

Doi:10.3969/j.issn.1671-4172.2020.02.016

全尾砂充填脱水模拟试验研究

宋宏元¹,周乐²,刘龙琼²,程文文²,赵龙²

(1. 中国黄金集团江西金山矿业有限公司,江西 德兴 334213;

2. 长春黄金研究院有限公司,长春 130012)

摘要:为解决尾砂利用率低下的问题,金山湾家坞矿区拟采用全尾砂来替代原有的废石和分级尾砂充填。基于此,需要对全尾砂中大量水进行脱水处理,因此开展了全尾砂充填脱水模拟试验研究,旨在探索出一条全尾砂充填快速脱水的有效途径。通过对定高度和不定高度分次充填渗透脱水情况进行试验研究,检测了渗水量、脱水含泥情况、脱水尾砂含水率等试验参数,探究出了金山金矿全尾砂脱水规律,建立起金山全尾砂滤水管渗透脱水的经验模型,为井下特大空区群充填脱水提供了技术支撑。

关键词:空区充填;全尾砂;充填脱水;滤水管

中图分类号:TD926.4

文献标志码:A

文章编号:1671-4172(2020)02-0084-05

Simulation test of dewatering in the unclassified tailings filling

SONG Hongyuan¹, ZHOU Le², LIU Longqiong², CHENG Wenwen², ZHAO Long²

(1. Jiangxi Jinshan Mining Co., Ltd., Dexing Jiangxi 334213, China;

2. Changchun Gold Research Institute, Changchun 130012, China)

Abstract: To solve the problem of low utilization rate of tailings, it is proposed to replace the original waste rock and classified tailings with unclassified tailings for filling in Wanjiawu mining area of Jinshan Gold Mine. Based on the proposed scheme, a large amount of water in the unclassified tailings needs to be dewatering. Therefore, study on the simulation test of dewatering in the unclassified tailings filling was carried out to explore an effective way for the rapid dewatering of the unclassified tailings filling. In this paper, through the experimental research on the osmotic dehydration of fixed height and unfixed height multiple filling, the test parameters were detected, such as the seepage water content, the dehydration mud content and the moisture content of the dehydrated tailings. Meanwhile, the dewatering law of the unclassified tailings in Jinshan Gold Mine was explored, and the empirical model of the osmotic dehydration of the unclassified tailings filter pipe in Jinshan Gold Mine was established, which can provide the technical support for the filling and dewatering of the underground especially big empty area group.

Key words: back filling of goaf; unclassified tailings; fill dewatering; filter tube

江西金山湾家坞矿区由于采空区的安全隐患较为严重,原有的充填方式废石和分级尾砂充填已不能够满足充填料的需求,而且经溢流的细粒级的尾砂需排放至尾矿库,增加了尾矿库的压力,导致管理及维护成本进一步提升^[1]。因此,金山拟采用全尾砂进行充填,可以解决尾砂利用率低下的问题,并减轻尾矿库的库容压力。但在进行全尾砂充填时,需

解决关键问题之一就是全尾砂中大量的水如何进行快速脱水处理,以缩短盘区充填周期。在此之前金山金矿的充填作业一直采用渗流滤水,脱水速率较慢,且影响周边盘区的采切及放矿作业。因此探索一条全尾砂充填空区及快速脱水的有效途径,对金山的地压维护、尾矿处理、地表环境以及无废排放和生态的改善意义重大,而且对于国内其它面临类似问题的矿山,同样具有重要的理论与实际意义^[2]。

为较全面了解金山金矿全尾砂充填脱水基本情况,长春黄金研究院利用有机玻璃试验装置配合矿用充填滤水管,对全尾砂充填空区渗透脱水的有关

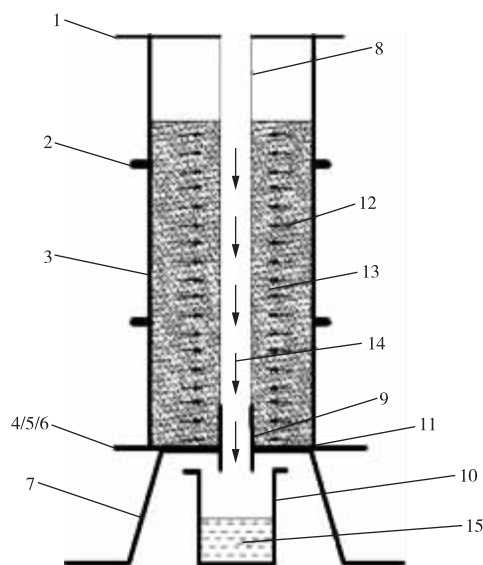
作者简介:宋宏元(1984—),男,工程师,采矿工程专业,主要从事采矿技术研究与管理工作。

