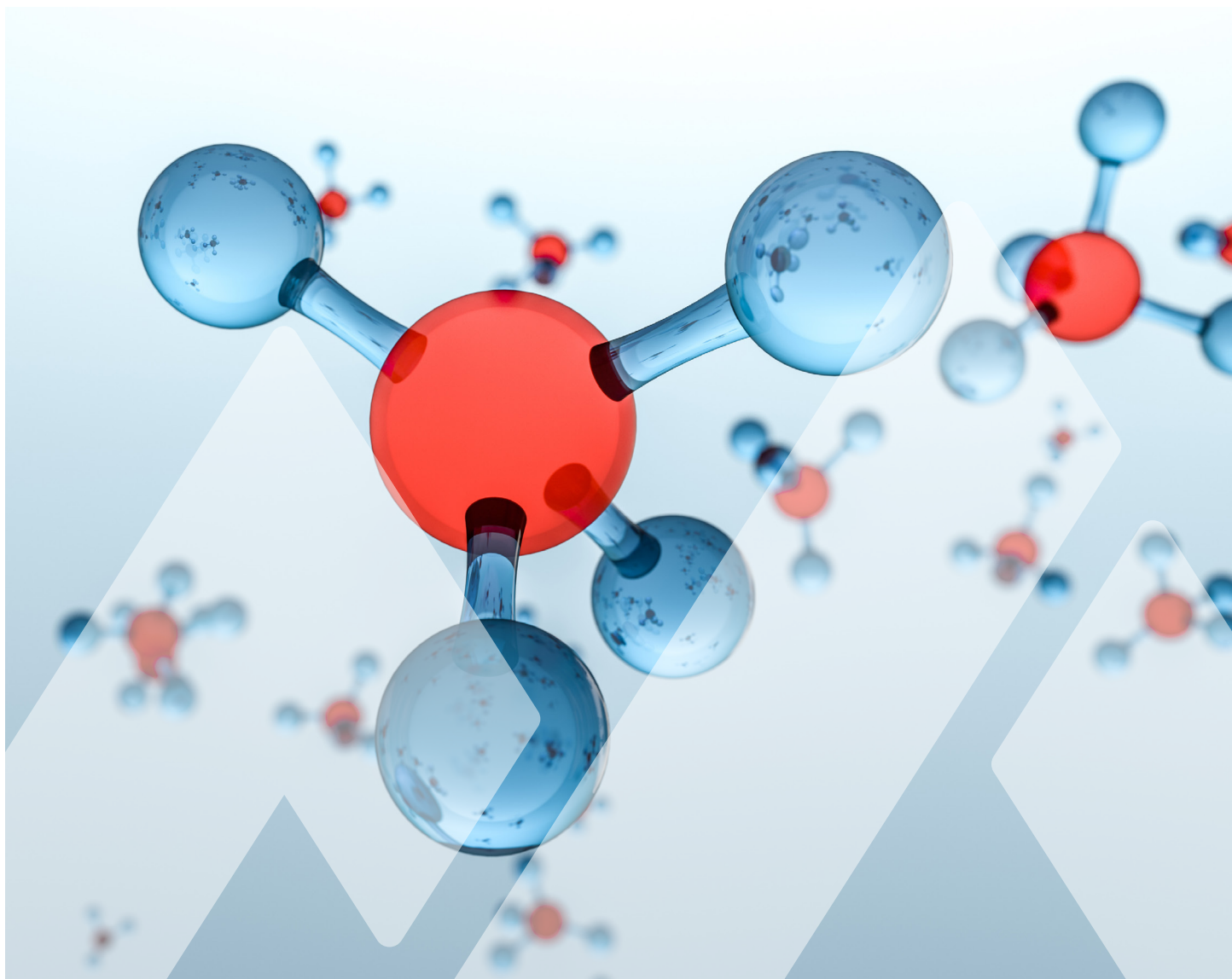




甲烷排放控制系列研究报告

**多维度推动能源领域**

**甲烷控排及利用**





## 关于落基山研究所（RMI）

落基山研究所（RMI）是一家于1982年创立的专业、独立、以市场为导向的国际智库。我们与企业、政策制定者、科研机构及创业者协作，识别并规模化推广能源系统转型解决方案，推动全球能源系统转型，践行1.5°C温控气候目标，创造清洁、繁荣的零碳共享未来。落基山研究所在北京、美国科罗拉多州巴索尔特和博尔德、纽约市、加州奥克兰、华盛顿特区以及印度尼西亚巴厘岛设有办事处。

# 作者与鸣谢

## 作者

高敏惠、郝一涵、李婷、汪维

## 其他作者

刘强、苏鑫

作者姓名按姓氏首字母排列。

除非另有说明，所有作者均来自落基山研究所。

## 联系方式

汪维，[wwang@rmi.org](mailto:wwang@rmi.org)

## 引用建议

落基山研究所, 多维度推动能源领域甲烷控排及利用, 2023

## 鸣谢

本报告作者特别感谢以下专家对报告撰写提供的洞见与建议。

滕 飞 清华大学能源环境经济研究所 教授, 副所长

徐 鑫 应急管理部信息研究院能源安全研究所 副所长

刘 倩 中央财经大学可持续准则研究中心研究部 主任

高俊莲 中国矿业大学管理科学与工程系 副教授

特别感谢Global Methane Hub对本报告的支持

本报告所述内容不代表以上专家和所在机构, 以及项目支持方的观点。

# 目 录

前言 .....	5
能源领域甲烷控排的特征与挑战 .....	6
1. 全球能源领域甲烷排放现状 .....	6
2. 我国能源领域甲烷排放现状与特征 .....	6
3. 新阶段能源领域甲烷控排需要多维度措施支撑.....	8
<b>维度一:能源转型 .....</b>	<b>10</b>
1. 能源消费结构是影响能源领域甲烷排放的关键因素 .....	10
2. 推动能源消费转型升级可从源头减少甲烷排放.....	11
3. 能源转型具备甲烷控排协同效益 .....	13
<b>维度二:采购原则 .....</b>	<b>14</b>
1. 优先采购甲烷排放强度低的化石能源有助减排.....	14
2. 本土低排放强度采购原则的减排潜力 .....	15
3. 国际低排放强度采购原则的积极影响.....	16
<b>维度三:市场机制 .....</b>	<b>20</b>
1. 煤炭行业关键减排技术需要加强经济激励.....	20
2. CCER有望大幅提升关键技术经济效益 .....	22
3. 气候金融促进减排技术的培育与发展.....	24
<b>维度四:信息披露 .....</b>	<b>26</b>
1. 信息披露对能源领域甲烷控排有重要作用.....	26
2. 能源企业信息披露的现状 .....	27
3. 加强能源企业信息披露的多种方式.....	29
<b>维度五:国际合作 .....</b>	<b>32</b>
1. 国际合作在能源领域甲烷控排中发挥重要作用.....	32
2. 能源企业投身于全球甲烷治理 .....	32
3. 进一步深化能源领域甲烷控排国际合作.....	35
<b>推动能源领域甲烷控排的行动建议 .....</b>	<b>36</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>37</b>

# 前言

甲烷排放控制对实现1.5°C气候目标具有重要意义。甲烷（CH<sub>4</sub>）是全球排放量第二大的温室气体，在大气中仅留存12年左右。甲烷的实物量排放虽然远低于二氧化碳（CO<sub>2</sub>），但是其单位排放产生的气候效应更强，在100年尺度下甲烷的增温潜势是CO<sub>2</sub>的27.9倍，在20年尺度下则高达81.2倍<sup>1</sup>。自工业革命以来，甲烷对全球温升已负有超过30%的责任，减少甲烷排放是迅速减缓变暖的最具成本效益的气候战略之一，并将为全球实现1.5°C目标做出重要的贡献<sup>2</sup>。

甲烷排放控制已成为国际共识。针对全球层面的甲烷排放问题，国际上已经建立了多个甲烷控排国际联盟并得到多方支持。例如于2021年第26届联合国气候大会上由美国和欧盟牵头建立的“全球甲烷承诺”，目前该承诺已经有超过150个国家参与并承诺共同努力，争取在2030年前实现全球甲烷排在2020年的基础上减少30%。

我国积极推进甲烷排放控制。我国是全球甲烷减排潜力最大的国家之一，也是全球甲烷控排中的关键一环，作为化石能源生产和消费大国，我国的能源领域甲烷排放占全球能源领域甲烷排放总量的23%，全球人为甲烷排放总量的7.4%。长期以来，我国积极开展甲烷控排工作，采取多种政策和经济措施控制能源领域甲烷排放的快速增长，致力于为推进全球气候治理和供应链低碳发展作出积极贡献。

我国能源行业的甲烷排放控制需要平衡考虑能源生产消费与甲烷控排，同时也亟需推动甲烷减排技术进步和应用并调动企业的减排积极性。2023年11月，生态环境部等11部门联合印发《甲烷排放控制行动方案》（以下简称《行动方案》），国家甲烷控排正式步入新阶段，加速《行动方案》的落实需要多维度措施。本报告是RMI针对甲烷控排的系列研究报告之一，以《行动方案》为框架，对能源领域甲烷控排所涉及的多维度措施进行了深入探讨。

本报告从国际能源领域甲烷排放的现状出发，从**能源转型、采购原则、市场机制、信息披露和国际合作**五个维度分析了能源领域甲烷控排的潜力、需求和可行措施，同时基于国家《行动方案》，对我国可能采取的积极措施提出了行动建议。研究表明：长期来看，能源转型具备甲烷控排协同效益，到2060年，我国电力、钢铁、化工、水泥、交通、居民生活6大重点领域的低碳转型措施能够协同带动能源领域减少约61%的甲烷排放，但在短期内，为加速《行动方案》的落实，在全面推进能源转型的基础上，我国还可以通过采购原则减少能源领域甲烷排放，采用市场机制推动煤炭行业关键减排技术的应用，通过加强信息披露促进企业开展甲烷减排行动，通过加深国际合作提高我国甲烷治理水平，提升国际话语权。

# 能源领域甲烷控排的特征与挑战

## 1. 全球能源领域甲烷排放现状

自工业革命以来，大气中的甲烷浓度不断增加，2022年已达到1911.9ppb，当年增幅为14ppb，是自1983年开始测量以来记录的第四大年度增幅，继2020年和2021年的创纪录增幅（分别为15.14ppb和17.89ppb）之后，目前大气中甲烷含量是工业化前水平的2.5倍<sup>3</sup>，全球甲烷控排面临严峻挑战。

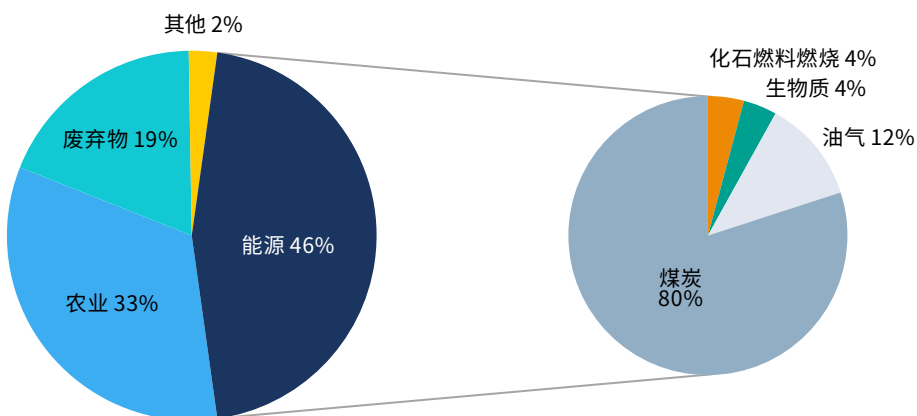
能源领域是全球第二大甲烷排放源，开展控排兼具多重效益。2022年，全球甲烷排放约为3.56亿吨，其中37%来自于能源领域，仅次于排放占比最大的农业领域<sup>4</sup>。能源领域的甲烷排放与化石能源生产消费密切相关，全球约有8022万吨甲烷排放来自于石油和天然气的生产和使用，4054万吨甲烷排放来自于煤炭的生产和使用。能源领域的甲烷控排属于“低垂的果实”，兼具气候效益、能源资源化利用的经济效益、协同控制污染物的环境效益，以及减少生产事故的安全效益。

化石能源生产大国开展甲烷排放控制具有积极影响。按照国家来划分，主要产煤国和油气生产大国对能源领域甲烷排放的贡献最大，美国、印度、俄罗斯、巴西、印尼以及我国的能源行业甲烷排放占全球能源行业甲烷排放总量的比重较高，开展甲烷控排行动对全球气候治理具有非常积极的影响。

## 2. 我国能源领域甲烷排放现状与特征

能源领域是我国开展甲烷控排的重点领域之一。我国2022年人为甲烷排放量5567万吨<sup>5</sup>，约占全球15.6%。我国的甲烷排放主要来自于化石能源的生产和使用、水稻种植、畜禽养殖、废弃物处理等活动，其中能源领域是最大的甲烷排放源，占排放总量的46%（图表1），是现阶段的重点控排领域。

图表 1 按领域划分的我国甲烷排放分布情况



数据来源：IEA<sup>6</sup>

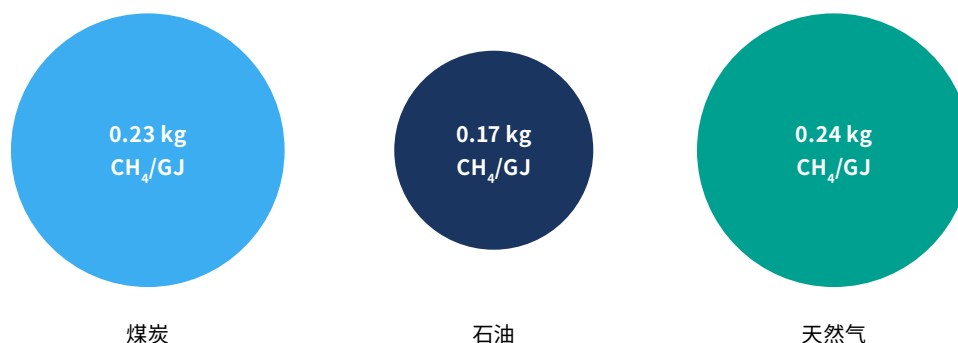
我国能源领域甲烷排放主要由煤炭生产活动驱动，排放管理水平是控排关键。能源领域的甲烷排放主要来自于煤炭、石油和天然气的生产。在煤炭行业，井工和露天煤矿的采掘活动，煤炭的洗选、运输，以及关闭和废弃煤矿井均会排放甲烷；在油气行业，石油系统和天然气系统在勘探开发、炼油、天然气处理、输配等过程中也会持续释放甲烷（图表2），除此以外，化石燃料及生物质的燃烧也会产生少量甲烷。单位热量的煤炭、石油、天然气的甲烷排放强度相似（图表3）。但由于“富煤、贫油、少气”的资源禀赋，我国生产的一次能源主要为煤炭，因而煤炭行业产生了大量的甲烷排放，占能源领域的80%，石油和天然气行业约占12%（图表1）。煤炭和油气田中蕴藏的甲烷量与采区的地质条件高度相关：我国大量的煤炭在华北地区和西南地区生产，部分地区（如内蒙古西部等地）的煤炭埋藏较浅，甲烷含量较低，而部分省份以井工煤矿为主（如贵州、山西等），煤炭埋藏深、甲烷含量高。虽然如此，自然禀赋的差异并不能完全决定排放量的高低：甲烷可以通过技术手段进行回收利用，甲烷含量高的煤矿如果采取严格的管控措施，实施关键减排技术并充分回收利用甲烷气体，就能够大幅减少排放，降低自身的气候影响。

**图表 2 煤炭、石油和天然气行业主要甲烷排放来源**

煤炭行业	石油行业	天然气行业
井工煤矿开采	石油开采	天然气开采
露天煤矿开采	原油炼油	天然气处理
矿后活动 煤炭的洗选、储存、运输及燃烧前的粉碎等过程	原油输送	天然气输送
	废弃油井	天然气分销
废弃和关闭的煤矿井		废弃气井

