

矿井通风系统优化与“一通三防”管理策略研究

居 园

陕西陕煤铜川矿业有限公司下石节煤矿 陕西 铜川 727100

【摘要】：矿井通风系统被视作矿井的“肺脏”，其效能对井下作业环境的安全性及抗灾韧性有着直接的决定作用。瓦斯积聚、煤尘爆炸和自然发火等灾害，突发性强、破坏力大，而且与通风状态有着复杂的耦合关联。鉴于深部开采环境越来越复杂，建立稳定可靠的通风网络，开展精准的灾害治理工作，已然成为遏制重特大事故、保障人员生命安全的关键。此般背景下，本研究着重探讨矿井通风系统优化与“一通三防”管理策略，为煤矿企业提升安全治理水平给予有益的借鉴，最终推动矿井安全生产形势持续好转。

【关键词】：矿井通风系统；系统优化；“一通三防”；管理措施

DOI:10.12417/2705-0998.26.01.062

引言

“一通三防”是那煤矿安全生产中极为关键的核心技术体系，其中“一通”，它是建立完善的矿井通风系统，依靠借助空气动力学原理，来有效地把那些有害气体给稀释掉，然后排出去，这是井下人员可生存的根本保障；而“三防”，说的是对瓦斯、煤尘以及火灾等主要灾害的针对性防治工作，它们跟通风系统之间是相互依存、互相制约的关系。通风网络的稳定性直接影响着瓦斯的运移规律以及火灾的演变趋势，而科学合理的防灾措施也是维护通风效能的一个大前提，这么一个复杂的系统工程，它直接肩负着防止人员伤亡以及财产遭受损失的重大责任因此，深入探索矿井通风系统优化与“一通三防”管理策略至关重要。

1 “一通三防”基本内容

“一通”的关键在于建立完善的矿井通风系统，有效稀释、排出瓦斯和二氧化碳等有害气体，减少煤尘的积累，保证矿井空气新鲜，营造更加安全、健康的工作环境。“三防”指防治瓦斯、防治煤尘与防治矿井火灾。由于瓦斯具有易燃易爆特性，一旦浓度超标，极易发生爆炸，对矿井安全构成巨大威胁，有效监测与控制瓦斯浓度，可以大幅度降低这种安全隐患。煤尘不仅可能引发职业病，还有可能在特定条件下引发爆炸，在生产过程中采取喷雾洒水降尘等措施抑制煤尘，可以有效提升矿井安全生产水平。矿井火灾会导致人员伤亡与财产损失，采取有效的预防措施可有效降低火灾发生率，制订科学的应急救援计划，可有效降低火灾损害。

2 矿井通风系统优化与“一通三防”管理应遵循的原则

2.1 安全第一与系统稳定性原则

在矿井通风与“一通三防”管理中，安全性和稳定性是绝对首要的前提条件，对通风系统优化的根本目的是要保证井下的各个作业场所，无论处于何种工况之下，均可获取到充足的新鲜风量，以此来将瓦斯以及粉尘给予稀释并且排出，

就“三防”的方面而言，稳定的风流属于防止瓦斯积聚的第一道防线。当对系统进行优化之际，需要考虑到在突发状况之下的应急响应能力，以保证在灾变期间可以迅速且有效地把控风流的方向，预防事故发生扩大的情况。任何针对经济效益展开追求的优化方案，只要其对系统的安全冗余度有所削弱，皆要被一票否决掉。

2.2 综合治理与超前预防原则

“一通三防”重点就在于“防”，要遵循综合治理、超前预防的准则，这不单单是技术方面的问题，更是对管理流程以及责任体系的优化，通风系统的优化要查看图纸，也要看现场管理的执行力度，

该原则要求建立严格的隐患排查与治理机制，这需要坚持“先抽后采、监测监控、以风定产”的方针，将瓦斯治理作为重中之重。在管理上，要实施分区、分级管理，明确从矿长到一线员工的通风管理责任清单。定期进行通风系统阻力测定和瓦斯等级鉴定，根据开采布局的延伸，超前规划通风路线，避免出现“剃头下山”开采导致的通风困难。此外，综合治理还包括对人为因素的管控。要强化全员“一通三防”知识的培训，规范作业行为，严厉禁止违章指挥和违章操作，同时，依靠定期开展的反风演习以及防灾应急演练，来检验系统的实际作战能力。把技术优化跟严格的制度管理融合起来，切实做到防患于未然，保证持续的安全生产环境。

