

张伟, 韩旭, 刘会尧, 等. BIM 技术在低层建筑环境振动特性分析中的应用 [J]. 华南地震, 2020, 40 (4): 127-132. [ZHANG Wei, HAN Xu, LIU Huiyao, et al. Application of BIM Technology in Environmental Vibration Characteristics Analysis of Low-rise Buildings [J]. South China journal of seismology, 2020, 40 (4): 127-132]

# BIM 技术在低层建筑环境振动特性分析中的应用

张 伟, 韩 旭, 刘会尧, 王 起, 龚竞赛

(中建八局第一建设有限公司, 济南 250014)

**摘要:** 为了更好地实现绿色节能建筑设计, 提出基于 BIM 技术的低层建筑环境振动特性分析方法。利用 BIM 技术进行建筑建模: 导入场地环境信息, 并构建关联模型; 对建筑设计方案进行设计; 制定建筑工程的 BIM 方案文档、模型建立计划和碰撞检测, 并深化节点详图, 对管线进行检查。以某市交通枢纽高铁站为测试点, 结合 BIM 建筑集成建模和地铁列车行驶振动计算分析对测试地点进行建模等操作。利用信号采集设备 INV3020D、超低频振动信号拾振器等实验仪器和设备获取实验数据, 根据实验数据经测试可知: 列车荷载下, 各个测点振动响应信号表现出了十分显著的周期特性与持续特性, 持续时间大致为 5 s 到 25 s, 时间大约为 20 s; 无论是加速度振动, 还是速度振动, 不同响应地铁列车所引起的建筑架构环境振动频率大致集中在 20 Hz 至 80 Hz。

**关键词:** BIM; 低层建筑; 振动特性

**中图分类号:** TU311 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2020) 04-00127-006

**DOI:** 10.13512/j.hndz.2020.04.017

## Application of BIM Technology in Environmental Vibration Characteristics Analysis of Low-rise Buildings

ZHANG Wei, HAN Xu, LIU Huiyao, WANG Qi, GONG Jingsai

(The First Company of China Eighth Engineering Division Co., Ltd., Jinan 250014, China)

**Abstract:** In order to better realize the design and construction of green energy-saving buildings, a method for analyzing the environmental vibration characteristics of low-rise buildings based on BIM technology is proposed. The paper uses BIM technology for building modeling: importing site environmental information and building associated models; designing architectural design plan; developing BIM plan documentation, model building plan and collision detection for building engineering, and deepening node details to inspect pipelines. Taking the high-speed railway station of a city transportation hub as a test point, combined with BIM building integration modeling and subway train running vibration calculation analysis, the test site is modeled. The experimental data were obtained by using the signal acquisition equipment INV3020D, ultra-low frequency vibration signal pickup and other experimental instruments and equipment. According to the experimental data, it can be seen

收稿日期: 2019-10-11

作者简介: 张伟 (1988-), 男, 工程师, 主要从事建筑施工管理。

E-mail: liuhuiyao@cau.edu.cn

that under the train load, the vibration response signals of each measuring point show very significant periodic characteristics and continuous characteristics. The duration is about 5 s to 25 s, and the time is about 20s. Whether it is acceleration vibration or speed vibration, the environmental vibration frequency of the building caused by different response to subway trains is roughly concentrated at 20 Hz to 80 Hz.

**Keywords:** BIM; Low-rise building; Vibration characteristics

## 0 引言

在建筑行业不断发展的背景下,建筑能耗和环境成为了当前亟待解决的问题<sup>[1]</sup>。当前在建筑方案设计过程中,针对舒适度和环境振动响应分析存在缺失,且对绿色低能耗建筑整体认知度还不是很高,很难满足大众日益增加的居住和工作环境需求。

