

霍洛湾煤矿 CT31101 条带膏体充填开采矿压监测研究

李瑞东

内蒙古神东天隆集团股份有限公司霍洛湾煤矿 内蒙古自治区鄂尔多斯市 017209

DOI:10.32629/ems.v8i3.18747

[摘要] 为安全高效回收霍洛湾煤矿 3[#]煤层遗留保护煤柱, 在 CT31101 工作面开展了条带膏体充填开采工业性试验。本文系统介绍了试验工作面的地质条件与工程布局, 并重点对首轮采充过程中的充填体质量、巷道围岩位移、顶板离层、条带煤柱应力及充填体受力变形等进行了综合监测与分析。监测结果表明: 充填膏体 28 天抗压强度平均达 4.4MPa, 满足设计 ≥ 4.0 MPa 的要求; 首轮采充结束后, 工作面三条顺槽外形稳定, 顶底板及两帮均未观测到明显变形, 顶板离层量为零; 煤柱内应力监测值总体平稳, 仅受临近支巷瞬时采动影响有轻微波动; 充填体内应力监测未见异常, 表明充填体已对顶板形成有效支撑。同时, 监测也揭示了首轮部分支巷存在充填体欠接顶的问题, 主要归因于排气不畅及顶板局部起伏。基于监测结论, 报告提出了优化隔离挡墙设计、合理布置排气系统、规范充填作业等改进措施。本研究表明, 在该地质与工程条件下, 条带膏体充填技术能有效控制围岩变形与应力分布, 实现煤柱的安全回收, 为类似条件下推广充填开采技术提供了实践依据与数据支撑。

