

台北藝術大學管弦樂合奏教室音響性能設計

Acoustics Design of the Orchestra Rehearsal Room in Taipei National University of Arts

紀雯玲¹，江維華²，李宙燁³，吳惠萍⁴

¹國立台灣科技大學建築系碩士

²國立台灣科技大學建築系副教授

³國立台灣科技大學建築系碩士

⁴國立台灣科技大學建築系專任助理

地址：台北市基隆路四段 43 號建築系

電話：02-2737-6719 FAX：02-2737-6721

E-mail：WHCH@mail.ntust.edu.tw

摘要

本研究以裝修後為 1,350-m³之國立台北藝術大學之管弦樂合奏教室之內裝工程對象，進行音響性能設計與評估，主要的設計方向為在降低室內整體音量的前提下提供較長的餘響時間，並避免音響障害之發生。具體手法包括使用斜向與弧面之天花板與牆面、擴散的室內週邊與前方表面、懸吊擴散面、以及可調整設施，並以電腦數值解析與 1/20 縮尺模型量測為輔助解析工具。綜合前述各種構想之模擬顯示，60 席樂團滿席餘響時間為 1.24 s，達到文獻之建議，早期舞台支持度約為 -10.0 dB。

關鍵詞：台北藝術大學、音響性能設計、管絃樂、合奏教室

壹、前言

練習室最普遍的問題是空間不足造成音量過大，但過分使用吸音材料以降低音量又會造成室內餘響感不足，因此容積與室形的控制是重要關鍵。文獻中有關大型管絃樂練習室設計的論述不多，少數可找到的設計建議包括 60~80 個樂手容積大於 2000m³、每席位容積大於 15 m³、滿席餘響時間介於 0.8 至 1.2 s、高度與長或寬的比值介於 0.85~0.55 間。

台北藝術大學音樂系特殊教學大樓於主結構體完工八年後，於 2001 年重新開始內裝工程，本研究以管絃樂合奏教室為對象，針對初步設計與設計發展階段探討該教室室內音響性能設計，並進行電腦模擬與縮尺模型試驗加以檢核。

貳、本文

一、對象物條件與設計目標

台北藝術大學管絃樂合奏教室主要提供該校管絃樂團進行練習及排練使用，該合奏教室裝修前尺寸如圖 1 所示，中央部份高 10 m，兩翼高 3.6m。該廳未裝修前淨空間(扣除

垂直管道)約為 $1,670\text{m}^3$ ，經過裝修後之淨空間則可能明顯縮小，就 60~80 個樂手之樂團而言容積並不十分充足，因此讓室內的音量不致過大卻能保有足夠的殘響，為主要之設計目標。

管弦樂合奏教室空席含 60 張演奏者吸音襯墊座椅的餘響時間設定為 1.5 秒，預計 60 人滿席之餘響時間下降至約 1.2 秒，80 人滿席之餘響時間則降至 1.0 秒以下，達到文獻之建議範圍。

二、試驗工具

本研究在確訂現有條件並歸納出主要之控制變因後，於初步設計階段先利用電腦模擬進行設計效果之驗證。所使用的電腦軟體為 Odeon 5.0，是模擬室內音響性能的專業軟體。

在軟體環境設定上，音線數設定為 2,000 條，脈衝響應長度設定為 1500 ms，Transition Order 設定為 2。材料設定如下：

1. 地板選擇平均吸音係數 0.1 的木質地板做為材料。
2. 天花板及牆面部分選擇平均吸音係數 0.08 的材料作為模擬。
3. 上部天花的兩側牆面材料為清水混凝土。
4. 100m^2 之滿席樂團(相當於 60 人樂團)選擇平均吸音係數 0.73 的材料，擴散係數為 0.7。
5. 邊界 QRD 擴散材料吸音係數與擴散係數皆為 0.3。

