

高压浓相粉煤气力输送试验研究

梁 财, 赵长遂, 陈晓平, 蒲文灏

(东南大学洁净煤发电及燃烧技术教育部重点实验室, 江苏 南京 210096)

摘 要: 在输送压力可达 4.0 MPa, 固气比高达 500 kg/m³ 的高压气力输送试验台上, 用氮气进行粉煤高压浓相气力输送试验研究。分别在不同的输送差压、充压风量和流化风量等条件下进行了输送试验, 考察操作参数对煤粉质量流量和固气比等气力输送特征参数的影响。结果表明, 煤粉的质量流量随着输送差压和充压风量的增大而增大; 输送压力越高, 差压的变化对煤粉的质量流量的影响越显著; 固气比随着输送差压和充压风量的升高而增加, 随着流化风量的增大先增大后减小; 输送压力越高, 固气比越大; 保持进入发料罐的气体总量不变, 当 $Q_i < 0.55 \text{ m}^3/\text{h}$ 时, 充压风量的变化对输送参数的影响主导作用, 当 $Q_i > 0.55 \text{ m}^3/\text{h}$ 时, 流化风量的变化对输送参数的影响较大。

关 键 词: 气力输送; 高压; 固气比; 质量流量

中图分类号: TQ536 文献标识码: A

符号说明

- G_s —煤粉的质量流量/ $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$;
- μ —固气比/ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$;
- Q_f —流化风流量/ $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$;
- Q_p —充压风流量/ $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$;
- Q_i —注入发料罐的风量/ $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$;
- ΔP —输送差压/MPa;
- P_1 —发料罐压力/MPa;
- P_2 —收料罐压力/MPa

引 言

高压浓相煤粉气力输送是大规模煤气化关键技术之一^[1~2]。在干粉气流床加压气化装置中, 煤粉被高压惰性气体输入气化炉内, 入炉的惰性气体最终混合在产出的煤气中。采用高压浓相气力输送装置, 提高了单位体积气体的输送能力, 不仅降低了输送成本, 提高输送效率, 而且提高了煤气品质。因此大规模煤气化中采用高压浓相气力输送供煤。

目前干煤粉加压浓相气力输送的供煤系统主要

有两种: 一种是 Shell 和 Prenflo 方式, 另外一种罐是 GSP 方式。在气力输送技术上, 两种均为发料输送。Shell 和 Prenflo 的系统如图 1 所示, 发料罐采用下出料式及浓相管路输送, 每个发料罐可同时向气化炉的两个喷嘴供煤。一般通过调节发料罐的压力和输送气体流量来调整给煤量和固气比, 输送气体可用 N₂、CO₂ 和合成气, 输送固气比约为 480 kg/m³。GSP 系统如图 2 所示, 发料罐采用上出料式及浓相管路输送, 在底部供给输送气体, 输送固气比约 500 kg/m³。

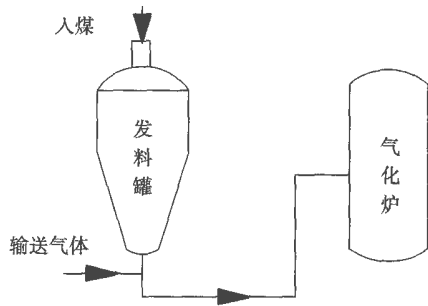


图 1 Shell 气化炉供煤系统示意图

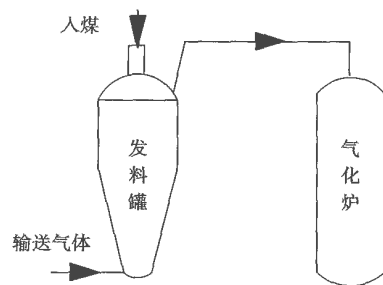


图 2 GSP 气化炉供煤系统示意图

关于粉体的密相输送, 有了许多有价值的研究

收稿日期: 2006-05-27; 修订日期: 2006-08-22

基金项目: 国家重点基础研究发展计划基金资助项目(2004CB217702-01)

