

超大能力超细全尾砂超长距离管道 自流输送技术

田明华^{1,2}, 王新民¹, 张国庆¹, 张钦礼¹, 李帅¹

1. 中南大学资源与安全工程学院, 长沙 410083
2. 铜陵化工新桥矿业有限公司, 铜陵 244000

摘要 为解决司家营铁矿超大能力超细全尾砂超长距离管道自流输送难题,在研究超细全尾砂管道自流输送、骨料颗粒沉降堵管及管道沿程阻力损失特性的基础上,利用 Fluent 软件对超细全尾砂超长距离大管径的自流输送特性进行分析。结果表明:超细粒径全尾砂易于悬浮,大管径输送可有效降低沿程阻力损失。工作流速为 $2.95 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、管道内径为 155 mm 的超细全尾砂浆体的垂直脉动速度分量 $S_v=0.24 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 远大于尾砂的干涉沉降速度 $0.034 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$,最大允许充填倍线 N_{\max} 高达 10.6,充填料浆可均匀悬浮顺利自流至采空区。

关键词 超大能力充填系统;超细全尾砂;超长距离;自流输送

中图分类号 X753

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.12.009

Self-flowing transportation of the large capacity super fine tailing slurry in overlength pipelines

TIAN Minghua^{1,2}, WANG Xinmin¹, ZHANG Guoqing¹, ZHANG Qinli¹, LI Shuai¹

1. School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China
2. Tongling Chemical Group Xinqiao Mining Co., Ltd., Tongling 244000, China

Abstract To solve the problem of poor self-flowing performance of the large capacity super fine tailing slurry in overlength pipeline transportation, this paper studies the self-flowing transportation, the hindered settling and the frictional resistance loss properties of the super fine tailing slurry. A pipeline model is built and the evaluation is made through the simulation software Fluent. It is revealed that the super fine tailings are easy to suspend and the large-tube pipeline transportation is beneficial to reducing the frictional resistance loss. With the working flow rate of $2.95 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, the pipeline's inner diameter of 155 mm, the vertical component of the fluctuating velocity reaches $0.24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, which is far greater than the hindered settling rate of $0.034 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, and the maximum stowing gradient is up to 10.6.

Keywords large capacity backfill system; super fine tailings; overlength pipelines; self-flowing transportation

管道自流输送的全尾砂胶结充填采矿法具有尾砂利用率高,可有效预防和控制地表沉降,保证采矿作业安全、降低损失贫化等优点,符合安全高效、经济环保的无废开采发展新方向^[1]。司家营铁矿是河北钢铁集团所属的设计采矿生产

能力达每年 2000 Mt 的特大型地下充填法开采矿山^[2],为节约成本,简化充填管理,提高系统可靠性,设计建造了国内首例单充填系统能力达到 $200 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ 的超大能力全尾砂自流输送系统。由于司家营铁矿全尾砂粒径较细,部分采场充填倍线

收稿日期:2014-12-07;修回日期:2015-04-27

基金项目:国家科技支撑计划项目(2008BAB32B03)

作者简介:田明华,高级工程师,研究方向为露天地下采矿充填工艺技术,电子邮箱:624456857@qq.com;王新民(通信作者),教授,研究方向为采矿和充填工艺,电子邮箱:wxm1958@126.com

引用格式:田明华,王新民,张国庆,等.超大能力超细全尾砂超长距离管道自流输送技术[J].科技导报,2015,33(12):56-60.

高达9~10,超细全尾砂浆体超长距离管道自流输送特性对保障司家营铁矿超大能力充填系统平稳运行,实现安全高效开采意义重大。

目前,国内矿山单充填系统^[9]的最大充填能力为80~110 m³·h⁻¹,耿俊俊等^[4]对金川集团龙首矿西部贫矿充填系统扩能的可行性和安全性进行分析。周旭等^[5]研究了陕西煎茶岭镍业公司在采用大管径、小流量、低流速进行高浓度料浆超大倍线的自流输送方面的应用。刘丰韬等^[6]通过在砂仓内添加 Minefill309 系列新型添加剂来改善浆体的流动特性,实现高浓度充填料浆的自流输送。但是龙首矿充填系统扩能工作尚未实际开展;小流量、低流速难以满足大能力充填系统生成要求;新型添加剂成本较高,作用效果有限,超大能力超细全尾砂超长距离管道自流输送技术仍然问题重重。

