

DOI:10.16198/j.cnki.1009-640X.2016.06.016

赵利安. 煤浆管道输送颗粒级配降级研究[J]. 水利水电工程学报, 2016(6): 109-115. (ZHAO Li-an. Test analysis of particle size distribution degradation for coal slurry conveying by pipelines[J]. Hydro-Science and Engineering, 2016(6): 109-115.)

煤浆管道输送颗粒级配降级研究

赵利安

(辽宁工程技术大学 采矿工程系, 辽宁 阜新 123000)

摘要: 针对目前管道输煤颗粒级配降级影响因素及煤颗粒降级对输送参数的影响规律方面的研究不足, 采用试验方法研究了煤颗粒管道输送时浆体流速、颗粒大小、泵送时间对颗粒级配降低的影响, 同时还通过试验以及理论分析相结合的方法, 研究了煤浆级配降低后对浆体黏性、管道输送阻力和临界淤积流速等输送参数的影响。研究指出浆体流动速度越大, 泵送时间越长, 颗粒粒径越大, 颗粒的降级率越大。试验观测和理论分析结果表明, 浆体级配降级导致浆体黏度升高, 阻力降低, 不淤流速相应减小, 且黏度和阻力值可用费祥俊黏度和阻力模型进行准确预测。在此基础上, 结合有关研究, 推导了临界淤积流速的计算模型。

关 键 词: 管道输送; 煤浆; 级配; 淤积流速

中图分类号: TD825.6

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2016)06-0109-07

管道水力输送已被广泛应用于各种采矿活动中, 包括巷道掘进时的矸石运输、电厂灰渣的输送、选矿厂尾矿的输送、充填材料的井下输送以及采煤废弃物浆体注射技术^[1]等方面。管道水力输煤是水力输送的重要分支, 早在 20 世纪 50 年代该技术就开始在我国煤矿井下被采用, 目前我国正在建设的地表长距离管道输煤工程标志着水力输煤在我国的应用进入新阶段。在管道输煤工程中, 煤浆颗粒组成改变不仅影响煤浆的流动特性, 而且还影响浆体流动参数^[2-3]。

有关研究表明, 管道输煤合理的颗粒级配 (particle size distribution, 简称 PSD) 对于减小输送能量消耗, 改善煤浆流变性, 提高煤浆的浓度有重要作用^[4-5]。煤是一种脆性而软的矿物, 在管道输送过程中 PSD 较容易降级, 会影响众多水力输送参数, 还会增加未来脱水成本^[6]。

PSD 降级的原因众多, 主要是颗粒之间以及颗粒与管道及其附属配件间的碰撞作用、液体渗透到煤颗粒中产生的润湿作用、浆体泵的叶轮对煤颗粒的破碎作用以及颗粒进入管道和排出管道系统期间加载和卸载作用等。颗粒的破碎程度也与颗粒因素有关, 主要包括颗粒形状 (有棱角的颗粒最容易侵蚀)、机械强度以及存在的缺陷或萌生裂纹的裂隙等。管道输煤时浆体颗粒级配降低现象已被有关学者在试验中观测到^[7], 但是级配降低的影响因素及其对输送参数的影响研究方面, 还未见公开报道。

1 煤炭管道泵送试验

为了研究管道输煤颗粒级配降级的影响因素及级配降低后对管道输送参数的影响, 进行了管道输煤试验, 管路布置如图 1 所示。试验管道内径为 150 mm, 管路长度约 20 m。浆体泵采用耐纳特橡胶衬里泵, 口径为 40~350 mm, 流量为 4.5~2 339 m³/h, 扬程为 6.0~133 m。浆体泵配套电机功率为 400 kW。

