

某体育中心的建筑声学设计



张小改^{1,2}, 金翩^{1,2}, 徐登峰^{3*}, 胡翁旦^{1,2}, 陈俭^{1,2}, 肖艰^{1,2}

1. 浙江省计量科学研究所, 杭州 310018
2. 国家市场监管重点实验室(声学振动精密测量技术), 杭州 310018
3. 浙江省建工集团有限责任公司, 杭州 310018

【摘要】 体育场馆的室内建筑与设计需要兼顾声学环境与空间美学环境, 多数场馆容积大、造型独特, 容易产生长时间的混响, 导致语言清晰度低、回声和声聚焦等问题, 因此有必要根据场馆的具体需求进行针对性地建筑声学设计。介绍了某体育中心室内体育馆和游泳馆的建筑声学环境设计过程, 首先明确了建声设计混响时间的目标范围, 然后通过吸声材料的使用和室内布局构造来降低混响时间, 以达到建声设计目标, 最后通过理论计算和现场实测验证了此次建筑声学设计的有效性。实测结果表明, 所建声环境均达到建声目标, 能满足体育中心的日常使用需求, 可为后续的其他大型体育中心工程开展与实施提供参考。

【关键词】 计量学; 体育馆; 游泳馆; 建筑声学设计; 混响时间; 吸声

【中图分类号】 TB95

【文献标识码】 A

【文章编号】 2096-9015(2023)12-0067-08

DOI: 10.12338/j.issn.2096-9015.2023.0271

【引用本文】 张小改, 金翩, 徐登峰, 等. 某体育中心的建筑声学设计 [J]. 计量科学与技术, 2023, 67(12): 67-74.

Architectural and Acoustic Design in a Sports Center

ZHANG Xiaogai^{1,2}, JIN Pian^{1,2}, XU Dengfeng³, HU Wengdan^{1,2}, CHEN Jian^{1,2}, XIAO Jian^{1,2}

1. Zhejiang Institute of Metrology, Hangzhou 310018, China

2. Key Laboratory of Acoustics and Vibration Precision Measuring Technology for State Market Regulation, Hangzhou 310018, China

3. Zhejiang Construction Engineering Group Co, Hangzhou 310018, China

Corresponding author: XU Dengfeng, Email: 1487973006@qq.com

【Abstract】 The indoor architecture and design of sports venues require careful consideration of both the acoustic environment and spatial aesthetics. Given that most venues have large volumes and unique shapes, they are prone to prolonged reverberation, leading to challenges like low speech intelligibility, echoes, and acoustic focusing. Consequently, specific architectural acoustic designs tailored to the venue's needs are essential. This paper outlines the architectural acoustic design process for an indoor gymnasium and swimming pool within a sports center. It begins by establishing a target range for the reverberation time, followed by utilizing sound-absorbing materials and strategic interior layout to reduce reverberation. The design's efficacy was affirmed through theoretical calculations and onsite measurements. Results indicate that the achieved acoustic environment fulfills the design objectives, adequately supporting the sports center's daily operational needs and serving as a valuable reference for future large-scale sports center projects.

【Key words】 metrology, gymnasium, swimming pool, architectural acoustic design, reverberation time, sound absorption

收稿日期: 2023-11-13; 修回日期: 2023-12-05

基金项目: 国家市场监督管理总局计划 (KJLJ202310、2022MK046); 浙江省市场监督管理局科技项目 (QN2023421、ZD2024007)。

作者简介: 张小改 (1982-), 浙江省计量科学研究所高级工程师, 研究方向: 声学测量, 邮箱: zhx70158@163.com; 通讯作者: 徐登峰 (1973-), 浙江省建工集团有限责任公司高级工程师, 研究方向: 声学设计与测量, 邮箱: 1487973006@qq.com。

0 引言

近年来,国家经济的快速发展和体育事业的兴旺,以及人民群众对体育活动更高的精神追求,我国各地新建了许多体育中心,体育中心的功能也在不断地增加,有着较为丰富的建筑声学设计实践经验^[1-7]。这些体育中心常采用网架、桁架等大跨度空间,馆内墙面常采用弧形造型及新型轻质屋面材料,会导致场馆内容积较大,若不经声学处理,则馆内的声环境问题将会较为突出^[8-9]。针对这些问题,研究人员与设计者们进行了大量的实践探索,在建筑声学设计方面积累了丰富的理论和实践经验。

体育中心建筑声学设计的核心问题在于当使用扩声系统时,需要采用一些手段和方法有效的控制混响时间、信噪比、直达声和混响声的声能比以及避免回声等问题,来确保场馆内有良好的语音清晰度。其中体育馆内的建筑声学设计一般含有音质设计和背景噪声控制两个部分。关于混响时间,张昌佳等^[10]认为体育中心场馆建筑声学设计的主要目的是语言清晰,而控制语言清晰的最有效手段就是控制混响时间。燕翔等^[11]认为影响语言清晰度的两个音质参数是混响时间和背景噪声,特别是对于新建的体育中心而言,在进行建筑声学设计时应该严格按照各种混响指标。潘立超等^[12]认为现在实行的体育馆建筑声学标准中混响时间可以在一定程度上放宽,体育馆的“最佳混响”是混响时间和扩声系统结合达到最佳清晰度概念。王超等^[13]通过模拟验证了混响时间在大空间声场的分布不均性,提出应采用计算机模拟等方式来研究大空间的声场。陈佳俊等^[14]通过对体育馆的混响时间和背景噪声等参数的声学设计实践,提出了体育馆建声设计的要点和经验。

