

气体射流冲击下颗粒物料流态化参数的试验研究

高振江 曹崇文 王德成

(中国农业大学机械工程学院) (中国农业大学农业工程研究院)

摘要 在研制的射流冲击试验台上,采用图像对比的方法,对玉米颗粒在气体射流冲击作用下产生流态化运动时所需的喷嘴出口气流速度与冲击室宽度、喷嘴直径、喷嘴间距和喷嘴高度之间的关系进行了试验研究。通过引入流化程度因子概念,采用正交试验得到了不同结构参数下物料流化所需的喷嘴出口气流速度。

关键词 气体射流; 颗粒物料; 流化

中图分类号 TQ 028.6

Experimental Research on Fluidization Parameters of Air- Impingement Jet of Particulate Material

Gao Zhenjiang Cao Chongwen Wang Decheng

(College of Machinery Engineering, CAU) (Agricultural Engineering Institute, CAU)

Abstract The relationship between the structural factors (the width of impinging chamber, nozzle spacing, nozzle diameter and nozzle to target spacing) and air velocity of an air impingement jet equipment was studied by using the method of visual examination. By introducing the concept of fluidization factor, the required velocity at nozzle outlet starting to fluidize particulate material under different structural factor was obtained.

Key words air-impingement; particulate material; fluidization

气体在一定的压力作用下,由圆形或条形喷孔向外喷出并冲击物料,称之为气体射流冲击。由于冲击流动的湍动程度极高,因此,气体射流冲击干燥的换热系数比一般热风干燥换热系数高出几倍^[1]。

气体射流冲击时物料的流态化与普通气流冲击时不同。普通气流冲击时物料是在气流的直接冲击作用下产生流化运动,而射流冲击时物料是由于冲击室底板反射气流流场的作用而产生流化^[2]运动;因此,射流冲击装置的主要结构因素(如冲击室宽度、喷嘴直径、喷嘴间距和喷嘴高度)对物料在射流冲击作用下的流化状态影响极大,而不同的流化状态对物料的干燥效果又大不相同。由此可见,在研究射流冲击干燥之前,研究不同结构参数下射流冲击物料的流态化状态与喷嘴出口气流速度间的关系是非常必要的。

1 试验装置及物料

1.1 试验装置

试验装置为自行研制的射流冲击试验台,图1为其结构示意图。其中,喷嘴结构如图2所

收稿日期: 2000-05-31

高振江,北京清华东路17号中国农业大学(东校区)194信箱,100083

示, 喷嘴高度(气流出口与冲击室底板间的距离)可通过调整螺钉调整, 喷嘴直径有 10, 15 和 20mm 3 种, 全部喷嘴呈一字形排列, 喷嘴间距有 65, 82.5 和 100mm 3 种。冲击室为长方形, 长度不可调, 宽度分别为 60, 80 和 100mm 3 种。风机的空气入口处增设了一个风量调节装置, 以控制喷嘴出口的气流速度。气流分配室的入口管道上端装有风量测量装置。物料通过料斗进入气流冲击室。

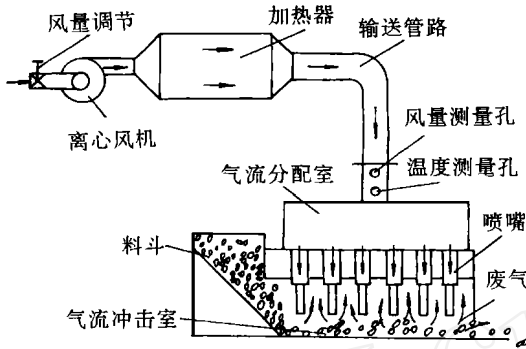


图 1 试验装置结构示意图

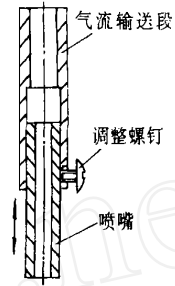


图 2 喷嘴结构

1.2 试验物料

试验物料为玉米, 玉米籽粒密度为 $1\,173.7\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 容积密度 $756.9\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 空隙率 0.355 1, 含水率 25% (湿基)。20 粒玉米的平均尺寸为, 长度 11.57 mm, 大端宽度 9.25 mm, 小端宽度 6.08 mm, 厚度 4.33 mm。

2 试验方法

试验采用正交试验, 结构因素的构成及因素变化指标(水平数)见表 1。工艺因素为喷嘴出口的风速(可通过对风机入口风量的控制进行调节), 介质温度为环境温度。正交试验采用 $L_9(3^4)$ 正交表。具体安排见表 2。

