

# 神府煤水煤浆管道输送试验研究

张胜局<sup>1 2 3 4</sup> 段清兵<sup>1 2 3 4</sup> 何国锋<sup>1 2 3 4</sup> 刘焯炜<sup>1 2 3 4</sup> 孙海勇<sup>1 2 3 4</sup>

(1. 煤炭科学研究总院 节能工程技术研究分院, 北京 100013; 2. 国家水煤浆工程技术研究中心, 北京 100013;  
3. 煤炭资源高效开采与洁净利用国家重点实验室, 北京 100013; 4. 国家能源煤炭高效利用与节能减排技术装备重点实验室, 北京 100013)

**摘要:** 为获得神府煤水煤浆最佳管道输送参数, 进行了水煤浆流变性试验, 确定了水煤浆临界剪切速率。通过水煤浆剪切速率和剪切应力的关系确定神府煤水煤浆流变性模型, 拟合出适于神府煤水煤浆流变性的数学方程。在不同管道直径和水煤浆浓度下, 研究了水煤浆平均速率对管道压力损失的影响, 得到了最佳水煤浆管道输送参数。结果表明: 神府煤水煤浆临界剪切速率为  $40.74 \text{ s}^{-1}$ , 水煤浆拟合后的流变方程符合宾汉塑性体模型, 适宜泵送和管道输送。低浓度、低黏度的水煤浆更适合管道输送。在水煤浆平均流速相同的条件下, 管道直径越小, 管道压力损失越大。管道直径为 200 ~ 300 mm 时, 神府煤水煤浆在管道输送中的压力损失在工业应用合理范围内, 适宜管道输送。

**关键词:** 水煤浆; 管道输送; 输送特性; 流变性; 宾汉塑性体模型; 压力损失

中图分类号: TQ536; TD849 文献标志码: A 文章编号: 1006-6772(2014)05-0036-04

## Pipeline transportation experiments of Shenfu coal water mixture

ZHANG Shengju<sup>1 2 3 4</sup>, DUAN Qingbing<sup>1 2 3 4</sup>, HE Guofeng<sup>1 2 3 4</sup>, LIU Yewei<sup>1 2 3 4</sup>, SUN Haiyong<sup>1 2 3 4</sup>

(1. Energy Conservation and Engineering Technology Research Institute, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China; 2. National CWM Engineering and Technology Center, Beijing 100013, China; 3. State Key Laboratory of Coal Mining and Clean Utilization (China Coal Research Institute), Beijing 100013, China; 4. National Energy Technology and Equipment of Coal Utilization and Emission Control (China Coal Research Institute), Beijing 100013, China)

**Abstract:** To obtain the optimum Shenfu coal water mixture (CWM) pipeline transportation parameters, the CWM rheology test was conducted to determine its critical shear rate. Through the relationship between the shear rate and shear stress of Shenfu CWM, the rheology model was determined. The mathematical equation which was suitable for Shenfu CWM was fitted. Under different pipe diameters and CWM concentration, the influence of CWM average rate on pipeline pressure loss was investigated. The optimum CWM pipeline transportation parameters were obtained. The results show that the critical shear rate of CWM is  $40.74 \text{ s}^{-1}$ . The fitting rheological equation follows the bingham plastic model. The pipeline is more suitable for low concentration and low viscosity CWM. Keep the average flow velocity of CWM unchanged, the smaller the pipe diameter, the bigger the pipeline pressure loss. When the pipe diameter ranges from 200 mm to 300 mm, the pipeline pressure loss meets the demands of industrial application.

**Key words:** coal water mixture (CWM); pipeline transportation; transportation properties; rheological property; bingham plastic model; pressure loss

## 0 引 言

煤炭是中国重要的基础能源, 在未来相当长时期内以煤炭为主的能源结构难以改变。作为洁

净煤技术之一的水煤浆技术自 20 世纪 80 年代初研发以来, 历经 30 余年的科技攻关与生产实践, 生产与应用规模均居世界首位。截至 2012 年底, 全国燃料水煤浆的设计产能突破 5000 万 t/a, 生产

收稿日期: 2014-06-24; 责任编辑: 白娅娜 DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.2014.05.009

基金项目: 国家科技部科研院所技术开发专项资助项目(2011EG222214)

作者简介: 张胜局(1982—), 男, 江西瑞金人, 助理研究员, 硕士, 从事水煤浆工程和技术研究工作。E-mail: zhangsj1982@163.com

引用格式: 张胜局, 段清兵, 何国锋, 等. 神府煤水煤浆管道输送试验研究[J]. 洁净煤技术, 2014, 20(5): 36-39.

