

# 粗颗粒煤浆管道输送级配降级及其影响研究

赵利安, 王铁力

# Study on grading degradation of coarse coal slurry pipeline transportation and its influence

ZHAO Li' an, WANG Tieli

在线阅读 View online: https://doi.org/10.12170/20210805003

## 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

### 颗粒形状及级配对粗颗粒土休止角的影响

Influence of particle size and gradation on repose angle of coarse-grained soil 水利水运工程学报. 2017(6): 79 https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2017.06.011

### 水力坡度对淹没单丁坝近区水流结构的影响

Influences of different hydraulic gradients on flow structures near submerged spur dike 水利水运工程学报. 2017(2):75 https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2017.02.010

## 反滤层粒度组成及厚度对大坝渗流特性的影响

Influence of grain composition and thickness of filter layer on seepage characteristics of dam 水利水运工程学报. 2021(2): 87 https://doi.org/10.12170/2020082501

### 不同正压力下钙质砂颗粒剪切破碎特性分析

Shear breakage characteristics of calcareous sand particles under different normal pressures 水利水运工程学报. 2018(5): 63 https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2018.05.009

## 粗、巨颗粒富集位置对堆积体降雨入渗的影响

Influence of coarse and giant particles enrichment position on rainfall infiltration of accumulation body 水利水运工程学报. 2021(5): 76 https://doi.org/10.12170/20201118002

## 纳米级掺合料和粗合成纤维对湿喷混凝土回弹率的影响

Effect of nanometer scale admixture and macro synthetic fiber on the rebound rate of wet mix shotcrete 水利水运工程学报. 2019(1): 42 https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2019.01.006





关注微信公众号,获得更多资讯信息

扫码进入官网, 阅读更多精彩文章

### DOI:10.12170/20210805003

赵利安, 王铁力. 粗颗粒煤浆管道输送级配降级及其影响研究 [J]. 水利水运工程学报, 2022(3): 115-121. (ZHAO Li'an, WANG Tieli. Study on grading degradation of coarse coal slurry pipeline transportation and its influence[J]. Hydro-Science and Engineering, 2022(3): 115-121. (in Chinese))

# 粗颗粒煤浆管道输送级配降级及其影响研究

# 赵利安1,王铁力2

(1. 辽宁工程技术大学 矿业学院, 辽宁 阜新 123000; 2. 中煤科工集团武汉设计研究院有限公司 管道工程院, 湖 北 武汉 430064)

**摘要:**针对粗颗粒煤浆输送中颗粒级配降级预测研究不足的问题,采用试验研究和理论分析法,给出了输送 30、40、50和60min时煤浆中各颗粒粒级的质量百分数、黏度和水力坡度值,提出用磨矿理论研究粗颗粒煤浆 管道输煤过程的构想,据此给出了破碎率函数和磨矿平衡方程的求解方法。研究表明,煤浆输送 30和50min 时颗粒级配的预测值与实测值最大偏差不大于12.53%。随着粗煤浆体输送时间的延长,煤浆相对黏度逐渐增 大,主要原因是由于2.0mm以上粗颗粒的颗粒细化,增加了0.074mm以下的细颗粒含量。颗粒级配降级导致 水力坡度降低主要是由于粗颗粒细化导致沉降速度降低及与管道底部接触的粗颗粒有所减少的原因。

关键 词:级配降级;粗颗粒;黏度;水力坡度;破碎率函数

中图分类号: TD825.6 文献标志码: A 文章编号: 1009-640X(2022)03-0115-07

目前,发展能源清洁运输和利用是全球趋势,也是实现碳达峰和碳中和的重要环节<sup>[1]</sup>。浆体管道输煤作 为一种煤炭资源的洁净运输方式,是我国铁路、公路煤炭运输方式的重要补充,可以在一定程度上缓解铁 路、公路的运输压力,而且对节约投资、保护环境、提高运输效率具有极其重要的意义<sup>[2]</sup>。浆体管道输送有 关研究发现,粗颗粒较细颗粒更容易在浆体泵内向叶轮工作面靠近而发生碰撞,也更容易沉积于管道底部, 对管道底部的磨损较为显著<sup>[3-5]</sup>。而对于颗粒较脆、硬度较小的煤颗粒,输送时泵、管道及管路闸阀对煤颗 粒的磨损或破碎会更加明显,由此造成煤颗粒级配降级(细化)对输送参数的影响已不可忽略。多位研究人 员发现煤浆管道输送过程中存在颗粒细化(级配降级)现象<sup>[6-3]</sup>,对级配降级的影响因素及级配降级对管道输 送参数的影响进行了研究,取得了一些成果。但是粗颗粒煤浆管道输送级配降级预测方面的研究还未见公 开报道。

