

# 公路隧道噪声降噪案例研究

陈 兴, 梁志坚, 阙秀明

(香港新光国际有限公司)

摘要: 隧道型公共设施的声环境, 可以使用大量具有高吸声系数的吸声构造, 铺设于隧道拱壁及轨道铺面, 以降低混响时间及噪声。文中以在湖南省常张高速公路关口哑隧道吸声安装工程为例, 在铺设吸声构造后, 其混响时间在装吸声构造后在各 1/3 倍频带约减少 64%~84%, 预估降噪量则为 4.7~8.5dB 之间, 在 200Hz~800Hz 之间, 降噪量则有 7.1dB~8.5dB 之间, 降噪效果显著。如以实际公路噪声特性预估, 降噪量约有 6.3dB(A), SIL(speech interference level) 则有 6.6dB 改善效果。

关键词: 隧道噪声; 混响时间; 吸声构造; 隧道降噪预估

中图分类号: TN713, TN015, TN454

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2008)-02-0244-03

## Highway tunnel noise reduce case studies

CHEN Xing, LIANG Zhi-jian, QUE Xue-ming

(Hong Kong NewCom International Ltd, HongKong, China)

Abstract: The reverberation time and noise level of tunnel-typed public works can be reduced by adding large amount of acoustical structure with high absorptive coefficient. These absorptive structures can be applied on the curved wall and track bed. After applying the CEMCOM acoustical material, the reverberation time was reduced about 64%~84% and the noise reduction level was predicted about 4.7dB~8.5dB in the measured 1/3 octave bands for the Guan-Kou-Ya tunnel of Chang-Zhang highway, Hunan Province. Especially, the predicted noise reduction levels are about 7.1 dB to 8.5 dB between 200 Hz and 800 Hz in the measured 1/3 octave band. Using a noise spectrum from a current express way, the noise reduction level is predicted about 6.3 dB(A) and the speech interference level is reduced about 6.6 dB.

Key words: tunnel noise; reverberation time; absorptive structure; prediction of tunnel noise reduction

## 1 前 言

山下隧道、地下隧道、城市地底立交或跨海过江隧道等隧道型公共设施, 它们的共同特色之一是其周围环境多为水泥壁衬砌而成, 属于刚性声学材料, 极易将声音反射, 特别是对于低频率声音频带在隧道中容易形成极长的混响时间。混响时间增加, 除了会导致隧道内噪声增加, 也容易对身体易产生共鸣造成生理影响, 也容易增加用路人心里压力与产生烦躁现象。此外, 混响时间过长对于人耳听觉也易产生遮蔽效应, 干扰听力导致误判隧道内

声音信息。

改善隧道型公共设施的声环境, 最适当的降噪方法之一就是铺设大量且具有高吸声系数的吸声构造于隧道拱壁或是轨道铺面以降低隧道内的混响时间及降低噪声量。为了有最佳的降噪效果与最适成本, 噪声材料的吸声系数频率特性, 必须参考噪声源的频率特性来选用。在选用隧道内的吸声构造, 除了须具有上述优良的声学特性, 此外也必须考虑到吸声构造须具有高度的防火特性及对周遭环境的友善功能。

在本论文中, 针对湖南省常张高速公路关口隧道, 在铺设吸声构造后的降噪结果进行了研究。除了在隧道拱壁铺设吸声构造前后的混响时间进行现场检测, 并预估铺设吸声构造后隧道内的降噪量及言语交谈背景噪声(speech interference level)改善成效。

## 2 隧道降噪理论预估

如前所述, 隧道型公共设施内部表面多为刚性表面, 隧道内的混响时间极长, 形成一混响声场。对一隧道混响声场, 其降噪量 NR(noise reduction) 估算可以使用以下方式<sup>[1]</sup>:

$$NR=L_{p1}-L_{p2}=10\lg(RT_2/RT_1) \quad (1)$$

此处:

$R_T$ :室内常数(room constant), 其值为  $S\alpha/(1-\alpha)$

S:室内表面积

$\alpha$ : 平均沙实(Sabine)吸声系数

$L_{p1}$ :装吸声构造前噪声级

$L_{p2}$ :装吸声构造后噪声级

其中平均沙实吸声系数  $\alpha$ , 可以由现场量测的混响时间, 以下式计算得到

$$\alpha=(55.26V)/(cST) \quad (2)$$

此处

T:混响时间

V:室内体积

c:声音速度

## 3 案例: 高速公路隧道混响时间量测及降噪量预估

湖南省常张高速公路关口隧道的北隧道, 于2005年下半年进行了吸声装饰墙工程。本隧道长度为

715m, 截面半径约为 550cm, 高度 710cm, 使用了具有高度吸声能力的 CEMCOM 颗粒性吸声构造, 吸声构造的厚度为 8cm, 铺设在拱壁的高度为 350cm, 其铺设位置示意图, 如图 1 所示。厚度 8cm 的 CEMCOM 吸声构造在混响室的吸声系数请参考表 1, 在频率 400Hz 以上, 混响吸声系数皆大于 0.80, 在频率 1250Hz 以上, 混响吸声系数皆大于 0.90。

