

文章编号: 1005-8451 (2012) 02-0013-04

# 基于有限元方法的府保黄河铁路桥 模态分析

金 华<sup>1</sup>, 李兴华<sup>2</sup>

(1. 中国航油集团石油有限公司, 北京 100088;  
2. 北京交通大学 电子信息工程学院, 北京 100044)

**摘要:** 以府保黄河铁路桥桥梁健康状况评估为目标, 通过使用 ABAQUS 工程模拟有限元软件, 在建立连续梁模型的基础上, 分别从桥梁自振频率、列车横向摇摆力作用下变形, 以及动力下的桥梁竖向挠度、横向摇摆和应变-应力关系上进行桥梁状况模拟及分析, 为工程技术人员在铁路桥梁结构分析上提供了有效的方法。

**关键词:** 府保黄河铁路桥; 有限元; 模态分析

中图分类号: U248 : TP39 文献标识码: A

## FEA-based modal analysis of FU-BAO railway bridge

JIN Hua<sup>1</sup>, LI Xing-hua<sup>2</sup>

(1. Petroleum Co. LTD., China National Aviation Fuel, Beijing 100088, China;

2. School of Electronics and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

**Abstract:** To evaluate the health of FU-BAO railway bridge, based on the formulation of the continuous beams, the bridge natural frequency, deformation based on horizontal sway force, vertical deflection, and relationship between strain and stress were simulated and analyzed by ABAQUS FEA software. The result had some reference value to provide an effective method for the further research and designing.

**Key words:** FU-BAO railway bridge; FEA; modal analysis

随着科学技术的进步以及交通运输的需求, 实时监测桥梁健康技术逐步成为大型桥梁结构灾害演化规律研究与安全保障的重要途径。大型桥梁具有塔柱高、跨度大等特点, 其变形监测的主要内容包括: 桥梁墩台沉降观测、桥面线形与挠度观测、主梁横向水平位移观测等。为进行上述各项目的测量, 需建立相应的水平位移基准网与沉降基准网的观测。目前国内外已有不少大跨径桥梁布设了大型的健康监测系统<sup>[1-2]</sup>, 主要进行振动、应变及变形等结构力学响应的实时监测, 并用于评估运营中桥梁的健康状况。

当前对于桥梁形变监测的实例已有很多, 用常规方法进行大型桥梁的形变监测, 存在诸多限制和不便。

本文旨在进行桥梁形变前对监测对象进行相应的仿真分析、监测位置设定与监测效果评估等

内容, 针对神朔铁路中约 1.6 km 的府保黄河铁路桥进行静动力分析。

神朔铁路府保黄河铁路桥位于陕西省府谷县与山西省保德县之间, 跨越黄河, 是神(木)朔(州)铁路的重要组成部分。

## 1 府保黄河铁路桥梁静动力分析基本模型

### 1.1 ABAQUS 有限元软件简介

ABAQUS 是一套功能强大的工程模拟的有限元软件<sup>[4-5]</sup>, 其解决问题的范围从相对简单的线性分析到许多复杂的非线性问题。ABAQUS 包括一个丰富的、可模拟任意几何形状的单元库。并拥有各种类型的材料模型库, 可以模拟典型工程材料的性能, 其中包括金属、橡胶、高分子材料、复合材料、钢筋混凝土、可压缩超弹性泡沫材料以及土壤和岩石等地质材料。作为通用的模拟工具, ABAQUS 除了能解决大量结构(应力/位移)问题,

还可以模拟其他工程领域的许多问题。

ABAQUS为用户提供了广泛的功能，且使用非常简单。大量的复杂问题可以通过选项块的不同组合很容易的模拟出来。它有两个主求解器模块“ABAQUS/Standard”和“ABAQUS/Explicit”，还包含一个全面支持求解器的图形用户界面，即人机交互前后处理模块“ABAQUS/CAE”，并对某些特殊问题还提供了专用模块来加以解决。

ABAQUS被广泛地认为是功能最强的有限元软件，可以分析复杂的固体力学结构力学系统，能够驾驭非常庞大复杂的问题和模拟高度非线性问题。同时还可以做系统级的分析和研究。ABAQUS的系统级分析的特点优于其他的分析软件。因此本文选取ABAQUS有限元分析软件对府保黄河铁路桥进行仿真分析。

