



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115523055 B

(45) 授权公告日 2023. 03. 14

(21) 申请号 202211497101.5

F02K 9/24 (2006.01)

(22) 申请日 2022.11.28

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 115523055 A

CN 113339161 A, 2021.09.03

CN 109338144 A, 2019.02.15

CN 113357053 A, 2021.09.07

(43) 申请公布日 2022.12.27

CN 114329661 A, 2022.04.12

(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

TW 201321300 A, 2013.06.01

US 5714711 A, 1998.02.03

审查员 吴雨亭

(72) 发明人 林鑫 王若岩 王泽众 张泽林
孟东东 余西龙

(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
专利代理师 胡剑辉

(51) Int. Cl.

F02K 9/10 (2006.01)

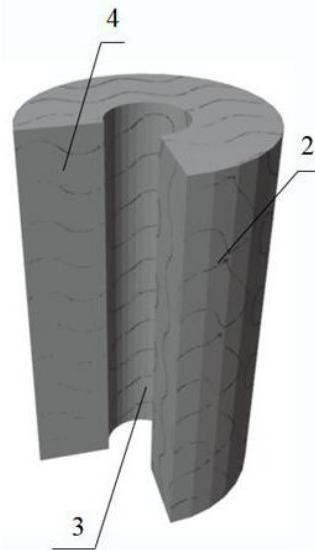
权利要求书1页 说明书5页 附图6页

(54) 发明名称

一种固液发动机药柱及其制备方法

(57) 摘要

本发明公开了一种固液发动机药柱及其制备方法,通过单位螺旋二十四面体极小曲面结构沿三维进行阵列至大于药柱的尺寸,得到螺旋二十四面体晶格结构;进行加厚,获得片层状螺旋二十四面体晶格结构;将药柱模型与片层状螺旋二十四面体晶格结构相交,得到与药柱模型一致的螺旋二十四面体晶格结构;3D打印后得到药柱的金属燃料架构,在金属燃料架构的孔隙中填充固体燃料,固化成型为药柱。本发明通过使用金属材质极小曲面结构嵌入固体药柱的方法,实现了金属燃料的均匀添加,提高了药柱的密度比冲,不会对发动机其他部件、结构有任何负担性影响,解决了现有技术中金属粉末难以在固体燃料中分布均匀的问题。



1. 一种固液发动机药柱,其特征在於,包括金属燃料架构,所述金属燃料架构为金属燃料制备的螺旋二十四面体晶格结构,在所述金属燃料架构的孔隙中填充有固体燃料;

所述螺旋二十四面体晶格结构包括在三维空间内阵列并无缝隙相互连接的多个单位螺旋二十四面体极小曲面结构;

所述金属燃料架构的轮廓形状、尺寸和所述药柱的轮廓形状、尺寸相同;

基于金属燃料架构和固体燃料不同的燃速,使得发动机在工作时在螺旋二十四面体晶格结构的燃烧表面形成金属突起,对氧化剂流场产生扰动,增强药柱在燃烧过程中氧化剂的湍流燃烧强度,提高燃速。

2. 一种根据权利要求1所述的一种固液发动机药柱的制备方法,其特征在於,包括如下步骤:

S1. 绘制单位螺旋二十四面体极小曲面结构;

S2. 将单位螺旋二十四面体极小曲面结构沿三维进行阵列至大于药柱的尺寸,得到螺旋二十四面体晶格结构;

S3. 对获得的螺旋二十四面体晶格结构加厚,获得片层状螺旋二十四面体晶格结构;

S4. 将药柱的模型,与得到的片层状螺旋二十四面体晶格结构相交,得到与药柱模型一致的螺旋二十四面体晶格结构;

S5. 3D打印与药柱模型一致的螺旋二十四面体晶格结构,得到具有螺旋二十四面体晶格结构的金属燃料架构;

S6. 在得到的金属燃料架构的螺旋二十四面体晶格结构的孔隙中填充固体燃料,固化成型为药柱。

3. 根据权利要求2所述的制备方法,其特征在於,

所述制备方法还包括金属燃料架构的填充密度设定方法,具体为,改变给定体积内的单位螺旋二十四面体极小曲面结构的数量从而调整螺旋二十四面体晶格结构的填充密度。

4. 根据权利要求3所述的制备方法,其特征在於,

所述金属燃料架构采用铝、镁、或铝镁合金中的任意一种金属粉末经增材制造技术一体成型。

5. 根据权利要求3所述的制备方法,其特征在於,

所述固体燃料为HTPB基燃料。

6. 根据权利要求3-5任一项所述的一种制备方法,其特征在於

所述单位螺旋二十四面体极小曲面结构的厚度为0.05-0.1mm。

一种固液发动机药柱及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明属于固液火箭发动机技术领域,具体涉及一种固液发动机药柱及其制备方法。