隧道混响时间现场检测位置分布, 如图 2 所示, 总计有 5 个测点位置, 成一直线, 每个测点相距约 8m。此 5 个测点位置在装吸声构造前后的混响时间检测结果分别如表 1 及图 3 所示。基本上, 在装吸声构造后的混响时间皆有明显的降低, 混响时间减少约 64%~84%之间。装吸声构造后的预估降噪量在每一个频带为 4.7dB~8.5dB 之间, 特别是在 200Hz~800Hz 之间, 降噪量在 7.1dB~8.5dB 之间, 降噪效果显著。

为了预估可能的公路噪声在隧道内的降噪量, 使用了平均车速在 60km/hr 的公路噪声频谱来预估, 如图 4, 此一公路噪声频谱最大值在 1000Hz 频带, 属于以小型车为主的噪声。经计算后, 此一隧道内在全频域(20Hz~20kHz)的降噪量预估值为 6.3dB(A), 如图 4。另外为了评估在装吸声构造后对言语交谈影响的改善成效, 使用了 SIL(speech interference level) 评估指标<sup>[2]</sup>。SIL 指标是使用在 500Hz, 1000Hz, 2000Hz 及 4000Hz 的平均声压级(dB)。

$$SIL=(L_{500}+L_{1000}+L_{2000}+L_{4000})/4$$

以图 4 的公路噪声频谱为计算基础, SIL 的改善成效为 6.6dB。

表 1 隧道吸声装饰墙工程混响时间检测结果及降噪量预估

频率 /Hz	装吸声构造前混响时间/s	装吸声构造后混响时间/s	装吸声构造后的预估降噪量/dB	备注: 8cm 厚度 CEMCOM 吸声构造的混响室吸声系数
100	12.14	4.30	4.7	0.15
125	19.09	6.55	4.8	0.27
160	19.95	5.40	5.9	0.32
200	18.93	3.86	7.2	0.33
250	18.66	3.25	8.0	0.42
315	16.91	2.75	8.4	0.66
400	14.44	2.34	8.5	0.83
500	11.91	2.00	8.4	0.83
630	10.1	1.86	8.1	0.88
800	7.52	1.73	7.1	0.81
1000	5.71	1.69	6.0	0.87
1250	5.26	1.60	5.9	0.96
1600	4.95	1.49	6.0	1.03
2000	4.47	1.33	6.2	1.04
2500	3.98	1.24	6.0	1.07
3150	3.62	1.14	6.1	1.07
4000	3.01	1.07	5.6	1.11

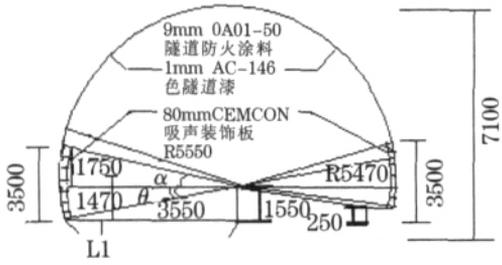


图1 湖南省常张高速公路关口隧道断面图及吸声构造安装位置

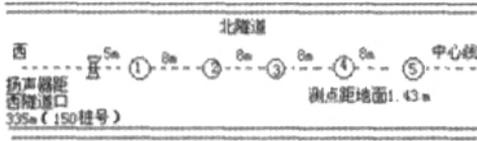


图2 混响时间检测位置示意图

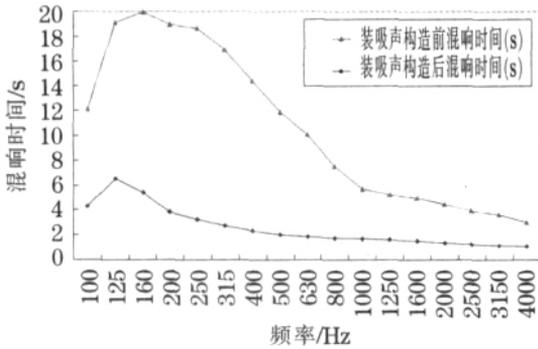


图3 湖南省常张高速公路关口隧道吸声装饰墙工程混响时间频率特性曲线[d1]

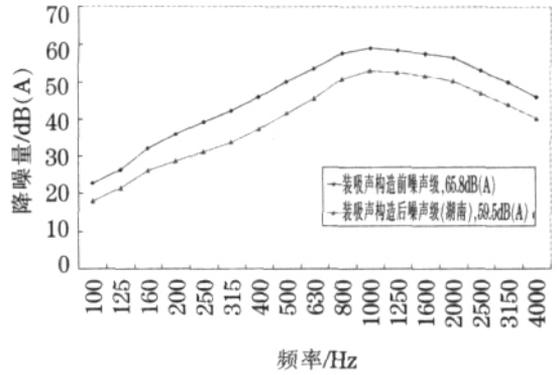


图4 实际公路噪声预估降噪量

### 4 结 论

隧道内构造由于属于声学刚性材料, 容易造成高混响时间, 在依据既有隧道内的噪声频谱特性, 使用最佳化的高度吸声系数的吸声构造应可以有效降低隧道内混响时间, 其降噪效果应可以达到 7dB(A) 以上。

#### 参 考 文 献

- [1] Noise and Vibration Control Engineering, Principles and Applications[M]. edited by Leo L. Beranek and Istvan L Ver, 1992.
- [2] ISO/TR 3352 Acoustics-Assessment of Noise with Respect to its Effect on the Intelligibility of Speech[R].

# 欢迎订阅 欢迎投稿

本刊编辑部地址: 上海市小木桥路 456 号 邮编: 200032

电话: (021) 64048159- 222 传真: (021) 64174105