[关键词] 膏体充填; 条带开采; 矿压监测; 充填质量; 巷道稳定; 煤柱回收

1 工程概况

霍洛湾煤矿位于内蒙古自治区鄂尔多斯市伊金霍洛旗。为解决传统留煤柱开采资源损失大、地表沉陷等问题, 并实

现矿区煤矸石等固废的资源化利用, 煤矿于 CT31101 工作面开展了条带膏体充填回收遗留煤柱的工业试验。矿井交通运输条件较为便利, 交通位置见图 1。

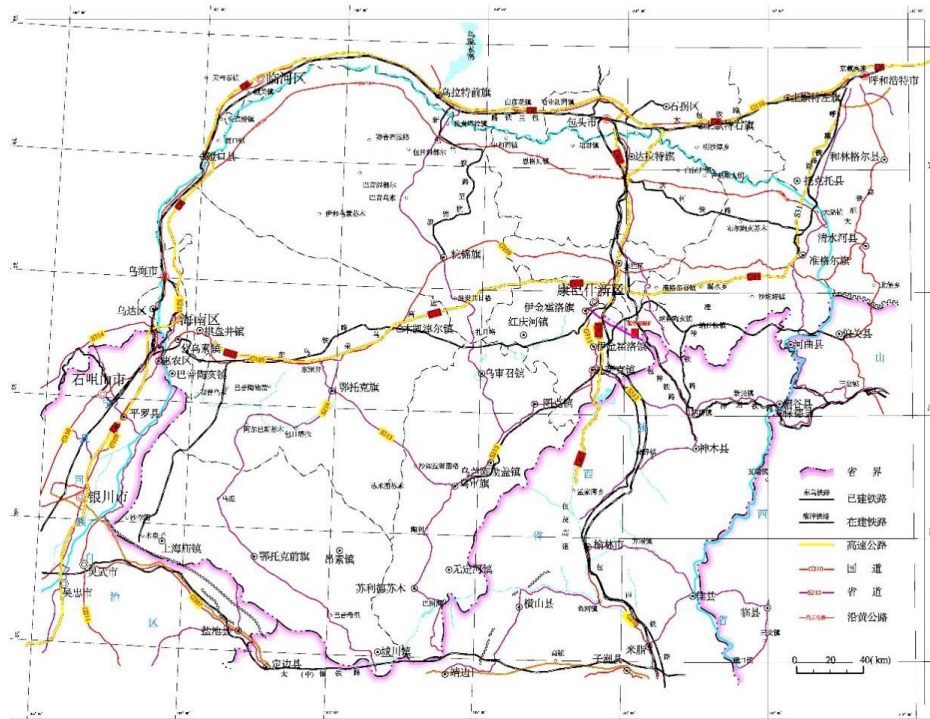


图 1 霍洛湾矿区交通位置图

试验工作面主要开采 3[#]煤层。该煤层平均厚度 3.78m, 平均埋深 168m, 煤层倾角平缓 ($0^{\circ} \sim 3^{\circ}$, 平均 1°)。直接顶板以砂质泥岩为主, 稳定性较好。工作面设计为规整矩形, 东西长 455.8m, 南北宽 175.6m, 划分为 A、B 两个区段。采用“四轮条带(支巷)法”进行采充作业: 首先开采并充填第一轮所有支巷(A区 90 条, B区 40 条), 待充填体达到预定强度(14d 抗压强度 ≥ 2 MPa, 28d 强度 ≥ 4 MPa)后, 再依次间隔开采与充填第二、三、四轮支巷。首轮采充工作于 2023

年 6 月 25 日开始, 至 2024 年 1 月 31 日结束。

2 充填质量监测与分析

充填体质量是保障充填开采效果的核心。监测工作主要包括强度检测与接顶情况检查。

2.1 充填体强度检测

地面充填站选取某次充填过程中, 从搅拌机出浆口取样, 装入试模制作试件, 进行编号, 养护至 3d、7d、28d 时, 进行单轴抗压强度, 并记录。取样试件强度检测记录见表 1。

表 1 充填膏体质量地面取样试验结果表

序号	试件编号	取样地点	单轴抗压强度/Mpa		
			3d	7d	28d
1	1.5 现场	充填泵料浆斗	0.30	0.70	4.15
2	1.6 现场	充填泵料浆斗	0.24	0.53	4.01
3	1.7 现场	充填泵料浆斗	0.31	0.96	4.51
4	1.8 现场	充填泵料浆斗	0.47	0.85	4.76
5	1.9 现场	充填泵料浆斗	0.28	0.94	4.54
6	1.11 现场	充填泵料浆斗	0.38	0.94	5.21
7	1.12 现场	充填泵料浆斗	0.44	1.23	5.00
8	1.13 现场	充填泵料浆斗	0.33	0.94	4.28
9	1.14 现场	充填泵料浆斗	0.43	0.94	4.36
10	1.15 现场	充填泵料浆斗	0.37	1.05	5.45
11	1.16 现场	充填泵料浆斗	0.37	1.36	4.39
12	1.18 现场	充填泵料浆斗	0.29	1.03	4.21
13	1.26 现场	充填泵料浆斗	0.20	0.83	4.13
14	1.27 现场	充填泵料浆斗	0.28	0.65	4.07
15	1.28 现场	充填泵料浆斗	0.30	1.14	4.12
16	1.29 现场	充填泵料浆斗	0.28	1.01	4.11
17	1.30 现场	充填泵料浆斗	0.30	0.92	4.07
18	2.1 现场	充填泵料浆斗	0.29	1.01	4.05
19	3.1 现场	充填泵料浆斗	0.27	0.89	4.02

井下充填体凝固时间达到28d后,钻取不同轮次条带充填体试样进行强度测试。考虑到钻取样工作量较大,计划安排一次,选择3~5个钻取点(具体在实施前确定),取样钻孔长度穿过充填带中心,取样方法遵照岩石取芯办法。

取样时采用手持式混凝土钻机取样。具有操作简单,移机方便,钻孔取芯准确,芯样表面光洁,且对芯样不发生意外破坏。取样方法遵照岩石取芯办法。钻孔时保证进给速度均匀,大约为3~5cm/min左右,如发现钻头受卡,可适当降低进给速度,必要时可将钻头提升一段,然后再慢慢钻入,忌硬性钻进,以免打坏钻头及机器。整个钻进过程中必须保持充分水冷却。将取芯结果记录附表2。

(一) 抗压强度测定

仪器设备:材料试验机、游标卡尺。

标准试件规格:采用直接为50mm的圆柱体,高径比为2:1;也可采用50×50×100mm的长方体。

测定步骤:测试件尺寸(试件直径应在其高度中部两个互相垂直的方向量测,取算术平均值)填入记录表内。选择压力机度盘:一般应满足 $0.2P < P_{max} < 0.8P$ 。式中: P_{max} ——预计最大破坏载荷,kN; P ——压力机度盘最大值,kN

