

# 煤矿通风系统与瓦斯抽采一体化的技术与经济性分析

黄 健

云南东源镇雄煤业有限公司 云南 昭通 657200

**摘 要:** 煤矿通风系统与瓦斯抽采一体化是指通过系统性协同设计,将通风系统优化与瓦斯抽采技术深度融合,形成时空衔接、功能互补的安全治理模式。通过计算流体力学(CFD)模拟优化通风路径,降低气流阻力,同时结合智能风量调控技术,动态匹配瓦斯抽采需求。智能监测与控制:集成三维通风仿真平台实时解算瓦斯浓度分布,并利用UWB定位与F5G通信实现抽采设备精准联动。采用地面钻孔预抽、采动层抽采及老空区抽采等技术,降低煤层瓦斯含量和压力,减少开采时瓦斯涌出量。

**关键词:** 煤矿通风系统; 瓦斯抽采一体化; 技术; 经济性

煤矿通风系统与瓦斯抽采一体化是指通过系统性协同设计,将通风系统优化与瓦斯抽采技术深度融合,形成时空衔接、功能互补的安全治理模式。

## 1 煤矿通风系统与瓦斯抽采一体化概念

1.1 时间协同。实施全生命周期瓦斯治理序列:开采前:对瓦斯含量 $>16\text{m}^3/\text{t}$ 区域提前5-10年实施地面钻井预抽采,使瓦斯含量降至安全阈值以下;开采中:针对瓦斯含量 $8\text{--}16\text{m}^3/\text{t}$ 区域,采用井下定向钻机递进式预抽采,确保开采时瓦斯含量 $<8\text{m}^3/\text{t}$ ;开采后:持续开展采空区卸压抽采,消除残余瓦斯风险。

1.2 空间协同。实现井上下立体化布局:地面钻井按200-300米网格化布置,覆盖高瓦斯区域;井下构建"本煤层预抽+采动区动态抽采+采空区低负压抽采"多系统,形成分层治理网络;通风路径通过CFD模拟优化风道设计,降低气流阻力,与抽采点位精准匹配。

1.3 功能协同。突出资源与安全双效合一:瓦斯抽采井兼具地质勘探、消突、采前/采动/采后抽采的"一井五用"功能;通风系统集成智能调控技术,动态匹配抽采需求,同步稀释作业面瓦斯浓度;抽采瓦斯用于发电或供热,实现减排增效。本质目标:通过时空资源优化配置,突破传统分治模式,达成"先抽后采、抽采平衡"的本质安全目标,同时提升资源利用率与经济性。

## 2 瓦斯抽采技术基本原理

瓦斯抽采技术的基本原理是通过人工建立负压系统,改变煤层瓦斯赋存状态与运移路径,实现瓦斯安全高效抽取。

2.1 压力驱动解吸原理。负压环境构建,利用真空泵在抽采管路内形成负压(压强低于煤层气压),打破瓦斯吸附平衡状态。吸附态瓦斯解吸转化,根据朗格缪尔吸附方程,压力降低促使85%以上的吸附态瓦斯解吸转化

为游离态,形成可抽采气体。

2.2 气体运移机制。浓度梯度驱动,煤层内部解吸的游离态瓦斯向钻孔或巷道方向扩散,形成"高浓度→低浓度"的定向流动。渗流通道优化,通过钻孔(地面钻井/井下钻孔)或巷道构建瓦斯运移通道,配合水力压裂、氮气注入等技术扩大煤层裂隙,提升渗透率。

2.3 安全阈值控制。含量与压力双降,持续抽采使煤层瓦斯含量降至安全阈值(通常 $<8\text{m}^3/\text{t}$ ),瓦斯压力降至 $0.74\text{MPa}$ 以下,消除突出风险。涌出量控制,开采前预抽可减少回采期间60-70%的瓦斯涌出量,避免工作面超限。本质目标:通过改变瓦斯赋存状态(吸附→游离)与运移路径(无序扩散→定向抽采),达成"抽采达标、先抽后采"的安全开采条件,同时实现资源化利用。

## 3 煤矿通风系统与瓦斯抽采一体化技术经济性分析

3.1 煤矿通风系统与瓦斯抽采一体化如何降低开采成本。煤矿通风系统与瓦斯抽采一体化通过工程协同、资源复用和智能调控实现吨煤成本降低5%~10%,其降本路径包含以下核心维度:工程协同降本,巷道工程量压缩,优化钻孔布置:依据瓦斯抽采半径精准设计钻孔间距,减少无效钻孔进尺;通风系统降阻:通过CFD模拟优化巷道断面与支护形式,降低通风阻力30%以上,减少降阻巷道工程量;抽采-通风联合布巷:共用巷道系统,避免重复掘进(如底抽巷与回风巷协同设计)。材料成本控制,差异化管路配置:按抽采量匹配管路规格("一巷一策"),减少管材浪费;封孔工艺升级:改进带压封孔技术,降低封孔材料消耗量20%以上;连接件标准化:自制抽采管路连接短节,降低采购成本。装备与能效优化,智能调控减耗,通风机变频控制:根据瓦斯浓度动态调节风量,降低空转能耗;抽采系统并网运行:分区抽采管网智能联调,提升真空泵利用效率。技术提效降

