

DOI: 10.7672/sgjs2025220001

地铁上盖开发声环境评价与噪声防治措施研究*

王 建¹, 康万良¹, 张博阳¹, 卢光威², 梅 源²

(1. 中铁二十局集团第六工程有限公司, 陕西 西安 710032; 2. 西安建筑科技大学, 陕西 西安 710055)

[摘要]以重庆某TOD项目为研究背景,综合考虑道路噪声、轨道交通噪声等进行区域声环境研究。采用现场实测和仿真模拟相结合的方法,通过实测数据对仿真模型进行拟合修正,对区域内各建筑测点进行预测分析,并提出针对性的降噪措施。研究结果表明,采用 Cadna/A 软件结合现场实测数据进行修正后,其模拟精度可达到 98%以上,能够有效模拟研究区域的声学环境;通过分析道路交通、轨道交通及两者叠加作用下的环境噪声,确定道路交通是影响区域声环境的主要因素,而轨道交通因设计时考虑了隔声和减振措施,影响较小;针对超过标准限值的楼栋,采取了主动降噪和被动降噪相结合的措施,结果表明,这些措施能够有效改善区域内声环境。

[关键词] 地铁; 噪声; 声环境; 仿真模拟; 监测**[中图分类号]** U239.5**[文献标识码]** A**[文章编号]** 2097-0897(2025)22-0001-05

Study on Acoustic Environment Assessment and Noise Mitigation Measures for Subway Overhead Development

WANG Jian¹, KANG Wanliang¹, ZHANG Boyang¹, LU Guangwei², MEI Yuan²

(1. The Sixth Engineering Co., Ltd. of China Railway 20th Bureau Group Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710032, China; 2. Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an, Shaanxi 710055, China)

Abstract: Taking a TOD project in Chongqing as the research background, a regional acoustic environment study was conducted by comprehensively considering road noise, rail transit noise, and other factors. Using a combination of on-site testing and simulation, the simulation model is fitted and corrected based on the measured data. Predictive analysis is conducted on various building measurement points in the area, and targeted noise reduction measures are proposed. The research results show that after using Cadna/A software combined with on-site measured data for correction, the simulation accuracy can reach over 98%, which can effectively simulate the acoustic environment of the research area. By analyzing the environmental noise caused by road traffic, rail transit, and their combined effects, it is determined that road traffic is the main factor affecting the regional acoustic environment, while rail transit has a relatively small impact due to the consideration of sound insulation and vibration reduction measures in its design. For buildings that exceed the standard limit, a combination of active and passive noise reduction measures have been taken, and the results show that these measures can effectively improve the acoustic environment in the area.

Keywords: subways; noise; acoustic environment; emulational simulation; monitoring

0 引言

TOD(transit-oriented development)模式是以公共交通为导向的土地资源开发模式,对促进区域协同发展、改善城市交通环境具有重要意义。近年来,我国TOD建设规模发展迅猛^[1-3],但由于TOD

项目常常位于公共交通重要节点区域,巨大的交通流量产生了繁杂的噪声,严重影响了人们的正常生活。众多学者对道路交通、轨道交通的噪声特点及降噪措施进行了研究。在道路噪声研究领域, Garcia 等^[4]在西班牙 7 个主要城市安装了 50 多个监测点进行了为期 20 年的道路交通噪声监测,总结了城市中心区交通噪声的时间变化特征。Mansouri 等^[5]在德黑兰市中心选取 115 个测量点,包括街道、

* 陕西省重点研发计划(2024SF-YBXM-650)