本研究基于超细全尾砂长距离大管径自流输送运动规律,分析计算超细全尾砂骨料颗粒的干涉沉降堵管及沿程阻力损失特性。基于 Fluent 的超细全尾长距离管道自流输送模拟,以期从理论上验证大能力管道平稳自流输送的可行性,为司家营铁矿超大能力超细全尾砂长距离管输系统及时建成达产,实现安全、高效开采提供技术支持。

1 超细全尾砂料浆运动形式

1.1 超细全尾砂物化性质

司家营全尾矿粒度极细,0.075~0.005 mm 范围内颗粒的比重达到82.1%(其中0.05~0.005 mm 范围比重高达63%),中值粒径仅为0.19 mm,远小于一般矿山所用充填尾砂粒度。从化学成分看,全尾矿 SiO₂ 含量达到56.18%,Fe₂O₃ 占10.45%,Al₂O₃ 占6.53%,有利于充填体强度。

1.2 流体类型

作为典型的固液两相流态充填体,超细全尾砂浆体的尾砂成分、粒径级配、水灰比等因素直接影响着浆体的流变特性和管输性能。当浆体体积浓度不高时,其剪切速率与切应力的关系为通过坐标轴原点的直线,为典型的牛顿体。当浆体体积浓度较高,尤其是含有较多细粒径颗粒时,剪切速率与切应力的关系表现出非线性的特点,即非牛顿体。根据流变特性的不同,非牛顿体又分宾汉体、伪塑性体、膨胀体等流变模型(图1)^[7]。

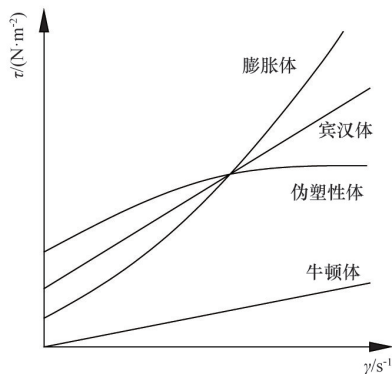


图1 充填料浆的流体模型

Fig. 1 Fluid model of the backfilling slurry

相对于2参数的宾汉流变模型,3参数的H-B(Herschel-Bulkley)流变模型充分考虑了浆体剪切过程中的时变特性,将剪切稀化和剪切增稠纳入切应力计算中,因而司家营铁矿超细全尾砂浆体采用H-B流变模型适应性好、精度更高^[8],H-B流变模型表示为

$$\tau = \tau_0 + \eta \cdot \dot{\gamma}^n \quad (1)$$

式中, τ 为剪切应力,Pa; τ_0 为初始屈服应力,Pa; η 为黏度,Pa·s; $\dot{\gamma}$ 为剪切速率,s⁻¹;n为流变指数,n<1。

1.3 自流输送模型

超细全尾砂浆体管道自流输送的运动能量全部来自于垂直管道的自然压降。充填料浆由立式砂仓放砂口进入充填钻孔后,在重力作用下自由下落至空气与砂浆的交界面(图2),进入满管流输送状态^[9]。自由下落区(H₁和H₂)内的浆体随着流速的增加,浆体断面发生收缩,形成脱离管壁的收缩流;流速持续增大,浆体进入散射流状态。水平管道(L₁和L₂)满管流浆体根据输送速度的不同,可分为均质悬浮流动、非均质悬浮流动、移动床流动、固定床流动4种输送状态。当浆体流速很大时,强烈的紊动使固体颗粒完全处于均质悬浮状态,这时的流动可以当作单相流处理^[10];随着流速的降低和紊流强度的减弱,骨料颗粒的均质悬浮状态被快速跳跃或间歇性非均质悬浮状态取代;流速继续降低,近管底的颗粒以滑动、滚动或跳跃的方式运动,形成移动床流动;流速降低到一定程度以后,最底部的颗粒几乎停止运动,开始堆积于管底,形成固定床流动状态。

