

料仓内超浓粉体卸料的数值模拟及实验研究

李汉明 朱鸿飞 孙珊珊 袁竹林
(东南大学 能源与环境学院 江苏 南京 210096)

摘 要: 针对目前超浓粉体流动特性数值模拟研究中存在的关键问题,提出了一种描述料仓内粉体卸料过程的新数学模型。该模型在离散颗粒模型的基础上,通过描述颗粒所在局部空间的固相浓度及颗粒群运动特征所建立,能够有效地模拟料仓内的粉体卸料和堆积过程。利用新模型模拟超浓粉体在料仓内的卸料过程,同时利用自主搭建的实验台所观察到的石英砂卸料流型来验证模拟的正确性。利用新模型研究料仓锥角、卸料口径及卸料高度对料仓卸料时间和流型的影响规律,对实际生产中料仓的设计具有一定的指导意义。

关 键 词: 超浓粉体;料仓;流动特性;数值模拟

中图分类号: TQ022; O242 文献标识码: A

引 言

料仓在生产中被广泛用来储存粉体物料,仓内粉体大多处于堆积状态。料仓中经常碰到粉体流动不稳定甚至结块堵塞的问题,给生产带来危害,因而需要研究料仓内超浓粉体的流动特性。仓内粉体卸料流型分为整体流与中心流^[1],如图 1 所示。整体流是指卸料时所有粉体都处于运动状态,并贴着垂直部分和收缩的仓壁滑移,粉体的流动通道与料仓壁一致。中心流是指粉体上表面随着管内粉体的流出而下降,上部粉体不断流入管状通道内流向仓外,形成了先进后出的流动效应。

料仓内的粉体流动状态难以测量,运用数学模型对料仓内的粉体进行模拟具有很多优点,不改变实际设备参数而模拟出不同设计参数时的流动状态,节省实验经费,允许设计者采用更多的参数进行设计。

粉体流动特性数值模拟的方法主要有连续介质模型和离散颗粒模型。连续介质模型把颗粒流看成是拟流体,用连续统计力学的基本框架和分析方法来建立粉体的理论模型。离散颗粒模型主要包括硬球和软球模型^[2~5]。硬球模型仅适用于低浓度、快

速颗粒流的模拟,不能模拟大规模超浓粉体流动过程中可能发生的固相堆积等现象。软球模型局限于大颗粒、小规模以及短时间的模拟,尚未用于工程意义上的超浓粉体流动特性问题。

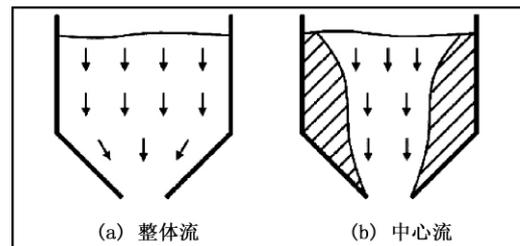


图 1 料仓卸料流型图

Fig. 1 Chart for showing the flow pattern of the discharge from a material bunker

翁良群、邢纪波等人模拟了料仓装卸料时的力场及流场问题^[6]。Dale M. Snider 等人利用计算科学流体力学方法模拟了颗粒在三维料斗中的流动过程^[7]。张西良等人利用离散单元仿真分析软件揭示了粉体物料的刚度变化对其卸料过程中流动特性的影响^[8]。尽管前人已经作了很多工作,但对料仓的影响因素仅限于某一方面,对料仓的影响因素的研究远少于对料仓动压力的研究,而实际上料仓的宏观、细观参数及运行工况是和料仓结构密切相关的。

针对目前超浓粉体流动特性数值模拟所存在的问题,本研究提出了一种通过描述颗粒所在局部空间的固相浓度及颗粒群运动特征来表征颗粒间相互作用新的数学模型。

1 描述固相颗粒间相互作用的新模型

1.1 模型的要求

针对现有模型在模拟料仓内超浓粉体卸料过程

收稿日期: 2012 - 09 - 10; 修订日期: 2012 - 10 - 12

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划) 基金资助项目(2010CB227002 - 05)

作者简介: 李汉明(1987 -),女,湖北随州人,东南大学硕士研究生。

中的不足,希望建立一种新数学模型,能够计算工程尺度的粉体流动问题,显著提高计算效率;能够模拟超浓粉体在料仓内的卸料过程,且模拟出的粉体颗粒在卸料过程中的流动特性与实验良好吻合。

