

Study on the Dynamic Properties of Gas-Solid Two-Phase Flow for Tee Branch Pipe

Xiaoning Wang¹, Shaohui Xu¹, Junfeng Cao¹, Shougen Hu²

¹School of Petrochemical Engineering, Liaoning Shihua University, Fushun, China

²University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai, China

wxning333@163.com, xshui870615@163.com, jcf20081027@126.com, husg@usst.edu.cn

Abstract: In the horizontal tee two branches pipe, pneumatic conveying experiment of hollow glass beading and millet was carried out using compressed air. The average diameters for two kinds of particle were both 2mm. The paper studied their resistance properties comparatively. The results showed: if the convey pressure was basically unchanged, for two kinds of particle which had the same average particle diameter but the different densities, when the openings difference value of the flow metering valve in the two branch pipes increased, in the region of higher superficial gas velocity, the distance of the resistance properties curves became farther away, in the region of lower superficial gas velocity, curves were closer or cross, the critical speed of branch pipe which had larger local resistance increased significantly, that of the other branch pipe declined slightly. The pressure drop value of particle with smaller density was smaller, the critical speed was generally higher, and the inflection point of the resistance characteristics curve appeared earlier.

Keywords: Gas-Solid two-phase flow, Branch Pipe, dynamic Properties, density changes

T 型管网气固两相流动动力特性研究

王晓宁¹, 徐少辉¹, 曹均丰¹, 胡寿根²

¹辽宁石油化工大学石油化工学院, 抚顺, 中国, 113001

²上海理工大学, 上海, 中国, 200093

wxning333@163.com, xshui870615@163.com, jcf20081027@126.com, husg@usst.edu.cn

摘 要: 在水平 T 型两分支管道中, 用压缩空气对平均粒径相同但密度不同的空心玻璃珠和小米颗粒进行气力输送试验, 对其两相流动阻力特性进行对比研究。试验结果表明: 在发送压力保持基本不变的情况下, 对于平均粒径相同但密度不同的两种球形颗粒, 随着两分支管路各自的流量控制阀开度差值的增大, 在表观气速较高区域, 两分支管路的阻力特性曲线相距变远, 而在表观气速较低区域, 曲线较为接近或出现交叉; 且局部阻力相对大的分支管路中的两相流临界速度较流量控制阀开度差值较小时有明显的升高, 另一侧分支管中的两相流临界速度则略有下降。从阻力特性曲线上可以看出, 两种固相颗粒中, 密度较小的小米颗粒压降值相对较小, 临界速度一般较大, 阻力特性曲线相对较早出现拐点。

关键词: 气固两相流, 分支管路, 动力性能, 密度变化

中图分类号: TK89

文献标识码: A

1 前言

气力输送是利用具有一定压力和速度的气体来输送固体颗粒的技术。由于其本身具有的运输量大、能耗低, 污染小, 占地少, 便于控制等优点, 使其逐步发展成为在众多领域广泛应用的通用工艺技术^[1]。目前该领域的研究主要集中于输送形式及其原理分析。

基金项目: 辽宁省博士启动基金资助项目 (20071101)

以单管道气固两相流动特性的数值模拟^[2]和试验研究^[3]为主。而对于各种形式的管网分流, 截管分流等在生产实际中经常遇到的气固两相流动特性的研究则较少。管道的阻力特性是气力输送设计和应用的重要参数之一, 它直接影响了管网的布局 and 动力要求。本文采用自主设计建立的水平 T 型分支管路进行试验, 在密度相同平均粒径不同的颗粒进行研究的基础上^[4],

对平均粒径相同但密度不同的空心玻璃珠和小米颗粒进行阻力特性研究,着重探讨了气力输送过程中,密度不同的固相颗粒在分支管路中气固两相流动时的阻力特性。即通过改变输送气速和分支管路流量控制阀门的开度,研究密度不同固相颗粒在各自分支管路中的阻力性能的变化规律。

