

哈尔滨师范大学体育中心体育馆建声设计*

路晓东¹, 李英²

(1. 大连理工大学 建筑与艺术学院, 大连 116023; 2. 北京建筑工程学院 建筑系, 北京 100044)

摘要:哈尔滨师范大学体育中心体育馆是在建的一座大型体育馆。分析了声学上的不利因素, 具体阐述了建声设计中的各种意图。在前面的基础上, 重点回顾设计过程中的种种思考, 参考国内相关文献, 对工程运作问题提出自己的看法, 对吸声系数的估计也提出自己的疑问, 以期能为同类工程提供经验教训, 并望种种疑问可以得到解答。

关键词:体育馆; 建声设计; 混响时间; 吸声系数

中图分类号: TU112.4*32 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-7329(2005)04-0037-04

Acoustical Design of Gymnasium in Harbin Normal University Sports Center

LU Xiao-dong¹, LI Ying²

(1. Institute of Architecture and Arts, Dalian University of Technology, Dalian 116023, P. R. China; 2. Department of Architecture, Beijing Institute of Construction Engineering, Beijing 100044, P. R. China)

Abstract: Gymnasium in Harbin Normal University Sports Center is a large-scale gymnasium. This paper analyzes unfavorable factors in its acoustics and illustrates different kinds of intention of the design. At the same time, the questions about the project operation and technique are pondered one by one, it is expected that these thinking can provide some experience to the similar project.

Keywords: gymnasium; acoustics; reverberation; sound absorption

哈尔滨师范大学体育中心体育馆位于哈尔滨师范大学松北新校区, 是一座在建的中型体育馆。其声学功能定位为兼顾体育比赛、训练、文艺演出、大型会议等声学要求。其体形下部为一半径 45 m, 高度 18 m 的圆柱体, 上部为一半径约 80 m, 高度 12 m 的球缺。网架上弦距比赛场地约 30 m; 看台容纳 5 700 座; 容积为 114 260 m³ (见图 1、图 2)。

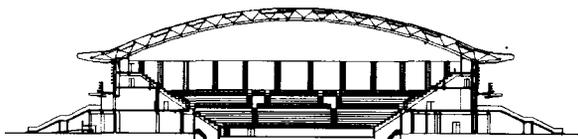


图 1 体育馆剖面图

因其建筑设计未过多考虑声学要求, 使得体形设计不甚合理, 给建声设计带来了较大的难度, 主要表现在以下两点:

1) 为照顾外部造型, 内部空间巨大, 无效容积过多, 其容积甚至超过曾举行亚运会的奥林匹克体育中心综合馆(100 000 m³)^[1]。从有效声学容积来看, 该馆属于大型体育馆(大于 80 000 m³); 而从座位数量来看为一中型体育馆(小于 7 000 座)。每座容积达到 20 m³。目前国内的大型体育馆的每座容积大多在 10~15 m³ 之间。同其它同类型的体育馆相比, 达到同样的混响时间设计指标需较大的吸声量。

2) 体育馆平面为圆形, 顶部为穹顶, 内部空间尺度巨大。该形式在声学上极易产生声聚焦及回声等音质缺陷, 从而影响馆内的清晰度和声场分部均匀度, 甚至给扩声系统设计也带来了较大的难度。

* 收稿日期: 2005-04-25

作者简介: 路晓东(1977-), 男, 山东泰安人, 讲师, 硕士, 主要从事建筑设计研究。

1 混响时间设计

1.1 指标的确定

体育馆的建筑声学设计中重要的一项是混响时间的设计,它应保证体育馆各种使用功能条件下具有良好的语言清晰度。根据我国编制的《体育馆声学设计及测量规程》(JGJ/T 131-2000)规定,体积大于80 000 m³,混响时间取值为1.5~1.9 s。由于该体育馆体积巨大,且资金有限,取规范的上限1.8 s。混响时间频率特性按该规范,低频取中频的1.3倍,即2.34 s。最大可能布置吸声材料的前提下,经混响时间计算,最终设计指标如表1。在设计过程中,也深感到低频混响控制的不易。

