

大米栓塞状气力输送的实验研究

马家欢 谷笏华 潘文欣 陈素贞
(中国科学院力学研究所)

摘 要 本文叙述了以自动成栓、脉冲气刀控制及单仓压送几种方式形成的大米在水平管道中的栓塞状气力输送的实验研究。在管径50毫米,长约15米的管道中,不同的输送供气条件,所形成的栓状流有不同的压降特性和不同的料气输送比,栓塞的长度及运动速度也有差异。在相同气源压力条件下,单仓压送所形成的栓塞状输送比其它几种有较高的输送效率;而自动成栓的栓塞流,则其输送量对气源压力并不敏感,有较为稳定的大米输送质量流量。

关键词 自动成栓 脉冲气刀控制 单仓压送 大米栓塞状气力输送 压降特性 料气输送比

中图分类号 U171

0 引 言

栓塞状的气力输送自六十年代中间世以来,由于它在节约能耗、减少磨损和物料破碎方面明显的优越性而受到世界各国工业界的关注和重视,并已在化工、采矿、粮食和食品加工工业及建材行业中得到了广泛的应用,其中尤以内、外旁路的二次吹气成栓的方式使用最为普遍^[1-5]。由于栓塞状的气力输送条件下粒子和气流的相互作用形态十分复杂:虽然普遍认为这种情况下,主要是以气体的静压推动粒子群体(即物料栓塞)前移为主要机制,但在栓塞的形成过程及其以波传递形式存在的栓塞形体变化和前移中都有粒子和气体、粒子之间相互作用的极为复杂的动量和能量的交换过程,再加上与壁面的摩擦作用,因此至今对栓塞状输送的细致的物理描述和对于这种类型气体和粒子群体运动的力学模型并未能建立。尽管有了一些工程设计计算的方法,但其适用性往往受物料及输送特征参数的局限,而且其中关键性的参数还不得不依靠实际测定或试验来确定,因此开展对栓塞状气力输送的研究正在深入中。Y. Morikawa等以水平管道中,内重管二次吹气成栓的形式用实验方法系统研究了供气流量、吹气方式等对栓塞流形态及特性的影响^[6]。K. Konrad等人则从理论上,试图以气液模拟类比和散体力学(Powder Mechanic)的原理来解决栓塞状输送的总压降关系,并导出了求得粒子平均速度的方程形式^[7],但距表征这种特定的两相流动形态结构关系的力学量的基本方程也还有差距。因此,对于不同物料品种及其输送管路特征的栓塞状流动形态及表现为总体压降特性的参数研究还需继续开展。

作为工业应用更为关心的是如何能高可靠地、稳定地形成和保持栓塞状的输送状态,同时又具有较高的输送效率并使之能应用于不同的物料特性(粒度、形状、材质和粘结性等),

收稿日期:1991-10-10

不同的管路特征（长度、管径、弯头、管材质地等），这方面的工作在国内不同行业范围中都已做了大量工作。粮食是应用气力输送作为输送手段使用得最早的物料之一，而以栓塞状的气力输送在粮食行业中的应用，除极大地改善了传统稀相输送所带来的一些共有的弊端外，还因为减少了粒子间的碰撞、摩擦等相互作用而有利于防止某些病变芽胚的扩散和种子发芽期的延长^[8]。因此开展粮食的栓塞气力输送有双重的意义。以稻谷、麦粒等散料为例，大多为粘结性很低而透气率又较高的物料，相对来说较为难以成栓，因而如何建立稳定成栓条件和稳定的输送参数研究对于积累基础数据，提供系统设计参考是十分必要的。

本文在一个小型多功能实验装置中，首先调试、研究出了大米的自动成栓工况，即在无二次吹气或气刀的控制下形成的栓塞状输送状态，之后又以单仓压送方式和脉冲气刀控制来形成大米的栓塞状输送，并以微机为中心的数据采集处理系统测定了压降及栓塞运动特性，系统地观察和比较了几种不同驱动方式所形成的的大米的栓塞状输送，随工作压力、气刀控制时间等因素变化的不同特征。

