

工程建设·有色矿山·

高硫极细全尾砂充填料配比及 输送特性试验研究

Experimental study on unclassified tailing backfill materials proportion and pipeline transportation property with high sulphur and superfine particle

王怀勇, 张爱民, 贺茂坤(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

摘要:针对某铅锌矿全尾砂具有含硫高、粒度极细的特点,在实验室进行了全尾砂充填料配比试验和输送特性测试。充填料配比试验研究表明,全尾砂充填体早期强度逐渐增加,后期强度呈现逐渐降低趋势,并且灰砂比越小,抗压强度降低越明显;灰砂比1:4、质量浓度72%的全尾砂胶结充填料能满足采矿工艺要求,但水泥单耗比较高。坍落度和流变特性测试表明充填料浆质量浓度在70%~72%时表现出明显的膏体特征。试验研究结论为矿山充填系统建设提供了重要依据。

关键词:全尾砂;胶结充填;硫

Abstract:Based on the characteristics of unclassified tailing with high sulphur and superfine particle in one lead-zinc mine, laboratory experiments were carried out to study materials proportion and pipeline transportation property of the unclassified tailing backfill. The proportion test results showed that the early uniaxial compressive strength increased, while the long term compressive strength decreased. The less cement it contained, the more influence the compressive strength was. According to the results, the suitable cement-sand ratio was 1:4 and the best mass concentration was about 72%, but it would cost much more cement. The slump and rheological property were also tested, and the results showed that the tailing backfill materials would get close to paste when the mass concentration was between 70% and 72%. The study provided reliable basis for the construction of backfilling system.

Key words: unclassified tailing; cement filling; sulphur

1 前言

国外某铅锌矿床赋存于冈瓦纳古陆(Gondwanland)沉降和盆地形成期间的海浸运动所堆积的侏罗系碳酸盐 and 碎屑沉积岩地层中。选矿试验研究显示矿脉中含硫达32%、白铁矿+黄铁矿达50%。选矿采用常规碎磨、优先浮选+锌中矿再磨工艺流程,硫化矿物没有分选。

矿山自投产以来,一直采用干式充填系统,随着采深不断下降,干式充填系统已不能满足矿山采矿的需要,迫切需要新建充填系统。依据矿山可供选用的充填材料,为尽可能降低充填成本,设计采用上向水平分层充填采矿法和分段空场嗣后充填采矿法,充填采用全尾砂膏体(高浓度)充填系统。

2 全尾砂物理化学性能测试

2.1 全尾砂主要化学成分分析

从该矿尾矿排砂口选取了全尾矿,实验室对全尾砂进行了化学成分分析,结果如表1。分析结果表明,尾砂中含硫较高。

文章编号:

1672-609X(2014)06-0001-04

中图分类号: TD350.4

文献标志码: A

收稿日期: 2014-06-24

作者简介: 王怀勇(1982-),男,湖北麻城人,硕士,工程师,主要从事采矿工程咨询与设计工作。

表1 全尾砂主要化学成分组成 %

主要成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K
含量	35.73	6.02	0.15	0.4	1.15
主要成分	Na	S	C	Pb	Zn
含量	0.36	18.3	1.02	0.31	0.87

2.2 全尾砂粒度组成分析

实验室采用LS-POP(VI)型激光粒度分析仪,对全尾砂进行了粒度组成分析,结果如表2。

表2 全尾砂粒度组成

粒径 μm	筛下 累积/%	粒径 μm	筛下 累积/%	粒径 μm	筛下 累积/%
0.20		2.89	37.92	37.92	91.70
0.24	9.73	3.50	41.53	41.53	93.92
0.29	10.87	4.24	45.35	45.35	95.72
0.35	12.12	5.13	49.33	49.33	97.10
0.43	13.65	6.21	53.47	53.47	98.15
0.52	15.22	7.51	57.70	57.70	98.88
0.63	16.96	9.09	62.03	62.03	99.36
0.76	18.84	11.00	66.36	66.36	99.66
0.92	20.94	13.31	70.65	70.65	99.83
1.11	23.19	16.11	74.83	74.83	99.93
1.35	25.75	19.50	78.82	78.82	99.97
1.63	28.44	23.60	82.56	82.56	99.99
1.97	31.35	28.56	85.99	85.99	100.00
2.39	34.55	37.00	90.04	90.04	100.00

注: $d_{10} = 0.28\mu\text{m}$; $d_{50} = 5.52\mu\text{m}$; $d_{90} = 36.76\mu\text{m}$ 。

试验结果显示,尾砂粒径-74μm(-200目)约占97%, -37μm(-400目)约占90%, -10μm约占64%,加权平均粒径为14.7μm。根据粒度组成分析,可以判断该全尾砂属于极细尾砂。

