



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104697397 A

(43) 申请公布日 2015. 06. 10

(21) 申请号 201510137072. 5

(22) 申请日 2015. 03. 26

(71) 申请人 中国人民解放军装甲兵工程学院
地址 100072 北京市丰台区长辛店杜家坎
21 号

(72) 发明人 毛保全 徐振辉 杨振军 杨雨迎
李华 钟孟春 周世海 李向荣
冯帅 李程

(74) 专利代理机构 北京远大卓悦知识产权代理
事务所(普通合伙) 11369
代理人 史霞

(51) Int. Cl.
F41A 21/04(2006. 01)

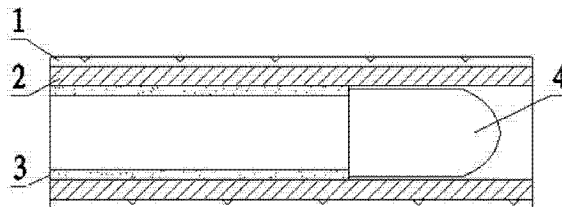
权利要求书1页 说明书7页 附图1页

(54) 发明名称

一种磁化等离子体火炮

(57) 摘要

本发明公开了一种磁化等离子体火炮,所述火炮身管内部设置有磁场,所述磁场方向沿所述身管轴线方向,指向炮口,并且所述磁场强度从身管内壁到身管轴线呈衰减分布,火炮发射时在所述磁场作用下身管内的气体能够电离成等离子体并在身管内壁上形成等离子体鞘层。本发明所述的磁化等离子体火炮在身管内壁上形成的磁化等离子体鞘层呈现出压力各向异性特征,并具有隔热作用,可使火炮身管所受径向力大幅降低,又能使弹丸的推动力大幅提高,同时还能大幅提高身管耐热性,延长使用寿命。



1. 一种磁化等离子体火炮,其特征在于,所述火炮的身管设置有磁场,所述磁场方向沿所述身管轴线方向指向炮口,并且所述磁场强度从身管内壁到身管轴线呈衰减分布,火炮发射时在所述磁场作用下身管内的气体能够电离成等离子体并在身管内壁上形成等离子体鞘层。

2. 根据权利要求 1 所述的磁化等离子体火炮,其特征在于,所述磁场的强度为

$$B(r) = B_0 \left[1 - a \cdot \exp\left(-\frac{r^2}{R_0^2}\right) \right]$$

其中, r 为至身管轴线的距离, R_0 为身管内半径; a 为小于 1 的正系数; B_0 为初始磁场强度。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的磁化等离子体火炮,其特征在于,所述磁场产生方式为在所述火炮身管外壁包覆磁性材料。

4. 根据权利要求 1 或 2 所述的磁化等离子体火炮,其特征在于,所述磁场产生方式为在所述火炮身管上安装磁场发生器。

5. 根据权利要求 1 或 2 所述的磁化等离子体火炮,其特征在于,所述火炮身管身管内壁处的磁场强度为 0.5T-10T。

6. 根据权利要求 5 所述的磁化等离子体火炮,其特征在于,所述等离子体鞘层的厚度为 0.9-1.5mm。

7. 根据权利要求 5 或 6 所述的磁化等离子体火炮,其特征在于,发射时火药气体的温度不小于 4000K。

8. 根据权利要求 7 所述的磁化等离子体火炮,其特征在于,发射时火药气体的最大压力不低于 400MP。

9. 一种坦克,其特征在于,包括如权利要求 1-8 中任一项所述的磁化等离子体火炮。

10. 一种自行火炮,其特征在于,包括如权利要求 1-8 中任一项所述的磁化等离子体火炮。

一种磁化等离子体火炮

技术领域

[0001] 本发明涉及火炮技术领域,特别涉及一种发射时在磁场作用下在身管内壁能够形成等离子体鞘层的磁化等离子体火炮。

背景技术

[0002] 身管是火炮中最重要的零部件,身管寿命是火炮武器系统的一个重要评判指标,由于火炮发射时,火药气体温度很高及弹丸导引部对身管的反复作用,使身管温度迅速升高,造成身管的烧蚀磨损,严重影响火炮的寿命,并且造成在实战中火炮不能连续长时间发射,从而影响战局。火炮发射产生的高压气体会对身管施加一个较大的径向力,对身管强度造成严重影响,这就需要身管采用高强度的材料并具有相对较厚的壁厚,这对火炮的经济性和机动性带来不利影响。

