

微细微量螺旋加料器的试验研究

张 杰^{1,2}, 高铁瑜¹, 渠亚东², 惠世恩¹

(1. 西安交通大学 能源与动力工程学院, 陕西 西安 710049;

2. 河北工程学院 城市建设系, 河北 邯郸 056038)

摘 要: 对自行设计的几种型式微细微量固体颗粒加料器进行试验研究, 得出适于物料不同颗粒直径下小流量的加料杆型式。结果表明, 对于 Sauter 平均直径在 $90\mu\text{m}$ 左右的金刚砂粒子, 压力螺旋加料杆最小流量可为 $0.4\text{g}/\text{min}$; 对于 Sauter 平均直径在 $40\mu\text{m}$ 左右的金刚砂粒子, 两线松弛螺旋加料杆最小流量可为 $0.6\text{g}/\text{min}$ 。操作简便可靠、量化准确的微细微量固体颗粒加料器对于气固两相流试验研究给粉均匀、连续、稳定具有重要意义。

关 键 词: 气固两相流; 螺旋; 加料杆; 松弛; 多线

中图分类号: TK223.24 文献标识码: A

1 引 言

近年来, 不少学者致力于煤在循环流化床燃烧条件下氮的迁徙规律的研究。实验台需要实现微细微量固体颗粒的添加, 其流量每秒只有几十毫克或更少的数量级。

对于这样小的流量范围, 加料器孔道尺寸会很小。同时, 粒子的尺寸也十分小(范围为 $5\mu\text{m} \sim 200\mu\text{m}$)。粒子尺寸的减少, 使微粒的比面积增大, 粒子间粘附力增加, 物料粒子变得很“粘”, 流动性很差。这将使加料器下料发生严重的挂料, 甚至有不落料的现象发生^[1]。目前尚没有现成的商品加料器可供使用, 如果对现有大流量固体颗粒加料器按比例缩小, 试验中将会出现物料的堵塞、加料杆的卡涩等现象, 即使加装搅拌或振动装置, 也很难达到试验要求^[2]。加料器的核心部分是加料杆, 因而本文在参考已有固体颗粒加料器的基础上, 用试验方法研究了松弛和多线螺旋加料杆的新型加料器, 作为添加微细微量固体颗粒的一种探索。

2 螺旋加料型式

试验研究的螺旋加料杆共有四种不同形式, 它

们分别是: 普通梯形螺旋加料杆、压力螺旋加料杆^[3]、两线松弛螺旋加料杆、三线螺旋加料杆, 如图 1 所示。通过标定试验对它们进行比较, 得出适于小粒子微量添加的加料杆形式。试验采用的螺旋加料杆材料为不锈钢 1Cr18Ni9Ti, 外径均为 16mm , 螺旋长度 65mm 。在考虑输送效率、齿根强度的前提下, 又对不同齿型(三角形、矩形、锯齿形、梯形)进行了考虑^[4], 选定梯形螺旋。

3 试验结果及分析

通过对四种不同形式的螺旋杆加料进行标定试验, 绘制了累计重量与时间、流量与转速关系特性曲线, 得出螺旋加料杆型式、微粒尺寸、转速对加料特性的影响。试验采用的粒子是 Sauter 平均直径为 $40\mu\text{m}$ 左右和 $90\mu\text{m}$ 左右的金刚砂磨料, 其松密度为 $1430\text{kg}/\text{m}^3$ 。试验粒子的显微放大照片及型谱分布结果见图 2。

由图 3(a)、(c)可以看出: 在物料粒子平均直径 $90\mu\text{m}$ 左右时, 普通梯形螺旋加料杆和压力螺旋加料杆试验曲线的试验点连线的斜率基本一致, 反映出它们的加料性能(均匀、连续性、稳定性)较好。而在物料粒子平均直径 $40\mu\text{m}$ 左右的试验中, 发现它们的加料连续性很差, 在较高转速下甚至出现不落料现象的发生。这是由于微粒直径的减小, 物料比面积增加, 微粒间的粘附力增加, 使物料粒子变得很“粘”, 而普通梯形螺旋加料杆和压力螺旋加料杆输送力不足以克服阻力, 使加料器下料发生“断续”, 甚至有不落料现象的发生。

