

城市轨道交通项目环境影响预测与评价

邵凤姣

北京环安工程检测有限责任公司环境所, 北京

收稿日期: 2024年1月2日; 录用日期: 2024年3月14日; 发布日期: 2024年4月18日

摘要

近年来城市轨道交通项目大力发展,在给人们的日常生活带来诸多便利的同时,也带来了一系列的问题。噪声和振动是轨道交通影响人们生活的两大重要污染因子,严重的噪声和振动不但影响人们的日常工作和生活,甚至可以危害到人们的身体健康和生命安全。因此,本文着重分析轨道交通噪声和振动产生的原因及危害,并结合实例,提出噪声和振动的防治措施,为轨道交通的环境保护发展提供一些思路。

关键词

轨道交通, 噪声, 振动

Environmental Impact Prediction and Evaluation of Urban Rail Transit Projects

Fengjiao Tai

Environment Institute, Beijing Huan'an Engineering Inspection & Test Co., Ltd., Beijing

Received: Jan. 2nd, 2024; accepted: Mar. 14th, 2024; published: Apr. 18th, 2024

Abstract

In recent years, the urban rail transit project develops vigorously, which brings a lot of convenience to people's daily life, but also brings a series of problems. Noise and vibration are two important pollution factors that affect people's life in rail transit. Serious noise and vibration not only affect people's daily work and life, but also endanger people's health and life safety. Therefore, this paper focuses on the analysis of the causes of noise and vibration of rail transit and harm, and combined with examples, puts forward the prevention and control measures of noise and vibration, to provide some ideas for the development of environmental protection of rail transit.

Keywords

Rail Transit, Noise, Vibration

Copyright © 2024 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

目前我国的轨道交通项目正处于飞速发展时期。截止 2023 年底,我国拥有轨道交通的城市达到了 59 个,运营总里程约 11232.65 km [1]。城市轨道交通是具有公益属性的重要基础设施,一头连着民生福祉,一头连着城市发展[2],在一定程度上大大缓解了城市交通压力,给人们的生活带来了诸多的便利,但同时也衍生了一系列的问题,其作为一条带状空间三维结构物,涉及面广,其施工和运营都会对沿线和周边环境产生不同程度的影响[3]。其中对人们的日常生活影响较大的问题便是轨道交通项目施工及运营过程中产生的噪声和振动。徐琳等认为防治噪声主要是从控制噪声源和控制传播途径两个方面入手[4]。胡乔木等认为噪声污染防治多从噪声传播途径着手,当以上手段难以实现达标或技术经济不可行时,可采取对敏感目标安装隔声窗或实施环保搬迁;振动污染防治应根据超标情况,分别采取不同等级的减振措施[5]。本文以某城市 A 地铁为例,着重分析轨道交通运营过程中噪声及振动环境对人们日常生活的影响,并针对其影响制定合理的措施,以期对轨道交通的环境保护及评价提供合理的科学依据。

2. 声环境及振动环境的标准及预测方法

2.1. 声环境

2.1.1. 声环境标准

根据《声环境质量标准》(GB3096-2008),将声环境功能区按照区域的使用功能和环境质量要求分为五种类型。根据本工程的线路走向及现状,主要包含了 2 类、3 类及 4 类标准适用区域。具体标准见表 1:

Table 1. Standard value of sound environment quality in various urban areas

表 1. 城市各类区域声环境质量标准值

功能区类别	标准值(L_{Aeq} dB)	
	昼间/dB (A)	夜间/dB (A)
2 类区	60	50
3 类区	65	55
4a 类区	70	55

2.1.2. 声环境预测方法

声环境按照《环境影响评价技术导则城市轨道交通》附录 C 中 C.2 风亭、冷却塔噪声预测方法进行预测,具体公式如下:

风亭、冷却塔噪声等效连续 A 声级预测计算式:

$$L_{Aeq,TR} = 10 \lg \left\{ \frac{1}{T} \left[\sum t 10^{0.1(L_{Aeq,TP})} \right] \right\} \quad (1)$$

