



[12] 实用新型专利说明书

专利号 ZL 200820109445.3

[45] 授权公告日 2009年6月10日

[11] 授权公告号 CN 201253522Y

[22] 申请日 2008.7.25

[21] 申请号 200820109445.3

[73] 专利权人 中国人民解放军军事医学科学院微生物流行病学研究所

地址 100071 北京市丰台区东大街20号五所九室

共同专利权人 北京汇丰隆生物科技发展有限公司

[72] 发明人 鹿建春 刘毅 孙振海 刘强
李劲松 李娜 赵建军 王洁

[74] 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司
代理人 徐宁 关畅

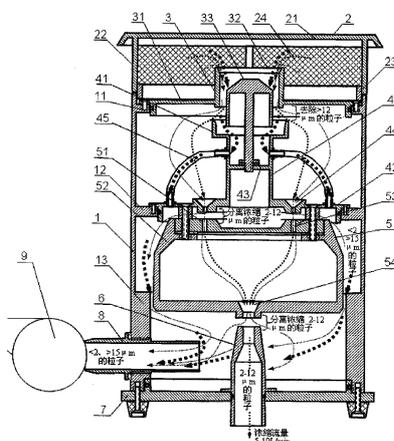
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

[54] 实用新型名称

一种气溶胶虚拟撞击浓缩分离器

[57] 摘要

本实用新型涉及一种气溶胶虚拟撞击浓缩分离器，其特征在于：它包括外筒，所述外筒下部一侧设置有一排气口和一连接在所述排气口排气端的抽气风机，所述外筒内自上而下设置有三级分离入口组件，所述一级组件包括一气溶胶进气口，其前端设置有一防雨阻虫纱网罩，其内部设置有一限流柱，且二者之间存在环形缝隙；所述二级组件包括大粒子收集口和二级分离入口板，所述大粒子收集口对应设置在所述气溶胶进气口的下方，所述二级分离入口板周向均匀开有若干二级喷口；所述三级组件包括一罐体，其连接在所述二级分离入口板的下方，所述罐体的底部开有三级喷口，所述三级喷口的下方设置有三级收集口。本实用新型利用气溶胶粒子的飞行惯性，采用虚拟撞击原理，将可能含有微生物的 $2\mu\text{m} - 12\mu\text{m}$ 可吸入粒子从大的气流中分离并浓缩至较小的气流中。



1、一种气溶胶虚拟撞击浓缩分离器，其特征在于：它包括外筒、防雨阻虫纱网罩、一级分离入口组件、大粒子接收与二级分离入口组件、二级出口与三级分离入口组件、三级收集口和底座；所述外筒的底部与所述底座密封固定，所述外筒下部一侧设置有一排气口和一连接在所述排气口排气端的抽气风机，所述外筒内周向分三级设置有三个内凸缘；

所述防雨阻虫纱网罩包括一防雨鼓形的圆盘盖，在所述圆盘盖底部设置有一段直筒，在所述直筒内设置有一内筒，所述直筒与所述内筒的周向对应开有多个通气窗，在所述直筒与所述内筒之间夹设有一阻虫纱网，所述防雨阻虫纱网罩插设在所述外筒顶部；

所述一级分离入口组件包括一密封固定在所述外筒的第一级内凸缘上的一级分离入口板，所述一级分离入口板上设置有一气溶胶进气口，所述气溶胶进气口的上端插入所述阻虫纱网中；所述气溶胶进气口内设置有一限流柱，所述限流柱与所述气溶胶进气口之间存在环形缝隙；

所述大粒子接收与二级分离入口组件包括一截面呈T字形的大粒子收集口和一与之一体的二级分离入口板，所述大粒子收集口对应设置在所述气溶胶进气口的下方，所述大粒子收集口内设置有一隔板，所述限流柱的下端固定在所述隔板上；所述二级分离入口板密封固定在所述外筒的第二级内凸缘上，所述二级分离入口板周向均匀设置有若干二级喷口；所述大粒子收集口与所述二级分离入口板上设置有若干条贯通的大粒子分流导管；

所述二级出口与三级分离入口组件包括二级分离出口板和三级分离入口罐，所述二级分离出口板先通过螺栓固定连接在所述二级分离入口板的下方，再通过所述螺栓固定连接在所述三级分离入口罐的上端，所述二级分离出口板周向设置有若干与所述二级喷口位置对应的圆柱形二级收集口；所述三级分离入口罐与所述外筒的第三级内凸缘之间存在一环形狭缝，所述三级分离入口罐的底部设置有一个三级喷口，所述三级收集口位置对应设置在所述三级喷口的下方，所述三级收集口底部贯通地固定在所述底座上。