从物料粒子平均直径 $90\mu\text{m}$ 左右累计重量与时间的关系曲线(图 3(a)~(d))可以看出: 三线螺旋加料杆和两线松弛螺旋加料杆加料均匀、连续性

要比普通梯形螺旋加料杆和压力螺旋加料杆更好一些。这是由于多线(两线、三线等)螺旋与具有相同公称直径及螺距的单线螺旋相比,螺旋升角较大,对物料推力较小,因而对于细小的颗粒输送的能力也强。虽然微细颗粒粘附力较大,松弛系数也较大(物料对螺旋加料滞后性强),三线螺旋加料杆及两线松弛螺旋加料杆也能够实现连续、均匀、稳定的加料。松弛螺旋加料杆其结构是沿螺旋旋进方向齿深逐渐增加,这也有利于减小物料和加料杆间的摩擦阻力。

由图 4 可以看出:物料粒子平均直径 $40\ \mu\text{m}$ 时,在相同转速下,由于松弛螺旋加料杆沿螺旋旋进方向齿深逐渐增加(相当于沿螺旋旋进方向增加了动静间隙),因而物料颗粒相对于加料杆的滞后明显增加,使两线松弛加料杆流量只有三线螺旋加料杆流量的三分之一,因而从实现微量流量加料的角度上

说,松弛螺旋加料杆更有利。从图 3、图 4 还可以看出:在低转速($25\ \text{r}/\text{min}$ 、 $37.5\ \text{r}/\text{min}$)下,三线螺旋加料杆和两线松弛螺旋加料杆的均匀性、连续性明显优于梯形螺旋加料杆及压力螺旋加料杆。说明了螺旋加料杆线数的增加,有利于保证物料下落的均匀和连续性(特别是在低转速下)。随着转速升高,各种螺旋加料杆的均匀性和连续性都有所提高。一方面,由于电机、减速器在低负荷时转速有一定波动,随转速的升高,情况有所改善;另一方面,低转速时电机扭矩较小,动静间隙的摩擦力变化对落料也有所影响,随着转速升高,其影响也变小。

图 5(a)是在物料平均直径 $90\ \mu\text{m}$,各种螺旋加料杆的流量与转速关系特性曲线。可以看出:低转速($25\ \text{r}/\text{min}$ 、 $37.5\ \text{r}/\text{min}$)下,曲线斜率较小;随着转速升高,曲线斜率也逐渐升高,并基本维持不变。流

