

文章编号:1673-2049(2013)04-0084-07

基于压电陶瓷传感器的钢筋混凝土框架结构 裂缝损伤全过程监测

孙 威^{1,2}, 阎 石², 姜绍飞¹, 陈 鑫²

(1. 福州大学 土木工程学院, 福建 福州 350108; 2. 沈阳建筑大学 土木工程学院, 辽宁 沈阳 110168)

摘要:基于压电陶瓷传感器开展了动力荷载作用下的钢筋混凝土框架模型结构裂缝损伤全过程监测试验。在1个2层2跨钢筋混凝土框架结构中埋入压电陶瓷传感器,对模型结构先后施加拟动力荷载和拟静力荷载的作用,监测结构在荷载作用下的损伤发展全过程,并采用移动平均法对监测数据进行平滑处理。结果表明:所采用的监测方法能够有效监测结构健康状态的发展趋势,但受环境等因素的影响,监测数据存在波动性,给损伤识别带来一定困难;采用移动平均法进行数据处理可使损伤识别结果更加准确;基于压电陶瓷传感器的混凝土裂缝损伤监测方法可用于结构的长期监测,有效的数据平滑滤噪措施对于损伤的正确识别具有重要意义。

关键词:压电陶瓷传感器;钢筋混凝土框架结构;动力荷载;裂缝损伤;全过程监测

中图分类号:TU375

文献标志码:A

Cracking Damage Process Monitoring of RC Frame Structure Based on Piezoelectric Ceramic Transducers

SUN Wei^{1,2}, YAN Shi², JIANG Shao-fei¹, CHEN Xin²

(1. School of Civil Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350108, Fujian, China; 2. School of Civil Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, Liaoning, China)

Abstract: Based on piezoelectric ceramic transducers, a cracking damage process monitoring of reinforced concrete (RC) frame structure under dynamic load was conducted. In the test, some piezoelectric transducers were buried into a two-span and two-story RC frame structure; the pseudo dynamic load and static load were applied on the model structure respectively. The cracking damage process of structure under the load was monitored. Moving average method was used in data smooth processing. The results show that the method is effective for monitoring the development tendency of structure health situation in long-term period. But monitoring data has volatility caused by environmental factors, which brings certain difficulty for damage identification. It will get better results after the data processing by moving average method. The concrete crack damage monitoring method based on piezoelectric ceramic transducers is fit for a long-term monitoring of structure, and the effective measure of data processing is significant for the damage identification.

Key words: piezoelectric ceramic transducer; RC frame structure; dynamic load; crack damage; process monitoring

收稿日期:2013-08-20

基金项目:国家自然科学基金项目(51278313);辽宁省教育厅科研项目(L2012210);福州大学博士后科研项目(600703)

作者简介:孙 威(1979-),男,辽宁辽阳人,沈阳建筑大学讲师,工学博士,博士后,E-mail:lg1_315@126.com。

0 引言

混凝土结构是土木工程领域中最常见的结构形式。随着中国经济的迅速发展,各类大型混凝土结构不断涌现,结构可靠性备受重视,对结构进行的定期检测工作就显得尤为必要^[1-6]。近年来,基于压电陶瓷传感器的混凝土结构裂缝损伤监测方法受到学术界的普遍关注。压电陶瓷材料以其灵敏度高、响应快、具有传感与驱动的双重功能以及造价低廉等诸多优点而成为理想的结构健康监测传感器制作材料^[7],特别是针对混凝土结构裂缝损伤监测,压电陶瓷传感器更有优势^[8-9]。

目前,利用压电陶瓷传感器的混凝土裂缝损伤监测已取得丰富的研究成果^[10-16]。但是以往开展的研究工作多是针对单体构件的试验,鲜有大尺寸模型结构的监测试验。本文中笔者将压电陶瓷传感器埋入到钢筋混凝土框架模型结构中的关键部位,开展动力荷载作用下的钢筋混凝土框架结构损伤监测试验。在试验中,探索利用压电陶瓷传感器对整体结构进行监测的技术措施,以验证该技术对结构整体监测的有效性,同时采用移动平均法对监测数据进行平滑处理,使结构损伤识别结果更加准确。本文的研究工作为该方法进一步应用于实际工程打下基础。