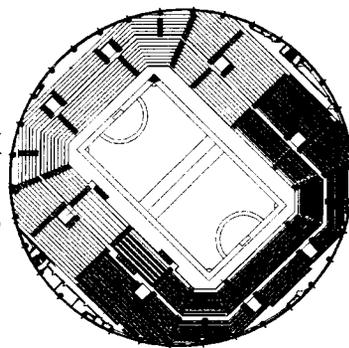


图1 体育馆平面图

表1 设计指标

频率	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
混响时间	2.33	1.75	1.63	1.68	1.70	1.61

1.2 吸声设计

1.2.1 吸声天棚 天棚是体育馆吸声处理的主要部位,其吸声量将占到整个场馆吸声量的一半以上;所以该部分的设计是决定成功与否的关键所在。尤其本馆天花展开面积约6 200 m²,又是穹形,更要着重处理。常见的天棚吸声有如下三种处理方式:

1) 吸声天花;即室内不做吊顶,吸声材料粘贴在屋盖下皮的做法。鉴于某些吸声材料同时又是保温材料的特性,例如玻璃棉、木丝板等,一材可以二用;这也是最近所流行的形式。如大连理工大学体育馆下层屋面穿孔,其后铺设玻璃棉,既做保温又做吸声,还可降低雨点的噪声。但该种方式金属穿孔板造价较高,且需要与建筑专业相协调。

2) 吸声吊顶;即沿着屋架或网架下弦做大面积的吸声吊顶,可全部铺满整个顶棚,也可局部设置。由于满铺吊顶的方式封闭了其上的空间,降低了每座容积指标,单就声学而言,有益于音质设计。但该种方式,吸声效率不高,且封闭了网架形式,不利于美观。首都体育馆、上海体育馆采取了此种方法。

3) 空间吸声体;空间吸声体悬挂在比赛厅室内上空,利用声波入射和绕射效果吸收声能,充分利用了吸声材料的吸声性能,通常可提高吸声效率达原来的1.5~2.5倍^[2],节约吸声材料的用量。并且其有助于声波的扩散,防止声聚焦、回声等声学缺陷。由于可以预制,可由设计师选型,现场吊装,便于施工,适合于悬挂在暴露结构形式的体育馆。

综合上面三种方法,在现有条件下,选择空间吸声体是较好的途径。而校方为了更加充分展露网架结构,决定将吸声体悬挂于网架上弦。这会使原本较大的容积无法得到改善;又由于是空间网架,斜向网架腹杆也将给施工带来很大麻烦。这就需要仔细设计其空间吸声体的排列方式。

假定地面平面声源向上入射,这实际上与篮球撞击地板所发出的声波相类似,画出经天棚一次、二次反射的声线图(图3)。一次反射形成的聚焦不是很明显,但二次反射声线则对比赛场地形成了明显的聚焦,产生部位在中心直径约17 m的圆面内。因此这部分区域应重点处理。最后确定平板空间吸声体同心圆悬挂布置的方式,获得较好的视觉效果。具体做法为中心4圈满铺(直径21 m),边缘减半,同时避开网架规格较多的5圈,便于施工(图4)。设计共416块吸声体,约2 800 m²,占整个天棚面积的45%,按比网架网格略小制作,悬挂于网架上弦,距屋面板约1 m的位置。

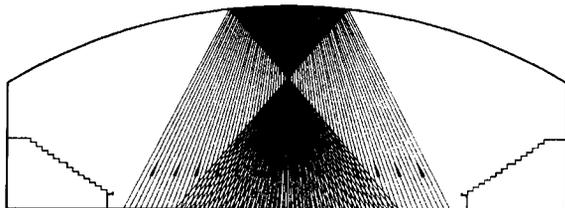


图3 地面一次反射线,天花二次反射线图

1.2.2 比赛场地四周墙面 该部分墙面面积虽然较小,只有400 m²,但在声学处理上是重要的表面。

对该墙面进行吸声处理的目的主要不是为了控制体育馆的混响时间,而是防止强反射声对馆内清晰度带来的不利影响;来自该墙面的强反射声还容易引起扩声系统中的声反馈,严重时产生“啸叫”,影响系统的稳定工作。该墙面的吸声处理时需考虑到墙面要承受球类比赛训练时的撞击和声学构造的合理性。最后确定的构造为18mm厚中密度板穿孔,其后填离心法玻璃棉,留一定后空。该种构造在中高频有较大吸声;且相对于常用的铝合金穿孔板护面,其抗撞击能力强,价格低廉。

