

波形齿夹具锚在碳纤维片材加固技术中的应用研究

李唐宁¹ 卓静²

(1.重庆大学 2.重庆公路所)

摘要: 介绍波形齿夹具锚的试验研究成果, 以及其在碳纤维片材加固技术中的应用, 提出在碳纤维片材上施加预应力的方法。

关键词: 波形齿夹具锚 碳纤维 加固

1. 前言

目前在加固工程中广泛使用的碳纤维布加固技术存在许多未解决的问题。如加固后受力时粘贴的碳纤维布容易发生剥离破坏, 使得加固效果大大降低; 碳纤维布的强度也没有得到较充分的发挥; 等等。即使在加固中采用碳纤维布压条或钢板压条等附加锚固措施, 碳纤维布的剥离破坏仍然没有得到有效的阻止, 并且碳纤维布压条本身也容易发生剥离破坏或被剪断, 锚固作用并不可靠。为此, 我们专门研制出一种波形齿夹具锚, 给碳纤维布施加一定的预应力, 较好地解决上述问题。

2. 波形齿夹具锚及其试验研究

波形齿夹具锚是专门针对FRP片材开发的一种锚具, 它主要由两块互相吻合的波形齿夹板以及紧固螺栓等组成, 如图1所示。该锚具夹持和锚固FRP片材的锚固性能十分稳定, 其操作工艺十分简单, 锚具成本也较低廉。

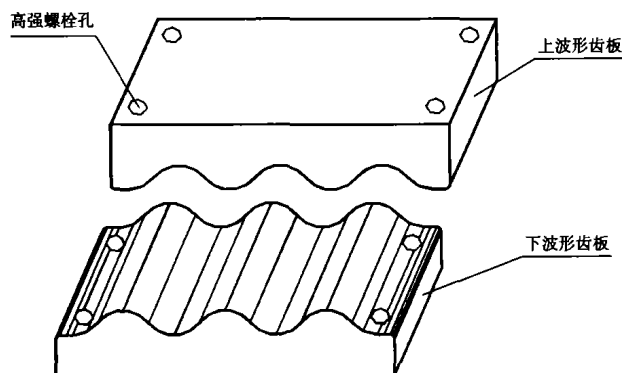


图1 波形齿夹具锚结构示意图

为了验证波形齿夹具锚的锚固性能和利用其锚固后所产生的效果, 彻底有效地解决碳纤维布的剥离破坏难题, 充分发挥碳纤维布的高强度特性, 特别设计了若干个构件, 采用波形齿夹具锚对碳纤维布进行锚固, 并进行了各种不同的锚固方式的对比试验。

如表1所示, 设计了1根对比梁和7根加固梁, 加固梁中有4根采用波形齿夹具锚锚固碳纤维布的两端 (如图2), 另三根加固梁采用一端用波形齿夹具锚锚固, 另一端采用碳纤维布U形箍或碳纤维布环形箍 (如图3、4)。

表1 试件主要参数

试件	碳纤维布层数*	锚固措施
B30-0	0	-
B30-4-WW	4	端锚+端锚
B30-6-WW	6	端锚+端锚
B30-8-WW	8	端锚+端锚
B30-10-WW	10	端锚+端锚
B30-10-UW-a	10	U+端锚
B30-10-UW-b	10	U+端锚
B30-10-UW-c	10	U+端锚

*注: 碳纤维布的宽度均为45mm, 每层厚度均为0.111mm。

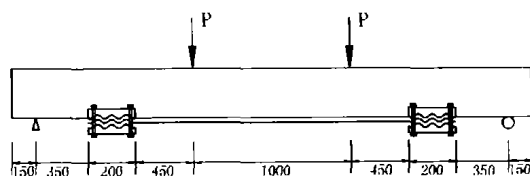


图2 B30-X-WW系列试件锚固方法示意图

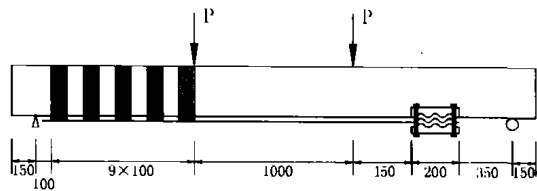


图3 试件B30-10-UW-a锚固方法示意图

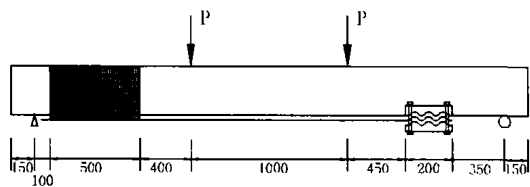


图4 试件B30-10-UW-b、B30-10-UW-c锚固方法示意图

试验结果如表2。图5为各构件实测荷载柱状图。

表2 主要试验结果

试件编号	碳纤维布层数	极限荷载		碳纤维布最大拉应变 (με)	碳纤维布破坏形态
		试验值 (kN)	提高程度 (%)		
B30-0	-	24	-	-	-
B30-4-WW	4	58	142%	-	CF拉断
B30-6-WW	6	86	258%	14659	CF拉断
B30-8-WW	8	88	267%	13608	CF拉断
B30-10-WW	10	102	325%	10263	CF拉断
B30-10-UW-a	10	70	192%	9835	U形箍剪断
B30-10-UW-b	10	71	196%	11355	U形箍剪断
B30-10-UW-c	10	55	129%	9101	U形箍剪断

