

# 管输煤浆黏度测定值的影响因素

涂 照 妹

(中煤科工集团武汉设计研究院有限公司,湖北 武汉 430064)

**摘 要:**为了探索黏度测定方法、粒度级配、质量分数以及温度 4 个因素对管输煤浆黏度值的影响,以陕西神南矿区煤样制备浆体为样本,通过试验研究来探索上述因素对黏度测定的影响规律。试验结果表明:旋转黏度计黏度测定值比毛细管黏度计黏度测定值高约 30%;黏度测定值随着 IV 粒度区间占比、质量分数的增加呈增加趋势,且随温度的降低而增加;管道煤浆黏度值测定的试验,均需进行黏度测定方法、粒度级配、质量分数以及温度 4 个影响因子的试验设计。

**关键词:**煤浆;黏度;影响因素;粒度级配

中图分类号:TQ543.1 文献标志码:A 文章编号:1006-6772(2017)02-0065-04

## Influence factors of the viscosity measurement of coal slurry for pipeline transportation

Tu Zhaomei

(CCTEG Wuhan Engineering Co., Ltd., Wuhan 430064, China)

**Abstract:** In order to investigate the effect of measurement method, particle size distribution, mass concentration and temperature on the viscosity of coal slurry for pipeline transportation, coal slurry samples from Shaanxi Shennan mining area were systematically studied. Results show that the viscosity measured using rotary viscometer is 30% higher than that measured by capillary viscometer. The apparent viscosity increases with increase of proportion of IV-grain size range and mass concentration, while decreases with increase of temperature. The viscosity measurement concerning on the piping transportation of coal slurry should comprehensively consider the impacts from the measurement method, particle size distribution, mass concentration and temperature.

**Key words:** coal slurry; viscosity; influence factor; particle size distribution

## 0 引 言

煤浆的管道输送作为一种新的物料运输方式已被广泛应用<sup>[1-3]</sup>。为了评定煤浆在管道中的流动性状,必须测定煤浆的黏度值,而煤浆黏度值是确定煤浆输送上限颗粒粒径、沉积速度和摩阻损失的重要参数<sup>[4]</sup>。煤浆黏度值低时,煤浆不稳定,易分层生成沉淀,容易堵管;煤浆黏度高时,煤浆管道输送阻力大,增加管道输送能耗<sup>[5-6]</sup>。因此,管输煤浆黏度测定值的准确性直接影响到煤浆管道输送的工程设计。但是,管输煤浆黏度值测定没有相关的规范规

程,导致不同条件下测定的黏度值存在偏差。本文结合中煤科工集团武汉设计研究院有限公司管道实验室多年的管输煤浆试验研究,探索黏度测定方法<sup>[7-8]</sup>、粒度级配<sup>[9-11]</sup>、质量浓度<sup>[12]</sup>以及温度<sup>[13]</sup> 4 个因素对黏度测定值影响规律,并分析管输煤浆黏度值测定试验方法<sup>[14]</sup>。

## 1 黏度测定方法与黏度测定值关系

### 1.1 黏度测定原理与步骤

#### 1.1.1 黏度测定原理

常用浆体黏度测定试验方法为毛细管黏度计测

收稿日期:2016-12-04;责任编辑:孙淑君 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2017.02.012

基金项目:中国煤炭科工集团科技创新基金青年基金资助项目(2014QN039)

作者简介:涂照妹(1985—),男,安徽合肥人,工程师,硕士,从事矿浆制备的试验研究及设计工作。E-mail:305693681@qq.com

引用格式:涂照妹.管输煤浆黏度测定值的影响因素[J].洁净煤技术,2017,23(2):65-68.

Tu Zhaomei. Influence factors of the viscosity measurement of coal slurry for pipeline transportation[J]. Clean Coal Technology, 2017, 23(2): 65-68.

