

粘贴CFRP布加固梁改用高效预应力方法加固的计算方法

李俊豪¹, 赵旭阳², 李延和^{1*}

¹南京工业大学土木工程学院, 江苏 南京

²江苏九九项目管理有限公司, 江苏 南京

收稿日期: 2022年5月11日; 录用日期: 2022年5月24日; 发布日期: 2022年5月31日

摘要

本文针对原设计采用粘贴碳纤维加固梁因特殊原因改用高效预应力加固法的工程实例, 基于受弯构件正截面承载力加固计算的统一公式法的显式表达和通过分析研究, 提出了粘贴碳纤维布加固改为高效预应力加固的计算方法。通过算例证明了本文方法的适用性。

关键词

粘贴碳纤维布加固法, 弯矩加固量, 统一公式法, 高效预应力加固法

The Calculation Method of Using High-Efficiency Prestressing Method to Strengthen Beams Reinforced with CFRP Sheets

Junhao Li¹, Xuyang Zhao², Yanhe Li^{1*}

¹College of Civil Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing Jiangsu

²Jiangsu Jiujiu Project Management Limited Company, Nanjing Jiangsu

Received: May 11th, 2022; accepted: May 24th, 2022; published: May 31st, 2022

Abstract

Based on the original design with pasting carbon fiber reinforcement beam due to special reasons

*通讯作者。

文章引用: 李俊豪, 赵旭阳, 李延和. 粘贴 CFRP 布加固梁改用高效预应力方法加固的计算方法[J]. 土木工程, 2022, 11(5): 776-781. DOI: 10.12677/hjce.2022.115083

to switch to efficient prestressed reinforcement method of engineering examples, based on the unification of the bearing capacity of normal section flexural member reinforced calculation formula method, the explicit expression and through the analysis, and puts forward the pasting CFRP reinforcement to efficient prestressed reinforcement calculation method. The applicability of the proposed method is illustrated by examples.

Keywords

Sticking Carbon Fiber Sheets Reinforcement Method, Bending Moment Reinforcement, Unified Formula Method, High Efficiency Prestressed Reinforcement Method

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,既有建筑的更新改造已成为工程建设的主流之一。工程改造加固技术得以快速发展[1],其中体外预应力加固技术[2] [3]和粘贴 CFRP 加固技术[4]是最有效的加固技术。

无锡某厂精密仪器车间原设计(加固)采用粘贴碳纤维加固混凝土框架大梁见图 1 (本工程共有四层需加固,示意图为之中第三层)。因业主要求不停产加固施工,原设计的粘贴碳纤维加固法施工过程中须打磨梁侧面及底面,会产生大量灰尘,进而影响精密仪器车间的生产。同时因楼板面已经装修,在板面粘贴碳纤维也会产生粉尘且破坏装修而影响生产。高效预应力加固法施工仅需要在次梁上钻孔穿钢绞线,所产生的少量粉尘可采用吸尘式电锤施工,同时仅在次梁上穿钢绞线可避免破坏地面装饰层,做到了保持洁净满足精密仪器车间正常生产的要求。因此,将原设计粘贴 CFRP 加固改为高效预应力加固。

