

T 形系列翅片管在大温差重沸器上的应用研究

蒋 翔 沈家龙 朱冬生

(华南理工大学传热强化与过程节能教育部重点实验室, 广东 广州 510640)

摘要:结合石油化工企业重沸器技改实例,将 T 形系列翅片管应用于大温差传热重沸器中,并对 T 形系列翅片管重沸器进行工业试验研究。结果表明,改进后的 T 形翅片管——TXY 形翅片管重沸器可解决传统的重沸器传热温差大、易结垢的问题。

关键词:翅片管;重沸器;大温差

中图分类号:TK124;TQ051.65

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2004)02-0050-03

Application of T-shaped serial finned tubes in reboiler with large temperature difference

JIANG Xiang, SHEN Jia-long, ZHU Dong-sheng

(Key Laboratory of Enhanced Heat Transfer & Energy Conservation, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Combined with the technical reconstruction of reboilers used in petrochemical enterprises, the T-shaped serial finned tubes were used in reboilers with large temperature difference. Some industrial tests on reboilers of T-shaped serial finned tubes were made. Results indicate that the reconstructed T-shaped finned tubes, namely TXY-shaped finned tubes, may resolve problems such as large heat-transfer temperature difference, and deposited easily in conventional reboilers.

Key words: finned tube; reboiler; large temperature difference

自 1978 年德国 Wieland-Worke 公司发明了 T 形翅片管以来,国内外学者开始对 T 型翅片管进行强化传热性能和机械加工成型的研究^[1-2]。我国现已将 T 型翅片管拓展到炼油和石油化工领域中应用。在长岭炼油化工总厂烷基化装置上进行了重沸器工业应用试验,在洛阳化学工程公司脱硫装置上进行了工业应用。生产运行结果表明,与光管重沸器相比,T 型翅片管重沸器不仅节省了 30% 以上换热面积,还具有很好的操作弹性,在生产超负荷 33% 的工况下,不但保持了较高的传热效率,而且操作平稳^[3]。

T 形系列翅片管能有效地提高沸腾传热系数和临界热负荷,在 4 种主要的沸腾强化表面中,T 形管的传热性能最好,且其加工比其他强化管都要容易^[4-5]。目前我国大多数石油化工企业所用的重沸器仍比较落后,特别是在易结垢及大温差的场合下,不仅传热效率低,而且操作波动较大,常常成为生产中的瓶颈部位。因此,开展对 T 型翅片管重沸器传热性能的应用研究具有现实意义。

TX 形及 TXY 形翅片管是 T 形翅片管的改进型,在国内还未见应用报道。笔者在 2002 年 11 月至 2003 年 4 月期间,负责广州赫尔普化工有限公司扩产增容中新建乙己烷油重沸器项目,将 TXY 形翅片管应用于易结垢流体大温差传热重沸器中,在可行性分析的基础上进行了工业试验,并取得了很好的应用效果。

1 重沸器工业应用要求及分析

广州赫尔普化工有限公司扩产增容项目中,原重沸器难以满足生产要求,故需新增塔底重沸器,其设备工艺参数及要求如表 1 所示。

该厂提供的水蒸气压力为 1.0 MPa,但如采用 1.0 MPa 的水蒸气,传热管内外温差大至 104℃,重沸器在如此大的温差下能否稳定安全运行尚未见报道。为减小传热温差,原计划将水蒸气压力降至 0.25 MPa 以下,但这样不仅需要在水蒸气进入重沸器前加装减温减压设备,而且降低了热源品位,存在较大的能量浪费。一套国产减温减压装置投资和重

收稿日期:2003-09-15

基金项目:国家自然科学基金(No.59976009),广东省自然科学基金(No.0111584),广州市科技局攻关项目(2002)

作者简介:蒋翔(1977-),男,博士生;朱冬生(1964-),男,教授,博士生导师,主要从事热泵、制冷、强化传热研究及应用,020-87114568。

沸器投资基本持平,但其工作状况极不稳定,容易泄漏;如采用国外的产品,其投资将是重沸器投资的3倍左右,而且还要增加运行费用。

表1 重沸器工艺设计参数

参数	壳程	管程
热负荷/kW	1.264×10^3	1.264×10^3
介质	烷烃重沸液	水蒸气
压力/Pa	1.10×10^5	1.00×10^6
温度/℃	76	180
流量/ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$	0.65	0.58
潜热/ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	323.4	2190.0
密度/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	633.50(1)/3.57(g)	1.38
临界压力/Pa	3.129×10^6	
表面张力/ $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$	1.35×10^{-2}	
黏度/ $10^{-6} \text{Pa} \cdot \text{s}$	222.0(1)/7.7(g)	212.1
乙己烷质量分数/%	> 95	> 95

