

到来。④闪电及雷声信号除灯光显示外,还在气象自记钟上记录。

四、讨 论

雷暴是危害性的天气现象,它是航空飞行的主要危险天气。除此之外,许多强烈发展的灾害性天气系统如冰雹、暴雨等均伴有雷暴。根据我们对雷声的观测记录的初步分析,不同天气系统的雷声在持续时间、强度、频谱等方面各有不同的特点。因而雷暴次声的研究有可能为这些目前还难以预报的天气系统的探测和预报提供信息。雷暴的气象台观测记录也为今后准确的雷暴过程预报提供依据。雷暴的人工观测不仅带有主观性,而且当气象观测人员在白天听雷声,由于白天可闻声噪声干扰多,人眼又无法判断闪电时,常把一些机器的轰鸣声等类似的声音误判为雷声。因此人工闻雷的误判率很高。LD型自动记录雷暴仪经二年多来的使用,接收了几十次的雷暴过程,对雷暴判别的准确率达到90%。满足了气象部门规定80%准确率的要求。雷暴仪探测雷暴的灵敏度稍高于人

耳闻雷。LD型自动记录雷暴仪10%的误判主要都发生在大风时。因为随着风速增大,风噪声的2Hz—5Hz的次声分量也增大。一般当测站附近的风速达到7—8m/s时就可能要误判。我们也对一些气象台站,在雷暴过程起止时刻10分钟的平均风速资料进行过调查。一般气象台测站周围的平均风速大于5m/s的次数只占总次数的12%。但是在海岛山头等地的台站,风速大于5m/s的次数要占到雷暴总次数的36%。对于风速大的地区,我们认为必须采用次声接收器加接长管的声学滤波的办法来抗风噪声的次声干扰,或者采用微计算机进行相关处理以提取雷暴次声信号。

参 考 文 献

- [1] 赵柏林,张儒琛,大气探测原理,气象出版社,1987,429—434.
- [2] Schmidt, W. Über den Donner. Met. Z. 31, 1914, 487—498.
- [3] Arabadzhi, V. I. On some characteristics of thunder. Dokl. Akad. Nauk SSSR 82, 1952, 377—378.
- [4] Golde, R.H., 雷电,电力工业出版社,1982,321—324.
- [5] 成都气象学院主编,气象学,农业出版社,1979,266—267.

亚运会大学生体育馆空间吸声体的设计和应用

项端祈 陈金京 王 峰 葛砚刚

(北京市建筑设计院研究所)

1989年4月5日收到

大学生体育馆于1988年10月竣工,是亚运会工程中首先交付使用的体育场馆之一,全国农运会的球类、体操等比赛项目和闭幕式在该馆进行,通过使用,普遍反映语言清晰度高、声场均匀、噪声水平低和没有音质缺陷。

该馆采用屋架暴露(球节点网架)不设吊顶的建筑形式,使馆内有效容积巨增,每座占容积13.9m³,是目前国内同类体育馆的2倍。在如此巨大的容积内,用有限的投资和声学处理面积达到预期的声学效果,是通过空间吸声体的合理设计和应用实现的。本文仅就空间吸声体的设计和应用作概要的介绍。

一、概 述

大学生体育馆供亚运会篮、排球、体操和手

球比赛之用;亚运会后,则作为北京体育师范学院教学和比赛用。因此,在馆内观众席的配置中,活动座席约占总数的2/3,以便根据不同的使用要求,改变赛场的大小和观众席数量。在

