

文章编号: 1674-2869(2016)04-0369-07

废石尾砂混合料浆充填启动方式与管输阻力

杨志强^{1,2}, 高 谦^{1*}, 陈得信², 武拴军^{1,2}

1. 北京科技大学土木与环境工程学院, 北京 100083;

2. 镍钴资源综合利用国家重点实验室, 金川集团股份有限公司, 甘肃 金昌 737100

摘 要: 针对金川矿山充填法采矿, 研究了废石尾砂混合充填料浆配比设计与充填工艺, 解决混合粗骨料料浆充填在启动阶段存在的沉淀离析难题, 为废弃物在充填采矿中应用奠定基础. 分别进行细砂引流、分级尾砂引流和直接放流三种启动方式的工业试验以及管道输送阻力损失试验. 结果表明, 直接放流启动方式可用于混合粗骨料充填料浆在起始阶段的管道输送. 根据混合粗骨料的料浆管输阻力试验, 建立充填料浆管道输送阻力与管径、料浆流速和料浆浓度的关系, 确定废石与尾砂配合质量比为 6:4 的混合粗骨料料浆可输送上限浓度为 78%. 在此条件下, 混合粗骨料料浆管输阻力最小.

关键词: 废石; 尾砂; 混合充填料浆; 管输阻力损失; 工业充填试验

中图分类号: TD863

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1674-2869.2016.04.011

Backfilled Starting Modes and Pipeline Resistance of Mixed Slurry Prepared with Waste Rocks and Tailings

YANG Zhiqiang^{1,2}, GAO Qian^{1*}, CHEN Dexin², WU Shuanjun^{1,2}

1. School of Civil and Environmental Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China;

2. National Key Laboratory of Nickel and Cobalt Resources Comprehensive Utilization, Jinchuan Group Co. Ltd., Jinchuan 737100, China

Abstract: The waste rocks and tailings were used to make backfilled mixed slurry in Jinchuan mining, and the ratio design and filling technology were studied to solve the problems of precipitation and segregation in the startup phase for the application of waste in filling mining. The industrial and pipeline resistance tests were carried out by adopting three start modes of sand drainage, grade tailings drainage and direct discharge stream. The results show that the direct discharge steam can be used to pipeline delivery of mixed coarse aggregate backfill slurry in start-up phase. The relationships among pipeline resistance, diameter, flow rate and mass fraction of backfill slurry were described by the pipeline resistance tests. The maxiam mass fraction of mixed coarse aggregate backfill slurry delivered by pipeline is 78% at the ratio of waste rocks to tailings of 6:4, meanwhile, the pipeline resistance is the smallest.

Keywords: waste rocks; tailings; mixed bakfill slurry; pipeline resistance loss; industrial filling test

1 引 言

随着采矿技术条件好以及埋藏浅的资源开采接近枯竭, 人们面临更多的是条件差、品位低的难

采矿床. 同时我国对资源开发的环境保护日趋重视和要求严格, 充填采矿法将在未来资源开发中占有重要地位. 资源开发伴随大量废石、尾砂、废渣、废水等废弃物排放, 废弃物在充填采矿中实现

收稿日期: 2016-04-04

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)(SS2012AA062405); 镍钴资源综合利用国家重点实验室资助项目(金科矿 2015-01)

作者简介: 杨志强, 教授级高级工程师. E-mail: YangZQ@jnm.com

*通讯作者: 高 谦, 教授. E-mail: gaoqian@ces.ustb.edu.cn

资源化利用,不仅能够保护环境,而且还可以降低充填采矿成本,获得显著的经济效益和社会效益。

由于废石和尾砂的物化特性与粒径级配存在较大差异和不确定性,使得废弃物作为充填料在充填应用中面临诸多困难。废石粗骨料充填料浆的分层离析,尤其在充填起始阶段更为突出,是影响废弃物工业化应用的技术难题之一。料浆离析不仅降低充填体强度和整体稳定性,而且还增大管输阻力,潜在堵管与爆管事故风险。为了实现废石尾砂在充填采矿中的可靠应用,在室内试验的基础上,金川矿山开展了混合粗骨料充填料浆管道输送试验研究,为废石尾砂废弃物在充填采矿中应用提供了理论依据。

