



国家游泳中心比赛大厅扩声系统简介

陈怀民, 莫皎平

(中广电广播电影电视设计研究院 声学设计研究所 北京 100045)

【摘要】介绍了国家游泳中心“水立方”比赛大厅的扩声系统的实施方案,对设计过程中出现的问题进行了探讨。

【关键词】北京奥运会;国家游泳中心;扩声系统;语言传输指数 STI;扬声器

1 工程概述

国家游泳中心“水立方”位于北京奥林匹克公园内,是2008年第29届北京奥运会的标志性建筑之一。在奥运会期间,这里承担的比赛项目有游泳、跳水、花样游泳、水球等。游泳中心内比赛大厅可容纳观众坐席17 000座,其中

永久观众坐席为6 000座,奥运会期间增设临时坐席11 000座(赛后将拆除)。

国家游泳中心比赛大厅的扩声系统包括3个部分,分别为覆盖观众席(赛时临时和赛后永久)的扩声系统、覆盖比赛场地的扩声系统以及用于花样游泳的比赛池水下扩声系统。

2 扩声系统设计指导思想

鉴于国家游泳中心在奥运场馆中的特殊地位,并根据游泳比赛场馆的特点,以及业主方的要求,对扩声系统的要求,精心制定了扩声系统设计思想,具体如下:

(1) 先进性——系统的架构应是先

进的、符合奥运赛事要求的；

(2) 合理性——系统设备的选择应是适合游泳中心特点，且能满足奥运赛事的需要；

(3) 灵活性——系统的架构、设备的配置、输入输出接口应既能满足奥运赛事、大型体育比赛的需求，又易于奥运赛事以后的改造；

(4) 可靠性——系统的架构应是安全的、可靠的，系统设备的选择应为近年来国际、国内实践证明安全可靠的。

3 扩声系统声学特性设计指标

根据北京奥组委对国家游泳中心扩声系统最大声压级和语言清晰度指数 STI 的要求，并依据 GJ/T 131-2000《体育馆声学设计及测量规程》中的规定，确定比赛大厅内观众席扩声系统声学特性指标如下：

(1) 最大声压级：105 dB；

(2) 传输频率特性：125 Hz ~ 4 kHz， ± 4 dB；

(3) 声场不均匀度：1 kHz、4 kHz，8 dB；

(4) 传声增益：125 Hz ~ 4 kHz，-10 dB；

(5) 系统噪声：扩声系统不产生明显可觉察的噪声干扰（如交流噪声等）；

(6) 语言传输指数 STI：不劣于 0.5，并能满足奥运赛时语言兼顾音乐扩声的要求。

4 相关特性

(1) 比赛大厅空间巨大，声波传输的平均自由程长，声能比小，临界距离短，厅内混响时间长，对语言清晰度的提高不利。

国家游泳中心室内建筑声学设计由北京清华城市规划设计研究院负责，在设计过程中扩声系统设计方和建筑声学设计方以及建筑方案实施方中建（国

际）设计顾问有限公司紧密协作，经过多次的沟通和协调，在保证水立方建筑设计理念的基础上，最大限度地利用比赛大厅内的观众席顶棚、马道、侧墙、电梯筒外墙以及 ETFE 气枕间夹具作为空间吸声面，降低混响时间，尽最大可能达到北京奥组委对语言清晰度的要求，为扩声系统提供良好的建声条件。

表 1 为国家游泳中心建成后由国家建筑工程质量监督检验中心测量的比赛大厅混响时间值（实测条件为多声源发声，空场情况下）：

(2) 比赛场地区域以瓷砖和水面为主，顶棚采用透光的 ETFE 薄膜气枕，其吸声性能较差，声波将在地面及顶棚间产生强烈反射。

(3) 由于 ETFE 薄膜气枕以及气枕间的夹具承重有限，在扩声系统中需要合理地布置扬声器系统。

(4) 观众席分为永久固定和临时性两部分，临时坐席在赛后将拆除，因此在系统设计中应予以考虑，对固定坐席及临时坐席进行扬声器系统的分区覆盖及控制。

如上所述，游泳中心比赛大厅内较长的混响时间、不均匀的空间声吸收、较强的顶棚 - 地面声反射等实际情况对保证场内的语言清晰度是一个难题。同时，赛后的改造也对系统设计者提出了新的要求。