定法与旋转黏度计测定法<sup>[4]</sup>。

毛细管黏度计是根据浆体在毛细管中做层流运动,所消耗的能力是克服流体的剪切变形的原理制成的。其原理是,离管壁 $r$ 处任一点的剪切力 $\tau = \frac{\Delta p r}{2L}$ , $\Delta p$ 为管长 $L$ 两端的压力差,则管壁处 $r=R$ 的

$$\text{最大剪切力 } \tau_w = \frac{\Delta p R}{2L}。$$

通过全管的流量计算,对于属于牛顿流体的低浓度浆体有: $\tau_w = \mu \frac{8V}{D}$ ,该式是牛顿流体的剪切应力与平均切变速率的关系,式中 $\mu$ 为黏度值, $D$ 为管径, $V$ 为体积;对于高浓度浆体属于非牛顿体,可用宾汉模型来描述,即: $\tau_w = \frac{3}{4}\tau_0 + \eta \frac{8V}{D}$ ,式中, $\tau_0$ 为初始切应力, $\eta$ 为刚度系数,由该式可知,对宾汉流体,只需要 $\tau_0$ 、 $\eta$ 两个参数,就可描述浆体的流变特性。毛细管黏度计试验的主要特点就是在已知尺寸的垂直管( $D$ 、 $L$ )中,通过不同的 $\frac{8V}{D}$ 及相应的 $\tau_w$ 测量,来求出浆体 $\tau_0$ 和 $\eta$ 这2个流变参数。

旋转黏度计是同步电机做驱动,采用2个同轴圆筒的旋转结构。其工作原理是:被测浆体充满2个圆筒的环形空间中,设环形空间中任一点半径为 $d$ ,当同步电动机带动内筒旋转时,内筒表面就要受到浆体的摩擦作用力,同时带动流体做层流运动,旋转轴上存在一个扭矩 $M$ ,且 $\omega = \frac{M}{4\pi h \eta} \left( \frac{1}{R_b^2} - \frac{1}{R_c^2} \right) -$

$$\frac{\tau_0}{\eta} \ln \frac{R_c}{R_b}$$

式中, $R_c$ 为外筒半径, $R_b$ 为内筒半径, $\omega$ 为旋转速度, $h$ 为内筒高度。通过该式,只要测得 $\omega$ 和 $M$ 就可求出 $\tau_0$ 和 $\eta$ 。

### 1.1.2 黏度测定步骤

毛细管黏度计测定步骤简述如下:①按照试验要求,将适量管道输送煤浆加入毛细管测量装置中,开启搅拌器搅拌均匀;②开启空压机,通过压力表和比压计来控制储浆桶内压力为试验要求值;③关闭搅拌器,准备好秒表、量筒,短时间(不超过10s)开启取样开关阀,用量筒接住溢出浆体,记录浆体体积;同时记录实际取样时间值以及读取压降值;④测量记录毛细管直径和长度;⑤根据浆体体积与取样时间,换算出浆体在毛细管内流动速度;⑥最后根据原理公式计算出流变参数。

旋转黏度计测定步骤可详见(GB/T 1886.4—

2008)《水煤浆试验方法 第4部分:表观黏度测定》。

## 1.2 2种方法测定值比较

上述2种黏度值测定方法由于工作原理的不同,同一种煤浆在相同的条件下进行黏度测量,2种方法测定值也不相同。以陕西神南矿区煤样为样本,配制同一粒度级配质量分数为45%、48%、50%、53%四组煤浆,在27℃条件下采用旋转黏度计和毛细管黏度计进行黏度测定,试验结果见表1。

表1 旋转黏度计与毛细管黏度计测量值比较

Table 1 Comparison of rotary viscometer and capillary viscometer

序号	旋转黏度计测量值/(mPa·s)	毛细管黏度计测量值/(mPa·s)	差值/%
第1组	20	15	33
第2组	23	18	27
第3组	26	20	30
第4组	40	30	33
平均	—	—	30.75

对4组煤浆样品黏度值测量结果表明:旋转黏度计比毛细管黏度计黏度测定值高约30.75%。在实际应用中,毛细管黏度计较旋转黏度计对两相流沉淀性浆体黏度值的测定更为准确<sup>[3]</sup>。鉴于煤浆属于沉降性浆体,故推荐使用毛细管黏度计进行煤浆黏度值测定;若使用旋转黏度计,则需进行比较性试验研究,将测定值换算成毛细管黏度计测定值进行煤浆黏度值数据描述。

