

無錫大劇院的建築聲學設計

許榮林

(上海現代建築設計(集團)有限公司 章奎生聲學設計研究所)

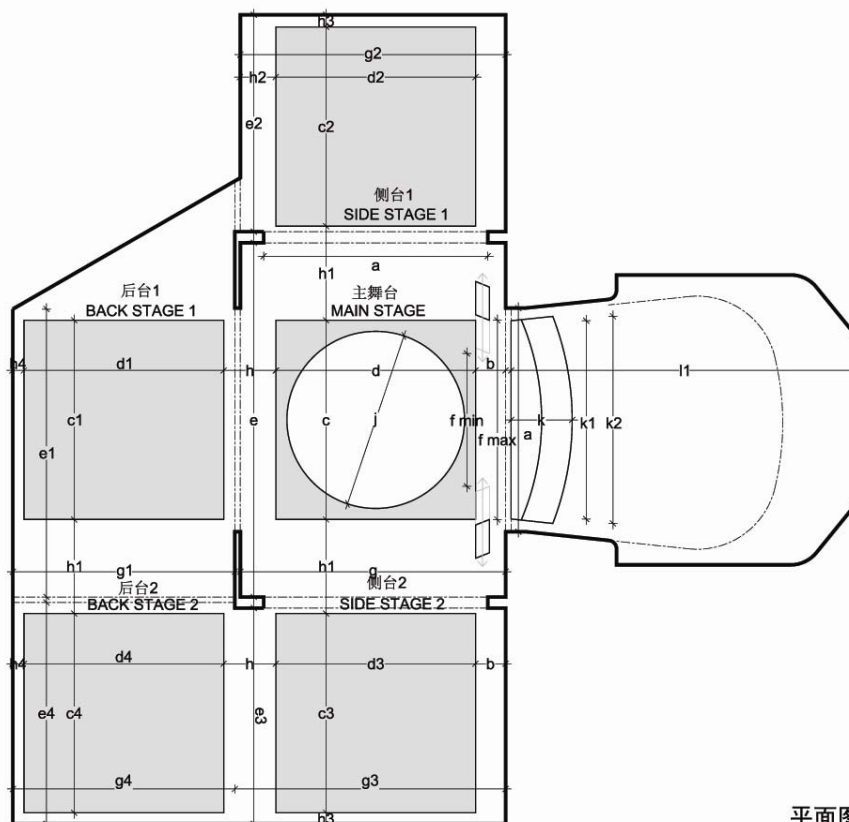
一·江蘇無錫大劇院大劇場

大劇場（歌劇廳）總容座約 1700 人，是一座可上演歌劇、交響樂、戲劇、舞劇、大型綜藝演出、及芭蕾的綜合性演出的劇場。

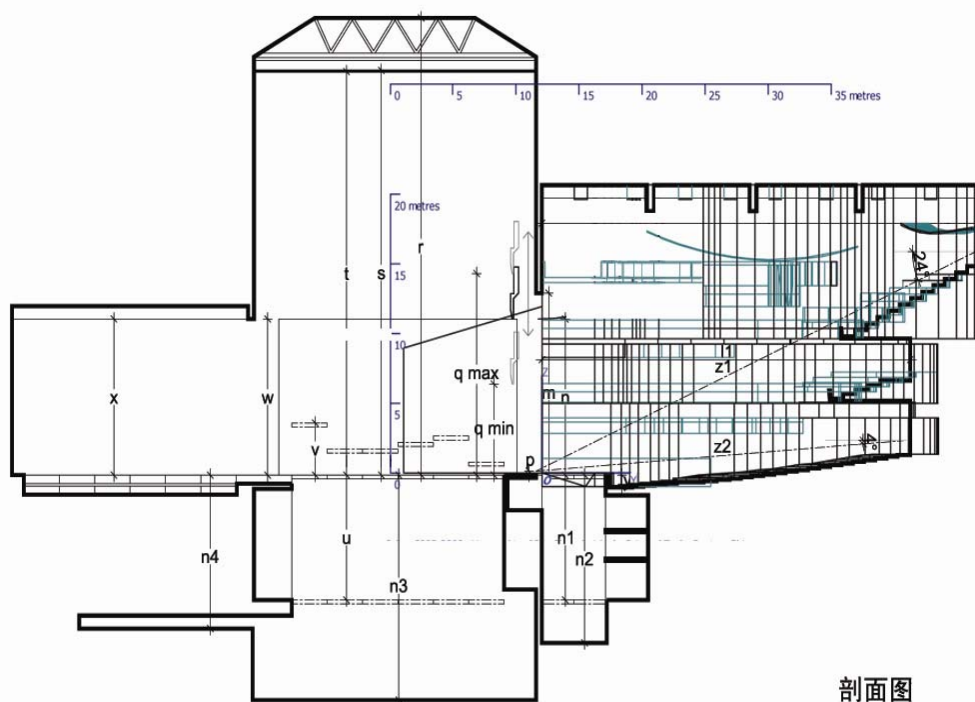
聲學設計指標要求要達到觀眾廳內聲音響度足夠，聲場分佈均勻，聲場擴散良好，有足夠的前次反射聲和側向反射聲，無聲聚焦，回聲和顫動聲等聲缺陷。

