

◇ 研究报告 ◇

# 典型城市地铁站台噪声满意度\*

毛毅菲<sup>1,2</sup> 张学勇<sup>1,2,3†</sup>

(1 安徽建筑大学数理学院 合肥 230601)

(2 安徽省建筑声环境重点实验室 合肥 230601)

(3 安徽建筑大学 声学研究所 合肥 230601)

**摘要:** 地铁是城市轨道交通重要组成部分,地铁站台噪声对乘客身心健康有重要影响。以合肥轨道交通一号线为例,具体选择地下侧式、地下双岛式和地下岛式 3 个典型空间类型的地铁站台为研究对象,通过噪声测量和问卷调查相结合的方法,针对地铁在不同运营时段的乘客站台噪声满意度与噪声声元素舒适度进行评价,探讨性别、声元素舒适度以及站台噪声对乘客噪声满意度的影响。结果表明:对地铁站台噪声满意度评价,乘客性别差异不显著;在乘车高峰期时段,地铁站台广播提示声、地铁工作人员吹哨声、列车进站声和列车出站声是影响乘客站台噪声满意度主观评价的主要噪声声元素;乘客噪声满意度主观评价与站台噪声值呈强负相关,噪声值越高,满意度越低;乘客噪声满意度为可接受时的地铁站台噪声阈值,在乘车高峰期时段为 74 dB(A),非高峰期时段为 67 dB(A)。该文工作可为城市地铁站台噪声满意度评价及其空间结构设计提供科学参考。

**关键词:** 地铁站台声环境;主观评价;声元素舒适度;噪声满意度;噪声

**中图法分类号:** TU112.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-310X(2023)06-1271-09

**DOI:** 10.11684/j.issn.1000-310X.2023.06.020

## The noise satisfaction in typical urban subway platforms

MAO Yifei<sup>1,2</sup> ZHANG Xueyong<sup>1,2,3</sup>

(1 School of Mathematics and Physics Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China)

(2 Key Laboratory of Architectural Acoustic Environment of Anhui Higher Education Institutes, Hefei 230601, China)

(3 Institute of Acoustics, Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China)

**Abstract:** The subway is an important part of urban rail transportation, and the noise from the subway platform has an important impact on the physical and mental health of passengers. Taking the Hefei Metro Line 1 as an example, this paper specifically selects subway platforms of three typical spatial types, including underground side, underground double island and underground island, as the research objects, by means of noise measurement and questionnaire survey, the noise satisfaction and comfort of each type of noise are evaluated in different periods of subway operation, the effects of gender, comfort of each type of noise and platform noise on passenger noise satisfaction are respectively investigated. The results show that there is no significant difference for gender in the satisfaction evaluation of subway platform noise. During the rush hour, the main noise elements that affect the subjective evaluation of platform noise satisfaction are the announcement sound of

2022-06-23 收稿; 2022-11-04 定稿

\*国家自然科学基金项目(61471003),安徽高校学科(专业)拔尖人才学术资助项目(gxobjZD2021066),安徽省教育厅自然科学基金重点研究项目(KJ2020A0484)

作者简介:毛毅菲(1999-),女,安徽宿州人,硕士研究生,研究方向:声环境系统工程。

†通信作者 E-mail: xyzhang@ahjzu.edu.cn

subway platform, whistling sound of subway staff, train arrival sound and train departure sound. There is a strong negative correlation between the subjective evaluation of passengers' satisfaction with noise and the platform noise. The higher the noise, the lower the satisfaction. The threshold of subway platform noise when passenger noise satisfaction is acceptable is 74 dB(A) in rush hours and 67 dB(A) in off-peak hours. This paper can provide scientific reference in the noise satisfaction evaluation of urban subway platforms and their space structure layout.

**Keywords:** Subway platform sound environment; Subjective evaluation; Comfort of each type of noise; Noise satisfaction; Noise

## 0 引言

由于具有运载量大、占地表面积少以及运行准时、安全性能高等优势,地铁目前已成为城市轨道交通的重要组成部分<sup>[1]</sup>。文献[2-3]报道,列车以及地铁各类设备运营产生的噪声,其声压级达到80 dB(A)甚至高达100 dB(A)。因而,对乘客的心理、生理和正常生活的影响不容忽视<sup>[4-6]</sup>。地铁站台噪声已引起研究人员的广泛关注<sup>[7-9]</sup>。

