



超越节能：中国工业能效的新范式与新机遇





关于落基山研究所（RMI）

落基山研究所 (Rocky Mountain Institute, RMI) 成立于 1982 年，是一家立足市场、独立运作的专业智库，致力于通过经济可行的市场化解决方案推动全球能源转型，构建繁荣、韧性、清洁的低碳未来。落基山研究所与企业、政策制定者、科研机构、创业者及跨领域伙伴广泛协作，推动战略性投资，以扩大清洁能源解决方案的规模化部署、减少能源浪费、并提升可负担清洁能源的可及性，在保障能源安全和经济效益的同时，携手共创可持续的美好愿景。目前，落基山研究所的研究和实践已覆盖全球 50 余个国家和地区。

作者与鸣谢

作者

李君、李抒苒、李婷、谢璨阳、闫榕

作者按姓名拼音顺序排列。

除非另有说明，所有作者均来自落基山研究所。

联系方式

李抒苒, sli@rmi.org

引用建议

落基山研究所，超越节能：中国工业能效的新范式和新机遇，2026，<https://rmi.org.cn/insights/china-industrial-energy-efficiency-report/>

RMI 重视合作，旨在通过分享知识和见解来加速能源转型。因此，我们允许感兴趣的各方通过知识共享 CC BY-SA 4.0 许可参考、分享和引用我们的工作。<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

除特别说明，本报告中所有图片均来自 iStock。

鸣谢

本报告特别鸣谢以下专家对报告撰写提供的洞见与建议（姓名按姓氏首字母顺序排列）：

鲍颖群 上海市能效中心（上海市产业绿色发展促进中心）工程师

范 滢 国网综合能源服务集团有限公司发展策划部主任

黄少中 中国能源研究会首席专家、双碳产业合作分会主任

刘文强 中国电子信息产业发展研究院（赛迪）党委书记、副院长

本报告所述内容不代表以上专家及其所在机构观点。

目录

前言	5
1、 全球工业能效进展：从增量改善走向系统优化.	7
1.1 能源转型驱动下能效角色的系统性升级.....	7
1.2 全球能效提升：历史成效显著，近期进展放缓	9
1.3 工业能效提升：关键作用强化但潜力尚未充分释放.....	10
2、 中国工业能效进展：持续改善与结构转型并行.	12
2.1 系统性治理体系支撑工业能效持续提升.....	13
2.2 产业内部结构优化和重点行业升级释放节能潜力	14
2.3 先进产能培育和精细化治理拓展能效提升空间	15
3、 面向 2035：中国工业能效的未来方向与战略机遇	17
3.1 从达标管理到标杆引领：激励约束协同推动产业提质升级.....	17
3.2 从单一角度到多维评价：工业用能与新型能源体系的联动优化.....	18
3.3 从单点节能到系统增效：全流程能效与循环经济协同	18
3.4 从经验管理到数智优化：数字化与智能化释放系统提效潜力	19
3.5 从企业节能到产品低碳：工业能效碳效支撑绿色供应链构建	19
4、 结语.	20
参考文献.	21

前言

1976 年，能源转型领域的重要思想奠基人之一兼落基山研究所联合创始人 Amory Lovins 在《能源战略：未选择的路？》中提出了极具开创性且影响深远的“软能源路径”：相对于集中式、大规模和资本密集型、依赖能源扩张的“硬路径”，以能效、可再生能源、与终端需求匹配为核心的“软路径”，能够以更低成本、更加安全、更具韧性的方式提供能源服务。在这一框架下，能源转型不仅是供给侧技术替代问题，也涉及效率、需求结构与系统设计的协同优化。半个世纪后的今天，这一能源战略观正在获得新的时代意义。全球能源系统面临的挑战已经不同于 20 世纪 70 年代，但能源安全与资源约束等结构性问题再次凸显：地缘冲突、能源价格波动和供应链扰动持续暴露传统能源系统的脆弱性；人工智能和数字经济加速电力需求增长。

与此同时，全球能源利用效率仍有显著提升空间。当今全球能源系统仍有近 2/3 的能源未能转化为有用能，每年给全球经济造成约 4.5 万亿美元损失，约占全球 GDP 的 5%。另一方面，今天可供选择的技术和系统工具也已发生根本性变化并面临生产力的再次巨大飞跃：清洁能源成本大幅下降，需求侧管理和智能数字化调控能力不断增强，终端能效与电气化协同所带来的复合收益也日益凸显。

面对这些变化，单纯依赖更多电厂、更多管网、更多矿产和更多大型基础设施来追赶需求增长，往往意味着更多投资、更高成本、更长周期和更大不确定性。相比之下，能效、电气化、清洁能源和需求侧管理协同推进，成为减少能源浪费、优化能源需求和释放既有系统价值的重要路径，也是应对当今能源转型挑战更快、更便捷、更经济的解决方案。其中，能效是能源系统转型中与清洁能源供给同等重要的核心杠杆。相比于供给侧技术替代路径，能效提升在资源利用与经济性方面具有显著优势：在满足同等能源服务需求的情况下，可节省一半以上的能源、水、土地及资源密集型材料投入，成本效益可提高一倍以上，部署周期缩短至供给侧方案的五分之一至十分之一；同时，预计还将在 2030 年前推动全球新增约 450 万个就业岗位，并带来广泛的经济、社会和环境效益。能效不仅仅关乎设备替换、工艺升级或单位能耗下降，更是从终端需求出发，通过更优设计、系统集成和运行优化，在提供同等能源服务的前提下降低所需能源投入，减少所需设备和基础设施规模，并使电气化和清洁能源部署更加经济、更具韧性。而这正是“软能源路径”在今天的现实含义：以设计创造更加充裕、灵活和安全的能源未来。

工业领域是能效价值最为集中体现的关键领域之一。工业部门约占全球终端能源消费的三分之一以上，工业能效水平直接影响能源需求、减排进程和工业体系运行成本。无论是钢铁、水泥、石化化工、有色金属等传统高耗能行业，还是新能源、新材料、算力基础设施等快速发展的新兴产业，能效提升都不再只是降低能耗的技术问题，而是推动工业体系绿色升级、提升产业链韧性和带动全经济领域转型的关键支撑。

迄今中国工业能效的发展进程，为观察这一全球性命题提供了重要样本。作为全球重要的工业大国和制造业大国，中国在过去几十年中持续推进节能降耗、淘汰落后产能、提升重点行业能效水平和优化产业结构，并在多个重点用能行业形成了可复制、持续的能效提升实践。这为理解超大规模工业体系如何持续挖掘效率潜力、降低转型成本、强化绿色供应链构建提供了重要实例参考。

面向“十五五”和 2035 年，中国工业能效进入新阶段。随着碳达峰进入决胜期，新型工业化加快推进，新型能源体系与绿色制造体系耦合发展，工业企业面临的能效、碳排放、产品碳足迹和供应链低碳要求将持续强化。2026 年 5 月 18 日印发、6 月 15 日由国家发展改革委、工业和信息化部、生态环境部、国务院国资委和国家能源局五部门发布的《关于开展重点行业节能降碳改造攻坚三年行动的通知》释放出明确信号：工业能效提升正在从一般性节能改造转向以能效基准约束和标杆水平引领为核心的系统攻坚，低效产能将加快改造升级或有序退出，资源要素也将进一步向高效产能集聚。

这也是本报告的出发点。报告系统回顾中国工业能效发展的主要历程、实践成效与经验逻辑，分析其从节能降耗、设备改造向标准引领、系统提升和绿色供应链构建演进的关键变化，并展望工业能效在能源安全、碳达峰碳中和、新型工业化和绿色供应链构建的战略价值。

