

多塔部分斜拉桥参数敏感性分析

关进轩

(中铁大桥局集团有限公司,湖北 武汉 430050)

摘要:为研究多塔部分斜拉桥的主要参数对其结构受力性能的影响,统计了国内外81座多塔部分斜拉桥的设计参数分布区间,并以一主跨225 m的温州瓯江三塔四跨多塔部分斜拉桥为依托,结合理论分析以及有限元计算,分别对多塔部分斜拉桥的主梁高跨比、主塔塔跨比进行参数敏感性分析,得到了该类参数对其结构内力、变形及拉索应力幅等影响的一般规律,可作为同类型桥梁设计的参考及进一步研究的基础。

关键词:多塔;部分斜拉桥;参数;敏感性分析

中图分类号: U24

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)01-0244-07

Sensitivity Analysis on Parameters of Multi-pylon Partial Cable-stayed Bridge

GUAN Jinxuan

(China Railway Bridge Group Co., Ltd., Wuhan 430050, China)

Abstract: In order to study the influence of the parameters of multi-pylon partial cable-stayed bridge on its structural stress performance, the design parameter distribution interval of 81 partial cable-stayed bridges at home and abroad is counted. Based on the three-pylon four-span partial cable-stayed bridge with the main span of 225 m on Oujiang River in Wenzhou, combined with the theoretical analysis and finite element calculation, the parameter sensitivity analysis on the height-span ratio of the girder and the pylon-span ratio of the main pylon of the multi-pylon partial cable-stayed bridge is carried out respectively. The general law of the influence of these parameters on the internal force, deformation and cable stress amplitude is obtained, which can be used as a reference for the design of similar bridges and the basis for the further research.

Keywords: multi-pylon; partial cable-stayed bridge; parameter; sensitivity analysis

0 引言

从技术可行和经济合理的角度来看,不同桥型有其对应的合理跨径。某些情况下,桥梁若采用连续梁结构会使得主梁过高而显得笨重,若设计成一般斜拉桥又不经济^[1]。部分斜拉桥作为连续梁(刚构)桥与斜拉桥的组合体系,具有塔矮、梁刚、索集中的特点。其灵活的跨径布置、美观的外形及经济的造价使其在近些年得到广泛的应用。

世界第一座建成的部分斜拉桥是1994年建于日本的小田原港桥^[2-5],我国第一座部分斜拉桥是2000年建成的芜湖长江大桥^[6]。作为桥梁中的新生代,在我国,部分斜拉桥一经面世便得到了广泛的关注,但目前其参数多为统计数据,对参数如何影响结构受力及拉索

应力幅未做深入研究,也一直未形成该桥型的设计规范或细则。为使得我国桥梁工作人员能够更深入的了解这种被证明有良好发展前景^[7]的桥型,对其受力性能做进一步研究非常有必要。本文针对多塔部分斜拉桥的独特性,以温州瓯江大桥为原型,分析多塔部分斜拉桥的参数变化对桥梁结构的性能影响,为今后桥梁工作者认识该种桥型提供一些参考。

1 部分斜拉桥参数统计

论文收集整理了国内外81座部分斜拉桥资料,其中公路多塔部分斜拉桥参数统计如表1所列。

从已有统计数据可知,部分斜拉桥跨径布置范围较广,其主塔塔跨比(后文简称“塔跨比”)低于一般斜拉桥,主梁高跨比(后文简称“高跨比”)也较一般连续(刚构)梁桥要小。

2 参数敏感性分析

与一般斜拉桥相同,塔、梁、索是多塔部分斜拉桥

收稿日期: 2023-09-27

作者简介: 关进轩(1993—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

表 1 国内外公路多塔部分斜拉桥参数统计

位置		主跨跨径/m	塔跨比	边主跨比	支点主梁高跨比	塔数
国外	min	48.5	0.071	0.332	0.019	2
	max	275	0.242	0.772	0.045	8
国内	min	60	0.104	0.536	0.028	2
	max	312	0.313	0.655	0.048	7

的重要构件,主梁弯矩、挠度、塔顶水平偏移以及拉索应力是多塔部分斜拉桥静力特性的重要体现。斜拉桥恒载内力及变形受拉索索力影响较大,而索力可根据不同的调索目标来进行调整,不同目标函数甚至同一目标函数不同设计人员所调拉索力亦不相同,成桥状态也不相同,故参数变化时结构恒载状态不具可比性。考虑这一点,本文以多塔部分斜拉桥在活载作用下的荷载响应来研究结构参数对其静力性能的影响。

2.1 工程概况

温州瓯江特大桥跨越浙江第二大河瓯江,其主桥为三塔四跨部分斜拉桥,采用塔、梁、墩固结体系,主桥跨径布置为(140+2×225+120)m,桥宽达 36 m。主桥桥型布置如图 1 所示。

