

预应力碳纤维布加固混凝土梁有限元分析

贺梓恒

(中国石油化工股份有限公司湖南石油分公司 湖南长沙 410005)

摘要:利用碳纤维布(CFRP)加固钢筋混凝土构件是一种先进的工程加固技术,已经在土木工程中得到了较为广泛的应用。本文应用ANSYS软件对碳纤维加固预应力和非预应力梁体受弯进行仿真,来分析和研究碳纤维加固混凝土梁的受力机理和加固效果,并给出了相应的荷载挠度曲线。结果表明应用预应力碳纤维的梁体明显优于普通碳纤维布加固的受损梁,不仅提高了结构各阶段的承载力而且降低了梁破坏时的挠度。

关键词:预应力 碳纤维加固(CFRP) 混凝土梁 有限元

1 引言

FRP筋是一种高性能新型材料,通过拉挤工艺把纤维和树脂基体两种不同性质、不同形态的组分材料复合在一起,形成的一种性能优良的纤维复合材料。据纤维的种类,它可分为碳纤维筋(carbon fiber reinforced plastics,简称CFRP筋)、玻璃纤维筋(glass fiber reinforced plastics,简称GFRP筋)、芳纶纤维筋(aramid fiber reinforced plastics,简称AFRP筋)等。CFRP以其高强、轻质、耐腐蚀等优点,在土木与建筑工程结构中得到应用,并受到工程界的广泛关注^[1, 2]。相对于其它加固方法,利用CFRP布加固修补受损结构,为新型的结构加固技术。它是利用树脂类粘结材料将碳纤维布粘贴于混凝土结构表面,以达到对结构及构件加固补强的目的^[3]。纤维布加固技术具有以下特点:高强高效,适用面广,质量易保证;施工便捷,工效高,没有湿作业,施工占用场地少;耐腐蚀及耐久性能极佳;加固修补后,基本不增加原结构自重及原构件尺寸。近年来,非预应力粘贴CFRP片材加固方法已广泛地应用于工程实践中,与传统的粘钢加固技术相比,其具有诸多的优势,但作为补强功能的高强高性能CFRP实际利用率较低,胶粘剂硬化后存在的滞后粘性流动、易老化、热稳定性差等直接影响到加固后的长期效果;纤维布粘贴时不能较好的张紧及被加固构件表面的不平整将极大的影响CFRP的受力效果,造成CFRP各纤维丝束不能较好的协同工作,影响其极限强度的发挥。而预

应力加固技术,能降低被加固构件的应力水平,不仅使加固效果好,而且还能较大幅度地提高结构整体承载力^[4, 5]。但长期以来,人们用线弹性理论来分析预应力CFRP加固混凝土结构的受力和变形,以极限状态的设计方法来确定构件的承载能力。这种设计方法在一定程度上能满足工程的要求。随着国民经济的发展,越来越多大型、复杂的CFRP加固混凝土结构需要修建,而且对设计周期和工程质量也提出了更高的要求。这样一来,常规的线弹性理论分析方法用于CFRP加固混凝土结构和构件的设计就力不从心。为此,CFRP加固混凝土非线性有限元分析方法开始受到重视。同时,随着有限元理论和计算机技术的进步,CFRP加固混凝土非线性有限元分析方法也得以迅速的发展并发挥出巨大的作用。本文将针对碳纤维加固预应力混凝土试验梁,通过运用大型有限元分析软件进行仿真分析,并对比预应力和非预应力方法的加固效果。

2 材料和模型参数

试验用的再生混凝土梁的混凝土强度设计值为C30,再生骨料的取代率分别是0%、50%、100%,梁的截面尺寸均为 $b \times h = 150\text{mm} \times 300\text{mm}$,跨度 $L = 1500\text{mm}$,纵向受拉钢筋为 $2\phi 8$ 的螺纹钢,全梁均匀设置箍筋为 $\phi 6 @ 100$,架立钢筋为 $2\phi 8$ 圆钢,混凝土保护层厚度为 20mm 。试验梁的截面尺寸及配筋如图1所示。