2. 试验装置

本文在总结前人经验的基础上^[5],自主设计建立了分支管路气力输送系统试验装置,输送管路系统由主管和两根分支管路通过 T 型分支接头连接构成,主管路水平直管段长 5m。两分支管路各由 3m 长 $\Phi 32\text{mm}$ 的无缝钢管和等径的 1m 长有机玻璃管组成,均采用球阀进行流量调节。输送的固相为平均粒径 2mm 的

空心玻璃珠和小米,堆积密度分别为 1460 kg/m^3 和 730kg/m^3 。用压缩空气作为输送气体,采用涡轮流量计测量流量。发送仓顶部安装了精密压力表和稳压装置,能保证试验过程中输送压力的相对稳定。T 型分支接头由 $\Phi 32\text{mm}$ 有机玻璃管构成,通过装置中的有机玻璃管,可以实时观察 T 型分支接头处和分支管路内的两相流体的流动情况。两分支管路均装有精密压力表和压差传感器。分支管路 A 和 B 分别连接到收料仓 A 和 B,收料仓的顶部设有输送空气的出口管,安装了布袋除尘器。发送仓和收料仓 B 均采用称重传感器进行在线测量。称重值、两分支管压差值和输送气体的流量数据均由计算机采集。试验装置简图如图 1 所示:

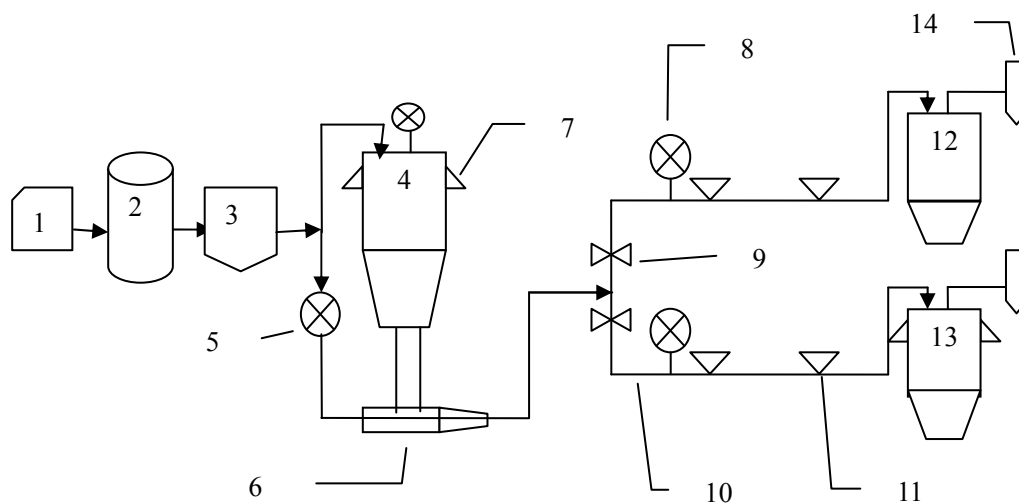


Figure 1: The sketch map of experiment equipment

图 1: 试验装置示意图

1. 气源 2. 稳压罐 3. 定压过滤器 4. 发料仓 5. 涡轮流量计 6. 喷射器 7. 称重传感器
8. 精密压力表 9. 分支管路 A 的流量控制阀 10. 分支管路 B 11. 压差变送器 12. 收料仓 A
13. 收料仓 B 14. 布袋除尘器

3. 分支管路流量控制阀开度不同时各分支管的阻力性能

保持发送压力不变,逐步减少输送空气的流量,改变两分支管路流量控制阀(球阀)开度,分别取 0° — 30° 角,(前面角度为分支管路 A 流量控制阀开度, 0° 为全开,后面角度为分支管 B 阀门开度), 0° — 45° 角 (45° 为半开) 和 0° — 60° 角作为试验点,考察当表观气速发生变化时,两分支管中分别输送平均粒径相同而密度不同的两种颗粒和空气时,其单位长度压差的变化规律。开度不同时,空心玻璃珠样本在各分支

