

芳纶纤维在加固混凝土梁中的应用

刘 涛

(内江职业技术学院, 四川 内江 641000)

【摘 要】芳纶纤维是一种自重轻,施工方便,高强、高效的复合材料,应用于结构的修复加固中。本文较详细地介绍了芳纶纤维材料的性能及加固钢筋混凝土梁抗剪、抗弯承载力的计算公式,给出了工程实例,可供工程应用参考。

【关键词】芳纶纤维;性能;抗剪;抗弯;应用

【中图分类号】TU528.572 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1673-1891(2008)01-0059-04

引言

改革开放以来,我国的土木工程建设一直迅速发展,尤其是进入21世纪以来,发展极为迅猛,整个中国几乎成了一个大的建筑工地。新的高楼大厦、会展中心、工业厂房、高层住宅、铁路、公路、桥梁、隧道、港口及大型水利工程。如雨后春笋般的涌现。新结构、新材料、新技术、新工艺的大力研究、开发和应用,发展之快,令世人惊叹不已。同时,许多建筑物由于老化,不合理的设计,施工管理的不当,使用功能的改变,环境的腐蚀及人为损坏而影响结构使用性能、耐久性和安全性,从而造成重大的安全隐患。因此,对混凝土结构或构件进行加固就显得十分重要和必要了。

近年来,外贴纤维片材的加固方法由于耐腐蚀、施工方便快捷、自重轻、不占用使用空间等优点而成为一项新兴加固技术^[1,2]。目前,碳纤维(CFRP)片材由于其优异的力学性能,已被广泛用于结构加固领域,但其固有的抗剪强度低,抗冲击强度差,脆性大而不宜弯折施工,良好的导电性造成通讯信号屏蔽等缺陷,阻碍着它更广泛地推广应用。芳纶纤维(aramid fiber reinforced plastic,简称AFRP)片材则有较高的抗拉、抗剪和抗冲击强度,且柔软易于弯折,不会产生屏蔽等诸多优点,在桥梁、隧道、房屋等结构抗震加固补强方面具有碳纤维片材不可取代的应用前景。

1 作用机理

1.1 性能优势

与传统的加固修补技术相比,芳纶纤维材料加固修补技术具有明显的技术优势。主要体现在以下几个方面^[3]:

(1)高效高强。

(2)具有良好的耐久性和耐腐蚀性。

(3)适用面广。芳纶纤维加固修补技术可广泛应用于各种结构类型(如建筑物、构筑物、桥梁、隧道、涵洞等),各种结构形状(如矩形、圆形、曲面结构等),各种结构部位(如梁、柱、板、拱、壳、墩等)的加固修复,而且不改变结构形状,不影响结构的外观。尤其重要的是,对于一些大型的土木工程结构,如大型桥梁的桥墩、桥梁及桥面板、隧道、大型筒体及壳体结构等,采用原有的传统加固方法几乎无法实施,而采用该技术就可以很顺利的解决。

(4)施工便捷。施工效率高,没有湿作业,不需要大型施工机具,无需现场固定设施,施工占用场地少。

(5)施工质量容易保证。

(6)对结构无额外的负担。芳纶纤维质量轻而且很薄,加固修补后,基本不增加原结构自重和原构件尺寸。

芳纶纤维复合材料作为纤维增强塑料的一种,除了具有上述优点外,还具有独有的特点:具有良好的抗冲击和耐疲劳性能,良好的介电性(非导电性、非磁性)等,因此人们越来越多地采用外粘芳纶纤维片材来补强加固结构。

1.2 粘贴加固及破坏形式

1.2.1 粘贴加固形式

外粘芳纶纤维片材加固混凝土的方式很多,包括仅在梁的两侧面粘贴芳纶纤维片材于梁侧和受拉面U

收稿日期:2007-12-27

作者简介:刘 涛(1982-),男,四川资中人,助教,主要研究方向为建筑结构。

形粘贴芳纶纤维以及沿整个梁截面封闭缠绕芳纶纤维。既可以采用芳纶纤维条带间隔粘贴,也可以采用芳纶纤维布连续满贴,值得注意的是使芳纶纤维丝方向与主拉应力方向平行^[4]。

