

声波在弹性圆管内的传播理论

朱蓓丽 甘德新 (上海交通大学 · 200030)

设一无限长弹性圆管其内外半径分别为 a 和 b , 穿孔率 $\epsilon = a/b$, 边界条件为: 内界面 ($r=a$) 为自由面, 应力为零; 外界面 ($r=b$) 是静止的, 或是刚性的, 既无位移, 又无切应力。建立圆柱坐标, 它的振动方程式为:

$$\begin{cases} \rho \frac{\partial u_r}{\partial z^2} = (\lambda + 2\mu) \frac{\partial}{\partial r} \left[\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial(u_r)}{\partial r} \right] + (\lambda + \mu) \frac{\partial^2 u_z}{\partial r \partial z} + \mu \frac{\partial^2 u_r}{\partial z^2} \\ \rho \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} = (\lambda + 2\mu) \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} + \frac{\lambda + \mu}{r} \cdot \frac{\partial(r u_z)}{\partial z} + \frac{\mu}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (r \frac{\partial u_z}{\partial r}) \end{cases}$$

式中 u_r, u_z 分别为径向 r 和轴向 z 的振动位移, λ 和 μ 为材料的拉密系数。它的特征方程可表达为复波数 \bar{k} 的复杂的超越函数。假设材料的 λ 近似为实数, 其值比 μ 要大两个数量级, $\epsilon < 0.5$, 同时 $|\bar{k}_r \cdot a| \ll 1$, 即在低频或小穿孔率条件下, 该特征方程的一阶近似解为: $\bar{k} = k_L \cdot \sqrt{1 + (\lambda/\mu) \cdot (\epsilon/1 - \epsilon^2)}$ 二阶近似解的形式同一阶, 不同的是用等效剪切模量 $\bar{\mu}$ 代替了实际的参数 μ 。进一步求得声波在弹性圆管内传播时质点位移的表达式为:

$$\begin{cases} \bar{u}_z = c \cdot \exp[j(\omega t + \bar{k}z)] \\ \bar{u}_r = -j c \frac{\lambda + 2\mu}{2\mu} \cdot \frac{\epsilon k_L^2 a}{\bar{k}} \left(\frac{b}{r} - \frac{r}{b} \right) \exp[j(\omega t + \bar{k}z)] \end{cases}$$

这表明在弹性圆管内界面上出现了切变波, 它的位移振幅沿径向变化, 在外界面上趋于零。

对于有限长的弹性圆管, 可借助复波数来计算出它的声学特性。若在弹性材料板上穿有互相平行的细管, 在穿孔率 ϵ 较小或低频的条件下, 可忽略各细孔之间的互相影响, 把以细管为中心的柱体独立出来运用以上理论, 也可计算出其声学性能。文章还对这样的结构体在水中吸声系数的理论计算结果与实验测试结果进行了比较。

双层复合道路噪声分布及其控制

洪宗辉 夏峻峰 (同济大学声学研究所 上海 · 200092)

近几年来, 随着市政建设的发展, 地面-高架相结合的双层复合道路在国内各大城市相继兴建, 由于车流量大, 加上地面和高架底部的多次反射声, 使道路两侧的交通噪声污染十分严重。据对上海市内环线复合道路噪声的实测, 高峰小时的等效声级可达 80dB(A), 引起临近居民的强烈反应。本文通过理论计算和缩尺声模型试验结果的分析, 根据声场分布的特点, 对控制复合道路交通噪声的有关措施及其效果进行了探讨。

对于多车道、多种车型的单层复合车流, 可采用分车道、分车流的方法分别计算各种车流、各车道在测点产生的声级, 再用迭加方法求得总声级, 设有 M 个车道、 N 个车种, 则测点处的总的等效声级为:

$$L_{eq} = 10 \lg \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (\pi r^2 N_{ij} 10^{0.1 L_{Pij}} / T l_j V_{ij}) \quad \text{dB(A)}$$

式中 L_{Pij} 为第 j 车道第 i 类车辆在距离 r 处的平均声级 dB(A), l_j 为第 j 车道至测点的距离 m , N_{ij}/T 为第 j 车道第 i 种车的流量, 辆/h, V_{ij} 第 j 车道第 i 种车的平均速度 km/h。对于双层复合道路, 无论地面或高架路面, 其两侧声场均可分为 3 个区域, 即直达声与路面反射声场, 直达声与衍射声场, 纯衍射声场。因此, 应根据测点所在区域, 用能量迭加原理再求得其总的等效声级。

缩尺声模型试验与计算结果显示, 复合道路两侧声场其声能主要来自地面道路车辆和高架形成的混响声, 目前已建高架道路声屏障均设置在高架结构的防冲墙处, 其降噪效果就不能得到充分的发挥。而实际应用中, 考虑到车流作为线声源, 且又是宽带噪声, 因此屏障的降噪效果受到极大的限制。