山东省工业能效提升路径与政策研究

2025 年 11 月

中国国际低碳学院
INTERNATIONAL SCHOOL OF LOW-CARBON STUDIES
济南市工程咨询院
JINAN ENGINEERING CONSULTING INSTITUTE

关于山东财经大学中国国际低碳学院

中国国际低碳学院，作为全国第二所、山东第一所国际低碳学院，是由山东财经大学、中国电子节能技术协会、中国低碳经济发展促进会、ZEW 等多家国内外高校和机构共建的创新型、产业型、开放型学院。该学院以培养具有国际视野、科学素养与人文关怀、思辨精神与交叉学科能力的低碳经济与管理人才为目标。学院依托全国低碳技术交易综合服务平台，建设山东低碳城，着力打造成服务山东高质量发展、推进中国“双碳”目标实现的特色学院。学院下设研究中心采用“8+1+1”结构。其中“8”包括：低碳战略与政策研究中心、碳足迹与碳标签研究中心、消费碳普惠研究与服务中心、绿色低碳转型研究中心、碳金融与碳管理研究中心、适应气候变化与组织韧性研究中心、碳汇管理与项目开发中心、ESG 创新发展研究中心。“1”即金钥匙低碳行动中心，负责将七大中心实践工作中优秀企业做法进行教学与研究案例转化，反哺低碳人才教育。另一个“1”代表国际可持续发展人才培训中心（iSUSTAIN)。学院将始终紧跟国家政策方向、紧贴企业及社会需求，研究行业难点及痛点问题，以权威研究为相关政府部门和行业参与者提供参考，助推低碳经济发展。

关于济南市工程咨询院

济南市工程咨询院于 1992 年 9 月经济南市人民政府批准成立，主要职能是为地方经济社会发展、政府投资决策、重大工程项目等提供前期咨询和智力服务。具有国家工程咨询甲级综合资信和 10 个甲级专业资信、乙级工程监理资质，信用评价 AAA 级工程咨询单位，位列工程咨询行业智库型单位影响力第 9 名。通过了 GB/T19001-2016/ISO9001:2015 质量管理体系、GB/T24001-2016 环境管理体系和 ISO45001:2018 职业健康安全管理体系认证，是国际咨询工程师联合会（FIDIC）会员，是中国工程咨询协会常务理事单位、山东省工程咨询协会副会长单位、济南市信用协会会长单位、济南公共资源交易协会会长单位和济南市社会稳定风险评估协会会长单位。

关于 ACTION 2035

“ACTION 2035”是由绿色创新发展研究院（iGDP）在多方支持下发起的一项旨在推动地方双碳行动的综合性能力建设项目。该项目通过建立地方气候中心、开展合作研究、搭建知识共享平台等方式，挖掘地方减排潜力，提升地方转型雄心，加速低碳转型进程。目前，项目已在广东、山西、安徽、山东等地启动，并与地方政府、科研机构及企业展开合作，开展了一系列前瞻性和富有实效的工作。

致　　谢

衷心感谢济南圣泉集团股份有限公司项目发展部白建元总经理、伊莱特能源装备股份有限公司品质管理中心杨明副总经理、山东九羊集团有限公司能源环保部田桂茹副部长在本报告编写内容的修改方面提供的宝贵建议和意见。由于时间和资源的限制，目前报告未能充分采纳各位专家的每一项宝贵意见，我们将在后续的研究工作中不断修正和完善不足之处。

报告作者

山东财经大学中国国际低碳学院：王璟珉、宋策、蒋凤娇、王震
济南市工程咨询院：许伟

引用建议

王璟珉、许伟、宋策、蒋凤娇、王震 . (2025). 山东省工业能效提升路径与政策研究 . 山东财经大学中国国际低碳学院 .

联系方式

山东财经大学中国国际低碳学院：islcs@sdufe.edu.cn
济南市工程咨询院 :https://www.jngczx.cn/

图　　源

https://unsplash.com/

目录

CONTENT

第一章 研究背景与目标 06

第二章 山东省能源消费现状分析 07

第一节 全省能源消费总体结构 …… 07

第二节 工业行业能源消费结构分析 …… 10

第三章 研究主要思路 13

第四章 山东省工业能效提升面临的主要问题 14

第一节 行业共性问题 …… 14

第二节 钢铁行业 …… 15

第三节 有色行业 …… 17

第四节 化工行业 …… 18

第五节 石化行业 …… 19

第六节 建材行业 …… 21

第五章 工业能效提升路径 22

第一节 总体发展路径 …… 22

第二节 钢铁行业 …… 23

第三节 有色行业 …… 26

第四节 化工行业 …… 27

第五节 石化行业 …… 28

第六节 建材行业 …… 30

第六章 典型案例分析 31

案例一 寿光市“一城一网、一网多源”环网供暖机制 …… 31

案例二 巨野县“一网多源、余热优先”区域低碳供热系统 …… 33

案例三 菏泽市石化产业园多企业间互联、高效“大循环”系统 …… 38

第七章 政策建议与未来展望 43

第一节 政策建议 …… 43

第二节 未来展望 …… 45

第一章 研究背景与目标

山东省作为我国重要的工业基地，工业增加值长期位居全国前列，钢铁、化工、石化、有色、建材等传统高耗能产业集聚发展，在支撑经济增长的同时也带来了巨大的能源消耗和碳排放压力。2023 年，山东省工业能耗占全社会总能耗比重超过 77%，其中钢铁、化工、石化、有色、建材行业能耗占比达 54%。在“双碳”战略深入实施的背景下，山东省工业面临产业结构偏重、能源利用效率偏低、减排压力突出的三重挑战，亟需通过能效提升破解资源环境约束，培育绿色发展新动能。与全国平均水平相比，2013—2023 年中国单位 GDP 能耗累计下降 26.1%，清洁能源消费比重达到 26.4%，非化石能源装机占比已超过 58%，而山东省工业单位增加值能耗仍比全国平均水平高出约 12%，清洁能源利用率也低于长三角、珠三角等沿海地区。当前，山东省工业能效提升仍存在诸多瓶颈：能源结构偏重，对煤炭等化石能源依赖度高，清洁能源替代进展缓慢；产业集中度不足，低效产能退出机制不畅；余热余能回收利用较低，系统性节能难以推进；技术创新能力薄弱，数字化赋能水平有限；政策协同性不足，市场化机制尚未充分发挥作用。这些差距叠加，使山东在实现“双碳”目标上面临更大压力。在此背景下，系统研究山东省工业能效提升路径，对推动山东省经济高质量发展、实现碳达峰碳中和目标具有重要战略意义。

本研究采用“问题导向 - 行业分析 - 系统施策”研究框架，依托山东财经大学中国国际低碳学院和济南市工程咨询院丰富的工业企业实践，采用实地调研、数据分析、案例研究等方法进行研究。首先基于能源统计数据和政策文件，梳理山东省工业能效现状与存在问题；其次聚焦钢铁、有色、化工、石化、建材五大重点行业，开展分行业能效瓶颈分析；进而从产能优化整合、能量系统优化与余热余能利用、生产系统节能增效与绿色技术工艺应用、重大节能装备与用能设备更新、工艺生产路线脱碳转型与清洁低碳能源替代、全过程精细化管控与数字化赋能等维度，提出系统化的能效提升对策；最后对济南市工程咨询院提出的三项典型系统性节能案例进行分析。研究特别关注新能源消纳与传统产业改造的协同路径，探索建立具有山东特色的工业绿色低碳发展模式，力求提出可操作、可落地的解决方案。

第二章 山东省能源消费现状分析

近年来，山东省能源消费迅速增长，2023 年全省能源消费 52589.3 万吨标准煤，较 2022 年增长 9.18%，2023 年全省电力消费量 7962.6 亿 kWh，较 2022 年增长 5.86%，增速均领先于 GDP 名义增速的 5.13%。作为参照，2023 年全国能源消费总量为 57.2 亿吨标准煤，同比增长 5.7%。据此测算，山东约占全国能耗总量的 9% 左右，在东部沿海省份中体量居前。这一占比凸显出山东既是全国能源消费大省，也是节能降碳任务的重点区域。在经济形势承压的大背景下，单纯依靠 GDP 较快增长已难以完成节能降碳等约束性指标，亟需通过能源结构调整和能效提升举措来实现约束性目标。

第一节 全省能源消费总体结构

一、能源消费总量与增长趋势

据《山东省统计年鉴》统计，山东省 2019 年 -2023 年能源消费量的变化如下图所示。2019 年 -2023 年能源消费量由 41390.0 万吨标准煤增加至 52589.3 万吨标准煤，年复合增长率为 6.18%，显著高于全国平均水平（约 3%），反映出工业扩张带来的能源需求持续攀升压力。

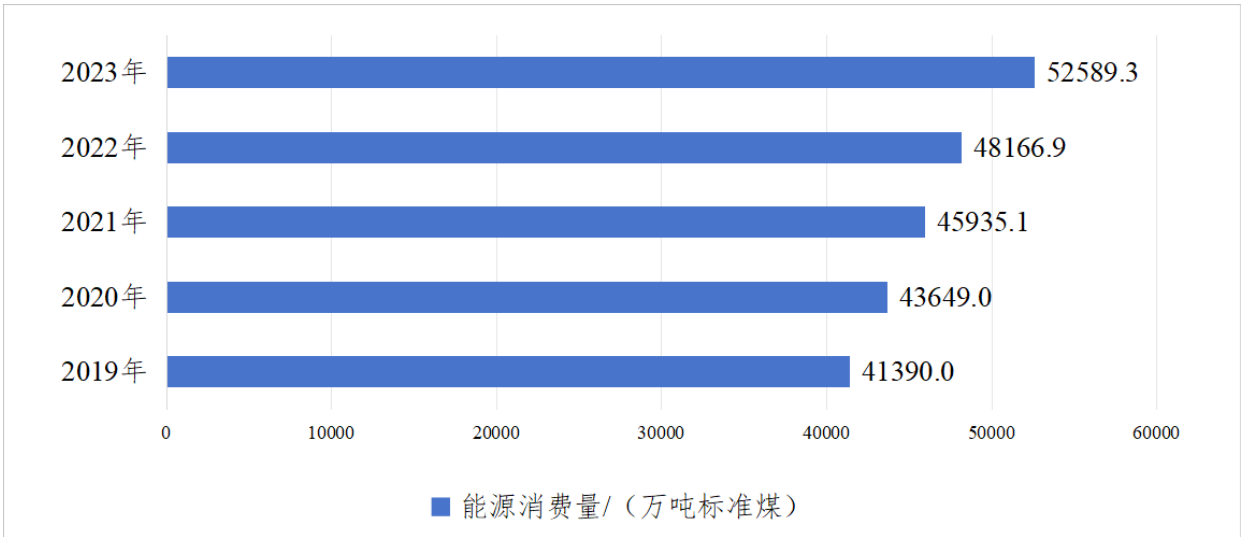

图 2-1 山东省 2019-2023 年能源消费量

二、能源消费种类结构

在消费的能源种类方面，煤品（包括煤炭、焦炭、焦炉煤气、高炉煤气、转炉煤气和其他焦化产品等）历来是山东省消费的主要能源。近年来，在山东省新旧动能转换和煤炭压减政策下，煤品在能源消费结构中的占比从 2019 年 67.28% 降至 2023 年 53.44%，煤炭消费量从 43133 万吨降至 39237.2 万吨，降幅明显。但从当前结构来看，煤品依然占据主导地位。与全国平均水平相比，山东清洁能源消费比重（一次电力 + 外来清洁电合计约 15%）仍明显低于全国 26.4% 的水平。这种差距既源于产业结构中重化工业占比高，也与新能源消纳能力不足、电网调峰能力有限密切相关。油品占比从 2019 年的 15.52% 逐步上升到 2023 年的 22.97%；天然气占比在 2019-2021 年有小幅度波动，之后从 2021 年的 5.55% 降至 2023 年的 4.90%。整体来看，油品占比呈上升态势，天然气占比略有下降。一次电力（包括核能、水能、新能源发电等）占比从 2019 年的 4.11% 上升至 2023 年的 7.51%，新能源在能源消费结构中的比重逐渐增加，能源结构向清洁化方向发展。电力净调入占比从 2019 年的 6.36% 增长到 2023 年的 8.02%。总体而言，山东省能源消费结构虽不断优化，但对以煤炭为代表的化石能源仍然存在高度依赖，且能源需求持续攀升。根据《山东统计年鉴 2024》数据，山东单位 GDP 能耗为 0.46 吨标准煤 / 万元，高于全国平均的 0.41 吨标准煤 / 万元。这进一步说明，山东的能源结构优化仍然任重道远，工业能效提升是核心突破口。

表 2-1 山东省 2019-2023 年能源消费种类

类别	2019	2020	2021	2022	2023
能源消费量 (万吨标准煤)	41390.0	43649.0	45935.1	48166.9	52589.3
构成					
煤品 (%)	67.28	64.22	61.40	57.67	53.44
油品 (%)	15.52	17.04	18.23	20.68	22.97
天然气 (%)	5.01	5.59	5.55	4.91	4.90
一次电力 (%)	4.11	4.18	5.72	6.54	7.51
电力净调入 (+)(%)	6.36	7.29	7.31	7.75	8.02
其他 (%)	1.72	1.68	1.78	2.45	3.16

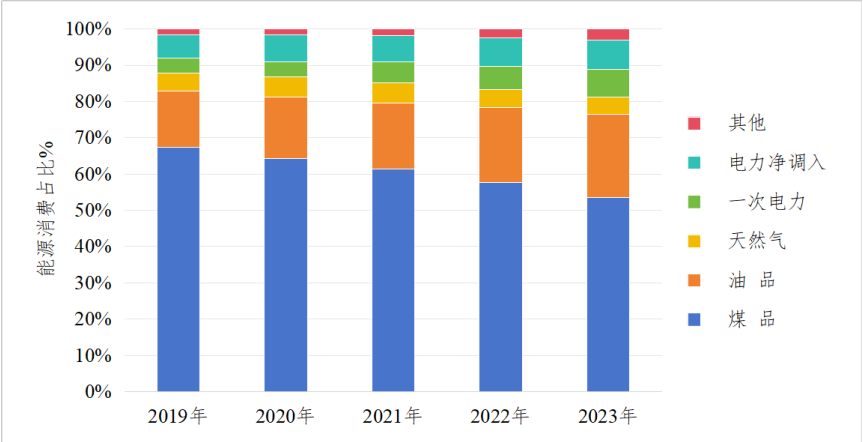

图 2-2 山东省 2019-2023 年能源种类消费占比

三、不同行业能源消费现状

2023 年山东省三大产业能源消费分布呈现明显差异。第一产业能源消费量为 682.06 万吨标准煤，占比仅 1%；第三产业能源消费量为 10795.09 万吨标准煤，占比 21%。而第二产业能源消费量高达 41112.17 万吨标准煤，占比达 78%。在第二产业中，工业是主要构成部分，以 40544.5 万吨标准煤的能源消费总量，占全部能源消费量的 77.10%，意味着工业领域是山东省能源消耗的核心主体，对全省能源消费总量及结构影响巨大。这一庞大的能源需求一方面反映了工业在山东省经济中的重要地位，另一方面也凸显了在工业领域推进节能降耗、提升能效的紧迫性和重要性，这对于优化全省能源消费结构、实现能源可持续发展意义重大。按照国家提出的‘能耗双控向碳排放双控转型’要求，山东工业环节未来不仅要控制总能耗规模，更要聚焦煤炭等化石能源的替代与碳排放强度下降。这意味着未来的政策重心将逐步从“单纯控制能耗”转向“推动产业低碳化与能源结构优化”。

