(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107583772 A
(43)申请公布日 2018.01.16

(21)申请号 201610533593.7

(22)申请日 2016.07.07

(71)申请人 神华集团有限责任公司
地址 100011 北京市东城区安外西滨河路22号神华大厦
申请人 北京低碳清洁能源研究所

(72)发明人 刘书贤 门卓武 卜亿峰 翁力 王向辉 张奉波 贾昊霖 张晓方

(74)专利代理机构 北京润平知识产权代理有限公司 11283
代理人 邝圆晖 李翔

(51)Int.Cl.
*B04C 5/00*(2006.01)
*B04C 5/04*(2006.01)
*B04C 5/08*(2006.01)
*B04C 5/107*(2006.01)

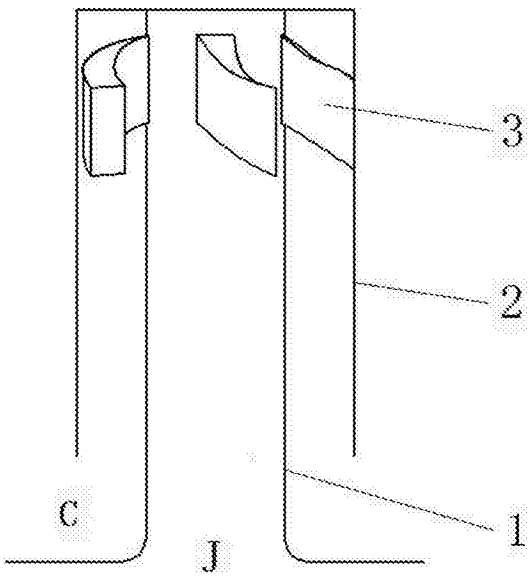
权利要求书2页 说明书6页 附图5页

(54)发明名称

多相旋流分离单元和旋流分离器

(57)摘要

本发明公开了一种多相旋流分离单元和旋流分离器，分离单元包括同轴套设且径向间隔的内管(1)和外管(2)，内管底端为进气口(J)且外管底端为出气口(C)，内、外管的顶端均为封闭端，内管顶端的外周壁上连接有沿周向间隔排布的多个旋流生成管(3)，内管中的上升流在旋流生成管的出口端生成旋流，该旋流沿外管内壁面向下旋动并从底端出气口旋出。多个分离单元可并排安装在塔板(6)上构成旋流分离器。本发明采用了内外套管形式，取材容易，结构简单，雾沫和颗粒在离心力作用下甩向外管内壁，同时受自身重力作用而沿外管内壁旋转下落被收集，净化后气体流出外管底端的出气口外后，因惯性作用而旋流向上，液固分离效果好，压降小、能耗小。




CN 107583772 A

1.一种多相旋流分离单元，包括同轴套设且径向间隔的内管(1)和外管(2)，所述内管(1)的底端为进气口(J)且所述外管(2)的底端为出气口(C)，所述内管(1)和外管(2)的顶端均为封闭端，所述内管(1)的顶部的外周壁上连接有沿周向间隔排布且与所述内管(1)相连通的多个旋流生成管(3)，所述内管(1)中的上升流通过所述旋流生成管(3)形成旋流，该旋流沿所述外管(2)的内壁面向下旋动并从底端的所述出气口(C)旋出。

2.根据权利要求1所述的多相旋流分离单元，其中，所述旋流生成管(3)沿所述内管(1)的外周壁的渐开线(K)方向朝向所述外管(2)的内壁面延伸。

3.根据权利要求1所述的多相旋流分离单元，其中，所述旋流生成管(3)在所述内管(1)的外周壁上呈螺旋状向下盘绕。

4.根据权利要求3所述的多相旋流分离单元，其中，所述旋流生成管(3)具有向下的螺旋倾角。

5.根据权利要求1所述的多相旋流分离单元，其中，所述旋流生成管(3)具有矩形横截面，该矩形横截面的高宽比(A/B)不小于3。

6.根据权利要求5所述的多相旋流分离单元，其中，所述内管(1)与外管(2)之间的环形空间的横截面面积$S=\frac{\pi(D^2-d^2)}{4}=fnAB$，其中d、D分别为所述内管(1)和外管(2)的直径，且d＝10～60mm，系数f＝10～18，n为所述旋流生成管(3)的个数，A为所述旋流生成管(3)的矩形横截面的高边长度，B为所述旋流生成管(3)的矩形横截面的宽边长度。

7.根据权利要求6所述的多相旋流分离单元，其中，所述内管(1)底端的进气口(J)的进气气速$V_i$＝5～15m/s，所述内管(1)与外管(2)之间的环形空间内的表观气速$V_0$＝1.5～3m/s。

8.根据权利要求1所述的多相旋流分离单元，其中，所述旋流生成管(3)的出口端与所述外管(2)的内壁面之间的最小径向间距M≦(D-d)/4，其中d、D分别为所述内管(1)和外管(2)的直径。

9.根据权利要求1所述的多相旋流分离单元，其中，所述内管(1)的外周壁上设有沿周向等间隔布置的2～4个所述旋流生成管(3)。

10.根据权利要求1～9中任意一项所述的多相旋流分离单元，其中，所述旋流生成管(3)位置可调节地连接在所述内管(1)的外周壁上，以调节该旋流生成管(3)的向下倾斜角度。

11.根据权利要求10所述的多相旋流分离单元，其中，所述内管(1)的外周壁上形成有扇环形开口(4)，所述扇环形开口(4)的两个圆弧边形成为圆弧滑槽，所述旋流生成管(3)能够沿所述圆弧滑槽滑移，且所述旋流生成管(3)的两侧通过可拉伸褶片(5)连接所述外周壁并封闭所述扇环形开口(4)。

12.根据权利要求10所述的多相旋流分离单元，其中，所述内管(1)的外周壁上形成有圆孔，所述旋流生成管(3)可转动地连接于所述圆孔。

13.一种旋流分离器，包括塔板(6)和多个根据权利要求1～12中任意一项所述的多相旋流分离单元，所述塔板(6)上设有相互间隔的多个通风孔(61)，各个所述多相旋流分离单元的所述内管(1)底端的所述进气口(J)与所述通风孔(61)对齐安装，所述外管(2)底端的所述出气口(C)间隔地位于所述塔板(6)的上方。

