

陆东煤矿新增回风斜井过采空区注浆加固治理技术研究

胡嘉鸿

云南陆东煤矿有限公司, 云南 曲靖 655000

[摘要] 针对陆东煤矿新增回风斜井在施工时揭露采空区的难题, 对施工流程及场地安全带来了严重挑战。本篇文章采用注浆加固技术对采空区实施治理, 具体措施包括预注浆强化、注浆充填与结构稳固以及针对地表构筑物的防沉降注浆加固等, 以增强井筒周边岩体的稳固性, 有效遏制变形与位移, 避免陆东煤矿新增回风斜井与正在使用的老风井漏风情况, 从而保障新增回风斜井施工的平稳推进, 并保障煤矿现用回风斜井的通风安全, 杜绝因通风系统受破坏导致矿井通风不稳定, 供风风量不足, 造成灾变的发生。

[关键词] 新增回风斜井; 采空区; 注浆加固; 治理技术

DOI: 10.33142/ect.v3i2.15522

中图分类号: TD743

文献标识码: A

Research on Grouting Reinforcement Technology for the Newly Added Return Air Inclined Shaft Passing through the Goaf in Ludong Coal Mine

HU Jiahong

Yunnan Ludong Coal Mine Co., Ltd., Qujing, Yunnan, 655000, China

Abstract: The problem of exposing goaf during the construction of the newly added return air inclined shaft in Ludong Coal Mine poses a serious challenge to the construction process and site safety. This article adopts grouting reinforcement technology to implement the treatment of goaf, including pre grouting reinforcement, grouting filling and structural stability, and anti settlement grouting reinforcement for surface structures, in order to enhance the stability of the rock mass around the wellbore, effectively curb deformation and displacement, avoid air leakage in the newly added return air inclined shaft and the old air shaft currently in use in Ludong Coal Mine, ensure the smooth progress of the construction of the newly added return air inclined shaft, and guarantee the ventilation safety of the existing return air inclined shaft in the coal mine, and prevent the occurrence of disasters caused by unstable ventilation and insufficient air supply due to damage to the ventilation system.

Keywords: add return air inclined shaft; goaf; grouting reinforcement; treatment technology

引言

陆东煤矿新增回风斜井在建设进程中频繁遭遇采空区困扰。采空区的存在及其诱发的沉降效应, 对煤矿新增回风斜井的稳固性构成了严峻威胁, 对正在使用的回风斜井可能造成漏风。具体表现为, 采空区沉降可引发地面不均匀沉降, 进而威胁煤矿回风斜井结构的稳固与安全。此外, 地面沉降还可能诱发煤矿回风斜井周边地表的横向及纵向位移, 导致煤矿回风斜井结构受力失衡, 加剧结构受损的风险。在煤矿新增回风斜井的施工过程中, 采空区已成为制约工程进度与安全的关键因素。然而, 当前针对煤矿新增回风斜井采空区的处理技术体系及规范标准尚不健全, 亟需深化研究, 以构建一套科学、高效的治理策略^[1]。

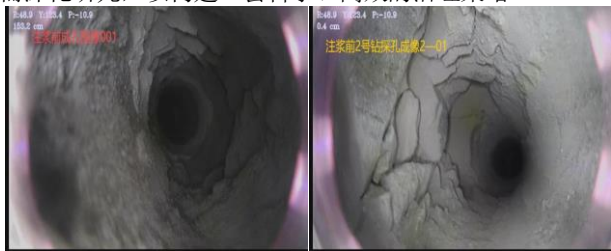


图1 1号孔注浆前成像图



图2 2号孔注浆前成像图

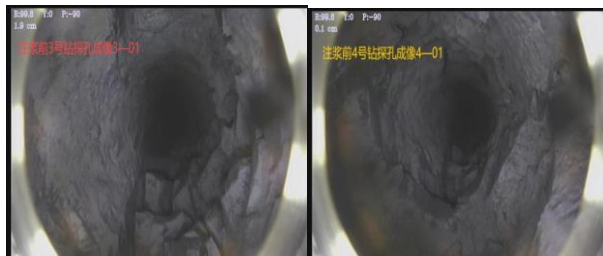


图3 3号孔注浆前成像图

图4 4号孔注浆前成像图

1 煤矿陆东煤矿新增回风斜井采空区注浆加固治理技术的概述

陆东煤矿新增回风斜井采空区注浆加固治理技术是针对煤矿新增回风斜井掘进中对原开采的采空区形成的空洞区域而设计的一种加固处理方法。该技术涉及向采空区内注入特定性能的高水注浆充填材料, 高水充填材料能在高水灰比条件(W/C=3:1~10:1)下快速凝结。

