

多水平联合开采矿井通风网络调节方案设计

张军喜

甘肃万胜矿业有限公司 甘肃 庆阳 745000

摘要: 多水平联合开采模式推广应用过程中, 井下通风网络形成立体交错的空间形态, 风量配比失衡、阻力分布不均等问题逐步显现, 直接影响井下作业环境的稳定运行。本文结合多水平矿井通风运行的核心特性, 从结构、风量、阻力层面梳理现存问题, 搭建涵盖风量优化、阻力调控与运行保障的完整调节方案, 为同类矿山通风优化工作提供参考。

关键词: 多水平联合开采; 矿井通风网络; 通风调节

引言: 深部矿产资源开采规模逐步扩大, 多水平联合开采方式已成为地下矿山的主流生产模式。井下多层巷道立体交织排布, 通风系统运行状态会随采掘工程推进持续发生动态变化, 常规通风管控方式难以适配复杂多变的井下工况。通风系统是维系井下作业环境稳定的核心基础设施, 科学的通风调节手段能够理顺风流运行秩序, 改善井下作业条件, 为矿山生产平稳推进提供可靠支撑。

1 多水平联合开采矿井通风调节研究概述

深部矿产开采中, 多水平联合开采模式可最大化挖掘矿体资源价值, 提高开采效率, 已广泛应用于各类地下矿山开采工程。相较于单水平开采, 该模式下井下巷道纵横交错, 多作业层同步推进的生产格局让矿井通风体系更为繁杂, 风流路径具备极强的随机性与复杂性。井下作业巷道覆盖范围大、作业点位分布零散, 各巷道通风阻力存在明显差异, 作业过程中极易出现风量分配不均、局部区域供风不达标、气流紊乱以及巷道漏风等不良工况, 直接干扰井下作业环境的安全稳定性。矿井通风体系的平稳运行, 是井下采掘作业安全开展的核心保障, 依据多水平开采的动态工况特征优化通风调控模式, 是矿山安全生产管控的重点工作。受复杂巷道布局影响, 井下通风阻力分布时刻处于动态变化中, 固化的通风运行参数难以适配各采掘工作面的阶段性生产需求, 常规通风调控手段适配性较差, 无法精准完成各作业区域风量调配^[1]。结合多水平矿井通风网络的结构特点与实际运行短板, 针对性优化通风调控实施方案, 梳理采掘全过程风流流动变化规律, 精准调整各巷道分支的风量占比, 优化整体通风体系运行状态, 可有效整治井下通风乱象, 消除气流异常诱发的安全风险, 保障采掘作

业持续稳定推进, 为矿山多水平联合开采模式下通风系统的优化升级与常态化稳定运行提供坚实技术保障。

2 多水平联合开采矿井通风网络特性分析

2.1 多水平开采通风系统结构特征

深部矿山采用多水平采掘方式后, 井下巷道空间会形成纵向分层、横向贯通的立体布置形态。井下不同开采深度均配套设置可供作业通行、气流输送的专用巷道结构, 各作业层级借助连通巷道与竖向通风通道实现空间衔接, 整体形成相互贯通的井下通风整体构架。相较于单层开采的通风布置形式, 多水平采掘模式下的通风巷道排布更为多元, 气流通行路径数量可提升 40% 左右, 空间交叉耦合特征显著, 整体通风拓扑形态更为立体。各作业层级可独立完成新风导入与污浊气流排出作业, 分层通风作业的独立性较强。但多层巷道相互连通的空间构造, 会让不同区域的气流运动产生相互影响, 作业区域气流状态容易出现波动。井下巷道规格、延展长度与布置形式存在明显区别, 让整体通风网络的空间排布具备较强的不规则性。这类特殊的空间构造形式, 直接改变井下气流的通行轨迹与输送条件, 形成多水平通风体系独有的结构特点, 也是造成井下气流运行状态不稳定的主要结构性因素。

2.2 多水平通风网络风量分布特征

矿山多层采掘作业开展后, 井下气流输送体系不再局限于单一平面的流通形式, 各采掘层的空间高差与巷道布设形式, 都会对风流输送范围与配比状态产生直接作用。井下纵向跨度较大, 不同采掘层的风路延展长度、通行断面存在客观区别, 使得各区域气流供给基础条件存在明显区别。上部采掘区域风路阻碍

