

高速公路高架段桥下反射声识别及改善措施

许荣均¹, 林太山¹, 王瑜评¹, 胡秀兰², 王聪贵²,
胡佩仪², 杨炽宗³, 刘法亲³, 吴阜龙³

(1. 台湾海洋大学系统工程暨造船学系; 2. 台湾世曦工程顾问股份有限公司; 3. 高速公路局北区工程处)

摘要: 台湾因为中山高速公路承载量逐年不足, 拟通过兴建汐五高架来解决交通拥堵问题。该工程虽然有效地解决了交通拥堵问题, 但高架桥的桥腹反而变成了平面路段交通噪声的反射面, 使当地原有噪声问题更加严重。文章通过声源识别技术取得现场不同声源的贡献量, 其中以反射声为环境噪声的主要增量来源。基于前述声源识别结果, 针对桥底反射声设计了不同几何形状的桥底吸声装置(W 型以及倒 N 型吸声装置), 两种桥底吸声装置的声学检测结果显示, W 型以及倒 N 型吸声装置的斜入射吸声性能较平面型吸声板好。另外依据实测成果可知, 进行大型工程的噪声改善前, 通过声源识别技术区分出主要和次要噪声源, 并针对噪声源提出最佳的改善方案, 可大幅提升改善工程的效益。

关键词: 反射面; 声源鉴别; 反射声; 吸声性能

中图分类号: TB551

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2017)-03-0276-05

DOI 编码: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2017.03.014

Identification and improvement of reflected sound field under the elevated sections of a freeway

XU Rong-jun¹, LIN Tai-shan¹, WANG Yu-ping¹, HU Xiu-lan², WANG Cong-gui²,
HU Pei-yi², YANG Chi-zong³, LIU Fa-qin³, WU Fu-long³

(1. Department of Naval Architecture, Taiwan Ocean University; 2. CECI Engineering Consultants, Inc.;
3. Northern Region Engineering Office, TANFB)

Abstract: In order to enhance the carrying capacity of Zhongshan freeway, Taiwan had construct elevated freeway sections from Xizhi to Wugu. Although the project effectively solved the traffic congestions, the bottom portion of the bridges became noise reflecting surfaces and resulted in a much more severe noise problem. In this paper, the sound source identification technology using acoustic camera has been used, and the contribution of different sources of sound has been identified. The result indicates that the reflecting portion of noise is the primary source of the traffic noise. Based on this result, this paper designed two sound-absorbing devices with different geometry (W and N type) for bridge bottom surface, and from the test results, it was confirmed that the absorption coefficients for oblique incidence of these two types of devices are better than the plane surface type. In addition, it is suggested that the sound source identification technique be used to locate primary noise sources before large-scale noise abatement projects initiates, and thus optimal noise reduction methods can be proposed, and therefore greatly enhance the benefit of noise abatement projects.

Key words: reflection surface; sound source identification; reflecting sound; absorbing performance

0 引言

台湾因为中山高速公路承载量逐渐不敷使用, 于 1991 年开始兴建汐五高架(见图 1), 并于 1997 年全线通车, 本路段通车后效益明显, 已有效地解决

了交通拥堵问题。但本路段因采用高架结构, 且桥梁紧邻中山高速公路平面路段, 高架桥的桥腹反而变成了平面路段交通噪声的反射面, 平面路段的交通噪声向民宅反射, 造成民宅环境的噪声增加, 对居民产生困扰。

台湾对于交通运输的噪声管制标准日趋完善, 为使汐五高架邻近住宅区的环境噪声符合标准, 本路段的主管机关拟定了噪声改善计划, 期望通过声学仪器的检测, 找出主要噪声源, 并设计改善措施, 使有限的工程经费达到最大的改善效益。

收稿日期: 2017-02-14; 修回日期: 2017-04-18

作者简介: 许荣均(1958—), 男, 台湾台中人, 美国麻省理工学院博士, 教授, 研究方向为结构振动分析与量测、声场预测与量测、吸隔声装置之设计与开发等。

通讯作者: 许荣均, E-mail: rjs@mail.ntou.edu.tw



图 1 中山高速公路以及拓宽路段路线数据
Fig.1 Zhongshan freeway and its widening sections

1 环境现况与噪声源识别

本文调查地点的现场环境如图 2 所示，建筑物旁为单行道道路，建筑物与高架桥距离约 7.9 m，高架桥结构为预应力 I 型梁以及钢箱型梁。本文作者在现场调查期间，发现此地声场环境极为复杂，现场噪声源可能有：直达声、反射声、绕射声以及桥梁伸缩缝噪声，这些噪声的传递路径示意如图 3 所示。



