

中國 2010 年上海世博會工程建築聲學設計

楊志剛 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)

2002 年 12 月 3 日在蒙特卡洛, 國際展覽局將 2010 年世博會的主辦地選在了中國上海。經過近 7 年的精心準備, 2010 年上海世博會籌備工作已進入全面衝刺階段。到今年年底, 世博園區由組織方建設的永久性場館和臨時性場館將基本建成。目前, 42 個擬建的外國國家自建館已全部簽署參展合同。迄今已有 192 個國家和 50 個國際組織確認參展, 國際參展方數量則創下歷史記錄。



圖 1 世博園核心區鳥瞰圖

我們聲學所參與了其中 9 個專案, 世博中心、世博演藝中心、世博新聞發佈中心、美國國家館、上汽—通用汽車館、資訊通信館、主題館—城市生命館、城市星球館、世博軸電視轉播間等。

一. 世博中心

基地位於緊鄰黃浦江的浦東濱江綠洲內, 北接世博公園及黃浦江岸, 南鄰浦明路及世博核心園區, 東起世博軸, 西望世博公園及盧浦大橋。基地東西長約 530m, 南北寬約 140m, 總用地面積 6.65 公頃。總建築面積 141990 m², 地上建築面積為 99990 m², 地下建築面積為 42000 m², 建築總高度為 39.5m。世博中心內設 2600 座大會堂、600 座政務廳、4500 座多功能廳、3000 座宴會廳及 100 多間中小會議室或貴賓接待室。



圖 2 2600 座大會堂室內效果圖

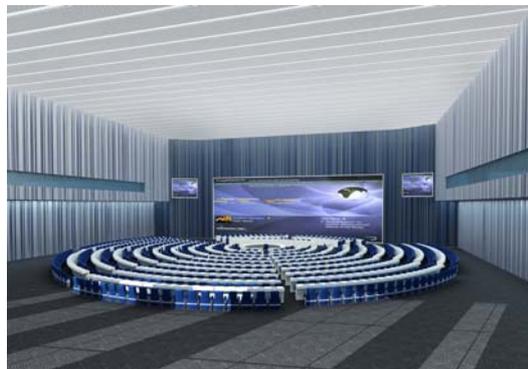


圖 3 600 座政務廳室內效果圖



圖 4 4500 座多功能廳室內效果圖



圖 5 3000 座宴會廳室內效果圖

主要介紹 2600 座大會堂：

1. 建築概況

功能上以會議為主，兼顧大型綜藝演出。觀眾廳建築平面為長扇形，主席臺地面至柵頂高度 32m。當作大會堂使用時，主席臺頂部採用可升降吊頂使之與觀眾廳成爲一個頂高相等的大空間。當作綜藝演出場所使用時，舞臺頂部吊頂升起使舞臺高度直達柵頂底部。

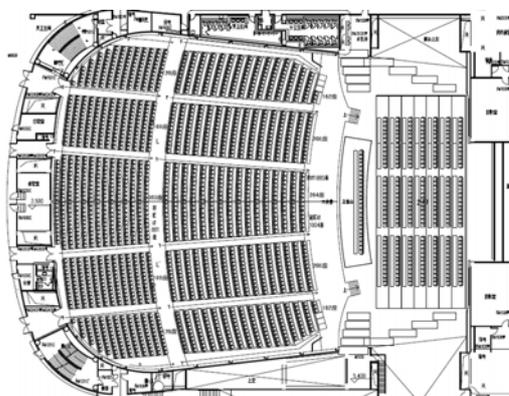


圖 6 2900 座大會堂平面圖

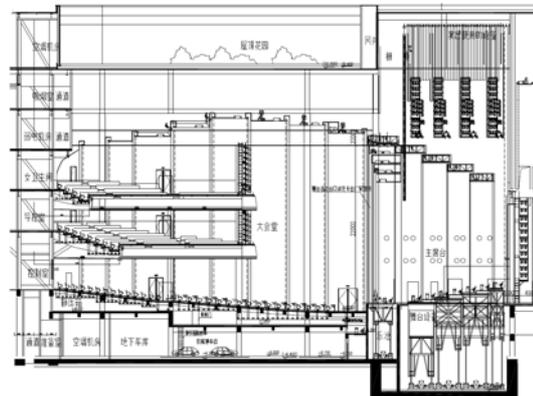


圖 7 2900 座大會堂剖面圖

2. 基本參量

觀眾廳：面積 $S=2116 \text{ m}^2$ ，體積 $V=42320 \text{ m}^3$ ；

舞臺：面積 $S=734 \text{ m}^2$ ，體積 $V=14680 \text{ m}^3$ ；

總體積： $V_{\text{總}}=57000 \text{ m}^3$ ；每座容積 $V/N=19.7 \text{ m}^3/\text{座}$ （以主席臺 300 人計）。

