

工业废气在双碳背景下的综合利用现状及未来发展

邵剑波

(胜利油田胜利动力机械集团有限公司, 东营 257000)

摘要: 从全球性的气候变化大会到世界各国的低碳发展, 碳减排已经成为全球共同的意愿和紧迫要求, 中国一直是应对气候变化的有力推动者和重要实践者, 通过顶层设计、产业升级、结构调整、节能减排等措施落实温室气体减排责任。中国是煤炭生产大国, 国有煤矿瓦斯及高瓦斯矿井占矿井总数的46%, 每年因开采煤炭产生大量的瓦斯气体, 其中乏风瓦斯的排放占90%左右, 而乏风瓦斯CH₄浓度一般低于1%, 直接利用难度较大, 而且其量大面广, 是今后瓦斯利用技术开发的重点。虽然近年来已有乏风瓦斯工业利用示范性工程建设, 但大部分企业仍直接将其排空, 不仅浪费了宝贵资源, 还对大气环境造成严重污染。

关键词: 煤矿瓦斯, 综合利用, 碳减排, 能源

邵剑波. 工业废气在双碳背景下综合利用现状及未来发展. 生物多样性保护与绿色发展. 第1卷, 2023年10月, 总第50期. ISSN2749-9065

1 前言

能源供应和环保问题已经成为制约中国经济发展的重要因素。煤矿瓦斯作为一种清洁、高效的能源, 是中国推动能源优质化的重点领域。

随着分布能源技术的不断发展, 以煤矿瓦斯为主要燃料, 推动设备发电, 再利用其发电余热向用户供冷或供热的系统已成为分布式能源的一种主要形式。这种能源利用方式通过对能源的梯级利用, 使得煤矿瓦斯这种废弃的一次能源得到充分利用, 提高了系统综合能源利用率。

2 国内煤矿瓦斯赋存情况

2.1 国内瓦斯矿井分布及瓦斯矿井主要特征

2.1.1 地域分布相对集中

贵州、四川、湖南、山西、云南、江西、重庆、河南等8省市共有高瓦斯和突出矿井2038处, 占全国高瓦斯和突出矿井总数的85%。

2.1.2 国有煤矿占比较大

在国有重点煤矿中, 共有高瓦斯和突出矿井256处, 占国有重点煤矿总数的27.35%。

2.1.3 高突矿井先升后降

不少原来的高瓦斯矿井甚至低瓦斯矿井逐步转变为突出矿井, 但随



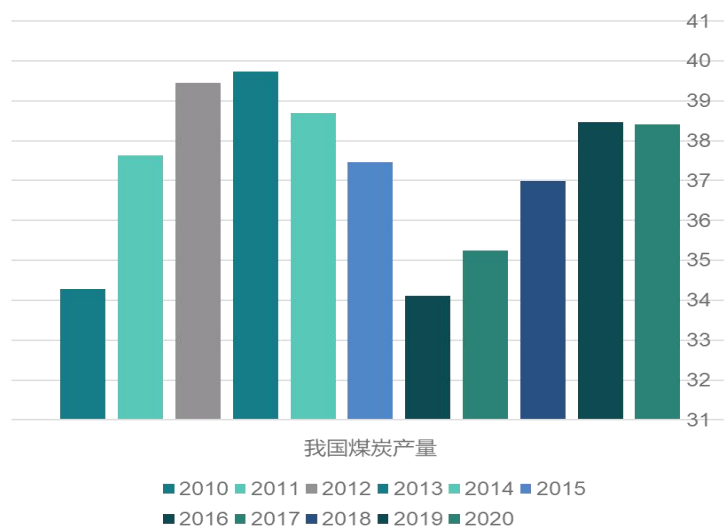
着国家去产能、淘汰落后等政策的实施，其数量随之减少。

2.2 煤炭的能源主体地位不变

据国家统计局数据显示，2020全球煤炭总产量74.38亿吨，而2020年我国煤炭产量38.4亿吨，全球占比高达51%。根据国家统计局发布的《中

华人民共和国2021年国民经济和社会发展统计公报》，2021年我国煤炭产量达到41.3亿吨，比上年增长5.7%；2021年我国全年能源消费总量52.4准煤，比上年增长5.2%，其中煤炭消费量占能源消费总量的56.0%，较2020年增长4.6%。