1 试验概况

1.1 模型结构

试验模型结构为 1 个 2 层 2 榀钢筋混凝土框架,第 1 层层高 2.1 m,第 2 层层高 1.5 m,底座高 0.4 m。模型的横向轴线跨度为 3.0 m,纵向轴线跨度为 1.5 m,框架柱截面尺寸为 200 mm×200 mm,框架梁截面尺寸为 150 mm×200 mm。模型结构框架柱部分的混凝土强度等级为 C60,梁、板及底座的混凝土强度等级为 C40。模型结构所使用的钢筋包括高强钢筋和普通钢筋。高强钢筋为预应力钢棒,直径为 7.1 mm 和 10.7 mm 两种,分别用于框架柱中的纵筋和箍筋;普通钢筋采用 HPB235 级和 HRB335 级钢筋,HPB235 级用作梁中箍筋及板中配筋,HRB335 级用作梁中纵向配筋。模型结构尺寸如图 1 所示。图 1 中,黑色圆点表示压电陶瓷传感器,其中,传感器 SA1 与 SA2 构成的监测单元负责柱根部的监测,SA1 作为信号驱动器,SA2 作为信号传感器;传感器 SA3 与 SA4 构成的监测单元负责第 1 层梁、柱节点的监测,SA3 作为信号驱动

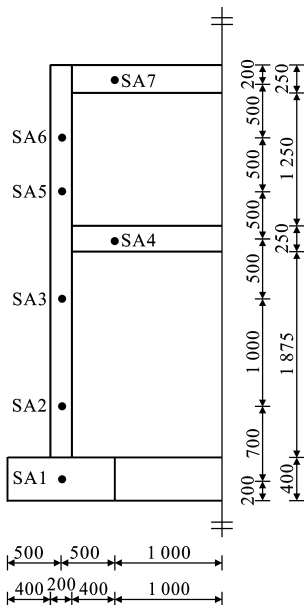


图 1 模型结构尺寸(单位:mm)

Fig. 1 Model Structural Sizes (Unit:mm)

器,SA4 作为信号传感器;传感器 SA3 与 SA5 构成的监测单元负责第 1 层柱顶和第 2 层柱底的节点监测,SA3 作为信号驱动器,SA5 作为信号传感器;传感器 SA6 与 SA7 构成的监测单元负责第 2 层梁、柱节点的监测,SA6 作为信号驱动器,SA7 作为信号传感器。

1.2 试验加载

在试验中对模型结构同时施加水平荷载与竖向荷载,如图 2 所示。水平方向施加的荷载作为动力荷载,加载装置采用 2 台 MTS 电液伺服加载作动器;竖直方向施加的荷载作为恒载,加载装置采用 4 台 500 kN 油压千斤顶,通过水平滑板将 4 个竖向荷载分别施加在各柱顶部。

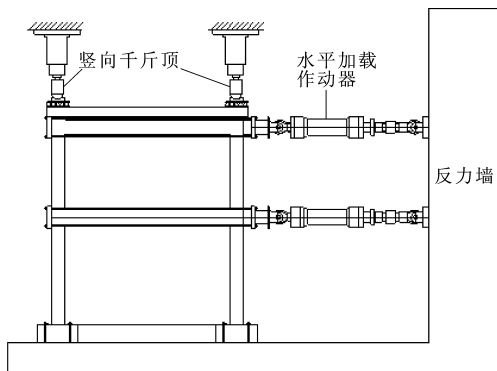


图 2 试验加载装置

Fig. 2 Test Loading Device

水平加载过程分为 2 个部分:前一部分对结构施加拟动力荷载,后一部分对结构施加拟静力荷载。在对结构模型施加拟动力荷载过程中,选取 El Cen-

tro 波、Taft 波以及天津波用于模拟地震力对结构的作用;在对结构模型施加拟静力荷载过程中,按照位移控制原则,从±20 mm 开始为第 1 个加载等级,荷载逐级增加直至试件破坏,每一个加载等级进行 2 次循环。试验加载工况见表 1。