Bhattacharya等<sup>[10]</sup>对印度加尔各答地铁站台进行噪声检测,得出站台噪声范围在84~87 dB(A)之间。Gershon等<sup>[11]</sup>针对纽约地铁测量得到的平均噪声水平为(86±4) dB(A),其中地铁站台噪声最高测量值高达106 dB(A)。马欢等<sup>[12]</sup>认为地铁站台噪声在地铁车辆进出站台时,主要为车辆通过站台时的轮轨噪声与车辆制动啸叫声的叠加,无车辆通过时主要为广播噪声。梁雷等<sup>[13]</sup>则认为地铁站台环境噪声也与车站的广播次数和广播音量以及客流量等有关。Shah等<sup>[14]</sup>对纽约市的20个地铁站台分别记录等效连续A声级,对比研究后发现设计为直线轨道的站台较曲线轨道站台可以更有效地减少通勤噪声。刘茜<sup>[15]</sup>提出,站台内安装安全门可以有效降低站台噪声。曾钦娥等<sup>[16]</sup>认为针对不同车站的结构特性及站台空间形式,通过采取不同噪声控制措施,可以有效提高改善站台环境质量。综上所述,目前对地铁声环境的研究多数以站台的客观物理参数监测以及部分降噪方案为主<sup>[17-19]</sup>,而乘客噪声满意度的研究较少。噪声满意度属于噪声声品质范畴,是人们从多个维度对噪声的满意程度进行主观评价的一种度量方式。由于乘客是地铁出行的使用主体,因此,以人为主体,进行主观分析评价地铁站台噪声,开展乘客噪声满意度研究十分必要<sup>[20-22]</sup>。

本文以合肥轨道交通1号线地下车站为对象,选取3种典型站台形式,通过实地噪声测量和噪声

满意度、噪声声元素舒适度等主观问卷调查,分析不同类型噪声源、站台形式以及乘车高峰和非高峰时段噪声的特征,探讨乘客性别、声元素舒适度以及站台噪声对噪声满意度的影响。

## 1 研究方法

### 1.1 研究地点

合肥地铁站台构造主要分为地下侧式、地下双岛式和地下岛式3类。本文选取合肥市轨道交通1号线的紫庐站、合肥南站和高王站3个典型地下站台(站台构造分别为地下侧式、地下双岛式和地下岛式)进行现场噪声测量以及主观满意度调查。

### 1.2 噪声实测测量方法

#### 1.2.1 测量时段与时长

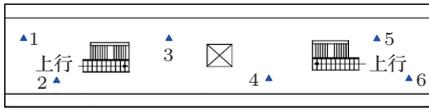
合肥轨道交通1号线运营时间为6:00-23:15,乘车高峰时段为7:00-9:00以及17:00-20:00。考虑不同运营时段测量值的差异,测量在高峰期和非高峰期分别进行。测量以GB14227-2006《轨道交通车站声学要求和测量方法》为依据,测量仪器为BSWA308型声级计。考虑列车进出站全过程(列车到站间隔时间为5 min),测点每次测量时长10 min,间隔5 s读一瞬时A声级,连续读取120个数据。高峰期与非高峰期内随机分别测量10次,取算术平均值。

#### 1.2.2 测点布置

为减少地面声波反射的影响,测点布置在沿站台方向的公共候车区,距站台边缘约2 m处,且要求测点处除地铁车辆外的周围2 m内没有声反射物。测点距地面高度为1.6 m,车站测点见图1。测量传声器朝向轨道交通一侧,垂直于线路方向,测量时将风罩佩戴于声级计的传声器上<sup>[23]</sup>。测量值有等效连续A声级( $L_{Aeq,T}$ )、最大声压级( $L_{max}$ )、最小声压级( $L_{min}$ )、背景噪声( $L_{90}$ )、平均噪声( $L_{50}$ )、平均峰值噪声( $L_{10}$ )。其中,等效连续声级 $L_{Aeq,T}$ 为

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0.1L_{PAi}} \right), \quad (1)$$

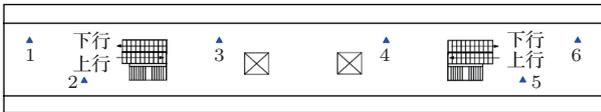
式(1)中,  $n$ 为测点的采样总数,  $L_{PAi}$ 为*i*次采样测得的A声级。



(a) 高王站站台测点布置平面图



(b) 紫庐站站台测点布置平面图



(c) 合肥南站站台测点布置平面图

图1 地铁站台声场实测布点图

Fig. 1 Layout of sound field measuring points in subway platforms

### 1.3 调查方法

问卷调查设计分为个人基本信息和声环境主观评价两部分。在紫庐站、合肥南站和高王站3个站台共发放问卷360份。问卷具体内容见表1, 问卷中个人基本信息包括性别、年龄以及乘坐地铁的时间段。声环境评价采用李克特5级量表, 包括对地铁站台人们的说话声、地铁站台人们的走路声、地铁站台广播提示声、地铁工作人员吹哨声、机械(碰撞)噪声、列车进站的声音、列车出站的声音、塞拉门开启的蜂鸣声和电梯运行的声音的舒适度评价(其中1表示“很不舒适”, 2表示“不舒适”, 3表示“一般”, 4表示“舒适”, 5表示“非常舒适”); 对地铁噪声满意度评价(其中1表示“很不满意”, 2表示“不满意”, 3表示“一般”, 4表示“满意”, 5表示“非常满意”)。

