

# 福建省游泳跳水馆的音质设计与防潮吸声材料的选用

章奎生<sup>1</sup>, 杨志刚<sup>1</sup>, 王一忠<sup>2</sup>

(1. 上海建筑设计科技发展中心章奎生声学设计研究所, 上海 200041;

2. 江苏无锡堰桥噪声控制设备厂, 无锡 214174)

**摘要:**福建省游泳跳水馆于 2000 年建成使用并取得满意的音质效果。文章主要介绍该馆的音质设计技术、空间吸声板的配置、防潮吸声材料的特点及音质测量结果等。

**关键词:**音质设计; 吸声材料; 板状吸声体

**中图分类号:** TU112      **文献标识码:** A

## Acoustical design of Fujian swimming & diving pool gymnasium and choice of moisture-proof absorbing materials

ZHANG Kui-sheng<sup>1</sup>, YANG Zhi-gang<sup>1</sup>, WANG Yi-zhong<sup>2</sup>

(1. Science and Technology Development Center of Shanghai Architectural Design, Shanghai 200041, China;

2. Noise Control Equipment Factory in Wuxi of Jiangsu Province, Wuxi 214174, China)

**Abstract:** Fujian swimming & diving pool gymnasium has been acquiring applause for the satisfying acoustic effect since it was established and came into use in 2000. In this paper it is mainly introduced about the characteristics of acoustic design, the configuration of the functional absorbing panels, the properties of moisture-proof absorbing materials and the results of acoustical measurement of this gymnasium.

**Key words:** acoustic design; absorbing material; absorbing panel

### 1 概述

福建省游泳跳水馆是 2000 年新建成的一座重要的体育场馆, 位于福州市内五四北路上, 主要用于游泳和跳水的训练及国内外的重大比赛。该馆平面呈椭圆形, 建筑外形尺寸为长 93m、宽 82m; 内馆尺寸为长 83m、宽 67m, 厚为 50mm 的复合压型钢板屋面, 曲面网架下弦高度为 9m~23m。东侧游泳池尺寸为 50m×25m, 而西侧跳水池尺寸为 25m×20m。馆内设硬塑固定座位约 1100 座, 活动座席约 350 座。该馆由福建省建筑设计研究院承担土建设计, 由上海现代建筑设计集团科技中心声学所负责建声设计, 并由江苏无锡堰桥噪声控制设备厂承担声学装修施工。于 2000 年 4 月通过检测、验收, 达到了设计预期要求, 取得了满意的使用效果。图 1、图 2 为该游泳跳水馆的平面及内景图。

### 2 游泳馆的音质设计指标

收稿日期: 2001-04-11; 修回日期: 2001-08-17

作者简介: 章奎生(1937-), 男, 浙江上虞市人, 教授级高工, 从事建筑声学专业设计与科研工作。

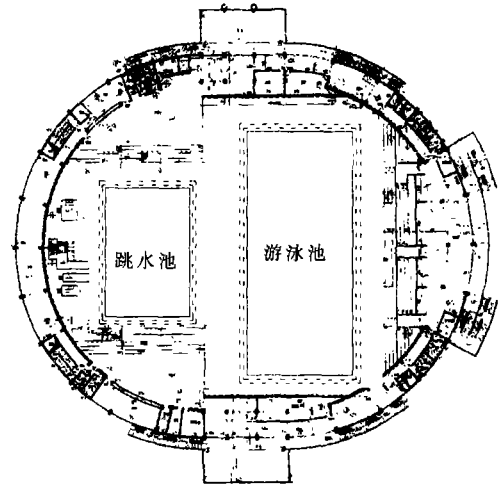


图 1 福建省游泳跳水馆平面图

根据 JGJ/T131-2000“体育馆声学设计及测量规范”的规定及本游泳跳水馆的实际情况, 建声设计确定以下的主要技术指标:

(1) 满场最佳混响时间

$$\text{中频 } f = 500\text{Hz} \sim 1\text{kHz} \quad T_{60} \leq 2.5\text{s}$$

(2) 混响时间频率特性(见表 1)

