



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118565758 A

(43) 申请公布日 2024. 08. 30

(21) 申请号 202411053131.6

(22) 申请日 2024.08.02

(71) 申请人 中国科学院地质与地球物理研究所

地址 100029 北京市朝阳区北土城西路19号

申请人 中国科学院力学研究所

(72) 发明人 何雨暘 范学军 曾杜娟 樊川

吴坤

(74) 专利代理机构 北京中知星原知识产权代理

事务所(普通合伙) 11868

专利代理师 王维佳 赵欣

(51) Int. Cl.

G01M 9/04 (2006.01)

G01M 9/06 (2006.01)

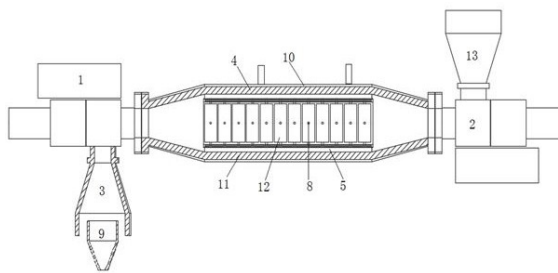
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种高空飞行大气采样器及稀薄气体风洞实验系统

(57) 摘要

本发明涉及一种高空飞行大气采样器及稀薄气体风洞实验系统,所述大气采样器包括依次连接的汇聚缓冲气流仓、第一角阀、双层冷却真空腔、第二角阀和扩散气流仓,第一角阀的进气端与出气端呈90度夹角,第二角阀的进气端与出气端也呈90度夹角,用于改变采气装置内的气体流向;汇聚缓冲气流仓连接第一角阀的进气端;汇聚缓冲气流仓的入口处设置上大下小的进气锥体,用于打破高速飞行时产生的激波,提高进气效率;双层冷却真空腔的内层腔体设置吸附填料,用于吸附气体,外层腔体用于通入液氮,提高吸附填料的吸附效率。



1. 一种高空飞行大气采样器,其特征在於,包括依次连接的汇聚缓冲气流仓、第一角阀、双层冷却真空腔、第二角阀和扩散气流仓,第一角阀的进气端与出气端呈90度夹角,第二角阀的进气端与出气端也呈90度夹角,用于改变采气装置内的气体流向;

汇聚缓冲气流仓连接第一角阀的进气端;汇聚缓冲气流仓的入口处设置上大下小的进气锥体,用于打破高速飞行时产生的激波,提高进气效率;

双层冷却真空腔的内层腔体设置吸附填料,用于吸附气体,外层腔体用于通入液氮,提高吸附填料的吸附效率。

2. 根据权利要求1所述的一种高空飞行大气采样器,其特征在於,所述汇聚缓冲气流仓的底部具有上小下大的锥形开口,所述扩散气流仓的顶部具有上大下小的锥形开口。

3. 根据权利要求1所述的一种高空飞行大气采样器,其特征在於,所述双层冷却真空腔的内层腔体为填料筒,填料筒中空且为圆柱形,填料筒内部设有若干个吸附盘,若干个吸附盘沿着填料筒的轴向方向均匀设置;

吸附盘为扁平的圆柱形,吸附盘为中空的网笼,且内部装填固体吸附填料;每个吸附盘配有一根中心轴杆,中心轴杆经过吸附盘中部的圆心,且两端固定在填料筒的内壁上,中心轴杆转动连接吸附盘,使得吸附盘能随着双层冷却真空腔的倾斜而转动调整吸附盘的姿态。

4. 根据权利要求3所述的一种高空飞行大气采样器,其特征在於,所述吸附盘的外侧壁面对称设置两根柔性的限位绳,限位绳连接填料筒内壁,使得气体冲击吸附盘时,吸附盘不会发生大角度转动;两根限位绳之间的连线垂直于中心轴杆;

上下相邻的吸附盘之间有缝隙。

5. 根据权利要求4所述的一种高空飞行大气采样器,其特征在於,所述填料筒的内壁上覆盖有一层网壁,网壁与填料筒内壁之间装填固体吸附填料,形成吸附内层,吸附内层的厚度不影响吸附盘的转动。

6. 根据权利要求5所述的一种高空飞行大气采样器,其特征在於,所述吸附盘的外侧壁面设有至少一圈整流部,整流部呈波浪线形,整流部由一层密集的柔性毛刷组成,毛刷根部固定在吸附盘的外侧壁上,毛刷尖端向吸附内层方向伸出,用于阻挡、整流从吸附盘与网壁之间空隙逃逸的气体;