利用材料的凝固特性来填充空洞并增强周围地层的稳定性。注浆材料的选择至关重要, 需具备优异的流动性、恰当的凝固时间以及高强度等特性, 以确保注浆效果能够满足既定的工程要求。在施工过程中, 注浆设备通过管道

和压力系统将注浆材料精确输送至采空区,同时严格监控注浆压力、流量及速度,以确保材料能够均匀分布并有效填充所有空隙。注浆材料完全凝固后,将形成坚实的结石体,该结石体不仅能够有效填补空洞,还能显著提升地层的整体稳定性,从而有效预防地表沉降、地下水位波动等潜在的地质问题。此外,注浆加固技术还因其施工周期短、成本低效益高以及效果显著等优点,在陆东煤矿新增回风斜井采空区的治理中得到了广泛应用,为陆东煤矿新增回风斜井的安全运营和生态环境保护提供了坚实的保障。

2 煤矿陆东煤矿新增回风斜井采空区注浆加固治理技术的应用必要性

陆东煤矿新增回风斜井采空区注浆加固治理技术的应用具有极高的必要性。首先,随着陆东煤矿新增回风斜井开挖工程的不断推进,采空区的范围和规模逐渐扩大,对地表和地下结构构成了严重的安全隐患。采空区的存在可能导致地表沉降、裂缝等问题频发,甚至可能诱发地质灾害,可能导致矿井漏风,破坏通风系统发生灾变,对人民生命财产安全构成严重威胁。其次,采空区还可能对地下水位产生不利影响,导致水资源流失和生态环境破坏。注浆加固技术通过有效填充空洞、增强地层稳定性,为解决上述问题提供了切实可行的方案。最后,注浆加固技术还展现出了广阔的应用前景。随着陆东煤矿新增回风斜井建设活动的持续进行,采空区治理的需求日益迫切。注浆加固技术作为一种高效、经济且环保的治理方法,在未来将在煤矿采空区治理中发挥更加重要的作用。因此,加强对煤矿采空区注浆加固治理技术的研究,不断提升治理效果,对于保障煤矿回风斜井的安全运营、维护井下通风安全具有重要意义^[2]。

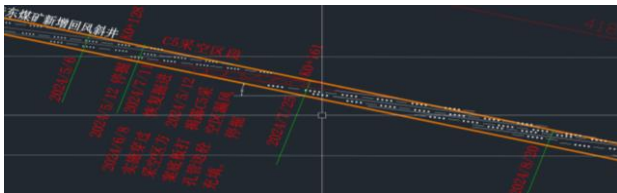


图5 新增回风斜井过采空区地质素描剖面图



图6 新增回风斜井揭露采空区断面图

3 煤矿陆东煤矿新增回风斜井采空区注浆加固治理技术应用策略

3.1 工作区概述

3.1.1 工程概况

陆东煤矿新增回风斜井坐落于矿井工业场地的西北

部,其设计开挖深度-140m。井口段位于该矿原建井期间的研石山堆场,厚度平均为15m,主要由层状粉砂岩构成,夹少量菱铁岩,其中中粉砂岩占据显著比例。井筒井口主要掘进区域需穿过陆东煤矿1976年至1984年的C5煤层、1998年至1999年的C9煤层采空区,井筒西15m为现用主斜井东15m为现使用老回风斜井,地质勘探结果预测,开挖作业中将可能遭遇2条走向正断层构造,其最大落差为15~20m,但这些断裂预计不会对施工进度构成实质性障碍。特别指出的是,煤矿自1968开采至今,开采历史悠久,开采区域将影响新增回风斜井井筒100m范围。采空区的存在,在开挖至其下方时,可能引发最大410mm的地面沉降和250mm的两侧墙体位移,这对煤矿陆东煤矿新增回风斜井的结构安全带来了严峻挑战。

