

结 语

由于在自然界中存在多种形态的砷化合物, 且其毒性、致癌性、传递以及生物利用等性质与其形态有着高度的依赖关系。为了能有效估计砷化合物的危害及正确评价环境质量, 分别地对各种形态砷化合物进行测定已引起了环境化学分析工作者的重视。目前, 对水中微量砷的测定, 包括各种形态砷化物的测定的研究正方兴未艾, 期望我国环境化学分析工作者努力探索, 寻求更多更好的测定方法。

参 考 文 献

- [1] Talmi, Y., Bostick, D. T., *J. Chromatogr. Sci.*, **13**, 231 (1975).
- [2] Howard, A. G., Arbab-Zavar, M. H., *Analyst*, **105**, 338 (1980).
- [3] 李万春, 汪炳武, 分析化学, **15**(6), 485(1987).
- [4] 胡捷, 戚文彬, 环境化学, **4**(3), 70(1985).
- [5] 沈莹等, 分析化学, **15**(6), 559(1987).
- [6] 陈国树等, 江西大学学报(自然科学版), **9**(2), 31 (1985).
- [7] Aggett, J., Aspell, A. C., *Analyst*, **101**, 341 (1976).
- [8] Howard, A. G., Arbab-Zavar, M. H., *Analyst*, **106**, 213 (1981).
- [9] Maher, W. A., *At. Spectrosc.*, **8**(3), 88(1987).
- [10] Tsalev, D. et al., *J. Anal. At. Spectrom.*, **2**(2), 135 (1987).
- [11] 陈德芳等, 南京大学学报(自然科学版), **23**(2), 372 (1987).
- [12] 何秉站, 环境科学, **6**(3), 86(1985).
- [13] Chakraborti, D. et al., *Assoc. off. Anal. Chem.*, **67**, 227 (1984).
- [14] Yamamoto, M. et al., *Anal. Chem.*, **57**, 1382 (1985).
- [15] Oulavo, A. et al., *Talanta*, **32** 103 (1985).
- [16] Tao, H., Miyazaki, A., Bancho, K., *Kogal.*, **20**, 137 (1985).
- [17] Leyden, D. E. et al., *Anal. Chem. Acta*, **171**, 369 (1985).
- [18] Henry, F. T. et al., *Anal. Chem.*, **51**, 215 (1979).
- [19] Henry, F. T., Thorpe, T. M., *Anal. Chem.*, **52**, 80 (1980).
- [20] 彭图治, 吕荣山, 分析化学, **10**, 218(1982).
- [21] Jaya, S. et al., *Talanta*, **34** (6), 574 (1987).
- [22] Bodewig, F. G. et al., *Anal. Chem.*, **311**(2), 187 (1982).
- [23] Hua, Chi; Jagner, Daniel; Renman, Iars, *Anal. Chim. Acta*, **201** 263 (1987).
- [24] 吴建人等, 分析化学, **16**(5), 457(1988).
- [25] Braman, R. S., et al., *Anal. Chem.*, **49**, 621 (1977).
- [26] Boampong, C. et al., *J. Anal. At. Spectrom.*, **2** (2), 197 (1987).
- [27] Andrae, M. O., *Anal. Chem.*, **49**, 820(1977).
- [28] Clark, S. et al., *Analyst*, **112** (12), 1781 (1987).
- [29] Braungart, M., Ruessel, H., *Chromatographia*, **19**, 185 (1981).
- [30] Urasa, I. I., Ferede, F., *Anal. Chem.*, **59**(11), 1563 (1987).

(收稿日期: 1988 年 7 月 13 日)

城市交通噪声级的自相关及功率谱分析

彭 守 礼

(徐州市环境保护科学研究所)

摘要 用求算自相关函数和 DFT 变换方法对 8 种车流密度情况下的城市交通噪声进行测算分析, 求得自相关系数和自功率谱, 得到城市交通噪声最佳采样速度和样本量, 即采样的时间间隔应为 4—5 秒; 采样的时间长度应等于或大于 1000 秒。如果快速采样, 则必须增加采样数以保证 1000 秒的采样时间长度。为交通噪声自动监测仪的设计和提供了重要参数。

前 言

由于电子计算机技术的开发应用, 噪声

自动监测仪可以方便地实行快速、大量采样。但对不同的噪声样本, 例如城市交通噪声, 采样的周期及样本长度如何选择方称合理, 不

仅是设计者也是使用者十分关心的问题。

交通噪声的自相关性研究及 Blackman-Tukey 波谱分析法, 不仅可以回答以上诸问题, 而且其结果对交通噪声的实验模拟及控制对策均大有用处。本文将介绍八种车流密度较为离散的情况下, 城市交通噪声的自相关特性及功率谱分析的结果, 并导出若干推论。

