



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108222369 B

(45) 授权公告日 2021.03.09

(21) 申请号 201611175145.0

审查员 艾秒

(22) 申请日 2016.12.15

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 108222369 A

(43) 申请公布日 2018.06.29

(73) 专利权人 香港理工大学  
地址 中国香港九龙红磡

(72) 发明人 王斌 朱松晔

(74) 专利代理机构 深圳市顺天达专利商标代理  
有限公司 44217  
代理人 郭伟刚

(51) Int. Cl.  
E04C 3/20 (2006.01)  
E04B 1/98 (2006.01)  
E04H 9/02 (2006.01)

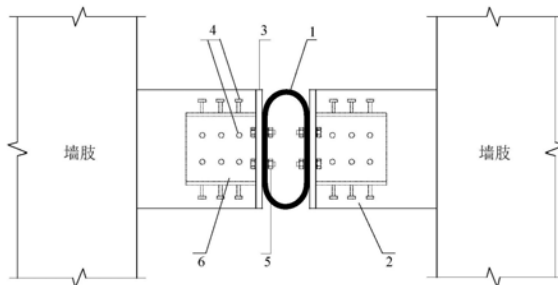
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

一种基于超弹性形状记忆合金的自复位连梁

(57) 摘要

一种基于超弹性形状记忆合金的自复位连梁,安装在两墙肢之间,包括两钢筋混凝土连梁段(2),以及连接该两钢筋混凝土连梁段(2)的自复位连梁段(1);两钢筋混凝土连梁段(2)分别浇筑或预制装配在所述两墙肢上;自复位连梁段(1)由超弹性形状记忆合金制成;钢筋混凝土连梁段(2)的屈服承载力要大于自复位连梁段(1)的屈服承载力。本发明的自复位连梁在地震作用中不但会起到消耗能量的作用,而且震后没有或存在很小的残余变形,实现结构自复位的效果。本发明构造简单,设计灵活,实用性强,且施工方便,其自复位能力可以有效减少结构修复或加固的费用,能有效快速地整体提升结构震后的可恢复能力,在建筑结构领域具有广阔的应用前景。



1. 一种基于超弹性形状记忆合金的自复位连梁的承载力的计算方法,所述自复位连梁安装在两墙肢之间,其特征在于,包括两钢筋混凝土连梁段(2),以及连接该两钢筋混凝土连梁段(2)的自复位连梁段(1);自复位连梁段(1)呈O形状;两钢筋混凝土连梁段(2)分别浇筑或预制装配在所述两墙肢上;自复位连梁段(1)由超弹性形状记忆合金制成;钢筋混凝土连梁段(2)的屈服承载力要大于自复位连梁段(1)的屈服承载力;钢筋混凝土连梁段(2)内预埋有工字形型钢(6),自复位连梁段(1)通过高强螺栓(5)与工字形型钢(6)固定连接;自复位连梁段(1)和工字形型钢(6)之间垫设有端板(3);

工字形型钢(6)与钢筋混凝土连梁段(2)还通过抗剪栓钉(4)固定;

工字形型钢(6)的上下翼缘和腹板上均设置有抗剪栓钉(4);

自复位连梁段(1)的抗弯承载力M通过以下公式计算,

$$M = \frac{f_y b t^2}{2}$$

其中, $f_y$ 为形状记忆合金的相变强度; $b$ 为自复位连梁段(1)的宽度; $t$ 为自复位连梁段(1)的厚度;

自复位连梁段(1)的抗剪承载力F通过以下公式计算:

$$F = \frac{f_y b t^2}{D}$$

其中, $f_y$ 为形状记忆合金的相变强度; $b$ 为自复位连梁段(1)的宽度; $t$ 为自复位连梁段(1)的厚度; $D$ 为自复位连梁段(1)的跨径。

2. 根据权利要求1所述的计算方法,其特征在于,工字形型钢(6)与端板(3)焊接在一起。

3. 根据权利要求1所述的计算方法,其特征在于,自复位连梁段(1)两侧壁与两端板(3)分别通过高强螺栓(5)锚固在一起。

4. 根据权利要求1所述的计算方法,其特征在于,形状记忆合金为Au-Cd、Ag-Cd、Cu-Zn、Cu-Zn-Al、Cu-Zn-Sn、Cu-Zn-Si、Cu-Sn、Cu-Zn-Ga、In-Ti、Au-Cu-Zn、Ni-Al、Fe-Pt、Ti-Ni、Ti-Ni-Pd、Ti-Nb、U-Nb或Fe-Mn-Si。

