

Study on Damage of Arch Structure

Hailing Li, Zuoyu Sun

School of Civil Engineering, Guangzhou University, Guangzhou Guangdong
Email: heleninglee@163.com

Received: Jul. 1st, 2015; accepted: Jul. 18th, 2015; published: Jul. 24th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

As the further development of large, overrun, complex civil engineering structure, arch structure is one of the most widespread structures. Under the influence of various unfavorable factors, civil engineering structure may cause damage, even catastrophic accidents. Structural damage will cause the structure modal parameters change. Therefore, by means of the finite element analysis of an arch structure, mode information was extracted such as the frequency and mode shape. And by means of the analysis of the mode difference, the first and the second derivative, the damage location was explored. The results showed that the damage location could be obtained by the mutation situation.

Keywords

Damage Detection, Finite Element Analysis, Arch Structure, Modal Information

拱结构的损伤研究

李海玲, 孙作玉

广州大学土木工程学院, 广东 广州
Email: heleninglee@163.com

收稿日期: 2015年7月1日; 录用日期: 2015年7月18日; 发布日期: 2015年7月24日

摘要

建筑结构形式向大型的、超限的、复杂的方向发展, 而拱形结构是其中应用广泛的一种。建筑结构在各

种不利因素的影响下,极可能发生结构损伤,甚至发生致命危害。结构损伤会导致结构的模态参数变化,因此,通过一个拱结构的有限元分析,提取频率,振型等模态信息,对模态差,一阶导,二阶导分析,探寻其损伤位置,结果表明能通过突变情况得到单元的损伤位置。

关键词

损伤识别,有限元分析,拱结构,模态信息

1. 引言

当今世界,建筑结构蓬勃发展,拱结构被应用在大量建筑结构上,例如桥梁,体育馆,大跨度钢结构,工业厂房等,然而,在结构建造和使用阶段常常会受到各种损失破坏,人们越来越关注结构损伤识别研究。那么,固有频率、振型、模态阻尼比等参数是简单的、理想的线弹性多自由度体系的基本模态参数,他们对于结构的固有动力特性分析具有重大的意义,通过解析法或者有限元法可以比较容易获得结构的固有频率和振型[1][2],理论上认为,结构的低阶模态,在结构振动中占有比较显著的比例,模态参数是结构的物理参数,结构发生损失必然会引起结构的模态参数的变化。

在国外,研究的早期,1979年,Cawley和Aadms[3]通过特征值对结构物理参数的灵敏度分析,得出结构只存在单处损伤时,损伤前后任意两阶频率变化的比值只和损伤位置有关。1991年,Pandey等[4]提出了以振型曲率来诊断结构损伤的方法。在1994年,Pandey[5]又提出了用柔度矩阵F的变化来进行损伤检测的方法。1996年,Messina等[6]提出了损伤定位保证准则。

在国内,1994年,袁向荣[7]以简支梁研究,用解析方法比较了破损对频率、振型和振型曲率的影响。2000年,邓焱[8]等定义振型曲率的2次差分为应力变化陡峭度,据此提取局部损伤的位置和大小信息。2004年,徐丽、易伟建[9]进行了剪切型钢框架结构模型的节点损伤实验由应变模态诊断损伤部位和程度。2007年,赵俊、马宏伟[10]对钢拱进行实验模态研究,做出损伤定位。2010年,程良彦、马宏伟[11]研究了拱结构的振动特性,构造出模态信息的损伤检测方法。2012年许念勇、汤红卫[12]以一个钢框架模型为对象进行模态分析与实验研究。

本文通过一个拱结构进行ANSYS有限元分析,并对其进行模态分析,探寻其损伤判别与定位的有效方法。

2. 模型分析

2.1. 模型

本文数值模型为一个拱结构,该拱结构为弧形拱(如图1所示),拱的角度为135度,拱的半径为500mm,采用beam3单元,材料的弹性模量为 $2.0 \times 10^5 \text{ N/m}^2$,泊松比为0.28,密度为 $7.85 \times 10^{-9} \text{ kg/m}^3$,截面的宽度 $B = 25 \text{ mm}$, $H = 10 \text{ mm}$,进行单元划分后,将拱结构划分为2358个单元,共2359个节点。