式中：

$L_{Aeq,TR}$ ——评价时间内预测点处风亭、冷却塔运行等效连续 A 声级，dB (A)；

T ——规定的评价时间，s；

t ——风亭、冷却塔的运行时间，s；

$L_{Aeq,Tp}$ ——风亭、冷却塔运行时段内预测点处等效连续 A 声级，dB (A)。

2.2. 振动环境

2.2.1. 振动环境标准

目前我国环境振动标准为《城市区域环境振动标准》(GB10070-88)，该标准的适用范围采用“适用地带范围”进行分类，主要分为六大类，分别为：特殊住宅区，居民、文教区，混合区、商业中心区，工业集中区，交通干线道路两侧以及铁路干线两侧。根据噪声功能区的划分情况，振动标准值采用见表 2 [6]：

Table 2. Standard value of environmental vibration in urban area

表 2. 城市区域环境振动标准值

适用地带范围	昼间/dB	夜间/dB
混合区、商业中心区	75	72
工业集中区	75	72
交通干线道路两侧	75	72

2.2.2. 振动环境预测方法

振动环境按照《环境影响评价技术导则城市轨道交通》附录 D 中 D.1 列车运行振动预测方法进行预测，具体公式如下：

列车运行振动预测计算式：

$$VL_{Zmax} = VL_{Z0max} + C_{VB} \quad (2)$$

式中：

VL_{Zmax} ——预测点处的 VL_{Zmax} ，dB；

VL_{Z0max} ——列车运行振动源强，dB；

C_{VB} ——振动修正，dB。

$$C_{VB} = C_V + C_W + C_R + C_T + C_D + C_B + C_{TD} \quad (3)$$

式中：

C_V ——列车速度修正，dB；

C_W ——轴重和簧下质量修正，dB；

C_R ——轮轨条件修正，dB；

C_T ——隧道型式修正，dB；

C_D ——距离衰减修正，dB；

C_B ——建筑物类型修正，dB；

C_{TD} ——行车密度修正，dB。

3. 声环境和振动环境的污染源分析

轨道交通项目属于大型基础设施建设项目，其噪声和振动的污染源主要来自于运营期地铁的运行。运营期的噪声污染主要来源于车站及区间风亭和冷却塔的噪声。轨道交通运营期引起的振动主要来源于

列车车轮与轮轨间相互作用，并通过地质和建筑物进行传播，其影响因素很多，不同的车型、轮轨、地质条件乃至建筑物结构都会对振动产生不同的影响。

4. 噪声和振动的危害

4.1. 噪声的危害

(1) 损伤听力是噪声对人体最直观的危害。有研究表明，人类长时间的处于 70 分贝以上的噪声环境中，就会导致听觉疲劳，容易形成噪声性耳聋。当人突然处于 90 分贝以上的噪声环境中，会导致鼓膜破碎，听觉器官受损，严重的还会使人耳完全丧失听力。

(2) 噪声严重干扰人们的日常工作和生活。当人们突然遭受到噪声干扰时，就会失去 4 秒钟的思考时间，从而导致劳动生产率降低，降低的幅度大约为 10%~50%，并且随着噪声等级的增加，这个比例还将增大[7]。

(3) 噪声除了损伤听力之外，还会诱发多种疾病。听觉器官连接着大脑中枢神经系统，噪声过于严重会影响大脑中枢神经系统，进而影响到身体各个器官，对人体其他系统带来危害[8]。

4.2. 振动的危害

地铁振动危害主要是指地铁运行过程中振动对人类的日常生活和工作产生的影响，以及对人体健康、建筑物安全和科研医疗等所需要用到的精密仪器正常使用的影响[9]。地铁振动的危害主要体现在以下三个方面：

(1) 振动会影响人类的身体健康，包括生理健康和心理健康。生理健康方面，振动会影响人体的泌尿系统、消化系统、呼吸系统、神经系统、心血管及循环系统以及视听觉系统等。人类长期处于振动环境中，会导致头晕、头痛以及消化道症状等，给人体带来严重的伤害。心理健康方面，振动会严重干扰人们的正常生活秩序，振动不但会影响日常的睡眠质量，还会干扰人的大脑思维，妨碍精力集中，从而导致工作和学习质量下降，有研究表明，交通引起的振动影响人睡眠的投诉率最高，约占 45%，其次是精神损伤和房屋破坏，均约占 20%左右[10]。