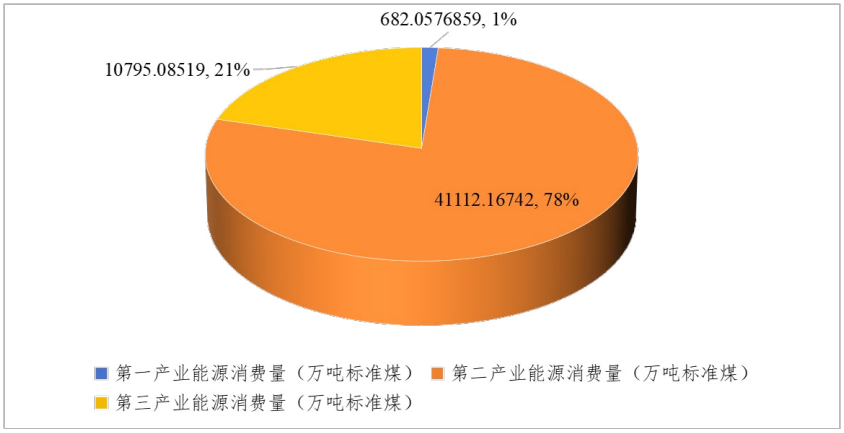

图 2-3 山东省 2023 年三大产业能源消费占比

除工业外，居民生活能源消费占比10.07%，农、林、牧、渔业占比1.30%，建筑业占1.08%，交通运输、仓储和邮政业占4.68%，批发和零售业、住宿和餐饮业占2.27%，其他行业占3.51%。

表 2-2 2023 年山东省不同行业能源消费情况

行业	能源消费总量（万吨标准煤）	占比
农、林、牧、渔业	682.1	1.30%
工业	40544.5	77.10%
建筑业	567.6	1.08%
交通运输、仓储和邮政业	2462.5	4.68%
批发和零售业、住宿和餐饮业	1191.5	2.27%
其他	1843.5	3.51%
居民生活	5297.7	10.07%

第二节 工业行业能源消费结构分析

由山东省能源消费总体结构分析可得，工业是山东省重点耗能行业，其能效提升关乎山东省能源结构的优化与调整，这对于实现能源可持续发展意义重大。从工业行业能耗占比来看，化学原料和化学制品制造业（以下简称化工行业）、黑色金属冶炼和压延加工业（以下简称钢铁行业）、石油、煤炭及其他燃料加工业（以下简称石化行业）、非金属矿物制品业（以下简称建材行业）、有色金属冶炼和压延加工业（以下简称有色行业）、电力、热力生产和供应业（以下简称热电行业）六大高耗能行业位居工业行业能源消费总量前六名，能耗占工业总能耗 78% 以上[1]，如表 2-3 所示。2023 年六大高耗能行业能源消费总量 31768.12 万吨标准煤，占全社会能源消费总量的 60.41%，各分行业占比情况见图 4。在工业所有门类中，化学原料和化学制品制造业占比最高，达到 27.45%，有色金属冶炼和压延加工业、石油、煤

1.《山东省统计年鉴》对各工业行业能源消费量的统计基于企业边界原则，如一家企业在报统时被认定为化工行业，那该企业的自备热源产生的能源消费量也计入化工行业。本课题以此为原则对各行业能效存在的问题和措施进行评价。

炭及其他燃料加工业、黑色金属冶炼和压延加工业、非金属矿物制品业和电力、热力生产和供应业分列 2-6 位。

因此，在考虑六大高耗能行业未来产能增长的情况下，若不采取节能提效和能源结构优化等措施，其能耗总量及占比仍将进一步上升，与山东省提出的‘两高’行业能耗只减不增的目标形成明显矛盾。基于此，本课题将上述六大行业的能效提升作为重点研究对象。

表 2-3 六大高耗能行业能源消费量

工业行业分类	能源消费总量（万吨标准煤）	占比
非金属矿物制品业	3187.9	7.86%
石油、煤炭及其他燃料加工业	4546.1	11.21%
黑色金属冶炼和压延加工业	4667	11.51%
有色金属冶炼和压延加工业	5265.8	12.99%
化学原料和化学制品制造业	11131.3	27.45%
电力、热力生产和供应业	2970.1	7.33%

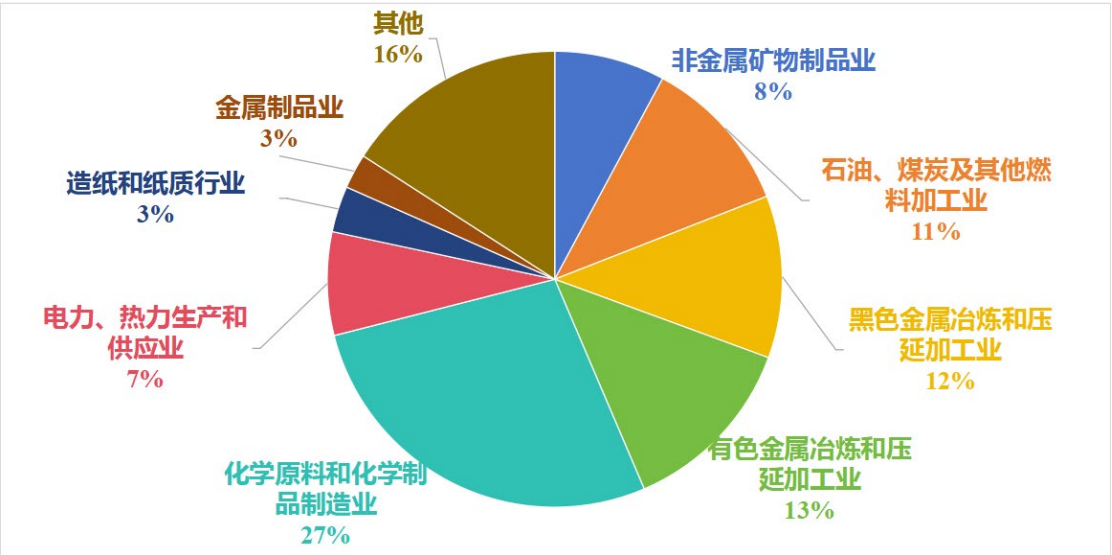

图 2-4 各分行业能耗占比

分能源品种来看，煤炭消费是重中之重。2023 年工业行业煤炭消费总量为 38467.9 万吨，六大高耗能行业煤炭消费量占工业煤炭消费量 95.38%。其中电力、热力生产和供应业煤炭消费量 22947.3 万吨，占工业煤炭消费量近 60%，化学原料和化学制品制造业煤耗 4521.4 万吨，占比 11.75%，石油、煤炭及其他燃料加工业煤耗近 3000 万吨，占比 7.70%，其它三个行业占比 16.27%。

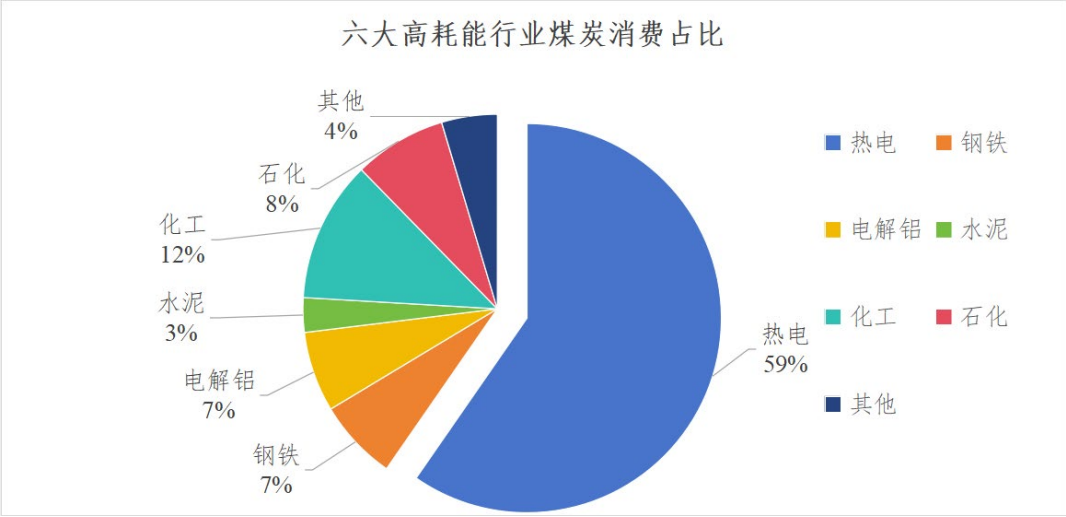

图 2-5 2023 年六大高耗能行业煤炭消费占比

六大高耗能行业中，热电行业较为特殊，虽然热电行业煤炭消费量占比较大、能源消费总量有一定占比，但从行业自身来讲，传统以煤、天然气等化石能源为燃料的热力、电力生产工艺已较为成熟，能效提升的潜力相对于其他五个行业较低，未来行业发展的大方向是逐步淘汰落后产能、非化石燃料替代和其他行业余热余压替代，行业自身的节能增效并不是行业未来发展的绝对重心，故本次研究不对热电行业进行单独评价。

综上所述，钢铁、有色、化工、石化、建材行业的能源利用状况将是山东省完成能耗“双控”和煤炭消费压减任务以及实现能效提升的关键所在。对上述行业涉及的重点企业开展能效评估，在此基础上提升其能源利用效率，促进企业能源结构的优化调整，成为山东省经济高质量发展和能效提升的关键所在。若推动全省高耗能行业实施节能降碳改造升级，在能耗降低 10%、效益提高 10% 的情景下，全省工业能耗有望降低约 7.1%，工业产值增加约万亿元规模。上述结果显示，高耗能行业的节能降碳改造不仅是完成能耗和碳排放约束性指标的关键抓手，也是培育新增长点、推动山东省工业绿色低碳高质量发展的重要途径。

第三章 研究主要思路

本研究对各行业问题和举措的提出基于济南市工程咨询院近五年来参与山东省内煤炭压减核查、能效诊断工作，近五年来济南市工程咨询院已完成省内 500 余家工业企业现场核查或诊断服务，基本涵盖了省内各工业行业，对全省工业能效水平和问题具有深刻认知。

在能效提升方面，本研究不局限于狭义的能效提升，即仅依据国家现行能效限额标准，对部分用能工序或用能设备进行局部评价和改造，而是从区域整体节能的角度出发，结合行业未来发展方向，统筹考虑系统性能优化、产业布局调整、清洁能源替代和工业数字化等因素。部分措施在现行能效提升考核体系中未必体现为能效指标的改善。例如，长流程炼钢企业提高转炉废钢利用率，在现行考核机制下反而可能降低转炉能效水平；又如，在电解铝行业推动绿色电力消纳，增加绿电使用量并不会在现行能效考核体系中直接反映为能效提升。从区域整体节能视角看，这类措施符合“双碳”背景下的发展方向，有助于从源头降低能源消费或减少化石能源依赖，因此同样被纳入本研究重点关注的能效提升路径。

综上，本研究对工业行业能效提升的主要途径概括为以下 6 点：产能优化整合（含能效水平约束与淘汰落后低效产能、产能置换等）、能量系统优化与余热余能利用（系统性能效提升）、生产系统节能增效与绿色技术工艺应用（工序能效提升）、重大节能装备与用能设备更新（设备能效提升）、工艺生产路线脱碳转型与清洁低碳能源替代、全过程精细化管控与数字化赋能。

各行业措施会根据各行业当前问题和未来发展侧重点有所差异，如有色行业未来发展重点在于清洁低碳能源替代上，在系统性节能和工序能效提升上受限于安全生产等问题，故可实施的措施较少，各行业能效提升存在的具体问题和提升路径见后两章。

第四章 山东省工业能效提升面临的主要问题

第一节 行业共性问题

钢铁、石化、化工、建材、有色金属行业虽然生产工艺、用能结构和产品存在较大差距，但在能源消耗和能效提升方面存在诸多共性问题，主要体现在以下几个方面。

一、产能过剩与低效产能并存，产业集中度不足

高耗能行业普遍存在产能过剩问题，且仍有部分落后产能未完全淘汰。如化工、建材行业存在大量中小型企业，装备水平参差不齐，能效水平远低于行业标杆且未来通过节能技改的方式达到国家先进水平的可能性较小。石化、化工行业也存在“散、小、弱”现象，部分企业仍采用高能耗的落后工艺。尽管山东省近年来推动钢铁等行业兼并重组和产能置换，但受地方保护等因素影响，行业集中度仍待提高。

二、能源结构偏重，清洁能源替代进展缓慢

五大行业均严重依赖煤炭等传统化石能源，如钢铁行业的高炉、建材行业的窑炉、化学工业的煤气化炉、石化行业普遍存在的自备锅炉等均为用煤量较大的设备，煤炭消费占比超过工业 35%。虽部分企业已开始探索天然气、氢能、绿电等清洁能源替代，但受成本、技术、基础设施等因素制约，整体进展较慢。

三、余热余能回收利用率低，能源梯级利用不足

五大行业的生产过程均产生大量余热余能，如高温烟气、废蒸汽、炉渣显热等，但当前回收利用水平整体不高。例如，钢铁行业的高炉煤气、石化行业的催化裂化余热、建材行业的窑炉窑尾废气等，仍有较大回收潜力。以中低温余热为例，山东多数企业的利用率不足 30%，而国际先进水平可达 60% 以上。大量低品位热能未被有效利用，直接排放，不仅造成能源浪费，也增加了环境负担。

四、数字化、智能化能效管理仍处于初级阶段

除一些能源管理较好的大型企业外，五大行业大多数中小企业在能源管理方面仍较为粗放，主要依赖传统人工监测和粗放式调控，数字化、智能化能效管控系统普及率不高。虽部分龙头企业已建立能源管理中心，但大多数企业尚未实现生产全流程的能耗实时监测、智能

分析和优化调控，管理部门、人员多与安全、环保等部门混同。大数据、人工智能、数字孪生等技术的应用仍处于探索阶段，未能充分发挥节能降耗的潜力。

五、政策执行与市场化机制有待加强

尽管国家和山东省出台了一系列能效标杆、阶梯电价等能效提升政策，但在执行层面仍存在监管不到位、激励不足等问题。

2024 年省级环保督察发现，仍有企业为规避监管，在各类督察或诊断中存在煤炭消费数据填报不实、能效计算不符合国家和省级行业强制性标准、基础数据逻辑关系明显异常等问题。