[作者简介] 王 建,助理工程师,E-mail: 529989191@qq.com

[收稿日期] 2025-02-10

人行道、商店和屏障,评估了该区域的整体噪声水平,得出道路交通是环境噪声污染的主要来源。符浩翔^[6]以广州市城市道路为例,研究了道路噪声的时空分布、统计特征及影响因素,研究结果表明,道路交通噪声影响因素的贡献依次为车速>车流量>车型比例。在轨道交通噪声研究领域,Mellet 等^[7]利用 29 通道星型阵列,对运行速度在 250~320km/h 的 TGV-Duplex 列车进行声源识别试验,并对各车厢的主要声源进行了分类。李莉等^[8]对某地铁高架线路的普通整体道床无声屏障和道床垫式浮置板道床隔声屏障区段的桥侧环境噪声进行了测试,分析了桥侧各测点的 A 计权总声压级和 1/3 倍频程线性声压级,绘制了线性声压级云图,并研究了各频段的噪声能量比例。高飞等^[9]利用声学理论建立了列车通过高架桥梁时的噪声预测模型,并与北京地铁 5 号线高架桥梁试验段的现场噪声测试结果进行对比,验证了该模型的可靠性。研究结果表明,较强的结构噪声主要集中在桥梁中部。在降噪措施研究领域,Liu 等^[10]对相同水平距离但高度不同的声屏障降噪效果进行分析,研究结果表明,在距地面相同高度处,离声屏障越远,声压级越高,而在距声屏障相同距离处,测点高度越低,声压级越小。虽然道路噪声、轨道交通噪声等领域研究较多,但针对 TOD 模式下的声环境研究较少。本文以重庆某 TOD 项目为研究背景,采用现场实测和仿真模拟方法,通过实测数据对仿真模型进行拟合修正后,对区域内各建筑测点进行预测分析,并提出了针对性的降噪措施。

1 工程概况

以重庆市南岸区南坪组团地块 TOD 开发项目建筑群为研究对象,周边分布有轨道交通环线以及多条城市主干道路和支路,环境受噪声影响较大,如图 1 所示。



图 1 项目周边道路分布

Fig. 1 Road distribution around the project

2 噪声分析软件选择

目前,SoundPlan, Cadna/A 等软件广泛应用于

降噪工程、建筑声学设计计算等领域。Cadna/A 是集计算、演示、评估和预测于一身的专业环境噪声软件,可广泛应用于包括工业厂房、停车场、新建道路或铁路,甚至整个城镇和城市化区域的集市的噪声影响,并且内置了许多关于室外环境噪声的国际标准、指南等,其强大的计算算法、广泛的对象处理、可修改的 3D 可视化以及友好的用户界面,深受业界好评。中国环境科学研究院等单位完成了 Cadna/A 软件与 FHWA 模式计算方法的对比研究,得出该软件适用于我国铁路、轨道交通、公路(道路)等交通环境影响评价的结论。Cadna/A 软件计算原理源于 ISO 9613—2 : 1996《户外声传播的衰减的计算方法》,其中道路交通噪声计算基于德国 RLS90 模式。软件中对噪声物理原理的描述、声源条件的界定、噪声传播过程中应考虑的影响因素及噪声计算模式等方面与国际标准化组织的有关规定完全相同,GB/T 17247. 2—1998《声学 户外声传播的衰减第 2 部分:一般计算方法》等效采用了《户外声传播的衰减的计算方法》,因此本文噪声预测采用 Cadna/A 软件进行建模计算。

3 仿真模拟与验证

3.1 模型建立

按照项目设计规划,本文研究对象建筑模型包含 14 栋中高层建筑(15~27 层)、9 栋低层建筑(2~5 层)及其他配套建筑,如图 2 所示。

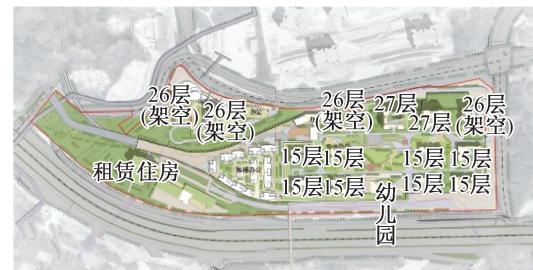


图 2 项目建筑平面分布

Fig. 2 Layout of project building

综合项目总平面布置图、轨道交通环线(场线)和地铁枢纽模型等资料对项目地块进行等比例建模,如图 3 所示。建模过程中对不影响噪声预测点计算的部分结构进行简化处理。考虑最不利影响,在现场监测点处和拟建建筑外 1m、高于各层楼标高 1. 50m 处布置噪声预测点。

