

# 生物质/煤粉微量给料的实现与优化

徐向乾, 巩志强, 路春美, 张梦珠

(山东大学 能源与动力工程学院, 山东 济南 250061)

**摘 要:** 为解决小型再燃试验台中煤粉、生物质微量给料时易粘易堵, 给料不均匀、精确度不高的问题, 采用两线螺旋杆式给粉器进行微量给料试验。对煤粉/小粒径的生物质、大粒径生物质分别采用预先干燥并掺加 5%~10% (wt%) 硅胶粉和在特殊位置振动的方法, 避免了团聚、沟流等现象的发生, 满足了给粉速率小于 1 g/min 的要求, 并大大改善了给料的连续性和均匀性, 给粉速率一般在平均值±4% 以内, 精确度高, 具有良好的重现性。

**关 键 词:** 煤粉; 生物质颗粒; 螺旋给粉器; 微量给料; 惰性添加剂

中图分类号: TK16 文献标识码: A

## 引 言

近几年, 很多研究者进行了煤粉、生物质再燃还原氮氧化物的试验。在小型再燃脱硝试验台中, 给粉量一般都很小, 生物质和煤粉的给粉速率一般为 1~5 g/min。要实现如此小的给粉速率, 同时满足速率可调; 保证较高的连续性、均匀性和精确性是比较困难的。

在设计给粉器时, 通常的做法是将大型给粉器按比例缩小。但给粉器尺寸缩小, 给料器孔道减小, 物料粒径也相应减小, 颗粒表面积增大, 颗粒之间的作用力增大, 流动性变差。物料易团聚, 在给粉仓和输送孔道内堵塞, 发生不落料、落料不均匀的现象。对于煤粉和小粒径生物质等流动性较差的物料, 要保证给粉的连续性、均匀性和精确性, 仅从缩小给粉器尺寸方面想办法是较难实现的。且煤粉、生物质再燃实验中, 均要进行粒径对再燃脱硝效率影响的试验。大粒径和小粒径的生物质在给粉过程中会出现不同的问题, 须考虑粒径对给粉性能的影响。本文参考了多种给料器, 采用小型两线螺旋杆式给料器, 并对煤粉和不同粒径的生物质粉末的给粉方式进行了改善, 提高了给粉的连续性、均匀性和精确

性。

## 1 给粉器类型的选择

为能采用同一给粉器分别实现生物质和煤粉的微量给料, 在选择给粉器的类型时, 给粉速率无法控制的刮吸式给粉器、毛细管式给粉器等无法采用; 由于生物质密度低, 与气流混合, 风粉混合物的密度较难控制, 流化式、叶轮式均无法使用。对煤粉, 通常使用的流化床式、电磁振动式给粉器给料均匀性较差, 精确度不高, 无法满足再燃实验的要求。虽然有些研究者进行了一些非标准给粉器的研究设计, 但往往较复杂, 较难控制。本试验选择使用螺旋杆式给粉器。螺旋杆式给粉器操作简便, 给粉速率易于控制, 经过改进, 可较好实现生物质和煤粉的微量给料。

## 2 两线螺旋杆式给粉器

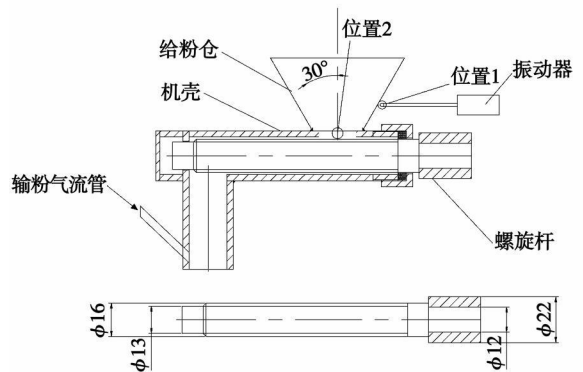


图 1 螺旋杆式给粉器

螺旋式给粉器如图 1 所示, 由给粉仓、螺旋杆、机壳、振动器、输粉气流管等组成。螺旋式给粉器是基于机械学原理, 利用螺旋杆的螺纹间隙, 通过螺旋槽的推力传送粉末。振动器将聚团的粉末打散, 避

