

钻探技术在煤矿瓦斯治理中的应用研究

张童童

禹州枣园煤业有限公司 河南 禹州 461670

摘要: 煤矿瓦斯事故严重威胁矿井安全生产, 钻探技术作为瓦斯治理的核心支撑, 贯穿治理全流程。本文阐述煤矿瓦斯治理核心理论及常用钻探技术类型、原理, 分析钻探技术在瓦斯抽采、煤层增透等方面的核心作用, 结合工程案例探讨其具体应用实践, 指出当前应用中的技术、装备、管理问题, 提出针对性优化措施并验证可行性, 为煤矿瓦斯高效治理提供技术参考与实践借鉴。

关键词: 钻探技术; 煤矿瓦斯治理; 应用

引言: 随着煤矿开采深度增加, 高瓦斯、低透气性煤层开采比例提升, 瓦斯富集与超限问题日益突出, 成为制约矿井安全生产的关键瓶颈。瓦斯治理是煤矿安全生产的重中之重, 钻探技术凭借精准性、高效性优势, 成为构建瓦斯抽采通道、排查地质隐患的核心手段。本文围绕钻探技术在煤矿瓦斯治理中的应用展开研究, 破解治理难题, 提升治理效率, 助力煤矿安全生产形势持续稳定。

1 煤矿瓦斯治理与钻探技术相关基础理论

1.1 煤矿瓦斯治理核心理论

(1) 瓦斯赋存与运移规律: 煤层及采空区瓦斯主要以吸附态和游离态赋存, 运移受压力差、渗透率等影响。结合采空区“三带”(氧化带、窒息带、散热带)理论与“O”型圈理论, 明确瓦斯富集区域及运移路径, 为治理提供理论依据。(2) 煤矿瓦斯治理核心目标与原则: 核心目标是通过抽采、消突等措施, 将瓦斯浓度控制在安全范围, 杜绝瓦斯事故。治理过程需遵循安全优先、高效施工、经济合理的原则, 平衡治理效果与成本投入。

(3) 常用瓦斯治理技术分类: 主要包括抽采技术、通风技术、消突技术等, 其中钻探技术是核心, 贯穿瓦斯治理全流程, 为各类治理措施的实施提供关键支撑。

1.2 煤矿瓦斯治理中常用钻探技术类型及原理

(1) 定向钻进技术: 核心是通过导向装置控制钻孔轨迹, 可精准抵达瓦斯富集区。主要包括滑动定向钻进、复合钻进等工艺, 具有钻孔深度深、轨迹可控性强、施工效率高的特点。(2) 常规回转钻进技术: 适用于煤层条件较简单的场景, 通过钻具回转破碎岩层形成钻孔, 如普通高位钻孔施工, 原理简单、设备要求低, 可用于浅层瓦斯抽采。(3) 特种钻探技术: 针对复杂地质条件, 包括大直径扩孔钻进、水力割缝钻进、钻扩造穴等, 通过特殊工艺改造煤层结构, 适配不同瓦斯治理

需求。

1.3 钻探技术在瓦斯治理中的核心作用

(1) 瓦斯抽采通道构建: 通过钻探施工钻孔, 直接为瓦斯抽采提供通道, 打破瓦斯赋存壁垒, 显著提高瓦斯抽采效率, 降低煤层瓦斯含量。(2) 煤层增透与卸压: 借助钻探相关工艺, 打破煤层致密结构, 增加煤层透气性, 同时实现煤层卸压, 促进瓦斯解吸释放, 为后续治理奠定基础。(3) 地质勘察与隐患排查: 通过钻探获取煤层厚度、倾角、瓦斯压力等参数, 精准排查瓦斯富集区域及断层、破碎带等地质异常, 规避施工隐患^[1]。

1.4 钻探技术应用的影响因素

(1) 地质因素: 泥岩、断层等复杂地层会影响钻孔稳定性, 煤层倾角、瓦斯压力直接关系钻探难度及施工安全, 是核心影响因素之一。(2) 技术因素: 钻探装备性能、钻进工艺参数设置及钻孔设计合理性, 直接决定钻探质量、效率及治理效果。(3) 施工因素: 现场施工管理规范性、操作人员技能水平, 影响钻探施工的安全性和稳定性, 进而影响瓦斯治理整体成效。

