

煤矿通风系统稳定性影响因素及控制措施

杨栋梁

永煤集团股份有限公司新桥煤矿 河南 商丘 476600

摘要: 通风系统稳定是煤矿井下瓦斯治理、采掘作业安全的核心保障。为防控风流失衡、风量不足、风流逆转等通风隐患,本文界定了矿井通风系统稳定判定标准,从内部固有、外部动态两大维度梳理通风失稳影响因素,分析多因素耦合失稳机理,划分通风三级风险等级。结合矿井开采条件,从通风网络、主通风机、通风构筑物、采掘现场制定专项技术防控措施,配套完善运维管理与应急管控体系,全方位管控通风失稳风险,可为同类型矿井通风安全管控提供实操参考。

关键词: 煤矿通风系统; 稳定性; 影响因素; 控制措施

引言: 现阶段矿井开采深度逐步增加,井下巷道布局愈发复杂,地压扰动、采掘频次、大气气压变化等因素叠加,大幅提升通风系统波动概率,风流紊乱、漏风超标已成为煤矿井下高频安全隐患。部分矿井存在通风网络规划不合理、风机运维不到位、通风设施管护不严、应急机制不完善等问题,极易诱发局部瓦斯积聚,威胁井下人员作业安全。基于新桥煤矿现场通风管理经验,本文系统研判通风失稳诱因,分级研判风险,针对性制定技术及管理防控措施,保障矿井通风系统长效平稳运行。

1 煤矿通风系统基础理论及稳定性评价标准

1.1 矿井通风系统组成及运行机理

矿井通风系统是煤矿井下瓦斯、粉尘、余热排出的核心系统,主要由通风动力、通风巷道、通风构筑物、风流调控装置四部分组成。现阶段国内煤矿多采用机械抽出式通风模式,依托地面主通风机提供负压风压,引导地表新风经由进风井巷流入采掘作业区域,稀释井下有毒有害气体后,污风通过回风巷道、回风井排出地面。井下风流流动遵循通风阻力定律,巷道断面、巷道长度、支护形式直接决定风阻大小,风阻数值直接改变巷道风量分配比例。井下开采过程中,巷道垮塌、风门漏风、风机工况波动,都会打破原有风流平衡状态,进而引发风流逆转、风量不足、局部无风等失稳问题,直接威胁井下作业安全,也是判定通风系统稳定性的核心前提。

1.2 通风系统稳定性判定标准与评价依据

结合《煤矿安全规程》行业规范,本次研究从风量、风压、风流流向三大维度判定通风稳定性。稳态标准为:采掘工作面、硐室风量满足核定作业需求,主干巷道风压波动值不超过额定值10%,主干风流流向固定无

反向波动。结合矿井实操评价方式,采用直观指标评价法,重点核查通风机工况匹配度、巷道风量合格率、构筑物漏风率三项核心指标。其中主通风机工况点需落在高效安全区间,矿井总漏风率大型矿井不得高于15%,中小型矿井不得高于20%。一旦风量配比失衡、风压超限、风流反向,即可判定通风系统失稳,该评价标准贴合井下现场监测工作,适配井下常态化通风隐患核查工作^[1]。

2 煤矿通风系统稳定性影响因素

2.1 煤矿通风系统内部固有稳定性影响因素

内部固有因素为矿井通风系统先天及常态化固有隐患,属于静态持续性影响因素,贯穿矿井全开采周期,是风流失衡、风量分配不均的核心内因,具体分为四类:(1)通风网络结构因素。矿井巷道开拓布局、巷道分支数量、巷道联通方式决定全网风阻配比,老旧矿井巷道弯折多、并联支路规划不合理,局部风阻偏大,会直接分流作业面有效风量,造成井下风量配比失衡。(2)通风构筑物工况因素。井下风门、挡风墙、调节风窗、密闭墙为主要调风构件,现场施工缝隙、墙体开裂、风门闭合不严、反向漏风,会大幅提升矿井外部漏风率,破坏负压风流平衡。(3)主通风机匹配因素。地面主扇额定风压、风量与矿井开采规模不匹配,风机老化磨损、叶轮积垢,会造成风机工况偏移高效区间,风压输出不稳定,主干巷道风流压力波动超标。(4)巷道本体风阻变化。井下巷道长期受地压作用围岩变形缩径,巷道底板浮煤、岩壁粉尘堆积,缩小有效通风断面,巷道风阻被动增大,长期改变原有风流流动规律^[2]。

2.2 外部动态扰动下通风系统稳定性影响因素

外部扰动属于突发性、阶段性动态因素,随机性强、可控难度大,短时间即可造成局部风流逆转、风量骤变,诱发通风失稳,主要分为四类:(1)采掘作业扰

动。采煤工作面、掘进头持续向前推进,新巷道贯通、废弃巷道密闭拆除,实时改变通风网络拓扑结构,全网风阻瞬时变化,井下原有通风平衡被打破。(2)井下采掘动力扰动。井下爆破作业、采空区顶板瞬时垮落,产生冲击性风压,干扰周边巷道风流流向,极易造成边角巷、独头巷道短时无风、风流反向。(3)地面环境气象扰动。昼夜温差、季节性气压波动、大风阴雨天气,改变井口大气压差,干扰抽出式通风负压数值,浅埋矿井受气压影响尤为明显。(4)人为及设备扰动。作业人员违规开启两道联动风门、通风巡检操作失误、风机变频故障断电,人为干预风流路径,直接造成通风系统短时失稳,诱发井下气体聚集。