城市轨道交通工程项目建设日益发展中,为了充分发挥出城市土地空间作用,很多地区将地铁线路和地上建筑合建的开发形式引入到城市交通建设中<sup>[2-3]</sup>。一般做法是把地铁线路架构和建筑基础相结合,实现系统性和整体性的联结,开展同步设计和施工,便于降低项目工程建设成本,例如虹桥高铁站项目等。

综合土地环境和城市交通工程建设分析,在城市轨道交通迅猛发展下,地铁列车导致的沿线建筑环境振动已经成为不可忽略的城市问题之一。将 BIM 技术引入至低层建筑环境振动特性分析中,在研究建筑环境振动响应特性过程中,有效提升绿色工程项目的建设质量及效率,为该建筑领域发展提供理论依据。

## 1 基于 BIM 的建筑集成设计

利用 BIM 技术构建建筑集成绿色节能模型,并将其引入至低层建筑环境振动特性分析中。模型构建的步骤如下所示。

### (1) 设计前期

在建筑集成模型设计的前期阶段,主要任务为通过 BIM 对地基进行分析,其中包含场地模型建立和场地处理等。主要内容为:先导入场地的基本条件,构建 BIM 和 GIS 间关联模型,针对场地和拟建建筑空间信息进行仿真,利用参数控制对比分析工程项目优良。然后开展环境模拟和仿真实验,计算建筑面积和体积以及能量消耗等参数指标,详细设计结构如图 1 所示。

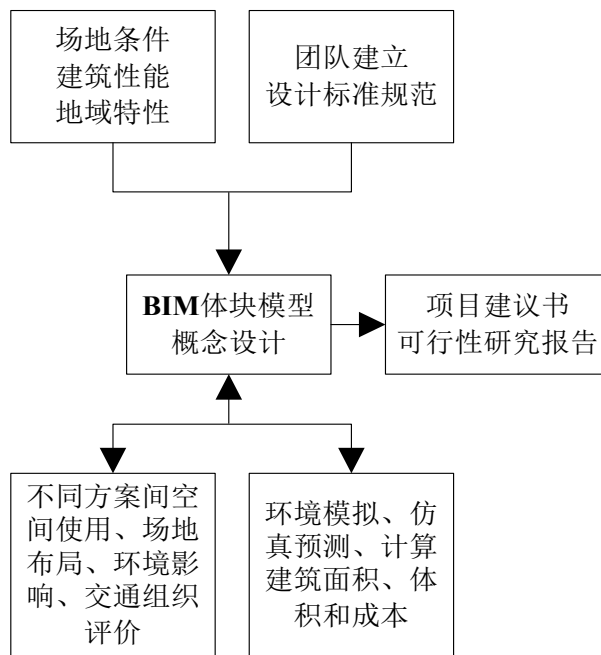


图 1 设计前期结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of the pre-design structure

设计前期的主要流程为:

**场地建模:** BIM 中的 Revit 含有一些比较简单的模型建立工具,利用导入当前的矢量地形实现场地设计。亦或是利用 BIM 系列软件中 Civi13D 实现建筑相关场景布置,其中包含道路和景观等。合理处理建筑场地和周边的建筑物等关系,并充分科学地对周边建筑协调性等方面进行分析<sup>[4]</sup>。

**场地设计:** 通过 Civi13D 软件实现高程和坡度等指标的分析。

**配准规划设计基本条件:** 基于规划文件,在 Revit 中生成场地面积和建筑占地面积等计算表,对容积率和建筑密度等参数进行计算。

**投资计算:** 利用 Revit 软件将面积与体积两个参量估算建筑的投资导出,对该项目可否在预定投资成本下顺利完成进行评估。

**设计任务书编写制作:** 编制文件应该充分描述出建筑的实际意图,并充分显示出建筑物

的功能和质量等。

(2) 方案设计阶段

该阶段的主要任务为基于前期给出的任务书实现建筑方案设计。主要内容为先对研究地区的资源和建筑物实施等方面进行技术举措及方法筛选。然后基于建筑性能目标和绿标规范等，开展不同方案与被动节能方案下自然采光等方面的仿真分析，方便优化与选取。最后基于当地经济情况，实现建筑节能和建筑投资间分析，以此达到低能耗和高能效下建筑设计建设目标，并需检测建筑对环境影响以及能量消耗等目标。详细设计架构如图 2 所示。