综上所述,在大型体育中心的建筑声学设计实践中,对于规模不同和功能各异的场馆,其声学指标等参数要求不尽相同^[15-19],需要根据混响时间等声学参量的合理范围值作为建声设计的参考值,并且选用合理的吸声环保材料进行针对性的建筑声学设计,只有这样才能保证各类体育场馆在举行各项体育比赛、大型集会以及综合性文艺演出时均可获得良好的音质效果。

目前,体育中心尤其是有综合性质的体育中心每座容积巨大,顶棚或四周一般会设有采光窗,留给建筑声学设计的空间也十分有限,所以建筑声学设计大多滞后于整体性建筑的建筑声学设计。本文以

某体育中心体育馆和游泳馆为例,介绍了具体的声学设计过程,并利用可用参数构建了三维模型图,再进行声学模拟。

1 场馆相关参数及建声目标

体育中心总占地面积为 22 000 m²,体育馆内平面投影面积约 6 938 m²,总高度约 27.95 m,净容积约为 161 100 m³。场内座位约 7 395 座,平均容积约 21.8 m³/座,属于大型体育馆。借助可用的维度参数,使用软件构件的三维模型图如图 1 所示。其主要用途为体育比赛,同时能兼顾演出、会议等功能。馆内四周墙、大面积天花彩钢瓦结构若不采取任何声学处理,将存在严重的声学缺陷,严重影响各类型活动的举办,所以为获得良好的语言清晰度,避免声缺陷,需对体育馆内四周墙体做吸声处理,使馆内无明显驻波、声聚焦、多重回声等声缺陷。

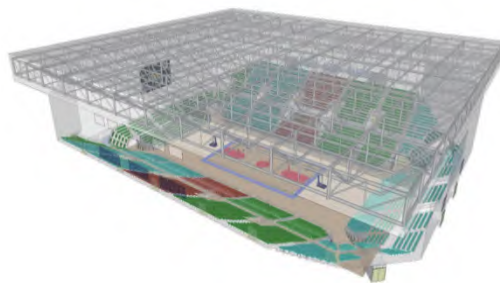


图 1 某体育中心体育馆效果图
Fig.1 Rendering of the sports center gymnasium

体育中心游泳馆内平面投影面积约 3 450 m²,总高度约 18.6 m,净容积约为 58 940 m³,场内座位约 1 507 座,平均容积约 39.1 m³/座。借助可用的维度参数,使用软件构件三维模型图如图 2 所示。游泳馆平面分布为矩形,屋面为彩钢瓦结构屋顶,主要用途为游泳比赛、训练等功能。为获得良好的语言清晰度,避免声缺陷,需对游泳馆二层的四周墙体做吸声处理。

此次建筑声学设计考虑到经济限制以及顶部承重问题,只对体育馆和游泳馆的四周墙壁做声学设计,应建方要求,体育馆和游泳馆 80% 满场中频(500 Hz、1000 Hz)的混响时间需分别达到 3.02 ± 0.45 s、 3.74 ± 0.56 s。

2 声学设计方案

2.1 体育馆

造成馆内混响过长的主要原因是在天花顶部和

墙体没有任何吸声处理措施, 声波在馆内多次反射形成的回声过长, 且馆内大面积平行平面亦容易使声波产生驻波。本文此次的设计研究重点在于四周墙面采用吸声材料来处理, 吸收馆内多次反射的回音来降低混响时间, 并使馆内无明显驻波、声聚焦、多重回声等声缺陷。

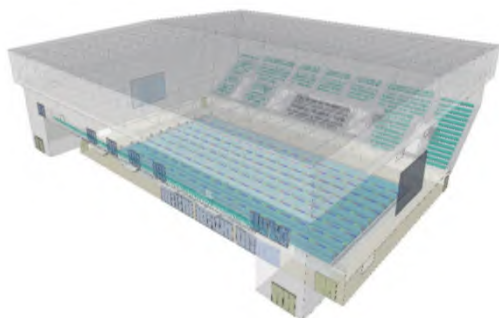


图 2 某体育中心游泳馆效果图
Fig.2 Rendering of the sports center swimming pool

在馆内四周墙体安装矩阵吸声板, 安装空腔大于 150 mm, 填密度为 48 kg/m³ 的棉 50 mm, 吸声板采用 18 种不同孔径(3 ~ 10 mm)渐变, 穿孔率 10%, 基材为 MGP 无机绝燃材质, 面密度 7 kg/m², 背吸附声毡, 饰面采用环保水性喷漆。矩阵吸声板是通过计算它的孔径来控制吸声板的吸声系数, 由于采用了渐变式的不同孔径设计, 使该产品具有低中高全频段良好的吸声效果, 能有效降低场馆内的混响时间。具体安装示意图如图 3 和图 4 所示。