3 矿井通风系统优化与“一通三防”管理策略

3.1 优化通风网络结构，实施风量科学调配与降阻改造

矿井通风系统的稳定性和经济性，是衡量矿井安全生产能力的关键核心指标之一，对通风网络结构优化是依据空气动力学原理所开展的系统重构工作，该项工作的核心要点在于，借由“降阻、提效、稳流”三位一体的策略，将角联分支以及高阻区段给予有效消除，构建出阻力分布合理、风流流动顺畅的拓扑网络。

表1 矿井通风网络优化与降阻调配实施清单

实施阶段	关键措施	技术执行要点
系统诊断	阻力测定与评估	利用精密气压计同步采集数据,绘制高精度网络图,精准识别高阻“瓶颈”巷道及漏风源。
工程降阻	结构优化与修复	对失修巷道实施扩帮、清底;开掘并联回风巷,消除角联分支,确保风流路线短直化。
科学调风	模拟仿真与解算	摒弃经验调风,应用软件预演工况;精确计算调节设施参数(如风窗面积),匹配风机最佳工况点。

在具体实施过程中,矿井首先应启动全面的通风阻力测定工作,利用精密气压计对全矿井进回风系统的基点与测点进行同步数据采集,绘制出高精度的通风网络图与等势图,从而精准识别出局部阻力过大、断面缩径严重的“瓶颈”巷道以及存在漏风严重的区域。

基于测定数据,工程技术部门需制定针对性的降阻方案,对于失修严重、断面狭窄的回风巷道,采取扩帮刷大、支护加固或清理底鼓等措施,降低摩擦阻力系数;对于由于巷道布局不合理造成的迂回通风或角联网络,通过开掘并联专用回风巷或构筑永久性调节设施,简化网络结构,使主流风路线更加短直。与此同时,在风量调配环节,选用计算机网络解算软件来实施模拟仿真工作。另外于工作面接替或者生产布局调整之前,提前对风流分配状况模拟,计算得出风窗开口面积、风门设置位置,以及主通风机的最佳工作状况点。

3.2 强化瓦斯分级治理,构建“抽、掘、采”平衡的立体防控体系

瓦斯治理是煤矿安全生产的“牛鼻子”,应当秉持“瓦斯超限就是事故”的红线意识。构建“抽、掘、采”平衡的立体防控体系,最关键的是突破单一治理手段的局限,树立“区域防突先行、局部措施补充”的分级治理理念。这意味着要将瓦斯治理工程纳入矿井生产作业计划的关键路径,利用时间换空间,通过地面钻井、井下穿层与顺层钻孔的立体化布置,实现煤层瓦斯的超前预抽与达标评判,强行将高瓦斯煤层变为低瓦斯煤层开采,确保抽采达标不仅是技术要求,更是生产组织的前置刚性条件。

执行层面,矿井需建立严密的瓦斯地质预测预报机制,在采掘工程设计阶段即通过三维地震勘探和瓦斯地质分析,划分出瓦斯富集区和突出危险区。针对突出危险煤层,实施“底板岩巷穿层钻孔预抽”与“顺层长钻孔递进式抽采”相结合的策略。具体操作上,借助大功率定向钻机,于开采层底板岩巷内朝着煤层开展扇形穿层钻孔的施工工作,并配合水力割缝、水力压裂等透气性提高技术,人为提升煤层的透气性,让瓦斯抽采的纯量以及浓度都大幅提高。在回采工作面,推广应用高位

裂隙带走向长钻孔或顶板高位巷抽采技术,专门拦截解决上隅角及采空区卸压瓦斯超限问题,形成“一面一策”的精准治理模式。为了确保“抽、掘、采”平衡,生产管理部门需制定严格的工程接替表,强制规定瓦斯预抽期必须满足设计要求,比如规定备用工作面得提前6到12个月进行预抽,只有经过第三方机构评价抽采达到标准了之后,才可以移交出去进行回采,要是抽采指标未达到标准,那就坚决不能安排掘进或者回采方面的作业。

3.3 落实综合防尘与防灭火措施,建立物理化学协同灾害阻隔带

煤矿会面临煤尘爆炸以及自然发火这类重大的次生灾害,要落实好综合防尘以及防灭火的相关措施,就要遵循“源头抑制、过程阻断、末端治理”这样的系统工程思维模式。物理化学协同着重强调,在传统的水力降尘以及注浆防灭火的情况之上,要引入新型的化学抑尘剂、阻化剂以及惰性气体技术,形成多维度的灾害防御方面的屏障。