Odeon 5.0 軟體無法模擬實際音響繞射及擴散現象，因此模型將該室的細節加以簡化，所使用參數主要以音能量與衰減為主。

細部設計階段則利用 1/20 縮尺模型作進一步驗證，試驗音源為高壓電脈衝，以 B&K1/8" 麥克風接收訊號，本階段主要針對週邊擴散材與懸吊擴散版進行探討。

模型外框為 1.8 cm 厚之木心板，側牆使用 0.5 cm 厚硬紙板，上部天花的兩側牆面則在紙板上加上一層壓克力版以求接近實際清水混凝土的硬度。測試狀況為空席，由 55 張吸音襯墊座椅構成座椅，席位以紙板與泡棉製成，分布於 100m^2 面積。

音源位置有三點，分別位於獨奏、弦樂側邊及銅管側後方等三個位置，測點有 4 個，兩個距離音源(獨奏與銅管側後方)1 m，另二個各位於距離弦樂側邊音源 8 m 與獨奏音源 6 m 處，前兩個測點用於計算早期支持度 ST1，後兩個測點用於計算餘響時間 RT 與音強指數 G。

三、設計構想與試驗結果

3.1. 裝修前狀況 (圖 2 之(A))

電腦模擬顯示裝修前(含 100m^2 樂團席位)餘響時間 RT 長達 3.10 s，早期舞台支持度 ST1 數值為 -11.2 dB，縮尺模型試驗顯示的 RT 值則各為 2.73 s。

3.2. 天花板處理 (圖 2 之(B))

室內平行之天花與地板面以及相對之直角牆角會產生多重回音，因此首先加入斜向天花。向前斜的天花板可使聲音向前方投射，接近一般音樂廳的狀況，天花上方空間並可收納水平送風管道。加入雙折式天花後，RT 降至 2.34 s，ST1 略升至 -10.4 dB。縮尺模型則使用了弧形的天花，讓中低頻音能有更好的擴散效果，並縮小圍封之上方管道間容積，RT

為 2.13 s。

3.2. 側牆處理 (圖 2 之(C))

在處理過天花板後平面上仍存在平行面與直角，因此也將側牆處理為斜面(實際設計中運用了較多的弧面(圖 5))，同時將原本位於練習室角落的兩處垂直回風管移至斜面側牆的後方(可比較圖 1 與圖 5)，電腦模擬顯示 RT 降至 1.44 s，ST1 降為-10.7 dB，模型試驗中並在兩翼較低部份加入斜向天花板，讓靠近角落樂手的音量不至太大，也可促進該樂手與其他樂手間之溝通，模型量測之的 RT 值為 2.21 s。

3.4. 懸吊擴散版 (圖 2 之(D))

在樂團上方設置懸吊擴散版，期望能遮擋天花板之高頻反射，並促進團員間之溝通，在挑高近 10m 的上部空間能夠加入懸吊元素並可使整個天花造型較為豐富，也可於擴散板上裝設直接投射式燈具，增加照明效率。

電腦模擬中先比較了無懸吊版及懸吊版面積 48m^2 、 60m^2 等三組模型(高度 6 m)，並於前後兩側加上擴散材料，接著比較 5m、6m 和 7m 三種高度(面積 48m^2)。實驗結果顯示加入懸吊擴散版後，RT 減少約 0.2 s，ST1 降低 0.8 dB，懸吊擴散版高度對於音響性能參數之影響不大。

縮尺模型試驗比較了三種懸吊擴散版模式(四周配置 1.5m 高擴散材料):吸頂分散式(60m^2)、整塊式(5.5m 高、 80m^2)、懸吊分散式(6.5m 高、 60m^2)，其中整塊式擴散版期望能形成耦合空間，提供兩段式衰減，擴散版表面由 1/8 圓柱面構成。結果顯示吸頂分散式提供最長之 RT 與最弱之 ST1，懸吊分散式次之，但差異很小，因此決定以懸吊方式發展，但將 1/8 圓柱面改為近似 QRT($n=7$)之版面，以增加其擴散性，並將懸吊版佔天花投影面積之比例控制在 30% 以下。此外，進一步試驗顯示懸吊版高度由 5.5m 增加至 6.5m 之可增加 EDT 將近 0.2 s。

