

會議廳的聲環境設計技術探討

宋擁民，章奎生

(上海現代建築設計(集團)有限公司 章奎生聲學設計研究所，上海，200041)

引言

會議廳是一種重要的建築類型，美國紐約聯合國大廈、德國柏林議會大廳^[1]、埃及開羅國際會議中心，中國北京人民大會堂、上海浦東國際會議中心、海南博鰲亞洲論壇國際會議中心^[2]、2006 年建成的廣州白雲國際會議中心、2008 年建成的廈門國際會議中心和 2009 年 11 月底建成的中國 2010 年上海世博會世博中心等都是典型的大型會議廳。近十年來，隨著我國國際交往的不斷擴大，政治、經濟、司法、科技、文化、教育和體育事業的蓬勃發展，會議廳也成為建築工程領域中的一個熱點。各地正大量興建大禮堂、會議廳、演講廳、多功能廳、審判廳、新聞發佈廳、宴會廳以及含有這些會議用廳堂的文化中心、會議中心、科技中心、展覽中心、體育中心、新聞中心等各類建築。政府機關辦公樓、企業商務樓、賓館酒店、社區學校則有更多大小規模不等的會議廳、會議室，可見會議廳與國際交往、科技經濟、社會生活均密切相關。

會議廳的規模差異很大，特大型會議廳可容納數千上萬人，大型會議廳容座一般為 1000~2000 人，中型會議廳則可容納 300~800 人，百人以下的小會議廳也不少見。會議廳的功能顧名思義就是召開各種會議，但也有不少大型會議廳要求兼顧綜藝演出，甚至音樂、電影等。因此會議廳的聲環境設計需視規模和功能而定。國內外在一些大型會議廳設計中一般均由聲學顧問公司或專業建聲設計人員參與設計建設全過程，保證了會議廳能取得優良的聲環境效果，即達到廳內混響合適、聲場均勻、無聲學缺陷、更無噪音振動幹擾。但許多小型會議廳及部分中型會議廳僅由建築及室內裝飾專業承擔設計，而未考慮安排建聲專業人員參與其中，結果會議廳雖然設計新穎、裝修美觀，但廳內音質效果不佳，或因平面體型不妥廳內產生聲聚焦及顫動回聲或因混響過長使廳內聽音含混不清，語言清晰度較差，甚至導致擴聲系統因回輸嚴重嘯叫而難以使用。

國內外的會議廳工程設計建築中都會有過此類典型的經驗教訓，這就提醒我們注意在承擔會議工程建築專案設計中，除了重現會議廳的建築形體和裝修用料的視覺環境設計，會議廳內空氣品質及溫、濕度相關的氣候環境之外，還應關注會議廳內同樣重要的聲環境設計，給會議創造一個優良的音質條件。

本文將重點闡述會議廳內聲環境的技術要求，會議廳聲環境設計中存在的主要問題，以及會議廳聲環境設計的技術方法和設計要點，以便廣大相關專業設計人員和會議廳建設工程業主單位元元元重視和應用。

1 會議廳聲環境的技術要求

會議廳聲環境設計的內容主要包括容積控制設計、混響控制設計、噪音與振動控制設計以及音質缺陷控制設計這四方面的內容。對於大型會議廳，還包括聲場分佈不均勻度控制設計。

由於會議廳規模差異較大，小至 100m³左右，僅能容納十幾人。大的容積可達 100000m³，能容納上萬名聽眾。因而混響時間的差別相應也很大，必須根據會議廳的容積確定混響時間值，表 1 為國內外部分會議廳的混響時間滿場值，可見會議廳的混響時間通常在 0.5~1.9s 範圍內。