金川镍矿是我国的一座大型硫化铜镍矿床。矿床埋藏深、高地应力和矿岩破碎是其特征,导致矿床开采面临严峻困难。因此采用棒磨砂作为骨料、水泥作为胶凝材料,实施下向分层进路胶结充填法开采^[1-3],充填材料成本达 147 元/m³,其成本之高在国内外不多见。为了降低采矿成本,金川矿山开展了低成本采矿技术研究。刘同有等^[4]首次开展镍渣替代棒磨砂的矿渣与全尾砂混合骨料采矿技术研究,进入 21 世纪以来,以废石—全尾砂混合料作为集料的充填技术研究取得进展^[5-7]。为了利用废石集料,张磊等^[8]开展了粗骨料级配与充填体强度的试验,姚维信等^[9]开展了废石粗骨料高浓度充填理论与应用技术研究,苑雪超^[10]、王晓宇^[11]和张秀勇^[12]进行粗骨料充填料浆流变特性与管道输送阻力研究。结果发现,废石粗骨料在充填采矿中应

用的关键是充填料浆分层离析控制技术。尤其在开始由低浓度向高浓度过渡阶段,起始阶段的低浓度料浆中的粗骨料极易沉淀离析,存在巨大的堵管爆管事故风险。由此可见,废石、尾砂等废弃物在充填采矿中可靠地应用,不仅涉及到混合充填料浆的配比优化设计,还与启动工艺、过程控制以及规范化操作等充填工艺密切相关。在充填过程中对充填物料状态的实时检测和精确控制,是实现高浓度充填料浆安全、可靠与稳定运行的基础。尤其充填系统在启动过程中的操作与控制,是废石粗骨料充填工艺的关键环节。在前期研究的基础上,结合金川矿山充填系统和废石粗骨料物化特性与粒径级配,针对不同配比条件下的废石尾砂混合充填料,开展了不同流速、不同浓度以及不同管径条件下充填料浆管道输送阻力试验和分析,研究混合料浆流变特性和管道输送阻力损失,为废石尾砂混合骨料的优化设计和工业化应用奠定基础。

2 实验部分

2.1 废石尾砂粒度级配与料浆配比设计

2.1.1 金川尾砂粒径与级配 根据金川矿山全尾砂取样,测得尾砂全粒级组成见表 1。粒径特征值为 $d_{10}=5.90\ \mu\text{m}$ 、 $d_{50}=62.18\ \mu\text{m}$ 、 $d_{90}=124.35\ \mu\text{m}$ 、 $d_{av}=64.55\ \mu\text{m}$ 。全尾砂中不规则状、片状以及块状颗粒占多数,类圆形占极少数,粒径分布并不均匀,粗粒表面被极细粒级絮状物质所粘附。全尾砂中粒径大于 0.15 mm 的仅占不到 10%。

表 1 金川矿山全尾砂粒级组成分析结果

Tab. 1 Analytical results of graded composition of full taillings in Jinchuan mine

diameter/ μm	-5	-10	-20	-50	-75	-100	-150	-180	+180
grader retained percentage/%	8.89	5.03	6.32	19.9	20.8	18.21	16.79	2.99	1.07
accumulated retained percentage /%	8.89	13.92	20.24	40.14	60.94	79.15	95.94	98.93	100

2.1.2 金川废石粒径与级配 针对金川破碎废石集料取样分析,获得-16 mm 废石骨料的加权平均粒径为 $d_{av}=5.803\ \text{mm}$ 、 $d_{10}=0.391\ \text{mm}$ 、 $d_{40}=4.654\ \text{mm}$ 、 $d_{50}=5.235\ \text{mm}$ 、 $d_{60}=7.023\ \text{mm}$ 、 $d_{90}=13.501\ \text{mm}$ 。

2.1.3 废石尾砂料浆配比设计 根据室内充填体强度和流变试验结果,确定废石与尾砂质量比分别为 5:5 和 6:4、水泥耗量为 260 kg/m³和料浆浓度为 77%~80%(质量分数,下同)的试验方案。根据金川矿山充填系统和技术参数,确定充填料浆满足可泵性管输要求的混合料浆试验工艺和技术参数。

2.2 混合料浆试验工艺与步骤

根据金川矿区膏体充填系统,进行废石尾砂混合料浆工业充填试验的工艺流程如图 1 所示。充填工艺按照以下步骤实施。

2.2.1 充填试验材料的准备

1) 充填骨料的准备。将废石从废石场铲装运输,进入一选厂进行二段破碎。将废石破碎成-16 mm 的废石集料,然后采用汽车称重并且按一定比例运到砂仓,与尾砂按比例混合;最后利用抓斗皮带进行上料,经圆盘的定量给料,通过皮带运输到料浆的搅拌系统。

