

基于 EDEM 的环式给煤机卸煤特性分析

Analysis on coal unloading process of a ring-type coal feeder based on EDEM

马倩, 韩建斌, 马爱霞, 周朝辉

MA Qian, HAN Jianbin, MA Aixia, ZHOU Chaohui

(华电郑州机械设计研究院有限公司, 郑州 450046)

(Huadian Zhengzhou Mechanical Design Institute Company Limited, Zhengzhou 450046, China)

摘要:为解决环式给煤机积煤、撒煤、出力不足等问题,利用离散元分析软件 EDEM 建立了环式给煤机卸煤过程的有限元模型,研究了卸煤角度、卸煤开口宽度及卸煤车运行速度等参数对卸煤板受力、密封罩受力及卸料出力的影响规律。结果表明:卸煤板角度为 45° 时,卸煤板受力最小,卸料出力最好;对于内环出力为 900 t/h,外环出力为 1 300 t/h 的双环环式给煤机,当内、外环卸煤开口宽度为 1 600 mm 时,对内、外环卸煤板受力,密封罩受力及卸料出力的综合影响最小,开口宽度最合适;卸煤车运行速度的改变,并不能改变卸煤的最大出力,只能改变卸煤出力达到稳定状态的速度。通过对环式给煤机卸煤参数的研究,为实现环式给煤机的稳定运行奠定了基础。

关键词:环式给煤机;离散元法;卸煤板角度;卸煤开口宽度;卸煤车运行速度

中图分类号:TK 223.24

文献标志码:A

文章编号:1674-1951(2020)12-0049-05

Abstract: To solve the problems of coal accumulation, coal spattering and insufficient output in ring-type coal feeders, a finite element model for coal unloading process of a ring-type coal feeder was established by discrete element analysis software EDEM. It studied the effects of unloading angle, width of unloading opening and velocity of unloading vehicles on the force of unloading plate, the force of seal cover and the unloading capacity. According to the results, the force of unloading plate was the smallest and the unloading capacity was maximized with an unloading angle of 45° . As for the dual-ring coal feeder with an inner ring of a 900 t/h capacity and an outer ring of a 1 300 t/h capacity, the unloading openness width for the inner and outer rings exert the least influence on the force of the unloading plate and the seal cover, and the unloading capacity, when it is 1 600 mm. Thus, it is the most ideal width for unloading openness. The variation of unloading vehicle velocity can barely impact the maximum output. The research on unloading parameters of ring-type feeders laid a foundation for the feeders' stable operation.

Keywords: ring-type coal feeder; discrete element method; coal unloading angle; width of unloading openness; unloading vehicle velocity

0 引言

筒仓是散装物料的贮存设施,具有结构简单、占地面积小、空间利用率高、保护环境、使用方便等优点,广泛应用于煤炭、化工、电力等行业^[1]。环式给煤机是现代火电厂圆筒储煤仓下部专用的大型给煤机,是配合圆筒储煤仓进行储、混、配煤的高效设备^[2],可均匀定量给煤,实现优劣煤的配用,提高电厂的整体经济效益^[3]。

环式给煤机采用销齿传动方式,适用于润滑条件差、粉尘多等恶劣的工作环境,具有承载能力大、加工制造简单、维修方便等特点,大大降低了设备

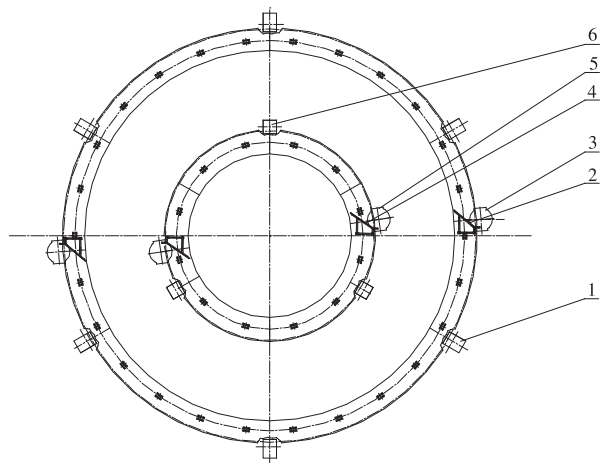
运行维护成本;同时,环式给煤机采用了合理的密封装置,做到了有效防尘、抑尘,改善了筒仓内部的工作环境;犁煤车体内的犁煤爪设计为角度可调,更大限度满足了不同卸煤出力的需求^[4]。