管路的阻力特性曲线如图 2—图 4 所示,小米样本在各分支管路的阻力特性曲线如图 5—图 7 所示。

在输送气速较高区域,流动为悬浮流。随着试验过程中两分支管路阀门开度的差值增大,分支管路 B 中局部阻力相对于管路 A 不断增大,导致分支管路 B 中的两相流流量随之降低,所以其单位长度的压差数值与球阀开度差值较小时的压差数值相比会逐渐下降。相反的,分支管路 A 中的两相流流量不断增加,其单位长度的压差数值比阀门开度差值较小时就有了明显的提高。

从图中我们还可以观察到,随着两分支管路阀门开度差值的逐渐增大,管路B的临界速度也相应增大,而管路A的临界速度变化不明显。从装置中的有机玻璃管观察,在两球阀开度差值为 $0^{\circ}-60^{\circ}$ 角时,由于分支管B中两相流量明显减少,即使主管中表观气速较高,固相物料也会有少量的沉积,处于临界状态,此时,表观气速在一定区域内的变化对压差影响不大,体现在压差曲线上,在高速区相对较为平缓。而对于

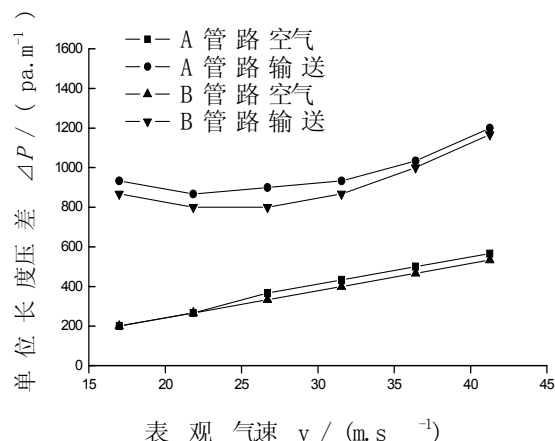


Figure 2: The resistance characteristic curve for each branch pipe when the valves are on $0^{\circ}-30^{\circ}$ angles (for glass beads sample)

图 2: 球阀开度为 $0^{\circ}-30^{\circ}$ 角时分支管路各自的阻力特性曲线 (样本为空心玻璃珠)

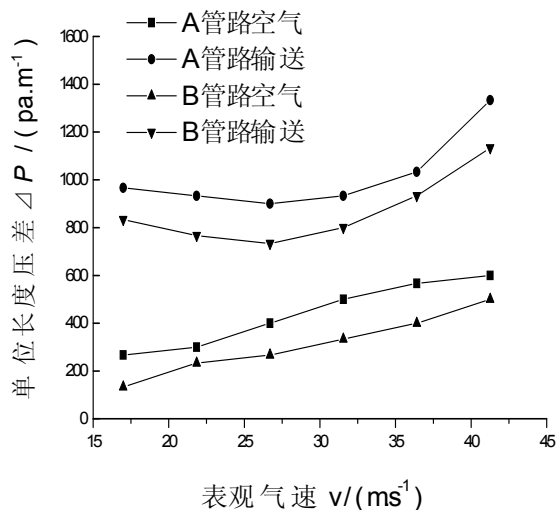


Figure 3: The resistance characteristic curve for each branch pipe when the valves are on $0^{\circ}-45^{\circ}$ angles (for glass beads sample)

图 3: 球阀开度为 $0^{\circ}-45^{\circ}$ 角时分支管路各自的阻力特性曲线 (样本为空心玻璃珠)

