

Dynamic Analysis on Continuous Steel Truss Girder of Combined Bridge

Yonggang Gou¹, Yaofang Wan², Fengnian He¹, Feng Yang¹, Lu Han^{3#}

1. Yidu Highway Administration, Yidu 443300, China

2. Yidu Highway Construction Development Co., Ltd, Yidu 443300, China

3. Wuhan University of Technology, School of Transportation, 430063

Abstract

By means of Midas Civil, a software of finite element model, some steel truss combined bridge was discrete simplified to develop a finite element model; then followed by an analyses on both the dynamic property of the model, which results in the values of vibration mode and natural frequency of vibration, and the dynamic properties of railway-section as well as combined bridge, so that the transformation rule and actual stress situation of the combined bridge can be well learned.

Keywords: Steel Truss; Combined Bridge; Dynamic Property

公铁两用连续钢桁架梁桥动力特性初步分析*

苟永刚¹, 万尧方², 何丰年¹, 杨锋¹, 韩璐^{3#}

1. 宜都市公路局, 湖北宜都 443300

2. 宜都市中路建设开发有限公司, 湖北宜都 443300

3. 武汉理工大学, 交通学院 430063

摘要: 采用有限元分析软件 Midas Civil 对某公铁两用钢桁架桥离散简化并建立有限元模型, 对其进行动力特性分析, 得到其振型及自振频率等数值, 分别研究铁路部分和整桥的动力特性, 以此了解桥梁整体结构的变化规律、结构的实际受力情况。

关键词: 公铁两用桥; 钢桁架; 动力特性

引言

钢桁梁桥由多个平面内的桁架组合形成整体空间结构, 与实腹梁相比, 桁式主梁具有刚度大、通透性好、用钢省、制造运输便捷等优点^[4]。普通的连续钢桁架桥静力分析经过多年的理论分析以及实际经验的研究, 相关问题已然基本解决。但是对于公铁两用连续钢桁架桥动力分析的相关资料却不多见, 特别对于公铁同面的连续钢桁架大桥, 其动力学特性研究相对较少。关于这种桥梁的结构动力特性并没有多少相关资料可以提供足够的信息, 因此, 对这样的桥型进行动力分析是非常有必要的。通过有限元建模分析, 更为真实地揭示出桥梁结构的动态受力与变形本质, 使之成为公铁两用连续钢桁架梁桥设计与施工的重要理论工具。尽管有限元数值分析方法已经得到了广泛的普及, 但是作为描述桥梁结构内在本质的理论解析方法, 对于建立桥梁结构动力分析模型和指导模型试验仍然具有相当重要的理论意义, 本文以理论分析结合有限元模型讨论该桥的动力特性, 使之具有较强的理论性与实用性。

某平列式公铁两用连续钢桁架桥如图 1-2 所示, 铁路桥部分全长 640m, 节间长度为 8m, 为 5 孔 128m 平弦连续钢桁梁, 主桁高 20m, 宽 10m, 下弦杆之间布置有 4 片纵梁, 纵梁与横隔板按照节间距离布置; 公

*中图分类号: U488 12+1 文献标志码: A

路桥位于从两片主桁下弦的节点外侧悬臂伸出的托架上，托架上设置 4 片纵梁，桥面宽 6.45m。钢材主要结构采用 16Mnq 低合金钢，次要结构采用 A3 钢。本文以该公铁同面连续刚桁架梁桥研究对象，建立有限元模型分析其动力特性。