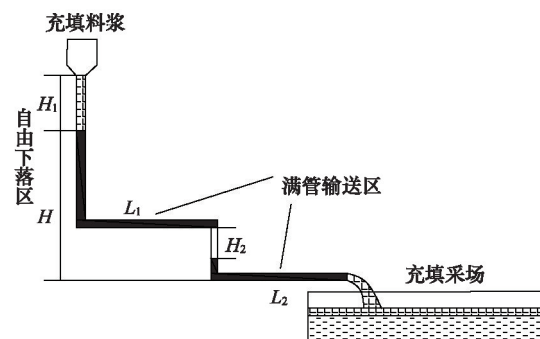


图2 充填管道自流输送模型

Fig. 2 Self-flowing transportation model of the pipelines

2 超细全尾砂管输特性

2.1 尾砂颗粒的干涉沉降

球形颗粒在静水中受重力作用产生自由沉降,颗粒均速下沉的速度称为沉降速度^[11]。沉降速度直接反映固体颗粒水力输送的难易程度:沉降速度越大,颗粒越难悬浮,也就越难水力输送。忽略介质黏度对颗粒沉降的影响,细粒径颗粒沉降速度 v_g 可用简化斯托克斯公式表示为

$$v_g = 5450 d_{cp}^2 (\gamma_g - 1) \quad (2)$$

式中, d_{cp} 为固体颗粒直径,cm; γ_g 为固体颗粒密度,g·cm⁻³。

全尾砂颗粒表面不规则,在静水沉降中易受力不均而产

生转动、绕流现象,导致沉降阻力增大,沉降速度减小^[12];在管道输送过程中,固体颗粒之间、颗粒与管壁之间由于机械碰撞与摩擦导致固体颗粒下沉的阻力增大,沉降速度减小。浆体体积浓度越大,固体颗粒的粒度越细、形状越不规则、表面越粗糙,流体对颗粒产生的阻力越大,沉降速度就越小,反之则越大。非球形颗粒的干涉沉降速度 v_{seg} 可表示为

$$v_{\text{seg}} = C_s v_{\text{g}} (1 - C_v)^m \quad (3)$$

式中, C_s 为修正系数; C_v 为料浆体积浓度; m 为干涉指数。

由式(2)、式(3)可以看出,全尾砂颗粒直径越小,静水中的沉降速度越小,颗粒间的转动、绕流现象越频繁,导致全尾砂颗粒沉降阻力增大,干涉沉降速度减小。司家营铁矿超细全尾砂粒径极细,干涉沉降速度较低,骨料颗粒容易悬浮,浆体管道输送性能更佳。

2.2 充填浆体的沉降堵塞

一定流速的超细全尾砂骨料颗粒能否在管道输送过程中均匀悬浮、稳定流动对其顺利输送和系统的正常运行具有积极意义。在固液两相流体管道输送过程中,速度不均匀分布导致浆体的涡流冲刷、流体绕流只是增强骨料颗粒不规则运动的辅助因素,紊流的脉动速度才是固体颗粒悬浮的决定因素^[13]。紊流脉动速度的垂直分量 S_v 大于固体颗粒的沉降速度 V_{seg} ,骨料颗粒才能均匀稳定悬浮;若垂直脉动速度分量小于固体颗粒的沉降速度就可能发生堵管事故。垂直脉动速度分量 S_v 为

$$S_v = 0.13v \left(\frac{2gDi}{kC_{u,v}v^2} \right)^{1/2} \left[1 + 1.72 \left(\frac{y}{r} \right)^{1.8} \right] \quad (4)$$

式中, v 为料浆的输送速度; k 为试验常数,取值为1.5~2.0; $C_{u,v}$ 为水平速度分量与垂直速度分量之间的关系,取0.18; y 为固体颗粒距管道中心的距离; r 为输送管道的半径;近似地取 $y=r$; i 为浆体水力坡度,利用金川公式计算:

$$i = \lambda \frac{v^2}{2gD} \left\{ 1 + 108C_v^{3.96} \left[\frac{gD(\gamma_j - 1)}{v^2 \sqrt{C_v}} \right]^{1.12} \right\} \quad (5)$$