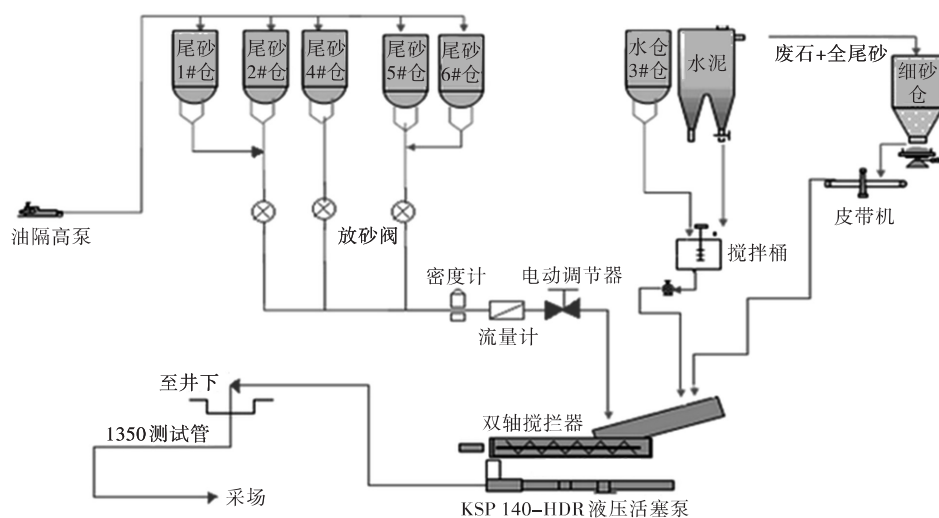


图1 金川二矿区废石尾砂混合料浆充填试验工艺流程

Fig. 1 Flowchart of filling test of mixed slurry prepared with waste rocks and tailings in Jinchuan's No. 2 mine

2)散装水泥的准备.从金昌水泥厂采用30 t的水泥罐车运输到充填站,并利用风力运输至水泥仓;再采用螺旋给料系统进入搅拌桶进行制浆,并根据充填系统设定的充填料浆浓度进行混合料浆的搅拌.

2.2.2 充填试验管道系统设计与安装 为了检测不同条件下废石尾砂混合料浆的泵压管道输送特性,试验管道系统设计考虑以下因素:

1)根据金川二矿区充填管道系统实际和工业试验要求,考虑混合充填料浆的充填能力大于 $70 \text{ m}^3/\text{h}$,且在一般情况下,沿程阻力损失随着管径的增大而降低,因此充填系统设计包含3种不同管径的管道输送系统.在工业试验中,检测不同管径的废石尾砂料浆泵压数据,由此揭示管径对充填料浆输送特性的影响规律.

2)工业试验设计安装管道直径由大变小.在试验区段内对管道进行加固处理,避免压力过大造成管道移动.利用无缝钢管或者耐磨的管材,属于GB8163或者GB8162系无缝钢管.

3)试验管道需要布置在1350 m中段充填巷道内,其中 $\Phi 59 \text{ mm}$ 无缝钢管长约50 m, $\Phi 143 \text{ mm}$ 钢管长约50 m, $\Phi 133 \text{ mm}$ 钢管长约50 m.在管道上布置12~15个测压点,每组管道布置测点4~5个.

4)进入试验采场的管道采用现有的充填管道.工业试验中1350 m水平安装管道及压力计位置布置如图2所示.

2.2.3 工业充填试验的参数测定 试验过程的检测参数涉及各类物料的供应流量以及混合充填料浆的流量、管道设计点位压力(沿程管道输送阻力损失)以及料浆浓度和充填料浆塌落度等.需统计的参数包括每组试验的废石量、水泥量、尾砂量、用水量以及充填用时等累计的总量和分段的用量,每组试验的水灰比、灰砂比、料浆浓度、废石尾砂比,每组试验的累计的流量、分段的流量、泵冲程的频率,试验管路系统的、压力计的位置和距离,读数仪的数据,采场进路中充填下料点的位置,进路充填体的强度等参数和进路充填量.