背景技术

[0002] 固体药柱是固液混合火箭发动机的核心组成部分,HTPB、HDPE、PMMA等固体燃料作为燃烧稳定的聚合物燃料可被用于制备固体药柱,但其不易发生热分解、工作过程中的气化速率较低导致其燃速处于低水平。

[0003] 目前主流的提高燃速的方式有以下几种:(1)在固体燃料中加入金属粉末增强高温燃气对燃面的热反馈,但使金属粉末在固体燃料中均匀分布对燃料制备工艺要求极高,且会增加点火难度。(2)使用多孔形、星形或车轮形药柱增大燃面,但这会复杂化药柱的结构设计,使发动机空间利用率下降。

发明内容

[0004] 本发明提出了一种固液发动机药柱及其制备方法,使用金属材质极小曲面结构嵌入固体药柱的方法,提升燃速的同时还有利于提升药柱的机械性能,实现了金属燃料的均匀添加,提高了药柱的密度比冲,以解决现有技术中金属粉末为在固体燃料中难以在固体燃料中分布均匀的问题。

[0005] 在本发明的第一个方面,提供一种固液发动机药柱,包括金属燃料架构,所述金属燃料架构为金属燃料制备的螺旋二十四面体晶格结构,在所述金属燃料架构的孔隙中填充有固体燃料。

[0006] 进一步地,所述螺旋二十四面体晶格结构包括在三维空间内阵列并无缝隙相互连接的多个单位螺旋二十四面体极小曲面结构。

[0007] 进一步地,所述金属燃料架构的轮廓形状、尺寸和所述药柱的轮廓形状、尺寸相同。

[0008] 在本发明的第二个方面,提供一种固液发动机药柱的制备方法,包括如下步骤:

[0009] S1. 绘制单位螺旋二十四面体极小曲面结构;

[0010] S2. 将单位螺旋二十四面体极小曲面结构沿三维进行阵列至大于药柱的尺寸,得到螺旋二十四面体晶格结构;

[0011] S3. 对获得的螺旋二十四面体晶格结构加厚,获得片层状螺旋二十四面体晶格结构;

[0012] S4. 将药柱的模型,与得到的片层状螺旋二十四面体晶格结构相交,得到与药柱模型一致的螺旋二十四面体晶格结构;

[0013] S5. 3D打印与药柱模型一致的螺旋二十四面体晶格结构,得到具有螺旋二十四面体晶格结构的金属燃料架构;

[0014] S6. 在得到的金属燃料架构的螺旋二十四面体晶格结构的孔隙中填充固体燃料,

固化成型为药柱。

[0015] 进一步地,所述制备方法还包括金属燃料架构的填充密度设定方法,具体为,改变给定体积内的单位螺旋二十四面体极小曲面结构的数量从而调整螺旋二十四面体晶格结构的填充密度。

[0016] 进一步地,所述金属燃料架构采用铝、镁、或铝镁合金中的任意一种金属粉末经增材制造技术一体成型。

[0017] 进一步地,所述固体燃料为HTPB基燃料。

[0018] 进一步地,所述单位螺旋二十四面体极小曲面结构的厚度为0.05-0.1mm。

[0019] 本发明和现有技术相比具有如下有益效果:

[0020] 1、本发明采用的螺旋二十四面体晶格结构作为金属燃料架构,燃料架构厚度恒定,不会出现金属粉末团聚的现象;且螺旋二十四面体具有三周期的特性,沿x, y, z方向可无限阵列,从而使得其在药柱中沿轴向分布均匀,由金属制成的晶格结构可实现药柱沿程均匀导热,有利于燃速在药柱轴向方向上均匀提升,从而使氧燃比沿燃烧通道保持恒定。

[0021] 2、本发明基于中金属燃料架构和固体燃料不同的燃速,使得发动机在工作时在螺旋二十四面体晶格结构的燃烧表面形成金属突起,对氧化剂流场产生扰动,增强了药柱在燃烧过程中氧化剂的湍流燃烧强度,有效地提高燃速。

[0022] 3、而且本发明中,螺旋二十四面体晶格结构的多孔结构特性可使固体燃料与金属燃料架构紧密贴合,避免因二者不相容导致的固体燃料脱落问题,提升了固液火箭发动机的安全性。

附图说明

[0023] 为了更清楚地说明本发明的实施方式或现有技术中的技术方案,下面将对实施方式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍。显而易见地,下面描述中的附图仅仅是示例性的,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据提供的附图引申获得其它的实施附图。