3.5. 週邊擴散面

首先於電腦模型之前後牆面使用面積介於 17 至 31m^2 擴散材料，發現不但不會明顯的縮短餘響時間，同時還能適度的降低早期舞台持度至接近預設的數值。

在縮尺模型中將 1.5m 高的 QRD 擴散材料擴展至樂團四周，以降低音染色問題，並促進練習室內聲音之整體擴散性，而擴散材料也附帶形成的吸音效果。若將樂團前方牆面擴散材設置高度由 1m 增加至 3m，RT 略為增加，獨奏位置之 ST1 則降低了近 2dB。

3.6. 可變式吸音裝置

為讓練習室的使用彈性提高，並平衡因樂團人數多寡造成之差異，因此建議於上段牆面設置 70 至 120m^2 可變吸音材。電腦模擬顯示，滿席狀態加入吸音係數 0.6 的 70m^2 吸音材料後，餘響時間可降低約 0.28 s，早期舞台支持度略降 0.5 dB。可惜受限於工程預算，最後以折衷的設置約半數(面積 48m^2)之吸音材料(如圖 5)取代之。

3.7. 小結

綜合前述各種構想並容納必要之管道與隔音裝修空間後，室內容積略降至 $1,350\text{m}^3$ ，平剖面圖如圖 5 所示。電腦模擬顯示空席(60 席)餘響時間約為 1.45 s，60 席樂團滿席值為 1.24 s，達到預期之效果，縮尺模型試驗顯示早期舞台支持度數值為 -10.0 dB。

參、結論

針對台北藝術大學音樂系管絃樂合奏教室之內裝，本研究之提案顯示可將餘響時間控制在文獻建議之數值中，並降低室內音量，未來將繼續進行該案之現場測定。

肆、參考文獻

中文文獻

1. 期刊論文

- A1. 陳世堂著，〈獨奏與室內樂的舞台音響環境之研究〉，國立台灣科技大學建築研究所碩士論文，2001。
A2. 楊量光著，〈國立台北藝術大學音樂廳音響性能設計與評估〉，國立台灣科技大學建築研究所碩士論文，2002。

2. 圖書

- B1. 車世光、王炳麟、秦佑國著，建築聲環境，台北，淑馨出版社，1991。
B2. 項瑞祈編著，實用建築聲學，北京，中國建築工業出版社出版，1992。

外文文獻

1. 期刊論文

- C1. T. Fujita and K. Yamaguch, "A study on the acoustical characteristics of a piano practice room," *Acustica*, Vol.63, 1987, P.211~P.221.
C2. E. J. Völker, "Zur akustik von orchester-probenäumen", *Fortschritte der Akustik-DAGA'88*, 1988, P.733~P.736.
C3. A.C. Gade, "Investigations of Musicians' Room Acoustic Conditions in Concert Halls. I. Methods and Laboratory Experiments", *Acustica*, Vol.69, 1989, P.193~P.203.
C4. A.C. Gade, "Investigations of Musicians' Room Acoustic Conditions in Concert Halls. II. Field Experiments and Synthesis of Results", *Acustica*, Vol.69, 1989, P.249~P.261.
C5. H.-P. Tennhardt, H. Winkler, "Untersuchungen zur raumakustischen Planung von Orchesterproberäumen", *Acustica*, 1995, P.293~P.299.
C6. T. Fujita and S. Ando, "Subjective evaluations of the sound field in a piano practice room with reflective sound added using electro-acoustic technology", *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)* 20 6, 1999, P.417~P.423.
C7. X. Zha, H. Drotleff, C. Nocke, "Raumakustische Verbesserungen im Probensaal der Staatstheater Stuttgart", *Gebäudebestand*, 2000, P.232~P.239.
C8. X. Zha, H.V. Fuchs, H. Drotleff, "Improving the acoustic working conditions for musicians in small spaces", *Applied Acoustics*, 2002, P.203~P.221.

