

气体分布板开孔结构对流化床干燥性能的影响

刘 巍^{1,2}, 汤文成¹

(1. 东南大学机械工程系, 南京 210096; 2. 南京师范大学机械电子工程系, 南京 210042)

[摘要] 针对惰性粒子流化床干燥器, 以洗衣粉悬浮液为对象, 先后进行了气体分布板开直孔和开斜孔的流化干燥实验。通过测定干燥器的流体力学特性曲线, 以及在相同进料量、进风温度、进风速度或惰性粒子直径条件下的体积传热系数曲线和热效率曲线, 考察和分析了气体分布板两种不同的开孔结构对干燥器流体力学和传热性能的影响。结果表明, 气体分布板开斜孔的床内气流阻力要高于开直孔的气流阻力, 但其体积传热系数和热效率相对较高, 即斜孔较直孔更加有利于床内传热。在此基础上, 对惰性粒子流化床干燥器的生产调节措施进行了初步探讨。

[关键词] 气体分布板; 开孔结构; 惰性粒子; 流化床; 干燥性能

[中图分类号] TK 173 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2006)02-0047-04

1 引言

惰性粒子流化床干燥器是一种新发展起来的干燥设备。它与传统流化床干燥器的主要区别在于其内充填一定量的惰性粒子, 从而强化了设备的传热与传质性能。惰性粒子流化床干燥技术与传统的流化床干燥技术相比, 具有传热系数大、热效率高、操作可靠以及对物料的适应性较强等优点, 被广泛应用于食品、印染、化工和日用化工等领域^[1-4]。

有关气体分布板开直孔的惰性粒子流化床干燥器, 已多有报道^[5-8], 但关于液状物料在这类干燥器中的热量和质量传递及流体力学性能的研究目前尚少^[9,10], 至于气体分布板开斜孔的干燥器传热性能也未见报道。为此, 笔者在前期研究的基础上^[11], 以洗衣粉悬浮液为对象, 分别针对气体分布板开直孔和开斜孔的惰性粒子流化床干燥器, 拟测定干燥器的流体力学特性曲线、体积传热系数曲线和热效率曲线, 以考察气体分布板开孔结构对流化床干燥器流体力学和传热性能的影响。

2 分布板结构与干燥流程

图1为惰性粒子流化床干燥器, 其不锈钢气体分布板分别采用2 mm孔径的直孔或斜孔孔道, 开孔率为7.5%。流化床内部装填球状的玻璃粒子即惰性粒子。操作时, 这些惰性粒子将在热空气的推动下翻滚呈流态化。实验原料为洗衣粉悬浮液。料液经蠕动泵输送到流化床中, 覆盖在惰性粒子的表面, 与热空气进行传热和传质。当料液中水分蒸发到一定程度后, 由于惰性粒子的互相碰撞, 干料将从粒子表面脱落, 并由尾气带出流化床, 进入布袋收集器。

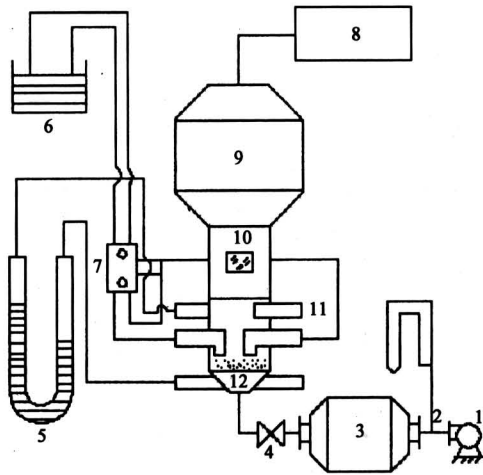
3 流体力学性能

图2为惰性粒子流化床干燥器的流体力学特性曲线。可以看出, 由于气流阻力增加, 不论气体分布板开直孔还是开斜孔, 床层压降 Δp 均随着进风速度 u 的提高而增大。同理, 与未添加惰性粒子相比, 添加粒子的床层压降有明显的升高; 在粒子表面覆盖物料后, 床层压降又有小幅度增加。此外,

[收稿日期] 2005-03-21; 修回日期 2005-06-08

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(50470574)

