

# 路面交通和拟建济南地铁6号线对邻近 砖木结构古建筑振动影响分析\*

艾楠<sup>1,2</sup> 侯和涛<sup>1</sup> 王培森<sup>3</sup> 陈娟<sup>3</sup>

(1. 山东大学土建与水利学院, 250002, 济南; 2. 济南市考古研究院, 250014, 济南;

3. 山东建筑大学土木工程学院, 250101, 济南)

**摘要** [目的]地面交通振动对临近古建筑的振动影响问题日益突出,有必要分析济南典型土层地质条件下地面交通和拟建济南地铁6号线对沿线江西会馆古建筑物振动特性的影响,评估交通环境振动对明清商贸会馆类古建筑的影响。[方法]在江西会馆主殿内外分别布置测点实测地面交通荷载下的地面振动响应,建立隧道-土层-江西会馆主殿建筑物模型计算拟建地铁6号线对古建筑的影响,结合 GB/T 50452—2008《古建筑防工业振动技术规范》分别评价两种交通荷载单独作用下古建筑物的振动水平。[结果及结论]在地面交通荷载作用下,江西会馆建筑群振动以竖向振动为主,建筑主殿内不同位置处沿道路方向振动主频均大于垂直道路方向振动;在地铁荷载作用下,江西会馆建筑物振动以竖向为主,柱顶处水平向振动较柱底减小而竖向振动增大,水平高频振动衰减较快而低频振动衰减较慢,竖向高频和低频振动均衰减较慢。在交通荷载和地铁荷载作用下,江西会馆振动水平平均满足 GB/T 50452—2008 对古建筑木结构振动限值的规定。

**关键词** 古建筑; 地面交通; 地铁; 振动特性; 振动水平; 现场实测; 数值模拟

**中图分类号** TU36

DOI:10.16037/j.1007-869x.2025.01.011

## Impact Analysis of Ground Traffic and Proposed Jinan Metro Line 6 on Nearby Ancient Brick-wood Structure Vibration

AI Nan<sup>1,2</sup>, HOU Hetao<sup>1</sup>, WANG Peisen<sup>3</sup>, Chen Juan<sup>3</sup>

(1. College of Civil Engineering and Water Resources, Shandong University, 250002, Jinan, China; 2. Jinan Institute of Archaeology, 250014, Jinan, China; 3. College of Civil Engineering, Shandong Jianzhu University, 250101, Jinan, China)

**Abstract** [Objective] The vibration impact of ground traffic on nearby ancient buildings is becoming increasingly promi-

nent. It is necessary to analyze the influence of ground traffic and the proposed Jinan Metro Line 6 on the vibration characteristics of the ancient Jiangxi Guild Hall buildings along the line under the typical soil geological conditions of Jinan, so as to evaluate the impact of traffic environmental vibration on ancient buildings of trade guild halls of Ming and Qing dynasties.

[Method] The ground vibration response under the ground traffic load is measured by the measuring points inside and outside the main hall of Jiangxi Guild Hall, and the influence of the proposed Metro Line 6 on the ancient buildings is calculated by the established tunnel-soil-main hall building model for Jiangxi Guild Hall. The vibration level of the buildings under the separate actions of the above two traffic loads is evaluated according to GB/T 50452—2008 *Technical Specification for Protection of Historic Buildings against Man-made Vibration*.

[Result & Conclusion] Under the action of ground traffic load, the vibration of the Jiangxi Guild Hall complex is mainly vertical. The main vibration frequencies along the road direction in different positions inside the building main hall are all greater than those in the direction perpendicular to the road. Under the action of metro loads, the vibration of the Jiangxi Guild Hall building is mainly vertical. The horizontal vibration at the top of the columns decreases compared to that at the bottom of the column, while the vertical vibration increases. The horizontal high-frequency vibration attenuates relatively quickly, while the low-frequency vibration attenuates relatively slowly. Both the vertical high-frequency and low-frequency vibrations attenuate relatively slowly. Under the action of traffic loads and metro loads, the vibration level of the Jiangxi Guild Hall meets the provisions on the vibration limits of ancient wooden structures in the GB/T 50452—2008.

