

文章编号:1007-6735(2013)06-0596-03

折流杆换热器的应用分析

林友斌¹, 郁鸿凌¹, 杨仕杰¹, 陈梦洁¹, 张贤安²

(1. 上海理工大学 能源与动力工程学院, 上海 200093; 2. 镇海石化建安工程有限公司, 宁波 315200)

摘要: 分析了折流板换热器换热管泄漏的原因, 并提出了改造方案. 采用杆式折流替代板式折流, 不仅解决了换热管束由于剧烈振动而导致的泄漏问题, 而且换热器的总传热系数提高了 34%, 壳程阻力损失减小了 23%, 达到了良好的改造效果.

关键词: 折流板; 折流杆; 管束振动; 管束泄漏; 换热性能

中图分类号: TK 172 **文献标志码:** A

Application Analysis of Rod Baffle Heat Exchanger

LIN You-bin¹, YU Hong-ling¹, YANG Shi-jie¹, CHEN Meng-jie¹, ZHANG Xian-an²

(1. School of Energy and Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2. Zhenhai Petrochemical Installation Engineering Co Ltd, Ningbo 315200, China)

Abstract: The plate baffle heat exchanger in some petrochemical plant has often suffered from pipe leak. The reason of the pipe leak was analysed in detail and a transformation plan of replacing plate baffle with rod baffle was proposed. This reform not only solves the problem of pipe leak caused by severe vibration, but also increases the heat transfer coefficient by 34%, and reduces shell flow resistance by 23%. It's proved that the transformation achieves a good effect.

Key words: plate baffle; rod baffle; pipe vibration; pipe leak; heat transfer performance

1 折流杆换热器

管壳式换热器广泛应用于化工、石油、能源及冶金等行业, 约占换热器总量的 70%. 折流结构在管壳式换热器中对管束起到支撑和固定作用, 又对壳程流体起到扰流作用, 提高了换热器的换热效果. 传统的管壳式换热器采用板式折流, 在折流板的作用下壳程流体横向冲刷管束, 在高速状态下可能诱发管束振动, 严重时将导致换热管断裂.

为了解决折流板换热器的换热管因流体横向冲刷而诱发振动的问题, 出现了杆式折流换热器. 折流杆换热器(rod baffle heat exchanger)由美国 Phillips 石油公司于 1970 年首创, 主要是为了避免折流板换热器中的流体诱发振动, 其主要特点是壳程不再设置折流板, 而由折流杆组成的折流圈来代替折流板, 既对管子起支撑作用, 又对流体起扰动作用, 以达到强化传热的目的^[1]. 折流圈结构如图 1 所示.

折流杆换热器在壳程建立了流畅的流体通道, 使壳程流体纵向冲刷换热管束. 众多细小的折流杆

收稿日期: 2013-03-30

第一作者: 林友斌(1989-), 男, 硕士研究生. 研究方向: 强化换热. E-mail: abinglinchengxia@163.com

通讯作者: 郁鸿凌(1953-), 男, 研究员. 研究方向: 节能技术. E-mail: yuzhenyk@163.com

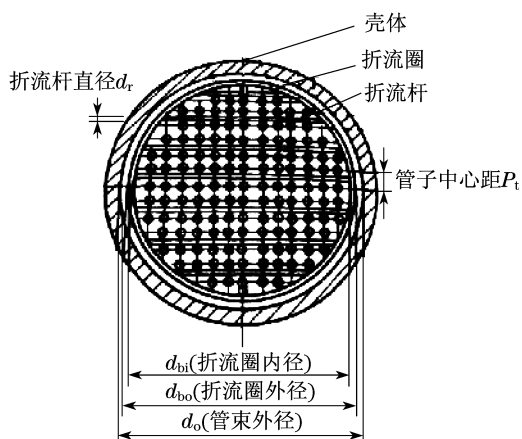


图 1 折流圈示意图

Fig.1 Schematic diagram of the rod baffle circle

引起的流体卡曼涡街分离,以及折流圈产生的文丘里效应,强化了壳程的换热效果^[2].折流杆换热器壳程流体速度在整个壳程断面内分布均匀,不存在严重的流动死区,减少了流动阻力损失,并且减轻了污垢的沉积和腐蚀的产生.

