

罗守占. 地震动参数在建筑物抗震设计中的应用[J]. 华南地震, 2019, 39 (3): 71-76. [LUO Shouzhan. Application of Ground Motion Parameters in Seismic Design of Buildings[J]. South China journal of seismology, 2019, 39(3): 71-76]

地震动参数在建筑物抗震设计中的应用

罗守占

(郑州市地震工程勘察事务所技术部, 郑州 450006)

摘要: 传统考虑后期使用年限的地震动参数研究, 在建筑物抗震设计中的应用, 缺乏地震危险性分析和建筑物损伤指数分析, 应用性差。提出新的地震动参数在建筑物抗震设计中的应用方法, 以地震危险性分析为基础, 通过水平地震动加速度衰减关系方程, 求得建筑场地水平向基岩峰值加速度和反应谱, 以此得到地震动加速度反应谱方程, 利用该方程获得地震动反应谱参数, 采用变形和线性组合构建损伤指数模型, 获取地震波作用下地震动参数对建筑物损伤程度。实验结果表明, 利用所提方法得到的地震动反应谱最小误差为 0.563, 小于允许误差 4.0; 在 50 年超越概率 63% 的条件下地震动参数值分别为 0.26、0.095, 所提方法可在规定误差范围内得到地震动反应谱参数值, 其进行建筑物抗震设计精度和应用性高。

关键词: 地震动; 参数; 建筑物; 抗震设计; 损伤指数; 模型

中图分类号: TU352

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662(2019)03-0071-06

DOI: 10.13512/j.hndz.2019.03.010

Application of Ground Motion Parameters in Seismic Design of Buildings

LUO Shouzhan

(Technical Department of Zhengzhou Seismic Engineering and Survey Office, Zhengzhou 450006, China)

Abstract: In the application of seismic design in buildings, the traditional study of ground motion parameters considers the period of service with lack of seismic hazard analysis, damage index analysis of buildings, and poor application. Based on seismic hazard analysis, this paper proposes a new method for the application of ground motion parameters in seismic design of buildings. Based on the relationship equation of horizontal ground motion acceleration attenuation, the peak acceleration, response spectrum of the building site and the ground motion acceleration response spectrum equation are obtained. By using the equation, the damage index model is constructed, and by using the deformation and linear combination, the damage degree of the ground motion parameter under seismic wave is obtained. The experimental results show that the minimum error of the response spectrum is 0.563, which is less than the allowable error of 4.0. The numerical values of ground motion parameter

收稿日期: 2018-07-19

作者简介: 罗守占(1981-), 男, 工程师, 研究方向为地震灾害预防、地震安全性评价、建筑物抗震、活断层。

E-mail: lsz991439@163.com.

are 0.26 and 0.095 under the condition that the probability exceeds 63 % in 50 years. The proposed method can obtain the ground motion response parameter value within the specified error range, and its seismic design accuracy and application are high.

Keywords: Ground motion; Parameters; Buildings; Seismic design; Damage index; Model

0 引言

建筑工程对地震动参数的要求,一方面跟工程的重要度有关,一方面与工程特性有关^[1]。不同建筑物在遭到地震灾害时,导致的人员伤亡、财产损失等后果不尽相同。因此,对于不同重要度的建筑物有不同的抗震设计要求,对应的抗震设计参数也就不同。

随着经济的快速发展,越来越多的建筑物应运而生,国家对其抗震水平的要求也越来越高,国内外有关地震动的研究也在增多。文献 [2]对现有建筑抗震鉴定地震动参数取值研究,以建筑结构地震动参数为依据,进行了地震反应及破损的数值模拟。文献 [3]美国建筑抗震设计的法规体系与设计地震动的确定,参考已有学者的研究成果,总结归纳了 5 个主要地震动强度指标。文献 [4]考虑后续使用年限的地震动参数研究,选择 10 条真实地震动作为历史数据,从统计学角度对地震动参数进行了评价。文献 [5]适用于超高层建筑的改进地震动强度指标,研究了不同地震动指标的使用范围和优缺点,给出了结构抗震分析和建议。然而,上述研究中,有的未进行地震危险性分析,有的考虑的地震动参数较少,有的未对建筑损伤指数进行分析,对于地震动参数在抗震设计中的应用性差。因此,提出新的地震动参数在建筑物抗震设计中的应用方法,弥补同类型研究的不足,为以后地震动参数的应用设计提供可靠参考。

