

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2024年3月28日 (28.03.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/060535 A1

- (51) 国际专利分类号:
B04C 5/081 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2023/081593
- (22) 国际申请日: 2023年3月15日 (15.03.2023)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202211136787.5 2022年9月19日 (19.09.2022) CN
- (71) 申请人: 湖南三友环保科技有限公司 (HUNAN SANYOU ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY CO., LTD.) [CN/CN]; 中国湖南省长沙市长沙高新开发区文轩路27号麓谷钰园F1栋22、23楼, Hunan 410221 (CN)。
- (72) 发明人: 钟言 (ZHONG, Yan); 中国湖南省长沙市长沙高新开发区文轩路27号麓谷钰园F1栋22、23楼, Hunan 410221 (CN)。张健 (ZHANG, Jian); 中国湖南省长沙市长沙高新开发区文轩路27号麓谷钰园F1栋22、23楼, Hunan 410221 (CN)。易境

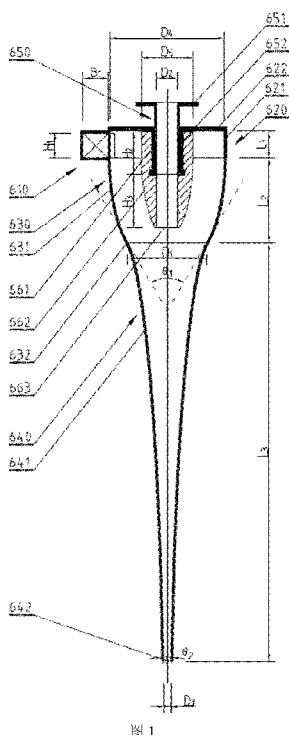
(YI, Jing); 中国湖南省长沙市长沙高新开发区文轩路27号麓谷钰园F1栋22、23楼, Hunan 410221 (CN)。李小阳 (LI, Xiaoyang); 中国湖南省长沙市长沙高新开发区文轩路27号麓谷钰园F1栋22、23楼, Hunan 410221 (CN)。侯丹 (HOU, Dan); 中国湖南省长沙市长沙高新开发区文轩路27号麓谷钰园F1栋22、23楼, Hunan 410221 (CN)。

(74) 代理人: 长沙知行亦创知识产权代理事务所 (普通合伙) (CHANGSHA CRED-INNOVATION INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY FIRM); 中国湖南省长沙市长沙高新开发区谷苑路186号湖南大学科技园工程孵化大楼东区第1层D11A室, Hunan 410221 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN,

(54) Title: HYDRAULIC SCREENING DEVICE FOR LOW-DENSITY-DIFFERENCE COMPOSITE POWDER BIOLOGICAL CARRIER PARTICLES

(54) 发明名称: 一种低密度差复合粉末生物载体颗粒水力筛分装置



(57) Abstract: A hydraulic screening device for low-density-difference composite powder biological carrier particles, comprising: a feeding pipe system (610), a cylindrical section (620), a semi-ellipsoid section (630), a conical curved surface section (640), an overflow pipe system (650), and a driven impeller (660). The feeding pipe system (610) is connected to the tangent plane of the outer wall of the cylindrical section (620), a top cover (622) is arranged above the cylindrical section (620), the lower portion of the cylindrical section (620) is in butt joint with the semi-ellipsoid section (630), and the lower portion of the semi-ellipsoid section (630) is in butt joint with the conical curved surface section (640); the overflow pipe system (650) is fixedly mounted in the center of the top cover (622) of the cylindrical section (620), and is provided with an upper inserting pipe (651) and a lower inserting pipe (652), wherein the upper connecting pipe (651) is higher than the top cover (622) and configured to be connected to an external sludge discharging system, the lower inserting pipe (652) is located on the central axis of the cylindrical section (620) and the semi-ellipsoid section (630), and the driven impeller (660) is arranged on the outer side of the lower inserting pipe (652).

WO 2024/060535 A1

MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 一种低密度差复合粉末生物载体颗粒水力筛分装置, 包括: 进料管系(610)、圆柱段(620)、半椭球段(630)、圆锥曲面段(640)、溢流管系(650)和被动叶轮(660); 进料管系(610)与圆柱段(620)外壁切面衔接, 圆柱段(620)上方设有顶盖(622), 下方与所述半椭球段(630)对接, 半椭球段(630)下方与圆锥曲面段(640)对接; 溢流管系(650)固定安装在圆柱段(620)的顶盖(622)中央, 溢流管系(650)设有下部插入管(652)和上部接管(651), 上部接管(651)高出所述顶盖(622), 用于与外部排泥系统相连接, 下部插入管(652)位于所述圆柱段(620)和所述半椭球段(630)的中心轴线上, 下部插入管(652)的外侧设有所述被动叶轮(660)。

一种低密度差复合粉末生物载体颗粒水力筛分装置

技术领域

本发明涉及污水处理技术领域，特别涉及一种低密度差复合粉末生物载体颗粒水力筛分装置。

背景技术

水力旋分器是一种应用非常广泛的液体非均相混合物的分离设备，其基本原理是将具有一定密度差的液~液、液~固、液~气等两相或多相混合物在离心作用下进行分离。目前的设备主体一般由进料管、圆柱段、圆锥段、溢流段和底流管五部分组成。旋流分离技术具有分离效率高、操作方便、工艺简单、结构紧凑、设备体积小、占地少、易于实现连续化操作及自动控制等优点。基于以上优势，旋流分离技术从最初的仅用于选矿，发展到目前在国内外的化工、石油、粉末工程、金属加工、食品、水处理等领域广泛应用。在水处理领域，水力旋流器在活性污泥旋流释碳、污水处理厂细无机砂的分离以及好氧颗粒污泥回收等方面得到一定的应用。

城镇污水处理过程中，通过在活性污泥系统中投加当量粒径在 $10\sim 75\ \mu\text{m}$ 的硅藻土、沸石、活性炭、凹凸棒土、膨润土、珍珠岩、铁碳粉末、火山岩、生物炭、蛭石等粉末载体，诱导形成以粉末载体为核心、被黏附力较大的微生物包裹的复合粉末生物载体颗粒，分离目标粒径分布在 $25\sim 100\ \mu\text{m}$ ，与悬浮生长微生物在粘液、胞外聚合物作用下形成的结合力较弱的生物絮体，构成“双泥”共生的污水生化处理微生物系统。为实现该生化系统的双泥龄，达到同步脱氮除磷效果，必须将复合粉末生物载体颗粒与生物絮体分离，其中被分离出来的复合粉末生物载体颗粒循环利用，生物絮体作剩余污泥排放。目前，最可行的分离方案是采用水力旋流方法，实现该目标存在以下技术难点：