二.大劇場觀眾廳基本形式

1700 座觀眾廳平面形狀呈“馬蹄形”，廳內設二層挑台，左右兩側各設延伸側包廂，吊頂天花在國內首次設計為通透的中心反射頂棚。台口天花設主音箱，吊頂天花設兩道面光燈，台口兩側牆各設兩道明裝耳光，兩邊音箱和麵光燈的明裝或暗裝形式請業主與音響燈光工藝設計協商。觀眾廳遲座後部設音控、燈控室。



平面图.



剖面图

三. 大劇場建聲設計主要技術指標

1· 根據本劇場演出的功能定位以及觀眾廳的規模和容積，建議上演歌劇時中頻混響時間(滿場)為: $T_{60} = 1.60 \pm 0.10(s)$ ($f=500 \sim 1000\text{Hz}$)，且要求混響時間頻率特性為中高頻基本平直，但高頻混響允許下降 10~20%，低頻混響要求有 10~20% 提升。廳內應有足夠的前次反射聲和側向反射聲。

當劇場上演交響樂時，(舞臺上設置音樂反射罩條件下中頻混響時間可提升約 0.15~0.25s)，則中頻混響時間(滿場)可達 1.80 秒左右 ($f=500 \sim 1000\text{Hz}$)，其低頻混響要求有 10~25% 的提升，而高頻混響則允許下跌到 10~20%。

從大劇場觀眾廳空場和滿場混響時間計算結果可知，滿場中頻混響時間計算值與設計值比較吻合。當然在工程實際中由於多種因素(包括吸聲係數取值的準確度、座椅及材料的實際聲學性能、施工安裝的因素以及廳內的溫濕度條件和不同季節人的衣著等)的影響，廳內實際的混響時間及其頻率特性與設計值很難保持完全一致，故一般都允許混響時間有 ± 0.10 到 ± 0.15 秒的誤差。

2· 建議大劇場混響時間頻率特性(上演歌劇時)，見下表所示:
(無音樂反射罩條件下):

中心頻率(Hz)	125	250	500	1K	2K	4K
T ₆₀ (秒):	1.92	1.76	1.60	1.60	1.44	1.28
混響比:	1.20	1.10	1.00	1.00	0.90	0.80

(舞臺設置音樂反射罩條件下):

中心頻率(Hz)	125	250	500	1K	2K	4K
T ₆₀ (秒):	2.25	2.07	1.80	1.80	1.62	1.44
混響比:	1.25	1.15	1.00	1.00	0.90	0.80

3. 大劇場內聲場不均勻度要求為: $\Delta LP \leq \pm 4\text{dB}$ 。
4. 本底雜訊允許值:符合 NR ≤ 20 號雜訊評價曲線。
5. 觀眾廳的音質應保證觀眾席各處有足夠的聲音響度、均勻的聲場分佈、合適的混響特性、足夠的早期反射聲和側向反射聲,有良好的清晰度和豐滿度。觀眾廳內任何位置上不得出現回聲、顫動回聲、聲聚焦等聲缺陷;
6. 側向反射係數 LF: 在 15% ~ 25% 之間 (要求 $\geq 15\%$);
7. 聲場力度 G: 大於 0dB;
8. 早期反射聲延遲時間 Δt : $\leq 20 \sim 30\text{ms}$;
9. 舞臺空間內的混響時間要求大幕下落及常用舞臺設置條件下舞臺空間的中頻 (500~1000Hz) 混響時間與觀眾廳的空場混響時間相接近,本底雜訊與觀眾廳基本相同;
10. 考慮到大劇場上演交響樂的要求,建議大劇場觀眾廳單座容積值宜控制在 8.0 ~ 8.5m³/人左右為宜;

四.大劇場觀眾廳內建築尺寸

廳內建築尺寸:長約:31.9m;寬約:17.1~28.2m;高約:17.5m。

舞臺開口:18m×12m,池座最低標高+5.05m;舞臺面標高為+6.00m。

天花設兩道面光和一道追光。

池座觀眾席共 25 排,觀眾席設一層樓座,樓座下部開口高 4.3m,深(至池座最後一排距離)6.0m,高深比為 1:0.72 (不符合我國劇院設計規範要求,樓座下挑台開口的高度與挑台深度比,宜大於或等於 1:1.2)。

