

管内流体动力清洗式传热强化元件的性能比较

易伟¹, 俞天兰¹, 彭德其¹, 李群松², 向寓华², 姚雪峰¹

(1. 湖南工业大学 过程装备研究所, 湖南 株洲 412008; 2. 湖南化工职业技术学院, 湖南 株洲 412004)

摘要: 在试验比较的基础上, 评价了传热管内传热强化幅度的大小、阻力性能及综合性能, 结果表明: 在雷诺数为 8 000~43 000 的范围内, 流体动力自转式光滑螺旋扭带、斜齿螺旋扭带、平齿带和钢丝螺旋线的传热强化幅度分别为 14%、33%、39.5% 和 16.5%; 在 Re 低于 10 000 的范围, 采用平齿带和斜齿螺旋扭带效果较好; 钢丝螺旋线和光滑螺旋扭带在 $Re = 12 500$ 达到最佳; 在 Re 高于 10 000 的广阔范围, 选用钢丝螺旋线和光滑螺旋扭带更合理。

关键词: 传热强化; 扭带; 平带; 螺旋线

中图分类号: TB657.5

文献标识码: A

文章编号: 1673-9833(2008)02-0071-03

Performance Comparison on Strengthening Heat-Transfer Elements of Fouling Remove Automatically

Yi Wei¹, Yu Tianlan¹, Peng Deqi¹, Li Qunsong², Xiang Yuhua², Yao Xuefeng¹

(1. Research Institute of Process Equipment, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China;

2. Hunan Chemical Professional Technology College, Zhuzhou Hunan 412004, China)

Abstract: In view of evaluation of capability of heat transfer enhancement, flow resistance and comprehensive performance through experiments, the result shows that the heat transfer enhancement of self-rotating twisted strip, twisted strip with oblique teeth, straight strip with elliptical teeth and steel spiral are 14%, 33%, 39.5% and 16.5% respectively within the Re range of 8 000~43 000; twisted strip with oblique teeth and straight strip with elliptical teeth are better as Re for less than 10 000; steel spiral and twisted strip come to the best of performance at the Re of 12 500; steel spiral and twisted strip are more reasonable in the abroad range of Re with more than 10 000.

Key words: heat transfer enhancement; twisted strip; straight strip with elliptical teeth; steel spiral

0 前言

在有热量传递过程的各个领域, 都需要强化热传递过程以减少传热面积、提高热效率, 或使受热元件得到及时有效的冷却, 保证设备安全有效地运行。近些年来, 国内外学者对强化传热技术开展了广泛的研究, 并取得了不少成果^[1]。目前的传热强化技术主要有内插物技术、扩张表面技术和螺旋管技术及一些外加的强化技术等。内插物技术中的自转式光滑螺旋扭带、平齿带、斜齿螺旋扭带和钢丝螺旋线等先进技

术, 已先后在工业上获得应用。这些技术不仅可以强化传热, 而且具有自动在线清洗污垢的功能, 方法简便有效, 不仅适合新设计的设备制造更新, 而且便于对旧设备进行技术改造, 因而应用前景广泛^[2]。但是, 对这些新技术进行综合性能比较研究的文献较少, 这给工程设计中技术方案的最佳选择带来困难。因此, 本文拟从以上技术的传热系数强化与流体阻力的综合性能最佳化的角度进行试验研究比较, 以期对相关工程设计提供分析基础和选择依据。

收稿日期: 2007-11-16

基金项目: 湖南省教育厅基金资助项目(05C515), (06B024)

作者简介: 易伟(1981-), 男, 陕西咸阳人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为传热强化节能。

1 传热强化机理分析

传热管两侧的传热过程,包括两侧的对流传热和管壁的导热。在试验研究系统中,管外为蒸汽冷凝,考虑到传热表面污垢的存在,按串联热阻的概念,传热过程的总热阻 R 包括 5 部分,即:管内对流传热热阻 R_1 、管内污垢热阻 R_2 、管壁导热热阻 R_3 、管外污垢热阻 R_4 和管外对流传热热阻 R_5 。即:

$$\frac{1}{k} = R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 \quad (1)$$

管内的污垢热阻一般较大,在计算时不容忽略。而通过在传热管进口端安装流体动力清洗式强化传热元件,利用传热介质自身流过动力元件所传递的动力矩使元件旋转,不断刮扫和撞击管内壁,扰动管内壁介质,减薄边界层,可达到传热强化与自动在线清洗的双重效果。流体自转式清洗动力元件的使用,使管内流体相对于传热面的运动速度变大,雷诺数和湍流度相应变大,从而使管内壁对流传热热阻 R_1 减小,且其在线除垢作用使管内壁污垢热阻 R_2 几乎为零。据此,传热过程的总热阻 R 显著减少,传热系数 k 明显提高。

2 试验设计

2.1 试验系统

试验系统如图1所示,冷却水管采用 $\Phi 40 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ 不锈钢钢管,其长度为 2 m,夹套长度为 0.5 m,立式。冷却水流速通过阀门调节,采用转子流量计测量。蒸汽发生器产生的蒸汽进夹套加热,冷凝水底部排出,不凝结气体顶部连续排出。

