



CECS 146:2003

中国工程建设标准化协会标准

碳纤维片材加固修复混凝土结构 技术规程

**Technical specification for strengthening concrete structures with carbon
fiber reinforced polymer laminate**

前 言

根据中国工程建设标准化协会(98)建标协字第13号文的要求,由国家工业建筑诊断与改造工程技术研究中心(冶金工业部建筑研究总院)和四川省建筑科学研究院会同有关单位共同编制了本规程。

本规程包括总则、术语及符号、材料、加固设计计算方法和构造要求、施工、检验与验收以及附录等内容。本本是在总结近年来国内各高校和科研单位的研究成果以及各设计、施工施工单位采用碳纤维片材进行结构加固的实践经验,参考国外大量相关资料,并进行了大量试算和调研的基础上研制的。

根据国家计委计标[1986]649号文《关于请中国工程建设标准化委员会负责组织推荐性工程建设标准试点工作的通知》要求,现批准协会标准《碳纤维片材加固结构技术规程》,编号为CECS146:2003,推荐给工程设计、施工、使用单位采用。本规程由中车工程建设标准化协会建筑物鉴定与加固委员会归口管理,由国家工业建筑诊断与改造工程技术研究中心(北京市海淀区西土城路33号中冶集团建筑研究总院内,邮编:100088)负责解释。在使用中如发现需要修改或补充之处,请将意见和资料径寄解释单位。

主编单位:国家工业建筑诊断与改造工程技术研究中心

副主编单位:四川省建筑科学研究院

参编单位:清华大学、中国电子工程设计院、中国建筑科学研究院、同济大学、武汉钢铁(集团)公司、西安建筑科技大学、武汉大学、东南大学、江苏省建筑科学研究院、上海加固建筑材料有限公司

主要起草人:岳清瑞 叶列平 罗苓隆 陈小兵 李 荣 娄 宇 胡孔国
陈 瑜 颜子涵 陈义军 张 誉 张小冬 马永欣 高作平
张继文 张 轲 毛星明 沈 琨 顾瑞南 杨勇新 涂庆胜

中国工程建设标准化协会

2003年3月31日

目 次

前 言.....	3
1 总 则.....	6
2 术语、符号.....	6
2.1 术 语.....	6
2.2 符 号.....	7
3 材 料.....	8
3.1 材料种类及一般要求.....	8
3.2 碳纤维片材.....	8
3.3 配套树脂类粘结材料.....	9
3.4 表面防护材料.....	10
4 设计规定.....	10
4.1 一般规定.....	10
4.2 一般构造要求.....	11
4.3 受弯加固.....	12
4.4 受剪加固.....	18
4.5 柱的抗震加固.....	20
5 施工规定.....	21
5.1 一般规定.....	21
5.2 施工准备.....	21
5.3 表面处理.....	21
5.4 涂刷底层树脂.....	22
5.5 找平处理.....	22
5.6 粘贴碳纤维片材.....	22

5.7	表面防护.....	23
5.8	施工安全及注意事项.....	23
6	检验与验收.....	23
附录A	碳纤维片材配套树脂类粘结材料与混凝土的正拉粘结强度测定方法	24
A.1	适用范围.....	24
A.2	试验设备和试样.....	24
A.3	试验条件.....	26
A.4	试验步骤.....	26
A.5	试验结果.....	26
附录B	碳纤维片材加固混凝土结构施工质量现场检验方法.....	28
B.1	适用范围.....	28
B.2	试验设备和试样.....	28
B.3	试验步骤.....	29
B.4	试验结果.....	29
	本规程用词说明.....	31

1 总 则

- 1.0.1 为使采用碳纤维片材加固修复混凝土结构技术做到技术先进、安全适用、经济合理、确保质量，制定本规程。
- 1.0.2 本规程适用于房屋和一般构筑物的混凝土结构加固修复设计、施工和验收；铁路工程、公路工程、港口工程和水利水电等工程混凝土结构的加固修复及砌体结构、木结构加固修复中的共性技术问题，可参照本规程的有关规定执行。
- 1.0.3 采用粘贴碳纤维片材加固修复混凝土结构的设计、施工及验收，除应符合本规程的规定外，尚应遵守国家现行有关标准和规范的规定。
- 1.0.4 采用粘贴碳纤维片材加固修复的混凝土结构，长期使用环境温度不应高于60℃。对处于特殊环境（腐蚀、放射、高温等）下的混凝土结构采用碳纤维片材进行加固修复时，还应遵守相应的国家现行有关标准和规范的规定，并采取相应的防护措施。
- 1.0.5 采用碳纤维片材加固修复混凝土结构前，应按照国家现行有关标准和规范对原有结构进行检测鉴定或评估。
- 1.0.6 采用粘贴碳纤维片材加固修复混凝土结构时，应由对该加固修复方法有经验的设计人员进行设计，并应由专业施工队伍进行施工。