1.2 模型的构建

料仓内流动的粉体颗粒受到 3 种力的作用:场力、壁面对颗粒的作用力和固相力。现有模型对前两种力已能够很好处理,问题在于如何有效地处理固相力。本研究提出的新模型通过划分计算区域网格,把单个网格内的颗粒看成一个整体,通过计算网格内颗粒相的体积浓度差值,得到颗粒所受作用力。

1.2.1 场力

料仓卸料中粉体颗粒只受重力场作用,故模拟中仅考虑重力。

1.2.2 颗粒与边壁碰撞所产生的力

可将壁面看作是无量大的球体,采用颗粒间的碰撞模型来处理颗粒与边壁的碰撞。

1.2.3 网格内部颗粒间相互作用所产生的力

对于前两种力,已有较为完善的数学模型计算,能很好地解决颗粒间相互作用力。采用 Euler - Lagrange 方法时搜索碰撞将占据较多时间;而 Euler - Euler 方法假设固相为拟流体,缺乏真实性。故研究重点和难点在于保证模拟准确性的同时减少计算量。

在解决这一难题之前,不妨先观察两种极端的状况:将计算区域划分成各个网格,在时间步长足够小的情况下,若网格内部只含一个颗粒,如图 2(a)所示,颗粒间的相互作用将不存在,即颗粒与该网格内其它颗粒发生作用的概率为零;当网格中颗粒达到堆积饱和状态时,颗粒间相互作用将变得非常频繁,即颗粒与该网格内其它颗粒发生作用的概率近似为 1,如图 2(b)所示。

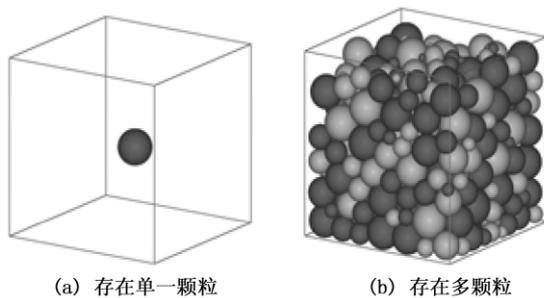


图 2 固相浓度的两种极端状态

Fig. 2 Two extreme states of the solid-phase concentration

根据上述分析,设定了一个碰撞概率 P 来表征网格内部颗粒发生碰撞的概率。对于网格内部,颗粒与该网格内其它颗粒发生作用的概率 P 与所在网格颗粒相的体积浓度 C 有关。当 $C = C_{min}$ 时如图 2(a) 所示,颗粒间碰撞的可能性为零,即 $P = 0$; 当 $C = C_{max}$ 如图 2(b) 所示,即堆积状态时,颗粒间发生作用的概率为 1,即 $P = 1$ 。而当 C 处于上述两种状态时,设定 P 与 C 呈线性关系,即:

$$P = (C - C_{min}) / (C_{max} - C_{min}) \quad (1)$$

除此之外,网格内部颗粒群运动速度的大小及方向,也会对 P 产生影响。以二维模拟的情况为例,当网格中所有颗粒的速度大小和方向均相同时,即使颗粒相浓度 C 很大时,颗粒之间也不会发生接触和碰撞,此时 $P = 0$,如图 3(a) 所示;当网格中的颗粒相浓度 C 较小,但各颗粒的速度大小及方向杂乱无章,导致颗粒间相互作用加剧,颗粒碰撞、接触前后的速度损失随之增大,此时的碰撞概率 P 将会随着颗粒相浓度 C 增大而逐渐趋向于 1,如图 3(b) 所示。

颗粒与网格内其它颗粒间相互作用所发生的运动状态的变化,取决于颗粒的动量与网格内所有颗粒平均动量(矢量和的平均值)的差值。当差值为零时,如图 3(a) 所示,网格内所有颗粒速度大小、方向均与颗粒一致时,颗粒不受力的作用,颗粒的运动状态不变(仅指颗粒间作用力影响的部分)。

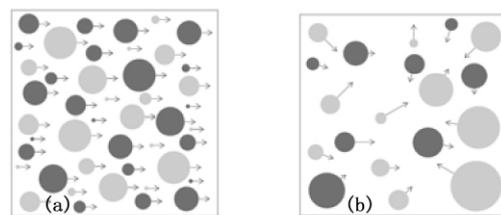


图 3 网格中颗粒的运动

Fig. 3 Particle movement inside the mesh

综合考虑颗粒相浓度和颗粒群运动特征对颗粒运动的影响,推导出了计算网格内颗粒相互作用后颗粒速度的函数关系:

$$V_i - (PM + 1 - P) \cdot V_i^{(0)} \quad (2)$$

式中: V_i —各个颗粒相互作用后的速度, m/s; $V_i^{(0)}$ —各个颗粒相互作用前的速度, m/s; M —与碰撞概率相关的碰撞系数,与碰撞前颗粒的动量以及网格内所有颗粒平均动量相关。其函数方程为:

$$M_u = \left[\left(m_k - e \sum_{i=1, i \neq k}^{i=n} m_i \right) + \frac{(1+e) \sum_{i=1, i \neq k}^{i=n} m_i \sum_{i=1, i \neq k}^{i=n} V_{iu}^{(0)}}{(n-1) \cdot V_{ku}^{(0)}} \right] / \sum_{i=1}^{i=n} m_i \quad (3)$$

