煤矿瓦斯地质特征及瓦斯防治技术路线

李全

盐源西钢精煤有限责任公司 四川 凉山 635700

摘要: 煤矿瓦斯主要由煤的腐热分解、岩石破裂及地层压力释放等因素引起,其地质特征受煤层构造、埋深及煤厚等条件影响。瓦斯灾害包括爆炸与突出,严重威胁矿井安全。防治技术路线包括建立完善的通风系统、采用瓦斯抽放技术、应用气体水合技术吸附瓦斯,以及利用安全预警系统实时监测井下瓦斯浓度,确保煤矿安全生产。

关键词: 煤矿瓦斯;地质特征;瓦斯防治技术路线

引言:煤矿瓦斯地质特征研究对于保障矿井安全生产至关重要。瓦斯作为煤矿开采中的主要安全隐患,其赋存状态、分布规律与地质条件密切相关。本文旨在探讨煤矿瓦斯的地质特征,分析瓦斯灾害的形成条件与机理,并提出有效的瓦斯防治技术路线,以期为煤矿安全生产提供理论支撑和实践指导,减少瓦斯事故,保障人员生命财产安全。

1 煤矿瓦斯地质特征及其应用

1.1 瓦斯的形成与赋存状态

瓦斯在煤的形成进程中产生,植物遗体于地下缺氧环境历经生物化学作用与热解作用生成瓦斯。煤岩作为瓦斯主要赋存介质,二者共生关系紧密。煤岩孔隙和裂隙为瓦斯提供存储空间,其有机质是瓦斯生成主源。故而,明晰煤岩成因、成分、结构等特性,对研究瓦斯形成与赋存意义重大。例如,不同煤阶的煤岩,因有机质含量和热演化程度不同,瓦斯生成量和赋存能力存在显著差异。

瓦斯在煤岩中主要以吸附和游离两种状态赋存。吸附态瓦斯分子附着于煤岩孔隙壁形成吸附膜,游离态瓦斯则以自由气形式存在于煤岩孔隙和裂隙。这两种赋存状态直接影响瓦斯开采利用方式,吸附态瓦斯需降压解吸释放,游离态瓦斯可直接抽放开采。近年来研究发现,在特定条件下,瓦斯还存在介于吸附态和游离态之间的准吸附态,这为瓦斯赋存理论研究开辟了新方向。

1.2 瓦斯分布的影响因素

(1) 褶曲构造由煤层受地壳运动挤压形成,其不同部位因受力差异导致瓦斯含量不同。向斜部位受力挤压,煤层渗透率降低,瓦斯不易逸散,含量相对较高;背斜部位受力拉伸,煤层渗透率增加,瓦斯易逸散,含量相对较低。研究表明,在一些紧闭褶曲区域,瓦斯含量可比背斜部位高出数倍。(2) 煤层顶、底板岩石特征对瓦斯分布影响显著。顶板封闭性越好,越能阻止瓦

斯逸散,使煤层瓦斯含量增高;底板透气性则影响瓦斯向下运移。此外,顶、底板岩石中的裂隙和断层是瓦斯逸散通道。例如,泥岩顶板相较于砂岩顶板,封闭性更好,其覆盖的煤层瓦斯含量普遍更高^[1]。(3) 煤层埋藏越深,地应力越大,渗透率越低,瓦斯不易逸散,含量相对较高。煤层倾角影响瓦斯运移和积聚,倾角越大,瓦斯越易沿倾斜方向运移。煤层厚度决定瓦斯储存空间,越厚则瓦斯含量越高。相关数据显示,煤层埋藏深度每增加100m,瓦斯含量平均增加1-3m³/t。(4) 断裂构造为瓦斯运移和逸散提供通道,一般发育程度越高,瓦斯越易逸散,含量相对较低。但在特定情况下,如断裂带附近或断裂面较封闭时,也可成为瓦斯积聚区。例如,在一些压扭性断裂构造区域,由于断裂面紧闭,反而有利于瓦斯的保存和富集。(5) 水文地质条件对瓦斯分布影响重要。地下水通过渗透和运移可带走部分瓦斯,降低含量,同时增加煤层湿度,降低透气性,阻碍瓦斯逸散。因此,地下水丰富地区煤层瓦斯含量往往较低。研究发现,在矿井涌水量较大的区域,瓦斯含量可降低30%-50%。