2 术语、符号

2.1 术 语

- 2.1.1 碳纤维片材 Carbon Fiber Reinforced Polymer Laminate
碳纤维布和碳纤维板的总称。
- 2.1.2 碳纤维布 Carbon Fiber Sheet
碳纤维布为连续碳纤维单向或多向排列、未经树脂浸渍的布状碳纤维制品。
- 2.1.3 碳纤维板 Carbon Fiber Plate
碳纤维板为连续碳纤维单向或多向排列、并经树脂浸渍固化的板状碳纤维制品。
- 2.1.4 底层树脂 Primer
用于基底处理的树脂。
- 2.1.5 找平材料 Putty Fillers
用于对加固构件表面进行找干处理的材料。
- 2.1.6 漫渍树脂 Saturating Resin

用于粘贴并浸透碳纤维布的树脂。

2.1.7 粘结树脂 Adhesives

用于粘贴碳纤维板的树脂。

2.2 符 号

2.2.1 作用效应和抗力

M ——弯矩设计值；

M_i ——加固前受弯构件计算截面上实际作用的实始弯矩；

V_b ——梁的剪力设计值；

V_c ——柱的剪力设计值；

σ_{cf} ——碳纤维片材的拉应力；

ε_{cf} ——碳纤维片材的拉应变；

ε_i ——考虑二次受力影响时，加固前构件在初始弯矩作用下，截面受拉边缘混凝土的初始应变；

ε_{cfu} ——达到受剪承载能力极限状态时碳纤维片材的应变。

2.2.2 材料性能

E_{cf} ——碳纤维片材的弹性模量；

f_{cfk} ——碳纤维片材的抗拉强度标准值；

f_{cf} ——碳纤维片材的抗拉强度设计值；

ε_{cfu} ——碳纤维片材的极限拉应变；

$[\varepsilon_{cf}]$ ——碳纤维片材的允许拉应变；

τ_{cf} ——碳纤维片材与混凝土间的粘结强度设计值。

2.2.3 几何参数

A_{cf} ——受拉面上粘贴的碳纤维片材的截面面积；

b_{cf} ——受拉面上粘贴的碳纤维片材的宽度；

h_{cf} ——侧面粘贴碳纤维片材的高度；

h_{cf0} ——侧面粘贴碳纤维片材的截面面积形心至受压区外边缘的距离；

l_d ——碳纤维片材从强度充分利用截面向外延伸所需的粘结长度；

s_{cf} ——碳纤维片材条带的净间距；

t_{cf} ——单层碳纤维片材的厚度；

ω_{cf} ——碳纤维片材条带的宽度。

2.2.4 计算系数及其它

k_m ——碳纤维片材厚度折减系数；

n_{cf} ——碳纤维片材的粘贴层数；

φ ——碳纤维片材受剪加固形式系数；

υ ——碳纤维片材的有效约束系数；

ξ_{cfb} ——碳纤维片材达到其允许拉应变与混凝土压坏同时发生时的界限相对受压区高度；

λ_b ——梁受剪截面的剪跨比；

λ_c ——柱的剪跨比；

ρ_v ——总折算体积配箍率。

其它符号参观一行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010。

3 材 料

3.1 材料种类及一般要求

3.1.1 采用粘贴碳纤维片材对混凝土结构进行加固修复时，应使用碳纤维片材、配套树脂类粘结材料及表面防护材料。

3.1.2 加固修复用材料应具有产品合格证和质检部门的产品性能检测报告：碳纤维片材及配套树脂类粘结材料应具有符合本规程第3.3节规定的物理力学性能指标；配套树脂类粘结材料还应提供耐久性能指标及施工和使用环境要求。