3.1.2 原有支护状况

在煤矿新增回风斜井的前期开挖阶段,井口50m明槽区域实施了毛石混凝土换填底板与钢筋混凝土圈梁+钢筋混凝土硐体相结合的支护体系,具体支护参数详见相关设计资料(见图)。在采空区未被揭露之前,该支护系统能够保持相对稳定的状态;然而,采空区暴露区域,进入暗井后原支护结构已不能实施,顶帮变形急剧加快,若未能及时采取有效加固措施,将极大地增加冒顶事故的风险。

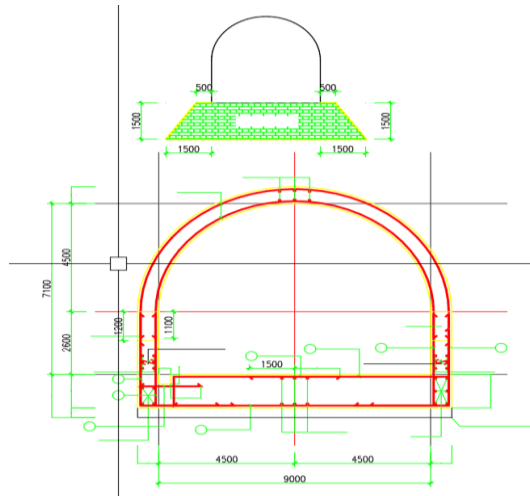


图3 原有支护图

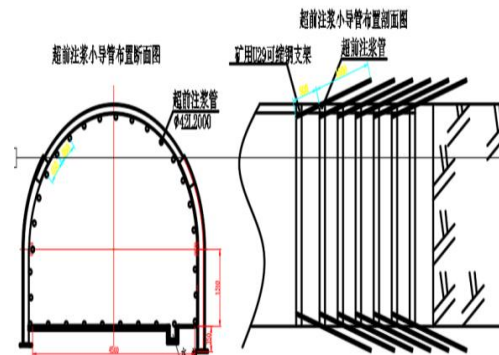


图4 注浆支护图

3.2 施工准备阶段

在施工准备阶段,确保前期各项工作的质量稳定对于后续施工环节的顺利进行具有决定性作用。首要任务是在注浆加固作业前,对煤矿陆东煤矿新增回风斜井内的采空区进行全面而细致的勘探;其次,需深入了解地层含水层的分布特征、渗透系数等关键地质参数,并对静水压力、水流速度等相关数据进行科学评估。根据煤矿陆东煤矿新增回风斜井的实际情况,初期应制定一套详尽的注浆加固方案,涵盖防水分区规划、注浆层的厚度与深度设计等核心内容。此外,还需对 76 项注浆参数进行精确计算,并合理估算所需注浆材料的数量。为确保工程整体进度的平稳推进和工程质量的持续提升,应对工程进度进行周密地组织与规划^[3]。

3.3 造孔作业流程

注浆钻孔的测量与扩孔作业需精确使用全站仪和皮尺进行。实际钻孔位置与设计位置的偏差必须严格控制在 0.1m 以内。若因地面条件限制导致钻孔无法达到设计标准,可根据实际情况做出适当调整。在初期钻探阶段,应在各采空区的管理范围内设置 2~3 个岩芯取样孔,以获取更为详尽的岩层信息。为实现工程建设目标,需精心选择适宜的施工方法与设备。在常规钻孔作业中,应重点关注以下问题:①钻孔的准确定位应与现场实测坐标完全一致,误差不得超过 0.1m。若条件导致无法准确确定钻孔位置,需由现场监理进行复核与修正;②在测斜率方面,应在钻孔作业结束前对孔的倾斜度进行精确测定,确保最终孔的倾斜度不超过 2°;③钻孔过程中需采用专业的钻孔导向技术,以确保钻孔的质量和稳定性。若钻孔深度超过 5m,则需详细记录清水使用情况,并确保记录内容清晰、准确,同时由操作人员和记录人员共同签字确认。在钻进过程中,若遭遇漏水、掉钻、埋钻等异常情况,应及时记录并精确测定具体钻进深度,将相关数据及时上报至技术管理部门。

3.4 制浆技术

浆液配制在陆东煤矿新增回风斜井采空区注浆加固治理中占据核心地位,其质量直接关系到后续加固工程的成效,因此必须给予充分重视。高水充填材料分甲料、乙料两部分,按 1:1 的比例配合使用。甲料、乙料单独与水混合 24h 不凝结,为避免管路堵塞和一定条件下不冲洗管路创造了条件,而甲料浆和乙料浆一旦相互混合则快速凝结硬化。