3.2 模型验证与修正

为了校核模型的模拟精度,对轨道交通环线单趟列车和场线单趟列车的等效声级进行监测,轨道交通环线单趟列车的等效声级为 81. 8~82. 1dB

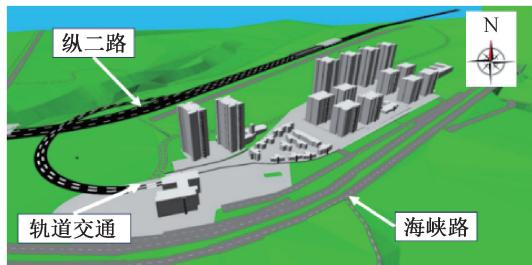


图 3 模型 3D 效果

Fig. 3 3D model rendering

(A),场线单趟列车的等效声级为 82.3dB(A)。同时在模型中输入轨道交通噪声源强行车对数、车速等参数,并按监测结果进行修正,确定轨道交通环线和场线在高架回库测点处的单趟列车等效声级参数分别为 81.5,82.3dB(A)。

模型修正后,分别在现场选取 9 个监测点进行噪声监测,如图 4 所示,监测频率为 24h,监测时间段为昼间 6 时至 22 时、夜间 23 时至次日早晨 5 时,在噪声监测的同时记录比对车流量等信息^[11],并在模型中提取相应的点位与现场监测结果进行比对,验证模型精度,如表 1 所示。误差值为监测值与模拟值的差值,精度则为模拟值与监测值的比值,用以衡量模型的精确程度。由表 1 可知,模型在经过修正后,与实际监测值的误差仅在 0.1~1.1dB(A),模拟精度均可达到 98% 以上,证明模型能够有效模拟研究区域的声学环境,可以保证后续预测分析的准确性。



图 4 测点平面

Fig. 4 Plan of measurement points

4 噪声预测分析

基于 TOD 项目的区域和环境特性,为了明确不同噪声源作用下的噪声影响,本文设置仅道路交通作用、仅轨道交通作用及轨道交通与道路叠加作用工况,各工况条件下的区域内环境噪声值如图 5 所示。各测点白天的噪声值均大于夜晚噪声值,这是由于白天是交通流量的高峰时段,尤其是上下班时间。汽车、公共交通和其他交通工具的噪声都可能在此时段增加。随着测点高度即楼层层高的提升,

表 1 实际监测与模拟值对比

Table 1 Comparison of actual monitoring and simulation values

监测点位	监测值/dB(A)		模拟值/dB(A)		误差值/dB(A)		精度/%	
	昼间	夜间	昼间	夜间	昼间	夜间	昼间	夜间
N-1	63.4	62.0	62.6	61.3	0.8	0.7	98.7	98.8
N-2	62.5	60.9	62.2	60.7	0.3	0.2	99.5	99.6
N-3	67.1	66.7	65.8	65.6	1.3	1.1	98.1	98.4
N-4	64.4	64.0	64.2	63.4	0.2	0.6	99.7	99.1
N-5	61.7	60.3	61.3	60.2	0.4	0.1	99.4	99.8
N-6	60.7	59.2	60.4	59.1	0.3	0.1	99.5	99.8
N-7	63.4	62.2	62.6	61.1	0.8	1.1	98.7	98.2
N-8	63.4	61.7	62.4	60.9	1.0	0.8	98.4	98.7
N-9	62.3	61.4	62.4	60.8	0.1	0.6	99.8	99.0

各工况条件下的噪声贡献值均呈增大趋势,各建筑最大噪声值均位于顶层最高处,分析其原因在于噪声在空气传播过程中,高楼层周围没有树木、低层建筑等物体的遮挡,使得噪声在空气传播的路径相对较短,空气传导的效应更显著,故噪声更大。