通信作者:周乐(1994—),男,助理工程师,硕士,采矿工程专业,主要从事充填采矿工作。

机理特征进行模拟试验。通过定高度和不定高度分次充填渗透脱水试验,观察固液分离等形态变化,并将渗透完毕的砂粒进行区域取样,在径向和轴向上对渗水后的砂粒含水率进行检测分析,对比全尾砂自然渗透参数,探究金山金矿全尾砂脱水规律,建立金山全尾砂滤水管渗透脱水的经验模型,以此展开全尾砂充填脱水方案研究,为井下特大空区群充填脱水提供技术支撑^[3]。

1 脱水模型简介

本次试验主要采用自制的全尾砂充填脱水模拟试验装置,对全尾砂充填空区渗透脱水的有关机理特征进行模拟试验研究。如图1所示,试验装置由模拟容器、充填滤水管、取样装置三大部分组成。其中模拟容器是由无色透明有机玻璃管制作,有机玻璃管高度1.6 m、内径500 mm,玻璃管内壁光滑。其他辅助设备包括烘干箱、电子天平、浓度壶、标准筛、激光粒度分析仪等。



1—架杆;2—加固横撑;3—容器壁;4—法兰连接盘;5—橡胶垫片;
6—底盘;7—支撑架;8—充填滤水管;9—脱水孔;10—盛料桶;
11—螺栓连接孔;12—水的渗透方向;13—充填砂浆;
14—水的流出方向;15—脱出的水

图1 充填脱水模拟试验装置结构图

Fig. 1 Structure diagram of device for fill dewatering simulation test

检查各部件,在确定无破损泄漏部位后,将各部分组装起来,取合适长度所检测充填滤水管,将其下端与脱水孔连接,根据试验要求,配制符合充填浓度及配比的充填砂浆或直接实地量取生产砂浆,转移到装置中,高度至壁高二分之一处。静置观察并记录时间,脱出的水经过充填滤水管渗透作用由脱水孔流

出,由盛料桶盛接,定时更换盛料桶,收集所盛接脱出的水统一存放。自充填砂浆倒入至底部无水流此时间为脱水时间。称量收集到的脱出的水质量,脱水总质量除以脱水时间为脱水平均速率,据此评价所检测充填滤水管的脱水快慢性能。将收集到的脱出的水静置后,收集底部沉淀固体颗粒,放入烘干箱充分烘干,利用标准筛和激光粒度分析仪等设备,将烘干后的固体颗粒进行标准筛分试验,并记录数据。

2 定高度分次充填渗透脱水试验研究

根据相似试验原理,探究有无滤水管对脱水变化规律的影响,设定分次充填高度(充填砂浆高度40 cm),固定每次充填砂浆的高度,充填试验模拟矿山生产中的连续工作方式,充填脱水完毕之后进行下一次充填,每次充填一班,每次充填量78.5 L,每班充填时间10~15 min;全尾砂浆充填质量浓度70%,砂浆饱和和质量浓度为78%。对固定充填高度的全尾砂浆渗透脱水情况进行研究,试验结果如图2、表1所示。

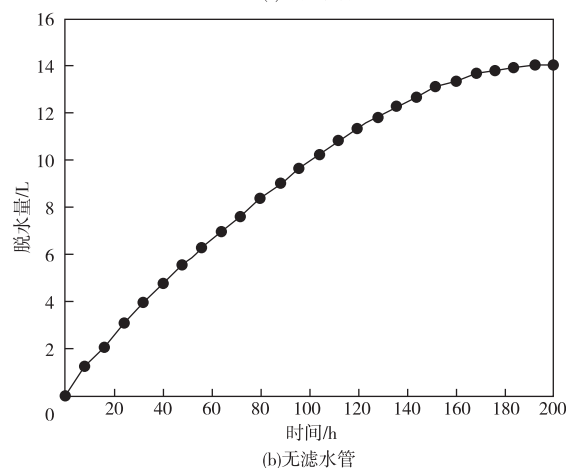
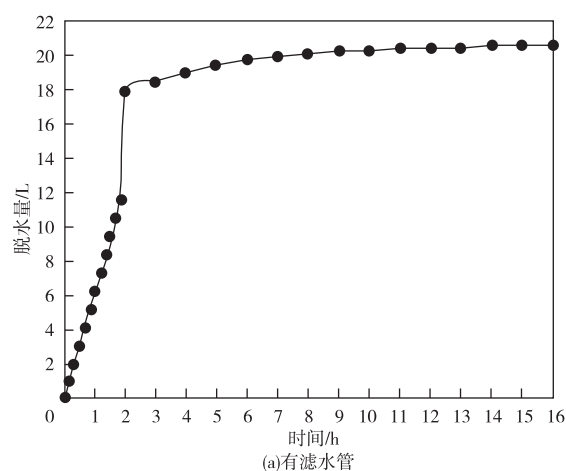


