

文章编号: 0451-0712(2006)04-0117-03

中图分类号: U446.3

文献标识码: B

# 阿拉尔塔里木河大桥检测与荷载试验

阎卫国<sup>1</sup>, 蒋新亭<sup>1</sup>, 张开银<sup>2</sup>, 沈成武<sup>2</sup>

(1. 新疆公路规划勘察设计研究院 乌鲁木齐市 830006; 2. 武汉理工大学 武汉市 430063)

**摘 要:** 介绍了新疆阿拉尔塔里木河大桥检测及荷载试验情况, 通过对 T 梁的应变、挠度、自振特性及振动响应测试, 对大桥的承载能力进行了分析评价。

**关键词:** 塔里木河大桥; 检测; 荷载试验

## 1 大桥概况

阿拉尔塔里木河大桥位于新疆维吾尔自治区阿拉尔市, 是目前连接阿拉尔市南北城区的唯一通道。该桥跨径布置为  $80 \times 20$  m, 总长 1 602 m, 桥面净宽为 9 m。设计荷载为汽车—15 级, 挂车—80。上部结构为跨径 20 m 的钢筋混凝土 T 梁, 桥面横向布置为 5 片 T 梁; 下部结构为双柱式桥墩, 钻孔灌注桩基础。该桥于 1982 年建成通车。

由于新疆第二条沙漠公路正在修建, 许多大型设备及工程车辆需从本桥经过, 因此有必要对桥梁进行检测及荷载试验, 以评价其现有承载能力, 为大桥的加固提供依据。

## 2 大桥检测

### 2.1 主梁混凝土强度检测内容

(1) 用回弹仪检测混凝土强度, 通过测定混凝土表面硬度来推测其强度。

(2) 用超声仪检测技术测定混凝土强度, 通过混凝土中的超声波速, 推定混凝土强度。测试位置与回弹法对应, 以便开展超声—回弹综合法检测混凝土强度。

(3) 混凝土碳化深度测定, 使用酚酞试剂喷涂在混凝土钻孔的内表面, 根据指示剂颜色的变化, 判断混凝土的碳化深度。

通过回弹法与超声回弹综合法测试, 推定 T 梁混凝土强度等级为 C25, 并以该混凝土强度作为荷载试验时 T 梁材料弹性模量取值的依据。

### 2.2 桥面线形测量

测量桥面线形时, 在人行道内侧桥面上设  $321 \times 2$  个测点, 即每跨设  $5 \times 2$  个测点, 具体布置见图 1 所示。试验前用精密水准仪对各测点进行观测, 该数据可作为原始资料, 对以后桥面线形变化量做比较。

