

祝叶,罗凡.基于 Revit 平台设计建筑模型的钢网架结构抗震性能数值模拟[J].地震工程学报,2019,41(5):1170-1176.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2019.05.1170

ZHU Ye,LUO Fan.Numerical Simulation of Seismic Performance of Steel Grid Structures Based on a Revit Platform Design Model[J].China Earthquake Engineering Journal,2019,41(5):1170-1176.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2019.05.1170

# 基于 Revit 平台设计建筑模型的钢网架结构 抗震性能数值模拟

祝 叶<sup>1</sup>, 罗 凡<sup>2</sup>

(1. 武汉职业技术学院, 湖北 武汉 430074; 2. 华中科技大学, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 研究基于 Revit 平台设计建筑模型的钢网架结构抗震性能数值模拟方法,对于提高钢网架结构抗震性能以及安全性具有重要应用价值。该方法依据标高和轴网的定位信息设计钢网架建筑构件及结构构件后,通过 Revit 软件平台确定实例钢网架结构建筑模型大体框架;采用绑定约束以及接触约束方法,分别实现建筑模型杆件-梁以及混凝土-型钢间的约束,并采用位移控制加载方法在得到的建筑模型杆顶以及梁与轴线方向加载轴向荷载和往复荷载。采用 TurnTool 虚拟仿真软件,进行钢网架结构抗震性数值模拟。结果显示:在低周往复荷载作用下钢网架结构荷载与位移的变化较为稳定;在低周往复荷载作用下的塑性阶段时,结构的纵向系杆对混凝土存在约束效果,构件间距越小该结构的延性就越好,纵向系杆能够提高实例钢网架结构的受力性;不同地震波作用下钢网架结构楼层节点位移随着楼层的增高而加大,证明了所设计模型的抗震模拟结果准确性较高。

**关键词:** 建筑模型; 网架结构; 数值模拟; 抗震性能; 荷载

中图分类号: TU393.2

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2019)05-1170-07

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2019.05.1170

## Numerical Simulation of Seismic Performance of Steel Grid Structures Based on a Revit Platform Design Model

ZHU Ye<sup>1</sup>, LUO Fan<sup>2</sup>

(1. Wuhan Polytechnic, Wuhan 430074, Hubei, China;

2. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, Hubei, China)

**Abstract:** Research into numerical simulation methods of the seismic performance of steel grid structures based on a Revit platform design building model has important applicative value for improving the seismic performance and safety of steel grid structures. Based on the location of elevation and axle net, this method designs the steel grid structure components, then determines the general framework of the building model of an actual steel grid structure through the Revit software platform. It realizes the constraint between the members and the beams of the building model through binding restraint, and the constraint between concrete and steel section through contact restraint. It adopts the displacement-controlled loading method to carry out the axial and

收稿日期:2018-09-06

基金项目:国家自然科学基金项目(11401235)

第一作者简介:祝 叶(1976-),女,湖北武汉人,硕士,副教授,研究方向:结构工程。E-mail:zhuyewh123@yeah.net。

reciprocating loads on the pole top of the building model and along the beam and axis directions, and uses TurnTool virtual simulation software to simulate the seismic behavior of the steel grid structure. Results of an application of this method showed that the change of load and displacement of the steel grid structure under low cyclic reciprocating load was relatively stable. In the plastic stage, under low cyclic reciprocating load, the longitudinal tie bar of the structure had a restraining effect on the concrete. The smaller the spacing was between members, the better was the ductility of the structure. The longitudinal tie bar improved the force behavior of the sample steel grid structure. The seismic simulation results of the designed model were highly accurate.

