

大型公共建筑吊顶声学装饰材料的研究与运用

Research and Application about Acoustic-decorating Material for Ceilings of Large Public Building

撰文 闻小明 郭楠 李继禄 杨于生 南京常荣噪声控制环保工程有限公司

摘 要 通过对大型公共建筑吊顶装饰材料的研究, 开发出既能满足大型公共建筑吊顶装饰要求又能降低室内混响的装饰材料。经过实验检测与运用, 该材料的声学性能和装饰美观程度均能满足要求, 具有清洁净化、环保、可再生利用、无污染等特点, 该材料现已在一些大型公共建筑中得到了很好的运用。

关键词 公共建筑 装饰材料 室内混响

0 引言

随着城市建设的发展和人们对生活品质要求的不断提高, 对大型公共建筑的装饰设计和室内声环境的要求越来越高, 需要材料在具备装饰功能的同时更要兼顾声学的功能需求^[1]。而目前普遍使用的铝条形天花、铝方通、铝挂片等均不同时具备这样的功能性要求, 且存在不同的缺陷。因此, 亟待开发适用于大型公共建筑的声学装饰吊顶材料。

1 吊顶材料现状分析

目前, 大型公共建筑如火车站候车室与站台、地铁站、机场候车厅、会展中心、图书馆、体育场馆等普遍使用条形天花、铝方通(垂片)、铝挂片等材料作为吊顶材料, 这些材料有如下缺陷:

(1) 有的大型公共建筑的墙壁、地面在装饰时选择硬质的装饰材料, 如花岗岩、大理石石材、磁质地砖和墙砖等, 在室内顶部的装饰上多选择铝方通(垂片)、铝挂片, 这些室内的装饰材料对大型公共建筑的装饰效果起到了至关重要的作用, 但也存在着没有吸声功能, 无法同时满足室内降低噪声和混响的需求, 需要在使用这些材料的基础上增加一些吸声材料来解决室内声学的问题。但增加吸声材料后, 会带来整体工程造价增加, 或者降低装饰的美观度。

(2) 有的大型公共建筑在吊顶材料上选用条形天花板, 条形天花上有 $\Phi 1.5 \sim \Phi 3$ 的小孔, 在板背后贴一些无纺布, 这些装饰材料有一定的吸声作用, 但性能均比较差。

(3) 有的为了增加吸声性能则在条形天花板背后铺设离心玻璃棉, 但该材料容易老化成粉末状, 污染环境, 对人的皮肤和呼吸道都有严重的危害。

2 新型吊顶材料的开发研制

2.1 吊顶声学装饰材料的开发思路

传统的吊顶装饰材料如条形天花、铝合金方通(垂片)、铝合金挂片, 无论材料的装饰性能还是安装工艺等均比较成熟, 如果在该基础上增加吸声性能, 就可成为一种比较完美的声学装饰材料。在传统的条形天花、铝合金方通(垂片)上加工超微孔, 利用微穿孔板共振吸声原理, 可以很好地保持原有材料的装饰效果, 同时增加了吸声性能。

经过多年来的努力攻关, 采用先进的高精度小孔加工工艺, 在铝合金基材上加工超微孔(直径从 $\Phi 0.05 \text{mm} \sim \Phi 0.3 \text{mm}$ 大小不等), 在吸声材料选取和微穿孔加工技术上均取得了重大突破。由各种超微孔基材采用不同方式的组合成为系列化的产品, 其材料最大的优点就是使用性能稳定, 不会产生二次污染, 能重复利用, 成为集装饰、吸声、环保为一体的新型吸声环保材料。

2.2 超微孔的声学原理

超微孔吸声结构是根据马大猷院士著名的“微穿孔板共振吸声理论”^[2]研制而成的, 并得到了他的指导。

当声波入射到微穿孔板表面时, 微孔颈中的气体在声波的压力下往返做活塞运动, 运动气体有一定的质量, 它在抗拒由于声波引起的气体运动速度变化时, 产生了一部分能量损耗; 同时声波进入微孔时, 由于孔颈壁的摩擦和阻尼, 又使一部分声能转化为热能而消耗掉, 或者转化为振动能沿微穿孔板(结构)传递转移, 声能转化为热能^[3]。

由于超微孔吸声结构声阻很大, 声质量很小, 故超微孔板(膜)吸声结构的吸声频带很宽。如超微孔吸声板(结构)的孔径达到 0.3mm 以下, 吸声性能在保留原微穿孔板共振吸声结构优越声学性能的基础上, 其吸声系数和吸声频带宽度又会有新的提高。