但是,国内多个环式给煤机使用现场的运行状况表明,设备实际使用过程中存在撒煤、积煤、设备出力不足^[5-7]等现象。卸煤车撒煤不仅影响了设备的正常运转,而且增加了车轮、轨道、传动齿轮、传动齿条等机构的磨损,同时造成了环境污染,清理工作需要耗费大量的人力,增加了运行成本。卸煤车积煤不仅会影响卸煤的出力,同时还增加了承煤盘的结构受力,严重磨损承煤盘的耐磨面。影响卸煤出力的原因更多,例如选用了不合适的卸煤角度、卸煤开口宽度、卸煤车运行速度等。不同的卸煤角度和卸煤车运行速度可以改变物料对卸煤板

的冲击位置和冲击速度,从而影响卸煤板对承煤盘的阻转作用和进入落料斗的进煤量;不合适的卸煤开口宽度也会造成积煤和撒煤问题。因此,合理地设计与选用环式给煤机主要参数对实现其设计功能、满足使用要求至关重要。然而,环式给煤机运行过程中不可控因素较多,而目前传统的设计方法大多采用经验参数,缺乏理论支持,因此很难掌握卸煤特性。数值模拟是一种反映客观规律和进行定量评价的重要研究手段,目前有关环式给煤机卸煤过程的模拟研究尚未见报道。本文基于离散元法^[8-9](Discrete Element Method, DEM),应用离散元分析软件 EDEM^[10]对不同卸煤角度、卸煤开口宽度、卸煤运行速度下的卸煤车卸料过程进行仿真分析,探究环式给煤机卸煤机理,为环式给煤机的优化设计、工作参数选取和工作性能预测提供一种新的研究途径。

1 试验系统

试验系统由犁煤车、卸煤车、驱动装置、行走轨道、落料斗、防除尘装置及电气控制系统组成^[11]。卸煤车、犁煤车分别由不同数量的销齿传动装置驱动,绕瞬心做圆周运动,两车运行方向相反,速度不同。犁煤车运行时,犁煤爪将犁煤车上的煤犁到卸煤车上,然后由卸料器的卸料挡板把卸煤车上的煤犁到车体旁的落煤斗中,最后落到下层皮带输送机上。图 1 为环式给煤机卸煤装置结构。



1.外环驱动装置; 2.外环卸煤板; 3.外环落料斗; 4.内环卸煤板;
5.内环落料斗; 6.内环驱动装置。

图 1 环式给煤机卸煤装置

Fig. 1 Coal unloading device of a ring-type coal feeder

2 数值模拟

2.1 离散元控制方程

离散元法把颗粒体系划分为彼此独立的对象,根据颗粒间的接触模型和牛顿运动定律,利用迭代

算法计算固定时间间隔内任一颗粒的受力与位移,然后更新全部颗粒的状态,最后求得体系的宏观运动特性,其在处理颗粒体系内力的作用时遵循瞬态平衡原则^[12]。离散元法的基本假设是:迭代计算的时间间隔选得足够短,除了与颗粒接触的对象,其他任何对象的作用都不考虑;同时,速度和加速度在该时间间隔内恒定。离散元法的计算核心包含 2 个方面:一是接触模型,即力与形变的关系;二是牛顿第二定律^[13]。

基于接触模型,根据位移计算作用于颗粒的力。根据牛顿第二定律计算位移,颗粒 i 的运动方程为

$$\begin{cases} m_i \ddot{u}_i = \sum F \\ I_i \ddot{\theta}_i = \sum M \end{cases}, \quad (1)$$

