



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101792954 A

(43) 申请公布日 2010.08.04

(21) 申请号 201010118168.4

(22) 申请日 2010.03.04

(71) 申请人 杨建中

地址 518000 广东省深圳市福田区红荔西路
香山美树苑 6 栋 17D

(72) 发明人 杨建中 熊光晶 王霓

(51) Int. Cl.

D04C 1/04 (2006.01)

D04C 1/06 (2006.01)

B32B 5/26 (2006.01)

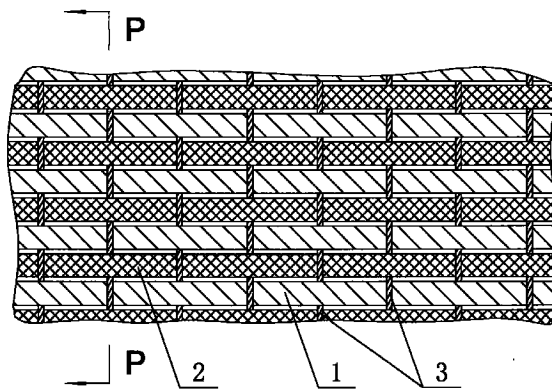
权利要求书 1 页 说明书 9 页 附图 5 页

(54) 发明名称

土木工程用层内混杂纤维布及多层混杂纤维布

(57) 摘要

本发明公开了一种在保证被加固构件的刚度和强度的前提下,能有效地提高纤维效率和被加固构件的延性,并能够显著降低造价和使用成本的土木工程用层内混杂纤维布及多层混杂纤维布。层内混杂纤维布包括高延伸率的纤维 (1)、高强度和高弹模的纤维 (2)、连接线 (3),所述高强度和高弹模的纤维 (2) 与所述高延伸率的纤维 (1) 通过所述连接线 (3) 混编在一层内成为混杂纤维布,所述高强度和高弹模的纤维 (2) 与所述高延伸率的纤维 (1) 沿长度方向平行设置,所述连接线 (3) 沿宽度方向设置。多层混杂纤维布包括至少两层所述土木工程用层内混杂纤维布,各层所述土木工程用层内混杂纤维布之间为层间混杂。本发明可广泛应用于土木工程领域。



1. 一种土木工程用层内混杂纤维布,其特征在于:包括高延伸率的纤维(1)、高强度和高弹模的纤维(2)、连接线(3),所述高强度和高弹模的纤维(2)与所述高延伸率的纤维(1)通过所述连接线(3)混编在一层内成为混杂纤维布,所述高强度和高弹模的纤维(2)与所述高延伸率的纤维(1)沿长度方向平行设置,所述连接线(3)沿宽度方向设置。

2. 根据权利要求1所述的土木工程用层内混杂纤维布,其特征在于:所述高延伸率的纤维(1)采用E玻璃纤维或S玻璃纤维或玄武岩纤维或芳纶纤维。

3. 根据权利要求1所述的土木工程用层内混杂纤维布,其特征在于:所述高强度和高弹模的纤维(2)采用碳纤维。

4. 根据权利要求1所述的土木工程用层内混杂纤维布,其特征在于:所述高强度和高弹模的纤维(2)与所述高延伸率的纤维(1)之间的混杂比例为2:1~1:3。

5. 一种土木工程用多层混杂纤维布,其特征在于:包括至少两层权利要求1~4任意一项所述的土木工程用层内混杂纤维布,各层所述土木工程用层内混杂纤维布之间为层间混杂。

6. 根据权利要求5所述的土木工程用多层混杂纤维布,其特征在于:各层所述土木工程用层内混杂纤维布的混杂比例相同。

7. 根据权利要求6所述的土木工程用多层混杂纤维布,其特征在于:各层所述土木工程用层内混杂纤维布之间为叠层混杂。

8. 根据权利要求6所述的土木工程用多层混杂纤维布,其特征在于:各层所述土木工程用层内混杂纤维布之间为错层混杂。

9. 根据权利要求5所述的土木工程用多层混杂纤维布,其特征在于:各层所述土木工程用层内混杂纤维布的混杂比例不同。

土木工程用层内混杂纤维布及多层混杂纤维布

技术领域

[0001] 本发明涉及一种纤维布,尤其涉及一种土木工程中用于结构加固的纤维布。

背景技术

[0002] 目前,纤维增强复合材料(Fiber Reinforced Plastic,简称FRP)加固结构技术已成为国内外土木工程结构加固的一种常用技术。但无论国内还是国外所有的研究应用都是单一纤维材料加固,包括碳纤维(Carbon Fiber,简称CF)、玻璃纤维(Glass Fiber,简称GF)、芳纶纤维(Kevlar Fiber,简称KF)和玄武岩纤维(Basalt Fiber,简称BF)等,而且绝大部分为碳纤维增强复合材料(CFRP)加固,其他几种纤维应用较少。然而,单一纤维材料的优缺点往往都非常突出,例如CF的弹模和强度高,而断裂延伸率低,且主要依靠进口价格昂贵;相反,GF虽然弹模和强度较低,但其断裂延伸率高,而且价格便宜(仅为CF的 $1/9 \sim 1/3$)。另外,FRP中不可避免地存在着纤维断裂、缺陷和薄弱环节,在FRP受拉时这些受力大的薄弱纤维先断裂,纤维受力情况产生重新分配,随之又有一些受力大而薄弱的纤维陆续断裂,直至纤维束全部断裂。由于单一纤维材料物理性质相同,单一FRP的裂纹容易立即向周边发展,迅速导致相邻纤维逐个断裂,容易发生整体瞬间破坏,所以其性能发挥率很低。国内外实验研究表明,通过CFRP加固混凝土圆柱,测得CFRP的平均断裂应变只能达到0.5%左右,即纤维延伸率仅发挥 $1/3$,而加固抗弯构件测得CFRP的平均断裂应变也仅达到1%左右,由此可见CFRP的性能发挥率很低,再加上CFRP价格昂贵,采用单一CFRP加固会造成巨大的资源浪费。另外,碳纤维高强度和高弹模但断裂延伸率太低的特性容易导致被加固构件延性大大降低,对结构抗震不利。