5 扩声系统方案

5.1 信号点的设置

扩声系统在比赛场地南、北两侧的墙面、主席台附近布置了信号插座箱，内设传声器信号输入、音频信号输出以及流动扬声器信号输出等插座；另外，

在相关技术用房内均设有信号输入、输出点。

5.2 数字调音台及信号传输网络

系统选用了数字调音台。比赛场地、主席台、技术用房等地的信号以及其他如背景音乐、大屏幕显示等系统的联络信号均送至位于比赛大厅南侧一层的扩声控制室内，经调音台混合处理后，通过光纤将数字音频信号送至远端功放机房。

远端功放机房位于南侧三层，靠近观众席顶棚。远端功放机房的设置减少了功率放大器输出至扬声器系统的信号线长度，从而降低了线路上的信号衰减。

5.3 音频处理及功放监控网络

功放机房内设有音频处理器及功率放大器。扩声系统中使用的数字音频处理器，支持模拟和数字音频信号的输入及多种预设状态的存储和读取，可通过计算机进行远程遥控设置。扩声控制室送入的数字音频信号直接进入处理器的数字音频输入端，经处理后进入后级功放。整个系统从传声器输入至扬声器输出只经过了一次模 / 数、数 / 模转换。

数字音频处理器的模拟输入端用以接入备份调音台、紧急广播强切信号以及背景噪声测量传声器等信号。

系统中采用的功放具有远程遥控及监测功能，通过计算机可做到对功放和扬声器系统工作状态的实时监控。两个控制室组成一个完整的数字监控网络，使用者在任一控制室可以对网络中的任一设备进行状态监控。通过预设的控制信号，可定期对系统中的设备和场内的扬声器系统箱进行检测，及时了解各设备的情况，保证系统的安全、可靠性。

表1 比赛大厅混响时间值

频率 (Hz)	125	250	500	1 k	2 k	4 k
实测混响时间 (s)	2.5	3.0	2.9	3.2	2.9	2.0

扩声系统原理方框图见图1。

5.4 扩声系统主扬声器系统设置

固定观众席扩声扬声器系统分南、北两侧分散明吊在观众席顶棚前区马道下方，覆盖固定观众席区域；在顶棚后区的马道下方分散明吊补充全频扬声器系统，覆盖观众席的临时观众席；另外吊装有次低频扬声器箱，供音乐重放时使用。

分散式扬声器系统相比于集中式系统，扬声器系统到达观众席的距离较近，直达声比例高，如果采用指向性良

好的扬声器系统，在语言扩声中，可获得较高的语言清晰度。针对固定与临时相结合的坐席分布，分散式系统也能够较好地解决分区覆盖的问题。

国家游泳中心比赛大厅的扩声系统选用JBL品牌下的PD5000系列扬声器系统。扬声器系统具体分布见图2、图3，固定观众席扬声器组覆盖图见图4，临时观众席扬声器组覆盖图见图5，场地扩声扬声器组覆盖图见图6，具体如下：

