



(21) 申请号 202110760444.5

(22) 申请日 2021.07.06

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113969642 A

(43) 申请公布日 2022.01.25

(30) 优先权数据
62/705,602 2020.07.07 US

(73) 专利权人 香港理工大学
地址 中国香港九龙

(72) 发明人 陈德明 李帅 杨立伟

(74) 专利代理机构 北京世峰知识产权代理有限公司 11713
专利代理师 卓霖 张春媛

(51) Int.Cl.

E04C 3/34 (2006.01)

B28B 21/00 (2006.01)

B28B 21/42 (2006.01)

B28B 21/48 (2006.01)

(56) 对比文件

CA 2842597 A1, 2007.09.21

CN 104594186 A, 2015.05.06

CN 210288877 U, 2020.04.10

JP 2004137119 A, 2004.05.13

KR 20070020819 A, 2007.02.22

US 2016002927 A1, 2016.01.07

US 6219991 B1, 2001.04.24

审查员 程聪

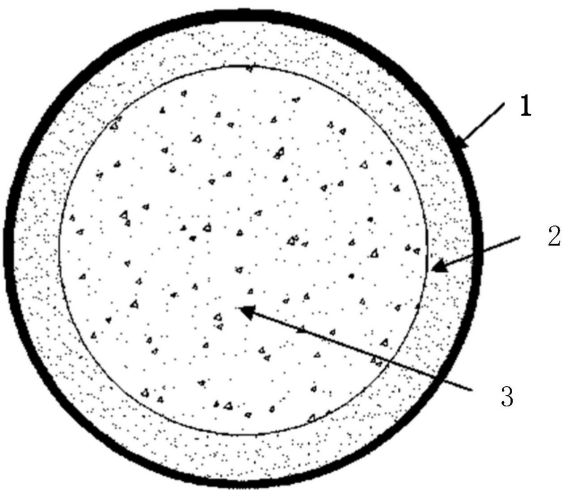
权利要求书1页 说明书7页 附图9页

(54) 发明名称

一种新型FRP约束混凝土柱

(57) 摘要

公开了一种新型FRP约束混凝土柱。新型FRP约束混凝土柱包括：混凝土芯，所述混凝土芯具有柱形；FRP套管，所述FRP套管套住所述混凝土芯。所述FRP约束混凝土柱还包括设置在所述混凝土芯和所述FRP套管之间的抗裂材料层，所述抗裂材料层由抗裂材料制成，所述抗裂材料层能够在所述混凝土芯因承受压缩载荷而产生局部大裂纹时，产生多个微裂纹，从而重新分配局部应力和应变。所述新型FRP约束混凝土柱可以提高FRP约束效率以及整体结构性能。



1. 一种FRP约束混凝土柱,所述FRP约束混凝土柱包括:
混凝土芯,所述混凝土芯具有柱形;
FRP套管,所述FRP套管套住所述混凝土芯;
其特征在於,所述FRP约束混凝土柱还包括设置在所述混凝土芯和所述FRP套管之间的抗裂材料层,所述抗裂材料层由抗裂材料制成,所述抗裂材料层能够在所述混凝土芯因承受压缩载荷而产生局部大裂纹时,产生多个微裂纹,从而重新分配局部应力和应变,
其中,所述抗裂材料层和所述混凝土芯粘结,从而在承受压缩载荷时表现为一个整体构件,
其中,所述抗裂材料层是ECC环,并且,所述FRP约束混凝土柱不含钢材。
2. 根据权利要求1所述的FRP约束混凝土柱,其特征在於,所述混凝土芯是HSC混凝土芯。
3. 根据权利要求1-2中任一所述的FRP约束混凝土柱,其特征在於,所述混凝土芯具有圆形截面,所述FRP套管具有管状结构,所述抗裂材料层具有管状结构。
4. 根据权利要求1-2中任一所述的FRP约束混凝土柱,其特征在於,所述抗裂材料具有1%-8%的拉伸断裂应变。
5. 一种制造如权利要求1-4中任一所述的FRP约束混凝土柱的方法,其包括以下步骤:
浇筑混凝土芯;
提供FRP 套管,将所述FRP 套管套在所述混凝土芯外,并留有一定的间距;
浇注抗裂材料以填充所述混凝土芯和所述套管之间的空间,从而形成抗裂材料层。
6. 一种在工程现场制造如权利要求1-4中任一所述的FRP约束混凝土柱的方法,其包括以下步骤:
提供FRP 套管和抗裂材料管;
使用所述FRP 套管和抗裂材料管形成预制FRP抗裂材料管;
将所述预制FRP抗裂材料管运输到工程现场,安装在适当位置;
在所述预制FRP抗裂材料管中浇筑混凝土,形成混凝土芯。
7. 如权利要求6所述的方法,其中,使用所述FRP 套管和抗裂材料形成预制FRP抗裂材料管的步骤包括:
将抗裂材料管放在旋转的心轴上以完成纤维缠绕成形工艺;
将 FRP 套管和将抗裂材料管组合在一起形成预制 FRP抗裂材料管。

一种新型FRP约束混凝土柱

技术领域

[0001] 本公开总体上涉及一种新型的FRP约束混凝土柱,尤其涉及一种FRP约束的ECC-HSC复合柱。

背景技术

[0002] 纤维增强聚合物(FRP)约束混凝土柱在过去的几十年中得到了广泛的研究。与没有约束的混凝土相比,FRP约束混凝土的抗压强度和变形能力均得到有效提高。当受到压缩载荷时,混凝土将在横向方向上膨胀,导致用于约束的FRP膨胀。作为线性材料,FRP内部的张力会随着其伸长率而增加。因此,在受约束的混凝土上会产生越来越大的围压,从而抑制混凝土的膨胀,提高抗压性能。根据研究,特别是当混凝土进入塑性变形阶段时,微裂纹发展,混凝土膨胀得更快,这会使得FRP提供的围压增加得更快,从而使得前述约束变得更加有效。FRP约束混凝土的失效模式是用于约束的FRP在达到其极限拉伸应变时发生断裂。