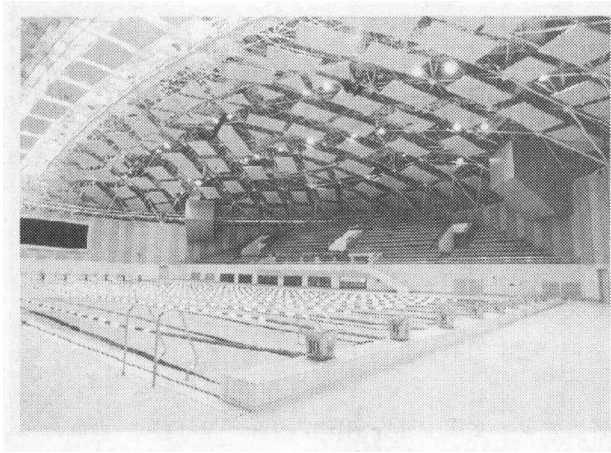


图2 福建省游泳跳水馆内景图

表1 馆内混响时间频率特性

中心频率/Hz	125	250	500	1k	2k	4k
混响时间 $T_f/s$	3.2	2.8	2.5	2.5	2.3	2.0
混响比 $T_f/T_{500}$	1.28	1.12	1.0	1.0	0.92	0.8

### (3) 馆内声场不均匀度

要求馆内声场不均匀度为  $\Delta L_p \leq \pm 5\text{dB}$ , 这是对建声和扩声系统的共同要求。

### (4) 馆内本底噪声

游泳跳水馆的相对本底噪声要求并不高, 故设计指标定为:

$NR \leq 40$  噪声评价数曲线 或  $L_A \leq 45\text{dBA}$ 。

(5) 对馆内扩声系统还应有最大扩声声压级, 传输频率特性及传声增益等技术要求。

## 3 馆内混响时间控制设计

计算表明, 本游泳跳水馆内的总体积约为

表2 馆内建筑所需总吸声量的计算结果

项目	125	250	500	1K	2K	4K
设计 $T_{60}/s$	3.2	2.8	2.5	2.5	2.3	2.0
馆内总吸声量 $S_a$	2771	3111	3393	3280	3393	3280
看台吸声量/ $m^2$	260	320	394	409	491	446
馆内建筑所需吸声量/ $m^2$	2511	2791	2999	2871	2902	2834

表3 馆内天花和墙面吸声材料配置状况

吸声部位	面积	吸声材料	护面材料
天花	A型	100厚32K离心棉板包PVF耐候袋	穿孔铝合金板, $\phi 6, 15\%$
	B型	8厚土工布	穿孔铝合金板, $\phi 4, 25\%$
墙面	C型	100厚空腔, 50厚32K离心棉板, PVF袋	穿孔铝合金板, $\phi 4, 25\%$
	D型	50厚空腔, 8厚土工布	穿孔铝合金板, $\phi 6, 4-5\%$

63300 $m^3$ (其中包含30%网架空间内的体积), 则其单人容积高达40 $m^3$ /人, 这是由于馆内空间高、观众席数量较少所致, 而馆内的总表面积约为11300 $m^2$ , 其中水池面为1750 $m^2$ , 墙面约1670 $m^2$ , 网架下弦面积高达5000 $m^2$ , 而观众席区面积仅为750 $m^2$ , 为了有效地控制馆内混响时间, 必须在游泳馆的网架天花及墙面上设计配置大量空间吸声体及吸声墙面。表2即为馆内建筑所需总吸声量的计算结果。

在游泳跳水馆的吸声设计中, 我们结合本馆的建筑与网架空间结构的实际条件, 采取暴露网架结构, 并在网架下弦悬挂矩形板状空间吸声体。在每个水平网格下弦位置均设置两块矩形(约8 $m^2$ /块)吸声板, 并使相邻网格的吸声板成双向交错布置, 以形成天花装饰图案形状。在网架垂直面部位吸声板则采取垂直悬挂方式, 网架天花空间吸声板的总面积约占天花总面积的45%。在3.2m高的瓷砖墙裙以上约5m高的墙面全部做吸声处理。网架天花吸声及墙面吸声均采用两种不同的吸声材料及结构交叉布置(详见表3), 以满足混响频率特性控制的需要。

