

云南某铅锌矿全尾砂膏体室内实验研究

杨冬生¹, 杨仕教^{1*}, 王洪武²

(1. 南华大学 核资源与核燃料工程学院, 湖南 衡阳 421001; 2. 湖南风格科技有限公司, 湖南 长沙 410000)

摘 要:对云南某铅锌矿采用全尾砂膏体充填方案开展了室内实验研究, 分析了全尾砂基本物理化学性质(粒级组成、化学成分), 并进行了全尾砂自然沉降试验、坍落度试验、全尾砂试块单轴强度试验, 获得了全尾砂及全尾砂胶结料的自然沉降特性、流动性能、析水性能及强度特性。试验结果显示:全尾砂自然沉降 2~3 h 后, 重量浓度达到 72%~76%, 需要添加絮凝剂加快沉降;全尾砂胶结料的重量浓度为 78%~79% 时, 坍落度为 24~17 cm, 基本无析水(1%~0.6%), 充填料呈膏体状态, 适合长距离输送;全尾砂膏体配合比在 1:4~1:12 时, 28 d 单轴抗压强度达到 1~4 MPa。室内实验初步表明该矿山可以采用全尾砂膏体充填方案。

关键词:全尾砂; 膏体; 自然沉降特性; 流动性能; 强度特性

中图分类号:TD853.34

文献标识码:B

Laboratory Tests (Study) on the Cream-body Made by Unclassified Tailings Sand of Some Lead-Zinc Mine in Yunnan Province

YANG Dong-sheng¹, YANG Shi-jiao^{1*}, WANG Hong-wu²

(1. School of Nuclear Resources and Nuclear Fuel Engineering, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China; 2. Fengge Technology Company Ltd. in Hunan, Changsha, Hunan 410000, China)

Abstract: The experimental researches on the scheme of unclassified tailings cream-body of some lead-zinc mine in Yunnan province mainly analyse the physical and chemical properties of the complete caudal sand and study on natural sedimentation of unclassified tailings, slump and uniaxial strength of the fill material, from which the Natural Sedimentation of the unclassified tailings, flowability, water separating performances and strength characteristics has been obtained. The test results show as follows: after 2~3 hours of natural sedimentation, the weight concentration of complete caudal sand could reach 72%~76%, which needs to add the flocculant to accelerate subsidence of the unclassified tailings,

收稿日期: 2010-12-07

作者简介: 杨冬生(1981-), 男, 山东菏泽人, 南华大学核资源与核燃料工程学院硕士研究生。主要研究方向: 采矿工艺。* 通讯作者。

while the weight concentration of complete is 78% ~ 79%, the slump is 24 ~ 17 cm, and the water of the filling material bleeds at 1% ~ 0.6%, the filling material is in cream-body condition and suitable for long-range transport. While the mixture ratio of the fill material at 1:4 ~ 1:12, the uniaxial compressive strength is up to 1 ~ 4 MPa. The laboratory tests primarily show that some lead-Zinc Mine in Yunnan can adopt the scheme of filling with cream-body made by unclassified tailings sand.

key words: unclassified tailings sand; cream-body; natural sedimentation characteristics; flowability; strength characteristics

0 引言

全尾砂膏体充填方法由于不需要进行尾砂分级,充分利用了细颗粒尾砂,减少了环境污染,充填料输送性能好、采场(空区)充填后无需脱水,充填效率高,因而全尾砂膏体充填采矿法成为当今世界最重要的一类采矿方法。

全尾砂膏体充填方法由于技术要求严格,限制了该方法在国内的推广应用.其关键技术是全尾砂膏体的制备、输送和充填体强度,膏体浓度的选取至关重要,既要考虑充填体强度要求又要使充填料浆能在简单工艺下顺利送达井下^[1-3]。

本次实验为云南某铅锌矿全尾砂膏体方案可行性的室内实验,通过对全尾砂物理化学性能的研究,开展全尾砂自然沉降实验、坍落度试验、全尾砂试块单轴强度试验.力求获得全尾砂膏体充填环管试验和工业试验所需要的充填料性能参数和工艺参数。

1 尾砂基本物理化学性质分析

1.1 全尾砂粒径、粒级组成分析

全尾砂的粒级组成是全尾砂膏体充填的重要因素,直接影响充填体的胶结性能和胶结剂的消耗量,尾砂的细度对膏体充填料的性能也具有重大影响.制备膏体充填料浆所需要的水也随粒径的减小增加.一般采用筛分法对粗尾砂进行粒度分析,采用激光测定仪对细尾砂进行粒度分析.通过平均粒径和粒度分布参数描述粒度的特性^[4]。

