

CFRP与钢组合斜拉索设计方案及理论研究

熊文, 肖汝诚

(同济大学 桥梁工程系, 上海 200092)

摘要: 提出两种碳纤维增强塑料(CFRP)与钢组合的斜拉索方案: CFRP与钢组合截面斜拉索, 以及CFRP与钢组合结构斜拉索. 前者发挥CFRP材料的优异性能, 同时避免CFRP材料的锚固难题, 两种材料的截面面积比为关键设计参数; 后者将CFRP斜拉索与钢斜拉索在同一桥梁不同跨度区域分别应用, 优化了整桥经济性能, 不同材料斜拉索合理跨度区域的确定是其设计关键. 采用解析解形式的参数分析, 给出不同情况下关键设计参数的推荐数值, 从理论上初步证明了两种方案替代传统钢斜拉索的可行性.

关键词: 组合斜拉索; CFRP与钢组合截面; CFRP与钢组合结构; 斜拉桥; 关键设计参数; 参数分析

中图分类号: U 448.27

文献标识码: A

Design Schemes and Analysis of Composite Stay Cables with CFRP and Steel Materials

XIONG Wen, XIAO Rucheng

(Department of Bridge Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: This paper presents two new schemes, the stay cables with carbon fiber-reinforced polymer (CFRP) and steel composite section and the stay cables with CFRP and steel composite structure. In the former scheme, the CFRP core remains the superior performance of CFRP materials, and the steel coat can provide protection for the CFRP core and excellent anchorage performance is therefore achieved. The ratio of the CFRP section area to the whole section area is determined as the key design parameter. The latter scheme, a cost efficient design, in which the CFRP stay cables and steel stay cables are applied to a bridge's different spans. The proper values of key parameters are proposed based on a parametric study by means of the analytical solutions and the feasibility of the proposed stay cables is theoretically proved.

The proposed stay cable is an ideal alternative to the traditional steel stay cable.

Key words: composite stay cable; CFRP and steel composite section; CFRP and steel composite structure; cable-stayed bridge; key design parameter; parametric study

近年来,斜拉桥在跨海工程中的应用已经成为研究热点^[1-3].对于这种超千米级斜拉桥,跨度的增加会受到传统钢斜拉索垂度效应、高应力腐蚀、疲劳以及极限抗拉强度的制约.随着新材料在桥梁工程中的应用,有些学者提出碳纤维增强塑料(carbon fiber-reinforced polymer, CFRP)斜拉索的概念^[4-5],并有小跨径实验桥建成^[6].但是,CFRP斜拉索不尽理想的施工性能以及昂贵价格,使其始终无法替代传统钢斜拉索而广泛应用于大型桥梁工程中,特别是CFRP斜拉索的锚固性能以及锚具设计,一直没有很好的解决方案^[4-7].如何将CFRP材料的优异性能在斜拉索中充分发挥,同时又解决锚固难题并优化其经济性能,一直是一个亟待解决的难题.

针对这些问题,笔者提出两种CFRP与钢组合斜拉索方案:与钢组合截面斜拉索,与钢组合结构斜拉索.前者将CFRP与钢形成组合截面斜拉索,两种材料共同承担桥梁施工过程中与成桥运营后的荷载,既发挥了CFRP材料的优异性能,又避免直接锚固在CFRP材料上,解决了锚固难题;后者将CFRP斜拉索与钢斜拉索分别应用于同一桥梁不同跨度区域,在保证两种斜拉索良好力学性能的同时优化了经济性能.对这两种方案从力学性能上分析参数,确定各自的关键设计参数,并给出在不同情况下关键设计参数的推荐值,从理论上初步证

收稿日期: 2008-10-28

基金项目: 国家“八六三”高技术研究方展计划资助项目(2006AA11Z120)

作者简介: 熊文(1982—),男,工学博士,主要研究方向为桥梁结构体系、构造及设计理论,桥梁结构健康监测,新材料工程应用.

E-mail: wenwen0317@hotmail.com

肖汝诚(1962—),男,教授,博士生导师,工学博士,主要研究方向为桥梁结构设计理论、计算理论以及桥梁结构体系研究.

