

基于几何线形的立交噪声计算方法

王晓宁¹, 杨龙海¹, 李 霏²

(1. 哈尔滨工业大学 交通科学与工程学院, 150090 哈尔滨, wxn1974@hit.edu.cn;

2. 华电能源股份有限公司, 150001 哈尔滨)

摘 要: 为定量评价道路几何线形对立交噪声的影响, 研究了基于几何线形计算立交噪声的方法, 以车辆行驶速度为切入点, 拟合噪声级和车速之间的关系. 对于匝道噪声的计算, 根据等效声级的定义给出了相对等效声能量的含义及计算方法, 采用将匀速运动段与变速运动段噪声能量相加的方法求出总的噪声能量, 建立了相对等效声能量与匝道长度之间函数关系, 用对匝道长度进行积分的方法, 根据等效声级的定义式推导出左、右转匝道的噪声级. 根据主线设计速度、噪声级和车速之间的关系推导出主线噪声级计算公式. 立交总噪声通过对各条主线和匝道的噪声级叠加求得. 通过对黑龙江省鹤大立交的实例分析表明, 该方法能够解决立交匝道变速运动段的噪声计算问题, 能够将车辆在立交行驶产生的噪声与道路几何线形联系起来. 当道路立交的几何设计条件已知, 可以根据几何线形参数进行噪声污染计算, 为定量评价立交噪声污染程度提供依据.

关键词: 立交噪声; 积分法; 几何线形; 等效声级

中图分类号: U491.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2012)02-0112-04

Calculation method on noise pollution of interchange based on geometric alignment

WANG Xiao-ning¹, YANG Long-hai¹, LI Fei²

(1. School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, 150090 Harbin, China, wxn1974@hit.edu.cn; 2. Huadian Energy Company Limited, 150001 Harbin, China)

Abstract: The method of calculating interchange noise was studied according to geometric alignment. By using vehicle speed as starting point, the relationship was fitted between noise levels and vehicle speed. For the calculation of ramp noise, the thesis defined the concepts and calculation method of relative equivalent sound energy according to the definition of equivalent sound level, determined the total noise energy by using the method of adding noise energy in uniform motion segment to the one in variable motion segment, and established the functional relationship between relative equivalent energy and the length of ramps. Under the definition of equivalent sound level, the noise level of left-turn ramp and right-turn ramp were deduced by the method of ramp length integral operation. For the calculation of the main line noise, the formula of the main line noise level was deduced according to the relationship among the mainline design speed, noise level and vehicle speed. The total interchange noise was obtained by the superposition of noise level in each main line and ramp. Heda interchange in Heilongjiang province was taken for example. The result shows that this method can solve the calculation problem of noise pollution in interchange ramp variable motion segment, and can connect the noise pollution produced by traveling vehicles with the interchange geometric alignment. When the interchange geometric alignment design conditions are known, the noise pollution can be calculated and the results can be used to quantitatively evaluate the degree of interchange noise pollution.

Key words: interchange noise; integration method; road geometric alignment; equivalent sound level

收稿日期: 2011-04-20.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70803007);
中国博士后科学基金特别资助项目(200902387).

作者简介: 王晓宁(1974—), 女, 博士, 副教授.

道路立交是由各种几何线形的主线和匝道组合而成的空间构筑物. 几何线形不同, 车辆在立交上行驶产生的交通噪声也不尽相同^[1-3]. 目前进

行噪声计算时,采用的是平均行驶速度,这对主线的计算尚可,对于匝道的计算存在明显不足,因为根据立交的几何线形设计特点,主线的设计速度都要比匝道高,车辆由主线驶入匝道,再由匝道驶入另一条主线,必然要做变速运动. 当匝道较长时,除了变速运动外,在匝道中段,也可能做匀速运动. 如果用平均行驶速度进行计算,不能充分反映车辆在匝道上变速运动过程对噪声的影响. 本文针对车辆在匝道上变速运动过程,根据噪声能量随车辆行驶距离逐渐叠加的原理^[4],再根据道路几何设计线形,将匀速运动段与变速运动段的声能量相加,推导出了匝道噪声计算公式^[5]. 以此为基础,将匝道噪声和主线噪声相叠加,给出了基于几何线形的立交噪声计算方法.