作者简介: 梁 财(1980-)男, 安徽濉溪人, 东南大学博士研究生。

成果¹⁻⁸, 被广泛应用于化工、发电、制药和食品等行业。一般来说, 这些系统主要在低压下工作。由于高压浓相输送中速度较低, 固相浓度过高, 流动形态复杂, 系统的输送技术要求和条件与一般输送系统相差较大, 可借鉴的资料和经验很少, 尚无成熟理论依据可以参照, 所以只能依赖对真实系统进行试验研究, 获取其流动规律。本文针对自主创建的高压超浓相气力输送系统进行了相关试验研究, 通过改变输送压力、差压和风量等实验条件, 掌握了煤粉质量流量、固气比的变化规律, 给出了高压超浓相气力输送的特性与规律。对于高压超浓相输送系统的设计、控制和运行具有非常重要的指导作用。

1 试验系统

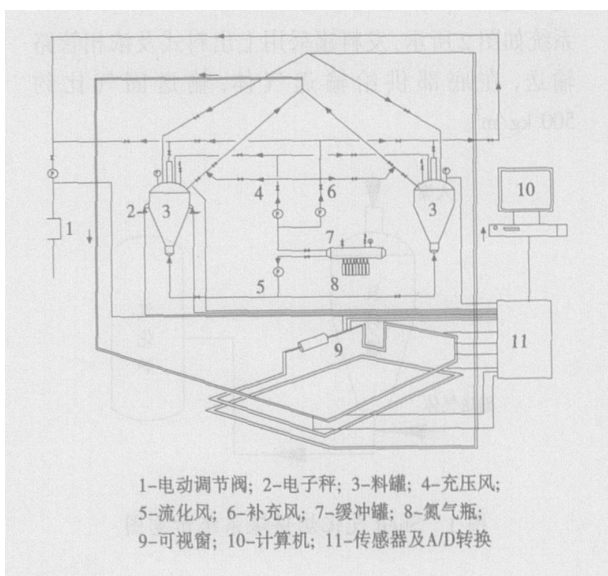


图3 高压超浓相气力输送试验台系统图

研究采用上出料式煤粉发料罐。高压超浓相气力输送试验系统如图3所示, 高压氮气经过缓冲罐分成充压风、流化风和补充风三路, 发料罐中的煤粉经过流化风流化后经提升段进入输送管道, 在发料罐出口引入补充风增强输送能力, 充压风则维持发料罐的压力不变。收料罐压力由排气管道上的电动调节阀根据设定值自动控制。发料罐和收料罐体积均为 0.648 m^3 , 输送管为 $\phi 16 \times 3 \text{ mm}$, 输送距离为 45 m , 煤粉实时质量由3个高精度箔式电子秤称量。压力传感器及差压传感器分别采用瑞士 Keller 公司生产的 PA-21SR 和 PD-23 型, 精度为 0.3% ; 充压风、流化风和补充风流量采用 AM-1521Q 型金属管转子流量计测量。压力、差压、重量和流量信号经过

数据采集 A/D 转换板进入计算机存储和处理。被输送物料平均粒径为 $36 \mu\text{m}$, $\rho_s = 1350 \text{ kg/m}^3$ 的煤粉, 输送风为压缩氮气。缓冲罐气源最高压力为 4.8 MPa 。

2 试验结果与讨论

在上述试验装置中, 通过改变输送差压、流化风流量和充压风流量等输送条件, 研究气力输送过程中煤粉的质量流量、气体的输送能力和固气比变化规律, 掌握了本系统的输送特性和规律。