从 Amory Lovins 提出“未被选择的道路”到今天，RMI 始终致力于推动全球能源系统转型。提升效率、减少浪费、以更少资源创造更高价值，构成了这一转型路径中的关键杠杆。中国工业能效的发展，正在为这一理念提供来自超大规模工业体系的现实注脚。中国工业能效实践的意义，不仅在于继续释放中国绿色低碳转型中的效率潜力，也在于为全球特别是广大发展中国家的工业部门，探索兼顾增长、减排与经济韧性的转型路径提供重要经验参照。

1、 全球工业能效进展：从增量改善走向系统优化

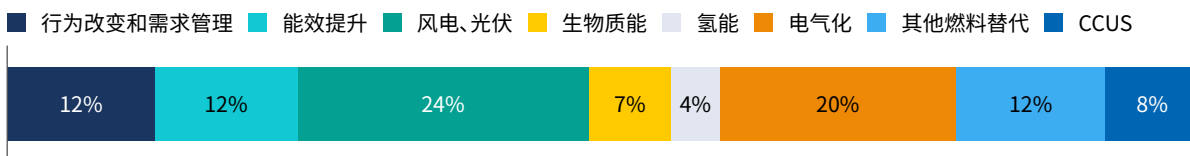
1.1 能源转型驱动下能效角色的系统性升级

在当前全球贸易与产业格局调整加深、低碳转型提速的背景下，能效不再只是技术选项，而是直接影响能源安全、绿色供应链构建与转型进程的关键决定因素。能效直观反映了经济活动中的能源利用水平。能效提升意味着在相同的经济产出下，实现更低的能源投入、更低的成本和更低的环境影响与碳排放。因此，能效既是评估资源配置效率与经济结构的重要指标，也是衡量可持续发展能力的关键维度。然而，当今全球能源系统仍有近 2/3 的能源未能转化为有用能，这相当于造成了高达 4.5 万亿美元的经济损失¹。这一效率缺口本身，构成了能源转型中最直接且成本最低的潜在空间。

在能源转型背景下，能效正从效率指标转变为绿色供应链构建与塑造能源安全格局的核心变量。提升能效意味着企业能以更少的能源资源消耗、更低的成本创造更大的经济价值，从而在市场竞争中占据优势。对于国家和地区而言，提升能效更具有维护能源安全的战略价值。2023 年，全球仍有 50 个国家超过 50% 的一次能源需求依赖进口化石能源来满足，3/4 的人口生活在化石能源净进口国²。对于能源对外依存度较高的国家而言，提升能效是削减能源进口、保障经济社会平稳运行和产业链供应链韧性的战略机遇。

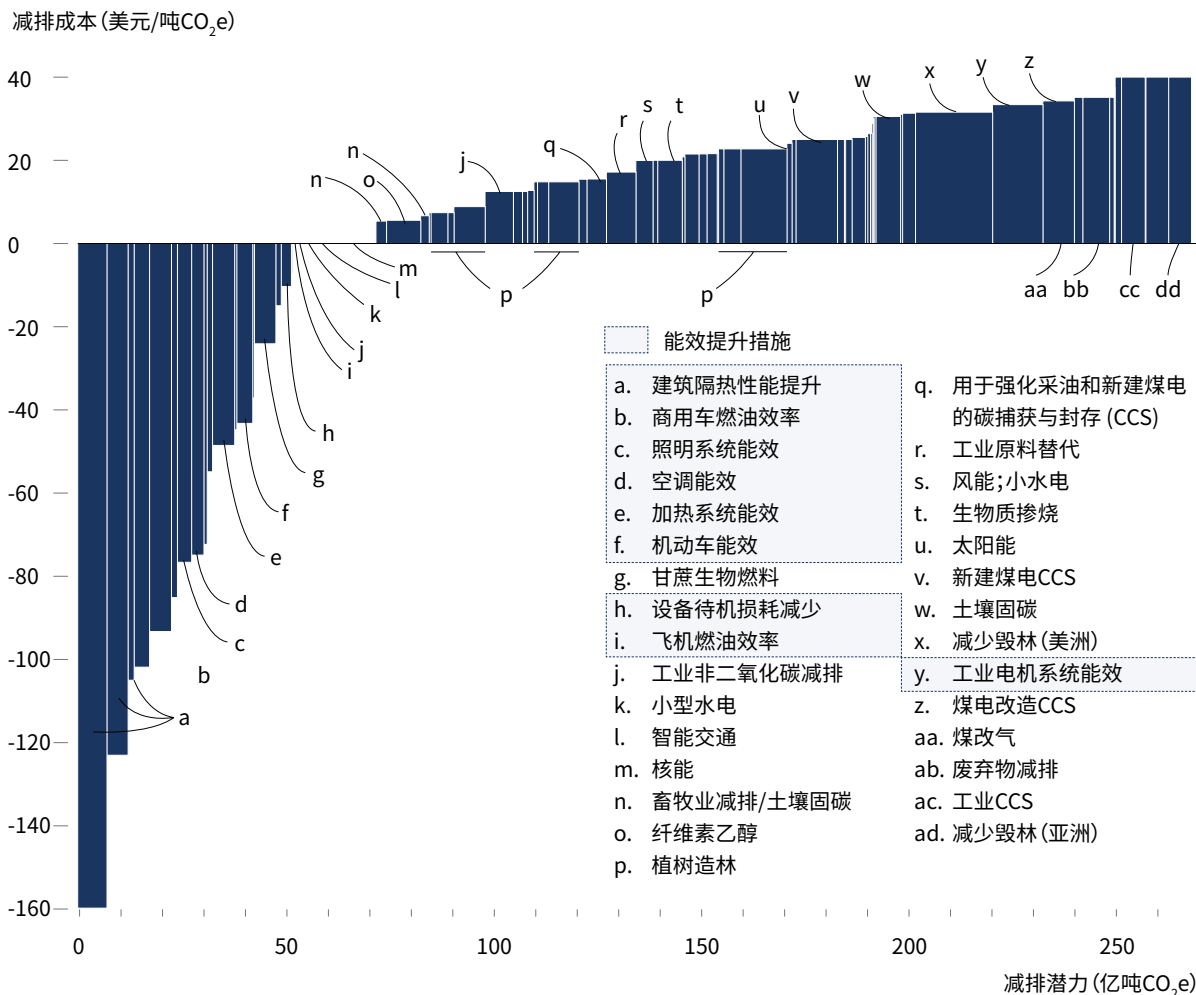
随着全球迈向低碳发展路径，提升能源效率始终是转型的“第一选择”和“无悔选择”。在化石能源仍然占主导的能源消费结构下，提升能效意味着减少每单位能源消费产生的温室气体排放，而因为能效提升既能在短时间内获得明显减排成效，又能直接减少能源浪费和节约能源成本，因此能效提升长期以来被认为是潜力可观的低成本减排措施。在国际能源署（IEA）给出的全球到 2050 年实现净零排放的情景（即 NZE 情景）下，能效提升无论是在近中期（2030 年前）还是长期（2030–2050 年）都将是重要的减排措施，累计贡献约 12% 的减排量（图表 1）³。在成本方面，麦肯锡 2007 年发布的全球温室气体边际减排成本曲线中，能效提升措施大多集中在曲线左侧，其边际减排成本极低甚至为负，即能同时实现减排和收益增加（图表 2）⁴。