14.根据权利要求13所述的旋流分离器，其中，所述旋流分离器还包括罩盖在所述塔板(6)上的缓冲外壳(7)，多个所述多相旋流分离单元容纳于所述缓冲外壳(7)与所述塔板(6)之间的闭合缓冲空腔(8)内。

# 多相旋流分离单元和旋流分离器

## 技术领域

[0001] 本发明涉及一种多相分离设备，具体地，涉及一种新型的旋流分离装置。

## 背景技术

[0002] 在化工领域的某些反应中，反应后的气液固分离、天然气净化工艺等的生产或处理过程中均面临着如何快速、高效将反应尾气与液体产品及杂质分离的问题，其特点为：大流量气体中携带少量雾沫，液体又夹带了少量固体细颗粒，雾沫和颗粒尺寸较小导致液固相不易被捕集，从而增加了分离的难度，采用现有的常规分离设备难以充分地除去反应尾气中的雾沫和固体颗粒，这势必影响下游操作。此外，常规分离设备通常能耗大、压降较大、结构复杂且昂贵。

[0003] 典型分离设备或结构有折流碰撞式、丝网结构、旋流式、重力沉降式及不同分离结构的组合等。折流碰撞式分离器的结构简单，但分离效率不高；已有旋流式结构具有较好的分离效果，但压降较大，对小于5μm颗粒的捕集效率有限；重力沉降设备体积庞大，且不能保证效率；组合式结构的某些特定性能得到改善，而各结构的负面因素也同时叠加，特别是固体颗粒有可能在分离设备中沉积，影响运转周期。可见，从大气量气体中除去少量雾沫和固体细颗粒的工艺对多相分离设备提出的要求更为苛刻，现有设备大多难以较好地处理该类多相分离问题。

[0004] 如图1所示，以专利申请公布文献CN103071357公开的一种组合式气液分离器为例，其包括壳体1，壳体1的内腔由旋风气液分离器3分隔为上室6和下室2。其中，进气从气液混合相进口1-1切向进入壳体1，然后自然旋转向上运行至下室顶部旋风气液分离器3的进风口3-1，再切向进入，气体沿旋风筒的内壁通过螺旋片导流板4导流离心分离，其中的液滴被甩向旋风筒内壁而沿其下落，气相从出风口3-2处排出，同时液滴在螺旋片导流板4上凝聚而下落至积液漏斗，并通过降液管11排出至第一液封盘12，从液相出口1-2排出，从而完成一次气液分离过程。从出风口3-2排出的气体经碰撞导流挡板7的碰撞分离，其液体沿碰撞导流挡板7下降而进入第二液封盘13，再通过溢流管并入降液管11排出，从而完成二次气液分离过程。经碰撞分离的气体上升至除雾器5，除雾分离后的气体从气相出口1-3排出，其液体经导管导入第二液封盘13，从而完成三次气液分离。

[0005] 此组合式气液分离器作为专业设备，具有较好的气液分离效果，但缺点同样明显，例如需要特定形状规格的旋风筒及螺旋片导流板4等形成旋流并达到更好的气液分离效果，且设备结构复杂、昂贵、占地空间大，尤其是进出分口的压降大，导致能耗巨大。

## 发明内容

[0006] 本发明的目的是提供一种结构简单、造价便宜且实用的多相旋流分离单元和旋流分离器，其尤其适于分离去除大气量气体中含有的少量雾沫和固体细颗粒等。

[0007] 为实现上述目的，本发明提供了一种多相旋流分离单元，包括同轴套设且径向间隔的内管和外管，所述内管的底端为进气口且所述外管的底端为出气口，所述内管和外管

的顶端均为封闭端，所述内管的顶部的外周壁上连接有沿周向间隔排布且与所述内管相连通的多个旋流生成管，所述内管中的上升流通过所述旋流生成管形成旋流，该旋流沿所述外管的内壁面向下旋动并从底端的所述出气口旋出。

[0008] 优选地，所述旋流生成管沿所述内管的外周壁的渐开线方向朝向所述外管的内壁面延伸。

[0009] 优选地，所述旋流生成管在所述内管的外周壁上呈螺旋状向下盘绕。

[0010] 优选地，所述旋流生成管具有向下的螺旋倾角，该螺旋倾角优选为0°～20°。

[0011] 优选地，所述旋流生成管具有矩形横截面，该矩形横截面的高宽比不小于3。

[0012] 优选地，所述内管与外管之间的环形空间的横截面面积$S=\frac{\pi(D^2-d^2)}{4}=fnAB$，其中d、D分别为所述内管和外管的直径，且d＝10～60mm，系数f＝10～18，n为所述旋流生成管的个数，A为所述旋流生成管的矩形横截面的高边长度，B为所述旋流生成管的矩形横截面的宽边长度。

[0013] 优选地，所述内管底端的进气口的进气气速$V_i$＝5～15m/s，所述内管与外管之间的环形空间内的表观气速$V_0$＝1.5～3m/s。

[0014] 优选地，所述旋流生成管的出口端与所述外管的内壁面之间的最小径向间距M≦(D-d)/4，其中d、D分别为所述内管和外管的直径。

[0015] 优选地，所述内管的外周壁上设有沿周向等间隔布置的2～4个所述旋流生成管。

[0016] 进一步地，所述旋流生成管位置可调节地连接在所述内管的外周壁上，以调节该旋流生成管的向下倾斜角度。

[0017] 优选地，所述内管的外周壁上形成有扇环形开口，所述扇环形开口的两个圆弧边形成为圆弧滑槽，所述旋流生成管能够沿所述圆弧滑槽滑移，且所述旋流生成管的两侧通过可拉伸褶片连接所述外周壁并封闭所述扇环形开口。