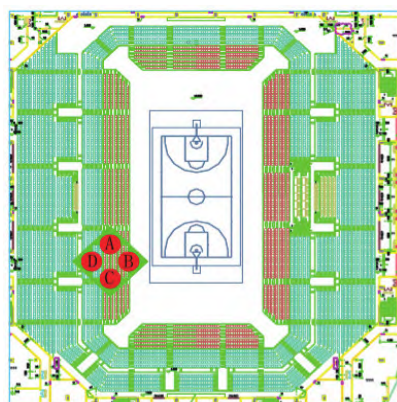


图 3 体育馆平面图
Fig.3 Plan view of gymnasium

2.2 游泳馆

游泳馆内湿度较高, 所选用的吸声材料不仅应具有较强的吸声性能, 而且必须具有良好的防潮性

能, 所以在游泳馆四周墙体内选择安装黑客吸声板, 其与塑料合成改性后的碳塑复合材料具有良好的抗水、抗酸、抗声、抗腐、抗燃特性, 碳塑吸声板安装空腔大于 150 mm, 填充密度为 48 kg/m³ 的棉 50 mm, 安装面积约为 1655 m²。具体安装示意图如图 5 和图 6 所示。

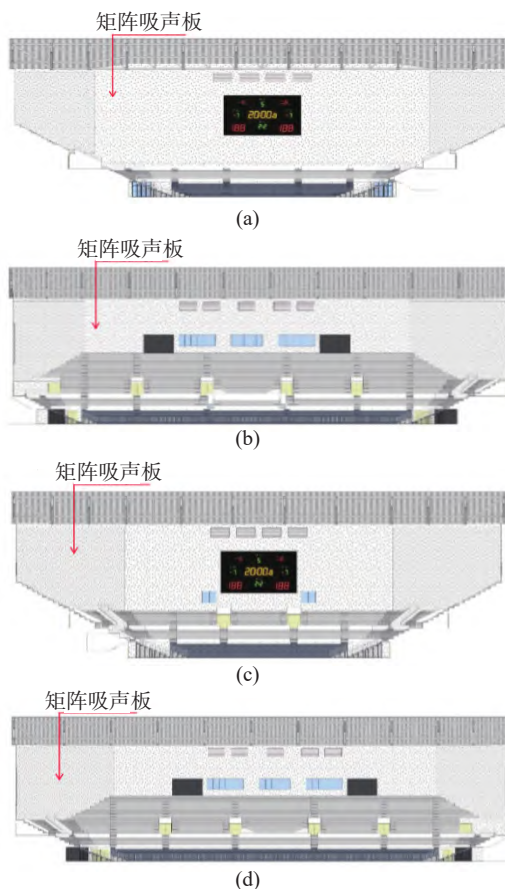


图 4 体育馆四立面图
Fig.4 Four elevations of the stadium

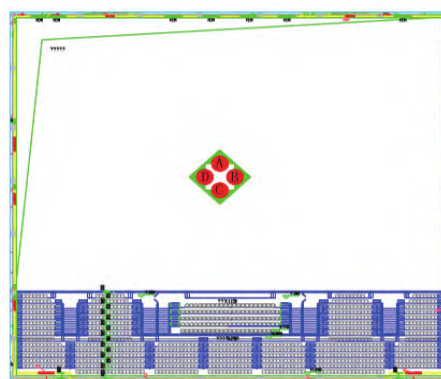


图 5 游泳馆平面图
Fig.5 Plan view of swimming pool

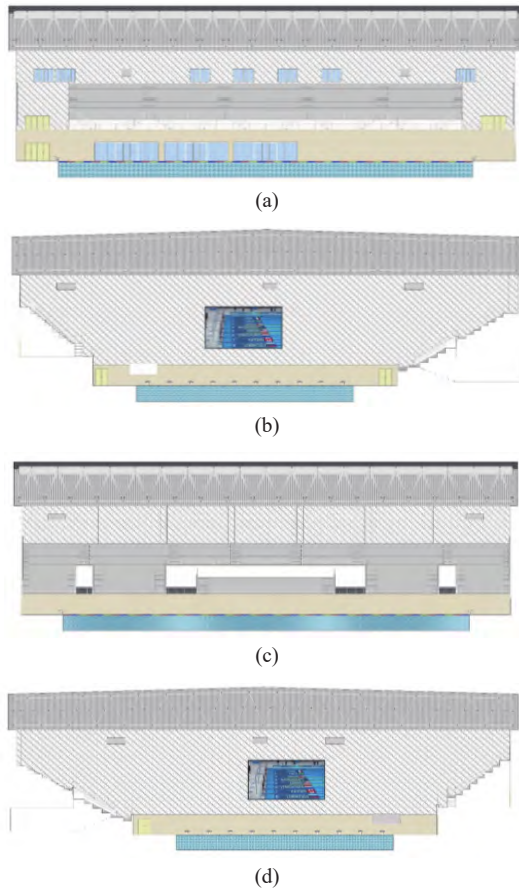


图 6 游泳馆四立面图

Fig.6 Four elevations of the swimming pool

3 声学环境计算

在工程中时常运用依琳公式计算室内混响时间,具体公式如式(1)所示。

$$T_{60} = \frac{0.161V}{-S \ln(1 - \alpha) + 4mV} \quad (1)$$

式中, V 为房间容积, m^3 ; S 为室内总表面积, m^2 ; α 为室内平均吸声系数; m 为空气中的吸声系数。

室内平均吸声系数公式如式(2)所示。

$$\alpha = \frac{(\sum S_i \alpha_i + \sum N_j \alpha_j)}{S} \quad (2)$$

式中, S_i 为室内各部分的表面积, m^2 ; α_i 为与表面 S_i 对应的吸声系数; N_j 为人或物体的数量, m^2 ; α_j 为与 N_j 对应的吸声系数。

吸声量公式如式(3)所示。

$$A = \sum S_i \alpha_i = S \alpha \quad (3)$$

通过上述公式计算得到体育馆和游泳馆的混响时间理论计算值如表 1、表 2、表 3、表 4、表 5、表 6 所示,设计前后对比如图 7 和图 8 所示,从表中可以看出,体育馆设计后 80% 满场的中频(500 Hz、1000 Hz)混响分别为 2.85 s 和 3.02 s,游泳馆设计后 80% 满场的中频(500 Hz、1000 Hz)混响分别为 3.50 s 和 3.74 s,均有效的降低了场馆内的混响时间,达到了建筑声学设计的目的。

表 1 设计前空场体育馆各频率混响时间

Tab.1 Reverberation time calculations for various frequencies in the empty gymnasium pre-design

项目名称	面积/ m^2	吸声系数和吸声单位/ m^2											
		125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz	