图表 1 NZE 情景下到 2050 年各类措施的累计碳减排贡献



来源：IEA

图表 2 基准情景下全球温室气体边际减排成本曲线



来源：McKinsey & Company

在电力需求快速增长的背景下，能效是缓解电网压力、替代部分供给侧投资最具成本效益的路径。面对快速增长的电力消费需求，对可再生能源发电能力和电网的投资也在随之扩张，以平衡电力供需，然而上述供给侧解决方案面临投资成本高、建设周期长等因素制约。相比之下，提升终端用能部门能效是更为直接、更具性价比的需求侧管理措施。为了满足 1MWh 的用电需求，若新增发电能力和电网投资，其成本在 30-150 美元之间，所需建设时间可长达数年；而能效提升措施能以不到一半的投资成本和不到一年的部署时间满足同样的用电需求⁵。随着可再生能源在电力系统中的占比不断提升，将能效提升等需求侧措施与供给侧措施协同有望助力高效率、低成本的电力系统转型。

能效提升还具有更广泛的社会效益，让所有人享有更充裕、更可负担、更公平的能源服务并且提升生活质量。企业采用节能高效生产方式降低的生产成本，意味着利润空间的增加和生存能力的增强，进而助益于经济活力的提升。家庭采用更节能的出行方式和电器设备、居住于更节能的建成环境，将直接减少能源浪费，削减能源支出，提升生活质量。能效提升也将使现代能源服务延伸至农村、偏远或边缘化社区变得更加经济可行，从而在更大范围内实现能源公平。

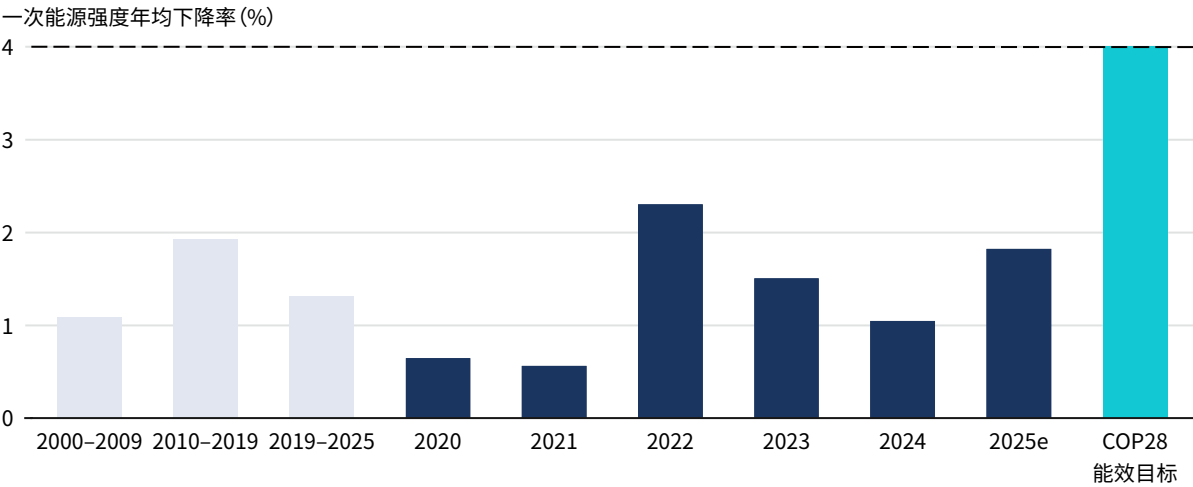
1.2 全球能效提升：历史成效显著，近期进展放缓

正因提升能源效率具备安全、经济、气候多方面的效益，国际社会始终将提升能效作为可持续发展的核心目标之一。联合国可持续发展目标 7.3 提出“到 2030 年，全球能效改善率提高一倍”，以确保人人获得负担得起的、可靠和可持续的现代能源。在联合国气候变化大会 COP28 上，133 个国家签署了“全球可再生能源与能效承诺”，目标是到 2030 年将全球能效提升速度翻一倍，达到每年 4% 的水平，并承诺将能效置于政策制定、规划和投资决策的核心位置。

在各国的共同努力下，全球能效在 21 世纪稳步提升，并为各国带来了巨大的经济和气候效益。IEA 的分析显示，全球一次能源强度ⁱ年均下降速度从本世纪第一个十年（2000–2009 年）的 1% 左右上升至第二个十年（2010–2019 年）的 2% 左右。自 2000 年以来，能效改善措施避免了发达经济体 20% 的化石燃料进口以及 20% 的家庭能源支出；若无这些措施，全球温室气体排放将比当前高出 20%⁶。

近年来，全球能效提升进程显著放缓。一方面，全球经济增长动能减弱，经济增速由 2010–2019 年的平均 3.0% 下降至 2019–2025 年的平均 2.6%ⁱⁱ。另一方面，能源供给增长仍具韧性，2019–2025 年全球一次能源供应增速维持在每年约 1.4%，与前一十年水平基本持平。综合上述双重因素，2019–2025 年全球一次能源强度年均降幅收窄至约 1.3%，较 2010–2019 年近 2% 的水平有所回落⁶，距离 COP28 提出的年均 4% 的目标仍有一定差距（图表 3）。

图表 3 全球一次能源强度提升情况



i 一次能源强度等于一次能源供应量与国内 / 地区生产总值之比。
ii 基于世界银行数据计算。

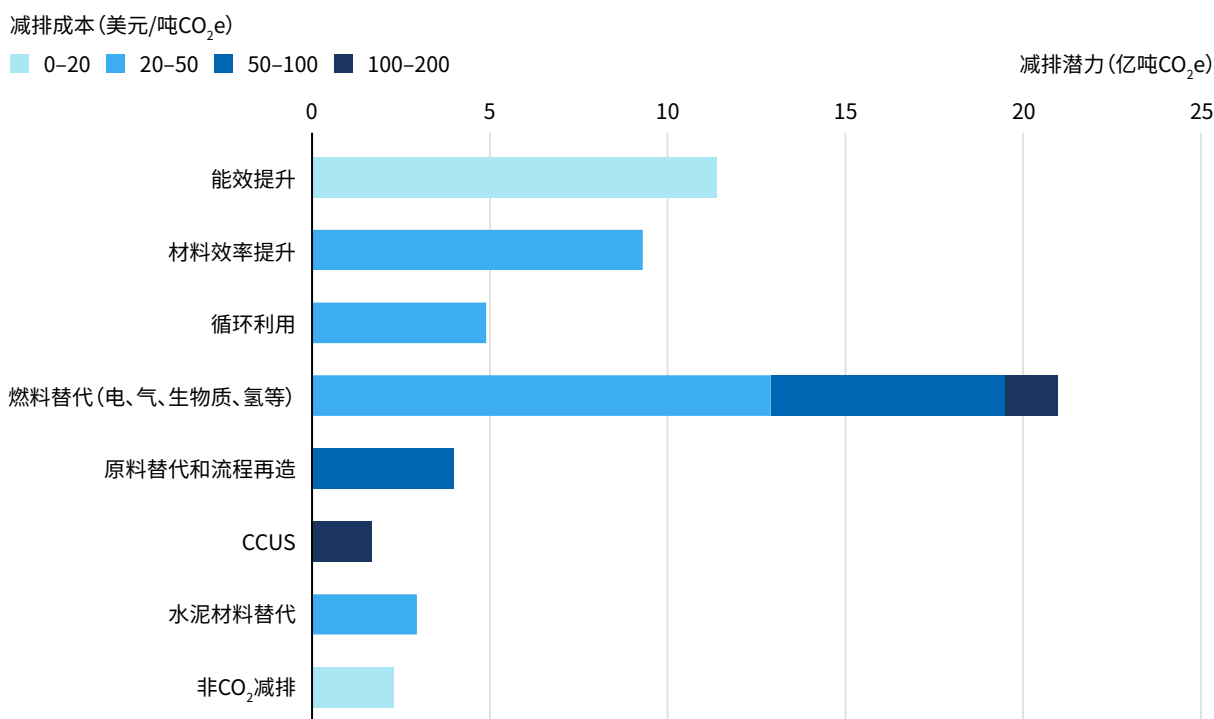
1.3 工业能效提升：关键作用强化但潜力尚未充分释放

工业是全球能源消费与碳排放的重点部门，因此工业能效提升对能源转型尤为关键。全球工业部门占终端能源消费总量和能源相关碳排放的 30% 以上，而 2019 年以来，全球终端能源需求增量的 2/3 都来自于工业部门⁶。工业部门的巨大体量决定了其能效提升进展将对全球整体的能源需求、能效以及碳排放趋势产生关键影响。

