

铁路噪声对沿线住宅小区的影响

张邦俊, 卢向明, 翟国庆(浙江大学环境科学系, 杭州 310028)

摘要: 主要考虑铁路噪声的直达声和一次反射声对住宅小区的影响, 建立了铁路沿线城市住宅区列车噪声衰减的理论模型, 计算分析了铁路噪声对建筑群纵深的影响, 并与实测值进行比较, 验证了模型的可靠性。

关键词: 铁路噪声; 直达声; 反射声; 住宅小区

中图分类号: X839.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2003)05-04-0157

Effects of Railway Noise on Residential Quarter

Zhang Bangjun, Lu Xiangming, Di Guoqin(Department of Environmental Science, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China)

Abstract: Effects of direct sound and one time reflection of railway noise on residential quarter were mainly considered, and model for prediction of attenuation of railway noise in residential quarter was given in the paper. With the given model, the effects of railway noise on residential quarter were analyzed and compared with measure results, it was shown that the model is suitable for prediction to attenuation of railway noise in residential quarter.

Keywords: railway noise; direct sound; reflection; residential quarter

随着我国城市化进程的发展, 城市外延不断扩张, 许多城市中原来处于城郊的铁路逐渐被纳入城区, 又由于铁路部门近年来多次对列车进行提速, 铁路对城市环境造成的影响日益受到重视, 其中以噪声最为突出。

近年来, 国内外对铁路噪声的研究主要集中于铁路噪声产生机制、噪声源分析、噪声随距离衰减规律以及降噪措施探讨^[1-6]等方面, 对铁路噪声在附近居住小区内的传播规律尚未见深入研究。

本文研究铁路噪声沿路边居住小区纵深方向传播规律, 建立了单列列车噪声在垂直于铁路线分布的建筑群间沿纵向衰减模型, 并对路边住宅区内铁路噪声污染情况作出预测。通过实测与理论计算, 验证了模型的可靠性。这一研究结果对铁路附近住宅区的合理布局与规划, 从而减轻铁路噪声对城市环境的影响提供了科学依据。

1 铁路噪声在住宅区衰减模型

1.1 简化假设

铁路噪声包括机车运行噪声、鸣笛噪声以及轮轨撞击噪声等, 影响铁路噪声污染程度的

因素较多, 主要有^[7,8]:

(1) 与列车有关的因素, 如列车的类型、列车总长度、制动器形式、行驶速度及列车通过频率等。

(2) 与铁路有关的因素, 如轨道型式与结构、道碴轨枕情况以及轨道曲率半径等。

(3) 与传播环境有关的因素, 如铁路边建筑物分布状况、声源与受声点的相对位置以及地面形态等。

在建立噪声模型时, 只考虑其中最主要因素, 作如下简化假设:

(1) 将列车看作为有限长的线声源, 声功率均匀分布。

(2) 建筑物立面垂直于铁路; 建筑立面为连续且光滑。

(3) 采用几何声学原理; 列车提速后, 进入市区的列车速度一般在 80 km/h 的中速范围内, 据相关研究^[9,10], 中速时铁路噪声以中高频为主, 因此略去衍射而采用几何声学方法, 为简化计算, 只考虑直达声和一次反射声的作用。

作者简介: 张邦俊(1947~), 男, 副教授, 主要从事环境物理学及环境信息处理方面的科研与教学工作。

收稿日期: 2002-12-11; 修订日期: 2003-03-24

1.2 模型建立

铁路噪声在建筑群中声传播模型如图 1.

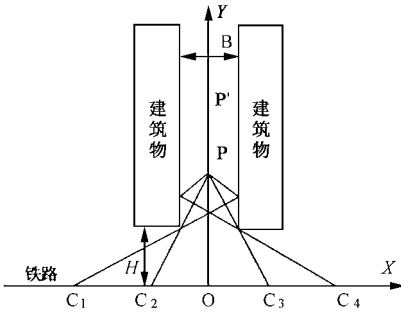


图 1 建筑群中噪声传播模型

Fig.1 The model of noise propagation between structures

以铁路中心线为 X 轴,假定列车从 X 轴的负方向向正方向行驶.沿建筑物间的通道建立 Y 轴.本文研究铁路噪声在路边建筑之间沿 Y 轴方向传播衰减规律.