图 2 项目所在路段环境现况
Fig.2 In situ photo of this project

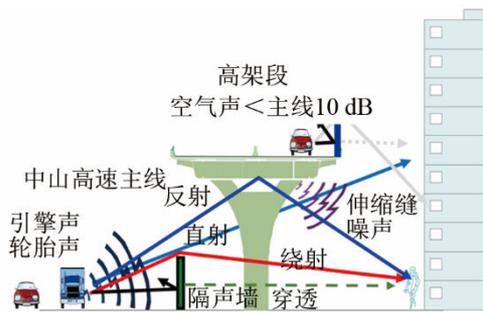


图 3 改善路段噪声源以及声音传播路径示意
Fig.3 Sound source and its transmission paths

为了了解中山高速各交通噪声的传播路径，以及其对敏感建筑物不同楼层的影响，在本路段某户民宅的 1 楼(高度低于路面声屏障)、3 楼(高度与路面声屏障高度相近)、5 楼(高于路面声屏障高度)进行数组声学摄影分析仪测量(见图 4)及噪声源识别，期望通过识别结果获知敏感建筑物的主要环境噪

声源，并对其提出改善措施，以降低对邻近住户的噪声干扰。

通过数组声学摄影分析仪获取各噪声源的噪声级大小，相关结果如表 1 与图 5 所示，由表 1 可知改善地点现场的主要噪声源为桥底板的反射声以及平面段的绕射声。绕射声的解决方案可通过加高声屏障来解决，而来自桥底的反射声则可通过桥底安装吸声板进行降噪，加高声屏障在工程技术上并无难度，故下文将针对桥底吸声板进行简介。



图 4 声学摄影分析仪
Fig.4 Acoustic camera

表 1 计划路段桥下交通噪声源识别结果(单位: dB(A))
Table 1 Identification of traffic noise source under bridge section (dB(A))

楼层	直达声	桥底板反射声	绕射声	地面反射声	伸缩缝结构声
1 楼	-	78.0	77.1	76.7	72.8
3 楼	-	72.9	72.9	69.0	-
5 楼	70.7	-	-	-	-

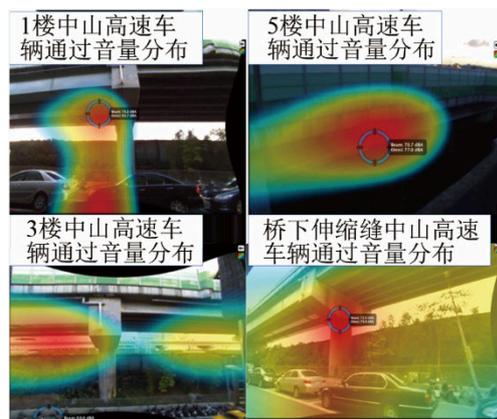


图 5 现场噪声源识别照片
Fig.5 Sound source identification photos

2 桥底反射声改善措施设计

依据文献[1]，桥下吸声板面板外形有平面型及凸形面(W 型、圆筒等)两大类。中山高速公路噪声

经此两类吸声板的一次反射或二次反射后，声波会朝向敏感建筑物(如图 6 所示)。为降低桥下反射声声级及改变其传播方向，本文建议吸声板面板采用倒 N 型(如图 7 所示)，入射声与吸声体斜边平行，中山高架上的声音多数能量经二次吸收，即使有残余的能量也是传向桥下，使反射至敏感建筑物的噪声级最小化。

