

等截面圆弧无铰板拱技术状况评价

曾凡奎, 何 晖

(西安工业大学建筑工程学院, 陕西 西安 710032)

摘 要:旨在研究等截面圆弧无铰板拱桥梁在使用过程中的技术状况评定方法与针对已出现的病害所提出的加固方法的探索, 针对西安朱雀大街朱雀门桥, 选用桥梁静、动载试验对桥梁的技术状况进行评价, 结果表明, 西安朱雀大街朱雀门桥应变校验系数在0.50~0.86之间, 挠度校验系数也在0.53~0.75之间, 均小于1; 桥梁的一阶自振频率为17.27 Hz, 大于理论计算的17.21 Hz, 整体结构的实测振动曲线与理论计算值基本相符, 桥梁技术状况良好。

关键词: 等截面圆弧无铰板拱; 技术状况; 桥梁荷载试验; 应变; 挠度

中图分类号: U445.7⁺2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7930(2014)01-0049-07

拱桥是我国最重要、最成熟的桥型之一^[1]。尽管交通事业的发展和科学技术的进步, 形形色色的桥型不断出现, 但拱桥仍发挥着重要作用。现代交通流量的快速增加对修建时期较早的拱桥的承载能力提出了较高的要求。荷载试验作为技术状况的一种重要的安全检测手段, 其重要性日益突出。在桥梁使用过程中, 桥梁的技术状况评价更可以为决策者对桥梁的技术状况作出科学地评估, 提供有利和直观的依据, 针对已出现的病害更需要做具有针对性的维修加固方案。

1 工程概况

朱雀门桥位于西安市朱雀大街朱雀门外, 横跨南护城河, 是联系城内外交通的主要干道。该桥建于1985年, 桥梁全长34.8 m, 桥宽31 m。上部结构为实腹式等截面圆弧无铰板拱, 拱圈半径为12.44 m, 主拱净跨20 m, 矢高4.8 m, 矢跨比约为1/5; 下部结构采用箱型桥台, 扩大基础。桥面铺装采用沥青混合料铺装, 人行道用陶砖铺装。桥面宽度: 0.5 m 栏杆+6 m 人行道+18 m 行车道+6 m 人行道+0.5 m 栏杆。设计荷载: 汽-20, 挂-100。

2 荷载试验简介

将通过静载试验, 测试桥梁结构在静力荷载作用下的应变、挠度等状况, 分析桥梁结构的强度、刚度是否满足要求; 通过动载试验, 测试桥梁结构的自振频率、振形等参数, 分析桥梁结构动力性能是否满足要求。对静载试验和动载试验综合分析, 确定桥梁结构的实际承载能力是否满足设计荷载要求。检测内容分为以下四个部分^[2]: (1) 测量拱圈控制截面在试验荷载作用下的挠度; (2) 测量拱圈控制截面在试验荷载作用下的应变; (3) 观测桥台的沉降情况; (4) 测试桥梁的动力特性。

2.1 检测仪器与设备

依据检测目的与检测内容, 试验所需主要检测仪器与设备主要有 (1) 静态数据采集系统: 型号为TDS-530, 数量1, 编号为HRYQ108-2; (2) 转换箱: 型号为ES-01091SW-50G, 数量1, 编号为HRYQ108-1; (3) 动态测试系统: 型号为imc-C1, 数量1, 编号为HRYQ109; (4) 拾振器: 型号为DH610V, 数量2, 编号为HRYQ110-1~5; (5) 位移传感器: 型号为YHD-50, 数量8, 编号为HRYQ112-1~8; (6) 裂缝宽度观测仪: 型号为DJCK-2, 数量1, 编号为HRYQ102。