在工业领域，不同行业的能耗特征存在明显差异。以钢铁、水泥、石化化工、电解铝等为代表的传统高耗能产业消耗大量化石燃料用于燃烧为锅炉供能、加热原料或为其他工序提供动力，此外化工行业消耗的化石燃料有 70% 作为原料ⁱⁱⁱ。这些产业呈现出能耗总量和强度“双高”的特征。相比之下，新一代信息技术、新能源、高端装备制造等新兴产业的能耗总量虽然占比较低，但是具有高电耗的特征。

在工业部门深度脱碳的技术选择中，能效提升是成本较低、减排潜力较大的选项。从减排成本来看，在八类工业减排技术中，能效提升的减排成本低于 20 美元 / 吨 CO₂e。相比之下，仅有非二氧化碳减排技术的减排成本与之相当，提升材料效率、循环利用、燃料替代的减排成本高于 20 美元 / 吨 CO₂e，原料替代和流程再造的成本高于 50 美元 / 吨 CO₂e，而 CCUS 的成本甚至高于 100 美元 / 吨 CO₂e（图表 4）。从减排潜力来看，能效提升到 2030 年的减排潜力超过 10 亿吨 CO₂e，仅次于成本更高的燃料替代⁷。可见，能效提升仍应成为工业部门低碳转型的优先技术选项。

图表 4 2030 年工业部门脱碳技术减排成本与减排潜力



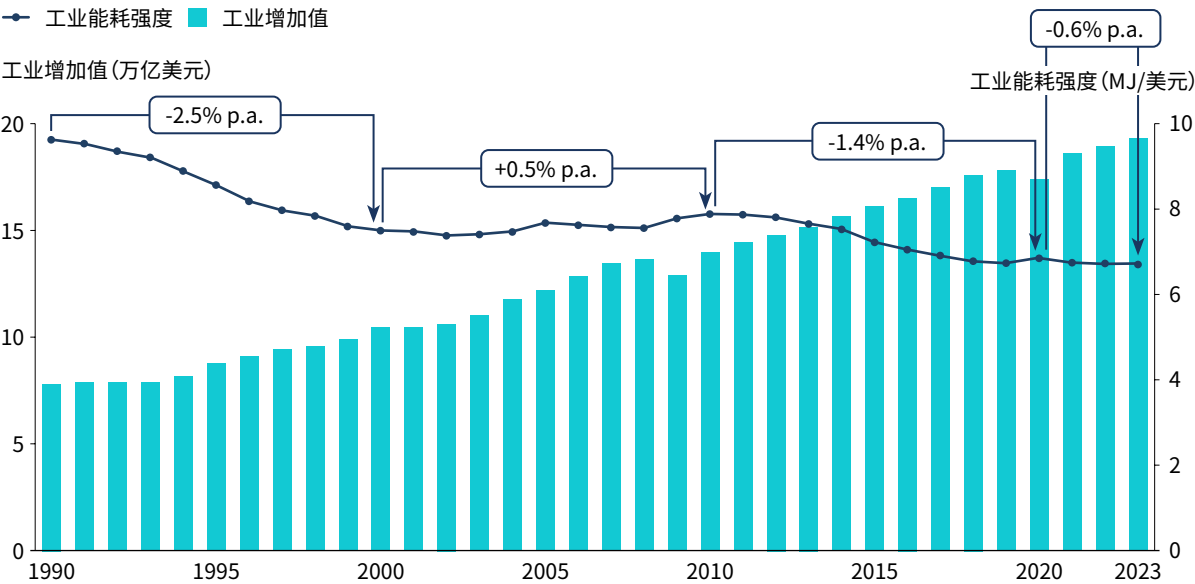
来源：IPCC

注：每种技术的减排潜力是指，相较于反映 2015–2019 年期间现有政策的排放基准情景，该技术到 2030 年所能实现的温室气体净减排量。

iii 基于 IEA 世界能源平衡表数据计算。

全球工业部门的能效提升已经取得显著进展。从1990年到2023年，全球工业能耗强度从9.65 MJ/美元下降至6.69 MJ/美元，降幅累计达到31%。能效提升使得全球工业增加值在增长了1.5倍的同时，能耗仅增长了70%。工业能效的提升速度在不同时间阶段有明显差异，从1990年到2000年，能耗强度以年均2.5%的速度持续下降，但在接下来十年里有小幅反弹（年均增速0.5%）。2010年后，能耗强度重新进入下降轨道，其中2010-2020年以年均1.4%的速度稳步下降，而2020年后的下降速度有所放缓（年均下降0.6%）。

图表 5 全球工业增加值与能耗强度^{iv}变化（1990–2023）



来源：IEA、UNIDO、RMI 分析

面向未来，工业能效的进一步提升正面临两个客观的趋势性与结构性因素。一是工业能源需求预计将保持韧性增长。2019年以来，全球工业终端能耗年均增速攀升至2%，高于2010–2019年间的1.7%^v。一方面，传统高耗能产业作为工业基本盘，能耗仍将在未来一段时间内维持高位；另一方面，新兴产业（如高技术装备制造、新能源制造等）正迎来爆发式增长，将成为拉动工业部门电力消费激增的主力。二是节能潜力逐步收窄。随着前期各项能效提升措施与行动的持续落地，属于“低垂果实”的节能空间正逐步释放，工业能效提升不可避免地面临边际效益递减的拐点。因此，从过去的单项技术改造转向系统性、整体性能效优化，是突破当前瓶颈的必然趋势，也是下一阶段的行动重点。

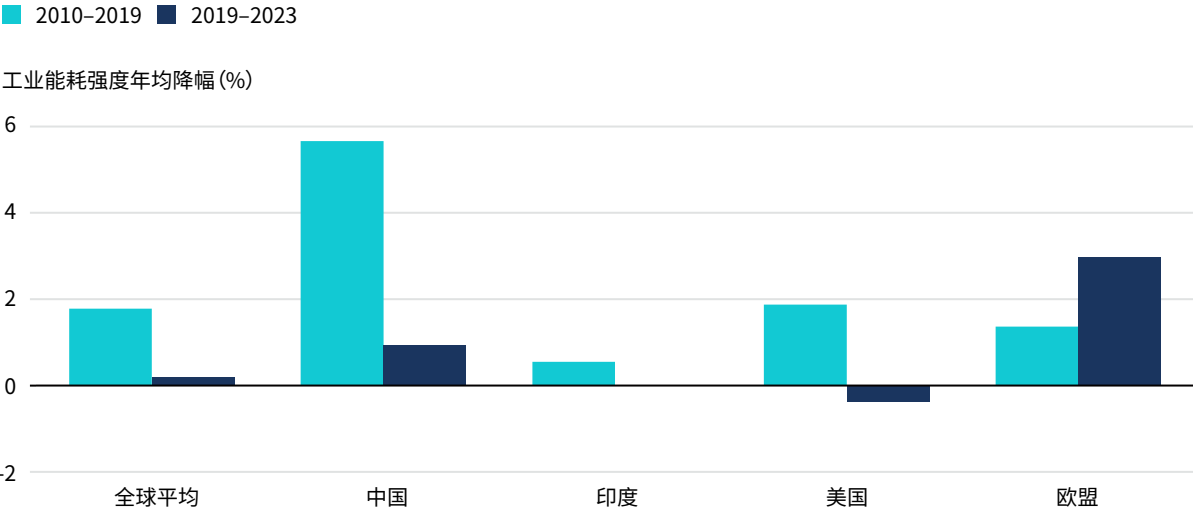
^{iv} 工业能耗强度为工业部门终端能源消费总量与工业增加值（2020年不变价美元）的比值。
^v 数据来源于 IEA 世界能源平衡表。