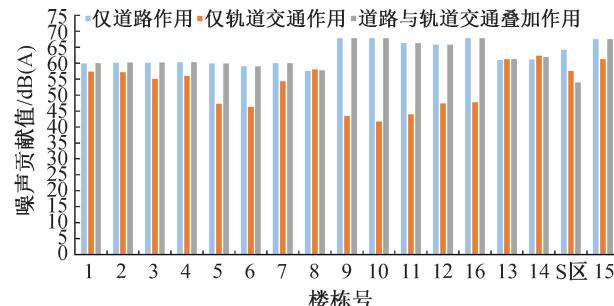


图 5 各建筑最大噪声贡献值

Fig. 5 Maximum noise contribution values of each building

每种工况条件下的各建筑最大噪声贡献值如图 6 所示。由图 6 可知,仅道路作用条件下,住宅区 1~8 号建筑的噪声贡献值变化不大,为 57.6~60.3dB(A),相较之下,住宅区 9,10,11,12,16 号建筑因靠近城市主干道海峡路,故其噪声值开始增大,为 65.8~67.8dB(A);白地区(即可扩展使用区域)建筑 13,14 号楼的噪声贡献值为 60.9~61.1dB(A),与住宅区 1~8 号楼齐平;办公区建筑 S 区建筑群和租赁区建筑 15 号楼的噪声贡献值为 64.2,67.5dB(A)。仅轨道交通作用条件下,其噪声贡献值的大小与列车行驶的速度及距离列车的平面距离有关,当列车行驶至咽喉区时,速度较大,产生的噪声较大,故而位于咽喉区附近的白地区建筑、租赁区建筑、办公区建筑群 S 区以及住宅区的 1,8 号建筑的噪声贡献值较大,在 55.1~62.3dB(A) 范围内。随着列车通过咽喉区,速度变缓,相应区域的各楼栋噪声贡献值变小,从 5~8 号楼的噪声贡献值

可清晰地发现这一规律,其值从 8 号楼的 58dB(A)减小至 5 号楼的 47.2dB(A)。同时,由于 9,10,11,12,16 号楼距离列车轨道距离较远,故而其噪声贡献值与其他楼栋相比较小,为 43.4~47.7dB(A)。

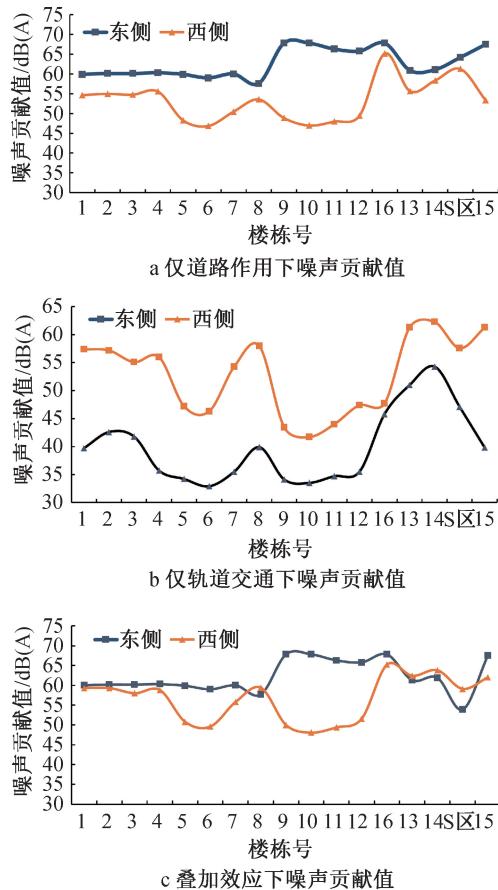


图 6 不同工况下的噪声贡献值

Fig. 6 Noise contribution values under various conditions

对比分析仅道路作用和仅轨道交通作用下噪声贡献值可知,道路作用下的各楼栋的噪声值普遍比轨道交通作用下的噪声值更大,此种情况在 9,10,11,12,16 号楼上表现的尤为明显,这是由于工程毗邻城市主干道和城市次干道,交通繁忙、车辆众多且车流量密度大,而轨道交通的运行时段通常较为固定,且可能在夜间减少或暂停,相对于道路交通而言,轨道交通的影响时段可能更有规律性,其单位时间内产生的噪声小于道路上车辆产生的噪声。同时地铁系统通常在设计和建设时会考虑采用隔声和减振措施,以减轻噪声对周围环境的影响,因此道路作用下的噪声贡献值在总噪声贡献值中占较大比重。