**Keywords:** building model; grid structure; numerical simulation; seismic performance; load

## 0 引言

近年来地震在我国境内频繁发生,地震过后建筑物都存在不同程度的损坏,甚至人员伤亡严重,因此建筑物抗震性能的好坏直接影响地震所带来的危害程度,而钢网架结构作为主要的建筑结构得到了广泛的应用<sup>[1]</sup>。钢网架结构形式的不同,使得其抗震性也不同。传统的混凝土建筑结构建造的房屋虽然受压能力好,但是抗震效果并不理想,地震循环负荷下房屋容易发生坍塌。而钢网架结构因为具有良好的延展性,且该延展性可以将地震产生的地震波消除<sup>[2]</sup>,从而降低了地震反应。由于其具有较高的抗震性能,因此广泛应用在不同领域中。

为了检测钢网架结构的抗震性能,本文提出钢网架结构抗震性能数值模拟方法,利用 Revit 平台设计建筑模型,模拟钢网架结构在地震作用下的抗震性能,以期对抗震性能检测研究提供重要依据<sup>[3]</sup>。

## 1 基于建筑信息软件构建模型

### 1.1 工程概况

以某高层建筑作为研究对象,其为 12 层钢框架结构建筑,包括地上 11 层,地下 1 层。该建筑的结构长宽比为 3.9,结构高宽比为 4.2,檐口标高 35.7 m,而对应的标准规范值分别为 3、6 及 70 m,其基本符合规范要求。

### 1.2 建筑模型的构建

在建筑工程项目数据的条件下,通过使用数字信息仿真得到真实信息,并利用该真实信息构建的三维建筑模型称为建筑模型<sup>[4-5]</sup>。本文中主要利用 Revit 平台构建建筑模型。

使用 Revit 软件构建钢网架建筑模型时,标高和轴网可以作为模型内各构件的空间定位关系,钢网架建筑结构与构件间三维协同设计工作以该定位关系为基础,在 Revit 软件平台上构建钢网架建筑模型。依据标高和轴网的定位信息对钢网架建筑构件及结构构件进行设计,是 Revit 软件的常用设计

方式,建筑构件包含主体钢架、连接点、连杆等部分,而结构构件包含钢柱、梁、板等部分。

在标高和轴网都设置好的前提下,连杆基本单元就要按照轴线位置和参照平面进行设置<sup>[6-7]</sup>,在连杆基本建筑单元上安装连接点和框架等次要单元,这些次要单元的设置可以通过软件直接载入实现,也可以通过对材质、尺寸、颜色等因素进行自主设置实现<sup>[8]</sup>。当初步的平面效果图完成后,在封闭的空间中的相应位置添加所需的其他建筑构件,形成整体的钢网架结构平面图。

由此将结构单元和立面剖面视图载入到 Revit 软件平台内,需要提前对梁、杆、板等部分进行属性设置,并对平面图进行属性编辑,连杆相同的无需再次编辑,可以使用复制功能对梁、杆、板属性进行复制<sup>[9-10]</sup>。最终得到实例的钢网架结构建筑模型大体框架。图 1 为实例中部分建筑构件;图 2 为实例中部分结构构件;其建筑立面图 3 所示。

