

蔡正坤. 标致性景观设计抗震避灾韧性评估模型分析[J]. 华南地震, 2019, 39 (2): 112–117. [CAI Zhengkun. Analysis on Resilience Evaluation Model of Iconic Landscape Design for Earthquake Resistance and Disaster Avoidance[J]. South China journal of seismology, 2019, 39(2): 112–117]

## 标致性景观设计抗震避灾韧性评估模型分析

蔡正坤

(武汉理工大学, 武汉 430070)

**摘要:** 现有的抗震避灾韧性评估模型存在着评估精准性差、模型灵活性差的缺陷, 为了解决上述问题, 提出标致性景观设计抗震避灾韧性评估模型分析与研究。通过对现有模型的分析, 对构建的抗震避灾韧性评估模型整体架构进行提出, 以此为基础构建整体结构数值分析模型, 并采用回归分析方法对非线性动力时程进行分析, 得到标致性景观抗震避灾韧性评估指标-损伤指数, 采用 pushover 分析方法对损伤分布系数进行计算, 以得到的损伤分布系数为依据建立标致性景观性易损性曲面, 由其推导出抗震避灾韧性指数公式, 从而实现标致性景观设计抗震避灾韧性的评估。通过实验得到, 与现有的抗震避灾韧性评估模型相比较, 构建的抗震避灾韧性评估模型极大的提升了评估的精准性与模型的灵活性, 充分说明构建的标致性景观设计抗震避灾韧性评估模型具备更好的评估性能。

**关键词:** 标致性景观; 设计; 抗震避灾韧性; 评估

中图分类号: F272

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662(2019)02-0112-06

DOI: 10.13512/j.hndz.2019.02.016

## Analysis on Resilience Evaluation Model of Iconic Landscape Design for Earthquake Resistance and Disaster Avoidance

CAI Zhengkun

(Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** The present resilience evaluation models of earthquake resistance and disaster avoidance have the defects of low evaluation accuracy and poor model flexibility. In order to solve the problems mentioned above, a model for evaluating the resilience of iconic landscape design is proposed. Based on the analysis of the existing models, the overall framework of the resilience evaluation model for earthquake resistance and disaster avoidance is put forward, and based on which the numerical analysis model of the whole structure is constructed, and the nonlinear dynamic time history is analyzed by regression analysis method. On this basis, the numerical analysis model of the whole structure is constructed, and the non-linear dynamic time history is analyzed by regression analysis method. The damage index, which is the evaluation index of the resilience of the

收稿日期: 2018-05-30

作者简介: 蔡正坤(1993-), 男, 在读博士, 研究方向: 环境设计。

E-mail: caizhengkunyecai@163.com.

iconic landscape to earthquake resistance and disaster avoidance, is obtained. By using pushover analysis method, damage distribution coefficient is calculated and based on which the vulnerability surface of the iconic landscape is established, and the formulas of the resilience index for earthquake resistance and disaster avoidance are deduced from the surface, so as to realize the evaluation of the resilience of the iconic landscape design to earthquake resistance and disaster avoidance.

**Keywords:** Iconic landscape; Design; Earthquake resistance and disaster avoidance resilience; Evaluation

## 0 引言

随着我国经济的不断增长,我国旅游行业发展迅速,经统计我国2018年旅游收入达到了6亿元,是我国财政收入的关键部分。对于旅游来说,每个城市或者旅游景点均具有自身独特的标致性景观,其是吸引旅游者的卖点所在,在一定程度上也是城市的标致性景观,主要的功能是代表城市旅游吸引力的核心景观<sup>[1]</sup>。标致性景观设计必须以城市或者旅游区的主体为核心,以此为基础,设计出具有独特吸引力、独特卖点的标致性景观,凸显城市或者旅游区的人文价值。但是标致性景观的设计一般情况下需要大量的人力、物力与成本,同时,近几年地震频发,不但对居民楼建筑产生了较大的危害,并且对标致性景观也产生了较大的迫害,导致人力、物力以及金钱的损失,这对标致性景观设计提出了更高的要求,在设计的过程中需要将抗震避灾韧性考虑在内,这样才能保障标致性景观的安全<sup>[2]</sup>。因此,标致性景观设计抗震避灾韧性的评估已经成为现今研究重点问题之一。

