

有轨电车沿线噪声特性研究

张玉洁, 王春艳*, 何金池, 张晓排

大连交通大学詹天佑学院(中车学院), 辽宁 大连

收稿日期: 2025年6月10日; 录用日期: 2025年7月1日; 发布日期: 2025年7月14日

摘 要

为了得到有轨电车沿线噪声分布规律, 选取大连有轨电车202线路典型运营区段为研究对象, 理论和仿真预测了线路沿线噪声, 实地测量了该区段噪声, 理论、仿真和实测值进行了对比。有轨电车通过时, 线路两侧噪声均超过70 dB (A), 在靠近有轨电车侧, 有轨电车噪声起决定性作用, 远离轨道侧, 有轨电车噪声和道路交通噪声两者共同起作用。没有有轨电车通过时, 道路两侧交通噪声均低于70 dB (A)。这说明有轨电车在运行中对沿线建筑物会产生影响。在理论计算和仿真预测中, 有轨电车噪声偏低, 道路交通噪声偏高, 这可能是由于有轨电车声源离受声点远, 而道路车辆运行速度比实际运行速度高造成的。

关键词

有轨电车, 交通噪声, 噪声预测, 噪声实测

Research on Noise Characteristics along Tram Lines

Yujie Zhang, Chunyan Wang*, Jinchi He, Xiaopai Zhang

Zhan Tianyou College (CRRC College), Dalian Jiaotong University, Dalian Liaoning

Received: Jun. 10th, 2025; accepted: Jul. 1st, 2025; published: Jul. 14th, 2025

Abstract

In order to obtain the distribution pattern of noise along the tram line, the typical operating section of Dalian Tram 202 line was selected as the research object. The noise along the line was predicted theoretically and simulated, and the noise in this section was measured on site. The theoretical, simulated, and measured values were compared. When the tram passes through, the noise on both sides of the line exceeds 70 dB (A). On the side close to the tram, the tram noise plays a decisive role, while on the side far from the track, the tram noise and road traffic noise work together. When there

*通讯作者。

文章引用: 张玉洁, 王春艳, 何金池, 张晓排. 有轨电车沿线噪声特性研究[J]. 动力系统与控制, 2025, 14(3): 256-265.
DOI: 10.12677/dsc.2025.143026

is no tram passing through, the traffic noise on both sides of the road is below 70 dB (A). This indicates that the operation of the tram will have an impact on the buildings along the line. In theoretical calculations and simulation predictions, the noise of trams is relatively low, while the noise of road traffic is relatively high. This may be due to the fact that the sound source of trams is far away from the sound receiving point, and the running speed of road vehicles is higher than the actual running speed.

Keywords

Tram, Traffic Noise, Noise Prediction, Noise Measurement

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着城市化进程的加快,中低运量轨道交通系统在中小城市的交通网络中变得越来越重要。截至到2025年1月,我国有18个城市开通运营有轨电车、自动导向轨道线路33条,运营里程497.3 km [1]。然而,运营过程中产生的噪声污染问题日益突出。研究显示,在公路和铁路共存的混合交通路段,噪声问题更为严重[2]。例如,杜麒麟[3]测试并分析了胶轮型有轨电车的噪声源强,贺玉龙[4]研究了成都蓉二号线有轨电车的行驶速度与噪声源强之间的关系。除此之外,现有的声环境评价方法仍不够完善。刘晓波等[5]考虑线路条件后对车辆和声环境进行了评价,但模型法存在一定误差。陈锋等[6]研究了黄石有轨电车对周边声环境的影响,但仅靠实测数据不足以得出准确结论,还需结合模拟方法。宋闯[7]对某有轨电车线路进行了实测和模拟,但所用的交通噪声模型为欧盟标准,需在國內应用时进行调整。