2.2 检测断面

依据《公路桥梁承载能力检测评定规程》的规定, 参照桥梁在设计活载作用下的内力包络图, 选择主拱圈的拱顶截面和拱脚截面作为观测截面(见表1和图1)。

表 1 检测断面
Tab. 1 Detecting section

序号	观测截面位置	测量内容
1	拱顶截面	拱顶截面砼法向应变, 挠度
2	拱脚截面	拱脚截面砼法向应变

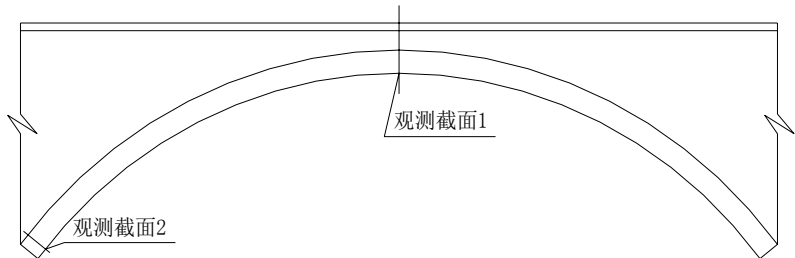


图 1 测试截面位置及编号示意图
Fig. 1 Schematic diagram of location and number of test section

2.3 测点布置
2.3.1 应变测点

为了分析该桥在试验荷载作用下的应变, 在板拱的观测截面 1、2 处, 在主拱圈底面均匀布置 9 片电阻应变计 (见图 2), 共计 $2\times 9=18$ 个测点。

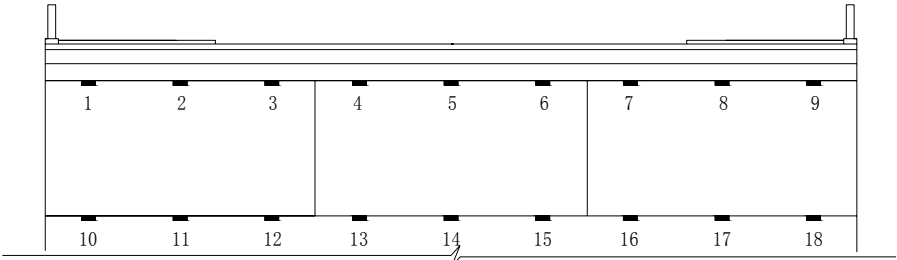


图2 应变测试点布置及编号示意图
Fig. 2 Schematic diagram of deformation test point arrangement and number

2.3.2 挠度测点

为了分析桥梁结构在试验荷载作用下的挠度情况, 在板拱的观测截面 1 处, 均匀安装 9 个机电百分表 (见图 3), 计 9 个测点。

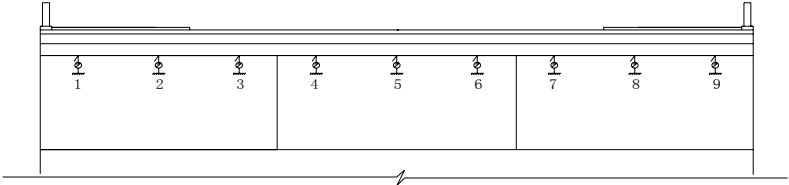


图3 挠度测试点布置及编号示意图
Fig. 3 schematic diagram of deflection test points arrangement and number

动载试验中, 根据桥梁的结构形式, 为了测得桥梁结构的自振频率、振形, 在跨中断面的主拱圈上布置加速度传感器, 测取试验车辆以不同的速度通过桥梁的动力响应。

3 实验加载方案

3.1 加载车辆

为了保证试验的有效性, 根据各测试截面的内力及挠度影响线, 按最不利位置加载, 在保证各主要测试截面静力荷载试验效率 η_q 至少达到 0.95 以上的条件下, 经过计算确定, 本次荷载试验共需要 25 t 载重汽车 8 辆。试验前对每辆车都进行配重, 并记录下各辆车的实际轴重、总重、轮间距和轴间距。应力和挠度分析计算过程中的车辆荷载都是按实际的轴距、轮距和轴重取值的。动载试验中, 试验荷载采用 250 kN 荷载车 1 辆以不同速度通过桥梁, 测得桥梁结构的震动曲线和动应变时域曲线, 测得自振频率。

3.2 试验工况

与检测内容对应, 静载试验共分为 6 种试验工况.