各种材料参数的各项指标如表1。

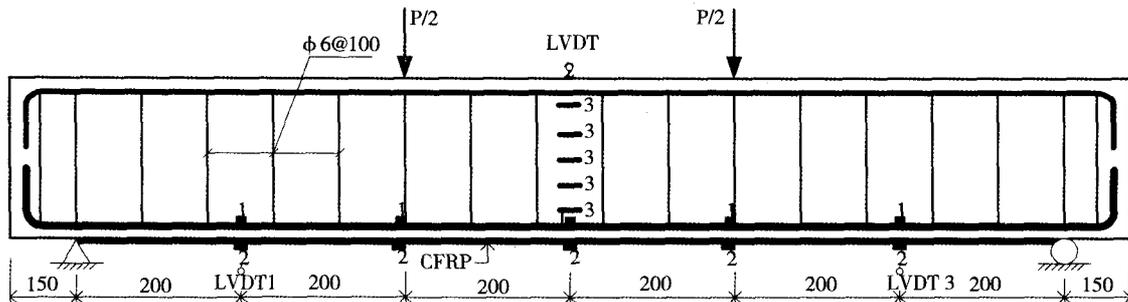


图1 碳纤维加固梁

表1 材料参数

材料名称	泊松比	弹性模量 /MPa	抗拉强度 /MPa	抗压强度 /MPa
混凝土	0.2	25500	1.1	9.6
主筋	0.3	210000	210	—
碳纤维布	0.17	206300	3600	—

3 试验过程

本试验中梁B1为对比梁，不进行任何形式的加固。试验梁B2采用非预应力加固，梁端粘贴两道100mm宽的CFRP布U形箍，其间距为100mm，层数为1层，见图2。非预应力碳纤维布加固操作流程主要为：混凝土表面处理→表面清洗→涂刷底胶→涂刷找平胶，基面找平处理→涂刷浸渍胶→粘贴CFRP→养护→外表防护处理。试验梁B3为在混凝土梁底部施加预应力碳纤维布加固，在实际工程中可以通过多种方法给碳纤维加预应力，现介绍其中常用的两种方法：一种预应力施加方法，是在碳纤维布粘贴到混凝土梁上之前先对其施加预应力，类似于预应力钢板加固的原理，这种方法是将碳纤维布用螺栓固定在混凝土梁上，此时，梁端部承受的剪力最大，固定碳

纤维布的螺栓对梁本身有一定的损伤，不利于抗剪。另一种施工工艺相对简单，但仅在实验室内操作比较方便。这种方法是将预应力施加工具固定，对简支梁进行操作，施工方法和试验方法相对进行了简化，操作比较容易^[6-8]。本试验中采用第二种方法，其加固方式见图3。

试验采用反力架及液压千斤顶加力装置，通过刚性分配梁实现两点加载，跨中部分为纯弯段。现场加载装置如图4所示，两点加载点处放置压力传感器控制加载，加载前对压力传感器进行标定。试验加载采用分级加载，试件开裂前每级荷载为5kN，开裂后每级荷载为10kN。混凝土梁上部混凝土被压碎、挠度变形过大或纤维筋断裂、拔出，承载力迅速降低时结束试验。为了量测梁的应变，分别在混凝土、钢筋和碳纤维上粘贴应变计，为了校验混凝土应变计测定的应变值，在纯弯段内还布置了二列应变测标。在纯弯段两侧受拉筋上各粘贴片应变计，共计在梁底碳纤维上粘贴两排应变计，每排3片，梁的变形用6块电测位移计量测，作用在梁上的荷载由油压顶施加，其值由三个传感器测定。

