闭电厂所造成损失的补偿会逐年、逐轮减少。这种招标控制价递减的安排有助于燃煤发电公司更早地参与退煤竞拍。在前 4 轮煤电退出竞拍中，德国实现退出煤电容量近 9 吉瓦，约占德国 2020 年煤电装机总量的 20%。

第三，合理控制和疏导中小燃煤电厂的生产经营成本，提高保供的可持续性。山东省一方面需积极为省内热电机组争取长协煤履约量，至少保障民生供热部分耗煤量来自于低价长协煤，一定程度的缓解企业的生产经营困局，提高山东省中小燃煤热电企业保供的可持续性。同时，山东省应积极配合国家统筹各地能源安全保供工作，压实能源与电力资源富集省份和央企的跨区保供责任，防止出现因省间壁垒，造成部分省份、企业明明手握大把资源却惜售的情况。

另一方面，山东省应加快电价和热价改革的步伐。在电价方面，进一步拉大峰谷价差，并在用电尖峰时段和深谷时段分别建立尖峰电价和深谷电价，合理向下游终端用户传导上游发电成本，并加强宣传，鼓励用户在电力供需紧张时少用电，在电力供需充足

时多用电，促进其自发地改变用电行为，以及提高需求响应项目改造和运行的经济性。在热价方面，应尽快理顺热价关系，积极建立和落实煤热价格联动机制，当煤炭到厂价格变化超过一定范围后，应相应调整热力出厂价格，并随之调整热力输送企业对用户的热力销售价格。政府应建立健全成本信息档案和有效成本约束，明确合理价格及联动标准，推动政府定价能够覆盖各环节成本，热价无法疏导的积极争取和落实补贴政策，在履行社会责任的同时维护企业的合法权益。此外，推动以往“按面积收费”的热价定价模式的改革，探索“按用热量或蒸汽质量收费”的定价模式，并不断提高居民分户计量、节约能源的意识，引导用户侧节能，有效降低供热系统能耗。总之，山东省应逐步还原热力的商品属性，建立合理的价格区间，既要兼顾终端用户的承受能力，也要合理反映市场的真实水平。

第四，加强热电行业的规划引领和行业监管，促进热电行业的高质量发展。山东省、各市、县（园区）都应尽快编制热电发展规划，突出规划引领作用。规划编制应结合当地产业结构调整和社会经济发展规划，打破行政区划界限，优化整合现有热源点，科学布局新增热源点，远近结合保障居民采暖和工业用汽接续稳定供应，引导用热企业向集中供热区域集聚，实施热电县域整合；建议对重点用能企业特别是“两高”项目企业编制能源发展规划，在供能侧加强清洁低碳能源利用，以满足企业能源需求为导向，优化供电供热能源结构、提高能源综合利用效率、减少煤电需求和二氧化碳排放。

加强行业监管方面，应结合山东省实际，组织制定《山东省热电联产管理办法》，完善对全省热电特别是分布式热电企业的管理和服 务，为热电行业高质量发展提供政策指导；修订山东省《热电联产机组供电煤耗限额（DB37/738-2015）》等标准，以更高的标准带动全省热电节能减排和煤炭清洁高效利用工作深入开展；在对全省燃煤发电机组调研的基础上，按照《热电联产行业绿色工厂评价规范（DB 37/T 3300—2018）》标准，全面开展热电绿色工厂评价工作，促进热电厂能源低碳化、用地集约化、生产洁净化、废物资源化，实现绿色发展。

第五，大力发展非煤清洁能源，提升供电供热的清洁性，减少煤电需求。在供电方面，山东省要不断优化存量资源，充分发掘各种非化石资源潜力，做到“能建尽建”。“十四五”期间要扎实落实省内能源、电力规划目标；“十五五”时期及之后，进一步推动海上风电、海上光伏、灵活气电、新一代核电、新型储能、需求响应的规模化发展，保障煤电的总体下降趋势。供热方面，一方面加强中小燃煤热电与新能源的融合发展，推动燃煤热电企业利用厂房和闲置土地加装分布式光伏，减少厂用电率，降低供电煤耗，减少发电厂碳市场履约成本，并通过加装储能或储热装置，减少煤电频繁深度调峰的需求，提升项目整体的低碳性和灵活性。另一方面，推动中小燃煤热电企业在近中期耦合生物质和聚化燃料，在中远期耦合氢能，并促进企业从单一的热电供应商逐渐转变为“电、热、冷、水、汽”等多品类能源供应主体，进一步加快中小煤电企业的转型步伐。对积极清洁转型的中小燃煤企业，政府应加大财政资金的补贴和奖励力度。