## 一种基于超弹性形状记忆合金的自复位连梁

### 技术领域

[0001] 本发明涉及抗震设备领域,尤其涉及一种基于超弹性形状记忆合金的自复位连梁。

### 背景技术

[0002] 当前实际工程中,钢筋混凝土剪力墙是高层及超高层结构主要的抗侧力体系之一。人们认识到合理的剪力墙结构体系的屈服机制是在地震作用下,连梁大量屈服并承担主要的耗能,而墙肢屈服应尽量推迟,并且大部分应控制在结构的底部。连梁作为剪力墙结构体系中的第一道抗震防线,在抗震设防中具有重要的作用。

[0003] 通常提高钢筋混凝土连梁抗震性能的措施主要有配置交叉斜向配筋、开缝双连梁、型钢组合连梁和钢连梁等。然而在地震作用下,连梁虽然能够通过自身的塑性变形达到了耗能和增加结构延性的目的,实现了结构预期的抗震设防目标,但是其自身损伤破坏严重,不但造成其本身修复困难,而且使得震后的结构存在较大的残余变形,整体结构的加固修复难度较大,修复的经济成本和时间成本较高,结构使用功能难以较快地恢复。针对震后连梁自身加固修复困难的问题,近年来相关研究者提出了“可更换连梁”的思想,将连梁的损伤主要集中在可更换梁段,可更换连梁虽然在设计时考虑了连梁更换的便捷性,但是由于地震中可更换梁段明显的耗能作用,使得震后结构仍然存在明显的残余变形,导致震后连梁更换困难,难以实现整体结构残余变形以及使用功能的快速恢复。如何快速地实现结构在震后使用功能的恢复,是当前抗震研究的重要发展方向。研究人员就此提出了一种自复位连梁,其采用预应力筋提供恢复力,并采用附加角钢或摩擦装置提供耗能能力,但是这种组合式的自复位连梁构造相对复杂。

### 发明内容

[0004] 本发明针对上述技术问题,提出了一种基于超弹性形状记忆合金的自复位连梁。

[0005] 本发明提出的技术方案如下:

[0006] 本发明提出了一种基于超弹性形状记忆合金的自复位连梁,安装在两墙肢之间,包括两钢筋混凝土连梁段,以及连接该两钢筋混凝土连梁段的自复位连梁段;两钢筋混凝土连梁段分别浇筑或预制装配在所述两墙肢上;自复位连梁段由超弹性形状记忆合金制成;钢筋混凝土连梁段的屈服承载力要大于自复位连梁段的屈服承载力。

[0007] 本发明上述的自复位连梁中,钢筋混凝土连梁段内预埋有工字形型钢,自复位连梁段通过高强螺栓与工字形型钢固定连接;自复位连梁段和工字形型钢之间垫设有端板。

[0008] 本发明上述的自复位连梁中,工字形型钢与端板焊接在一起。

[0009] 本发明上述的自复位连梁中,自复位连梁段呈O形状,其两侧壁与两端板分别通过高强螺栓锚固在一起。

[0010] 本发明上述的自复位连梁中,自复位连梁段呈U形状,其两侧壁与两端板分别通过高强螺栓锚固在一起。

[0011] 本发明上述的自复位连梁中,工字形型钢与钢筋混凝土连梁段还通过抗剪栓钉固定。

[0012] 本发明上述的自复位连梁中,工字形型钢的上下翼缘和腹板上均设置有抗剪栓钉。

[0013] 本发明上述的自复位连梁中,形状记忆合金为Au-Cd、Ag-Cd、Cu-Zn、Cu-Zn-Al、Cu-Zn-Sn、Cu-Zn-Si、Cu-Sn、Cu-Zn-Ga、In-Ti、Au-Cu-Zn、Ni-Al、Fe-Pt、Ti-Ni、Ti-Ni-Pd、Ti-Nb、U-Nb或Fe-Mn-Si。

[0014] 本发明利用形状记忆合金的超弹性能力,在地震作用中不但会起到消耗能量的作用,而且震后没有或存在很小的残余变形,实现结构自复位的效果。本发明构造简单,设计灵活,实用性强,且施工方便,其自复位能力可以有效减少结构修复或加固的费用,能有效快速地整体提升结构震后的可恢复能力,在建筑结构领域具有广阔的应用前景。

