

李培荣,张泽平.大跨度空间钢结构支吊架的施工抗震技术研究[J].地震工程学报,2018,40(5):926-931.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.05.926

LI Peirong, ZHANG Zeping. Seismic Construction Technology for Long-span Space Steel Structure Hangars[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2018, 40(5): 926-931. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2018.05.926

大跨度空间钢结构支吊架的施工抗震技术研究

李培荣¹, 张泽平²

(1. 山西交通职业技术学院, 山西 晋中 030600; 2. 太原理工大学, 山西 太原 030024)

摘要: 为保证大跨度空间钢结构支吊架抗震施工技术在城市建设与规划过程中发挥积极效用,需对其进行研究。提出一种基于 BIM 技术的大跨度空间钢结构支吊架的抗震施工方法,该方法介绍大跨度空间钢结构支吊架的组成及其抗震施工布置要求、施工依据和施工工序,并阐述 BIM 技术在钢结构支吊架结构抗震施工中的具体应用,包括施工流程和施工原则。通过模拟工程实例分析证明,采用 BIM 技术进行抗震施工后的大跨度空间钢结构支吊架试件的承载力和抗侧刚度均有明显提升,在地震发生初期承担了建筑结构的大部分地震内力,具有较好的抗震性能。

关键词: 大跨度空间; 钢结构; 支吊架; 施工抗震技术

中图分类号: TU81

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2018)05-0926-06

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2018.05.926

Seismic Construction Technology for Long-span Space Steel Structure Hangars

LI Peirong¹, ZHANG Zeping²

(1. Shanxi Traffic Vocational and Technical College, Jinzhong 030600, Shanxi, China;

2. Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, Shanxi, China)

Abstract: To ensure the active application of seismic construction technology of long-span space steel structure hangars in urban construction and planning, it is necessary to study the seismic technology of these hangars. This paper proposes a seismic construction method for such hangars based on building information modeling (BIM) technology. This method introduces composition, seismic construction requirements, construction basis, and the construction procedure of long-span space steel structure hangars, and describes the specific application of BIM technology in seismic construction of these structures, including construction process and construction principle. A simulation engineering example analysis proved that after seismic construction using BIM technology, the bearing capacity and lateral stiffness of long-span space steel structure hangars were clearly improved, and the structure bore most of the seismic internal forces of the building

收稿日期: 2017-08-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(2011011014-3); 山西省科技厅软科学项目(900102-03000806)

第一作者简介: 李培荣(1973—), 女, 山西原平人, 硕士, 副教授, 主要研究方向: 职业教育、公路工程。

通信作者: 张泽平(1964—), 男, 山西原平市人, 博士研究生, 教授, 主要研究方向: 施工管理。E-mail: zzp319@sina.com。

structure in the early stage of an earthquake.

Keywords: large-span space; steel structure; hanger; construction seismic technology

0 引言

建筑信息模型 (Building Information Modeling)是以建筑工程项目的各项相关信息数据作为基础建立的三维建筑模型,通过数字信息仿真模拟建筑物所具有的真实信息。它具有信息完备性、信息关联性、信息一致性、可视化、协调性、模拟性、优化性和可出图性八大特点。它不是简单地将数字信息进行集成,而是一种数字信息的应用,并可以用于设计、建造、管理的数字化方法。随着国内建筑设计领域的发展,BIM 已经初步应用于建筑工程行业并彰显了其巨大的商业价值,但目前 BIM 的应用现状还存在很大的局限性,BIM 引领的建筑工程领域的革命所创造的经济效益和社会效益还只是冰山一角。

