

文章编号: 0451-0712(2006)02-0032-03

中图分类号: U445.72

文献标识码: B

# 内嵌碳纤维板条加固混凝土受弯构件

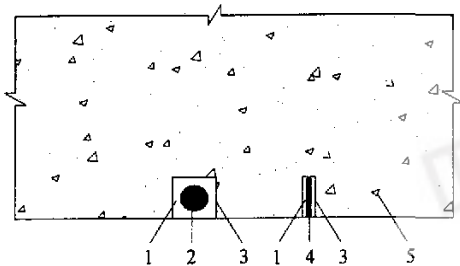
丁亚红<sup>1</sup>, 王兴国<sup>2</sup>, 曾宪桃<sup>1</sup>

(1. 河南理工大学土木工程学院 焦作市 454000; 2. 中南大学土木工程学院 长沙市 410075)

**摘 要:** 和外贴碳纤维布相比, 给出了内嵌式加固法的优点, 阐述了该技术的施工工艺及施工中应注意的问题。试验结果表明, 内嵌碳纤维板条加固法同样可以改善混凝土梁的性能; 加固量相同时, 内嵌碳纤维板条加固梁性能要优于外贴碳纤维布加固梁; 板条较窄时, 加固材料强度利用率更好。内嵌式加固方法快捷简单、不影响结构的正常使用, 是一种值得推广的新技术。

**关键词:** 内嵌; 碳纤维; 补强加固; 受弯构件

近年来, 碳纤维(简称 CFRP)材料的研究和应用已经成为国际土木工程界的热点。在我国, 外贴 CFRP 片材加固混凝土结构这种加固技术已较为普及, 相关标准规程已经出台。除了外贴加固以外, 开发 CFRP 材料更新的应用途径成为国际上广为关注的问题。而内嵌式(Near surface mounted, 简称 NSM)加固方法是其中具代表性的一种。所谓内嵌式加固方法是将加固材料放入结构表面预先开好的槽中, 并向槽中注入粘结材料使之形成整体, 以此来改善结构性能的方法, 见图 1 所示。



1-粘结材料 2-CFRP 筋 3-槽 4-CFRP 板条 5-拟加固结构

图 1 内嵌 CFRP 加固示意

## 1 嵌入式加固方法的优点

与传统的加固方法(如增大截面法、粘贴钢板法、植筋法等)相比, 嵌入式加固方法具有明显的优点, 如 CFRP 材料耐腐蚀, 轻质高强, 施工方便, 省时省力, 加固后维修费用低等。与直接在结构表面外贴

CFRP 材料的加固方法相比, 嵌入式加固方法具有以下明显的优点。

(1) CFRP 材料与原结构的粘结性能更好, 与直接粘贴 CFRP 材料的加固方法相比, 嵌入式 CFRP 材料与原结构有着良好的粘结性能。由图 1 可以看出, 嵌入式加固方法所开的槽中有三个面参与 CFRP 和树脂的粘结, 粘结性能更好, 而且 CFRP 的锚固问题并不突出。而外贴 CFRP 材料加固法, CFRP 材料的剥离问题及端部锚固问题一直都是一个未彻底解决的难题。因此, 嵌入式加固方法的优势更明显。

(2) 可以减少火灾对 CFRP 材料的破坏。直接粘贴 CFRP 材料的加固方法的致命缺点是防火性能差。由于 CFRP 和树脂性能的特殊性, 使得这一问题在直接粘贴 CFRP 加固方法中很难解决。而无论是新建筑物还是加固修复的建筑物, 防火性能都是不得不考虑的问题。嵌入式加固方法很好地解决了这一问题。由于嵌入式加固方法中 CFRP 材料嵌在构件内部, 这样就可以在很大程度上减少火灾的损害。另外, 在做表面处理时, 也可以考虑采用某些防火材料, 以提高防火性能。

(3) CFRP 材料加固负弯矩区域效果优势明显, 其抗冲击性、耐久性得以提高。在对桥梁板面、楼板等构件进行负弯矩加固时, 直接在表面粘贴 CFRP 材料很容易遭到人为或环境因素的破坏。大多数桥梁每天的过往车辆相当多, 车轮的来回摩擦及冲击

很容易损坏桥板表面的 CFRP 材料。而嵌入式加固方法可以有效地避免这种情况的发生,CFRP 材料嵌固在槽中,既可以充分发挥其高强度的特点,又能避免外界各种因素对它的损害。

