

## 第六节 剧院音响设计

剧院是包括歌剧院、民族剧院的专门演出场地。剧院的音质要求与音乐厅相似，此外还有一些特殊要求。剧院的场地较音乐厅更大、有专门的很高的观众席，与舞台互不相连，舞台一般有框式台口，有乐池，观众席有包厢。混响时间较长，但考虑到歌剧还有对白，要兼顾语言声，因此，混响时间比音乐厅短。作适当的声扩散，避免回声干扰。乐池的声学要求是乐内声部要平衡。

剧院建筑的声学设计主要包括观众厅和舞台两部分。此外，多数剧院还设有排练厅、演播室和琴房等配套用房。近年所建的剧院，通常附设舞厅、放映厅、咖啡厅等娱乐设施。实际上成为以剧院主体的文化娱乐中心，从而扩展了声学设计的内容。

剧院声学设计的指标和为实现预定指标所采取的技术措施剧院的规模、类别、演出方式和投资而不尽相同。因此，在着手剧院设计前，应要求业主（甲方）将自己的需求以书面方式确定下来，并列入设计任务书。目前，不少剧院音质不良的原因是由于声学设计的技术方面不合理，其中多数又是由于最初设计时没有明确剧院的主要用途和演出方式而引起的。例如，一个以放映电影为主要用途的观众厅，却以音乐、歌舞等要求确定声学指标，造成长所不适合使用；又如，实际用扩声系统作为主要演出方式，却以自然声演出进行设计，结果适得其反。这类例子不胜枚举，因此必须引以为戒。

### 一、剧院的音质设计

#### 1、剧院音质特点

剧院的音质水平通常低于音乐厅。但就声学设计的工作量和难度而论，则远大于音乐厅，它表现以以下几方面。

剧院观众厅与巨大的舞台间存在交汇空间，听众与演员处于不同的空间，必须同时作声学处理，而音乐厅的观众席与演奏台是处在同一空间内。

剧院通常要满足多功能使用的要求，即使是专业剧院，也要考虑“一专多用”的可能性。同一个大厅在声学上要适应不同剧目各自的声学要求，比单一用途的音乐厅难度大。

话剧、地方戏剧演出中的对白，其声功率远低于演唱和乐队演奏时的声功率；而歌剧演出则面临演唱声如何穿透乐队“声墙”的难题。

剧院观众厅要同时考虑自然声和扩声两种演出方式。而音乐厅内通常仅按自然声演出进行设计。

在近代多功能剧院观众厅内的各种调节结构，无论是设计、构造和控制系统，还是各专业的配合，要比音乐厅复杂得多，在施工过程中稍有不慎，在声学效果上就容易出现问題。

剧院的机械部分和自动控制系统，技术性很强，通常要委托舞台专业设计部门来完成。而音乐厅的演奏台则要简单得多。

在音质的主观评价方面，有关音乐厅的文献最多。近几十年来对厅堂音质的评价研究主要是针对音乐厅建立的。对于戏剧演出。特别是我国地方戏剧，如何进行音质设计缺乏现成的资料，有待进一步研究。

综上所述，由于剧院声学设计的难度很大，因此要求建筑师在统率各专业的设计过程中密切协作，沟通建筑构思与声学设计之间的意图，以便使建筑设计与声学处理有机地结合起来，创作出具有完美音质的现代化剧院。

#### 2、避免剧院音质缺陷的要点

剧院观众厅内的音质缺陷主要是声聚集和回声。由于观众席总是以舞台为中心作弧形排列，因此后墙一般为凹曲面。为了防止由后墙引起的声聚集，通常采用多孔性材料作后墙吸声处理。也可采用扩散结构消除明显的声聚集。

一对平行的侧墙，如不作声处理，肯定会产生颤动回声。但如果声源不在观众厅内，而是在舞台上，即使有颤动回声，也不会影响使用。一般镜框式舞台的话剧院，声源总是在舞台上，因此，不必过多考虑颤动回声。对于伸出式舞台和中心式舞台的观众厅，情况就完全不同了，因为声源（演员）伸入观众厅内，颤动回声这一缺陷就会明显地显露出。对此情况，平行侧墙必须作声学处理，方法是破坏平行面或加装吸声材料。在侧墙上设计跌落包厢或扩散结构也能起到同样的作用，但应尽可能少用多孔性吸声材料。