E-mail: xiaorc@tongji.edu.cn

明了两种方案替代传统钢斜拉索的可行性. 为未来应用该类组合斜拉索的超千米级大跨径斜拉桥的理论研究及工程建设, 提供理论支撑和技术储备.

1 CFRP与钢组合斜拉索概念设计

1.1 CFRP与钢组合截面斜拉索

1.1.1 构造设计

设计的基本思路是依靠 CFRP 核心, 充分发挥 CFRP 的优异力学性能, 暴露在外的钢承担保护 CFRP 以及作为直接锚固介质, 避免了锚固 CFRP 材料. 该斜拉索基本索股的构造可设计为图 1 所示形式.

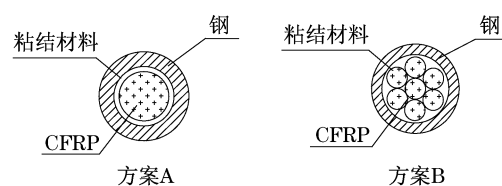


图 1 CFRP与钢组合截面斜拉索

Fig.1 Stay cables with CFRP and steel composite section

由图 1 可以看出, 基本索股由三部分组成, 钢作为外圈, 核心由 CFRP 材料构成, 二者之间填充具有一定强度的粘结材料, 使 CFRP 和钢成为整体, 共同受力. 除了方案 A, CFRP 核心还可以由多股 CFRP 丝组成(方案 B). 值得注意的是, 由于外圈是钢材, 所以, 索股的工厂装配以及现场张拉, 都可以继续使用原应用于钢斜拉索的传统施工工艺与器具, 大大提高其经济性能.

1.1.2 关键设计参数

斜拉索是一种只受拉、不受压弯的基本结构形式, 具有特殊的力学性能, 如垂度效应、几何非线性、曲线单元等. 这些特性与索单元的弹性模量、截面面积、极限强度和自重有关, 即与索单元的材料特性有关. 也就是说, 材料特性基本决定了索单元的一切力学性能.

CFRP 与钢组合截面斜拉索由基本索股组合而成, 而索股的构造形式是组合材料截面. 按前所述, 该组合截面中 CFRP 面积占总面积的比例 (A_c/A_{c+s} , 简称“面积比”. A_c 表示 CFRP 的截面积, A_{c+s} 表示 CFRP 与钢组合的截面积) 决定了该斜拉索的力学性能, 可定为关键设计参数. 具体来说, 面积比的改变可以直接影响到组合截面的弹性模量、密度和极限强度, 而这三个力学参数对斜拉索性能的影响又是相互耦合的, 相互关系较为复杂. 所以, 确定该面积比合理取值需要依靠详细的理论分析. 现以力学性能为主, 通过

参数分析, 确定一个合理的面积比范围.

这里暂不考虑两种材料共同受力时相互之间的滑移, 这种滑移主要由二者之间的粘结材料引起. 事实上, 在 CFRP 布加固(粘贴)钢梁的研究中, 可以充分证明存在合适的粘结材料, 使 CFRP 与钢之间仅有较小滑移, 二者能够较好地共同受力^[8-10]. 滑移计算可参考文献[11], 并将在未来工作中进行.

1.2 CFRP与钢组合结构斜拉索

1.2.1 体系形式

若仅使用 CFRP 斜拉索, 会大幅度提高整桥造价, 并且当斜拉索较短时, CFRP 并不能体现出其对传统钢斜拉索的优势, 而其较低的弹性模量却往往降低整桥的刚度. CFRP 与钢组合结构斜拉索, 是将二者同时用在大跨度斜拉桥的不同跨度区域. 由于远塔处索较长, 垂度效应明显, 且索力较大, CFRP 斜拉索可充分发挥其力学性能优势; 而在近塔处, 由于索的垂度效应不明显, 仍使用传统钢斜拉索, 降低造价, 提高性价比. 组合形式见图 2.