更小,气流流通效果更为理想,深部作业区域送风损耗偏大,实际风量通常仅为浅部区域的70%-85%,整体供给水平明显下降。各层级巷道彼此贯通的空间结构,会造成相邻作业区域气流互相扰动,使既定的风流分配状态发生细微变动,易引发层间风流窜动与局部风量反向异常现象。井下采掘工程持续推进,局部巷道的通行条件随之改变,风流配比状态始终处于动态变动之中。各类串联、并联风路交错排布,气流通行趋向会自发贴合低阻巷道,最终出现部分区段风量过剩、关键作业地段风量供给不足的失衡问题^[2]。这类动态变化的通风运行状态,决定了多水平矿井通风调控需要具备灵活适配的调整能力。

2.3 多水平通风网络阻力分布特征

矿山多水平协同采掘作业开展后,井下通风通道的原始流通条件发生整体性改变,风阻参数在井下空间呈现明显的非均匀分布态势。各开采水平巷道施工时序不一,巷道成型规格、支护构造形式及内部堆积状况存在区别,直接导致各通风分支的摩擦损耗与局部通行损耗形成明显层级差距,整个通风网络的阻力均衡性大幅下降。工程实测结果显示,多水平作业环境中,井下不同区段巷道的风阻参数存在明显层级差距,直接干扰风流自然输送与分配的基础规律。各类通风巷道纵横连通、串并联结构交叉排布,构成立体复合型通风体系,深部采掘区域通风路径更长,整体通行损耗相对更大。随着井下采掘工作面持续向前延伸,巷道围岩细微变形、作业设备布设以及采掘废料堆积等工况变化,都会小幅改变通风通道的有效通行面积,使巷道风阻始终处于动态浮动状态。风阻空间分布不均、工况动态波动的特点,易引发风流配比紊乱,出现浅层巷道风量过剩、深部作业区域供风短缺的问题。掌握风阻空间排布规律与动态演变特点,能够为通风系统参数优化、风流精准调配提供可靠的理论支撑。

2.4 多水平通风现存核心问题分析

多层立体采掘作业模式改变了井下通风的基础运行条件,固有通风布局模式难以适配动态变化的井下空间环境。不同开采深度形成的风阻梯度差异,会干扰气流自然输送规律,使各作业区段气流供给强度出现明显偏差,部分深部核心作业面有效风量率不足65%。错综复杂的巷道连通结构,会诱发区段间气流互相窜扰的现象,破坏井下气流有序流动的基本形态,弱化通风系统整体运行效能。采掘作业持续推进的过程中,井下巷道空间结构、风路连通关系不断更新,前期适配的通风工况条件逐渐失效,通风系统难以维持长效稳定运行。传统通

风调控手段固化性较强,不具备动态适配井下工况更迭的调整能力,无法消除多层开采带来的各类通风干扰问题。气流分配失衡、风流无序扰动等问题长期存在,会阻碍井下污浊空气的有效置换,制约井下作业环境品质提升^[3]。梳理各类通风运行短板并明确优化方向,可以为通风调控体系的优化设计提供可靠的改良支撑。

3 多水平联合开采矿井通风网络调节方案设计

3.1 通风网络调节设计基本原则

针对多水平矿井复杂通风工况开展通风网络优化设计,需要依托严谨的设计准则作为技术支撑,让优化方案契合井下立体巷道的运行特点,维持通风体系的长效平稳运行。整体优化工作注重整体协同适配,充分考量不同开采层级巷道的空间构造与风阻属性,统一协调各层级风路的气流运行状态,防止局部参数调整造成整体通风体系出现工况扰动。风量均衡配置是优化设计的核心方向,优化过程优先满足采掘作业区域的通风需求,协调各作业区块的气流输送条件,改善多层开采模式下普遍存在的风量分配不均问题。设计工作兼顾稳定运行与动态适配的双重属性,在调整风路结构、优化风阻配比的基础上,保留适配井下采掘工况动态变化的调整空间,提升通风体系对复杂井下环境的适应性能。各类优化设计内容贴合井下气流流动的客观规律,精简不合理的通风构造,优化风阻匹配关系,降低气流输送阶段的能量损耗。标准化的设计逻辑可以减少通风优化工作的随意性,让改造后的通风网络完全适配多水平联合开采的作业模式,维系井下通风环境的平稳运行状态。

