

板棒式换热器传热与流阻性能研究

徐国想^{1,2}, 邓先和²

(1. 淮海工学院化学工程系, 江苏连云港 222005;

2. 华南理工大学教育部传热强化与过程节能重点实验室, 广东广州 510641)

摘要: 简要介绍了板棒式换热器的结构和工作原理, 设计制造了板棒式换热器, 对板棒式换热器进行了传热与流阻实验。实验结果表明: 总传热系数理论计算与实验结果吻合较好, 验证了模型公式的正确性。板棒式换热器是一种性能优良、结构紧凑的高效换热器, 在硫酸工业等气体换热场合将有广阔的应用前景。

关键词: 板棒式换热器; 强化传热; 传热实验; 流动阻力

中图分类号: TQ052.5

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2007)05-0052-03

Study on heat transfer and flow resistance of plate-stick heat exchanger

XU Guo-xiang¹, DENG Xian-he²

(1. Department of Chemical Engineering, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005, China;

2. The Key Laboratory of Enhanced Heat Transfer and Energy Conservation, Ministry of Education, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract: The structure and working mechanism of plate-stick heat exchanger were introduced briefly, and a kind of plate-stick heat exchanger was designed and manufactured, the experiments of its heat transfer and flow resistance were also done. The theoretical calculation was in excellent agreement with the experimental results, and the validity of model formula was verified. The plate-stick heat exchanger is a heat exchanger with superior property, compact structure and high efficiency. It will have promising application prospect in the realm of gas heat transfer, such as sulphuric acid industry.

Key words: plate-stick heat exchanger; heat transfer enhancement; heat transfer experiment; flow resistance

1 板棒式换热器简介

板棒式换热器是一种结构灵活、简单可靠的高效换热器^[1]。采用适当长径比的金属圆柱肋棒焊在板面, 肋棒分布在板的两侧, 四周密封, 这样就构成了一个简单的板棒式换热器, 根据需要可设计多个流道, 特别适用于两股流和多股流换热, 板棒式换热器结构如图 1 所示。

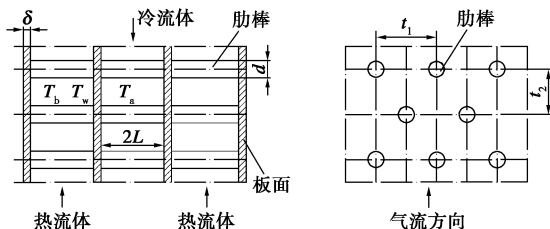


图 1 板棒式换热器结构示意图

板棒式换热器的工作原理如下: 热流体通过对流和辐射传热, 将热量传输给金属肋棒, 通过金属肋

棒本身的导热传热, 将热量传输给冷侧的金属肋棒, 然后通过对流和辐射, 将热量传递给受热流体。此时的板面传热量较小, 因而可以适当增加板面厚度, 以提高其寿命。由于肋棒完全暴露在流道中, 导热性能好, 热量传输距离很短, 单位体积的换热面积很大, 因而该种换热器既具有较好的传热性能, 又具有较好的紧凑度; 结构坚固, 克服了传统折流板换热器的振动问题, 可以采用高流速, 使换热器换热能力及寿命大大提高; 可广泛用于锅炉烟气余热回收、硫酸转化等工业过程的气体换热, 可使换热器的换热强度增强数倍以上, 从而使换热器的尺寸和质量大大减少, 并带来显著的经济效益。笔者已经从理论上对板棒式换热器进行了一些探讨, 给出了优化设计的基本依据^[2-3]。在此基础上, 试制出了板棒式换热器装置, 旨在通过传热与流阻实验, 验证模型公式的准确性。

收稿日期: 2007-01-11

基金项目: 国家重点基础研究项目(G2000026301)与教育部重点项目(00103)资助

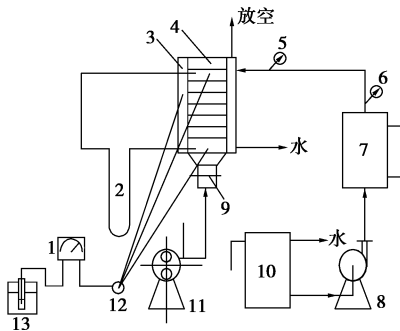
作者简介: 徐国想(1971-), 男, 博士, 副教授, 主要从事传热与节能、水处理新技术研究, 0518-5892829, xugx@hhit.edu.cn; 邓先和(1955-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事传热及超重力旋转床烟气处理研究。