[0018] 优选地，所述内管的外周壁上形成有圆孔，所述旋流生成管可转动地连接于所述圆孔。

[0019] 在以上基础上，本发明还提供了一种旋流分离器，包括塔板和多个上述多相旋流分离单元，所述塔板上设有相互间隔的多个通风孔，各个所述多相旋流分离单元的所述内管底端的所述进气口与所述通风孔对齐安装，所述外管底端的所述出气口间隔地位于所述塔板的上方。

[0020] 优选地，所述旋流分离器还包括罩盖在所述塔板上的缓冲外壳，多个所述多相旋流分离单元容纳于所述缓冲外壳与所述塔板之间的闭合缓冲空腔内。

[0021] 本发明的多相旋流分离单元采用了常见的内外套管形式，取材容易，组成结构简单，仅在内管顶端的外周壁连接多个旋流生成管，将内管的上升流转换成旋流并引流至外管的内管壁上，使得旋流能够沿内管壁向下旋动并从外管底端的出气口旋出。在此过程中，雾沫和固体颗粒等在离心力作用下甩向外管内壁而被捕捉，受自身重力作用而下落、被收集，净化后气体流出外管底端的出气口外后，因惯性作用而旋流向上。此旋流分离单元不仅结构简单、易于制造、造价便宜，而且液固分离效果好，压降小、能耗小。

[0022] 本发明的其它特征和优点将在随后的具体实施方式部分予以详细说明。

## 附图说明

[0023] 附图是用来提供对本发明的进一步理解，并且构成说明书的一部分，与下面的具体实施方式一起用于解释本发明，但并不构成对本发明的限制。在附图中：

[0024] 图1为现有技术中的一种组合式气液分离器的结构示意图；

[0025] 图2为根据本发明的优选实施方式的多相旋流分离单元的结构示意图；

[0026] 图3为图2所示的多相旋流分离单元的形状尺寸示意图；

[0027] 图4a至4c为分别具有2～4个旋流生成管时的分布结构示意图；

[0028] 图5为根据本发明的优选实施方式的旋流分离器的结构示意图，其中示例性显示了3个图2所示的多相旋流分离单元；

[0029] 图6为一种优选实施方式的旋流生成管的安装结构示意图；

[0030] 图7为另一种优选实施方式的旋流生成管的安装结构示意图；

[0031] 图8为采用螺旋叶片的旋流分离单元的结构示意图。

[0032] 本发明的附图标记说明

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| [0033] | 1 | 内管 | 2 | 外管 |
| [0034] | 3 | 旋流生成管 | 4 | 扇环形开口 |
| [0035] | 5 | 可拉伸褶片 | 6 | 塔板 |
| [0036] | 7 | 缓冲外壳 | 8 | 闭合缓冲空腔 |
| [0037] | A | 高边长度 | B | 宽边长度 |
| [0038] | C | 出气口 | J | 进气口 |
| [0039] | K | 渐开线 | M | 最小径向间距 |

## 具体实施方式

[0040] 以下结合附图对本发明的具体实施方式进行详细说明。应当理解的是，此处所描述的具体实施方式仅用于说明和解释本发明，并不用于限制本发明。

[0041] 在本发明中，在未作相反说明的情况下，使用的方位词如“上、下、顶、底”通常是针对附图所示的方向而言的或者是针对竖直、垂直或重力方向上而言的各部件相互位置关系描述用词；“内、外”通常指的是相对于腔室而言的腔室内外或相对于圆心而言的径向内外。上述方位词是为了便于理解本发明而定义的，因而不构成对本发明保护范围的限制。

[0042] 如图2所示，本发明提供了一种多相旋流分离单元，其包括同轴套设且径向间隔的内管1和外管2，内管1的底端为进气口J且外管2的底端为出气口C，内管1和外管2的顶端均为封闭端，内管1的顶部的外周壁上连接有沿周向间隔排布且与内管1相连通的多个旋流生成管3，内管1中的上升流通过旋流生成管3形成旋流，即经由旋流生成管3后在其出口端生成旋流，该旋流沿外管2的内壁面向下旋动并从外管底端的出气口C旋出。

[0043] 在本发明中，多相旋流分离单元具有内、外管和旋流生成管共三个简单的基本部件，即可形成稳定的旋流流场，压降较低，可将出气口C的液固含量大大降低。与常规的重力沉降或碰撞聚结等气液(浆)分离手段的分离器相比，本发明的多相旋流分离单元的总分离效率及除细颗粒能力尤为优越。相较于现有的专用旋风分离器而言，本发明的多相旋流分离单元的组成结构简单、高效、经济实用，易于取材、造价便宜且能耗低，但分离效果同样突

出，以下还将通过实施例具体说明。

[0044] 不同于图1所示的旋风分离器采用专用的旋风筒以形成旋流通过旋风筒的底部锥筒结构以改变旋流的流向，使得净化后气体从旋风筒中心反向旋流向上，而液相或固相颗粒则重力沉降，本发明的内管1中的上升流经由旋流生成管3生成旋流，该旋流受外管2的内壁面约束而向下旋动，在底端出气口C处，净化后气体由于惯性将自然地在外管2的外部盘旋向上流出，因而结构简化。具体地，本发明应用了离心分离、重力作用和惯性分离相结合的分离机理，参照图5的箭头所示，多相混合物由内管1的底部进气口J进入，上行并形成稳定均匀的流场后进入顶部的旋流生成管3，并从其出口端喷出形成旋流，在外管2的内壁约束下旋转下行，雾沫和固体细颗粒因密度远远大于气相组分而首先在离心力作用下甩向外管2的内壁面而被捕捉，并受重力作用沿内壁面下落；混合物在外管2的底端再次因惯性差而得以进一步分离，液相及其包覆的固体颗粒下落并被收集，净化气体向上运动并进入下一步操作。