### 附图说明

[0015] 下面将结合附图及实施例对本发明作进一步说明,附图中:

[0016] 图1示出了本发明第一实施例的基于超弹性形状记忆合金的自复位连梁的示意图;

[0017] 图2示出了图1所示的自复位连梁的另一方向的示意图;

[0018] 图3示出了图1所示的自复位连梁在地震作用下的状态示意图;

[0019] 图4示出了图3所示的自复位连梁在地震作用之后的状态示意图;

[0020] 图5示出了图1所示的自复位连梁的自复位连梁段的示意图;

[0021] 图6示出了图1所示的自复位连梁的自复位连梁段的另一示意图;

[0022] 图7示出了本发明第二实施例的基于超弹性形状记忆合金的自复位连梁的示意图;

[0023] 图8示出了图7所示的自复位连梁的自复位连梁段的示意图;

[0024] 图9示出了图7所示的自复位连梁的自复位连梁段的另一示意图;

[0025] 图10示出了图7所示的自复位连梁的自复位连梁段的承载力-位移的试验结果图;

### 具体实施方式

[0026] 本发明所要解决的技术问题是:现有的可更换连梁是将连梁的损伤主要集中在可更换梁段,可更换连梁虽然在设计时考虑了连梁更换的便捷性,但是由于地震中可更换梁段明显的耗能作用,使得震后结构仍然存在明显的残余变形,导致震后连梁更换困难,难以实现整体结构残余变形以及使用功能的快速恢复。同时,现有的自复位连梁,其采用预应力筋提供恢复力,并采用附加角钢或摩擦装置提供耗能能力,但是这种组合式的自复位连梁构造相对复杂。本发明就该技术问题而提出的技术思路是:构造一种自复位连梁,其自复位连梁段采用超弹性形状记忆合金制造而成;这样,利用自复位连梁段在地震中发生形变来消耗地震能量,并在震后自复位来消除残余应变。

[0027] 为了使本发明的技术目的、技术方案以及技术效果更为清楚,以便于本领域技术人员理解和实施本发明,下面将结合附图及具体实施例对本发明做进一步详细的说明。

[0028] 第一实施例

[0029] 如图1和图2所示,图1示出了本发明第一实施例的基于超弹性形状记忆合金的自复位连梁的示意图。图2示出了图1所示的自复位连梁的另一方向的示意图。该自复位连梁安装在两墙肢之间,包括两钢筋混凝土连梁段2,以及连接该两钢筋混凝土连梁段2的自复位连梁段1;两钢筋混凝土连梁段2分别浇筑或预制装配在所述两墙肢上。自复位连梁段1由超弹性形状记忆合金制成。在这里,超弹性(superelasticity)是指合金在外力作用下发生远大于其弹性极限应变量的变形,在卸载时应变可自动回复的现象。进一步地,自复位连梁段1依照实际工程的需求可以设计成不同的构造形式和尺寸大小,并且钢筋混凝土连梁段2的屈服承载力要大于自复位连梁段1的屈服承载力。只有这样,在地震作用下,自复位连梁的非弹性变形才会集中在自复位连梁段1中,起到消耗地震能量和自复位的作用。

[0030] 进一步地,钢筋混凝土连梁段2内预埋有工字形型钢6,自复位连梁段1通过高强螺栓5与工字形型钢6固定连接;自复位连梁段1和工字形型钢6之间垫设有端板3。在这里,端板3用于使高强螺栓5的扣紧作用更加紧固。优选地,高强螺栓5螺帽与端板3之间设置有垫圈。进一步地,工字形型钢6与端板3焊接在一起;工字形型钢6与钢筋混凝土连梁段2还通过抗剪栓钉4固定。工字形型钢6的上下翼缘和腹板上均设置有抗剪栓钉4。进一步地,在地震作用下,除了在高强螺栓5与端板3之间会出现局部应力集中外,自复位连梁段1会处于弹性状态,如图3所示。在地震作用消失后,自复位连梁段1会因形状记忆合金的超弹性作用而使整个自复位连梁恢复到初始状态,无残余变形或存在很小的残余变形,最终实现自复位连梁的自复位效果,如图6所示。

