

靳晓燕.高强度地震下带钢避难建筑抗震设计[J].地震工程学报,2018,40(4):678-683,697.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.04.678

JIN Xiaoyan.Seismic Design of Steel-strip Refuge Buildings under High-intensity Earthquakes[J].China Earthquake Engineering Journal,2018,40(4):678-683,697.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.04.678

高强度地震下带钢避难建筑抗震设计

靳晓燕

(山东职业学院铁道工程与土木工程系, 山东 济南 250104)

摘要: 为了提高带钢避难建筑的抗震性能,对高强度地震下带钢避难建筑实施抗震设计。设置高强度地震下带钢避难所的抗震设防要求,给出不同地震情况下地震避难所设防加速度值以及地震避难所地震影响系数最高值,通过 SAP2000 分析软件对带钢地震避难建筑结构实施动力弹塑性时程研究,选择合理的塑性较参数值,通过在建筑周围设置钢支撑的策略对带钢避难建筑实施设计,分析高强度地震下的带钢避难建筑的抗震性能。实验结果说明,采用所提设计方法下的带钢避难建筑在大震情况下的反应优,延性较强,在不同地震波作用下的水平方向位移角满足抗震设防规范。

关键词: 高强度; 地震; 带钢避难; 建筑抗震; 动力弹塑性; 时程

中图分类号: TU245.2

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2018)04-0678-07

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.04.678

Seismic Design of Steel-strip Refuge Buildings under High-intensity Earthquakes

JIN Xiaoyan

(Department of Railway Engineering and Civil Engineering, Shandong Polytechnic, Jinan 250104, Shandong, China)

Abstract: The seismic performance of steel-strip refuge buildings under high-intensity earthquakes is improved through seismic design. The seismic fortification requirements of steel-strip refuge buildings under high-intensity earthquake are set, and the acceleration value and maximum earthquake affecting coefficient of the steel-strip shelter under different earthquake scenarios are given. SAP2000 is used to analyze the elastic-plastic dynamics of the steel-strip shelter, and reasonable parameters for plastic hinges are selected. The steel support is set around a building to analyze the seismic performance of the steel-strip shelter. Experimental results show that the steel-strip refuge building designed through the proposed method has good response and ductility under intense earthquakes. Moreover, the horizontal displacement angle of the building under the action of different seismic waves satisfies the seismic fortification criterion.

Keywords: high-intensity; earthquake; steel strip; earthquake-resistance of building; dynamic elastoplasticity; time history

收稿日期: 2017-08-20

基金项目: 国家自然科学基金(51108255); 山东省教育厅厅筹经费项目(J12LG51); 国家档案局科技项目(2017-X-43);

作者简介: 靳晓燕(1970—), 女, 硕士, 副教授, 一级注册结构工程师, 研究方向: 结构抗震。E-mail: jinxiaoyan1031@yeah.net。

0 引言

我国是一个地震灾害发生频率较高的国家,地震灾害会产生大量的人员伤亡和财产损失。为了降低灾后形成的不同次生灾害,避免灾害延伸和加剧,需要设计合理数量的避难场所。以往对城市防灾工程的关注度较低,我国城市总体防灾减灾落后于城市发展,为了确保人民群众生命和财产安全,应提高我国城市综合防灾减灾能力。建造地震避难所过程中,大跨度钢结构符合避难所属性以及性能需求,带钢网架结构是多向受力的空间结构,具有跨度高、空间性能高的优势^[1],可提高避难所的稳定性。在高强度地震下带钢避障建筑的最高节点位移随着地震波加速度的提高而提高,存在失稳破坏问题。因此,本文对高强度地震下带钢避难建筑进行抗震设计,提高建筑的抗震性能。通过对本文设计的带钢避难建筑在不同地震波作用下的弹塑性时程分析,得到该结构的综合抗震性能符合地震避难所的需求。