本文采用试验研究和理论分析法,基于磨矿理论提出粗颗粒煤浆管道输送级配降级预测模型,并分析 级配降级的影响因素。

# 1 试验研究

粗颗粒煤浆输送试验管路布置如图 1 所示。试验管路长约 20 m, 主体管路内径 0.15 m。采用流量为 4.5~2 340.0 m<sup>3</sup>/h、扬程为 6.0~133.0 m 的耐纳特渣浆泵, 其配套电机功率为 400 kW。煤浆的流量和水力坡 度可以分别通过流量计和水银压差计得到。通过亚克力透明管段可以观察颗粒运行状态。采用在管路中 安设热交换器的方式维持煤浆温度恒定。试验中, 通过 Brookfield RS T-CC 流变仪测出煤浆黏度值, 利用 Mastersizer 2000 型粒度分析仪和标准筛给出颗粒级配情况。

收稿日期: 2021-08-05

基金项目: 辽宁省教育厅科学研究经费资助项目(20-1054)

作者简介:赵利安(1973—),男,陕西长安人,副教授,博士,主要从事浆体管道输送理论与技术研究。 E-mail:anlizhao@163.com

试验采用某矿选煤厂的炼焦精煤,比重为1.36,灰分为2.25%,初始煤颗粒粒度分布见表1。试验中,煤 浆体积浓度为11.0%。试验步骤为:(1)分别测试初始、30、40、50和60min时煤浆水力坡度,同时分别取 样装入200mL塑料瓶内;(2)用流变仪测试每种样品煤浆的黏度;(3)将煤浆样品放入坩埚中干燥,得到干 燥颗粒;(4)2mm以下颗粒用粒度分析仪确定各粒级质量,2mm以上颗粒采用筛分法确定各粒级颗粒级质 量,进而得到各粒级质量百分数。

试验中浆体平均速度为 2.5 m/s, 观察发现管道输送中颗粒处于部分悬浮、部分滑跳移状态。

 8

表 1 初始颗粒粒度分布 Tab. 1 Initial particle size distribution				
粒度区间/mm	质量百分数/%			
10.000~29.400	10.10			
5.000~10.000	13.50			
2.000~5.000	20.00			
0.500~2.000	21.40			
0.074~0.500	15.00			
<0.074	20.00			

# 2 理论分析

管道输煤颗粒级配降级过程复杂,实践中难以采用新理论对粗煤颗粒级配变化进行描述。鉴于球磨机 (棒磨机)磨矿过程理论较为成熟,应用范围较广,同时有关研究表明,将磨矿过程理论引入煤浆泵和煤浆管 道输送系统在一定程度上是可行的<sup>[6,9]</sup>。因此,本文采用磨矿理论描述粗颗粒煤浆输送级配降级(细化)过 程。在磨矿理论方面,已有多位学者进行了有关研究,这些研究主要集中在金属精矿的磨矿机理及有关磨 矿参数的确定方法等方面<sup>[10-15]</sup>。

根据磨矿理论,存在以下磨矿平衡方程[10]:

$$\frac{\mathrm{d}f_i(t)}{\mathrm{d}t} = \sum_{j=1}^{i-1} b_{ij} S_j f_i(t) - S_i f_i(t) \tag{1}$$