大部分标致性景观设计为了提升自身的抗震避灾韧性,采用钢筋混凝土组合构件对标致性景观进行相应的设计。经研究发现,标致性景观设计主要采用钢筋混凝土组合构件作为转换构建,通过震害调查与分析发现,在地震发生时标致性景观形变主要发生在转换层处,从而引起整体倒塌破坏。就现有的研究来看,抗震避灾韧性评估模型均采用单一指标对其进行评估,存在着评估精准性差、模型灵活性差的缺陷,无法满足现今标致性景观的需求,为了解决上述问题,提出标致性景观设计抗震避灾韧性评估模型分析与研究,并采用仿真对比实验对构建的标致性景观设计抗震避灾韧性评估模型性能进行分析与研究<sup>[3]</sup>。

## 1 标致性景观设计抗震避灾韧性评估模型构建

### 1.1 抗震避灾韧性评估模型整体架构

对于标致性景观设计抗震避灾韧性的评估来说,现有的研究主要是以其转换层为核心对抗震避灾韧性进行评估,这种评估模型存在着较大的误差,具有一定的片面性,无法体现标致性景观的整体抗震避灾韧性,因此,构建的标致性景观设计抗震避灾韧性评估模型主要是以标致性景观设计整体为核心,以损伤指数为指标对其结构整体的抗震避灾韧性进行评估<sup>[4]</sup>。则标致性景观设计抗震避灾韧性评估步骤主要如下所示:

第一步:构建正确的整体结构数值分析模型;

第二步:选择一组震级与震中距变化范围较大的地震加速度时程记录,并对其进行非线性动力时程分析;

第三步:假设当前地震动作用为第*i*条,对标致性景观结构的累积滞回耗能分布情况进行分析,并对累积滞回耗能最大结构进行确定,对整体结构的损伤分布系数进行计算;

第四步:依据上述过程对整体地震损伤指数进行计算;

第五步:对步骤二到四进行重复,对在不同地震动作用下标致性景观整体损伤指数进行计算,同时对地震动相应的强度参数进行记录。采用回归统计分析方法,对标致性景观整体损伤指数于地震动强度参数之间的关系进行分析。在分析的过程中,将地震动强度参数作为自变量,将标致性景观整体损伤指数作为因变量;

第六步:以地震易损性曲面概率模型为依据,对标致性景观结构损伤指数超越标准指数的概率进行计算,以此为基础对地震易损性曲面进行构建,用于标致性景观设计抗震避灾韧性的评估<sup>[5]</sup>;

