

文章编号:1671-6833(2004)01-0028-03

连续箱梁桥力学性能分析

徐建国<sup>1</sup>, 陈 淮<sup>2</sup>, 王 博<sup>3</sup>, 王复明<sup>3</sup>

(1.大连理工大学土木工程学院, 辽宁 大连 116024;2. 郑州大学土木工程学院, 河南 郑州 450002;3. 郑州大学环境与水利学院, 河南 郑州 450002)

**摘 要:** 根据郑州 G107 线跨机场路钢筋混凝土连续箱梁高架桥的结构特点, 采用空间梁单元对其进行有限元离散, 建立了该桥梁结构的有限元分析模型, 利用大型结构有限元分析程序 Super SAP 93 对连续箱梁桥的力学性能进行了计算和分析, 给出了在试验荷载作用下桥梁控制点的位移、内力, 经对比桥梁静载试验实测值和有限元计算值, 得到了该桥梁结构校验系数小于 1 的结论, 证明了该桥梁结构整体工作性能良好, 计算结果可为桥梁检验提供参考。  
**关键词:** 连续箱梁桥; 静力分析; 振动特性  
**中图分类号:** U 448.17 **文献标识码:** A

0 引言

郑州 G107 线跨机场路钢筋混凝土连续箱梁高架桥位于国道 07 线上, 是国道 107 线改建工程匝道 A 上跨越机场高速公路和十八里河的立交桥, 全桥共分 4 联, 桥型为 31 m+47 m+31 m 等截面连续钢箱梁曲线桥, 引桥为第 1 联 8×20 m、第 3 联 7×20 m 和第 4 联 9×20 m 的钢筋混凝土连续箱梁, 桥下净空≥5 m, 于 2001 年竣工。

该桥引桥钢筋混凝土连续箱梁部分, 单跨标准跨径 20 m, 梁高 1.2 m, 单箱双室截面形式, 箱梁在墩顶为实体段, 桥面为单向双车道, 净宽 11 m, 设计荷载为汽一超 20 级, 挂车一120 级; 下部结构为双柱式方形柱桥墩, 直径 1.8 m 的钻孔灌注桩基础, 墩顶设 GPZ 4000、GPZ 2500 盆式橡胶支座, 于西桥台、8 号墩、11 号墩、18 号墩处设 XHL 80-C 型伸缩缝。连续箱梁采用 C30 混凝土, 立柱为 C30 混凝土。箱梁截面尺寸如图 1、图 2 所示。

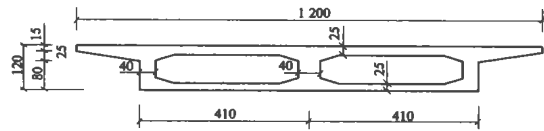


图 1 支座两侧外箱梁截面尺寸图(单位:cm)

Fig. 1 Section dimension outside abutment of box bridge

为了了解该桥第 3 联钢筋混凝土连续箱梁桥的力学性能, 同时为了得到该桥静载试验的校验系数, 需要对该桥进行力学性能分析。

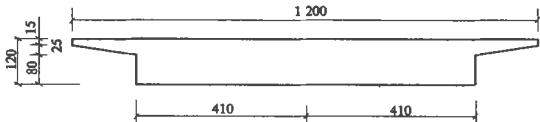


图 2 支座处箱梁截面尺寸图(单位:cm)

Fig. 2 Section dimension at abutment of box bridge

1 计算模型

郑州跨机场路第 3 联连续箱梁桥为空间曲线梁结构体系, 根据第 3 联连续箱梁的结构特点, 本文采用空间梁单元对桥梁进行离散, 采用的大型结构有限元分析软件 Super SAP 93 进行结构分析计算, 在建模中用分段直线梁段单元模拟该桥的曲线段部分, 其有限元模型示意图如图 3 所示, 有限元模型单元取为两类空间梁段单元(单箱双室截面和实心截面)<sup>[1,9]</sup>, 单元总数为 72 个; 结点总数 73 个, 箱梁桥截面及材料特性列于表 1。