(4)降低表面处理工作量。外贴加固的表面打磨工序往往耗时较长,而嵌入式加固只需专用工具在混凝土表面剔槽,不需大面积处理,节省工期。

## 2. 施工程序

在实际工程中,嵌入式加固方法施工比较方便,不需要大量的劳动力和大型机械,也不需要占用较大的工作空间,甚至可以在不影响结构正常使用的

情况下进行施工。

施工程序为:

(1)在结构表面按照设计要求的尺寸开槽,见图 2 所示;

(2)仔细清除槽中的灰尘和残渣,在槽中注入树脂至槽深的 1/2 高度;

(3)把 CFRP 筋或板条放入槽中并轻轻施压,如图 3 所示;

(4)往槽中继续注入树脂;

(5)至槽满待树脂固化后,做表面处理,如图 4 所示。

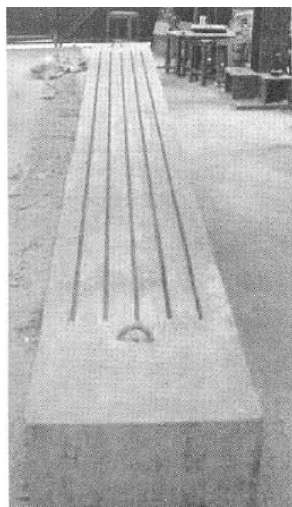


图2 混凝土板加固面切槽、清理

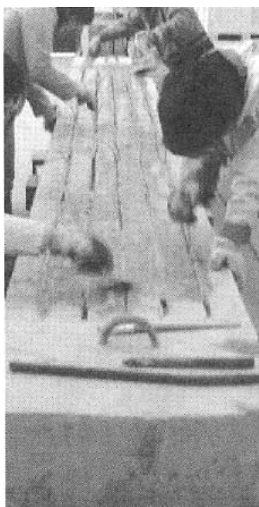


图3 槽中注胶并压入碳纤维板条

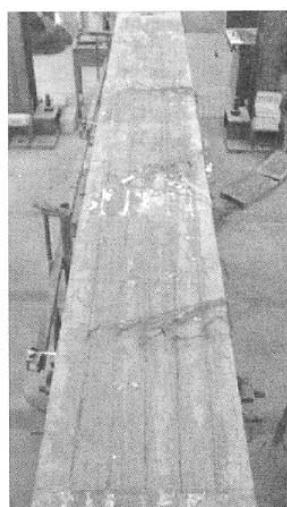


图4 嵌入后表面处理

## 3 施工中需注意的问题

(1)按设计要求的尺寸在实际工程中开槽时,应尽量减少对原结构的损害。按照设计要求,在合适的位置按正确的方向和尺寸开槽。开槽的深度取决于所用材料的尺寸以及混凝土保护层的厚度,开槽宽度应该稍大于加固用 CFRP 材料的尺寸。

(2)仔细清除槽中混凝土残渣颗粒。在结构构件表面开槽后,应该用空压机或其他除尘设备仔细清除槽中的混凝土残渣颗粒及浮尘;否则,残渣可能会影响 CFRP 材料与原结构的粘结,从而影响加固效果。

(3)粘结材料的选用。粘结材料通常采用具有一定触变性的树脂,有利于施工。在实际加固工程中,经常会遇到仰视工作的情况,如果树脂的流动性比

较强,则不容易注入到槽中,而且滴下的树脂还会对操作人员造成伤害。如果用树脂作为粘结材料,在构件表面开的槽必须是干燥的,因为水分会影响树脂的粘结性能。

(4)轻轻施压 CFRP 材料,防止气泡进入,当将 CFRP 放入槽中时,应轻轻施压,以使其表面粘满环氧树脂,有利于 CFRP 材料与原结构的粘结。开始时往槽中加入树脂不宜过多,高度以槽深的 1/2 为宜,防止嵌入 CFRP 时树脂溢出槽外。

(5)表面处理工作是嵌入式加固方法中的最后一步,如果放入 CFRP 材料以后,树脂溢出槽外,需用刮刀等工具将其抹去。当加固桥面板等构件时,可以用热沥青进行最后的表面处理。