式中: u — x 、 y 方向; n —当地网格中的颗粒数,个;
 e —碰撞恢复系数; M_u — x 、 y 方向的碰撞系数; m_i —
 当地网格中各个颗粒的质量, g ; $V_{iu}^{(0)}$ —当地网格中
 各个颗粒相互作用前在 x 、 y 方向的速度 m/s 。

1.2.4 网格间即颗粒群相互作用所产生的力

当地网格饱和后,由于与周围的网格有浓度差,从而对周围的网格产生力的作用,即切应力 τ ,此切应力仅限于与重力垂直的方向上。该切应力与相邻网格间的颗粒相体积浓度梯度成正比,采用中心差分来计算网格间的切应力,得到:

$$\tau \propto \eta \frac{C_{x+1,y} - C_{x-1,y}}{2 \Delta x} \quad (4)$$

式中: η —网格间的剪切系数 g/s^2 。

新模型基于 Lagrange 和 Euler 框架,整个数值模拟过程中在结合其它作用力(重力、壁面作用力等)后进行求解。

2 超浓粉体漏斗卸料的数值模拟和实验研究对比

2.1 实验研究

本研究利用自行搭建的实验台来研究超浓石英砂粉体颗粒在玻璃漏斗内卸料所表现出的流动特性。

2.1.1 实验系统

图 4 为超浓粉体颗粒在漏斗内卸料流动的实验装置示意图。整个实验装置由储料装置及流型测量系统组成。

2.1.2 实验结果

图 5 为实验拍摄到的石英砂颗粒在玻璃漏斗内的卸料流型图,各图按照时间顺序依次排列,每张图间隔 1 s。实验所用石英砂颗粒平均粒径 0.5 mm,密度 2 650 kg/m³;漏斗宽 100 mm,卸料口径 15 mm,锥角 $\theta = 90^\circ$,即工况 1。图中随着漏斗内石英砂的流出,粉体上表面在下降,上部粉体不断流出卸料口,为了确定石英砂的卸料流型,特将部分颗粒染色,可以看到有色颗粒并不是随卸料的进行整体下落,而是从卸料口上方流出,呈现出后进先出的流动形式,为典型的中心流流型,粉体在水平面上逐渐堆

积形成小山状的山丘。

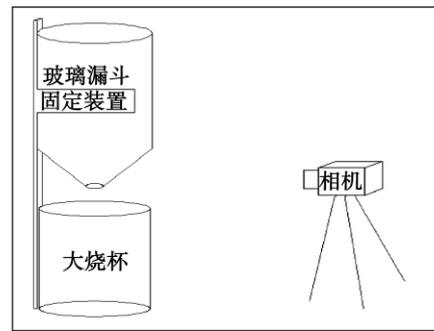


图 4 实验装置示意图

Fig. 4 Schematic diagram of the test device

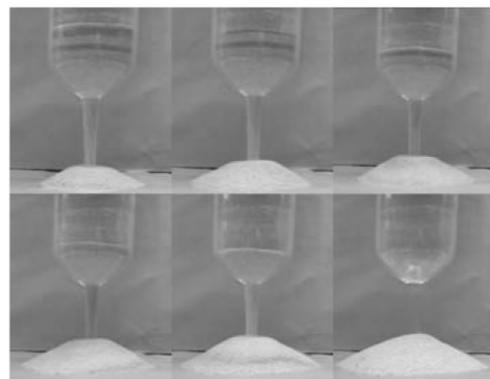


图 5 实验拍摄流型图

Fig. 5 Flow pattern photographed during the test

2.2 数值模拟研究

为了与实验结果对照,缩短计算时间,设计的二维模拟计算区域示意图如图 6 所示,研究对象为石英砂,研究其在工况 1 下的卸料过程。采用硬球碰撞模型处理粉体颗粒与漏斗壁面的碰撞,颗粒与壁面间的碰撞恢复系数为 0.1,计算单位时步为 0.001 s。

