

# 中国低浓度煤矿瓦斯 减排良好实践分析报告



2024年05月

# 关于绿色创新发展研究院 (iGDP)

绿色创新发展研究院 (Institute for Global Decarbonization Progress, 缩写 iGDP) 是专注绿色低碳发展的战略咨询平台, 于2014年成立于北京, 旨在成为具领先专业素养和独立影响力的国际化智库。成立以来, 根植我国地方绿色低碳实践, 面向全球应对气候变化进程, 为决策者、投资者和社区提供具有国际视野和前瞻思考的解决方案和公益性知识产品。

## 致谢

本项目得到了美国环保协会 (EDF) 北京代表处的支持。项目组特别感谢以下专家对项目进展、调研和报告撰写提供的支持与建议 (按照姓氏首字母排序)。

高俊莲, 中国矿业大学 (北京) 管理学院副教授  
贾宝强, 北京辛迪克清洁能源技术有限公司总经理  
孟尚志, 中联煤层气有限责任公司生产部首席工程师, 中国海洋石油集团公司专家  
秦 艳, 山西科城能源环境创新研究院绿色低碳战略中心主任  
杨君廷, 北京君发科技集团有限公司董事长、安徽理工大学教授  
张 博, 厦门大学管理学院中国能源政策研究院教授

项目组特别感谢山西卓越瓦斯研究中心、晋城市能源局以及阳泉兴边富民煤层气发电有限公司、山西君柳新能源科技有限公司、晋能控股装备制造集团成庄矿、山西阳泰集团伏岩煤业有限公司、山西兰科煤层气利用科技有限公司多位专家的调研支持。项目同时感谢iGDP同事莫争春、杨鹂、汪燕辉和胡敏对项目设计、调研和报告提供的指导与反馈。感谢包林洁提供的报告设计支持。

## 作者

陈美安、朱彤昕、袁雅婷、宋曼娇、张小丽

## 联系方式

igdpoffice@igdp.cn

---

**引用建议:** 陈美安, 朱彤昕, 袁雅婷, 宋曼娇&张小丽. (2024). 中国低浓度煤矿瓦斯减排良好实践分析报告. 北京: 绿色创新发展研究院.

**免责声明:** 本报告内容均基于公开、可得、可靠的信息来源和调研所得信息, 旨在加强相关领域的讨论交流。报告中包含的内容及观点仅代表作者迄今为止的认识和判断, 不反映作者所属机构以及支持方的立场。我们力求准确和完整, 但难免偶有疏漏, 敬请谅解并指正。

# 目 录

<b>执行摘要</b> .....	<b>1</b>
<b>1. 背景</b> .....	<b>4</b>
1.1. 甲烷减排重要性 .....	4
1.2. 甲烷减排成为全球合作关注议题 .....	6
1.3. 中国甲烷排放现状 .....	8
<b>2. 低浓度煤矿瓦斯排放现状和挑战</b> .....	<b>10</b>
2.1. 现状 .....	10
2.2. 挑战 .....	12
<b>3. 低浓度煤矿瓦斯减排良好实践选择</b> .....	<b>15</b>
3.1 良好实践选择维度 .....	16
3.2 案例选择的范围 .....	16
3.3 案例背景信息 .....	17
<b>4 低浓度煤矿瓦斯良好实践分析</b> .....	<b>22</b>
4.1 案例 1：山西阳煤二矿桑掌乏风氧化热电联供项目 .....	23
4.2 案例 2：山西柳林寨崖底低浓度瓦斯发电项目 .....	29
4.3 案例 3：山西晋城成庄矿白沙低浓度瓦斯提浓示范项目 .....	34
4.4 案例 4：山西晋城伏岩煤矿乏风氧化发电项目 .....	38
4.5 案例 5：山西晋城伯方煤矿低浓度瓦斯综合利用项目 .....	43
<b>5 案例总结与建议</b> .....	<b>47</b>
5.1 案例总结 .....	47
5.2 建议 .....	49
附录 1：煤矿瓦斯抽采利用财政补贴和上网电价政策举措 .....	53

## 执行摘要

全球变暖日益加剧，温室气体排放持续上升，在关注排放最高的温室气体二氧化碳以外，处在第二大排放的温室气体——甲烷，其排放和减排潜力也不容忽视。

全球甲烷排放在过去 15 年增速加快。数据显示，2022 年全球温室气体排放中，甲烷排放占比达到 21%，主要来自能源供应、农业生产和废弃物管理等人类活动。此外，与二氧化碳相比，甲烷的全球变暖效应也更强更快。在甲烷排放到大气中的头 20 年内，其在地球大气层中吸收热量的能力是二氧化碳的 80 多倍。由于甲烷在大气中的分解速度比二氧化碳更快，寿命比二氧化碳更短，因此采取积极快速行动减少甲烷排放可以显著降低全球温升速度和程度。

在此背景下，不同国家和地区先后提出了甲烷减排行动计划。欧盟在 2020 年提出了甲烷减排战略，制定了一个综合性甲烷减排的政策框架，覆盖甲烷数据监测和重点排放领域的减排方案。美国 2022 年发布的通胀削减法案（IRA）中首次提出联邦政府对油气行业的甲烷排放进行收费。巴西也在 2022 年公布了国家零甲烷计划，减排聚焦在废弃物和农业部门减排和生物质能源利用。在第 26 届联合国气候变化大会（COP26）上，有 100 多个国家联合签署了全球甲烷承诺倡议。在 2023 年的 COP28 上，多国也提出加大对甲烷减排的资金支持。

随着“双碳”目标的提出，我国对非二氧化碳温室气体排放的关注也在日益加强。我国在 2021 年发布的《中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》中提出加强甲烷等非二氧化碳温室气体管控。在 2023 年 11 月，我国正式发布《甲烷排放控制行动方案》，提出加快形成甲烷排放监管体系，推进减污降碳协同增效，有力有序有效控制甲烷排放。

我国 2023 年提交的《中华人民共和国气候变化第三次两年更新报告》显示，在我国甲烷排放中，来自能源供应的甲烷排放占 42%，主要包括煤矿开采和矿后活动中的煤矿甲烷（39%）和油气开采的甲烷排放（3%）。而在与煤矿开采相关的甲烷排放，有接近九成排放来自低浓度煤矿瓦斯，尤其是甲烷体积分数在 0.75% 以下的风排瓦斯（也称乏风瓦斯）。由于缺乏有效的政策约束和经济激励，低浓度煤矿瓦斯减排困难重重。一方面，现有的煤矿瓦斯排放标准并没有对低浓度瓦斯（甲烷体积分数<30%）和煤矿回风井乏风瓦斯的排放有限制

要求，另一方面，当前技术条件下低浓度瓦斯利用技术的应用经济性也不足，企业投资积极性低。而乏风瓦斯，由于甲烷浓度极低，回收利用难度更高。

在助力煤矿甲烷减排的背景下，本报告主要关注我国企业低浓度煤矿瓦斯减排的良好实践，旨在为参与煤矿甲烷管理的政策决策和执行部门，以及相应的技术和研究支持机构提供参考，也可为希望利用煤矿瓦斯资源的煤矿企业、新能源企业和相关科技服务企业等提供参考。此外，报告的良好实践分享也为其他面临煤矿甲烷减排的发展中国家，例如印度尼西亚和印度，提供可以交流讨论和借鉴的经验。

本报告聚焦在我国煤炭资源和煤层气资源富集程度高的山西省，通过专家访谈和实地调研，梳理分析所选的企业案例如何在现有的政策、技术和市场环境下实现煤矿甲烷减排，并且产生经济和环境双重效益，同时总结案例复制和推广落地的关键要素。

首先，加强对煤矿瓦斯利用项目的统一规划，为项目的建设和运营提供配套政策支持。由于我国对于甲烷浓度小于 30% 的低浓度瓦斯利用并无强制要求，因此多数煤矿企业没有政策压力进行或大范围开展低浓度瓦斯利用，因此也没有在矿井建设初期考虑配套低浓度瓦斯利用项目。同时低浓度煤矿瓦斯的利用存在爆炸风险，一旦发生安全事故，煤矿将面临停工停产。出于煤矿生产安全的考虑，瓦斯发电并不在煤矿企业的优先考虑中。因此，建议在规范或修订出台矿井建设设计中明确关于配套瓦斯利用的制度和规定，进一步从源头督促煤矿企业加大瓦斯利用。

其次，基于煤矿条件开发合适且稳定的商业模式。由于煤矿企业对低浓度和乏风瓦斯进行利用的政策动力不足，因此可以通过与瓦斯利用企业采用类似 BOT 方式合作，由前者提供瓦斯，后者自行负责投资、建设和运营瓦斯发电项目，减少煤矿甲烷排放的同时也能带来经济收益。此外，为了减少由于气源供应不稳定和项目在用地资质申请上带来的挑战，项目也可以考虑由煤矿与瓦斯利用企业共同投资的方式来建设和运营。

再次，由于瓦斯发电项目的初始投资规模较大，加强不同经济激励政策对瓦斯回收利用项目的持续支持尤为重要。激励政策可以降低项目的资金投入成本，增加投资吸引力，也有助于企业获得投资回报，帮助项目稳定运营。建议中央和地方在制定补贴价格时，除了考虑产业发展、抽采利用成本和市场销售价格变化等因素外，还应充分考虑煤矿瓦斯发电和利用的环境效益，针对低浓度和乏风瓦斯利用项目，适当提高补贴价格或提高补贴发放频次。此

外，随着我国自愿碳市场的重启，建议将技术成熟的针对包括乏风瓦斯在内的低浓度瓦斯利用的方法学纳入自愿碳减排体系，充分发挥市场机制促进减排。同时拓宽低浓度煤矿瓦斯利用的融资渠道和加强相应的政策支持。

最后，尽快调整制定煤矿瓦斯分级排放标准，并对煤矿瓦斯排放总量进行控制。我国现行的《煤层气(煤矿瓦斯)排放标准(暂行)》(GB 21522-2008)并未对甲烷体积分数<30%的抽采瓦斯和乏风瓦斯的排放进行限制，因此煤矿企业通常缺乏对这部分低浓度瓦斯进行利用的动力。一方面，随着科技进步和研发投入，我国的低浓度瓦斯利用技术取得重大突破，已经领先于现行排放标准的排放限值要求，甲烷体积分数<30%的瓦斯利用也具有一定的技术和经济可行性。另一方面，伴随着低浓度瓦斯利用技术的发展，国家和地方也出台了相应的政策措施鼓励对低浓度煤矿瓦斯的利用。适时更新煤矿瓦斯排放标准不仅可以反映技术的进展，同时可以进一步助力已有政策的实施，促进煤矿甲烷的利用和减排。此外，将排放标准从对甲烷浓度进行控制，扩展到对浓度和总量进行控制，还能够倒逼煤炭企业加强对低浓度瓦斯的利用。

# 1. 背景

图源: unsplash

## 1.1. 甲烷减排重要性

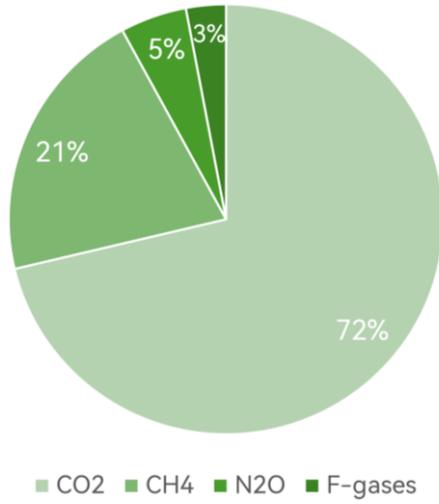
在应对全球气候变化的危机中，除了减少来自化石燃料燃烧产生的以二氧化碳为主的温室气体排放，控制全球第二大温室气体排放源，同时也是具有高升温潜势值（Global warming potential, GWP）——甲烷的排放，也需要得到更多的关注。

数据显示，2022 年全球温室气体排放大概在 537.86 亿吨二氧化碳当量，其中甲烷占比 21%，是仅次于二氧化碳的排放次高的温室气体<sup>1</sup>。与此同时，全球甲烷排放在过去 15 年增速加快，其中 60% 是人类活动导致的排放，主要排放源包括化石燃料开采和使用、农业生产和废弃物处理活动。其余的 40% 的甲烷排放来自自然界活动，包括来自湿地、河流、野生动物和永久冻土等活动的排放<sup>2</sup>。但是目前排放的主要增长来自人类活动。

<sup>1</sup> Crippa, M., Guizzardi, D., Pagani, F., Banja, M., Muntean, M., Schaaf E., Becker, W., Monforti-Ferrario, F., Quadrelli, R., Riskey Martin, A., Taghavi-Moharamli, P., Köykkä, J., Grassi, G., Rossi, S., Brandao De Melo, J., Oom, D., Branco, A., San-Miguel, J., Vignati, E., GHG emissions of all world countries, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023, doi:10.2760/953322, JRC134504.

<sup>2</sup> UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Emissions Gap Report 2021: The Heat Is On – A World of Climate Promises Not Yet Delivered[J/O]. 2021. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/36990>.

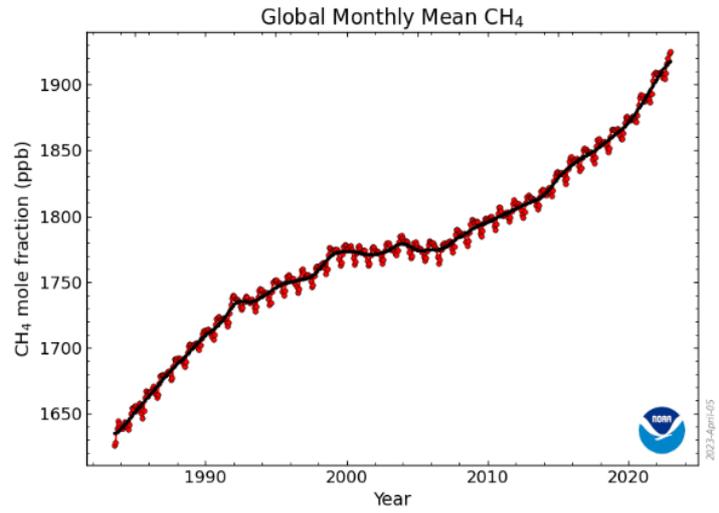
图 1: 全球不同温室气体排放占比 (%) (2022)



数据来源: EDGAR database, 2023

\*由于四舍五入的关系, 百分比可能不等于 100

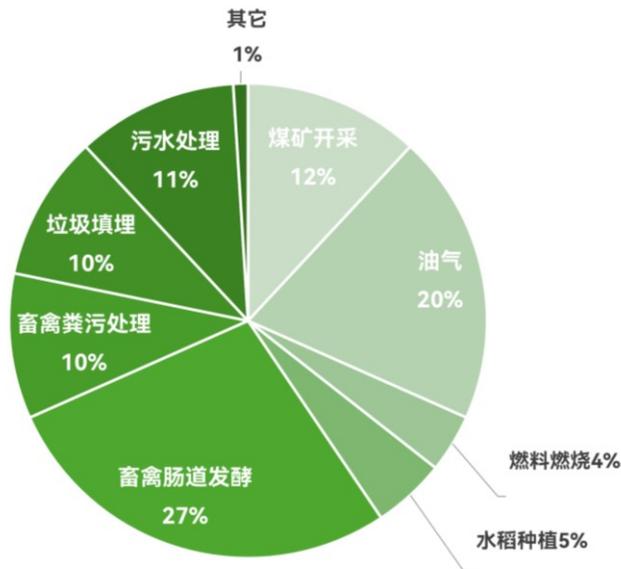
图 2: 全球大气甲烷浓度变化



数据来源: 美国国家海洋和大气管理局

人类活动造成的甲烷排放主要来自农业生产、能源工业和废弃物管理部门, 三者甲烷排放占全球温室气体排放总量的 8%、7% 和 4%。能源供应的甲烷排放主要来自煤炭和油气开采。农业生产甲烷排放主要集中在动物肠道发酵、水稻种植和畜禽粪污处理。废弃物管理排放主要来自固体废物处理和废水处理。

图 3: 全球甲烷分部门排放占比 (2019)



数据来源: PBL, 2019

此外，与二氧化碳相比，甲烷的全球变暖效应也更强更快。在甲烷排放到大气中的头 20 年内，其在地球大气层中吸收热量的能力是二氧化碳的 80 多倍。而在甲烷释放到大气中的 100 年内，同样体积的甲烷吸收热量的能力也是二氧化碳的 20 多倍。由于甲烷在大气中的分解速度比二氧化碳更快，寿命比二氧化碳更短，一直被视为短寿命周期污染物（short-lived climate pollutants, SLCPs），因此采取积极快速行动减少甲烷排放可以显著降低全球温升速度和程度<sup>3</sup>。2021 年 8 月 IPCC 发布的最新报告中也开始强调减少甲烷排放对应对全球气候变化重要性和紧迫性<sup>4</sup>。

## 1.2. 甲烷减排成为全球合作关注议题

随着全球加强对甲烷减排的关注，不同国家和地区先后提出了甲烷减排行动计划。

目前美国、欧盟和巴西已经先后提出了甲烷减排战略，为分行业的甲烷减排提供政策支持，并且加强国家层面甲烷排放数据的收集和清单编制，为甲烷减排提供科学的数据支持。例如美国在 2014 年奥巴马政府时期发布了全国甲烷战略<sup>5</sup>，随后提出到 2025 年油气行业的甲烷排放将比 2012 年排放水平减少 40-45% 的减排目标，并且在已有的甲烷数据收集基础上建立全国甲烷监测网络。美国近期通过的通胀削减法案（Inflation Reduction Act）中也首次提出联邦政府对油气行业的甲烷排放进行收费。欧盟也在 2020 年 10 月提出了甲烷减排战略，制定了一个综合性甲烷减排的政策框架，既包括了跨行业的对甲烷数据监测的政策，同时也在能源、农业和废弃物管理三大排放领域分别设定了减排方案与计划。巴西也在 2022 年公布了国家零甲烷计划，将减排聚焦在废弃物和农业部门减排和生物质能源利用<sup>6</sup>。

在 2021 年第 26 届联合国气候变化大会（COP26）上，有 100 多个国家联合签署了全球甲烷承诺倡议（Global Methane Pledge），旨在到 2030 年将甲烷在 2020 年基础上减少至少 30%。中美两国也在 COP26 上发布了《中美关于在 21 世纪 20 年代强化气候行动的格拉斯哥联合宣言》，将甲烷减排作为交流合作的重点领域<sup>7</sup>。在 2023 年中美两国的《关于加强合作应对气候危机的阳光之乡声明》中也提到，两国将在各自国家甲烷行动计划基础上制定各自纳入其 2035 年国家自主贡献的甲烷减排行动/目标，并支持两国各自甲烷减/控排取得进展<sup>8</sup>。

<sup>3</sup> XU Y, RAMANATHAN V. Well below 2 C: Mitigation strategies for avoiding dangerous to catastrophic climate changes[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2017, 114(39): 10315-10323.