1 地震动参数在建筑物抗震设计中的应用

1.1 地震危险性分析

地震危险性分析是建筑物抗震设计的基础,这里以某市一建筑场地为例,利用综合概率法进行抗震设计研究。该方法将建筑场地环境特征、地震动衰减特征等的分析结果^[6],表达为概率分布函数,再通过概率理论运算,得到建筑场地地震危险性的概率表达。

研究的活性参数依照《中国地震动参数区划图》,衰减关系依照中东部地区水平地震动加速度衰减关系^[7],其方程式为:

$$\begin{aligned} M_j D_d &= 2.018 + 0.537N - 1.90M_j [s + 1.695e0.422N] \sigma = 0.235 \\ M_j D_t &= 1.030 + 0.514N - 1.463M_j [s + 0.377e0.520N] \sigma = 0.233 \end{aligned} \quad (1)$$

式中, M_j 为衰减关系, D_d 、 D_t 为长轴、短轴方向的加速度最大值, N 为震级, S 为距离, σ 为标准差。

根据活性参数,通过方程(1)计算得到建筑场地水平向基岩峰值加速度(如表 1 所示)和反应谱(如图 1 所示)。

表 1 建筑场地水平基岩峰值加速度

Table 1 Peak acceleration of horizontal bedrock in building site

年	超越概率	基岩水平峰值加速度
50	63%	28
	10%	87
	2%	162
100	63%	43
	10%	119
	3%	176

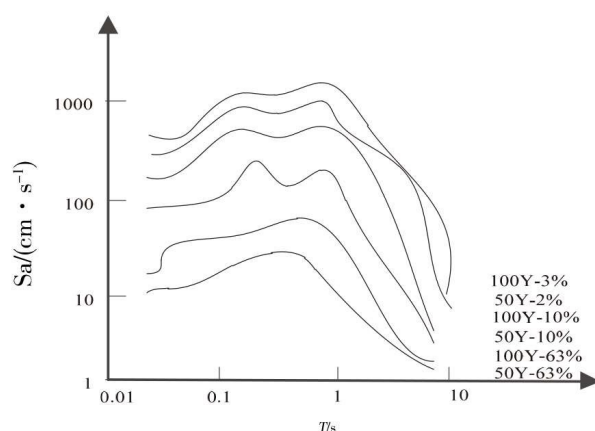


图 1 建筑场地基岩加速度反应谱

Fig.1 Acceleration response spectrum of bedrock for building site

1.2 地震动参数的确定

在建筑物抗震设计中,需要根据建筑物结构特征选择地震动参数。地震动峰值加速度和加速度反应谱是最基本的地震动参数,根据上文中建筑场地水平向基岩峰值加速度和反应谱^[8],得到地震动加速度反应谱,其方程式为:

$$\text{上升段: } [1 + (\alpha_{n(0.03)} \lambda_2 - 0.9) \frac{R}{R_0}] D_{\max} \quad 0.0 < R < R_0 \quad (2)$$

$$\text{水平段: } \lambda_2 D_{\max} \alpha_{n(0.03)} \quad R_0 \leq R \leq R_k \quad (3)$$

$$\text{下降段: } [\frac{R_k}{R}] \lambda_2 D_{\max} \alpha_{n(0.03)} \quad R_k < R \leq 6R_k \quad (4)$$

$$\text{倾斜下降段: } [0.1 \lambda_2 - \lambda_2 6(R - 6R_k)] D_{\max} \alpha_{n(0.03)} \quad 6R_k < R \leq 9a \quad (5)$$