[0003] 纤维复合材料领域的研究证明:不同性质的纤维之间进行混杂后能产生混杂效应,它可让不同纤维之间取长补短。以GF和CF混杂为例:GF与CF的混杂比为2的混杂纤维复合材料(HFRP)的断裂应变比CFRP高30~50%,玻璃纤维增强复合材料(GFRP)的模量一般较低,但如引入50%的碳纤维作为表层,复合成夹芯形式,其模量可达到CFRP的90%;单一GFRP的疲劳寿命为非线性递减,如引入50%的碳纤维,其疲劳寿命将转变为线性递减,其循环应力也有较大的提高;引入碳纤维的量为 $2/3$ 时,其寿命接近单一CFRP;GFRP虽属电绝缘材料,但它有产生静电而带电的性质,碳纤维是导电、非磁性材料,用两种纤维混杂具有除电及防止带电的作用。由此可见,把两种以上的材料制成复合材料可以克服单一材料的缺点,改进单一材料的性能,并通过各组分的匹配协同作用,还可以出现原来单一材料所没有的新性能,达到材料的综合利用,以提高经济效益。如图1所示HFRP能产生单一FRP没有的多次断裂性能。

[0004] 但是,目前应用在土木工程中用于结构加固的混杂纤维布都是“层间混杂”,即混杂纤维布包括至少两层纤维,每层的层内均是一种现有类型的纤维布,层与层之间分别属于不同性质的纤维,层与层之间通过含浸树脂相连接,这种层间混杂的纤维布虽然能够利用不同性质的纤维的特性,但是不同性质的纤维之间的配比不易调整,因此其整体物理性质的调整不够丰富,不能根据需要进行调整;而且,层与层之间的性质相差较大,这种结合

方式对纤维布整体的性能均匀性有不良影响,这种层间混杂至少需要三层纤维才能达到受力对称均匀的效果,但在混凝土结构加固中一层和两层 FRP 加固的情况较多,因此现有的层间混杂往往只能采用一层碳纤维加一层玻璃纤维的形式,而且两层不同材质的纤维布粘贴时还需要各自搭接,除了浪费材料以外还会影响粘贴加固效果,因此纤维布混杂性能并不能充分发挥出来;另外,这种层间混杂的纤维布层数多,浪费材料,其成本高,使用不经济。

发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题是克服现有技术的不足,提供一种在保证被加固构件的刚度和强度的前提下,能有效地提高纤维效率和被加固构件的延性,并能够显著降低造价和使用成本的土木工程用层内混杂纤维布。

[0006] 另外,本发明还提供一种包括上述土木工程用层内混杂纤维布的多层混杂纤维布。

[0007] 本发明的土木工程用层内混杂纤维布所采用的技术方案是:本发明的土木工程用层内混杂纤维布包括高延伸率的纤维、高强度和高弹模的纤维、连接线,所述高强度和高弹模的纤维与所述高延伸率的纤维通过所述连接线混编在一层内成为混杂纤维布,所述高强度和高弹模的纤维与所述高延伸率的纤维沿长度方向平行设置,所述连接线沿宽度方向设置。

[0008] 所述高延伸率的纤维采用 E 玻璃纤维或 S 玻璃纤维或玄武岩纤维或芳纶纤维。

[0009] 所述高强度和高弹模的纤维采用碳纤维。

[0010] 所述高强度和高弹模的纤维与所述高延伸率的纤维之间的混杂比例为 2 : 1 ~ 1 : 3。

[0011] 本发明的土木工程用多层混杂纤维布所采用的技术方案是:本发明的土木工程用多层混杂纤维布包括至少两层土木工程用层内混杂纤维布,各层所述土木工程用层内混杂纤维布之间为层间混杂,所述土木工程用层内混杂纤维布包括高延伸率的纤维、高强度和高弹模的纤维、连接线,所述高强度和高弹模的纤维与所述高延伸率的纤维通过所述连接线混编在一层内成为混杂纤维布,所述高强度和高弹模的纤维与所述高延伸率的纤维沿长度方向平行设置,所述连接线沿宽度方向设置。

[0012] 所述高延伸率的纤维采用 E 玻璃纤维或 S 玻璃纤维或玄武岩纤维或芳纶纤维。

[0013] 所述高强度和高弹模的纤维采用碳纤维。

[0014] 所述高强度和高弹模的纤维与所述高延伸率的纤维之间的混杂比例为 2 : 1 ~ 1 : 3。

[0015] 各层所述土木工程用层内混杂纤维布的混杂比例相同;

[0016] 进一步,各层所述土木工程用层内混杂纤维布之间为叠层混杂或错层混杂。

[0017] 或者,各层所述土木工程用层内混杂纤维布的混杂比例不同。

[0018] 本发明的有益效果是:由于本发明的土木工程用层内混杂纤维布包括高延伸率的纤维、高强度和高弹模的纤维、连接线,所述高强度和高弹模的纤维与所述高延伸率的纤维通过所述连接线混编在一层内成为混杂纤维布,所述高强度和高弹模的纤维与所述高延伸率的纤维沿长度方向平行设置,所述连接线沿宽度方向设置,本发明采用层内混杂纤维布

加固建筑结构技术,将高延伸率(断裂延伸率高)且价格低的纤维(如玻璃纤维或玄武岩纤维)与高强度和高弹模的纤维(如碳纤维)混编在一层内成为混杂纤维布,从而达到在保证足够的强度和刚度的前提下有效提高纤维性能发挥率和被加固构件延性,能显著降低造价,且合理灵活,方便施工,是适用于土木工程加固的物美价廉的纤维布;本发明可根据混杂目标和纤维束性能(厚度、与结构胶浸润性和适配性、力学性能)选择纤维,然后进行混杂配比以及排列设计;混杂后的HFRP中的CF发挥效率得到显著提高,而当混杂比例适当时能产生多次断裂这一单一FRP没有的特性,而且混杂后的HFRP比单一FRP的性价比更高,更能合理灵活地满足各种要求,故本发明在保证被加固构件的刚度和强度的前提下,能有效地提高纤维效率和被加固构件的延性,并能够显著降低造价和使用成本。