		α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$
彩钢顶棚	8964	0.23	2061.7	0.12	1075.6	0.08	717.12	0.09	806.76	0.11	986.04	0.11	986.04
电子屏幕	184	0.20	36.80	0.30	55.20	0.12	22.08	0.07	12.88	0.04	7.36	0.04	7.36
看台水泥地面	5297	0.01	52.97	0.01	52.97	0.01	52.97	0.02	105.94	0.02	105.94	0.02	105.94
架空木地板	3225	0.20	645.00	0.15	483.75	0.10	322.50	0.08	258.00	0.08	258.00	0.05	161.25
馆内轻质墙抹灰	6543	0.10	654.30	0.05	327.15	0.06	392.58	0.07	458.01	0.09	588.87	0.08	523.44
门	118	0.15	17.70	0.10	11.80	0.06	7.08	0.08	9.44	0.10	11.80	0.05	5.90
门洞	113	0.10	11.30	0.15	16.95	0.20	22.60	0.22	24.86	0.25	28.25	0.30	33.90
玻璃窗	89	0.35	31.15	0.25	22.25	0.18	16.02	0.12	10.68	0.07	6.23	0.09	8.01
风口	89	0.80	71.20	0.80	71.20	0.80	71.20	0.80	71.20	0.80	71.20	0.80	71.20
矩阵吸声板	0	0.73	0.00	0.77	0.00	0.96	0.00	0.74	0.00	0.54	0.00	0.37	0.00
空座椅	7395	0.02	147.90	0.02	147.90	0.02	147.90	0.04	296.80	0.04	296.80	0.03	221.85
总座位的80%人坐在座椅上	0	0.20	0.00	0.35	0.00	0.37	0.00	0.40	0.00	0.45	0.00	0.45	0.00
空气中声衰减量4mv							386.64		676.62		1433.79		4220.82
$\sum S\alpha$			3730.040		2264.850		1772.050		2053.570		2359.490		2124.890
室内平场吸声系数 α			0.117		0.071		0.055		0.064		0.074		0.066
$-\ln(1 - \alpha)$			0.124		0.073		0.057		0.066		0.077		0.069
设计前空场混响时间 T_{60}			6.54		11.04		11.74		9.27		6.68		4.04

表 2 设计后空场体育馆各频率混响时间

Tab.2 Reverberation time calculations for various frequencies in the empty gymnasium post-design