1 实验装置和测试系统

实验是在一个多功能的小型气力输送实验装置上进行的，如图 1 所示。图中 A 路为主管道气路，自动成栓时，只打开阀门 A，关闭阀门 B、C，由气压与料仓压力随栓塞的脱落而起伏变化并形成稳定的栓塞状输送；如果仅打开阀门 C 而关闭 A、B 则系统以单仓泵压送状态工作，但亦可形成栓塞流；如打开阀门 C，而同时又以脉冲方式开、闭阀门 B（关闭阀门 A）则形成脉冲气刀的栓塞状输送。此外，本文还试验了阀门 A、C 同时开路进气加压的栓塞流情况。该实验装置料仓容积 0.24 立方米，气罐容积 0.9 立方米，本实验所用管路为内径 50 毫米的有机玻璃管，全长 14.7 米，管路末端接一旋风分离器和积料斗。

试验用大米为一般市购机米，其截面宽 2~3 毫米，长 5~6 毫米，容重为 830 kg/m³，物料在实验前装入料仓，在密闭状态下由气压输送。气源压力由一台小型气压机提供，实验所需工作压力由不同的调压阀调至设定值。根据管长及输送特征，气源调压范围为 30~55 kPa。

测试系统由多点压力测量和栓塞运动的光电检测系统所构成。应变式压差传感器的信号经高增益直流放大器（放大倍数为 1000 倍）放大后输入到微机的 AD/DA 板。栓塞运动光电信号是由二组双探头远红外光电探测器检出的，它既可以测出二组探测器之间的平均栓塞

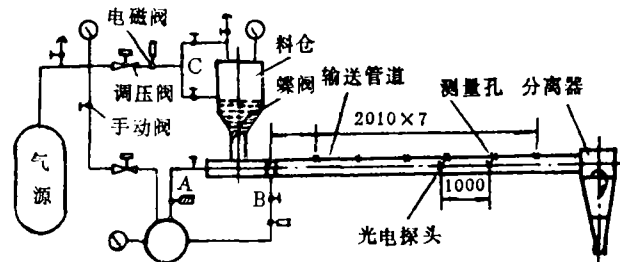


图 1 实验装置示意图

速度，也可以得到栓塞经历一个探测器时的当地速度，其信号亦由微机的 A/D 板采集记录。有关测试系统的详细描述可参看文献〔9〕。由于大米粒径相对于高空间分辨率的光电检测探头显得太大，因零散米粒的扫过而使得栓塞运动的光电记录添加了一些“干扰”信号，在经过数据处理后，排除了它们的影响，从而得到合理的栓塞运动的统计平均特性参数。一般实验所取采样时间为 90~120 秒，以管末端测点的压力信号为例，示于图 2 中，虽然大米成

栓的特性较差,但从所记录的压力信号表明,输送是以稳定的栓塞状态进行的,即测点的压力升高是由于栓塞进入而引起的,并随栓塞的脱落而下降,其间则基本上保持一水平线。当然由于栓塞长短有异而引起压差的峰值也有所不同,峰值均匀的压力信号相应于规律均匀的栓塞输送状态。

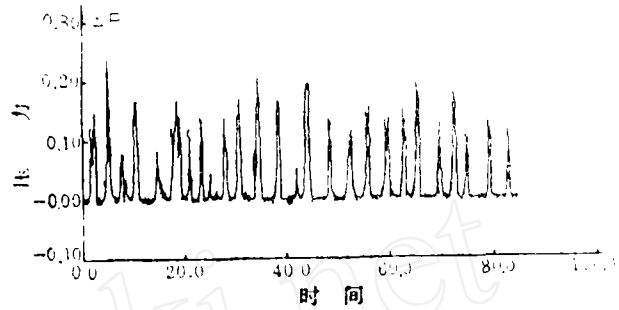


图2 典型的压力记录曲线(自动成栓)

2 实验结果与讨论

2.1 自动成栓的大米栓塞流 在压力为30~50kPa中,均获得了大米的自动成栓。实验测定结果表明,在这一压力范围中,虽然供气条件变化了1.7倍,但物料的质量流量几乎是没有什么变化的(见图3),说明其他成栓条件主要由特定的结构条件所决定的。虽然这时的料气