式中: $\ddot{u}_i, \ddot{\theta}_i$ 为颗粒 i 的加速度和角加速度; m_i, I_i 为颗粒 i 的质量和转动惯量; $\sum F, \sum M$ 为颗粒在质心的所有合力和合力矩。

采用中心差分法对式(1)积分,以迭代时间步长的中点表征更新速度

$$\begin{cases} \left(\dot{u}_i \right)_{N+\frac{1}{2}} = \left(\dot{u}_i \right)_{N-\frac{1}{2}} + \left[\frac{\sum F}{m_i} \right]_N \Delta t \\ \left(\dot{\theta}_i \right)_{N+\frac{1}{2}} = \left(\dot{\theta}_i \right)_{N-\frac{1}{2}} + \left[\frac{\sum M}{I_i} \right]_N \Delta t \end{cases}, \quad (2)$$

式中: Δt 为时间步长; N 为对应的迭代开始时间。

对式(2)积分,可计算更新后的位移

$$\begin{cases} \left(u_i \right)_{N+1} = \left(u_i \right)_N + \left(\dot{u}_i \right)_{N+\frac{1}{2}} \Delta t \\ \left(\theta_i \right)_{N+1} = \left(\theta_i \right)_N + \left(\dot{\theta}_i \right)_{N+\frac{1}{2}} \Delta t \end{cases}。 \quad (3)$$

将更新的位移代入接触模型求此时的接触力,经过不断迭代,就可求得任何时间点颗粒的运动。

2.2 仿真参数设置

在利用 EDEM 软件进行仿真之前,需要在其前处理器模块设置相应的仿真模型与参数,包括颗粒与几何体的材料属性,颗粒之间、颗粒与几何体之间的接触属性,颗粒粒径分布,颗粒工厂生成条件等。

本仿真中的颗粒是经过处理的煤块,呈球形,环式给煤机的材质为钢,材料属性见表 1^[14]。颗粒之间、颗粒与几何体之间的接触属性见表 2。

表 1 材料属性

Tab. 1 Characteristic of materials

材料	泊松比	剪切模量/Pa	密度/(kg·m ⁻³)
煤	0.4	1.1×10 ⁷	1 023
钢	0.3	7.9×10 ¹⁰	7 850

表 2 接触属性				
Tab. 2 Contact characteristics				
材料	恢复系数	静摩擦系数	滚动摩擦系数	接触模型
煤-煤	0.40	0.60	0.05	Hertz-Mindlin(no slip)
煤-钢	0.60	0.60	0.06	Hertz-Mindlin(no slip)

本文研究的环式给煤机为 2 200 t/h 的双环环式给煤机,内环出力为 900 t/h,外环出力为 1 300 t/h,内环犁煤车有 3 个犁煤爪,外环犁煤车有 5 个犁煤爪。仿真建模过程中,在内环设置 3 个均匀分布的 1 000 mm×2 400 mm×500 mm 的颗粒工厂来模拟内环犁煤爪的作业,在外环设置 5 个均匀分布的 1 000 mm×2 400 mm× 500 mm 的颗粒工厂来模拟外环犁煤爪的作业。环式给煤机实际运行过程中,犁煤车顺时针运行,卸煤车逆时针运行,但本次模拟分析主要针对卸煤车的卸煤参数进行研究,为了缩短计算时间及保证效率,设置颗粒工厂保持静止,卸煤车相对其进行逆时针运动。

3 模拟结果与分析

环式给煤机的运行过程非常复杂,受多种因素的影响,本节结合建立的有限元模型和设置的颗粒工厂,对其卸料过程进行数值模拟,以探究卸料行为并揭示卸煤角度、卸煤开口宽度以及卸煤车运行速度等对卸料的影响。

3.1 卸煤角度对卸煤板受力及出力的影响

图 2 为内环的卸煤板受力情况,从图 2 可以看出,卸煤板角度分别为 30°,75°,90°时,卸煤板受力较大,角度为 45°,60°时,卸煤板受力较小,45°时平均受力最小。图 3 为内环的承煤盘积煤情况,从图 3 可以看出,卸煤板角度分别为 75°,90°时,承煤盘上的积煤较多,角度为 30°,45°,60°时,承煤盘上的积煤较少,45°时最少。换言之,承煤盘上的积煤越少,模拟过程中卸到落料斗中的积煤越多,出力越好。