图 7 为模拟计算的石英砂颗粒在工况 1 下的卸料流型图,每张图间隔 100 时步,卸料时步为 4 800 步,颗粒总数为 105 970。图中料仓卸料口上方的石英砂颗粒下落的速度很快,整个截面呈漏斗状流动,形成比较明显的中心流流型,且料仓内存在死料区,尤其是在料仓斜壁面上颗粒下落比较缓慢,从而大大延长了卸料所需时间。

2.3 实验与模拟结果对比分析

比较图 5 与图 7 可知,模拟得到的石英砂粉体卸料和堆积过程中的流型与实验拍摄到的流型较为一致,模拟结果再现了中心流的形成及其变化过程,颗粒的堆积过程也与实验较为吻合,这也在一定程

度上反映了本研究建立的新模型是合理的。计算是在小型工作站上完成,所需时间大约为 3 h,但计算颗粒数远超过软球模型等所需时间,显示了新模型的优越性。

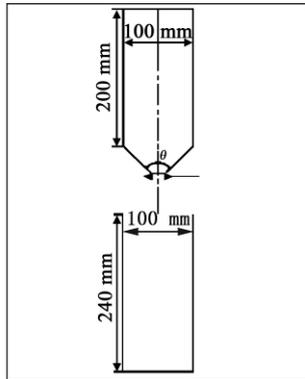


图 6 二维模拟计算区域

Fig. 6 Two-dimensional simulation calculation region

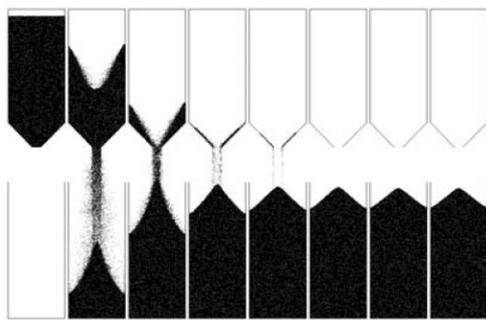


图 7 石英砂模拟工况 1

Fig. 7 Quartz sand simulation condition No. 1

3 超浓粉体料仓卸料数值模拟研究

影响料仓内粉体卸料流型和卸料时间的因素众多,如料仓锥角、卸料口径及卸料高度等。为此,在新模型基础上,模拟研究料仓锥角、卸料口径、卸料高度对料仓卸料流型和时间的的影响及其变化规律,掌握仓内粉体卸料的流动特性,从而对料仓卸料系统的设计与运行具有一定的指导意义。

3.1 料仓锥角对卸料流型和时间的的影响

为了研究料仓锥角对卸料流型和时间的的影响,选取工况 2~工况 6 进行模拟研究,如表 1 所示。

图 8~图 12 的卸料流型图均呈现出典型的中心流。图 13 为石英砂颗粒在锥角从 30°到 150°时的料仓内卸料所需时间的变化图,且各工况计算的

颗粒数相当,故卸料时间随料仓锥角增加而增加。

表 1 计算工况和结果

Tab. 1 Calculation conditions and results

工况	卸料锥角/(°)	时步/s	颗粒/个
工况 2	30	4 460	106 140
工况 3	60	4 490	106 140
工况 4	90	4 500	106 200
工况 5	120	5 820	106 390
工况 6	150	5 870	106 360