大跨度空间钢结构支吊架在我国近年来的建筑施工中得到了广泛应用,特别是我国法律法规明文规定对于抗震设防烈度在Ⅵ度及以上城市和地区的建筑必须采用抗震施工技术^[1]。经过数次实践证明,建筑物的倒塌绝大多数是由于地震灾害频发导致的,这主要归结于多数建筑工程缺乏规范化统一管理,而且抗震施工技术相对落后。在地震灾害发生时,地球表面的地壳内部聚集了较大的能量无法释放,此时这部分聚集的强大能量会以能量波的形式向地壳周围扩散开来,破坏周围的建筑物,而建筑物受到地震波的影响会产生剧烈震动,并发生严重破坏甚至倒塌。现有的大跨度空间钢结构支吊架无法抵挡强烈地震,特别是中高强度的地震,其所引发的支吊架倒塌不仅会给施工企业带来经济损失,还会危及人们的生命安全^[2]。

传统的支吊架抗震施工技术只是将地震当做一种力作用的结果,单纯增加支吊架的刚度和强度,属于一种被动的抗震施工技术方法,其抗震性能一般;而主动式抗震施工技术形式是通过减小支吊架本身的阻尼系数以增加其对地震的抵挡能力。随着抗震施工技术的不断发展和成熟,大跨度空间钢结构支吊架抗震施工设计效果不断呈现,为了更好地实现抗震施工效果在支吊架中的应用,应该遵循以下三点原则:一是应该坚持稳固支吊架在建筑物之间的连接构件,增强建筑连接构件的延展性和抗震性能;二是在支吊架设计初期时应该给出连续完整的抗震施工设计方案,保证建筑工程的整体抗震性;三是在

设计支吊架时应该保证大跨度空间钢结构支吊架在横、竖两个方向上都拥有足够大的强度,以最大限度降低其在地震灾害中的破坏程度^[3]。

1 大跨度空间钢结构支吊架的抗震施工方案设计

大跨度空间钢结构支吊架通常是由支吊架锚固体、支吊架加固吊杆、支吊架斜撑以及支吊架的各种连接构件四部分组成的^[4]。在对支吊架进行抗震施工的过程中,要求钢结构支吊架螺旋与建筑物管线节点之间的距离不得超过 100 mm,在进行抗震施工时需要钢结构支吊架螺杆进行加固,保证钢结构支吊架的稳定性。如果抗震施工空间充足,还可以在建筑物管道两侧分别构建一个方向完全相反但形状类似的钢结构支吊架斜撑,这两个斜撑之间的相互作用能够使得建筑物的整体稳定性更好,也可以通过这种方式代替钢结构支吊架螺杆。由于建筑物中硬度较大的刚性管线在地震发生时破坏程度较大,在对大跨度空间钢结构支吊架进行抗震施工时应该尽可能扩展^[5]。

1.1 大跨度空间钢结构支吊架的施工依据

对大跨度空间钢结构支吊架的抗震施工需要按照一定的施工原则和施工规范进行,在不同的建筑工程结构中所遵循的抗震施工原则和施工规范各不相同,施工后建筑工程对地震烈度的承受力也有所差异。当地震发生时,大跨度空间钢结构支吊架能够在横向和纵向对电气系统、供排水系统、空调系统等进行限制性位移,避免其在地震过程中发生碰撞而影响正常运行和使用^[6]。

大跨度空间钢结构支吊架对建筑物中的电气系统、供排水系统、空调系统等具有一定的保护作用,因此在其抗震施工过程中需充分考虑各个系统在地震发生时所需的抗震能力,施工后的效果则需要保证其能较为全面地保护建筑物内部结构以及电气系统、供排水系统、空调系统等不被破坏或减小破坏程度。

对于水平方向的地震负荷可以由两个不同方向的大跨度空间钢结构支吊架共同承担,即横向钢结构支吊架负责承担横向地震负荷,纵向钢结构支吊架负责承担纵向地震负荷。所有钢结构支吊架必须

与建筑结构体进行可靠连接(主要分为刚性连接和柔性连接)。大跨度空间钢结构支吊架的刚性连接是指与建筑物钢筋混凝土等结构的连接,在二者进行连接之前需要对建筑物钢筋混凝土结构的硬度和刚度进行准确测试和计算,确定结构的布局 and 性能后再对钢结构支吊架进行抗震施工;大跨度空间钢结构支吊架的柔性连接主要是与建筑物钢结构之间的连接^[7]。