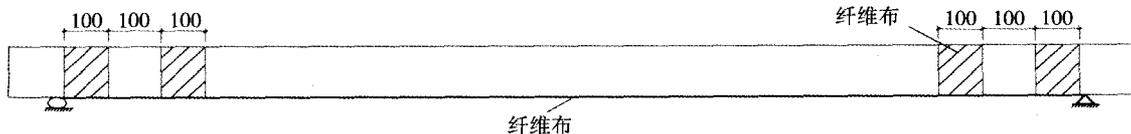


图2 试验梁B2

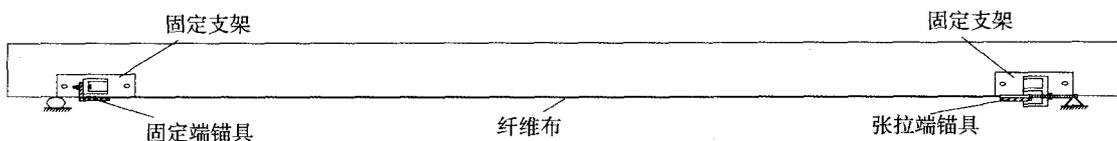


图3 试验梁B3

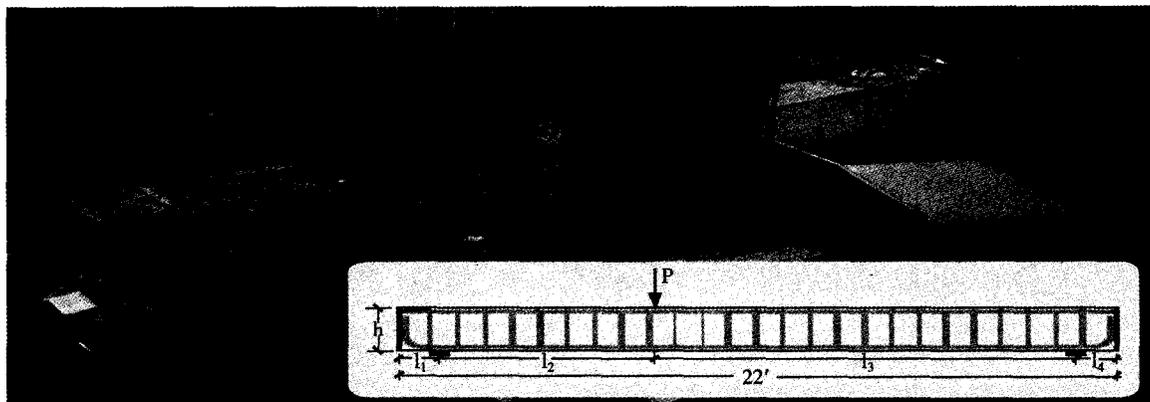


图4 现场加载图

4 有限元分析

对于上述加固方案,对三根梁应用有限元软件进行模拟分析,在用软件进行非线性有限元分析时,对碳纤维布施加预应力可以采用升温法或初应变方法。所谓升温法,就是利用碳纤维布的温度线膨胀系数为负这一特点,碳纤维布升温收缩如同实际工程中对碳纤维布进行张拉,使得碳纤维布产生预拉应力,而与之相连接的混凝土梁产生预压应力。升温法比较简单,而采用初应变法并且要模拟碳纤维布各处不同的应力时,每个单元的实常数各不相等,工作量较大,所以比较而言,本文将采用升温法来模拟预应力的施加。荷载-挠度曲线能比较直观地反映加固梁刚度变化情况,是探讨加固梁破坏机理的重要依据,试验中测定了随荷载增加构件的两端及跨中的竖向位移量,计算跨中挠度(向下位移)改变量,绘制了梁B1-B3的荷载-跨中挠度曲线的对比图,如图5。从图中可以看出,未加固的梁在钢筋屈服后挠度迅速增长,而加固后的FRP筋混凝土梁试件在整个试验过程中,在相同荷载作用下,挠度都小于未加固的梁,开裂之前,梁刚度较大,变形发展较慢,曲线较陡,混凝土开裂后,梁刚度迅速降低,曲线变缓。此外,从图中还可看出,预应力梁荷载主要由玻璃纤维布和钢筋承担,随着CFRP布更多的参与工作,预应力的作用得以充分显现,预应力梁B3与非预应力梁B2相比,钢筋变化趋于平缓,同等荷载增量下应变变

化较小。预应力CFRP布加固实现了对钢筋的部分卸荷,减小钢筋应变,延缓钢筋屈服,进一步提高了构件的极限承载力。

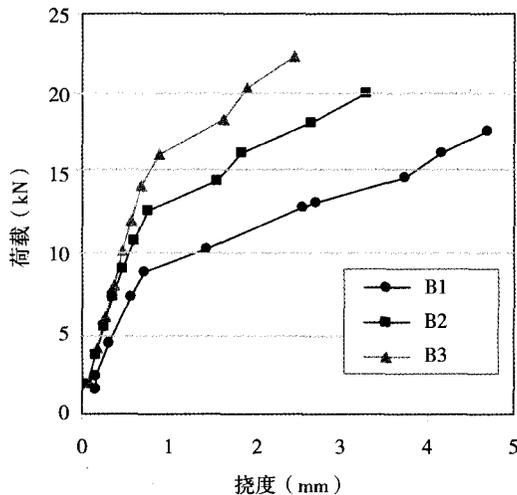


图5 荷载挠度曲线

5 结论

本文详细介绍了预应力玻璃纤维布加固混凝土梁静力加载试验的过程,并运用有限元软件对碳纤维加固预应力和非预应力梁体受弯进行仿真并进行对比分析,由仿真结果可以得出:普通CFRP布加固,使构件的屈服荷载,极限荷载都有明显提高,而用预应力CFRP布加固,对构件屈服荷载,极限荷载的提高程度更大,效果优于普通CFRP布加固;预应力的存在增加了梁的刚度,减小了挠度变形,可有效延缓裂缝开展,使裂缝宽度变小,数量增多,分布均匀,并可实现对钢筋的卸荷,减小钢筋应变,延缓钢筋屈服,提高构件延性;用有限元进行预应力梁和非预应

