

文章编号:1674-2869(2015)11-0020-07

双塔双索面矮塔斜拉桥静载试验分析

李 强^{1,2},孔祥勇^{1,2},吴国帆^{1,2}

1.安徽省公路工程检测中心,安徽 合肥 230051;

2.桥梁与隧道工程检测安徽省重点实验室,安徽 合肥 230051

摘 要:针对宿州新汴河大桥主桥建立有限元模型进行静载试验的理论计算,根据计算结果确定荷载试验的控制截面和试验工况.通过现场静载试验,测试了最不利荷载下主梁与主塔的截面应力、主梁挠度、斜拉索索力.将试验值与理论计算值进行比较分析,应力的校验系数在 0.24~0.93 之间,挠度校验系数在 0.61~0.68 之间,索力校验系数在 0.25~0.58 之间,各项试验指标的试验值均小于理论计算结果.结果表明:该桥在设计荷载作用下是安全的,具有良好的力学性能.

关键词:双塔双索面矮塔斜拉桥;静载试验;挠度;索力.

中图分类号:U446

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2015.11.005

0 引 言

矮塔斜拉桥又称部分斜拉桥,具有“塔矮、梁刚、索集中”的结构特点,桥型美观,跨越能力大,近 10 年来,在全世界范围内已有近百座矮塔斜拉桥建成,其中在我国境内的有 50 余座^[1-2].随着矮塔斜拉桥迅猛发展速度,大量学者对矮塔斜拉桥的荷载试验进行了深入的研究,姚惠发等^[3]通过静动试验,研究了矮塔斜拉桥的桥梁变位、主梁与塔的应力状态、斜拉索索力、自振频率、冲击系数等静动特性.罗霆^[4]研究了静载作用下矮塔斜拉桥的桥梁挠度、应力状态、索力等特性.方宏等^[5]对矮塔斜拉桥荷载试验对桥梁结构状况进行了评定.但是矮塔斜拉桥荷载试验在选择的桥型上主要集中在双塔单索面矮塔斜拉桥.针对双塔双索面矮塔斜拉桥荷载试验研究较少.

为了丰富矮塔斜拉桥的荷载试验的技术资

料,验证双塔双索面矮塔斜拉桥设计理念的科学性及理论计算的合理性,推动该类型矮塔斜拉桥设计、建造质量的技术进步.本文针对宿州新汴河大桥主桥建立有限元模型进行静载试验的理论计算,确定测试项目及加载方案;将理论计算结果与试验结果进行比较分析.

1 工程概述

该桥全长 927 m,桥跨布置为 3×30 m+3×30 m+4×30 m+85 m+145 m+85 m+4×28 m+4×30 m+3×30 m.其中主桥桥跨布置为 85 m+145 m+85 m,桥型为三跨连续双塔双索面矮塔斜拉桥,主梁为单箱四室变截面预应力钢筋混凝土箱梁,主塔为竖直塔形式,矩形截面钢筋混凝土塔.主桥结构形式为塔梁固结、梁墩分离体系.主桥下部采用桩接承台墩柱形式,墩柱为门式框架墩.主桥桥梁布置见图 1 所示.

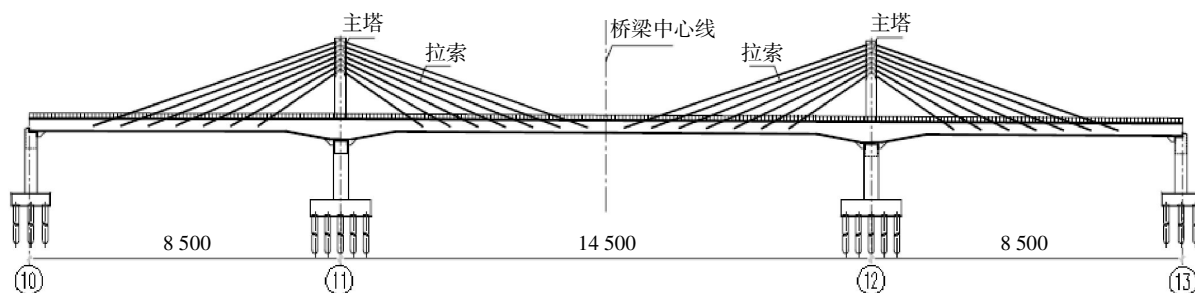


图 1 主桥布置图

Fig.1 Layout diagram of main bridge

收稿日期:2015-08-21

作者简介:李 强(1981-),男,安徽萧县人,工程师,硕士.研究方向:桥梁结构监测与评估技术.