2.1 流化风量对固气比的影响

流化风穿过多孔底板进入发料罐, 在一定的气流速度下利用气体的动能把煤粉颗粒悬浮起来。这时, 颗粒间彼此稍有分离, 并且可以前后左右移动, 呈现出液体的特性。在试验过程中, 输送差压不变, 每条曲线的输送压力保持稳定。流化风量对固气比的影响如图4所示。

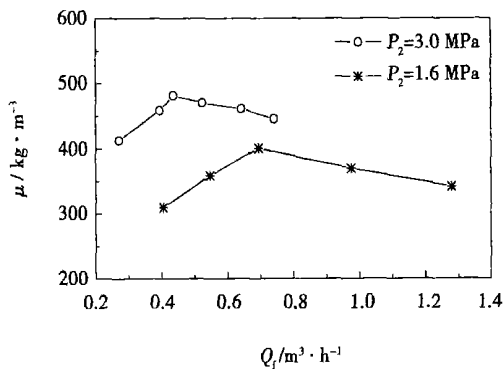


图4 流化风量与固气比之间的关系

输送固气比是指输送的固体流量与输送气体的流量之比, 分为质量固气比、体积固气比和质量/体积固气比。在此选用质量/体积固气比, 能够较直观地反映出单位体积气体的输送能力。流化风量对固气比的影响如图4所示, 随着流化风流量的增大, 固气比先增大后减小。流化风量较小时, 布风板上部煤粉流化效果较差, 煤粉颗粒之间的距离较小, 运动起来的摩擦较大, 输送比较困难, 单位体积的输送气体输送煤粉量较小, 固气比较低; 随着流化风量的增大, 煤粉流化效果好转, 呈现出流体性质, 输送浓度升高, 固气比增大; 当流化风量很大时, 布风板上部的煤粉被更多的风量流化, 两相流浓度开始降低, 输送固气比开始减小。从图4中还可以发现, 在其它

条件相同的情况下, 输送压力越高, 固气比就越大。

2.2 输送差压对煤粉质量流量、固气比的影响

气力输送中, 输送差压是提供输送动力的来源, 差压的大小直接决定输送气体可转化势能的大小。保持流化风和发料罐压力不变, 通过调节收料罐的压力来改变输送差压。煤粉的质量流量和固气比的变化趋势如图 5 和图 6 所示。

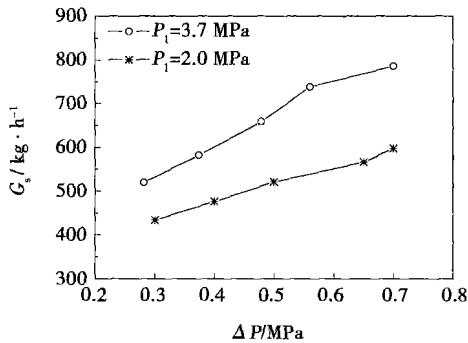


图 5 输送差压与煤粉质量流量之间的关系

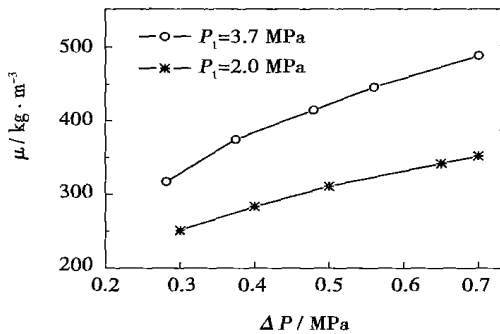


图 6 输送差压与固气比之间的关系

煤粉的质量流量随输送差压的变化趋势如图 5 所示, 随着输送差压的增大, 煤粉的质量流量增大。因为在输送差压增大的过程中, 输送气体的可转化静压增大, 气体携带能力大大增强。另外, 差压增大造成输送气体膨胀, 体积变大, 相当于提高了出口速度, 单位时间内输送的煤粉质量增加, 所以随着差压的增大, 煤粉的质量流量增大。在相同的输送差压和流化风量情况下, 输送压力越高, 单位体积的输送气体的携带能力越强, 所以煤粉的质量流量越大。在输送差压从 0.3 MPa 增大到 0.6 MPa 的过程中, 输送压力 3.7 MPa 和 2.0 MPa 下煤粉质量流量分别增 220 kg/h 和 140 kg/h 左右, 说明输送压力越高, 输送差压对煤粉质量流量的影响越显著。

