



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 104033533 B

(45) 授权公告日 2015. 12. 09

(21) 申请号 201410217141. 9

(22) 申请日 2014. 05. 22

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所  
地址 100190 北京市海淀区北四环西路 15 号

(72) 发明人 曾晓辉 余杨 张良 刘青泉 周济福

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理  
事务所 (普通合伙) 11390  
代理人 胡剑辉

(51) Int. Cl.  
F16F 15/023(2006. 01)

(56) 对比文件  
CN 102493568 A, 2012. 06. 13, 全文.  
KR 20100060039 A, 2010. 06. 07, 全文.

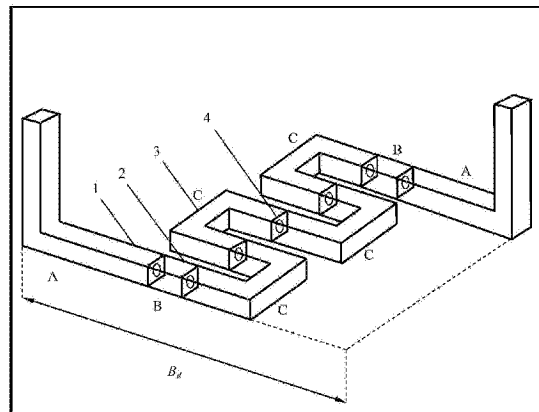
CN 1796774 A, 2006. 07. 05, 全文.  
CN 2793430 Y, 2006. 07. 05, 全文.  
JP 2009248874 A, 2009. 10. 29, 全文.  
JP H0355367 A, 1991. 03. 11, 全文.

审查员 许志杰

权利要求书1页 说明书6页 附图6页

(54) 发明名称  
一种抑制浮式平台整体运动的蛇形调谐液柱  
阻尼器

(57) 摘要  
本发明公开了一种抑制浮式平台整体运动的蛇形调谐液柱阻尼器,由两个 L 型垂直管段、两个以上的 U 型水平管段、直线型水平管段和节流孔板通过接头连接而成,各个管段首尾依次串联连接,所述节流孔板设置在各管段连接处,L 型垂直管段设置在阻尼器两端,U 型水平管段用于改变阻尼器内液体运动方向,从而在保证阻尼器总长度一定的条件下极大减少了水平占地长度,直线型水平管段用于连接各个 U 型水平管段和 L 型垂直管段,从而进一步微调阻尼器的水平占地长度;所述阻尼器的水平占地长度小于阻尼器水平段总长度。该阻尼器的水平段包含了多个蛇形弯曲,使原本很长水平方向上占地长度缩短,而且仍然具有良好的运动抑制效果。



1. 一种抑制浮式平台整体运动的蛇形调谐液柱阻尼器,其特征在于:由两个 L 型垂直管段、两个以上的 U 型水平管段、直线型水平管段和节流孔板通过接头连接而成,各个管段首尾依次串联连接,所述节流孔板设置在各管段连接处,L 型垂直管段设置在阻尼器两端,U 型水平管段用于改变阻尼器内液体运动方向,从而在保证阻尼器总长度一定的条件下极大减少了水平占地长度,直线型水平管段用于连接各个 U 型水平管段和 L 型垂直管段,从而进一步微调阻尼器的水平占地长度;所述阻尼器的水平占地长度小于阻尼器水平段总长度。

2. 根据权利要求 1 所述的抑制浮式平台整体运动的蛇形调谐液柱阻尼器,其特征在于:所述直线型水平管段和节流孔板的数量为零个以上。

3. 根据权利要求 1 所述的抑制浮式平台整体运动的蛇形调谐液柱阻尼器,其特征在于:所述抑制浮式平台整体运动的蛇形调谐液柱阻尼器中倒入的液体为水、油或油水混合液。

4. 根据权利要求 1 所述的抑制浮式平台整体运动的蛇形调谐液柱阻尼器,其特征在于:所述蛇形调谐液柱阻尼器的管段总长度大于管段中液柱的总长度,蛇形调谐液柱阻尼器的管段总长度与液柱总长度之差超过任一垂直段长度的 80%。

5. 根据权利要求 1 所述的抑制浮式平台整体运动的蛇形调谐液柱阻尼器,其特征在于:各型管段的转弯处为直角式弯头或弯曲式弯头。

6. 根据权利要求 1 所述的抑制浮式平台整体运动的蛇形调谐液柱阻尼器,其特征在于:所述 L 型垂直管段、U 型水平管段、直线型水平管段和节流孔板横截面开孔的形状为矩形、方形或圆形。

7. 根据权利要求 1 所述的抑制浮式平台整体运动的蛇形调谐液柱阻尼器,其特征在于:所述 U 型水平管段包括对称式 U 型水平管段和非对称式 U 型水平管段。

8. 根据权利要求 1 所述的抑制浮式平台整体运动的蛇形调谐液柱阻尼器,其特征在于:所述 L 型垂直管段的竖直管段为变截面竖直管段或等截面竖直管段。

9. 根据权利要求 1 所述的抑制浮式平台整体运动的蛇形调谐液柱阻尼器,其特征在于:各型管段和节流孔板由有机玻璃、铁板或其他合适的金属 / 非金属材料制作而成。

## 一种抑制浮式平台整体运动的蛇形调谐液柱阻尼器

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种抑制浮式平台整体运动的蛇形调谐液柱阻尼器。

### 背景技术

[0002] 高层建筑、海洋平台等高耸式建筑结构在外载荷的作用下会产生较明显的整体运动。通过加强结构强度、增大结构尺度来抑制整体运动势必会大幅增加成本,因此添加减振设备无疑是更好的抑制此类建筑运动的方式。其中被动控制减振装置在大型工程结构振动抑制上的应用比较多,它往往通过耗能和吸能的方式达到减振目的。为了减少风载荷产生的振动,基于被动控制的减振装置已经在高层建筑中得到了较多应用;而在作业环境更加复杂的海洋浮式平台上,目前来看运动抑制装置还鲜有应用。海洋浮式平台处于离岸较远的深水区域,作业环境复杂。其整体运动,特别是水平运动振幅较大,这对于提高钻采作业效率、平台安全性和疲劳寿命都会带来不利影响。由于浮式平台基本特性和有关参数与陆上高层建筑差别较大,因此无法采用现有的用于陆上结构的减振装置。为此,迫切需要一种适用于海洋浮式平台整体运动抑制的减振装置。