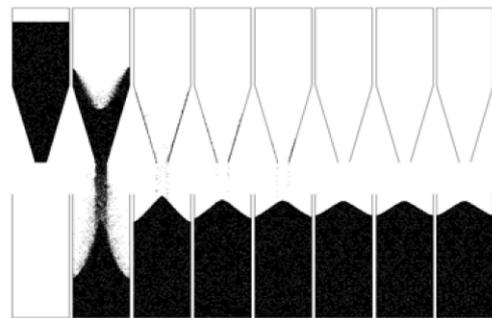


图 8 工况 2 锥角 30°

Fig. 8 Condition No. 2 at a taper angle of 30°

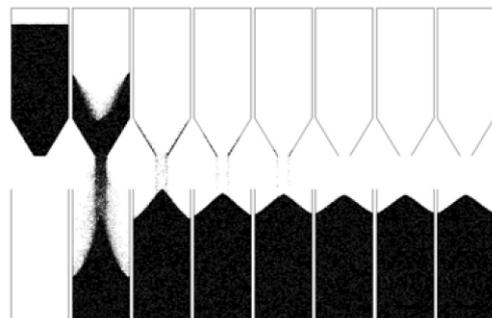


图 9 工况 3 锥角 60°

Fig. 9 Condition No. 3 at a taper angle of 60°

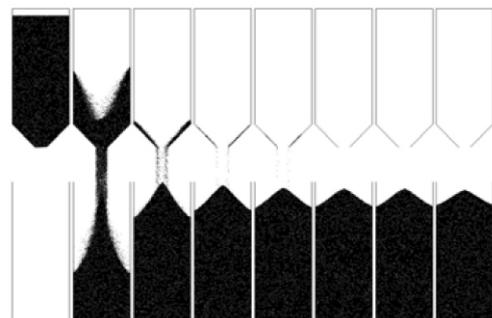


图 10 工况 4 锥角 90°

Fig. 10 Condition No. 4 at a taper angle of 90°

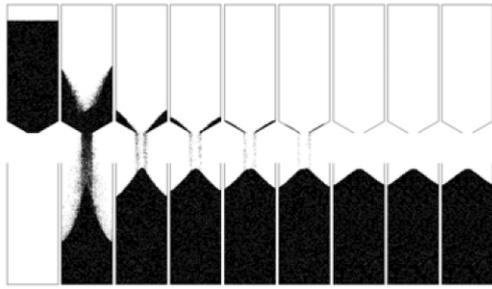


图 11 工况 5 锥角 120°

Fig. 11 Condition No. 5 at a taper angle of 120°

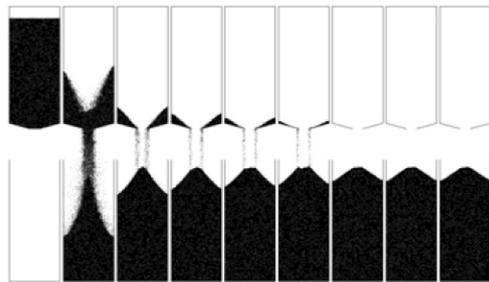


图 12 工况 6 锥角 150°

Fig. 12 Condition No. 6 at a taper angle of 150°

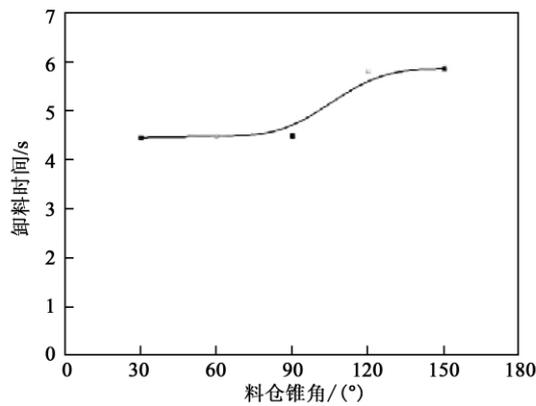


图 13 卸料时间 - 料仓锥角曲线图

Fig. 13 Chart showing the curves of the discharge time duration - taper angle of the material bunker

3.2 卸料口径对卸料流型和时间的影响

为了研究卸料口径对料仓卸料时间和卸料流型的影响,模拟工况如表 2 所示。

图 5、图 10 和图 14 ~ 图 16 中 5 个模拟工况流型图均呈现出典型的中心流流型,卸料口径的变化对流型的影响较小,料仓内的漏斗状流动较为明显。表 2 中各工况模拟颗粒数相当,从图 17 中可以看出卸料时间随卸料口径的增大而逐渐减小。

表 2 计算工况和结果

Tab. 2 Calculation conditions and results

工况	卸料口径/mm	时步/s	颗粒/个
工况 7	10	9 360	106 100
工况 8	13	5 340	106 040
工况 1	15	4 800	105 970
工况 9	17	4 520	105 890
工况 4	20	4 500	106 200