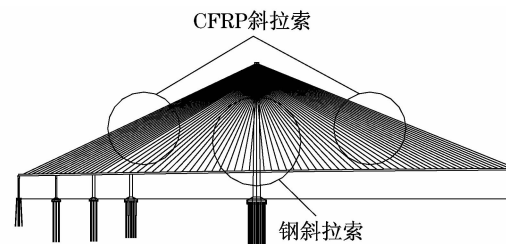


图 2 CFRP与钢组合结构斜拉索

Fig.2 Stay cables with CFRP and steel composite structure

1.2.2 关键设计参数

钢斜拉索计算与施工技术成熟, CFRP 虽然没有大范围应用, 但也有大量的理论研究成果^[4-7]. 现假设 CFRP 斜拉索与钢斜拉索本身没有构造以及施工难点, 仅从力学角度研究 CFRP 与钢的组合结构形式. 一般来说, 索长增加到一定程度, CFRP 斜拉索相对于钢斜拉索的综合优势(力学与经济性能)才明显. 所以, 将 CFRP 斜拉索与钢斜拉索各自合理应用跨度区域定为该类斜拉桥的关键设计参数. 二者在各自合理跨度区域内应用, 既可保证优异的斜拉索力学性能, 又有较好的经济性能.

2 参数分析

2.1 斜拉索力学性能指标及计算模型

从静力、动力两个方面, 选取 6 个斜拉索重要力学性能指标作为研究对象, 各自的解析解数学表达

式见表1^[12-14].

斜拉索竖向分力、垂度效应、等效弹性模量以及承载效率,均反映了斜拉索的几何非线性特征.其中,承载效率是指按真实索形计算与按理想直线索

计算所得的竖向分力之比.自重应力反映了斜拉索承受外荷载的能力;振动参数反映了斜拉索平面内正对称振动的特性.详细推导过程可参见相关文献^[12-14].参数分析中,力学模型的材料属性见表2.

表1 斜拉索力学参数及数学表达式
Tab.1 Mechanical parameters and analytical solutions

力学参数	解析解数学表达式
竖向分力 (越大越好)	$y = \frac{H}{q_0} \cosh u \left(1 + \frac{H}{2K} \cosh u \right) + c_1^*$
垂度效应 (越小越好)	$\frac{\delta}{L_c} = \frac{(\sigma_2 - \sigma_1) \gamma_c + [\sigma_2^2 \sinh(\gamma_c l / \sigma_2) - \sigma_1^2 \sinh(\gamma_c l / \sigma_1)] / L_c - 4E [\sigma_2 \sinh(q_0 l / 2\sigma_2 A_0) - \sigma_1 \sinh(q_0 l / 2\sigma_1 A_0)] / L_c}{2\gamma_c E \operatorname{ch}(q_0 l / 2\sigma_2 A_0)}$
等效弹性模量 (越大越好)	$E_{eq} = 1 / [1/E + (\gamma_c^2 l^2 / 24) ((\sigma_1 + \sigma_2) / \sigma_1^2 \sigma_2^2)] E / [1 + \gamma_c^2 l^2 E / 12\sigma_1^2]$
承载效率 (越大越好)	$V_A / V_0 = [(-l/l_{max} + 1) \sqrt{1 + k^2}] / \sqrt{1 + k^2 (-l/l_{max} + 1)^2}$
自重应力 (越小越好)	$\sigma_g = \gamma_c l \sqrt{1 + k^2} \sqrt{1 + k^2 (1 + l/l_{max})^2} / 2k (1 + l/l_{max})$
振动参数 (越小越好)	$\lambda^2 = (q \cos \alpha L_c / H)^2 L_c / (H L_c / EA) = (\gamma \cos \alpha)^2 E L_c^3 / (\sigma^3 L_e)$

注:1. H 为索力水平分力; $q(q_0)$ 为(无应力)单位索长质量; $K = EA_0$; $E(E_{eq})$ 为(等效)弹性模量; A_0 为无应力斜拉索截面积; u 为参变量; δ 为索长增长量; L_c 为拉索弦线长度; $l(l_{max})$ 为(极限)斜拉索水平投影长度; $\sigma_2 - \sigma_1$ 为斜拉索应力变化; $\gamma_c = q_0 / A_0$; V_A 为实际斜拉索竖向承载力; V_0 为理想直线拉索竖向承载力; k 为拉索斜率; σ_g 为拉索自重应力; λ 为拉索振动参数; α 为拉索倾角; $L_e = L_c [1 + 8(f/L_c)^2]$, f 为斜拉索垂度.