考虑到各建筑楼层东西两侧面对的噪声源不同,为了进一步明确不同工况下的主要噪声影响源,各工况条件下东西侧噪声贡献值如图 7 所示。由图 7 可知,在仅道路作用工况下,楼层东侧的噪声

贡献值均大于西侧的噪声贡献值,两侧贡献值差值最小为 2.7dB(A),最大为 20.8dB(A),而仅轨道交通作用下的各楼层噪声贡献值则相反,东侧噪声贡献值均大于西侧,两侧差值范围为 8~21.5dB(A)。分析其原因在于,仅道路作用工况下,各楼层东侧面临城市主干道,西侧则为城市次干道,其主干道车流量较次干道更大,故其产生的噪声更大。而仅轨道交通作用下,列车行驶方向多位于楼层东侧,故其东侧的噪声贡献值更大。当道路和轨道交通叠加作用时,东侧的噪声贡献值在大部分楼栋中大于西侧,说明道路作用下的噪声贡献值在总噪声贡献值中占较大比重,验证了前文得出的结论。

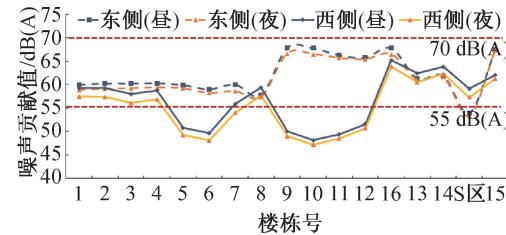


图 7 各建筑昼夜噪声贡献值

Fig. 7 Day and night noise contribution values of each building

根据 GB 3096—2008《声环境质量标准》,本文室外噪声预测评价声环境现状执行 4a 类区(昼间 70dB(A),夜间 55dB(A)限值)标准。按照限值标准要求,大部分建筑昼间噪声贡献值在限值范围内,而其对应的夜间噪声贡献值则超出限值要求,未超出的楼栋其余量较少。因此有必要采取有效的降噪措施,满足相关声环境要求,保证区域内生活和工作环境的舒适度。

5 噪声防治效果评价

5.1 噪声防治方案

城市轨道交通噪声成因复杂,控制工作需从多角度、多方面系统展开^[12]。根据噪声防治的基本原则,建筑群的噪声防治主要从声源控制、传递路径控制及室内隔声控制进行考虑。本文综合项目特点,采取以下降噪方法:沿海峡路设置 4m 直立式声屏障;场线周围布置半封闭声屏障,同时根据室内噪声标准要求,对实行前 2 项措施后仍超标的建筑采用高等级的隔声窗,如图 8 所示。

5.2 降噪效果分析

通过设置直立式声屏障和半封闭声屏障等主动降噪措施,各测点位置的噪声贡献值如图 9 所示。由图 9 可知,场地声环境现状有了明显改善,超过限值的楼栋数由 10 个减少为 4 个,降幅明显。之后针

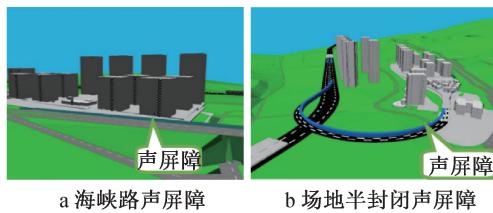


图 8 噪声防治措施

Fig. 8 Noise control measures

对未满足限值要求的楼栋增加高等级隔声窗加强措施,由此保证区域日常生活工作声环境要求。

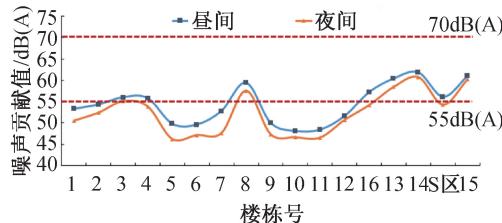


图 9 采用降噪措施后的各建筑噪声贡献值

Fig. 9 Noise contribution values of each building after implementing noise reduction measures