[0003] 考虑到浮式平台可以承受的有效载荷极其有限而且平台上的空间也非常局促,减振装置只有和平台上现有的设备紧密结合在一起才能得在实际工况中发挥作用。调谐液柱阻尼器(下面简称 TLCD)是一种可以有效抑制大型结构整体运动的被动式减振设备。TLCD 的主体是一个 U 型水槽,能够对结构水平方向的整体运动起到良好的抑制作用。因此,浮式平台上现有的装置如储油设备、储淡水设备,甚至浮式水箱理论上都可以制造成调谐液柱阻尼器的形式进而起到抑制平台运动的效果。此外,TLCD 还具有制作成本低廉,安装和维护非常方便等优点。

[0004] 调谐液柱阻尼器的工作原理为:当主结构振动时,主结构的部分能量会传递给液柱,引起液柱的晃荡运动从而改善主结构的动力状态。液柱晃荡得越剧烈就能从主结构上吸收到越多的能量,减振效果就会更好。TLCD 水平段的中间可以安置一个或多个节流孔板。当水槽中的液体发生晃荡运动时,节流孔板改变了 TLCD 水平段中流过液体的流量继而产生阻尼。TLCD 中的阻尼不仅会在液柱运动时对主结构产生一定的吸能效果而且对 TLCD 的减振频段范围有较大的影响。TLCD 的自振周期可以利用液柱总长度和重力加速度求得

$T=2\pi\sqrt{\frac{L}{2g}}$ 。当主结构的自振周期或主结构所受外激励的周期与 TLCD 中液柱的自振周期相

近时,TLCD 中液柱的自振将会被激发,振动幅值明显增大,液柱的大幅运动会对主结构产生良好的减振效果。

[0005] 然而,将现有的 TLCD 应用于张力腿平台、半潜式平台、SPAR、FPSO 以及其他海洋浮式结构存在着很大的困难。陆上高层建筑的有关自振周期通常较小,然而海洋浮式平台根据种类的不同,其纵荡、横荡、垂荡、首摇、横摇、纵摇等运动自由度的固有周期范围在几秒到百秒之间变化,几十秒的情况最常见。恶劣海况下的波浪力所对应的周期也在二十秒以上。这就导致常规调谐液柱阻尼器只有在自振周期很长的状态下即液柱总长度和水平段液

柱都很长时才能起到良好的减振效果。例如对一个边长 85 米的浮式平台进行水平方向的运动抑制时,我们若在平台上安装一个自振周期为 20 秒的 TLCD,其总长度将达到 200 米,水平段长度为 120 到 150 米,这种超出平台长度的减振装置是无法安装在浮式平台上进行正常使用的。

## 发明内容

[0006] 本发明要解决的技术问题是提供一种抑制浮式平台整体运动的蛇形调谐液柱阻尼器,用于抑制海洋浮式平台的整体运动。

[0007] 本发明的抑制浮式平台整体运动的蛇形调谐液柱阻尼器,由两个 L 型垂直管段、两个以上的 U 型水平管段、直线型水平管段和节流孔板通过接头连接而成,各个管段首尾依次串联连接,所述节流孔板设置在各管段连接处,L 型垂直管段设置在阻尼器两端,U 型水平管段用于改变阻尼器内液体运动方向,从而在保证阻尼器总长度一定的条件下极大减少了水平占地长度,直线型水平管段用于连接各个 U 型水平管段和 L 型垂直管段,从而进一步微调阻尼器的水平占地长度;所述阻尼器的水平占地长度小于阻尼器水平段总长度。

[0008] 优选地,所述直线型水平管段和节流孔板的数量为零个以上。

[0009] 优选地,所述抑制浮式平台整体运动的蛇形调谐液柱阻尼器中倒入的液体为水、油或油水混合液等。

[0010] 优选地,所述蛇形调谐液柱阻尼器的管段总长度大于管段中液柱的总长度,蛇形调谐液柱阻尼器的管段总长度与液柱总长度之差最好超过任一垂直段长度的 80%。

[0011] 优选地,所述各型管段的转弯处为直角式弯头或弯曲式弯头。

[0012] 优选地,所述 L 型垂直管段、U 型水平管段、直线型水平管段和节流孔板横截面开孔的形状为矩形、方形或圆形。

[0013] 优选地,所述 U 型水平管段包括对称式 U 型水平管段和非对称式 U 型水平管段。

[0014] 优选地,所述 L 型垂直管段的竖直管段为变截面竖直管段或等截面竖直管段。

[0015] 优选地,所述各型管段和节流孔板由有机玻璃、铁板或其他合适的金属/非金属材料制作而成。

[0016] 本发明针对海洋浮式结构目前缺少有效抑制其水平方向整体运动的问题,提出一种对其运动有明显抑制作用、运行成本低、操作简单、适用于范围广的减振装置。海洋浮式平台处于离岸较远的深水区域,作业环境复杂。其整体运动,特别是水平运动振幅较大,这对于提高钻采作业效率、平台安全性和疲劳寿命都会带来不利影响。