## 4 游泳馆建声设计中防潮吸声材料的选用

由于游泳跳水馆不仅空间体积大, 单人容积值高, 给馆内混响时间控制带来一定困难。特别是游泳馆内水池面积大, 空气湿度很高, 对馆内吸声材料的设计和选择更具较高的防潮耐湿要求, 因此, 在以往游泳跳水馆的建声设计中大多采用微穿孔铝合金板后留空腔作为吸声结构(其孔径一般为0.8mm~1.0mm, 孔率在0.5%~3%之间, 空腔深度为75mm~200mm左右), 而不用离心玻璃棉等纤维类吸声材料, 以适应防潮要求, 如上海游泳馆共采用约8000 $m^2$ 微穿孔板空间吸声体。虽然金属微穿孔板吸声结构具有防潮吸声效果, 但其吸声频带相对较窄, 吸声效率相对偏低。如采用双层微穿孔吸声结构以加宽吸声频带, 则又会使造价偏高, 因此在使用上也受到一定限制。

两年前, 美国杜邦公司开发研制成一种吸声用的PVF耐候薄膜, 既可保持原有纤维类吸声材料的优良吸声性能, 又能使其在潮湿环境中正常使用, 这种PVF耐候保护膜具有耐湿、抗水、耐腐蚀、抗老化及价廉(约25元/ $m^2$ )等特点, 解决了离心玻璃棉板不能在潮湿环境中使用的问题。图3即为离心玻璃棉板外包PVF耐候袋前后实测吸声性能的变化, 可见其对高频吸声略有影响, 但对低频吸声却略有改

善。在福建游泳跳水馆的吸声结构设计中除了部分采用自身具有防潮性能、价格便宜、但吸声效果稍差的土工布吸声材料之外,就选择应用了穿孔铝合金板内填离心玻璃棉板包 PVF 耐候袋的吸声结构,并且取得了满意的效果。

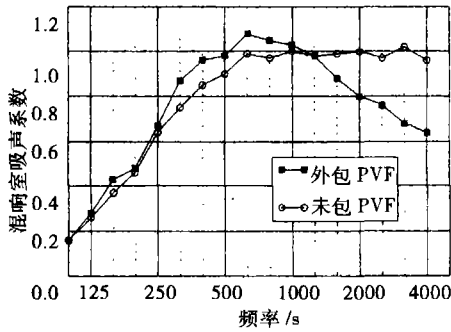


图 3 50mm 厚离心玻璃棉板外包 PVF 袋的吸声特性

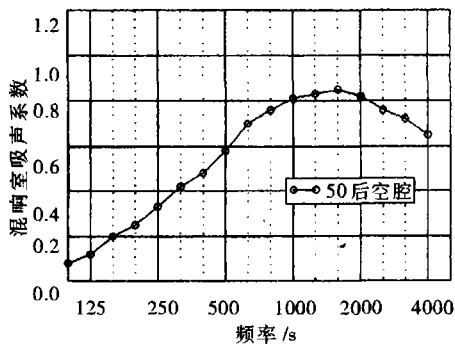


图 4 NDC 铝质金属吸声板的吸声特性

近年来,国内外又相继开发了多种能应用于潮湿环境的新型吸声材料,并已开始有部分吸声工程中设计应用。这里介绍几种可供今后游泳馆类工程建声设计中选用。

首先是日本开发生产的卡露姆(NDC)吸声板,它是一种由微小铝颗粒压铸烧结成型的吸声板,具有防火、防潮、透气、耐腐、轻薄等特点,厚度仅 $\leq 3\text{mm}$ ,背后留空腔(或在腔内加填纤维类吸声材料)即构成性能较好的吸声结构(见图 4)。在上海浦东游泳馆已应用  $1000\text{m}^2$  做墙面吸声结构,取得了良好效果。但由于价格昂贵(约  $1000\text{元}/\text{m}^2$ ),给推广应用带来困难。

其二是去年上海又生产一种铝纤维吸声板,是用进口细长铝纤维同铝箔及薄铝网复合压制而成,厚度仅  $1.5\text{mm}$  左右,十分轻薄,具有同铝颗粒吸声板类似的特点,吸声性能也不错(见图 5),价格约  $300\text{元}/\text{m}^2$  左右,也适合在游泳馆等潮湿环境中使用,但其表面效果还有待进一步改善。

