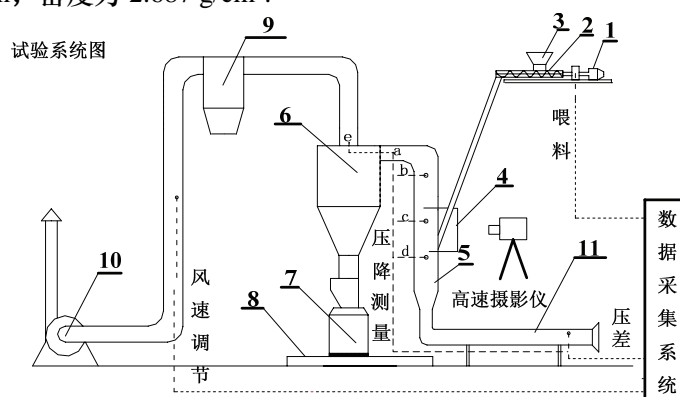


到换热管的截面气流速度。本试验选做的换热管截面风速为 12、15、18、21 m/s。试验用粉料为水泥生料粉, 平均粒径为 19.64 μm , 密度为 2.687 g/cm^3 。



1-调速电机, 2-螺旋给料机, 3-喂料斗, 4-PV4 光纤浓度测量仪, 5-换热管, 6-旋风筒,
7-集料斗, 8-电子秤, 9-袋收尘, 10-引风机, 11-集风管

图2 试验系统装置示意图

Fig.2 Experimental equipment system

试验中所采用的三种撒料装置的结构参数和安装位置如图 3 所示, 其中 1#撒料装置底板同水平面的夹角 15° , 2#撒料装置底板同水平面的夹角为 20° , 3#撒料装置底板同水平面的夹角为 30° , 如此便可把下料管和撒料箱底板的安装角度唯一确定下来, 图中长度的单位为厘米, 角度的单位为度。

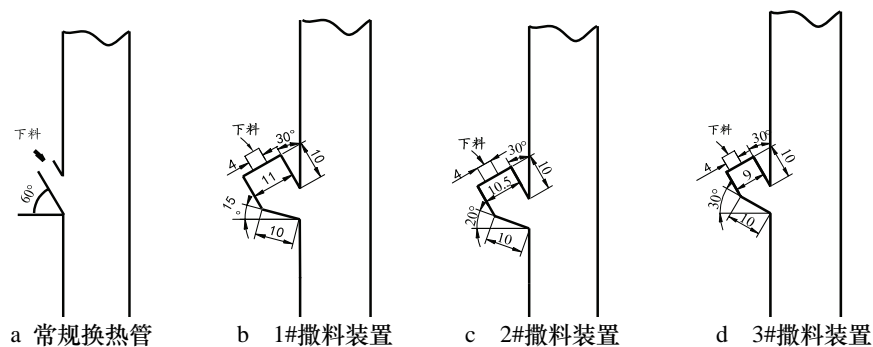


图3 三种撒料箱结构示意图

Fig.3 Structure parameters of three dispersing equipments

2 试验结果分析

2.1 试验结果整理

图中 Z 固气比是无量纲数, 其为=物料质量流量/气体质量流量 (kg/kg). 图 4a-d 为不同风速、不同固气比、不同撒料装置下预热器换热管内压力损失的分布规律.

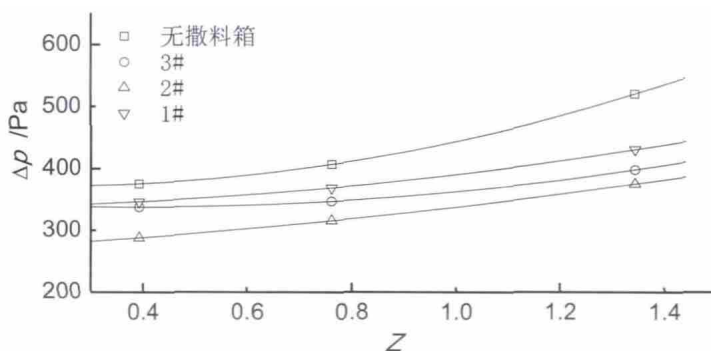


图 4a 风速 12m/s 时有无撒料装置换热管压力损失对比图

Fig.4.a The distribution law of pressure drop with and without dispersing equipment at 12 m/s velocity