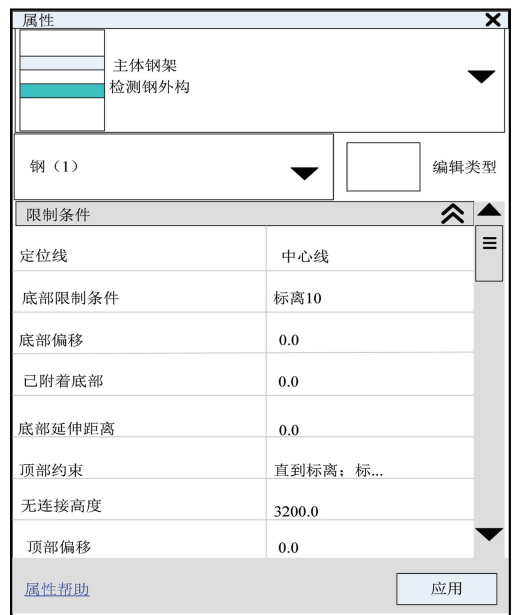


图 1 建筑构件

Fig.1 Building components



图2 结构构件

Fig.2 Structural components

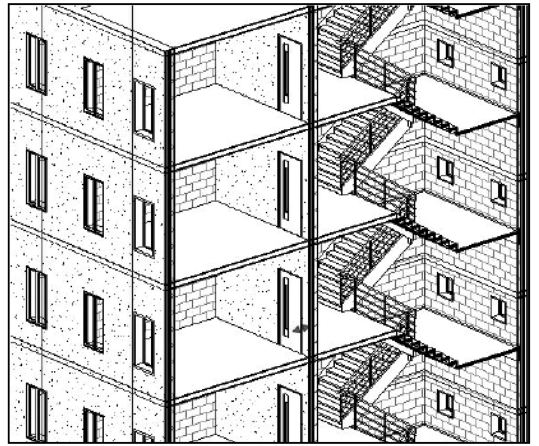


图4 部分楼层内部细节图

Fig.4 Details of some floors

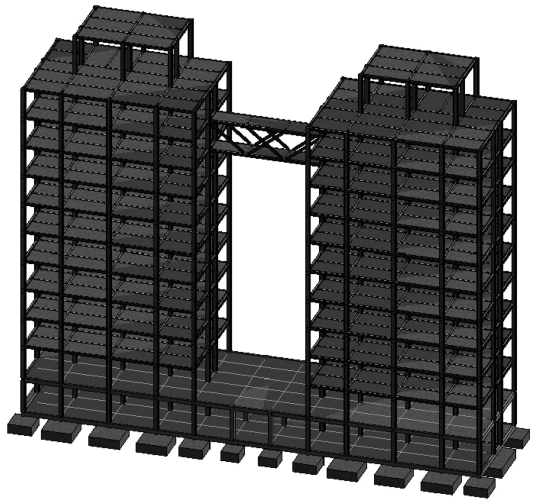


图5 建筑模型

Fig.5 Building model

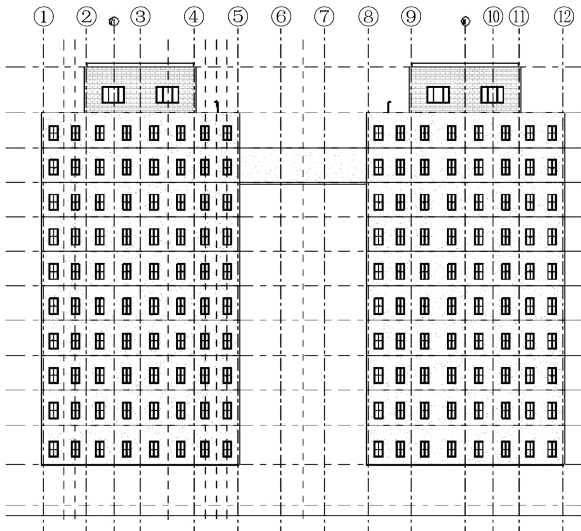


图3 建筑立面图

Fig.3 Building elevation

所设计的部分楼层内部细节图以及整体建筑模型如图4、图5所示。

### 1.3 材料性能指标及其本构关系

构建钢网架结构信息模型前,需要确定钢材和本构关系<sup>[11]</sup>,首先对钢材性能指标及其本构关系进行分析:假设型钢使用Q235钢,其弹性模量为 $2.08 \times 10^{11}$  Pa,泊松比为0.3,屈服强度为 $2.59 \times 10^8$  Pa,且系杆钢筋使用HPB300钢,其弹性模量为 $2.15 \times 10^{11}$  Pa,泊松比为0.3,屈服强度为 $3.12 \times 10^8$  Pa。

### 1.4 模型约束关系及施加荷载

杆件和梁间的约束通常使用绑定约束方法,将系杆同梁连接,而梁和型钢间的约束一般使用接触约束方法<sup>[12]</sup>。钢网架结构建筑模型边界条件对影响收敛有重要作用,建筑模型在杆底设置固定约束,这样能够使模拟结果接近于实际结果<sup>[13]</sup>。

在钢网架结构建筑模型杆顶以及梁与轴线方向分别增加轴向荷载和往复荷载。单相往复荷载包含位移控制加载、力控制加载、力-位移混合控制加载三部分<sup>[14]</sup>,加载前需要确定构件屈服点。本文采用位移控制加载方法,位移控制加载包括变幅加载、等幅加载以及变幅和等幅混合加载<sup>[15]</sup>。本文通过位移控制变幅加载法确定钢网架结构建筑模型的恢复力特性和建立恢复力模型,加载结构的位移曲线图用图6描述。