吸附盘转动时,毛刷尖端都能接触到所述网壁。

7. 根据权利要求1所述的一种高空飞行大气采样器,其特征在於,所述双层冷却真空腔的外层腔体为冷却腔,冷却腔设有输入口和输出口,用于输入、输出液氮,为填料筒提供低温环境;

双层冷却真空腔的外侧设置加热装置,用于为双层冷却真空腔加热,促进吸附填料吸附的气体解吸;

所述填料筒的下游端设有排气口,用于排出吸附填料解吸下来的气体样品。

8. 一种稀薄气体风洞实验系统,其特征在於,包括权利要求7所述的一种高空飞行大气采样器,所述实验系统还包括风洞以及风洞外部的液氮储罐、电源、分子泵、全量程真空规、薄膜规、真空计控制器、继电器和气体样品收集,所述大气采样器设置在稀薄气体风洞内,风洞一端设有抽气口,抽气口连接抽真空泵,用于降低风洞内的气压,模拟高空气压环境;风洞的另一端设有喷气口,喷气口连接外部的供气装置,为风洞供气,所述大气采样器的汇

聚缓冲气流仓对应喷气口,以模拟高层大气环境中的高速飞行过程;

所述冷却腔的输入口通过管路穿过风洞舱体连接液氮储罐,所述加热装置通过电线连接外部的电源,第一角阀和第二角阀通过电线连接外部的电源,为电磁角阀供电,通过继电器开关角阀,以精确控制采样时间;

所述排气口通过波纹管依次连接分子泵、全量程真空规、薄膜规、真空计控制器、和气体样品收集,将吸附填料解吸下来的气体样品排入气体样品收集罐中。

## 一种高空飞行大气采样器及稀薄气体风洞实验系统

### 技术领域

[0001] 本发明属于大气采样实验装置技术领域,具体涉及一种高空飞行大气采样器及稀薄气体风洞实验系统。

### 背景技术

[0002] 地球中层大气是从对流层顶(约10-16 km处)延伸到中间层顶(约85-110 km)的大气层。中层大气处于高能粒子及强辐射环境中,太阳和宇宙射线会强烈影响并改变中气层大气组成。对其成分的研究,对研究地球宜居性、飞行器高空飞行性能等方面有重要意义。当前研究面临着对中层大气环境认知不足,不能有效支撑对临近空间的开发与利用。研究中层大气需要直接采集高空气体,再带回地面研究。然而,高度40-70km的大气气压低,气温低,大气密度低。采样器只能依赖探空火箭搭载。若采取飞行器悬停采样,飞行器燃料燃烧排出的尾气将污染采样器周围的空气。因此,可用的方案是飞行器与采样器分离,探空火箭升空至指定高度后,抛出采样器。采样器将以自由落体的方式降落,并在降落过程中收集样品,采样器降落速度快、采样时间短。而且存在采样器的内外压差很小、气体进入采样器的动力较小的问题。由于技术限制,目前还没有可用于高速飞行过程的高空气体采样器。同时,采样器在高空飞行时,姿态难以维持稳定,会出现竖直、倾斜、水平等不同姿态,当前还缺乏对于采样器处于不稳定状态下的采样效率的研究。

### 发明内容

[0003] 针对上述问题,本发明提供一种高空飞行大气采样器及稀薄气体风洞实验系统,所述大气采样器包括依次连接的汇聚缓冲气流仓、第一角阀、双层冷却真空腔、第二角阀和扩散气流仓,第一角阀的进气端与出气端呈90度夹角,第二角阀的进气端与出气端也呈90度夹角,用于改变采气装置内的气体流向;

汇聚缓冲气流仓连接第一角阀的进气端;汇聚缓冲气流仓的入口处设置上大下小的进气锥体,用于打破高速飞行时产生的激波,提高进气效率;

双层冷却真空腔的内层腔体设置吸附填料,用于吸附气体,外层腔体用于通入液氮,提高吸附填料的吸附效率。

[0004] 可选的,所述汇聚缓冲气流仓的底部具有上小下大的锥形开口,所述扩散气流仓的顶部具有上大下小的锥形开口。

[0005] 可选的,所述双层冷却真空腔的内层腔体为填料筒,填料筒中空且为圆柱形,填料筒内部设有若干个吸附盘,若干个吸附盘沿着填料筒的轴向方向均匀设置;