开动压力机,使其处于可用状态,将试件置于压力机承压板中心,调整球形坐,使试件上下受力均匀,0.5~1.0MPa的速度加载直至破坏。

试件的抗压强度:

$$R = \frac{P}{F}$$

式中:R——试件抗压强度,MPa

P——试件破坏载荷,N

F——试件面积,mm²

(二) 充填体抗拉强度的测定(劈裂法)

仪器设备:材料试验机、劈裂法实验夹具、游标卡尺。

试件规格:标准试件采用圆盘形,直径50mm、厚25mm;也可采用50×50×50mm得方形试件。

通过试件直径的两端,沿轴线方向画两条互相平行的线

作为加载基线,把试件放入夹具内,夹具上下刀刃对准加载基线,放入试验机的上下承压板之间,使试件的中心线和试验机的中心线在一条直线上。开动试验机,以每秒0.03~0.05MPa的速度加载直至破坏。

测定结果计算:

$$R_t = \frac{2P}{3.14DL}$$

式中:R_t——充填体单向抗拉强度,MPa

P——试件破坏载荷,N

D——试件直径,mm

L——试件厚度,mm

首轮充填终凝后开始第二轮采煤,揭露第一轮充填膏体时按上述要求取样,并委托鄂尔多斯东方路桥监测咨询有限责任公司对样件进行检测,样件检测结果均大于设计值4.0MPa,符合设计要求。

2.2 充填接顶情况监测与问题分析

在第二轮支巷回采过程中,对揭露的第一轮充填体接顶状况进行了现场检查。检查发现,大部分支巷充填饱满,接顶严密(图2-3-1),但部分支巷存在不同程度的欠接顶现象(图2-3-2)。通过对典型欠接顶支巷(如A2.3)的深入调查与分析,归纳主要原因如下:

1. 排气不畅导致气体集聚:多数欠接顶区域位于巷道顶板的局部隆起(“穹顶”)处。该处易积存空气,而原有排气管数量偏少或末端未延伸至最高点,导致气体无法顺利排出,阻碍浆体充盈。

2. 封闭墙承压与充填工艺限制:为避免下端头封闭墙承受大压力,首次充填时有意未将该处完全充满。待计划二次补填时,顶板已有变化区域浆体已凝结,后续浆体无法流入,造成下端头遗留空隙。

3. 顶板局部掉落与巷道落差影响:个别区域因轻微顶板掉落,形成高于周围标高的点,若排气管未能覆盖,则形成气穴。此外,支巷两帮存在高差时,顶板较高一侧也容易出现未充满现象。

据统计,首轮充填的130条支巷中,有23条存在欠接顶问题,整体接顶率有待提高。针对上述问题,提出了系列改进措施:重新设计支巷隔离挡墙,建议厚度不小于500mm,并采用液压单体支柱加强支护,为实施憋压充填创造条件;充填前详细测绘巷高,根据顶板起伏情况科学布置排气管,确保所有高点均有排气通道;在后续轮次充填时,利用布料管与排气管对前序轮次的欠接顶区域进行针对性补填;制定标准化的充填作业规程,加强各工序间的协调。

3 矿压观测结果与分析

为掌握条带充填开采条件下的矿压显现规律,围绕巷道稳定性、顶板活动、应力转移等开展了多维度现场观测。

3.1 巷道围岩位移观测

在CT31101工作面的辅运、运输、回风顺槽各布置了8个表面位移测站,采用“十字测量法”定期监测顶底板移近量和两帮移近量。从2024年1月至3月的持续观测数据(选取部分记录于表3-1-2)来看,各测站的巷高与巷宽缩量基本为0,仅个别测点有±10mm的微小波动,属于测量误差或局部调整范畴。观测结果表明,在首轮回采与充填期间,工作面系统巷道的围岩变形极其微小,断面形态保持稳定。这初步证实,条带充填及时有效地支撑了采空区,避免了顶板大面积下沉对邻近巷道造成显著影响。

3.2 顶板离层观测

在工作面三条顺槽共安装了27个深浅基点机械式顶板离层仪,监测锚固区外内的顶板分离情况。监测周期覆盖了工作面准备期至首轮充填后。所有测点的监测记录(如表3-3-1、3-3-2、3-3-3所示)显示,浅部与深部离层值始终为0。这表明巷道顶板岩层未发生离层变形,现有锚杆支护系统与充填体的共同作用有效维持了顶板的完整性,避免了潜在冒顶风险。