<sup>4</sup> Control methane to slow global warming — fast. Nature 596, 461 (2021). <https://www.nature.com/articles/d41586-021-02287-y>

<sup>5</sup> [https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/strategy\\_to\\_reduce\\_methane\\_emissions\\_2014-03-28\\_final.pdf](https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/strategy_to_reduce_methane_emissions_2014-03-28_final.pdf)

<sup>6</sup> The National Zero Methane Program: <https://www.gov.br/en/government-of-brazil/latest-news/2022/the-national-zero-methane-program>

<sup>7</sup> 中美关于在 21 世纪 20 年代强化气候行动的格拉斯哥联合宣言: [https://www.mee.gov.cn/ywdt/hjywnews/202111/t20211111\\_959900.shtml](https://www.mee.gov.cn/ywdt/hjywnews/202111/t20211111_959900.shtml)

<sup>8</sup> 中美关于加强合作应对气候危机的阳光之乡声明: [http://www.news.cn/2023-11/15/c\\_1129976165.htm](http://www.news.cn/2023-11/15/c_1129976165.htm)

作为全球甲烷排放大国，我国早在 2007 年的第一份应对气候变化国家方案就已经提出了甲烷减排行动，并且在迈入“十四五”以来陆续发布了多项可以推动甲烷减排的政策（见表 1）。在 2023 年 11 月，我国也正式发布《甲烷排放控制行动方案》，提出加快形成甲烷排放监管体系，推进减污降碳协同增效，有力有序有效控制甲烷排放。

表 1：我国“十四五”以来推动甲烷减排的政策列表

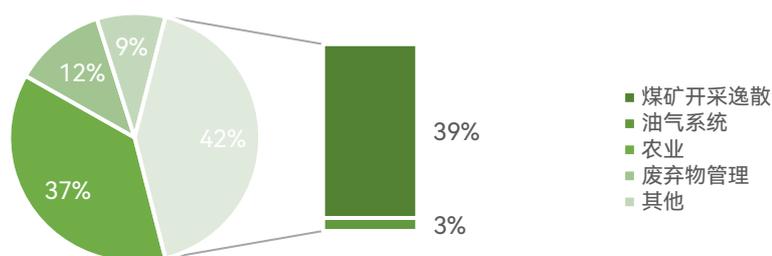
时间	政策	内容
2021/03	《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》	加大甲烷、氢氟碳化物、全氟化碳等其他温室气体的控制力度。
2021/09	《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》	加强甲烷等非二氧化碳温室气体管控。
2021/11	《中国本世纪中叶长期温室气体低排放发展战略》	研究实施非二氧化碳温室气体控排行动方案，继续完善非二氧化碳温室气体监测、报告和评估技术体系，逐步建立健全非二氧化碳温室气体排放统计核算体系、政策体系和管理体系。
2021/11	《中共中央 国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见》	将温室气体管控纳入环评管理。
2022/01	《“十四五”现代能源体系规划》	加大油气田甲烷采收利用力度。
2022/06	《减污降碳协同增效实施方案》	强化非二氧化碳温室气体管控，研究制订重点行业温室气体排放标准。
2022/06	《农业农村减排固碳实施方案》	提出降低稻田甲烷排放，降低反刍动物肠道甲烷排放强度。减少畜禽粪污管理的甲烷排放。
2023/11	《甲烷排放控制行动方案》	提出加快形成甲烷排放监管体系，推进减污降碳协同增效，有力有序有效控制甲烷排放。

## 1.3. 中国甲烷排放现状

### 1.3.1. 中国甲烷排放中能源供应甲烷排放居首位

来自我国 2023 年提交的《中华人民共和国气候变化第三次两年更新报告》的信息显示，中国 2018 年甲烷排放达到 13.46 亿吨二氧化碳当量 (CO<sub>2</sub>e)，约占当年中国总温室气体排放的 14%。其中能源供应是最大的甲烷排放源，占比 42%，包括煤矿开采和矿后活动中的煤矿甲烷 (39%) 和油气开采的甲烷排放 (3%)。随着中国煤炭开采总量的下降，煤矿相关的甲烷排放也有所下降，但研究显示，从 2015 年到 2030 年，煤炭开采过程排放占甲烷总排放比例分布在 39%-44% 之间。到 2050 年比例有所下降，但是仍有 25.5%。因此尽早采取行动减少煤层气的逸散对于减少中国甲烷排放具有重要意义。

图 4: 我国甲烷排放占比 (2018)

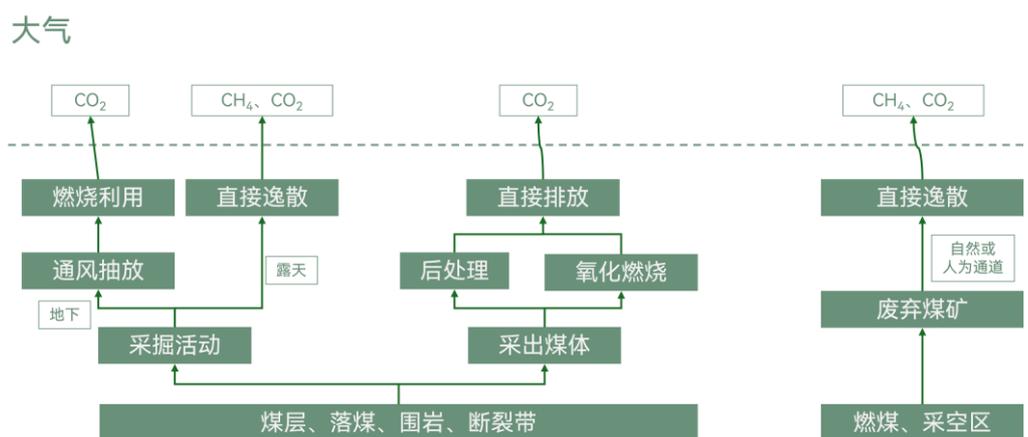


数据来源：《中华人民共和国气候变化第三次两年更新报告》，2023

我国的甲烷排放中煤层气逸散占比最大这一特点，也是中国甲烷排放与其他国家和地区甲烷排放的区别。数据显示，与其他国家和地区甲烷排放相比，我国甲烷排放中来自能源供应的排放占比最大，其中主要来自煤炭开采以及矿后活动带来的煤层气逸散。

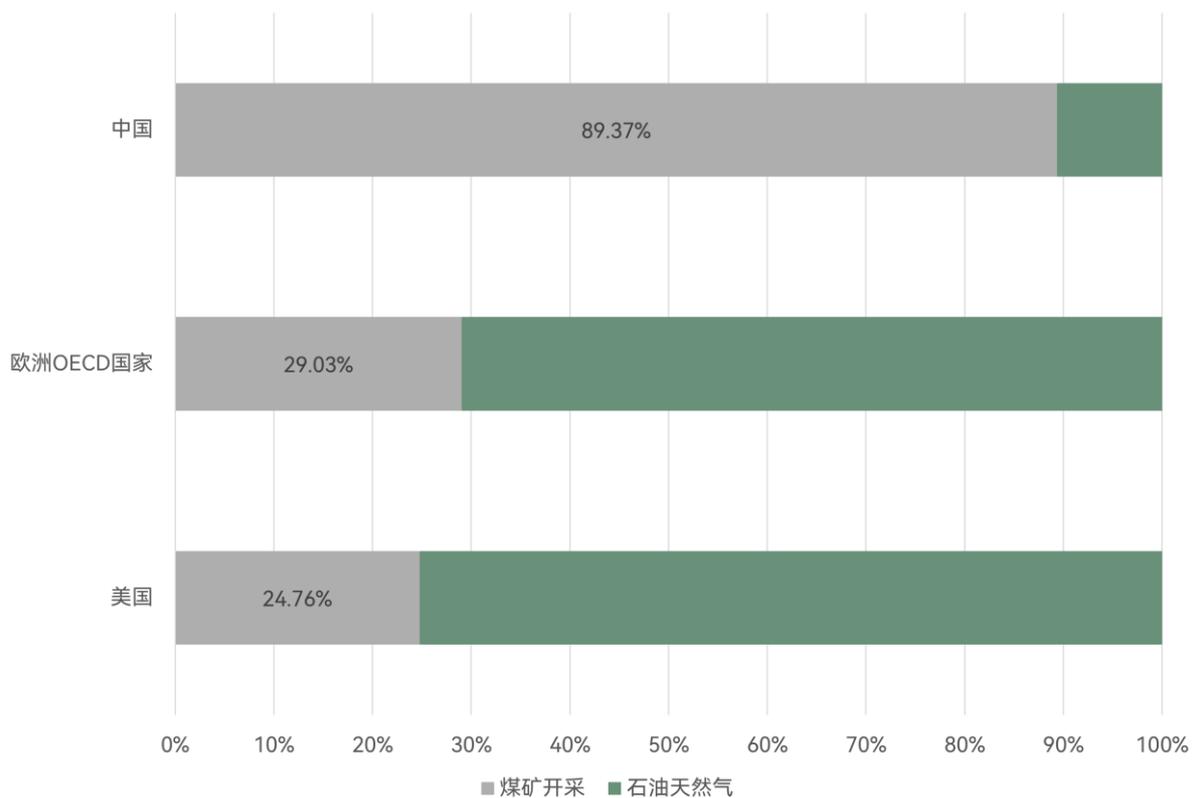
<sup>9</sup> 清华大学气候变化与可持续发展研究院. 中国长期低碳发展战略与转型路径研究综合报告[M]. 中国环境出版集团, 2021.

图 5：煤炭开采温室气体逸散排放源



图表来源：杨永均, 张绍良, 侯湖平. 煤炭开采的温室气体逸散排放估算研究[J]. 中国煤炭, 2014, 40(1): 114-117.

图 6：中、美、欧煤矿油气甲烷排放占比



数据来源：EDGAR 全球数据库, 2018

## 2. 低浓度煤矿瓦斯排放现状和挑战

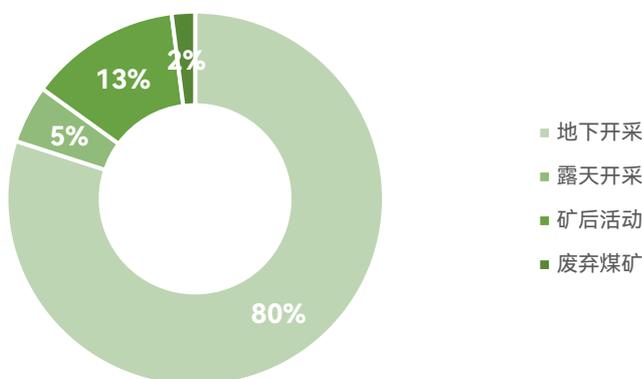
图源: unsplash

### 2.1. 现状

#### 2.1.1. 煤矿甲烷排放以低浓度煤矿瓦斯为主

目前我国煤矿甲烷的排放有 80% 是来自煤矿地下开采, 13% 来自矿后活动 (图 7)。数据显示, 在煤矿地下开采甲烷排放中有 83% 排放来自乏风瓦斯 (甲烷浓度 $<0.75\%$ ), 11%来自其他的低浓度煤矿瓦斯 (甲烷浓度在 1%-30% 之间), 6%来自高浓度煤层气 (甲烷浓度 $>30\%$ )<sup>10</sup>。

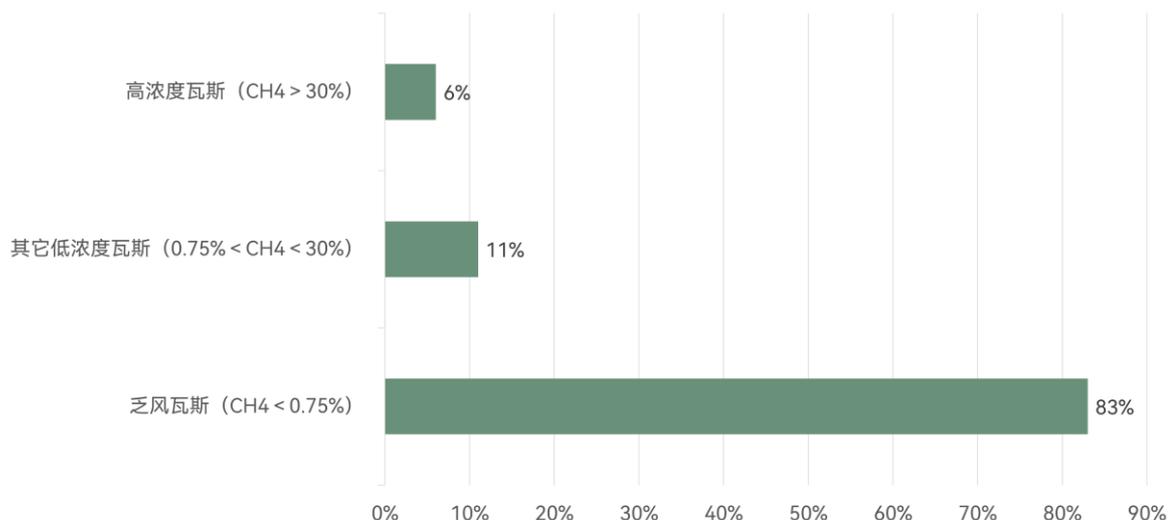
图 7: 中国煤矿甲烷排放的分布



数据来源: 刘文革, 徐鑫, 韩甲业, 等. 碳中和目标下煤矿甲烷减排趋势模型及关键技术[J]. 煤炭学报, 2022, 47(1): 470-479.

<sup>10</sup> ZHOU F, XIA T, WANG X 等. Recent developments in coal mine methane extraction and utilization in China: a review[J]. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2016, 31: 437-458.

图 8: 煤矿地下开采中甲烷逸散分布



数据来源: ZHOU F, XIA T, WANG X, 等. Recent developments in coal mine methane extraction and utilization in China: a review[J]. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2016, 31: 437-458.

作为一种优质清洁能源,煤层气(煤矿瓦斯)的开采一般通过地面钻井抽采和井下抽采,前者抽采的煤层气中甲烷浓度高,一般称为地面煤层气,经过简单处理可以直接接入到天然气管网进行利用,因此高浓度煤层气逸散的占比较小。

井下抽采煤层气一般称为煤矿瓦斯,多伴随煤炭开采进行,这一部分煤层气由于会有空气混入,因此浓度较低,其抽采利用率远低于前者。以《煤层气(煤矿瓦斯)开发利用“十二五”规划》为例,规划目标为2015年地面开采达到160亿立方米,基本全部利用;煤矿瓦斯抽采利用率达60%以上<sup>11</sup>。但是数据显示,到2015年煤层气利用率达到了86.4%,但是煤矿瓦斯利用率仅为35.3%<sup>12</sup>,与规划目标差距较大。而我国在《煤层气(煤矿瓦斯)开发利用“十三五”规划》中设定的2020年煤层气(煤矿瓦斯)开发利用目标也未能完成<sup>13</sup>。由于井下抽采的煤层气中甲烷浓度在30%以下的低浓度煤矿瓦斯占比较大且不易利用,最后被排放到大气中,导致甲烷排放的增加。

<sup>11</sup>煤层气(煤矿瓦斯)开发利用“十二五”规划: [http://www.nea.gov.cn/131337364\\_31n.pdf](http://www.nea.gov.cn/131337364_31n.pdf)

<sup>12</sup>煤层气(煤矿瓦斯)开发利用“十三五”规划: [http://www.gov.cn/xinwen/2016-12/04/content\\_5142853.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2016-12/04/content_5142853.htm)

<sup>13</sup>朱妍. (2021). 能源透视: 煤层气为何屡交低分答卷. 中国能源报. <http://energy.people.com.cn/n1/2021/0115/c71661-32000743.html>

表 2：煤矿瓦斯抽采规划与实际完成情况

对比时期	“十一五”时期		“十二五”时期		“十三五”时期	
	规划目标	2010年实际	规划目标	2015年实际	规划目标	2020年实际
抽采量/亿m <sup>3</sup>	50	76.2	140	136	140	123.1
利用量/亿m <sup>3</sup>	30	23.7	84	48	70	54.7
利用率/%	60	31.2	60	35.3	50	44.5

图表来源：周言安, 杨洋. “双碳”目标下我国煤矿瓦斯利用技术发展方向[J]. 煤炭技术, 2022, 41(8): 146-149.

此外，由于煤层气也是一种易燃易爆的气体，爆炸的风险对煤矿的安全生产带来隐患。为了确保煤矿生产安全，会有大量空气通入矿井，使矿井中的煤矿瓦斯甲烷浓度小于 0.75%（这部分的煤层气也被称为风排或者乏风瓦斯）。乏风瓦斯由于甲烷浓度极低，利用困难，因此大多直接排空，导致中国的煤矿甲烷中低浓度瓦斯排放占比高。

## 2.2. 挑战

### 2.2.1. 低浓度煤矿瓦斯减排尚未有足够的政策约束

首先，现有的排放标准并没有对低浓度瓦斯排放做出限制要求。为了促进煤层气（煤矿瓦斯）的利用，我国在 2008 年发布了《煤层气（煤矿瓦斯）排放标准（暂行）》，其中规定煤层气地面开发系统的煤层气和煤矿瓦斯抽放系统的高浓度瓦斯（甲烷体积分数 $\geq 30\%$ ）禁止排放。但是标准并没有对低浓度瓦斯（甲烷体积分数 $< 30\%$ ）和煤矿回风井的风排瓦斯（即乏风瓦斯）的排放有控排要求<sup>14</sup>。

表 3：煤层气（煤矿瓦斯）排放限值

受控设施	控制项目	排放限值
煤层气地面开发系统	煤层气	禁止排放
煤矿瓦斯抽放系统	高浓度瓦斯 (甲烷体积分数 $\geq 30\%$ )	禁止排放
	低浓度瓦斯 (甲烷体积分数 $< 30\%$ )	-
煤矿回风井	风排瓦斯	-

图表来源：《煤层气（煤矿瓦斯）排放标准（暂行）（GB 21522—2008）》

其次，现行标准主要侧重在以甲烷浓度为指标对瓦斯排放进行限制，但是对于甲烷排放总量没有要求<sup>15</sup>。按照现行标准要求，煤矿需要对管道内的甲烷浓度、流量、压力、温度等参数进行监

<sup>14</sup> 煤层气（煤矿瓦斯）排放标准（暂行）（GB 21522—2008）：

[https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/dqjhbh/dqgdwrywrywz/200804/t20080414\\_121137.htm](https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/dqjhbh/dqgdwrywrywz/200804/t20080414_121137.htm)

<sup>15</sup> 马翠梅, 高敏惠, 褚振华. 中国煤矿甲烷排放标准执行情况及政策建议[J]. 世界环境, 2021(5): 47-49.