第七步:以上述构建的地震易损性曲面为基

础,对标致性景观整体抗震避灾韧性指数进行计算,实现标致性景观设计抗震避灾韧性的评估。

标致性景观设计抗震避灾韧性评估模型整体架构如图1所示。

而步骤五主要是通过 matlab 程序对其进行实现,该程序只需要输入累积滞回耗能,就可以对标致性景观整体损伤指数进行重复计算。

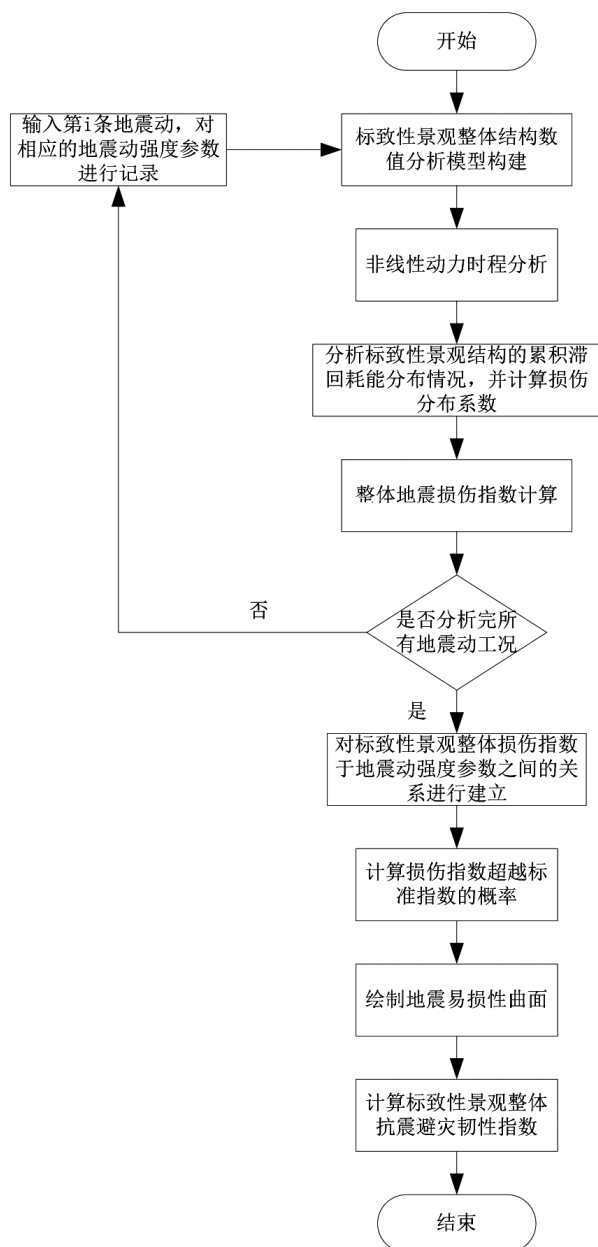


图1 标致性景观设计抗震避灾韧性评估模型架构图

Fig.1 Architecture chart of resilience assessment model for earthquake and disaster avoidance in iconic landscape design

## 1.2 整体结构数值分析模型构建

为了便于标致性景观设计抗震避灾韧性的评

估,构建整体结构数值分析模型,将标致性景观设计转换为数值模型,方便后续的分析与计算<sup>[9]</sup>。主要的构建过程如下所示。

采用 Perform 3D 抗震分析软件对整体结构数值分析模型进行构建。主要分为三部分,分别为材料本构模型、单元类型以及阻尼类型的选取。

其中,材料本构模型选取。一般情况下,标致性景观材料的骨架曲线与加载准则需要设计者对其进行定义。根据标致性景观设计抗震避灾韧性评估模型的需求,将材料本构模型中的骨架曲线定义为五折线的形式,如图2所示。

而材料的加载准则主要是通过调整骨架曲线各阶段相应的能量退化系数来定义的,其中,能量退化系数采用  $\alpha$  来表示。在理论上, $\alpha$  范围为

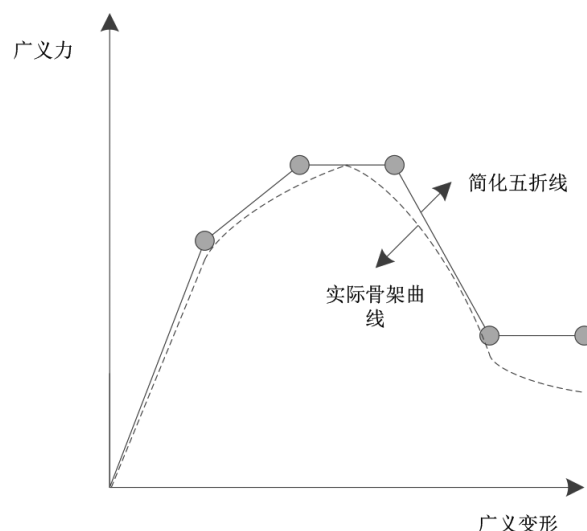


图2 标致性景观设计骨架曲线示意图

Fig.2 Skeleton curve diagram of iconic landscape design

[0-1.0], 主要是通过数值分析得到。通常情况下, $\alpha$  越小表示标致性景观材料刚度退化情况越严重,则抗震避灾韧性也就越差,反之, $\alpha$  越大表示标致性景观材料刚度退化情况越小,则抗震避灾韧性也就越好。若是  $\alpha$  等于零,则表示标致性景观材料刚度没有产生退化的情况<sup>[7]</sup>。

单元类型选取主要分为两部分,分别为非线性梁柱单元与剪力墙单元。Perform 3D 抗震分析软件中具有丰富的单元库,其中应用较为广泛的则为上述两个单元库。

非线性梁柱单元主要的优势是在模拟梁柱构件时,只需要对截面处的积分点数量进行足够的定义,就可以满足标致性景观抗震避灾韧性评估的精准度要求。

而剪力墙单元的基本原理就是将剪力墙沿着高度方向对其进行划分,划分为多个单元,并认为其内部的变形与剪切变形无关。Perform 3D 抗震分析软件中主要是将剪力墙单元定义为四节点单元,并定义其为弹性单元,这样有助于提升标致性景观自身的抗震避灾韧性。

阻尼类型选取主要是对阻尼形式进行选择,阻尼形式主要分为两种,分别为瑞利阻尼与模态阻尼。通过实验发现,采用瑞利阻尼得到的实验结果误差较小,因此,选择瑞利阻尼作为整体结构数值分析模型中的阻尼类型。