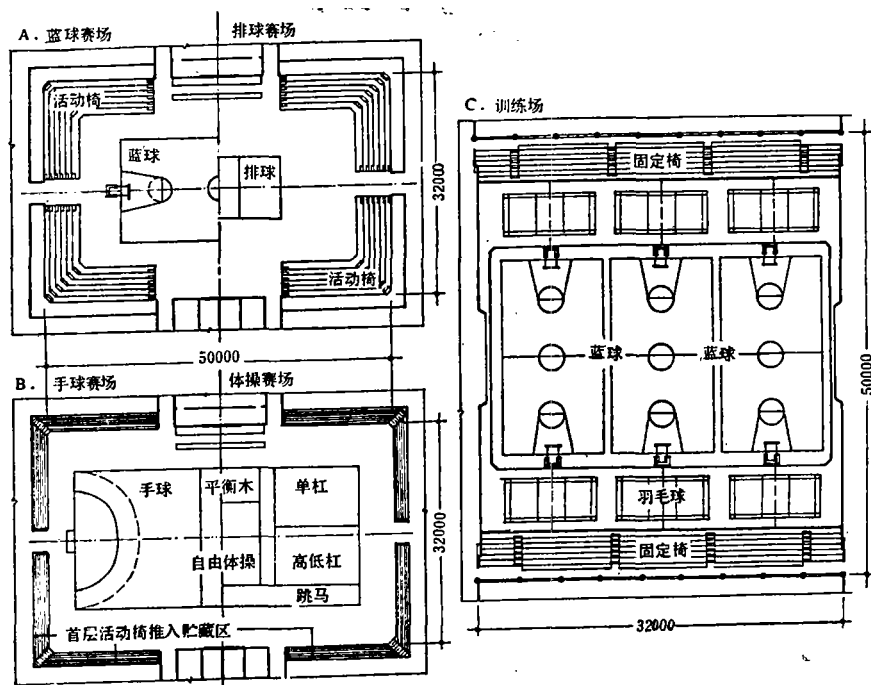


图1 馆内不同用途时,三种观众席的配置方式

A. 篮、排球赛时,观众座位数 $N_A = 4153$ 个 B. 手球、体操赛时,观众座位数 $N_B = 3141$ 个
C. 训练场时,观众座位数 $N_C = 1308$ 个

设计中按要求考虑如下三种状况:

(1) 篮、排球赛: 首层和二层活动席全部展开,观众席 4100 座,主席台 53 座,共计 4153 座。这是馆内最大容量;

(2) 手球和体操比赛: 首层活动席闭合(推入贮藏区内),观众席减至 3141 座;

(3) 作为训练场时: 首层和二层活动席全部闭合,仅留三层固定席 1308 座。

上述三种座席配置情况见图 1 所示。

馆内屋架采用球节点钢网架,不设吊顶,从而使馆内有效容积增大至 57740 m^3 (屋架下 37410 m^3 , 屋架上为 20330 m^3), 在篮、排球赛时,每座占容积 13.9 m^3 , 约为目前国内体育馆(不包括游泳馆)的 2 倍,见图 2 所示。当用于手球和体操赛时,由于观众席降至 3141 座,故每座容积增至 18.4 m^3 。

由于每座容积大,且吸声处理部位仅限于屋架和山墙,而屋架中部设天窗、山墙上又有记分牌,占去很大面积,因而对控制混响时间,特别是低、中频混响带来困难。同时,投资有限、

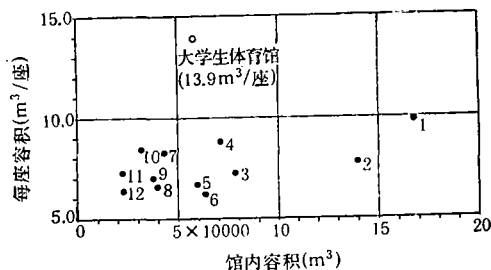


图2 大学生体育馆每座容积值与国内 12 个体育馆的比较。

1.首都体育馆 2.上海体育馆 3.辽宁体育馆 4.陕西体育馆 5.山东体育馆 6.五台山体育馆 7.天津体育馆 8.城北体育馆 9.杭州体育馆 10.黄浦体育馆 11.徐州体育馆 12.郑州火车头体育馆

馆内装修要求高,更使声学处理的难度增加。

针对上述情况,我们通过各种吸声体吸声特性的对比测试,结合屋架的形式和装修要求,设计了两种吸声体: 即宽频带五角形 12 面体和 控制中、高频声能的板状吸声体,悬挂在屋架上弦杆上;同时在山墙上配置穿孔吸声钢板结构。有效地控制了馆内混响和不利的声反射。达到了预期的效果。体育馆的平、剖面见图 3