测。并且按照《污染源自动监控管理办法》的规定，安装煤层气（煤矿瓦斯）排放自动监控设备，并与环保部门的监控中心联网。但是并未提到对甲烷排放总量有限制。因此，为实现甲烷排放浓度达标，企业可通过加大进入抽采系统的空气量，稀释抽采瓦斯的甲烷浓度后进行排放。这也是导致目前煤层气甲烷逸散以低浓度瓦斯为主的重要原因之一。

最后，对于煤矿企业而言，保障安全的煤炭生产、提供稳定的煤炭供应是其主要任务。我国高瓦斯、煤与瓦斯突出矿井多，煤矿瓦斯一直是煤矿安全生产的重大隐患<sup>16</sup>。虽然随着多年发展，煤矿瓦斯的抽采已由最初为保障煤矿安全生产扩大到安全节能环保综合开发型抽采<sup>17</sup>，但安全生产仍是煤矿瓦斯抽采的首要意义。因此，煤矿企业往往缺乏对抽采瓦斯进行利用的积极性。

### 2.2.2. 对煤矿瓦斯开采和利用补贴缺乏差异性

现有的煤层气（煤矿瓦斯）开发利用补贴政策也未能对低浓度瓦斯利用形成有效的激励。从 2007 年开始，中央财政对煤层气（煤矿瓦斯）的开采利用进行补贴，标准为 0.2 元/m<sup>3</sup>，并在 2016 年将标准提高为 0.3 元/m<sup>3</sup>。中央财政于 2019 年对此项政策进行调整，不再按照定额标准进行补贴，而是按照增量气进行补贴，即“多增多补”。由于不同浓度煤矿瓦斯开采成本的差异，采用统一的补贴政策对低浓度煤矿瓦斯利用略显不足。以山西为例，山西煤层气（煤矿瓦斯）抽采利用补贴标准为中央财政补贴 0.30 元/m<sup>3</sup> 加上省级财政补贴 0.1 元/m<sup>3</sup>。煤层气（煤矿瓦斯）电厂上网电价，比照国家发展改革委制定的《可再生能源发电价格和费用分摊管理试行办法》（发改价格〔2006〕7 号）中生物质发电项目上网电价（执行当地 2005 年脱硫燃煤机组标杆上网电价加补贴电价 0.25 元/kWh）。高于当地脱硫燃煤机组标杆上网电价的差额部分，则通过提高煤层气（煤矿瓦斯）电厂所在省级电网销售电价解决。以山西为例，根据山西省发改委《关于煤矿瓦斯发电执行标杆上网电价的通知》，山西省煤矿瓦斯发电上网电价标准为 0.509 元/kWh。2021 年 2 月，山西省发布《省发展改革委省能源局关于开展燃气和瓦斯发电项目核准工作的通知》，此后核准的瓦斯发电项目不再给予补贴，已经享受电价补贴的瓦斯发电项目，自并网发电起 15 年后取消补贴电价。上述政策对于不同类型的煤矿瓦斯利用项目按照相同的补贴标准，或针对不同浓度的瓦斯发电项目采取相同的标杆上网电价，无法最大限度地发挥激励作用。

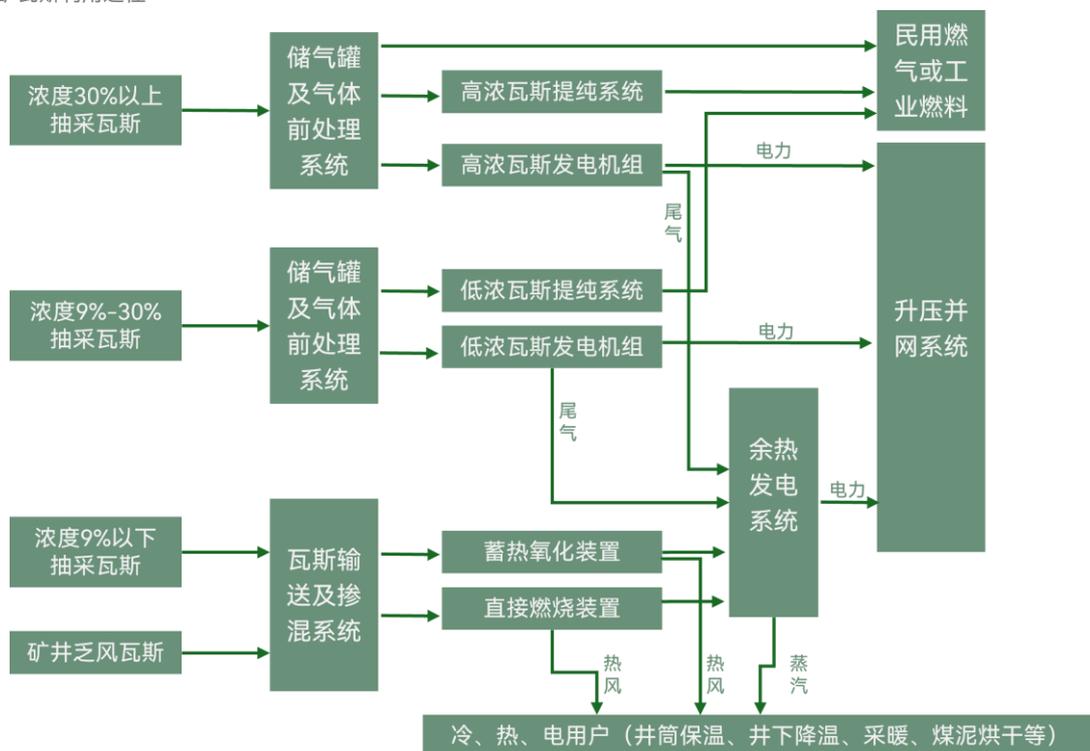
<sup>16</sup> 国务院办公厅关于加快煤层气（煤矿瓦斯）抽采利用的若干意见：[https://www.gov.cn/zhengce/content/2008-03/28/content\\_2576.htm](https://www.gov.cn/zhengce/content/2008-03/28/content_2576.htm)

<sup>17</sup> 煤层气(煤矿瓦斯)开发利用“十一五”规划：<https://www.ndrc.gov.cn/fggz/fzljgh/gjjzxgh/200806/P020191104623833726533.pdf>

### 2.2.3. 低浓度煤矿瓦斯利用技术经济性不足

基于不同浓度的煤矿瓦斯，其利用方式和挑战也不相同。如图 9 所示，浓度 30% 以上的高浓度瓦斯主要用于发电、民用燃料和工业燃料等，9%-30% 的低浓度瓦斯主要用于发电，但是低浓度瓦斯通过发电利用效率较低，如何经济有效地开发利用低浓度煤矿瓦斯仍有待加强<sup>18</sup>。9%以下的低浓度瓦斯（包括风排瓦斯，即乏风瓦斯）主要通过蓄热氧化、直接燃烧等技术进行利用。此外，甲烷浓度 5%-16% 的低浓度瓦斯具有爆炸风险。因此另一个技术难点是需要防止在对其输送以及提纯浓缩过程中存在的爆炸风险<sup>19</sup>。

图 9：煤矿瓦斯利用途径



图表来源：周言安, 杨洋. “双碳”目标下我国煤矿瓦斯利用技术发展方向[J]. 煤炭技术, 2022, 41(8): 146-149.

对于目前抽采的煤矿瓦斯中甲烷排放占比最高的乏风瓦斯，由于甲烷浓度极低，回收利用难度更高。目前的减排技术可以分为两类，一类是主要燃料利用技术，乏风瓦斯作为主要燃料，通过热氧化或催化氧化产生二氧化碳和水，回收产生的热量用于供暖或者洗浴，或者把热能转换为动能用于发电。这类技术也大多处在实验或小规模试验阶段，同时目前国内尚无相关技术规范。另一类是辅助燃料利用技术，将乏风瓦斯作为辅助燃料，替代空气输入到燃气轮机、内燃机、锅

<sup>18</sup> 杨颖, 曲冬蕾, 李平等. 低浓度煤层气吸附浓缩技术研究与发展[J]. 化工学报, 2018, 69(11): 4518-4529.

<sup>19</sup> 同上.

炉等燃烧系统中进行燃烧<sup>20</sup>。目前技术的应用和发展还不是很成熟，除内燃机助燃技术进行工业示范外，多数处在实验阶段。

由于针对低浓度瓦斯，尤其是乏风瓦斯的高效利用的经济性不足，因而未能形成稳定的市场需求。以本报告的案例 4 为例，乏风氧化项目的初期投资规模较大，调试期间发电量仅为满供满发情况下的 1/6，而电价仅为燃煤发电基准价的 80%，项目盈利困难。早前乏风瓦斯利用可以通过注册 CDM 项目（即《京都议定书》下的清洁发展机制，在该机制下发达国家可以向发展中国家购买碳减排项目来抵消其排放量）出售碳减排额来提高项目经济性。截至 2016 年 6 月我国成功注册的乏风瓦斯利用项目有 13 个，采用的技术均为逆流式热氧化技术<sup>21</sup>。针对来自国内煤矿在联合国注册成功的乏风瓦斯 CDM 项目的案例研究显示，项目在有碳减排收入的情况下才具有经济性。随着《京都议定书》第一阶段的结束，我国也逐渐停止了 CDM 项目注册。未来如何形成稳定的经济激励也有待探究。



<sup>20</sup> 曹敏敏, 王雪峰, 王荀等. 煤矿低浓度甲烷利用技术研究进展[J]. 煤炭技术, 2022, 41(1): 101-105.

<sup>21</sup> 周言安, 杨洋. “双碳”目标下我国煤矿瓦斯利用技术发展方向[J]. 煤炭技术, 2022, 41(8): 146-149.



图源: unsplash

# 3. 低浓度煤矿瓦斯减排良好实践选择

## 3.1. 良好实践选择维度

本报告认为，低浓度煤矿瓦斯减排良好实践应当是在确保煤矿安全生产的前提下，企业在结合当地资源禀赋、政策环境和技术条件下对低浓度煤矿瓦斯进行的妥善安全的资源化利用，并在此过程中实现经济和环境双重效益。本报告的良好实践将综合考虑以下因素：

- **技术安全可行：**低浓度煤矿瓦斯减排技术已实现安全应用且已经商业化。
- **经济和环境效益显著：**通过低浓度瓦斯利用减少温室气体排放的同时也产生经济收益。
- **数据公开可得：**案例的分析基于公开可获得的数据和政策信息。

## 3.2. 案例选择的范围

本报告的案例选择将聚焦在我国煤炭资源和煤层气资源富集程度高的山西省。山西是我国煤炭大省，2023年，山西省原煤产量13.77亿吨<sup>22</sup>，居全国之首。山西也是我国煤层气资源富集程度最高的省份之一。山西省境内埋深2000米以浅的煤层气地质资源量约有8.31万亿立方米，占全国总量三成左右。山西省的非常规天然气产量也由2015年底的42亿立方米增加到2020年底81.46亿立方米，年均增速15.5%<sup>23</sup>，“十四五”以来增速更快，2023年底达到145.9亿立方米<sup>22</sup>。此外，2020年山西省煤矿瓦斯抽采量和利用量均分别占全国瓦斯抽采量和利用量的一半多，煤矿瓦斯的利用率接近45%<sup>24</sup>。

<sup>22</sup> 山西省统计局，2024。山西省2023年国民经济和社会发展统计公报。 [https://www.shanxi.gov.cn/zjsx/zlssx/shjj/202203/t20220324\\_6045043.shtml](https://www.shanxi.gov.cn/zjsx/zlssx/shjj/202203/t20220324_6045043.shtml)

<sup>23</sup> 民生证券，2021。“双碳”政策下，煤层气企业或迎来盈利新模式。  
[https://pdf.dfcfw.com/pdf/H3\\_AP202112091533593723\\_1.pdf?1639047148000.pdf](https://pdf.dfcfw.com/pdf/H3_AP202112091533593723_1.pdf?1639047148000.pdf)

<sup>24</sup> 山西省煤炭地质勘查研究院，2021。“碳中和”背景下的煤矿瓦斯地质问题。  
[https://kjt.shanxi.gov.cn/ztlz/tdftzh/zjgd/202110/t20211028\\_2915069.shtml](https://kjt.shanxi.gov.cn/ztlz/tdftzh/zjgd/202110/t20211028_2915069.shtml)

在针对低浓度瓦斯利用的案例选择中，考虑到不同甲烷浓度的低浓度瓦斯的利用技术和利用难度存在差异，并且目前 9%-30% 之间的低浓度瓦斯发电技术相对成熟，且该范围的煤矿甲烷排放比例相对较小，本报告分析的案例主要关注目前瓦斯甲烷浓度在 9% 以下以及乏风瓦斯在内的低浓度瓦斯。

### 3.3. 案例背景信息

基于以上信息，本节将介绍案例的基本背景信息，主要包括山西煤矿瓦斯现状，现有针对煤矿瓦斯利用的政策和目前低浓度煤矿瓦斯利用的主要技术。

#### 3.3.1. 资源条件

我国煤层气地质资源丰富，主要分布在五大气区：华北、西北、南方、东北和滇藏地区。其中，煤层气资源最丰富、煤层气勘探开发最活跃且产量最多的主要在华北气区，具体分布在鄂尔多斯盆地、大同-宁武盆地、沁水盆地，和华北北部的渤海湾彭迪以及华北南部盆地等<sup>25</sup>。目前煤层气产量绝大部分都来自于沁水盆地，占全国总产量的 70% 以上，其次是鄂尔多斯盆地，占总产量的 20% 左右<sup>26</sup>。按照分省来看，山西省煤层气地质资源量及产量居全国首位。煤层气资源量占比靠前的地区有晋城、阳泉、吕梁、临汾、晋中、太原、长治等<sup>27</sup>。

文献资料显示，2016-2018 年，山西省煤矿瓦斯抽采总量约占全国瓦斯抽采量的 50%。同时期山西省井下移动泵站抽采瓦斯总量累计为  $5.71 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，直接排入回风巷中，随矿井通风排入大气。乏风瓦斯总量累计达到  $1.34 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ，但是平均浓度仅为 0.2%<sup>28</sup>。

基于对山西省不同类型矿井的煤矿甲烷净排放量和甲烷利用率的分析显示（如下表所示），甲烷净排放量最大的是高瓦斯矿井，其次分别是低瓦斯矿井和煤与瓦斯突出矿井。此外，不同类型矿井的煤矿甲烷利用率差异较大<sup>29</sup>。其中，煤与瓦斯突出矿井和高瓦斯矿井的利用率分别可以达到 54.2% 和 40.5%，但是低瓦斯矿井的利用率只有 14.1% 左右<sup>30</sup>。

<sup>25</sup> 毕彩芹. 中国煤层气资源量及分布[J]. 石油知识, 2018(2): 12-12.

<sup>26</sup> 桑树勋, 刘世奇, 韩思杰, 等. 中国煤炭甲烷管控与减排潜力.[J]. 煤田地质与勘探, 2023, 51(1): 159-175.

<sup>27</sup> 张懿, 朱光辉, 郑求根, 等. 中国煤层气资源分布特征及勘探研究建议[J]. 非常规油气, 2022, 9(4): 1-8.

<sup>28</sup> 李德慧, 李国富, 刘亮亮, 等. 山西省煤层气(瓦斯)开发利用现状及发展方向[J]. 矿业安全与环保, 2022, 49(2): 132-136,142.

<sup>29</sup> 刘虹, 赵美琳, 赵康, 等. 山西省煤矿甲烷排放量与利用量精细测算.[J]. 天然气工业, 2022, 42(6): 179-185.

<sup>30</sup> 同上.

表 4: 山西省 2019 年不同类型矿井煤矿甲烷排放量和利用量

矿井类型	甲烷涌出量 (m <sup>3</sup> )	甲烷净排放量 (m <sup>3</sup> )	甲烷利用率
高瓦斯矿井	28.06*10 <sup>8</sup>	16.68*10 <sup>8</sup>	40.5%
煤与瓦斯突出矿井	17.64*10 <sup>8</sup>	8.08*10 <sup>8</sup>	54.2%
低瓦斯矿井	18.21*10 <sup>8</sup>	15.63*10 <sup>8</sup>	14.1%

数据来源: 刘虹, 赵美琳, 赵康, 等. 山西省煤矿甲烷排放量与利用量精细测算.[J]. 天然气工业, 2022, 42(6): 179-185.

山西省煤矿瓦斯利用主要以瓦斯发电、民用和矿井瓦斯锅炉燃用为主。研究显示，瓦斯发电占煤矿瓦斯利用量的 67.8% 左右，居民生活瓦斯利用量占 18.7%，矿井瓦斯锅炉利用等其他瓦斯利用量占 13.5%<sup>31</sup>。基于不同煤矿瓦斯浓度的瓦斯利用率显示，30% 以上的高浓度煤矿瓦斯利用率较高，低浓度煤矿瓦斯利用率不到 30%<sup>32</sup>。

此外，山西省不同区域煤矿瓦斯也存在差异。山西省中部以东区域（太原市、阳泉市和晋中市）以及东南部（长治市和晋城市），这五个城市由于处在沁水盆地、鄂尔多斯盆地东缘的高突瓦斯区内，煤层对甲烷的吸附力强，因此煤矿甲烷含量偏高<sup>33</sup>。

### 3.3.2. 政策环境

作为煤炭资源大省，山西省尤其重视煤层气资源的开发利用，将煤矿瓦斯抽采利用作为其构建清洁低碳、安全高效的现代能源体系的重要路径和助力实现碳达峰、碳中和战略的重要支撑。

为此，山西省出台了一系列政策举措。2015 年，山西开始实施煤矿瓦斯抽采全覆盖工程。2016 年，国家在山西开展煤层气矿业权审批改革试点。2017 年，山西省发布全国首个省级煤层气勘查开发专项规划，即《山西省煤层气资源勘查开发规划（2016-2020 年）》。同年 11 月，山西面向全国以招标方式出让十个煤层气区块探矿权，这是全国首次探索实现煤层气资源市场化配置。2020 年以来，随着国家碳达峰、碳中和目标的提出，作为温室气体主要排放源的煤矿瓦斯也成为减排重点。为此，山西省更是进一步密集出台相关政策。下表 5 梳理了近三年来山西省出台的瓦斯抽采利用政策文件。可以看出，包括省人民政府、发改委、能源局等在内的山西省各部门，均非常重视煤矿瓦斯抽采利用，各部门分别从经济激励、标准办法、开发利用规划等多个方面提出了相应的举措以促进煤矿瓦斯抽采利用。

<sup>31</sup> 李德慧, 李国富, 刘亮亮, 等. 山西省煤层气 (瓦斯) 开发利用现状及发展方向[J]. 矿业安全与环保, 2022, 49(2): 132-136,142.

<sup>32</sup> 同上.

<sup>33</sup> 刘虹, 赵美琳, 赵康, 等. 山西省煤矿甲烷排放量与利用量精细测算.[J]. 天然气工业, 2022, 42(6): 179-185.

表 5：2020-2023 年山西省瓦斯抽采利用政策文件

时间	发布机构	政策文件
2023 年 12 月	山西省发改委、省能源局	《山西省非常规天然气行业碳达峰实施方案》 <sup>34</sup>
2023 年 07 月	山西省发改委、山西省科技厅、山西省能源局、山西省工业和信息化厅、山西省生态环境厅	《关于推动煤炭产业和降碳技术一体化发展的指导意见》 <sup>35</sup>
2023 年 03 月	山西省人民政府办公厅	《山西省人民政府办公厅关于煤系地层矿产资源综合开发的意见》 <sup>36</sup>
2023 年 01 月	山西省人民政府办公厅	《山西省 2021—2025 年矿产资源总体规划和煤层气资源勘查开发规划》 <sup>37</sup>
2022 年 08 月	山西省能源局	《山西省能源局关于推动煤矿瓦斯综合利用的指导意见》 <sup>38</sup>
2021 年 02 月	山西省发改委	《关于完善我省瓦斯发电上网电价政策有关事项的通知》 <sup>39</sup>
2020 年 03 月	山西省人民政府	《山西省煤层气勘查开采管理办法》 <sup>40</sup>

来源：绿色创新发展研究院（iGDP）整理

在政策支持下，山西在煤矿瓦斯抽采方面取得了重要的成果。截止 2020 年底，山西省用五年左右的时间在省内煤矿全部建成煤矿瓦斯抽采系统。煤矿瓦斯发电装机容量超过 1000MW，其中，晋城建成全国最大的煤层气发电基地，也是世界上瓦斯发电最集中、装机规模最大的区域<sup>41</sup>。未来，山西将继续实施全省煤矿瓦斯抽采全覆盖工程，并提出到 2025 年，争取煤层气抽采量达到 200-250 亿立方米/年，煤矿瓦斯利用量达到 55 亿立方米/年，利用率提高到 50% 的目标<sup>42</sup>。

### 3.3.3. 低浓度煤矿瓦斯利用技术

通过不同瓦斯利用技术可以实现煤矿甲烷减排和瓦斯的资源回收利用，当前我国煤矿低浓度瓦斯主要有如下四种利用途径：

<sup>34</sup> 山西省发改委、省能源局. 2023, 山西省非常规天然气行业碳达峰实施方案.

[https://www.shanxi.gov.cn/ywdt/sxyw/202312/t20231205\\_9438865.shtml](https://www.shanxi.gov.cn/ywdt/sxyw/202312/t20231205_9438865.shtml)

<sup>35</sup> 山西省发改委、山西省科技厅、山西省能源局等, 2023. 关于推动煤炭产业和降碳技术一体化发展的指导意见. <https://coal.in-en.com/html/coal-2631790.shtml>

<sup>36</sup> 山西省人民政府办公厅, 2023. 山西省人民政府办公厅关于煤系地层矿产资源综合开发的意见.

<https://www.shanxi.gov.cn/zfxgk/zfxgkzl/fdzdgknr/lzyj/szfbgtwj/202303/P020230320323277239030.pdf>

<sup>37</sup> 山西省人民政府办公厅, 2023. 山西省 2021—2025 年矿产资源总体规划和煤层气资源勘查开发规划.

<https://www.shanxi.gov.cn/zfxgk/zfxgkzl/fdzdgknr/lzyj/szfbgtwj/202302/P020230209604158282079.pdf>

<sup>38</sup> 山西省能源局, 2022. 山西省能源局关于推动煤矿瓦斯综合利用的指导意见.