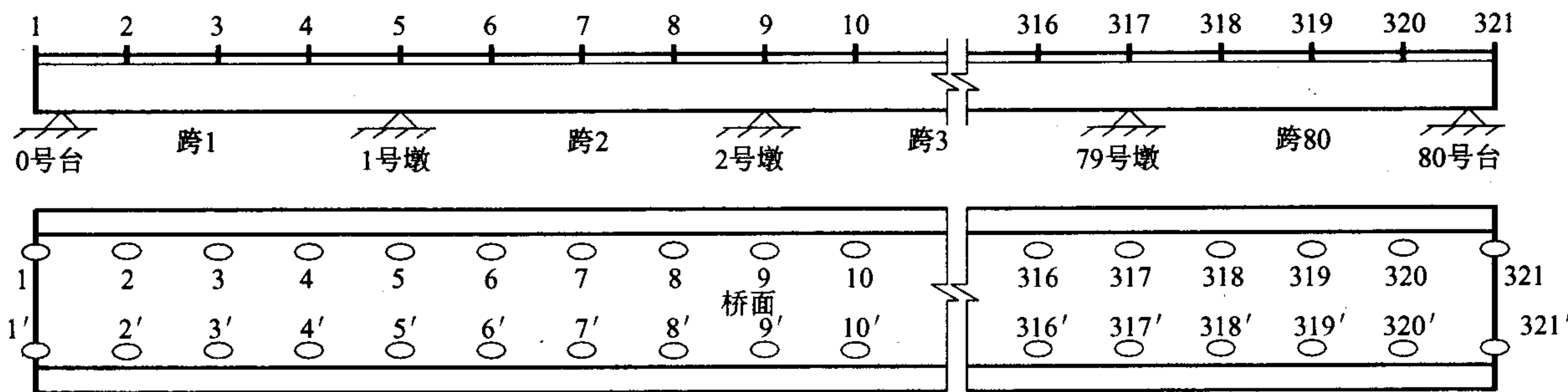


图 1 桥面线形测点布置示意

### 2.3 外观检查

试验前, 分别对桥梁各控制截面进行裂缝外观

检查。试验中, 观察桥梁在试验荷载作用下是否有裂缝产生, 记录裂缝产生的部位、长度、宽度、间距、



方向和性状,以及卸载后的闭合情况。

### 3 静载试验

#### 3.1 测试内容及测点布置

静载试验在 3 跨上进行,分别是外观上 T 梁裂纹较少的一跨(第 80 跨)、较多的一跨(第 4 跨)和中间状况的一跨(第 40 跨)。试验内容为应变测量和挠度测量。由于该桥为静定的简支梁桥,跨中承受最大正弯矩,故应变测量取跨中 A 截面,挠度测量位置为:A 一跨中,B— $L/4$  处和 C— $3L/4$  处,见图 2 所示。

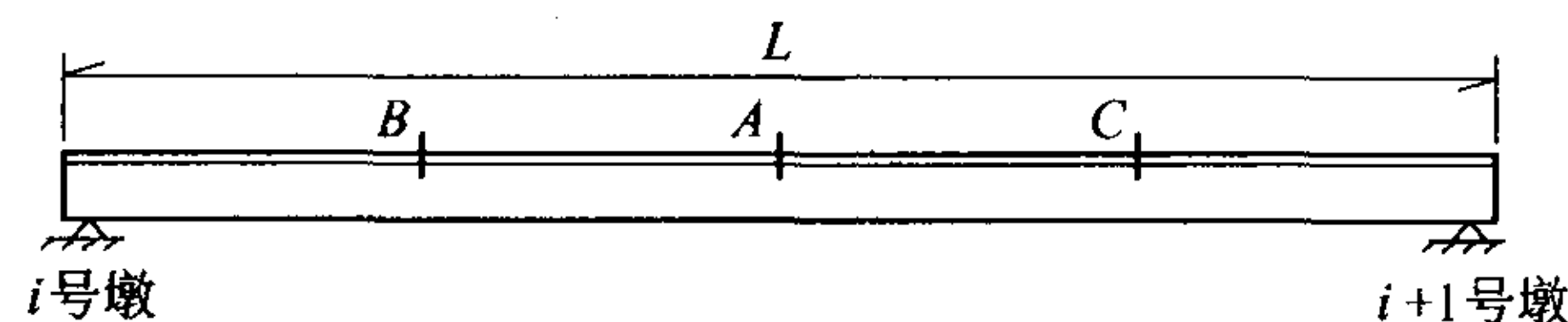


图 2 测试截面示意(单跨)