项目名称	面积/m ²	吸声系数和吸声单位/m ²											
		125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz	
		α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$
彩钢顶棚	8964	0.23	2061.7	0.12	1075.7	0.08	717.12	0.09	806.76	0.11	986.04	0.11	986.04
电子屏幕	184	0.20	36.80	0.30	55.20	0.12	22.08	0.07	12.88	0.04	7.36	0.04	7.36
看台水泥地面	5297	0.01	52.97	0.01	52.97	0.01	52.97	0.02	105.94	0.02	105.94	0.02	105.94
架空木地板	3225	0.20	645.00	0.15	483.75	0.10	322.50	0.08	258.00	0.08	258.00	0.05	161.25
馆内轻质墙抹灰	2337	0.10	233.70	0.06	116.85	0.06	140.22	0.07	163.59	0.09	210.33	0.08	186.96
门	118	0.15	17.70	0.10	11.80	0.06	7.08	0.08	9.44	0.10	11.80	0.05	5.90
门洞	113	0.10	11.30	0.15	16.95	0.20	22.60	0.22	24.86	0.25	28.25	0.30	33.90
玻璃窗	89	0.35	31.15	0.25	22.26	0.18	16.02	0.12	10.68	0.07	6.23	0.09	8.01
风口	89	0.80	71.20	0.80	71.20	0.80	71.20	0.80	71.20	0.80	71.20	0.80	71.20
矩阵吸声板	4206	0.73	3070.4	0.77	3238.6	0.96	4037.8	0.74	3112.4	0.54	2271.2	0.37	1556.2
空座椅	7395	0.02	147.90	0.02	147.90	0.02	147.90	0.04	295.80	0.04	295.80	0.03	221.85
总座位的80%人坐在座椅上	0	0.20	0.00	0.35	0.00	0.37	0.00	0.40	0.00	0.45	0.00	0.45	0.00
空气中声衰减量4mv							386.64		676.62		1433.79		4220.82
$\sum S\alpha$		6379.820		5293.170		5557.450		4871.590		4252.190		3344.630	
室内平场吸声系数 α		0.199		0.165		0.174		0.152		0.133		0.104	
$-\ln(1-\alpha)$		0.222		0.181		0.191		0.165		0.142		0.110	
设计后空场混响时间 T_{60}		3.65		4.48		4.00		4.35		4.33		3.35	

表 3 设计后 80% 满场体育馆各频率混响时间

Tab.3 Reverberation time calculations for various frequencies in the gymnasium at 80% capacity post-design

项目名称	面积/m ²	吸声系数和吸声单位/m ²											
		125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz	
		α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$
彩钢顶棚	8964	0.23	2061.7	0.12	1075.7	0.08	717.12	0.09	806.76	0.11	986.04	0.11	986.04
电子屏幕	184	0.20	36.80	0.30	55.20	0.12	22.08	0.07	12.88	0.04	7.36	0.04	7.36
看台水泥地面	5297	0.01	52.97	0.01	52.97	0.01	52.97	0.02	105.94	0.02	105.94	0.02	105.94
架空木地板	3225	0.20	645.00	0.15	483.75	0.10	322.50	0.08	258.00	0.08	258.00	0.05	161.25
馆内轻质墙抹灰	2337	0.10	233.70	0.05	116.85	0.06	140.22	0.07	163.59	0.09	210.33	0.08	186.96
门	118	0.15	17.70	0.10	11.80	0.06	7.08	0.08	9.44	0.10	11.80	0.05	5.90
门洞	113	0.10	11.30	0.15	16.95	0.20	22.60	0.22	24.86	0.25	28.25	0.30	33.90
玻璃窗	89	0.35	31.15	0.25	22.26	0.18	16.02	0.12	10.68	0.07	6.23	0.09	8.01
风口	89	0.80	71.20	0.80	71.20	0.80	71.20	0.80	71.20	0.80	71.20	0.80	71.20
矩阵吸声板	4206	0.73	3070.4	0.77	3238.6	0.96	4037.8	0.74	3112.4	0.54	2271.2	0.37	1556.2
空座椅	1479	0.02	29.58	0.02	29.58	0.02	29.58	0.04	59.16	0.04	59.16	0.03	44.37
总座位的80%人坐在座椅上	5916	0.20	1183.2	0.35	2070.6	0.37	2188.9	0.40	2366.4	0.45	2662.2	0.45	2662.2
空气中声衰减量4mv							386.64		676.62		1433.79		4220.82
$\sum S\alpha$		7444.700		7245.450		7628.050		7001.350		6677.750		5829.350	
室内平场吸声系数 α		0.233		0.226		0.238		0.219		0.209		0.182	
$-\ln(1-\alpha)$		0.265		0.257		0.272		0.247		0.234		0.201	
设计后80%满场混响时间 T_{60}		3.06		3.16		2.85		3.02		2.91		2.43	

表 4 设计前空场游泳馆各频率混响时间

Tab.4 Reverberation time calculations for various frequencies in the empty swimming pool pre-design