本,定向长钻孔替代密集短孔:单孔深度突破500米,减少钻探工程投入60%;水力压裂增透技术:提升煤层渗透率5倍以上,缩短预抽时间。资源化增值路径,瓦斯发电创收抽采瓦斯纯度>30%时用于发电,单矿年发电收益超1亿元;"三区联动"抽采模式:单口地面钻井5年可解放煤量150万吨,降低吨煤治理成本88元/吨。管理协同增效,部门壁垒破除:通风与抽采团队统一考核,避免责任推诿;修旧利废激励:废旧材料回收指标与工资挂钩,吨煤材料费降低8%。本质效益:通过工程复用(巷道/钻孔)→能源循环(瓦斯发电)→管理协同三级降本路径,突破传统分治模式下通风与抽采的双重成本叠加,实现安全投入与经济效益的平衡。

3.2 煤矿通风系统与瓦斯抽采一体化如何提高生产效率。煤矿通风系统与瓦斯抽采一体化技术通过优化治理流程、释放采掘空间及智能协同管理,可显著提升生产效率,掘进效率倍增,定向长钻孔技术,采用千米定向钻机施工500米以上深孔,替代密集短钻孔,单孔覆盖范围扩大3倍,减少钻孔工程量60%以上。煤矿应用后煤巷单月掘进达252米,创区域纪录。水力增透技术,超高压水力割缝泵使单孔瓦斯流量提高5倍,消突达标时间缩短60%,直接加速巷道掘进。回采工作面提效,瓦斯预抽提速,地面钻井网格化布局(200-300米间距)实现采前5-10年超前抽采,煤层瓦斯含量降至安全阈值( $< 8\text{m}^3/\text{t}$ ),消除回采停滞隐患。卸压瓦斯高效抽采,顶板走向长钻孔"以孔代巷"技术,配合采动区动态抽采系统,降低工作面瓦斯涌出量70%,保障连续开采。运维效率升级,智能监控减干扰,自动计量与防喷孔装置实现钻孔封孔-抽采-计量全流程无人干预,减少人工巡检频次50%。跨部门协同管理,通风与抽采团队统一考核,技术攻关(如瓦斯防治创新工作室)加速问题解决,设备故障率下降30%。技术革新协同性突破:水力割缝增透(单孔浓度70%)+地面钻井全覆盖(5500口井最高日产气2万 $\text{m}^3$ )+自动计量系统,本质增效:通过技术替代(长钻孔→短钻孔)→时间置换(超前抽采→回采连续)→管理重构(多岗合一)三重突破,将瓦斯治理由"生产制约项"转化为"效率助推器"。

3.3 煤矿通风系统与瓦斯抽采一体化如何减少安全事故。防止瓦斯超限与积聚,通风稀释优化:动态调节风量确保井下瓦斯浓度始终低于爆炸阈值( $< 1\%$ ),采用分区通风设计避免风流死角,减少局部瓦斯积聚风险。瓦斯源头控制:一体化抽采系统通过地面钻井网格化布局(200-300米间距)提前5-10年预抽煤层瓦斯,将瓦斯含量降至安全水平( $< 8\text{m}^3/\text{t}$ ),消除突出事故隐患。

智能监控与预警联动,实时监测系统:集成瓦斯传感器与通风设备,当浓度超限或风机停风时自动断电闭锁,响应时间 $\leq 30$ 秒,防止电火花引发爆炸。突出危险性预测:实施"四位一体"策略(突出预测、防治措施、效果检验、安全防护),定期测定瓦斯参数(如压力、含量),指导针对性治理。工程协同与风险管理,区域递进式治理:采用"三区联动"模式(规划区预抽、准备区联合抽采、生产区强化抽采),缩短瓦斯治理周期50%,避免采掘交替延误。应急预案强化:一体化系统支持自动喷雾降尘和封闭爆炸区域,结合矿工安全培训,减少二次灾害发生概率。制度与技术创新,责任体系构建:明确矿长负责制和技术总工责任制,统一考核通风与抽采团队,破除部门壁垒;资金与设备投入:专项经费用于通风系统升级和抽采设备更新,提升系统可靠性。