(1) 复合粉末生物载体颗粒的当量粒径小，提高筛分效率是采用水力旋流法的主要难点之一。

(2) 复合粉末生物载体颗粒与生物絮体密度差小，实测复合粉末生物载体颗粒与生物絮体的密度差仅为 $0.07\sim 0.15\ \text{g}/\text{cm}^3$ ，小于油水密度差 $0.2\ \text{g}/\text{cm}^3$ ，是采用水力旋流将两者分离的主要难点之二。

(3) 与目前分离微小无机质颗粒及单一物料不同，复合粉末生物载体颗粒与生物絮体之间存在作用力的结合，不是简单的混合，在分离过程中需要将复合粉末生物载体颗粒与生物

絮体分离，必须克服这些作用力，是采用水力旋流将两者分离的主要难点之三。

发明内容

本发明旨在至少解决现有技术中存在的技术问题之一。为此，本发明提出一种低密度差复合粉末生物载体颗粒水力筛分装置，能够显著提高低密度差复合粉末生物载体颗粒的筛分效率。

根据本发明实施例的一种低密度差复合粉末生物载体颗粒水力筛分装置，包括：进料管系、圆柱段、半椭球段、圆锥曲面段、溢流管系和被动叶轮；

其中，所述进料管系与所述圆柱段的外壁切面衔接，所述圆柱段上方设有顶盖，下方与所述半椭球段对接，所述半椭球段下方与所述圆锥曲面段对接；

所述溢流管系固定安装在圆柱段上部的顶盖中央，所述溢流管系设有下部插入管和上部接管，所述上部接管高出所述顶盖，用于与外部排泥系统相连接，所述下部插入管位于所述圆柱段和所述半椭球段的中心轴线上，所述下部插入管的外侧设有所述被动叶轮。

根据本发明的一些实施例，所述进料管系包括进料接管、方转圆转接管和收缩管；

其中，所述进料接管为带圆形标准法兰的接管，用于与外部供料系统相连，所述进料接管出水端的圆形接口与方转圆转接管的圆口端的口径一致并对接，所述方转圆转接管另一端为正方形口，其截面面积等于或小于其圆口端，与所述收缩管的正方形口的口径一致并对接，所述收缩管为矩形渐缩管，过水截面为逐渐收缩的弧形流道结构。

根据本发明的一些实施方式，至少具有如下有益效果：

1、本发明的进料管系采用方转圆转接管和收缩管设置。方转圆转接管设置便于管路之间的衔接，同时可有效减少入水段的阻力损失，降低能耗；收缩管采用均匀缩小的过水断面，与直形管切线衔接，加速入口流速，进而提升切向旋流速度，增大装置内促进两相介质分离的径向迁移力，提高复合粉末生物载体颗粒与生物絮体的分离效率。

2、传统水力旋分器的圆柱段与圆锥段之间或两个锥段之间存在突变点，易导致流经突变点的流体失稳，特别对于密度差较小的复合粉末生物载体与生物絮体，流体失稳会导致受力改变，部分已分离的复合粉末生物载体颗粒产生返混，被卷入中心空气柱从溢流口逸出，导致筛分效率下降。本发明通过精细的分子间力的计算，建立水力筛分数学模型；并通过研究得出的内腔结构尺寸 3D 打印模型进行复合粉末生物载体颗粒与生物絮体筛分回收正交实验的验证，确定本发明的紊流功能区采用圆柱段和半椭球段结构替代传统的圆柱形结构，可实现半椭球段与圆锥曲面段接口处于曲率相切连续状态，即半椭球段内腔曲面与圆锥曲面段内腔曲面为连续光滑曲面，流体在旋流和重力作用下从半椭球段平稳流向圆锥曲面段，流态

稳定，阻力损失小。

3、本发明通过在圆柱段和半椭球段设置被动叶轮，在进口混合液推动作用转动，密度较大的复合粉末生物载体颗粒在叶轮自旋作用下推向装置外边壁和分离区，而密度较轻的生物絮体进入中心空气柱，通过溢流段排出，同步减小短流，达到整流作用，强化了复合粉末生物载体颗粒与生物絮体的分离效果，抑制了已分离复合粉末生物载体颗粒与生物絮体返混，提高了筛分效率；同时，基于复合粉末生物载体颗粒附着生长微生物之间的黏附力大于悬浮生长生物絮体之间的结合力，被动叶轮的设置可将旋流中心的涡流尺度控制在较小的范围内，降低中心部位的水流剪切作用力，使其在满足复合粉末生物载体颗粒与生物絮体颗粒分离条件的同时，不破坏复合粉末生物载体颗粒表面的微生物之间的黏附结构。

根据本发明的一些实施例，所述收缩管的流道外侧板为圆弧结构，其曲率半径为 $D_5/2$ ，所述圆柱段的半径为 $D_4/2$ ，所述收缩管的正方口宽度为 B_1 ，其中， $D_5/2=D_4/2+B_1$ ，所述流道外侧板的末端与所述圆柱段的顶端处水平切向对接，所述收缩管的流道内侧板为直板结构，所述流道内侧板与所述半椭球段圆弧曲面在左侧垂直切向衔接，所述收缩管的流道的过水截面由上端的正方入口逐渐收缩至下端的窄方形出口，所述收缩管的管道高度为 H_1 ， H_1 保持不变，所述收缩管上端口宽度为 B_1 ， B_1 为 D_4 的 0.2-0.25 倍，所述收缩管的截面宽度为 B_2 ， B_2/H_1 为 0.25~0.45。

根据本发明的一些实施例，所述圆柱段为直壁结构， D_4 为 120~300 mm，所述圆柱段的高度为 L_1 ， L_1 为 H_1 的 1.0~1.2 倍；所述半椭球段的内腔曲面为以所述半椭球段的边线段作为母线围所述半椭球段的中心轴旋转 360° 后形成的回转曲面，所述半椭球段的上端与所述圆柱段下端垂直对接，所述半椭球段的下端与所述圆锥曲面段对接，对接处的直径相同，对接处的直径为 D_1 ， D_1/D_4 为 0.4~0.6。