试验对全尾砂粒级组成分别采用筛分法分析(分析分析结果如表 1 所示)和 Cilas 激光测定仪(测定结果如图 1)。

由全尾砂粒径、粒级分析结果得出:
1) 尾砂中 10% 颗粒能通过筛孔直径 $d_{10} = 1.63 \mu\text{m}$, 满足膏体充填料对尾砂细颗粒含量的要求;

表 1 全尾砂粒级组成
Table 1 The size fraction composition of unclassified tailings

粒级/目	产率/%	累计产率/%
+ 100	16.33	100.00
- 100 ~ + 120	5.78	83.67
- 120 ~ + 140	3.18	77.89
- 140 ~ + 200	13.41	74.71
- 200 ~ + 270	9.97	61.30
- 270 ~ + 325	4.02	51.33
- 325 ~ + 400	3.93	47.31
- 400	43.38	
合 计	100.00	

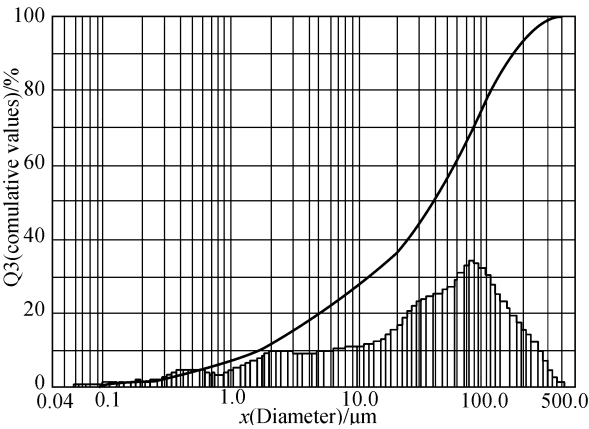


图 1 全尾砂粒级组成分析
Fig.1 Size fraction composition analysis of unclassified tailings

- 2) 粒级组成的不均匀系数 $C_u = d_{60}/d_{10} = 35$
式中 d_{60} —60% 的尾砂能通过筛孔的直径;
 d_{10} —10% 的尾砂能通过筛孔的直径.
- 3) 颗粒加权平均粒径 $d_{av} = 60 \mu\text{m}$ 、90% 颗粒通过的筛孔直径 $d_{90} = 155.72 \mu\text{m}$ 、尾砂颗粒粒径集中在 18 ~ 200 μm , 且 $d_{max} = 400 \mu\text{m}$, 尾砂颗粒均匀, 74 μm (- 200 目) 颗粒含量 68% .

加权平均粒径 $d_{av} = \sum_{i=1}^n (d_i \cdot G_i)/100$;

式中: $d_i = (d_{\max}^i + d_{\min}^i)/2$,即每个筛分粒级的上限粒径和下限粒径的平均值;
 G_i —该粒级在总式样中所占的重量百分比;
 N —筛分时的粒级数.

从测试分析结果可知,该矿山生产的全尾砂可以用来制备膏体充填料,但尾砂整体粒径偏小可能会对充填体强度造成不利影响.

1.2 全尾砂化学成分分析

尾砂的化学成分对充填料的物态特性和胶结性能均有影响,其中以硫化物含量对胶结充填体性能的影响最为显著.会因其自胶结作用而使胶结充填料获得较高的强度,但由于硫化矿物的氧化产生的硫酸盐可导致胶结充填体长期强度的损失^[4-7].因此,应对用于作为充填料的全尾砂的化学成分分析(如表 2).

表 2 全尾砂化学成分分析

Table 2 The chemical constituents of unclassified tailings

试样编号	测试成分	检测结果/%	备注
1021	Fe	1.53	
	FeO	1.40	
	Fe ₂ O ₃	0.63	
	Al ₂ O ₃	0.58	
	CaO	31.84	
	MgO	15.93	
	SiO ₂	6.27	
	K ₂ O	0.18	
	Na ₂ O	0.027	
	MnO	0.63	
	C	11.12	
	S	0.35	
	P	0.001 3	
	Ig	41.71	

实验结果表明:

- 1) 尾砂中 Na、P、S、K 含量低,尾砂具有良好的化学稳定性能;
- 2) 当水泥中含大量过烧或欠少的 MgO、CaO 时,其水化可导致充填体膨胀和开裂,尾砂中 MgO、CaO、含量较高,由于其水化可导致充填体

膨胀和开裂,可能会对充填料的强度质量造成较大不利影响.

对化学性质和岩石属性,尾砂基本适合用于胶结充填料骨料.

2 全尾砂自然沉降性能分析

全尾砂的自然沉降性能是其做为充填料的重要参数之一,根据选矿厂尾砂的实际生产情况,试验分别测试重量浓度为 20%、25%、30% 的全尾砂料浆的自然沉降浓度随时间的变化情况,每个浓度做六组实验,取其平均值并取数据离散度小于 10% 有效,结果见图 2.

