

非均匀布风对流化床埋管 换热特性的影响

田文栋 魏小林 吴东垠 黎 军 盛宏至

(中国科学院力学研究所, 北京 100080)

摘 要 非均匀布风对流化床埋管换热特性有一定的影响, 埋管的对流换热系数不仅是埋管所处换热区流化速度的函数, 而且与相邻的流动区流化速度有一定关系。本文通过试验研究了埋管换热系数同换热区以及流动区流化速度之间的关系: 换热系数变化的趋势及数值的大小与鼓泡床有明显不同, 较大的流动区流化速度 ($6.0u_{mf} \sim 24.0u_{mf}$) 直接影响换热区埋管的换热系数, 换热系数同流化速度之间较为平缓的关系便于利用埋管进行非均匀布风流化床中浓相床区温度的调整与控制。

关键词 传热; 非均匀布风; 流化床; 埋管

中图分类号: O359 文献标识码: A 文章编号: 0253-231X(2000)05-0619-04

符号表

h	换热系数 (W/m^2K)	u	布风速度 (m/s)	h	换热区参数
G'	流化倍率 (布风速度与 初始流化速度之比)	下标		m, f	初始流化参数
		f	流动区参数	opt	最佳流化参数

1 引 言

埋管作为一种换热手段, 在流化床尤其是鼓泡床中得到了比较广泛的应用^[1]。而在焚烧处理城市固体废弃物的内旋流流化床 (Internal Circulating Fluidized Bed)^[2,3] 中, 埋管不仅是换热途径, 而且起到了稳定燃烧和提高效率的重要作用。

城市生活垃圾的成分随产源和时间不同而不同, 导致进入燃烧室的垃圾热值存在较大波动, 造成燃烧不稳定, 尤其过高的燃烧温度不仅造成布风装置事故, 而且很容易形成二次污染, 因此需要更多的辅助手段控制燃烧过程; 城市生活垃圾中含有大量的塑料和食品, 部分塑料中的氯以及食品中的食盐等使得垃圾中的氯含量高于通常的燃料, 一般可达到 $0.5 \sim 2.0\%$ ^[4], 极易造成换热面高温腐蚀^[5], 在非均匀分段布风的内旋流流化床中, 换热区燃料浓度很低, 可以部分防止过热器高温腐蚀的发生。

鼓泡床中, 流速小于初始流化速度 (u_{mf}) 时, 埋管换热系数 h 低且几乎恒定, 流速一旦超过初始流化速度, 换热系数迅速增加, 当流速达到最佳流化速度 (u_{opt} , 此时具有最大的换热量) 之后, 换热系数又有所下降^[1]。由于流速与换热系数关系曲线变化剧烈而且鼓泡床的换热埋管布置于燃烧区, 因此在鼓泡床中通过调节流速, 改变换热量, 从而进一步控制燃烧存在一定困难; 内旋流流化床在燃烧区高流速的影响下, 换热区流速低于初始流化速度时, 埋管换热系数已经随着流化速度的增加而显著增加, 流速大于最

收稿日期: 2000-01-17; 修订日期: 2000-05-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.59776023); 中国科学院重点资助项目 (KY95T-03-02)

作者简介: 田文栋 (1969-), 男, 河北辛集人, 助理研究员, 硕士, 从事流化床及燃烧方面的研究。

佳流化速度后, 换热系数基本保持不变, 而且在流速小于最佳流化速度的区域内, 换热系数随流速的变化比较稳定和平缓^[6], 因此在不改变燃烧区流动状态的前提下, 可以通过调节换热区流速, 控制浓相床区温度、挥发份析出速率以及燃烧过程。

日本荏原公司对内旋流流化床埋管传热特性进行了研究, 其装置在流动区与换热区之间设置隔板^[3], 力学所曾通过反向传热(高温埋管、低温流化床)方式研究了无隔板内旋流流化床中埋管的换热特性^[6], 同带隔板流化床相比, 更有利于调节换热。本文在热态实验装置上研究了内旋流流化床中流动区对换热区换热系数的影响。

2 试验装置简介及试验条件

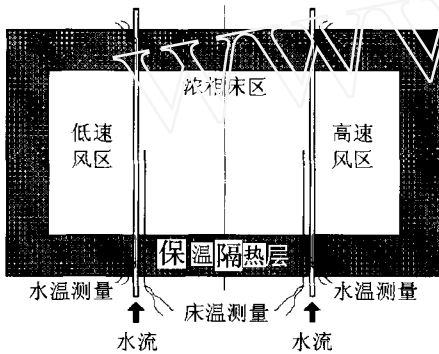


图1 换热埋管安装示意图

实验通过在内旋流流化床装置^[7]上安装换热埋管进行。实验台布风板有效面积为 $500 \times 240 \text{ mm}^2$, 高速风区和低速风区面积比为 1:1, 采用砂子作为床料, 其球化的平均粒径为 0.50 mm , 流化后浓相床区高度为 $500 \sim 1000 \text{ mm}$; 如图1所示两根4分直管作为换热管, 分别穿越高速风区和低速风区中心, 有效换热管长 240 mm , 换热管距离布风板的平均高度为 400 mm , 管内通入水进行热交换; 换热管进出口安装了热电偶测量水温变化, 高速风区和低速风区各布置了多根热电偶测量浓相床区的温度。忽略沿管壁轴向导出的热量以及换热管内外壁的温差, 利用管内流体温升可计算出管壁温度, 再进一步求得砂床和埋管间的换热系数。

