

# 数字化设计与离散元仿真耦合技术在小保当选煤厂的应用及优化研究

刘诗宇 胡林 叶干 吴勤章

中煤科工集团北京华宇工程有限公司 北京 100120

**摘要:** 本文聚焦数字化设计与离散元仿真耦合技术于小保当选煤厂的应用及优化。先阐述该耦合技术原理,涵盖数字化设计与离散元仿真技术要点及实现机制。接着分析小保当选煤厂现状,包括概况、工艺流程及面临的问题。随后介绍其在选煤工艺优化、设备选型布局、生产过程模拟预测等方面的应用实践。最后从数据质量、模型精度、技术管理协同、人才培养等层面提出优化策略,助力选煤厂提升效率与质量。

**关键词:** 数字化设计; 离散元仿真 (DEM); 选煤厂优化智能选煤

引言: 在煤炭行业转型升级的大背景下,选煤厂面临着提升生产效率、保障产品质量、控制成本及满足环保要求的多重挑战。传统选煤工艺与设备优化方法难以全面应对这些复杂问题,而数字化设计与离散元仿真耦合技术凭借其强大的模拟分析能力,为选煤厂优化提供了新路径。本文聚焦小保当选煤厂,深入探讨该耦合技术的应用实践,并提出优化策略,助力选煤厂实现高质量发展。

## 1 数字化设计与离散元仿真耦合技术原理

### 1.1 数字化设计技术概述

数字化设计技术依托计算机、信息技术与数学建模,将产品设计从二维图纸转为三维数字化模型构建与仿真分析。它以数字形式精确描述产品几何形状、尺寸、材料属性及性能特征等信息,实现设计可视化、可编辑与可共享。设计师借助SolidWorks、UGNX等三维软件,利用丰富建模工具,满足复杂产品设计需求,还能从多角度观察产品,及时修改优化。同时,支持参数化设计,通过定义关键参数快速生成不同规格型号模型,提高设计灵活性与效率<sup>[1]</sup>。

### 1.2 离散元仿真技术基础

离散元法 (DEM) 是模拟离散颗粒系统运动和相互作用的数值计算方法,基于牛顿第二定律和颗粒间接触力学模型,将颗粒系统视为离散独立颗粒组成,各颗粒有物理属性。在仿真中,颗粒相互作用通过接触模型描述,如线性弹簧-阻尼模型适用于简单系统,Hertz-Mindlin接触模型能更准确模拟复杂相互作用。离散元仿真可模拟颗粒在各种力场下的运动,研究其流动、堆积、破碎特性等。该技术在矿业、化工、农业等领域应用广泛,可模拟矿石处理、颗粒反应、土壤与农具相互作用等过程,优化

设备设计参数,提高处理效率与生产效率。

### 1.3 数字化设计与离散元仿真耦合的实现机制

数字化设计与离散元仿真耦合,将数字化设计的产品三维模型与离散元仿真结合,实现产品在设计方案下颗粒系统环境的性能模拟分析。实现机制有三方面:一是数据转换与接口,因软件数据格式不同,需开发专门接口将三维模型数据转为离散元仿真软件可识别的格式,如STL格式;二是模型集成与协同仿真,完成数据转换后,将模型导入仿真软件构建仿真模型,数字化设计模型与颗粒系统相互作用;三是结果反馈与优化,通过仿真得到产品性能指标,反馈给设计环节,设计师据此调整优化设计参数,经多次迭代提高产品设计质量与性能。

## 2 小保当选煤厂现状分析

### 2.1 小保当选煤厂概况

小保当选煤厂是由陕西小保当矿业有限公司运营的大型群矿型选煤厂,该公司于2009年由陕西煤业化工集团公司和陕西煤田地质有限公司共同发起成立,股东还包括榆林市国有资本运营管理有限责任公司和神木市国有资产运营公司。选煤厂坐落于资源丰富的地区,依托当地优质煤炭资源,致力于将原煤转化为符合市场需求的高品质精煤产品;选煤厂规模庞大,总生产能力达到38.00Mt/a,拥有完善的生产系统和辅助生产设施,包括原煤仓、筛分车间、主厂房、产品仓、装车系统以及办公、生活设施等,确保了生产的高效与稳定。

### 2.2 现有生产工艺与流程

小保当选煤厂现有生产工艺涵盖原煤储存准备、块煤脱泥重介分选、介质回收及添加、煤泥水处理及产品储装运五大作业环节。(1)原煤储存准备作业:来自两矿井的毛煤经带式输送机运至原煤仓储存,再通过带式

