

道路交通噪声预测模型及其应用

姜海涛 夏青海 齐文英

(黑龙江省环境监测中心站)

汤兵勇 张捍东 石 碰

(黑龙江大学应用数学研究所)

摘要 本文采用动态系统多层递阶预报法,建立道路交通噪声级与各影响参数关系的预测模型,得出实际监测值与预报值的相对误差基本吻合。

一、问题的提出

道路交通噪声是环境噪声的主要成分。影响道路交通噪声的因素很多,如车流量、车类型、车速、道路宽度与类型、路旁绿化程度与屏障、交通管理水平等等。这些因素对噪声的影响,往往是综合作用的结果,其中有主要因素和次要因素,比如车流量相对于道路宽度而言,就是主要因素。

目前环境噪声方面的研究工作除定性分析外,定量分析研究也开始引起重视,并已出现了一些相应的关系式或预报模型,如多元回归预报等。但这些常用的方法存在一定的局限性,主要是它们在实际应用中,用固定参数的方法来预报一个时变参数系统的状态,由于模型的不准确性,必然产生较大的误差,而且这种误差随预报时间的增加而变大。

为此,我们利用现代控制理论的系统辨识,采用动态系统预报的一种新方法—多层递阶预报方法^[1],建立了道路交通噪声级与各参数关系的预测模型。

二、道路交通噪声系统分析与预测模型的建立

动态系统分析的基础,首先是分析动态系统的机理,分析影响动态系统的各因素之间的相互关系,建立起描述系统变化过程的数学模型框架。这时模型中的时变参数必须

根据实际获得的试验或观测数据来估计确定。模型中的参数确定了,模型也就相应地基本确定了,然后我们可以采取一系列措施,对模型中的参数进而对于模型(系统)输出(未来时刻的噪声级值)进行预报及相应的控制。

对于一个动态系统,最常用的预报模型为如下的向前一步预报模型

$$Y(k) = f[Y_{k-1}, U_k, \theta(k), k] + e(k) \quad (1)$$

其中: $Y(k)$ 为模型输出(如噪声级值);

$Y_{k-1} = \{Y(0), Y(1), \dots, Y(k-1)\}$;

$U_k = \{U(0), U(1), \dots, U(k)\}$;

$u(k)$ 为模型输入(如车流量,道路宽度等);

$\theta(k)$ 为模型中的未知参数向量,一般为时变的; $e(k)$ 为随机干扰。

对于模型(1),首先要确定未知时变参数 $\theta(k)$ 。关于时变参数 $\theta(k)$ 的估计,可采用推广的递推梯度算法公式^[2]:

$$\begin{aligned} \hat{\theta}(k) = & \hat{\theta}(k-1) \\ & + \frac{\delta \cdot \nabla_{\hat{\theta}(k-1)} f[k, \hat{\theta}(k-1)]}{\|\nabla_{\hat{\theta}(k-1)} f[k, \hat{\theta}(k-1)]\|^2} \\ & \cdot \{Y(k) - f[k, \hat{\theta}(k-1)]\} \end{aligned} \quad (2)$$

其中 $\hat{\theta}(k)$ 为 $\theta(k)$ 的估值。

$$\nabla_{\hat{\theta}(k-1)} f[k, \hat{\theta}(k-1)]$$

$$= \{ \partial f[Y_{k-1}, U_k, \theta, k] / \partial \theta \} |_{\theta=\hat{\theta}(k-1)}$$

根据公式 (2), 利用观测得到的数据 $Y(0), Y(1), \dots, Y(N); U(0), U(1), \dots, U(N)$, 可以递推地得到参数 $\theta(k)$ 的估值 $\hat{\theta}(1), \hat{\theta}(2), \dots, \hat{\theta}(N)$. 参数估值确定了, 那么我们考虑的系统的动态模型也就确定了.

动态系统模型的确定, 是为了能够更好地了解系统的变化规律, 并根据这一规律, 预报系统未来时刻的变化情况, 从而根据预报结果制定出相应的控制策略. 关于在时变参数估值的基础之上进行预报的问题, 可参见文献[2].