[0003] 在工程实践中,可以使用高强度混凝土(HSC)来实现大的抗压性能。同样,FRP约束HSC可以产生更高的抗压强度,以及更大的变形能力。然而,由于明显的脆性,HSC会在垂直方向产生局部大裂纹,这是导致失效的罪魁祸首。对于FRP约束的HSC,这些局部大裂纹将在裂纹开始的位置对用于约束的FRP产生大的环向应变。当这种局部大环向应变达到FRP的极限拉伸应变时,就会发生断裂和失效。因此,可以注意到,即使对于圆形截面的FRP约束HSC(与方形、矩形和其他截面相比,约束更有效),应变在用于约束的FRP上也不是均匀分布的。这意味着只有少量的FRP达到拉伸应变,而大部分FRP的应变较低,因此材料没有得到充分利用。据文献报道,FRP约束混凝土的平均断裂应变仅为FRP材料拉伸应变的0.6~0.8左右,存在较大的浪费。此外,由于脆性增加和局部大裂纹,FRP约束混凝土的平均断裂应变与FRP材料的极限拉伸应变之比(可称为FRP约束效率)随着没有约束的混凝土的强度的增加而降低。这也是FRP约束HSC柱工程应用的一大障碍。

[0004] 因此,有必要进行研究以提高FRP约束效率,尤其是对于FRP约束的HSC。对于FRP约束的圆形截面,需要在约束FRP上实现更均匀的应变分布,以防止由局部大裂纹和相应应变引起的过早断裂。同时,如果应变分布均匀,则可以获得更均匀、更理想的围压。如果能提高FRP约束效率,FRP约束HSC的整体结构性能,包括抗压强度和延展性,也将得到增强。

[0005] 为了解决这个问题,开发了一种新型的FRP约束混凝土柱。

发明内容

[0006] 本发明的新型FRP约束混凝土柱可以提高FRP约束效率以及整体结构性能。

[0007] 一方面,本发明提了一种新型FRP约束混凝土柱。所述FRP约束混凝土柱包括:混凝土芯,所述混凝土芯具有柱形;FRP套管,所述FRP套管套住所述混凝土芯。所述FRP约束混凝土柱还包括设置在所述混凝土芯和所述FRP套管之间的抗裂材料层,所述抗裂材料层由抗裂材料制成,所述抗裂材料层能够在所述混凝土芯因承受压缩载荷而产生局部大裂纹时,产生多个微裂纹,从而重新分配局部应力和应变。

- [0008] 所述混凝土芯可以是HSC混凝土芯。
- [0009] 所述抗裂材料层可以是ECC环。
- [0010] 所述混凝土芯可以具有圆形截面,所述FRP套管可以具有管状结构。所述抗裂材料层可以具有管状结构。
- [0011] 优选地,所述抗裂材料层和所述混凝土芯粘结,从而在承受压缩载荷时表现为一个整体构件。
- [0012] 所述抗裂材料优选具有1%-8%的拉伸断裂应变。
- [0013] 所述新型FRP约束混凝土柱可以不含钢材。
- [0014] 另一方面,本发明提供了制造如上所述新型FRP约束混凝土柱的方法。其包括以下步骤:浇筑混凝土芯;提供FRP套管,将所述FRP套管套在所述混凝土芯外,并留有一定的间距;浇注抗裂材料以填充所述混凝土芯和所述套管之间的空间,从而形成抗裂材料层。
- [0015] 此外,本发明还提供了一种在工程现场制造前述新型FRP约束混凝土柱的方法。其包括以下步骤:提供FRP套管和抗裂材料管;使用所述FRP套管和抗裂材料管形成预制FRP抗裂材料管;将所述预制FRP抗裂材料管运输到工程现场,安装在适当位置;在所述预制FRP抗裂材料管中浇筑混凝土,形成混凝土芯。
- [0016] 在上述方法中,使用所述FRP套管和抗裂材料形成预制FRP抗裂材料管的步骤包括:将抗裂材料管放在旋转的心轴上以完成纤维缠绕成形工艺;将FRP套管和将抗裂材料管组合在一起形成预制FRP抗裂材料管。

附图说明

- [0017] 现在将参考附图描述本发明的示例。
- [0018] 图1示出FRP约束的ECC-HSC复合柱的截面布置。
- [0019] 图2和图3示出FRP约束混凝土柱的应变分布机制,其中,图2示出FRP约束HSC柱,图3示出FRP约束的ECC-HSC复合柱。
- [0020] 图4示出FRP约束的ECC-HSC复合柱在实验室的浇筑工艺。
- [0021] 图5和图6示出在工程实践中FRP约束的ECC-HSC复合柱的制作过程,其中图5示出在工厂预制FRP-ECC套管;图6示出在施工现场浇筑HSC芯。
- [0022] 图7示出了用于性能测试的FRP约束的ECC-HSC复合柱的截面图。
- [0023] 图8示出了用于性能测试的FRP约束的ECC-HSC复合柱的两种试样的尺寸。
- [0024] 图9显示了测试装置的设置。
- [0025] 图10示出了测试装置。
- [0026] 图11和12示出了FH-M1试样的测试结果。
- [0027] 图13和14示出了FEH-15-M2试样的测试结果。
- [0028] 图15和16示出了FEH-25-M2试样的测试结果。
- [0029] 图17和18示出了各试样FRP断裂前的轴向应力-轴向应变曲线。

具体实施方式

- [0030] 以下结合附图说明本发明。应当理解,所有的描述本质上仅是示例性的,无意于限制本发明或其应用和/或用途。应当理解,存在大量的变型。详细的描述将使本领域普通技

术人员能够实现本发明的示例性实施例而不必进行不必要的试验,并且应当理解,在不脱离本发明的范围的情况下,可以对示例性实施例中描述的功能和结构进行各种改变或改进。

[0031] 益处、优点、问题的解决方案以及可使任何益处、优点或解决方案出现或变得更加明显的任何要素均不应被解释为本发明的技术方案的关键、必需或必要的特征或要素。

[0032] 新型FRP约束混凝土柱

[0033] 本发明提出了一种新型FRP约束混凝土柱。其包括混凝土芯,FRP套管,以及设置在所述混凝土芯和所述FRP套管之间的抗裂材料层。这种新型FRP约束混凝土柱可以不包含钢材。

[0034] 混凝土芯可以具有柱形或者其他任意合适的形状。FRP套管套住所述混凝土芯。抗裂材料层由抗裂材料制成,能够在所述混凝土芯因承受压缩载荷而产生局部大裂纹时,产生多个微裂纹,从而重新分配局部应力和应变。

[0035] 上述混凝土芯可以由普通混凝土制成,也可以由高强度混凝土(HSC)或者其他特定混凝土制成。

[0036] 上述抗裂材料层可以由工程水泥基复合材料(Engineered Cementitious Composite,ECC)材料制成,也可以由超高性能混凝土或任何其他类似的材料制成。