一、基本原理

当城市交通噪声的车流密度大于某值(例如 100 辆/h)时, 交通噪声的概率分布是正态或准正态分布。因此可以把交通噪声作为平稳随机过程, 用 $L(t)$ 表示, 从而可以对 $L(t)$ 使用平稳随机过程的数学分析。

城市交通噪声离散采样的时间间隔, 按照采样定理, 理论上应满足

$$\Delta t \leq 1/2f_c^{(1)} \quad (1)$$

f_c 称为 Nyquist 频率。 f_c 为 $L(t)$ 的最高截止频率。 Δt 愈小, 离散采样损失的讯息量愈小。

离散采样造成的随机误差, 从时间平均的意义上, 正比于 $1/\sqrt{fT}^{(2)}$, 该式中的 T 为样本的有限长度(秒), f 为讯号 $L(t)$ 的频域宽度。对交通噪声而言, $f_c \approx f$ 。显然, 按一定的随机误差要求倘若 $L(t)$ 为窄带讯号(即 f 值小)则要求测量的样本长度 T (时间)应足够大; 反之, 当 f 较大即噪声 $L(t)$ 为宽带讯号。例如白噪声时, 则可以取较短的样本长度 T , 或取较少的采样数 N 。 N 又称样本容量, 这里: $N = T/\Delta t$ 。

然而, 从统计分析的角度, 随机独立的采样数 N 必须满足大数定律。

采样定理解决的问题是采样的时间间隔, 即采样的快慢问题; 而大数定律则是对采样的多少及这些采样数据值必须随机独立提出要求。采样定理和大数定律并不存在必然的逻辑关系。当按照采样定理确定出 Δt 时, 如果 Δt 小于讯号的自相关半径, 则这些采样

数据有一部份将不再是随机独立的采样值, 因而大数定律的前提条件可能不被满足。因此, 对噪声样本来说, 采样的时间间隔 Δt 及采样的样本长度 N (或 T) 的合理选择是十分重要的。

本项研究即是从测算交通噪声的自相关系数入手, 求算采样数据的相关半径, 从而可以求得独立数据样之间最小的时间间隔 ΔT ; 根据样本数 N 为大数, 例如 200 的要求, 即可确定出采样的时间长度 T 。

$$T \geq \Delta T \cdot N \quad (2)$$

当按照采样定理求得的 Δt 与按照相关半径确定的 ΔT 不相等时; 实际的采样数 N_0 应由(3)式确定。

$$N_0 = \begin{cases} T/\Delta t & \text{当 } \Delta t \leq \Delta T \\ \Delta t \cdot N & \text{当 } \Delta t > \Delta T \end{cases} \quad (3)$$

交通噪声的自相关函数经过 DFT 变换即可求得交通噪声 $L(t)$ 的自功率谱密度函数 $W(k)$ 。 $W(k)$ 是以谐波波数 k 为宗量的函数。由于噪声讯号 $L(t)$ 和功率谱密度函数之间有如下关系: $W(k) = |L(k)|^2$ 。其中 $L(k)$ 是时域讯号 $L(t)$ 在频域中对应的付氏变换对。换言之, 由已获得的功率谱就可以进一步获得幅频谱。从而求得 Nyquist 频率。

二、试验和计算

在选定的城市交通干道上, 参照交通噪声的监测规范设置测点, 将精密声级计输出的交通噪声连续讯号记录在磁带上。试验连续记录了 10 小时, 同时记录车流量及车流中的车型分布。 94dB 的校准讯号同时记录在磁带上作为参照噪声级。将该磁带在实验室中用声级记录仪(2307)描述, 纸速为 10mm/s, 笔速为 100mm/s, 在纸带上进行采样处理。按 4 式求算自相关系数 $\rho(\tau)$ 。

$$\rho(\tau) = R(\tau)/R(0) \quad (4)$$

$$\text{式中: } R(\tau) = \frac{1}{N-\tau} \sum_{i=1}^{N-\tau} (L_i - \bar{L})(L_{i+\tau} - \bar{L})$$

$$R(0) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (L_i - \bar{L})^2$$

L_i 为采样的瞬时 A 声级值 (dB); $\bar{L}$ 为 L_i 的算术平均值 (dB); τ 为延迟时间 (s), $\tau = 0, 1, 2, \dots, m$; N 为采样样本数; m 为最大时间延迟值, 这里 m 值不宜太大, 以免影响求算自相关函数和功率谱密度函数的稳定性。 m 值也不能太小, 以免功率谱的分辨率太低。通常 m 取 $N/5^{[3]}$ 。本实验中 $N = 100$, 所以 $m = 20$ 。

