



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109945688 A

(43)申请公布日 2019.06.28

(21)申请号 201910200328.0

(22)申请日 2019.03.16

(71)申请人 南通文鼎换热设备科技有限公司
地址 210000 江苏省南通市崇川区虹桥街
道115幢216号

(72)发明人 吕文超 钱巍

(51)Int.Cl.

F28D 7/02(2006.01)

G06F 17/50(2006.01)

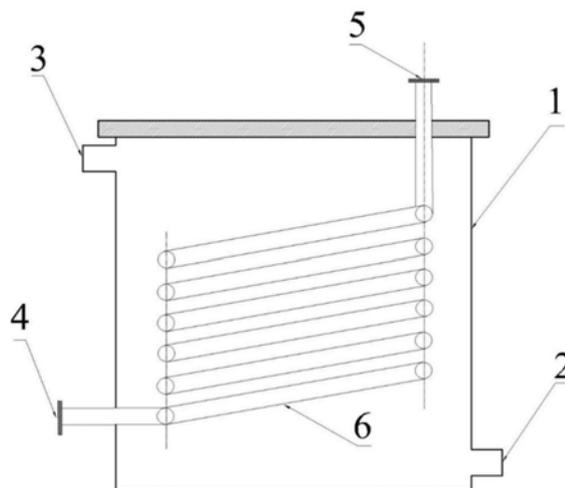
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

一种基于Dean Vortice效应的高效换热设备

(57)摘要

本发明公开了一种基于Dean Vortice效应的高效换热设备。该高效换热设备依次包括壳体、冷却介质进口、冷却介质出口、工艺介质出口、工艺介质进口和螺旋式换热管等。流体介质在螺旋换热管中流动时会形成具有对称涡核分布的Dean Vortice,对于流体换热具有重要影响。通过对Dean Vortice强度与换热效率进行分析评价,选取最优换热效率所对应的Dean Vortice强度指数,优化设计换热管的结构参数,使得流体介质在管程中流动时在较小的阻力与沿程损失的条件下达达到充分湍流状态,有效降低管壁附近流动边界层和温度边界层厚度,加强介质流动过程中的主动对流换热过程,提高设备整体运行效率。同时,破坏管壁附近结垢与杂质沉积,保障设备高效、经济、安全长周期运行。



1. 一种基于Dean Vortice效应的高效换热设备,依次包括壳体(1)、冷却介质进口(2)、冷却介质出口(3)、工艺介质出口(4)、工艺介质进口(5)和螺旋式换热管(6)。所述冷却介质进口(2)位于壳体(1)下侧,所述冷却介质出口(3)位于壳体(1)上侧。工艺介质进口(5)位于壳体(1)顶部,工艺介质出口(4)位于壳体(1)下侧。螺旋式换热管(6)位于壳体(1)内;冷却介质由进口(2)进入壳体(1),与螺旋式换热管(6)发生热量交换后经出口(3)流出壳体(1)。工艺介质由进口(5)进入螺旋式换热管(6)内,经出口(4)流出螺旋式换热管(6)。

2. 根据权利要求1所述的高效换热设备,其特征在于,所述螺旋式换热管(6)曲率半径R满足:

$$R = 4Q^2 / (r\pi^2\rho^2v^2D_e^2) \quad (1)$$

其中,Q为设备工艺介质的质量流量,r为螺旋式换热管内半径, ρ 为工艺介质密度,v为工艺介质运动粘度, D_e 为Dean Vortice强度。

3. 根据权利要求2所述的高效换热设备,其特征在于, D_e 为2100。

4. 根据权利要求1所述的高效换热设备,其特征在于,所述螺旋式换热管(6)的半径内r与曲率半径R满足:

$$r/R \leq 0.16 \quad (2)。$$

5. 根据权利要求1所述的高效换热设备,其特征在于,所述螺旋式换热管(6)层间距h满足:

$$h=4r \quad (3)。$$

6. 根据权利要求1所述的高效换热设备,其特征在于,所述螺旋式换热管(6)的扭率 τ 满足:

$$\tau=2\pi r / (R^2\pi^2+4r^2) \quad (4)。$$

7. 根据权利要求1所述的高效换热设备,其特征在于,所述冷却介质进口(2)、冷却介质出口(3)、工艺介质出口(4)、工艺介质进口(5)均通过焊接形式与壳体(1)连接。