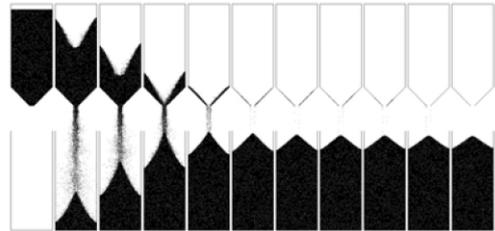


图 14 工况 7 卸料口径 10 mm

Fig. 14 Condition No. 7 at a discharge opening diameter of 10 mm

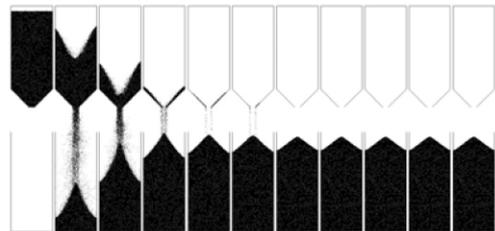


图 15 工况 8 卸料口径 13 mm

Fig. 15 Condition No. 8 at a discharge opening diameter of 13 mm

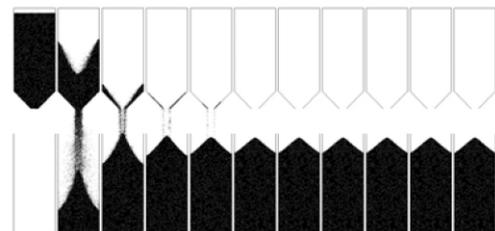


图 16 工况 9 卸料口径 17 mm

Fig. 16 Condition No. 9 at a discharge opening diameter of 17 mm

3.3 卸料高度对卸料流型和时间的影响

为了研究卸料高度对料仓卸料时间和流动流型的影响,选取工况 1 作为模拟工况,计算结果如表 3 所示。模拟流型图如图 18 所示。

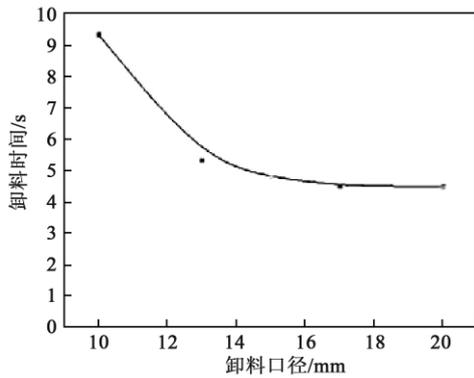


图 17 卸料时间 - 卸料口径曲线图
Fig. 17 Chart showing curves of the discharge time-discharge opening diameter

表 3 计算结果

Tab. 3 Calculation results

卸料高度/mm	卸料时步/s	颗粒总数/个
230	4 800	105 970
210	4 710	95 970
190	4 470	85 970
170	4 320	75 970
150	4 210	65 970
130	3 900	55 970
110	3 650	45 970
90	3 610	35 970

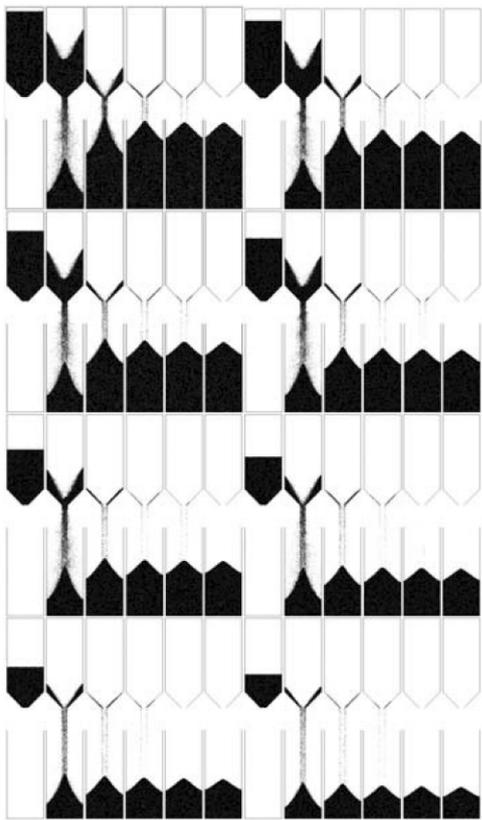


图 18 工况 1, 锥角 90°, 卸料口径 15 mm
Fig. 18 Condition No. 1 at a taper angle of 90° and a discharge opening diameter of 15 mm

表 3 中颗粒总数随着卸料高度的规律性减少而递减, 卸料时步也逐渐降低。图 18 中, 卸料高度的变化对料仓内石英砂颗粒的卸料流型影响不大, 均为中心流流型。图 19 是卸料时间随卸料高度变化的曲线图, 可以发现卸料时间与卸料高度近似于成正比例关系。

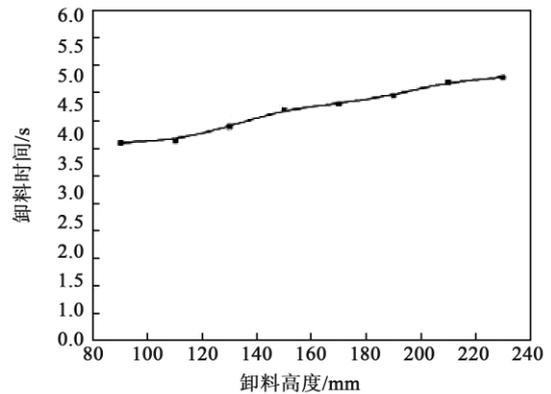


图 19 卸料时间-卸料高度曲线图
Fig. 19 Chart showing curves of the discharge time-discharge height

