

破碎顶板垮塌采场胶结充填治理*

张增庆¹, 魏晓明², 杨灿显¹, 顾攀¹, 赵亮¹

(1. 保山金厂河矿业有限公司, 云南 保山市 678001;

2. 矿冶科技集团有限公司, 北京 100160)

摘要:针对金厂河多金属矿一步破碎顶板垮塌治理难题,采用三维激光扫描的方式,探明了采场顶板垮落形态特征,构建了破碎顶板垮塌采场三维可视化模型。通过对金厂河矿胶结充填体强度需求的理论计算,设计一步胶结充填体整体强度为3.0 MPa。基于充填料浆配比试验、扩展度试验和流变试验,综合确定充填工艺参数为:料浆质量浓度为68%~72%,灰砂比为1:8。结合21[#]采场三维空区模型和形态,合理布置了充填挡墙和充填下料工程,进而保障了破碎顶板垮塌采场胶结充填体的稳定性。

关键词:破碎顶板;垮塌采场;胶结充填;空区治理

0 前言

云南金厂河多金属矿 ZnV3 矿体为缓倾斜矿床,上、下盘围岩为破碎大理岩,矿石为较为稳固的砂卡岩,采用大直径深孔侧向崩落嗣后充填法采矿^[1-2],年产矿石 70 万 t。切顶嗣室采用锚网喷砂+砂浆长锚索进行支护,支护工程量大。采场掏槽及侧向崩落矿石作业过程中,爆破振动较大,加之采场回采周期较长,破碎顶板冒落风险极大,矿山根据采矿设计逐步回采矿体,出现 21[#]、23[#]、25[#]、27[#] 四个采场顶板不同程度冒顶,冒落围岩覆盖于矿石之上,造成矿石贫化,加大了出矿难度。

目前,金厂河多金属矿处于一步大规模开采阶段,21[#]采场垮塌量为 13 191 m³,23[#]采场垮塌量为 2964 m³,25[#]采场垮塌量为 330 m³,27[#]采场垮塌量为 3701 m³,21[#]采场顶板垮塌情况如图 1 所示。严重制约了矿山一步骤矿房采场安全高效回采,也将影响后续的二步骤矿柱采场的回采^[3-4]。

尤其 21[#]采场在第 17 次侧崩落矿时出现顶板大面积冒落,破坏了 1810 中段 1[#]充填平巷。冒落围岩覆盖了 6[#]、7[#]、8[#]、9[#] 出矿进路,覆岩内含有较多钢筋网、锚杆及长锚索,采场底部存窿矿石无法进一步清扫,造成损失。矿山随即研究对空区进行紧急密闭充填。充填过程中,伴随周边采场落矿振动

的影响,顶板冒落范围继续扩大,冒顶区最高点,超出充填平巷高度 27 m,正常靠现有的充填平巷、充填钻孔、充填回风井无法充填接顶。图 2 是 21[#]采场空区不同时期的扫描模型(4 次扫描颜色标识见电子版)。



图 1 21[#]采场顶板垮塌情况

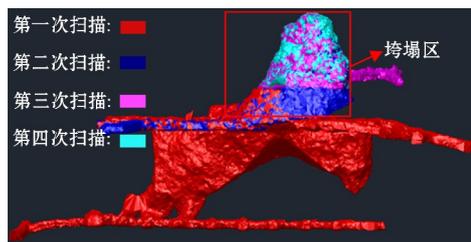


图 2 21[#]空区不同时期的扫描模型

1 顶板垮塌采场充填体强度设计

1.1 一步胶结充填体强度计算

金厂河多金属矿破碎顶板采场基本分布在 17[#]至 30[#]采场之间,阶段高度平均为 40 m,宽度为

* 收稿日期: 2023-03-26

作者简介: 张增庆(1987—),云南保山人,工程师,主要从事金属非金属采矿、采空区胶结充填等方面的研究,E-mail: 442715070@qq.com。

15 m,长为矿体水平厚度,平均为 120 m,两步骤连续回采。本次一步骤采场胶结充填体强度计算采用 Mitchell 公式及矿冶科技集团有限公司三维力学模型及安庆经验公式^[5-6],安全系数取 2.5,计算结果分别为 1.07 MPa、1.39 MPa 和 1.24 MPa,因此,选取理论计算结果 1.39 MPa(最大值)作为一步骤胶结充填体强度要求。