试验荷载采用 2 辆三轴载重汽车,每辆重 300 kN。加载试验效率按规范要求控制在 0.85~1.05。每跨采用 3 个加载工况。

(1)工况 1:桥面中心线两侧双车道布载(后轴分别距桥墩中心 3 m),检验跨中 A 截面承受正弯矩的

承载能力。

(2)工况 2:桥面中心线两侧双车道布载(后轴分别距桥墩中心 4 m),检验跨中 A 截面承受正弯矩的承载能力。

(3)工况 3:桥面上游侧单车道布载(后轴分别距桥墩中心 4 m),检验跨中 A 截面承受(偏载)正弯矩的承载能力。

#### 3.2 测试结果分析

##### 3.2.1 挠度测试

挠度测点布置见图 3 所示,每个试验跨上设 3×2 个挠度测点,采用精密水准仪观测。

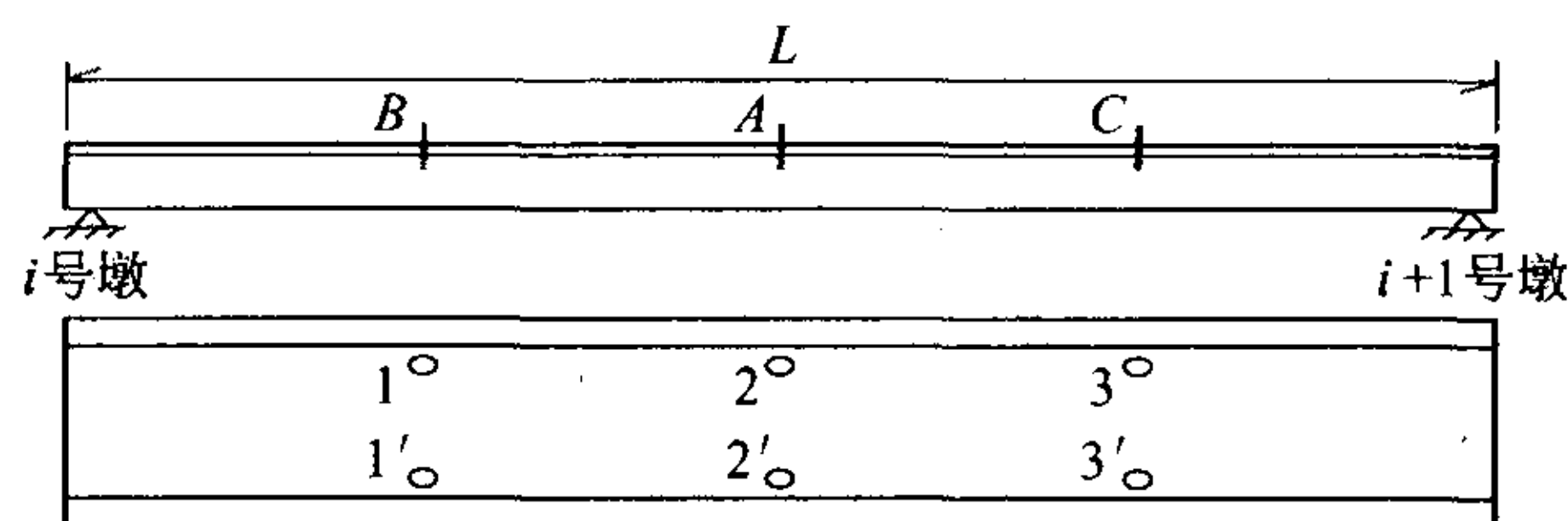


图 3 试验跨桥面挠度测点布置示意

以第 40 跨为例,试验跨在 3 种工况下的挠度实测值与校验系数见表 1,试验各跨主要挠度校验系数见表 2。

表 1 第 40 跨 3 种工况下的挠度实测值与校验系数分析

测点位置		数据类型	工况 1	工况 2	工况 3	测点位置		数据类型	工况 1	工况 2	工况 3
上游侧	L/4	实测值/mm	4.7	5.1	7.3	下游侧	L/4	实测值/mm	3.9	5.2	0.5
		理论值/mm	5.4	6.0	10.2			理论值/mm	5.4	6.0	0.7
		校验系数	0.87	0.85	0.72			校验系数	0.72	0.87	0.71
		残余变形/mm	0.3	0.5	0.0			残余变形/mm	0.0	0.2	0.0
	跨中	实测值/mm	6.8	8.1	10.8		跨中	实测值/mm	6.2	7.8	0.9
		理论值/mm	7.7	8.7	14.5			理论值/mm	7.7	8.7	1.0
		校验系数	0.88	0.93	0.74			校验系数	0.81	0.90	0.90
		残余变形/mm	0.1	0.3	0.4			残余变形/mm	0.0	0.2	0.0
	3L/4	实测值/mm	4.9	5.4	7.3		3L/4	实测值/mm	4.4	5.1	0.6
		理论值/mm	5.5	6.0	10.2			理论值/mm	5.5	6.0	0.7
		校验系数	0.89	0.90	0.72			校验系数	0.80	0.85	0.86
		残余变形/mm	0.0	0.5	0.2			残余变形/mm	0.5	0.1	0.0