[0024] 图1为本发明实施例中单位螺旋二十四面体极小曲面结构的结构示意图;

[0025] 图2为本发明实施例中提供的螺旋二十四面体晶格结构;

[0026] 图3为本发明实施例中金属燃料架构的部分剖视图;

[0027] 图4为本发明实施例中金属燃料架构的俯视图(沿药柱长度方向观察);

[0028] 图5为本发明实施例中金属燃料架构的3/4剖视图;

[0029] 图6为本发明实施例中金属燃料架构填充固体燃料后的3/4剖视图;

[0030] 图7为本发明实施例中固液发动机药柱的制备方法的流程示意图;

[0031] 图8为本发明实施例1中设有螺旋二十四面体晶格结构的HTPB基药柱与普通HTPB基药柱燃面退移速率测试结果对比图;

[0032] 其中:1、填充固体燃料的孔隙;2、螺旋二十四面体极小曲面结构;3、氧化剂通道;4、固体燃料。

具体实施方式

[0033] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完

整地描述,显然,所描述的实施例仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0034] 极小曲面定义为平均曲率为零的曲面,由于其优异的力学性能因而在航空航天、石油化工、机械等方面有着广泛的应用前景。极小曲面是自然力分布的直接结果,其势能最小,结构稳定,载荷均匀,不易发生应力集中,最早在建筑领域有着很广泛的应用。

[0035] Gyroid, Diamond, Schwarz P是最重要、最普遍存在的三种极小曲面,其中,gyroid (螺旋二十四面体)是自然界结构自由能最小化的代表性范本,最早在1967年由Luzzati等人发现,于1970年由Alan Schoen确定为周期最小曲面结构,可由式 $\sin x \times \cos y + \sin y \times \cos z + \sin z \times \cos x = 0$ 描述,这种曲面内不含直线,也不存在平面对称性,属于体心立方结构。

[0036] 本发明中,使用金属材质极小曲面结构嵌入固体药柱的方法,得到一种固液发动机药柱,如图1-6所示,药柱包括金属燃料架构,所述金属燃料架构为金属燃料制备的螺旋二十四面体晶格结构,在所述金属燃料架构的孔隙中填充有固体燃料。

[0037] 本发明中药柱的金属燃料架构为螺旋二十四面体晶格结构,在晶格结构的孔隙中填充固体燃料,使得螺旋二十四面体晶格结构在燃料中分布均匀,而且由金属制成的晶格结构可实现药柱沿程均匀导热,有利于燃速在药柱轴向方向上均匀提升,从而使氧燃比沿燃烧通道保持恒定。

[0038] 本发明中,所述螺旋二十四面体晶格结构包括在三维空间内阵列并相互无缝隙连接的多个单位螺旋二十四面体极小曲面结构。其中单位螺旋二十四面体极小曲面结构是最小单位,具有极小曲面的特性,由此组成的螺旋二十四面体晶格结构具备极小曲面的结构稳定、分布均匀的优点。

[0039] 所述金属燃料架构的轮廓形状、尺寸和所述药柱的轮廓形状、尺寸相同。药柱与金属燃料架构的螺旋二十四面体晶格结构同形状同尺寸,设置为中空同轴圆柱筒体结构,中孔即为氧化剂通道。一般情况下,药柱外径与中孔内径的比值设置为5,外径与中孔内径的比值设置为3,药柱及金属晶格结构的长度可以是100mm,外径是60mm,内径是20mm。

[0040] 发动机工作时,氧化剂从头部沿轴向喷注,流经氧化剂通道与燃烧表面接触,螺旋二十四面体晶格结构在固液混合发动机工作时参与燃烧,基于金属燃料架构和固体燃料不同的燃速,使得发动机在工作时在螺旋二十四面体晶格结构的燃烧表面形成金属突起,对氧化剂流场产生扰动,增强了药柱在燃烧过程中氧化剂的湍流燃烧强度,有效地提高燃速。

[0041] 在本发明的另一个方面,还提供了一种固液发动机药柱的制备方法,其流程图如图7所示,包括如下步骤:

[0042] S1. 绘制得到单位螺旋二十四面体极小曲面结构。

[0043] 可以根据gyroid曲面结构的隐式表达式 $\cos\left(\frac{2\pi}{l_x} \cdot x\right) \sin\left(\frac{2\pi}{l_y} \cdot y\right) + \cos\left(\frac{2\pi}{l_y} \cdot y\right) \sin\left(\frac{2\pi}{l_z} \cdot z\right) + \cos\left(\frac{2\pi}{l_z} \cdot z\right) \sin\left(\frac{2\pi}{l_x} \cdot x\right) = 0$ 在三维空间内绘制得到单位螺旋二十四面体极小曲面结构,其中, l_x , l_y , l_z 为单位螺旋二十四面体极小曲面结构在 x , y , z 三个方向上的长度,如图1所示。