**Key words** ancient building; ground traffic; metro; vibration characteristics; vibration level; on-site measurement; nu-

\* 山东省自然科学基金项目(ZR2021ME238, ZR2020QE264); 山东省住房城乡建设科技计划项目(2021-K4-1); 山东省重点研发计划重大科技创新工程项目(2021CXGC011205)

merical simulation

随着我国城市轨道交通的大规模建设,其引起的环境振动问题日益突出。城市轨道交通运行引起的环境振动将严重影响沿线住宅人体舒适度、精密仪器正常使用和古建筑保护。我国古建筑以砖石结构和木结构为主,一旦破坏再难复原,城市轨道交通对文物建筑的振动影响不容忽视。国际上,2012 年 KVB (Kolner Verkehrsbetriebe, 科隆公共交通) 地铁运行引起德国科隆大教堂振动问题<sup>[1]</sup>。1988 年末焦枝铁路修建复线要通过龙门石窟保护区<sup>[2]</sup>,是我国较早关注地面交通振动对文物保护影响的实例。针对城市轨道交通运行引起古建筑振动影响的问题,我国规范对古建筑振动容许值的规定相对严格<sup>[3-4]</sup>,国内外学者采用现场实测和数值模拟的手段开展了相关研究。

对于已建成运行的城市轨道交通线路,现场实测能真实反映建筑结构受振的情况,也是国内外学者获取振动响应数据的重要手段。文献[5]分别实测了南京地铁 4 号线运行前后鼓楼结构,分析了地铁运行对鼓楼的影响。文献[6]通过现场实测分析了南京地铁 1 号线某区段地铁运行时邻近民国建筑的振动响应,评估了地铁运行振动对邻近民国建筑的影响。对于未建成的地铁,无法开展现场实测,通常采用数值模拟预测列车运行导致的古建筑振动并评估其影响。文献[7]采用 Midas GTS 软件建立隧道-岩层-建筑模型,得到列车运行时南京鼓楼在二元结构中的振动响应规律。文献[8]参照地脉动测试结果校核数值模型,研究地铁列车荷载作用下邻近砖石古塔体各层最高处的水平振动速度变化规律,并对不同工况下的塔体安全性进行评估。

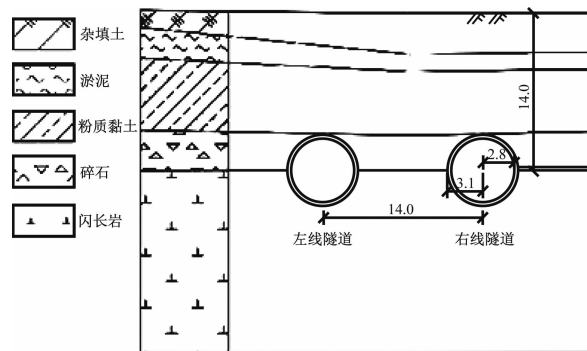
综上所述,尚未见针对济南地区轨道交通运行引起古建筑振动的报道,在济南境内有大量文物古迹,近年来地铁规划相继批复,亟需对地铁建设运营给济南城区古建筑的振动影响进行评估。济南

城区为土岩混合地层<sup>[9]</sup>,振动传播规律与单一土质地层存在明显差异。鉴于此,本文对济南典型土层地质条件背景下,地面、地铁两种交通荷载分别作用引起的地表环境振动特性展开研究,评估地面交通环境振动对济南古建筑物的影响,为后期济南地区拟建地铁线路规划、古建筑文物保护及隔减振提供参考依据。

## 1 工程概况

### 1.1 线路与地质概况

济南市地铁 6 号线是济南市轨道交通线网东西向骨干线。线路大明湖段邻近多座文物建筑,其中江西会馆距离隧道中心线约 25 m。该区段为双洞双线的地下盾构区间,区间全长 1 063.997 m,左右线中心线间距约 13.6 ~ 15.7 m,盾构直径 6.4 m;结构顶板埋深约 5.94 ~ 9.61 m,结构底板埋深约 13.33 ~ 16.01 m。盾构区间各层土的分布情况与物理力学参数如图 1 和表 1 所示。



尺寸单位:m

图 1 地层剖面图

Fig. 1 Stratigraphic profile

### 1.2 古建筑概况

江西会馆(见图 2)现存建筑为大殿、西厢房和一个中式四合院。主殿是以木结构为主的单檐砖木混合结构,柱子为主要承重构件。江西会馆北侧 25 m 外为大明湖路,下方为拟建济南地铁 6 号线,

