

1. 一种水力喷射空气旋流器,包括空气旋流器和水力喷射雾化室(6),空气旋流器由中心排气管(4)和旋流器筒体(1)套装组成,中心排气管(4)的上端伸出旋流器筒体(1)外,下端位置低于水力喷射雾化室(6)的下端,旋流器筒体(1)上设置有旋流口(11),通过旋流口(11)向旋流器筒体(1)内输入压缩气体,压缩气体在旋流器筒体(1)内高速旋转,形成气体旋流场,旋流器筒体(1)上部分的外围有一个圆柱状外夹套(9),与旋流器筒体(1)的外壁连接构成水力喷射雾化室(6),与其相连接的这部分旋流器筒体(1)的外壁上从上到下开有多个喷孔(2),水力喷射雾化室(6)的上部设置有进液口(10),其特征在于:所述中心排气管(4)的直径 D_x 为 $0.5d \sim 0.6d$ mm;中心排气管(4)的插入深度 S 为 $0.5H \sim 0.75H$ mm;多个喷孔(2)呈正方形阵列排布在圆柱段筒体(1a)的外壁上,且喷孔区域长度 h 为 $0.6S \sim 1S$ mm。

2. 根据权利要求1所述的水力喷射空气旋流器,其特征在于:所述喷孔(2)为圆孔,其直径 d_h 为 $0.028d \sim 0.05d$ mm,喷孔(2)与喷孔(2)之间的间距 l_h 为 $0.15d \sim 0.30d$ mm。

3. 根据权利要求1或2所述的水力喷射空气旋流器,其特征在于:所述旋流口(11)布置在圆柱段筒体(1a)的上部,且旋流口(11)的口部呈长方形,其长度 b 为 $0.4d \sim 0.5d$ mm,宽度 a 为 $0.2d \sim 0.3d$ mm。

4. 根据权利要求1或2所述的水力喷射空气旋流器,其特征在于:所述旋流器筒体(1)由上部的圆柱段筒体(1a)和下部内径逐渐减小形成的圆锥段筒体(1b)组成;所述圆柱段筒体(1a)的内径 D 为 d mm;所述旋流器筒体(1)的总长度 H 为 $4d \sim 5d$ mm;所述圆锥段筒体(1b)的长度 H_c 为 $2d \sim 2.5d$ mm。

5. 根据权利要求1或2所述的水力喷射空气旋流器,其特征在于:所述圆锥段筒体(1b)的下端具有底流口(12),该底流口(12)的直径 D_a 为 $0.3d \sim 0.5d$ mm,在底流口(12)处设有阀门。

6. 根据权利要求1或2所述的水力喷射空气旋流器,其特征在于:所述中心排气管(4)与圆柱段筒体(1a)之间的间隙 l_0 为 $0.2d \sim 0.25d$ mm。

7. 根据权利要求1或2所述的水力喷射空气旋流器,其特征在于:所述圆柱状外夹套(9)的内径 D_0 为 $d+40 \sim d+60$ mm。

水力喷射空气旋流器

技术领域

[0001] 本发明属于化学工程技术领域,具体涉及一种水力喷射空气旋流器。

背景技术

[0002] 传统的气液传质设备主要是填料塔、板式塔和喷淋塔等,液相在重力场的作用下自上至下流动,气相自下而上流动,两者在填料或塔板等表面发生气液传质作用。但是由于重力场较弱,液膜的流速较低、厚度较大,液膜传质效率低,气阻也较高,这使得设备体积庞大、耗材多、投资高、操作费用也高。

[0003] 中国专利文献CN 101147894 B公开的一种水力喷射空气旋流分离器,其主要包括外部主筒体 7 及其上的喷孔 2、废水夹套、水力喷射雾化室 6、中心排气管 4、空气进气管 3、进液管 5 和废水排出口 8。该专利是利用液体射流和气体旋流超重力耦合场强化气—液传质过程的新型传质设备,具有设备结构简单、传质效率高、废水适应面广、空气消耗量较少等优点。已经成功应用于氨氮废水的处理、猪场废水的同时去除 COD、氨氮和总磷,烟气脱硫以及 SO_2 还原处理六价铬等方面,并取得了良好的效果。但以上各零部件的设计仍存在不合理的方面,需要对其进行改进。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种能实现气液高效传质的水力喷射空气旋流器。

[0005] 本发明所述的水力喷射空气旋流器,包括空气旋流器和水力喷射雾化室,空气旋流器由中心排气管和旋流器筒体套装组成,中心排气管的上端伸出于旋流器筒体外,下端位置低于水力喷射雾化室的下端,旋流器筒体上设置有旋流口,通过旋流口向旋流器筒体内输入压缩气体,压缩气体在旋流器筒体内高速旋转,形成气体旋流场,旋流器筒体上部分的外围有一个圆柱状外夹套,与旋流器筒体外壁连接构成水力喷射雾化室,与其相连接的这部分旋流器筒体的外壁上从上到下开有多个喷孔,水力喷射雾化室的上部设置有进液口,所述中心排气管的直径 D_x 为 $0.5d \sim 0.6d$ mm;中心排气管的插入深度 S 为 $0.5H \sim 0.75H$ mm;多个喷孔呈正方形阵列排布在圆柱段筒体的外壁上,且喷孔区域长度 h 为 $0.6S \sim 1S$ mm。

[0006] 所述喷孔为圆孔,其直径 d_h 为 $0.028d \sim 0.05d$ mm,喷孔与喷孔之间的间距 l_h 为 $0.15d \sim 0.30d$ mm。

[0007] 所述旋流口布置在圆柱段筒体的上部,且旋流口的口部呈长方形,其长度 b 为 $0.4d \sim 0.5d$ mm,宽度 a 为 $0.2d \sim 0.3d$ mm。

[0008] 所述旋流器筒体由上部的圆柱段筒体和下部内径逐渐减小形成的圆锥段筒体组成;所述圆柱段筒体的内径 D 为 d mm;所述旋流器筒体的总长度 H 为 $4d \sim 5d$ mm;所述圆锥段筒体的长度 H_c 为 $2d \sim 2.5d$ mm。