2.2. 拱结构模型模态分析

令结构损伤处角度为0.5度,范围大致在 $80^\circ \sim 80.5^\circ$,在损伤处通过减少刚度值来模拟结构损伤,刚度损伤量分别为0.3EI和0.8EI。拱两端采用简支约束,则模态分析之后得到结构的位置模态信息,无损模态值结果如下表1,取前四阶(如图2所示)分析。由图可知拱前四阶模态的节点分别为1、2、3、4个,1、3振型是反对称,2、4振型是对称的。

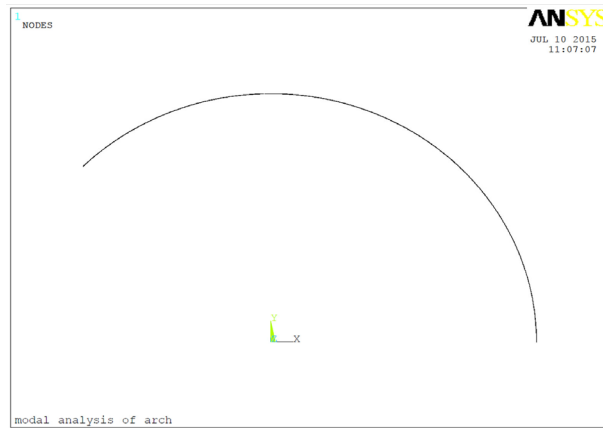


Figure 1. Model of arch structure

图 1. 拱结构模型

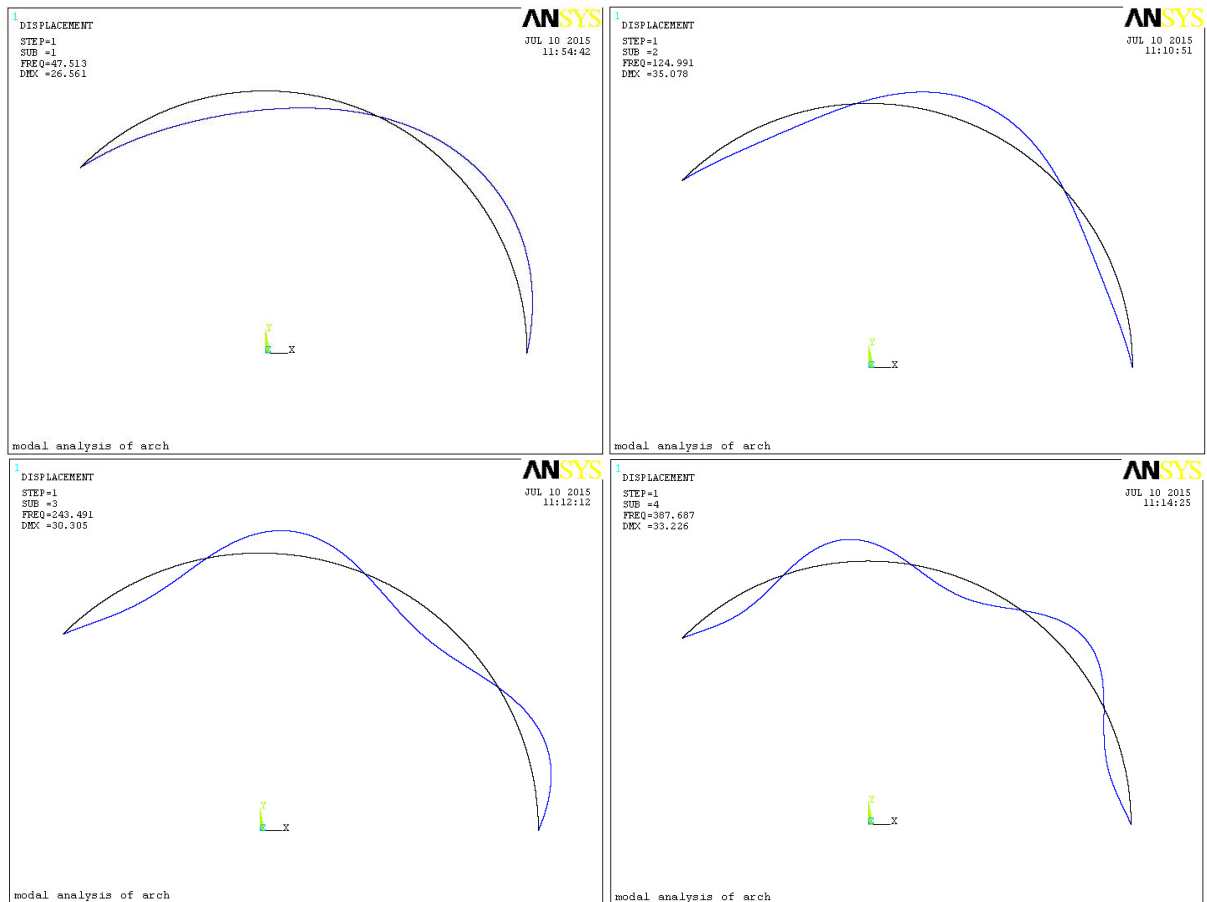


Figure 2. The first four model of arch structure

图 2. 拱结构前四阶模态

Table 1. Modal values of arch structure model

表 1. 拱结构模型模态值

理论计算模态值	一阶	二阶	三阶	四阶
频率(Hz)	47.513	124.99	243.49	387.69

2.3. 模态差，一阶导，二阶导的损伤识别

对于该拱结构模型，可以得到径向位移模态，那么可以得到模态差 $\Delta\Phi$ 为：

$$\Delta\Phi = \Phi_{kd} - \Phi_{ku} \quad (1)$$

式中： Φ_{kd} 为第 k 阶损伤结构径向位移振型幅值； Φ_{ku} 为第 k 阶未损结构径向位移振型幅值。

根据公式(1)，可知模态差为结构损伤后的模态减去未损结构的模态，本文利用有限元软件对拱结构的不同损伤情况进行模拟分析，因此选取两种分析工况，分析工况为：Case 1 (损伤量为 0.3 EI 与未损结构的模态差)，Case 2 (损伤量为 0.8 EI 与未损结构的模态差)，对前四阶的位移模态分别求模态差(如图 3 所示)，得到两条模态差曲线。另外，对两种情况分别求一次导可以得到一阶导的模态值 Φ' (如图 4 所示)，分别求二次导可得到二阶导的模态值 Φ'' (如图 5 所示)。通过这三种模态值分析，可以近似作为其判定损伤位置的损失识别指标。

根据图 3 前四阶模态差和损伤量的关系可知，随着损伤量的增加，模态差也随之增大。出现多个极值，一个尖峰值，推定该尖峰之可能为损伤部位，由图得到尖峰值大致都在节点范围 1390~1410 处，与初设损伤范围 $80^\circ\sim 80.5^\circ$ 大致相同，由此可判断损伤位置，证明了该方法的有效性。根据图 4，图 5 前四阶的模态值一阶导数，二阶导数值的图像判定，均出现尖峰值，尖峰值的位置大致都在节点范围 1390~1410 处，与初设损伤范围 $80^\circ\sim 80.5^\circ$ 大致相同，由此可判断损伤位置，也证明了该方法的有效性。