#### 4 试验研究

试验用梁为某桥梁 1/3 等效模型梁,共 3 片,全长 6.2 m,宽 0.3 m,高 0.6 m。混凝土强度等级为 C30,受力主筋为 4 $\Phi$ 25,架立钢筋为 2 $\Phi$ 10 筋,加固材料为 2.4 mm 厚的 CFRP 板。 $RB$  梁为基准梁, $N1$  梁的加固方式为 2 条 30 mm 宽的板条嵌入混凝土梁受拉面,加固方式见图 5(1); $N2$  梁为嵌入加固方式,为 3 条 20 mm 宽的板条嵌入混凝土梁的受拉面,加固方式见图 5(2); $L1$  梁为外贴 60 mm 宽的碳纤维板,并在碳纤维板端部采用 200 mm 宽、1 450 mm 长的 U 形 CFRP 布锚固。试验梁均采用 4 点弯反位加载,如图 6 所示。

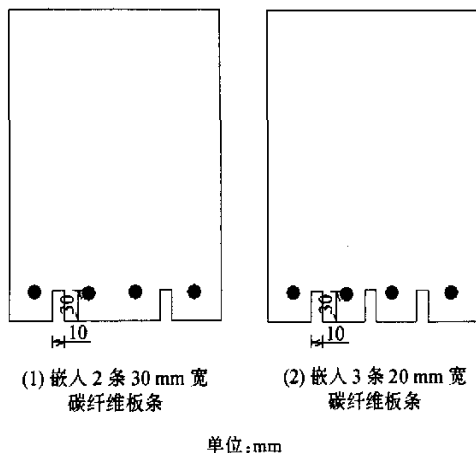


图 5 截面内嵌加固方式

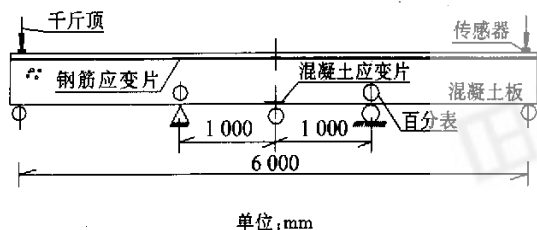


图 6 试验梁加载示意

试验梁均发生混凝土压碎破坏,外贴 CFRP 板加固梁发生了碳纤维板从 U 形端锚固的次生破坏,而嵌入式加固没有发生碳纤维板条剥离的次生破坏。试验梁跨中荷载~挠度曲线见图 7 所示,内嵌和外贴 CFRP 板均可明显改善试验梁性能;图中第一个折点(此处荷载即为开裂荷载)可见,嵌入式加固梁开裂荷载要略高于外贴加固梁  $L1$ ,而第二个折点(此时力筋屈服)对应的荷载相差不大。从图 8 还可以看出,加固量相同的  $N1$ 、 $N2$  梁,相同荷载作用

下力筋屈服前的挠度值相差很小,而力筋屈服后  $N2$  梁挠度值要略大些,即窄条带加固时位移延性更好。

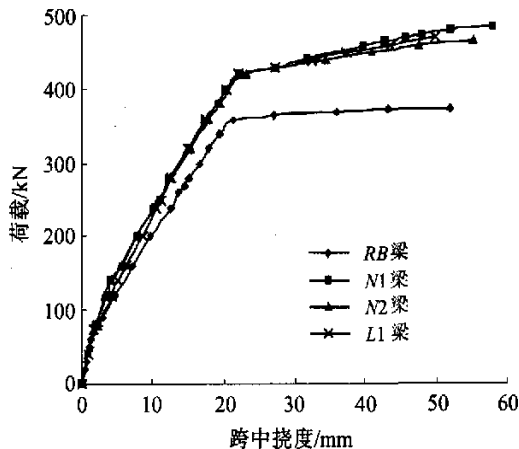
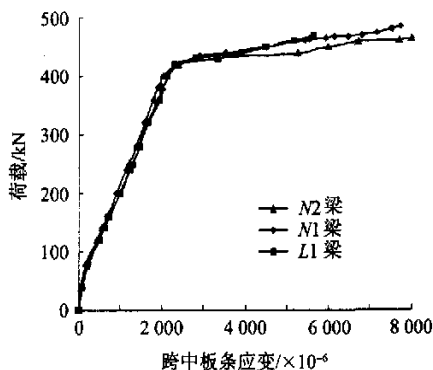
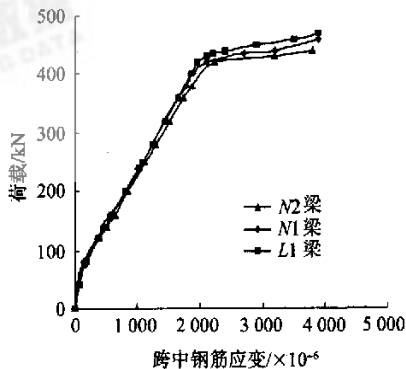