2. * 为索形表达式,其特征可从该式推出.

表2 材料参数
Tab.2 Material properties

参数	CFRP	钢
密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	1 600	7 850
面积/ m^2	0.015 3	0.015 3
弹性模量($\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$)	1.47×10^8	2.00×10^8
轴向温变系数/ $^\circ\text{C}$	0.68×10^{-6}	11.70×10^{-6}
横向温变系数/ $^\circ\text{C}$	25.00×10^{-6}	11.70×10^{-6}
抗拉极限强度/MPa	2 700	1 890
计算索力/kN	1 000	1 000

2.2 CFRP 与钢组合截面斜拉索参数分析

以组合截面面积比(A_c/A_{c+s})为参数,按表1数学表达式考察不同面积比时 CFRP 与钢组合截面斜拉索的力学性能.建立四个典型斜拉索计算模型:索1,水平投影长度 340.0 m,竖向投影长度 238.3 m,弦向长 415.2 m;索2,水平投影长度 700.0 m,竖向投影长度 281.8 m,弦向长 754.5 m;索3,水平投影长度 1 400.0 m,竖向投影长度 560.0 m,弦向长 1 507.8 m;索4,水平投影长度 2 500.0 m,竖向投影长度 1 000.0 m,弦向长 2 692.6 m.索1、索2的几何参数均取自一座试设计的 1 400 m 斜拉桥^[3].后两种超长索按塔高与中跨比近似为 0.25 的原则,并参考该 1 400 m 斜拉桥主跨外索斜率所得.为方便比较分

析结果,截面总面积与张拉力在整个分析中保持不变(见表2).

采用 Matlab 数学软件,各力学性能计算结果如图3所示. x 轴代表组合截面面积比(A_c/A_{c+s}),变化范围 0~100%. y 轴代表所研究的斜拉索力学性能指标.

图3a,d,f中,4种水平投影长度的曲线变化趋势相似,面积比 A_c/A_{c+s} 越趋近 1,CFRP 特性就越明显.即从整体力学性能来说,较大面积比具有优势.而斜拉索垂度效应以及等效弹性模量(图3b,c)的变化曲线却与它们不同.当面积比达到一定数值时,有些曲线会由递增变为递减或反之变化.具体来说,当水平投影长度 l 为 340 m 时,大面积比的斜拉索会由于较小的 CFRP 弹性模量而增大其垂度效应,降低拉索承载效率;而 $l = 2 500$ m 斜拉索的自重,却成为影响斜拉索性能(垂度)的主导因素,面积比越大(即自重越轻),垂度效应越小.在 340~2 500 m,最小垂度效应与最大等效弹性模量在面积比等于 0.6~0.8 时同时达到.另外,良好的锚固性能需要一定的钢面积保证;考虑到斜拉索的锚固性能和经济性能会随面积比的增加而逐渐降低,则又倾向于较小的面积比.所以,很难确定一个面积比保证所有