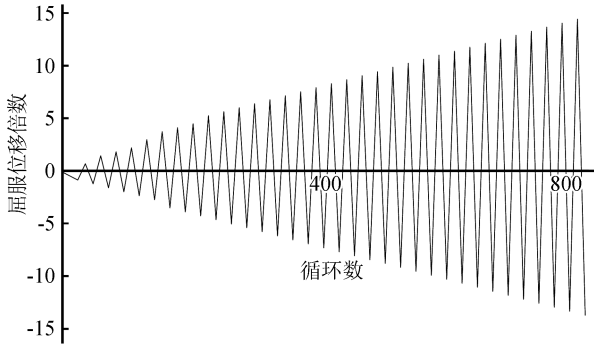


图 6 位移加载曲线

Fig.6 Displacement loading curve

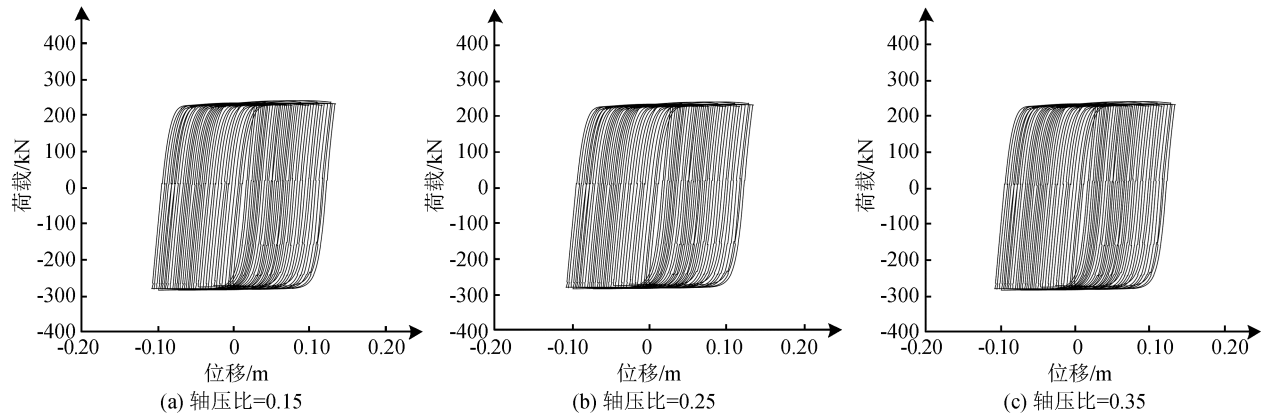


图 7 不同轴压比的滞回曲线

Fig.7 Hysteretic curves with different axial compression ratios

通常为“强杆弱梁”,则实例钢网架结构内的构建刚好符合该抗震设计原则。

由图 7 可看出,当轴压比取值分别为 0.15、0.25、0.35 时,实例钢网架结构滞回曲线没有变化,滞回曲线不随轴压比的变化而改变,说明实例钢网架结构在低周往复荷载作用下的荷载-位移稳定性高。

### 2.2 骨架曲线

骨架曲线是对低周反复荷载实验中实例钢网架结构构件各项性能特征的一种反馈。其性能主要包括:耗能能力、延性、强度、刚性等,这些性能也是钢网架结构抗震性能数值模拟分析的凭证。阶段的不同会影响建筑模型构件所能承受的力度和所发生的形状差异,图 8 为不同轴压比的实例钢网架结构骨架曲线。从中可看出,实例钢网架结构在低周往复荷载作用下,构件延性随着轴压比的增大而降低。

图 9 为实例钢网架结构不同系杆间距骨架曲线。由该图可知,整体骨架曲线有两个阶段,当实例钢网架结构在低周往复荷载作用下的弹性阶段时,抗震性能不随系杆间距的改变而变化;当实例钢网架结构在低周往复荷载作用下的塑性阶段时,结构

## 2 数值模拟结果分析

采用 TurnTool 虚拟仿真软件,依据上述构建的钢网架结构建筑模型以及相关模型约束关系及施加荷载条件下,进行钢网架结构抗震性能数值模拟,详细结果如下:

### 2.1 滞回曲线

实例钢网架结构在低周往复荷载作用下产生的曲线叫做的荷载-位移滞回曲线,如图 7 所示。该曲线形状为饱满梭形,由于梭形的形状并不稳定,具有变化性较强、耗能能力强的特征。抗震设计的原则