3. 聲學設計技術指標

3.1 中頻滿場混響時間 RT ：1.45±0.10 秒（會議狀態）；1.50±0.10 秒（演出狀態）

3.2 觀眾廳各頻率混響時間相對於 500~1000Hz 的比值：

頻率 (Hz)	125	250	2000	4000
混響時間比值	1.0~1.3	1.0~1.15	0.9~1.0	0.8~1.0

3.3 廳內聲場不均勻度 $LP \leq \pm 4 \text{ dB}$ ；

3.4 背景雜訊：NR-25 曲線。

4. 主要聲學措施

由於大會堂的體積比較大，每座容積達 $19.7 \text{ m}^3/\text{人}$ ，因此經過音質計算地面、牆面和頂面均需做吸聲處理，具體措施如下：

觀眾廳地面鋪地毯。牆面和頂面均做穿孔 GRG 板吸聲結構，具體構造為：15mm 穿孔 GRG 板（穿孔率 28%）+ 空腔，內填 50mm 厚 48kg/m³ 離心玻璃棉（外包玻璃絲布）+ 建築牆體。

二. 世博演藝中心

基地選址在浦江南岸的世博核心區，北與世博展覽館隔江相望，西與世博中心呼應。整個演藝中心用地面積近 8 萬平方米，地上建築面積約 4.5 萬平方米，地下建築約為 2 萬平方米。軌道交通 8 號線和西藏南路越江隧道將在演藝中心地下相通。演藝中心的造型呈飛碟狀，在不同角度與不同時間會呈現出不同形態。綜合性功能顯著，不僅有 1.8 萬個觀眾席的大型室內演藝場館，還集電影院、音樂俱樂部、展覽廳、文藝沙龍及各種商業、旅遊設施於一體，是一個符合現代理念的文化娛樂集聚區。主要介紹大型室內演藝場館。



圖 8 世博演藝中心夜景效果圖

1. 建築概況

功能：舉行綜藝表演、慶典集會、藝術交流、NBA 比賽等活動的綜合性場所。演藝中心場館內設有電腦控制的升降隔牆，當隔牆隱藏於吊頂內時，可形成一個 360 度的大型活動場館，容納 18000 個座位；而活動隔牆降下後，可分別轉換為 12000 座、8000 座。舞臺可以根據演出內容在大小、形態、甚至在 360 度空間中進行三維組合，給演出無限的舞臺設計空間和藝術創意、想像空間，這樣的設計為國內首創。

座位數	演出模式		
8000 座			
12000 座			
18000 座			

圖 8 演出模式圖

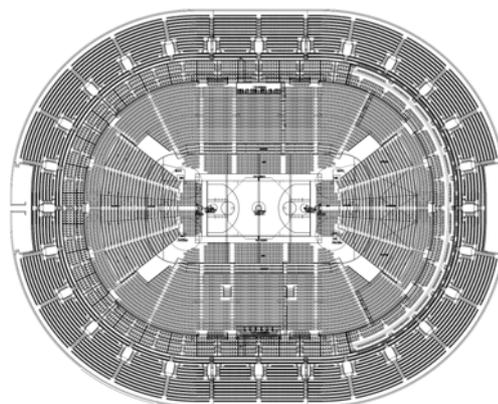


圖 9 大型室內演藝場館平面圖

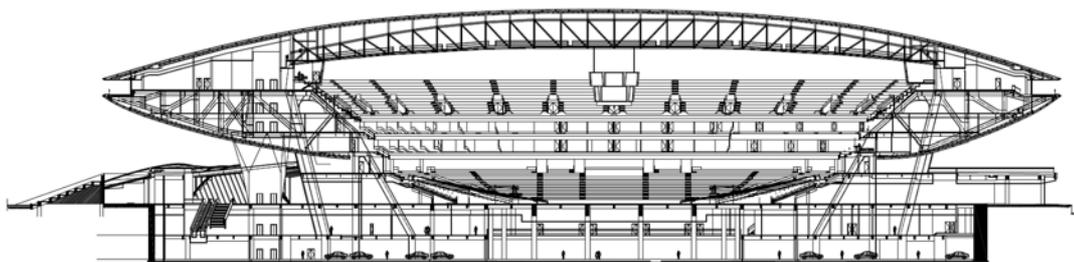


圖 10 大型室內演藝場館剖面圖

2. 基本參量 (18000 座)