1 高强度地震下带钢避难建筑抗震设计

1.1 高强度地震下带钢避难所的抗震设防要求

基于我国《建筑工程抗震设防分类标准》将建筑工程划分成特殊设防类、重点设防类、标准设防类以及适度设防类。我国地震避难所结构的抗震性能和需求,将其设防需求提升,确保在高强度地震情况下带钢避难建筑可顺利运行^[2]。设置的带钢地震避难所加速度以及地震影响系数最高值用表 1 和表 2 描述。

表 1 地震避难所设防加速度值

Table 1 Acceleration values for fortification of seismic refuges

设防烈度	设防加速度值/gal		
	设防地震	罕遇地震	灾难地震
6	48	122	398
7	98	218	538
7.5	148	308	665
8	198	398	805
8.5	298	508	945
9	398	618	1075

表 2 地震避难所地震影响系数最高值

Table 2 Maximum seismic impact coefficient of seismic refuges

烈度	地震影响系数最高值		
	设防地震	罕遇地震	灾难地震
6	0.11	0.25	0.85
7	0.22	0.48	1.16
7.5	0.32	0.67	1.53
8	0.45	0.88	1.87
8.5	0.62	1.18	2.24
9	0.94	1.36	2.37

带钢避难建筑需要采用多道抗震防线的结构体系,建筑形体应规则,抗侧力构件需要在平面中呈现规则部署状态,结构侧向刚度设置竖直方向呈现均衡波动。当抗震设防烈度是Ⅴ~Ⅶ度时,带钢避难建筑需要基于比该地区抗震设防烈度高 1 度的规范实施合理的抗震手段^[3];当抗震设防烈度是Ⅷ度时,带钢避难建筑需要采用大于Ⅸ度的规范实施有效的抗震方案。避难建筑楼梯间应该采用强化的抗震方案。带钢避难建筑非结构以及建筑附属机电部件应同主体结构相连,同主体结构加强连接或柔性连接方法^[4],实现同避难建筑一致的抗震设防目标。

如果受到低于设定抗震设防规范的地震灾害,带钢避难所需要符合应急以及避难生活需求,避难建筑以及Ⅰ~Ⅲ级应急保障设置的主体结构不会对避难功能产生干扰,结构以及非结构构件未遭到严重破坏,应急功能顺利运行并且能够迅速恢复正常运行。应急辅助设施未产生严重破坏同时可快速正常运行。如果受到比设置抗灾设防规范的灾害干扰级别高的高强度地震干扰时,避难建筑不受到严重灾害以及次生灾害的干扰,可实现人员的避难,不会形成倒塌。

1.3 动力弹塑性研究方法

基于强度以及变形的角度,对带钢避难建筑结构安全以及抗震稳定性实施设计。要想全面分析高强度地震下,避难建筑结构破坏过程,获取防倒塌破坏措施,对结构实施动力弹塑性时程研究。该方法可对不同时段地震波进行数值化处理,采用结构的振动微分方法以及逐步积分对结构实施弹塑性动力响应研究^[5]。本文通过 SAP2000 软件对带钢地震避难建筑结构实施动力弹塑性时程研究,采用 Hilbert-Huang 变换(HHT)数值运算方法。采用的方程参数 α 设置为-0.05,地震波时长是18 s,高于结构自振周期的 10 倍,符合时程研究对地震波时间的需求,设置时间间隔是 0.02 s,走948 步。

1.3.1 动力失稳破坏规范及地震波选择

本文采用的动力失稳破坏分析准则是 B-R 准则,这是一种运动方程法,设置的稳定界限荷载是微小增量的荷载幅值形成结构大幅度提升的特征响应时的荷载,说明结构会形成动力失稳问题^[6]。该准则完全适用于带钢避难建筑非线性动力响应研究,明确 P (荷载参数)- Y (结构动力响应特征参数)曲线的情况。采用使用与Ⅲ类场地的 EI Centro 波、Taft 波以及 RGITG035 人工波对结构实施动力时程研究。