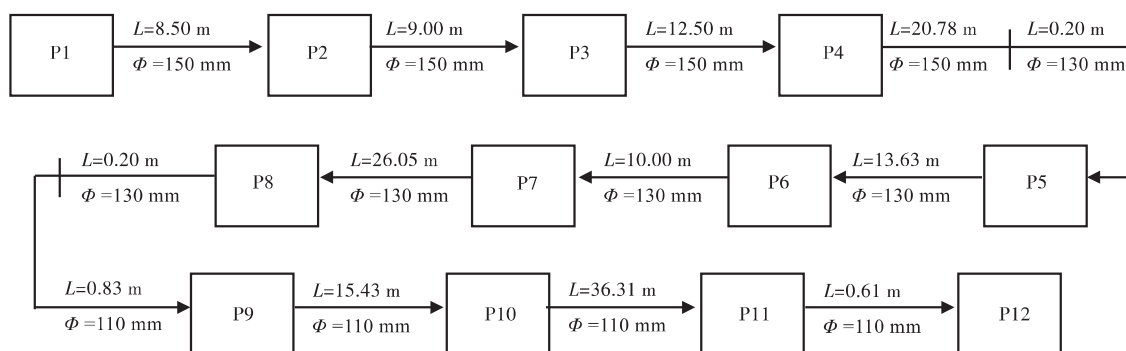


图2 金川二矿区1350 m水平试验管道安装与压力计布置图

Fig. 2 Diagram of test pipe installation and manometer arrangement at 1350 m level in Jinchuan's No. 2 mine

2.2.4 料浆管道输送压力检测 采用压力计检测管道输送过程中的设计点位置压力值. 为了检测到测点浆体压力的可靠数据, 采用 20 通道数据的记录仪. 管道输送压力检测布置在 1 350 m 水平充填巷道内.

2.2.5 输送料浆浓度检测 针对工业充填试验为开路系统, 采用料浆密度检验法. 按照 20 min 的时间间隔进行料浆浓度检测、分段材料的用量统计和累计量的统计, 并且需要核定充填料浆平均浓度.

2.2.6 管道输送料浆流量检测 利用充填料浆的流量计, 按照 20 min 间隔检测料浆流量和分段累计流量. 根据检测到料浆流量、混凝土泵活塞冲程频率和采场进路充填量的统计结果, 计算管道充填料浆的平均流量和平均流速, 由此检验泵活塞冲程频率标定结果的可靠性.

3 结果与讨论

3.1 充填料浆制备与启动方式试验

3.1.1 充填料浆搅拌设备与技术参数 金川矿山采用 ATDⅢ-Φ 700 型双螺旋搅拌槽, 其主要参数为: 外叶片直径 60 cm, 内叶片直径 45 cm, 大叶片转 1 周料浆推进的距离 40 cm, 小叶片转 1 周料浆推进的距离 30 cm. 大叶片的厚度 7.5 cm, 有效搅拌的距离为 12 cm×40 cm(12 个叶片数). 搅拌槽的宽度 145 cm、长度为 5.7 m, 两叶片的间隙为 5 cm, 叶片与槽壁的间隙为 1.5 cm. 搅拌槽电机的调频为 12 Hz~15 Hz, 搅拌轴的转速为 20 r/min~30 r/min, 外叶片的线速度为 0.628 m/s~0.942 m/s, 内叶片的线速度为 0.471 m/s~0.707 m/s. 搅拌槽的容积为 5.1 m³~5.8 m³, 液位常处于 700 mm~800 mm. 按 90 m³/h~100 m³/h 充填能力来计算, 料浆搅拌槽内的有效搅拌时间为 180 s~200 s, 满足废石和尾砂混合充填料浆搅拌要求.

3.1.2 工业试验充填料浆启动方式试验 废石和尾砂混合充填料的最大粒径为 16 mm, 充填料浆在启动阶段尚未达到设计浓度, 因此料浆将沉淀系列, 潜在堵管爆管风险. 为了解决起始阶段低浓度充填料浆大颗粒骨料沉淀离析问题, 开展了细砂引流、分级尾砂引流和废石直接放流三种启动方式的充填试验.

1) 细砂引流启动方式. 细砂引流的启动方式在废石和尾砂混合料浆充填之前, 首先利用矿山现用的膏体充填方式和技术参数进行充填系统的启动作业, 等待料浆浓度提高到设计浓度稳定后

再逐渐加入废石粗骨料, 并停止棒磨砂供应, 进入废石尾砂混合粗骨料充填料浆充填阶段. 表 2 为金川膏体充填工艺配比参数和料浆浓度. 细砂引流启动每次在 2# 仓底部储备一定的棒磨砂, 然后加入废石尾砂混合料. 圆盘机首先放出细砂, 经过 30 min~60 min 过渡至废石尾砂混合料, 过渡时间由 2# 仓储备细砂量决定. 图 3 为细砂引流充填试验的造浆结果, 由此可见, 细砂引流启动方式在向废石粗骨料充填过渡阶段的料浆浓度比较稳定, 表明该种启动方式效果较好.