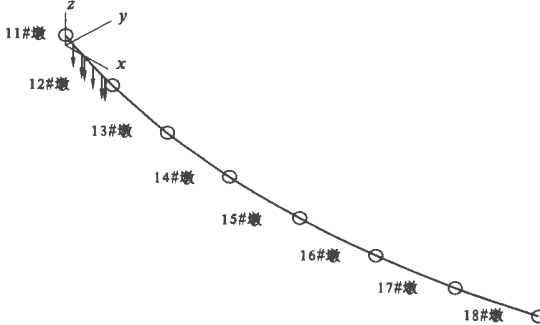


图 3 钢筋混凝土连续箱梁桥有限元模型图

Fig. 3 FEM model of continuous box bridge

收稿日期:2003-10-11; 修订日期:2003-12-28  
基金项目:河南省科技攻关项目(0224370025)  
作者简介:徐建国(1965-), 男, 河南省孟津县人, 大连理工大学博士研究生, 讲师, 主要从事工程力学、结构工程的研究。

表 1 箱梁桥截面、材料特性表

Tab .1 Section and material characteristics of box bridge

类型	桥跨箱梁段	墩项实心段
截面面积/m <sup>2</sup>	6.25	10.88
扭转惯性矩/m <sup>4</sup>	3.271	4.279
绕 x 轴惯性矩/m <sup>4</sup>	1.193	1.384
绕 z 轴惯性矩/m <sup>4</sup>	58.669	80.582
弹性模量/MPa	30 000.0	30 000.0
剪切弹模/MPa	12 900.0	12 900.0

根据该桥支座结构布置,在 14#墩处施加纵桥向约束,其余各墩施加横桥向约束,全部桥墩均施加横向扭转约束.

2 静力计算结果及其分析

在桥梁静载试验中,在第 3 联第 1 跨( 11#墩~12#墩之间) 按最不利荷载布载,在桥梁加载过程中,共分 3 种工况进行加载,第 1 种工况:施加 600kN 荷载作用;第 2 种工况:施加 1 200kN 荷载

作用;第 3 种工况:施加 1 800kN 荷载作用.  
根据上述所建立的有限元模型,按静载试验的三种不同受力工况,分别计算该桥梁测试点处的挠度与转角、弯矩与剪力,其计算结果列于表 2、表 3.在试验荷载作用下的桥梁计算变形图如图 4 所示.

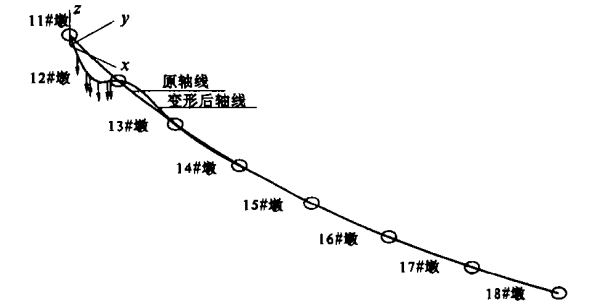


图 4 在试验荷载作用下的箱梁桥轴线变形示意图  
Fig .4 Axes distortion of box bridge under test load

表 2 箱梁桥测点在各工况下的位移、转角计算值

Tab .2 Displacement and corner calculation results of box bridge measure spot under each condition

位置	工况 1		工况 2		工况 3	
	竖向位移/mm	横向转角/rad	竖向位移/mm	横向转角/rad	竖向位移/mm	横向转角/rad
1/4 截面	1.022 4	5.114 5e-4	-2.044 8	1.022 9e-3	-3.067 2	1.534 4e-3
1/2 截面	-1.403 5	-3.118 9e-4	-2.807 1	6.236 9e-4	-4.210 6	-9.353 9e-4
3/4 截面	-1.058 7	-1.345 4e-3	-2.117 4	-2.690 9e-3	-3.176 1	-4.036 3e-3

说明:竖向位移为箱梁轴线的竖向挠度,横向转角为箱梁截面垂直桥轴线的转角,方向与坐标方向一致.

