

# 晋江市第二体育中心建筑声学设计

栗瀚, 武舒韵

(北京市建筑设计研究院有限公司, 北京 100045)

**【摘要】** 体育馆由于建筑容积巨大、体型特异, 普遍存在混响时间较长, 语言清晰度低, 甚至还存在回声、声聚焦等声缺陷, 严重影响场馆的使用。本文阐述晋江市第二体育中心的建筑声学设计过程, 体现了通过分析不同场馆的使用特点制定声学设计指标, 选取使用适当的吸声材料和构造来控制室内混响时间的声学设计思路。根据对各场馆竣工后现场测得的数据及实际使用效果进行分析, 结果表明, 各场馆建声环境均达到设计目标, 满足比赛及赛后各类活动使用的要求。

**【关键词】** 体育馆; 游泳馆; 训练馆; 建筑声学设计; 混响时间

DOI: 10.3969/j.issn.1674-8239.2021.11.005

## Architectural Acoustics Design of Jinjiang No.2 Sports Center

LI Han, WU Shu-yun

(Beijing Institute of Architectural Design, Beijing 100045, China)

**【Abstract】** Due to the huge building volume and specific size of the stadium, there are generally long reverberation time, low speech definition, and even acoustic defects such as echo and sound focus, which seriously affect the use of the stadium. This paper describes the process of architectural acoustics design of Jinjiang No.2 Sports Center, and reflects the idea of designing acoustics by analyzing the use characteristics of different venues, making acoustic design indexes, selecting appropriate sound absorbing materials and constructing to control reverberation time in the room. According to the analysis of the data measured on site after the completion of each venue and the actual use effect, the results show that the acoustic environment of each venue meets the design goal and meets the requirements of various activities in the competition and after the competition.

**【Key Words】** gymnasium; natatorium; training gym; architectural acoustic design; reverberation time

晋江市第二体育中心, 坐落于晋江市陈埭镇, 建筑面积约200 000 m<sup>2</sup>, 是2020年第18届世界中学生运动会的主场馆。体育中心主要由体育馆、游泳馆和训练馆组成。

### 1 体育馆

体育馆作为第18届世界中学生运动会开闭幕式场馆, 建筑面积64 000 m<sup>2</sup>, 最多可容纳15 000名观众(包括活动座席), 满足NBA标准篮球赛事要求, 可承办排球、羽毛球、乒乓球、体操等国际单项职业赛事, 兼具文艺表演、集会、展览等多功能用途。体育馆外景见图1。

体育馆比赛场地平面呈矩形, 观众席为环绕布置, 比赛大厅总长度约124 m, 总宽度宽约107 m; 比赛场地

未布置活动座椅时长约73 m, 宽约54 m。屋顶为拱形, 比赛场距屋顶最高处的高度约为41 m, 距网架下弦的高度约为32 m。比赛大厅有效容积约为335 600 m<sup>3</sup>, 每座容积为25.7 m<sup>3</sup>/座。体育馆平面图和剖面图见图2。



图1 体育馆外景(图片来源: 洪旗拍摄)

## 1.1 声学设计指标

根据使用功能和室内容积,混响时间在中频(500 Hz~1000 Hz)时,比赛大厅的满场混响时间 $T_{60}$ (s)应小于2.0 s ( $T_{60} < 2.0$  s)。背景噪声限值要求比赛大厅无人使用且空调运行达到使用工况时,其噪声值应不高于噪声评价曲线NR-35要求。大厅内不得出现明显的音质缺陷(回声、颤动回声和声聚焦等)。

## 1.2 设计方案

根据体育馆设计的总体要求(装修效果、吸声性能和投资限额等)选择和配置吸声结构,所用吸声材料(或结构)在满足吸声要求的同时,应具有良好的装修效果,符合防火、耐久、环保、轻质、价廉和便于施工等要求。体育馆顶部的吸声结构应结合屋顶的隔声要求,设计复合结构,实现加强围护结构的隔声性能,同时满足吸声要求。用于控制混响时间的吸声材料(或结构)应同时兼顾到消除音质缺陷和减低馆内的噪声。