图2 采场出水口的累计脱水量

Fig. 2 Accumulated amount of dehydration for the water outlet of the stope

表 1 脱水完毕所需时间

Table 1 Time required for dehydration

差异条件	时间/h		
	第一次	第二次	第三次
有滤水管	16.0	15.25	14.75
无滤水管	168(7 d)	192(8 d)	192(8 d)

通过图 2 可以清楚对比看到,无滤水管时,出水口累计脱水量逐渐缓慢增加,2 h 时间脱水量约为 1/40,呈现长时间持续缓慢变化的规律;当有滤水管时,前 2 h 内出水口脱水量迅速增加,其后增加幅度较小,呈现明显的阶段式变化规律,根据脱水过程中砂浆形态、固液分离、脱水量等参数变化,将有滤水管的脱水过程分为三个阶段:

1) 紊流混沌阶段,此时砂粒未沉降完成,渗流和溢流同时作用。通过上图可以清楚地看到,砂浆倒入试验装置后的 110 min 均属于此阶段,在此阶段内,底部脱水量随时间增加呈线性增加趋势,经测算,本阶段脱出水量约占脱出总水量的 55%。在矿山实际充填作业过程中,此阶段即为充填下料过程与充填完毕后短暂的停歇阶段,此阶段属于前期工作,时间短,脱水量大,对于是否能够实现连续充填作用明显^[4]。

2) 溢流过渡阶段,此时砂粒沉降完成后,上层是清水层,下层是砂粒层,脱水以溢流上层清水为主,而且脱水量极大,存在时间短暂。经测算,本阶段脱出水量约占脱出总水量的 30%,前两个阶段时间较短,脱水量大,脱水速率快,是在生产过程中应努力提高的部分。

3) 稳定渗流阶段,这时上层不再有清水,完全靠砂粒之间的渗透作用将砂粒之间的游离水渗透脱出。第 120 min 之后的缓慢脱水过程属于该阶段,在本试验中,后期的渗流脱水长达 14 h,占总脱水时间的 80%以上,但经测算,本阶段脱出水量只占脱出总水量的 15%左右。即使如此,此阶段的渗流脱水速率也远远大于无滤水管时的脱水速率,这是由于滤水管增大了渗流脱水的面积,尤其是在高度方向上的横向渗流。因此如果在井下充填过程中合理布置充填滤水管的位置和间距将会大大提高渗流脱水速率,缩短脱水时间^[5]。

3 变高度分次充填渗透脱水试验研究

根据相似试验原理,探究不同充填量对脱水变化规律的影响,设计变化分次充填高度(充填砂浆高度依次为 30、40、50 cm)。充填试验模拟矿山生产中的连续工作方式,充填脱水完毕之后进行下一次充填,每次充填一班,按照每次设定充填砂浆的高度,充填

量依次为 58.9、78.5、98.1 L,每班充填时间 10~15 min;全尾砂浆充填质量浓度 70%,砂浆饱和质量浓度为 78%。对不同充填高度(即不同充填量)的砂浆渗透脱水情况进行研究。试验结果如图 3 所示。

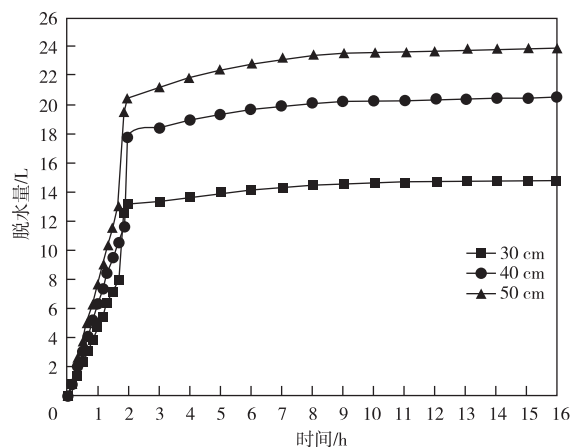


图 3 不同充填高度时采场出水口的累计脱水量

Fig. 3 Accumulated amount of dehydration from the water outlet of the stope at different filling heights