面積 $S=1.25$ 萬 m^2 ，總體積 V 總 $=27.2$ 萬 m^3 ，每座容積 $V/N=15m^3/座$ ；

3. 聲學設計技術指標

3.1 中頻滿場混響時間 RT ：1.8~2.0 秒

3.2 觀眾廳各頻率混響時間相對於 500~1000Hz 的比值：

頻率 (Hz)	125	250	2000	4000
混響時間比值	1.0~1.3	1.0~1.15	0.9~1.0	0.8~1.0

3.3 背景雜訊：NR-35 曲線。

4. 主要聲學措施

由於演藝場館的體積比較大，每座容積達 $15m^3/人$ ，因此經過音質計算牆面和頂面均需做吸聲處理，具體措施如下：觀眾席後牆約 1/3 面積佈置中高频吸聲材料，約 2/3 面積佈置低頻吸聲材料；挑台吊頂採用穿孔板吸聲吊頂；屋蓋採用保溫、隔聲、吸聲輕質屋面。

三. 美國國家館

美國館位於世博園區浦東片區，和中國館與盧浦大橋隔橋相望。占地約 6000 平方米，總投資 6100 萬美元，屬於上海世博會大約 40 座外國自建館中規模最大的一類。

1. 建築概況

美國館共分兩層，一層主要有 500 座的主放映廳、500 座的展前放映廳、500 座的展後展廳等，二層主要有多功能廳等。



圖 11 美國館室外效果圖

2. 基本參量

展前展廳：

面積 $S=587$ 。

主放映廳：

面積 $S=824 m^2$ ，體積 $V=12207 m^3$ ；

每座容積 $V/N=24.4m^3/座$ 。

3. 聲學設計技術指標

3.5 中頻滿場混響時間 RT ：

0.7±0.10 秒 (展前展廳); 0.8±0.10 秒 (主放映廳)

3.6 觀眾廳各頻率混響時間相對於 500~1000Hz 的比值：

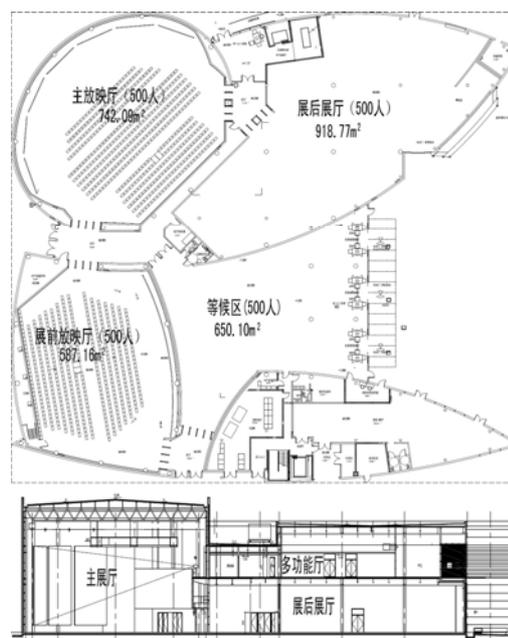


圖 12 美國館一層平面和剖面圖

頻率 (Hz)	125	250	2000	4000
混響時間比值	1.0~1.3	1.0~1.15	0.9~1.0	0.8~1.0

3.7 廳內聲場不均勻度 $LP \leq \pm 3\text{dB}$ ；

3.8 背景雜訊：NR-35 曲線。

4. 主要聲學措施

對於展前展廳：從便於清潔及經濟的角度出發，建議展前展廳地面做塑膠地面。投影幕布背後牆面及正對牆面（即觀眾廳後牆）全部選用全頻帶吸聲優良的軟包裝飾，可選用 50mm 厚阻燃裝飾吸聲板後空 100mm 空腔的構造。側牆，要求 3M 以下牆面（除防火隔聲門外）全部採用 50mm 厚阻燃裝飾吸聲板後空 100mm 空腔的構造，而 3M 以上牆面則選用低頻吸聲特性優良的木絲板後空 100mm 空腔的構造。