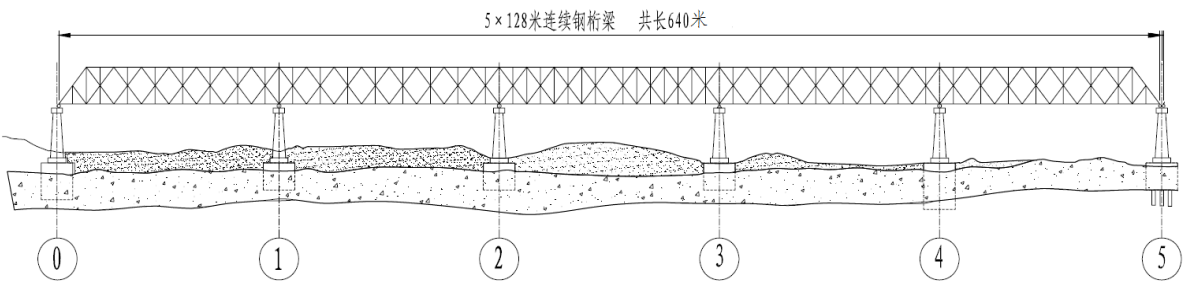


图 1 主桥桥型布置图

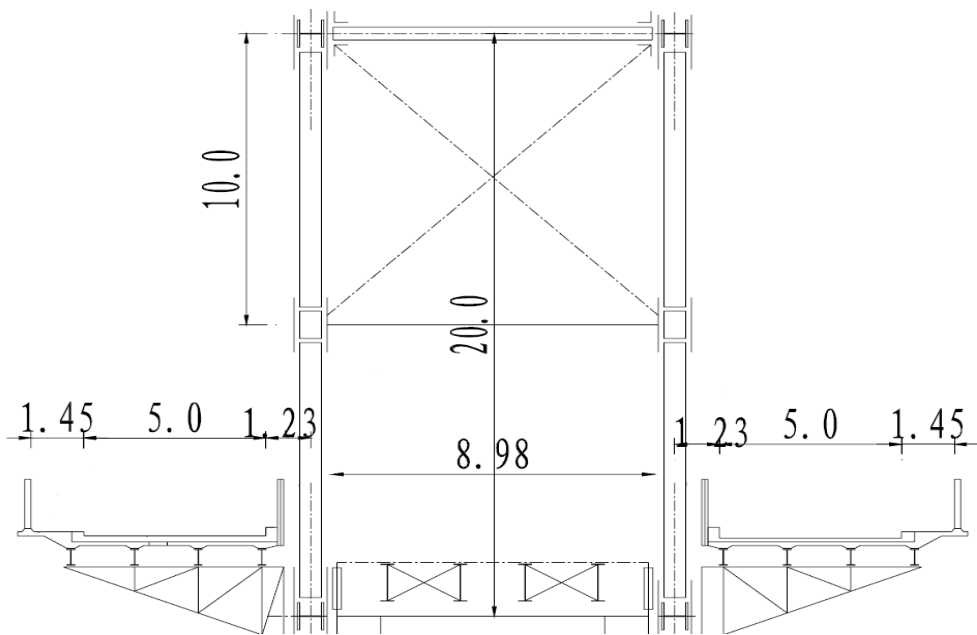


图 2 主桥横断面布置图

1 桥梁动力结构基本原理

桥梁结构的振动是由于外部作用的输入和阻摩损耗所引起的，例如：车辆荷载、地震荷载、人群荷载、材料内摩阻以及连接支撑的摩阻。桥梁结构的形变能和运动能在一定周期内互相转化，桥梁的固有频率与振型是重要的动力特性参数之一，反应的是桥梁刚度情况。桥梁的振动频率与桥梁的刚度及质量密切相关，是桥梁重要动力特性之一^[3]。对桥梁进行动力分析有助于了解桥梁的动力特性，分析桥梁的破坏形态。固有频率是模型验证、参数识别和损伤中一个重要的指标。动力分析不同于静力分析的模型需要对细节的精益求精，动力分析旨在对结构整体的模态、特征值和响应进行分析，因此，主要是满足结构的整体刚度和质量的总体布局。

由模态分析的基本方程：

$$[M]\{q''\} + [C]\{q'\} + [K]\{q\} = \{0\} \quad (1)$$

式(1)中 $[M]$ 、 $[C]$ 、 $[K]$ 、 $\{q\}$ 分别表示质量矩阵、阻尼矩阵、刚度矩阵和广义坐标；该式的解为： $\{U\} = \{A\}\sin(\omega t + \alpha)$ ，且系统特征行列式为： $||[K] - \omega^2[M]|| = 0$ ；进而可以求出 ω_i ($i=1,2,3,\dots,n$)。考虑到该桥的规模偏大，宜采用子空间迭代法计算，该算法对于前几阶的计算是相对准确的，而且符合实际情况。