## 2 粒度级配与黏度测定值关系

需要进行管道输送的煤浆是由多种粒径颗粒组成的,每一种粒径级别的粒料在全部粒料中所占的质量即为粒料粒级分布,又称煤浆粒度级配<sup>[4]</sup>。制备流变特性较好的管道输送煤浆,既需要煤浆的稳定性较好,又需要其黏度值不宜过大,这就需要探索粒度级配与黏度测定值之间的关系,使煤浆稳定且黏度测定值符合管道输送要求。

以陕西神南矿区煤样为样本,制备管输煤浆样品,保持煤浆配置浓度(50%)、测量温度(25℃)不变,采用毛细管黏度计测量其黏度值,考察I、II、III、IV四个粒度区间占比变化对管输煤浆黏度测定值的影响,试验结果见表2。从表2可以看出,粒度区间的变化对黏度测定值具有较大的影响,第1组与第7组在相同浓度与测量温度条件下,由于粒度

级配的不同,黏度测定值相差近6倍。同时,在4个煤浆粒度区间中,IV粒度区间占比的变化对黏度测定值影响最大,随着占比的增加,黏度测定值呈增加趋势,如图1所示。

表2 粒度区间与黏度测定值关系

Table 2 Relationship between particle size interval and viscosity measurement

序号	煤浆粒度区间/%				黏度/ (mPa·s)
	I	II	III	IV	
第1组	34	33	33	0	8.2
第2组	32	31	32	5	10.9
第3组	30	30	30	10	14.8
第4组	28	29	28	15	19.1
第5组	15	40	25	20	25.4
第6组	25	25	25	25	36.1
第7组	23	24	23	30	53.0

注:煤浆粒度区间是指将煤浆中不同粒径煤粉筛分成4个不同的区间,试验中称取不同粒径区间的煤粉混合后制备待测管输煤浆。

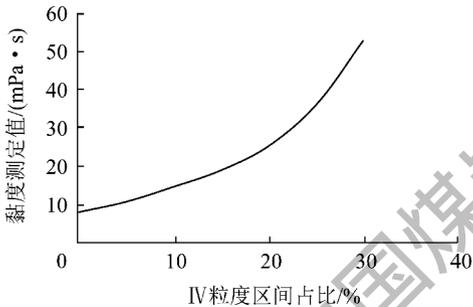


图1 IV粒度区间占比变化对黏度测定值影响曲线  
Fig. 1 Influence of proportion of IV grain size range on viscosity measurement

### 3 质量分数与黏度测定值关系

质量分数是影响管道煤浆流变特性的重要指标之一,不同的质量分数对应不同的煤浆黏度测定值。以陕西神南矿区煤样为样本,采用同一粒度级配,制备4组质量分数分别为57%、55%、53%、50%的煤浆样品,在15℃条件下采用毛细管黏度计测定黏度值,试验结果见表3。从表3可知,随着质量分数增加,黏度值增加幅度较快,在管道输送过程中,探索最佳的煤浆质量分数和黏度测定值关系,对于管道输送经济效益分析和煤浆流变参数的工程优化具有重要意义。为提高经济效益,一般会要求煤浆的质量分数越大越好,在管输煤浆试验中,需要在合理的输送煤浆质量分数范围内测定其黏度值,然后判定该质量分数煤浆是否适合进行管道输送。因而,煤浆质量分数与其黏度测定值的影响作用是相互的。

表3 质量分数与黏度测定值的关系

Table 3 Relationship between mass concentration and viscosity measurement

序号	质量分数/%	屈服应力 $\tau_0$ /Pa	刚度系数 $\eta$ /(mPa·s)
第1组	57	10.95	49.6
第2组	55	5.14	36.8
第3组	53	3.56	26.4
第4组	50	1.88	21.1

