

Research on Noise Test Method and Evaluation Index of Highway Tunnel

Bai Fan

School of Civil Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400030, China

Abstract: In this paper, the principle of tunnel noise generation is analyzed, and the field test method and numerical simulation method are summarized. It provides the basis for the noise analysis of highway tunnel.

Keywords: Tunnel Noise; Test Method; Numerical Analysis; Evaluation Index.

公路隧道噪音测试方法及评价指标研究

范柏

重庆交通大学, 土木工程学院 重庆 400074

摘要: 本文分析了隧道噪音产生的原理, 并总结了隧道噪音常用的现场测试方法和数值模拟方法以及评价指标。为公路隧道噪音分析提供了依据。

关键词: 隧道噪声; 测试方法; 数值分析; 评价指标

1 引言

我国公路建设事业在近近年来得到了飞速的发展, 尤其是随着西部大开发的推进, 新建了大量的山区公路。由于高速公路的高标准要求, 这些公路中桥隧比占了很大的一个比例, 而且西南地区高速公路隧道中出现了越来越多的超长隧道, 因此我国也成为了世界上隧道工程最多, 技术最复杂, 发展最快的国家之一[1]。

隧道结构为管状结构, 所以隧道内噪音有别于一般开阔地带路面噪音, 隧道内噪音成分主要为直达音和混响音, 而混响音对人的影响更为严重, 长期在高分贝混响音环境下驾驶, 会使司机急躁、心情紧张, 导致更高的交通事故诱发率[2]。

2 隧道噪音产生原理

公路噪声从产生的根源分析, 主要有两种类型。其中一种为车辆本身机械振动及发动机运转所产生的噪音。另一种是由车辆在行进过程中轮胎与路面相互作用所产生的噪音, 主要有[3]-[5]:

(1) 空气泵吸噪声。当汽车车轮行驶在路面上时, 车轮受挤压, 车胎花纹中的空气被挤压出去, 同时在车轮的挤压作用下, 路面孔隙中的气流被挤出, 形成局部空气流。当车辆驶离后, 空气又迅速回充到轮胎花纹和路面孔隙中, 如此往复的气流运动, 形成单

子噪声源。

(2) 车轮振动噪声。主要是由车辆在不平整的路面上行驶时轮圈振动所产生的噪音。

(3) 空气动力噪音。主要指车辆在高速行驶中, 轮胎转动造成周围空气紊流, 气流振动所产生的噪音。

3 隧道噪音现场测试方法

现场噪声测试一般都选用相应的噪声计进行测试, 不同的仪器具有不同的测量范围以及精度值, 主要的测试方法有3种。

(1) 滑行法。滑行法是利用车辆的惯性在汽车发动机关闭的情况下, 测量处于自由滑行状态下的车辆轮胎噪声的方法。具体操作方法可参照国标《轮胎惯性滑行通过噪声测试方法》。

(2) 车辆法。车辆法指在规定的轮胎型号, 轮胎负荷和轮胎充气压力条件下测试以一定速度行驶的车辆轮胎噪音。汽车轴距和轮胎型号应按相应规定进行匹配, 行驶速度和轮胎型号也应进行匹配, 轮胎压力按下式进行计算:

$$P_t = P_r (Q_t / Q_r)^{1.25} \quad (1)$$

式中:

P_t —— 试验胎压, 用 kPa 表示;

P_r —— 参考胎压; 对于 C1 标准型轮胎相当于 250kPa, 对于 C1 增强型轮胎相当于 290kPa, 对于上述两种类型的轮胎最低试验胎压是 $P_t=150kPa$, 对于

C2 和 C3 型轮胎是其轮胎胎侧标记的气压;

Q_r ——轮胎参考负荷, 轮胎负荷指数对应的最大负荷;

Q_t ——车胎试验负荷。

(3) 拖车法。拖车法指在牵引车的作用下测量拖车轮胎噪音的一种方法。牵引车行驶时所产生的噪音应通过一定的措施去减弱, 如采用遮挡、低噪音轮胎等。但是当牵引车单独行驶时轮胎 A 声级比牵引拖车试验的 A 声级低 10Db 时, 可大大提高测量的精度。在做单独牵引车试验和牵引拖车总成试验时应保持轮胎负荷不变。