3.1.3 混凝土、钢筋及其它材料的有关设计指标应按国家现行有关标准和规范采用。

3.1.4 本规程所列碳纤维片材的性能指标是对单向碳纤维片材的要求，双向或多向碳纤维片材的指标要求可以参照执行。

3.2 碳纤维片材

3.2.1 碳纤维布的抗拉强度应按纤维的净截面积计算，净截面积取碳纤维布的计算厚度乘以宽度，碳纤维布的计算厚度为碳纤维布的单位面积质量除以碳纤维密度；

碳纤维板的性能指标应按板的截面（含树脂）面积计算，截面（含树脂）面积取实测厚度乘以宽度。

3.2.2 碳纤维片材的主要力学性能指标要求。

表 3.2.2 碳纤维片材的主要力学性能指标

性能项目	碳纤维布	碳纤维板
抗拉强度标准值 f_{cfk}	$\geq 3000\text{MPa}$	$\geq 2000\text{MPa}$
弹性模量 E_{cf}	$\geq 2.1 \times 10^5\text{MPa}$	$\geq 1.4 \times 10^5\text{MPa}$
伸长率	$\geq 1.5\%$	$\geq 1.5\%$

3.2.3 碳纤维片材的主要力学性能只要参照现行国家标准《定向纤维增强塑料拉伸性能试验方法》GB/T 3354 测定。

3.2.4 单层纤维布单位面积碳纤维质量不宜低于 $150\text{g}/\text{m}^2$ 。且不宜高于 $450\text{g}/\text{m}^2$ 。在施工质量有可靠保证时，单层碳纤维布单位面积碳纤维质量可提高到 $600\text{g}/\text{m}^2$ 。

3.2.5 碳纤维板的厚度不宜大于 2.0mm ，宽度不宜大于 200mm ，纤维体积不宜小于 60% 。

3.3 配套树脂类粘结材料

3.3.1 采用探险为片材对混凝土结构进行加固修复时，应采用配套底层树脂、找平材料、浸渍树脂和粘结树脂。

3.3.2 配套树脂类粘结材料的主要性能指标应满足表 3.3.2-1、表 3.3.2-2 和表 3.3.2-3 的要求。

表 3.3.2-1 底层树脂性能指标

性能	性能指标要求	试验方法
正拉粘结强度	$\geq 2.5\text{MPa}$ 且不小于被加固混凝土抗拉强度的标准值 f_{tk}	附录A

表 3.3.2-2 找平材料性能指标

性能	性能指标要求	试验方法
正拉粘结强度	$\geq 2.5\text{MPa}$ 且不小于被加固混凝土抗拉强度的标准值 f_{tk}	附录A

表 3.3.2-3 浸渍树脂和粘结树脂性能指标

性能	性能指标要求	试验方法
拉伸剪切强度	$\geq 10\text{MPa}$	GB 7124-86
拉伸强度	$\geq 30\text{MPa}$	GB/T 2568-1995
压缩强度	$\geq 70\text{MPa}$	GB/T 2569-1995
弯曲强度	$\geq 40\text{MPa}$	GB/T 2570-1995
正拉粘结强度	$\geq 2.5\text{MPa}$ 且不小于被加固混凝土抗拉强度的标准值 f_{tk}	附录A
弹性模量	$\geq 1500\text{MPa}$	GB/T 2568-1995
伸长率	$\geq 1.5\%$	GB/T 2568-1995

3.3.3 配套树脂类粘结材料应按附录 A 进行粘结强度测定。配套树脂类粘结材料应参照《机械工业产品用塑料、涂料、橡胶材料人工气候加速实验方法》GB/T14522-93 规定的环境条件进行耐久性检验，经 2000h 的加速老化后，按附录 A 进行正拉粘结强度试验，要求粘结强度不明显降低。

