

# 基于ANSYS的碳纤维布 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:**碳纤维布具有耐腐蚀、施工简便快速等诸多的优点,在土木工程中得到了较为广泛的应用。应用ANSYS软件对未加固梁和5根碳纤维布混凝土梁梁体受弯进行了仿真研究,并给出了相应的荷载挠度曲线。与试验结果对比表明,建立的有限元模型能较好地模拟碳纤维布混凝土梁的力学性能,非线性有限元模拟结果与试验结果基本吻合。

**关键词:**ANSYS 碳纤维加固(CFRP) 混凝土梁 有限元

## 1 引言

碳纤维材料用于混凝土结构补强加固的研究工作开始于80年代的美、日等发达国家。与传统加固技术相比,碳纤维材料具有优异的物理性能,从而具有明显的技术优势,碳纤维材料在加固修补混凝土结构中可以利用其高强度、高弹性模量的特点来提高混凝土结构或构件的承载力及延性,改善其受力性能,达到高效加固修补的目的;此外,碳纤维材料还具有极佳的耐腐蚀性能和耐久性能,可以抗拒建筑物经常遇到的各种酸、碱、盐对结构物的侵蚀<sup>[1, 2]</sup>。使用该种加固修补方法对结构进行处理后,不仅不需要采用如包钢粘钢方法所需的定期防锈维护,节省了大笔维修费用,而且其本身更可以起到对内部混凝土结构的保护作用,达到双重加固修补的目的。碳纤维布加固混凝土梁是由粘结树脂、碳纤维布、混凝土等不同材料组成,它的性能明显地依赖于各种材料的性能,特别是在非线性阶段,这几种材料本身的各种非线性性能,都不同程度地在这种组合材料中反映出来<sup>[3, 4]</sup>。梁的极限承载破坏是伴随着多种材料非线性发生的,就使得计算分析的难度增加。有限元法作为一种强有力的数值分析工具,它巧妙地把差分法和直接变分法的优点揉和到一起,在钢筋混凝土结构的非线性分析中起到了越来越大的作用。因此本文在现有混凝土结构加固理论的基础上,通过对碳纤维布加固低强度混凝土梁的实验和有限元分析,使得碳纤维加固低强度混凝土的方法更能广泛的应用于实际工程中。

## 2 试件设计

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 $b \times h = 150\text{mm} \times 200\text{mm}$ ,净跨 $L = 900\text{mm}$ ,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 $20\text{mm}$ 。试验梁的截面尺寸如图1所示。

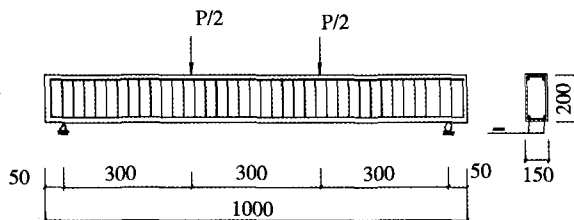


图1 试件参数

本文设计了6根矩形截面钢筋混凝土梁,其中1根为钢筋混凝土基准梁S0,2根为非预应力CFRP布加固梁,3根为预应力CFRP布加固梁,变化参数为加固层数和CFRP布的宽度。非预应力CFRP布加固梁的梁端粘贴两道200mm宽的CFRP布U形箍,其间距为100mm,层数分别为1层和2层,非预应力玻璃纤维布加固操作施工顺序为:基面找平处理—涂刷浸渍胶—粘贴CFRP—养护—外表防护处理。预应力CFRP布加固梁的工艺是:先在CFRP布的两端安装锚具,在梁上安装永久固定支架,然后打磨梁底混凝土、涂刷底胶,底胶硬化后将CFRP布固定端锚具与梁上的固定支架连接,在梁底涂刷粘结树脂胶,将CFRP布的张拉端锚具安装到固定支架上,以梁

上固定支架为反力架对CFRP布进行张拉，达到张拉控制应力后将张拉端锚具固定在支架上<sup>[5]</sup>。各试验梁的编号及加固参数见表1。

表1 试验梁加固参数

试件编号	加固状况	AFRP布层数	AFRP布宽度
S0	未加固	0	--
S1	非预应力加固	1	200mm
S2	非预应力加固	2	200mm
S3	预应力加固	1	200mm
S4	预应力加固	2	200mm
S5	预应力加固	2	400mm