根据矿山采矿工程布置,一步骤胶结充填体内后期需要施工巷道工程,因此,一步骤胶结充填体结构分底部和中上部两部分,堑沟出矿底部结构高为 9 m,中上部高度为 29.8 m,其中底部强度为 3.0 MPa,中上部强度根据理论计算降低为 1.1 MPa,充填体强度分布如图 3(a)所示。

由于顶板垮塌采场中含有大量破碎大理岩,考虑到一步骤胶结充填体稳定性,本次对垮塌后采场充填体整体强度设计为 3.0 MPa(见图 3(b)),后期还应对采场底部废石胶结充填体质量进行评估。

1.2 充填配比试验及强度测试

(1) 测试方案。充填配比试验所用材料为金厂河矿全尾砂,胶结剂为矿冶科技集团有限公司生产的新型胶凝材料。结合矿山深锥浓密机底流浓度,充填配比试验设计充填料浆质量浓度为 68%、

70%、72%和 74%四组;灰砂比为 1:4、1:6、1:8、1:10 五组,每组试验进行 7 d、28 d 龄期的强度测试。

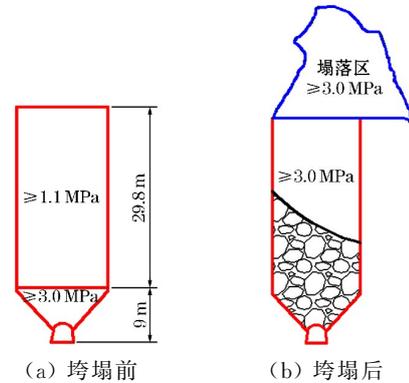


图 3 21[#] 采场胶结充填体强度分布

(2) 测试结果与分析。充填试块达到养护龄期后,开展强度测试,结果见表 1。

由表 1 可知,采用新型胶凝材料制备充填体,随着养护龄期的增加,充填体强度发展稳定,充填体养护 28 d 后的抗压强度相比 7 d 提高约 3 倍。同时选取灰砂比 1:8,料浆质量浓度为 70%~74%,28 d 平均抗压强度可以达到 2.92 MPa、3.10 MPa、3.48 MPa,基本满足了一步骤胶结充填体强度设计要求。

表 1 充填试块强度测试结果

灰砂比	MPa							
	7 d 养护龄期强度				28 d 养护龄期强度			
	68%	70%	72%	74%	68%	70%	72%	74%
1:4	1.90	2.16	2.88	3.32	4.71	5.10	5.66	6.14
1:6	1.17	1.32	1.72	2.15	3.33	3.81	4.38	4.93
1:8	0.71	0.77	0.86	1.13	2.37	2.92	3.10	3.48
1:10	0.35	0.38	0.50	0.72	1.47	1.59	1.83	2.09

2 充填料浆流动性能研究

2.1 测试方案

为了掌握金厂河矿充填高浓度料浆流动性能,确保充填反坡输送方案设计的可靠性,分别开展了充填料浆扩展度试验和流变试验,设计充填料浆质量浓度分别为 68%、70%、72%和 74%;灰砂比为 1:8。充填料浆扩展度试验参考《金属非金属矿充填工程技术标准》(GB/T 51450—2022)。充填料浆流变试验采用 Brookfield 公司的新型流变仪测试^[7]。

2.2 测试结果

(1) 扩展度测试。充填料浆扩展度试验测试过程见图 4,料浆质量浓度为 68%、70%、72%和 74%,扩展度分别为 24.4 cm、22.8 cm、18.9 cm 和 15.8 cm。

