

刘世仿, 林彦. 强地震作用下高层钢框架结构管廊消防应急异常信号特征研究[J]. 华南地震, 2019, 39 (4): 112-117. [LIU Shifang, LIN Yan. Study on Abnormal Signal Characteristics of Fire Emergency Response for High-rise Steel Frame Pipe Gallery under Strong Earthquake[J]. South China journal of seismology, 2019, 39(4): 112-117]

强地震作用下高层钢框架结构管廊消防应急 异常信号特征研究

刘世仿, 林彦

(郑州大学综合设计研究院有限公司, 郑州 450002)

摘要: 现有的强地震作用下高层钢框架结构管廊消防应急异常信号特征分析方法存在着异常信号检测效率低、分析准确性差的难题, 为了解决上述问题, 提出强地震作用下高层钢框架结构管廊消防应急异常信号特征分析方法研究。为了简化分析过程, 构建高层钢框架结构管廊模型, 以此为基础, 采用差分超限法对消防应急异常信号进行检测, 以检测出的消防应急异常信号为基础通过 SVM_s 算法对其特征进行提取, 将其输入到有限元分析公式中, 得到高层钢框架结构管廊刚度值, 对高层钢框架结构管廊稳定性进行判别, 实现了强地震作用下高层钢框架结构管廊消防应急异常信号特征的分析。通过测试得到, 与现有消防应急异常信号特征分析方法相比较, 提出的消防应急异常信号特征分析方法极大的提升了异常信号检测效率与分析准确性, 充分说明提出方法具备更好的性能。

关键词: 强地震; 高层钢框架结构; 管廊; 消防应急异常信号

中图分类号: TU973.13

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662(2019)04-0112-06

DOI: 10.13512/j.hndz.2019.04.016

Study on Abnormal Signal Characteristics of Fire Emergency Response for High-rise Steel Frame Pipe Gallery under Strong Earthquake

LIU Shifang, LIN Yan

(Zhengzhou University Multi-Functional Design and Academy Co., LTD, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In order to solve the problems of inefficient detection and poor analysis accuracy of abnormal fire emergency signals in high-rise steel frame structure pipeline galleries under strong earthquakes, a method of analysis of abnormal fire emergency signals in high-rise steel frame structure pipeline galleries under strong earthquakes is proposed. To simplify the analysis process, the pipe gallery model of high-rise steel frame

收稿日期: 2018-07-19

作者简介: 刘世仿(1982-), 男, 高级工程师, 主要从事建筑设计研究。

通信作者: 林彦(1981-), 女, 高级工程师, 主要从事建筑设计研究。

E-mail: 15981905717@163.com.

structure is constructed. On this basis, the differential over-limit method is used to detect the abnormal fire emergency signals. Based on the abnormal fire emergency signals detected, the features of the abnormal fire emergency signals are extracted by SVMs algorithm, which are input into the finite element analysis formula to obtain the high-rise steel. The stiffness value of the pipe gallery of the frame structure is used to judge the stability of the pipe gallery of the high-rise steel frame structure, and the analysis of the fire emergency abnormal signal characteristics of the pipe gallery of the high-rise steel frame structure under strong earthquake is realized. The test results show that the proposed method greatly improves the efficiency and accuracy of abnormal information detection compared with the existing analysis methods of abnormal signal characteristics of fire emergency, which fully shows that the proposed method has better performance.

Keywords: Strong earthquake; High-Rise steel frame structure; Pipe gallery; Fire emergency abnormal signal

0 引言

随着我国建筑行业的飞速发展,高层建筑已经成为城市建筑中的主要形式^[1]。对于高层建筑来说,砖墙已经不能承受过大的荷重,因此采用框架作为高层的承重结构。目前,高层建筑主要是采用高层钢框架结构管廊进行构建,其中,高层钢框架结构指的是多个梁与柱共同组成的结构,主要的作用是承受房屋的全部荷载。钢框架结构的房屋墙体不进行承重,只起到分割的功能,一般情况下,主要是采用加气混凝土、空心砖、多孔砖以及膨胀珍珠岩等轻质板材进行砌筑。钢框架结构具有自重轻、材料节省、空间分割灵活的优势。管廊指的是管道的走廊,主要是沿着房屋外进行布置,依据支架撑起,形成走廊的样子。虽然高层钢框架结构管廊具有较强的稳定性,但是在强震的作用下,高层钢框架结构管廊会产生振动,从而导致稳定性下降,高层建筑面临倒塌的危险。强地震作用下高层钢框架结构管廊会发出相应的消防应急异常信号,对其特征进行分析,可以对高层建筑倒塌危险进行防御。因此,强地震作用下高层钢框架结构管廊消防应急异常信号特征研究已经成为现今重点研究课题之一。