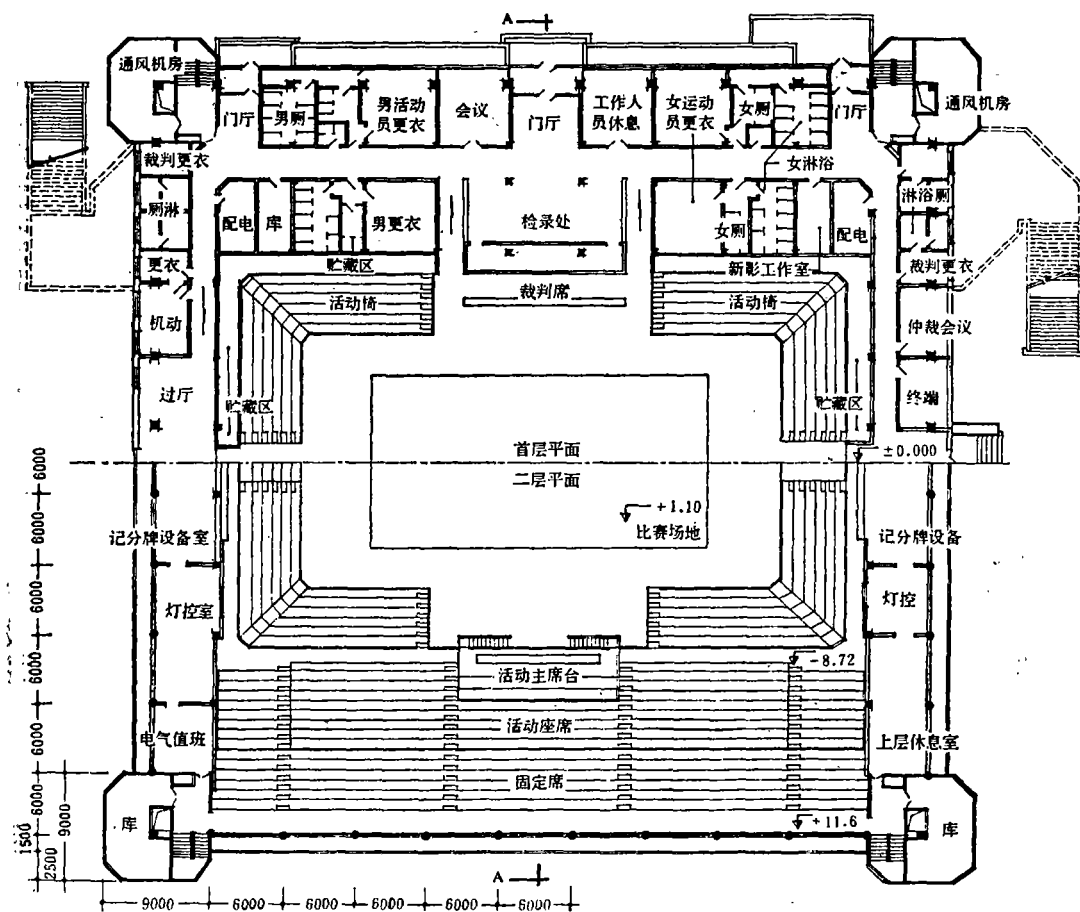


图3 亚运会大学生体育馆平面

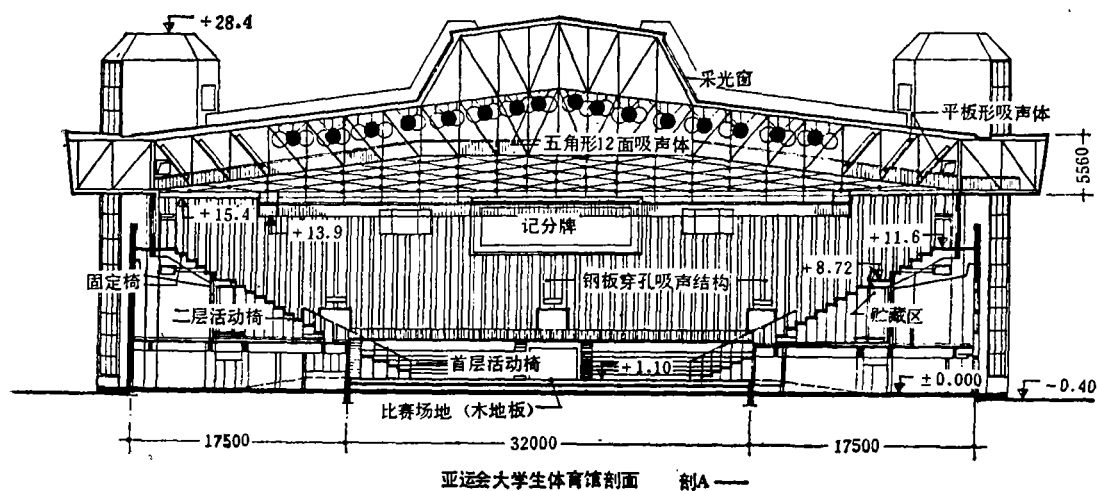


图4 亚运会大学生体育馆剖面

和图 4。

二、大学生体育馆设计中的声学要求

大学生体育馆要求在亚运会赛时，有较高的语言清晰度、均匀的声场、足够的声级、而没有明显的音质缺陷和噪声干扰；在用于训练时，也不应混响过长；亚运会后，则为北京体育师范学院所属的多功能体育馆，除进行体育教育和比赛外，还要求满足会议、文艺节目等使用要求。对此，应有较短的混响时间、特别是低频混响时间，提高扩声系统的传声增益，合理地选择和配置扩声系统，控制不利的反射声和空调系统的噪声。具体的声学要求如下：

- (1) 混响时间：
 - 满场时(4153 名观众)：中频(500Hz)< 1.5s, 低频 (125Hz) < 1.8s;
 - 2/3 满场时 (2770 名观众)：中频 (500 Hz) < 1.7s, 低频 (125Hz) < 2.0s.
- (2) 声场不均匀度： 125Hz—2000Hz < $\pm 3.5\text{dB}$.
- (3) 声级标准：场内声级 $\geq 80\text{dB}$.
- (4) 噪声标准：NC-40 噪声评价曲线，A 声级 46dB.
- (5) 场内没有回声和颤动回声.

三、空间吸声体的设计和应用

为了实现上述设计要求，主要问题是如何选择吸声结构，用最低的投资，最小的声学处理面积达到有效地控制混响时间和不利声反射的目的。在体育馆内通常的吸声处理方法是在屋架下弦上满吊吸声材料(结构)，但这种构造有如下缺点：

- (1) 吸声吊顶结构的骨架用料大，造价高；
