



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116617841 A

(43) 申请公布日 2023. 08. 22

(21) 申请号 202310723284.6

(22) 申请日 2023.06.19

(71) 申请人 中国矿业大学

地址 221000 江苏省徐州市铜山区大学路1号

(72) 发明人 史全林 孙永江 赵爽 严航

祝裕轩 何振宇 聂晓阳 庞雨轩  
彭川钰

(74) 专利代理机构 徐州千秋知识产权代理事务  
所(普通合伙) 32556

专利代理师 周敏

(51) Int. Cl.

B01D 53/80 (2006.01)

B01D 53/62 (2006.01)

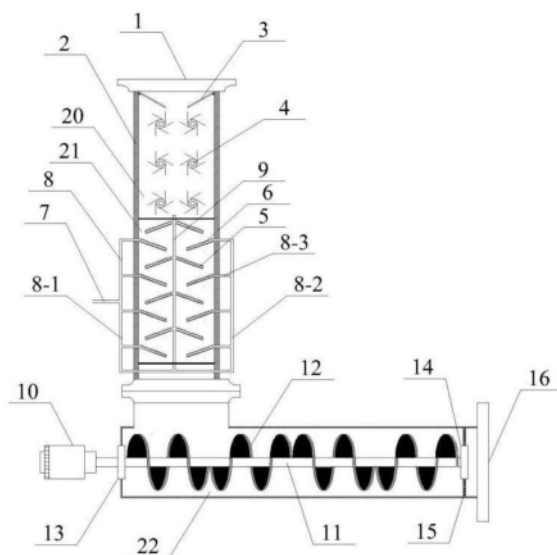
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

### (54) 发明名称

一种煤基固废浆体矿化封存CO<sub>2</sub>气体的连续反应装置

### (57) 摘要

本发明公开了一种煤基固废浆体矿化封存CO<sub>2</sub>气体的连续反应装置,包括壳体,壳体内部从上到下依次为涡轮搅拌段、流化式混合段、螺旋反应段;浆体入口下端设有折流板,折流板下端从上到下依次设有若干水平方向上成对布置的涡轮搅拌器;流化式混合段外侧设有外气管、气体入口,流化式混合段内设有内气管、第一中空半圆波纹板、第二中空半圆波纹板,气体入口与外气管连通,内气管与外气管底部连通,外气管与第二中空半圆波纹板连通;内气管与第一中空半圆波纹板连通。本发明中浆体流过在纵向交错设置的第一中空半圆波纹板、第二中空半圆波纹板,浆体被波纹板不断分流与汇合,改变流向的同时依次向下折流,加速气体与浆液的混合与反应。



1. 一种煤基固废浆体矿化封存CO<sub>2</sub>气体的连续反应装置,包括壳体(2),其特征在于,壳体(2)内部从上到下依次为涡轮搅拌段(20)、流化式混合段(21)、螺旋反应段(22);

涡轮搅拌段(20)上端设有浆体入口(1),螺旋反应段(22)右端设有出料口(16),

浆体入口(1)下端设有折流板(3),折流板(3)下端从上到下依次设有若干水平方向上成对布置的涡轮搅拌器(4);

流化式混合段(21)外侧设有外气管(8)、气体入口(7),

流化式混合段(21)内设有内气管(9)、若干第一中空半圆波纹板(5)、若干第二中空半圆波纹板(6),气体入口(7)与外气管(8)连通,内气管(9)与外气管(8)底部连通,外气管(8)与第二中空半圆波纹板(6)连通;内气管(9)与第一中空半圆波纹板(5)连通;

螺旋反应段(22)设有螺旋搅拌器,螺旋搅拌器包括气动马达(10)驱动的搅拌轴(11),搅拌轴(11)上均匀焊接有螺旋叶片(12)。

2. 根据权利要求1所述的煤基固废浆体矿化封存CO<sub>2</sub>气体的连续反应装置,其特征在于,外气管(8)包括关于内气管(9)左右对称设置的第一外气管(8-1)、第二外气管(8-2),内气管(9)、第一外气管(8-1)、第二外气管(8-2)均竖直设置且底部连通,气体入口(7)与第一外气管(8-1)连通,外气管(8)竖直方向上均布若干支管(8-3),支管(8-3)贯穿壳体(2)并与第二中空半圆波纹板(6)连通;内气管(9)竖直方向上均布若干第一中空半圆波纹板(5),第一中空半圆波纹板(5)关于内气管(9)左右对称设置,且第一中空半圆波纹板(5)、第二中空半圆波纹板(6)纵向交错设置,第一中空半圆波纹板(5)、第二中空半圆波纹板(6)与竖直方向的夹角为60°-80°斜向下设置,第一中空半圆波纹板(5)、第二中空半圆波纹板(6)下表面设有微气孔(18),上表面设有半圆截面凸起(17)。