表 2 膏体充填配比参数与料浆浓度
Tab.2 Ratio parameters of paste material and mass concentration of slurry

<i>m</i> (grinding sand) : <i>m</i> (tailing)	concentration of releasing slurry with tailing /%	moisture content of grinding sand /%	mass concentration/%
1 : 1	60	5	79.8
		8	78.5
	55	5	76.0
		8	75.3
3 : 2	60	5	82.2
		8	81.2
	55	5	79.3



图 3 细砂引流试验中的造浆结果
Fig. 3 Pulping results of sand drainage test

2) 分级尾砂引流启动方式. 改造后的充填系统可以实现尾砂仓直接造浆进入双轴搅拌槽的添加工艺. 利用尾砂仓内沉淀的废水形成循环制浆, 尾砂放砂浓度为 50%~70%. 分级尾砂引流试验操作步骤为: 首先启动系统试水 3 min~5 min, 然后按预定灰浆比例放灰浆和放 5 min 的分级尾砂, 最后加入废石尾砂混合料, 5 min~10 min 即可将料浆浓度提高到 77% 左右. 料浆浓度稳定后连续输送 5 min 关闭尾砂浆, 加大废石尾砂混合料的供给

量,并调整加水量,保持充填料浆浓度的稳定.图4显示分级尾砂引流试验的造浆结果.由此可见,分级尾砂引流效果也较好,过渡阶段的充填料浆浓度比较稳定.

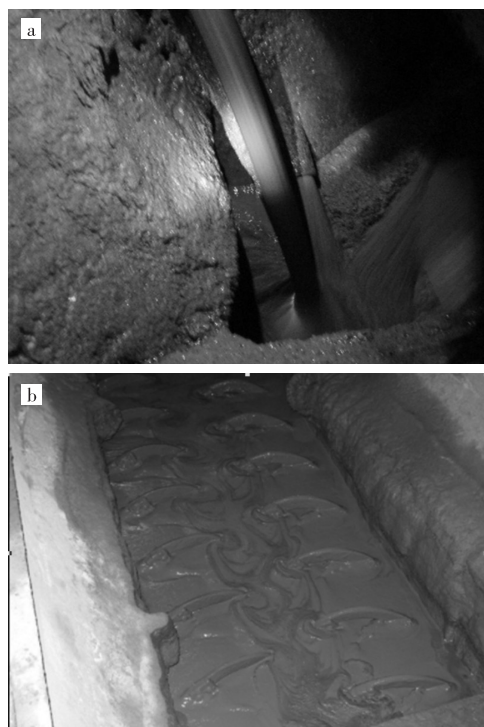


图4 (a)分级尾砂引流试验及(b)造浆结果

Fig. 4 (a)Drainage test of graded tailings and (b) pulping results

3)废石尾砂直接放流启动方式.废石尾砂直接放流方式试验操作步骤为:首先启动系统试水3 min~5 min,然后按预定的灰浆比例放灰浆大约5 m³到相应的搅拌槽高度之后启动泵,并且保持放灰浆连续;最后再加入废石尾砂混合料进行连续搅拌,大约10 min后可将料浆的浓度提高至约76%.当料浆浓度稳定,增大废石混合料并且调整加水量,维持料浆浓度稳定.随骨料量增大缓慢提高泵压至3.0 MPa~3.5 MPa实现连续输送.图5显示废石尾砂直接放流试验的造浆结果.由此可见,废石尾砂直接放流方式能够将料浆浓度迅速提高到设计浓度,避免起始阶段的分层离析.

3.1.3 充填启动方式与操作步骤 根据充填系统启动方式的工业试验结果表明,细砂引流方式虽然效果较好,但流程复杂,可操作性较差,难以在工程中推广应用.分级尾砂引流和废石尾砂直接放流均可迅速提高料浆浓度实现稳定启动.但分级尾砂需要对全尾砂进行分级处理,从而增加了充填工艺.因而推荐废石尾砂直接放流的方式进行粗骨料的充填,因此确定以下操作步骤:先按设

