

文章编号 :1671 - 6833(2002)03 - 0110 - 03

基于系统识别的梁类构件故障诊断

杨永战¹, 方 波², 任日忠³, 刘健锋¹

(1. 平顶山市自来水公司基建科 ,河南 平顶山 476000 ; 2. 郑州市自来水总公司基建科 ,河南 郑州 450007 ;
3. 郑州大学基建处 ,河南 郑州 450002)

摘 要 : 建筑结构的损伤诊断分析是结构性能评估的基础 . 采用静态检测方法对梁类构件的损伤诊断问题进行了理论分析 . 根据梁截面等效抗弯刚度的变化建立了梁的力学模型 , 利用在集中荷载作用下梁的挠度变化 , 并基于系统识别原理 , 建立了梁类构件的损伤诊断分析方法 . 通过实例计算 , 表明该方法具有较好的收敛性和稳定性 .

关键词 : 梁 ; 挠度 ; 故障诊断 ; 系统识别

中图分类号 : TU 435 **文献标识码 :** A

由于设计、施工过程中的失误和缺陷 , 或者在使用过程中受到外界环境的作用(如超载、火灾、地震、侵蚀性化学腐蚀、钢筋锈蚀等) , 都将对工程结构造成损伤 , 影响其安全性及功能的发挥 . 结构工程中常常存在着表面缺陷或破损 , 如梁板的裂缝、火灾后混凝土的过火、钢结构的开焊等 . 这些肉眼或借助观测仪器可见的破损或缺陷容易引起人们重视 , 可及时诊断并采取措施加以修复和维修 . 而实际结构中常常存在内部缺陷 , 这些观测不到的潜在缺陷有时更具危险性 , 可能会造成更大的经济损失 . 因此 , 如何能通过一定的监测手段和分析方法对结构进行检测与评估 , 以确定结构是否有损伤存在 , 进而判别损伤的程度和方位 , 以及结构目前的状况、使用功能和结构损伤的变化趋势等 , 已成为当前国内外道路工程领域的重要研究课题之一^[1].

梁是许多工程结构中的一种基本承载结构 , 其结构性能的好坏将直接影响整个结构的安全^[2]. 目前 , 关于梁类构件的状态检测可简单分为表观检测、局部检测、静态检测、动态检测等^[3]. 本文采用梁类构件的静态检测方法 , 应用系统识别原理 , 对梁的损伤诊断进行了理论分析 , 并给出了分析实例 , 取得了较好的效果 .

1 基于系统识别的梁类构件损伤诊断原理

运用系统识别原理 , 进行损伤诊断的方法最

早应用于航空、航天、精密机床等领域 , 目前这种方法在发达国家的上述领域得到广泛应用和发展^[4]. 近年来 , 系统识别逐渐应用于土木工程领域 , 尤其是应用于重要的桥梁、钢结构等工程结构的损伤诊断分析 . 文献 [5] 成功运用系统识别原理分析了道路各结构层的模量及厚度 , 并推广应用于路面施工质量的检测和控制 .

1.1 系统识别原理

系统识别的原理是根据系统的输入和输出来确定系统的特性(如图 1 所示) . 在系统识别分析过程中 , 其方法步骤为 : ①用一个结构力学模型来模拟未知系统 ; ②根据系统输入的荷载 , 计算系统的响应 ; ③用计算响应和实测响应求得某一目标函数(变量为计算与实测响应的误差指标函数) 的值 ; ④若目标函数的值达到可以接受的程度 , 则得到系统的力学模型参数 ; 否则 , 采用一定的调整算法 , 修改力学模型的参数 , 重复② ~ ④过程 . 通过迭代过程 , 逐步修改力学模型的参数 , 使其响应与实际系统的响应之间的误差从某种意义上达到最小 , 从而识别出力学模型的参数 .