本桥主梁为预应力混凝土结构,采用单箱三室断面。主梁跨中梁高 3.5 m,主塔根部梁高 6.5 m,采用 1.8 次抛物线变高。梁段采用悬臂浇筑法进行施工。主梁断面如图 2 所示。

主塔为钢筋混凝土结构,纵向呈倒 Y 造型,两侧边塔高 35 m,中塔高 45 m。索塔上塔柱由塔顶的 2.5 m×2.6 m(顺桥向×横桥向)直线变化至上塔柱底的 5.0 m×2.6 m;下塔柱为双柱结构,塔柱单肢由柱顶的 1.8 m×

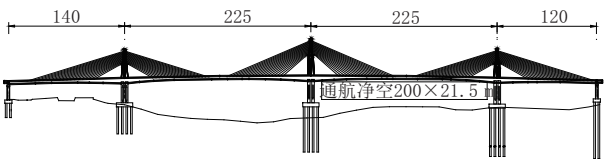


图 1 温州瓯江大桥主桥桥型图(单位:m)

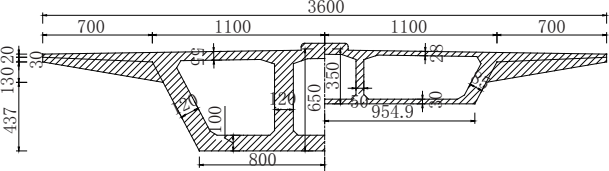


图 2 主梁断面示意图(单位:cm)

3.0 m 渐变至柱底的 3.6 m×3.0 m。斜拉索采用 φ 15.2 mm 型钢绞线拉索体系,单索面双排索,布置在主梁的中央分隔带处。拉索在主梁和主塔上索距分别为 4.0 m 和 0.8 m,采用分丝管式索鞍。

2.2 高跨比敏感性分析

主梁梁高是区别普通斜拉桥与部分斜拉桥的重要特征,主梁的刚度变化将直接影响主梁分担荷载的比例。国外刚梁柔塔公路多塔部分斜拉桥的主梁支点高跨比一般范围为 0.019~0.045,国内为 0.028~0.048。综合国内外情况,保持其他几个设计参数不变,分别取主梁支点高跨比为 0.02、0.029、0.038、0.047 四种情况来做研究,此时对应的支点梁高分别为 4.5、6.5、8.5、10.5 m。

2.2.1 对主梁的影响

为单独研究主梁刚度变化对结构受力的影响,消除梁高变化时自重因素,计算先以高跨比变化时主梁刚度为变量进行研究,此时高跨比对主梁内力及变形影响见表 2。

表 2 高跨比对主梁内力及变形影响表

高跨比(梁高/m)	$M_{\max}/(\text{kN}\cdot\text{m})$			$M_{\min}/(\text{kN}\cdot\text{m})$		挠度/cm	
	左边跨	中跨	右边跨	支点	左边跨	中跨	右边跨
0.02(4.5)	45 082.4	36 556.6	39 967.7	-123 711.5	5.69	8.01	3.35
0.029(6.5)	55 732.9	51 530.4	46 689.0	-124 784.9	3.91	6.51	2.40
0.038(8.5)	61 841.0	63 892.3	49 646.8	-124 651.4	3.08	5.50	2.05
0.047(10.5)	65 289.9	73 121.3	51 077.6	-125 143.2	2.71	4.81	1.89

分别以式(1)~式(3)来表示刚度变化对主梁跨中最大正弯矩、支点最小负弯矩、跨中最大挠度的影响程度。

$$\zeta M_{\text{Eg}}^+ = M_{\text{Eg}}^+ / M_{\text{实桥}}^+ \quad (1)$$

$$\zeta M_{\text{Eg}}^- = M_{\text{Eg}}^- / M_{\text{实桥}}^- \quad (2)$$

$$\zeta f_{\text{Eg}} = f_{\text{Eg}} / f_{\text{实桥}} \quad (3)$$

式中: M_{Eg}^+ 、 M_{Eg}^- 、 f_{Eg} 分别为不同高跨比对应刚度下活载跨中最大正弯矩、支点最小负弯矩、跨中最大挠度;

$M_{\text{实桥}}^+$ 、 $M_{\text{实桥}}^-$ 、 $f_{\text{实桥}}$ 分别为瓯江桥活载跨中最大正弯矩值、支点最小负弯矩值、跨中最大挠度值。

2.2.1.1 对主梁正弯矩区的影响

ζM_{Eg}^+ 随主梁刚度变化趋势如图 3 所示。

从图 3 可看出刚度对主梁弯矩影响显著,随着刚度的增加,主梁所分配弯矩越大,其中中跨正弯矩变化最明显,140 m 边跨次之,120 m 边跨最小,可见跨径越大,刚度对其影响也越大。同时随着刚度增加, ζM_{Eg}^+ 值变