1.3.2 塑性铰定义及参数

塑性铰是避难建筑构件在受力情况下产生某点相对面的纤维屈服,却没有形成破坏,则说明该点是塑性铰,一个构件由两个构件和一个塑性铰构成,塑性铰两端构件都可实施微转动,使得限制减少一个。如果带钢避难建筑截面弯矩为极限弯矩,则该截面是塑性铰。本文对高强度地震下带钢避难建筑实施动态弹塑性时程分析使用的阻尼比是 0.05,场地类型是 III 类,场地特征周期值 $T_g=0.43\text{ s}$,地震波重点分析水平方向 X 向、Y 向以及竖直方向 Z 向,输入地震波时基于 1.0 水平地震(X)+0.83 水平地震(Y)+0.62 竖向地震(Z)方向。动力时程研究的原始条件是恒载以及雪荷载情况下的结构内力以及变形。

实施动力弹塑性时程研究过程中,SAP2000 有限元程序采用塑性铰完成结构的材料非线性,描述构件弹塑性性能时采用集中塑性铰杆模型,其广义力(轴力或弯矩)—广义位移(轴向变形或转角)的无量纲关系用图 1 描述,将弹性刚度的 2.8%当成屈服后强化过程的刚度,塑性铰的广义力以及广义屈服强度用图中的 Q 以及 Q_y 描述,塑性铰广义位移以及广义屈服位移是 Δ 以及 Δ_y 。原点、屈服点以及极限承载力点分别是 A、B 以及 C,地震破坏后塑性铰的残余强度以及失效点分别是 D 和 E。塑性铰在最高强度以及失效状态下的塑性变形以及屈服变形比值是 a 以及 b ,塑性铰的残余强度同屈服强度的比值是 c 。B 同 C 间线段可划分成 IO、LS、CP

三部分,带钢避难建筑构件存在轻微损伤是 IO,构件损伤修复后可正常运行是 LS,构件严重损伤无法修复使用^[7],仍然可以承受重力荷载防止建筑倒塌是 CP。IO、LS、CP 性能指标是带钢避难建筑抗震设计的定量评估规范,对结构在高强度地震情况下的状态实施准确分析^[8]。

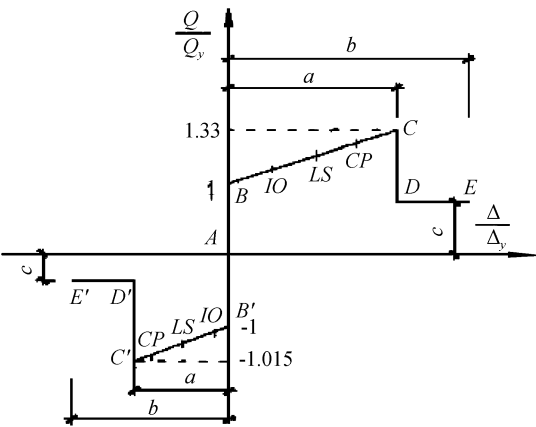


图 1 塑性铰广义力-广义位移关系曲线

Fig.1 Generalized force-generalized displacement relation curve of plastic hinge

要想增强高强度地震下带钢避难建筑的抗震性,在建筑结构的上弦杆、下弦杆、腹杆、系杆以及柱间支撑等杆件的中部部署轴力铰^[9],设置 3 470 个轴力铰(P 铰)。柱子共设置 150 个弯矩铰(PMM 铰),则共计 3 470+150=3 620 个塑性铰,其参数用表 3 描述。

表 3 塑性铰参数值
Table 3 Parameters of plastic hinge

塑性铰种类		参数					
		a	b	c	IO	LS	CP
P 型铰	拉	10	13	0.7	0.24	6	8
	$d/t\leqslant 1\ 500/f_y$		-8	-0.3		-3	-5
	压	-0.4			-0.24		
	$d/t\geqslant 6\ 000/f_y$		-2.8	-0.18		-1	-2