式中, $\alpha_{n(0.03)}$ 为阻尼比是 3% 的地震动加速度反应谱值; D_{\max} 为地震动峰值加速度; R_0 、 R_k 为拐点周期; λ_2 为阻尼调整系数。其中:

$$\lambda_2 = 1 + \frac{0.04 - \tau}{0.07 + 1.5\tau} \quad (6)$$

式中, τ 为下降斜率调整系数。因为建筑物的结构震动间隔较长^[9], 所以将反应谱周期设定为 9 s。

上述分析得到了建筑场地地表峰值加速度和场地加速度反应谱, 由此可以获得地震动反应谱参数, 如表 2 所示。

表 2 建筑场地地震动反应谱参数(阻尼比为 4%)

Table 2 The ground motion response spectrum parameter of building site (damping ratio is 4%)

超越概率		D_{\max} ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)	$R_0(\text{s})$	$R_k(\text{s})$	$\alpha_{n(0.03)}$	τ	θ_{\max}
50 年	63%	28	40	0.1	0.32	2.5	0.101
	10%	87	120	0.1	0.35	2.5	0.302
	2%	162	220	0.1	0.41	2.5	0.546
100 年	63%	43	60	0.1	0.32	2.5	0.153
	10%	119	160	0.1	0.38	2.5	0.411
	3%	176	230	0.1	0.43	2.5	0.595

表中, θ_{\max} 为地震相应系数最大值, 并且 $\theta_{\max} = \frac{D_{\max} \times \alpha_{n(0.03)}}{g}$, g 为重力加速度。根据表中地震动参数, 能够得到建筑物结构在阻尼比为 4% 时的抗震设计地震动反应谱。根据建筑物结构自身的特性^[1], 一些建筑物的抗震设计需要获得不同阻尼比的地震动参数^[10], 设计反应谱可依照上述式(6)进行对应调整。图 2 给出了 50 年 63% 超出概率下阻尼比为 5% 和 2% 的地震动反应谱对比。

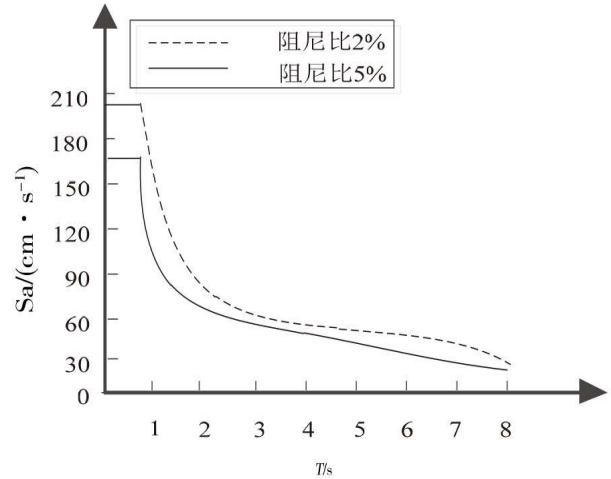


图 2 不同阻尼比设计地震动反应谱

Fig.2 Response spectrum of ground motion with different damping ratios

1.3 损伤指数模型

建筑物抗震设计中, 经常利用损伤指数及其数学模型判断建筑物结构损伤程度^[12]。为验证地震波作用下地震动参数对建筑物损伤程度的影响^[13], 构建损伤指数模型。损伤指数模型中由变形和线性组合描述损伤指数, 能够兼顾变形解析和耗能积累, 其方程式为:

$$E = \frac{\chi_m}{\chi_n} + \frac{\nu}{T_z \chi_n} \int eF \quad (7)$$

式中, χ_m 为地震导致的位移; χ_n 为变形最大值; T_z 为屈服指数; ν 为非负常数; $\int eF$ 为地震耗能积累。式(7)能够表达建筑结构的地震损伤程度, 由于结构的变形经常聚集在某个区域^[14], 因此在式(7)的基础上提出建筑结构塑性区域损伤指数计算公式:

$$E = \frac{\varepsilon_m - \varepsilon_s}{\varepsilon_n - \varepsilon_s} + \frac{\nu}{N_z \varepsilon_n} F_j \quad (8)$$