[https://nj.shanxi.gov.cn/zfxgk/fdzdgknr/snyjwj/sjwj/202302/t20230203\\_7913414.html](https://nj.shanxi.gov.cn/zfxgk/fdzdgknr/snyjwj/sjwj/202302/t20230203_7913414.html)

<sup>39</sup> 山西省发改委, 2021. 关于完善我省瓦斯发电上网电价政策有关事项的通知. <https://news.bjx.com.cn/html/20210317/1142234.shtml>

<sup>40</sup> 山西省人民政府, 2020. 山西省煤层气勘查开采管理办法. [https://www.gov.cn/zhengce/2020-03/18/content\\_5721499.htm](https://www.gov.cn/zhengce/2020-03/18/content_5721499.htm)

<sup>41</sup> 山西省人民政府办公厅, 2023. 山西省 2021—2025 年矿产资源总体规划和煤层气资源勘查开发规划.

<https://www.shanxi.gov.cn/zfxgk/zfxgkzl/fdzdgknr/lzyj/szfbgtwj/202302/P020230209604158282079.pdf>

<sup>42</sup> 山西省人民政府办公厅, 2023. 山西省 2021—2025 年矿产资源总体规划和煤层气资源勘查开发规划.

<https://www.shanxi.gov.cn/zfxgk/zfxgkzl/fdzdgknr/lzyj/szfbgtwj/202302/P020230209604158282079.pdf>

- 1) 瓦斯发电。通过低浓度瓦斯发电机组和安全的输送技术实现瓦斯发电。瓦斯发电的三种方式分别为大功率燃气轮机发电、蒸汽轮机发电和内燃机组发电。其中，燃气轮机和蒸汽轮机发电一次性投入大，适合瓦斯抽采量大且气体成分稳定的大型矿井。内燃机组发电一次性投入低，并且台数和功率范围可以根据瓦斯气量进行确认，适合各类煤矿<sup>43</sup>。
- 2) 瓦斯浓缩/提纯。利用变压吸附技术和深冷液化技术，将煤矿低浓度瓦斯浓缩成高浓度瓦斯进行利用。变压吸附技术主要是利用吸附剂进行加压吸附、减压脱附，也是目前普遍使用的技术。深冷液化技术则是将瓦斯中的甲烷分离出来得到含量大于 98%的天然气，但是目前该技术仍处于工业化示范阶段<sup>44</sup>。目前有关于低浓度瓦斯提纯技术，但鉴于成本和技术，一般只是 10-20% 的进行提纯。
- 3) 掺混燃烧。将低浓度瓦斯作为工业锅炉的辅助燃料，与煤炭掺混燃烧进行发电或者进行其他热能利用。目前的新型燃烧技术为多孔介质燃烧技术，其可以扩展贫燃极限，降低污染<sup>45</sup>。
- 4) 瓦斯氧化制热利用。将抽采的低浓度瓦斯与乏风瓦斯掺混后进行氧化反应。氧化反应产生的热能可以用于发电和制热等。目前主要技术为瓦斯蓄热氧化技术，把低浓度瓦斯与乏风瓦斯混合至浓度达到 1.2%，利用蓄热型热力氧化装置（RTO）将甲烷的氧化热释放出来，生产高温烟气，高温烟气送入余热锅炉产生高温高压蒸汽，后者推动汽轮机发电机组产生电能<sup>46</sup>。

---

<sup>43</sup> 龙伍见. 我国煤矿低浓度瓦斯利用技术研究现状及前景展望[D]. 2010.

<sup>44</sup> 李中军. 低浓度煤层气利用技术研究现状及应用展望[J]. 能源与环境, 2018, 40(6): 152-156.

<sup>45</sup> 龙伍见. 我国煤矿低浓度瓦斯利用技术研究现状及前景展望[D]. 2010.

<sup>46</sup> 史平洋, 华丰. 煤矿瓦斯分类与综合利用的技术综述[J]. 集成电路应用, 2022, 39(7): 55-57.

如下表所示，不同低浓度瓦斯利用技术适用于不同瓦斯浓度范围：

表 6：低浓度瓦斯利用技术范围和现状

浓度利用范围	低浓度瓦斯利用技术	应用现状
9%-30%	瓦斯发电、提纯	目前低浓度瓦斯发电技术已有成熟工艺，但是发电机组对瓦斯浓度有一定适用范围。
1%-9%	瓦斯燃烧、浓缩	提浓挑战在如何经济高效实现 CH <sub>4</sub> /N <sub>2</sub> 的分离 <sup>47</sup> 。 瓦斯燃烧：稳定燃烧难，产热有限，导致燃烧技术效益较低 <sup>48</sup> 。
< 1%	瓦斯蓄热氧化+供热/发电	初期投入大，技术经济性需要提高。

当前低浓度煤矿瓦斯利用以 9%-30%浓度为主，利用方式主要为发电。0.75%-9% 之间的低浓度瓦斯利用技术主要包括掺混利用、稀薄燃烧、提纯浓缩等技术。对于浓度在 1%以下乏风瓦斯的利用技术主要有逆流式热氧化和逆流式催化氧化技术，其他技术则大多处在试验探索阶段<sup>49</sup>。

<sup>47</sup> 刘文革, 徐鑫, 韩甲业, 等. 碳中和目标下煤矿甲烷减排趋势模型及关键技术[J]. 煤炭学报, 2022, 47(1): 470-479.

<sup>48</sup> 桑树勋, 刘世奇, 韩思杰, 等. 中国煤炭甲烷管控与减排潜力.[J]. 煤田地质与勘探, 2023, 51(1): 159-175.

<sup>49</sup> 汪维, 高霁, 秦虎, 等. 甲烷的温室效应及排放, 控制[J]. 城市燃气, 2020, 4: 4-9.

# 4.低浓度煤矿瓦斯良好实践分析

图源: unsplash

如前所述，本报告良好实践是基于技术安全可行性、数据公开可得以及能产生环境和经济效益的基础上来进行选择。案例聚焦在我国煤炭资源和煤层气资源富集程度高的山西省。具体案例的分析将侧重在包括乏风瓦斯在内的低浓度瓦斯的利用。下表是本章节所覆盖案例的基本信息。

表 7: 案例基本信息

	浓度利用范围	技术类型	商业模式	环境效益	经济收益	案例特点
案例 1: 山西阳泉一阳煤二矿桑掌乏风氧化热电联供项目	0.2% - 1.2% (乏风与低浓度瓦斯掺混)	瓦斯氧化利用	瓦斯利用企业与煤矿 BOT (建设—运营—转让) 合作	甲烷摧毁量: 3504 万 m <sup>3</sup> /年	供电收入 (电价收入+上网电价补贴)	乏风瓦斯的商业化利用
案例 2: 山西吕梁—柳林寨崖底低浓度瓦斯发电项目	3%-8%	瓦斯燃烧	由瓦斯利用企业投资、建设和运营	甲烷摧毁量: 1200 万 m <sup>3</sup> /年	煤矿供电收入 (电价收入和瓦斯利用补贴)	项目中的煤矿低浓度瓦斯安全稳定燃烧技术已获得多项国家专利
案例 3: 山西晋城—成庄矿白沙低浓度瓦斯提浓示范项目	11%-15% 左右	瓦斯提纯	煤矿企业与瓦斯利用企业合作, 煤矿提供资金	甲烷摧毁量: 912.5 万 m <sup>3</sup> /年	销售提浓煤层气收入	山西省首个低浓度瓦斯提浓的科研试验项目
案例 4: 山西晋城—伏岩煤业乏风氧化发电项目	0.2% - 1.2% (乏风与低浓度瓦斯掺混)	瓦斯氧化利用	瓦斯利用企业与煤矿 BOT 合作	甲烷摧毁量: 1095 万 m <sup>3</sup> /年	上网电价收入	乏风瓦斯的商业化利用
案例 5: 山西晋城—伯方煤矿低浓度瓦斯综合利用项目	6%左右 (不同浓度瓦斯掺混后)	瓦斯燃烧	由煤矿与瓦斯利用企业共同投资建设	甲烷摧毁量: 202 万 m <sup>3</sup> /年	煤矿供热收入	项目合作方式

## 4.1. 案例 1：山西阳煤二矿桑掌乏风氧化热电联供项目

### 4.1.1 项目背景



本案例将聚焦位于山西省阳泉市的阳煤二矿桑掌乏风氧化热电联供项目。项目主要对矿井排空的乏风和低浓度瓦斯掺混后达到 1.2% 的甲烷浓度进行利用。

项目由兴边富民（北京）清洁能源技术有限公司（简称“兴边富民清洁能源”）和阳泉煤业（简称“阳煤”）合作建成<sup>50</sup>。其中，兴边

富民清洁能源是项目的投资主体、建设单位和特许经营期内的运营单位。

兴边富民清洁能源在 2013 年与潞安集团、阳煤集团和山煤集团签署了乏风及低浓度瓦斯氧化发电的 BOT（建设—运营—转让）投资建设合作合同。合同覆盖了包括阳煤二矿在内共 13 个项目。在 BOT 的特许经营期内，煤矿将得到上网电费的分成，并将分享汽轮机热电联供所带来的节能效益。在 BOT 特许经营结束后，兴边富民清洁能源公司会无偿将全部项目设备转让给煤矿<sup>51</sup>。

阳煤处于我国六大无烟煤基地之一的山西阳泉，在 1999 年由阳泉煤业集团旗下一矿、二矿和第二热电厂设立而成。其中阳煤二矿无烟煤资源储量在 6.62 亿吨，可采储量在 3.3 亿吨，年核定产能在 810 万吨<sup>52</sup>。

该项目通过引进国际先进的蓄热式高温氧化技术（以下简称：RTO）来对桑掌风井排空的乏风和低浓度瓦斯进行回收利用。一方面通过该技术以氧化销毁方式处理排空的瓦斯，另一方面通过建设热电联供系统在采暖季为桑掌进风井井筒提供供热蒸汽，从而代替煤矿风井原有的小型燃煤热风炉，实现清洁供暖。

项目于 2017 年 9 月开工建设，2018 年 11 月实现为二矿桑掌风井供热，2019 年 5 月 13 日实现并网发电<sup>53</sup>。

<sup>50</sup> 阳煤集团现已改名为华新材料科技集团，报告采用案例项目建设时期的原用名。

<sup>51</sup> 山西日报(2013). 山西煤矿乏风及低浓度瓦斯氧化发电项目签约.  
<http://www.coalchina.org.cn/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=42&id=71143>

<sup>52</sup> 东莞证券(2018). 阳泉煤业（600348）深度报告.  
[https://pdf.dfcfw.com/pdf/H3\\_AP201805201146396033\\_1.pdf?1601214537000.pdf](https://pdf.dfcfw.com/pdf/H3_AP201805201146396033_1.pdf?1601214537000.pdf)

### 4.1.2 项目设计和工艺流程

阳煤二矿桑掌乏风氧化发电项目，主要建设内容包括有 6 台 RTO 乏风氧化装置和 1 台 54t/h 余热锅炉，以及 1 台 15MW 空冷汽轮发电机组，设计装机容量 15MW，设计供热能力 10t/h。

项目在考虑到与煤矿通风机房、瓦斯泵站的安全距离下就近选址，可以减少乏风管道的建设投资和风管运行阻力。另外，考虑到山西缺水的情况，项目的汽轮机发电系统没有采用水冷而是采用直接空冷<sup>54</sup>。

项目主要设备包括：

- RTO 蓄热氧化装置：单台装置乏风处理流量为  $9 \times 10^4 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ，允许的甲烷浓度在 0.2%-1.2%，甲烷摧毁率大于 98%，RTO 出口高温热风温度为  $950^\circ\text{C}$ ，启动燃料为柴油。项目前期会根据煤矿通风、抽采运行数据以及未来趋势来判断装置安装的数量，避免因煤矿瓦斯量不足导致设备闲置<sup>55</sup>。
- 余热锅炉：1 台高温高压锅炉，额定温度  $540^\circ\text{C}$ 。
- 汽轮机：汽轮机 1 台，额定功率 15MW。
- 发电机：发电额定功率 16MW。

图 11：项目输送管道



图片来源：调研拍摄

图 12：项目汽轮发电机



图片来源：调研拍摄

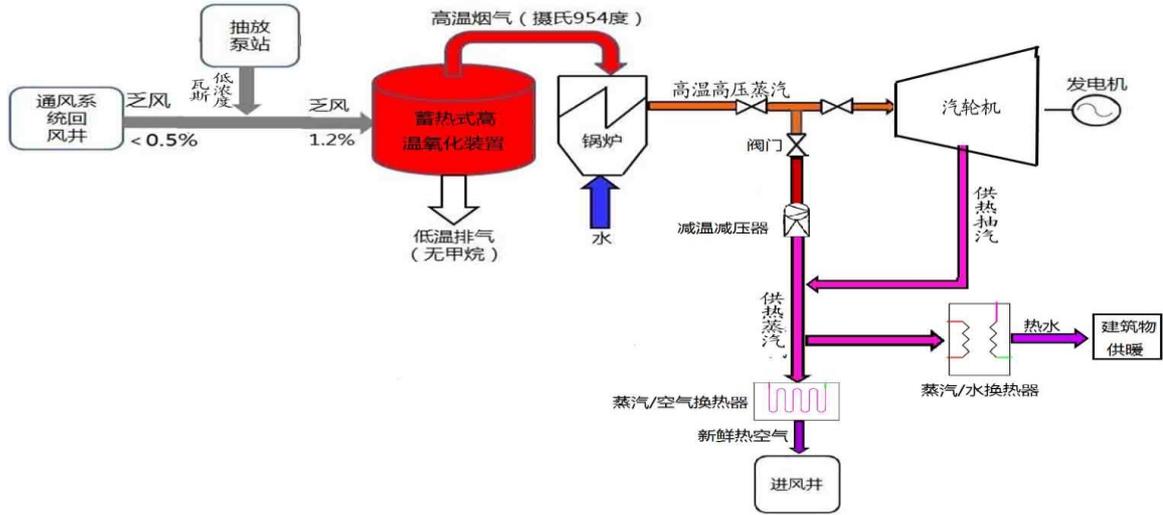
<sup>53</sup> 基于调研信息整理。

<sup>54</sup> 马立波, 程红林, 吕军林等. 阳煤二矿桑掌乏风瓦斯氧化发电工程设计运行[J]. 中国煤层气, 2020, 17(1): 43-46.

<sup>55</sup> 同上。

## 项目工艺流程:

图 13: 兴边富民桑掌乏风氧化电厂项目工艺流程图



图表来源: 兴边富民清洁能源提供

如上图所示, 将瓦斯泵站排空管顶部抽取的低浓度瓦斯与来自乏风扩散塔顶部抽取的乏风, 在输送管道中迅速掺混, 达到 1.2% 的甲烷浓度后, 输送到 6 台 RTO 蓄热氧化装置中。此外, 在 RTO 入口前有一系列监测和控制系统, 确保掺混后乏风瓦斯中甲烷浓度低于 5%-16% 的瓦斯爆炸区间, 才可以得到安全输送。此外, 瓦斯掺混点与 RTO 氧化装置之间设置有足够长的输送管道, 当遇到紧急情况 (例如 RTO 装置出现故障, 或者检测到掺混瓦斯浓度过高时) 可以有足够的时间来操作阀门, 避免浓度过高的掺混瓦斯进入 RTO 氧化装置。掺混乏风瓦斯在 RTO 装置内发生无火焰氧化反应后可以产生 950°C 的高温热风。高温热风通过余热锅炉热交换产生高温高压蒸汽驱动汽轮发电机进行发电。电力随后可以送入国家电网的变电站上网。汽轮发电机也同时设有供热抽汽, 在冬季可以为煤矿进风井保温和周边建筑供暖, 实现热电联供。

表 8 是项目设计的主要技术指标, 例如项目的装机容量和年上网电量。但是受瓦斯气源浓度不稳定等因素影响, 项目每小时的发电量在 0.6-1.1 万度之间浮动, 大部分时间在 0.8 万度左右<sup>56</sup>。

<sup>56</sup> 基于调研信息整理。

表 8: 项目主要技术指标

指标	数值
乏风掺混瓦斯利用率 (m <sup>3</sup> /h)	540,000
瓦斯销毁利用效率 (%)	>99%
销毁甲烷折纯量 (万 Nm <sup>3</sup> /年)	5184
总装机容量 (MW)	15
项目年发电量 (亿度)	1.2
年上网电量 (亿度)	0.96
厂用电率 (%)	20%
余热锅炉容量 (t/h)	54
供热能力 (t/h)	10
全厂热效率	40

图表来源: 兴边富民清洁能源提供

### 4.1.3 项目经济环境效益

项目总投资规模在 2 亿元左右。其中 RTO 乏风氧化装置及配套设施的采购和建造成本较高,单台的投资在 650 万元左右。项目收益主要来自瓦斯开采利用后上网发电所得的电价收益,以及为二矿桑掌风井地面建筑以及桑掌进风井井筒保温进行的供热带来的收益,但是后者收益占总收益比重较小,因此项目的主要收益仍来自电价收益。

在 2017 年山西省发改委发布的《关于煤矿瓦斯发电执行标杆上网电价的通知》中提到全省煤矿瓦斯发电执行标杆上网电价 0.509 元/千瓦时。山西省 2021 年 3 月发布的《关于完善我省瓦斯发电上网电价政策有关事项的通知》要求,从 2021 年 5 月 1 日起,符合条件的瓦斯发电项目可以有两种上网电价结算方式,企业可以自主选择。符合条件的瓦斯发电项目需要是 2020 年 8 月 7 日《省发展改革委省能源局关于开展燃气和瓦斯发电项目核准工作的通知》文件印发前核准的瓦斯发电项目(含乏风氧化发电项目)<sup>57</sup>。上网电价的两种结算方式如下:

- 收定支结算方式: 上网电价按照 0.509 元/千瓦时执行,上网电费由电网企业按燃煤发电基准价 0.332 元/千瓦时预结算,其余电价补贴部分按年度进行清算。当补贴资金不足的时候,不足部分将暂不兑付,等回收补贴资金超过应结算补贴额时,再给予逐年追补。
- 低电价结算方式: 上网电价按照 0.4048 元/千瓦时执行。上网电费将由电网企业定期、全额结算。

<sup>57</sup> 山西晚报. (2021). 全省瓦斯发电项目将实行两种上网好电价结算方式.  
<http://www.pingcheng.gov.cn/pqqrzmzf/xmjs/202103/8a2ec81d16ff4527914bdbc7e6ca6c8e.shtml>

阳煤二矿桑掌乏风氧化发电项目采用了收定支结算方式。其在 2019 年 5 月并网发电时单位电价收益可以达到 0.509 元/千瓦时，但是在 2021 年政策调整后，每月单位电价收益降低到 0.332 元/千瓦时。此外，作为瓦斯发电项目也享受了国家对瓦斯发电增值税即征即退的优惠税收政策。

项目的实施运行也带来了多重环境效益。首先，作为瓦斯蓄热氧化项目，在正常运行过程并没有产生废水、固废等排放，并且其余热锅炉的尾气排放中的大气污染物浓度，例如颗粒物、SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub>，在检测中均低于设备检出限。其次，该项目产生的余热可以在冬季为煤矿提供清洁供暖，从而可以减少原来由燃煤锅炉供暖产生的大气污染物排放问题。并且一个供暖季也可以节约 1750 吨标煤。最后，项目在提高煤矿瓦斯利用率的同时，也减少了瓦斯排放量。参考项目每小时平均发电量估算，年甲烷摧毁量约为 3504 万标方左右<sup>58</sup>。数据显示，瓦斯蓄热氧化装置的甲烷摧毁效率达到 99.92%，并且由于用瓦斯发电替代了燃煤发电，年减排 CO<sub>2</sub> 量达到 83 万吨。