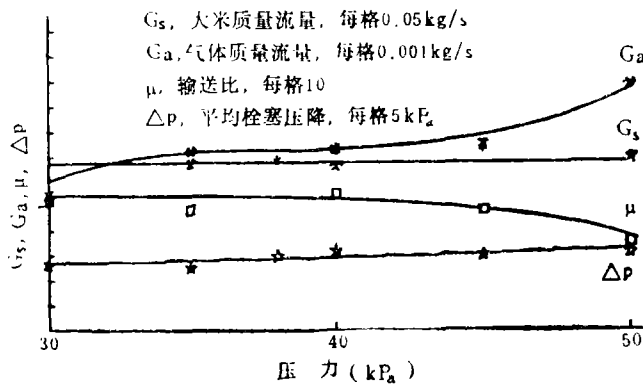


图3 自动成栓的大米栓塞输送特性

输送的比并不高($\mu=45\sim55$),但由于没有机械和电气的控制部件的参与,对工业上提供一种较为稳定的输送状态(即不随气源条件脉动而异)是有吸引力的。从曲线可以看出,气体的质量流量因工作压力的升高而加大,而栓塞的压降特性并没有什么变化,由此可见,只要能形成稳定的自动成栓状态,并不要追求高的工作压力,事实上,因此反而会降低输送效率。

2.2 单仓压送的栓塞流 在实验中以单仓压送方式输送大米,并没有出现柱流式气力输送,而是形成栓状流。对其成因尚待深入研究。但在实验的压力范围中均实现了稳定的栓塞状输送状态,其栓长略比自动成栓时长些。大米的质量流量和气体的质量流量以及栓塞上的压力降均随工作压力升高而增加,同时输送比也随之略有提高(见图4)。图中还画出了栓塞的平均运动速度和气流的平均速度,前者由光电探测出栓塞的经过并经数据处理所

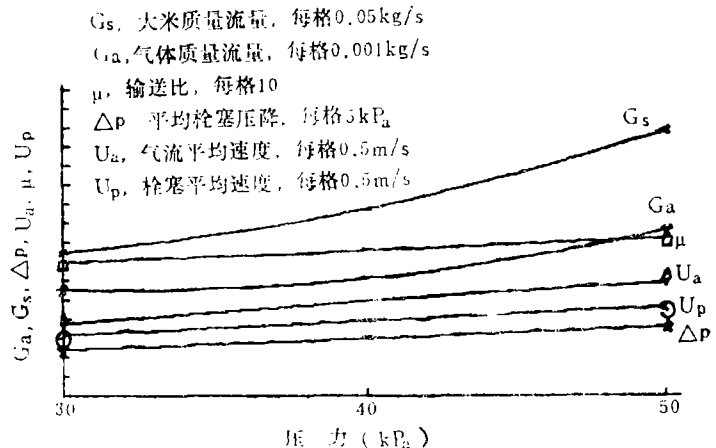


图4 单仓压送栓塞流的特性参数

得，后者则由气体总质量流计算而得，它们所反映的均是一段时期中的平均值。由图可知，栓塞气流小于气流速度的，两者之比约为0.75。若以A、C两路同时加压，得到类似的结果，但因气体流量加大反而降低了输送比。一般来看，这种单仓压送条件下的输送比，比文献〔4、10〕中关于大米的栓状输送值高2~4倍，因此对于工业应用这是一种有价值的输送方式。

2.3 脉冲气刀所形成的大米栓状流 首先以固定的气刀控制时间（气刀供气时间为0.2秒，间隔为0.8秒）情况下，比较了不同气源压力引起的变化，其结果如图5所示。可以看出随着气源压力的提高，物料及气体流量以及栓塞压降也是增加的，但栓塞的长度基本不变，这主要是由脉冲气刀控制时间所决定。而当气罐和气刀压力都保持不变时（ $p_b/p_c=55/50\text{kPa}$ ），以一定的气刀供气时间（ $T_b=0.2\text{秒}$ ），观察了供气周期的影响，即所谓料长时间从0.4秒至6.4秒。这时物料流量和输送比均随供料时间加长而有所增加，但气体的质量流量基本上没有变化，这也因为限制了供气时间的缘故（见图6）。

3 结 论

在15米长的管路中以脉冲气刀、单仓压送和自动成栓均实现了大米的气力输送。一般来说，当工作压力提高时，将使输送的大米质量流量增加，气体质量流量增加，栓塞的压降也有所增加，但在自动成栓的输送时大米质量流量基本不变。因此为相对稳定的输送效率。然而这种输送状态并不具备很高的输送比，一般在45~55范围中，当气压偏高时，由于气体流量增加，不仅输送比下降，而且使输送变得不稳定，有可能由栓状流蜕变成稀相输送。