- (2) 由于吸声材料(结构)单面暴露在声场中，不能充分发挥其吸声作用；
- (3) 在跨度较大的体育馆内，这时无法在赛场上部屋架上开设天窗采光，致使平时训练时，必需采用人工照明，耗电量大，增加经常费用。

克服上述缺点的有效措施是采用空间吸声体，这种结构由于所有界面完全暴露在声场中，可以大幅度地提高吸声性能。在体育馆建筑中首先采用“十字”形板格吸声体的是 1981 年竣工的上海黄浦体育馆^[1]。这在体育馆的声学处理中是一个突破，1986 年天津体育馆也采用了类似的吸声体，获得了较好的声学 and 装修效果。但不足之处是所选用的结构(双层 4mm 纤维板穿孔，中空 50mm，内填玻璃棉)对低频的声吸收过低，致使馆内的低频混响偏长。

表 1 几种吸声体展开面积的吸声系数(混响室测定)

吸声体类型	吸声体构造简述	下述频率 (Hz) 的吸声系数		
		125	500	2000
① 五角形 12 面体	0.6mm 厚穿孔铝板 ($P = 29\%$), 板后衬玻璃丝布, 100mm 厚超丝玻璃棉毡	0.48	1.35	1.26
② 三角形 4 面锥形体	38mm 厚玻璃棉板(等边三角形)	0.17	0.70	0.90
③ 平板形体	1.0mm 厚穿孔铝板 ($P = 25\%$), 板后衬玻璃丝布, 100mm 厚超丝玻璃棉毡	0.20	1.18	1.11
④ 斗状体	钢板网, 玻璃丝布, 内填 100mm 超细玻璃棉毡	0.35	0.77	0.92
⑤ 平板形扩展体	双层 20mm 厚玻璃棉板, 中空 60—100mm	0.21	0.72	1.12
⑥ “十字”板形体	双层 20mm 厚玻璃棉板, 中空 60mm, 外蒙玻璃丝布	0.18	0.83	0.82