[0009] 所述圆锥段筒体的下端具有底流口,该底流口的直径 D_d 为 $0.3d \sim 0.5d$ mm,在底流口处设有阀门。

[0010] 所述中心排气管与圆柱段筒体之间的间隙 l_0 为 $0.2 \sim 0.25d$ mm。

[0011] 所述圆柱状外夹套的内径 D_0 为 $d+40 \sim d+60$ mm。

[0012] 本发明具有以下优点：

[0013] (1) 通过合理设计中心排气管的直径、插入深度以及喷孔区域长度，与现有技术相比，本发明具有最高的能效，即单位压降脱氨效率更高；

[0014] (2) 将喷孔设计为圆形，其排列方式设计为正方形。相对于其他排出方式，正方形的排布方式有利于提高旋流气体与液相射流柱碰撞、雾化的几率，气液作用更加剧烈，使旋流器具有更高的气液传质效率；

[0015] (3) 将旋流器的分离空间设计为柱锥结合型，由于柱锥结合型旋流器旋流分离空间变窄，旋流器气体切向速度增大，气液耦合作用增强，传质效率变得更高；同时对圆柱段筒体和圆锥段筒体的内径以及长度进行合理的设计，与现有柱形旋流器相比，分离空间为柱锥结合型的旋流器具有较高的气液传质效率；

[0016] (4) 通过合理设喷孔的直径以及喷孔与喷孔之间间距，使旋流器具有更高的气液传质效率。

附图说明

[0017] 图 1 为现有技术的结构示意图；

[0018] 图 2 为本发明的结构示意图；

[0019] 图 3 为本发明的俯视图；

[0020] 图 4 为图 1 中喷孔的排布图；

[0021] 图 5 为柱锥结合型 (a) 和柱形 (b) 两种旋流器的脱氨传质效率对比图；

[0022] 图 6 为中心排气管直径 (a) 和插入深度 (b) 对水力喷射空气旋流器脱氨单位压降传质效率影响的对比图；

[0023] 图 7 为喷孔排列方式对水力喷射空气旋流器脱氨传质效率影响的对比图；

[0024] 图 8 为喷孔间距对水力喷射空气旋流器脱氨传质效率影响的对比图；

[0025] 图 9 为喷孔直径对旋流器脱氨传质效率影响的对比图；

[0026] 图 10 为水力喷射空气旋流器结构与实验装置的连接示意图；

[0027] 图 11 为本发明用于含 Cr(VI) 废水处理六价铬还原去除率变化示意图；

[0028] 图 12 为本发明的另一实施例的结构示意图。

具体实施方式

[0029] 下面结合附图对本发明作进一步说明：

[0030] 实施例一

[0031] 如图 2 和图 3 所示的水力喷射空气旋流器，包括空气旋流器和水力喷射雾化室 6，空气旋流器由中心排气管 4 和旋流器筒体 1 套装组成，中心排气管 4 的上端伸出于旋流器筒体 1 外，下端位置低于水力喷射雾化室 6 的下端，旋流器筒体 1 上设置有旋流口 11，通过旋流口 11 向旋流器筒体 1 内输入压缩气体，压缩气体在旋流器筒体 1 内高速旋转，形成气体旋流场，旋流器筒体 1 上部分的外围有一个圆柱状外夹套 9，与旋流器筒体 1 的外壁连接构成水力喷射雾化室 6，与其相连接的这部分旋流器筒体 1 的外壁上从上到下开有多个喷

孔 2, 水力喷射雾化室 6 上部设置有进液口 10。

[0032] 如图 2 所示, 所述旋流器筒体 1 由圆柱段筒体 1a 和内径逐渐减小形成的圆锥段筒体 1b 组成, 圆柱段筒体 1a 的内径 D 为 d mm。旋流器筒体 1 的总长度 H 为 $4d \sim 5d$ mm。圆锥段筒体 1b 的长度 H_c 为 $2d \sim 2.5d$ mm。图 5 为柱锥结合型 (a) 和柱形 (b) 两种旋流器的脱氨传质效率的对比图, 从该对比图中可以得出将旋流器的分离空间设计为柱锥结合型时, 旋流器具有更好的气液传质效率。

[0033] 如图 2 所示, 圆柱状外夹套 9 的内径 D_0 为 $d+40 \sim d+60$ mm。旋流口 11 布置在圆柱段筒体 1a 的上部, 且旋流口 11 的口部呈长方形, 其长度 b 为 $0.4d \sim 0.5d$ mm, 宽度 a 为 $0.2d \sim 0.3d$ mm。圆锥段筒体 1b 的下端具有底流口 12, 该底流口 12 的直径 D_d 为 $0.3d \sim 0.5d$ mm, 在底流口 12 处设有阀门。

[0034] 如图 2 所示, 中心排气管 4 的直径 D_x 为 $0.5d \sim 0.6d$ mm。图 6 的 (a) 为中心排气管直径对水力喷射空气旋流器脱氨单位压降传质效果影响的对比图, 从该对比图中可以得出, 将中心排气管 4 的直径 D_x 设计为 $0.5d \sim 0.6d$ mm 时, 水力喷射空气旋流器具有最佳的能效, 即单位压降脱氨效率最高。

[0035] 如图 2 所述, 中心排气管的插入深度 S 为 $0.5H \sim 0.75H$ mm, 且喷孔区域长度 h 为 $0.6S \sim 1S$ mm。如图 6 中 (b) 所示, 为中心排气管插入深度对水力喷射空气旋流器脱氨单位压降传质效果影响的对比图, 从该对比图中可以得出, 将中心排气管 4 的插入深度 S 设计为 $0.5H \sim 0.75H$ mm 时, 水力喷射空气旋流器具有最佳的能效。

[0036] 如图 2 所示, 多个喷孔 2 均设在圆柱段筒体 1a 的外壁上, 其排列方式设计为正方形, 图 7 为喷孔呈三角形排布和呈正方形排布对旋流器脱氨传质效果影响的对比图, 从该对比图中可以得出, 将排布方式设计为正方形时, 水力喷射空气旋流器具有更好的气液传质效率。