2 静载荷试验

2.1 工况设置

利用桥梁有限元软件 MIDAS/Civil 建立主桥 (85 m+145 m+85 m)三跨连续双塔双索面矮塔斜拉桥模型,梁、塔采用梁单元,斜拉索采用桁架单元,

见图 2。根据设计文件,采用公路-I 级作为验证荷载进行静载试验的理论计算,计算结果见图 3~图 5。根据《公路桥梁承载力检测评定规程》和《大跨径混凝土桥梁的试验方法》的规定,结合结构分析计算结果选择了 3 个最不利位置作为主要内力控制截面,见图 6 所示;静载试验工况,见表 1。

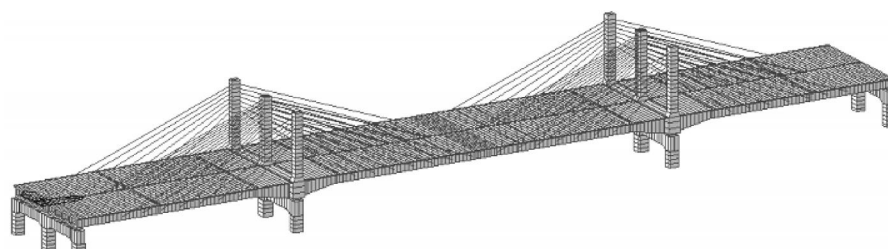


图 2 桥梁有限元模型

Fig.2 Finite element model of bridge

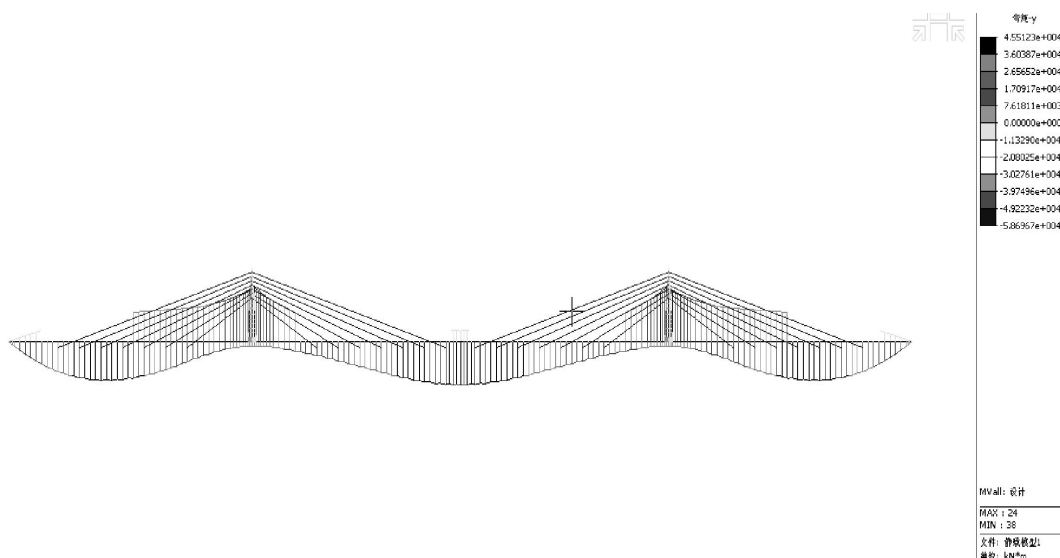


图 3 主梁弯矩包络图

Fig.3 Envelope graph of bending moments on main beam

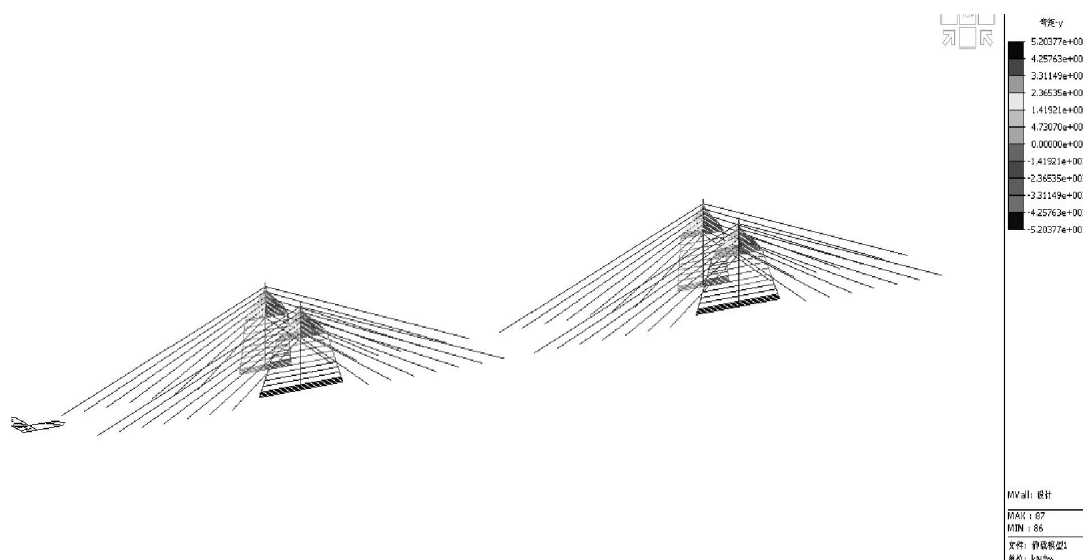


图 4 主塔弯矩包络图

Fig.4 Envelope graph of bending moments on main beam main tower

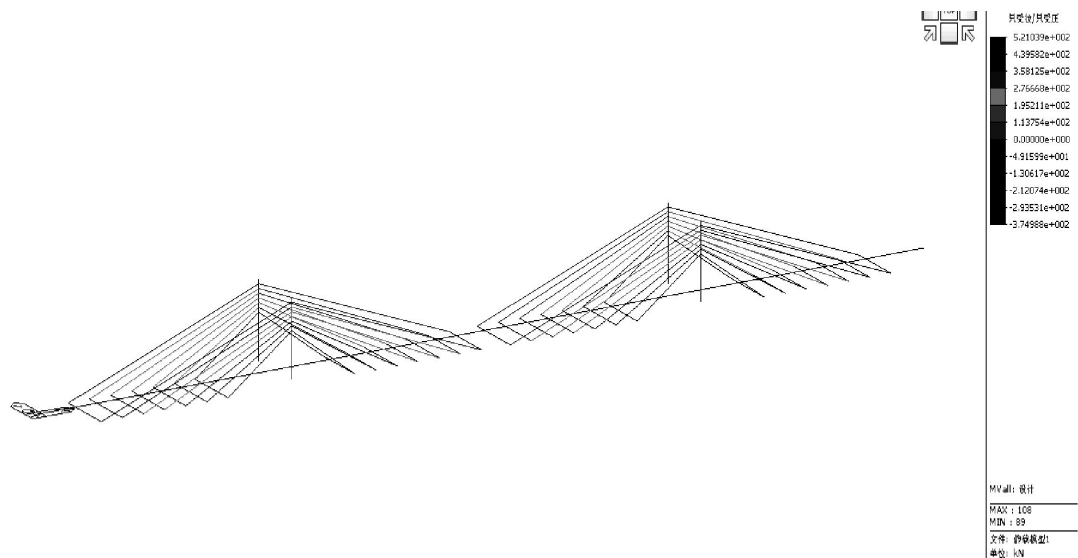


图 5 斜拉索索力包络图
Fig.5 Envelope graph of cable power on stay cables