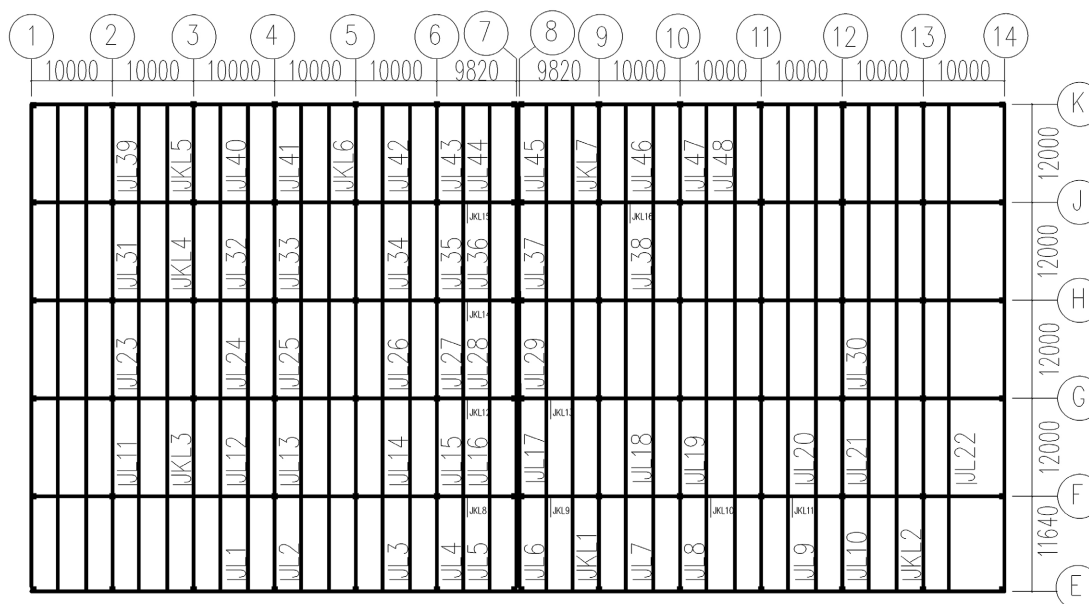


Figure 1. Plan of the third floor

图 1. 三层平面图

由于原加固设计单位办公场所搬迁资料遗失而提供不出原加固设计计算书，本次修改加固设计只能以原加固设计施工图和原始结构设计施工图为依据，进行修改加固计算。

文献[2]提出了混凝土结构高效预应力结构加固法计算理论和设计方法，文献[5]提出了混凝土受弯构件加固计算的统一公式法，将高效预应力加固法、粘贴钢板加固法、粘贴碳纤维加固法、扩大截面加固法以及预应力钢绞线与高强复合砂浆复合加固法等统一在显示表达的一组公式中，形成了受弯构件加固计算的统一公式法。本文基于统一公式法理论推导，将粘贴 CFRP 加固法改为高效预应力加固法的计算公式并应用于上述工程中。

2. 加固计算公式推导

图 2 为统一公式法承载力的计算简图。

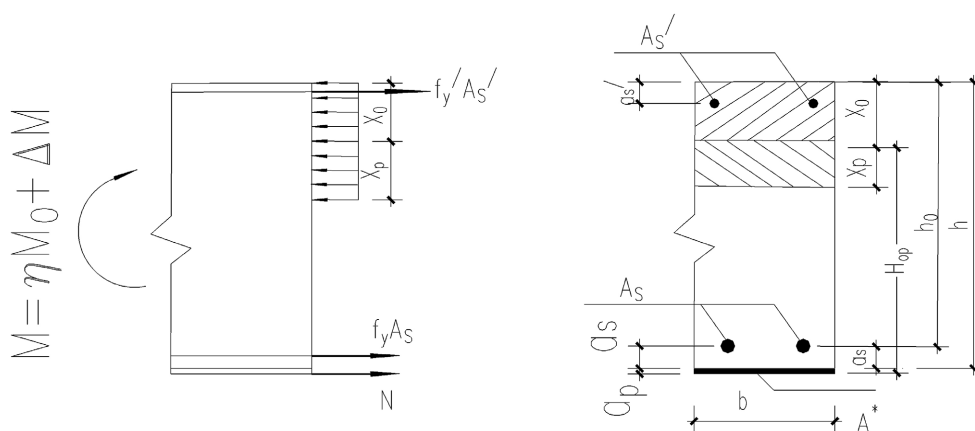


Figure 2. Calculation diagram of bearing capacity
图 2. 承载力的计算简图

文献[2]给出了如下基本公式(公式中符号及参数定义见图 2):

$$H_{op} = c + \eta(h + a_p - c) - x_0 \quad (1)$$

$$x_p = H_{op} - \sqrt{H_{op}^2 - \frac{2\Delta M}{\alpha_1 f_c b}} \quad (2)$$

$$N_t = \alpha_1 f_c b x_p \quad (3)$$

$$A^* = N / [\sigma] \quad (4)$$

式中 c ——中性轴高度;

h ——原梁高度;

a_p ——加固材料受力合力点到原梁受拉边缘的距离;

x_0 ——原梁计算受压区高度。

原设计为粘贴 CFRP 布加固梁改为采用高效预应力方法加固时其计算方法可基于统一公式法[2]的理论推导得出。

2.1. 采用粘贴 CFRP 布加固

偏心增大系数 $\eta = 1.0$ ，CFRP 布拉力用 N_f 表示，截面积用 A_f 表示，其抗拉强度允许值按下式计算。

$$[\sigma] = \psi_f f_f \quad (5a)$$

$$\psi_f = (0.8\varepsilon_{cu} h/x_0 - \varepsilon_{cu} - \varepsilon_{f_0}) / \varepsilon_f \quad (5b)$$

