

纤维素对膏体充填材料泵送性能的影响

曹兴*, 黄士兵, 石玉锋, 陈国强

(飞翼股份有限公司, 湖南 长沙 410600)

摘要: 膏体由于无临界流速, 适合长距离输送, 但存在沿程阻力大的风险. 针对某多金属矿全尾砂颗粒粗, 配制成膏体充填浆料流变性能差的情况, 在满足泵送及充填强度的要求下, 研究了添加纤维素对充填材料的流变性能及管道输送压力损失的影响. 流变测试结果表明: 纤维素的加入可以明显的降低料浆的屈服应力, 最佳添加量为 0.05%; 环管试验结果表明: 膏体充填浆料符合宾汉流体特征, 相对不添加纤维素可显著降低输送阻力.

关键词: 纤维素; 流变性能; 环管试验; 屈服应力; 宾汉流体

中图分类号: TD353 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-9102(2017)01-0019-05

Effect of Cellulose on the Pumping Performance of Filling Materials

CAO Xing, HUANG Shibing, SHI Yufeng, CHEN Guoqiang

(Feiyi Co. Ltd., Changsha 410600, China)

Abstract: Due to the non-critical flow velocity, the paste is suitable for long distance transportation. However, there is a great risk of resistance along the path. In a multi-metal mine tailings of coarse particles, the rheological property of paste filling slurry is poor, under the request of the pumping and filling strength, the influence of the rheological properties of cellulose on the filling material and pipe conveying pressure loss are studied. The rheological test results show that the cellulose content can significantly reduce the yield stress of the slurry, and the optimum dosage is 0.05%; the round-pipe test results show that the paste filling slurry is in accordance with the features of Bingham fluid; comparing with the non-adding cellulose, it can significantly reduce the transportation resistance.

Key words: cellulose; rheological property; round-pipe test; shear stress; bingham fluid

膏体充填采矿法将尾砂、胶结材料、水或其它固体废弃物配制成高浓度料浆回填到井下采空区, 成为矿山最安全、高效和环保的采矿方法, 膏体充填具有料浆不脱水离析、充填体强度高、水泥耗量小等优点, 是未来充填采矿法的重要发展方向^[1-3]. 膏体料浆是一种具有弹性、黏性和塑性的高浓度悬浮体系, 其流动性的高低是评价膏体输送性能好坏的重要指标之一, 膏体料浆良好的流变性有助于料浆在管道中输送, 因而高浓度膏体充填料浆管道输送性能和流变特性对全高效充填起关键作用^[4,5]. 流动性可以通过流变性能来评价. 通过添加化学药剂改善膏体料浆的流变性能, 可以减小料浆的屈服应力. 近年来外加剂在膏体泵送中得到广泛应用, 外加剂有效地改善了膏体的流变特性, 最终起到减阻目的^[6]. 目前对膏体充填料浆的流变性能测试方法主要有 L 管测试法^[7]、加压管式流变测试法^[8]、旋转流变仪测试法^[9]、环管试验法^[10,11]. 通过研究外加剂对膏体充填材料的流变性能影响以及在管道中的输送特性, 分析膏体充填材料在管道输送过程中压力损失, 为高浓度、长距离充填材料输送的进一步发展具有重要意义.

收稿日期: 2016-04-13

* 通信作者, E-mail: 526992446@qq.com

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

试验选用材料为广东某多金属矿全尾砂.测定其全尾砂基本物理性质,主要包括全尾砂粒级组成及流学性能参数测试和分析.测定结果:粒级为 $+0.250,-0.250+0.150,-0.150+0.104,-0.104+0.075,-0.075+0.038,-0.038+0.030,-0.030+0.020,-0.020$ mm,分别为6.3%,20.5%,17.6%,12.5%,11.1%,13.7%,8.2%,10.1%;松散容重 1.152 t/m^3 ,密实容重 1.756 t/m^3 ,孔隙率31.52%,渗透系数 $1.6\times 10^{-4}\text{ cm/s}$,水上休止角 35.5° ,水下休止角 35.3° .

纤维素可以改善拌合物的泵送性能,具有高流化、缓凝、润滑的作用,本次试验所用纤维素为羟丙基甲基纤维素,分子量为 7.5×10^5 ,主要成分为羟丙基甲基醚及增强剂、缓凝剂等组分.

1.2 试验方法

1.2.1 屈服应力测试

使用德国哈克流变仪配套 FL 型浆叶式转子测定全尾砂膏体料浆的屈服应力.具体的步骤如下:采用水泥(32.5R 硅酸盐水泥),按灰砂比 1:8,按充填料浆总质量的百分比添加不同比例的纤维素,制备成质量浓度为 76%的料浆,装入 250 mL 烧杯,采用控制屈服速率模式测试,屈服速率设置为 $0\sim 60\text{ s}^{-1}$,采用流变仪配套软件 Rheo Win4.0 进行数据处理.

