

基于 Cadna/A 软件的地铁噪声现状及声屏障降噪模拟研究

殷承启^{1,2}, 徐文文^{1,2}, 许雪记^{1,2}, 叶秋霞^{1,2}, 张 玮^{1,2}

(1. 中设计集团股份有限公司, 江苏 南京 210014;
2. 江苏省交通运输环境保护工程技术研究中心, 江苏 南京 210014)

摘要:以某市地铁4号线为例,利用 Cadna/A 软件预测沿线噪声分布现状,对沿线现有声屏障的降噪效果进行模拟预测,并对重点敏感点提出声屏障增补建议。结果表明:位于4a类区的敏感点昼间超标率为8%,夜间超标率为75%,位于2类区的敏感点昼间超标率为31%,夜间超标率为56%,位于3类区的敏感点昼间超标率为23%,夜间超标率为33%;通过降噪效果模拟,3 m 高声屏障降噪量为3.0~11.1 dB(A),覆盖至12层,4 m 高声屏障降噪量为3.0~11.4 dB(A),覆盖至12层,5 m 高声屏障降噪量为3.0~11.5 dB(A),覆盖至13层,半封闭声屏障降噪量3.1~13.9 dB(A),覆盖至30层,全封闭声屏障降噪量为30 dB(A),覆盖至30层;针对投诉敏感点,通过模拟不同类型声屏障的降噪效果提出声屏障增补建议。

关键词: Cadna/A; 地铁; 噪声仿真模拟; 声屏障

中图分类号: X593

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2020.04.013

Simulation of Metro Noise Status and Noise Reduction by Acoustic Barrier Based on Cadna/A Software

YIN Chengqi^{1,2}, XU Wenwen^{1,2}, XU Xueji^{1,2}, YE Qiuxia^{1,2}, ZHANG Wei^{1,2}

(1. China Design Group Co., Ltd., Nanjing 210014, China; 2. Jiangsu Transportation Environment Protection Engineering Technology Centre, Nanjing 210014, China)

Abstract: Taking the metro line 4 of a city as an example, the Cadna/A software is used to predict the noise distribution along the line. It is also used to simulate and predict the noise reduction effect of the existing acoustic barriers. And some suggestions for adding acoustic barriers to the key sensitive points are proposed. The results show that exceeding standard rate of sensitive points in the regions of class 4a is 8% in the daytime, while the rate is up to 75% at night. The exceeding standard rate of sensitive points in the regions of class 2 is 31% in the daytime, and the rate is 56% at night. The exceeding standard rate of sensitive points in the regions of class 3 is 23% in the daytime, while the rate is 33% at night. Through the simulation of noise reduction, the noise reduction is 3.0~11.1 dB(A) with the 3 m and 12 layers acoustic barriers. The noise reduction is 3.0~11.4 dB(A) with the 4 m and 12 layers acoustic barriers. The noise reduction is 3.0~11.5 dB(A) with 5 m and 13 layers acoustic barriers. The noise reduction is 3.1~13.9 dB(A) for the semi-closed acoustic barriers with covering 30 layers, while the noise reduction is 30 dB(A) for the fully closed barriers. As for the complained sensitive points, some suggestions for adding acoustic barriers are proposed by simulating the noise reduction effects of different acoustic barriers.

Keywords: Cadna/A; Metro; Noise Simulation; Acoustic Barrier

CLC number: X593

城市轨道交通在便捷人民生活、促进经济发展的同时,其环境影响也日益引起公众的关注。城市轨道交通最主要的环境影响来自噪声影响。噪声属于物理污染,污染强度随距离的衰减明显,影响

程度与污染源与接收点的距离密切相关。城市轨道交通作为城市综合交通运输体系的组成部分,不可避免地城市建成区紧密结合,尤其是高架路段,沿线用地开发强度大,轨道交通与沿线居民生

收稿日期: 2020-01-05

基金项目: 2018年度江苏省环保科研课题(2018014); 2019年度省交通运输科技与成果转化项目(2019Y70)

作者简介: 殷承启(1977-),男,硕士、高级工程师。研究方向: 交通污染防治。

通信作者: 徐文文(1991-),男,硕士、工程师。研究方向: 交通污染防治。E-mail: 361776849@qq.com

引用格式: 殷承启, 徐文文, 许雪记, 等. 基于 Cadna/A 软件的地铁噪声现状及声屏障降噪模拟研究[J]. 环境保护科学, 2020, 46(4): 75-79.