2、如权利要求1所述的一种气溶胶虚拟撞击浓缩分离器，其特征在于：所述气溶胶进气口的内圆上端和所述限流柱的外圆上端分别为圆锥形。

3、如权利要求1所述的一种气溶胶虚拟撞击浓缩分离器，其特征在于：所述二级喷口为圆锥漏斗形，所述三级喷口为单级圆锥喷口。

4、如权利要求 2 所述的一种气溶胶虚拟撞击浓缩分离器，其特征在于：所述二级喷口为圆锥漏斗形，所述三级喷口为单级圆锥喷口。

5、如权利要求 1 或 2 或 3 或 4 所述的一种气溶胶虚拟撞击浓缩分离器，其特征在于：用斯托克斯数 S_t 的平方根代替粒子直径作为一个坐标来绘制粒子的采集效率曲线，并以所述采集效率曲线中 50%采集效率点处对应的 $\sqrt{S_t}$ 计算所述限流柱与所述气溶胶进气口之间的环形缝隙、二级喷口和三级喷口的半径 r ，所述斯托克斯数 S_t 定义为：

$$S_t = \frac{D_p^2 \rho_p C Q}{18 \pi \mu r^3}$$

其中 C 是滑移订正系数， μ 是流体的粘滞系数， D_p 是粒子直径， ρ_p 是粒子密度， r 是喷口半径， Q 是气流流量；

收集口直径 D_1 与喷口直径 D_0 之比 D_1/D_0 在 1.35 到 1.4 之间，其中 $D_0=2r$ ；

采集管入口顶端边缘抛光的曲率 R 与收集口直径 D_1 之比 R/D_1 在 0.18 到 0.24 之间；

喷口出口和采集口顶端之间的空隙 S 与喷口直径 D_0 之比 S/D_0 在 1.2 到 1.8 之间。

一种气溶胶虚拟撞击浓缩分离器

技术领域

本实用新型涉及一种分离器，特别是关于一种用于大气中生物气溶胶浓缩分离的气溶胶虚拟撞击浓缩分离器。

背景技术

自 2001 年美国邮政服务系统遭受炭疽攻击和 1995 年东京地铁系统遭受的沙林神经毒气攻击以来，各国对核生化恐怖袭击事件高度重视，已在城市敏感区域布设了大量的生化监测检测系统。实时监测潜在危险的空气传播粒子的报警系统不仅可以用于军队和社会防止大规模杀伤性武器的袭击，也可以用于平时核、生物和化学气溶胶的监测。气溶胶的粒径一般为 0.001-100 微米，50 微米以上的粒子由于重力沉降作用，很难进入人的呼吸道。大于 10-50 微米的粒子只能进入鼻咽部，5-10 微米的粒子可进入气管和支气管，0.5-5 微米的粒子可到达细支气管、肺深部和肺泡，是对人体危害最大的粒子。小于 0.5 微米的粒子进入人体后，一般会随着呼气的的作用而排出，不易在人体内沉积。大气中存在着各种各样的气溶胶粒子，成份复杂，既有无机粒子，也有有机粒子和生物粒子，大气中的气溶胶粒子绝大多数是尺寸比较小的非生物粒子，直径一般小于 1 微米，生物粒子的数量很少。在生物粒子实时监测过程中，如果将这些数量众多的非生物粒子一同采集进来进行检测，势必造成对仪器功能极大的浪费，耗费了大量的无用功，而使真正关心的生物粒子没有检测到。在有限的生物粒子中，有相当一部分是自然存在的个体尺寸较大的花粉、真菌和霉菌孢子，这些生物粒子随着季节和气象条件的变化，其种类、数量和浓度都会发生很大的变化，作为活的生命体，它们具有同致病微生物相同的光学特性及相似的生物学特征，严重干扰仪器对致病微生物的检测，因此，必须从检测气流中将其去除。病原微生物粒子虽然个体比较小，一般为 1 微米左右，甚至更小，细菌的直径一般为微米级，病毒的直径一般为亚微米级，但是它们在空气传播过程中会与其他粒子发生碰撞、吸附、凝并，形成较大的粒子。实验证明，空气中可传播的微生物粒子的直径一般在 2 微米以上，可对人体造成危害的是 10 微米以下的可吸入粒子。由于气溶胶施放方式危害面积大，传播距离远，作为生物战剂或生物恐怖剂的病原微生物一般为可通过空气传播和吸入感染的，具有较强存活力的强传染性病原体，感染剂量很小，一般为几百个—几万个颗粒，有的甚至只有 1 个或几十个就可以造成人或动物的感染或死亡。目前的检测仪器常因为生物粒子的浓度太低，取样