(2) 振动对建筑物的影响有大有小。影响较小的导致墙皮脱落、墙角及地板出现裂缝；影响较大的则导致墙壁倾斜、地基沉陷或倒塌，尤其对于古建筑影响更甚。据统计，交通系统引起的环境振动，主要是建筑物的振动，是人们反映的最强烈的振动污染[11]。交通车辆引起的结构振动通过周围地层(地下或地面)向外传播，进一步诱发附近地下结构以及邻近建筑物的二次振动，对建筑物特别是古旧建筑物的结构安全以及其中的居民和工作人员产生很大影响。

(3) 地铁振动会影响精密仪器的正常使用。有研究结果表明：地铁振动会导致精密仪器无法正常运行、读数不准、自动断开等，严重的可能会导致一些环境事故[12]。尤其是对于医院以及科研院所来说，精密仪器的使用更加需要良好的环境。城市地铁振动还会影响精密机电设备，主要表现在两个方面：① 长期的振动会加剧设备本身的疲劳和磨损，导致设备快速老化，增加经济负担；② 生产工件的合格产品减少，产品质量下降，导致效益降低。

5. 声环境和振动环境的预测情况

5.1. 声环境预测情况

A 地铁线路全长 52.46 km，均为地下线，设置 15 座地下车站，车辆基地按照一段一场布设。该线路共有声环境敏感目标 28 处，其中车站风亭声环境保护目标 26 处，车辆段声环境保护目标 2 处。选取具有代表性的 6 处敏感点进行噪声预测，预测情况见表 3：

Table 3. Prediction of sensitive points in acoustic environment
表 3. 声环境敏感点预测情况

敏感点 编号	敏感点 名称	噪声源 强	测点 位置	声功 能区 划	敏感点概况	敏感点与噪声源 距离(m)		标准值(dB(A))	
						水平	直线	昼间	夜间
1	敏感点 A	排风亭	临风亭侧 1 层 窗外	4a	1 栋 14 层	38	38	70	55
			临风亭侧 4 层 窗外			38	39	70	55
			临风亭侧 9 层 窗外			38	45	70	55
			临风亭侧 14 层 窗外			38	54	70	55
2	敏感点 B	新风亭、 排风亭	临风亭侧 1 层 窗外	4a	8 栋	29/20	29/20	70	55
3	敏感点 C	新风亭	临风亭侧 1 层 窗外	4a	1 栋 2 层, 1 栋 3 层	47	47	70	55
4	敏感点 D	活塞风亭	临风亭侧 1 层 窗外	4a	5 栋 6 层	47	47	70	55
			临风亭侧 4 层 窗外	4a		47	48	70	55
5	敏感点 E	新风亭、 排风亭、 活塞风亭	临风亭侧 1 层 窗外	2	1 栋 3 层	43/41/41	43/41/41	60	50
6	敏感点 F	冷却塔	临风亭侧 1 层 窗外	4a	1 栋 4 层	40	40	70	55
			临风亭侧 4 层 窗外			40	41	70	55

噪声环境现状监测采用性能优良、满足 GB/T3785.1-2010 要求的 AWA6218A 型噪声统计分析仪。现状噪声测量按 GB3096-2008《声环境质量标准》执行，即在昼、夜间有代表性的时段内测量的等效连续 A 声级，以代表其声环境现状水平，测量同时记录主要噪声源。测量时间为 20 min。

预测结果见表 4:

Table 4. Prediction results of sensitive points in acoustic environment
表 4. 声环境敏感点预测结果

