

# Performance Study on Axial Compression of CFRP-Strengthened Concrete Columns

Xiaokai Liu, Qingyuan Wang\*, Zhiyu Wang

College of Architecture & Environment of Sichuan University, Chengdu Sichuan  
Email: [liuxiaokai@stu.scu.edu.cn](mailto:liuxiaokai@stu.scu.edu.cn), \* [wangqy@scu.edu.cn](mailto:wangqy@scu.edu.cn)

Received: Apr. 21<sup>st</sup>, 2015; accepted: May 10<sup>th</sup>, 2015; published: May 14<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

Through the static load test of six CFRP reinforced concrete columns, the paper studies the CFRP reinforced concrete columns with different cross section of the influence of mechanical properties, and analyzes the specific influence of the carbon fiber cloth paste layer and column's section type to carbon fiber cloth reinforcement effect. The results show that: Carbon fiber cloth can obviously increase the stiffness and ultimate bearing capacity of concrete columns, reduce the vertical displacement of column and reduce the lateral strain and the axial strain of the columns. When the paste layer of carbon fiber cloth is two, the impact is more obvious. But the increase degree is not proportional to the reinforced area; the improvement of carbon fiber cloth reinforcement to concrete columns' ultimate bearing capacity and stiffness is superior to the improvement of concrete square column.

## Keywords

CFRP, Reinforce, Bearing Capacity, Mechanical Property

---

# CFRP加固混凝土短柱轴压性能研究

刘晓凯, 王清远\*, 王志宇

四川大学建筑与环境学院, 四川 成都  
Email: [liuxiaokai@stu.scu.edu.cn](mailto:liuxiaokai@stu.scu.edu.cn), \* [wangqy@scu.edu.cn](mailto:wangqy@scu.edu.cn)

---

\*通讯作者。

收稿日期：2015年4月21日；录用日期：2015年5月10日；发布日期：2015年5月14日

## 摘要

通过对6个混凝土柱的静力加载试验，本文研究了碳纤维布加固对不同截面混凝土柱的力学性能的影响，分析了碳纤维布粘贴层数及短柱截面类型对碳纤维布加固效果的具体影响。结果表明：碳纤维布可明显提高混凝土柱的刚度和极限承载力，减小柱的竖向位移，减小柱的横向应变和纵向应变；当碳纤维布粘贴层数为两层时，其影响程度比粘贴一层时更为显著，但其提高程度不与加固面积成正比；碳纤维布加固对混凝土圆柱极限承载力和刚度的提高优于对混凝土方柱的提高。

## 关键词

碳纤维布，加固，承载力，力学性能

## 1. 引言

在我国的建筑工程中，使用最多的建筑结构形式仍然是混凝土结构。很多时候由于结构设计或者施工过程的不当导致混凝土柱抗压强度不足，从而降低混凝土柱的承载能力[1]。出现这种情况就需要对混凝土柱进行加固。比较成熟的加固方式有截面增大法、钢外包法、预应力法以及CFRP(碳纤维布)加固法[2]。其中，碳纤维布自重轻、韧性好，具有极高的抗拉强度、高耐久性、抗高温的特性[3]，且这种加固方法施工简便，所以本次试验选择碳纤维布加固混凝土柱。在需要加固的混凝土柱表面粘贴CFRP材料，达到提高结构的承载力、减少结构的变形以及起到对混凝土裂缝扩展延缓的目的[4] [5]。这主要是利用CFRP优越的材料特性和力学性能[6] [7]。参考现有的文献发现，碳纤维布在加固两层的时候加固效果为最优，超过两层以后加固效果提高不明显[8]。本文通过多组对比试验研究CFRP加固对不同截面形式的混凝土短柱的力学性能的影响。

## 2. 试验概况

### 2.1. 试件设计

本试验设计了6个混凝土短柱试件，研究碳纤维布加固对不同形式混凝土柱中部横向与竖向变形的影响。主要研究参数包括：混凝土短柱的类型，包括方柱和圆柱两种，圆柱直径100 mm，方柱边长100 mm，高均为400 mm；碳纤维布加固的层数，分别为1层和2层。选用混凝土的强度等级为C30，混凝土配合比：水：沙子：水泥：骨料 = 0.39:1.35:1:2.21。试验加固选用沈阳中恒复合材料有限公司生产的T300-12K-300单向编制纤维布，其基本材料性能如表1所示，试件编号及参数见表2。其中，YC表示混凝土圆柱试件，FC代表混凝土方柱试件，Nu为各试件的极限荷载。

### 2.2. 加固方案及测点布置

对混凝土柱的两种加固方式分别为粘贴1层或2层碳纤维布，碳纤维布搭接长度为100 mm。对混凝土柱的加固，首先对待粘贴纤维布的混凝土柱外表面进行打磨处理，并用水清洗干净，干燥后用丙酮试剂擦拭混凝土表面，风干后涂刷底胶，并将纤维布浸湿后粘贴于待加固部位，养护90天后进行试验。