[0017] 由于浮式平台基本特性和有关参数与陆上建筑差别较大,因此无法采用现有的用于陆上结构的减振装置。为此,迫切需要一种适用于海洋浮式平台整体运动抑制的减振装置。

[0018] 调谐液柱阻尼器是一种可以有效抑制大型结构整体运动的被动式减振设备,但将其用于浮式海洋平台遇到了困难。随海洋浮式平台种类的不同,其纵荡、横荡、垂荡、首摇、横摇、纵摇等运动自由度的固有周期范围在几秒到百秒之间变化,几十秒的情况最常见。这就导致常规调谐液柱阻尼器的水平段长度很大,甚至会超出平台的主尺度,以至于无法安装于浮式海洋平台上。

[0019] 本发明具有以下优点:一、作为一种被动控制的减振装置,该装置并不需要额外供

给能源,运行成本极低,安装方便。二、浮式平台上现有的储液设备都可以制作成该减振装置的形式,这样既不占用浮式平台上的有效载荷又能够节省空间,提高了安装的可行性。减振装置的各部分可以分开进行制造、运输,最终在浮式平台上统一装配。三、通过灵活组合各管段,改变其自振周期,该装置可以针对不同的海况下作业的张力腿平台、半潜式平台、SPAR、FPSO 以及其他海洋浮式平台进行运动抑制。四、在保持液柱总长度不变的情况下,该装置的有效减振范围还可以通过改变安装在减振装置上节流孔板的数量,更换开孔数量、大小、形状、排列方式各不相同的节流孔板进行调节,操作简便。

### 附图说明

[0020] 图 1 为蛇形调谐液柱阻尼器结构示意图;

[0021] 图 2 为两个 L 型垂直管段均为等截面竖直管段的蛇形调谐液柱阻尼器结构示意图;

[0022] 图 3 为两个 L 型垂直管段一个为变截面竖直管段,另一个为等截面竖直管段的蛇形调谐液柱阻尼器结构示意图;

[0023] 图 4 为两个 L 型垂直管段均为变截面竖直管段的蛇形调谐液柱阻尼器结构示意图;

[0024] 图 5 为蛇形调谐液柱阻尼器各部分的加工图;

[0025] 图 6 为蛇形调谐液柱阻尼器中各种样式节流孔板的加工图。

### 具体实施方式

[0026] 本发明针对目前缺少能够有效抑制海洋浮式平台水平方向整体运动的减振装置的问题,提出一种对海洋浮式平台运动有明显抑制作用、运行成本低、操作简单、适用于范围广的减振装置。

[0027] 如图 1 到 4 所示,本发明的蛇形调谐液柱阻尼器包括:两个 L 型垂直管段 1、两个以上的 U 型水平管段 3、直线型水平管段 2 和节流孔板 4,通过接头连接组装而成,各个管段首尾依次串联连接,节流孔板 4 设置在各管段连接处,L 型垂直管段 1 设置在阻尼器两端,U 型水平管段 3 用于改变阻尼器内液体运动方向,从而在保证阻尼器总长度一定的条件下极大减少了水平占地长度,直线型水平管段 2 用于连接各个 U 型水平管段 3 和 L 型垂直管段 1,从而进一步微调阻尼器的水平占地长度。

[0028] 其中,直线型水平管段 2 和节流孔板 4 根据实际所需阻尼器的长度和宽度,选择性安装。

[0029] 如图 1 所示,A 表示 L 型垂直管段 1,B 表示直线型水平管段 2 长度,C 表示 U 型水平管段 3 长度,故图 1 所示的这一例蛇形减振装置的管段总长度包括两段 A,两段 B 四段 C,即为  $2 \times A + 2 \times B + 4 \times C$ 。水平占地长度是图中所示 Bd。

[0030] 如图 2 所示,①表示 L 型垂直管段 1 中液体长度,②表示直线型水平管段 2 中液体长度,③表示 U 型水平管段 3 中液体长度,故该图中所示的这一例蛇形减振装置的液柱总长度(即阴影部分)包括两段①,两段②,四段③即为  $2 \times \textcircled{1} + 2 \times \textcircled{2} + 4 \times \textcircled{3}$ 。

[0031] 本发明的各部分可以分开制造、运输,最后在平台上统一组装。将上述各种组件根据具体平台对象确定数量、长度、截面积、半径、节流孔板的相关特性等参数,进行灵活组

合,就形成一种适用于各种海洋浮式平台并对其水平方向的整体运动有明显抑制作用的蛇形减振装置。

[0032] 该减振装置中的各型管段和节流孔板 4 由有机玻璃、铁板或其他合适的金属 / 非金属材料制作而成。

[0033] 装置中倒入的液体通常为水,还可以为油或油水混合液等其他液体。

[0034] 如图 5 所示, L 型垂直管段 1 的垂直管段为变截面垂直管段 c 或等截面垂直管段 a ;U 型水平管段 3 包括对称式 U 型水平管段 d 和非对称式 U 型水平管段 f ;各型管段通过接头连接组装,其中接头可以为方形接头 b 或圆形接头 h ;各型管段的转弯处为直角式弯头或弯曲式弯头,如带弯曲式弯头的 U 型水平管段 g。

[0035] L 型垂直管段 1、U 型水平管段 3、直线型水平管段 2 和节流孔板 4 的横截面形状可根据平台的实际情况设置为矩形、方形或圆形。

[0036] 图 6 为各种样式的节流孔板 4 加工图, a、b、c 为孔径不同的单圆孔节流孔板 ;d 方孔节流孔板 ;e 双圆孔节流孔板 ;f、g、h 排列间距不同的四圆孔节流孔板。节流孔板 4 形式可以有多种,此处图 6 中仅举出几个典型样例,孔洞尺寸、形状、位置、数量、排列方式还有很多种在这里就不全部列出,节流孔板的横截面形状可以改变。图 6 中,部件 a-g 是方形横截面,部件 h 是圆形横截面。部件 a-g 均可把横截面改成圆形(如部件 h 所示)。所有节流孔板横截面均可依实际情况选择形状。