道路交通噪声系统是一个十分复杂的随机动态系统. 而研究和建立各种动态系统的数学模型的理论和方法, 正是现代控制理论中动态系统辨识的基本任务. 从此点出发, 以系统的外部特征入手, 建立道路交通噪声的输入-输出模型, 是预测道路交通噪声的一种途径. 具体方法是将道路交通噪声及其相关的一些影响因素随时间变化的观测数据, 看成为时间序列. 用时间序列分析方法建模, 并进行多层分析和多层递阶预报. 由于这种动态系统预报的方法是依据于大量的历史监测数据, 建模过程中依据的信息大量增多, 因此模型能较好地反映系统的历史演变规律, 有利于提高模型对预报的适应性; 同时, 在预报过程中由于首先预报系统的时变参数, 并以此为基础, 预报系统的输出, 这样便充分考虑了系统的时变特性, 从而提高了预报的精度.

通过分析影响道路交通噪声的各个因素: 轻型车流量 $Q_1(k)$, 重型车流量 $Q_2(k)$, 车速 $v(k)$, 道路宽度 B , 道路坡度 PD , 周围绿化对交通噪声级的影响 E 以及随机干扰 $e(k)$ 等诸因素之间的相互关系, 建立如下的道路交通噪声的时变预测模型:

$$L_{eq}(k) = a_1(k)L_{eq}(k-1) + a_2(k)\lg Q_1(k) + a_3(k)\lg Q_2(k) + a_4(k)\lg v(k) - a_5(k)\lg B - a_6(k)E(k) + a_7(k)PD + e(k) \quad (3)$$

式中 $a_1(k), a_2(k), \dots, a_7(k)$ 为未知时变参数. 从模型可看出, $a_i(k)$ 分别是 $L_{eq}(k-1), \lg Q_1(k), \lg v(k), \lg B, E(k)$ 和 PD 对 $L_{eq}(k)$ 的影响的加权. $a_i(k), i=1, 7$ 的不同即是对这些数据取不同的权重. 而时变的意义在于动态系统的运行随着时间的变化, 各类数据将取得变化的权重. 这里定常参数是作为时变参数的特殊情况来处理的.

需要指出的是, 汽车鸣喇叭对噪声的影响关系极大, 而我们在禁鸣路段做的采样, 故 d 取 0. d 表示管理方面的因素对系统的影响.

根据文献[5], 在模型(3)中:

$$E(k) = 20 \lg \left[\frac{d + \sum_{i=1}^2 B_i + \sum_{i=1}^2 A_i}{d} \right] + 1.5z + \beta \sum_{i=1}^2 B_i \quad (4)$$

式中: d 为噪声源至绿化林带的距离 (m), $B_1, B_2, \dots, B_m$ 为绿化林带宽度 (m), $A_1, A_2, \dots, A_m$ 为绿化林带间距 (m), z 为绿化林带带数, β 为绿化林吸声系数.

模型(3)的时变特性主要体现在输入、输出及参数的时变特性上. 模型(3)也可简化为:

$$L_{eq}(t) = F[w(t), Q_i(t), v(t), B(t), E(t), \theta(t)] + e(t) \quad (5)$$

其中 $\theta(t)$ 为系统的未知参数向量:

$$\theta(t) \triangleq \{a_1(t), a_2(t), a_3(t), a_4(t), a_5(t), a_6(t), a_7(t)\}^T$$

根据对道路交通噪声的定点昼夜连续监测, 利用实际获得的观测(监测)值和推广的递推梯度算法, 对系统的未知时变参数 $\theta(t)$ 进行跟踪估计:

$$\hat{\theta}(t) = \hat{\theta}(t-1) + \frac{\delta_t \cdot \nabla_{\hat{\theta}(t-1)} F[\cdot, \hat{\theta}(t-1)]}{\|\nabla_{\hat{\theta}(t-1)} F[\cdot, \hat{\theta}(t-1)]\|^2}$$

表1 霁虹桥交通噪声

监测时间	项目	轿车、吉普 (辆/h)	摩托、三轮 (辆/h)	客车、卡车 (辆/h)	面包、客货 (辆/h)	大气温度 (°C)	大气压强 (bar)
7.24. 7		59	26	98	61	26	0.996
8		61	23	54	72	26	0.996
9		46	19	46	29	26	0.996
10		61	13	71	94	28	0.996
11		41	15	59	51	28	0.996
12		28	9	61	33	28	0.996
13		56	21	54	64	28.5	0.996
14		44	16	61	56	28.5	0.996
15		30	29	51	40	28.5	0.996
16		36	18	47	62	28.5	0.996
17		67	22	150	94	27	0.996
18		61	17	112	75	27	0.996
19		57	5	61	49	27	0.996
20		26	4	39	21	25	0.996
21		19	3	29	16	25	0.996
22		11	7	13	20	25	0.996
23		5	2	3	8	23.5	0.997
24		4	1	2	2	23.5	0.997
7.25* 1		1	2	2	1	23.5	0.997
2				2	2	23	0.997
3				4	1	23	0.997
4		7	3	12	3	23	0.997
5		8	6	21	9	24	0.996
6		9	11	32	18	24.5	0.996