1 相对等效声能量的定义及计算

根据声压级的定义式可知, j' 点处的声压级为

$$L_{pj'} = 20\lg \frac{P_{j'}}{P_0} = 10\lg \frac{P_{j'}^2}{P_0^2} \tag{1}$$

式中: $L_{pj'}$ 为 j' 点处的声压级, dB; $P_{j'}$ 为 j' 点处的声压, Pa; P_0 为基准声压, 取听阈声压(2×10^{-5} Pa).

由式(1)可得

$$10^{0.1L_{pj'}} = \frac{P_{j'}^2}{P_0^2} \tag{2}$$

本文选取等效声级进行噪声计算,等效声级的定义式为

$$L_{eq} = 10\lg \frac{1}{T} \int_0^T 10^{0.1L_{pj'}} dt \tag{3}$$

式中: T 为噪声测量时间, s; $L_{pj'}$ 为 j' 点处的声压级, dB.

由式(2)、(3)可得

$$L_{eq} = 10\lg \frac{1}{T} \int_0^T \frac{P_{j'}^2}{P_0^2} dt \tag{4}$$

令 $u = \frac{P_{j'}^2}{P_0^2}$, 定义 u 为车辆在 j' 点处的相对等效声能量. 根据 u 的定义, $\int_0^T u dt$ 表示车辆在时段 $[0, T]$ 内辐射的相对等效总声能量, 用 U 表示, $U = \int_0^T u dt$. 根据式(5), 如果知道 j' 点处的声压级, 则可求出相对等效声能量为

$$u = \frac{P_{j'}^2}{P_0^2} = 10^{0.1L_{pj'}} \tag{5}$$

2 相对等效声能量与车速拟合关系

本文将车型分为小型车、中型车、大型车、特大型车、摩托车 5 类. 根据文献[6]的研究成果,

分别求出速度 $v = 10 \sim 100$ km/h 时的声压级, 并对相同速度下的声压级取平均值, 得到该速度下的声压级, 通过拟合得到声压级和速度之间的关系, 见表 1.

表 1 各车型声压级和车速的关系

车型	声压级和车速的关系
小型车	$L_1 = 8.93L_n(v) + 35.35$
中型车	$L_2 = 12.89L_n(v) + 26.52$
大型车	$L_3 = 9.33L_n(v) + 42.03$
特大型车	$L_4 = 6.54L_n(v) + 60.09$
摩托车	$L_5 = 7.09L_n(v) + 49.41$

根据式(5), 可以计算出一定速度下的相对等效声能量 u , 将 u 和 v 之间关系用二次多项式进行拟合, 见表 2.

表 2 各车型相对等效声能量和车速的关系

车型	相对等效声能量和车速的关系
小型车	$u_1 = 7\,589.6v^2 - 27\,3184v + 4 \times 10^6$
中型车	$u_2 = 100\,746v^2 - 6 \times 10^6v + 8 \times 10^7$
大型车	$u_3 = 46\,174v^2 - 10^6v + 2 \times 10^7$
特大型车	$u_4 = 288\,873v^2 - 10^7v + 2 \times 10^8$
摩托车	$u_5 = 43\,587v^2 - 2 \times 10^6v + 4 \times 10^7$

3 匝道噪声计算

3.1 变速运动段相对等效声能量

由表 2 可知, 第 i 种车型单车相对等效声能量 u_i 与车速 V 之间的关系可用表示为

$$u_i = \alpha V^2 + \beta V + \chi \tag{6}$$

其中: α 、 β 、 χ 为待定系数.