项目名称	面积/m ²	吸声系数和吸声单位/m ²											
		125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz	
		α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$
彩钢顶棚	4835	0.23	1112.1	0.12	580.20	0.08	386.80	0.09	435.15	0.11	531.85	0.11	531.85
电子屏幕	93	0.20	18.60	0.30	27.90	0.12	11.16	0.07	6.51	0.04	3.72	0.04	3.72
看台水泥地面	2002	0.01	20.02	0.01	20.02	0.01	20.02	0.02	40.04	0.02	40.04	0.02	40.04
架空木地板	1360	0.02	27.29	0.03	40.80	0.03	40.80	0.03	40.80	0.03	40.80	0.02	27.20
馆内轻质墙抹灰	2606	0.10	260.50	0.05	130.25	0.06	156.30	0.07	182.35	0.09	234.45	0.08	208.40
门	29	0.15	4.35	0.10	2.90	0.06	1.74	0.08	2.32	0.10	2.90	0.05	1.45
门洞	34	0.10	3.40	0.15	5.10	0.20	6.80	0.22	7.48	0.25	8.50	0.30	10.20
玻璃窗	84	0.35	29.40	0.25	21.00	0.18	15.12	0.12	10.08	0.07	5.88	0.09	7.54
水面	1250	0.01	12.50	0.01	12.50	0.01	12.50	0.01	12.50	0.02	25.00	0.02	25.00
风口	21	0.80	16.80	0.80	16.80	0.80	16.80	0.80	16.80	0.80	16.80	0.80	16.80
矩阵吸声板	0	0.68	0.00	0.75	0.00	0.80	0.00	0.59	0.00	0.33	0.00	0.32	0.00
空座椅	1507	0.02	30.14	0.02	30.14	0.02	30.14	0.04	60.28	0.04	60.28	0.03	45.21
总座位的80%人坐在座椅上	0	0.20	0.00	0.35	0.00	0.37	0.00	0.00	0.00	0.45	0.00	0.45	0.00
空气中声衰减量4mv							141.456		247.548		524.57		1544.23
$\sum S\alpha$			1534.960		887.610		698.180		814.310		970.220		917.430
室内平场吸声系数 α			0.111		0.064		0.051		0.059		0.070		0.066
$-\ln(1-\alpha)$			0.118		0.066		0.052		0.061		0.073		0.069
设计前空场混响时间 T_{60}			5.83		10.34		11.06		8.73		6.20		3.80

表 5 设计后空场游泳馆各频率混响时间

Tab.5 Reverberation time calculations for various frequencies in the empty swimming pool post-design

项目名称	面积/m ²	吸声系数和吸声单位/m ²											
		125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz	
		α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$
彩钢顶棚	4835	0.23	1112.1	0.12	580.20	0.08	386.80	0.09	435.15	0.11	531.85	0.11	531.85
电子屏幕	93	0.20	18.60	0.30	27.90	0.12	11.16	0.07	6.51	0.04	3.72	0.04	3.72
看台水泥地面	2002	0.01	20.02	0.01	20.02	0.01	20.02	0.02	40.04	0.02	40.04	0.02	40.04
架空木地板	1360	0.02	27.20	0.03	40.80	0.03	40.80	0.00	40.80	0.03	40.80	0.02	27.20
馆内轻质墙抹灰	950	0.10	95.00	0.05	47.50	0.06	57.00	0.07	66.5	0.09	85.50	0.08	76.00
门	29	0.15	4.35	0.10	2.90	0.06	1.74	0.08	2.32	0.10	2.90	0.05	1.40
门洞	34	0.10	3.40	0.15	5.10	0.20	6.80	0.22	7.48	0.25	8.50	0.30	10.20
玻璃窗	84	0.35	29.40	0.25	21.00	0.18	15.12	0.12	10.08	0.07	5.88	0.09	7.56
水面	1250	0.01	12.50	0.01	12.50	0.01	12.50	0.01	12.50	0.02	25.00	0.02	25.00
风口	21	0.80	16.80	0.80	16.80	0.80	16.80	0.80	16.80	0.80	16.80	0.80	16.80
矩阵吸声板	1655	0.68	1125.4	0.75	1241.3	0.80	1324.0	0.59	976.45	0.33	546.15	0.32	529.60
空座椅	1507	0.02	30.14	0.02	30.14	0.02	30.14	0.04	60.28	0.04	60.28	0.03	45.21
总座位的80%人坐在座椅上	0	0.20	0.00	0.35	0.00	0.37	0.00	0.40	0.00	0.45	0.00	0.45	0.00
空气中声衰减量4mv							141.456		247.548		524.57		1544.23
$\sum S\alpha$			2494.860		2046.110		1922.880		1674.910		1367.420		1314.630
室内平场吸声系数 α			0.181		0.148		0.139		0.121		0.099		0.095
$-\ln(1-\alpha)$			0.199		0.160		0.150		0.129		0.104		0.100
设计后空场混响时间 T_{60}			3.45		4.29		4.29		4.67		4.83		3.24

表 6 设计后 80% 满场游泳馆各频率混响时间

Tab.6 Reverberation time calculations for various frequencies in the swimming pool at 80% capacity post-design