实验结果表明,全尾砂在 2~3 h 时浓度达到 72%~76%,可加絮凝剂以加速初凝浓度.全尾砂料浆 12 h 后重量浓度可达 80% 左右,自然沉降浓度高,可达到全尾砂做充填料的要求.

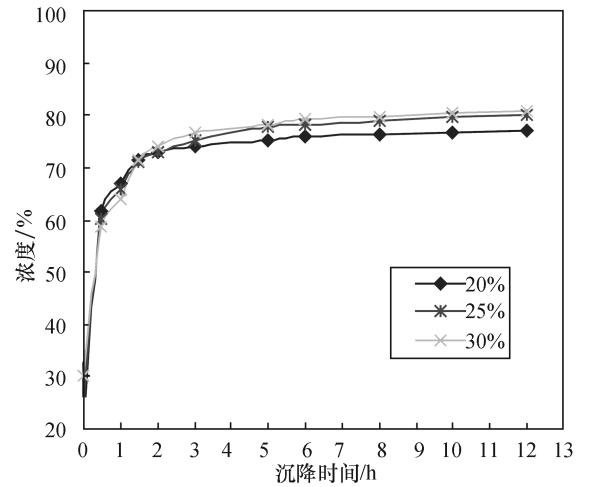


图 2 全尾砂自然沉降分析

Fig. 2 Natural sedimentation analysis of unclassified tailings

3 坍落度试验

3.1 试验设计

坍落度是指混凝土的和易性,具体来说就是保证施工的正常进行,其中包括混凝土的保水性,流动性和粘聚性.借鉴建筑工程中混凝土材料坍落度的概念,对不同配比料浆的坍落度进行测量,得到该矿山全尾砂的一些基本规律.

坍落度的测试方法:用一个上口 100 mm、下口 200 mm、高 300 mm 喇叭状的坍落度桶,灌入混凝土后捣实,然后拔起桶,混凝土因自重产生塌落现象,用桶高(300 mm)减去塌落后混凝土最高点

的高度,称为塌落度. 如果差值为 10 mm,则塌落度为 10^[8-9].

将试验分成灰砂比分别为 1:8 和 1:16 的两组进行,每组设计浓度分别为 75%、76%、77%、78%、79%、80%、81%、83%. 将料将搅拌均匀用坍落度仪测其坍落度,并用烧杯取部分料将,测其重量,4 h 后倒掉料浆析出的清水称其重量(实验表明该尾砂料浆 4 h 后自然沉降趋于稳定),求出析水率.

3.2 实验结果

1)不同灰砂比重量浓度与坍落度关系如表 3 所示(坍落度单位:cm).

表 3 坍落度随浓度灰砂比变化关系(cm)

Table 3 The relationship between slump with cement-sand ratio

灰砂比	浓度/%						
	75	77	78	79	80	81	83
1:8	27.9	26	22.9	17.1	9.8	6.5	3.6
1:16	28.4	26.5	23.9	19	9.7	9	4.8

2)不同灰砂比重量浓度与析水率关系如表 4 所示.

表 4 析水率随浓度灰砂比的变化关系(%)

Table 4 The relationship between syneresis rate with cement-sand ratio

灰砂比	浓度/%						
	75	77	78	79	80	81	83
1:8	1.98	1.68	1.08	0.82	0.69	0.38	0.26
1:16	1.96	1.19	0.95	0.63	0.49	0.44	0.32

实验结果表明:

- 1) 全尾砂料浆的坍落度随浓度的增大而减小,重量浓度在 77% ~ 80% 影响较为显著,即流动性随料浆重量浓度的增大而减小,在重量浓度为 77% ~ 80% 时,流动性随料浆浓度的增大减小更快;
- 2) 充填料浆重量浓度为 75% ~ 77% 时,充填料流动性较好,但析水量较大,对充填体初凝、强度都会带来较大不利影响;
- 3) 充填料重量浓度为 78% ~ 79% 时全尾砂料将为膏体料将,坍落度在 24 ~ 17 cm,基本无析水(1% ~ 0.6%),不会产生沉降、离析,适合长距离输送,但输送阻力较大,通常需采用正排量泵压

- 力输送;
- 4) 充填料重量浓度大于 80%,为干硬性物料,流动性极差,不适合管道输送;
- 5) 灰砂比为 1:16 的重量浓度料浆的坍落度稍大于 1:8 重量浓度的料浆;
- 6) 重量浓度在 75% 以上的料浆析水率小(小于 2%),充填料浆井下无需排水,适合井下充填.