2.3 超微孔吊顶材料的声学特点

超微孔吸声垂片腔板表面的超微孔孔径很小, 孔数很多, 利用小孔声阻大、声质量小的优点, 使吸声垂片的吸声频带变宽。当室内噪声射入该超微孔腔板时, 除该超微孔腔板迎声面板上的超微孔具有很好的共振吸声作用外, 其内壁上设置的带超微孔的吸声尖劈或吸声斜片将改变透过迎声面板的噪声反射角度, 使噪声在超微孔腔板内部形成多次反射, 一部分由迎声面板上的超微孔反复吸收, 另一部分由其吸声尖劈的超微孔共振结构反复吸收, 最终使噪声声能密度大大衰减, 从而提高了腔体装置的吸声系数; 内壁超微孔吸声尖劈或吸声斜片与面板成角度设置, 则内壁超微孔吸声尖劈或吸声斜片与超微孔吸声体面板的距离不一致。根据微孔共振吸声理论, 穿孔板的共振频率与板后空气层深度的平方根成反比。所以超微孔面板与内壁超微孔吸声尖劈或吸声斜片之间不一致的空气层厚度可以形成多个共振频率, 从而又加宽了吸声频带的宽度。

不同腔体深度复合微穿孔板结构的声学特性相对复杂, 该吸声器由不同腔体深度的微穿孔板结构平行排列组成, 如图1所示。

复合微穿孔板结构的相关参数为: $d=0.5 \text{mm}$, $t=0.5 \text{mm}$, $\sigma=1\%$, $D_1=50 \text{mm}$, $D_2=100 \text{mm}$, $D_3=25 \text{mm}$ 。波导管内声强分布及复合微穿孔板结构的吸声系数如图2、3所示。

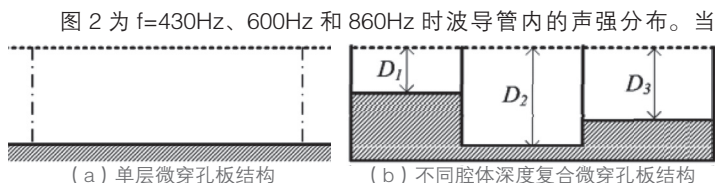


图1

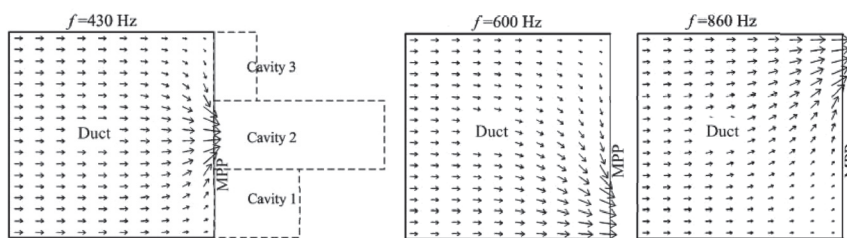


图2 波导管内声强分布

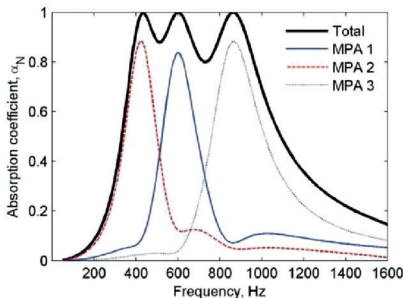


图3 复合微穿孔板结构的吸声系数



图4 在中科院声学所测量现场照片

100Hz-5000Hz 之间各频段的吸声系数表

频率 (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630
吸声系数 α	0.14	0.19	0.31	0.30	0.53	1.15	1.41	1.22	1.07
频率 (Hz)	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
吸声系数 α	0.84	0.77	0.79	0.68	0.75	0.71	0.67	0.59	0.53

NRC = 0.82

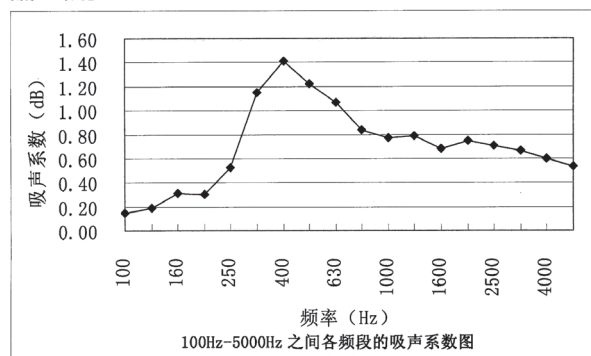


图5 中科院声学所声学检测报告



图6 辽宁科技馆吸声垂片

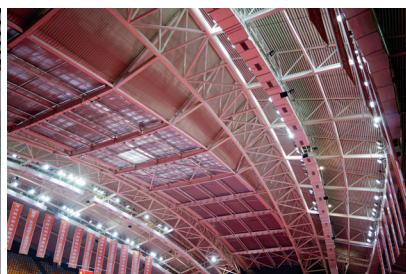


图7 马鞍山体育中心顶部吸声垂片



图8 马鞍山会展中心吸声垂片

$f=430\text{Hz}$ 时, 声能主要流入腔体 2, 腔体 2 发生共振将声能消耗; 当 $f=600\text{Hz}$ 和 860Hz 时, 腔体 1 和腔体 3 发生共振。复合微穿孔板及其子微穿孔板的吸声系数随频率变化的曲线如图 3 所示。