[0037] 所述混凝土芯、FRP套管和抗裂材料层可以具有任何合适的形状。例如,混凝土芯可以是圆柱,即,具有圆形或椭圆形截面,相应地,FRP套管具有管状结构,抗裂材料层具有管状结构。混凝土芯可以是方柱,即,具有正方形截面,FRP套管具有方形中空管状结构,抗裂材料层也具有方形中空管状结构。

[0038] 抗裂材料层和所述混凝土芯粘结,从而在承受压缩载荷时表现为一个整体构件。抗裂材料优选具有1%-8%的拉伸断裂应变。

[0039] FRP约束的ECC-HSC复合柱

[0040] 下面以FRP约束的ECC-HSC复合柱作为一种可能的具体实施例来说明本发明的新型FRP约束混凝土柱。如图1所示,FRP约束的ECC-HSC复合柱包括FRP套管1、工程水泥基复合材料(ECC)环2,和高强度混凝土(HSC)芯3。

[0041] ECC是一种具有良好延展性能的纤维增强水泥基复合材料。它由水泥、粉煤灰、水、纤维(可以是聚乙烯醇(PVA)、聚乙烯(PE)或聚丙烯(PP))和高效减水剂制成。ECC可产生1%~8%的拉伸断裂应变,这是普通混凝土的百倍,纤维体积含量不超过2%。对于传统混凝土,当在拉伸载荷下开始产生裂纹时,裂纹会迅速扩展,材料会突然失效。但是,对于ECC,不会发生这种突然失效。当开始产生微裂纹时,桥接微裂纹的纤维将阻止其宽度继续增加。同时,产生多个微裂纹,这些微裂纹的宽度处于小于100 μ m的稳定状态。

[0042] 图2示出了FRP约束的HSC柱环向应变分布机理。由于HSC的脆性,会产生局部大裂纹,从而在用于约束的FRP的相应位置产生大应变,从而导致过早断裂。

[0043] 如图3所示,通过在FRP套管和HSC之间添加ECC环并将这两种组分分开,这种新型FRP约束复合柱充分利用了ECC良好抗裂性能的优势。当HSC芯产生局部大裂纹时,ECC产生多个微裂纹,有助于重新分配局部应力和应变,从而导致FRP套管上的应变分布更加均匀。

[0044] 通过上述布置,可以提高FRP约束效率。FRP过早断裂的现象将得到缓解甚至消除。FRP管会产生更大的平均断裂应变,其更接近于FRP材料的断裂应变,抗压强度和变形能力

都会相应进一步增强。

[0045] 此外,FRP约束的ECC-HSC复合柱与FRP约束的普通混凝土柱相比还具有其他优点。HSC虽然具有脆性,却可以帮助柱子获得高抗压性能;而ECC成本较高,但有助于提高延展性。通过用HSC和ECC制作复合柱,能够在更高抗压性能、更高延性性能和经济性之间获得平衡。此外,ECC环可以为HSC芯提供额外的约束,并且可以减少所使用的用于约束的FRP的需求量。

[0046] 与普通钢筋混凝土柱相比,FRP约束的ECC-HSC复合柱不含钢材。该特性表明该柱可以在海洋环境中使用而无需担心钢材腐蚀问题。本发明的复合柱可适用于基础设施,例如桥墩。

[0047] 上述FRP约束的ECC-HSC复合柱的开发过程基于以下。首先,确定FRP约束HSC柱在轴向压缩下的过早失效机制,这是由于HSC中的局部裂纹和FRP上的局部应变引起的。其次,考虑添加抗裂性能更好的材料来分离HSC和FRP管的方法来解决这个问题。发现ECC在拉伸力下具有优异的抗裂性能。同时,作为水泥基材料,ECC与HSC具有良好的粘结性,这表明复合柱在承受压缩载荷时将表现为一个整体构件。

[0048] 新型FRP约束混凝土柱制造工艺

[0049] 本发明还提出了一种制造如上所述的新型FRP约束混凝土柱的方法。其包括以下步骤:浇筑混凝土芯;提供FRP套管,将所述FRP套管套在所述混凝土芯外,并留有一定的间距;浇注抗裂材料以填充所述混凝土芯和所述套管之间的空间,从而形成抗裂材料层。

[0050] 本发明还提出了一种在工程现场制造如上所述新型FRP约束混凝土柱的方法。其可以包括以下步骤:提供FRP套管和抗裂材料管;使用所述FRP套管和抗裂材料管形成预制FRP抗裂材料管;将所述预制FRP抗裂材料管运输到工程现场,安装在适当位置;在所述预制FRP抗裂材料管中浇筑混凝土,形成浇筑混凝土芯。

[0051] 在上述方法中,使用所述FRP套管和抗裂材料形成预制FRP抗裂材料管的步骤包括:将ECC管放在旋转的心轴上以完成纤维缠绕成形工艺。在工厂完成这些程序后,将FRP套管和ECC环组合在一起形成预制FRP-ECC管。

[0052] FRP约束的ECC-HSC复合柱制造工艺

[0053] 下面,以前述FRP约束的ECC-HSC复合柱为例说明上述制造新型FRP约束混凝土柱的方法以及在工程现场制造新型FRP约束混凝土柱的方法。

[0054] FRP约束的ECC-HSC复合柱的制作流程如图4所示。首先浇筑HSC芯。混凝土凝固后,取出模具,将FRP套管放置在HSC芯外,并留有一定的间距。最后,浇注ECC以填充HSC和FRP套管之间的空间。FRP管和HSC芯恰好分别是ECC环浇注的外模和内模。

[0055] 由于施工现场将两种混凝土浇筑在一起的复杂性,开发了一种适合工程实践的制造工艺,如图5和图6所示。ECC环可视为ECC管,像污水系统中使用的混凝土管道一样,可以在工厂中轻松生产。然后将ECC管放在旋转的心轴上以完成纤维缠绕成形工艺,如图5所示。在工厂完成这些程序后,将FRP套管和ECC环组合在一起形成预制FRP-ECC管。最后,将预制的FRP-ECC管运输到施工现场,在内部浇筑HSC后制成FRP约束的ECC-HSC复合柱,如图6所示。此设计现场无需模板,可简化施工程序,节省人力。

[0056] FRP约束的ECC-HSC复合柱的性能测试

[0057] 为进一步说明本发明所提出的新型FRP约束混凝土柱,以下以FRP约束的ECC-HSC

复合柱为示例,对新型FRP约束混凝土柱进行了试验研究,以测试其结构性能。

[0058] 具体而言,在轴向压缩下对本发明的FRP约束的ECC-HSC复合柱进行了试验研究,以测试其结构性能。以下说明FRP约束ECC-HSC复合柱与普通FRP约束HSC柱之间的比较。