高水充填材料具有以下特点:

- (1) 高水灰比条件下结石率 100%;
- (2) 凝结时间短,早期强度高并可调,初凝时间 5~15min,终凝时间 45~90min;
- (3) 塑性好,凝结体单轴加压应变达 15%时,其残余强度还能维持在峰值强度的 60%以上。

基本组成的灌浆材料,在投入施工应用前,需经历严

格的质量检验流程。按照既定的设计配比进行浆液调配时,必须执行抽样检测程序,以保障浆液性能满足既定的规范要求。在制备流程中,首先需按照预设比例将水泥、飞灰送入一级搅拌池中,随后经过滤器处理,再送入二级搅拌池进行充分的搅拌作业。每次搅拌的时长需控制在 10 分钟以内,确保浆液搅拌均匀后,方可利用灌注泵将浆液注入至采空区。注浆作业一经启动,就必须对注浆量进行实时监测,并对注浆体的相关数据进行详尽且准确地记录。同时,还需进行必要的现场试验,以整理与收集原始数据,为根据实际情况灵活调整注浆配比与注浆方法提供有力依据^[4]。

3.5 灌浆技术细节

3.5.1 灌浆系统组件与功能

灌浆作业作为陆东煤矿新增回风斜井采空区加固治理的关键步骤,其施工质量对整个加固工程的成效具有决定性影响。灌浆系统由多个关键组件构成,每个组件都承担着特定的功能:搅拌机需保持平稳运行,以确保混合后的浆液符合相关规范标准,且单次掺入量不得少于 1.5m³;搅拌槽内设置了专门的搅拌装置,以保障浆料在搅拌槽中实现均匀分布;在设计储液池及制浆站时,需综合考虑整体灌浆需求,合理规划储液池的数量,并确保其运行状态良好;储液池的选址需紧密结合预设的建设环境进行确定;注浆水泵建议选用双液注浆泵,其工作压力应保持在设计灌浆压力的 1.5 倍以上;钻孔压力计的量程需达到 2.0MPa,而帷幕压力计的最大量程则需达到 6.0MPa。在岩体裂隙中,注浆的扩散范围需进行精确测定。在有效的扩散范围内,浆液能够充分饱和,从而有效阻断水流的渗透。受岩体渗透率及裂隙发育非均匀性的影响,注浆在裂隙中的扩散呈现出非规则性特征。因此,在灌浆施工开始前,必须通过科学的试验来确定钻孔的合理位置。研究表明,在灌浆作业过程中,注浆的扩散范围会随着注浆压力、注浆时间的增加而逐渐扩大,但与浆液的浓度、黏度则呈现出反比关系。为达到最佳的灌浆效果,需根据具体的施工要求灵活调整注浆参数,以减少注浆材料的用量^[5]。

3.5.2 关键灌浆参数的确定方法

①灌浆压力。在灌浆过程中,灌浆压力对浆液的扩散及渗透规律具有显著影响,与注浆的扩散范围呈现出正比关系。当灌浆压力过高时,灌浆长度会增加,可能导致超出预定的灌浆范围,从而造成较大的灌浆损失;若灌浆压力过低,则难以保证注浆的扩散距离,无法达到理想的注浆效果。通常,灌浆压力需通过注浆现场试验进行精确测定,可采用以下公式进行计算: $P = (2-2.5) P_1$, 其中 P 代表最大容许灌浆压力 (MPa), P_1 则代表灌浆断面的静水水压 (MPa)。

②浆液质量分数。浆液质量是决定灌浆质量的核心因素。在选择水泥砂浆时,所需的浆液浓度不仅受到裂隙尺寸的影响,还受到浆液自身性质的制约。当裂隙尺寸扩大

时,对浆液的要求也相应提高。在灌浆过程中,需根据裂隙的发育情况对浆液进行灵活调整,以满足不同裂隙的注浆需求。通常,起始浆液的密度由岩体的吸水性决定,这一性质可通过井下压水试验进行精确测定,即 $q=Q/(H \cdot h)$,其中 Q 代表实验段在恒压力下的吸水量(L/min), H 代表测试段的水头高度(m), h 则代表压力测试断面的长度(m)。在确定钻孔的吸水量后,可作为选择适宜浆液浓度的重要依据。在进行常规灌浆施工时,应逐步增加浆液的起始浓度。在浆液调整过程中,需遵循以下原则:一是优先选择较高浓度的浆液,以保持浆液内颗粒的稳定性,并随着注浆次数的增加逐步降低浓度;二是若所采用的灌浆密度在持续30分钟以上未发生明显变化,且灌浆压力和灌浆速率也保持稳定时,可考虑提升一级浓度;三是当浆液浓度发生变化且浆液压力出现上升时,必须立即降低一个级别的浆液浓度,这表明当前浆液的质量分数已不满足注浆要求,需及时进行校正^[6]。