1.2.2 破坏形式

粘贴芳纶纤维受剪加固梁在试验中呈现出的破坏模式主要有:一是芳纶纤维拉断剪切破坏,这种破坏模式通常是由一条剪拉斜裂缝引发的^[5]。首先从梁受拉面开始形成垂直的弯曲裂缝。其中靠近支座的裂缝可能向加载点发展而形成斜裂缝,如图1所示。有时斜裂缝也可能会突然出现,随着斜裂缝宽度的增加,芳纶纤维中的最大应变达到极限应变,导致芳纶纤维局部断裂。接着芳纶纤维断裂破坏沿着斜裂缝方向发展,最终导致梁脆性破坏。二是受剪加固的钢筋混凝土梁与芳纶纤维剥离而引起的剪切破坏,如图2所示。一旦芳纶纤维开始剥离,梁就很快破坏,通常这种破坏模式的梁延性非常有限。三是梁破坏时,芳纶纤维没有拉断,此破坏模式的过程与芳纶纤维拉断的剪切破坏基本相同^[5]。

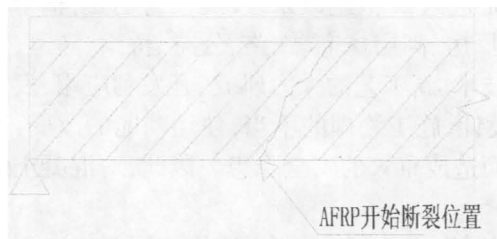


图1 AFRP拉断的剪切破坏



图2 AFRP剥离的剪切破坏

2 承载力的计算

2.1 抗剪承载力的计算

外贴芳纶纤维加固混凝土受弯构件斜截面承载力 V_u 的计算模式,一般是在普通混凝土构件计算模式的基础上,增加外贴材料对抗剪承载力贡献一项。

$$\text{即 } V_u = V_{cs} + V_f \quad (1)$$

式中, V_{cs} 表示钢筋混凝土截面的抗剪承载能力; V_f 表示外贴材料对抗剪承载力的贡献。其中 $V_{cs} = V_c + V_s$, 为混凝土抗剪承载力, V_s 为箍筋抗剪承载力,这两项都可以根据规范计算,为了求得 V_u 的值,关键是 V_f 的计算。目前,国内外的纤维加固规范多集中为碳纤维片材,AFRP的抗剪承载力可以借鉴CFRP的形式^[6,10]

$$V_f = \frac{A_f f_{fe} (\sin \beta + \cos \beta) d_f}{S_f} \quad (2) \text{但是其中一些经验系数要进行修正。}$$

式中: f_{fe} 为纤维的有效应力, A_f 为抗剪加固横截面积, β 为斜向粘贴时纤维方向和梁纵向的夹角, S_f 为纤维条带间距, d_f 为粘贴的有效高度。芳纶纤维的抗剪加固面积 A_f 等于芳纶纤维片材的总厚度 $2t_f$ (由于片材包裹于梁的两侧,所以通常是 $2t_f$) 乘以芳纶纤维的宽度 w_f ^[5]。

由前面分析可知 AFRP 加固后混凝土梁破坏时, AFRP 可能被拉断(或撕裂),也可能发生粘贴破坏,所以相应的 f_{fe} 计算方法应该分为纤维拉断破坏和剥离破坏两种分别计算。

$$\text{采用应力降低系数 } R^{[6]}: f_{fe} = R f_{fu} \quad (3)$$

式中 f_{fu} 为纤维的极限强度。

2.1.1 AFRP拉断破坏

对于纤维拉断破坏,根据试验结果回归得到^[7]:

$$(\rho_f E_f \leq 0.7); R = 0.56(\rho_f E_f)^2 - 1.22(\rho_f E_f) + 0.78 \rho \quad (4)$$

式中 ρ_f 为纤维的配置率; E_f 为纤维材料的弹性模量。

2.1.2 AFRP剥离破坏

对于纤维剥离破坏,根据试验结果回归得到:

$$R = \frac{(f_c)^{\frac{2}{3}} w_f}{\varepsilon_{fu} d_f} [738.93 - 4.06(t_f E_f)] \times 10^6 \quad (5)$$

式中 w_f 为有效粘结宽度, f_c 为混凝土标准抗压强度, ε_{fu} 为 AFRP 纤维材料的极限拉应变。

2.2 抗弯承载力的计算

2.2.1 计算模型

由于芳纶纤维布的应力—应变关系为线弹性关系且混凝土的应力—应变关系为^[8,9]:

$$\varepsilon \leq \varepsilon_0 \text{ 时, } \sigma_c = f_c \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right)^2 \right] \quad (6)$$

$$\varepsilon_0 < \varepsilon \leq \varepsilon_{cu} \text{ 时, } \sigma_c = f_c \quad (7)$$