式中, γ_j 为料浆体重, $t \cdot m^{-3}$; C_v 为料浆体积浓度; D 为管道内径, m ; λ 为清水摩擦阻力系数,可由下式计算

$$\lambda = \frac{K_1 \cdot K_2}{\left(2 \lg \frac{D}{0.00024} + 1.74 \right)^2} \quad (6)$$

式中, K_1 为管道敷设系数,取1.1; K_2 为管道连接质量系数,取1.1。

沉降阻力系数 C_s 的计算式为

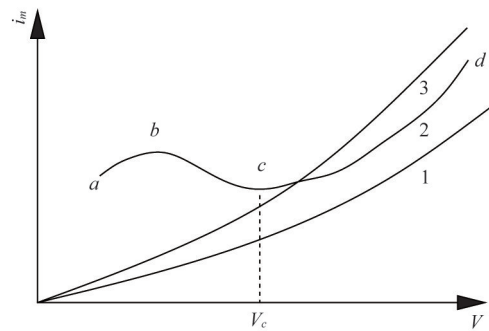
$$C_s = \frac{1308(\gamma_j - 1)d_{\text{cp}}}{\omega^2} \quad (7)$$

式中, ω 为颗粒平均沉降速度, $cm \cdot s^{-1}$ 。

2.3 管输沿程阻力损失

沿程阻力损失是管道水力输送中最重要水力参数之一,直接关系到充填体的输送效率和整个充填系统的运行能耗。固液两相流态充填体的阻力与流速的关系与清水和

黏土均不相同,其沿程阻力 i_m 随浆体流速 V 的变化如图3所示。



1—清水;2—沙子混合流;3—黏土混合流

图3 阻力变化曲线

Fig. 3 The curve of the frictional resistance loss

当浆体流速很小时,固体颗粒的运动以滑动、滚动为主,浆体的沿程阻力损失随着流速增加而增加(图3中 $a \sim b$ 点);当流速增大到一定程度时,固体颗粒逐渐悬浮起来,固体颗粒与管壁的滑动摩擦阻力损失逐渐减小(图3中 $b \sim c$ 点);流速持续增加至骨料颗粒完全悬浮布满整个横断面时,管道的沿程阻力损失达到最小值,对应的流速 V_c 被称为临界流速^[14];超过临界流速的浆体相当于一种均质流,其阻力的变化规律与清水类似:流速越大沿程阻力损失越大(图3中 $c \sim d$ 点)。为分析管径的变化对管道沿程阻力损失的影响,假定在流速($1.5 m \cdot s^{-1}$)、体积浓度和输送距离(100 m)一定的条件下,输送黏度系数为0.2、密度为 $1.8 t \cdot m^{-3}$ 的超细全尾砂浆体,不同管径条件下的沿程阻力损失变化如图4所示。

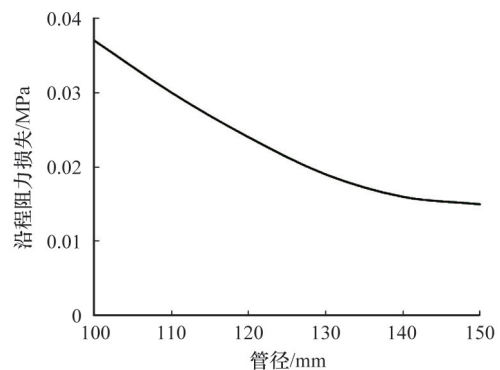


图4 管道阻力损失随管径的变化曲线

Fig. 4 The curve of frictional resistance loss against pipe diameter

由图4可知,管道沿程阻力损失与管径为反比,即管径越大,阻力损失越小。这是因为管径越小,浆体流动时与边壁相互作用而产生的漩涡程度及紊动的强度都会增加,由此而产生的能量损耗也会相应增加,阻力损失增大。

3 料浆输送可行性分析

3.1 料浆自流输送模拟

超细全尾砂、大管径对尾砂颗粒的悬浮和输送减阻有利,为验证司家营铁矿超大能力超细全尾砂浆体大管径长距离自流输送的可行性,运用Fluent软件对充填料浆自流输送过程中流速分布和压力变化规律进行模拟^[5]。