表1 调查问卷内容框架

Table 1 Framework of the survey questionnaire

类别	选择与量化信息
基本信息	性别、年龄段以及乘坐地铁的时间段
各项声元素舒适度评价(地铁站台人们说话声、人们走路声、广播提示声、工作人员吹哨声、机械(碰撞)声、列车进站声、列车出站声, 塞拉门的蜂鸣声和电梯运行声)	5-非常舒适; 4-舒适; 3-一般; 2-不舒适; 1-很不舒适
地铁站台噪声满意度评价	5-非常满意; 4-满意; 3-一般; 2-不满意; 1-很不满意

## 2 结果与分析

### 2.1 测量结果

地铁1号线高王站位于花园大道和青海路交叉口, 周边建筑多为居民区, 伴有休闲公园、医疗建筑、中铁项目公司等, 除去早晚高峰以外, 其余时间站台的地面干扰因素较少且客流相对平稳。表2给出的是高王站地下站台在乘车非高峰期时段6个测点典型的噪声值测量结果。

从表2中可以看出, 高王站站台测点1在等效连续A声级、最大声压级、平均峰值噪声和背景噪声较其他测点处均偏低, 主要是由于该测点四周没有明显遮挡物, 距离站台广播较远; 位于中部的测点3和测点4虽然附近存有两部手扶电梯和一部无障碍电梯, 起到类似声屏障作用, 但其最大声压级和平均噪声却偏高, 其原因是离站台广播较近, 广播提示

音干扰大; 测点6处最小声压级和背景噪声最高, 主要原因是其靠近地铁站台洗手间一侧, 受人群来往以及洗手间内部水流、人声等噪声影响大; 而测点2

表2 非高峰期时段高王站噪声值测点测量结果

Table 2 Multi-point noise measurements at Gao Wang Station during off-peak period

(单位: dB(A))

测点	$L_{Aeq}$	$L_{max}$	$L_{min}$	$L_{10}$	$L_{50}$	$L_{90}$
1	68.7	79.4	49.3	74.2	61.3	48.7
2	71.9	81.2	50.4	76.9	63.8	52.4
3	70.4	80.7	47.6	75.5	62.0	50.6
4	71.9	83.3	48.1	76.8	63.0	51.3
5	71.0	81.1	49.9	77.2	59.5	52.9
6	70.3	81.4	53.6	75.6	61.5	54.7

与测点5在等效连续A声级、最大声压级、最小声压级、背景噪声和平均峰值噪声的测量结果来看,较其他测点数据,波动变化差异较小,因而能够较好地反映高王站站台的声环境情况。结合站台构造,经过检测数据分析,见表3、表4,同样可以看出合肥南站声环境较佳测点位置为测点2或测点5(见图1(c))、紫庐站台则为测点1或测点3(见图1(b))。

表3 非高峰期时段合肥南站噪声值测点测量结果

Table 3 Multi-point noise measurements at Hefei South Station during off-peak period

(单位: dB(A))

测点	$L_{Aeq}$	$L_{max}$	$L_{min}$	$L_{10}$	$L_{50}$	$L_{90}$
1	72.9	83.8	51.6	79.0	62.4	58.1
2	72.7	82.8	58.1	77.8	66.2	61.7
3	73.1	83.2	55.8	78.0	64.6	57.8
4	71.5	83.0	52.0	77.5	60.7	57.7
5	73.0	83.7	58.3	78.9	65.9	60.4
6	73.4	83.7	55.8	79.4	61.8	59.1

表4 非高峰期时段紫庐站噪声值测点测量结果

Table 4 Multi-point noise measurements at Zi Lu Station during off-peak period

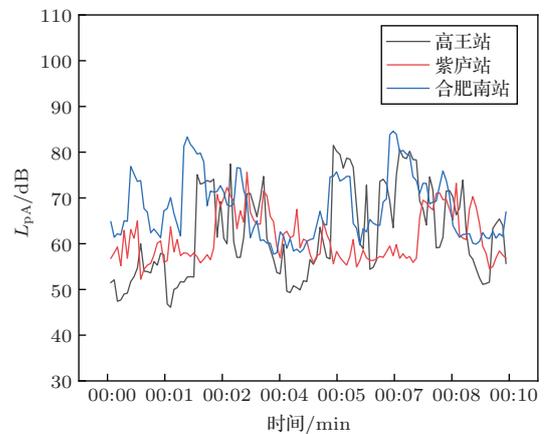
(单位: dB(A))

测点	$L_{Aeq}$	$L_{max}$	$L_{min}$	$L_{10}$	$L_{50}$	$L_{90}$
1	62.2	80.0	52.8	66.4	57.9	55.3
2	64.1	75.3	48.5	69.2	56.3	52.2
3	62.7	79.1	47.8	68.5	54.4	51.0

