

基于柔度二次扩展的结构损伤识别方法

Structural Damage Identification Method Based on Second Extension of Flexibility

戴斌

Bin Dai

362429198901280615
中国·江西 吉安 343000
Ji'an City, Jiangxi, 343000, China

作者简介: 戴斌(1989-), 男, 中国江西吉安人, 硕士研究生, 从事结构损伤识别的研究。

【摘要】 为了提高指标对低阶模态的利用率, 引入柔度二次扩展的概念作为一种改进措施, 利用扩展后的柔度矩阵代替原有柔度矩阵进行损伤识别。简支梁和连续梁的损伤算例表明: 引入二次扩展矩阵后能够识别出损伤位置, 加强指标对低阶模态的利用率, 对工程结构损伤识别有参考价值。

【Abstract】 In order to improve the utilization ratio of low order modal index, the concept of second extension of flexibility two extension is introduced as an improvement measure, and the extended flexibility matrix is used to replace the original flexibility matrix for damage identification. The damage example of simply supported beam and continuous beam shows that after introducing second-extension matrix, the damage location can be identified, and the utilization ratio of the index to the low order modal is strengthened, which is of reference value to the damage identification of the engineering structure.

【关键词】 柔度矩阵; 模态参数; 损伤识别; 柔度二次扩展

【Keywords】 Flexibility matrix; Modal parameter; Damage identification; Second extension of flexibility

1 理论基础

1.1 模态柔度变化率曲率指标

提取损伤前后柔度矩阵 G_u 和 G_d 中的对角线元素, 得到 $\{f^u\}$ 、 $\{f^d\}$, 即

$$\{f^u\} = \text{diag}(G_u) \quad (1.1)$$

$$\{f^d\} = \text{diag}(G_d) \quad (1.2)$$

式中: 符号 $\text{diag}(\cdot)$ 代表取矩阵的对角线元素

$\{f^u\}$ 、 $\{f^d\}$ 作差得到差值向量 $\{\Delta f\}$, 即

$$\{\Delta f\} = \{f^u\} - \{f^d\} \quad (1.3)$$

$\{\Delta f\}$ 、 $\{f^u\}$ 对应元素作比值得到柔度变化率向量 $\{F\}$, 即

$$\{F\} = \{\Delta f\} / \{f^u\} \quad (1.4)$$

差分法计算向量 $\{F\}$ 的曲率, 即

布主体多元化、信息传播环境复杂化、舆论关注热点分散化的趋势, 保持高度的责任心和使命感, 第一时间发现价格波动情况, 坚持多形式、多手段、多领域发布价格监测信息发布。二是提升信息发布内容质量。提高分析信息的文字水平和内容质量, 注重准确性, 更多地运用数据、实例进行认证说明; 注重时效性, 重点商品和服务的价格变动信息要尽早发布; 注重针对性, 发布的信息要侧重于回应社会关注热点, 突出本地特色和优势; 注重前瞻性, 综合利用掌握到的信息, 围绕新情况、新变化提供超前的价格信息服务。三是拓宽多元化发布渠道。积极与主流媒体进行沟通交流, 更加重视新媒体渠道的作用, 发挥官方微博、微信传播速度快、互动性强的特点。

3.6 切实做好价格专项调研和预警分析工作

一是着力做好市场调查研究。密切关注价格总水平走势和变化情况, 科学预测物价水平变化趋势, 一旦出现异常波动及时组织力量进行市场调研, 摸清原因, 研究对策, 切实发挥价格监测工作辅助政府决策的职能作用。二

是提升理论分析水平。在完成好生猪、夏秋粮等常规调查任务的基础上, 针对群众关注、领导关心的价格热点开展深入的专项调查研究, 着力提升价格动态分析的深度、广度和专业度, 形成一批有特点和有亮点的分析报告。同时, 围绕“菜篮子”、“米袋子”、重要工业品价格, 高水平完成价格形势分析工作。加强与科研机构、资讯企业的工作交流和信息合作, 进一步提升价格分析理论水平。三是加强事前事中的预测预警。密切关注国内国外宏观经济形势和大宗商品价格变化情况, 充分发挥基层价格监测机构贴近生产一线、掌握一手资料的优势, 保持对重要商品价格波动的敏感性, 及时发现苗头性、倾向性、趋势性问题, 以高度的责任感做好预测预警工作。

参考文献

- [1] 鹿建宇, 胡宿有. 基层价格监测工作的问题与建议[J]. 中原市场大观, 2003(2):31-31.
[2] 王佳锐. 我国价格监测预警体系存在的问题及对策探究[J]. 价格月刊, 2014(11):14-17.

