

深孔爆破预裂顶板卸压沿空留巷技术应用

苏洪亮*

(山西义棠煤业有限责任公司 山西 介休 032000)

摘要:为增强巷道稳定性,煤矿施工普遍会通过增加煤柱尺寸以稳固巷道,但这会增加煤炭资源的损耗。针对坚硬顶板难题,学者们做了大量治理探讨。当前主要的预裂顶板治理手段包括:爆破、水力压裂以及静力破碎这三种减压方法,爆破切顶卸压以其显著的简便性和高效性,成为应用最广泛的泄压法,然而,传统爆破作业中,爆炸产生的能量均匀分布在炮孔周围,导致大部分能量直接作用在岩石上,形成的破碎区域浅且广,未能实现预期的破岩目标。鉴于此,重点研究深孔爆破预裂顶板卸压沿空留巷技术应用问题。

关键词:预裂爆破;切顶;卸压;沿空留巷

中图分类号:TD82 **文献标识码:**B **文章编号:**1004-5716(2024)11-0138-03

随着我国经济的快速发展,煤炭需求日益增长,为优化资源利用、延长矿井服役寿命、减少煤巷开挖、缓和接续开采压力、缩短搬迁周期,煤炭行业普遍开始实施沿空留巷施工。采用不同沿空留巷施工技术,会遇到不同的施工问题,如围岩稳定性差、煤巷支架安装难等常见的施工问题。为了有效解决上述问题,提升煤矿生产的安全与效率,煤矿企业积极采用水力切顶技术,通过优化柔性混凝土设计,强化煤巷支撑,确保巷道的稳固性。

1 深孔爆破预裂顶板卸压沿空留巷技术应用案例

1.1 矿井概况

西山镇城底煤矿位于古交矿区的西部,占地面积为23.8km²,资源储量和设计生产能力分别为2.3×10⁸t、190×10⁴t/a。1509开采区域附近是未开采的煤层,采用320m长工作面,以2煤层为主要开采煤层,其厚度在420~460m之间,平均厚度和平均倾角分别为3.5m、4.5°,整体构造稳定。鉴于工作面埋藏深度浅且岩性硬实,顶板操控颇具挑战。为确保安全开采,施工组决定实施聚能爆破切顶卸压策略^[1]。

1.2 技术原理

在完成回采后,由于短臂梁限制,采空区附近岩层和煤柱上部未能迅速塌落,导致悬顶现象的出现。为解决此问题,该项目决定采用爆破切顶卸压法,在预设的切缝线位置钻孔,并利用双向聚能装药设备,激发岩

层在特定和非特定方向自由面的受压应力,在切缝线上创建预裂面,旨在防止悬顶和回转现象,从而延长垮落时间并预先释放应力。这有助于抑制采空区的塑性扩展,中断顶板应力传输路径,最终减轻顶板对煤巷的负担,实现有效保护目标。

选择聚能管设备,实施爆轰冲击波策略,目标是使振动波传导至槽缝左右。聚能管可强化冲击效果,使得孔壁承受强大压力,产生初始裂缝。在聚焦作用下,左右孔壁受力增强,进而引发裂缝延伸。随着冲击波减弱转为应力波,与爆炸气流共同对初始裂缝施加静态压力,可以促使裂缝持续向深层扩展,最终引发左右岩石结构的贯穿性断裂。

在本次预裂爆破切顶卸压沿空留巷施工环节,同时起爆所有炮孔产生的爆生气流效应会相互叠加,可以显著提升相邻炮孔间的张力效应,当岩层承受压力高于其抗拉强度的压力时,裂缝会迅速加剧;若炮孔间的距离合适,裂缝会迅速连通,出现平滑的断裂面。

1.3 预裂深孔爆破切顶卸压沿空留巷技术方案

1.3.1 超前锚索主动补强支护

在预裂爆破和回采后,为确保顺槽顶板能维持稳定压力,本项目决定在预裂爆破前,采用恒阻大承载力锚索进行强化顶板支护,锚索规格为 $\varnothing 21.8\text{mm}\times 12300\text{mm}$ 。在顺槽采空侧进行恒阻锚索定位,采用垂直布置方式,指向巷道顶板。首排、第二排恒阻锚索与采空帮之间

* 收稿日期:2024-08-13

作者简介:苏洪亮(1990-),男(汉族),吉林人,工程师,现主要从事采掘技术工作。

分别相距300mm和1800mm,各排锚索的间距保持在1500mm×1600mm的标准。所有锚索使用的W型钢带配套支护型号均为BHW-300-3,W钢带按巷道走向铺设,接头处用锚固剂填实^[2]。