對於主放映廳：地面做塑膠地面。整個側牆面全部採用全頻帶強吸聲的軟包，可選用 50mm 厚阻燃裝飾吸聲板後空 100mm 空腔的構造。頂面採用輕質結構，首先得滿足隔聲要求，同時還需要為放映廳提供一定的吸聲量，為此要求在頂面輕質結構的下表面噴塗 25mm 厚 100Kg/m³ 的 AAT 噴塗材料。

四. 城市生命館

城市生命館為世博主題館之一，包含序廳、活力火車站、迴圈管道、城市廣場、生活街市五個部分，各展廳設計為獨立的展示區域。主要介紹城市廣場。

1. 建築概況

城市廣場是一個特殊的影院，是整個城市生命館音響效果設計的最重要的部分，設計採用了 22 聲道音響設計。建築形體：建築平面呈圓形，距地 3m 高以上懸掛六塊 7 米高的螢幕，整個頂也懸掛圓形的大屏。

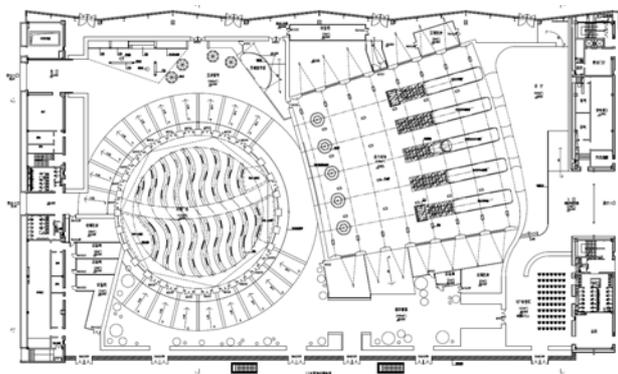


圖 13 城市生命館總平面圖

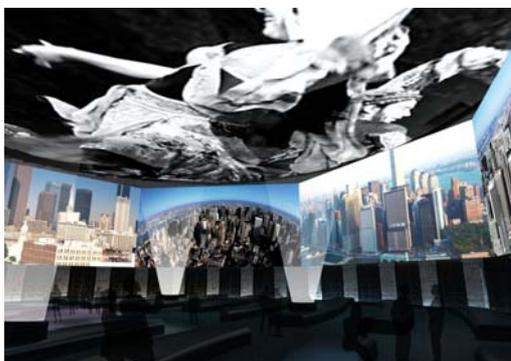


圖 14 城市廣場室內效果圖

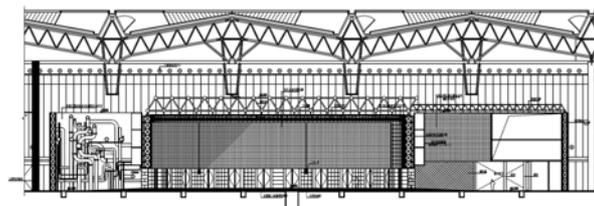


圖 15 城市生命館剖面圖

2. 基本參量

圓形平面半徑為 19m；總表面積約 3600m²；體積約 11800m³；

3. 聲學設計技術指標

3.1 城市廣場的功能相於多聲道身歷聲影院，而城市廣場的體積又比較大（大於 10000m³），中頻滿場混響時間要求控制在 1 秒以下。

3.2 觀眾廳混響時間相對於 500Hz 的頻率特性：

f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
T_{60}^f / T_{60}^{500}	1.0~1.5	1.0~1.25	1.0	0.85~1.0	0.7~1.0	0.55~1.0

3.3 廳內聲場不均勻度 $LP \leq \pm 3dB$ ；

3.4 背景雜訊：NR-35 曲線。

4. 主要聲學措施

地面採用地毯。側牆影幕的後部牆面（7 米高），採用 25 厚木絲吸聲板，具體構造為：25 厚木絲吸聲板+200mm 厚空腔，內填 50mm 厚 48kg/m³ 離心玻璃棉+建築牆體；側牆影幕的下部牆面（3 米高），均採用 25 厚織物軟包定型吸聲板（100mm 厚空腔）。所有門的內表面均實貼 25 厚織物軟包定型吸聲板。