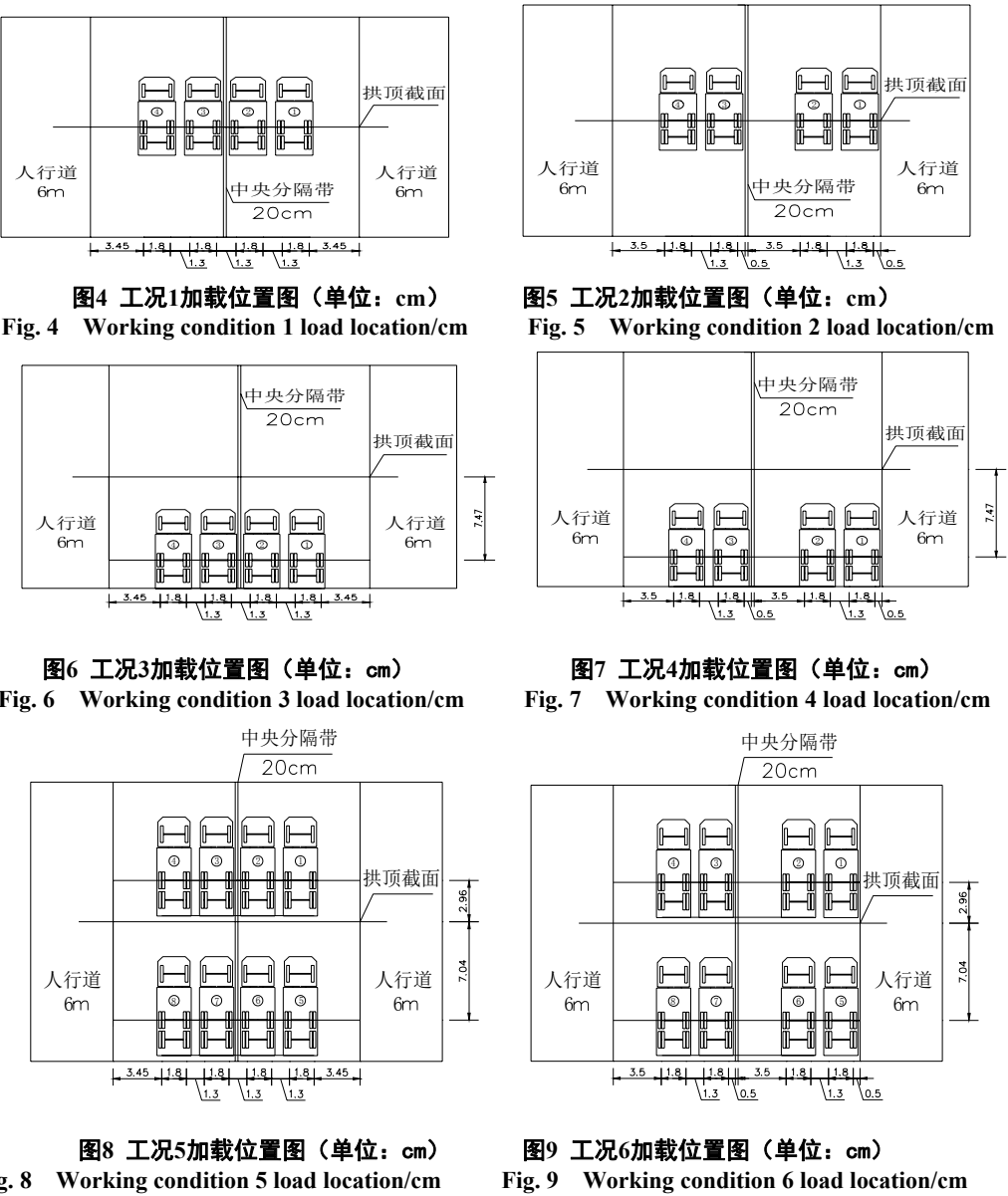
工况 1: 顺桥向按拱顶截面正弯矩的最不利位置布载, 横桥向为中载(见图 4); 工况 2: 顺桥向布载位置与工况 1 相同, 横桥向为偏载(见图 5); 工况 3: 顺桥向按拱脚截面负弯矩的最不利位置布载, 横桥向为中载(见图 6); 工况 4: 顺桥向布载位置与工况 3 相同, 横桥向为偏载(见图 7); 工况 5: 顺桥向按拱脚截面轴力的最不利位置布载, 横桥向为中载(见图 8); 工况 6: 顺桥向布载位置与工况 5 相同, 横桥向为偏载(见图 9).