2、中国工业能效进展：持续改善与结构转型并行

作为全球最大的工业经济体之一，中国的能效提升体现出“以较低能源投入支撑较快经济增长”的典型特征。2013 年至 2023 年，全国能源消费年均增长约 3.2%，支撑了约 6% 的经济增长；同期能耗强度累计下降 26.1%，降幅在主要经济体中处于较快水平⁸。十年间累计节约能源消费约 14 亿吨标准煤，减少二氧化碳排放约 30 亿吨⁹。整体来看，能源强度的持续下降已成为支撑经济增长与排放约束并行的重要基础。

这一趋势在工业领域尤为明显。自 2010 年以来，中国的工业部门能耗强度下降速度显著高于全球平均水平及美国、印度等经济体（图表 6）。2010 至 2019 年间，年均降幅超 5%；此后虽有所放缓，但仍然高于全球平均水平。这一进展是产能结构调整、技术迭代、能耗双控制度及系统性节能改造多重因素共振的结果，反映出工业能效提升经历了从单一设备或工艺升级向“结构调整 + 系统优化”综合模式的深刻转变。

图表 6 全球和部分国家工业部门能耗强度变化趋势



来源：IEA

中国工业能效发展呈现出三个重要特征：一是持续建立并完善系统性治理体系，使能效提升从单点技术问题转变为可持续推进的系统性治理实践；二是通过产业内部结构调整和重点行业升级释放系统性节能潜力；三是治理重点不断向重点工艺、重点设备和先进产能拓展，从降低行业平均能耗转向优化行业内部效率分布，提高标杆产能比重并压减低效产能。这三个特征为理解和分析当前和未来的工业能效发展提供了重要基础。

2.1 系统性治理体系支撑工业能效持续提升

中国工业能效提升的核心特征，在于通过持续制度建设形成了一套覆盖战略规划、目标管理、标准体系、监督管理、市场机制和技术创新等多个层面的系统性治理体系。工业能效提升因此不仅依赖于先进技术的研发和应用，更依赖于治理体系持续推动技术扩散、资源优化配置和企业行为转变。

自 2006 年以来的 20 年间，中国在连续四个五年规划中，将节能和能效提升纳入国家发展战略，并围绕规划目标、责任落实、标准建设、监督管理和市场激励不断完善制度设计。在此基础上，约束性节能目标进一步通过国家、省级和重点行业逐级分解落实，并纳入地方政府绩效考核体系，形成了覆盖政策制定、实施、监督和反馈全过程的治理闭环。

中国工业能效治理体系的主要组成可概括为图表 7。

图表 7 中国工业能效治理体系的主要环节与政策工具

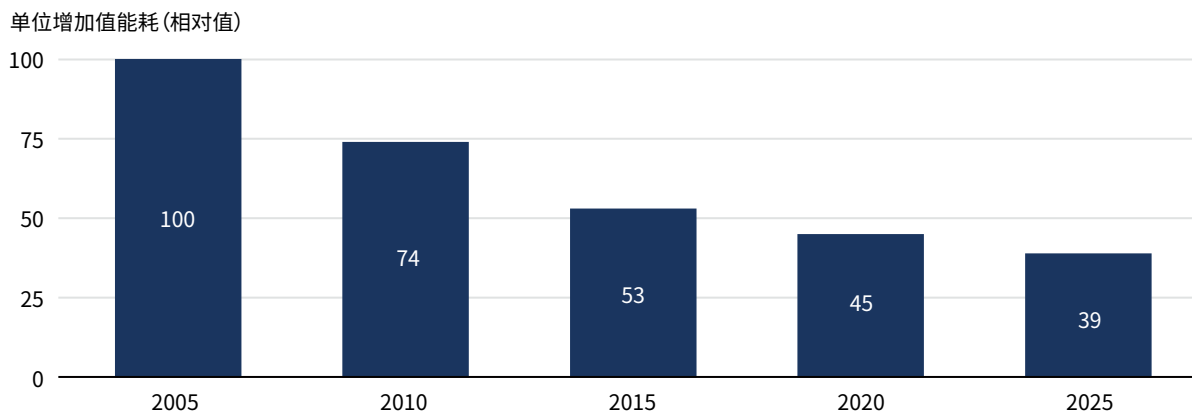
治理环节	主要政策和实施工具	主要作用
战略规划与目标设定	五年规划、工业节能专项规划、节能降碳行动方案、能耗约束性目标	明确中长期目标、重点行业和阶段性任务，确立政策连续性
目标分解与责任落实	目标责任制、地方与行业目标分解、重点用能单位管理、绩效考核	推动国家目标逐级落实，明确实施主体及其责任
标准体系与准入约束	单位产品能耗限额、设备能效标准、能效标杆与基准水平、项目节能审查	设定最低能效要求和先进水平，引导项目准入、设备更新和产能优化
监测与监管体系	能源统计和报送、节能监察、执行情况评估	监测政策和标准执行情况，识别低效环节并推动整改或退出
经济激励与市场机制	财政支持、差别化电价、合同能源管理、绿色金融	降低企业节能改造成本，缓解资金约束
技术推广与能力建设	节能技术目录、先进设备推广、能源管理体系、数字化能源管理、专业服务机构	加快先进技术规模化应用，提升企业持续识别和实施节能项目的能力

来源：RMI 分析

这些工具共同将节能目标转化为企业投资决策和生产行为：目标责任制实现跨层级传导，标准和监管形成约束，经济激励和市场机制降低节能改造成本，技术和服务体系加快先进技术扩散和项目落地。同时，节能改造需求催生节能服务产业，为企业提供专业化改造方案和技术支持，进一步促进节能技术、产品和服务的规模化应用。

治理体系的持续完善，推动节能目标转化为实际成效，并支撑工业发展从高能源投入向效率驱动转变。“十一五”期间，全国规模以上万元工业单位增加值能耗由 2005 年的 2.59 吨标准煤下降至 2010 年的 1.91 吨标准煤，五年累计下降 26%，实现节能量 6.3 亿吨标准煤；“十二五”时期，规模以上工业单位增加值能耗进一步累计下降 28%，实现节能量 6.9 亿吨标准煤；“十三五”时期，规模以上工业单位增加值能耗累计下降 16%，粗钢、粗铜、氧化铝等重点产品综合能耗持续下降。最新数据显示，“十四五”期间，我国规模以上工业单位增加值能耗预计下降超 13.5%。

图表 8 全国规模以上工业单位增加值能耗变化（2005–2025）



来源：工业节能“十二五”规划、工业绿色发展规划（2016–2020 年）、“十四五”工业绿色发展规划、公开信息整理、RMI 分析

中国经验表明，工业能效提升本质上是一项治理工程，其核心不在于单项技术突破，而在于建立能够约束和激励市场主体行为、推动技术扩散并促进系统优化的制度体系。随着低成本节能潜力收窄，治理重点将从单向设备和工艺转向跨部门协同、系统优化和需求侧资源整合。持续完善多主体协同和技术扩散机制，将是释放下一阶段能效潜力、加速工业绿色发展的关键。

