



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112177043 B

(45) 授权公告日 2022.06.17

(21) 申请号 202010896904.2

(51) Int.CI.

(22) 申请日 2020.08.31

E02D 29/045 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

E04C 2/28 (2006.01)

申请公布号 CN 112177043 A

E04C 2/34 (2006.01)

(43) 申请公布日 2021.01.05

E04B 1/94 (2006.01)

(73) 专利权人 香港理工大学深圳研究院

(56) 对比文件

地址 518000 广东省深圳市南山区粤海街  
道高新技术产业园南区粤兴一道18号  
香港理工大学产学研大楼205室

CN 208685932 U, 2019.04.02

(72) 发明人 戴建国 黄博滔 彭凯迪 翁克钒

CN 110258910 A, 2019.09.20

朱继翔

CN 108843042 A, 2018.11.20

(74) 专利代理机构 深圳市君胜知识产权代理事  
务所(普通合伙) 44268  
专利代理人 朱阳波

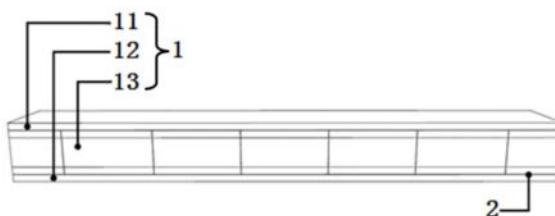
CN 105906288 A, 2016.08.31

KR 20130060481 A, 2013.06.10

审查员 黄英杰

(54) 发明名称

一种基于带孔钢板的混凝土复合构件及其  
制造方法



(57) 摘要

本发明公开了一种基于带孔钢板的混凝土复合构件及其制造方法，包括：混凝土本体以及设置于所述混凝土本体内的带孔钢板固件；混凝土本体包括防护层、填充层以及防火控裂层，填充层位于防护层和防火控裂层之间，防护层的材质为超高性能混凝土或超高性能韧性混凝土，防火控裂层的材质为韧性混凝土或超高性能韧性混凝土。本发明以高性能纤维混凝土作为混凝土复合构件的防护层和防火控裂层，能够提升构件的耐久性、防火控裂性以及抗弯刚度，通过带孔钢板固件增强复合构件，在增强复合构件承载力的基础上，确保复合构件的整体性的连接作用，满足地下和海工基础设施的外部耐久防护需求、内部防火控裂需求以及整体的高性能化需求。

1. 一种基于带孔钢板的混凝土复合构件，其特征在于，混凝土复合构件应用于地下和海工基础设施；所述混凝土复合构件包括：混凝土本体以及设置于所述混凝土本体内的带孔钢板固件；

所述混凝土本体包括防护层、填充层以及防火控裂层，所述填充层位于所述防护层和所述防火控裂层之间，所述防护层的材质为超高性能混凝土或超高性能韧性混凝土，所述防火控裂层的材质为韧性混凝土或超高性能韧性混凝土；

所述带孔钢板固件包括第一带孔钢板、第三带孔钢板以及与所述第一带孔钢板和所述第三带孔钢板连接的若干第二带孔钢板；

所述第一带孔钢板位于所述防护层中，所述第二带孔钢板位于所述防火控裂层中；

所述防护层为混凝土复合构件面向外部环境的一侧，所述防火控裂层为混凝土复合构件面向内部环境一侧。

2. 根据权利要求1所述的基于带孔钢板的混凝土复合构件，其特征在于，所述超高性能混凝土和所述超高性能韧性混凝土的抗压强度大于或者等于100MPa。

3. 根据权利要求1所述的基于带孔钢板的混凝土复合构件，其特征在于，所述韧性混凝土和所述超高性能韧性混凝土的拉伸变形能力大于或者等于1%。

4. 根据权利要求1所述的基于带孔钢板的混凝土复合构件，其特征在于，所述填充层的材质为普通混凝土。

5. 根据权利要求1所述的基于带孔钢板的混凝土复合构件，其特征在于，所述第一带孔钢板和所述第二带孔钢板平行，所述若干第三带孔钢板与所述第一带孔钢板和所述第二带孔钢板垂直。

6. 根据权利要求1所述的基于带孔钢板的混凝土复合构件，其特征在于，所述混凝土复合构件的抗弯承载力满足公式：

$$M = \frac{1}{4} \alpha w E \varepsilon_t \left( 2h - m + \frac{1}{3} \left( \alpha - \sqrt{\alpha^2 + 2\alpha(2h - m)} \right) \right)$$