表 1 试验加载工况
Tab. 1 Test Loading Conditions

工况编号	试验名称	加速度峰值/ (cm·s ⁻²)	放大系数	荷载限值/kN	位移限值/mm	阻尼比
1	EL35	341.70	1.02	150	30	0.05
2	TAFTT35	152.70	2.29	150	30	0.05
3	TJ35	104.18	3.36	150	30	0.05
4	EL100	341.70	2.93	150	30	0.05
5	TAFT100	152.70	6.55	150	30	0.05
6	TJ100	104.18	9.60	150	30	0.05
7	EL200	341.70	5.85	250	50	0.05
8	EL400	341.70	11.71	450	80	0.05
9	EL600	341.70	17.56	450	100	0.08
10	EL700	341.70	20.49	450	100	0.10
11	拟静力试验 倒三角形分布力,直至试件完全破坏					

1.3 压电陶瓷传感器的布设

模型结构在试验中以承受水平荷载为主,易损部位为梁、柱节点处,因此,选取梁、柱节点进行裂缝损伤监测。由于结构的对称性,选择其中 1 根柱作为监测对象。选取 PZT-4 型压电陶瓷片作为传感器,将其以“智能骨料”(Smart Aggregate,SA)的形式封装,并埋置在结构的相应位置,如图 1 所示。试验监测平台由 dSPACE 实时仿真系统构建,监测系统硬件包括 PC 机、dSPACE 数据采集系统以及压电陶瓷驱动电源。监测系统如图 3 所示。

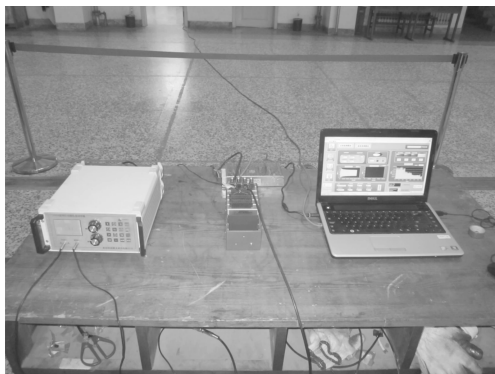


图 3 监测系统
Fig. 3 Monitoring System

2 损伤诊断方法

研究表明,监测信号的能量可作为裂缝损伤识别的特征参量。以结构健康状态下的监测信号

能量 E_h 作为基准信号,结构处于某一损伤状态下的监测信号能量为 E_i ,那么该时刻结构的损伤程度 D_i 可定义为^[17]

$$D_i = 1 - \frac{E_i}{E_h} = (1 - \frac{\sum_{n=0}^{+\infty} |x_i(n)|^2}{\sum_{n=0}^{+\infty} |x_h(n)|^2}) \times 100\% \quad (1)$$

式中: $x_h(n)$ 、 $x_i(n)$ 分别为结构健康状态和损伤状态下传感器采集到的离散信号能量值。

显然, D_i 的取值范围在 0~1 之间。当 $D_i=0$ 时,表示结构处于健康状态;当 $D_i=1$ 时,表示结构处于功能完全失效状态。

由于基于压电陶瓷传感器的混凝土裂缝损伤监测是一种针对结构相对状态的监测方法,结构的健康状态是损伤评判的基础。但是自结构开始服役起,判断其在哪个时间范围内是处于严格意义上的健康状态是不容易的,这就给健康基准信号的提取带来了困难。因此,为使本次试验与工程实际更加接近,将式(1)进行适当改进,则有

$$D_i = 1 - \frac{E_{i+1}}{E_i} = (1 - \frac{\sum_{n=0}^{+\infty} |x_{i+1}(n)|^2}{\sum_{n=0}^{+\infty} |x_i(n)|^2}) \times 100\% \quad (2)$$