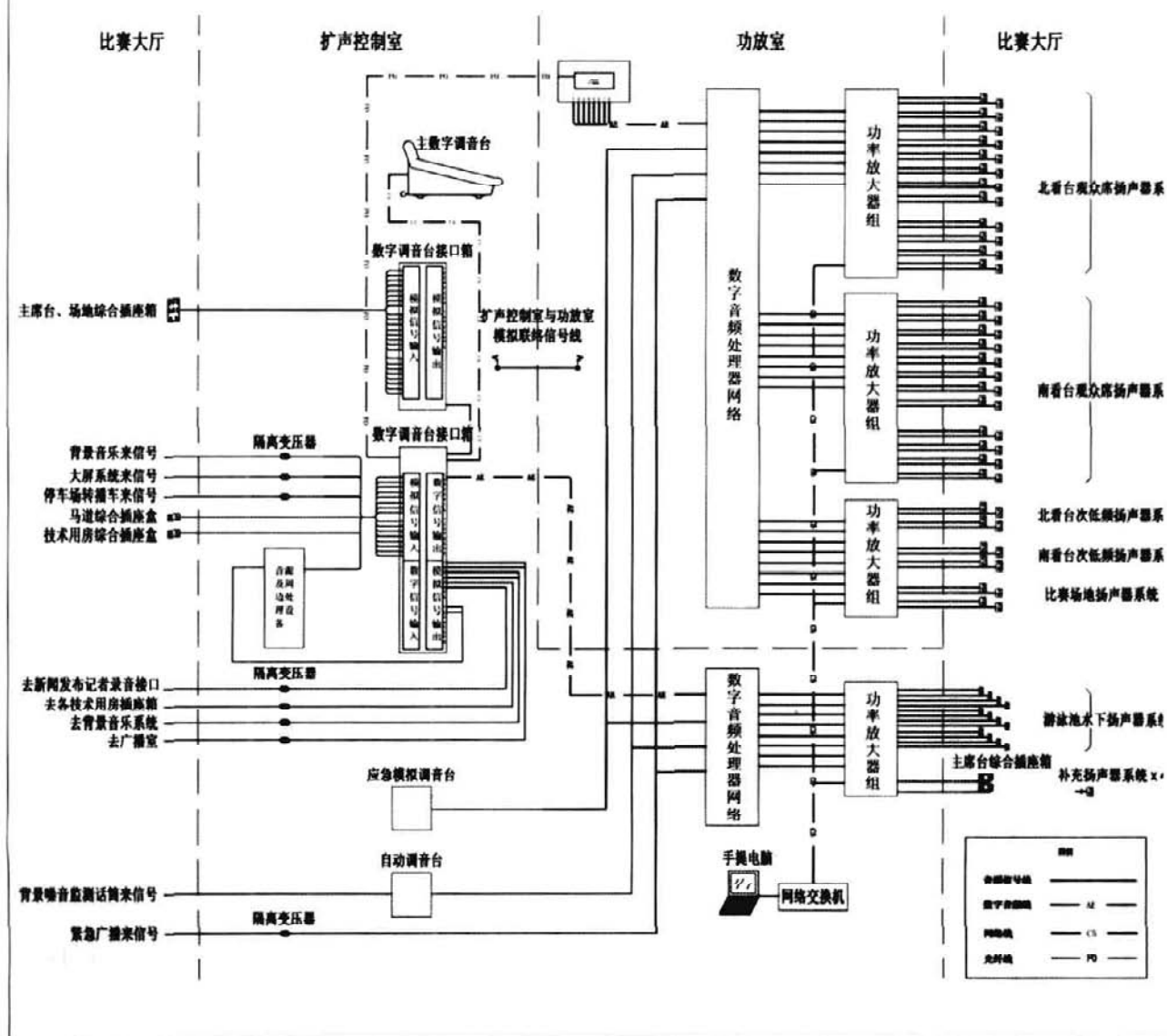
(1) 固定观众席的扬声器系统由8

组，每组4只，共32只JBL-PD5212/64扬声器系统组成，分别吊装于南、北区观众席上方的马道前端下方，供声均匀覆盖观众席。

(2) 临时观众席扬声器系统由8组，每组2只，共16只JBL-PD5212/64扬声器系统组成，吊装于临时观众席上方的马道中部，赛后可随临时坐席一起拆除移至其他区域继续使用。

(3) 比赛场地扬声器系统，由4只JBL-PD5212/64扬声器系统组成，分别吊装于北侧观众席上方的马道前端，供

图1 扩声系统原理方框图



声均匀覆盖比赛池、跳水池。

5.5 水下扬声器系统

游泳馆扩声系统与其他体育场馆相比不同的在于除了服务于观众席和比赛场地的扩声扬声器之外,还设有水下扬声器系统,为花样游泳运动员在水下发声。

水下声场由于扬声器工作方式、声波传输介质的特殊性以及测量的困难性,其数据指标并未见诸于国内外的各项规范中,扬声器布置方法来源于生产厂家的资料及推荐。

国家游泳中心的水下扬声器系统采用美国 EVI 公司的 UW30 型水下扬声器系统,其推荐的安装高度为水面以下 1.2 m 处,每只扬声器的辐射范围为 10 m × 10 m。根据此数据,在游泳池南、北两侧墙面上各安装 6 只,共 12 只水下扩声扬声器系统,通过独立的音频处理器进行延时等处理控制,从而避免水下声场与水面声场之间的不同步问题。比赛池水下扩声扬声器系统平面布置见图 7。

比赛池水下扩声扬声器系统的处理在距比赛场地最近的扩声控制室内完成。

6 系统的可靠性

作为北京奥运会的主要场馆之一的国家游泳中心,其扩声系统必须是稳定、可靠的,本系统对此的考虑体现在以下几个方面:

(1) 扩声控制室内配备一台性能简单可靠的模拟调音台作为备份,同时控制室与功放机房之间还设置了模拟信号联络线,当主调音台或光纤传输出现问题时,仍然可以通过备份调音台及模拟信号传输来保证系统的正常工作。

(2) 音频信号处理部分由多台数字信号处理器组成,不同处理器的输出与功放的输入采用交错连接的方式,避免一台处理器出现故障时影响大片观众席扩声的情况。

(3) 采用分散式的扬声器系统布置方式,个别功放或扬声器系统出现故

障,对整个系统的正常工作以及观众的听闻不会产生大的影响。

7 语言传输指数 STI 的计算机模拟

在工程实施前进行了计算机的模拟运算,采用国际上通用性很强的 EASE 声学分析软件,在其最新的版本中提供了对语言传输指数 STI 这一衡量语言清晰度最主要指标的计算支持,计算机模拟的结果见图 8,STI 计算值分布见图 9。通过计算机模拟可以得出以下结果,观众席语言传输指数 STI 最大值为 0.65,最小值为 0.42,平均值为 0.51。

8 扩声系统声学特性指标实测结果

扩声系统建成后由国家建筑工程质量监督检验中心进行空场(无观众)测量并得出比赛大厅观众席扩声声学特性指标:

(1) 最大声压级: 108 dB;