山东省还应加强技术研发与应用，包括新能源供热、生物质供热、核能供热、热泵技术、燃气供热的设备攻关和技术攻关，明确不同技术路线的适用条件、技术要求、运

维服务标准等，根据不同经济条件的用户，提供梯级技术清单、多能互补或技术组合型方案，并比较经济成本、运行费用、功能特点、环保性能等，以满足不同用户需求，确保不降低供热质量的情况下终端用户费用可承受。此外，推动供热产业积极融入智慧城市的建设，加快推进智能供热系统建设，以采暖用户为中心，构建多能互补清洁热源供给、源网站户一体化智能调控、按需智能供热、优质便民服务的现代供热体系，实现供热节能降耗由“量”的变化转变为“质”的提升。

第六，大力推动余热利用和建筑节能，提升能源利用效率。余热利用方面，山东省余热利用潜力巨大，应加大余热资源的回收和利用，鼓励有条件的城市先行先试，推动建立城市热源大环网，畅通工业余热入网，优先采用余热供暖，积极推动余热资源的就近消纳。为工业余热资源入网提供技术指导和政策支持，尤其要强化优质余热供热项目的引领示范作用，将余热供热落到实处。其次，加快工业余热回收利用和存贮运输技术的研发及应用，包括低品位蒸汽、烟气和废渣的余热回收能力等，以及长距离经济供热和跨季节储热技术。此外，加大供热管网和流量智能调控系统建设，并推动工业余热资源的分级利用、分步推进。

建筑节能方面，山东省作为集中供暖面积全国最大的省份，应加快推动建筑节能，通过建筑本身能效提升和供暖系统能源效率的提升去抵消建筑面积增加带来的影响。坚持“节能”是第一能源，对新增建筑推行更高的绿色低碳标准，积极推广低碳、零碳、负碳建筑。建立建筑节能改造补助计划，将建筑节能改造与清洁取暖补贴相衔接，加大现有城镇和农村建筑的节能改造力度，重点是墙体、屋顶的保温，提高门窗热工性能和密闭性。此外，进一步提高建筑部门的电气化率，加强电能替代的作用，包括电采暖和电炊事等，促进建筑部门与新能源、储能、储热设施的融合发展。