[0003] 火炮身管寿命问题是伴随着火炮发展而一直存在的一个难题。目前普遍采用的提高身管寿命方法包括使用缓蚀剂、对身管内膛进行表面处理、使用复合材料等。缓蚀剂在高温高压下分解,分解产物与火药燃气发生化学反应,反应物沉积于内膛表面,形成一层保护膜,阻碍火药在高温燃气中的碳、氢等元素向膛面扩渗和火药燃气对内膛表面的直接化学作用,起到保护身管的作用。对身管内膛进行表面处理为在内膛表面制备耐磨、耐烧蚀的涂层,和使用缓蚀剂具有相似的效果。使用这两种方式虽然都能起到一定延长身管寿命的作用,但将缓蚀剂或涂层附着到内表面的工艺复杂,并且缓蚀剂或涂层也会被不断磨损。复合材料身管由于其具有较高的比强度、比刚度,适合在大威力火炮中使用,并能减轻身管重量,增强机动性。但复合材料身管制造工艺复杂,生产周期长、成本高,不易推广使用。因此需要设计一种新型的火炮,以克服上述的缺陷。

发明内容

[0004] 为解决上述问题,本发明提供了一种磁化等离子体火炮,在发射时能够在身管内壁形成磁化等离子体鞘层,从而降低身管吸热量及径向压力,并提高对弹丸的推力。

[0005] 本发明提供的技术方案为:

[0006] 一种磁化等离子体火炮,所述火炮身管设置有磁场,所述磁场方向沿所述身管轴线方向,指向炮口,并且所述磁场强度从身管内壁到身管轴线呈衰减分布,火炮发射时在所述磁场作用下身管内的气体能够电离成等离子体并在身管内壁上形成等离子体鞘层。

[0007] 优选的是,所述磁场的强度为

$$[0008] \quad B(r) = B_0 \left[1 - a \cdot \exp\left(-\frac{r^2}{R_0^2}\right) \right]$$

[0009] 其中, r 为至身管轴线的距离, R_0 为身管内半径; a 为小于 1 的正系数。 B_0 为初始磁场强度。

[0010] 优选的是,所述磁场产生方式为在所述火炮身管外壁包覆磁性材料。

- [0011] 优选的是,所述磁场产生方式为在所述火炮身管上安装磁场发生器。
- [0012] 优选的是,所述火炮身管身管内壁处的磁场强度为 0.5T-10T。
- [0013] 优选的是,所述等离子体鞘层的厚度为 0.9-1.5mm。
- [0014] 优选的是,发射时火药气体的温度不小于 4000K。
- [0015] 优选的是,发射时火药气体的最大压力不低于 400MP。
- [0016] 本发明还提供一种坦克,包括上述的磁化等离子体火炮。
- [0017] 本发明还提供一种自行火炮,包括上述的磁化等离子体火炮。
- [0018] 本发明的有益效果是:本发明提供了一种磁化等离子体火炮,在火炮身管内加一磁场,火炮发射时产生的部分等离子体被磁化,从而在身管内壁形成磁化等离子体鞘层,该磁化等离子体鞘层呈现出压力各向异性特征,并具有隔热作用,可对火炮产生如下作用:1、使火炮身管的吸热量大大降低,从而减少身管的热烧蚀;2、降低发射时火炮身管所受的径向力,延长身管寿命,并能够使身管适当的减小壁厚,增强机动性;3、增加发射时火药气体对弹丸的推力,由于火炮身管的吸热量的减少,火药气体的热损失较少,从而向外的做功增加,另外磁流体的磁马赫数比一般马赫数小,身管中不易产生激波,火药气体热化效率降低,气体动能相对增加,从而使对弹丸的推力增加,增大了弹丸的出口速度。

附图说明

- [0019] 图 1 为本发明所述的磁化等离子体火炮身管内磁场强度分布示意图。
- [0020] 图 2 为本发明所述的磁化等离子体火炮结构示意图。

具体实施方式

[0021] 下面结合附图对本发明做进一步的详细说明,以令本领域技术人员参照说明书文字能够据以实施。

[0022] 如图 1、图 2 所示,本发明提供了一种磁化等离子体火炮,在身管内部设置有磁场。该磁场的方向沿身管轴线方向,指向炮口,并且磁场强度从身管内壁到身管轴线呈衰减分布。本发明所述磁化等离子体火炮发射时,在该磁场的作用下身管内的气体能够电离成等离子体,并在身管内壁上形成磁化等离子体鞘层。