根据本发明的一些实施例，所述半椭球段的边线为椭圆长半矩、短半矩比 $a_1/b_1=2\sim 5$ 的椭圆线段，所述半椭球段的上端垂直，所述半椭球段的下端切线角为 $6^\circ\sim 15^\circ$ ，垂直高为 L_2 ， L_2 为 120~300 mm。

根据本发明的一些实施例，所述圆锥曲面段为反向椭圆型曲面，即以所述圆锥曲面段的边线作为母线围绕装置中心轴旋转 360° 后形成内部空腔的回转曲面，所述圆锥曲面段上端与所述半椭球段对接，两者接口处于曲率相切连续状态，接口的切面收缩角为 θ_1 ， θ_1 为 $12^\circ\sim 30^\circ$ ；所述圆锥曲面段的下端为底流口，所述底流口的口径为 20~35 mm，所述底流口的收缩角为 θ_2 ， θ_2 为 $4^\circ\sim 10^\circ$ ；所述圆锥曲面段的高度为 L_3 ， L_3 为 1000~1500mm。

根据本发明的一些实施例，所述圆锥曲面段的边线为椭圆长半矩、短半矩比为 $a_2/b_2=6\sim 10$ 的椭圆线段，所述圆锥曲面段的上端切线夹角为 $6^\circ\sim 15^\circ$ 。

根据本发明的一些实施例,所述下部插入管的插入深度为 H_2 , H_2 为 L_1 与 L_2 之和的0.4~0.7倍。

根据本发明的一些实施例,所述被动叶轮包括叶片总成、固定盘和空心轴,所述空心轴套装在所述下部插入管上,所述叶片总成包括套筒和多块叶片,所有的所述叶片环设在所述套筒外,所述叶片的长度方向沿所述套筒的轴向设置,所述套筒通过所述固定盘固定在所述空心轴上。

根据本发明的一些实施例,所述叶片的外沿曲线曲率与所述半椭球段的曲率一致,所述叶片的底端到所述下部插入管的入口的垂直距离为 H_3 , H_3 为 L_2 的0.4~0.6倍。

本发明的附加方面和优点将在下面的描述中部分给出,部分将从下面的描述中变得明显,或通过本发明的实践了解到。

附图说明

图1为本发明的一种实施例的低密度差复合粉末生物载体颗粒水力筛分装置的结构示意图;

图2为本发明一种实施例的低密度差复合粉末生物载体颗粒水力筛分装置的俯视剖视图;

图3为本发明半椭球段边线的结构示意图;

图4为本发明圆锥曲面段边线的结构示意图;

图5为被动叶轮的装配示意图;

图6为进料接管的立体视图;

图7为进料接管的剖视图。

附图标号:

进料管系 610; 进料接管 611; 方转圆转接管 612; 收缩管 613; 外侧壁板 614; 内侧壁板 615; 圆柱段 620; 圆柱段壳体边线 621; 顶盖 622; 半椭球段 630; 半椭球段边线 631; 连接口 632; 圆锥曲面段 640; 圆锥曲面段边线 641; 底流口 642; 溢流管系 650; 上部接管 651; 下部插入管 652; 被动叶轮 660; 叶片总成 661; 固定盘 662; 空心轴 663。

具体实施方式

下面详细描述本发明的实施例,所述实施例的示例在附图中示出,其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的,仅用于解释本发明,而不能理解为对本发明的限制。

在本发明的描述中,需要理解的是,涉及到方位描述,例如上、下等指示的方位或位置

关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本发明和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本发明的限制。

在本发明的描述中，多个指的是两个以上。如果有描述到第一、第二只是用于区分技术特征为目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量或者隐含指明所指示的技术特征的先后关系。

本发明的描述中，除非另有明确的限定，设置、安装、连接等词语应做广义理解，所属技术领域技术人员可以结合技术方案的具体内容合理确定上述词语在本发明中的具体含义。

参照图 1 到图 7 所示，本发明公开了一种低密度差复合粉末生物载体颗粒水力筛分装置，包括：

图 1 和图 2 所示，进料管系 610、圆柱段 620、半椭球段 630、圆锥曲面段 640、溢流管系 650 和被动叶轮 660；进料管系 610 位于装置上部，与圆柱段 620 外壁切面衔接，圆柱段 620 上方设有顶盖 622，下方与半椭球段 630 对接，半椭球段 630 下方与圆锥曲面段 640 对接。溢流管系 650 固定安装在圆柱段 620 上部的顶盖中央，上部接管 651 高出顶盖 622，与外部排泥系统相连接，下部插入管 652 位于圆柱段 620 和半椭球段 630 的中心位置，其外侧设有被动叶轮 660。

进料管系 610 包括进料接管 611、方转圆转接管 612 和收缩管 613。进料接管 611 为带圆形标准法兰的接管，与外部供料系统相连，进料接管 611 出水端的圆形接口与方转圆转接管 612 的圆口端的口径一致并对接，方转圆转接管 612 另一端为正方形口（即 $B_1=H_1$ ），其截面面积等于或略小于其圆口端，与收缩管 613 的正方形口的口径一致并对接。收缩管 613 为矩形渐缩管，过水截面为逐渐收缩的弧形流道结构。

收缩管 613 的流道外侧壁板 614 为圆弧结构，其曲率半径 $D_5/2$ 为装置圆柱段 620 的半径 $D_4/2$ 和收缩管 613 的正方口宽度 B_1 之和，即 $D_5/2=D_4/2+B_1$ ，弧形板末端与直壁段在装置顶端处水平切向对接，流道的内侧板为直板结构，与半椭球段圆弧曲面在左侧垂直切向衔接。流道过水截面由上端的正方入口逐渐收缩为至下端的窄方形出口，收缩管 613 的管道高度 H_1 不变， B_1 为圆柱段 620 直径 D_4 的 0.2-0.25 倍，出口端的截面宽高比 B_2/H_1 ，一般为 0.25~0.45，出口流速宜控制在 3~6 m/s。