模拟结果表明,环式给煤机卸料过程中,当卸煤板角度为 45°时,卸煤板平均受力最小,卸料出力最好。

3.2 卸煤开口宽度对卸煤板受力、密封罩受力及卸料出力的影响

3.2.1 内环卸煤开口宽度的影响

为研究卸煤开口宽度对卸煤板受力、密封罩受力及卸料出力的影响,根据该项目多年运行情况,分别设置 1 000,1 200,1 400,1 600,1 800,2 000 mm 等 5 挡开口宽度进行仿真分析,如图 4—6 所示。

从图 4 可以看出:开口宽度为 1 000,1 200,1 400 mm 时,卸煤板受力较大;开口宽度为 1 600,

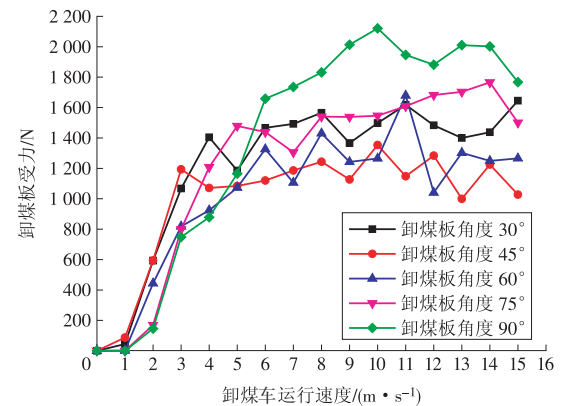


图 2 卸煤板受力情况

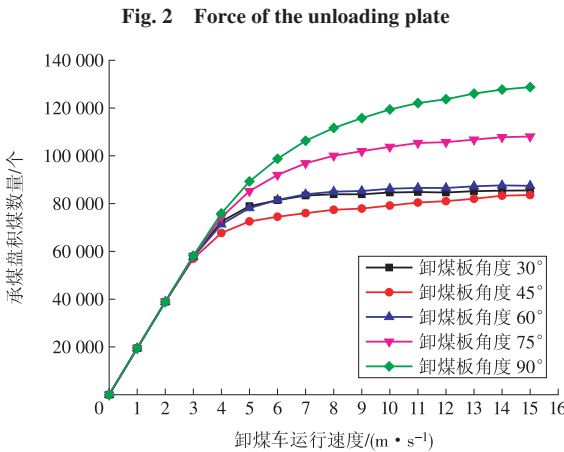


图 3 承煤盘积煤情况

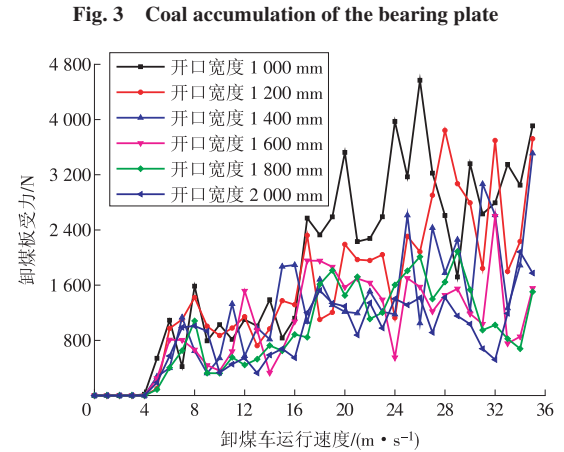


图 4 内环卸煤开口宽度对卸煤板受力的影响
Fig. 4 Influence of the unloading openness width of the inner ring on the force of the unloading plate