具体分析时运用 midas civil 内置的特征值分析功能，使用其中内置的子空间法计算各阶频率和相应的振型。为了研究平行式公铁两用连续钢桁梁的动力特性以及公路部分对铁路主桁的影响情况，分析可分为两种情况；1)对铁路主桁进行特征值分析得到其频率及相应振型，2)在情况 1 的基础上加上公路桥部分以进行整桥动力特性分析。通过对比分析，了解公路部分对铁路主桁的影响。

2 有限元模型

根据设计图纸，应用 midas civil 建立有限元模型大型有限元软件 midas civil 具有强大的建模功能和分析功能，可以通过特征分析得到所需要桥梁振动特性。材料采用 16Mnq 低合金钢,按照图纸上的实际尺寸，并运用 midas civil 中对单元的扩展、复制、镜像等的操作，可以快速建立简化模型；托架由主桁两边伸出，纵梁架设于托架上，公路桥的桥面板简化后予以省略；并且该模型可直接使用梁单元来建立，然后运用节点自由度的释放使得该模型更加切合实际情况。铁路部分主桁的纵梁之间的联联系通过刚性连接与纵梁结合，公路桥部分的纵梁直接使用刚性连接来简化横撑(如图 3)。支座的约束情况见表 1。

表 1 支座约束

支座约束情况						
	Dx	Dy	Dz	Rx	Ry	Rz
0	0	1	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0
2	0	1	1	0	0	0
3	1	1	1	0	0	0
4	0	1	0	0	0	0
5	0	1	0	0	0	0