建筑方案设计流程：

对建模进行参数化：通过 Revit 软件创建建筑物模型。

对建筑生态模拟进行分析：基于已经创建完成的绿建项目实现模型创建，将其导出，通过模拟软件分析能耗和采光等。

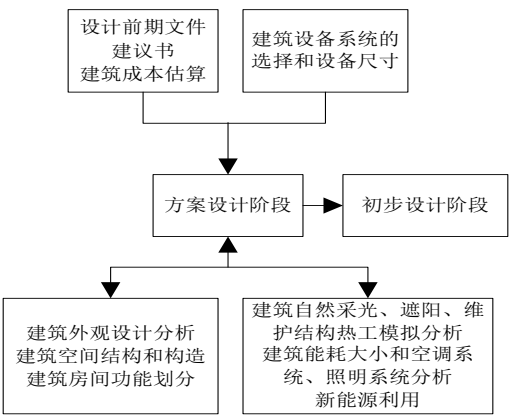
可视化相关分析：通过 Revit 软件具备的可视化特性检测建筑细部和造型等方面。

(3) 建筑初步设计阶段

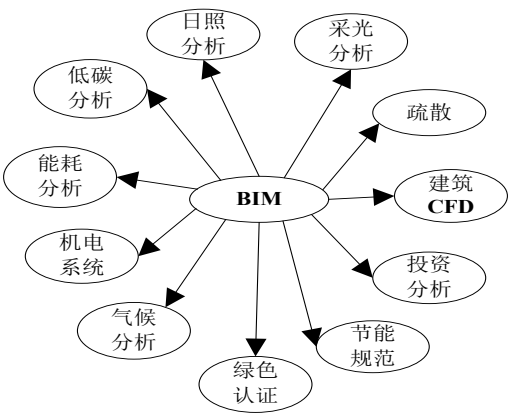
该阶段的主要任务为协调各个专业实现建筑方案的完善和优化。内容为基于设计方案分析能源消耗情况，并确定各个因素对照明和能源消耗等方面的显著性水准<sup>[5-6]</sup>。然后在材料筛选与运用过程中，需要将成本管控当作重点进行分析，由此方案建立中，在尽量满足与达到绿色低能耗规范要求下，实现成本严格管控，基本设计结构如图 3（a）所示。

建筑初步设计流程：

设计制定建筑工程的 BIM 方案文档以及建模的基本计划，各项目的组成方在项目初始前通过流程与设计基本需求培训，进而方便各个专业人员在相同的 BIM 模型与协同标准下完成设计；拆分和细化项目模型，优化模型精度与信息完整程度；整合检查模型；BIM 平台能够和项目管理系统相互融合，对任务、财务、实时信息等进行整合，进而提升信息沟通效率。