固气比与输送差压之间的关系如图 6 所示, 固气比随着输送差压的增大而增大。这是因为输送差压的升高, 导致煤粉的质量流量增大, 输送气体的质量不变, 虽然因为差压增大下游处气体体积有所膨胀, 但其增加的程度远抵不上煤粉质量流量增大的幅度, 固气比升高就成为了必然。在相同输送差压和流化风量情况下, 输送压力越高, 煤粉的质量流量越大, 而气体的输送体积基本保持不变, 所以输送压力越高, 固气比越大。

2.3 充压风对煤粉质量流量、固气比的影响

充压风主要用于控制发料罐内压力, 将煤粉压入输送管路^[8]。这里将充压风流量 Q_p 定义为进入发料罐内的总充压风流量 Q_a 除去置换煤粉体积的那部分充压风流量 Q_r 。在试验过程中保持流化风流量不变, 每条曲线的收料罐压力不变, 发料罐压力略有变化, 改变充压风流量。煤粉的质量流量、固气比与充压风流量之间的关系如图 7 和图 8 所示。

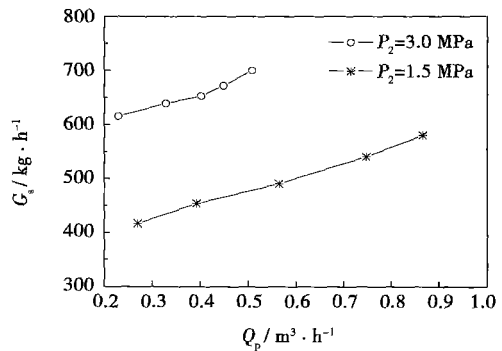


图 7 充压风量与煤粉质量流量之间的关系

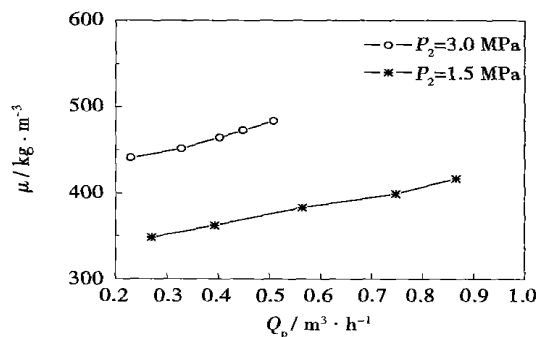


图 8 充压风量与固气比之间的关系

充压风量与煤粉的质量流量的关系如图 7 所示, 随着充压风量的不断增大, 煤粉的质量流量不断增大。这因为在充压风增大的过程中, 一部分充压

风从煤粉层阻抗最薄弱的部分穿透,从提升段进入输送管路,导致两相流出口速度增加,煤粉的质量流量增大;另一部分充压风使发料罐内压力略有升高,而收料罐压力保持不变,这导致发送压力和输送压差均增大,煤粉质量流量增大。

充压风量与固气比之间的关系如图 8 所示,输送过程中的固气比随着充压风量的增大而增大。在充压风量增大的过程中,充压风使发料罐内压力升高,而收料罐压力保持不变,这导致发送压力和输送压差均增大,固气比增加,虽然有部分充压风气体穿过煤粉层进入输送管路,有减小固气比趋势,但气量相对较少,影响较小,所以随着充压风量的增大,固气比不断增大。