#### 4.1.4 案例总结

由第三方的发电企业采用 BOT 方式来投资和运营瓦斯发电项目对煤矿和发电企业是双赢。首先，对于煤矿企业本身而言，无论是从经济、煤矿安全和政策角度，其对瓦斯发电积极性不高。利用煤矿瓦斯进行发电需要额外的投资，尽管可以减少煤矿企业的用电成本，但是发电收益远不及煤炭开采收益。我国煤炭价格持续保持在高位，煤矿的主要营业收入均来自煤炭开采。其次，煤矿瓦斯的利用存在瓦斯爆炸风险，一旦发生安全事故，煤矿将面临停工停产、企业主要负责人受罚、5 年内不得担任煤矿企业主要负责人的多重风险。出于煤矿生产安全的考虑，瓦斯发电并不在煤矿企业的优先考虑中。另外，我国对于甲烷浓度小于 30% 的低浓度瓦斯利用并无强制要求，煤矿企业也没有政策动力对低浓度和乏风瓦斯进行利用。在此背景下，瓦斯发电公司通过与煤矿合作，在不增加煤矿经济负担的情况下，采用 BOT 方式，由公司自行负责投资、建设和运营瓦斯发电站，利用煤矿的抽放泵站抽采的低浓度瓦斯和乏风扩散塔抽取的乏风瓦斯进行掺混后发电，并且通过瓦斯上网发电补贴来实现营收。这样的方式即可以让发电企业获得电价收益，同时也能减少煤矿的瓦斯排放。

项目的初始投资规模较大，考虑未来的投资回报，项目需要具有商业可行性。乏风瓦斯发电成本一般是传统抽采瓦斯发电成本的 4-5 倍左右，在没有相应的税费优惠和上网电价补贴情况下，

---

<sup>58</sup> 基于调研信息整理。

乏风瓦斯发电将很难具有商业可行性<sup>59</sup>。在案例项目中，项目收益主要来自电价补贴政策。因此项目受此类相关政策调整的影响也会比较大。例如 2021 年 3 月山西省对瓦斯发电补贴从每度电 0.509 元改为二选一的结算方式。同时，在山西省 2020 年《省发展改革委省能源局关于开展燃气和瓦斯发电项目核准工作的通知》印发后核准的瓦斯发电项目将不再享有电价补贴，上网电价将按照省燃煤发电基准价执行<sup>60</sup>；上述截止日之前核准的瓦斯发电项目实行补贴 15 年政策，15 年后取消补贴政策，恢复为基准电价结算。这也意味着未来新建的瓦斯发电项目的电价收益将进一步减少。此外，项目采用的 RTO 装置，设备的定期检修和维护成本也不低。因此在没有税费和补贴等优惠政策支持下，类似项目未来的发展仍将面临诸多挑战。

最后，经济激励有望为煤矿瓦斯利用提供一定支持，例如中国核证自愿减排量（CCER）以及包括 VCS（自愿核证碳标准）、黄金标准在内的国际碳信用。伴随我国自愿碳市场的重启，未来 CCER 项目方法学也将纳入煤矿甲烷利用<sup>61</sup>，为煤矿瓦斯减排提供激励。但是另一方面，受制于申报材料复杂和信息的不对称，只有为数不多的瓦斯发电企业会考虑国际碳信用申请。

---

<sup>59</sup> 联合国欧洲经济委员会. 煤矿瓦斯有效抽采与利用良好实践指南[M]. 煤炭工业出版社, 2019.

<sup>60</sup> 山西省发展和改革委员会关于完善我省瓦斯发电上网电价政策有关事项的通知, 2021. <https://fgw.yuncheng.gov.cn/uploadfiles/202103/22/2021032217574856748577.pdf>

<sup>61</sup> 国家气候战略中心组织召开煤矿瓦斯甲烷减排方法学座谈会, 2023. [http://www.ncsc.org.cn/xwdt/zxxw/202312/t20231202\\_1057889.shtml](http://www.ncsc.org.cn/xwdt/zxxw/202312/t20231202_1057889.shtml)

## 4.2. 案例 2：山西柳林寨崖底低浓度瓦斯发电项目

### 4.2.1 项目背景



案例 2 分析关注的是位于山西省吕梁市的柳林寨崖底煤矿 3MW 低浓度瓦斯发电项目，主要处理 9% 以下的低浓度瓦斯。该项目是旨在充分利用煤矿瓦斯资源、减少甲烷排放、提高能源利用效率的创新性项目。

项目合作的双方分别为山西君柳新能源科技有限公司（简称“君柳新能源”）和柳林寨崖底煤矿。君柳新能源与煤矿签约，由煤矿提供气源并发电，项目的投资、建设和运营主体则为君柳新能源。

山西柳林寨崖底煤矿位于山西省吕梁市柳林县，是一座井工煤矿，煤矿核定生产能力为 175 万吨/年<sup>62</sup>。矿井的瓦斯浓度为 5%-8%，瓦斯流量平均每分钟约 25Nm<sup>3</sup>，根据《煤矿瓦斯等级鉴定办法》<sup>63</sup>，属于低瓦斯矿井。

根据山西柳林寨崖底煤矿的气源条件，山西君柳新能源科技有限公司采用国际领先的煤矿低浓度瓦斯安全稳定燃烧专利技术，开展低浓度瓦斯综合利用。

项目从 2019 年开始建设，于 2021 年 12 月建成调试，2022 年 1 月并网发电。项目还获得了国家能源局公布的能源领域首台（套）重大技术装备（项目）名单<sup>64</sup>，成为全球第一套可利用浓度 3% 以上的煤矿瓦斯直燃带动蒸汽轮机发电的技术装备。项目的成功运行不仅填补了低浓度瓦斯直燃技术领域的国际空白，还为我国煤矿瓦斯资源的安全高效利用提供了示范和借鉴。

<sup>62</sup> 山西省全省生产煤矿生产能力公告，2021。 <https://news.bjx.com.cn/html/20210225/1138151-3.shtml>

<sup>63</sup> 煤矿安监局 能源局关于印发《煤矿瓦斯等级鉴定办法》的通知，2018。 [https://www.gov.cn/gongbao/content/2018/content\\_5323112.htm](https://www.gov.cn/gongbao/content/2018/content_5323112.htm)

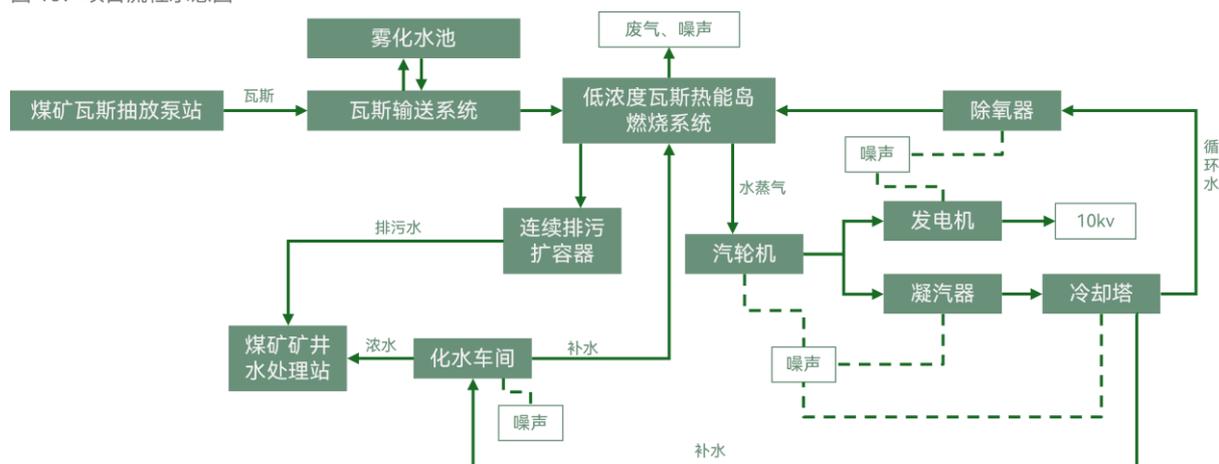
<sup>64</sup> 国家能源局，2021。国家能源局综合司关于 2021 年度能源领域首台（套）重大技术装备项目的公示。 [http://www.nea.gov.cn/2021-12/22/c\\_1310388108.htm](http://www.nea.gov.cn/2021-12/22/c_1310388108.htm)

## 4.2.2 项目设计和工艺流程

项目涵盖了瓦斯输送系统、低浓度瓦斯热能岛系统、余热利用系统、发电系统等关键部分，其装机容量为 3 MW。项目关键装置确保了瓦斯资源的安全点燃、稳定燃烧以及高效发电。

项目的具体流程如下图所示。具体而言，山西吕梁寨崖底煤矿瓦斯泵站抽采出的 5%-7% 的低浓度瓦斯，通过低浓度瓦斯安全输送系统，进入热能岛安全稳定氧化产生高温烟气，再经过余热锅炉产生过热蒸汽推动蒸汽轮发电机组发电。

图 15：项目流程示意图



图片来源：柳林寨崖底瓦斯发电环境影响评价，2023。<sup>65</sup>

以瓦斯浓度 5%，纯量 10Nm<sup>3</sup>/min 进行案例对比发现，相比于乏风氧化装置，低浓度瓦斯热能岛允许甲烷浓度为 3%-8% 的瓦斯，在瓦斯浓度超限时仍具有安全性，并且瓦斯利用效率更高。不管是从瓦斯利用的安全性还是利用效率看，低浓度瓦斯热能岛甲烷利用具有极高的推广示范价值。

<sup>65</sup> 柳林寨崖底瓦斯发电环境影响评价(公示本)，2023. [http://www.liulin.gov.cn/zwdt/tzgg\\_32295/202303/t20230306\\_1741626.shtml](http://www.liulin.gov.cn/zwdt/tzgg_32295/202303/t20230306_1741626.shtml)

表 9：乏风氧化装置和低浓度瓦斯热能岛甲烷利用对比

装置名称	乏风氧化装置	低浓度瓦斯热能岛
气源条件	以瓦斯浓度 5%，纯量 10Nm <sup>3</sup> /min 进行案例对比	
适宜运行甲烷浓度	0.3%-1.2%	3%-8%
装置进气量 (Nm <sup>3</sup> /h)	60,000	12,000
瓦斯浓度超限时的安全性	超限易爆炸	安全
瓦斯逃逸	换向时有逃逸	无
CH <sub>4</sub> 氧化率	≥95%	≥99.9%
综合热效率	≤60%	≥90%

图表来源：柳林寨崖底瓦斯发电环境影响评价，2023。<sup>66</sup>

目前该项煤矿低浓度瓦斯安全稳定燃烧技术已获得多项国家专利，并且在山西、宁夏、安徽等地开展了实地应用。2019 年，应用该技术的项目被列入山西省瓦斯综合利用试点示范项目，并于 2020 年通过由中国煤炭工业协会组织的，由中国工程院蔡美峰院士任主任委员的专家委员会鉴定，科技成果达到国际领先水平，并申报了安徽省科技成果。2022 年入选了自然资源部《矿产资源节约和综合利用先进适用技术目录（2022 年版）》，并获得了煤炭工业协会颁发的中国煤炭工业科技进步奖。

### 4.2.3 项目经济环境效益

瓦斯综合利用促进瓦斯抽采和煤矿安全生产的同时，还具有较高的环境价值和经济效益。

关于项目的环境效益，山西柳林寨崖底煤矿瓦斯发电项目配套 1×3MW 组合快装式蒸汽轮机发电机组，每年可向业主供电约 1920 万度，相当于节约标准煤 5766 吨，年销毁甲烷达到 1200 万立方米，折合减排二氧化碳 22 万吨，大致相当于中国 3 万人的年均二氧化碳排放量。而项目装置尾部排放的烟气氮氧化物低于 20 毫克。另外，项目建设用地在煤矿工业场区内，未新增占地，项目用水基本取自煤矿矿井水，也无废水排放，对当地土地和水资源基本不产生额外负担。可见，项目对国家的二氧化碳减排和环境保护具有积极贡献。

项目总投资在 2469 万元左右，其中设备投资占比最大。目前项目收益主要由电价收入和财政补贴两部分构成。一方面，寨崖底煤矿瓦斯发电项目生产的电力，除小部分自用外，直接供给山西柳林寨崖底煤矿，每年供电总收益可达 1249 万元。另一方面，项目每年可以从煤矿获得瓦斯利

<sup>66</sup> 柳林寨崖底瓦斯发电环境影响评价(公示本)，2023. [http://www.liulin.gov.cn/zwdt/tzgg\\_32295/202303/t20230306\\_1741626.shtml](http://www.liulin.gov.cn/zwdt/tzgg_32295/202303/t20230306_1741626.shtml)

用补贴。根据财政部出台的《关于“十三五”期间煤层气（瓦斯）开发利用补贴标准的通知》，煤矿瓦斯利用可获得中央财政补贴，补贴标准为 0.3 元/标准立方米<sup>67</sup>。

展望未来，随着 CCER 重启和碳市场的完善，可进一步扩展瓦斯抽采利用项目经济收入来源。煤矿瓦斯抽采利用项目可以通过销售碳减排量获得收入，为项目的投资和运营提供一定的资金支持，进一步促进项目应用推广和可持续性发展。CCER 重启和碳市场的完善也有助于促使煤矿企业之间加强合作，共同推进瓦斯抽采利用技术的研究和应用。另外，重启 CCER 也意味着政府对碳排放的管控更加严格，政府可能会采取更多政策举措进一步推动企业减排，在政策引导下，企业对碳排放的关注和减排意愿将进一步提高，这也有助于推动包括煤矿瓦斯抽采利用在内的低碳技术的创新研发和应用示范。

#### 4.2.4 案例总结

山西柳林寨崖底煤矿 3MW 低浓度瓦斯发电项目采用的低浓度瓦斯安全稳定燃烧技术已取得多项国家专利，技术较为成熟，也在山西、宁夏、安徽等地开展了多项应用。课题组通过实地走访调研发现，项目在推动应用中仍然面临政策、资金、环境和社会认知等方面的困难和挑战。

第一，政策引导和支持。煤矿瓦斯抽采利用项目往往涉及到安全、环保、用地、贷款等多个方面的法律法规要求，需要满足严格的标准，并且要经过各部门层层审批，审批程序复杂，审批周期也往往较长。另外，不同地区可能存在不同的法律法规和政策，对煤矿瓦斯抽采利用项目的支持程度不一。政策支持的不确定性和变化会直接影响煤矿瓦斯抽采利用项目的可行性和推广。

第二，经济激励和投资回报。煤矿瓦斯抽采利用项目落地需要大量的资金投入，涉及技术研发投入，项目设备采购、工程建设、运营维护等多个环节的资金需求。政府可以制定专项基金、税收优惠政策、补贴措施、优惠贷款措施等，鼓励企业投资煤矿瓦斯抽采利用项目。这些激励政策可以降低项目的资金投入成本，增加投资吸引力，也有助于企业获得投资回报，帮助项目稳定运营。据了解，政府经济激励目前是煤矿瓦斯抽采利用项目的主要收入来源之一。然而，经济激励举措在执行过程中也面临诸多困难，可能难以保证企业获得持续稳定可靠的收入，甚至影响企业现金流和正常运行。例如，目前瓦斯开发利用的财政补贴和发电补贴是煤矿瓦斯抽采利用项目的重要收入来源，若这些补贴落实不到位，将直接减少企业现金流，影响企业设备检修维护，甚

<sup>67</sup> 财政部，2016. 关于“十三五”期间煤层气（瓦斯）开发利用补贴标准的通知。  
[https://www.jcgov.gov.cn/dttx/ztl/2019nzt/zdngmptbdlpz/zcjd\\_21348/201904/t20190426\\_365506.shtml](https://www.jcgov.gov.cn/dttx/ztl/2019nzt/zdngmptbdlpz/zcjd_21348/201904/t20190426_365506.shtml)

至会导致企业停工停产。另外，贷款优惠对煤矿瓦斯抽采利用项目落地也非常重要。即便技术成熟，与煤矿企业达成合作意向，环保等审批也顺利通过，若缺乏投资资金，项目也往往会无疾而终。

第三，煤矿企业参与意愿。山西柳林寨崖底煤矿 3MW 低浓度瓦斯发电项目合作煤矿为山西柳林寨崖底煤业有限公司，母公司归属寨崖底（香港）有限公司。相比国有煤矿企业，该企业体制相对灵活，对煤矿瓦斯抽采利用项目的合作意愿和积极性更高。课题组了解到，低浓度瓦斯发电项目在早期寻求与国有煤矿企业合作过程中，国有煤矿出于煤矿安全的顾虑，加之国企合作形式和审批程序更为复杂，对瓦斯抽采利用经济收益敏感性不高，因此参与意愿并不强。

第四，社会认知和接受度。煤矿瓦斯抽采利用是一项新兴的技术，地方社会可能对其认知度不高，或对其安全性存在疑虑。煤矿企业也往往处于安全性的顾虑，缺乏对煤矿瓦斯抽采利用的积极性。在项目推广应用过程中，需要进行相关的宣传和教育，以便推动社会各界对该技术的支持。

总体而言，煤矿瓦斯抽采利用在中国的推广和应用面临多方面的困难和挑战，需要政府、企业和科研机构的共同努力，持续创新，逐步解决技术、安全、环保、经济等问题，实现可持续发展。同时，随着国家减排措施的日趋严格，社会各界环境保护意识的不断增强，以及技术的不断创新，也将为煤矿瓦斯抽采利用的推广应用创造更有利的条件。

## 4.3. 案例 3：山西晋城成庄矿白沙低浓度瓦斯提浓示范项目

### 4.3.1 项目背景



本案例聚焦山西省开展的首个低浓度瓦斯提浓的科研试验项目——山西晋城成庄二号风井白沙低浓度瓦斯提纯项目。该项目位于山西晋城泽州县大东沟镇，由山西晋城煤业集团（简称“晋煤集团”）技术研究院牵头，山西能源煤层气有限公司、成庄矿等单位共同参与。

晋煤集团是全国最大的煤层气抽采利用企业，煤层气抽采量、利用率在全国处于领先水平。资料显示，2013 年井上、井下煤层气抽采总量为 25.16 亿立方米，其中井下抽采量为 10.99 亿立方米，利用量为 5.31 亿立方米，利用率达 48%<sup>68</sup>。晋煤集团现采空区瓦斯排放点有成庄矿一号风井、成庄矿二号风井、成庄矿三号风井、寺河矿东风井、寺河矿上庄风井等，日排放未利用的浓度在 7%-18%的瓦斯约 30 万立方米（折纯），若将这部分瓦斯提纯后，其浓度可达 30%以上<sup>69</sup>。



2013 年 2 月，晋煤集团 12000Nm<sup>3</sup>/h 低浓度瓦斯提浓试验项目白沙提浓站建成。项目从 2014 年开始运行，白沙提浓站位于成庄矿南屏风井口，可通过真空变压吸附法（Vacuum Pressure Swing Adsorption, VPSA），直接将成庄矿白沙瓦斯抽放站抽放的浓度 15%左右的瓦斯气提浓至 30%以上，既可供工业燃气也可用于瓦斯发电。

<sup>68</sup> 李波, 张鸿. 成庄矿瓦斯提纯技术工艺选定及应用效益分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2014(7): 261-262.

<sup>69</sup> 同上.