[0059] 研究中制备并测试了FRP约束的HSC柱和FRP约束的ECC-HSC复合柱。所有试件的直径为200mm(FRP管内径),高度为400mm。FRP管的厚度为2.35毫米,由7层玻璃纤维组成。本研究包括两种ECC环厚度,15毫米和25毫米。试样截面如图7所示。复合柱的参数包括纤维增强聚合物(FRP)管的直径 D_0 、高强度混凝土(HSC)芯的直径 D_i 、工程水泥基复合材料(ECC)环的厚度 T 、FRP套管与HSC芯之间的直径比 D_0/D_i 、FRP套管的厚度 t 以及HSC芯和ECC环的材料特性(例如,抗压强度)。HSC芯和ECC环的抗压强度分别为75MPa和55MPa。在测试中考虑了两种加载条件,轴向单调压缩和轴向循环压缩。制备了两个相同的试样,并分别测试了单调压缩和循环压缩。表1总结了试样的详细信息。F、E、H分别是FRP、ECC、HSC的简称。15或25代表ECC环厚度,M或C代表单调或循环压缩。截面参数见图8:

[0060] 表1 试样细节

ID	载荷 类型	HSC 芯		ECC 环	
		强度 (MPa)	直径 (mm)	强度 (MPa)	厚度 (mm)
[0061]	FH-M1,2	Monotonic	75	200	--
	FH-C	Cyclic	75	200	--
	FEH-15-M1,2	Monotonic	75	170	55
	FEH-15-C	Cyclic	75	170	55
	FEH-25-M1,2	Monotonic	75	150	55
	FEH-25-C	Cyclic	75	150	55

[0062] 图9显示了测试装置的设置;图10示出了测试装置。12个应变计安装在立柱环向中间高度处,每30度一个应变计,用于测量环向应变分布。4个应变计安装在柱子的轴向中间高度处,每90度一个,用于进行轴向应变测量。LVDT位移传感器用于测量柱的轴向缩短。轴向载荷同时施加在混凝土和FRP套管上。荷载、应变计和LVDT读数由数据记录器记录。

[0063] 以下说明上述试验的结果。

[0064] 关于失效模式。所有试样均因环向FRP断裂而失效。典型的失效试样如图11-16所示;其中,图11和12示出了FH-M1 (FRP约束的HSC复合柱,单调压缩)的测试结果;图13和14示出了FEH-15-M2 (FRP约束的ECC-HSC复合柱,ECC厚度15mm,单调压缩)的测试结果;图15和16示出了FEH-25-M2 (FRP约束的ECC-HSC复合柱,ECC厚度25mm,单调压缩)的测试结果。

[0065] 试验后取下FRP套管以观察内部HSC和ECC的开裂行为。可以看出,对于FRP约束HSC,局部斜裂纹将HSC芯分成两部分。对于FRP约束的ECC-HSC复合柱,ECC环保持整个试样完整。均匀的裂纹分布在柱子周围。随着ECC厚度从15mm增加到25mm,裂纹会变得更细。

[0066] 关于环向应变分布。根据安装在FRP套管上环向方向的12个应变计的读数,典型试样的中高柱截面环向应变分布绘制在图11、13和15中。由于FRP约束HSC柱发生局部破坏,在

开裂位置产生大的环向应变值,导致环向应变分布不均匀。与FRP约束的HSC柱相比,FRP约束的ECC-HSC复合柱将产生更均匀的环向应变分布。特别是对于带有25mm厚ECC环的试样,在柱子周围不同位置的环向应变几乎相同,这与多次开裂行为非常吻合。这种均匀的环向应变分布也将导致FRP断裂时更大的平均环向应变,这意味着可以延迟柱失效并获得更好的延性性能。

[0067] 关于应力应变行为。FRP断裂前的轴向应力-轴向应变曲线如图17和18所示;其中图17示出了单调压缩的试样的应力应变图,图18示出了循环压缩的试样的应力应变图。可以观察到,与FRP约束的HSC相比,FRP约束的ECC-HSC复合柱在单调压缩和循环压缩下的极限轴向应变均明显增强。这表明本发明的新型复合柱可以比普通的FRP约束HSC柱具有更好的延展性。随着ECC厚度从15mm增加到25mm,极限轴向应变进一步提高。还注意到,与单调加载相比,循环加载的极限应变增强率更大。

[0068] 简而言之,初步测试结果表明,ECC环有效地将环向应变从HSC芯重新分配到FRP套管。随着ECC厚度的增加,沿柱的环向应变变得更加均匀,FRP断裂处的平均环向应变将相应增加。与普通FRP约束HSC柱相比,本发明的新型FRP约束ECC-HSC复合柱将产生更大的极限轴向应变,从而获得更好的延性性能。

[0069] 总结

[0070] 综上,本发明公开了在FRP管和混凝土之间使用抗裂材料层(例如ECC环)来重新分配FRP约束混凝土柱在压缩载荷下的环向应变和应力;以及工程实践中FRP约束混凝土柱(例如FRP约束的ECC-HSC复合柱)的制造工艺,特别是FRP抗裂材料管(例如FRP-ECC管)的预制方法。

[0071] 本发明的实质和核心特征是:提出了一种新型的FRP约束复合混凝土柱,通过在FRP管和混凝土芯之间增加抗裂材料层(例如在FRP管与HSC芯之间增加ECC环),可以实现环向应变和应力的重新分布。通过这种创新的布置,可以在FRP套管上实现均匀的应变和围压。同时,可以防止FRP过早断裂,从而在更大程度上利用FRP。

[0072] 本发明提出的利用隔离层将约束FRP和被约束的混凝土芯隔开以均匀分布环向应变和应力的概念是新颖的,在本技术领域尚未发现此类概念。这个概念可以在约束材料上实现更均匀的应变和应力分布,对于进一步研究和探索由FRP约束的混凝土和由其他材料约束的混凝土,其具有重要价值。

[0073] 对复合混凝土柱结构性能的研究非常有限,在现有技术中甚至很少或几乎没有针对FRP约束复合柱的研究。本发明提出了一种新型FRP约束混凝土柱(例如FRP约束的ECC-HSC复合柱),与普通混凝土和普通FRP约束混凝土柱相比,具有更优越的结构性能。预计不同的组件将贡献不同的功能,从而使复合柱在结构上和经济上更有效。