市场化机制建设方面，碳排放权交易、用能权交易等市场化机制尚未充分发挥作用，节能技改的财税、金融支持力度不足且手续办理复杂，中小企业难以承担较高的改造成本和时间投入，形成较为普遍的技改意愿不足、技改决策审慎的现象。

第二节 钢铁行业

山东省作为我国重要钢铁产业基地，钢铁行业在支撑区域经济发展的同时，也面临严峻的能效提升挑战。2023 年，山东省钢铁行业企业 17 家，比 2021 年减少 9 家，全部为规上企业。2023 年行业能源消费量 4667 万 tce，占工业能源消费量的 11.51%，全年煤炭消费量 2591.1 万吨，占工业煤炭消费量 6.73%。从生产装置、产能和产量来看，钢铁行业炼铁高炉 51 座，产能为 7697 万吨，产量为 6988 万吨；炼钢转炉 49 座，炼钢电弧炉 14 座，粗钢产能为 7732 万吨，粗钢产量为 7456 万吨。从产业结构角度来看，山东省钢铁企业集中度偏低的问题较为突出。山东省虽拥有山钢集团、日钢集团等大型钢铁企业，近年来大力推动产能整合转移，但中小型钢铁企业仍占据较高比例，这些企业由于建厂时间较早，普遍存在装备水平参差不齐的现象，部分老旧设备仍在使用，能源利用效率较低。而由于近年来钢铁行业市场效益欠佳，大量中小企业在先进节能技术的推广应用、用能设备改造提升上受到制约。

在能源消费结构方面，山东省钢铁行业依然以传统长流程钢铁为主导，对传统化石能源的依赖度较高。长流程钢铁消耗大量的煤炭、焦炭和电力，厂内往往配套燃煤或煤气发电厂，同时，钢厂又是能源加工转换和各类二次能源的产出大户，焦炉、转炉和高炉产出各类煤气，烧结、焦化、转炉和下游的轧钢等各工序均存在大量蒸汽及低品位的余热资源，上述二次能源未能在企业内部得到最优化的配置，各类煤气、蒸汽和余热资源利用率低、利用方式欠合理，

大量中低温余热资源被直接排放，造成能源浪费，部分企业虽已建设余热回收装置，但运行效率和管理水平有待提高。而当前，山东省钢铁行业清洁能源替代进展缓慢，这种能源结构不仅造成能源利用效率低下，也带来较大的环境压力。根据《钢铁行业节能降碳专项行动计划》（发改环资〔2024〕730 号），到 2025 年底全国电炉钢比例要力争提升至 15%，而山东目前不足 8%。这意味着山东必须加快推动短流程电炉炼钢和转炉废钢利用率提升。

在钢铁行业能效计算标准上，自 2024 年 8 月以来，山东省钢铁行业煤炭报统数据得到进一步规范，由干燥基改为收到基。单从能效数据上看，山东省钢铁行业高炉等工序的能效水平进一步降低，在对行业进行能效考核时各种口径、标准间互相混乱，导致数据失真、难以准确评估行业能效水平。

能源种类		原实物量	调整后实物量	单位	折标系数		标煤量		
					当量值	单位	当量值	调整后当量值	单位
1. 消耗量	喷吹煤	446716.74	495855.58	t	0.7068	kgce/kg	315739.39	350470.72	tce
	其他洗煤	6931.68	7763.48	t	0.7068	kgce/kg	4899.31	5487.23	tce
	兰炭	15504.84	15504.84	t	0.9714	kgce/kg	15061.4	15061.4	tce
	焦炭	1251901.17	1251901.17	t	0.9714	kgce/kg	1216096.8	1216096.8	tce
	高炉煤气	157658.87	157658.87	万 m^3	0.10922	kgce/m^3	172195.01	172195.01	tce
	焦炉煤气	778.24	778.24	万 m^3	0.56191	kgce/m^3	4372.99	4372.99	tce
	电力	16619.54	16619.54	万 kWh	0.1229	kgce/kWh	20425.41	20425.41	tce
	低压蒸汽	10910.01	10910.01	吨	0.0976	kgce/kg	1067	1067	tce
	氧气	21956.94	21956.94	万 m^3	0.0802	kgce/m^3	17609.47	17609.47	tce
	氮气	17828.89	17828.89	万 m^3	0.0386	kgce/m^3	6881.93	6881.93	tce
	新水	89.33	89.33	万 m^3	0.0447	kgce/t	399.23	399.23	tce
	软水	21.59	21.59	万 m^3	0.1016	kgce/t	21.9	21.9	tce
	鼓风	322971.55	322971.55	万 m^3	0.10922	kgce/m^3	353380.87	353380.87	tce
2. 回收量	高炉煤气	492932.49	492932.49	万 m^3	0.10922	kgce/m^3	538380.87	538380.87	tce
消耗 - 产出							1260579.38	1295898.63	tce
产品产量							3333792.27	3333792.27	t
单位产品工序能耗							378.12	388.72	kgce/t

图 4-1 干湿基报统变化对高炉工序的影响

技术创新能力不足是制约行业能效提升的关键因素。山东省钢铁行业在节能技术研发和应用方面与先进地区存在差距。智能化、数字化技术在能效管理中的应用仍处于初级阶段，能源管控系统建设不完善，难以实现精细化能源管理。关键共性节能技术如高效燃烧技术、废钢高效利用技术、氢冶金技术等的研发和应用相对滞后。

最后，区域协同发展不足也是影响整体能效的重要因素。山东省内钢铁企业分布较广，但与周边企业能源、物料协同利用合作不够，特别是在能源梯级利用、煤气利用等方面缺乏统筹规划，难以形成区域性整体能效提升的规模效应。

第三节 有色行业

2023 年有色行业能源消费量为 5265.8 万 tce，占工业能源消费量的 12.99%，全年煤炭消费量 2565.2 万吨，占工业煤炭消费量 6.67%。能源与煤炭消费量较大的原因是电解铝行业需要大量电力消费，故该行业企业大多具备自备电厂。在山东省，有色行业能源消费主要集中于电解铝行业。2023 年，山东省电解铝行业企业 11 家，全部为规上企业，分布在滨州、聊城和烟台三市。从生产装置、产能和产量来看，电解铝行业产能为 723.1 万吨，位居全国第一。

但从电解铝行业能源消费结构来看，行业主要消费的能源为电力，行业本身能效提升空间有限（电解铝行业虽也具备一定的余热资源，但受限于安全因素，难以在既有设备上实施大规模改造），故山东电解铝行业能效提升重点应落实在改变现有以火电为绝对依赖的电力供应模式上。据《关于 2024 年可再生能源电力消纳责任权重及有关事项的通知》（发改办能源〔2024〕598 号），山东电解铝行业 2024 年绿电消费比例为 21%（考虑了电网中的绿电比例），为全国各省份最低。虽然部分企业开始尝试绿电替代，但受限于省内可再生能源供应不足和跨省消纳政策限制，行业直接绿电使用比例长期徘徊在 5% 以下。

在技术装备方面，全省电解槽平均运行年限超过 8 年，400kA 以上大型预焙槽占比不高，仍有大量产能使用相对落后的 350kA 以下槽型，老旧槽型的铝液交流电耗普遍在 13300kWh/t 以上，较我省行业标杆水平高出 300kWh/t。

能源管理精细化程度不足是制约能效提升的关键瓶颈。龙头企业虽已建立能源管理中心，但多数企业的能耗监测仍停留在车间级计量，缺乏槽级精准计量和数据采集系统。

在节能技术应用上，新型阴极结构、阳极导杆节能等单元技术得到推广，但全流程系统节能技术的集成应用仍存在不足，技术改造进展缓慢。

附件 3

各省（自治区、直辖市）
2024 年、2025 年电解铝行业绿色电力消费比例

省（区、市）	2024 年电解铝行业绿色电力消费比例	2025 年电解铝行业绿色电力消费比例预期值
北京	25.30%	26.36%
天津	25.20%	25.26%
河北	25.90%	25.96%
山西	27.80%	28.86%
山东	21.00%	22.06%
内蒙古	28.00%	29.06%
辽宁	25.40%	26.46%

图 4-2 山东省电解铝行业绿色电力消费比例目标

第四节 化工行业

山东省化工行业是全省重要的基础性产业，近年来发展迅速，从省级固定资产节能审批项目来看，化工行业类项目约占每年的 40% 以上，且项目占比仍有上涨势头。行业全年能源消费量 11131.3 万 tce，占工业能源消费量的 27.45%，全年煤炭消费量 4521.4 万吨，占工业煤炭消费量 11.75%。山东省化工行业细分众多，基础化学原料、化肥、工业颜料和合成材料等均为山东省发展较好的细分产业，从能源消费占比来看，化工行业的研究主要聚焦于基础化学原料、化肥两个类别。

山东省基础化学原料行业主要包括无机碱（烧碱、纯碱）、无机盐（电石）和有机化学原料（乙烯、PX、乙二醇）。2023 年，山东省基础化学原料行业企业 49 家（氯碱 41 家、电石 2 家、乙烯 2 家、PX3 家、乙二醇 1 家），其中规上企业 45 家。化肥行业包括氮肥和磷肥，2023 年山东省化肥行业企业 17 家，较 2021 年减少 3 家，全部为规上企业。

当前山东省化工产业仍以大宗化学品为主导，这类产品位于化工产业链上游，虽有大规模生产能力但利润较低。传统大宗化学品产能利用率长期低于 70%。但市场化退出机制不畅，产业布局分散，“小而散”特征明显，不利于规模效益发挥。附加值高、规模相对较小的精细化学产业比重相对较低。

从能源消费结构来看，行业对煤炭的依赖程度居高不下，特别是在合成氨、甲醇、电石等传统煤化工领域，煤电机组、煤气化炉广泛存在，且煤炭转化效率普遍偏低，新型煤气化

技术应用比例较低。少量企业开始探索绿电制氢等低碳路径，但多为示范性项目，受制于技术经济条件，难以在当前阶段实现大规模推广应用，清洁能源替代整体进展较为缓慢。

在工艺装备方面，大型现代化企业与中小传统企业两极分化严重，大量中小企业仍在使用固定床气化、常压合成等较落后工艺，单位产品能耗较行业先进水平高。乙烯、PX 等石油化工装置的平均能效与国际先进水平存在一定差距，关键设备如压缩机、反应器的运行效率普遍偏低。

系统性能源管理短板明显制约能效提升。能源计量体系不完善，中小型企业重点耗能设备在线监测覆盖率甚至不足 40%，能源管控系统多停留在数据采集阶段，难以通过监测和调节用能设备实现能效最优化。工艺热集成度低，反应热、工艺余热回收利用率不足，大量中低温余热资源被直接排放，蒸汽系统优化不足，管网热损失率普遍较高。

第五节 石化行业

山东省石化行业是全省工业经济的重要支柱，炼化和煤炭加工一直作为山东省传统优势行业。2023 年全年能源消费量 4546.1 万 tce，占工业能源消费量的 11.21%，全年煤炭消费量 2961.5 万吨，占工业煤炭消费量 7.7%。

山东是全国炼化第一大省，是世界第三大炼油中心，一次炼油产能规模约 1.7 亿吨，仅次于美国休斯敦地区和日本东京湾沿岸。2023 年，山东省炼化企业 112 家（不含乙烯 PX），其中规上企业 86 家。煤炭加工业在山东主要体现在炼焦和煤制液体燃料。2023 年，山东省焦化企业 28 家，其中规上企业 27 家。从生产装置、产能和产量来看，焦化行业焦炉装置 67 座、比 2021 年减少 7 座，产能为 4347 万吨，约占全国总产能的 8%。山东省煤制液体燃料主要包括煤制甲醇和乙二醇。2023 年，山东省煤制液体燃料企业 11 家，比 2021 年增加 1 家，全部为规上企业。从生产装置、产能和产量来看，煤制液体燃料行业煤制甲醇合成塔 22 座，产能为 418 万吨；煤制乙二醇合成塔 14 座，产能为 75 万吨。

石化行业在能效方面的首要问题是行业起步较早，特别在东营、滨州等炼化大市，对传统设备和技术路径存在高度依赖，导致即便有先进的技术和工艺可供选择，但实施与推广仍面临巨大阻力。

从行业能源转化效率来看，炼化行业整体能效水平与国内外先进标杆相比存在一定差距，炼油综合能耗平均在 7.61 千克标准油 / 吨 • 能量因数，大多数炼化企业能效水平离标杆值水

平（7.5 千克标准油 / 吨 • 能量因数）差距较大，煤炭转化效率偏低问题也较为突出。这种能效差距主要源于工艺装备的老化与落后，除少数新建大型炼化一体化项目采用国际先进工艺外，大量中小型炼厂仍在使用效率较低的常减压蒸馏装置，部分煤化工企业的煤气化装置转化率不足 60%。能源消费结构不合理进一步加剧了能效问题，清洁能源替代进程缓慢，特别是在高温工艺环节的电气化改造面临技术经济性瓶颈。

产业结构性问题也制约着整体能效提升，石化行业相对于其他重点行业，产能过剩和低效产能并存现象更为明显，但由于各种经济、社会因素的考量难以短暂间退出。

石化行业内部存在大量品位不同的能量流，但在生产过程中能量梯级利用不足，导致大量能源被低效消耗甚至直接浪费，特别在炼化行业中，催化裂化、重整等关键装置的高温烟气余热回收率不足，大量中低温余热资源未被充分利用。另外，蒸汽系统存在明显短板，蒸汽管网跑冒滴漏现象普遍，部分企业蒸汽损耗率高达 15%，热联合和热集成程度不高，各装置间能量流匹配不合理。

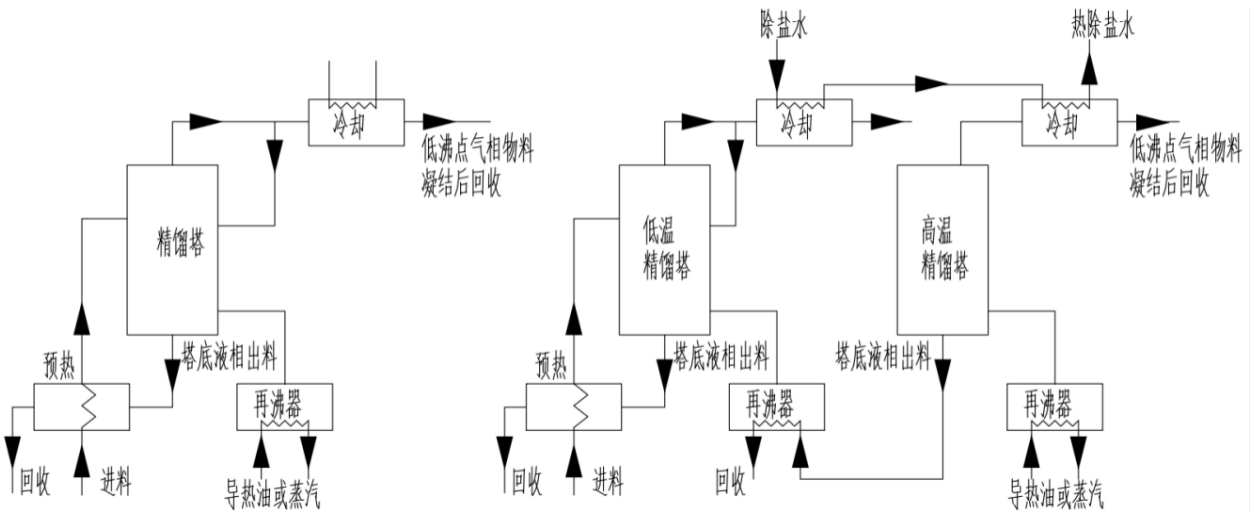

图 4-3 精馏塔冷热物料换热（左）与塔间热联合（右）对比

在节能技术应用方面，高效换热器、变频调速等单元技术已得到推广，但全流程能量系统优化技术的应用率较低，特别是中小型企业受资金和技术限制，节能改造进展缓慢。

技术创新能力不足导致能效提升缺乏持续动力，在新型催化材料、高效分离技术等关键领域的突破性创新与实践较少。人才支撑体系薄弱，石化行业技术门槛较高，既懂石化工艺又精通能源管理的复合型人才严重不足，制约了能效管理水平的提升。这些问题的叠加使得