4 隧道噪音常用数值分析方法

国外在隧道内噪声预测方面研究较多, 常见的主要预测方法基于经典房间声学理论[1]或将现场实测噪声与像源法结合预测等。但 Li K M[2]和 Kang[3]认为隧道内声场传播方式并不是常规的扩散式, 而是在一种特殊的长空间声场扩散。因此, 传统的经典声学理论并不能准确预测噪声量及其传播方式。笔者从虚墙产生的“镜像源”概念出发, 将隧道视为长空间环境, 分别从不相干模型和日本声学协会提出的隧道内噪声预测方法(简称 ASJ 模型)这两个角度预测隧道洞内噪声, 以期对隧道内路面降噪提出指导性建议。

(1) 虚墙理论

“虚墙”概念, 最开始是由镜像源衍生出来的。现在, 它已经作为虚声源法的对偶被广泛使用开来。众所周知, 当一个点声源位于两刚性壁之间时, 两刚性壁可被移除并用无数个镜像声源来代替, 声场转化为实际声源和各阶镜像声源的贡献叠加。反过来说, 当长空间内有一系列声源存在时, 可以引入一对硬边界来替代这些声源, 仅留下位于这对虚墙之间的单一点声源。这样一来, 声压级的计算量大幅缩小, 计算效率显著提高。

(2) 隧道内噪声预测数值模拟方法

常见隧道空间包括路面、两侧垂直于路面的边墙以及向地面弯曲的凹顶面, 在本文中, 为便于后续问题分析, 事前假定隧道截面呈矩形形状, 忽略边墙以及凹顶面对声源的散射作用以及通风机械、检修道的影响。隧道内噪声源以及噪声分布场简化如图 1 所示。

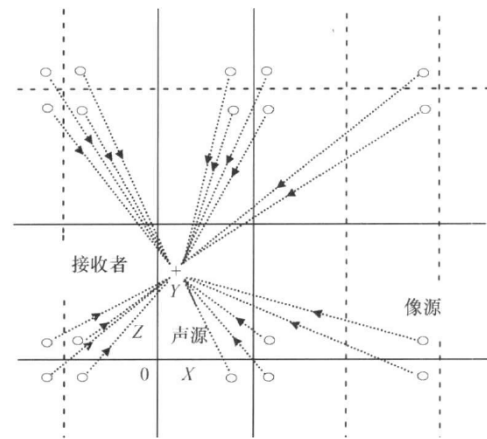


图 1 矩形隧道像源组成图

a. 不相干模型

不相干模型以射线追踪理论为基础, 假设直达声与反射波不会相互干扰, 且该模型假定声场中总的声强为直达声和各个像源声强的叠加, 即 I 为:

$$I = I_{ref} d_{ref}^2 \sum_N \frac{R_N}{d_N^2} \quad (2)$$

$$R_N = 1 - a_j \quad (j = 1, 2, 3, 4) \quad (3)$$

式中:

d_{ref} —自由声场条件下距离声源的基准距离;

I_{ref} —基准距离 d_{ref} 对应的基准声强;

d_N —第 n 个像源与接受者之间的距离

a_j —4 个矩形边墙体吸声系数, 与墙体材料密切相关

R_N —第 n 个像源在边墙的反射系数, 随着像源与边墙体的相互作用, R_N 成倍递减, 递减倍数为 $(1 - a_j)$;

b. ASJ 模型

ASJ 模型基于隧道内声强能量平衡原理, 预测隧道内的交通噪声的传播。该模型由日本在 1998 年提出, 较不相干模型而言, 计算公式较为简单, 且实测值与计算值误差在 2dB, 模型中单个矩形截面交通噪声能量衰减公式为:

$$I = I_{ref} \frac{2d_{ref}^2}{wH} \tan^{-1} \left[\frac{wH}{\sqrt{(a_1 d)^4 + (w^2 + H^2)(a_1 d)^2}} \right] \quad (4)$$

式中:

I —声源与隧道截面水平距离 d 对应的声强;

H —隧道高度;

w —隧道半宽度;

a_r —表现隧道墙反射特性的经验系数,
 $a_r = 1 - (1 - a)^{0.48}$, 其中 a 为墙体材料的平均吸声系数。

4 隧道噪音常用评价指标

(1) A 声级

在人耳的主观感受中, 声音强弱受声压和频率两个因素的影响。所以, 有必要找出一种能够将声音的客观量度和人耳的主观感受相互联系起来的评价量。在这样的技术需求下, 学者们建立了响度及响度级理论。人们通过实验研究, 建立了人耳感觉下一样响的声音的声压级和频率的关系, 并用一组曲线来反映二者之间的关系, 曲线声压级所对应 1000 赫的“分贝数”作为曲线响度级的“方”数。人们在声级计上设置了由各种电子器件组成的计权网络, 此计权网络由 40 方、70 方、100 方三条曲线的反曲线设计而成, 使声级计分别具有 A、B、C 计权特性。用声级计的 A、B、C 计权网络分别测出的声级即为 A 声级、B 声级、C 声级。人们总结具有 A、B、C 计权特性的声级计近 40 年的实际使用经验, 发现 A 声级能较好地反映人对噪声的主观感觉, 因而在噪声测量中, A 声级被用作噪声评价的主要指标。