量太小,使本来应该检测到的粒子漏检,或者因为灵敏度较低无法识别,造成检测结果的错误。因此,进行生物气溶胶的检测,必须大量地采集空气样本,并进行高倍浓缩和分离可能含有生物粒子的可吸入粒子,才不致造成漏检或漏报警。

化学毒剂和放射性微粒探测器经过几代的改进已趋成熟,实用的生物学点检测系统是近几年刚刚出现的。生物学探测器面对的一个主要障碍是较低浓度的生物粒子就会引起严重的伤害。气溶胶浓缩分离技术可提高现有生物探测器可检测的环境样品中的最小水平和输出信号的可信度,以及相应的灵敏度。现有检测系统常用的浓缩比为100-1000倍。随着未来生物监测系统的敏感性的提高,可能会降低所需要的浓缩水平。然而,即使未来的检测系统通过气溶胶浓缩会提高检测灵敏度,从统计学上可接受的报警水平来看,生物战剂检测系统仍然需要小型、便携,可现场应用、高效率的气溶胶粒子浓缩装置。虚拟撞击技术广泛地应用于气溶胶粒子的浓缩。如图1所示,现有最常见的虚拟撞击结构是成对的、削去顶端的圆锥形加速喷口和接收口,在浓缩分离器的前级一般需要多组这种成对的加速喷口和接收口,多组成对加速喷口和接收口在空间分布上一般为圆周轴对称排列或平面排列,这种结构使得虚拟撞击浓缩分离器的加工难度大,体积和重量大,不便于小型化。

发明内容

针对上述问题,本实用新型的目的是提出一种收集效率高且结构简单的环形狭缝式气溶胶虚拟撞击浓缩分离器。

为实现上述目的,本实用新型采取以下技术方案:一种气溶胶虚拟撞击浓缩分离器,其特征在于:它包括外筒、防雨阻虫纱网罩、一级分离入口组件、大粒子接收与二级分离入口组件、二级出口与三级分离入口组件、三级收集口和底座;所述外筒的底部与所述底座密封固定,所述外筒下部一侧设置有一排气口和一连接在所述排气口排气端的抽气风机,所述外筒内周向分三级设置有三个内凸缘;所述防雨阻虫纱网罩包括一防雨鼓形的圆盘盖,在所述圆盘盖底部设置有一段直筒,在所述直筒内设置有一内筒,所述直筒与所述内筒的周向对应开有多个通气窗,在所述直筒与所述内筒之间夹设有一阻虫纱网,所述防雨阻虫纱网罩插设在所述外筒顶部;所述一级分离入口组件包括一密封固定在所述外筒的第一级内凸缘上的一级分离入口板,所述一级分离入口板上设置有一气溶胶进气口,所述气溶胶进气口的上端插入所述阻虫纱网中;所述气溶胶进气口内设置有一限流柱,所述限流柱与所述气溶胶进气口之间存在环形缝隙;所述大粒子接收与二级分离入口组件包括一截面呈T字形的大粒子收集口和一与之一体的二级分离入口板,所述大粒子收集口对应设置在所述气溶胶进气口的下方,所述大粒子收集口内设置有一隔板,所述限流柱的

下端固定在所述隔板上；所述二级分离入口板密封固定在所述外筒的第二级内凸缘上，所述二级分离入口板周向均匀设置有若干二级喷口；所述大粒子收集口与所述二级分离入口板上设置有若干条贯通的大粒子分流导管；所述二级出口与三级分离入口组件包括二级分离出口板和三级分离入口罐，所述二级分离出口板先通过螺栓固定连接在所述二级分离入口板的下方，再通过所述螺栓固定连接在所述三级分离入口罐的上端，所述二级分离出口板周向设置有若干与所述二级喷口位置对应的圆柱形二级收集口；所述三级分离入口罐与所述外筒的第三级内凸缘之间存在一环形狭缝，所述三级分离入口罐的底部设置有一个三级喷口，所述三级收集口位置对应设置在所述三级喷口的下方，所述三级收集口底部贯通地固定在所述底座上。