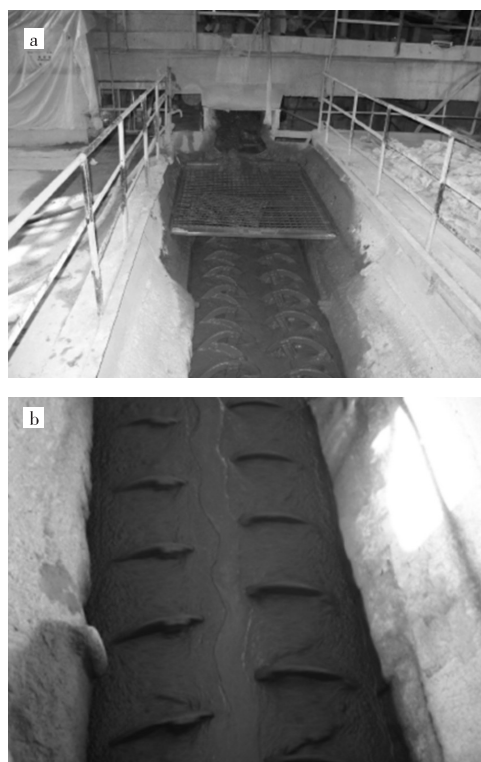


图5 (a)废石尾砂直接放流试验及(b)造浆结果

Fig. 5 (a)Direct exile test of waste rocks and tailings and (b)pulping results

计的配比配制废石和尾砂充填料以及完成上料,并且根据充填流量需求标定仪表,做好开车前准备工作;其次在加料前先用风水清洗管路,检查搅拌机 and 泵的喂料槽中是否有杂物;接着,利用膏体充填工艺系统程序,开泵输送细粒料浆或者灰浆润滑管道,再按配比要求均匀加废石尾砂混合料,达到预定料浆的设计浓度;然后,按充填系统相关规程进行搅拌槽液面高度控制以及泵的操作;最后,进行工业充填结束后,对充填系统泵活塞缸和喂料槽管路进行清洗,确保管道内不残留粗粒料和胶结料浆.

3.2 混合料浆管道输送阻力损失试验

与传统的棒磨砂充填料浆相比,废石尾砂充填料浆管道阻力显著增加.针对废石尾砂工业充填试验方案和确定的充填启动方式,开展废石尾砂混合料浆管输阻力试验.图6和图7分别给出不同管径的管输阻力损失与料浆流速和料浆流量的关系曲线.表3给出了废石尾砂质量比为6:4混合料浆的水平直管沿程摩擦阻力损失实测数据.

由图6可见,废石尾砂混合充填料浆管输阻力,随着料浆流速的提高呈现线性增加.在料浆浓度不大于78%时管输阻力较小,但当料浆浓度在78%~80.8%的范围内时,管输阻力迅速提高.由此

可见,对于废石尾砂配合质量比为6:4的混合骨料,充填料浆上限的浓度为78%。由图7发现,不同浓度的废石尾砂混合充填料浆,管输阻力随着充填料浆流量的增大而线性提高。管输阻力随着管径增大而降低,同时随着料浆浓度的提高而增大。由此可见,从降低管输阻力和减少管磨损的角度出发,在满足料浆最小输送速度的前提下,尽可能采用大直径管道输送。