附图说明

- [0019] 图1是各种FRP的应力-应变($\sigma - \epsilon$)曲线关系示意图;
- [0020] 图2是本发明实施例一的纤维在层内混杂排列和匹配的正面结构示意图;
- [0021] 图3是图2所示P-P的断面结构示意图;
- [0022] 图4是本发明实施例二的纤维在层内混杂排列和匹配的断面结构示意图;
- [0023] 图5是本发明实施例三的纤维在层内混杂排列和匹配的断面结构示意图;
- [0024] 图6是本发明实施例四的纤维在层内混杂排列和匹配的断面结构示意图;
- [0025] 图7是本发明实施例五采用多层纤维并在层内混杂排列和匹配的断面结构示意图;
- [0026] 图8是本发明实施例六采用多层纤维并在层内混杂排列和匹配的断面结构示意图;
- [0027] 图9是本发明实施例七采用多层纤维并在层内混杂排列和匹配的断面结构示意图;
- [0028] 图10是本发明实施例八采用多层纤维并在层内混杂排列和匹配的断面结构示意图;
- [0029] 图11是各种HFRP采用相同混杂比例及相应单一FRP的应力-应变($\sigma - \epsilon$)曲线关系示意图;
- [0030] 图12是一种HFRP采用不同混杂比例及相应单一FRP的应力-应变($\sigma - \epsilon$)曲线关系示意图;
- [0031] 图13是根据图12整理简化的应力-应变($\sigma - \epsilon$)曲线关系示意图。

具体实施方式

[0032] 本发明的土木工程用层内混杂纤维布包括高延伸率的纤维1、高强度和高弹模的纤维2、连接线3,所述高强度和高弹模的纤维2与所述高延伸率的纤维1通过所述连接线3混编在一层内成为混杂纤维布,所述高强度和高弹模的纤维2与所述高延伸率的纤维1沿长度方向平行设置,所述连接线3沿宽度方向设置,所述连接线3在宽度方向可以与所述高强度和高弹模的纤维2及所述高延伸率的纤维1垂直相交设置,也可以采用斜交设置。相应有如下的四个方面:

- [0033] (1) 性能要求:为保证被加固构件的刚度和强度,首先选择碳纤维作为所述高强

度和高弹模的纤维 2 ;为了提高 CFRP 的断裂伸长率从而提高被加固构件的延性,则应采用高延伸率的纤维 1,其断裂伸长率应比碳纤维高 50 ~ 200%,可选用 E 玻璃纤维 (EGF) 或 S 玻璃纤维 (SGF) 或玄武岩纤维 (BF) 或芳纶纤维 (KF) ;另外为了提高混杂效应,所述高强度和高弹模的纤维 2 与所述高延伸率的纤维 1 的性能差别越大越好,有利于保证在部分所述高强度和高弹模的纤维 2(CF) 断裂后,所述高延伸率的纤维 1 仍能有效承载,最终提高 FRP 的断裂延伸率和延性,甚至能达到多次断裂效果。

[0034] (2) 价格要求 :由于目前绝大部分实际加固工程采用的 CF 仍需依靠进口,而且以石油为原材料,不仅价格很高,而且受较大的约束 ;相反,国产 GF 已达到国际先进水平,而且以石英砂为原料,不仅价格低廉 (仅为 CF 的 1/9 ~ 1/3),而且环保节能, BF 也有一定的价格优势 (约为 CF 的 1/4),相对而言,其余纤维价格与碳纤维差别优势不算明显。所以,选用 EGF 或 SGF 或 BF 与 CF 进行混杂符合低成本的要求,且能符合“低碳经济”和“节能减排”国策。

[0035] (3) 层内混杂及其匹配 :混杂可采取层内和层间两种方式,相对而言层内的分散度较高,相应能达到更明显的混杂效应,效果更好。所以,本发明采用层内混杂模式,将两种单向纤维沿着长度方向平行编织成层内混杂单向纤维布。根据不同的加固需要 (强度、刚度以及价格等方面) 进行选材,并按不同的材料、不同的混杂比例和不同的排列方式进行混杂编织。

[0036] (4) 层内混杂纤维布施工性能 :由于层间混杂最少需要两层纤维进行混杂,至少三层才能达到对称均匀效果,但混凝土结构加固中一层和两层 FRP 加固的情况较多。所以采用层间混杂只能是一层碳纤维加一层玻璃纤维的形式,另外两层不同材质的纤维布粘贴时还需要各自搭接,除了浪费材料以外还会影响粘贴加固效果。所以,将纤维丝编制成层内混杂纤维布,一层纤维布即可实现混杂的效果,整体刚度和强度更为均匀,增加了设计自由度,而且工人施工能减少搭接,大大提高施工可行性、效率和效果。

[0037] 以下是试验的内容 :

[0038] 一、试验材料

[0039] 所述高强度和高弹模的纤维 2 选用常用的一级 PAN 系高强度碳纤维 (C),所述高延伸率的纤维 1 中玻璃纤维分别采用 E 性玻璃纤维和 S 性玻璃纤维,玄武岩纤维采用相对较为便宜的 13 μ m 丝制造而成的玄武岩纤维。这些单一纤维均是单向连续纤维束,并以之编织成单向单一纤维布或不同比例和组合的层内混杂纤维布。胶采用常用纤维结构胶即可。

[0040] 上述材料性能列表如下 :

[0041] 表 1 :单一纤维材料性能表

[0042]

	碳纤维布		E 玻璃纤维布		S 玻璃纤维布		玄武岩纤维布	
抗拉强度 (MPa)	4600		1960		4233		2040	
弹性模量 (GPa)	230		70		83		85	
断裂伸长(%)	2.0		2.8		5.1		2.4	
厚度(mm)	0.111	0.167	0.118	0.174	0.118	0.169	0.111	0.167
价格(元/m ²)	120	150	8	12	35	55	20	30

[0043] 上述高延性纤维布是根据目前规范要求以及市场情况,主要以高延性和低价格为指标,对比选择选用不同材料,以达到物美价廉的效果。

[0044] 二、层内混杂纤维布的选材、匹配和编制

[0045] 混杂结构中,制造工艺的因素不容忽视。对于一个面内混杂的织物产品,不同种纤维之间是否具有工艺匹配性以及如何进行均匀的分布就是需要重点考虑的问题。无论是高强度和高弹模的纤维 2 以及高延伸率的纤维 1,都会有很多可供选择的规格品种,包括不同的线密度、不同的浸润剂种类和含量,不能够合理选择相匹配的纤维规格,就会严重影响混杂织物与树脂基体的复合,从而影响混杂效应的发挥;此外,对于一个设计好的纤维混杂比,其中各种纤维的排布也是会有多种可能的工艺实现方式,不同的方式对于最终的混杂效应会有一定的影响。将两种不同的纤维编织在相同一层内,除了考虑两种纤维的力学性能差之外,必须考虑混杂纤维布成型效果。成型效果包括厚度、密度、顺直度和吸胶性能等。