根据文献[4]匝道变速运动段车速与匝道长度关系为

$$V = el^2 + fl + g \tag{7}$$

其中: e 、 f 、 g 为待定系数.

将式(7)代入式(6), 可以得到 u_i 与 l 之间关系为

$$u_i = M_1l^4 + M_2l^3 + M_3l^2 + M_4l + C_2 \tag{8}$$

式(8)中的系数 M_1 、 M_2 、 M_3 、 M_4 和 C_2 分别为

$$M_1 = \alpha e^2; \tag{9}$$

$$M_2 = 2\alpha ef; \tag{10}$$

$$M_3 = \alpha f^2 + 2\alpha eg + \beta e; \tag{11}$$

$$M_4 = 2\alpha fg + \beta f; \tag{12}$$

$$C_2 = \alpha g^2 + \beta g + \chi \tag{13}$$

车辆在匝道上行驶, 相对等效声能量是随着驶过的匝道长度而逐渐累积的, 车辆由匝道上 a 点行驶到 b 点单车相对等效总声能量 U 可以表示为

$$U = \int_a^b f_1(l) dl \tag{14}$$

将式(8)代入式(14)可得

$$U = \int_a^b (M_1 l^4 + M_2 l^3 + M_3 l^2 + M_4 l + C_2) dl. \quad (15)$$

将式(15)作定积分可以得到车辆变速运动段的相对等效总声能量为

$$U = \left[\frac{M_1}{5} l^5 + \frac{M_2}{4} l^4 + \frac{M_3}{3} l^3 + \frac{M_4}{2} l^2 + C_2 l \right]_a^b. \quad (16)$$

3.2 匀速运动段相对等效总声能量

根据匀速运动速度 v , 由表1声压级和速度之间关系可以求得相应的声压级, 根据式(5) 可以计算出匀速运动段的相对等效声能量 u , 用 u 乘以车辆驶过的匝道长度, 可以得到车辆在匀速运动段积累的相对等效总声能量 U' .

3.3 左转匝道等效声级

某车辆在左转匝道上行驶积累的相对等效声能量等于其变速运动段积累的相对等效声能量 U 与匀速运动段积累的相对等效声能量 U' 之和. 设立交共有 n_1 条左转匝道, 第 k_1 条匝道、第 i 种车交通量为 $A_{k_1 i}$, 则左转匝道的等效声级为

$$L_L = 10 \lg \sum_{k_1=1}^{n_1} \sum_{i=1}^5 A_{k_1 i} [U + U']. \quad (17)$$

式中: L_L 为立交所有左转匝道的等效声级, dB; k_1 为左转匝道条数; n_1 为左转匝道总条数; $A_{k_1 i}$ 为第 k_1 条匝道、第 i 种车交通量, 辆/h; U 为车辆变速运动段的相对等效声能量; U' 为车辆匀速运动段的相对等效声能量.

3.4 右转匝道等效声级

与左转匝道等效声级计算方法相似, 设立交共有 n_2 条右转匝道, 第 k_2 条匝道、第 i 种车交通量为 $A_{k_2 i}$, 则右转匝道的等效声级为

$$L_R = 10 \lg \sum_{k_2=1}^{n_2} \sum_{i=1}^5 A_{k_2 i} [U + U']. \quad (18)$$

式中: L_R 为立交所有右转匝道的等效声级, dB; k_2 为右转匝道条数; n_2 为右转匝道总条数; $A_{k_2 i}$ 为第 k_2 条匝道、第 i 种车交通量, 辆/h.