### 4 温度与黏度测定值关系

黏度是一个温度的函数,大部分流体黏度的数值随着温度的升高而减小。管输煤浆产品属于两相流,在输送过程中受环境温度变化影响,因此,煤浆黏度值的测定必须明确温度对黏度值变化的影响大小,为管道工艺设计提供参考。以陕西神南矿区煤样为样本,采用相同的质量分数与粒度级配条件,利用毛细管黏度计测定温度分别为10、15、20、25、30、35℃的煤浆黏度值,试验结果见表4。从表4可以看出,随着温度的升高,黏度测定值呈现下降趋势;在浆体温度10~35℃内,以常温条件下(20℃)测定的煤浆黏度值为基准值,黏度值变化幅度在±10%以内,该变化幅度需在各项煤浆黏度测定试验中予以体现,以保证黏度测定数据的准确性。

表4 温度与黏度测定值的关系

Table 4 Relationship between temperature and viscosity measurement

序号	温度/℃	黏度/(mPa·s)	变化幅度/%
第1组	10	21.5	+5.9
第2组	15	20.8	+2.5
第3组	20	20.3	0
第4组	25	20.2	-0.5
第5组	30	19.3	-4.5
第6组	35	19.0	-6.4

注:变化幅度是以常温条件下(20℃)测定的煤浆黏度值为基准,计算黏度测定值变化幅度大小。

### 5 结 语

1) 旋转黏度计黏度测定值比毛细管黏度计黏度测定值高约30%。

2) 黏度测定值随着IV粒度区间占比、质量分数的增加而大幅增加。

3) 在浆体温度10~35℃以常温条件下(20℃)测定的煤浆黏度值为基准值,黏度值变化幅度在

±10%以内。因此,在管输煤浆黏度测定试验中,必须考虑黏度测定方法、粒度级配、质量分数以及温度4个影响因子对试验结果的影响,设计上述4个影响因子的试验,最终推荐管输煤浆黏度测定值。