2010-2020年我国煤炭产量统计表 单位：亿吨



中国历年煤炭产量。来源：国家统计局数据

2.3 煤矿瓦斯抽采利用率稳中有升

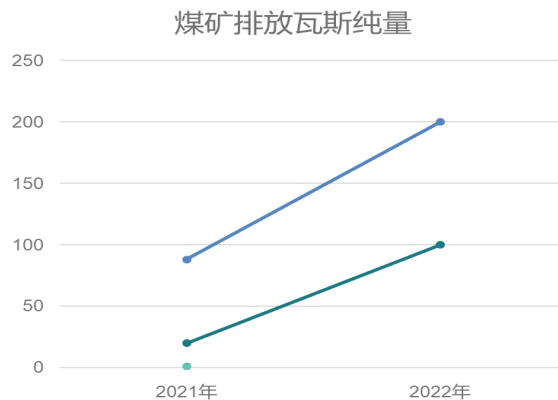
2020年实际完成煤层气（煤矿瓦斯）抽采量240亿立方米，其中地面煤层气产量77.7亿立方米，利用率91.9%。煤矿瓦斯抽采量128亿立方米，利用率44.8%。煤矿瓦斯发电装机容量255万千瓦，同比提高2.3个百分点，较“十三五”提高9.7个百分点。

中国每年在采煤的同时排放的纯瓦斯近370亿立方，每年仍有超过

88亿立方米（瓦斯纯量）的抽采瓦斯、超过200亿立方米（瓦斯纯量）的风排瓦斯直接排空。其中，浓度 $\geq 3\%$ 的煤矿瓦斯约占53%，这部分瓦斯如果得到充分的利用，按照联合国大气污染排放标准（CH₄的温室气体效应是CO₂的25倍）折算，因新技术提高了低浓度瓦斯的利用率，每年可以减少温室气体排放3.3亿吨（折合CO₂量），随着甲烷减排即将纳入碳交易市场，这一项的收入也将计入经济效益当中。



2021-2022年煤矿瓦斯排放纯量统计表 单位：亿立方米



来源：国家统计局数据

我国煤层渗透率普遍较低，70% 国家制定的煤与瓦斯共采技术的进步的煤层气资源属于难抽采资源，随着步，煤与瓦斯抽采率呈逐年升高的趋势。

2014-2020煤层气抽采情况 单位：亿立方米

年份	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
抽采量	150.7	163.6	168.8	176.1	183.7	191.8	240
增长率		8.56%	3.18%	4.32%	4.32%	4.41%	25.1%

来源：国家统计局数据。注：表中数据包括了地面抽采煤层气及井下抽采瓦斯气

3 国内环境政策

众所周知，中国已经由原来的能耗“双控”进入了碳排放总量和强度“双控”的时代。国家能源局在对十三届全国人大四次会议第6366号建议的答复中提出了加强煤矿低浓度瓦斯利用的相关要求。国家相关部门重点关注此部分工作，并提出一系列的举措和规划。各省市也出台了碳减排项目储备征集文件。目前中国的国家核证自愿减排（CCER）市场交易日渐规范和活跃。

2021年，习近平总书记对煤炭工作做出一系列重要批示。在国家能源基地榆林视察时嘱托，煤炭能源发展要转化升级、走绿色低碳发展的道路；在山东胜利油田考察时强调，能源的饭碗必须端在自己手里；在中央经济工作会议上指出，要立足以煤为主的基本国情，抓好煤炭清洁高效利用，推动煤炭和新能源优质组合。习近平总书记的重要指示明确了“碳达峰、碳中和”目标下煤炭在保障国家能源安全中的基础性、兜底性的保障作用。