芳纶纤维加固混凝土梁的承载力计算模型如图3所示。

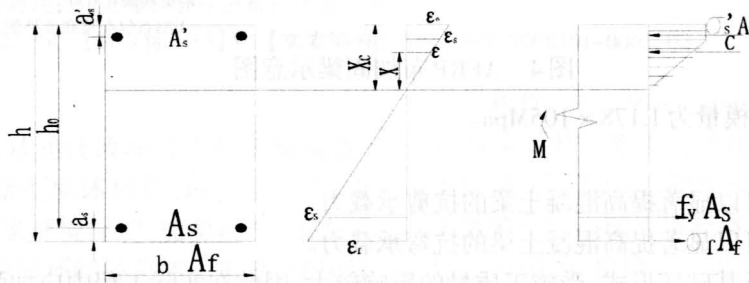


图3 承载力计算图

图中 σ_f 、 A_f 分别为芳纶纤维片材的拉应力和面积。C 为受压区混凝土的合力,其大小为^[10,11]:

$$C = \int_0^{x_c} b \sigma_c dx = \frac{x_c}{\varepsilon_c} \int_0^{\varepsilon_c} b \sigma_c d\varepsilon \quad (8)$$

由力的平衡条件可得:

$$\frac{x_c}{\varepsilon_c} \int_0^{\varepsilon_c} b \sigma_c d\varepsilon + \sigma_s' A_s' = f_y A_s + \sigma_f A_f \quad (9)$$

由力矩平衡条件可得:

$$M = \frac{x_c^2}{\varepsilon_c^2} \int_0^{\varepsilon_c} b \sigma_c \varepsilon d\varepsilon + \sigma_s' A_s' (x_c - a_s') + f_y A_s (h_0 - x_c) + \sigma_f A_f (h - x_c) \quad (10)$$

$$\text{式中 } \sigma_s' = E_s \varepsilon_f \frac{x_c - a_s'}{h - x_c} \quad (11)$$

2.2.2 极限承载力计算

极限承载力计算根据破坏形式不同分为三类:

第一类为芳纶纤维拉断,受压区混凝土压碎, $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}$, $\sigma_f = \sigma_{fu}$, $\varepsilon_f = \varepsilon_{fu}$ 联立式(6)(7)(9)(10)(11)即可求得承载力 M_u 。

$$\text{第二类为芳纶纤维拉断,受压区混凝土完好, } \varepsilon_c < \varepsilon_{cu}, \sigma_f = \sigma_{fu}, \varepsilon_f = \varepsilon_{fu}, x_c = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c + \varepsilon_{fu}} h \quad (12)$$

式中 ε_{cu} 为混凝土极限压应变, σ_f 、 σ_{fu} 分别为芳纶纤维的极限抗拉强度和极限拉应变值。联立式(6)(7)(9)(10)(11)(12)即可求得承载力 M_u 。

$$\text{第三类为芳纶纤维未断,受压区混凝土压碎, } \varepsilon_c = \varepsilon_{cu}, \sigma_f = E_f, \sigma_s' = E_f, \varepsilon_f < \sigma_{fu}, \varepsilon_f = \left(\frac{h}{x_c} - 1 \right) \varepsilon_{cu} \quad (13)$$

联立式(6)(7)(9)(10)(11)(13)即可求得承载力 M_u 。

3 工程实例

某框架结构,正常使用10年,现某区域需要增加大型设备,即使用功能发生改变,活荷载由 3.0 kN/m^2 增至 7.0 kN/m^2 ,导致该区域梁板承载能力严重不足。

梁截面为 350×500 ,混凝土强度等级为 C30,增加荷载后梁的抗弯和抗剪强度均不能满足要求,而且加固不能影响到下层净高。针对以上情况,确定采用上部浇叠合层及下部梁粘贴芳纶纤维布的方法共同进行加固。叠合层通过刷界面剂、梅花形布置垂直连接短筋等措施保证新老混凝土可靠结合。对于下部梁的加固,框架梁通长粘贴二层芳纶纤维布,次梁通长粘贴一层芳纶纤维布,同时在梁端贴 U 型芳纶纤维布进行抗剪加固,端部采用贴芳纶纤维布条进行锚固,在本加固工程中的示意图如图4。

