

噪声暴露级在交通噪声 调查、评价和预测中的应用

田静 吴启学 孙广荣 李宁荣

(南京大学环境科学研究所)

本文介绍了噪声暴露级 L_{AX} 与等效声级 Leq 之间的基本关系及 L_{AX} 的测量方法,以常州市城区环境噪声调查与评价中所得到的实测数据,说明了 L_{AX} 可以广泛地应用于交通噪声的调查、评价与预测中。这一应用,为小流量交通噪声(包括内河航道噪声与铁路噪声在内)的评价提供了一种可行的方法。

来,并很好地解决了小流量交通噪声的评价问题。

一、引言

目前,在国内外的交通噪声调查与评价工作中,一般都以等效声级 Leq 为基本评价量,我国的国家标准也具体规定了交通干道(车流量大于100辆/小时)噪声声级的定点取样测量方法和 Leq 的计算方法^[1]。但是对于小流量交通的情况,例如内河航道、铁路与多数城市夜间的机动车辆交通等,上述的定点取样方法得到的数据和评价量由于缺乏代表性,已不再有效。所以对于小流量交通噪声,至今仍没有统一的测量和评价方法。

另一方面,交通噪声的测量也是一个没有得到很好解决的问题,目前被广泛使用的依靠大量实测数据的回归分析方法,往往由于缺乏理论依据,致使回归变量选择不当,很难得到可靠的规律,因而实用效果不太理想。

鉴于这种情况,在常州交通噪声的调查、评价和预测工作中,我们在对各种间歇噪声和火车噪声的各种测量评价方法进行大量分析比较的基础上^[2],采用了以单次车(船)通过时,由测点处产生的噪声暴露级 L_{AX} 计算基本评价量 Leq 的方法,从而将交通噪声的现状评价与交通噪声预测有机地统一了起来。

二、噪声暴露级与等效声级的基本关系

一个孤立的噪声事件在某一定点产生的噪声暴露级 L_{AX} (有时记作 L_{AE} 或SEL)实际上就是该事件在该点产生的A计权声能量的一种表征,其数学表式为

$$L_{AX} = 10 \lg \frac{1}{T_r} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{[p_A(t)]^2}{p_r^2} dt \quad (1)$$

其中, $p_A(t)$ 是在时刻 t 该事件在给定点产生的A计权声压; p_r 为参考声压,取 2×10^{-7} / p_r ; T 为参考时间,取1秒。

在实际应用中,常用的是(1)式的近似表式

$$L_{AX} = 10 \lg \frac{1}{T_r} \int_{t_1}^{t_2} 10^{0.1 L_A(t)} dt \quad (2)$$

其中 $L_{AX}(t)$ 即为 t 时刻在给定点测得的A声级; t_1 和 t_2 定义了一个时间区间 τ ($\tau = t_2 - t_1$),这一区间内测点接收到的噪声能量几乎可以代表整个噪声过程在该点产生的能量。对于具有单调上升达最大值后又单调下降时间谱的噪声过程, t_1 和 t_2 可以近似取用A声级最大值下降10dB的前后时刻。

对于单个的运动噪声源, L_{Ax} 所表征的就是它通过测点的整个过程中, 在测点产生的A计权噪声能量级。

另一方面, 在一给定噪声环境的评价时间T内的等效声级的定义是

$$L_{eq} = 10 \lg \frac{1}{T} \int_0^T \frac{[p_A(t)]^2}{p_r^2} dt$$

$$= 10 \lg \frac{1}{T} \int_0^T 10^{0.1 L_A(t)} dt \quad (3)$$

如果假设时间区间T内, 共包含有n个独立的, 对给定测点有作用的噪声事件, 且每一事件的声作用时间 τ_i 都远小于T, 产生的噪声暴露级为 L_{Ax_i} , 则比较(2)、(3)两式可得

$$L_{eq} = 10 \lg \left(\frac{T_r}{T} \sum_{i=1}^n 10^{0.1 L_{Ax_i}} \right) \quad (4)$$

这就是噪声暴露级与等效声级的基本关系。

对交通噪声来说, (4)式的物理意义就是在评价时间T内, 当有n次车(船)通过时, 在测点所产生的等效声级。若根据 L_{Ax} 的大小将交通噪声源分成若干类, 第j类具有平均噪声暴露级 L_{Ax_j} , 且设T时间内共有第j类噪声源 N_j 次通过测点, 则有

$$L_{eq} = 10 \lg \left(\frac{T_r}{T} \sum_{j=1}^m N_j \cdot 10^{0.1 L_{Ax_j}} + 10^{0.1 L_B} \right) \quad (5)$$