按照 (5) 式求算标准化的功率谱密度函数 $E(k)$ 。

$$E(k) = \frac{1}{m} \left\{ 1 + 2 \sum_{\tau=1}^{m-1} \rho(\tau) \cdot \cos \frac{k\pi\tau}{m} + \rho(m) \cos k\pi \right\} \quad (5)$$

k 为谐波波数 $k = 0, 1, 2, 3, \dots, m$ 。本实验中 $m = 20$ 所以 $k = 0, 1, 2, 3, \dots, 20$ 。

由于交通噪声在时间上是无限连续的, 所以 (5) 式已经是对交通噪声使用了矩形数据窗函数的处理。即从无限长时间序列中截取 0—100 秒的一段。对 (5) 式再经过 Hamming-Tukey 频率窗函数的处理^[2]可以求算出功率谱的平滑曲线 $W(k)$ 。 $W(k)$ 按 (6) 式求算:

$$\left. \begin{aligned} W(0) &= 0.54E(0) + 0.46E(1) \\ W(k) &= 0.23E(k-1) + 0.54E(k) \\ &\quad + 0.23E(k+1) \\ &\quad k = 1, 2, \dots, m-1 \\ W(m) &= 0.46E(m-1) \\ &\quad + 0.54E(m) \quad m = 20 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

本实验选取车流密度在 180 辆/h—1224 辆/h 内分布比较离散的 8 种情况, 共求算出 $8 \times 21 \times 3$ 个自相关系数、功率谱密度及谱密度上限。其结果分别见图 1 及图 2。

三、推论和讨论

1. 由图 1 可看出在 8 种离散分布的车流

密度情况下, 相关显著水平在 0.05 以上的相关半径平均为 4 秒; $\tau = 1$ 秒的自相关系数均在 0.85 以上。可见, 对于间隔一秒的采样, 相邻采样数据明显相关。这就表明: 使用间隔一秒对交通噪声采样, 不能认为是随机独立的采样值。

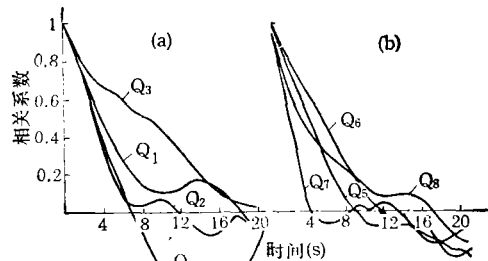


图 1 城市交通噪声级的自相关系数

ρ 为自相关系数, τ 为时间延迟 (s), Q 为车流密度 (辆/h)

$Q_1 = 180$ $Q_2 = 240$ $Q_3 = 432$ $Q_4 = 504$
 $Q_5 = 720$ $Q_6 = 900$ $Q_7 = 1140$ $Q_8 = 1224$

在本研究中, 我们把交通噪声作为“灰色系统”的现象来处理。因为它不同于“白色系统”具有的系统因素的完全确定性; 也不同于“黑色系统”所表现的系统因素完全不确定性。实际上, 对交通噪声而言虽然有许多难以确定的因素, 但仍有若干可以进行量化描述的影响因素。例如车流密度, 车行速度等^[1]。我们选测的交通干道为我国城市中常见的三板三带型, 沥青路面 25 米宽, 临街为 3—5 层多层建筑, 交通管理状况较好, 车辆的通行速度在 40km/h 左右。因此我们测得的交通噪声具有代表性, 并且以车流密度作为系统特征参数是合理的。

在我们的研究中, 除声波的几何发散及大气吸收以外, 略去其它的衰减因素, 并把交通干线近似为线状声源, 经计算(略)对测点交通噪声有效贡献的道路长度约为 $\pm 50\text{m}$ 。这样, 交通噪声的自相关半径 4—6 秒的现象可以得到声学上的解释。因为按行车速度 10m/s 计算, 车辆通过 50m 的时间即为 5