图 7 试验梁跨中荷载~挠度曲线



(1) 跨中板条荷载~应变曲线



(2) 跨中钢筋荷载~应变曲线

图 8 加固梁钢筋及碳纤维板条应变比较

图 8 为加固梁跨中钢筋及内嵌板条应变比较关系,从图中可见,力筋屈服前无论外贴板还是内嵌板条的应变相差很小,即碳纤维板承担的力相差不大;

文章编号: 0451-0712(2006)02-0035-05

中图分类号: U445.73

文献标识码: B

# 大型钢结构表面热喷涂防腐技术的现状与进展

程军胜<sup>1</sup>, 赵 杰<sup>2</sup>, 孟 辉<sup>3</sup>

(1. 北京科技大学新金属材料国家重点实验室 北京市 100083;

2. 开封市公路管理局 开封市 475003; 3. 北京工业大学材料学院 北京市 100022)

**摘 要:** 通过对大型钢结构各种防腐方法的机理及优缺点的比较, 介绍了热喷涂长效防腐技术的优势, 以及在国内外的应用。从喷涂材料的扩展和涂层结构的改造两个方面总结了钢结构表面热喷涂防腐技术的新进展。

**关键词:** 大型钢结构; 防腐; 热喷涂

## 1 钢结构腐蚀特点及危害

钢铁具有优越的机械性能, 且其性能可长时间保持稳定, 所以工业用的各种机械等都采用钢铁作为主材料。同样在交通领域, 钢桥等大型钢结构具有跨越能力大、强度高、建设速度快、施工期限短等特点。特别是近年来, 随着国家基础设施建设速度的加快, 大型钢结构桥梁不断涌现。修建一座跨江或跨海的特大型钢桥, 使用钢材的数量一般都在万 t 甚至 10 万 t 以上。

但是钢铁材料在工业大气中的暴露, 与海水江

水的接触必会导致表面的腐蚀。而腐蚀、应力腐蚀和腐蚀疲劳是使这种特大钢桥构件退出工作、寿命降低的重要原因之一。在 20 世纪 20~30 年代欧洲和北美发达国家建造的一些钢桥, 因当时防腐技术不能提供长久的腐蚀保护, 使得这些钢桥投入运营后腐蚀严重, 即使进行定期的刷油漆维护也不能获得满意的保护, 只得将这些钢桥降级使用或续建第二座桥, 造成巨大的经济损失。据报道武汉长江大桥每年投入维护费 100 多万元, 但仍远远不够。腐蚀不仅浪费了大量的人力物力, 也大大缩短了桥梁的使用年限。

收稿日期: 2005-09-01

而力筋屈服后, 很明显, 在相同荷载作用下, 内嵌梁中板条承担的力要明显比外贴板要大, 其强度利用率提高了, 且板条较窄的加固梁 N2 跨中板条应变要大于 N1 板条中应变, 即 N2 板条粘结效果更好, 承担的荷载更大。

## 5 结论

(1) 试验证明, 嵌入式 CFRP 板条加固是一种非常有效的结构加固方法, 具有广阔的发展前景;

(2) 内嵌 CFRP 板条加固效果要略优于外贴加固, 且不易出现锚固长度及剥离破坏;

(3) 加固梁相同时, 较窄的 CFRP 条带利用率更高, 延性更好;

(4) 嵌入式加固方法施工简便快捷, 可在不影响结构正常使用的前提下施工, 防火性能好, 可较充分地发挥 CFRP 材料的性能, 是一种加固效果比较理

想的方法。

## 参考文献:

- [1] CECS146:2003. 碳纤维片材加固混凝土结构技术规范[S].
- [2] 岳清瑞, 李庆伟, 杨勇新. 纤维增强复合材料嵌入式加固技术[J]. 工业建筑, 2004, 34(4).
- [3] Rizka Ila S, Hassan T. Effectiveness of CFRP for Strengthening Concrete Bridges [J]. Journal of Structural Engineering International, 2002, (3).
- [4] Taljs ten B, Cordin H. Concrete Structures Strengthened with Near-Surface Mounted Reinforcement of CCFRP[J]. Advances in Structural Engineering, 2002, 6(3).
- [5] Alkrdaji T, Nanni A, Chen G, Barker M. Upgrading the Transportation Infrastructure: Solid RC Decks Strengthened with CFRP[J]. Concrete International, 1999, 21(10).