3. 根据权利要求1所述的煤基固废浆体矿化封存CO<sub>2</sub>气体的连续反应装置,其特征在于,涡轮搅拌段(20)还包括实心轴(4-1)、滚动轴承(4-2),实心轴(4-1)垂直固定于壳体(2)上,涡轮搅拌器(4)通过滚动轴承(4-2)与实心轴(4-1)连接,涡轮搅拌器(4)上均布有若干直板叶片(4-3),成对布置的涡轮搅拌器(4)的直板叶片(4-3)布置方向相反。

4. 根据权利要求1所述的煤基固废浆体矿化封存CO<sub>2</sub>气体的连续反应装置,其特征在于,搅拌轴(11)前端与前端轴承(13)相连接,后端与后端轴承(14)连接,前端轴承(13)固定在壳体(2)上,后端轴承(14)通过支撑臂(15)连接在壳体(2)上。

5. 根据权利要求1所述的煤基固废浆体矿化封存CO<sub>2</sub>气体的连续反应装置,其特征在于,直板叶片(4-3)直径d以及涡轮搅拌器(4)转速N确定方法如下:

根据直板叶片排出的旋转流体流量阈值Q<sub>d\*</sub>以及总环流流量阈值Q<sub>c\*</sub>,使得如下式子成立:

$$Q_d = N_{qd} \cdot Nd^3 \geq Q_{d*}$$

$$Q_c = N_{qc} \cdot Nd^3 \geq Q_{c*}$$

其中,Q<sub>d</sub>为直板叶片排出的旋转流体流量,Q<sub>1</sub>为被排出的旋转流体带动环流的流体流量,Q<sub>c</sub>=Q<sub>d</sub>+Q<sub>1</sub>,N<sub>qd</sub>为直板叶片排出流量系数,N<sub>qc</sub>为总环流流量系数。

6. 根据权利要求1所述的煤基固废浆体矿化封存CO<sub>2</sub>气体的连续反应装置,其特征在于,螺旋叶片(12)的升角计算公式为:

$$\lambda_m = \arctan \frac{s_{导程}}{\pi d_{螺径}}$$

其中： $\lambda_m$ 代表螺旋叶片升角；

$s_{\text{导程}}$ 代表螺旋叶片(12)之间的距离；

$d_{\text{螺旋}}$ 代表螺旋搅拌器螺旋叶片直径的大小；

将搅拌器导程 $s_{\text{导程}}=35\text{cm}$ , $d_{\text{螺旋}}=76\text{cm}$ 代入上式可得,搅拌器叶片螺旋升角 $\lambda_m=8.4^\circ$ 。

7.根据权利要求1所述的煤基固废浆体矿化封存 $\text{CO}_2$ 气体的连续反应装置,其特征在于,螺旋叶片(12)螺线方程为:

$$x=a \cdot \cos \theta$$

$$y=a \cdot \sin \theta$$

$$z=\pm b \cdot \theta=\pm h \cdot \theta/(2\pi)=\pm a \cdot \theta \cot \beta$$

式中, $x$ 、 $y$ 、 $z$ 为螺线在三个坐标轴方向上的坐标值, $\theta=\omega t$ , $\omega$ 为角速度, $h$ 称为螺距, $a$ 、 $b$ 为螺旋线的轨迹参数, $\beta$ 称为螺旋角,式中对右螺旋线取正号,对左螺旋线取负号。

8.根据权利要求1所述的煤基固废浆体矿化封存 $\text{CO}_2$ 气体的连续反应装置,其特征在于,搅拌轴(11)的运行功率 $P$ 计算如下:

$$P=\frac{N_{\text{轴}} \cdot T}{9740 \cdot \eta}=\frac{G \cdot D \cdot N_{\text{轴}} \cdot \tan (\rho+\lambda_m)}{9740 \eta}$$

其中: $P$ 代表搅拌器的运行功率,单位:kw;

$T$ 代表搅拌轴旋转力矩,单位:Nm;

$G$ 代表介质的自身重量,单位:N;

$D$ 代表螺旋搅拌器的中径,单位:m;