的纵向系杆对混凝土存在约束效果,构件间距越小该结构的延性就越好,因此纵向系杆能够提高实例钢网架结构的受力性。

### 2.3 地震作用下弹性时程分析

完全动力就是对地震作用下时间过程的分析,它包含两种方法:一种是阵型分解法,另外一种逐步积分法。当发生弹性地震时,需要采用阵型分解

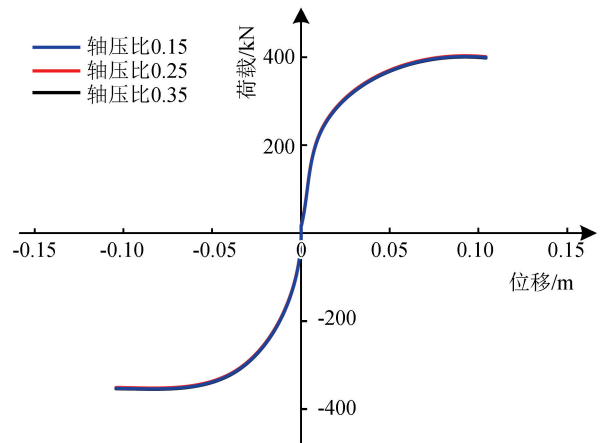


图 8 不同轴压比的骨架曲线

Fig.8 Skeleton curves with different axial compression ratios

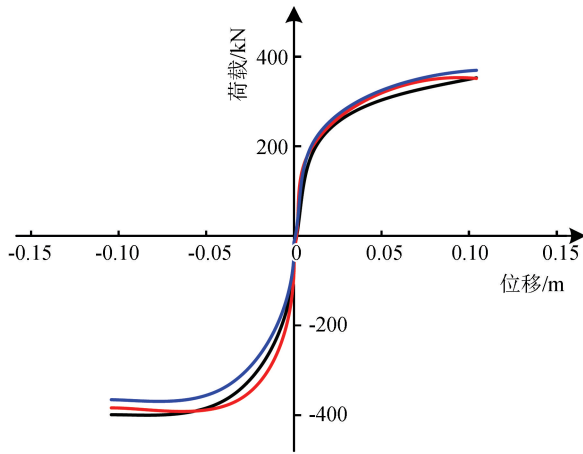


图9 不同系杆间距的骨架曲线

Fig.9 Skeleton curves with different tie spacing

法进行分析,逐步积分法可以同时弹性地震和非弹性地震进行分析。地震波和结构恢复力特性曲线都可被提前指定,逐步积分法通过这两项指定的信息对动力方程式进行积分计算,获取实例钢网架结构在地震各个时刻的位移、速度、加速度的变化情况,有利于分析地震作用下钢网架结构内力变化和破坏过程。逐步积分法优势体现在提供的信息量大且精准度高,经常作为一种补偿方法应用于复杂高层建筑抗震设计中。

采用 SAP2000 软件获取地震作用下反应谱结果如表 1、表 2 所列。

表 1 地震作用下反应谱分析结果

Table 1 Analysis results of response spectrum under earthquake action

楼层	纵向	
	楼层节点位移/mm	层间位移角/rad
1	8.1	1/610
2	17.1	1/398
3	25.8	1/370
4	34.4	1/374
5	42.5	1/397
6	49.9	1/434
7	56.6	1/479
8	62.4	1/554
9	67.1	1/683
10	70.4	1/969

表 2 反应谱分析结果

Table 2 Analysis results of response spectrum

方向	顶点位移 $\Delta$ /mm	$\Delta/H$	最大 $\delta/h$	出现位置
纵向	75.7	1/489	1/370	第 3 层

为了提高钢网架结构地震作用评估的准确性,要求地震波特征周期与场地特征周期相接近,地震

波持续时间为钢网结构基本周期的 5~10 倍,在中震作用下(地震峰值加速度为 0.3g),使用 El-Centro 波和 Taft 波作为地震记录波,Lanzhou 波作为人工波,地震记录波时间间隔为 0.02 s,持续时间只对前 13 s 进行截取。