其中, m为所评价的道路(或河道)上通过的噪声源种类数; L_B 为测点处的本底噪声等效声级; 在实际应用中, 含 L_B 的项常常可以略去不计。

交通噪声源产生的 L_{Ax} 显然与测点到噪声源运行路线的距离有关, 在这一距离不太大的情况下, 实测结果表明, 与距离成反比的衰减规律仍然成立, 即在距离为d的测点得到的 L_{Ax} 用到距离为r的测点上时, 可以作近似修正

$$L_{Ax}(r) \approx L_{Ax}(d) + 10 \lg d/r \quad (6)$$

在交通噪声的测量中, 国家标准规定的

L_{eq} 的测点位置是随着路宽(或河宽)变化的, 这样, 为了利用在某一固定距离d上测得的各种噪声源的 L_{Ax} 值, 给出任一测点上的 L_{eq} 值, 就必须计入(6)式的修正。在流量小于20辆(艘)/小时的情况下, 一般可以假设车辆(或船舶)沿着道路(或河道)的中线行驶, 这时近似有

$$L_{eq} = 10 \lg \left[\frac{T_r}{T} \cdot \frac{2d}{D} \sum_{j=1}^m N_j \cdot 10^{0.1 L_{Ax_j}(d)} \right] \quad (7)$$

其中, D为道路(或河道)的宽度, $L_{Ax_j}(d)$ 为在距行驶路线d处测得的第j类车(船)产生的平均噪声暴露级, 这里已略去了本底噪声的影响。

在流量较大的情况下, 还必须计入车(船)的行驶路线与道路(河道)中线的偏差对(7)式的修正。例如对于我国十分普遍的不太宽的双行道, 若设双向行驶的车流量基本相等, 而两个方向的行驶路线与道路中线的平均距离为S, 则(7)式可以改写作

$$L_{eq} = 10 \lg \frac{T_r}{T} \cdot \frac{2Dd}{D^2 - 4S^2} \cdot \sum_{j=1}^m N_j \cdot 10^{0.1 L_{Ax_j}(d)} \quad (8)$$

可以近似认为S仅为快车道 D_0 的函数, 我们通过对常州市40余条交通干道路段实际车流运行情况的分析, 得到一经验公式

$$S \approx 8 \times \{1 - \exp[-0.075(D_0 - 5)]\} \quad (9)$$

这里, D_0 和S的单位都是m, 且设 $D_0 \geq 5m$ 。在实际情况下, S显然还与车流量等多种因素有关, 最好能针对某一具体情况实地测量一个平均的S。

三、噪声暴露级的测量方法

在国外生产的声级计中, 目前已经有些可以直接给出噪声暴露级的产品。例如丹麦B&K公司的2230、2231型积分式精密声

级计^[4]，均可直接测量任何一给定时间内的某一噪声事件在测点产生的SEL(即 L_{AX})。

对于持续时期较长、声级变化缓慢的噪声事件(例如火车通过时的噪声)，也可以利用普通声级计^[5]，每隔一定的时间间隔 Δt ，读取一个A声级 L_{Ai} ，然后根据(2)式就可以求得 L_{AX} 的近似计算公式

$$L_{AX} = 10 \lg \sum_{i=1}^N 10^{0.1 L_{Ai}} \cdot \Delta t \quad (10)$$

这里注意 Δt 要足够的短，以保证 L_{Ai} 在 Δt 时间内不会有大的变化，而且有 $N \cdot \Delta t = \tau$ 。

对于持续时间短，声级变化快的噪声事件，还可以使用电平记录仪与一般的声级测量仪器配合，记录下整个噪声事件的A加权时间谱，再利用(10)式进行计算。

对于具有近似高斯分布时间谱的噪声事件利用普通声级计和计时秒表，直接测量最大A声级 L_{Amax} 和时间谱下降5dB的时间间隔 τ_s ，然后代入近似公式

$$L_{AX} = L_{Amax} + 10 \lg \tau_s \quad (11)$$

在交通噪声的测量中，我们需要的是单个声源(机动车辆、船舶、火车、飞机等)一次性通过测点时产生的噪声暴露级，因而测量要选在交通流量很小时进行，测点要选在与所要评价的交通干线的各种条件(如路面情况、两边的声传播条件等)相似，从而较有代表性的地方，本底噪声至少要比所测量的噪声事件的峰值低10dB以上，噪声源的行驶路线在测点两边的较远距离内(例如 $\pm 100m$)必须保证基本是平直延伸的。