活区距离接近,轨道交通高架段对沿线居民日常生活的干扰程度有增加的趋势。

由于地铁高架线桥梁结构和辐射条件的复杂性,以及诸多不确定因素的影响,世界各国各自制定了符合本国特点的轨道交通噪声预测模型,其中比较典型的是日本的北陆法以及德国的“Schall03法”^[1-4]。日本在高速铁路等轨道交通噪声预测领域做了许多工作,研究出了很多噪声预测分析技术,其中最具有代表性的是在建设北陆新干线时,采用的北陆法^[5]。但是由于我国车辆的选型和铁路线路形式与北陆新干线有所不同,应进一步结合我国铁路的特点对源强等参数进行适当的调整^[6]。

德国 Schall03^[7] 模式的思路不同于日本新干线的“北陆法”,此模式并未对噪声源进行严格的分类并分别计算,而是将线路某一预测范围内按照一定原则分成若干段,噪声源声级的计算是在基准值 51dB 的基础上对通过列车的类型、长度、速度、桥梁结构和线路条件等影响因素进行修正后得出,预测点处的声级是在若干点源声级的基础上通过对声传播的几何发散衰减、地面吸收衰减和空气吸收衰减等修正后的声级进行叠加得出。通过比较发现,我国噪声预测模式同德国 Schall03 噪声预测模式较为接近^[8]。

Cadna/A 软件进行噪声预测是基于德国 Schall03 铁路噪声预测标准^[9],吴云霞^[10]利用 Cadna/A 软件对成都地铁 2 号线的噪声值进行模拟并与监测值进行比对,得出 Cadna/A 软件可用于预测距轨道中心线 20 m 外范围的噪声,该范围内的预测结果具有可靠性。

某市地铁 4 号线为高架线路,此地铁沿线经过众多居民小区和学校等声环境敏感点。近年来,沿线居民关于地铁噪声的环境投诉日渐增多。本文以区域地形图为基础,利用 Cadna/A 预测模型摸清轨道交通沿线噪声影响现状,对沿线现有声屏障的降噪效果进行模拟预测,并对重点敏感点提出声屏障增补建议,为地铁主管部门和设计、建设单位做好地铁高架沿线的噪声防护,以减少地铁列车噪声的影响提供科学参考,有利于改善沿线声环境质量,满足轨道交通沿线居民的合理环境诉求。

1 材料与方 法

1.1 轨道交通预测模式

Cadna/A 软件是一套得到我国环保部门认证的

噪声计算软件,集成了 HJ2.4-2009、Schall03、ISO9613 和 RLS-90 等标准,广泛推行在轨道交通运输部门和公路交通等方面的应用,分析计算三维模拟区域声级分布优势突出。本次使用的 Cadna/A 版本集成的轨道交通预测模式为德国 Schall03 模式。

在轨道交通模拟时需使用的主要参数见表 1,列车行驶速度按照地铁运行提供的行驶速度曲线确定。经现场实际观测,4 号线列车实际行驶速度与行驶速度曲线吻合。各区间行驶速度见表 2;进出站加减速度见表 3。