对实例钢网结构进行地震波发送,表 3 和表 4 为采用 SAP2000 软件分析获取的实例钢网结构时程分析数据。

表 3 时程分析下楼层节点位移/mm

Table 3 Displacement time-history analysis of floor joints/mm

楼层	纵向/mm		
	El-Contro 波	Taft 波	Lanzhou 波
1	6.30	7.40	8.00
2	13.40	13.20	15.10
3	20.40	18.56	22.10
4	27.20	23.26	26.60
5	33.70	27.86	30.70
6	39.80	32.24	34.46
7	46.50	36.03	37.76
8	50.80	39.63	40.76
9	55.00	42.95	43.20
10	58.10	45.85	44.57

从表 3 中可看出,在 3 种波的作用下钢网架结构楼层节点位移随着楼层的增高而加大。

表 4 时程分析下楼层纵向层间位移角包络位移/mm

Table 4 Envelope displacement time-history analysis of story drift ratio in the longitudinal direction /mm

楼层	纵向		
	El-Contro 波	Taft 波	Lanzhou 波
1	1/776	1/658	1/610
2	1/509	1/626	1/510
3	1/459	1/596	1/458
4	1/473	1/682	1/713
5	1/494	1/698	1/782
6	1/527	1/733	1/852
7	1/554	1/846	1/971
8	1/617	1/889	1/1 068
9	1/764	1/967	1/1 335
10	1/1 034	1/1 105	1/2 344

从表 4 中可看出,在 3 种波的作用下钢网架结构楼层纵向层间位移角包络位移以第三层为中间点,在一层和二层时随着楼层的增高而降低,但从第四层开始随着楼层的增高而加大。

时程分析下实例钢网架结构各楼层节点位移以及楼层纵向层间位移角包络位移的包络图分别用图 10 和图 11 描述。

从图 10、图 11 中可看出,在 3 条地震波作用下钢网架结构的节点位移趋势较为相似,且与表 1 显示的基于 SAP2000 软件获取的反应谱分析趋势基

本一致。分析表5可得,本文方法模拟获取的实例钢网架结构在顶点位移小于表 2 显示的反应谱分析下的数值;在层间位移角方面,时程分析下层间位移角符合《建筑抗震设计规范》的不大于 1/250 要求,表明钢网架结构具有很好的抗震性能,且最大层间位移角出现位置同反应谱分析下的位移角出现位置都是第三层。虽然3种波作用下的层间位移角在细

微处存在差异,但因为钢网架结构在 3 种波的作用下存在不同反应,所以整体趋势表现一致。

### 3 结论

本文提出基于建筑模型的钢网架结构抗震性能数值模拟方法,模拟得出实例钢网架结构滞回曲线没有变化,滞回曲线不随轴压比的变化而改变,实例钢网架结构在低周往复荷载作用下的荷载-位移稳定性高;结构在低周往复荷载作用下的弹性阶段时,抗震性能不随系杆间距的改变而变化,纵向系杆能够增强结构受力性;不同地震波作用下钢网架结构楼层节点位移随着楼层的增高而加大,楼层纵向层间位移角包络位移以第三层为中间点,在一层和二层时随着楼层的增高而降低,从第四层开始随着楼层的增高而加大,表明钢网架结构具有很好的抗震性能。这些模拟结果能为提高钢网架结构抗震性能提供可靠的研究依据。

### 参考文献(References)

[1] 冷平,史占宽,乔文涛,等.基于 BIM 的二维码技术在钢结构施工中的应用[J].施工技术,2017,46(18):93-95.  
LENG Ping, SHI Zhankuan, QIAO Wentao, et al. Application of QR Code Technology Based on BIM in Steel Structure Construction[J]. Construction Technology, 2017, 46(18): 93-95.

[2] 李天,丁庆瑞,樊嘉. BIM 技术在工业钢结构建筑改造设计中的应用研究[J]. 建筑科学, 2017, 33(11): 87-91.  
LI Tian, DING Qingrui, FAN Jia. Application Study of BIM Technology in the Steel Structure Design of Industrial Reconstruction Project[J]. Building Science, 2017, 33(11): 87-91.

[3] 吴平川,谭露露,郭飞鹏. 部分包裹型钢混凝土框架结构抗震性能数值模拟研究[J]. 钢结构, 2017, 32(3): 13-15, 6.  
WU Pingchuan, XIE Lulu, GUO Feipeng. Study on Seismic Performance of Partially Encased Steel Concrete Composite Frame[J]. Steel Construction, 2017, 32(3): 13-15, 6.