吸附盘为扁平的圆柱形,吸附盘为中空网笼,且内部装填固体吸附填料;每个吸附盘配有一根中心轴杆,中心轴杆经过吸附盘中部的圆心,且两端固定在填料筒的内壁上,中心轴杆转动连接吸附盘,使得吸附盘能随着双层冷却真空腔的倾斜而转动调整吸附盘的姿态。

[0006] 进一步可选的,所述吸附盘的外侧壁面对称设置两根柔性的限位绳,限位绳连接

填料筒内壁,使得气体冲击吸附盘时,吸附盘不会发生大角度转动;两根限位绳之间的连线垂直于中心轴杆;

上下相邻的吸附盘之间有缝隙。

[0007] 进一步可选的,所述填料筒的内壁上覆盖有一层网壁,网壁与填料筒内壁之间装填固体吸附填料,形成吸附内层,吸附内层的厚度不影响吸附盘的转动。限位绳和中心轴杆穿过吸附内层后,再连接填料筒内壁。

[0008] 进一步可选的,所述吸附盘的外侧壁面设有至少一圈整流部,整流部呈波浪线形,整流部由一层密集的柔性毛刷组成,毛刷根部固定在吸附盘的外侧壁上,毛刷尖端向吸附内层方向伸出,用于阻挡、整流从吸附盘与网壁之间空隙逃逸的气体;

吸附盘转动时,毛刷尖端都能接触到所述网壁,使得毛刷阻挡从缝隙处逃逸的气体。

[0009] 可选的,所述双层冷却真空腔的外层腔体为冷却腔,冷却腔设有输入口和输出口,用于输入、输出液氮,为填料筒提供低温环境;

双层冷却真空腔的外侧设置加热装置,用于为双层冷却真空腔加热,促进吸附填料吸附的气体解吸;

所述填料筒的下游端设有排气口,用于排出吸附填料解吸下来的气体样品。

[0010] 所述稀薄气体风洞实验系统包括所述大气采样器、风洞以及风洞外部的液氮储罐、电源、分子泵、全量程真空规、薄膜规、真空计控制器、继电器和气体样品收集,所述大气采样器设置在稀薄气体风洞内,风洞一端设有抽气口,抽气口连接抽真空泵,用于降低风洞内的气压,模拟高空气压环境;风洞的另一端设有喷气口,喷气口连接外部的供气装置,为风洞供气,所述大气采样器的汇聚缓冲气流仓对应喷气口,以模拟高层大气环境中的高速飞行过程;

所述冷却腔的输入口通过管路穿过风洞舱体连接液氮储罐,所述加热装置通过电线连接外部的电源,第一角阀和第二角阀通过电线连接外部的电源,为电磁角阀供电,通过继电器开关角阀,以精确控制采样时间,模拟不同分辨率的剖面采样;

所述排气口通过波纹管依次连接分子泵、全量程真空规、薄膜规、真空计控制器、和气体样品收集,将吸附填料解吸下来的气体样品排入气体样品收集罐中。

## 附图说明

[0011] 图1为所述高空飞行大气采样器的结构示意图;

图2为填料筒的横截面示意图;

图3为填料筒的整流部的示意图;

图4为填料筒的剖面示意图。

[0012] 附图中,1-第一角阀,2-第二角阀,3-汇聚缓冲气流仓,4-双层冷却真空腔,5-吸附内层,6-整流部,7-限位绳,8-中心轴杆,9-进气锥体,10-冷却腔,11-填料筒,12-吸附盘,13-扩散气流仓。

## 具体实施方式

[0013] 本实施例提供一种高空飞行大气采样器,如图1-图4所示,包括依次连接的汇聚缓

冲气流仓3、第一角阀1、双层冷却真空腔4、第二角阀2和扩散气流仓13,第一角阀的进气端与出气端呈90度夹角,第二角阀的进气端与出气端也呈90度夹角,用于改变采气装置内的气体流向;

汇聚缓冲气流仓3连接第一角阀1的进气端;汇聚缓冲气流仓的入口处设置上大下小的进气锥体9,用于打破高速飞行时产生的激波,提高进气效率;