4 结 论

本研究通过建立的新模型模拟研究料仓内超浓粉体颗粒的卸料过程, 结论如下:

(1) 采用新模型对石英砂粉体颗粒在漏斗内的卸料过程进行了数值模拟研究, 获得了典型的中心流流型。

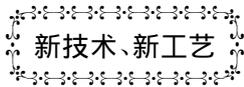
(2) 利用自行搭建的实验台拍摄到相同工况下漏斗内石英砂卸料流型为中心流, 与模拟的卸料流型相似, 验证了新模型的正确性。

(3) 利用新模型研究料仓锥角、卸料口径、卸料高度对仓内石英砂粉体颗粒卸料流型和时间的影 响, 结果显示上述 3 个变量均不影响石英砂颗粒的中心流流型; 卸料时间随卸料锥角或卸料口径的增大而减小, 且与卸料高度近似成正比例关系。

参考文献:

- [1] Jenike A W. Bulletin 123: Storage and flow of solids [R]. Salt Lake City University of Utah, 1964.
- [2] Campbell C S. The stress tensor for simple shear flows of a granular material [J]. Journal of Fluid Mechanics, 1989, 203: 449 - 473.
- [3] Campbell C S, Brennen C E. Chute flows of granular material some computer simulation [J]. Journal of Applied Mechanics, 1985, 52: 172 - 178.
- [4] Walton O R, Braun, R L. Stress calculations for assemblies of inelastic spheres in uniform shear [J]. Acta Mechanica, 1986, 63: 73 - 86.
- [5] 王等明. 密集颗粒系统的离散单元模型及其宏观力学行为特征的理论研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2009.
WANG Deng-ming. Theoretical investigations of the discrete unit model and its macro-mechanics behavior characteristics of a dense granular system [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2009.
- [6] 俞良群, 邢纪波. 筒仓装卸料时力场及流场的离散单元法模拟 [J]. 农业工程学报, 2000, 16(4): 15 - 19.
YU Liang-qun, XING Ji-bo. Simulation of the force and flow field during the material charging and discharging process from a silo by using the discrete unit method [J]. Transactions of Agricultural Engineering, 2000, 16(4): 15 - 19.
- [7] Dale M Snider. Three fundamental granular flow experiments and CPFD predictions [J]. Powder Technology, 2007, 176: 36 - 46.
- [8] 张西良, 张建, 李萍萍, 等. 粉体物料流动性仿真分析 [J]. 农业机械学报, 2008, 39(8): 196 - 198.
ZHANG Xi-liang, ZHANG Jian, LI Ping-ping, et al. Simulation analysis of the fluidity of powdered materials [J]. Transactions of Agricultural Machinery, 2008, 39(8): 196 - 198.

(陈滨 编辑)



新技术、新工艺

GT6 和 GT8 系列燃气轮机

据《Gas Turbine World》2012 年年度手册报道, MAN Diesel & Turbo 公司已于 2011 年第一季度推出额定功率为 6 到 10 MW 的 GT6 和 GT8 单轴和双轴燃气轮机, 用于发电、联产和机械驱动。

发电用 GT6 单轴方案的基本输出功率为 6.6 MW, 效率为 32.7%。双轴方案用于机械驱动, 基本输出功率为 6.9 MW, 效率为 34.0%。

GT8 功率增加到 8.2 MW, 双轴方案用于机械驱动, 单轴方案用于发电。

GT6 和 GT8 机组在功率等级中属于最有效的结构, 简单循环效率高达 34%。

6 MW 和 8 MW 方案有 80% 的零件是可以通用的, 并具有同样压气机和类似的涡轮部分叶片和机匣。

两型涡轮的主要差别在于涡轮进口温度不同, GT6 的涡轮进口温度为 1 100 °C; GT8 涡轮进口温度提高到 1 200 °C。

该系列燃气轮机配置 11 级轴流压气机, 压比为 15:1, 进口导叶和前三列静叶是可调的。进口导叶和这三列静叶的安装角也是可调的, 取决于燃气发生器的速度。

六个管式逆流燃烧室围绕机匣周向布置。干式低排放燃烧器在启动和低负荷运行时, 以扩压方式工作, 然后随着功率增加到满负荷转换到预混方式工作。

保证的 NO_x 排放为 25 mg/kg。可用燃料包括天然气、分馏油和生物质燃料。

双轴机组具有 2 级轴流高压涡轮(驱动燃气发生器)和 2 级低压动力涡轮, 高压涡轮其中 2 级为空气冷却。

应用主动的间隙控制, 以便使效率在 45% 到 105% 速度范围内达到最高。

(吉桂明 摘译)

ang(College of Control and Computer Engineering ,College of Nuclear Science and Engineering ,North China University of Electric Power ,Beijing ,China ,Post Code: 102206) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2013 28(4) . - 395 ~ 401