试验时根据表 2 的试验组合, 将结构因素指标调整到规定值。启动风机, 同时将风机风量调到最小, 待风机运转正常后, 将试验用玉米籽粒由料斗喂入。由于此时的喷嘴风速不足以使玉米籽粒流化, 故在冲击室底部产生玉米粒堆积, 料斗里物料保持一定的高度。调整风机入口的进风量, 待物料产生类似流态化运动和飞溅现象时, 将进风口锁定, 同时用热球式风速

表 1 试验因素与水平 mm

| 水平 | 结构因素 | | | |
|----|------|------|------|-------|
| | 喷嘴直径 | 喷嘴间距 | 喷嘴高度 | 冲击室宽度 |
| 1 | 10 | 65 | 50 | 60 |
| 2 | 15 | 82.5 | 70 | 80 |
| 3 | 20 | 100 | 90 | 100 |

表 2 正交试验安排

| 序号 | 结构因素水平数 | | | |
|----|---------|------|------|------|
| | 冲击室宽度 | 喷嘴直径 | 喷嘴间距 | 喷嘴高度 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 1 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 2 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 3 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 1 |

仪测定此时主管路(直径为 145 mm)中的风速,并确定主风管里的风量,同时计算出喷嘴出口的气流速度。

由于不同正交组合时的物料临界速度 v_{mf} 和带出速度 v_t 不一致,为了对不同结构因素组合时物料的 v_{mf} 和 v_t 进行分析比较,在此引入流化程度因子概念,即将每种组合状态下的流化程度分为 5 级,由低到高所对应的流化程度因子分别为 1, 2, 3, 4, 5。需要说明的是,当颗粒物料在射流流场的冲击作用下产生流化时,相同流化程度因子物料的运动状态是完全一样的。具体地讲,当流化程度因子为 1 时,物料处于临界流化状态,此时对应的喷嘴出口气流速度为 v_{mf} ; 当流化程度因子为 5 时,物料不仅具有较强的流化运动,而且还产生飞溅现象,此时对应的喷嘴出口气流速度为 v_o 。为了确定不同结构参数组合时的物料流化程度因子,研究中采用了图像处理方法。图 3 示出不同流化程度因子时物料的流化状态。流化程度因子为 1 时,有相当一部分物料处于涌动状态(图 3(a)); 流化程度因子为 2 时,涌动物料减少,出现跳跃的颗粒增