资料来源：IPCC<sup>7</sup>

**图表 3 我国煤炭、石油和天然气单位平均甲烷排放强度**



数据来源：IEA<sup>8</sup>，BP<sup>9</sup>，RMI测算

注：不包括废弃及关闭设施的甲烷排放

我国甲烷排放在短期内仍将维持高位。自“十三五”以来，为支撑国内经济社会发展，我国大力推进能源供给革命，能源自主保障能力不断提升，2022年我国本土原煤产量45亿吨，原油产量20467万吨，天然气产量2178亿立方米<sup>10</sup>，同时化石能源进口量有所下降。我国正在大力推进能源转型，提高能源消费中的可再生能源占比，但是考虑到我国的基本国情，化石能源在短期内仍然无法被完全替代，煤炭仍将扮演“压舱石”的角色，预计在“十四五”期间石油和天然气的产量仍将有一定的增长，我国能源甲烷排放在短期内仍将维持高位。

### 3. 新阶段能源领域甲烷控排需要多维度措施支撑

我国在能源领域采取多种甲烷控排政策措施并取得阶段性成效。“十一五”以来，我国已采取多种措施控制能源甲烷排放快速增长：在基础能力建设方面，我国注重甲烷排放监测、报告与核查（MRV）体系建设，发布煤炭及油气行业排放核算指南及国家标准，同时不断开展减排技术的研发和应用，为甲烷管控打下基础；在行业政策方面，我国发布排放标准促进煤炭行业甲烷回收利用，禁止煤炭企业排放浓度高于30%的煤矿瓦斯，“十二五”及“十三五”期间煤矿瓦斯利用率大幅提升；在企业行动方面，我国支持企业参与国内外甲烷控排联盟，能源企业主动参与承诺并设立了减排目标；在激励措施方面，我国通过瓦斯发电上网电价和瓦斯利用补贴等形式成功扶持了一批瓦斯利用项目的建设和运营。上述措施成功推动了甲烷控排，扩大了能源领域甲烷资源化利用规模，甲烷管控战略取得阶段性成效。

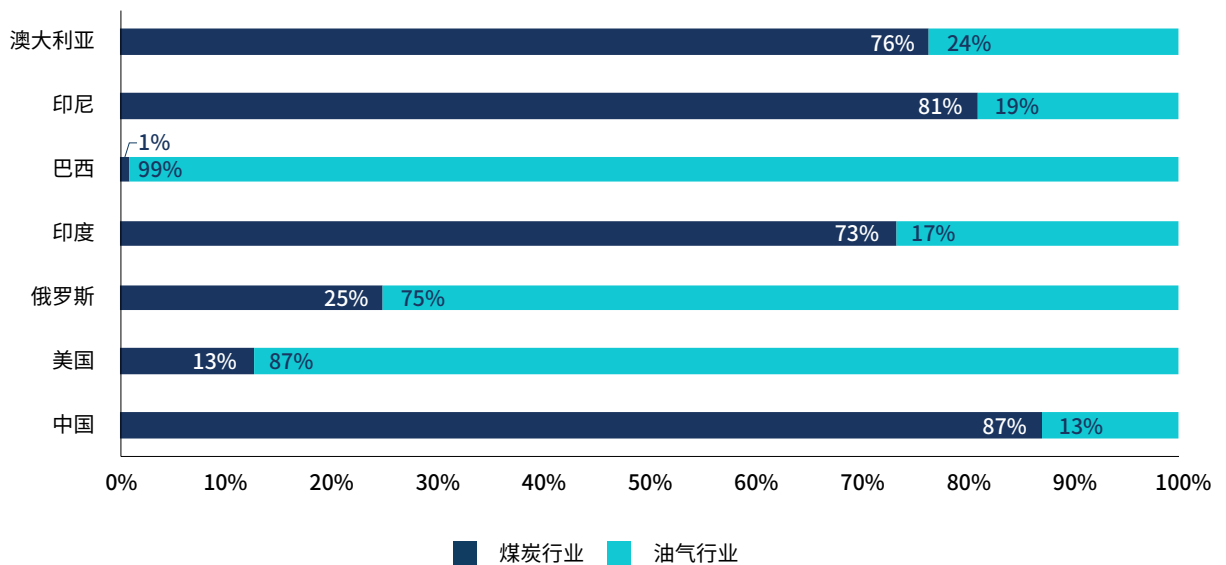
我国甲烷排放控制已完成顶层设计，减排正式步入新阶段。随着国际社会对甲烷排放基础研究的不断深入，我国对能源甲烷控排的重视程度也不断提高，将开展甲烷排放控制纳入落实国家自主贡献新目标的举措之一，明确了加大行动控制和减少甲烷排放的必要性。2023年11月，生态环境部等11部门联合印发《甲烷排放控制行动方案》，针对能源、农业、垃圾和污水处理领域采取减排措施。这一国家战略作为我国首份甲烷排放控制顶层设计文件，将对我国甲烷控排起到关键推动作用。

虽然我国在过去十年内已经采取多种措施控制甲烷排放快速增长，基本形成了甲烷排放控制的体系建设，但在新阶段，我国开展能源领域甲烷排放控制仍然面临着以下三大挑战：

- **如何平衡能源生产消费与甲烷控排的关系。**不同于美国和俄罗斯等以油气行业甲烷排放为主的国家，我国能源领域的甲烷排放主要来自于煤炭生产（图表4）。目前我国化石能源消费总量尚未达峰，电力、工业和交通行业的能源及原材料消费仍以煤、油、气为主，且大部分来自本土生产，而化石能源的生产活动又是甲烷排放的重要来源。在保证经济增长、满足消费需求的前提下，如何平衡能源生产消费与甲烷控排的关系是短期内的关键问题之一。



图表 4 部分国家能源领域甲烷排放分行业占比情况



数据来源：IEA<sup>11</sup>

- **如何促进关键减排技术的推广和应用。**我国能源领域甲烷减排技术发展不均衡，重点排放源所需的关键减排技术成本效益不足，项目难以吸引企业投资建设。油气行业的大部分减排技术在成熟度和成本效益方面都优于煤炭行业，而煤炭行业排放量更高，重点排放源的甲烷回收利用规模却十分有限，关键技术仍处于示范阶段，在缺少进一步的政策和经济激励的条件下难以大规模实施。在新阶段如何推广现有技术，并促进新技术的研发和应用值得关注。
- **如何进一步提升企业的甲烷管控意识和积极性。**能源领域的甲烷控排除了政策和技术层面的支持外，还需要煤炭和油气企业的切实行动。目前，我国主要油气企业已积极投身于甲烷控排工作中，考虑到煤炭企业在甲烷控排中的积极作用，下一步应进一步支持形成行业共识，提高行业控排积极性和参与度。

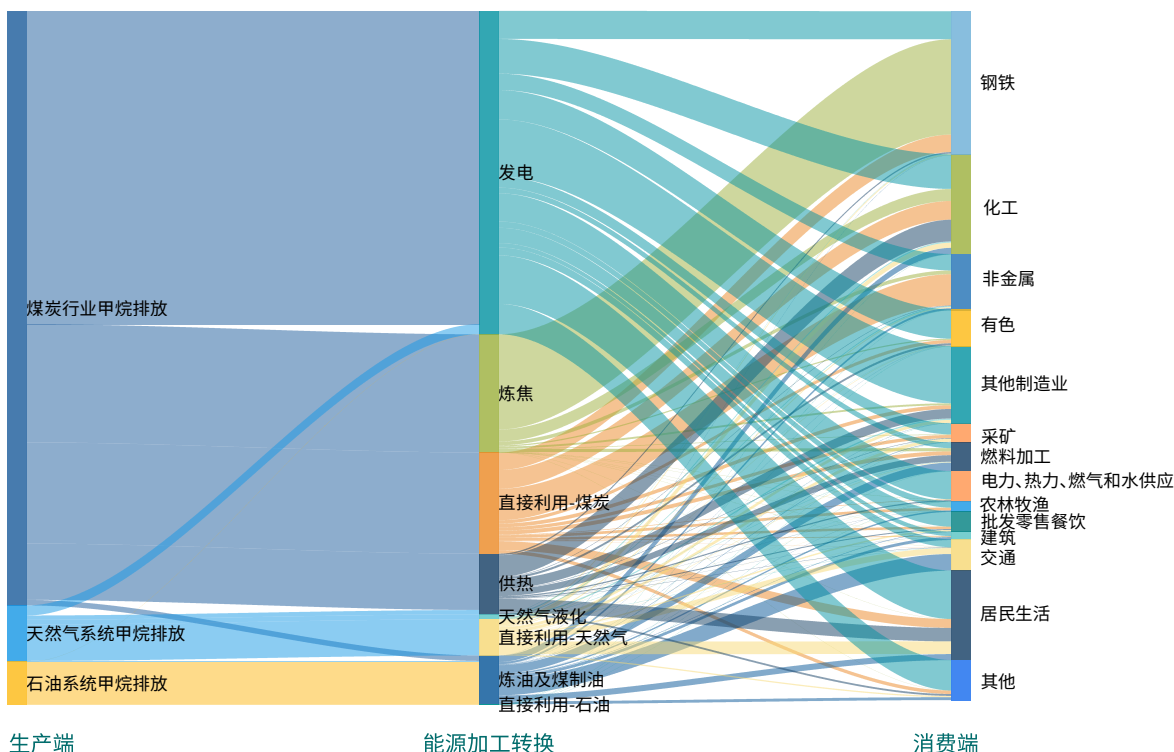
为解决上述关键问题，RMI提出通过五个维度的措施促进国家行动方案的落地，助力能源领域甲烷控排：通过加快**能源转型**、建立**采购原则**的方式优化化石能源生产消费模式，最大限度发挥能源转型对于甲烷控排的协同作用；通过**市场机制**提升减排技术的经济性和应用范围，促进项目建设投资，充分实现甲烷排放的气候价值；采用加强**信息披露**的方式促进信息交流，调动企业的减排积极性；通过深化**国际合作**的方式，提高我国甲烷治理水平，提升国际话语权。

# 维度一：能源转型

## 1. 能源消费结构是影响能源领域甲烷排放的关键因素

作为能源产品供应链的下游，消费端对能源领域甲烷排放具有不可忽视的影响。我国能源消费量大，且未来10年内仍有缓慢增长的趋势<sup>12</sup>。我国目前的能源消费结构仍以化石能源为主，煤炭、石油和天然气占能源消费比重分别为56%，18.5%和8.9%<sup>13</sup>，且化石能源生产基本全部供应本国消费，因此国内对于煤炭、石油和天然气产品的大量需求促进了上游化石能源的开采、处理和输送活动，进而产生了大量的甲烷排放。RMI根据电力、炼焦等能源加工转换环节以及钢铁、化工、交通等终端消费环节对于本土煤、油、气的消费情况，建立了能源甲烷排放与消费活动的流动关系（图表5），评估了主要能源消费领域对甲烷排放的贡献。

图表 5 与化石能源生产相关的甲烷排放流动图



资料来源：IEA<sup>14</sup>，国家统计局<sup>15</sup>，RMI测算

电力、钢铁、化工、水泥、交通和居民生活领域的能源消费贡献了最多的甲烷排放。无论是能源加工转换还是终端消费环节，能源消费结构都是影响甲烷排放的关键：在能源加工转换环节，以煤炭为主要燃料和原料的发电和炼焦活动对能源甲烷排放的影响最大，而天然气液化、炼油、煤制油等加工过程由于消费量较少，对甲烷排放的影响也相对较小；在终端消费环节，钢铁、化工、水泥的现有生产工艺需要消耗大量燃料和原材料，使工业成为对能源甲烷排放影响最大的终端消费部门，与此同时，居民生活和交通领域由于供暖、烹饪和运输的需求也消耗大量化石燃料，对甲烷排放的影响不容忽视（图表6-1, 6-2）。如果上述关键领域能够调整能源消费结构，减少对化石能源产品的依赖，就有助于减轻上游生产和供应的压力，促进由化石能源消费减量引导的能源领域甲烷减排。

**图表6-1 能源加工转换环节的能源消费情况以及对甲烷排放的间接贡献**

领域	能源消费情况	加工转换环节间接贡献占比
发电	我国目前仍以火力发电为主,主要燃料为动力煤,火力发电的煤炭消费量占国内煤炭消费总量的50%以上。	47%
炼焦	炼焦过程以焦煤为原材料,平均每生产1吨焦炭就需要消耗约1.35吨焦煤,形成的焦炭产品是钢铁产业链中重要的原料之一,我国是焦煤消费量最高的国家,且大部分都依靠本土生产。	17%

**图表 6-2 终端部门的化石能源消费情况以及对甲烷排放的间接贡献**

领域	能源消费情况	终端消费部门间接贡献占比
钢铁	钢铁行业是终端消费环节中影响力最大的行业。钢铁的生产制造方式分为长流程和短流程,其中长流程基于“高炉-转炉”并以焦炭和煤作为主要炼钢原料及燃料,短流程炼钢基于“废钢-电炉”,以电力为主要能源。目前我国90%的钢铁都采用长流程生产,对于焦炭、煤和电力有大量需求。	21%
化工	我国是全球最大的化工产品生产和消费国,化工行业作为高耗能行业之一,消费的化石能源种类更复杂,但受资源禀赋影响,我国的煤化工产业与其他国家相比占比更高,例如我国75%的甲醇产品由煤制备,而全球仅为35%。	14%
水泥	我国水泥产量占全球的57%,生产过程中的熟料煅烧阶段需要大量燃料,以煤炭为主,我国平均每吨水泥熟料的热能消耗中98%为化石燃料,而在欧洲国家这一比例约为60%。	8%
交通	交通行业占全国能源消费的比重约为9%,用能结构以汽油、煤油和柴油为主,上述油品的制备主要消耗石油,消费量约占全国石油消费总量的60%。	5%
居民生活	居民生活消费大量的能源,其中城镇居民消费结构以电力和油品为主,供暖和烹饪需求也消费大量天然气。而乡村居民生活则更多的以煤炭、电力和油品为主,对天然气的消费较少。	13%

资料来源:国家统计局<sup>16</sup>, GIZ<sup>17</sup>, 中泰证券<sup>18</sup>, RMI<sup>19,20,21</sup>

## 2. 推动能源消费转型升级可从源头减少甲烷排放

能源转型是减少甲烷排放的重要举措之一。减少煤、油、气生产是减少能源领域甲烷排放最直接有效的手段,但由于我国各行业现有生产工艺仍对化石能源有较高的需求,短期内在供给侧大量减少化石能源生产将影响生产活动和经济发展。在增强能源自主保障能力并满足能源消费需求的前提下,推动能源消费侧低碳转型,引导能源消费结构不断优化,有助于减少化石能源生产并从源头减少甲烷排放。

重点领域的低碳转型措施有助于协同治理甲烷排放。在重点领域推动产业的转型升级能够减少能源消费，从而促进由消费需求变化引发的能源生产结构转变。减少能源消费可以通过节能增效措施实现，能源消费结构调整可以通过替代燃料和原料、工艺优化等措施实现。重点行业的低碳转型措施（图表7），特别是电力系统、钢铁及化工行业低碳技术的实施，能够在直接减少CO<sub>2</sub>排放的同时，协同治理化石能源生产侧的甲烷排放。