3.4 表面防护材料

3.4.1 对已加固修复完的结构表面应进行防护处理，表面防护材料应与浸渍树脂或粘结树脂可靠粘结。

3.4.2 选用的防火材料及其处理方法应使加固后建筑物达到要求的防火等级。

3.4.3 当被加固结构处于其它特殊环境时，应根据具体情况选择有效的防护材料。

4 设计规定

4.1 一般规定

4.1.1 采用粘贴碳纤维片材加固混凝土结构时，应通过配套粘结材料将碳纤维片材粘贴于构件表面，使碳纤维片材承受拉力，并与混凝土变形协调，共同受力。

4.1.2 碳纤维片材可采用下列方式对混凝土结构构件进行加固：

1 在梁、板构件的受拉区粘贴碳纤维片材进行受弯加固，纤维方向与加固处的受拉方向一致。

2 采用封闭式粘贴、U形粘贴或侧面粘贴对梁、柱构件进行受剪加固，纤维方向

宜与构件轴向垂直。

3 采用封闭式粘贴对柱进行抗震加固，纤维方向与柱轴向垂直。

4 当有可靠依据时，碳纤维片材也可用于其它形式和其它受力状况的混凝土结构构件的加固。

4.1.3 采用粘贴碳纤维片材加固混凝土结构时，应按国家现行有关标准采用以概率理论为基础的极限状态设计法进行承载力极限状态计算和正常使用极限状态验算。

钢筋和混凝土材料宜根据检测得到的实际强度，按国家现行有关标准确定其相应的材料强度设计指标。

碳纤维片材应根据构件达到极限状态时的应变，按线弹性应力应变关系确定其相应的应力。

4.1.4 碳纤维片材应取生产厂提供的不小于 95%保证率的极限抗拉强度作为抗拉强度标准值 f_{cfk} 。

碳纤维片材的极限拉应变 ε_{cfu} 应取其抗拉强度标准值 f_{cfk} 除以弹性模量 E_{cf} 。

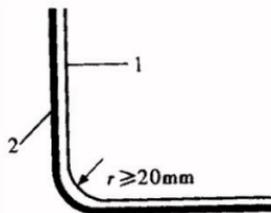
4.1.5 当采用粘贴碳纤维片材对结构或构件进行加固时，应考虑加固后对结构中其它构件或构件的其它性能可能产生的影响。

4.1.6 采用粘贴碳纤维片材进行结构加固时，宜卸除作用在结构上的活荷载。如不能在完全卸载条件下进行加固，应考虑二次受力的影响。

4.1.7 在受弯加固和受剪加固时，被加固混凝土结构和构件的实际混凝土强度等级不应低于C15。采用封闭粘贴碳纤维片材加固混凝土柱时，混凝土强度等级不应低于C10。

4.2 一般构造要求

4.2.1 当碳纤维布沿其纤维方向需绕构件转角粘贴时，构件转角处外表面的曲率半径不应小于 20mm (图 4.2.1)。



4.2.2 碳纤维布沿纤维受力方向的搭接长度不应小于 100mm。当采用多条或多层碳纤维布加固时，各条或各层碳纤维布的搭接位置宜相互错开。

4.2.3 为保证碳纤维片材可靠地与混凝土共同工作，必要时应采取附加锚固措施。

4.3 受弯加固

4.3.1 采用碳纤维片材对梁、板构件进行受弯加固时的承载力计算，除应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 对受弯构件正截面承载力计算的基本假定外，尚应符合下列要求：

1 构件达到受弯承载能力极限状态时，碳纤维片材的拉应变按截面应变保持平面的假定确定，但不应超过碳纤维片材的允许拉应变 $[\epsilon_{cf}]$ ；

2 当考虑二次受力影响时，应根据加固时的荷载状况，按截面应变保持平面的假定计算加固前受拉区边缘混凝土的初始应变 ϵ_i ；

3 碳纤维片材的拉应力 σ_{cf} 应取碳纤维片材弹性模量 E_{cf} 与其拉应变 ϵ_{cf} 的乘积 $E_{cf} \epsilon_{cf}$ ；

4 在达到受弯承载能力极限状态前，碳纤维片材与混凝土之间不发生粘结剥离破坏。

4.3.2 在矩形截面受弯构件的受拉面上粘贴碳纤维片材进行受弯加固时，其正截面受弯承载力应按下列公式计算：

1 当混凝土受压区高度 x 大于 $\xi_{cb}h$ ，且小于 $\xi_b h_0$ 时（图 4.3.2a）

$$M \leq f_c b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + f_y' A_s' (h_0 - a') + E_{cf} \epsilon_{cf} A_{cf} (h - h_0) \quad (4.3.2-1)$$

混凝土受压区高度 x 和受拉面上碳纤维片材的拉应变 ϵ_{cf} 应按下列公式确定：

$$\begin{cases} f_c b x = f_y A_s - f_y' A_s' + E_{cf} \epsilon_{cf} A_{cf} & (4.3.2-2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} x = \frac{0.8 \epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_{cf} + \epsilon_i} & (4.3.2-3) \end{cases}$$

2 当混凝土受压区高度 x 不大于 $\xi_{cb}h$ 时（图 4.3.2b）

$$M \leq f_y A_s (h_0 - 0.5 \xi_{cb} h) + E_{cf} [\epsilon_{cf}] A_{cf} h (1 - 0.5 \xi_{cb}) \quad (4.3.2-4)$$

3 当混凝土受压区高度 x 小于 $2a'$ 时，

$$M \leq f_y A_s (h_0 - a') + E_{cf} [\epsilon_{cf}] A_{cf} (h - a') \quad (4.3.2-5)$$