2.4 注入发料罐的风量不变时流化风量所占的份额对固气比的影响

在试验过程中,每条曲线的收料罐压力不变,流化风和充压风流量之和 Q_t 保持不变,逐渐改变各路风量所占的份额。固气比随流化风流量所占份额变化而变化趋势如图 9 所示,随着流化风流量的增大,输送固气比先减小再增大最后又减小。试验过程中流化风量和充压风量之和保持不变,流化风量增大,充压风量则减小。固气比的变化趋势为两路风的共同作用的结果,当 $Q_f/Q_t < 0.55 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,充压风对固气比的影响较大,充压风流量的减小造成固气比减小;当 $Q_f/Q_t > 0.55 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,流化风对固气比的影响占主导地位,充压风流量的减小对固气比的影响相对较小,随着流化风的增大,输送固气比先增大后减小。

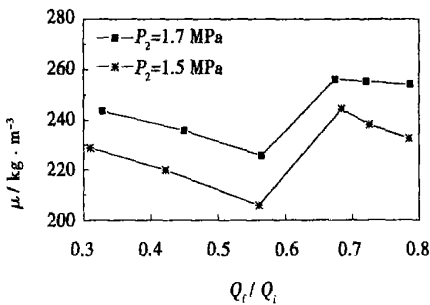


图 9 流化风流量份额与固气比的关系

(何静芳 编辑)

3 结 论

(1) 在其它输送参数不变的情况下,固气比随着流化风量的增大先增大后减小;输送差压越高,固气比越大;

(2) 煤粉的质量流量和固气比随着输送差压的升高而增大;压力越高,输送差压的变化对煤粉的质量流量的影响越显著;

(3) 充压风量增大,煤粉的输送固气比和质量流量均增大;

(4) 保持进入发料罐的气体总量不变,随着流化风流量的增大,输送固气比先减小再增大最后又减小。

煤粉质量流量和固气比是衡量气力输送系统的输送能力和效率的主要参数。通过研究差压、压力和风量等输送条件对煤粉质量流量和固气比的影响规律,掌握了高压超浓相气力输送的特性与规律。对气力输送系统的设计、控制和运行具有非常重要的指导作用。

参考文献:

- [1] 徐 越,吴一宁,危师让.二段式干煤粉气流床气化技术的模拟研究与分析[J].中国电机工程学报,2003,23(10):187-190.
- [2] SINGER TIMOTHY. Dense-phase pneumatic conveying: applications, system design and troubleshooting[J]. Powder and Bulk Engineering, 2003, 17(3): 27-33.
- [3] 熊源泉,赵 兵,沈湘林. 高压煤粉密相气力输送垂直管阻力特性研究[J]. 中国电机工程学报,2004,24(9): 248-251.
- [4] 赵艳艳,陈 峰,龚 欣,等. 粉煤浓相气力输送中的固气比[J]. 华东理工大学学报,2002,28(3): 235-237.
- [5] 沈湘林,熊源泉. 煤粉加压密相输送试验研究[J]. 中国电机工程学报,2005,25(24): 103-107.
- [6] WYPYCH PETER W, YI JIANGLIN. Minimum transport boundary for horizontal dense-phase pneumatic conveying of granular materials[J]. Powder Technology, 2003, 129(1/3): 111-121.
- [7] MOLERUS O. Overview; pneumatic transport of solids, source[J]. Powder Technology, 1996, 88(3): 309-321.
- [8] 黄 标. 气力输送[M]. 上海:上海科学技术出版社,1984.