就现有研究来看,使用较为广泛的强地震作用下高层钢框架结构管廊消防应急异常信号特征分析方法主要有两种,分别为动力非线性分析方法与数值分析方法^[2]。其中,动力非线性分析方法主要是对强地震作用下对高层钢框架结构管廊的动力变化进行分析,以此为基础,对其危险系数进行求取,对高层建筑的状态进行判别;数值分析方法主要是依据高层钢框架结构管廊的变化数值来对高层建筑状态进行判断。但是现有分析方

法均存在着异常信号检测效率低、分析准确性差的缺陷,无法满足现今高层建筑的需求,为了解决上述问题,提出强地震作用下高层钢框架结构管廊消防应急异常信号特征分析方法研究,并设计仿真对比实验对提出方法性能进行测试与分析^[3]。

1 消防应急异常信号特征分析方法设计

1.1 高层钢框架结构管廊模型构建

为了对高层钢框架结构管廊消防应急异常信号特征进行分析,首要的任务就是对高层钢框架结构管廊模型进行构建。具体的模型构建过程如下所示。

通过研究发现,高层钢框架结构管廊无阻尼自由振动方程为

$$[M]\{\ddot{X}(t)\}+[K]\{X(t)\}=0 \quad (1)$$

其中, $[M]$ 表示的是高层钢框架结构管廊的质量; $\ddot{X}(t)$ 表示的是表示的是高层钢框架结构管廊质点的加速度; $[K]$ 表示的是高层钢框架结构管廊的刚度矩阵; $\{X(t)\}$ 表示的是高层钢框架结构管廊的速度列向量。

假设高层钢框架结构管廊质点在正常环境中进行的是简谐振动,这样可以定义高层钢框架结构管廊的特征值方程为

$$([K]-\omega^2[M])\{\Phi\}=\{0\} \quad (2)$$

其中, ω 表示的是高层钢框架结构管廊的自振频率; $\{\Phi\}$ 表示的是高层钢框架结构管廊的阵型向量。

根据公式(2)对高层钢框架结构管廊特征值方程的特征行列式进行求取,得到

$$|[K]-\omega^2[M]|=0 \quad (3)$$

对公式(3)进行求解,得到高层钢框架结构管廊各阶的自振频率,将其中最小值定义为基频。

通过有限元分析软件对高层钢框架结构管廊数值模型进行构建,具体参数如表 1 所示。

表 1 高层钢框架结构管廊数值模型参数表
Table 1 Parameters table of numerical model for high-rise steel frame pipe gallery

参数名称	参数设置	参数名称	参数设置
柱子横向布置	三跨	柱子纵向布置	八跨
柱子跨度	7.2 m/3.6 m/ 7.2 m	柱子跨度	6 m
总层数	15 层	总高度	48 m
底层层高	4.5 m	平均层高	3 m
膜板高度	500 mm	翼缘宽度	300 mm
截面宽度	500 mm	截面高度	500 mm
截面厚度	40 mm	质量点质量	1000 kg

依据上述参数对高层钢框架结构管廊数值模型进行搭建,得到高层钢框架结构管廊数值模型如图 1 所示。

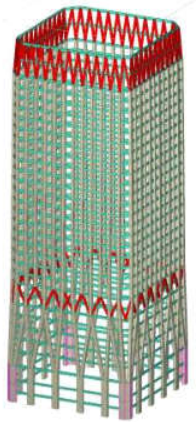


图 1 高层钢框架结构管廊数值模型图
Fig. 1 Pipe gallery numerical model of high-rise steel frame structure

通过上述模型的构建,得到高层钢框架结构管廊振型如图 2 所示。

如图 2 所示,按照上述方法得到各阶阵型参数如表 2 所示。

如表 2 所示,完成了高层钢框架结构管廊数值模型的构建,得到了高层钢框架结构管廊振动基频为 0.851 24 Hz,为下述消防异常信号的检测提供模型支撑。

1.2 消防应急异常信号检测

以上述构建的高层钢框架结构管廊数值模型

为基础,采用差分超限法对消防应急异常信号进行检测。具体检测过程如下所示。

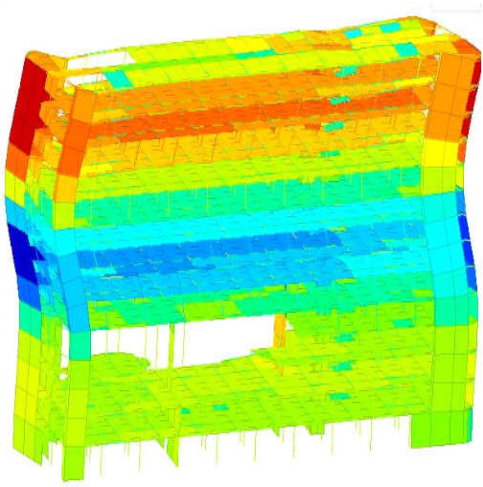


图 2 高层钢框架结构管廊振型图
Fig. 2 Pipe gallery mode diagram of high-rise steel frame structure