要实现充填料浆在管道中呈柱塞流,并在低流速(1~2m/s)流动的条件下不产生沉淀离析,国内外通常要求充填料中-20μm颗粒含量不低于15%。该矿全尾砂中-20μm颗粒含量达79%,远远超出这一要求。因此,该矿全尾砂的粒度完全满足全尾砂高浓度(膏体)胶结充填输送要求。

3 充填料配比试验

充填料配比是影响充填体质量和料浆输送特性的重要因素。实验室进行了全尾砂胶结充填材料配比试验,试验采用矿山使用的P.C 32.5水泥作胶结料,全尾砂作为骨料。选取充填料浆质量浓度分

别为70%、72%、74%、76%,灰砂比分别为1:4、1:6、1:8、1:15,进行7、14、21、28、90d和180d 5个养护期龄的充填材料强度试验,每个期龄浇注3个试块,共计288个试块。

实验室采用长×宽×高为7.07cm×7.07cm×7.07cm的标准三联试模制作试块,养护采用HBV-40A型恒温恒湿标准养护箱,采用WHY-300/10微机控制压力试验机测定单轴抗压强度,结果如表3。选取了几个典型试验分析曲线,如图2~图5。

表3 全尾砂胶结充填试块强度试验结果

灰砂比	浓度 $C_w/\%$	试块各期龄单轴抗压强度/MPa					
		7d	14d	21d	28d	90d	180d
1:4	70	0.92	3.48	5.67	6.04	5.20	5.17
	72	1.27	3.55	4.77	5.85	5.63	6.30
	74	1.69	5.24	5.88	7.58	5.98	6.67
	76	2.01	6.06	7.22	7.85	6.10	7.20
1:6	70	0.98	2.79	3.66	5.15	1.91	1.07
	72	0.87	3.33	5.70	6.60	2.11	1.27
	74	1.28	4.46	7.03	5.63	2.30	1.53
	76	1.52	5.20	5.15	5.57	4.17	1.80
1:8	70	0.52	1.62	1.79	2.46	1.04	0.80
	72	0.74	1.26	2.32	2.94	1.55	0.77
	74	0.99	2.11	2.66	2.60	1.97	0.63
	76	1.25	2.62	4.76	2.52	1.11	1.03
1:15	70	0.20	0.20	0.76	1.80	0.50	0.63
	72	0.26	0.26	0.87	1.50	0.66	0.63
	74	0.31	0.31	1.15	1.32	0.95	0.53
	76	0.48	0.43	1.53	0.97	0.88	0.53