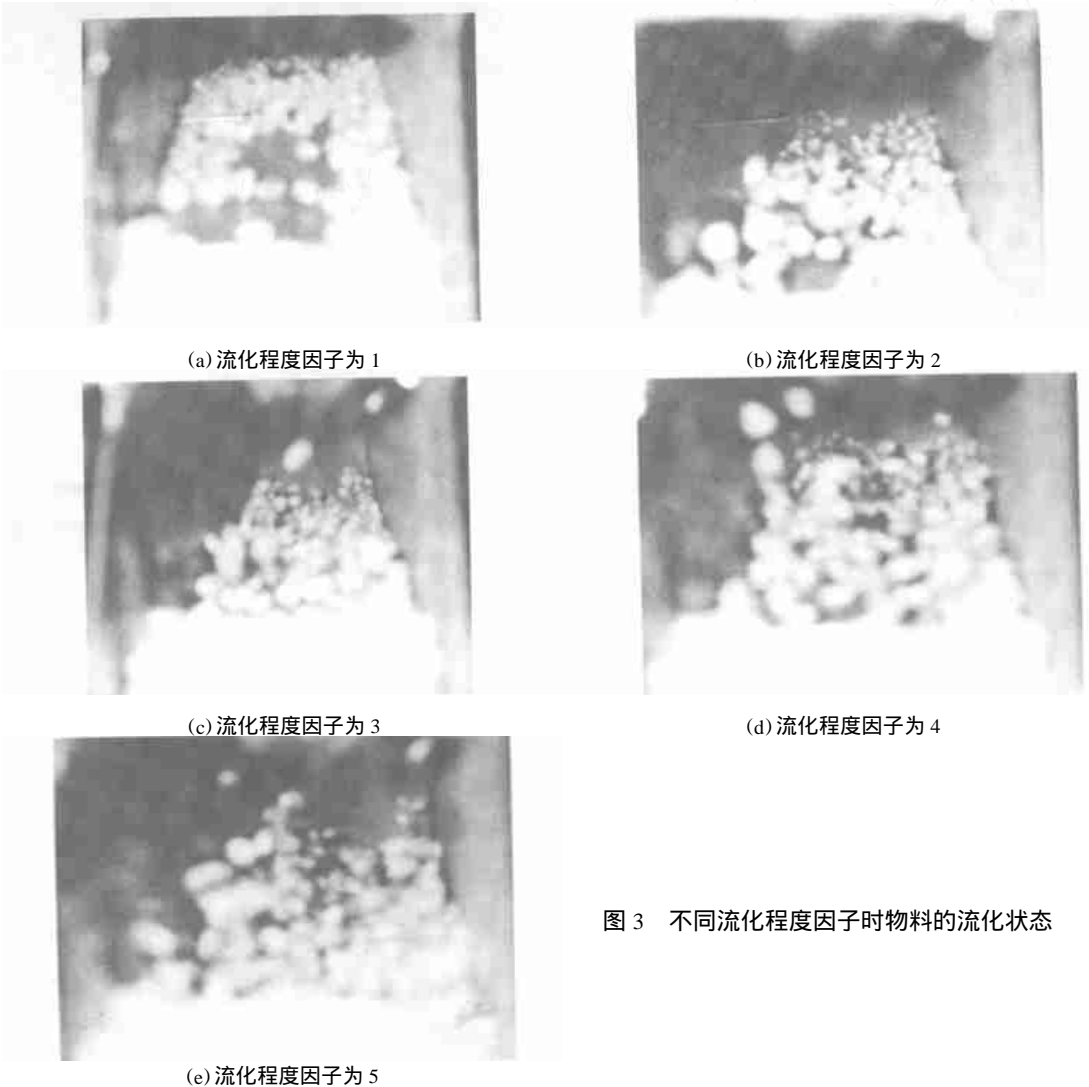


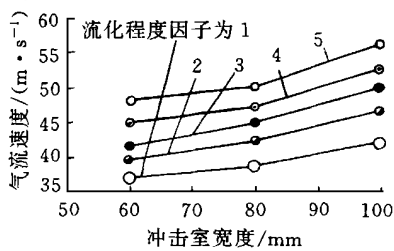
图 3 不同流化程度因子时物料的流化状态

多, (图 3(b)); 当流化程度因子达到 3 时, 涌动流化的物料已基本没有, 物料都处于跳跃性的流化状态(图 3(c)); (d), (e) 为流化程度因子为 4 和 5 时的物料流化状态。

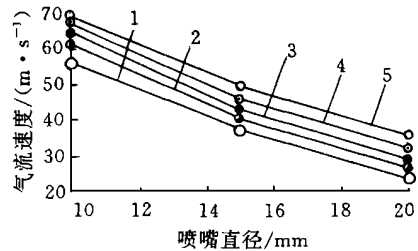
3 试验结果与讨论

3.1 冲击室宽度与喷嘴出口气流速度

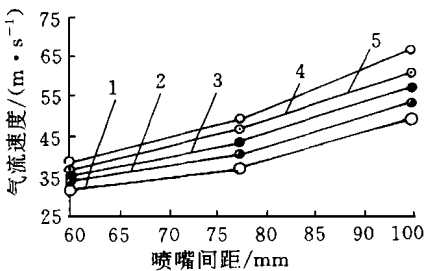
图 4(a) 示出不同流化程度因子时, 冲击室宽度与喷嘴出口气流速度的关系。随着冲击室宽度的增加, 喷嘴出口气流速度均有所提高, 而且曲线的走势在不同流化程度因子下是单调增加的, 但增加的比率与冲击室的宽度有关: 当宽度从 60 增加到 80mm 时, 气流速度的平均变化率为 5.9%; 而当宽度从 80 增加到 100mm 时, 气流速度平均变化率为 10.28%。由于物料流化是在反射流场压力作用下产生的, 而反射流场的压力与流场滞留区^[1]的气流到达速度 (arrival velocity) 密切相关, 由此可见, 物料的流化与冲击室宽度大于或小于射流冲击流场滞留区直径有关。因滞留区内流体的径向压力梯度大于 0, 而在滞留区外, 流体的压力梯度小于 0, 所以, 当冲击室宽度大于滞留区直径时, 冲击室两侧壁处反射流场压力出现陡降现象, 此时若要维持物料流化状态, 就必需大幅度增加喷嘴出口气流速度以补偿压力的降低。由此也可推断出该试验装置的流场滞留区半径为 40mm 左右, 此试验结果与文献[3]和[4]报道的平面射流冲击滞留区半径在 0.35 H~ 0.5 H (H 为喷嘴高度) 之间基本相符。需要指出的是, 冲击室宽度较小时, 易造成冲击室侧壁气流流体由于反射而带来的气流夹带现象。