一層樓座共 5 排,

觀眾席設二層樓座,

二層樓座共 12 排,

觀眾席前部設升降樂池,深 6.0m,最大寬約 17.8~18.8m,面積為 103m²。可分別用於樂池,觀眾席和伸出舞臺三種使用功能;

舞臺包括一個主舞臺、二個大小一致的側舞臺、二個大小不一的後舞臺,總面積 2769m²;

主舞臺高 31.0m,側舞臺和後舞臺高 12.0m;(主舞臺設升降設備)

主舞臺共設三層馬道,離舞臺高度分別為:13.6、16.7 及 19.8m;

聲光控制室設於池座後牆的中部;

反射樂罩建築尺寸:開口寬=17m;開口高=12m;後擋板寬=9.2m;樂罩深12m,後擋板高=7m;

(暴露頂不加反射樂罩) 體積約為：

天花頂上體積約為：2458 m³；

總體積約為： $V_{\text{暴露總}} = 13078 + 2458 * 0.5 = 14307 \text{ m}^3$

每人容積約= 14307/1600=8.95 (m³/人)

(暴露頂加反射樂罩)

總體積約為： $V_{\text{暴露總}} + V_{\text{樂罩}} = 14307 + 1492 = 15799 \text{ m}^3$

每人容積約=15799 /1600=9.88 (m³/人)

五.大劇場室內聲學聲學裝修材料及結構選擇、配置及要求

1. 大劇場舞臺內牆面的吸聲處理：

由於舞臺空間體積比較大，爲了避免舞臺空間與觀眾廳空間之間因耦合空間大空間對觀眾廳音質產生的不利影響，聲學設計要求舞臺空間內的混響時間應基本接近觀眾廳的混響時間，最好比觀眾廳具有更短的混響時間。爲此，舞臺空間內牆面必須採取吸聲處理。

聲學設計要求在舞臺（包括主舞臺、側舞臺及後舞臺）一層天橋以下牆面均做吸聲處理。

2. 觀眾廳兩側牆牆面的擴散反射處理:

大劇場觀眾廳兩側牆牆面設計成“條帶狀”的擴散反射處理。

3. 觀眾廳後牆牆面的擴散反射處理:

觀眾廳後牆牆面採用 MLS 數位牆（和 QRD 形式），以 150mm×150mm 的條狀木框作爲一各單元組合而成的凹凸牆面，表面也可做部分 QRD 形式的木裝飾（見下圖），既可滿足聲音擴散的要求，同時也具有較強烈的裝飾效果。

4. 關於大劇院大劇場觀眾廳內頂棚（吊頂天花）的設計：

大劇院觀眾廳內頂棚的設計在很大程度上決定了一個大劇院音質的優劣。

大劇院觀眾廳內中心頂棚設計成類似於大圓盤擴散反射吊頂，在二層樓座後區平頂設計了一個反射天花，增強後區觀眾的反射聲區域。

5. 挑台欄板和挑台天花聲學處理建議：

建議挑台欄板（外側面）採用斜形或弧形結構，這能使前區觀眾得到較好的反射聲，並有利聲場均勻擴散。挑台欄板是廳內容易在前區造成回聲的部位，建築及室內設計中都應予以注意。

挑台欄板也可結合表面裝飾做一些局部擴散處理，以有利於擴散聲波，不至於產生回聲、聚焦等聲學缺陷。

挑台天花建議採用面密度 $\geq 20 \sim 25 \text{ kg/m}^2$ 材料做吊頂，做成反射面結構，以利聲音反射，挑台天花形狀爲平面或弧線形狀。

6. 大劇場聲閘：

爲了防止外界雜訊通過門傳入大劇場觀眾廳，因此出入觀眾廳的門，均需採用雙道隔聲門以形成聲閘，且聲閘內牆面均需做吸聲處理。

7. 大劇場觀眾席座椅的要求:

在選擇觀眾廳座椅時，既要考慮其用料、色彩、裝飾及舒適性，同時也應重視座椅本身的聲學性能，因爲座椅的吸聲量占整個觀眾廳總吸聲量的比例最大（通常占到 1/2 到 2/3 左右），因此對觀眾廳內的混響時間指標起到決定性因素。

8. 大劇院公共空間的聲學要求：

大劇院公共空間應有一個安靜的環境，特別是大堂空間體量很大，國內有些劇院在設計的過程中很重視劇場內聲學效果，忽略公共空間的聲學要求，混響時間很長，甚至於相互交談也發生困難。所以在本專案中對大劇院公共空間要重視聲學處理，除玻璃幕牆外，其他可做吸聲的牆面和大堂頂面都應採取相應的聲學措施。

建築設計：芬蘭薩米寧建築事物所、上海現代建築設計（集團）有限公司、上海現代建築設計研究院。

建聲設計：章奎生、許榮林、王靜波、張曉嵐、夏媛（上海現代建築設計（集團）有限公司章奎生聲學設計研究所）