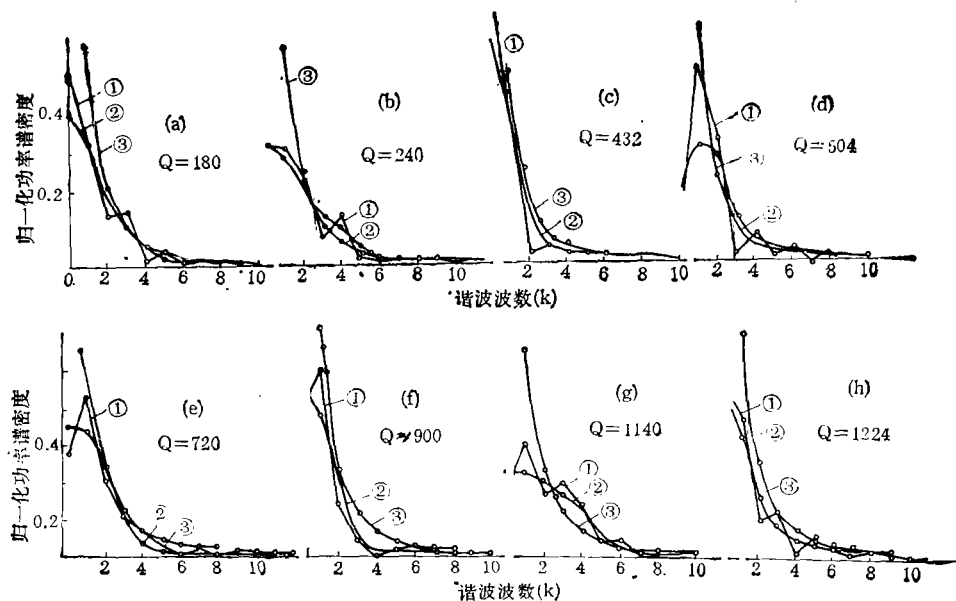


图 2 八种车流量下交通噪声的归一化功率谱

 θ 为车流密度(辆/h), R 为谐波波数.① 功率谱粗估 $B(R)$ ② 功率谱平滑估计 $W(R)$ ③ 红噪声谱密度上限 $RE(R)$

秒。同一声源的噪声当然是自相关的;可以设想当平均车速增大后,相关半径将变小。

2. 依照自相关系数作为判据,白噪声的自相关系数 ρ_w 为:

$$\rho_w = \begin{cases} 1 & \tau = 0 \\ 0 & \tau \neq 0 \end{cases} \quad (7)$$

其功率谱密度为常数;“红噪声”(又称马尔可夫过程)的自相关系数^[3]为 ρ_R

$$\rho_R(\tau) = \begin{cases} 1 & \tau \leq 1 \\ 0 & \tau > 1 \end{cases} \quad (8)$$

其功率谱密度不是常数,在中、高频为零。

对照图(1),平均而言,在交通噪声的功率谱中,10次以上的谐波成份渐近于零。因此,可以把随机起伏变化的交通噪声级认作为“红噪声”过程,又因为交通噪声是较宽频带的车辆噪声的叠加,所以在声学中应该把交通噪声描述为“受红噪声调幅的宽频带噪声”类型。

由于采样的时间窗为100秒,即 $k=0$ 的基波周期为100秒,所以 $k=10$ 的10次

谐波周期为10秒。按照(1)式求算的 Nyquist 频率的周期即为5秒。换言之,对我国现阶段城市交通噪声而言,5秒的采样周期满足采样定理。

考虑到随机误差 $\varepsilon^{[1]}$,

$$\varepsilon = 1/\sqrt{fT} = 1/\sqrt{\frac{2T}{\Delta t}},$$

可以证明,只有当 $T/\Delta t \geq 200$ 时 $\varepsilon \leq 5\%$ 。由此,可推导出我国城市交通噪声监测的最小样本长度(时间) $T = 200 \times \Delta t = 1000$ 秒。举例说,如果以1秒时间间隔采样,则应采样1000个($N=1000$)。如果以2秒时间间隔采样,则应采样500个($N=500$)。然而超过5秒的时间间隔采样是不允许的。因为那就违反了采样定理的要求。

3. 由误差的传递及合成理论^[4]可知:当 N 项随机误差 $\lambda_i (i=1, 2, \dots, N)$ 合成时,其误差的总标准方差为 λ_x

$$\lambda_x = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial L_{eq}}{\partial L_i} \cdot \lambda_i \right)^2} \rightarrow$$

$$\leftarrow +2 \sum_{\substack{i=1 \\ j>i}}^{N-1} \left(\frac{\partial \text{Leq}}{\partial L_i} \right) \left(\frac{\partial \text{Leq}}{\partial L_j} \right) \cdot \rho_{ij} \lambda_i \lambda_j \quad (9)$$