1.2.2 环管试验

采用水泥(32.5R 硅酸盐水泥)、不同添加量的纤维素、按灰砂比 1:8 制备成浓度为 76%的充填料浆.试验时先将纤维素配成质量浓度为 0.1%溶液,用流量计按比例添加.环管试验系统主要由输送系统和测试系统 2 部分组成.输送系统包括 HBT60/10-75S 型活塞式充填工业泵、 2 m^3 搅拌机、台秤及 $\Phi 125$ mm 输送管,输送管道长度约 120 m(管件包括弯头、阀门等,数量、种类若干);测试系统包括 ZPM317 平膜式压力传感器 4 件、SKLD 电磁流量计 1 台、Multi System 5060 液压万用表 1 台及配套软件 HYDROCOM 6.试验系统如图 1 所示.

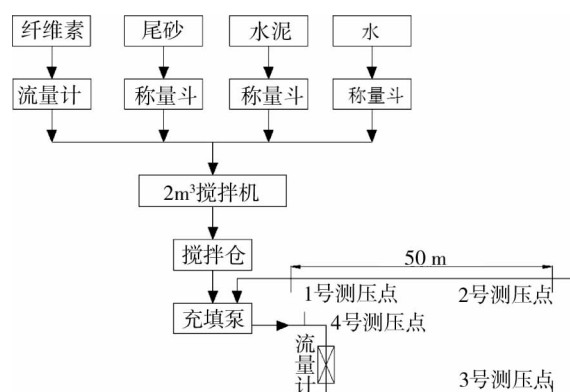


图1 膏体料浆环管试验系统

2 试验结果及分析

2.1 纤维素对膏体流变特性的影响

屈服应力的物理意义为料浆在静止状态下抵抗屈服变形的能力,是表征浆体流动性的关键指标.纤维素的用量设定范围为0.00%~0.06%,通过哈克流变仪分别测试不同纤维素添加量下的料浆的屈服应力,其屈服应力随泵送剂掺量的变化规律如图 2 所示.

由图 2 可知,未添加纤维素的情况下,料浆的屈服应力为 489 Pa,流动性较差,添加纤维素后,料浆的屈服应力逐渐降低.当纤维素的添加量为 0.05%,料浆的屈服应力为 187 Pa,达到最低值;继续增加纤维素的用量,屈服应力开始增加.因此纤维素的用量不是越多越好,而是存在最佳值,添加过多的

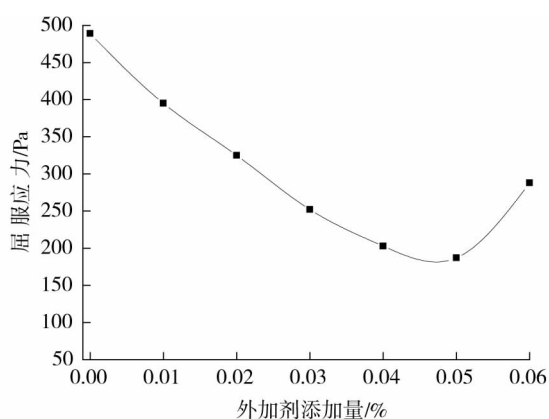


图2 不同纤维素用量对屈服应力的影响

继续增加纤维素的用量,屈服应力开始增加.因此纤维素的用量不是越多越好,而是存在最佳值,添加过多的

纤维素使得料浆变得粘稠反而降低流动性。

2.2 环管试验

2.2.1 纤维素添加量对管道输送压力损失的影响

泵送过程主要对 50 m 直管段进行压力测试,通过调整不同泵送频次改变流量,进而改变料浆在管道的流速,泵送频次设定在 10~23 次/min,记录不同频次对应的流量,每个配比设定 7 个泵送频次,其中流速由式(1)计算。

$$V = \frac{4Q}{3600 \times 3.14 \times D^2} \quad (1)$$

式中, V :流速,m/s; Q :流量, m^3/h ; D :管道半径,m。

表 1 为不同纤维素添加量情况下管道输送压力损失的结果。

表 1 不同纤维素添加量情况下管道输送压力损失的结果

流速/(m/s)	添加量						
	0.00%	0.01%	0.02%	0.03%	0.04%	0.05%	0.06%
0.752	3 273.4	3 032.0	2 308.0	1 864.0	1 638.0	1 552.0	1 814.8
0.935	3 568.6	3 276.0	2 480.0	2 036.0	1 792.0	1 652.0	1 956.1
1.151	3 872.9	3 558.0	2 680.0	2 234.0	1 970.0	1 770.0	2 120.8
1.301	4 110.3	3 780.0	2 822.0	2 380.0	2 092.0	1 846.0	2 254.1
1.521	4 460.5	4 078.0	3 024.0	2 582.0	2 270.2	1 964.0	2 433.9
1.721	4 818.0	4 336.0	3 216.0	2 766.0	2 432.0	2 076.0	2 616.2
1.921	5 157.2	4 626.0	3 398.0	2 972.0	2 612.0	2 192.0	2 775.0