* 拖拉机 7 月 25 日 4 时 1 辆, 5 时 4 辆, 6 时 3 辆。

$$\cdot \{L_{eq}(t) - F[\cdot, \hat{\theta}(t-1)]\} \quad (6)$$

其中 $\hat{\theta}(t)$ 是 $\theta(t)$ 的估值, δ_t 为时间变化的因子。

这样,即可运用多层递阶预报方法,求出不同时刻的等效声级 $L_{eq}(t)$ 。

根据 24 小时定点监测的车流量变化规律,可建立如下数学模型:

$$Q(k) = \gamma(k)e^{-\beta(k) \cdot k} + v(k)$$

其中 $\gamma(k)$, $\beta(k)$ 为模型参数,估计和预报方法同上。

三、预测实例

现以哈尔滨市主要交通干线霁虹桥的交通噪声的实际监测值为例(见表 1),将实际测量所得到的监测数据及环境条件输入模型(3)中,进行道路交通噪声的预报。

利用如上观测数据和参数跟踪的估计算

法,确定出模型参数的估值(表 2)。

基于参数 $a_i(k)$, $i = \overline{1, 7}$, $k = \overline{6, 24}$ 的估值,参考文献[2],可以得到它们的向前一步预报值为:

$$\hat{a}_1^*(25) = 1.002 \quad \hat{a}_2^*(25) = 0.026$$

$$\hat{a}_3^*(25) = 0.027 \quad \hat{a}_4^*(25) = 0.025$$

$$\hat{a}_5^*(25) = 0.022 \quad \hat{a}_6^*(25) = 0.017$$

$$\hat{a}_7^*(25) = 0.214$$

$N = 25$ 表示夜间 1 时时刻。

将上述参数预报值代入模型(3),得到模型输出的预报值为:

$$\hat{L}_{eq}^*(25) = 51.64$$

即夜间 1 时道路交通噪声的等效声级的预测值为 51.64dB(A)。

此时的实际监测值为 52.7dB(A)。预测值相对于实际监测值的相对误差为:

监测数据(风向偏南)

风速 (m/s)	L_{10} (dBA)	L_{50} (dBA)	L_{90} (dBA)	L_{eq} (dBA)	θ	声学环境
0.70	77	70	64	73	6	车行道路宽: 21m 坡度: 15° 两侧建筑物高度: 24m
0.70	80	73	67	75.3	5	
0.70	79	72	67	75.3	4	
0.70	80	76	72	75.6	3	
0.70	79	75	66	75.4	4.5	
0.70	80	76	72	79.3	3	
0.70	77	70	65	75.2	5	
0.70	77	71	65	73.6	4.5	
0.70	77	71	66	74.8	4	
0.70	78	71	66	73.3	5	
0.70	80	76	71	77.3	3.5	
0.70	80	75	69	79.7	4	
0.63	84	69	64	73.7	4	
0.63	74	68	62	72.8	3.5	
0.63	72	68	62	73.9	4	
0.63	68	60	54	63.2	5	
0.63	68	60	55	63.6	4.5	
0.64	59	52	49	56.8	3	
0.64	55	48	45	52.7	3.5	
0.64	50	46	44	47.1	1.5	
0.64	48	46	44	49.8	1.5	
0.64	66	57	48	61.4	7.5	
0.64	64	55	49	58.5	5.5	
0.64	70	62	57	66.1	5.5	