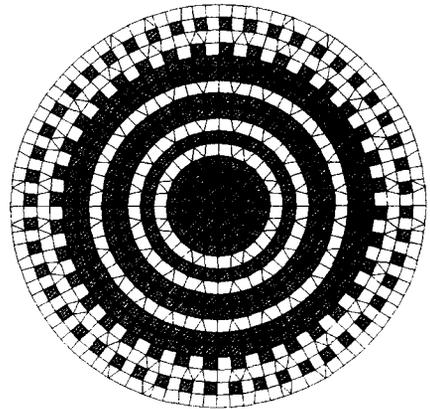


图4 天花吸声体平面布置

1.2.3 看台四周墙面 平面尽管为圆形,但因四周观众席起坡较大,且相邻看台分区升起高度不同,将会形成较好的扩散。此外,直径0.8 m的结构柱,两侧的记分牌会起到较好的扩散作用。即便是出现了声聚焦,其聚焦区域也会在比赛场地上方。可以认为在该体育馆圆形平面产生的声聚焦并不是主要矛盾,于是墙面也

就不在单独设计扩散体,使得视觉既美观大方,又便于后排座椅的使用。看台四周墙面吸声目的主要是调节混响时间频率特性,弥补天棚吸声与观众座椅吸声的不足。所选择的材料也应该是坚固耐用,美观大方。最后的设计使用了三种构造做法,1.5 m以下为中密度板穿孔,后填玻璃棉;其上为两种穿孔率的硅钙板,后填玻璃棉,交替布置。硅钙板防火性能优秀,且硬度较常用的石膏板为好。

2 设计过程的一些体会

2.1 对工程运作的一些看法

校方为了管理方便,将整项工程分项承包,如建筑招标,室内招标,扩声系统招标,包括座椅也单独招标,这就使得各专业各自为政,无法协调。

对声学设计而言,仅对室内负责,无法参与建筑专业、设备专业的施工优化。尽管校方注意到了雨点打击屋面板形成的噪声,但由于知识背景的欠缺,仅对室内设计提出要求,对更应承担责任的建筑专业未做出更多考虑;而因资金有限,室内设计也并未设计屋面隔声,这就造成了将来的使用隐患。

同样,由于不知扩声系统如何进行,甚至从未接触设计者,其话筒的选择,扬声器的布置都无从得知,整个混响计算也只能是保守进行。

2.2 对吸声系数估计的体会

在技术方面,深刻的感到众多资料及经验的欠缺,主要集中在吸声系数的估计存在太多的不确定因素,主要是以下几点:

2.2.1 座椅的吸声 正规座椅厂家对观演建筑中常用的座椅吸声系数都有测定,但对体育馆中的所用的座椅测定的并不多。单个座椅吸声不会很大,但当其阵列布置时,依靠座椅下面的空腔,应该会有较大的吸声,特别是高频。而在查阅相关文献资料时(见表2),数据间差别较大,个人认为有些设计对此估计过大了些,甚至超过了观演建筑中所使用的软包椅。

表2 相关文献座椅吸声系数(以观众席面积计算)

频率	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
某体育馆空座椅 ^[4]	0.25	0.35	0.4	0.45	0.45	0.4
某体育馆满座椅 ^[4]	0.45	0.55	0.65	0.75	0.75	0.7
多个体育馆观众吸声增量平均值 ^[5]	0.09	0.12	0.19	0.22	0.23	0.24
观演建筑所用全软包椅 ^[6]	0.24	0.36	0.40	0.43	0.45	0.46
观演建筑全软包椅坐人 ^[7]	0.32	0.39	0.49	0.52	0.56	0.58