免粉末团聚。螺旋杆置于给粉仓的底部,由电机驱动旋转,利用螺旋的转动将物料沿机壳推移,将物料送到圆管出口,输粉气流携带物料进入反应炉。这种给粉器对物料形状没有要求,传送粉末的粒径一般大于 15 μm。给粉速率可以通过调整电机转速或更换不同螺旋杆来调节。

本试验采用的螺旋杆,为不锈钢材料制成,两线螺旋。使用时,可根据给粉量大小更换不同螺旋杆。可采用多线螺旋杆,提高螺旋给粉器输送物料的精度和稳定性。对于多线螺旋杆,任意相对的两螺旋槽端口在任意位置的单位脉冲输出量互相补偿,使每次输送过程的最终阶段的单位脉冲输出量相等,性能比单线螺旋杆更优。试验所用电机为可调速电机,转速为 0~120 r/min,功率 40 W。振动器可以采用仓壁式;也可采用如图 1 所示的杆式振动器,分别在位置 1 和位置 2 振动。

### 3 煤粉/小粒径生物质给料的优化

螺旋式给粉器可以较好的实现某些粘性较低,流动性较好物料的微量给粉。但是煤粉,60 目筛下的小粒径生物质,在小尺寸给粉器的输送孔道中容易挂壁,将螺旋槽堵塞,在给粉仓内则容易压实。这主要是颗粒之间存在黏附力。煤粉、小粒径生物质颗粒之间的黏附力主要由附着水分的毛细管力,颗粒表面不平滑引起的机械咬合力,分子之间的引力导致的颗粒之间的引力,颗粒静电引起的引力等。粉末颗粒越小,比表面积越大,黏附力越大,物料颗粒之间以及颗粒与给粉器壁面之间发生挤压时,颗粒之间越容易“粘结”、粉末越容易团聚,物料会粘在给粉器孔道上发生挂壁,附着输送孔道的壁面上,发生不落料的现象,影响给粉的连续性。

虽然可以通过干燥在一定程度上改善煤粉、生物质粉末的流动性,但是粉末成团落下,使得再燃燃料和烟气混合的较差,影响再燃试验结果。

本试验采用硅胶粉末作为添加惰性添加剂,以进一步改善煤粉的流动性。硅胶成分为  $m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ,在燃烧反应、再燃反应中为惰性物质,既不参与反应也不起催化作用。硅胶粉具有较强的吸湿能力,且磨成粉后,颗粒粒径极细( $< 60 \mu\text{m}$ ),可将颗粒表面的凹陷处填满补平减低颗粒表面的粗糙性,从而降低了颗粒之间的毛细管力和机械咬合力,达到改善颗粒流动性的目的,起到较好的抗粘和助流的作用。硅胶粉的加入,可以避免发生不落料;使得从给料器出来的煤粉不再团聚,再燃燃料与模拟烟气

的混合更充分;给粉速率更均匀。

添加剂的加入对再燃燃料比表面积的影响较小。一方面由于添加剂的量较少;另一方面物料进入下料管之后,由于硅胶粉和煤粉密度不同,在输粉风和模拟烟气的作用下会发生分离,使得添加剂加入对固体再燃燃料比表面积的影响可以忽略不计。