[0031] 如图1-图2所示,自复位连梁段1呈O形状,其两侧壁与两端板3分别通过高强螺栓5锚固在一起;高强螺栓5的锚孔位置按照自复位连梁实际所需的变形范围确定,高强螺栓5的数量依照抗剪承载力的需求确定。在本发明中,自复位连梁通过O形状自复位连梁段1的弯曲变形来实现超弹性行为。由于O形状自复位连梁段1在反复变形过程中与端板3之间的接触挤压作用,使得自复位连梁段1在弯曲变形过程中的屈服点不断的变化,充分利用了材料的性能,耗散了较多的地震能量,并实现了自复位连梁的自复位效果。

[0032] 屈服承载力包括抗弯承载力和抗剪承载力,在本实施例中,自复位连梁段1的抗弯承载力M可按以下估算:

$$[0033] \quad M = \frac{f_y b t^2}{2}$$

[0034] 其中, $f_y$ 为形状记忆合金的相变强度;

[0035] b为自复位连梁段1的宽度,如图5所示;

[0036] t为自复位连梁段1的厚度,如图6所示;

[0037] 同时,自复位连梁段1的抗剪承载力F可按以下估算:

$$[0038] \quad F = \frac{f_y b t^2}{D}$$

[0039] 其中, $f_y$ 为形状记忆合金的相变强度;

[0040] b为自复位连梁段1的宽度,如图5所示;

[0041] t为自复位连梁段1的厚度,如图6所示;

[0042] D为自复位连梁段1的跨径,如图6所示。

[0043] 在这里,自复位连梁段1的屈服承载力和变形能力可通过改变自复位连梁段1的厚

度 $t$ 、跨径 $D$ 、宽度 $b$ 和距离螺栓的高度 $h$ 以进行改变,从而满足不同抗震设防要求的连梁的设计。优选地,在本实施例中,自复位连梁段1的整体高度小于钢筋混凝土连梁段2的高度,自复位连梁段1的宽度 $b$ 小于钢筋混凝土连梁段2的厚度。

[0044] 进一步,优选地,形状记忆合金可为Au-Cd、Ag-Cd、Cu-Zn、Cu-Zn-Al、Cu-Zn-Sn、Cu-Zn-Si、Cu-Sn、Cu-Zn-Ga、In-Ti、Au-Cu-Zn、Ni-Al、Fe-Pt、Ti-Ni、Ti-Ni-Pd、Ti-Nb、U-Nb或Fe-Mn-Si。

[0045] 第二实施例

[0046] 第二实施例与第一实施例的区别仅在于:自复位连梁段1的形状。

[0047] 具体来说,与第一实施例相似地,如图7所示,自复位连梁安装在两墙肢之间,包括两钢筋混凝土连梁段2,以及连接该两钢筋混凝土连梁段2的自复位连梁段1;两钢筋混凝土连梁段2分别浇筑或预制安装在所述两墙肢上。钢筋混凝土连梁段2内预埋有工字形型钢6,自复位连梁段1通过高强螺栓5与工字形型钢6固定连接;自复位连梁段1和工字形型钢6之间垫设有端板3。

[0048] 进一步地,在本实施例中,自复位连梁段1由超弹性形状记忆合金制成并呈U形状,其两侧壁与两端板3分别通过高强螺栓5锚固在一起。在地震作用下,除了在高强螺栓5与端板3之间会出现局部应力集中外,自复位连梁段1会处于弹性状态。在地震作用消失后,自复位连梁段1会因形状记忆合金的超弹性作用而使整个自复位连梁恢复到初始状态,无残余变形或存在很小的残余变形,最终实现自复位连梁的自复位效果。

[0049] 与第一实施例相同地,如图8-图9所示,自复位连梁段1的屈服承载力和变形能力也可通过改变自复位连梁段1的厚度 $t$ 、跨径 $D$ 、宽度 $b$ 和距离螺栓的高度 $h$ 以进行改变,从而满足不同抗震设防要求的连梁的设计。图10示出了本实施例的一种采用Ni-Ti合金的自复位连梁段1的承载力-位移的试验结果图,此时,自复位连梁段1的形状参数如下: $t=5\text{mm}$ , $D=40\text{mm}$ , $b=20\text{mm}$ , $h=30\text{mm}$ 。

[0050] 综上所述,本发明构造一种自复位连梁,具有如下有益效果:

[0051] 1) 本发明所公开的自复位连梁利用了形状记忆合金的弯曲变形,实现了形状记忆合金的超弹性能力。在地震作用中不但会起到消耗地震能量的作用,更重要的是震后没有或存在很小的残余变形,达到了连梁自复位的效果,实现了地震后迅速恢复使用功能的要求。

[0052] 2) 本发明将连梁的变形集中在超弹性形状记忆合金段,利用设计的O形状或者U形状记忆合金形式实现弯曲变形,而弯曲变形相对于传统的剪切型耗能段来说,可以实现更大的变形能力。

[0053] 3) 本发明构造简单,施工方便。本发明利用超弹性的形状记忆合金材料的特性,不但实现一定的结构耗能能力,而且实现了结构自复位的目的。无需通过传统的构件组合方式去实现自复位与耗能能力。自复位连梁段与钢筋混凝土连梁段之间采用螺栓连接,施工方便。

[0054] 4) 本发明设计灵活,适用范围广。可以通过改变自复位连梁段的厚度、跨径等参数实现不同连梁的承载力和变形能力,可以满足不同抗震设防类型连梁的设计要求。

[0055] 5) 本发明经济效应明显。超弹性形状记忆合金材料虽然价格昂贵,但是用量较小,主要应用在连梁中部变形集中部位。由于在震后实现了自复位效果,既不会中断结构的使

用功能,也不会对结构进行加固修复或者更换,节约了大量的经济成本和时间成本,经济效应明显。

[0056] 研究表明,本发明利用形状记忆合金的超弹性能力,在地震作用中不但会起到消耗能量的作用,而且震后没有或存在很小的残余变形,实现结构自复位的效果。本发明构造简单,设计灵活,实用性强,且施工方便,其自复位能力可以有效减少结构修复或加固的费用,能有效快速地整体提升结构震后的可恢复能力,在建筑结构领域具有广阔的应用前景。

[0057] 应当理解的是,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,而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。