一种基于Dean Vortice效应的高效换热设备

技术领域

[0001] 本发明涉及流体流动过程主动增强换热技术领域,更具体地涉及一种基于Dean Vortice二次流主动增强换热效应的高效螺旋换热设备,该换热设备可广泛应用于石油、化工、轻工、污水处理等领域中的流体换热过程。

背景技术

[0002] 换热设备是进行热交换的通用工艺单元,广泛应用于化工、炼油、动力、轻工、冶金、核能、造船、航空、建筑等工业部门,其金属消耗、动力消耗及建设投资在整个工程中占有相当大的份额。因此,换热设备的运行性能和工作效率直接影响整个装置甚至企业的安稳运行和经济效益。随着世界能源危机的日益加剧,资源匮乏和能源短缺给工业生产和经济发展带来了严峻挑战。有效提高能源利用率,增强设备换热效率成为各相关部门亟待解决的重要问题。

[0003] 由传热速率方程 $Q=K \cdot A \cdot \Delta T$ 可知,通过提高传热系数、增大换热面积以及提高换热温差,可以有效提高换热设备的运行效率。对于管壳式换热设备,提高管程介质流速可消除流场中的湍流滞留区,增加流体扰动和混合效果,一定程度上提高设备的换热效率。但单纯的提高介质流速会导致流动阻力增加,设备能耗急剧升高。增大换热面积是强化管壳式换热设备性能的重要途径之一,通过采用小管径换热管和扩展表面传热面来增大传热面积,但该方法往往导致设备体积、技术设施与投资等随之增加,制约了其在场地固定的化工系统中的广泛应用。增大平均传热温差也是强化换热设备换热性能的一种有效方法,主要利用不同换热面布置来改变平均传热温差,或扩大冷、热流体进出口温差的方法增大平均传热温差,但该方法在实施过程中通常受到生产过程及经济条件等限制,效果有限。此外,工业应用中常利用管内插入旋流片、螺旋纽带等元件,使其充分发展为湍流,同时配合各类壳程强化技术,如折流板/杆、异形孔板、空心环等措施,均可一定程度上强化换热设备运行效率,但通常导致较高的流动阻力以及运行成本。

发明内容

[0004] 本发明提供了一种基于Dean Vortice效应的高效换热设备。通过对管程内介质流动过程产生的Dean Vortice进行分析和优化,设计和构建螺旋管结构尺寸与运行参数,使流体介质在较低流速条件下达到充分湍流状态,降低温度边界层和流动边界层厚度,有效提高换热设备运行效率,实现设备高效、节能、经济、安全长周期运行。

[0005] 为了达到上述目的,本发明采用的技术方案是:

[0006] 一种基于Dean Vortice效应的高效换热设备,依次包括壳体、冷却介质进口、冷却介质出口、工艺介质出口、工艺介质进口和螺旋式换热管。所述冷却介质进口位于壳体下侧,所述冷却介质出口位于壳体上侧。工艺介质进口位于壳体顶部,工艺介质出口位于壳体下侧。螺旋式换热管位于壳体内,冷却介质由进口进入壳体,与螺旋式换热管发生热量交换后经出口流出壳体。工艺介质由进口进入螺旋式换热管内,经出口流出螺旋式换热管。

[0007] 进一步地,所述螺旋式换热管曲率半径R满足:

$$[0008] \quad R = 4Q^2 / (r\pi^2 \rho^2 v^2 D_e^2) \quad (1)$$

[0009] 其中,Q为设备工艺介质的质量流量,r为螺旋式换热管内半径, ρ 为工艺介质密度, v 为工艺介质运动粘度, D_e 为Dean Vortice强度。

[0010] 进一步地,所述 D_e 为2100。

[0011] 进一步地,所述螺旋式换热管的内半径r与曲率半径R满足:

$$[0012] \quad r/R \leq 0.16 \quad (2)$$

[0013] 进一步地,所述螺旋式换热管层间距h满足:

$$[0014] \quad h = 4r \quad (3)$$

[0015] 进一步地,所述螺旋式换热管的扭率 τ 满足:

$$[0016] \quad \tau = 2\pi r / (R^2 \pi^2 + 4r^2) \quad (4)$$

[0017] 进一步地,所述冷却介质进口、冷却介质出口、工艺介质出口、工艺介质进口均通过焊接形式与壳体连接。

[0018] 本发明具有的有益效果是:

[0019] 本发明提出的一种基于Dean Vortice效应的高效换热设备,采用二次流分析方法,选取换热效率最优时对应的Dean Vortice强度指数,优化设计换热管结构参数,使工艺介质在管程中在较小阻力和沿程损失的条件下达到充分湍流的状态,有效降低管内壁附近流动边界层和温度边界层厚度,提高换热设备运行效率。同时,保障工艺介质在管程流动时具有较强的壁面剪切作用,可以有效破坏壁面处的结垢与杂质沉积,防止换热管发生堵塞、沉积腐蚀,影响换热设备整体运行安全。本发明基于换热设备关键部件-换热管内的二次流现象,优化设计换热管的半径、曲率半径、螺距、扭率等关键参数,能够有效提高换热设备整体运行效率,保障设备高效、经济、安全长周期运行。

附图说明

[0020] 图1高效换热设备结构示意图;

[0021] 图2螺旋换热管结构示意图;

[0022] 图3 Dean Vortice强度对换热效率的影响;

[0023] 图4 r/R 对换热效率的影响。

具体实施方式

[0024] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步说明。

[0025] 如图1所示,本发明所提供的一种基于Dean Vortice效应的高效换热设备,包括壳体、冷却介质进口、冷却介质出口、工艺介质进口、工艺介质出口与螺旋式换热管。冷却介质、工艺介质分别流经壳程与管程,经对流换热后流出设备。

[0026] 如图2所示,为本发明的螺旋式换热管。其中,曲率半径R满足:

$$[0027] \quad R = 4Q^2 / (r\pi^2 \rho^2 v^2 D_e^2)$$

[0028] Q为设备工艺介质的质量流量,r为螺旋管内半径, ρ 为工艺介质密度, v 为工艺介质运动粘度, D_e 为Dean Vortice强度,由图3研究结果可知, D_e 为2100时,换热管具有最佳的换

热效果。

[0029] 获取设备工艺介质的质量流量,则介质在管程内的流动速度 $V=Q/A$,其中A为介质流通截面,满足 $A=\pi r^2$ 。

[0030] 工艺介质在管程内的湍流程度用 Re 表示,满足公式 $Re=Vd/v$,其中,d为特征长度,此处即为换热管内径。

[0031] 工艺介质在管程内流动时,由于受离心力作用,会产生二次流,其强度用 De 表示,定义如下所示:

$$[0032] \quad De=Re \cdot (r/R)^{0.5}=2r \cdot V \cdot v^{-1} \cdot (r/R)^{0.5}$$

[0033] 若 De 过小,则形成的二次流涡旋程度较弱,不能有效降低管壁附近流动边界层和温度边界层的厚度,强化换热效果较弱;若 De 过大,则形成的二次流涡核将发生溃灭,同样不能提高设备的换热效率,同时导致较大的流动阻力。

[0034] 螺旋式换热管内半径 r 与曲率半径 R 满足约束条件 $r/R \leq 0.16$,保障设备高效率运行的条件下具有较大的经济性。若 r/R 大于0.16,管中压降的增大速度远快于怒赛尔特数的增长速度,导致强化传热效果快速降低。

[0035] 螺旋式换热管螺距 h 一般为 $3r \sim 4r$,针对该高效换热设备,定义 $h=4r$,降低工艺介质流动过程的沿程阻力,保障其具有较大的垂直方向速度,形成较强的壁面剪切力,破坏管壁处的结垢与杂质沉积,防止管程堵塞与沉积腐蚀。

[0036] 螺旋式换热管扭率 τ 满足条件: $\tau=2\pi r/(R^2\pi^2+4r^2)$ 。该条件可增强工艺介质在管程中流动时所形成的壁面剪切力,进一步降低温度边界层厚度,强化换热,防止结垢和杂质沉积。