式中, ε_m 为地震导致的转角; ε_n 为转角最大值; ε_s 为可恢复转角; N_z 为屈服距离; F_j 为耗能。建筑结构每层的 E 值根据该层所有构件的 E 值加权获得, 结构的损伤指数由各层 E 值加权获得^[15]。

2 实验分析

2.1 工程实例

为验证本文方法的有效性, 以某市一建筑工程为例进行实验, 根据建筑场地的覆盖层厚度和

剪切波速将场地划分为两个区域,该市区场地覆盖层平均厚度为 70 m。抗震规范规定:剪切波速小于 260 m/s,覆盖层厚度大于 50 时,场地为 III 类;剪切波速大于 260 m/s,覆盖层厚度大于 50 时,场地为 II 类。因此,根据该市剪力波速分布情况,将小于 260 m/s 的场地划为 B 区,其他为 A 区。

采用本文方法进行地震危险性分析,得到建筑场地地质层加速度反应谱,如图 3 所示。从中能够看出,随着时间的提升,实验建筑区域地质层中的粉土和粉质黏土的加速度值逐渐降低,并且粉土的加速度值始终低于粉质黏土的加速度。

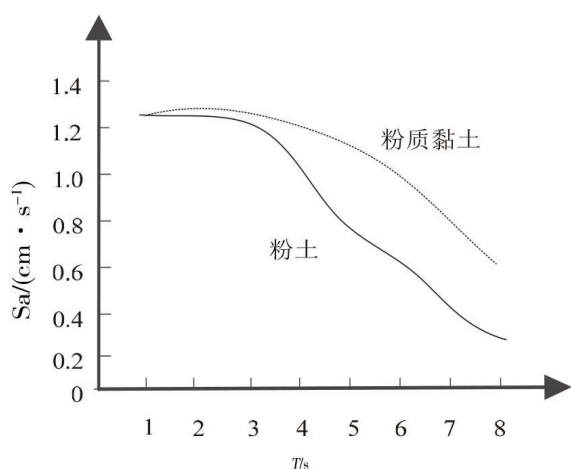


图 3 地质层加速度反应谱

Fig.3 Acceleration response spectrum of geological strata

根据场地土层加速度反映谱,利用本文地震动参数确定方法,得到两个区域地震动反应谱曲线,图 4、5 分别为多遇地震下 A、B 两个区域的地震动反应谱曲线。

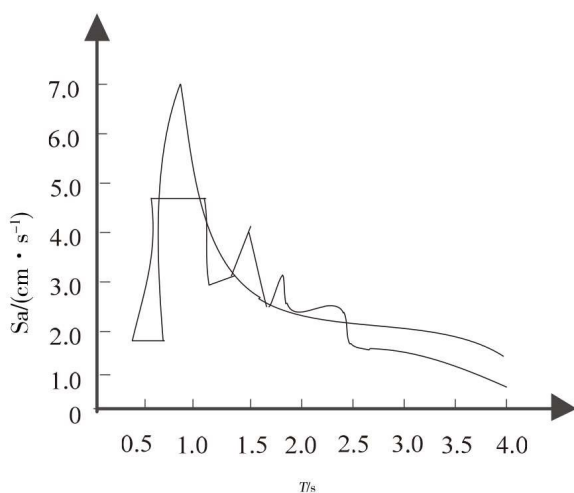


图 4 A 区多遇地震动反应谱

Fig.4 Seismic response spectrum in A area

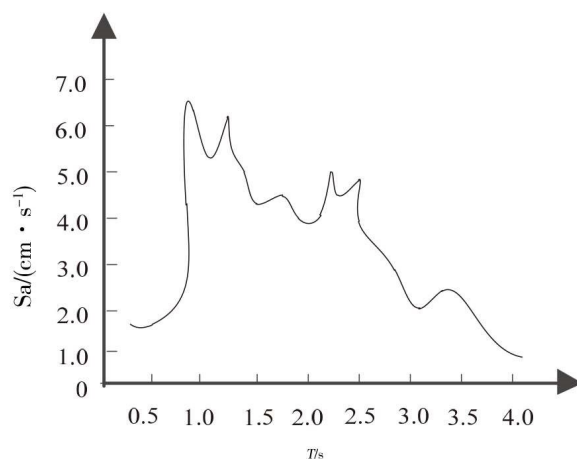


图 5 B 区多遇地震动反应谱

Fig.5 Seismic response spectrum in B area

将两个区域的地震动反应谱曲线与规范谱曲线进行比较,分别计算与规范谱曲线的误差,得到表 3 多遇地震动反应谱曲线与规范谱曲线的误差值。

表 3 多遇地震动反应谱曲线与规范谱曲线的误差值

Table 3 The error values of frequent seismic response spectrum and standard spectrum curve

T/s	误差	
	A 区	B 区
0.30	0.579	0.884
0.35	0.753	0.563
0.40	1.392	1.002
0.45	2.101	1.671

由表 3 可以看出, A 区场地在特征周期为 0.3s 时误差最小为 0.579; B 区场地在特征周期为 0.35s 时误差最小为 0.563。两个区的误差均在允许误差 4.0 范围内,因此可根据上述实验数据获得该建筑工程的地震动反应谱参数,如表 4 所示。