表 1 國內外部分會議廳的主要技術參數

| 序號 | 會議廳名稱 | 容座 (人) | 每座容積 (m ³ /人) | 中頻混響時間 (s) | 功能 |
|----|---------------------------------|-----------|-----------------------------|---------------|-------|
| 1 | 聯合國大廈會議廳 | 2155 | 12.0 | 1.25*(O) | 國際會議 |
| 2 | 西柏林國際會議廳 | 1200 | 6.8 | 1.18 *(O) | 國際會議 |
| 3 | 北京人民大會堂 | 10000 | 9.1 | 1.85 *(O) | 會議兼演出 |
| 4 | 北京國際會議中心大會議廳 | 2500 | 6.4 | 1.37 *(O) | 會議 |
| 5 | 北京國際會議中心中會議廳 | 650 | 5.0 | 0.60 *(O) | 會議兼電影 |
| 6 | [△] 上海浦東國際會議中心主會議廳 | 800 | 8.4 | 1.20 *(O) | 會議 |
| 7 | [△] 上海浦東國際會議中心小會議廳 | 200 | 7.5 | 0.90 *(O) | 會議 |
| 8 | [△] 博鰲亞洲論壇會議廳 | 2500 | 11.2 | 1.79 *(O) | 會議 |
| 9 | 鄭州河南大會堂 | 3052 | 6.2 | 1.50 *(O) | 會議兼演出 |
| 10 | [△] 杭州浙江省人民大會堂 | 2200 | 7.1 | 1.30 *(O) | 會議兼演出 |
| 11 | [△] 廣州白雲國際會議中心大會議廳 | 2500 | 10.9 | 1.70* (U) | 會議兼演出 |
| 12 | 廣州白雲國際會議中心小會議廳 | 500 | 11.2 | 0.80 | 會議兼電影 |
| 13 | [△] 廈門國際會議中心大會議廳 | 2029 | 8.3 | 1.50* (U) | 會議兼演出 |
| 14 | [△] 廈門國際會議中心小會議廳 | 500 | 7.8 | 1.15* (U) | 會議 |
| 15 | [△] 蘇州友誼會堂 | 570 | 4.9 | 1.10 *(U) | 會議 |
| 16 | [△] 武漢二炮指揮學院綜合訓練大廳 | 1692 | 7.6 | 1.35 * (U) | 會議兼演出 |
| 17 | [△] 普陀區圖書資訊中心報告廳 | 1030 | 5.4 | 1.00 *(U) | 會議兼演出 |
| 18 | [△] 浦東新區圖書館報告廳 | 600 | 5.0 | 1.00 | 會議兼演出 |
| 19 | [△] 成都中級法院審判廳 | 350 | 5.7 | 0.80 | 審判 |
| 20 | [△] 上海公安高等專科學校禮堂 | 1000 | 5.7 | 1.00 | 會議兼演出 |
| 21 | [△] 2010 年上海世博會世博中心大會堂 | 2600+300 | 19.6 | 1.50 | 會議兼演出 |
| 22 | [△] 2010 年上海世博會世博中心政務廳 | 600 | 57.5 | 1.30 | 會議 |

注：帶[△]項目均由章奎生聲學設計研究所承擔建聲設計，*為實測值，其餘均為設計值，且(U)代表空場，(O)代表滿場。

在會議廳內，除了依據會議廳的容積確定合適的混響時間之外，還必須確保會議廳不受外界噪音源或振動源的影響，因此必須對會議廳進行噪音與振動控制設計以確保會議廳內噪音不超過相關規範^[3]建議的室內最大允許噪音值。會議廳室內最大允許噪音值與會議廳的規模和聲源特性有關，以自然聲為主的中小型會議廳，室內噪音不超過 NR-30 曲線；採用擴聲系統的大型和特大型會議廳，其室內噪音可以放寬至不超過 NR-35 曲線。

會議廳音質缺陷控制設計的要求就是要確保會議廳內任何位置不出現聲聚焦、回聲、顫動回聲、多重回聲等。在會議廳內，由於建築設計或裝修設計過程中體型選擇不當或聲學材料佈置不當，常會出現音質缺陷，由於各種內凹形體形引起的聲聚焦，平行光硬牆面引起的顫動回聲，反射材料佈置不當引起的回聲和多重回聲等。