3.3 条带煤柱应力分布监测

为研究采动应力在保留煤柱中的分布与变化,在预留的第四轮条带煤柱内安装了钻孔应力计进行监测。监测数据显示,在整个首轮回采与充填期间,煤柱内的应力值总体保持平稳。仅在极近距离(如1.26支巷)回采时,监测到短暂的、小幅度的应力波动,随后迅速恢复稳定。现场检查应力计安装孔,孔口完好,孔内无明显裂隙或塌孔。这说明首轮条带开采形成的采空区被膏体充填体有效支撑,上覆岩层荷载未向相邻煤柱产生剧烈的应力集中转移,设计的条带宽度(煤柱尺寸)是合理的,能够保持长期稳定。

3.4 充填体受力与变形监测

在首轮已充填的A1.37等支巷内,布设了充填体应力传感器和位移传感器,以期监测充填体在后续开采中的长期力学行为。截至本次报告分析期,应力传感器监测数据显示,充填体尚未承受明显的压力(数值在传感器精度范围内波动)。这反映出在当前阶段(仅完成一轮采充),充填体主要起到填满空间、抑制顶板初期下沉的作用,尚未成为承压主体。位移传感器因安装初期出现故障,未获得有效数据,后续需改进安装工艺。该监测仍需持续进行,以捕捉第二、三

轮开采时顶板压力向前序充填体转移的动态过程。

4 结论与建议

4.1 主要结论

1. 充填体强度达标:地面与井下取样检测均证实,充填膏体28天抗压强度满足不低于4.0MPa的设计要求,材料性能可靠。

2. 巷道围岩稳定:首轮采充期间及结束后,工作面三条顺槽未发生可见的断面收缩变形,顶板无离层现象,现有巷道支护系统在充填开采条件下表现稳定。

3. 采动应力扰动小:煤柱内应力监测表明,首轮条带开采引起的围岩应力重新分布效应不明显,未在保留煤柱中形成高应力集中,条带尺寸设计合理。

4. 充填体初步发挥支撑作用:充填体应力监测未见异常压力,结合巷道稳定的现象,说明充填体有效占据了采空区,对控制顶板初期变形起到了关键作用。

5. 接顶质量有待提升:首轮充填在接顶率方面存在不足,主要问题是排气系统不完善和顶板局部不平整,这是下步工艺优化的重点。

4.2 建议

1. 优化充填工艺:立即实施关于加强隔离挡墙、优化排气管布置(特别关注巷道高点)的改进措施,并在后续轮次充填中验证效果,力争将接顶率提升至更高水平。

2. 持续全面监测:必须继续对第二、三、四轮的回采与充填全过程进行矿压与充填质量监测。重点关注后续回采对前序充填体的压力传递、巷道矿压显现规律是否变化等,为最终评价全周期充填效果积累数据。

3. 完善技术管理:编制详细的充填作业操作规程,使布管、充填、排气等环节标准化、规范化。加强对监测设备的维护,确保数据连续可靠。

4. 坚持动态分析:根据后续监测数据,动态评估条带尺寸、支护参数的科学性,为未来扩大充填开采规模提供优化依据。

结语

综上所述,霍洛湾煤矿CT31101工作面条带膏体充填开采首轮试验在控制围岩变形与应力方面取得了预期效果,证实了该技术在特定条件下的可行性。针对暴露出的接顶问题,已提出明确改进方向。通过持续优化工艺与严密监测,该技术有望成为该矿实现绿色、安全开采的重要途径。

[参考文献]

[1]王文才,李强强,杨俊峰,等.膏体充填条带开采技术的研究与应用[J].内蒙古科技大学学报,2025,44(01):63-67.

[2]苏林,徐春华,于振亚,等.不规则多切眼工作面膏体充填开采矿压显现特征[J].煤炭科技,2024,45(04):91-97.

作者简介:李瑞东,1987.08.16,男,内蒙古鄂尔多斯市伊旗,汉族,大学本科,生产技术科科长,采煤工程师,中级注册安全工程师,内蒙古神东天隆集团股份有限公司霍洛湾煤矿,研究方向:煤矿采掘技术及安全管理。