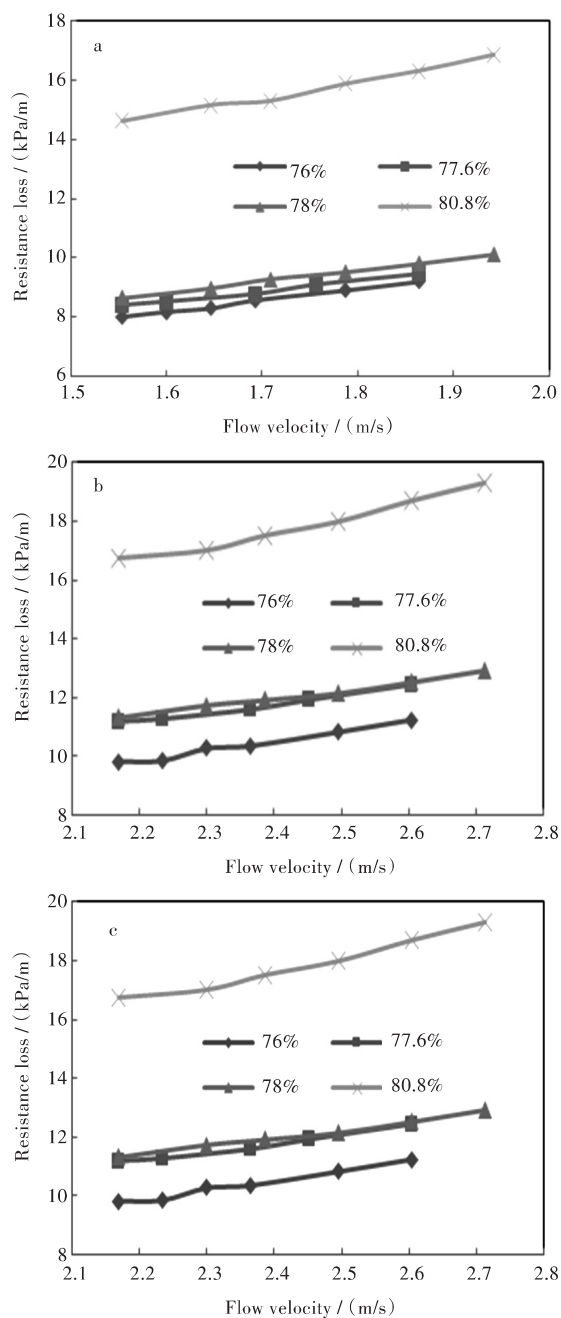


图6 管径为(a)150 mm、(b)130 mm、(c)110 mm时废石尾砂混合充填料浆管输阻力与流速的关系曲线

Fig.6 Relationship curves between pipe resistance and velocity of mixed slurry with waste rocks and tailings at pipe diameter of (a) 150 mm, (b) 130 mm and (c) 110 mm

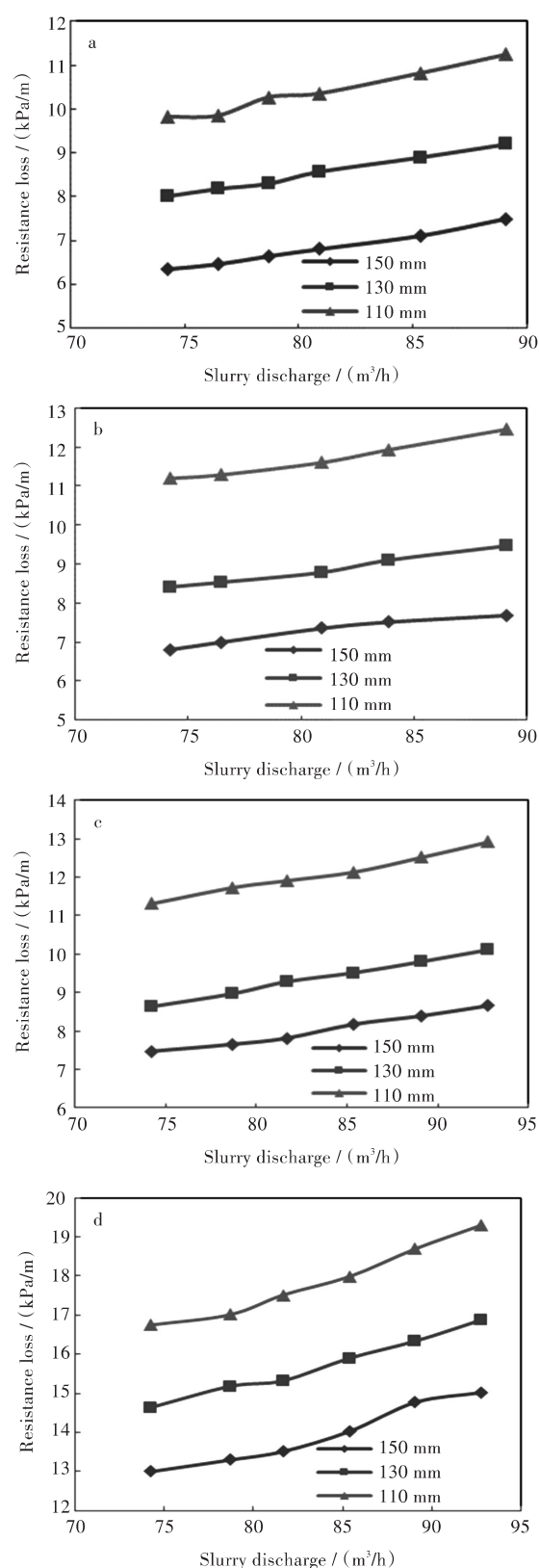


图7 废石尾砂混合充填料浆浓度为(a)76%、(b)77.6%、(c)78%、(d)80.8%时管输阻力与料浆流量的关系曲线

Fig.7 Relationship curves between pipe resistance and slurry discharge of mixed slurry with waste rocks and tailings at mass fraction of (a) 76%, (b) 77.6%, (c) 78% and (d) 80.8%

