硫酸工业，2008（1）：14～17
Sulphuric Acid Industry

矩形管束换热器的结构特点与设计比较

邓先和[1]，何兆红[1]，陈祥明[2]，张志孝[2]

[1. 华南理工大学 化工与能源学院 传热强化与过程节能教育部重点实验室，广东 广州 510640；
2. 中明（湛江）化机工程有限公司，广东 湛江 524031]

摘　要：介绍采用矩形管束作为传热管并在管程与壳程采用旋流片作为支撑的矩形管束换热器的结构特点与传热强化的研究。基于研究结果，对不锈钢矩形管束换热器与碳钢旋流网板支撑急扩加速流缩放管管壳式换热器两种设计方案进行了比较。结果表明，矩形管束换热器同时具有管壳式换热器密封性好、操作能耗低和板式换热器金属材料消耗少的优点，长期投资效益显著，为硫酸转化系统气体换热器的抗低温腐蚀和高温氧化提供了一条经济有效的途径。

关键词：矩形管束换热器；传热强化；不锈钢；硫酸厂；转化系统

中图分类号：TQ051.5　　**文献标识码**：B　　**文章编号**：1002－1507(2008)01－0014－04

在硫酸转化系统气体换热器的设计中，针对低温换热器的露点酸蚀与高温换热器的高温氧化，许多企业都希望采用性能更好的不锈钢换热器。但不锈钢的价格为碳钢的10倍以上，换热器如果没有结构上的优势可降低材料消耗和设备投资，用户往往很难接受。对于管壳式换热器，因为传热管的壁厚较厚，金属材料消耗较多，虽然一般不锈钢管的壁厚为2.5 mm，较之碳钢管（壁厚3.5 mm）有所减薄，但设备的总体投资还是太高。而对于板式换热器，虽然换热器的板片厚度可以取0.5 mm左右，材料的消耗比管壳式换热器节省许多，但因为每一块换热板元件的冷热两侧共8条周边需要密封，对密封性能要求较高，制作成本较贵，换热器的总体造价依然很高。而且，为满足板间采用凸肋方式相互支撑的要求，以适应在冷热两侧流体压力不等的条件下操作，普通板式换热器的板间距一般比较狭窄，因此，对于低密度、大流量的烟气换热，普通板式换热器的流体阻力会比管壳式换热器高，换热器的流道也容易被污垢堵塞，使用起来操作弹性较小。针对以上问题，我们最新研制了一种采用矩形管束作为传热管并在管程与壳程采用旋流片作支撑的新型矩形管束换热器，同时进行了相应的传热强化研究及比较。结果表明，该换热器既具有管壳式换热器密封性好、操作能耗低、不易堵塞的优点，又具有板式换热器金属材料消耗少的优点，可较好地解决现有换热器技术上的不足。

1　矩形管束换热器的结构特点

矩形管束换热器在矩形管的管内与管外沿换热器的轴向均匀布置着若干个横向旋流片组，每个横向旋流片组由若干个沿换热器横向均布的旋流片组成，相邻的两个旋流片旋向相反，旋流片的中心线与换热器的轴线方向一致。在同一横向旋流片组内，旋流片在流体入口端位置采用薄壁扁钢连接；在换热器的轴向，横向旋流片组之间采用定位拉杆连接。矩形管是由一块平板经折弯连接成截面呈矩形的平板管，在平板的内外两侧分别由机械压制成相互对称的缩放形凸肋，其形状类似于急扩加速流缩放管，以同时对管程与壳程的流体进行有效的传热强化。矩形管本身只有一条纵向焊缝，管的两端分别与上下管板焊接。因为在矩形管的管内与管间均采用旋流片支撑并定位，故在冷热两侧流体压力不等的条件下操作也

收稿日期：2007－09－27。
作者简介：邓先和，男，华南理工大学化工与能源学院传热强化与过程节能教育部重点实验室博士生导师，从事化工设备传热强化和节能方面的研究。电话：020－87111814。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

可以保持良好的通道形状与机械性能。矩形管的板片厚度可以像板式换热器一样取 0.5 mm 左右,这样就可比管壳式换热器大幅减少金属材料的用量。另外,因为每一块传热板(即一个矩形管)面对冷热两侧流体的密封周边(管缝和上下管板端缝)远远短于板式换热器,故在换热器制造的成本方面可以远低于板式换热器,设备运行的安全性与可靠性也可以得到提高。特别是对于低密度、大流量的烟气换热条件,矩形管束换热器可以取较大的板间距(矩形边长),以避免流体污垢堵塞通道,同时降低流体压降,提高操作弹性。图 1 是矩形管束换热器的内部结构示意。