式中 ψ_f ——加固材料强度利用系数;

f_f ——CFRP 布抗拉强度设计值;

ε_{cu} ——混凝土极限压应变, 取为 0.0033;

ε_{f_0} ——碳纤维复合材料拉应变设计值。

2.2. 采用高效预应力方法加固

按加固要求计算确定偏心增大系数 $\eta = 1.05$, 预应力筋拉力用 N_i 表示, 截面积用 A_p 表示, 抗拉强度允许值按下式计算。

$$\sigma_{pu} = \sigma_{con} - \sum \sigma_{pi} + \Delta\sigma \quad (6)$$

式中 σ_{con} 为张拉控制应力。高效预应力加固时, 由于钢绞线弯曲后产生内应力以及转向块对钢绞线的横向挤压作用会使钢绞线的极限强度降低[5]。因此, 选用 1860 级钢绞线时, 可简化取:

$$\sigma_{con} = 0.55f_{ptk}, \sum \sigma_{pi} = 200 \text{ MPa}, \Delta\sigma = 50 \text{ MPa}$$

得:

$$[\sigma] = 0.55f_{ptk} - 150 \quad (7)$$

2.3. 将粘贴 CFRP 布加固改高效预应力加固

1) 计算被加固梁的 ΔM

依据公式(1)~(4)得:

$$\Delta M = (2x_p H_{op} - x_p^2) \frac{\alpha_1 f_c b}{2} \quad (8a)$$

$$H_{op} = h - x_0 \quad (8b)$$

$$x_p = \psi_f f_f A_f / (\alpha_1 f_c b) \quad (8c)$$

2) 计算改用高效预应力方法加固时, 预应力钢绞线面积 A_p

因为高效预应力加固法存在偏心增大效应 $\eta = 1.05$, 对矩形截面 $c = h/2$, 且加固材料受力合力点到原梁受拉边缘的距离 $a_p > 0$ 。

$$H_{op} = 1.025h + 1.05a_p - x_0 \quad (9)$$

则, 公式(8)算出的 ΔM 和公式(9)中算出的 H_{op} 代入公式(2)中求出高效预应力加固法的 x_p , 高效预应力加固法的预应力钢绞线面积 A_p 按下式求出:

$$A_p = \alpha_1 f_c b x_p / (0.55f_{ptk} - 150) \quad (10)$$

3) 计算钢绞线根数 n :

$$n = \begin{cases} A_p / 140 \text{ 选用 } \Phi^s 15.2 \text{ 钢绞线时} \\ A_p / 98.7 \text{ 选用 } \Phi^s 12.7 \text{ 钢绞线时} \end{cases} \quad (11)$$

因高效预应力加固梁时的钢绞线必须对称布置, 设计时 n 取整且为偶数。

3. 算例(以③轴线 F-G 梁 F 支座负弯矩加固为例)

3.1. 原梁参数

原框架梁 $bh = 300 \text{ mm} \times 950 \text{ mm}$ ，混凝土强度等级 C35， $f_c = 16.7 \text{ MPa}$ ，洩钢筋， $f_y = 360 \text{ MPa}$ ，支座上部 9 洩 25， $A_s = 4418 \text{ mm}^2$ ， $a_s = 60 \text{ mm}$ ，支座下部 4 洩 22 + 4 洩 25， $A_s = 760 + 1964 = 2724 \text{ mm}^2$ ， $a_p = 45 \text{ mm}$ ，原加固方案采用碳纤维加固 2T350， $f_f = 1600 \text{ MPa}$ ，厚度为 0.167 mm 。