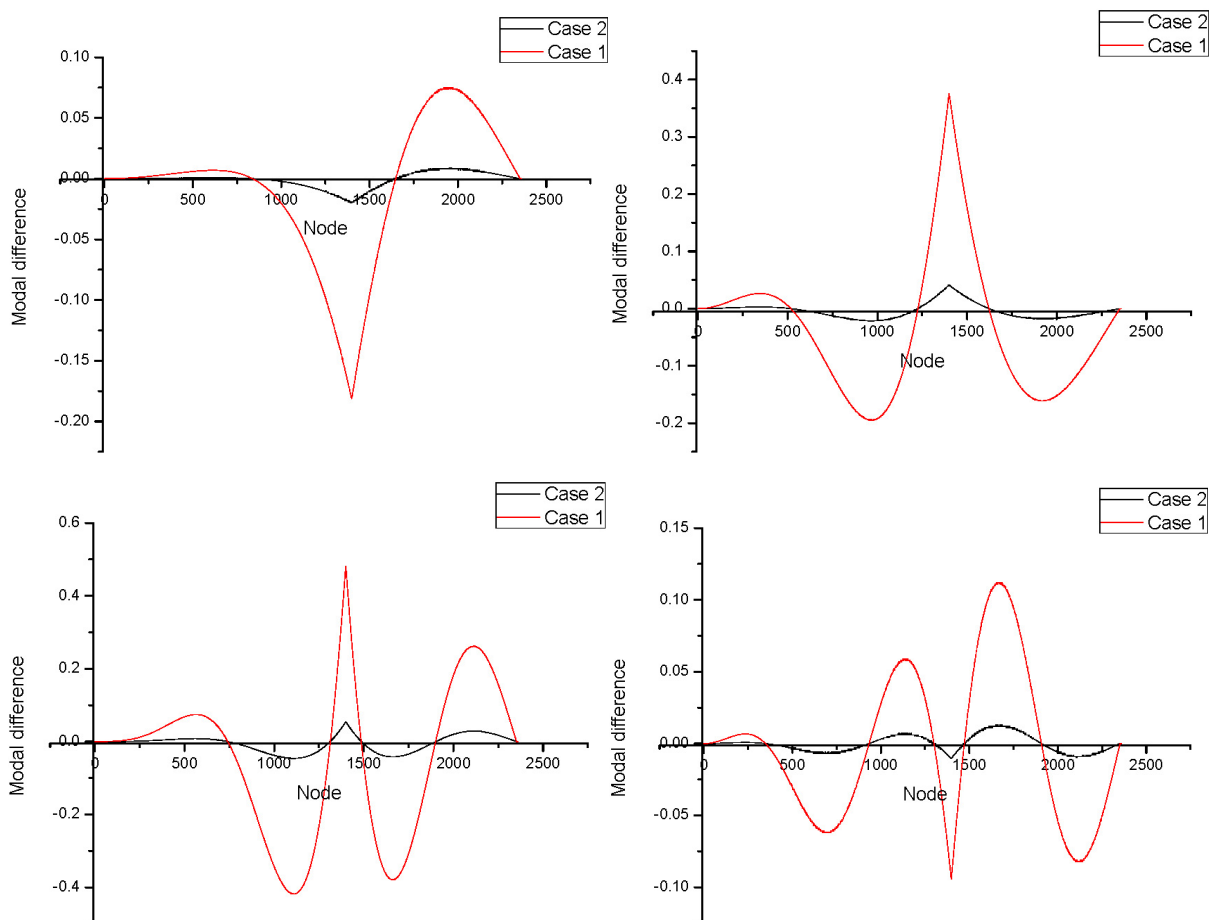


Figure 3. The first four model of $\Delta\Phi$

图 3. 前四阶 $\Delta\Phi$

3. 结束语

本文利用 ANSYS 有限元对拱结构的结构损伤进行模拟分析，具有较高的研究水平，同时为拱结构的结构损伤理论提供一定的指导。通过结构的损伤前后的几阶低阶模态进行模态分析从而达到损伤识别的目的，分析得到的模态差，模态一阶导数值，二阶导数值，从数据分析可大致通过尖峰值判定结构的