经均匀混合搅拌后的超细全尾砂浆体整体性好,可视为均质满管流的输送状态,即固体颗粒在管道输送过程中不发生相变,浆体的流动作不可压缩定常流浆体密度为 $1.73 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3}$ 的超细全尾砂浆体以 $2.95 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 处理。采用二维双精度解算器Fluent2ddp进行管路模向重力加速为 $-9.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。灰砂比为1:6、质量浓度为63%、浆体密度为 $1.73 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3}$ 的超细全尾砂浆体,以 $2.95 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 入口流速通过一个管道内径为155 mm,管壁的当量粗糙度为0.10,充填倍线为10(管道垂直段长170 m,水平段长1530 m)的充填管路,模拟其流速分布、压力变化。

从图5可以看出,超细全尾砂料浆沿管道断面存在近似抛物线的流速梯度分布,垂直管路输送过程中浆体流速不断增大,到达出口时,流速放缓。据南非矿山充填系统的经验:水平管段的工作流速超过4 m/s,水平管道磨损率将大大提高。超细全尾砂弯管处流速区间为2.17~3.22 m/s,故司家营铁矿充填系统的工作流速是比较理想的。

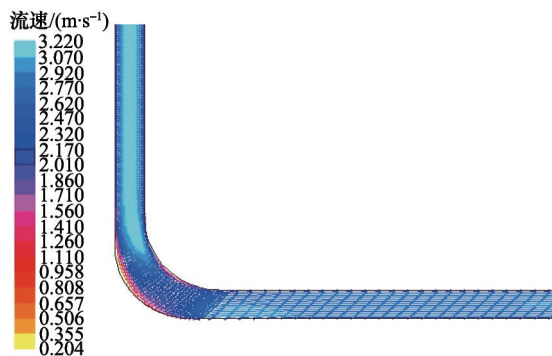


图5 弯管处速度矢量

Fig. 5 Velocity profile at the bend of the pipeline

在初始条件中设定弯管处的压力为零,故进出口的压力差即为整个管道输送的阻力损失值,入口压力152196 Pa,出口压力为-1217368 Pa,管道沿程阻力损失1.37 MPa,且压力损失值随管道长度的增加而增大。

考虑充填料浆采用管道自流输送,料浆自身重力作用下的自然压头为1885121 Pa,大于管道的沿程阻力损失,所以充填料浆可以顺利自流输送至采空区。

3.2 充填骨料沉降性分析

司家营超细全尾砂混合料的密度 $\gamma_s=2.92 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,加权平均粒径 $d_{50}=0.0103 \text{ cm}$,根据简化斯托克斯公式计算得颗粒平均沉降速度 $\omega=1.11 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 。超细全尾砂是一种近似椭圆形颗粒,取修正系数0.85,干涉指数7,修正后的骨料颗粒的干涉沉降速度 $V_{gs}=0.034 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 。将 $\omega=1.11 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$, $\gamma_s=1.73 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$

代入式(7),求得 $C_s=7.98$ 。浆体工作流速 $v=2.95 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,管道内径 $D=155 \text{ mm}$,由式(6)可以计算出清水摩擦阻力系数 $\lambda=0.022$ 。将 $C_s=7.98$, $\lambda=0.022$, $C_v=0.38$ 等参数代入式(5),求得料浆水力坡度 $i=0.053$ 。

将 $i=0.053$, $C_{uv}=0.18$, $k=2$ 等相关参数代入式(4),得到垂直脉动速度分量 $S_v=0.24 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1} \gg V_{gs}=0.034 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$,因此对于司家营铁矿灰砂比1:6、质量浓度63%的超细全尾砂浆体,在管道自流输送过程中,可以完全保证全尾砂颗粒处于悬浮状态,即在 $2.95 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的输送速度下,不会发生沉降堵管。