表 2 高层钢框架结构管廊各阶阵型参数表
Table 2 Parameter tables for each order of pipe gallery of high-rise steel frame structure

阶数	频率	振动模态
1	0.851 24	平动
2	0.912 54	扭转
3	0.946 32	平动
4	1.362 45	弯曲
5	1.542 94	弯曲
6	1.932 54	不规则振型
7	2.315 42	不规则振型
8	2.411 99	不规则振型
9	2.645 87	不规则振型
10	2.784 96	不规则振型
11	2.869 84	不规则振型
12	2.896 30	不规则振型
13	2.963 50	不规则振型
14	2.985 47	不规则振型
15	2.996 32	不规则振型

差分超限法是异常信号检测的常用方法,其主要是通过信号幅值之间的差分对异常信号进行检测。当强地震发生的时候,高层钢框架结构管廊振动的频率会发生相应的变化,消防应急装置就会发出相应的信号,采用采集器对消防应急信

号进行采集,并对其中的异常信号进行检测。

设定采集的消防应急信号序列为 X_i , 依据差分超限法得到

$$y_i = \begin{cases} X_i, & |X_{i+1} - X_i| > D_0 \\ 0, & |X_{i+1} - X_i| \leq D_0 \end{cases} \quad (4)$$

其中, y_i 表示的是消防应急信号幅值; i 表示的是序列编号; D_0 表示的是消防应急信号幅值的下限门限值。

由公式(4)可以看出,由于高层钢框架结构管廊本身存在着振动,导致消防应急信号会存在较多的峰值点与谷值点。这些极值点属于正常的信号数据,但是相邻的差分值较大,导致检测准确性较低^[8]。为了解决上述问题,采用平均值法对其进行替代,平均值计算公式表示为

$$\bar{X}_j = \frac{X_j + X_{j+1} + \dots + X_{j+n-1}}{n} \quad (5)$$

差分超限法的关键环节就是阈值的设定,阈值设置的是否合理决定着异常信号检测的准确性。阈值确定公式为

$$V_0 = \frac{1}{l} \sum_{n=1}^{l-1} \max \{|y_{j+1} - y_j|, j = 0, 1, 2, \dots, n\} \quad (6)$$

其中, l 表示的是消防应急异常信号检测的通道数。

通过上述过程完成了消防应急异常信号的检测,为下述消防应急异常信号特征的提取提供数据支撑。

1.3 消防应急异常信号特征提取

以上述检测出的消防应急异常信号为基础,采用 SVMs 算法对消防应急异常信号特征进行提取。具体特征提取过程如下所示。

将检测出的消防应急异常信号划分为训练集与测试集,依据 SVMs 算法对异常信号特征进行约简,具体步骤如下所示:

输入:有序决策信息系统。

输出:决策表的一个有序约简。

步骤一:设置初始约简集为空集;

步骤二:计算消防应急异常信号的核心特征;

步骤三:对消防应急异常信号特征的重要度进行计算;

步骤四:选择重要度较大的消防应急异常信号特征;

步骤五:输出约简信号特征集。

依据上述步骤完成了消防应急异常信号特征

的提取,得到具体特征如下所示^[10]。

消防应急异常信号瞬时振幅峭度为

$$\sigma_\mu = \frac{E[X_i]}{(E[\bar{X}_i])^2} \quad (7)$$

其中, $E[X_i]$ 表示的是第 i 个异常信号特征的能量值; $[\bar{X}_i]$ 表示的是能量值的平均值。

消防应急异常信号频谱偏差为

$$\sigma_s = \frac{E[X_i]^3}{(E[\bar{X}_i])^{3/2}} \quad (8)$$

消防应急异常信号均值与方差为

$$\begin{cases} Mv = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [X_i] \\ Var = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Mv - X_i]^2 \end{cases} \quad (9)$$

通过上述过程完成了消防应急异常信号特征的提取,为下述异常信号特征分析提供数据支撑。

1.4 消防应急异常信号特征分析

以上述得到的消防应急异常信号特征为基础,采用有限元分析方法对异常信号特征进行分析,以此为基础,对高层钢框架结构管廊的稳定性进行判别^[11]。具体过程如图3所示。