表 1 土层物理力学参数

Tab. 1 Physical and mechanical property parameters of soil layer

| 土层类别 | 厚度/m        | 密度/(kg/m <sup>3</sup> ) | 泊松比  | 弹性模量/MPa | 内摩擦角/(°) | 黏聚力/kPa |
|------|-------------|-------------------------|------|----------|----------|---------|
| 杂填土  | 1.5 ~ 3.5   | 1 850                   | 0.38 | 143      | 12       | 10      |
| 淤泥   | 1.5 ~ 2.8   | 1 630                   | 0.40 | 100      | 10       | 18      |
| 粉质黏土 | 5.6 ~ 6.3   | 1 940                   | 0.37 | 320      | 18       | 30      |
| 闪长岩  | 27.4 ~ 31.4 | 1 710                   | 0.27 | 1 500    | 18       | 30      |



a) 主殿外观-正面



b) 主殿内部构造

图 2 江西会馆主殿结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the main hall of Jiangxi Guild Hall

江西会馆主殿与 6 号线的相对位置关系见图 3;大明湖路为双向四车道,车流、人流量均较大;古建筑南侧 40 m 外的万寿宫街为双向两车道,路面车辆较少;会馆其他三个方向为既有建筑物。

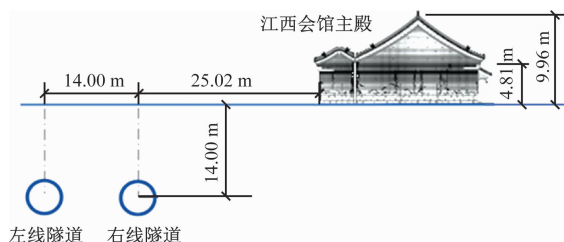


图 3 江西会馆主殿立面尺寸及与隧道相对位置示意图

Fig. 3 Dimensions of the main facade hall of Jiangxi Guild Hall and its relative position to the tunnel

根据 GB/T 50452—2008《古建筑防工业振动技术规范》(以下简称规范)关于市级文物保护单位容许振动值的规定,该木结构古建筑的容许振动速度取为 $[v] = 0.29 \sim 0.35 \text{ mm/s}$ 。

## 2 地面交通对古建筑振动测试评估

### 2.1 测试概要

由于古建筑保护要求,未能在承重结构最高处设置测点,而是布置在地面上,而后根据规范推算承重结构最高处振动响应。在江西会馆主殿四个角点邻近承重柱处布置测点 1#—4#(见图 4),在厢房中心位置布置 5#测点,主殿中心位置布置 6#测点,主殿南门外 5.25 m 处庭院中布置 7#测点。

环境振动测试自 2023 年 5 月 18 日 08:00 开始至当日 11:00 结束,测试时长共计 3 h。测试选用 3 台 TROMINO 微动仪,采样频率设定为 512 Hz,各测点测试时长为 16 min,同时测试记录  $x$  向(东西向,即沿道路方向)、 $y$  向(南北向,即垂直于道路方向)和  $z$  向(竖向)3 个方向的振动速度和加速度值。



图 4 江西会馆测点布置图

Fig. 4 Measuring point layout in Jiangxi Guild Hall

### 2.2 实测振动响应分析

代表性 3#测点(主殿角点)的时程曲线如图 5,其他测点规律与该测点基本一致。由图 5 可见:江西会馆在距离隧道中心线 40 m 左右的范围内,地面各测点时程曲线未呈现明显周期性,而呈现随机振动的特点;在地面交通荷载下,主殿房间地板的竖向振动峰值普遍大于水平向。

地面交通荷载引起的主殿房间地板测点水平振动速度介于  $0.08 \sim 0.17 \text{ mm/s}$  之间,竖向振动速度介于  $0.14 \sim 0.25 \text{ mm/s}$  之间,竖向振动峰值普遍大于水平向振动峰值。在主殿门口室外的 7#测点,3 个方向的振动速度分别为  $0.079 \text{ mm/s}$ ,  $0.101 \text{ mm/s}$  和  $0.138 \text{ mm/s}$ ,明显小于室内地板测点,体现了建筑物基础和底板对振动有一定放大效应及素土的阻尼效应。各测点水平向振动均小于竖向,且距离地面交通主干道越远,振动逐渐减小。