式中: E_{i+1} 为监测采样点传感器采集的监测信号能量; $x_{i+1}(n)$ 为所对应的离散信号。

式(2)表明,在监测过程中,每次传感器采集到的监测数据都以它前一次采集到的监测数据作为基准参照。理论上,结构处于同一状态时, $E_{i+1}=E_i$, D_i 值恒为 0。但是如果结构出现损伤或损伤发展恰好介于 2 次数据采集之间,则采集数据应该表现为 $D_i < D_{i+1}$,损伤状态趋势线向上突起。如果损伤不再有所发展,损伤状态趋势线将回归为 0。由于外界因素的干扰,结构在相同状态下采集到的监测信号 D_i 值具有一定的波动性。因此,在实际数据采集中可能出现结构在同一状态下趋势线围绕 0 轴小幅波动的情形,即 D_i 值偏离 0 轴可能是由环境干扰引起的。为区分环境干扰与损伤引起的 D_i 变动,将 D_i 进行累积,得到累积损伤指标 D_t 为

$$D_t = \sum_{i=1}^{+\infty} D_i \quad (3)$$

以 D_t 作为结构监测损伤程度长期走势的判定依据,可以有效区别 D_i 曲线突变是由结构损伤的发展所引起还是环境因素干扰所引起。因为由环境干扰引起的 D_i 值的波动是无序的,其长期累积的结果是 D_t 趋势线仍将处在 0 轴附近。而由损伤引起的

D_i 值的突起,其长期累积的结果是 D_i 值脱离 0 轴并稳定在一定的数值附近波动。

3 试验现象及结果分析

3.1 试验现象

模型结构在最大加速度为 $0.35, 1.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 的地震波作用下,均未出现目测可见的裂缝。在加速度峰值为 $2.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 的 El Centro 波作用下,第 1 层梁端处出现第 1 条垂直裂缝;继续加载,柱底处出现水平裂缝,接近柱下端约 12 cm,缝宽约 0.1 mm。当加速度峰值为 $4.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 时,随着柱底剪力的增大,已有裂缝继续延伸和加宽,同时又出现了一些新的裂缝。特别是柱根部的裂缝出现较多,说明柱底部受力较大,从而使柱的裂缝集中在底层,其余各层基本上无裂缝,仅在第 1 层柱顶部与连梁连接的角区出现了一些弯曲裂缝。此时,第 1 层梁端截面钢筋率先屈服,第 1 层柱底部的普通钢筋亦已屈服。在加速度峰值为 $6.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 的 El Centro 波作用下,裂缝基本上是原有裂缝的不断延伸和扩展。第 1 层梁端钢筋均达到了屈服应变,第 1 层柱顶和第 2 层柱底部的部分普通钢筋已经屈服,同时第 1 层柱底部的高强钢筋应变亦有很大增幅。最后,在加速度峰值为 $7.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 时,第 2 层梁端的钢筋也达到屈服应变,第 1 层柱底部的混凝土裂缝较宽,柱根部的混凝土被压裂,第 2 层柱根部普通钢筋也达到屈服应变,柱中的高强纵筋及高强箍筋应变亦有很大增幅,由于高强纵筋强度很大,整体结构并未形成破坏机构,拟动力试验结束。

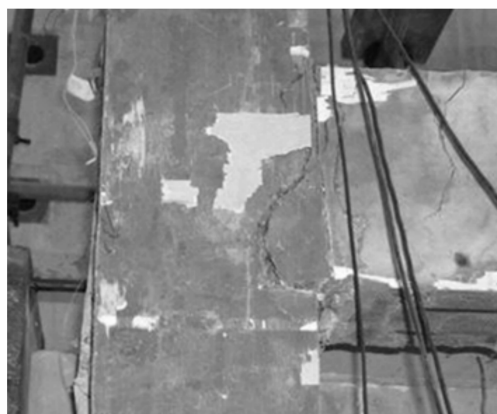
在第 2 阶段的拟静力试验中,试验采用位移控制,根据拟动力试验结束时测得的结构抗侧移刚度,按倒三角形分布力。每级位移增量为 20 mm,当顶点位移达到 120 mm 时,结构的破坏急剧增加,剪切滑移已非常明显,当顶点位移达到 160 mm 时,边柱底部的混凝土被压酥,梁、柱节点部位的混凝土剥落,荷载下降至最大荷载的 85% 左右,标志着模型结构完全破坏。结构被监测部位的最终破坏形态如图 4 所示。