性能同时达到最优的面积比,只能试图确定一个相对最佳面积比。

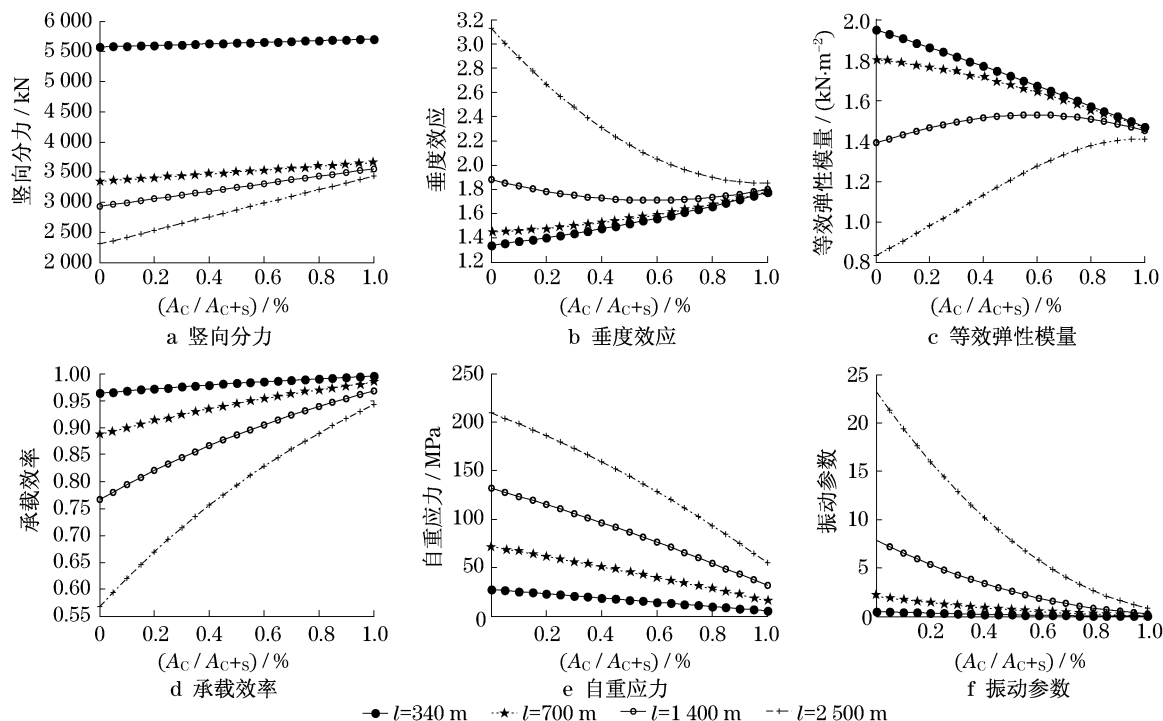


图3 CFRP与钢组合截面斜拉索参数分析计算结果

Fig.3 Parametric study results of the stay cables with CFRP and steel composite section

表3列出各力学性能分别对应的最佳面积比.综合考虑斜拉索各方面性能,并使力学性能与锚固、经济性能之间的关系达到平衡,0.55~0.85是一个较合适的面积比范围.在大多数情况下,该数值能使CFRP与钢组合截面斜拉索获得较为满意的综合性能.

进一步分析参数,研究在不同水平投影长度情况下,斜拉索索力以及塔高对最佳面积比的影响,并用相似的研究方法与选取标准,得出更为具体的结

论:当水平投影长度小于1 000 m时,面积比取0.55较为合适;1 000~2 000 m,取0.70;2 000 m以上,可以取0.85.索力小于6 000 kN时,CFRP会使斜拉索的变形增大、垂度效应增强、等效弹性模量变小,所以,尽量取较小面积比;而索力大于6 000 kN时,可以参考具体情况,取0.55~0.85的较大值.在通常塔高范围内,塔高的变化对面积比的选择几乎没有影响(限于篇幅,具体过程以及计算结果未列于此,可参考笔者后续文章).

表3 各力学性能对应最佳面积比

Tab.3 Appropriate area ratio

力学性能	判断标准	最佳数值或范围			
		340 m	700 m	1 400 m	2 500 m
竖向分力	越大越好	0.7~1.0	0.7~1.0	0.7~1.0	0.8~1.0
垂度效应	越小越好	0~0.2	0~0.2	0.4~0.8	0.8~1.0
等效弹性模量	越大越好	0~0.2	0~0.2	0.4~0.8	0.8~1.0
承载效率	越大越好	任何值	任何值	0.6~1.0	0.7~1.0
自重应力	越小越好	任何值	0.6~1.0	0.8~1.0	0.8~1.0
振动参数	越小越好	任何值	0.4~1.0	0.7~1.0	0.8~1.0

注:较小的面积比可以保证较好的锚固性能和经济性能.

2.3 CFRP与钢组合结构斜拉索参数分析

一般来说,斜拉索水平投影长度是决定单一材料斜拉索所有几何特征的最重要参数之一.以水平

投影长度 L_{span} 为参数,按表1数学表达式,考察 L_{span} 线性变化时CFRP与钢两种不同材料斜拉索(即CFRP与钢组合结构斜拉索)的力学性能变化情况.