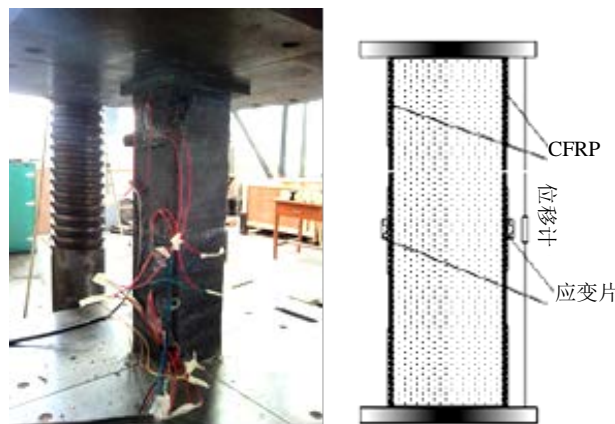
在试件的四个侧面的形心位置布置横向应变片(型号：BX120-20AA)和纵向应变片以测得混凝土柱在轴心受压时柱中部的横向应变和纵向应变。试件竖向平均压应变由位移计量测。布置方式如图1所示。

**Table 1.** Basic material properties of CFRP  
**表 1.** CFRP 基本材料性能

厚度/mm	单位面积质量/(kg·m <sup>2</sup> )	抗拉强度/MPa	弹性模量/GPa	极限伸长率/%
0.329	314.34	2247	180.5	1.31

**Table 2.** Test results  
**表 2.** 实验结果

试件	加固层数	极限荷载 N <sub>u</sub> /KN	试件	加固层数	极限荷载 N <sub>u</sub> /KN
YC-0	0	180.2	FC-0	0	220.4
YC-1	1	375.1	FC-1	1	263.6
YC-2	2	547.4	FC-2	2	285.2



**Figure 1.** Test setup for the specimen  
**图 1.** 加固试件加载

### 2.3. 加载方案

在四川大学结构工程实验室内的200T液压试验机上进行试件加载。加载方式为分级加载，每次加载为5 KN，加载速率为0.05 KN/s，每次加载后用应变箱测得在该荷载下的横向与纵向应变值，并记录在该荷载下位移计的读数，然后继续加载，直至试件发生破坏。具体的试件加载方式和加载后试件破坏见图1、图2。

## 3. 试验结果分析

### 3.1. 实验现象

对照短柱试件YC-0、FC-0在加载初期变形与荷载成线性关系，当加载到峰值荷载的40%左右时，在试块中间截面附近开始出现微小的竖向裂缝，随着荷载的继续增加，裂缝增大增多，当加载到极限承载力时，试件上发展了非常多的竖向裂缝，随后荷载开始逐渐下降，直至竖向裂缝发展到贯通试件两端，最后短柱两端混凝土被压碎，试验结束。

加固试件的破坏形式与未加固试件不同，加载初期没有明显变形；随着加载的继续，当达到素混凝土的抗压强度值的时候，碳纤维丝开始断裂，发出微弱的声响，但没有明显的破坏现象，由此可见混凝土柱的刚度得到提升；继续加载，达到试块的极限荷载后，碳纤维布局部发生断裂，与混凝土分离，试块发生脆性破坏。



Figure 2. Failure modes of the specimen  
图 2. 加固试件破坏形态

### 3.2. 承载力分析

所有试件的极限承载力见表2。由表2可以看出，混凝土柱经过碳纤维布加固后，其极限承载力得到较为显著的提高。在加载初期，由于此时混凝土的应力较小，在轴向荷载作用下横向变形可忽略不计，此阶段碳纤维布还未发挥作用，不受侧向力且对试件没有约束作用。随着继续加载，试件开始产生微小裂缝，此时应变的增长速度高于应力。到加载后期，混凝土柱开裂破碎，混凝土已经退出工作，只能依靠周围的侧向约束力予以承载。

当混凝土柱截面形式为圆柱时，与对照组相比，加固一层碳纤维布的混凝土柱承载力提高108.1%，加固两层碳纤维布的混凝土柱承载力提高203.8%；当混凝土柱截面形式为方柱时，与对照组相比，加固一层碳纤维布的混凝土柱承载力提高19.6%，加固两层碳纤维布的混凝土柱承载力提高29.4%。可见加固层数越多，对混凝土柱承载力提高程度越大，且碳纤维布加固对圆柱的加固效果远远高于对方柱的加固效果。