至于回声的消除，应在平、剖面形式确定时就进行考虑，在容易产生回声的部位设置吸声材料。

### 三、剧院扩声设计

剧院的声学设计要解决演唱和乐队演奏时声音的丰满度和唱词的清晰度两方面的问题。歌剧的演出都以自然声演出为唯一方式。剧团对演员的训练，舞美专业对布景的设计也都以自然声演出为基点。因此，要求剧院观众厅按自然声演出进行声学设计。歌剧演出不采用扩声，但在剧

院内仍然需要设置一套优质的扩声系统。

#### 1、剧院设置扩声系统的必要性

剧情中的效果声。

在演出前、后为观众厅、休息厅播放音乐和通知，在休息厅内播放演出实况。

舞台监督的需要。

剧院作为其他用途时，如用扩声的近代音乐演出、电影和会议的需要。

#### 2、扩声系统的其他功能

人工混响功能。

演出效果功能。

声源重放功能。

噪声抑制功能。

压限保护功能。

舞台监听功能。

此外，为满足高保真专业文艺演出的要求，扩声系统还应有足够的功率储备。

### 三、剧院设计举例

1、北京剧院是一个以戏剧演出为主，兼供会议、立体声电影和自然声条件下音乐演出的多功能剧院。容纳1000名观众，有效容积5440m<sup>3</sup>。

剧院观众厅的主要声学设计指标如下。

#### （1）混响时间和混响可调幅度

会议、立体声电影的中频（500Hz）混响时间为0.9s；自然声音乐演出，要求1.2s；话剧、地方戏剧演出为1~1.1s。由上述要求，确定了可调混响幅度为0.3s。考虑到低频可调幅度低于中高频，以及戏剧和音乐演出的实际需要，低频提升1.2倍。

#### （2）声场不均匀度

无论在自然声演出或使用扩声系统时，厅内声场不均匀度不大于3.0dB。

#### 2、著名剧院

著名剧院音质如下：

名称：北京人民大会堂

用途：会议

观众厅（m<sup>3</sup>）：914000

容纳人数（人）：10000

每座体积（m<sup>3</sup>）：9.1

混响时间（s）125：2.20（空场）1.80（满场）

混响时间（s）250：2.10（空场）1.90（满场）

混响时间（s）500：2.20（空场）2.00（满场）

混响时间（s）1000：2.80（空场）2.00（满场）

混响时间（s）2000：3.00（空场）2.10（满场）

混响时间（s）4000：2.00（空场）1.50（满场）

名称：人民大会堂小礼堂

用途：多功能

观众厅（m<sup>3</sup>）：5920

容纳人数（人）：600

每座体积（m<sup>3</sup>）：9.9

混响时间（s）125：2.70（空场）1.70（满场）

混响时间（s）250：2.00（空场）1.50（满场）

混响时间（s）500：1.80（空场）1.40（满场）

混响时间（s）1000：1.70（空场）1.50（满场）

混响时间（s）2000：1.60（空场）1.40（满场）

混响时间（s）4000：1.40（空场）1.30（满场）

名称：中央音乐学院礼堂

用途：音乐

观众厅（m<sup>3</sup>）：4870

每座体积（m<sup>3</sup>）：5.4

混响时间 (s) 125 : 2.60 (空场) 1.70 (满场)  
混响时间 (s) 250 : 2.40 (空场) 1.70 (满场)  
混响时间 (s) 500 : 2.90 (空场) 1.50 (满场)  
混响时间 (s) 1000 : 3.30 (空场) 1.50 (满场)  
混响时间 (s) 2000 : 2.90 (空场) 1.30 (满场)  
混响时间 (s) 4000 : 1.60 (空场) 1.40 (满场)