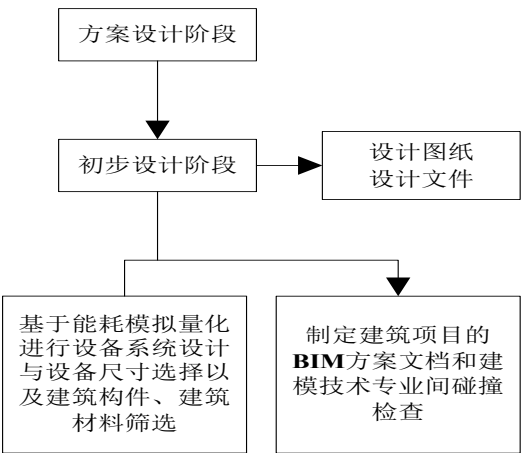


(a) 建筑方案设计架构

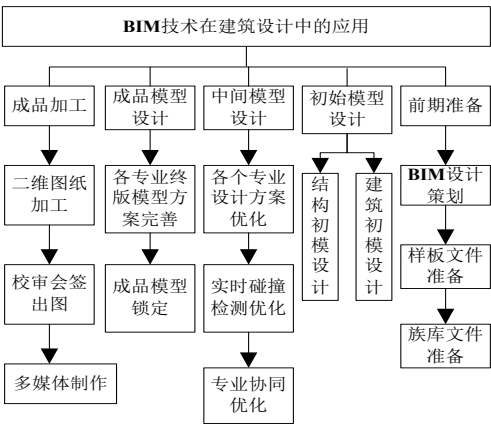


(b) 方案绿色设计及 BIM 协同架构

图 2 建筑方案设计基本架构  
Fig.2 Basic architecture of architectural design



(a) 建筑初步设计基本架构



(b) 基于 BIM 的建筑初步设计

图 3 建筑初步设计框架示意图  
Fig.3 Schematic diagram of the preliminary design of the building

#### (4) 施工图设计阶段

该阶段的主要任务为对初步设计图纸进行优化, 以此提升施工图文件和合同规定中 BIM 模型以及管线预留口等一系列图纸精确性。

基于 BIM 技术, 建筑施工图的设计产生了深刻变化: 基于初步设计与技术设计, 综合各个专业的设计图将建筑项目部分工程施工详细要求在 BIM 信息模型和有关数据库中反映出来。主要内容是为最终设计文件提供细节图。

施工图设计流程:

管线整合和冲突检测;

设计优化;

BIM 施工图文件的提交;

陈列辅助构件的清单;

发布施工设计文件前应该进行模型审核与重复检测, 并实时识别修正问题, 最终通过设计证实之后发布同时归档。

## 2 地铁列车行驶振动

曲线轨道的设施可以不受当前城市整体布局约束, 在目前城市轨道交通设计中经常被采用。然而与直线段列车比较, 曲线段的地铁列车产生的振动更加复杂, 经常导致振动特性十分显著<sup>[7-8]</sup>。

当地铁列车行驶在直线路段, 一般会将轨道对列车水平力忽视, 轮轨垂向力能够根据赫兹非线性的弹性接触基本理论判断, 则有:

$$P(t) = \left[ \frac{1}{G\Delta Z(t)} \right]^{3/2} \quad (1)$$

其中,  $G$  代表接触轨常数,  $\Delta Z(t)$  代表轮轨的弹性压缩量。

在列车行驶在曲线路段过程中, 因轨道不平顺和离心力等一系列相关指标因素的影响, 致使车轮和轨道面互为碰撞, 生成一种轮轨接触力, 其中作用点位于轮轨接触位置, 这时轮轨水平作用是不能忽视的<sup>[9-10]</sup>。轮轨垂向力  $P(t)$  能够当成根据轮轨法向力  $K(t)$ 、蠕滑力  $Q(t)$  垂向分量构建而成的, 轮轨的水平接触力  $W(t)$  能够当成轮轨的法向力和蠕滑力水平分量构建的一种合力, 则有:

$$\begin{cases} P(t) = K(pt) + Q(pt) \\ W(t) = K(wt) + Q(wt) \end{cases} \quad (2)$$

其中,  $K(pt)$  代表轮轨法向力的垂向分量值,  $Q(pt)$  代表蠕滑力的垂向分量值,  $K(wt)$  代表轮轨法向力的水平分量值,  $Q(wt)$  代表蠕滑力的水平分量值。

上述中的  $Q(t)$  根据  $Q(wt)$ 、 $Q(pt)$  构成, 和左右钢轨垂直向和横向及扭转振动速度有关系, 则有:

$$Q(t) = [L(v, t), R(v, t)] \quad (3)$$

其中,  $L(v, t)$  代表和左钢轨存在相关性的振动速度,  $R(v, t)$  代表和右钢轨存在相关性的振动速度。

## 3 算例分析

### 3.1 概况

结合上述内容, 将实验地点选取在某市交通枢纽高铁站内, 该建筑架构分为地上和地下各两层。其中, 地下一层和二层是地铁站站厅层与站台层, 地面的两层分别是高铁站台层与候车厅。利用上述 BIM 技术实现建筑结构的合建。