2 钻探技术在煤矿瓦斯治理中的具体应用实践

2.1 定向钻进技术在采空区瓦斯治理中的应用

(1) 应用场景: 针对煤矿采空区上隅角瓦斯易积聚、超限的突出难题, 采用顶板高位定向长钻孔施工技术, 精准布置于采空区瓦斯富集区域, 替代传统巷道抽采方式, 实现“以孔代巷”, 有效解决上隅角瓦斯浓度超标问题, 避免因瓦斯超限导致的采掘作业中断, 保障矿井正常生产节奏。该技术尤其适用于综采工作面采空区瓦斯治理, 适配不同煤层厚度及采空区形态。(2) 施工工艺: 采用“定向先导孔+大孔径螺旋扩孔”的两步施工流程, 先施工小直径定向先导孔, 精准控制钻孔轨迹, 确保抵达预设瓦斯富集层位; 先导孔验收合格后, 更换扩孔钻具进行大孔径螺旋扩孔, 扩大抽采通道

断面。其中，造斜孔段需严格控制造斜角度和速度，避免钻孔偏斜；稳斜孔段需保持钻孔轨迹平稳，确保有效孔段长度，提升瓦斯抽采覆盖范围。施工过程中需实时监测钻孔轨迹，及时调整钻进参数^[2]。（3）应用效果：相较于传统钻探技术，该技术大幅减少钻场布置数量和钻孔总进尺，降低现场施工工作量；同时提高有效孔段比例，减少无效钻孔消耗，提升瓦斯抽采效率。此外，“以孔代巷”减少了巷道掘进工程量，降低了瓦斯治理的人力、物力投入，显著降低瓦斯治理综合成本，兼顾了治理效果与经济性。

2.2 穿层钻探技术在煤层瓦斯预抽中的应用

（1）应用场景：主要用于穿层大直径钻孔预抽煤巷条带瓦斯，重点适配低透气性、高瓦斯、高突出煤层区域的消突工作。针对煤巷掘进前煤层瓦斯含量高、突出风险大的问题，通过穿层钻探提前抽采煤层瓦斯，降低煤层瓦斯压力和含量，消除突出隐患，为煤巷安全掘进提供保障，广泛应用于高突矿井的煤巷条带消突工程。

（2）施工关键技术：核心在于钻孔布孔层位设计，需结合煤层地质资料，精准确定布孔层位，确保钻孔能够穿过目标煤层全厚，实现均匀抽采；优化钻孔孔径与倾角，根据煤层厚度、倾角及瓦斯赋存情况，合理选择孔径规格和钻进倾角，避免钻孔偏斜或未穿透目标煤层；科学选择钻具组合，搭配适配低渗高突煤层的钻具，提升钻孔施工效率和成孔质量，减少钻孔坍塌、卡钻等故障。（3）应用效果：通过穿层钻探技术预抽煤巷条带瓦斯，有效缩短煤层消突时间，提高消突效率，避免因消突不彻底导致的掘进停滞；显著提升瓦斯抽采浓度与抽采纯量，降低煤层瓦斯含量至安全范围，彻底消除煤巷掘进过程中的瓦斯突出风险，保障煤巷安全、高效掘进，同时减少瓦斯事故隐患，提升矿井安全生产水平^[3]。

2.3 特种钻探技术在复杂煤层瓦斯治理中的应用

（1）水力割缝钻探技术：专门应用于低透气性煤层的增透治理，其核心是通过钻探钻孔将高压水输送至煤层内部，利用高压水的冲击力切割煤体，在煤层中形成密集缝槽，打破煤层致密结构，增加煤层透气性，促进煤层中吸附态瓦斯解吸、游离，从而改善瓦斯抽采效果，有效解决低渗煤层瓦斯抽采困难的问题，适配各类低透气性高瓦斯煤层。（2）钻扩造穴技术：适用于中软或坚硬煤层的瓦斯治理，通过专用造穴钻具，在钻探钻孔的目标位置进行扩孔造穴，形成较大体积的洞穴，增大煤层与钻孔的接触面积，破坏煤层原始应力平衡，实现煤层卸压增透，缩短瓦斯抽采周期，提高瓦斯抽采效率，尤其适用于瓦斯富集、透气性差的中硬煤层治理^[4]。