结合现场情况, 动载试验共分为 4 种试验工况.

工况 1: 一辆重车以 20 km/h 速居中过桥; 工况 2: 一辆重车以 30 km/h 速居中过桥; 工况 3: 一辆重车以 40 km/h 速居中过桥; 工况 4: 一辆重车以 50 km/h 速居中过桥.

3.3 布载方案

与试验工况对应, 共分为 6 种布载方案, 依据内力影响线确定各工况中汽车荷载的位置如下(见图 4-9).



3.4 试验加载效率

根据《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JGJT-J21-2011)的规定, 计算出静力荷载试验效率, 见表 2. 由表 2 可见, 各控制断面静力荷载试验效率分别为 1.023、1.004 和 0.991, 满足《公路桥梁承载能力

检测评定规程》中加载效率取值宜在 0.95~1.05 之间的规定.

表 2 静力荷载试验效率一览表
Tab. 2 Efficiency table of static load test

工况	项目/kN·m	试验荷载①	汽-20, 挂-100+人群②	荷载效率③=①/②
1, 2	拱顶截面正弯矩	649.6	634.7	1.023
3, 4	拱脚截面负弯矩	- 915.6	- 921.2	1.004
5, 6	拱脚截面轴力	1 284.6	1 296.8	0.991

4 试验结果与分析

各个工况下相应控制截面主要测点应变计算值及实测值和校验系数见表 3.

表3 测点实测应变值与计算值对照表
Tab.3 Measured strain value and calculated value comparison at the measure-point

工况	控制断面	测点编号	计算值 (μ ϵ) ①	平均值 (μ ϵ) ④	校验系数	
					④/①	均值
工 况 1	I-I 断面	4	19	13.5	0.71	0.69
		5	22	16.0	0.73	
		6	19	14.5	0.76	
	II-II 断面	13	- 10	- 6.5	0.65	
		14	- 12	- 7.5	0.63	
		15	- 10	- 6.5	0.65	
工 况 2	I-I 断面	2	18	13.0	0.72	0.71
		3	23	16.5	0.72	
		4	16	12.5	0.78	
		5	22	16.0	0.73	
		6	15	11.5	0.77	
		11	- 9	- 6.5	0.72	
	II-II 断面	12	- 11	- 8.0	0.73	
		13	- 9	- 6.0	0.67	
		14	- 10	- 6.5	0.65	
		15	- 8	- 5.0	0.63	
工 况 3	I-I 断面	4	5	3.0	0.60	0.68
		5	7	4.0	0.57	
		6	5	3.5	0.70	
	II-II 断面	13	- 28	- 20.0	0.71	
		14	- 32	- 24.0	0.75	
		15	- 28	- 21.5	0.77	
工 况 4	I-I 断面	2	5	2.5	0.50	0.71
		3	7	5.0	0.71	
		4	6	4.5	0.75	
		5	6	4.0	0.67	
工 况 4	II-II 断面	6	4	3.0	0.75	0.71
		11	- 27	- 20.5	0.76	
		12	- 31	- 23.5	0.76	
		13	- 26	- 20.0	0.77	
		14	- 29	- 21.0	0.72	
		15	- 24	- 18.0	0.75	
工 况 5	I-I 断面	4	8	5.5	0.69	0.73
		5	10	6.5	0.65	
		6	8	5.5	0.69	
	II-II 断面	13	- 14	- 10.5	0.75	
		14	- 16	- 13.0	0.81	
		15	- 14	- 11.5	0.82	