[0046] (1) 编织工艺要求:原单一纤维材料应选择一些成熟产品,相应单一纤维布的编织性能好,成型效果好,与环氧树脂结构胶的浸润性和适配性都很好,以此保证编织后的层内混杂纤维布的工艺性。然后,选择等级(厚度)相近的两种纤维,即 200g/m²CF(0.111mm 厚)配 200g/m²GF 或 BF(0.118mm 厚),300g/m²CF(0.167mm 厚)配 300g/m²GF 或 BF(0.174mm 厚),能保证并排混编在一层厚度均匀,平直顺滑,否则容易存在高低不平或叠层空隙缺陷等问题。实践证明,只需对现有单向编织工艺稍微调整即能编织出各种的层内混杂纤维布,其工艺效果良好。

[0047] (2) 层内混杂方式与比例:根据混杂纤维的原理,所述高强度和高弹模的纤维 2(碳纤维)比例越高,混杂纤维布的强度和弹模越大,但延性越低,价格越高;而便宜的所述高延伸率的纤维 1 比例越高则相反。根据使用要求、纤维性能以及价格等多方面因素等进行层内混杂比设计与编排,由于本发明的研制目标是提高 CFRP 的延性和降低材料成本,并希望能取得多次断裂的混杂纤维布,所述高强度和高弹模的纤维 2 与所述高延伸率的纤维 1 之间的混杂比例主要有以下四种:2:1 或 1:1 或 1:2 或 1:3。

[0048] (3) 层间铺层混杂方式:层内混杂纤维布除了可以在每层内有不同比例和编排之外,多层叠合时更有不同的组合,不同组合的特性有一定的区别。从混杂纤维断裂破坏角度分析,要提高碳纤维的断裂伸长率就应提高碳纤维在混杂纤维中的分散度,增加 CF 与 GF 的接触界面,尽量提高 GF 对 CF 出现初始断裂后的裂缝或缺陷约束。如图 7、图 8 所示,反映了相同的层内混杂纤维布通过错位铺设来实现不同的结构,可有效提高分散性提高混杂效应;如图 9、图 10 所示,反映了采用不同比例的层内纤维布进行层间混杂,可实现多种配比

和结构形式。所以,可以采用多种不同比例的层内混杂纤维布进行层间混杂,其性能更为多样,设计可根据使用要求进行不同的搭配,材料设计概念突出,混杂效果更为明显。

[0049] 三、FRP 性能测试结果

[0050] 为了得到不同纤维、不同混杂配比和方式编织而成的混杂纤维布的拉伸性能和性价比,研究混杂效应和原理,进行 FRP 拉伸性能对比试验。按表 2 中的材料类型制作出几种不同的 FRP,表中 C、B、SG 和 EG 分别代表各自的单一 FRP,而 1C : 1SG 代表相应比例混杂纤维布制作成的 HFRP,其余表示类同。试件均采用 4 层纤维布,各层之间错位铺设以提高分散性和均匀性。按国家相关标准制作试件,每种 FRP5 个试件。

[0051] 表 2 :不同纤维材料及混杂性能表

[0052]

材料类型	价格 (元/ m ²)	弹性模 量(GPa)	断裂	断裂	强度	弹模	σ=1800MPa 时,变		σ=1800MPa 时,能量	
			应	强度	性价	性价	形安全度性价比		延性性价比	
			变%	(MPa)	比	比	ε 安全度	性价比%	延性系数	性价比%
C	150	218	1.45	3161	21.07	1.45	1.76	1.17	3.08	2.06
B	30	84	1.90	1596	53.20	2.80	---	---	---	---
1C:1BG	90	168	1.63	2738	30.42	1.87	1.52	1.69	2.31	2.57
EG	12	70	2.10	1470	122.50	5.83	---	---	---	---
1C:1EG	81	148	1.66	2457	30.33	1.83	1.36	1.69	1.86	2.30
SG	55	83	3.22	2673	48.60	1.51	1.48	2.70	2.21	4.01
2C: 1SG	118	184	1.69	3110	26.36	1.56	1.73	1.46	2.99	2.53
1C: 1SG	102	165	1.90	3135	30.74	1.62	1.74	1.71	3.03	2.97
1C: 2SG①	87	132	2.10	2772	31.86	1.52	1.98	2.28	2.82	3.24
			2.70	1848						
1C: 3SG①	79	115	2.25	2588	32.76	1.46	1.44	1.82	2.07	2.62
			3.00	1725						

[0053] 待试件达到强度后进行拉伸试验,分如下两种情况进行研究:

[0054] (1) 不同材料、相同比例混杂比较

[0055] 三种不同高延性纤维与碳纤维以 1 : 1 比例进行层内混杂进行对比试验,试验结果如表 2 和图 11 所示。试验结果表明,单一 FRP 与 HFRP 的断裂过程和形状有一定区别:单一 FRP 断裂前基本没有纤维微观断裂的声音和其他征兆,达到最大荷载时突然断裂,并发出“嘣”的巨响,而混杂 HFRP 则在接近最大荷载 80%左右听到“噼啪”的微观纤维断裂声,试件表面出现泛白,但没有明显断裂和荷载下降的现象,达到最大荷载时两种纤维同时

断裂。由试验现象表明,碳纤维在达到其极限应变时开始发生断裂,但由于有高延性纤维的分隔和约束,有效避免了局部断裂瞬间发展为整体断裂,使其碳纤维的整体断裂延伸率在 HFRP 内得到 14%~31% 的提高,这证明了高延性纤维与碳纤维混杂能有效地提高了碳纤维的利用率。另外从图中可见,混杂纤维的弹性模量在两种单一纤维之间,碳纤维明显提高了高延性纤维的弹性模量,有效保证了混杂纤维具有足够的强度。

[0056] (2) 相同材料、不同比例混杂比较

[0057] 在对比试验 (1) 中,HFRP 中的两种纤维同时断裂,这表明了碳纤维断裂时,另一种高延性纤维不能承担碳纤维断裂后的卸载及其冲击作用而同时断裂。为了进一步达到明显的混杂效应和多次断裂的效果,采用高强度、高断裂延伸率和高比例的 SGF 与 CF 混杂,分别以 1 : 1、1 : 2 和 1 : 3 进行比较,为求在碳纤维断裂时,剩余的 SGF 能承受其卸下的荷载和冲击作用。

