

新型 CFRP 材料在桥梁工程中的应用及前景

张玉成¹, 徐德新^{1,2}

(1. 武汉大学 土木建筑工程学院, 湖北 武汉 430072; 2. 湖北德盛结构工程加固有限公司, 湖北 武汉 430071)

摘要:在简述碳纤维复合材料(CFRP 材料)具有自重轻、强度高、耐腐蚀强、抗疲劳性能好等许多优点基础上,对 CFRP 材料在桥梁加固工程上的应用情况进行了比较和概述,并指出了复合材料用于桥梁工程中存在的问题、难点和发展前景,尤其在超大跨斜拉桥和悬索桥中的应用前景。

关键词:碳纤维复合材料;桥梁加固;斜拉桥;悬索桥

中图分类号:TU599;U445.7² **文献标识码:**B **文章编号:**1001-716X(2005)03-0028-03

在过去的几年中,我国交通基础设施的建设发展迅速,但这远远不能满足目前交通运输的要求,由于许多原因,导致我国现有桥梁主要存在以下问题:①桥梁设计荷载偏低;②桥面宽度狭窄;③部分桥梁损坏严重,如墩台滑动、下沉、倾斜、变形大于计算值、支座的开裂、老化、坏死、钢筋砼梁、拱有永久性严重变形,顺主筋方向有纵向裂纹,钢筋已严重锈蚀,裂纹超过规范限定值,承载能力小于设计要求等;④少数桥梁桥头接线质量差,影响行车安全.这些问题不仅影响到桥梁的正常使用,严重的还会给国家财产和生命安全带来巨大的损失.为了适应现代交通的需求,满足现行桥梁设计规范要求,必须对存在问题的桥梁进行加固补强.目前,采用的加固方法很多,有加大截面加固法、外包钢法、喷射砼法、增设支点加固法、粘钢加固法、预应力加固技术或改变桥梁横向分布系数法等.由于这些加固技术的施工都比较复杂,因此需要一种施工简便而有效的加固技术来对桥梁进行加固.碳纤维加固技术正好具有这种特点,因而具有相当大的研究推广和应用价值^[1].

1 CFRP 材料的特点及加固桥梁的优点

1.1 CFRP 材料的特点

CFRP 是指碳纤维增强复合材料(Carbon Fiber Reinforced Polymer or Plastics 简称 CFRP),其具有质量轻、强度高、耐腐蚀性好、疲劳性能好、易于施工等优点.其力学性能见表 1.

1.2 CFRP 材料加固桥梁的优点

CFRP 材料加固桥梁和上面提到的常规加固方法比较有以下显著特点:①材料力学性能好:CFRP 的抗拉强度为普通钢材的 10 倍以上,弹性模量与钢相近,而重量轻,可以充分利用它的高强度、高弹性模量的特点来提高梁式桥构件的承载力和延性,改善其受力性能,达到高效加固的目的.②理想的耐久性和耐腐蚀性,用 CFRP 加固后的钢筋砼构件具有良好的耐久性和耐腐蚀性,解决了其他加固方法所遇到的化学腐蚀的问题.③不影响交通,常规加固施工大部分需要禁止车辆通行;而采用 CFRP 材料进行加固,一般不影响交通运行.④施工便捷:CFRP 加固施工极为便捷,没有湿作业,不需大型机具,且施工时对环境的影响小,因而工效很高.⑤通过粘结材料与结构有效粘结,有时不需要设置锚固并对原结构无新的损伤.所以为桥梁加固维修提供了新的方法.

2 CFRP 材料在桥梁工程中的应用现状

2.1 国外应用现状

早在上世纪 80 年代美国、日本、欧洲就开始用 CFRP 材料加固修复砼结构,而最早用 CFRP 材料加固桥梁是在 1994 年,日本采用 CFRP 材料对东名高速公路高架桥的砼箱梁内外进行了粘贴补强;1995 年阪神大地震后,CFRP 布得到了充分应用,许多桥的桥墩均用 CFRP 布进行缠绕补强,使桥墩的强度和受力状态得到了明显改善与加强.并且使用 CFRP

收稿日期:2004-10-13;修订日期:2004-11-25

作者简介:张玉成(1975-),男,内蒙古呼和浩特市人,硕士生,从事钢结构和结构防灾减灾方面的研究.