项目名称	面积/m ²	吸声系数和吸声单位/m ²											
		125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz	
		α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$
彩钢顶棚	4835	0.23	1112.1	0.12	580.20	0.08	386.80	0.09	435.15	0.11	531.85	0.11	531.85
电子屏幕	93	0.20	18.60	0.30	27.90	0.12	11.16	0.07	6.51	0.04	3.72	0.04	3.72
看台水泥地面	2002	0.01	20.02	0.01	20.02	0.01	20.02	0.02	80.04	0.02	40.04	0.00	90.04
架空木地板	1360	0.02	27.20	0.03	40.80	0.03	40.80	0.00	40.80	0.03	40.80	0.02	27.20
馆内轻质墙抹灰	950	0.10	95.00	0.05	47.50	0.06	57.00	0.07	66.50	0.09	85.50	0.08	76.00
门	29	0.15	4.35	0.10	2.90	0.06	1.74	0.08	2.32	0.10	2.90	0.05	1.45
门洞	34	0.10	3.40	0.15	5.10	0.20	6.80	0.22	7.68	0.25	8.50	0.30	10.20
玻璃窗	84	0.35	29.40	0.25	21.00	0.18	15.12	0.12	10.08	0.07	5.88	0.09	7.56
水面	1250	0.01	12.50	0.01	12.50	0.01	12.50	0.01	12.50	0.02	25.00	0.02	25.00
风口	21	0.80	16.80	0.80	16.80	0.80	16.80	0.80	16.80	0.80	16.80	0.80	16.80
矩阵吸声板	1655	0.68	1125.0	0.75	1241.3	0.80	1324.0	0.39	976.45	0.33	506.15	0.32	529.60
空座椅	301	0.02	6.02	0.02	6.02	0.02	6.02	0.04	12.04	0.04	12.04	0.00	9.03
总座位的80%人坐在座椅上	1206	0.20	241.20	0.35	422.10	0.37	446.22	0.40	482.90	0.45	542.70	0.45	542.70
空气中声衰减量4mv							141.456		247.548		524.57		1544.23
$\Sigma S\alpha$			2711.940		2444.090		2344.980		2109.070		1861.880		1821.150
室内平场吸声系数 α			0.196		0.177		0.170		0.153		0.135		0.132
$-\ln(1-\alpha)$			0.218		0.195		0.186		0.166		0.145		0.143
设计后80%满场混响时间 T_{60}			3.14		3.53		3.50		3.74		3.76		2.71

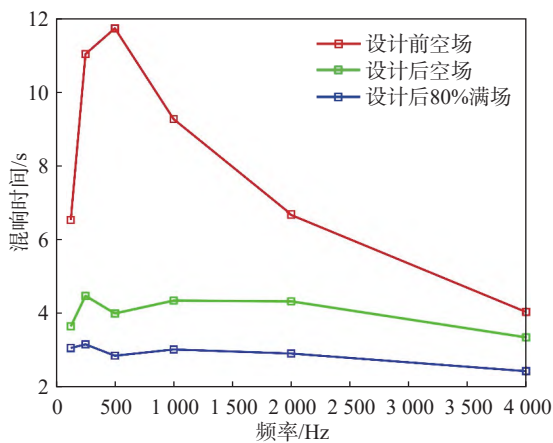


图 7 体育馆建声设计前后混响时间对比图
Fig.7 Comparison of reverberation times in the gymnasium before and after acoustic design

4 声学参数实测

4.1 测试方法

根据体育馆和游泳馆的建筑特性, 采用在体育馆和游泳馆单侧观众席中均匀布点的方式进行测试, 具体布置如图 9 所示。混响时间取各个测点的

平均值, 重复测试 3 次, 测试时现场为 80% 满场状态。测量仪器为 B&K2270 多功能声级计, 测点高度 1.5 m。在体育馆和游泳馆的大厅中间放置由功率放大器 B&K 2719 和全指向性声源 B&K 4292 组成的发声系统作为测量混响时间的声源, 采用中断声源法, 声源信号为粉红噪声信号。

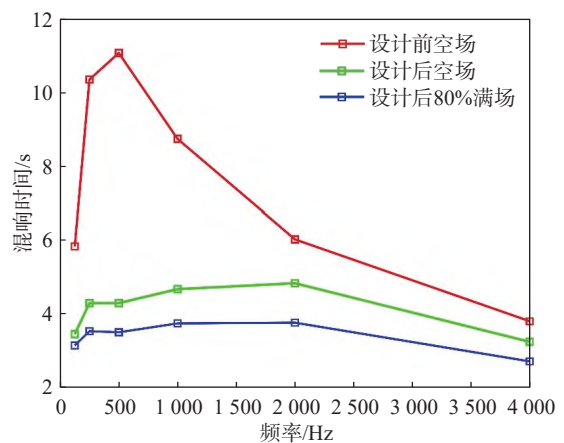


图 8 游泳馆建声设计前后混响时间对比图
Fig.8 Comparison of reverberation times in the swimming pool before and after acoustic design