注:1 500/ $f_y \leq d/t \leq 6000/f_y$ 情况下,不同参数线性差值

1.4 带钢避难建筑抗震性能研究

通过在建筑周围设置钢支撑策略对带钢避难建筑实施设计。分析不同建筑截面的钢支撑情况^[10],明确设置钢支撑情况下采用 HW340×340×11×18 型钢。利用 EPDA 软件以及 SAP2000 软件实施高强度震动下带钢避难建筑抗震性能的研究^[11]。因为采用钢支撑的截面较高,故建筑自振周期较高。结构自振周期为:

$$T=0.41+0.10\times10^{-2}\frac{H^2}{d}\tag{1}$$

计算所得建筑结构自振周期如表 4 所示,两种软件的计算结果较为一致。

表 4 结构自振周期运算结果
Table 4 Operation result of natural period of the structure

模型	EPDA	SAP2000
1	0.462 5	0.426 4
2	0.443 3	0.440 8
3	0.403 2	0.401 8

分析高强度地震下带钢避难建筑结构,楼层最高位移以及评价位移比^[12],SAP2000 在钢支撑工况中的 X、Y 方向位移比情况,用图 2 描述。

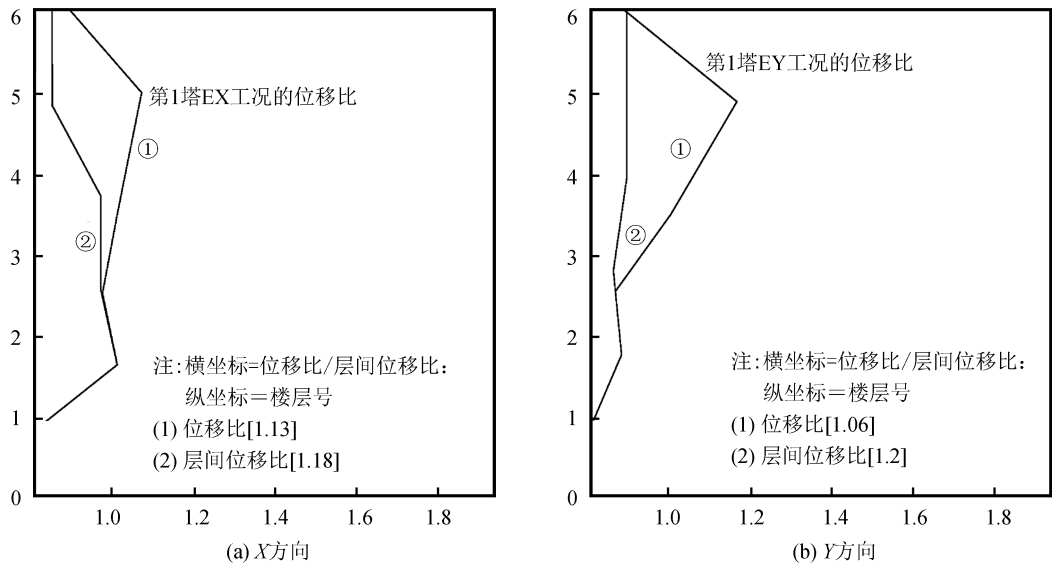


图 2 SAP2000 在钢支撑工况中的位移比曲线

Fig.2 Displacement ratio curves in the case of steel brace by using SAP2000

2 实验分析

2.1 静力弹塑性研究

用 Push-over 方法来评估结构抗震性能,这是一种静力非线性方法。绘制差异结构自振周期以及地震干扰系数时程曲线,将场地的不同反应谱曲线融合在一起。若带钢避难所结构可抵抗反应谱对应的地震烈度,则说明其在高强度地震下具有较强的抗震性能^[13]。通过 EPDA 软件以及 SAP2000 软件,研究采用本文设计方法下的某带钢避难所结构的 Push-over