表 2 试验各跨主要挠度校验系数

试验跨编号	工况 2(对称加载)		工况 3(偏载)
	上游侧	下游侧	上游侧
第 4 跨	0.85	0.92	0.85
第 40 跨	0.93	0.90	0.74
第 80 跨	0.87	0.93	0.77
正常值范围	0.50~0.90		

由表 2 可看出,工况 2 时各试验跨下游侧的挠度校验系数普遍超出规定的 0.90 的上限。故从挠度测试看,该桥 T 梁的刚度偏弱,不能满足设计要求。

##### 3.2.2 T 梁应变测试

在 3 个试验跨的跨中控制截面上,在 5 片 T 梁上均布置电阻式应变传感器,同时,在部分 T 梁上的电阻应变片附近加贴千分表应变传感器。应变测点布置及编号见图 4 所示。试验跨在各工况下的主要应变实



测值和应变校验系数见表 3 (以第 40 跨为例),试验中应变校验系数超过 1.0 的应变测点汇总见表 4。

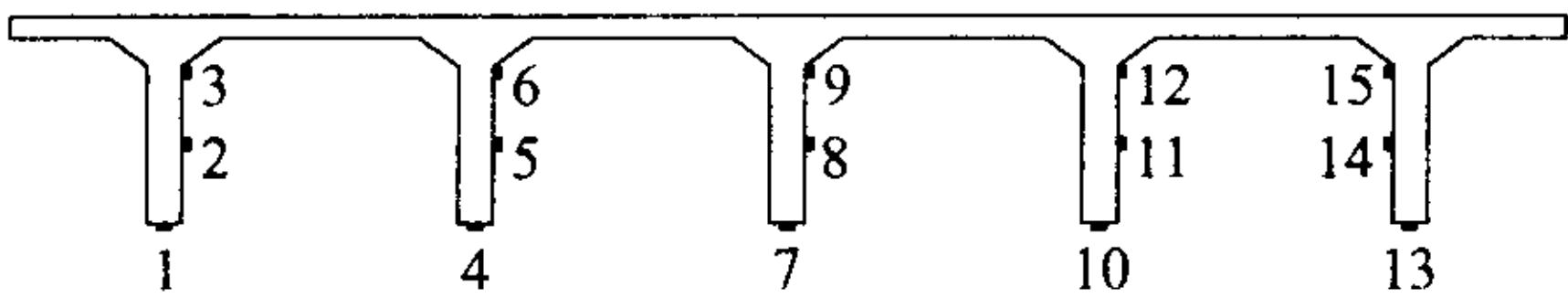


图 4 T 梁跨中控制截面应变测点布置

表 3 第 40 跨 3 种工况下的主要应变实测值和应变校验系数分析

测点	数据类型	工况 1	工况 2	工况 3
1	实测值/ $\mu\epsilon$	232	293	—
	理论值/ $\mu\epsilon$	176.7	217.0	22.1
	校验系数	1.31	1.35	—
	残余应变/ $\mu\epsilon$	0	0	0
4	实测值/ $\mu\epsilon$	187	283	132
	理论值/ $\mu\epsilon$	176.7	217.0	99.4
	校验系数	1.06	1.30	1.33
	残余应变/ $\mu\epsilon$	-12	-20	-13
7	实测值/ $\mu\epsilon$	180	285	195
	理论值/ $\mu\epsilon$	176.7	217.0	176.7
	校验系数	1.02	1.31	1.10
	残余应变/ $\mu\epsilon$	-8	-25	-17
10	实测值/ $\mu\epsilon$	136	160	194
	理论值/ $\mu\epsilon$	176.7	217.0	254.0
	校验系数	0.77	0.74	0.76
	残余应变/ $\mu\epsilon$	0	7	22
13	实测值/ $\mu\epsilon$	168	242	284
	理论值/ $\mu\epsilon$	176.7	217.0	331.3
	校验系数	0.95	1.12	0.86
	残余应变/ $\mu\epsilon$	0	0	20