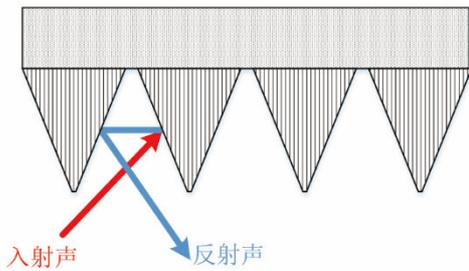


图 6 桥下 W 型吸声板声波反射路径

Fig.6 W-type absorbing device and sound reflection path

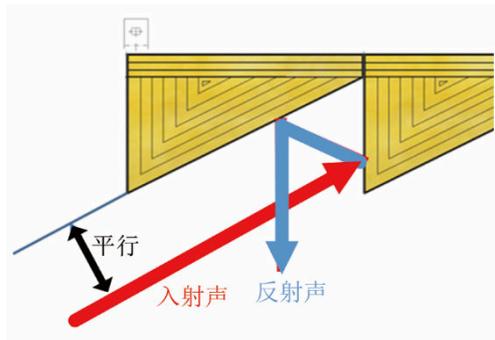


图 7 桥下倒 N 型吸声板声波反射路径

Fig.7 N-type absorbing device and sound reflection path

3 桥底吸声装置声学性能测试

为了分析吸声面板外形吸声系数的变化，作为本计划的设计参考，仍以日本常见的面板型、W 型，以及本工作团队设计的倒 N 型吸声装置进行吸声板样品反射系数调查测量，采用的测量方法为日本国土交通省推荐的吸声材料测试方法，相关测试内容说明如下。

本方法主要通过扬声器分别以四种不同的角度 0°(垂直入射)、15°(π/12)、30°(π/6)、45°(π/4)斜向往测试体发出脉冲信号，并通过麦克风测量从硬质面和测试样品反射回来的声信号(反射声)与从扬声器发出的声信号(直达声)。最后从时域信号中分离直达声和反射声，并求出只从测试样品来的反射声与从硬质面来的反射声的能量比，从而得到斜入射吸声系数。

测试过程中，本方法在半径为 3 m 的垂直方向的圆周上布点，进行不同角度的测试，其中入射角

度在 0°之外的角度测量时，声源和麦克风法向对称布置在圆周上，而在 0°，声源布置在离硬质地面 3 m 处，麦克风布置在离硬质地面 2.5 m 处，设置吸声板在硬质地面时，声源、麦克风的配置也以硬质地面为基准(如图 8 所示)。

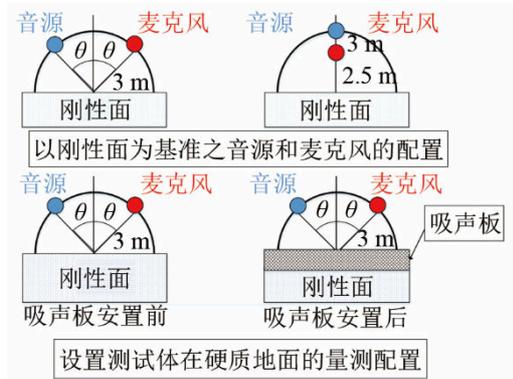


图 8 斜入射测试仪器配置^[2-3]

Fig.8 Instrument configurations of oblique incidence tests

按照图 8 进行测量并得到硬质地板以及吸声板装置反射声的波型。在入射角为 θ 及硬质条件下，得到反射声的功率谱 $P_r(f)$ ，再在已安置吸声板的硬质条件下，得到反射声的功率谱 $P_s(f)$ 。将在入射角为 θ 时吸声板安置前后所失去的能量比，定义为吸声板的吸声系数，其信号处理方式如图 9 所示，而计算公式见式(1)：