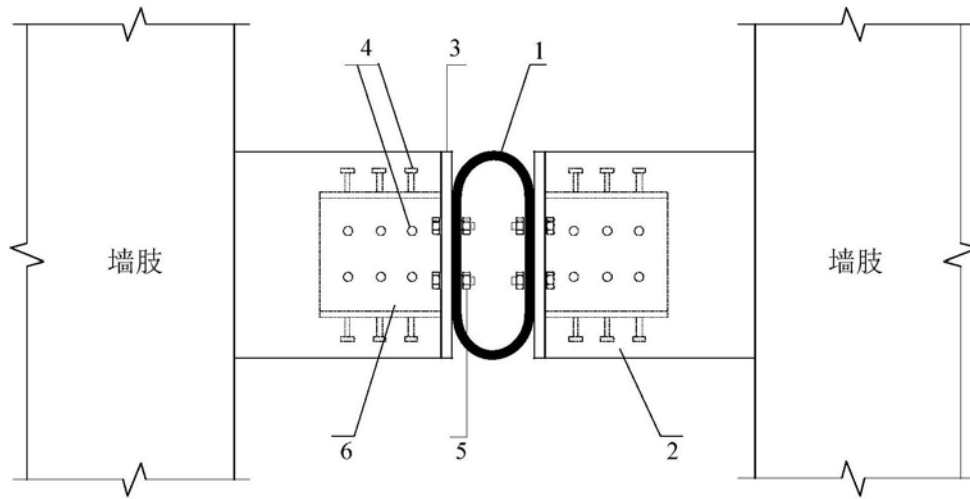


图1

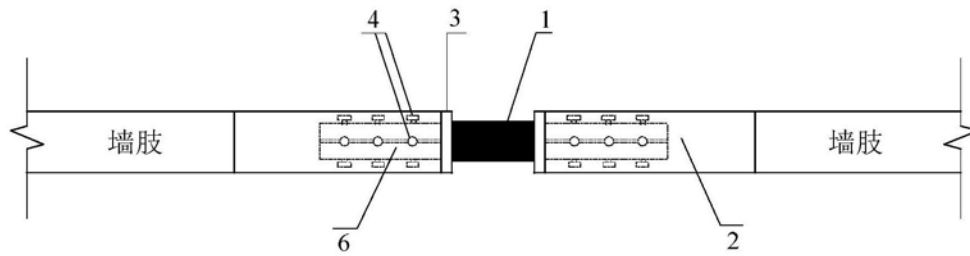


图2

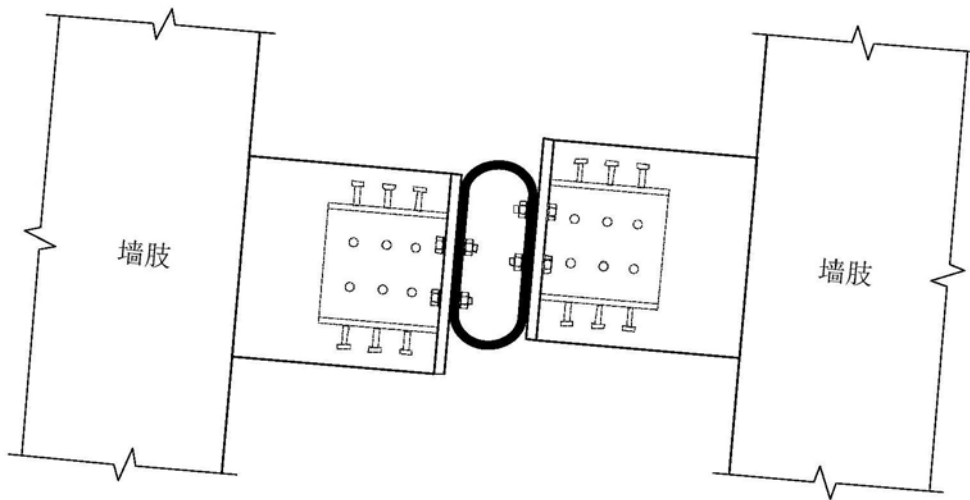


图3



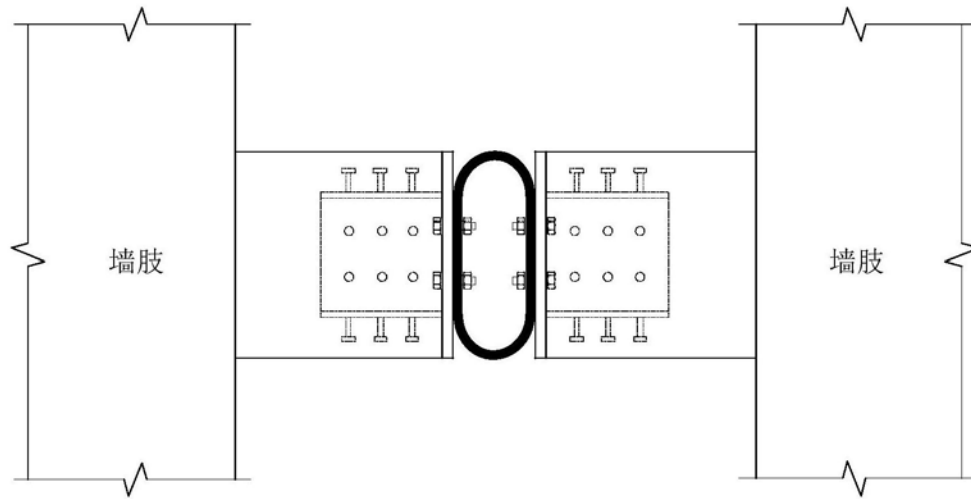


图4

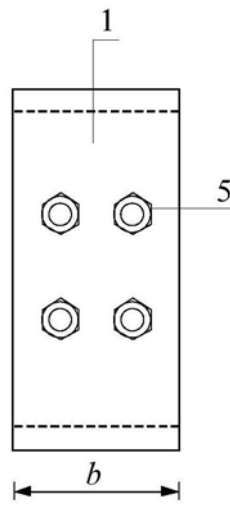


图5