[0037] 如图 2 所示, 所述喷孔 2 与喷孔 2 之间的间距设计为 l_h 为 $0.15d \sim 0.30d$ mm。图 8 为不同喷孔间距对旋流器脱氨传质效果影响的对比图, 从该对比图中可以得出, 将喷孔的间距 l_h 设计为 $0.15d \sim 0.30d$ mm 时, 水力喷射空气旋流器具有更好的气液传质效率。

[0038] 如图 4 所示, 所述喷孔为圆形, 其直径 d_h 为 $0.028d \sim 0.05d$ mm。直径 d_h 的计算过程如下, 喷孔直径 d_h 的最佳取值为 $0.141 l_0 \sim 0.201 l_0$, l_0 为中心排气管 4 与圆柱段筒体 1a 之间的间隙 (即旋流器的环隙宽度), $l_0 = 0.5(D - D_x) = 0.2 \sim 0.25d$ mm, 即得出 d_h 为 $0.028 \sim 0.05d$ mm。图 9 为喷孔直径对旋流器脱氨传质效果影响的对比图, 从该对比图中可以得出, 将喷孔的直径 d_h 设计为 $0.028d \sim 0.05d$ mm 时, 水力喷射空气旋流器具有更好的气液传质效率。

[0039] 以下举例说明圆柱段筒体的内径 D 为 70mm 的水力喷射空气旋流器的设计与制作及其应用于含铬废水的还原处理的方法。

[0040] (1) 旋流器的制作:

[0041] 选取板材厚度为 5mm、内径 D 为 70mm 的有机玻璃管制作旋流器的旋流器筒体。旋流器筒体总长 H 应该在 280 ~ 350mm 内, 本实施例取值 300mm, 分离空间设计为锥柱结合型, 锥形段筒体的长度 H_c 取 150mm, 圆柱状外夹套 9 的内径 D_0 为 110 ~ 130mm, 底流口 12 的直径 D_d 为 21 ~ 35mm, 底流口 12 下安装有阀门, 旋流口 11 采用常规旋风分离器螺旋长方形进口封头, 旋流口 1 的长度 b 为 28 ~ 35mm, 宽度 a 为 14 ~ 21mm, 封头与旋流器筒体通过法

兰盘连接。中心排气管的直径 D_x 设计为 40mm, 其插入旋流器筒体内长度 S 设计为 140mm。喷孔间距 l_p 应该设计在 10.5 ~ 21mm 内, 本实施例取值 15.7mm, 喷孔采取正方形排列, 所以旋流器筒体上从上至下共有 7 行喷孔, 每行共 16 个喷孔, 合计 112 个, 每行的 16 个喷孔呈圆周均布, 喷孔区域长度 h 应在 84 ~ 140mm 内, 本实施例取值 100mm。喷孔直径取 $d_h = 0.029d \approx 2\text{mm}$ 。实验系统由旋流器、液体贮槽、液体循环泵、风机、筛板式气液分离器及系统测试配套的气、液流量计、U 型压差计等组成, 如图 10 所示。

[0042] (2) 实验过程:

[0043] 先用 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 配制 5L 一定初始浓度含铬废水, 倒入旋流器的贮液槽中。开启循环液泵, 稳定 10min 后取初始样。然后再打开气泵和 SO_2 钢瓶气阀, 调节流量至预设值, 开始含铬废水还原处理。调节旋流器底流口处的阀门, 并保持实验中旋流器底部具有同样的液位高度, 以实现液封, 保证旋流气体通过中心排气管排出。实验过程中每隔 0.5 ~ 2min 取样一次, 分析测定 Cr(VI) 含量变化。样品中 Cr(VI) 浓度采用二苯碳酰二肼分光光度法在 540nm 处比色测定 (GB 7467-87), Cr(VI) 去除率定义为:

$$[0044] \quad \eta = \frac{c_0 - c_t}{c_0} \times 100\% \quad (1)$$

[0045] 式中, c_0 和 c_t 分别指 Cr(VI) 初始和 t 时刻的浓度。

[0046] 当六价铬全部被还原为 Cr^{3+} , 将含铬废水的 pH 调为 8-9, Cr^{3+} 就会沉淀下来, 分离脱水以后可回收利用。

[0047] (3) 实验效果:

[0048] 如图 11 所示, 采用水力喷射空气旋流器以 SO_2 为还原剂, 处理含铬废水的效率非常好。当 Cr(VI) 浓度仅为 $204\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 处理 2min, Cr(VI) 还原去除率可达 99.9% 以上。这表明较低 Cr(VI) 浓度的含铬废水更适宜本处理工艺。随着废水中 Cr(VI) 浓度由 $204\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 增大到 $1982\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 处理时间需要适当延长, 但是即使 Cr(VI) 浓度达到 $1982\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 处理 14min, Cr(VI) 还原去除率也可达 99.9% 以上。还原后的含铬废水, pH 调节为 8.5, 转化后的 Cr^{3+} 可以沉淀下来, 分离后可回收利用。