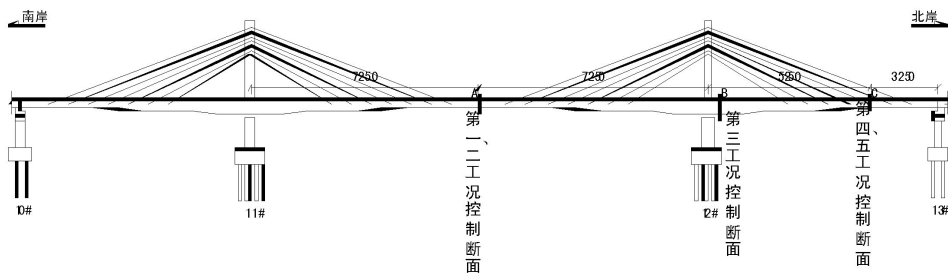


图 6 荷载试验工况布置图
Fig.6 Layout diagram of load experiment conditions

表 1 静载试验工况一览表
Table 1 Schedule of static load test conditions

工况	测试内容	控制弯矩/ (kN·m)	试验弯矩/ (kN·m)	试验荷载的 效率系数	效率系数 允许范围
工况 1	第 12 跨跨中 A 断面箱梁最大正弯矩外偏载测试及 12# 塔大桩号 B4、B5 斜拉索索力增量测试.	45 512.3	46 414.9	1.02	0.95~1.05
工况 2	第 12 跨跨中 A 断面箱梁最大正弯矩中载测试.	45 301.6	46 210.0	1.02	
工况 3	12# 墩墩顶 B 断面箱梁最大负弯矩测试.	-58 696.7	-58 795.5	1.00	
工况 4	第 13 跨跨中附近 C 断面箱梁最大正弯矩外偏载及 12# 塔小桩号 B7 斜拉索索力增量测试.	41 105.6	43 147.4	1.05	
工况 5	第 13 跨跨中附近 C 断面箱梁最大正弯矩中载测试.	41 071.0	42 122.5	1.03	

2.2 静载试验测点布置
箱梁应变测点布置如图 7 所示. 桥面挠度测点布置见图 8 所示,综合矮塔斜拉桥的特点和受力特征索力增量测点布置如图 9 所示.

