

振动流化床内污泥颗粒与内置水平管的局部传热特性研究

范辞冬, 叶世超, 王锐思, 祝杰, 齐亚兵, 吴振元, 吴明钟
(四川大学化工学院, 四川成都610065)

摘要:研究了污泥颗粒在振动流化床中与浸没水平管的传热规律,考察了流化气速、振动频率和振幅对局部传热系数的影响,实验结果表明,局部传热系数因水平管圆周位置而异,局部传热系数随着气速、振动频率和振幅的增加呈先增长后降低的趋势。水平管的迎风面的局部传热系数要远远小于背风面。研究结果能为污泥在内置水平管的振动流化床的干燥设计提供理论依据。

关键词:污泥颗粒;内置水平管;振动流化床;局部传热系数

中图分类号:TQ021.3;TQ051.1

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2010)05-0077-03

Local heat transfer characteristic between sludge particles and inner-horizontal tubes in vibrating fluidized bed

FAN Ci-dong, YE Shi-chao, WANG Rui-si, ZHU Jie, QI Ya-bing, WU Zhen-yuan, WU Ming-zhong
(College of Chemical Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: The heat transfer characteristic of sludge particles with inner-horizontal tubes in vibration fluidized bed is studied. The influencing factors on local heat transfer coefficient such as gas velocity, vibration frequency and vibration amplitude are researched. The results show that the local heat transfer coefficient varies in different position of tube circle, it increases firstly and then decreases with the increasing of gas velocity, vibration frequency and vibration amplitude. Local heat transfer coefficient on windward side is much less than that of leeward side. The research can provide theoretical bases for sludge drying in vibration fluidized bed with inner-horizontal tubes.

Key words: sludge particles; inner-horizontal tubes; vibration fluidized bed; local heat transfer coefficient

近年来污泥处理处置逐渐提上议事日程。常用的污泥处理处置方法有农用、填埋和焚烧,降低污泥湿含量是污泥处理的关键^[1-2]。传统的污泥浓缩和机械脱水工艺只能将污泥湿含量降至65%~75%,要深度脱水需要采用热干燥。流化床热干燥中由于流体与固体接触面积大,热容量系数高,颗粒在床层中混合剧烈,成为了污泥干燥的重要方式,国内外学者进行了一些研究^[3-6]。而振动流化床干燥在国内外未见报道。振动可降低临界流化气速,进而减少空气需求量,降低操作成本,同时减少灰尘产生量,有助于污泥物料在床层分散,并消除膏糊状污泥在传统流化床中易出现的返混、死床、团聚、板结、沟流、粘壁和粘底等现象^[7],但振动流化床依然存在放空热损失较大,热效率较低的问题。本实验采用新型技术,在振动流化床基础上引进内置水平加热管进行改进,提高污泥的干燥热效率,进一步降低干燥成本^[8]。

振动流化床与内置水平管的局部传热特性是内置水平加热管振动流化床干燥的参数预测和设备设

计的基础,对此,叶世超等^[9-11]做了研究,但仅限于河沙和玻璃珠粒子,在环保领域未见研究。本实验借鉴前人研究方法,研究了污泥颗粒在振动流化床中的与内置水平管之间的局部传热特性,旨在为污泥于内置水平加热管的振动流化床中干燥的工艺设计和操作提供理论基础和实验依据。

1 实验原理和方法

1.1 实验原理和物料

图1为振动流化床传热特性实验装置示意图。实验用振动流化床为240×80 mm²的有机玻璃制成的二维流化床。分布板采用开孔率为4.9%、孔径为2 mm的多孔板。其上铺设1层100目的不锈钢丝网以使气流分布均匀,振动流化床床体通过4根金属弹簧支撑在固定支架上,床体通过导向连杆与偏心机构相连接,偏心装置通过皮带与调速电机相连。借助偏心装置的作用,将电机的旋转运动转换成床体在竖直方向上的往复运动。振幅可通过改变偏心距来调节,振动频率则通过调节调速电机的