研究表明: 当声源频率接近复合微穿孔板结构的某一共振频率时, 复合微穿孔板结构会发生局部共振, 将声能量消耗; 与单层微穿孔板结构相比, 不同腔体深度复合微穿孔板结构若要达到良好的吸声特性, 需要低声阻, 其共振频率的偏移取决于内部共振器的相互作用; 复合微穿孔板结构的吸声性能会随着腔体的宽度和排列顺序的变化而变化。图 4 为在中科院声学所测量现场的照片。在中科院声学所混响室进行的声学检测结果显示, 在 400Hz 频率时吸声系数达到 1.41, 在 500Hz 时达到 1.22, 其降噪吸声系数 NRC 达到 0.81 (图 5)。

3 吊顶声学装饰材料的运用

金属超微孔吸声垂片在辽宁科技馆、马鞍山体育中心体育馆、马鞍山会展中心项目中都得到了很好的运用, 无论从装饰性还是声学功能要求等方面均得到了很好的体现。具体案例介绍如下。

3.1 案例一: 辽宁科技馆

辽宁科技馆是第 12 届全国运动会主接待场馆, 其建筑共分为三层。一层大厅位于科技馆西侧, 与二、三层上下贯通, 大厅长 68m , 宽 50m , 高 31.9m , 外围两侧为玻璃幕墙, 其他为装饰板, 地面为花岗岩, 大厅容积约为 $108\,460\text{m}^3$ 。其他一、二、三层的公共区域层高 6.5m , 公共区域面积约 $25\,000\text{m}^2$, 地面及墙壁为花岗岩、铝合金装饰板等硬质材料, 室内装饰材料吸声性能很小。

经专家评估预测, 在室内没有增加吸声材料的情况下混响时间均为 5.6s , 语音清晰度比较差。本着科技、环保、节约等理念, 在选择吊顶装饰材料时选用了超微孔吸声垂片, 其规格为 $50\text{mm} \times 100(\text{H})\text{mm}$, 安装净间距 100mm , 替代了传统的铝合金方通 + 离心玻璃棉板的组合。项目竣工后, 室内混响时间经过测试为 2.4s , 室内语音清晰度良好 (图 6)。

3.2 案例二: 马鞍山体育中心体育馆

马鞍山体育中心体育馆是集比赛、文艺演出为一体的大型公共建筑, 为了保证较好的室内声场效果, 在网架上部设置了超微孔吸声垂片, 规格为 $100\text{mm} \times 50(\text{H})\text{mm}$, 安装净间距 125mm 。项目竣工后, 室内混响时间符合国家设计规范要求, 室内语音交流的清晰度良好, 成功举办了乒乓球中超联赛 (图 7)。

3.3 案例三: 马鞍山体育会展中心

马鞍山体育会展中心有 3 个大型的展厅, 单个面积 $3\,850\text{m}^2$, 高度为 12.5m , 单个容积 $48\,125\text{m}^3$, 内部为硬质墙面和地面; 连廊面积约 $7\,000\text{m}^2$, 高 29m , 容积 $203\,000\text{m}^3$, 外侧为玻璃幕墙, 其他均为花岗岩和大理石硬质材料。室内表面材料的吸声性能很小, 经过专家评估预测, 在室内没有增加吸声材料的情况下混响时间均为 4.5s , 语音清晰度很低, 故在选择吊顶装饰材料时选用了超微孔吸声垂片, 其规格为 $150\text{mm} \times 50(\text{H})\text{mm}$ 。项目竣工后, 室内混响时间经过测试为 2.8s , 室内语音交流清晰度良好, 并成功承担了由国家商务部承办的大型展览 (图 8)。

4 总结与讨论

金属超微孔吸声垂片在不需要添加多孔纤维材料的前提下具有超强的吸声能力, 同时还具有装饰性好、吸声性能强、阻燃防火、防潮、防腐、防紫外线、清洁净化、环保可再生、无污染等方面的特点。通过在多个项目中的成功运用, 得到了社会各方的认可, 为公共建筑的声学装修提供了一个新的选择。

参考文献

- [1] 张守梅, 曾令可, 黄其秀. 环保吸声材料的发展动态及展望[J]. 陶瓷学报, 2002 (1): 56-61.
- [2] 马大猷. 微穿孔板结构的设计[J]. 声学学报, 1988, 13 (3): 174-180.
- [3] 马大猷. 微穿孔板吸声体的准确理论和设计[J]. 声学学报, 1997, 22 (5): 385-393.