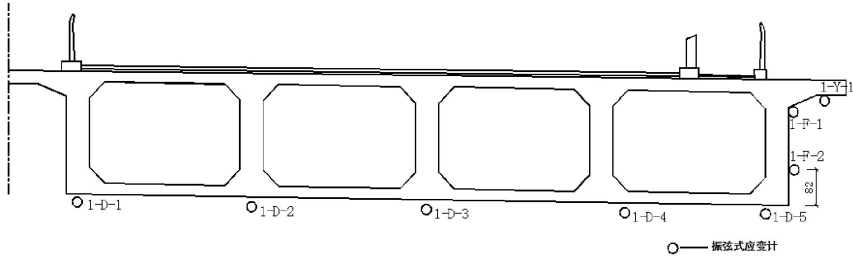


图 7 应变测点布置图
Fig.7 Layout diagram of strain tests

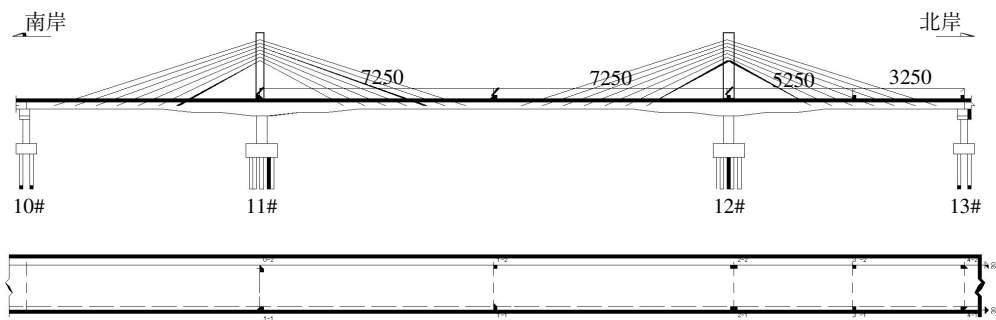


图 8 挠度测点布置图

Fig.8 Layout diagram of deflection test

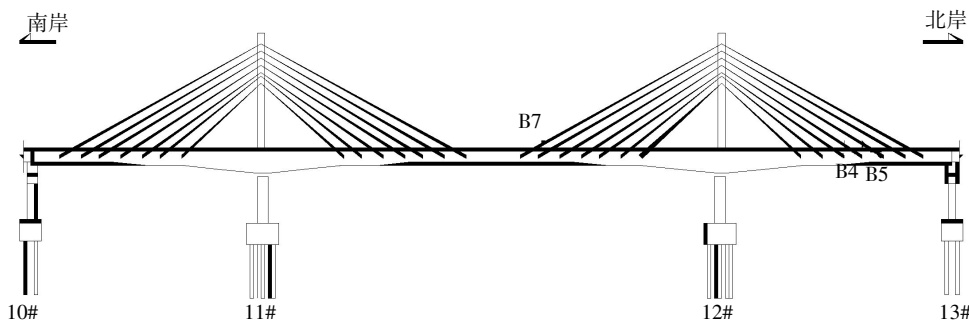


图 9 索力测点布置图

Fig.9 Layout diagram of cable force measurement

2.3 车辆荷载横向布置

该桥加载车辆横向布置考虑中载和偏载两种情况,如图 10~图 11 所示,采用 8 辆加载车,每辆

加载车质量约 40 t. 分三级加载,即累计荷载分别为 50%、80%和 100%^[6].

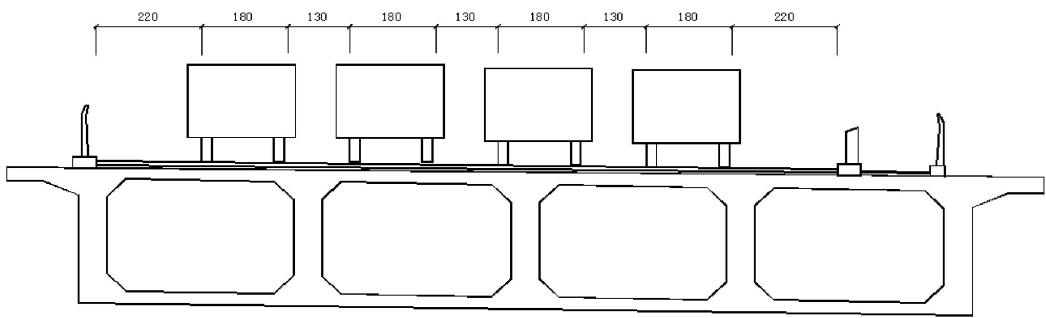


图 10 中载布置图