### 3.3. 荷载位移曲线分析

试件的荷载 - 位移曲线如图3所示，与未加固的对照试件相比，在相同荷载作用下所有加固试件的竖向位移普遍有所降低，说明碳纤维布加固方法可以有效的提高混凝土柱的刚度。在加载初期，碳纤维布应变较小，还没有发挥显著作用，随着荷载的增加，加固试件的竖向变形明显小于对照组试件的变形，说明纤维布在环向上产生了明显的约束作用。当达到极限承载力后，碳纤维布断裂，对混凝土的约束作用就突然消失，混凝土试件破坏。其中，经过碳纤维布加固的圆柱试件在碳纤维布发生作用时，碳纤维布的环向约束力均匀的分布在混凝土圆柱的侧壁，受力均匀不容易发生破坏，加固效果明显；而经过碳纤维布加固的方柱试件在碳纤维布发生作用时，由于其截面形式的不同，在两个侧壁之间的拐角处属于受力薄弱区，这个时候的环向约束力大部分作用在了这个拐角处，出现应力集中，使得这个区域的混凝土先发生破坏，从图2中可以看出，方柱试件混凝土破坏最先出现在短柱两端的拐角处。

由此可见，不同的柱截面形式对碳纤维布加固效果具有较大的影响。混凝土圆柱试件由于其圆形的截面形式，恰好适应碳纤维布的环向约束力，使混凝土柱外表和碳纤维布充分接触，并且不存在受力薄弱区；而混凝土方柱试件由于两侧面之间的拐角部位较为薄弱，对受力十分不利，故加固效果没有那么明显。除此之外，碳纤维布加固层数对混凝土短柱极限承载力提高较为明显，且加固效果随着加固层数的增加而增大，但加固效果的增大与层数不成正比。

### 3.4. 应变分析

由图4可看出,对混凝土柱进行加固后,在加载初期,所有试件的应力-应变曲线差别不大。随着荷载的增大,加固试件的环向应变明显低于未加固对照组试件,加固层数为两层的相比一层的环向应变降低的更为明显。说明CFRP加可以改善混凝土柱环向变形。

从图4可以看出,随着荷载的增大,经过碳纤维布加固后的混凝土柱竖向应变明显小于未加固试件的应变,且经过两层加固的试件应变减小程度高于经过一层加固的试件,但应变减小程度不与加固层数成正比,说明碳纤维加固对试件有环向约束的作用,进而减小混凝土短柱的环向变形和纵向变形,且两层加固对试件的约束作用大于一层加固。对比加固后的圆柱试件和方柱试件,发现在加固层数相同的情况下,加固后圆柱的应变小于加固后方柱的应变,说明碳纤维布加固对圆柱的约束作用更显著。