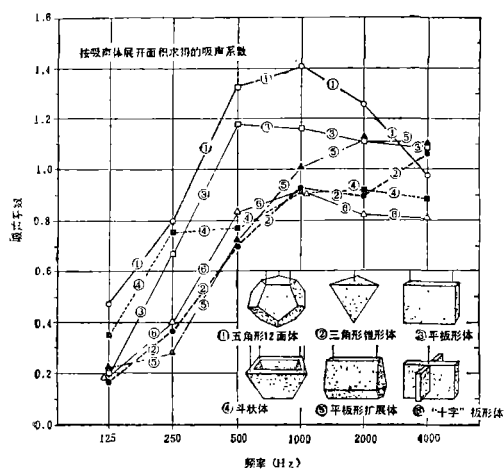


图5 6种吸声体吸声系数的对比测定结果

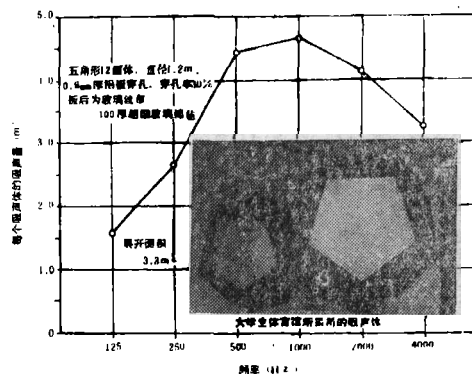


图6 五角形12面吸声体的实测吸声量

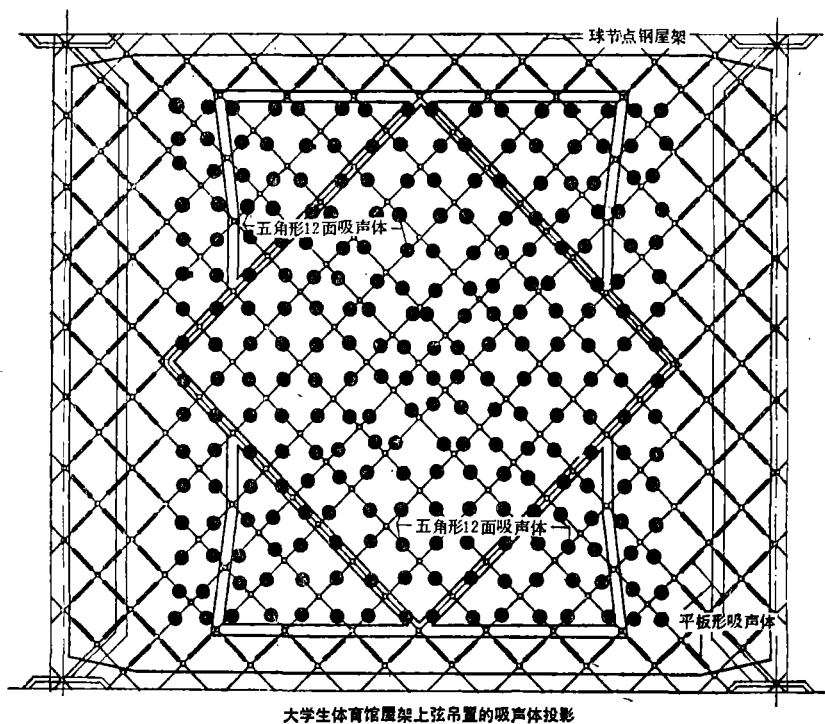


图7 网架上悬吊吸声体的平面投影

大学生体育馆每座容积大、要求混响短,且吸声体不宜过密,以免影响天窗采光。因此,必须设计一种面积小、吸声量大、造价低和便于吊置的吸声体。为此,曾对6种吸声体进行了对比试验,其结果见表1和图5所示。最后确认直径为1.2m的五角形12面体符合设计要求。该吸声体的形式和在混响室内测得的吸声量见

图6所示。按馆内控制混响时间的需要,选用256个吸声体,悬吊在馆内网架上弦杆上。此外,为配合馆内中、高频的声吸收需要,在网架周边吊置了130条平板形吸声体。图7即为两种悬吊吸声体的平面投影。图8为12面吸声体吊置在网架上的情景。