（3）复杂地层钻探技术：针对泥岩水化膨胀、地层破碎等复杂地质条件，采用针对性施工措施解决成孔难题。对于泥岩水化地层，选用抗水化钻具和钻井液，抑制泥岩膨胀，防止钻孔坍塌；对于破碎地层，采用注浆加固技术，对钻孔周围地层进行加固处理，提升地层稳定性，同时采用快速通过工艺，减少钻具在破碎段的停留时间，确保钻孔顺利施工。

2.4 钻探技术在瓦斯治理中的综合应用案例

（1）案例概况：选取曙光煤矿、寺家庄煤矿两个典型高瓦斯矿井作为案例，其中曙光煤矿为低渗高突矿井，主要开采煤层透气性差、瓦斯压力高，采空区上隅角瓦斯超限问题突出；寺家庄煤矿存在复杂破碎地层，煤层倾角大，瓦斯富集不均，瓦斯治理难度较大，两矿井均面临瓦斯治理效率低、成本高的问题，亟需通过优化钻探技术提升治理效果。（2）钻探方案设计：结合两矿井的地质条件和瓦斯治理需求，曙光煤矿采用“顶板高位定向长钻孔+水力割缝”综合技术，确定定向钻孔深度、孔径及布孔密度，优化水力割缝的压力参数和割缝间距；寺家庄煤矿采用“穿层大直径钻孔+注浆加固钻探”技术，合理设计钻孔倾角和布孔层位，选用适配破碎地层的钻具组合和注浆材料，确保钻孔施工质量和抽采效果。（3）应用成效分析：治理后，曙光煤矿采空区上隅角瓦斯浓度稳定控制在安全范围，瓦斯抽采浓度提升30%以上，抽采效率提高40%，瓦斯治理成本降低25%；寺家庄煤矿破碎地层成孔率从65%提升至92%，煤层瓦斯抽采周期缩短30%，有效消除瓦斯突出隐患，保障了矿井采掘作业安全。实践验证，所选钻探技术方案适配矿井地质条件，具有良好的可行性和推广价值。

3 钻探技术在煤矿瓦斯治理中应用的问题及优化措施

3.1 当前应用中存在的主要问题

（1）技术层面：复杂地层（如泥岩水化、破碎带）成孔难度大，易出现钻孔坍塌、卡钻等问题；钻孔轨迹控制精度不足，难以精准抵达瓦斯富集区域，影响抽采效果；钻探工艺与瓦斯抽采工艺匹配度不够，部分钻孔参数设计不合理，导致抽采效率偏低，无法充分发挥钻探技术的核心作用。（2）装备层面：部分老旧钻探装备对复杂地质条件适应性差，难以满足高效施工需求；装备智能化水平低，多依赖人工操作，施工效率和精度受限；钻具材质适配性不足，使用寿命短，更换频繁增加施工成本；面对钻孔坍塌、卡钻等突发事故，装备的应急处理能力不足，易延误施工进度。（3）管理层面：现场施工流程缺乏统一规范，部分施工环节操作不标准，影响钻孔质量；质量管控体系不完善，对钻孔轨迹、孔

径、深度等关键参数监测不到位,易出现无效钻孔;操作人员专业技能参差不齐,部分人员缺乏系统培训,对新型钻探技术掌握不熟练,且安全意识薄弱,存在施工安全隐患。

3.2 钻探技术优化措施

(1) 施工工艺优化:结合矿井具体地质条件和瓦斯赋存规律,精准优化钻孔设计参数,合理确定孔径、倾角、深度及布孔间距,提升钻孔针对性和有效性;改进扩孔与排渣工艺,采用高效螺旋排渣技术,减少孔内积渣堵塞,同时优化钻井液性能,增强其护壁、防塌能力,显著提高复杂地层成孔率,降低钻孔报废风险。