[0045] 其中，旋流生成管3用于将上升流转化为旋流形态，其形状应呈旋流曲线形状，从内管1的外周壁旋向外管2的内壁面。在图示的优选实施方式中，旋流生成管3优选地沿内管1的外周壁的渐开线K方向朝向外管2的内壁面延伸，如图4b所示。渐开线形状的旋流路径短且阻力小，旋流生成管3的出口端的旋流自然过渡到外管2的内壁面。公知的是，渐开线的定义为：把一条没有弹性的细绳绕在一个定圆上，拉开绳子的一端并拉直，使绳子与圆周始终相切。绳子端点的轨迹为一条曲线，这条曲线叫做圆的渐开线。这个定圆即渐开线的基圆，本实施方式中的渐开线K的定圆为内管1的外周壁形状。

[0046] 旋流生成管3可略向下倾斜，以引导旋流向下旋出。当然，由于内外管的顶端均封闭，旋流生成管3也可水平延伸，其生成的旋流在顶腔的内压作用下也将自然向下旋出。在本实施方式中，旋流生成管3在内管1的外周壁上优选为呈螺旋状向下盘绕。本领域技术人员能够理解的是，旋流生成管3具有一定的向下的螺旋倾角，使得旋流生成管3的出口端的多相流被甩到外管2的内壁上而形成向下的螺旋运动轨迹，增大多相流与外管内壁的作用距离，有利于分离。但在流速较大时，旋流生成管3的向下螺旋倾角不宜过大，以免旋流在出气口C处具有过大的向下分速度，缩小多相流与外筒内壁的接触作用距离，从而削弱外筒内壁对液滴或颗粒的捕集能力。因此，在本实施方式中旋流生成管3的向下螺旋倾角取0°～20°为宜。

[0047] 在本实施方式中，旋流生成管3优选为具有矩形横截面，该矩形横截面的高宽比A/B不小于3。在矩形横截面中，高边长度A与宽边长度B之间的高宽比A/B较大，可使得粉尘颗粒等在旋流生成管3内尽量贴径向外侧的内壁面旋转，可抑制短路流，有利于颗粒在外管2的内壁面下行分离。另外，旋流生成管3的出口端应尽量靠近外管2的内壁面，旋流生成管3的出口端与外管2的内壁面之间的最小径向间距M不易过大，以使得旋流较为缓和地过渡到外管2的内壁面，继续旋流运行。在本实施方式中，可取M≦(D-d)/4，其中d、D分别为内管1和外管2的直径。

[0048] 此外，旋流生成管3的个数越多，理论上形成的旋流分布越好。但旋流生成管3过多时，各个旋流生成管3的出口端的旋流之间的流程间距小，难免产生相互干扰影响，导致分离效果差，因此在本实施方式中，内管1的外周壁上设有如图4a至图4c分别显示的沿周向等间隔布置的2～4个旋流生成管3，此时各旋流之间的干扰较小，且旋流分布合理。

[0049] 参照图3，多相旋流分离单元具有多个关键尺寸，包括：内管1的直径d、外管2的直径D、内管1与外管2之间的环形空间的横截面面积S以及旋流生成管3的矩形横截面的高边长度A、宽边长度B等。在本实施方式中，d优选为10～60mm，$S=\frac{\pi(D^2-d^2)}{4}=fnAB$，其中系数f＝10～18，n为旋流生成管3的个数，A/B不小于3。此外，内管1底端的进气口J的进气气速$V_i$＝5～15m/s，内管1与外管2之间的环形空间内的表观气速$V_0$＝1.5～3m/s。通过上述参数限定，不仅易于取材，而且试验中旋流分布均匀，分离效果好，尤其是在多相旋流分离单元组合使用时，以下将阐述。

[0050] 如图6和图7所示，本实施方式中的旋流生成管3优选为位置可调节地连接在内管1的外周壁上，以调节该旋流生成管3的向下倾斜角度。这样可根据进气口J的进气气速$V_i$方便调节旋流生成管3的向下倾斜角度，以在出气口C获得较好的分离效果。

[0051] 作为一种优选实施方式，如图6所示的内管1的外周壁的主视图，内管1的外周壁(图中显示为平面状)上可形成有扇环形开口4，扇环形开口4的两个圆弧边形成为圆弧滑槽，旋流生成管3的两端可连接滑块，滑块沿圆弧滑槽滑移，而且旋流生成管3的两侧通过可拉伸褶片5连接外周壁并封闭扇环形开口4。作为另一种优选实施方式，如图7所示，内管1的外周壁上也可形成圆孔，旋流生成管3可转动地连接于圆孔并采取旋转密封措施。当然，此处仅为示例，本领域技术人员还可轻易想到更多的安装方式，来实现旋流生成管3在内管1的外周壁上的位置可调节的密封安装。

[0052] 为在内、外管之间的环形空间内形成旋流流场，本领域技术人员还可想到通过其它螺旋引流件的方式，例如图8中所采用的螺纹叶片，螺纹叶片的内外侧边缘分别完整抵接内管外壁和外管内壁，以形成完整的螺旋通道(螺纹叶片的下缘不低于外管下缘)。内管的顶端设置若干气口，从气口流出的气流受到完整的螺旋通道的约束，形成向下旋流。图8所示的旋流分离单元中可形成单股旋流，也具有相当的分离效果和对液滴或颗粒的捕集能力。但不同于在内管的顶端气口直接通过多个旋流生成管3引流而形成的多股旋流，图8中内管的顶端气口流出的流体更为分散、混杂，更适于流速和流量较大的流体的旋流分离，相对而言，分离效果及外筒内壁对液滴或颗粒的捕集能力不及采用多个旋流生成管3的结构形式。

[0053] 根据工况和处理量的不同，以上的多相旋流分离单元可单独使用，但也可多个并排使用。参见图5，本发明还公开了一种旋流分离器，其包括塔板6和多个上述的多相旋流分离单元，塔板6上设有相互间隔的多个通风孔61，各个多相旋流分离单元的内管1底端的进气口J与通风孔61对齐安装，外管2底端的出气口C间隔地位于塔板6的上方。