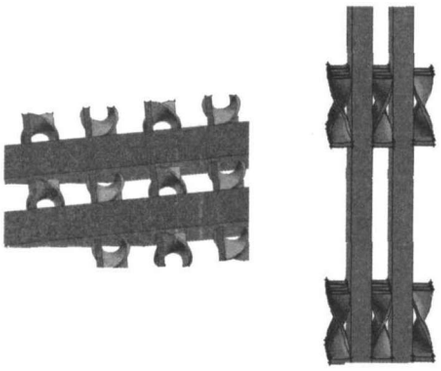

图 1 矩形管束换热器内部结构示意

矩形管束换热器的结构特征与目前硫酸工业中使用的旋流网板管壳式换热器[1~2]有相似之处,即在传热面(平板)的两面也采用急扩加速流的缩放形凸肋,以同时强化管程与壳程的流体传热;在管间也采用旋流网板作支撑,管束的两端也采用管板连接方式。不同之处在于,矩形管的流道横截面为条形的矩形截面,而非普通的圆形截面,另外管内也有旋流片支撑。目前这种矩形管束换热器已经申报国家发明专利[3]。

2 矩形管束换热器的传热强化性能研究

在矩形管束换热器内,管内与管间的冷热烟气进行逆流换热,依靠板片上压制的缩放形粗糙凸肋和旋流片对两侧的烟气进行复合强化传热。一方面,烟气在矩形管壁面的传热滞流底层可以通过缩放形粗糙肋面得到有效的减薄与传热强化(这种缩放形粗糙肋面的尺寸是经过传热场协同理论分析获得的最佳结构尺寸,即以最低的操作能耗代价获得最大的传热系数增幅);另一方面,烟气在矩形管中心区的传热热阻可以通过旋流片周期性的强迫旋流与自旋流得到有效的降低(周期性的旋流可将中心区与边壁区不同温度的流体周期性地混合,可以较大幅度地提高边壁流体对传热壁面的传热温差,从而提高流体的传热速率)。矩形管在壁面与中心区两个区域的同时传热强化可以使烟气获得双重传热强化的效果,使传热强化的作用比以往单纯采用传热管粗糙肋面的强化作用有较大幅度的提高。因为矩形管管内与管间旋流片的扭角与扭率均经过优化设计,采用了形体阻力小而传热强化效果好的尺寸,故可以较小的流体阻力为代价换取较高的传热强化受益。而旋流片之所以具有良好的流体阻力与传热强化综合性能,其主要原因还在于,烟气每经一次旋流片的强迫旋流之后,在到达下一个旋流片的入口之前,都会保持其惯性旋流的状态,即自旋流状态,这种自旋流由于没有形体阻力,只有很低的摩擦阻力,故流体阻力很小,但却有良好的传热强化效果。因此,烟气在一个强迫旋流与自旋流的流动周期中可以获得较低的流体阻力与较高的传热膜系数。

我们采用一台换热面积为 10 m^2 的矩形管束换热器进行了传热与流体阻力实验。换热器壳体直径为 500 mm,高度为 2 800 mm。换热器一侧为 30 kPa 的水蒸气冷凝放热,另一侧为空气加热,分别测量两侧的传热膜系数与流体阻力系数。经实验测量,换热器壳程空气流量 V_g = 1 349 ~ 2 523 N · m^3/h,操作雷诺数 Re = 12 683 ~ 23 728,传热努谢尔数 Nu = 77.6 ~ 109.6,对应的流体阻力系数 f_o = 0.257 ~ 0.197;换热器管程的空气流量 V_g = 1 349 ~ 2 175 m^3/h,操作雷诺数 Re = 21 711 ~ 35 003,传热努谢尔数 Nu = 138 ~ 194,对应的流体阻力系数 f_o = 0.128 ~ 0.131。利用上述实验结果,归纳出矩形管束换热器的传热与流阻方程。

3 矩形管束换热器与管壳式换热器的设计方案比较

基于以上实验结果,对采用矩形管束换热器

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

与旋流网板支撑急扩加速流缩放管管壳式换热器的两种设计方案进行比较。基本设计条件为:100 kt/a 冶炼烟气制酸系统,采用"3+1" ⅣⅠ-ⅢⅡ两转两吸工艺,烟气流量 47 798 m^3/h,转化入口 $\varphi(SO_2)$6%。转化工序操作条件见表1,设计结果分别见表2和表3。

表1 转化工序操作条件

项目	一段	二段	三段	四段
温度/℃	424—547	459—486	433—444	428—436
转化率,%	72.00	88.00	94.50	99.75

表2 旋流网板支撑急扩加速流缩放管结构管壳式换热器设计结果

项目	Ⅰ换热器	Ⅱ换热器	Ⅲ换热器	Ⅳ换热器	合计
管程温度/℃	547—459	486—433	442—175	434—126	
壳程温度/℃	338—428	369—432	60—371	60—340	
传热温差/℃	120	59	91	79	
换热量/kW	1 738	1 053	5 042	5 090	
传热系数/($kW \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)	28.8	29.4	27.5	27.6	
换热面积/m^2	578	699	2 330	2 691	6 298
质量/t	27.44	30.77	82.19	92.86	233.26
总压降/kPa	1.60	1.60	2.60	2.80	8.60

注:换热器管程走 SO_3,壳程走 SO_2;缩放管尺寸为 ϕ51 mm×3.5 mm,换热面积裕量为15%。换热器采用20 g碳钢材料,单位造价按1.15万元/t计,总造价为268.25万元。