通过上述过程完成了整体结构数值分析模型的构建,为标致性景观设计抗震避灾韧性评估做准备。

1.3 非线性动力时程分析

非线性动力时程分析主要是选取 50 条地震动作为输入样本,沿着标致性景观材料本构模型进行输入,以景观设计位移角作为地震需求参数,对其进行非线性动力时程分析<sup>[9]</sup>。输入样本如表 1 所示。

表 1 非线性动力时程分析输入样本表  
Table 1 Input sample table for nonlinear dynamic time history analysis

地震动 编号	位移角	地震动 编号	位移角	地震动 编号	位移角
1	1/4912	2	1/1620	3	1/3561
4	1/1623	5	1/430	6	1/1953
7	1/2561	8	1/1540	9	1/1362
10	1/1203	11	1/612	12	1/213
13	1/756	14	1/798	15	1/231
16	1/1132	17	1/379	18	1/387
19	1/958	20	1/548	21	1/403
22	1/234	23	1/497	24	1/303
25	1/866	26	1/459	27	1/333
28	1/344	29	1/368	30	1/137
31	1/178	32	1/928	33	1/211
34	1/105	35	1/451	36	1/151
37	1/160	38	1/167	39	1/455
40	1/177	41	1/204	42	1/99
43	1/309	44	1/80	45	1/248
46	1/489	47	1/259	48	1/116
49	1/64	50	1/184		

通过上述样本非线性动力时程分析后,建立回归方程对地震动强度参数与位移角之间的关系进行统计分析,分别对地震动强度参数的相关性、有效性、实用性与效益性进行评估,通过结果得到标致性景观损伤指数作为抗震避灾韧性评估指标<sup>[9]</sup>。

通过上述非线性动力时程分析得到标致性景观抗震避灾韧性评估指标为损伤指数,为下述标致性景观抗震避灾韧性的评估提供依据<sup>[11]</sup>。

1.4 损伤分布系数计算

以上述得到的损伤指数指标为基础,采用 pushover 分析方法对其进行计算<sup>[12]</sup>。经过分析计算得到,当标致性景观的侧移率达到 2.5%时,标致性景观的材料承载力就会出现明显的下降,同时还会出现较大的应变,若是其承载力下降到最大承载力的 85%,就会达到标致性景观承载的极限,标致性景观就会受到破坏。

采用 Kratzig 损伤模型对标致性景观材料损伤指数进行计算,具体公式为

$$\begin{cases} D^+ = \frac{\sum E_{si}^+ + \sum E_i^+}{E_u^+ + \sum E_i^+} \\ D^- = \frac{\sum E_{si}^- + \sum E_i^-}{E_u^- + \sum E_i^-} \end{cases} \quad (1)$$

公式 (1)中,  $D^+$ 表示正损伤指数;  $D^-$ 表示负损伤指数;  $E_s^+$ 表示主要半循环所消耗的能量;  $E_s^-$ 表示从属半循环所消耗的能量;  $E_u^+$ 表示结构在地震动作用下的正向与负向极限耗能能力。

对公式(1)进行整合,得到标致性景观整体结构损伤指数计算公式为

$$D = D^+ + D^-(1 - D^+) \alpha \quad (2)$$

公式(2)中,  $\alpha$  表示的是试验参数,即为能量退化系数。

采用公式(2)对标致性景观整体结构损伤分布系数进行计算,得到结果如表 2 所示。

通过上述过程完成了标致性景观损伤分布系数的计算,为下述标致性景观易损性曲面的构建提供数据支撑<sup>[13]</sup>。

1.5 抗震避灾韧性评估的实现

以上述得到的标致性景观损伤分布系数为依据,采用回归统计分析对其与地震动强度参数之间的关系进行分析,两者之间的关系表示为

$$\ln D = a + b \ln(IM_1) + c(\ln(IM_1))^2 + d \ln(IM_2) \quad (3)$$

表 2 标致性景观整体结构损伤分布系数表  
Table 2 Damage distribution coefficient table of overall structure of iconic landscape design