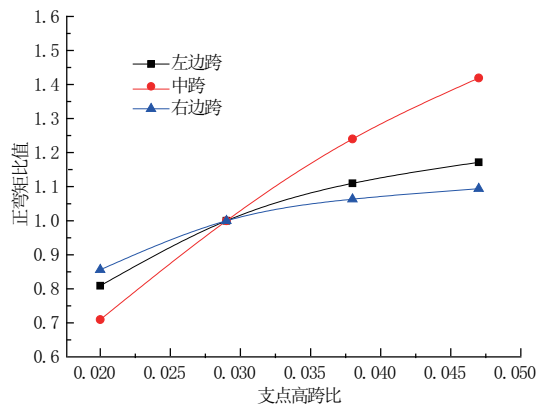


图3 ζM_{Eg}^{+} 趋势图

化趋于平缓,且跨径越小, ζM_{Eg}^{+} 收敛越快。
需注意主梁承载力与梁高成正比,图3并不表明刚度增加会使主梁受力变不利,应综合其承载力进行比较。均布荷载引起的弯矩与其荷载集度呈线性关系,故可用截面面积代替主梁荷载集度,用 $\sigma' = A \times y_{max} / I$ 来表示高跨比变化时自重和截面惯性矩对主梁应力的影响,以式(4)表示该变化对影响的作用程度。

$$\zeta \sigma' = \sigma'_{Eg} / \sigma'_{实桥} \tag{4}$$

式中: σ'_{Eg} 表示不同高跨比与主梁自重及截面惯性矩对应的应力相关值; $\sigma'_{实桥}$ 表示瓯江桥应力相关值。

不同高跨比主梁跨中截面特性及其对应应力影响见表3。

表3 跨中截面特性对截面应力影响计算表

跨中梁高/ m	截面面积 A/m^2	抗弯惯性矩 I/m^4	y_{max}/m	σ'	$\zeta \sigma'$
2.5	25.08	20.23	1.49	1.85	1.45
3.5	27.24	45.5	2.13	1.28	1
4.5	29.39	82.17	2.76	0.99	0.77
5.5	31.54	130.98	3.39	0.82	0.64

以式(5)来表示由刚度、主梁截面特性变化对跨中正弯矩的综合影响,计算结果见表4。

$$\zeta \sigma_{max} = \zeta M_{Eg}^{+} \times \zeta \sigma' \tag{5}$$

表4 M_{max} 综合影响结果表

跨中梁高/ m	$\zeta \sigma_{max}$		
	左边跨	中跨	右边跨
2.5	1.17	1.03	1.24
3.5	1	1	1
4.5	0.86	0.96	0.82
5.5	0.75	0.92	0.7

整理表中数据如图4所示。

分析可知,增加梁高虽使主梁分担的活载增加,但综合截面特性变化的影响后,对主梁受力有利, $\zeta \sigma_{max}$ 呈下降趋势。其中,中跨下降最快,140 m边跨次之,120 m

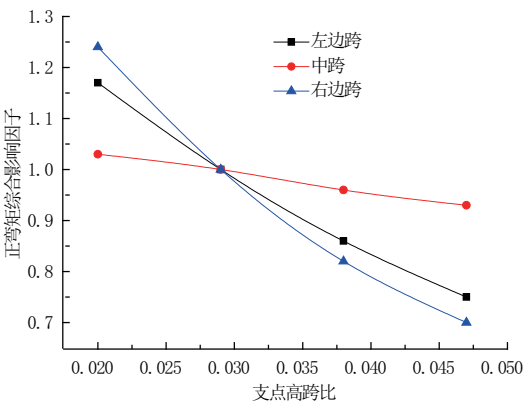


图4 $\zeta \sigma_{max}$ 趋势图

边跨最慢,可知跨径越大,改善受力所需增加的梁高也越大。故当部分斜拉桥跨径较小时,可适当增加梁高以改善主梁受力;当跨径较大时,考虑经济^[8]及美观效果,宜采用其它方式来更有效的提升桥梁承载力。