双层冷却真空腔4的内层腔体设置吸附填料,用于吸附气体,外层腔体用于通入液氮,提高吸附填料的吸附效率。

[0014] 本发明所述的大气采样器在双层冷却真空腔4的两端连接两个角阀(电磁角阀),角阀的密封性能满足稀薄大气采样器的密封要求。角阀的进气端与出气端都成90度夹角,使得汇聚缓冲气流仓3、扩散气流仓13都与双层冷却真空腔4呈90度夹角,改变了气体流向,延长了气体在双层冷却真空腔4内的停留时间。汇聚缓冲气流仓向下,扩散气流仓13向上,另大气采样器可以模拟倾斜飞行姿态,尤其是双层冷却真空腔4呈倾斜飞行姿态,便于研究大气采样器倾斜时的工作过程。汇聚缓冲气流仓的底部入口处设置进气锥体9,避免外部气体形成超声速气流时在该入口处形成弓形激波,汇聚缓冲气流仓通过结构设计,使高速气体压缩进入进气喉道,提高了进气效率。

[0015] 可选的,所述汇聚缓冲气流仓的底部具有上小下大的锥形开口,所述扩散气流仓13的顶部具有上大下小的锥形开口。

[0016] 所述大气采样器的上下两头开口的结构,保证搜集器内能够形成流场,保证持续进气;角阀为电磁控制形式,能够精确控制采样时间,以实现不同分辨率的剖面采样。

[0017] 可选的,所述双层冷却真空腔4的内层腔体为填料筒11,填料筒11中空且为圆柱形,填料筒11内部设有若干个吸附盘12,若干个吸附盘沿着填料筒11的轴向方向均匀设置;

吸附盘12为扁平的圆柱形,吸附盘为中空的网笼,且内部装填固体吸附填料;每个吸附盘12配有一根中心轴杆8,中心轴杆8经过吸附盘中部的圆心,且两端固定在填料筒11的内壁上,中心轴杆8转动连接吸附盘12,使得吸附盘能随着双层冷却真空腔4的倾斜而转动调整吸附盘的姿态。所述固体吸附填料为常规气体吸附剂,例如分子筛。

[0018] 进一步可选的,所述吸附盘12的外侧壁面对称设置两根柔性的限位绳7,限位绳7连接填料筒11内壁,使得气体冲击吸附盘12时,吸附盘不会发生大角度转动,避免吸附盘转动过大后,气体不经吸附盘而从吸附盘外的缝隙逃逸;两根限位绳7之间的连线垂直于中心轴杆8;

上下相邻的吸附盘12之间有缝隙,缝隙很小并可自由调整,例如0.1cm,避免上下吸附盘12无缝隙叠擦而增大气体穿越的阻力。

[0019] 一根限位绳7的长度根据吸附盘12可转动的最大角度而定。

[0020] 进一步可选的,所述填料筒11的内壁上覆盖有一层网壁,网壁与填料筒11内壁之间装填固体吸附填料,形成吸附内层5,吸附内层5的厚度不影响吸附盘12的转动。限位绳7和中心轴杆8穿过吸附内层5后,再连接填料筒11内壁。

[0021] 进一步可选的,所述吸附盘12的外侧壁面设有至少一圈整流部6,整流部6呈波浪线形,整流部由一层密集的柔性毛刷组成,毛刷根部固定在吸附盘12的外侧壁上,毛刷尖端向吸附内层5方向伸出,用于阻挡、整流从吸附盘与网壁之间空隙逃逸的气体;

吸附盘转动时,毛刷尖端都能接触到所述网壁,使得毛刷阻挡从缝隙处逃逸的气

体。

[0022] 传统采样器的吸附部分是整体装填固体吸附填料,或者是用中空管材装填吸附填料,前者会增大整体吸附部分的阻力,气流还容易在填料内部冲击形成沟流或死区;后者会在相邻的管材之间留有空隙通道,导致气体优先从该空隙通道通过,吸附填料的利用率降低。

[0023] 本发明在填料筒11内叠放若干个吸附盘,吸附盘内装满填料,避免吸附盘转动而使得填料堆积不均。吸附盘能围绕中心轴杆8转动,使得吸附盘始终处于水平状态,当所述大气采样器倾斜时,吸附盘转动,从吸附盘垂直于填料筒11内壁到吸附盘倾斜于填料筒11内壁,所有吸附盘依然水平,只是吸附盘的外侧边沿与所述网壁的间隙变大了。从汇聚缓冲气流仓3和第一角阀1输入的气体大部分穿过一层层吸附盘12,进行吸附,少量从吸附盘12的外侧边沿流过,这部分少量气体可以由所述吸附内层5进行吸附,最后极少量气体从吸附盘12外侧缝隙逃逸,然后由扩散气流仓13排出。整体填料筒11内,相邻吸附盘上下间的缝隙、吸附盘外侧与吸附内层5的缝隙,使得填料筒11内部不是实心的,大大降低了气体流动的阻力,促进气体流通。