图中 B 为两幢建筑物间的距离, H 为铁轨中心线离建筑物的距离, P 为测点,为计算方便,取 P 点位于建筑物间距的中点.

由图可知,当铁路噪声源位于 $[C_2, C_3] = [-By/2(y-H), By/2(y-H)]$ 区间时,直达声能对测点 P 起作用,当噪声源位于 $[C_1, C_4] = [-(BH + By/2)/(y-H), (BH + By/2)/(y-H)]$ 区间时,一次反射声能对测点 P 起作用.设线声源单位长度声功率为 w ,线声源上 dx 段的声功率 $dw = wdx$,对距离 r 的测点 P 的声压平方的贡献为:

$$dp_A^2 = \frac{w dx}{2 \pi r^2} \rho c \quad (1)$$

式中, ρ 为空气的静态密度, c 为空气中的声速,整个线声源对测点贡献的声压的平方为 $p_A^2 = \int dp_A^2$,于是测点处在时间段 T 内的等效 A 声级 $L_{Aeq, T}$ 为:

$$L_{Aeq, T} = 10 \lg \left| \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right| \quad (2)$$

由模型可知,直达声对测点 P 的贡献为:

$$dp_d^2 = \frac{w dx}{2 \pi (x^2 + y^2)} \rho c \quad (3)$$

一次反射声对测点 P 的贡献为:

$$dp_r^2 = \frac{w dx}{2 \pi h^2} \rho c \quad (4)$$

其中, h 为一次反射声的声线长度:

$$h = \sqrt{y^2 + (x + B)^2} \quad (5)$$

为了解列车在行驶过程中对测点 P 的噪声贡献,对列车的行驶过程进行分段分析.第 1 时段为列车车头从无限远处行驶至 C_1 过程,这时其发出的直达声和一次反射声均不能达到 P 点,即 P 点不受噪声影响,第 2 时段为列车车头从 C_1 行驶至原点 O ,对于通常建筑分布情况,当车头到达 O 点时车尾尚未到达 C_1 ,故在此时间段内,线声源长度是变化的,变化范围从 0 到 L_{OC1} ,第 3 时段为列车车头驶离 O 点至车尾到达 C_1 点,此时段线声源长度为常数等于 L_{OC1} ;第 4 时段车尾从 C_1 点到达 O 点,该时间段线声源长度又呈变化,第 5 时段车尾从原点行驶至 C_4 ,第 6 时段车尾从 C_4 行驶至无限远处,5、6 两时段为噪声源处于 X 轴正半轴,与 1 至 4 时段对称.

列车噪声对 P 点的影响从第 2 时段开始,设列车行驶速度为 v ,则第 2 及第 4 时段经历时间为 $t_2 = t_4 = L_{OC1}/v$,第 3 及第 5 时段经历时间 $t_3 = t_5 = (L - L_{OC1})/v$;第 1 和第 6 时段噪声对 P 点无贡献.其中 L 为列车长度, L_{OC1} 为区间 OC_1 的长度.

在列车行驶全过程中,对测点 P 声压平方有贡献的时间为 $T = \sum t = 2(t_2 + t_3)$;由模型的对称性,在分析声源对测点 P 的贡献时,只须考虑列车在原点左边的行为,即只考虑第 2、3、4 时段即可.综合考虑第 2 和第 4 时间段,任一线声源元 dx 对测点 P 的声压平方贡献的持续时间相等,直达声的作用时间 $t = L_{OC2}/v$,一次反射声作用时间 $t = L_{OC1}/v$,第 3 时间段中任一 dx 对测点 P 声压平方贡献时间 $t = (L - L_{OC1})/v$.