山东省石化行业虽然保持了极大的规模优势，但未来面临着严峻的能效提升挑战，亟需通过结构优化、技术创新和系统改造实现能源效率的实质性突破。

第六节 建材行业

山东省建材行业作为传统高耗能产业，2023 年能源消费量为 3187.9 万吨标准煤，占工业能源消费量的 7.86%，全年煤炭消费量 1102.7 万吨，占工业煤炭消费量 2.87%。从能源消费结构来看，煤炭在行业能源消费依旧占据较大比重，水泥、玻璃、陶瓷等细分领域对煤基燃料的依赖尤为突出。山东省建材行业中水泥行业能耗占比最大，约为 70%—80%，故本报告以水泥行业作为建材行业的研究重点。2023 年，山东省水泥行业企业 222 家，其中规上企业为 197 家。从生产装置、产能和产量来看，水泥窑 86 座，水泥磨机 294 台；熟料产能 0.92 亿吨，占全国总产能的 5% 左右 ; 水泥产能 2.6 亿吨，约占全国总产能的 7%、全国第一。

水泥行业作为产能饱和行业，近年来总体产能得到较好控制，但产业集中度偏低的状况尚未根本改变，前五大水泥企业产能集中度仅约 58%。大量小型和微型生产线的存在，导致行业整体能效水平偏低，整体水平仍低于全国平均水平。玻璃、陶瓷行业更是呈现“小而散”的格局。与钢铁、有色等行业不同，水泥行业由于前期投入相对较低、前期政策准入条件较松，在省内存在大量规模较小、存续时间长、能效较低的水泥产线。而要进行能效提升工作，需进行大规模的技术升级或设备更换，这对小微企业形成巨大的经济压力。

生产工艺装备方面，全省新型干法水泥生产线占比虽达 95%，但相当部分生产线已运行 10 年以上，能效较新建生产线低 8%-10%。平板玻璃行业中，使用传统浮法工艺的生产线占 80%，单位产品综合能耗较国际先进水平高出 12%-15%。陶瓷行业更面临窑炉小型化、分散化问题，约 40% 的企业仍在使用能耗较高的梭式窑，隧道窑的平均热效率较低。

余热利用效率偏低问题在建材行业仍普遍存在。受市场波动影响，水泥窑运行不稳定，余热发电系统效率普遍不足 35%，远低于国际先进水平的 45% 以上。大量中低温余热未被利用，成为建材行业节能潜力的重要来源。系统节能技术应用不足，如水泥企业的生料立磨、辊压机终粉磨等高效粉磨技术普及率、玻璃企业的全氧燃烧技术应用比例都较低。

第五章 工业能效提升路径

第一节 总体发展路径

一、产能优化整合

山东省五大行业存在部分企业规模偏小、装备水平参差不齐的问题，需进一步推动兼并重组和产能置换，提高产业集中度。具体来讲，应坚持差异化、精细化的指标管控方式，加快实施煤耗、能耗产出效益偏低行业的优化整合和技术改造，通过产能置换等方式拓宽优质项目用煤指标来源渠道，更好保障其用煤需求，并参考山东省单位能耗产出效益评价、“两高”行业能效提升和空气质量提升计划相关文件要求，推动能效基准水平以下企业的技术改造或关停转产，保障优于标杆水平企业的用能用煤指标需求。同时，严格执行产能置换政策，确保新增产能符合能效标杆水平，避免低效重复建设，形成集约化、高效化的产业格局。

二、能源结构调整

聚焦于非化石能源替代，可采取直接投入的一次燃料清洁化替代以及电力、热力消费的清洁化替代的措施。短期内，按照山东省大气污染防治重点区域煤炭压减政策，控制化石能源消费总量，推动煤炭减量替代，同时扩大电气化终端设备使用比例。特别是要优先在高耗能环节实施“煤改电、煤改气”工程，加快电驱动压缩机、泵机替代汽轮机，推进绿色电力直采试点。中期内，鼓励企业自建或参与共建分布式能源系统，就近利用清洁能源，通过就地就近消纳、绿电交易、虚拟电厂、分布式自发自用等源网荷储模式应用破解可再生能源规模化并网消纳难题。长期来看，推进氢能制储输运销用全链条发展，大规模应用核能、氢能等零碳能源，持续提高可再生能源消纳比重。根据国家能源局规划，到 2030 年，氢能将成为我国工业终端能耗的重要组成部分。山东作为氢能示范省份，需率先推动氢冶金、氢制氨、绿氢化工项目落地，并探索利用核能供热为石化、建材园区提供高温热源。从当前国家、省对工序能耗考核内容来看，化石能源消费量的降低不一定会导致在能效计算上的优势，但随着能耗“双控”转向碳排放“双控”，对工序能耗的考核可能也会逐步考虑扣减非化石能源，使得能源结构的优化也成为能效提升的重要一环。

三、实施中低温余热余能深度开发

从省、地市层面建立覆盖全行业的余热资源图谱数据库，开发适用于不同温区的余热利

用技术组合，重点突破 300℃以下中低温余热高效回收技术瓶颈，在产热、用热行业间通过构建企业首尾相连、互为供需、互联互通的热能产业链，促进资源共享和循环利用。如在钢铁企业推广烧结矿显热发电与钢渣余热供暖联用模式，在化工园区建设跨企业余热管网系统等措施，打造能源循环体系。

四、全过程精细化管控与数字化赋能

山东省高耗能行业数字化建设近年来已经取得了丰硕成果，但仍需进一步优化能源管控平台，提高数字化赋能水平。山东省应完善重点用能单位能耗在线监测系统建设运行，支持五大高耗能企业建设智慧能源管理平台，加强生产过程能源消耗和碳排放数据收集、分析和管理，提升企业节能降碳管理能力。加快大数据、人工智能、互联网等信息技术与各加工工序深度融合，搭建“工业互联网 + 能效管理”应用场景，实现用能设备和生产工艺智能化控制。

五、创新“市场 + 监管”的协同治理机制

建立能效数据区块链存证平台实现全链条可追溯，推行用能权交易与碳排放权交易的联动机制，设立省级绿色技改专项基金。简化申报流程，开发金融产品降低中小企业融资成本，构建“在线监测 - 智能预警 - 精准执法”的新型监管体系，形成政策激励与市场驱动相互强化的良性发展格局。

第二节 钢铁行业

一、提高电炉产量占比与废钢利用率

按照《钢铁行业节能降碳专项行动计划》要求，到 2025 年底，全国电炉钢产量占粗钢总产量比例力争提升至 15%，而目前山东省电炉钢产量占比远低于此。未来山东省应重点支持短流程电炉炼钢发展和增加长流程炼钢转炉废钢使用量，不断壮大废钢加工利用规模，提高废钢资源循环利用率，降低长流程炼钢的能源消耗。

二、推动能量系统优化与余热余能利用

钢铁生产流程中蕴含大量余热余能资源，但目前回收利用率仍有提升空间。应重点优化高炉煤气、焦炉煤气、转炉煤气的回收利用，提高二次能源利用效率。同时，加强中低温余热资源的梯级利用，如用于供暖、制冷或驱动吸收式热泵，实现能源的“吃干榨净”。

在区域采暖供热方面来看，实施工序副产余热改造提升工程是一种创新可行的热能模式，充分利用钢厂冲渣水、烟气、炉渣、余热蒸汽、循环水等中低温热源。按照“梯级利用、余热优先、灵活调度”的原则，以满足外部用汽用热需求和与热电厂联网供热为目标，实现分散低温供热向联网高温供热转化，全厂能源平衡以发电最大化向能效最优化转变。采暖季利用系统优化和再平衡富余的蒸汽，规划建设“一网多源、余热优先、热电保障”的循环水低温余热—冲渣水与初冷器中温余热—系统富余蒸汽加热的三级梯级供热系统。同时，统筹考虑周边供冷负荷需求及参数，论证采用冬季供热管网在夏季供高温热水，用户端利用溴化锂吸收式制冷的可行性。通过此途径，提高余能利用水平、降低钢厂附近热电厂负荷，降低煤炭消费量。

在区域工业用汽方面，山东省应围绕现有钢厂大力发展高端装备制造、先进材料、生物医药、新能源等新兴产业。针对医药等耗汽行业用汽需求不断增长的情况，应充分发挥钢厂煤气电厂、干熄焦发电等现有凝汽式电厂的供热能力，在系统摸清下游用汽需求的基础上，将其改造为抽凝式或背压式供汽电厂，实现煤气热电联产与蒸汽外供，以钢厂为中心打造区域能源中心，进一步提升煤气利用效率和钢厂能效水平。

从远期看，加强钢铁与电力、建材、化工等行业耦合提效也是未来钢铁行业着眼于区域能源利用效率提升的重要一环。长流程炼铁工艺以煤、焦炭为还原剂，化石能源相当比例的能量和 C、H 元素转化到各类煤气中。目前钢厂已基本实现了各类煤气的回收利用（燃烧发电），但发电效率低且未实现煤气的分质利用。如果能以钢化联产的角度，焦炉煤气提氢后，氢能用于富氢炼钢试点或直接外送，解析气再作燃料，将实现其分质高效利用，也将为钢铁企业降碳起到重要的示范作用。在此过程中，焦炉煤气副产 CO_2 可实现固碳，再作为化工项目原料；转炉煤气富含 CO 也可作为化工原料。因此，以煤气分质高效利用和氢能的示范应用为抓手，是促进长流程钢厂提质增效的重要发展方向。

三、加快生产系统节能增效与绿色技术工艺应用

钢铁生产各环节均有较大节能潜力，需推广先进节能工艺技术。在炼铁环节，推广高炉富氧喷煤、高风温操作、智能化燃烧控制等技术，降低燃料比，存量项目在山东省大气污染防治重点区域煤炭压减政策背景下，在政策要求范围内，提高喷煤比、降低兰炭等化石燃料替代煤炭，降低焦炭利用；在炼钢环节，优化转炉煤气回收、推广电炉高效冶炼技术；在轧钢环节，推广热装热送低温轧制等工艺，减少加热能耗。

除传统意义上工艺节能外，绿色技术应用对新上项目和存量设备改造更为关键。加快推进氢基直接还原、富氢熔融还原等非高炉炼铁技术攻关和应用，鼓励利用现有高炉开展富氢

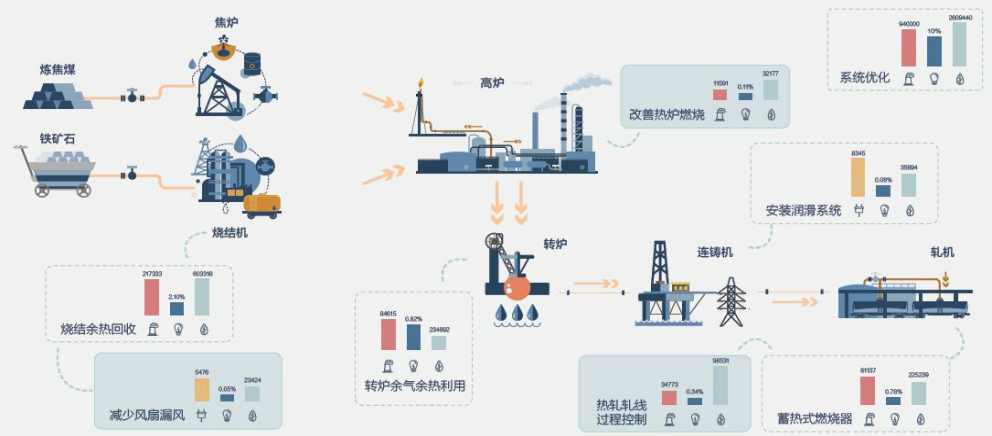

图 5-1 钢铁厂各工序的节能改造示意图

碳循环氧气高炉低碳冶金。支持有条件的钢铁企业建设工业绿色微电网，加快风能、太阳能、生物质能、地热能、高效热泵、新型储能、氢能、工业余能等一体化开发利用。实现各生产系统能效提升和绿色低碳转型。

四、重大节能装备与用能设备更新

分阶段逐步推动限制类装备、独立球团、燃煤烘干设备、燃煤石灰窑、煤气发生炉等分散低效装备的淘汰更新。鼓励钢铁企业增加自备焦炉炭化室高度和容积，推广焦炉单孔炭化室压力调节和自动加热控制等技术。实施烧结、球团装备大型化升级改造，推广烧结烟气循环、低能耗低排放大比例球团冶炼技术。推动实施 1000 立方米及以下炼钢用生铁高炉更新改造。加强钢铁生产工序衔接改造，推广铁水一罐到底、热装热送、近终形连铸、无头轧制等工序间界面衔接技术。对标《重点用能产品设备能效先进水平、节能水平和准入水平（2024 年版）》，加快钢铁企业低效电机、锅炉、制氧机、空压机、水泵、风机、变压器等用能设备更新升级。推广应用大型高效链箅机—回转窑、带式焙烧机、万能轧机等专用设备和封闭式机械化料场。加强用能设备系统匹配性改造和运行控制优化。提升钢铁行业清洁运输水平，因地制宜推动运输、作业车辆和机械新能源改造。

五、工艺生产路线脱碳转型与清洁低碳能源替代

钢铁行业是碳排放大户，需加快向低碳、零碳工艺转型。一方面，提高电炉短流程炼钢比例，减少对煤炭、焦炭等化石能源的依赖；另一方面，推动氢能冶金、碳捕集利用与封存（CCUS）、生物质能替代等技术的研发和应用。鼓励企业布局光伏、风电等可再生能源，推动“绿电 + 钢铁”模式，降低煤电依赖。探索氢基直接还原铁（DRI）等突破性技术，逐步实现深度脱碳。