表2 物理化学协同“防尘防灭火”管控措施一览表

治理类别	管控环节	具体技术措施
综合防尘	源头抑制	实施静压或动压煤层注水,预先湿润煤体。
	过程阻断	传感器联动智能喷雾,添加化学抑尘剂捕捉微尘。
	末端治理	回风巷设全断面捕尘网/水幕,定期清理积尘。
防灭火	监测预警	预埋束管系统,实时分析CO、乙烯等气体指标。
	采空区惰化	连续注氮/CO ₂ 降低氧浓度,配合黄泥灌浆。
	重点封堵	在开切眼/停采线压注高分子胶体或普瑞特材料。
灾害阻隔	协同防护	安装隔爆水袋及自动隔爆装置,构建物理化学阻隔带。

在采掘作业过程中,配备智能化喷雾降尘系统,利用粉尘浓度传感器联动控制采煤机、掘进机及各转载点的喷雾装置,并添加环保型化学抑尘剂以提高水雾对细微粉尘的捕捉效率。针对回风巷道,设置全断面捕尘网或水幕,定期清洗巷道积尘,杜绝煤尘堆积。在防灭火领域,针对容易自燃的煤层,实施以注氮、灌浆为主,喷洒阻化剂和三相泡沫为辅的综合防灭火技术。具体做法包括在采空区预埋束管监测系统,实时分析一氧化碳、乙烯等标志性气体变化趋势;在工作面推进过程中,向采空区氧化带连续注入氮气或二氧化碳惰性气体,降低氧气浓度。对于开切眼、停采线等高风险区域,采用压注高分子胶体或普瑞特等新型防灭火材料进行封堵和覆盖,隔绝漏风通道。

此外,在关键巷道的节点处,运用安装隔爆水袋或者自动隔爆装置等方式,构建物理化学协同的灾害阻隔带,并且要储备足够的防灭火应急物资。并且,借助“水、气、固、化”多种手段相互配合运用,针对井下的高温点展开定点消除工作,对于浮游煤尘实施全流程的压制工作,以此保证井下作业环境清洁,火灾隐患可以得到控制。

3.4 推进数字化监测预警,完善“一通三防”闭环管理

借助迅猛发展的工业互联网以及人工智能技术,推动“一通三防”的数字化转型,是提升安全管理效能的关键所在,其中心要点是运用物联网感知、大数据分析以及云边协同技术,来达成对于通风参数、瓦斯状态以及火灾征兆的实时感知,同时预判发展趋势。

矿井应着力搭建统一的“一通三防”智能监测监控平台,集成安全监控系统、人员定位系统、束管监测系统及光纤测温系统等多源数据。在井下关键节点部署高精度激光瓦斯传感器、风速风向传感器及一氧化碳传感器,实现对环境参数的毫秒级采集与传输。依托大数据算法,系统应具备异常模式识别

能力,不仅能对超限数值进行声光报警,更能通过分析瓦斯涌出量与大气压力、采掘进度的关联性,提前预测瓦斯超限趋势或煤炭自燃风险,自动生成分级预警信息并推送到管理人员的移动终端。在闭环管理流程上,系统一旦发出预警,像局部通风机风量异常波动这种情况,平台就会自动使应急响应机制启动,远程断电、视频抓拍以及广播呼叫都会被联动控制,并且会生成电子工单,然后把电子工单派发到相关的责任区队。

4 结语

矿井通风系统持续优化以及“一通三防”精细化管理,是保障煤矿本质安全、推动高效生产的根基所在。本文借助深入剖析,清楚说明在安全为首及系统稳定性原则的引导下,构建可靠性强通风网络十分必要。研究证实,采用通风网络降阻改造举措,搭建“抽、掘、采”相平衡的瓦斯立体防控体系,同时构建物理化学协同的防尘防灭火等灾害阻隔带,可大幅提高矿井的抗灾能力。而且依靠数字化监测预警平台,达成从隐患识别直至闭环处置的全生命周期管理,属于未来矿井安全管理的必然走向。

参考文献:

- [1] 王德明,李雨成,周福宝.矿井通风与安全(第三版)[M].徐州:中国矿业大学出版社,2020.
- [2] 袁亮,薛生,刘泽功.煤矿瓦斯灾害防治技术体系与工程实践[J].煤炭学报,2019,44(6):1625-1637.
- [3] 国家煤矿安全监察局.煤矿安全规程(2022年版)[M].北京:煤炭工业出版社,2022.