[0037] 下面结合图 2 到 4 对其工作原理进行说明 :

[0038] 设  $m_d$  为管段中液体的总质量,  $\rho_d$  为液体的密度,  $g$  为重力加速度,  $A_d$  为管段的截面积,  $h_d$  为液柱的水头损失系数,  $B_d$  为管段水平占地长度如图 1 中所示,  $M_s$  为所安装的深海浮式结构的总质量,  $C_s$  为深海浮式结构的总阻尼系数,  $K_s$  为深海浮式结构的总刚度,  $F(t)$  表示深海浮式结构所受的外载荷,  $X$  为深海浮式平台水平运动的位移,  $H$  为管段中液柱起伏运动后两个垂直水柱之间的液面高度差。该减振装置的原理方程为 :

$$[0039] \quad m_d \ddot{H} + \frac{1}{2} \rho_d h_d \left| \dot{H} \right| \dot{H} + 2 \rho_d g A H = -\rho_d B_d A_d \ddot{X}$$

$$(M_s + m_d) \ddot{X} + C_s \dot{X} + K_s X = F(t) - \rho_d A_d B_d \ddot{H}$$

[0040] 其自振周期为  $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{2g}}$ , 其中  $L$  为管段中液体的总长度, 该装置的水平段包含了

多个弯曲,使原本很长的水平段缩短,但自振周期的计算方法与普通的调谐液柱阻尼器相同。当主结构的自振周期或主结构所受外激励的周期与 TLCD 中液柱的自振周期相近时, TLCD 中液柱的晃荡运动将会被激发, 振动幅值会大幅上升, 液柱剧烈的晃荡运动会吸收主结构的能量, 从而减少主结构的运动幅值, 改善主结构的动力状态, 这样就能达到良好的减振效果。

[0041] 下面结合附图说明本发明的实施过程 :

[0042] (1) 根据深海浮式平台的结构特性以及其作业的环境海况, 从浮式平台的自振周期以及对平台危害较大的数个波浪的周期中选择一个恰当的周期作为该装置的目标减振周期。由实际工况中的需要选取一个有效减振范围并依此来计算出一个目标调节的阻尼数。此后, 根据目标减振周期计算出该装置所需要的液柱总长度 ; 根据实际的需要从图 6 中

开孔形状、开孔数量、孔洞排列各异的节流孔板中选取一个或一组节流孔板（孔板形式多样，图 6 中仅举出几个典型样品，孔洞形状、数量、排列方式还有很多种在这里就不全部列出），使其安装在该装置上后液柱晃动时阻尼能够达到目标阻尼数。

[0043] (2) 依照计算出该装置所需要的液柱总长度，将如图所示的 L 型垂直管段 1、U 型弯曲水平管段 3 以及直线型水平管段 2 在深海浮式结构上进行组合、装配，得到能在该平台起到良好减振效果的蛇形调谐液柱阻尼器（如图 2-4）。各管段进行组合时应满足以下要求：1. 蛇形调谐液柱阻尼器的总长度要大于将要装入液体后液柱的总长度，蛇形调谐液柱阻尼器的总长度与液柱总长度之差最好超过任一垂直段长度的 80%。2. 在为给定的液柱总长度设计管段组合时，蛇形调谐液柱阻尼器的有效水平长度  $B_d$  应尽量取长，这样减振效果会更好。当选好的节流孔板 4 安装在各管段之间的接头处（如图 2-4）时，如果所需的阻尼数非常小，该装置将不需要安装节流孔板 4。此外，图 2 中为一左一右两个竖直管段均相同的装置示意图，图 3 是左边是变截面竖管段（图 5c）而右边是等截面竖管段（图 5a）的示意图，图 4 是左右两边都是变截面竖管段（图 5c）的装置示意图。根据实际工况的需要，以上三种装置的任何组合方式都可以使用。水平管段横截面是方形还是圆形（或者是椭圆形、矩形等等），弯头使用直角弯头还是拐弯处有曲率的弯曲式弯头，弯头半径等这些也都可以根据实际情况需要进行选择。阻尼孔板形式多样，图 6 中仅举出几个典型试例，孔洞尺寸、形状、位置、数量、排列方式还有很多种，节流孔板 4 不仅可以是方形的还可以是圆形的，在实际使用中灵活选择。

[0044] (3) 将液体倒入安装好的装置中，保证水平液柱长度为需要值。当深海浮式结构在作业时受到此种海况下风浪流等环境的影响发生大幅度水平运动时，减振装置中液柱剧烈的晃动，以此来吸收浮式结构的能量从而达到抑制平台运动的效果。

[0045] 下面对本发明的优点进行概括描述：

[0046] (1) 该装置的水平段包含了多个如蛇形盘曲的水平管段，使原本很大的水平方向占地长度缩短，而且仍然还具有良好的运动抑制效果。该减振装置对于张力腿平台 (TLP)、半潜式平台 (SEMI)、SPAR、FPSO 以及其他海洋浮式结构的水平方向整体运动能够起到明显的运动抑制作用，进而提高了深海浮式平台在的安全性和疲劳寿命，延长了作业时间，提高了其工作效率。

[0047] (2) 该减振装置可以对于各种海况下的浮式平台在水平方向上起到良好的减振效果。根据平台的基本参数以及不同海况下波浪周期的数据，液柱总长度可以通过将各型管段选择性的进行灵活组合、装配来改变。同时垂直管段和水平管段的截面比的改变或垂直段采用截面渐变管段也可以使实际较短的液柱总长度在装置工作时达到较长液柱总长度的效果。在实际使用中，根据浮式平台的具体需要，使用恰当的方法选择、装配管段。