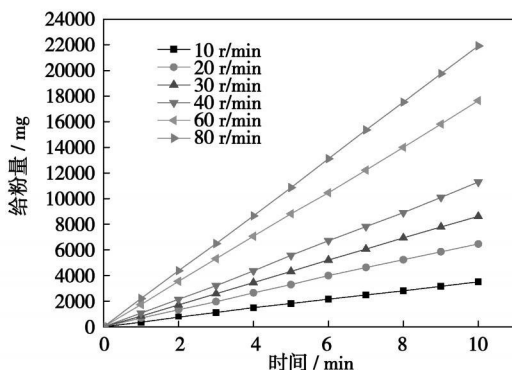


图 2 花生壳累积给粉量随时间的变化

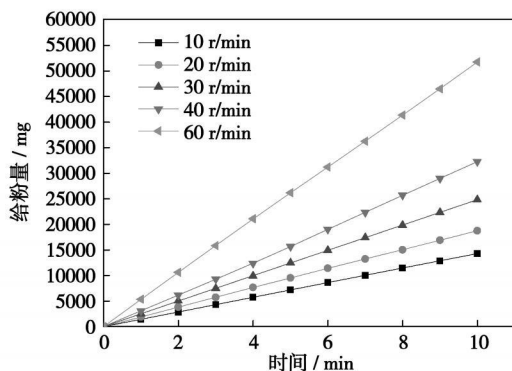


图 3 煤粉给粉量随时间的累积量

该方法经过大量试验,给粉的连续性、均匀性和精确性均得到改善。试验前,将硅胶磨成 250 目筛下的细粉,将煤粉在 105 °C 下干燥 2 h,掺加 5%~10% (wt%) 的硅胶粉;生物质在 70 °C 下干燥 3 h,掺加 5%~15% 的硅胶粉。对掺加硅胶粉和未掺加硅胶粉的煤粉和小粒径生物质分别进行了实验。试验发现,未加入硅胶粉的煤粉和小粒径生物质,由于极易团聚,发生断料现象,无法做出累积给粉量随时间变化的曲线;而加入硅胶粉的煤粉和小粒径生物质的流动性,无需加振动器即可满足连续、均匀给料的要求。图 2 和图 3 分别给出 100 目筛下的花生壳掺加 8% 硅胶粉时累计给粉量随时间的变化曲线,某电厂入炉前煤粉掺加 5% 的硅胶粉累积给粉量随时间的变化。实验数据表明给粉均匀、流畅,给粉速率可以得到精确控制。在转速 10 r/min 时,煤粉混合

物的给粉速率可达  $1.4 \text{ g/min}$  左右,可通过降低转速或更换不同的螺旋杆使实际给粉速率降低到小于  $1 \text{ g/min}$ ;花生壳混合物在  $40 \text{ r/min}$  时约为  $1.1 \text{ g/min}$ 。累计给粉量与时间呈线性关系,给粉速率在平均值上下  $4\%$  以内波动。

#### 4 大粒径生物质给料的优化

相对于煤粉和小粒径生物质粉末,大粒径(60目筛上)生物质颗粒之间的作用力要简单,且大粒径生物质颗粒之间较疏松,不会发生团聚、粘附。大粒径生物质在给料,不同形状的材料会出现不同的问题,主要为“架桥”(给粉斗底部的物料已流尽,上部的物料由于颗粒之间的机械咬合力不能下落,形成桥状)和沟流(在流固系统中,由于不均匀的流动,流体打开了一条阻力很小的通道,形成所谓沟,仅发生于局部则成为沟流)等现象,可以通过不同的振动方法解决。

易发生沟流的主要为大粒径的木屑等粒状生物质。对于60目筛上的大粒径粒状生物质,由于颗粒粒径较大,颗粒之间作用力主要为机械咬合力,其它作用力可忽略。由于木屑的形状为粒状,形状较为规则,密度比其它生物质大,木屑不会发生堵塞,但易发生沟流。可采用振动方式1,或使用仓壁式振动器,避免物料发生沟流。较好的保证给粉的均匀性、连续性和精确性。