[0049] 实施例二

[0050] 如图 12 所示的水力喷射空气旋流器, 所述旋流器筒体 1 亦可采用圆柱体筒体。其余与实施例一相同。

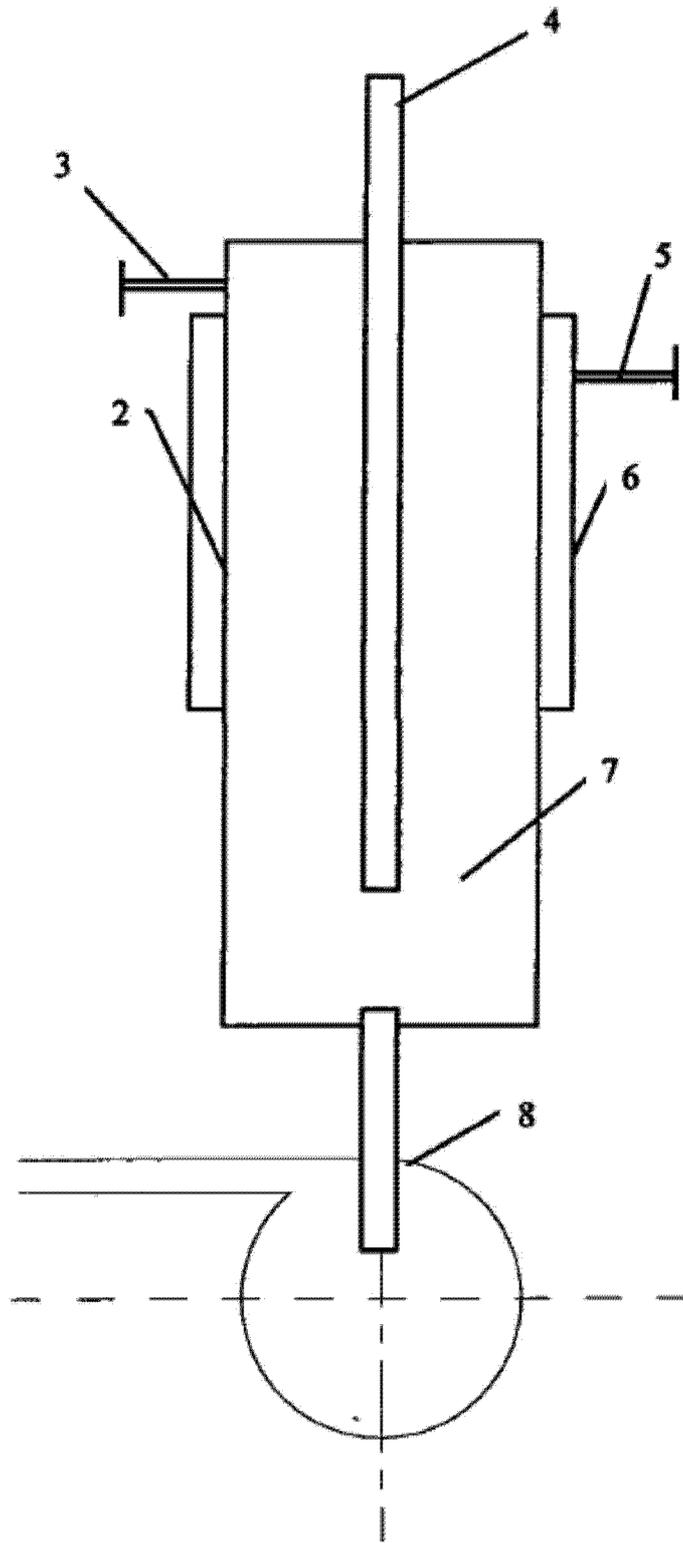


图 1