[0074] 本发明解决了以下问题:脆性混凝土芯(如HSC)局部大裂纹导致FRP管过早断裂的现象;以及FRP约束的混凝土芯柱在压缩载荷下的有限的变形能力和延展性能。

[0075] 本发明比现有技术更具有优势的原因在于:添加抗裂材料层后,FRP管与脆性混凝土芯(如HSC)之间的隔离层可以在FRP管上实现更均匀的环向应变、环向应力和围压;可防止FRP过早断裂,获得更大程度的FRP使用;FRP约束脆性混凝土芯(如HSC)的结构性能可以进一步增强。

[0076] 本发明中的混凝土芯可以由HSC制成。本发明中的抗裂材料层可以由工程水泥基

复合材料 (ECC) 制成。ECC 是一种在拉力下具有优异抗裂性能的延展性水泥基材料,在本技术领域,尚未与高强度混凝土 (HSC) 一起用于 FRP 约束混凝土柱中。当经受拉伸载荷时, ECC 会产生多个微裂纹。对于这种 FRP 约束的 ECC-HSC 复合柱, HSC 芯中产生的局部大裂纹将通过 ECC 环中的多个微裂纹转移到 FRP 套管,从而导致 FRP 套管上的应变分布更均匀。一旦环向应变更均匀,围压将变得更均匀。