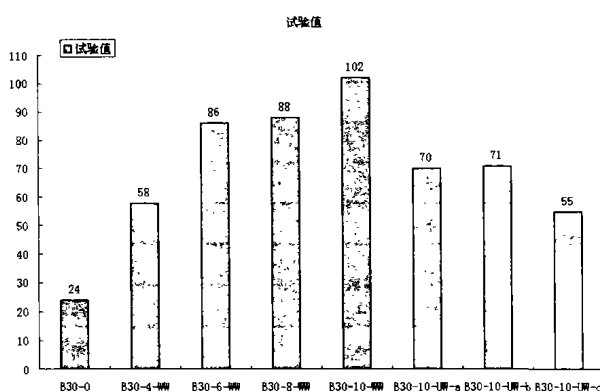


图5 各构件实测荷载柱状图

从表2和图5中可以得出结论：用波形齿夹具锚固碳纤维布可以充分发挥碳纤维布的高强度特性，并且波形齿夹具锚对碳纤维布的锚固效果要优于碳纤维布U形箍。

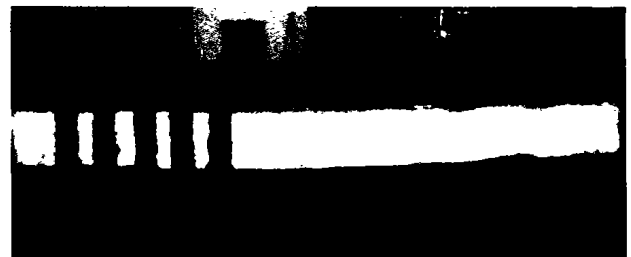
图6为试验现场情况。



a. B30-10-WW



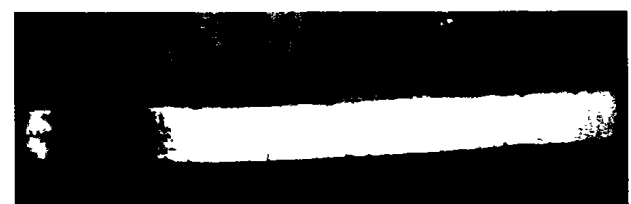
b. 试件B30-10-WW撕裂的CFRP板的粘贴面



c. B30-10-UW-a



d. 试件B30-10-UW-a的破坏特征



e. B30-10-UW-b



f. 试件B30-10-UW-b的破坏特征



g. 试件B30-10-UW-c的破坏特征

图6 试验现场

3. 形齿夹具锚在碳纤维布预应力技术中应用研究

此前国内尚没有一种适用于FRP片材的夹具和锚具，而这又是预应力加固技术中重要的环节。波形齿夹具锚的出现将解决这一问题。经过一系列的探索，我们设计和构思了以下一种预应力FRP锚固的施工工艺。该方法施加预应力的操作工艺十分简单，无需专门的张拉设备。

如图7（单位cm），先将波形齿夹具锚的下波形齿板以一定间距固接在被加固的结构上，然后将刚浸渍过树脂的FRP片材粘贴在被加固结构的表面上，然后先两端（如图6a）后中间（如图6b）地逐步地将FRP片材锚固于被加固结构表面上固接的下波形齿板上。对FRP片材来说，当两端被固定后，中间锚具锚固FRP片材时其波形结构会强迫FRP片材几何变形产生伸长，从而在FRP片材中产生预拉力。

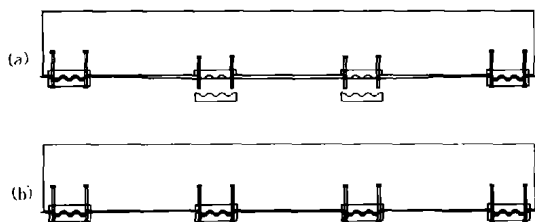


图7 串联波形齿夹具锚对FRP片材施加预应力的示意图

运用该技术我们成功地进行了实桥构件的预应力加固。实桥构件取自成渝高速公路上的8米长普通钢筋混凝土桥梁简支板。试验共分三组（表3），每组三个构件，加固方式见图8、9（单位cm）。

表3 各构件的编号及加固情况表

构件编号	加固方式	附加说明
裸板	未加固	对比构件
钢板	粘钢板四条长7500mm宽60mm 厚6mm	钢板采用间距300mm膨胀螺栓固定
碳带	粘碳纤维布带两条长6000mm 总宽500mm厚0.167mm（粘贴时按50mm或60mm折叠）	碳纤维带采用波形齿夹具锚先两端后中间进行预应力张拉和锚固