[0058] 在本实验中,如图 12 所示,1C : 2SG 与 1C : 3SG 中的碳纤维先局部断裂,瞬间荷载发生突降,高延性纤维不能完全承担断裂碳纤维所卸荷载,但能有效约束碳纤维裂缝继续扩散并抵抗其冲击,然后与剩余的碳纤维继续承载,荷载仍可提高,在一个承载力范围内经过多次断裂后才最终断裂。由此可见碳纤维含量小于一定值时,能发生多次断裂的情况。在保持一定有效承载力的情况下发生多次断裂这一特性是单一 FRP 所没有的。

[0059] 根据试验结果,我们将应力-应变关系整理简化如图 13 所示,其中一次断裂的试件的极限强度和变形都是最大值,而 1C : 2SG 与 1C : 3SG 经第一次断裂后在卸载至 2/3 极限荷载后继续承载,基本保持上升态势,后段发生多级断裂。虽然后段在强度计算时不予考虑,但其仍有利于提高加固结构的抗震延性和可靠性,所以从有效强度和有效应变角度考虑,后段仍可视为有效工作阶段。

[0060] 上述对比试验及分析结果表明:

[0061] (1) 单一纤维优缺点明显:碳纤维虽然强度和弹模高,但延伸率低价格高,所以其性价比在所有纤维中最低;而高延性纤维,主要因为其低廉的价格而取得较高的(计算)性价比,但由于其强度和弹模过低,很难满足实际要求,特别是 BF 和 EGF,其强度小于 1800MPa,很难满足实际工程要求,难以推广应用,而 SGF 有较高的延伸率和强度,性价比相对较为适中,但仍不宜单一使用。

[0062] (2) HFRP 中高延性纤维能有效提高低延性纤维(CF)的断裂伸长率,即提高低延性纤维的效率。当两种纤维的配比达到一定比例(碳纤维最小体积率)时,还具备单一 FRP 没有的多次断裂特性,如 1C : 2SG 和 1C : 3SG。

[0063] (3) HFRP 的各种性价比均远远高于单一 CFRP,如强度性价比提高 25~55%,弹模性价比提高 1~28%,延性安全度性价比提高 25~93%,延性性价比提高 11~58%。对于强度和刚度要求较高的重要加固情况,建议使用 2C : 1SG 或 1C : 1SG;对于一般要求情况,建议使用 1C : 1EG、1C : 1B 或 1C : 1SG;对于延性要求较高情况,建议使用 1C : 1SG 或 1C : 2SG。HFRP 比单一 FRP 更能合理灵活地满足各种要求。

[0064] 实施例一:

[0065] 如图 2、图 3 所示,本实施例为土木工程用层内混杂纤维布,所述高强度和高弹模的纤维 2 与所述高延伸率的纤维 1 之间的混杂比例为 1 : 1。

[0066] 实施例二:

[0067] 如图 4 所示,本实施例为土木工程用层内混杂纤维布,所述高强度和高弹模的纤维 2 与所述高延伸率的纤维 1 之间的混杂比例为 1 : 2。

[0068] 实施例三:

[0069] 如图 5 所示,本实施例为土木工程用层内混杂纤维布,所述高强度和高弹模的纤维 2 与所述高延伸率的纤维 1 之间的混杂比例为 1 : 3。

[0070] 实施例四:

[0071] 如图 6 所示,本实施例为土木工程用层内混杂纤维布,所述高强度和高弹模的纤维 2 与所述高延伸率的纤维 1 之间的混杂比例为 2 : 1。

[0072] 实施例五:

[0073] 如图 7 所示,本实施例为土木工程用多层混杂纤维布,包括三层土木工程用层内混杂纤维布,各层所述土木工程用层内混杂纤维布之间为层间混杂,所述土木工程用层内混杂纤维布包括高延伸率的纤维 1、高强度和高弹模的纤维 2、连接线 3,所述高强度和高弹模的纤维 2 与所述高延伸率的纤维 1 通过所述连接线 3 混编在一层内成为混杂纤维布,所述高强度和高弹模的纤维 2 与所述高延伸率的纤维 1 沿长度方向平行设置,所述连接线 3 沿宽度方向设置,各层所述土木工程用层内混杂纤维布的混杂比例相同,即所述高强度和高弹模的纤维 2 与所述高延伸率的纤维 1 之间的混杂比例均为 1 : 1,各层所述土木工程用层内混杂纤维布之间为叠层混杂,即不同层的所述土木工程用层内混杂纤维布之间的所述高强度和高弹模的纤维 2 与所述高延伸率的纤维 1 分别各自上下重叠。当然,以上所示土木工程用多层混杂纤维布也可以只包括两层土木工程用层内混杂纤维布或者更多层。

[0074] 实施例六:

[0075] 如图 8 所示,本实施例与实施例五的区别在于:本实施例中,各层所述土木工程用层内混杂纤维布之间为错层混杂,即相邻层的所述土木工程用层内混杂纤维布之间的所述高强度和高弹模的纤维 2 与所述高延伸率的纤维 1 分别各自上下错位。本实施例其余特征同实施例五。

[0076] 实施例七:

[0077] 如图 9 所示,本实施例与实施例五的区别在于:本实施例中,各层所述土木工程用层内混杂纤维布的混杂比例不同,最上层与最下层的所述高强度和高弹模的纤维 2 与所述高延伸率的纤维 1 之间的混杂比例均为 1 : 2,中间一层的所述高强度和高弹模的纤维 2 与所述高延伸率的纤维 1 之间的混杂比例均为 2 : 1,最上层与最下层的所述高强度和高弹模的纤维 2 与所述高延伸率的纤维 1 之间位置相同,中间一层的所述土木工程用层内混杂纤维布与最上层及最下层之间错位设置。本实施例其余特征同实施例五。

[0078] 实施例八:

[0079] 如图 10 所示,本实施例与实施例七的区别在于:本实施例中,最上层与最下层的所述高强度和高弹模的纤维 2 与所述高延伸率的纤维 1 之间的位置也错开,即三层之间全部错位设置。本实施例其余特征同实施例七。

[0080] 本发明采用层内混杂的方法,用层内混杂纤维布加固建筑结构技术,将高延伸率(断裂延伸率高)且价格低的纤维(如玻璃纤维或玄武岩纤维)与高强度和高弹模的纤维(如碳纤维)混编在一层内成为混杂纤维布,从而达到在保证足够的强度和刚度的前提下有效提高纤维性能发挥率和被加固构件延性,能显著降低造价,且合理灵活,方便施工,是