对大跨度空间钢结构支吊架进行安装和布置时采用的抗震施工技术都必须以力学计算结果为基础。《建筑机电工程抗震设计规范(GB50981-2014)》规定建筑物的地震承受力必须满足该规范要求,假设 Y 表示大跨度空间钢结构支吊架的功能系数; η 表示大跨度空间钢结构支吊架的类别系数; ζ_1 和 ζ_2 分别表示大跨度空间钢结构支吊架的状态系数和位置系数; $\alpha_{\max}$ 表示大跨度空间钢结构支吊架地震影响系数最大值; G 表示大跨度空间钢结构支吊架的重力,根据等效侧理法计算地震过程中的建筑物水平地震力,计算公式如下:

$$F=Y\eta\zeta_1\zeta_2\alpha_{\max}G \quad (1)$$

根据式(1),在计算过程中,针对建筑物中不同类型、不同组合方式以及不同间距的大跨度空间钢结构支吊架,得到建筑物间距区间范围内所有管道的重力荷载值;再根据《建筑机电工程抗震设计规范(GB50981-2014)》获得所计算的大跨度空间钢结构支吊架的各项参数值,从而得到其水平地震力。依据计算结果设计大跨度空间钢结构支吊架的抗震施工布置形式,对每一个构件的受力情况进行分析,得到每个构件的截面形式以及相应尺寸。

在上述计算基础上对大跨度空间钢结构支吊架进行抗震施工,除此之外,还应该对其距离及时进行调整,保证其抗震性^[8]。

1.2 大跨度空间钢结构支吊架的抗震施工具体方案

在对建筑物中大跨度空间钢结构支吊架进行布置时要注意其与建筑物管道之间的间距,二者之间的距离要控制在 12 m 之内,HDPE 管线等相对柔韧性较高的管线与钢结构支吊架之间的横向间距也不得大于 6 m;在对建筑物中大跨度空间钢结构支吊架进行纵向布置时要求其 with 管道之间间距相对宽松,对于其在连接较硬管道结构时,纵向间距要求不大于 24 m,HDPE 管线等相对柔韧性较高的管线与钢结构支吊架之间的横向间距也不得

大于 12 m。

(1) 大跨度空间钢结构风管支吊架的横向间距和纵向间距分别要求小于 9 m 和 18 m;

(2) 大跨度空间钢结构电缆支吊架的最大横向间距和纵向间距分别要求不超过 12 m 和 24 m;

1.3 大跨度空间钢结构支吊架抗震施工步骤

利用专业人员对大跨度空间钢结构支吊架所保护结构进行测量和分析,了解被保护结构的基本信息,设计大跨度空间钢结构支吊架的布置与被保护结构之间的连接方式(刚性连接或柔性连接)^[9];大跨度空间钢结构支吊架下料安装:将大跨度空间钢结构支吊架结构材料下料,准确安装布置前的材料,做好安装前准备;大跨度空间钢结构支吊架拧爆安装。

(1) 在垂直方向上安装和稳定大跨度空间钢结构支吊架结构;

(2) 在水平方向上安装和稳定大跨度空间钢结构支吊架结构;

(3) 对垂直方向上和水平方向上安装的大跨度空间钢结构支吊架结构进行检查和加固,确保建筑物总体结构的抗震性和稳定性;

(4) 安装大跨度空间钢结构支吊架结构斜撑。

1.4 BIM 技术在钢结构支吊架结构抗震施工中的应用

图 1 给出了大跨度空间钢结构支吊架抗震施工流程。通过引入建筑对象,反映建筑空间、建筑结构、连接构件之间的位置关系,利用 BIM 技术对于安装大跨度空间钢结构支吊架时的用料统计具有极大的便利性,这也是传统的 CAD 所不具备的。从大跨度空间钢结构支吊架用料数量的统计,到每一个钢结构支吊架类型的属性都可以通过 BIM 技术获得。