[4] PENG S, XU C X, LU M X, et al. Experimental Research and Finite Element Analysis on Seismic Behavior of CFRP-Strengthened Seismic-Damaged Composite Steel-Concrete Frame Columns[J]. Engineering Structures, 2018, 155: 50-60.

[5] HU F X, SHI G, SHI Y J. Experimental Study on Seismic Behavior of High Strength Steel Frames: Global Response[J]. Engineering Structures, 2017, 131: 163-179.

[6] WANG B, JIANG H J, LU X L. Experimental and Numerical Investigations on Seismic Behavior of Steel Truss Reinforced Concrete Core Walls[J]. Engineering Structures, 2017, 140: 164-176.

[7] 商波,万里波,谭晓晶,等. 某大型体育场安全性鉴定及抗震性能数值模拟[J]. 工程抗震与加固改造, 2016, 38(5): 131-135, 125.  
SHANG Bo, WAN Libo, TAN Xiaojing, et al. Safety Appraisal

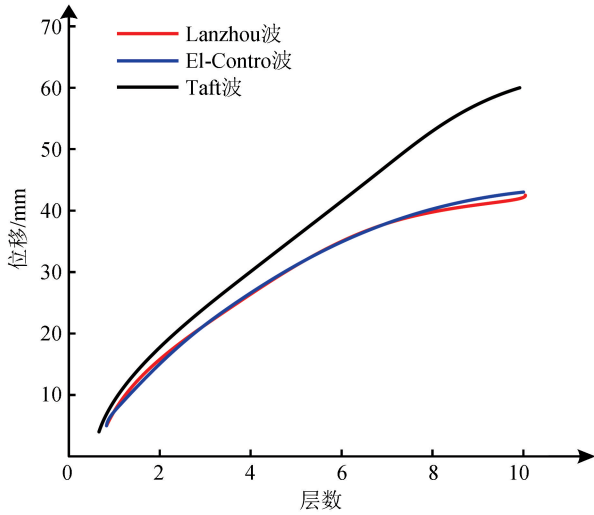


图 10 时程分析下楼层纵向节点位移包络图

Fig.10 Envelope diagram of longitudinal node displacement based on time history analysis

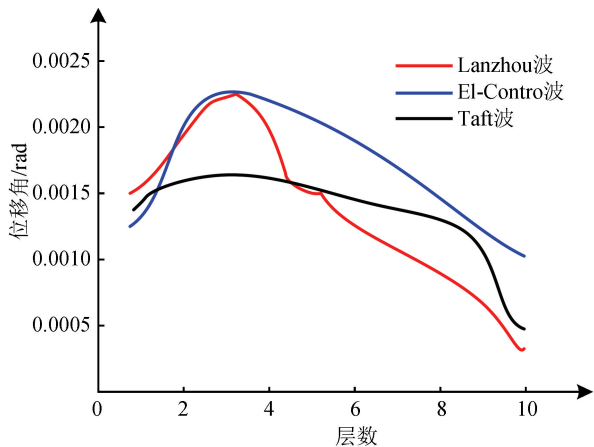


图 11 时程分析下楼层纵向层间位移角包络图

Fig.11 Envelope diagram of longitudinal inter-story drift ration based on time history analysis

表 5 本文方法时程分析结果

Table 5 Time history analysis results of the proposed method

参数	顶点位移 $\Delta/mm$	$\Delta/H$	最大 $\delta/h$	出现位置
纵向 El-Centro 波	62.70	1/588	1/459	第三层
纵向 Taft 波	48.50	1/760	1/596	第三层
纵向 Lanzhou 波	46.47	1/793	1/458	第三层