在大型特大型會議廳內，由於空間較大，不同位置處的直達聲和反射聲的強度也有較大差異，因此造成不同位置處聲場特性不一致，主要體現為聲壓級差異較大。在室內混響時間和背景噪音級差異不大的條件下，聲壓級的差異將直接導致語言清晰度的差異，因為語言清晰度與信噪比密切相關。而會議廳聲學設計的目標是要避免不同位置出現語言清晰度的差

異，因此在大型特大型會議廳內，室內聲場分佈不均勻度必須滿足表 2 所示數值。

表 2 會議廳聲場分佈不均勻度建議值

| 會議廳型式 | 頻帶範圍 (Hz) | | |
|-------|-----------|--------|-------|
| | 125~250 | 500~1K | 2K~4K |
| 無樓座 | ±4dB | ±3 dB | ±3 dB |
| 帶樓座 | ±5dB | ±4 dB | ±4 dB |

2 會議廳設計中存在的聲學問題

會議廳不同於劇院、音樂廳，後者廳內的聲源是經過專業訓練的演員演唱聲或樂器演奏聲，而會議廳的聲源主要是人的講話聲，其聲源功率都相對較低，一般均低於 10 微瓦，所以會議廳都需採用擴聲系統用揚聲器發聲，才能使成百上千觀眾都能聽清講話；一般僅數十人用的會議室或體積僅為數百立方米且建聲設計良好的會議室才可不設擴音系統。因此，有人認為，會議廳都用電聲、不靠自然聲，只要設計好擴聲系統，建聲設計就不再重要，其實不然。在不同規模大小的會議廳中，即使採用擴聲設計，建聲設計仍十分重要，同樣不可忽視。否則儘管採用了高品質、價格昂貴的擴聲系統，若會議廳不考慮建聲設計，廳內混響甚長，聲場不均甚至出現明顯聲缺陷，則會議廳內必然會聲品質很差，聽音清晰度很低，甚至不能正常使用而需要改建。這樣的工程實例並不鮮見，教訓也是很多的。聲學界有一個很好的比喻：“建聲是路，電聲是車”。很形象地說明了建聲和電聲的關係，只有建聲與電聲的完美的結合才能創造出聲環境優良、聽音舒適清晰的會議廳。而現實工程設計建設中重電聲、輕建聲正是會議廳工程設計中首先要解決的認識問題，而在會議廳工程具體設計中存在的聲學問題主要有以下幾個問題。

2.1 體型設計問題

由於會議廳基本都採用先進的音視頻系統，對音質的要求不像劇院、音樂廳那麼高。一般也不強調早期聲和側向聲，所以對體型的要求也相對較低，一般可採用矩形、鐘形、扇形、多邊形等平面，而不宜採用圓形、橢圓形等有面積內凹弧面的體形，天花則不宜採用穹頂、球面圓頂等。如 1984 年建成的柏林新會議廳為圓形全透明玻璃牆體，就因聲聚焦反射引起電聲嚴重嘯叫導致發生新大廳首次召開議會受阻而不得不重新移至老會議廳的重大事件。又如上海煙草公司大廈由美方室內設計公司設計了多個全玻璃的圓形或橢圓形平面會議室，新穎透明又無吸聲處理，結果開會猶如在缸內聲音感覺不適，需要進行改造。有的會議室平面形狀為矩形，但裝修設計中未考慮任何聲擴散處理，也不做必要的吸聲處理，兩側牆均為平直反射型木裝修牆，結果就產生明顯的平行牆面間的顫動回聲。若在牆面上設置揚聲器，更會使廳內聽音效果很差，需要引起注意。

2.2 容積控制問題

由於會議廳對音質要求重在語言清晰度，而語言清晰度又與廳內混響時間密切相關，混響時間長短又與廳內容積成正比關係，因此在各類會議廳的建築設計中必須注意合理控制會議廳內的總容積值或每座容積值。有關設計規範^[3]要求會議廳或多用途禮堂的每座容積 V/N 值宜控制在 $3.5\sim 5.5\text{m}^3$ 。如需要可適當增大每座容積值到 $6\sim 8\text{m}^3$ 。也可以通過加強廳內吸聲處理方法來改善廳內聽音清晰度，但在實際會議廳工程設計中往往對容積控制不予重視，一味追求高大氣派。每座容積值甚至大於 10m^3 ，超過音樂廳要求的每座容積控制值，更甚者甚至達到 $50\text{m}^3/\text{人}$ ，像世博中心 600 座政務廳單座容積達到 $57\text{m}^3/\text{人}$ ，已經是國家規範推薦的