该项目中,原重沸器壳体容易结垢,使用一段时间后,壳体内就会附着一层厚厚的垢体,不仅影响传热,使被处理流体难以达到工艺要求,而且操作不稳定,产生安全隐患。

另外,企业要求重沸器有较大的操作弹性:一是希望保证并提高生产质量,二是以后扩产增容可能需要处理更大的物流量,故要求重沸器面积富裕量较大。

T形系列翅片管的管外壁经过加工轧制,其外表面积大大增加,一般可达到光管的2倍以上。由于重沸器管内流体为水蒸气,其热阻很小,主要集中于壳侧,因此壳侧传热面积的增加是大有好处的。即使系统能稳定运行,如采用光滑管重沸器,要达到应用要求,只能采用较大面积(据计算,约为T形系列翅片管重沸器面积的1.6倍左右)的重沸器,才能确保传热通量,但这样耗能剧增,严重影响了企业的经济效益。

2 T形系列翅片管重沸器工业应用试验

2.1 试验装置及试验方法

为了解决上述问题,并验证T形系列翅片管能否应用于原重沸器中,笔者建立了1台小型重沸器作为试验装置。该重沸器管程由4根管组成,管内为1.0MPa水蒸气,壳侧为工作流体,其沸点为76℃。流体的沸腾状态由顶视视镜观察,通过流体状态判断运行是否稳定安全,在装置运行一个月后观察垢体生成状况。

笔者分别用光管及T形系列翅片管做了试验。由于T形翅片管已进行工业应用试验,该项目主要

解决易结垢流体的大温差传热问题,因此选用已优化的结构参数,在此基础上对传热表面进行了优化设计,并对不同传热表面的传热性能进行了试验研究。T形、TX形和TXY形翅片管的传热表面如图1所示。

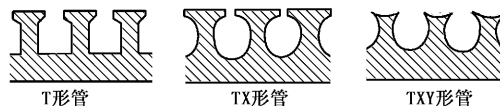


图1 T形、TX形、TXY形翅片管形状

试验用样管均由 $\Phi 25 \text{ mm} \times 2.5 \text{ mm}$ 的普通钢管加工而成,几何参数如表2所示。

表2 试验用样管几何参数

管形	光管	T形	TX形	TXY形
有效传热长度/mm	1800	1800	1800	1800
翅片高度/mm		1.2	1.2	1.2
翅片间距/mm		1.2	1.2	1.2
平均开口度/mm		0.382	0.382	0.382
隧道宽度/mm		0.6	0.6	0.6

2.2 光管及T形系列翅片管的应用试验结果及其分析

2.2.1 大温差沸腾传热试验结果及其分析

试验中观察发现,当液体在管子表面沸腾时,在光管表面会产生暴沸现象,气化过程根本无法稳定进行;在T形管表面,有时产生很大的气泡甚至是蒸汽膜,覆盖在管壁表面,这种气泡及蒸汽膜不易破裂,直接影响传热效果,如果气泡或蒸汽膜破裂,将会使流体的沸腾很不稳定,造成操作不安全;在TX形管表面,气化过程比较稳定,但还是会产生比较大的气泡,导致沸腾的局部不稳定;在TXY形管表面,气化过程稳定,气泡均匀,很少产生大的气泡,操作安全。

这是因为,根据沸腾理论,气泡的形成需要生长核心,蒸汽膜的破裂要有应力^[6]。由于该工艺中传热温差很大,如果采用普通光管设计管束,气泡没有理想的生长核心,也没有应力使气泡形成的蒸汽膜快速破裂,液体的沸腾将处于过渡沸腾区,其传热系数小,而且操作极不稳定,容易造成事故^[7-8]。而在T形管中,T形通道是理想而稳定的核化中心,在一定的壁面过热度下比光滑表面有更多的气泡核心数;由于T形结构使蒸汽膜形成难度增加,即使形成后,由于X形及Y形表面对流动边界层的切割作用,蒸汽膜较易破裂;在中高热负荷下,T形通道内

存在着气液两相运动与换热,由于 T 形腔到管表面有一段距离,再加上 X 形及 Y 形表面的切割作用,就会产生稳定而均匀的气泡^[9]。上述 3 种作用使沸腾保持在核心沸腾区而不至到过渡沸腾区,这就使得操作稳定,从而解决了光滑管重沸器存在的问题。

2.2.2 结垢试验结果及其分析

试验结果表明,光管部分有明显垢体,T 形管翅片顶端及 T 形腔内均有明显垢体,TX 形管翅片顶端也有明显垢体,T 形腔内没有明显垢体,TTY 形管没有明显垢体生成。