考虑到测量距离对 L_{AX} 的影响，需要给出每一测量值对应的测点与噪声源运行路线的距离，在计入(6)式第二项的修正以后，再求取每种交通噪声源各自在一给定距离处的噪声暴露级的平均值。

四、 L_{AX} 在交通噪声调查与评价中的应用

在常州市的交通噪声调查与评价中，我们首先把 L_{AX} 作为一个辅助评价量，结合最大A声级等参数，对各种单个噪声源的噪声辐射性质及其对交通噪声的贡献进行了评价。与统计声级相比， L_{AX} 和 L_{Amax} 的意义更明确，例如通过测量我们得知，小型车的 L_{AX} 比拖拉机平均低15.0dB，比大型车低7.7dB，所以从噪声能量的角度来说，一辆拖拉机通过时产生的噪声影响，就相当于32辆小型车或5辆大型车，从而立刻可以看到，拖拉机是最主要的交通噪声污染源。

不过， L_{AX} 在交通噪声评价中的主要应用是小流量交通噪声的基本评价量 Leq 的计算，即(5)、(7)、(8)诸式给出的以 L_{AX} 求取 Leq 的方法。

在常州市夜间道路噪声的评价中，我们将机动车辆分为大型车、小型车和拖拉机三类，测得这三种车辆在 $d = 7m$ 处各自的平均 L_{AX} 值分别为83.7dB、76.0dB和91.0dB。这样只需在各道路的交汇口，设点记录夜间8小时内各主要路段的车种分类流量，根据(7)式即可给出各路段的等效声级 Leq 。例如，解放路的路宽为9m，整个夜间大型车的流量为127辆，小型车36辆，拖拉机16辆，于是其等效声级为64.4dB。

对常州市的河道噪声，我们先把主要是以柴油机为动力的船舶分成拖船与挂浆船两种，在25m宽的河道岸边测点分别测得这两种船产生的平均噪声暴露级为97.4dB和90.3dB，在足够长的时间内记录各河道的分类船流量以后，由(7)式即可给出相应的 Leq 值。例如，市内大运河西段的平均河宽为25m，在白天的一次测量中数得其挂浆船流量为58艘/小时，而拖船的流量为7艘/小时，因此(7)式给出的 Leq 值为74.5dB，而实际的测量值为75.4dB。

铁路噪声作为一种不定期的间歇噪声，其对环境的污染情况的评价方法目前尚无定论。作为一种尝试，我们也以由 L_{AX} 计算得

到的 L_{eq} 作为基本评价量。具体做法是，先把火车分为客运列车与货运列车两种，在距离铁轨20m远处的测点上测得的平均 L_{AX} 分别为105.3dB和96.6dB。如常州市1985年白天(6:00—22:00)的火车总流量为客运列车59次，货运列车57次，所以由(5)式(略去含 L_B 的项)可以得到常州市白天的铁路噪声等效声级为75.8dB。

五、 L_{AX} 在交通噪声预测中的应用

上面我们已经看到，在已知道路(或河道)的宽度和给定评价时间内的分类车(船)流量的情况下，利用已经测得的各类噪声源产生的噪声暴露级，就可以给出基本评价量 L_{eq} ，因而上述讨论实际上也给出了一种建立在噪声能量的叠加基础上的，带着普通意义的交通噪声测量方法，因为一般感兴趣的道路的车流量都较大，所以道路噪声通常使用的预测公式是(8)式，将其分开来写，就是

$$L_{eq} = 10 \lg \frac{2Dd}{D^2 - 4S^2} + 10 \lg \sum_{j=1}^m N_j \cdot 10^{0.1L_{AXj}} - 10 \lg \frac{T}{T_r} \quad (12)$$

其中，第一项体现了路宽的影响，第三项表示评价时间间隔对噪声能量的平均。注意这里的第二项，它不仅反映了各车种流量的变化对交通噪声等效声级的影响，而且还通过 L_{AX} ，明确定量地给出了每一车种的单车噪声辐射能量对交通噪声的贡献。同时这里对

车种的分类数 m 没有任何限制，因而可以将车种分得足够细，以减小 L_{AXj} 测量值的数据离散度，并可计入鸣笛等因素的噪声能量对 L_{eq} 的影响。

附表给出了常州市白天交通干道噪声的40个测点的理论预测值与实测值的比较，结果表明：预测值与实测值的平均偏差小于0.4dB，标准偏差小于1.8dB。如果把车种分得更细一些，并计入鸣笛、刹车、起动的能量贡献和人流、自行车流等复杂因素形成的本底噪声影响，预测值的精确度还可以提高。