[0054] 这样多个并排安装时，各个多相旋流分离单元均布于一层塔板6上，从塔板6的下方通入气体。塔板6上还可罩盖缓冲外壳7，多个多相旋流分离单元容纳于缓冲外壳7与塔板6之间的闭合缓冲空腔8内。此外，还可配置降液管、液固引出口、吹扫口等组件，此时塔板6上会出现液固相积存，需保证外管2的底端出口面高出积存液面一定距离，防止气流进入积存的液固相并鼓动已被捕集下的连续液相上扬，再次出现雾沫夹带。操作过程中，需要周期性地对塔板6施以加压气体或液体吹扫，以防固体在塔板6上堆积过多。

[0055] 本发明的旋流分离器提供了均一、稳定的入口流动条件，在分离过程中充分综合了离心分离、重力作用和惯性分离的优势，使气液固分离更为充分，尤其适于化工领域中某

些反应后的气液固分离、天然气净化等，高效去除连续气相中混有的少量雾沫和固体颗粒。

[0056] 实施例：

[0057] 将上述旋流分离器应用于某浆态床反应器，作为气液固三相分离装置。旋流分离器的操作条件为：压力3.0MPa，温度220℃，被气体带出的液雾和催化剂的总含量约为200g/$m^3$，催化剂粒度范围0～20μm。

[0058] 多相旋流分离单元的规格尺寸为：采用4个旋流生成管，内管1的直径d＝18mm，外管2的直径D＝45mm，旋流生成管的矩形截面的尺寸为A×B＝10mm×3.3mm，环形空间的横截面面积S＝1335$mm^2$，进气口J的进气气速$V_i$＝7.9m/s，环形空间的表观气速$V_0$＝1.5m/s。旋流生成管3的向下螺旋倾角为0°。

[0059] 试验时采用流体力学计算软件Fluent对上述多相旋流分离单元的内部流场进行模拟，可获得在不同高度平面上的径向各区域的速度分布图，多相旋流分离单元的径向速度分布图以及出气口C的静压分布图。从旋流生成管3所在高度的速度截面图中可发现，内管1顶部外壁的多个出口至外管2内壁间的速度分布具有非常好的对称性，该环形空间内形成了高强度且稳定的旋转流场。多个旋流生成管3的结构可促使内管1的上升流转变成旋流流场，旋流生成管3的出口端的旋流速度约为1.9$V_i$。旋流生成管3出来的气流汇聚于靠近外管2的区域旋转下行，在旋流生成管3以下的横截面上，旋流场仍旧保持稳定，绝大部分的气流都聚集在靠近外管内壁附近的薄层空间内，且速度接近旋流生成管3的出口端的旋流速度。

[0060] 经流场分析可知，多个旋流生成管将内管的上升流转换成强旋流并引流至外管2的内壁附近，使得雾沫和催化剂颗粒等被甩向外管内壁而被有效捕集。

[0061] 此外，该旋流分离器的压降为4304.6Pa。而同样工况下，应用一个常规水力旋流器(常规旋风分离器的一种)的压降(Casal法计算)为：6272.21Pa，因此本发明的旋流分离器的压降小，能耗低。本发明的多相旋流分离单元和旋流分离器可形成稳定的旋转流场、压降较低，可将出口的液固含量大大降低；与重力沉降或碰撞聚结等气液(浆)分离手段的分离器相比，本发明的总分离效率及除细颗粒能力更优越。

[0062] 以上结合附图详细描述了本发明的优选实施方式，但是，本发明并不限于上述实施方式中的具体细节，在本发明的技术构思范围内，可以对本发明的技术方案进行多种简单变型，例如采用不同材质管材的内外管、管壁增设光滑垫膜等，这些简单变型均属于本领域技术人员能够轻易想到的或常规置换，因而属于本发明的保护范围。

[0063] 另外需要说明的是，在上述具体实施方式中所描述的各个具体技术特征，在不矛盾的情况下，可以通过任何合适的方式进行组合。为了避免不必要的重复，本发明对各种可能的组合方式不再另行说明。