## 1.3 吸声材料(结构)的选用和配置

### 1.3.1 屋面

由于屋面是体育馆中最大的界面,其吸声性能对整个体育馆的混响时间控制有着至关重要的作用。因此,将整个屋面设计成强吸声构造:屋面最下层为穿孔铝板,孔径应大于5 mm,穿孔率应大于20%。穿孔铝板后设置离心玻璃棉板,厚度大于50 mm,容重为40~50 kg/m<sup>2</sup>。离心玻璃棉板后面留有大于150 mm的空气层。

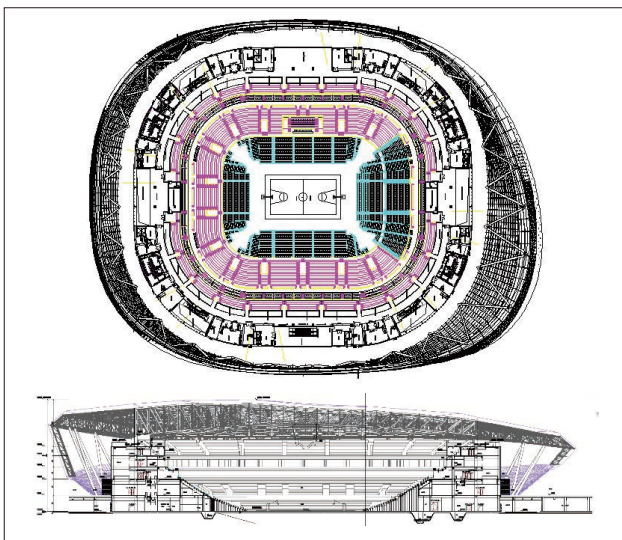


图2 体育馆剖面图(图片来源:项目建筑图纸)

### 1.3.2 网架

体育馆比赛大厅虽然体积巨大,但除顶部外可以安装吸声材料的位置却很少,而本体育馆比赛大厅的声学要求又很高,所以仅依靠在比赛大厅本身的界面上布置吸声材料难以达到声学设计指标,因此在网架下弦悬挂了片式空间吸声体,如图3所示。

### 1.3.3 墙面

体育馆比赛大厅可以布置吸声材料的墙面主要是观众席最上排座椅以上到网架下弦之间的墙面,该墙面进行强吸声处理。

### 1.3.4 观众席座椅

体育馆观众席座椅采用吸声量较大的全软包座椅,如图4所示。

## 1.4 建筑声学现场测试

现场使用日本理音RION NL-52声级计,采用中断声源法,声源信号为粉红噪声信号,对体育馆比赛大厅的混响时间进行测试。测试时现场为空旷状态,推算满场混响时间值如表1所示,混响时间频率响应曲线如图5所示。

经现场测试检验,体育馆内语言清晰度较好,满足设计使用要求。



图3 体育馆内空间吸声体布置情况(图片来源:作者拍摄)



图4 体育馆观众席座椅(图片来源:作者拍摄)

## 2 游泳馆

游泳馆作为第18届世界中学生运动会部分水上项目赛事场馆，主要包括跳水池、比赛池、热身池、戏水池及陆上训练区，建筑面积27 000m<sup>2</sup>，最多可容纳2000名观众，可承办游泳、跳水、花样游泳、水球等国际单项比赛，赛后可开放供大众健身使用。游泳馆外景见图6。

游泳馆作为游泳、跳水、花样游泳等水上项目的主要比赛场馆，是体育中心的重要组成部分。游泳馆除满足各种国内国际大型水上项目的体育比赛外，还要求具备举行水上文艺演出、群众健身等活动的条件，对扩声效果也有较高的要求。为了保证游泳馆具有优质的扩声效果，必须拥有良好的建声条件，因此，游泳馆的建声设计是非常重要的。

游泳馆平面呈矩形，观众席布置在场地两侧，比赛大厅总长度约109 m，宽约69 m，比赛场长约109 m，宽约46 m，比赛场地内布置了一个标准游泳池和一个跳水池。游泳馆的屋顶为拱形，比赛场距屋顶最高处的高度约为13 m，有效容积约为92 500 m<sup>3</sup>，容纳约1 750名观众，每座容积为53 m<sup>3</sup>/座。游泳馆平面图和剖面图见图7。

表1 体育馆 满场混响时间值

倍频程中心频率 (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
满场混响时间 (s)	1.9	1.9	1.7	1.7	1.8	1.8