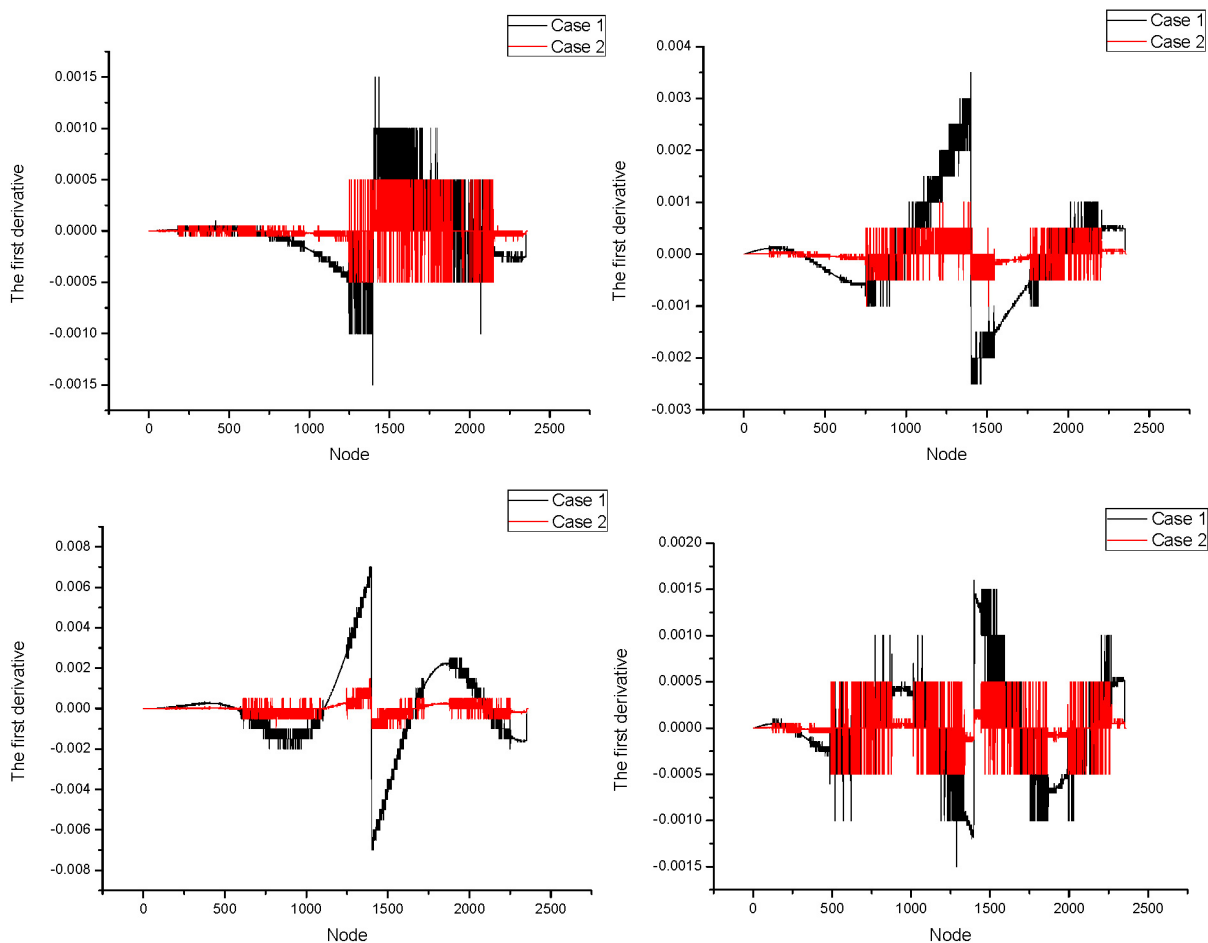
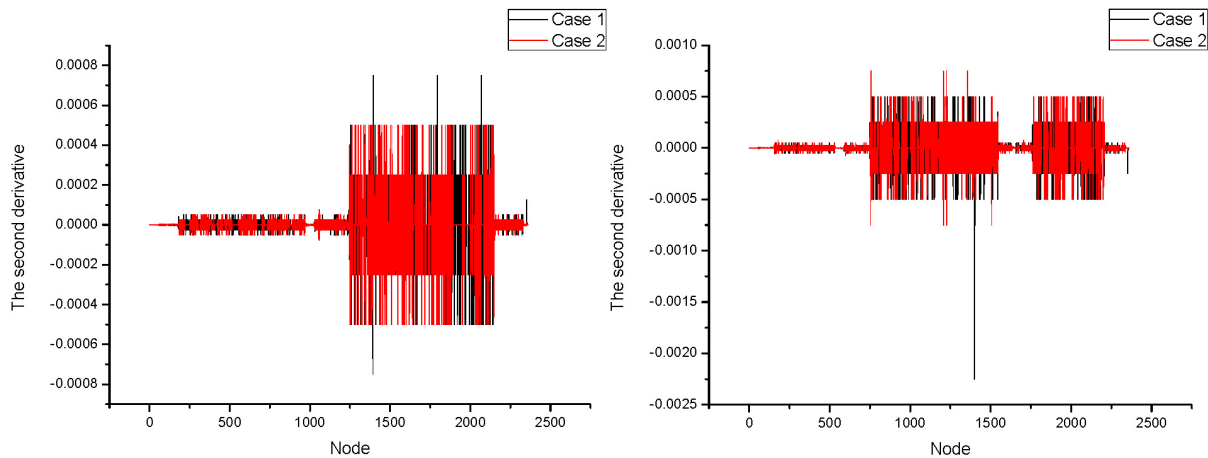