从图 1 中的取样阀可以获取一定量的浆体样品, 采用 DMA35 型便携式密度计测量浆液密度, SNB-1 数

收稿日期: 2015-10-21

作者简介: 赵利安 (1973—), 男, 陕西长安人, 讲师, 博士, 主要从事浆体管道输送理论与技术研究。

E-mail: anlizhao1@163.com

字式旋转黏度计测量浆体黏度。所获取的样品用烤箱烘干煤样的水分,通过取样筛分析方法确定颗粒级配曲线。通过流量计获得流动速度值。通过水银压差计获得流动阻力值。通过亚克力透明管对颗粒沉降情况进行观察,从而确定浆体淤积流速值。为了防止温度波动对试验的影响,采用热交换器及时散热,保持试验温度为 25℃ 左右。

试验中,颗粒采用陕北旧村梁矿的两种精煤,煤颗粒特性如表 1 所示,两种精煤颗粒初始级配曲线如图 2 所示。

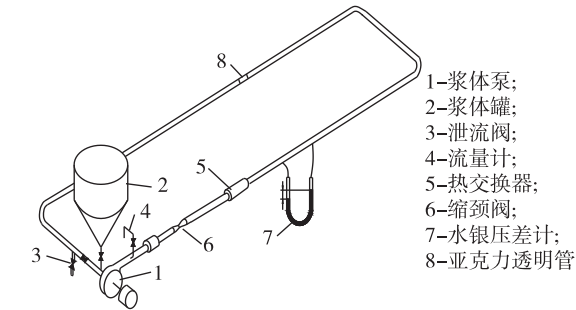


图 1 试验管路

Fig. 1 Schematic diagram of test pipeline

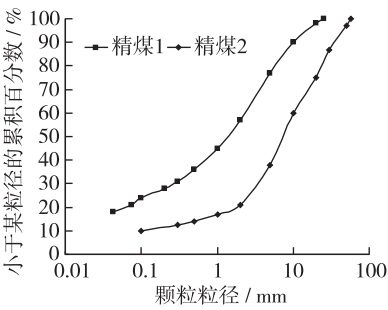


图 2 颗粒级配曲线

Fig. 2 Particle size distribution curves

表 1 物料和浆体特性

Tab. 1 Material and slurry properties

物料		密度/(g·cm ⁻³)	灰分/%	颗粒尺寸		浆体体积分数/%
用途	种类			最大粒径值/mm	加权平均值/mm	
炼焦煤	精煤 1	1.34	2.20	25.4	3.75	10.2
	精煤 2	1.36	2.40	58.0	14.13	11.5

试验时,首先测试精煤 2 浆体平均速度分别为 4.5 和 5.5 m/s,流动 1 500 和 4 500 m 情况下,煤浆颗粒级配降级情况。其次,分别测试精煤 1 和精煤 2 在不同输送时间后的颗粒级配变化情况。最后,测试不同输送时间后精煤 1 和精煤 2 浆体阻力情况。同时,通过透明亚克力管段观察,确定不同输送情况下煤浆的淤积流速。通过试验发现,两种精煤浆体,输送一段时间后,均存在级配降级现象。

2 浆体级配降级影响因素分析

浆体流动速度对煤浆级配降级的影响如图 3 所示。从图 3 可见,煤浆 2 在输送同样长的距离后,呈明显的降级趋势,且大于 1 mm 的颗粒段的降级趋势明显大于粒径小于 1 mm 段的颗粒。不同的输送速度时,浆体的输送速度越大,颗粒降级越明显。

从图 4 可见,由于精煤 2 颗粒较精煤 1 大,精煤 2 降级显著,也就是说进料越粗,则水力输送过程中的降级率越大。对于同一级配,总体上,大颗粒区间段降级幅度大于小颗粒区间段。可见,对于细颗粒区域,不同输送速度造成的浆体粒度组成(级配)无本质的差别。而在粗颗粒区域,两者差别明显。从图 4 还可以看出,随着管道运输时间的增加,粗颗粒会降低,且随着时间的推移,降级趋势会持续减弱,这与有关研究结果一致^[8]。