在城市道路中,有轨电车线路通常和公路并行,需要同时考虑两者对沿线的影响。轨道线路辐射噪声预测模型主要两种,一是根据列车种类、数量、通过的等效时间、列车辐射源强等,计算距离线路7.5 m 远处接受点的等效连续A 声级。该模型还对速度进行了修正,考虑了发散、大气吸收、地面吸收、屏障吸收和建筑吸收引起的声衰减。二是德国的 Shcall 03 预测方法。它将一段铁路线划分为若干段,每一段简化为点声源,分别计算每一段点声源在接收点产生的噪声,将所有点声源在该接收点的声能量进行叠加,得到接收点的总声压级。

公路噪声预测模型主要有四种,一是美国 FHWA 预测模型,将车辆分成大中小三类,分段进行噪声计算和修正,最后将三种结果进行总计算,得到总声压级。二是英国 CRTN 模型,此模型先基于交通流量、车速、车型比、道路坡度等参数,计算离车道边缘10 m 处的基准噪声声级。再对影响声音传播的因素进行修正,最终得到预测点在路边10 m 处的基础源强值 L_{10} 。三是德国 RLS90 预测模型,模型分为两部分,先基于车流量、车型比、车速、路面类型及坡度计算距声源水平25 m、4 m 高的车辆辐射声级,再对距离衰减、地面吸收、声屏障阻挡等因素进行修正得到总声压级。最后是声导则中的模型,该模型是先计算大、中、小型车的车辆源强噪声值,然后从车速、车型比例、道路坡度、路面类型、距离衰减、地面吸收、声屏障阻挡、空气吸收及其他环境因素九个方面进行修正。最后将三种车型下接收点声压级叠加,得到总声压级。

本研究选取一段有轨电车和道路交通并行的典型路段,通过理论、数值仿真和实验,分析有轨电车沿线噪声分布规律。

2. 有轨电车线路概况

大连市 202 路有轨电车线路全长 12.3 公里，西起小平岛，东至兴工街，东北、西南走向，共有 19 个车站。本文选取医大二院站至星海公园站区间作为研究对象，该区间是长 550m 的路面段，有一条公路与有轨电车并行，公路上车流量密集，除此之外，没有其它明显的噪声源。该区间沿线左侧集中分布了居民区、学校和医院，该线右侧有两家酒店和一所医院的研究中心。

道路两侧同时布置 8 个等长度间距均匀分布的测点，线路左侧 4 个测点 M1~M4，距离轨道中心线 7.5 m、距离地面高 1.2 m；线路右侧也有 4 个测点 M5~M8，位于人行道上，距道路 20 cm 处、距离地面高 1.2 m。如图 1 中用蓝圈表示测点 M1~M8，红线是有轨电车的行驶路线，绿线是道路交通路线，B1~B14 是线路两旁的主要建筑。



Figure 1. Surrounding environment of the line from No. 202 tram to the Second Hospital of Medical University to Xinghai Park Station

图 1. 202 路有轨电车医大二院站至星海公园站线路周围环境

3. 理论计算

有轨线路和道路交通线路并行，采用德国的 Schall 03 模型来预测有轨电车辐射噪声，采用《中华人民共和国国家环境保护标准》(HJ 2.4-2009) [8]中规定的道路交通运输噪声计算模型预测道路交通噪声，其中环保部的环境影响评价技术导则符合我国道路相关情况，德国 Schall 03 模型在预测软件中适用性更佳，因此选择这两种作为预测模型。

3.1. 有轨电车预测模型

将有轨电车线路分为等距线段，每段视为点声源，计算各点声源对受声点的声压级，再将声压级叠加得总声压级。单个点声源声功率级的计算见公式(1) [9]。

$$L_{m,E} = 10 \lg \left[\sum_i 10^{0.1(51 + D_{FZ} + D_D + D_l + D_v)} \right] + D_{Fb} + D_{Br} + D_{Bc} + D_{Ra} \quad (1)$$