片材的粘帖加固方法才受了各国的重视,有关 CFRP 片材及其在桥梁工程中的应用研究也逐渐增多.日本也是第一个在砼桥梁中采用 CFRP 绞线和阿拉米

德 AFRP 筋作为桥梁预应力筋的国家.1988 年,CFRP 绞线首先在日本 249 号国道位于石川县的先张预应力砼板式公路桥新宫上作预应力筋^[3].

表 1 碳纤维布的力学性能^[2]

纤维种类	型号	比重/ $\text{g}\cdot\text{m}^3$	设计厚度/mm	拉伸强度/MPa	拉伸模量/MPa
高强度碳纤维	FTS-C1-20	200	0.111	3550	2.35×10^5
	FTS-C1-30	300	0.167	3550	2.35×10^5
	FTS-C1-45	450	0.250	3550	2.35×10^5
	FTS-C5-30	300	0.165	2900	3.90×10^5
高模量碳纤维	FTS-C7-30	300	0.143	1900	5.40×10^5
	FTS-C8-30	300	0.143	1900	6.40×10^5
	CFC3.5-220-012-100	190	0.100	3500	2.20×10^5
国产 CFRP	CFC3.5-220-010-100	190	0.100	3500	2.20×10^5
	CFC3.5-220-012-150	190	0.120	3500	2.20×10^5

2.2 国内应用现状

我国是在 90 年代中后期正式开始对碳纤维材料加固修复土木建筑结构进行研究的,并于 1998 年开始在工程中应用.从国内近年来的应用工程情况来看,碳纤维加固补强技术应用于桥梁工程的项目数量在逐年增多.例如,北京四环路健翔立交桥的改建;徐州某铁路大桥的补强修复;天津于家岭大桥的墩柱、墩帽加固;国道 G321 的龙母大桥承载力的提高;南京机场路高架桥空心板补强修复;卢沟新桥的补强修复工程等等.因此,随着碳纤维材料广泛用于桥梁结构的加固,我们迫切需要加深对碳纤维加固结构的理论研究.

3 CFRP 材料用于桥梁工程中存在的问题

碳纤维布在桥梁工程中的应用将随着碳纤维布制造成本的降低、理论的发展以及技术的不断成熟,它有取代其他传统加固方法的趋势,但由于发展时间短,尤其在我国这项技术用于工程实践仅仅 4~5 年的时间,缺乏大量现场技术数据,而且在理论和实验方面的研究也不够全面,致使 CFRP 材料应用于桥梁工程还存在一些有待进一步解决的问题,主要有:①CFRP 材料的疲劳问题,尤其是纤维薄布与砼构件的界面的疲劳破坏以及环境的影响问题.目前国外对此问题的研究正处在起步阶段.在国内,天津大学和清华大学等单位也开始了这方面的研究.②CFRP 材料的老化问题,CFRP 材料在大气暴晒、液体浸泡、化学介质等作用下会发生的老化,这种老化会使其力学性能发生改变,所以研究防止 CFRP 材料的老化措施也是其难点问题.③标准和规范的制定,目前我国在碳纤维材料加固修补使用技术方面还没有统一的标准和规范,缺少统一的标准和规范制约着这一新技术推广和应用.④CFRP 材料预应力加固

方面的研究,CFRP 是高强性能材料,所以研究 CFRP 材料预应力加固方面非常有市场潜力和应用价值,能够充分发挥其性能价格比.⑤CFRP 材料的国产化研究,目前大部分桥梁加固工程所使用的碳纤维材料大部分是进口的,不仅工程造价较高,而且不利于这种新技术的大范围推广.⑥CFRP 材料在粘贴中横向接头连接方式的研究,在现场施工中有时 CFRP 布需在受力方向进行连接,而这种横向接头的连接设计比较困难,这就要求研究出方便、经济、牢固可靠的连接方式.⑦防止桥梁加固后可能发生的脆性破坏研究,和钢筋相比,碳纤维布拉伸强度较大,对桥梁中抗弯构件加固效果是明显,但这样有可能导致在结构发生破坏时钢筋未发生屈服,而发生砼被压碎的脆性破坏,所以使用多少 CFRP 布合适是一个有必要深入研究的问题.⑧研究用碳纤维和其他纤维混合形成的新产品,由于碳纤维相对玻璃纤维、芳纶纤维其延伸率较低,断裂成脆性,因此有必要使用生产碳纤维与其它纤维混杂的新产品代替碳纤维,这样不仅可以增加结构抵抗变形的能力,提高其延性,而且由于其它纤维价格较低,可以降低加固的成本^[4,5].总之,CFRP 材料在桥梁中应用还存在一些需要深入研究的问题,但这些问题通过理论上的进一步深入和实际工程的应用会得到改进和克服.