本次芳纶纤维布采用深圳海川公司生产的 AK-40 芳纶纤维布,设计厚度为 0.193 mm ,其抗拉极限强度

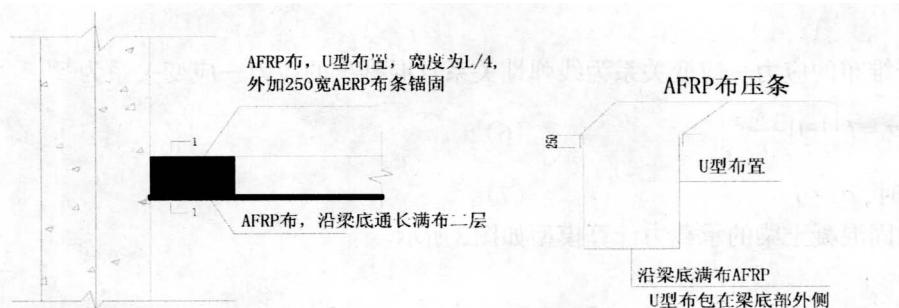


图4 AFRP布加固梁示意图

2 承载力的计算

2.1 抗剪承载力的计算

外贴芳纶纤维加固混凝土受弯构件斜截面承载力 V_u 的计算模式,一般是在普通混凝土构件计算模式的基础上,增加外贴材料对抗剪承载力贡献一项。

即

(1)

式中, V_c 表示钢筋混凝土截面的抗剪承载能力; V_f 表示外贴材料对抗剪承载力的贡献。其中 V_c 为混凝土抗剪承载力, V_s 为箍筋抗剪承载力,这两项都可以根据规范计算,为了求得 V_u 的值,关键是 V_f 的计算。目前,国内外的纤维加固规范多集中为碳纤维片材,AFRP的抗剪承载力可以借鉴CFRP的形式^[6,10]

注释及参考文献:

- [1]Hamid Saadamanesh. Fiber composites for new and existing structures [J].ACI Structural Journal,1994(3): 346—354
- [2]王文炜,赵国藩,等.碳纤维布加固已承受荷载的钢筋混凝土梁抗弯性能试验研究及抗弯承载力计算[J].工程力学,2004(4): 172—178.
- [3]王元丰,余流.芳纶纤维布在混凝土结构中的应用与发展[J].公路交通科技,2006(1):91—95.
- [4]Bakis,CE,Bank,LC,Brown,VL,et al. Filer-reinforced Polymer Composites for constrction[J]. ASCE, 2002(2):73—87.
- [5]腾锦光,陈建飞. FRP加固混凝土结构[M].中国建筑工业出版社,2005.
- [6]Khalif A,Nanni A. Rehabilitation of rectangular simply supposed RC beams with shear deficiencies using CFRP composites [J] Construction and Building Materials, 2002(16):135—146.
- [7]张鹏,江世永,熊晔,等. 芳纶纤维塑料筋混凝土的粘结性能试验研究[J].四川建筑科学研究,2007(3):95—98.
- [8]张建伟,邓宗才,杜修力,等.芳纶纤维布加固钢筋混凝土梁的抗弯性能[J].特种结构, 2005(12):90—92.
- [9]混凝土结构设计规范 (GB50010—2002)[S]. 中国建筑工业出版社,2002.
- [10]中国工程建设标准化协会.CECS146 碳纤维片材加固修复混凝土结构技术规程[S].中国计划出版社,2003.
- [11]吴刚,安琳,吕志涛.碳纤维布用于钢筋混凝土梁抗弯加固的试验研究[J].建筑结构,2000(7): 3—6.

The Application Of AFRP in Reinforced Concrete

LIU Tao

(Neijiang Vocational & Technical College , Neijiang ,Sichuan 641000)

Abstract:AFRP is a kind of complex material with light weight. It is convenient for construction with strong strength and efficiency. It is used in the strengthening and restoration of the structure. The paper introduces the quality of AFRP, and the calculating formula of reinforced concrete's ability in bending and shearing in details. It also analyses the construction art according to the construction practice, which can be applied and referred in construction.

Key words:AFRP; Quality; Shearing strength; Bending strength; Application