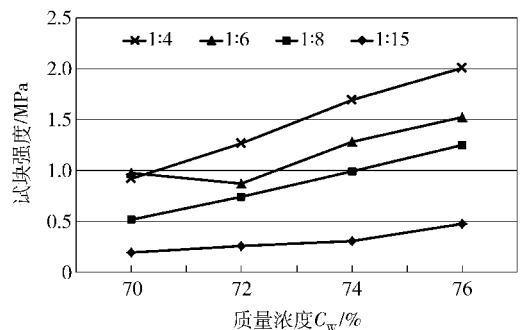


图2 7d单轴抗压强度曲线图

试验结果表明如下结论。

(1)试块的单轴抗压强度在养护期龄7~28d内随着料浆浓度、灰砂比和养护龄期的增加而逐渐增大。

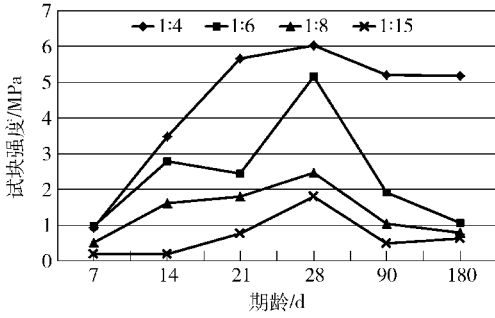


图3 70%质量浓度试块抗压强度变化曲线图

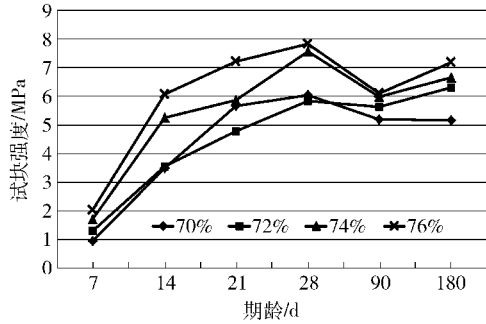


图4 灰砂比 1:4试块抗压强度变化曲线图

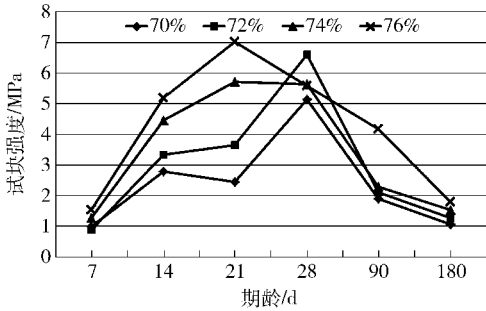


图5 灰砂比 1:6试块抗压强度变化曲线图

(2)灰砂比 1:4的试块单轴抗压强度在养护期龄 28d 时达到最大值,后期强度变化较小,并稳定在 5.0MPa 以上,如图 4。

(3)大部分试块在养护期龄 28d 后,单轴抗压强度呈下降趋势,并且灰砂比和浓度越低,下降越明显,如图 3 和图 5。大部分试块至养护期龄 180d 时,单轴抗压强度降低到养护期龄 7d 的水平。分析可能因尾砂中硫化物发生氧化反应生成的硫酸盐对胶结材料侵蚀作用,导致充填体长期强度降低^[1-2]。由于灰砂比高的充填体水泥含量多,水泥水化反应生成产物阻止或减弱了硫化物氧化速度,进而保持了较高的强度。

4 充填料浆输送特性试验

4.1 坍落度测定试验

为了保证充填料浆具有较好的输送性能,充填料浆必须具备良好的和易性。坍落度是衡量混凝土及充填料浆流动性的常用指标。坍落度越大,则表明料浆的流动性越好。

实验室选用顶部直径 10cm、底部直径 20cm、高 30cm 的坍落度桶,对充填料浆进行了坍落度测试,结果如图 6 和图 7。

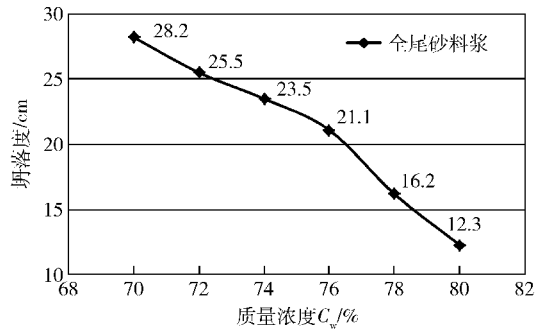


图6 全尾砂非胶结料浆不同浓度坍落度曲线图

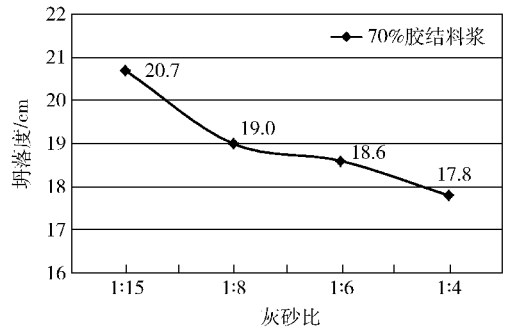


图7 70%浓度胶结料浆不同灰砂比坍落度曲线图

试验结果表明如下结论。

(1)全尾砂非胶结料浆的坍落度随着料浆浓度增加而降低,说明料浆流动性随着浓度增加而减弱。当浓度超过 76% 时,流动性减弱更明显。当浓度接近 80% 时,全尾砂料浆坍落度较小,料浆基本不流动。

(2)浓度 70% 的胶结料浆的坍落度随着水泥添加量的增加而降低,但变化不明显,说明 70% 质量浓度胶结料浆已经达到或接近膏体状态。

4.2 流变特性测试

国内外大量研究表明,当高浓度浆体和膏体含有一定重量比例的超细粒级(-20 μ m 含量 > 15%) 时,其流变特性为具有一定的初始抗剪切强度 τ_0 及粘性系数 K ,在管道中的流动状态既不同于牛顿流

体,亦与低浓度固液混合物两相流具有重大甚至是本质的区别,其流变方程可用宾汉体模型公式表述:

$$\tau = \tau_0 + K \cdot \gamma \quad (1)$$

式中: τ ——切应力, Pa;

τ_0 ——屈服应力, Pa;

K ——塑性粘度, Pa·s;

γ ——剪切速率, $\gamma = du/dy, s^{-1}$ 。

流动特性主要通过测试在一定剪切速率下的粘度,计算得到对应的剪切应力后,通过剪切速率和剪切应力的变化规律及关系就可推测出流体的属性^[3-4]。实验室选用旋转黏度计测试了全尾砂料浆、灰砂比 1:4 及 1:8 分别在 68%、70%、72%、74% 浓度时的流动特性参数,结果如图 8~图 10。