1 800 mm 时,卸煤板受力相对前者至少减少 38%;开口宽度为 2 000 mm 时,卸煤板受力最小。开口宽度为 1 000,1 200,1 400,1 600 mm 时,密封罩受力较大,开口宽度为 1 800,2 000 mm 时,密封罩受力相对前者至少减少 23%,如图 5 所示。图 6 可以看出:开口宽度为 1 000,1 200,1 400 mm 时,卸煤车出力有明显增大趋势,开口宽度为 1 600,1 800,12 000 mm 时,卸煤车出力变化不大,表明当开口宽度大于等于 1 600 mm 时,对卸煤车出力影响不大。

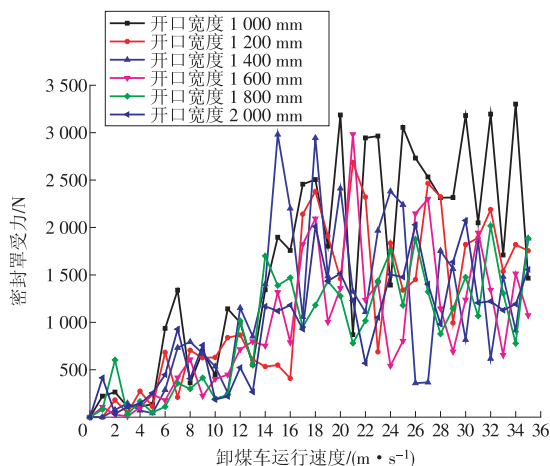


图5 内环卸煤开口宽度对密封罩受力的影响

Fig. 5 Influence of the unloading openness width of the inner ring on the force of the seal over

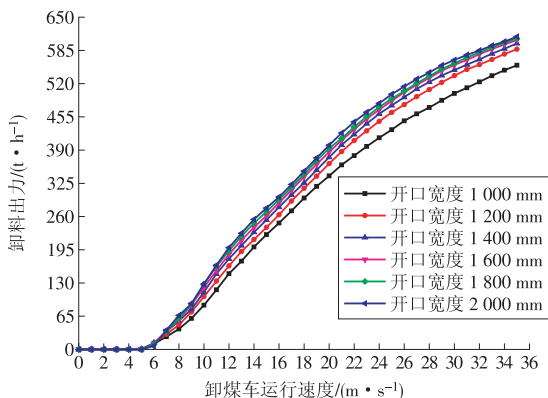


图6 内环卸煤开口宽度对卸料出力的影响

Fig. 6 Influence of the unloading openness width of the inner ring on the unloading output

模拟结果表明,对于所设置的5挡参数,当内环卸煤开口宽度为1 600 mm时,对卸煤板受力、密封罩受力及卸料出力的综合影响最小,开口宽度最合适。

3.2.2 外环卸煤开口宽度的影响

从图7可以看出:开口宽度为1 000, 1 200, 1 400 mm时,卸煤板受力较大;开口宽度为1 600, 1 800 mm时,卸煤板受力相对前者至少减少22%;开口宽度为2 000 mm时,卸煤板受力最小。开口宽度为1 000, 1 200, 1 400 mm时,密封罩受力较大;开口宽度为1 600, 1 800, 2 000 mm时,密封罩受力相对前者至少减少16%,如图8所示。图9可以看出:开口宽度为1 000, 1 200, 1 400 mm时,卸煤车出力有明显增大趋势;开口宽度为1 600, 1 800, 2 000 mm时,卸煤车出力变化不大,说明当开口宽度大于等于1 600 mm时,对卸煤车出力影响不大。

模拟结果表明,对于所设置的5挡参数,当外环卸煤开口宽度为1 600 mm时,对卸煤板受力、密封罩受力及卸料出力的综合影响最小。

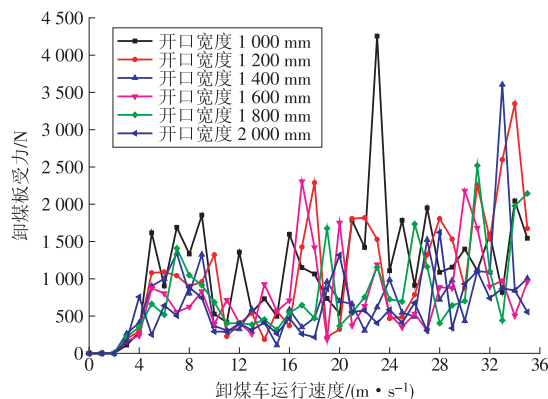


图7 外环卸煤开口宽度对卸煤板受力的影响

Fig. 7 Influence of the unloading openness width of the outer ring on the force of the bearing plate