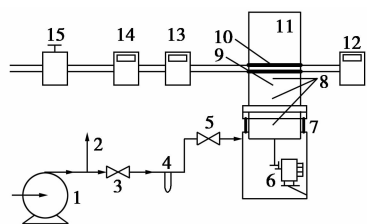
收稿日期:2010-01-18

作者简介:范辞冬(1985-),男,硕士生;叶世超(1956-),男,博士,教授,博士生导师,主要从事研究污水污泥处理、流化床干燥和燃烧技术等节能减排方面的研究,通讯联系人,shichaoye@sina.com。

转速加以控制,并通过数字式光电转速表测出。气体由鼓风机通过孔板流量计计量后由床底进入。测量传热系数的水平管如图2所示,在直径32 mm、长80 mm的聚四氟乙烯棒体上沿轴向开有长60 mm、宽6 mm的小槽,槽深9 mm,槽内嵌入如图2所示的铜质加热体,铜体的上表面具有和圆管表面一致的弧形,铜体沿轴向开有宽度1 mm、深度7 mm的沟槽,沟槽内卡入微元发热体。在铜体弧形表面下焊接铜-康铜热电偶,热电偶引线从表面内侧穿过端头引出。水平管两端固定在床壁上,轴线距气体分布板60 mm,并在管两端配有手柄,转动手柄可以改变微元加热面的位置,以测量水平管圆周不同方位的局部传热系数。管内加热棒通入交流电进行加热,由调压器调节输入的电压大小,从而调节输入管体的电功率大小,并由功率表显示输入的功率值,管壁的温度通过热电偶接入数字钳形表测定,床层温度由安装在水平管下方距气体分布板30 mm处的裸露热电偶测定。传热系数用式(1)计算。

$$h = P/[A_{wi}(t_w - t_B)] \quad (1)$$

式(1)中, h 为局部传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$; P 为通入水平管的热量, J/s ; A_{wi} 为水平管测试部位面积, m^2 ; t_w 为管壁温度, $^{\circ}C$; t_B 为床层温度, $^{\circ}C$ 。



1—罗茨鼓风机;2—放空阀;3—节流阀;4—孔板流量计;
5—进气阀;6—调速电动机;7—金属弹簧;8—测温口;
9—测压口;10—水平管;11—流化床;12—数字钳形表;
13—功率仪;14—稳压器;15—调压器

图1 振动流化床实验流程图

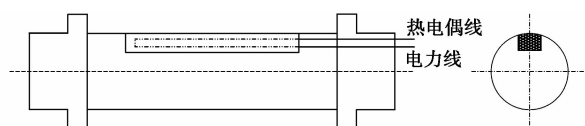


图2 水平管的结构图

实验物料为污泥颗粒,取自资中球溪河沙琪公司的酒精污泥,平均粒径为 $d_p = 2.63$ mm,湿含量 $w < 5\%$,临界流化速度为 $u_{mf} = 1.32$ m/s。颗粒在流化床中的堆积高度 $H = 11.8$ cm。本文中研究了不同气速 u 、振动频率 f 和振幅 A 下局部传热系数 h 的变化规律,以表征污泥在内置加热管的振动流化床

中的传热特性。

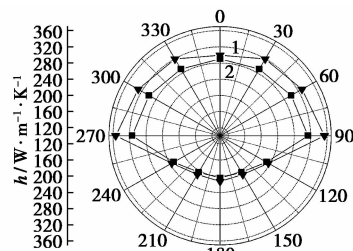
1.2 实验原理

振动流化床内管壁传热有颗粒固定床传热、运动颗粒对流传热和气体对流传热3种形式。颗粒对流传热速率最高,气体对流传热次之,固定床传热速率最低。诸因素对传热过程的影响,主要通过改变管与颗粒床层的作用模式和动力学特征来实现^[8]。