图2 观众席、比赛场地扩声扬声器系统剖面布置图

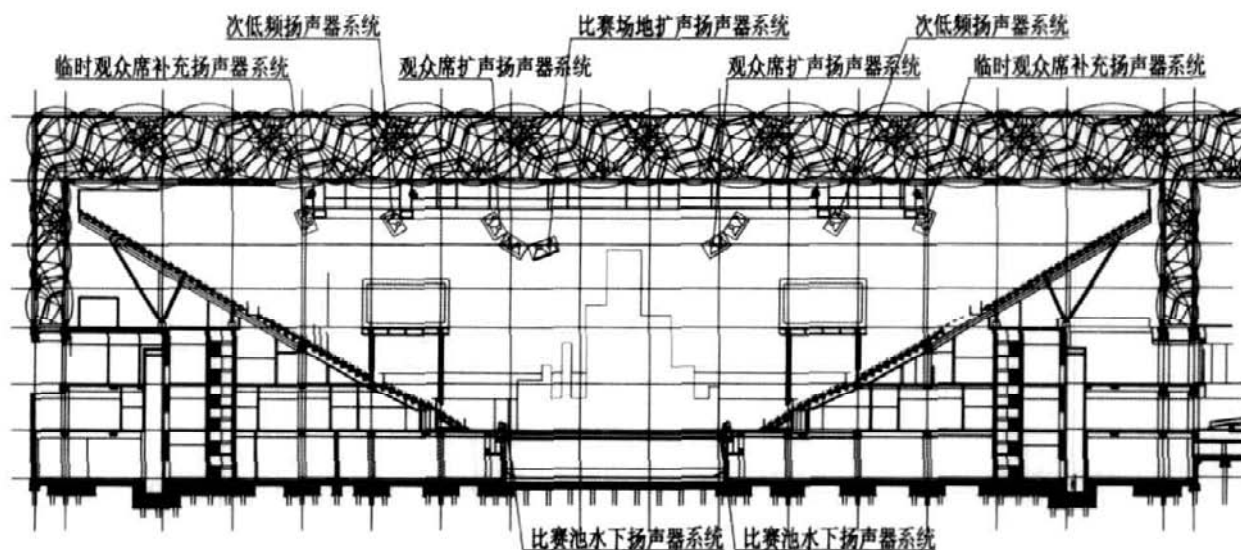
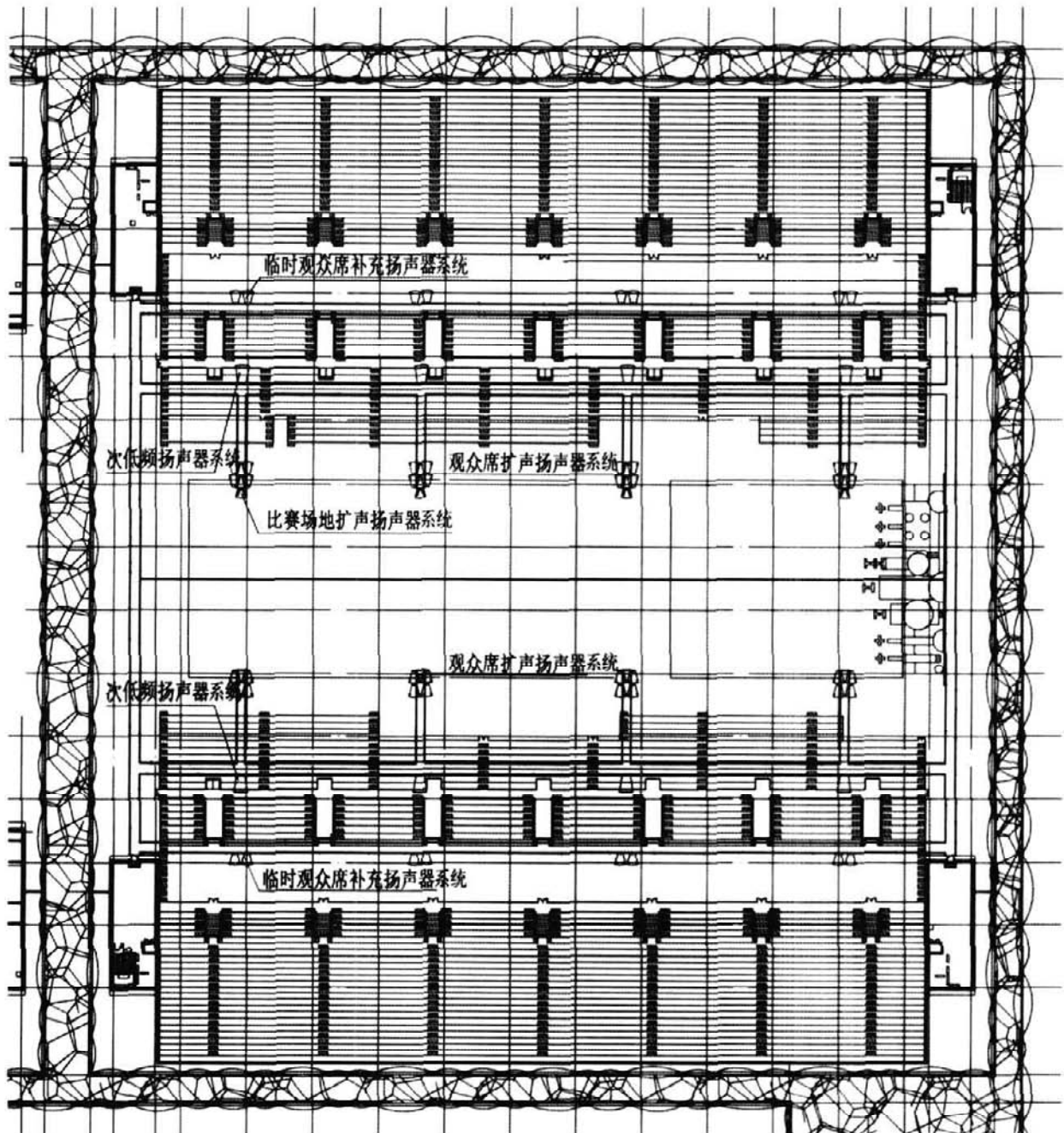


图3 观众席、比赛场地扩声扬声器系统平面布置图



(2) 传输频率特性：以 125 Hz ~ 4 kHz 的平均声压级为 0 dB，在此频段内观众席平均声压级变化： ± 3 dB；

(3) 声场不均匀度：1 kHz 为 8 dB、4 kHz 为 7 dB；

(4) 传声增益：125 Hz ~ 4 kHz 的平均值为 -6 dB；

(5) STI-PA 平均值 0.5。

以上数据完全满足设计指标，达到了奥组委的技术要求。

9 一些体会

(1) 本工程中扩声系统设计和建筑声学、建筑、结构等各专业结合的比较紧密，通过各方面的协调和努力，在保证建筑设计理念的基础上最大化地考虑了声学设计师的意见，包括在观众席上方设置吸声材料、增加吊挂扬声器系统的马道等，最终使得比赛大厅内的声学效果达到了奥组委的要求。