[0023] 由于磁化等离子体鞘层呈现出压力各向异性特征,并具有隔热作用,可使火炮身管所受径向力大幅降低,又能使弹丸的推动力大幅提高,同时还能大幅提高身管耐热性,延长火炮使用寿命。

[0024] 该磁场可表示为如下公式:

$$[0025] \quad B(r) = B_0 \left[1 - a \cdot \exp\left(-\frac{r^2}{R_0^2}\right) \right]$$

[0026] 其中, r 为至身管轴线的距离, R_0 为身管内半径; a 为小于 1 的正系数。 B_0 为初始磁场强度。

[0027] 如上式可知,磁场强度呈指数函数分布,在身管轴线处磁场强度最小,在身管内壁处磁场强度最大,磁场强度从身管内壁到身管轴线逐渐衰减。

[0028] 通过在身管外壁包覆磁性材料的方式为身管内添加磁场,该磁性材料能够使身管

内产符合上式的磁感应强度。

[0029] 磁性材料是指由过度元素铁、钴、镍及其合金等能够直接或间接产生磁性的物质，磁性材料已经广泛的用在日常生活之中，例如将永磁材料用作马达，应用于变压器中的铁心材料，作为存储器使用的磁光盘，计算机用磁记录软盘等。

[0030] 在身管 2 外壁上附着一层磁性材料 1 之后，该磁性材料 1 能够使身管 2 内产磁场，发射时在所述磁场作用下身管 2 内的气体能够电离成等离子体并在身管内壁上形成等离子体鞘层 3。等离子体鞘层 3 是等离子体在有限空间中由于边界效应而形成的，因此，只要等离子体具有不均匀性，就会出现等离子体鞘层 3。

[0031] 在火炮发射时，由于火药气体的作用在身管 2 内产生高温高压的环境，火药气体在该环境中会电离成等离子体，当在火炮身管 2 外壁施加一个平行于身管轴向的强度不均匀分布的磁场时，由于磁场的存在，使得等离子体电子、带电离子被约束在身管 2 内壁，从而形成一个非电中性区域，这个区域就是磁化等离子体鞘层 3。磁化等离子体鞘层 3 就是由于磁场的非均匀性造成的等离子体浓度的不均匀区。只要火炮身管 2 内存在等离子体并有磁场分布，就会形成磁化等离子体鞘层。因此，由于在身管内具有方向沿所述身管 2 轴线方向，指向炮口的磁场，并且该磁场强度从身管 1 内壁到身管轴线呈衰减分布，故在身管内壁上会形成等离子体鞘层 3。

[0032] 根据等离子体物理学理论，若气体的温度达到 4000k 以上，部分气体就会通过碰撞而产生电离，火炮发射时，火药燃烧产生高温、高压气体，温度可达 4000k 以上，可以形成等离子体。初步假设高温、高压气体处于热平衡状态，则气体分子的速度呈现麦克斯韦分布：

$$[0033] \quad f(m) = n_0 \left(\frac{m_a}{2\pi k T_0} \right)^{3/2} \exp\left(-\frac{m_a}{2k T_0}\right)$$

[0034] 式中， $f(m)$ 为分子处于速度 v 上的粒子数， m_a 为分子的平均质量， T_0 为气体的温度， k 为玻尔兹曼常数， n_0 为高温高压火药气体的密度

[0035] 一般气体电离所需的电离能约为：

$$[0036] \quad \varepsilon_k = 16\text{eV} = 16 \times 1.6 \times 10^{-19} (\text{J}) = 2.56 \times 10^{-18} (\text{J})$$

[0037] 对于能够产生电离的分子，其热速度为：

$$[0038] \quad v_c = \sqrt{\frac{2kT_c}{m_a}} = \sqrt{\frac{2\varepsilon_k}{m_a}} = \sqrt{\frac{2 \times 2.56 \times 10^{-18}}{4.676 \times 10^{-26}}} = 1.05 \times 10^4 (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$$