所述气溶胶进气口的内圆上端和所述限流柱的外圆上端分别为圆锥形。

所述二级喷口为圆锥漏斗形，所述三级喷口为单级圆锥喷口。

用斯托克斯数 S_t 的平方根代替粒子直径作为一个坐标来绘制粒子的采集效率曲线，并以所述采集效率曲线中 50%采集效率点处对应的 $\sqrt{S_t}$ 计算所述限流柱与所述气溶胶进气口之间的环形缝隙、二级喷口和三级喷口的半径 r ，所述斯托克斯数 S_t 定义为：

$$S_t = \frac{D_p^2 \rho_p C Q}{18 \pi \mu r^3}$$

其中 C 是滑移订正系数， μ 是流体的粘滞系数， D_p 是粒子直径， ρ_p 是粒子密度， r 是喷口半径， Q 是气流流量；收集口直径 D_1 与喷口直径 D_0 之比 D_1/D_0 在 1.35 到 1.4 之间，其中 $D_0=2r$ ；采集管入口顶端边缘抛光的曲率 R 与收集口直径 D_1 之比 R/D_1 在 0.18 到 0.24 之间；喷口出口和采集口顶端之间的空隙 S 与喷口直径 D_0 之比 S/D_0 在 1.2 到 1.8 之间。

本实用新型由于采取以上技术方案，其具有以下优点：1、本实用新型采用环形狭缝式加速喷口使气溶胶粒子的分布均匀，无粒子丢失，粒子的损耗少，收集效率高。2、本实用新型采用虚拟撞击的原理，在粒子的飞行路径上没有任何撞击挡板，所有去除的粒子全部被排出气流排走，无粒子滞留，无粒子反弹，无再悬浮随气流流失现象，不会进入后级气流，分离彻底。3、本实用新型采用喷孔式撞击、狭缝式撞击和锥形整流罩相结合的结构设计，不仅使虚拟撞击浓缩分离器的结构简单、紧凑、体积减小，而且易于加工和便于小型化。

附图说明

图 1 是目前圆形排列的多组成对圆锥形加速喷口

图 2 是本实用新型的整体结构示意图

图 3 是本实用新型的成对喷口和收集口结构示意图

图 4 是本实用新型采用单分散气溶胶粒子的采集效率曲线示意图

具体实施方式

下面结合附图和实施例对本实用新型进行详细的描述。

如图 2 所示,本实用新型包括外筒 1、防雨阻虫纱网罩 2、一级分离入口组件 3、大粒子接收与二级分离入口组件 4、二级出口与三级分离入口组件 5、三级收集口 6 和底座 7。外筒 1 的底部与底座 7 密封固定,其下部一侧设置有一去除粒子排气口 8 和一连接在排气口 8 排气端的抽气风机 9,外筒 1 内周向分三级设置有三个内凸缘 11、12、13。

防雨阻虫纱网罩 2 包括一防雨鼓形的圆盘盖 21,在圆盘盖 21 底部设置有一段直筒 22,在直筒 22 内设置有一内筒 23,直筒与内筒 23 的周向对应开有多个通气窗,在直筒 22 与内筒 23 之间夹设有一阻虫纱网 24。防雨阻虫纱网罩 2 插设在外筒 1 顶部,采样气流可以通过直筒 22 与内筒 23 之间的阻虫纱网 24 从各通气窗中,被抽气风机 9 吸入,阻虫纱网 24 可以防止昆虫以及草叶、飞絮等物质被吸入到浓缩分离器而堵塞气路。

一级分离入口组件 3 包括一密封固定在外筒 1 的第一级内凸缘 11 上的一级分离入口板 31,一级分离入口板 31 上设置有一气溶胶进气口 32,气溶胶进气口 32 的上端插入阻虫纱网 24 中。在气溶胶进气口 32 内设置有一限流柱 33,限流柱 33 与气溶胶进气口 32 之间存在环形缝隙。气溶胶进气口 32 的内圆上端和限流柱 33 的外圆上端分别为圆锥形,这种锥形结构可以降低顶端平面上粒子的沉积,还可对进气气流在进入气溶胶进气口 32 与限流柱 33 之间的环形缝隙前进行整形。