续表3

工 况 6	I-I 断面	2	9	6.5	0.72	0.80
		3	10	7.5	0.75	
		4	8	6.5	0.81	
		5	9	7.5	0.83	
		6	7	6.0	0.86	
	II-II 断面	11	- 15	- 11.5	0.77	
		12	- 16	- 13.0	0.81	
		13	- 13	- 11.0	0.85	
		14	- 15	- 12.5	0.83	
		15	- 12	- 9.5	0.79	

由表 3 可见, 工况 1 的校验系数均值为 0.69, 工况 2 的校验系数均值为 0.71, 工况 3 的校验系数均值为 0.68, 工况 4 的校验系数均值为 0.71, 工况 5 的校验系数均值为 0.73, 工况 6 的校验系数均值为 0.80. 应变校验系数在 0.50~0.86 之间, 均小于 1. 说明主梁结构的承载能力满足设计要求. 各个工况下相应控制截面挠度实测值和计算值的比较及校验系数见表 4 所示.

表4 挠度实测值与计算值对照表
Tab. 4 Measured values of deflection and calculated values

工况	控制 断面	测点 编号	计算值/mm ①	平均值 /mm④	校验系数	
					④/①	均值
工 况 1	I-I 断面	4	0.32	0.23	0.72	0.73
		5	0.36	0.27	0.75	
		6	0.32	0.23	0.72	
工 况 2	I-I 断面	2	0.31	0.23	0.73	0.71
		3	0.35	0.26	0.74	
		4	0.29	0.20	0.69	
		5	0.33	0.24	0.71	
		6	0.28	0.20	0.70	
工 况 3	I-I 断面	4	0.15	0.09	0.57	0.56
		5	0.17	0.10	0.59	
		6	0.15	0.08	0.53	
工 况 4	I-I 断面	2	0.14	0.08	0.57	0.59
		3	0.16	0.09	0.56	
		4	0.13	0.08	0.58	
		5	0.15	0.10	0.67	
		6	0.12	0.07	0.58	
工 况 5	I-I 断面	4	0.28	0.18	0.63	0.64
		5	0.31	0.20	0.65	
		6	0.28	0.19	0.66	
工 况 6	I-I 断面	2	0.26	0.18	0.67	0.63
		3	0.28	0.17	0.61	
		4	0.25	0.16	0.62	
		5	0.27	0.18	0.67	
		6	0.24	0.15	0.60	

由表 4 可见, 工况 1 的挠度校验系数均值为 0.73, 工况 2 的挠度校验均值为 0.71. 工况 3 的挠度校验均值为 0.56, 工况 4 的挠度校验值为 0.59. 工况 5 的挠度校验均值为 0.64, 工况 6 的挠度校验值为 0.63. 挠度校验系数在 0.53~0.75 之间, 均小于 1. 说明主梁结构的刚度满足设计要求.

结构自振振型与频率计算结果见图 10, 实测桥梁振动频域曲线和时域曲线见图 11、图 12 所示; 自振频率实测值与计算值比较见表 5 所示.

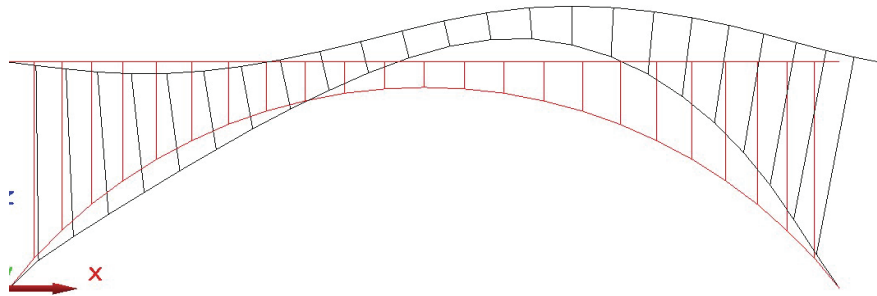


图10 结构计算振型图 (第1阶振型 $f_1=17.21\text{ Hz}$)
Fig .10 Structural calculation modes diagram (First order vibration mode $f_1=17.21\text{ Hz}$)