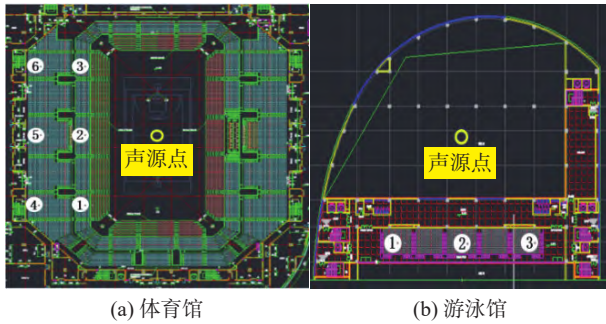


图9 测点位置

Fig.9 Locations of acoustic measurement points

4.2 测试结果

混响时间的测试均在建声完成后的80%满场情况下进行,体育馆和游泳馆的测试结果分别如表7、表8所示。

表7 体育馆混响时间测试结果

Tab.7 Reverberation time test results in the gymnasium

频率/Hz	125	250	500	1000	2000	4000
实测混响时间/s	3.16	3.20	2.96	3.10	2.99	2.56

表8 游泳馆混响时间测试结果

Tab.8 Reverberation time test results in the swimming pool

频率/Hz	125	250	500	1000	2000	4000
实测混响时间/s	3.25	3.60	3.56	3.85	3.89	3.18

从现场测试结果可以看出,体育馆和游泳馆的混响时间相比建声前均有降低,且都能满足场馆的日常活动需求,说明此次建筑声学设计方案合理可行。

5 结论

由于体育中心建筑声学设计的因素诸多,需要综合考虑可能存在的各种影响。体育馆一般容积巨大,为了降低混响时间,需要进行有效的吸声处理。在某体育中心,应建设方要求,不采用吊顶吸音体做法,设计重点在于采用吸声材料对四周墙壁做处理,以达到吸收馆内多次反射的回音来降低混响时间的目的,并使馆内无明显驻波、声聚焦、多重回声等声缺陷。

本文对某体育中心体育馆和游泳馆进行了建筑声学设计,通过公式理论计算和现场实测,结果显示本文所提方法科学、设计方案合理、所用材料环保,可为后续的其他大型体育中心工程开展与实施提供可靠的参考。

参考文献

- [1] 张光耀,王红卫,熊威,等.超大型综合体育馆声学设计实践——以深圳体育中心为例[J].电声技术,2022,46(2):8-12.
- [2] 王亚平,赵鑫,池冰源.瓷州体育中心建筑声学设计[J].四川建筑科学研究,2021,47(6):95-102.
- [3] Yuezhe Z, Shuoxian W. The acoustics of gymnasium—Case study of multi-function gymnasium of Guangdong Pharmaceutical University[C]. International Conference on Electric Technology & Civil Engineering. IEEE, 2011.
- [4] Ho-chun Yoo. The room acoustics of gymnasium building[C]. 5th Korea-Russia International Symposium on Science and Technology. Proceedings. KORUS, 2001.
- [5] 邵文,张三明.中小型多功能体育馆建筑声学设计探索——以浙江大学紫金港校区多功能体育馆为例[J].华中建筑,2011,29(6):63-65.
- [6] 刘延昌,孙凤明,张海亮.辽宁营口奥体中心综合性体育馆建声设计[J].电声技术,2011,35(3):8-12.
- [7] 王强,陈建利.体育馆声学设计的实质——语言清晰度设计[J].电声技术,2008(10):4-5.
- [8] 吴魏雄,沈保罗.中型多功能体育馆声学设计的探讨[J].应用声学,1997(4):32-36.
- [9] 石红蓉,周兆驹,王亚平.现代体育馆的声学设计研究进展[J].声学技术,2009,28(6):120-122.
- [10] 张昌佳,赵越喆,吴硕贤.基于语言清晰度的大中型体育馆混响时间限值探讨[J].建筑学报,2013(2):90-93.
- [11] 燕翔.体育馆声学装修设计[J].电声技术,2012(5):3-10.
- [12] 潘立超,陆文秋.大型体育馆建筑声学设计标准探讨[J].电声技术,2006(5):11-14.
- [13] 王超.大空间声场特性研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013.
- [14] 陈佳俊,傅晨丽,杨志刚.苏州奥林匹克体育中心的建筑声学设计[J].噪声与振动控制,2020,40(5):206-210,233.
- [15] 张彤钰,朱晓天.地区级综合体育馆建筑声学设计实践[J].四川建筑科学研究,2012,38(1):259-261.
- [16] 吴魏雄.潮州体育馆的建筑声学设计[J].汕头大学学报(自然科学版),2003(4):59-62.
- [17] 潘望.基于计算性技术的体育馆大跨结构与空间整合设计研究[D].广州:华南理工大学,2021.
- [18] 王晓东,闵一建,夏泽虎.体育训练馆声学特性分析[J].三峡大学学报(自然科学版),2011,33(4):63-66.
- [19] 陈怀民,张明照.国家体育场的建声设计[J].电声技术,2009,33(10):4-9,16.
- [20] 赵莹,郭鑫鑫,郑浩锐.基于声学仿真对阻抗管校准工作的研究[J].计量科学与技术,2023,67(5):58-63.
- [21] 温嘉丰,徐缤荣,王宝林,等.大型公共建筑工程中声学装饰材料的应用研究[J].居舍,2023(29):35-37.
- [22] 钮于蓝,郑云山,吕碧沪,等.之江实验室声学实验室设计和性能测试[J].计量科学与技术,2022,66(2):61-64,43.
- [23] 王凡,嵇严,胡小明,等.湖北剧院改造工程声学设计[J].华中建筑,2023,41(9):49-53.
- [24] 王鹏,杨芳乙.重庆英雄湾乡村振兴学院会堂建筑声学设计[J].中国建筑装饰装修,2023(15):14-17.
- [25] 郑云山,牛锋,钟波.平方反比规律校准消声室和数据处理[J].计量科学与技术,2022,66(7):54-57.

本文编辑:霍炜炜