3.3 最大允许输送距离

充填料浆最大允许输送距离可通过最大允许充填倍线求得。实际应用中,最大允许充填倍线可按式(8)估算:

$$N_{\max} = K_4 \gamma_j / K_5 i \quad (8)$$

式中, K_4 为垂直管段的满管系数,取0.8; γ_j 为料浆密度, $1.73 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$; K_5 为管道局部阻力系数,取1.2; i 为料浆水力坡度,采用陕西省水利科学研究院公式进行计算:

$$i = 1.96(\gamma_m - 1)^{1/6} \cdot \frac{v^2}{2gD} \cdot \frac{\gamma_j}{100} \quad (9)$$

将 $v=2.95 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $D=155 \text{ mm}$, $\gamma_m=2.92 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 等参数代入式(9),计算得超细全尾砂料浆水力坡度 $i=0.11$,最大允许充填倍线 $N_{\max}=10.6$,各充填采场均在最大充填倍线允许输送范围之内。

4 结论

1) 超细全尾砂充填料浆的自流输送形式有自由下落和满管输送两种,超细全尾砂骨料颗粒的脉动速度决定固体颗粒在水平管输过程中是否悬浮,固体颗粒的垂直脉动速度分量大于干涉沉降速度,固体颗粒能够悬浮,反之,则可能发生堵管事故。

2) 司家营铁矿超细全尾砂粒径极细,干涉沉降速度较低,骨料颗粒容易悬浮,对浆体自流输送有利;超大能力充填系统要求采用大管径输送,管径越大,浆体与管壁间的紊动漩涡强度减弱,管道沿程阻力损失降低,浆体输送性能更佳。

3) 基于Fluent的超细全尾砂自流输送模拟结果表明:司家营铁矿充填系统工作流速经济合理,管道沿程阻力损失1.37 MPa,小于充填料浆的自然压头1.88 MPa,充填料浆可顺利自流至采空区。

4) 工作流速为 $2.95 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、管道内径为155 mm的超细全尾砂浆体的垂直脉动速度分量 $S_v=0.24 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$,远大于尾砂的干涉沉降速度 $0.034 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$,最大允许充填倍线 N_{\max} 高达10.6。司家营铁矿超大能力超细全尾砂超长距离管道自流输送工艺是科学合理、经济可行的。

参考文献(References)

- [1] 王春来, 吴爱祥, 刘晓辉, 等. 深井开采微震活动容量维D_v变化特征[J]. 北京科技大学学报, 2010, 32(11): 1379-1382.
Wang Chunlai, Wu Aixiang, Liu Xiaohui, et al. Variation characteristics