圆柱段 620 为直壁结构，直径 D_4 一般为 120~300 mm，圆柱段 620 为的高度 L_1 是收缩管 613 的管道高度 H_1 的 1.0~1.2 倍。半椭球段 630 内腔曲面为以半椭球段边线 631 段作为母线围绕装置中心轴旋转 360° 后形成的回转曲面，半椭球段 630 上端与圆柱段 620 下端垂直对接，下部与圆锥曲面段 640 对接，连接口 632 直径相同，半椭球段 630 下端直径 D_1 与圆柱段

620 直径 D_4 比值宜为 0.4~0.6。

如图 1 和图 3 所示,半椭球段边线 631 为椭圆长半矩、短半矩比 $a_1/b_1=2\sim 5$ 的半椭球段边线 631, 上端垂直, 下端切线角 $6^\circ\sim 15^\circ$, 垂直高宜为 120~300 mm。

圆锥曲面段 640 为反向椭圆型曲面, 即以圆锥曲面段边线 641 作为母线围绕装置中心轴旋转 360° 后形成内部空腔的回转曲面, 圆锥曲面段 640 上端与半椭球段 630 对接, 两者连接口 632 处于曲率相切连续状态, 连接口 632 的切面收缩角 θ_1 宜为 $12^\circ\sim 30^\circ$; 圆锥曲面段 640 下端为底流口 642, 出口口径宜为 20~35 mm, 出口收缩角 θ_2 为 $4^\circ\sim 10^\circ$; 圆锥曲面段 640 高度宜为 1000~1500 mm。

如图 1 和 4 所示,圆锥曲面段边线 641 为椭圆长半矩、短半矩比为 $a_2/b_2=6\sim 10$ 的圆锥曲面段边线 641, 上端切线夹角为 $6^\circ\sim 15^\circ$ 。

在筛分过程中, 污水处理生化系统中浓度小于 15g/L、密度差为 $0.07\sim 0.15\text{ g/cm}^3$ 的复合粉末生物载体颗粒与生物絮体混合液, 在泵体的作用下, 由进料管系 610 的收缩管 613 出口进入圆柱段 620 中, 收缩管 613 出口流速控制在 3~6 m/s。进入圆柱段 620 中的混合物料, 在紊流和水流剪切力的作用下, 复合粉末生物载体颗粒与生物絮体分离。

复合粉末生物载体颗粒与生物絮体分离后, 在旋流作用下, 密度较大的复合粉末生物载体颗粒会富集在管壁上, 并在重力的作用下, 顺着管壁流入圆锥曲面段 640 中。密度较轻的生物絮体在空气柱外缘富集, 在管壁和空气柱之间形成过渡区。最终密度较大的复合粉末生物载体颗粒在重力和离心力作用下从底流口 642 回收, 返回生化系统, 密度较轻的生物絮体和污水呈螺旋上升, 从溢流管系 650 排出, 进入排泥系统。

需要说明的是, 本发明的低密度差复合粉末生物载体颗粒水力筛分装置, 适用于含复合粉末生物载体颗粒与生物絮体浓度小于 15 g/L 的混合液的筛分回收。当浓度高于 15 g/L, 复合粉末生物载体颗粒与生物絮体在圆柱段 620 和半椭球段 630 中产生“拥挤效应”显著增强, 导致复合粉末生物载体颗粒与生物絮体的分离不理想。

采用本发明的低密度差复合粉末生物载体颗粒水力筛分装置, 在使用过程中, 根据复合粉末生化载体与生物絮体的理化特性及其筛分回收过程中所需紊流和离心力差异, 圆柱段 620、半椭球段 630、圆锥曲面段 640 的直径和长度, 进料管系 610 的收缩比例以及溢流管系 650 的下部插入管 652 的插入深度均可进行设置和调整, 实现对复合粉末生物载体颗粒的筛分效率达到 80%~90%, 具体如表 1 所示:

表1 本发明的低密度差复合粉末生物载体颗粒水力筛分装置功能分区和内腔结构优化后尺寸与内腔结构尺寸以外水力筛分器筛分效率对比表

结构参数		单位	低密度复合粉末水力筛分装置	内腔结构优化后尺寸范围内筛分效率	低于内腔结构优化尺寸下限范围	对应低上下限范围筛分效率	高于内腔结构优化尺寸上限范围	对应高上下限范围筛分效率
系统功能区域	圆柱段直径	mm	120-300	80%~90%	< 120	63.2%~66.5%	300	62.4%~66.7%
	收縮管出口宽高比		0.25-0.45		< 0.25	65.5%~72.3%	0.45	65.4%~73.6%
	半球段长度		120-300		< 120	61.1%~65.2%	300	64.5%~69.9%
	半球段下部直径与圆柱段直径之比		0.4-0.6		< 0.4	68.2%~74.7%	0.6	53.4%~64.8%
	下部插入管高度与圆柱段和半球段总高之比		0.4-0.7		< 0.4	52.3%~62.5%	0.7	64.4%~72%
分离功能区域	圆锥曲面段高度	mm	1000-1500	< 1000	59.2%~65.7%	1500	62.4%~69.8%	
	底流口直径	mm	20-35	20	48.2%~57.7%	35	58.8%~67.9%	
	收縮角 θ_1	°	12-30	12	61.8%~74.6%	30	54.7%~66.6%	
	收縮角 θ_2	°	4-10	4	51.3%~66.8%	10	64.2%~72.4%	

从上表可知，本发明的低密度差复合粉末生物载体颗粒水力筛分装置，能够对密度差仅有 $0.07\sim 0.15\text{ g/cm}^3$ 的复合粉末生物载体颗粒与生物絮体进行分离，且复合粉末生物载体颗粒

的筛分效率能够达到 80%~90%。将筛分出的复合粉末生物载体颗粒重新投入污水处理池中，可实现污水处理过程中复合粉末生物载体含量的稳定，减少粉末生物载体的投加，具有显著的经济价值。

需要解释的是，传统的水力旋分器的圆锥段采用双锥段直锥面设计，两个锥段之间存在突变点。压力流体流经圆锥段时，受垂直于圆锥段壁面方向的反作用力，反作用力会将物料向斜上方向推向空气柱。其中，密度较轻的生物絮体会向空气柱迁移，密度较大的复合粉末生物载体颗粒在离心力和重力作用下，向下迁移。双锥段存在突变点，导致流体流态失稳，流体受力方向发生改变，小锥段轻质物料所受作用力趋向于水平，不足以抵消重力作用，会向底流口 642 逸出，导致分离效率下降；此外，突变点的存在，导致流体的水头损失增大，能耗增加。采用半椭球段 630 替代传统的圆柱形结构，可实现半椭球段 630 与圆锥曲面段 640 连接口 632 处于曲率相切连续状态，即半椭球段 630 内腔曲面与圆锥曲面段 640 内腔曲面为连续光滑曲面，流体在离心力和重力作用下从半椭球段平稳流向圆锥曲面段，流态稳定，水头损失小。