2 实验结果与讨论

2.1 流化气速对局部传热系数的影响

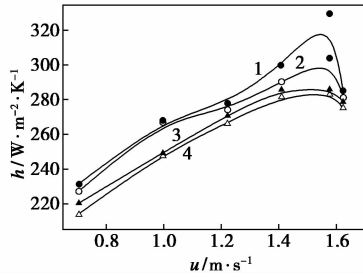
图3表示当流化气速 $u = 1.41$ m/s 和 1.57 m/s 时水平管圆周面的不同位置的局部传热系数,其中振动幅度 $A = 0.002$ m,振动频率 $f = 10$ Hz,加热管在迎风面(即 $90^{\circ} \leq \theta \leq 180^{\circ}$ 时)的局部传热系数远小于背风面(即 $0^{\circ} \leq \theta \leq 90^{\circ}$ 时),这是由于水平管的存在加大了迎风面颗粒运动的阻力,大大恶化了颗粒在此处的抛掷运动流动,最终弱化了传热($\theta = 180^{\circ}$ 处颗粒出现静止状态,颗粒传热以固定床传热为主,大大弱化了此处的传热)。在背风面 $\theta = 0^{\circ}$ 处,水平管的存在使得气体需爬流才可到达颗粒层,其运动程度低于其他角度,弱化了此处的传热能力。 $\theta = 90^{\circ}$ 处,污泥与水平管的局部传热系数最高,这是由实验条件决定的。在一定范围内,传热系数随气速的加快而增加。



气速/ $m \cdot s^{-1}$: 1—1.57; 2—1.41

图3 气速对局部传热系数与影响

图4表示不同流化气速下在 $\theta = 60^{\circ}$ 的局部传热系数,随着流化气速的提高,局部传热系数先加速增加,经过一个稳定阶段,又成下降趋势。这是因为随着气速的增加,振动流化床经过了固定床阶段、局部流化阶段和完全流化床阶段,颗粒的抛掷运动逐渐加剧。在某一振动下,当气速较低时,污泥颗粒处于固定流化床阶段,局部传热系数较小,当超过临界流化速度时,颗粒开始流化,颗粒间的湍动加剧,大大提高了局部传热系数,但气速加快也降低了颗粒的浓度,颗粒与水平管的碰撞概率降低,颗粒与水平管间的气泡分率增大,反而削弱了局部传热系数。

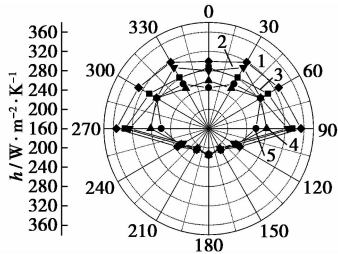


振动频率/Hz:1—10;2—6.66;3—3.33;4—0

图4 不同振动频率下(A=0.002 m)的局部传热系数与气速

2.2 振动频率对局部传热系数的影响

图5表示了不同振动频率下污泥的局部传热系数,随着振动频率的增高,污泥的局部传热系数呈先增高后降低的趋势,这是因为振动降低了污泥颗粒的临界流化速度,改善流化状况,加快颗粒间的湍动和表面更新,提高了污泥的传热系数。但振动频率的增高也增加了污泥与水平管之间的气泡分率,反而降低了污泥传热系数。在圆周不同位置,θ=90°处污泥与水平管的局部传热系数最高。