2.2.1.2 对主梁负弯矩区的影响

ζM_{Eg}^{-} 随主梁刚度变化趋势如图5所示。

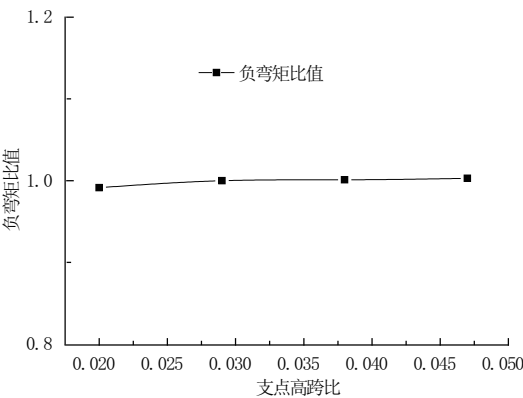


图5 ζM_{Eg}^{-} 趋势图

从图5可看出支点负弯矩比值受主梁刚度变化影响不大,随支点高跨比的增加, ζM_{Eg}^{-} 呈微弱上升趋势。

不同高跨比对应的支点截面特性及其对截面应力影响见表5。

表5 支点截面特性对截面应力影响计算表

支点梁高/ m	截面面积 A/m^2	抗弯惯性矩 I/m^4	y_{max}/m	σ'	$\zeta \sigma'$
4.5	53.64	137.83	2.38	0.93	1.44
6.5	61.78	337.00	3.51	0.64	1.00
8.5	69.92	632.32	4.67	0.52	0.80
10.5	78.05	1 029.13	5.84	0.44	0.69

以式(6)来表示由刚度和由主梁截面特性变化对支点负弯矩的综合影响,计算结果见表6。

$$\zeta \sigma_{min} = \zeta M_{Eg}^{-} \times \zeta \sigma' \tag{6}$$

整理表中数据如图6所示。

分析可知,刚度增加引起主梁支点负弯矩变化虽不明显,但综合截面特性变化的影响后,增加梁高对抵

表6 $M_{\min}$ 综合影响结果表

梁高/m	$\zeta M_{\min}$	$\zeta \sigma'$	$\zeta \sigma_{\min}$
4.5	0.99	1.44	1.43
6.5	1.00	1.00	1.00
8.5	1.00	0.80	0.80
10.5	1.00	0.69	0.69

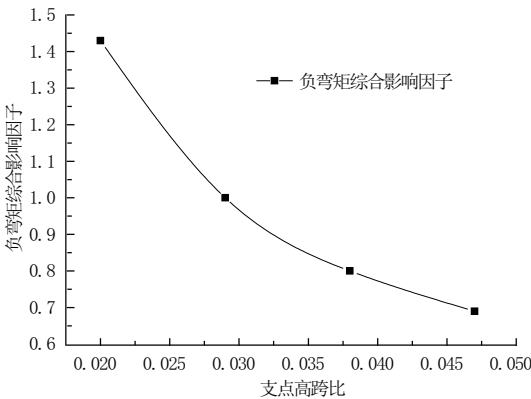


图6 $\zeta \sigma_{\min}$ 趋势图

抗支点负弯矩有明显效果。当部分斜拉桥主梁支点处承载力不足时,通过增加梁高可有效改善主梁受力。

2.2.1.3 对主梁挠度的影响

ζf_{Eg} 随主梁刚度变化趋势如图7所示。

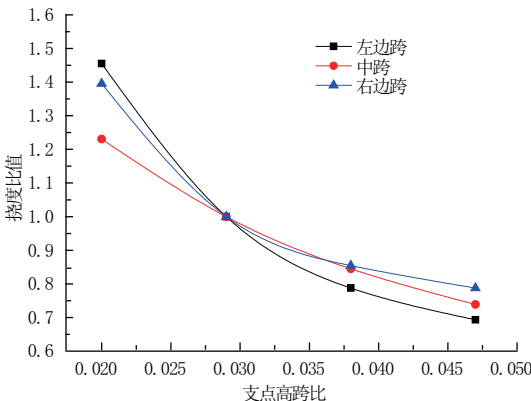


图7 ζf_{Eg} 趋势图

从图7可以得知,随着主梁刚度的增加,主梁在活载作用下的挠度不断减小,可见,增加主梁刚度对部分斜拉桥主梁抵抗活载下变形是有利的。

以 $Y' = A/I$ 来表示主梁自重和截面惯性矩对主梁挠度的影响,以式(7)表示其对该影响的作用程度。

$$\zeta Y' = Y'_{Eg} / Y'_{\text{实桥}} \quad (7)$$

式中: Y'_{Eg} 表示不同高跨比时自重和截面惯性对主梁挠度的影响值; $Y'_{\text{实桥}}$ 表示瓯江桥主梁挠度相关的影响值。不同高跨比截面特性对主梁挠度影响见表7。

以式(8)来表示由刚度和主梁截面特性变化对主梁挠度的综合影响。 ζY 计算结果见表8。

$$\zeta Y = \zeta M_{Eg}^+ \times \zeta Y' \quad (8)$$

为便于研究,绘制表中数据如图8所示。

表7 截面特性对主梁挠度影响计算表

跨中梁高/m	截面面积 A/m^2	抗弯惯性矩 I/m^4	Y'	$\zeta Y'$
2.5	25.08	20.23	1.24	2.07
3.5	27.24	45.50	0.60	1.00
4.5	29.39	82.17	0.36	0.60
5.5	31.54	130.98	0.24	0.40