3.2 监测数据

在试验加载前的一段时期内,每间隔 2 h 采集 1 次数据,连续采集 30 次。在结构受荷载期间,每组荷载工况间隙采集 1 次数据。在试验结束后,仍每间隔 2 h 采集 1 次数据,连续采集 6 次。这样,每个监测部位共采集 47 次数据,利用这些数据对钢筋混



(a) 顶层梁、柱节点



(b) 第1层梁、柱节点



(c) 柱根节点

图 4 被监测部位的最终破坏形态

Fig. 4 Final Failure Modes for Monitored Locations

凝土框架模型结构的损伤状况及其发展趋势进行有效判断。图 5 为埋置在模型结构内部的压电智能骨料的健康监测数据,其中,图 5(a)为第 1 层柱底处监测点的监测结果,图 5(b)为第 1 层柱顶和第 2 层柱底处的监测结果,图 5(c)为第 1 层梁、柱节点处的监测结果,图 5(d)为第 2 层梁、柱节点处的监测结果。从各监测结果可以看出,监测数据的走势能够很好地反映结构损伤状态的发展趋势。进一步对数据进行分析可知,结构在荷载工况 1~8 的作用下裂缝损伤发展较为缓慢;而在荷载工况 9~11 的作

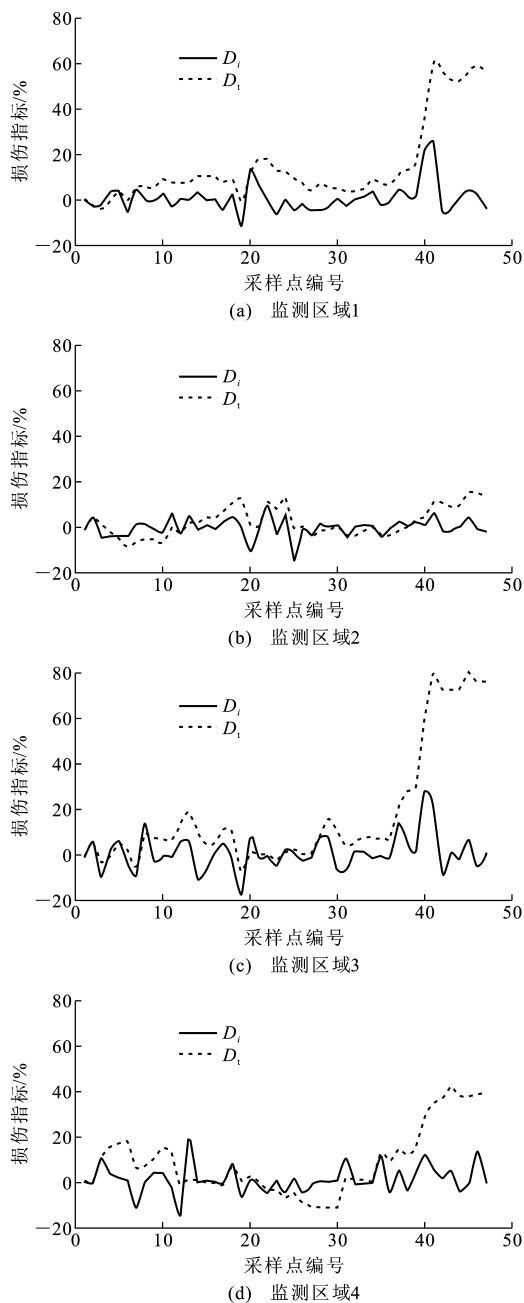


图5 模型结构的监测数据

Fig. 5 Monitoring Data of Model Structure

用下损伤发展较为明显,在数据曲线的长期走势中表现为 D_i 产生较为明显的向上突变,而 D_t 值则明显向上偏离 0 轴。从图 5 中 D_t 值的最终结果可以判断:第 1 层梁、柱节点处的破坏最为严重,这时的累积损伤指标 D_t 大约在 70% 左右;其次是柱根处, D_t 值接近 60%。受损较轻的部位是第 1 层和第 2 层的柱节点位置, D_t 值不到 20%。将上述监测数据的分析结果与图 4 中各监测部位的最后破坏形态进行对比,可以看出,监测结果较好地反映了结构的实际破坏过程。