$$\alpha(\theta) = 1 - P_s(f) / P_r(f) \tag{1}$$

式中： $\alpha(\theta)$ 为入射角为 θ 的斜入射吸声系数； $P_r(f)$ 为在硬质条件下测得的反射声功率谱； $P_s(f)$ 为在

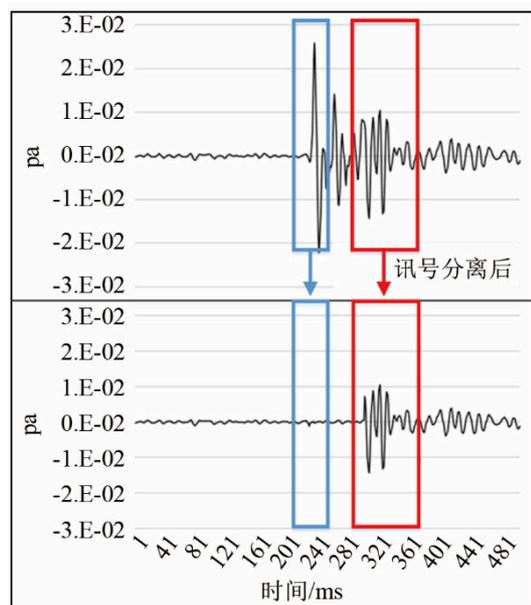


图 9 斜入射信号处理方法

Fig.9 Oblique incident signal processing method

已安置吸声板条件下测得的反射声功率谱。

本文共试作了平板型、W 型，以及倒 N 型三种吸声面板，如图 10 所示，吸声材料相关结构形式及现场检测情形如图 11 所示。

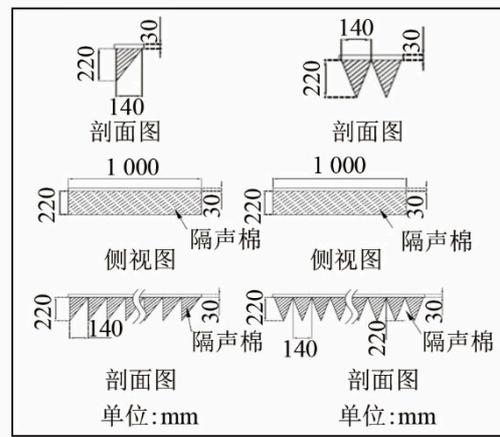


图 10 吸声装置侧视及剖面图

Fig.10 Side and sectional drawings of sound-absorbing device



平板型吸声板



倒N型吸声板



W型吸声板

图 11 桥下吸声板检测作业情形
Fig.11 Tests for absorbing devices

三种类型吸声装置的平均斜入射吸声系数比较结果如图 12 所示。测试数值与日本文献相近，倒 N 型吸声板在 315 Hz 以上频段平均斜入射吸声系数均达到 0.9 以上。三种吸声装置中以倒 N 型吸声板的平均吸声系数及低频吸声效果最好，其构造主要为改变声波传递路径，目的使敏感接收点所接收到的反射能量较小。因此参照平均斜入射吸声系数的检测结果，以及计划路段中山高速声波传递路径，与两侧敏感受体所在区位关系，针对超标路段增设的桥下吸声板，建议采用倒 N 型吸声板。

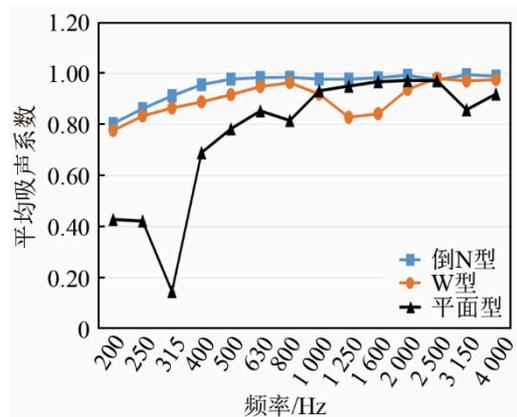


图 12 不同外形之桥下吸声板平均斜入射吸声系数比较

Fig.12 Comparison of average oblique incidence absorption coefficients between different sound absorbing panels

4 降噪措施之效果预估

依据前述的噪声源识别结果，改善地点现场的主要噪声源为桥底板的反射声以及平面段交通噪声的绕射声。绕射声可通过加高声屏障的方式来解决，而来自桥底的反射声则可通过桥底吸声板进行降噪，本文利用声场模拟软件 Cadna A 评估降噪方案，其结果如图 13 所示，其中红色代表声压级大于 73 dB(A)，蓝色代表声压级介于 73~70 dB(A)，绿色代表声压级小于 70 dB(A)。本评估方案采用的降噪措施为桥下吸声板加上声屏障(直立 5 m，弧形 1.5 m)。经统计(如表 2 所示)，本路段在改善前，81%的监测点交通噪声超过陆上运输系统噪声管制标准值 73 dB(A)(夜间)，11%的监测点声压级介于 70~73 dB(A)之间，声压级小于 70 dB(A)占全部监测点的 8%；在采用改善措施后，所有测点均不超出 73 dB(A)(夜间)，43%的监测点声压级介于 70~73 dB(A)，其余测点声压级均小于 70 dB(A)，这说明改造后本路段所有监测点的交通噪声均已符合陆上运输系统噪声的管制标准^[1-4]；另外，经统计显示：本路段降噪效果小于 3 dB 的监测点占 9%，