因此,在第 2 和第 4 两个时间段内,一次反射声的声压平方合计为:

$$p_r^2 = \int_{-\frac{(B+B_y+R_y/2)}{y-H}}^0 \frac{w dx}{2 \pi [(x+B)^2 + y^2]} \rho c \quad (6)$$

式中, p_r 为反射声的声压,作用时间 $t_a = L_{OC1}/v$,该两时间段直达声的声压平方合计为:

$$p_d^2 = \int_{-\frac{B_y}{2(y-H)}}^0 \frac{w dx}{2 \pi [x^2 + y^2]} \rho c \quad (7)$$

式中, p_d 为直达声的声压,作用时间 $t_b = L_{OC2}/v$;第 3 时间段所贡献的声压平方表达式与上两时间段相同,一次反射声和直达声作用的持续时间都为 $t_c = (L - L_{OC1})/v$.

整个时间段内列车噪声对测点 P 贡献的连续等效 A 声级为:

$$L_{Aeq} = 10 \lg \frac{1}{T} \int \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt = 10 \lg \left| \frac{2}{2t_2 + 2t_3} \left[\int_0^{L_{OC1}/v} \frac{p_r^2}{p_0^2} dt + \int_0^{L_{OC2}/v} \frac{p_d^2}{p_0^2} dt + \int_0^{(L-L_{OC2})/v} \frac{p_r^2 + p_d^2}{p_0^2} dt \right] \right| \quad (8)$$

将式(6)与式(7)代入式(8),得

$$L_{Aeq} = 10 \lg \frac{\rho c w}{4 \pi (t_2 + t_3) p_0^2} + 10 \lg \left| \iint \frac{dx dt}{(x+B)^2 + y^2} + \iint \frac{dx dt}{x^2 + y^2} + \iint \left| \frac{1}{(x+B)^2 + y^2} + \frac{1}{x^2 + y^2} \right| dx dt \right| = 10 \lg \frac{\rho c w}{4 \pi (t_2 + t_3) p_0^2} + {}^* L_{eq} \quad (9)$$

式中:

$${}^* L_{eq} = 10 \lg \left| \iint \frac{dx dt}{(x+B)^2 + y^2} + \iint \frac{dx dt}{x^2 + y^2} + \iint \left| \frac{1}{(x+B)^2 + y^2} + \frac{1}{x^2 + y^2} \right| dx dt \right|$$

为 L_{eq} 中与声功率线密度 w 无关的项,若只考虑 P 和 P' 2 点间铁路噪声的距离衰减,则可计算如下:

$$\Delta L_{eq} = {}^* L_{eq2} - {}^* L_{eq1} \quad (10)$$

式中, ${}^* L_{eq1}$ 与 ${}^* L_{eq2}$ 分别为 P 点和 P' 点的 ${}^* L_{eq}$ 值.此即计算垂直分布于铁路附近建筑群间噪

声衰减计算理论模型.

2 计算与实测比较

为了验证上述建筑群纵深方向上铁路噪声衰减模型,选择典型的铁路边居民住宅区进行了现场监测,测点选在杭州市北落马营小区,该地段建筑物垂直于铁路纵向分布形成一条小巷,小巷宽 B 为 4 m,小巷左侧为 1 层居民用房,小巷右侧距铁轨(建筑物侧的铁轨)18 m 处为 1 层居民用房,18 ~ 35 m 处为 2 层居民用房,35 m 之外为 3 层居民用房,建筑物分别为未经修饰的水泥房.路轨中心距建筑物的最近处的距离 H 为 12 m,铁轨路基高出小巷地面 0.8 m,布置了 2 个测点进行同时监测.测点 1 和 2 分别设于离铁轨中心 33 m 和 45 m 处小巷的中心线上.计算结果见表 1 和表 2.