力梁的抗弯加固仿真分析是可行并且可靠的，可以在实际工程和研究中应用。

参考文献

- [1] 薛伟辰, 曾磊. 预应力CFRP板加固混凝土梁研究综述[J]. 工业建筑, 2006. 12-14
- [2] 岳清瑞. 我国碳纤维(CFRP)加固修复技术研究应用现状与展望[J]. 工业建筑, 2000, 30(10):23-26.
- [3] 牛赫东, 吴智深. 预应力FRP纤维布粘结补强技术中的界面剪切应力传递[C]. 第二届全国土木工程用纤维增强复合材料(FRP)应用技术学术交流会, 2002.

- [4] 彭晖, 尚守平, 王海东等. 预应力碳纤维布加固受弯构件的施工工艺[J]. 西部探矿工程, 2004(1):56-58.
- [5] 叶列平, 庄江波, 曾攀等. 预应力碳纤维布加固钢筋混凝土T型梁的试验研究[J]. 工业建筑, 2005, 35(8):7-12.
- [6] 元路宽, 杨友林, 张治华等. 部分粘贴CFRP加固钢筋混凝土梁的试验研究[J]. 公路, 2007(10):21-26
- [7] 尚守平, 彭晖, 童桦等. 预应力碳纤维布材加固混凝土受弯构件的抗弯性能研究[J]. 建筑结构学报, 2003, 24(5):24-30.
- [8] 张轲, 叶列平, 岳清瑞等. 预应力碳纤维布加固混凝土梁弯曲疲劳性能试验研究[J]. 工业建筑, 2005, 35(8): 13-19.

(上接第13页)



图17 移动端外部情况



图18 固定端外部情况

3.4 工程应用经验小结

在宿新高速工程中安装使用了较多防落梁装置，从使用情况来看，可以得出如下经验：

(1) 防落梁装置的连接索需要穿过两梁的预埋管，为了保证受力均匀，施工前在预埋管道时要保证两梁的预埋管有较好的对中性，若采用预制梁的方式预留预埋管，其在吊装时不可避免地会产生一定位移误差，若采用现浇方式预留预埋管偏差会小一点，为了最大限度减少位移偏差给安装时带来的不便，将预埋管的内径适当加大

是个有效的方法，加大后穿过连接索时的调节余量增大，即使预埋管对中性稍差也可保证连接索与受力面保持垂直，同时由于缓冲垫的面积较大，即使加大预埋管内径也不会影响防落梁装置的受力情况，不会产生承压面局部受力过大的现象，因此对安全性也无影响。

(2) 安装保护罩时，有条件的可预留普通螺钉的螺钉孔，不方便预留的可采用手电钻现场钻孔后打入膨胀螺栓、化学锚栓的方式来固定保护罩。保护罩可每隔一定时间拆下检查结构表面情况。

4 结语

防落梁装置能有效地预防桥梁在震动时发生坍塌，是桥梁安全保证的一个“保险”，而从防落梁装置在宿新高速工程中的应用情况来看，其安装简便，外表美观，具有很高的应用价值。目前国内的防落梁装置还属于初步应用阶段，随着桥梁安全性的要求越来越高，其将得到更高的重视和更广泛的应用。

参考文献

- [1] 王德钧, 陈涛. 日本桥梁抗震中的桥梁设计[J]. 河北工程大学学报(自然科学版) 2009年12月第26卷第4期
- [2] 汪芳芳. 公路桥梁落梁防止装置的研究[D]. 长安大学硕士学位论文, 2003年.
- [3] 朱万旭, 黄颖, 杨帆, 高宇. 地震区简支梁桥防落梁装置的设计[J]. 特种结构, 2011年03期.
- [4] 朱万旭, 欧进萍, 黄颖, 严军, 杨帆. 一种新型的钢绞线拉索式落梁防止装置[J]. 预应力技术, 2008年05期.
- [5] OVM.DJ型防止落梁装置产品样本
- [6] 朱文正, 刘健新. 公路桥梁防落梁系统研究现状述评[J]. 广州大学学报(自然科学版) 2005年8月第4卷第4期.
- [7] 王卫峰. 公路桥梁耗能型连梁装置的研究[D]. 长安大学硕士学位论文, 2005年.
- [8] 黄小国. 连续梁桥防落梁装置试验和理论研究[D]. 同济大学博士学位论文, 2009年.