基于 BIM 技术的大跨度空间钢结构支吊架材料管理是整个建筑工程抗震施工设计全过程的信息管理,例如欧美的大跨度空间钢结构支吊架抗震施工流程:大跨度空间钢结构支吊架预埋件—大跨度空间钢结构支吊架过渡横梁—大跨度空间钢结构支吊架悬吊安装,其中大跨度空间钢结构支吊架预埋件的预埋位置是否精准则需要 BIM 技术的高精度模拟与抗震施工的完美结合^[10]。

综合建筑对象各类管线布置应充分考虑建筑物供排水、消防安全、机电安装、空调系统等空间位置

关系及其与大跨度空间钢结构支吊架之间的关系,通常情况的抗震施工原则如下:

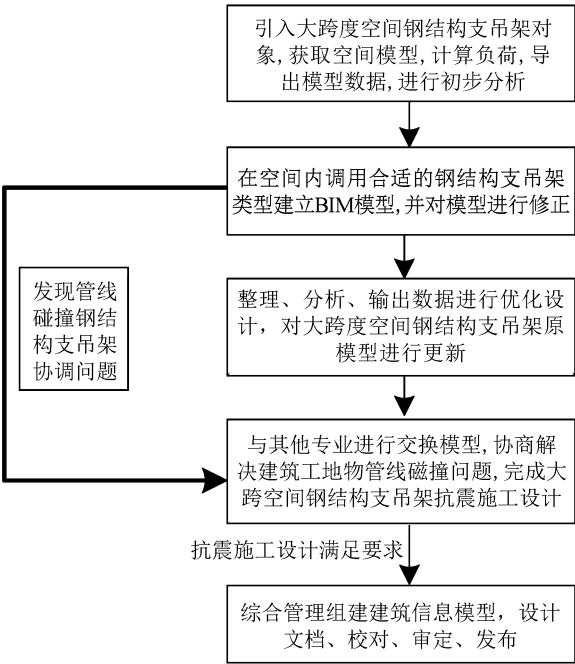


图 1 大跨度空间钢结构支吊架抗震施工流程

Fig.1 Seismic construction process of large-span space steel structure hanger

(1) 建筑对象大跨度空间钢结构支吊架各类管线布置过程中还应该综合考虑实际情况,遵循有压管线让无压管线、小型管线让大型管线、管线布置简单让管线布置较难的三项避让原则。

(2) 大跨度空间钢结构支吊架抗震施工节点图最终成形时,应该保证其抗震施工平面图与剖面图的位置一致性和高度一致性,同时需要充分考虑建筑物内管线周围的墙体、梁、柱等混凝土结构并将这些结构清晰地展现在大跨度空间钢结构支吊架抗震施工最终节点图中。其中在对大跨度空间钢结构支吊架进行节点标高时,通常在有压管线中、供排水、风管等管线底部进行标高。同时在大跨度空间钢结构支吊架各类管线布置过程中应及时调整抗震施工平面图与剖面图,保持二者同步。

(3) 大跨度空间钢结构支吊架抗震施工过程中应该考虑空调系统水管、风管保温层厚度,考虑大跨度空间钢结构支吊架与各电气系统桥架、管线外壁、墙体的最小间距及其充足的放置空间。根据建筑物施工现场实际工况确定其与各管线之间的距离。

(4) 建筑物电气系统和空调冷、热水管管线布置时应充分考虑管道坡度大小以及施工空间是否充

足,另外还应该预留大跨度空间钢结构支吊架与各个管线的空间位置。

(5) 对于大跨度空间钢结构支吊架周围的结构,由于其作为大跨度空间钢结构支吊架的生根点,其抗震施工技术水平的高低直接决定其抗震性能的优劣,同时需要选取合适的钢结构支吊架锚固方式和锚栓。