声学技术

其三是去年上海又先后开发研制成泡沫铝吸声板、网型吸声板及舒布洛克共振吸声砖等耐湿吸声材料,前两种均属无纤维发泡类吸声材料,使用厚度在  $25\text{mm} \sim 50\text{mm}$  左右,具有防火、耐水抗腐等特

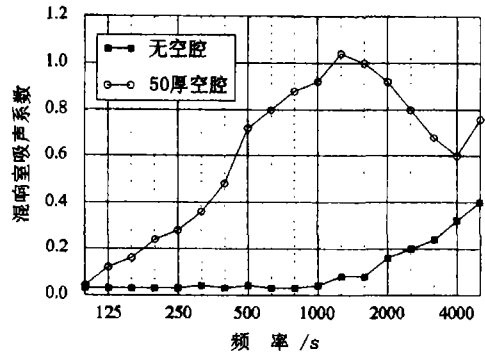


图 5 铝纤维吸声板的吸声特性

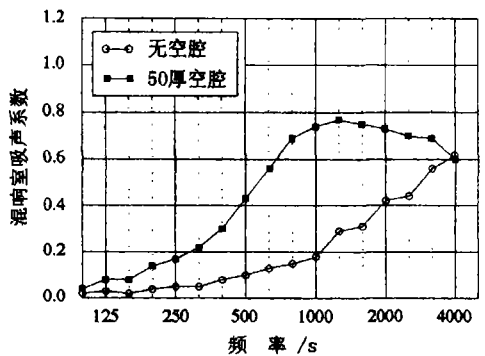


图 6 泡沫铝吸声板吸声特性

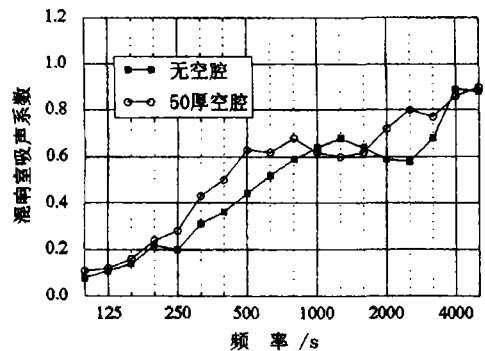


图 7 网型吸声板的吸声特性

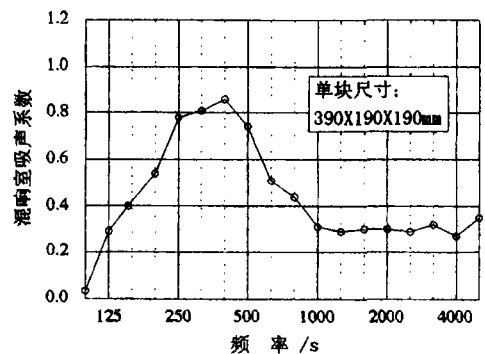


图 8 舒布洛克吸声砌块的吸声特性

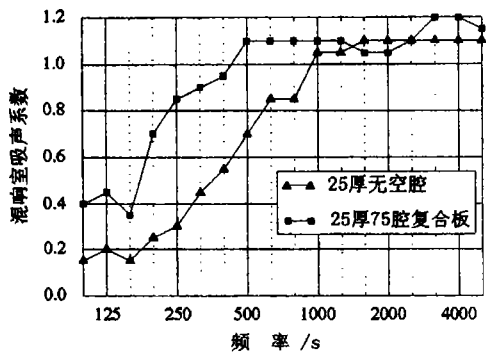


图9 青岛福益防潮阻燃吸声板的吸声特性

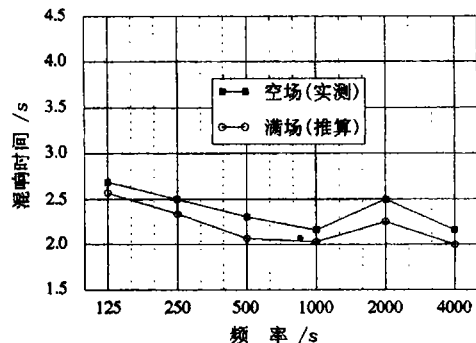


图10 福建省游泳跳水馆混响特性曲线

点,但也存在吸声频带欠宽、表面装饰效果欠佳及价格略高的情况,比较适合于在室外环境中(如道路声屏障)使用;而后者为狭缝共振吸声砖,系由砼浇筑而成,既吸声抗潮,又能自承重做墙体,经济性较好,曾在游泳馆等建声设计中得到应用。但因其品种单一,吸声频带较窄,尚未被广为应用(见图6~图8)。

其四是最近青岛又新开发一种阻燃、耐潮、抗水型装饰吸声板,它是用高密度离心玻璃棉板经切割和边缘固化处理后外包新研制的阻燃防水型装饰织物而成,其厚度为25mm~50mm,既具有宽带高效吸声特性(见图9),又可在湿度很高而又有装饰要求的室内环境中使用,安装甚为方便,价格也较合理,是游泳跳水馆类工程建声设计可供选择的又一种吸声材料。

总之,随着各类工程中建声设计的需要和声学技术的不断发展,不同特点和性能的新型吸声材料将会不断研制开发和应用,对于象游泳馆类工程建声设计中吸声材料及结构的选择必须综合吸声特性、阻燃防水性能、表面装饰效果及价格性能比等主要因素权衡考虑,才能作出合理的选择和最优的设计。

## 5 福建游泳跳水馆的实测音质效果

本馆于2000年上半年建成,并由业主委托北京