表 2 进口流速保持不变的情况下，分离物料浓度对筛分效率的影响

进口流速(m/s)	浓度(g/L)	筛分效率(%)
4	5	97.6%
	10	92.3%
	15	89.4%
	20	72.8%

从表 2 可知，在进口流速保持不变的情况下，分离物料浓度越低分离效果越好，当浓度提高，“拥挤效应”逐渐增强，复合粉末生物载体颗粒与生物絮体颗粒未充分分离，直接通过溢流管系 650 逸出，导致筛分效率下降，当物料浓度超过 15 g/L 后尤为明显。

参考图 1、图 2 和图 5 所示，还包括被动叶轮 660，被动叶轮 660 设置在圆柱段 620 和半椭球段 630 内，被动叶轮 660 包括叶片总成 661、固定盘 662 和空心轴 663，空心轴 663 转动安装在溢流管系 650 的下部插入管 652 上，叶片总成 661 包括套筒和多块叶片，多块叶片环设在套筒外，叶片沿套筒的轴向设置，套筒通过固定盘 662 固定在空心轴 663 上，叶片外沿曲线曲率与半椭球段曲率一致，叶片位于溢流管口下方高度 H_3 宜为半椭球段 630 高度 L_2 的 0.4~0.6 倍。

本发明通过在圆柱段 620 和半椭球段 630 设置被动叶轮 660，被动叶轮 660 在进口混合液推动作用下转动，密度较大的复合粉末生物载体颗粒在叶轮自旋作用下推向分离区，而密

度较轻的生物絮体进入中心空气柱，从溢流管系导上部接管 651 排出，减小圆柱段 620 和半椭球段 630 的短流，达到整流效果，强化了复合粉末生物载体颗粒与生物絮体的分离效果，抑制了已分离复合粉末生物载体颗粒与生物絮体返混，提高了筛分效率；同时，被动叶轮 660 的设置可将半椭球段 630 中心的涡流尺度控制在较小的范围，降低中心部位的水流剪切作用力，使其在满足复合粉末生物载体颗粒与生物絮体颗粒分离的同时不破坏复合粉末生物载体颗粒表面的微生物之间的黏附结构。可以理解的是，在本实施例中，被动叶轮 660 由叶片总成 661、固定盘 662 和空心轴 663 组成，空心轴 663 转动安装在溢流管系 650 的下部插入管 652 上，叶片总成 661 通过固定盘 662 卡装固定在空心轴 663 上。通过设置被动叶轮，复合粉末生物载体颗粒的筛分效率能够提高到 95%以上。

具体的，污水从进料管系 610 流入圆柱段 620 的时候，水流会推动叶轮转动，物料流经被动叶轮 660 时，其中密度较大的复合粉末生物载体颗粒在自旋转作用下向边壁迁移，密度较轻物料向中心区域迁移，强化复合粉末生物载体颗粒与生物絮体颗粒的分离；被动叶轮 660 的叶片合围成一个圆锥状，可以加速密度较大复合粉末生物载体颗粒的富集，提高分离效率，降低能耗。此外，被动叶轮 660 的设置，可将半椭球段 630 中心的涡流尺度控制在较小的范围，降低中心部位流体的速度梯度，从而降低中心部位的水流剪切作用，使其在满足复合粉末生物载体颗粒与生物絮体颗粒分离的同时，不破坏复合粉末生物载体颗粒表面的微生物之间黏附结构。

需要解释的是，溢流管系下部插入管 652 过短会引起短流效应；过长会导致混合液在圆柱段 620 的能量消耗过大，后期分离动能不足，分离效率下降；两者均会导致复合粉末生物载体颗粒从溢流管系 650 逸出。因此，溢流管系 650 的下部插入管 652 高度 H_2 宜为圆柱段 620 高度 L_1 和半椭球段 630 高度 L_2 之和的 0.4~0.7 倍。

本实施例通过设置被动叶轮 660，在进料管系 610 的进流口物料射流推动下，叶片总成 661 带动空心轴 663 做规则旋转，在叶片推动作用下，复合生物载体颗粒物料在叶片外边壁富集，减少从溢流段的流失，同时减小短流，提高筛分效率。

上面结合附图对本发明实施例作了详细说明，但是本发明不限于上述实施例，在所属技术领域普通技术人员所具备的知识范围内，还可以在不脱离本发明宗旨的前提下作出各种变化。

权利要求书

1. 一种低密度差复合粉末生物载体颗粒水力筛分装置，其特征在于，包括：进料管系、圆柱段、半椭球段、圆锥曲面段、溢流管系和被动叶轮；

其中，所述进料管系与所述圆柱段的外壁切面衔接，所述圆柱段上方设有顶盖，下方与所述半椭球段对接，所述半椭球段下方与所述圆锥曲面段对接；

所述溢流管系固定安装在圆柱段上部的顶盖中央，所述溢流管系设有下部插入管和上部接管，所述上部接管高出所述顶盖，用于与外部排泥系统相连接，所述下部插入管位于所述圆柱段和所述半椭球段的中心轴线上，所述下部插入管的外侧设有所述被动叶轮。

2. 根据权利要求 1 所述的低密度差复合粉末生物载体颗粒水力筛分装置，其特征在于：所述进料管系包括进料接管、方转圆转接管和收缩管；

其中，所述进料接管为带圆形标准法兰的接管，用于与外部供料系统相连，所述进料接管出水端的圆形接口与方转圆转接管的圆口端的口径一致并对接，所述方转圆转接管另一端为正方形口，其截面面积等于或小于其圆口端，与所述收缩管的正方形口的口径一致并对接，所述收缩管为矩形渐缩管，过水截面为逐渐收缩的弧形流道结构。