3.3 监测数据的平滑处理

从图 5 中监测数据曲线的长期走势情况可以看出, D_t 值和 D_i 值具有一定的波动性,波动范围在 $-10\% \sim 10\%$ 之间,个别采样点偏离 0 轴的幅度接近 20%。数据的波动性给损伤识别带来一定的困难,因此,有必要对监测数据采取相应的平滑处理。

本文中采取移动平均法^[18]对 D_t 曲线进行平滑处理,将 D_t 曲线上的数据点从第 m 个采样点开始取 m 点及前 $m-1$ 个点的平均值,即

$$\bar{D}_t = [D_t(j-m+1) + D_t(j-m+2) + \dots + D_t(j)]/m \quad (4)$$

式中: \bar{D}_t 为 D_t 经过光滑处理后的趋势线平均值; m 为平均点数; j 为数据点数; m, j 均为正整数,且 $m < j$ 。

图 6 为平均点数 m 分别取 5, 10 时的平滑处理结果 MA5, MA10 与原始曲线的对比。从图 6 可以看出,平滑处理可以明显改善原始数据波动性较大的缺点,并能突出结构健康状态的走势。随着 n 值的增大,曲线走势渐趋平缓,但也对损伤识别结果产生影响。这种影响表现为在相同的采集点数下 m 值越大,损伤指标的敏感性越低。采用移动平均法对数据进行平滑处理,若想获得结构实际的损伤指标,至少需要多采集 $m-1$ 个数据。虽然利用此方法可以使数据得到平滑处理,但是有效解决数据波动性的根本方法还需要从提高监测系统的抗干扰能力等方面入手。

4 结 语

利用压电智能骨料传感器,开展了动力荷载作用下的钢筋混凝土框架模型结构的裂缝损伤监测试验。试验结果表明,基于压电陶瓷传感器的混凝土结构健康监测方法能有效地用于结构健康状态的长期监测,通过监测数据可以有效判别结构健康状态的发展趋势。由于受环境等因素的影响,传感器采集数据存在一定的波动性,这给损伤识别造成一定困难,特别是对结构初级破坏阶段损伤识别的影响尤为显著。采用移动平均法对数据进行平滑处理可以有效降低数据的波动性,突出损伤的发展趋势,但是该方法对损伤识别的敏感性造成一定影响。因此,寻找更加有效的数据处理手段滤除数据波动性以及提高传感器的抗干扰能力将是今后的工作重点。本文中的主要工作着眼于基于波动法的压电智能混凝土结构主动健康监测技术在实际工程中的应