观察思考 Observation & Reflection

$$\{N\} = \{F_j^*\} = (F_{j+1} - 2F_j + F_{j-1})/L^2 \quad (1.5)$$

将得到的指标 $\{N\}$ 作为损伤识别指标。

1.2 柔度二次扩展概念

本文通过进一步加强模态柔度变化率曲率指标对低阶模态的利用率，以提高其损伤识别效果。基于此考虑，本文将对柔度矩阵进行二次扩展，将二次扩展得到的扩展柔度矩阵代替原有的柔度矩阵再次进行结构的损伤识别，体现二次扩展后损伤识别的优越性。

柔度矩阵一次扩展后得到：

$$G' = G(MG) \quad (1.6)$$

式中： G' 为一次扩展后的柔度矩阵； M 为结构的质量矩阵

$$G' = \Phi\Lambda^{-1}\Phi^T(M\Phi\Lambda^{-1}\Phi^T) \quad (1.7)$$

在结构损伤后的模态满足关于质量矩阵归一化的条件下，即 $\Phi^T M \Phi = 1$ 时，式 (1.7) 可以变换为：

$$G' = \Phi\Lambda^{-2}\Phi^T \quad (1.8)$$

可以得到：

$$G' = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\omega_i^4} \phi_i \phi_i^T \quad (1.9)$$

本文在此基础上考虑柔度矩阵的二次扩展，公式推导如下：

将 G' 重新代入式子 (1.6) 可以得到：

$$G'' = G'(MG') \quad (2.0)$$

将式子 (1.8) 代入式子 (2.0) 可以得到：

$$G'' = \Phi\Lambda^{-2}\Phi^T(M\Phi\Lambda^{-2}\Phi^T) \quad (2.1)$$

再根据质量矩阵归一化的条件，可以得到：

$$G'' = \Phi\Lambda^{-4}\Phi^T \quad (2.2)$$

根据式子 (2.2) 可以得到：

$$G'' = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\omega_i^8} \phi_i \phi_i^T \quad (2.3)$$

2 基于柔度二次扩展的损伤识别对比图

本文通过进一步加强模态柔度变化率曲率指标对低阶模态的利用率，以提高其损伤识别效果。只提取结构前1阶的模态参数，利用二次扩展柔度矩阵 G'' 代替原有的柔度矩阵 G 再次进行结构的损伤识别。与采用3阶模态参数的损伤识别图进行对比，突出引入柔度二次扩展的优势。

