

建築聲學設計技術十年新進展

章奎生

(上海現代建築設計集團都市設計院章奎生聲學設計研究所)

一、20 世紀後期建築聲學發展簡況

- 1、六十至七十年代 建築聲學廳堂音質不受重視；
環境聲學雜訊控制尚待起步；
- 2、八十年代 建築聲學廳堂音質關注不多；
環境聲學雜訊控制開始重視：制訂標準、培養人才、推廣技術、治理工程
- 3、九十年代 建築聲學廳堂音質引起關注，有了建聲工程；
環境聲學雜訊振動控制廣受重視：技術、人才、材料產品及工程應用標準規範發展迅速。
- 4、總體存在問題
對建聲雜訊總體重視不夠；
技術隊伍不足，科研投入少；
企業規模小，產值低，行業未成氣候；
規範標準遲後，儀器設備陳舊，測試分析技術落後。

二、21 世紀新十年建聲設計技術新進展

- 1、建聲設計專業技術隊伍和力量明顯發展，湧現許多專業聲學設計、諮詢、顧問及研究公司機構等，發展並不平衡；
- 2、十年來各類聲學材料產品不斷開發湧現，並在工程中得到廣泛應用，造就了一批大規模上水準、有影響的聲學材料裝備、雜訊與振動控制產品生產廠及工程的企業，形成了行業隊伍；
- 3、編制（或修訂）了一批有關建築聲學、環境聲學、雜訊與振動控制領域的評價、設計及測量方面新的標準規範，推動和促進了行業技術的發展；
如：2001 年的“劇場建築聲學設計規範”。
2005 年的“劇場、電影院和多功能廳堂建築聲學設計規範”
2008 年的“電影院建築設計規範”
“體育館建築設計規範”
“室內混響時間測量規範”
- 4、建聲設計已成為文化演藝類建築工程設計建設中不可或缺的一個專業工程，建聲專業設計的一些基本原則和技術已被廣泛認可和接受。
如：主要音質指標或參量的設計確定；
觀眾廳總體佈局和平剖面體形的設計原則；
舞臺工藝及音響燈光工藝與建聲專業的協調設計；
觀眾廳及舞臺空間的聲學處理及與室內專業的協調設計；
與土建及設備工種在建築隔聲吸聲和機電設備消聲減振技術的設計協調。
- 5、觀眾廳內混響時間特性的控制設計已實現了快捷化計算，方便了混響時間的調整設計；
- 6、室內聲場電腦類比仿真計算分析已成為建聲設計的重要輔助設計手段，實現了廳堂音質的預評價，得到了廣泛的應用，並出現了商品化的多種分析軟體。
如：德國的 EASE7.0 軟體；

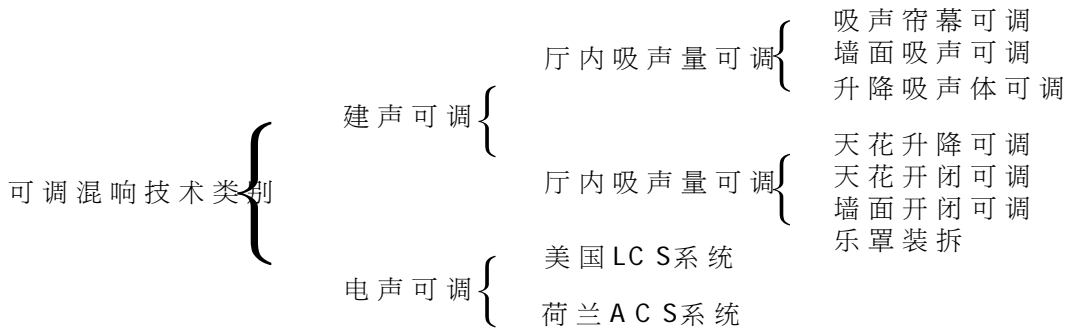
比利時 RENOISE 軟體；
 丹麥 ODEON5.01 軟體；
 瑞士 CATT8.0、9.0 軟體。

7、觀眾廳的實體縮尺音質模型（1/10 或 1/20）試驗在不少重大演藝建築工程聲學設計中得到實際應用，取得了積極的輔助設計作用，同時也在模型試驗中開展了觀眾廳音質可聽化預測評價研究，編制了廳堂音質模擬方法標準。