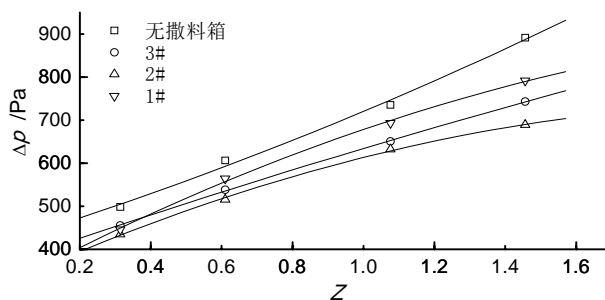


图 4b 风速 15m/s 时有无撒料装置换热管压力损失对比图

Fig.4b The distribution law of pressure drop with and without dispersing equipment at 15 m/s velocity

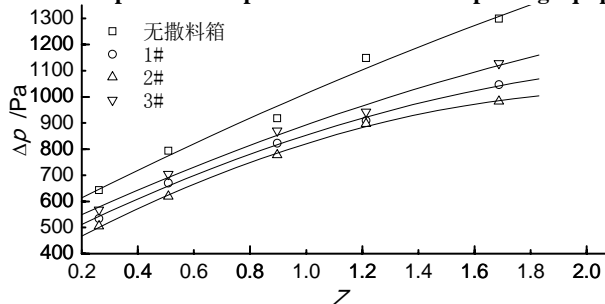


图 4c 风速 18m/s 时有无撒料装置换热管压力损失对比图

Fig.4c The distribution law of pressure drop with and without dispersing equipment at 18 m/s velocity

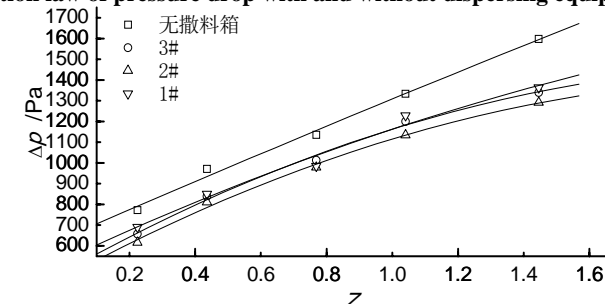


图 4d 风速 21m/s 时有无撒料装置换热管压力损失对比图

Fig.4d The distribution law of pressure drop with and without dispersing equipment for 21 m/s velocity

2.1 试验结果分析

从试验结果图 4a-d 分析得出^[5-6]:

(1) 相同换热管断面风速下, 随着固气比 Z 的增大, 不论有没有装载撒料装置, 换热管内的压力损失都是不断增大的. 这是由换热管内气固两相流动的客观规律所决定的. 当粉体物料经下料管进入换热管时, 如图 5、图 6 所示, 粉体物料在换热管内的运动根据其运动规律分为三个阶段: 第一个阶段为粉体物料运动加速区间 (CD 区间). 在物料运动加速段, 当粉料未被气流打散时, 粉团直径较大, 流体拽力小于重力, 粉料加速下沉; 打散后, 粉团直径减小, 流体拽力超过重力, 粉料由低速下沉转为向上随气流运动, 而向上运动初始时气固相对速度较大, 粉料处于向上加速运动阶段. 因此, 由于气流要瞬间改变物料的运动状态, 使物料同流向上运动, 且气固间存在着较大的相对运动速度, 会导致气流湍流强度增大, 气体做功较大, 产生较大的局部压力损失. 第二阶段为在物料匀速运动区间 (BC 区间). 此时由于作用在固体颗粒上的合外力为零, 气固

