

煤矿瓦斯抽采技术研究

郭立国

河南能源焦作煤业（集团）有限责任公司瓦斯治理工程公司 河南 焦作 454350

摘要：随着煤炭开采向深部延伸，煤矿瓦斯问题愈发严峻，不仅严重威胁着矿工的生命安全，制约着煤炭生产的高效进行，还对生态环境造成负面影响。本文聚焦煤矿瓦斯抽采技术展开研究。首先概述煤矿瓦斯抽采技术相关内容，接着详细阐述本煤层、邻近层、采空区、地面钻井瓦斯抽采技术以及瓦斯抽采装备与监测技术等关键技术。最后探讨其发展趋势，涵盖精准化与智能化、绿色低碳与资源化利用、综合抽采与协同治理以及国际化合作与技术输出等方面。旨在为煤矿瓦斯抽采提供全面的技术参考，推动该领域技术进步，保障煤矿安全生产，实现瓦斯资源的高效利用与行业可持续发展。

关键词：煤矿；瓦斯；抽采；技术；研究

引言：煤矿瓦斯是煤矿开采过程中的重大安全隐患，同时也是一种清洁能源。瓦斯事故严重威胁矿工生命安全，制约煤矿行业发展。有效抽采瓦斯不仅能降低矿井瓦斯浓度，预防瓦斯爆炸等事故，还能将瓦斯转化为能源加以利用，实现安全与环保、经济效益的多赢。随着煤矿开采深度和强度的增加，瓦斯治理难度不断加大，对瓦斯抽采技术提出了更高要求。在此背景下，深入研究煤矿瓦斯抽采技术，把握其发展趋势，对于提升煤矿瓦斯治理水平、保障煤矿安全生产以及推动能源结构优化具有重要意义。

1 煤矿瓦斯抽采技术的概述

煤矿瓦斯抽采技术是煤矿安全生产与资源高效利用的核心手段，其核心目标是通过技术手段降低煤层瓦斯含量，预防瓦斯爆炸、煤与瓦斯突出等灾害，同时将瓦斯转化为清洁能源。该技术遵循“先抽后采、抽采平衡”原则，通过地面钻井、井下钻孔等工程手段，利用抽采设备建立负压系统，改变瓦斯在煤体中的赋存状态，促使吸附态瓦斯解吸为游离态并抽至地面。技术分类上，根据煤层赋存条件与开采阶段差异，形成五大体系：开采层抽采通过顺层钻孔、水力割缝等技术降低本煤层瓦斯压力；邻近层抽采利用高位钻孔拦截采动影响下卸压的邻近煤层瓦斯；采空区抽采采用埋管法、插管法治理工作面上隅角积聚瓦斯；围岩抽采针对含瓦斯岩层进行专项治理；综合抽采则融合多种技术实现立体化防控。例如，贵州省新田煤矿“三区联动”工程通过地面直井预抽、井下穿层长钻孔协同作业，使生产区瓦斯等级显著降低；华阳一矿“以孔代巷”技术以大直径钻孔替代传统高抽巷，施工效率提升5倍，成本降低60%。技术发展呈现智能化、精准化趋势^[1]。

2 煤矿瓦斯抽采的关键技术

2.1 本煤层瓦斯抽采技术

本煤层瓦斯抽采技术是针对开采煤层本身瓦斯进行预先治理的核心方法，其核心原理是通过建立负压系统，改变煤层瓦斯赋存状态，促使吸附态瓦斯解吸为游离态并定向运移至抽采管道。该技术基于煤层瓦斯吸附-解吸动力学特性，当煤层压力降低至临界解吸压力以下时，瓦斯分子从煤基质表面脱附，形成浓度梯度驱动的扩散-渗流过程，最终通过钻孔或巷道形成的导流通道被抽采至地面。技术实施层面，顺层钻孔抽采是基础形式。通常沿煤层走向或倾向布置钻孔，孔径75-110mm，孔深80-150m，钻孔间距根据煤层透气性系数确定，一般为3-8m。钻孔施工后，采用聚氨酯、水泥砂浆等材料进行封孔，封孔长度需穿透煤壁裂隙带（通常2-3m），以防止漏气。抽采设备多选用水环式真空泵，负压维持在-13至-30kPa，单孔抽采流量0.03-0.15m³/min，持续抽采3-6个月，煤层残余瓦斯含量可降至8m³/t以下，满足安全开采要求。针对低透气性煤层，需结合增透技术提升抽采效率。水力割缝技术通过高压水射流切割煤体，形成扩孔空间并增加渗流通道；水力压裂技术则利用高压水基或化学压裂液，在煤层中形成裂缝网络，渗透率可提升1-2个数量级。此外，定向长钻孔技术通过随钻测量系统实现钻孔轨迹精准控制，可沿煤层倾向或走向延伸300-800m，覆盖更大抽采范围，减少巷道掘进量。

