

气力输送过程分支管路阻力特性的研究*

王晓宁 胡寿根 赵军 郑丹
(上海理工大学动力工程学院 上海 200093)

摘要: 在水平 T 型分支管道中, 用压缩空气对平均粒径为 0.25 mm 的砂石进行气力输送试验。试验结果表明, 在发送压力保持不变的情况下, 输送气速和分支管路流量控制阀开度差值的变化, 对分支管各自的阻力特性和相互间的压差有显著影响。当输送气速下降时, 两分支管相互间的压差减小, 各分支管的单位长度压差在开始时逐渐减小, 但当气速下降到一定程度后, 单位长度压差转而增大。当分支管流量控制阀开度差值由小变大时, 两分支管各自的压差曲线逐渐远离, 且两分支管相互间的压差逐渐增大。

关键词: 气力输送 分支管 阻力特性 阀门开度

中图分类号: TH232

0 前言

气力输送是利用气体的能量输送固体颗粒的技术, 发展至今已有 100 多年的历史, 由于其拥有机械输送所不具备的优越性, 而被化工、食品、电力、建材和冶金等领域采用, 且逐步发展成广泛应用的通用工艺技术^[1]。目前该领域的研究主要集中在对单管管内输送的气固两相流动特性的数值模拟^[2-4]和试验研究^[5-6]上, 即水平管输送、变坡输送和垂直管道输送。对于实际工业生产中常应用的管网分流, 截管分流时的气固两相流动特性的研究则较少, 至今仍没有形成较统一的理论。目前大多数分支管路气力输送系统的设计仍主要依赖于实验室的小试数据和实际工程经验, 其设计周期较长、费用高, 且准确性也不够理想, 这些因素使其研究方法和实际应用的推广均受到很大程度限制。管道的阻力特性是气力输送设计和应用的重要参数之一, 采用自主设计建立的水平 T 型分支管路进行试验, 着重探讨了气力输送过程中气固两相流体通过 T 型分支接头后, 输送气速的变化和分支管路流量控制阀门开度的变化对两分支管各自的阻力特性的影响, 同时也考察了两分支管相互间压差的变化规律。

1 试验装置

作者在文献[7]、[8]的基础上, 设计并建立了分支管路气力输送系统试验装置, 它能较好地模拟实

际工艺中气固两相在分支管道中流动时两相流体的流动状况和流量分配情况, 并据此建立了相应的数学模型。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, 两分支管路 A 和 B 均采用球阀进行流量调节。输送的固相物料为平均粒径 0.25 mm 的砂石, 其真实密度为 2 650 kg/m³。用压缩空气作为输送气体, 采用适宜的涡轮流量计进行在线流量测量。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。从发送仓物料喷射器出口到 T 型分支接头处, 输送主管道长 8 m, 选用 40# 耐压 PVC 管构成, 其中水平直管段长 5 m。T 型分支接头由 $\phi 32$ mm 有机玻璃管构成, 两根分支管路各长 4 m, 由 3 m 长 $\phi 32$ mm 的无缝钢管和等径的 1 m 长有机玻璃管组成。通过安装在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内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, 收料仓顶空气出口处安装布袋除尘器。发送仓和收料仓 B 均采用称重传感器进行在线实时测量。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。

2 分支管路流量控制阀开度不同时两分支管各自的阻力特性

在保持发送压力不变的条件下, 逐步减少输送空气的流量, 考察两分支管路流量控制阀开度分别为 0°和 0°角(全开)、0°和 30°角(前面角度为分支管路 A 流量控制阀开度, 后面为阀 B 开度)、0°和 45°角(半开)和 0°和 60°角时, 表观气速的变化对各分支管中