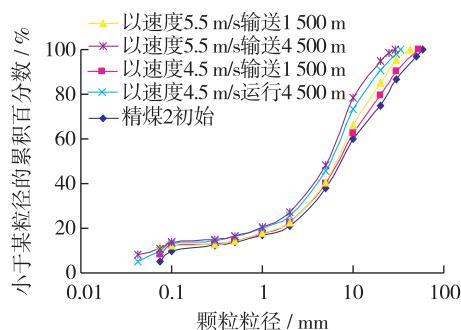


图3 浆体速度对精煤浆2级配的影响

Fig. 3 Effect of slurry velocity on particle size distribution of clean coal slurry 2

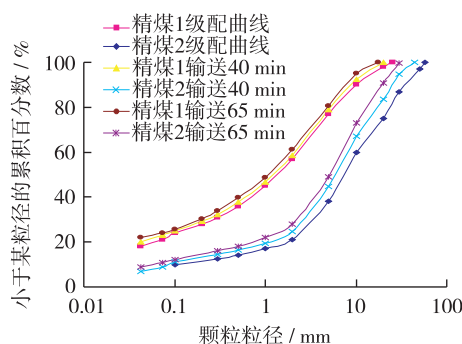


图4 输送时间对精煤浆体级配的影响

Fig. 4 Effect of conveying time on particle size distribution of clean coal slurry

从图3和图4还可以看出,浆体泵送时间越长,则浆体中颗粒降级率也就越大,这与C. A. Shook的研究是一致的^[7]。从图4中还可看出,随着泵送时间的增加,颗粒降级率的降幅呈现收窄的趋势。

3 煤浆级配降低对输送参数的影响

3.1 浆体黏性

从图3和图4中可以看出,随着管道输送的进行,各个级配煤颗粒上限颗粒均有所减小,细颗粒所占比例有所提高,这在一定程度上增加了浆体黏度。可见,煤浆级配降级会产生众多细颗粒,其加入会改变悬液的粒度组成,从而改变浆体的流变特性,甚至可以使煤浆从牛顿体变为非牛顿体。

试验中,精煤1和精煤2均含一定的灰分,借鉴前人的研究结果,灰分对流变参数影响可以忽略不计^[9]。费祥俊^[10]提出了煤浆极限浓度 C_{V_m} 和煤浆由牛顿体转变为宾汉体的临界浓度 C_{V_0} 关系为:

$$C_{V_0} = 1.87C_{V_m}^{3.2} \quad (1)$$

式中:煤浆极限浓度 C_{V_m} 可以通过费祥俊的近似表达式得到^[10]。通过式(1)的计算,确定精煤1和精煤2的浆体流型均为牛顿体。

有关研究表明,浆体流变参数与浆体中粒径小于0.074 mm的细颗粒体积分数有密切关系^[11]。表2为精煤1和精煤2初始状态及管道输送40和65 min时相对黏度以及细颗粒比例和输送时间的关系。显然,随着管道输送的进行,精煤1和精煤2煤浆中粒径小于0.074 mm颗粒逐渐增多,相对黏度 μ_r 逐渐增大。

表2 细颗粒比例与浆体相对黏度的关系

Tab. 2 Relationships between ratio of -200 mesh and slurry relative viscosities

浆体类别	细颗粒体积 分数/%	输送时间/ min	相对黏度		浆体类别	细颗粒体积 分数/%	输送时间/ min	相对黏度	
			实测值	计算值				实测值	计算值
精煤1浆体	21.4	0	1.31	1.36	精煤2浆体	0	0	1.25	1.2
	23.1	40	1.35	1.37		9.4	40	1.28	1.36
	24.6	65	1.39	1.34		11.5	65	1.32	1.30