第三节 有色行业

一、推动产能向新能源聚集区转移

推动电解铝产能向鲁北盐碱滩涂光伏基地、胶东半岛核电基地等可再生能源富集、资源环境可承载的地区有序转移，促进绿电消纳。突破现有绿电消纳方式，提供更多绿电直连方式促进电解铝企业在实现绿电消纳的同时维持电力成本上的市场竞争力。创新跨省绿电交易机制，打通与内蒙古、甘肃等可再生能源富集省份的点对点直供通道。另外，针对自备电厂实施绿色化改造，如配套建设一定比例的储能设施，提升系统调节能力，逐步降低火电依赖度。

二、推进主要用能设备节能降碳改造

加快淘汰 200kA 以下预焙阳极铝电解槽，推动 500kA 级以上大型铝电解槽应用，支持实施新型稳流保温铝电解槽节能改造。鼓励采用高强度钢材、低摩擦轴承、高效电机等材料设备优化电解槽结构，加强铝电解槽能量流优化。推广应用高效稳定铝电解、电解槽运行优化、石墨化阴极及磷生铁浇注降低阴极压降、降低电解质压降等节能技术。鼓励应用高质量阳极材料、阳极表面涂层技术等，减少阳极消耗。推进电解铝行业用能设备更新升级，推广高效整流设备、智能槽控系统、在线监测装备、多功能智能天车等先进装备。

三、提高非化石能源替代比例

促进电解铝企业扩大风电、光伏、生物质能等非化石能源的应用，推动自备燃煤机组清洁化改造，淘汰低效燃煤机组，推动既有自备电厂实施“煤改气”“煤改电”或掺烧生物质燃料，鼓励企业通过“源网荷储一体化”模式就近消纳绿电。探索应用铝电解虚拟储能及柔性调控技术，利用电解槽负荷可调性，参与电网调峰，提升谷电时段负荷，提高用电负荷调节匹配能力。

四、提高废铝应用

构建“电解铝 - 铝加工 - 再生铝”产业闭环，应用废铝保级利用技术提高再生铝利用比例。推广相关再生铝保级技术，如废铝熔炼后直接用于高端铝合金生产，降低铝液生产全过程能耗。

第四节 化工行业

一、持续优化产业结构

在产业结构优化方面，由于化工行业种类、企业数量较多，山东省应重点实施“关停并转升”组合拳，建立基于能耗、排放、效益等多维度的企业综合评价体系，对长期处于低效区间的大宗化学品产能实施梯度退出机制，通过产能置换指标交易等市场化手段加速落后产能出清。同时打造“基础 + 高端”双轮驱动的产业体系，集中布局乙烯、丙烯、丁烯、聚氨酯、PX 等高端功能化学品产业链，推动产业向价值链高端攀升。

二、推进余热余压高效利用

以合成氨行业为例，在满足工艺装置要求的前提下，根据工艺余热品位不同，分别用于副产蒸汽、加热锅炉给水或预热脱盐水和补充水、推广应用 ORC 技术，实现能量供需和品位相匹配。推广全废锅 / 半废锅流程回收高温煤气余热副产蒸汽、低温甲醇洗二氧化碳尾气余压和甲醇富液余压发电等技术，提升中低品位余热使用效率。鼓励采用溴化锂制冷技术制备低温冷媒水用于工艺气体和溶剂冷却。推动资源高效循环利用，推动气化炉渣回收送锅炉掺烧或生产建筑材料，鼓励回收三聚氰胺装置尾气联产尿素，因地制宜开展低品位热能供暖，利用回收富甲烷气生产液化天然气等清洁能源产品。

三、加快节能降碳改造和设备更新升级

聚焦全流程系统优化，对现有化工装置实施“一企一策”节能改造，重点推广高效换热网络、反应热耦合利用等过程强化技术，将蒸汽管网热损失率控制在 8% 以内；引进国际先进的大型压缩机组、高效反应器等关键设备，建立能效对标管理体系；推动建设跨企业余热梯级利用网络，力争余热综合利用率提升至 60% 以上。

四、实施低碳原料燃料替代

能源结构转型需坚持清洁替代与效率提升目标，在煤化工领域全面推广新一代水煤浆气化、干煤粉气化等高效技术，将煤气化效率提升至 85% 以上，开展燃煤自备电厂清洁化改造专项行动，系统推进绿电制氢示范工程，建设绿氢合成氨、甲醇产业化项目，逐步构建“煤 - 气 - 氢”多元互补的能源供给格局。推动以可再生能源替代煤制氢，提高绿氢利用比例。加快推动用能电气化改造，有序推动蒸汽驱动改电力驱动。引导合成氨企业通过购买绿电绿证等方式，逐步实现高比例绿电使用。

第五节 石化行业

一、产能优化整合

炼化行业，严格控制炼油产能规模，禁止以重油综合利用、原料预处理、沥青装置等名义变相新增炼油产能。严格新上项目能效准入，新建和改扩建炼油项目须达到能效标杆水平。落实炼油行业产能减量置换政策，持续推进上大压小、上优汰劣，用于置换的产能须按要求及时关停并拆除主要生产设施。加快能效基准水平以下炼油产能节能改造。加强炼油产能分析预警，合理调控成品油出口。支持炼化一体化企业优化生产布局，完善企业内部上下游产品匹配衔接。

煤炭加工业，按照《山东省空气质量持续改善暨第三轮“四减四增”行动实施方案》的要求，2025 年全省焦化装置产能压减至 3300 万吨左右，推动独立焦化企业产能向钢焦一体化发展。

二、推进跨行业耦合提效

推动炼化行业与钢铁、水泥、新能源、储能等行业联动发展，深化蒸汽、电力、燃料气等能源资源系统链接，探索新型供电方式。大力探索推进炼油企业低温热综合利用，鼓励利用热泵、蒸汽再压缩等提升热力品位，向周边工业企业、城镇建筑等供热，实现能源梯级利用。在不新增产能的前提下，鼓励有条件的炼油企业探索废塑料、废润滑油、废弃油脂、废弃生化污泥等与原油耦合加工。

推动独立焦化企业与现代煤化工、冶金、石化等行业的深度产业融合，提高能源利用水平、减少终端排放，促进全产业链节能降碳。在区域供热方面，焦化行业可利用丰富的余热资源作为“一网多源、余热优先”供热模式的重要一环。

三、生产系统节能增效与绿色技术工艺应用

炼化行业，优化炼油加工流程，推动常减压、催化裂化、重整、焦化、加氢等炼油核心工艺换热网络集成。持续推进蒸汽动力系统优化，实施蒸汽网络优化及蒸汽平衡智能化调节。高效捕集生产排放可燃气体，合理规划厂区干气走向，降低管网波动。开展用氢精细化管理，推进供氢单元优化、加氢装置管理和氢气轻烃回收耦合，提高氢气利用效率和配置水平，降低外购氢气。绿色技术工艺上，可采用 CO 燃烧控制技术提高加热炉热效率，合理采用变频调速、液力耦合调速、永磁调速等机泵调速技术提高系统效率，采用冷再生剂循环催化裂化技术提高催化裂化反应选择性，降低能耗、催化剂消耗，采用压缩机控制优化与调节技术降低不必要压缩功消耗和不必要停车，采用保温强化节能技术降低散热损失。

煤炭加工业，以独立焦化企业为能效提升的重点，除在上一节钢铁行业提到的相关措施外，发挥焦炉煤气富氢特性，有序推进氢能发展利用，积极探索上升管余热利用改造、干熄焦余热提效利用改造、氨水循环热量利用改造、初冷器余热利用等余热余能改造项目，提高外送能源量，以降低单位产品能耗。

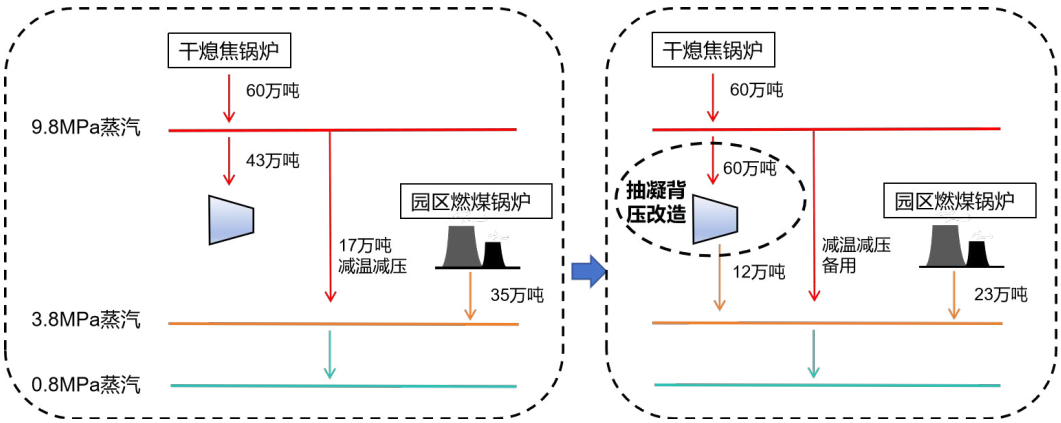

图 5-2 某企业蒸汽系统优化示意图

四、加快用能设备更新改造

大力推动炼油企业生产设备更新，强化用能设备运行分析，加快推广应用能效达到节能水平及以上的锅炉、电机、变压器等通用用能设备。合理评估设备的替代、应用效果及必要性，针对实际生产需求，推广高效催化裂化烟气轮机、高效加热炉、空气预热器、高效换热器、中间再沸器、热泵精馏、低温精馏等先进技术装备。推广常减压装置减顶抽真空系统节能技术、催化裂化（解）装置低生焦技术、航煤液相加氢技术、微通道技术、高效分离技术，减少加工损失，提高油品收率以降低单位能量因数综合能耗。

在煤炭加工业，提高节能型水泵、永磁电机、永磁调速、开关磁阻电机等高效节能产品使用比例，合理配置电机功率，系统节约电能。

五、实施清洁低碳能源替代

稳步提升石化行业电气化水平，通过绿电绿证交易等方式提高清洁能源消费占比。炼化企业用能电气化水平，有序推动电驱系统替代蒸汽透平驱动。按照“以热定电”原则，根据蒸汽需求合理调控炼油企业自备电厂运行负荷。鼓励炼油企业利用公用电、大型热电联产集中供热供汽、清洁能源等替代现有自备燃煤机组，通过购买绿电绿证交易扩大绿电消费。鼓励周边具有核能布局的大型石化化工园区探索利用核能供汽供热。积极推进炼油工艺流程再造与新能源耦合体系建设，稳步提高绿氢使用比例。

第六节 建材行业

一、严格执行产能结构优化政策

严格推进水泥行业产能“减量置换”计划，严格实施产能置换政策，对能效低于基准值的小微生产线有序退出，严格核定水泥项目备案产能，禁止以改造升级等名义随意扩大产能。通过兼并重组提高头部水泥企业产能集中度。玻璃行业重点发展“大吨位、高品质”浮法生产线，淘汰日熔化量较小的小型窑炉。陶瓷行业实施“煤改气”专项工程，淘汰低效梭式窑，推广宽体节能隧道窑，提升平均热效率。

二、加快技术装备升级改造

技术装备升级应以工艺革新为核心，用能设备更新作为重要补充。水泥行业重点推广水泥窑六级预热器、第二代新型干法技术，对运行超 10 年的生产线实施综合节能改造，大力推进破碎、配料、熟料煅烧、烘干、原燃料和产品储存运输等系统改造，支持预热器、窑炉燃烧器、篦式冷却机、原锤式破碎机、辊压机、风机、选粉机、输送机、除尘设备等整体更新换代，提升分解炉自脱硝及扩容、水泥磨粉、富氧燃烧等技术水平。鼓励利用低阻高效预热分解系统、模块化节能或多层复合窑衬等技术，提高烧成系统能效水平。实施高效粉磨改造，降低粉磨系统单位产品电耗。玻璃行业加快推广全氧燃烧、一窑多线技术，开发新型熔窑保温材料。陶瓷行业重点发展辊道窑数字化烧成技术，推广微波干燥等新型节能工艺。

三、提高余热余能利用

水泥行业实施余热发电系统增效工程，推广应用 ORC 技术提升中低温余热利用率，力争吨熟料发电量提升至 40kWh 以上。玻璃行业建设熔窑烟气余热深度利用系统，开发热管式余热锅炉新技术。陶瓷行业建立窑炉烟气集中回收网络，实现余热跨企业利用。

四、加快清洁低碳能源替代

在满足环保要求的前提下，利用生活垃圾、固体废弃物和生物质燃料等替代煤炭，减少化石燃料的消耗量，支持替代燃料高热值、低成本、标准化预处理。支持既有自备燃煤机组实施清洁能源替代。有序提高水泥行业可再生能源使用比例，鼓励水泥企业一体化推进分布式光伏、分散式风电、多元储能等开发运行，推动余热余压发电、供热等高效利用模式。鼓励逐步将水泥独立烘干系统热源改造为清洁能源或工业余热。

第六章 典型案例分析

本章选取济南市工程咨询院近五年间提出有关系统性节能的三项具体案例，涉及石化、化工、钢铁、热电等多个行业。其中，寿光市环网供暖机制已完成实施，另外两项本年度提出正在研究推进中。

案例一 寿光市“一城一网、一网多源”环网供暖机制

为缓解煤炭消费和能源消耗空间不足的双重压力，解决民生供暖需求与煤炭消费指标不足的突出矛盾，在济南市工程咨询院 2019-2020 年对寿光市各企业开展集中诊断的基础上，提出并实施了城区高温水供热管网互联互通工程，并通过供热机制创新，在全国县域首创了政府主导、国企运营的“一网多源”、“产供分离”的供热布局和运营模式，切实推动了以燃煤为主的供热结构向以工业余热为主的清洁供热机制转变，从而实现降低煤炭消费和污染物排放、改善区域环境质量、保证民生采暖安全性和经济性、提高工业企业能源利用效率和产出效益水平的多重目标。

一、实施背景

受产业类型和结构的制约，“十三五”期间寿光市面临着煤炭消费和能耗“双控”的压力，民生采暖需求与煤炭消费指标不足的矛盾日益突出。一方面，市区采暖以各大热力公司的小型分散区域燃煤锅炉房为主，采暖热网互不连通，供热质量参差不齐，煤炭消费和污染物排放居高不下。另一方面，市区周边三大工业园区各类热电、化工、钢铁、造纸、建材企业拥有大量的工业余废热资源，长期以来由于热网基础设施的欠缺，以及单一工业企业热源安全性无法保障民生采暖需求等原因而被闲置浪费。

二、主要做法

一是政府统筹，在 2019-2020 年投资 10 亿元，实施市区高温水供热环网，将中心城区现有的巨能、晨鸣、金惠等 6 家独立运营的供暖热网互联互通，实现“一城一网”，为各类工业余热的纳网奠定基础条件。并与城区周边的稻田、纪台、孙集等镇街对接，打破原有的城乡供热壁垒，远期供热环网将辐射城区及周边 88 万平方公里、40 万人口以上。