1/10 模型試驗劇場如：上海大劇院、北京保利劇院、上海東方藝術中心、琴台大劇院、國家大劇院、東莞大劇院等；

1/20 模型試驗劇場如：重慶大劇院、惠州文化中心劇院、廣州歌劇院等；
 開展音質模型試驗的單位主要有：北京院、同濟大學、華南理工大學、南京大學、清華大學等。

8、多用途觀眾廳的建聲設計中可調混響設計應用技術有了新的進展和較多的工程實際應用。



典型吸聲可調的演藝建築：

吸聲可調：上海大劇院、東方音樂廳、北京保利劇院、琴台大劇院、上海廣電劇院、東莞大劇院；

容積可調：蘇州科技文化中心劇院、新疆師大音樂廳、濰坊文化中心音樂廳。

9、觀眾廳內聲場擴散處理設計技術有了新的發展，各種不同形式的聲擴散體在廳堂建聲工程設計得到了廣泛應用，並開展了有關散射係數的研究工作。

常規的不同形式幾何形擴散體，如折線形、三角形、凸弧形、棱錐形、球面形等。

數論擴散體：QRD 二次剩餘序列擴散體，平方餘數序列；

MLS 最大長度序列。

微擴散處理：東方音樂廳凹凸弧條牆面天花；

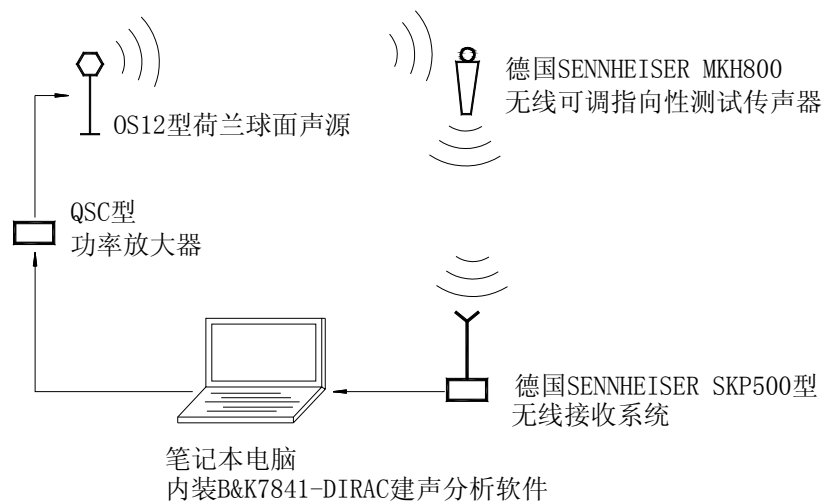
武漢大劇院浮雕體牆面擴散處理；

國家大劇院音樂廳雪地天花設計。

10、廳堂音質測量技術有了新的發展和提高，實現了軟體化、無線化和快速化現場測量技術和即時資料處理分析技術，大大提高了現場音質測量的可靠性、準確性和快捷性。

- (1). 測量儀器設備有了很大的變化，一些專業單位擁有了最新的測試儀器；
- (2). 現場音質測量受到重視，成為演藝建築工程驗收的一項重要內容；
- (3). 測試都採用了產品化先進軟體，如丹麥 B·K7481 型 DIRAC5.01 音質測試分析軟體，實現了多指標，全頻段快速採樣分析測試技術，可同時測量 $RT_{10,20,30}$ ，EDT、 C_{80} 、 D_{50} 、 L_F 、G 等音質參量。

廳堂現場音質測量儀器裝備圖：



厅内声场分布及背景噪声测量采用BSWA801型噪声振动分析仪

(4). 滿場音質測量和主觀音質評價開始受到關注和實施。

如上海東方藝術中心、武漢琴台大劇院、深圳保利劇院、廈門國際會議中心音樂廳、中國音樂學院音樂廳、上海音樂廳、新疆師大音樂廳、杭州大劇院、蘇州科技文化中心等。

11、耦合空間在廳堂建聲設計工程中得到關注、研究和實踐應用，開展了耦合空間與可調混響技術的應用研究。耦合空間在多功能劇院建聲設計中開始得到工程應用，如：蘇州科技文化中心劇院。

12、演藝建築工程中與聲學相關的舞臺機械、音響燈光、音樂反射罩、觀眾廳座椅、觀眾廳防火隔聲門、GRG 吊頂反射板、阻燃裝飾吸聲板、QRD 聲反射板等都形成了國內的設計生產行業，提供了高品質產品，得到廣為應用。