## 1.2 桥梁基本模型

桥梁为 $8 \times 80\text{ m}$ 的连续桥，箱型梁高 $6.5\text{ m}$ ，路面宽度为 $8.2\text{ m}$ ，本次计算桥墩设置成 $20\text{ m}$ 高，设置墩帽，并用支座与箱型梁连接。按照给定的图纸尺寸，建立了桥梁的模型，如图1。

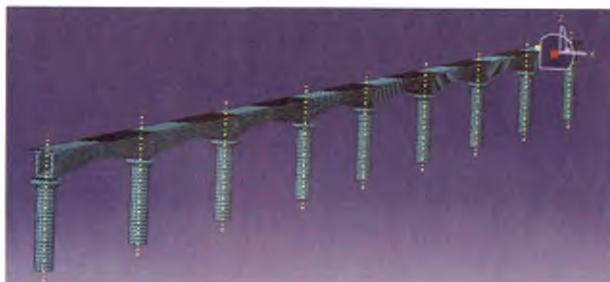


图1 府保黄河大桥桥梁基本模型

## 2 府保黄河铁路桥静动力分析

### 2.1 自振频率

确定结构在无阻尼、自由振动条件下的固有频率和固有振型，可评价现有结构系统的动态特性，是结构动态设计及设备故障诊断的重要方法。

高架轨道交通桥梁与轨道结构不仅承受静荷载作用，并且承受车辆移动荷载与车辆和桥梁的振动惯性力作用。对高架轨道交通轨道—桥梁结构进行分析，掌握其在易受影响频率范围内激励作用下的主要模态特征，就可预知结构在此频率激励作用下的实际动态响应，这对实现轨道—桥梁结构低动力、低损伤设计具有重要意义。

本节应用ABAQUS/Standard对所建立的轨道—桥梁有限元模型进行模态分析，得到其前10阶固有频率与振型。各阶模态的固有频率与振型特征如表1。

表1 各阶模态的固有频率与振型特征

模态阶数	固有频率(圆周/时间)	振型特征
1	0.73000	横向侧滚
2	0.97170	竖向纵移
3	0.97400	横向、竖向扭转
4	0.99129	竖向扭曲
5	1.01750	竖向扭曲，横向侧滚

### 2.2 列车横向摇摆力作用下变形分析

横向摇摆力取 $100\text{ kN}$ ，作为一个集中荷载取最不利位置，以水平方向垂直线路中线作用于钢轨顶面。选取将集中荷载作用于跨中顶面的钢轨，加载位置如图2，在右端第1跨，局部示意图如图3。



图2 加载示意图全图



图3 加载示意图局部

#### 2.2.1 应力分析

通过模型计算，以加载所在桥头为零点，横坐标为离桥头的真实距离，纵坐标为Mises，进行桥梁应力分析，如图4。路径为桥面中心线，从图4中可以看出在加载处有最大的Mises应力。