系统识别的效果及成功与否取决于力学模型是否正确和是否反映真实系统的力学特性、目标函数是否恰当、参数调整算法是否能使目标函数收敛等 . 力学模型选择的错误将可能导致系统识别无法进行或识别出错误的力学参数 ; 目标函数、参数调整算法选择的错误将可能导致迭代

收稿日期 : 2002 - 05 - 20 ; 修订日期 : 2002 - 06 - 16

作者简介 : 杨永战 (1967 -) 男 , 河南省郑县人 , 平顶山市自来水公司工程师 , 主要从事土木工程的设计和施工管理工作 .

结果不收敛,也得不到正确的力学参数.本文采用灵敏度分析理论进行参数调整.

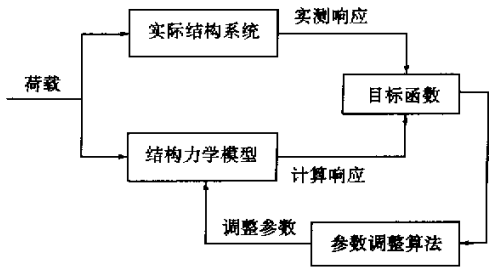


图1 系统识别分析过程

Fig.1 Analysis process of system identification

1.2 梁类构件损伤诊断模型

梁类构件的损伤,如钢筋混凝土梁构件的混凝土强度降低、截面削弱、裂缝的出现、钢筋数量(面积)的减少等都将导致梁截面刚度的降低.可以通过截面条元积分法,伴以静力平衡搜索,得到各种截面结构参数(混凝土强度、截面尺寸、钢筋数量等)条件下受力全过程的刚度图表^[6].混凝土梁截面结构参数与其截面刚度之间的相关关系可以由图表确定.因此,选用梁的截面刚度作为梁中损伤是否发生及其程度的指标是合理的和可靠的,并且便于进行损伤识别和相关分析.

在本文梁类构件的损伤诊断中,用的是一维梁单元有限元模型,作用在单元结点上的集中荷载作为已知系统输入.采用上述系统识的方法,识别梁的刚度变化,由梁分段刚度的大小确定梁损伤的发生位置及其程度.

2 损伤识别算例

2.1 算例描述

假定一个两跨连续梁结构,其全长为5 m,第一跨3 m,第二跨2 m,正常梁段截面刚度为 $EI = 0.153 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{m}^2$,有损伤梁段的截面刚度为 $EI = 0.141 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{m}^2$,在距离左端点1 m处作用一集中荷载 $P = 60\,000 \text{ N}$,在0.5 m,1.5 m,2.5 m,3.5 m,4.5 m处分别用5块挠度计量测梁在集中荷载作用下的挠度.梁结构系统如图2所示.

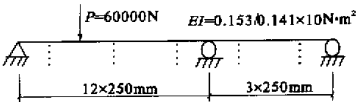


图2 连续梁模型

Fig.2 Continued-beam model

将全梁自左至右分为20段,每段长250 mm,

如图2所示.根据含有损伤梁段的位置与范围,分三种工况进行分析:工况1,5~8号梁段发生损伤;工况2,5~6号梁段发生损伤;工况3,5号梁段发生损伤.

2.2 结果分析

本算例直接用梁的刚度作为梁的结构参数和识别指标.首先计算出每种工况条件下梁(挠度计处)的挠度,然后将此挠度作为实际结构系统的实测响应,运用系统识别方法识别梁的分段刚度.

对于工况1,梁的分段刚度识别结果见表1.由此可以看出,当梁的损伤范围与建立的力学模型的分段一致时,本文的方法可以准确地给出结构的损伤诊断结果.

表1 工况1的识别结果

Tab.1 Identification result of the 1st case

梁段号	实际刚度/($10^7 \text{ N} \cdot \text{m}^2$)	识别刚度/($10^7 \text{ N} \cdot \text{m}^2$)	误差率/%
1~4	0.1530	0.1530	0.00
5~8	0.1410	0.1410	0.00
9~12	0.1530	0.1530	0.00
13~16	0.1530	0.1530	0.00
17~20	0.1530	0.1530	0.00

说明:误差率=(识别刚度-实际刚度)/实际刚度.