2.2 邻近层瓦斯抽采技术

邻近层瓦斯抽采技术是针对受采动影响而卸压的相邻煤层或含瓦斯岩层瓦斯治理的关键手段。在煤矿开采过程中，工作面推进会打破原岩应力平衡，导致上覆或下伏邻近煤层产生裂隙发育区（卸压带），其中赋存的瓦斯因

压力降低而解吸,并通过裂隙网络向采空区或回采空间涌出,成为瓦斯超限的重要隐患。该技术通过预先布置抽采工程,拦截并抽采邻近层卸压瓦斯,从源头上控制瓦斯涌出量。技术实施上,高位钻孔抽采是上邻近层治理的主要方式。在工作面回风巷或专用抽采巷道,向顶板方向施工倾角 15° ~ 45° 的钻孔,终孔位置位于采动裂隙带(距煤层顶板8-30m),利用裂隙通道截获上邻近层瓦斯。钻孔间距通常为10-20m,孔径90-113mm,单孔抽采流量可达0.2-0.5m³/min,有效抽采期可持续3-6个月。对于下邻近层,可采用底板穿层钻孔技术,通过运输巷或专用巷道向底板方向施工垂直或倾斜钻孔,穿透煤层后进入卸压区,利用负压抽采系统将瓦斯导出。技术优化方向聚焦于裂隙带精准定位与动态调控。通过数值模拟、微震监测或电阻率成像技术,可实时监测采动裂隙发育高度与范围,指导钻孔参数动态调整。

2.3 采空区瓦斯抽采技术

采空区瓦斯抽采技术是针对煤矿回采后遗留空间内积聚瓦斯治理的核心手段。在工作面推进过程中,顶板垮落形成采空区,其内部残留大量未被采出的煤炭及邻近层卸压瓦斯,同时因通风系统作用,部分风流会携带瓦斯进入采空区深部。这些瓦斯在漏风风流与浓度梯度作用下,易在工作面上隅角及回风巷积聚,引发瓦斯超限甚至爆炸事故。该技术通过构建负压抽采系统,主动引导采空区瓦斯流动,降低瓦斯浓度至安全范围。技术实施上,埋管抽采是常用方式。在工作面推进过程中,沿回风巷或运输巷铺设瓦斯抽采管路,每隔20-50m设置一个三通接口,并通过垂直或倾斜支管插入采空区,支管末端包裹金属网或碎石袋防止堵塞。抽采负压一般控制在-5至-15kPa,避免因负压过高导致空气大量漏入采空区,引发煤炭自燃。此外,高位钻孔抽采技术通过在工作面回风巷向顶板方向施工倾角 30° ~ 60° 的钻孔,终孔位置位于采空区裂隙带,利用裂隙通道截获高浓度瓦斯,单孔抽采浓度可达40%-80%。技术优化方向聚焦于动态调控与安全防护。通过安装瓦斯浓度、温度、压力传感器,结合自动化控制系统,可实时调整抽采负压与流量,避免瓦斯浓度波动超限。同时,采用阻燃抗静电管材、惰性气体注入等措施,可有效抑制采空区遗煤自燃,实现瓦斯治理与防灭火的协同管控。

2.4 地面钻井瓦斯抽采技术

地面钻井瓦斯抽采技术是一种从地表向地下煤层或瓦斯储层施工钻井,通过建立长期负压抽采系统,实现瓦斯高效治理与资源化利用的前沿技术。该技术突破了传统井下抽采的空间限制,尤其适用于深部煤层、高瓦

斯矿井及煤层气与煤炭共采场景,具有抽采范围大、持续时间长、安全风险低等优势。技术实施上,地面钻井需结合地质勘探数据精准定位目标煤层。通常采用“直井+水平井”组合模式:直井穿透多个煤层或含瓦斯层,作为抽采主通道;水平井沿煤层走向延伸300-1500m,增大泄流面积。钻井过程中,采用欠平衡钻井技术,通过控制钻井液密度低于地层孔隙压力,避免煤层污染并促进瓦斯解吸。完井后,下入筛管与封隔器,隔离含水层与煤层,防止水合物堵塞。抽采系统配备智能负压调节装置,负压维持在-20至-40kPa,单井日抽采量可达3000-10000m³,瓦斯浓度稳定在30%-80%。技术优化方向聚焦于精准控制与资源化利用。通过三维地震勘探与微震监测技术,可实时解析煤层裂隙发育特征,指导水平井轨迹优化。同时,集成多级压裂与暂堵转向压裂工艺,在煤层中形成复杂裂缝网络,渗透率提升1-2个数量级。抽采的瓦斯经脱水、脱硫处理后,可用于发电、化工原料或民用燃气,实现“变害为宝”。该技术已成为深部煤层气开发及煤矿绿色转型的重要支撑。