3 多因素耦合下通风系统失稳机理与风险分级

3.1 多因素耦合通风系统失稳机理

矿井现场通风失稳基本不存在单一诱因,大多为内部固有因素与外部动态扰动双向耦合叠加,联动破坏矿井负压平衡与风量分配规律,耦合扰动危害性远大于单项因素,主要耦合类型如下:(1)巷道风阻与构筑物漏风耦合。井下地压造成巷道断面收缩、浮煤堆积增大风阻,搭配风门密封失效、密闭墙体裂隙漏风,持续损耗主通风机有效负压,作业面新风供给不足,分支巷道风量配比失衡。(2)采掘扰动与风机工况耦合。工作面巷道贯通、采空区顶板垮落改变通风网络拓扑结构,全网风阻瞬时突变,主通风机原有运行参数无法适配工况变化,风压波动超标,极易造成局部巷道风流偏移。(3)环境因素与人违规行为耦合。季节气压差改变井口压差,叠加井下人员同时开启联动风门、随意改动调节风窗等违规操作,直接打破风流流向,短时间诱发隅角瓦斯积聚,形成通风安全隐患。

3.2 通风系统失稳风险等级划分

结合煤矿现场通风实测数据、《煤矿安全规程》管控要求,依据风量、风压、风流状态三项指标,将通风失稳划分为三级风险:(1)一般风险:主干风流方向稳定,风压波动 $\leq 10\%$,仅局部边角巷道风量偏小,有害气体浓度达标,通过微调风窗即可消除隐患。(2)较大风险:矿井漏风率超标,风压波动 $10\% \sim 20\%$,掘进独头巷道风量不足,瓦斯浓度临界超限,需检修构筑物、优化局部通风线路整改。(3)重大风险:主干巷道风流可逆,风机工况异常,多点区域气体超限,通风系统整体失衡,必须停止井下作业,人员撤离后全面排查整改^[3]。

4 煤矿通风系统稳定性专项防控技术控制措施

4.1 通风网络优化降阻管控措施

矿井巷道风阻过大、支路布局杂乱是风量分配不均

的核心内因,结合井下开采布局、通风阻力实测数据,采取结构性整改、常态化降阻相结合的技术手段,稳定全网风流阻力,保障风流分配均衡可控。(1)优化巷道通风拓扑布局。新建采掘巷道优先选取直线开拓方式,减少巷道直角弯折、急转弯设计;针对老旧矿井高阻力回风巷,增设并联分流巷道,拆分单一主干回风巷通风负荷,均衡各分支巷道风量。对已废弃采区巷道、贯通无用巷道,采用砖混密闭永久封堵,删减无效通风支路,简化通风网络结构,降低全网耦合扰动风险。(2)缩减巷道局部通风阻力。定期开展巷道规整作业,对地压挤压变形、断面缩径巷道实施扩帮、卧底修复,保证回风巷、进风巷有效通风断面达标;清理巷道底板浮煤、巷壁附着煤尘及杂物,减少风流摩擦阻力;巷道转角位置做圆弧倒角处理,降低风流涡流损耗,减少风压无效损耗。(3)分区独立通风改造。针对多采区同时生产矿井,取消串联通风模式,划分采区独立通风单元,各采区配备专属回风线路,避免采掘工作面风流互相干扰,规避串联通风带来的风压联动波动、气体串流隐患。

4.2 主通风机智能调速与工况适配控制措施

地面主通风机为通风核心动力设备,工况偏移、参数适配不足会直接造成全网负压波动,依托矿井在线监测数据、通风性能检测报告,落实风机工况动态适配技术管控。(1)风机工况定点校核调试。每季度结合矿井通风阻力测定数据,核定风机额定风压、风量,匹配当下开采风阻;严禁风机长期在驼峰不稳定区间运行,通过调整风机叶片角度,固定安全运行工况点,规避风压震荡、风量脉动问题。(2)变频智能调速管控。淘汰老式工频定速风机,加装变频调控装置,联动井口风压、井下风量传感器数据,实现风机自动调速。井下工作面推进、大气气压变化时,风机实时微调转速,恒定矿井通风负压,避免人工调速滞后导致的风量骤变。(3)风机双机冗余运维管控。矿井配备同等参数备用主通风机,制定定期倒机制度,每周开展倒机试运行;及时清理风机叶轮煤尘、锈蚀杂质,更换老化轴承、密封配件,同步完善风机散热、减震装置,杜绝风机振动、风量衰减、突发停机等设备故障,保障通风动力持续稳定。