**图表 7 重点领域低碳转型措施**

领域	具备甲烷减排协同作用的转型措施
电力	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料替代：发展风电、光伏等可再生能源</li> <li>节能增效：提升能效，降低煤电机组能耗</li> </ul>
钢铁	<ul style="list-style-type: none"> <li>原料替代：采用氢气直接还原铁，促进生物质原料的应用</li> <li>工艺优化：推广基于废钢的短流程电炉钢生产</li> <li>节能增效：在长流程炼钢工艺中实施能效提高技术，如在高炉提高煤焦比，在烧结环境采用微波烧结技术等</li> </ul>
化工	<ul style="list-style-type: none"> <li>原料替代：采用低碳原料，如可再生能源制氢等</li> <li>节能增效：通过有效管理热能等方式提升效率，减少能源消耗</li> <li>燃料替代：燃料电气化，或采用生物质和氢能替代化石燃料</li> </ul>
水泥	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料替代：采用固体废物和生物质燃料，以及氢能等新型燃料</li> <li>节能增效：在熟料烧成和粉磨系统实施节能减排技术</li> <li>生产减量：避免浪费，提升效率</li> </ul>
交通	<ul style="list-style-type: none"> <li>交通方式转型：实现交通电气化，重型交通领域氢能替代传统燃油，航空及航运采用生物质燃料</li> </ul>
居民生活	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料替代：减少农村散煤的应用，充分利用可再生资源，发展沼气及生物天然气，替代化石能源的使用</li> <li>建筑节能：推动城市建筑中热泵的应用</li> </ul>

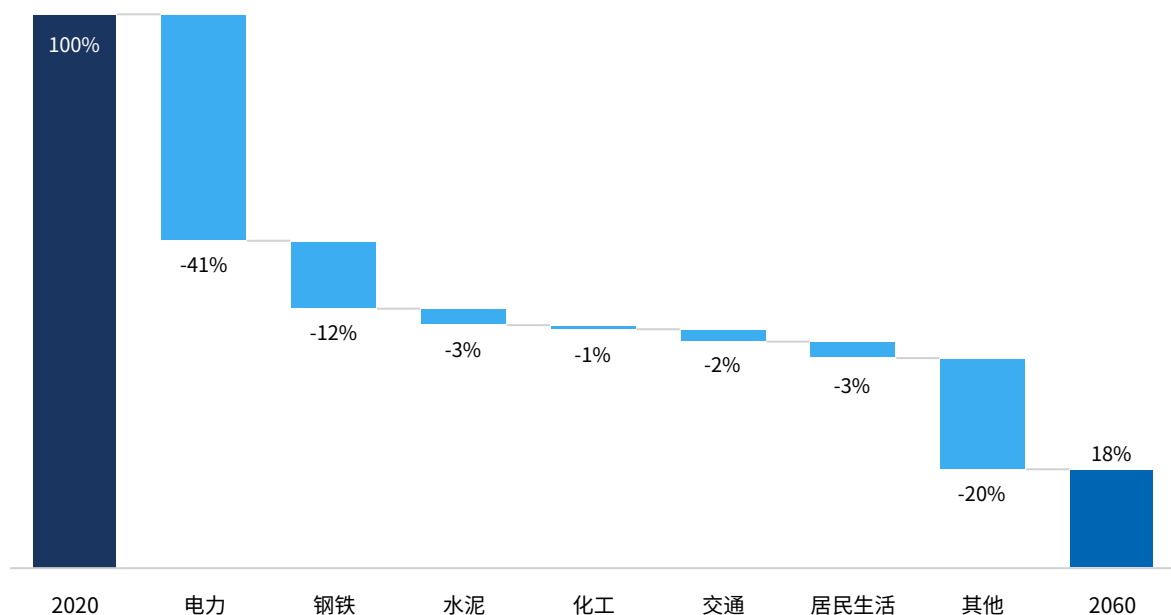
资料来源：RMI<sup>22, 23</sup>

### 3. 能源转型具备甲烷控排协同效益

长期来看，能源转型是我国实现甲烷深度减排的重要推动力。2030年至2060年间，在生产工艺优化，能效提升等因素的共同作用下，电力、钢铁、化工、交通等主要化石能源消费行业的低碳转型措施不断深入，对煤炭、石油和天然气的需求均有大幅下降，带动本土能源生产减量，协同减少甲烷排放。经测算，预计到2060年，6大重点能源消费行业的转型措施能够协同带动甲烷排在2020年水平的基础上减少61%。其中，电力和钢铁作为重点耗煤行业，其低碳转型将发挥最大效果，分别能减少41%和12%的甲烷排放（图表8）。

短期内，能源转型的效果不显著，能源领域的甲烷排放控制仍需其他维度措施支撑。由于短期内各行业仍将维持对化石能源较大的消费需求，我国煤炭消费在今后一段时期仍将保持稳定增长趋势，煤炭消费预计在2030年前达峰，2035年呈加速下降趋势<sup>24</sup>。经测算，短期内6大重点能源消费领域的转型措施产生的甲烷减排贡献约为7%。在现有能源转型的基础上，要助力国家《行动方案》的落实，我国可以进一步优化现有资源、促进关键技术的研发和应用、鼓励企业加强信息交流、并深化国际合作。

图表 8 重点行业低碳转型的协同甲烷减排潜力



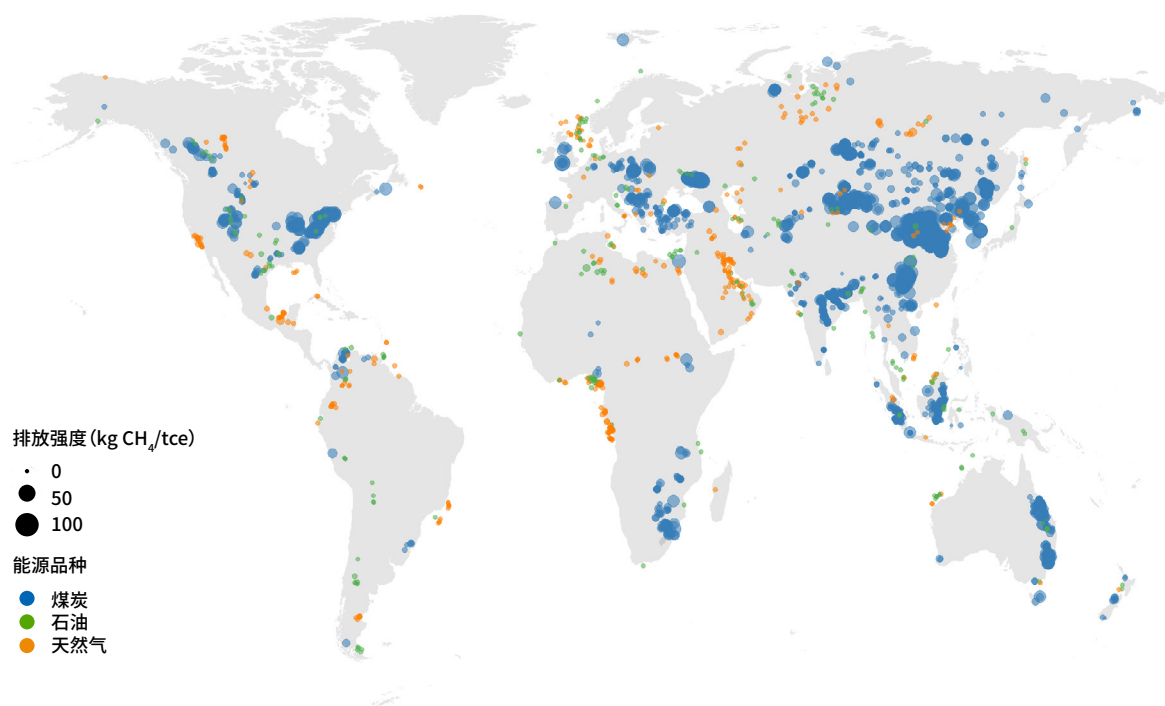
资料来源：IPCC AR6 database<sup>25</sup>，RMI测算

# 维度二：采购原则

## 1. 优先采购甲烷排放强度低的化石能源有助减排

不同产区的煤炭、石油和天然气开采过程的甲烷排放强度存在较大差异。煤炭、石油和天然气在生产过程中由于地质条件、开采方式，减排技术实施、以及管理水平不同，产区之间每生产单位能源所产生的甲烷排放（即排放强度）具有较大的区别（图表9），对煤矿、油田和气田来说，不同产区的排放强度差异可高达数十倍，这也意味着相同种类和质量的化石能源产品，由低排放强度产区生产将排放更少的甲烷。

图表 9 全球主要化石能源产区甲烷排放强度



优先采购低排放强度产区的化石能源能够在满足消费需求的同时降低甲烷排放。在满足化石能源消费总量的前提下，将消费向低排放强度的化石能源产区倾斜，能够减少化石能源开采过程的甲烷排放。通过识别化石能源产区的甲烷排放，设置包含甲烷排放强度的采购原则，化石能源消费国和企业可以在购买本土能源和进口能源的过程中优先选择甲烷排放强度更低的煤、油、气产品，减少由能源采购导致的甲烷排放，降低气候影响。目前，RMI已经开发OCI+工具，能够帮助识别全生命周期的油气甲烷排放情况：

## 专栏1 Oil Climate Index plus Gas (OCI+)

OCI+是由RMI开发的、用于比较全球石油与天然气资源全生命周期温室气体排放强度的开源工具。OCI+旨在为政策制定者、行业、金融部门等不同利益相关者提供信息，让石油和天然气对气候的影响变得清晰可见。该平台详细评估了石油和天然气资源的开采、运输、加工转换到终端使用的各个环节下的温室气体排放强度，其中甲烷的排放是该平台重点评估的对象。该平台目前仍在不断的更新当中，为使用者们提供最新的矿区级的石油和天然气资源的排放强度信息。企业在进行能源采购时，可以参照相应的信息，建立能源采购的优先级标准，降低自身的甲烷排放影响。

资料来源：RMI<sup>28</sup>

考虑到我国煤炭产能较为充足，而油气对外依存度较高，我国宜采用区分国内外的采购原则：国内采购原则将主要聚焦于煤炭行业的本土产能优化，国际采购原则可通过国家政策或企业行动同时约束煤炭、石油和天然气出口国和企业的甲烷排放表现。

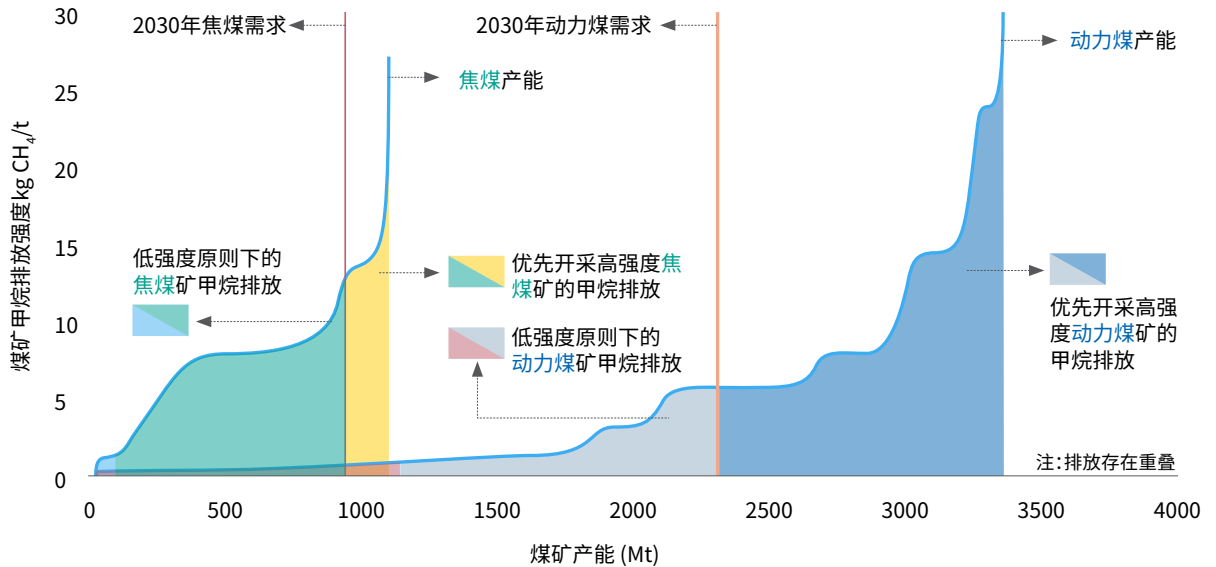
## 2. 本土低排放强度采购原则的减排潜力

我国煤炭生产具有向低甲烷排放矿区转移的空间。我国煤炭资源非常丰富，全国查明保有煤炭资源储量为1.74万亿吨<sup>29</sup>。在过去几十年间我国建设了大量的煤矿，截止到2022年全国煤矿数量约为4400处<sup>30</sup>，煤炭产能较为充足，有潜力开展资源布局优化。在未来能源转型的发展趋势下，我国的煤炭消费需求将会持续降低，生产布局优化的潜力将会不断增加，在此基础上掌握和识别各个矿区的甲烷排放表现，能够通过消费活动引导煤炭企业甲烷治理。

在满足2030年消费需求的前提下，建立采购原则有助于引导煤炭行业减排。我国煤炭消费量有望于2030年前达峰<sup>31</sup>，到2030年各行业的生产活动对于煤炭仍将维持较高需求。在此背景下，如果我国企业能够根据不同煤矿的甲烷排放强度差异设置专门的采购原则，优先购买来自于低排放强度矿区的动力煤和焦煤，那么自然禀赋好、排放强度低的煤矿就有机会以充足的产能向市场供应煤炭产品，而自然禀赋较差、排放强度高的煤矿则需要充分实施减排技术以提升市场竞争力，以甲烷排放强度为指标的采购原则将逐步优化煤炭产能，促进行业减排。

我国动力煤矿和焦煤矿均有潜力通过采购原则减少甲烷排放。若将动力煤矿和焦煤矿产能分别按照甲烷排放强度由低到高和由高到低进行排序，在满足我国本土对于动力煤和焦煤的消费需求的前提下，两种采购方式将对煤炭甲烷排放产生不同的影响。经测算，在焦煤矿实施低排放强度采购原则，与优先开采高排放强度的煤矿相比能够减少27%的甲烷排放；相似地，对于动力煤矿而言，优先低排放强度采购与优先高排放强度采购之间存在高达76%的甲烷排放差异（图表10）。

图表 10 不同采购方式下2030年我国焦煤及动力煤矿甲烷排放情况



资料来源: Global Energy Monitor<sup>32</sup>, Gao et al<sup>33</sup>, RMI测算

考虑到政策、经济等多方面因素的影响，现阶段难以实现完全按照低甲烷排放强度原则进行采购。即使如此，我国仍有潜力发挥煤炭资源丰富的优势，通过企业消费倾向的转变，以及地方和国家政策上的支持不断推动以低甲烷排放为原则的煤炭资源优化，促进煤炭行业的减排。

### 3. 国际低排放强度采购原则的积极影响

**化石能源进口国应考虑由于进口产生的甲烷排放。**由于煤炭和油气甲烷排放主要来自于开采、加工和输送等过程，在消费总量不变的情况下，国家对化石能源保持较高的对外依存度能够减轻本土生产压力，同时降低由于生产导致的本土甲烷排放。然而，气候变化作为全球面临的共同挑战，大量进口化石燃料虽然实现了国家本土范围的减排，但由于生产活动持续发生，出口国将产生更多甲烷排放，从全球的角度考虑并未实现真正意义上的减排。因此，化石能源进口大国在约束自身甲烷排放的同时，还应该考虑到与进口化石能源有关的甲烷排放，并实施相应的措施推动进口国减排。