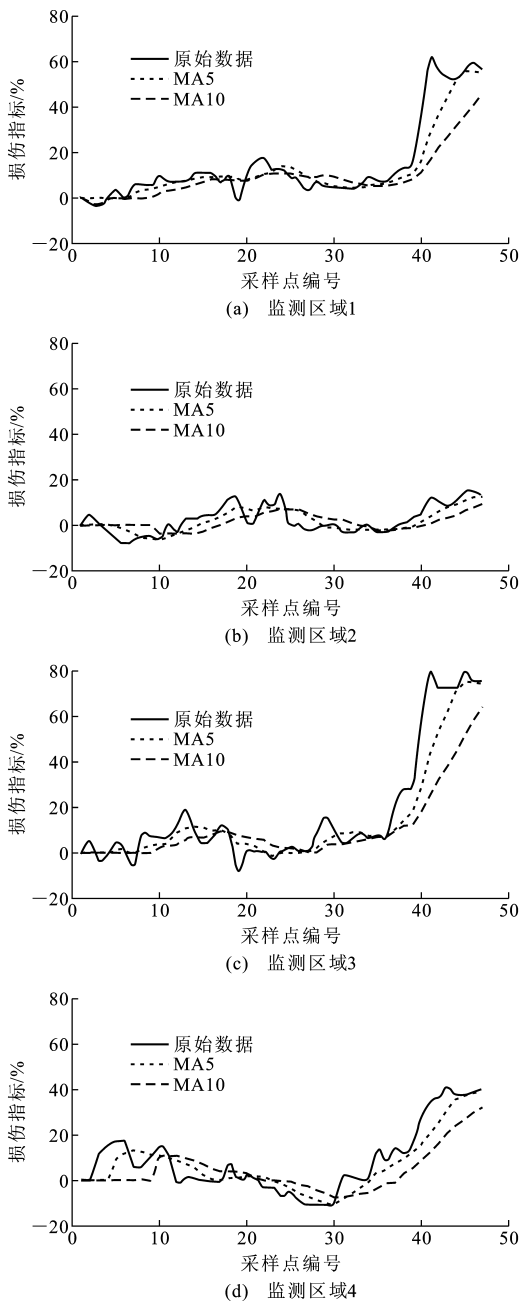


图6 监测数据的平滑处理

Fig. 6 Smooth Processing for Monitoring Data

用,试验结果证明了该技术应用于实际工程中的可行性。

参考文献:

References:

[1] 李宏男,李东升. 土木工程结构安全性评估、健康监测及诊断述评[J]. 地震工程与工程振动,2002,22(3): 82-90.
LI Hong-nan, LI Dong-sheng. Safety Assessment, Health Monitoring and Damage Diagnosis for Structures in Civil Engineering [J]. Earthquake Engineer-

ing and Engineering Vibration,2002,22(3):82-90.

- [2] 姜绍飞,杨博,党永勤. 易损性分析在结构抗震及健康监测中的应用[J]. 建筑科学与工程学报,2008,25(2):15-23.
JIANG Shao-fei, YANG Bo, DANG Yong-qin. Application of Vulnerability Analysis in Structural Seism and Health Monitoring[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering,2008,25(2):15-23.
- [3] 王春生,高珊,任腾先,等. 钢板-混凝土组合加固带损伤钢筋混凝土T梁的抗弯性能试验[J]. 建筑科学与工程学报,2010,27(3):94-101.
WANG Chun-sheng, GAO Shan, REN Teng-xian, et al. Bending Behavior Experiment of Damage RC T-beams with Steel Plate and Concrete Composite Strengthening[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering,2010,27(3):94-101.
- [4] 杨佑发,熊丽,陈远. 基于神经网络的框架结构损伤多重分步识别[J]. 建筑科学与工程学报,2011,28(1):106-113.
YANG You-fa, XIONG Li, CHEN Yuan. Multi-stage Damage Identification for Frame Structures Based on Neural Network[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering,2011,28(1):106-113.
- [5] 姜增国,张桢. 基于应变频响函数曲率的结构损伤识别[J]. 建筑科学与工程学报,2009,26(4):40-43.
JIANG Zeng-guo, ZHANG Zhen. Structural Damage Identification Based on SFRF Curvature[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering,2009,26(4):40-43.
- [6] 陆铁坚,许军. 高层钢框架-钢筋混凝土核心筒混合结构破坏过程的数值模拟[J]. 建筑科学与工程学报,2008,25(1):32-37.
LU Tie-jian, XU Jun. Numerical Simulation of Failure Process of High-rise Steel Frame-RC Corewall Hybrid Structure[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering,2008,25(1):32-37.
- [7] 张福学,张丽坤. 现代压电学(上)[M]. 北京:科学出版社,2001.
ZHANG Fu-xue, ZHANG Li-kun. Modern Piezoelectricity (I)[M]. Beijing: Science Press,2001.
- [8] 孙明清,李卓球,侯作富. 压电材料在土木工程结构健康监测中的应用[J]. 混凝土,2003(3):22-24.
SUN Ming-qing, LI Zhuo-qiu, HOU Zuo-fu. Application of Piezoelectric Materials in Structural Health Monitoring of Civil Engineering Structures[J]. Concrete,2003(3):22-24.
- [9] 李宏男,赵晓燕. 压电智能传感结构在土木工程中的研究和应用[J]. 地震工程与工程振动,2004,24(6):