大跨度空间钢结构支吊架抗震施工具体方式有以下几种:

(1) 采用 BIM 技术对大跨度空间钢结构支吊架及其周围管线进行三维空间建模,根据建模结果生成钢结构支吊架及其周围管线剖面图,同时自动测量和计算钢结构支吊架周围管线截面大小和标高。

(2) 根据建筑对象空间要求以及无法调节管线(例如建筑物供排水管线),必要时需要对大跨度空间钢结构支吊架周围有压管道走向和风管形状规格进行调整;

(3) 在利用 BIM 技术对大跨度空间钢结构支吊架及其周围管线剖面图进行及时调整后,再次对所有管线与支吊架或其他建筑结构有无碰撞进行检查,循环往复,并根据最终确定的剖面图对平面图进行同步调整,完成大跨度空间钢结构支吊架抗震施工。

2 工程实例模拟分析

以某建筑工程为例,图 2 为大跨度空间钢结构支吊架原始模型。分别绘制未采用与采用 BIM 技术进行大跨度空间钢结构支吊架抗震施工的试件 K1 和 K2 的荷载-位移滞回曲线(图 3)。

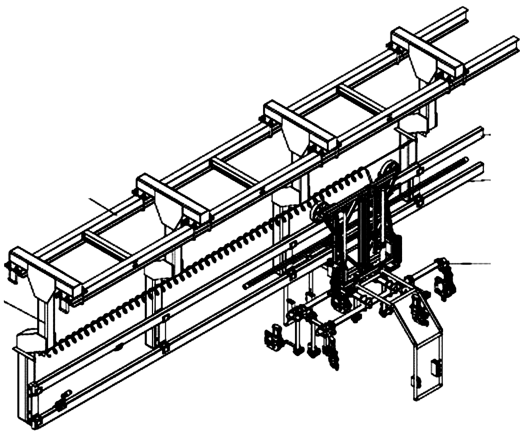


图 2 大跨度空间钢结构支吊架原始模型

Fig.2 The original model of long-span spatial steel structure hanger

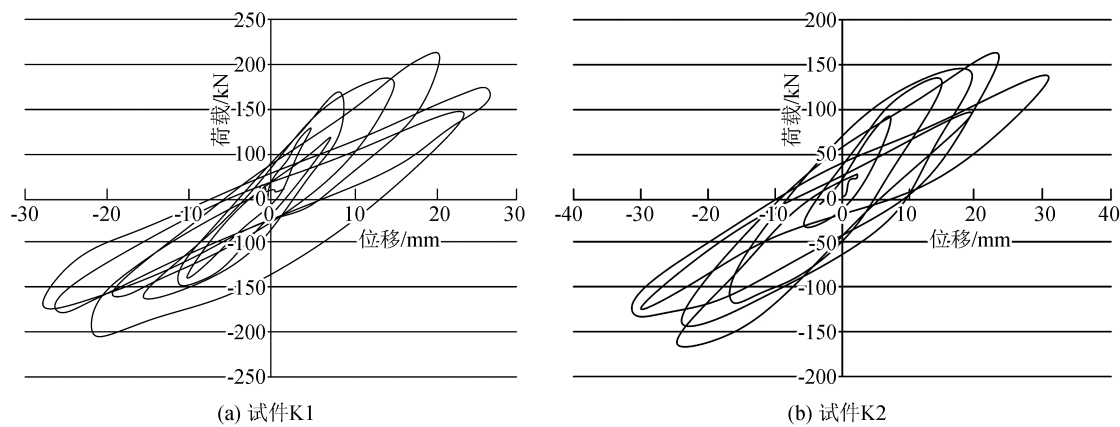


图 3 试件的荷载-位移滞回曲线变化情况

Fig.3 Change of load-displacement hysteretic curve of specimens

从图 3 可以看出,当地震发生时,大跨度空间钢结构支吊架荷载小于开裂荷载时,试件 K1 还处于弹性工作阶段,试件 K1 和 K2 的滞回曲线均呈直线上升,相互重叠区域面积相对较小,正向与方向基本呈对称,由此说明钢结构支吊架还没有在地震中发挥其保护作用;而当水平荷载作用力大于开裂荷载作用力时,试件 K1 和 K2 的滞回曲线则开始出现位移偏离,相互重叠区域面积逐渐扩大,由此说明此时的钢结构支吊架已经开始承担地震荷载作用力,并在一定程度上限制了建筑物的位移距离。从图中还可以看出,采用 BIM 技术进行抗震施工后的支吊架位移较小,具有较好的抗震性能。