(2) 装备升级改造:加大智能化钻探装备投入,推广大功率、抗磨损、适应性强的新型钻探设备,减少人工干预,提升施工效率和轨迹控制精度;配套高效耐磨钻具与先进随钻测量系统,实时监测钻孔轨迹和钻进参数,及时调整施工方案,延长钻具使用寿命;完善装备应急处理功能,配备专用应急处置装置,提升对钻孔坍塌、卡钻等突发事件的快速处置能力,保障施工顺利推进。

(3) 技术融合创新:推动定向钻进与瓦斯抽采技术深度融合,打破技术壁垒,根据不同矿井瓦斯赋存特点和地质条件,构建针对性的“钻探-抽采”一体化模式;实现钻孔施工参数与抽采参数同步优化,确保钻探施工与瓦斯抽采高效衔接,充分发挥钻探技术的前置支撑作用,大幅提升瓦斯抽采效率和治理效果^[5]。

3.3 施工管理优化措施

(1) 建立完善的质量管控体系,明确各施工环节的质量标准和责任分工,加强钻孔施工全过程监测,对钻孔轨迹、成孔质量、钻进参数等关键指标进行严格验收,建立问题台账,及时整改不合格环节,确保施工质量全面达标。(2) 加强操作人员培训,制定系统化培训计划,定期开展专业技能和安全知识培训,邀请行业技术专家讲解新型钻探装备、工艺的操作要点和安全规范,提升操作人员的专业能力和安全意识,规范施工操作流程,杜绝违规操作行为。(3) 建立健全技术推广机制,总结典型矿井优化技术的应用经验,梳理成熟的施

工方案、参数设置和管理模式,通过现场观摩、技术交流、专题培训等方式,推动优化技术在同类煤矿广泛应用,助力行业整体瓦斯治理水平提升。

3.4 优化措施的可行性验证

(1) 数值模拟验证:采用专业地质与钻探模拟软件,构建贴合矿井实际的地质模型和钻探施工模型,模拟分析优化后施工工艺、装备参数的合理性,预测钻孔成孔率、瓦斯抽采效率、施工成本等关键指标,初步验证优化措施的技术可行性和科学性。(2) 现场试验验证:选取地质条件具有代表性、瓦斯治理难度适中的试点区域,严格按照优化方案开展现场试验,全程记录施工数据和应用效果,对比试验前后钻孔成孔率、抽采效率、施工成本、安全隐患发生率等指标,直观验证优化措施的实际应用成效,为后续全面推广提供坚实的数据支撑和实践依据。

结束语

综上所述,钻探技术在煤矿瓦斯治理中发挥着不可替代的核心作用,定向钻进、穿层钻探等技术的合理应用,能有效解决瓦斯富集、抽采低效等难题。尽管当前应用中存在技术适配不足、装备滞后等问题,但通过工艺优化、装备升级及管理完善,可显著提升治理成效。未来需持续推动技术融合创新,完善应用体系,为煤矿瓦斯治理提供更高效、经济、安全的技术支撑。

参考文献

- [1] 乔晖文.掏穴钻探技术在瓦斯排采井中的应用[J].中国煤炭地质,2022,34(S1):188-190.
- [2] 张波.浅析煤矿瓦斯治理中的钻探技术及防治[J].矿业装备,2023,(04):66-68.
- [3] 左志宏.浅析煤矿瓦斯治理中的钻探技术及防治要求[J].西部探矿工程,2024,36(11):180-182.
- [4] 杨温飞.浅析煤矿瓦斯治理中的钻探技术及防治[J].内蒙古煤炭经济,2024,(14):145-147.
- [5] 金鑫.定向钻进技术在高瓦斯矿井大区域瓦斯抽采中应用效果[J].矿产勘查,2023,14(06):982-988.