静力弹塑性以及动力时程,该避难建筑在高强度地震下的弹塑性位移角限值的规范值是(1/55)。实验获取基底剪力以及最高层间位移角情况用表 5 描述。从表中能够看出,结果符合规范中弹塑性位移角限值的规范(1/55),EPDA 运算的基底剪力值较高,两种软件通过不同运算模型(EPDA 纤维束模型、SAP2000 塑性铰模型)导致塑性铰模型刚度退化快使得性能点基底剪力值降低。设置速度型粘滞阻尼器的阻尼系数是 400,阻尼指数是 1,通过钢支撑方案的结构在大震情况下的反应比阻尼器的结构优。

表 5 Push-over X 向运算结果

Table 5 Operation result in X direction with push-over method

性能指标	利用钢支撑 EPDA	利用钢支撑 SAP2000	利用阻尼器 EPDA	利用阻尼器 SAP2000
性能点底部剪力/kN	25 443.6	21 265.1	31 874.7	24 671.4
性能点最高层间位移角/(°)	1/148	1/152	1/116	1/128

2.2 动力弹塑性时程研究

实验采用的地震波是 EI Centro 波、Taft 波以及 RGITG035 人工波,设防烈度Ⅷ度(0.2g),时程研究采用的地震加速时程曲线的最高值,多遇地震以及高强度地震情况下分别是 101 cm/s² 和 528 cm/s²。通过 SAP2000 软件对采用本文设计方法下的实验带钢避难建筑实施动力弹塑性时程研

究^[14],运行获取的某带钢避难建筑基底剪力以及最高层间位移角用表 6 描述。分析该表可得,结果都符合弹塑性位移角限值 1/55 的规范,获取的结果同静力弹塑性研究结果相差低于 7%,人工波情况下的层间位移角同 Push-over 研究结果中利用钢支撑 EPDA 以及利用钢支撑 SAP2000 的最高层间位移角一致。

表 6 大震弹塑性层间位移角以及底部剪力(钢支撑)

Table 6 The elastic-plastic story drift and the bottom shear force under large earthquake (steel brace)

性能指标 方向	EI Centro 波		Taft 波		人工波		均值	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
底部剪力/kN	35 172	33 082	27 218	26 053	25 082	24 763	29 986	28 354
最高弹塑性层间位移角/(°)	1/98	1/102	1/118	1/136	1/148	1/152	1/117	1/126

2.3 实例研究

实验设置地震避难所的设防种类是丙级,太原抗震设防烈度是Ⅷ度(0.2*g*),加速度是 810 gal。结构大部分杆件程序塑性状态,采用 SAP2000 软件对采用本文设计方法下的某地震避难所实施弹塑性情况的动力时程研究。

2.3.1 地震避难所的塑性情况

实验分析的采用本文设计方法下的某带钢避难

建筑的塑性发展是采用塑性铰呈现,塑性铰的数量和发展情况描述了结构杆件呈现塑性的程度^[15],对带钢避难建筑物的变形以及破坏状态实施有效分析。实验检测避难所结构在不同地震波情况中的塑性较用量表 7 描述。

分析表 7 可得,不同地震波情况下,实验带钢避难所结构在大约 400 gal 情况下呈现弹塑性边缘情况,在大约1 000 gal情况下呈现边缘破坏情况,边

表 7 不同地震波情况下杆件塑性铰情况
Table 7 Plastic hinges of member bar under different seismic waves

地震波	加速度峰值 /gal	塑性铰数量和比例/%					总数量和比例/%
		B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-E	
上海人工波	415	6(0.175)	-	-	-	-	6(0.175)
	1 120	39(1.03)	35(0.978)	-	-	176(4.8)	250(6.808)
	1 140	破坏	破坏	破坏	破坏	破坏	破坏
好莱坞波	382	4(0.125)	-	-	-	-	4(0.125)
	1 130	34(0.924)	31(0.842)	8(0.235)	-	162(4.24)	235(6.241)
	1 140	破坏	破坏	破坏	破坏	破坏	破坏
EMC 波	380	5(0.014)	-	-	-	-	5(0.014)
	1 080	38(0.985)	36(0.88)	10(0.282)	-	166(4.62)	250(6.767)
	1 095	破坏	破坏	破坏	破坏	破坏	破坏
LWD 波	405	6(0.175)	-	-	-	-	6(0.175)
	1 060	42(1.06)	32(0.773)	-	-	157(4.38)	231(6.213)
	1 068	破坏	破坏	破坏	破坏	破坏	破坏