国家建筑工程质量监督检验中心对建声及电声各项技术指标进行了现场检测。

建声测试结果表明在空场条件下,游泳跳水馆内的平均500Hz混响时间为2.3s。推算可知在满场条件下的500Hz混响时间约为2.1s,这是比预期设计值更为满意的混响指标。从表4及图10可见,实测混响时间频率特性也达到了低频有所提升、中高频基本平直的良好效果。

表4 实测空场及推算满场混响时间频率特性

混响时间/s	125	250	500	1K	2K	4K
实测空场 $T_{60}$	2.7	2.5	2.3	2.2	2.5	2.2
推算满场 $T_{60}$	2.6	2.35	2.1	2.05	2.25	2.0

表中满场低中频混响时间较设计预定值相差较多的原因估计:一是考虑因游泳馆低频吸声难度较大,混响要求适当放宽;二是计算中忽略了金属复合板大面积屋面对低中频的吸收所致。通过测试,馆内平均本底噪声(空调未开)达到 $\leq$ NR-40号曲线,相当于A声级为 $\leq$ 45dBA(实际噪声小于此值,因为测量时受现场施工噪声影响)。电声测试结果表明,该游泳跳水馆扩声系统也均达到设计预期的要求。

如传声增益:125Hz~4kHz的平均值为-9dB(共22个测点)。

频响特性:125Hz~4kHz频带范围内,游泳区声压级变化值不超过+4dB及-3dB;而跳水区则不超过 $\pm$ 3dB(共22个测点)。

声场不均匀度:游泳区:在1kHz时,声场不均匀度 $\leq$ 7dB,在4kHz时,声场不均匀度 $\leq$ 4dB(共21个测点)。

跳水区:在1kHz时,声场不均匀度 $\leq$ 8dB,在4kHz时,声场不均匀度 $\leq$ 4dB(共15个测点)。

## 6 结束语

随着我国体育事业的蓬勃发展和国际国内赛事的不断增多,游泳馆的兴建也是体育场馆建设中的重要方面。本文通过对福建省游泳跳水馆建声设计的总结,希望能引起在游泳馆类体育建筑设计中对音质问题有更多的重视,要根据游泳馆的主要使用功能及建筑条件,合理确定建声技术要求;要正确选择合适的防潮型吸声材料与吸声结构;要注意不同馆内屋面结构形式及用料将会起到的吸声作用,要尽可能正确地确定馆内吸声墙面,特别是网架空间吸声体的吸声性能,以确保建成后的实测声学性能符合设计预期要求,并取得满意而优良的音质效果。