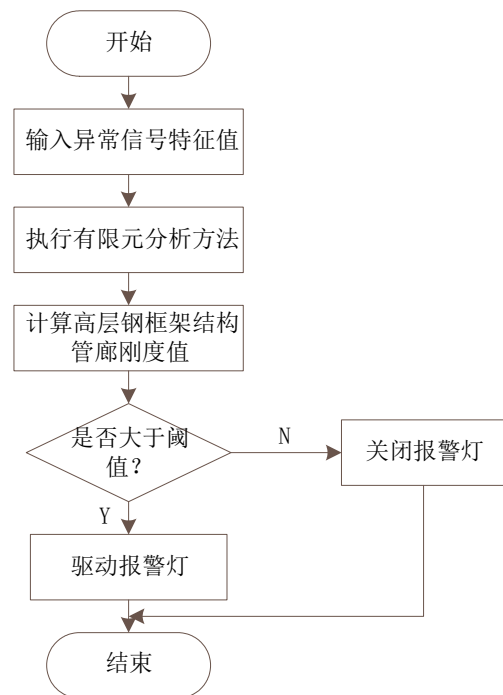


图3 消防应急异常信号特征分析流程图

Fig. 3 Characteristic analysis flow chart of fire emergency abnormal signal

将消防应急异常信号特征输入到有限元分析公式中，得到高层钢框架结构管廊刚度值为

$$\zeta = \prod \frac{y_i * V_0 \sqrt{Mv\Theta Var}}{\sigma_{\mu} + \sigma_s} * \beta^{\frac{1}{2}}$$

(10)

其中， $\beta^{\frac{1}{2}}$ 表示的是高层钢框架结构管廊刚度值计算常数。

高层钢框架结构管廊的稳定性判别规则为

$$\begin{cases} \zeta \geq \zeta_0 & \text{驱动报警灯} \\ \zeta < \zeta_0 & \text{关闭报警灯} \end{cases}$$

(11)

其中， ζ_0 表示的是判别阈值，主要是根据高层建筑的具体情况进行设置。

通过上述过程实现了强地震作用下高层钢框架结构管廊消防应急异常信号特征的分析，并对高层钢框架结构管廊的稳定性进行了判定与报警，保障了高层建筑的安全性^[1]。

2 仿真对比实验分析

上述过程实现了强地震作用下高层钢框架结构管廊消防应急异常信号特征分析方法的设计，但是对其是否能够解决现有方法存在的问题还无法确定，因此设计仿真对比实验对提出方法的性能进行测试与分析。

在仿真对比实验过程中，主要采用现有的动力非线性分析方法、数值分析方法与提出方法进行对比实验，由于分析方法的不同，其分析过程也存在着较大的差别，无法进行统一实验，所以，为了保障实验结果的准确性，将实验外部参数设置为一致，采用第三方软件对实验结果进行记录，以此为基础，通过异常信号检测效率与分析准确性对方法性能进行体现。具体的实验结果分析过程如下所示。

2.1 异常信号检测效率对比分析

异常信号检测效率决定着异常信号特征分析方法的整体效率，一般情况下，异常信号检测效率越高，方法对应的性能也就越好。为了得到正确的实验结果，在七级强地震与八级强地震情况下分别进行实验，通过仿真对比实验得到异常信号检测效率对比情况如表 3、表 4 所示。

如表 3、表 4 所示，提出方法与现有两种方法的异常信号检测效率数据有着明显的差异性，说明实验结果有效。通过表 3、表 4 数据可以发现，提出方法的异常信号检测效率远远的高于现有两

种方法，但是当强地震级数增加时，异常信号检测效率是会随之降低，在七级强地震情况下提出方法异常信号检测效率最大值为 94%；在八级强地震情况下提出方法异常信号检测效率最大值为 90%

表 3 七级强地震下异常信号检测效率对比情况表
Table 3 Comparison of detection efficiency of anomalous signals under strong earthquakes with M 7

实验次数	提出方法/(%)	动力非线性 分析方法/(%)	数值分析 方法/(%)
10	88	44	33
20	78	42	35
30	85	61	34
40	84	38	39
50	86	50	48
60	79	42	42
70	76	49	51
80	88	38	57
90	94	58	52
100	90	49	50

表 4 八级强地震下异常信号检测效率对比情况表
Table 4 Comparisons of detection efficiency of abnormal signals in strong earthquakes with M 8