式中: *f<sub>i</sub>(t*) 为第 *i* 粒级颗粒在时间 *t* 的质量百分数; *b<sub>ij</sub>* 为破碎分布函数, 是颗粒破碎后从第 *j* 粒度级进入第 *i* 粒度级的质量百分数; *S<sub>j</sub>* 和 *S<sub>i</sub>* 均为破碎率函数, 也称为选择函数, 指单位时间内颗粒破碎的概率。式(1)可 以变为矩阵表达形式:

$$\frac{\mathrm{d}F}{\mathrm{d}t} = (B - I)SF = AF \tag{2}$$

式中: F 为颗粒累积百分率; I 为单位矩阵; B 为以 b<sub>ij</sub> 为矩阵元素的下三角矩阵; S 表示以 S<sub>i</sub> 为对角线元素的 对角矩阵; A 为下三角矩阵。B<sub>ij</sub> 的计算式<sup>[9]</sup> 为:

$$B_{ij} = \left( \ln \frac{1 - F_i(t)}{1 - F_i(0)} \right) \left| \left( \ln \frac{1 - F_{j+1}(t)}{1 - F_{j+1}(0)} \right) \right|$$
(3)

式(1)中的破碎分布函数 bii 与式(3)累积破碎分布函数 Bii 的关系为:

$$b_{ij} = B_{ij} - B_{i+1,j} \tag{4}$$

式(2)中的破碎函数 Si 可用式 (5) 计算:

$$S_{j} = -\left(\ln\frac{1 - F_{i}(0)}{1 - F_{i}(t)}\right) \middle| (B_{ij}t)$$
(5)

式中: F<sub>i</sub>(t) 为 t 时刻小于第 i 颗粒级的累积百分率; F<sub>i</sub>(0) 为开始时小于第 i 颗粒级的累积百分率。

假定 A 与时间无关,则式(2)可用对角化的方法求解。由于 A 是一个下三角矩阵,因而存在一个常数矩阵, P, 与 A 的特征值矩阵关系为:

$$S = -P^{-1}AP \tag{6}$$

S的对角元素为矩阵A的特征值。

假设 W=PZ, 此处 Z 为中间向量, 并结合式(3), 则磨矿平衡方程(2)的解为:

$$F = M \exp(-S_i t) \tag{7}$$

式中:Si为矩阵A的特征值。

根据对角矩阵的性质,矩阵 *M* 中的元素 *m<sub>ij</sub>* 取值特征为<sup>[16]</sup>: *i=j* 时, *m<sub>ij</sub>=R<sub>i</sub>(0)*; *j=i-1* 时, *m<sub>ij</sub>=-R<sub>i-1</sub>(0)*; 其他 情况时, *m<sub>ij</sub>=0*, *R<sub>i</sub>(0)* 表示 *t=0* 时,大于等于第 *i* 粒级颗粒的累积质量百分数。则磨矿平衡方程(1)的解为:

$$f_i(t) = -R_{i-1}(0)\exp(-S_{i-1}t) + R_i(0)\exp(-S_it)$$
(8)

式(8)中, *i*=1 时, *R*<sub>0</sub>(0)=0。若破碎率函数 *S<sub>i</sub>* 和颗粒初始级配已知,则可以计算管道输送特定时刻的颗粒级配。

3 试验数据分析与模型验证

试验所得煤浆输送 40 和 60 min 时颗粒级配的测试结果如表 2 所示。根据表 2 中输送 40 和 60 min 后 级配情况,通过式(3)~(5)可以确定煤浆输送 40 和 60 min 后 60 min 时的破碎率函数 *Si* 值,结果见表 3。可见,破碎率函数 *Si* 随时间和粒级的不同而有所变化;随着时间增加,破碎率函数呈增加趋势。
 表 2 煤浆输送 40 和 60 min 时颗粒级配构成 Tab. 2 Composition of particle gradation when conveying for 40 min and 60 min
 粒级区间/mm 40 min时质量百分数/% 60 min时质量百分数/%

利用本文提出的预测公式(8)对煤浆输送 30 和 50 min 时的级配进行了预测,结果见表 4。从表 4 可 以看出,煤浆输送 30 和 50 min 时,式(8)的预测值与 实测值最大偏差不大于 12.53%,大部分数据相对误 差都在 10% 以内。这表明,对于本文所研究的煤颗 粒煤浆,颗粒级配降级(细化)规律可以采用磨矿平 衡方程进行描述,式(8)可以较好预测特定时刻煤浆 级配值。

conveying for 40 min and 60 min				
粒级区间/mm	40 min时质量百分数/%	60 min时质量百分数/%		
10.000~29.400	7.60	5.22		
5.000~10.000	13.28	13.15		
2.000~5.000	18.54	18.23		
0.500~2.000	23.47	23.67		
0.074~0.500	17.02	17.73		
<0.074	20.09	22.00		