五. 城市星球館

城市星球館為世博主題館之一，主要包含主秀展項和天下一字。主秀展項，參觀者站在旁邊主看臺上，觀看以位於展項中央半球體為視點的聲光視同步的各種地球奇觀，從而認知到地球是如此美麗也是如此脆弱這一主題。天下一字展項演繹的是“地球就在你的手中”這一主題，給參觀者樹立了只要愛惜、保護和合理利用自然資源，就能把城市建設成生態桃花源。

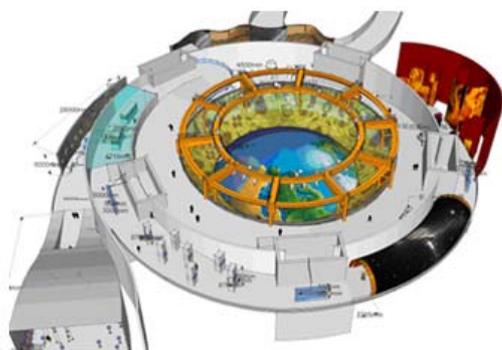


圖15 主秀展項室內效果圖

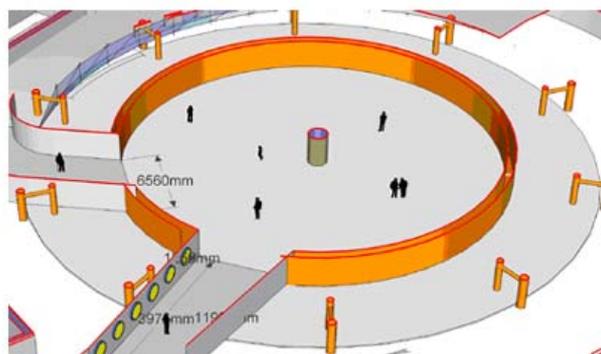


圖16 天下一字展項室內效果圖

1. 建築概況

主秀展項的面積約3800平方米，高度17米左右。天下一字是一個特殊的影院，為一個直徑為28米的半球體狀建築結構。標高2.8米以上的頂部區域全部設置成視頻投影區，視頻投影區旁邊一圈區域顯示主題場景的變化，中央區域顯示與各種主題場景相適應的天空狀態。

2. 天下一字的聲學設計技術指標

2.1 中頻滿場混響時間

根據天下一字的體積以及相當於身歷聲電影院的功能定位，確定中頻最佳混響時間為：0.6 ±0.1 秒。

2.2 觀眾廳混響時間相對於 500Hz 的頻率特性

f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
T_{60}^f / T_{60}^{500}	1.0~1.5	1.0~1.25	1.0	0.85~1.0	0.7~1.0	0.55~1.0

2.3 廳內本底雜訊要求：≤NR35

2.4 聲場不均勻度：≤±3dB

2.5 廳內無回聲、顫動回聲及聲聚焦等聲缺陷。

3. 主要聲學措施

天下一字地面採用薄地毯。側牆除門及門洞外，均需做 25mm 厚織物軟包定型吸聲板實貼。穹頂聲學要求天花對低頻起一定的吸聲作用，即穿孔鋁板（穿孔率 4.5%）後加吸聲棉的做法。主秀展項的參觀者後牆均實貼 25 厚織物軟包定型吸聲板實貼。

六. 上汽—通用汽車館

上汽—通用企業館專案，由上汽集團和通用汽車聯合出資興建。該專案位於世博會浦西園區 E05—03 地塊，占地面積約 6000 平方米，基地坐擁浦江西岸，東北、西北側臨近企業館用地，南臨黃浦江。建築工程費用約 6000 萬元。他將通過互動式影像預展演、獨立動感式浸沉影視及激情舞蹈的主展演，以及展示未來的後展演，讓參觀者充分體驗到肩負著社會責任的上汽集團和通用汽車正在引領未來汽車的發展方向。