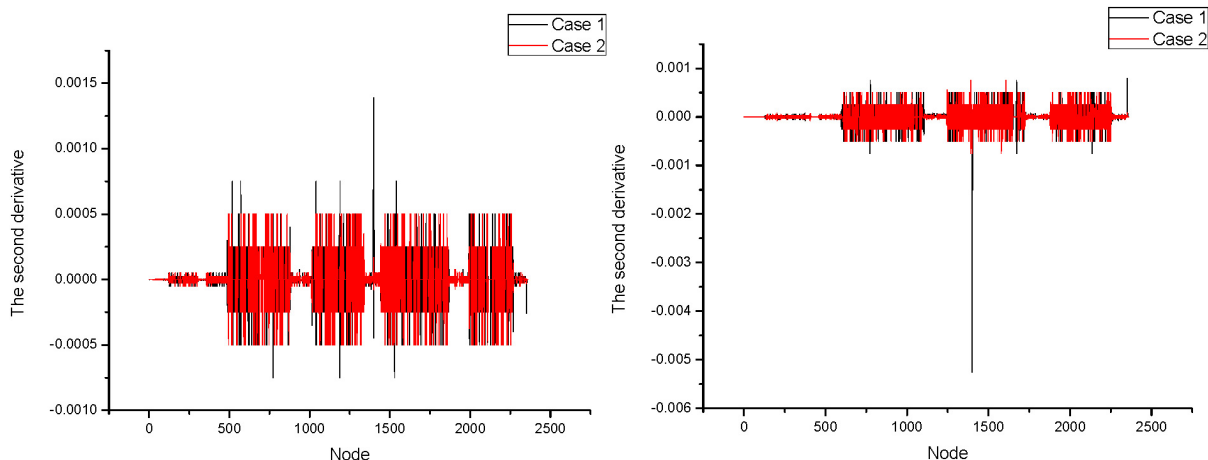