由以上实验可知,将本文方法应用到实际建筑工程抗震设计中,能够得到在规定误差范围内的地震动反应谱参数值,50 年超越概率 63%条件下所得地震动参数 $\alpha_{n(0.03)}$ 、 θ_{max} 值分别为 0.26、0.095; 100 年超越概率 63%条件下所得地震动参数 $\alpha_{n(0.03)}$ 、 θ_{max} 值分别为 0.28、0.152。

表 4 建筑工程地震动反应谱参数(阻尼比为 4%)
Table 4 The ground motion response spectrum parameters of building (damping ratio is 4%)

超越概率		D_{\max} ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	$R_0(\text{s})$	$\alpha_{n(0.03)}$	θ_{\max}
50 年	63%	25	38	0.26	0.095
	10%	83	117	0.31	0.297
	2%	150	216	0.39	0.535
100 年	63%	40	59	0.28	0.152
	10%	116	155	0.33	0.409
	3%	173	224	0.41	0.587

2.2 地震动参数对损伤指数的影响

实验为了检测本文方法基于地震动参数对损伤指数影响的分析结果,研究地震动参数对建筑物抗震性能的影响情况,对某钢框架—剪力墙结构进行检测,该建筑结构由钢框架和剪力墙连接,不同层的质量是 $1.2 \times 10^3 \text{kg}$,厚度是 180 mm,将 C38 级混凝土作为该建筑结构的混凝土结构,并且使用 II 钢筋,将建筑结构的横向以及纵向配筋率都设置成 5%,阻尼比设置为 0.038。将该建筑结构的 9、13 以及 15 层当成实验分析对象。

为了对实验建筑结构的破坏状态进行分析,对该建筑结构采用的破坏准则是:(1)某层的弹塑性层间位移角大于 $1/80$; (2)存在一定书目的塑性铰并使得建筑结构向可变体系变化。图 6 是该建筑物 9、13 以及 15 层在 10 条地震波作用下,根据本文方法计算结果绘制的地震动参数与损伤指数关系图 $R/\lambda-E$, 该种关系可反映地震动参数对建筑物抗震性能的影响效应。其中,图中的 3 条曲线分别表示在 $T=1.63$ 、 $T=2.07$ 以及 $T=2.54$ 三种地震加速度峰值下的 $R/\lambda-E$ 关系图。 E 为建筑结构塑性区域损伤指数, λ 是阻尼系数, R 是拐点周期, R/λ 为地震动参数。