[0048] (3) 该减振装置的结构样式可以根据实际工况进行灵活调整，并不会对该装置的使用效果造成影响。该装置的水平管段不仅可以使使用方形截面还可以使使用圆形截面。该装置在管段的转弯处既可以使使用直角式弯头又可以使使用拐弯处有曲率的弯曲式弯头，弯头的半径可以根据实际情况确定。

[0049] (4) 该减振装置的有效减振范围可以利用节流孔板进行调节。该装置液柱阻尼的大小直接影响有效减振范围：在合理调节范围内，阻尼越大该装置所能够覆盖的减振频段就越长；阻尼越小该装置所能够覆盖的减振频段就越短，但自振周期处的减振效果会更好。

阻尼可以直接通过安装节流孔板来进行改变,节流孔板的阻挡面积增大,数量增多,该装置的阻尼就会加大。节流孔板的样式非常丰富,在孔洞尺寸、数量、形状、排列方式等上都各不相同,在实际情况中根据需要选取合适的孔板样式进行使用。当各管段进行连接时,可以在各个接头处安装节流孔板,进而改变该减振装置的阻尼以及有效减振范围。通过节流孔板数量的增减以及不同开孔节流孔板的更换,减振装置的阻尼可以被调节到任意一个需要的区间内,进而改变减振装置的减振范围。

[0050] (5) 作为一种被动控制的减振装置,该装置在运行过程中并不需要外界供给能源,运行成本和维护费用都非常低。该装置的各部分可以分开进行制造、运输,最终在应用的浮式平台上统一装配。因此该装置安装、拆卸和移动都非常方便。

[0051] 该减振装置是一种以调节液柱阻尼器为基础的新型减振装置。浮式平台上现有的储油设备、储水设备等可以制造成该减振装置的形式,这种设计方案既不会额外占用浮式平台上有限的空间,也提高了在张力腿平台(TLP)、半潜式平台(SEMI)、SPAR、FPSO以及其他海洋浮式结构上进行安装和使用的可行性。