通常的内旋流流化床中心为布风速度较低的移动区, 移动区外侧为速度较高的流动区和流速可调的换热区, 流动区和换热区相邻。本文忽略移动区对换热区的影响, 仅考虑流动区的影响。利用高速风区和低速风区分别模拟流动区和换热区, 流化速度参照内旋流流化床的正常运行工况^[8]: 流动区 $6.0 \sim 16.0u_{mf}$, 换热区 $0.0 \sim 6.0u_{mf}$ 。

3 试验结果及分析

图2给出了埋管换热系数随换热区流化倍率的变化趋势, 横坐标为换热区的流化倍率, 纵坐标为换热区埋管的对流换热系数, 而流动区流化倍率为 6.0 。由于床温的波动, 浓相床区内空气密度和粘性系数随之变化, 因此室温下恒定的空气流量产生不同的流化倍率, 流动区流化倍率是一个平均值, 数值上有 $\pm 5\%$ 左右的波动。

流动区的存在使得换热区尚未达到初始流化速度时, 换热系数已经开始上升, 这不同于鼓泡床中换热系数基本不变的规律, 而

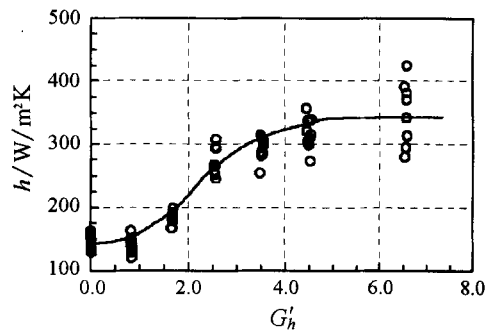


图2 埋管换热系数的的变化趋势

且在初始流化速度处不存在显著的拐点。流动区高速流动导致了换热区的颗粒运动, 在换热区流速尚未达到初始流化速度时, 床料颗粒已经开始逐步移动并流化, 不存在从固定床到流化床之间的突变, 因此换热系数曲线不出现拐点, 而且在初始流化之前明显高于鼓泡床。使得通过改变换热区流化倍率来控制埋管换热量成为可能。

改变流动区和换热区流化倍率, 得到图 3 所示的埋管换热系数和流化倍率之间的关系, 图中横纵坐标分别为流动区和换热区流化倍率, 等值线为埋管的换热系数, 等值线间隔为 $40 \text{ W/m}^2\text{K}$ 。在内旋流流化床的运行工况内, 换热区流化倍率为零时, 处于该区埋管的换热系数最小, 但已经明显大于相同状况下固定床的传热系数 (本文条件下, 固定床埋管传热系数不足 $20 \text{ W/m}^2\text{K}$); 若