表 3 不同输送时刻破碎率函数计算值 Tab. 3 Calculated values of crushing rate function at different conveying times

		U		, ,	
输送时间/min	$S_1/\min^{-1}$	$S_2/min^{-1}$	$S_3/\min^{-1}$	$S_4/\min^{-1}$	$S_5/\min^{-1}$
40	0.005 818	0.002 061	0.001 720	0.000 425	0.000 033
60	0.008 400	0.004 061	0.003 320	0.001 230	0.000 015
平均	0.007 109	0.003 061	0.002 520	0.000 825	0.000 028

Tab. 4 Comparison of predicted and measured values of particle gradation at different times							
粒级区间/mm		不同时刻各粒级分布/%				相对误差/%	
	t=0	<i>t</i> =30 min (计算)	t=30 min(实测)	<i>t</i> =50 min(计算)	t=50 min(实测)	<i>t</i> =30 min	<i>t</i> =50 min
10.000~29.400	10.10	8.17	9.34	7.08	6.44	-12.53	9.94
5.000~10.000	13.50	13.37	13.43	13.17	13.21	-0.44	-0.30
2.000~5.000	20.00	18.90	18.79	18.19	18.34	0.59	-0.82
0.500~2,000	21.40	22.99	22.41	23.93	23.52	2.59	1.74
0.074~0.500	15.00	16.52	16.01	17.51	17.30	3.19	1.21
< 0.074	20.00	20.07	20.02	20.11	21.21	0.25	-5.19

表 4 不同时刻颗粒级配预测值和实测值对比 h 4 Comparison of predicted and measured values of particle gradation at different i

图 2 为实测各粒级质量百分含量随着输送时间 的变化情况。可以看出,随着输送时间的延长, 10.000~29.400 mm 粒级的质量百分数快速降低, 5.000~10.000 mm 粒级质量百分数缓慢降低。2.000~ 5.000 mm 粒级质量百分数呈现先降低、后基本不变 的特征。从图 2 中不难发现,0.500~2.000 mm 和 0.074~0.500 mm 粒级质量百分数先增加后恒定,而 小于 0.074 mm 粒级的质量百分数呈现不断增加的 趋势。这表明,在输送过程中,由于管道系统和泵的 磨损或破碎作用,较粗煤的各粒级百分含量呈现下 降趋势,磨碎的粗颗粒补充到细颗粒级中,造成较细 颗粒级的含量增加,这与已有研究一致,也与立磨机 磨矿规律类似<sup>[8,10]</sup>。

为研究更长时间段内的颗粒级配变化规律,采 用式(8)计算了输送 0~1 440 min 时间段的各粒级质 量百分数。由图 3 可见,随着输送时间的增加,最粗 的 10.000~29.400 mm 粒级的含量降低最快,输送 500 min 后,其质量百分数已很小。5.000~10.000 mm 和 2.000~5.000 mm 粒级的含量降低较慢。而 0.500~2.000 mm 粒级的质量百分数随着时间增加先 增加后降低,输送 360 min 时存在极值。其原因在 于,输送 360 min 时,较粗的 10.000~29.400、5.000~ 10.000 和 2.000~5.000 mm 粒级的质量百分数均降至



of each particle size with time





Fig. 3 Relationship between mass percentage of each particle size and time in the period of 0-1 440 min

小于 10%, 而 0.500~2.000 mm 粒级质量百分数增加到 30% 以上。此时该粒级作为含量最大的粗颗粒, 是管 道输煤这种特殊球磨机的主要磨制对象, 因而后面由于泵和管路系统的共同磨损或破碎作用, 其质量百分 数呈现降低趋势。较细颗粒级 0.074~0.500 mm 和小于 0.074 mm 是较粗颗粒级细化的共同产物, 因此这两 者质量百分数呈现随时间延长而增大的趋势。