燃煤 PM₁₀在磁场中聚并脱除理论与实验研究= **Theoretical and Experimental Study of Aggregation and Removal of Fuel Coal PM₁₀ in Magnetic Fields**[刊, 汉]/LI Yong-wang, ZHAO Chang-sui, WU Xin, et al (Education Ministry Key Laboratory on Clean Coal Power Generation and Combustion Technology under the Southeast University, Nanjing, China, Post Code: 210096)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2007, 22(2). — 176 ~ 180

A two-dimensional collision and aggregation model has been presented for fuel-coal inhalable particles in uniform magnetic fields. Through a direct tracking of particles in relative motion under the action of a magnetic dipole force, gas drag force, Brown force and gravity force, the model can determine the aggregation coefficient among fuel-coal-produced fine fly ash particles according to the relative motion trajectory of the particles. On the basis of the aggregation coefficient obtained from a numerical calculation, a regional algorithm was employed to seek solutions to the particle aggregation dynamic equation to calculate the aggregation and removal efficiency of fine fly ash particles produced in the combustion of Dongsheng-origin bituminous coal. A comparison has been made between the calculated efficiency and experimental one. The result shows that in the particle diameters ranging from 0.098 to 9.314 μm, the fly ash particles with a diameter between 0.578 and 3.758 μm have a maximal aggregation and removal efficiency. The total removal efficiency will increase with an increase in intensity of external magnetic fields, particle mass concentration and residence time of particles in the magnetic fields. When the particles are saturation magnetized, the total removal efficiency attains a maximum value. The test results are in good agreement with the numerical simulation ones. The forecast made by using the model under discussion indicates that when the particle mass concentration attains 40 g/m³, the total removal efficiency of fuel-coal-produced fly ash fine particles can reach 52%. **Key words:** fuel coal inhalable particle, magnetic aggregation, removal efficiency, aggregation coefficient

高压浓相粉煤气力输送试验研究= **Experimental Study of the Pneumatic Conveyance of High Pressure Dense-phase Pulverized Coal**[刊, 汉]/LIANG Cai, ZHAO Chang-sui, CHEN Xiao-ping, et al (Education Ministry Key Laboratory on Clean Coal Power Generation and Combustion Technology under the Southeast University, Nanjing, China, Post Code: 210096)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2007, 22(2). — 181 ~ 184

On a high-pressure pneumatic conveyance test stand with a conveyance pressure and solid-gas ratio being respectively as high as 4.0 MPa and 500 kg/m³, an experimental study of pulverized coal high-pressure dense-phase pneumatic conveyance has been conducted by using nitrogen. The conveyance tests have been performed at different conveyance differential pressures, air-filling flow rates and fluidized air flow rates etc., investigating the effect of operating parameters on such pneumatic-conveyance characteristic parameters as pulverized coal mass flow rate and solid-gas ratio etc. The results of the study indicate that the pulverized coal mass flow rate increases with the increase of the conveyance differential pressure and air-filling flow rate. The higher the conveyance pressure, the more notable the effect of any change in differential pressure on the pulverized-coal mass flow rate. The solid-gas ratio rises with the increase of the conveyance differential pressure and air-filling flow rate, and with the increase of fluidized air flow rate, the solid-gas ratio first increases and then decreases. The higher the conveyance pressure, the greater the solid-gas ratio. Under the condition of the total gas quantity entering the material transmission tank being kept unchanged, when Q_f is less than 0.55 m³/h, the change of air-filling air flow rate will have a major influence on the conveyance parameters. When Q_f is greater than 0.55 m³/h, the change of fluidized air flow rate will have a comparatively big influence on the conveyance parameters. **Key words:** pneumatic conveyance; high pressure; solid-gas ratio; mass flow rate

中速磨煤机漏粉原因与密封改造= **Causes of Pulverized-coal Leakage from a Race Pulverizer and Its Seal System Modification**[刊, 汉]/DU Zhong-xuan, HU Ya-fei, XIONG Jian-jun, et al (College of Electromechanical Engineering under China State Mining University, Xuzhou, China, Post Code: 221008)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2007, 22(2). — 185 ~ 186, 200

A pulverized coal preparation system is one of the indispensable main systems for coal-fired boilers in thermal power plants and its operation safety, reliability and cost-effectiveness directly affect the safety and reliability of boiler units. Moreover, the pulverizer constitutes a main link in the milling system and meanwhile is also regarded as a weak one. The