采用 $\varnothing 88\text{mm}\times 500$ 规格、350kN恒阻值的恒阻器,锚索预紧力超过350mm·kN。本项目依据井下独特的地质环境,实施差异化策略:将工作面前方50m、综采支架后方0~200m区域设为超前被动支撑区域和辅助支撑地带,而综采支架后和液压支架后方0~200m、200m以外区域则视为架后辅助支护区与稳定区。

(1)超前被动支护区:在即将开采的工作区域前50m范围内,打设单体支柱,支柱定位在采空区侧巷道,距离煤壁1.5m,每行支柱间距设定为1000m,每行配置2根。

(2)架后辅助支护区:随着采空区留巷侧顶板在综采支架后方的逐步崩塌,初期的岩体垮塌活动引发显著动态冲击,但岩体崩塌不完全,进而导致区域状态不稳定。所以,需要在工作面添加单体液压支柱,并在架后使用工字钢辅助支护,并按800mm间隔设置支柱。并且需要考虑预期顶板的塌落问题,在留巷侧切顶线处设置一列可伸缩的U型钢支柱和作为挡矸支护的钢筋网,并按400mm间隔设置支柱。在顶部焊接一个 $\varnothing 30\text{mm}$ 、长600mm的U型圆钢支柱,在安装U型钢支柱时,通过在原有顶部炮眼内嵌入圆钢,避免开采过程中岩层塌方对支撑结构的损害,同时提升辅助支撑强度。

(3)稳定区。在远离综采支架后的位置,通过压采空区矸石和块体,确保巷道围岩的稳定性。采用间隔的方式,每5m保留一根单体柱,并强化U型钢支柱的卡扣螺丝。完成后,对周边巷帮实施喷浆以实现封闭。

1.3.2 现场应用及效果

借鉴了多个高效空巷施工模式后,为适应1509工作面特有的顶板岩石特性,决定在1509工作面的下顺槽实施如下操作:首先采用“走向顶板深孔超前切顶”,辅以“倾向顶板超前深孔预裂”,借此实施预裂深孔爆破切顶卸压施工,目标是提升切割效率,同时减轻顶板压力^[3]。

(1)走向顶板中深孔切顶爆破

现有研究显示,采用双向聚能爆破法对采空区巷道顶板进行预裂切割,可借助矿山及岩体的压力与膨胀特性,通过回采工作面促使采空区的顶板岩层按预设路径自然发生断裂垮塌。

①预裂切顶高度。

预裂切顶高度特指爆破引发的岩体深部裂缝上、

下延伸至顶板表面的垂直距离。可采用下式计算预裂切顶卸压留巷深度:

$$H_k = \frac{H_g + H_{dk} - H_m}{1 - K}$$

式中: H_g 、 H_{dk} 、 H_m ——煤层顶板的弯曲下沉量、底鼓量和煤层采高,单位均为m,其中 $H_m=2.6\text{m}$;

Γ 、 K ——上覆岩层和岩体的岩体与膨胀系数,取值分别为25kN/m³和1.3。

在排除巷道顶部岩层弯曲及底部隆起的影响后,设定的工作层面开采深度为2.6m,理论计算结果为8.2m。在具体实践中,设定实际切顶高度为10m。为了防止爆破后岩体坍塌导致左右岩体连接,特运用力学分析原理进行计算,结果显示预裂切顶炮孔角度和爆破孔间距分别是150°和0.4m。

②倾向顶板超前深孔预裂

在1509工作面的下顺槽施工中,按照每20m间隔设计一组包含3个炮孔、扇形的竖向顶板预裂孔,呈扇形精确均匀分布。通过深孔预裂提升开采区深部裂隙规模,通过顶板周期性施压,达成预期的岩体裂缝破裂目标,从而缓解留巷侧巷道上层的水平应力,并降低顶板塌落时释放的冲击压力。

(2)施工效果

经过精确计算,该项目最终实现了200m的沿空留巷目标,总计回收11704t煤炭资源。扣除吨煤成本后,可获316万元效益。空巷施工期间有216.5万元用于附属工程,包括物料、薪酬、设备安装以及撤退等额外支出,最终获得纯收益99.5万元。

2 工程爆破施工策略及安全保障措施

2.1 工程爆破施工策略

(1)设计人员需实地介入并指导操作,务必做好风险防范工作。为了确保爆破工程的安全实施,设计人员需到现场并监督指导施工过程。施工单位需根据实际操作中的各类情况,实时调整设计策略,通过理论与实践结合,达成最优效能目标。此外,出于爆破工程的专业性和独特性考虑,非专业人员不得擅自操作,否则将严重危及安全。