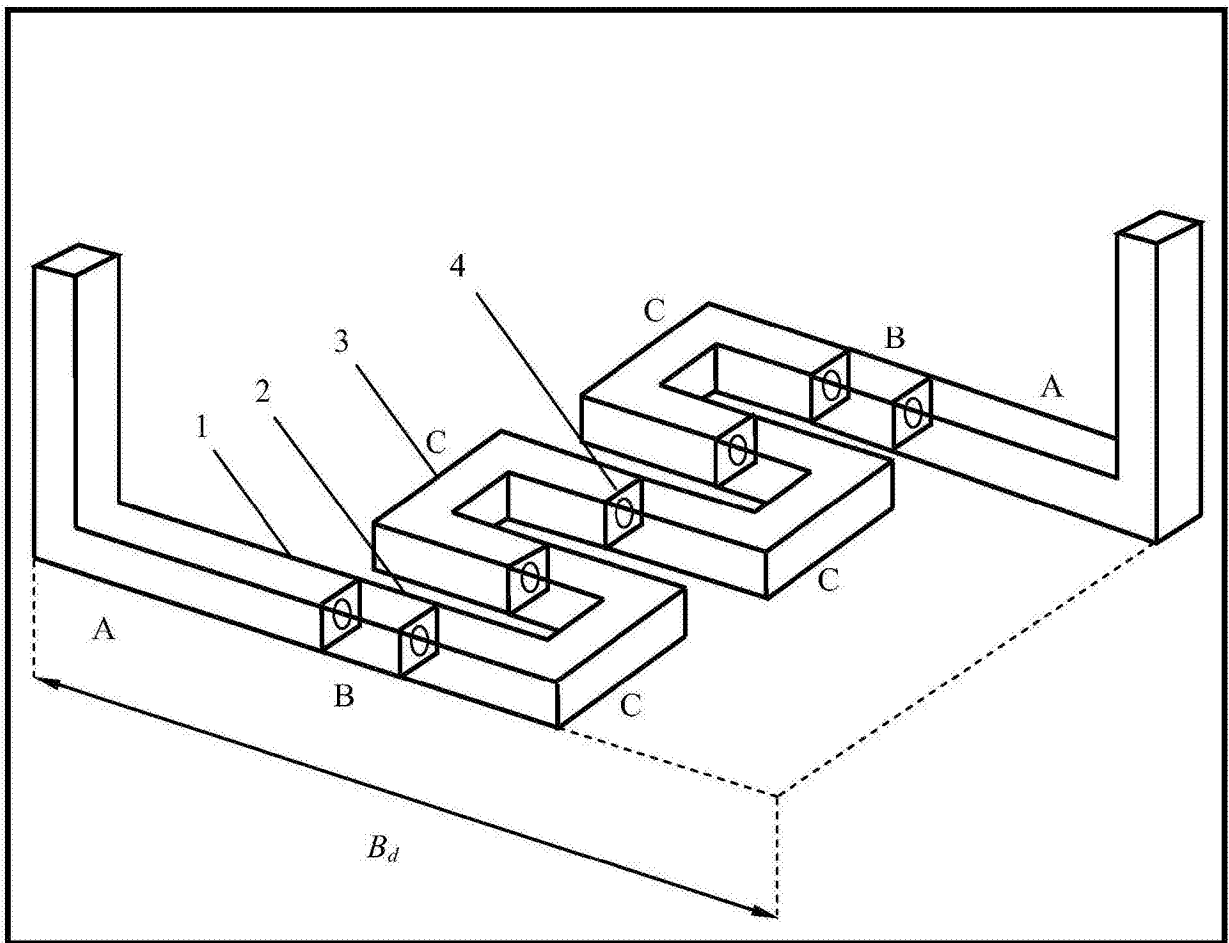


图 1

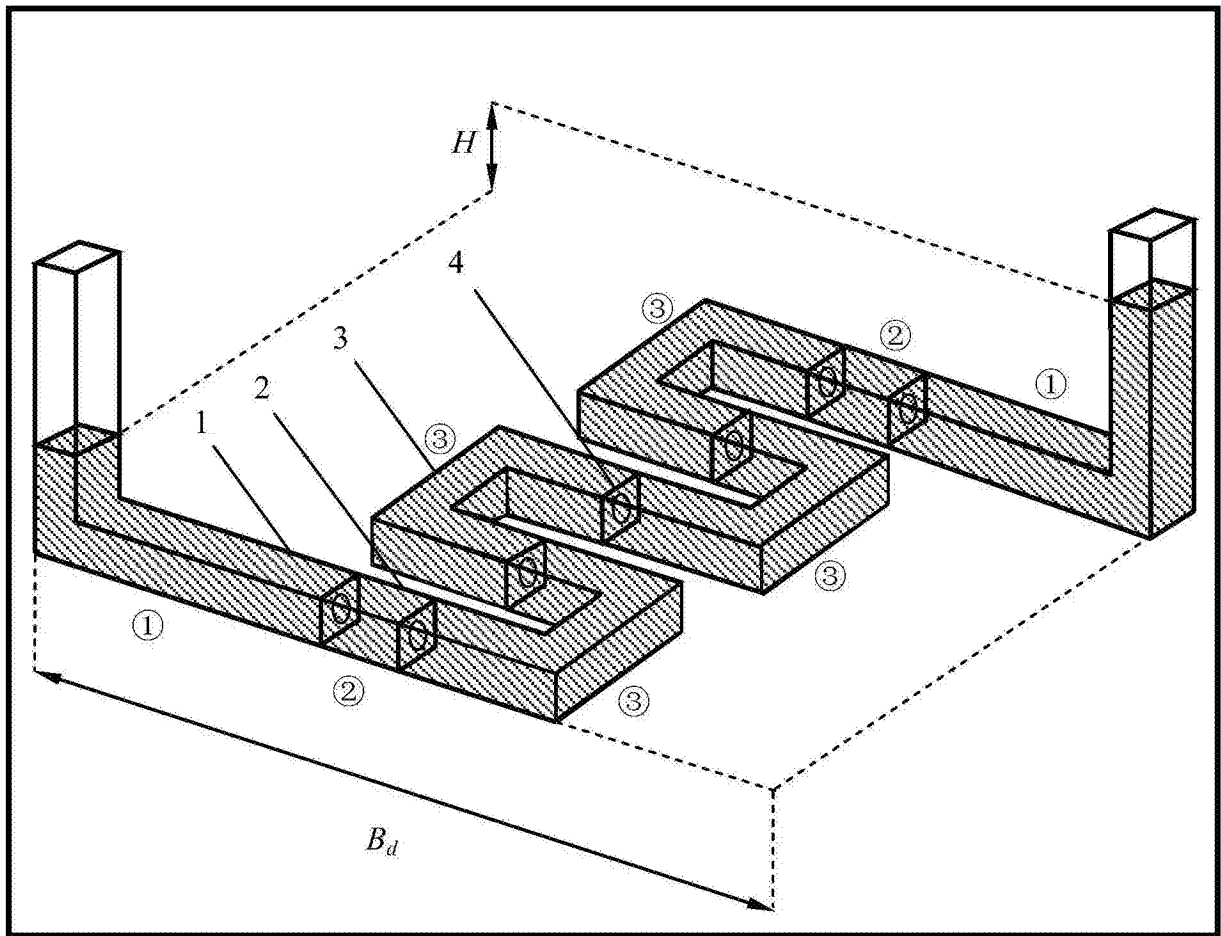


图 2