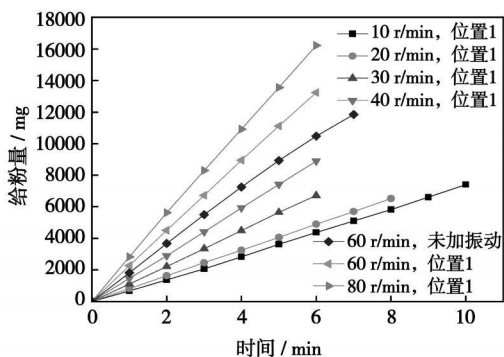


图4 木屑累积给粉量随时间的变化

易发生架桥的主要为粒径较大的稻壳、玉米秸秆等片状和纤维状的生物质颗粒。颗粒之间主要为机械咬合力,且机械咬合力较木屑颗粒要大,流动性较木屑差,密度低,在给料过程中易发生架桥。可采用振动位置2,在给粉仓内振动,物料随振动杆的振动,落向螺旋槽。

对20目筛下,40目筛上的木屑和玉米秆颗粒分别在位置1和位置2振动及不加振动时进行了试

验。试验结果如图4和图5所示,分别在位置1和位置2振动时,木屑在转速  $30 \text{ r/min}$  时,给粉速率为  $1.1 \text{ g/min}$  左右,玉米秆在  $60 \text{ r/min}$  时可达  $1.1 \text{ g/min}$  左右。累计给料量与时间呈线性关系,给粉速率在平均值上下  $4\%$  以内;而不加振动时,给粉速率在开始  $2\sim 3 \text{ min}$  内比较稳定,但之后由于发生沟流或架桥,给粉速率逐渐降低,其中易发生架桥的物料的给粉速率下降较快。

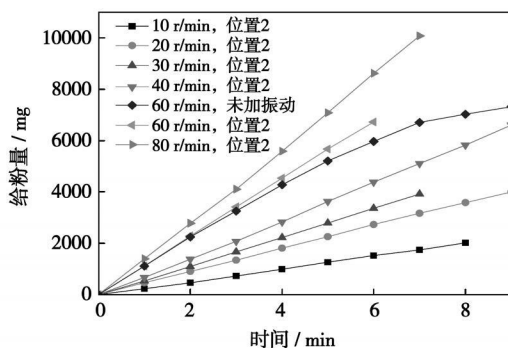


图5 玉米秆累积给粉量随时间的变化

#### 5 结论

采用多线螺旋进行生物质、煤粉的微量给料时,对煤粉和小粒径生物质采用预先干燥并添加对惰性添加剂方法,使得物料的流动性增强,可以使得给料时不再发生团聚、堵塞的现象;对大颗粒生物质,采用特殊的振动方式,使得生物质给料不再发生架桥、沟流现象。采用上述2种方法的改进,不仅避免了给料时发生断料、不落料现象的发生,煤粉和生物质均可满足给粉速率小于  $1 \text{ g/min}$  的要求,而且提高了给粉的连续性、均匀性,给粉速率在平均值上下  $4\%$  以内,并具有较好的重现性,满足了小型再燃试验台微量给粉和高的给粉精度的要求。

#### 参考文献:

- [1] 张杰,高铁瑜,渠亚东,等.微细微量螺旋加料器的试验研究[J].热能动力工程,2004,19(3):278-280
- [2] 刘辉,李可夫,葛健,等.微量给粉装置的调试及标定[J].锅炉技术,2005,36(5):51-54
- [3] 付国民,王佐民,刘伟军.微量给粉装置的设计与实验[J].哈尔滨理工大学学报,2004,9(3):8-10
- [4] WEI YIN CHEN, BENSON B, Gathitu. Design of mixed fuel for heterogeneous reburning[J]. Fuel, 2006, 85: 1781-1793
- [5] 机械设计手册联合编写组.机械设计手册[M](第二分册).北京:化学工业出版社,1992

(编辑 韩锋)

absorbent added, the decarbonation efficiency and the CO<sub>2</sub> volumetric concentration in the discharged flue gas was calculated at different average carbonation conversion rates. **Key words:** Aspen Plus, calcination, carbonation, CO<sub>2</sub> separation