2020年5月，国家能源局出台了《关于推进关闭煤矿瓦斯综合治理与利用的指导意见（征求意见稿）》。该意见稿指出，在现有煤矿瓦斯治理与利用鼓励政策基础上，完善关闭煤矿瓦斯综合治理与利用项目在土地、安全、发电上网等环节的优惠扶持政策，探索研究关闭煤矿瓦斯利用温室气体自愿减排交易，提高治理利用主体的积极性。当前我国每年煤矿瓦斯抽采量为120-140亿m³，加上前几年综合治理被关停的小、乱、非煤矿封井瓦斯，每年的煤矿瓦斯可利用量超过150亿m³。

为推动煤矿瓦斯的高效、清洁利用，国家发改委、能源局、财政部、税务总局以及山西、贵州、陕西、云南等省份陆续出台了多项行业政策，涉及多项瓦斯利用补贴、发电站建设补贴以及节能减排财税补贴等。目前仍在继续沿用的主要行业政策如下：

国家政策方面：

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》（国办发[2006]47号），明确提出未经处理或回收的煤层气直接排放到大气中，也造成了严重的环境污染和资源浪费；

2. 国家发展改革委《关于利用煤层气（煤矿瓦斯）发电工作的实施

意见》（发改能源[2007]721号）等文件，制定了支持利用煤矿瓦斯发电的系列鼓励政策；

3. 财政部《关于“十三五”期间煤层气（瓦斯）开发利用补贴标准的通知》（财建[2016]31号）明确规定，“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；

4. 财政部税务总局《关于完善资源综合利用增值税政策的公告》（2021年第40号）提出，增值税一般纳税人销售自产的资源综合利用产品和提供资源综合利用劳务（以下称销售综合利用产品和劳务），可享受增值税即征即退政策；

5. 国家能源局关于《煤层气（煤矿瓦斯）开发利用“十三五”规划》（国能煤炭[2016]334号），明确鼓励煤矿抽采瓦斯利用发电。

地方政策方面：

1. 山西省发改委发布的《关于完善我省瓦斯发电上网电价政策有关事项的通知》指出，瓦斯发电项目上网电价按山西省燃煤发电基准价执行（随基准价调整相应调整），新建的瓦斯发电项目（含乏风氧化发电项目）实行两种上网电价结算方式，由企业自主选择执行。



2022年，山西省能源局发布的《关于推动煤矿瓦斯综合利用的指导意见》指出，严禁省内煤矿企业高浓度瓦斯排放。煤矿企业须严格落实《煤层气（煤矿瓦斯）排放标准（暂行）》（GB21522-2008），支持采用工业窑炉、民用、提纯等方式开展高浓度瓦斯利用。鼓励企业建设高浓度瓦斯制氢、制备金刚石等高附加值项目。严禁掺混排放，实现高浓度瓦斯“零排放”。

据悉，山西预计到2025年，煤矿瓦斯利用技术将不断完善，综合利用效率明显提升，建设一批瓦斯梯级利用项目，全省瓦斯利用率力争达到50%。在煤矿企业矿井规划建设之初，便要根据煤矿瓦斯赋存及瓦斯抽采预测情况，合理设计瓦斯利用技术路径，加快瓦斯抽采和利用配套设施建设，实现煤矿生产和抽采利用设施同步投入使用。

同时，煤矿企业可采用发电、制热等方式开展低浓度瓦斯利用。今后，山西鼓励煤矿建设乏风蓄热氧化等示范工程。对于氧化供热发电，条件允许时可掺混乏风运行。对于非采暖季瓦斯供热，可应用于发电、煤泥烘干、制冷等方面，实现瓦斯全年均衡利用。对于不具备利用条件的瓦斯，可通过氧化等方式销毁，减少直接排放。