每座容積值的 10 倍。如此大容積的廳堂，不經過專業的建聲設計極容易導致廳內混響過長，引起聽音不清，對投資節能也十分不利。如聯合國大會議廳每座容積高達 12 m^3 ，只能通過採用大面積寬頻帶強吸聲處理，才使混響降至 1.25 秒，滿足了會議使用的要求。同樣，世博中心政務廳也只能夠在牆面、天花及地面儘量多做吸聲處理，才能夠滿足會議使用要求。

2.3 混響時間控制問題

在多類會議廳的建築設計中由於對容積控制不當，裝修設計又不太重視必要的聲學處理，致使許多會議廳混響時間控制時常出現問題，且大多是混響偏長或過長的問題，影響使用效果。為了使會議廳內有滿意的語言清晰度，就必需使會議廳有合適的混響時間，會議廳設計時就應根據會議廳的規模大小及使用功能確定混響時間指針值，如小會議室可為 0.5~0.7 秒、中會議室可為 0.8~1.1 秒、大會議廳視功能要求可取 1.2~1.5 秒等。北京人民大會堂體型高大，吸聲材料又不多，滿場混響高達 1.85 秒，通過在座椅靠背分散安裝小揚聲器的措施保證了會議的聽音要求，而大宴會廳空間很高、體積很大、吸聲不夠，混響自然也長，就使聽音效果不佳。

2.4 裝修材料選擇的配置問題

會議廳建設一般都要做室內裝修設計，並且都要與聲學設計相協調，根據聲學設計的要求選擇和配置裝修材料與結構，但不少裝修設計往往對建聲設計或聲學要求不夠重視，多注重美觀、豪華，喜歡使用石料、玻璃、不銹鋼、硬木板、石膏板等光硬性反射，或單一品種的吸聲材料，容易使廳內混響偏長，混響特性欠佳甚至產生聲學缺陷，不少中小會議廳的室內裝修公司或不安排建聲設計，或不按照聲學設計要求配置裝修材料，結果使聲學效果偏離聲學設計要求，如某文化宮多功能廳，裝修公司將聲學設計要求的後牆及側牆吸聲面都改為木質裝飾面，使廳內混響明顯加長，影響聽音清晰度。又如博鰲亞洲論壇大會議廳裝修設計堅持將會議廳四角斜形吸聲牆面做成玻璃板材裝飾面，導致廳內混響偏長 0.2 秒多。

2.5 擴聲系統揚聲器配置問題

會議廳以電聲為主，靠揚聲器將放大後的聲音送到會議廳各個座席區域。通常擴聲系統可以採用集中擴聲方式或分散擴聲方式，也可兩者結合的方式，具體擴聲佈置方式需視會議廳規模、體型及建聲條件而定。不能認為會議廳內揚聲器越多越好、功率越大越好。有的將揚聲器佈置在傳聲器的兩側後方，這會導致聲回輸而引發嘯叫。如一個吸聲很少的五、六十座的矩形會議室，在四角頂部掛設四個揚聲器呈對角佈置，反易產生聲場干涉，造成聽音效果不良；有的會議廳還配置了低音甚至超低音揚聲器，其實會議室以保證語言清晰為主，並不需要設置低音揚聲器。為了獲得良好的語言清晰度，擴聲系統的調音台可設置將 250 或 315Hz 以下的低頻聲大部衰減，讓 2000Hz 以上高頻聲保持平直特性就會給會議廳帶來很好的聽音清晰度。