ZHANG Shengju, DUAN Qingbing, HE Guofeng, et al. Pipeline transportation experiments of Shenfu coal water mixture[J]. Clean Coal Technology, 2014, 20(5): 36-39.

和使用量达 3000 万 t/a<sup>[1]</sup>, 主要用于电站锅炉、工业锅炉和窑炉的代油、代煤燃烧。在气化水煤浆领域, 含多喷嘴、多元料浆等以水煤浆为进料的气化炉投产数量近 300 台, 耗浆量达 1 亿 t/a 以上。随着大型煤化工项目的开工建设, 未来几年水煤浆气化用煤量将突破 2 亿 t/a。随着水煤浆用量的不断扩大, 建设区域型水煤浆生产基地势在必行, 水煤浆管道输送将成为缓解运力不足的有效手段。水煤浆管道输送具有运量大、占地少, 不受气候影响、对复杂地形适应性强、密闭输送不污染环境、长距离输送运费低及可实现全线自动控制等优点, 是一种有效的运输方式。20 世纪 50 年代, 美国建成了第 1 条俄亥俄煤浆管道, 1970 年, 美国第 2 条输煤管线投产。这 2 条管道输送煤炭粒径一般在 1.5 mm 以下, 浓度在 50% 左右。20 世纪 70 年代发生石油危机, 俄罗斯建成世界上第 1 条长距离水煤浆输送管道(长 260 km、年输送水煤浆 500 万 t)<sup>[2]</sup>。中国“八五”攻关课题“水煤浆技术研究”中提出了应加强水煤浆管道运输技术研究<sup>[3]</sup>。水煤浆管道输送系统主要由泵站和管线组成, 通过加压泵站将水煤浆输送一定距离。对长

距离管线, 中间要设置若干加压泵站。水煤浆的流变特性和管道输送特性比较复杂, 需全面掌握水煤浆管道输送特性和规律, 才能为水煤浆管道工程建设提供技术支持。国内已有不少关于水煤浆管道输送参数的研究, 但鲜有针对特定煤种研究适宜其管道输送特性的报道。因此, 为提高管道输送效率, 笔者以东莞水煤浆厂生产的神府煤水煤浆为对象, 研究了不同管道直径和水煤浆浓度下, 水煤浆平均流速对管道压力损失的影响, 并确定了最佳管道输送参数, 为相关单位开展管道输送研究提供参考。

## 1 试验条件

### 1.1 试验原料及设备

试验原料选取 2 种不同浓度的神府煤水煤浆, 分别命名为 DG1013、DG1014。试验设备主要有 NXS-4C 型水煤浆黏度仪, JJ-1 型定时电动搅拌器, HB43 型快速水分测定仪, 水煤浆管道输送中试装置。水煤浆管道输送中试装置主要由储浆、管道输送、参数测量和数据采集组成<sup>[4]</sup>, 具体如图 1 所示。神府煤煤质分析和水煤浆参数分别见表 1、表 2。

表 1 神府煤煤质分析

工业分析/%					元素分析/%					$Q_{net,ad}/$
$M_t$	$M_{ad}$	$A_{ad}$	$V_{dat}$	$FC_{ad}$	$w(C_{ad})$	$w(H_{ad})$	$w(N_{ad})$	$w(O_{ad})$	$w(S_{1,ad})$	( $MJ \cdot kg^{-1}$ )
14.46	6.76	10.33	36.88	56.12	67.10	3.68	0.78	10.78	0.57	25.64

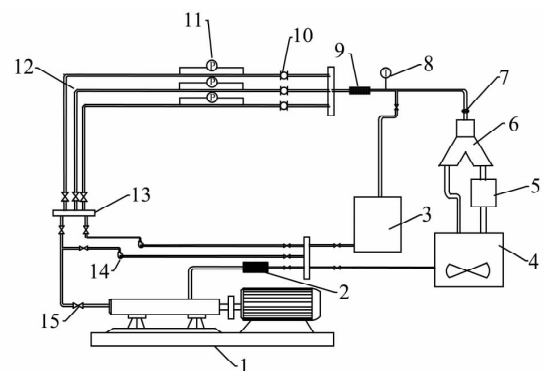
表 2 神府煤水煤浆参数

水煤浆	浓度/%	表观黏度/( $mPa \cdot s$ )	密度/( $g \cdot cm^{-3}$ )
DG1013	62.13	1311	1.24
DG1014	60.56	1159	1.23