[0039] 一团分子相互碰撞，各自都具有一定的速度。假设有两个分子分别以速度 v 和 $-v$ 相对碰撞，根据等离子体物理学理论，若这个速度达到 2500m/s，其碰撞过程的动能就可以使分子产生电离。因此，单位体积内高温高压火药气体中速度超过 2500m/s 的分子数约为：

$$N = \int_{2500}^{\infty} n_0 \left(\frac{m_a}{2\pi k T_0} \right)^{1.5} \exp \left(-\frac{m_a v^2}{2k T_0} \right) v^2 dv = n_0 \frac{1}{\pi^{1.5}} \int_{2500}^{\infty} \frac{v^2}{v_c^2} \exp \left(-\frac{v^2}{v_c^2} \right) d \frac{v}{v_c}$$

$$= \frac{n_0}{\pi^{1.5}} \int_{0.25}^{\infty} x^2 \exp(-x^2) dx = \frac{n_0}{\pi^{1.5}} \left[x \int x \exp(-x^2) dx \right]_{0.25}^{\infty} + \int_{0.25}^{\infty} \exp(-x^2) dx$$

[0040]

$$= \frac{n_0}{\pi^{1.5}} \left[\frac{0.25}{2} \exp(-0.0625) + \int_0^{\infty} \exp(-x^2) dx - \int_0^{0.25} \exp(-x^2) dx \right]$$

$$= \frac{n_0}{\pi^{1.5}} \left[\frac{0.25}{2} \exp(-0.0625) + \frac{\sqrt{\pi}}{2} \exp(-0.0625) \right]$$

$$= 0.18 n_0$$

[0041] 上式表明,火炮发射时若气体的温度达到 4000k,火药燃烧产生的高温高压火药气体中有 18% 的气体分子电离成等离子体。

[0042] 由于磁场的存在,使得等离子体中的电子、带电离子被约束在身管内壁,从而形成一个非电中性区域,这个区域就是磁化等离子体鞘层。

[0043] 鞘层厚度取决于离子的回旋半径。离子的回旋半径约为:

$$[0044] \quad r_{ci} = \frac{m_i v_i}{eB}$$

[0045] 其中, m_i 为离子的平均质量, v_i 为等离子体速度, e 为元电荷电量。 B 为在身管内壁处的磁场强度,本实施例中 $B = 0.5T$, 则 $r_{ci} = 0.3mm$ 。

[0046] 磁化等离子体鞘层一般约为离子回旋半径的 3 ~ 5 倍。因此,磁化等离子体鞘层的厚度约为 0.9 ~ 1.5mm。

[0047] 磁化等离子体鞘层呈现出压力各向异性特征,并具有隔热作用,可使火炮身管所受径向力大幅降低,又能使弹丸的推动力大幅提高,同时还能大幅提高身管耐热性。

[0048] 本实施例中,火炮发射时身管内产生的高温高压气体压力 p 为 400MPa, 温度 T_0 为 4000K, 则气体密度 n_0 为:

$$[0049] \quad n_0 = \frac{P}{kT_0} = \frac{4 \times 10^8}{1.38 \times 10^{-23} \times 4000} = 7.25 \times 10^{27} (m^{-3})$$

[0050] 由于磁化等离子体鞘层总压力为:

$$[0051] \quad P_{sh} = \frac{B^2}{2\mu_0} + n_e k T_e + n_i k T_i + n_{osh} k T_0 = n_0 k T_0$$

[0052] 式中, B 为身管内壁处磁场强度; μ_0 为磁导率常数; n_e 为磁化等离子体鞘层中电子密度,一般约为中性气体密度的 10%, 即 $n_e = 7.5 \times 10^{26} m^{-3}$; T_e 为磁化等离子体鞘层中电子温度, $T_e = 23000K$; n_i 为磁化等离子体鞘层中带电离子密度, $n_i = n_e = 7.25 \times 10^{26} m^{-3}$; T_i 为磁化等离子体鞘层中带电离子温度, $T_i = T_e = 4000K$ 。

[0053] 因此,在等离子体鞘层中,中性气体的密度 n_{osh} 为:

$$n_{osh} = n_0 - \frac{B^2}{2kT_0\mu_0} - n_e \frac{T_e}{T_0} - n_i \frac{T_i}{T_0}$$

[0054]

$$= 7.25 \times 10^{27} - 7 \times 10^{24} - 7.25 \times 10^{26} \times \left(\frac{23000}{4000} + 1 \right)$$

$$= 2.35 \times 10^{27}$$

[0055] 由此可知,相比常规火炮炮发射时火药气体密度,磁化等离子体火炮鞘层中气体密度降低。

[0056] 由于身管中向身管壁传递热流的主要是等离子体鞘层中的中性气体,其传递的热流密度与气体的密度成正比,因而,由于磁化等离子体火炮鞘层的存在使得火药气体向身管壁传递的热流密度下降。磁化等离子体鞘层就像一种隔热层处于高温高压火药气体与身管壁之间,大幅减少高温高压气体对身管壁的烧蚀。