3.2. 反算 ΔM

1) 计算原梁 x_0

$$x_0 = (f_y A_s - f'_y A'_s) / (\alpha_1 f_c b) = 360 \times (4418 - 2724) / (16.7 \times 300) = 121.73 \text{ mm}$$

2) 计算原碳纤维加固的等效拉力 N_f

在不考虑二次受力影响时，本文二次受力系数 $\varepsilon_{f0} = 0$ ，

强度利用系数：

$$\psi_f = (0.8 \varepsilon_{cu} h / x_0 - \varepsilon_{cu} - \varepsilon_{f0}) / \varepsilon_f = \left[\left(\frac{0.8 \times 0.0033 \times 0.95}{0.12173} \right) - 0.0033 \right] / 0.01 = 1.73$$

当 $\psi_f > 1.0$ 时，取 $\psi_f = 1.0$ ；

$$A_f = 2 \times 350 \times 0.167 = 116.9 \text{ mm}^2$$

$$N_f = \psi_f f_f A_f = 1.0 \times 116.9 \times 1600 = 163.66 \text{ kN}$$

3) 计算粘贴碳纤维布加固时 H_{op}, x_p

$$H_{op} = h - x_0 = 950 - 121.73 = 828.27 \text{ mm}$$

$$x_p = N_f / (\alpha_1 f_c b) = 163.66 \times 10^3 / (16.7 \times 300) = 32.67 \text{ mm}$$

4) 计算 ΔM

$$\Delta M = (2x_p H_{op} - x_p^2) \frac{\alpha_1 f_c b}{2} = (2 \times 32.67 \times 828.27 - 32.67^2) \times \frac{16.7 \times 300}{2} = 132.90 \text{ (kN}\cdot\text{m)}$$

3.3. 高效预应力加固计算

1) 用式(9)计算高效预应力加固法的 H_{op}

$$H_{op} = 1.025h + 1.05a_p - x_0 = 1.025 \times 950 + 1.05 \times 45 - 121.73 = 899.27 \text{ mm}$$

2) 用式(2)计算 x_p

$$x_p = H_{op} - \sqrt{H_{op}^2 - \frac{2\Delta M}{\alpha_1 f_c b}} = 899.27 - \sqrt{899.27^2 - \frac{2 \times 132.90 \times 10^6}{16.7 \times 300}} = 30.00 \text{ mm}$$

3) 用式(10)计算高效预应力加固法的 A_p

$$A_p = \alpha_1 f_c b x_p / (0.55 f_{ptk} - 150) = (16.7 \times 300 \times 30.00) / (0.55 \times 1860 - 150) = 172.17 \text{ mm}^2$$

4) 代入公式(11)求得高效预应力加固法钢绞线面积 A_p

① 选用 $\Phi^s 15.2$ 钢绞线时， $n = A_p / 140 = 172.17 / 140 = 1.2 \approx 2$ 根；

② 选用 $\Phi^s 12.7$ 钢绞线时， $n = A_p / 98.7 = 172.17 / 98.7 = 1.74 \approx 2$ 根。

4. 结语

本文针对加固工程设计中常常遇到的优化改变加固方法的计算问题, 基于统一公式法[5]理论提出了直接按照原加固设计采用粘贴 CFRP 布加固施工图参数进行改用高效预应力加固的计算方法。通过工程实例设计计算和应用, 证明了本文方法的实用性。本文研究为工程加固改造设计计算提供了新的思路和简便的方法。

参考文献

- [1] 吕恒林, 李延和, 李海涛, 等. 土木工程结构检测鉴定与加固改造[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- [2] 李延和, 陈贵, 李树林, 等. 高效预应力加固理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [3] 施明峰. 不同参数下预应力钢绞线加固 RC 梁疲劳性能和破坏机制研究[D]: [硕士学位论文]. 泉州: 华侨大学, 2019.
- [4] 张裕东, 唐雍巍, 马秀芬. 混凝土框架梁 FRP 加固施工技术研究[J]. 河南科技, 2020(14): 110-112.
- [5] 裔博, 李延和, 任生元. 钢筋混凝土受弯构件加固计算的统一公式法[C]//中国基本建设优化研究会. 第十八届全国现代结构工程与环境优化技术交流会论文集. 北京: 知识产权出版社, 2012: 274-279.