表 4 中,式(8)级配降级预测存在误差的原因有人为测量误差和 S<sub>i</sub> 的确定方法误差。本研究需要多次 对煤浆样品进行干燥,对颗粒进行筛分和称量,任一环节操作不规范都可能导致一定的人为偏差。此外, S<sub>i</sub> 的值是利用通过管道输送 40 和 60 min 时颗粒级配数据,经式(3)~(5)求解并取平均的方法得到,偏差的 产生与式(3)~(5)的准确性及取平均值的样本数目较少也有关系。

4 颗粒级配降级对黏度及水力坡度的影响

### 4.1 颗粒级配降级对黏度的影响

本试验中,煤浆体积浓度 C<sub>v</sub>为 11.0%,根据前期结果判断,本研究煤浆为牛顿流体<sup>[8]</sup>。在煤浆中,设粒径小于 0.074 mm 的细颗粒煤质量百分数为 x,则细颗粒煤体积分数 C<sub>Vf</sub>为 xC<sub>v</sub>,从而细颗粒煤构成的煤浆的相对黏度 μ<sub>rf</sub> 为<sup>[8]</sup>:

$$u_{\rm rf} = \left(1 - k \frac{C_{\rm Vf}}{C_{\rm Vmf}}\right)^{-2.5} \tag{9}$$

119

式中: Cvf 为细颗粒体积浓度; Cvmf 为细颗粒极限浓度, 与浆体中细颗粒的级配组成有关。

表 5 为黏度随输送时间变化情况。可以看出: 随着煤浆管道输送时间的增加,煤浆相对黏度逐渐 增大;采用式(9)计算的黏度与实测值较为接近,偏 差不超过 8.41%。煤浆输送 60 min 后,相对黏度增 加了 4.9%。结合图 2 可见,由于 10.000~29.400 mm、 5.000~10.000 mm 及 2.000~5.000 mm 粒级的较粗颗 粒的细化导致 0.500 mm 以下,尤其是 0.074 mm 以 下的颗粒含量增加,而 0.074 mm 以下的颗粒含量越 大,颗粒间空隙就越小,产生剪切的表面积就越大, 因此,煤浆黏度会增加<sup>[17]</sup>。

### 4.2 级配降级对水力坡度的影响

不同输送时刻测得的水力坡度 im 值如图 4 所示,同时图中也给出了不同输送时刻煤浆颗粒的中值粒径 d50 的值。可见,随着煤浆输送时间的增加,煤浆水力坡度呈不断减小趋势,中值粒径 d50 也逐渐降低。

在煤浆输送中,粗颗粒级配降级(细化)对水力 坡度的影响表现在两个方面。一方面,粗颗粒级配 降级相当于增加了细颗粒含量(煤浆浓度不变),造 成煤浆黏度增加(表5),从而降低煤浆中粗颗粒的沉 降速度,使煤浆在垂直流向上颗粒分布更加均匀,一

Tab. 5 Effect of coal slurry gradation degradation on viscosity 输送 粒径小于0.074 mm 实测相对 计算相对 相对 时间/min 的质量百分数/% 黏度 黏度 误差/% 0 20.00 1.309 -7.881.421 30 20.02 1.315 1.213 8.41 40 20.09 1.345 1.322 -1.71 50 21.21 1.273 1.350 6.05 1.398 60 22.00 1.373 -1.82

表 5 煤浆级配降级对黏度影响







定程度降低了煤浆水力坡度。但粗颗粒级配降级造成的黏度增加也会使煤浆流动的黏性阻力增加,不利于 煤浆水力坡度的降低。另一方面,粗颗粒比例减少(煤浆浓度不变)可以减少颗粒与管道底部接触的比例, 有利于降低水力坡度。从图 4 和表 5 可以推测,在本研究中,粗颗粒级配降级造成的黏度增加对水力坡度 的影响处于次要低位,粗颗粒破碎引起的总体颗粒粒度(中值粒径 d<sub>50</sub>)减小导致的沉降速度降低,以及粗颗 粒比例减少导致与管道底部接触的颗粒比例有所降低,共同引起水力坡度降低,此两方面因素占主导地位。