通过对比结果,得到各自的合理跨度应用范围.取水平投影长度变化范围分别为 $0\sim 340\text{ m}$, $0\sim 700\text{ m}$, $0\sim 1\,400\text{ m}$ 以及 $0\sim 2\,500\text{ m}$ 的 4 组斜拉索,每组水平投影长度的最大斜率均定为 $0.205^{[3]}$,其余斜率随跨度线性变化.为方便对比,不同长度斜拉索的张拉力与面积仍然相同.定义斜拉索比较标准参数 $\alpha = \xi_c/\xi_s$, ξ_c 与 ξ_s 为相同 L_{span} 情况下,两种材料斜拉索力学性能参数计算数值. ξ 越大,表明力学性能越好.故 $\alpha = \xi_c/\xi_s > 1$ 时,说明该种 CFRP 斜拉索力学性能优于钢斜拉索,反之则相反.

采用 Matlab 数学软件,各力学性能计算结果如图 4 所示. x 轴代表 L_{span} , y 轴代表 α . 图示说明中的数字表示该范围的研究对象,即 340 表示 $0\sim 340\text{ m}$ 这组斜拉索.

图 4c 未用 α 作为变量,直接显示 8 种计算情况(CFRP 与钢各 4 种).索承载效率可由其竖向分力反映,故取消参数而增加垂度效应引起的索变形.按表 1 公式,图 4b 中斜拉索垂度效应包括索本身的弹性变形.

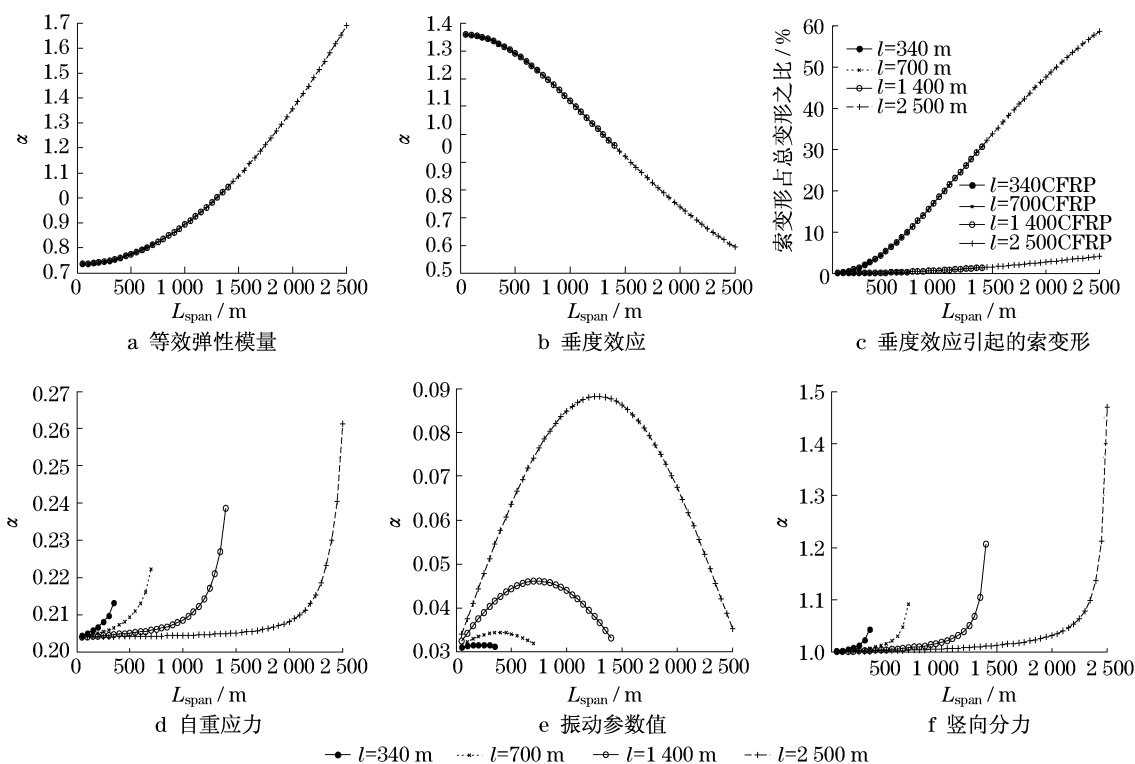


图 4 CFRP 与钢组合结构斜拉索参数分析计算结果

Fig. 4 Results of parametric study for the stay cables with a CFRP and steel composite structure