式中：51 表示 51 dB，是列车运行噪声基准值； D_{FZ} 为列车类型修正量，城市轨道交通取 3 dB (A)； $D_D = 10 \lg(5 - 0.04p)$ 为列车制动器类型影响修正量， p 为盘式制动器车辆比例(%)； $D_l = 10 \lg(0.01l)$ 是列车长度

修正量, l 是 1 小时内通过第 i 类列车的总长度(m); $D_v = 20\lg(0.01v)$ 是列车速度修正量, v 是为第 i 类列车的运行速度(km/h); D_{Fb} 为轨道类型影响修正量, 取 5 dB (A); D_{Br} 为桥梁影响修正量, 对于地面线路该值为 0; D_{Bc} 为隧道影响修正量, 取 0; D_{Ra} 为曲线半径影响修正量, 取 0。

单个点声源辐射到受声点的声压级 $L_{r,k}$ 见公式(2)。

$$L_{r,k} = L_{m,E,k} + 19.2 + 10\lg(l_k) + D_{I,k} + D_{s,k} + D_{L,k} + D_{BM,k} + D_{Korr,k} + S \quad (2)$$

式中: $L_{m,E,k}$ 是第 k 段线路的辐射声级; l_k 是第 k 段线路的长度(m); $D_{I,k} = 10\lg(0.22 + 1.27 \sin^2(\delta_k))$ 为指向性影响修正量, δ_k 是第 k 段路与受声点的夹角; $D_{s,k} = 10\lg(1/2\pi(S_k)^2)$ 为传播距离影响修正量, S_k 是线路中心到受声点的距离; $D_{L,k} = -(S_k/200)$ 为大气吸收影响修正量; $D_{BM,k} = (h_m/S_k)[34 + 600/S_k] - 4.8 \leq 0$ 是地面吸收影响修正量, h_m 是传播路程的平均离地高度(m); $D_{Korr,k}$ 是传播途径影响修正量, 取 0; S 是铁路噪声烦扰特性影响修正量, 取 0。各修正量单位都是 dB (A)。

K 个点声源共同作用时, 受声点的总声压级 $L_{r,tot}$ 见公式(3)。

$$L_{r,tot} = 10\lg \sum_k 10^{0.1L_{r,k}} \quad (3)$$

3.2. 道路交通预测模型

将道路上的车型按照车辆总质量分成大、中、小三类, 即小型车(≤ 3.5 t)、中型车(3.5~12 t)、大型车(> 12 t)。每类车型的 1 个小时内的等效 A 声级 $L_{eq}(h)_i$ 用公式(4)计算。

$$L_{eq}(h)_i = (\overline{L_{0E}})_i + 10\lg\left(\frac{N_i}{V_i T}\right) + 10\lg\left(\frac{7.5}{r}\right) + 10\lg\left(\frac{\psi_1 + \psi_2}{\pi}\right) + \Delta L - 16 \quad (4)$$

式中: $(\overline{L_{0E}})_i$ 为第 i 类车以速度 V_i (km/h) 行驶时距离道路中心线 7.5 m 时的等效 A 声级; N_i 为第 i 类车在昼间、夜间通过某个预测点的平均小时车流量(辆/h); V_i 为第 i 类车的平均车速(km/h), T 为计算等效声级的时间(h); r 为车道中心线到预测点 > 7.5 m 时的距离(m); ψ_1 和 ψ_2 为预测点到有限长路段两端的张角(rad); ΔL 为由其他因素引起的修正量, 例如线路因素、公路纵坡、声波在传播途中的衰减量等, 此次研究区间设定为平坦路面, 无坡且周围并无声屏障、工业场所, 只考虑大气吸收 $A_{atm} = \alpha(r - r_0)/1000$, 其中 r 和 r_0 分别为预测点距声源的距离、参考位置距声源的距离(m)。

总车流量下的等效 A 声级 $L_{eq}(T)$ 计算公式(5)如下:

$$L_{eq}(T) = 10\lg \left(\frac{10^{0.1L_{eq}(h)_大} + 10^{0.1L_{eq}(h)_中} + 10^{0.1L_{eq}(h)_小}}{10^{0.1L_{eq}(h)_小}} \right) \quad (5)$$