由时程、频域两方面对底层建筑环境振动特性进行分析, 以此为城市建筑工程项目建设和交通减振降噪提供参考以及数据方面的支撑。

### 3.2 实验仪器和设备

实验仪器中主要包括信号采集设备 INV3020D、超低频振动信号拾振器。该拾振器是 941B 电磁式的传感器。现场测试过程中, 引入连续采样模式完成信号采样, 实验过程中把拾取速度信号传感器调节至小速度的级别, 同步拾取列车行驶过时各个楼层振动响应信号数据。以提升测试精准度为目的, 尽量避免振动测试干扰, 测试过程中在各个楼层设置 4 个传感器实现同步测量, 且各个测点与轨道中心距离分别为 5 m、10 m、20 m 和 40 m。

### 3.3 测试荷载

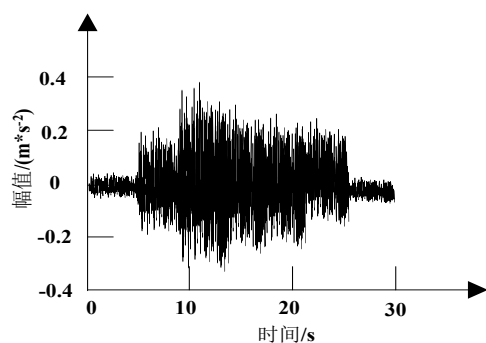
荷载是列车行驶过测试断面过程中作用于钢轨上的荷载。列车类型为 6 节编组模式, 长度为 140 m, 列车转向架中心距为 15.7 m, 固定轴距为 2.5 m, 轮径为 840 mm。以保障列车的荷载能够达到最大, 实验时间为早晚高峰期。车速为 55 km/h, 一共得到 30 组实验数据。