2. 贵州省财政厅省能源局关于印发《贵州省煤层气（煤矿瓦斯）开发利用财政补贴资金管理办法》的通知指出，贵州省境内从事煤层气（煤矿瓦斯）开采，并符合国家、省有关规定条件的企业均有资格享受国家财政补贴及省财政补贴。

3. 陕西省人民政府办公厅关于进一步加快煤层气（煤矿瓦斯）抽采利用的实施意见指出，煤层气（煤矿瓦斯）电厂上网电价执行脱硫燃煤机组标杆上网电价加补贴电价0.25元/度，另外允许设备加速折旧、增值税先征后退等。

4. 云南省人民政府办公厅关于进一步加快煤层气（煤矿瓦斯）抽采利用的实施意见指出，明确对煤矿瓦斯发电财政、税费及电价上网的支持。

4 瓦斯利用现状及优缺点

中国煤矿瓦斯利用起步较早，从20世纪50年代就开始利用，但瓦斯利用率非常低，目前只占瓦斯抽采量的1/3左右。

从下表可以看出，2004年瓦斯利用量为6亿立方米，利用率为31.58%；2017年瓦斯利用量为48.9亿立方米，占38.2%；2009年瓦斯利用率略有下降，然后稳步提升。但是，矿井瓦斯抽采后仍然大部分被放空，利用率偏低。



年份	煤矿瓦斯			地面煤层气		
	井下抽采量	利用量	利用率	地面抽采	利用量	利用率
2010	73.5	25	34.01%	15	11.8	78.67%
2011	91.1	30.2	33.15%	23.2	17.7	76.29%
2012	114.1	37.5	32.87%	26.6	20.1	75.56%
2013	125.8	42.5	33.78%	29.8	23.2	77.85%
2014	132.6	45.3	34.16%	37.3	31.6	84.72%
2015	135	46.3	34.30%	45	37	82.22%
2016	134	50	37.31%	45	37	86.67%
2017	128.1	48.9	38.2%	49.6	44	88.7%

来源：国家统计局数据

4.1 技术路线

目前煤矿瓦斯综合利用技术根据煤矿瓦斯甲烷含量分为以下几个技术路线：

- (1) 工业锅炉
- (2) 民用、LNG/CNG
- (3) 高低浓度瓦斯发电（以下简称发电）

(4) 低浓瓦斯多孔介质燃烧技术（以下简称直燃）

(5) 低浓瓦斯蓄热氧化（以下简称氧化）

几个技术路线的主要来源及用途详见下表（来源：煤层气行业深度研究报告）：

甲烷浓度>80%	主要来源：地面煤层气抽采及少量的煤矿井下抽放。 用途：民用、汽车燃料等。
甲烷浓度30~80%	主要来源：煤矿井下抽放。 用途：民用、化工燃料、燃气锅炉、发电、甲烷提纯等。
甲烷浓度8~30%	主要来源煤矿井下抽放。 用途：基本上全部应用于低浓度瓦斯发电，仅有少量示范提纯项目。
甲烷浓度6~8%	主要来源煤矿井下抽放。 用途：部分双燃料瓦斯发电项目，仅有少数几个直燃供热、发电



	项目。
甲烷浓度1~8%	主要来源煤矿井下抽放； 用途：瓦斯蓄热氧化供热或者发电，截止目前全国有十多个项目在运。
甲烷浓度<1%	主要来源煤矿风排瓦斯； 用途：少量用于氧化项目配气，剩余全部排空。