(2) 借助日益强大的计算机处理能力，通过专业软件对系统进行模拟分析计算，能够对工程实施提出指导性的意见。

(3) 本扩声系统选用了常规扬声器系统，如能采用具有更好指向性控制的扬声器系统，将会在一定程度上提高语言清晰度。续

(责任编辑 潘 浪)

图4 固定观众席扩声扬声器系统覆盖图

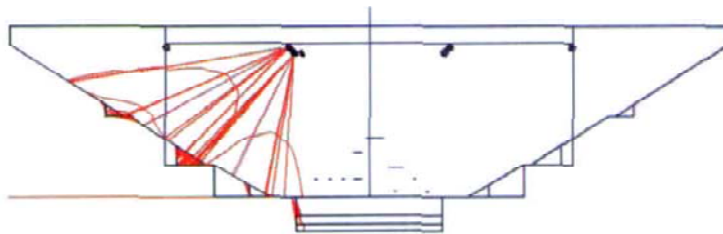
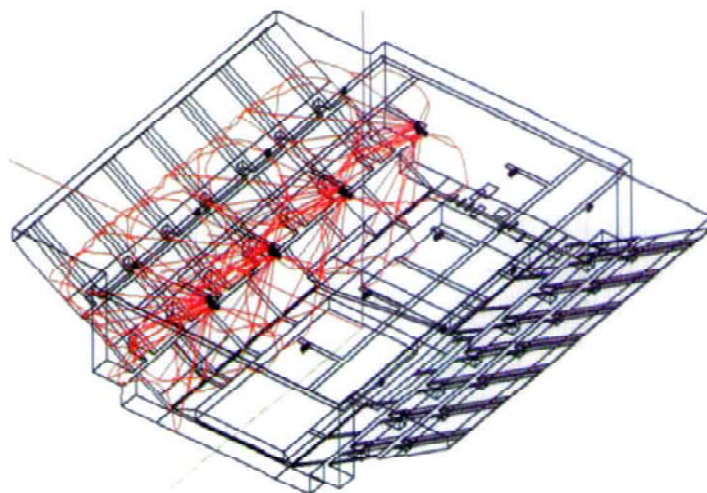


图5 临时观众席扩声扬声器系统覆盖图

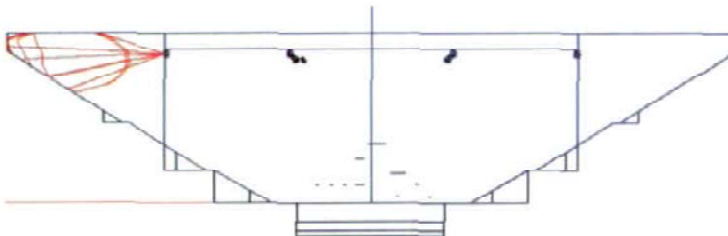
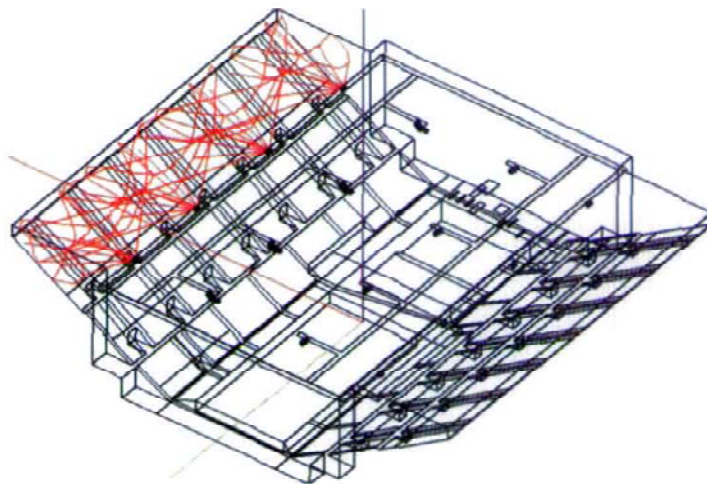