式中: $L_{eq}(h)_大$ 、 $L_{eq}(h)_中$ 、 $L_{eq}(h)_小$ 分别为大、中、小型车的小时等效 A 声级(dB (A))。

3.3. 预测结果

计算有轨电车噪声时, 将研究线路划分成两段, 每段看作一个点声源, 两个点声源的声功率相同, 计算两个点声源辐射到受声点的声压级时 $D_{I,k}$ 、 $D_{s,k}$ 、 $D_{L,k}$ 和 $D_{BM,k}$ 四个修正项不同。两个点声源共同作用时, 受声点总声压级用公式(3)计算。计算参数值见表 1。

计算道路交通噪声影响时, 左、右两侧测点距离道路中心线分别为 40 m (相当于测点 M1~M4 位置) 和 15 m (相当于测点 M5~M8 位置), 计算接受点位于这两个位置处的声压级, 参数值如表 2 所示。

理论计算结果见表 5。分析表 5 数据可知距离道路较远的测点声压级较低。不难看出, 距离为 15 m 时, 复合声压级超出 70 dB (A), 已经超出 4a 类标准。

Table 1. Preset parameters for tram noise calculation
表 1. 有轨电车噪声计算的预设参数

计算参数	15 m (M1~M4)		40 m (M5~M8)	
	1	2	1	2
D_D		7.00 dB (A)		
D_i		5.48 dB (A)		
D_V		-10.46 dB (A)		
$D_{I,k}$	-6.55 dB (A)	3.15 dB (A)	-5.90 dB (A)	6.07 dB (A)
$D_{S,k}$	49.21 dB (A)	50.60 dB (A)	50.00 dB (A)	51.0 dB (A)
$D_{L,k}$	-0.58 dB (A)	-0.68 dB (A)	-0.61 dB (A)	-0.7 dB (A)
$D_{BM,k}$	-4.39 dB (A)	-4.46 dB (A)	-4.42 dB (A)	4.47 dB (A)
轨枕类型	草坪浅层钢轨			
列车类型	有轨电车			
列车长度	22.3 m			
列车运行速度	35 km/h			

Table 2. Preset parameters for highway noise calculation
表 2. 公路噪声计算的预设参数

计算参数	15 m (线路右侧)	40 m (线路左侧)
$(\bar{L}_{0E})_大$	80.19 dB (A)	
$(\bar{L}_{0E})_小$	68.24 dB (A)	
$N_大$	179	
$N_小$	2778	
v	40 km/h	
$\psi_1+\psi_2$	π	
T	1 h	
ΔL	-0.018 dB (A)	-0.078 dB (A)
$L_{eq 大}$	67.68 dB (A)	63.35 dB (A)
$L_{eq 小}$	67.64 dB (A)	63.31 dB (A)
道路类型	光滑沥青路面	
道路坡度	<5%	
车道宽度	20 m	
车流量	2957	
重型车占比	6.1%	

4. 沿线噪声数值仿真计算

4.1. 声场建模

通过 ArcGIS 获取医大二院至星海公园区间的等高线、地形地势以及临近有轨电车和道路的建筑物

形状、高度，结合高德地图中测量的道路宽度，将获取的信息导入 Auto CAD 中绘制研究区间平面图，将绘制好的地理几何模型保存成 DXF 格式，并导入 Cadna/A 软件中。道路沿线几何模型主要包括一条 550 m 长的有轨电车线路、一条公路线路，道路的左侧有 9 栋建筑，道路的右侧有 5 栋建筑，14 栋建筑高度在 16.02~32.35 m 之间，平均高度为 28.22 m。楼房之间和楼房外侧均为平地，研究区间总计算面积为 191840 m²。有轨电车线路中，轨枕类型、列车类型、长度以及最高运行速度见表 1。公路上的车流量、重型车比、道路设计车速以及路面结构见表 2。