[0037] 冷却介质进口、冷却介质出口、工艺介质进口、工艺介质出口均通过焊接形式与壳体连接,保障设备具有良好的密封性。

[0038] 上述具体实施方式用来解释本发明,而不是对本发明进行限制,在本发明的精神和权利要求的保护范围内,对本发明作出的任何修正和改变,都落入本发明的保护范围。

[0039] 实施例

[0040] 换热设备是热量交换的基础单元,广泛应用于石油、化工、轻工、核电、船舶、航空等工业领域,占企业设备投资的重要比例。随着世界能源危机的日益加剧,有效提高换热设备运行效率引起相关领域专家和学者的高度重视,导致各种强化传热技术得以迅猛发展。目前,工业应用较多的强化传热方法主要包括管内元件法、壳程扰流法、粗糙表面法、外部振动法等,一定程度上强化了换热设备的运行效率,但通常导致较高的流动阻力以及运行成本。

[0041] 本发明提供了一种基于Dean Vortice效应的高效换热设备。通过对工艺介质流经管程时所形成的Dean Vortice现象进行分析,研究 Dean Vortice强度指数对于强化换热效果的影响,优化设计螺旋式换热管的结构参数,使工艺介质在管程中流动时在较小的流动阻力和沿程损失条件下即可达到充分湍流状态,同时对管壁形成一定的壁面剪切,有效降低流动边界层和温度边界层厚度,提高换热设备的运行效率,防止结垢与杂质沉积生成。为了评价本发明所提供的换热设备对于增强换热的效果,引入增强换热评价因子 η 对增强换热效果进行评价,其定义如下所示:

$$[0042] \quad \eta=(Nu/Nu_0)/(f/f_0)^{1/3}$$

[0043] 其中, N_u 为待测管的努塞尔特数, N_{u0} 为对比管的努塞尔特数, f 为待测管流阻, f_0 为对比管流阻。 N_u 定义如下所示:

$$[0044] \quad N_u = KL/\lambda$$

[0045] 其中, K 为对流传热系数, L 为特征长度, λ 为流体导热系数。

[0046] 搭建试验装置, 主要由恒温水箱、水泵、截止阀、测压管、温度计、温度控制器、加热器、水槽、连接管、待测换热管、对比管等部分组成。

[0047] 测定待测管出、入口温度 T_o 、 T_i , 质量流量 m , 以及管长 L , 通过下列公式计算流经带测控管的平均热流密度 q ,

$$[0048] \quad q = C \cdot m (T_o - T_i) / (\pi \cdot d \cdot L)$$

[0049] 通过公式 $K = q / (T_w - T_f)$, 获得待测管对流换热系数 K 。实验中 T_w 为常数, T_f 为介质平均温度, 近似为出、入口温度之和的一半。

[0050] 测定实验管进出口压力之差 ΔP , 以及管内平均流速 V , 通过下列公式获得管内流阻 f :

$$[0051] \quad f = 2d \cdot \Delta P / (\rho \cdot V^2 \cdot L)$$

[0052] 将上述参数代入增强换热评价因子 η 的计算公式, 获取每种工况下换热管的增强换热效果, 结果如图3、图4所示。经分析, 各种工况条件下, D_e 为2100时的强化换热效果均达到最高; $r/R \leq 0.16$ 时, 螺旋式换热管的强化换热效果较好。因此, 本发明基于螺旋式换热管中的 Dean Vortice 效应, 提供一种高效换热设备, 能够利用流体在螺旋管中的流场分布特点, 使流体在较小阻力和沿程损失的条件下, 通过主动强化换热过程, 有效提高换热设备的运行效率, 保障设备高效、经济、稳定长周期运行。