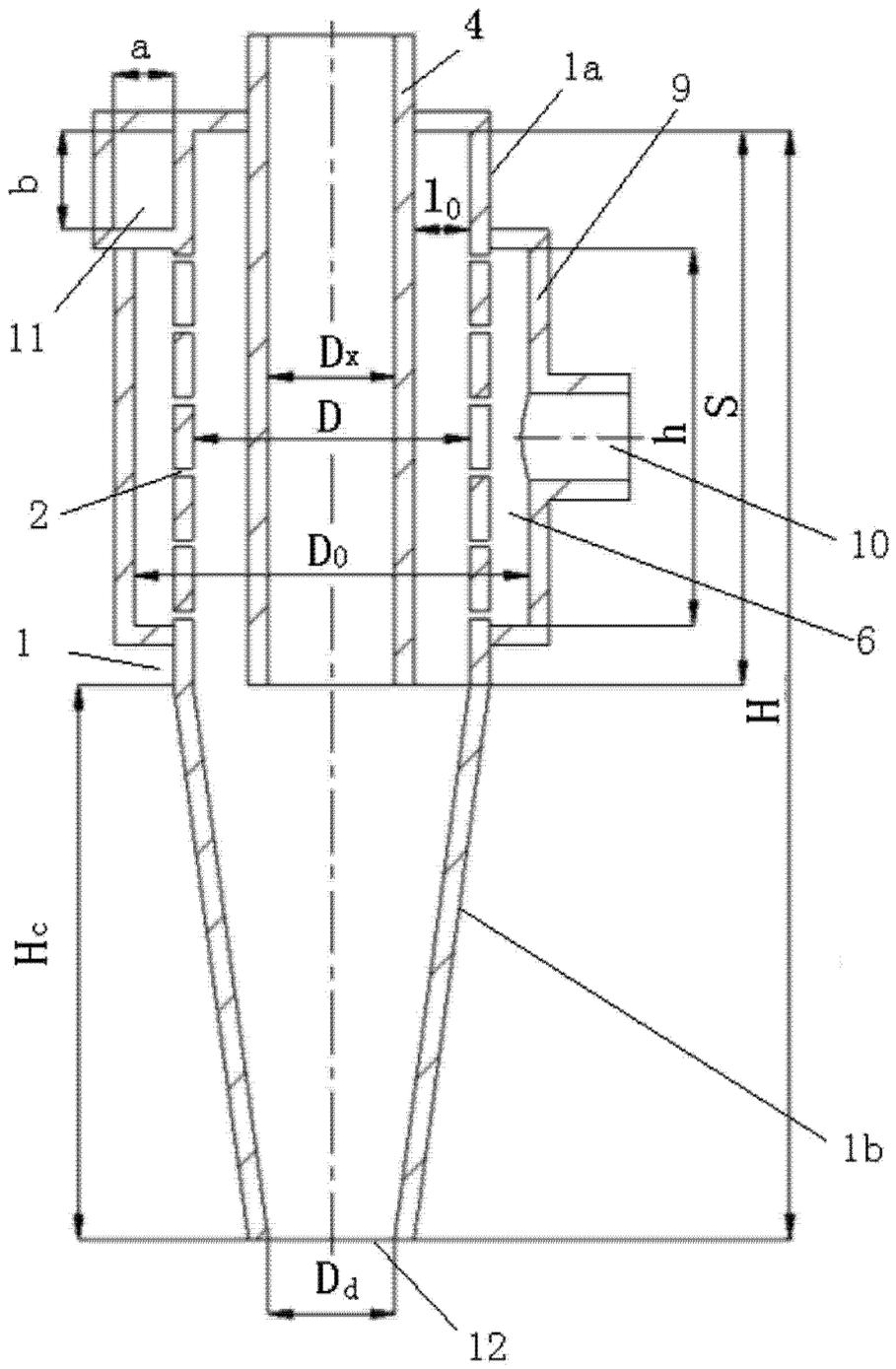


图 2

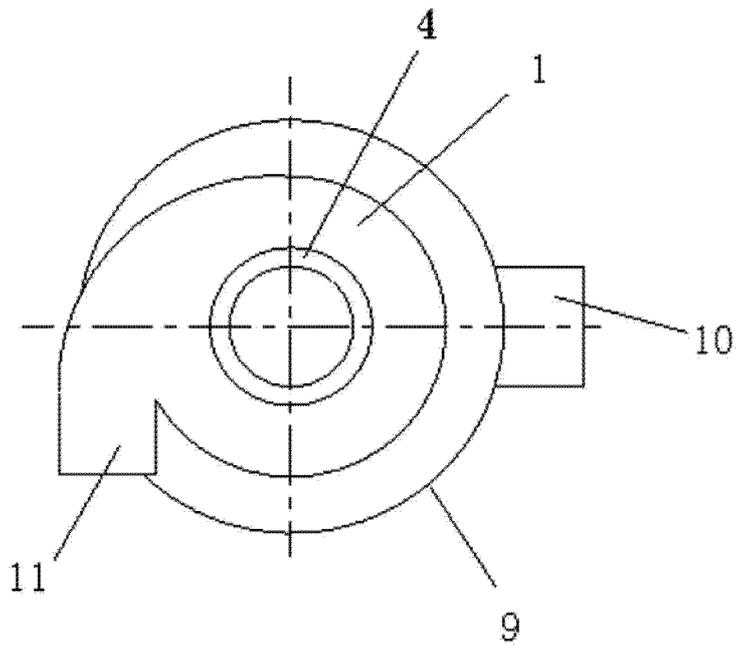


图 3

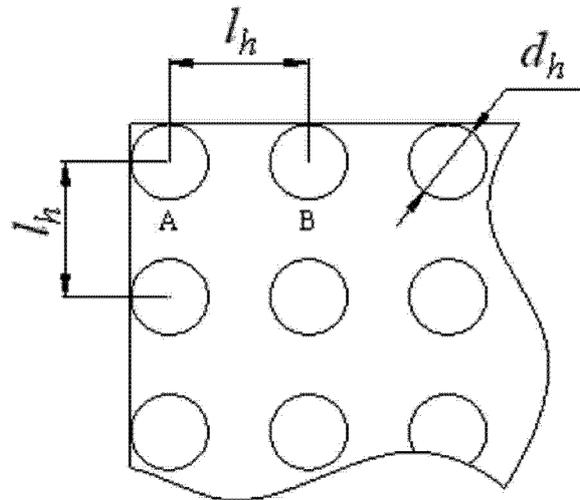