由图 4a 可得,当 $L_{\text{span}} > 1\,300\text{ m}$ 时,CFRP 斜拉索的等效弹性模量将优于钢斜拉索.而当水平投影长度仅超过 500 m 时,CFRP 斜拉索垂度效应所引起的拉索伸长就会远远小于(优于)钢斜拉索(图 4b,c).图 4d,e 中,自重应力与振动参数虽然受水平投影长度的影响,但 α 很小(远小于 1),说明 CFRP 斜拉索在整个范围内均占较大优势.图 4f 中,每一条曲线均有基本相同的变化趋势,即当设计斜率较大时(L_{span} 较小时),变化很平缓;当斜率设计较小时(L_{span} 较大时),变化突然很明显.仔细观察图 4f,在 4 类斜拉索跨度范围内可近似看出,当设计斜率大于 0.3 时, α 趋于 1 附近,说明性能接近;而当设计

斜率小于 0.3 时, α 迅速变大,CFRP 斜拉索优势明显.这种特殊现象也在图 4e,f 中体现.

为了详细研究设计斜率 k 的影响,对斜拉索自重应力、振动参数以及竖向分力对斜拉索斜率变化的敏感性作进一步参数分析.取水平投影长度分别为 $340, 700, 1\,400$ 和 $2\,500\text{ m}$ 的 4 根斜拉索作为研究对象,斜率 k 在 $0.2\sim 1.0$,各参数计算结果如图 5 所示.按上面类似分析,由图 5 可得,当斜率在 $0.2\sim 0.5$,CFRP 斜拉索的力学性能更优于钢斜拉索.

基于本文得出的结论,实际应用时可根据实际跨度以及具体所关注的斜拉索力学性能,进行 CFRP 斜拉索与钢斜拉索的结构布置.

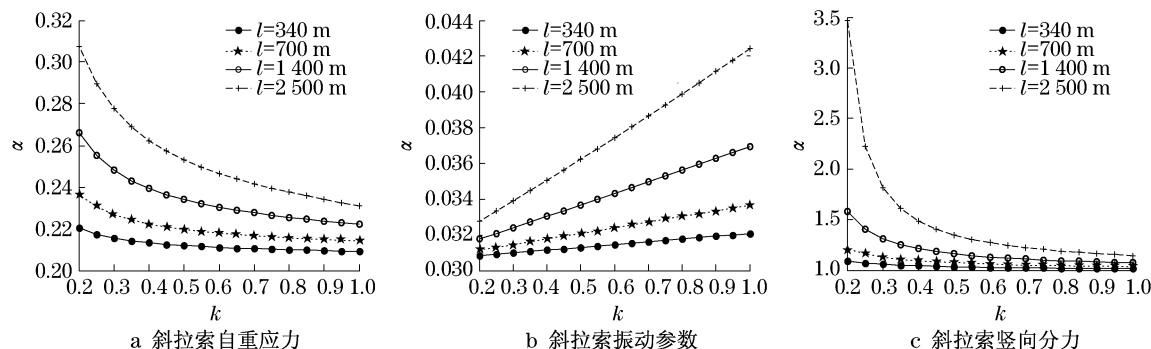


图5 斜率参数分析计算结果

Fig.5 Results of parametric study for the slope

3 结论

(1) 对于 CFRP 与钢组合截面斜拉索,当水平投影长度小于 1 000 m 时,面积比取 0.55 较为合适;1 000~2 000 m,取 0.70;2 000 m 以上,可以取 0.85. 索力小于 6 000 kN 时,CFRP 会使斜拉索的变形增大、垂度效应增强及等效弹性模量变小,所以尽量取较小面积比;而索力大于 6 000 kN 时,可以参考具体情况,取 0.55~0.85 的较大值.在通常塔高范围内,塔高的变化对面积比的选择几乎没有影响.文中说明了两种材料具有组合共同受力的可行性.