大粒子接收与二级分离入口组件 4 包括一截面呈 T 字形的大粒子收集口 41 和与之一体的二级分离入口板 42,大粒子收集口 41 对应设置在气溶胶进气口 32 的下方,大粒子收集口 41 内设置有一隔板 43,限流柱 33 的下端固定在隔板 43 上。二级分离入口板 42 密封固定在外筒的内凸缘 12 上,二级分离入口板 42 周向均匀设置有若干漏斗形的二级喷口 44。在隔板 43 上部的大粒子收集口 41 与二级喷口 44 外侧的二级分离入口板 42 上设置有两条(仅以此为例,并不限于此)贯通的大粒子分流导管 45。

二级出口与三级分离入口组件 5 包括二级分离出口板 51 和三级分离入口罐 52,二级分离出口板 51 先通过螺栓固定连接在二级分离入口板 42 的下方,再通过该螺栓固定连接在三级分离入口罐 52 的上端,二级分离出口板 51 周向设置有与二级喷口 44 位置对应的圆柱形二级收集口 53。三级分离入口罐 52 与内凸缘 13 之间存在

一环形狭缝，三级分离入口罐 52 的底部设置有一个三级喷口 54。三级收集口 6 位置对应设置在三级喷口 54 的下方，三级收集口 6 底部贯通地固定在底座 7 上。

上述实施例中，一些相对设置的部件，特别是各级气流喷口和收集口等的参数设计对采集效率有较大的影响，因此需要根据一些相应技术的已知计算方法对本实用新型中各个部件的参数进行选择设计：

如图 3 所示，设计本实用新型时首先要计算粒子在流场中的运动轨迹，斯托克斯数 S_t 是一个重要参数，斯托克斯数定义为粒子的停止距离与喷口半径的比值（这包括气溶胶进气口 32 与限流柱 33 之间的环形缝隙、二级喷口 44 和三级喷口 54 的半径等）：

$$S_t = \frac{\tau V_0}{r} \quad (1)$$

其中 τ 是弛滞时间：

$$\tau = \frac{D_p^2 \rho_p C}{18\mu} \quad (2)$$

上述各式中， C 是滑移订正系数， V_0 是喷口气流的平均流速 (m/s)， μ 是流体的粘滞系数 (kg/(m·s))， D_p 是粒子直径 (m)， ρ_p 是粒子密度 (kg/m³)， r 是喷口半径。若用 D_0 表示喷口直径，则 $r=D_0/2$ (m)，通过喷口的气流流量 Q 与喷口气流的平均流速 V_0 满足如下关系：

$$Q = V_0 \pi r^2 = V_0 \pi \left(\frac{D_0}{2}\right)^2 \quad (3)$$

结合上面各表达式，斯托克斯数可以用喷口半径 r 和气流流量 Q 表示为：

$$S_t = \frac{D_p^2 \rho_p C Q}{18\pi \mu r^3} \quad (4)$$

多数情况下，用斯托克斯数的平方根（即 $\sqrt{S_t}$ ）作为特征参量研究虚拟撞击器的采集效率。根据式 (4)，在撞击器喷口半径 r 和气流流量 Q 确定的情况下， $\sqrt{S_t}$ 和粒子的直径 D_p 有直接对应关系，因此常以 $\sqrt{S_t}$ 代替粒子直径作为一个坐标来绘制大粒子的采集效率曲线（如图 4 所示）。

采集效率曲线中 50% 采集效率点处 $\sqrt{S_t}$ 对应于虚拟撞击器的切割直径，根据 $\sqrt{S_{t,50}}$ 的定义，可以计算 50% 切割点的切割直径 D_{50} 满足：

$$D_{50} = [5.7 D_0^3 / C Q_0]^{1/2} \quad (5)$$

其中 D_{50} 单位为 μm ， D_0 是喷口直径，单位 mm， C 是滑移订正系数， Q_0 是总流量，单位 L/min。从采集效率曲线中 50% 采集效率点处 $\sqrt{S_t}$ 对应的虚拟撞击器的切割直径，可以得到 D_{50} 的值，又因 C 和 Q_0 都是已知，将 D_{50} 代入式 (5)，就可以求出

D_0 的大小。

如图3所示,除此之外,下列参数在设计本实用新型时也很重要。

副气流流量 Q_1 、主气流流量 Q_2 , $Q_2 = Q_0 - Q_1$ 。副流比 Q_1 / Q_0 对撞击器的切割直径是一个敏感的影响因子,该值不能太大,否则小粒子的污染比较大,也不能太小,此时粒子损耗比较大,在实际设计时,要根据实验结果来调整。当副流比 Q_1 / Q_0 大约是9%时,无论是固体粒子还是液体粒子,无量纲参数 $\sqrt{S_{150}}$ 等于0.86,此时切割点的壁损耗最大(但 $<5\%$)。