参考文献

- [1] 北极星售电网 . 山东 2022 年发电装机及分类型总体情况及发用电负荷总体情况 [EB/OL]. (2023-01-12)[2023-03-30]. <https://m.bjx.com.cn/mnews/20230112/1282690.shtml>
- [2] 山东省人民政府 . 关于印发山东省碳达峰实施方案的通知 [EB/OL]. (2022-12-18)[2023-03-30]. http://www.shandong.gov.cn/art/2022/12/28/art_267492_42551.html
- [3] 中华人民共和国中央人民政府 . 国务院关于印发“十四五”节能减排综合工作方案的通知 [EB/OL]. (2022-01-24)[2023-04-02]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2022-01/24/content_5670202.htm
- [4] 山东省电力行业协会 . 重磅 | 山东能源保障网建设行动计划正式出台! 2025 年新能源和可再生能源装机将达到 1 亿千瓦以上! [EB/OL]. (2022-06-26)[2023-04-03]. https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MjM5NDg0NDQ1NA==&mid=2650343219&idx=1&sn=8960034896345205d4bdf942e35f745c&chksm=be8c3d7a89fbb46c4000ece564eb6a93440d73647204e24d8c66cb8ced6c5ac95838dab88241&scene=27
- [5] 山东省发展和改革委员会 . 关于印发《2023 年全省电力电量平衡方案》的通知 [EB/OL]. (2023-03-13)[2023-04-03]. http://fgw.shandong.gov.cn/art/2023/3/16/art_91102_10388435.html
- [6] 山东省人民政府 . 我省出台电力发展“十四五”规划, 助力双碳目标实现 [EB/OL]. (2022-06-11)[2023-04-03]. http://www.shandong.gov.cn/art/2022/6/11/art_97564_540803.html?eqid=cb2cdce80012949200000003646240fe
- [7] 山东省发展和改革委员会 . 山东省“十四五”绿色低碳循环发展规划 [EB/OL]. (2022-03-09)[2023-04-03]. http://fgw.shandong.gov.cn/art/2022/3/14/art_91102_10344977.html?eqid=f22c02aa0004f2790000000364390a00
- [8] 山东省人民政府 . 关于印发 2023 年“稳中向好、进中提质”政策清单（第一批）的通知 [EB/OL]. (2022-12-31)[2023-04-03]. http://www.shandong.gov.cn/art/2022/12/31/art_107851_123119.html
- [9] 大众日报 . 山东印发全省落实“三个坚决”行动方案 2021—2022 年 [EB/OL]. (2021-04-26)[2023-05-06]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1698095117772371927&wfr=spider&for=pc>
- [10] 全国能源基础与管理标准化技术委员会 . GB 35574-2017 热电联产单位产品能源消耗限额 [S]. 北京: 国家标准化管理委员会, 2017.
- [11] 山东省质量技术监督局 . DB37/T 3300-2018 热电联产行业绿色工厂评价规范 [S]. 济南: 山东省质量技术监督局, 2018.
- [12] 山东省人民政府 . 关于印发山东省“十四五”节能减排实施方案的通知 [EB/OL]. (2022-11-03)[2023-05-07]. http://www.shandong.gov.cn/art/2022/11/3/art_107851_121839.html

- [13] 山东省人民政府 . 山东省建设绿色低碳高质量发展先行区三年行动计划 (2023-2025 年) 》[EB/OL]. (2023-01-03)[2023-05-09].http://www.shandong.gov.cn/art/2023/1/3/art_107851_123167.html
- [14] 山东省人民政府 . 关于印发山东省能源发展 “十四五” 规划的通知 [EB/OL]. (2021-08-19)[2023-05-09].http://www.shandong.gov.cn/art/2021/8/19/art_107851_113859.html
- [15] 山东建筑大学 . 山东省工业余热利用研究 [R]. 济南 : 山东建筑大学 , 2022.
- [16] 博众智能能源转型论坛 . 图说能源 | 退煤怎么搞? 德国反向竞拍机制告诉你 (上) [EB/OL]. (2022-06-15)[2023-07-31].https://mp.weixin.qq.com/s/u1Vj6rBRhOGgD_uFT9gwbQ
- [17] 博众智能能源转型论坛 . 图说能源 | 退煤怎么搞? 德国反向竞拍机制告诉你 (中) [EB/OL]. (2022-07-06)[2023-07-31].<https://mp.weixin.qq.com/s/ZmpS7BHOZb45p71NIU4pSA>
- [18] 袁家海等 . 煤电与新能源耦合发展模式探析 [EB/OL]. (2023-02-15)[2023-06-04].https://mp.weixin.qq.com/s/Us_ibn6ya-zCoSjSvAsW3w
- [19] 清洁供热产业委员会 . 中国清洁供热产业发展报告 [M]. 北京 : 中国经济出版社 , 2023.
- [20] CHPlaza 清洁供热平台 . 江亿院士 : 多种低品位余热资源是最好的零碳热源 [EB/OL]. (2023-06-05)[2023-06-10].<https://mp.weixin.qq.com/s/FXOYYphtYb2WYumRQhsC2A>
- [21] 潘家华等 . 中国碳中和的目标内涵与转型路径 [M]. 北京 : 经济管理出版社 , 2023.

联系我们

地址：中国北京市朝阳区东三环北路 38 号泰康金融大厦 1706
邮编：100026
电话：+86 (10) 5927-0688
传真：+86 (10) 5927-0699

 再生纸印刷