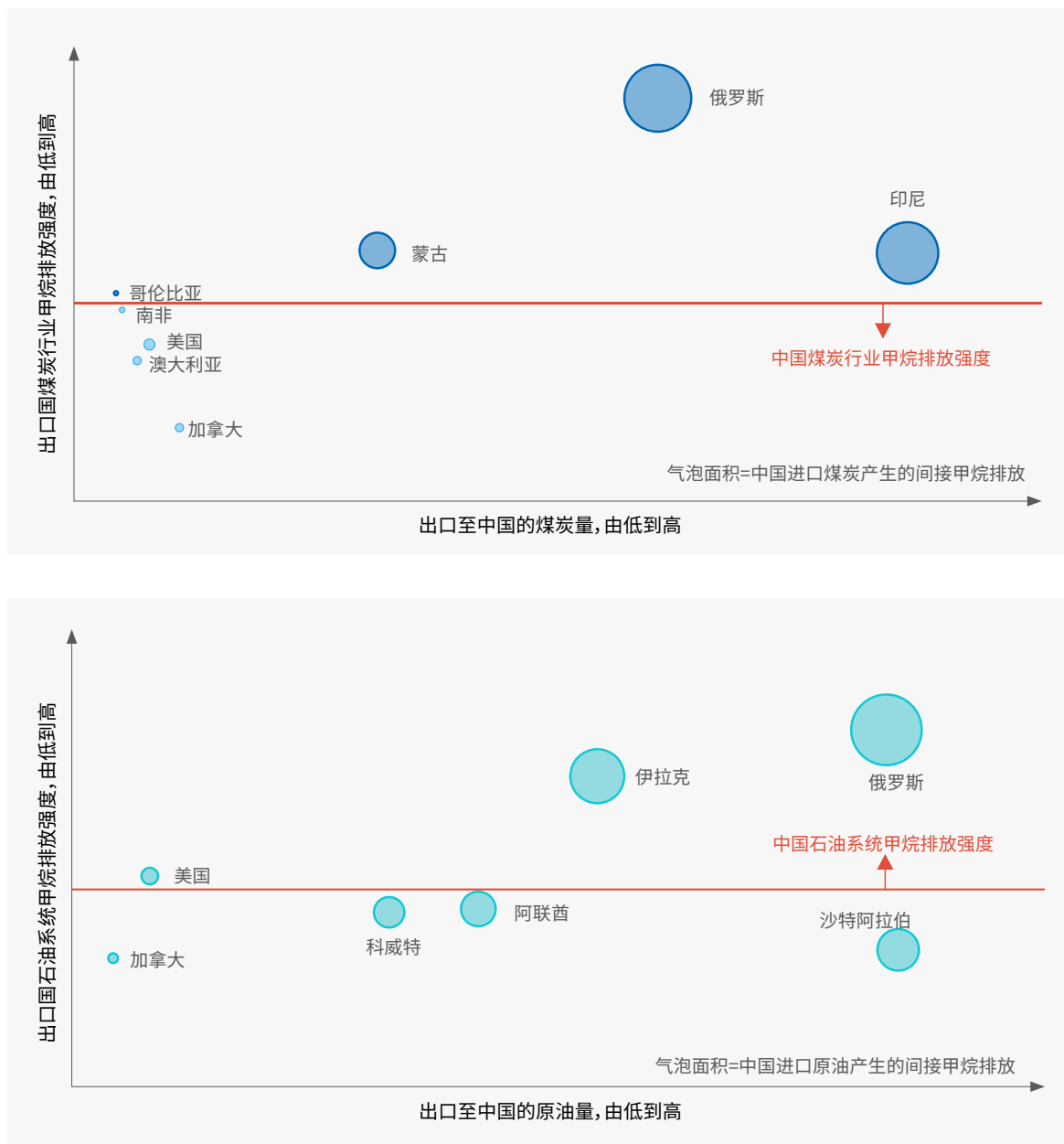
**目前国际上已有国家提出管控进口化石能源相关温室气体排放。**目前，全球已有多个国家计划采取措施控制与进口化石能源相关的甲烷排放。2022年11月，美国、欧盟、日本和加拿大等多个国家联合发布了《能源进口国和出口国关于减少化石燃料温室气体排放的联合声明》，鼓励化石能源生产者开展甲烷控排行动。2023年，欧盟最新公布的能源领域甲烷立法提案中也纳入了与化石能源进口相关的甲烷排放管控条款，拟推动进口国采取与欧盟法规同等力度的措施对甲烷排放进行管控。近期，欧盟理事会和欧洲议会就该立法提案内容初步达成一致，预计将于2030年起对进口化石能源开展甲烷排放约束。

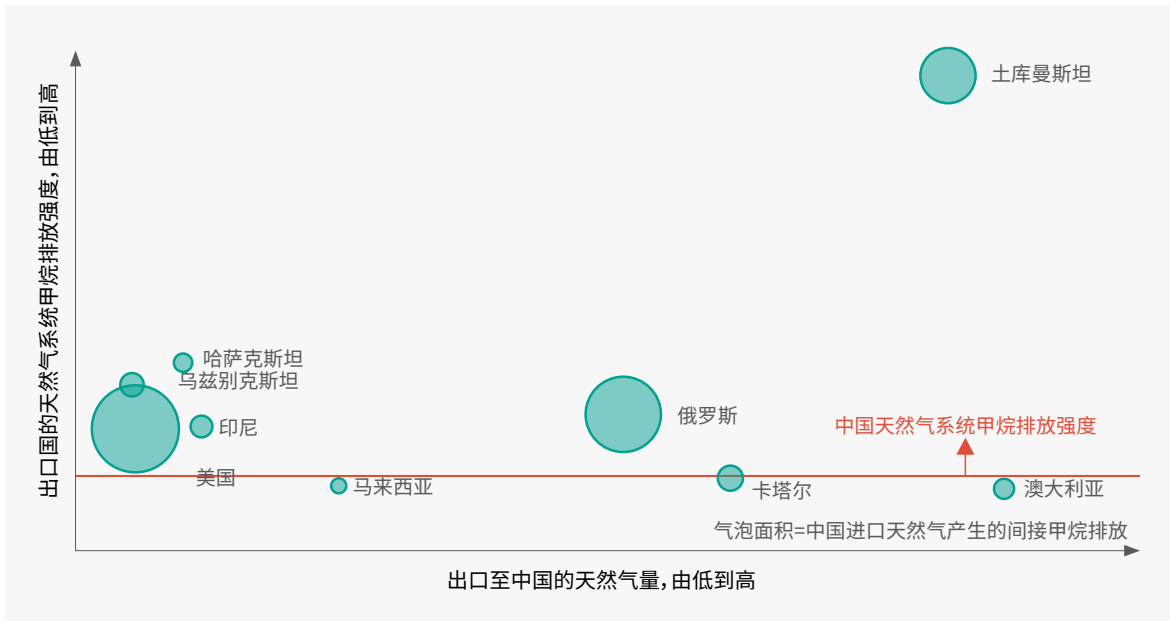
**我国作为化石能源进口大国，有必要推动进口化石能源有关的甲烷排放控制。**尽管我国一次能源自给率较高，但由于消费总量庞大，化石能源进口量一直维持在较高水平。在下游需求不断增长的情况下，近年来我国进口化石能源的补充作用逐渐突出，2022年我国煤炭进口总量达到5.83EJ，石油进口总量达44.4亿桶，天然气进口总量达1516亿立方米，分别占全球贸易总量的18%、18%、16%<sup>34</sup>。我国进口化石能源总量庞大，来源较多，因此有必要推动进口甲烷排放控制，降低与进口燃料有关的甲烷排放。



部分主要化石能源进口国甲烷排放强度高于我国平均水平，建立进口低排放强度采购原则能够推动减排。我国现有煤炭、石油和天然气生产过程的甲烷强度在世界各国中属于中等水平（如图表11所示），部分国家的平均煤油气甲烷排放强度高于我国，同时出口量庞大。我国煤炭进口主要集中在俄罗斯、印尼、蒙古等国，石油进口集中在俄罗斯和伊拉克，天然气进口则主要来自土库曼斯坦。不同产区排放强度的差异有可能产生如下问题：我国每进口1吨化石燃料，将有可能引起比生产本土燃料更高的出口国甲烷排放。如果我国能够设置相应的采购标准，对主要出口国提出甲烷排放强度或甲烷管控力度的硬性要求，能够在推动上述国家减少甲烷排放的同时降低我国由于进口化石能源产生的间接影响。

图表 11 我国化石能源进口主要来源国及其甲烷排放强度





数据来源: IEA<sup>35</sup>, BP<sup>36</sup>, RMI测算

从国家和企业层面考虑，采购原则都能够帮助减少与进口煤油气有关的甲烷排放。在进口化石能源时，如果我国能够要求供应商提供相应信息，证明其出口至我国的化石能源在排放强度或政策管控力度上对标我国的本土水平，能够促进出口量大、排放强度高的化石能源生产大国提高甲烷控排力度。从企业层面考虑，我国化石能源消费企业也可参考相关数据平台进行低排放强度产品的筛选，促进建设低碳供应链体系。

RMI与相关机构合作成功孵化天然气甲烷排放认证工具MiQ，能够帮助政府和企业识别和区分进口天然气的甲烷排放表现，并支持未来通过采购原则降低进口能源有关的甲烷排放：

### 专栏2 MiQ

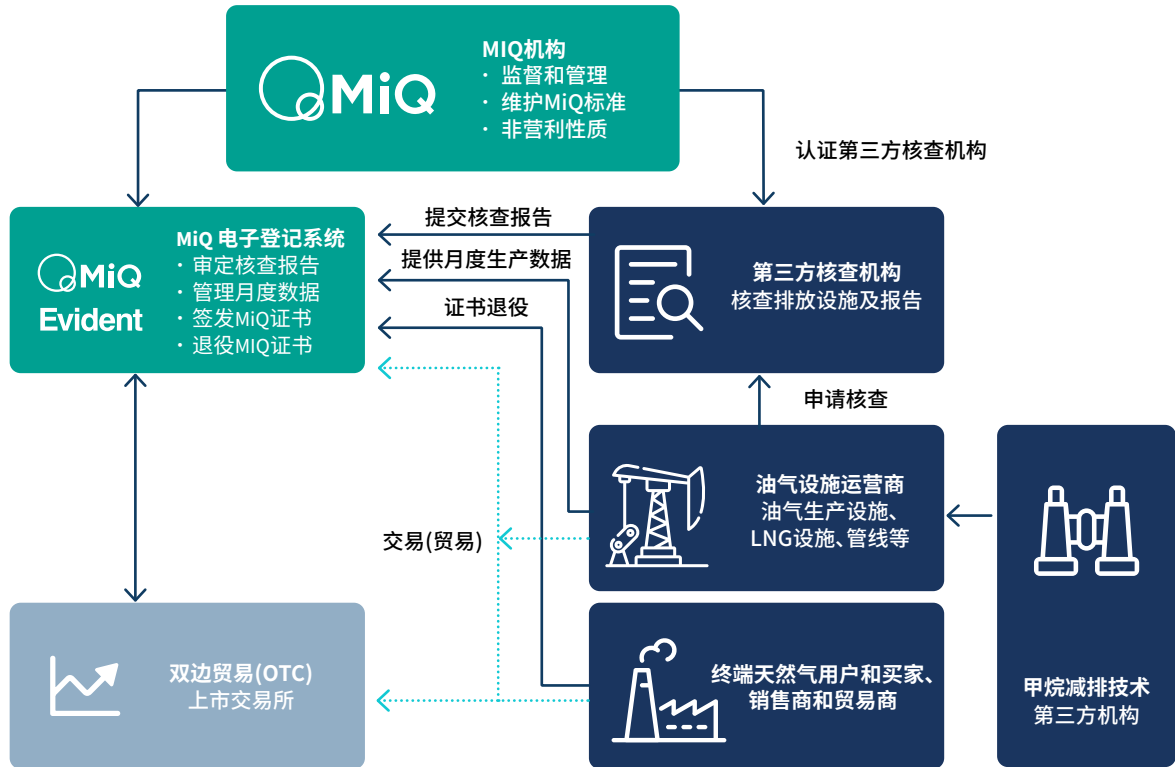
MiQ是由RMI孵化的、专注于天然气甲烷排放认证的非营利机构，旨在为认证甲烷排放表现的天然气提供蓬勃的发展空间，为油气行业大幅减少甲烷排放创造激励机制，目前MiQ认证已经覆盖全球天然气市场的4%。

**天然气运营商能够通过MiQ获得甲烷排放证书，提高自身产品的竞争力。**天然气生产运营商可以在MiQ注册平台(The MiQ Registry)申请账号并登记设施，提供相关信息并提交甲烷认证申请。审核通过后，第三方核查团队严格按照MiQ标准进行评级，评价内容涵盖了甲烷排放强度、监测技术实施情况以及企业的甲烷排放管理实践。企业将按照MiQ认证等级获得相应证书，等级共分为6档(A-F)，其中最优档次为A，取得该档次证书的天然气产品甲烷排放强度 $\leq 0.05\%$ ，实施季度排放监测并采取严格的企业排放管理措施。企业在获得证书后可以通过CG Hub平台以及双边贸易出售MiQ证书和认证天然气，MiQ的评级越高，企业将获得更多竞争力和额外收入。

**天然气买家或交易商可以通过MiQ购买低排放的甲烷产品，降低供应链的气候影响。**MiQ评级体系能够为天然气产品提供更高的透明度，更好地帮助天然气买家了解其所购买产品的气候影响。MiQ评级的优势在于以数据为主导的多层级评价体系，买家可以在高排放和低排放天然气产品中按需做出选择。除此之外，MiQ平台负责跟踪认证天然气从生产到消费的全过程，确保用户购买的证书和认证气体的气候属性不被重复计算和使用，确保最终用户能够在ESG报告中体现MiQ证书的环境属性。

资料来源: MiQ<sup>37</sup>

图表 12 MiQ的运营方式



图片来源：MiQ<sup>38</sup>

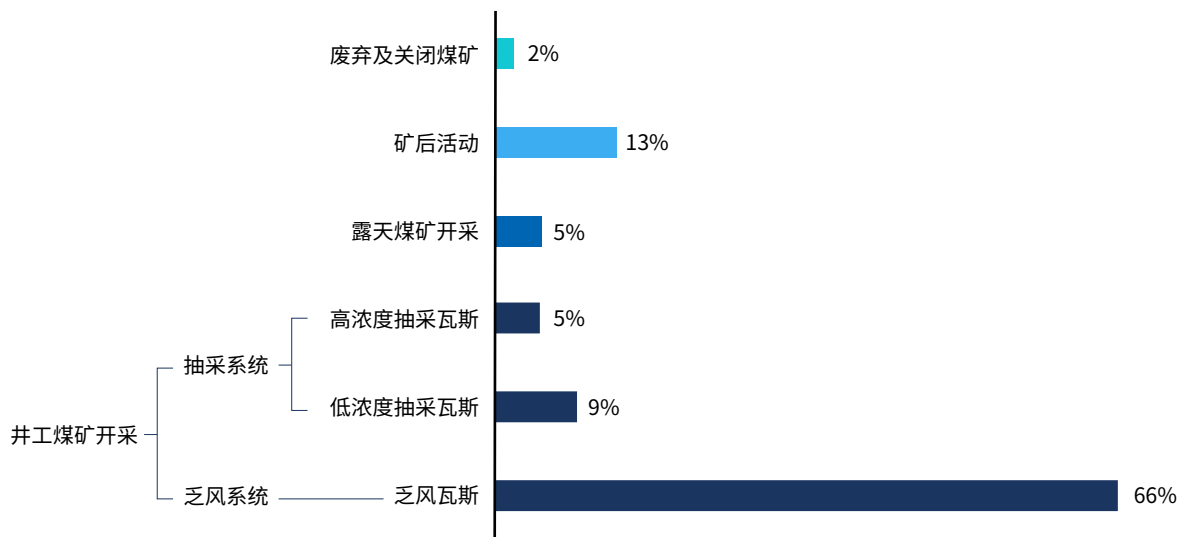
# 维度三：市场机制

## 1. 煤炭行业关键减排技术需要加强经济激励

井工煤矿开采过程产生的甲烷排放是煤炭行业甲烷控排的关键。我国80%的能源甲烷排放都来自于煤炭行业，其中绝大部分来自井工煤矿开采过程<sup>39</sup>（图表13），因此降低井工开采的甲烷排放是我国煤炭行业以及能源领域甲烷深度减排的关键所在。