其中， $\alpha = \frac{2m\sigma_t(\varepsilon_t)}{E\varepsilon_t}$ ， $M$ 是构件的抗弯承载力， $\varepsilon_t$ 是构件受拉区的带孔钢板增强韧性混凝土或超高性能韧性混凝土的平均受拉应变， $\sigma_t(\varepsilon_t)$ 是构件受拉区的带孔钢板增强韧性混凝土或超高性能韧性混凝土的平均受拉应力， $m$ 是构件受拉区的带孔钢板增强韧性混凝土或超高性能韧性混凝土的厚度， $E$ 是构件受压区的超高性能混凝土或超高性能韧性混凝土的弹性模量， $h$ 和 $w$ 分别是构件的截面高度和宽度， $\alpha$ 是等效系数。

7. 一种如权利要求1～6任一项所述的基于带孔钢板的混凝土复合构件的制造方法，其特征在于，包括步骤：

将所述带孔钢板固件固定于模板内部，并在所述填充层的位置固定填充体；

将第一浇筑液和第二浇筑液分别浇筑于所述填充体的两侧，硬化并养护后，形成所述防护层和所述防火控裂层；其中，所述第一浇筑液的材质为超高性能混凝土或超高性能韧性混凝土，所述第二浇筑液的材质为韧性混凝土或超高性能韧性混凝土；

移除填充体后，在所述防护层和所述防火控裂层之间浇筑第三浇筑液，成型后拆模，得到所述基于带孔钢板的混凝土复合构件。

## 一种基于带孔钢板的混凝土复合构件及其制造方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及建筑材料技术领域,尤其涉及一种基于带孔钢板的混凝土复合构件及其制造方法。

### 背景技术

[0002] 对于地下和海工基础设施而言(如地下建筑、综合管廊、盾构管片、海底沉管等),通常采用钢筋混凝土结构作为主要结构形式,由于普通混凝土材料的受拉易裂和高温爆裂等问题以及钢材的易锈蚀和高温下承载力弱等问题,目前主要通过增加混凝土保护层厚度、增加配筋量以提升构件刚度、以及采用混凝土和钢筋的涂层保护技术等来应对以上问题,但总体而言这些传统技术手段经济性不理想且效果较有限。

[0003] 因此,现有技术还有待于改进和发展。

### 发明内容

[0004] 本发明要解决的技术问题在于,针对现有技术的上述缺陷,提供一种基于带孔钢板的混凝土复合构件及其制造方法,以解决普通混凝土材料的受拉易裂和高温爆裂及钢材的易锈蚀和高温下承载力弱的问题。

[0005] 本发明解决技术问题所采用的技术方案如下:

[0006] 一种基于带孔钢板的混凝土复合构件,其中,包括:混凝土本体以及设置于所述混凝土本体内的带孔钢板固件;

[0007] 所述混凝土本体包括防护层、填充层以及防火控裂层,所述填充层位于所述防护层和所述防火控裂层之间,所述防护层的材质为超高性能混凝土或超高性能韧性混凝土,所述防火控裂层的材质为韧性混凝土或超高性能韧性混凝土。

[0008] 所述的基于带孔钢板的混凝土复合构件,其中,所述带孔钢板固件包括第一带孔钢板、第二带孔钢板以及与所述第一带孔钢板和所述第二带孔钢板连接的若干第三带孔钢板。

[0009] 所述的基于带孔钢板的混凝土复合构件,其中,所述第一带孔钢板位于所述防护层中,所述第二带孔钢板位于所述防火控裂层中。

[0010] 所述的基于带孔钢板的混凝土复合构件,其中,所述超高性能混凝土和所述超高性能韧性混凝土的抗压强度大于或者等于100MPa。

[0011] 所述的基于带孔钢板的混凝土复合构件,其中,所述韧性混凝土和所述超高性能韧性混凝土的拉伸变形能力大于或者等于1%。

[0012] 所述的基于带孔钢板的混凝土复合构件,其中,所述填充层的材质为普通混凝土。

[0013] 所述的基于带孔钢板的混凝土复合构件,其中,所述第一带孔钢板和所述第二带孔钢板平行,所述若干第三带孔钢板与所述第一带孔钢板和所述第二带孔钢板垂直。

[0014] 所述的基于带孔钢板的混凝土复合构件,其中,所述混凝土复合构件的抗弯承载

力满足公式：

$$[0015] M = \frac{1}{4} \alpha w E \varepsilon_t \left( 2h - m + \frac{1}{3} \left( \alpha - \sqrt{\alpha^2 + 2\alpha(2h - m)} \right) \right)$$