[作者简介] 刘 巍(1973-), 女, 吉林公主岭市人, 东南大学机械工程系博士生, 南京师范大学讲师



1—风机；2—毕托管；3—电加热器；4—风量调节阀；5—U管压差计；6—物料槽；7—蠕动泵；8—布袋；9—干燥器；10—窥镜；11—温度计；12—气体分布板

图1 惰性粒子流化床干燥器实验流程

Fig.1 Schematic of the experimental fluidized bed drier with inert particles

当风速提高时，粒子之间的碰撞将更加剧烈和频繁，即增大了气流阻力。因此，添加粒子后的床层压降曲线和添加物料后的床层压降曲线与孔板压降曲线间的偏离幅度均随着进风速度的增加而加大。

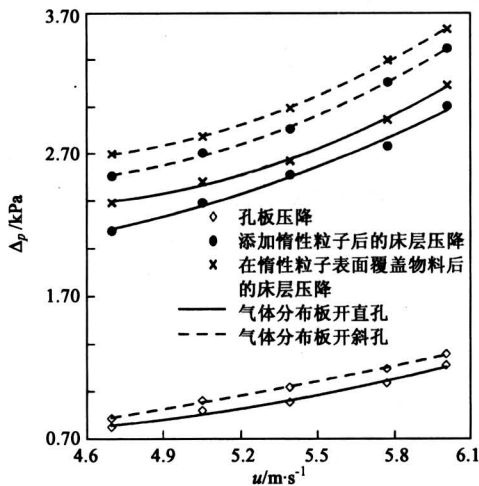


图2 气体分布板开直孔和开斜孔的流体力学特性
Fig.2 Comparison of hydromechanical property of drier with vertical-hole distributor and tilted-hole distributor

图2还表明，不论是未添加惰性粒子还是添加惰性粒子或在粒子表面覆盖物料，气体分布板开斜孔的床层压降都要高于开直孔的床层压降。当床内未添加惰性粒子时，床层压降由分布板阻力所致，

虽然开直孔与开斜孔的分布板形状和尺寸相同，但由于斜孔的孔道长度和进出口的形体阻力均大于直孔的，故斜孔分布板的孔板压降要高于直孔分布板。当床内添加有惰性粒子时，由于斜孔孔道较直孔孔道更容易造成床内气流的湍动，其惰性粒子的流化程度也要高于后者，即斜孔孔道的床内阻力损失相对较大。因此，斜孔分布板与直孔分布板相比，惰性粒子添加前后床层压降的增幅更大。同理，当粒子表面覆盖物料后，分布板开斜孔的床层压降增幅也大于开直孔的。

4 传热性能

体积传热系数 K_v 和热效率 η 是衡量干燥器传热性能的两个重要指标。其中，体积传热系数是指在单位传热温差下，单位时间内单位体积静床层中传递的热量。热效率 η 的定义为

$$\eta = \frac{T_{in} - T_{out}}{T_{in} - T_{air}} \quad (1)$$

式中 T_{in} 和 T_{out} 分别为干燥器的进风温度和出风温度 (K)； T_{air} 为周边大气的温度 (K)。

如图3和图4所示，不论气体分布板开直孔还是开斜孔，体积传热系数均随着进料量 V 或进风速度 u 的提高而增大，随着进风温度 T_{in} 或惰性粒子直径 d_i 的提高而减小。在惰性粒子流化床干燥中，若进料量较少，惰性粒子将不能被料液完全覆盖，即粒子的表面利用率低，故体积传热系数不高。因此，在保证床内正常流化的前提下，可适当提高进料量，使得粒子与料液能够充分混合，即增大干燥传热的表面积，提高体积传热系数。另外，由于进风速度可直接影响床内惰性粒子的流化程度，故提高进风速度，体积传热系数亦会增大。在惰性粒子流化床干燥过程，由于水分蒸发所需的热量完全来自热空气的显热，故当进料量和进风速度一定时，盲目提高进风温度，会导致尾气的出风温度升高。但实验中测得气体的进出口温差是增大的，即体积传热系数下降。此外，由于大直径粒子不容易被流化且传热的比表面积较小，故对于多数液状物料的干燥操作，通常不宜选择大直径的惰性粒子，以免降低体积传热系数。