[0024] 由于气体冲击吸附盘12,再加上所述大气采样器模拟下落时发生晃动,使得吸附盘12上下左右晃动,吸附盘由中心轴杆8和两根限位绳7定位,不会大幅度晃动。被采集的气体进入倾斜的填料筒11后,大部分穿过吸附盘,少部分气体冲击吸附盘靠上部分的边沿,使得该上部分继续上移,相对的下部分下移(即吸附盘略倾斜),下方的吸附盘上部分上移,触碰上方吸附盘的上部分,导致相邻吸附盘上部分之间的空隙减小,甚至挤压至无缝隙,该处的阻力增大,气体极易沿着相邻吸附盘之间的缝隙向下部分移动,这个移动过程中,气体被上下两侧的吸附剂吸附。当气体移至相邻吸附盘之间缝隙的下部分后,又会将上方吸附盘的下部分向上顶起,使得上方吸附盘的下部分上移并触碰再上方吸附盘的下部分,又导致上方两个吸附盘下部分之间的空隙减小,甚至挤压至无缝隙,该处的阻力增大,气体极易沿着上方两个吸附盘之间的缝隙向上部分移动,这个移动过程中,气体被上下两侧的吸附剂吸附。如此反复重复,直至气体上移至填料筒11顶部后排出。

[0025] 本发明的吸附盘的特殊的固定方式,能够巧妙利用气流冲击,在减少气流传输阻力的同时,使得气体在相邻的吸附盘之间来回移动,促进气体吸附,还有少量逃逸气体被所述整流部6阻挡,整流部6为波浪形,拦截气体后,能调整气流方向,继续被吸附盘12或吸附内层5吸附。本发明的吸附盘能够适应所述大气采样器不稳定时的姿态,保证良好的吸附效果。

[0026] 可选的,所述双层冷却真空腔的外层腔体为冷却腔10,冷却腔10设有输入口和输出口,用于输入、输出液氮,为填料筒11提供低温环境,模拟所述大气采样器处于高空时的低温环境;

双层冷却真空腔的外侧设置加热装置,用于为双层冷却真空腔加热,促进吸附填料吸附的气体解吸,从而能够排出;

所述填料筒的下游端设有排气口,用于排出吸附填料解吸下来的气体样品。

[0027] 加热装置可以是加热丝或加热片等,加热装置可以一直缠绕至排气口以及与排气口相连的气管。

[0028] 本发明提供的所述稀薄气体风洞实验系统包括所述大气采样器、风洞以及风洞外

部的液氮储罐、电源、分子泵、全量程真空规、薄膜规、真空计控制器、继电器和气体样品收集罐,所述大气采样器设置在稀薄气体风洞内,风洞一端设有抽气口,抽气口连接抽真空泵,用于降低风洞内的气压,模拟高空气压环境;风洞的另一端设有喷气口,喷气口连接外部的供气装置,为风洞供气,所述大气采样器的汇聚缓冲气流仓对应喷气口,以模拟高层大气环境中的高速飞行过程;

所述冷却腔的输入口通过管路穿过风洞舱体连接液氮储罐,输出口连接到气管延伸至风洞外部,用于排放氮气;所述加热装置通过电线连接外部的电源,第一角阀和第二角阀通过电线连接外部的电源,为电磁角阀供电,通过继电器开关角阀,以精确控制采样时间,模拟不同分辨率的剖面采样;

所述排气口通过波纹管依次连接分子泵、全量程真空规、薄膜规、真空计控制器、和气体样品收集,将吸附填料解吸下来的气体样品排入气体样品收集罐中。

[0029] 上述管路、电线和气管穿过风洞的壁面,再延伸到外部,连接对应的设备。

[0030] 可选的,所述气体样品收集罐的进口设有阀门,便于控制气体样品的进出;气体样品收集罐放置在冷阱中,冷阱内盛有液氮,用于形成低温环境(零下190°C-零下200°C),将填料桶中的气体转移至气体样品收集罐内。