③灌浆时间。灌浆作业的结束时间可根据上一次注浆泵送至设计压力所持续的时间进行判断。通常,灌浆结束时的压力需满足设计要求,且浆液吸收速率应保持在20~60 L/min的范围内,持续保持此条件20~30分钟即可满足要求。

4 施工注意事项的分析

4.1 高压注浆顶升矫正技术

①在煤矿陆东煤矿新增回风斜井采空区治理中,变形监测至关重要,是后续施工的基石。需强化工程勘察,运用高效监测技术,发现地基层下沉超标立即采用高压注浆法纠偏,确保下沉量受控。②施工前,防设备振动,设警戒标志,保安全稳定。③设备选择需贴合施工要求,本工程用小型挖掘机开挖,清理凹坑后,液压提升装置预留提升高度。④液压千斤顶布局需依煤矿陆东煤矿新增回风斜井倾角,加固钢板保障受力均衡。⑤起吊作业考虑基础高程差异,科学确定提升角度、力及量,油缸到位后专业校验。⑥提升后拌制高强度膨胀混凝土,初凝前养护,性能达标后方可使用。⑦高压注浆设备注浆加固,由内向外填充裂缝。⑧高强度水泥砂浆初步加固后静置固化,再高压灌浆填充微小裂缝。⑨二次注浆后待凝固,技术人员全面检测注浆体性能,测量煤矿回风斜井塔架垂直度,满足设计后方可后续施工。

4.2 高强度水泥砂浆施工技术

①掺加高强度混凝土胶砂需严控拌合比例,精确计量原材料,制成实施卡片备查,确保搅拌标准化。拌合用水

清洁,水温30℃~50℃,首次拌合专业人员现场指导。水分不足增水提流动性,流动性异常及时报告处理。②高压力灌浆遵循由深至浅顺序,全程监控,避免同一部位多处同时注浆。避免同一阶段多处灌浆,防孔洞破裂、气泡堆积、浆液不足。③严格按GB/T 50448-2015规范执行,全面把控原材料、施工、养护等环节。依据厂家工艺指导灌浆,与优质厂家合作,掌握掺入量及拌合工艺。本工程选用西卡C80二次注浆料及MF-CGM超细粉。



图5 注浆后效果图



图6 注浆后效果图

5 结论

综上所述,在陆东煤矿新增回风斜井对采空区实施注浆加固处理,能够有效填充并胶结松动岩石的裂缝,增强其整体完整性与稳定性。通过将松动的岩石重新结合为一个整体受力结构,能够显著降低岩石破裂导致的变形运动,堵水堵风效果显著,从而确保井筒的正常使用与安全。

[参考文献]

- [1]赵文.深部条带采空区注浆治理后场地稳定性评价[J].中国煤炭地质,2024,36(12):44-48.
- [2]殷宏.注浆技术在大倾角综放工作面采空区防灭火中的应用[J].能源与节能,2024(12):264-266.
- [3]王苏龙.跨孔地震波CT技术在煤矿多层采空区注浆效果检测中的应用[J].建井技术,2024,45(6):14-18.
- [4]郭团结,田军利,刘艳,等.采空区垮落裂隙充填注浆扩散规律研究[J].煤炭技术,2024,43(12):136-142.
- [5]刘浪,杨军军,王若帆,等.煤矸石磨粉与黄土采空区注浆材料流动性能对比实验[J].中南大学学报(自然科学版),2024,55(11):4249-4259.
- [6]李幸丽,戴华阳,方军,等.基于SBAS-InSAR技术的老采空区注浆充填地表变形时空分布特征分析[J].中国矿业,2024,33(11):86-94.

作者简介:胡嘉鸿(1977.12—),男,毕业于中国矿业大学采矿专业,1999年8月参加工作,现就职于云南省煤炭产业集团云南陆东煤矿有限公司总工程师办公室主任,采掘副总工程师,现职称:中级采矿工程师。