单仓压送和气刀控制的输送，均可获得较稳定的栓塞流，并可能得到较高的输送比，在本实验条件下，高达80~85。由于单仓压送免除了电磁阀控制的气刀机构，工作时更为可靠。然而，对于在单仓压送条件下栓塞的形成机制还待深入研究。

本工作受国家自然科学基金资助（项目编号1880374），特此致谢。

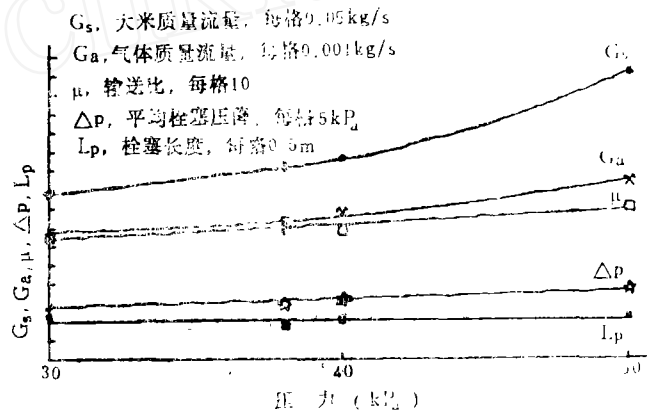


图5 脉冲气刀成栓时，输送特性随工作压力的变化
($t_{气}/t_{料}=0.2\text{s}/0.8$)

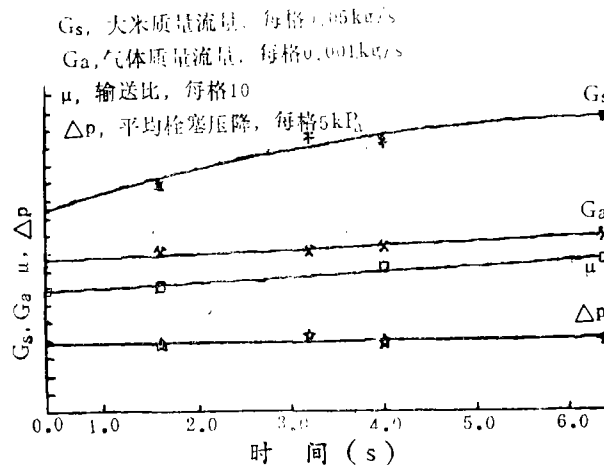


图6 气刀控制时间对输送特性的影响
($p_b/p_c=55\text{kPa}/50\text{kPa}$)

参 考 文 献

- 1 M. Bounet Int, Symp. on Powder Technology 1981, 265
- 2 W. Flatt Paper A3. Pneumotransport 3 1976
- 3 W. Krambrockh S.Parekh Paper J3. Pneumotransport 5 1980
- 4 陈维纽、曾耀先. 化学工程, 1979(2)
- 5 杨伦. 玻璃. 1980(1), 34
- 6 Y.Tsuji & Y. Morikawa J. of Fluid.1982, Vol,104 No,6
- 7 K.Konrad et al Paper E1,Pneumotransport 5 1980
- 8 J.F.Jafari et al Int, Powder Technology & Bnlk Solids Exhibition and Conferarence 1979, 225~244
- 9 马家欢、谷茹华、潘文欣、李振华·第三届全国实验流体力学学术会议论文集。1990, 109~204
- 10 川上登、田所捨·粉体工学研究会志, 1973 Vol,10,No 9,623

THE EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE PLUG PNEUMATIC CONVEYING OF RICE

Ma Jiahuan Gu Jiahua
Pan Wenxin Chen Suzhen

(Mechanics Research Institute of the Chinese Academy of Sciences)

ABSTRACT This article describes the experimental research of the pneumatic conveying of rice in a horizontal pipe, which is just formed by the ways of automatic forming plug, pulsating air force control and pressure pneumatic conveying of single bin. In the pipe 50mm in diameter and 15m in length, there are different pressure drop characteristics, solid-to-air conveying ratio of the plug flow and the different length and motion velocity of the plug in the conditions of different conveying air. The efficiency of the plug pressure conveying of single bin is the highest in the conditions of the same air pressure. As to the automatic forming plug flow, its conveying capacity is not sensitive to the air pressure and it possesses very stable conveying quality and flow.

KEY WORDS automatic forming plug pulsating air force control pressure
pneumatic conveying of single bin plug pneumatic conveying of rice pressure
drop characteristic solid to air conveying ratio