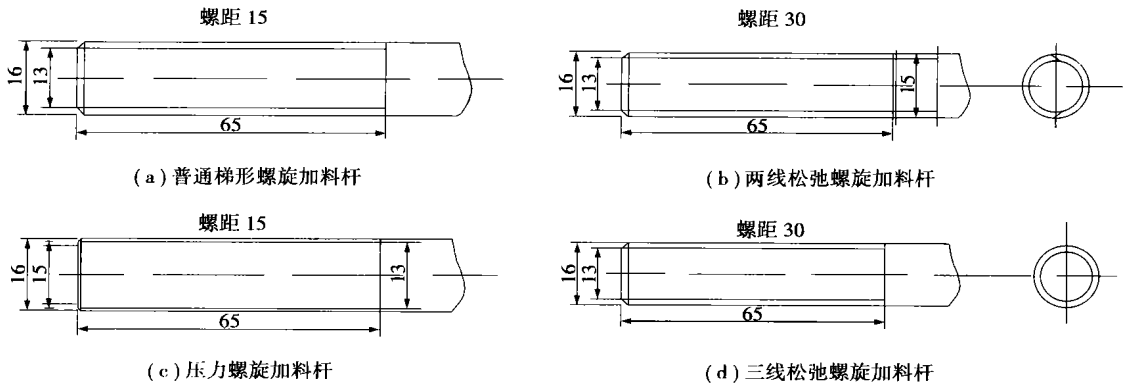


图 1 不同型式的螺旋加料杆

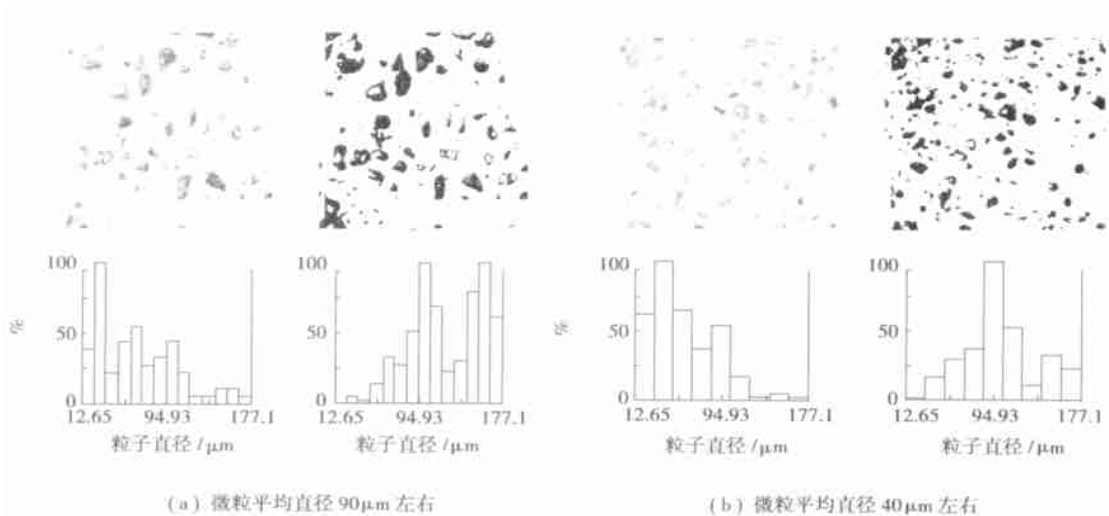


图 2 金刚砂显微照片及型谱分析图

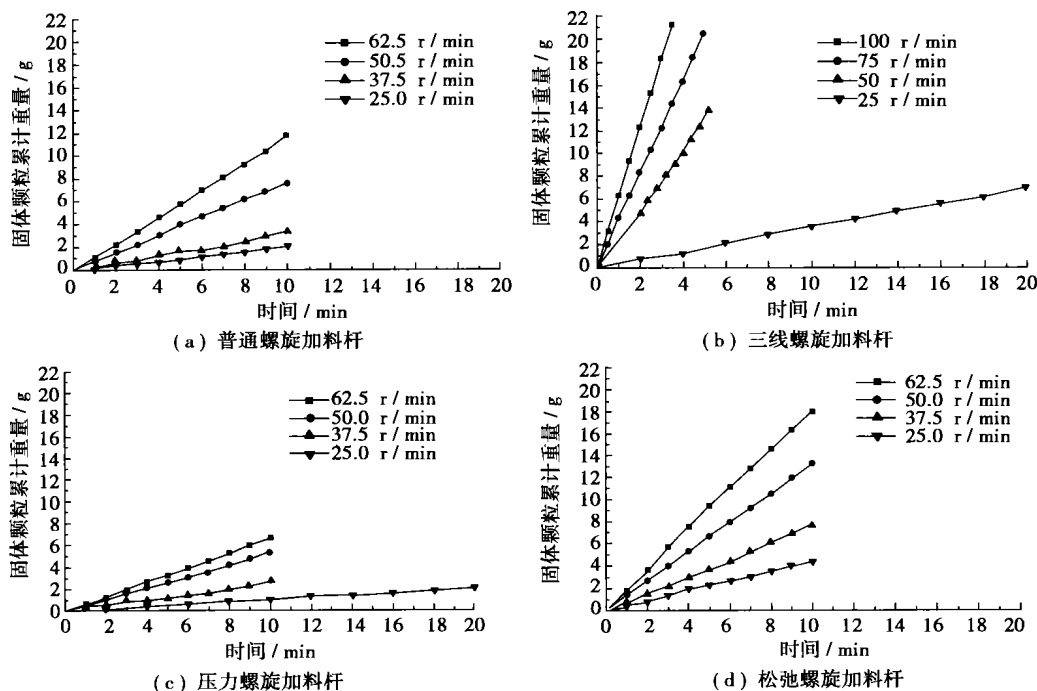


图 3 不同加料杆重量与时间关系特性(微粒平均直径 90 μm 左右)