预测面高度距离地面 1.2 m，预测点为 M1~M8。建筑物表面为无反射特性，相当于表面全吸声，不产生反射，区间地面复杂，公路为沥青，建筑物周围路面为水泥和砖面混合，同时模拟中不考虑频谱计算，只计算 A 计权声级，此地面视为多孔地面，模型中的地面吸声因子均为 1。有轨电车和道路交通沿线声学模型平面图如图 2 所示。

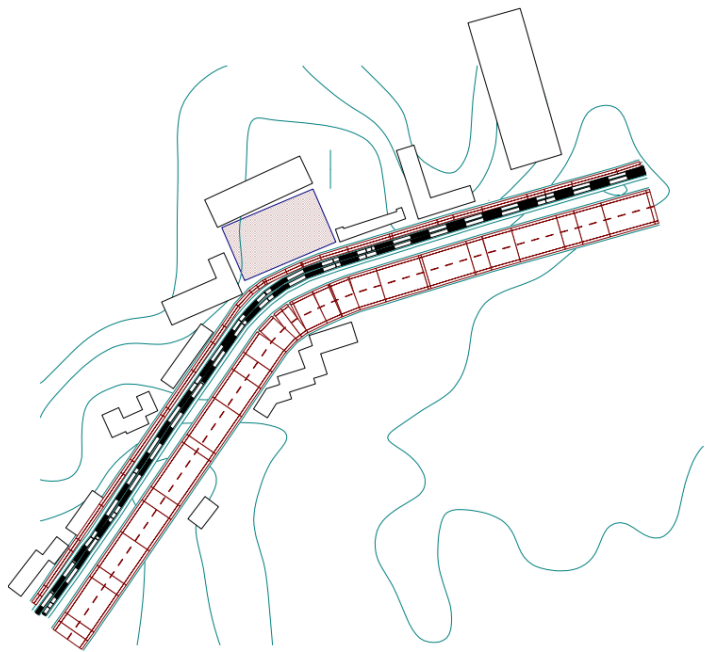


Figure 2. Plan of acoustic model along the section road
图 2. 区间道路沿线声学模型平面图

4.2. 结果分析

表 3 是仅有轨电车、仅道路交通、有轨电车和道路交通同时存在时，8 个噪声预测点的等效 A 声级。

Table 3. Equivalent A-level of 8 prediction points under three different scenarios (dB (A))
表 3. 三种情况下 8 个预测点的等效 A 声级(dB (A))

测点	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
仅有轨电车	57.9	55.4	58.7	58.6	49.4	48.9	49.7	49.0
仅道路交通	68.8	68.5	69.2	69.1	73.1	71.6	71.2	71.5
有轨电车和道路交通并行	72.3	71.3	72.6	72.4	73.2	71.1	71.3	71.6

从表 3 数据可知，仅有轨道电车时，道路左侧(靠近轨道侧)噪声为 55.4 dB (A)~58.7 dB (A)，四个测

点平均声压级为 57.65 dB (A); 道路右侧(远离轨道侧)噪声为 48.9 dB (A)~49.4 dB (A), 四个测点平均声压级为 49.25 dB (A), 左侧比右侧平均高 8.4 dB (A)。

而只有道路交通时, 道路左侧(靠近轨道侧)噪声为 68.5 dB (A)~69.2 dB (A), 四个测点平均声压级为 68.9 dB (A); 道路右侧(远离轨道侧)噪声为 71.2 dB (A)~73.1 dB (A), 四个测点平均声压级为 71.85 dB (A), 右侧比左侧平均高 2.95 dB (A)。

当两种交通形式共同作用时, 道路左侧(靠近轨道侧)噪声为 71.3 dB (A)~72.6 dB (A), 四个测点平均声压级为 72.15 dB (A); 道路右侧(远离轨道侧)噪声为 71.1 dB (A)~73.2 dB (A), 四个测点平均声压级为 71.8 dB (A), 两侧测点声压级相差不大。