2.2 产业内部结构优化和重点行业升级释放节能潜力

系统优化是中国工业能效提升最重要的特征之一。过去二十年，中国工业能效提升不仅来自企业技术改造，也来自产业内部结构调整、重点行业升级和生产组织优化。相比于单项设备更新，这些措施覆盖更广、持续更久，产生了更大规模的节能效益。

产业内部结构调整是工业系统优化的重要组成部分。随着重化工业快速发展，高耗能行业长期集中了工业部门的大部分能源消费，提高工业能效不仅需要设备更新和技术改造，更需要推动落后产能退出和先进产能替代。自“十一五”以来，中国持续推进钢铁、煤炭、水泥、平板玻璃等行业淘汰落后产能，并在“十三五”时期将化解过剩产能作为供给侧结构性改革的重要任务。2013 年，国务院印发《关于化解产能严重过剩矛盾的指导意见》，首次将钢铁、水泥、电解铝、平板玻璃等行业列为化解产能严重过剩矛盾的重点行业，工业去产能由行业调控逐步上升为国家层面的战略部署。世界银行相关研究估算，2006–2016 年，通过淘汰落后产能累计形成节能量约 3.26 亿吨标准煤，相当于 2016 年工业能源消费总量的 11.2%¹⁰。随后，钢铁、煤炭等行业陆续出台专项政策，将去产能目标细化到具体行业和规模，工业去产能进入全面实施阶段。“十三五”时期，钢铁行业累计化解过剩产能 1.5 亿吨以上，“地条钢”实现全面出清；水泥行业累计退出过剩产能约 3 亿吨，煤炭、电解铝、平板玻璃等行业内部的供给结构持续优化。落后产能退出和先进产能替代，使能源、资本和生产能力持续向高效率企业和先进工艺集中，提升了工业系统整体资源配置效率。

重点行业的工艺升级、关键用能设备更新和先进产能建设，则是工业系统优化的另一条主线。在优化产业内部结构的同时，中国将政策资源集中于钢铁、有色、石化化工和建材等能耗高、减排潜力大的重点行业，逐步形成行业专项规划、单位产品能耗限额标准、重点技术改造和重点企业行动相结合的治理模式，从而实现工业整体能效提升。”“十一五”时期实施的十大重点节能工程也优先布局于这些行业，重点推进锅炉改造、余热余压利用和电机系统优化。

在这两条主线推动下，重点行业单位产品能耗持续下降（图表 9）。其中，吨钢综合能耗由 2010 年的 605 千克标准煤下降至 2020 年的 560 千克标准煤；水泥熟料综合能耗由 115 千克标准煤下降至 105 千克标准煤；电解铝液

交流电耗由 14013 千瓦时 / 吨下降至 13200 千瓦时 / 吨；乙烯和合成氨综合能耗也持续下降。在 2024 年发布的一系列行业节能降碳专项行动计划中，也进一步提高了对重点行业单位产品综合能耗的要求，例如要求到 2025 年底，钢铁行业吨钢综合能耗比 2023 年降低 2% 以上，水泥熟料单位产品综合能耗比 2020 年降低 3.7%。

图表 9 **重点行业单位产品能耗变化**

行业	指标	2010	2015	2020
钢铁	吨钢综合能耗 (kgce/t)	605	572	560
建材	水泥熟料综合能耗 (kgce/t)	115	112	105
有色	电解铝液交流电耗 (kWh/t)	14013	13350	13200
石化	乙烯综合能耗 (kgce/t)	886	816	790
化工	合成氨综合能耗 (kgce/t)	1402	1331	1300

数据来源：工业节能“十二五”规划、工业绿色发展规划（2016–2020 年）、RMI 分析

产业内部结构优化和重点行业升级将能效提升从企业技术改造扩展到行业供给结构和资源配置优化，也为更精细、更高质量的工业能效治理奠定了基础。

2.3 **先进产能培育和精细化治理拓展能效提升空间**

中国工业能效治理的另一个显著特征，是将先进产能培育作为能效精细化治理的引领。经过“十一五”、“十二五”和“十三五”连续三个五年规划周期的节能改造和结构优化，重点行业平均能耗持续下降，普遍性改造的边际空间逐步收窄。治理重点因此转向提高标杆产能比重、压减低效产能，并推动先进节能技术规模化应用，逐步优化行业内部效率结构。

在这一阶段，中国逐步形成了以高耗能行业重点领域能效标杆水平和基准水平为核心的政策框架，并以此指导重点行业节能降碳改造和低效产能退出。2021 年，国家发展改革委等部门发布《高耗能行业重点领域能效标杆水平和基准水平（2021 年版）》，针对钢铁、炼油、乙烯、电解铝、水泥熟料、合成氨等重点行业划定能效标杆水平和基准水平；随后，《高耗能行业节能降碳改造升级实施指南（2022 年版）》进一步提出，到 2025 年重点行业标杆水平以上产能比例显著提高，基准水平以下产能基本完成技术改造或退出。

标杆水平代表行业先进能效，用于引领先进产能发展；基准水平是最低要求，用于识别改造和退出对象。两者与节能降碳改造、项目准入与设备更新相衔接，形成“标杆引领—基准约束—改造升级”的差异化管理机制，并将节能目标进一步落实到企业和产能层面。

目前，行业内部效率结构还有较大优化提升空间。截至 2020 年底，重点行业达到标杆水平的产能占比总体仍然较低（图表 10）。例如，钢铁行业高炉工序和转炉工序达到标杆水平的产能占比分别仅为 4% 和 6%，水泥熟料行业为 5%，电解铝行业为 10%，乙烯行业约为 20%；与此同时，部分行业仍有 20%–30% 左右产能低于基准水平。基于这一情况，《高耗能行业节能降碳改造升级实施指南（2022 年版）》提出了钢铁、石化化工、电解铝、水泥等行业能效标杆水平以上产能占比达到 30% 的目标，2024 年发布的《2024–2025 年节能降碳行动方案》则再次重申这一目标。

2026 年公开信息显示，粗钢、电解铝、水泥熟料、平板玻璃等重点行业达到能效标杆水平的产能占比仍不足 30%，部分行业仍有超过 10% 的产能低于能效基准水平。因此，2026 年发布的《关于开展重点行业节能降碳改造攻坚三年行动的通知》提出，到 2028 年底，钢铁、电解铝、水泥、乙烯、合成氨等重点行业达到现行能效标杆水平的产能比例平均提高 20 个百分点，能效基准水平以下产能基本清零。

随着重点行业平均能耗持续下降，普遍性节能改造的边际空间逐步收窄。《关于开展重点行业节能降碳改造攻坚三年行动的通知》的出台部署了重点工序和装置改造升级、用能设备更新以及能源消费绿色化、低碳化等重点工作。工业能效治理正由普遍性改造转向先进技术扩散和效率结构优化。

图表 10 重点行业能效标杆水平产能占比及提升目标

行业	2020 年标杆水平以上产能占比	2020 年基准水平以下产能占比	2025 年目标
钢铁(高炉)	4%	30%	标杆以上产能达到 30%， 基准以下基本清零
钢铁(转炉)	6%	30%	
水泥熟料	5%	24%	
电解铝	10%	20%	
乙烯	20%	30%	标杆以上产能达到 30% 以上
合成氨	7%	19%	标杆以上产能达到 15%， 基准以下基本清零