输送机送至预先筛分车间进行150mm预先分级,筛上物经智能干选机捡研后破碎,筛下物进行6mm分级,块煤进入主厂房块煤洗选系统,末煤直接作为产品进入末煤仓。(2)块煤脱泥重介分选作业:块煤经脱泥筛脱泥后,进入重介浅槽分选机分选出块精煤和矸石,块精煤经脱介、脱水后成为产品,矸石则运至矸石仓<sup>[2]</sup>。(3)介质回收及添加作业:合格介质返回合格介质桶循环使用,稀介质经磁选机回收磁铁矿粉,磁选精矿返回合格介质桶,磁选尾矿作为脱泥筛润湿水,新增介质通过配制浓介质添加。(4)煤泥水处理作业:煤泥水经浓缩旋流器组浓缩,底流经粗煤泥回收设备进一步脱水回收,溢流作循环水复用,底流经压滤机回收细煤泥。(5)产品储装运作业:块煤和末煤产品分别进入块煤仓和末煤仓储存,通过可逆带式输送机运至火车快速装车站或汽车快速装车点外运,矸石则运至井下回填或综合利用。

### 2.3 面临的生产问题与挑战

小保当选煤厂在生产过程中面临多重问题与挑战。(1)在生产效率维度,厂内部分设备因长期运转,老化磨损现象严重。这些“带病”设备处理能力大幅下降,直接致使整体生产效率降低。例如,破碎机关键部件磨损,破碎速度变慢,影响后续选煤流程的连续性,进而拖慢整个生产节奏。(2)产品质量层面,市场对煤炭产品质量的要求日益严苛,而现有生产工艺却难以满足高质量精煤的生产需求。选煤环节,分层不彻底的问题频发,使得精煤中夹杂着矸石和中煤,严重影响了精煤的灰分和硫分指标,降低了产品品质。选煤时,药剂选择和使用不够精准,导致精煤回收率和品位波动较大,无法稳定提供符合市场标准的优质精煤。(3)成本控制方面,原材料价格上涨与能源消耗增加,让生产成本居高不下。原煤价格受市场供需关系影响波动频繁且幅度大,给成本预算带来极大不确定性。(4)环保领域,生产过程产生的大量煤尘、废水等污染物,对周边环境造成了明显影响。尽管已采取除尘、废水处理等措施,但仍存在煤尘泄漏、废水排放不达标等问题,环保治理工作亟待进一步加强,以实现绿色可持续发展。

## 3 数字化设计与离散元仿真耦合技术在小保当选煤厂的应用实践

### 3.1 选煤工艺优化设计

利用数字化设计与离散元仿真耦合技术对小保当选煤厂的选煤工艺进行优化设计。首先,通过数字化设计软件建立选煤工艺流程的三维模型,包括原煤准备、重介浅槽分选等等各个环节的设备模型和物料流动模型。然后,将三维模型导入离散元仿真软件中,设置颗粒的

属性(如原煤颗粒的大小、形状、密度等)和工艺参数(如特定设备的振动频率、选煤药剂的用量等),进行选煤工艺的仿真模拟。通过仿真模拟,可以直观地观察到原煤在不同工艺环节中的运动和分离情况。例如,在相关分选环节仿真中,可分析不同振动频率下物料的分层效果,找出最佳振动频率,让精煤和矸石更有效分离;在另一类选煤环节仿真中,能研究不同选煤药剂用量对精煤回收率和品位的作用,确定最优药剂用量。依据仿真结果,对选煤工艺进行优化调整。例如,优化相关设备的操作参数,如调整给料量、风量和水量,提升设备的分层效果和精煤回收率;改进选煤药剂的配方和使用方法,提高选煤效率和精煤质量。

### 3.2 设备选型与布局优化

数字化设计与离散元仿真耦合技术还可以应用于选煤设备的选型与布局优化。在设备选型方面,通过数字化设计软件建立不同型号选煤设备的三维模型,并将其导入离散元仿真软件中,模拟设备在不同工况下的运行情况。例如,模拟破碎机在不同进料粒度和硬度下的破碎效果和能耗情况,选择最适合小保当选煤厂原煤特性的破碎机型号;模拟模拟重介浅槽分选机在不同脉动频率和给料量下的处理能力和分层效果,选择性能优良的分选设备。在设备布局优化方面,利用数字化设计软件建立选煤厂的车间布局三维模型,考虑设备之间的物流关系、操作空间和安全距离等因素。然后,通过离散元仿真软件模拟物料在设备之间的流动过程,分析不同布局方案下物料运输效率和设备的利用率。例如,通过仿真发现原煤输送带与破碎机之间的连接角度不合理,导致物料堆积和输送不畅,对布局进行调整后,提高了物料的输送效率<sup>[3]</sup>。

### 3.3 生产过程模拟与预测

利用数字化设计与离散元仿真耦合技术对小保当选煤厂的生产过程进行模拟与预测。建立包含原煤特性、设备参数、工艺流程等因素的生产过程仿真模型,通过输入不同的生产参数,模拟生产过程中的物料流动、设备运行和产品质量变化等情况。例如,模拟不同原煤质量下的选煤生产过程,预测精煤的产量、灰分、硫分等质量指标,为生产计划的制定提供依据;模拟设备故障情况下的生产过程,分析故障对生产的影响程度和范围,制定相应的应急预案。通过生产过程模拟与预测,选煤厂可以提前发现生产过程中可能出现的问题,及时调整生产参数和操作策略,确保生产的稳定运行。