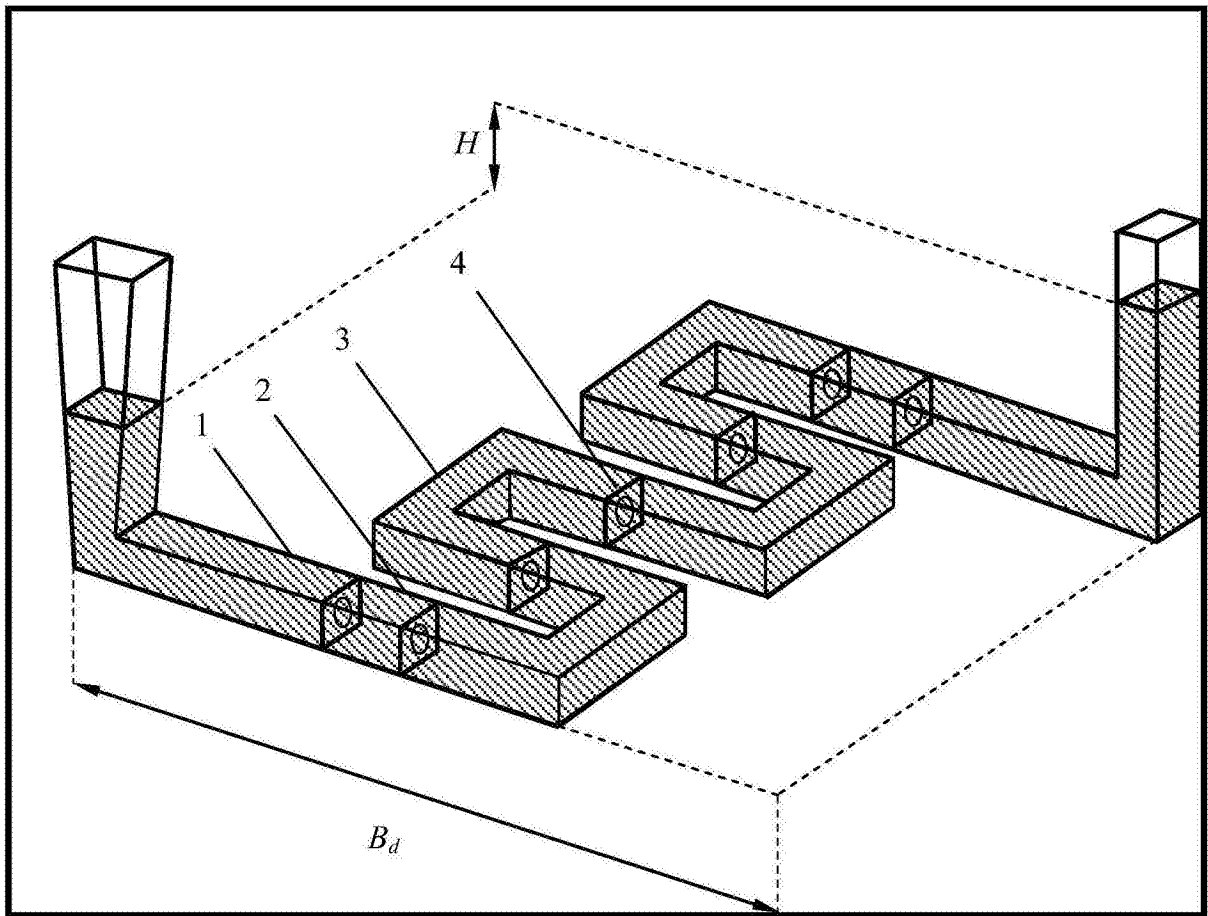


图 3

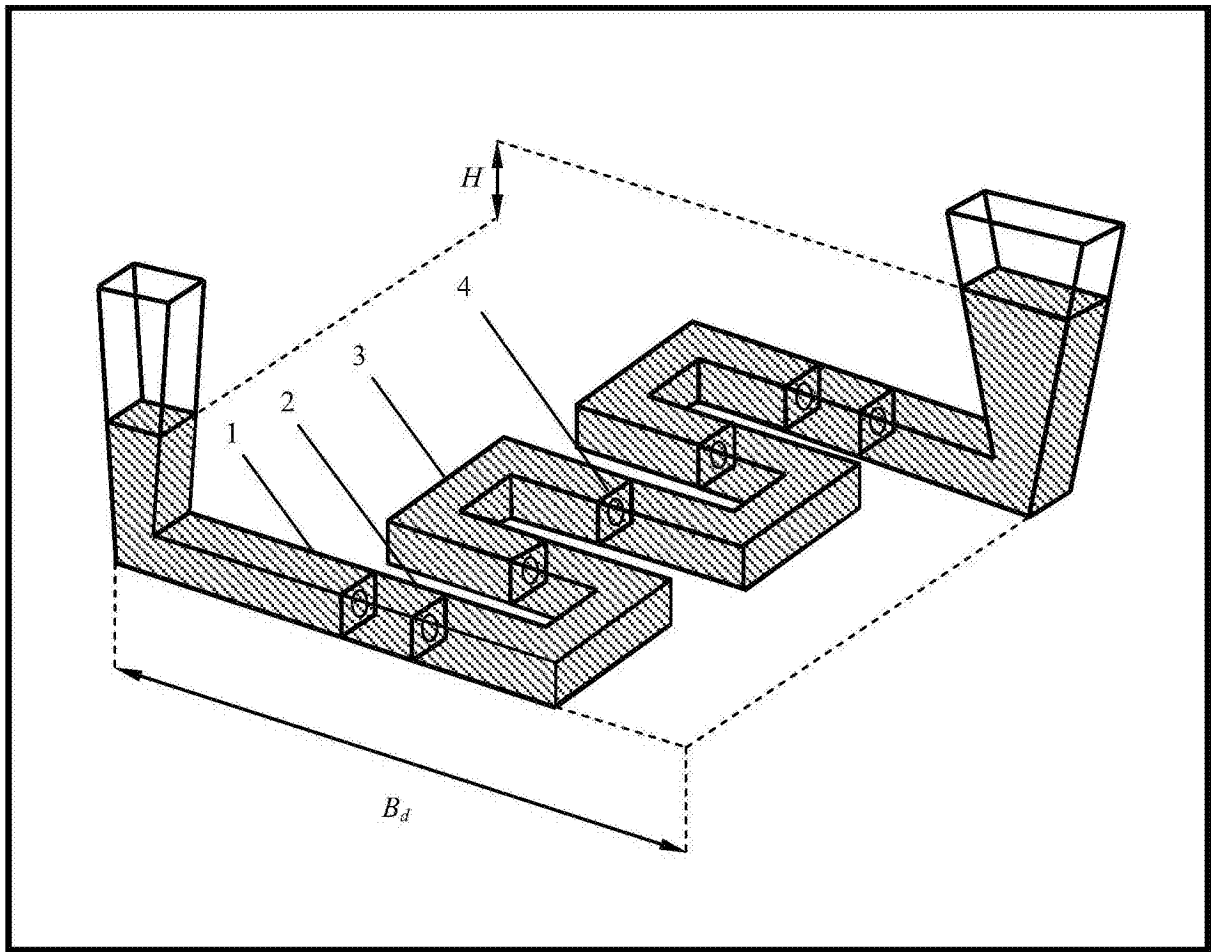


图 4