Figure 4. The first four model of Φ'

图 4. 前四阶 Φ'



Figure 5. The first four model of Φ'' 图 5. 前四阶 Φ''

损伤位置，与初设范围相同，证明了该方法进行损伤识别的有效性。这里采用的是一个简单的拱形结构分析，分析较为简单易操作。但是，现实结构多数为复杂的空间结构，数据量大，复杂，如何快速分析识别损伤，还是个值得研究的问题，这对于结构的损伤识别具有重大的意义。

参考文献 (References)

- [1] 杨伟松 (2012) 典型结构模态精确测试及损伤识别方法研究. 中国地震局工程力学研究所, 哈尔滨.
- [2] 纪晓东, 钱稼茹 (2008) 损伤定位向量法原理和应用. *工程力学*, **25**, 10-20.
- [3] Cawley, P. and Adams, R.D. (1979) The location of defects in structures from measurements of natural frequencies. *Journal of Strain Analysis*, **14**, 49-57. <http://dx.doi.org/10.1243/03093247V142049>
- [4] Pandey, A.K., Biswas, M. and Samman, M.M. (1991) Damage detection from changes in curvature mode shape. *Journal of Sound and Vibration*, **145**, 321-332. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-460X\(91\)90595-B](http://dx.doi.org/10.1016/0022-460X(91)90595-B)
- [5] Pandey, A.K., Biswas, M. and Samman, M.M. (1994) Damage detection in structures using changes in flexibility. *Journal of Sound and Vibration*, **169**, 3-17. <http://dx.doi.org/10.1006/jsvi.1994.1002>
- [6] Messina, A., Williams, E.J. and Cotursi, T. (1998) Structural damage detection by a sensitivity and statistical-based method. *Journal of Sound and Vibration*, **216**, 791-808. <http://dx.doi.org/10.1006/jsvi.1998.1728>
- [7] 袁向荣 (1994) 梁的破坏对频率、振型及振型曲率的影响. *振动、测试与诊断*, **14**, 40-44.
- [8] 邓焱, 严普强 (2000) 梁及桥梁应变模态与损伤测量的新方法. *清华大学学报(自然科学版)*, **40**, 123-127.
- [9] 徐丽, 易伟建 (2004) 基于模态参数的混凝土框架结构损伤诊断研究. 湖南大学, 长沙.
- [10] 赵俊, 马宏伟 (2007) 基于曲率模态的拱结构损伤识别方法研究. 暨南大学, 广州.
- [11] 程良彦, 马宏伟 (2010) 拱结构的损伤识别方法及损伤结果可视化研究. 暨南大学, 广州.
- [12] 许念勇, 汤红卫 (2012) 框架结构模态分析与损伤识别. 山东大学, 济南.