图 4

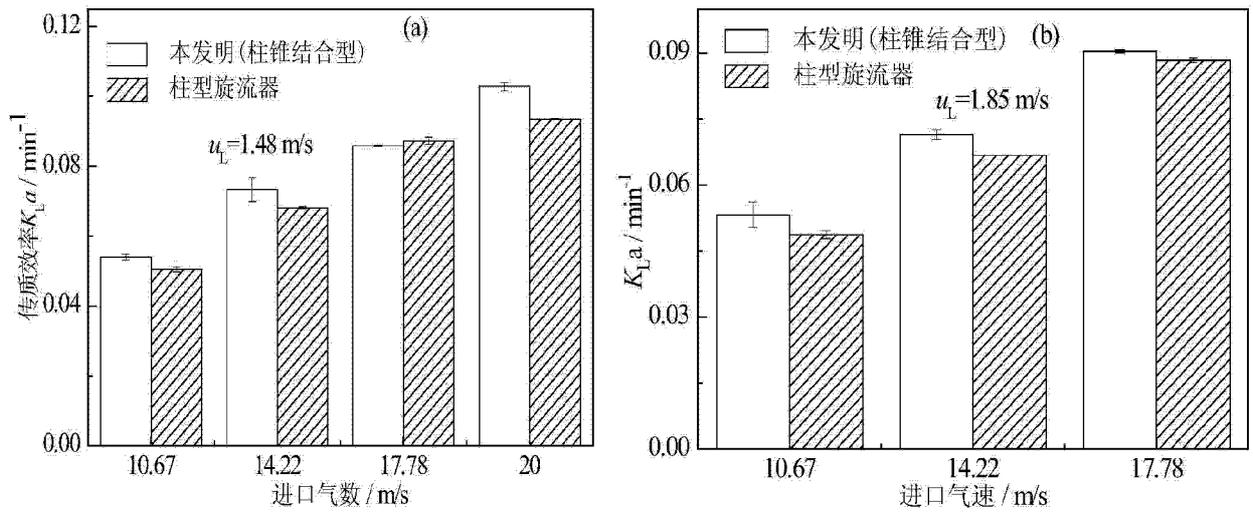


图 5

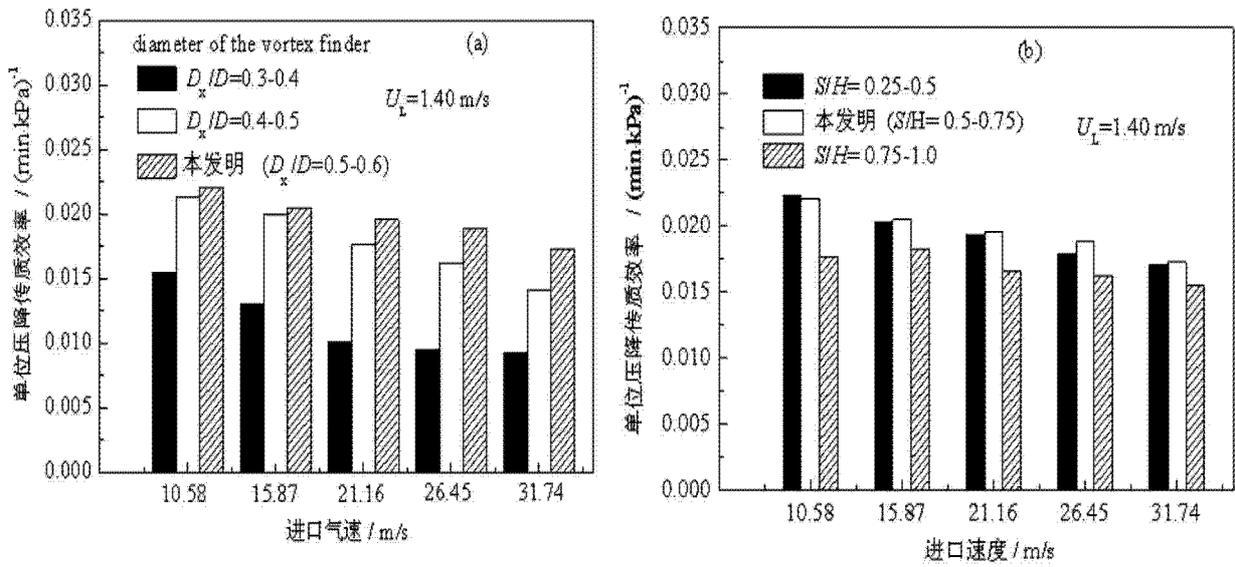


图 6

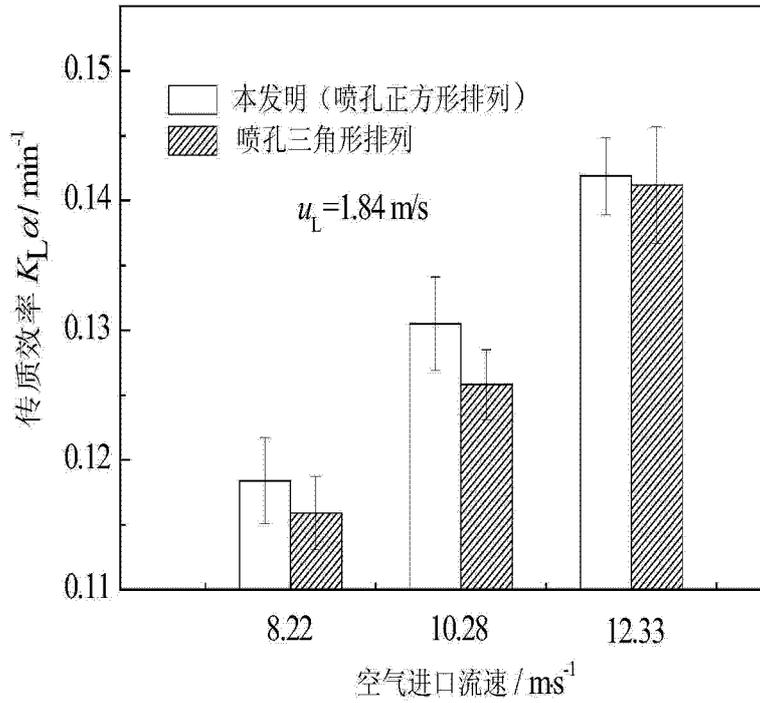