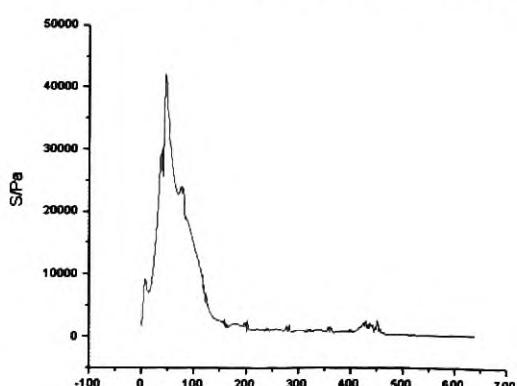


图4 加载应力分析

#### 2.2.2 位移分析

通过模型计算，以远离加载所在桥头为零点，横坐标为离桥头的真实距离，纵坐标为竖向位移，进行U3方向（垂向）挠度分析，如图5。路径为

桥面中心线,从图5可以看出在加载处有最大的竖向位移。

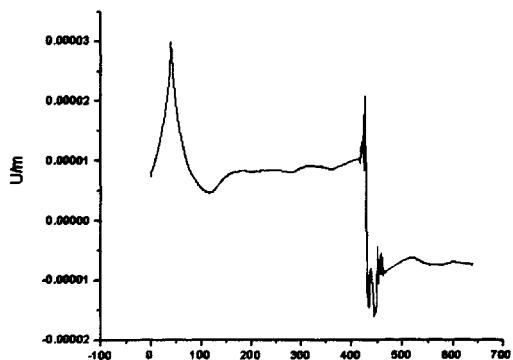


图5 U3方向挠度分析

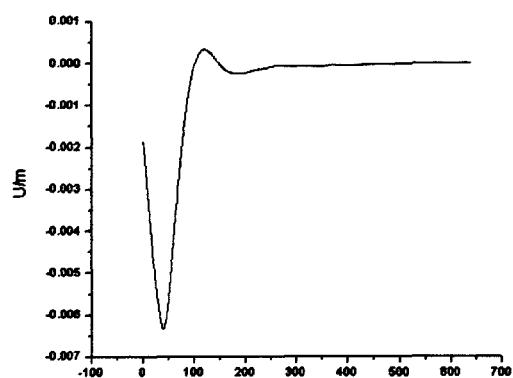


图6 U1方向挠度分析

同理,加载时所得路面中心线处U1方向(桥横向)位移变化曲线如图7所示。由图中可以看出在100 kN力作用下,桥横向位移最大为6.34 mm。  
2.3 动力计算