来源：高耗能行业节能降碳改造升级实施指南（2022 年版）、RMI 分析

3、 面向2035：中国工业能效的未来方向与战略机遇

“十五五”是我国实现 2030 年前碳达峰目标的关键窗口期。工业体系既要通过总量控制和结构优化支撑达峰，也要为 2030 年后的深度转型积累技术、制度和能力基础。

面向 2035 年，随着新型能源体系加快建设、碳排放双控制度逐步实施以及产业结构和布局持续优化，工业能效提升不仅要支撑传统高耗能产业节能降碳改造和新兴产业高起点布局，也要为更长周期的系统降本、资源循环和低碳发展建设奠定基础。工业能效的战略意义将进一步拓展，成为影响产业治理和资源要素配置、能源系统协同、资源循环利用和供应链韧性的重要变量。

3.1 从达标管理到标杆引领：激励约束协同推动产业提质升级

在碳达峰碳中和目标引领下，随着重点行业平均能耗水平持续下降，工业能效治理重点将从满足最低能耗要求，转向优化行业内部效率结构，重点扩大先进产能比重以及改造和退出低效产能，进一步释放重点行业节能降碳潜力。

从近两轮重点行业稳增长政策看，能效标准更加深度嵌入产业提质升级。2023–2024 年，钢铁、建材、石化化工等行业政策已将能效提升纳入绿色改造、技术装备升级和节能降碳。到 2025–2026 年，能效要求进一步与质量、环保、安全、设备、产品结构及数字化能力等标准协同，成为产业结构调整的重要依据。

更重要的是，节能提效与降碳要求加快融合。重点行业不仅要关注单位产品能耗、重点用能设备效率和能效标杆水平，也将更加重视碳排放和可再生能源消费表现。能效、碳效和清洁能源消费要求将共同影响项目准入、产能置换、行业对标、金融支持和市场竞争。

近期重点行业节能降碳改造攻坚行动进一步强化了这一方向：到 2028 年底，钢铁、电解铝、水泥、平板玻璃、炼油、乙烯、合成氨、甲醇等重点行业达到现行能效标杆水平的产能比例平均提高 20 个百分点，煤电行业力争提高 15 个百分点，能效基准水平以下产能基本清零，累计形成节能量 1 亿吨标准煤以上、减排二氧化碳 2 亿吨以上。此外，节能降碳改造也将与中央投资支持、差别化电价、碳市场、金融支持等工具衔接，推动工业能效治理由单一技术改造转向多领域政策协同。

这一做法延续了中国工业节能治理中激励与约束协同的经验。从千家企业节能行动、万家企业节能低碳行动到重点用能单位“百千万”行动，再到当前的能效标杆和基准管理，约束性政策持续推动企业将能效提升纳入投资和生产决策；“两新”、中央投资、价格机制、合同能源管理等工具则为企业节能降碳改造提供了资金和商业模式支持。

面向“十五五”和 2035 年，能效水平较低、改造潜力有限且安全环保风险较高的产能将面临更严格约束；能效碳效表现更优、工艺和产品更先进的企业，则更有可能在项目、融资、用能保障和市场竞争中获得优势。

3.2 从单一角度到多维评价：工业用能与新型能源体系的联动优化

随着非化石能源占比提升、电气化进程加速以及新型电力系统建设，工业部门将进一步提升高效用能、清洁用能、灵活用能和协同用能水平。工业能效评价也将从设备和工序效率，拓展至清洁能源利用、负荷灵活性和园区系统协同。

这一变化首先体现在工业用能结构上。传统高耗能行业将更多采用电气化替代、余热余压利用、绿电、储能与柔性负荷管理，以降低能耗和碳排放强度。难以直接电气化的高温热、还原剂和化工原料环节，可转向绿氢、绿氨、绿色甲醇等低碳燃料，但其成本和供给约束意味着终端能效提升仍是降低转型成本的重要前提。

这一变化也体现在工业负荷特性上。随着新型电力系统建设推进，工业用能侧的调节价值将更加突出。需求响应、虚拟电厂、新型储能、智能微电网将使工业企业和园区从单纯的用能主体，逐步成为可监测、可响应、可聚合的需求侧资源。在保障生产稳定的前提下，企业可通过负荷管理、生产调度优化和数字化管理，更多参与削峰填谷、绿电消纳和需求响应。

这一变化还将影响产业布局和新增用能需求管理。新型能源体系建设“十五五”规划提出“能源开发与用能产业协同布局”，推动电力和先进制造业、算力、氢能等产业融合发展，促进能源资源就地就近转化利用；同时提出推动算力中心等新兴产业、有绿电消费比重要求的重点用能行业、有绿电溯源需求的出口企业建设绿电直连项目，鼓励工业园区、零碳园区、增量配电网等拓展多用户绿电直连场景。对于算力、新材料、新能源装备、动力电池和氢能等新增用能需求增长较快的产业，高起点布局的关键不仅在于采用高效或超高效设备，更在于从规划阶段统筹选址、绿电、储能、热力系统、负荷管理和园区协同，避免高能耗、高碳排放和低灵活性锁定。

3.3 从单点节能到系统增效：全流程能效与循环经济协同

随着设备更新和能效标准持续提升，单台设备和单一工序优化的边际潜力逐步收窄。工业节能仍然需要关注锅炉、电机、风机、水泵、压缩机等重点用能设备，但更大潜力将来自生产功能、工艺流程、设备配置、能源梯级利用和物料循环的整体优化。

这一思路与 RMI 长期倡导的系统效率和整合设计理念高度一致。Amory Lovins 强调，应从最终用途出发，优先思考需要实现的功能和应用场景，再选择相应设备；优先降低需求和提升效率，再考虑能源供给；优先采用被动式、简化的系统设计，再采用主动设备和复杂技术。对应到工业领域，系统效率提升需要更多关注工艺流程、公用工程、设备连接和运行管理之间的关系。例如，在蒸汽、压缩空气、供热供冷、泵与风机等常用公用工程和动力系统中，供需匹配和协同运行往往比单机提效释放更大潜力。

工业能效的系统边界也将进一步延伸到材料和资源循环。钢铁、有色、石化化工、建材等基础材料行业的能耗不仅取决于生产设备和工艺，也取决于原料结构、材料利用率和资源循环水平。面向“十五五”，提高废钢、再生铝等再生资源使用，促进工业副产物、固废和水资源循环利用，可减少原生高耗能材料需求，降低全生命周期能耗和碳排放并增强资源安全。据测算，每用 1 吨废钢可相应少消耗约 1.6 吨铁精矿粉、0.4 吨焦炭或 1 吨原煤¹¹。

园区是协同推进系统增效、资源循环和低碳转型的重要载体。相较单个企业，园区能够统筹绿电、供冷供热、余热余压、再生资源和公共设施，促进企业间能源流、物流和碳流协同。依托完整工业体系、装备制造能力和多样化园区场景，中国可通过零碳园区整合工艺流程优化、高效设备部署、能量梯级利用、资源循环和产业共生，并以公共基础设施、物料循环系统和碳管理平台协调多方企业主体参与，在更大系统边界内同时降低能源成本、原料成本和碳排放，探索规模化、低成本的工业减碳路径。

3.4 从经验管理到数智优化：数字化与智能化释放系统提效潜力

数字化与人工智能为识别工业中的系统性损失提供了重要工具。钢铁、石化化工等流程工业的能效损失往往存在于工艺流程、公用工程、生产调度和设备运行之间的复杂耦合关系中。工业互联网、能碳管理、数字孪生、智能控制等技术发展，可帮助企业精准识别能效损失环节，优化负荷分配、工艺参数和设备运行，推动能效管理从单点监测和事后统计转向实时诊断和协同优化，从而释放传统节能改造难以覆盖的系统性提效潜力。