二是建设巨能热电、晨鸣热电两个国有热电企业的热源中心，充分吸纳利用热电企业的

乏汽余热资源，淘汰多数区域燃煤锅炉，将市属国企金惠热力公司的高效锅炉联网作为供热储备调峰和备用热源，形成“一网多源”的供暖机制。

三是推进供热机制改革，在“一网多源”的前提下实行“厂网分离”，成立国企控制的环网运营公司，统筹管理调度上游热源点和服务下游热用户，通过多热源竞价上网和热价改革，实现供热结构优化和降低民生采暖成本的良性循环。

三、突出成效

一是通过城市环网建设，实现了工业余废热的纳网，从而淘汰区域燃煤锅炉，实现压减采暖煤炭消费量和节能减排的目标。建成后，通过区域燃煤锅炉淘汰和热电机组的优化整合，近期可淘汰热水锅炉和热电锅炉容量合计近 1300 蒸吨，实现压减煤炭消费量 80 万吨。

二是逐步形成由各类工业余热承担采暖基本负荷，热电联产机组为工业余热调峰，少数燃煤锅炉作为多热源联网系统应急保障热源的多热源结构，各热源间互通有无、互为补充、相互协调，实现工业余热的可靠供热和整个热网的高效、经济、协同运行，大大提高了供热的安全保障性和运营的经济性。

三是在成立国企运营的环网热力公司的基础上，通过创新供热运营机制和规范热价体系，一方面形成上游多热源“竞价入网”的购热机制，有效降低购热成本，另一方面通过统一管理和智能调度，保证环网内热水资源合理分配，全面提升热网系统效率，切实提升民生供热质量。

四是通过工业余热纳网的激励机制，间接促使了各类高耗能行业企业内部能源的统筹配置和梯级利用，有效提高了全市工业的能效指标和产出效益水平。

四、未来发展规划

逐步扩大工业余热利用的范围，分阶段、有步骤地将市区周边园区的联盟化工、巨能特钢、

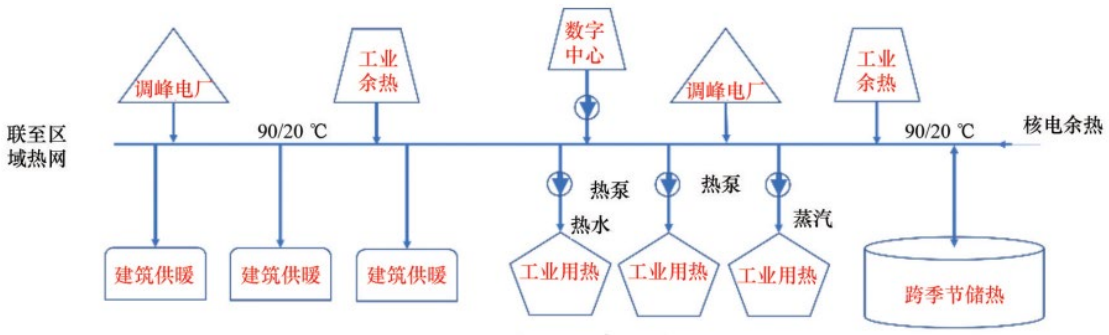

图 6-1 寿光市环网供热模式未来发展设想

美伦纸业、富康制药等企业的低品位余热纳入城市供热环网，逐步降低热电企业的供热份额，未来实现采暖供热的“零煤耗”。加快推进二级换热站向热泵站的改造，切实降低热网回水温度，拉大城市环网供热温差，提高工业余热利用比例和整体效率。建设城市供热智能调度中心，可对供热环网实行自动实时监控、变频调速、信息管理等，实现计量收费、智慧送达等功能，有效精简供热调度环节，提高运行管理水平，实现城市“智慧清洁供热”。

案例二 巨野县“一网多源、余热优先”区域低碳供热系统

一、建设背景

在 2024 年对菏泽市开展“一企一策”煤炭清洁利用诊断的基础上，2025 年初济南市工程咨询院提出了巨野县“一网多源、余热优先”区域低碳供热系统规划。

目前巨野县城区主要利用煤炭资源进行供暖，少数区域采用生物质和地热能资源进行供热，煤炭等化石能源燃烧产生的高温热量通过间接换热用于对外供热、供汽，在此过程中热能“品位”损失较大，能源梯级利用程度不足。长期以来，城镇供热普遍采用的热电联产模式，也未能从根本上解决化学能向蒸汽、再向热水转化过程中的㶲损失问题。从而影响工业和建筑两个行业的低碳转型进程。

北方城镇集中供暖占我国建筑运行阶段能耗的近 1/4，也需要创新的技术和模式实现零碳转型。由于需求量巨大且涉及的供暖场景较复杂，北方城镇集中供暖无法通过单一的技术方案实现零碳。应因地制宜利用多种低碳技术，包括热电联产、工业余热、集中式热泵、生物质锅炉、跨季节蓄热、低温热网等技术实现。

北方集中供暖的脱碳机遇主要来自于余热资源利用。一方面，我国具有丰富的余热资源，来自热电厂、核电、工业、数据中心、污水处理的余热可直接利用或者通过热泵升温再利用。据估算，我国各种可利用余热超过 200 亿 GJ，而北方城镇建筑供暖需求约 54 亿 GJ，如果余热资源得到充分利用，将能满足北方城镇供暖的需求。另一方面，我国大部分北方城镇拥有完善的热网基础设施，为余热高效经济地输送至建筑提供了基础条件。在现有集中供暖系统的技术上，结合热泵、储热、远距离输热等技术，能够构建基于余热利用的集中供暖系统，实现集中供暖系统脱碳。目前热电联产是最具经济性的集中供热方式，近期内仍是集中供暖的主要形式。2030 年前主要推动既有建筑节能改造，降低建筑耗热量；充分利用火电厂余热、

生物质、垃圾焚烧等热电联产资源，发掘工业余热、核电余热、数据中心余热等的利用潜力，逐步替代集中燃煤、燃气锅炉。远期来看，为了实现余热接入集中供热管网，需要使余热资源与供暖需求在时间、空间及温度参数上匹配，因而跨季节储热、远距离输热及热泵技术的普及是完成北方集中供热零碳转型的主要任务。

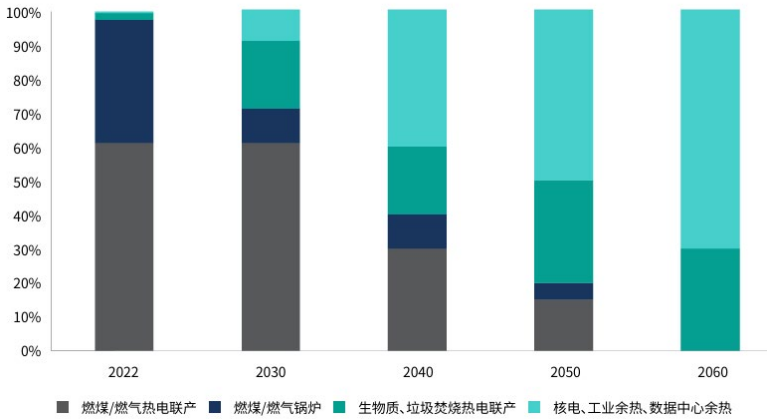

图 6-2 北方集中供暖系统零碳转型路径

二、低碳供热系统项目建设路径

1、利用新技术助力区域供热“一张网”建设

在双碳背景下，用能全面电气化为热力系统的结构性改造和减少对化成燃料的依赖带来了机遇，利用电力驱动热泵实现对工业和城镇余热的有效收集和“温位提升”，相较以锅炉和换热器为核心设备的“温位降低”路线，具有极大的节能降碳潜力。要实现余热的充分系统化收集和使用，需要建设区域连通共享的供热管网，各类热源通过热泵、换热器等设备实现余热集成和向大网的输出，而用热侧通过直接换热或热泵提温实现热量的有效利用。对于150 摄氏度以下的工业用热需求，甚至可以通过热水负压闪蒸和电力二次压缩的方式产生低压蒸汽，这种梯级提温的模式甚至也为利用太阳能、地热能等储量大、品位低的自然热源满足工业生产需求提供了可能。此外，在运大量的生物质电厂、生活垃圾电厂、资源综合利用电厂等非化石燃料电厂也要尽快实施供热改造，替代燃煤热源的负荷，从而助力区域低碳供热系统的构建。

考虑到巨野县现阶段的区域一张网尚不完善，且非采暖季的热需求较低，部分企业回收余热后存在无法消纳的情况，影响项目整体投资经济性，建议考虑谋划建设跨季节储热技术，

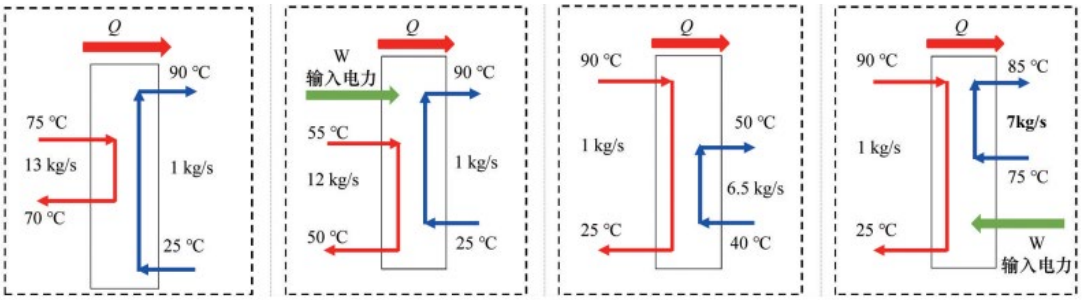

图 6-3 不同品位热源并网示意图

将非采暖季的多余废热储存，实现采暖季更高比例的余热供暖。目前主流的储热方式包括蓄热水池、相变材料、地下水循环、土壤换热四种方式，热水储能为目前最低成本的储热方式，按照储热效率 90% 计算，储热成本为 1.25 元 /1kWh。

2、全方位回收工业余热

在工艺生产过程中，焦化、化工、建材等工艺附产大量不同品位的低品位工业余热，所谓的低品位余废热是指冬季是资源，而夏季是废热的热源，主要包括：焦化（干熄焦发电乏汽、焦炉废烟气、初冷器冷却、焦炭成品余热）；煤气发电（烟气、乏汽余热）。建材厂：窑头窑尾烟气余热、窑壁辐射热、发电乏汽余热、煅烧炉余热。石化企业：油品余热、烟气余热、低温热水余热。无机化工：循环水、化学反应热、物料余热。有色金属：电解槽余热、烟气、制酸、炉体、发电乏汽、炉渣余热。火电厂：烟气余热、脱硫浆液余热、凝结水余热。通过对各类能源的合理配置，结合各类节能技术的综合利用，采暖季可充分提取收集原生产工艺中未利用的余废热，利用大温差长输供热技术，实现对外供热。

图 6-4 重点行业余热资源统计图

根据菏泽市的煤炭高效利用诊断情况，焦化产业园区存在大量的余热利用资源潜力，根据上一小结的分析，焦化行业可实施相关项目回收上升管余热、干熄焦发电蒸汽梯级利用、氨水循环余热、初冷器余热，并且焦化产业区域存在锅炉烟气余热、煤炭开采矿井水余热等资源。

根据核算，焦化园区实施上升管余热利用改造后，合计可形成 26MW 的供热能力，可承担供暖面积 58 万 m^2；实施干熄焦发电蒸汽梯级利用改造后，合计可形成 62MW 的供热能力，可承担供暖面积 152 万 m^2；实施氨水循环和初冷器余热利用改造后，考虑到上升管余热利用将减少该类后续热利用的效果，考虑后合计可形成 16MW 的供热能力，可承担供暖面积 34 万 m^2。累计焦化园区炼焦企业可形成 96MW 的余热资源，可承担区域供热面积 230 万 m^2，年外供热量 99.62 万 GJ。

表 6-1 工业余热资源统计

序号	余热利用改造		铁雄新沙	洪达	富海	合计
1	干熄焦发电蒸汽梯级利用改造	改造后可承担供暖负荷 /MW	31	16	15	62
		改造后可承担供暖面积 / 万 m^2	77	38	37	152
2	上升管余热利用技术改造	改造后可承担供暖负荷 /MW	13.74	5.36	6.98	26.08
		改造后可承担供暖面积 / 万 m^2	30.53	11.92	15.52	57.96
3	氨水循环热量和初冷器利用改造	改造后可承担供暖负荷 /MW	0	8	8	16
		改造后可承担供暖面积 / 万 m^2	0	17	17	34
4	合计可承担供暖能力 MW					96.08
5	合计可承担供暖面积 / 万 m^2					226.96
6	年供热量 GJ					996199.00
7	可替代煤炭量 tce （按照供热煤耗 38.33kgce/GJ 计算）					38184.31
8	可替代煤炭消费量 t （按照赵楼电厂 2023 年燃料热值计算）					80000

3 家焦化企业距离巨野县城区仅有 12 公里，并且目前巨野县城区的 500 万 m^2 的供热面积均为菏泽能化赵楼电厂燃煤机组供热，根据调研赵楼电厂主要燃烧洗煤（洗中煤和煤泥）作为燃料，2023 年的供热煤耗为 38.33kgce/GJ，煤炭的加权平均热值为 14.10GJ/t。建议实施工业余热供暖，替代煤电供热，建设焦化园区供热管道连接城区供暖管道，将赵楼电厂作为备用热源用于低温调峰和备用，年可减少区域煤炭消费量 80000t。