$N_{\text{轴}}$ 代表搅拌器的转速,单位:r/min;

$\eta$ 代表搅拌器的传动效率;

$\lambda_m$ 代表螺旋叶片升角,单位:度;

$\rho$ 代表介质球与螺旋叶片的摩擦角, $\rho=\arctan \mu$ ;

$\mu$ 代表介质与叶片之间的摩擦系数。

## 一种煤基固废浆体矿化封存CO<sub>2</sub>气体的连续反应装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及煤基固废浆体矿化封存技术领域,具体涉及一种煤基固废浆体矿化封存CO<sub>2</sub>气体的连续反应装置。

### 背景技术

[0002] 温室效应引起的全球变暖已经影响到人类的生存和发展,CO<sub>2</sub>减排刻不容缓。二氧化碳捕集、利用和封存(CCUS)技术是现阶段实现大幅度CO<sub>2</sub>减排的必要手段。CCUS技术主要包括CO<sub>2</sub>捕集、CO<sub>2</sub>运输、CO<sub>2</sub>封存和利用,其中CO<sub>2</sub>封存主要是为了实现CO<sub>2</sub>与大气的永续隔离。粉煤灰、煤矸石等煤基固废浆体,常被作为煤矿井下的堵漏材料,其中富含的钙镁离子可作为封存二氧化碳的理想原材料,且矿化封存CO<sub>2</sub>后可一定程度增强浆体固化后的强度。因此,将CO<sub>2</sub>封存在堵漏浆体中,灌注至在煤矿井下煤柱或巷道裂隙中,将成为一种封存利用CO<sub>2</sub>的绿色环保新方向。

[0003] 由于煤矿井下瓦斯遇电火花易燃易爆,而一般防爆装置的成本较高,且难以维护。静态反应器是一种能够实现两种或两种以上流体连续混合或反应的管式混合装置。静态反应器没有运动构件,而是利用流体自身的运动,在混合元件的作用下实现流体的混合,因此不存在电火花,将其应用于煤矿井下十分安全可靠。目前,大部分矿化封存装置采用电机机械搅拌的反应釜装置,并未考虑防爆性能,煤矿现场还没有专门的固废浆体与气体静态混合装置,因此利用静态反应器将CO<sub>2</sub>与浆体混合封存有很广阔的应用前景。

[0004] 专利CN201848207U、CN205328631U分别采用不锈钢波纹填料和鲍尔环填料以达到反气液充分混合和反应,但都存在混合方式单一,反应不够充分等缺点,特别是将其运用于气体与浆体反应时,浆体中的固相颗粒容易滞留在填料上,浆体质量与混合效果大大下降;其次反应中的气相原料与其他原料接触方式单一,仅仅通过进气管路通入,接触面积较小,且气泡可能难以深入内部。

### 发明内容

[0005] 针对上述现有技术存在的问题,本发明提供一种煤基固废浆体矿化封存CO<sub>2</sub>气体的连续反应装置,节能环保,安全性高,气体深入浆体内部,反应充分,不挂料且不堵气孔。

[0006] 为了实现上述技术目的,本发明采用如下技术方案:

[0007] 一种煤基固废浆体矿化封存CO<sub>2</sub>气体的连续反应装置,包括壳体,壳体内部从上到下依次为涡轮搅拌段、流化式混合段、螺旋反应段;

[0008] 涡轮搅拌段上端设有浆体入口,螺旋反应段右端设有出料口,

[0009] 浆体入口下端设有折流板,折流板下端从上到下依次设有若干水平方向上成对布置的涡轮搅拌器;

[0010] 流化式混合段外侧设有外气管、气体入口,

[0011] 流化式混合段内设有内气管、若干第一中空半圆波纹板、若干第二中空半圆波纹板,气体入口与外气管连通,内气管与外气管底部连通,外气管与第二中空半圆波纹板连

通;内气管与第一中空半圆波纹板连通;

[0012] 螺旋反应段设有螺旋搅拌器,螺旋搅拌器包括气动马达驱动的搅拌轴,搅拌轴上均匀焊接有螺旋叶片。

[0013] 与现有技术相比,本发明的有益效果:

[0014] 1、本发明节能环保,绿色高效,不产生静电火花,适用于煤矿井下作业。结构呈L型,采用分段式混合与搅拌,使CO<sub>2</sub>与浆体充分混合与反应。上端浆体入口可直接与进浆管路法兰连接,气体由侧面进气口通入内外气管,之后再分散到各个中空半圆波纹板中,通过波纹板底部密布的微气孔进入并散布在反应腔内部。下端出料口可直接出料或与输浆管路相连输送反应浆体,形成一套连续混合进出料系统。