代表性 3#测点(主殿角点)的主导频率见图 6。主殿内 3#测点振动响应在  $10 \sim 25 \text{ Hz}$  频段范围内均有分布,该频段的主要振源应为路面交通。由图 6 b)对比主殿内不同位置处的振动主频可知,主殿内沿道路方向最大振动主频为  $40.30 \text{ Hz}$ ,垂直道

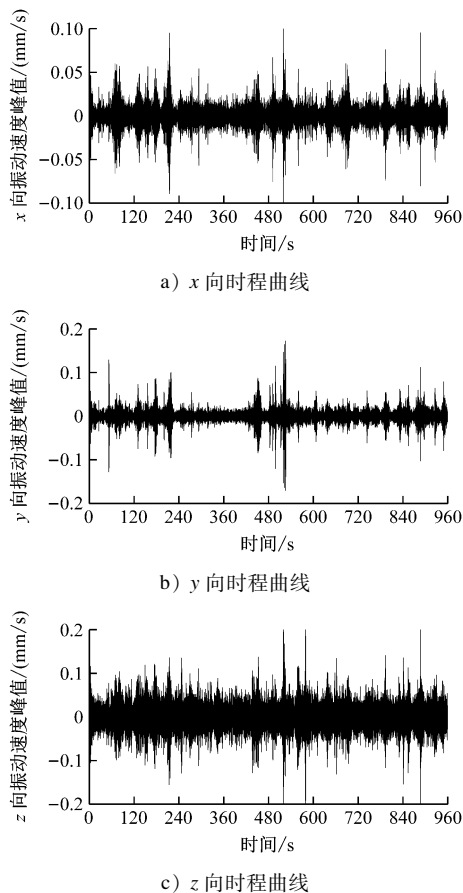


图5 代表性3#测点时程曲线

Fig. 5 Time history curve of the representative measuring point 3<sup>#</sup>

路方向最大振动主频为 20.30 Hz, 竖向最大振动主频为 44.07 Hz, 竖向振动比水平向振动的主导频率高, 且不同位置处沿道路方向振动主频均大于垂直道路方向振动。在垂直大明湖路方向上, 距离道路较远的 4<sup>#</sup>测点水平向振动主频均大于 3<sup>#</sup>测点, 距离道路较远的 2<sup>#</sup>测点三个方向振动主频均大于 1<sup>#</sup>测点。在主殿中心 6<sup>#</sup>测点处, 沿道路方向上存在 25 ~ 60 Hz 和 100 ~ 200 Hz 内的较高频段的振动, 竖向存在 25 ~ 60 Hz 的高频振动, 可能为路面交通加速减速引起的振动。主殿门口 7<sup>#</sup>测点水平方向包含 60 ~ 150 Hz 的高频振动, 其中 y 向振动主频在 103 Hz 左右, 应为主殿门口喷泉诱发的随机振动; 该测点 y 向振动主频明显大于主殿内部邻近 2<sup>#</sup>和 4<sup>#</sup>测点振动主频, 说明主殿结构对 y 向振动具有一定的减振效果。

将所有测点的振动速度峰值和主导频率汇总于图 7。由于主殿 3<sup>#</sup>测点水平向振动速度峰值最大, 且文物保护要求应取承重结构最高处振动即结

构最大响应进行评价, 因此根据规范的规定取该点为主殿振动评估点。计算可得 3<sup>#</sup>测点承重柱顶部的振动速度  $v_{\max} = 0.18 \text{ mm/s} < [v] = 0.29 \text{ mm/s}$ , 江西会馆主殿当前环境振动水平满足相关规范对古建筑木结构的要求。