3 會議廳聲學設計方法及要點

會議廳建聲設計通常包括體形優化設計、混響控制設計、噪音與振動控制設計等三方面的內容。三方面的設計內容不同，所採用的方法也會不同，在音質效果中所取的作用也並不相同。通常體形優化設計用以避免聲場的各種音質缺陷並控制廳堂的聲場分佈均勻度；而混響控制設計則通過合理選擇及配置聲學材料以使廳堂具有合適的混響時間及良好的頻率特性；噪音與振動控制設計則需要採取吸聲、隔聲、消聲及減振等綜合治理措施以確保會議廳維持在足夠低的噪音水準。

3.1 平剖面體形的優化設計

會議廳的平剖面優化設計是聲學設計的基礎，主要是在建築和室內設計的基礎上，通過聲學分析方法來協助建築師或室內設計師確定會議廳的合理佈局，以避免聲場的各種音質缺陷。常採用的聲學分析方法有平剖面聲線分析和廳堂音質電腦類比。

基於幾何聲學的聲線分析是最簡單的聲學分析方法，常用來分析那些平剖面體形規則的廳堂。通過分析聲線在會議廳內的傳播特性，可以判斷出會議廳平剖面體形設計是否合理，並確定比較合理的平剖面體形。

廳堂音質電腦類比是比聲線分析更精確也更複雜的一種體形優化方法，主要用在大型特大型會議廳的平剖面體形優化設計中。利用會議廳的建築設計或室內設計圖建立會議廳的三維聲學模型，通過分析聲音在三維聲學模型中的傳播特性，可以直觀地觀測到聲場分佈的特性。利用聲場的分佈特性就可以對會議廳的平剖面體形進行優化。

3.2 混響時間控制方法

混響時間與會議廳的體積成正比而與總吸聲量成反比，因此會議廳混響時間控制設計就是要控制會議廳的體積和總吸聲量。

通過對會議廳進行平剖面體形的優化設計後，基本可以確定會議廳的平剖面體形。根據會議廳的規模和功能，並參考相關規範對會議廳單座容積的建議值，可以進一步確定會議廳的總體積以及各表面的面積。再依據各表面裝修材料的聲學特性就可以依據室內混響計算公式進行會議廳混響時間的計算。

當混響時間的計算值與設計目標值的差值超出設計目標值所允許的誤差範圍時，必須進行會議廳總體積和總吸聲量的調整。調整的方向是優先進行體積的調整，將會議廳的單座容積調整到相關規範的建議值附近。在體積調整後，再進行總吸聲量的調整。而總吸聲量與各表面的面積及裝修材料的吸聲性能密切相關，因此只有合理選擇並配置各表面的聲學材料才能調整會議廳的總吸聲量。

會議廳吸聲結構的配置和選擇要根據它的容積及裝修要求而定。一般在小型會議室內（一般的圓桌會議），如果室內陳設有地毯、窗簾和沙發座，通常不需另作吸聲處理，即可達到預計的混響時間值。在 200m³以上的會議廳，一般都應配置吸聲材料或結構。

而在大、中型會議廳內控制混響的難點是低頻混響時間。由於廳內的觀眾、座椅、地毯、門窗簾幕和多數建築材料，都在中、高頻範圍內顯示其較好的吸聲性能。因此，如不對低頻作有效的吸聲處理，勢必造成低頻混響過長而降低語言清晰度。目前，適合於會議廳用的低頻吸聲結構有如下三類：

- 1) 薄板共振吸聲結構：用 5-12mm 厚的薄板（如木飾纖維板、多層膠合板、石膏板等）作基板，板後預留 100-200mm 的空腔是控制低頻混響的有效措施，基板表層可由室內設計各種裝飾圖案。在確保具有良好低頻吸聲的同時也具有很好的裝飾效果，但需要注意材料表面的防火處理。
- 2) 共振吸聲器，即亥氏共振器，這類結構可將其共振頻率設計在某些特定的頻率範圍內，會獲得顯著的效果。它的表面材料可採用低穿孔率的穿孔板，也可做成共振吸聲砌體。如果將不同共振頻率的共振器組合成複合吸聲結構，可以擴展其吸聲頻帶，使結構在寬頻帶範圍具有良好的吸聲性能。
- 3) 大空腔吸聲結構，即在厚度較大的多孔性吸聲材料後面設置符合控制低頻所需的空腔。多層石膏板或 GRG 吊頂與其後的大空腔組成的結構就屬此類低頻吸聲結構。