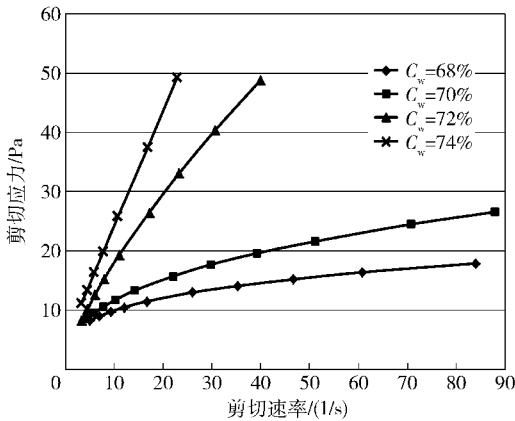


图 8 全尾砂料浆流变曲线图

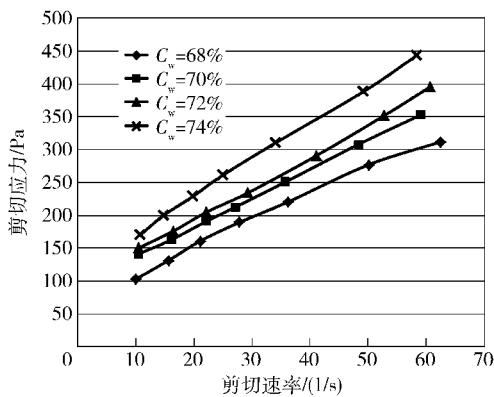


图 9 灰砂比 1:4 料浆流变曲线图

试验结果表明如下结论。

(1) 全尾砂料浆质量浓度到达 72% 时,剪切应力与剪切速率呈正比增加关系,表明料浆已经达到膏体状态。

(2) 相同灰砂比的料浆,剪切应力随着料浆浓度增加而增大;相同质量浓度的料浆,剪切应力随着灰砂

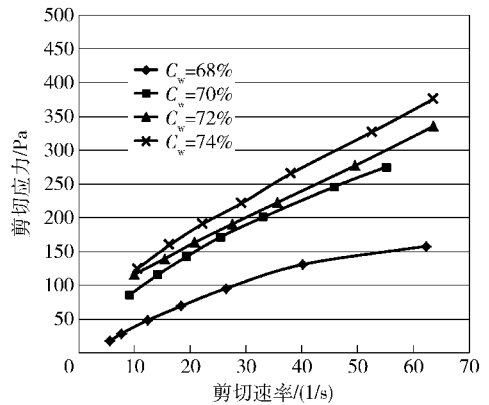


图 10 灰砂比 1:8 料浆流变曲线图

比的增加而增大。胶结料浆质量浓度在 70%~72% 时已经表现出膏体特性。

5 结语

通过试验研究可以得出如下结论。

(1) 由于硫化物自胶作用使充填体早期强度提高较快,但后期强度呈下降趋势,并表现为灰砂比越低,硫化物对充填体后期强度影响越大。因此,为降低硫酸盐对水泥的侵蚀作用,采用胶结充填时,可适当增加水泥的添加量,也可以选用具有抗硫酸盐侵蚀的矿用水泥或粉煤灰等材料^[5]。

(2) 灰砂比对充填体的抗压强度影响较明显,但过高的灰砂比会显著地增加充填成本,因此可以从充填料粒级和充填浓度方面改善充填体质量。尾砂充填料浆中可以添加一定比例的河砂、细石等粗骨料,改善其粒级组成;同时也可用部分掘进废石充填采空区,以降低尾砂充填比例。

(3) 依据充填料浆输送特性试验,该矿全尾砂充填料浆浓度 70%~72% 已经表现出膏体特征,为矿山膏体充填系统建设提供了重要依据,最终料浆浓度可根据充填料浆环管输送试验等研究确定。

[参考文献]

- [1] 张钦礼,王新民,田明华. 硫化物对充填体强度的影响[J]. 矿业研究与开发,2004,24(z1):168-169.
- [2] 王宝,张虎元,董兴玲等. 硫化物氧化对充填体长期强度的影响[J]. 化工矿物与加工,2007,(10):29-31.
- [3] 于润沧. 采矿工程师手册(下)[M]. 北京:冶金工业出版社,2009.
- [4] 刘同有等. 充填采矿技术与应用[M]. 北京:冶金工业出版社,2001.
- [5] 张钦礼,康度,肖富国等. 含硫高粘性尾矿胶结充填关键技术[J]. 金属矿山,2010,(11):39-42.