1.3 瓦斯地质规律的应用

瓦斯地质规律研究为矿井地质构造研究提供重要依据。通过分析瓦斯含量、赋存状态与地质条件关系,可推断煤层褶曲、断裂等构造特征,指导矿井地质勘探和开采设计。例如,利用瓦斯含量异常区域推测可能存在的隐伏断层,为勘探工作指明方向。

在通风管理中,依据瓦斯分布规律和赋存状态,合理布置通风设备和网络,确保矿井空气流通顺畅,有效控制瓦斯浓度。同时,根据瓦斯地质规律预测瓦斯突出危险区域和时段,采取预防措施,保障矿井安全生产。如在瓦斯含量高且地质构造复杂区域,提前加强通风和瓦斯监测,降低瓦斯事故风险。

智能化瓦斯防治系统可根据瓦斯地质规律实时调整

通风参数和瓦斯抽采方案。例如,当系统预测到某区域瓦斯含量将升高时,自动增加该区域通风量,并启动备用瓦斯抽采设备,实现瓦斯防治的智能化和精准化。

2 煤矿瓦斯灾害形成条件与机理

2.1 瓦斯爆炸的条件与机理

(1) 瓦斯浓度范围。瓦斯爆炸的浓度范围是有明确界定的。当空气中瓦斯的浓度在5%至16%之间时,遇到明火或高温火源即可发生爆炸。这是因为在这个浓度范围内,瓦斯与空气中的氧气能够充分混合,形成可燃性气体混合物。当瓦斯浓度低于5%时,由于缺乏足够的可燃物质,无法形成有效的爆炸;而当瓦斯浓度高于16%时,由于氧气不足,也无法维持爆炸反应。(2) 明火或电火花等引爆条件。瓦斯爆炸的引爆条件主要包括明火、电火花等高温火源。在煤矿井下,常见的明火来源有井下吸烟、煤炭自燃、明火作业等;而电火花则可能来源于电气设备故障、电缆明接头等。这些高温火源足以点燃瓦斯与氧气的混合物,引发爆炸。(3) 爆炸产生的冲击与有毒物质。瓦斯爆炸会产生高温、高压和冲击波,对矿井基础设施和人员造成极大破坏。同时,爆炸还会释放有毒气体,如一氧化碳等,这些气体对人体具有极大的危害,可能导致人员中毒甚至死亡。

2.2 煤与瓦斯突出的机理

(1) 煤层内构造煤的特性。煤层内的构造煤具有特殊的物理力学性质,如低强度、高透气性、易破碎等。这些特性使得构造煤在受到地应力作用时容易发生破坏,释放出大量的瓦斯和煤粉。(2) 瓦斯涌出与煤层透气性。煤层的透气性对煤与瓦斯突出的发生具有重要影响。透气性好的煤层,瓦斯容易从煤层中涌出,形成瓦斯压力梯度,推动煤体破碎并抛出。同时,煤层内的瓦斯涌出也会改变煤层的应力状态,进一步促进突出的发生。

3 瓦斯防治技术路线

3.1 通风技术的应用

通风技术作为瓦斯防治的基础措施,通过科学规划通风设备与系统,实现瓦斯浓度有效调控。在通风设备布局上,主通风机应部署于进风井口附近,以保障新鲜空气顺畅进入矿井。某矿采用FBCDZ系列对旋式主通风机,安装于距进风井口30米处,配备双电机驱动,单台电机功率达500kW,可提供最高200m³/s的风量,确保风流能快速输送至各工作面。局部通风机则依据工作面类型灵活布置,在掘进工作面,常采用压入式通风,选用2×37kW的对旋式局部通风机,配合直径800mm的柔性风筒,保证工作面迎头风速维持在0.25-0.6m/s的安全区间。