[0057] 磁化等离子体火炮发射弹丸时,火药气体温度为 4000K,压力为 400MPa,气体向身管传递的热量降低 60%。

[0058] 火炮发射时,高温高压火药气体总体表现为中性流体特征。若外加磁场,高温高压火药气体表现为磁流体特征。不带电流体元不受磁场的控制如同一般的流体沿着磁场方向运动,而带电流体元受到磁场的控制产生垂直磁场方向的运动,因此火药气体在外磁场中的运动具有明显的各向异性。

[0059] 对于一般流体,其压力是标量,表现为压力各向同性,动量守恒定律的表达式为:

[0060]

$$\rho \frac{d\vec{u}}{dt} = -\nabla p + \left(\zeta + \frac{2}{3}\eta \right) \nabla(\nabla \cdot \vec{u}) + \eta \Delta \vec{u} + \rho \vec{g}$$

[0061] 对于磁流体,其压力变为张量 \vec{P} ,表现为压力各向异性,其表达式为:

[0062]

$$\vec{P} = 2\eta \vec{S} - \left(p + \frac{2}{3}\eta \nabla \cdot \vec{u} - \zeta \nabla \cdot \vec{u} \right) \vec{I}$$

[0063] 式中, S 为磁流体的形变率张量 ;p 为压力标量 ;u 为磁流体的速度矢量 ;I 为单位张量 ; η 为磁流体的粘滞系数 ; ζ 为体粘滞系数或第二粘滞系数。

[0064] 对于常规火炮,身管径向承受的压力就是火药气体压力。当外加磁场后,由于火药气体中的电子、带电离子被平行于身管轴向的磁场所约束,形成一个非电中性区域,即磁化等离子体鞘层,火药气体表现出磁流体特征,火炮身管径向承受的压力变为非电中性区域的压力,该压力与其密度成正比。

[0065] 分别设火炮身管内火药气体的径向压力和轴向压力分别为 P_r 、 P_t ,则径向压力与轴向压力之比为:

[0066]

$$\eta = \frac{P_r}{P_t} = \frac{n_{osh}}{n_0} = 0.324$$

[0067] 由此可知,与常规火炮相比,磁化等离子体火炮由于鞘层的存在使径向压力明显

比轴向压力小,身管中火药气体呈现压力各向异性。

[0068] 经分析,磁化等离子火炮发射时,气体在轴向压力为 400MPa,径向压力则降低 30%,约为 130MPa,身管径向压力与轴向压力之比大于 0.3。

[0069] 常规火炮发射时高温高压火药气体膨胀推动弹丸向前运动,当气体膨胀的马赫数达到 6 时,气体在膛内产生激波,气体的密度、温度在激波处大幅增加,导致气体将动能转化为热能,气体动能减少,运动速度下降,弹丸的推进力大幅减小,这就是常规火炮初速难以超过 6 马赫数的主要原因。

[0070] 对于磁化等离子体火炮,提高对弹丸 4 的推力可以从两方面分析。

[0071] 一方面,由气体的能量方程:

$$[0072] \quad m_a n_0 \frac{d}{dt} \left(kT_0 + \frac{V_0^2}{2} \right) = \nabla \cdot (\vec{P} \cdot \vec{V}_0) - \nabla \cdot \vec{\Gamma}_H$$

[0073] 式中, m_a 为气体分子平均质量; V_0 为气体分子轴向流动平均速度; $\vec{\Gamma}_H$ 为气体向身管传递的热流量。

[0074] 由上式可知,气体的能量包括热能和动能,与外力挤压气体做功的功率成正比,与气体向外传递的热量成反比。由于磁化等离子体鞘层的隔热作用,使得火药气体向身管壁传递的热量下降,损失的热能减少,因而气体的能量相对增加,弹丸推力得以提高。

[0075] 另一方面,高温高压火药气体在身管中沿轴向高速喷射,推动弹丸高速运动。高温高压火药气体的速度越快,对弹丸的推力越大,也就是说气体动能与高温高压火药气体对弹丸 4 的推力成正比。推力为:

$$[0076] \quad F = S n_0 m_a V_0^2$$

[0077] 式中, S 表示身管的截面积。

[0078] 对于磁化等离子体火炮,由于高温高压火药气体的电离以及轴向磁场的存在,使得气体表现出磁流体特性。火炮身管内磁流体的磁声速为:

$$[0079] \quad v_m = \sqrt{c_s^2 + v_A^2} v_A = \sqrt{\frac{B^2}{\mu_0 \rho_p}}$$