缘破坏情况下的地震波峰值高于 810 gal,说明采用本文设计方法下的实验带钢避难所符合太原市Ⅷ度抗震设防规范。

2.3.2 地震避难所位移延性系数

结构位移延性系数是主体结构在失效边缘情况下的最高位移同弹塑性边缘情况下的最高位移比例

值,用于描述带钢避难所的塑性变形状态,其值越高说明带钢避难所在强震情况下能够承受的高塑性变形,并且不会形成破坏倒塌现象,确保地震效益最小化,一般设置该系数的值应高于 3。分析表 8 能够看出,在不同地震波情况下,不同方向的延性系数都高于3,说明本文方法设计下的带钢避难所的延性

表 8 不同地震波情况下结构的延性系数
Table 8 Ductility coefficient of the structure under different seismic waves

地震波 种类	加速度 峰值/gal	水平 X 向		水平 Y 向		竖向 Z 向	
		绝对位移值 /mm	延性 系数	绝对位移值 /mm	延性 系数	绝对位移值 /mm	延性 系数
上海人工波	415	18.371	7.03	14.06	5.46	56.52	3.85
	1 120	127.57		83.14		216.46	
好莱坞波	382	20.46	6.98	16.28	4.96	49.96	4.32
	1 130	149.78		86.14		212.17	
EMC 波	380	22.64	6.58	14.06	5.15	49.26	4.26
	1 080	147.69		78.67		218.58	
LWD 波	405	23.48	6.32	18.63	4.52	57.86	3.47
	1 060	146.57		89.98		205.88	

较强,符合需求。

2.3.3 地震避难所弹塑性水平位移角

太原是Ⅷ度设防区域,实验地震避难所灾难地震情况下的加速度峰值是 810 gal。实施主体结构变形检测时,应同时实施失效研究以及位移检测,实

验带钢地震避难所的设防目标是“高强度震动下基本运行”,则最高水平位移角度应低于 1/150。不同地震波情况下,实验带钢地震避难所的 X、Y 向最高水平位移角用图 3 描述。

分析图 3 可得,加速度是 810 gal 情况下,在不

同地震波作用下实验带钢地震避难所的水平方向(X、Y)位移角度都不高于1/150,说明采用本文设计方法下的实验带钢避难所结构符合“高强度震动下基本功能正常运行的”规范。

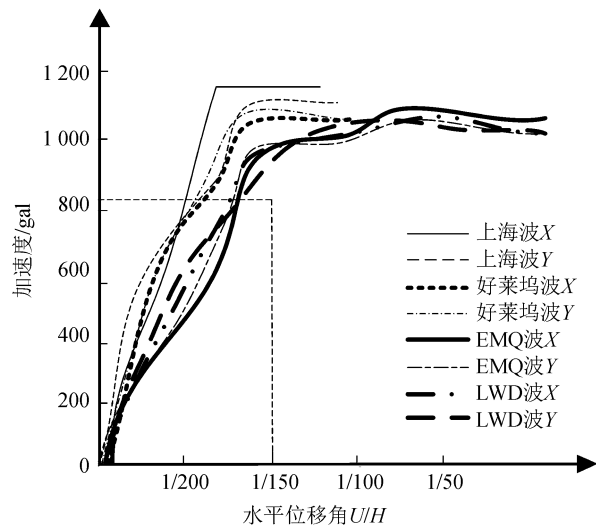


图3 高强度地震下结构水平位移角

Fig.3 Horizontal displacement angle of structure under high intensity earthquake

3 结论

本文对高强度地震下带钢避难建筑实施抗震设计,通过 SAP2000 分析软件对带钢地震避难建筑结构实施动力弹塑性时程研究,选择合理的塑性铰参数值,在建筑周围设置钢支撑的策略对带钢避难建筑实施设计,分析高强度地震下的带钢避难建筑的抗震性能,实验结果表明,高强度地震下采用本文所提设计方法,其带钢避难建筑在的反应优,延性较强,在不同地震波作用下的水平方向位移角满足抗震设防规范,为该领域的提供了理论基础。