2. 圖書

- D1. Vern O. Knudsen. Cyril M. Harris, "Acoustical Designing in Architecture", *Acoustical Society of America*, 1978, P.308~P.311.
D2. Egan, M. David, "Architectural acoustics", McGraw-Hill, New York, 1988.
D3. E. McCue, "Acoustics in the Built Environment", *Butterworth Architecture*, 1993, P.72~P.74

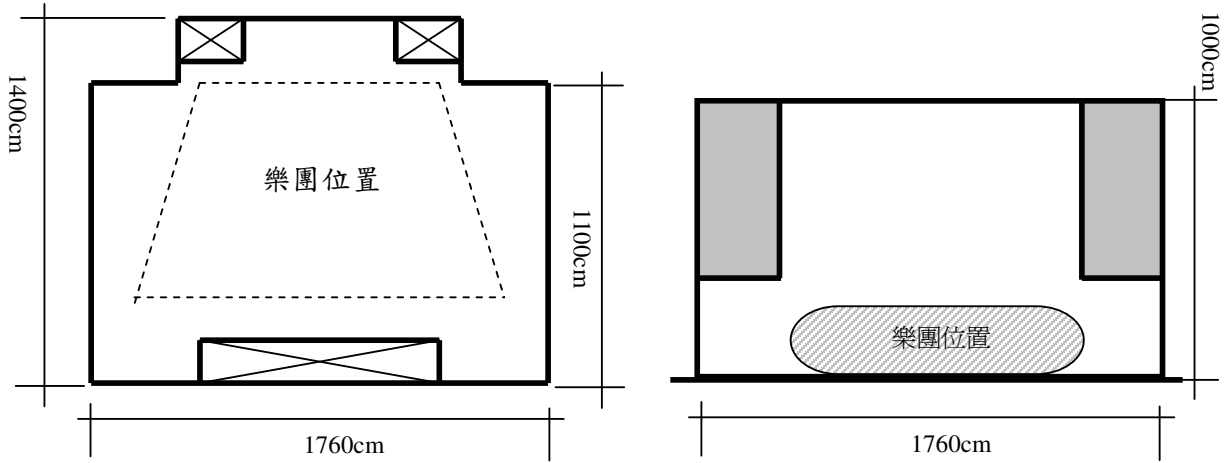