3.2 通风网络风量分配优化设计

立体多层采掘模式构建的井下通风体系,会自然产生气流分配不均衡的运行状态,传统固定配比的送风模式无法适配多区段、多深度的用风诉求。风量调配优化工作立足于井下风路空间布局特征与作业用风差异,对全网气流输送结构进行系统性调整,改善多层同步作业引发的送风失衡问题。优化工作依据各采掘层级的作业功能划分用风等级,重点保障采掘工作面等关键区域的送风体量,合理规划辅助巷道的气流输送规模,结合采掘接续计划动态核定各区域月度用风定额,兼顾机电硐室与备用作业面的基础通风需求。同步建立层级间风量联动调节机制,平滑不同生产阶段的送风波动幅度。通过改造分支巷道的通行属性,疏导低阻通路的富余气流,可将高阻作业区的风量缺口缩减25%左右,削弱层间气流互扰造成的送风格局偏差。科学的风量调配布局能够规整全网气流走向,有效改善井下局部气流停滞、流通不足等不良通风现象^[4]。整套优化思路注重各条风

路之间的联动平衡,杜绝局部参数改动诱发的全网工况波动,使各开采层级的送风体量贴合实际作业需求,切实提升复杂通风网络的运行稳定性与适配能力。

3.3 多水平通风阻力调控设计

矿山多层采掘作业造就的立体通风体系,会形成各区域风阻参数不一致的分布特点,这类不规整的阻力排布会直接扰乱井下气流的正常输送秩序,造成通风工况不稳定的现象。通风阻力调控工作以统一网络阻力匹配关系为核心方向,通过专项技术手段优化各条风路的阻力条件,将深浅部水平的风阻差控制在15%以内,弱化区段间阻力差距。可依托巷道形体整改与通风配套设施布设完成优化工作,对通行损耗偏大的巷道开展结构优化,同步做好巷道壁面抹平与杂物清障,削减局部涡流带来的额外阻力损耗,调整巷道通行断面与延展布局,减少气流在输送流程中产生的通行损耗。对于阻力偏低的分支巷道,可配置对应的通风调节设施微调局部阻力条件,控制多余气流无序分流的情况。各项阻力优化操作均结合整体通风网络的运行逻辑统筹开展,避免局部参数改动造成整体通风体系出现新的工况偏差。经过系统性的阻力适配调整,井下气流通行路径更为规范,层级之间的通风干扰得到有效抑制,为通风网络风量均衡供给筑牢基础,全面优化复杂矿井通风系统的运行品质。

3.4 通风网络调节运行保障设计

矿井通风网络完成风量配比与阻力参数优化之后,还需依托系统化的运行保障架构,巩固优化成果并维系通风工况的长效平稳。多水平开采模式下的井下通风体系具备动态变化特性,采掘工程持续推进将不断改变巷道空间形态与风路连通关系,各类通风调控设施的工作状态也会随之发生改变,单纯的静态优化改造难以适配长期生产需求。相关保障设计着重提升通风系统的抗扰能力,通过科学布置各类通风调控设施、规范设备运

维管理模式,定期开展全矿井各水平专项风阻实测与关键作业断面风量精准校验,构建常态化通风参数日常巡检与动态预警管控机制,加固整体风路体系结构,削弱井下生产活动对通风工况的干扰作用。规整各开采层级的风流通行环境,将巷道漏风率控制在5%以内,抑制气流无序窜动等问题,保障全网气流输送有序可控。依据井下采掘工况的演变规律建立动态适配模式,及时修正通风参数偏差,让通风调控状态持续匹配现场生产条件^[5]。系统化的保障机制能够持续优化通风网络运行品质,提升多层开采通风体系的自适应能力,为井下采掘作业营造稳定可靠的通风环境。

结束语:未来,可结合井下采掘作业的动态变化规律,兼顾不同开采深度的通风需求,进一步细化通风调节的适配机制,提升通风系统对工况变动的响应效率。可依托通风运行的实时状态优化参数调整逻辑,强化多水平通风网络的自适应调节能力,让调控方案更贴合井下生产的实际需求,为深部多水平矿山的通风运维提供更具实操性的技术支撑。

参考文献

- [1] 裴羽,杨涛,范红伟.基于辅助样本引导融合图卷积网络的矿井通风系统阻变故障诊断[J].工矿自动化,2026,52(5):146-155+175.
- [2] 王新伟.煤矿通风网络风量精准调节与多目标协同降阻优化研究[J].能源与节能,2026(6):159-161+165.
- [3] 赵燕军.矿井通风系统智能预测分析与自适应调控技术[J].矿业装备,2026(3):49-51.
- [4] 孙健,穆晓峰.基于Ventsim的某矿通风网络优化研究[J].矿山工程,2026,14(2):374-383.
- [5] 史晓娟,向子泉,陈永光,等.基于PLC和自抗扰算法的煤矿井下风窗自动调控系统[J].煤矿安全,2026,57(3):176-184.