[0016] 其中,  $\alpha = \frac{2m\sigma_t(\varepsilon_t)}{E\varepsilon_t}$  M是构件的抗弯承载力,  $\varepsilon_t$ 是构件受拉区的带孔 钢板增强 ,

韧性混凝土或超高性能韧性混凝土的平均受拉应变,  $\sigma_t(\varepsilon_t)$ 是构件 受拉区的带孔钢板增强韧性混凝土或超高性能韧性混凝土的平均受拉应 力, m是构件受拉区的带孔钢板增强韧性混凝土或超高性能韧性混凝土的厚 度, E是所述构件受压区的超高性能混凝土或超高性能韧性混凝土的弹性模 量, h和w分别是构件的截面高度和宽度,  $\alpha$ 是等效系数。

[0017] 一种所述的基于带孔钢板的混凝土复合构件的制造方法,其中,包括 步骤:

[0018] 将所述带孔钢板固件固定于模板内部,并在所述填充层的位置固定填 充体;

[0019] 将第一浇筑液和第二浇筑液分别浇筑于所述填充体的两侧,硬化并养 护后,形成 所述防护层和所述防火控裂层;其中,所述第一浇筑液的材质 为超高性能混凝土或超高性能韧性混凝土,所述第二浇筑液的材质为韧性 混凝土或超高性能韧性混凝土;

[0020] 移除填充体后,在所述防护层和所述防火控裂层之间浇筑第三浇筑液, 成型后拆 模,得到所述基于带孔钢板的混凝土复合构件。

[0021] 有益效果:本发明以高性能纤维混凝土作为混凝土复合构件的防护层 和防火控裂层,能够提升构件的耐久性、防火控裂性以及抗弯刚度,通过 带孔钢板固件增强复合构件,在增强复合构件承载力的基础上,确保复合 构件的整体性的连接作用,满足地下和海工基础设施的外部耐久防护需求、内部防火控裂需求以及整体的高性能化需求。

## 附图说明

[0022] 图1是本发明实施例中提供的一种基于带孔钢板的混凝土复合构件的 结构示意图;

[0023] 图2是本发明实施例中提供的带孔钢板的结构示意图;

[0024] 图3是本发明实施例中提供的一种基于带孔钢板的混凝土复合构件的 制造方法的一个实施例流程图;

[0025] 图4是本发明实施例中提供的一种基于带孔钢板的混凝土复合构件的 制造方法的示意图。

[0026] 附图中各标记:1、混凝土本体;2、带孔钢板固件;3、模板;4、填 充体;11、防护层; 12、防火控裂层;13、填充层;21、第一带孔钢板; 22、第二带孔钢板;23、第三带孔钢板。

## 具体实施方式

[0027] 为使本发明的目的、技术方案及效果更加清楚、明确,以下参照附图 并举实例对 本发明进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例 仅用以解释本发明,并不用于 限定本本发明。

[0028] 在实施方式和申请专利范围中,除非文中对于冠词有特别限定,否则 “一”与“所 述”可泛指单一个或复数个。

[0029] 另外,若本发明实施例中有涉及“第一”、“第二”等的描述,则该“第一”、“第二”等的描述仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示其相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此,限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括至少一个该特征。另外,各个实施例之间的技术方案可以相互结合,但是必须是以本领域普通技术人员能够实现为基础,当技术方案的结合出现相互矛盾或无法实现时应当认为这种技术方案的结合不存在,也不在本发明要求的保护范围之内。

[0030] 对于地下和海工基础设施而言,通常采用钢筋混凝土结构作为主要结构形式,由于普通混凝土材料的受拉易裂和高温爆裂等问题以及钢材的易锈蚀和高温下承载力弱等问题,该类结构形式面临三方面的技术挑战。第一方面是,在地下和海洋环境中如何确保结构外部的耐久防护性能,以抵抗外部复杂环境(地下水、海水等)的有害物质渗透和腐蚀,从而实现结构的长寿命;第二方面是,如何保障结构内部的防火性能,以应对可能发生的火灾等安全事故,从而实现结构的安全服役;第三方面则是,如何有效提升结构的裂缝控制能力,以充分满足结构长期服役性能的需求从而实现结构整体的高性能化。对于钢筋混凝土结构而言,目前主要通过增加混凝土保护层厚度、增加配筋量以提升构件刚度、以及采用混凝土和钢筋的涂层保护技术等来应对以上的挑战,但总体而言这些传统技术手段经济性不理想且效果有限。