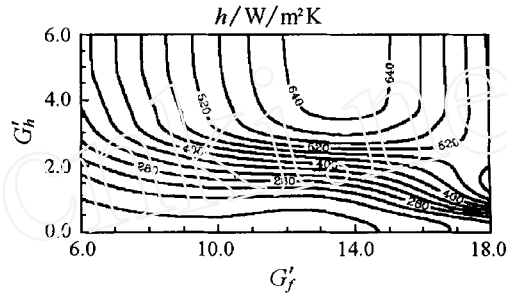


图 3 不同流化倍率对埋管换热系数的影响

流动区流化倍率控制在 16.0 之内, 随着换热区流化倍率的提高, 埋管换热系数逐步提高, 流化倍率达到 3.0 ~ 5.0 后, 进入最佳流化状态, 换热系数保持不变; 流动区流化倍率小于 16.0 时, 随着流动区流化倍率的提高, 换热系数的最小值基本不受影响, 换热区进入最佳流化的流化倍率缓慢减小, 而换热系数的最大值存在较大的增幅, 流动区对换热区颗粒的运动影响逐步增大; 流动区流化倍率大于 16.0 时, 流动区对换热区的影响加剧, 即使换热区流化倍率为零, 换热区部分颗粒已经开始流化, 埋管的换热系数迅速提高, 其数值比固定床高出一个量级, 随着换热区流化倍率的提高, 埋管换热系数迅速提高并达到最大值, 此时换热区的流化倍率在 1.0 左右, 当流动区流化倍率达到 24.0, 在换热区流化倍率小于 1.0 时, 换热系数已经达到了最大值; 流动区流化倍率小于 16.0, 换热系数达到最大值后, 随着换热区流化倍率的提高, 换热系数基本保持不变, 流动区流化倍率大于 16.0 后, 当换热区超过最佳流化速度后, 换热系数开始下降, 然后稳定于一个比最大值略小的对流换热系数上; 当换热区具有较高的流化倍率时 (> 4.0), 换热区进入最佳流化状态, 换热系数保持稳定, 基本不随换热区流化倍率的提高而变化, 但此数值和流动区流化倍率相关, 随着流动区流化倍率的提高逐步提高, 流动区流化倍率达到 16.0 左右时, 此数值开始缓慢下降, 主要原因在于特别高的流动区流化倍率严重影响了换热区的流动状态, 使得换热区提前流化并出现大量大尺度的气泡, 这些气泡环绕换热埋管, 恶化了床层和埋管之间的换热, 使得换热系数有所下降; 在正常运行工况内, 随着换热区和流动区流化倍率的变化, 换热系数等值线没有剧烈的疏密变化, 既换热系数和换热区流化倍率关系曲线没有显著拐点, 变化比较平缓, 有利于利用埋管的燃烧控制设备的设计和运行。

4 结 论

非均匀布风对流化床埋管传热系数的影响是多方面的, 存在埋管的换热区的流动参数是影响其换热系数的主要因素, 对流换热系数的大小与换热区流化倍率有直接关系; 而相邻的其它区域尤其是流速较高的流动区域, 对埋管的换热系数有较大的影响; 在换热区流化倍率相同的情况下, 同鼓泡床相比埋管拥有较大的换热系数, 而且随着换热区流化倍率的提高, 换热系数同换热区流化倍率关系曲线的变化比较平缓, 没有鼓泡床的

拐点,易于利用埋管对床温实施控制;过高的流动区流速将恶化埋管的传热,降低传热系数,不利于控制换热量;可以较好得利用换热区埋管进行热量控制的流速范围同非均匀布风的内旋流流化床的正常运行工况基本吻合。

参 考 文 献

- [1] Davidson J F, D Harrison Ed. 流态化. 北京: 科学出版社, 1981
- [2] Nagato S, Kamisada M and Kosugi S et al. Characteristics of the Internally Circulating Fluidized Bed Boiler. In: Proceeding of Fourth China-Japan Fluidization Science and Technology Symposium, Beijing, 1991, 56-65
- [3] Ohshita T, Higo T and Kosugi S et al. Formation of Internally Circulating Flow and Control of Overall Heat-Transfer Coefficient in a Fluidized-Bed Boiler. Heat Transfer-Japanese Research, 1992, 23(4): 349-363
- [4] 张乃斌. 垃圾焚化厂系统工程规划与设计. 台湾: 新雅出版社, 1997
- [5] 吴东垣, 赵军旗摘译. 垃圾焚烧锅炉实例. 锅炉技术, 1998, 29(2): 27-32
- [6] Tian Wendong, Hao Jinhua and Wei Xiaolin et al. A Study on Heat Transfer for Immersed Tube in Internally Circulating Fluidized Bed. Journal of Thermal Science, 1999, 8(3): 190-195
- [7] 田文栋, 魏小林, 盛宏至. 内旋流流化床燃烧系统设计研究. 热能动力工程, 1999, 14(5): 361-364
- [8] 田文栋. 内旋流型流化床特种燃料锅炉实验研究: [硕士论文]. 北京: 中国科学院力学研究所, 1997

THE EFFECT OF UNEVEN FLUIDIZED AIR ON THE HEAT TRANSFER ON IMMERSED TUBES IN A FLUIDIZED BED

TIAN Wendong WEI Xiaolin WU Dongyin LI Jun SHENG Hongzhi

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract The heat transfer of immersed tubes in fluidized beds is influenced by the uneven distribution of fluidized air, and the coefficient of that is not only a function of fluidized air velocity in heat transfer zone, but also is correlative with the air velocity in fluidized zone nearby. In this paper, the relationship between the heat transfer coefficient and the air velocities of heat transfer zone and fluidized zone is investigated experimentally. The trend and data of heat transfer coefficients are different obviously with those of bubbling bed. They are influenced directly by the grater air velocity in fluidized zone ($6.0u_{mf} \sim 24.0u_{mf}$). The flat relation curve between the heat transfer coefficients and fluidized air velocities is favorable to adjust the dense bed temperature using the immersed tubes in fluidized bed with uneven distribution of air.

Key words heat transfer; uneven distribution of fluidized air; fluidized bed; immersed tube