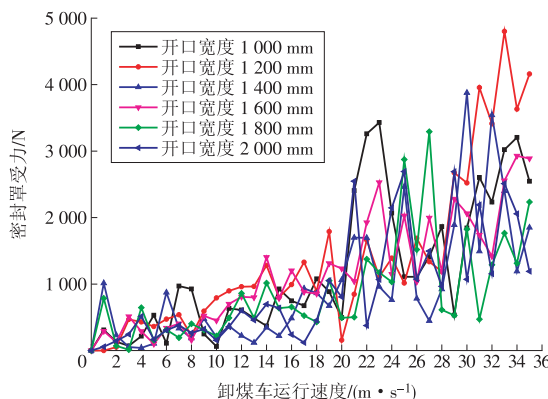


图8 外环卸煤开口宽度对密封罩受力的影响

Fig. 8 Influence of the unloading openness width of the outer ring on the force of the seal over

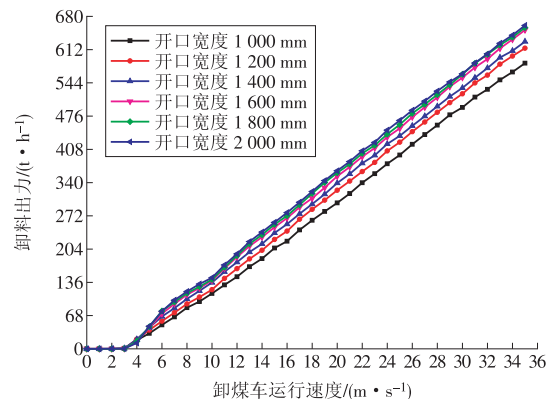


图9 外环卸煤开口宽度对卸料出力的影响

Fig. 9 Influence of the unloading openness width of the outer ring on the unloading output

3.3 卸煤车运行速度对卸料出力的影响

为研究卸煤车运行速度对卸料出力的影响,分别设置1.0, 1.1, 1.2的卸煤车运行速度倍数,仿真分析结果如图10所示。从图10可以看出:当卸煤车运行速度倍数为1.0, 1.1, 1.2时,内外环的卸煤出力并没有明显增加趋势;随着卸煤车运行速度的增加,卸煤出力以更快的速度达到稳定状态。

模拟结果表明,卸煤车运行速度的改变,并不

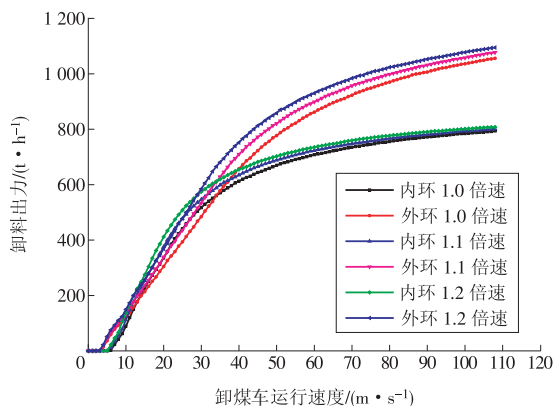


图 10 卸煤车运行速度和卸料出力的关系

Fig. 10 Relationship with the unloading vehicle velocity and the unloading output

能改变卸煤的最大出力,只能改变卸煤出力达到稳定状态的速度。

4 结论

(1) 建立了基于离散元控制方程的环式给煤机有限元模型,模拟了环式给煤机卸煤运行过程。模拟结果表明,环式给煤机卸料过程中,卸煤板角度为 45°时,卸煤板受力最小,卸料出力最好。

(2) 对于内环出力为 900 t/h,外环出力为 1 300 t/h 的双环环式给煤机,当内、外环卸煤开口宽度为 1 600 mm 时,对内、外环卸煤板受力,密封罩受力及卸料出力的综合影响最小,开口宽度最合适。