图 7

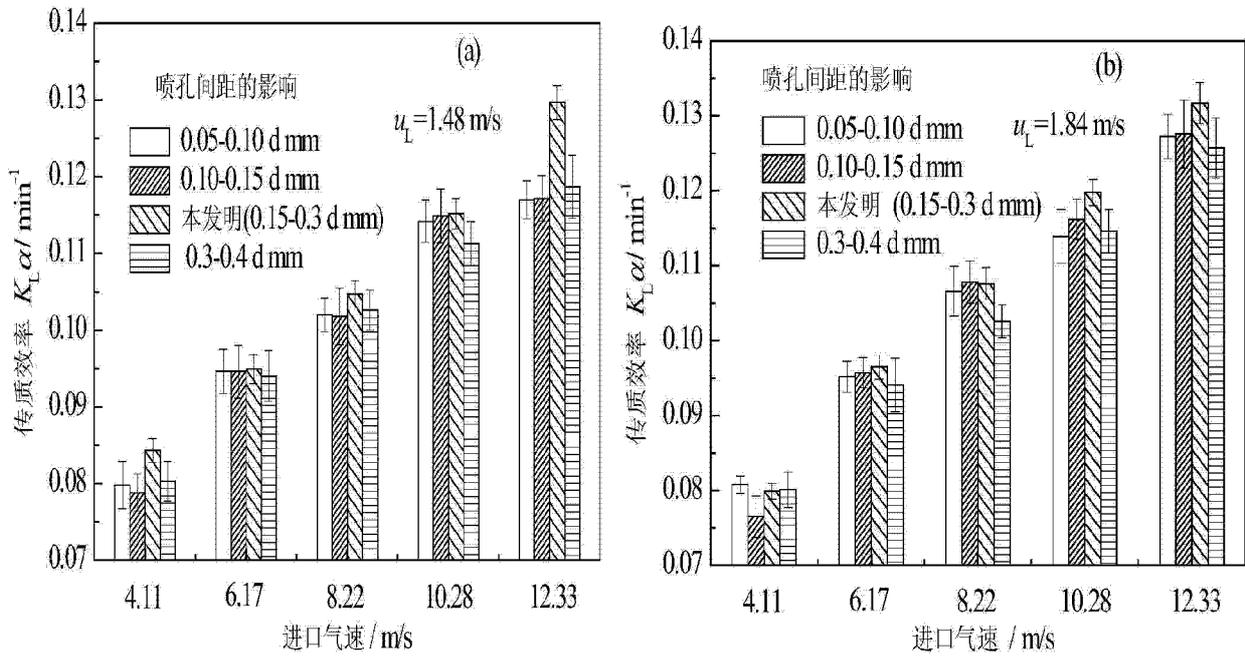


图 8

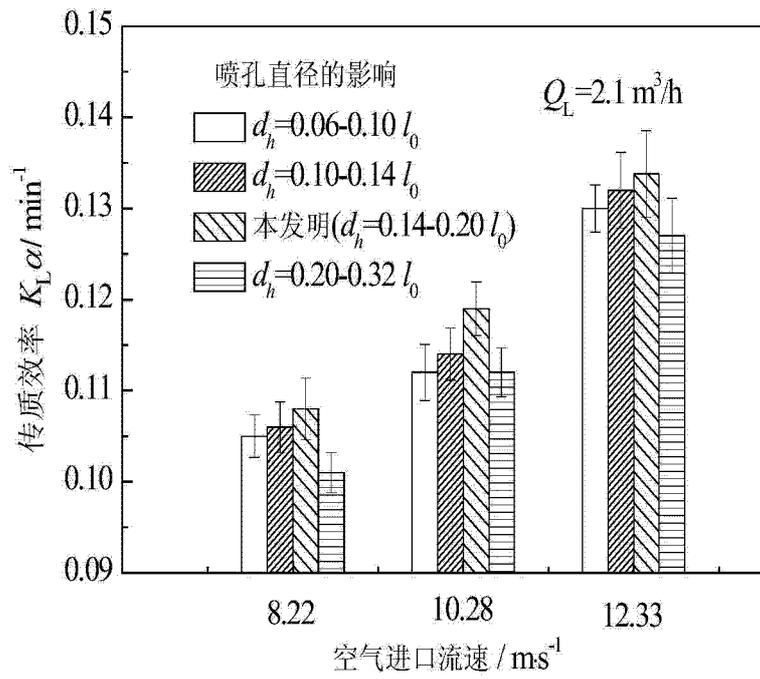


图 9