(2) 流变参数测试。充填料浆流变试验典型结果如图 5 所示,对于高浓度尾矿浆体,其流变特征可以用 Bingham 流体模型表征,即当剪切应力大于屈服应力时,浆体才能发生流动,具有塑性液体性质,当剪切应力小于屈服应力时,浆体没有流动性,表现为固体^[8-10],其表达式为:

$$\tau = \tau_0 + \eta_p \dot{\gamma} \quad (1)$$

式中: τ_0 为屈服应力, Pa; η_p 为塑性黏度系数, $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

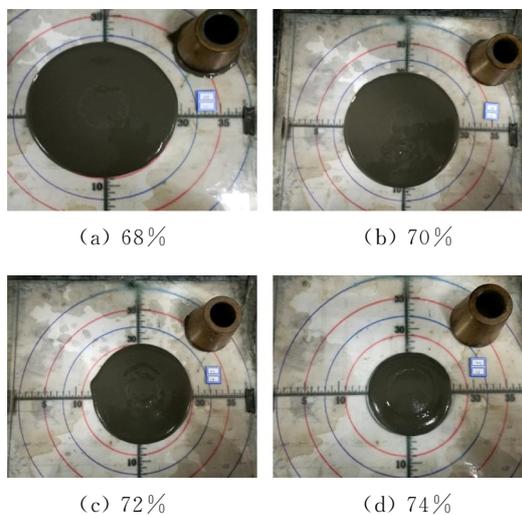


图4 充填料浆扩展度试验测试过程

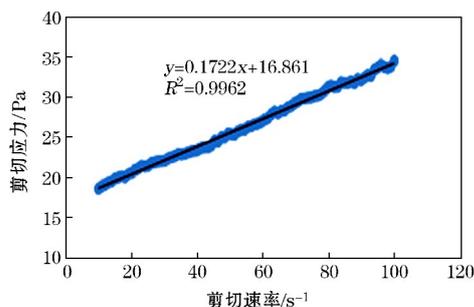


图5 充填料浆流变试验典型结果

根据充填料浆流变参数测试结果,料浆质量浓度为 68%、70%、72% 和 74% 时,屈服应力分别为 3.0015 Pa、7.8711 Pa、16.861 Pa 和 28.781 Pa;塑性黏度系数分别为 0.1350 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 、0.1538 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 、0.1722 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 和 0.2632 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

(3) 测试结果分析。在灰砂比 1:8 情况下,随着充填料浆质量浓度从 72% 升至 74%,屈服应力和塑性黏度系数迅速增大,与该浓度下扩展直径明显减小相符合。随着充填料浆浓度的增大,料浆中颗粒之间的接触点增多,浆体内部的摩擦力增大,导致流变参数增大,进一步表明料浆浓度越大,料浆流动性越差^[11-13]。因此,本次反坡输送浓度不应高于 72%。

3 空区治理

3.1 充填挡墙布置

本次 21[#] 采场空区顶底部均采用空心砖+土工

布的密闭墙(见图 6),滤水效果良好,施工便捷高效。挡墙制作前,需对场地进行清理,对巷道底部、顶部及周边不稳定岩石进行清理;在挡墙制作完成后,进行周边喷浆密封处理,防止周边跑浆^[14]。



图6 充填挡墙现场布置

3.2 采场下料布置

21[#] 采场空区北端塌方严重,顶板仍为风化破碎的大理岩,后期因周边采场掘进、落矿扰动,不排除有进一步塌方的可能。因此,保持现有的充填输送管线不变,将下料口对准 1810 m 中段 1[#] 充填平巷空区边缘下料,前期因设备、人员、材料无法正常通行,2[#] 充填平巷内的充填钻孔仅作为后期接顶补充充填用^[15]。