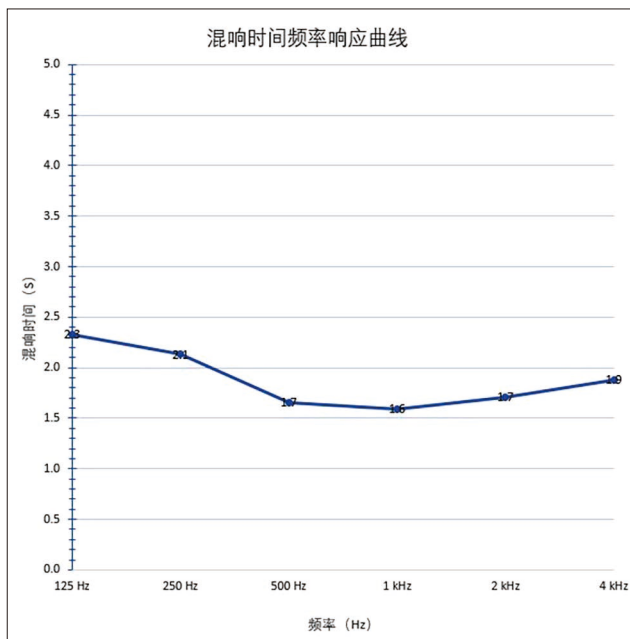


图5 体育馆混响时间频率响应曲线 (图片来源: 作者自绘)

### 2.1 建筑声学设计指标

参考《体育建筑设计规范》JGJ 31-2003和《体育场馆声学设计及测量规程》JGJ/T 131-2012，并考虑游泳馆的具体情况确定中频（500 Hz~1 000 Hz）满场混响时间小于2.5 s。比赛大厅在无人占用、空调运行达到使用工况时，噪声限值应满足噪声评价曲线NR-40要求。且大厅内不得出现明显的回声、颤动回声和声聚焦等音质缺陷。

### 2.2 混响时间的控制准则和技术措施

由于游泳馆内为高潮湿环境，所用吸声材料（或结构）除满足吸声、装修效果、防火、耐久、环保、轻质、价廉和便于施工等要求外，还必须具有防潮防腐、吸水性小、吸声性能受湿度影响小等性能。

顶部的吸声结构结合屋顶的隔声要求，设计复合结构，既实现加强围护结构的隔声性能，又满足吸声要



图6 游泳馆外景 (图片来源: 洪旗拍摄)

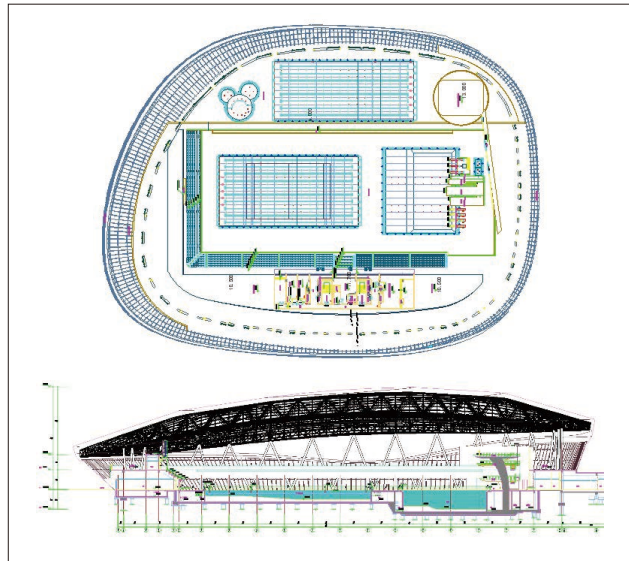


图7 游泳馆平面图 (图片来源: 项目建筑图纸)

求。用于控制混响时间的吸声材料（或结构）同时兼顾到消除音质缺陷和减低馆内的噪声作用。

## 2.3 吸声材料（结构）的选用和配置

### 2.3.1 屋面

由于游泳馆的屋面是整个比赛大厅中最大的界面，其吸声性能对整个游泳馆的混响时间控制有着至关重要的作用，因此，整个屋面应设计成强吸声构造：屋面最下层为穿孔铝板，孔径应大于5 mm，穿孔率应大于20%。穿孔铝板上方设置了拒水膜吸声板，厚度大于50 mm，容重为32 kg/m<sup>2</sup>。拒水膜吸声板后面有大于150 mm的空气层。