2 折流杆换热器工程应用

2.1 工程项目介绍

新疆某石化厂在合成氨的工艺流程中利用折流板换热器对高温合成气进行热量回收,换热器如图 2 所示.

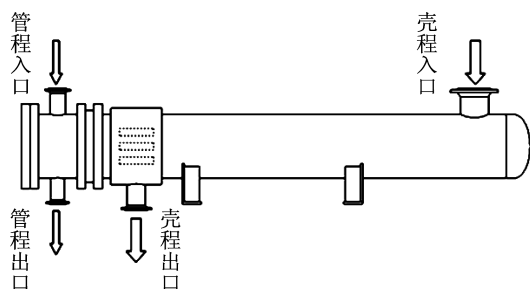


图 2 换热器结构示意图

Fig.2 Schematic diagram of the heat exchanger structure

换热器为 U 形管管壳式换热器,公称直径 1 430 mm,管程设计压力 13.8 MPa,壳程设计压力 3.3 MPa,公称换热面积 535 m²,U 形管外径 25.4 mm,直管段长度 7 m,材料为普通级冷拔钢管,内置导流筒,折流结构为单弓形折流板.管程工质为锅炉给水,壳程工质为高温工艺气,主要气体组分是 H₂、N₂、CO 及 CO₂,并含有极少量的 CH₄.换热

器主要工作参数如表 1 所示.

表 1 换热器工作参数

Tab.1 Operating parameters of the heat exchanger

项目	流量/(t·h ⁻¹)	压力/MPa	温度/℃	质量含汽率/%
管程	1 050	12.95	328(入口)	0(入口)
			330(出口)	13(出口)
壳程	164.5	2.96	910(入口)	
			388(出口)	

该换热器投入运行后,发现 U 形管在壳程工艺气高速横向冲刷的作用下发生强烈的振动,壳程入口附近的 U 形管弯头发生的振动尤为剧烈.投入运行一段时间后,U 形管的弯头频繁出现爆管泄漏现象.

2.2 管束泄漏原因分析

在折流板换热器中,壳程流体横向冲刷换热管束,流体诱发振动的主要成因是漩涡分离、紊流抖动、流体弹性的不稳定以及声振动响应.漩涡分离、紊流抖动和声振动响应是振动响应现象,当激振频率和管子频率同步时便产生振动响应.如果壳程流体横流速度达到临界流速,管子振动响应的振幅将显著增大,并与相邻管子相互碰撞的现象称为流体弹性的不稳定.换热管是细长的弹性元件,在壳程流体横向流动的作用下可能诱发振动,长期运行将导致换热管束疲劳破坏.当管子的振动幅度较大时,管子更容易遭到破坏而出现断管或泄漏现象.

对于 U 形管换热器,U 形管弯头是最容易诱发振动的区域.根据 GB151-1999 附录 E^[3]对该换热器的 U 形管弯管区进行振动校核,计算结果如表 2 所示,校核结果如表 3 所示(见下页).

表 2 U 形管换热器弯管区振动计算

Tab.2 Vibration calculation in the bend area of the U-tube heat exchanger

计算项目	数值
卡门漩涡频率 f_v /Hz	74.6
声频 f_a /Hz	165.3
最大横向烟气流速 $V_{max}/(m \cdot s^{-1})$	10.0
声共振参数 G_s	6.5×10^{-4}
紊流抖振主频率 f_t /Hz	117.8
U 形管最低固有频率 f_m /Hz	60.9
临界横流速度 $V_c/(m \cdot s^{-1})$	13.3

从表 3 可以推断,该换热器的 U 形管弯头在流体的横向流动作用下将诱发振动.由于换热管束的反复振动,不断产生管束与管束之间、管束与折流板之间的碰撞、摩擦,随着运行时间的增加,最终导致

表3 U形管换热器弯管区振动校核
Tab.3 Vibration check in the bend area of the U-tube heat exchanger

判定项目	判定依据	是否成立	是否振动
$f_a/f_v = 2.2$	$0.8 < f_a/f_v < 1.2$	否	否
$f_a/f_t = 1.4$	$0.8 < f_a/f_t < 1.2$	否	否
$V_c - V_{\max} = 3.3$	$V_c - V_{\max} < 0$	否	否
$f_v/f_{nu} = 1.2$	$f_v/f_{nu} > 0.5$	是	是
$f_t/f_{nu} = 1.9$	$f_t/f_{nu} > 0.5$	是	是
$G_s = 6.5 \times 10^{-4}$	位于声共振区内	是	是