适用于土木工程加固的物美价廉的纤维布；本发明可根据混杂目标和纤维束性能（厚度、与结构胶浸润性和适配性、力学性能）选择纤维，然后进行混杂配比以及排列设计；混杂后的HFRP中的CF发挥效率得到显著提高，而当混杂比例适当时能产生多次断裂这一单一FRP没有的特性，而且混杂后的HFRP比单一FRP的性价比更高，更能合理灵活地满足各种要求，因此本发明在保证被加固构件的刚度和强度的前提下，能有效地提高纤维效率和被加固构件的延性，并能够显著降低造价和使用成本。

[0081] 本发明可广泛应用于土木工程领域。

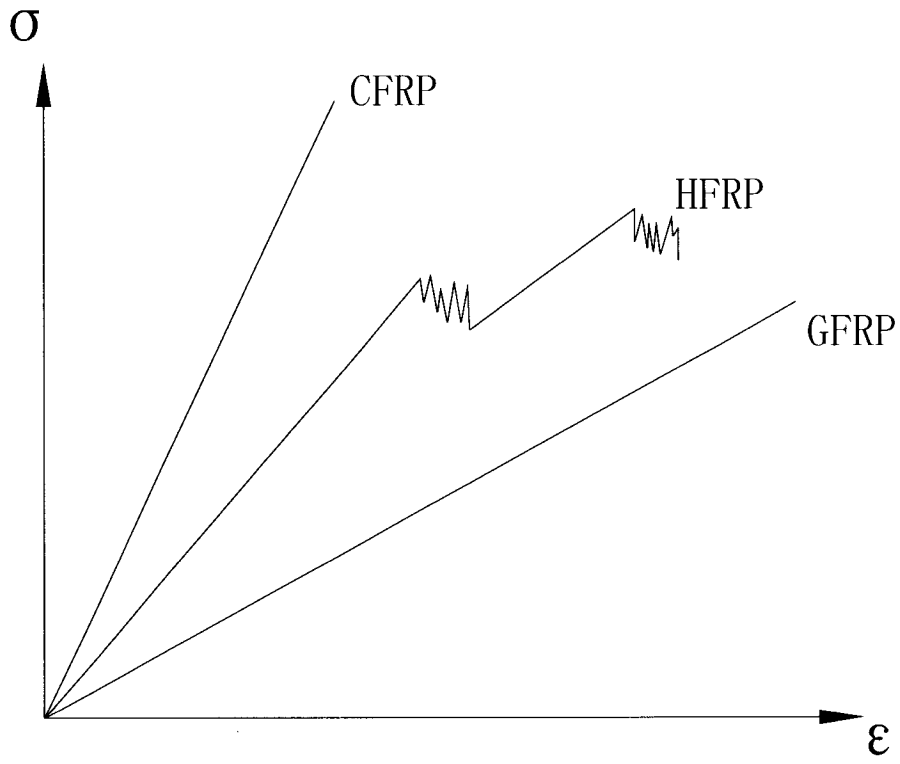