实验次数	提出方法/ (%)	动力非线性 分析方法/(%)	数值分析 方法/(%)
10	78	35	56
20	74	31	45
30	75	34	40
40	84	38	48
50	82	46	47
60	86	35	39
70	81	49	45
80	80	46	42
90	77	41	40
100	90	51	33

2.2 分析准确性对比分析

分析准确性直接决定着方法的分析性能，分析准确性越高表示方法的分析性能越好。通过实验得到分析准确性对比情况如图 4 所示。

如图 4 数据所示，提出方法与现有两种方法的分析准确性数据有着明显的差异性，说明实验结果有效。通过图 4 数据可以发现，提出方法的

分析准确性远远的高于现有两种方法,其最大值可以达到78%。

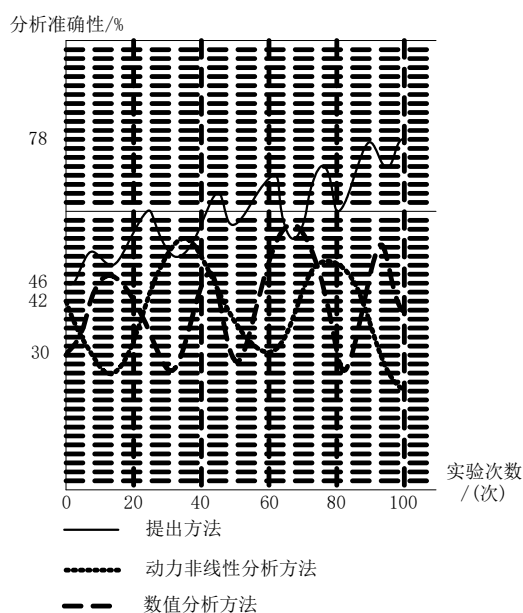


图4 分析准确性对比情况图

Fig.4 Comparison chart of analysis accuracy

通过实验结果显示,提出的强地震作用下高层钢框架结构管廊消防应急异常信号特征分析方法极大的提升了异常信号检测效率与分析准确性,充分说明提出的强地震作用下高层钢框架结构管廊消防应急异常信号特征分析方法具备更好的性能。

3 结语

提出的强地震作用下高层钢框架结构管廊消防应急异常信号特征分析方法极大的提升了异常信号检测效率与分析准确性,为高层建筑的安全性与稳定性提供了更加有效的保障。但是由于实验外部环境参数的设置,无法做到与实际环境相同,因此得到的实验结果也存在着些许的偏差小,但这并不影响实验结论的正确性,为了得到更精准的实验结果,对强地震作用下高层钢框架结构管廊消防应急异常信号特征分析方法进行进一步的优化研究。

参考文献:

- [1] 梁养辉,李祝龙,胡滨,等. 波纹钢结构综合管廊受力特征研究[J]. 公路交通科技(应用技术版),2019,15(1): 191-195.
- [2] 施有志,孙爱琴,林树枝,等. 地下综合管廊土-结构接触面参数对地震动力响应的影响数值分析[J]. 地震工程学报,2017,12(5):811-819.
- [3] 丁柱,张立翔,段其品,等. 强地震作用下混凝土重力坝抗震安全评价[J]. 水力发电,2017,43(3):44-48.
- [4] 朱军强,黄铭其,李必雄,等. 地震作用下压电摩擦阻尼器网壳结构的动力稳定度判定研究[J]. 世界地震工程,2017,33(2):135-141.
- [5] 张峰. 钢结构管廊设计常见问题及对策[J]. 化工管理,2018,19(7):204-205.
- [6] 邢芳,谷佳占. 石化装置管廊施工方法——一种钢结构快速组装平台[J]. 化工管理,2018,No.493(22):173-174.
- [7] 齐健,武婕. 钢结构管廊设计[J]. 中国水运(下半月),2017,17(6):290-291.
- [8] 郭文杰,赵子玉,崔文韬. 基于 ANSYS 分析既有 RC 框架结构抗连续性倒塌的能力[J]. 山西建筑,2017,43(4): 37-39.
- [9] 肖卓,周吕斌,王伟. 地基基础对框架结构动力特性的影响[J]. 安徽建筑大学学报,2017,25(3):1-5.
- [10] 王景玄,王文达,李华伟. 钢管混凝土组合框架抗连续倒塌特征响应及参数分析[J]. 建筑结构,2017,45(19): 86-92.
- [11] 钟炜辉,孟宝,郝际平. 不对称跨度下钢框架梁柱子结构抗倒塌性能分析[J]. 工程力学,2017,34(5):125-131.
- [12] 苑锋. 一种新的管廊结构设计方法[J]. 山西建筑,2017,43(25):58-59.