从表 3 可知, 靠近道路一侧噪声主要受道路交通噪声影响, 有轨电车噪声的贡献可忽略。而靠近轨道一侧, 道路交通噪声与有轨电车噪声同时对该侧噪声起作用。交通噪声占主导。八个测点的声压级在 71.1 dB (A)~72.3 dB (A)之间。靠近有轨电车侧, 平均声压级比远离有轨电车侧高 0.35 dB (A)。

有轨电车通过和道路交通噪声同时存在时, 该区间线路沿线的等效 A 声级分布如图 3 所示。

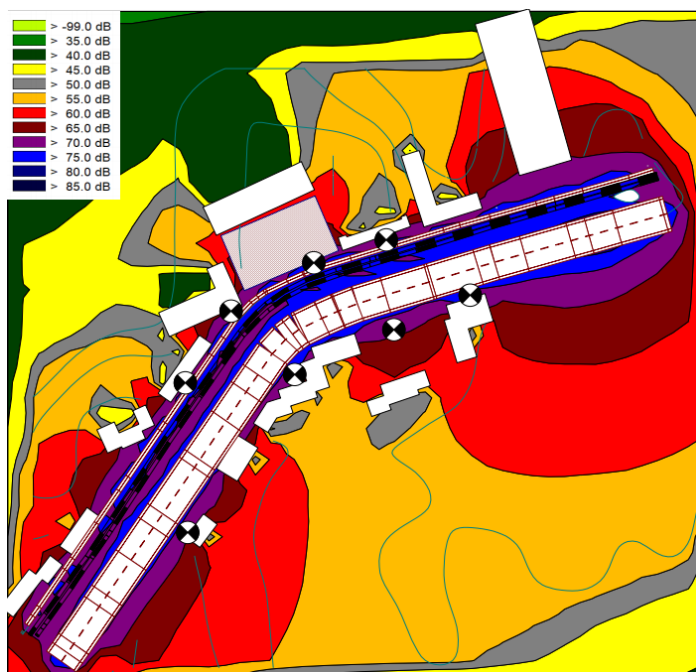


Figure 3. Noise distribution along the section road

图 3. 区间道路沿线噪声分布图

分析图 3 可知, 靠近道路交通和有轨电车线路两侧, 声压级较高, 可高达 85 dB 以上。随着远离交通噪声源, 声压级逐渐减小。图上显示<30 dB 的区域未进行声场计算。在道路右侧距离道边 7.5 m 之内、在有轨电车线路左侧距离线路 7.5 m 之内, 声压级超过 70 dB (A)。

5. 沿线噪声实测

5.1. 测试方法

分别测量了有轨电车与道路车辆并行和仅有道路车辆行驶, 两种情况下, 道路左右两侧噪声。依据《声学轨道机车车辆辐射噪声测量》(GB/T 5111-2011) [10], 测点 1~4 在道路左侧, 靠近有轨电车线路, 传声器距轨道中心线 7.5 m、轨顶面 1.2 m。每个测点测量列车通过噪声和背景噪声, 每次持续时

间 1 min, 重复 10 次, 得到等效 A 声级, 计算出 10 组数据的算数平均值, 取为背景噪声值。在测点 1 测量了列车启动和制动噪声, 重复 3 次, 取算术平均值。测试时当天天气晴朗、无雨雪, 风速低于 5 m/s。

根据《环境影响评价技术导则 城市轨道交通》(HJ 453-2018) [11]和《声环境质量标准》(GB3096-2008) [12], 测点 5~8 布置在道路右侧, 传声器距道路边缘 0.2 m、距离地面 1.2 m, 记录 20 min 噪声数据, 并计算车辆平均运行密度。测量时间是工作日的上午 9:00~10:00, 当时天气晴朗、无雨雪、无雷电, 分两天测量。