(3) 卸煤车运行速度不能改变卸煤的最大出力,只能改变卸煤出力达到稳定状态的速度。

通过对环式给煤机卸煤参数的研究,不仅为实现环式给煤机的稳定运行奠定了基础,同时也为解决环式给煤机积煤、撒煤、出力不足等问题提供了理论支持。

参考文献:

- [1] 孙立民. 环式卸煤机作为筒仓出料设备优劣分析[J]. 机电工程技术, 2012, 41(11): 99-102.
SUN Limin. The analysis of the advantages and disadvantages of the ring type coal unloaders as the coal storage silo unloading equipment [J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2012, 41(11): 99-102.
- [2] 王如发. 环式给煤机常见故障及处理[J]. 科技与生活, 2012(16): 189, 211.
WANG Rufa. Common faults and treatment of ring feeder [J]. Technology and Life, 2012(16): 189, 211.
- [3] 张红霞, 卓彦江. 环式给煤机技术改造探讨[J]. 山西电力, 2010(5): 70-72.
ZHANG Hongxia, ZHUO Yanjiang. Discussions on the technical improvement of concentric multi-ring coal feeder [J]. Shanxi Electric Power, 2010(5): 70-72.
- [4] 李传峰, 程文光. 环式给煤机的应用与技术改进[J]. 建筑工程技术与设计, 2017(24): 435-436.
LI Chuanfeng, CHENG Wenguang. Application and technical improvement of ring feeder [J]. Architectural Engineering Technology and Design, 2017(24): 435-436.
- [5] 邹本禹, 郭少秋. 环式给煤机稳定治理工作探讨[J]. 起重运输机械, 2009(4): 95-98.
ZOU Benyu, GUO Shaoqiu. Discussion on stability control of ring feeder [J]. Hoisting and Conveying Machinery, 2009(4): 95-98.
- [6] 蔺茂辉. 环式给煤机筒仓储煤滑仓原因分析及措施[J]. 华电技术, 2016, 38(10): 47-48.
LIN Maohui. Analysis of cause and measure of coal slip-bin in ring feeder cylinder storage [J]. Huadian Technology, 2016, 38(10): 47-48.
- [7] 张万淋. 国华北京热电厂环式给煤机防洒煤改造[J]. 科技传播, 2013(6): 134, 138.
ZHANG Wanlin. Modification of ring feeder in Guohua Beijing Thermal Power Plant [J]. Public Communication of Science & Technology, 2013(6): 134, 138.
- [8] CUNDALL P A. The measurement and analysis of accelerations in rock slopes [D]. London: Imperial College, 1971.
- [9] CUNDALL P A, STRACK O D L. A discrete numerical model for granular assemblies [J]. Géotechnique, 1979, 29(1): 47-65.
- [10] 张辉, 张永震. 颗粒力学仿真软件 EDEM 简要介绍[J]. CAD-CAM 与制造业信息化, 2008(12): 48-49.
ZHANG Hui, ZHANG Yongzhen. A brief introduction of particle mechanics simulation software EDEM [J]. Digital Manufacturing Industry, 2008(12): 48-49.
- [11] 毕利君, 陈振强. 环式给煤机在输煤系统中的应用[J]. 城市建设理论研究, 2014(35): 2104-2105.
BI Lijun, CHEN Zhenqiang. Application of ring feeder in coal conveying system [J]. Urban Construction Theory Research, 2014(35): 2104-2105.
- [12] 胡国明. 颗粒系统的离散元素法分析仿真[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2010.
- [13] 王国强, 郝万军, 王继新. 离散单元法及其在 EDEM 上的实践[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2010.
- [14] 杨公波. 基于 EDEM 仿真的斗轮堆取料机取料机理研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2015.

(本文责编: 刘芳)

作者简介:

马倩(1988—), 女, 河南新乡人, 工程师, 工学硕士, 从事电厂输送系统的技术研发(E-mail: maqian@chec.com.cn)。