对座椅吸声的估计主要有两种,数量和面积。体育馆中看台的升起坡度往往大于一般观演建筑,而较大的升起,会使得楼座听众和座椅的暴露面就大,吸声必然增加。特别是坡度升至29°时,每座吸声量几乎有50%的增幅^[3]。如果将观众席折算成投影面积下的吸声系数,或是按照座椅个数计算,显然

都无法反映这种差别。因此在考虑体育馆座椅吸声时,应按剖面图中的斜面尺寸计算吸声面积,而不是按平面图上的投影面积来计算。特别是本馆,观众席升起近 36° 。

2.2.2 屋面板的吸声 体育馆的设计,为降低自重,其下层屋面板大多设计为 $0.6\text{ mm} \sim 0.8\text{ mm}$ 厚的镀锌压型钢板,其后保温材料。人耳贴近它,主管感觉会听到其中低沉的隆隆声,当有较大噪声时,还会明显感觉到震动。这一切都说明屋面板还是有一定的吸声量,且以低频为主。这一点类似于平板玻璃。屋面板应与其的吸声相近或是更大,因为它厚度仅为 3 mm 厚玻璃的 $1/5 \sim 1/3$,其后还经常衬有保温玻璃棉。因缺乏加速度计,且距现场遥远,未能实测。文献中找到相关的数据,见表3;个人认为文献估计稍有保守。若能对其做出准确估计,将会将大大的降低低频吸声费用,也会大大降低工程造价。

表3 相关文献天棚吸声及玻璃吸声

频率	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
空间吸声体间的天棚 ^[8]	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3
玻璃窗(玻璃厚 3 mm) ^[9]	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04

2.2.3 空间吸声体的吸声 体育馆中,天花的吸声占了很大的比重,因此对空间吸声体吸声系数的估计尤为重要。而其受悬吊间隔、悬吊高度、排列组合形式等方面影响甚大,在实验室中也很难做出准确的测试。由于空间吸声体的复杂性,使得在设计之初无法正确估计。正确的做法也许是待空间吸声体全部施工完后,组织一次中期测试,但施工方出于种种原因,取消了该次测试,甚至最终的测试,也丧失了一次收集资料的很好机会。由于玻璃棉价格相对低廉,对造价影响不大;最后的设计采取了保险的做法, 160 厚玻璃棉外罩防火阻燃布制作空间吸声体,以增大其低频吸声;悬吊高度尽可能的降低,最终悬挂至距顶棚约 1 m 的距离。吸声系数估计时,低频考虑较之实贴 1.1 倍增量,中高频考虑 1.2 倍增量。

表4 空间吸声体吸声系数估算

频率	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
实贴 160 厚玻璃棉(实测)	0.664	0.937	0.961	0.982	0.996	0.942
160 厚玻璃棉制做空间吸声体(估计)	0.73	1.03	1.15	1.17	1.19	1.13

3 结语

通过该项工程,深感体育馆建声设计的难度较大;因其体积巨大,不确定因素太多,在不进行现场测试的情况下各种具体材料的吸声系数很难准确把握。该体育馆尚未投入使用,最终效果有待实践验证。

参考文献:

- [1] 项端祈. 实用建筑声学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992.
- [2] 刘志翔. 多功能体育馆室内空间环境的建筑技术性探讨[D]. 清华大学, 2003.
- [3] 王季卿. 建筑厅堂音质设计[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 2001.
- [4] 章奎生, 杨志刚. 宁波市体育中心雅戈尔体育馆音质改建设计[J]. 声学技术, 2001, 20(2): 53.
- [5] 项端祈. 实用建筑声学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992.
- [6] 项端祈. 演艺建筑声学装修设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [7] 项端祈. 演艺建筑声学装修设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [8] 沈保罗, 吴魏雄. 普宁明华体育馆的声学设计[J]. 汕头大学学报, 1996, 11(2): 59-64.
- [9] 马大猷. 噪声与振动控制工程手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.