* 上海市科学技术委员会基础研究重点(03JC14055)和上海市教育委员会(05EZ15)资助项目。20051018 收到初稿, 20060109 收到修改稿

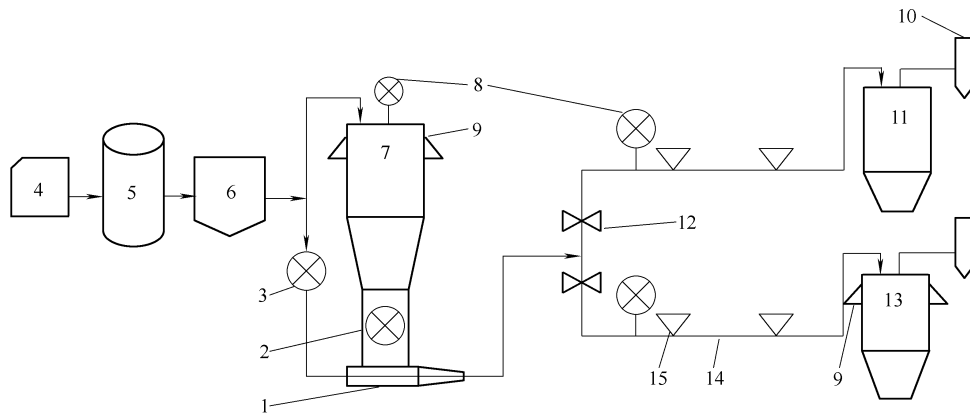


图1 试验装置示意图

1. 喷射器 2. 给料器 3. 涡轮流量计 4. 气源 5. 稳压罐 6. 定压过滤器 7. 发料仓 8. 精密压力表 9. 称重传感器
10. 布袋除尘器 11. 收料仓 A 12. 分支管 A 的流量控制阀 13. 收料仓 B 14. 分支管 B 15. 压差变送器