Fig.10 Layout diagram of load on the deck

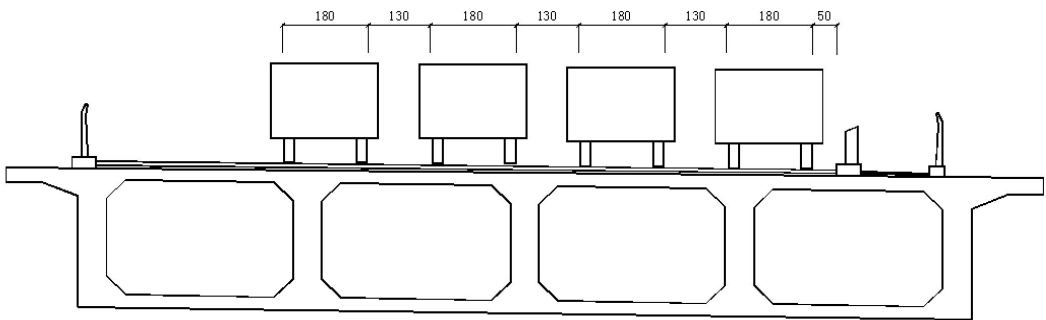


图 11 偏载布置图

Fig.11 Layout diagram of partial load on the deck

3 静载试验结果分析

3.1 应力(应变)结果分析

应变(应力)采用振弦式应变计(BGK4000 型)和应变读数仪(BGK-408 型)进行测试,量测精度为 $\pm 0.1\ \mu\varepsilon$.各工况的应变(应力)实测值 S_e 与理论值 S_{stat} 的比较如表 2 所示.通过分析可得在等效试验荷载作用下,箱梁应变(应力)校验系数在 0.24~0.93 之间,桥塔底面应变(应力)校验系数在 0.31~0.54 之间,均不大于理论分析计算值,说明主梁、桥塔构件性能较好,有一定的安全储备;结构在设

计荷载作用下是安全的.校验系数偏小的原因可能是材料弹性模量高出设计值较多,桥梁结构整体工作性能好^[7].