[0044] S2. 将单位螺旋二十四面体极小曲面结构沿三维进行阵列至大于药柱的尺寸,得到螺旋二十四面体晶格结构,得到螺旋二十四面体晶格结构的尺寸大于药柱的尺寸,便于

根据药柱模型处理。

[0045] 本发明中所使用的单位螺旋二十四面体极小曲面结构属于三周期极小曲面结构(Triply Periodic Minimal Surface structures, TPMS), 其具有各向同性, 即在x, y, z方向具有周期性, 可沿三个方向无限扩展, 因此可通过沿三个方向周期性复制来建立, 沿某一方向复制阵列一个螺旋二十四面体曲面结构时, 令排布间距等于螺旋二十四面体曲面的边长尺寸, 则得到的复制螺旋二十四面体曲面结构的始端与原单位螺旋二十四面体极小曲面末端可无缝隙连接。

[0046] 其中, 制备方法还包括单位螺旋二十四面体极小曲面结构的填充密度设定方法, 具体为, 改变给定体积内的单位螺旋二十四面体极小曲面结构的数量从而调整螺旋二十四面体晶格结构的填充密度。

[0047] S3. 对获得的螺旋二十四面体晶格结构加厚, 获得片层状螺旋二十四面体晶格结构。

[0048] 结合当前较为成熟的3D打印技术水平, 将单位螺旋二十四面体极小曲面结构的厚度设置为0.05-0.1mm, 需要说明的是, 单位螺旋二十四面体极小曲面结构的厚度即为片层状螺旋二十四面体晶格结构的厚度。

[0049] S4. 将药柱的模型, 与得到的片层状螺旋二十四面体晶格结构相交, 得到与药柱模型一致的螺旋二十四面体晶格结构, 如图3-5所示。

[0050] S5. 3D打印与药柱模型一致的螺旋二十四面体晶格结构, 得到具有螺旋二十四面体晶格结构的药柱的金属燃料架构。

[0051] 金属燃料架构一般采用铝、镁、或铝镁合金中的任意一种金属粉末经增材制造技术一体成型, 也可选用发动机药柱常采用的其他金属粉末经增材制造技术一体成型。

[0052] S6. 在得到的金属燃料架构的螺旋二十四面体晶格结构的孔隙中填充固体燃料, 固化成型为药柱, 如图6所示。

[0053] 所述固体燃料可以选择HTPB基燃料, 3D打印制作螺旋二十四面体晶格结构后, 通过浇注方式填充HTPB基燃料, 在模具内固化成型。

[0054] 发动机工作时, 氧化剂从药柱的头部轴向喷注, 流经氧化剂通道与燃烧表面接触。

[0055] 本发明制备的固液发动机药柱, 首先基于金属良好的导热性使燃烧热沿金属燃料架构传导至药柱内部, 提高贴附于金属燃料架构处固体燃料的气化速率, 进而增大燃面, 即提升药柱整体燃速, 且金属燃料架构沿轴向分布均匀, 可实现沿程均匀导热; 其次, 利用金属燃料与固体燃料不同的燃速使发动机在工作时在燃烧表面形成金属突起, 对氧化剂流场产生扰动, 增强湍流燃烧强度; 第三, 螺旋二十四面体多孔状的结构可改善药柱金属架构与填充的固体燃料不相容的问题; 最后, 螺旋二十四面体结构稳定、载荷分布均匀、不易发生应力集中的特性有助于提升药柱的力学性能。

[0056] 实施例1

[0057] 本实施例以药柱及金属晶格结构的长度为100mm, 外径为60mm, 内径为20mm为例, 制备固液发动机药柱。

[0058] S1. 绘制得到单位螺旋二十四面体极小曲面结构。

[0059] S2. 给定100mm×100mm×100mm大小的正方体, 每条边长方向上依次阵列5个单位螺旋二十四面体极小曲面结构, 即对应的单位螺旋二十四面体极小曲面结构边长为20mm,

生成整体晶格结构即螺旋二十四面体晶格结构。

[0060] S3. 对获得的螺旋二十四面体晶格结构加厚,厚度为0.1mm,获得片层状螺旋二十四面体晶格结构。

[0061] S4.以正方体的中心点为中心,建立直径60mm,高100mm,中孔直径20mm的中空同轴圆柱筒体的药柱模型,将该药柱模型与上述步骤S3的正方体片层状螺旋二十四面体晶格结构相交,相交部分即为药柱中所填充的拥有螺旋二十四面体晶格结构的金属燃料架构。