井工开采甲烷排放能够通过回收利用技术实现减排。井工开采的甲烷排放主要来自于抽采系统和乏风系统，两个系统将煤矿生产过程中伴生瓦斯气体从地下输送至地面。目前，我国针对井工甲烷排放的回收利用技术已较为成熟，基本按照甲烷的浓度的高低形成了梯级利用体系<sup>40</sup>。在现有技术中，一般来说甲烷浓度越高，减排技术的经济性越好。抽采系统气体的甲烷浓度更高，一般以浓度30%作为界限，高于30%的为高浓度抽采瓦斯，主要用于发电和民用、工业用途，目前基本应用尽用，甲烷浓度低于30%的为低浓度抽采瓦斯，其中较高浓度的气体（浓度介于8%~30%之间）可以用于发电，低浓度气体（一般低于8%）则主要用于氧化供热，为矿区和周边社区提供热水及热蒸汽。煤矿的乏风系统主要用于确保井下工况和工人生命安全，由于系统进风口会鼓入大量新鲜空气，导致回风管道内的乏风瓦斯浓度极低（一般低于0.75%），目前主要的利用途径是氧化供热，或与低浓度瓦斯掺混后利用，技术经济性不佳。

图表 13 煤炭行业的主要甲烷排放来源及占比



资料来源：刘文革 et al<sup>41</sup>，Zhou et al<sup>42</sup>，内容由RMI整理

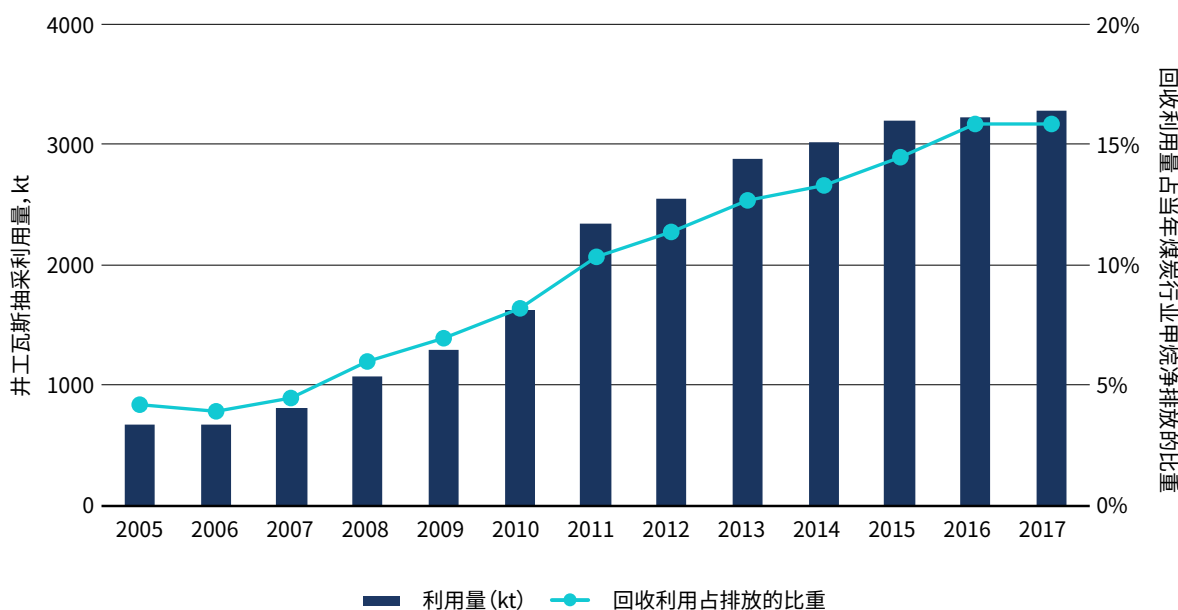
注：占比为考虑回收利用后的净排放，其中高浓度瓦斯 $C_{CH_4} \geq 30\%$ ，低浓度瓦斯 $C_{CH_4} < 30\%$ ，乏风瓦斯 $C_{CH_4} < 0.75\%$

我国也已经通过政策约束和激励措施控制井工开采甲烷排放并取得阶段性成果。我国煤炭行业的甲烷排放最早作为安全问题开始治理，通过补贴的方式为煤炭行业的甲烷回收利用提供了直接的经济激励（图表14），结合煤层气（煤矿瓦斯）排放标准、国家核证自愿减排量（China Certified Emission Reduction, CCER）以及清洁发展机制（Clean Development Mechanism, CDM）等，我国成功促进了本土煤矿瓦斯回收利用项目的建设和运营，“十一五”时期以来瓦斯抽采量和利用量大幅提升（图表15），据估算，我国煤炭行业井下抽采瓦斯的回收利用量占煤炭行业甲烷净排放总量的比重从2005年的不足5%逐步提升至约16%，现有的瓦斯利用政策对甲烷管控起到了积极作用。

图表 17 推动我国煤炭行业甲烷回收利用的主要政策措施

时间	政策文件	发布单位	具体内容
2007	《关于利用煤层气（煤矿瓦斯）发电工作的实施意见》	国家发展改革委	煤层气（煤矿瓦斯）发电的上网电价比照生物质发电项目的上网电价
2007	《关于煤层气（瓦斯）开发利用补贴的实施意见》	财政部	按0.2元/立方米煤层气（折纯）标准对煤层气开采企业进行补贴，补贴不与上网电价同享，地方可根据情况给予额外补贴
2008	《煤层气（煤矿瓦斯）排放标准（暂行）》	生态环境部	甲烷浓度≥30%的煤层气及煤矿抽采系统瓦斯禁止排放
2016	《关于“十三五”期间煤层气（瓦斯）开发利用补贴标准的通知》	财政部	煤层气（瓦斯）开采利用中央财政补贴标准从0.2元/立方米提高到0.3元/立方米
2019	关于《可再生能源发展专项资金管理暂行办法》的补充通知	财政部	自2019年起，煤层气（煤矿瓦斯）利用不再按定额标准进行补贴。按照“多增多补”的原则，对超过上年开采利用量的，按照超额程度给予梯级奖补；相应，对未达到上年开采利用量的，按照未达标程度扣减奖补资金。同时，对取暖季生产的非常规天然气增量部分，给予超额系数折算，体现“冬增冬补”。

图表 15 我国煤炭行业井下抽采瓦斯回收利用情况



资料来源: 刘见中等<sup>43</sup>, EDGAR<sup>44</sup>, RMI测算

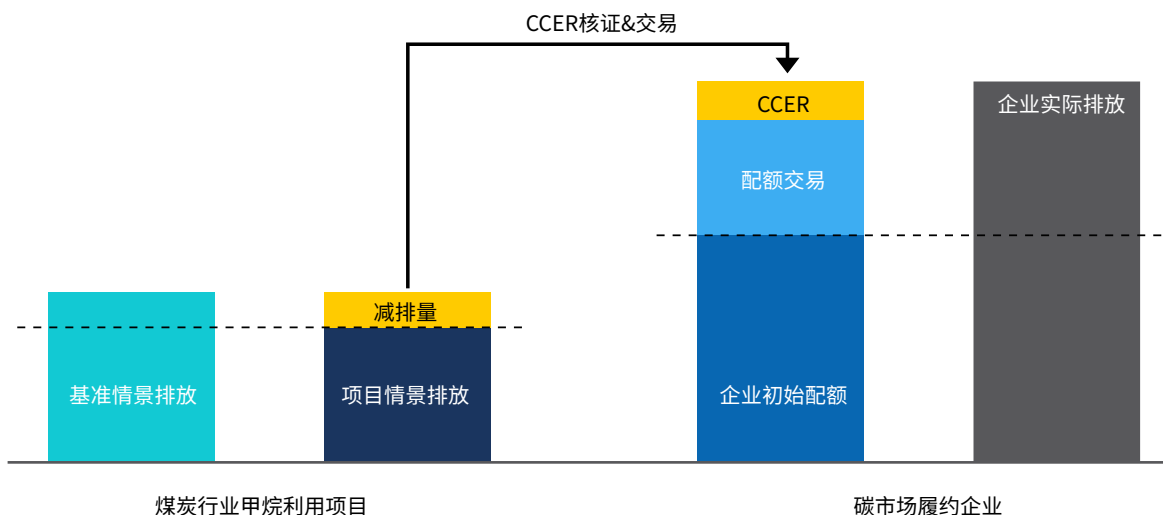
低浓度瓦斯和乏风瓦斯减排技术可行，但由于经济性不佳，仍需加强激励以推动减排项目的建设和运营。虽然我国现有政策措施成功推动了煤炭行业甲烷排放回收利用，但是受技术经济性的影响，目前我国成功运营的瓦斯利用项目中大部分仍然为抽采瓦斯回收利用项目，且以高浓度瓦斯发电为主，乏风瓦斯和低浓度瓦斯回收利用在现存补贴力度的影响下，现有及新建项目数量仍然较少，产生的减排效果有限。同时，考虑到目前地方层面的补贴力逐渐退坡，以及低浓度瓦斯和乏风瓦斯在煤炭行业甲烷排放中的较高占比，要加速推进我国煤炭行业的甲烷控排，需要对上述瓦斯气体的回收利用加强经济激励。

## 2. CCER 有望大幅提升关键技术经济效益

实现甲烷的气候价值有助于促进低浓度及乏风瓦斯利用。低浓度抽采瓦斯和乏风瓦斯经氧化利用后产生的能量较少，用于生产蒸汽和电力所获得的经济收益有限，经测算，浓度低于8%的低浓度瓦斯和乏风瓦斯利用项目在缺少补贴的情况下，单位甲烷减排无法实现正收益，难以吸引企业参与。考虑到甲烷远高于CO<sub>2</sub>的增温潜势，如果能够实现甲烷减排产生的气候价值，甲烷回收利用项目的经济性就能够大幅提升。在2005年至2017年间CDM曾成功通过减排量交易的方式提升了煤炭甲烷减排项目的经济性，经统计，在CDM下备案的乏风瓦斯项目通过出售核证减排量获取收益后，平均内部收益率能够从-9%提升至22%。

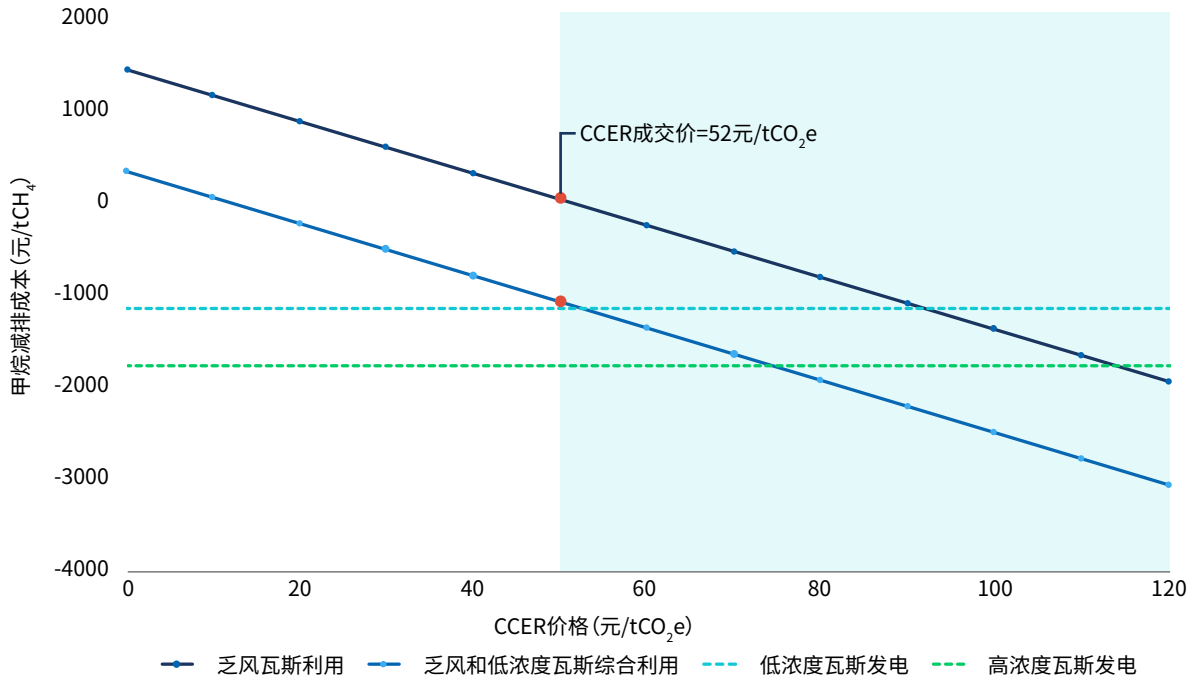
全国温室气体自愿减排交易市场能够为煤炭行业甲烷减排提供机会。CCER抵消是全国碳市场配额交易外的重要补充，如果CCER市场在重启后纳入煤炭行业甲烷减排项目，瓦斯利用企业就可以通过甲烷减排获取核证自愿减排量并与碳市场控排企业交易，得到直接的经济收益（图表16）。

图表 16 煤炭行业甲烷 CCER 项目在碳市场的应用方式



全国碳市场能够作为推动煤炭行业甲烷利用项目建设运营的基础。碳市场控排企业购买CCER时受5%的配额抵消上限限制，CCER的成交价格一般贴近且略低于碳市场配额成交价。CCER的成交价格是瓦斯利用企业的主要收入来源之一，对甲烷利用项目的成本效益有着重要影响。在不参与CCER市场的情况下，乏风瓦斯利用项目以及乏风-低浓度瓦斯综合利用项目的甲烷减排成本分别约为1400元/tCH<sub>4</sub>和300元/tCH<sub>4</sub>，当参与CCER市场后，随着CCER成交价格的不增加，两类项目的甲烷减排成本逐渐下降，当CCER价格达到52元/tCO<sub>2</sub>e时，乏风瓦斯利用项目和乏风-低浓度瓦斯综合利用项目均可实现零成本减排（图表17）。2022年全国碳市场配额成交均价为55元/tCO<sub>2</sub>e，可初步认为碳市场已经能够作为促进煤炭行业甲烷回收利用的基础，随着未来更多行业纳入碳市场、配额逐步收紧，配额价格上涨将同时带动CCER成交价格的增长，将为煤炭行业甲烷利用项目提供额外利润空间。

图表17 CCER成交价格对不同浓度瓦斯利用项目经济性的影响



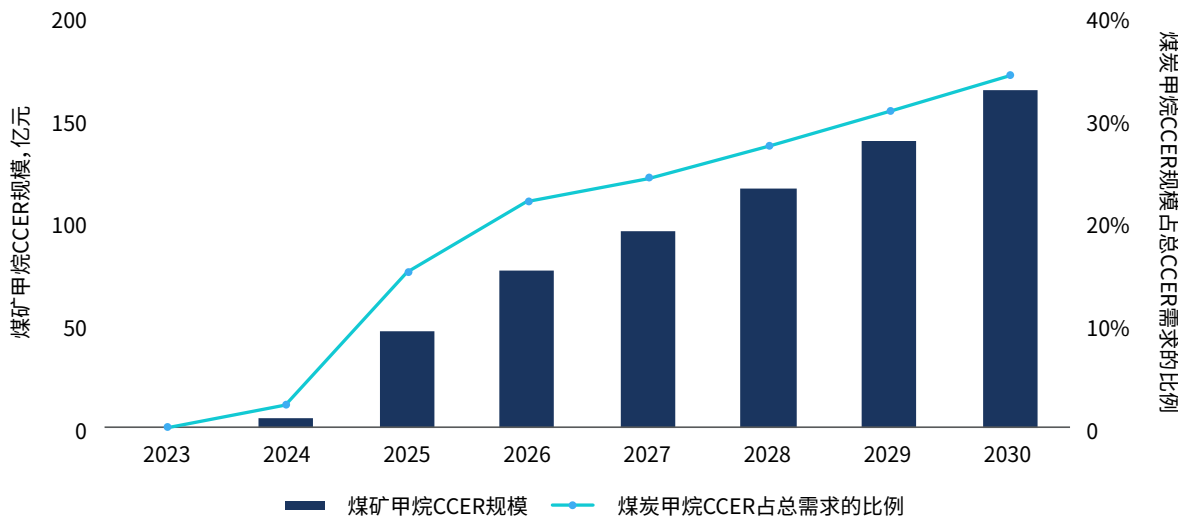
资料来源: RMI测算

注: 减排技术所采用的瓦斯气体浓度为: 乏风瓦斯利用项目 $C_{CH_4} < 0.75\%$ ; 乏风和低浓度瓦斯综合利用: 乏风瓦斯 $C_{CH_4} < 0.75\%$ 、低浓度瓦斯 $C_{CH_4} < 8\%$ ; 低浓度瓦斯发电 $8\% \leq C_{CH_4} < 30\%$ ; 高浓度瓦斯发电 $C_{CH_4} \geq 30\%$ 。情景内的低浓度和高浓度瓦斯发电项目不参与CCER市场。