从图 4 中还可以得到颗粒级配降级率(中值粒径 d<sub>50</sub> 的减少值与原中值粒径之比)为 31%,水力坡度降低率(水力坡度 im 减少值与原水力坡度之比)为 5.67%,这表明,煤浆管道输送级配降级对中值粒径 d<sub>50</sub> 影响大于对水力坡度的影响。

# 5 结 语

(1)通过分析研究,提出了基于磨矿平衡方程的粗颗粒煤浆管道输送时颗粒级配变化规律预测模型,通 过输送 40 和 60 min 时的破碎率函数值,给出了平均破碎率函数值,对输送 30 和 50 min 时的级配进行了预 测,得出模型预测值与实测值最大偏差为 12.53%。

(2)随着煤浆输送时间的延长,最粗的 10.000~29.400 mm 粒级的质量分数降低最快; 5.000~10.000 mm 和 2.000~5.000 mm 粒级的质量分数降低缓慢; 0.500~2.000 mm 粒级的质量分数随时间增加先增后降,在输送 360 min 时存在极大值。这是由于 0.500~2.000 mm 粒级是较粗颗粒细化的产物,随时间的延长(360 min 后),较粗的各粒级质量分数已很小,该粒级变为含量最大的较粗颗粒,成为了输送系统细化的主要对象。

(3)随着煤浆管道输送时间延长,煤浆相对黏度逐渐增加,煤浆输送 60 min 后,相对黏度增加了 4.9%, 主要原因是增加了粒径小于 0.074 mm 颗粒的含量后,颗粒间空隙减小,导致产生剪切的表面积增大。

(4)随着煤浆输送时间的增加,煤浆水力坡度和中值粒径实测值呈不断减小趋势,这表明输煤过程中粗 颗粒破碎引起的黏度增加对水力坡度的影响处于次要地位。颗粒破碎引起颗粒粒度(中值粒径 d<sub>50</sub>)减小导 致的沉降速度降低,以及与管道底部接触的颗粒比例降低,是导致水力坡度降低的主要原因。

本研究结果对煤或者其他易碎矿产管道输送工程具有一定的借鉴和参考价值。目前研究仅在单一管 道直径、煤浆流速和初始颗粒粒度构成条件下进行,下一步将拓展和完善多种管径、煤浆流速和多种初始 级配条件下的粗颗粒煤浆管道输送级配降级预测模型,同时进一步研究破碎率函数的变化规律。

### 参考文 献:

- [1] 于新胜, 陈益滨. 管道输煤技术应用现状及展望[J]. 煤炭工程, 2020, 52(5): 1-4. (YU Xinsheng, CHEN Yibin. Application status and prospect of pipeline coal transport[J]. Coal Engineering, 2020, 52(5): 1-4. (in Chinese))
- [2] 马妍, 陈家琪, 门著铭, 等. 管道输煤参数优化研究[J]. 煤炭工程, 2017, 49(5): 107-111. (MA Yan, CHEN Jiaqi, MEN Zhuming, et al. Optimization of coal pipeline transportation parameters[J]. Coal Engineering, 2017, 49(5): 107-111. (in Chinese))
- [3] 汪家琼, 叶群, 闫科委, 等. 颗粒直径对渣浆泵冲蚀磨损性能的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2014, 32(10): 840-844.
   (WANG Jiaqiong, YE Qun, YAN Kewei, et al. Effects of particle diameter on erosion wear performance of slurry pump[J].
   Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2014, 32(10): 840-844. (in Chinese))
- [4] 吴波, 严宏志, 徐海良, 等. 渣浆泵内固相颗粒冲蚀特性的数值模拟[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2012(1): 124-129.
   (WU Bo, YAN Hongzhi, XU Hailiang, et al. Numerical simulation about erosion characteristics of solid particle in slurry pump[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2012(1): 124-129. (in Chinese))
- [5] HUI W. Numeration simulation of the solid/liquid two-phase flow field in a slurry pump[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2009.
- [6] SHOOK C A, HAAS D B, HUSBAND W H W, et al. Breakage rates of lignite particles during hydraulic transport[J]. The Canadian Journal of Chemical Engineering, 1978, 56(4): 448-454.
- [7] MOSA E S, SALEH A M, TAHA A T, et al. A study on the effect of slurry temperature, slurry pH and particle degradation on rheology and pressure drop of coal water slurries [J]. Journal of Engineering Sciences, 2007, 35(5): 1297-1311.
- [8] 赵利安. 煤浆管道输送颗粒级配降级研究[J]. 水利水运工程学报, 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. (in Chinese))
- [9] ZHAO L A, WANG T L, CAI R H. Prediction of coal slurry pipeline transportation grading reduction and its influence on pipe transportation parameters [J]. Brazilian Journal of Chemical Engineering, 2019, 36(2): 845-853.
- [10] 黄礼龙, 张国旺, 宋晓岚, 等. 基于MATLAB/Simulink的立磨机批次磨矿的建模与仿真研究[J]. 矿冶工程, 2016, 36(3): 26-