圖 1 台北藝術大學管弦樂合奏教室裝修前平剖面示意圖

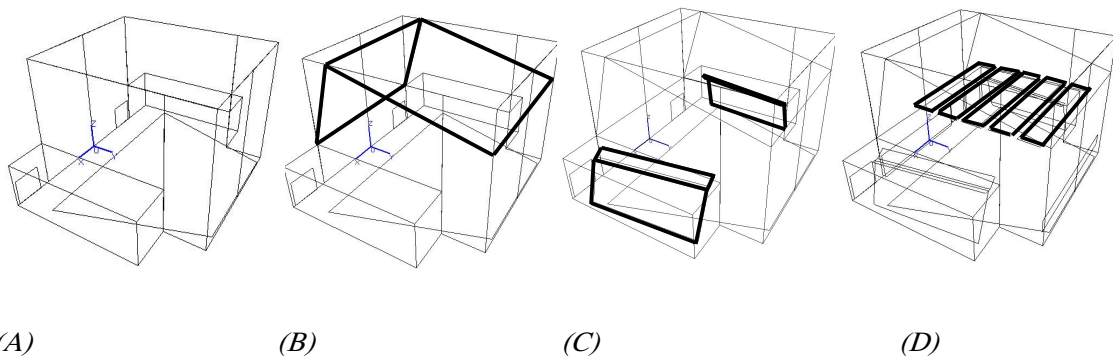


圖 2 主要設計概念之電腦模型示意圖

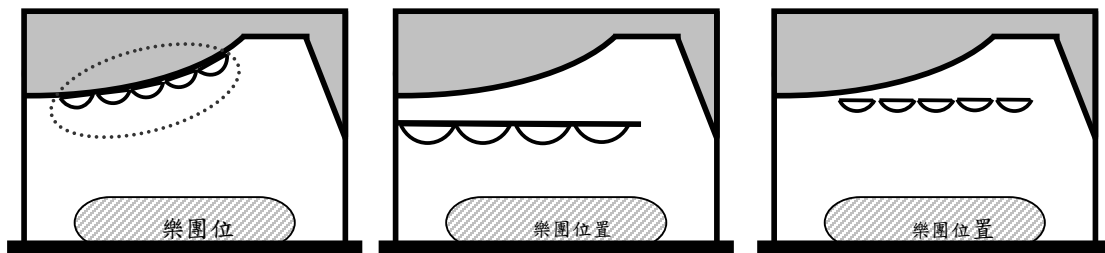


圖 3 懸吊擴散反射板設置方式概念之比較

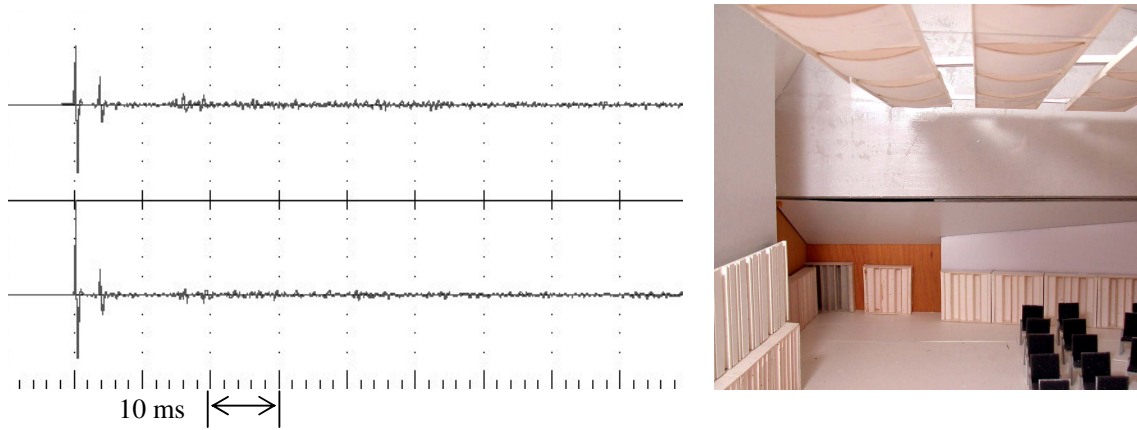


圖 4 前方 QRD 擴散面由 1.5 m 高(上圖)增加為 3 m 高(下圖)(右方影像)之脈衝響應比較。

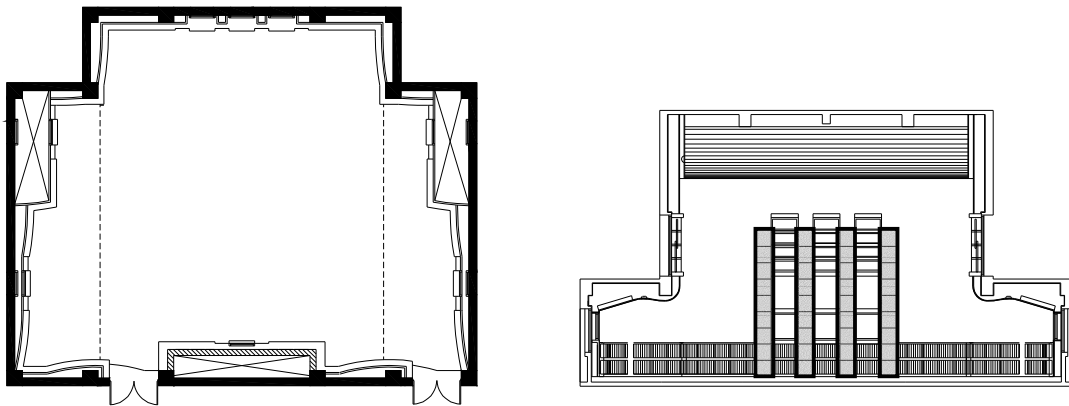


圖 5 台北藝術大學管弦樂合奏教室細部設計平剖面示意圖(剖面圖中陰影部份為吸音材料)。