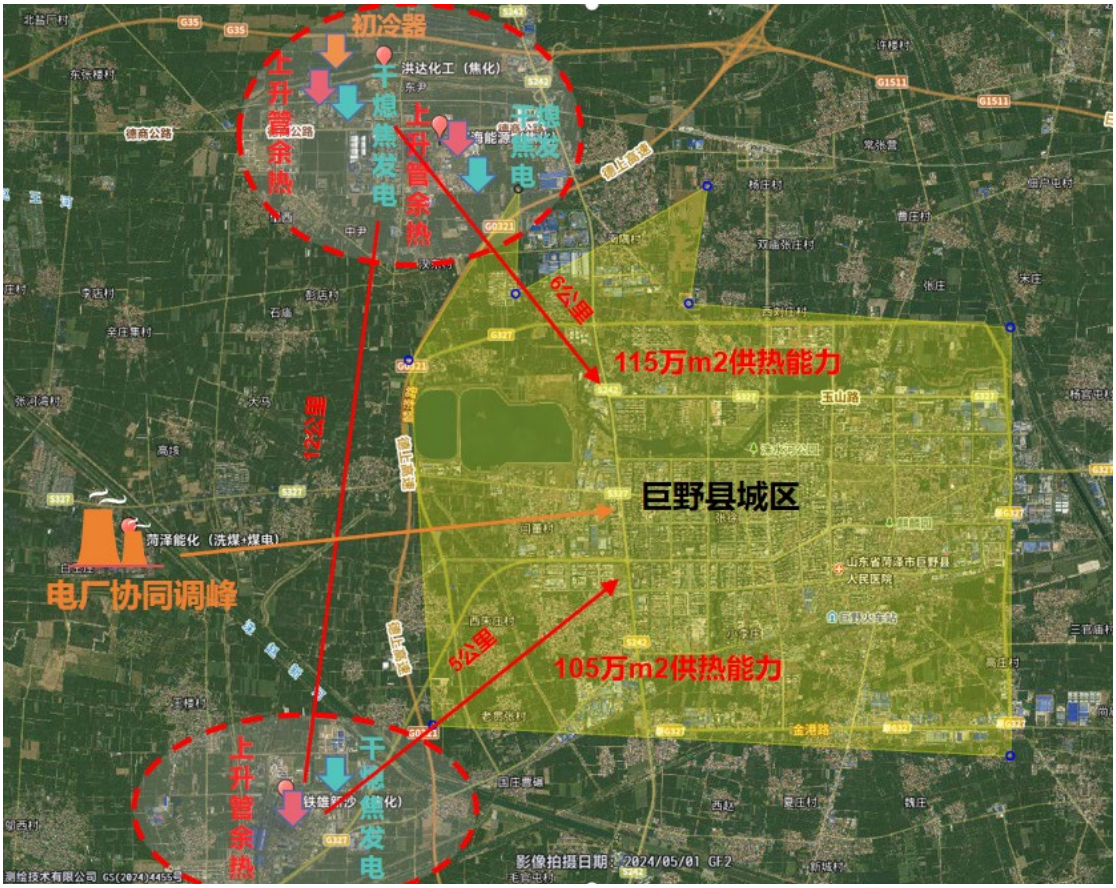

图 6-5 巨野县一网多源供热方案

案例三 菏泽市石化产业园多企业间互联、高效“大循环”系统

在 2024 年对菏泽市开展“一企一策”煤炭清洁利用诊断的基础上，2025 年初济南市工程咨询院针对菏泽市东明石化产业园提出了多企业间互联、高效“大循环”系统改造设想。

一、“源网荷”视角下热力系统的优化原则

“源”即热力的产生方，重点是自备锅炉及发电机组的优化配置、燃料结构优化和能效提升、催化裂化和加热炉等装置烟气余热的高效利用等，同时大力发展分布式光伏、工业副产氢和碳捕集回收利用（CCUS）试点，实现“效率提升、开源提质、吃干榨净”。“网”即全厂热力系统及输配管网，在实现源荷匹配及合理调度的基础上，重点是实现蒸汽热动系统的优化（包括蒸汽梯级利用、大型透平汽驱设备适配、减温减压环节优化等）、装置之间的热联合，实现“流程互供、温位匹配、智控调度”。“荷”即热力的消费侧，重点是精馏系统的系统优化、各类低温热的梯级利用；装置的优化运行与卡边控制等，降低对高品位热能的需求量，实现“减量降质、降需提效、卡边控制”。 此外，在实现企业内部热力系统优化的基础上，应从园区和区域能源系统整体优化的角度，“腾出”企业内部无法合理消纳的低品位能源，向周边企业和社会供应，最终使炼油企业成为园区的“隐形热源中心”，替代区域内能耗、污染物、碳排放较高的供应设施，实现区域能源、环境资源协同优化。

表 6-2 石化行业”源网荷”热力系统整体优化原则

节点	源	网	荷
优化原则	自备锅炉及发电机组的优化配置和能效提升	蒸汽热动系统的优化（包括蒸汽梯级利用、大型透平汽驱设备适配、减温减压环节优化等）	精馏、干燥等系统流程优化与热源替代
			低温热的梯级综合利用
	工艺余热的高效回收与合理利用	装置之间热联合	压缩机、制冷机、循环冷却泵能效提升
	可再生能源（光伏、氢能、CCUS 试点）	源荷匹配、调度和系统智能控制	装置的优化运行与卡边控制
优化目标	“效率提升、开源提质、吃干榨净”	“流程互供、温位匹配、智控调度”	“减量降质、降需提效、卡边控制”

在遵循上述优化原则下，本案例从自备锅炉及发电机组的优化配置和能效提升、蒸汽热动系统的优化、精馏系统节能改造、低温热及凝结水的梯级利用和构建对外供热系统等方面，给出热力系统优化的具体方案。

二、用汽用热装置的节能改造与优化

精馏等用汽装置通过热泵精馏改造、装置间热联合、热泵余热利用等技术，减少蒸汽需求量。

对于精馏塔顶气相参数与塔温度相近的可以热泵精馏改造，可实现塔顶气相物料汽化潜热用于再沸器热源，从而大量节省再沸器蒸汽消耗，工艺流程见下图所示。

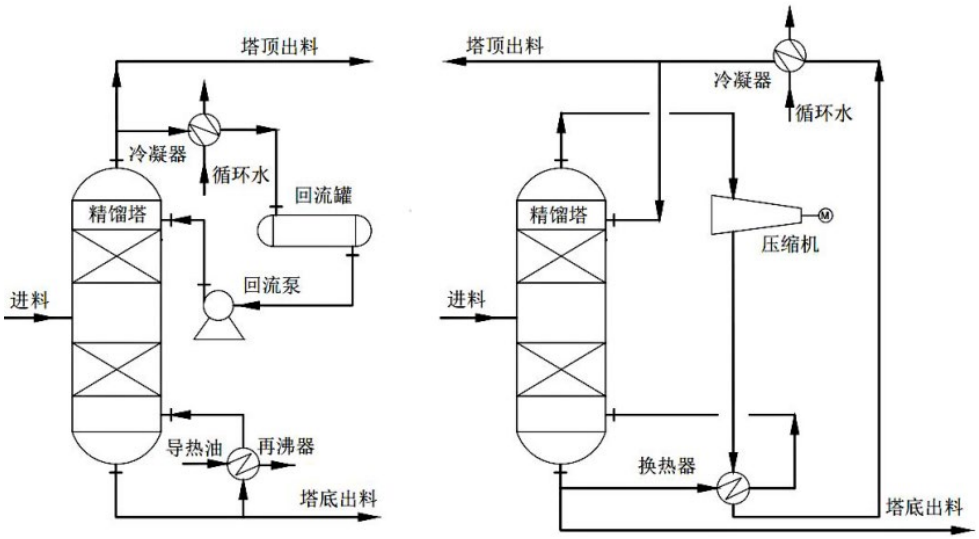

图 6-6 常规精馏（左）与热泵精馏（右）装置的对比

对于车间内存在操作温度差距较大的多个精馏塔，建议考虑塔间热联合，即利用高温塔物料作为低温塔再沸器热源，从而减少低温塔蒸汽需求。对于高温精馏塔，建议考虑塔顶高温气相热源的多级取热，实现减少热源和冷量输入的双重目标，工艺流程见图 4-3 所示。

三、厂内换热网络与蒸汽动力系统优化

通过蒸汽梯级利用、大型透平汽驱设备的抽汽改造或电气化改造、减温减压环节优化等技改项目实施，目标是通过全厂网络优化，实现温位匹配、流程互供、效率提升。

1. 纯凝汽拖进行打孔抽汽改造和电动改造项目

建议对纯凝汽拖进行打孔抽汽改造和电动改造，减少大功率汽拖设备乏汽冷凝损失。集团内部炼油及化工各板块均存在大量纯凝汽拖，园区大量中压蒸汽用于汽拖装置，由于低压汽富余，大部分汽拖装置为纯凝式汽机。中压蒸汽缺口量主要由集团自备燃煤锅炉及前海热力机组提供，3 家炼油及炼化企业合计中压蒸汽缺口 552.8 万吨，其中 399 万吨由燃煤锅炉或机组提供。建议将 3 家企业 20% 凝汽式汽机改造为电动，30% 凝汽式汽机改背压，背压排汽满足园区低压蒸汽需求及城区供暖使用，从而减少中低压蒸汽用量，减少燃煤锅炉负荷。

表 6-3 东明石化产业园主要工业企业蒸汽需求情况

序号	企业名称	装置名称	3.5MPa 蒸汽量（万吨 / 年）	20% 改电动（凝汽式汽机）	30% 改背压（凝汽式汽机）
1	东明中油燃料石化有限公司 (燃煤)	750 万吨 / 年一次炼油装置及各种二次炼油装置	206.8	41.4	62.0
2	山东劲海化工有限公司（燃气）	100 万吨 / 年轻烃综合利用项目	153.8	30.8	46.1
3	东明前海化工有限公司（燃煤）	12 万吨 / 年烯烃项目、200 万 t/a 柴油加氢改质项目	192.2	38.4	57.7
	合计		552.8	110.6	165.8

根据上述思路，20% 透平装置中压蒸汽缺口改电动，直接减少燃煤锅炉负荷 79.8 万吨，按照吨煤发汽量 7 吨测算，将减少煤炭实物量 11.4 万吨。30% 透平装置中压蒸汽缺口改背压或抽凝，产汽 165.8 万吨，其中产 1.0MPa 低压汽 40 万吨，0.5MPa93.8 万吨（32 万吨用于园区各企业低压汽使用，61.8 万吨作为驱动热源供暖或制冷、锅炉除氧器），满足园区各企业低压汽及城区供暖需求，透平装置产低压汽替代原有燃煤锅炉工业用汽负荷 72 万吨，减少煤炭实物量消耗 10.3 万吨。纯凝式汽机透平与抽凝透平的对比示意见下图。

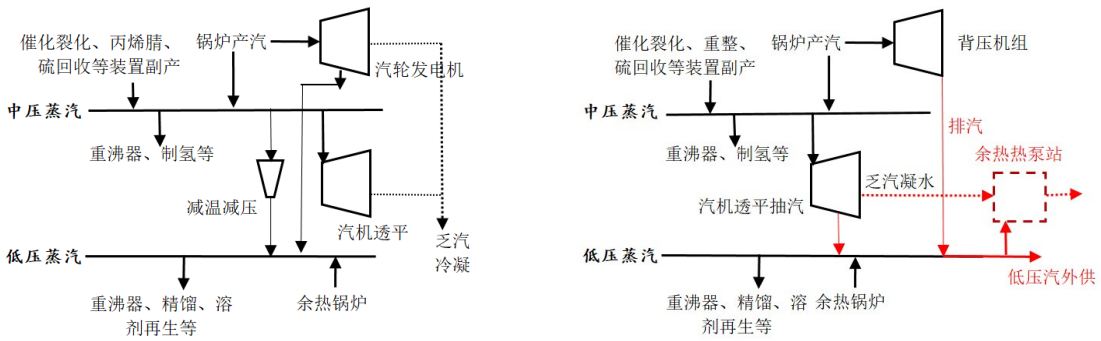

图 6-7 纯凝式汽机透平与抽凝透平的对比示意

四、热源能效提升与整合优化

在完成上述负荷侧精馏等用汽装置优化改造、汽拖装置改造、减温减压环节优化等蒸汽消费侧和换热网络的优化基础上，减少对热源产汽产热的需求，通过以汽定电的原则，优化集团整体热源配置，按照统一建设和调度的原则，优化整体热源配置和调控方案，提升热源能效水平，从而减少源侧煤炭等化石能源消费。

一是蒸汽优化负荷降低后实现炼油板块 4 台燃煤锅炉关停。二是集团内各企业间建立燃

料气管网，实现互通，优化燃料气利用。通过加热炉装置提升改造与优化控制，提高加热炉热效率，减少副产干气消耗，相应提高劲海化工副产燃料气锅炉出力。三是统筹新上 UPC 项目蒸汽消耗，前海热力燃煤背压机组起到提供蒸汽缺口的作用，华汪热力作为工业供汽及供暖调峰热源备用。同时通过技改措施提升前海热力、华汪热力煤炭和能效利用水平。

五、建立园区和区域范围的热能大循环系统

1. 低温热及凝结水的梯级利用

作为低温热源和热阱最丰富的行业，炼油装置的中间物料热、蒸汽凝结水、加热炉烟气、热媒水甚至循环冷却水均可提供不同温位的热源，通过热交换和热泵技术可用于除盐水、冷物料的加热，并可通过吸收式制冷和第二类吸收式热泵技术，实现制冷或副产蒸汽。此类技术改造的核心在于，按照源荷需求量和能级匹配的原则，从跨装置、跨能源品种的视角进行全厂系统性的整体优化。凝结水余热梯级利用参考流程见下图所示。

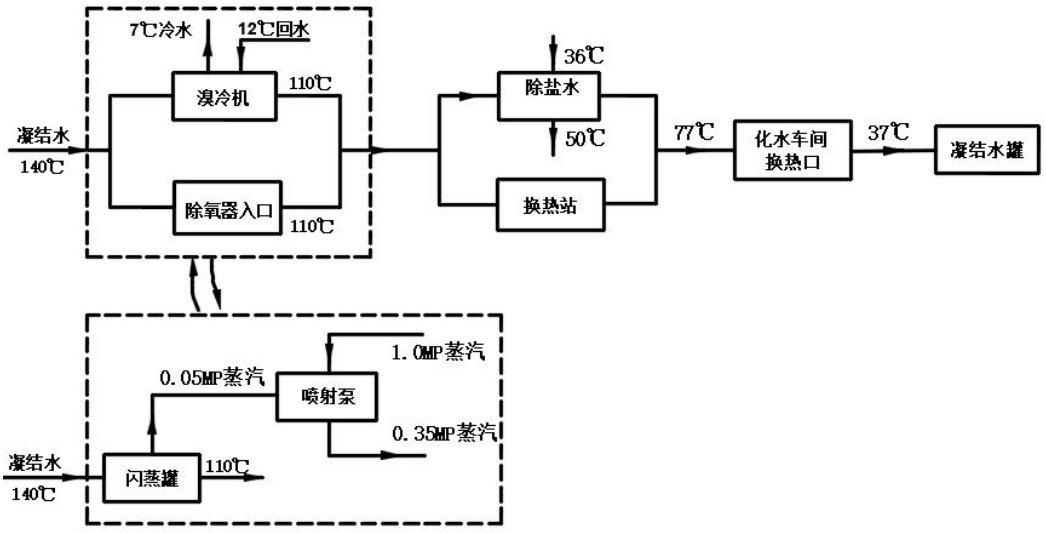

图 6-8 凝结水余热梯级利用流程

2. 凝结水、循环水、黑水、灰水等余热回收利用改造供热

对于各汽拖和再沸器等装置产生的凝结水，可考虑采用梯级取热的方式，实现热量吃干榨净，其中非采暖季应大量应用作为吸收式制冷的驱动热源，采暖季考虑综合利用凝结水、循环冷却水等热量对外供热。利用厂内富余低压蒸汽作为第一类吸收式热泵的热源，上述凝汽式汽机背压改造后产 0.5MPa 蒸汽 61.8 万吨（77.3t/h），可提取凝结水、循环化等低品位余热实现对外供热 119MW，至少实现 300 万平方米余热供暖规模，同时东方化工煤制合成

气装置产生大量的黑水、灰水余热资源也可统筹考虑进行余热回收，园区内余热充分利用后完全可以满足东明城区 400 万平方米供暖需要，相应替代华汪热力消耗煤炭供暖，减少煤炭消费实物量约 6 万吨。循环水和凝结水余热梯级利用方案流程参考见下图所示。