基于CCER对项目额外性的要求，乏风和低浓度瓦斯利用项目将有更大的发展空间。CCER市场管理办法对减排项目提出“真实性、唯一性和额外性”的要求。目前高浓度瓦斯利用项目和绝大部分的中低浓度（ $8\% \leq C_{CH_4} < 30\%$ ）瓦斯利用项目在不参与CCER市场的情况下也能够具备较高的收益，而乏风瓦斯和浓度小于8%的低浓度瓦斯利用项目的内部收益率与以往CDM基准线数据指标存在4%~60%的差距，通过CCER市场开展减排将有更大的空间。

在CCER作用下，到2030年乏风和低浓度抽采瓦斯利用项目将产生21%的煤炭行业甲烷减排潜力。在八大行业逐步纳入碳市场后，全国碳市场将覆盖约80亿吨CO<sub>2</sub>排放量<sup>45</sup>，届时CCER市场规模有望达到4亿吨CO<sub>2</sub>e。据估算，到2030年煤炭行业甲烷CCER项目的总规模将超过140亿元，核证减排量能够覆盖CCER总需求的30%（图表18），向煤炭行业贡献21%的甲烷减排。

图表18 2030年煤炭行业甲烷CCER项目市场规模



资料来源: RMI测算

### 3. 气候金融促进减排技术的培育与发展

能源领域的甲烷减排需要大量资金，但目前全球范围内的投入难以满足缺口。不论是直接产生甲烷减排效果的企业行动，还是间接推动甲烷减排的政策、能力建设、技术支持等辅助性减排措施，都需要公共和私营部门的大量经济投入。据统计，全球甲烷减排每年需要高达1200亿美元的资金支持，但是目前甲烷减排资金的实际支出却仅占需求的10%，仍存在1000亿美元的缺口<sup>46</sup>。能源领域作为资金需求最小的行业，全球目前已追溯到的甲烷投资支出仅为1亿美元，是废弃物部门现有甲烷减排投资支出的2.3%，农业部门的1.4%。

我国煤炭行业甲烷减排技术投资需求大，减排项目建设需要金融工具支持。煤炭和油气行业作为高碳行业，不符合现行绿色金融框架要求，企业开展甲烷减排项目可能面临着融资方面的困难，资金的获取渠道受限。据统计，目前已经建设运营的乏风及低浓度瓦斯减排项目的资本支出在1000万元以上，部分项目的投资成本可能高达1亿元以上，如果未来煤炭行业瓦斯回收利用项目纳入CCER市场，瓦斯利用项目的新增投资总需求将超过700亿元。面对高昂的投资成本，煤炭和油气企业的甲烷减排项目需要借助金融手段获得支持，部分气候金融工具能够为甲烷回收利用项目的落地实施提供支撑（图表19）。



图表 19 促进我国能源领域减排的气候金融工具

- 1. 培育减排技术——技术投资基金：**技术的发展能够为减排成本的下降带来更多可能性。在能源领域，除了关注现有甲烷减排技术的实施以外，还可以积极投资减排技术研发领域。例如，OGCI 成立的气候投资基金（Climate Investment Fund）有专门的款项用于投资甲烷减排技术，以加速减排技术的商业化发展周期并提高市场的接受程度。如果我国煤炭企业间成立国内或国际减排联盟，可以参照 OGCI 的现有模式成立煤炭甲烷减排基金，用于向技术研发企业提供专属投资支持。
- 2. 促进技术实施——转型金融：**相较于绿色金融，转型金融更加关注高排放企业的融资需求，能够支持尚无法被技术和经济上可行的低碳替代品所取代的活动，在向碳中和过渡中发挥重要作用。煤炭和油气行业的甲烷减排符合转型金融的支持框架，有机会通过转型金融市场获取减排启动资金，以减轻企业的成本压力，提高减排积极性。目前，我国转型金融市场刚刚起步，需要建立并逐步完善各项机制。因此，建议主管部门在转型金融标准制定过程中考虑甲烷减排，同时企业也应主动参与制定转型金融框架和转型路径，为自身获得转型融资建立依据。
- 3. 盘活甲烷资产——CCER 质押贷款：**CCER 质押贷款属于碳资产质押贷款的一种，在未来煤炭行业甲烷利用项目参与 CCER 市场的基础上，甲烷控排企业在获得核证减排量后，可以选择与银行合作并将未来收益的核证减排量质押以申请贷款，用于补充控排企业的流动资金。

# 维度四：信息披露

## 1. 信息披露对能源领域甲烷控排有重要作用

**信息披露能够提升企业运营表现并降低监管风险。**企业层级行动是我国实现甲烷控排的核心。从企业运营管理的角度来讲，企业测量并披露自身甲烷排放情况能够帮助自身更好地识别重点排放源并规避安全和气候风险，同时也能减少由于甲烷泄漏带来的经济损失，提高企业收益。信息披露能够作为展示企业高效管控水平的有效手段，为企业吸纳投资提供更多机会。从政府监管的角度来看，如果未来我国出台具体的企业层级甲烷排放管控政策，建立甲烷排放数据的报送制度，面对新的合规要求，具备良好信息披露能力的煤炭和油气企业能够对新政策迅速响应，更好地做到监管合规。

**企业层级信息披露能够支撑政府决策。**对于政策制定者而言，完善的MRV方法学，以及更高的数据透明度是推动甲烷控排的重要基础之一。甲烷排放管控在目标制定、重点排放源识别、减排潜力计算、技术经济性评估等方面均需要有效可靠的基础数据，因此企业层级的信息披露是主管部门制定政策的关键。企业提升面向政府部门的信息透明度，报告煤矿和油气设施层级的详细排放数据有助于主管部门摸清排放家底，并根据实际情况制定国家和地方层面的减排战略，开展减排目标分解并追踪减排进展，有助于提升甲烷治理基础能力和信心。

**信息披露是企业参与市场机制、加深国际合作的基础。**市场机制是甲烷减排的有效激励措施之一，由于市场机制实现甲烷减排的气候价值，允许企业对甲烷减排量进行交易，因此企业有义务向主管部门提交充分的甲烷减排信息以用于减排量的核证。除了参与市场机制外，国际合作也是促进企业减排的重要推动力，企业间的信息披露有助于国内和国际能源企业逐步提高对彼此甲烷管控基础能力的认识和理解，增加减排技术和管理模式等方面的交流，有助于进一步提高自身的甲烷管控水平，推动实现共同的减排目标。

**信息披露有助于增强社会对于甲烷控排的认识。**目前，国内对于甲烷排放的理解仍然较为有限，对甲烷控排有较大影响的利益相关方，如耗能行业、投资机构等对甲烷控排认识仍然不够充分，甲烷话题尚未进入公众视野，导致减排成效优异的企业难以获得额外支持，排放不加管控的企业也不会受到限制。在国家、地方层面不断增强甲烷排放的信息披露能够扩大甲烷控排的宣传，在企业层面提升信息披露水平能够提供横向对比的机会，提升利益相关方参与和推动甲烷控排的意愿和积极性。

## 2. 能源企业信息披露的现状

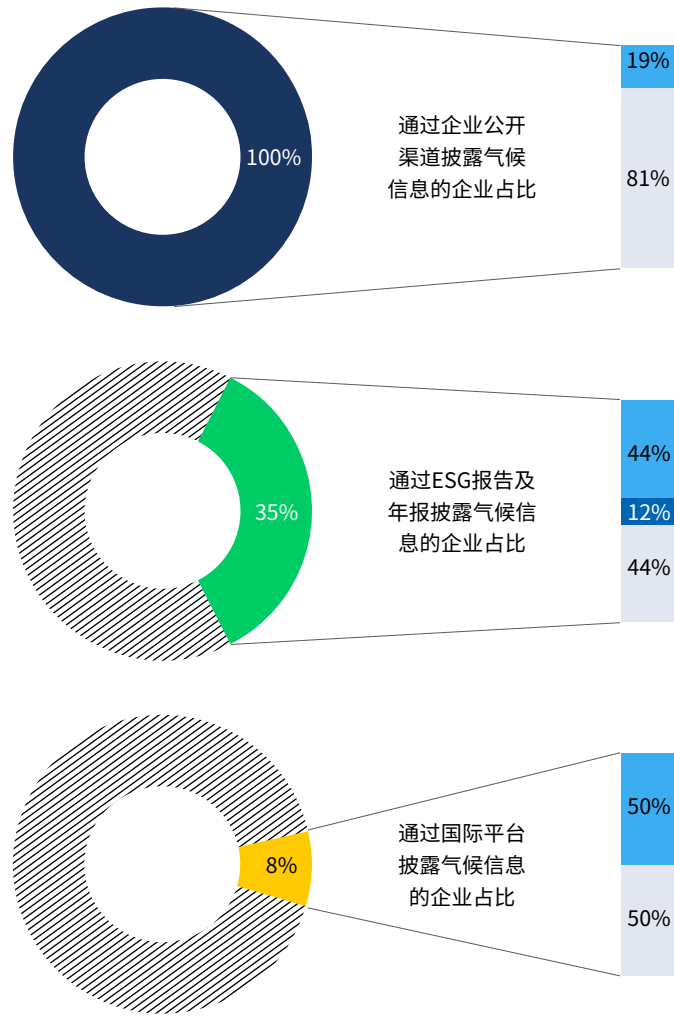
甲烷排放的MRV是信息披露的重要基础。自2010年以来，我国编制并发布了一系列能源领域甲烷MRV方法学并投入应用（图表20）。国家行动方案指出，我国甲烷排放控制仍然面临统计监测基础较为薄弱、法规标准体系尚不完备等问题，需要采取更加有力的措施，切实提升甲烷排放统计核算、监测监管等基础能力。能源企业是加强我国甲烷排放MRV能力的重要参与者，未来在排放监测、报告、核查和信息披露等方面仍有提升空间。

图表 20 我国甲烷排放监测、报告和核查（MRV）指南及标准一览

时间	政策文件	发布单位	甲烷MRV有关内容及应用现状
1996 2006 2019	《IPCC 1996年IPCC国家温室气体清单指南》 《IPCC 2006年IPCC国家温室气体清单指南》 《IPCC 2006年IPCC国家温室气体清单指南 2019修订版》	政府间气候变化专门委员会 (IPCC)	国家煤炭及油气行业甲烷排放核算方法学，用于核算国家煤炭和油气行业甲烷排放总量，我国已经编制了2005、2010、2012、2014年的排放清单对甲烷排放进行了核算，信息公开但数据颗粒度有限，暂未形成时间序列
2010	《省级温室气体清单编制指南（试行）》	国家发展改革委	地方煤炭及油气行业甲烷排放核算方法学，用于核算各省甲烷排放量，目前我国各省已经开展省级清单编制，但是具体的排放信息暂未公开
2014	《中国煤炭生产企业温室气体排放核算方法与报告指南》	国家发展改革委	煤炭企业核算指南，暂无面向政府的报送渠道，用于煤炭企业甲烷排放核算
2014	《中国石油天然气生产企业温室气体排放核算方法与报告指南》	国家发展改革委	油气企业核算指南，用于油气企业甲烷排放核算，暂无面向政府的报送渠道
2018	《GB/T 32151.11-2018 温室气体排放核算与报告要求 第11部分：煤炭生产企业》	中国国家标准化管理委员会	煤炭企业排放核算的国家标准，用于煤炭企业甲烷排放核算，暂无面向政府的报送渠道
2021	《碳监测评估试点工作方案》	生态环境部	煤炭和油气企业甲烷排放监测方法学，目前生态环境部已经按照《方案》开展了煤矿、油气田的监测试点工作

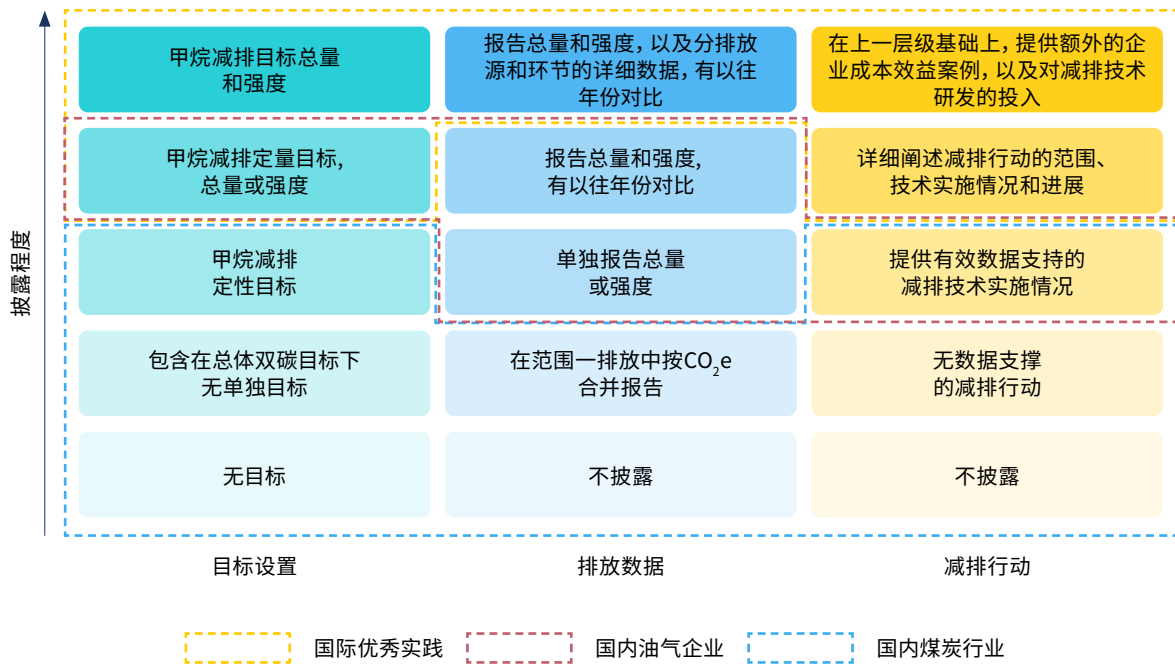
国内能源企业的信息披露程度有进一步提升的空间。根据企业公开信息，我国暂时没有煤炭企业对外公布具体的甲烷减排目标和甲烷排放数据，仅有个别企业公布了甲烷回收利用情况，信息披露存在较大空白。与煤炭企业相比，国内油气企业的信息披露程度更高，大型油气公司均制定了减排目标，并积极通过ESG报告和国际平台披露减排进展，但信息的详细程度与国际最佳做法有一定差距（图表21-23）。