目前 21[#] 采场空区矿岩存窿较多,空区爆堆起伏不平,塌方区域正下方爆堆最高,高度约 30 m,易出现充填料浆聚集后“溃坝”冲击充填挡墙,故前期充填应控制下料时间及下料速度,确保充填体顶面均匀稳步上升,最大程度保证密闭墙安全。21[#] 采场布置了 21-1[#]、21-2[#]、21-3[#] 充填钻孔和 1 条柔性脱水管,如图 7 所示。

3.3 采场充填

考虑到空心砖充填挡墙承压性较差,加之现场施工条件复杂多变,无法开挖基础及施工锚桩,空区密闭后即进入下料充填工序,充填料浆质量浓度为 68%~72%,灰砂比为 1:8。起初充填下料速度不宜过快,应结合三维空区模型判定爆堆形态,使底部充填体充分沉降、凝固,减小因充填料浆冲刷形成泥石流对密闭墙冲击造成不良后果的风险。

3.4 顶板塌落区充填

因顶板垮落区域最高点超出原有充填平巷较多(最高达 28 m),原有充填平巷遭到破坏,为确保 21[#] 采场正常充填 1810 m 中段以上的空区,并继续为后续采区充填服务,矿山在 1810 m 中段 16 线穿

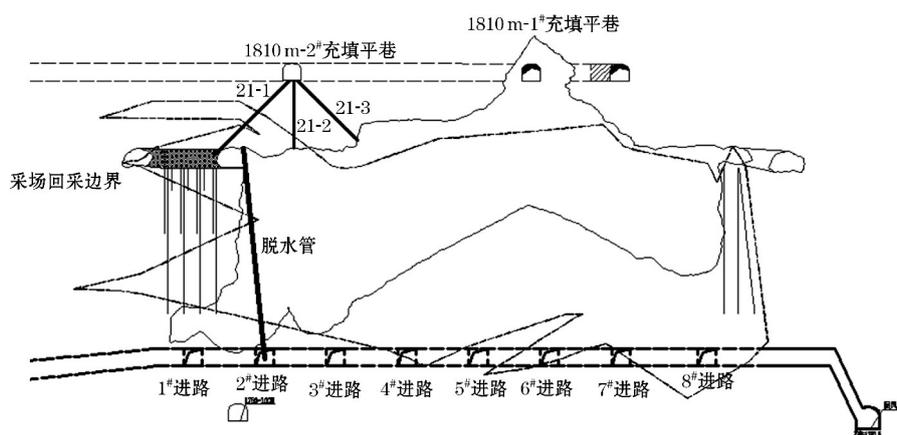


图7 充填挡墙现场布置

脉至12线穿脉之间布置了一条充填绕道,供后期充填管道敷设、人员及设备通行。经过方案比选,确定以钻孔连通采空区的形式最为安全高效。在选定的钻孔位置扩刷钻机硐室,采用XY-2地质钻机以方位角 $158^{\circ}24'44''$,倾角 $34^{\circ}50'11''$ 向上施工充填钻孔和排气孔,同时为避免塌孔造成卡钻及后期使用时的堵孔,钻孔时对孔壁进行套管处理,充填钻孔内径为130 mm(孔内套管内径为118 mm),排气孔内径为77 mm(孔内套管内径为60 mm),两个钻孔开孔位置相差1 m,钻孔方位、钻孔倾角均相同(见图8)。

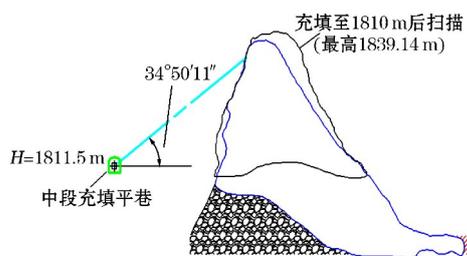


图8 充填钻孔

钻孔施工结束后,延长充填管道至充填钻孔位置,钻孔口采用钢板或混凝土密封,其中平巷充填管道采用黑色塑胶管,弯道段采用钢管,法兰盘连接头有相应的防止料浆喷射伤人的防护罩。管道连接充填钻孔时在弯道处增设一个三通和两个 $\Phi 125$ mm 闸阀,为方便后期充填时排除孔内洗管水,防止料浆沉淀和空区充满时料浆回流。采空区充填直至排气孔返浆时停充,采用事先准备好的木楔子扎入套管堵住漏浆,将闸阀关闭,拆下充填管进行管道清洗。