6 结语

1) 采用 Cadna/A 软件结合现场实测数据进行修正后,其模拟精度可达到 98% 以上,能够有效模拟研究区域的声学环境。

2) 通过分析仅道路交通作用、仅轨道交通作用以及轨道交通与道路交通叠加作用工况条件下的区域内环境噪声值,明确道路交通是影响区域声环境的主要因素,轨道交通则由于其在设计修建时考虑了隔声和减振措施而影响有限。

3) 针对超过标准限值的楼栋采取主动降噪和被动降噪相结合的降噪措施,有效改善了区域内声环境。

参考文献:

[1] 翁朋友,段佐刚,李金宴.公轨融合背景下公交场站 TOD 规划选址适应性及设计优化研究 [J].城市建筑空间,2023,30(10):98-101.

WENG M Y, DUAN Z G, LI J Y. Adaptability and design optimization of TOD planning site selection for public transport terminals under background of public rail integration [J]. Urban architecture space, 2023, 30(10):98-101.

[2] 彭益伦.TOD 模式下轨道交通站点地区土地利用现状评价研究——以杭州上城区为例 [J].城市建筑空间,2023,30(3):82-83.

PENG Y L. Evaluation of land use status in rail transit station

area under TOD mode : taking Shangcheng district, Hangzhou as an example [J]. Urban architecture space, 2023, 30(3):82-83.

[3] 鞠瑞馨,曹辉,丛阳. TOD 理念下智慧城市生态空间发展设计研究——以天津市东丽区万达城市设计项目为例 [J]. 城市建筑空间,2023,30(5):11-15.

JU R X, CAO H, CONG Y. Development and design of TOD smart city eco-space : taking Wanda city design project in Dongli district of Tianjin as an example [J]. Urban architecture space, 2023, 30(5):11-15.

[4] GARCIA A, FAUS L J. Statistical analysis of noise levels in urban areas [J]. Applied acoustics, 1991, 34(4):227-247.

[5] MANSOURI N, POURMAHABADIAN M, GHASEMKHANI M. Road traffic noise in downtown area of tehran [J]. Journal of environmental health science & engineering, 2006, 3 (4): 267-272.

[6] 符浩翔. 广州市城市道路交通噪声特征及环境影响预测研究 [J]. 广东化工, 2015, 42(19):114-116.

FU H X. Research on traffic noise characteristic and prediction of road in Guangzhou [J]. Guangdong chemical industry, 2015, 42(19):114-116.

[7] MELLET C, LETOURNEAUX F, POISSON F, et al. High speed train noise emission: latest investigation of the aerodynamic/rolling noise contribution [J]. Journal of sound and vibration, 2006, 293(3):535-546.

[8] 李莉,尹铁锋,朱茜,等.城轨高架环境噪声特性与不同频段能量[J].交通运输工程学报,2018,18(2):120-128.

LI L, YIN T F, ZHU Q, et al. Characteristics and energies in different frequency bands of environmental noise in urban elevated rail [J]. Journal of traffic and transportation engineering, 2018, 18(2):120-128.

[9] 高飞,夏禾,安宁.北京地铁 5 号线高架结构的辐射噪声分析与实验研究 [J].中国铁道科学,2010,31(5):134-139.

GAO F, XIA H, AN N. Analysis and experimental study on the radiation noise of the elevated structures of Beijing metro line 5 [J]. China railway science, 2010, 31(5):134-139.

[10] LIU Y, YANG B, ZHANG X P, et al. Test and analysis of noise reduction effect for different heights and distances of sound barrier [J]. Advanced materials research, 2011, 1269 (243-249): 4447-4450.

[11] 张宏艳.《环境影响评价技术导则声环境》解析 [J].中国石油和化工标准与质量,2011,31(6):255,258.

ZHANG H Y. Analysis of technical guideline for environmental impact assessment acoustic environment [J]. China petroleum and chemical standard and quality, 2011, 31(6):255,258.

[12] 王帅.城市轨道交通声环境的影响预测与降噪措施研究 [D]. 西安:西安建筑科技大学,2015.

WANG S. Research on the impact prediction and noise reduction measures of urban rail transit sound environment [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2015.