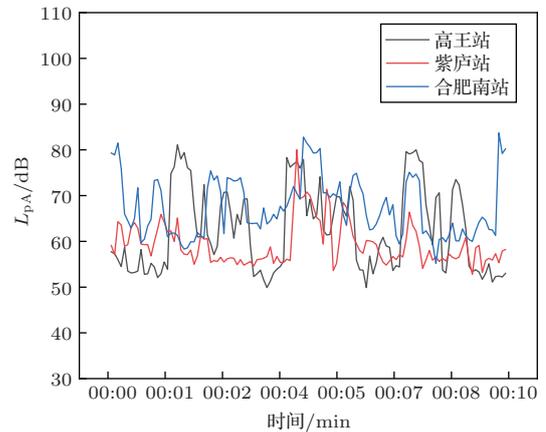
图2给出的是高王站(测点5)、紫庐站(测点1)和合肥南站(测点5)三个地下站台在乘车高峰时段与非高峰时段10 min内噪声随时间的变化曲线。图2(a)为高峰时段测量结果,其中高王站和紫庐站列车于开始测量后第2 min及第8 min进站,合肥南站列车于开始测量后第1 min及第7 min进站。另外,列车入站停稳后塞拉门蜂鸣开启至列车出站持续1 min左右。图2(b)为非高峰时段的测量结果,其中3个地下站台列车均为开始测量后第4 min进站,列车停靠站台时间小于1 min。

从图2(a)、图2(b)中可以看出,地铁站台噪声在乘车高峰时段相较于非高峰期时段具有更为明显的周期性。图2(a)中3个站台噪声的峰值相对都

集中在列车进出站台的时刻,参照图2(b),除去列车到站进行的到站提示、列车进站、机械噪声、列车出站和蜂鸣等一系列顺序活动以外,容易分析得出乘客的活动是地铁站台声环境噪声较为重要影响因素。在乘车高峰期时,地铁站台客流量变大,乘客密度分布也相对集中。站台上乘客密度随着列车的进站而迅速升高,也会随着列车的出站而迅速降低。由图2(b)中可以看出,在非高峰期时,乘客进入站台,较列车进出站对声环境影响较少,但受乘客随机进入站台的影响,站台噪声曲线峰值则表现为一定的随机性。



(a) 高峰时段站台噪声观测值



(b) 非高峰时段站台噪声观测值

图2 3个站台10 min观测声程

Fig. 2 10-minute sound pressure level range in three stations

表5给出的在乘车非高峰时段3个地下站台高王站(测点5)、紫庐站(测点1)和合肥南站(测点5)在列车到站提示、列车进站、列车出站、机械噪声、蜂鸣和广播时的噪声测量数据。

表5 三个站台10 min噪声测量结果

Table 5 10-minute noise measurement results of the three stations

(单位: dB(A))

站台	到站提示	列车进站	列车出站	机械噪声	蜂鸣	广播
高王站	69.1	75.7	76.2	70.1	81.1	62.1
合肥南站	70.4	79.6	78.7	73.5	82.8	64.6
紫庐站	66.9	70.3	70.9	69.3	80.0	59.3

从表5中可以看出列车塞拉门开启蜂鸣时地铁站台噪声值最大,在80.0~83.0 dB(A)之间波动,为周期性噪声测量曲线中峰值(见图2);列车进站和列车出站时的噪声值略低于列车塞拉门开启时蜂鸣噪声值,数值范围在70.3~79.6 dB(A)之间;列车到站的提示声数值变化范围为69.1~70.4 dB(A)。其中,合肥南站地铁站台噪声值最高。主要原因是合肥南站连接着合肥高铁站的同时,还是换乘车站,由于乘客人数较多,合肥南站地铁站台的到站提示相较其他站台更为频繁,广播的音量也比其他站更大。

从站台构造类别来看,紫庐站为地下侧式站台,高王站和合肥南站站台则分别为地下岛式和地下双岛式。通过图2和表4可以得出,紫庐站的站台噪声观测值相较于其他两个站台低,波动幅度较小。因而,地下侧式站台的构造,从声学角度来看,对降低地铁声环境噪声作用明显。主要原因可能是站台仅配有一条轨道且不设港湾式设置,因而站台声环境比起其他站台减少了一侧轨道列车运行的噪声影响,同时该空间另侧由墙体构成,可有效隔断声音传播。而地下岛式及地下双岛式站台的构造,其站台两侧均配有轨道,虽均设置了屏蔽门进行隔声,减少了站台的空气声传声,但站台环境仍受到列车运行轨道振动噪声的影响。此外,地下岛式站台总宽度由于较侧式站台小,因而乘客动线复杂,由图2也可看出高王站站台声环境受人群影响最为明显,其站台噪声观测值波动幅度大。

## 2.2 主观调查结果

紫庐站、合肥南站和高王站3个站台共回收有效问卷352份,其中,乘车高峰期时段回收182份,乘车非高峰期时段回收170份。借助SPSS软件对352份有效问卷进行分析,并采用Cronbach's  $\alpha$  信度对各项声元素舒适度与乘客噪声满意度进行信度检验,计算结果 $\alpha = 0.845$ ,系数大于0.7<sup>[24]</sup>,因

而确定问卷结果可信。其次针对9类声元素舒适度的效度检验KMO的度量值为0.878,系数大于0.8,有一定的相关性和区分性,适合进行因子分析。此外,Bartlett的球形检验卡方值为1142.224,所以该问卷具有较好的结构效度,可以很好地满足本次调查需求。