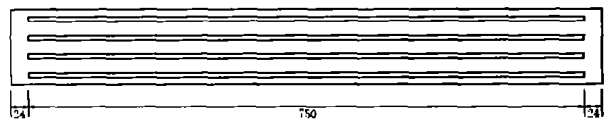


图8 板底粘贴钢带加固示意图

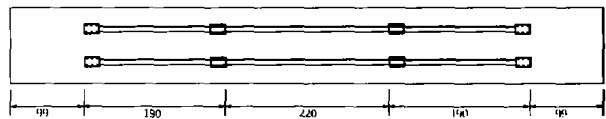


图9 板底粘贴碳纤维布加固示意图

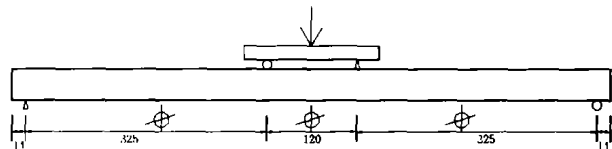


图10 加载试验示意图

表4 试验实测最大荷载（单位kN）

项目	裸板			钢带			CF带		
	裸板-1	裸板-2	裸板-3	钢带-1	钢带-2	钢带-3	CF-1	钢带-2	钢带-3
试验值	324	364	353	394	418	420	430	400	400
平均值	347			411			410		
提高值	-			6.4			6.3		
提高系数	-			18.4%			18.2%		

加载试验的结果如表4，利用钢带加固和碳纤维带预应力加固的极限荷载十分接近。如果将钢带与碳纤维带的截面积、抗拉刚度以及各自的极限拉力进行比较，可以明显地看到碳纤维带虽然在加固时折叠了有10层以上，仍然发挥了非常高的强度值（见表5）。如果没有预应力的作用，是根本不可能的。

表5 本试验加固钢板和碳纤维布的刚度和强度对比项目

项目	截面积 A(mm ²)	抗拉弹性 模量E(GPa)	极限应力 σ (MPa)	抗拉刚度 EA(kN)	极限拉力 A σ (kN)	极限荷载 (kN)
钢板	1440	200	340*	288000	489.6	411
碳纤维布	167**	235	3000	39245	501.0	410
比值	8.62	0.85	0.11	7.34	0.98	1.002

*钢板的极限拉应力为实测值。

**预应力加固的碳纤维布在环氧树脂固化后成为碳纤维板，其截面积不计树脂的作用。

4. 波形齿夹具锚加固技术的优点

4.1 锚固可靠，加固效果好。已有的加固试验中，即使碳纤维布的粘贴层数达10层，加载试验时碳纤维布也没有发生剥离破坏，而是被拉断；

4.2 波形齿夹具锚的锚固作用比碳纤维布U形箍或环形封闭箍可靠得多；

4.3 波形齿夹具锚解决了FRP片材预应力施

加的夹具和锚具问题，并且利用波形齿夹具锚自身的特点，通过串联的方式可以方便地对FRP片材施加预应力；

4.4 采用波形齿夹具锚锚固的碳纤维布其强度利用率高，加固效果好，有利于减少碳纤维布的用量。已有的加固试验结果表明，碳纤维布的强度利用率可以达到100%，大大高于普通的加固方法；

4.5 节约成本。碳纤维布集中粘贴，大大减少粘贴面积，相应地减少了打磨、基底处理的费用，也减少了粘结剂的用量，极大地节约了成本；

4.6 碳纤维布集中锚固，操作简单，锚固成本低于碳纤维布压条。

鉴于此，笔者认为该波形齿夹具锚加固技术值得大力推广应用。

(上接第13页)

由于模板间均用螺栓相连，模板在一定程度上参与了造桥机主梁的受力；而主梁拼接螺栓又在工地施加了拧紧力矩，所以模架的实际挠度要小一些，浇第二孔时，模架不存在由于安装产生的非弹性挠度。

另外，因模板由预设上拱经浇混凝土变为下挠，张拉后又为上拱，模板间横桥向连接缝也随之变化。为此，在模板预拱度设置完成后，要拧紧侧模横桥向拼缝的上部螺栓，而要定量放松其下部螺栓。顺桥向预拱度在模板分段处各点按二次抛物线线形过度，时间证明分段曲面及模板的弹性变化不影响混凝土梁的外观质量。

6. 结束语

移动模架造桥机具有性能稳定，安全可靠，标准化作业自动化程度高，防护措施完善等特点。在国外已经得到了广泛应用，在国内

也得到了成功应用，如秦沈客运专线小凌河特大桥32m双线预应力混凝土箱梁施工，采用了大桥局生产的ZM32型移动模架造桥机；在南京长江二桥使用了挪威NRS公司的MSS (Move Support System) 系统，都属于下承式移动模架造桥机。对于中小跨度长联连续梁桥的施工应当首选移动模架造桥机。

参考文献

- 1、张乐亲、周汉林. ZM32移动模架造桥机在秦沈客运专线的應用. 建筑机械. 2001(4).
- 2、铁道部科技研究开发计划项目《中小跨度长联连续梁桥技术研究》之《总报告》、《分报告六一施工工艺、施工方法研究》. 铁道第三勘测设计院、中铁二局等.