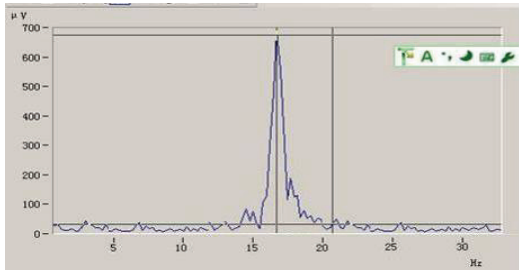


图 11 实测频域曲线 (f1= 17.27Hz)
Fig 11 Measured curve of frequency domain($f_1= 17.27\text{Hz}$)

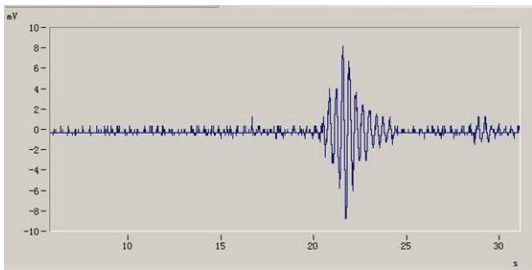


图 12 实测时域曲线
Fig 12 Measured curve of time domain

表5 桥梁振动频率实测值与计算值比较表
Tab. 5 Measured values of bridge vibration frequency vs calculated values

测试位置	激振方式	自振频率/Hz		
		阶次	计算值	实测值
主拱圈拱顶截面	跑车	1	17.21	17.27

由表 7 可见, 试验桥梁的一阶自振频率为 17.27 Hz, 大于理论计算的 17.21 Hz.表明桥梁整体结构的实际动刚度大于设计所具备的动刚度. 由图 9 与图 10 可见, 桥梁整体结构的实测振动曲线与理论计算值基本相符, 说明试验桥的振动规律符合等截面圆弧板拱的振动规律.

5 结论

(1) 西安朱雀大街朱雀门桥应变校验系数在 0.50~0.86 之间, 挠度校验系数也在 0.53~0.75 之间, 均小于 1; 桥梁的一阶自振频率为 17.27 Hz, 大于理论计算的 17.21 Hz, 整体结构的实测振动曲线与理论计算值基本相符, 桥梁技术状况良好.

(2) 针对结构目前的使用状况, 作出以下维修处理意见: 对宽度超限的主拱圈裂缝建议进行压浆处理; 对主拱圈渗水严重、砼腐蚀及析白处建议凿除表层后, 重新采用高标号水泥砂浆修补; 对主拱圈与拱上建筑脱空和拱脚与桥台脱空处建议进行注浆处理; 对桥台和侧墙宽度超限裂缝建议进行注浆处理; 桥面存在纵、横向裂缝且有局部沉陷, 建议桥面重做, 并做好防水处理; 考虑到改造后护城河水位比原来升高, 建议采取有效措施对主拱圈和拱脚做好防水处理.

参考文献 References

[1] 宋一凡.公路桥梁荷载试验与结构评定[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
SONG Yifan. Highway bridge load testing and structural evaluation[M]. Beijing: People's Communications Press, 2002.

[2] 中华人民共和国交通运输部. JTG/TH21-2011 公路桥梁技术状况评定标准[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
Ministry of Transport of the People's Republic of China . JTG/TH21-2011[S]. Beijing: People's Communications Press, 2004.

[3] 中华人民共和国交通运输部. JTG D62-2004 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S]. 北京:人民交通出版社,2004.
Ministry of Transport of the People's Republic of China. JTG D62-2004[S]. Beijing: People's Communications Press, 2004.