#### 参考文献(References):

- [1] 王铁力. 煤炭铁路运输过程中的环境污染及防治[J]. 洁净煤技术, 2014, 20(3): 112-114.  
Wang Tieli. Environment pollution and prevention during coal railway transportation[J]. Clean Coal Technology, 2014, 20(3): 112-114.
- [2] 王铁力, 赵利安. 浆体管道中大颗粒干涉力研究[J]. 洁净煤技术, 2011, 17(1): 122-125.  
Wang Tieli, Zhao Lian. Research on interference force of large particles in slurry pipeline[J]. Clean Coal Technology, 2011, 17(1): 122-125.
- [3] 陈光国. 我国长距离浆体管道输送系统的应用概况与展望[J]. 金属矿山, 2015, 44(5): 153-157.  
Chen Guangguo. Application situation and prospect of long distance slurry pipeline transportation system in China[J]. Metal Mine, 2015, 44(5): 153-157.
- [4] 费祥俊. 浆体与粒状物料输送水力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1994: 73-110.
- [5] 于同芹. 煤浆黏度的实验研究[J]. 江苏煤炭, 1998(1): 12-13.
- [6] 吕玉庭, 周国红, 吕连根. 经济型水煤浆的研究与应用[J]. 煤炭技术, 2001, 20(1): 43-44.  
Lyu Yuting, Zhou Guojing, Lyu Liangen. Research and application of economic water coal-slurry[J]. Coal Technology, 2001, 20(1): 43-44.
- [7] 颜丙峰, 史士东, 李文博. 煤直接液化条件下神华煤煤浆黏度的测定[J]. 洁净煤技术, 2008, 14(5): 24-26.  
Yan Bingfeng, Shi Shidong, Li Wenbo. The measurement of Shenhua coal-oil slurry viscosity at coal direct liquefaction condition[J]. Clean Coal Technology, 2008, 14(5): 24-26.
- [8] 魏幼平, 高松. 水煤浆粘度在线检测系统[J]. 中国煤炭, 2008, 34(2): 54-55.
- [9] 杨磊, 井云环, 马乐波. 粒度级配对宁东煤成浆性影响的研究[J]. 能源化工, 2016, 37(2): 12-14.  
Yang Lei, Jing Yunhuan, Ma Lebo. Study on the effects of particle size gradation on the slurry ability of Ningdong coal[J]. Energy Chemical Industry, 2016, 37(2): 12-14.
- [10] 杨磊, 刘洪刚, 井云环. 粒度级配、添加剂种类对宁东煤成浆性影响的实验研究[J]. 能源与节能, 2011(10): 18-19.  
Yang Lei, Liu Honggang, Jing Yunhuan. Research on effects of slurry ability of coal water slurry from Ningdong about particle size gradation and additive type[J]. Energy and Energy Conservation, 2011(10): 18-19.
- [11] GB/T 1886.3—2008, 水煤浆试验方法 第3部分: 筛分试验[S].
- [12] GB/T 1886.2—2008, 水煤浆试验方法 第2部分: 浓度测定[S].
- [13] 朱书全, 杨巧文, 王祖訥. 温度对水煤浆黏度的影响极其校正[J]. 煤炭加工与综合利用, 1995(4): 6-9.
- [14] GB/T 1886.4—2008, 水煤浆试验方法 第4部分: 表观黏度测定[S].
- [15] Processing Technology, 2006, 87(4): 289-295.
- [13] 王玉召, 李江鹏. 生物质与煤混燃的燃烧特性实验研究[J]. 锅炉技术, 2010, 41(5): 72-74.  
Wang Yuzhao, Li Jiangpeng. Experiment to co-combustion characteristics of biomass and coal[J]. Boiler Technology, 2010, 41(5): 72-74.
- [14] 聂其红, 孙绍增, 李争起, 等. 褐煤混煤燃烧特性的热重分析法研究[J]. 燃烧科学与技术, 2001, 7(1): 72-76.  
Nie Qihong, Sun Shaozeng, Li Zhengqi, et al. Thermogravimetric analysis on the combustion characteristics of brown coal blends[J]. Journal of Combustion Science and Technology, 2001, 7(1): 72-76.
- [15] 顾利峰, 陈晓平, 赵长遂, 等. 城市污泥和混煤燃烧特性的热重分析法研究[J]. 热能动力工程, 2003, 18(6): 561-563.  
Gu Lifeng, Chen Xiaoping, Zhao Changsui, et al. A study of the characteristics of mixed burning of municipal sewage sludge and coal by a thermogravimetric method[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2003, 18(6): 561-563.
- [16] 谌建建, 赵跃民. 工业型煤燃烧与固硫[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2001.
- [17] 沈兴. 差热、热重分析与非等温固相反应动力学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1995: 100-131.
- [18] 李余增. 热分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 1987: 74-100.

(上接第64页)

- [8] 刘招君, 柳蓉. 中国油页岩特征及开发利用前景分析[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 315-323.  
Liu Zhaojun, Liu Rong. Oil shale resource state and evaluating system[J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(3): 315-323.
- [9] 姜秀民, 刘德昌, 郑楚光, 等. 油页岩燃烧性能的热分析研究[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(8): 55-59.  
Jiang Xiumin, Liu Dechang, Zheng Chuguang, et al. Study of oil shale combustion characteristics by thermal analysis method[J]. Proceeding of the Chinese Society for Electrical Engineering, 2001, 21(8): 55-59.
- [10] Bouhafid Abdelmounaim, Vantelon Jean Pierre. The impact of thermal pre-treatment on oil shale attrition and fragmentation in fluidized bed combustion[J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2004, 28(7): 677-682.
- [11] Han Xiangxin, Jiang Xiumin, Cui Zhiqiang. Flow structure and combustion characteristic of 65t/h oil shale-fired circulating fluidized bed riser-2; Dilute phase[J]. Chemical Engineering Science, 2006, 61(8): 2533-2539.
- [12] Han Xiangxin, Jiang Xiumin, Wang Hui, et al. Study on design of huadian oil shale-fired circulating fluidized bed boiler[J]. Fuel