3. 根据权利要求 2 所述的低密度差复合粉末生物载体颗粒水力筛分装置，其特征在于：所述收缩管的流道外侧板为圆弧结构，其曲率半径为 $D_5/2$ ，所述圆柱段的半径为 $D_4/2$ ，所述收缩管的正方口宽度为 B_1 ，其中， $D_5/2 = D_4/2 + B_1$ ，所述流道外侧板的末端与所述圆柱段的顶端处水平切向对接，所述收缩管的流道内侧板为直板结构，所述流道内侧板与所述半椭球段圆弧曲面在左侧垂直切向衔接，所述收缩管的流道的过水截面由上端的正方入口逐渐收缩至下端的窄方形出口，所述收缩管的管道高度为 H_1 ， H_1 保持不变， B_1 为 D_4 的 0.2-0.25 倍，所述收缩管的截面宽度为 B_2 ， B_2/H_1 为 0.25~0.45。

4. 根据权利要求 3 所述的低密度差复合粉末生物载体颗粒水力筛分装置，其特征在于：所述圆柱段为直壁结构， D_4 为 120~300 mm，所述圆柱段的高度为 L_1 ， L_1 为 H_1 的 1.0~1.2 倍；所述半椭球段的内腔曲面为以所述半椭球段的边线段作为母线围所述半椭球段的中心轴旋转 360° 后形成的回转曲面，所述半椭球段的上端与所述圆柱段下端垂直对接，所述半椭球段的下端与所述圆锥曲面段对接，对接处的直径相同，对接处的直径为 D_1 ， D_1/D_4 为 0.4~0.6。

5. 根据权利要求 4 所述的低密度差复合粉末生物载体颗粒水力筛分装置，其特征在于：所述半椭球段的边线为椭圆长半矩、短半矩比 $a_1/b_1 = 2 \sim 5$ 的椭圆线段，所述半椭球段的上端垂直，所述半椭球段的下端切线角为 6°~15°，垂直高为 L_2 ， L_2 为 120~300 mm。

6. 根据权利要求 1 所述的低密度差复合粉末生物载体颗粒水力筛分装置，其特征在于：所述圆锥曲面段为反向椭圆型曲面，即以所述圆锥曲面段的边线作为母线围绕装置中心轴旋

转 360° 后形成内部空腔的回转曲面，所述圆锥曲面段上端与所述半椭球段对接，两者连接口处于曲率相切连续状态，连接口的切面收缩角为 θ_1 ， θ_1 为 12°~30°；所述圆锥曲面段的下端为底流口，所述底流口的口径为 20~35 mm，所述底流口的收缩角为 θ_2 ， θ_2 为 4°~10°；所述圆锥曲面段的高度为 L_3 ， L_3 为 1000~1500mm。

7. 根据权利要求 6 所述的低密度差复合粉末生物载体颗粒水力筛分装置，其特征在于：所述圆锥曲面段的边线为椭圆长半矩、短半矩比为 $a_2/b_2=6\sim 10$ 的椭圆线段，所述圆锥曲面段的上端切线夹角为 6°~15°。

8. 根据权利要求 1 所述的低密度差复合粉末生物载体颗粒水力筛分装置，其特征在于：所述下部插入管的插入深度为 H_2 ， H_2 为 L_1 与 L_2 之和的 0.4~0.7 倍。

9. 根据权利要求 1 所述的低密度差复合粉末生物载体颗粒水力筛分装置，其特征在于：所述被动叶轮包括叶片总成、固定盘和空心轴，所述空心轴套装在所述下部插入管上，所述叶片总成包括套筒和多块叶片，所有的所述叶片环设在所述套筒外，所述叶片的长度方向沿所述套筒的轴向设置，所述套筒通过所述固定盘固定在所述空心轴上。

10. 根据权利要求 9 所述的低密度差复合粉末生物载体颗粒水力筛分装置，其特征在于：所述叶片的外沿曲线曲率与所述半椭球段的曲率一致，所述叶片的底端到所述下部插入管的入口的垂直距离为 H_3 ， H_3 为 L_2 的 0.4~0.6 倍。