- 165-172.
- LI Hong-nan, ZHAO Xiao-yan. Research and Application of Piezo-intelligent Sensors in Civil Engineering [J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2004, 24(6): 165-172.
- [10] SONG G, GU H, MO Y L. Smart Aggregates: Multifunctional Sensors for Concrete Structures—A Tutorial and a Review [J]. Smart Materials and Structures, 2008, 17(3): 959-968.
- [11] GU H, SONG G, DHONDE H, et al. Concrete Early-age Strength Monitoring Using Embedded Piezoelectric Transducers [J]. Smart Materials and Structures, 2006, 15(2): 1837-1845.
- [12] SONG G, GU H, MO Y L, et al. Concrete Structural Health Monitoring Using Embedded Piezoceramic Transducers [J]. Smart Materials and Structures, 2007, 16(4): 959-968.
- [13] GU H, MOSLEHY Y, SANDERS D, et al. Multifunctional Smart Aggregate-based Structural Health Monitoring of Circular Reinforced Concrete Columns Subjected to Seismic Excitations [J]. Smart Materials and Structures, 2010, 19(6): 1125-1136.
- [14] 刘智, 阎石, 孙威. PZT-混凝土结构裂缝监测敏感因子提取试验[J]. 水利与建筑工程学报, 2010, 8(1): 15-18.
- LIU Zhi, YAN Shi, SUN Wei. Experimental Research on Damage-sensitive Factor Extraction in Crack Detection for PZT Concrete Structure[J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2010, 8(1): 15-18.
- [15] 孙威, 阎石, 蒙彦宇, 等. 压电陶瓷混凝土结构应力波衰减特性试验[J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学版, 2010, 26(5): 833-837.
- SUN Wei, YAN Shi, MENG Yan-yu, et al. Experimental Research on Stress Wave Attenuation Behavior of Concrete Structure with Piezoelectric Ceramic Sensors[J]. Journal of Shenyang Jianzhu University: Natural Science, 2010, 26(5): 833-837.
- [16] 孙威, 阎石, 蒙彦宇, 等. 基于压电波动法的混凝土裂缝损伤主动被动监测对比试验[J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学版, 2012, 28(2): 193-199.
- SUN Wei, YAN Shi, MENG Yan-yu, et al. Contrast Tests for the Active and Passive Monitoring Technologies of Concrete Crack Based on Piezoelectric Wave Method[J]. Journal of Shenyang Jianzhu University: Natural Science, 2012, 28(2): 193-199.
- [17] 孙威, 阎石, 焦莉, 等. 基于压电波动法的混凝土裂缝损伤监测技术[J]. 工程力学, 2013, 30(增1): 206-211.
- SUN Wei, YAN Shi, JIAO Li, et al. Monitoring Technology for Crack Damage of Concrete Structure Based on Piezoelectric Wave Method[J]. Engineering Mechanics, 2013, 30(S1): 206-211.
- [18] 陈亮亮, 郭杭, 吴代赦. 移动平均法用于GPS多路径效应的分析[J]. 工程勘察, 2008, 36(3): 57-61.
- CHEN Liang-liang, GUO Hang, WU Dai-she. Application of Moving Average Method in GPS Multi-path Effect Analysis[J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2008, 36(3): 57-61.

《土木工程学报》2014 年征订通知

《土木工程学报》是中华人民共和国住房和城乡建设部主管,中国土木工程学会主办的土木工程类综合性学术期刊,以土木工程界中高级工程技术人员为主要读者对象;主要报道结构工程、桥梁工程、岩土力学及地基基础、隧道工程、防护工程、道路及交通工程、建设管理等专业在科研、设计、施工等方面的重要成果及发展状况,重视刊登结合工程实践的论著,并报道行业综述、科技信息和动态,促进国内外土木工程界的学术交流。

《土木工程学报》创刊于1954年3月,现为美国《工程索引》(Ei)收录期刊、北京大学工业技术类全国中文核心期刊、中国科技信息研究所中国科技核心期刊、中科院文献情报中心中国科学引文数据库核心期刊和武汉大学中国科学评价研究中心权威学术期刊。

《土木工程学报》为月刊,大16开本,每期定价25元,全年共300元;国内外公开发行,国内邮发代号:2-582,国外发行代号:M288。《土木工程学报》2014年征订工作已经开始,欢迎各界有关单位及个人订阅。

地址:北京市三里河路9号住建部内 电话:(010)58934211 网址:www.cces.net.cn

邮编:100835 传真:(010)58933912 E-mail:tumuxuebao@263.net