[0064] 此外，本发明的各种不同的实施方式之间也可以进行任意组合，只要其不违背本发明的思想，其同样应当视为本发明所公开的内容。

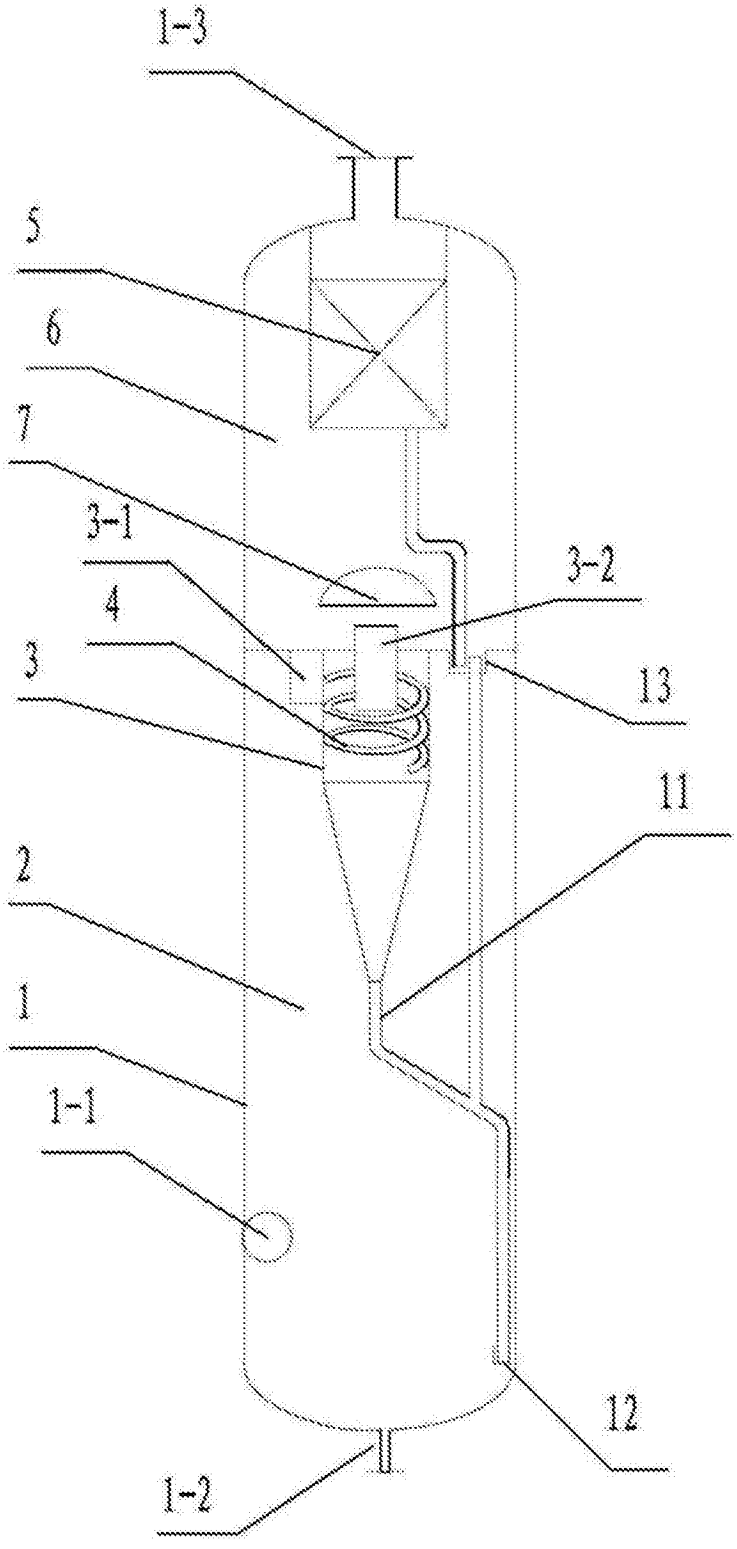



图1

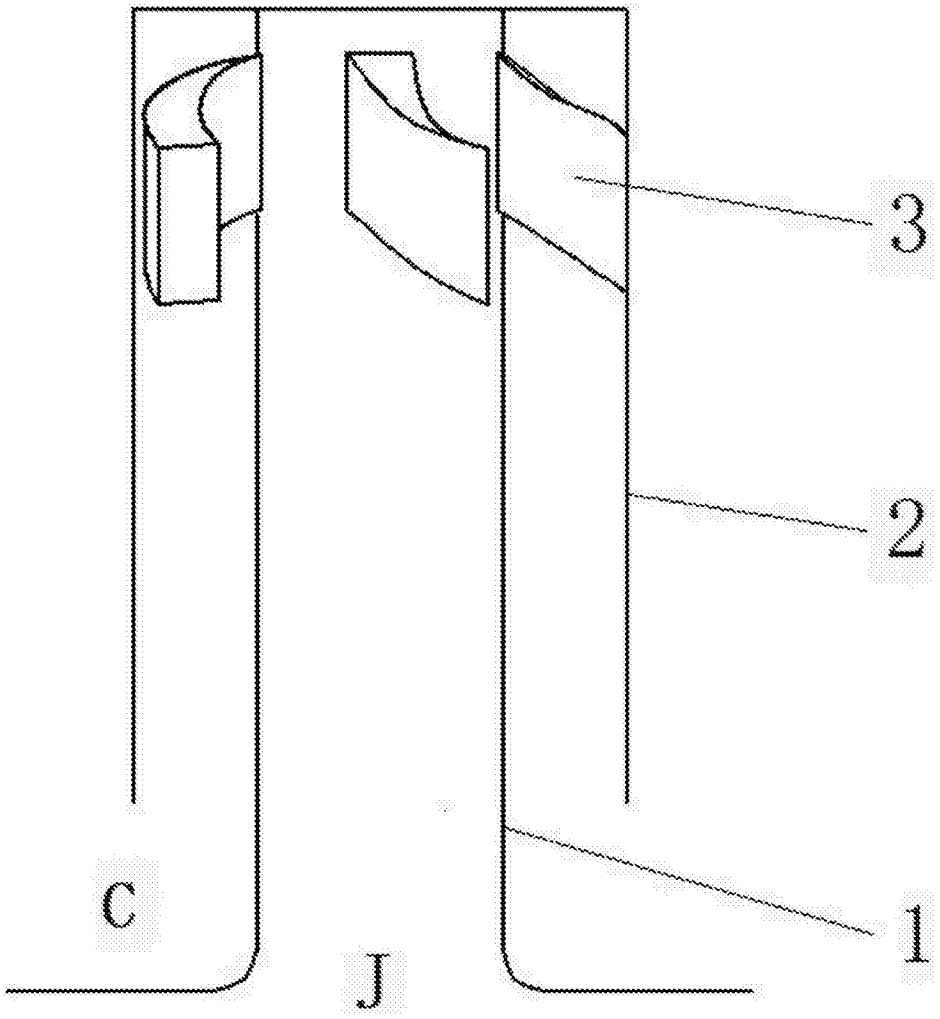