表8 f 综合影响计算表

跨中梁高/m	ζY		
	左边跨	中跨	右边跨
2.5	1.67	1.47	1.77
3.5	1	1	1
4.5	0.66	0.74	0.63
5.5	0.47	0.57	0.44

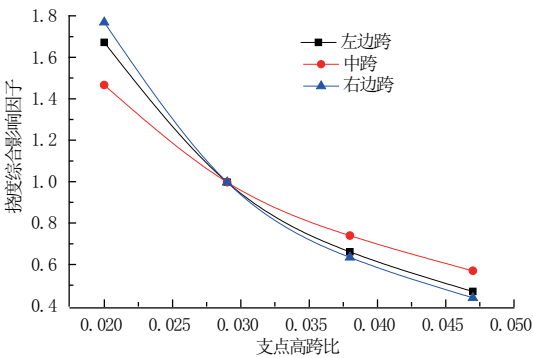


图8 ζY 趋势图

分析可知,随着梁高的增加, ζY 值下降趋势由快转慢,可见对于较柔的主梁,加大梁高可有效减小主梁挠度;但对本身较大刚度的主梁,增加梁高改善主梁变形会显得不太经济。各跨中中跨 ζY 值变化幅度最小,140 m 边跨其次,120 m 边跨最大,可见跨径越大,改善主梁变形所需增加的梁高亦越多。

2.2.2 对主塔的影响

提取主塔向大里程侧(右侧)水平偏移计算结果,主塔水平偏移值见表9。

表9 高跨比对主塔水平偏移影响表

高跨比(梁高/m)	水平偏移/cm		
	左塔	中塔	右塔
0.02(4.5)	1.85	2.17	1.25
0.029(6.5)	1.52	1.82	0.98
0.038(8.5)	1.33	1.60	0.85
0.047(10.5)	1.21	1.47	0.79

以式(9)来表示主梁刚度变化对主塔水平偏移的影响。

$$\zeta DX_{Eg} = DX_{Eg} / DX_{\text{实桥}} \quad (9)$$

式中: DX_{Eg} 表示不同高跨比的主梁刚度下主塔水平右偏值; $DX_{\text{实桥}}$ 表示瓯江桥主塔水平右偏值。整理表中数据如图9所示。

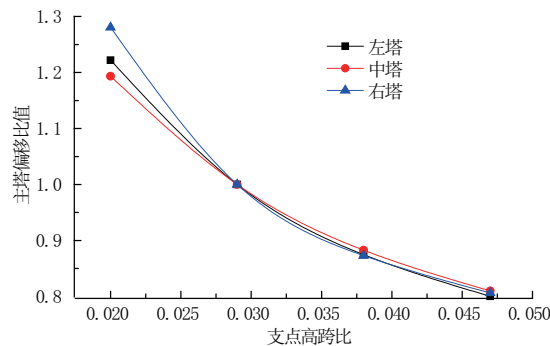


图9 ζDX_{Eg} 趋势图

分析可知,随着主梁刚度的增加,所有主塔水平偏移值都不断减小,曲线下落趋势逐渐趋缓。同刚度对主梁挠度的影响一样,可通过增加梁高来减小主塔活载水平偏移,但结合表9可知,一般部分斜拉桥主塔相对较矮,刚度较大,活载下偏移亦较小,主塔偏移一般可不作为设计控制指标。

2.2.3 对拉索的影响

拉索或者主梁承担的活载比例与部分斜拉桥的主梁刚度关系密切,表10列出了拉索活载比随主梁刚度变化的具体值。

表10 高跨比对拉索活载响应影响表

高跨比 (梁高/m)	$T_{\text{竖}}/\text{kN}$	活载/kN	活载比	最大应力 幅/MPa
0.020(4.5)	7 857.0	21 045	0.373	39.91
0.029(6.5)	6 926.9	21 045	0.329	32.61
0.038(8.5)	6 369.8	21 045	0.303	27.93
0.047(10.5)	5 996.0	21 045	0.285	25.41

表10中 $T_{\text{竖}}$ 为所有拉索活载下索力竖向分力总和,整理表中数据如图10至图11所示。

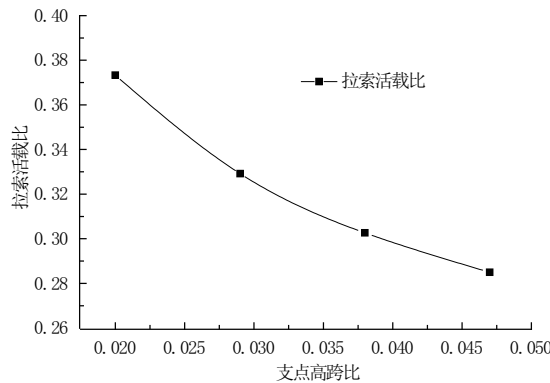


图10 拉索活载比

分析可知,随着主梁刚度的提升,拉索承担的活载比例逐渐减少,主梁承担的活载逐渐增加。图中曲线随着刚度的增加逐渐趋缓,但在目前国内外所采用高跨比范围内,高跨比对拉索活载比影响依然很大,应作为分配活载时重点考虑的因素之一。由图11中可见拉索活载下最大应力幅的变化规律与拉索活载比相同,呈下降趋势且逐渐趋缓,且一般拉索应力幅较小。考