名称：北京人民剧场

用途：京剧

观众厅 (m<sup>3</sup>) : 6800

容纳人数 (人) : 1470

每座体积 (m<sup>3</sup>) : 4.6

混响时间 (s) 125 : 2.60 (空场) 1.60 (满场)  
混响时间 (s) 250 : 2.10 (空场) 1.10 (满场)  
混响时间 (s) 500 : 1.90 (空场) 1.50 (满场)  
混响时间 (s) 1000 : 1.70 (空场) 1.30 (满场)  
混响时间 (s) 2000 : 1.55 (空场) 1.00 (满场)  
混响时间 (s) 4000 : 0.76 (满场)

名称：北京民族宫礼堂

用途：音乐

观众厅 (m<sup>3</sup>) : 8048

容纳人数 (人) : 1151

每座体积 (m<sup>3</sup>) : 7.0

混响时间 (s) 125 : 1.95 (空场) 1.81 (满场)  
混响时间 (s) 250 : 2.12 (空场) 1.60 (满场)  
混响时间 (s) 500 : 1.99 (空场) 1.63 (满场)  
混响时间 (s) 1000 : 2.26 (空场) 1.67 (满场)  
混响时间 (s) 2000 : 2.52 (空场) 1.60 (满场)  
混响时间 (s) 4000 : 2.24 (空场) 1.62 (满场)

名称：北京五道口俱乐部

用途：多功能

观众厅 (m<sup>3</sup>) : 6813

容纳人数 (人) : 1503

每座体积 (m<sup>3</sup>) : 4.5

混响时间 (s) 125 : 3.10 (空场) 2.50 (满场)  
混响时间 (s) 250 : 3.05 (空场) 3.20 (满场)  
混响时间 (s) 500 : 3.05 (空场) 1.80 (满场)  
混响时间 (s) 1000 : 3.00 (空场) 1.50 (满场)  
混响时间 (s) 2000 : 2.50 (空场) 0.95 (满场)  
混响时间 (s) 4000 : 1.65 (空场) 0.71 (满场)

名称：北京广播剧院

用途：多功能

观众厅 (m<sup>3</sup>) : 6975

容纳人数 (人) : 1200

每座体积 (m<sup>3</sup>) : 5.8

混响时间 (s) 125 : 2.00 (空场) 1.66 (满场)  
混响时间 (s) 250 : 1.77 (空场) 1.62 (满场)  
混响时间 (s) 500 : 1.47 (空场) 1.29 (满场)  
混响时间 (s) 1000 : 1.70 (空场) 1.38 (满场)  
混响时间 (s) 2000 : 2.08 (空场) 1.52 (满场)  
混响时间 (s) 4000 : 1.97 (空场) 1.38 (满场)

名称：北京后勤礼堂

用途：多功能

观众厅 (m<sup>3</sup>)：10500

容纳人数 (人)：2016

每座体积 (m<sup>3</sup>)：5.2

混响时间 (s) 125：2.46 (空场) 2.23 (满场)

混响时间 (s) 250：1.70 (空场) 1.60 (满场)

混响时间 (s) 500：1.20 (空场) 0.98 (满场)

混响时间 (s) 1000：1.10 (空场) 1.15 (满场)

混响时间 (s) 2000：1.05 (空场) 0.98 (满场)

混响时间 (s) 4000：0.80 (空场) 0.73 (满场)

名称：北京二七剧场

用途：多功能

观众厅 (m<sup>3</sup>)：5683

容纳人数 (人)：1226

每座体积 (m<sup>3</sup>)：4.6

混响时间 (s) 125：1.76 (空场) 1.69 (满场)

混响时间 (s) 250：1.66 (空场) 1.28 (满场)

混响时间 (s) 500：1.62 (空场) 1.26 (满场)

混响时间 (s) 1000：1.50 (空场) 1.20 (满场)

混响时间 (s) 2000：1.32 (空场) 1.17 (满场)

混响时间 (s) 4000：1.32 (空场) 1.08 (满场)