图8 比赛大厅计算机模型



图6 场地扩声扬声器系统覆盖图

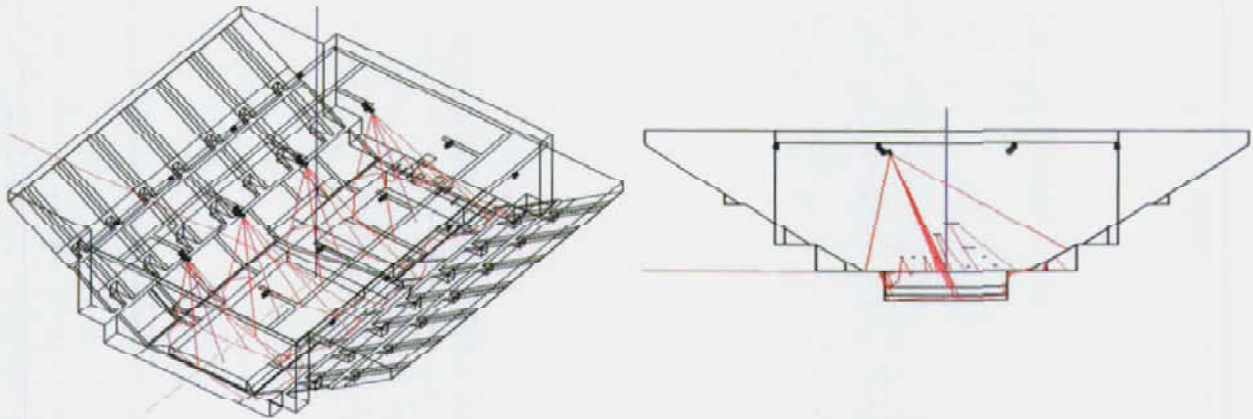


图7 比赛池水下扩声扬声器系统平面布置图

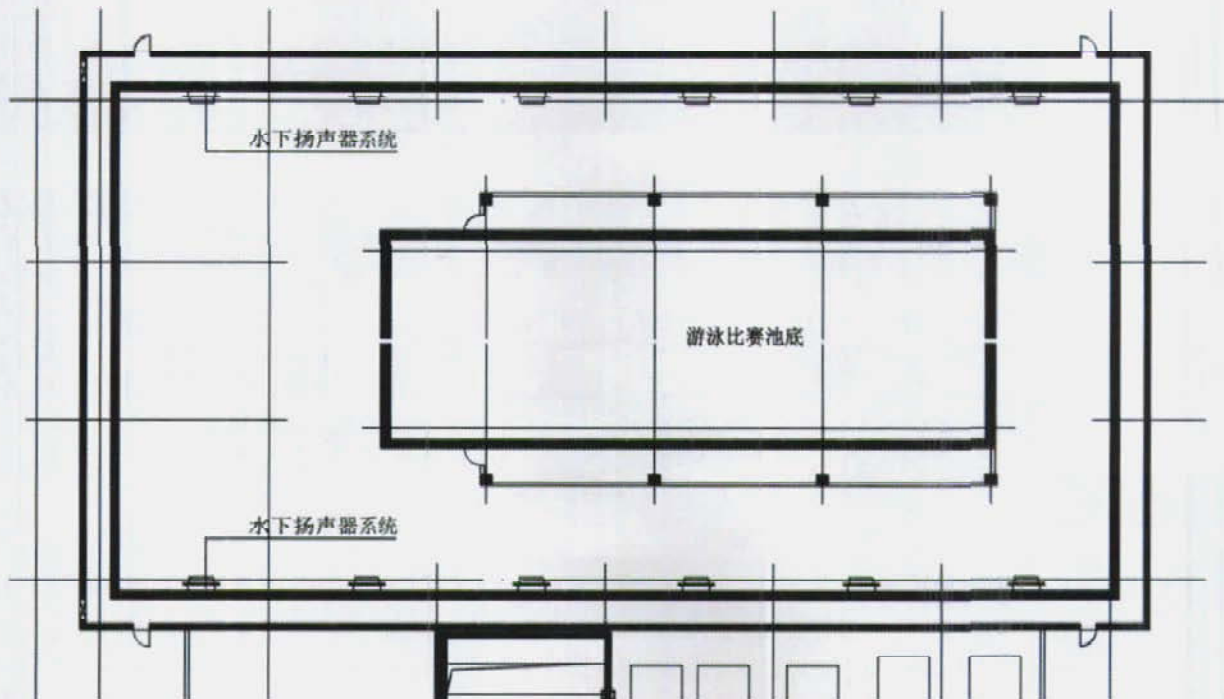


图9 STI计算值分布图