## 4 数字化设计与离散元仿真耦合技术应用的优化策略

### 4.1 数据质量提升策略

数据质量是数字化设计与离散元仿真耦合技术应用的基础。为了提高数据质量,首先需要建立完善的数据采集系统,确保采集到的原煤特性数据(如粒度分布、密度、灰分等)、设备运行数据(如转速、功率、温度等)和工艺参数数据(如给料量、风量、水量等)准确可靠。采用先进的传感器和测量仪器,定期对数据进行校准和验证,减少数据误差。其次,加强数据管理。建立数据管理平台,对采集到的数据进行分类、存储和整理,确保数据的完整性和一致性。同时,制定数据使用规范和权限管理机制,防止数据的滥用和泄露。另外,还可以利用数据挖掘和机器学习技术对历史数据进行分析 and 挖掘,发现数据之间的潜在关系和规律,为数字化设计和离散元仿真提供更有价值的数 据支持。

#### 4.2 模型精度优化方法

模型精度直接影响数字化设计与离散元仿真耦合技术的应用效果。为了提高模型精度,首先需要对模型进行验证和校准。将仿真结果与实际生产数据进行对比分析,找出模型存在的误差和不足之处。针对误差较大的部分,对模型的参数进行调整和优化,如调整颗粒间的接触模型参数、设备的运动参数等,使仿真结果更接近实际情况。采用更精确的建模方法,例如,在数字化设计方面,采用更高精度的三维建模技术,更准确地描述产品的几何形状和结构特征;在离散元仿真方面,选择更合适的接触模型和本构模型,考虑颗粒的形状、表面粗糙度等因素对颗粒间相互作用的影响。还可以结合实验数据进行模型优化,通过开展物理实验,测量颗粒在不同条件下的运动和力学特性,将实验数据作为模型校准的依据,提高模型的准确性和可靠性。

#### 4.3 技术与管理协同优化

数字化设计与离散元仿真耦合技术的应用不仅需要技术支持,还需要良好的管理协同。在技术层面,要加强不同专业之间的沟通与协作。数字化设计人员、离散元仿真人员和选煤工艺技术人员需要密切配合,共同完成模型的建立、仿真和分析工作。例如,在设计选煤设备时,数字化设计人员需要根据选煤工艺的要求进行设备结构设计,离散元仿真人员需要对设备结构进行仿真分析,提出改进建议,选煤工艺技术人员则需要根据仿

真结果和实际生产需求对工艺参数进行调整。在管理层 面,要建立完善的技术应用管理体系。制定技术应用的标准和规范,明确各部门和人员的职责和权限,确保技术应用的有序进行。同时,加强对技术应用过程的监督和评估,及时发现问题并采取措施进行解决。

#### 4.4 人才培养与技术培训

数字化设计与离散元仿真耦合技术的应用需要具备相关专业知识和技能的人才。因此,要加强人才培养和技术培训。一方面,选煤厂可以与高校和科研机构合作,引进具有数字化设计、离散元仿真、选煤工艺等方面专业知识和实践经验的人才,充实技术团队<sup>[4]</sup>。另一方面,要加强 对现有员工的技术培训。定期组织内部培训课程,邀请专家进行授课,介绍数字化设计与离散元仿真耦合技术的最新发展动态和应用案例,提高员工的技术水平和应用能力。同时,鼓励员工参加外部培训和学习交流活动,拓宽视野,学习先进的技术和经验。另外,还可以建立人才激励机制,对在数字化设计与离散元仿真耦合技术应用方面取得突出成绩的员工给予奖励,激发员工的积极性和创造性,推动技术的不断创新和应用。

#### 结束语

数字化设计与离散元仿真耦合技术为小保当选煤厂带来新契机。通过在选煤工艺、设备选型布局及生产过程模拟等方面的应用,有效提升了选煤厂的生产效率与产品质量。而优化策略的实施,从数据、模型、管理到人才多维度发力,进一步推动技术发挥效能。未来,选煤厂应持续深化该技术应用,不断探索创新,以适应市场变化与环保要求,实现可持续发展。

#### 参考文献

- [1]李勇.选煤厂机电设备故障智能化检测系统研究[J].矿业装备,2021(4):286-287.
- [2]徐征.朱智泉.选煤厂选煤工艺流程优化分析[J].能源与节能,2020(4):106-107,164.
- [3]刘阳.选煤厂选煤工艺的研究与优化[J].矿业装备,2021(04):80-81.
- [4]尚书宏.浅谈当代洗选煤厂选煤工艺优化思路[J].内蒙古煤炭经济,2021(02):167-168.