监测点 编号	监测点 名称	监测点 位置	预测结果(dB(A))		标准值(dB(A))		超标量(dB(A))	
			昼间	夜间	昼间	夜间	昼间	夜间
1	敏感点 A	临风亭侧 1 层窗外	63	/	70	55	/	/
		临风亭侧 4 层窗外	64.1	/	70	55	/	/
		临风亭侧 9 层窗外	64.5	/	70	55	/	/
		临风亭侧 14 层窗外	62.4	/	70	55	/	/
2	敏感点 B	临风亭侧 1 层窗外	50.2	47.7	70	55	/	/
3	敏感点 C	临风亭侧 1 层窗外	63.7	58.2	70	55	/	3.2
4	敏感点 D	临风亭侧 1 层窗外	67.1	65.9	70	55	/	10.9
		临风亭侧 4 层窗外	68.3	67	70	55	/	12
5	敏感点 E	临风亭侧 1 层窗外	57.2	/	60	50	/	/
6	敏感点 F	临风亭侧 1 层窗外	68.7	66.4	70	55	/	11.4
		临风亭侧 4 层窗外	69.5	67.2	70	55	/	12.2

由表 2 分析可知：6 处敏感点昼、夜噪声等效声级分别为 50.2~69.5 dB (A)，47.7~67.2 dB (A)，其中有 3 处敏感点超标，均为夜间超标，超标量为 3.2~12.2 dB (A)。超标的主要原因为公路，夜间较多重型车辆通过预测点所在路段导致[13]。

5.2. 振动环境预测情况

该线路共有环境振动敏感点 158 处，正线区间 156 处，其中学校、幼儿园 16 处，医院 3 处，居民住宅、机关、企业宿舍等 137 处，车辆段及停车场周围各 1 处敏感点，均为居民住宅。选取具有代表性的 15 处振动敏感目标进行预测，敏感点情况见表 5：

Table 5. Prediction of sensitive points in vibration environment

表 5. 振动环境敏感点预测情况

敏感点 编号	敏感点名称	起始里程	终止里程	相对线路位置(m)				建筑结构
				左线水平 距离	右线水平 距离	左线 高差	右线 高差	
1	敏感点 A	K2 + 840	K2 + 885	40	33	29.7	21.1	II
2	敏感点 B	K8 + 078	K8 + 141	0	0	20.4	20.4	II
3	敏感点 C	K23 + 405	K23 + 424	34	41	26.4	17.4	II
4	敏感点 D	K40 + 064	K40 + 125	33	18	15.3	15.3	II
5	敏感点 E	K3 + 168	K3 + 214	59	59	30.9	22.4	I
6	敏感点 F	K8 + 797	K8 + 808	66	34	17.8	23.4	II
7	敏感点 G	K9 + 110	K9 + 188	45	28	17.4	24.9	I
8	敏感点 H	K19 + 563	K19 + 882	36	15	23.2	22.9	I
9	敏感点 I	停车场渡线		34	34	12.3	12.3	II
10	敏感点 J	车辆段试车线		29	29	0	0	II

对振动环境进行预测，预测结果见表 6。

Table 6. Prediction results of sensitive points in vibration environment

表 6. 振动环境敏感点预测结果

敏感点 编号	敏感点名 称	监测点位 置	预测结果(VL _{Z10})/dB		标准值/dB		超标量/dB	
			昼间	夜间	昼间	夜间	昼间	夜间
1	敏感点 A	临路前 0.5 m	56.3	55.2	75	-	/	-
2	敏感点 B		51.9	50.2	75	-	/	-
3	敏感点 C		56.2	53.3	75	-	/	-
4	敏感点 D		56.1	53.1	75	-	/	-
5	敏感点 E		56.3	55.2	75	-	/	-
6	敏感点 F		54.8	52.4	75	-	/	-
7	敏感点 G		54.8	52.4	75	72	/	/
8	敏感点 H		59.6	52.3	75	72	/	/
9	敏感点 I		53.9	51.1	75	72	/	/
10	敏感点 J		54.5	52.0	75	72	/	/