参考文献(References)

- [1] 郑晓伟,苏明周,石鲁,等.直接基于位移设计的高强钢组合 K 形偏心支撑钢框架的抗震性能研究[J].地震工程学报,2016,38(5):678-684.
ZHENG Xiaowei, SU Mingzhou, SHI Lu, et al. Seismic Behavior of High Strength Steel Composite K-type Eccentrically Braced Frames with Direct Displacement-based Design Method[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2016, 38(5): 678-684.
- [2] 吕作勇,叶春明,房立华.不同一维速度模型的地震定位效果比较——以小江断裂带为例[J].华南地震,2016,36(3):43-50.
LU Zuoyong, YE Chunming, FANG Lihua. Comparison of Earthquake Location Effect of Different 1D Velocity Model: Application to Xiaojiang Fault Zone[J]. South China Journal of Seismology, 2016, 36(3): 43-50.

- [3] 闫亚汐,刘君阳,栾力文,等.大空间结构抗震加固方法分析研究[J].工程抗震与加固改造,2016,38(1):113-117.
YAN Yaxi, LIU Junyang, LUAN Liwen, et al. Reserch on the the Seismic Strengthening Methods of Large Space Building [J]. Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting, 2016, 38(1): 113-117.
- [4] 崔炜,王洪亮,朱银邦,等.进水塔群与软岩地基的联合作用分析[J].水利水电技术,2016,47(11):44-47.
CUI Wei, WANG Hongliang, ZHU Yinbang, et al. Analysis on Combined Effect of Intake-tower Group and Soft Rock Foundation [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2016, 47(11): 44-47.
- [5] 史华.基于复杂网络的建筑物强震下抗毁性估计模型[J].地震工程学报,2017,39(6):1024-1028.
SHI Hua. Invulnerability Estimation Model of Buildings with Complex Networks under Strong Earthquakes [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2017, 39(6): 1024-1028.
- [6] 程艳秋,商效瑛,郑山锁,等.考虑结构与地震动双重不确定性的混凝土框架建筑地震易损性研究[J].工业建筑,2017,47(1):68-72.
CHENG Yanqiu, SHANG Xiaoyu, ZHENG Shanzuo, et al. Seismic Vulnerability Analysis of Rc Buildings Considering Double Uncertainty of Structure and Ground Motion [J]. Industrial Construction, 2017, 47(1): 68-72.
- [7] 涂佳黄,曹波,洪荣华,等.某带钢塔高层建筑结构风致动力特性分析[J].防灾减灾工程学报,2017(1):169-176.
TU Jiahuang, CAO Bo, HONG Ronghua, et al. Analysis of Wind-induced Dynamic Characteristics of tall Building Structure with Steel Strip Tower [J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2017(1): 169-176.
- [8] 王培先,王超,彭立顺.强震环境下带钢避难建筑抗震模型设计[J].地震工程学报,2018,40(2):213-218.
WANG Peixian, WANG Chao, PENG Lishun. Aseismic Model Design of Steel Strip Refuge Buildings under Strong Earthquakes [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2018, 40(2): 213-218.
- [9] 南力菲,李海旺,赵茜.灾难地震作用下平板网架结构整体安全运行设计方法研究[J].工程抗震与加固改造,2014,36(4):50-55.
NAN Lifei, LI Haiwang, ZHAO Xi. Research on the Design Methods of the Safe Operation of the Integral Plate Truss Structure under the Devastating Earthquake [J]. Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting, 2014, 36(4): 50-55.
- [10] 吴海波,王新妮.圆柱形支撑大跨度建筑结构强震冲击分析模型仿真[J].地震工程学报,2018,40(1):48-53.
WU Haibo, WANG Xinni. Impact Analysis Model Simulation for Long-span Cylindrical Support Building Structures under Strong Earthquakes [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2018, 40(1): 48-53.
- [11] 陈以一,柯珂,贺修樟,等.配置耗能梁的复合高强钢框架抗震性能试验研究[J].建筑结构学报,2015,36(11):1-9.