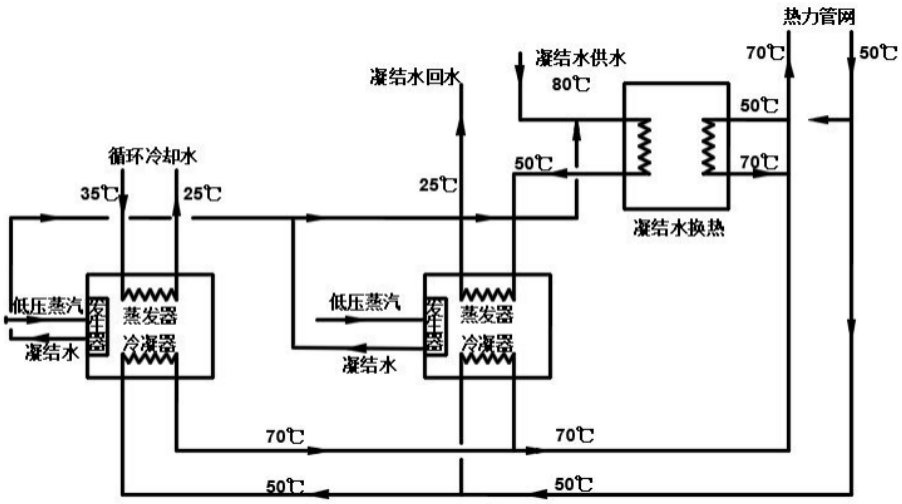

图 6-9 低温热对外供热的技术方案

对于副产乏汽量大且暂无对外供热条件的部分装置，可考虑新上电压缩或蒸汽压缩热泵，将 0.5 和 0.35MPa 蒸汽提压后补充 1MPa 管网，压缩装置的驱动能源可考虑电压缩，也可考虑中压蒸汽背压拖动的压缩机。

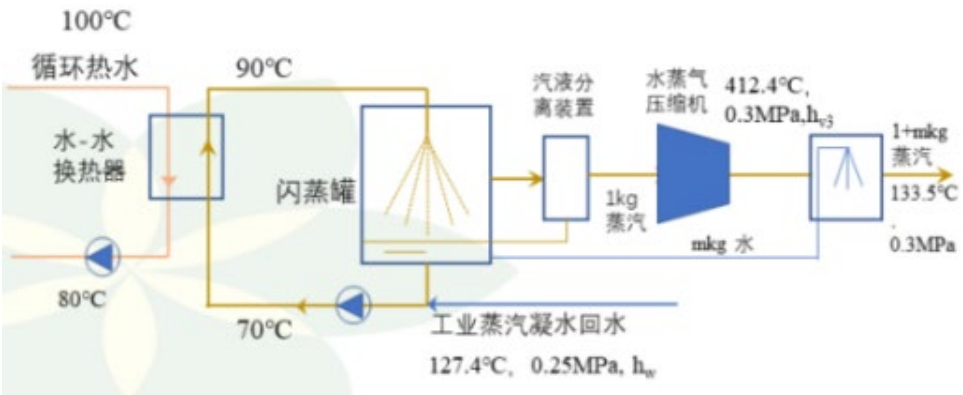

图 6-10 凝结水余热梯级利用和乏汽回收利用系统

综上分析，通过上述自备锅炉及发电机组的优化配置和能效提升、蒸汽热动系统的优化、精馏系统节能改造、低温热及凝结水的梯级利用及对外供热改造等项目谋划实施后，至少可实现减少园区煤炭消费实物量 27.7 万吨。

第七章 政策建议与未来展望

综合前文分析，山东省工业领域在结构、用能、管理和制度等方面仍存在突出短板：一是产能过剩与低效产能并存、产业集中度不足，部分行业兼并重组和产能优化进展缓慢；二是能源结构偏重，煤炭等化石能源占比高，清洁能源替代和能源梯级利用推进不足，余热余能回收利用率整体偏低；三是数字化、智能化能效管理仍处于起步阶段，生产全流程能耗实时监测和智能优化调控尚未广泛实现；四是政策执行约束不强，能效标杆、阶梯电价等政策工具的实施效果有待提升，碳排放权交易、用能权交易等市场化机制作用发挥不足。

在行业层面按照第五章提出的路径推进节能降碳改造的基础上，省市层面仍需在政策体系完善、产业结构优化和能效考核方式改革等方面形成系统合力，为高耗能行业和重点企业能效提升提供稳定可预期的制度环境和外部激励。基于上述问题识别和研究结论，本节从产业结构、能源结构、园区系统、技术装备、数据治理与市场机制以及金融支持等六个维度提出有针对性的政策建议。

第一节 政策建议

一、着力于产业结构优化，推动高耗能行业绿色转型

第一，要严格执行产能置换制度，倒逼产业升级。对于钢铁、炼化等高耗能行业，山东应全面执行产能等量或减量置换，坚决防止新增低效产能进入市场。在具体操作中，应建立省级产能项目审查台账，明确产能退出的时序安排，确保新增产能与退出产能严格挂钩。对于设备落后、能效长期低于行业基准水平的产线，要通过能耗、排放双约束强制退出。通过建立“准入—考核—退出”的动态机制，实现从源头遏制低效扩张。第二，要推动产业集聚与园区化发展，发挥协同效应。目前山东部分高耗能企业仍然分散布局，导致能源利用效率不高。应加快推动钢铁、石化、建材等企业向产业园区集中，通过“统一公用工程、集中供汽供热、统一能源管理平台”等方式降低系统能耗。可借鉴浙江嘉兴石化园区“集中供能、余热共享”的实践经验，将能源梯级利用扩展至多个企业之间，提升园区整体能源效率。第三，要构建循环经济体系，推动资源循环再利用。在钢铁、有色金属和化工行业，要完善废钢铁、废有色金属和废塑料的回收和加工体系，建设区域性再生资源基地。山东可在日照、青岛等

港口城市布局大型废钢加工配送中心，推动再生资源跨区域流通，形成以“回收—加工—利用”为核心的闭环产业链。通过政策引导与电价、绿证优惠等激励措施，培育再生资源利用的比较优势，带动短流程工艺和绿色制造同步提升。

二、着力于清洁能源替代，推动绿色电力消纳提速

第一，要建立企业年度绿色电力消费比例台账。针对钢铁、电解铝、化工等高耗能行业，应逐步提高绿色电力使用水平，并要求企业建立年度台账，将绿色电力消费情况与能源审计、绩效考核挂钩。对于积极增加绿色电力消费的企业，应在能评、环评审批中给予政策支持，提升其投资信心和竞争优势。第二，要拓展绿电直采和跨省交易机制。山东应结合本地新能源发展情况，推动点对点直供、年度中长期合同和跨省输电的多渠道模式，形成稳定的供给格局。在青岛、潍坊、东营等载能产业集聚区，可以优先开展“绿电直供 + 绿证结算”的试点，探索园区统一采购和企业个性化签约相结合的方式。对于跨省引入的绿电，应建立与本地消纳能力相匹配的调峰机制，确保供给稳定和交易有序。第三，要建设“绿电—绿证—碳足迹”一体化管理平台，依托统一的省级数据平台，将企业绿色电力消费量、绿证核发与核销情况以及产品碳足迹报告统一管理，实现信息的透明化和可追溯，为政策执行和外部合规提供数据支撑。对于出口型制造业，应通过平台出具符合国际标准的绿色电力使用证明，帮助企业应对国外碳边境调节机制的要求，提升山东制造在全球供应链中的绿色竞争力。

三、着力于园区系统耦合，推动余热余能梯级利用

第一，要建设跨企业综合能源网络，实现能源共享。在钢铁、化工、建材等产业园区，应建设“热—电—冷—氢”综合能源系统，推动不同企业之间的余能共享。具体做法包括利用钢铁企业的高炉煤气和建材行业的窑尾余热，向园区内其他企业供能，同时配合热泵和储能设施，提高中低温余热的利用效率，既有助于降低单个企业的能源负荷，也有利于通过网络化管理实现园区整体能效提升。第二，要探索多种清洁热源的耦合利用。山东应充分利用沿海地区的核能供热潜力，在烟台、海阳等地推动核能供暖、供汽项目，向石化、建材等园区提供稳定的高温热源。同时，应结合地热资源丰富的地区，如济南、潍坊，推动地热能供暖供汽，形成多元化的零碳热源供给体系。通过“工业余热 + 核能 + 地热”的组合，减少对煤炭热源的依赖。第三，要建立园区节能评价与激励体系。山东应在重点园区制定节能评价标准，对余热利用率、能源综合利用水平、蒸汽管网效率等指标进行动态考核。对于达标园区，应给予财政奖补和政策激励，并在要素保障、项目审批等环节优先支持。通过建立评价体系与激励机制，推动更多园区形成“余热共享、协同供能”的节能模式。

四、着力于技术装备升级，推动大规模设备更新

第一，要推进高耗能设备的系统性更新换代。针对炼化、钢铁、化工和建材行业的重点用能设备，应实施设备以旧换新计划，推广高效窑炉、大型高效压缩机、低能耗风机和节能型锅炉，并建立“设备更新—能效提升—核查验收”闭环机制。对完成更新的企业可给予财政支持，并在电力交易中安排相应优惠，增强企业技改积极性。第二，要加快生产流程的电气化改造。在动力、循环、输送等环节，应推动电驱动替代汽轮机，推广高效电机与变频调速技术。山东应引导重点企业逐步淘汰高能耗设备，建立电气化改造的项目库，确保改造进度和投资回报可控。完成改造的企业，应通过市场化机制获得电价优惠和容量电费减免，提高改造收益。第三，要推动全流程工艺优化和余热利用。山东应在石化、化工、建材行业推广热泵提质、蒸汽再压缩和换热网络重构等先进工艺，促进能量在生产线各环节间循环流动，减少能源损失。对于有条件的园区，可建设集中供汽和余热发电系统，推动跨工厂的热能利用，实现整体工艺水平的升级。

五、着力于数据治理与市场机制，推动能效监管科学化

第一，要统一能效统计口径，确保数据可比。山东应制定统一的能效统计标准，明确煤炭、气体燃料和电力等的折标系数，并建立历史数据复算机制。只有保证数据口径一致，才能在省内和跨省之间实现真实有效的能效对标，避免因口径差异导致政策执行偏差。第二，要建设能效和碳排放的在线监测平台。在高耗能行业的关键设备上，山东应配备在线计量设施，实现实时采集和监控，并建立基于区块链的存证机制，确保能效、绿电和碳排数据真实可追溯。这样既能为能评审批提供依据，也能作为财政奖补和金融支持的核查标准。第三，要推动市场化机制与政策监管协同。山东应探索用能权、碳排放权和绿证交易的联动机制，将节能量核证与绿证核销挂钩，让企业通过节能改造获得市场收益。通过建立“节能改造—市场交易—收益兑现”的闭环机制，引导企业形成主动节能的长效动力。

六、着力于金融支持与保障，推动绿色技改精准落地

第一，要建立绿色技改项目库，推动重点项目优先落地。山东应建设省级绿色技改项目库，将设备更新、电气化改造、余热回收和园区耦合等重点项目纳入其中，并为入库项目提供名单制金融服务，以此确保政策资源集中到关键环节，提高财政和金融支持的精准性。第二，要设立绿色技改基金和风险分担机制。山东应设立省级绿色基金，支持合同能源管理、融资租赁等创新模式，降低企业特别是中小企业的融资难度。同时，应建立风险分担机制，缓解中小企业在节能改造融资中的风险顾虑和约束，提升绿色技改项目的可融资性。第三，要建立绩效挂钩的资金兑付机制。山东应将财政奖补、贷款贴息和税费减免与企业的节能效果和碳排放下降情况挂钩，通过分阶段兑付方式，确保政策资金投入能够转化为实际成效，避免出现“资金到位、项目无果”的情况。

第二节 未来展望

面向“十五五”乃至更长时期，山东省工业能效提升将步入高质量发展的新阶段。随着“双碳”战略的深入推进，能耗“双控”转向碳排放“双控”，工业领域能效提升将成为山东省新旧动能转换的核心驱动力之一，推动全省工业体系向绿色化、高端化、智能化方向加速转型。

未来山东省工业能效提升将呈现系统性变革特征。一方面，能源消费结构将实现深刻转型，以风光、氢能为代表的清洁能源在工业用能中的比重将持续提升，传统煤电占比迅速降低，各行业清洁高效利用技术将取得突破性进展。另一方面，产业结构优化将进入深水区，通过产能置换、兼并重组等方式，形成以大企业集团为引领、专业化配套企业协同发展的产业新生态，产业集中度和能源利用效率将同步提升。

技术创新将成为能效提升的关键支撑。随着数字技术与工业生产的深度融合，基于工业互联网的智能能效管理系统将广泛应用，实现从单点节能向全流程系统优化的跨越。同时，氢能冶金、碳捕集利用等颠覆性技术的产业化应用将取得实质性突破，为高耗能行业低碳转型提供新的技术路径。

政策体系将更加注重系统性和协同性。未来能效管理将从单一行政手段向市场化、法治化、智能化多元治理转变，碳排放权交易、用能权交易等市场化机制将发挥更大作用。监管能力将向专业化、精准化方向发展，形成覆盖全产业链的能效监测评估体系。

总体来看，山东省工业能效提升有望实现从“被动整改”向“主动创新”、从“末端治理”向“全过程管控”、从“单点突破”向“系统优化”的根本性转变，为全国工业绿色低碳发展提供可借鉴的山东经验，并在提升工业能效水平的同时，优化山东省工业竞争格局和发展基础。

关于山东财经大学中国国际低碳学院

中国国际低碳学院，作为全国第二所、山东第一所国际低碳学院，是由山东财经大学、中国电子节能技术协会、中国低碳经济发展促进会、ZEW等多家国内外高校和机构共建的创新型、产业型、开放型学院。该学院以培养具有国际视野、科学素养与人文关怀、思辨精神与交叉学科能力的低碳经济与管理人才为目标。学院依托全国低碳技术交易综合服务平台，建设山东低碳城，着力打造成服务山东高质量发展、推进中国“双碳”目标实现的特色学院。学院下设研究中心采用“8+1+1”结构。其中“8”包括：低碳战略与政策研究中心、碳足迹与碳标签研究中心、消费碳普惠研究与服务中心、绿色低碳转型研究中心、碳金融与碳管理研究中心、适应气候变化与组织韧性研究中心、碳汇管理与项目开发中心、ESG创新发展研究中心。“1”即金钥匙低碳行动中心，负责将七大中心实践工作中优秀企业做法进行教学与研究案例转化，反哺低碳人才教育。另一个“1”代表国际可持续发展人才培训中心（iSUSTAIN)。学院将始终紧跟国家政策方向、紧贴企业及社会需求，研究行业难点及痛点问题，以权威研究为相关政府部门和行业参与者提供参考，助推低碳经济发展。