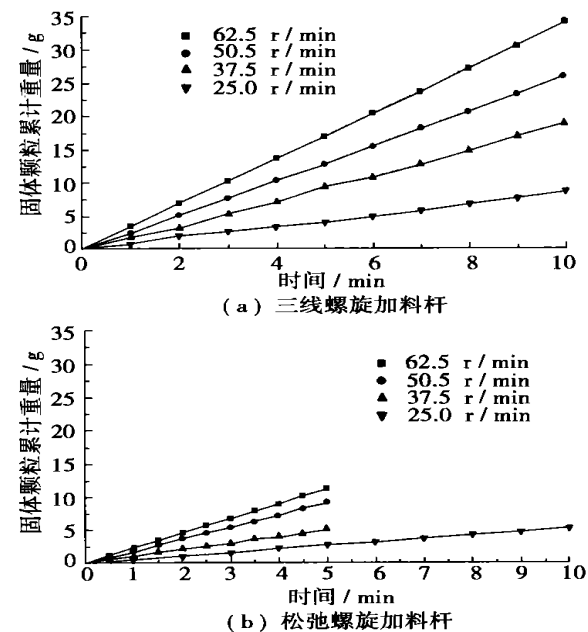


图 4 不同加料杆重量与时间关系特性(微粒平均直径 40 μm 左右)

杆和松弛螺旋加料杆,斜率变化最大的是三线螺旋加料杆。斜率变化小说明在一定的转速调节范围内,更容易实现对流量的精确控制,这在微量流量控制时很关键。从图 5(b)可以明显看出:在物料微粒平均直径 40 μm 时,松弛螺旋加料杆在微量流量控制方面优于三线螺旋加料杆。

4 结 论

本文通过对四种不同形式螺旋加

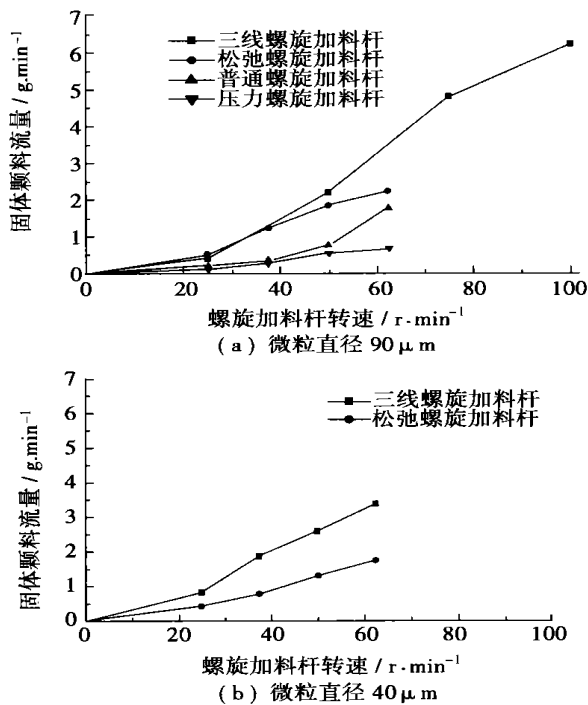


图 5 不同加料杆流量转速关系特性

量与转速大致呈线性关系。螺旋式加料杆在低转速时流量—转速特性曲线的斜率明显小于中速(50 r/min、62.5 r/min)时的曲线斜率,其中,压力螺旋加料杆斜率变化最小,其次是普通梯形螺旋加料

料杆进行的标定试验,得出结论如下:

(1) 对于较粗的物料(颗粒平均直径 90 μm),普通梯形螺旋、压力螺旋、两次松弛螺旋、三线螺旋加

(下转第 291 页)