[0015] 2、本发明上端浆体入口进浆后,首先进入涡轮搅拌段。浆体被折流板汇聚,冲击涡轮搅拌器一侧叶片,带动直板叶片转动,与此同时下部波纹板通入的气体上浮,与浆体混合,气体与浆体被直板叶片切割的同时,浆体会带动直板叶片转动搅拌,将流动浆体的动能与浆体的重力势能转化为涡轮搅拌器转动的机械能,使气体与浆体充分混合搅拌。浆体连续冲击直板叶片,被叶片带动旋转,当具有惯性的流体流动过程中遇到障碍物或弯曲处时,流速发生改变,进而带动周围流体形成涡旋。由于相邻两涡轮呈对称布置,且直板叶片的布置方向相反,因而形成旋转方向相反的流场,加剧气浆的挤压与碰撞。

[0016] 3、本发明气浆由涡轮搅拌段下落至流化式混合段后,浆体动能被大大消耗,落至中空半圆波纹板上,浆体呈流化式分布,浆体沿着中空半圆波纹板向下流动的同时,又沿着两个半圆截面凸起之间的缝隙流动,与此同时气体也由波纹板下部气孔流出,大大增加了气体与浆液的接触面积与接触时间。

[0017] 4、本发明中浆体流过在纵向交错设置的第一中空半圆波纹板、第二中空半圆波纹板,浆体被波纹板不断分流与汇合,改变流向的同时依次向下折流。浆体流动的同时被波纹板下表面的气孔喷出的气体挤压与切割,从而形成浆液与浆液、浆液与气体的不断挤压碰撞,促进气体在浆液中的溶解,加速气体与浆液的混合与反应。

[0018] 5、本发明中气体深入浆体内部,不断穿插交错,与浆体的混合与反应。并且考虑到浆体的黏附性,波纹板表面光滑也斜向下设置,浆液与浆体中的固相颗粒不会截留在波纹板表面。微小气孔均匀布置在波纹板的下表面,且气孔中喷射高压气体,固相颗粒不会由气孔进入中空波纹板内部。

[0019] 6、本发明中螺旋反应段,由气动马达带动搅拌轴转动,从而带动连接在轴上的螺旋叶片转动,节能环保,不产生电火花。为弥补流化混合段中气浆反应不够充分,仅产生大量夹杂气体浆液的情况,设置了螺旋反应段。增加了物料的紊乱运动,使原料更加充分反应,同时螺旋叶片能够充分地将被混合物料互相搅拌和折叠并螺旋推进输送至出料口。且在面对反应缓慢的物料时,可将所有进、出料口关闭,使物料在螺旋反应段搅拌至充分反应后输出物料。

## 附图说明

[0020] 为了更清楚的说明本发明实施例或现有技术的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图做简单的介绍,显而易见的,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域中的普通技术人员来说,在不付出创造性劳动的前提下,还可

根据这些附图获得其他附图。

[0021] 图1为本发明结构示意图；

[0022] 图2为中空半圆柱波纹板结构示意图；

[0023] 图3为中空半圆柱波纹板底部结构示意图；

[0024] 图4为涡轮搅拌器结构示意图。

[0025] 图中：1、浆体入口；2、壳体；3、折流板；4、涡轮搅拌器；4-1、实心轴；4-2、滚动轴承；4-3、直板叶片；5、第一中空半圆波纹板；6、第二中空半圆波纹板；7、进气口；8、外气管；8-1、第一外气管；8-2、第二外气管；8-3、支管；9、内气管；10、气动马达；11、搅拌轴；12、螺旋叶片；13、前端轴承；14、后端轴承；15、支撑臂；16、出料口；17、半圆截面凸起；18、微气孔；20：涡轮搅拌段；21、流化式混合段；22、螺旋反应段。

## 具体实施方式

[0026] 以下结合附图对本发明的具体实施方式作进一步地说明。

[0027] 如图1-4所示，一种煤基固废浆体矿化封存CO<sub>2</sub>气体的连续反应装置，包括壳体2，壳体2内部从上到下依次为涡轮搅拌段20、流化式混合段21、螺旋反应段22；涡轮搅拌段20上端设有浆体入口1，螺旋反应段22右端设有出料口16，浆体入口1下端设有折流板3，折流板3下端从上到下依次设有若干水平方向上成对布置的涡轮搅拌器4；涡轮搅拌段20还包括实心轴4-1、滚动轴承4-2，实心轴4-1垂直固定于壳体2上，涡轮搅拌器4通过滚动轴承4-2与实心轴4-1连接，涡轮搅拌器4上均布有若干直板叶片4-3。直板叶片4-3直径d以及涡轮搅拌器4转速N确定方法如下：