### 3 加载方式

图2为试验的装置示意图。加载方式为两点加载，加载点为梁的四分点，由分配梁来实现两点加载。加载方案采用分级加荷的方式，在接近纵筋屈服应变时，适当增加荷载级别以确定屈服荷载<sup>[6-8]</sup>。

### 4 试验梁的有限元分析

本节使用ANSYS有限元分析软件对CFRP板加

固钢筋混凝土梁的受力性能进行了非线性分析，ANSYS (analysis system) 是一种融结构、热、流体、电磁和声学于一体的大型CAE通用有限元分析软件，可广泛应用于航空航天、机械、汽车交通、电子等一般工业及科学研究领域。该软件提供了不断改进的功能清单，具体包括：结构高度非线性分析、电磁分析、计算流体力学分析、设计优化、接触分析、自适应网格划分及利用ANSYS参数设计语言扩展宏命令功能。它拥有完善的前后处理和强大的数据接口，因而是计算机辅助工程(CAE)和工程数值分析和模拟最有效的软件之一。本文的有限元分析，主要用到ANSYS提供的线单元和块单元两种类型：LINK8，SOLID45和SOLID65。LINK8单元模拟钢筋的受力情况；SOLID45单元模拟钢梁的受力情况；SOLID65单元用于模拟混凝土模型。SOLID65允许每个单元有4种不同属性的材料，包括主要材料(如混凝土)和不同的钢筋材料(最多不超过三种)。

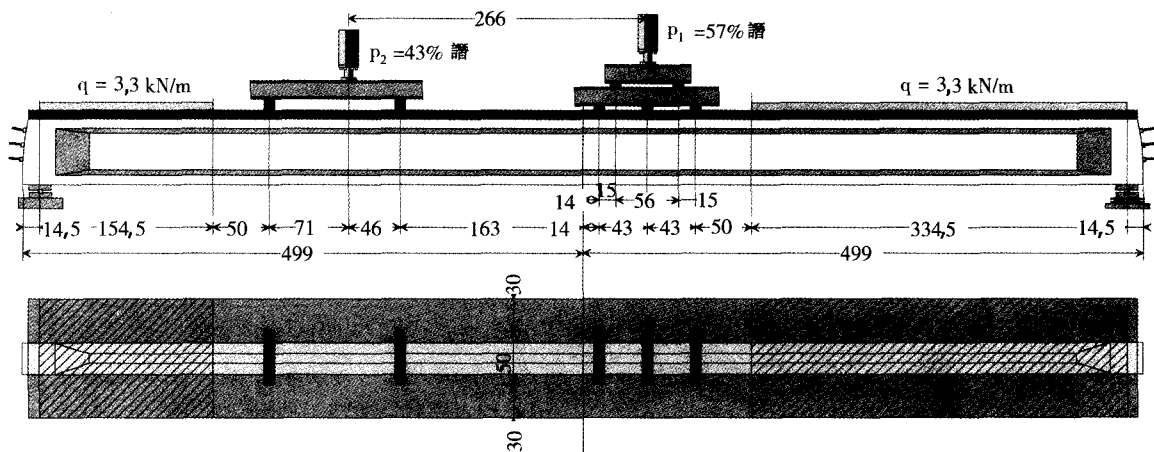


图2 加载方式

除了能考虑徐变和塑性性能之外，混凝土节点允许产生压碎和裂缝。钢筋单元(同样考虑塑性和徐变)只具有单元刚度并认为弥散于单元之中，通过指定角度来确定钢筋在单元中的位置。应用上述非线性有限元方法对本次试验的6根矩形截面钢筋混凝土梁的荷载、变形开展情况进行全过程分析，最后可得到各柱荷载-挠度曲线计算图3-图8。比较图3-图8可以看出，加固后的CFRP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，曲线较陡，混凝土开裂后，梁刚度迅速降低，曲线变

缓。预应力梁S4与非预应力梁S2相比，钢筋变化趋于平缓，同等荷载增量下应变变化较小，进一步提高了构件的极限承载力。由图3-图8可以看出，分别由有限元计算和静载试验得到的荷载-挠度曲线其基本规律是一致的，但是用有限元法计算的荷载-挠度曲线要比静载试验得到的要陡，即在相同荷载下产生的挠度更小。这是因为在有限元网格划分中，将CFRP筋划分成了若干段，认为CFRP筋只在混凝土的节点处和混凝土粘结良好，而在实际的试验中，CFRP筋和混凝土是全长粘结，而且粘结较好。