表 1 某市地铁 4 号线噪声模拟时主要参数

技术参数	数据
列车流量/列·d ⁻¹	采用地铁4号线运营时刻表统计数据
高架线路修正值	+3 dB (A)
轨道高程、地面高程	采用设计文件以及地形图数据
车辆长度	根据设计文件确定
声屏障	声屏障长度和高度根据实际观测以及设计文件获得
源强	92.5 dB(A) (轨道中心距离7.5 m,距轨面高度3.5 m处,平顺线路、整体道床、混凝土轨枕、弹性扣件、60 kg·m ⁻¹ 无缝钢轨、行车速度60 km·h ⁻¹)

表 2 某市地铁 4 号线区间行驶速度表 km·h⁻¹

行驶区间	上行速度	下行速度
区间1~区间2	60	55
区间2~区间3	75	75
区间3~区间4	75	75
区间4~区间5	75	75
区间5~区间6	50	45
区间6~区间7	60	55

表 3 某市地铁 4 号线进出站加减速度情况

行驶速度区间/km·h ⁻¹	瞬时加速/m·s ⁻²
0~30	0.869
30~35	0.849
35~40	0.739
40~45	0.652
45~50	0.582
50~55	0.524
55~60	0.439
60~65	0.368
65~70	0.309
70~75	0.262

1.2 轨道模型预测模式验证

通过噪声现状监测为仿真模型的建立提供验证和修正依据,选择昼间(7:00~23:00)和夜间(23:00~7:00)有列车通过的代表性时段,选取4号线沿线26个敏感点进行噪声现状监测,用积分声级计连续测量1h的等效连续A声级,用以代表昼间和夜间的声环境水平。每个点位监测2d,每天昼夜各监测1次,之后将Cadna/A仿真的噪声预测值与对应点位的噪声实测平均值利用SPSS软件进行T检验。

表 4 昼夜成对样本相关系数

时段	N	相关系数	Sig.	成对差分 差分的95%置信区间		t	df	Sig.(双侧)
				下限	上限			
昼间预测值昼间监测值	56	0.968	0	-1.468 37	-0.521 43	-4.17	56	0.121
夜间预测值夜间监测值	56	0.840	0	0.633 84	1.844 81	4.068	56	0.122

注:1配对样本相关性检验的原假设为2组样本不存在线性相关关系;2配对样本T检验的原假设为两组样本均值的差值为0。

表4可知,在显著性水平为0.05时,昼间、夜间相伴概率Sig.=0.000<0.05,拒绝原假设,可认为实测值和模型预测值具有明显的相关性。由配对样本T检验结果可知,实测值、预测值昼夜配对样本T检验的相伴概率Sig.分别为0.121、0.122,均大于0.05,应接受原假设,可以认为互相配对的两组数据没有显著性差异,即昼夜的预测值与监测值无显著性差异,因此Cadna/A软件预测某市地铁4号线噪声现状是可信的。测某市地铁4号线噪声现状是可信的。

2.2 某市地铁4号线噪声现状预测

本次噪声预测范围为轨道交通4号线两侧各200m范围内的声环境敏感点。根据统计4号线沿线共有声环境敏感点90处,其中居民区76处、学校14处。

根据敏感点分布情况及建筑物特征,在水平方向,在各敏感点建筑物周围平均分布预测点,在垂直方向,预测点选择建筑物各楼层窗户处,根据各敏感点的所有预测点位结果进行超标率统计,各区间敏感点的超标率见表5。

表5可知,4号线位于4a类区的敏感点预测点昼间超标率为8%,夜间超标率为75%,位于2类区的预测敏感点中,昼间超标率为31%,夜间超标率为56%,位于3类区的预测敏感点中,昼间超标率为23%,夜间超标率为33%,部分区间噪声等声级线三维模拟见图1。

2 结果与讨论

2.1 模型验证结果

将噪声模拟值与实测值进行对比,各监测点位处的昼间模拟声级与实测声级的偏差绝对值的平均值为1.7dB(A),夜间模拟声级与实测声级的偏差绝对值的平均值为1.5dB(A)。因此,本次采用的计算模型的模拟结果与实际情况偏差较小(3dB(A)以内),进一步的,预测值与监测值配对样本T检验结果见表4。