#### 四、歌剧院音质设计

##### 1、歌剧院观众厅的规模和容量

歌剧院观众厅的规模都比话剧院大。这首先是因为歌剧演唱和配乐声远大于话剧对白时的声级；其次是音乐的丰满度要求有较大的容积，以此增长混响时间，特别是低频混响时间。世界上最大的歌剧院其观众厅容积达20000m<sup>3</sup>，容纳3600名听众。但多数歌剧院的容积都在15000m<sup>3</sup>以下，听众在2000名左右。近年来的趋向是建造不容量的歌剧院，因为凭借歌剧演唱声级高和提高音乐的丰满度而过于扩大观众厅的规模，其理由并不十分充分，这可从下述几点加以说明。

考虑到歌剧院有演出戏剧和音乐（采用扩声）的需要，对其观众厅适当地作了改善扩散的处理。除了在侧墙上配置了向上展开的三角形柱体外，在吊顶上用石膏板作成不对称的菱形交差的三角形体，并用8条光带加以分割。不仅起到声扩散的作用，同时也有较好的装饰效果。

##### 2、歌剧院音质设计实例

###### (1) 维也纳歌剧院（奥地利）

维也纳歌剧院观众厅有1658个座席和550个站席。有效容积10660m<sup>3</sup>，每座容积6.4m<sup>3</sup>。如把站席考虑在内，则为4.8m<sup>3</sup>。

观众厅是古典的马蹄形多层包厢形式。大厅除467座的池座以外，设五层带回廊的楼座。站席设在最高层楼上。整个观众厅相当大，但中间部位所占的空间却很少。厅的最大横向宽度为19.5m。大厅的音质很好。

观众厅的内装修如下。

抹灰吊顶。

顶层楼座墙面为开缝木板，后设吸声材料，通过试用后，为减少声吸收，周墙均为木板；在包厢看台下面的墙均为锦缎覆面的7mm厚的胶全板，后设空气层，包厢内的墙则将锦缎实贴在坚硬的木板上，板后没有空腔；池座墙面为13mm厚的木板。

楼座，包厢地面铺地毯；池座为塑料地面，在走道上铺地毯；顶层站席为木地板；乐池墙面为19mm厚的木板。

厅内满座实测混响时间为1.3s（500Hz），池座和楼座的大部分座席的肪冲声延迟间隙由于大厅宽度很窄，均在6-15ms范围内。由于混响时间适度，声场均匀，侧向反射声密集且延迟间隙小，使该厅获得良好的音质而闻名于世。

###### (2) 著名歌剧院音质概况。

歌剧院名称：米兰斯卡拉歌剧院（意大利）  
建造时间：1778  
体形：马蹄形  
容积（m<sup>3</sup>）：11245  
容量（座）：2289  
每座容积（m<sup>3</sup>/座）：4.91  
中频混响（s）：1.2（0.9）

歌剧院名称：佛勒合佛音乐学院（美国）  
建造时间：1857  
体形：马蹄形  
容积（m<sup>3</sup>）：15080  
容量（座）：2836  
每座容积（m<sup>3</sup>/座）：5.32  
中频混响（s）：1.35

歌剧院名称：伦敦皇家歌剧院（英国）  
建造时间：1858  
体形：马蹄形  
容积（m<sup>3</sup>）：12240  
容量（座）：2180  
每座容积（m<sup>3</sup>/座）：5.6  
中频混响（s）：1.1（1.3）

歌剧院名称：维也纳歌剧院（奥地利）  
建造时间：1869  
体形：马蹄形  
容积（m<sup>3</sup>）：10660  
容量（座）：1658  
每座容积（m<sup>3</sup>/座）：6.1  
中频混响（s）：1.3

歌剧院名称：巴黎国立歌剧院（法国）  
建造时间：1875  
体形：马蹄形  
容积（m<sup>3</sup>）：9960  
容量（座）：2131  
每座容积（m<sup>3</sup>/座）：4.5  
中频混响（s）：1.1