[0031] 为了解决上述问题,本发明提供了一种基于带孔钢板的混凝土复合构件。如图1所示,所述基于带孔钢板的混凝土复合构件包括混凝土本体1以及设置于所述混凝土本体1内的带孔钢板固件2。其中,混凝土本体1包括防护层11、填充层13以及防火控裂层12,所述填充层13位于所述防护层11和所述防火控裂层12之间,所述防护层11作为混凝土复合构件面向外部环境一侧,在发挥受力功能的基础上,作为构件的耐久防护层。所述防火控裂层12作为混凝土复合构件面向内部环境一侧,在发挥受力功能的基础上,作为构件的防火层和控裂层。带孔钢板固件2作为三层材料的增强材料和连接材料,具有提高构件承载力的增强作用和确保构件整体性的连接作用。带孔钢板固件2周围的混凝土材料会穿过带孔钢板固件2上的孔结构,形成剪力栓效应确保了带孔钢板固件2与混凝土本体1各层材料之间的协同工作性能,所述带孔钢板固件2在增强混凝土复合构件承载力的基础上,确保混凝土复合构件的整体性的连接作用。

[0032] 进一步地,所述防护层11和所述防火控裂层12的材质均为高性能纤维混凝土。高性能纤维混凝土是以水泥、水、粗骨料、细骨料等材料作基材,加入各种纤维材料作为增强材料,通过纤维与混凝土基体界面粘结而成的一种具有高强度高性能的水泥基复合材料,具有良好的抗渗性、抗裂性以及抗疲劳特性。因此,以高性能纤维混凝土为材质的防护层11和防火控裂层12,带孔钢板固件2周围的混凝土材料可以防止带孔钢板固件2在受力过程中发生屈曲。本实施例中以高性能纤维混凝土作为混凝土复合构件的防护层11和防火控裂层12,不仅能够提升构件的耐久性、防火控裂性以及抗弯刚度,而且能够作为带孔钢板固件2的高温防护层11,通过在混凝土本体1内设置带孔钢板固件2来保证构件的承载力、整体性和材料间的协同工作性能,形成了各材料之间简单叠加无法实现的超额组合效应。

[0033] 具体地,防护层11、填充层13以及防火控裂层12的厚度可以根据实际需要进行设置,在一具体实施例中,防护层11和防火控裂层12的厚度大于或者等于50mm,在此厚度下

能够充分提升构件的耐久性、防火控裂性 以及抗弯刚度。

[0034] 在一具体实施方式中,所述防护层11的材质为超高性能混凝土 (Ultra-High Performance Concrete, UHPC) 或超高性能韧性混凝土 (Ultra-High Performance Engineered Cementitious Composite, UHP-ECC), 所述防火控裂层12的材质为韧性混凝土 (Engineered Cementitious Composite, ECC) 或超高性能韧性混凝土。超高性能混凝土是以细砂为骨 料,渗入大量硅灰等矿物掺合料、高效减水剂和微细钢纤维,形成的一种 高强度、高耐久性、高韧性、密实的混凝土材料,与普通的混凝土相比,剔除了粗骨料,是细料致密材料与纤维增强材料复合而成的高性能混凝土,抗压强度及抗拉强度均比普通混凝土要高出很多。超高性能韧性混凝土是 一种基于细观力学设计的先进复合材料,用水泥、掺合料和砂为基体,高 性能纤维为增韧材料的高韧性、高抗裂材料,其极限拉伸应变为普通高性 能混凝土的300~500倍,为钢筋屈服应变的15~20倍,高性能纤维为增 韧材料达到极限拉伸应变时,裂缝宽度仅为50~80 $\mu\text{m}$ ,甚至小于50 $\mu\text{m}$ ,且具有应变硬化和多裂缝开展特性。例如,防护层11的材质为超高性能混 凝土,防火控裂层12的材质为韧性混凝土,或者防护层11的材质为超高 性能混凝土,防火控裂层12的材质为超高性能韧性混凝土,又或者防护层 11的材质为超高性能韧性混凝土,防火控裂层12的材质为韧性混凝土,又 或者防护层11和防火控裂层12的材质均为超高性能韧性混凝土。