### 1.2 试验方法

1) 水煤浆流变性试验。利用定时电动搅拌器剪切神府煤水煤浆现场浆样至无沉淀, 取适量水煤浆测定浓度后进行水煤浆流变性试验。

2) 水煤浆管道输送试验。水煤浆管道输送试验是在固定管道直径、不同水煤浆流速下测量水煤浆输送中的管道压力损失。管道压力损失是管道工程设计中设备选型和输送能耗计算的主要依据。管线长度为 8 m, 在不同管道直径、不同流速下, 测量水煤浆输送中的管道摩阻损失, 在对大量试验数据径向分析的基础上, 总结水煤浆摩阻损失的变化规律, 探索管道输送压力损失的计算方法。具体步骤



1—螺杆泵; 2—煤浆过滤器; 3—清水桶; 4—搅拌机; 5—工作量器; 6—分配器; 7—气动换向器; 8—温度传感器; 9—密度计; 10—电磁流量计; 11—压差变送器; 12—管道; 13—出口母管; 14—胶泵; 15—管道阀门

图 1 水煤浆管道输送中试装置

为: ①用清水介质进行管道输送试验, 测定各管道不同流速下的清水输送压力损失。清水试验能验证系统是否正常运行, 为浆体输送试验做好准备。②

认试验系统正常,排出系统内清水,向储浆桶中加入水煤浆,调节泵的转速,改变管道中浆体流速,并进行流动参数测量。调定某一流速后需稳定一段时间。③试验稳定后,采集管道平均流速、测试段两端点间压力差和温度等参数。完成一个流速下数据采集后,通过调节泵速完成不同平均流速下的数据采集。

## 2 结果与讨论

### 2.1 水煤浆流变性试验及模型选择

#### 2.1.1 水煤浆流变性试验

用定时电动搅拌器将水煤浆搅拌均匀,取适量水煤浆放入 NXS-4C 型水煤浆黏度仪,水浴恒温设定在 25 °C,测得不同浓度水煤浆的流变性<sup>[5]</sup>,结果如图 2 所示。

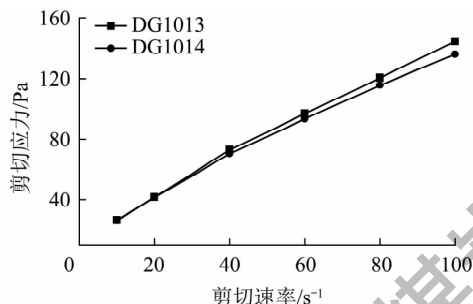


图2 剪切速率与剪切应力的关系

由图 2 可知,水煤浆剪切应力随剪切速率的增大而增加。剪切速率小于 40 s<sup>-1</sup>时,2 种不同浓度水煤浆的流变曲线基本重合,剪切速率大于 40 s<sup>-1</sup>时,DG1013 的剪切应力大于 DG1014。2 种水煤浆剪切应力的上升趋势在 40 s<sup>-1</sup>后均有所减缓,因此确定水煤浆临界剪切速率为 30 ~ 40 s<sup>-1</sup>。试验水煤浆符合宾汉塑性体流体。

#### 2.1.2 流变模型的确定

不同浓度的神府煤水煤浆流变曲线相近,可找到适于神府煤水煤浆的流变模型<sup>[6]</sup>。剪切速率为 40 s<sup>-1</sup>时,流变曲线变化趋势有所减缓,这与 Herschel - Buckley 流体方程中的宾汉塑性体模型非常类似<sup>[7]</sup>。

Herschel - Buckley 模型通用方程为

$$\tau = \tau_0 + K\gamma^n$$

式中, $\tau$  为剪切应力,Pa;  $\tau_0$  为屈服剪切应力,Pa;  $K$  为稠度系数,Pa/s<sup>n</sup>;  $\gamma$  为剪切速率,s<sup>-1</sup>;  $n$  为流动指数。