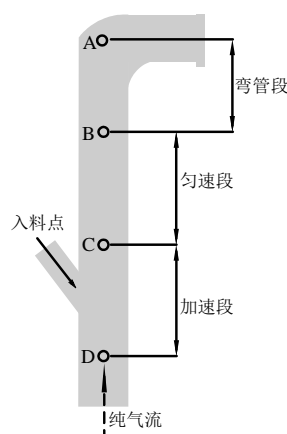


图 5 换热管物料运动区域示意
Fig.5 The motion zone of the heat-exchange pipe

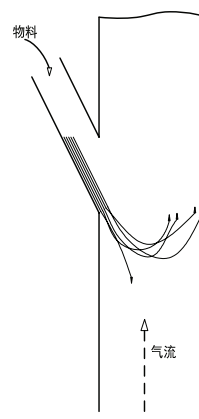


图 6 物料运动轨迹
Fig.6 Motion trace of powder

之间的相对运动速度为一常数,因此主要产生沿程压力损失,且数值较小。第三阶段为弯管区间(AB区间)。弯管段为流体进入旋风器时,换热管由垂直向入口水平段的过渡段,因固壁边界形状不合流线导致大区域涡旋运动造成能量损失,有相对较大的局部压力损失。前期的研究表明^[7],在物料的三个运动阶段,匀速段的压力损失最小,弯管段压力损失次之,加速段的压力损失最大,加速段压力损失占整个换热管压力损失的最大比重超过了60%,即换热管内的压力损失主要取决于加速段的压力损失。当换热管内风速一定时,固气比越大,说明换热管内物料荷载越大,气流改变物料运动状态并携带其同步运动所做的功越大,整个换热管的压力损失也越大。

(2)从图4a-d得出,通过对比不同风速,不同固气比,不同撒料装置下的换热管压力损失得出,装载三种撒料装置后,都起到了减小换热管内压力损失的作用,根本原因在于撒料装置在换热管外部对物料流股都起到了不同程度的分散,减小了物料流股的动量,使气体在换热管内物料加速区间瞬时改变物料运动状态携带其向上运动时所做的功减少,能量损失小,局部压力损失减小,达到优化提升管加速区域压力损失的目的,从而从根本上降低整个换热管内的压力损失。虽然三种撒料装置都能起到在换热管外部不同程度分散物料团块,降低换热管总体压力损失的效果,但可看出,在试验范围内的相同风速、固气比条件下,2#撒料箱对换热管压力损失减少的程度更大一些,其降阻幅度最大可达到30%,3#撒料箱的降阻幅度可达到20%,1#撒料箱最低,但仍可达到15%。且随着固气比的增大,三种撒料箱的各自的减阻作用越明显。因此在相同试验条件下,2#撒料箱减阻效果最理想,3#撒料箱次之,1#撒料箱的减阻效果居于末位,但仍能降低换热管的压力损失。

(3)从试验结果及降低换热管压力损失的效果得出,三种撒料装置尤其是2#撒料箱,可以确保物料团块在进入换热管瞬间得到较为充分的分散。这种分散效果的重要意义不仅在于能够降低整个预热器系统的阻力损失,同时能够极大提高系统内物料同高温气流的换热、传质效率。因为物料和气体在换热管道中混合,呈稀相悬浮状态,其有效换热方式以对流方式为主,换热量与气固接触面积(颗粒表面积)成正比,物料充分分散,气固间换热、传质高效迅速。在同一悬浮状态下,当物料颗粒与高温气流之间的相对速度差、相对温差等决定传热、传质效率的物理因素不变时,粉体物料在换热管输送床内部浓度分布越均匀,分散的越充分,气固间的换热、传质反应便会越快速、高效,系统的热效率便会越高。因此,安装高效撒料装置后不但能降低每级换热管的压力损失、进而降低整个系统的压力损失,而且可以极大提高预热器系统的换热效率,真正起到节能降耗的作用。

(4)2#撒料箱的减阻效果最明显,说明其结构参数的合理性在试验范围内是最理想的。从图3中可以看出,3种撒料装置的根本区别在于底板同水平面的夹角有所不同。试验结果显示,并不是底板与水平面的夹角越大,减阻效果越明显。减阻效果随着撒料装置底板与水平面的夹角增大先增大,当底板与水平面的夹角增大到一定数值后,减阻效果也相应达到最大临界点。而后,随着底板与水平面夹角的角度的增大,减阻效果又开始逐渐减弱。试验结果为后续的工业装置的开发提供了真实、可借鉴的数据基础。