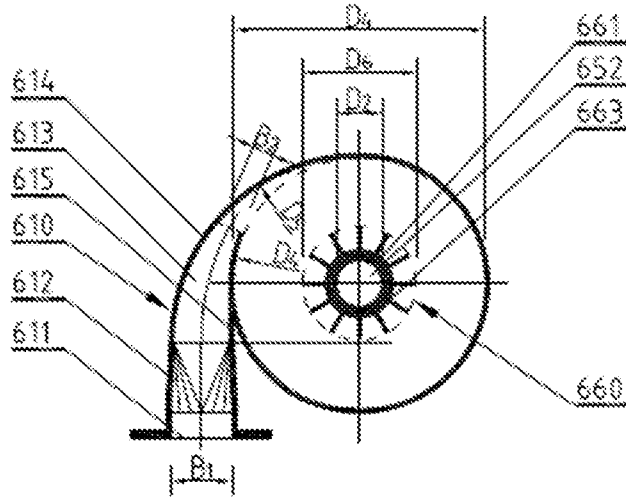


图 2

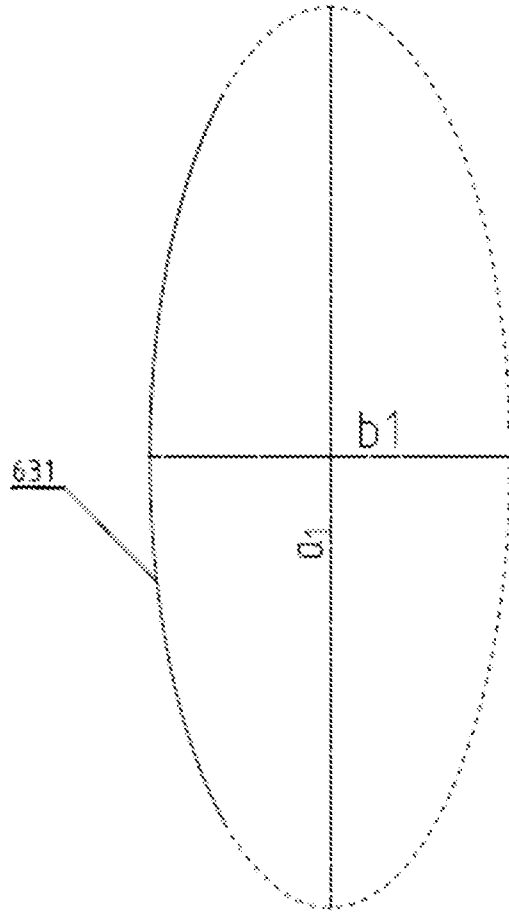


图 3

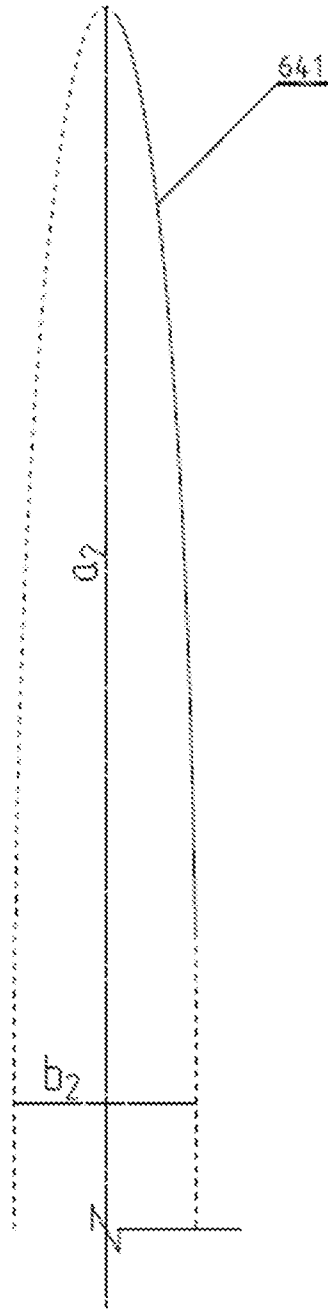


图 4

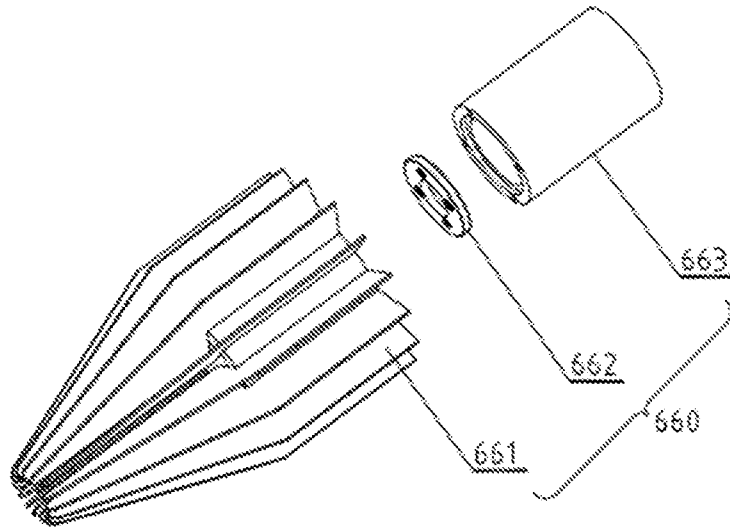


图 5

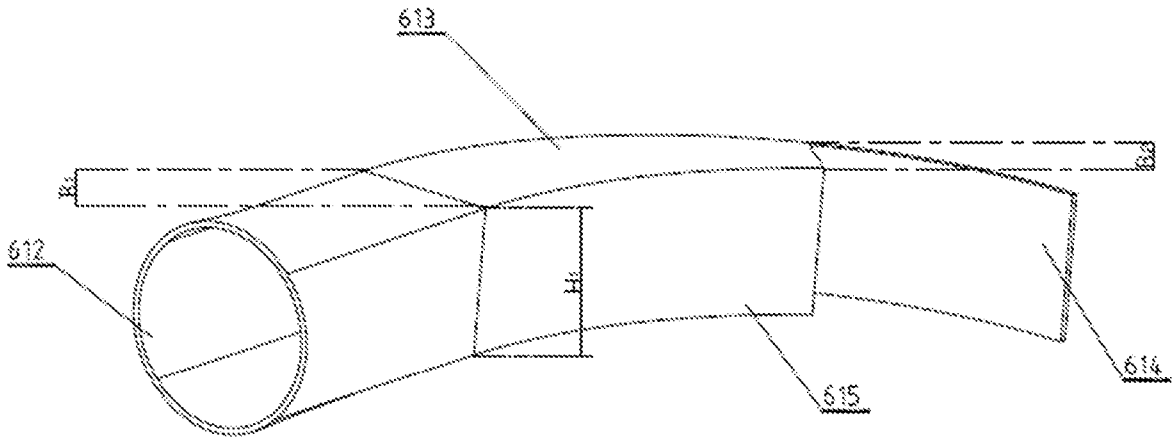


图 6

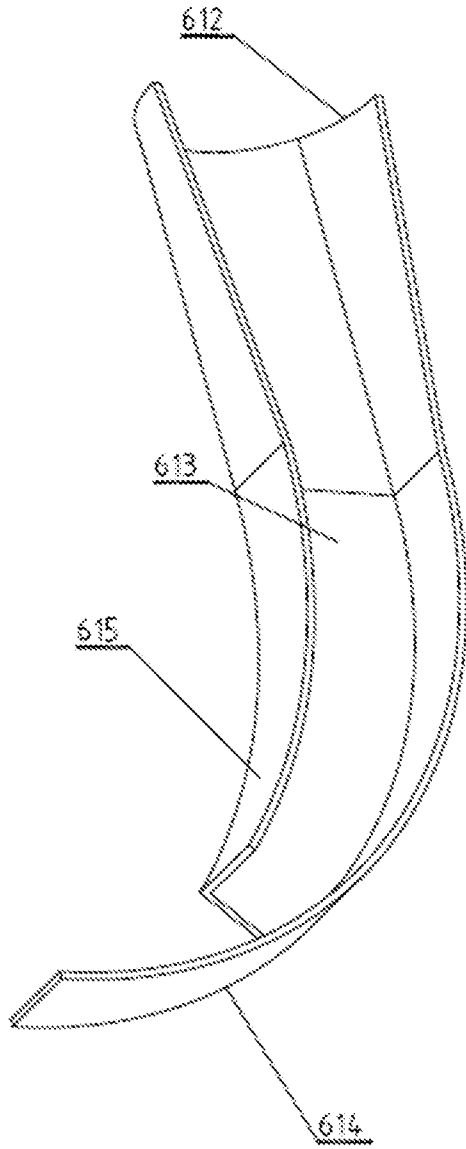


图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/081593

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER B04C5/081(2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B04C Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) CNABS; CNTXT; VEN; CNKI: 旋流器, 筛分, 分级, 椭圆, 曲面, 曲线, 弧形, 弧面, 圆弧, 叶轮, 叶片, 曲率, cyclone, siev+, grad+, ellipse, curve, arc, camber, impeller, blade, curvature		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 115475707 A (HUNAN SANYOU ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY CO., LTD.) 16 December 2022 (2022-12-16) claims 1-10	1-10
Y	CN 216322656 U (WEIHAI HAIWANG HYDROCYCLONE CO., LTD.) 19 April 2022 (2022-04-19) description, paragraph 17, and figures 1-4	1-2, 8-9
Y	CN 2517496 Y (DAQING PETROLEUM COLLEGE) 23 October 2002 (2002-10-23) description, page 2, paragraph 1, and figure 1	1-2, 8-9
A	CN 104624403 A (CHINA NATIONAL PETROLEUM CORP.) 20 May 2015 (2015-05-20) entire document	1-10
A	CN 111068939 A (WEIHAI HAIWANG HYDROCYCLONE CO., LTD.) 28 April 2020 (2020-04-28) entire document	1-10
A	CN 112587968 A (TONGJI UNIVERSITY) 02 April 2021 (2021-04-02) entire document	1-10
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "D" document cited by the applicant in the international application "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 24 April 2023		Date of mailing of the international search report 05 May 2023
Name and mailing address of the ISA/CN China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/081593

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	SU 673316 A1 (INSTITUTE OF METALLURG OBOGASHCHENIYA) 15 July 1979 (1979-07-15) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/081593

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 115475707 A	16 December 2022	None	
CN 216322656 U	19 April 2022	None	
CN 2517496 Y	23 October 2002	None	
CN 104624403 A	20 May 2015	None	
CN 111068939 A	28 April 2020	None	
CN 112587968 A	02 April 2021	None	
SU 673316 A1	15 July 1979	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2023/081593

<p>A. 主题的分类 B04C5/081 (2006.01) i</p> <p>按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类</p>																										
<p>B. 检索领域</p> <p>检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) B04C</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) CNABS;CNTXT;VEN;CNKI:旋流器, 筛分, 分级, 椭圆, 曲面, 曲线, 弧形, 弧面, 圆弧, 叶轮, 叶片, 曲率, cyclone, siev+, grad+, ellipse, curve, arc, camber, impeller, blade, curvature</p>																										