(2) 噪声评价参数 (NR)

噪声评价参数是用于评价噪声对人的烦恼和危害的参数, 同时也用于评价噪声的可接受性, 以及对语音通信的干扰程度。求某一噪声的噪声评价数 NR 的方法如下: 先测出噪声八个倍频带宽声压级谱, 再把谱画到附图上, 其中最接近而稍高于谱线 (最小距离 1dB) 的一条 NR 曲线的值就是该噪声的 NR 数。如图 2 为噪声评价参数为 32 的噪声评价曲线。

(3) 噪声污染级 (L_{NP})

L_{NP} 是结合能量平均和变动特性两者的综合影响而给出的对噪声的评价量。长期试验和实践研究发现, 起伏变化的非稳态噪声比等能量的稳态噪声更容易让人感到心情烦躁或不适, 并且这种影响程度与噪声的暴露率和平均强度有关。所以为了更加准确能表征噪声的实际影响, 在等效连续声级的基础上加上一项表示噪声变化幅度的量。用这种噪声污染级评价航空或道路的交通噪声比较恰当。故噪声污染级

(L_{NP}) 公式为:

$$L_{NP} = L_{ep} + K \quad (5)$$

式中:

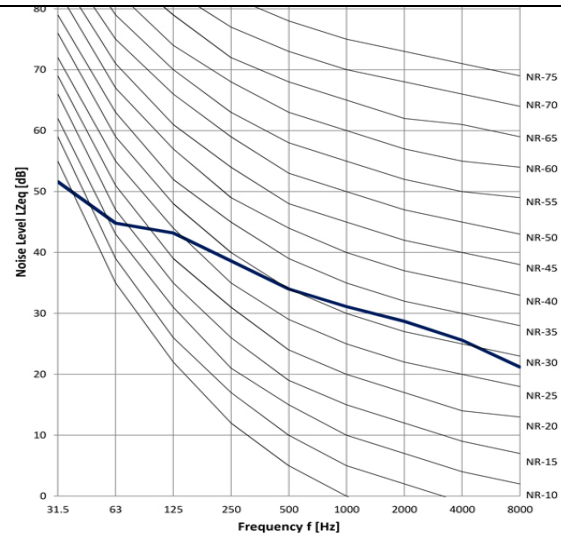


图 2 噪声评价曲线 NR-32

K —— 常数, 对交通噪声取值 2.56;

σ —— 测定过程中瞬时声级的标准偏差;

如噪声服从高斯分布, 则 $L_{NP} = L_{50} + d + d^2/60$

式中: $d = L_{10} - L_{90}$; L_{10} 是测量时间内出现时间或次数在 10% 以上的 A 声级, 其余类推。

5 总结

(1) 隧道噪音的现场测试方法很直观地测量了由车辆轮胎所产生的噪音, 但是测量过程中容易受测试环境的影响, 测量准确性和稳定性不够高。

(2) 隧道噪音的数值分析方法中所用的各种理论都是基于各种假设条件, 虽然在一定程度上能够预测隧道噪音的变化趋势, 但是预测值和实际值还是存在一定差距。

(3) 隧道噪音的评价指标有很多, 但每个指标都有其适用的范围, 在实际工程中应根据不同的目的采用合适的评价指标。并且应从噪音对人心理和生理的影响程度来定义合适的噪音评价指标。

References (参考文献)

- [1] 杨良, 郭忠印, 丁志勇, 等. 公路隧道路面工作环境调研与分析[J]. 公路, 2004, (2): 148-150.
- [2] 陈延顺. 城市地下隧道交通噪声环境及改善[J]. 环境工程. 1990, 8(4): 36-38.
- [3] 徐维红. 低噪声路面的研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2005.
- [4] 曹卫东, 陈旭, 吕伟民. 简述国内外低噪声沥青路面研究状况[J]. 石油沥青, 2005, 19(1): 50-54.
- [5] 侯子义, 庞明宝. 低噪声沥青路面声学分析[J]. 公路, 2006, (6): 22-25.