通过图 3 可以清楚对比看到,在不同充填高度时,也就是在不同充填量情况下,出水口的累计脱水量随充填量的增加逐渐增大;脱水速率随充填量的增加逐渐增大。分析其增大的原因,砂浆与滤水管的接触面积增大,脱水面积的增加是脱水速率增大的根本原因。但总体而言,大量出水主要集中在前 2 h 内,在前 2 h 内出水口脱水量迅速增加,其后增加幅度较小,其后渗透脱水阶段,不同充填量之间差别较小,可忽略差异。

总体来看,不同的充填量时采场脱水的总体变化规律是基本相同的。空区脱水量随时间变化逐渐减少,呈现长时间持续缓慢变化的规律;根据前述尾砂脱水三个重要阶段划分,空区的脱水量呈现明显的阶段式变化规律;充填量越大,溢流过渡阶段脱水量也就越大,该阶段持续时间也就越长。由此可知,适当增大每班充填量并不会大幅度增加采场脱水时间,反而对于扩大充填系统能力是非常有效的手段^[6]。

4 脱水尾砂取样检测

待试验模具不再有水从下部脱出之后,利用电动钻孔取样机,自上而下在从脱水完毕后的沉积尾砂中进行钻孔取样,取样时在沉淀尾砂体内取样深只能达到 25 cm 左右,越往下越致密,超过 25 cm 钻杆上拔相当困难。按每间隔 10 cm 取一个圆柱形尾砂体,共取出尾砂芯样 5 个,所取尾砂芯样外表光滑、自立性与完整性较好,呈软塑—可塑状态,钻孔取样尾砂芯样

含水率测定结果如表2所示,对比全尾砂的饱和含水率22%,可以发现加入滤水管后,尾砂内水被脱出更多,较低的含水率能够增加尾砂间的内摩擦力,降低尾砂流态化趋势,有利于提高井下空区充填稳定性^[7]。



图4 钻孔取样芯样

Fig. 4 The sample of core boring

表2 钻孔取样尾砂芯样含水率测定结果

Table2 Test results of moisture content of sample of tailing from core boring

样品编号	芯样1#	芯样2#	芯样3#	芯样4#	芯样5#	平均值
含水率/%	18.6	18.9	17.4	19.1	18.3	18.5

5 充填脱出水质量检测

滤出水质的清浊度能够说明充填滤水效果的好坏,滤出的水越清说明滤水管的效果越好,没有水泥或细粒级尾砂随水脱出。我们对滤水管流出来的水质进行了取样(如图5),水样中并没有细小的砂粒,只存在少量的“细泥”悬浮在水中,经过24 h沉淀之后(图6),测定水样中的“细泥”含量只有1.3%~2.8%。



图5 刚取出来的水样

Fig. 5 The water samples just taken out



图6 沉淀24 h后水样

Fig. 6 The water samples after sedimentation for 24 h

将收集到的脱出的水静置后,收集底部沉淀固体颗粒,放入烘干箱充分烘干,利用标准筛和激光粒度分析仪等设备,将烘干后的固体颗粒进行标准筛分试验,结果显示通过滤水管跑出的“细泥”粒径均在 $37\ \mu\text{m}$ 以下,平均粒径为 $11\ \mu\text{m}$ 。

6 结论

通过对全尾砂充填空区渗透脱水的有关机理特征进行模拟试验研究,可以得出以下结论:

1) 充填脱水管的安装有助于充填脱水。不但脱水的时间大大缩短,而且脱水的总量大大增加。故在井下现场工作中,合理的安排布置脱水管有助于提高充填质量。

2) 滤水管脱水主要是开始的紊流混乱阶段和后续的溢流阶段,这阶段的脱水总量约占采场全部脱水的85%,且相对时间较短。

3) 在不同充填量情况下,出水口的累计脱水量随充填量的增加逐渐增大,脱水速率随充填量的增加逐渐增大。

4) 加装滤水管之后,尾砂脱水后含水率会低于其饱和含水率,有利于井下充填安全。

5) 试验所选用滤水管的渗透效果较好且其网度致密性能够阻挡砂粒跑掉,是较为理想的井下脱水材料。

参考文献

- [1] 张磊,吕力行,吴昌雄.某铜矿全尾砂充填体脱水研究[J].有色金属(矿山部分),2014,66(4):107-110.
ZHANG Lei, LYU Lixing, WU Changxiong. Study on dehydration of unclassified tailings' filling body in a copper mine[J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 2014, 66(4):