表 5 某市地铁4号线噪声现状预测表

路段	声功能区	敏感点个数	超标率/%	
			昼间	夜间
区间1	4a类	4	0	62
	2类	8	25	52
区间2	4a类	4	0	50
	2类	7	33	46
区间3	4a类	5	20	80
	2类	5	33	63
区间4	4a类	8	12	86
	2类	11	46	63
区间5	4a类	10	1	100
	2类	18	56	100
区间6	4a类	5	13	69
	2类	6	16	42
区间7	4a类	14	13	60
	2类	29	15	35
区间8	4a类	1	0	41
	3类	6	23	33
合计	4a类	50	8	75
	2类	84	31	56
	3类	6	23	33

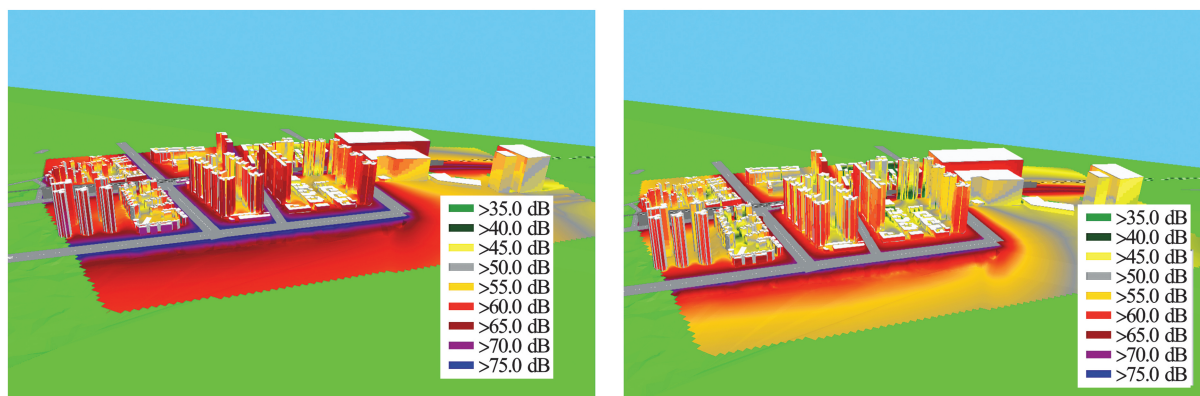


图 1 区间 1 噪声等声级线三维模拟图

2.3 现有声屏障的降噪效果进行模拟预测

考虑声屏障对轨道交通噪声贡献值的插入损失以及对叠加地面交通噪声后总体效果,本研究直立型声屏障对轨道交通贡献值的平均插入损失为 8.3 dB(A),半封闭对轨道交通贡献值的平均插入损失为 12.7 dB(A),全封闭声屏障对轨道交通贡献值的平均插入损失为 20.7 dB(A);普通直立型声屏障对敏感点交通噪声预测值的平均效果为 2.4 dB(A),半封闭声屏障的平均效果为 7.3 dB(A),全封闭声屏障的平均效果为 7.3 dB(A)。根据分析,声屏障降噪效果的影响因素主要有以下几点。

1)声屏障高度。本项目采取的声屏障高度为 1.8~4.2 m 不等,整体看,在距离和轨面高差类似的情况下,声屏障越高对敏感点的降噪效果更好,对比 A28 和 A76 敏感点,3 m 高声屏障比 1.8 m 高声屏障效果好 3.4 dB(A)左右,对比 A47 和 A88,4 m 高声屏障比 2.4 m 高声屏障效果好 6.4 dB(A)左右等,此外对于相同高度声屏障,干涉式声屏障降噪效果好于直立型声屏障,对比 A34 和 A37, A44 与 A46,干涉式声屏障效果好 4.3 dB(A)左右。