[0028] 根据直板叶片排出的旋转流体流量阈值 $Q_{d*}$ 以及总环流流量阈值 $Q_{c*}$ ，使得如下式子成立：

$$[0029] \quad Q_d = N_{qd} \cdot Nd^3 \geq Q_{d*}$$

$$[0030] \quad Q_c = N_{qc} \cdot Nd^3 \geq Q_{c*}$$

[0031] 其中， $Q_d$ 为直板叶片排出的旋转流体流量， $Q_1$ 为被排出的旋转流体带动环流的流体流量， $Q_c = Q_d + Q_1$ ， $N_{qd}$ 为直板叶片排出流量系数， $N_{qc}$ 为总环流流量系数。

[0032] 流化式混合段21外侧设有外气管8、气体入口7，流化式混合段21内设有内气管9、若干第一中空半圆波纹板5、若干第二中空半圆波纹板6，气体入口7与外气管8连通，内气管9与外气管8底部连通，外气管8与第二中空半圆波纹板6连通；内气管9与第一中空半圆波纹板5连通；外气管8包括关于内气管9左右对称设置的第一外气管8-1、第二外气管8-2，内气管9、第一外气管8-1、第二外气管8-2均竖直设置且底部连通，气体入口7与第一外气管8-1连通，外气管8竖直方向上均布若干支管8-3，支管8-3贯穿壳体2并与第二中空半圆波纹板6连通；内气管9竖直方向上均布若干第一中空半圆波纹板5，第一中空半圆波纹板5关于内气管9左右对称设置，且第一中空半圆波纹板5、第二中空半圆波纹板6纵向交错设置，第一中空半圆波纹板5、第二中空半圆波纹板6与竖直方向的夹角为60°-80°斜向下设置，第一中空半圆波纹板5、第二中空半圆波纹板6下表面设有微气孔18，上表面设有半圆截面凸起17。

[0033] 螺旋反应段22设有螺旋搅拌器，螺旋搅拌器包括气动马达10驱动的搅拌轴11，搅拌轴11上均匀焊接有螺旋叶片12。搅拌轴11前端与前端轴承13相连接，后端与后端轴承14连接，前端轴承13固定在壳体2上，后端轴承14通过支撑臂15连接在壳体2上。螺旋叶片12的

升角计算公式为：

$$[0034] \quad \lambda_m = \arctan \frac{s_{\text{导程}}}{\pi d_{\text{螺旋径}}}$$

[0035] 其中： $\lambda_m$  代表螺旋叶片升角；

[0036]  $s_{\text{导程}}$  代表螺旋叶片12之间的距离；

[0037]  $d_{\text{螺旋径}}$  代表螺旋搅拌器螺旋叶片直径的大小；

[0038] 将搅拌器导程  $s_{\text{导程}} = 35\text{cm}$ ,  $d_{\text{螺旋径}} = 76\text{cm}$  代入上式可得，搅拌器叶片螺旋升角  $\lambda_m = 8.4^\circ$ 。

[0039] 螺旋叶片12螺线方程为：

$$[0040] \quad x = a \cdot \cos \theta$$

$$[0041] \quad y = a \cdot \sin \theta$$

$$[0042] \quad z = \pm b \cdot \theta = \pm h \cdot \theta / (2\pi) = \pm a \cdot \theta \cot \beta$$

[0043] 式中， $x$ 、 $y$ 、 $z$  为螺线在三个坐标轴方向上的坐标值， $\theta = \omega t$ ， $\omega$  为角速度， $h$  称为螺距， $a$ 、 $b$  为螺旋线的轨迹参数， $\beta$  称为螺旋角，式中对右螺旋线取正号，对左螺旋线取负号。

[0044] 搅拌轴11的运行功率  $P$  计算如下：

$$[0045] \quad P = \frac{N_{\text{轴}} \cdot T}{9740 \cdot \eta} = \frac{G \cdot D \cdot N_{\text{轴}} \cdot \tan(\rho + \lambda_m)}{9740 \eta}$$