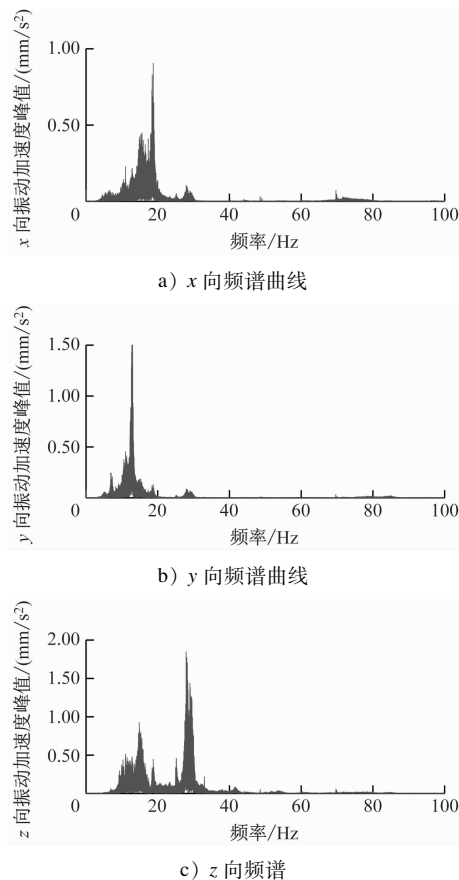


图6 代表性3#测点频谱曲线

Fig. 6 Spectrum of the representative measuring point 3<sup>#</sup>

### 3 地铁引起古建筑振动的仿真预测评估

#### 3.1 仿真模型建立

本文建立的隧道-土层-江西会馆模型如图 8 a) 所示。根据地层参数信息对土层进行简化加权处理, 利用对称性建立含江西会馆主殿一侧的模型, 模型尺寸为 75 m × 100 m × 40 m。隧道内径取 5.6 m, 隧道衬砌厚 0.3 m, 隧道埋深为 14.0 m。将钢轨简化为矩形截面的钢轨, 隧道及轨道结构材料参数见表 2。部件间设置 Tie 接触, 在模型四周设置黏弹性边界, 底面设置为固定边界; 模型设置瑞利阻尼, 梁、柱等受力构件均采用线单元建模, 单元类型为 B32; 柱脚和土体模型之间设置为 MPC (Multi Point Constraints, 多点约束) 铰接。



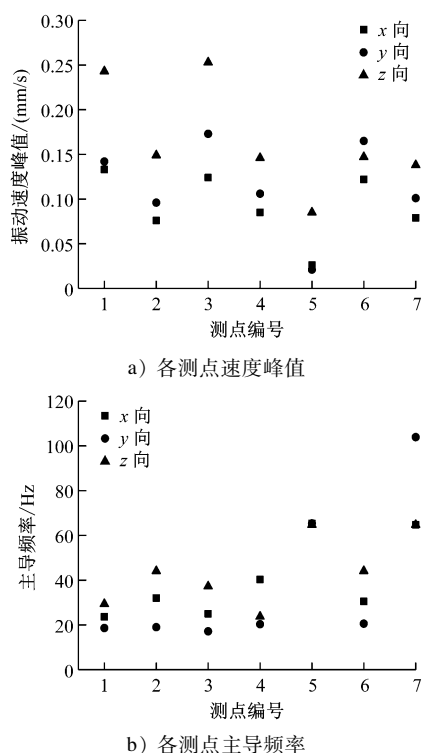
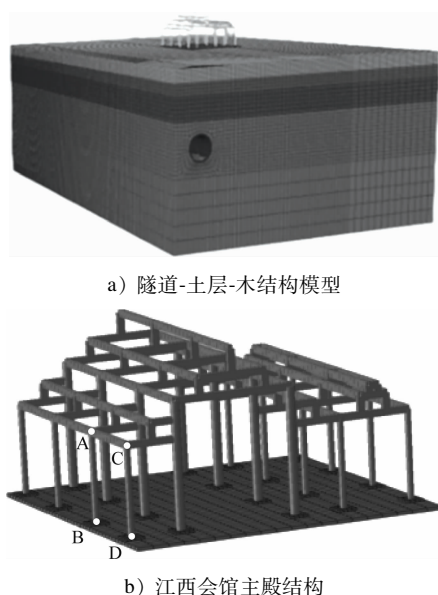


图 7 各测点处速度峰值和主导频率

Fig. 7 Peak velocity and dominant frequency of measuring points



注: A、C 点为主殿柱顶振动观察点; B、D 点为主殿柱底振动观察点。

图 8 隧道-土层-木结构模型及主殿承重柱示意图

Fig. 8 Schematic diagram of tunnel-soil layer-wood structure model and load-bearing columns of the main hall

列车荷载采用人工激励力函数<sup>[10]</sup>模拟, 选取 6 节列车编组, 列车总长 120 m, 列车速度取 90 km/h。在列车荷载施加时进行简化处理, 将两股钢轨上的