[0077] 由于更均匀的应变分布, FRP 管更可能在不同位置同时达到其极限拉伸应变。这也说明可以充分利用 FRP 材料的特性。

[0078] 一旦防止了 FRP 过早断裂, FRP 套管就可以对混凝土提供更大的约束,从而进一步提高抗压性能和变形能力。

[0079] 本发明适用于例如跨海大桥的桥墩;用于海洋环境中的其他基础设施的支撑构件;以及需要无钢材的建筑结构的柱子。

[0080] 应当理解,在不脱离上述本发明范围的情况下,可以进行各种变化。

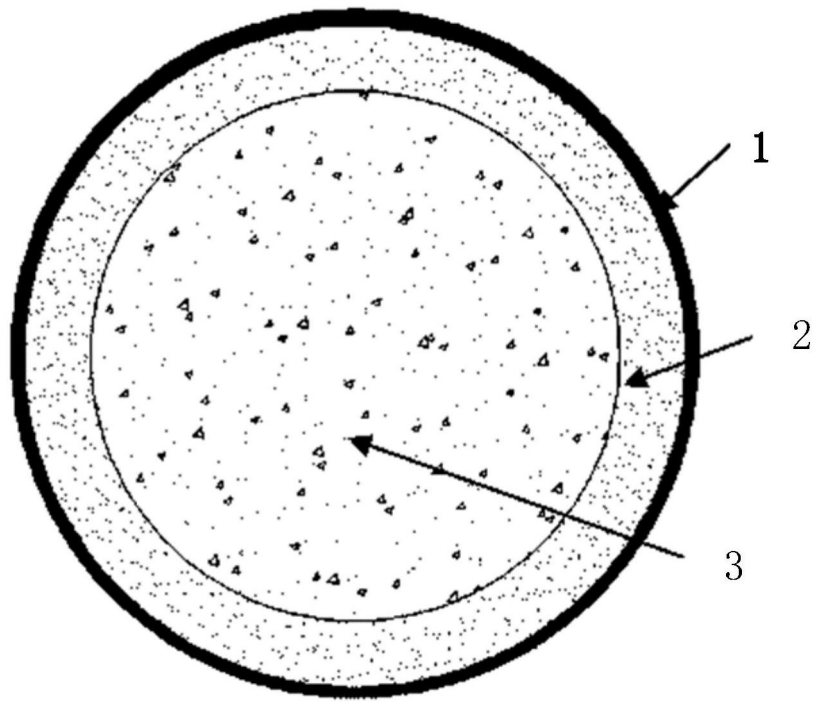


图1

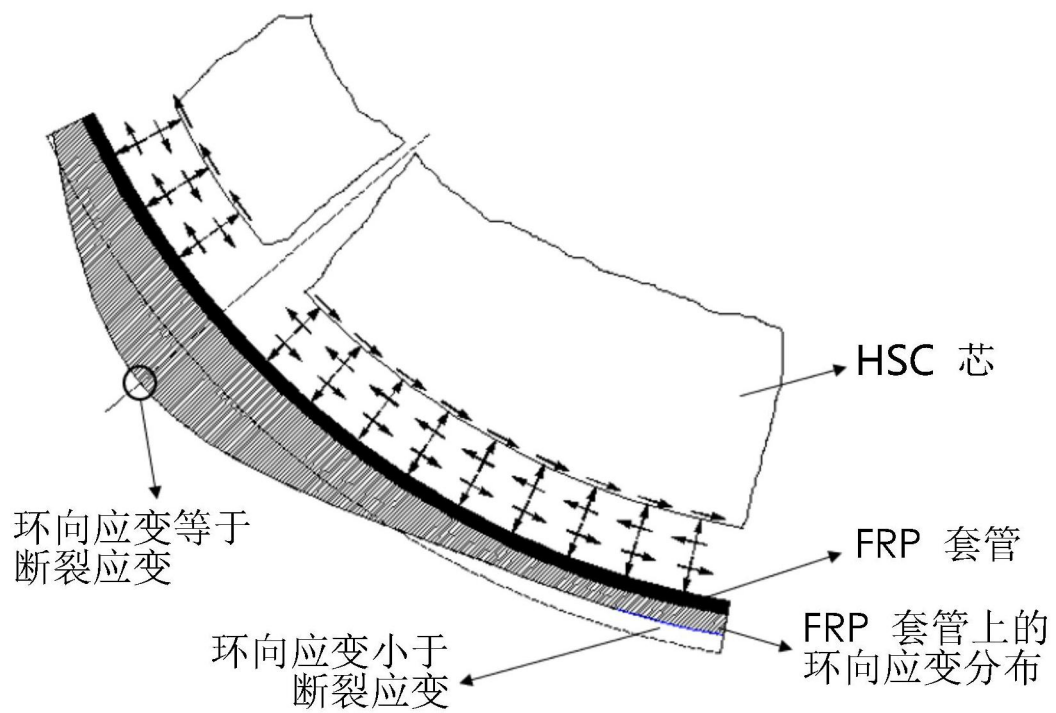