In the light of such specific features as difficulty in setting the PID parameters of the main controller of the water level feed-forward and feed-back cascade three-impulse control system of a U-shaped steam generator and a high standard set for the robustness ,presented was a systematic method for setting the PID parameters. The method under discussion combined PID type H_∞ loop shaping controller comprehensive algorithm with the first-order forward and lagging-behind type weight function optimization algorithm given by the authors. The optimized PID controller can maximize the robustness stability allowance of the system under the precondition of a certain control quality being ensured and the whole optimization algorithm is based on the linear matrix inequation technology and has a low calculation cost. The method under discussion was used to set the parameters of the main controller of the water level control system of a steam generator. The simulation results show that the water level control system set by using the method in question can achieve a relatively good robustness and robust stability and the comprehensive control quality is superior to that achieved by using the method combining the high/low order weight function optimization algorithm with the standard H_∞ loop shaping controller comprehensive algorithm. **Key words:** loop shaping ,weight function optimization ,linear matrix inequation ,steam generator ,water level control

料仓内超浓粉体卸料的数值模拟及实验研究 = **Numerical Simulation and Experimental Study of the Discharging of Super Concentrated Powder from a Bunker** [刊 汉] LI Han-ming ,ZHU Hong-fei ,SUN Shan-shan , YUAN Zu-lin (College of Energy Source and Environment ,Southeast University ,Nanjing ,China ,Post Code: 210096) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2013 28(4) . - 402 ~ 408

To solve the key problem existing in the study of the numerical simulation of the flow characteristics of super concentrated powder ,presented was a new mathematic model for depicting the discharging process of powder in a bunker. On the basis of the discrete model for particles ,the model in question was established by depicting the solid phase concentration and the particle swarm movement characteristics in a local space ,thus capable of effectively simulating the discharging and accumulation process of powder in the bunker. The model under discussion was used

to simulate the discharging process of powder in a bunker and in the meanwhile ,the quartz sand discharging flow pattern observed from the test rig set up independently was utilized to verify the correctness of the simulation. The model was also utilized to study the law governing the influence of the cone angle ,discharging diameter and height of the bunker on the discharging time and flow pattern ,therefore ,the foregoing can offer certain guidance for design of bunkers in practical production. **Key words:** super concentrated powder ,bunker ,flow characteristics ,numerical simulation

基于声学测温的电站锅炉水冷壁局部灰污监测研究 = **Study of the Monitoring of the Local Ash Fouling on the Water Walls of a Utility Boiler Based on the Acoustic Pyrometry** [刊 ,汉]ZHANG Shi-ping ,SHEN Guo-qing ,AN Lian-suo ,NIU Yu-guang(Education Ministry Key Laboratory on Power Plant Equipment Condition Monitoring ,North China University of Electric Power ,Beijing ,China ,Post Code: 102206) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2013 28(4) . - 409 ~ 414

To solve the difficulty in monitoring the ash fouling on water walls of a boiler ,introduced was a cleaning factor to transform it into an acoustic pyrometric problem. On this basis ,an on-line system for monitoring the ash fouling on water walls of a boiler was developed and an experimental study was performed on a domestic 300 MW boiler. As a result ,the flue gas temperatures along the acoustic line close to the water walls were obtained and the temperature fields in the sections of the furnace in the boiler were rebuilt. The research results show that the new cleaning factor can be used to monitor the local ash fouling conditions of the water walls. Due to the curvature effect of the sound wave ,the average flue gas temperature measured along the acoustic line is about 130 °C higher than that on the surface of the water walls facing the flame. Any change in the temperature of flue gases close to the water walls can be used to represent that in the water wall temperature. The temperature field thus rebuilt can be used to real-time and accurately observe the movement of the flame center in the furnace ,thus the foregoing can offer important reference for monitoring ash fouling and intelligent soot blowing in boilers. **Key words:** water wall ,cleaning factor ,ash fouling monitoring ,acoustic pyrometry ,flame center

镁渣脱硫剂的水合及添加剂改性研究 = **Study of the Denaturing of the Agent for Desulfurizing Magnesium**