接下来，我们通过四个维度分析这几种工艺路线的优缺点。

4.1.1 安全性

(1) 民用、LNG/CNG、工业锅炉

民用、LNG/CNG、工业锅炉应用等同于天然气，甲烷浓度高于爆炸区间，安全性良好。

(2) 高、低浓度瓦斯发电

高浓度瓦斯发电等同于天然气发电，安全性较高；低浓度瓦斯发电近年来国标完善，工业化应用较多，安全性较高。

(3) 低浓瓦斯直燃技术

直燃技术因瓦斯燃料要求进气甲烷浓度在6%以上，居于爆炸区间范围，目前暂无相关行业标准及国家标准，虽然有设置瓦斯等一系列保护装置，但仍需标准或者规范支撑。

(4) 氧化工艺

氧化工艺瓦斯利用条件为甲烷浓度1.2%，原理上可有效避免回火等安全隐患，目前已发布国家能源行业标准《NB/T 10555-2021煤矿瓦斯蓄

热氧化炉预热矿井进风技术规范》、《NB/T 10855—2021煤矿瓦斯蓄热式氧化装置发电技术规范》，而且有十多个项目在运行，未出现安全问题。

4.1.2 经济性

(1) 民用、LNG/CNG、工业锅炉
民用、LNG/CNG经济性最佳。

(2) 高、低浓度瓦斯发电

低浓度瓦斯发电经近二十多年摸索，目前投资成本及运营成本已经趋于市场化平稳，在此浓度区间的瓦斯发电经济性最佳。

(3) 低浓瓦斯直燃技术

直燃项目目前分为定制化和模块化两种，直燃项目投资成本与目前国产氧化设备接近。

(4) 氧化工艺

氧化设备相较于进口，国产化较高且可有效替代，大大降低了氧化工艺的投资成本。



4.1.3 系统性能适配性

(1) 民用、LNG/CNG、工业锅炉

鉴于管道集输、压缩、液化以及后续运送的灵活性，优势明显，但受限于甲烷浓度，应用场景相对单一。

(2) 高、低浓度瓦斯发电

发电装机容量视瓦斯气源情况可动态化增减，建设周期短，就地应用消化也可通过电网远距离输送，灵活方便。结合余热利用综合效率可达70%以上。

(3) 低浓瓦斯直燃技术

直燃因燃烧利用率要比氧化更高，但因直燃进气甲烷浓度限值不低于6%，所以应用场景范围比氧化技术要窄。

(4) 氧化工艺

应用场景均为上述发不了电8%以下的瓦斯气源，装机容量要视热用户需求结合气源情况而定，瓦斯利用率均高于90%以上。

4.1.4 技术成熟度、可靠性

这一点实际上是对第一条安全方面的补充，这里主要讨论发电、直燃、氧化三种技术，这三种除了高浓度瓦斯发电，其余的基础均建立在可靠的低浓度瓦斯输送系统上，之前的1076系列标准国家也进行了更新，现已执行《GB 40881-2021煤矿低浓度

瓦斯管道输送安全保障系统设计规范》。

掺混段根据三种技术不同的进气要求，将瓦斯掺混到不同浓度，这一阶段工艺没有单独规定，核心是煤矿低浓度瓦斯管道输送的工作段，发电的工作段是内燃机，不论是进口还是国产，成熟度可靠度均较高，直燃的工作段浓度6%-30%，和低浓瓦斯发电一样利用的瓦斯处于爆炸范围，但直燃设备目前暂无国家有关方面的安全认定，相关规范也还在制定当中。氧化工艺工作条件下的甲烷浓度为1.2%，不处于爆炸范围内，属本质安全，且经过社会面十多个项目的运营来看可靠性也比较高。

5 发展瓶颈

5.1 煤矿企业观念落后

煤矿抽放瓦斯主要为安全生产服务，缺乏甲烷减排利用的积极性。

5.2 利用成本较高

部分工艺路线利用成本较高，特别是乏风瓦斯发电或提纯利用，成本较高，技术还不成熟。

5.3 利用手段单一

部分浓度高于30%的抽出瓦斯仍然被排空。我国目前主要的煤矿瓦斯利用手段是民用，而其它工业利用规模较小。



5.4 缺乏政策点对点支持

国家大的政策已经形成，缺乏各项综合利用的鼓励政策，包括财政补贴、上网政策、节能减排计量等。同时，也要认真研究国家层面及地方政府出台的鼓励煤矿瓦斯综合利用发展的支持政策，以此作为项目运用及运行的先决条件。