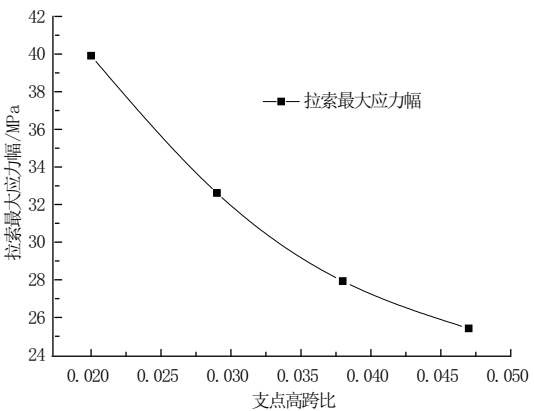


图11 拉索最大应力幅

虑温度变化、风力、拉索垂度变化等的影响后,亦会远小于现行规范规定的容许值80 MPa^[9],可认为部分斜拉桥拉索应力幅一般不控制设计。

2.3 塔跨比敏感性分析

塔跨比较普通斜拉桥小是部分斜拉桥的重要特征,塔高不仅与主跨跨径有关,还受主塔上拉索布置形式、拉索间距以及拉索倾角等影响。部分斜拉桥由于主塔较矮,拉索采用扇形布置有利于有效利用塔高,帮助主梁承担竖向作用,除有时考虑美观作用采用竖琴索面外,一般都使用扇形索面。确定拉索布置形式后,改变塔高实际上就是通过调整拉索倾角来影响结构内力分布。

由表1可知,目前国外公路多塔部分斜拉桥的塔跨比范围为0.071~0.242,国内为0.104~0.313。综合国内外情况,考虑目前部分斜拉桥塔跨比范围,保持其他几个设计参数不变,分别取中塔塔跨比为0.09、0.14、0.20、0.26四种情况做研究,此时对应中塔塔高分别为20.5、31.5、45、58.5 m。

2.3.1 对主梁的影响

塔跨比对主梁内力及变形影响见表11所列。

以式子(10)~式(12)分别来表示塔高对主梁跨中正弯矩、支点负弯矩、跨中挠度的影响。

$$\zeta M_T^+ = M_T^+ / M_{\text{实桥}}^+ \tag{10}$$

$$\zeta M_T^- = M_T^- / M_{\text{实桥}}^- \tag{11}$$

$$\zeta f_T = f_T / f_{\text{实桥}} \tag{12}$$

式中: M_T^+ 、 M_T^- 、 f_T 分别为不同塔跨比时活载主梁跨中正弯矩值、支点负弯矩值、跨中挠度值; $M_{\text{实桥}}^+$ 、 $M_{\text{实桥}}^-$ 、 $f_{\text{实桥}}$ 分别为瓯江桥活载跨中正弯矩值、支点负弯矩值、跨中挠度值。 ζM_T^+ 、 ζM_T^- 及 ζf_T 随塔跨比变化趋势如图12至图14所示。

分析可知,主梁弯矩及挠度随塔跨比的增加而不断减小,其中中跨变化幅度最大,140 m边跨次之,120 m

表 11 塔跨比对主梁内力及变形影响表

塔跨比 (塔高/ m)	$M_{\max}/$ (kN·m)			$M_{\min}/$ (kN·m)	挠度/cm		
	左边跨	中跨	右边跨	支点	左边跨	中跨	右边跨
0.09 (20.5)	61 304.8	64 925.5	50 083.1	-190 173.4	4.42	8.64	2.60
0.14 (31.5)	58 085.2	57 186.1	48 122.2	-154 081.0	4.14	7.39	2.49
0.20 (45.0)	55 732.9	51 530.4	46 689.0	-124 784.9	3.91	6.51	2.40
0.26 (58.5)	54 838.2	48 610.2	46 187.4	-119 596.1	3.81	6.07	2.35