从表 3 可以看出,纤维素在不同添加量情况下,膏体输送的压力损失随着流速增大而增大,添加剂的加入可以明显降低压力损失,当添加剂的用量为 0.05% 时,压力损失可以降到最低,继续增加其用量压力损失开始升高。

膏体内部由于各颗粒之间的相互作用使得粒径较小的尾砂颗粒和水泥颗粒形成絮团结构并包裹着一定量的絮凝水,由于包裹的絮凝水很难释放,浆体中自由水不足以悬浮粒径较大的尾砂和水泥颗粒,造成粗颗粒部分沉降,使得浆体流动性较差。加入纤维素后,其表面活性剂分子具有定向吸附作用,使浆体中的各种颗粒质点表面上带有相同符号的电荷,于是在电性斥力的作用下,细颗粒絮团结构分散解体,包裹水被释放,一部分使粗颗粒悬浮起来^[12],另一部分在管壁形成润滑层,从而达到减阻的目的;另一方面,根据纤维素的增稠机理,纤维素本身具有一定的粘度,羟基和醚键上的氧原子和水分子结合成氢键,使得浆体中的游离水变成结合水,这种趋势随纤维素的用量增加而增加,结合水的增多增加了粘度,所以纤维素过量,流动性开始变差。膏体输送的压力损失随流速的增加呈线性增加,如图 3 所示。

2.2.2 流变性能分析

对于本项目,我们前期试验设计的是膏体充填,国内外研究表明,膏体属于宾汉流体,其流变方程为^[13]

$$\tau_w = \frac{4}{3}\tau_0 + \frac{8V\eta}{D} \left(\frac{8V}{D} \text{ 认为是虚屈服速率} \right) \quad (2)$$

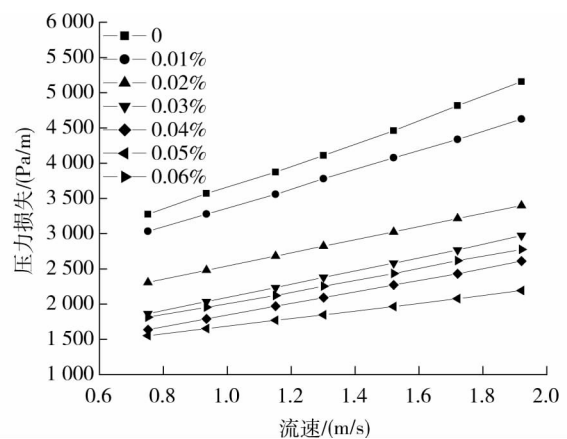


图 3 不同纤维素添加量对管道输送压力损失的影响

式中, τ_w : 屈服应力, Pa; V : 流速, m/s; D : 管道直径, m; η : 塑性粘度, Pa · s.

在水平直管段根据静力学平衡理论可得:

$$(p_1 - p_2) \pi r^2 = \Delta p \pi r^2 = 2 \pi r l \tau. \quad (3)$$

式中, P_1 : 直管段第一点压力, Pa; P_2 : 直管段第二点压力, Pa; r : 管道半径, m.

环管试验中我们测得的管道压力实际上是管流沿程阻力, 而管流沿程阻力一般与管壁单位面积上的流体摩擦阻力联系, 水平直管内的摩擦阻力^[14](由作用力与反作用力关系, 即可得到料浆的屈服应力), 即式(2)可变为:

$$\tau = \tau_w = \frac{D}{4} \frac{\Delta p}{L}. \quad (4)$$

式中, L : 水平管路长度, m; ΔP 为管道沿程阻力, Pa.

根据所得到的屈服应力与虚屈服速率作曲线, 用 origin 软件拟合, 得到的拟合方程与式(2)常数项与自变量系数分别对比, 计算出屈服应力及塑性粘度. 浆体的流变曲线如图 4 所示.