2 传热与流阻实验

2.1 实验流程与装置

2.1.1 实验流程

实验流程包括蒸汽发生部分、实验测试部分和数据采集部分等,如图2所示。实验的主要步骤如下:将板棒式换热器按要求装配到实验工作台上,检查实验装置的气密性,蒸汽夹套的试验压力为3 kg/cm²;启动风机和蒸汽发生器,使其工作压力达到额定正常工作状况,分别通入空气和蒸汽,开启排



1—电子毫伏计;2—压差计;3—蒸汽夹套;4—板棒传热装置;
5—精密压力计;6—压力计;7—蒸汽发生器;8—多级离心水泵;
9—笛形管测速仪;10—水箱;11—风机;12—热电偶及转换开关;
13—测温基准点

图2 板棒式换热器实验流程图

空阀,排除蒸汽夹套中的不凝性气体。调节冷空气流量,依次由高到低进行实验,在换热过程达到稳态后记录相应的实验数据,包括空气的流量、进出口温度、压降及蒸汽温度等。

2.1.2 实验装置

为了测定板棒式换热器的传热与流阻性能,在分析与计算的基础上,设计了该实验装置。肋棒侧通入冷空气,外侧夹套内通入蒸汽加热,实验装置的总体结构与板棒侧结构分别如图3和图4所示。

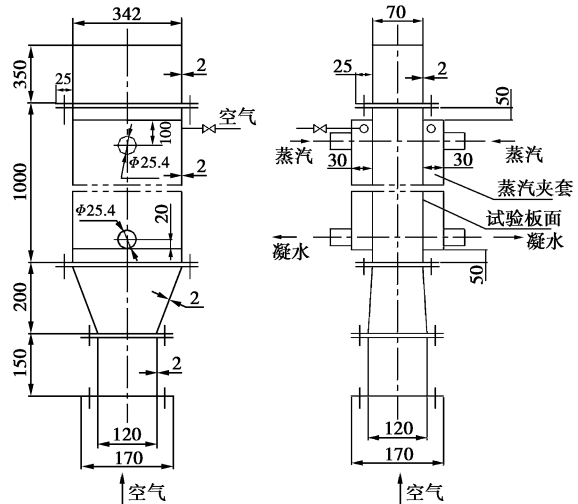


图3 板棒式换热器实验装置图

(上接第51页)

高纯五氯化磷合成工艺中,冷却水循环使用,节省了水资源;残余氯气经氢氧化钠吸收,生成的氯化钠可回收利用,无“三废”排放,可实现清洁生产。

2.4 传统工艺与新工艺技术比较

高纯度、五氯化磷生产新工艺解决了传统工艺的诸多不足,采用该工艺生产的五氯化磷纯度高、收率大、出料方便,设备寿命长,生产过程没有环境污染。其比较结果见表5。

表5 传统工艺与新工艺技术比较

生产工艺	PCl ₅ 质量分数/%	收率/%	金属残留物质量/mg·kg ⁻¹	生产周期/h	出料难易程度	设备寿命
传统工艺	≥98.0	85~90	<200	8~10	难	90天
新工艺	≥99.5	≥98	<20	6~7	易	>8年

3 结论

以三氯化磷和氯气为原料生产五氯化磷,采用

等摩尔雾化方式给料、原料以气-气对流方式反应、阶段式控温、产品在反应釜内经升华纯化的高纯五氯化磷合成工艺,增大了反应物之间的碰撞几率和接触面积,反应进行得迅速、完全,产品收率约提高10%。通过调节夹套内循环水的流量,实现了阶段式控温,通过控制三氯化磷气化、五氯化磷合成、五氯化磷升华及凝结,提高了生产效率和产品质量,PCl₅质量分数≥99.5%,产品纯度提高了1.9%,产品收率≥98%。生产过程出料方便,冷却水循环使用,残余氯气可回收利用,节省资源,运行稳定可靠,可实现清洁生产和安全生产。

参考文献

[1] 孙启新,王利生.环状六氯三聚磷腈合成[J].化工新型材料,2003(10):18-20.
[2] 周学良,项斌,高见荣.精细化工产品手册:药物[M].北京:化学工业出版社,2003:17-19.
[3] 李凌云,张志业,陈欣.六氟磷酸锂的制备新进展[J].化学工业与工程,2005(3):224-228.
[4] 天津化工研究院.无机盐工业手册[M].北京:化学工业出版社,1996:645-646. ■