图 4 模拟了地震发生时大跨度空间钢结构支吊架采用 BIM 技术进行抗震施工前后的骨架曲线对比图。根据实验对比可以得到以下结论:

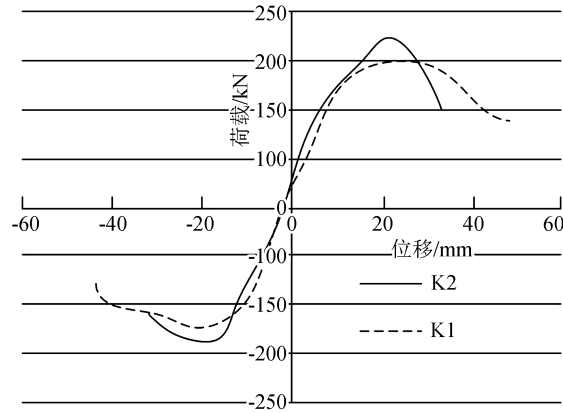


图 4 支吊架进行抗震施工前后的骨架曲线对比
Fig.4 Comparison between skeleton curves before and after seismic construction of hangers

(1) 从实验整体结果看,试件 K1 和试件 K2 的骨架曲线都较为平滑,大体走向也比较一致,但相比

于试件 K1,试件 K2 的初始骨架曲线与纵轴荷载更为接近,这说明试件 K2 的初始刚度要大于试件 K1,这可能是由于采用 BIM 技术对支吊架进行抗震施工后使得其刚度有所提高引起的;

(2) 经过 BIM 技术进行抗震施工后得到的试件 K2 的最大承载力与极限承载力相比于未采用 BIM 技术进行抗震施工后得到的试件 K1 有所提高。从图中可以看出,试件 K2 的位移要小于试件 K1,这充分证明,经过 BIM 抗震施工后的大跨度空间钢结构支吊架的承载力和抗侧刚度均有明显提升;

(3) 当模拟实验进行到后期时,实验试件 K1 和 K2 的承载力突然下降,这说明建筑工程中大跨度空间钢结构支吊架在地震发生初期承担了建筑结构的大部分地震内力,当钢结构支吊架发生屈服位移后,其承载力也开始迅速下降。从图中可以看出,试件 K2 的下降幅度更大,这可能是由于该试件经过 BIM 抗震施工后在地震发生时为建筑物结构承担了更多的地震作用力。

3 结论

我国位于亚欧地震带和环太平洋地震带内,是个地震活动比较频繁的国家,因此做好大跨度空间钢结构支吊架的抗震施工具有重要的现实意义。研究提出一种基于 BIM 技术的大跨度空间钢结构支吊架的抗震施工方法。建筑工程中大跨度空间钢结构支吊架在地震发生初期承担了建筑结构的大部分地震内力,经过 BIM 抗震施工后其在地震发生时为建筑物结构承担了更多的地震作用力。采用 BIM 技术进行抗震施工后的支吊架位移较小,具有较好

的抗震性能,使建筑物安全稳定性更高。工程实例模拟分析结果证明了该方法具有良好的抗震性能,达到了预期效果。

参考文献(References)