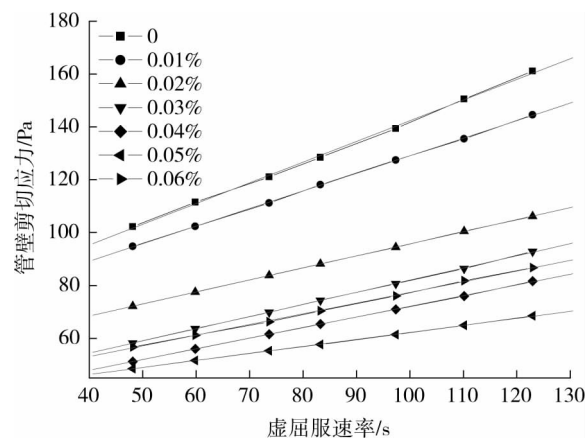


图 4 不同纤维素添加量的浆体流变曲线

从图 4 可以看出, 纤维素在不同添加量情况下, 膏体输送的管壁切应力与虚屈服速率呈明显的线性关系, 说明该尾砂膏体料浆具有宾汉流体特征, 表 2 为不同纤维素添加量的膏体充填材料在管道中的流变方程.

表 2 流变方程拟合结果

纤维素添加量/%	拟合方程	屈服应力 τ_0 /Pa	塑性粘度 η /(Pa · s)	拟合精度
0.00	$y = 64.01 + 0.783x$	48.01	0.783	0.997
0.01	$y = 62.58 + 0.665x$	46.94	0.665	0.985
0.02	$y = 50.21 + 0.456x$	37.66	0.456	0.991
0.03	$y = 36.04 + 0.459x$	27.03	0.459	0.987
0.04	$y = 35.68 + 0.266x$	26.76	0.266	0.999
0.05	$y = 31.78 + 0.403x$	23.84	0.403	0.983
0.06	$y = 36.89 + 0.405x$	27.67	0.405	0.993

通过不同纤维素添加量的膏体的流变方程计算出相应的屈服应力及塑性粘度, 可以发现相应的屈服应力随纤维素的增加先减小后增加, 纤维素的添加量在 0.05% 达到最低值, 这与流变仪测试的结果一致.

3 结论

1) 纤维素可以明显改善膏体材料的流动性, 流变参数测试结果表明, 膏体的屈服应力随着纤维素的增加先减少后增加, 纤维素的最佳添加量为 0.05%.

2)对添加不同纤维素的膏体料浆进行了环管试验,结果发现,管道压力损失与流速呈线性关系,纤维素的添加可以降低输送阻力,纤维素的添加量为0.05%时,压力损失最低.对纤维素的减阻机理进行了分析,纤维素可以将膏体料浆中细颗粒包裹的絮凝水释放出来,使尾砂及水泥粗颗粒悬浮起来,但是纤维素添加过多会使料浆的粘度增加反而降低流动性.

3)通过不同流速下的压力损失,绘制了添加不同纤维素的膏体料浆的流变曲线,得出了拟合方程,再次证明膏体料浆属于宾汉流体.

参考文献:

- [1] 李强,彭岩.矿山充填技术的研究与展望[J].现代矿业,2010(7):8-13.
- [2] 王洋,易志清,祝禄发.尾矿似膏体胶结充填采矿法的研究与应用[J].湖南有色金属,2013,29(1):7-9.
- [3] 张晓铜.尾矿充填技术综述[J].铜业工程,2010(3):16-18.
- [4] 李国政.不同组方对尾砂膏体泵送环管试验的影响分析[J].采矿工程,2007,28(1):33-35.
- [5] 刘超.基于环管输送试验的全尾砂膏体充填料流变特性研究[D].衡阳:南华大学,2011.
- [6] 杨柳华,王洪江,吴爱祥,等.泵送剂对膏体料浆管道输送的影响[J].金属矿山,2014(11):22-26.
- [7] 陈琴瑞,王洪江,吴爱祥,等.用L管测定膏体料浆水力坡度试验研究[J].武汉理工大学学报,2011,33(1):108-112.
- [8] 吴森,陈洁,张娜,等.加压管式流变测试系统的设计[J].仪器仪表学报,2008,29(7):1450-1454.
- [9] 瞿圆媛,胡伟伟,郭光明.新型浓密膏体流变特性测试试验台研制与验证[J].2008,29(7):1450-1454.
- [10] 张保良,刘音,张浩强,等.建筑垃圾再生骨料膏体充填环管试验[J].金属矿山,2014(2):176-179.
- [11] 董慧珍,冯国瑞,郭育霞,等.新阳矿充填料浆管道输送特性的试验研究[J].采矿与安全工程学报,2013,30(6):881-885.
- [12] 杨鹏,吴爱祥,王洪江,等.泵送剂对膏体料浆流动性能作用的微结构模型[J].有色金属,2015,61(1):59-64.
- [13] 许毓海,许新启.高浓度(膏体)充填流变特性及自流输送参数的合理确定[J].矿冶,2004,13(3):16-19.
- [14] 胡亚军,南世卿,姚振巩,等.全尾砂充填料浆管道输送试验研究[J].采矿技术,2011,11(6):20-23.