在會議廳內，為了控制中、高頻混響時間，除了主要依靠聽眾本身和座椅的吸聲外，應根據混響計算的需要，在牆面或頂面配置一定面積的強吸聲材料，這對平行側牆和凹弧形牆面來說，還可消除顫動回聲和聲聚焦等缺陷。通常用來控制中、高頻混響時間的吸聲材料有

玻璃棉、礦棉板，阻燃裝飾吸聲板、木條紋吸聲板、木絲板及吸聲體等。

3.3 噪音與振動控制

會議廳噪音與振動控制的方法主要包括圍護結構的隔聲設計、設備機組的減振設計、暖通空調系統的消聲設計。

圍護結構的隔聲設計首先需要確定各圍護結構所在空間允許的最大噪音值，然後依據標準允許的最大噪音限值確定各空間牆體、門窗和樓板的空氣聲隔聲標準以及樓板撞擊聲隔聲標準，再提出能達到空氣聲隔聲標準或撞擊聲隔聲標準的聲學構造，最後對聲學構造提供具體的做法及施工注意事項等。

機電設備噪音主要包括設備自身的噪音和由於設備振動而經圍護結構傳播的固體聲。設備自身的噪音又包括設備進出風口噪音及設備振動輻射的噪音。對於設備自身的噪音，降噪技術比較成熟，措施也比較多，可以對聲源加裝隔聲罩，在進出風口安裝消聲器，對設備機組做隔振和雙層隔振處理等。而要降低設備振動引起的固體聲最有效的處理措施是採用浮築基礎或浮築樓板。現階段浮築的技術也比較成熟，應用也比較廣泛。

暖通空調系統的消聲設計主要包括送回風管道系統風噪音、管壁振動輻射的噪音及空調機房噪音的降噪設計。對於送回風管道系統風噪音，依據空調機組風機噪音聲功率級以及管道系統的聲衰減以及傳輸過程中的再生噪音級，逐段進行噪音級的核算，最後依據會議廳內各送回風口的最大允許噪音級確定送回風管道中需要安裝的消聲器的最小消聲量，只要在靠近聲源的位置安裝滿足消聲要求的消聲器即可降低風噪音至允許值。對於管壁振動輻射的噪音，需要進行隔聲減振的綜合治理，通常需要對管道進行減振吊裝或安裝，同時選用阻尼型隔聲材料對管道進行隔聲包紮以降低振動輻射噪音。空調機房的噪音治理通常需要依據噪音源的特性進行吸聲、隔聲、消聲及隔振等綜合處理措施。對機房圍護結構採用吸聲隔聲的複合構造既可以降低機房噪音對外界的影響，也可以降低機房內的噪音級。而對空調機組採用消聲及隔振措施則可以有效地降低機組的噪音。

4 結語

會議廳作為一種重要的建築類型，是當前工程建設領域內一個建設熱點。在建築設計及室內設計中建築師或室內設計師對會議廳的視覺環境以及空氣品質、溫濕度等氣候環境設計比較重視，但卻容易忽略與會議室使用功能更密切相關的聲環境的設計。為此，本文結合會議廳的特點，詳細闡述了會議廳聲環境設計的技術要求、設計中存在的聲學問題以及聲環境設計的方法及要點，對會議廳的工程設計實踐具有指導意義。

參考文獻

- [1] 查雪琴等, 微穿孔板的應用技術[J], 聲學學報, 1994, 19(4): 258-265.
- [2] 王靜波、章奎生, 博鰲亞洲論壇國際會議中心主會議廳聲學設計[J], 工程建設與設計, 2004 年第 10 期.
- [3] GB/T50356-2005 劇場、電影院和多用途廳堂建築聲學設計規範[S].