[0062] S5.使用金属铝粉末通过3D打印方式制作金属燃料架构,得到金属燃料架构的实体结构。

[0063] S6.在得到的金属燃料架构的孔隙中,通过浇注方式填充HTPB基燃料,在模具中冷却后取出药柱。

[0064] 本实施例针对的燃料为HTPB燃料,HTPB燃料相对于含石蜡燃料应用更广泛,其具有三维体型网络结构,燃烧更稳定,力学性能更佳,因此本实施例可在保证固体燃料力学性能和燃烧稳定性的前提下实现退移速率的提升。

[0065] 本实施例以氧气为氧化剂的固液火箭发动机实验台为基础,实验结果如图8所示,实现了HTPB基药柱整体燃速的提升,燃面退移速率提升了20.3%。

[0066] 以上实施例仅为本申请的示例性实施例,不用于限制本申请,本申请的保护范围由权利要求书限定。本领域技术人员可以在本申请的实质和保护范围内,对本申请做出各种修改或等同替换,这种修改或等同替换也应视为落在本申请的保护范围内。

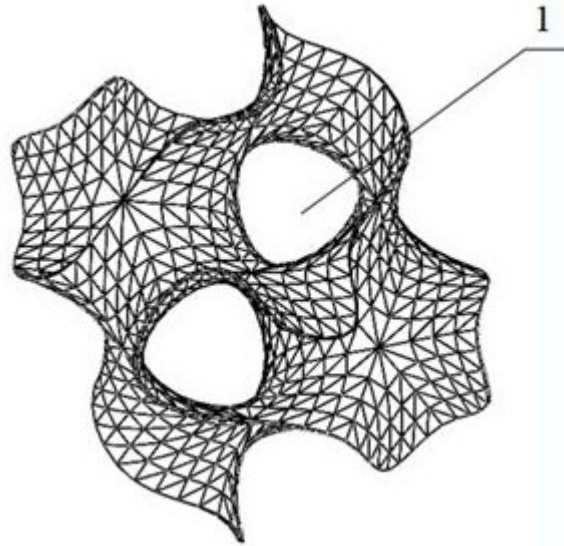


图1

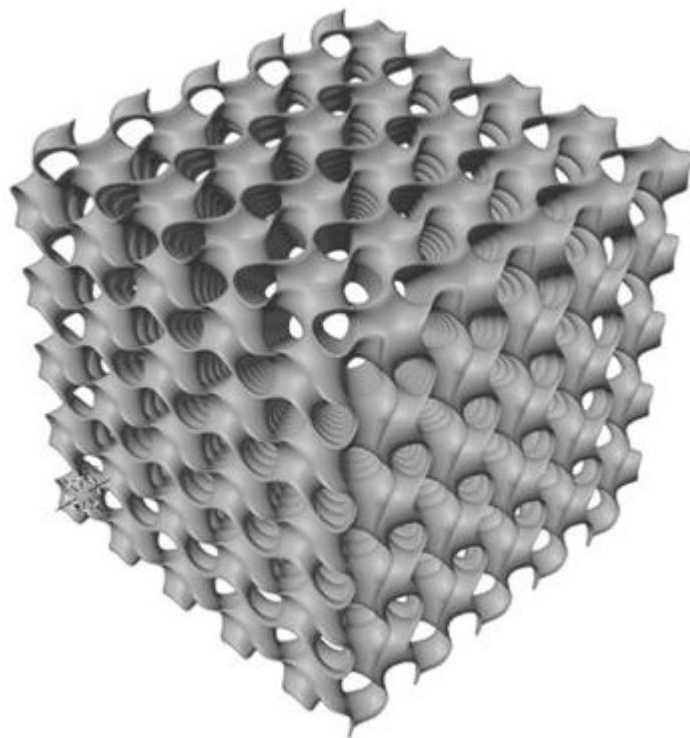


图2

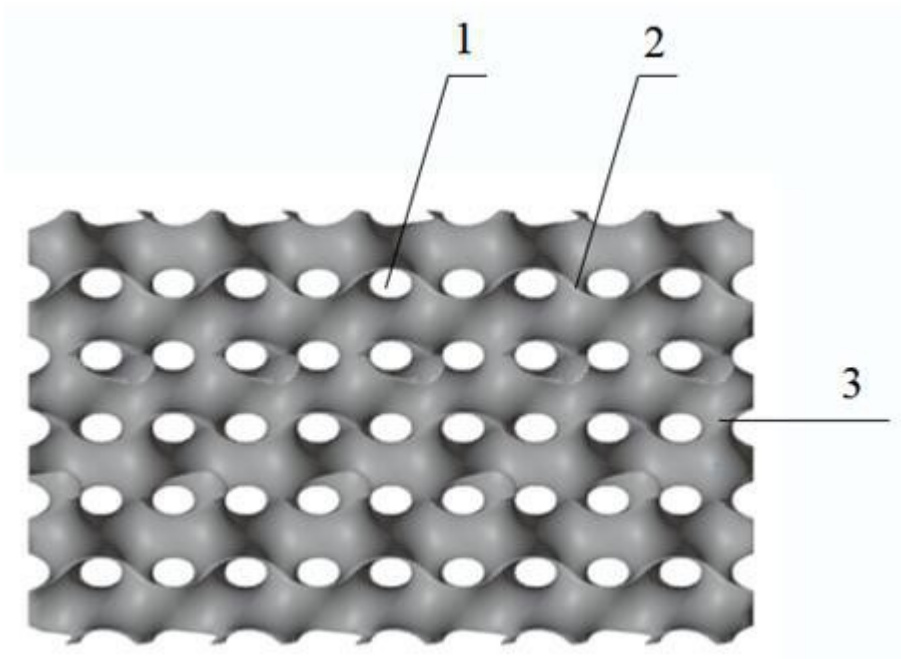


图3

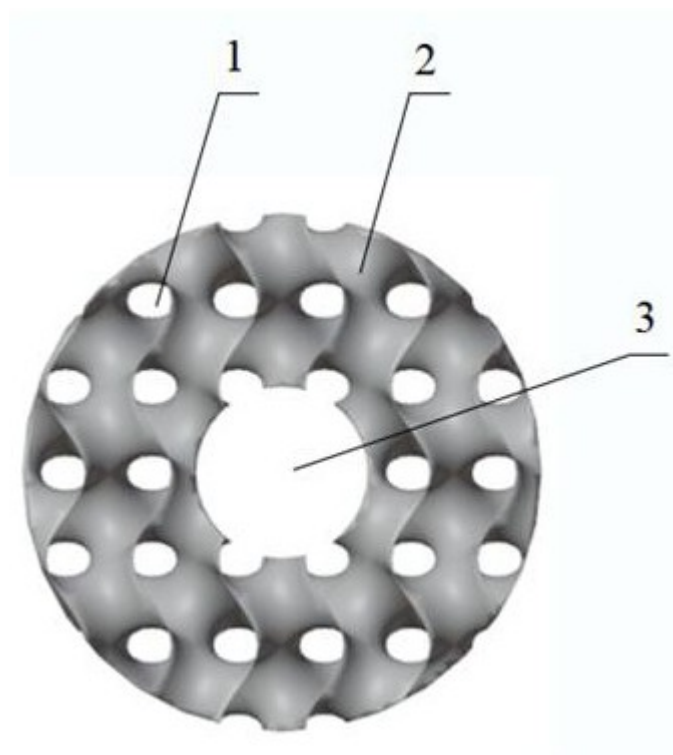