分支管 A, 两相流量的增加在表观气速较低时相应较少, 因此, 对临界速度的影响也不明显。

在表观气速较低区域, 主管中两相流体的流动状态为由稀相输送向密相输送过渡时期。随着两分支管路阀门开度的差值增大, 管路 B 中的两相流流量降低

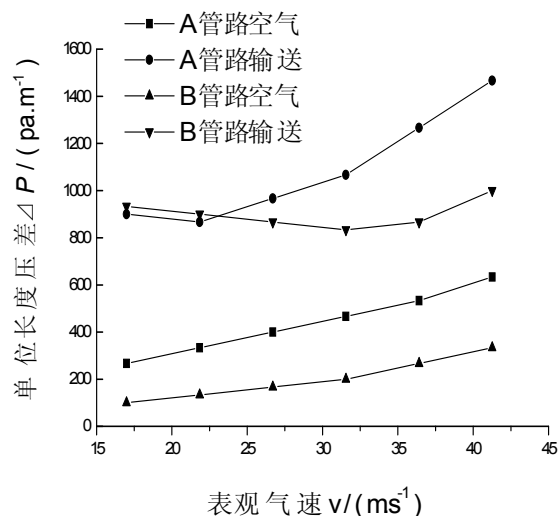


Figure 4: The resistance characteristic curve for each branch pipe when the valves are on $0^{\circ}-60^{\circ}$ angles (for glass beads sample)

图 4: 球阀开度为 $0^{\circ}-60^{\circ}$ 角时分支管路各自的阻力特性曲线 (样本为空心玻璃珠)

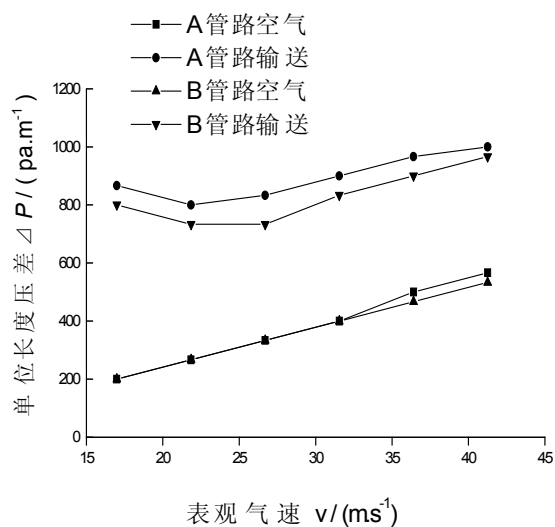


Figure 5: The resistance characteristic curve for each branch pipe when the valves are on $0^{\circ}-30^{\circ}$ angles (for millet sample)

图 5: 球阀开度为 $0^{\circ}-30^{\circ}$ 角时分支管路各自的阻力特性曲线 (样本为小米)

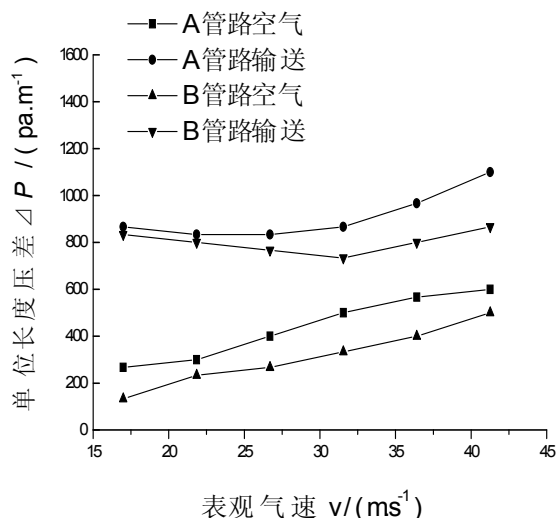


Figure 6: The resistance characteristic curve for each branch pipe when the valves are on 0° – 45° angles (for millet sample)

图 6: 球阀开度为 0° – 45° 角时分支管路各自的阻力特性曲线 (样本为小米)

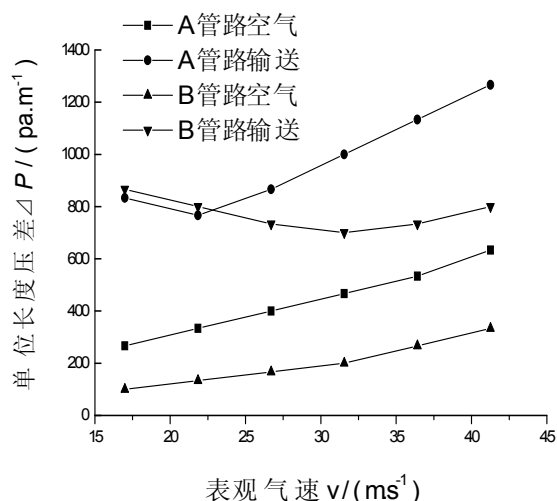


Figure 7: The resistance characteristic curve for each branch pipe when the control valves are on 0° – 60° angles (sample for millet)