[0046] 其中： $P$  代表搅拌器的运行功率，单位： $\text{kw}$ ；

[0047]  $T$  代表搅拌轴旋转力矩，单位： $\text{Nm}$ ；

[0048]  $G$  代表介质的自身重量，单位： $\text{N}$ ；

[0049]  $D$  代表螺旋搅拌器的中径，单位： $\text{m}$ ；

[0050]  $N_{\text{轴}}$  代表搅拌器的转速，单位： $\text{r/min}$ ；

[0051]  $\eta$  代表搅拌器的传动效率；

[0052]  $\lambda_m$  代表螺旋叶片升角，单位：度；

[0053]  $\rho$  代表介质球与螺旋叶片的摩擦角， $\rho = \arctan \mu$ ；

[0054]  $\mu$  代表介质与叶片之间的摩擦系数。

[0055] 以上所述为本发明的部分优选实施方式，应当指出，在本技术领域内，不脱离本发明实际原理方法的前提下，可进行适当修改或调整，这些修改和调整也应视为本发明的保护范围之内。

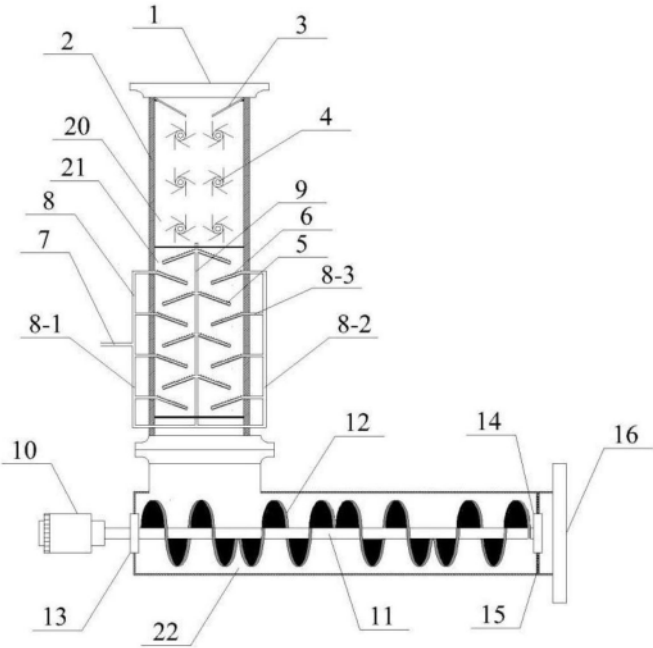


图1

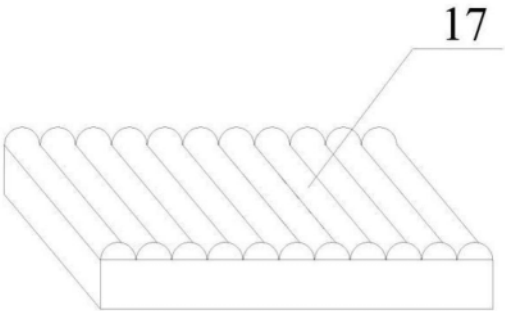


图2

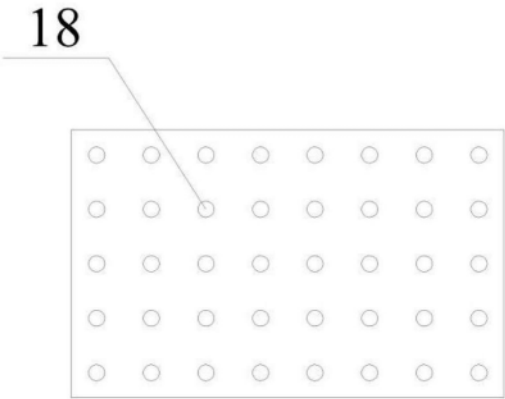


图3



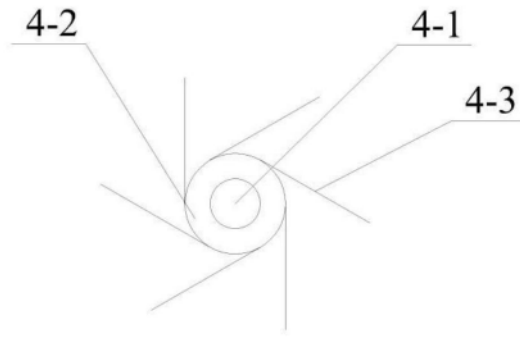


图4