[0031] 本发明在不打开风洞、不取出所述大气采样器的情况下,也能通过冷阱抽出填料筒采集的气体样品,再输入气体样品收集罐,便于存放气体样品,然后对采样效率进行实时测定,还能将气体样品收集罐中的气体样品进行专业分析检测。

[0032] 可选的,所述风洞内设有支撑架,用于支撑所述大气采样器保持倾斜姿态。



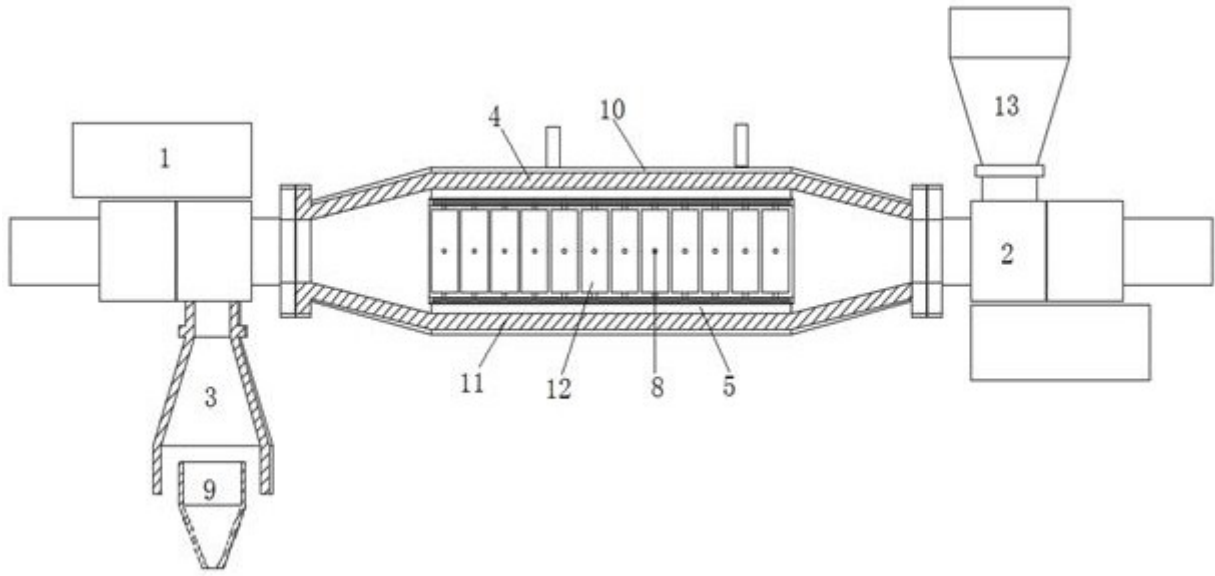


图1

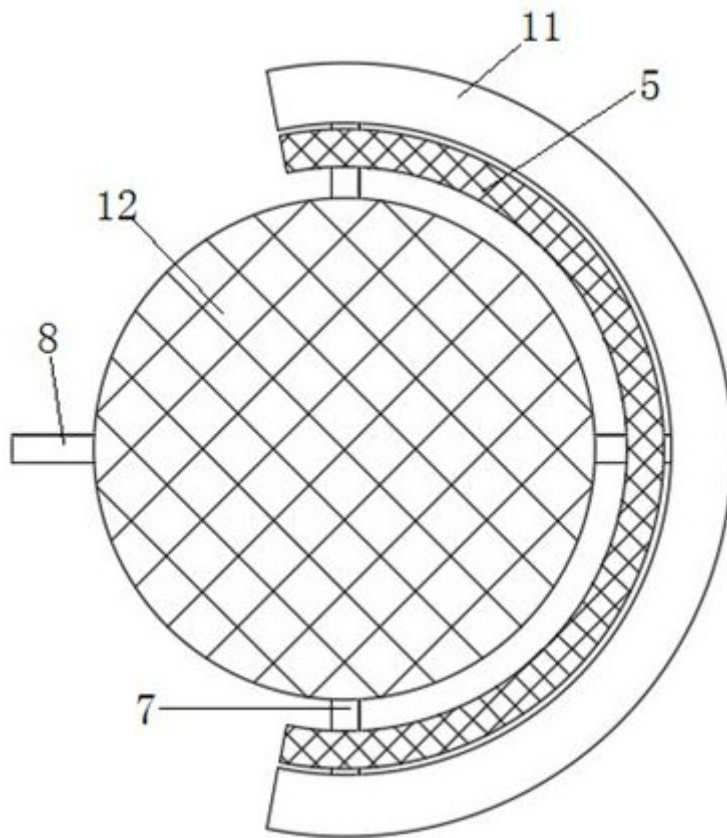


图2

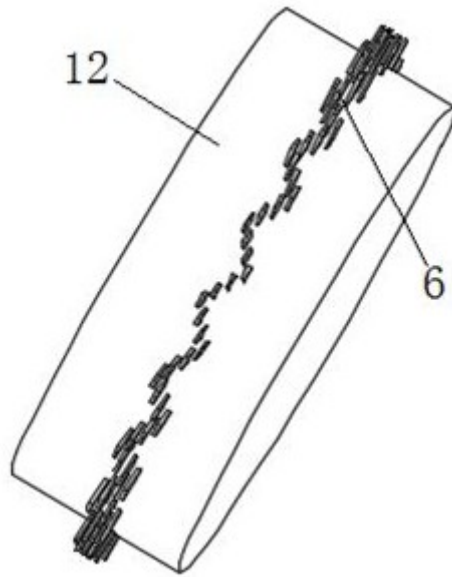


图3

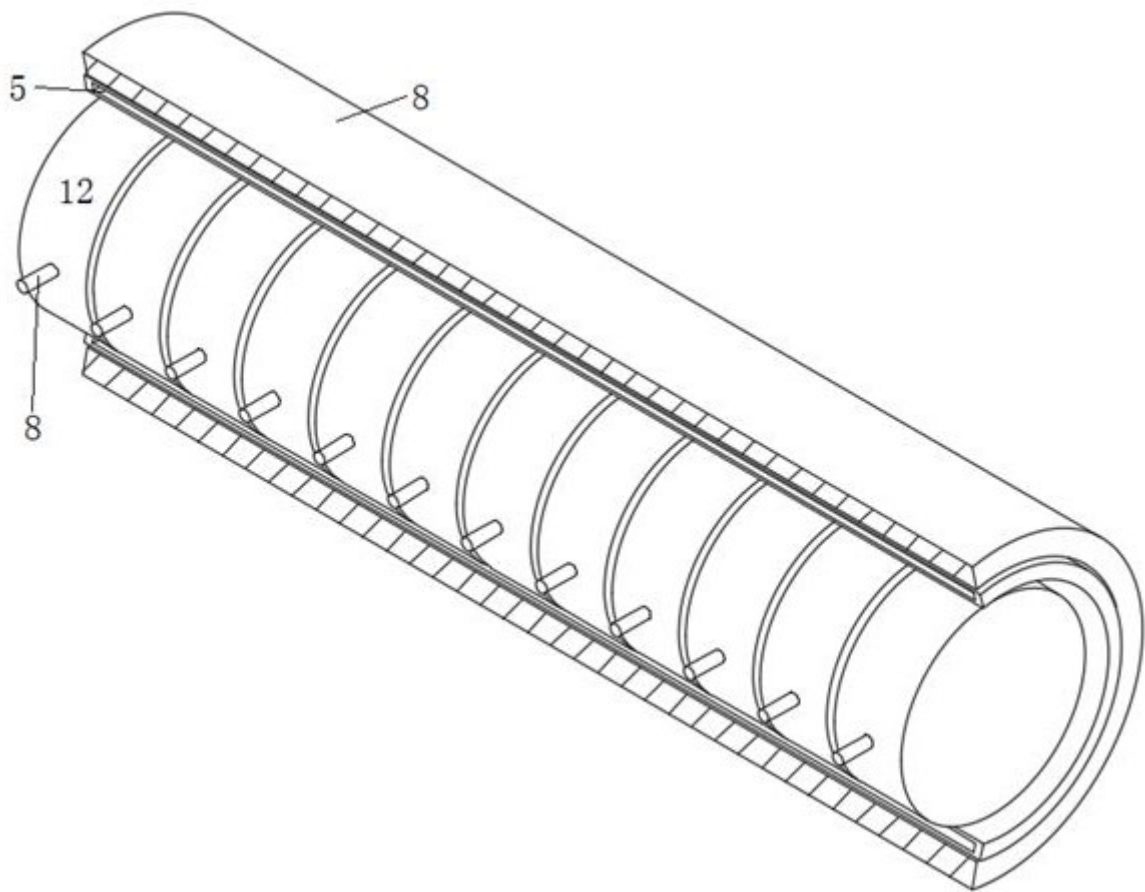


图4