假定在连续级配浆体中,固体颗粒总体积浓度为 C_V ,细颗粒所占比例为 x ,则细颗粒体积浓度 C_{V_f} 为:

$$C_{V_f} = xC_V \quad (2)$$

从而细颗粒悬液的相对黏度可用下式^[10]计算:

$$\mu_{rf} = (1 - kC_{V_f}/C_{V_{mf}})^{-2.5} \quad (3)$$

式中: C_{v_m} 为细颗粒极限浓度, 与浆体中细颗粒的级配组成有关, 可以通过有关文献^[10]得到。

式(3)是计算浆体黏度的近似公式, 基于浆体黏度依赖于粒径小于 0.074 mm 细颗粒含量。式(3)计算的浆体黏度与实测黏度值的对比见表 2。计算值和实测值的最大误差不超过 5%。因此, 可以认为计算黏度时, 只考虑粒径小于 0.074 mm 细颗粒是合适的。在试验条件下, 细颗粒越多, 浆体黏度越大。计算中发现, 随着浆体泵送的进行, 细颗粒极限浓度 C_{v_m} 逐渐变小。

细颗粒有助于增大浆体黏度的机理主要在于两方面, 一是细颗粒表面具有较大的结合水膜的作用, 吸附水膜相当于增加了悬液中固体体积; 二是细颗粒能够产生絮凝现象, 把一部分水包围在絮团中间形成封闭水, 与絮团一起运动, 这相当于增大了固体体积或浓度。

3.2 浆体阻力

浆体级配降级对阻力的影响, 相当于有细颗粒的加入, 会增大煤浆黏性, 导致原来以推移形式运动的粗颗粒变成悬移形式运动, 从而使浆体变得更容易输送。细颗粒的加入, 一方面减小煤浆中颗粒的沉降速度, 使垂向速度分布变得更为均匀, 有利于降低流动的阻力。但是另一方面, 细颗粒可能会使黏度增加过大, 增加流动的黏性阻力, 不利于煤浆的输送。

试验中测试了煤浆的输送阻力, 测试结果见表 3。从表 3 可看出, 管道输送 65 min 后, 精煤 1 的阻力值与输送前比, 最大降幅为 2.5%, 精煤 2 最大降幅为 9.5%。从测试结果来看, 对于组成颗粒较粗的煤浆 2, 级配降级对阻力的影响较为明显, 对于组成颗粒较细的煤浆 1, 级配降级对阻力的影响小。

表 3 颗粒级配降低对精煤浆体阻力的影响

Tab. 3 Effects of particle size distribution degradation on resistance of clean coal slurry

$V_m /$ ($m \cdot s^{-1}$)	精煤 1 浆体					精煤 2 浆体				
	初始阻力/($m \cdot m^{-1}$)		输送 65 min 阻力/($m \cdot m^{-1}$)		实测阻力 降低比例/%	初始阻力/($m \cdot m^{-1}$)		输送 65 min 阻力/($m \cdot m^{-1}$)		实测阻力 降低比例/%
	实测值	计算值	实测值	计算值		实测值	计算值	实测值	计算值	
2.0	0.027 1	0.025 8	0.026 4	0.025 4	2.5	0.031 3	0.029 0	0.028 3	0.028 7	9.5
2.5	0.041 2	0.040 1	0.040 4	0.039 6	1.9	0.046 3	0.043 0	0.041 5	0.041 0	9.7
3.0	0.058 5	0.057 6	0.057 7	0.057 0	1.4	0.063 5	0.060 4	0.058 9	0.058 5	7.2
3.5	0.079 2	0.078 4	0.078 2	0.077 6	1.3	0.086 4	0.081 2	0.079 6	0.079 3	7.9

目前, 在浆体阻力计算方面, 主要有杜兰德、瓦斯普和费祥俊等阻力计算式。杜兰德计算式是从试验得出的经验公式, 缺乏理论基础, 且采用较粗的均匀颗粒代替现实中不均匀的颗粒组成, 也就是以均匀的颗粒组成, 或者基本上以均匀的颗粒为基础, 使阻力计算问题得到简化。该计算式适用于管道直径 40~580 mm, 以及颗粒直径大于 0.2 mm 的浆体。由于本试验精煤和精煤均含有粒径小于 0.2 mm 的颗粒, 且精煤颗粒具有连续级配, 含有一定量的细颗粒, 故不适合采用杜兰德计算式。瓦斯普和费祥俊提出的阻力计算式均可用于计算含有细颗粒的连续级配浆体阻力。瓦斯普复合流阻力计算方法物理概念比较清楚, 在国外应用较为广泛, 但其阻力计算方法过程复杂, 不利于理论分析。费祥俊公式物理概念清晰, 简单可靠。因此, 采用如下的费祥俊工业浆体阻力损失公式进行阻力计算和分析^[10]:

$$i_m = \alpha \frac{f V_m^2 \gamma_m}{2gD \gamma} + 11\mu_s C_v \left(\frac{\gamma_s - \gamma_m}{\gamma} \right) \frac{\bar{V}_i}{V_m} \quad (4)$$