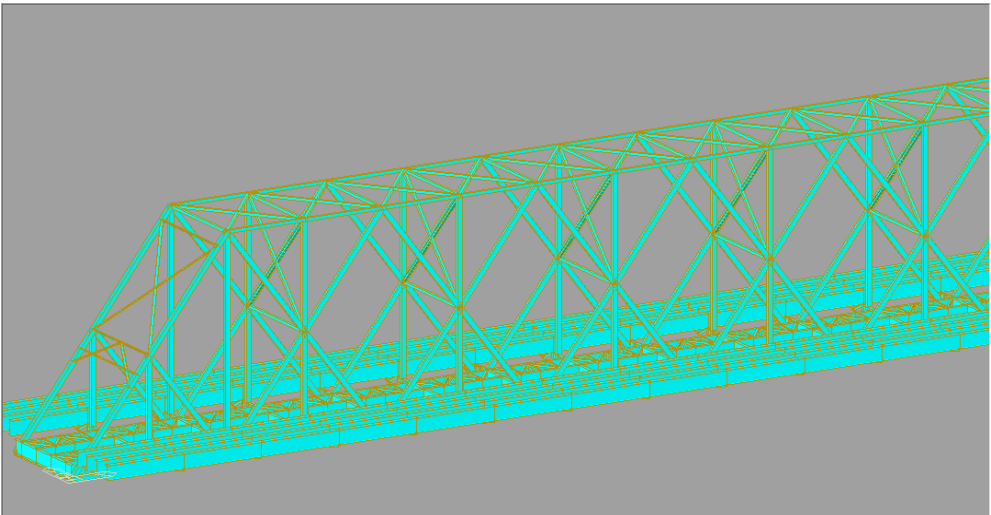


图 3 有限元离散模型

3 动力特性分析

midas civil 中内置有特征值分析，选择子空间法，分析前 5 阶的频率及振型。首先考察铁路主桁的频率及振型（如图 4-8）：

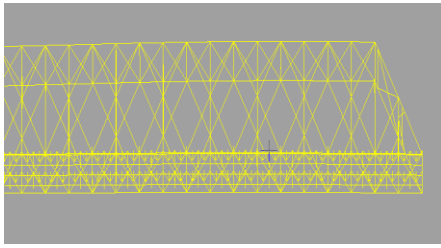


图 4 第一阶振型

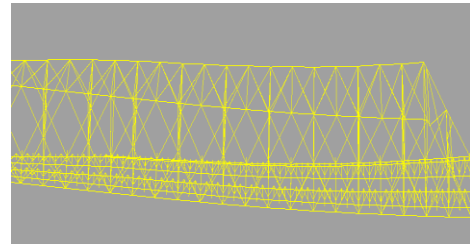


图 5 第二阶振型

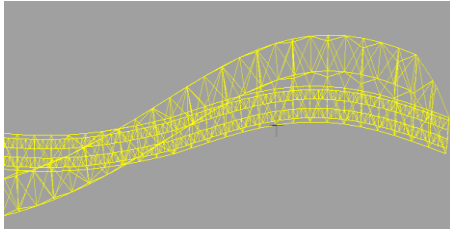


图 6 第三阶振型

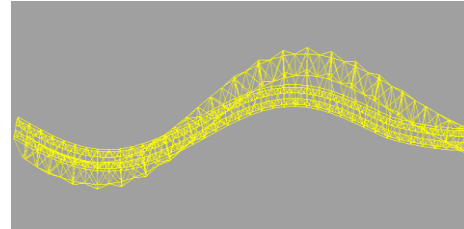


图 7 第四阶振型

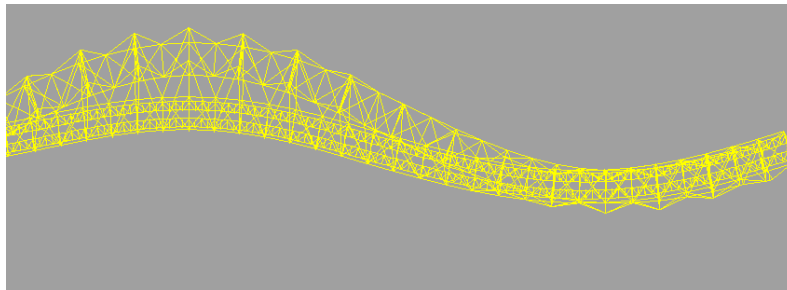


图 8 第五阶振型

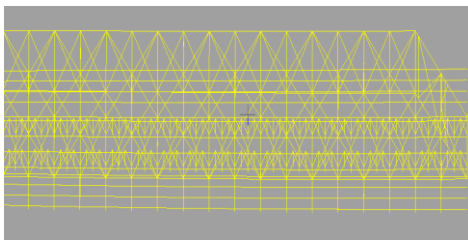


图 9 第一阶振型

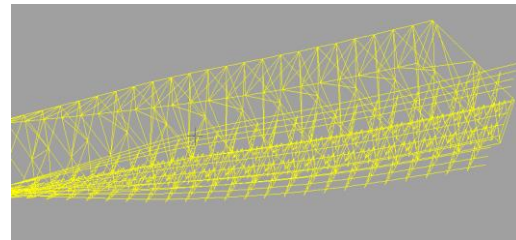


图 10 第二阶振型

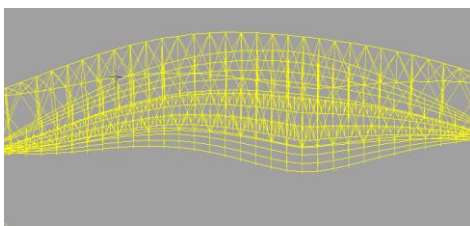


图 11 第三阶振型

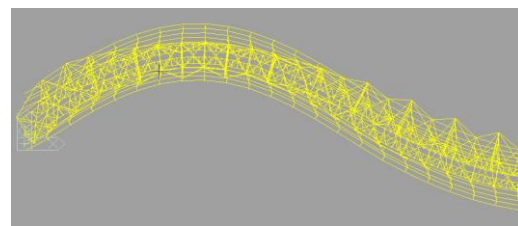


图 12 第四阶振型

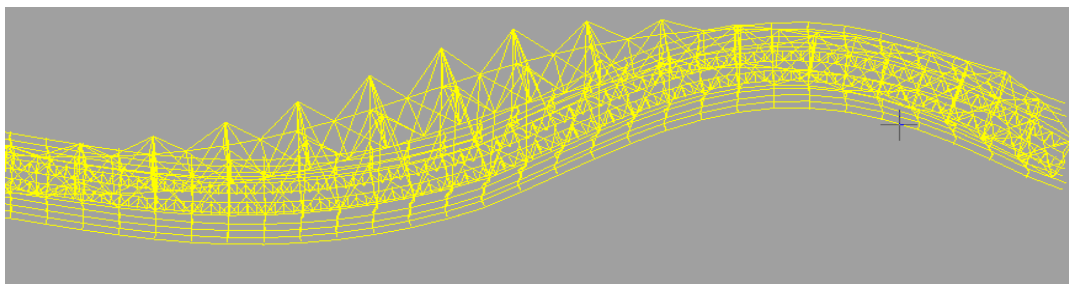


图 13 第五阶振型

表 2 频率及周期统计

情况一			情况二		
模态	频率 (Hz)	周期 (s)	模态	频率 (Hz)	周期 (s)
1	1.61	3.88	1	0.99	6.28
2	4.63	1.35	2	2.93	2.14
3	6.37	0.98	3	4.45	1.41
4	6.86	0.91	4	5.14	1.22
5	7.57	0.83	5	5.29	1.18

将分析计算的结果保存并输出,然后再对完整的公铁桥梁结构重新进行特征值分析,分析设置和情况一相同,得到其振型和频率并与铁路本分得到的结果进行对比分析(如图 9-13)。分析计算的振型及频率见表 2。