同样，利用(5)、(7)两式也可以进行铁路噪声和河道噪声的预测。

六、讨论

1、本文通过实例说明了噪声暴露级在交通噪声评价和预测中的广泛应用，不但有利用将交通噪声的现状调查评价与预测有机地结合起来，而且也为交通噪声治理提供了理论依据。

2、由 L_{AX} 计算 L_{eq} 的方法，为小流量交通噪声的评价提供了一个统一的、较有代表意义的评价量，还可能有助于内河航道噪声与铁路噪声的测量评价方法的建立。

3、以噪声暴露级交通噪声的基本评价量等效声级的方法，物理思想明确，较全面地反映了各种主要因素的影响，为交通噪声的预测提供了一种简单可靠的通用手段。

本工作得到了常州市环境监测站唐春度、尤慧安、胡耀平等同志的大力协助与支持，在此谨致谢意。

附表

常州市道路交通噪声的预测值与实测值的比较

路段名称	路宽(m)	车流量(辆/小时)			L_{eq} (dBA)		偏差 (dBA)
		大型车	小型车	拖拉机	理论值	实测值	
和平北路(北段)	21 *	226	144	0	71.2	68.3	2.9
和平北路(南段)	21 *	272	109	0	71.9	68.9	3.0
和平南路(北段)	25 *	279	106	0	71.3	69.0	2.3
和平南路(南段)	25 *	272	183	0	71.4	68.9	2.5

路段名称	路宽(m)	车流量(辆/小时)			Leq (dBA)		偏差 (dBA)
		大型车	小型车	拖拉机	理论值	实测值	
劳动西路(西段)	12	205	88	0	75.4	74.3	1.1
劳动西路(东段)	12	438	88	166	83.3	80.8	2.5
劳动中路(西段)	20°	526	148	85	77.4	77.5	-0.1
劳动中路(东段)	20°	420	105	116	77.7	78.7	-1.0
劳动东路(西段)	25°	360	99	81	75.7	76.7	-1.0
劳动东路(东段)	25°	254	99	113	76.0	77.0	-1.0
关河西路	10	240	70	0	76.7	77.6	-0.9
关河中路	9	346	46	0	78.5	77.2	1.3
关河东路	15	318	131	56	78.9	80.4	-1.5
怀德北路	25°	144	160	40	72.5	69.9	2.6
怀德中路	25°	144	151	50	73.0	70.1	2.9
怀德南路	11	173	63	0	75.0	74.1	0.9
清潭路(西段)	14	208	81	110	80.3	79.4	0.9
清潭路(东段)	14	251	57	109	80.5	81.7	-1.2
兰陵路	36°	279	151	42	72.2	74.0	-1.8
常新路(西段)	7	240	46	102	82.6	80.5	2.1
常新路(东段)	7	222	39	67	81.3	78.7	2.6
万福路	22	222	14	88	76.8	76.1	0.7
解放西路(西段)	9	138	63	0	74.7	76.6	-1.9
解放西路(中段)	9	191	63	0	76.1	77.4	-1.3
解放西路(东段)	9	99	32	0	73.2	74.0	-0.8
解放东路	9	282	145	25	79.5	80.5	-1.0
博爱路(东段)	11	141	46	0	74.1	76.6	-2.5
博爱路(西段)	11	92	81	0	72.6	74.2	-1.6
东横街	9	64	81	0	71.9	71.4	0.5
西横街	14	138	77	0	73.0	74.2	-1.2
东大街	13	92	78	0	71.9	70.4	1.5
西大街	9	56	148	0	72.1	73.0	-0.9
五角场南路	7	159	53	120	82.7	82.5	0.2
牌楼路	14	364	103	169	82.3	81.3	1.0
花园路	14	304	99	95	80.4	78.2	2.2
小东门路	9	236	81	4	77.4	77.9	-0.5
武青北路	9	162	64	0	75.4	72.9	2.5
西环路	6	176	39	74	81.6	79.4	2.2
武青路	7	85	24	0	73.1	76.4	-3.3
丽化路	25°	78	21	25	70.0	71.6	-1.6

注：凡路宽一栏打“°”号的均为快、慢车道分开的路段这时修正量S计算中的快车道宽近似取 $D_0 \approx (D-10)m$