如由瓦格納、SBS 到總裝院、浙江舞臺院、大豐公司、甘工大；由溫格爾 SBS 到世幫華億舞臺科技公司等和音樂罩等舞臺機械企業，由義大利、法國等到長城奇耐特、大豐、神鴿等的座椅；申華聲學裝備公司的防火裝飾隔聲門；吉泰公司的 QRD 等聲擴散成品牆面；福益公司的阻燃裝飾吸聲板、吸聲體、可調吸聲簾幕等。

13、浮築樓板撞擊聲隔絕設計技術和彈性墊層隔聲材料得到新的研究開發和工程應用，取得顯著效果。

傳統的房中房隔聲結構：鋼彈簧雙層結構樓板、厚玻纖或岩棉板墊層雙樓板隔聲結構；

21 世紀初房中房隔振隔聲結構：厚橡膠塊隔振隔聲結構；近期浮築樓板隔振隔聲結構：鋪頂升式橡膠彈簧隔振器浮築樓板，滿鋪式隔振隔聲墊浮築樓板。

14、近年來在建築聲學設計領域還在分別開展一些不同專題的研究工作。

如：散射係數在聲場模擬分析中的取值與應用研究；

現場吸聲係數特性測試技術的研究；

廳堂音質主客觀評價相關性的研究；

音質計算、聲場類比、模型試驗與現場檢測結果的相關性研究；

觀眾廳座椅聲學特性可控性設計技術研究；

輕質阻尼複合牆板空氣聲隔聲性能設計研究。

15、十年間設計建成了一大批大劇院、音樂廳等現代化、高水準、視聽效果俱佳的文化演藝建築工程，大大豐富了人民的文化精神生活，也顯示了設計技術的新進展新成果。

近十年中外合作建築及聲學設計的演藝建築工程

項目名稱	建成年份	建築設計	建聲設計
上海東方藝術中心	2006	安德魯/華東院	維昂/章所
杭州大劇院	2004	卡洛斯/杭州市院	BBM/章所
東莞大劇院	2005	卡洛斯/同濟院	北京院/章顧
蘇州科文中心	2006	安德魯/華東院	TPC/章所
廣州歌劇院	2010	以紮哈/珠江院	馬歇爾/章顧
無錫大劇院	2012	勞 PES/上海院	TPC/章所
國家大劇院	2008	安德魯/北京院	維昂/清華
濰坊文化藝術中心	2011	新加坡 RSP/上海院	TPC/章所
重慶大劇院	2009	德國 GMP/華東院	BBM
青島大劇院	2010	德國 GMP/華東院	BBM/中廣電
武漢琴台音樂廳	2009	珠江院	BBM/北京院
中央電視臺新樓	2010	庫哈斯/華東院	DHV/章所

近十年章奎生聲學設計研究所承擔建聲設計的演藝建築工程

項目名稱	建成年份	建築設計	建聲設計
上海大劇院	1998	夏邦傑/華東院	章奎生
上海廣電劇場	1999	華東院	章奎生
北京保利劇院	2000	北京院	北京院/章奎生
廣東汕尾市劇院	2001	廣東省院	章奎生
上海音樂廳移建	2004	現代院	章所
浙江省人民大會堂	2002	浙江城規院	章所
海南博鰲會議中心大會堂	2003	北京院	章所
武漢琴台大劇院	2006	廣州珠江院	章所
廣州白雲國際會議中心大會堂	2007	廣州市院	章所
中國音樂學院音樂廳	2008	華東院	章所
湖南省群藝館音樂廳	2008	湖南省院	章所
廈門國際會議中心音樂廳	2009	日設/上海院	章所
常州大劇院	2009	上海院	章所
新疆師大音樂廳	2008	新疆院	章所
甘肅大劇院	2011	上海院/西北院	章所
上海嘉定保利大劇院	2012	安藤忠雄/同濟院	章所
上海文化廣場音樂劇院	2010	BBB/華東院	章所
揚州文化中心音樂廳	2010	蘇州院	章所
上海世博中心	2010	華東院	章所
世博演藝中心	2010	華東院	章所
瀋陽文化中心	2012	上海院	章所
溫州大劇院	2010	卡洛斯/同濟院	章所
廣州惠州文化中心劇院	2009	同濟院	章所
長沙文化中心音樂廳	2011	湖南省院	華工大/章所