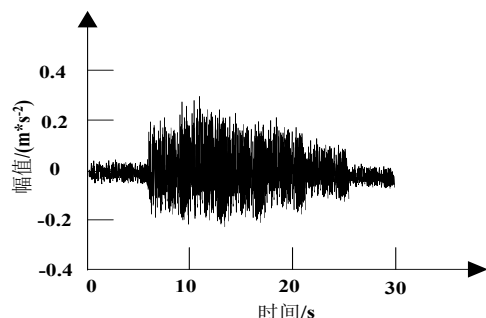
### 3.4 测试结果与分析

结合地铁列车行驶振动特性计算分析, 基于上述实验环境和器械, 得到的实验结果如下。

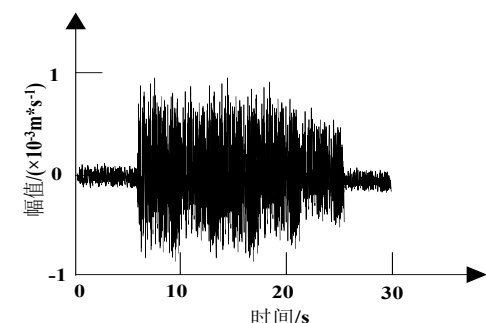
图 4 为列车行驶过时站台层的振动响应时程变化示意图。



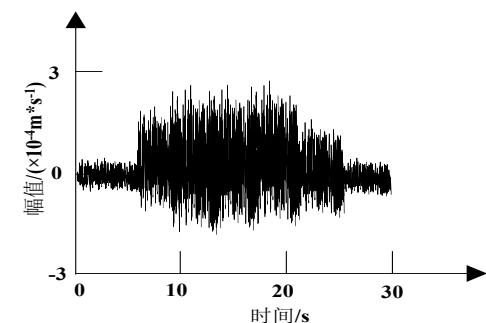
(a) 垂向振动响应的加速度



(b) 横向振动响应的加速度



(c) 垂向振动响应的速度



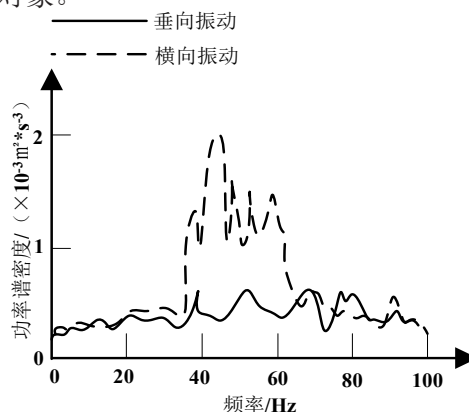
(d) 横向振动响应的速度

图 4 列车行驶过时站台层的振动响应时程变化

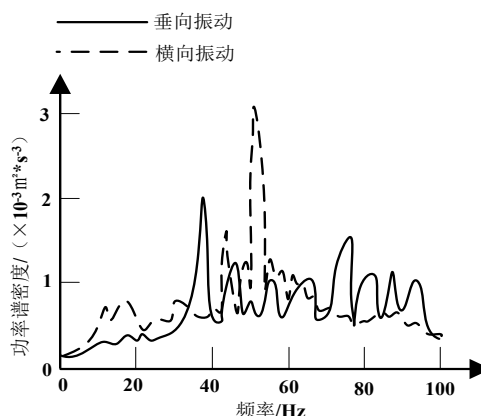
Fig.4 Time-history variation of vibration response of the platform when the train is passing

分析图 4 可知, 当列车行驶过时, 因扣件和轨道板等部件对振动有衰减影响, 各个测点振动响应时程数据不能判别出车轮行驶过详细时间, 但是能够判别出列车到达、行驶过及离开的整个过程。列车荷载下, 各个测点振动响应信号表现出了十分显著的周期特性与持续特性特征, 持续时间大致为 5 s 到 25 s, 时间大于为 20 s。

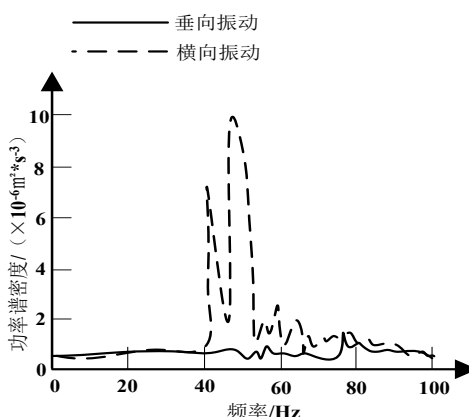
图 5 为列车行驶过时振动响应频率整体分布特性。以上述其中一个站台层和候车厅作为分析对象。



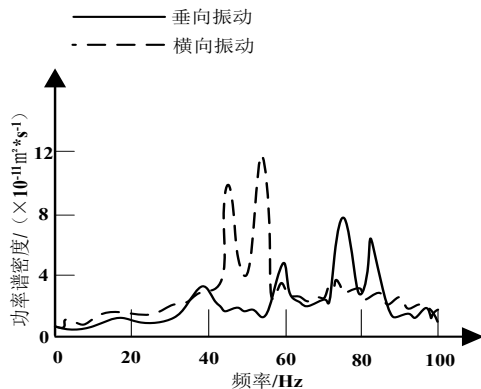
(a) 地铁站台层振动响应加速度



(b) 地铁站台层振动响应速度



(c) 候车厅振动响应加速度



(d) 候车厅振动响应速度

图 5 列车行驶过时振动响应频率整体分布特性

Fig.5 Overall distribution characteristics of vibration response frequency when train is passing