地震动 编号	损伤系数	地震动 编号	损伤系数	地震动 编号	损伤系数
1	0.063	2	0.442	3	1.110
4	0.140	5	0.429	6	0.174
7	0.025	8	0.217	9	0.505
10	0.021	11	0.348	12	0.177
13	0.065	14	0.123	15	0.330
16	0.089	17	0.604	18	0.220
19	0.078	20	0.051	21	0.110
22	0.012	23	1.095	24	0.150
25	0.102	26	0.203	27	0.160
28	0.152	29	0.45	30	0.441
31	0.802	32	0.857	33	1.491
34	0.035	35	0.623	36	1.085
37	0.024	38	0.062	39	0.585
40	0.442	41	0.030	42	0.461
43	0.123	44	0.354	45	0.067
46	0.014	47	1.273	48	0.461
49	0.081	50	0.904		

公式(3)中,  $a, b, c, d$  表示的是计算系数;  $IM_1$  与  $IM_2$  表示的是地震动强度参数<sup>[14]</sup>。

以标致性景观整体损伤指数为因变量, 以地震动强度参数为自变量, 得到标致性景观性易损性曲面为

$$P(D, IM) = \Phi \left\{ \frac{[-22.784 + 5.058 \ln(D) - 0.296(\ln(IM_1)^2) + 1.071 \ln(IM_2^2) - \ln(c)]}{0.621} \right\} \quad (4)$$

公式(4) 中,  $\Phi$  表示的是标致性景观位移量。

采用 Matlab 软件对标致性景观性易损性曲面进行绘制, 得到标致性景观性易损性曲面如图 3 所示。

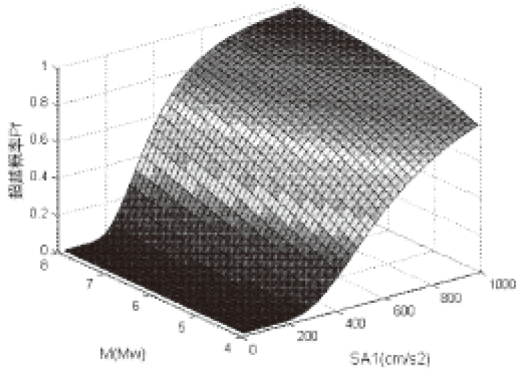


图 3 标致性景观性易损性曲面示意图  
Fig.3 A schematic diagram of the iconic landscape vulnerability surface

以得到的标致性景观性易损性曲面公式为基础, 对标致性景观抗震避灾韧性指数进行推导, 推导计算公式为

$$\zeta = \frac{\sum_{i=1}^n P(D, IM)}{\gamma \cdot D^2} \quad (5)$$

公式(5)中,  $\zeta$ 表示的是标致性景观抗震避灾韧性指数;  $\gamma$ 表示的是模型灵活性参数。

通过上述过程实现了标致性景观设计抗震避灾韧性评估模型的构建, 并完成了标致性景观设计抗震避灾韧性的评估, 为标致性景观的安全提供更加有效的保障<sup>[15]</sup>。

2 模型性能分析

通过上述过程实现了标致性景观设计抗震避灾韧性评估模型的构建, 并间接对其可行性进行了验证, 但是对模型的性能还一无所知。为此设计仿真对比实验对构建模型的性能进行研究与分析。在实验的过程中, 主要采用现有模型与构建模型进行对比分析。具体的实验与实验结果分析过程如下所示。

2.1 评估精准性对比分析

模型评估的精准度直接关系着模型的性能, 通常情况下认为评估精准性越高, 模型性能越好。通过实验得到评估精准性对比情况如表 3 所示。

表 3 评估精准性对比情况表  
Table 3 Comparisons of assessment accuracy

实验次数	现有模型/(%)	构建模型/(%)
10	60	79
20	54	88
30	50	81
40	45	83
50	49	79
60	56	90
70	59	91
80	44	96
90	33	85
100	57	83

如表 3 所示, 构建模型的评估精准性远远的高于现有模型。其中, 构建模型评估精准性最大

值达到了96%,充分显示出构建模型评估的精准度。

## 2.2 模型灵活性对比分析

模型灵活性主要由模型灵活性参数来表示,由公式(5)可以看出,当越小,标致性景观抗震避灾韧性指数越大,则表示标致性景观的标致性景观抗震避灾韧性越好,也表示模型的灵活性越好。