表 2 模型参数估值

k	$a_1(k)$	$a_2(k)$	$a_3(k)$	$a_4(k)$	$a_5(k)$	$a_6(k)$	$a_7(k)$
6	1.18	0.03	0.03	0.03	0.02	0.21	0.30
7	1.14	0.04	0.03	0.03	0.03	0.22	0.31
8	1.17	0.03	0.04	0.04	0.02	0.23	0.33
9	1.15	0.04	0.04	0.03	0.03	0.21	0.30
10	1.16	0.03	0.04	0.04	0.03	0.22	0.32
20	1.06	0.019	0.018	0.019	0.016	0.12	0.17
21	1.08	0.018	0.017	0.02	0.015	0.20	0.19
22	1.09	0.02	0.019	0.018	0.019	0.17	0.21
23	1.10	0.02	0.03	0.019	0.017	0.19	0.18
24	1.02	0.023	0.029	0.02	0.018	0.22	0.23

$$\delta = \frac{51.64 - 52.7}{52.7} = -2\%.$$

绝对误差为:

$$51.64 - 52.7 = -1.06\text{dB(A)}.$$

预测值与实际监测值基本吻合。

四、结论

我们对哈尔滨市 12 条主要交通干线进行了实际监测, 同时我们又参照了哈尔滨市主要交通干线的历年监测数据, 模型计算结果比较理想。

鉴于在提炼模型时较多地考虑到众多影响因素的综合作用,因此模型能反映出道路交通噪声的变化规律,具有普遍性和实用性。如果将这一模型应用于国内其它城市,只需将各城市道路交通噪声监测得到的观测值和各个影响因素输入给计算机,即可实现对模型参数的辨识工作,从而得出该城市的道路交通噪声预测模型。

依据道路交通噪声模型,采用现代控制理论中的多层递阶预报方法,对未来时刻的

道路交通噪声级值进行预报,可以对道路交通噪声进行监测和控制,以便有效地进行环境管理。

参 考 文 献

- [1] 韩志刚,自动化学报,9(3),161(1983).
- [2] 汤兵勇,黑龙江大学自然科学学报,(1),16(1983).
- [3] 姜海涛等,环境物理学基础,144 页,中国展望出版社,1987 年.
- [4] A. R. Фоминко, Снижение Автотранспортного шума в городах, р. 97, 1979.

(收稿日期: 1988 年 9 月 12 日)

三次样条函数在测定河流弥散系数中的应用

秦建侯 李隆弟 邓 勃

(清华大学化学系)

摘要 为获得洋河张家口—宣化段水体的弥散系数,用罗丹明 B 进行了示踪试验。简述了三次样条函数插值方法,并用该法处理了示踪试验数据,用一维扩散模型计算的纵向弥散系数为 $5.53 \text{ m}^2/\text{s}$ 。最后用二维模型进行检验,表明上述处理方法和系数是可靠的。

河流水体弥散系数反映了污染物在河流中的稀释扩散能力,它的大小与河流的许多因素有关,常用现场示踪试验获得。由于自然条件和人力、物力的限制,示踪试验只能在有限河段和有限时间内进行,得到的水质数据有限且不连续,更难于捕捉到断面的示踪物峰值浓度。为解决上述困难和提高弥散系数计算准确度,我们在洋河示踪试验中,探讨应用三次样条函数插值进行弥散系数的计算,取得了满意的结果。

一、三次样条函数简述

样条函数 (Spline function)^[1-2] 属于函数逼近的范围,它是一种较好又较简单的逼近函数,用它作出的曲线精度很高,近年来在生产 and 科研工作中得到广泛应用。其中,三次样条函数是最重要的一种函数,它是一个逐段三次多项式,在两个三次多项式的联结

点上的导数允许有某些间断。三次样条函数的一般表达式为:

$$F(x) = a_0 + a_1x + \frac{1}{2}a_2x^2 + \frac{1}{6}a_3x^3 + \sum_{j=1}^{n-1} \frac{\beta_j(x-x_j)_+^3}{3!} - \sum_{j=0}^3 a_jx^j + \sum_{j=1}^{n-1} \frac{\beta_j(x-x_j)_+^3}{3!} \quad (j=1, 2, \dots, n-1) \quad (1)$$

式中, a_j 为积分常数, x_j 为 j 点节点值, n 为包括端点在内的节点数。(1)式为分段三次多项式,在 $[x_0, x_n]$ 上有 1—2 阶连续导数,且在端点有

$$F''(x_0) = F''(x_n) = 0.$$

但三阶导数在结点处有跳跃量 β_j , $F'''(x_j) = \beta_j$ 。当所有的 $\beta_j = 0$ 时,其三阶导数也连续,此时 $F(x)$ 退化为普通的三次多