换热管束泄漏。

2.3 改造方案

为了解决换热管束由于振动而产生的泄漏问题,对原有的换热设备进行改造.在不改变U形管结构布置的前提下,采用折流圈代替弓形折流板,使壳程的流体纵向冲刷换热管束,从而消除了壳程流体诱发振动的根源.折流圈组装如图3所示。

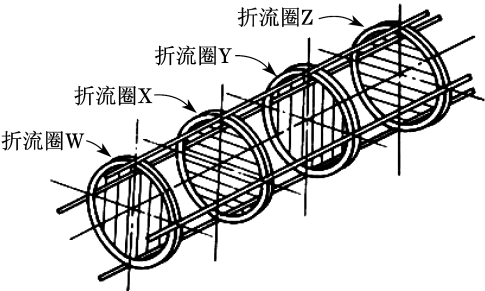


图3 折流圈组装示意图
Fig.3 Assembly diagram of the rod baffle circles

如图3所示,4个折流圈组成一组折流支承结构.其中,W,X折流圈的折流杆分别在偶数管排中提供竖向和水平支承,而Y,Z折流圈的折流杆分别在奇数管排中提供竖向和水平支承^[4].折流杆截面形状如图4所示。

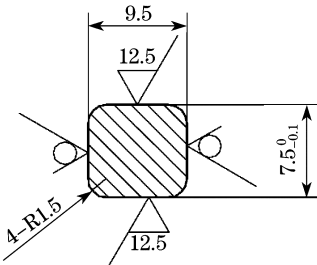


图4 折流杆截面图
Fig.4 Cross-sectional view of the rod baffle

由于折流杆的高度几乎等于管间间隙,且换热管以90°方形排列,折流杆与换热管之间几乎没有间隙.采用图3所示的交替布杆方式,使换热管在4

个方向上都得到了有效的支承.折流杆采用方形结构,与换热管的接触为线接触,可以有效地抑制管子的振动,减轻管子的磨损^[5]。

2.4 改造前后对比

经过改造,解决了原先设备由于管子振动而导致管子泄漏的问题,在传热性能上也有所提高.改造前后换热器的性能参数比较如表4所示。

表4 改造前后换热器性能比较
Tab.4 Comparison of heat exchanger performance before and after reconstruction

项 目	改造前	改造后
壳程压力降/kPa	31.4	24.3
管程出口质量含汽率/%	13.1	14.1
壳程出口温度/℃	388	350
换热器总传热系数/(W·m ⁻² ·℃ ⁻¹)	425	571

由表4可以看出,改造后的折流杆换热器的壳程阻力损失 Δp 减小了23%,总传热系数 K 却提高了34%,具有更高的综合传热特性比 $K/\Delta p$,同时在壳程不存在流动死区,减少了污垢的沉积,提高了换热器的使用寿命。

3 结 论

折流杆换热器与传统折流板换热器相比,不仅避免了壳程流体诱发的管子振动问题,而且壳程流体流动均匀,不存在流动死区,具有压降小、不易结垢和传热特性比高的优点.对现有的折流板换热器,可以设计合理的折流圈结构,在其它部件基本不改变的情况下完成板式折流到杆式折流的转换,而且改造成本低,效益回收周期短,具有广阔的市场前景。

参考文献:

[1] 周巧明,黄素逸,叶加贵. 新型折流杆管壳式换热器研究[J].长沙电力学院学报(自然科学版),2004,19(3): 76-79.
[2] 钱颂文. 换热器设计手册[M]. 北京:化学工业出版社,2002.
[3] 全国压力容器标准化技术委员会. GB151-1999 管壳式换热器[S]. 北京:中国标准出版社,1999.
[4] Centry C C. Rod baffle heat exchanger technology[J]. Chemical Engineering Progress,1990, 86(7):48-57.
[5] 彭晓霞. 折流板换热器振动及防振措施研究[J]. 科技情报与经济开发,2004,14(3):256-258.

(编辑:石 瑛)