### 2.2.1 站台噪声满意度主观评价

地铁站台声环境的噪声满意度主观评价见图3。地铁运营期间乘客噪声满意度评价以“一般”为主,占比为42.33%;其次是“满意”和“不满意”,占比分别为27.84%和20.17%;而“很不满意”和“非常满意”的评价都较少,占比仅为3.98%和5.68%。其中在乘车高峰期时段,站台声环境噪声满意度“一般(46.15%)”为主,“不满意(28.57%)”及“很不满意(4.95%)”占比之和较“满意(16.48%)”及“非常满意(3.85%)”占比之和高三.19%;在非高峰期时段,站台声环境噪声满意度评价主要为“一般(38.24%)”和“满意(40.00%)”,两类评价占比近乎持平,其次是“不满意(11.18%)”,而“非常满意(7.65%)”和“很不满意(2.93%)”占比较少。主观评价统计结果表明,在地铁站台乘车高峰期时段,乘客对站台声环境噪声满意度评价“一般”占比较高,非高峰期时段高7.91%,但是“满意”与“非常满意”占比之和20.33%却比非高峰期时段47.65%下降了27.32%;主观评价统计结果也表明,在乘车高峰期时段,乘客对站台声环境噪声可以接受的比例(“一般”、“满意”与“非常满意”占比66.48%)比在非高峰期时段(85.89%)低19.41%。因而,在乘车非

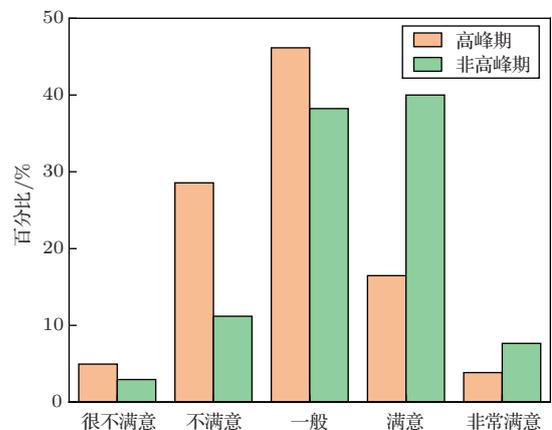


图3 地铁站台声环境噪声满意度主观评价

Fig. 3 Subjective evaluation of satisfaction with the sound environment noise at subway stations

高峰期,乘客对站台声环境噪声满意度整体优于高峰期时段,可能原因是乘车高峰期时段乘客密度较大,对个体的噪声满意度影响较大。

### 2.2.2 性别差异对噪声满意度及声元素舒适度评价的影响

本次主观问卷调查352份回收有效问卷经统计受访群体年龄在20~50岁之间,均为成年人,各类心理活动相对稳定,其中男性为114人,女性为238人。Mann-Whitney U检验法对两个独立样本的非参数检验,是一种通过比较两个样本秩分情况而获得差异显著性检验结论的一种检验方法<sup>[25]</sup>。本文采用Mann-Whitney U检验法对问卷结果进行分析,探讨了受访者性别对评价结果的差异性,如表6所示。

表6 噪声满意度及声元素舒适度评价结果

Table 6 Effect of gender difference on noise satisfaction and sound element comfort evaluation

	男	女	P值
地铁站台声环境噪声满意度	3.079	3.126	0.705
地铁站台人们说话声舒适度	2.763	3.038	0.036*
地铁站台人们走路声舒适度	2.868	3.029	0.123
地铁站台广播提示声舒适度	3.044	3.160	0.323
地铁工作人员吹哨声舒适度	2.825	2.777	0.920
机械(碰撞)噪声舒适度	2.605	2.529	0.501
列车进站声舒适度	2.912	2.958	0.617
列车出站声舒适度	2.798	2.971	0.156
塞拉门的蜂鸣声舒适度	2.632	2.727	0.573
电梯运行声舒适度	2.807	3.105	0.023*

注:\*表示在置信度(双侧)0.05水平时差异显著。

从表6中可以看出,乘客对地铁站台声环境噪声满意度评价,性别差异并不显著( $P > 0.05$ );而性别差异对地铁站台人们说话声和电梯运行声舒适度评价的影响较为显著,其中女性比男性更能接受人们说话声和电梯运行声,除去该两项声元素外的其他声元素舒适度评价受性别差异影响均不显著( $P > 0.05$ )。

### 2.2.3 乘客噪声满意度与声元素舒适度相关性分析

对乘车高峰期以及非高峰期时段各类噪声声元素舒适度评价取均值,结果如图4所示。其中高峰期阶段站台广播提示声舒适度(3.24)和电梯运行声舒适度(3.10)的评价以及非高峰期阶段站台人们走

路声舒适度(3.01)和站台广播提示声舒适度(3.02),对应舒适度评价量表为“一般”;其余声元素舒适度评价均为“不满意”或接近“一般”。由此可看出,乘客对地铁站台内所测声元素舒适度评价普遍不积极。