- and Seismic Performance Simulation of a Large Stadium[J]. Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting, 2016, 38(5):131-135,125.
- [8] SIMASATHIEN S, JIANSINLAPADAMRONG C, CHAO S H. Seismic Behavior of Special Truss Moment Frame with Double Hollow Structural Sections as Chord Members[J]. Engineering Structures, 2017, 131:14-27.
- [9] 刘科元,李海滨.地震引起建筑结构损伤可靠性预测仿真[J]. 计算机仿真, 2017, 34(1):423-426.  
LIU Keyuan, LI Haibin. Prediction and Simulation of Damage Reliability of Building Structure Caused by Earthquake[J]. Computer Simulation, 2017, 34(1):423-426.
- [10] NAQVI S, MAHMOUD K, EL-SALAKAWY E. Effect of Axial Load and Steel Fibers on the Seismic Behavior of Lap-Spliced Glass Fiber Reinforced Polymer-Reinforced Concrete Rectangular Columns[J]. Engineering Structures, 2017, 134:376-389.
- [11] LIU L, ZHAO J X, LI S. Nonlinear Displacement Ratio for Seismic Design of Self-Centering Buckling-Restrained Braced Steel Frame Considering Trilinear Hysteresis Behavior[J]. Engineering Structures, 2018, 158:199-222.
- [12] LI Liang, SHI Peixin, DU Xiuli, et al. Using Numerical Simulation to Determine the Seismic Response of Coastal Underground Structures in Saturated Soil Deposits[J]. Journal of Coastal Research, 2017, 33(3):583-595.
- [13] REN F M, CHEN J W, CHEN G M, et al. Seismic Behavior of Composite Shear Walls Incorporating Concrete-Filled Steel and FRP Tubes as Boundary Elements [J]. Engineering Structures, 2018, 168:405-419.
- [14] 王娟.高层建筑在连续振动下的壁板结构失稳定 BIM 模型设计[J].地震工程学报, 2018, 40(3):413-420.  
WANG Juan. Panel Structure Instability BIM Model Design of High-Rise Buildings under Continuous Vibration [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2018, 40(3):413-420.
- [15] 申彤,闫维明,周大兴,等.超高层建筑施工塔吊的动力特性和地震响应规律[J].科学技术与工程, 2017, 17(27):255-262.  
SHEN Tong, YAN Weiming, ZHOU Daxing, et al. Seismic Response and Dynamic Characteristics of Cranes on High-Rise Buildings[J]. Science Technology and Engineering, 2017, 17(27):255-262.
- \*\*\*\*\*
- (上接第 1146 页)
- [11] 周绪红,管宇,石宇.多层冷弯薄壁型钢结构住宅抗震性能分析[J].建筑钢结构进展, 2017, 19(6):10-15,50.  
ZHOU Xuhong, GUAN Yu, SHI Yu. Seismic Performance Analysis of Multi-Story Cold-Formed Thin-Walled Steel Structure Residential Buildings[J]. Progress in Steel Building Structures, 2017, 19(6):10-15,50.
- [12] 包恩和,李风勇,李丽,等.露出型钢柱脚强度对低多层规则钢框架抗震性能的影响[J].科学技术与工程, 2016, 16(17):93-99.  
BAO Enhe, LI Fengyong, LI Li, et al. Influence of Strength of Exposed Steel Column Foot to Anti-seismic Performance of Steel Frames of Low-layer and Multi-layer[J]. Science Technology and Engineering, 2016, 16(17):93-99.
- [13] 李伯维,张耀庭.基于 Pushover 的多层钢筋混凝土框架结构设计及抗震性能分析[J].建筑技术, 2016, 47(5):392-395.  
LI Bowei, ZHANG Yaoting. Design and Seismic Performance Analysis of Multi Story Reinforced Concrete Frame Structure Based on Pushover Analysis [J]. Architecture Technology, 2016, 47(5):392-395.
- [14] 张鹏,王艺环,秦国晋.非随机过程的地震激励下埋地压力管道的非概率可靠性分析[J].中国安全生产科学技术, 2018, 14(6):134-141.  
ZHANG Peng, WANG Yihuan, QIN Guojin. Non-probabilistic Reliability Analysis of Buried Pressure Pipeline under Non-random Process Earthquake Excitation[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2018, 14(6):134-141.
- [15] 华德峰,卞超,甘强,等.一起 220 kV 变压器绕组变形故障分析[J].江苏电机工程, 2015, 34(2):15-17.  
HUA Defeng, BIAN Chao, GAN Qiang, et al. Analysis of 220 kV Transformer Winding Deformation[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2015, 34(2):15-17.