图2

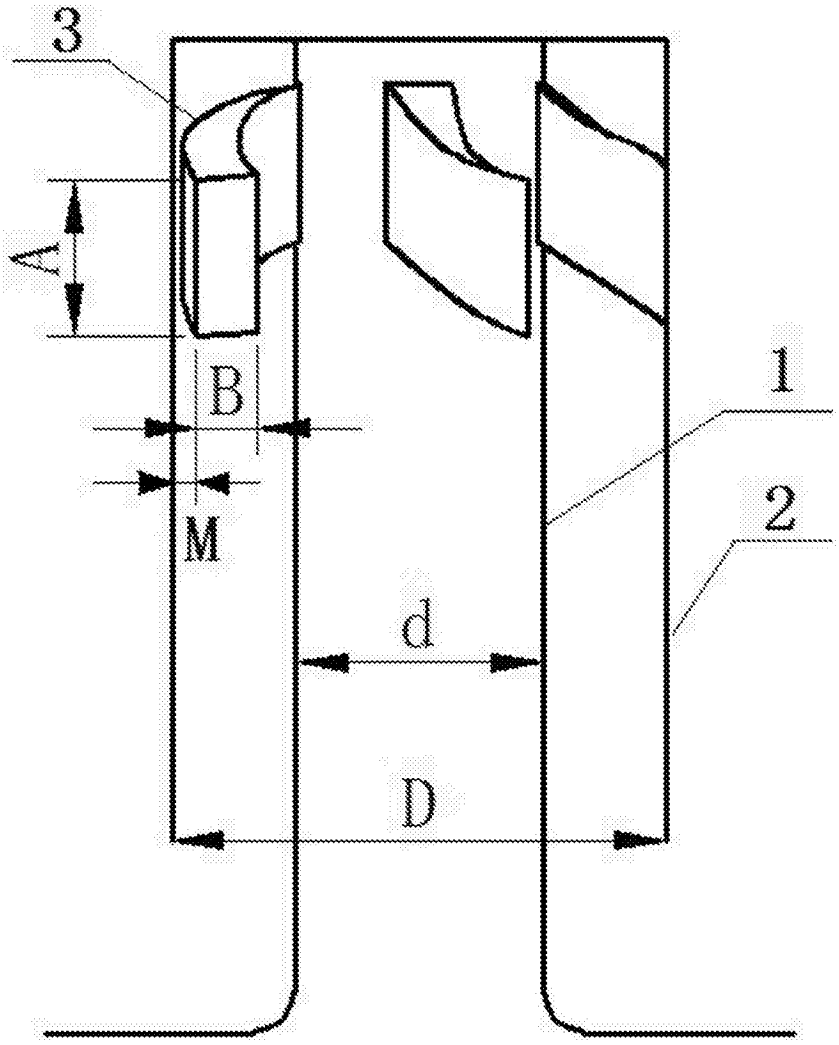



图3

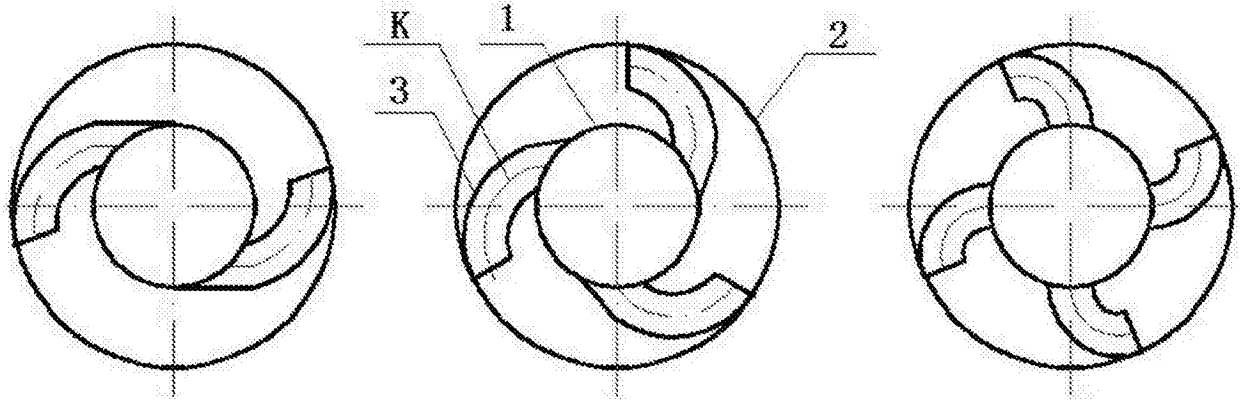



图 4a 图 4b 图 4c

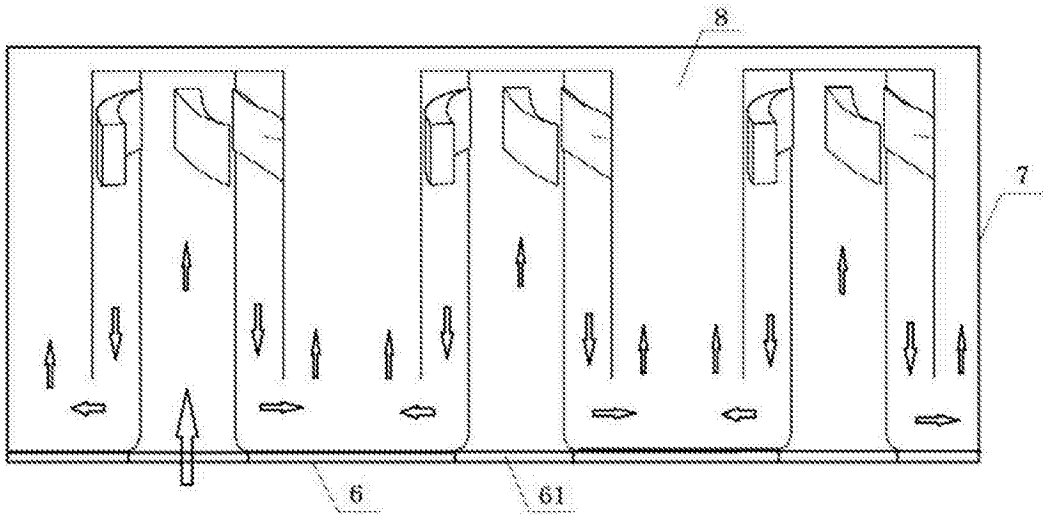