[0035] 进一步地,所述超高性能混凝土和所述超高性能韧性混凝土的抗压强 度大于或者等于100MPa,所述超高性能混凝土的拉伸变形能力大于或者等 于0.2%,所述韧性混凝土和所述超高性能韧性混凝土的拉伸变形能力大于 或者等于1%。这样使得防护层11在作为混凝土复合构件耐久防护层的基 础上,材料自身的高强度、高弹模可以提高混凝土复合构件抗弯刚度,防 火控裂层12在作为混凝土复合构件防火控裂层的基础上,材料自身优异的 拉伸性能可以提升混凝土复合构件的抗弯承载力和刚度。

[0036] 考虑到高性能纤维混凝土虽然性能很好,但造价要比普通混凝土高很 多,混凝土复合构件全用高性能纤维混凝土会很不经济,本实施例中填充 层13选用普通混凝土。

[0037] 如图2所示,所述带孔钢板固件2包括第一带孔钢板21、第二带孔钢 板22以及与所述第一带孔钢板21和所述第二带孔钢板22连接的若干第三 带孔钢板23。所述第一带孔钢板位于所述防护层11中,所述第二带孔钢板 22位于所述防火控裂层12中。由于若干第三带孔钢板23与第一带孔钢板 21和第二带孔钢板22连接,而第一带孔钢板21和第二带孔钢板 22分别位 于防护层11和防火控裂层12中,则若干第三带孔钢板23经过防护层11、填充层 13以及防火控裂层12,使得第三带孔钢板23在发挥连接和增强作 用的基础上,还能作为混凝土本体1各层材料之间的界面抗剪层,避免界 面滑移脱粘。

[0038] 在一具体实施方式中,所述第一带孔钢板21和所述第二带孔钢板22 平行,所述若干第三带孔钢板23与所述第一带孔钢板21和所述第二带孔 钢板22垂直,确保了带孔钢板固件2与混凝土本体1中各项材料之间具有 更好的协同工作性能。所述带孔钢板固件2中各孔洞的形状和尺寸可以根 据需要进行设置,在一具体实施例中,所述带孔钢板固件2中各孔洞的形 状为圆形,各孔洞的尺寸大于或者等于50mm。

[0039] 本实施例中的混凝土复合构件可以应用于地下建筑、综合管廊、盾构 管片、海底沉管、浮体结构等地下及海工结构,为基础设施高性能结构的 建造提供新路径和新方案支持,具有广泛的工程应用前景。另外,本发明 技术将为高性能土木工程材料的规模化应用

提供技术支持,对基础设施的建设的高质量发展具有重要意义,也对土木工程行业技术进步有积极的推动作用。

[0040] 由于本实施例中使用高性能纤维混凝土材料作为混凝土复合构件的防护层11和防火控裂层12,而高性能纤维混凝土材料具有裂缝的自控制能力,因此本实施例中的混凝土复合构件无需进行裂缝宽度验证。以传统地下管廊结构为例,其满足裂缝宽度要求所需的增强材料配置率往往高于承载力所需的配置率,因而在承载力设计后往往需要进行裂缝宽度的校核和再设计。因此,本发明所提出的混凝土复合构件具有更简单的设计过程,并可以减少钢材的用量。

[0041] 具体地,本实施例中的混凝土复合构件的抗弯承载力满足公式:

$$M = \frac{1}{4} \alpha w E \varepsilon_t \left( 2h - m + \frac{1}{3} \left( \alpha - \sqrt{\alpha^2 + 2\alpha(2h-m)} \right) \right), \text{ 其中, } \alpha = \frac{2m\sigma_t(\varepsilon_t)}{E\varepsilon_t} \text{ M是构}$$