- [1] 严丰.BIM技术在抗震支吊架领域的应用[J].给水排水,2016,42(2):129-132.
YAN Feng.Application of BIM Technology in the Field of Seismic Support and Hanger[J].Water & Wastewater Engineering,2016,42(2):129-132.
- [2] 于婧,史国栋.施工缝对钢筋混凝土剪力墙抗震性能影响的试验研究[J].建筑结构学报,2016,37(4):18-25.
YU Jing,SHI Guodong.Experimental Research on Seismic Behavior of Reinforced Concrete Shear Wall with Construction Joint[J].Journal of Building Structures,2016,37(4):18-25.
- [3] 王刚,刘大江,胡长明,等.八度抗震设防地区装配式剪力墙住宅施工进度影响因素分析[J].施工技术,2016,45(4):48-51.
WANG Gang,LIU Dajiang,HU Changming,et al.Impact Factor Analysis of the Construction Progress of the Precast Shear Wall Residence in the Eight Degree Seismic Area[J].Construction Technology,2016,45(4):48-51.
- [4] 燕乐纬,程瀛,陈洋洋,等.广州财富中心施工过程抗震性能模拟分析[J].钢结构,2017,32(2):54-58.
YAN Lewei,CHENG Ying,CHEN Yangyang,et al.Simulation and Analysis of Aseismic Behavior of Guangzhou Wealthy Center During Construction[J].Steel Construction,2017,32(2):54-58.
- [5] 刘春生,魏晓刚,王爱文.隧道爆破施工影响下地面既有高耸结构抗震性能分析[J].地震研究,2017,40(3):502-508.
LIU Chunsheng,WEI Xiaogang,WANG Aiwen.Seismic Performance Analysis of Ground In-situ Tall Structures Caused by Tunnel Blasting Construction[J].Journal of Seismological Research,2017,40(3):502-508.
- [6] 吴方伯,段芳敏,欧阳靖,等.免模保温剪力墙施工工艺及抗震性能[J].建筑科学与工程学报,2017,34(5):83-91.
WU Fangbo,DUAN Fangmin,OUYANG Jing,et al.Construction Process and Seismic Performance of Non-template Insulation Shear Wall[J].Journal of Architecture and Civil Engineering,2017,34(5):83-91.
- [7] 马荣全,范新海,黄宙.装配式密肋复合墙板抗震性能试验研究[J].施工技术,2016,45(4):5-9.
MA Rongquan,FAN Xinhai,HUANG Zhou.Research and Comparative Analysis on the Seismic Performance of Fabricated Multi-ribbed Composite Walls under Different Axial Compression Ratio[J].Construction Technology,2016,45(4):5-9.
- [8] 张敏强,刘保东,李玉忠,等.农村典型砌体结构房屋安全及抗震检测与鉴定[J].工程抗震与加固改造,2016,38(3):124-129.
ZHANG Minqiang,LIU Baodong,LI Yuzhong,et al.Safety and Seismic Performance Detection and Identification of Typical Masonry Structure Building in Rural Areas[J].Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting,2016,38(3):124-129.
- [9] 别振亚,陈拥军,万文实,等.9度抗震设防型钢混凝土结构梁柱节点设计优化与实施[J].建筑技术,2016,47(2):176-178.
BIE Zhenya,CHEN Yongjun,WAN Wenshi,et al.Optimization and Implementation of Beam-Column Node Design for 9-Magnitude Aseismic Fortification Profile Steel Reinforced Concrete Structure[J].Architecture Technology,2016,47(2):176-178.
- [10] 刘程炜,曹万林,董宏英,等.半装配式再生混凝土低矮剪力墙抗震性能试验[J].哈尔滨工业大学学报,2017,49(6):35-39.
LIU Chengwei,CAO Wanlin,DONG Hongying,et al.Experimental Study on Seismic Performance of Semi-assembled Recycled Concrete Shear Wall with Single Row of Steel Bars under Low Axial Compression Ratio[J].Journal of Building Structures,2017,49(6):35-39.