收集口直径 D (这包括大粒子收集口41、二级收集口53和三级收集口6的直径),一旦总流量 Q_0 和副气流流量 Q_1 确定,切割点实质上由喷口直径 D_0 决定,粒子在切割点的损失很大程度依赖于 D/D_0 ,如果这个值非常接近或小于1,则很容易在收集口顶部发生撞击损失,随着该值的增大,切割点附近的粒子损失会减小,但当该值增大到1.5或大于1.5时,对很大范围粒径的粒子而言,粒子在喷口的后向撞击损失和收集口内的损失都将增大,适宜的值在1.35到1.4之间。

收集口入口顶端边缘抛光的曲率 R ,采集效率依赖于粒子轨迹和撞击面之间所形成的角度,收集口内部边缘应该有一定的曲率,可以使流线更平滑,进而减少粒子损失, R/D_0 在0.18到0.24之间时,粒子损失最小。

喷口出口和收集口顶端之间的空隙 S , S/D_0 大致在1.2到1.8之间。

同轴误差 δ ,是喷口和收集口不同轴造成的误差,同轴误差 δ 应该尽量小,一定范围内,当同轴误差 δ 每增加0.005cm,粒子损失增加1%,随着 δ 的增大,粒子损失会进一步增加。

本实用新型的原理是:采样气流从气溶胶进气口32处经阻虫纱网24被抽气风机9吸入,气溶胶粒子通过限流柱33和气溶胶进气口32之间的环状狭缝被加速,大量的气流流出气溶胶进气口32下端边缘时被迫改变方向,向外向下流动。小的粒子由于惯性较小随着主气流改变方向流向二级喷口44,大于 $12\mu\text{m}$ 的粒子惯性较大,难以随主气流改变方向,沿着自己的惯性方向进入大粒子收集口41,通过大粒子分流导管45与后面分离出的 $<2\mu\text{m}$ 的粒子汇合后被抽气风机9排出。除去大于 $12\mu\text{m}$ 粒子的气流在抽气风机9的作用下向下流动进入二级喷口44和二级收集口53。为了减少粒子的损失和对气流进行整形,后面各级的气流喷口处全部设计为漏斗形,下面的竖直段为加速段,需要说明的是,由于三级分离入口罐52中的气流较小,三级喷口54设计为一单级圆锥喷口。气溶胶经后面两级后将 $<2\mu\text{m}$ 的粒子分离出来,与第一级分离出来的 $>12\mu\text{m}$ 的粒子一起被抽气风机9排出。同时,也为了使最终分离出来的粒子便于后面仪器的在线检测或用小流量采样器收集。

如图 4 所示，为采用单分散气溶胶粒子对本实用新型的采集效率曲线。标定气溶胶浓缩分离器时分别发生了直径为 1.05、1.94、3.76、8.19、10.56 和 11.97 μm 的粒子，将标定结果拟合得到的采集效率曲线方程为： $y = -2.1768x^2 + 28.48x + 2.1653$ ，由此可以求出虚拟撞击浓缩分离器 50% 的切割直径 D_{50} 分别为 1.978904 μm 和 11.10452 μm ，与设计 2~12 μm 粒子分离直径基本吻合。