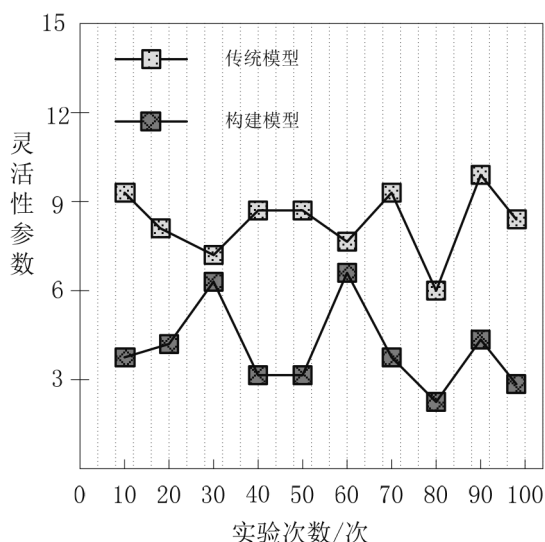


图4 模型灵活性对比情况图

Fig.4 Model flexibility comparison chart

通过实验得到模型灵活性对比情况如图4所示。

如图4所示,构建模型的灵活性参数远远的低于现有模型,说明构建模型的抗震避灾韧性指数更大,抗震避灾韧性更好。

通过上述实验结果可以看出,构建的标志性景观设计抗震避灾韧性评估模型极大的提升了评估的精准性与模型的灵活性,充分说明构建的标致性景观设计抗震避灾韧性评估模型具备更好的评估性能。

## 3 结语

构建的标志性景观设计抗震避灾韧性评估模型极大的提升了评估的精准性与模型的灵活性,可以为标志性景观设计提供更加有效的安全保障。但是在仿真对比实验过程中,由于仿真条件的限

制,忽略了真实环境中干扰因素的影响,导致实验结果与真实结果具有一定的偏差,但是实验结果依然具有客观性,不影响实验结果的整体趋势与比较结果,但是需要对其进行进一步的研究与分析,争取克服干扰因素的影响,使得实验结果更加真实与精确,为标致性景观设计提供更加有效的数据支撑。

## 参考文献:

- [1] 耿风慧,张国斌,耿秋钰. 电力系统的抗震脆弱性评估模型设计与实现[J]. 华南地震,2018,38(02):40-46.
- [2] 侯兆熔,季静. 基于实地调研的纳西族民居抗震性能分析[J]. 华南地震,2018,38(01):114-119.
- [3] 缪逸飞. 保定市交通系统抗震可靠性分析[J]. 华南地震,2018,38(03):62-67.
- [4] 潘荟霖,贾水欣,彭强. 龙抬头式放空洞及其闸室结构的抗震特性研究[J]. 华南地震,2016,36(01):44-48.
- [5] 王挺,陈修吾,叶佳宁. 基于自动地震速报的地震应急基础信息快速提取模块的研究与实现[J]. 华南地震,2016,36(01):16-23.
- [6] 郭小东,安群飞,苏经宇. 山地城市近郊村镇抗震韧性设计策略[J]. 城市与减灾,2017,12(4):35-40.
- [7] 王丹莹,李煜,张继兰,等. 城市避灾绿地抗震植物量化评价模型研究[J]. 环境与发展,2017,29(10):26-28.
- [8] 王志涛,马东辉,王晓卓. 提高城市韧性的抗震防灾对策研究[J]. 北京规划建设,2018,16(2):30-33.
- [9] 翟长海,刘文,谢礼立. 城市抗震韧性评估研究进展[J]. 建筑结构学报,2018,39(9):12-15.
- [10] 罗华春. 积极推进韧性城乡建设全面提升我国灾害防范能力[J]. 城市与减灾,2017,15(4):3-3.
- [11] 王晓书,姜燕燕,陈振业,等. 低屈服点抗震钢板的强韧性匹配研究[J]. 宽厚板,2017,45(5):12-15.
- [12] 江世永,陶帅,李雪阳. FRP 筋高韧性纤维混凝土复合结构抗震性能研究进展[J]. 玻璃钢/复合材料,2017,9(7):92-99.
- [13] 万宸莲,翟国方. 基于韧性的灾后区域经济增长模式研究——以汶川地震为例[J]. 现代城市研究,2017,55(9):41-47.
- [14] 陆新征,曾翔,许镇,等. 建设地震韧性城市所面临的挑战[J]. 城市与减灾,2017,21(04):33-38.
- [15] 李月清. 看不见的硝烟——透过中美贸易交锋重新审视中国乃至全球石油石化产业结构及抗震韧性[J]. 中国石油企业,2018,35(05):4-46-47.