3.2 挠度结果分析

挠度是桥梁受力性能的综合体现,反映桥梁的安全性和承载能力.本次试验采用精密水准仪测量,测量精度 0.01 mm.各工况的挠度实测值 R_e 与理论值 R_{stat} 的比较如表 3 所示.由表 3 可知,挠度实测值均小于理论计算值,挠度校验系数分布在 0.61~0.68 之间.挠度实测结果表明该桥的纵向刚度满足设计要求,也是矮塔斜拉桥较高刚度的体现.

表 2 应力(应变)实测值与理论值对比
Table 2 Comparison of measured and theoretical values of (strain) stress

工况	测试内容	$S_e/\mu\varepsilon$	$S_{stat}/\mu\varepsilon$	校验系数
工况 1	第 12 跨跨中截面最大拉应变	81	87	0.93
工况 2	第 12 跨跨中截面最大拉应变	63	72	0.88
	12# 墩顶截面上缘最大拉应变	12	17	0.71
工况 3	12# 塔根部南面竖向应变	12	22	0.54
	12# 塔根部北面竖向应变	-7	-22	0.31
	12# 墩顶截面下缘最大压应变	-4	-17	0.24
工况 4	第 13 跨跨中附近截面最大拉应变	70	78	0.90
工况 5	第 13 跨跨中附近截面最大拉应变	28	53	0.53

表 3 挠度实测值与理论值对比
Table 3 Comparison of measured and theoretical values of deflection

工况	测试内容	R_e/mm	R_{stat}/mm	校验系数
工况 1	第 12 跨跨中截面竖向位移	44.74	73.3	0.61
工况 2	第 12 跨跨中截面竖向位移	45.84	67.18	0.68
工况 4	第 13 跨跨中附近截面竖向位移	17.40	28.70	0.61
工况 5	第 13 跨跨中附近截面竖向位移	15.79	24.50	0.64

3.3 索力结果分析

作为矮塔斜拉桥主要构件之一的斜拉索,索力的大小与分布直接反映矮塔斜拉桥持久状态下的内力状态,是评定其安全性和承载能力的主要参数.本次索力测试采用频谱分析法,检测结果见表 4~表 5.从数据可以看出,索力的实测值与理论

值变化趋势完全一致,活载作用下索力变化规律与设计基本相符,校验系数在 0.25~0.58 之间,满足设计要求.索力实测结果表明在试验荷载作用下斜拉索分担的荷载小于理论计算值,主梁与拉索分担荷载的比例仍需进一步研究.

表 4 工况 1 下部分索力实测值与理论值对比
Table 4 Comparison of measured and theoretical values of cable force under condition 1

编号	1 级加载			2 级加载			3 级加载			卸载 残余值/kN
	实测值/kN	理论值/kN	校验系数	实测值/kN	理论值/kN	校验系数	实测值/kN	理论值/kN	校验系数	
左 B4	3	12	0.25	8	16	0.50	11	21	0.52	0
左 B5	3	8	0.38	5	11	0.45	8	15	0.53	0
右 B4	23	78	0.29	57	107	0.53	82	142	0.58	4
右 B5	18	63	0.29	26	86	0.30	62	115	0.54	1

表 5 工况 4 下部分索力实测值与理论值对比

Table 5 Comparison of measured and theoretical values of cable force under condition 4

编号	1 级加载			2 级加载			3 级加载			卸载
	实测值/kN	理论值/kN	校验系数	实测值/kN	理论值/kN	校验系数	实测值/kN	理论值/kN	校验系数	残余值/kN
左 B7	16	43	0.37	23	59	0.39	37	78	0.47	0
右 B7	20	78	0.26	38	107	0.36	72	142	0.51	5

4 结 语

通过该桥的静载试验研究,静载试验桥梁的应力、挠度和索力实测值均小于理论计算结果,说明该桥在设计荷载作用下是安全的. 双塔双索面矮塔斜拉桥作为新型的桥梁结构具有良好的力学性能,其设计理论和方法有待进一步研究.