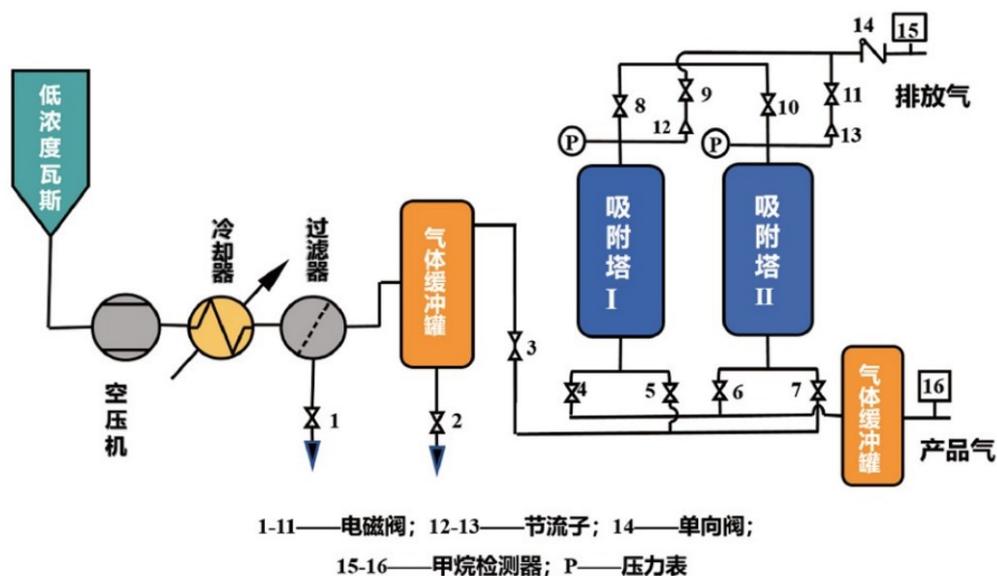
### 4.3.2 项目设计和工艺流程

晋煤集团与上海汉兴能源科技有限公司、上海华西化工科技有限公司合作建设 12000Nm<sup>3</sup>/h 低浓度瓦斯提浓试验示范装置，该装置 1 小时可处理 12000 标方的低浓度瓦斯气，将 10%-20% 浓度的瓦斯转换成 30% 以上浓度瓦斯气将近 4000 标准方<sup>70</sup>。晋城成庄矿白沙低浓度瓦斯提纯项目，主要建设内容包括一进一出两种管道系统和以 8 个吸附塔为核心的浓缩系统主体装置。

提纯装置所采用的工艺流程为真空变压吸附（VPSA），主要包括吸附、均压降压、抽真空、均压升压、产品气升压等 5 个过程。真空变压吸附法对原料气不需要加压，通过气源在接近常压下经过多种吸附剂依次吸附以达到脱水、吸附甲烷的目的，由于吸附剂对混合气体中的甲烷组分吸附能力很强，而对其它组分吸附能力较弱，因而通过装有不同吸附剂的混合吸附床层，就可将甲烷吸附下来，未被吸附的氮气、氧气等从塔顶流出，经高空排出。低浓度气中的甲烷在被吸附后，采用抽真空的方法来进行解析或再生，提高瓦斯浓度，实现气体的分离。

提纯装置由 8 个吸附塔组成，每个吸附塔都要经历吸附、均压降、抽真空、均压升等工艺步骤。8 塔 VPSA 工艺操作灵活，在计算机程序控制下可以组合多种运行方式，当出现设备故障时也可自动切换至不同塔数运行，以便维修而不影响生产。

图 18: 低浓度瓦斯提纯项目变压吸附分离双塔工艺流程示例图



图表来源：栗硕豪，巩雨晴，付沈光，等. 煤矿瓦斯变压吸附提纯甲烷的研究进展[J]. 中国科学:化学, 2023, 6: 992-1007.

<sup>70</sup> 基于调研信息整理。

项目主要设备包括:

- 1) 吸附塔: 吸附塔 8 台, 本装置所用 HX-CH4-2 是以煤为原料, 经特别的化学和热处理得到的孔隙特别发达的专用活性炭用于吸附甲烷。
- 2) 真空泵: 真空泵 3 台。
- 3) 空气压缩机: 为工艺区气动程控阀提供动力。
- 4) 废气放空系统: 排放氮气和氧气。
- 5) 防雷、防静电、供电和给排水等辅助配套设施。

表 10: 项目主要技术指标

指标	数值
原料气甲烷体积分数	13%
产品气甲烷体积分数	>30%
放空气规格	甲烷 (2%)、氮气 (78%)、氧气 (19%)

图表信息来源: 杜赵文. 低浓度瓦斯真空变压吸附提浓示范项目研究[J]. 山西化工, 2020.

### 4.3.3 项目环境和经济效益

项目总投资规模在 4000 多万, 其中吸附剂的成本为 2-3 万/吨, 共 8 个吸附塔需要大约 200 多万吨吸附剂, 花费 400-600 万元。此外, 3 台真空泵运行消耗的电费占运营成本的绝大部分, 每个月电费高达 26 万元。项目的主要收益来自售卖提浓后的煤层气。据测算, 该项目建成投产后, 年平均销售收入达 896 万元, 年平均利润总额为 335 万元, 总投资收益率达 12.43%<sup>71</sup>。产品气市场售价为 1.7 元/立方米 (折纯), 在满负荷情况下, 装置日产气 3 万多立方米 (折纯), 税前净利润 0.8 元/立方米<sup>72</sup>。但是项目近年运行率极低, 仅冬季气量不足的情况下会暂时开启补充, 且单次提级的费用约 1.0-1.5 元/方<sup>73</sup>。

参考项目装置设计, 每小时可处理 12000 标方的低浓度瓦斯, 每年处理的瓦斯量折纯后大概在 912 万标方左右, 这也是项目每年大致的甲烷摧毁量。因受《煤矿安全规程》(瓦斯利用时甲烷浓度不应低于 30%) 的要求, 浓度低于 30% 的瓦斯绝大部分没有得到利用, 煤矿生产企业通常

<sup>71</sup> 李波, 张鸿. 成庄矿瓦斯提纯技术工艺选定及应用效益分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2014(7): 261-262.

<sup>72</sup> 杜赵文. 低浓度瓦斯真空变压吸附提浓示范项目研究[J]. 山西化工, 2020.

<sup>73</sup> 基于调研信息。

把低浓度瓦斯直接排空。如果能把目前大量抽放排空的低浓度煤矿瓦斯进行开发利用，可减少甲烷排放对环境的污染。

#### 4.3.4 案例总结

成庄矿瓦斯提浓项目采用的真空变压吸附法无需对原料气加压，具有工艺流程短、原料气适应性强、操作方便、运行费用低等突出优势<sup>74</sup>。项目建设及流动资金均为晋煤提供的企业科技资金，前期投资主要为管道建设和吸附剂采购。吸附剂更换周期为 10-15 年，故初期运营成本主要来自于工人工资、真空泵电费和设备维护，收益则来自于售卖提纯后的煤层气。

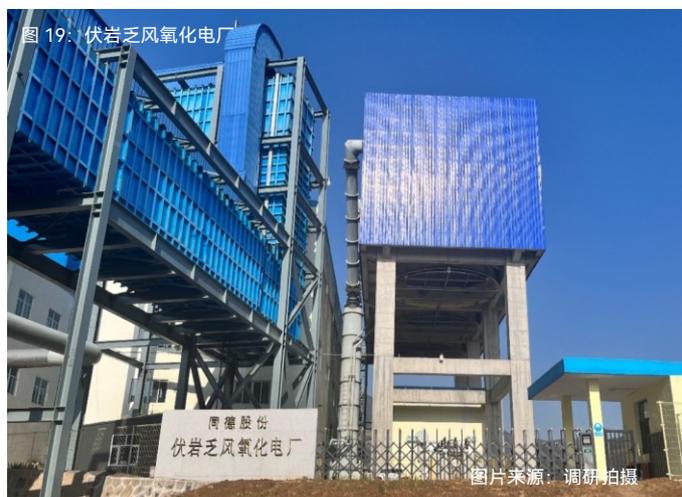
从项目目前运行情况来看，应用前景广阔，效益明显，技术和经济可行性有一定保障。然而，项目还需要克服吸附罐占地面积大、用电成本高的运行痛点，每个月电费高达 26 万元，而原本的科研项目补贴取消后，项目的运行变得更为艰难。此外，目前项目无法消纳成庄煤矿抽放的所有瓦斯，超出部分只能排空，而扩/新建需要重新申请用地资质。当地的土地性质均已登记为耕地，改变土地利用性质在成本及时间上可行性都极低。最后，运行后期费用会随着吸附剂的定期更换而明显增加，项目需要抓住优惠政策和经济激励的机遇才有望长期盈利。

---

<sup>74</sup> 辜敏, 鲜学福. 矿井抽放煤层气中甲烷的变压吸附提浓[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2007, 30(4): 29-33.

## 4.4. 案例 4：山西晋城伏岩煤矿乏风氧化发电项目

### 4.4.1 项目背景



山西阳城阳泰集团伏岩煤业有限公司（以下简称“伏岩煤矿”）位于山西省晋城市阳城县芹池镇，是山西省煤炭资源企业兼并重组整合中单独保留的 90 万吨矿井。伏岩煤矿于 2012 年 8 月正式投产，主要从事煤炭开采和洗选加工，主体企业为阳城县阳泰集团实业有限公司，其无烟煤资源储量和可采储量分别为 4495.85 和 1867.85 万吨<sup>75</sup>。

伏岩煤矿每年的瓦斯涌出量达 2700 多万立方米，给煤矿安全生产带来了隐患。由于瓦斯含量过低不能用于内燃机组发电，煤矿抽采的低浓度瓦斯（占比约 60%）只能排空。本着充分合理利用瓦斯废气的原则，余热宝科技有限公司投资控股阳城县国泰中科清洁能源技术有限公司新建了伏岩煤矿乏风氧化发电项目（15MW 低浓度瓦斯发电项目）。

该项目总投资 1.7 亿元，建设内容为 6 台 RTO 氧化装置、1 套 15MW 汽轮发电机组和 1 台 55t/h 余热锅炉<sup>76</sup>。项目建成后，可高效利用乏风瓦斯（浓度范围 0.2~0.3%）和其他浓度抽放瓦斯，氧化销毁排空的瓦斯，同时还可通过建设分布式热电联供系统替代煤矿风井现有小型燃煤锅炉，从而实现大规模温室气体减排。

该发电项目利用伏岩煤矿抽采的全浓度瓦斯气源，向煤矿提供清洁、实惠的电力，余电则并入国家电网。该项目于 2019 年年初立项，经过建设和调试后已于 2023 年 9 月正式试运行。

<sup>75</sup>阳城县阳泰集团实业有限公司 (2020). 阳城县阳泰集团实业有限公司 2020 年度第一期短期融资券募集说明书. <http://file.finance.sina.com.cn/211.154.219.97:9494/MRGG/BOND/2020/2020-11/2020-11-09/15270316.PDF>

<sup>76</sup>阳城县人民政府 (2018). 阳泰集团伏岩煤业：“吃干榨尽”瓦斯废气 争当能源革命尖兵. [http://www.yczf.gov.cn/xwdt/yctxw/201804/t20180412\\_1069375.shtml](http://www.yczf.gov.cn/xwdt/yctxw/201804/t20180412_1069375.shtml)

## 4.4.2 项目设计和工艺流程

伏岩煤矿乏风氧化发电项目，主要建设内容包括新建 6 台 RTO 乏风氧化装置、1 套 15MW 高温高压汽轮发电机组、1 台 55t/h 余热锅炉、汽机主厂房、空冷岛和综合楼等。

项目拟利用全浓度瓦斯，气源由乏风瓦斯（浓度范围 0.2~0.3%）、低浓度瓦斯（浓度范围 3~6%）和高浓度瓦斯（>30%）混合而成，进气中甲烷含量约为 1.2%。项目采用无需水源运行的空冷岛代替冷却塔为高温蒸汽降温并实现冷凝水回用。

项目主要设备包括：

- 1) 蓄热式氧化炉 RTO：RTO 共 6 台，单台装置乏风处理流量为  $9 \times 10^4 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ，允许的甲烷浓度 0.2%~1.2%，甲烷摧毁率大于 98%，启动燃料为柴油。
- 2) 余热锅炉：高温高压锅炉 1 台，蒸发量 55t/h，额定温度 540℃。
- 3) 汽轮发电机组：汽轮发电机组 1 套，额定功率 15MW。

图 20: 蓄热式氧化炉 RTO



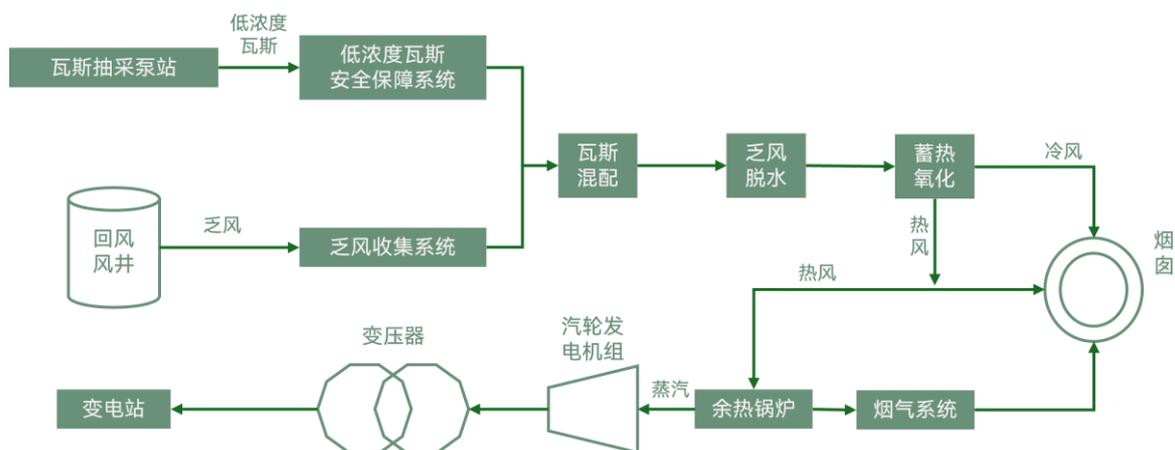
图片来源：调研拍摄

图 21: 汽轮发电机组



图片来源：调研拍摄

图 22: 乏风氧化发电工艺流程图



图表来源：金刚, 王康. 矿井乏风瓦斯蓄热氧化发电关键技术研究[J]. 科学技术创新, 2020(26): 193-194.

如图 22 所示，将瓦斯泵站排空管顶部抽取的低浓度瓦斯、高浓度瓦斯和乏风扩散塔顶部抽取的乏风瓦斯在输送管道中迅速混配，达到 1.2% 的甲烷浓度后脱水，再输送到 6 台 RTO 蓄热氧化炉中。氧化炉内甲烷在 930°C±25°C 的高温下被瞬间氧化为水和二氧化碳并释放出巨大氧化热。当乏风瓦斯浓度在 0.8%~1.2% 时，设备不仅可提供过饱和蒸汽，还能推动蒸汽轮机组发电。去甲烷后的气体分为两股气流排出，低温气流与经锅炉换热降温后的高温气流混合并通过烟囱排空。而 RTO 出来的高温烟气进入余热锅炉换热，产生高温高压蒸汽，带动蒸汽式汽轮机转子转动，从而带动发电机转子发电，通过升压变压器升压至变电站并入电网<sup>77</sup>。蒸汽进入空冷岛冷凝为液态水，经过反渗透技术处理后进行回用。

如下表所示，项目设定的年综合能源消费总量为 4.91 万吨标准煤（当量），乏风年消费量为 5184 万 Nm<sup>3</sup>、柴油 13.3 吨，耗能工质水年消费量 7.2 万 m<sup>3</sup><sup>78</sup>。目前项目处于试运行阶段，且需要与乏风瓦斯掺混的浓度高一些的低浓度瓦斯的来源并不稳定，因此项目现在的日发电量为 6 万度左右，是设计条件下日发电量的 1/6<sup>79</sup>。

表 11: 项目主要技术指标

指标	数值
乏风年消费量 (万 Nm <sup>3</sup> )	5184
总装机容量 (MW)	15
年外供电力 (亿度)	0.98
余热锅炉容量 (t/h)	55
年外供热力 (万吉焦)	10.1
可利用瓦斯浓度范围 (掺混前)	0.2%~0.3%, 3~6%, >30%

图表来源：伏岩煤矿提供

#### 4.4.3 项目环境和经济效益

项目总投资约为 1.7 亿元，资金来源全部为企业自筹，主要支出包括设备购置和项目建设费用，其中 RTO 装置花费 4300 余万，其余支出主要在厂房建设、人工以及设备安装调试。

<sup>77</sup> 金刚, 王康. 矿井乏风瓦斯蓄热氧化发电关键技术研究[J]. 科学技术创新, 2020(26): 193-194.

<sup>78</sup> 基于调研资料整理.

<sup>79</sup> 基于调研资料整理.

项目主要收益来自于瓦斯发电并入国家电网（除厂区和煤矿自用电以外）。伏岩煤矿乏风氧化发电项目采用了收定支结算方式<sup>80</sup>，目前项目处于调试阶段，上网电价为燃煤发电基准价的80%<sup>81</sup>，即0.2656元/千瓦时。

该项目的运行也伴随着巨大的减排潜力。首先，作为瓦斯综合利用零排放示范项目，其废水、废弃物均在处理后排放，余热锅炉尾气中的大气污染物排放浓度均低于设备检出限。其次，RTO甲烷摧毁率大于98%，避免了乏风排空导致的甲烷排放。参考项目的实际日发电量，估算目前每年实际的甲烷摧毁量达到1095万Nm<sup>3</sup>，此外，余热供暖可以缓解燃煤锅炉供暖产生的污染，如PM10、PM2.5、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>和VOCs等大气污染物排放。

#### 4.4.4 案例总结

煤矿乏风瓦斯氧化发电项目的政策环境一片利好。每年大量抽排的超低浓度瓦斯因浓度和流量波动大，长期以来利用效率很低，且瓦斯浓度随着煤矿的持续开采而逐年降低。中国当前每年通过乏风排入大气的纯甲烷高达100~150亿Nm<sup>3</sup>，是世界上最大的瓦斯排放国<sup>82</sup>。晋城市能源局2023年重点工作中提出实现全市瓦斯全浓度利用路径，重点扩大浓度8%以下瓦斯和乏风瓦斯的利用规模<sup>83</sup>。相关的瓦斯氧化销毁、供热、供电技术也趋于成熟，类似应用案例近年来不断涌现<sup>84</sup>。

伏岩煤矿乏风氧化发电项目由第三方投资建设并运行，气源由伏岩煤矿的全浓度瓦斯按比例掺混后稳定供应，主要收益为余电并网。项目的初期投资规模较大，调试期间发电量仅为满供满发情况下的1/6，而电价仅为燃煤发电基准价的80%，实现盈利遥遥无期。目前项目的痛点主要为：

- 补贴缺位。根据山西省2020年印发的《省发展改革委省能源局关于开展燃气和瓦斯发电项目核准工作的通知》，此瓦斯发电项目不享有电价补贴和税收优惠。
- 气源不足。伏岩煤矿的瓦斯前期已与另外的瓦斯发电企业形成长期稳定的销售渠道，服务周期超30年，且煤层气交易遵循“价高者得”的市场规律，而该项目预算紧张，无法提供有竞争力的报价。在气源不足的情况下，机组运行不充分，度电成本会相应增加。

<sup>80</sup> 山西省发展和改革委员会(2021). 关于完善我省瓦斯发电上网电价政策有关事项的通知.

<https://fgw.yuncheng.gov.cn/uploadfiles/202103/22/2021032217574856748577.pdf>

<sup>81</sup> 国家电力监管委员会(2011). 发电机组进入及退出商业运营管理办法. [https://www.gov.cn/gzdt/2011-10/19/content\\_1973204.htm](https://www.gov.cn/gzdt/2011-10/19/content_1973204.htm). 已于2023年6月进行修订.

<sup>82</sup> 安小康. 超低浓度瓦斯蓄热氧化及余热利用系统的研究与应用[J]. 工程技术与管理, 2020, 4. 128-130.

<sup>83</sup> 晋城市能源局(2023). 晋城市能源局2023年工作重点.

[https://xxgk.jcgov.gov.cn/szfgzbn/jcsnyj/fdzdgknr\\_31618/ghjh\\_31625/202302/t20230227\\_1753298.shtml](https://xxgk.jcgov.gov.cn/szfgzbn/jcsnyj/fdzdgknr_31618/ghjh_31625/202302/t20230227_1753298.shtml)

<sup>84</sup> 李荣. 煤矿乏风瓦斯氧化技术方案设计[J]. 山西科技, 2019, 34(03):126-127.