件的抗弯承载力,  $\varepsilon_t$  是构件受拉区的带孔钢板增强ECC或UHP-ECC 的平均受拉应变,  $\sigma_t(\varepsilon_t)$  是构件受拉区的带孔钢板增强ECC或UHP-ECC的平均受拉应力,  $m$  是构件受拉区的带孔钢板增强ECC或UHP-ECC的厚度,  $E$  是所述构件受压区的UHPC或UHP-ECC的弹性模量,  $h$  和  $w$  分别是构件的截面高度和宽度,  $\alpha$  是等效系数。例如,当构件受拉区的带孔钢板增强ECC或UHP-ECC的平均受拉应变  $\varepsilon_t$  为 0.1%, 构件受拉区的带孔钢板增强ECC或UHP-ECC的平均受拉应力  $\sigma_t(\varepsilon_t)$  为 5MPa, 构件受拉区的带孔钢板增强ECC或UHP-ECC的厚度  $m$  为 50mm, 构件受压区的UHPC或UHP-ECC 的弹性模量  $E$  为 40GPa, 构件的截面高度和宽度  $h$  和  $w$  分别为 200mm 和 400mm 时,根据上述公式可得到构件的抗弯承载力  $M$  为 16.2kN · m

[0042] 基于上述基于带孔钢板的混凝土复合构件,本发明还提供了一种基于带孔钢板的混凝土复合构件的制造方法,如图3所示,包括步骤:

[0043] S100、将所述带孔钢板固件固定于模板内部,并在所述填充层的位置固定填充体;

[0044] S200、将第一浇筑液和第二浇筑液分别浇筑于所述填充体的两侧,硬化并养护后,形成所述防护层和所述防火控裂层;其中,所述第一浇筑液的材质为超高性能混凝土或超高性能韧性混凝土,所述第二浇筑液的材质为韧性混凝土或超高性能韧性混凝土;

[0045] S300、移除填充体后,在所述防护层和所述防火控裂层之间浇筑第三浇筑液,成型后拆模,得到所述基于带孔钢板的混凝土复合构件。

[0046] 具体地,如图4所示,本实施例中在制造上述基于带孔钢板的混凝土复合构件时,首先将带孔钢板固件2固定于模板3内部,并在填充层13的位置固定填充体4;然后将预先准备好的第一浇筑液和第二浇筑液分别浇筑于填充体4的两侧,其中,第一浇筑液的材质为超高性能混凝土或超高性能韧性混凝土,所述第二浇筑液的材质为韧性混凝土或超高性能韧性混凝土,硬化并保养后在填充体4两侧形成由高性能混凝土组成的防护层11和防火控裂层12;随后移除填充体4,在防护层11和防火控裂层12之间浇筑第三浇筑液,成型后拆模,得到基于带孔钢板的混凝土复合构件。本实施例中通过工业化预制来进行标准化制造混凝土复合构件,保证了混凝土复合构件的质量和制造效率,带孔钢板固件2作为增强材料可以避免常规预制钢筋混凝土构件的钢筋网片制造过程中的困难,并赋予构件更好的强度和延性。

[0047] 综上所述,本发明提供了一种基于带孔钢板的混凝土复合构件及其制造方法,包括:混凝土本体以及设置于所述混凝土本体内的带孔钢板固件;所述混凝土本体包括防护层、填充层以及防火控裂层,所述填充层位于所述防护层和所述防火控裂层之间,所述防护层的材质为超高性能混凝土或超高性能韧性混凝土,所述第二浇筑液的材质为韧性混凝土或超高性能韧性混凝土。本发明以高性能纤维混凝土作为混凝土复合构件的防护层和防火控裂层,能够提升构件的耐久性、防火控裂性以及抗弯刚度,通过带孔钢板固件增强复合构件,在增强复合构件承载力的基础上,确保复合构件的整体性的连接作用,满足地下和海工基础设施的外部耐久防护需求、内部防火控裂需求以及整体的高性能化需求。

[0048] 应当理解的是,本发明的应用不限于上述的举例,对本领域普通技术人员来说,可以根据上述说明加以改进或变换,所有这些改进和变换都应属于本发明所附权利要求的保护范围。