图2

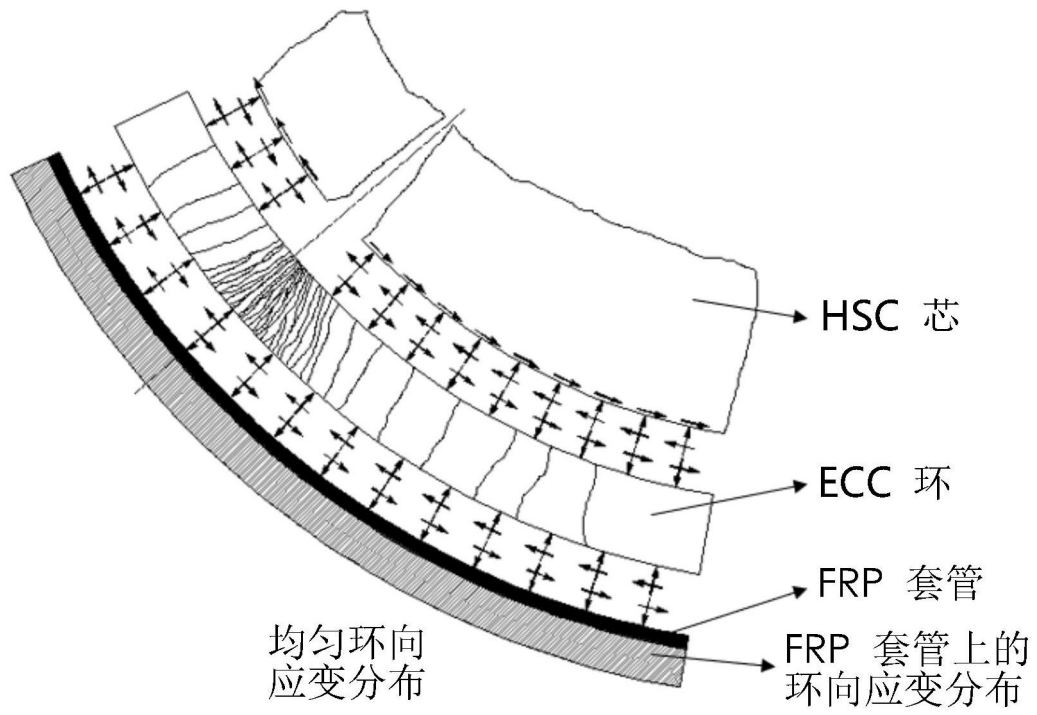


图3

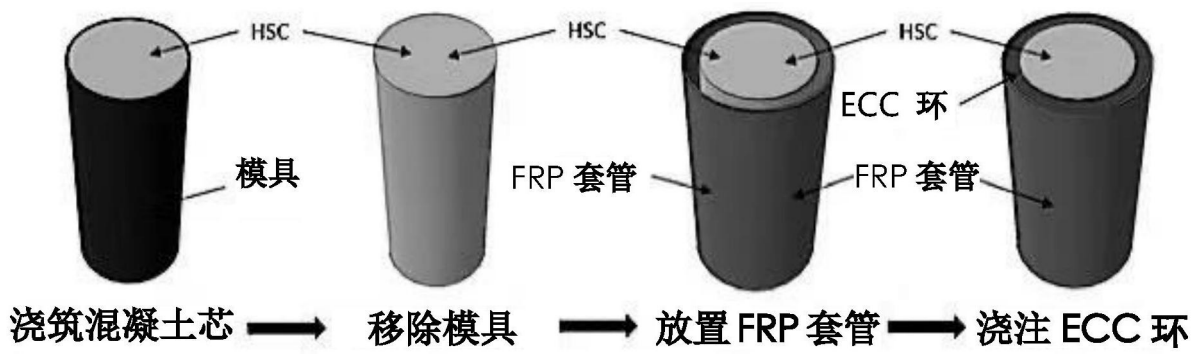


图4

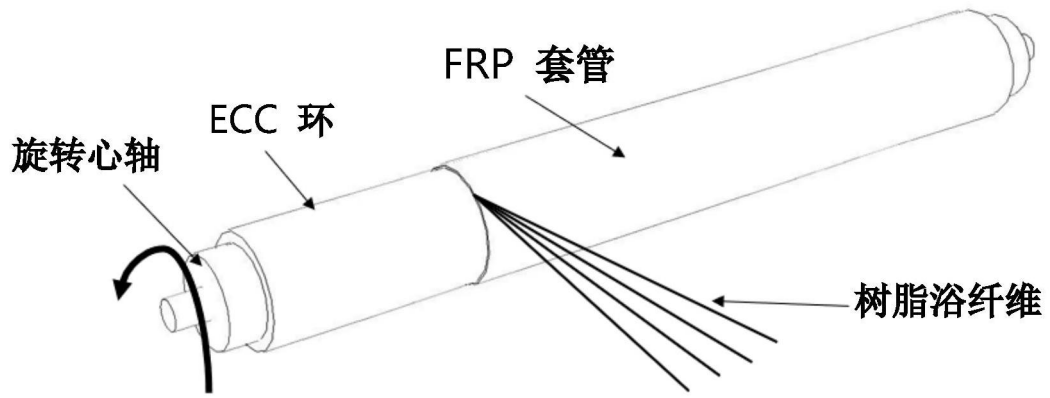


图5

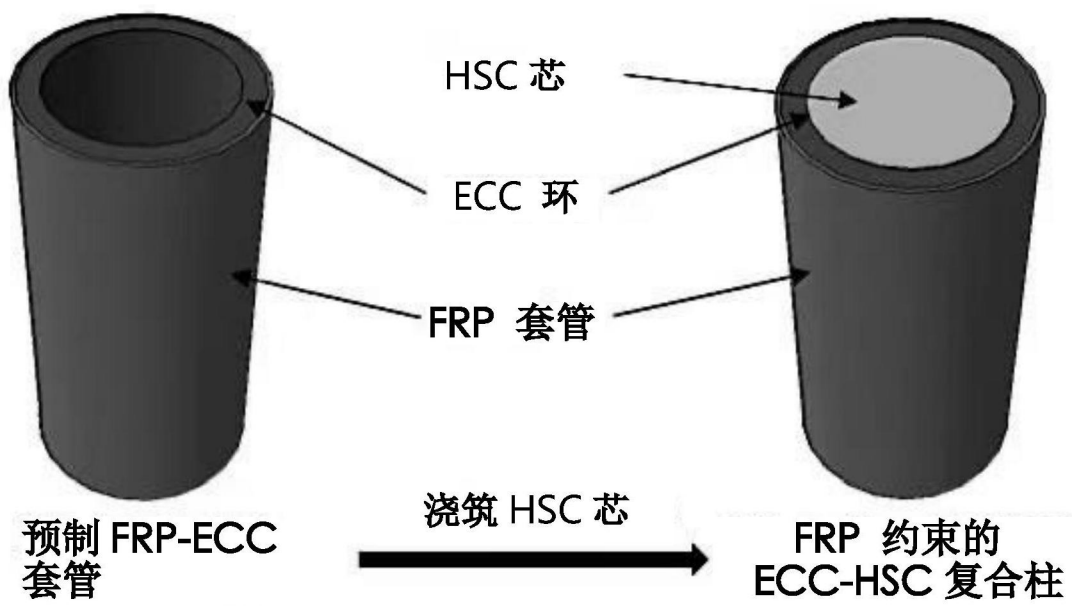


图6

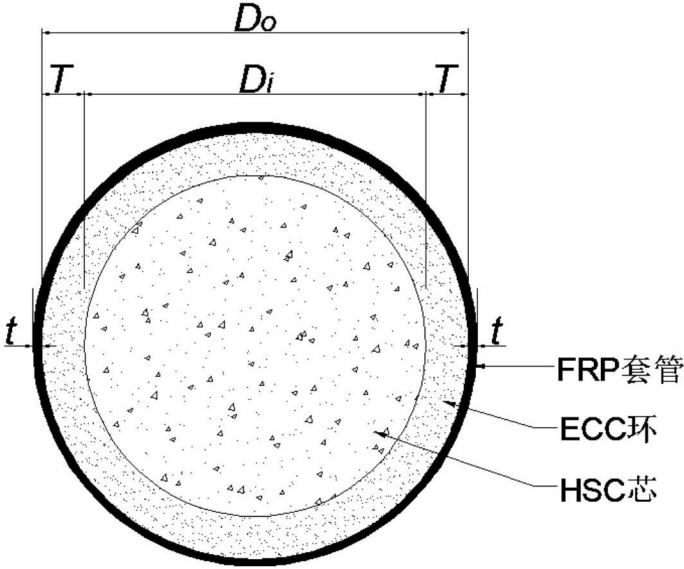


图7

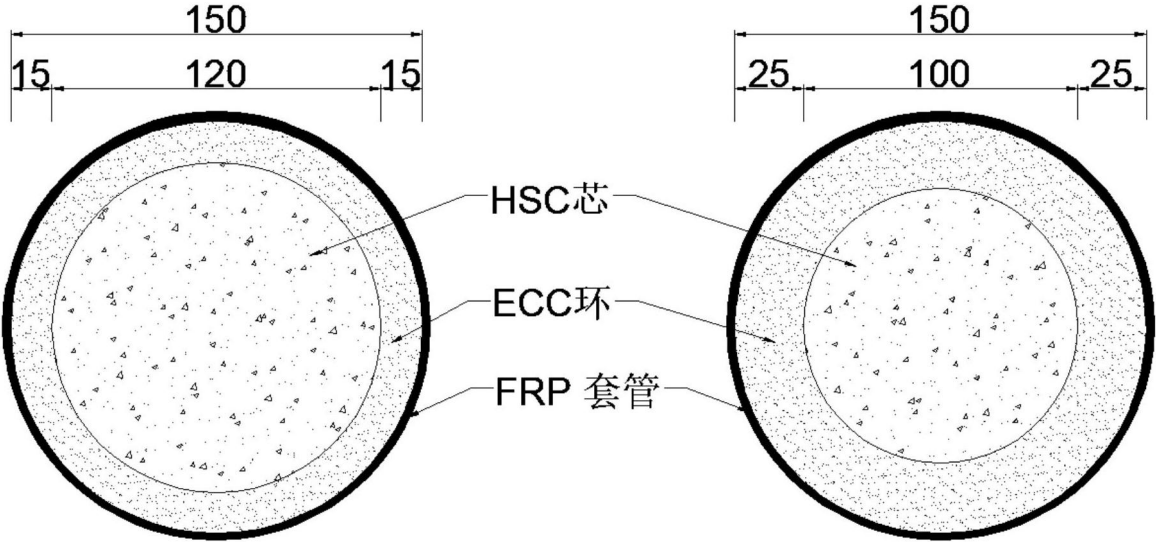


图8

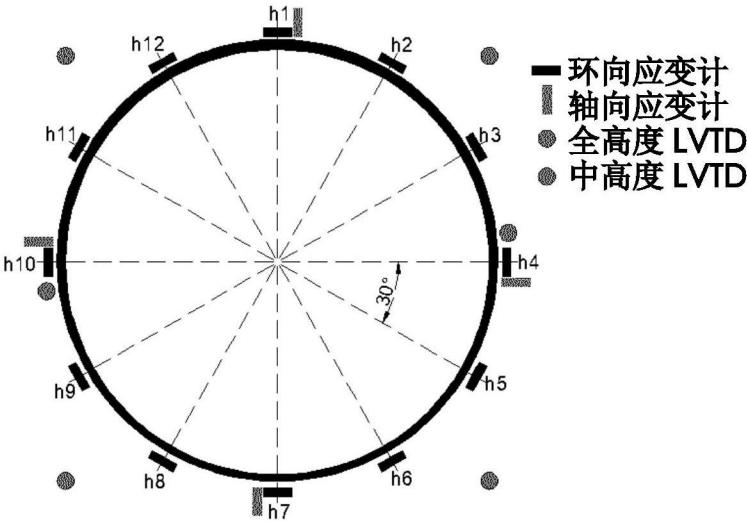