<p>C. 相关文件</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 115475707 A (湖南三友环保科技有限公司) 2022年12月16日 (2022 - 12 - 16) 权利要求1-10</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 216322656 U (威海市海王旋流器有限公司) 2022年4月19日 (2022 - 04 - 19) 说明书第17段及附图1-4</td> <td>1-2、8-9</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 2517496 Y (大庆石油学院) 2002年10月23日 (2002 - 10 - 23) 说明书第2页第1段及附图1</td> <td>1-2、8-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104624403 A (中国石油天然气股份有限公司) 2015年5月20日 (2015 - 05 - 20) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 111068939 A (威海市海王旋流器有限公司) 2020年4月28日 (2020 - 04 - 28) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 112587968 A (同济大学) 2021年4月2日 (2021 - 04 - 02) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>SU 673316 A1 (INST METALLURG OBOGASHCHENIYA) 1979年7月15日 (1979 - 07 - 15) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table> <p><input type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。</p> <p>* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “D” 申请人在国际申请中引证的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件</p>			类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 115475707 A (湖南三友环保科技有限公司) 2022年12月16日 (2022 - 12 - 16) 权利要求1-10	1-10	Y	CN 216322656 U (威海市海王旋流器有限公司) 2022年4月19日 (2022 - 04 - 19) 说明书第17段及附图1-4	1-2、8-9	Y	CN 2517496 Y (大庆石油学院) 2002年10月23日 (2002 - 10 - 23) 说明书第2页第1段及附图1	1-2、8-9	A	CN 104624403 A (中国石油天然气股份有限公司) 2015年5月20日 (2015 - 05 - 20) 全文	1-10	A	CN 111068939 A (威海市海王旋流器有限公司) 2020年4月28日 (2020 - 04 - 28) 全文	1-10	A	CN 112587968 A (同济大学) 2021年4月2日 (2021 - 04 - 02) 全文	1-10	A	SU 673316 A1 (INST METALLURG OBOGASHCHENIYA) 1979年7月15日 (1979 - 07 - 15) 全文	1-10
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																								
PX	CN 115475707 A (湖南三友环保科技有限公司) 2022年12月16日 (2022 - 12 - 16) 权利要求1-10	1-10																								
Y	CN 216322656 U (威海市海王旋流器有限公司) 2022年4月19日 (2022 - 04 - 19) 说明书第17段及附图1-4	1-2、8-9																								
Y	CN 2517496 Y (大庆石油学院) 2002年10月23日 (2002 - 10 - 23) 说明书第2页第1段及附图1	1-2、8-9																								
A	CN 104624403 A (中国石油天然气股份有限公司) 2015年5月20日 (2015 - 05 - 20) 全文	1-10																								
A	CN 111068939 A (威海市海王旋流器有限公司) 2020年4月28日 (2020 - 04 - 28) 全文	1-10																								
A	CN 112587968 A (同济大学) 2021年4月2日 (2021 - 04 - 02) 全文	1-10																								
A	SU 673316 A1 (INST METALLURG OBOGASHCHENIYA) 1979年7月15日 (1979 - 07 - 15) 全文	1-10																								
国际检索实际完成的日期 2023年4月24日	国际检索报告邮寄日期 2023年5月5日																									
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088	授权官员 田森 电话号码 (+86) 010-62085406																									

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2023/081593

检索报告引用的专利文件	公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN 115475707 A	2022年12月16日	无	
CN 216322656 U	2022年4月19日	无	
CN 2517496 Y	2002年10月23日	无	
CN 104624403 A	2015年5月20日	无	
CN 111068939 A	2020年4月28日	无	
CN 112587968 A	2021年4月2日	无	
SU 673316 A1	1979年7月15日	无	