4 CFRP 材料用于桥梁工程中的前景

4.1 在桥梁加固工程中应用前景

首先,相对其他加固桥梁的方法,CFRP 材料加固桥梁具有施工方便、适应性好、耐腐蚀、几乎不增加结构自重、对原结构不会造成新的损伤等优点,这些优点将会给桥梁加固修补技术带来重大变革,将为桥梁加固领域开辟新的产业途径、促进桥梁加固技术的进步.其次,我国多数地区是地震高发区,震后粘贴碳纤维片材加固和在震前通过 CFRP 材料来

提高抗震性能的加固可以作为一种防震措施来发展.总之,随着 CFRP 材料性能价格的提高、试验以及制造工艺的进一步完善,CFRP 材料在未来桥梁加固中得到广泛应用.

4.2 CFRP 在超大跨悬索桥和斜拉桥中的应用前景

由于受钢缆索材料性能的影响,钢缆索体系桥梁极限跨径(最大跨径不超过 5000m,而采用日本生产的 CFRP I 绞线,其极限跨径可达到 11200m)^[6]和承载效率受到限制,并且钢缆索的腐蚀和疲劳也受到严重挑战.恰好 CFRP 绞线和棒材具有耐腐蚀性好、强度重量比高、低松弛及耐疲劳等特性,如能进一步解决 CRPP 材料锚固难的问题、以及 CFRP 材料缆索在鞍槽里的抗滑和索夹处的抗折问题,CFRP 材料在超大跨缆索桥梁上一定能得到广泛应用.

5 工程应用实例

瑞士在 1997 年第一次运用 CFRP 材料在对伊巴赫桥进行了加固.该桥的结构是多跨连续箱梁,桥总长为 228m,有 40m 的桥跨已损坏,为了继续满足使用要求需进行加固,采用 CFRP 板进行加固,CFRP 板的规格为:1.75mm × 50mm × 5000mm 和 2mm × 150mm × 5000mm.加固后,满足了使用要求.近几年,美国、日本、欧洲和我国在桥梁工程中已有许多工程实例.

6 结 语

碳纤维材料加固桥梁的技术发展时间仅有 10 几年,但碳纤维布加固桥梁比现有桥梁加固方法有明显的优势,再加上碳纤维布的生产成本也将进一步降低,为其广泛应用于桥梁的加固创造条件,并会在未来的超大跨缆索系桥梁中会得到广泛应用.虽然 CFRP 材料在某些方面还存在不足之处,但随着试验、研究、制造工艺的进一步深入,实际工程经验和资料的积累,所存在的问题可望得到解决.

参考文献:

- [1] 李慧峰,熊旭光.碳纤维加固桥梁应用研究[J].公路,2003,(2):103-107.
- [2] 赵 彤,谢 剑.碳纤维布补强加固混凝土结构新技术[M].天津:天津大学出版社,2001.
- [3] 王有志,王广洋,任 锋,等.桥梁的可靠性评估与加固[M].北京:中国水利水电出版社,2002.
- [4] 曾宪桃,车惠民.复合材料 FRP 在桥梁工程中的应用及其前景[J].桥梁建设,2000,(2):66-70.
- [5] 刘沐宇,李开兵,陈开利.CFRP 在桥梁加固工程中的应用研究[J].黑龙江工程学院学报,2002,(4):3-6.
- [6] 梅葵花,吕志涛.CFRP 在超大跨悬索桥和斜拉桥中的应用前景[J].桥梁建设,2002,(2):75-78.

The application and prospects of new CFRP materials in bridge construction

ZHANG Yu-cheng¹, XU De-xin^{1,2}

(1. School of Civil Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 2. Hubei Desheng Strengthening Limited Company for Structural Engineering, Wuhan 430071, China)

Abstract: CFRP composite material has many advantages, such as lightness, high strength, durable corrosion and fatigue resistance ect. In this paper, the wide use of CFRP composite material for bridge strengthening are expounded and compared. Problems and difficulties existing in the CFRP composite material bridges and prospects of the material are pointed out, especially in the super-span cable stayed bridge and suspended bridge in future.

Key words: CFRP; bridge reinforcement; cable stayed bridge; suspended bridge