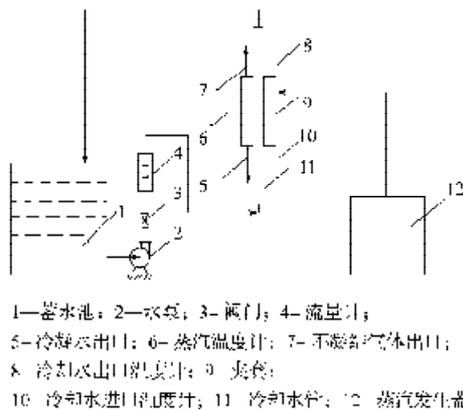


图 1 试验装置示意图

Fig. 1 Sketch map of testing equipment

2.2 试验原理

总的传热系数计算式^[3]为:

$$k = Q / [A \cdot \Delta t_m] = C_{PC} \cdot W_C \cdot (t_2 - t_1) / [A \cdot \Delta t_m] \quad (2)$$

由于夹套中传热管表面的蒸汽温度 T 几乎处处相同,完全可以忽略其微小差别,因此传热过程的对数平均温差为:

$$\Delta t_m = [(T - t_1) - (T - t_2)] / \ln [(T - t_1) / (T - t_2)] \quad (3)$$

式(2)、(3)中:

C_{PC} 为冷却水的比热容 (单位为 $\text{J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$);

W_C 为冷却水的质量流量 (单位为 kg/s);

T 为壳程蒸汽温度 (单位为 $^\circ\text{C}$);

t_1 为冷却水进口温度 (单位为 $^\circ\text{C}$);

t_2 为冷却水出口温度 (单位为 $^\circ\text{C}$);

A 为以冷却水管外径计算的传热面积 (单位为 m^2)。

2.3 试验条件

据以往的研究基础,各元件试验结构参数见表 1。

表 1 流体动力清洗式传热强化元件结构参数

Table 1 Structural parameters of tube inserts to enhancing heat transfer

名称	宽度 B /mm	螺距 H /mm	齿距 T /mm	齿倾角 $\beta / ^\circ$	直径 d /mm	外径 D /mm
光滑螺旋扭带	27.0	125	/	/	/	/
斜齿螺旋扭带	25.2	240	60	45	/	/
平齿带	25.2	/	60	45	/	/
钢丝螺旋线	25.2	60	/	/	2	25.2

3 试验结果与分析

3.1 传热强化

试验结果见图 2。在本试验系统中,传热管外侧是蒸汽冷凝传热,热阻较小,传热管材质为不锈钢,其导热系数只有 $17 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 左右,所以,整个系统传热效率的提高依靠管内侧对流传热热阻的减小。

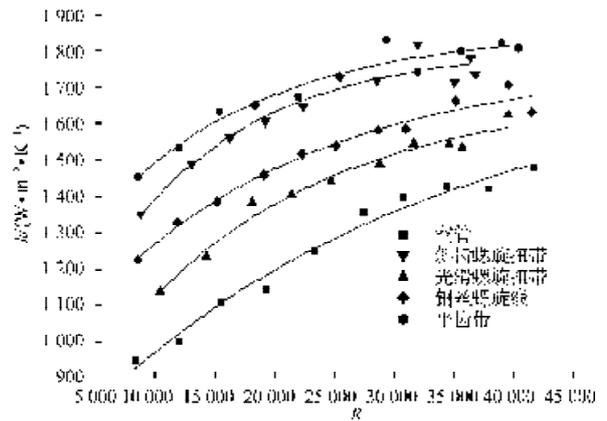


图 2 传热系数曲线图

Fig. 2 Testing curve of the heat transfer coefficient

由图 2 可看出,随着 Re (或流速) 的增大,虽然传热系数 k 会相应增大,但传热强化幅度却呈减小趋势。在同一 Re 下,平齿带的传热强化效果最好。 Re 在 $8000 \sim 43000$ 范围内,传热强化幅度大小顺序为:平齿带 > 斜齿螺旋扭带 > 钢丝螺旋线 > 光滑螺旋扭带。传热强化幅度大小是光滑扭带为 $11\% \sim 17\%$, 平均为 14% ; 钢丝螺旋线为 $14\% \sim 29\%$, 平均为 16.5% ; 斜齿螺旋扭带为 $24\% \sim 42\%$, 平均为 33% ; 平齿带为 $26\% \sim 53\%$, 平均为 39.5% 。

平齿带之所以传热强化效果最好, 主要在于其工作时每个齿的下游会出现大量的涡流。其次, 部分轴向流动的液流与螺旋流的融合和齿带自转对液流的有效扰动, 进一步强化了其传热效果。