4 主线及立交整体噪声计算

4.1 主线噪声

根据表1中各车型声压级和速度之间关系, 对在主线上行驶的车辆, 由其行驶速度(假设所有车辆以主线的设计速度行驶)可以求得交通量为 r 的第 i 种车在主线上单车等效声级 L_{eqi} . 第 i 种车的交通量为 A_i , 根据分贝求和公式, 可以求得同种车型的等效声级为

$$L_{eqi} = 10 \lg \left[\sum_{r=1}^{A_i} 10^{\frac{L_{eqi}}{10}} \right]. \quad (19)$$

第 h 条主线上所有车辆的等效声级为

$$L_h = 10 \lg \left[\sum_{i=1}^5 10^{\frac{L_{eqi}}{10}} \right]. \quad (20)$$

设立交由 m 条主线组成, 所有主线等效声级为

$$L_M = 10 \lg \left[\sum_{h=1}^m 10^{\frac{L_h}{10}} \right]. \quad (21)$$

式中: L_M 为立交主线的总等效声级, dB; L_h 为主线 h 的等效声级, dB; h 为立交主线的条数; m 为立交主线的总条数.

4.2 立交整体噪声

立交主要是由主线和匝道组成的, 立交范围内车辆噪声是由所有主线和匝道的车辆噪声叠加而成的. 在进行计算时, 可以根据式(17)、(18)、(21)求出左转匝道、右转匝道、主线的等效声级, 再根据分贝求和公式求得总等效声级.

$$L_{eq} = 10 \lg (10^{0.1 L_M} + 10^{0.1 L_L} + 10^{0.1 L_R}). \quad (22)$$

式中: L_{eq} 为立交范围内车辆噪声总等效声级, dB; L_M 为所有主线的等效声级, dB; L_L 为所有左转匝道的等效声级, dB; L_R 为所有右转匝道的等效声级, dB.

5 算例分析

以黑龙江省依宝公路与鹤大公路交叉处的鹤大立交设计方案2为例^[7], 利用本文的方法对其噪声进行计算. 方案2示意图见文献[7]中的图1, 机动车行驶速度和匝道长度的拟合关系见文献[7]中的表2, 鹤大立交方案2的目标年交通量见文献[7]中的表3.

根据立交设计文件, 对每条匝道的几何线形进行分析, 对变速运动段和匀速运动段的相对等效声能量分别进行计算. 由本文表2中相对等效声能量与车速之间关系, 及文献[7]表2中的机动车行驶速度和匝道长度的拟合关系, 利用本文式(9)~(13)和式(16)可以求出变速运动段相对等效声能量 U , 利用3.2节的方法可以求出匀速运动段相对等效声能量 U' . 由式(17)、(18)可以求出左、右转匝道的等效声级. 由式(19)~(21)可以求出主线噪声. 由式(22)可以求出立交整体噪声, 见表3. 可以看出, 根据立交设计文件对每条主线和匝道的几何线形进行分析, 利用本文的方法可以计算出每条匝道、主线以及立交总体的噪声水平. 该方法能够定量评价几何设计条件对立交噪声的影响, 如果已知一个立交的几何设计条件和交通量, 就可以对其交通噪声进行计算.

表 3 鹤大立交不同位置等效声级表

位置	分类	等效声级/dB
主线	主线 1	121. 25
	主线 2	119. 37
左转匝道	A 匝道	113. 97
	F 匝道	118. 81
	G 匝道	118. 27
	B 匝道	120. 23
右转匝道	C 匝道	115. 88
	D 匝道	112. 01
	E 匝道	107. 01
	H 匝道	106. 51

6 结 论

- 1)根据声压级和等效声级的物理意义,定义了相对等效声能量的概念,为将立交匝道分为变速运动段和匀速运动段,进行声能量的叠加计算提供了理论依据.
- 2)针对立交匝道变速运动段的特点,拟合得到了相对等效声能量与匝道长度的关系,用对匝道长度进行积分的方法推导出了变速运动段相对等效声能量的计算公式.
- 3)利用对变速运动段和匀速运动段相对等效声能量进行叠加的方法,根据等效声级物理意义得到了立交左、右转匝道等效声级计算公式.利用噪声叠加的方法,得到了整个立交的噪声计算

方法.