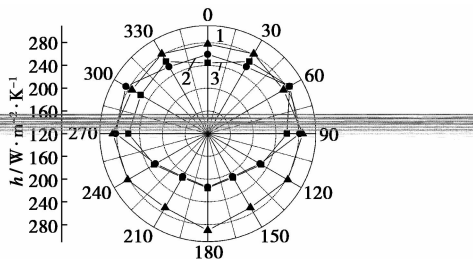
u=1.57 m/s, A=0.002 m

振动频率/Hz:1—10;2—13.33;3—6.67;4—3.33;5—0

图5 振动频率对局部传热系数的影响

2.3 振幅对局部传热系数的影响

图6、图7表示在不同振幅下颗粒的传热系数。



u=1.57 m/s, f=3.33 Hz

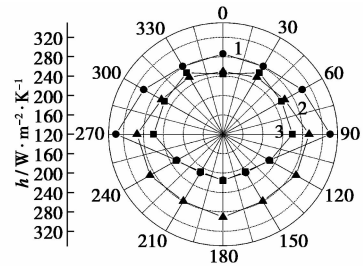
振幅/mm:1—4;2—2;3—0

图6 振幅对局部传热系数的影响

背风面:在振动频率较低(f=3.33 Hz)时,增大振幅(即A=0~4 mm)可以增加污泥传热系数,这是因为振幅的提高,扩大了水平管的运动范围,增加

了水平管与颗粒的接触概率。当振动频率较高时(f=10 Hz),增大振幅,传热系数先增加后降低,这是因为振幅的增加造成了颗粒与水平管之间的气泡分率增大,降低了局部传热系数。

迎风面:振幅的提高大大提高了迎风面的传热系数,这是因为迎风面抛掷运动极少,气速和振动频率都不足以加大运动状况,振幅的移动作用大大增加了迎风面的接触机会,强化了污泥的传热。当振幅过大,甚至出现了迎风面的局部传热系数大于背风面的情况(如图7)。



u=1.57 m/s, f=6.67 Hz

振幅/mm:1—2;2—4;3—0

图7 振幅对局部传热系数的影响

2.4 局部传热系数的数据关联

将局部传热系数进行数据关联可得:

$$h = Re_p^{0.61} \Gamma^{0.059} \left(\frac{A}{H}\right)^{-0.18} e^{1.68-0.12\cos\theta} \quad (0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ) \quad (2)$$

$$h = Re_p^{0.52} \Gamma^{0.032} \left(\frac{A}{H}\right)^{-0.16} e^{3.49+0.36\cos\theta} \quad (90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ) \quad (3)$$

式中, $Re_p = \frac{d_p u \rho}{\mu}$, 颗粒雷诺数, u 为气速, m/s; f 为振动频率, Hz; A 为振幅, m; θ 为圆周上的角度, (°)。

振动强度 $\Gamma = \frac{(2\pi f)^2 A}{g}$ 。公式的适用范围: $1.67 \text{ m/s} \leq u \leq 1.91 \text{ m/s}$, $0 \text{ Hz} \leq f \leq 10 \text{ Hz}$, $0.002 \text{ m} \leq A \leq 0.004 \text{ m}$ 。

图8为实验值和理论值的比较,数据吻合,误差在20%之内。

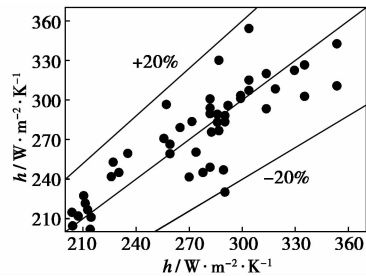


图8 实验值和计算值的比较

用于磁性材料工业生产软磁铁氧体^[6]。

1.2 冷轧废酸再生氧化铁红资源化的工业共生模式

基于工业共生原理,考虑到经济、技术、环境、市场等因素,可将冷轧废酸再生副产物氧化铁红用于生产软磁铁氧体粉料,再将软磁铁氧体粉料用于生产软磁铁氧体磁芯。

同时,利用钢铁生产过程产生的富余煤气(焦炉煤气、高炉煤气、转炉煤气等)作为生产的能源(不足部分通过电力或煤炭等补足),并将生产过程产生的废水经处理后返回软磁铁氧体粉料生产中循环利用。

此外,钢铁企业都建有规模不等、采用空气分离技术的制氧厂,制氧厂在生产出氧气的同时,也产出大量副产品氮气,可以利用副产的氮气对软磁铁氧体磁芯生产过程进行氮气保护烧结。

基于以上几方面的考虑,提出冷轧废酸再生氧化铁红制软磁铁氧体材料的工业共生模式。如图1所示。

该共生模式合理、有效地利用氧化铁红、锌渣等资源,从资源及废弃物利用的深度和广度拓展产业结构,综合利用冶金富余煤气、生产废水以及氮气等潜在资源和能源,延伸和深化资源加工产业链。而且氧化铁红和锌渣在磁性材料上的运用,彻底解决了钢铁企业氧化铁红和锌渣成为环境负担的问题。