式中 M ——包含初始弯矩的总弯矩设计值；

A_s 、 A'_s ——受拉钢筋、受压钢筋的截面面积；

A_{cf} ——受拉面上粘贴的碳纤维片材的截面面积；

f_y 、 f'_y ——受拉钢筋和受压钢筋的抗拉、抗压强度设计值；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值；

ε_{cf} ——碳纤维片材的弹性模量；

x ——等效矩形应力图形的混凝土受压区高度；

ξ_{cfb} ——碳纤维片材达到其允许拉应变与混凝土压坏同时发生时的界限相对

受压区高度，取 $\frac{0.8\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + [\varepsilon_{cf}] + \varepsilon_i}$ ；

ε_{cu} ——混凝土极限压应变，取0.0033；

ε_i ——考虑二次受力影响时，加固前构件在初始弯矩作用下，截面受拉边缘混凝土的初始应变，按本规程第4.3.4条计算；当可以不考虑二次受力时，取0；

ε_{cfu} ——碳纤维片材的极限拉应变；

$[\varepsilon_{cf}]$ ——碳纤维片材的允许拉应变，取 $k_m \varepsilon_{cfu}$ ，且不应大于碳纤维片材极限拉应变的2/3和0.01两者中的较小值；

ε_{cf} ——碳纤维片材的拉应变；

k_m ——碳纤维片材厚度折减系数，取 $1 - \frac{n_{cf} E_{cf} t_{cf}}{420000}$ 其中， t_{cf} 的单位取mm， E_{cf} 的单位取MPa；

n_{cf} ——碳纤维片材的层数；

t_{cf} ——单层碳纤维片材的厚度；

b 、 h ——截面宽度、高度；

h_0 ——截面的有效高度；

a' ——受压钢筋截面重心至混凝土受压区边缘的距离。

图4.3.2中， x_n ，为实际混凝土受压区高度。

4.3.3 对翼缘位于受压区的T形截面受弯构件，当在其受拉面粘贴碳纤维片材进行受弯加固时，应按本规程第4.3.2条的原则和现行国家标准《混凝土结构设计规范》

GB 50010 关于T形截面构件受弯承载力的计算方法进行计算和验算。

半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/495142300223011202>

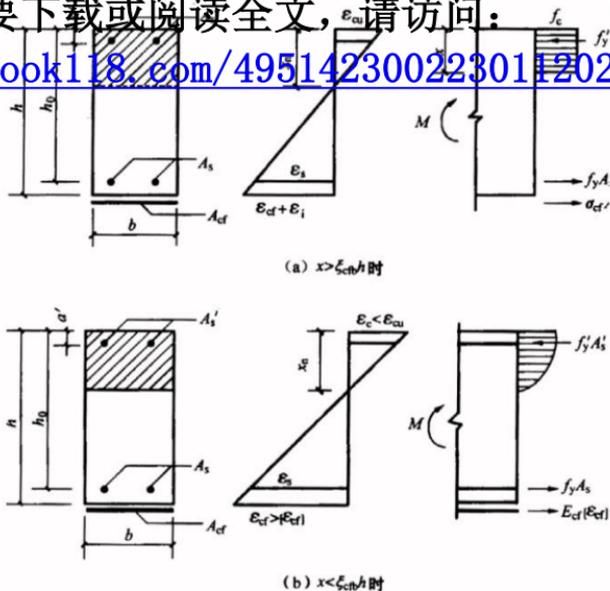


图 4.3.2 矩形截面正截面受弯承载力计算

4.3.4 考虑二次受力影响时，加固前在初始弯矩 M_i 作用下，截面受拉边缘混凝土的初始应变 ϵ_i 应按下列公式计算：

$$\epsilon_i = \frac{h}{h_0}(\epsilon_{ci} + \epsilon_i) - \epsilon_{ci} \quad (4.3.4-1)$$

$$\epsilon_{ci} = \frac{M_i}{\zeta \bullet E_c b h_0^2} \quad (4.3.4-2)$$

$$\epsilon_{si} = \frac{\psi}{\eta} \bullet \frac{M_i}{E_s A_s \bullet h_0} \quad (4.3.4-3)$$

$$\zeta = \frac{(1 + 3.5\gamma_f')\alpha_E \rho}{0.2(1 + 3.5\gamma_f') + 6\alpha_E \rho} \quad (4.3.4-4)$$

$$\psi = 1.1 - 0.65 \frac{f_{tk}}{\sigma_{si} \rho_{te}} \quad (4.3.4-5)$$

$$\sigma_{si} = \frac{M_i}{A_s \bullet \eta h_0} \quad (4.3.4-6)$$