式中: Leq 为测点的交通噪声等效声级值;
 L_i, L_j 为交通噪声的瞬时采样值; ρ_{ij} 为第 i
 个数据和第 j 个数据之间的相关系数; $\lambda_i,$
 λ_j 为采样数据 L_i 和 L_j 的误差。

对于同一次采样, 可以认为 $\lambda_i = \lambda_j = \lambda$

由 Leq 的函数式 $\text{Leq} = 10 \log \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{L_i/10}$

可以求出 Leq 的偏导数 $\frac{\partial \text{Leq}}{\partial L_i}$ (推导略)。

$\frac{\partial \text{Leq}}{\partial L_i} = (10^{L_i/10}) / (N \cdot 10^{\text{Leq}/10})$ 代入(9)式,
 推导得出

$$\lambda_{\Sigma} = \frac{\lambda}{N \cdot 10^{\text{Leq}/10}} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N (10^{L_i/10})^2} \rightarrow$$

$$\leftarrow +2 \sum_{\substack{i=1 \\ j>i}}^{N-1} (10^{L_i/10})(10^{L_j/10}) \cdot \rho_{ij} \quad (10)$$

对于独立采样的情况, 即数据不相关 $\rho_{ij} \equiv 0$
 则得出

$$\lambda_{\Sigma D} = \frac{\lambda}{N \cdot 10^{\text{Leq}/10}} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N (10^{L_i/10})^2}$$

对于完全相关的采样, 并假定

$$\rho_{ij} = \begin{cases} 1 & i = j + 1 \\ 0 & i \neq j + 1 \end{cases}$$

经推导得出 $\lambda_{\Sigma R}$:

$$\lambda_{\Sigma R} = \lambda_{\Sigma D} \cdot \sqrt{1 + \left[2 \sum_{\substack{i=1 \\ j>i}}^{N-1} (10^{L_i/10})(10^{L_j/10}) \right] /$$

$$\leftarrow \sum_{i=1}^N (10^{L_i/10})^2 \quad (11)$$

再对 $\lambda_{\Sigma R}$ 进行线性化处理, 可以得出:

$$\lambda_{\Sigma R} \approx \lambda_{\Sigma D} \left\{ 1 + \left[\sum_{\substack{i=1 \\ j>i}}^{N-1} (10^{L_i/10})(10^{L_j/10}) / \right. \right.$$

$$\left. \left. \sum_{i=1}^N (10^{L_i/10})^2 \right] \right\} \quad (11)$$

用 8 种车流密度情况下的采样代入 (10) 及
 (11) 式, 得到的结果表示在图 3。曲线表
 明: 相关采样造成等效声级 Leq 的误差较
 之独立采样的 Leq 误差增大 0.7—0.9 倍。
 当在相关半径内采样愈多时, 此种由相关性
 造成的误差增大愈明显, 因为(9)式中 ρ_{ij} 的
 贡献随着相关的增强而增大。最后则是向线
 性相关逼近。

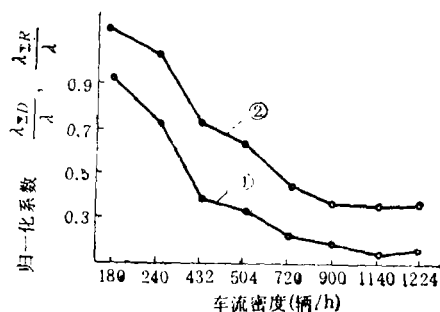


图3 八种车流量情况下, 相关采样和
 独立采样的随机误差比较

① $\lambda_{\Sigma D}/\lambda$: 独立采样 Leq 的归一化随机误差。

② $\lambda_{\Sigma R}/\lambda$: 相关采样 Leq 的归一化随机误差

λ 为瞬时采样的随机误差。

4 关于城市交通噪声的功率谱密度上
 限。

由于随机过程功率谱密度的概率分布函
 数为 χ^2 分布。其显著水平为 0.05 的值为
 $\chi_{0.05}^2$

$$\chi_{0.05}^2 = \xi + 1.645 \sqrt{2\xi - 1} + 0.85 \quad (12)$$

式中: $\xi = (2N - \frac{3}{2}m) / m$

N 和 m 的意义同前。 $m = 20$, $N = 100$ 。城
 市交通噪声的功率谱表现为红噪声特性; 而
 红噪声谱密度上限用 $\text{RE}(k)$ 表示:

$$\text{RE}(k) = \bar{E}(k) \cdot \chi_{0.05}^2 / \xi \quad (13)$$

式中 $\bar{E}(k)$ 为红噪声功率谱密度的平均值。

$$\bar{E}(k) = \frac{1}{2m} \left[E(0) + E(m) + \frac{1}{m} \sum_{k=1}^{m-1} E(k) \right]$$

$$\cdot \left[\frac{1 - \rho^2(1)}{1 + \rho^2(1) - 2\rho(1) \cdot \cos \frac{k\pi}{m}} \right] \quad (14)$$

(14)式中 $E(0)$ 及 $E(m)$ 是 $k=0, m$ 时的 $E(k)$ 值。 k 为谐波波数, $k=0, 1, 2, \dots, m$ 。本实验中 $m=20$;式中 $\rho(1)$ 是 $\tau=1$ 秒时的自相关系数。将(12)及(14)代入(13)式即可算出 $RE(k)$ 值。对每一车流状态均可求出20个 $RE(k)$ 值,其结果表示在图(2)中。

四、主要结论

1. 在180辆/h至1224辆/h离散分布的8种车流密度下,我国城市交通噪声自相关分析表明:采样数据的相关半径在4秒左右;采样间隔时间 $\Delta t=1$ 秒的采样数据,相邻数据的相关系数均在0.86以上,为明显相关。这不符合独立采样的要求;在快速采样的情况下,必需的样本时间长度应在800秒以上;当 $\Delta t < 4$ 秒时,采样数 N 应保证在 $800/\Delta t$ 以上。

2. 城市交通噪声功率谱的谐波波数一般不大于10,具有“红噪声”特点。所以,城市交通噪声实际上是红噪声调幅的宽频带噪声。5秒采样周期满足采样定理的要求。

3. 对城市交通噪声若选择过小的采样时

间间隔 Δt ,则可能导致在相关半径内采样数据个数的增加。而数据之间自相关的增强将导致统计量(等效声级 Leq)随机误差的增大,其增大量为独立采样时的0.7—0.9倍。

4. 交通噪声级的随机起伏,经显著水平为0.05的周期性检验,表明在谐波波数 $k=3-6$ 范围内,即对应周期为33秒—17秒范围内常表现出周期现象。

参 考 文 献

- [1] Bendat, J. S, Piersol, A. G 著,凌福根译,相关分析和谱分析的工程应用, p1—39, p41—73, 国防工业出版社, 1983年。
- [2] 中科院计算中心概率统计组编著,“概率统计计算”, p234—p238, p260—p265, 科学出版社, 1979年。
- [3] 黄忠恕著,波谱分析方法及在水文气象学中的应用, p26—p29, p72—p74, p93, 气象出版社, 1983年。
- [4] 周秀银著,误差理论及实验数据处理, p43, p97—100, 北京航空学院出版社, 1986年。
- [5] Chung Moo Yong, “Passenger Car Equivalence of Traffic Noise at Different Mix of Heavy Vehicles and Traffic Volume”, Proceedings of the 16th International Conference on Noise Control Engineering, Li Pei-zi, p771, Acoustical Society of China, Beijing, China, 1987.

(收稿日期 1988 年 12 月 20 日)

(Continued from p. 96)

absorb nutrient from the surrounding flow of influent. The stability of anaerobic filter depends on seed sludge, filter media and the condition of digester. Three kinds of the filter media and various wastewaters were used in this study. The result indicated that the pebble filter can remove about 95% of TOC in wastewater only 14 days after it was set up. It is evident that if the AF process was controlled in a good condition, it will start up and get stability quickly. (See pp. 51—54)

Determination of Uranium in Environmental Samples Using Laser-Fluorescence

Wu Jinghai, Li Jinqian (Institute of Radiation Me-

dicine, Shanghai)

A method for determining trace uranium in natural water, soil and plant samples is reported by using laser induced fluorescence. Fluorescence of uranium is produced due to excitation by a small nitrogen laser, and the method is simple in operation and rapid in measurement. Natural water, including seawater, riverwater, lake-water, groundwater etc. can be measured directly without preconcentration, solid and plant samples must be transformed into solution and then be measured. Concentration of uranium is determined in the range from 0.05 to 20 ppb with the detection limit of uranium in 0.05 ppb, and the accuracy of $\pm 15\%$. (See pp. 58—61)