表 1 测点 1 计算参数与结果

Table 1 The parameter and calculation results of measuring site No.1

编号	L/m	$v/m \cdot s^{-1}$	t_a/s	t_b/s	t_c/s	${}^* L_{eq1}$
1	235	18.3	0.30	0.17	12.54	-15.66
2	235	16.28	0.33	0.19	14.10	-15.15
3	221	17.64	0.31	0.18	12.22	-15.76
4	124	15.76	0.34	0.20	7.52	-17.73
5	262	19.76	0.27	0.16	12.98	-15.52
6	511	22.08	0.25	0.14	22.90	-13.13
平均						-15.49

表 2 测点 2 计算参数和结果

Table 2 The parameter and calculation results of measuring site No.2

编号	L/m	$v/m \cdot s^{-1}$	t'_a/s	t'_b/s	t'_c/s	${}^* L_{eq2}$
1	235	18.31	0.23	0.15	12.61	-20.32
2	235	16.28	0.26	0.17	14.18	-19.81
3	221	17.64	0.24	0.15	12.29	-20.43
4	124	15.76	0.27	0.17	7.60	-22.40
5	262	19.76	0.21	0.14	13.05	-20.19
6	511	22.08	0.19	0.12	22.95	-17.79
平均						-20.16

表 1 和表 2 中 ${}^* L_{eq1}$ 、 ${}^* L_{eq2}$ 分别为测点 1、测点 2 上未加与声源声功率相关项的计算值.表 3 中 $\Delta L_{eq}'$ 为噪声衰减量的理论计算值, ΔL_{eq} 为实测噪声衰减值.从表 3 可知,实测衰

减值与理论衰减值差值范围为 - 1.56 ~ 0.34dB,实测衰减平均值与理论衰减平均值差值为 0.53dB,实测与理论基本相符,这表明本研究所建立的理论模型对铁路噪声在路边建筑群纵深方向衰减预测具有实际意义。

表 3 理论衰减与实际衰减比较
Table 3 Comparison of theoretical results with
measurement results

编号	$\Delta L_{eq}'$	ΔL_{eq}	差值
1	4.66	5	0.34
2	4.66	3.7	- 0.96
3	4.67	5	0.33
4	4.67	4.5	- 0.17
5	4.66	4.8	0.14
6	4.66	3.1	- 1.56
平均	4.66	4.13	- 0.53

3 小结

随着列车的全面提速,作为城际间主要交通工具的铁路发挥的作用越来越大,同时由于城市化进程的不断推进,铁路噪声对周围居住小区的污染问题也日益突出,本文根据列车在城市居住区附近运行状况,考虑铁路附近建筑物分布,建立铁路噪声在沿线建筑群间传播衰减的计算模型,经实测验证该方法达到一定的预测精度,模型在预测单列列车噪声在建筑群

纵向的分布规律方面有着积极意义,为预测铁路噪声对附近住宅区的影响提供一种可行的方法,可为铁路附近住宅小区的合理规划和布局提供科学参考。

致谢 对潘仲麟教授的帮助指导深表感谢。

参考文献:

1 刘达德,齐峰.铁路环境噪声衰减规律预测研究.噪声与振动控制,1995,(3):14~18.

2 林丛,刘用泉.铁路噪声预测模型的改进.噪声与振动控制,1998,(2):46~47.

3 王伯福.降低铁路噪声措施的探讨.噪声与振动控制,1998,(1):30~33.

4 林国斌,高淑英.德国铁路环境噪声评价计算规范的研究与借鉴.噪声与振动控制,1998,(2):18~22.

5 田新浩,张新华等.列车运行噪声传播规律的研究.噪声与振动控制,2000,(2):30~32.

6 H J A Van Leeuwen. Railway noise prediction models: a comparison. J S & Vib,2000,231(3):975~987.

7 龚农斌,汤峰等.轻轨交通噪声的测量与分析.中国环境科学,2002,22(2):170~173.

8 毛东兴,陶锦圣等.交通噪声的衍射作用对住宅小区的影响.上海环境科学,1994,18(4):179~181.

9 刘敏燕,杨献朝.北京市铁路噪声特性实例分析研究.铁道劳动安全卫生与环保,1999,26(3):145~148.

10 King III W F. On the sources of wayside noise generated by high-speed trains. J S & Vib,1979,215~240.