图 1

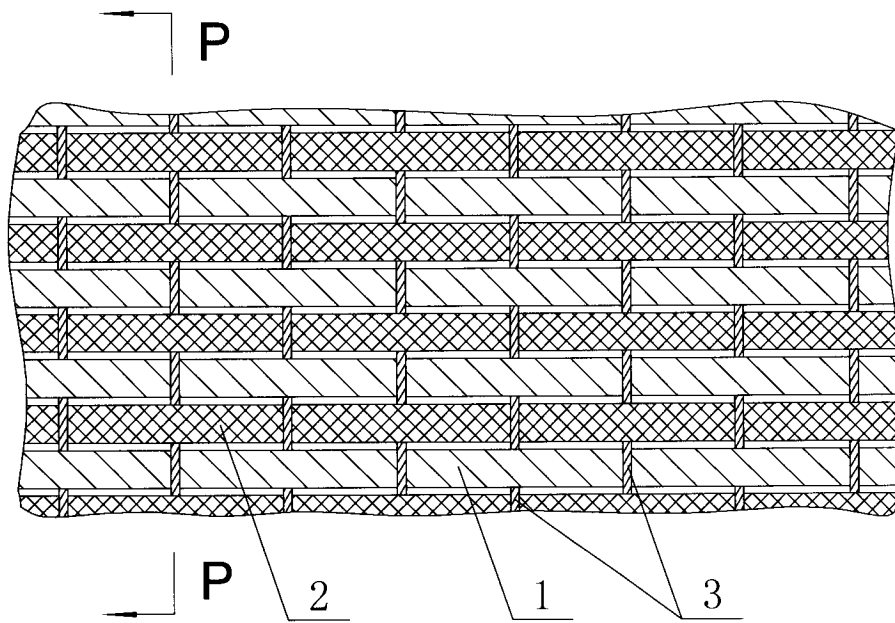


图 2

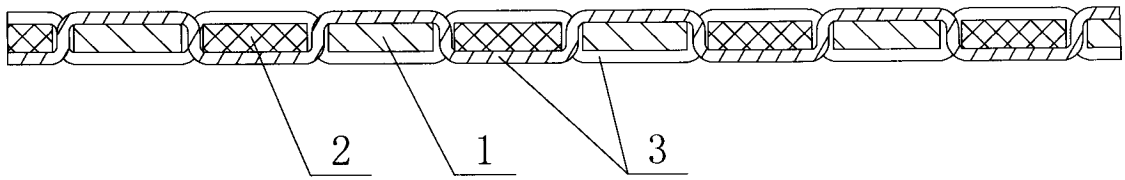


图 3

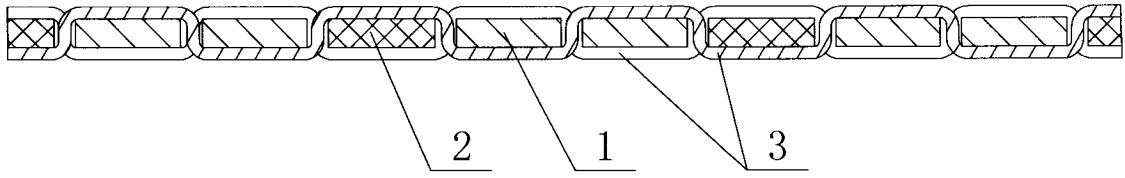


图 4

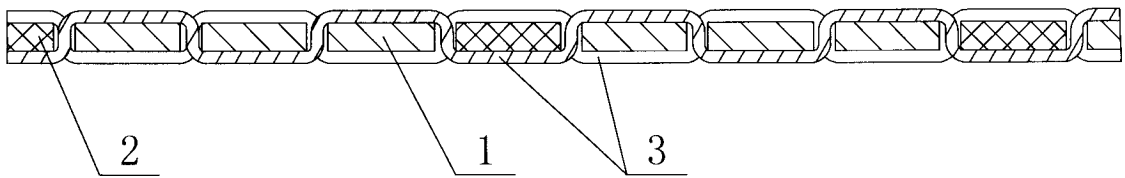


图 5

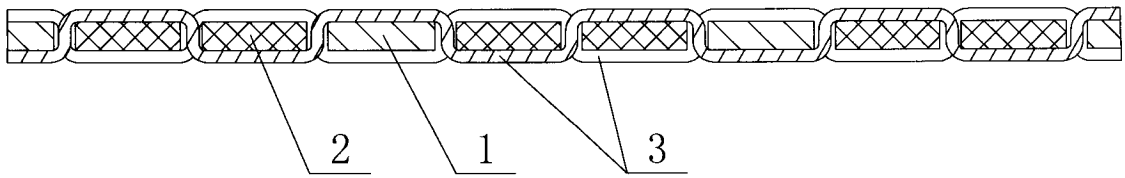


图 6

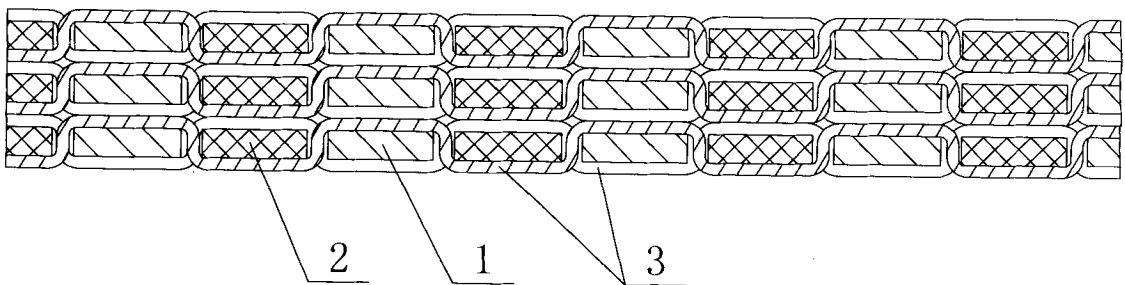


图 7