图表 21 国内大型煤炭及油气企业甲烷排放信息披露情况



■ 披露甲烷减排内容的油气企业 ■ 披露甲烷减排内容的煤炭企业 ■ 未披露甲烷减排内容的企业

图表22 国内外能源企业甲烷信息披露程度



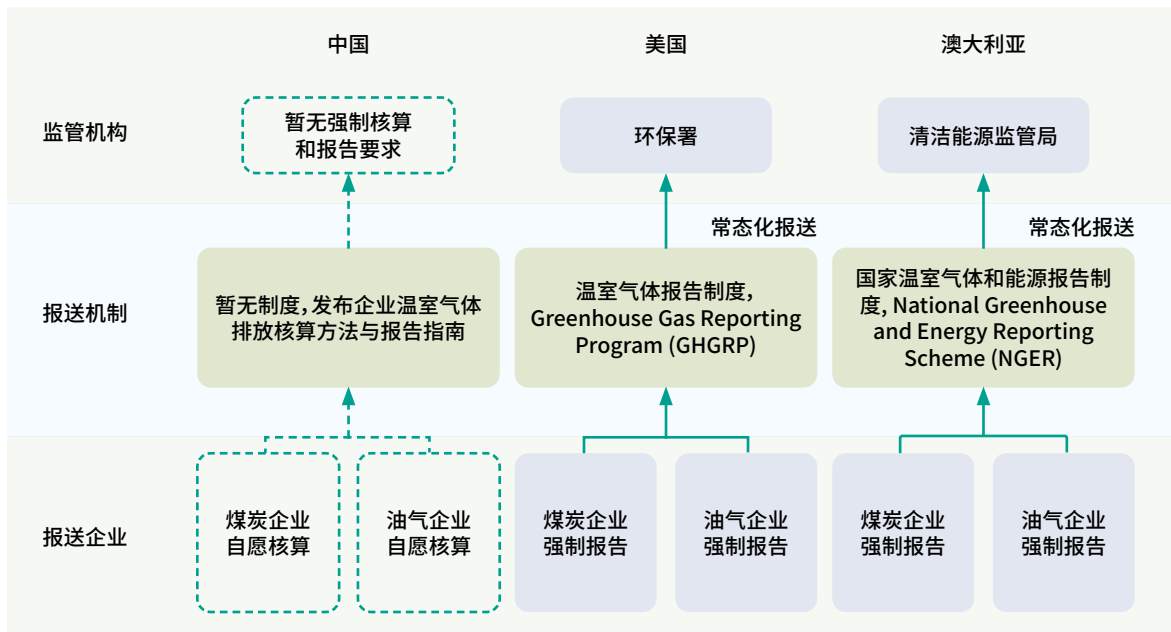
图表23 国内主要能源公司甲烷排放信息披露情况

甲烷排放信息	中国石油	中国石化	中国海油
甲烷减排目标	到2025年甲烷排放平均强度控制在0.2%以下, 到2025年天然气生产过程甲烷平均排放强度降至0.25%以下	到2025年甲烷排放强度降低50%, 天然气生产过程甲烷平均排放强度降至0.25%以下, 到2030年实现回收利用甲烷2亿立方米/年	到2025年天然气生产过程甲烷平均排放强度降至0.25%以下
甲烷排放数据	披露甲烷排放总量及强度	披露甲烷排放总量、回收利用率, 及各业务板块(油气勘探开发板块、炼油与化工板块、销售板块)的甲烷排放	暂未披露
减排进展	披露减排行动及减排量贡献率	披露减排行动及减排量	披露减排行动及个别项目减排量
国际和国内承诺	油气行业气候倡议组织(OGCI)成员, 中国油气企业甲烷控排联盟成员	中国油气企业甲烷控排联盟成员	中国油气企业甲烷控排联盟成员

### 3. 加强能源企业信息披露的多种方式

目前, 我国正在加强甲烷排放MRV体系建设, 推进建立重点行业企业甲烷排放核算和报告制度。对能源企业来说, 建立政府-企业之间的常态化报告机制, 开展企业减排行动进展跟踪和评估, 将有助于提升能源企业的信息披露, 并为未来企业设置减排目标打下基础。针对煤炭企业而言, 目前大部分企业可参考国际上已经发布的煤炭企业报告指南(图表24), 将甲烷排放作为核心指标单独体现, 完善ESG报告中以CO<sub>2</sub>e为单位的全部温室气体排放的统一披露。

图表 24 主要国家煤炭和油气企业排放数据报告体系



我国企业可借鉴国际优良做法加强信息披露。相比于我国，部分发达国家更早地开展了甲烷排放控制工作，已经形成了适用于自身的MRV体系并投入实际应用，许多国际能源企业对甲烷排放的重视程度也不断提高，逐渐增加了对甲烷排放量和减排成效等信息的披露。结合我国国情，我国企业也可以参考国际经验做法进一步提升信息披露程度，具体方式有：

- **开展常态化的甲烷排放测量：**煤炭和油气企业参考统一、规范的MRV方法学，优先选用高层级或实测方法开展甲烷排放的测量，并按照要求形成排放清单报告，增强企业自身对排放数据的掌握程度。
- **加强面向政府的信息披露：**积极参与政府-企业间甲烷管控试点工作并提供相关数据，支撑政府决策。在未来建立常态化报送机制的基础上，按照主管部门的要求定期对排放报告开展核查，并按时进行报送。
- **制定并公开甲烷减排目标：**许多能源企业已经制定了碳达峰碳中和目标，在此基础上建议进一步制定并公开专门的甲烷管控的定量减排目标。目标包含基础年份和目标年份，可以将排放总量作为指标，但更建议采用排放总量和强度结合的目标设置方式。
- **采用公开渠道披露排放数据：**煤炭和油气企业通过ESG报告、国际平台和企业官方渠道等形式，定期对甲烷排放数据进行披露。
  - **ESG报告：**企业可将甲烷排在ESG报告气候或环境相关章节中单独体现，在披露范围一温室气体排放总量之外，将甲烷排放量和排放强度单独列出，并提供与基础年份和以往年份的比较，排放单位可以是tCO<sub>2</sub>e或tCH<sub>4</sub>，但应明确所选用的GWP值，企业还可以进一步按照甲烷排放源（如放空和逸散）进行分类报告。
  - **国际平台：**企业按照流程主动向OGCI等组织报告甲烷排放情况。
  - **企业官方渠道：**在企业官方网站设置专门的甲烷减排板块，对目标、排放数据和行动进行披露。
- **开展甲烷减排行动并披露进展：**企业定期公开甲烷减排行动，内容包含所用减排技术、实施地点、实现的减排量等。

图表 25 建议我国煤炭和油气企业披露的甲烷排放信息

煤炭企业	油气企业
<p><b>1. 减排目标</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>总量目标：企业目标年份甲烷排放较基准年份排放的减排比例或减排量</li> <li>强度目标：企业每生产1吨原煤产生的甲烷排放，可进一步划分为动力煤和焦煤</li> </ul> <p><b>2. 排放数据</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>目标基准年份、报告年份以及以往年份（如有数据）的范围—甲烷排放总量和强度</li> <li>按排放来源（燃料燃烧、井工开采、露天煤矿、矿后活动、关闭矿井）划分的甲烷排放量明细</li> <li>核算边界和方法学</li> </ul> <p><b>3. 减排行动</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>是否加入或发起国内及国际甲烷减排联盟，有哪些贡献和进展</li> <li>减排案例，具体在哪些煤矿开展减排，对哪类甲烷排放开展回收利用（乏风瓦斯、抽采瓦斯），提供技术的具体信息和甲烷回收利用量数据</li> <li>是否支持政府部门开展的甲烷减排工作，参与的活动以及取得的成效</li> <li>对甲烷减排项目的投资金额，对甲烷减排技术研发的投入，以及开展减排工作的成本效益信息</li> </ul>	<p><b>1. 减排目标</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>总量目标：企业目标年份甲烷排放较基准年份排放的减排比例或减排量</li> <li>强度目标：企业单位天然气产量或销售量的甲烷排放，以%体现</li> </ul> <p><b>2. 排放数据</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>目标基准年份、报告年份及历史年份（如有数据）的范围—甲烷排放总量</li> <li>按环节（上游、炼油、化工）或按排放类型（放空、火炬燃烧、逸散、燃料燃烧）划分的甲烷排放明细</li> <li>核算边界和方法学</li> </ul> <p><b>3. 减排行动</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>是否加入或发起国内及国际甲烷减排联盟，有哪些贡献和进展</li> <li>减排案例，具体在哪些油气田和设施开展减排，所用的技术有哪些，提供技术的实施频率和范围的描述，甲烷减排量数据</li> <li>是否支持政府部门开展的甲烷减排工作，参与的活动以及取得的成效</li> <li>对甲烷减排项目的投资金额，对甲烷减排技术研发的投入，以及开展减排工作的成本效益信息</li> </ul>

# 维度五：国际合作

## 1. 国际合作在能源领域甲烷控排中发挥重要作用

**国际甲烷控排的合作形式逐渐从技术交流转向减排承诺。**甲烷控排作为全球议题，近年来在国际上愈发受到重视，国家、企业以及非营利组织和投资银行等都逐渐参与到国际合作中，期望通过共同努力推动全球范围内的甲烷控排（图表 26），早期合作形式主要以开展减排技术交流和示范为主，随着国际上对甲烷控排重视程度的不断提高，国家和企业层级均自愿建立起一系列以推动减排为主要目标的合作联盟，如全球甲烷承诺（GMP）、石油和天然气气候倡议（OGCI）等，上述国际合作平台有明确的减排目标，旨在通过多边合作以及企业间共同努力的方式推动减排行动。

**国际合作有助于提升本土能力建设。**由于发展水平的差异，发达国家更早地着手推动甲烷控排，在技术和政策等方面都有着更加丰富的经验。对于开展甲烷控排较晚的国家而言，推动甲烷控排需要更加坚实的基础能力建设，参与国际合作能够提供丰富的机会。目前主流甲烷控排国际平台的参与者除了国家和企业外，还有国际组织、金融机构和慈善机构等，上述部门能够为减排活动提供技术和经济支持，政府和能源企业可以通过国际合作学习先进国家的减排经验，提高自身在甲烷排放监测、政策制定、企业管理等方面的能力，从而推动更加高效的本土治理。

**国际合作有助于促进与进口能源有关的甲烷排放控制。**在通过采购原则推动主要化石能源出口国甲烷控排的过程中，在设置和实施进口政策时，国家和企业都需要强有力的、与国际接轨的甲烷排放测量方法，以提高结果的真实性和可信度。国家和能源企业加入甲烷控排联盟，可以借助国际组织和国际观测平台的卫星测量结果，或借鉴国际经验不断更新和完善自身的 MRV 方法学，用于更加客观地评估某一国家或能源企业是否达到进口甲烷排放标准，推动与进口化石能源有关的甲烷排放控制。

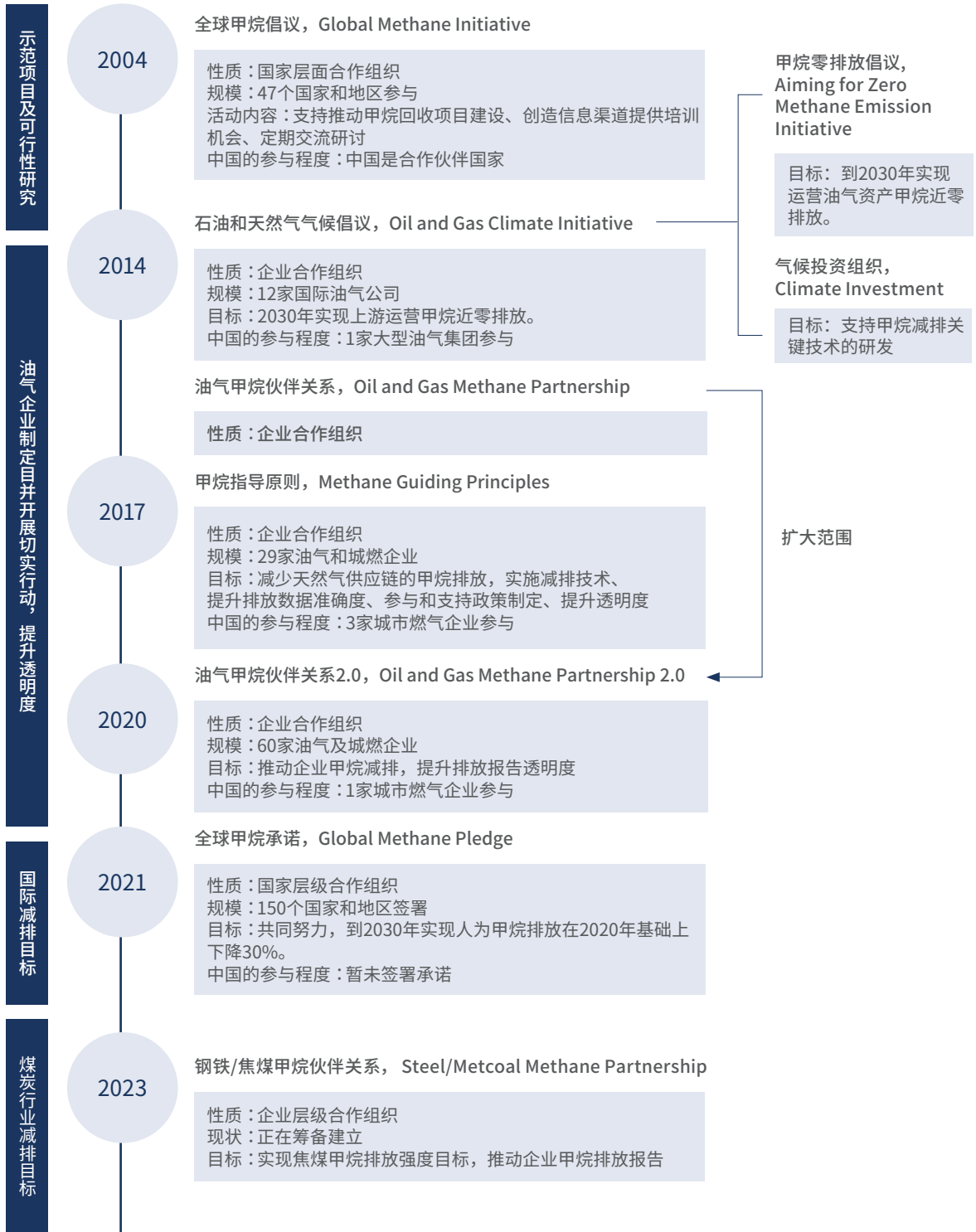
**国际合作有助于提升我国开展甲烷控排的国际话语权。**甲烷控排作为全球性议题，需要世界各国参与并做出贡献。我国作为最大的发展中国家，深度参与国际交流、加入减排联盟能够提高自身在甲烷控排议题中的话语权，促进多边主义和国际团结，同时也有助于推动各国承担减排义务，国际合作将提供国家间横向对比的机会，进一步提高我国甲烷控排的行动力。

## 2. 能源企业投身于全球甲烷治理

**我国积极参与国际合作，并努力推动本土甲烷控排。**我国自2004年以来在国家和企业层面参与了多个甲烷控排国际联盟，我国作为最早一批加入全球甲烷倡议（GMI）的国家，持续推动减排技术的国际交流与合作，煤炭行业和油气行业共计在GMI的支持下开展了198个减排示范项目和减排可行性研究（图表27）。我国大型油气公司和城燃企业也积极参与企业层面的国际合作，OGCI、OGMP和MGP中均有我国企业的身影。虽然我国暂未加入全球甲烷承诺，但在COP26大会期间积极推动中美双边合作，并于今年发布了国家层面的甲烷排放控制行动方案。