注:校验系数=实测应变/理论计算应变。

表 4 试验中应变校验系数超过 1.0 的应变测点

试验跨	工况 1			工况 2			工况 3		
	应变测点编号	对应 T 梁编号	应变校验系数	应变测点编号	对应 T 梁编号	应变校验系数	应变测点编号	对应 T 梁编号	应变校验系数
第 80 跨	1	1	0.98	1	1	0.99			
	4	2	0.80	4	2	0.92	4	2	0.88
	7	3	1.27	7	3	1.30	7	3	1.15
	10	4	0.99	10	4	1.16	10	4	0.88
第 40 跨	1	1	1.31	1	1	1.35			
	4	2	1.06	4	2	1.30	4	2	1.33
	7	3	1.02	7	3	1.31	7	3	1.10
	13	5	0.95	13	5	1.12	13	5	0.86
第 4 跨				1	1	0.83			
	4	2	1.31	4	2	1.32	4	2	1.46
	7	3	1.09	7	3	1.39	7	3	1.33

应变校验系数正常值范围为 0.4~0.8。从表 4 可看出,该桥 3 个试验跨均有多片 T 梁底部应变校验系数超过 0.8。可知该桥的承载能力已不能满足设计荷载汽车—15 级的要求。

4 动载试验

4.1 测试内容

(1)跑车试验:测量桥梁在动荷载作用下的强迫振动响应。

(2)跳车试验:测量桥梁在冲击荷载作用下的自由振动响应。

(3)刹车试验:测量桥梁竖向振动响应和刹车后的自由振动响应。

4.2 测试结果分析

大桥采用有限元分析软件 ANSYS 进行结构动态分析,获取结构的固有频率和振型等信息。其固有频率计算值见表 5,实测值见表 6。

表 5 主桥 T 梁固有频率计算值

模态阶数	1	2	3	4	5
频率/Hz	4.76	6.16	16.51	17.45	20.26
振型形态	1 阶竖向弯曲	1 阶扭转	2 阶竖向弯曲	2 阶扭转	3 阶扭转

表 6 主桥 T 梁固有频率实测值 Hz

模态阶数	1	2	3	4	5
计算值	4.76	6.16	16.51	17.45	20.26
10 km/h 跑车	4.69	5.27	★	★	18.36
20 km/h 跑车	4.49	5.27	★	★	18.75
10 km/h 跳车	4.69	★	★	★	★
20 km/h 刹车	4.69	★	★	★	★
振型形态	1 阶竖向弯曲	1 阶扭转	2 阶竖向弯曲	2 阶扭转	3 阶扭转

注:★为未识别频率。

从表 6 中可看出,各阶自振频率的实测值普遍低于理论计算频率,表明该桥刚度偏弱,这与静载试验由挠度校验系数得出的结果是一致的。

5 结论

通过以上对大桥的动、静载试验测试、相应的理论计算及数据分析,并参照有关桥梁承载能力评定的规则,对该桥得出如下结论:

该桥刚度偏弱,强度已达不到设计状况,承载能力已不能满足设计荷载汽车—15 级的要求;过桥车



文章编号: 0451-0712(2006)04-0120-04

中图分类号: U448.22; U442.55

文献标识码: A

# 大跨径钢管混凝土拱桥的稳定与振动

彭 卫<sup>1</sup>, 张新军<sup>2</sup>

(1. 金华职业技术学院 金华市 321017; 2. 浙江工业大学建筑工程学院 杭州市 310014)