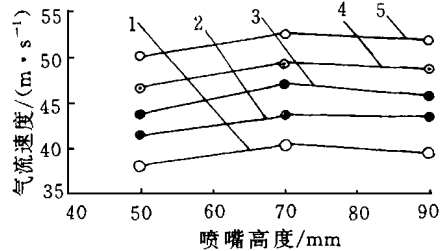
(a) 冲击室宽度与喷嘴出口气流速度



(b) 喷嘴直径与喷嘴出口气流速度



(c) 喷嘴间距与喷嘴出口气流速度



(d) 喷嘴高度与喷嘴出口气流速度

图 4 不同流化程度因子时结构因素对流化气流速度的影响

3.2 喷嘴直径与喷嘴出口气流速度

图 4(b) 示出不同流化程度因子时, 喷嘴直径与喷嘴出口气流速度的关系。可见, 喷嘴直径越小, 物料在气流的冲击作用下产生流化状态时(流化程度因子为 1)所需的喷嘴出口气流速度越高, 最高为 $56.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 最低为 $23.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 曲线变化基本是呈直线衰减的。其原因与喷嘴

出口气流流量有关。

3.3 喷嘴间距与喷嘴出口气流速度

图4(c)示出不同流化程度因子时,喷嘴间距与喷嘴出口气流速度的关系。在试验范围内,物料流化所需喷嘴出口风速随喷嘴间距的增大而增大,当喷嘴间距由65增加到82.5mm和82.5增加到100mm时, V_{mf} 和 V_t 的变化率是不一致的,其分别是16.93%,31.85%和28.46%,35.5%。

由此看出,喷嘴间距对物料流化时的喷嘴出口气流速度的影响主要源于射流流场的压力,当喷嘴间距小于射流流场滞留区直径时, V_{mf} 随喷嘴间距增大而增大的幅度比喷嘴间距大于射流流场滞留区直径时小近50%。

3.4 喷嘴高度与喷嘴出口气流速度

从图4(d)中看出,物料流化时所需喷嘴出口气流速度随喷嘴高度变化的差异程度不大,其原因是高度变化在以上诸影响因素中对物料流化的影响程度最低,试验时由于其他因素或因素间交互作用对物料流化产生的影响掩盖了高度的影响,因此,喷嘴高度变化对物料流化的影响需作进一步的试验研究。

4 结 论

1) 物料在射流冲击作用下,产生流化所需的喷嘴出口风速随冲击室宽度的增加而增大,但增大的程度不同。当冲击室宽度小于流场滞留区直径时,其物料流化平均风速的增加幅度比大于滞留区直径小近50%。在本次试验中,当冲击室的宽度由60增至80mm时,物料在相同流化程度因子下所需风速平均增加5.9%,冲击室宽度由80增至100mm时,所需风速平均增加10.28%。

2) 喷嘴直径越小,物料在气流冲击作用下产生流态化状态所需的喷嘴出口风速就越高,当喷嘴直径为10和20mm时,其 V_{mf} 分别是56.6和23.9 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

3) 物料流化所需的喷嘴出口风速随喷嘴间距的增大而增大。当喷嘴间距小于流场滞留区直径时, V_{mf} 比大于流场滞留区直径小近50%。试验时,喷嘴间距由65增加到82.5mm时, V_{mf} 提高16.92%, v_t 提高28.46%;而由82.5增加到100mm时, V_{mf} 提高31.85%, V_t 提高35.5%。

参 考 文 献

- 1 高振江. 气体射流冲击颗粒物料干燥机理与参数试验研究. [学位论文]. 北京: 中国农业大学, 2000
- 2 Mujumdar A S. Handbook of Industrial Drying. New York: Marcel Dekker, 1987. 461~ 474
- 3 Saad N R, Polat S and Douglass W J M. Confined multiple turbulent impinging jet. Int J Heat and Fluid Flow, 1992, 13(1): 2~ 14
- 4 Suna P. Heat and mass transfer in impingement drying. Drying Technology, 1993, 11(6): 1147~ 1176