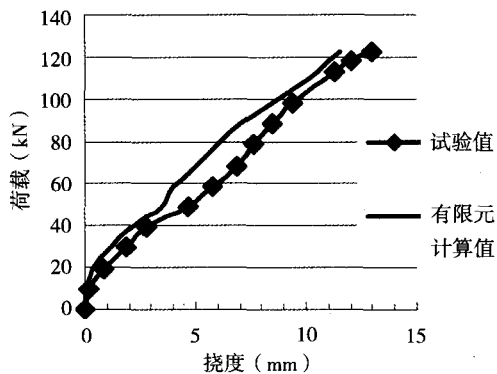


图3 试验梁S0荷载挠度曲线

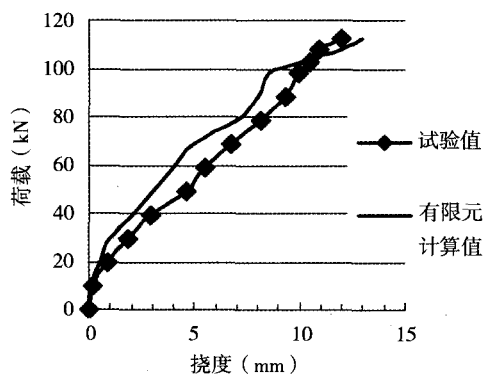


图4 试验梁S1荷载挠度曲线

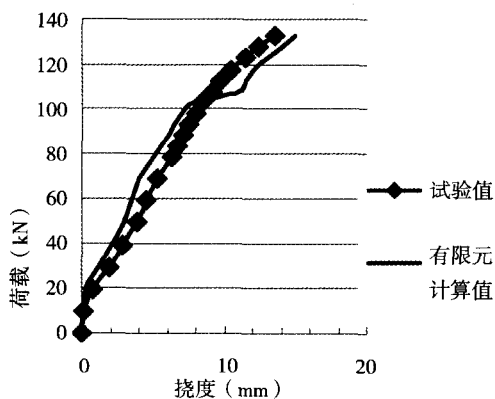


图5 试验梁S2荷载挠度曲线

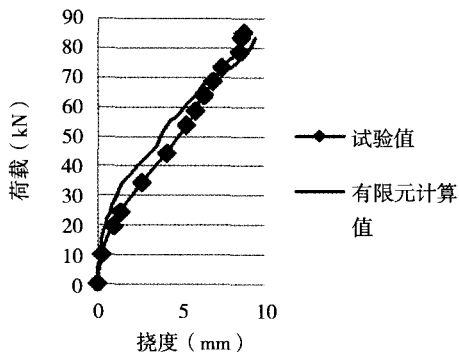


图6 试验梁S3荷载挠度曲线

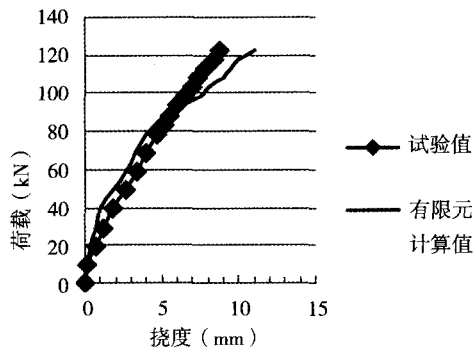


图7 试验梁S4荷载挠度曲线

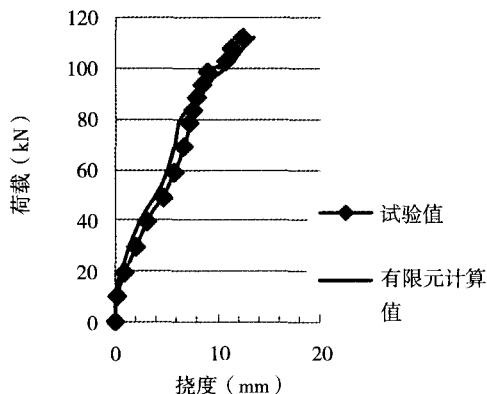


图8 试验梁S5荷载挠度曲线

## 5 小结

本文利用 ANSYS 有限元分析软件，对 CFRP 筋混凝土梁试件的力学性能进行了有限元非线性分析，与试验数据对比表明，本文建立的有限元模型能较好的模拟 FRP 筋混凝土梁的力学性能，分析结果与试验结果相比，吻合较好，该方法既节省计算成本，同时又不失精确性。

### 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[J]. 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.