列车荷载等效成一组移动荷载施加在隧道底部。

表 2 隧道及轨道结构材料参数

Tab. 2 Material parameters of the tunnel and track structures

| 类别   | 厚度/m | 密度/<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 泊松比   | 弹性模量/<br>MPa |
|------|------|-----------------------------|-------|--------------|
| 隧道衬砌 | 0.3  | 2 400                       | 0.167 | 30 000       |
| 道床   | 0.8  | 2 500                       | 0.200 | 34 500       |
| 钢轨   |      | 7 830                       | 0.300 | 210 000      |

### 3.2 地铁运行引起文物建筑振动响应分析

为分析建筑物振动特性, 本文选取建筑物中同一根柱的柱顶 A 点和柱底 B 点的振动响应, 提取点位置见图 8 b)。绘制 A 点和 B 点振动加速度时程曲线和频谱曲线分别如图 9 和图 10 所示。

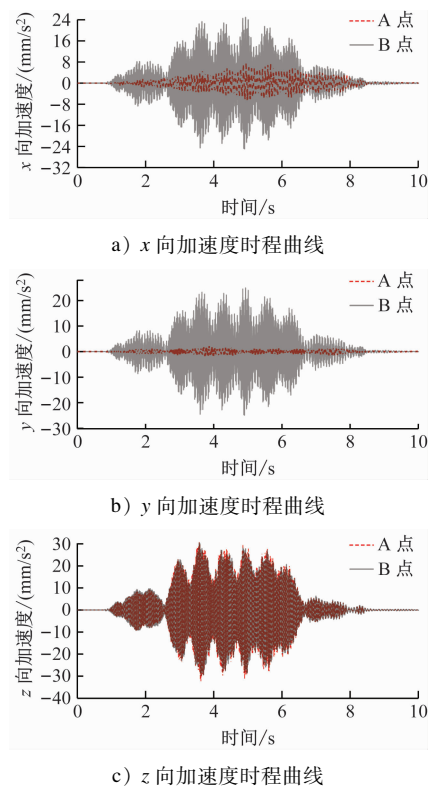


图 9 A、B 点加速度时程曲线

Fig. 9 Time history curves of acceleration at points A and B

根据图 9 a), 柱底 B 点可以明显看到列车轮对加载产生的周期性振动峰值, 以及列车轮对的位置。而在柱顶 A 点处不同轮对之间的振动产生了叠加, 不同轮对产生的振动峰值区分不明显, 且中间轮对产生的振动大于首尾轮对, 且 A 点和 B 点振动幅值差异较小。

由图 9 b) 可知, 柱底 B 点和柱顶 A 点处均可以

看到列车轮对加载产生的周期性振动峰值,但柱底处轮对的周期性更加明显。在振动幅值方面,柱顶 A 点的振动水平远小于柱底 B 点,说明木结构的存在削弱了该方向振动波传播,对振动具一定阻滞后作用。

由图 9 c)可知,柱底 B 点和柱顶 A 点的振动时程曲线几乎一致,均基本呈纺锤状,仅是振动幅值存在差异。由于柱顶 A 点振动大于柱底 B 点,说明竖向振动由柱底传到柱顶的过程中发生了振动放大。

此外,由于柱不同位置处的水平向振动加速度幅值均小于竖向,说明木结构的振动以竖向为主。而对比柱底和柱顶处振动,柱顶处水平向振动较柱底减小而竖向振动增大,因此在木质建筑物保护过程中,应更加关注柱底处的水平向振动和柱顶处的竖向振动。