表 3 箱梁桥测点在各工况下的弯矩、剪力计算值

Tab .2 Bending moment and shear calculation results of box bridge measure spot under each condition

位置	工况 1		工况 2		工况 3	
	弯矩/(kN·m)	剪力/kN	弯矩/(kN·m)	剪力/kN	弯矩/(kN·m)	剪力/kN
1/4 截面	-903.9	57.7	-1 808.0	315.6	-2 712.0	473.5
1/2 截面	-1 304.0	82.1	-2 608.0	164.3	-3 912.0	246.4
3/4 截面	-744.3	142.1	-1 489.0	284.2	-2 233.0	426.3

校验系数  $\eta$  是评定结构工作状态、确定桥梁承载能力的一个重要指标<sup>[3]</sup>.不同结构形式的桥梁其  $\eta$  一般不相同,一般要求  $\eta$  不大于 1,  $\eta$  越小结构的安全储备越大,  $\eta$  过大或过小都应该从多方面分析原因.如  $\eta$  过大可能说明组成结构的材料强度较低,结构各部分联结性较差,刚度较低等等.  $\eta$  过小可能说明材料的实际强度及弹性模量较高,梁桥的混凝土桥面铺装及人行道等与主梁共同受力、支座摩阻力对结构受力的有利影响,计算理论或简化的计算图式偏于安全等等.查阅规范,钢筋混凝土连续梁桥的挠度效验系数为 0.4~0.8.在试验荷载作用下,各点的挠度不超过《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》(JTJ 022—85)、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023—85)和《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》(JTJ 025—86)规定的允许值,当以控制荷载

为标准计算荷载,对于钢筋混凝土与预应力混凝土桥,则不计冲击力的挠度允许值为:梁桥主梁跨中 $=l/600$ .

由试验结果得跨中标准荷载下的静挠度为 3.28 mm,对比静载试验实测挠度与有限元计算所得挠度,其结构校验系数 0.78,说明在当前试验荷载下跨中静挠度未超过规范允许值,桥梁结构工作性能良好,结构安全.

3 动力特性计算结果及其分析

本文采用子空间迭代法<sup>[3,4]</sup>计算第 3 联连续箱梁钢筋混凝土桥梁结构的自振周期和振型<sup>[5,9]</sup>,桥梁的自振周期和振型特征计算结果如表 4 所示,桥梁结构前 8 阶振型图如图 5 所示.

从桥梁振型图及自振周期计算可知,在前 8 阶振型中,除第 5 阶为桥台横向振动及第 7 阶为

纵向振动外,其它全部是竖向振动,由此可见箱梁桥竖向刚度相对较小,横向刚度相对较大,计算结果符合城市立交桥横向宽度宽,桥梁建筑高度小的特征.

表 4 连续箱梁桥自振周期和振型特征

Tab .4 Vibration period and characteristic of continuous box bridge															
阶次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
自振周期/s	0.17	0.16	0.14	0.12	0.11	0.10	0.096	0.091	0.08	0.07	0.046	0.045	0.044	0.043	0.042
振型特征	竖	竖	竖	竖	横	竖	纵	竖	竖	纵	竖	竖	横	横	横