(2) 对于 CFRP 与钢组合结构斜拉索,索的水平投影长度大于 1 300 m 时,CFRP 斜拉索的等效弹性模量将优于钢斜拉索;而当水平投影长度仅超过 500 m 时,CFRP 斜拉索垂度效应所引起的拉索伸长就会远远小于(优于)钢斜拉索.对于自重应力与振动参数,CFRP 斜拉索在整个范围内均占较大优势.另外,当斜拉索斜率在 0.2~0.5,CFRP 斜拉索的力学性能优于钢斜拉索.实际应用可根据实际跨度以及具体所关注的斜拉索力学性能,进行 CFRP 斜拉索与钢斜拉索的结构布置.

笔者从力学角度,对两种 CFRP 与钢组合斜拉索进行了理论分析,并给出可能的构造形式以及设计要点,证明其替代传统钢斜拉索应用于大跨度跨海斜拉桥中的可行性,但仍需要对其进行更详细的经济性能分析以及构造设计.而应用于这两种形式斜拉索的斜拉桥,其结构静力与动力分析也正在进行中,将发表在后续文章中.

参考文献:

- [1] Nagai M, Fujino Y, Yamaguchi H, et al. Feasibility of a 1 400 m span steel cable-stayed bridge [J]. Journal of Bridge Engineering, 2004, 9(5): 444.
- [2] Meier U. Proposal for a carbon fibre reinforced composite

- bridge across the strait of gibraltar at its narrowest Site [J]. Proc Inst Mech Eng, 1987, 201(B2): 73.
- [3] 苗家武. 超大跨度斜拉桥设计理论研究 [D]. 上海: 同济大学桥梁工程系, 2006.
- MIAO Jiawu. Study for design theories of super-long span cable-stayed bridges [D]. Shanghai: Tongji University. Department of Bridge Engineering, 2006.
- [4] Noisternig J F. Carbon fibre composites as stay cables for bridges [J]. Applied Composite Materials, 2000(7): 139.
- [5] Noisternig J F, Jungwirth D. CFRP-tendons for structural application-requirements and developments [C] // 2nd International Conference ICCI. Tucson: [s. n.], 1998: 115-127.
- [6] 梅葵花. CFRP 拉索斜拉桥的研究 [D]. 南京: 东南大学土木工程学院, 2005.
- MEI Kuihua. Study on cable-stayed bridges with CFRP cables [D]. Nanjing: Southeast University. Department of Civil Engineering, 2005.
- [7] 薛伟辰, 钱卫, 谭园. 部分预应力 CFRP 筋混凝土梁疲劳设计研究 [J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2008, 36(7): 874.
- XUE Weichen, QIAN Wei, TAN Yuan. Studies on fatigue guidelines for concrete beams partially prestressed with CFRP tendons [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2008, 36(7): 874.
- [8] Hollaway L C, Cadei J. Progress in the technique of upgrading metallic structures with advanced polymer composites [J]. Progress in Structural Engineering Materials, 2002, 4(2): 131.
- [9] Sen R, Liby L, Mullins G. Strengthening steel bridge sections using CFRP laminates [J]. Composites, Part B, 2001, 32(4): 309.
- [10] Schnerch D, Stanford K, Sumner E A, et al. Strengthening steel structures and bridges with high-modulus carbon fiber-reinforced polymers: Resin selection and scaled monopole behavior [J]. Transportation Research Board, 2004, 1892(25): 237.
- [11] Cai C S, Nie J G, Shi X M. Interface slip effect on bonded plate repairs of concrete beams [J]. Engineering Structures, 2007, 29(6): 1084.
- [12] Peyrot A H, Goulois A M. Analysis of flexible transmission lines [J]. ASCE J Struct Div, 1978, 104(5): 763.
- [13] Jayaraman H B, Knudson W C. A curved element for the analysis of cable structures [J]. Computers & Structures, 1981, 14(3-4): 325.
- [14] Gimsing N J. Cable-supported bridges [M]. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1997.