由图 6 可以看出,对于实验建筑物的 9、13 以及 15 层和不同地震波加速度峰值,损伤指数 E 与地震动参数之间整体上呈增函数关系,也就是地震动参数值大的地震波对建筑结构形成的破坏力会越强,建筑物的抗震水平越低。对图 6(a)、(b)、(c)横向比较可知,建筑物结构振动周期越大,地震动参数与损伤指数 E 间增函数关系的稳定性越差,建筑物的抗震水平越高。图 6(c)中幅值为 3.91 m/s^2 和 2.92 m/s^2 的 2 条曲线就不符合

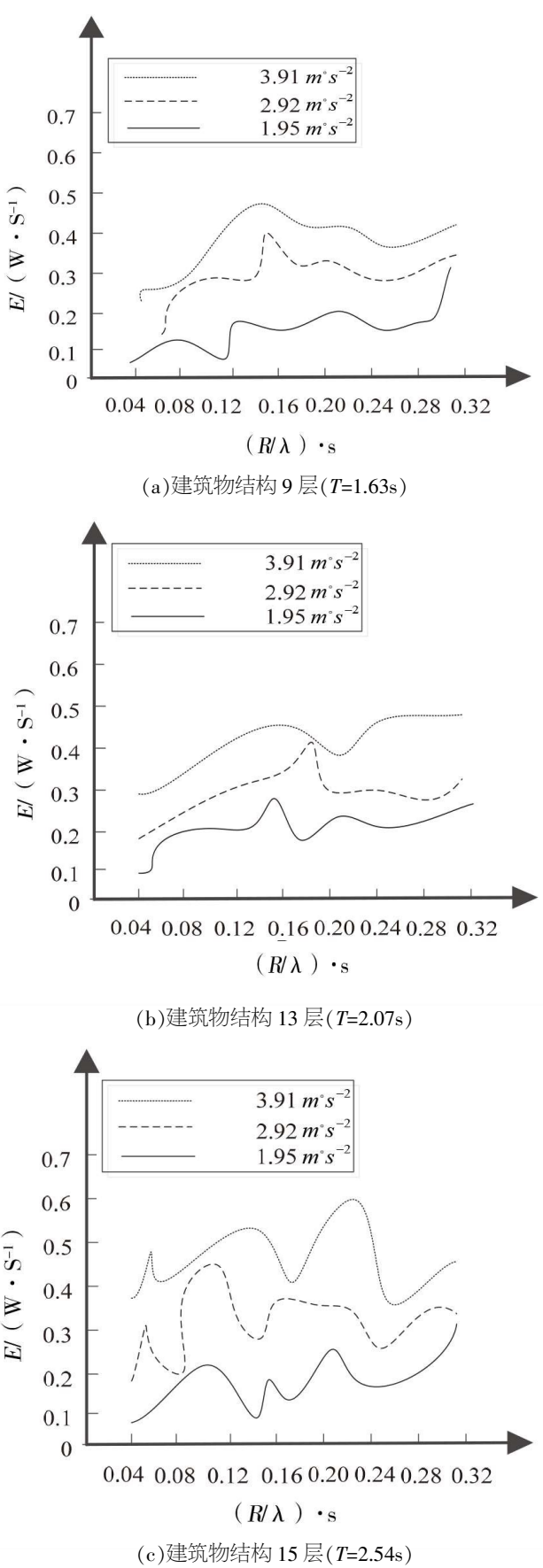


图 6 建筑物 3 个结构的 $R/\lambda-E$ 关系图(10 条波)
Fig.6 $R/\lambda-E$ relationship between 3 structures of buildings (10 waves)