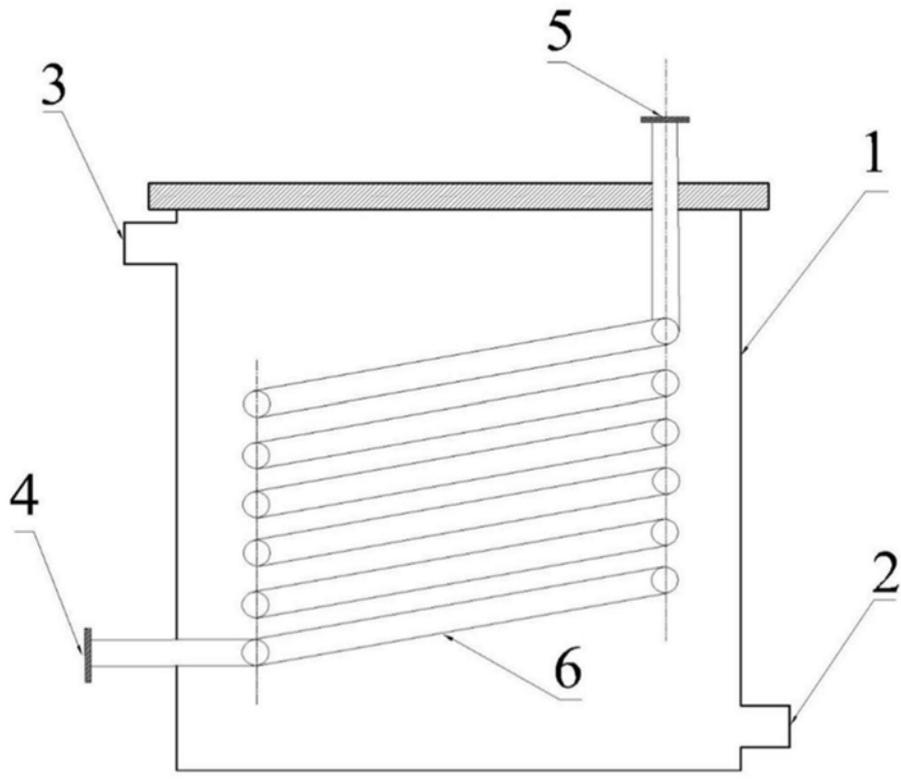


图1

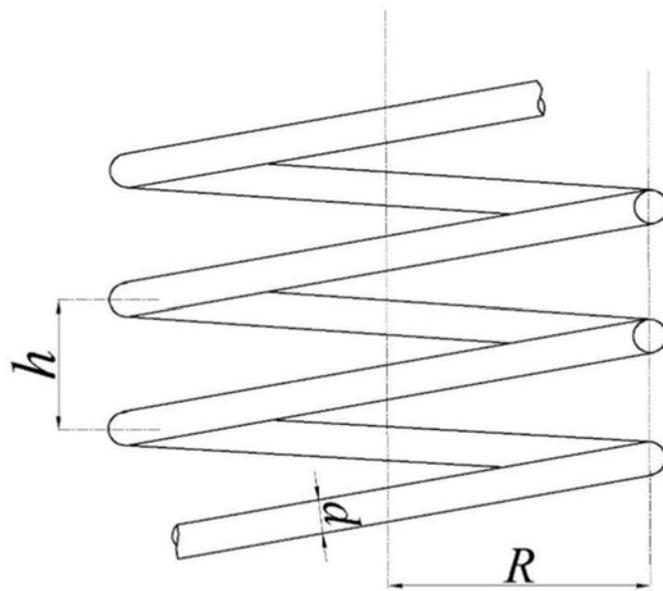


图2