如图5所示，气体分布板开直孔和开斜孔时的热效率均随着进料量的提高而增大，随着进风温度的提高而减小。当进料量提高时，料液中所含水分及其蒸发所需的热量将增多。实验中若维持进风温

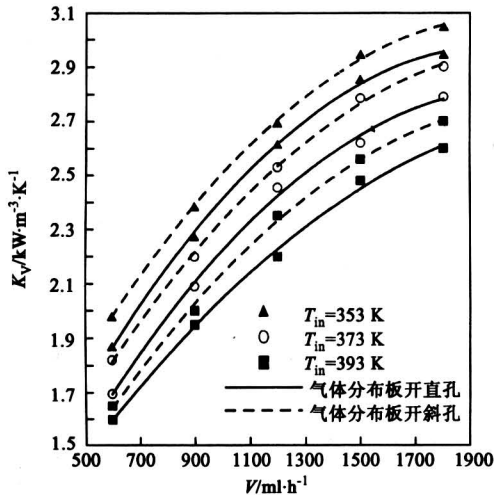


图 3 气体分布板开直孔和开斜孔的体积传热系数与进料量及进风温度的关系

Fig.3 The effects of feed volume and gas temperature of entrance on volumetric heat transfer coefficient of drier with vertical-hole distributor and tilted-hole distributor

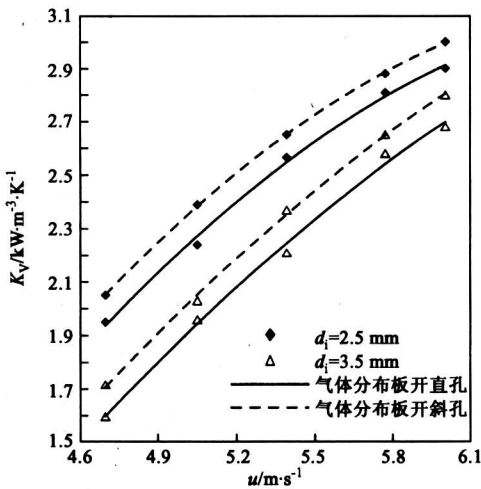


图 4 气体分布板开直孔和开斜孔的体积传热系数与进风速度及惰性粒子直径的关系

Fig.4 The effects of gas rate of entrance and diameter of inert particles on volumetric heat transfer coefficient of drier with vertical-hole distributor and tilted-hole distributor

度一定，则可测得气体的进出口温差将增大，故由式 (1) 可知热效率提高。反之，在进料量一定的情况下，若一味地提高进风温度，则有可能导致热效率下降。这是由于当进风温度提高时，等量气

体所携带的热量增多，而料液中水分及其蒸发所需的热量是一定的，所以气体中未被利用的热量增加，即尾气的出风温度会升高，热效率降低。

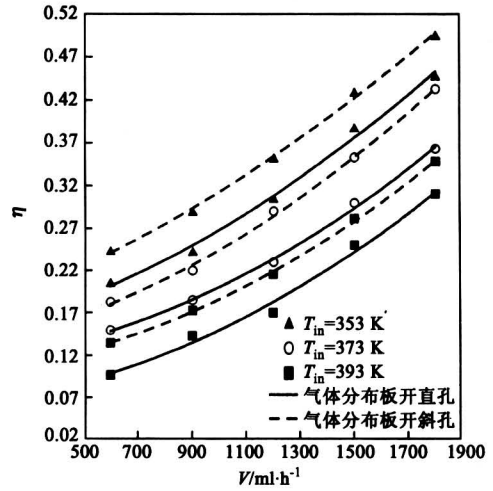


图 5 气体分布板开直孔和开斜孔的热效率与进料量及进风温度的关系

Fig.5 The effects of feed volume and gas temperature of entrance on heat efficiency of drier with vertical-hole distributor and tilted-hole distributor

由图 3、图 4 和图 5 还可以看出，在相同的实验条件下，气体分布板开斜孔的体积传热系数和热效率均较开直孔的要大。这主要是因为斜孔的作用下，气流呈旋转式流动，湍动程度大大增加，惰性粒子的运动也更加剧烈，从而强化了对流传热。