### 2.3.2 网架

虽然游泳馆比赛大厅体积巨大，但除顶棚外可以安装吸声材料的位置很少，而比赛大厅对声学要求又很高，所以仅依靠在比赛大厅本身的界面上布置吸声材料难以达到声学设计指标，因此在网架下弦悬挂了片式空间吸声体：吸声体采用表面材料为A2级的阻燃吸声织物，并利用高分子着色技术制作而成；选用具有节能吸声功能的材料作为板芯。空间吸声体布置情况见图8。

### 2.3.3 墙面

游泳馆的比赛大厅四周均有墙面，可以布置吸声材料，墙面进行了强吸声处理。鉴于游泳馆的高潮湿环境的要求，墙面采用砂岩吸声板，该吸声材料除了具有良好的吸声性能外，还同时具有良好的防潮和防火性能。

## 2.4 建筑声学现场测试

现场使用日本理音RION NL-52声级计，采用中断声源法，声源信号为粉红噪声信号，对游泳馆比赛大厅的混响时间进行测试。测试时现场为空场状态，推算满场混响时间值如表2所示，混响时间频率响应曲线如图9所示。

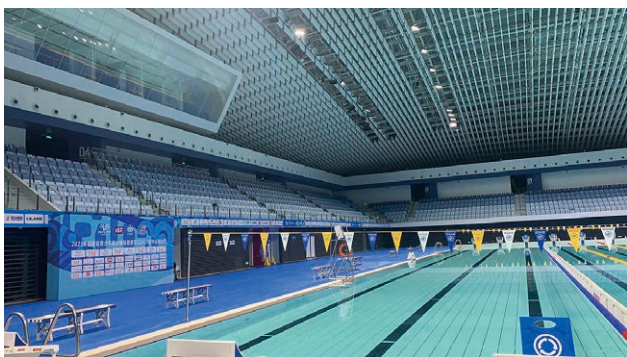


图8 游泳馆内空间吸声体布置情况（图片来源：作者拍摄）

经现场测试赛检验，游泳馆内语言清晰度较好，满足设计使用要求。

## 3 训练馆建筑声学设计

训练馆包含2处训练场地，建筑面积共45 000 m<sup>2</sup>，可提供篮球、排球、羽毛球等赛事标准场地，可以满足运动员比赛期间训练需要，赛后将开放供大众健身使用。训练馆外景见图10。

### 3.1 1#训练馆

1#训练馆长为60 m，宽为42 m，平均高度约16 m，有效容积约为38 500 m<sup>3</sup>，容纳约1 500名观众，每座容积约为25 m<sup>3</sup>/座。1#训练馆主要用于文艺演出和体育比赛，座位可以灵活布置。

#### 3.1.1 声学设计指标

参考《剧场、电影院和多用途厅堂建筑声学设计规范》GB/T 50356-2005和《体育场馆声学设计及测量规程》JGJ/T 131-2012，并考虑训练馆的具体情况确定，中频（500 Hz~1 000 Hz）满场混响时间小于1.8 s。训练馆在无人占用、空调运行达到使用工况时，噪声限值应满

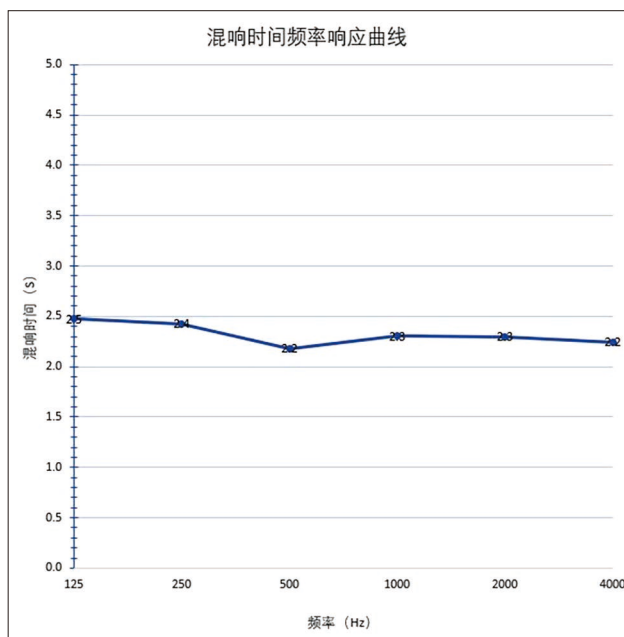


图9 游泳馆混响时间频率响应曲线（图片来源：作者自绘）

表2 游泳馆满场混响时间值

倍频程中心频率 (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
满场混响时间 (s)	2.5	2.4	2.2	2.3	2.3	2.2