表3 矩形管束换热器设计结果(传热条件与表2同)

项目	Ⅰ换热器	Ⅱ换热器	Ⅲ换热器	Ⅳ换热器	合计
传热系数/($kW \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)	32.4	30.6	28.2	28.8	
换热面积/m^2	513	672	2 280	2 579	6 044
质量/t	10.52	12.23	29.63	32.81	85.19
总压降/kPa	1.20	1.20	2.20	2.30	6.90

注:换热器管程走 SO_3,壳程走 SO_2;矩形管板片厚0.8 mm,换热面积裕量为15%。Ⅰ和Ⅱ换热器采用304不锈钢材料,单位造价约5万元/t(目前市场较高价),合计为113.75万元;Ⅲ和Ⅳ换热器采用316L不锈钢材料,单位造价约8万元/t(目前市场较高价),合计为499.52万元。4台换热器总造价为613.27万元,为碳钢换热器总造价的2.29倍。

从换热器的总造价来看,虽然不锈钢矩形管束换热器为碳钢管壳式换热器的2.29倍,但不锈钢矩形管束换热器的使用寿命预期为碳钢管壳式换热器的3~4倍,所以长期投资效益是显著的。尤其是在转化工况比较恶劣的烟气制酸系统,碳钢换热器的使用寿命比较短(3~5年),如果采用不锈钢矩形管束换热器(预期使用寿命12~18年),从长期投资效益上看更合算。而且采用不锈钢换热器可以减少设备维修和更换时间,这对提高生产效益也是非常有利的。如果不锈钢材料的价格可以回复到市场正常价(304不锈钢换热器造价为4万元/t,316L为7万元/t),则上述4台换热器的总造价为528.08万元,仅为碳钢换热器总造价的1.97倍,其投资效益就更加显著。另外,矩形管束换热器的操作压降比管壳式换热器约低20%,在设备的操作能耗方面具有比较明显的优势。

4 结论

不锈钢矩形管束换热器为硫酸转化系统气体换热器的抗低温腐蚀和抗高温氧化提供了一种传热性能好、结构紧凑、操作能耗低、设备投资省的换热设备。经实验研究与设备设计方案比较,预期不锈钢矩形管束换热器将比碳钢管壳式换热器

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

具有更好的经济效益。◆

参考文献

1 周水洪,邓先和,李志武．旋流网板换热器强化传热机理分析[J]．硫酸工业,2006(6):16－18.

2 邓先和,张亚君,潘朝群,王杨君．旋流网板支撑管束的管壳式换热器:中国,2004 2 0088741.1[P]．2005.

3 邓先和,何兆红．采用旋流片的矩形管束换热器及其强化传热方法:中国,2007 1 0029118.7[P]．2007.

Structural features and design comparison of rectangle tube bundle heat exchanger

Deng Xianhe[1], He Zhaohong[1], Chen Xiangming[2], Zhang Zhixiao[2]

[1. Key Laboratory of Enhanced Heat Transfer and Energy Conservation of the Ministry of Education, Institute of Chemical and Energy Engineering, South China University of Technology, Guangzhou, Guangdong, 510640, China;
2. Zhongming (zhanjiang) Chemical Machinery Engineering Co., Ltd., Zhanjiang, Guangdong, 524031, China]

Abstract: The structural features of a new type of heat exchanger are described, in which rectangle tube bundle is used as heat transfer surface and short twist plate inserts both on tube side and shell side are used as tube supports. A comparison of design schemes between the rectangle tube heat exchanger with bundle made of stainless steel and heat exchanger with sharp expansion and accelerated flow converging-diverging tubes made of carbon steel is carried out based on the experimental study of heat transfer enhancement. The results showed that the rectangle tube heat exchanger has the advantages of the gas-tightness and low operation energy consumption, like a shell and tube heat exchanger, as well as less metal material requirement, like a plate heat exchanger, resulting in a better long-term investment benefits. This rectangle tube construction provides a cost-efficient way of resisting low temperature corrosion and high temperature oxidation for heat exchangers of conversion system in sulphuric acid plant.

Key words: rectangle tube heat exchanger; heat transfer enhancement; stainless steel; sulphuric acid plant; conversion system

招聘启事

四川省安县银河建化集团有限公司地处四川省绵阳市安县,是绵阳市重点优势骨干企业。因公司发展需要,现招聘以下管理人员:

一、职位

1. 硫酸厂生产及设备管理人员一名;
2. 硫酸厂工艺技术管理人员一名。

二、应聘者条件

1. 大专以上学历,五年以上硫酸厂工作和管理经验;
2. 熟悉硫酸生产工艺、设备安装及管理;
3. 有独立工作能力,为人正直、诚实,有上进心,对企业忠诚。

三、应聘者应提供的材料

本人详细履历和工作业绩说明。

四、待遇及工作条件

待遇从优,具体面议。

有意应聘者,请于2008年3月31日前与范先生联系。

电话:0816－4672215　　传真:0816－4672261　　E－mail:fanxingmu@126.com

四川省安县银河建化集团有限公司

2008年2月28日

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net