5 结论

1) 对于惰性粒子流化床干燥操作，不论气体分布板的孔道是直孔还是斜孔，其床层压降均来自惰性粒子的流化阻力，而液状物料对床层压降的影响较小；适当提高进料量和进风速度，或减小惰性粒子直径，将有利于体积传热系数的增大；当进风温度一定时，适当增加进料量，可提高干燥器的热效率；当进料量一定时，不宜追求过高的进风温度，以免导致体积传热系数和热效率下降。

2) 在相同的实验条件下，气体分布板开斜孔与开直孔相比，流化床干燥器的床层压降将有所上升，但其体积传热系数和热效率也同时增大，这说明斜孔分布板造成的粒子高速旋转有助于传热性能的提高。

参考文献

- [1] 李选友, 张 莲, 李 胜. 惰性粒子流化床干燥液
态及膏糊状物料的研究[J]. 南京林业大学学报,
1997, 21(增刊): 127 ~ 130
- [2] 陈国桓, 张健飞; 陈 江. 从液状、膏糊状、泥团状
干燥粉碎到粉末[J]. 化学工程, 1996, 24(4): 17 ~
20
- [3] 时 钧, 汪家鼎, 余国琮, 等. 化学工程手册·干燥
[M]. 北京: 化学工业出版社, 1996
- [4] Ormos Z. Economic considerations in fluidized bed drying
of pastes using inert particles [J]. *Drying Teh*, 1987, 5
(4): 577 ~ 591
- [5] 陈国桓, 张健飞, 刘 雁, 等. 膏状物料在惰性粒
子流化床中的干燥试验研究[J]. 化工机械, 1997,
24(5): 254 ~ 257
- [6] Tamarin A I, Palchylnok G I, Goryunor K E. Heat and
mass transfer of model particles in a fluidized bed of inert
material [J]. *Heat Transfer - Sovient Research*, 1985, 17
(2): 136 ~ 140
- [7] Reyes A, Diaz G, Blasco R. Experimental study of
slurries drying on inert particles in spouted bed and
fluidized bed dryers [A]. *Drying, 96-Proceedings of the
10th International Drying, A[C]*. 1996. 605 ~ 612
- [8] 陈国桓. 干燥, 粉碎一体化装置[J]. 化工进展,
1993, 31(3): 11 ~ 14
- [9] 陈国桓, 李永辉, 赵忠祥, 等. 惰性粒子流化床中
的悬浮液干燥[J]. 化工学报, 1996, 47(4): 474 ~
480
- [10] 李佑楚, 韩 铠, 王凤鸣, 等. 超微粉体浆料惰性
粒子流化床干燥过程传热传质特性[J]. 化工冶金,
2000, 21(4): 407 ~ 411
- [11] 刘 巍. 气体分布板为斜孔的惰性粒子流化床干燥
器性能研究[J]. 化学工程, 2003, 31(2): 16 ~ 18

Effects of Structure of Opening Hole in Gas Distributor on Drying Property for Fluidized Bed Drier

Liu Wei^{1,2}, Tang Wencheng¹

(1. *Department of Mechanical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China;*

2. *Department of Mechanical Electronics Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China*)

[Abstract] The gas distributor, as an important part of fluidized bed drier, can directly affect the drying property of drier. For comparing the hydromechanics and heat transfer property of inert particles fluidized bed drier between vertical-hole distributor and titled-hole distributor, the drying processe of detergent suspending liquor was experimented in this paper. The characteristic curves of hydromechanics, volumetric heat transfer coefficient and heat efficiency of drier were carefully determined under the same experimental parameters, such as feed volume, gas temperature of entrance, gas rate of entrance, and diameter of inert particles. The experimental results show that the structure of opening hole in gas distributor has a dual effect on fluidized drying. Compared with vertical-hole distributor, titled-hole distributor will increase the flow resistance of gas, but it will promote the heat transfer of drier. Based on the results, some advice was proposed in the conclusion of this paper to improve the performance of inert particles fluidized bed drier.

[Key words] gas distributor; structure with opening hole; inert particles; fluidized bed; drying property