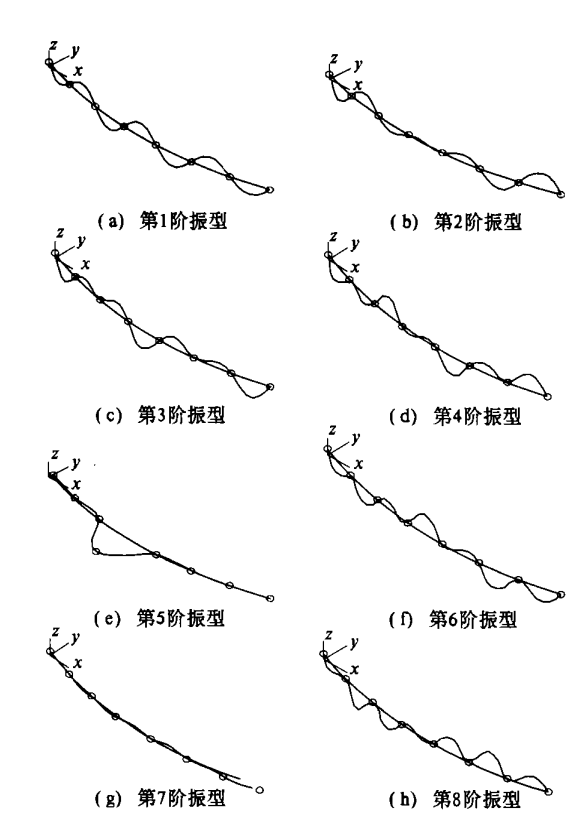


图 5 桥梁前 8 阶振型图

Fig .5 Eight vibration models of box bridge

4 结论

(1) 对于钢筋混凝土连续箱梁桥,为了了解其力学性能及动态特性,应进行精细分析计算.对已经建成的桥梁,采用现场试验和力学分析相结合的方法,可以验证桥梁是否符合工作要求.

(2) 参阅规范,对比静载试验实测挠度与计算所得挠度,得出桥梁结构校验系数为 0.78,说明在当前试验荷载下,该桥梁工作性能良好、结构安全.计算结果可为桥梁验收提供可靠数据.

参考文献:

[ 1 ] 杨炳成 . 公路桥梁电算 [ M ] . 北京 : 人民交通出版社 , 2000 . 137 ~ 146 .

[ 2 ] 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 . 89 ~ 102 .

[ 3 ] 宋一凡 . 公路桥梁动力学 [ M ] . 北京 : 人民交通出版社 , 2000 . 279 ~ 301 .

[ 4 ] 李国豪 . 桥梁结构稳定与振动 [ M ] . 北京 : 中国铁道出版社 , 1992 . 57 ~ 80 .

[ 5 ] 禹丹江 , 陈 淮 . 桥梁损伤检测的曲率模态方法探讨 [ J ] . 郑州大学学报 ( 工学版 ) , 2002 , 22 ( 3 ) : 104 ~ 106 .

[ 6 ] 徐建国 , 王 博 . 渡槽结构动力性能的有限元分析 [ J ] . 郑州工业大学学报 , 1999 , 24 ( 2 ) : 67 ~ 69 .

The Mechanical Characteristics Analysis of the Continuous box Bridge

XU Jian - guo <sup>1</sup> , CHEN Huai <sup>2</sup> , WANG Bo <sup>3</sup> , WANG Fu - ming <sup>3</sup>

( 1 . College of Civil Engineering , Dalian University of Technology , Dalian 116024 , China ; 2 . College of Civil Engineering , Zhengzhou University , Zhengzhou 450002 , China ; 3 . College of Environmental & hydraulic Engineering , Zhengzhou University , Zhengzhou 450002 , China )

**Abstract :** In this paper , according to the reinforced concrete continuous box bridge structure characteristics on the airdrome rode of G 107 line , by using space beam element the structure is dispersed and the FEM analysis model of the bridge structure is established . By using the large scale FEM analysis program Super SAP 93 , the mechanical characteristics of the continuous box bridge is calculated and analysed . The displacements and internal forces of the reference points are obtained under the test load and after comparing the survey results of the static loading examination and the FEM calculate results the result shows that the checkout coefficient of the bridge is less than 1 and the whole performance of the bridge is fine . The results provide reference for the bridge detecting and checking .

**Key words :** continuous box bridge ; static analysis ; vibration characteristics