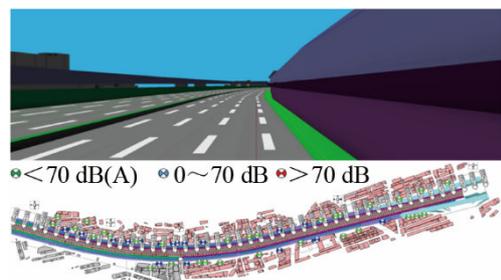


图 13 改善路段与预估结果

Fig.13 Road sections with noise abatements and its estimated improvement

表 2 噪音改善结果百分比预估
Table 2 Percentage of estimated noise reduction

噪音量 /dB(A)	噪声检测点	
	改善前/%	改善后/%
<70	8	57
70-73	11	43
>73	81	0

备注：表格中数值代表介于该音量间的检测点之百分比。

降噪效果介于 3~5 dB 的监测点占 13%，降噪效果大于 5 dB 的监测点占 78%，这表明本改善路段在采用桥下吸声板+声屏障(直立 5 m，弧形 1.5 m)后，降噪效果显著。

5 结 论

本文通过声学摄影机对噪声改善地点进行声源识别，识别结果显示该处的噪声源主要为桥腹反射声。依据此结果，本文以改变声音传递路径的方

式设计出 W 型以及倒 N 型吸声板，并利用日本国土交通省推荐的吸声材料测试方法，针对新设计的吸声板进行测试。实测效果显示，两种吸声板的吸声系数均比平面型吸声板高，其中又以倒 N 型吸声板的效果最好。因此未来该计划路段的高架桥梁装配此吸声板后，可大幅降低该处的桥底反射声。

参 考 文 献

- [1] 台湾高速公路局北区工程处. 高架桥梁下噪音改善设施规画设计服务工作期末报告[R]. 2016.
- [2] 福原博笃. 道路交通騒音. 铁道騒音の低減手法—斜入射吸音率で評価する吸音材とその施工法[C]//振动道路与轨噪音改善工程规划设计最新技术研习会, 2009.
- [3] 田中俊光, 杉本理惠, 木下伸一, 等. 騒音低減効果の大きな高架道路里面吸声板の開発[J]. 神戸制钢技报, 1999, 49(2): 69-73. Toshimitsu Tanaka, Rie Sugimoto, Shinichi Kinoshita, et al. Development of highly effective sound absorbing panel for the underside of elevated roads[J]. 神戸制钢技报, 1999, 49(2): 69-73.
- [4] 环境保护署. 陆上运输系统噪音管制标准[S]. 2013. Environmental Protection Administration. Noise control standard for ground transportation systems[S]. 2013.

中国声学学会功率超声分会 2017 年全国功率超声学术会议征文通知 (第一轮)

经中国声学学会功率超声分会委员会研究决定于 2017 年 10 月中下旬召开“2017 年全国功率超声学术会议”，会议地点：暂定江苏省无锡市。会议的主要内容是：

1. 回顾近年来国内外功率超声学科的发展动态，进行学术交流。
2. 对本行业的应用新技术和新产品进行推介。

会议向全国从事功率超声研究、功率超声元器件和整机生产制造、功率超声设备使用的单位和个人征集下列方向的论文：

- (1) 目前国内外功率超声领域的研究动态；
- (2) 功率超声的新设备、新工艺、新应用；
- (3) 功率超声系统的设计、测试和评价方法；
- (4) 其他有关功率超声的问题。

我们特邀请您/贵单位积极投稿并参加会议。投稿者请于 2017 年 9 月 10 日前将论文全文用电子邮件的形式发至邮箱 316958208@qq.com 或 wangld001@snnu.edu.cn。来稿请采用 A4 版面，与《声学技术》版面格式相同。所有录用论文都将安排大会发言、收入会议论文集，并酌致稿酬。

会议秘书暨联系人：陕西师范大学应用声学研究所 王成会

通讯地址：陕西师范大学长安校区致知楼 应用声学研究所 710119

联系电话：13571895568；E-mail: wangld001@snnu.edu.cn

除邮件通知外，我们还将在中国声学学会网站(<http://www.aschina.org>)更新关于会议的最新消息，请您登陆查看。

中国声学学会功率超声分会