列车通过时与无列车通过差异显著, 故以等效连续 A 声级为评价量, 并记录背景噪声。交通噪声受车型、车流量和车速影响, 声级近似正态分布, 以等效 A 声级为评价量, 并记录最大声级 $L_{\max}$ 和最小声级 $L_{\min}$ 。

5.2. 测试结果

测点 1~8 的车辆通过噪声、背景噪声、最高声压级和最低声压级见表 4。

Table 4. Monitoring results table for measurement points (dB (A))

表 4. 测点监测结果(dB (A))

测点	等效声级 L_{eq} 并行/仅道路交通	背景噪声	差值
M1	71.9/61.2	61.2	10.7
M2	70.5/59.1	59.1	11.4
M3	71.5/60.3	60.3	11.2
M4	73.4/62.3	62.3	1.1
测点	等效声级 L_{eq}	最大声压级 $L_{\max}$	最小声压级 $L_{\min}$
M5	74.3/65.8	81.3	60.7
M6	71.7/68.2	80.5	61.3
M7	72.8/65.7	81.4	59.8
M8	70.1/69.1	80.1	57.9

从表 4 可知, 测点 1~4 最大等效 A 声级为 73.4 dB, 最小等效 A 声级为 70.5 dB。测点 5~8 最大等效 A 声级为 74.3 dB, 最小等效 A 声级为 70.1 dB。上述两组测点的噪声值均超过了 70 dB (A)。

当城市主干道仅存在车辆交通时, 等效 A 声级普遍保持在 65~70 dB (A)之间, 均未超出 70 dB (A)的限值。这表明, 在有轨电车未运营的情况下, 交通噪声对邻近的噪声敏感建筑物的影响相对较小。进一步观察发现, 测点 8 的等效 A 声级值最高, 推测测点 8 等效 A 声级偏高可能的原因是该区域附近设有多个公交站点, 公交车在启动和制动过程中产生的噪声对声压级有所增加。

5.3. 理论、仿真和实测值对比分析

表 5 为理论、实测和仿真结果对比表。可以看出仅有轨电车通行的时候, 理论和仿真最大差值出现在测点 3, 为 11.13 dB (A), 可能是因为在进行理论计算时地形设为平坦线路, 而进行仿真时, 测点 3 有弯道并且有斜坡, 因此会有明显差异。在测量有轨电车噪声的过程中, 道路噪声难以完全消除, 导致无法获取单独的有轨电车噪声数据。同时在进行实测时会有行人等生活噪声的干扰, 而在预测和理论计算时无法对这些进行考虑, 所以三者数值上会产生一定误差。

Table 5. Noise theory, comparison between simulated values and measured values (dB (A))
表 5. 噪声理论、仿真值与实测值对比(dB (A))

测点	仅有轨电车	仅道路交通	两者均运行
	理论/仿真/实测	理论/仿真/实测	理论/仿真/实测
M1	47.57/57.90/-	66.34/68.8/61.2	66.37/72.3/71.9
M2	47.57/55.40/-	66.34/68.5/59.1	66.37/71.3/70.5
M3	47.57/58.70/-	66.34/69.2/60.3	66.37/72.6/71.5
M4	47.57/58.60/-	66.34/69.1/62.3	66.37/72.4/73.4
M5	45.62/49.40/-	70.67/73.1/65.8	70.68/73.2/74.3
M6	45.62/48.90/-	70.67/71.6/68.2	70.68/71.1/71.7
M7	45.62/49.7/-	70.67/71.2/65.7	70.68/71.3/72.8
M8	45.62/49.00/-	70.67/71.5/69.1	70.68/71.6/70.1