图4

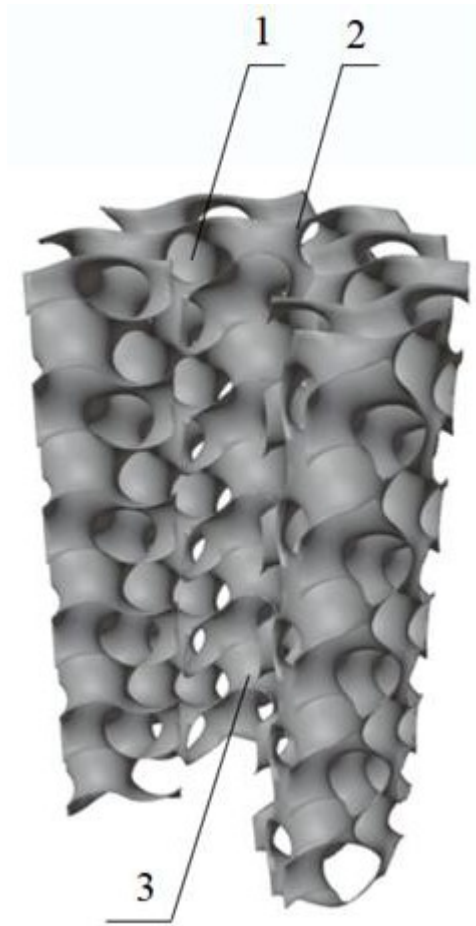


图5

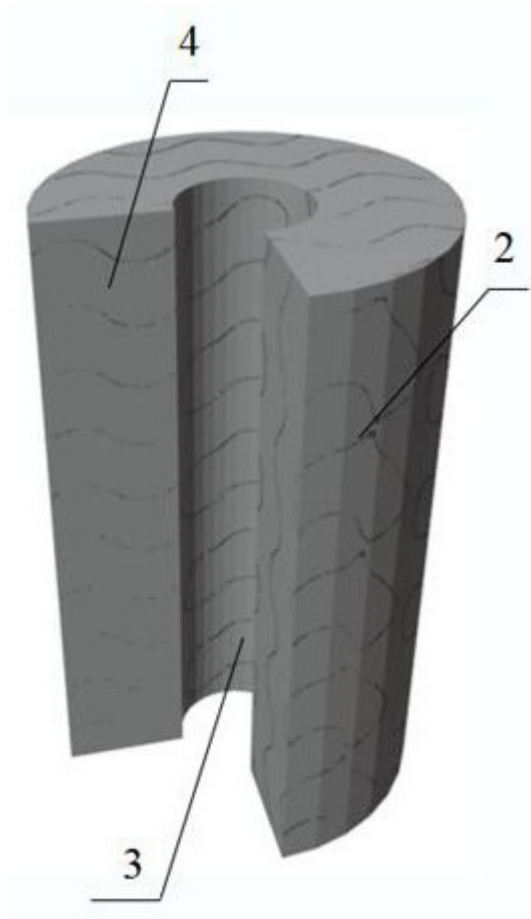


图6

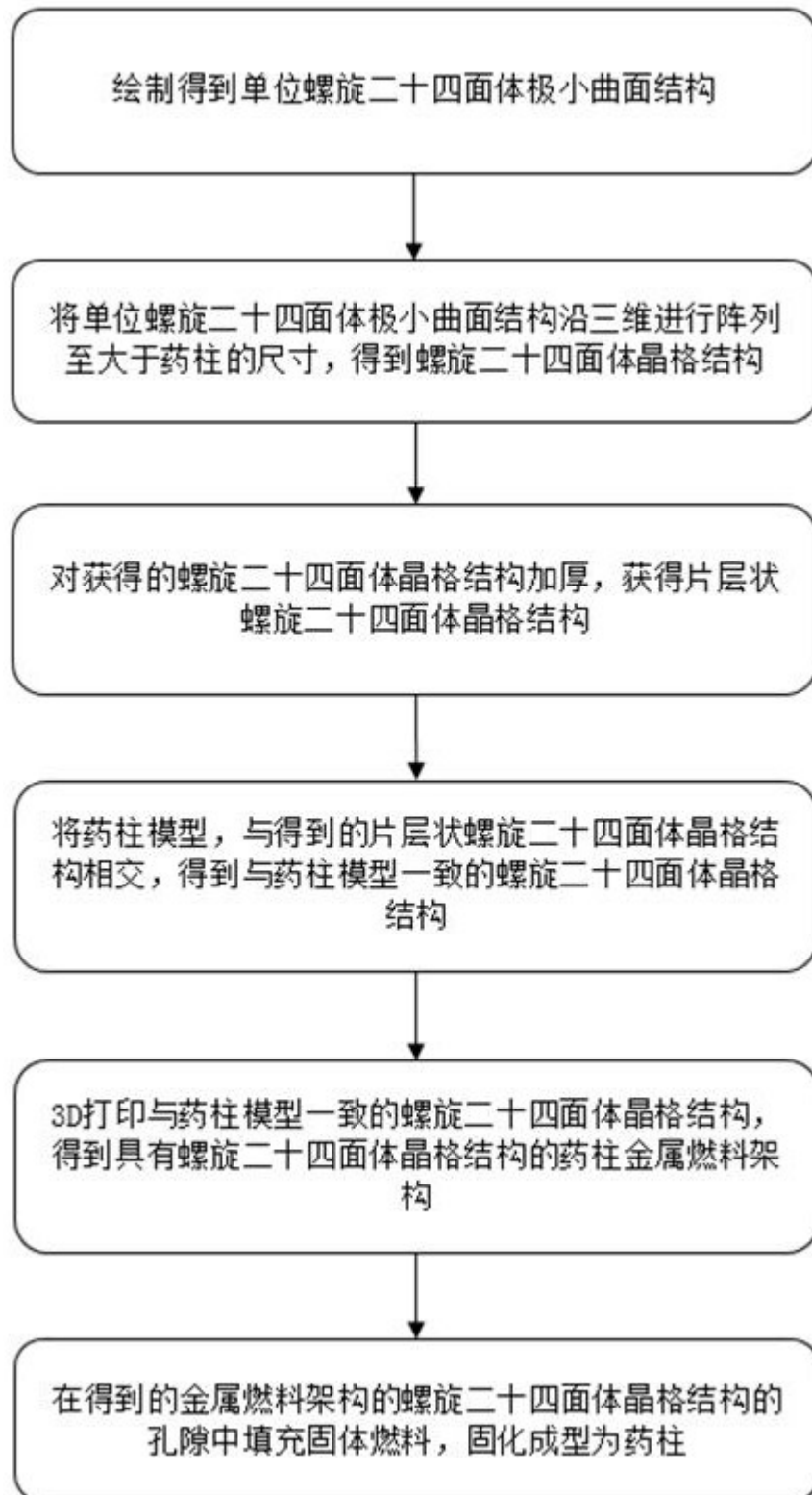


图7

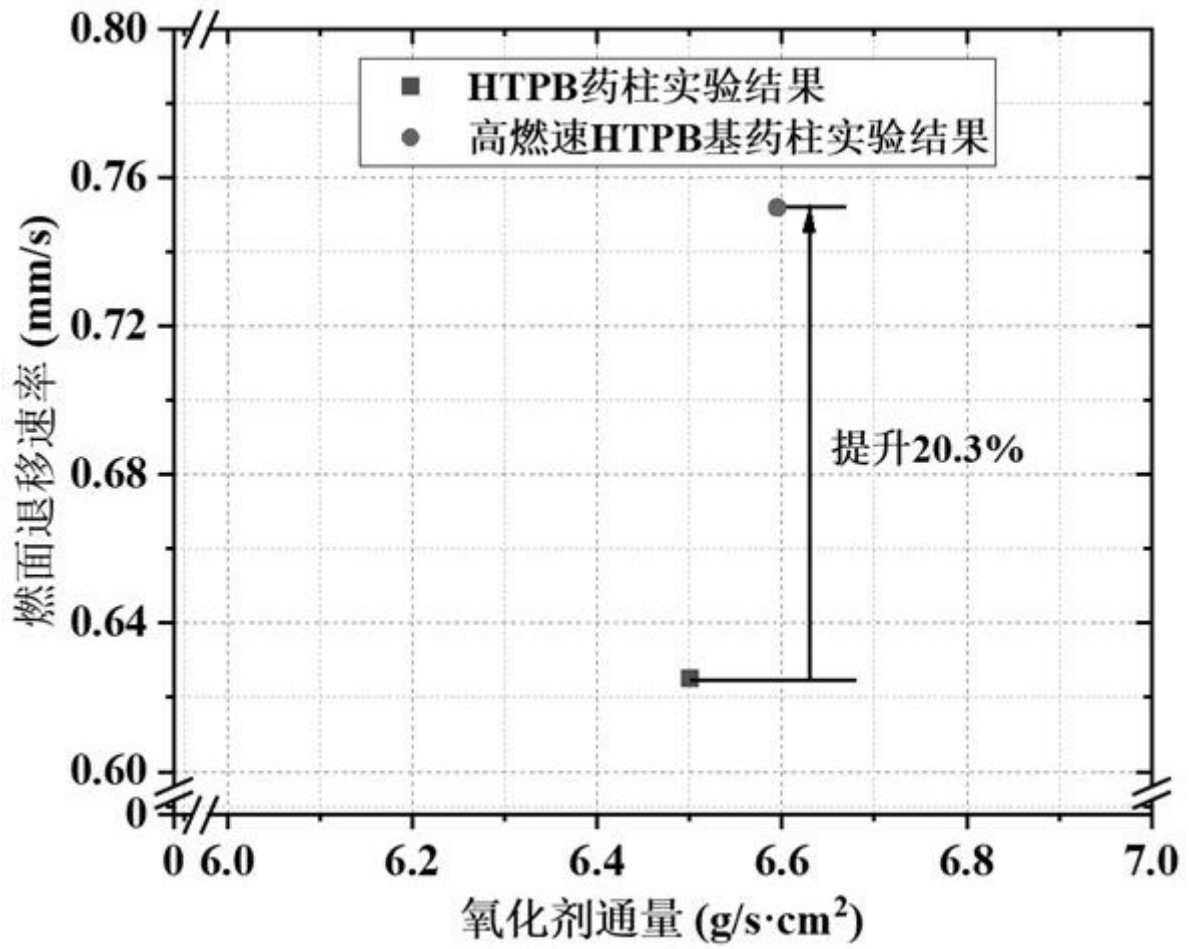


图8