式中: f 为达西阻力系数; V_m 为浆体平均速度; μ_s 为颗粒与管道底部滑动的摩擦系数; γ_s , γ_m 和 γ 分别为固体颗粒、浆体和水的重度, γ_m 可通过 C_v , γ_s 和 γ 的关系求得; D 为管道直径; g 为重力加速度。摩擦系数 μ_s 和达西阻力系数 f 与试验条件有关; α 为考虑悬移质存在而抑制水流紊动对阻力的影响系数, 与浆体相对黏度有关。 α 取值的经验式为^[11]:

$$\alpha = 1 - 0.4 \lg \mu_r + 0.2 (\lg \mu_r)^2 \quad (5)$$

利用从表 2 得到相对黏度, 代入式(5)可以估算 α 值, 计算结果表明, 随着管道输送的进行, α 有减小的

趋势,但是变化幅度很小,基本上维持在 0.95 左右。

$\bar{V}_i$ 为各级粒径在浆液中的平均沉降速度,由于细颗粒沉降速度接近零,故计算时不考虑细颗粒沉降速度。计算时,将精煤颗粒分为 i 个颗粒级,从而得到每个颗粒级的平均粒径 d_i ,分别计算 d_i 对应的沉降速度 V_i ,再考虑每个颗粒级所占的比例 P_i ,通过加权平均,得到 $\bar{V}_i$ 。

计算数据表明,精煤 1 和精煤 2 浆体平均沉降速度开始为 0.016 和 0.108 m/s,输送 65 min 后,降低到 0.011 和 0.014 m/s,显然精煤 2 平均沉降速度的降低幅度大于精煤 1。

通过以上分析,可以认为精煤 1 和精煤 2 浆体在泵送同样时间后,级配的变化会导致平均沉降速度 $\bar{V}_i$ 降低,从而导致了阻力值的减小。也就是说,浆体级配降级对于阻力损失的影响是通过沉降终速度 $\bar{V}_i$ 的变化来体现。表 3 中也给出了用费祥俊工业浆体阻力式(4)的计算值,除了个别数值误差达到 24%外,费祥俊公式的计算值与实测值的误差均较小。出现误差的原因可能在于试验测试过程存在偏差所致。可见,费祥俊工业浆体阻力式(4)可以准确地预测精煤 1 和精煤 2 浆体的输送阻力。

3.3 临界淤积速度

前人的研究表明,浆体中增加细颗粒比例,会使颗粒沉降速度降低,垂向浓度更为均匀分布,从而降低临界淤积流速。另一方面,在浆体总体输送浓度不变的条件下,级配降级会导致总体颗粒粒度减小,颗粒越小,从而使粗颗粒悬浮的浆体临界流速也就越小^[12]。此处临界速度指的是临界淤积流速,也就是在管道底部观察到静止不动颗粒时的浆体平均流速。

为了进一步研究级配降级对临界淤积速度的影响规律,对上面的式(4)两边求导,通过 $di_m/dV_m = 0$,可以得到有连续级配的浆体阻力最小临界速度 V_{min} 的表达式为:

$$V_{min} = \left(11 \frac{gDu_s C_v \bar{V}_i}{\alpha f} \left(\frac{\gamma_s - \gamma_m}{\gamma_m} \right) \right)^{\frac{1}{3}} \quad (6)$$