歌剧院名称：伯乐士节日歌剧院（法国）  
建造时间：1875  
体形：马蹄形  
容积（m<sup>3</sup>）：10300  
容量（座）：1800  
每座容积（m<sup>3</sup>/座）：5.7  
中频混响（s）：1.5

歌剧院名称：老大都会歌剧院（美国）  
建造时间：1883  
体形：马蹄形  
容积（m<sup>3</sup>）：19500  
容量（座）：3639  
每座容积（m<sup>3</sup>/座）：5.3

中频混响 (s) : 1.2

歌剧院名称：蒂特多科歌剧院 (阿根廷)

建造时间：1908

体形：马蹄形

容积 (m<sup>3</sup>) : 20550

容量 (座) : 2487

每座容积 (m<sup>3</sup>/座) : 7.1

中频混响 (s) : 1.6

歌剧院名称：旧金山战争纪念歌剧院 (美国)

建造时间：1932

体形：扇形

容积 (m<sup>3</sup>) : 20900

容量 (座) : 3252

每座容积 (m<sup>3</sup>/座) : 6.1

中频混响 (s) : 1.6

歌剧院名称：西柏林市歌剧院 (德国)

建造时间：1954

体形：马蹄形

容积 (m<sup>3</sup>) : 7000

容量 (座) : 1488

每座容积 (m<sup>3</sup>/座) : 4.7

中频混响 (s) : 1.0

歌剧院名称：汉堡城市歌剧院 (德国)

建造时间：1955

体形：扇形

容积 (m<sup>3</sup>) : 9700

容量 (座) : 1650

每座容积 (m<sup>3</sup>/座) : 5.9

中频混响 (s) : 1.25

歌剧院名称：维也纳城市歌剧院 (奥地利)

建造时间：1955

体形：马蹄形

容积 (m<sup>3</sup>) : 9120

容量 (座) : 1660

每座容积 (m<sup>3</sup>/座) : 5.5

中频混响 (s) : 1.45

歌剧院名称：斯图加特歌剧院 (德国)

建造时间：1956

体形：不规则

容积 (m<sup>3</sup>) : 16000

容量 (座) : 2000

每座容积 (m<sup>3</sup>/座) : 8.0

中频混响 (s) : 1.7

歌剧院名称：科隆歌剧院 (德国)

建造时间：1957

体形：扇形

容积 (m<sup>3</sup>) : 8650

容量（座）：1346  
每座容积（m<sup>3</sup>/座）：6.1  
中频混响（s）：1.6

歌剧院名称：莱比锡城市歌剧院（德国）  
建造时间：1960  
体形：扇形  
容积（m<sup>3</sup>）：9600  
容量（座）：1700  
每座容积（m<sup>3</sup>/座）：5.7

歌剧院名称：德意志歌剧院（德国）  
建造时间：1961  
容积（m<sup>3</sup>）：10800  
容量（座）：1900  
每座容积（m<sup>3</sup>/座）：5.7  
中频混响（s）：1.6

歌剧院名称：新大都会歌剧院（美国）  
建造时间：1966  
体形：马蹄形  
容积（m<sup>3</sup>）：27000  
容量（座）：3788  
每座容积（m<sup>3</sup>/座）：7.1  
中频混响（s）：1.6

歌剧院名称：悉尼歌剧院（澳大利亚）  
建造时间：1973  
体形：马蹄形  
容积（m<sup>3</sup>）：8200  
容量（座）：1547  
每座容积（m<sup>3</sup>/座）：5.3  
中频混响（s）：1.3

歌剧院名称：都灵歌剧院（意大利）  
建造时间：1973  
体形：马蹄形  
容积（m<sup>3</sup>）：14203  
容量（座）：2000  
每座容积（m<sup>3</sup>/座）：7.1  
中频混响（s）：1.3

歌剧院名称：肯尼迪中心歌剧院（美国）  
建造时间：1978  
体形：马蹄形  
容积（m<sup>3</sup>）：13000  
容量（座）：2319  
每座容积（m<sup>3</sup>/座）：5.6  
中频混响（s）：1.4