- [4] YANG Jianrong, ZHENG Zuoxiong, SU Hexian, et al. Static load test and modal analysis of Qingshui River bridge[J]. Advanced Materials Research, 2012(588-589):166-169.
- [5] ZENG Yan. Bridge structure performance evaluation based on dynamic load test[J]. Applied Mechanics and Materials, 2012(238):694-696.
- [6] LIU Yun, YAN Donghuang. Study of load test of pedestrian suspension bridge.[J] Advanced Materials Research, 2011 (163-167): 2670-2673.
- [7] 曾凡奎, 张雅维. 基于荷载试验的桥梁残余承载力评价[J]. 青岛农业大学学报:自然科学版, 2013, 30(2): 142-147.
ZENG Fankui, ZHANG Yawei. Evaluation of residual bearing capacity of bridge on load test[J]. Journal of Qingdao Agricultural University: Natural Science, 2013, 30(2): 142-146.
- [8] 曾凡奎, 张雅维. 在役空腹式混凝土板拱荷载试验[J]. 西安工业大学学报, 2013, 33(10): 818-824.
ZENG Fankui, ZHANG Yawei. Load test of existing hollow concrete slab arch[J]. Journal of Xi'an Technological University: Natural Science, 2013, 33(10): 818-824.

Evaluation on the technical condition and reinforcement of uniform-section circular hingeless arch plate

ZENG Fankui, HE Hui

(Xi'an Technological University, Civil & Architecture Engineering, Xi'an 710032, China)

Abstract: This paper aims to research the technical condition evaluation method of uniform-section circular hingeless plate arch bridge in use and explore the strengthening method to tackle the diseases that have appeared. Based on Xi'an Rosefinch Street gate bridge, this paper chose bridge static and dynamic load test to carry out bridge technical condition evaluation. Results showed that strain calibration coefficient of Xi'an Rosefinch Street gate bridge is between 0.50 ~ 0.86 while its deflection calibration coefficient is between 0.53 ~ 0.75 and both of them is less than 1. The first-order natural frequency of the bridges 17.27 Hz, greater than the theoretical calculation of 17.21 Hz, and the measured vibration curve of whole structure is consistent with the theoretical calculation value. All these results showed that the bridge technology is in good condition. For diseases that have appeared, this article put forward suggestions for strengthening. Results show that the technical condition of uniform-section circular hingeless arch plate bridge is good, but for diseases that have appeared such as cracks it needs specific reinforce maintenance.

Key words: uniform-section circular hingeless arch plate; technical condition; bridge load test; strain; deflection

(本文编辑: 沈波)

(上接第 9 页)

Study on the strength weakening rule of steel fiber reinforced concrete after microwave irradiation

DAI Jun¹, WU Tao¹, CAO Dong², GAO Yuzhu¹, WU Yu¹

(1. College of Architecture and Civil Engineering, Xi'an University of Science & Technology, Xi'an 710054, China

2. Sichuan Geological Engineering Investigation Institute, Chengdu 610032, China)

Abstract: Based on tensile strength index, this paper studies the law of steel-fiber reinforced concrete strength degradation after microwave irradiation. The relations between the strength reduction and the microwave exposure time and microwave power level are analyzed. The experimental research shows that the longer the steel-fiber reinforced concrete is irradiated, the more its strength reduces under the equal power microwave, and meanwhile the speed of strength degradation is reduced, finally the steel-fiber reinforced concrete lose its tensile strength entirely. The cooling by spraying water after microwave irradiation leads to larger strength reduction of concrete. For the fixed irradiation time, the same result is found. The reason for steel-fiber reinforced concrete degradation induced by microwave irradiation is the decline of chemical bonding force between the surface of steel-fiber and the cement gel in concrete, the weakening of friction on the contact surface of steel fiber and the concrete, and reduction of mechanical interaction of steel fiber by its rough surface.

Key words: microwaves; microwave heating; steel fiber reinforced concrete; strength deterioration

(本文编辑: 沈波)