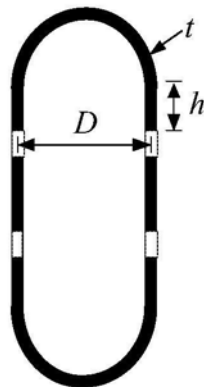


图6

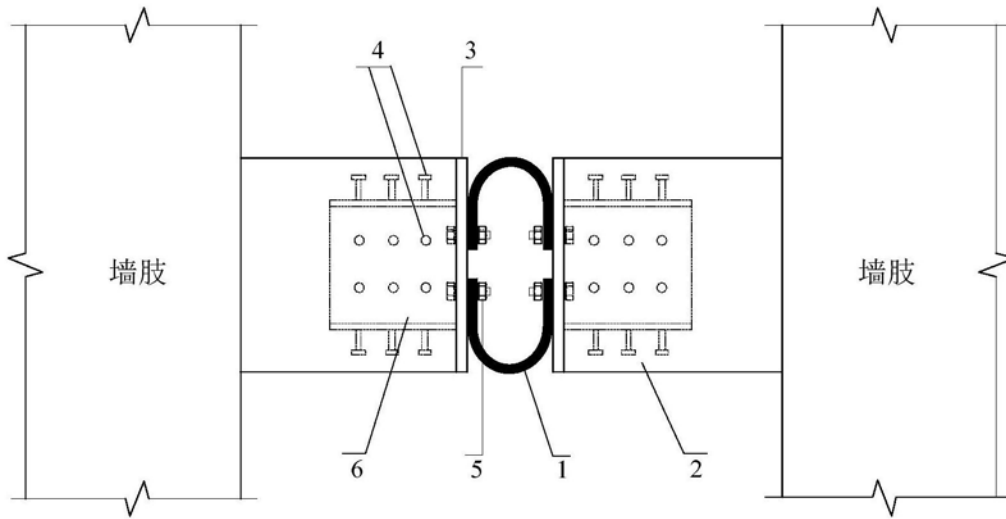


图7

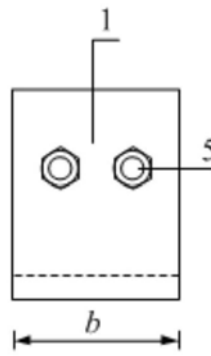


图8

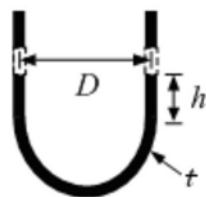


图9

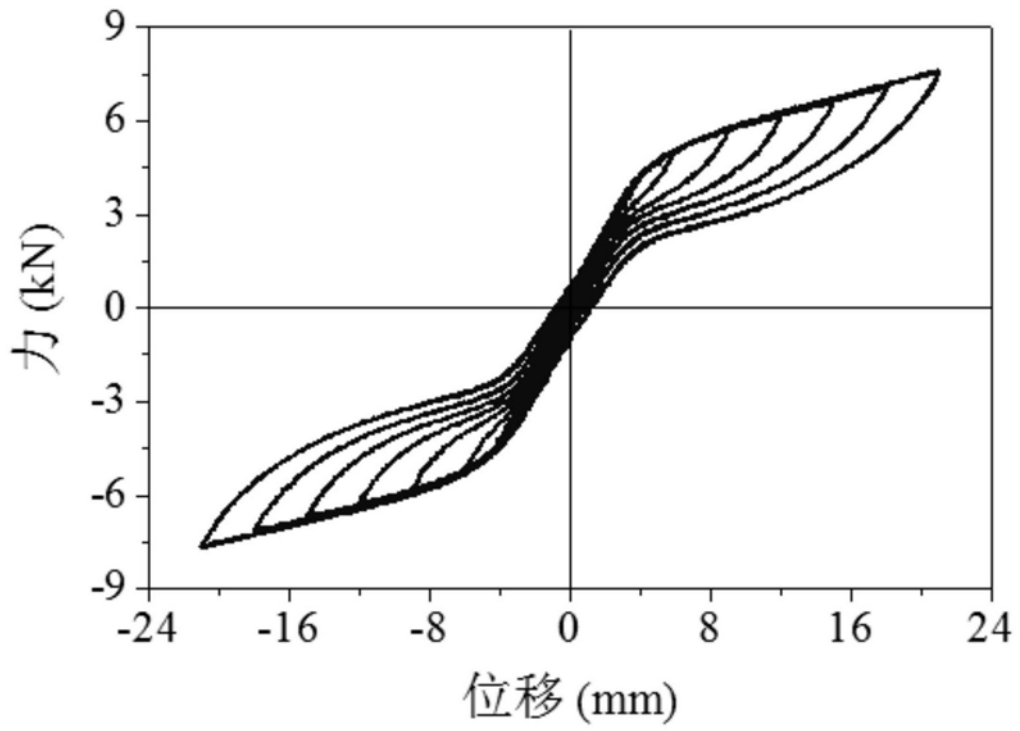


图10