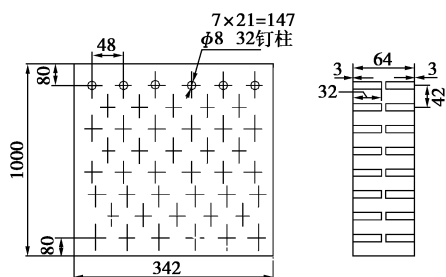


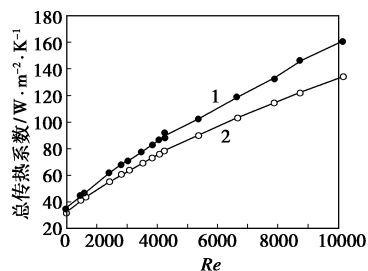
图 4 试验板面结构示意图

2.2 结果讨论

2.2.1 传热性能分析

以板面为基准的总传热系数的实验值可由 $Q = KA\Delta t_m$ 得到。式中 Q 为传热量(W); K 为总传热系数 [$W/(m^2 \cdot K)$]; A 为板面面积(m^2); Δt_m 为对数平均传热温差(K)。

在相同实验条件下,采用文献[3]中导出的总传热系数公式对总传热系数进行了理论计算,并对实验值与计算值进行了比较,结果如图 5 所示。



1—实验值;2—理论计算值

图 5 总传热系数实验值与计算值的比较

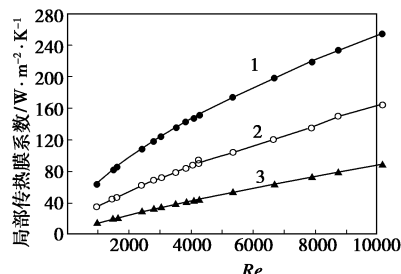
从图 5 可以看出,实验结果与模型计算结果基本上吻合,表明文献[3]中建立的理论分析模型基本是正确的。模型计算式中的板面传热膜系数按照平板传热计算,由于板棒换热器中的板面传热受到肋棒扰流的影响,故板面的实际传热膜系数比单纯的平板传热系数要高,因此实验值比计算值稍大一些。

由总传热系数的定义式,可分离出肋棒侧各局部传热膜系数。因为蒸汽冷凝换热系数比空气对流换热系数大近 100 倍,为简化计算,近似取蒸汽侧的冷凝换热系数为 $10\ 000\ W/(m^2 \cdot K)$,可满足实验精度的要求。图 6 给出了不同操作 Re 条件对板棒侧各局部传热膜系数的影响。

从图 6 可以看出,各传热膜系数均随操作 Re 的增加而增大,其中肋棒对板棒侧传热的贡献比板面大得多。图 7 给出了不同操作 Re 下的肋棒效率。

从图 7 可以看出,在操作 Re 较低时,随着 Re

的升高肋棒效率降低较快,在 Re 增加到 10 000 附近时,肋棒效率下降较为缓慢,基本稳定在 0.55 左右。这表明该实验设计的肋棒结构具有较好的强化传热作用。



传热膜系数:1—肋棒;2—板棒;3—板面

图 6 操作 Re 对板棒侧传热膜系数的影响

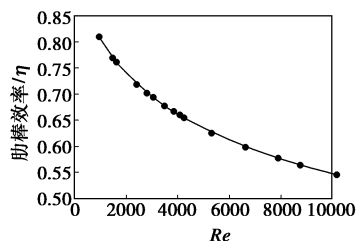


图 7 操作 Re 对肋棒效率的影响

2.2 流阻性能分析

实验中测定了肋棒侧的流动阻力,并根据文献[4]中的公式计算出相应的阻力系数。流动阻力与空气流量及阻力系数与 Re 的关系分别见图 8 与图 9。

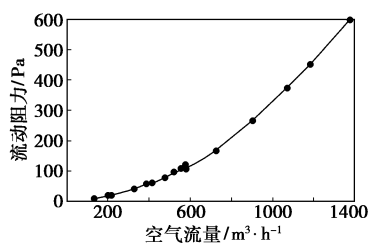


图 8 肋棒侧空气流量对流动阻力的影响

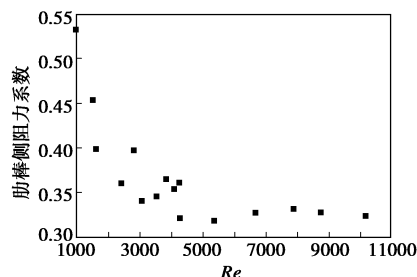


图 9 肋棒侧阻力系数与 Re 的关系

(下转第 56 页)

165 mm, 环下部均匀分布了 20 个直径为 2 mm 的小孔。分布环距釜底安装高度为 60 mm。

1.3.2 挡板

实验中发现:在质量分数为 0.2% 和 0.5% 的黄原胶水溶液中,搅拌器处于湍流工作状态,在质量分数为 0.8% 的黄原胶水溶液中,搅拌器处于过渡流工作状态。因此,在质量分数为 0.8% 的黄原胶体系釜内不应设置挡板,在其余情况下设置了 4 块全深度挡板。