4.3 通风构筑物提质密闭精细化管控措施

井下风门、密闭、调节风窗等构筑物漏风,是矿井负压流失、风流偏移主要诱因,落实施工提质、闭环运维管控,严控矿井漏风率,守住通风负压基准值。(1)标准化构筑物施工管控。井下联动风门采用钢制双向密封风门,配套自动闭门、机械闭锁装置,从硬件杜绝两道风门同时开启;巷道密闭墙体采用双层砖混浇筑,墙

体与巷壁接触处开槽嵌缝,填充高分子密封胶,封堵围岩裂隙漏风通道,采区永久密闭墙体厚度不低于0.8m,密闭顶部浇筑混凝土锁口加固。(2)分区漏风专项治理。重点治理风硐、井口密闭、采空区密闭重点漏风点位,每月采用风压检测仪、烟雾检漏仪排查裂隙漏风;井下调节风窗加装密封胶条,根据采区需风量精准调节开度,固定分支巷道风量,避免随意改动风窗参数扰动风流。(3)构筑物分级巡检管护。划分构筑物管控等级,主干风流风门、回风密闭定为一级管控点位,每日巡检;边角巷道构筑物每周巡检,及时修补开裂墙体、破损胶条,将大型矿井总漏风率控制在15%以内,中小型矿井控制在20%以内。

4.4 采掘工作面动态通风调风避险措施

采掘推进、巷道贯通、顶板垮落动态扰动,随机性改变通风网络风阻,需贴合采掘进度,实施动态化、前置式通风调控,抵御外部扰动失稳风险。(1)采掘前置通风预案。工作面每推进50m、巷道贯通施工前,提前测定区域风阻,提前调整对应区域调节风窗参数,预判网络风阻变化,提前分配作业面风量,杜绝巷道贯通后风流短时失衡。(2)爆破及顶板扰动通风防控。井下采掘爆破作业前,小幅提升局部通风机风量,抵消爆破冲击波风压;临近采空区工作面,提前加固巷道支护,降低大面积顶板垮落带来的冲击风压,防止隅角、独头巷风流逆转。(3)局部通风专项管控。掘进工作面局部通风机实行“双风机、双电源”配置,风筒对接严实、无破口漏风,风筒出风口距掘进迎头距离合规;遇季节地面气压突变天气,加大工作面风量储备,抵消大气压差干扰,防止井下有害气体反流积聚,常态化落实局部通风专项点检工作^[4]。

5 通风系统长效稳定管理保障与应急管控措施

依托技术防控配套管理体系,补齐通风运维管理短板,从监测、人员、隐患、应急四个维度搭建长效管控体系,降低人为、突发故障引发的通风失稳问题,筑牢矿井通风安全底线。(1)完善通风在线监测运维管理。依托井下风压、风量、瓦斯一体化监测站点,全覆盖主干巷道、采掘工作面、密闭区域测点,实时采集风流参

数;安排专人值守监控平台,参数波动超标即刻下发现场核查指令,定期校准监测传感器,保障监测数据真实有效。(2)落实通风人员标准化作业管理。划定通风岗位责任片区,开展风门操作、风机倒机、风窗调节专项岗前培训,严禁井下人员私自开启联动风门、改动通风设施参数;落实专人专岗巡检制度,压实通风设施、风机设备巡检责任。(3)建立通风隐患闭环排查机制。结合矿井采掘进度,每周开展通风专项排查,重点核查漏风点位、风机工况、巷道风阻隐患,建立隐患台账,落实整改时限、整改人员,完成整改后复核验收,杜绝通风隐患遗留叠加诱发系统失稳。(4)制定通风失稳专项应急处置方案。针对风流逆转、风机停机、大面积漏风三类突发险情,编制分级应急流程,定期开展通风应急演练;突发通风失稳后,第一时间关停联动风门、管控作业人员,快速恢复风流平衡,规避有毒有害气体积聚风险^[5]。

结束语:本文结合矿井现场通风运维工作,分析通风系统静态、动态影响因素,明确内外因素耦合致灾规律,划分通风一般、较大、重大三级失稳风险。通过优化通风网络、适配风机工况、精细化管护构筑物、动态调控采掘通风四项技术措施,搭配监测、人员、隐患、应急一体化管理措施,可有效降低矿井漏风率,稳定井下风压风量。

参考文献

- [1]邢秉江.煤矿通风系统的风流稳定性分析[J].能源与节能,2025(1):177-180.
- [2]王福胜.煤矿通风系统风流稳定性影响因素研究[J].煤炭新视界,2025(1):270-271.
- [3]吴伟.煤矿主通风机变频调速系统节能优化与运行稳定性研究[J].中国科技期刊数据库工业A,2026(3):017-020.
- [4]王星宇.复杂地质条件下煤矿通风系统稳定性评价及重构技术[J].山西化工,2026,46(4):254-255+267.
- [5]霍凯峰.煤矿通风系统稳定性影响因素及控制措施[J].能源与节能,2026(5):240-242+246.