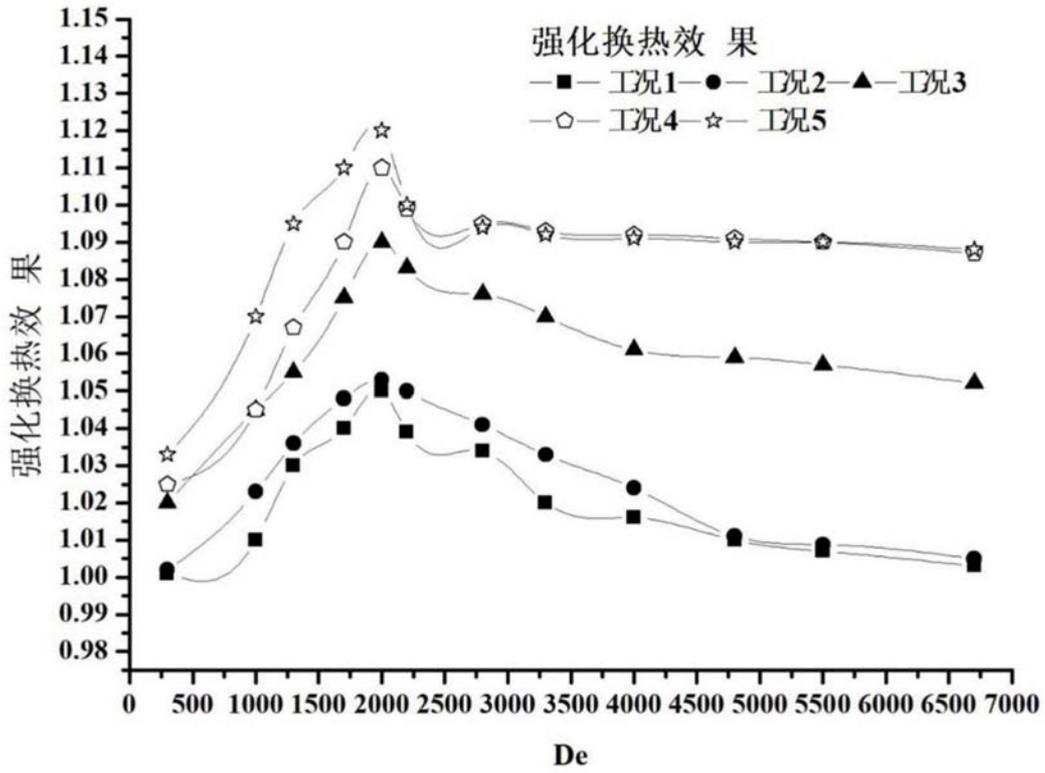


图3

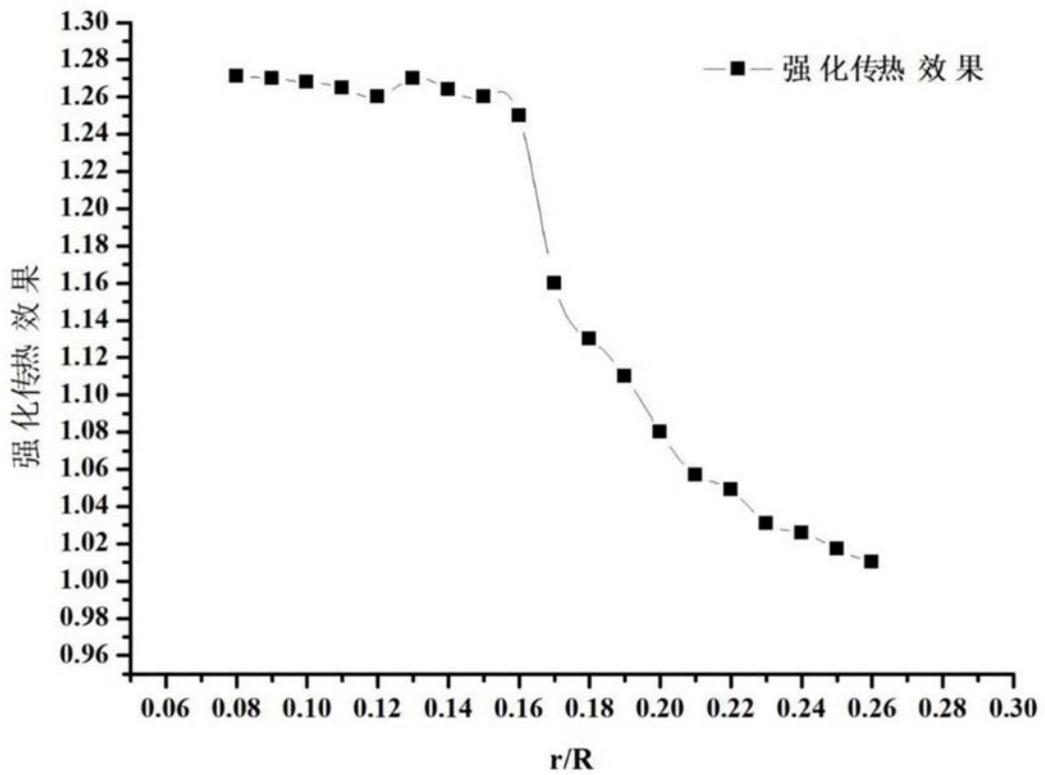


图4