该项目发展的契机在于把握以中国核证自愿减排量（CCER）和国际自愿核证碳标准为代表的减排激励。充足的运行资金才能保障稳定的气源供应和高效的机组运行，从而快速盈利并放大减排效应。



## 4.5. 案例 5：山西晋城伯方煤矿低浓度瓦斯综合利用项目

### 4.5.1 项目背景



案例项目位于山西省晋城市高平市寺庄镇伯方村，由山西兰科煤层气利用科技有限公司（以下简称“山西兰科煤层气”）与山西兰花科技创业股份有限公司伯方煤矿分公司（以下简称“伯方煤矿”）合作，在伯方煤矿赵家山风井场地建设低浓度瓦斯燃烧供热系统。瓦斯利用的浓度范围在 6% 以上。项目一方面可以减少

伯方煤矿瓦斯泵站直接排放到大气中的低浓度瓦斯，另一方面也通过低浓度瓦斯利用来减少煤矿供热和采暖所需的天然气和电费成本。

项目的建设和运营主体是山西兰科煤层气，该公司成立于 2023 年，由山西兰花科技创业有限公司与山西高创能源新技术有限公司、山西孚信低碳能源科技合伙企业（有限合伙）共同设立项目公司推进所属煤矿瓦斯综合利用，持股比例分别为 40%，30% 和 30%<sup>85</sup>。项目由伯方煤矿与兰科煤层气共同投资，伯方煤矿建设，兰科煤层气提供设计、技术和部分专用设备与运营。

项目合作方伯方煤矿将为山西兰科煤层气提供瓦斯泵站的低浓度瓦斯。伯方煤矿为山西晋城市最大的无烟煤生产单位之一。2022 年产煤 209.6 万吨，每吨价格在 1160 元左右，实现利润 15 亿元左右<sup>86</sup>。伯方煤矿近三年的抽采数据显示<sup>87</sup>，抽采泵站年均抽采排空的瓦斯纯量 608 万 m<sup>3</sup>。

项目于 2023 年初开工建设，于 2023 年 12 月建成并进入调试阶段。项目从立项到建成周期为 12 个月左右。项目采用低浓度瓦斯多孔介质燃烧供热技术，主要利用低浓度瓦斯热水锅炉前的燃烧器，将甲烷浓度 8% 左右的低浓度瓦斯安全点燃，稳定燃烧，并实现可靠运行。低浓度瓦斯燃烧供热将用于满足伯方煤矿的风井场地、抽采泵站和工业场地提供的供热需求。

<sup>85</sup> 山西兰花科技创业股份有限公司 2022 年年度报告: <https://static.cninfo.com.cn/finalpage/2023-04-25/1216554351.PDF>

<sup>86</sup> 同上。

<sup>87</sup> 基于调研资料整理。

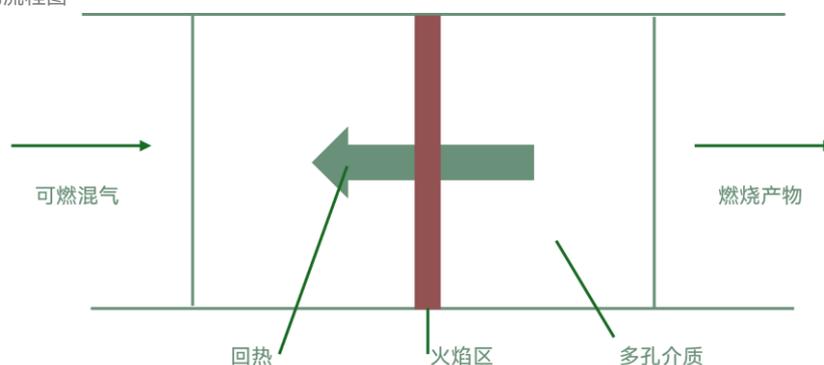
## 4.5.2 项目工艺和流程

项目包括如下关键技术和装备：

首先，项目采用瓦斯多孔介质燃烧技术，可利用浓度 6-8% 的低浓度瓦斯直接燃烧制热，实现对爆炸浓度范围内的瓦斯直接燃烧，并且具有安全可靠、成本低廉、热转化效率高等优点。

多孔介质燃烧技术可以扩展燃料的贫燃极限和火焰稳定范围，燃烧效率高，同时也可以降低污染物排放。其工作过程如下：“可燃混气进入多孔介质内部并燃烧，形成火焰区。可燃混气在燃烧前被火焰区下游高温的多孔介质以辐射方式传递到火焰区上游，热量加热，称为回热，从而产生温度比自由空间绝热燃烧温度还要高的火焰，这种燃烧方式称为过焓燃烧”<sup>88</sup>。

图 24：项目工艺流程图



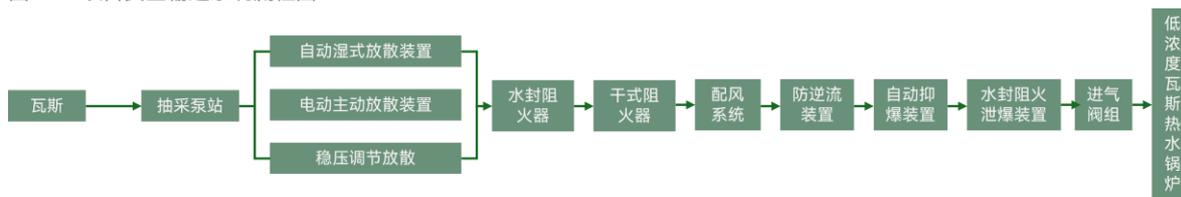
图表来源：宋正昶等, 2011

项目的关键流程主要在瓦斯的掺混以及对低浓度瓦斯开发利用的安全输送。

- 瓦斯掺混：项目中瓦斯掺混有两个部分：第一个为抽采泵站掺混系统，系统将抽采泵站的高负压抽风系统与低负压抽放系统气源进行掺混，掺混的瓦斯的浓度范围在 6% 以上，掺混第二个部分为配风系统，利用风机将瓦斯气体浓度掺混到 8% 左右。瓦斯掺混目的是保证低浓度瓦斯多孔介质燃烧供热技术的浓度要求。
- 低浓度瓦斯的安全输送系统：为保证低浓度瓦斯的安全性和系统运行稳定性，项目的低浓度瓦斯安全输送系统根据规范依次设置自动阻燃装置、自动抑爆装置、水封阻火泄爆装置、过滤器等。输送系统工艺流程如下：

<sup>88</sup> 宋正昶, 林柏泉, 周世宁. 低浓度瓦斯在泡沫陶瓷内过焓燃烧的实验研究[J]. 煤炭学报, 2011, 36(4): 628-632.

图 25: 项目安全输送系统流程图



图表来源：基于调研信息整理

### 4.5.3 经济和环境效益

山西兰科煤层气的低浓度瓦斯燃烧供热项目总投资在 2000 万左右，由山西兰科煤层气和伯方煤矿共同投资，资金均来自自有资金。项目的主要收益将来自为伯方煤矿提供的供热和瓦斯抽采补贴。双方采取合同能源管理模式，兰科煤层气与伯方煤矿按比例分享供热节约收益，同时以伯方煤矿近三年供热的平均费用作为收益分享的基数<sup>89</sup>。

伯方煤矿现阶段使用燃气锅炉、电热风机、电磁锅炉为煤矿供热，天然气费用和电费成本高。通过与山西兰科煤层气合作，预计项目实施后年利用瓦斯量在 202.8 万标方，可以实现年供热 6.8 万 GJ，热效率 88%，年节约标煤量 2454 吨。按照 1 立方天然气价格 4 元/标方，每年可以为伯方煤矿节省的天然气费用为 811 万元左右。另外，瓦斯补贴气价按照 0.15 元/标方计算，每年可获得瓦斯抽采补贴 30.42 万元。

项目利用煤矿生产过程中抽采的低浓度瓦斯，年利用瓦斯纯量占全年抽采排空量的 33%，能减少大量瓦斯直接排放造成的环境污染和温室效应。预估年减排量在 3 万吨左右。项目建成后，大气污染物 NOX 可达标排放，对环境质量影响很小。

此外，针对不同的低浓度瓦斯利用技术，项目方也将多孔介质燃烧技术与低浓度瓦斯发电和低浓度瓦斯氧化技术进行了对比，多孔介质燃烧技术在单位投资规模、运行成本、甲烷摧毁率和所需占地面积上都具有相对优势。以 1MW 低浓度瓦斯利用而言，该技术的单位投资在 280 万元左右，甲烷摧毁率可达 99%，且占地面积小，日常所需维护也较少。

### 4.5.4 案例总结

案例项目可以顺利开展的关键因素之一是负责瓦斯利用的企业与煤矿企业均有同一家投资方，便于双方的合作与沟通。前期调研显示，煤矿企业在没有政策和经济激励下，对于浓度在 30% 以下的煤矿瓦斯利用动力不足。并且出于煤矿安全生产的考虑，低浓度瓦斯的安全利用并不在煤矿

<sup>89</sup> 基于调研资料整理。

企业的优先考虑之中。由于案例项目的瓦斯利用公司——山西兰科煤层气，以及煤矿瓦斯提供方——伯方煤矿，两者均有山西兰花科技创业有限公司参与投资，因此可以更易促成双方在低浓度煤矿瓦斯利用上的合作，例如山西兰科煤层气在做项目选址的时候，可以直接使用煤矿已有土地，减少了土地出让所需要的成本。

推动项目开展的另一个因素是对即将到重启的 CCER 自愿碳市场中甲烷项目申请的考虑。随着全国碳市场的发展，甲烷利用项目的温室气体减排量化核证也可以被控排企业购买用于履约，此举也将为甲烷减排项目提供一定经济激励。尽管目前生态环境部首批批准的 CCER 方法学尚未包括甲烷减排项目，但是可以看到企业已经开始为此做准备。

案例项目顺利进行的最重要的因素应该是确保低浓度煤矿瓦斯的安全利用。由于低浓度瓦斯处在 5%-16%范围的时候容易遇火发生爆炸，在矿井瓦斯抽采和输送过程中易出现安全事故，因此瓦斯利用系统的各个环节需要按照规范要求设置相应装置，确保瓦斯安全运输。

不过，案例若希望在更大范围得到推广，需要进一步得到国家政策层面的支持。目前《煤矿安全规程》中“抽采的瓦斯浓度低于 30% 时，不得作为燃气直接燃烧”的技术限制不利于低浓度瓦斯直接燃烧的技术推广，行业亟需低浓度煤矿瓦斯直燃制热的标准以推动低浓度煤矿瓦斯的利用。

# 5. 案例总结与建议

## 5.1. 案例总结

本报告聚焦在我国煤炭和煤层气资源丰富的山西省，通过对山西省低浓度煤矿瓦斯利用的良好实践分析，识别其发展和推广所面临的挑战和需要的关键要素。考虑到不同甲烷浓度的低浓度瓦斯利用技术和难度的差异，案例也探讨了不同甲烷浓度的低浓度瓦斯利用场景。本章节将首先对前述案例分析进行总结，然后对案例推广应用的难点提出相应的建议。

如前一章节所述，基于文献资料和专家访谈，报告选择了山西省煤层气资源量占比靠前的阳泉、吕梁和晋城三地一共五个案例项目作为调研走访的对象。以下将对不同甲烷浓度的低浓度瓦斯利用方向和具体案例进行分类并做分析总结。

表 12: 案例信息汇总

浓度利用范围	低浓度瓦斯利用技术	报告案例
9%-30%	瓦斯发电、提纯	案例 3: 山西晋城一成庄矿白沙低浓度瓦斯提浓示范项目
1%-9%	瓦斯燃烧、浓缩	案例 2: 山西吕梁—柳林寨崖底低浓度瓦斯发电项目 案例 5: 山西晋城—伯方煤矿低浓度瓦斯综合利用项目
<1%	瓦斯蓄热氧化+供热/发电	案例 1: 山西阳泉—阳煤二矿桑掌乏风氧化热电联供项目 案例 4: 山西晋城—伏岩煤业乏风氧化发电项目

通过案例分析中可以观察到当前低浓度瓦斯利用的一些基本特点:

- 1) 目前对 9%以下瓦斯和乏风瓦斯利用项目的装机量规模都较小，单位千瓦的造价也高于风电光伏项目。例如案例 1 和案例 4 两个针对乏风瓦斯氧化发电项目，两者装机容量都在 15MW 左右，案例 2 的低浓度瓦斯 (<9%) 发电项目的装机在 3MW。这

些项目的单位千瓦造价都在 1 万元以上，与现在陆上风电和光伏项目单位千瓦造价 4000 元左右相比<sup>90</sup>，高出 150%。

表 13：案例项目单位千瓦造价信息

	案例 1，案例 4	案例 3
瓦斯利用浓度范围	0.2% < 1.2%	3%-8%
项目发电规模	15MW	3MW
项目投资	1.7-2 亿	4000 万左右
单位千瓦造价	12333 元	13333 元

- 2) 瓦斯发电项目高度依赖电价补贴。从低浓度瓦斯发电案例中可以看到，其接近 90% 左右的经济收益来自上网电价收益。因此一旦电价补贴发生变化，对于项目投资的未来收益预期带来显著变化。以案例 1 为例，其在 2019 年 5 月并网发电时单位电价收益可以达到 0.509 元/千瓦时，但是在 2021 年政策调整后，每月单位电价收益降低到 0.332 元/千瓦时。由于瓦斯发电项目自并网发电起的 15 年内享有补贴电价，如果未来电价补贴进一步下调，将降低企业对此类项目投资的积极性。
- 3) 获得稳定气源是低浓度瓦斯发电的另一个挑战。从乏风瓦斯利用的两个案例（案例 1 和案例 4）中可以看到，受抽采瓦斯气源供应以及气源浓度稳定性等因素影响，项目每天实际发电量为设计发电量的五到七成左右。此外，乏风瓦斯的利用需要与浓度更高一些的低浓度瓦斯进行掺混，因此当后者有更经济合理的利用方式的情况下，乏风瓦斯掺混利用也面临挑战。
- 4) 针对低浓度瓦斯利用的另一个挑战是稳定燃烧和安全输送。如果低浓度瓦斯的浓度处在瓦斯爆炸范围 5-16%，则遇明火有爆炸风险，因此在项目设计、实施和日常管理中对于瓦斯的输送和利用过程需要有标准和技术的支持。以案例 2 为例，项目的关键装置需要确保瓦斯资源的安全点燃、稳定燃烧以及高效发电。项目采用的煤矿低浓度瓦斯安全稳定燃烧技术也已获得多项国家专利，并且在山西、宁夏、安徽等地开展了实地应用。在案例 5 中，为保证低浓度瓦斯的安全性和系统运行稳定性，项目的低浓度瓦斯安全输送系统需要根据规范设置不同的防爆阻爆装置。
- 5) 低浓度瓦斯利用的主体大部分不是减排责任主体煤矿，多为其他投资主体。在没有明确减排责任的前提下，相比减排煤矿更注重安全生产，因此未把煤矿瓦斯当成资源进

<sup>90</sup> [https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202308/content\\_6899173.html](https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202308/content_6899173.html)

行利用和考虑；第三方作为投资主体则会更多的关注项目本身带来的经济效益，但由于煤矿企业缺乏对瓦斯利用的积极性，和第三方瓦斯发电企业达成的合作协议中往往存在气价低、合作期长的问题，一定程度限制了瓦斯发电和瓦斯利用新项目。

## 5.2. 建议

如前所述，本报告聚焦在对企业低浓度煤矿瓦斯利用的良好实践的梳理分析，识别其落地和推广所需的关键要素，为参与煤矿甲烷管理的政策决策和执行部门，以及相应的技术和研究支持机构提供参考。从上述的案例分析和总结中可以看到，尽管目前已经有一些企业参与到低浓度煤矿瓦斯的综合利用，并且实现了一定的经济和环境效益，但是类似的煤矿瓦斯利用项目在推广时，依然面临政策、经济和市场环境等方面挑战，需要政策从不同层面予以支持。

### »» 加强对煤矿瓦斯利用项目的统一规划，为项目的建设和运营提供配套政策支持

由于我国对于甲烷浓度小于 30%的低浓度瓦斯利用并无强制要求，因此多数煤矿企业没有政策动力进行低浓度瓦斯利用，并且也没有在矿井建设初期考虑配套瓦斯利用项目。同时低浓度煤矿瓦斯的利用存在爆炸风险，一旦发生安全事故，煤矿将面临停工停产。出于煤矿生产安全的考虑，瓦斯发电并不在煤矿企业的优先考虑中。山西省 2022 年 8 月发布《关于推动煤矿瓦斯综合利用的指导意见》，已经提到在矿井规划建设时期应统筹建设瓦斯抽采和利用配套设施。建议国家层面在修订矿井建设设计相关规范时也对配套瓦斯利用设施进行强调，从源头促进煤矿企业对煤矿瓦斯的利用。

由于多数瓦斯利用项目是由新能源开发企业与煤矿合作来推进，项目通常采用 BOT 的模式，虽然这种商业模式较为成熟，且对于煤矿企业和煤矿瓦斯利用企业能够实现共赢，但是项目的持续运行仍面临一些挑战，包括抽采瓦斯气源供应的稳定性以及项目扩建需要的用地资质申请等。例如案例 3 中提到，项目扩/新建需要重新申请用地资质。当地的土地性质均已登记为耕地，改变土地利用性质在成本及时间上可行性都较低。因此加强对瓦斯利用项目的统筹规划可以减少项目后续面临的问题。山西省 2022 年 8 月发布《关于推动煤矿瓦斯综合利用的指导意见》也提出要“强化煤矿企业与第三方瓦斯企业间合作”，相应政策如果能够进一步细化和落实将会对煤矿瓦斯利用项目的统筹推进有很大帮助。山西省的政策制定和落实经验也能为我国其他煤矿瓦斯资源大省提供借鉴。

## »» 加强财税政策和市场机制对低浓度煤矿瓦斯利用项目的支持与引导

煤矿瓦斯利用项目的投资规模大，使用低浓度瓦斯燃烧和提纯的案例 2 和案例 5、案例 3 投资规模都在 2000-4000 万左右，乏风和低浓度瓦斯综合利用的案例 1 和案例 4 的投资规模更是高达 2 亿元左右。煤炭行业作为高碳行业较难获得绿色金融的支持，对于提供技术服务的煤矿瓦斯利用企业来说，若没有相应的转型金融政策提供投融资支持，项目的落地和运营将面临重大挑战。山西省可参考《河北省钢铁行业转型金融工作指引（2023—2024 年版）》，出台山西省金融支持煤炭行业低碳转型的顶层制度设计，将包括乏风瓦斯在内的低浓度瓦斯利用纳入转型金融的重点支持对象。可以对不同浓度范围的瓦斯利用技术给予差异化金融支持。

目前低浓度煤矿瓦斯运行阶段的收益主要来自发电收益，发电收益主要由电价收入和财政补贴两部分组成，财政补贴的变化对企业的营运状况有很大影响。在案例分析中，受补贴政策调整影响，项目收益有一定程度下降，给设备运行、维护和科研投入带来挑战。以案例 1 为例，在采用收定支结算方式后补贴按年结算，一定程度上影响了企业的现金流和设备的维护保养。建议发改部门在制定补贴价格时，除了考虑产业发展、抽采利用成本和市场销售价格变化等因素外，还应充分考虑煤矿瓦斯发电和利用的环境属性和减排效益，适当提高补贴价格。同时，负责补贴发放的部门也可适当提高发放频次，尤其是对现行排放标准覆盖范围外的低浓度瓦斯和乏风瓦斯利用，应加大补贴力度，更好地发挥补贴政策对煤矿瓦斯利用的经济激励。此外，在调研过程中，瓦斯利用企业也表示对 CCER 支持的期待。但是目前不少低浓度瓦斯利用技术会采用掺混的方式来利用高浓度的瓦斯，因此对于 CCER 方法学项目额外性的界定也较为关注。建议在 CCER 重启后，在将技术成熟的针对包括乏风瓦斯在内的低浓度瓦斯利用的方法学纳入自愿碳减排体系的过程展开专家论证，回应企业的关注。同时鼓励重点煤炭企业率先示范，充分发挥市场机制促进减排。