非等温柴油液滴对流蒸发的热膨胀与环境压力影响分析 = **Heat Expansion Caused by Convective Evaporation of Non-isothermal Diesel Oil Droplets and Analysis of its Effect on Ambient Pressure** [刊, 汉] / SUN Feng-xi-an, JIANG Ren-qiu (College of Power and Energy Engineering, Harbin Engineering University, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(3). — 311 ~ 315

Based on a model for a non-isothermal liquid droplet evaporation with inner temperature gradient and heat expansion being taken into account, studied through a numerical simulation were the heat expansion caused by diesel oil droplet evaporation in a hot convection atmosphere and its effect on ambient pressure. Under the condition of considering the thermo-physical properties of liquid droplets and gas flow being under momentary changes with their temperature, pressure and constituents, through calculations, the curves showing the change in evaporation droplet radius in different hot atmospheres were obtained along with a comparison of the difference in the predicted results of droplet evaporation whether the heat expansion is taken into account or not. The research results show that there exists an obvious heat expansion in the convective evaporation process of diesel oil droplets, which can cause the life of liquid droplets to be shortened by over 10%. The effect of the ambient pressure exhibits a non-monotonous nature and may reverse under certain hot environmental conditions. **Key words:** non-isothermal liquid droplet, diesel oil, convective evaporation, heat expansion, ambient pressure

间接内重整固体氧化物燃料电池的建模与仿真 = **Modeling and Simulation of the Fuel Cell of an Indirect Internally Reformed Solid-oxide** [刊, 汉] / WANG Jin-li, ZHANG Hui-sheng, WENG Shi-lie (Education Ministry Key Laboratory on Turbo-machinery and Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200240) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(3). — 316 ~ 320

A one-dimensional dynamic mathematic model was established for a fuel cell based on a catalytic-coating reformer and featuring an indirect internally reformed solid oxide. On the basis of the constituents and energy conservation and with an electrochemical model being taken into account, a simulation model of the fuel cell in question was established based on the distributed-lumped parameter technology and modularization concept. The model under discussion can not only reflect the distribution parameter characteristics of the fuel cell but also meet the demand for dynamic simulation. The steady-state performance of a SOFC (solid-oxide fuel cell) was analyzed at an operating condition and the simulation of a dynamic process was conducted by using the model in question. The research results show that the model can reflect the basic performance of the indirect internally reformed SOFC. **Key words:** indirect internally reformed SOFC (solid oxide fuel cell), catalytic coating reformer, distributed-lumped parameter, modeling, simulation

生物质/煤粉微量给料的实现与优化 = **Implementation and Optimization of Biomass/Pulverized Coal Micro-feeding** [刊, 汉] / XU Xiang-qian, GONG Zhi-qiang, LU Chun-mei, ZHANG Meng-zhu (College of Energy Source and Power Engineering, Shandong University, Jinan, China, Post Code: 250061) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(3). — 321 ~ 323

To solve a variety of problems occurring in small-sized reburning test stands when pulverized coal and biomass are micro-fed, such as proneness to get sticky and clogged, non-uniform feeding and low accuracy, a two-wire screw-rod type feeder of pulverized coal was used to conduct a micro-feeding test. For pulverized coal/biomass of a small and large particle diameter, various methods, such as pre-drying and adding silicon gel powder in an amount of 5%—10% by weight and shaking at special locations, were adopted respectively to avoid the occurrence of agglomeration and rivulet flow phenomena, meet the requirement to limit the pulverized coal feeding rate at less than 1 g/min, and greatly improve the continuity and uniformity of the feeding. The feeding rate is usually within a range of 4% above or below the averaged rate. The methods under discussion feature high accuracy and good repeatability. **Key words:** micro-feeding, pulverized coal, biomass particle, spiral feeder, inertial additive