图 7: 球阀开度分别为 0° – 60° 角时分支管路各自的阻力特性曲线 (样本为小米)

较管路 A 快, 所以管路 B 较管路 A 先进入分层流动, 其单位长度的压差值比球阀开度差值较小时的压差值有一定的升高, 其压差曲线开始由高速区的快速下降变为平缓或探底回升。而管路 A 相对较晚改变流动状态, 其压差数值在实验范围内对比变化不明显。由于管路 A 的临界速度较小, 导致管 B 的压差在气速低于一定值后开始接近甚至于大于管 A 的压差。

当输送气速较高时, 两相流体的流动状态是悬浮流, 可认为两分支管路的流量分配比与各分支管路球阀开度的差值的大小关系较大, 特别是在两分支管路阀门开度差值很大时 (如 0° – 60° 角), 体现的更加明显。但当输送气速较低时, 由于开始由稀相输送向密相输送改变, 两分支管路的流量分配的变化非常复杂, 与输送气速和阀门开度等均有较大关系。从试验结果来看, 在各种因素的作用下, 随着输送气速的下降, 阀门开度差值变化的影响在逐步减小, 两分支管路的压差变化与流体的流动形态变化关系较大。

对比小米和空心玻璃珠两种颗粒的压差曲线可以发现, 在高速区, 相同表观气速时, 两分支管中的小米颗粒的压差值均小于空心玻璃珠, 而在低速区, 两者相差不大。随着阀门开度的差值变大, 小米颗粒在分支管 B 中的临界速度较空心玻璃珠大。

4. 结论

(1) 对于直径相同密度不同的两种颗粒, 随着球阀开度差值增大, 在输送气速较高区域, 两分支管路阻力特性曲线相距变远, 在气速较低区域, 曲线较为接近或出现交叉。

(2) 当分支管路阀门开度差值增大时, 局部阻力增大的分支管路临界速度升高, 另一侧分支管中的临界速度下降。

(3) 在本文试验条件下, 密度较小的颗粒压差值较小, 临界速度一般较大, 阻力曲线相对较早出现拐点。

References (参考文献)

- [1] Behera, S.; Das, S.; Jones, M.G., Desirable conveying characteristics for pneumatic transportation of fly ash, sand, cement and crushed bath[J]. Powder Handling and Processing v 12 n 1 2000. p 23-25
- [2] Li, H.; Tomita, Y., A numerical simulation of swirling flow pneumatic conveying in a horizontal pipeline[J]. Particulate Science and Technology v 18 n 4 2000. p 275-291
- [3] Konrad K., Dense phase pneumatic conveying through long pipelines: Effect of significantly compressible air flow on pressure drop [J]. Powder Technol, 1986, 48(3):193-203
- [4] Wang Xiaoning, Hu Shougen, Zhao Jun. Research on resistanch properties for branch pipe in pneumatic conveying. Chinese journal of mechanical engineering. 2006, 42(10): 49-52
王晓宁, 胡寿根, 赵军等。气力输送过程分支管路阻力特性的研究[J]. 机械工程学报, 2006, 42(10): 49-52
- [5] Oka, Kenji; Ito, Hidesato. Energy losses at tees with large area ratios[J]. Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME v 127 n 1 January 2005. p 110-116
- [6] Jun Zhao, Shougen Hu, Xuexu Zhang, Zhaozhong Zhang. On Line Control of a Dense Phase Pneumatic System. [J] Proceedings of International Conference on Energy and the Environment, Shanghai, China, May, 2003.