4)研究了基于几何线形的立交噪声的计算方法,给出了算例. 未来需要进一步进行实际验证,对现有研究成果进行完善和修正,以便更好地进行工程实际应用. 由于考虑的是理想条件下的道路立交噪声的计算方法,在实际中,要综合考虑具体的立交空间及构筑物对声音的反射、折射等作用,这还需要在今后的研究中继续进行.

参考文献:

[1] 张九跃,王晓宁. 大型立交交通噪声污染特性分析[J]. 城市道桥与防洪, 2008,11(11):15-18.

[2] 王文团,石敬华. 城市立交桥交通噪声变化规律与影响[J]. 安全与环境学报, 2005,5(3):41-44.

[3] 张岸亭,庄义婷. 高架桥和立交桥的噪声污染与防治[J]. 环境科学研究, 2005, 18(6):120-122.

[4] American Association of State Highway and Transportation Officials. A policy on geometric design of highways and streets [M]. Washington D C: AASHTO, 2001.

[5] 王晓宁. 道路立交交通污染分析与评价研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2007.

[6] 常玉林. 城市道路交通系统声环境分析和预测技术研究[D]. 南京:东南大学,2001.

[7] 王晓宁,孟祥海,盛洪飞,等. 基于几何线形的道路立交处机动车排放污染计算[J]. 中国公路学报, 2009, 22(6):96-100. (编辑 魏希柱)

(上接第 88 页)

[5] 侯艳玲,刘艳臣,邱勇,等. 化学除磷药剂中三价铁铝对生物系统污泥活性影响的研究[J]. 给水排水, 2010, 36(6): 38-41.

[6] 郑兴灿,张悦,陈立. 化学-生物联合絮凝的污水强化一级处理工艺[J]. 中国给水排水, 2000, 16(7): 29-32.

[7] 饶应福,夏四清,陈轶波,等. 化学生物絮凝工艺污染物去除试验研究[J]. 环境科学与技术, 2006, 29(1): 10-12.

[8] 张志斌,夏四清,赵建夫,等. 化学生物絮凝工艺处理城市污水的试验研究[J]. 工业水处理, 2005, 25(7):53-56.

[9] LIPING Q, JUN M, LIXIN Z. Characteristics and utilization of biologically aerated filter backwashed sludge [J]. Desalination, 2007, 208(1/2/3): 73-80.

[10] 李伟进,平文凯,唐孝国. 新一代曝气生物滤池 BIOSTYR 工艺及其应用[J]. 中国给水排水, 2009, 25(22): 76-81.

[11] 王建龙,吴立波,齐星,等. 用氧吸收速率(OUR)表征活性污泥硝化活性的研究[J]. 环境科学学报, 1999, 19(3): 225-229.

[12] 周立祥. 固体废弃物处理处置与资源化[M]. 北京: 中国农业出版社,2007: 120-178.

[13] 夏四清,杨殿海,高廷耀. 化学生物絮凝工艺处理城市污水试验研究[J]. 上海环境科学, 2003, 22(1):16-18.

[14] CLARK T, STEPHENSON T, PEARCE P A. Phosphorus removal by chemical precipitation in biological aerated filter[J]. Water Research, 1997, 31(10): 2557-2563.

[15] 邱立平,马军. 曝气生物滤池铁盐及铝盐化学强化除磷的对比研究[J]. 现代化工, 2007, 27(增1): 159-162.

[16] RAJESH B J, KHAC U D. Effect of alum on nitrification during simultaneous phosphorous removal in anoxic/oxic reactor [J]. Biotechnology and Bioprocess Engineering, 2009, 14: 543-548.

[17] LEE Y W, CHUNG J. Backwash based methodology for the estimation of solids retention time in biological aerated filter [J]. Environmental Technology, 2006, 27(7): 777-787. (编辑 刘 彤)