由于式(6)求解的是阻力最小临界速度,其与淤积流速尽管很接近,但还是有区别,两者关系为^[13]:

$$V_{min} = k V_c \quad (7)$$

$$k = 0.64 \sqrt[6]{D} \quad (8)$$

则浆体淤积临界速度 V_c 的表达式为:

$$V_c = 3.475 \left(\frac{g\sqrt{D}u_s C_v \bar{V}_i}{\alpha f} \left(\frac{\gamma_s - \gamma_m}{\gamma_m} \right) \right)^{\frac{1}{3}} \quad (9)$$

式(9)中,只有 α 和 $\bar{V}_i$ 与颗粒级配有关。由于 α 变化幅度影响很小,其对临界速度的影响可以忽略不计,故对临界速度有影响的只有反映级配组成的平均沉降速度 $\bar{V}_i$ 。

根据上述分析,在煤浆泵送过程中,平均沉降速度 $\bar{V}_i$ 会降低,根据式(9),临界速度 V_c 要变小。精煤 1 和精煤 2 临界速度实测数据以及根据式(9)计算的数据如表 4 所示。

表 4 精煤浆体临界淤积速度实测值和计算值对比

Tab. 4 Comparison between measured and calculated values of coal slurry depositing critical velocities

时段	精煤 1 浆体临界速度/(m · s ⁻¹)			精煤 2 浆体临界速度/(m · s ⁻¹)		
	实测	计算	误差/%	实测	计算	误差/%
初始	1.36	1.24	-8.80	2.83	2.46	-13.10
40 min 时	1.25	1.11	-11.20	1.95	1.97	1.00
65 min 时	0.86	0.95	10.40	1.49	1.71	14.80

从表 4 可见,随着泵送时间的延长,会导致临界淤积流速相应降低。虽然精煤 1 浆体和精煤 2 浆体的颗

粒浓度相近,但是颗粒尺寸相差较大,故表中显示的淤积流速变化 V_c 有很大差别。表4也列出了用式(9)计算的淤积临界速度值,与实测值最大误差为14.8%。产生误差的原因可能是试验观测误差,因为颗粒在管道底部淤积与否,受个人主观因素影响较大。此外,还有可能是式(9)涉及到众多参数,各参数计算或取值不准确所致。尽管如此,式(9)对于预测具有连续级配的浆体临界速度,仍有一定指导性作用。

4 结 语

(1)通过两种精煤浆体管道输煤试验,发现精煤输送中存在级配降级现象,浆体级配降级的因素包括流动速度,初级浆体颗粒和输送时间。试验结果表明,浆体流动速度越大,颗粒的降级率越大;初级浆体颗粒越粗,级配降级越明显,大颗粒区间颗粒降低高于小颗粒区间;浆体泵送时间越长,浆体中颗粒降级也就越明显。

(2)分析了煤浆级配降低对若干输送参数的影响,发现随着浆体管道输送的进行,煤浆级配降级将导致浆体相对黏度升高,阻力降低,淤积流速减小,同时分析了黏度、阻力和临界淤积速度变化的原因。

(3)试验数据的计算结果表明,浆体级配变化前后的浆体黏度值和阻力值与费祥俊相对黏度和工业浆体阻力公式的预测值基本一致,煤浆临界淤积流速可用基于费祥俊工业浆体阻力模型推导的式(9)进行计算。

参 考 文 献:

- [1] DUCATMAN A, ZIEMKIEWICZ P, QUARANTA J, et al. Coal slurry waste underground injection assessment final report: phase II [EB/OL]. http://www.wvdhhr.org/oehs/documents/coal_slurry_waste_underground_injection_assessment-final.pdf, 2010-07-30/2015-11-29.
- [2] LOGOS C, NGUYEN Q D. Effect of particle size on the flow properties of a south Australian coal-water slurry [J]. Powder Technology, 1996(88):55-58.
- [3] VLASAK P, CHARA Z. Effect of particle size distribution and concentration on flow behavior of dense slurries [J]. Particulate Science and Technology, 2011, 29(1):53-65.
- [4] EL-NAHHAS K, EL-HAK N G, RAYAN M A, et al. Effect of particle size distribution on the hydraulic transport of settling slurries [C]//13th International Water Technology Conference, IWTC13, Hurgada, Egypt, 2009.
- [5] 高志芳,朱书全,黄波,等. 粒度分布对提质褐煤水煤浆性能影响的研究 [J]. 选煤技术, 2009(2):1-5. (GAO Zhi-fang, ZHU Shu-quan, HUANG Bo, et al. Study on the effect of particle size distribution on the lignite water coal slurry performance [J]. Coal Preparation Technology, 2009(2):1-5(in Chinese))
- [6] KARR P R, KEINATH T M. Influence of particle size on sludge dewaterability [J]. Journal Water Pollution Control Federation, 1978, 50(8):1911-1930.
- [7] SHOOK C A. Slurry flow principles and practice [M]. Boston: Butterworth-Heinemann, 1991:256-259.
- [8] MAURER H, MEZ W. Hydraulic transport of coarse-grain material in the hard coal mining industry and experimental test results [C]//8th International Conference on the Hydraulic Transport of Solids in Pipes. Johannesburg, South Africa, August 25-27, 1982: 445-459.
- [9] 韩文亮,翟大潜,柴洪恩. 煤浆的流变特性及管道输送参数的选择 [C]//中国有色金属学会. 第二届中日浆体输送技术交流会论文集(合订本). 1998. (HAN Wen-liang, ZHAI Da-qian, CHAI Hong-en. Rheological properties of coal slurry and the determination of transportation parameters for slurry pipeline [C]//The Nonferrous Metals Society of China. Proceeding of the Second China-Japan Symposium on Slurry Transportation Technology(Bound Volume). 1998. (in Chinese))
- [10] 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, 1994:39-48. (FEI Xiang-jun. Slurry and granular material conveying hydraulics [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1994:39-48. (in Chinese))
- [11] 费祥俊,舒平安. 泥石流运动机理与灾害防治 [M]. 北京:清华大学出版社, 2004:52. (FEI Xiang-jun, SHU Ping-an. Debris flow movement mechanism and disaster prevention [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004: 52. (in Chinese))
- [12] 丁宏达. 物料粒径对浆体管道输送临界流速的影响 [J]. 水力采煤与管道运输, 2011(4):1-5. (DING Hong-da. Effect of

- material particle size on critical flow velocity of slurry pipeline transportation [J]. Hydraulic Coal Mining & Pipeline Transportation, 2011(4):1-5. (in Chinese))
- [13] MATOUSEK V. Dredge pumps and slurry transport[R]. Opening course of offshore engineering, Delft University of Technology, 2004. <http://ocw.tudelft.nl/courses/offshore-engineering/dredge-pumps-and-slurry-transport/readings/3-flow-of-mixture-in-a-pipeline/>

Test analysis of particle size distribution degradation for coal slurry conveying by pipelines

ZHAO Li-an

(*Department of Mining Engineering, Mining Institute, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China*)

Abstract: In view of the shortage of analysis studies on the influence factors of the degradation of gradation of grain and influence law of the transport parameters for the coal particle degradation during the coal slurry conveying, a test method is used to study the influences of the coal slurry velocities, particle size and pump conveying time on the particle size distribution degradation during the coal slurry conveying. At the same time, the analysis of influences of the coal slurry gradation degradation on the slurry viscosity, pipeline transportation resistance and siltation velocities is also carried out through the experimental method and theoretical analysis method. From the test analysis results it is found that the higher the flow velocity of the slurry is, the longer the pumping time is, and the larger the particle size is, the greater the degradation rate of the particles is. The results of experimental survey and theoretical analysis show that the slurry viscosity has increased, the resistance has decreased, and the non-silting velocities relevantly decreased due to the degradation of the coal slurry gradation. And the viscosity and resistance values can be accurately estimated by the Fei Xiang-jun viscosity and resistance model. On the basis of the research results mentioned above, a calculation model for the critical silting velocities is developed in this paper.

Key words: pipeline transportation; degradation of coal slurry particle size distribution; silting velocities