通风系统设计遵循“简单、可靠、经济、适用”原

则。通过三维建模软件模拟巷道风流场,优化巷道布置与通风构筑物设置。某矿在系统优化过程中,将原串联通风方式改为分区通风,减少通风路线长度1.8公里,通风阻力从2800Pa降至1500Pa,通风效率提升46%。运行期间,利用分布式光纤传感技术实时监测通风阻力、风速等参数,当检测到某段巷道通风阻力异常升高时,通过扩大巷道断面、优化调节风窗等措施,及时降低阻力,保障通风系统稳定运行^[2]。

矿井风量控制采用变频调速与智能风门联动技术。在工作面开采过程中,根据瓦斯浓度变化动态调整风量。当瓦斯浓度从0.8%上升至1.2%时,系统自动将主通风机转速从550r/min提升至700r/min,同时调节进回风巷智能风门开度,使风量在10分钟内从1500m³/min增加至2200m³/min,快速将瓦斯浓度稀释至安全范围。此外,还通过安装风流传感器实时监测矿井风流状态,一旦发现风流短路、无风等异常情况,立即报警并启动应急预案。

3.2 抽放技术的应用

抽放技术是高瓦斯矿井瓦斯治理的关键手段,需依据煤层条件精准选择抽放方法。对于煤层透气性较好(渗透率>1mD)的矿井,优先采用地面钻孔抽放技术。某矿在地面施工直径350mm、深度500m的垂直钻孔,采用预抽煤层瓦斯方式,经过6个月抽采,煤层瓦斯含量从16m³/t降至7m³/t,抽采率达56%。而对于低透气性煤层(渗透率<0.1mD),则结合水力压裂技术,通过定向钻孔注入18-22MPa高压水,使煤层产生大量裂隙,提高瓦斯抽采效率。如某矿在低渗煤层实施水力压裂后,煤层渗透率提高至1.5mD,单孔瓦斯抽采量提升8倍。

定向钻孔技术是提高抽放效率的核心。利用随钻测量与导向技术,精准控制钻孔轨迹。在某矿3号煤层施工中,采用定向钻机,以±0.2°的倾角误差完成400m长的水平钻孔,钻孔轨迹与瓦斯富集区域吻合度达95%。同时,实时监测钻孔内瓦斯浓度,当浓度低于30%时,通过调节抽采负压(从12kPa增至20kPa),使抽采效率提高30%。此外,还采用分段压裂技术,对钻孔不同段进行针对性压裂,进一步提高瓦斯抽采效果^[3]。

惰性气体释放技术通过注入氮气等惰性气体抑制瓦斯爆炸。在某矿采空区防灭火与瓦斯治理中,沿回风巷每隔40米布置注氮孔,以1.5m³/min的速度注入纯度99.9%的氮气。通过气相色谱仪实时监测采空区气体成分,当氧气浓度降至8%、瓦斯浓度降至1.2%时,形成稳定惰化区域。根据监测数据动态调整注氮量和注入速度,确保惰性气体在采空区均匀分布,有效降低瓦斯爆炸风险。

3.3 气体水合技术的应用

气体水合技术是近年来发展的新型瓦斯防治方法,其原理是在特定温压条件(温度2-6°C、压力4-6MPa)下,促使瓦斯气体与水分子结合形成稳定的水合物晶体。实验室研究表明,在温度4°C、压力5MPa时,瓦斯水合物生成量可达160m³/t(标准状态),能将煤层瓦斯含量从12m³/t降至4m³/t。