3 结论

(1)在理论研究的基础上,设计开发了三种不同结构参数的撒料装置。由试验结果得出,安装三种撒料装置后,换热管内的压力损失都得到了不同程度的有效降低,说明撒料装置在换热管外部对物料流股都起到了不同程度的分散,减小了物料流股的冲量,使气体在换热管内瞬时改变物料运动状态携带其向上运动时所做的功减少,同时使得粉体物料在换热管内分布的更均匀,换热传质效率更高。试验结果证明了撒料装置的设计是合理、可行的。

(2)对比不同试验条件下,1#、2#、3#撒料装置减小换热管压力损失的效果可得出,2#撒料装置对换热管压力损失减少的效果最显著,其降阻幅度最大可达到30%,3#撒料装置的降阻幅度最大可达到20%,1#撒料装置最低,但仍可达到15%。

(3)从降低预热器压力损失来说,2#撒料装置的结构参数是三种撒料装置中最合理的,后续试验可针对粉体物料在换热管中的浓度分布规律进行研究,如果安装2#撒料装置的换热管其物料浓度分布也是相对最均匀的,则可为撒料装置的工业化开发提供客观合理的试验依据。

参考文献 References

- [1] 徐德龙. 水泥悬浮预热预分解技术理论与实践[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2002.
XU Delong. Theory and technology of suspension preheating and precalcining of cement[M], Beijing: Scientific and Technical Documents Publishing Home, 2002.
- [2] 胡道和, 徐德龙, 蔡玉良. 气固过程工程学及其在水泥工业中的应用[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2003.
HU Daohe, XU Delong, CAI Yuliang. Gas-solid process engineering and the application in the cement industry[M]. Wuhan: Wuhan University of Technology Press, 2003.
- [3] 陈延信, 胡亚茹, 徐德龙. 三系列悬浮预热系统热效率的理论研究[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2007, 39(3): 419-422.
- [4] 张礼华. 高固气比旋风器的冷模试验研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2005.
ZHANG Lihua. A cold experimental research on the cyclone separator for high solids-gas ratio[D], Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2005.
- [5] 漆小波. 循环流化床提升管气固两相流动力学研究[D]. 成都: 四川大学, 2003.
QI Xiaobo. Gas-solids two phase flow dynamics in circulating fluidized bed risers[D]. Chengdu: Sichuan University, 2003.
- [6] HARTGE E U, RENSNER D, WERTHER J. Solids concentration and velocity patterns in circulating fluidized beds[C]// Circulating fluidized bed technology II. Oxford: Pergamon Press, 1988.
- [7] 刘文欢. 悬浮预热器换热管内粉体物料分散过程的试验研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2007.
LIU Wenhuan. An experimental investigation into powder dispersion process in the heat-exchange pipe of a suspension pre-heater [D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2007.

Investigation of the effect of dispersing equipment on pressure drop in the heat-exchange pipe of a suspension preheater

LIU Wenhuan, XU Pinjing, CHEN Yanxin, LI Hui

(School of Materials and Mineral Resources, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

Abstract: Based on the gas-solid two-phase flow motion theory in the heat-exchange pipe, three dispersing equipments of different structure parameters were designed. The construction of the pressure drop of the heat-exchange pipe and the influences have been investigated. The results indicated that the pressure drop is increasing with the increase of solid-gas ratio. It can be seen that each of the three dispersing equipments has the effect of dispersing the powder and decreasing the pressure drop in different superficial gas velocity and solids loading. No.2 dispersing equipment has the best effect in decreasing pressure drop, with the maximum amplitude to 30%; and the maximum amplitude of No.3 dispersing equipment to 20%. No.1 has the weakest effect where maximum amplitude reached 15%. The effect of decreasing pressure drop by three dispersing equipments is becoming more obvious with the increase of the solid loading.

Key words: preheating system; heat-exchange pipe; dispersing equipment; pressure drop; solid-gas ratio

(本文编辑 沈波)