- of capacity dimension D_i with micro seismicity in deep mining[J]. Journal of University of Science and Technology, 2010, 32(11): 1379-1382.
- [2] 梁刚. 司家营铁矿开发对地下水环境扰动评价与保护方法研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 2012.
Liang Gang. Research on disturbance assessment and protection methods for groundwater environment during Sijaying Iron Mining development [D]. Beijing: China University of Mining and Technology, 2012.
- [3] 王新民, 古德生, 张钦礼. 深井矿山充填理论与管道输送技术[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2010.
Wang Xinmin, Gu Desheng, Zhang Qinli. Theory and technology of deep mine backfilling[M]. Changsha: Central South University Press, 2010.
- [4] 耿俊俊. 龙首矿深部充填系统可靠性及扩能技术方案研究[D]. 长沙: 中南大学, 2009.
Geng Junjun. Study of Longshou mine deep piping reliability and expansion technique project[D]. Changsha: Central South University, 2009.
- [5] 周旭, 王佩勋. 大倍线管道自流输送胶结充填技术[J]. 金属矿山, 2011, 8: 25-29.
Zhou Xu, Wang Peixun. Research on the gravity-flowed convey cemented filling technology with great times line pipeline[J]. Metal Mine, 2011, 8: 25-29.
- [6] 刘丰韬, 丁剑锋, 陈国平, 等. 深井长距离大倍线高浓度自流充填技术研究[J]. 金属矿山, 2014, 2: 40-44.
Liu Fengtao, Ding Jianfeng, Chen Guoping, et al. Study on the high-density gravity-flow backfilling technology of deep-well long-distance with large line[J]. Metal Mine, 2014, 2: 40-44.
- [7] 王新民, 张德明, 张钦礼, 等. 基于FLOW-3D软件的深井膏体管道自流输送性能[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2011, 42(7): 2101-2107.
Wang Xinmin, Zhang Deming, Zhang Qinli, et al. Pipeline self-flowing transportation property of paste based on FLOW-3D software in deep mine[J]. Journal of Central South University: Nature Science Edition, 2011, 42(7): 2101-2107.
- [8] Fu J, Yang Y, Chen P, et al. Characteristics of helical flow in slim holes and calculation of hydraulics for ultra-deep wells[J]. Petroleum Science, 2010, 7(2): 226-231.
- [9] 王新民, 贺严, 陈秋松. 基于Fluent的分级尾砂料浆满管流输送技术[J]. 科技导报, 2014, 32(1): 55-60.
Wang Xinmin, He Yan, Chen Qiusong. Full pipeline flowing transportation technology of classified tailings based on the Fluent software[J]. Science & Technology Review, 2014, 32(1): 55-60.
- [10] 刘晓辉, 吴爱祥, 王洪江, 等. 深井矿山充填满管输送理论及应用[J]. 北京科技大学学报, 2013, 35(9): 1113-1118.
Liu Xiaohui, Wu Aixiang, Wang Hongjiang, et al. Full-flow transport theory and its application in deep mine backfilling[J]. Journal of University of Science and Technology, 2013, 35(9): 1113-1118.
- [11] Kashiwaya K, Noumachi T, Hiroyoshi N, et al. Effect of particle shape on hydrocyclone classification[J]. Powder Technology, 2012, 226: 147-156.
- [12] Chepurov A I, Sonin V M, Kiryashkin A A, et al. Use of a pressless multianvil high-pressure split-sphere apparatus to measure the silicate melt viscosity[J]. Journal of Applied Mechanics and Technical Physics, 2009, 50(5): 826-830.
- [13] 焦华喆, 王洪江, 吴爱祥, 等. 全尾砂絮凝沉降规律及其机理[J]. 北京科技大学学报, 2010, 32(6): 702-707.
Jiao Huazhe, Wang Hongjiang, Wu Aixiang, et al. Rule and mechanism of flocculation sedimentation of unclassified tailings[J]. Journal of University of Science and Technology, 2010, 32(6): 702-707.
- [14] Mishra D P, Das S K. Comprehensive characterization of pond ash and pond ash slurries for hydraulic stowing in underground coal mines[J]. Particulate Science and Technology, 2014, 32(5): 456-465.
- [15] 吴迪, 蔡嗣经, 杨威, 等. 基于CFD的充填管道固液两相流输送模拟及试验[J]. 中国有色金属学报, 2012, 22(7): 2133-2140.
Wu Di, Cai Sijing, Yang Wei, et al. Simulation and experiment of backfilling pipeline transportation of solid-liquid two-phase flow based on CFD[J]. Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2012, 22(7): 2133-2140.

(编辑 田恬)

· 学术动态 ·



嫦娥三号科学数据公开发布

嫦娥三号着陆器和巡视器分别于2014年1月15日和2014年3月17日完成在轨测试,进入长管期。目前,在轨测试结束已达12个月,根据《探月工程科学数据发布管理办法》数据发布进入公开发布期。地面应用系统汇总整理了嫦娥三号任务有效载荷2级科学数据,数据总量约2TB,向普通用户公开发布。

2015年4月8日,探月工程地面应用系统数据发布系统正式对外提供嫦娥三号科学数据发布服务。全球范围内的用户和社会公众可以登陆网站(<http://moon.bao.ac.cn>)或直接登陆探月工程数据发布系统(<http://moon.bao.ac.cn/ceweb/datasrv/dmsce1.jsp>)下载嫦娥三号科学数据。

嫦娥三号卫星是嫦娥工程第二阶段的登月探测器,由着陆器和巡视探测器组成,进行首次月球软着陆和自动巡视勘察,获取月球内部的物质成分并进行分析,将一期工程的“表面探测”引申至内部探测。此次发布的嫦娥三号科学数据包括着陆器的4个科学载荷(地形地貌相机、极紫外相机、降落相机和月基光学望远镜)和巡视器的4个科学载荷(全景相机、测月雷达、粒子激发X射线谱仪和红外谱仪)的2级科学数据。

详见<http://moon.bao.ac.cn>。