增函数关系,这说明建筑物结构在高幅值地震作用下, R/λ 与 E 之间难以维持增函数关系,此时建筑物的抗震水平较低。

3 结语

本文方法为研究地震动参数在建筑物抗震中的应用情况,对建筑物场地进行危险性分析,根据水平地震动加速度衰减关系方程,得到建筑场地水平向基岩峰值加速度和反应谱,进而确定地震动加速度反应谱,由该反应谱方程计算得到建筑场地地表峰值加速度和场地加速度反应谱,由此获得建筑物地震动反应谱参数。为验证地震波作用下地震动参数对建筑物损伤程度的影响,构建损伤指数模型。实验结果表明,利用本文方法得到的地震动反应谱最小误差为 0.563,远远小于允许误差 4.0;在 50 年超越概率 63% 条件下地震动参数 $\alpha_{n(0.03)}$ 、 θ_{max} 的值分别为 0.26、0.095;建筑物地震作用下的损伤指数 E 与地震动参数 R/λ 之间整体呈增函数关系,综合分析这些结果可以得出,本文方法可在允许误差范围内获取地震动参数,并有效研究地震动参数对建筑物抗震性能的影响,本文方法进行建筑物抗震设计精度和应用性高。

参考文献:

- [1] 徐会业,毋剑平,罗开海,等. 2015 版地震区划调整统计及工程影响分析[J]. 工程抗震与加固改造,2016,38(3): 139-146.
- [2] 白雪霜,程绍革. 现有建筑抗震鉴定地震动参数取值研究[J]. 建筑科学,2014,30(5):1-5.
- [3] 张萌,潘华,李金臣. 美国建筑抗震设计的法规体系与设计地震动的确定[J]. 震灾防御技术,2017,12(2):306-318.
- [4] 张晖,葛华,周德源. 考虑后续使用年限的地震动参数研究[J]. 结构工程师,2016,32(4):110-116.
- [5] 卢啸,陆新征,叶列平,等. 适用于超高层建筑的改进地震动强度指标[J]. 建筑结构学报,2014,35(2):15-21.
- [6] 席远,耿淑伟,董满生,等. 基于我国现行规范场地划分标准的中小震地震动峰值加速度衰减关系[J]. 工业建筑,2014,44(1):1-4.
- [7] 陈国兴,金丹丹,朱姣,等. 河口盆地非线性地震效应及设计地震动参数[J]. 岩土力学,2015,36(6):1721-1736.
- [8] 刘章军,王磊,但庆文,等. 非平稳地震动的广义演变谱模型及在水工抗震中的应用[J]. 水利学报,2015,46(9): 1028-1036.
- [9] 王舟,吴林强,刘增辉. 随机地震动输入模型研究及渡槽抗震分析[J]. 长江科学院院报,2016,33(6):129-133.
- [10] 刘扬,周志彬,张海萍. 基于支持向量回归的桥梁抗震动力可靠度计算[J]. 公路交通科技,2017,34(9):86-92.
- [11] 周小龙,李英民,罗文文,等. 在役结构抗震鉴定加固用地震动参数确定方法[J]. 长安大学学报:自然科学版,2015,35(4):54-61.
- [12] 李建亮,李福海,黎小刚,等. 剑阁县新城区设计地震动参数确定[J]. 四川建筑科学研究,2014,40(4):219-223.
- [13] 陈健云,李静,韩进财,等. 地震动强度指标与框架结构响应的相关性研究[J]. 振动与冲击,2017,36(3):105-112.
- [14] 王庭华,黄峥,丁静鹄,等. 220 kV 户内变电站屋顶构架结构体系及其抗震性能[J]. 电力工程技术,2017(5): 76-80.
- [15] 丁声荣,霍艳华. 混凝土结构建筑物抗震加固强度测试仿真[J]. 计算机仿真,2017,34(8):429-432.