4 结论

通过以上分析可以得到各个方向参与振型的程度, rotx 参与量高达 66.7%, 由图中也可以看出该桥振型主要表现为扭转, 振动模态复杂。竖向的振动非常弱, 可见该结构的竖向刚度比较大。另外, 对比情况一与情况二得到的结果, 可以得到如下结果:

(1) 相同点: 结构的振型都表现为侧向扭转, 振动模态较为复杂; 振型很类似, 可见公路部分对铁路部分的影响甚微。

(2) 不同点: 情况二的频率明显小于情况一, 说明全桥结构的变形能和运动能相互转换的周期增长, 公路部分在一定程度上削弱了结构的整体刚度。

经过上述动力分析, 得知该桥的动力特性, 从而可以在今后的桥梁维护中应用其动力特性制定适宜的维护方案。尽管模型的建立基于设计图纸, 而其精确性需要结合环境振动试验和响应面方法, 建立桥梁结构多尺度模型进而对原模型进行修正, 使得计算频率与实测频率得到较好的吻合, 并且使得模型所具备的物理意义不致失真。由此可见, 桥梁的动力特性对于桥梁健康监测和安全评估有着十分重要的意义, 把桥梁结构的数学模型与实际应用联合起来才能高效的解决工程实际中遇到的问题。

REFERENCES

- [1] 郑凯峰, 陈宁, 张晓翹. 桥梁结构仿真分析技术研究. 桥梁建设, 1998
- [2] 吴臻旺, 加劲弦钢桁架梁桥计算分析研究, 西南交通大学优秀硕士论文, 2006
- [3] 方远翔, 振动模态分析技术. 北京: 国防工业出版社, 1993
- [4] 潘志明, 铁路钢桁梁桥状态评估, 桥梁建设, 2006
- [5] 吴玉华, 楼文娟, 叶小刚, 大跨度钢桁架转换层结构的竖向地震反应分析. 地震工程与工程振, 2011
- [6] 王根会, 钢桁架桥动力特性试验与分析研究. 第 14 届全国结构工程学术会议

【作者简介】



¹ 笱永刚, 性别: 男, 民族: 汉, 学位: 大学本科, 现任宜都市公路管理局局长、局党总支书记, 宜都市三立路桥公司副董事长

Email: hanlu.sai2012@gmail.com