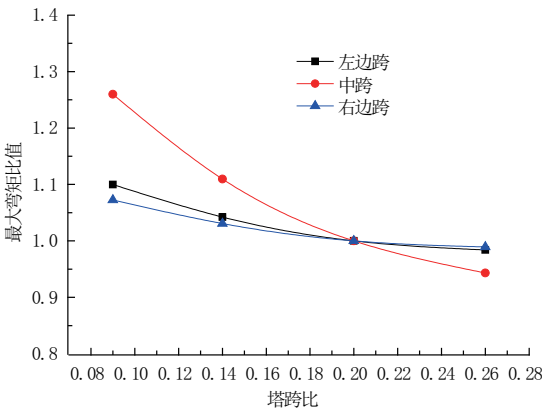


图 12 ζM_T^+ 趋势图

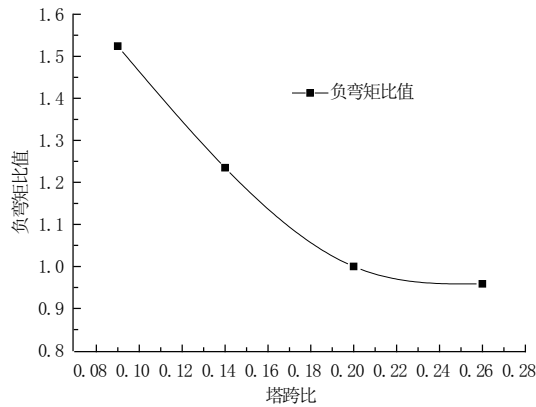


图 13 ζM_T^- 趋势图

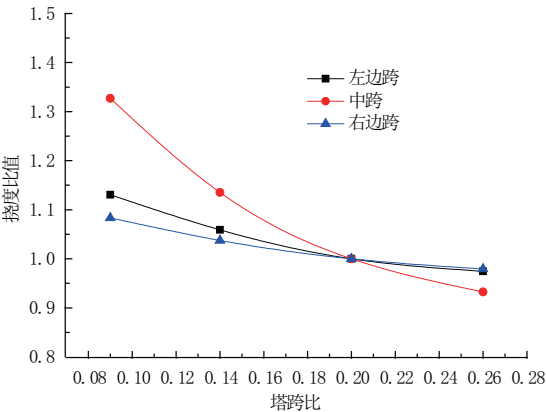


图 14 ζf_T 趋势图

边跨最小。与主梁刚度相反,塔跨比对支点负弯矩的影响程度大于对跨中正弯矩的影响。当塔跨比较小时,可通过增加塔高来改善结构受力及变形。

2.3.2 对主塔的影响

不同塔跨比主塔活载向水平右偏随塔跨比变化结果见表 12。

表 12 塔跨比对主塔水平偏移影响表

塔跨比(塔高/m)	水平偏移/cm		
	左塔	中塔	右塔
0.09(20.5)	0.780	0.933	0.589
0.14(31.5)	1.099	1.344	0.721
0.20(45.0)	1.517	1.815	0.976
0.26(58.5)	1.959	2.388	1.252

以式(13)表示主塔高度变化对主塔水平偏移的影响。

$$\zeta DX_T = DX_T / DX_{\text{实桥}} \quad (13)$$

式中: DX_T 表示对应塔跨比下主塔水平位移值; $DX_{\text{实桥}}$ 表示瓯江桥主塔水平偏移。 ζDX_T 随塔跨比变化趋势如图 15 所示。

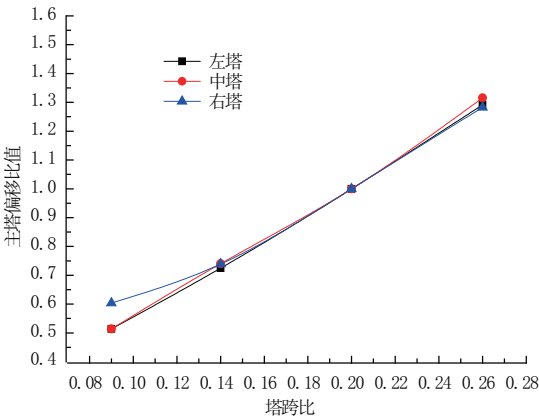


图 15 ζDX_T 趋势图

从图 15 中可以看出随着主塔高度的增加,主塔水平偏移逐渐变大,且塔跨比对三座塔影响程度较为接近。与高跨比情况相似,主塔水平偏移值均较小,可不做为设计控制因素。

2.3.3 对拉索的影响

拉索活载比随塔高增加的变化情况如表 13 所列。

表 13 塔跨比对拉索活载响应影响表

塔跨比 (塔高/m)	$T_{\text{竖}}/\text{kN}$	活载/kN	活载比	最大应力幅/ MPa
0.09(20.5)	1 806.68	21 045	0.086	25.707
0.14(31.5)	4 466.86	21 045	0.212	30.242
0.20(45.0)	6 926.90	21 045	0.329	32.606
0.26(58.5)	8 194.71	21 045	0.389	34.315