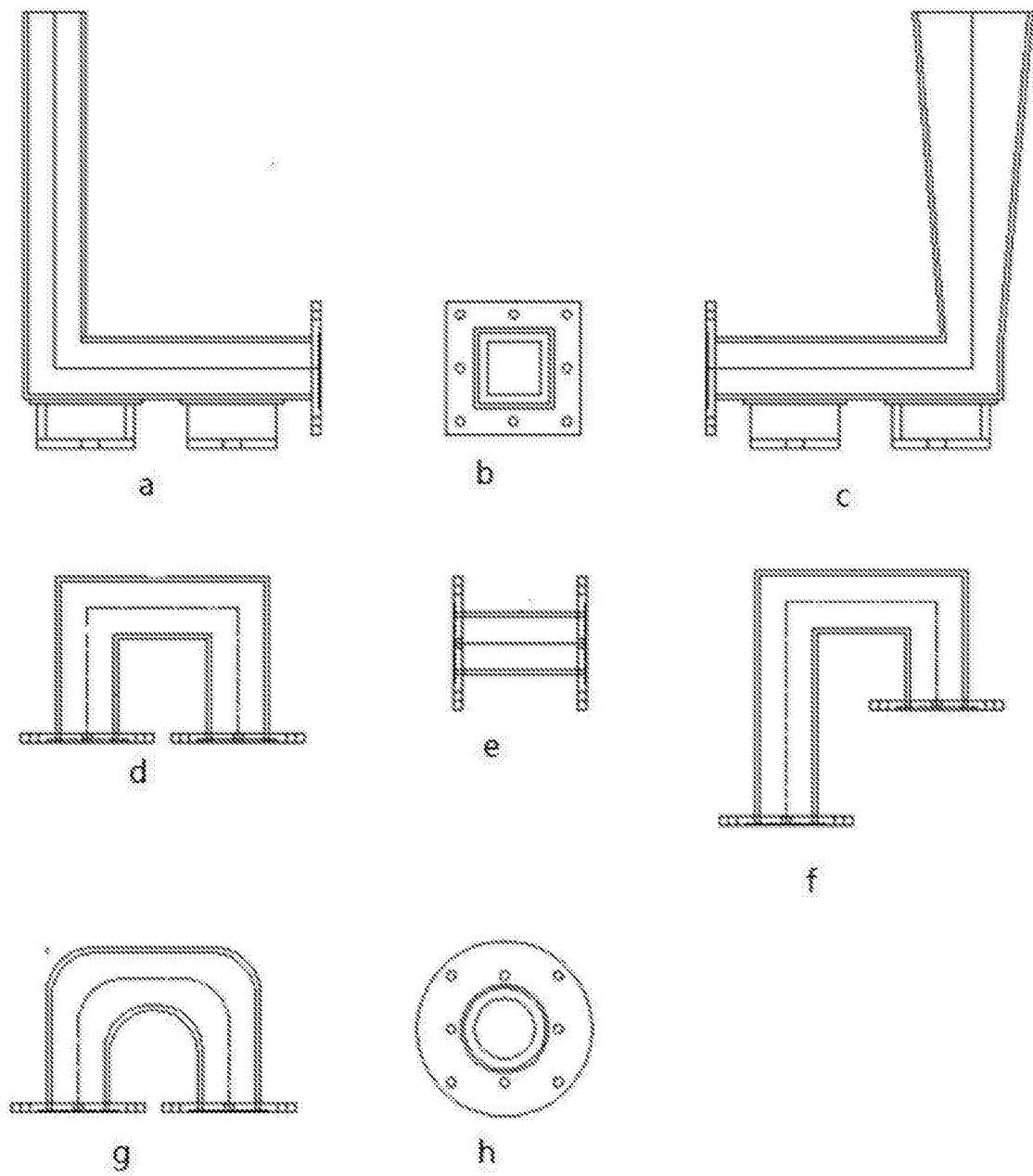


图 5

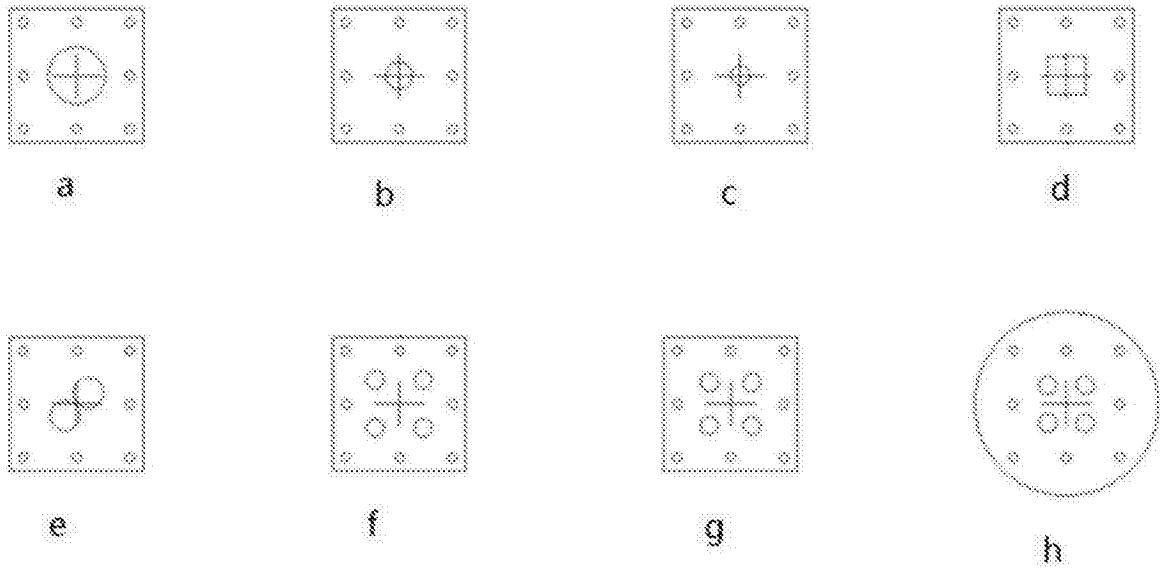


图 6