由图 2 可知,水煤浆临界剪切速率为 30 ~ 40

s<sup>-1</sup>,利用 2 段直线进行分段拟合,2 条直线交点处即为临界剪切速率 40.74 s<sup>-1</sup>。结合剪切速率与剪切应力的关系,利用 Excel 拟合,得到神府煤水煤浆浓度为 60.56% 时,不同剪切速率下的流变方程为

$$\tau = 2.0262 + 2.9286\gamma$$

水煤浆要求静态时,有较大黏度,防止沉淀;动态时有较低黏度,便于泵送和雾化燃烧,宾汉塑性体符合此要求。而神府煤水煤浆经过拟合后的流变方程符合宾汉塑性体模型<sup>[8]</sup>,因此神府煤水煤浆适合泵送和管道输送<sup>[9]</sup>。

### 2.2 水煤浆管道输送试验

水煤浆管道输送试验主要研究不同管道直径和水煤浆浓度下,水煤浆平均流速对管道压力损失的影响。

#### 2.2.1 管道直径的影响

水煤浆管道输送时,压力损失主要来自摩擦损失和部分固体颗粒沉降。试验所用水煤浆粒度较细,可看成均质流,在此忽略部分颗粒沉降的影响<sup>[10]</sup>。试验中对水煤浆不同流速下的雷诺数进行监测,得到平均流速下雷诺数为 8 ~ 200,均小于 4000。因此水煤浆在进行管道输送时,一般流速下均可视为层流。

试验用水煤浆为 DG1013 和 DG1014,试验均在室温下(20 °C 左右)进行<sup>[11]</sup>。水煤浆管道直径分别为 100、200、300 mm,管道规格见表 3。不同管道直径下,水煤浆流速对管道压力损失的影响如图 3 所示。

表3 水煤浆输送管道规格参数

管道直径/mm	相对粗糙度	绝对粗糙度/mm
100	0.0005	0.072
200	0.0003	0.061
300	0.0006	0.182

由图 3 可知,在温度、水煤浆浓度等一定的条件下,管道压力损失随水煤浆平均流速的增大而增加。管道直径越小,压力损失增大趋势越明显。不同浓度水煤浆在同一直径管道中输送时,压力损失变化趋势一致。在水煤浆平均流速相同的条件下,管道直径越小,管道压力损失越大。管道直径为 100 mm 时,由于水煤浆输送时管道压力损失较大,且流速可调控范围较小,不符合经济节能要求,工业应用意义不大。管道直径为 200 ~ 300 mm 时,神府煤水煤浆在管道输送中的压力损失在工业应用合理范围内,

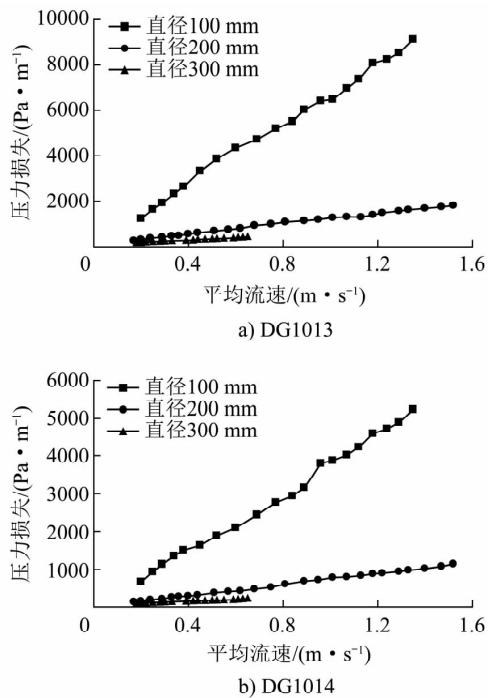


图3 不同管道直径下水煤浆平均流速对管道压力损失的影响

适宜管道输送。

### 2.2.2 水煤浆浓度的影响

试验选用水煤浆 DG1013 和 DG1014, 浓度分别为 62.13% 和 60.56%, 表观黏度分别为 1311 和 1159 mPa·s。输送管道直径为 300 mm, 研究不同水煤浆浓度下, 水煤浆平均流速对管道压力损失的影响<sup>[12]</sup> 结果如图 4 所示。