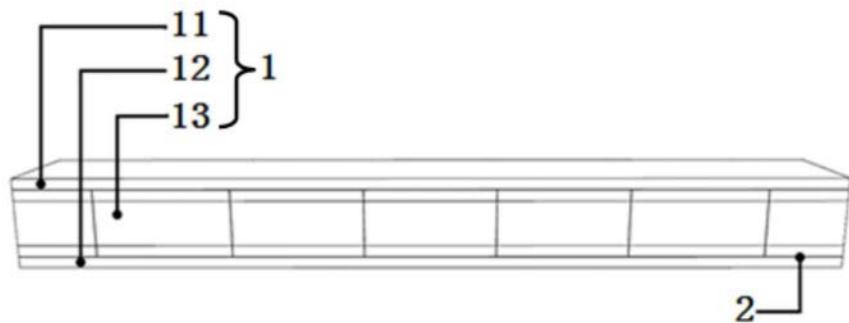


图1

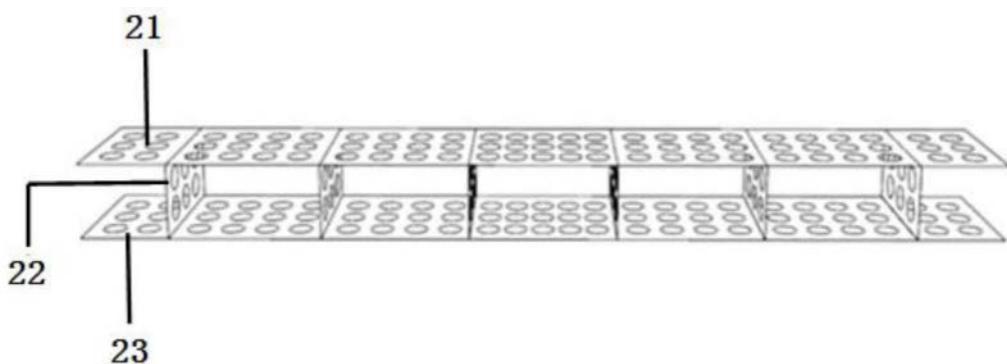


图2

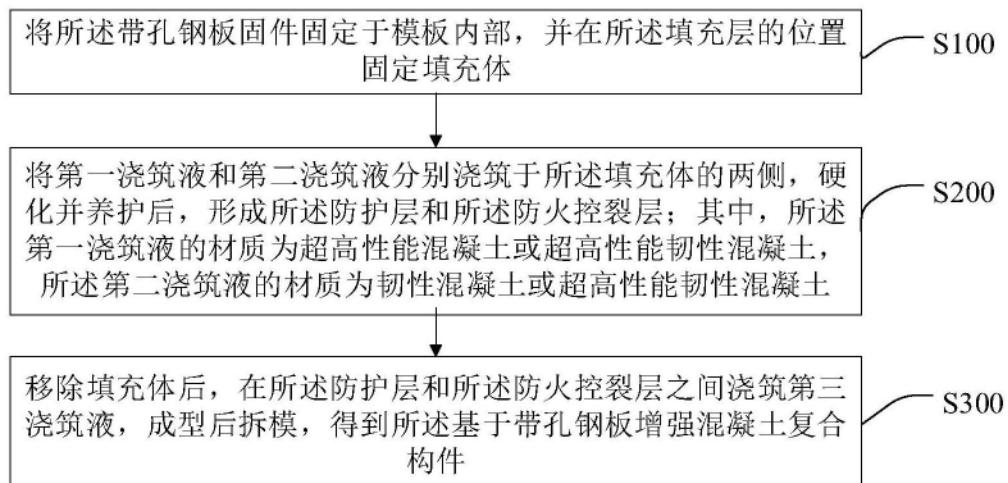


图3

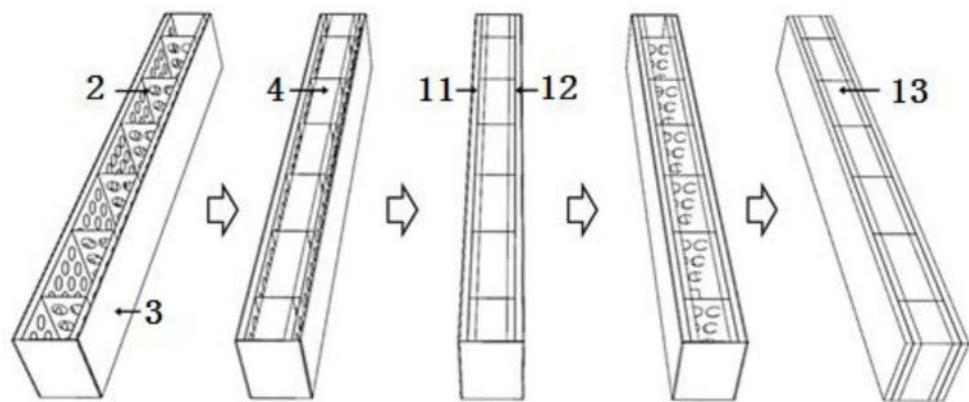


图4