不同类型表面活性剂对水合反应效率影响显著。实验数据显示,非离子型表面活性剂吐温-80在浓度为0.3%时,水合反应诱导时间从150min缩短至50min,水合物生成速率提高70%;阴离子型表面活性剂十二烷基苯磺酸钠在浓度0.2%时,水合物生长速率提升65%;而将吐温-80与十二烷基苯磺酸钠按3:2比例复配,在0.25%浓度下,反应速率较单一活性剂提高20%,且水合物稳定性更佳。

高压注水参数需根据煤层特性进行优化。对于中硬煤层(坚固性系数 $f = 1-2$),当注水压力为8-12MPa、注水速度1-1.5m³/h时,水合物饱和度可达75%;在软煤层($f < 1$)中,注水压力需控制在5-8MPa,注水速度0.5-0.8m³/h,以避免煤体结构破坏。某矿在软煤层试验区,采用7MPa注水压力、0.6m³/h注水速度,并添加0.25%的复配表面活性剂,使瓦斯水合率从45%提升至72%,有效降低了煤层瓦斯含量。

3.4 安全预警技术的应用

安全预警技术通过多技术融合实现瓦斯灾害的实时监测与预警。在预警系统构建方面,综合考虑矿井地质、开采及瓦斯赋存情况,合理布置传感器。在工作面、回风巷等关键位置安装激光式瓦斯传感器(精度 $\pm 0.01\%$)、热式风速传感器(误差 $\pm 0.1\text{m/s}$)及红外温度传感器(分辨率 0.1°C),数据采集频率高达10次/秒。当瓦斯浓度、风速、温度等参数超过预设阈值时,系统通过模糊神经网络算法自动识别风险等级,0.3秒内触发声光报警,并将预警信息推送至管理人员手机端与应急指挥中心^[4]。

网络技术、遥感技术与监控技术的应用提升了预警

系统性能。5G网络实现井下数据毫秒级上传至云端,利用大数据分析模型预测未来2小时瓦斯浓度变化趋势,预测准确率达93%。无人机遥感技术每周对矿井周边进行巡查,通过高光谱成像技术检测地表裂缝、沉降等异常,及时发现可能导致瓦斯泄漏的地质隐患。高清摄像头与气体传感器组成的监控网络,对矿井各区域进行24小时不间断监测,确保预警信息及时获取与处理。

预警信息的时效性是瓦斯防治的关键。高效的预警系统具备自动分析、智能决策能力,当检测到瓦斯浓度快速上升等紧急情况时,自动触发应急处理机制。一级预警(瓦斯浓度1-1.5%)时,系统自动启动备用通风设备,增加20%风量;二级预警(1.5-2%)时,切断工作面电源,组织人员有序撤离;三级预警($> 2\%$)时,联动地面压风机注入阻化剂,并启动应急救援预案。某矿通过定期开展应急演练,将应急响应时间从10分钟缩短至4分钟,显著提升了瓦斯灾害应对能力。

结束语

综上所述,煤矿瓦斯地质特征复杂多变,对矿井安全构成严峻挑战。通过深入研究瓦斯地质规律,结合先进的瓦斯防治技术,可以有效降低瓦斯灾害风险。未来,随着智能化、信息化技术的不断发展,瓦斯防治将更加精准高效。我们应持续关注瓦斯地质领域的新发现、新技术,不断优化防治策略,为煤矿安全生产贡献力量,实现煤炭行业可持续发展。

参考文献

- [1]卢宏伟.浅议煤矿地质构造与瓦斯防治措施[J].建筑理论,2023,(08):86-87.
- [2]陈龙照,吴志山,江化寨.煤矿瓦斯地质特征及瓦斯防治技术路线[J].能源与环保,2021,(07):49-50.
- [3]赵旭生,马国龙.煤矿瓦斯智能抽采关键技术研究进展及展望[J].煤炭科学技术,2021,(03):33-34.
- [4]袁学军.煤矿瓦斯地质特征及瓦斯防治技术路线[J].建筑技术科学,2021,(10):101-102.