2.1 简支梁模型

2.1.1 单处损伤对比图

假设简支梁单损伤仅位于9号单元，损伤程度分别为5%、10%、15%和20%。对比结果如图1所示：

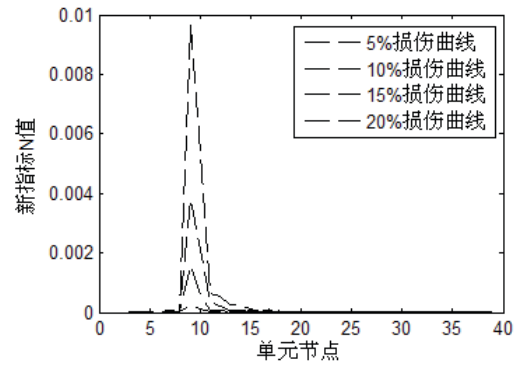
2.1.2 多处损伤对比图

假设简支梁损伤位于11、18号单元，损伤程度分别为5%、10%、15%和20%。对比结果如图2所示：

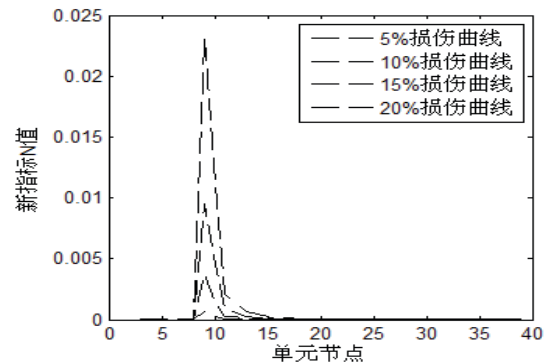
2.2 三跨连续梁模型

2.2.1 对称损伤对比图

假设三跨连续梁对称损伤位于8，38号单元，损伤程度为5%、10%、15%和20%。对比结果如图3所示：



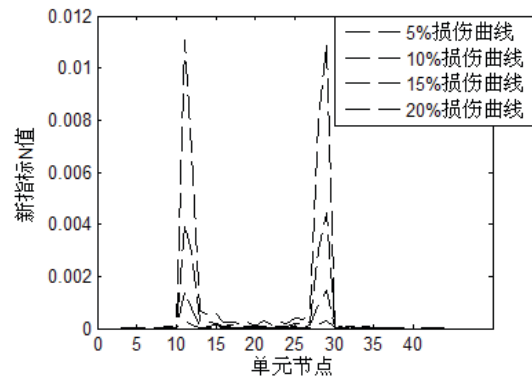
(a) 1阶模态损伤识别图



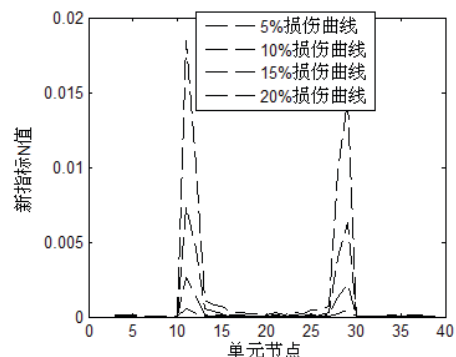
(b) 3阶模态损伤识别图

图1 单处损伤对比图

Fig.1 Contrast chart of single damage



(a) 1阶模态损伤识别图

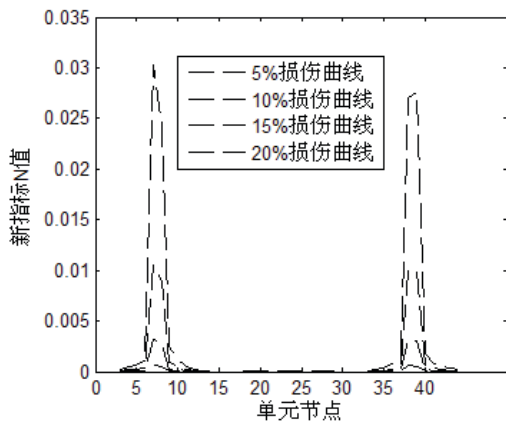


(b) 3阶模态损伤识别图

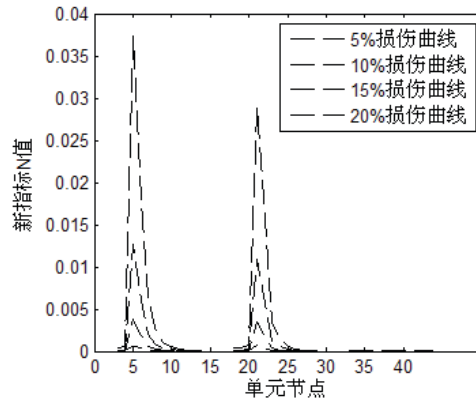
图2 多处损伤对比图

Fig.2 Multiple damage comparison chart

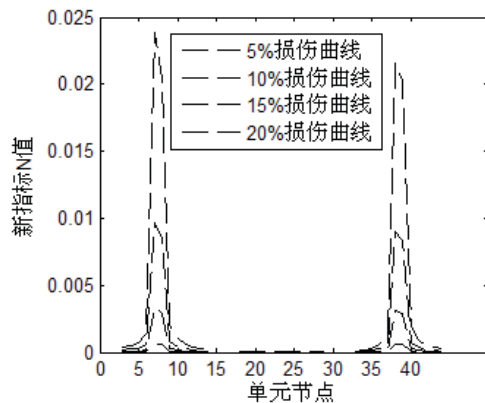
赖性，而且计算量小。



(a) 1阶模态损伤识别图



(a) 1阶模态损伤识别图



(b) 3阶模态损伤识别图

图3 对称损伤对比图

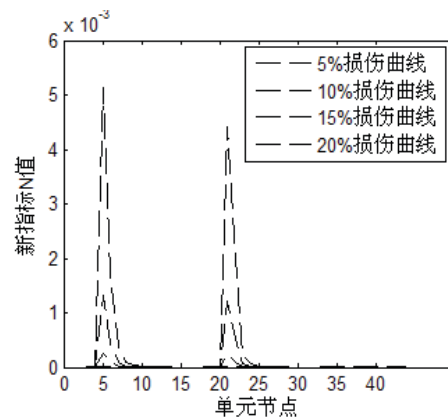
Fig.3 Symmetric damage contrast

2.2.2 非对称损伤对比图

假设三跨连续梁非对称损伤位于5, 21号单元, 损伤程度为5%、10%、15%和20%。对比结果如图4所示:

3 结论

本文在损伤识别指标{N}的基础上, 引入柔度二次扩展的概念, 对提出的{N}指标进行了改进得到一组改进前与改进后的损伤识别对比图。以简支梁和三跨连续梁为主要研究对象, 借助MATLAB软件进行编程计算, 得到了两种结构不同损伤工况的损伤识别效果图, 得到以下结论: 经二次柔度扩展改进的新损伤识别指标{N}仅需一阶模态信息就可以对结构进行损伤识别, 降低了本指标对高阶模态信息的依



(b) 3阶模态损伤识别图

图4 非对称识别效果对比图

Fig.4 Asymmetric damage contrast

参考文献

- [1] 彭念, 张永兴, 陈建功. 基于损伤柔度曲率矩阵的结构损伤识别新方法[J]. 工业建筑, 2013, 8(2): 15-18.
- [2] 徐典, 杨佑发. 基于柔度曲率曲线的结构损伤识别方法[J]. 建筑结构学报, 2012, 33(12): 147-152.
- [3] 马立元, 李世龙, 李永军, 等. 基于子结构及模态柔度曲率差的某框架结构损伤识别[J]. 海军工程大学学报, 2011, 23(5): 21-26
- [4] 曹晖, 张新亮, 李英民. 利用模态柔度曲率差识别框架的损伤[J]. 振动与冲击, 2007, 26(6): 116-124.