[11] 雷正新,韩蓓,聂萌,等.配电网大数据环境下的多点负荷预测算法与应用研究[J].电力系统保护与控制,2016,44(23):68-78.
LEI Zhengxin, HAN Bei, NIE Meng, et al. Research and Application of Multi-node Load Forecasting Algorithm under the Environment of Distribution Network's Big Data[J]. Protection and Control of Power System, 2016, 44(23): 68-78.

[12] 姜卫山.横拉闸门轨道磨损机理分析[J].工程建设与设计, 2016, 24(7x): 135-136.
JIANG Weishan. Analysis of Rail Wear Mechanism of Horizontal Pull Gate[J]. Construction & Design for Project, 2016, 24(7x): 135-136.

[13] 史华.基于复杂网络的建筑物强震下抗毁性估计模型[J].地震工程学报, 2017, 39(6): 1024-1028.
SHI Hua. Invulnerability Estimation Model of Buildings with Complex Networks under Strong Earthquakes [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2017, 39(6): 1024-1028.

[14] 郑晋阳,马克俭,魏艳辉,等.超高层装配式正交斜放空间网格盒式筒中筒混合结构在不同场地特征周期下的地震响应[J].贵州大学学报(自然科学版), 2016, 33(6): 83-88.
ZHENG Jinyang, MA Kejian, WEI Yanhui, et al. The Seismic Response of the Assembly Integral Spatial Steel Grid "Tube-in-Tube" Cassette Super High-rise Structures in Different Characteristic Period[J]. Journal of Guizhou University (Natural Science), 2016, 33(6): 83-88.

(上接第 683 页)

CHEN Yiyi, KE Ke, HE Xiuzhang, et al. Experimental Study on Seismic Performance of High Strength Moment Resisting Frames with Energy Dissipation Beams[J]. Journal of Building Structure, 2015, 36(11): 1-9.

[12] 石岩,王军文,秦洪果,等.桥梁抗震挡块研究进展[J].世界地震工程, 2013, 29(2): 90-95.
SHI Yan, WANG Junwen, QIN Hongguo, et al. Review of Recent Development in Seismic Shear Keys of Bridges[J]. World Earthquake Engineering, 2013, 29(2): 90-95.

[13] 张培,张靖岩,王佳,等.城市社区应急避难场所区位配置模型研究[J].中国安全科学学报, 2015, 25(6): 172-176.
ZHANG Pei, ZHANG Jingyan, WANG Jia, et al. Research on Urban Community Emergency Shelter Location-allocation Model[J]. China Safety Science Journal, 2015, 25(6): 172-176.

[14] 杨庚蔚,毛新平,赵刚,等.Ti 微合金化高强度热轧带钢组织性能及强化机理[J].钢铁研究学报, 2016, 28(12): 75-80.
YANG Gengwei, MAO Xinping, ZHAO Gang, et al. Microstructure, Mechanical Properties and Strengthening Mechanisms of Ti Microalloyed High Strength Hot Strip Steel[J]. Journal of Iron and Steel Research, 2016, 28(12): 75-80.

[15] 柳国环,刘伟,赵大海,等.基于 ABAQUS 的超高层建筑动力弹塑性抗震分析[J].计算力学学报, 2016, 33(2): 188-193.
LIU Guohuan, LIU Wei, ZHAO Dahai, et al. Dynamic Elastoplastic Seismic Analysis for a Super High-rise Building Based on ABAQUS[J]. Chinese Journal of Computational Mechanics, 2016, 33(2): 188-193.