4 不同灰砂比、重量浓度配方充填体单轴抗压强度试验

要使充填体能有效控制地压,为回采矿柱提供条件,充填体必须具备一定的强度. 一般来说,胶结充填体的所需强度(指单轴抗压强度)因矿山而异,主要取决于具体的开采条件和充填条件. 充填体的强度设计应当基于充填体在采空区所起的力学作用来考虑^[5-8]. 本实验通过制备长度为 7.07 cm 的标准试块,测量其不同龄期(3、7、14、28 d)的单轴抗压强度(如表 5),以分析能否满足采矿工艺需要,研究分析灰砂比、料浆重量浓度和龄期对充填体强度的影响规律.

试验结果表明:

- 1) 充填料初凝时间在 14 d 左右,初凝时间长将导致回采循环周期长,降低生产效率,影响安全生产. 为缩短初凝时间,可通过添加早强剂方式来加快充填料初凝.
- 2) 试块 28 d 强度较初凝强度有明显的增大.
- 3) 试块强度随料浆重量浓度增加而增加,料浆浓度对试块最终强度影响显著.
- 4) 灰砂比对试块初凝强度没有显著影响,主要是全尾砂平均粒径太细引起的. 为改变其初凝强度,建议添加适当粗颗粒或在尾砂脱水时去掉部分超细颗粒,以优化尾砂级配.

5 结 论

- 1) 该铅锌矿全矿尾砂级配可以满足膏体制备要求;全尾砂自然沉降 2 ~ 3 h 后,重量浓度达到 72 ~ 76%,需要添加絮凝剂加快沉降;12 h 后重量浓度可达 80% 左右.
- 2) 从尾砂的矿物组分和化学性质分析,全尾砂中 Na、P、S、K 含量低,充填体性能稳定可用于胶结充填料骨料;
- 3) 全尾砂膏体浓度较高,重量浓度为 78% ~ 79% 时坍落度在 24 ~ 17 cm,基本无析水(1% ~ 0.6%),流动性能较好,能满足泵送要求;

表 5 强度随浓度灰砂比变化关系

Table 5 The relationship between uniaxial compressive strength with cement-sand ratio

灰砂比	浓度/%	料浆容重/(t·m ⁻³)	单轴抗压强度/MPa				备 注
			3 d	7 d	14 d	28 d	
1:4	76	1.98			1.20	2.19	
	78	2.03		0.11	1.23	2.74	
	79	2.03		0.12	1.27	3.57	
	80	2.05		0.13	1.36	3.83	
	82	2.09	0.12	0.23	2.51	4.32	
1:8	76	1.98			1.10	1.15	
	78	2.02			1.14	2.80	
	79	2.05		0.10	1.22	2.78	
	80	2.06		0.11	1.41	2.84	
	82	2.08		0.15	1.73	3.1	
1:12	76	1.98			0.89	1.2	
	78	2.02		0.09	1.11	1.52	
	79	2.04		0.10	1.12	1.63	
	80	2.05		0.12	1.18	1.67	
	82	2.10		0.15	1.19	2.13	
1:16	76	1.96				0.97	
	78	2.03			0.68	1.17	
	79	2.04		0.09	0.76	1.33	
	80	2.06		0.10	1.15	1.41	
	82	2.11		0.12	1.38	1.56	

4)膏体充填料强度 28 天时可达到 4 MPa,可以满足采矿设计和开采所需要强度指标要求.

综上该矿山全尾砂属于细粒级尾砂,流动性较好,基本无析水,在适当配合比浓度时可达到采矿工艺需要,可采用全尾砂膏体充填方案.为进一步研究全尾砂的性能,需在此基础上进行环管、L 管实验,以便更准确详细掌握全尾砂充填料的性能,充分服务于采矿工艺要求.

参考文献:

[1] 王方汉,姚中亮,曹维勤.全尾砂膏体充填技术及工艺流程的实验研究[C]//中国有色金属学会.第八届国际充填采矿会议论文集.北京,2004:51-55.

[2] 王新民,赵彬,张钦礼,等.全废料胶结充填的可行性研究[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2008,23

(2):111-114.

[3] 许东俊,陈从新,肖国峰.充填工程学介绍[J].岩土力学,2008,29(2):567-570.

[4] 周爱民.矿山废料胶结充填[M].北京:冶金工业出版社,2006.

[5] 邓代强,高永涛,姚中亮.胶结充填材料力学特性影响因素回归分析[J].有色金属,2008,60(4):120-124.

[6] Revell M B.膏体强度[C]//中国有色金属学会.第八届国际充填采矿会议论文集.北京,2004:219-225.

[7] 肖卫国.深井充填技术的研究[D].长沙:中南大学,2003.

[8] 刘同有.充填采矿技术与应用[M].北京:冶金工业出版社,2001.

[9] 蔡嗣经.充填采矿技术与应用[M].北京:冶金工业出版社,2009.