空气和气固两相流的单位长度压差的影响。分支管路球阀开度不同时阻力特性曲线结果如图 2~5 所示。

从图 2~5 中可以看出,在气力输送过程开始时,随着输送气速的下降,两分支管各自单位长度上的压差均下降,但当气速低于一定值后,压差不再下降,甚至有所增加。

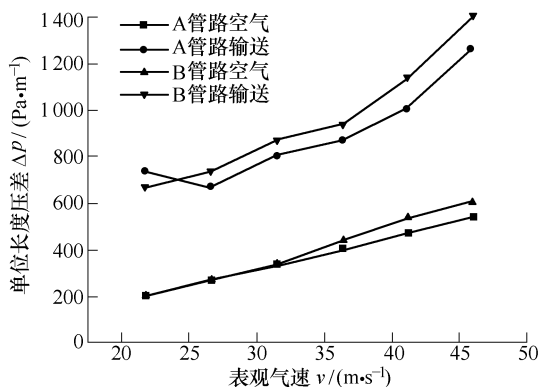


图2 分支管球阀开度分别为0°和0°角时阻力特性曲线

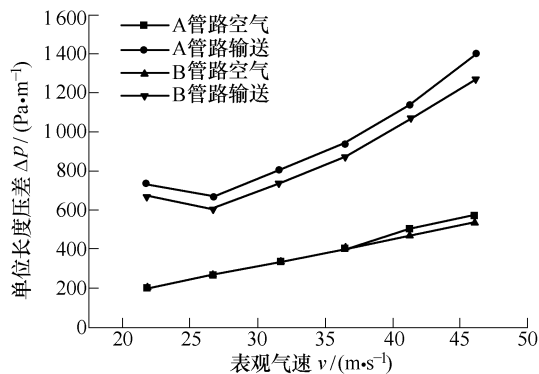


图3 分支管球阀开度为0°和30°角时阻力特性曲线

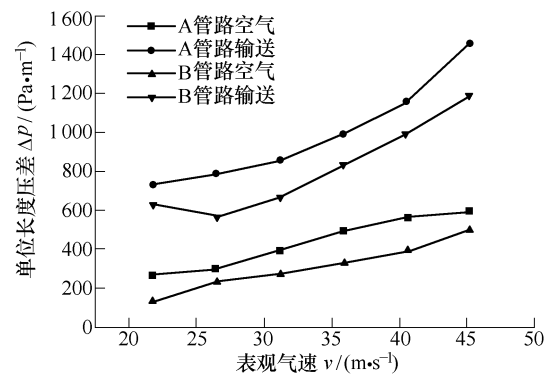


图4 分支管球阀开度为0°和45°角时阻力特性曲线

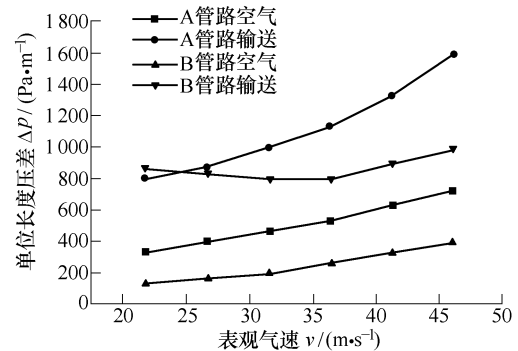


图5 分支管球阀开度为0°和60°角时阻力特性曲线

从两分支管路安装的有机玻璃管观察,在气速逐渐降低时,分支管中气固两相流的流动状态逐渐发生了变化,由均匀悬浮流,最终过渡到了分层流^[9]。正是由于流动形态发生了明显的变化,导致各分支管单位长度上的压差值也发生了明显的变化,此时气力输送过程由稀相输送向密相输送转变。

从图 2~5 中还可以看到,当两分支管流量控制阀门开度差值增大时(从0°和0°角转变到0°和60°角),在输送气速较高区域,两分支管阻力特性曲线相距变远,在较低速度区域,曲线较为接近。

在高速区，可以认为两分支管的流动状态是均匀悬浮流，随着阀门开度的差值增大，两分支管相互间气固两相流量的差值也增大，这就造成了两分支管的阻力特性明显不同。而在低速区，由于两分支管处于由稀相输送向密相输送过渡时期，且不同步，影响阻力特性的因素较多，机理复杂。从试验结果分析，在综合因素的作用下，随着输送气速的下降，两分支管的阻力特性逐渐趋同。

对于空气而言，表观气速下降时，两分支管单位长度压差减小。两分支管阀门开度差值增大时，阻力曲线相距变远。这与气力输送处于高速区时的现象和机理有些类似。

3 分支管流量控制阀开度不同时两分支管相互间的阻力特性

这里研究了气力输送过程中，两分支管流量控制阀开度分别为 0°和 0°角、0°和 30°角、0°和 45°角和 0°和 60°角时，两分支管路相互间的压差变化。试验结果如图 6、7 所示。

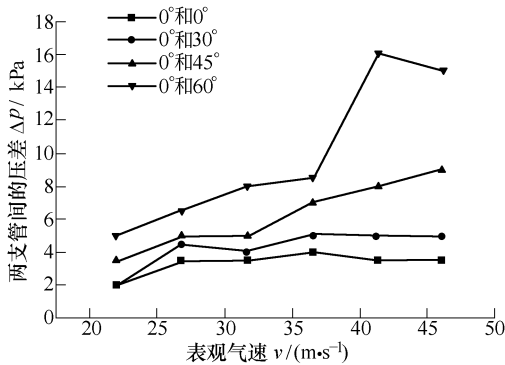


图 6 两分支管阀门开度不同时相互间压差特性曲线(空气)

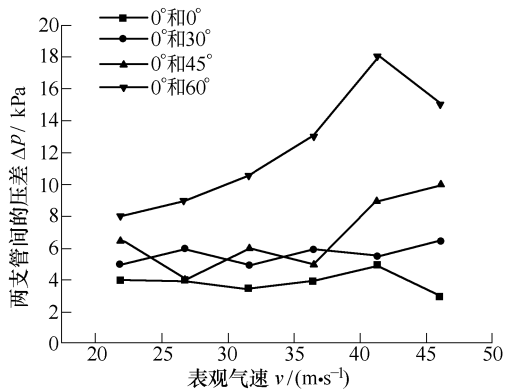


图 7 两分支管阀门开度不同时相互间压差特性曲线(气力输送过程)

从图 6 中可以看出，随着空气气速的下降，两分支管相互间的压差均呈下降趋势，当阀门开度差

值较大时，现象较为明显。当两分支管路阀门开度逐渐增加时，两分支管相互间的压差总体上逐渐增大，在高速区压差曲线相互远离的程度明显高于低速区。

从图 7 中可以看出，在气力输送过程中，在两分支管路流量控制阀开度差值不大时(如 0°和 0°角和 0°和 30°角)，输送气速的改变对两分支管相互间的压差影响不大。而在两分支管阀门开度差值较大的时候(如 0°和 45°角和 0°和 60°角)，随着输送气速的下降，两分支管相互间的压差减小。

当两分支管阀门开度差值增大时，两分支管相互间的压差总体上逐渐增大，且在高速区压差曲线相互远离的程度明显高于低速区。在输送气速较低的区域，分支管阀门开度分别为 0°和 30°角和 0°和 45°角时，曲线出现交叉现象，并随着气速的降低，与其他两条压差曲线逐渐接近。