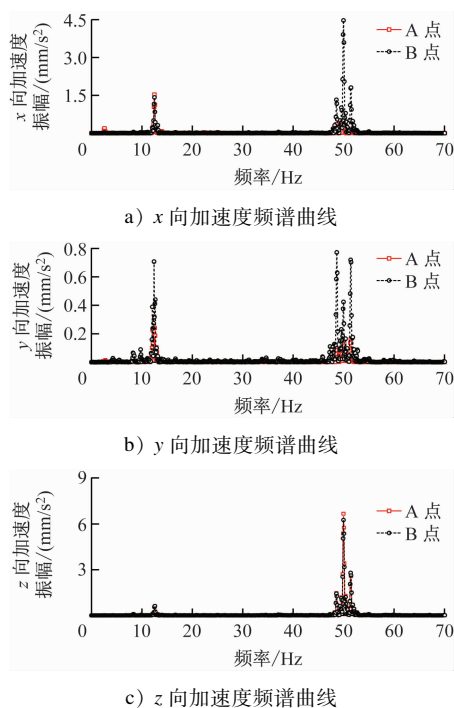


图 10 A、B 点加速度频谱曲线

Fig. 10 Acceleration frequency spectrum curves at points A and B

由图 10 可知,柱顶和柱底 3 个方向上均包含 10 ~ 15 Hz 的低频振动和 45 ~ 55 Hz 的高频振动,但不同位置处低频和高频成分不同。其中,在  $x$  方向和  $y$  方向上,柱底以高频振动能量为主,而在柱顶位置处以低频振动能量为主。不同位置处  $x$  向低频振动对应的主频振动幅值基本相同,说明由柱底到

柱顶,在  $x$  方向上高频振动能量衰减迅速,低频能量变化较小。 $y$  方向上柱顶处高频和低频振动对应的主频均小于柱底,说明  $y$  方向上高频振动衰减较快,低频振动衰减较慢。在  $z$  方向上,柱底和柱顶均以高频振动为主,且高频振动对应的幅值差异较小,说明  $z$  方向上高频和低频振动均相差较小。

综上,地铁运行产生的振动由柱底传向柱顶的过程中,水平向高频振动衰减较快,而低频振动衰减较慢,竖向高频和低频振动均衰减较慢。

为评估地铁单向运行情况下承重柱是否出现振动超限情况,汇总图 8 b)中 A—D 等 4 个计算点振动速度峰值汇总于表 3。由表 3 可知,各计算点不同方向上最大振动速度为 0.136 5 mm/s,均小于规范对古建筑木结构振动的限值。

表 3 计算点振动速度峰值

Tab.3 Peak value of vibration velocity at the calculation points

| 计算点<br>编号 | 振动速度/(mm/s) |         |         |
|-----------|-------------|---------|---------|
|           | $x$ 向       | $y$ 向   | $z$ 向   |
| A         | 0.051 8     | 0.031 8 | 0.102 6 |
| B         | 0.111 5     | 0.040 1 | 0.099 8 |
| C         | 0.052 9     | 0.033 3 | 0.136 5 |
| D         | 0.099 9     | 0.050 4 | 0.135 0 |

## 4 结语

为研究济南典型土层地质条件下地面交通荷载和地铁列车荷载作用引起的地表环境振动特性,评估交通环境振动对明清商贸会馆类古建筑的影响,本文以江西会馆为背景,基于现场实测数据(对路面交通)和数值模拟(对地铁)计算结果,以 GB/T 50452—2008《古建筑防工业振动技术规范》为基准,分析了江西会馆振动响应特征,评估了结构安全性,得到以下结论:

1) 在地面交通荷载作用下,江西会馆建筑群振动响应以竖向振动为主,呈现随机振动的特点,且距离地面交通主干道越远,振动越小。建筑主殿内振动在 10 ~ 25 Hz 频段范围内均有分布,且不同位置处沿道路方向振动主频均大于垂直道路方向振动主频。

2) 在地铁荷载作用下,江西会馆建筑物振动以竖向为主。柱顶处水平向振动较柱底减小而竖向振动增大;水平高频振动衰减较快,而低频振动衰

减较慢,竖向高频和低频振动均衰减较慢。

3) 既有地面交通荷载作用下,江西会馆振动速度最大值为 0.18 mm/s,地铁荷载作用下振动速度最大值为 0.14 mm/s,两种交通荷载单独作用下均能满足 GB/T 50452—2008《古建筑防工业振动技术规范》对古建筑木结构振动限值的规定。