图9



图10

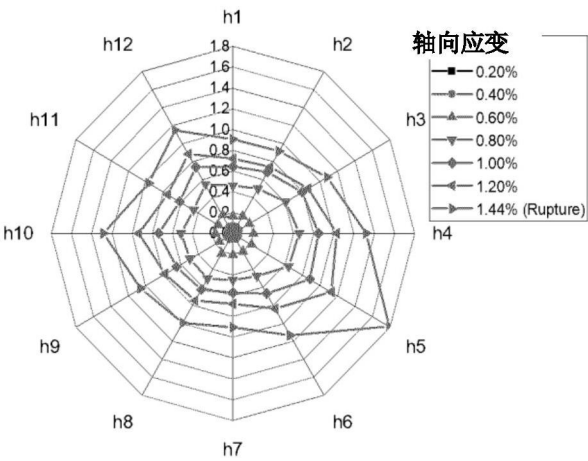


图11



图12

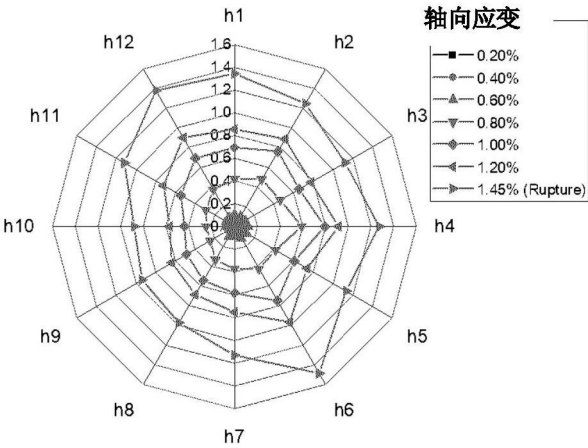


图13

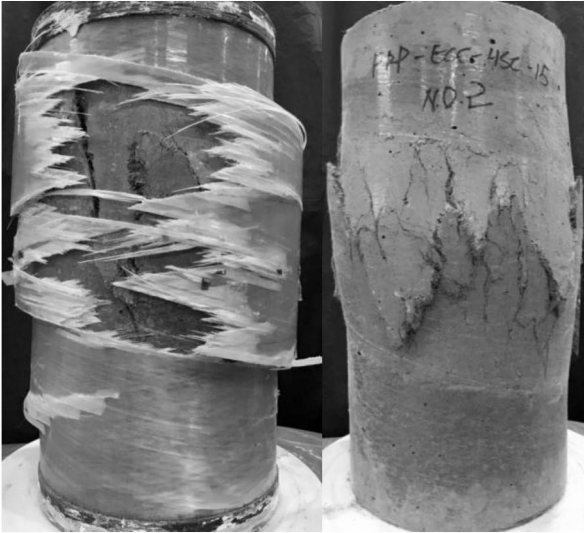


图14

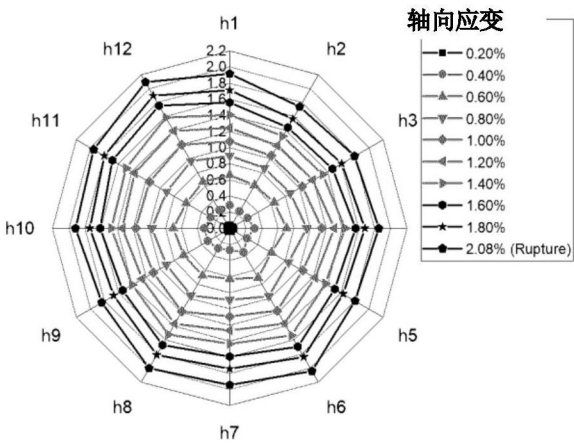


图15



图16

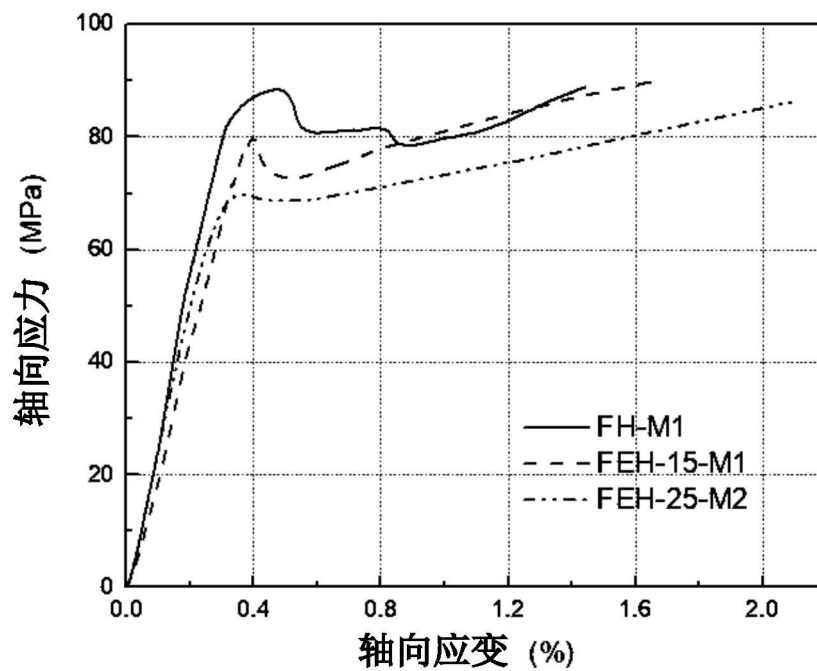


图17

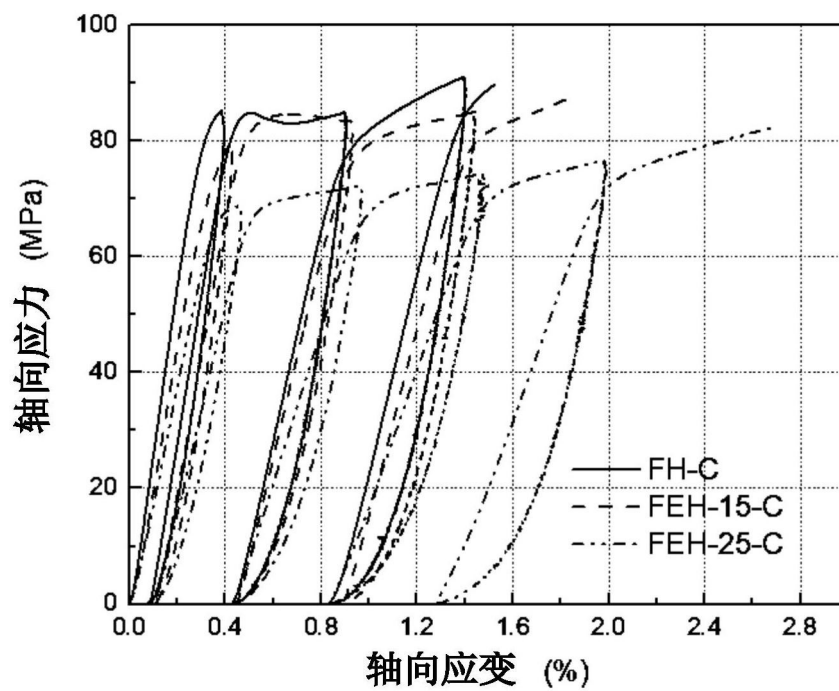


图18