2)敏感点距离。部分敏感点距离轨道较远,或距离较近,但前排有建筑物密集遮挡,导致声屏障效果有限。如 A6、A14 和 A57 等敏感点距离较远,A8 第二排、A12 第二排、A57、A71 等敏感点与轨道交通之间有建筑物遮挡,声屏障措施前后的噪声预测值和贡献值相差较小。

3)因声屏障仅对轨道交通具有降噪效果,因此声屏障对敏感点的整体降噪效果还取决于背景噪声(地面道路)的影响,道路交通噪声影响越大,声屏障的整体降噪效果将降低。

4)根据半封闭声屏障和全封闭声屏障的降噪效果可知,半封闭声屏障对低楼层的降噪效果和直

立型声屏障差别不大,但对高楼层的效果更好,较直立型声屏障覆盖的声影区范围更大;全封闭声屏障对轨道交通噪声的贡献值降噪量为 20.7 dB(A),全封闭声屏障的降噪效果十分明显,但是全封闭声屏障位于敏感点 A66 处,半封闭声屏障位于敏感点 A72 处,均位于区间 6,由于区间 6 内地面道路和平路与 4 号线并行,现场调研可知,和平路车流量较大,道路交通的噪声贡献值较大,虽然全封闭声屏障对于轨道交通噪声的降噪量高于半封闭声屏障,但是由于复合交通的影响,对于 A66、A72 敏感点,其交通噪声预测值接近,引起全封闭与半封闭声屏障对于交通噪声预测值的效果相当。

考虑 4 号线全线平均路基高差 15 m 以及敏感点距离地铁外轨中心线平均距离 50 m,以路基高差为 15 m,距离外轨中心线距离为 50 m 处的典型敏感点为例,分别预测 3、4 和 5 m 以及半封闭和全封闭声屏障对于不同楼层的降噪效果以及影响覆盖范围,声屏障在敏感点两侧各延伸 30 m。

根据计算,3 m 高声屏障降噪量为 3~11.1 dB(A),声屏障降噪覆盖范围至 12 层;4 m 高声屏障降噪量 3~11.4 dB(A),声屏障降噪覆盖范围至 12 层;5 m 高声屏障降噪量 3~11.5 dB(A),声屏障降噪覆盖范围至 13 层;半封闭声屏障降噪量 3.1~13.9 dB(A),声屏障降噪覆盖范围至 30 层;全封闭声屏障降噪量为 30 dB(A)左右,声屏障降噪覆盖范围至 30 层。由此可见,对于高层敏感点,直立型声屏障降噪效果随声屏障高度的增加变化较小,这是由于对于高层敏感点,3、4 和 5 m 高直立型声屏障形成的声程差以及声影区高度并没有明显增加,无法有效的覆盖高楼层,此外轨道交通为双向行驶,半封闭声屏障可对其所在轨道的列车噪声产生较好的降噪效果,对于另一侧噪声遮挡效果较差,全封

闭声屏障可对双向列车同时进行遮挡,因此半封闭声屏障降噪效果低于全封闭声屏障,但是其降噪有效覆盖范围与全封闭声屏障接近,高于直立型声屏障。

2.4 投诉敏感点提出声屏障增补建议

根据敏感点噪声现状监测以及模拟可知,现阶段超标敏感点本身背景值(无地铁)超标现象严重,主要是受到沿线交通噪声和生活噪声同时影响,仅

控制地铁噪声源无法使敏感点达标,以噪声增量低于 1 dB(A)为控制要求,针对地铁沿线现有投诉敏感点,分别考虑不同类型声屏障等 3 种方案分别计算声屏障的降噪效果,以综合视觉美观、敏感点居民诉求以及经济性等因素,提出声屏障增补建议,以敏感点 1 以及敏感点 2 为例,声屏障措施比选表见表 6。