[0080] 式中, v_m 为磁流体的磁声速, v_A 为磁流体的阿尔芬波速度, ρ_p 为磁流体质量密度。

[0081] 磁流体中的磁马赫数为:

$$[0082] \quad Ma = \frac{V_0}{v_m}$$

[0083] 其中, v_0 为气体分子轴向流动平均速度。由于 v_m 比 c_s 大,所以,磁流体的磁马赫数比一般马赫数小,身管中不易产生激波,火药气体热化效率降低,气体动能相对增加,火药气体对弹丸 4 的推力得以提高,进而提高弹丸 4 的出口速度,增大了射程。即磁化等离子体火炮可以提高火药气体对弹丸的推力,可使火炮的初速突破常规火药气体 6 马赫的迟滞声速极限。

[0084] 实验表明,在身管身管内壁处的磁场强度为 1T 的磁场下,火药气体对弹丸的推力可提高 10Mpa,而在 10T 磁场下,推力可提高大约 100Mpa。

[0085] 此外,通过在身管上安装磁场发生器也能够身在管内添加上述的磁场。

[0086] 尽管本发明的实施方案已公开如上,但其并不仅仅限于说明书和实施方式中所列运用,它完全可以被适用于各种适合本发明的领域,对于熟悉本领域的人员而言,可容易地实现另外的修改,因此在不背离权利要求及等同范围所限定的一般概念下,本发明并不限于特定的细节和这里示出与描述的图例。

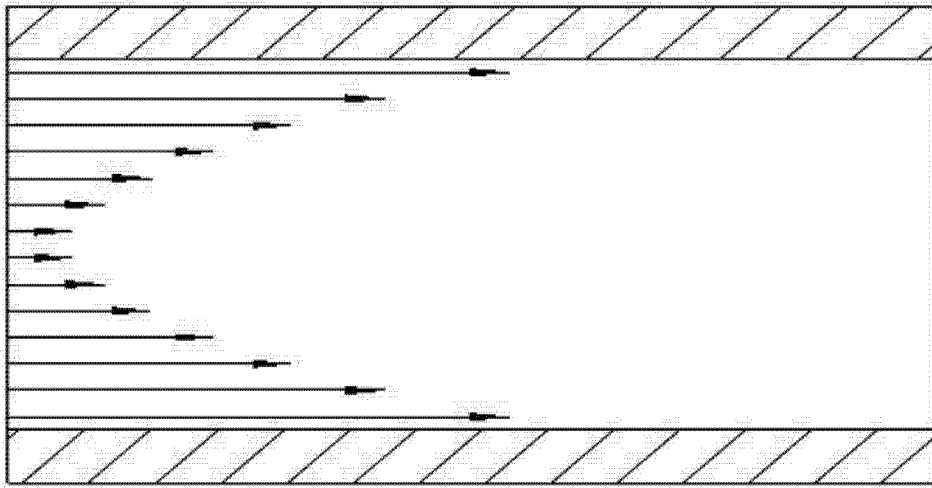


图 1

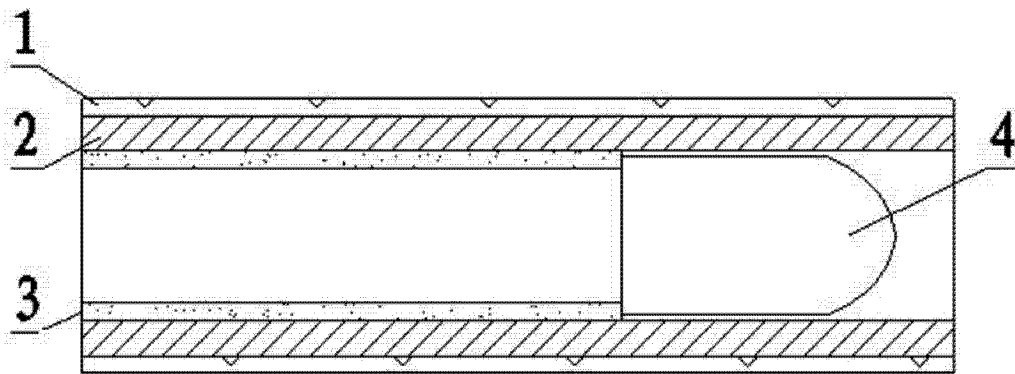


图 2