由上表可得：10 处振动敏感点的昼、夜 VL_{Z10} 分别为 51.9~59.6 dB、51.1~52.4 dB (学校、机关等夜间不对标)，各个敏感点的振动环境均满足标准。振动环境影响主要与其敷设深度、距离敏感点的距离以及列车运行速度等有关，一般来说，轨道敷设深度越深，距离敏感度越远，列车运行速度越小，其振动环境就越弱[13]。

6. 声环境和振动环境影响的防治措施

6.1. 声环境影响的防治措施

针对于噪声污染的防治，可以从以下几个方面入手：

(1) 首先从噪声的源头处进行预防，针对于轨道交通，可以采用低噪声的设备或者结构，或者设计阶段调整污染源的位置，使污染源尽可能的远离敏感点。

(2) 其次，在噪声的传播途径中进行降噪处理，可以采用声屏障、消声器等工程措施减少噪声的危害。

(3) 加强敏感点的防护措施，对受噪声影响比较严重的敏感区域可以采取隔音玻璃或其他措施。

采取措施之后，各敏感点的噪声均可达标。

6.2. 振动环境影响的防治措施

对于振动环境影响的防治，主要有以下几种措施：

(1) 对于轨道交通，振动的产生主要来自于列车与轮轨的相互作用，因此要减少振动影响，首先从振源上考虑，优先选用振动值低、性能好的车辆，轨道交通运营期间，加强轮轨的维护和保养，减少附加振动；并且采取振动防护措施，例如采用钢弹簧浮置板道床、橡胶隔振垫道床等，减少振动的产生。

(2) 其次，采用传播路径减振措施减少振动的影响，主要方式有隔振墙、隔振沟等。

(3) 通过建筑物防护减少减振的影响，但目前国内无案例，出于安全考虑，不建议采用建筑物防护减振。

对于振动环境来说，最主要的防护措施就是从源头处减少振动的产生。

7. 结论

本文以实例评价了地铁噪声和振动的环境影响，并提出了相应的防治措施，主要措施有以下几点：

(1) 优化轨道交通线路，控制污染源的位置，必要时可采取限定车速的方式降低污染源强。

(2) 从传播途径着手，降噪可设置消声器或绿化带等，振动可采取隔振墙、隔振沟等。

(3) 从敏感点自身的角度出发，采取隔音玻璃等。

终其一点，要减少噪声和振动的影响，最好从源头入手，在轨道交通设计阶段考虑敏感点的位置，尽量避开敏感点，减少影响，其次是在传播过程中降低影响，最后才是从敏感点的角度出发来减少影响。

参考文献

- [1] 2023年中国内地城轨交通线路概况[J]. 城市轨道交通, 2024(1): 8-9.
- [2] 冯爱军. 中国城市轨道交通2021年数据统计与发展分析[J]. 隧道建设(中英文), 2022, 42(2): 336-341.
- [3] 吴小萍, 陈秀方. 可持续发展战略指导下的轨道交通规划与评价[J]. 中国工程科学, 2003(10): 88-94.
- [4] 徐琳, 姜文斐, 王佳, 等. 我国城市轨道交通噪声环境影响评价探讨[J]. 资源节约与环保, 2016(9): 128.
- [5] 胡乔木. 轨道交通环境影响评价中噪声与振动污染防治措施的应用探讨[J]. 绿色科技, 2018(24): 103-104.
- [6] 龚平. 地铁环境振动评价标准及评价量探讨[J]. 都市快轨交通, 2019, 32(4): 74-78.
- [7] 郑长聚. 环境工程手册——环境噪声控制卷[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [8] 魏鹏. 杭州地铁工程环境影响综合评价研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江工业大学, 2010.
- [9] 雷晓燕. 铁路交通噪声与振动[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [10] 夏禾. 住铁路边小心振动危害[N]. 环球时报, 2004-11-02(4).
- [11] 李岳林. 交通运输环境污染与控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [12] 孙晓静, 刘维宁, 郭建平, 等. 地铁列车振动对精密仪器和设备的影响及减振措施[J]. 中国安全科学学报, 2005(11): 78-81.
- [13] 范晓娟. 地铁振动和电磁环境影响及防治对策研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西北大学, 2013.