图表 26 主要国际甲烷控排合作平台



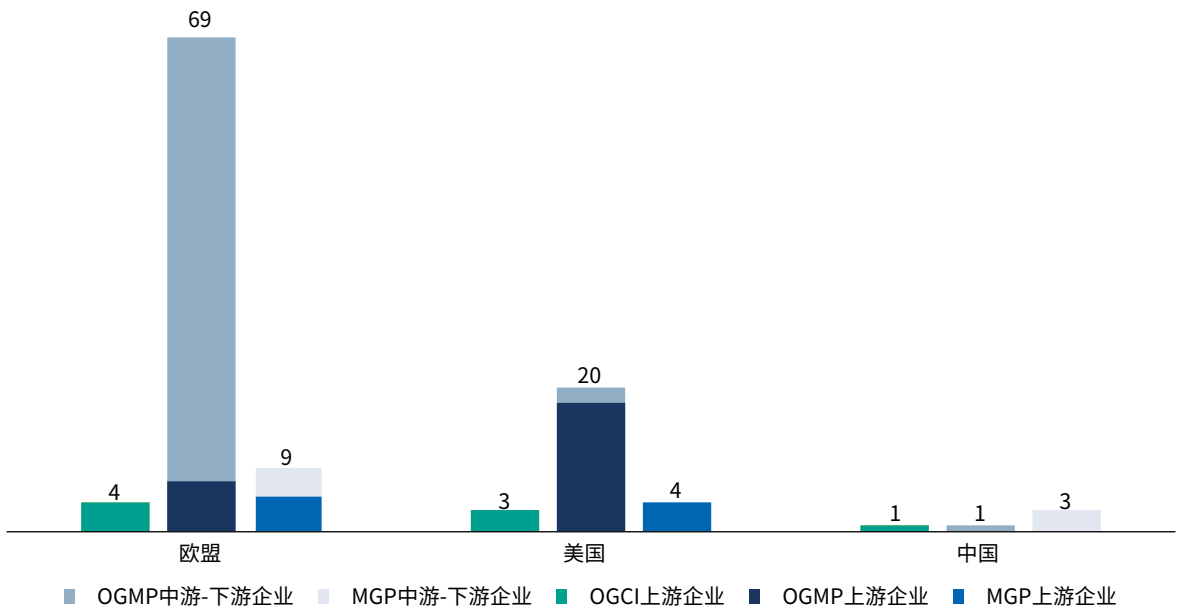
图表27 GMI支持下的我国油气及煤炭行业减排研究及示范项目



图片来源：GMI<sup>47</sup>

我国油气行业推动建立并参与国际联盟。从各国油气公司参与国际减排联盟的数量上来看，欧盟和美国的参与程度遥遥领先，据统计，OGCI、OGMP、MGP的成员中欧美企业占比分别达到了58%、79%和68%（图表22），在同时参与2个及以上国际联盟的企业中，欧盟和美国油气公司的占比高达三分之二。上述三个国际联盟中，有5家我国企业积极参与承诺并推动减排，其中包括1家油气公司，以及4家城市燃气企业，上述5家企业均分别加入了1个国际联盟并参与活动，我国企业的总体参与数量仍有较大的提升空间。

图表 25 甲烷控排国际联盟的各国企业参与情况



资料来源：OGCI<sup>48</sup>，OGMP<sup>49</sup>，MGP<sup>50</sup>，RMI整理

**煤炭行业在国际合作方面有潜力发挥积极作用。**目前，煤炭行业的甲烷国际合作仍以瓦斯回收利用项目建设和技术交流为主，国际上暂时没有形成统一的减排目标。联合国欧洲经济委员会（UNECE）正在筹备针对焦煤甲烷排放的国际伙伴关系，期望以国际合作的方式推动焦煤生产企业实施减排技术并降低单位焦煤产品的甲烷排放强度。我国在煤炭领域开展甲烷控排的经验十分丰富，同时拥有巨大的减排潜力，但企业间暂时没有形成专门的合作机制，在未来焦煤伙伴关系建立后，参与国际合作的我国煤炭企业能够获得更先进的技术支持，并在产品销售方面获得优势。

### 3. 进一步深化能源领域甲烷控排国际合作

我国作为最大的发展中国家、煤炭生产国和能源消费国，能够进一步在国际合作中发挥领导力。甲烷国际平台需要拓展更多的合作形式，我国企业可以更多的参与其中并积极引领和带动关键领域的减排。

**提高油气及城燃企业的国际联盟参与程度，大幅降低油气行业甲烷排放。**油气行业减排技术的成本效益较高，有潜力进一步借助国际合作获取支持，促进行动的落实。目前，国际联盟能够在卫星监测、减排技术孵化、行业操作规范等方面为企业提供有效指导。我国油气企业可以依据自身实际情况加入国际联盟，制定目标并推动甲烷控排。

**主动参与新领域控排联盟的建立，推动减少煤炭行业甲烷排放和钢铁供应链低碳化。**焦煤是钢铁行业主要原材料之一，在未来一段时间内，全球仍将维持对焦煤的消费需求。与动力煤相比，焦煤本土产量小，但甲烷排放强度更高，因此在动力煤逐步退出的过程中，焦煤生产过程中的甲烷排放将日益突出。我国是钢铁生产大国，受钢铁行业需求拉动，对于焦煤的本土生产和进口需求不断提升。在利益相关方的支持下，我国的焦煤企业和钢铁企业主动参与建立甲烷控排合作联盟，有助于焦煤企业减排目标制定和减排行动的实施，同时推动减少钢铁产品全生命周期温室气体排放。

# 推动能源领域甲烷控排的行动建议

甲烷排放控制是一项系统性工作，需要全面、整体地进行考虑。我国能源领域具备极佳的甲烷减排潜力。在保证能源安全的前提下，可针对我国各阶段的发展特征有侧重地推进重点行业甲烷控排工作。基于此，RMI提出在新阶段推动我国能源领域甲烷控排的5大行动建议：

- 1. 深化能源转型对减少能源领域甲烷排放的积极影响。**在保障能源安全和社会经济发展的前提下，推动电力、钢铁、交通、居民生活等主要化石能源消费领域低碳转型，减少化石能源消费，从而减少由化石能源生产导致的甲烷排放。电力行业，大力发展风、光、水、生物质和地热等可再生能源，减少对化石能源的依赖和使用；钢铁行业，推广基于废钢的短流程电炉钢生产、氢冶金技术和生物质冶金技术等，减少对焦煤的需求；交通行业，加速道路交通过电气化，在重型交通领域，推动氢能、生物航煤替代传统燃油，减少对石油的依赖；居民生活领域，在农村推行煤改电，充分利用生物质等再生资源，减少散煤应用，在城市建筑中推广热泵的应用，减少由供暖带来的天然气需求。
- 2. 推动低甲烷强度采购原则在化石能源消费侧的应用。**建立化石燃料采购原则，并将甲烷排放强度作为采购指标之一，推荐优先采购排放强度低的化石燃料，通过消费侧行为带动生产侧减排，提升燃料产品上游管理水平，促进煤炭等化石燃料的生产开发布局向资源禀赋好、甲烷排放强度低的地区优化。搭建甲烷排放强度标准体系，对低排放能源产品开展认证，为甲烷管理水平高的企业及其产品带来溢价。研究出台基于甲烷排放强度的LNG进口管理标准，降低我国与进口燃料有关的甲烷排放的同时促进LNG出口国减排。
- 3. 采用市场机制推进煤炭行业甲烷利用项目的建设和运营。**减少煤炭行业甲烷排放的关键在于提高低浓度瓦斯和乏风瓦斯的回收利用率，现有技术受成本效益限制仍处于示范阶段，增加额外的项目收益是激励企业实施关键技术的有效措施之一。目前，我国碳排放权交易市场已进入稳定运行期，CCER市场重启在即，建议尽快开展煤炭行业瓦斯回收利用CCER方法学的审核工作，加快瓦斯利用项目的设计和审批，促进低浓度瓦斯和乏风瓦斯利用项目的建设和运营，推动煤炭行业重点排放源的甲烷控排。
- 4. 促进能源企业不断提升排放信息披露能力。**甲烷排放披露能够夯实企业自身能力、促进气候风险的识别并支撑政府决策。我国能源企业在甲烷排放披露方面有进步空间，随着国际上对于企业甲烷排放管控要求的不断提升，我国能源企业可以借鉴国际经验，参与国际主流平台的排放报告，考虑参考和采用最新发布报告指引和方法学披露甲烷排放情况。建议我国油气企业在现有框架下不断完善报告内容，煤炭企业首先需要在行业间建立有关甲烷排放披露的共识，逐步形成行业普遍做法和操作规范。
- 5. 鼓励能源企业积极参与全球甲烷治理并加强行业间交流与合作。**国际联盟在甲烷控排工作中发挥着至关重要的作用。OGCI、OGMP等联盟及其成员企业均已公布其甲烷减排目标及甲烷管控要求。我国油气企业可积极借鉴国际经验，提出企业减排目标，提升甲烷管理水平。我国拥有大量煤矿瓦斯回收利用示范项目和先进的瓦斯利用技术，我国煤炭企业可在国际上发挥甲烷减排的引领作用，提升我国在相关国际规则和标准制定中的话语权和参与度。

# 参考文献

- 1 IPCC WGI, The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity Supplementary Material. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis, [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Chapter07\\_SM.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Chapter07_SM.pdf), 2021年
- 2 UNEP, Climate and Clean Air Coalition, Global Methane Assessment, <https://www.unep.org/resources/report/global-methane-assessment-benefits-and-costs-mitigating-methane-emissions>, 2021年
- 3 NOAA, Greenhouse Gases Continued to Increase Rapidly in 2022, <https://www.noaa.gov/news-release/greenhouse-gases-continued-to-increase-rapidly-in-2022>
- 4 IEA, Global Methane Tracker 2023, <https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2023>, 2023年2月
- 5 IEA, Global Methane Tracker 2023, <https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2023>, 2023年2月
- 6 IEA, Global Methane Tracker 2023, <https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2023>, 2023年2月
- 7 IPCC, 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>, 2006年
- 8 IEA, Global Methane Tracker 2023, <https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2023>, 2023年2月
- 9 BP, Statistical Review of World Energy, <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>, 2023年6月
- 10 国家发改委, 经济数据概览2022年能源相关数据, [https://www.ndrc.gov.cn/fgsj/tjsj/jjsjgl1/202301/t20230131\\_1348086.html](https://www.ndrc.gov.cn/fgsj/tjsj/jjsjgl1/202301/t20230131_1348086.html), 2023年1月
- 11 IEA, Global Methane Tracker 2023, <https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2023>, 2023年2月
- 12 国家能源集团, 中国能源展望2060: 能源产业迈向碳达峰碳中和, 科学出版社, 2023年7月
- 13 国家统计局, 中国统计年鉴2022, <http://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/2022/indexch.htm>
- 14 IEA, Global Methane Tracker 2023, <https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2023>, 2023年2月
- 15 国家统计局, 中国统计年鉴 2022, <https://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/http://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/2022/indexch.htm>, 2023年
- 16 国家统计局, 中国统计年鉴 2022, <https://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/http://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/2022/indexch.htm>, 2023年
- 17 GIZ, 中国交通运输行业气候目标及行动建议, <https://transition-china.org/wp-content/uploads/2022/08/CLIMAT3.pdf>, 2022年
- 18 中泰证券, 焦煤行业深度报告, [https://pdf.dfcfw.com/pdf/H3\\_AP202203221554238773\\_1.pdf?1647960198000.pdf](https://pdf.dfcfw.com/pdf/H3_AP202203221554238773_1.pdf?1647960198000.pdf), 2022年3月

- 19 陈济, 李抒苒, 李相宜, 李也, 碳中和目标下的中国钢铁零碳之路, <https://rmi.org.cn/wp-content/uploads/2021/09/202109290934514586.pdf>, 落基山研究所, 2021年9月
- 20 李抒苒, 薛雨军, 王珮珊, 碳中和目标下的中国化工零碳之路, <https://rmi.org.cn/wp-content/uploads/2022/04/final-RMI-化工报告China-Chemicals-Decarbonization-CN-Full-Web-0909.pdf>, 落基山研究所, 2022年4月
- 21 李婷, 李抒苒, 李威, 闫榕, 张梦露等, 加速工业深度脱碳:中国水泥行业碳中和之路, <https://rmi.org.cn/wp-content/uploads/2022/08/RMI水泥报告.pdf>, 落基山研究所, 中国水泥协会, 2022
- 22 李抒苒, 薛雨军, 王珮珊, 碳中和目标下的中国化工零碳之路, <https://rmi.org.cn/wp-content/uploads/2022/04/final-RMI-化工报告China-Chemicals-Decarbonization-CN-Full-Web-0909.pdf>, 落基山研究所, 2022年4月
- 23 刘琦宇, 王喆, “绿色燃料”三步走: 如何实现2060交通碳中和, <https://rmi.org.cn/绿色燃料三步走: 如何实现2060交通碳中和/>, 2021年1月
- 24 国家能源集团, 中国能源展望2060: 能源产业迈向碳达峰碳中和, 科学出版社, 2023年7月
- 25 International Institute for Applied Systems Analysis, AR6 Scenarios Database, <https://iiasa.ac.at/models-tools-data/ar6-scenario-explorer-and-database>, 2022年
- 26 Global Energy Monitor, Global Coal Mine Tracker, <https://globalenergymonitor.org/projects/global-coal-mine-tracker/>, 2023年4月
- 27 落基山研究所, Oil Climate Index Plus Gas, <https://ociplus.rmi.org>, 2023年
- 28 落基山研究所, Oil Climate Index Plus Gas, <https://ociplus.rmi.org>, 2023年
- 29 国家能源集团, 中国能源展望2060——能源产业迈向碳达峰碳中和, 科学出版社, 2023年7月
- 30 中国煤炭工业协会, 2022煤炭行业发展年度报告, 2023年
- 31 国家能源集团, 中国能源展望2060: 能源产业迈向碳达峰碳中和, 科学出版社, 2023年7月
- 32 Global Energy Monitor, Global Coal Mine Tracker, <https://globalenergymonitor.org/projects/global-coal-mine-tracker/>, 2023年4月
- 33 Gao, J., Guan, C., Zhang, B., & Li, K. (2021). Decreasing methane emissions from China's coal mining with rebounded coal production. *Environmental Research Letters*, 16(12), 124037.
- 34 BP, Statistical Review of World Energy, <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>, 2023年6月
- 35 IEA, Global Methane Tracker 2023, <https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2023>, 2023年2月
- 36 BP, Statistical Review of World Energy, <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>, 2023年6月
- 37 MiQ, <https://miq.org/the-methane-mission/>
- 38 MiQ, Governance Structure, <https://miq.org/technical-information/governance-structure/> 2023年
- 39 刘文革, 徐鑫, 韩甲业, 王勃, 李志, & 严媛. (2022). 碳中和目标下煤矿甲烷减排趋势模型及关键技术. *煤炭学报*, 47(1), 470–479. <http://www.chinacaj.net/i,2,453454,0.html>
- 40 刘见中, 孙海涛, 雷毅, 等. 煤矿区煤层气开发利用新技术现状及发展趋势 [J]. *煤炭学报*, 2020年 45(1):258-267, <http://www.chinacaj.net/d/file/48-2020-01/8e773abdbe74f4fba5992af9825e469.pdf>

- 41 刘文革, 徐鑫, 韩甲业, 王勃, 李志, & 严媛. (2022). 碳中和目标下煤矿甲烷减排趋势模型及关键技术. 煤炭学报, 47(1), 470–479. <http://www.chinacaj.net/i,2,453454,0.html>
- 42 Zhou, F., Xia, T., Wang, X., Zhang, Y., Sun, Y., Liu, J., Recent developments of coal mine methane extraction and utilization in China: A review, Journal of Natural Gas Science & Engineering (2016), doi: 10.1016/j.jngse.2016.03.027.
- 43 刘见中, 孙海涛, 雷毅, 等. 煤矿区煤层气开发利用新技术现状及发展趋势 [J]. 煤炭学报, 2020年 45(1):258-267, <http://www.chinacaj.net/d/file/48-2020-01/8e773abdbe74f4fba5992af9825e469.pdf>
- 44 EDGAR (Emissions Database for Global Atmospheric Research) Community GHG Database (a collaboration between the European Commission, Joint Research Centre (JRC), the International Energy Agency (IEA), and comprising IEA-EDGAR CO<sub>2</sub>, EDGAR CH<sub>4</sub>, EDGAR N<sub>2</sub>O, EDGAR F-GASES version 7.0, (2022) European Commission
- 45 中证网, 全国碳市场酝酿扩容. [https://www.cs.com.cn/cj2020/202307/t20230718\\_6356403.html](https://www.cs.com.cn/cj2020/202307/t20230718_6356403.html), 2023年7月
- 46 Climate Policy Initiative, The Landscape of Methane Abatement Finance, <https://www.climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2022/07/Landscape-of-Methane-Abatement-Finance.pdf>, 2022年7月
- 47 Global Methane Initiative, Global Project Sites, <https://www.globalmethane.org>, 2023年
- 48 The Oil and Gas Climate Initiative website, <https://www.ogci.com>
- 49 The Oil & Gas Methane Partnership 2.0, <https://ogmpartnership.com/our-member-companies/>
- 50 The Methane Guiding Principles website, <https://methaneguidingprinciples.org>

落基山研究所，多维度推动能源领域甲烷控排及利用，2023

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](http://www.rmi.org)

©2023年12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。