此外，数智化技术不仅能提升能源管理的精细化水平，还将推动企业从“单一节能管理”走向“能碳协同管理”。随着碳排放双控、产品碳足迹和绿色供应链要求不断强化，企业需要建立更加透明、可追踪、可核算的能碳管理体系。数字化平台可以链接能源消费、碳排放、绿电使用与工序效率，为能效对标、碳足迹核算、产品低碳管理和供应链协同提供支撑。未来，工业能效评价也将从单位产品能耗，进一步拓展至企业的动态监测、智能优化和可信能碳数据管理能力。

数字化与人工智能的影响具有双重性：既能释放系统提效潜力，也会带来新的用能需求。在充分利用数智技术赋能节能降碳的同时，也需强化对算力基础设施的能效约束和低碳引导。智算中心、数据中心等虽不属于传统工业生产环节，但作为支撑工业互联网、智能制造、人工智能应用和能碳管理的重要基础设施，其用电需求、负荷特性和能效水平将日益影响园区及区域能源系统。面向“十五五”，算力设施应持续降低电能利用效率（PUE）值，提升单位算力能效和碳效，并强化与可再生能源、绿电直供、储能和余热利用的协同。随着零碳园区、绿电直连和工业绿色微电网加快建设，算力设施将成为检验新兴产业高效、清洁和灵活用能能力的重要场景。

3.5 从企业节能到产品低碳：工业能效碳效支撑绿色供应链构建

长期以来，中国工业能效提升主要由节能目标、能源成本、产业政策和环保约束驱动。面向“十五五”和2035年，随着绿色贸易规则、客户绿色采购需求和供应链减排要求强化，清洁能源消费和产品碳足迹将成为推动工业能效提升的重要外部驱动力。工业能效碳效将更直接地影响企业成本、合规表现、市场准入和供应链竞争力。与此同时，碳管理、合同能源管理等第三方服务，可为企业节能改造、碳核算、碳管理和绿色供应链提供支持。

这一趋势在钢铁、铝、化工材料、电池、光伏、新能源汽车、电子制造和算力基础设施等深度嵌入全球供应链的领域尤为突出。产品碳足迹取决于生产能耗、能源结构、过程排放和再生材料使用。能效提升将直接降低产品碳足迹，满足绿色采购要求，帮助企业拓展高端市场，在全球产业和贸易格局演进中保持竞争优势。

4、 结语

“十五五”是中国实现 2030 年前碳达峰目标的决胜窗口期，也是面向 2035 年推进现代化工业体系建设和国家自主贡献目标落实的关键五年。在能耗双控全面转向碳排放双控、新型能源体系加快建设和产业格局深刻变革的背景下，能效提升的战略价值更加突出。控制能源需求增速将直接影响达峰水平及 2030 年后排放轨迹，并为 2030 年后迈向深度减排奠定基础。

对于国家、地方、行业和企业而言，能效提升是以较低成本、较快速度缓解能源需求增长压力、腾挪碳排放空间和提升资源配置效率的基础路径。减少不必要能源需求、提高系统运行效率，也能减少可再生能源、循环经济和低碳零碳负碳技术的部署规模与系统成本，使有限资源得到高效利用。因此，能效提升的价值不仅在于节能降碳，更在于降低能源系统和产业低碳转型的成本与实施难度，增强转型的经济性和韧性。

对工业部门而言，能效提升将支撑产业提质增效、能源系统协同、资源循环利用和供应链转型与韧性提升。传统产业需要在设备更新、工艺优化和先进产能比重提升基础上，进一步通过数智化赋能、园区系统优化、能源梯级利用和跨行业耦合释放系统性提效潜力；新能源、绿色算力等新兴产业则应通过高标准能效要求实现低碳高起点发展。

面向 2035 年，工业能效和碳效将同时影响用能成本、资源生产率、能源安全 and 产品低碳竞争力。节能降碳改造既是提升能源利用效率、减少碳排放的关键举措，也是扩大有效投资、促进产业提质升级的重要支撑。中国工业绿色低碳转型既要扩大清洁能源供给，也要通过制度创新、技术扩散和系统优化，使能效提升成为现代化工业体系建设和国际竞争力提升的重要抓手。

从全球视角看，中国实践提供了一条以效率提升减少资源投入的发展路径。其核心不是依赖单一技术，而是通过政策目标、行业标准、市场机制和技术创新，将分散的节能项目转化为覆盖重点行业的规模化行动，推动经济增长与能源消费相对脱钩。对于仍处于工业化阶段的发展中国家，优先提升能效、再扩大能源供给，有助于控制转型成本并避免形成高能耗、高碳路径锁定。

工业能效也为国际合作提供了务实的切入点。未来合作的重点，可从单一项目转向系统性能力建设，在规则层面推动能效标准与评价体系国际衔接，在技术层面促进高效设备与节能技术的规模化应用，在系统层面探索工业园区与产业集群的协同优化，以及在市场层面落实产品碳足迹与绿色供应链机制。这将有助于降低转型成本、提升资源利用效率，也有助于在全球范围内降低碳泄漏风险，形成更加协调的低碳产业格局。

参考文献

1. RMI, Why Efficiency Matters: Unlocking Benefits Beyond Climate for All, 2024, <https://rmi.org/resources/why-efficiency-matters-unlocking-benefits-beyond-climate-for-all/>
2. Ember, The energy security fallout: from fossil fuel fragility to electric independence, 2026, <https://ember-energy.org/latest-insights/the-energy-security-fall-out-from-fossil-fuel-fragility-to-electric-independence/>
3. International Energy Agency, Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 ° C Goal in Reach – 2023 Update, 2023, <https://www.iea.org/reports/net-zero-roadmap-a-global-pathway-to-keep-the-15-c-goal-in-reach>
4. McKinsey & Company, Understanding the price of decarbonization, 2025, <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/understanding-the-price-of-decarbonization>
5. International Energy Agency, Multiple Benefits of Energy Efficiency, 2025, <https://www.iea.org/reports/multiple-benefits-of-energy-efficiency>
6. International Energy Agency, Energy Efficiency 2025, 2025, <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2025>
7. Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change, 2022, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>
8. 光明日报, 中国能源转型发展取得显著成就——国家能源局解读《中国的能源转型》白皮书, 2024, https://www.gov.cn/zhengce/202408/content_6971349.htm
9. 国务院新闻办公室, 《中国的能源转型》白皮书, 2024, https://www.gov.cn/zhengce/202408/content_6971115.htm
10. The World Bank, China: 40-Year Experience in Energy Efficiency Development: Policies, Achievements, and Lessons Learned, 2021, <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/975831625856343245>
11. 中国工业和信息化部, 《工业能效提升行动计划》专家解读系列文章之六: 系统推进节能提效 加快钢铁行业转型升级, 2022, https://www.miit.gov.cn/jgsj/jns/gzdt/art/2022/art_cbfb108ae6b4408abe8ab472c58828dc.html

落基山研究所，超越节能：中国工业能效的新范式和新机遇，2026，<https://rmi.org.cn/insights/china-industrial-energy-efficiency-report/>

RMI 重视合作，旨在通过分享知识和见解来加速能源转型。因此，我们允许感兴趣的各方通过知识共享 CC BY-SA 4.0 许可参考、分享和引用我们的工作。 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



除特别注明，本报告中所有图片均来自 iStock。



RMI Innovation Center
22830 Two Rivers Road
Basalt, CO 81621

www.rmi.org

© 2026 年 9 月，落基山研究所版权所有。
Rocky Mountain Institute 和 RMI 是落基山研究所的注册商标。