表3 废石尾砂质量比为6:4的混合充填料浆管输阻力工业试验结果

Tab. 3 Test results of industrial pipeline resistance of mixed slurry with waste rocks and tailings at the mass ratio of 6:4

mass fraction/ %	average flow $Q/(\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1})$	average velocity $u/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	pipe diameter /mm	resistance loss $\tau/(\text{Pa}\cdot\text{m}^{-1})$	B-H fluid model parameters		
					$\tau_0/(\text{Pa}\cdot\text{m}^{-1})$	$\eta/(\text{Pa}\cdot\text{s})$	n
76	80.79	1.27	150	6 808	2 458	3 090	1.43
76	80.79	1.69	130	8 522	3 167	2 817	1.22
76	80.79	2.36	110	10 394	3 636	2 457	1.18
77.6	80.92	1.27	150	7 269	2 590	3 642	1.04
77.6	80.92	1.69	130	8 859	3 165	3 318	1.03
77.6	80.92	2.37	110	11 689	4 743	2 932	1.00
78	83.64	1.31	150	8 028	2 608	4 094	1.03
78	83.64	1.75	130	9 387	2 818	3 734	1.01
78	83.64	2.44	110	12 087	5 139	2 838	1.00
80.8	83.64	1.31	150	13 935	4 199	7 378	1.01
80.8	83.64	1.75	130	15 708	5 773	5 642	1.01
80.8	83.64	2.44	110	17 877	5 933	4 897	1.00

4 结 语

为了将废石尾砂废弃物在金川矿山充填采矿中应用,针对混合粗骨料充填料浆在充填起始阶段存在料浆浓度低、粗骨料沉淀离析潜在的堵管爆管技术难题,开展了废石尾砂混合粗骨料充填料浆充填启动方式工业试验和管道输送阻力测试.

1)废石尾砂混合料浆浓度在76%~80.8%范围内属于宾汉体浆体,可采用宾汉模型来描述料浆的流变特性.

2)废石尾砂混合料浆管道输送阻力与废石尾砂质量比、料浆浓度、管道直径和料浆流速密切相关.在废石尾砂质量比为6:4的配比条件下,可输送的充填料浆的浓度上限为78%.

3)废石尾砂混合料浆管输阻力对料浆流速和管径变化敏感.因此在满足矿山充填生产能力的条件下,合理选择管径来优化充填料浆的流速,是实现粗骨料充填料浆减阻安全输送的关键技术.

参考文献:

[1] 周成浦. 金川胶结充填技术新进展[J]. 有色矿山, 1993(4): 1-9.
ZHOU C P. New progress of cemented filling technology in Jinchuan[J]. Nonferrous mines, 1993(4): 1-9.

[2] 刘同有,周成浦. 金川镍矿充填采矿技术的发展[J]. 中国矿业, 1999, 8(4): 1-2.
LIU T Y, ZHOU C P. Development of stopping-and filling technology at Jinchuan nickel mine[J]. China min-

ing magazine, 1999, 8(4):1-2.

[3] 王正辉. 充填体的质量与控制[J]. 采矿技术, 2001, 1(3): 16-18.
WANG Z H. Quality and control of filling body[J]. Mining technology, 2001, 1(3):16-18.

[4] 刘同有,韩斌,王小卫. 镍闪速炉水淬渣胶结充填配合比优化选择与分析[J]. 中国矿业, 2000, 9(6): 19-22.
LIU T Y, HAN B, WANG X W. Utilization of nickel flash-smelting furnace slag as material for cemented stowing [J]. China mining magazine, 2000, 9(6): 19-22..

[5] 王贤来,姚维信,王虎,等. 矿山废石全尾砂充填研究现状与发展趋势[J]. 中国矿业, 2011, 20(9): 76-79.
WANG X L, YAO W X, WANG H, et al. The directions of R&D on backfill with waste rock and total tailings in underground mine[J]. China mining magazine, 2011, 20(9):76-79.

[6] 乔登攀,程伟华,张磊,等. 现代采矿理念与充填采矿[J]. 有色金属科学与工程, 2011, 2(2): 7-14.
QIAO D P, CHENG W H, ZHANG L, et al. Modern mining concepts and filling technique [J]. Nonferrous metals science and engineering, 2011, 2(2):7-14.

[7] 郭慧高,辜大志,邹龙,等. 浅析废石胶结充填技术在金川二矿区的应用前景[J]. 采矿技术, 2011, 11(4):39-41.
GUO H G, GU D Z, ZOU L, et al. Application prospect of mollusk cementation filling technology in Jinchuan mining No.2 area[J]. Mining technology, 2011,11(4): 39-41.

(下转第381页)