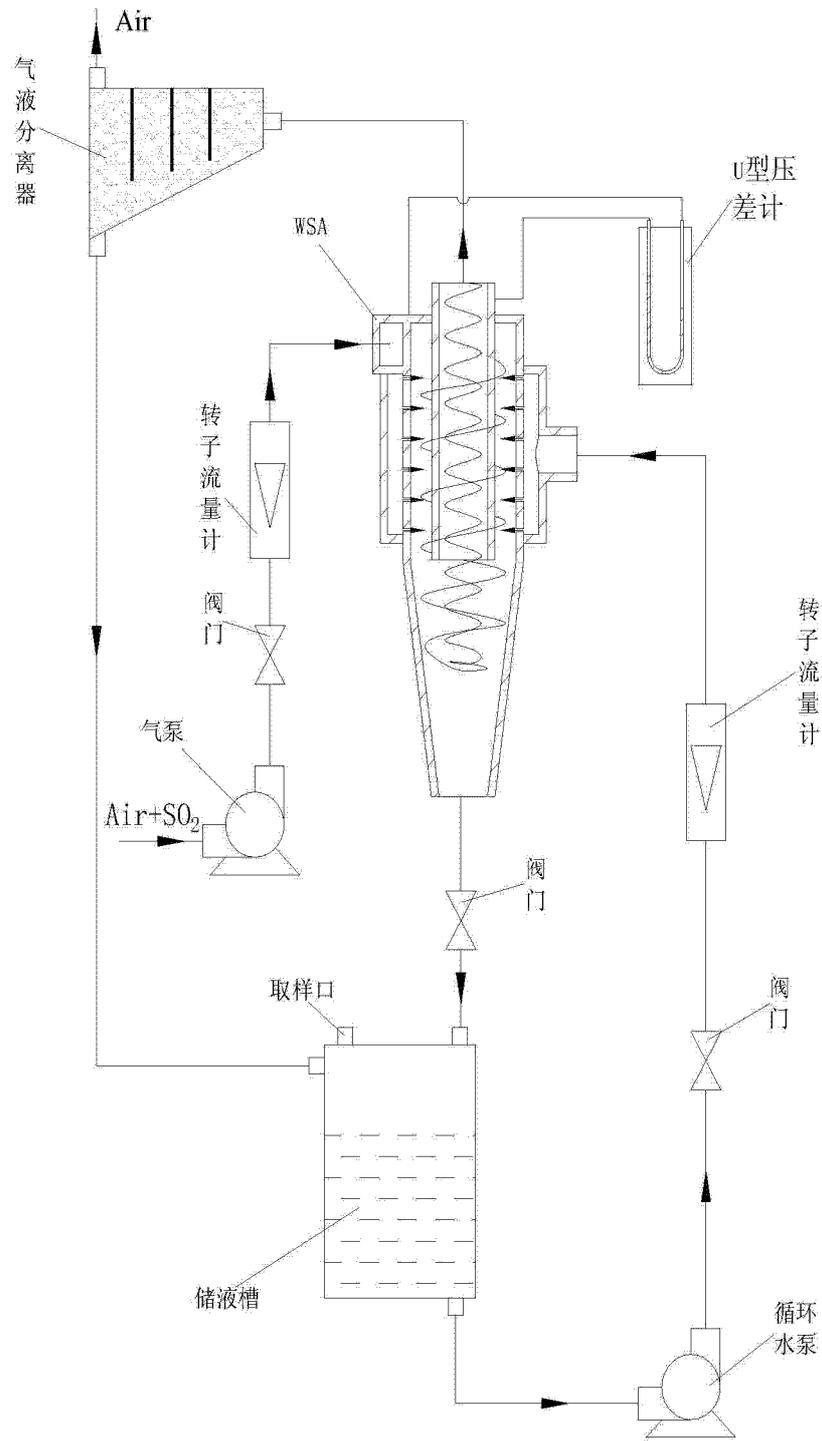


图 10

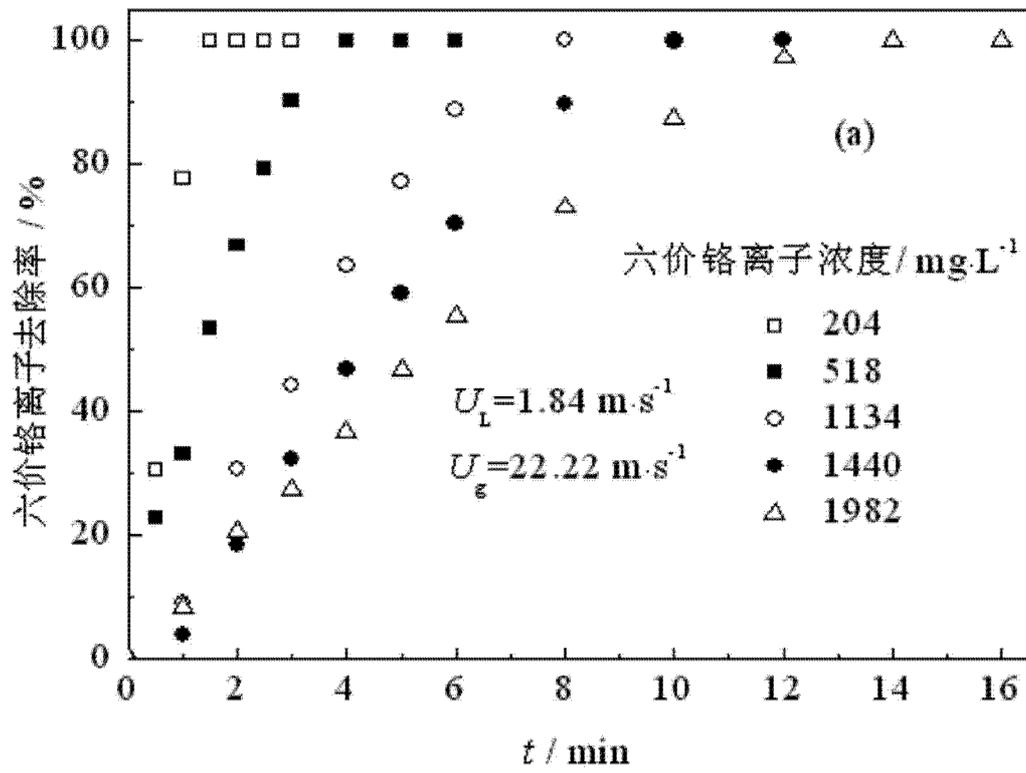


图 11

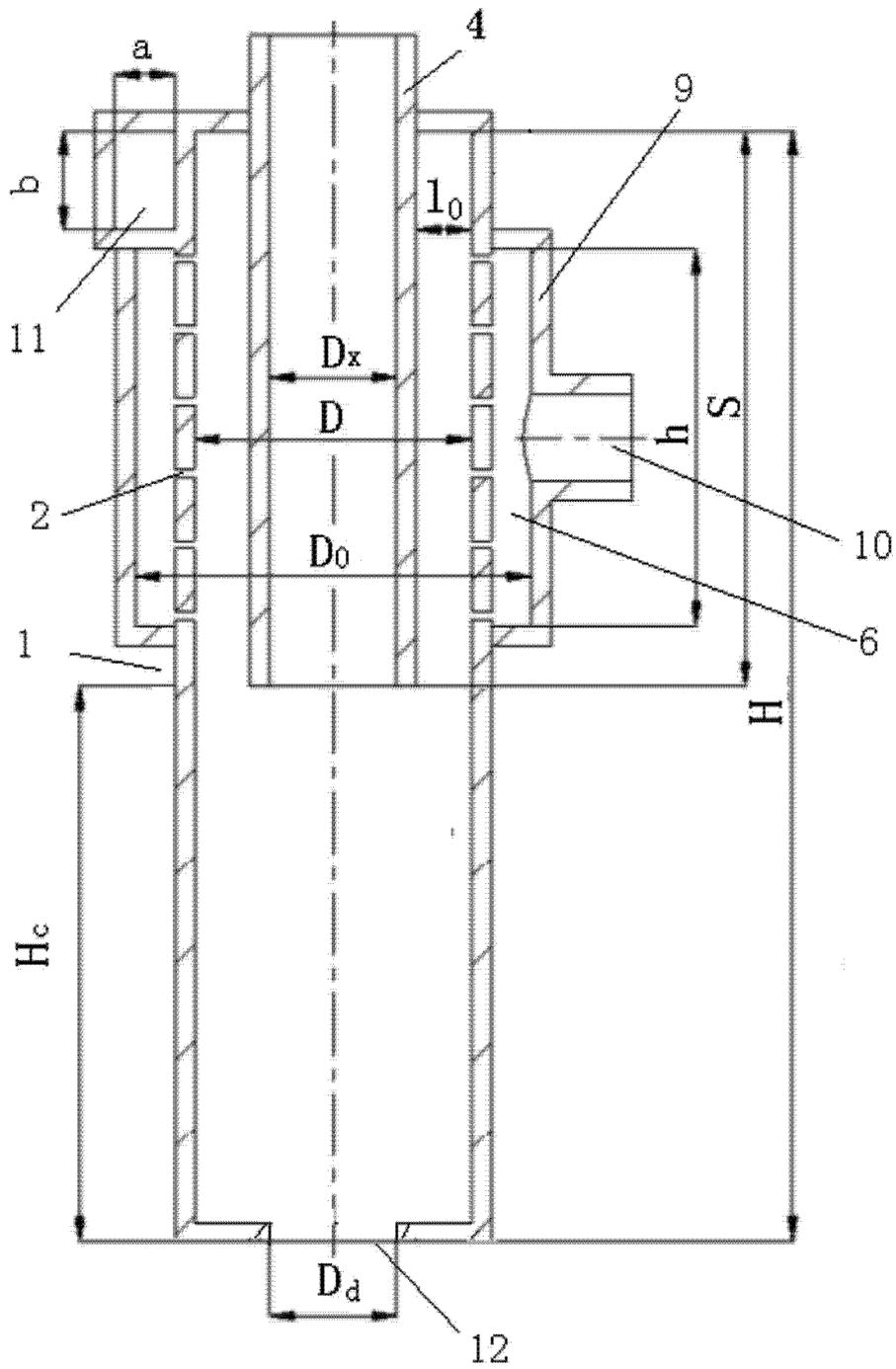


图 12