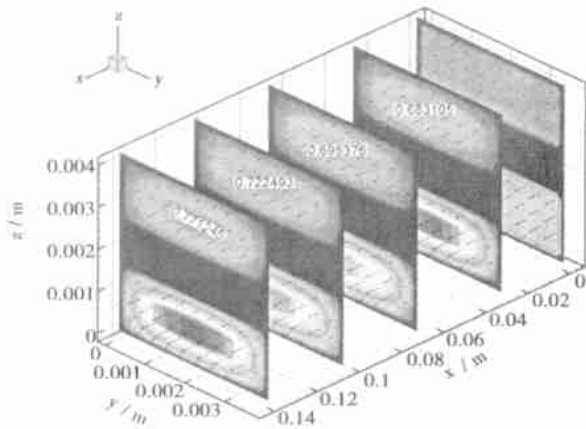


图5 速度分布

采用本模型对燃料电池动态性能进行数值模拟,可以得到与实验结果一致的预测分析结果,应用该方法结合小尺度的实验和数值模拟技术,可以对大型高温燃料电池的输出性能进行数值预报。该数学模型及其数值模拟方法对高温燃料电池的研究以及今后燃料电池的大型化设计都具有十分重要的意义。

(上接第280页)

料杆都能够实现较好的加料。其中,压力螺旋加料杆流量较其它几种螺旋加料杆小,易于实现小流量控制(0.1~0.6 g/min);

(2) 对于较细的物料(颗粒平均直径40 μm),由于普通梯形螺旋、压力螺旋输送力不足,使得下料有断续、不落料现象的发生。而两次松弛螺旋、三线螺旋加料杆能够较好地实现落料。两次松弛螺旋加料杆的加料特性优于三线螺旋加料杆,并且流量较小(0.4~0.1 g/min);

(3) 对于微细颗粒的小流量物体颗粒加料的实现,主要是输送力与摩擦阻力之间的矛盾。螺距、线数、导程、螺旋形式、螺旋升角等加料杆参数对加料特性均有影响。其它因素,如:不同物料种类、对物

参考文献:

- [1] HE W, CHEN Q. Three-dimensional simulation of a molten carbonate fuel cell stack under transient conditions[J]. *Journal of Power Sources*. 1998, 73(2): 182-192.
- [2] KOH J, KANG B, LIM H C. Effect of various stack parameters on temperature rise in molten carbonate fuel cell stack operation[J]. *Journal of Power Sources*. 2000, 91(2): 161-171.
- [3] 张会生,刘永文,苏明,等.高温燃料电池-燃气轮机混合发电系统性能分析[J]. *热能动力工程*, 2002, 17(2): 118-121.
- [4] 费祥麟. *高等流体力学*[M]. 西安:西安交通大学出版社, 1993. 9-12.
- [5] 童景山. *流体热物理性质的计算*[M]. 北京:清华大学出版社, 1981.
- [6] 于立军,曹广益. 熔融碳酸盐燃料电池实验研究[J]. *上海交通大学学报*, 2001, 35(8): 1250-1252.
- [7] SHEN CHENG, ZHU XINJIAN, CAO GUANGYI. Development and experimental research of kW-scale molten carbonate fuel cells[J]. *High Technology Letters*. 2002, 8(1): 86-91.
- [8] 陶文铨. *数值传热学*[M]. 西安:西安交通大学出版社, 1988.

料是否进行烘干,固体粒子与加料杆摩擦系数、落料口尺寸等因素都会使加料特性有所差异。综合考虑上述因素的影响,才能够实现对微量微细固体颗粒均匀、连续、稳定地添加。

参考文献:

- [1] 鲁丁格 G. *气体-颗粒流基础*[M]. 北京:国防工业出版社, 1986.
- [2] BUCHNIAN H, SCHOENNAGEL J. Moving CUP particulate feeder used in laboratory FCC unit[R]. A Research and Development Corporation Central Research laboratory, Princeton, NJ08543-1025. 1996.
- [3] 谭厚章. 四墙切圆水平浓淡燃方式试验研究与数值模拟[D]. 西安:西安交通大学, 1998.
- [4] 机械设计手册联合编写组. *机械设计手册(第二分册)*. 北京:化学工业出版社, 1992.