表 6 声屏障措施比选表

序号	声屏障类型	措施后声环境影响情况	比选结论
敏感点1	方案一	3 m 高声屏障	措施后不能满足昼夜噪声增量在 1 dB(A)以内
	方案二	4.2 m 高声屏障	措施后可满足昼夜噪声增量在 1 dB(A)以内
	方案三	4.2 m 高声屏障+1 m 干涉型声屏障	措施后可满足昼夜噪声增量在 1 dB(A)以内
敏感点2	方案一	4.2 m 高声屏障	措施后不能满足昼夜噪声增量在 1 dB(A)以内
	方案二	4.2 m 高声屏障+1 m 干涉型声屏障	措施后不能满足昼夜噪声增量在 1 dB(A)以内
	方案三	全封闭声屏障	措施后可满足昼夜噪声增量在 1 dB(A)以内

3 结论

1)应用声学仿真模拟软件 Cadna/A 软件开展地铁噪声预测分析,经与实测数据进行对比,在 95% 置信区间时,昼夜的预测值与监测值无显著性差异,因此 Cadna/A 软件预测某市地铁 4 号线噪声现状是可信的。

2)通过预测模拟,4 号线位于 4a 类区的敏感点预测点昼间超标率为 8%,夜间超标率为 75%,位于 2 类区的预测敏感点中,昼间超标率为 31%,夜间超标率为 56%,位于 3 类区的预测敏感点中,昼间超标率为 23%,夜间超标率为 33%。

3)考虑地铁平均高度 15 m,距离地铁外轨中心线 50 m 典型情况,3 m 高声屏障降噪量为 3~11.1 dB(A),声屏障降噪覆盖范围至 12 层;4 m 高声屏障降噪量 3~11.4 dB(A),声屏障降噪覆盖范围至 12 层;5 m 高声屏障降噪量 3~11.5 dB(A),声屏障降噪覆盖范围至 13 层;半封闭声屏障降噪量 3.1~13.9 dB(A),声屏障降噪覆盖范围至 30 层;全封闭声屏障降噪量为 30 dB(A)左右,声屏障降噪覆盖范围至 30 层。

4)通过 Cadna/A 软件针对投诉敏感点开展不同类型声屏障的降噪效果预测,综合考虑视觉美

观、敏感点居民诉求以及经济性等因素,提出可行的声屏障增补建议,利于改善沿线声环境质量,满足轨道交通沿线居民的合理环境诉求。

参考文献

- [1] 徐志胜,翟婉明. 轮轨噪声预测模型研究概况及新进展[J]. 噪声与振动控制, 2007, 27(1): 11-16.
- [2] JONES C J, THOMPSON D J. Extended validation of a theoretical model for railway rolling noise using novel wheel and track designs[J]. Journal of Sound and Vibration, 2003, 267(3): 509-522.
- [3] 宋旭辉,范东平,徐文彬. 广东省道路交通噪声预测统计模型[J]. 环境工程学报, 2014, 8(11): 5067-5072.
- [4] 翟国庆,李争光,陈钰,等. 从传播途径优化控制市区铁路噪声[J]. 环境科学, 2008, 29(8): 2372-2376.
- [5] 焦大化. 日本高速铁路噪声预测方法[J]. 铁道劳动安全卫生与环保, 2007, 34(1): 35-38.
- [6] 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.
- [7] 李洪强. 基于 GIS 的高速铁路噪声预测与环境影响评价系统研究[D]. 长沙:中南大学, 2008: 36-39.
- [8] 田建辉,简炼,李兵. 地铁投诉噪声临界限值研究[J]. 噪声与振动控制, 2016, 36(1): 106-108.
- [9] 罗鹏,蔡铭,马侠霖. 城市道路交通噪声分布模拟研究[J]. 中国环境监测, 2013, 29(5): 176-179.
- [10] 吴云霞. 成都地铁 2 号线高架段噪声特性研究[D]. 成都:西南交通大学, 2017.