图5

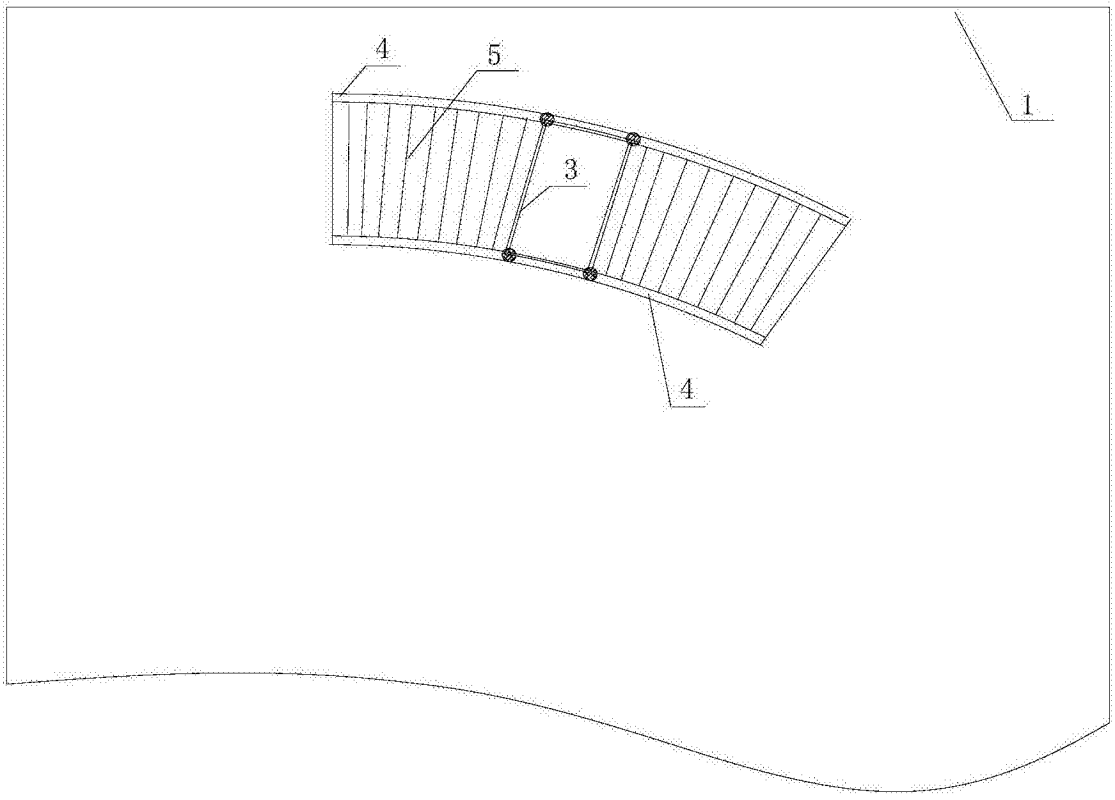



图6

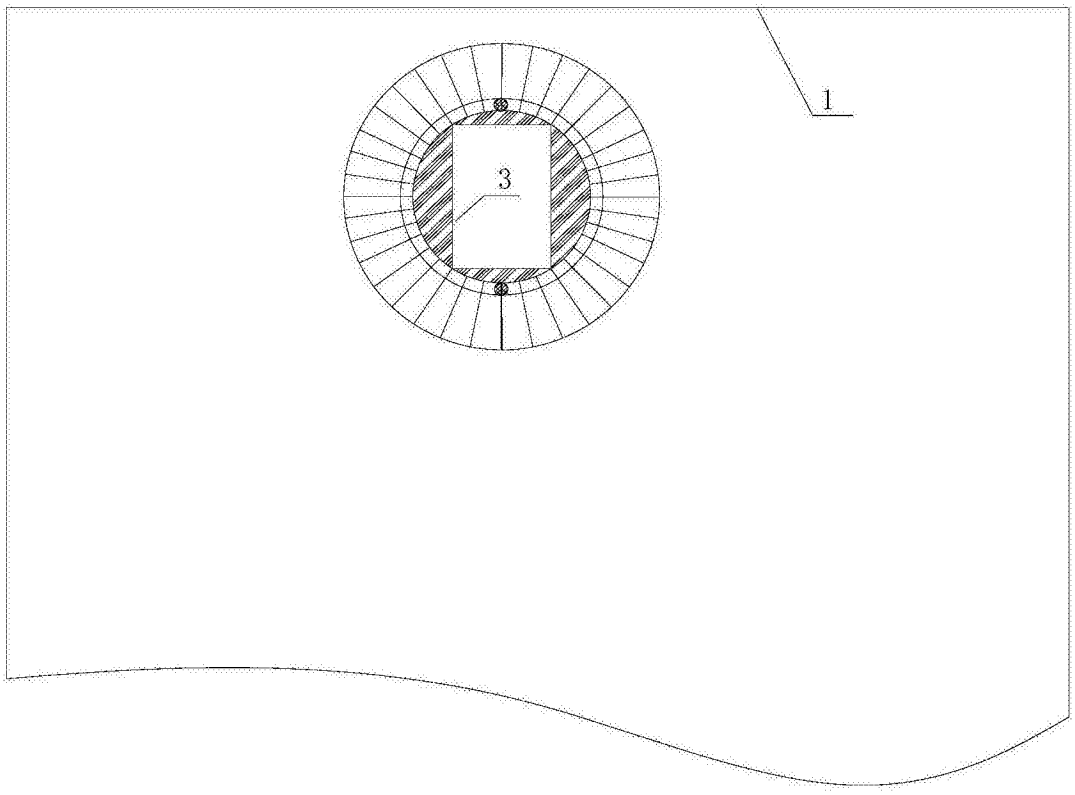



图7

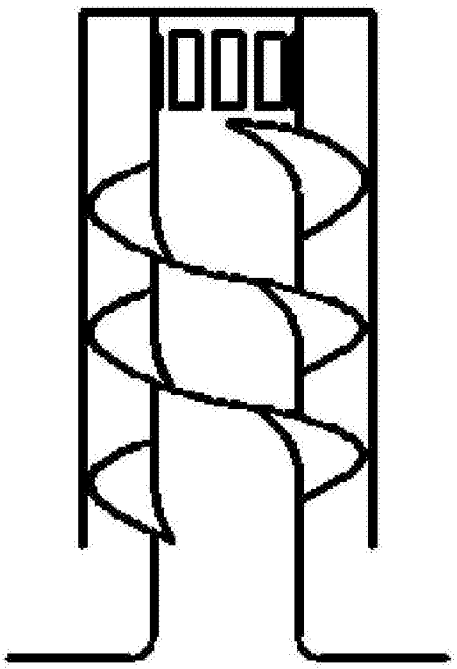


图8