整理表中数据如图 16 至图 17 所示。

分析可知,随着塔高增加,拉索承担的活载比和拉

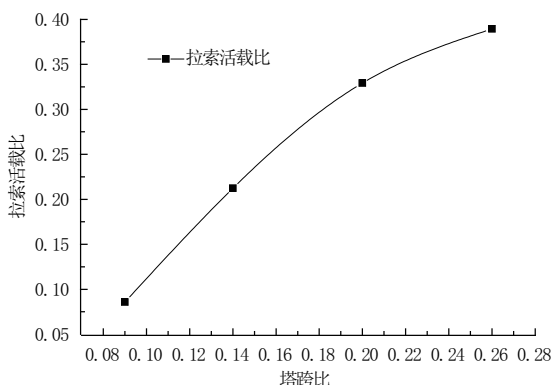


图16 拉索活载比

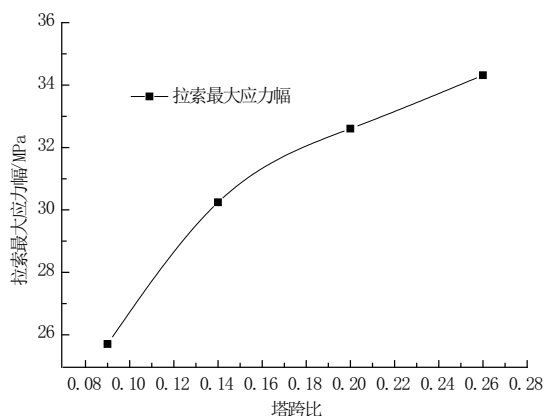


图17 拉索最大应力幅

索活载应力幅大幅增加,并且拉索活载比变化幅度巨大,可见主塔高度对活载在主梁与拉索间的分配比例影响非常重要。同时,从表14数据中可知,拉索承担活载仅占总活载的小部分,主梁承担着绝大部分的活载作用,这与普通斜拉桥主要靠拉索承担荷载相反。曲线随着塔高增加逐渐变缓,可见当塔高增加到一定程度后,通过调整塔跨比来改变活载比的效应便不再明显。在考虑的塔跨比范围内,拉索最大应力幅也较小,可认为部分斜拉桥拉索应力幅一般不控制设计。

3 结语

论文主要关注多塔部分斜拉桥的主梁高跨比、主塔塔跨比这两个设计参数,研究其变化时活载下的主

要结构构件受力、变形及拉索应力幅等问题。主要结论如下。

(1)主梁跨中正弯矩与主梁刚度呈正相关,与塔跨比呈负相关,其受两参数影响均较明显;主梁跨中应力状态、挠度均与高跨比、塔跨比呈负相关,影响程度亦较明显,且在各参数取值范围内,主梁跨中应力及变形受高跨比的影响均大于塔跨比。

(2)主梁支点负弯矩受主梁刚度影响较小,两者呈微弱正相关关系。主梁支点应力状态与高跨比、塔跨比均呈负相关关系,且在各参数取值范围内,主梁支点应力受高跨比的影响大于塔跨比。

(3)主塔水平位移与高跨比呈负相关,与塔跨比呈正相关,影响均较明显,且主塔水平位移受两者的影响程度相当。在各参数取值范围内,主塔水平位移均远小于容许值,可不作为设计控制因素。

(4)拉索活载及应力幅与高跨比呈负相关,与塔跨比呈正相关,影响均较明显。其中拉索活载比受塔跨比影响较大,而拉索应力幅受高跨比影响较大。但在各参数取值范围内,拉索应力幅值远小于容许值,可认为部分斜拉桥拉索应力幅一般不控制设计。

参考文献:

- [1] 刘士林.斜拉桥[M].北京:人民交通出版社,2002.
- [2] 王伯惠.斜拉桥结构发展和中国经验[M].北京:人民交通出版社,2003.
- [3] Luke J Drinkwater. ANALYSIS OF THE SUNNIBERG BRIDGE[C]// Proceedings of Bridge Engineering. 北京:人民交通出版社,2007.
- [4] 严国敏.再论部分斜拉桥,兼论多塔斜拉桥[C]//第十三届全国桥梁学术会议论文集.北京:人民交通出版社,1998.
- [5] 严国敏.日本木曾川桥—主跨275m的4塔混合梁部分斜拉桥[J].国外桥梁,1997(2):1-5.
- [6] 陈进昌.芜湖长江大桥正桥上部结构设计[J].桥梁建设,2001(2):26-30.
- [7] 袁晟,颜东煌,刘昀,等.PPC斜拉桥主梁多状态疲劳及疲劳后静力性能试验研究[J].土木工程学报,2024(6):169-179.
- [8] 张上,左家强,马辰龙.郑济高铁济南黄河桥五塔部分斜拉桥设计关键技术研究[J].铁道标准设计,2024,68(6)93-98.
- [9] JTG/T 3365-01—2020,公路斜拉桥设计规范[S].