重沸器中,当壳程流体沸腾时,由于传热面上气泡的不断形成与脱落,结垢问题尤其严重,而且复杂^[10]。在原重沸器中,吸附作用为结垢的控制步骤,当雷诺准数增大时,污垢沉积量减少。如果采用 T 形及 TX、TTY 翅片管,在流体流入 T 形腔时,由于翅片侧面切线的存在,流速将会加快,形成冲击力,相当于增加压力产生压力差,压力差将导致流体回流和急剧湍动,即“手风琴”作用使垢体吸附过程难以完成;在翅片的顶端,其特殊形状亦可产生类似效果,使污垢难以在传热表面附着。这样就能将垢体控制在较低水平,从而解决了重沸器的结垢问题。另外,由于 TX 及 TTY 形管的曲面过渡比较平滑,不易产生死区,大大减少了污垢在死区生成的机率。

T 形、X 形、Y 形表面都会增加边界层分离和边界层切割程度,减小传热边界层中滞流底层厚度和对流传热热阻,提高对流传热系数。故要达到防垢、除垢和强化流体传热的目的,可通过改变管子表面的方式来实现,这种把防垢除垢和强化传热结合来的技术,是流体边界层理论在实际中的典型应用。

2.3 TTY 型翅片管重沸器工业应用结果

为解决传热温差大及易结垢的问题,并满足设备及工艺要求,根据上述试验及结果分析,笔者决定采用 TTY 形翅片管重沸器,其型式为卧式虹吸式。改造后的重沸器的设备参数如表 3 所示,表 3 同时列出了企业原计划采用 0.25 MPa 水蒸气作加热介质时的重沸器设备参数。

表 3 重沸器设备参数

参数	TTY 管重沸器	原计划用重沸器
热负荷/kW	1.264×10^3	1.264×10^3
面积/m ²	61	106
传热管参数	16MnR, $\Phi 25\text{mm} \times 2.5\text{mm}$, 长 6m	16MnR, $\Phi 25\text{mm} \times 2.5\text{mm}$, 长 6m
传热管数量/个	130	226
换热器直径/mm	700	1000
投资/万元	14.5	41.0(带减温减压装置)

按表 3 参数设计制造的重沸器,于 2003 年 4 月投入使用,应用于广州赫尔普化工有限公司的塔底重沸器,一次开车成功。实际应用数据于表 4 所示。

表 4 改造后的重沸器使用效果

参数	壳程	管程
介质	烷烃重沸液	水蒸气
压力/Pa	1.1×10^5	1.0×10^6
温度/°C	76	180
流量/kg·s ⁻¹	0.65	0.58
气化率/%	12	12
乙己烷质量分数/%	> 95	> 95

3 结论

① TTY 翅片管重沸器有优良的传热性能,在面积比光管重沸器面积小 1 倍的情况下,使用效果好,产品中乙己烷含量超过企业的要求,产品质量优良。

② 解决了流体易结垢及传热温差大的问题,操作稳定安全。

③ 减少了换热面积及设备投资近 30 万元,减少了重沸器在运行中的动力消耗,为企业带来了很好的经济效益。

④ 此重沸器的成功设计制造及应用,为其他企业(如化工、石油企业等)重沸器的设计、改造及 T 形系列翅片管重沸器的应用提供了成功的范例,对提高企业重沸器应用水平将发挥重要的作用。

参考文献

- [1] 庄礼贤,魏超,陆应生,等.[J].化工学报,1995,46(2):250-254.
- [2] 梁龙虎.[J].炼油设计,2001,31(4):20-23.
- [3] 朱冬生,钱颂文.[J].化工装备技术,2000,21(6):1-9.
- [4] 喻国华.带内翅片的 T 形翅片管沸腾传热特性研究[D].广州:华南理工大学,1995.
- [5] Jhee, Sung. [J]. International Journal of Refrigeration, 2002, 25(12): 1047-1053.
- [6] E U 施林德尔.换热器设计手册(第二卷)[M].马庆芳,马重芳译.北京:机械工业出版社,1989.
- [7] N H 艾夫根, E U 施林德尔.换热器设计与理论源典[M].马庆芳译.北京:机械工业出版社,1983.
- [8] Wang C C, Fu W L, Chang C T. [J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 1997, 14(2): 174-186.
- [9] 汪鸿涛.T 形翅片管外饱和核沸腾及添加剂强化沸腾传热的研究[D].广州:华南理工大学,1993.
- [10] Yun J Y, Lee K S. [J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 1999, 42(7): 2375-2385. ■