**摘 要:** 通过理论研究和数值计算, 详细分析了大跨径钢管混凝土双肋拱桥的侧倾稳定性和地震响应。首先, 根据双肋拱桥结构在竖向均布荷载作用下的侧倾稳定临界力的近似解析解, 讨论了横撑设置、横撑刚度等因素对稳定性的影响。其次, 基于多点激振理论和拟静力位移概念, 介绍了拱桥结构的动力特点和地震动作用下的响应, 并讨论了行波效应的影响。分析表明, 地震行波作用对大跨径拱桥影响很大, 横撑设置对稳定性敏感。

**关键词:** 拱桥; 稳定性; 地震反应; 行波效应; 钢管混凝土

近十几年来, 大跨径钢管混凝土拱桥在公路和城市桥梁中得到了普遍的应用, 跨径超过 200 m 的有几十座, 使得大跨径拱桥稳定和抗震问题以及地震行波效应的研究日益显得重要。组拼拱的侧倾临界荷载在很大程度上取决于撑架的刚度和布置方式, 横撑的布置既要满足桥梁使用阶段和施工各阶段的稳定性要求, 又要满足美观和净空的需要。虽然采用有限元法和计算机程序求组拼拱的侧倾临界荷载并不困难, 但是对于结构工程师来说, 从物理概念上了解撑架效应将有助于在设计中考虑如何提高组拼拱的侧倾稳定性。国内外对大跨径斜拉桥、悬索桥在地震行波作用下的研究开展较多, 对拱桥则少见。现行规范对大跨径钢管混凝土拱桥的抗震性能尚无明确的规定, 说明这类桥梁的地震反应性能的研究还有许多工作要做。本文以几座大跨径中承式钢管混凝土拱桥为研究对象, 详细分析其稳定性及影响因素、动力特性和地震反应性能。

## 1 双肋拱桥侧倾临界荷载的近似解析解

以径向荷载作用下的双肋组拼圆弧拱为研究对

象。拱侧倾后, 空间坐标系  $x$  轴拱向拱肋侧向,  $y$  轴为径向,  $z$  轴沿拱肋切向, 三个方向的线位移和角位移分别是  $u, v, w$  和  $\beta, \gamma, \theta$ 。则几何方程和物理方程分别为式(1)和式(2):

$$\left. \begin{aligned} K_y &= \frac{\theta}{R} - \frac{dv}{ds^2}, \\ K_z &= \frac{d\theta}{ds} + \frac{1}{R} \frac{du}{ds} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} EJ_y K_y &= M_\eta, \\ GJ_d K_z - (EJ_\omega K_z)' &= M_\zeta \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中:  $K_y, K_z$  为绕  $y$  轴的侧向挠曲率和绕  $z$  轴的扭曲率;  $M_\eta, M_\zeta$  为绕  $y$  轴的弯矩和绕  $z$  轴的扭矩;  $EJ_y, GJ_d, EJ_\omega$  为拱肋的侧向弯曲刚度、扭转刚度和翘曲刚度。

拱侧倾后, 拱肋的总体变形能  $U$  等于侧向弯曲变形能  $U_\eta$  与扭转变形能  $U_\zeta$  之和, 即:

$$U = U_\eta + U_\zeta = \frac{1}{2} \int_s M_\eta K_y ds + \frac{1}{2} \int_s M_\zeta K_z ds \quad (3)$$

在组拼拱中, 由于横撑的抗弯刚度远大于拱肋的侧向抗弯刚度, 所以当发生侧倾时, 横撑将迫使拱肋发生局部挠曲。先求出一个节间的局部弯曲变形

收稿日期: 2005-12-12

辆应限载、限速通行。

若大桥需通行大型设备及工程车辆, 必须进行加固。

## 参考文献:

[1] JTG D60-2004, 公路桥涵设计通用规范[S].

[2] JTG B01-2003, 公路工程技术标准[S].

[3] JTG D62-2004, 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].

[4] JTJ071-98, 公路工程质量检验评定标准[S].

[5] 交通部公路科学研究所. 公路桥梁承载能力评定规程 (2003 年 4 月征求意见稿).