3.4 煤矿通风系统与瓦斯抽采一体化经济效益评估方法。基础财务评价指标,静态经济分析法,投入产出比:对比巷道共用节约工程量(减少重复掘进30%)与设备投入成本,计算吨煤成本降幅;收益成本比:瓦斯发电收益(纯度>30%时单矿年收益超1亿元)对冲抽采系统运维成本。动态经济分析法,净现值(NPV):考虑5-10年超前抽采周期,贴现瓦斯发电与碳交易长期收益;动态投资回收期:定向长钻孔技术(单孔深500米+)降低钻探成本60%,回收期缩短至3-5年。资源化增值路径,瓦斯发电收益:按度电成本0.2元/kWh+政府补贴0.3元/kWh测算,内部收益率(IRR)可达18%;碳减排交易:每抽采1万 $\text{m}^3$ 瓦斯减少 $\text{CO}_2$ 当量150吨,创造碳汇收益。政策与风险管理评估,政策激励整合,专项补贴(如瓦斯发电上网电价溢价)、安全投入税费抵扣,降低项目初期现金流压力;政府专项奖励覆盖设备更新费用的20-30%。风险成本控制,应用《煤矿瓦斯防治能力评估评分表》量化事故风险成本,达标矿井(评分 $\geq 80$ 分)安全投入减少15%;突出事故概率下降70%,间接降低吨煤安全成本88元。

#### 4 煤矿通风系统与瓦斯抽采技术创新与挑战

4.1 核心技术创新。智能化控制技术,动态调风系统:实时监测瓦斯浓度,自动调整风量(响应时间 $\leq 30$ 秒),避免局部瓦斯积聚;智能抽采装备:定向钻机结合水力压裂技术,单孔抽采量提升5倍,渗透率提高300%。新材料与工艺突破,纳米吸附材料:增强低浓度瓦斯富集效率(如石墨烯基复合材料提升吸附率40%);脉动抽采技术:优化压力波动参数,打破瓦斯吸附平衡,抽采周期缩短60%。多技术协同应用,地面-井下联合抽采:网格化钻井(200-300米间距)实现超前5-10年

预抽,降低煤层瓦斯含量至安全阈值( $< 8\text{m}^3/\text{t}$ );通风-抽采一体化设计:共用巷道减少掘进量30%,吨煤成本降低5-8元。

4.2 关键技术挑战。地质适应性瓶颈,深部开采( $> 800\text{米}$ )高地压、低透气性煤层导致抽采效率骤降,常规钻孔技术失效;断层发育区易引发钻孔塌孔,瓦斯抽采浓度波动超30%。安全与运维风险,智能设备抗爆等级不足,井下电磁干扰致传感器误报率15%;复合型技术人才缺口超40%,故障修复时间延长50%。

4.3 创新突破路径。技术融合方向,开发地质自适应钻机(如震波导向钻头),提升复杂构造区成孔率;构建统一数据平台(如矿山物联网),打破系统壁垒。政策与产业协同,设立专项补贴(覆盖设备更新费用20-30%),激励瓦斯发电并网;建立“产学研用”基地,定向培养复合型技术人员。核心矛盾:深部开采需求 $\uparrow$ (占产能35%) $\leftrightarrow$ 现有技术适应性 $\downarrow$ (抽采率 $< 40\%$ )。需通过跨学科协作(材料学+地质工程) $\leftrightarrow$ 全链条优化(抽采-输送-利用)实现本质突破。

## 5 新技术在煤矿通风系统与瓦斯抽采中的应用机遇挑战

5.1 技术应用带来的核心机遇。智能化控制突破,动态调风系统实现瓦斯浓度超标( $> 1\%$ )30秒内自动调整风量,消除局部积聚风险;定向钻进技术配合水力压裂,单孔抽采量提升5倍,渗透率提高300%,显著缩短治理周期。资源化利用拓展,瓦斯发电商业化加速:浓度 $>$

30%时发电内部收益率(IRR)达18%,结合碳交易收益形成新增长点;保压封孔技术实现抽采浓度提升30%,降低综合成本20%以上。系统协同增效通风-抽采一体化设计减少巷道掘进量30%,吨煤成本降低5-8元;地面钻井网格化布局(200-300米间距)实现超前5-10年预抽,煤层瓦斯含量降至安全阈值( $< 8\text{m}^3/\text{t}$ )。

5.2 技术落地面临的关键挑战。地质适应性瓶颈,深部开采( $> 800\text{米}$ )高地压导致常规钻孔塌孔率超30%,抽采浓度波动剧烈;断层发育区渗透率骤降60%,现有增透技术失效。安全运维风险,井下电磁干扰致传感器误报率达15%,抗爆设备研发滞后;复合型技术人才缺口超40%,故障修复时间延长50%。

5.3 破局方向。技术融合创新,开发震波导向钻头 etc 地质自适应装备,提升复杂构造区成孔率;构建矿山物联网统一平台,打通数据链壁垒。政策与产业协同,设立专项补贴覆盖设备更新费用20-30%,激励低浓度瓦斯发电;建立“产学研用”基地定向培养技术人才。

总之,深部产能占比 $\uparrow$ (35%)现有技术抽采率 $\downarrow$ ( $< 40\%$ )。需通过跨学科协作(材料学+地质工程)与全链条优化(抽采-输送-利用)实现本质突破。

## 参考文献

- [1]周艳红.浅谈煤矿通风系统与瓦斯抽采一体化的技术与经济性分析,2022.
- [2]赵秀丽.关于煤矿通风系统与瓦斯抽采一体化的技术与经济性探讨,2023.