4 结论

(1) 通过对金厂河矿胶结充填体强度需求进行理论计算,确定了破碎顶板采场一步骤胶结充填体强度设计。结合顶板垮塌采场中含有大量破碎大理岩和一步骤胶结充填体稳定性,本次对垮塌后采场充填体整体强度设计为3.0 MPa。

(2) 通过充填料浆配比试验,确定了充填灰砂比参数为1:8。综合充填料浆扩展度试验和流变试验分析结果,当料浆质量浓度增加至72%,屈服应力和黏度系数急剧增大,这与该浓度下扩散度直径明显减小相符合,因此,确定充填料浆质量浓度为68%~72%。

(3) 考虑到底部含有大量矿岩爆堆,为了保证顶板垮落采场充填的安全性,应结合三维空区模型,判定爆堆形态,进而布置充填挡墙和充填下料工程,且前期充填应控制下料时间及下料速度,确保底部充填料浆与矿岩充分渗透、凝固。

参考文献:

- [1] 徐伟兰,孙飞,何维剑.大直径深孔阶段空场嗣后充填采场稳定性研究[J].有色金属(矿山部分),2020,72(4):38-42.
- [2] 汪海峰,魏晓明.大跨度破碎顶板支护方案数值模拟分析及工程应用[J].有色金属(矿山部分),2022,74(4):57-63.
- [3] GUO Guangli,ZHU Xiaojun,ZHA Jianfeng,et al. Subsidence prediction method based on equivalent mining height theory for solid backfilling mining[J]. The Chinese Journal of Non-ferrous Metals,2014,24(10):3302-3308.
- [4] 包东程,韩春雨,刘明君.金属矿山大空区充填研究[J].采矿技术,2019,9(3):19-20.
- [5] 于永纯,罗正良,孙长坤.窄长采场胶结充填体强度要求及结构设计[J].有色金属(矿山部分),2021,73(2):21-26.
- [6] 万林海.香炉山钨矿东部采区空区分级与充填治理研究[J].采矿技术,2023,23(1):69-73.

- [7] 魏晓明,郭利杰,陈鑫政,等.金厂河多金属矿尾砂胶结充填试验研究[J].矿业研究与开发,2020,40(6):42-46.
- [8] 李宗楠,郭利杰,余斌,等.基于宾汉姆体的高浓度尾砂浆剪切变稀规律研究[J].黄金科学技术,2017,25(4):33-38.
- [9] 蔡嗣经,黄刚,吴迪,等.尾砂充填料浆流变性能模型与试验研究[J].东北大学学报(自然科学版),2015,36(6):882-886.
- [10] 于永纯,汪海峰,张增庆.金厂河多金属矿充填料浆长距离反坡输送研究[J].有色金属(矿山部分),2022,74(4):52-56.
- [11] 吴凡,韩斌,胡亚飞.膏体充填料浆管输摩阻损失计算及应用研究[J].采矿与安全工程学报,2021,38(6):1158-1166.
- [12] 方文改,汪明海,鲁立胜.胶结充填料浆上向输送技术参数计算[J].现代矿业,2021,37(10):61-63.
- [13] 史采星,郭利杰,杨超.某铜镍矿尾矿流变参数测试及管道输送阻力计算[J].中国矿业,2018,27(增刊2):138-141.
- [14] 包东程,韩春雨,刘明君.高强度充填挡墙技术的应用[J].采矿技术,2019,19(5):41-42.
- [15] 杨岳阳,毛建华.采空区充填接顶控制措施及效果监测[J].采矿技术,2021,21(6):83-85.