(上接第79页)

3 结论

(1)局部传热系数因水平管圆周位置而异,局部传热系数随着气速、振动频率和振幅的增加呈先增长后降低的趋势。

(2)水平管的迎风面的局部传热系数要远远小于背风面。加大振幅可以提高迎风面的局部传热系数。

(3)根据实验值拟合出来的局部传热系数的数据关联式,可将误差控制在20%以内,为污泥在内置水平管的振动流化床中的干燥提供理论依据。

参考文献

- [1] 赵由才,宋立杰,张华.实用环境工程手册[M].北京:化学工业出版社,2002:446.
- [2] 丘锦荣,吴启堂,卫泽斌,等.城市污泥干燥研究进展[J].生态环境,2007,16(2):667-671.
- [3] Shin Y S, Kim H C, Chun H S. Drying of water treatment process

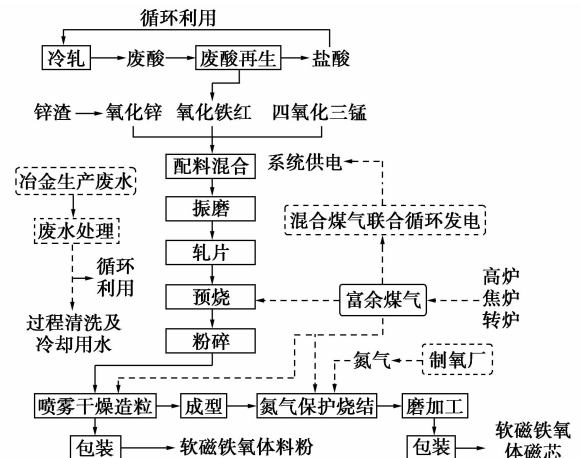


图1 冷轧废酸再生氧化铁红制软磁铁氧体工业共生模式

2 软磁铁氧体材料工艺分析

2.1 软磁铁氧体粉料生产工艺

目前,国内外生产软磁铁氧体粉料的工艺主要有湿法工艺、干法工艺、喷雾焙烧工艺。干法工艺在配料时混合均匀性差,粉料性能档次不高,且粉尘污染大;而喷雾焙烧工艺目前只有日本TDK公司采用,该工艺设备投资很大,工艺复杂。经论证,本方案选用先进的湿法工艺生产高档软磁铁氧体粉料。配料时,将各种原材料在水介质中混合,然后烘干、预烧。其特点是混合均匀充分、粉料性能及稳定性好、

sludge in a fluidized bed dryer[J]. Korean Journal of Chemical Engineering, 2000, 17(1): 22-26.

- [4] Adamiec J. Drying of waste sludges in a fluidized bed dryer with a mixer[J]. Drying Technology, 2002, 20(4/5): 839-853.
- [5] 侯风云,吕清刚,那永洁,等.湿污泥颗粒的流化床干燥实验及模型[J].过程工程学报,2007,7(4):646-651.
- [6] 唐凤翔,张济宇.惰性粒子喷动流化床中冷冻融解氢氧化铝污泥干燥试验研究[J].福州大学学报,2004,32(5):632-636.
- [7] 潘永康,王喜忠.现代干燥技术[M].北京:化学工业出版社,1999:225-227.
- [8] 朱学军,吕芹,叶世超.惰性粒子振动流化床中膏状物料干燥[J].化工学报,2007,158(17):1663-1669.
- [9] 叶世超,李川娜,陈匡民.通气振动流化床与浸没水平管间局部传热系数[J].化工学报,2000,51(5):609-614.
- [10] Zhu Xuejun, Ye Shichao, Pan Xiaoheng. The local heat transfer mathematical model between vibrated fluidized beds and horizontal tubes[J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2008, 32: 1279-1286.
- [11] 潘霄恒,朱学军,叶世超,等.振动流化床宽筛分玻璃粒子与水平管局部传热特性[J].高校化学工程学报,2008,22(5):750-753. ■