在动力计算中,采用10节车加载,分析步分为两步,第1步加载0.1 s,第2步车辆在轨道上以120 km/h运行14.4 s。

### 2.3.1 竖向挠度与横向摇摆

以加载时车辆所在跨为第3跨,取第3跨跨中底面中心处,以时间为横轴,以竖向挠度为纵轴,建立坐标系,查看竖向位移随时间的变化,如图7。

第3跨在动力作用下,横向位移随时间的变化如图8。

### 2.3.2 应变与应力时程曲线

以时间为横轴,应变和应力分别为纵轴,分析应变和应力随着时间的变化规律。取第3跨跨中为例,进行分析,时间-应变、时间-应力曲线分别如图9~10。

由此,得到以第3跨为例的跨中应力-应变关

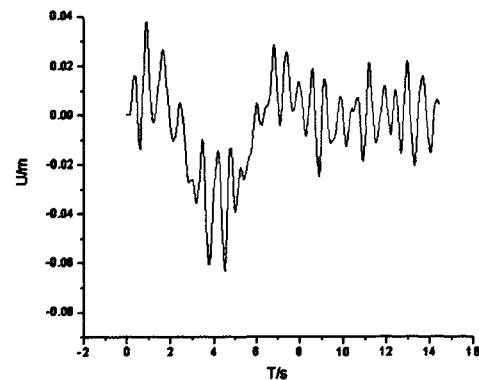


图7 第3跨竖向挠度分析

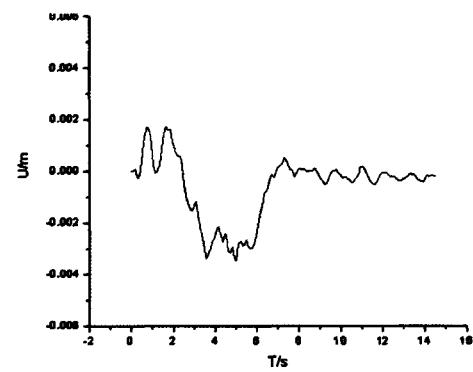


图8 第3跨横向位移变化曲线

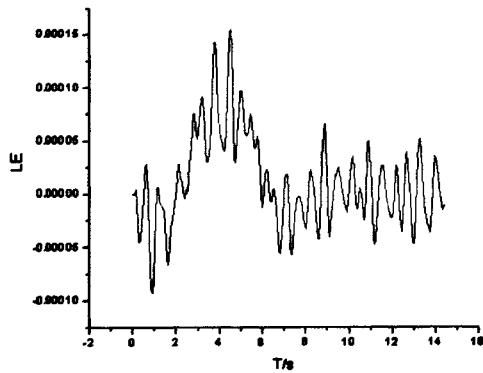


图9 第3跨时间-应变曲线

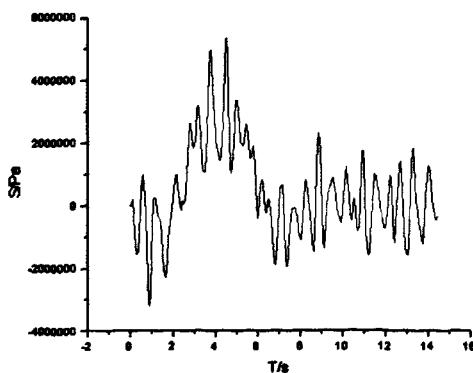


图10 第3跨时间-应力曲线

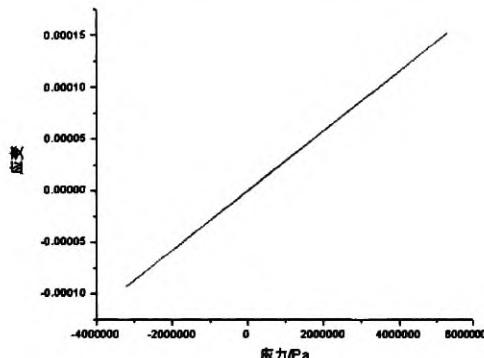


图11 第3跨跨中应力-应变关系

## 4 结束语

桥梁形变监测是评估运营中桥梁的健康状况的主要因素之一，而对于桥梁状况的计算机仿真分析又是提升桥梁健康评价的理论依据，具有重要的实际意义。本文通过使用ABAQUS有限元的方法，在建立府保黄河铁路桥连续梁模型的基础上，分别从桥梁的自振频率、横向摇摆下的变形，

(上接P12)

了令人满意的诊断结果，并且提高了BP网络的收敛速度。

### 参考文献：

- [1] 丁福焰, 邵军, 张生玉, 杜永平. 神经网络在滚动轴承故障诊断中的应用[J]. 振动工程学报, 2004, 17 (5): 425-428.
- [2] 张新海, 雷勇. BP神经网络在机械故障诊断中的应用[J]. 噪声与振动控制, 2008 (5): 95-97.
- [3] Wei Hu, Jingtao Hu. A New BP Network Based on Improved PSO Algorithm and Its Application on Fault Diagnosis of Gas Turbine[J]. ISNN 2007, Part III, LNCS 4493, 277-283, 2007.
- [4] Hao Huang, Kuisheng Chen, and Liangcai Zeng. A Genetic Algorithm-Based Neural Network Approach for Fault Diagnosis in Hydraulic Servo-Valves[J]. ICMLC 2005, LNAI 3930, 813-821, 2006.
- [5] 朱凯, 王正林. 精通MATLAB神经网络[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009: 193-195.
- [6] Eberhart, R.C., Kennedy, J.: A New Optimizer using Particle Swarm Theory[J]. Proc. 6th Int. Symp. on Micro Machine Human Science (1995) 39-43.
- [7] Kennedy, J., Eberhart, R.C.: PSO optimization. IEEE Int. Conf [J]. Neural Networks. Perth, Australia 4 (1995) 1941-1948.

以及动力计算中的竖向挠度、横向摇摆、应变应力关系进行仿真分析，为府保黄河铁路桥的安全监测奠定了理论基础。

### 参考文献：

- [1] 王穗平, 赵泽辉, 刘亚磊, 张秀如. 基于巡检的高速公路桥梁安全监测与维护研究[J]. 中国安全科学学报, 2009, 19 (5): 165-170.
- [2] 王戒躁, 钟继卫, 王波. 大跨桥梁健康监测系统设计构成及其进展[J]. 桥梁建设, 2009 (A02): 7-12.
- [3] 王小敏, 熊军, 马木欣. 基于GPS的大跨度桥梁变形监测与数据处理[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2009, 33 (2): 219-222.
- [4] 李俊. 基于ABAQUS的高墩大跨连续刚构桥动力弹塑性时程分析[J]. 科技创新导报, 2009 (27): 83-83.
- [5] 卫军, 李昊, 杨曼娟, 朱玉. 基于ABAQUS平台的四渡河悬索桥隧道锚固稳定性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24 (A01): 4894-4899.

责任编辑 徐侃春

- [8] Shi Y, Eberhart R.A Modified Particle Swarm Optimization[C] //Proc of the IEEE Int' l Conf of Evolutionary Computation, 1998: 69-73.
- [9] 韩江洪, 李正荣, 魏振春. 一种自适应粒子群优化算法及其仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18 (10): 2969-2971.
- [10] 黄轩, 张军, 唐志辉. 基于随机惯量权重的快速粒子群优化算法[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30 (3): 647-650.
- [11] 曾建潮, 介婧, 崔志华. 微粒群算法[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 70-72.
- [12] 魏秀业, 潘宏侠. 粒子群优化及智能故障诊断[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010: 101-102.

责任编辑 徐侃春



摄影/本刊记者 国敢