由于分支管路气力输送过程中，气固两相流通过 T 型分支接头后，在两分支管路的流量分配情况较为复杂，这直接导致了两分支管路之间的压差变化也较为复杂。

当输送气速较高时，两相流体的流动状态是或接近均匀悬浮流，可认为两分支管的流量分配比与输送气速的关系不明显，而与各分支管阀门开度的差值的大小关系较大，特别是在两分支管阀门开度差值很大时(如 0°和 60°角)，体现得更加明显，这一规律同样显现在两分支管相互间的压差上。但当输送气速较低时，由于两分支管内各自的流动形态开始由稀相输送向密相输送改变，且不同步，两分支管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，因此体现在两分支管相互间的压差上也出现较为复杂的现象。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也在逐步减小，两分支管相互间的压差越来越相近。

4 结论

(1) 在气力输送过程中，随着输送气速的下降，各分支管路单位长度上的压差值开始时全都下降，但当气速低于一定值后，压差值不再下降，甚至开始升高。当各分支管路阀门开度值相差较大时，在气速较高区域，各分支管路阻力特性曲线相距变远，在较低速度区域，阻力特性曲线相差不大。

(2) 各分支管路阀门开度值相差不大时，其相互间的压差变化不大，但当开度值相差较大时，随着表观气速的下降，相互间的压差值逐渐减小。当

各分支管路阀门开度差值增大时,各分支管相互间的压差总体上呈现逐渐增大的趋势,且在高速区更加明显。

(3) 当表观气速下降到一定程度时,各分支管路中两相流动状态由均匀悬浮流逐步转变为分层流,且不同步,阻力特性发生明显改变,其变化机理较为复杂。

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, 2000, 12(1): 23-25.
- [2] LEVY A. Two-fluid approach for plug flow simulations in horizontal pneumatic conveying[J]. Powder Technology, 2000, 112(3): 263-272.
- [3] LI H, TOMITA Y. A numerical simulation of swirling flow pneumatic conveying in a horizontal pipeline[J]. Particulate Science and Technology, 2000, 18(4): 275-291.
- [4] YANG W C. A mathematical definition of choking phenomenon and a mathematical mode for predicting choking velocity and choking voidage[J]. AI Ch. E. J., 1975, 21(5): 1 013-1 015.
- [5] RAHEMAN, HIFJUR, JINDAL, et al. Pressure drop gradient and solid friction factor in horizontal pneumatic conveying of agricultural grains[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2001, 17(5): 649-656.
- [6] 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.
- [7] AZIZ Z B, KLINZING G E. Optimizing the performance of a plug flow system[J]. Powder Technol., 1990, 62(1): 77-84.
- [8] OKA, KENJI, HIDESATO I. Energy losses at tees with large area ratios[J]. Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME, 2005, 127(1): 110-116.
- [9] CAIRNS C W, LEVY A, MASON D J. Three-dimensional effects of wave-like flow in horizontal pipelines[J]. Advanced Powder Technology, 2003, 14(1): 71-86.

RESEARCH ON RESISTANCE PROPERTIES FOR BRANCH PIPE IN PNEUMATIC CONVEYING

WANG Xiaoning HU Shougen

ZHAO Jun ZHENG Dan

(College of Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093)

Abstract: Pneumatic conveying experiment of average particle diameter 0.25 mm sand is carried out using compress air at horizontal tee branch pipe. The result shows the change of conveying velocity and the flow valve opening of branch pipe has some noticeable effect on the respective and mutual resistance properties of branch pipe when the operation pressure keep to a constant value. When the conveying velocity is less and less, the pressure drop between the branch pipes decreases, at the same time, the respective unit length pressure drop declines at first, but when the conveying velocity reduces to some extent, the respective pressure drop begin to rise. With the difference value rising of the flow valve opening, it is found that the pressure drop curve of the respective branch pipe is away from each other and the pressure drop between the branch pipes increase.

Key words: Pneumatic conveying Branch pipe

Resistance properties Flow valve opening

作者简介: 王晓宁, 男, 1972 年出生, 博士研究生。主要研究方向是气力输送分支和变坡流动。

E-mail: wxning333@163.com