对于工况2和工况3,梁的分段刚度识别结果分别见表2和表3.由于梁的损伤范围呈现局部特性,从而导致梁的分段刚度识别结果产生一定的误差,但识别结果基本能够反映损伤的范围及程度.

表2 工况2的识别结果

Tab.2 Identification result of the 2nd case

梁段号	实际刚度/($10^7 \text{ N} \cdot \text{m}^2$)	识别刚度/($10^7 \text{ N} \cdot \text{m}^2$)	误差率/%
1~4	0.1530	0.1547	1.11
5~6	0.1410	0.1489	5.60
7~8	0.1530	0.1489	-2.68
9~12	0.1530	0.1507	-1.50
13~16	0.1530	0.1512	-1.18
17~20	0.1530	0.1512	-1.18

表3 工况3的识别结果

Tab.3 Identification result of the 3rd case

梁段号	实际刚度/($10^7 \text{ N} \cdot \text{m}^2$)	识别刚度/($10^7 \text{ N} \cdot \text{m}^2$)	误差率/%
1~4	0.1530	0.1541	0.72
5	0.1410	0.1497	6.17
6~8	0.1530	0.1497	-2.15
9~12	0.1530	0.1528	-0.13
13~16	0.1530	0.1530	0.00
17~20	0.1530	0.1530	0.00

3 结 论

(1) 用系统识别的方法可以识别梁的截面刚度 , 并由此可确定梁损伤的程度及其定位 , 从而实现梁的损伤诊断 ; 适当的目标函数和参数调整算法 , 可使此方法收敛快、精度高。

(2) 若梁的损伤范围与分析时建立的有限元力学模型的分段一致 , 则可实现准确的诊断结果 ; 若梁的损伤范围与分析时建立的有限元力学模型的分段不一致时 , 诊断结果有误差 , 误差值随损伤范围与模型分段不一致的程度增加而增加 , 但仍可较准确地得到构件的损伤范围和损伤程度。

参考文献 :

[1] 陈长征 , 罗跃纲 , 白秉三 , 等 . 结构损伤检测与智能

诊断[M]. 北京 : 科学出版社 , 2001.

[2] 王书法 , 鄢月琴 , 李卓秋 . 梁内缺陷识别的反分析方法[J]. 振动、测试与诊断 , 2000(4) : 245 - 248.

[3] 高怀志 , 王君杰 . 桥梁检测和状态评估研究于应用[J]. 世界地震工程 , 2000(2) : 57 - 64.

[4] 袁万城 , 崔 飞 , 张启伟 . 桥梁健康检测与状态评估的研究现状与发展[J]. 同济大学学报 , 1999(2) : 184 - 188.

[5] 刘建华 , 乐金朝 , 王复明 , 等 . 落锤式弯沉仪在道路施工质量控制中的应用[J], 郑州大学学报(工学版) 2002 , 23(2) : 41 - 43.

[6] 江见鲸 . 混凝土结构工程学[M]. 北京 : 中国建筑工业出版社 , 1998.

Fault Diagnosis of Beam Based on System Identification Method

YANG Yong - zhan¹ , FANG Bo² , REN Ri - zhong , LIU Jian - feng¹

(1. Department of capital construction , Pingdingshan Running Water Company , Pingdingshan 476000 , China ; 2. Department of capital Construction , Zhengzhou Running Water General Company , Zhengzhou 450007 , China 3. Department of Capital Construction , Zhengzhou University , Zhengzhou 450002 , China)

Abstract : The fault diagnosis of building structure is the basis of construction performing property evaluation . The fault diagnosis of beam is investigated by using the static state testing method . Based on decrease of beam section stiffness , an analysis model of beam is presented . The deflection of beam is chosen as a fundamental variable under a concentrated force . A fault diagnosis method is created through system identification method . Some examples are calculated . The results show the effectiveness of the method presented in this paper .

Key words : beam ; deflection ; fault diagnosis ; system identification method