1.3.3 搅拌器形式

根据搅拌器特性和流场分析,设计制作了多种搅拌器。参照黄原胶发酵生产的实际情况,结合各搅拌器的气液分散能力,实验选用的搅拌器型式如表 1 所示。

表 1 实验所用的搅拌器型式

搅拌器	直径/ mm	叶片 数	叶片倾角/ (°)	简记 符号
小直径直叶圆盘涡轮	125	6	0	DT1
大直径直叶圆盘涡轮	150	6	0	DT2
斜叶圆盘涡轮	125	6	45	P2DTD(U)
六叶布鲁马金	125	6	45	6BM
凹叶圆盘涡轮	125	6	0	CBDT1
大直径凹叶圆盘涡轮	150	6	0	CBDT2
双折叶圆盘涡轮	150	6	盘上叶片 90, 盘下叶片 45	P2DTD(U)

表 1 所示搅拌器简记符号中的 D 和 U 分别表示下压式和上推式。底层桨采用 DT、6BM、CBDT,上层桨采用 P2DTD(U)、P2DTD(U)。上层桨采用上推式时的桨间距为 0.55 T (T 为釜径,下同)。上层桨采

(上接第 54 页)

由图 8 可以看出,随着流量的增大,压降增加的幅度较大。结合图 8 与图 5 可知,文中设计的板棒式结构具有较低的流阻与较高的总传热系数,综合传热效果良好。从图 9 可以看出,在 Re 低于 2 000 时,阻力系数随 Re 增加而急剧下降; Re 为 2 000 ~ 6 000 时,阻力系数有所波动,估计是流动形态进入过渡区所致; Re 在 6 000 以上时,阻力系数随 Re 增加而趋于一常数,表明肋棒侧的流动形态随着 Re 的增大已基本进入完全湍流区。

3 结论

根据优化分析结果,设计制造了板棒式换热器,

用下压式时的桨间距为 0.7 T 。

1.4 实验测量方法

实验使用 JCZ1 型智能扭矩传感器来测定搅拌转速及功率。此传感器配有相应的计算机软件,搅拌轴转速、扭矩及功率可由计算机直接读出。搅拌转速通过控制箱上的变频调速器调节。采用模拟稳态法测定容积传氧系数 $K_L a$ ^[4]。

2 结果与讨论

2.1 桨型对容积传氧系数的影响

实验过程中选取的通气量 (Q) 分别为 500、1 000、1 500、2 000、2 500 L/h, 现以 $Q = 2 000$ L/h 为例作图进行讨论(见图 2), 其中 P_V 表示单位体积功耗。

图 2(a)中所使用的桨型组合均为双层组合桨,底层搅拌器主要是径流式的,以提供足够的气体分散,上层则采用上推式或下压式的圆盘涡轮搅拌器,以解决全釜料液的混合问题。随着黄原胶浓度的增高,溶液的黏度迅速增大,进而增加了气液传质的阻力,降低了气体在液体中的扩散速率,通过图 2 中 3 个图的对比可以明显看出,容积传氧系数随着黄原胶水溶液浓度的升高而明显下降。

由图 2 可以看出,在实验条件下,P2DTD-6BM 组合桨的传质系数要高于其他组合桨,上层采用双折叶搅拌器时的混合效果要好于采用斜叶搅拌器,上层采用下压式搅拌器时的混合效果要好于采用上推式搅拌器。6BM 不仅具有良好的径向气体分散能力,还有一定的轴向混合能力。另外,P2DTD 同时具有良好的径向气体分散能力和轴向流体的循环能力,因此与 6BM 协同达到比较理想的气体分散效果。

并进行了传热与流阻实验,验证了实验模型和模型公式的准确性。实验与分析结果都表明,板棒式换热器是一种性能优良、结构紧凑的高效换热器,在硫酸工业等气体换热场合将有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 华南理工大学. 板棒式换热器: 中国, 992588.7[P]. 2000-11-15.
- [2] 邓先和, 徐国想, 张亚君. 板棒式换热器传热性能分析(I)[J]. 华南理工大学学报, 2001, 29(1): 38-39.
- [3] 邓先和, 徐国想, 张亚君. 板棒式换热器传热性能分析(II)[J]. 华南理工大学学报, 2001, 29(2): 51-53.
- [4] 尾花英朗. 热交换器设计手册(下册)[M]. 徐忠权, 译. 北京: 石油工业出版社, 1982: 684-689. ■