2.5 瓦斯抽采装备与监测技术

瓦斯抽采装备与监测技术是保障抽采系统高效、安全运行的核心支撑,涵盖从瓦斯采集、输送至利用的全流程设备及智能化监控体系。在抽采装备方面,核心设备包括钻机、抽采泵与管路系统。钻机技术向高精度、自动化方向发展,如定向钻机配备随钻测量系统(MWD),可实时监测钻孔倾角、方位角,钻孔轨迹偏差控制在 ± 0.5 m以内,满足复杂地质条件下的精准抽采需求。抽采泵以水环式真空泵为主流,单机功率覆盖55-500kW,抽气量达50-2000m³/min,部分矿井采用多级串联或变频调速技术,实现负压与流量的动态匹配。管路系统采用抗静电、阻燃材料,内壁光滑度提升30%,配合快速接头与密封装置,漏气率降低至1%以下。监测技术则聚焦于智能化与实时性。通过在抽采管路、钻孔及采空区部署多参数传感器,可同步监测瓦斯浓度、流量、压力及温度,采样频率达1次/秒,数据传输延迟小于2秒。结合物联网与大数据平台,系统可自动生成浓度-时间曲线、流量衰减模型,并预警管路堵塞、漏气等异常工况^[2]。

3 煤矿瓦斯抽采技术的发展趋势

3.1 精准化与智能化

煤矿瓦斯抽采技术的精准化与智能化发展正成为行业变革的核心方向。精准化聚焦于煤层赋存条件的动态解析与抽采参数的精细调控,通过高精度地质勘探与随钻测量技术,构建煤层三维结构模型,实现钻孔轨迹的毫米级定

位与裂隙带的精准识别。智能调控系统集成多参数传感器与AI算法,可实时分析瓦斯浓度、流量、压力等数据,自动优化负压、流量等关键参数,使抽采效率与安全性同步提升。同时,数字孪生技术将虚拟仿真与物理系统深度融合,通过模拟不同地质条件下的抽采效果,提前验证工艺方案的可行性,减少现场试验成本。

3.2 绿色低碳与资源化利用

瓦斯抽采的绿色低碳转型是应对“双碳”目标的关键路径。技术层面,低浓度瓦斯浓缩、氧化发电等资源化利用技术持续突破,通过变压吸附、膜分离等工艺提升甲烷纯度,将其转化为清洁能源或化工原料,实现“变废为宝”。同时,抽采系统能效优化成为重点,变频调速技术、余热回收装置的广泛应用,显著降低设备能耗与碳排放。管理层面,碳交易机制与绿色矿山评价标准倒逼企业提升瓦斯利用率,推动抽采工程从“安全导向”向“环保-经济双导向”转变。此外,瓦斯制氢、合成甲醇等新兴技术加速产业化,为煤炭行业低碳转型提供新动能。

3.3 综合抽采与协同治理

复杂地质条件下,单一抽采技术难以满足高效治理需求,综合抽采与协同治理成为必然选择。技术融合方面,水力压裂、深孔爆破等增透技术与钻孔抽采、地面钻井等导流技术形成“增透-导流-抽采”一体化工艺链,突破低透气性煤层治理瓶颈。空间协同层面,本煤层、邻近层与采空区瓦斯治理统筹规划,通过高位钻孔、埋管抽采等技术实现瓦斯立体拦截,避免治理盲区。系统协同方面,瓦斯抽采与通风、防灭火、监测预警等系统数据互通,构建“监测-分析-决策-执行”的智能联动平台,提升灾害预警与应急处置能力。

3.4 国际化合作与技术输出

我国瓦斯抽采技术已具备国际竞争力,国际化合作与技术输出成为新增长点。一方面,通过与德国、澳大利亚等国共建联合实验室,引进吸收高压水射流割缝、多级压裂等先进技术,推动本土装备向高可靠性、长寿命方向升级。另一方面,中国主导制定的煤层气开发标准逐步纳入ISO体系,为技术输出提供规范支撑。在“一带一路”倡议下,中国企业在东南亚、非洲等地区实施“技术+装备+服务”一体化输出模式,提供从地质勘探到瓦斯利用的全产业链解决方案。同时,跨国技术交流平台建设加速,国际瓦斯治理论坛、联合攻关项目等促进全球创新资源整合^[3]。

结束语

煤矿瓦斯抽采技术是保障煤炭安全开采、推动行业绿色转型的核心支撑。当前,随着精准化、智能化技术的突破,瓦斯治理正从“被动应对”转向“主动防控”,资源化利用与低碳化发展路径日益清晰。然而,复杂地质条件下的技术适配性、深部煤层瓦斯抽采效率提升等挑战仍需持续攻关。未来,需进一步强化多学科交叉融合创新,深化国际技术合作与标准互认,加速成果产业化落地。

参考文献

- [1]樊劲.煤层气(煤矿瓦斯)抽采技术发展现状及趋势[J].中国煤层气,2021,14(03):37-39.
- [2]张继周,王浩.矿井采空区瓦斯抽采技术的研究及应用[J].煤矿机械,2021,38(04):25-27.
- [3]孙荣军,李泉新,方俊,许超.采空区瓦斯抽采高位钻孔施工技术与发展趋势[J].煤炭科学技术,2021,45(01):94-99+213.