3.2 流体阻力

流体动力元件传热强化的同时, 也必然引起系统阻力的增大。从图3可以看出, 随着 Re 的增加, 平齿带和斜齿螺旋扭带的阻力远高于钢丝螺旋线和光滑扭带, 这是由于齿片的存在必然导致阻力的大幅增加。阻力大小的顺序为: 平齿带>斜齿螺旋扭带>光滑螺旋扭带>钢丝螺旋线。

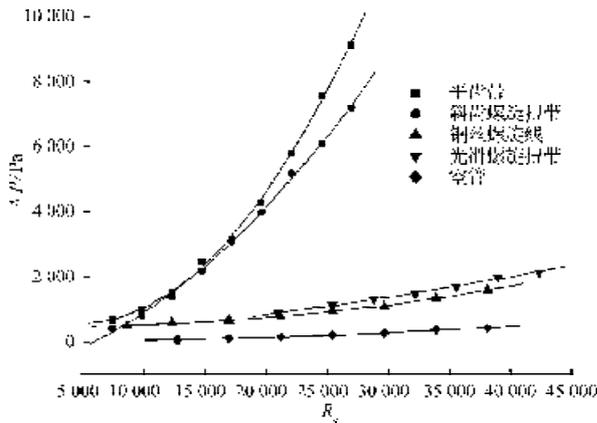


图3 阻力性能曲线图

Fig. 3 Testing curve of the drag characteristics

3.3 综合性能评价

由于各种流体动力清洗式传热强化元件, 均以流体阻力增大为代价强化对流传热过程。因此, 从节能的角度考虑, 以对传热强化和流体阻力的比值作为指标进行评判更为合理。比较结果如图4所示。

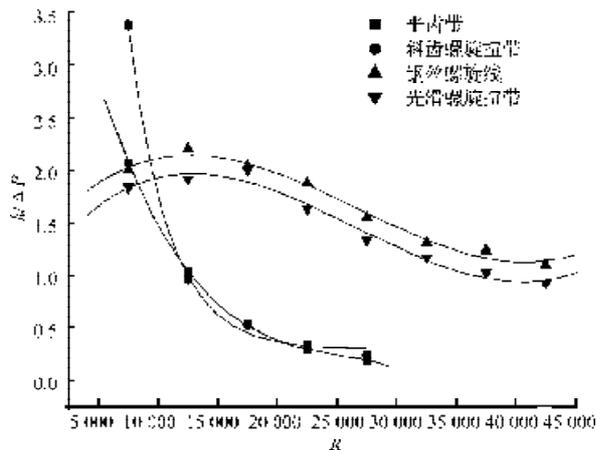


图4 综合性能曲线

Fig. 4 Curve of the comprehensive performance

图4中的曲线表明: 在 Re 低于10000的范围, 从节能的角度比较, 平齿带和斜齿螺旋扭带比钢丝螺旋线和光滑螺旋扭带优越。但随着 Re 的增加, 其性能急剧下降。因此, 平齿带和斜齿螺旋扭带适用于低 Re 区域, 这点与文献[4, 5]的结论一致。平齿带和斜齿螺旋扭带的曲线比较相似, 原因是基本的特征结构元素都是斜齿。在 Re 高于10000的广阔范围, 钢丝螺旋线和光滑螺旋扭带比平齿带和斜齿螺旋扭带好得多; 钢丝螺旋线和光滑螺旋扭带的性能曲线十分相似。随着 Re 的增加, 在 $Re < 12500$ 时, 其综合性能缓慢提高, 在 $Re = 12500$ 左右达到最佳, 随着 Re 的继续增大, 其性能又缓慢下降。

4 结论

1) 雷诺数约在8000~43000范围内, 与空管相比, 流体动力自转平齿带、斜齿螺旋扭带、钢丝螺旋线、光滑螺旋扭带传热强化的平均幅度分别为: 39.5%、33%、16.5%、14%。

2) 从节能的角度考虑, 在 Re 低于10000的范围, 平齿带和斜齿螺旋扭带的性能较好; 钢丝螺旋线和光滑螺旋扭带在 $Re = 12500$ 左右达到最佳; 在 Re 高于10000的范围, 钢丝螺旋线和光滑螺旋扭带显著优于齿带和斜齿螺旋扭带; 钢丝螺旋线又始终比光滑螺旋扭带更好。

参考文献:

- [1] 杨世铭, 陶文铨. 传热学[M]. 3版. 北京: 高等教育出版社, 1998.
- [2] 张琳, 俞秀民, 宣益民, 等. 自转清洗扭带管对流传热强化机理的实验研究[J]. 热能动力工程, 2003, 18(6): 608-611.
- [3] 王志魁. 化工原理[M]. 3版. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [4] 俞天兰, 蒋少青, 俞秀民, 等. 椭圆齿旋流口平带传热管内自动清洗及其传热强化[J]. 科技导报, 2006, 24(7): 38-40.
- [5] 彭德其, 林伟璐, 俞秀民, 等. 斜齿扭带传热强化及其自动清洗[J]. 中国矿盐, 2004, 35(3): 32-34.

(责任编辑: 廖友媛)