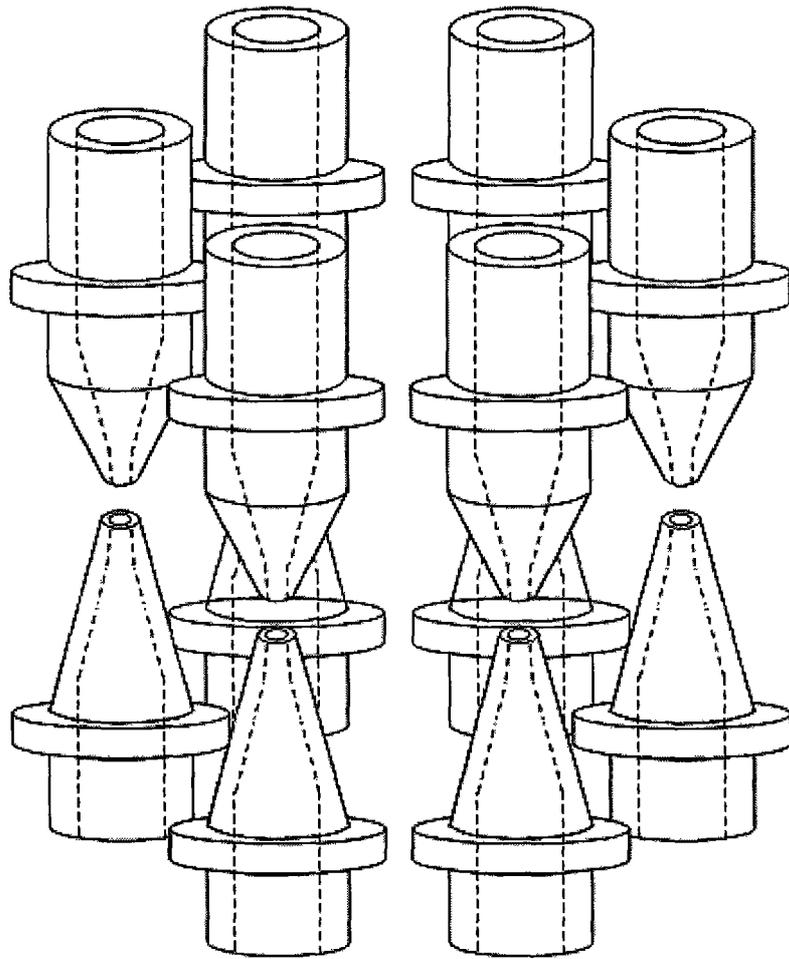


图 1

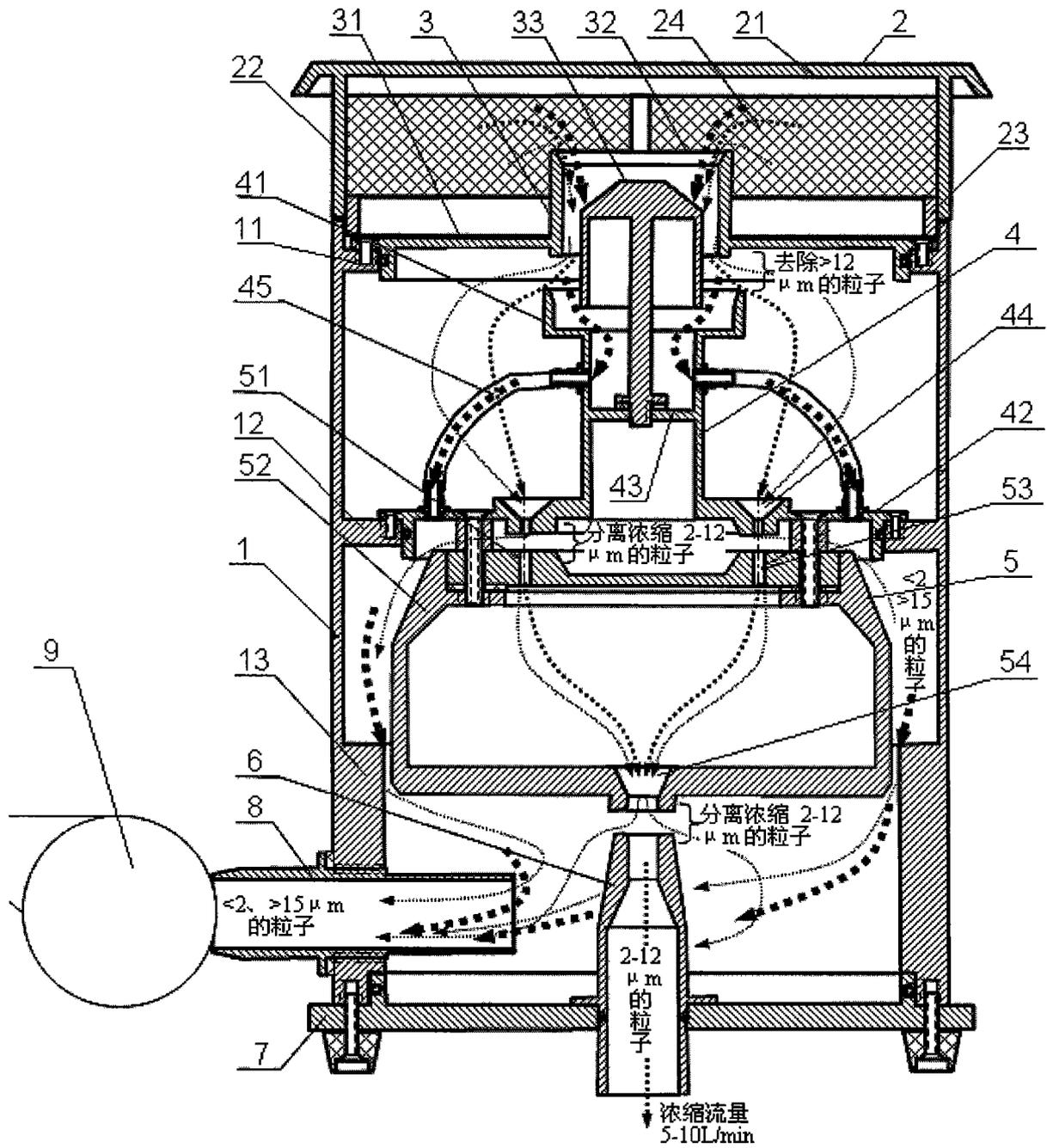


图 2