5.5 冷热负荷需求不准确

应根据供能对象的冷、热、电负荷特性确定发电设备容量，一般以热定电为原则。以热定电是保证设备产出余热在基本全部被利用的情况下确定设备选型，发电和余热量与需求匹配良好，没有过度的发电能力或余热量的浪费，此时可以实现最大的综合能源利用效率。按照以电定热模式设计的系统一般将导致设备装机容量偏高，能源的综合能源利用效率不能达到最高。

特别是需要紧密结合建筑功能，分析冷、热负荷的特点，特别是过渡季负荷的变化。全面、准确、细致的负荷分析是分布式能源系统设计的必要条件，如果对建筑的负荷计算不够细致，就会对系统产生相当大的影响。

6 结论及建议

近年来，国家对煤矿安全生产要求越来越严，标准越来越高。随着煤

层气地面抽采、井上下联合抽采技术进步，煤层气地面抽采量逐年提高。煤矿开采深度逐年增加，瓦斯含量和涌出量逐年递增，应抽矿井逐年增多但抽采滞后，将煤层气（煤矿瓦斯）抽采利用作为防治煤矿瓦斯事故的治本之策，强力推进“先抽后建、先抽后采、应抽尽抽”，有利于从根本上预防和减少煤矿瓦斯事故。

根据联合国政府间气候变化专门委员会（以下简称IPCC）研究报告，甲烷的温室效应是CO₂的25倍，直接排入大气，造成诸如气候变暖、环境恶化、物种灭绝等一系列生态环境问题。加快煤层气（煤矿瓦斯）的开发利用，不断提高利用率，不仅能够创造效益，还能够为减少温室气体排放、保护大气环境做出贡献，也是我国积极履行《联合国气候变化框架公约》的必然选择。

随着国民经济的快速发展，中国对能源的需求越来越大，而资源赋存条件决定国内油气产量无法大幅增长，油气对外依存度逐年增加。

中国瓦斯资源丰富，是世界上继俄罗斯、加拿大之后的第三大储量国，占世界排名前12位国家资源总量的13%。未来随着地面开发利用步伐加快，煤矿瓦斯抽采利用规模逐年快速增长，发展前景广阔。通过设备容量的合理选择、运行策略的精心制定，



系统的高效性、安全性、经济性等优点都能很好的体现出来, 这为煤矿瓦斯综合利用项目的推广提供了良好的应用前景。

参考文献

- [1] 郑爽, 王佑安, 王震宇. 中国煤矿抽放瓦斯和利用[J]. 煤矿安全, 2003: 7-9.
- [2] 韩志婷, 冯朝朝, 葛万亮. 煤层瓦斯的合理利用[J]. 煤炭技术, 2010: 124-126.
- [3] 中国煤炭工业协会. 低渗透煤层瓦斯抽采及利用技术研究与应用[C]. 煤矿瓦斯抽采与通风安全论文集, 煤炭工业出版社, 2013.
- [4] 邵剑波. 瓦斯发电脱硝技术分析与应用[C]. 瓦斯地质与瓦斯治理

(2020-2021中国煤炭学会瓦斯地质学术年会论文集), 中国矿业大学出版社, 2021.

- [5] 贺光会, 李振福, 王志玉. 浅谈高瓦斯矿井建设生产过程中的瓦斯抽采及利用[C]. 2008.
- [6] 黄盛初, 刘文革, 韩甲业. 中国煤层气(煤矿瓦斯)开发利用现状及潜力研究[C]. 2009.
- [7] 胜利油田胜利动力机械集团有限公司. 一种煤矿乏风甲烷氧化装置的瓦斯添加系统: CN101418702B[P]. 2011.03.23.
- [8] 包月祥. 煤矿瓦斯井外收集利用系统: CN102146803A[P]. 2011.02.14.

作者简介: 姓名: 邵剑波(1986.12.3-至今) 性别: 男, 工作单位: 胜利油田胜利动力机械集团有限公司, 主要从事的研究方向: 热能与动力工程。