30, 35. (HUANG Lilong, ZHANG Guowang, SONG Xiaolan, et al. Modelling and simulation of batch grinding with vertical stirred mill based on MATLAB/simulink[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2016, 36(3): 26-30, 35. (in Chinese))

- [11] 何達, 库建刚, 徐国印, 等. 钒钛磁铁矿磨矿动力学试验研究[J]. 矿冶工程, 2016, 36(6): 35-38. (HE Kui, KU Jiangang, XU Guoyin, et al. Grinding kinetics of vanadic titanomagnetite from Panzhihua[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2016, 36(6): 35-38. (in Chinese))
- [12] 杨金林,周文涛,蒋林伶,等. 磨矿动力学研究概述[J]. 矿产综合利用, 2017(4): 4-10. (YANG Jinlin, ZHOU Wentao, JIANG Linling, et al. Review of grinding kinetics research[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2017(4): 4-10. (in Chinese))
- [13] 王晨晨, 黄朝德, 付金涛, 等. 青海某铅锌矿磨矿动力学试验研究[J]. 矿产综合利用, 2020(1): 59-61. (WANG Chenchen, HUANG Chaode, FU Jintao, et al. Experimental research ongrinding kinetics for a lead-zinc ore in Qinghai[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(1): 59-61. (in Chinese))
- [14] PARAPARI P S, PARIAN M, ROSENKRANZ J. Breakage process of mineral processing comminution machines —An approach to liberation[J]. Advanced Powder Technology, 2020, 31(9): 3669-3685.
- [15] KWON J, CHO H. Investigation of error distribution in the back-calculation of breakage function model parameters via nonlinear programming[J]. Minerals, 2021, 11(4): 425.
- [16] BERTHIAUX H, VARINOT C, DODDS J. Approximate calculation of breakage parameters from batch grinding tests[J]. Chemical Engineering Science, 1996, 51(19): 4509-4516.
- [17] ARUNANSHU C. Investigation on slurry transportation performance of coal-water mixture at high concentrations[D]. India: Thapar University, 2013.

# Study on grading degradation of coarse coal slurry pipeline transportation and its influence

### ZHAO Li'an<sup>1</sup>, WANG Tieli<sup>2</sup>

(1. College of Mining, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China; 2. Pipeline Engineering Institute, Wuhan Design and Research Institute of China Coal Technology and Engineering Group, Wuhan 430064, China)

**Abstract:** In view of the lack of research on the prediction of particle gradation degradation in the transportation of coarse particle coal slurry, by using the experimental research method and theoretical analysis method, the mass percentage, viscosity and hydraulic gradient of each particle size in coal slurry at 30, 40, 50 and 60 min are given out. The idea of using grinding theory to study the coal conveying process of coarse coal slurry pipeline is put forward. On this basis, the solution methods of breakage rate function and grinding balance equation are given. The results of data comparison and analysis show that the maximum deviation between the predicted value and the measured value of particle gradation is no more than 12.53% when the coal slurry is transported for 30 and 50 min. With the extension of conveying time of coarse coal slurry, the relative viscosity of coal slurry gradually increases, mainly due to the refinement of coarse particles above 2.0 mm and the increase of particle content below 0.074 mm. The reduction of hydraulic gradient caused by particle gradation is mainly due to the reduction of settlement velocity caused by coarse particle refinement and the reduction of the probability of particle contact with the bottom of the pipeline.

Key words: particle size distribution gradation; coarse particles; viscosity; hydraulic gradient; breakage rate function