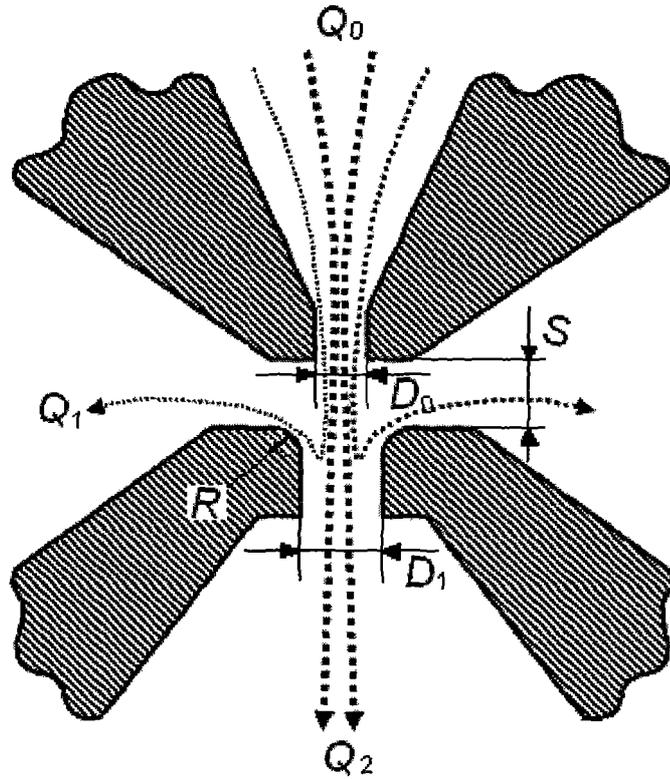


图 3

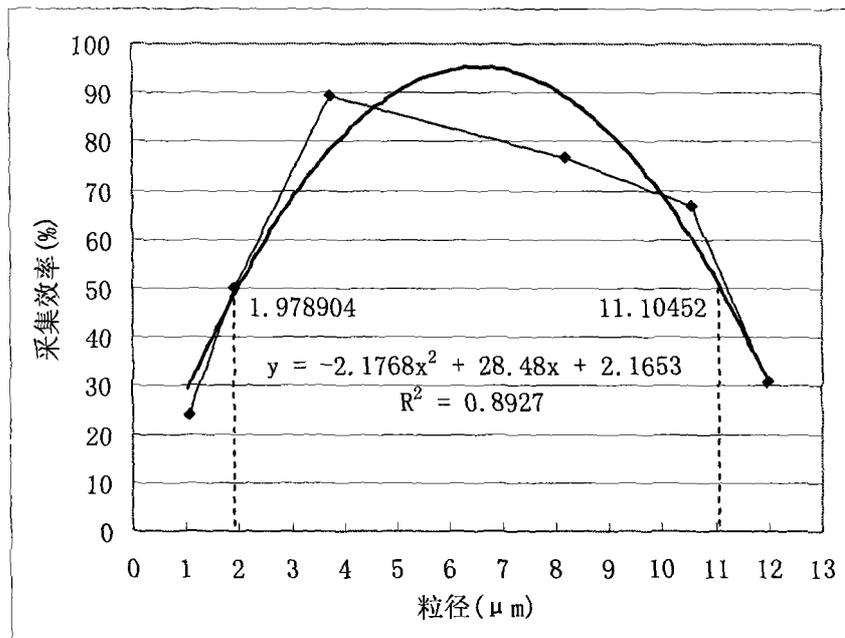


图 4