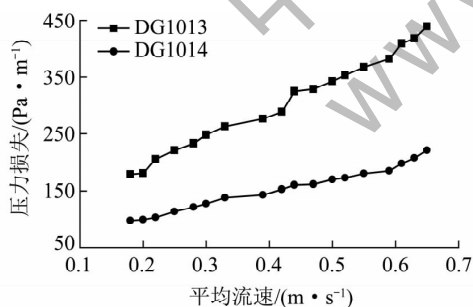


图4 不同水煤浆浓度下水煤浆平均流速对管道压力损失的影响

由图 4 可知, 在管道直径、温度等一定的条件下, 管道压力损失随水煤浆平均流速的增大而增加。DG1014 的管道压力损失小于 DG1013, 说明浓度和黏度较低的水煤浆更适合管道输送。从经济方面考虑, 浓度高的水煤浆更利于实际生产需要, 但不利于管道输送<sup>[13]</sup>。因此实际应用中应综合考虑水煤浆浓度和管道输送的情况选择合适的水煤浆。

## 3 结 论

1) 根据水煤浆流变性试验确定水煤浆临界剪切速率为  $30 \sim 40 \text{ s}^{-1}$ 。在低剪切速率下, 根据剪切速率与剪切应力的关系, 确定水煤浆临界剪切速率为  $40.74 \text{ s}^{-1}$ , 并得到符合 Herschel - Buckley 模型的神府煤水煤浆真实流变方程。

2) 在温度、浓度等一定的条件下, 管道压力损失随水煤浆平均流速的增大而增加。管道直径越小, 压力损失增大趋势越明显。在水煤浆平均流速相同的条件下, 管道直径越小, 管道压力损失越大。管道直径为 200 ~ 300 mm 时, 神府煤水煤浆在管道输送中的压力损失在工业应用合理范围内, 适宜管道输送。

3) 在管道直径、温度等一定的条件下, 管道压力损失随水煤浆平均流速的增大而增加。DG1014 的管道压力损失小于 DG1013, 说明浓度和黏度较低的水煤浆更适合管道输送。

### 参考文献:

- [1] 颜淑娟, 段清兵, 何国锋, 等. 低挥发分煤制备气化水煤浆的可行性研究[J]. 洁净煤技术, 2013, 19(6): 55-58.
- [2] 杨俊利, 李培芳. 水煤浆管道输送特性的研究[C]//水煤浆技术推广应用研讨会论文集. 昆明: 国家水煤浆工程技术研究中心, 2005: 56-61.
- [3] 顾伯康. 对我国管道输煤问题的探讨[J]. 煤炭科学技术, 1995, 23(1): 55-58.
- [4] 李 鹏. 德士古气化水煤浆管道设计[J]. 化工设备与管道, 2007, 44(5): 52-54.
- [5] 吴 艳. 油煤浆表观黏度测定方法研究[J]. 洁净煤技术, 2014, 20(3): 61-65.
- [6] 赵国华, 段钰锋, 王秋粉, 等. 水煤浆管道输送数值模拟研究进展[J]. 南京师范大学学报: 工程技术版, 2007, 7(2): 18-23.
- [7] 赵国华, 陈良勇, 段钰锋. 高浓度水煤浆直管内流动的数值模拟[J]. 锅炉制造, 2007, 7(4): 28-32.
- [8] 何国锋, 段清兵. 水煤浆新技术研发与实践[M]. 北京: 中国石化出版社, 2012: 7-8.
- [9] 王睿坤, 刘建忠, 胡亚轩, 等. 水煤浆掺混湿污泥对浆体成浆特性的影响[J]. 煤炭学报, 2010, 35(S1): 61-65.
- [10] 刘 猛, 陈良勇, 段钰锋. 水煤浆流经局部管件的阻力损失和均配规律[J]. 燃烧科学与技术, 2009, 15(5): 445-450.
- [11] 李培芳, 马云龙, 徐继怀, 等. 水煤浆管道输送特性的研究[J]. 水力采煤和管道运输, 1996, 3(3): 4-9.
- [12] 费祥俊. 高浓度与中浓度煤浆管道输送的比较分析[J]. 煤炭学报, 1996, 21(1): 79-84.
- [13] 张怀远. 关于浆体的管道输送[J]. 油气储运, 2000, 19(1): 1-5.