(2)依据工程特性遵守相应施工规定。一方面,施工单位应确保所有参与爆破工程的人员通过技术培训并持证工作;另一方面,实施严格的岗位责任制,要求每位员工对职责负责到底,有功绩必予表彰;强化关键施工步骤和要点的技术规范,严密监控各项施工细节,确保爆破作业的安全无虞^[4]。

(3)工序施工质量把关,通过验收才可以放行。在

实施爆破前,施工单位应严格核查每颗炸药的安置细节,包括药孔的数量、精确位置、适当间距和深度,并检查药室规格(如长度)、位置及走向,所有参数均符合标准后方可通过验收。通过检查确保设计能够顺利实施,并达到预期效果。

(4)采用合规的爆炸物品。爆破器材的质量与安全与精准爆炸直接相关。施工单位必须严格把控其质量和使用规范,禁止采购不合格的爆破设备。在处理多阶段延期雷管时,务必核查原始、已使用和剩余雷管的种类与数量,以避免因起爆序列错误导致的潜在爆炸风险。

(5)爆破后需检查,排除风险隐患。巷道爆破完成后,工作人员需在顶板完全崩落后观察20min,以确认安全。若发现有拒爆或部分未踏实的岩石,应立即采取适当的处理方案,以防止潜在的爆破事故。

2.2 爆破安全保证措施

2.2.1 钻孔安全防护策略

(1)安全员抵达作业现场后,首要任务是确认工作区域是否存在不安全因素。判断支撑结构的稳固性,确认顶板和周边区域的稳定性,及时移除或加固松动的石块和煤炭。

(2)相关人员在设备使用前,需要检查风动凿岩机各部件的完整性。管子、接头必须坚固、无漏气,钻杆完整,孔道无阻。在使用支架时,务必正确安装。遇到风钻卡钻情况,务必从扳钳中安全移除,避免锤击操作。在未关闭气源前,切勿拆卸钻杆。严格禁止在不安全的情况下深入钻进。

(3)施工单位必须在钻井作业中遵循高压风操作规程,对风压系统进行全面检查,防止风管泄漏,从而防止发生眼部伤害事故。遵循“安全至上”要求,一旦高压风路出现异常情况,就要停止所有作业,首先确保人员安全,待故障彻底排除并确认无风险后方可继续施工。

(4)施工单位在进行巷道建设与台架操作时,应确保高空焊接按规程操作,务必在平台支架上实施护栏焊制。

2.2.2 爆破安全防护策略

(1)放炮期间,工作面人员撤离并停电,炮点间距不得小于200m。

(2)切割需使用单刃刀具,避免使用剪刀。

(3)施工单位要确保负责巷道爆破作业的施工人员具备专业资质、持有爆破操作证书,所有工作人员的安全防护措施完好。

(4)严禁穿化纤衣物参与爆破作业。

(5)明确巷道内各次爆破次数,延时装药不宜过多。

(6)作业前需确保周边支架稳固及炮孔清洁无残留。

(7)爆破完成后,安全人员需等待20min方可进入现场进行安全检查:确认无遗漏的哑炮或异常情况,排除残留炸药和雷管,观察顶板两侧有无松动碎石、支架是否完好无损或变形。当所有安全事项得到落实后,其他工作人员才能进入工作面^[9]。

3 结束语

至今为止我国在切顶卸压沿空留巷的理论研发和技术探索上,取得了显著成果,针对浅部和中等厚度的煤层开采工作面的沿空巷道技术已趋于成熟,并逐渐普及应用。然而,在地应力大且地质环境复杂的中厚或厚煤层中,运用切顶卸压的沿空留巷技术仍遭遇若干技术挑战。这导致部分矿井在尝试时未能达到预设目标,后续的留巷维护工作庞大,导致留巷失效,从而在一定程度上约束了这种技术的广泛采纳与实施。未来应对巷道覆岩在各类揭煤方法下沿顶板断裂的矿压问题做更深入探讨,集中研究切顶的关键参数和施工技术,特别关注其在各种地质环境下的理论探讨与实际操作应用。

参考文献:

- [1] 周海丰,黄庆享.大采高工作面过空巷群顶板破断及矿压规律研究[J].煤炭科学技术,2020,48(2):70-79.
- [2] 卫伟.掘进巷道过空巷支护技术应用分析[J].山东煤炭科技,2021,39(2):77-78,81,84.
- [3] 王江.综采工作面过空巷支护技术研究[J].机械管理开发,2021,36(1):145-146,148.
- [4] 谭卫东.高水充填材料在采煤工作面过空巷中的应用[J].山东煤炭科技,2021,39(1):193-195,198.
- [5] 孙晓明,张勇,吴修光,等.坚硬顶板下综放工作面过空巷关键技术[J].煤矿安全,2017,48(4):87-91.