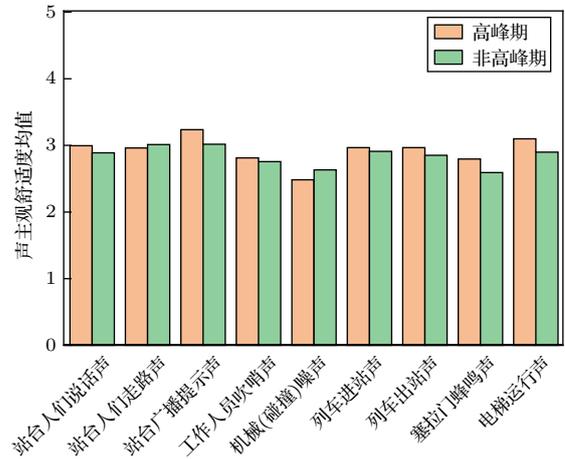


图4 各类声元素舒适度评价结果

Fig. 4 Evaluation results of the comfort of each type of sound element

进一步通过Spearman秩相关性分析,对乘客噪声满意度与各类声元素舒适度的相关性进行探讨<sup>[26]</sup>,具体结果见表7。

乘车高峰期时段,乘客地铁站台声环境噪声满意度与地铁站台人们说话声舒适度(2.99)、地铁站台人们走路声舒适度(2.96)、地铁站台广播提示声舒适度(3.33)、地铁工作人员吹哨声舒适度(2.81)、机械(碰撞)噪声舒适度(2.84)、列车进站声舒适度(2.97)、列车出站声舒适度(2.97)、塞拉门的蜂鸣声舒适度(2.79)和电梯运行声舒适度(3.09)均显著相关( $P < 0.01$ )。其中,乘客噪声满意度与地铁站台广播提示声、地铁工作人员吹哨声、列车进站声和列车出站声的主观舒适度的相关系数分别在0.40~0.50之间,表明乘客对地铁站台广播提示声、地铁工作人员吹哨声、列车进站声和列车出站声的主观舒适度越高,相应的噪声满意度也越高。在乘车非高峰期时段,乘客噪声满意度与地铁站台人们走路声舒适度(3.01)、地铁工作人员吹哨声舒适度(2.75)、列车进站声舒适度(2.91)、列车出站声舒适度(2.85)和电梯运行声舒适度(2.89)相关( $P < 0.05$ ),而与地铁站台人们说话声舒适度(2.89)、地铁站台广播提示声舒适度(3.02)、机械

(碰撞)噪声舒适度(2.63)和塞拉门的蜂鸣声舒适度(2.59)不相关( $P > 0.05$ )。因而,乘车非高峰期时段乘客对于地铁站台人们走路声、地铁工作人员吹哨声、列车进站声、列车出站声和电梯运行的主观舒

适度高时,噪声满意度也高。其中,乘客噪声满意度与地铁工作人员吹哨声、列车进站声和电梯运行声的舒适度相关系数分别在0.22~0.26之间,对乘客噪声满意度的影响较为明显。

表7 站台声环境噪声满意度与声元素主观舒适度的相关性分析

Table 7 Correlation analysis of station sound environment noise satisfaction and subjective comfort of sound elements

	高峰期		非高峰期	
	Spearman 相关系数	P 值	Spearman 相关系数	P 值
地铁站台人们说话声舒适度	0.287**	0.000	0.138	0.073
地铁站台人们走路声舒适度	0.254**	0.001	0.192*	0.012
地铁站台广播提示声舒适度	0.458**	0.000	0.107	0.164
地铁工作人员吹哨声舒适度	0.401**	0.000	0.257**	0.001
机械(碰撞)噪声舒适度	0.244**	0.001	0.141	0.067
列车进站声舒适度	0.482**	0.000	0.216**	0.005
列车出站声舒适度	0.483**	0.000	0.177*	0.021
塞拉门的蜂鸣声舒适度	0.382**	0.000	0.076	0.326
电梯运行声舒适度	0.269**	0.000	0.245**	0.001

注:\*\*表示在置信度(双侧)为0.01水平时,相关性显著;\*表示在置信度(双侧)为0.05水平时,相关性显著。

2.2.4 乘客噪声满意度与站台噪声相关性

地铁站台乘客噪声满意度主观评价与站台噪声回归曲线如图5所示,图中纵坐标表示噪声值,横坐标为噪声满意度主观评价。

从图5中可以看出,地铁运营时段(不区分乘车高峰期和非乘车高峰期时段)站台噪声与乘客噪声满意度主观评价负相关,相关系数 $R^2$ 为0.642。乘车高峰期时段和非乘车高峰期时段,地铁站台噪声与乘客噪声满意度主观评价也都表现为负相关,相关系数 $R^2$ 值分别为0.697和0.533。因此,可以得出,地铁站台噪声值越低,乘客噪声满意度主观评价值越大,满意程度越高。