图10 训练馆外景 (图片来源: 洪旗拍摄)

足噪声评价曲线NR-35要求。大厅内不得出现明显的回声、颤动回声和声聚焦等音质缺陷。

### 3.1.2 吸声材料(结构)的选用和配置

#### (1) 屋面

由于1#训练馆的屋面是整个训练馆中最大的界面,其吸声性能对整个训练馆的混响时间控制有至关重要的作用。因此,整个屋面设计成强吸声构造:屋面最下层为穿孔铝板,孔径应大于5 mm,穿孔率应大于20%。穿孔铝板后应设置离心玻璃棉板,厚度大于50 mm,容重为40~50 kg/m<sup>2</sup>。离心玻璃棉板后面应有大于150 mm的空气层。

#### (2) 网架

由于1#训练馆要求有文艺演出的使用功能,对混响时间的控制有较严格的要求。1#训练馆本身体积较大,所以仅依靠在训练馆本身的界面上布置吸声材料难以达到声学设计指标,因此在网架下弦悬挂了片式空间吸声体:吸声体表面材料为A2级阻燃吸声织物,并利用高分子着色技术制作而成;选用具有节能吸声功能的材料作为板芯。空间吸声体布置情况见图11。

#### (3) 墙面

1#训练馆墙面进行强吸声处理,根据装修效果的要求采用木质吸声板吸声构造。

### 3.1.3 建筑声学现场测试

现场使用日本理音RION NL-52声级计,采用中断声源法,声源信号为粉红噪声信号,对1#训练馆大厅的混响时间进行测试。测试时现场为空场状态,推算满场混响时间值如表3所示,混响时间频率响应曲线如图12所示。

经现场测试赛及日常运行使用检验,1#训练馆内语言清晰度较好,满足设计使用要求。

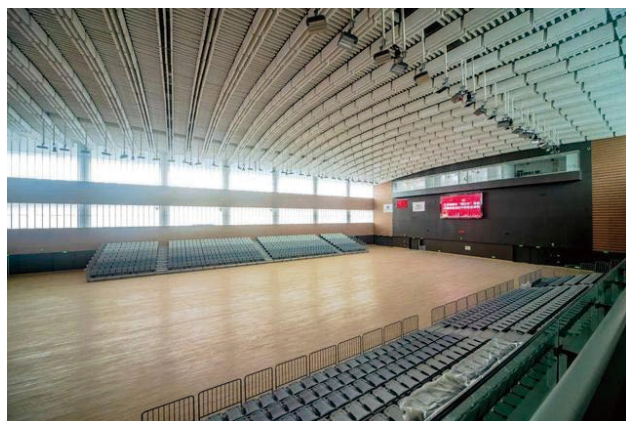


图11 1#训练馆空间吸声体布置情况 (图片来源: 作者拍摄)

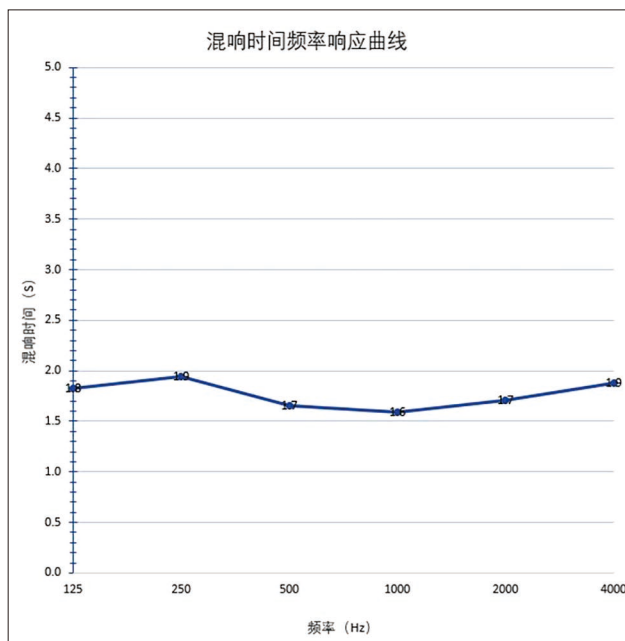


图12 1#训练馆混响时间频率响应曲线 (图片来源: 作者自绘)