致 谢

感谢桥梁与隧道工程检测安徽省重点实验室对本文给予的指导与帮助!

参考文献:

[1] 施文杰.矮塔斜拉桥在国内外的发展与实践[J].现代交通技术,2012,9(3):22-25.
SHI Wen-jie. Development and practice of extra-dosed bridge at home and abroad[J]. Modern Transportation Technology,2012,9(3):22-25.(in Chinese)

[2] 郑汉.不同参数下双塔双索面矮塔斜拉桥静动力特性研究[D].扬州:扬州大学建筑科学与工程学院,2010.
ZHENG Han. Static and dynamic characteristics research on low-pylon cable-stayed bridge with twin-tower twin-cable-plane[D].Yangzhou: Yangzhou University Architectural Institute of Science and Engineering,2010. (in Chinese)

[3] 姚惠发,王军文,张运波. 离石矮塔斜拉桥成桥静动载试验研究[J].铁道建筑,2007(4):26-29.
YAO Hui-fa,WANG Jun-wen,ZHANG Yun-bo. Static

and dynamic test research on lishi bridge with low-pylon cable-stayed [J]. Railway Engineering,2007(4): 26-29. (in Chinese)

[4] 罗霆.矮塔斜拉桥静荷载试验分析[J].科学技术与工程,2011,11(32):8081-8083.
LUO Ting. Short tower cable-stayed bridge static load experiment analysis[J]. Science Technology and Engineering,2011,11(32):8081-8083. (in Chinese)

[5] 方宏,孔祥勇. 双塔单索面矮塔斜拉桥的荷载试验应用研究[J].工程与建设,2013,27(4):505-507.
FANG Hong,KONG Xiang-yong.Load experiment research on short tower cable-stayed bridge with twin towers single cable plane [J]. Engineering and Construction,2013,27(4):505-507.(in Chinese)

[6] 交通部公路科学研究所.大跨径混凝土桥梁的试验方法[M].北京:人民交通出版社,1982.
Ministry of Transportation Highway Research Institute. Test method for large span concrete bridge[M].Beijing: China Communications Press Co.,Ltd. 1982. (in Chinese)

[7] 宋金强,朱宏平,黄民水. 基于静动载试验的大型桥梁健康评估[J]. 武汉工程大学学报,2010,32(3):57-60.
SONG Jin-qiang, ZHU Hong-ping, HUANG Min-shui. Study on health assessment of large-scale bridge based on static and dynamic testing[J]. Journal of Wuhan Institute of Technology,2010,32(3):57-60. (in Chinese)

Experiment analysis of static load of extradosed cable-stayed bridge with twin-tower twin-cable-plane

LI Qiang^{1,2}, *KONG Xiang-yong*^{1,2}, *WU Guo-fan*^{1,2}

1. Anhui Test Center of Highway Engineering, Heifei 230051, China;

2. Anhui Province Key Laboratory for Bridge and Tunnel Engineering Detection, Heifei 230051, China

Abstract: The finite element model of the main bridge of Xinbian-he river bridge in Suzhou was built for theoretical calculation of static load experiment, based on which the test conditions and control sections were determined. The section stress of the main beam and the main tower, the deflection of the main beam and the cable force increment were tested under the most disadvantage load in the static load experiment. The coefficients of stress calibration, deflection calibration and cable force calibration are 0.24–0.93, 0.61–0.68 and 0.25–0.58 respectively, which are less than the theoretical calculation values. The results show that this bridge is safe with good rigidity and strength under the designed load.

Keywords: extradossed bridge with twin towers and double cable planes; static load experiment strain; deflection; cable force

本文编辑: 龚晓宁