## 参考文献

- [1] HINZEN K G. Subway-induced vibrations in cologne cathedral [J]. Seismological Research Letters, 2014, 85(3): 631.
- [2] 王宗礼, 苏广丰. 焦枝铁路对洛阳龙门石窟的环境影响[J]. 铁道标准设计通讯, 1991, 35(12): 35.
- WANG Zongli, SU Guangfeng. Environmental impact of Jiaozhi railway on Longmen Grottoes in Luoyang[J]. Railway Standard Design, 1991, 35(12): 35.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 古建筑防工业振动技术规范: GB/T 50452—2008 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Technical specifications for protection of historic buildings against man-made vibration: GB/T 50452—2008 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009.
- [4] 郑建国, 徐建, 钱春宇, 等. 古建筑抗震与振动控制若干关键技术研究[J]. 土木工程学报, 2023, 56(1): 1.
- ZHENG Jianguo, XU Jian, QIAN Chunyu, et al. Research on several key technologies of earthquake resistance and vibration control of ancient buildings[J]. China Civil Engineering Journal, 2023, 56(1): 1.
- [5] 朱利明, 王成龙, 蓝天, 等. 地铁运行引起的南京鼓楼振动测试与分析[J]. 建筑结构学报, 2018, 39(增刊1): 291.
- ZHU Liming, WANG Chenglong, LAN Tian, et al. Vibration test and analysis of Nanjing Drum Tower caused by metro operation [J]. Journal of Building Structures, 2018, 39(S1): 291.
- [6] 高波, 蓝天, 朱利明. 地铁运行振动对邻近民国建筑的影响 [J]. 南京工业大学学报(自然科学版), 2018, 40(6): 104.
- GAO Bo, LAN Tian, ZHU Liming. Effects of metro operation vibration on neighboring buildings of Republic China[J]. Journal of Nanjing Tech University (Natural Science Edition), 2018, 40(6): 104.
- [7] 朱利明, 苗宁宁, 吴志强, 等. 地铁运行引起的南京鼓楼振动响应分析[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(13): 249.
- ZHU Liming, MIAO Ningning, WU Zhiqiang, et al. Dynamic response analysis of Nanjing drum tower under the situation of metro train running[J]. Science Technology and Engineering, 2017, 17(13): 249.
- [8] 谢伟平, 刘少武, 许暮迪. 地铁列车荷载作用下砖石古塔振动响应研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2022, 19(3): 798.
- XIE Weiping, LIU Shaowu, XU Mudi. Vibration response of ancient masonry pagoda under metro train load[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2022, 19(3): 798.
- [9] 陈启辉, 田洪水, 孙振波, 等. 济南市工程地质特征分析及问题探索[J]. 工程力学, 2010, 27(增刊2): 96.
- CHEN Qihui, TIAN Hongshui, SUN Zhenbo, et al. Analysis on engineering geological structure and issues in Jinan city[J]. Engineering Mechanics, 2010, 27(S2): 96.
- [10] 梁波, 罗红, 孙常新. 高速铁路振动荷载的模拟研究[J]. 铁道学报, 2006, 28(4): 89.
- LIANG Bo, LUO Hong, SUN Changxin. Simulated study on vibration load of high speed railway[J]. Journal of the China Railway Society, 2006, 28(4): 89.

· 收稿日期:2023-11-24 修回日期:2024-02-01 出版日期:2025-01-10  
Received:2023-11-24 Revised:2024-02-01 Published:2025-01-10  
· 第一作者:艾楠,副研究员,16368634@qq.com  
通信作者:侯和涛,教授,houhetao@sdu.edu.cn  
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

## 《郑州市城市轨道交通线网规划(2021—2035年)》公示

2024年12月18日,郑州市自然资源和规划局公示《郑州市城市轨道交通线网规划(2021—2035年)》。公示内容显示,郑州市城市轨道交通线网规划发展目标是以“轨道上的郑州”为总目标,构建开放式、多层次、一体化的轨道交通系统,支撑“多中心、网络化、组团式、集约型”的城市空间结构。布局原则为:中心锚固主要枢纽和功能中心作为轨道交通线网的锚固点;选取主要交通枢纽、市级中心、次级中心等主要功能中心予以锚固;分区差异供给主城区加密提效,增加部分走廊和核心片区的覆盖,缩短主副中心至航空港区、新城、环郑紧密协作区通达时间,强化主中心与各组团通达能力;航空港区—新郑组团联动成网,增加与主城区主要功能板块联系的直达快线,依托快线增加内部各片间直达性,基本形成完整网络;近郊组团在主走廊实现轨道快速通达,依托快线完善新城内部接驳普线;远郊组团重在主城区实现快线直达,线路深入核心区便于地面集散。

(摘编自郑州晚报)