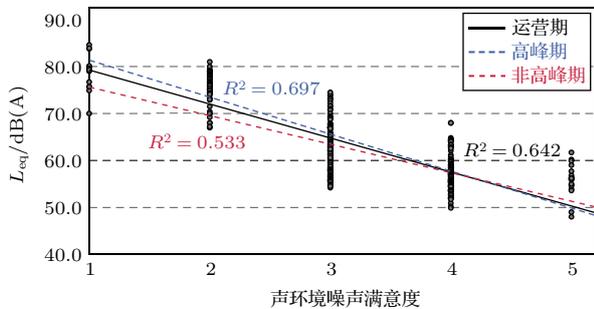


图5 地铁站台噪声满意度与噪声回归曲线

Fig. 5 Regression curves of sound environment satisfaction and noise in subway stations

从图5中可以发现,乘车高峰期时段站台噪声值在74 dB(A)以上时,乘客噪声满意度主要是“很不满意(3.29%)”和“不满意(13.74%)”,“一般(0.00%)”、“满意(0.00%)”和“非常满意(0.00%)”;站台噪声值在74 dB(A)以下,乘客噪声满意度“很不满意(1.65%)”“不满意(14.84%)”,而“一般(46.15%)”、“满意(16.48%)”和“非常满意(3.85%)”占比之和高达66.48%,可见乘客对站台噪声满意度多倾向为可以接受的。同时从图5中也可发现,乘车非高峰期时段站台噪声值在67 dB(A)以上时,乘客噪声满意度主要表现为“很不满意(2.94%)”和“不满意(10.59%)”,“一般(0.00%)”、“满意(0.00%)”和“非常满意(0.00%)”;站台噪声值在67 dB(A)以下时,“很不满意(0.00%)”“不满意(0.59%)”,而“一般(38.24%)”、“满意(40.00%)”和“非常满意(7.65%)”占比之和高达85.89%,可见乘客对站台噪声满意度多倾向为可以接受的。因此,乘客噪声满意度为可接受时的地铁站台噪声阈值乘车高峰期时段比非高峰期时段高,原因可能是乘车高峰期时段,乘客对于站台声环境质量的期望值较低,不过在乘车高峰期时段内仍然有33.52%的乘客认为站台声环境质量应加以改善。

### 3 结论

本文对合肥轨道交通一号线的3个典型站台(地下侧式、地下双岛式、地下岛式)进行环境噪声测量,并在乘车高峰期和非乘车高峰期两个时段,对地铁声环境噪声满意度、噪声声元素舒适度等进行了主观问卷调查;然后基于客观测量数据和主观调查数据统计结果,对地铁站台噪声满意度展开初步探究。结果表明:

(1) 乘客性别对站台声环境噪声满意度评价差异不显著;无论是在乘车高峰期还是非乘车高峰期,乘客对于站台噪声满意度与地铁站台人们走路声、地铁工作人员吹哨声、列车进站声、列车出站声和电梯运行声的舒适度主观评价都具有较强的相关性。在乘车高峰期时段,乘客噪声满意度与地铁站台广播提示声、地铁工作人员吹哨声、列车进站声和列车出站声的舒适度主观评价相关性明显高于其他声元素。

(2) 站台噪声与乘客噪声主观满意度呈强负相关,噪声值增加,主观满意度降低。地铁站台噪声随着乘车高峰期的乘客量增大而明显升高。乘车非高峰期的噪声满意度明显优于高峰期时段噪声满意度。

(3) 对典型的3类地铁站台(地下侧式、地下双岛式、地下岛式),乘客噪声满意度为可接受时的地铁站台噪声阈值,在乘车高峰期时段为74 dB(A),非高峰期时段则为67 dB(A)。虽然目前我国地铁站台的噪声值偏高,但随着地铁站台声环境的不断改善,乘客噪声满意度将会进一步增加。