- 107-110.
- [2] 祝 星,卢 俊,刘贱刚.全尾砂胶结充填技术研究与应用[J].湖南有色金属,2013,29(5):5-6,65.
ZHU Xing, LU Jun, LIU Jiangang. The research and application of whole tailings cementation filling technique[J]. Hunan Nonferrous Metals, 2013, 29(5): 5-6, 65.
- [3] 潘明友,吴扬水,郑建明,等.大型矿山尾矿脱水充填工艺及装置[J].采矿技术,2013,13(3):39-41.
PAN Mingyou, WU Yangshui, ZHENG Jianming, et al. Dewatering and filling technology and device of large mine tailings[J]. Mining Technology, 2013, 13(3): 39-41.
- [4] 刘 凯.全尾砂充填空区的脱水试验研究[D].昆明:昆明理工大学,2009.
LIU Kai. Experimental study on dewatering of filling empty area with full tailings[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2009.
- [5] 曹仕平.尾砂充填脱水工艺研究[J].采矿技术,2005(2):21-22.
CAO Shiping. Study on the technology of tailing filling and dewatering[J]. Mining Technology, 2005(2): 21-22.
- [6] 胡飞宇.安庆铜矿采场充填脱水方法的选择及应用[J].金属矿山,1998(8):13-16.
HU Feiyu. Selection and application of stope filling and dewatering method in Anqing copper mine[J]. Metal Mine, 1998(8): 13-16.
- [7] 刘能国,张常青,张大德.安庆铜矿充填模拟脱水试验[J].矿业研究与开发,1997(3):37-39.
LIU Nengguo, ZHANG Changqing, ZHANG Dade. Simulated dewatering test for backfilling in Anqing copper mine[J]. Mining Research And Development, 1997(3): 37-39.

(上接第 18 页)

- [19] 刘福高.现场混装乳化炸药爆破参数优化及数值模拟研究[D].武汉:武汉科技大学,2015.
LIU Fugao. Blasting parameter optimization and numerical simulation research of the site mixing-loading emulsion explosive[D]. Wuhan: Wuhan University of Science and Technology, 2015.
- [20] 杨玉银,左 祥,张健鹏,等.精细化管理在隧洞光面爆破施工中的作用[J].工程爆破,2018,24(3):55-60.
YANG Yuyin, ZUO Xiang, ZHANG Jianpeng, et al. The function of precise management in smooth blasting construction of tunnel[J]. Engineering Blasting, 2018, 24(3): 55-60.
- [21] 陈晓莉.浅谈精细化管理在爆破项目管理中的运用[J].煤矿爆破,2015(3):26-28.
CHEN Xiaoli. Fine management application in the management of blasting projects[J]. Coal Mine Blasting, 2015(3): 26-28.
- [22] 徐自军.精细爆破在白云鄂博西矿台阶爆破中的实践研究[D].包头:内蒙古科技大学,2015.
XU Zijun. Practice research of precision blasting on the bench blasting of the Baiyun E' Bo West Mine[D]. Baotou: Inner Mongolia University of Science & Technology, 2015.
- [23] HIMANSHU V K, ROY M P, MISHRA A K, et al. Multivariate statistical analysis approach for prediction of blast-induced ground vibration[J]. Arabian Journal of Geosciences, 2018, 11(16): 460.
- [24] 肖宗佛,黄 俊,王彦磊.爆破作业危害分析及预防措施[J].有色金属(矿山部分),2010,62(3):40-41.
XIAO Zongfo, HUANG Jun, WANG Yanlei. Harm analysis and preventive measures of blasting operation [J]. Nonferrous Metals(Mining Section), 2010, 62(3): 40-41.
- [25] 赵海涛,罗 正.露天矿山精细化爆破技术探讨[J].工程爆破,2019,25(4):45-50.
ZHAO Haitao, LUO Zheng. Discussion on fine blasting technology in open-pit mines[J]. Engineering Blasting, 2019, 25(4): 45-50.
- [26] 张 军,张鲁南,王海亮,等.煤矿井下精细爆破技术研究[J].煤炭技术,2015,34(5):78-80.
ZHANG Jun, ZHANG Lunan, WANG Hailiang, et al. Study of precision blasting in underground mine[J]. Coal Technology, 2015, 34(5): 78-80.
- [27] 范子正.计算机控制凿岩台车(隧道凿岩机器人)简介[J].中国设备工程,2018(1):165-167.
FAN Zizheng. Introduction to computer controlled drill trolley (tunnel drill robot) [J]. China Plant Engineering, 2018(1): 165-167.
- [28] 陶刘群,汪旭光.基于物联网技术的智能爆破初步研究[J].有色金属(矿山部分),2012,64(6):59-62.
TAO Liuqun, WANG Xuguang. Preliminary study of intelligent blasting based on Internet of things technology[J]. Nonferrous Metals(Mining Section), 2012, 64(6): 59-62.