(渠源 编辑)

三维内肋螺旋管内强化换热实验= **Experimental Research on Intensified Heat Exchange in a Three-dimensional Internally Finned Helical Pipe** [刊, 汉] / LI Long-jian, XIN Ming-dao CUI Wen-zhi (Power Engineering Institute under the Chongqing University, Chongqing, China, Post Code: 400044) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(3). — 270~273

Tests and measurements were performed to investigate the flow and heat transfer performance in a three-dimensional internally finned helical pipe with a curvature of 0.066 3 and measurement section length of 1.15 m. With water serving as a working medium tests were carried out in a spiral bare pipe and a three-dimensional internally finned pipe of two different structural dimensions. The range of Reynolds number is $Re = 1\ 000\text{--}8\ 500$. The test results indicate that a relatively high intensification of convection heat exchange can be achieved in the spiral pipe by the use of three-dimensional inner fins, which is accompanied by a moderate increase in flow resistance. In comparison with bare spiral pipes without fins the average intensification ratio of heat exchange for the two kinds of three-dimensional internally finned pipe within the range of measured flows can reach 1.71 and 2.03 respectively with the thermodynamic performance factor being assessed at 1.2 - 1.66. **Key words:** spiral tube, ribbed tube, intensified heat transfer

大加速度场中层流扩散火焰流场的数值计算= **Numerical Calculation of Laminar Flow Field of a Diffusion Flame in a High Acceleration Field** [刊, 汉] / DONG Zhi-guang (Department of Urban Construction, Hubei Engineering Institute, Handan, China, Post Code: 056038), WU Jin-xiang, LIU Zhi-kai (Department of Thermal Energy Engineering, Hubei Polytechnical University, Tianjin, China, Post Code: 300130), DONG Zhi-hui (Handan Municipal Planning Design Institute, Handan, China, Post Code: 056006) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(3). — 274~277

A numerical calculation method is proposed for calculating the laminar flow field of a combustor in a high acceleration field and a mathematical model for two-dimensional laminar flow combustion in the high acceleration field was set up. A control equation group was discretised. A SIMPLE algorithm and a staggered grid design were adopted and the relevant program was debugged. On the basis of the successfully debugged program a numerical simulation of the diffusion combustion process was performed of methane and air in the high acceleration field. The results of the calculation indicate that the uniform and high acceleration field along the axis of the combustor will exercise a significant influence on the velocity and temperature fields of the diffusion flame. On the one hand, it has intensified the diffusion/mixing process of the fuel and air, resulting in a length-reduction and thickening of the diffusion flame shape and a rise in flame surface temperature and thus enhancing its combustion speed. On the other hand, due to a floating force action the high-temperature air flow will assume a direction opposite to that of the fuel jet flow, which would produce a unstable flow field structure, triggering a unstable combustion process. **Key words:** high acceleration field, combustion, numerical simulation

微细微量螺旋加料器的试验研究= **Experimental Research on a Micro-particle and Micro-quantity Screw Feeder** [刊, 汉] / ZHANG Jie, GAO Tie-yu, HUI Shi-en (College of Energy & Power Engineering under the Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(3). — 278~280, 291

An experimental study of several types of self-designed micro-particle and micro-quantity solid-particle feeder has resulted in the identification of micro-quantity feeding rod types suitable for materials of different particle diameters. It is found that when carborundum particles have a Sauter mean diameter around 90 μm the pressure screw-feeding rod can accommodate a minimum flow of 0.4 g/min. With the carborundum particles assuming a Sauter mean diameter of 40 μm the two-wire relaxation screw feeder rod can attain a minimum flow rate of 0.6 g/min. A micro-particle and micro-quantity solid particle feeder featuring simple and reliable operation with an accurate quantification can be crucial for a uniform, continuous and stable feeding of powder during the experimental study of gas-solid two-phase flows. **Key words:** gas-solid two-phase flow, screw, feeding rod, relaxation, multi-wire

基于辐射能检测的智能燃烧进化优化系统研究= **A Study of the Optimization System of Radiation Energy Detection-based Intelligent Combustion Evolution** [刊, 汉] / MA Tao, XU Xiang-dong, WANG Xin-xin (Department of