表3 1#训练馆 满场混响时间值

倍频程中心频率 (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
满场混响时间 (s)	1.8	1.9	1.7	1.6	1.7	1.9

## 3.2 2#训练馆

2#训练馆长为75 m,宽为42 m,平均高度约14.5 m,有效容积约为41 500 m<sup>3</sup>,容纳约1 000名观众,每座容积约为41.5 m<sup>3</sup>/座。主要用于体育比赛和训练。

### 3.2.1 声学设计指标

参考《体育建筑设计规范》JGJ 31-2003和《体育场馆声学设计及测量规程》JGJ/T 131-2012,以及并考虑训练馆的具体情况确定:中频(500 Hz~1 000 Hz)满场混响时间

小于2.2 s,在无人占用,空调运行达到使用工况时噪声限值,应满足噪声评价曲线NR-40的要求。大厅内不得出现明显的回声、颤动回声和声聚焦等音质缺陷。

### 3.2.2 吸声材料(结构)的选用和配置

#### (1) 屋面

2#训练馆屋面是整个训练馆中面积最大的界面,其吸声性能对整个训练馆的混响时间控制有至关重要的作用,因此,整个屋面做强吸声构造:屋面最下层为穿孔铝板,孔径应大于5 mm,穿孔率应大于20%。穿孔铝板后应设置离心玻璃棉板,厚度大于50 mm,容重为40~50 kg/m<sup>2</sup>。离心玻璃棉板后面应有大于150 mm的空气层。

#### (2) 网架

由于2#训练馆本身体积较大,所以仅依靠在训练馆本身的界面上布置吸声材料难以达到声学设计指标,因此在网架下弦悬挂了片式空间吸声体:吸声体表面材料为A2级阻燃吸声织物,并利用高分子着色技术制作而成的;选用具有节能吸声功能的材料作为板芯。

#### (3) 墙面

2#训练馆墙面进行强吸声处理,根据装修效果的要求采用穿孔铝板吸声构造。

### 3.2.3 未进行建筑声学现场测试的原因

在进行建筑声学现场测试时,由于2#训练馆正在使用,并且在进行重新布置,短期内现场不具备检测条件,故未进行检测(后通过体育中心工作人员的反馈,2#训练馆语言清晰度较高,未发现存在声缺陷)。



图13 2#训练馆空间吸声体布置情况(图片来源:作者拍摄)

## 4 结语

经建成后使用及现场测试验证,晋江市第二体育中心内各重要场馆室内吸声材料或构造布置充分,混响时间和语言清晰度满足场馆使用要求,建筑声学设计达到了预期目标。

该项目的各馆内使用了大量的设计合理的穿孔吸声构造和空间吸声体等吸声材料,兼顾了室内整体装修美观和建筑声学效果。由该工程实践得出:对于室内运动馆等大型空间,需要充分利用馆内可利用的界面,合理布置不同类型的吸声材料或构造。该体育中心的建筑声学设计案例,可为未来建设类似运动场馆提供一些参考和借鉴。

致谢:感谢洪旗(北京市建筑设计研究院有限公司)对现场测试提供的重要帮助和支持。

### 参考文献:

- [1]王峥,项端祈,陈金京,薛长健著《建筑声学材料与结构-设计和应用》[M].北京:机械工业出版社,2006.1:33-80
- [2]JGJ 31-2003《体育建筑设计规范》[S]
- [3]JGJ/T 131-2012《体育场馆声学设计及测量规程》[S]
- [4]GB/T 50356-2005《剧场、电影院和多功能厅堂建筑声学设计规范》[S]

### 作者简介:

栗瀚,1982年生人,汉族,毕业于首都师范大学,本科学历,工程师。现就职于北京市建筑设计研究院有限公司声学室,长期从事建筑声学咨询设计、舞台工艺设计及声环境检测评估工作。主要工程业绩有渭南师范学院音乐厅、国家网球中心提升改造、北京市文联剧场等项目的声学设计。参与编写的技术标准有GB/T 50121《建筑隔声评价标准》、GB/T 19889.2《声学 建筑和建筑构件隔声测量 第2部分:测量不确定度的评定和应用》、建筑标准设计图集08J 931《建筑隔声与吸声构造》等。

(编辑 周建辉)