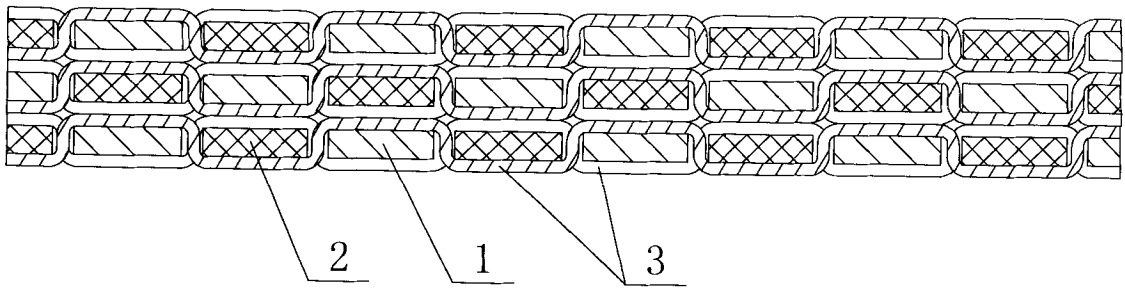


图 8

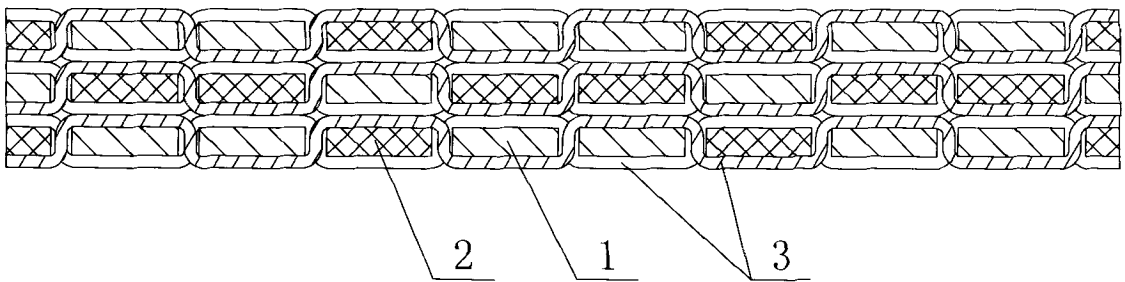


图 9

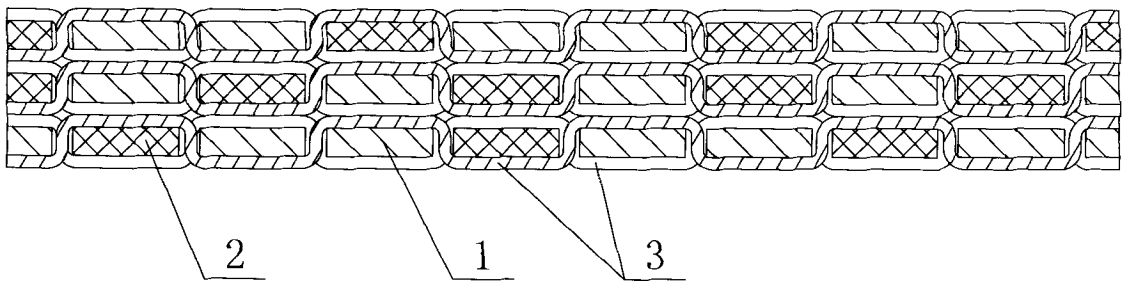


图 10

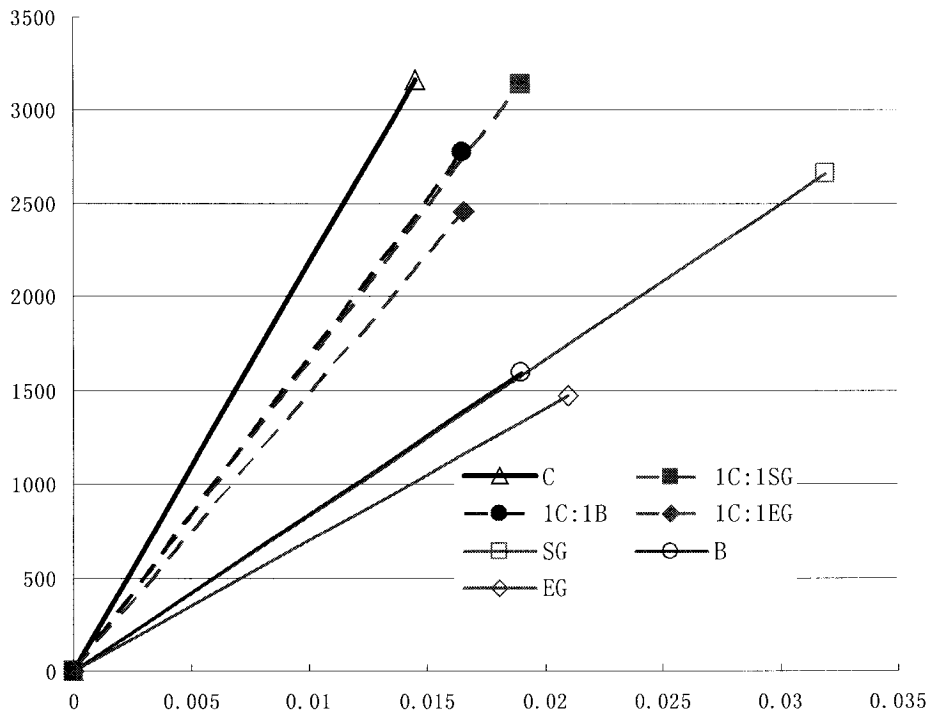


图 11

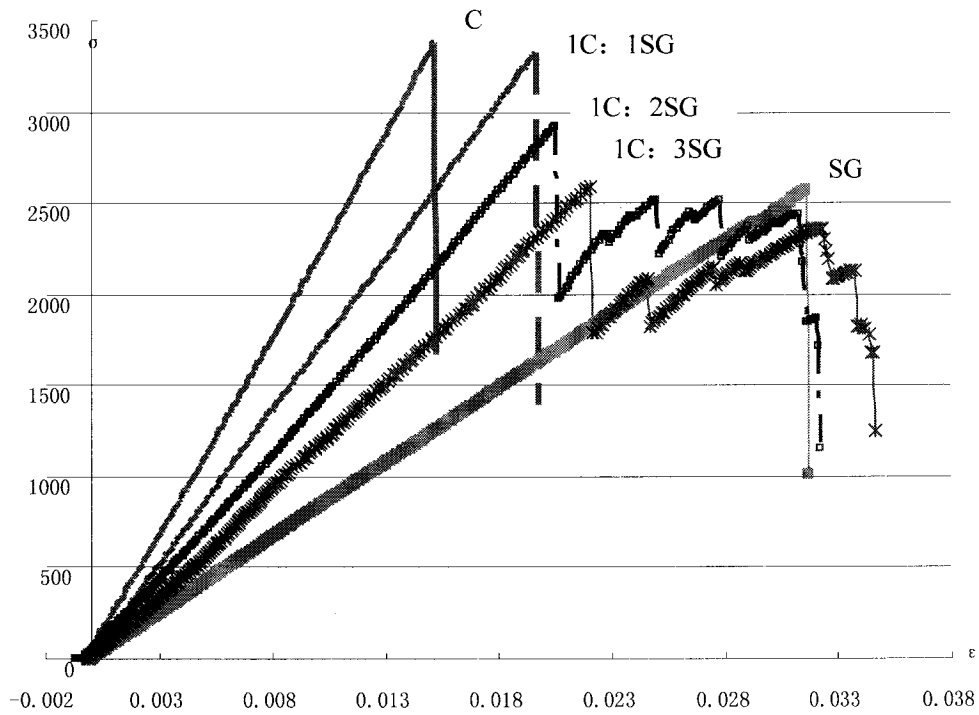


图 12

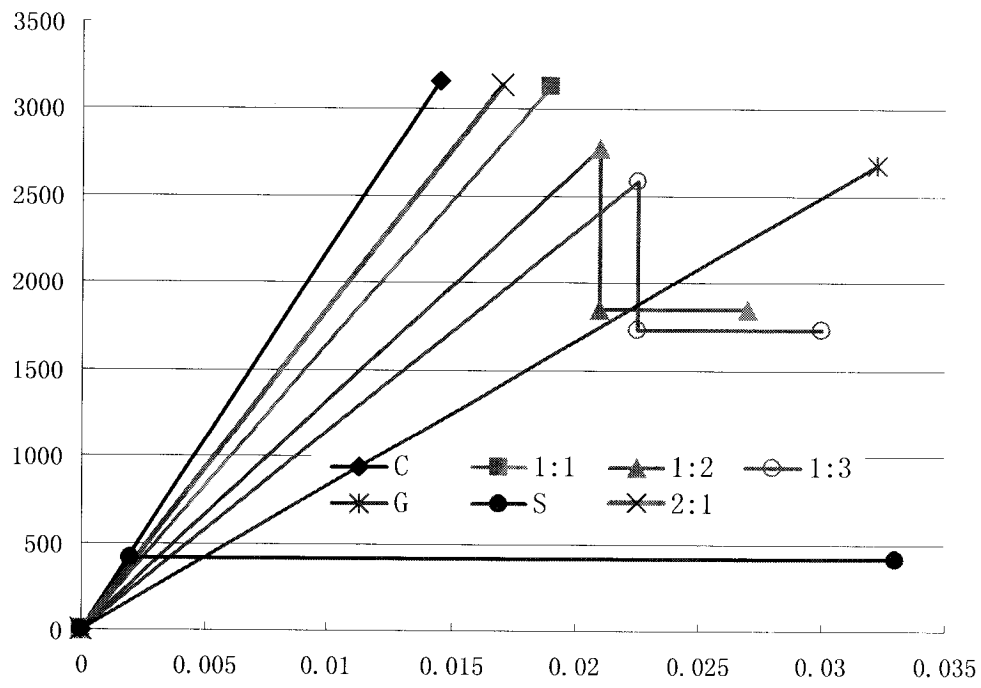


图 13