当仅有道路交通噪声时，测点的理论和仿真值差距不大，但均高于实测值，这是因为汽车在道路上行驶时会因为司机驾驶习惯以及红灯或者行人穿行等因素减缓车速导致噪声变小。

当有轨电车和车辆同时通行时，从表 5 的数据可以看出，对于 M1~M4，理论和仿真值差值在 4.93~6.23 dB(A)之间，理论和实验值差值在 4.13~7.03 dB(A)之间，仿真和实验值差值在 0.4~1.1 dB(A)之间。理论值比仿真值和实验值平均分别低约 5.78 dB(A)、5.46 dB(A)，这主要是因为理论计算中有轨电车噪声偏低，远小于道路交通噪声，在并行时，有轨电车噪声可忽略。但实际上，在靠近有轨电车侧，其噪声值超过交通噪声 10 dB(A)以上，是主要噪声源，交通噪声可忽略。对于 M5~M8，理论和仿真值差值在 0.42~2.52 dB(A)之间，理论和实验值差值在 0.58~3.62 dB(A)之间，仿真和实验值差值在 0.6~1.5 dB(A)之间。理论值比仿真值和实验值平均分别低约 1.11 dB(A)、1.55 dB(A)，这主要是因为理论计算中道路交通噪声的预测值较为准确，在远离有轨电车一侧，道路交通噪声起主要作用，因此差值较低。

根据以上分析结果，发现研究区间噪声值偏高，因此可通过采取相关降噪方案来使得总体声环境质量达标，例如在有轨电车两侧设立声屏障、限制道路车辆的行驶速度以及对道路路面进行改造等。

6. 结论

本文对有轨电车和道路交通并行的道路沿线噪声进行了理论、仿真和实测分析。得出如下结论：

(1) 实测中，有轨电车和道路交通并行时，靠近有轨电车一侧，有轨电车噪声起决定性作用，道路交通噪声可忽略；在远离轨道交通噪声一侧，两者共同起作用；两侧均超过 70 dB(A)。在没有有轨电车通过时，道路两侧交通噪声均低于 70 dB(A)。

(2) 对于有轨电车和道路交通并行时，理论、仿真和实测结果较为接近。在靠近有轨电车侧理论值偏低，这主要是因为有轨电车理论计算的噪声值非常低，小于道路交通噪声 10 dB(A)以上，使得它对总的声压级的贡献可忽略。仿真预测中，虽然总的声压级和实验值相当，有轨电车预测值偏低，道路交通预测值偏高。这可能是由于仿真中，有轨电车声源离受声点远，而道路车辆运行速度比实际运行速度高造成的。

参考文献

- [1] 交通运输部: 2025 年 1 月我国城市轨道交通运营数据速报[J]. 城市轨道交通研究, 2025, 28(3): 207.
- [2] Di, G., Liu, X., Lin, Q., Zheng, Y. and He, L. (2012) The Relationship between Urban Combined Traffic Noise and

Annoyance: An Investigation in Dalian, North of China. *Science of the Total Environment*, **432**, 189-194.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.05.034>

- [3] 杜麒麟, 尹镭, 张宇明, 等. 云巴(胶轮有轨电车)噪声源强测试与分析[J]. 四川环境, 2021, 40(4): 95-100.
- [4] 贺玉龙, 黄宏宇, 王绍笛, 等. 成都蓉2号线有轨电车噪声测试与分析[J]. 工业安全与环保, 2022, 48(7): 100-103.
- [5] 刘晓波, 蒋忠城, 程雄. 线路条件对车辆及环境噪声影响分析[J]. 现代城市轨道交通, 2021(7): 107-113.
- [6] 陈锋, 王珊妮, 曹丹, 等. 黄石有轨电车噪声对沿线周边环境的影响分析[J]. 绿色科技, 2024, 26(12): 116-122.
- [7] 宋闯. 某轨道交通线路噪声预测研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连交通大学, 2023.
- [8] 环境保护部. HJ2.4-2009 中华人民共和国国家环境保护标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [9] 居浩, 黄晓明, 虞晓锋. 交通管制因素对普通城市道路噪声的影响[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2014, 44(2): 420-424.
- [10] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 5111-2011 声学轨道机车车辆发射噪声测量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [11] 环境保护部. HJ 453-2018 环境影响评价技术导则城市轨道交通[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2019..
- [12] 生态环境部. GB3096-2008 声环境质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2008.