分析图 5 可知,不管是加速度振动,还是速度振动,不同响应地铁列车所引起的建筑架构环境振动频率大致集中于 20 Hz 至 80 Hz,基于车速和轮轨表层不平顺的波长与频率之间相关性,能够得到可以对合建建筑架构环境振动产生影响的轮轨表层不平顺波长大致范围。

绿色低能耗建筑建设是一个将规划和建筑学等各学科融为一体且相对复杂的系统,为此需要在大规模、全方位的相关实践、知识理论整理归纳基础上,开展系统地总结探讨。当前尽管很多研究人员都在实施优化层面进行了剖析测试并获取了一些优秀成果,但是依旧面临着很多问题<sup>[11]</sup>。

在我国城镇化迅猛发展的环境下,建筑能耗和环境在社会上的关注程度越来越高,使得建筑绿色节能成为了国内当前重要的发展方向。当前,国内建筑节能建设还有着一些问题,例如建筑所处地域不同,然而所使用的节能技术以及材料却大致相同;鉴于对建筑成本方面考虑欠缺,出现了只是单纯的追求节能技术应用的问题;对于低能耗方面理论认知程度较低;建筑节能和环境分析存在滞后性等。此时通过 BIM 技术开展相应分析是一种可靠的解决方法,可以从根本上对能耗问题进行解决,还可以对滞后性问题进行很好地分析,提高建筑环境建设与振动特性分析质量。

## 4 结语

基于基本国情可知,我国正在面临非常严

峻的能源与生态环境方面的问题。建筑环境是能源和环境相交下的问题,相关研究意义重大。提出基于 BIM 技术的低层建筑环境振动特性分析方法,过程中,依据基于 BIM 的建筑集成设计和地铁列车行驶振动分析为建筑环境振动特性研究提供支撑,经测试分别在列车行驶过站台层的振动响应时程变化和振动响应频率整体分布特性两方面获取了建筑振动特性。在对底层建筑环境振动分析基础上,还应对合建架构自振进行进一步研究。在建筑设计阶段和建筑形式等方面也需要开展进一步探究,以更好地满足建筑绿色节能建设总体需求。

## 参考文献

- [1] 毛顺茂,熊超华,雷晓燕.地铁运营对古建筑物振动响应影响分析[J].城市轨道交通研究,2016,19(10):13-17.
- [2] 那仁满都拉,布仁,宝音图,等.基于常时微动观测的钢筋混凝土建筑物振动特性及其地域差异[J].振动与冲击,2016,35(4):22-27.
- [3] 杨彦明.常时微动观测在砖混结构建筑群振动特性及抗震能力快速判断中的应用[J].震灾防御技术,2019,14(2):363-375.
- [4] 徐略勤,李建中.高墩刚构桥考虑材料劣化的时变抗震性能分析[J].地震工程与工程振动,2019,39(02):194-202.
- [5] 高大峰,张辉,吴冬冬,等.基于多地震动强度参数的中国多层木结构古建筑地震易损性研究[J].地震工程与工程振动,2019,39(03):041-51.
- [6] 高广运,孟园,陈娟.高科技电子工业厂房微振动实测分析[J].工程地质学报,2018,26(s1):295-300.
- [7] 肖烨,丁晓唐.淮安三站结构振动特性及抗振分析[J].水利水电科技进展,2016,36(6):86-89.
- [8] 庄智,胡一东,车学娅,等.建筑风环境模拟中风参数不确定影响分析[J].建筑科学,2016,32(8):1-6.
- [9] 陈国兴,陈苏,左熹,等.软土地地铁车站结构地震反应特性振动台模型试验[J].岩土力学,2016,37(2):331-342.
- [10] 马艳龙,李映辉.湿热环境下复合材料薄壁梁振动特性研究[J].振动与冲击,2016,35(15):154-160.
- [11] 张敏,杜曜涵.带摩擦阻尼器底部框架砌体减震结构地震响应分析[J].防灾减灾工程学报,2018,38(6):950-958.