为了控制不利的声反射,同时也为了控制

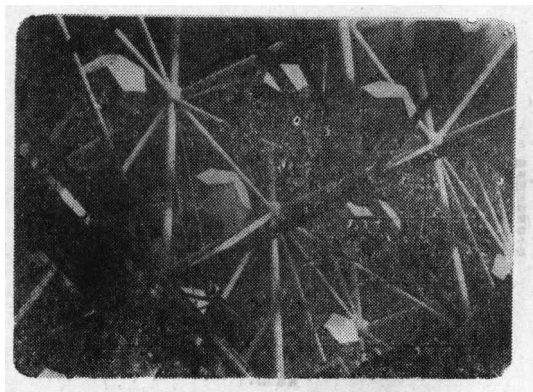


图 8 12 面吸声体吊置在网架内的情景

混响时间,在馆内仅有的端墙上设置了钢板穿孔孔吸声结构;

此外,为了控制空调系统的噪声,对分设在馆内四个角的四套系统均作了消声和隔振处理。

馆内的扩声系统,采用集中式和分散式相结合的方式。悬吊在馆中央网架上的扬声器组——声篮和侧向配置的扬声器,使馆内赛场和观众席获得足够和均匀的声强。

四、竣工后的声学测定和使用者的评价

大学生体育馆于 1988 年 10 月竣工。12 月初全国农运会在该馆召开。因此,该馆是亚运会十七项工程中,首先交付使用的场馆之一。

大学生体育馆声学测定的结果如下:

(1) 混响时间,见表 2: 由测定结果可见,达到了设计要求。在每座容积为多数体育馆 2 倍的情况下,能获得较低的混响时间,特别是低频混响,主要是因吸声体选择得当所获得的结果。

表 2 大学生体育馆内实测混响时间

空、满场	下述频率 (Hz) 的混响时间 (s)						平均值 (s)
	125	250	500	1000	2000	4000	
空场 (活动座席展开)	2.3	2.1	2.1	2.2	1.8	1.4	2.0
2/3 满场①	1.89	1.77	1.60	1.57	1.37	1.19	1.6
满场	1.76	1.61	1.44	1.41	1.21	1.03	1.4

① 根据空场实测混响折算值。

果。图 9 为大学生体育馆与国内 12 个体育馆中频混响时间的比较。

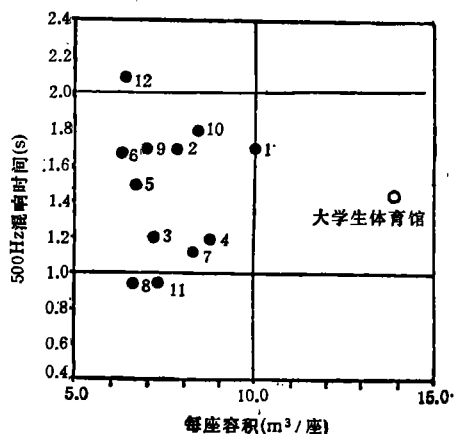


图 9 大学生体育馆中频(500Hz)混响时间与国内 12 个体育馆的比较。

- 1.首都体育馆 2.上海体育馆 3.辽宁体育馆 4.陕西体育馆 5.山东体育馆 6.五台山体育馆 7.天津体育馆 8.城北体育馆 9.杭州体育馆 10.黄浦体育馆 11.徐州体育馆 12.郑州火车头体育馆

(2) 声场不均匀度

用馆内扩声系统为声源时的测定结果为:

频率 (Hz) 125 500 2000

声场不均匀度(dB) ± 2.5 ± 3.0 ± 3.0

测定结果表明,馆内声场均匀,这主要是因扩声系统配置适当。

(3) 馆内噪声

馆内背景噪声为 A 声级 35dB,空调系统运行时为 A 声级 41dB,达到了设计要求。

(4) 音质缺陷

音质缺陷没有作测定,仅在空场时通过发出脉冲声进行测听,没有发现回声和颤动回声等现象。

大学生体育馆通过农运会的使用,和师范学院师生平时的训练所收集到的反映是:混响短、语言清晰度高,噪声低,没有回声。即使在没有观众的条件下进行训练时,也有一个较为安静的声环境。

参 考 文 献

- [1] 王季卿,《建筑声学设计手册》,中国建筑工业出版社,1987 年 7 月。