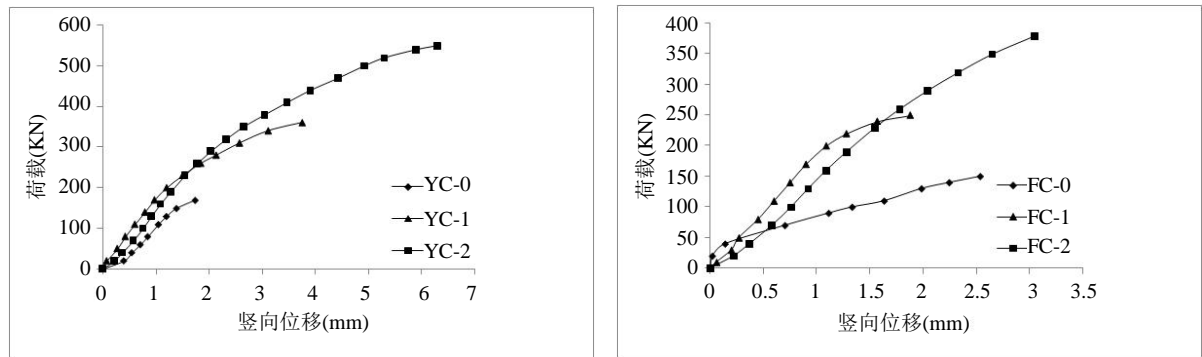


Figure 3. Load-axial displacement curves

图 3. 荷载 - 竖向变形曲线

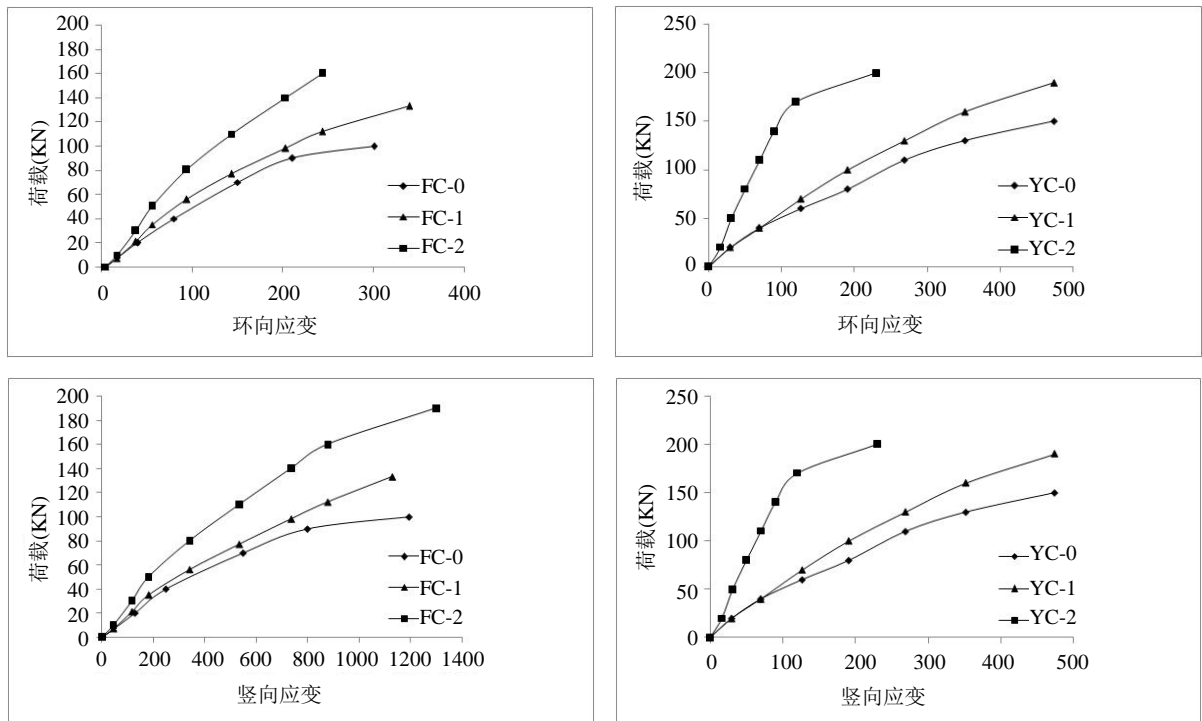


Figure 4. Stress-axial displacement curves of specimen

图 4. 混凝土的应力 - 应变曲线

## 4. 结论

本文对比研究了采用不同层数CFRP加固混凝土短圆柱和混凝土短方柱的轴压性能,对比分析了其极限承载力和荷载位移曲线,以及对柱中环向和竖向的应变进行了分析,得出以下结论:

- 1) 采用CFRP对混凝土短柱进行加固能够有效提高其极限承载力和刚度,且随着加固层数的增加,加固效果越明显;
- 2) 不同截面形式的混凝土短柱对CFRP加固的敏感度不同,碳纤维布对混凝土圆柱的加固效果远远大于对混凝土方柱的加固效果;
- 3) 混凝土柱经过CFRP加固后,刚度和极限承载力提高,但当荷载达到极限承载力时候,试件发生脆性破坏,即牺牲了试件的延性;
- 4) 从环向和轴向的应变可以看出,经过CFRP加固可以明显的提高混凝土柱的刚度,在弹性阶段和塑性阶段都得到了一定幅度的增强。

## 参考文献 (References)

- [1] 胡长青, 陈尚建 (2009) 粘钢加固轴心受压钢筋混凝土短柱的试验研究. *武汉理工大学学报*, **31**, 81-84.
- [2] 李殿平, 孙小巍, 李整建 (2011) 碳纤维布加固混凝土柱的研究与实践. *江苏建筑*, **3**, 36-37.
- [3] 董江峰, 王清远, 邱慈长, 等 (2010) 外贴碳纤维布加固加固混凝土梁断裂特性的试验研究. *土木工程学报*, **S2**, 76-82.
- [4] Wang, Y.C. and Hsu K. (2009) Design recommendations for the strengthening of reinforced concrete beam with externally bonded composite plates. *Composite Structures*, **88**, 323-332.
- [5] Lee, T.K. and Al-Mahaidi, R. (2008) An experimental investigation on shear behaviour of RC T-beams strengthened with CFRP using photogrammetry. *Composite Structures*, **82**, 185-193.
- [6] Costa, I.G. and Barros, J.A.O. (2010) Flexural and shear strengthening of RC beams with composite materials—The influence of cutting steel stirrups to install CFRP strips. *Cement & Concrete Composites*, **32**, 544-553.
- [7] Rafi, M.M., Nadjai, A., Ali, F. and Talamona, D. (2008) Aspects of behaviour of CFRP reinforced concrete beams in bending. *Construction and Building Materials*, **22**, 277-285.
- [8] 袁书成, 梁危, 王清远, 朱艳梅 (2013) 横向应变对复合材料加固木柱极限承载力计算分析. *建筑结构*, **S1**, 806-810.