### 参 考 文 献

- [1] Wen Y, Leng J, Shen X, et al. Environmental and health effects of ventilation in subway station: a literature review[J]. *International Journal Environmental Research and Public Health*, 2020, 17(3): 1084.
- [2] Singh T, Biggs T, Crossley E, et al. Noise exposure on the london underground, an observational study over a decade[J]. *The Laryngoscope*, 2020, 130(12): 2891–2895.
- [3] 李吉, 曾瑞, 于向蕾. 大连地铁2号线地下车站噪声调查与分析[J]. *城市轨道交通研究*, 2017, 20(7): 73–75.
- [4] 江永, 明瑞利. 我国城市轨道交通发展形势和政策探讨[J]. *都市轨道交通*, 2021, 34(2): 35–41.
- [5] 项英辉, 王佳田. 智慧城市轨道交通发展水平分析[J]. *施工技术*, 2021, 50(15): 101–104, 114.
- [6] 刘佳伟, 杨明生, 曹娟. 典型南方城市地铁声环境质量[J]. *南昌大学学报(工科版)*, 2019, 41(4): 318–321.
- [7] Liu Jiawei, Yang Mingsheng, Cao Juan. Investigation and study on acoustic environment quality of subway in a city[J]. *Journal of Nanchang University(Engineering & Technology)*, 2019, 41(4): 318–321.
- [8] Shah R R, Suen J J, Cellum I P, et al. The effect of brief subway station noise exposure on commuter hearing[J]. *Laryngoscope Investigative Otolaryngology*, 2018, 3(6): 486–491.
- [9] 沈曼莉, 陈忠林, 程莉, 等. 沈阳一号线地铁噪声的分析与控制措施[J]. *辽宁大学学报(自然科学版)*, 2012, 39(2): 123–126.
- [10] Shen Manli, Chen Zhonglin, Cheng Li, et al. Influence of and countermeasures against noise pollution of Shenyang subway Line 1[J]. *Journal of Liaoning University(Natural Sciences Edition)*, 2012, 39(2): 123–126.
- [11] Yao C M K L, Ma A K, Cushing S L, et al. Noise exposure while commuting in Toronto—A study of personal and public transportation in Toronto[J]. *Journal of Otolaryngology-Head & Neck Surgery*, 2017, 46(1): 62.
- [12] Bhattacharya S K, Bandyopadhyay P, Kashyap S K. Calcutta metro: is it safe from noise pollution hazards?[J]. *Industrial Health*, 1996, 34(1): 45–50.
- [13] Gershon R R, Neitzel R, Barrera M A, et al. Pilo survey of subway and bus stop noise levels[J]. *Journal of Urban Health*, 2006, 83(5): 802–812.
- [14] 马欢, 刘岩, 杨冰, 等. 地铁站台噪声特性分析[J]. *噪声与振动控制*, 2012, 32(5): 141–143.
- [15] Ma Huan, Liu Yan, Yang Bing, et al. Analysis of noise characteristics on metro station platform[J]. *Noise and Vibration Control*, 2012, 32(5): 141–143.
- [16] 梁雷, 田思思, 肖盼盼, 等. 沈阳市市区噪声监测——以沈阳地铁一、二号线为例[J]. *辽宁大学学报(自然科学版)*, 2015, 42(1): 91–96.
- [17] Liang Lei, Tian Sisi, Xiao Panpan, et al. Shenyang urban noise monitoring—In Shenyang subway Line 1 and subway Line 2 for example[J]. *Journal of Liaoning University(Natural Sciences Edition)*, 2015, 42(1): 91–96.
- [18] Shah R R, Suen J J, Cellum I P, et al. The influence of subway station design on noise levels[J]. *Laryngoscope*, 2017, 127(5): 1169–1174.
- [19] 刘茜. 某城市地铁典型线路地下站台噪声现状分析[J]. *中国安全生产科学技术*, 2015, 11(6): 150–157.
- [20] Liu Qian. Analysis on noise status of underground platform in a typical line of urban metro[J]. *Journal of Safety Science and Technology*, 2015, 11(6): 150–157.

- [16] 曾钦娥, 侯博文, 费琳琳, 等. 地铁车站敷设方式对站台噪声特性的影响[J]. 噪声与振动控制, 2021, 41(2): 184-189.  
Zeng Qin'e, Hou Bowen, Fei Linlin, et al. Influences of metro station layout modes on platform noise characteristics[J]. Noise and Vibration Control, 2021, 41(2): 184-189.
- [17] 周宁晖, 喻义勇, 石勇. 南京市地铁噪声影响调查[J]. 环境监测管理与技术, 2006, 18(1): 20-22.
- [18] Jeon J Y, Hong J Y, Lavandier C, et al. A cross-national comparison in assessment of urban park soundscapes in France, Korea, and Sweden through laboratory experiments[J]. Applied Acoustics, 2018, 133: 107-117.
- [19] 马龙, 袁伟, 秦银刚. 天津地铁地下空间声环境测量研究[J]. 天津建设科技, 2015, 25(6): 52-54.
- [20] 康健, 杨威. 城市公共开放空间中的声景[J]. 世界建筑, 2002(6): 76-79.  
Kang Jian, Yang Wei. Soundscape in urban open public spaces[J]. World Architecture, 2002(6): 76-79.
- [21] 陈曦, 康健. 基于声舒适度的地下餐饮空间声级阈研究[J]. 应用声学, 2016, 35(2): 157-164.  
Chen Xi, Kang Jian. The sound level threshold in underground dining spaces in terms of acoustic comfort[J]. Journal of Applied Acoustics, 2016, 35(2): 157-164.
- [22] 李睿, 欧达毅. 旅游景区声景评价与对比研究[J]. 建筑科学, 2019, 35(6): 141-148.  
Li Rui, Ou Dayi. An evaluation and comparative study on soundscape of tourist attractions[J]. Building Science, 2019, 35(6): 141-148.
- [23] 轨道交通车站声学要求和测量方法: GB14227-2006[S].
- [24] Neil S B, William J D. The effects of expectation on the perception of soundscapes[J]. Applied Acoustics, 2014, 85: 1-11.
- [25] 康升娴. 高校开放式研究室声环境研究[D]. 泉州: 华侨大学, 2017.
- [26] 马秀麟, 姚自明, 邬彤, 等. 数据分析方法及应用——基于SPSS和EXCEL环境[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2015.