## 》》适时调整煤矿瓦斯排放标准和煤矿安全规程，并对煤矿瓦斯排放总量进行控制

我国现行的《煤层气(煤矿瓦斯)排放标准(暂行)》(GB 21522-2008)并未对甲烷体积分数<30%的抽放瓦斯和乏风瓦斯的排放进行限制，因此煤矿企业通常缺乏对这部分低浓度瓦斯进行利用的动力。课题组在调研中了解到，由于目前政策对于排空没有限制，多数煤矿企业出于安全考虑通常会将低浓度瓦斯直接排空。

一方面，随着科技进步和研发投入，我国对低浓度瓦斯利用技术有重大突破，瓦斯利用技术已经领先于现行排放标准的浓度限值要求。例如案例 2 采用的煤矿瓦斯直燃带动蒸汽轮机发电的技术和案例 5 采用的瓦斯多孔介质燃烧技术，均适用于 1%-9%甲烷浓度的煤矿瓦斯。另一方面，伴随着低浓度瓦斯利用技术的发展，国家和地方也出台了相应的措施鼓励对低浓度煤矿瓦斯利用。适时更新煤矿瓦斯排放标准同时可以助力已有政策的实施。调整《煤层气(煤矿瓦斯)排放标准(暂行)》，允许条件成熟的地区适当调整排空的浓度范围，既能与生态环境部 2020 年 10 月发布的《关于进一步加强煤炭资源开发环境影响评价管理的通知》“在确保安全的前提下，应对甲烷体积浓度大于等于 8%的抽采瓦斯进行综合利用”的政策相衔接，能够提升煤矿企业减少甲烷排放的积极性，也能提振煤矿瓦斯利用企业的市场信心。

在调研中企业也提到，自 2016 年开始施行的《煤矿安全规程》规定“抽采的瓦斯浓度低于 30%时，不得作为燃气直接燃烧”，这一限制不利于低浓度瓦斯直接燃烧的技术推广。若希望在更大范围内推动低浓度煤矿瓦斯利用，尤其是通过瓦斯直接燃烧技术进行利用，国家政策层面对煤矿安全生产规章也应进行相应调整，在保障安全生产的前提下，允许浓度低于 30%的瓦斯直燃利用。

此外，将排放标准从对甲烷浓度进行控制，扩展到对浓度和总量进行控制，还能够倒逼煤炭企业加强对低浓度瓦斯的利用。现行的《煤层气(煤矿瓦斯)排放标准(暂行)》主要对煤矿甲烷的浓度进行限制，企业可以通过加大通风量将瓦斯稀释后排空，这造成了我国煤矿甲烷中以低浓度瓦斯为主的排放现状，也一定程度上加剧了低浓度瓦斯利用困难。未来随着甲烷排放控制的监管不断加强和排放数据体系的完善，在浓度限制的基础上增加基于甲烷总量排放的限制，能够有力促进低浓度煤矿瓦斯的利用，助力《甲烷排放控制行动方案》的实施。

## »健全煤矿甲烷监测、报告和核证（MRV）制度和排放数据体系

出于煤矿安全的考虑，煤矿企业一直以来对煤矿瓦斯浓度非常重视。按照《煤层气(煤矿瓦斯)排放标准(暂行)》的要求，煤矿企业需要对管道内的甲烷浓度、流量、压力、温度等参数进行监测。并且按照《污染源自动监控管理办法》的规定，安装煤层气（煤矿瓦斯）排放自动监控设备，与环保部门的监控中心联网，并保证设备正常运行。企业还应遵守《环境监测管理办法》等相关规定，对煤矿甲烷排放状况进行检测，并保存原始监测记录。然而，在监测要求已经相当完善的基础上，我国并不像美国和澳大利亚等煤炭资源丰富的国家一样强制要求煤炭企业核算和报告温室气体排放量。因此，建议生态环境部等相关部门在已有的监测基础上，组织企业开展甲烷排放量测量或计算，摸清甲烷排放家底同时为之后出台总量控制目标奠定基础。此外，国家层面还应建立统一的煤矿甲烷报送制度，并出台实施细则，由地方主管部门监督落实。地方主管部门需要同时加强煤矿企业及核查机构的能力建设，提高煤矿甲烷排放相关数据的质量，并确保排放数据按时报送。而完整、高质量的数据对于制定针对性的煤矿甲烷减排措施和相关减排技术的推广具有重要意义。

## 附录 1：煤矿瓦斯抽采利用财政补贴和上网电价政策举措

经济激励政策	中央/地方	文件	颁布机构	时间	文件相关描述	链接
财政补贴标准	中央	《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	2016-02-14	“十三五”期间，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。同时，根据产业发展、抽采利用成本和市场销售价格变化等，财政部将适时调整补贴政策。	<a href="http://www.mof.gov.cn/gp/xxgkml/jjss/201603/t20160301_2512190.htm">http://www.mof.gov.cn/gp/xxgkml/jjss/201603/t20160301_2512190.htm</a>
	中央	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	2019-06-11； 可再生能源发展专项资金实施期限为 2019 年至 2023 年。	三、可再生能源发展专项资金支持煤层气(煤矿瓦斯)、页岩气、致密气等非常规天然气开采利用。2018 年，补贴标准为 0.3 元/立方米。自 2019 年起，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”。	<a href="https://www.gov.cn/xinwen/2019-06/20/content_5401801.htm">https://www.gov.cn/xinwen/2019-06/20/content_5401801.htm</a>
	中央	《清洁能源发展专项资金管理暂行办法》	财政部	2020-06-12，专项资金实施期限为 2020-2024 年。	第十二条 使用专项资金对煤层气(煤矿瓦斯)、页岩气、致密气等非常规天然气开采利用给予奖补，按照“多增多补”的原则分配。超过上年开采利用量的，按照超额程度给予梯级奖补；未达到上年开采利用量的，按照未达标程度扣减奖补资金；对取暖季生产的非常规天然气增量部分，按照“冬增冬补”原则给予奖补。 第十三条 计入奖补范围的非常规天然气开采利用量按照以下方式确定： 非常规天然气开采利用量=页岩气开采利用量+煤层气开采利用量×1.2+致密气开采利用量与 2017 年相比的增量部分	<a href="https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-07/01/5523237/files/0c7a5f88ea12412e9c17eedb32be451.pdf">https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-07/01/5523237/files/0c7a5f88ea12412e9c17eedb32be451.pdf</a>
	山西	山西省煤矿瓦斯抽采全覆盖工程实施方案	山西省人民政府办公厅	2015-07-17 日， 实施周期 2015-2017	3.积极争取国家提高我省煤层气（煤矿瓦斯）开发利用补贴标准，支持煤层气（煤矿瓦斯）抽采利用。按照国办发〔2013〕93 号有关要求，提高煤层气（煤矿瓦斯）开发利用补贴的标准，在现有中央财政补贴 0.20 元/立方米、省财政补贴 0.05 元/立方米的基础上，省级财政补贴标准在三年瓦斯抽采全覆盖工程实施期间再提高 0.05 元/立方米，达到省级财政补贴 0.10 元/立方米。（省财政厅牵头，省煤炭厅、省发展改革委及相关煤炭和煤层气企业配合） 4.积极争取中央预算内资金，支持煤矿瓦斯抽采利用。（省发展改革委牵头，省煤炭厅、山西煤监局及相关煤炭企业配合）	<a href="https://www.shanxi.gov.cn/zfxgk/zfxgkzl/fdzdgknr/lz/yj/szfbgtwj/202302/t20230209_7951197.shtml">https://www.shanxi.gov.cn/zfxgk/zfxgkzl/fdzdgknr/lz/yj/szfbgtwj/202302/t20230209_7951197.shtml</a>
	贵州	《贵州省能源结构调整专项资金管理办法》、《关于支持加大煤矿安全投入的若干政策措施》	省财政厅、 省能源局	2021-04-13； 实施日期 2021-2025	对煤层气地面勘探开发利用（含煤层气井下抽采瓦斯提纯利用），省级奖励补贴 0.2 元/立方米。对煤矿瓦斯抽采利用率达到 35%—55%（均含本数）的每立方米奖补 0.1 元，大于 55%的每立方米奖补 0.2 元。瓦斯发电上网除享受国家优惠电价政策外，同时享受省级奖补政策。对新建煤矿瓦斯发电项目，装机容量 1000 千瓦（含）以下的一次性奖补 50 万元；装机容量 1000 千瓦以上的一次性奖补 80 万元。新建煤矿瓦斯提纯项目，一次性奖补 500 万元。	<a href="http://czt.guizhou.gov.cn/zwgk/gzhgfwxjsjk/gfxwjsjk/202107/t20210719_69050161.html">http://czt.guizhou.gov.cn/zwgk/gzhgfwxjsjk/gfxwjsjk/202107/t20210719_69050161.html</a> <a href="https://www.guiyang.gov.cn/zwgk/zdlyxxgkx/nyzy/nyaqjdg/202006/t20200617_61141072.html">https://www.guiyang.gov.cn/zwgk/zdlyxxgkx/nyzy/nyaqjdg/202006/t20200617_61141072.html</a>

	贵州	《省人民政府关于强化煤矿瓦斯防治攻坚进一步加强煤矿安全生产工作的意见》	贵州省人民政府	2020-03-04	2020至2025年省级财政每年新增预算安排10亿元，专项支持煤矿瓦斯防治攻坚、煤矿智能化建设等，各级政府相应设立专项资金。推动高瓦斯、突出矿井全覆盖建设瓦斯抽采利用设施，积极创造条件扩大瓦斯民用。	<a href="https://www.guizhou.gov.cn/zwgk/zcfg/szfwj/qff/202003/t20200304_70477294.html">https://www.guizhou.gov.cn/zwgk/zcfg/szfwj/qff/202003/t20200304_70477294.html</a>
	陕西	关于进一步加快煤层气（煤矿瓦斯）抽采利用的实施意见	陕西省人民政府办公厅	2014-07-19	<p>（一）省级财政资金给予支持。综合考虑抽采成本和市场销售价格，对煤炭、煤层气企业开采的煤层气（煤矿瓦斯）出售或用作民用燃气、化工原料及用于发电的，在中央财政补贴的基础上，由省财政根据可计量的实际利用量对我省地方企业给予0.1元/立方米（折纯）的补贴。具体补贴办法由省财政厅会同省发展改革委、省煤炭生产安全监管局制定。</p> <p>税费扶持政策</p> <p>（五）增值税先征后退。对煤层气（煤矿瓦斯）抽采企业的增值税，一般纳税人抽采销售煤层气（煤矿瓦斯）实行增值税先征后退政策。先征后退税款由企业专项用于煤层气（煤矿瓦斯）技术的研究和扩大再生产，不征收企业所得税。省国税局、省地税局负责抓好落实。</p>	<a href="http://www.shaanxi.gov.cn/zfxgk/fdzdgknr/zcwj/nszfbgtwj/szbf/202208/t20220808_2235366_wap.html">http://www.shaanxi.gov.cn/zfxgk/fdzdgknr/zcwj/nszfbgtwj/szbf/202208/t20220808_2235366_wap.html</a>
瓦斯发电上网电价	中央	关于利用煤层气（煤矿瓦斯）发电工作实施意见的通知	发改委	2007-04-02	十一、煤层气（煤矿瓦斯）电厂上网电价，比照国家发展改革委制定的《可再生能源发电价格和费用分摊管理试行办法》（发改价格〔2006〕7号）中生物质发电项目上网电价（执行当地2005年脱硫燃煤机组标杆上网电价加补贴电价）。高于当地脱硫燃煤机组标杆上网电价的差额部分，通过提高煤层气（煤矿瓦斯）电厂所在省级电网销售电价解决。	<a href="https://www.gov.cn/zwgk/2007-04/16/content_583702.htm">https://www.gov.cn/zwgk/2007-04/16/content_583702.htm</a>
	中央	《关于进一步加快煤层气（煤矿瓦斯）抽采利用的意见》	国务院办公厅	2013-09-14	（九）完善煤层气发电价格政策。根据煤层气（煤矿瓦斯）发电造价及运营成本变化情况，按照合理成本加合理利润的原则，适时提高煤层气（煤矿瓦斯）发电上网标杆电价，未提高前仍执行现行政策。电网企业因此增加的购电成本，通过调整销售电价统筹解决。	<a href="https://www.gov.cn/govweb/gongbao/content/2013/content_2496395.htm">https://www.gov.cn/govweb/gongbao/content/2013/content_2496395.htm</a>
	山西	《关于完善我省瓦斯发电上网电价政策有关事项的通知》	山西省发改委	2021	<p>该文件印发后核准的瓦斯发电项目，则不再给予电价补贴，上网电价按我省燃煤发电基准价执行（随基准价调整相应调整）。</p> <p>两种上网电价结算方式分别为以收定支结算方式和低电价结算方式。</p> <p>以收定支结算方式</p> <p>上网电价按0.509元/千瓦时执行。选择此方式的发电企业，上网电费由电网企业按燃煤发电基准价0.3320元/千瓦时预结算，其余电价补贴部分按年度进行清算。当补贴资金不足时，不足部分单独统计、暂不兑付，待实际回收补贴资金超出应结算补贴额时，予以逐年追补。</p> <p>低电价结算方式</p> <p>上网电价按0.4048元/千瓦时执行。选择此方式的发电企业，上网电费由电网企业定期、全额结算。</p>	<a href="https://news.bjx.com.cn/html/20210317/1142234.shtml">https://news.bjx.com.cn/html/20210317/1142234.shtml</a>
	贵州	关于贯彻落实国家对煤层气（煤矿瓦斯）和煤矸石综合利用项目有关扶持政策的意见的通知	贵州省人民政府办公厅	2007-11-03	（二）煤层气、煤矸石上网电价有关问题。煤层气发电综合利用项目上网电价执行贵州省脱硫燃煤机组标杆上网电价加补贴电价，煤矸石发电综合利用项目上网电价执行新投产燃煤机组上网标杆电价，具体价格由省物价局下达。	<a href="http://fgcx.bjcourt.gov.cn:4601/law?fn=lar577s203.txt">http://fgcx.bjcourt.gov.cn:4601/law?fn=lar577s203.txt</a>

	陕西	关于进一步加快煤层气（煤矿瓦斯）抽采利用的实施意见	陕西省人民政府办公厅	2014-07-19	（十五）落实煤层气（煤矿瓦斯）发电价格政策。切实落实煤层气（煤矿瓦斯）电厂上网电价政策，上网电价执行我省 2005 年脱硫燃煤机组标杆上网电价加补贴电价 0.25 元/度，高于脱硫机组标杆上网电价的差额部分，在国家调整省级电网销售电价时予以疏导。省物价局负责抓好落实。	<a href="http://www.shaanxi.gov.cn/zfxgk/fdzdgnr/zcwj/nnszfbgtwj/szbf/202208/t20220808_2235366_wap.html">http://www.shaanxi.gov.cn/zfxgk/fdzdgnr/zcwj/nnszfbgtwj/szbf/202208/t20220808_2235366_wap.html</a>
煤矿安全改造中央预算内投资专项	中央	煤矿安全改造中央预算内投资专项管理办法	国家发展改革委、国家能源局会同应急部、国家矿山安监局	2023-02-09	第七条 煤矿安全改造中央预算内投资主要用于支持以下建设内容： （三）创新变革煤炭生产方式。推广应用充填开采、保水开采等煤炭绿色开采技术装备，推广矿区煤层气地面抽采、关闭煤矿瓦斯抽采，改造建设瓦斯综合利用设施，加大瓦斯综合利用，促进煤炭生产方式创新变革；支持煤矿内的存煤设施改造，提升煤矿生产弹性。 第八条 煤矿安全改造中央预算内投资可对以下情形予以重点支持： （五）煤矿瓦斯抽采利用率超过 50%的地区和煤矿企业； 第九条（补助标准） 综合考虑煤炭资源条件、灾害严重程度和煤矿企业生产经营状况等因素，将全国产煤地区和中央企业分为三类，中央预算内投资补助占项目总投资的地区（中央企业）平均比例执行以下上限控制标准。 第一类：河北、江苏、山东、福建地区和中央企业，不超过 15%。 第二类：山西、安徽、江西、河南、湖北、湖南地区，不超过 20%。 第三类：内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、广西、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆地区和新疆生产建设兵团，不超过 25%。 单个项目中央预算内投资补助比例不超过项目总投资的 25%，补助额度最高不超过 3000 万元。	<a href="http://zfxgk.nea.gov.cn/1310694427_16753058618231n.pdf">http://zfxgk.nea.gov.cn/1310694427_16753058618231n.pdf</a>
煤矿瓦斯利用	中央	《关于进一步加强煤炭资源开发环境影响评价管理的通知》	生态环境部、发展改革委、能源局	2020-10-30	（十一）提高煤矿瓦斯利用率，控制温室气体排放。高瓦斯、煤与瓦斯突出矿井应配套建设瓦斯抽采与综合利用设施，甲烷体积浓度大于等于 8%的抽采瓦斯，在确保安全的前提下，应进行综合利用。鼓励对甲烷体积浓度在 2%（含）至 8%的抽采瓦斯以及乏风瓦斯，探索开展综合利用。确需排放的，应满足《煤层气（煤矿瓦斯）排放标准（暂行）》要求。	<a href="https://www.mee.gov.cn/xxgk/2018/xxgk/xxgk03/202012/t20201202_811127.html">https://www.mee.gov.cn/xxgk/2018/xxgk/xxgk03/202012/t20201202_811127.html</a>
	河南	《全省煤矿瓦斯防治三年行动方案（2019—2021）》	河南省工业和信息化厅	2019-4-19	2020 年底前，高瓦斯和煤与瓦斯突出矿井要根据本单位情况建立瓦斯利用的设备设施，对抽采浓度 6%以上且瓦斯抽采总量达到 100 万立方米/年以上的严禁空排；推广应用低浓度瓦斯（8%~16%）发电、氧化制热等技术。	<a href="https://gxt.henan.gov.cn/2019/04-22/1085437.html">https://gxt.henan.gov.cn/2019/04-22/1085437.html</a>
	安徽	《安徽省煤矿瓦斯综合治理与利用办法（修订版）》	安徽省人民政府办公室	2022-12-08 发布，2023-01-01 期施行	第九十条 矿井抽采浓度大于 5%，且年瓦斯抽采纯量在 100 万立方米及以上的煤矿，应当配套建设瓦斯发电等综合利用项目。 进行地面独立钻孔抽采煤层瓦斯的煤矿，应当将抽采出的瓦斯集中综合利用。有余热利用需求的矿井瓦斯发电站应当建设余热利用系统，鼓励热害严重的矿井建设热电冷联供系统。 第九十一条 各产煤市人民政府应当加大对煤矿瓦斯利用的政策扶持和资金投入，支持煤矿企业实施瓦斯抽采利用项目。 在瓦斯利用项目审批立项、环评等方面，参照环保减排项目标准给予支持；并将瓦斯利用碳减排量纳入碳排放交易。	<a href="https://www.ah.gov.cn/gro/up1/M00/02/0C/wKg8TWO3cU-Aacn8AAp1r185RPU116.pdf">https://www.ah.gov.cn/gro/up1/M00/02/0C/wKg8TWO3cU-Aacn8AAp1r185RPU116.pdf</a>



**联系我们:**

电话: 86-10-8532 3096

邮箱: [igdpooffice@igdp.cn](mailto:igdpooffice@igdp.cn)

网站: [www.igdp.cn](http://www.igdp.cn)

地址: 中国北京市朝阳区秀水街 1 号建外外交公寓 6-2-62



isc-grp@g  
37.2kN  
6200c LC  
28 295kg  
20 ul  
-14,44m -