圖17 汽車館室外效果圖

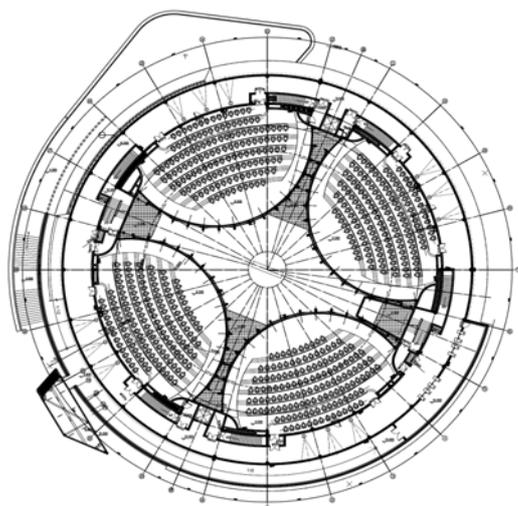


圖18 汽車館三層平面圖

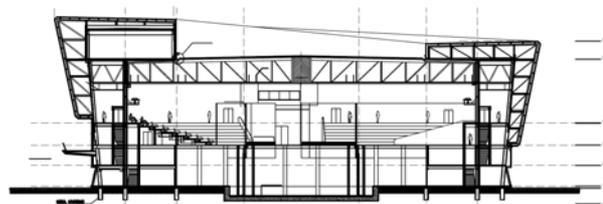


圖19 汽車館剖面圖

1. 建築概況

概念車展示廳為汽車館的主體展示和演出場所。觀眾廳可允許座位數目為 556 座。建築平

面呈圓形；最大直徑約為 54m。

2. 概念車展示廳的聲學設計技術指標

2.1 中頻滿場混響時間 RT: 1.0±0.1 秒。

2.2 觀眾廳混響時間相對於 500Hz 的頻率特性

f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
T_{60}^f / T_{60}^{500}	1.0~1.2	1.0~1.2	1.0	1.0	0.9~1.0	0.8~1.0

2.3 廳內本底雜訊要求：≤NR35

2.4 廳內無回聲、顫動回聲及聲聚焦等聲缺陷。

3. 主要聲學措施

觀眾席牆面約 700m² 面積需要進行吸聲處理。具體做法為：25 mm 織物軟包吸聲板+50mm 空腔+原有粉刷牆面；為了避免圓形牆面造成聲聚焦等聲學缺陷，聲學建議觀眾席牆面非吸聲部分做具有良好擴散效果的聲擴散體。觀眾廳屋面做法建議採用吸聲、隔聲保溫屋面做法，可同時滿足多種功能需要。具體構造為：0.9mm 厚直立鎖邊鋁鎂錳合金屋面板+屋面次檁(100mm 厚 80kg/m³ 帶鋁箔保溫棉)+鍍鋅鋼絲網+屋面主檁+30mm 厚吸音棉下鋪無紡布+0.6mm 厚穿孔彩鋼底板(20%)。

七. 資訊通信館

該館位於上海世博園區西片區 E 片區，總建築面積 5595 平方米，其中地上為三層建築，建築高度為 23 米。由中國移動、中國電信兩大集團聯手建造，意在向觀眾展示資訊通信技術發展對人類社會生活的深遠影響、未來資訊通信技術為人類社會創造的高效、便捷、溫馨的美好生活。



圖 20 資訊通信館室外效果圖

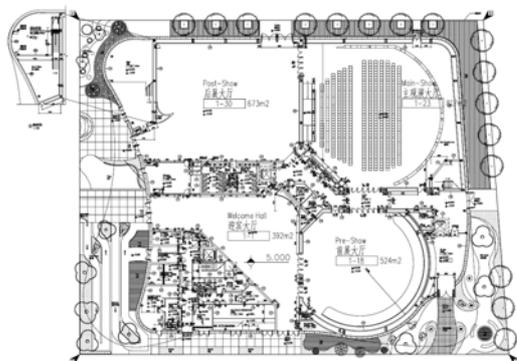


圖 21 資訊通信館平面圖

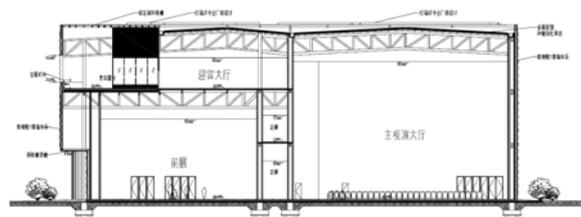


圖 22 資訊通信館剖面圖

1. 建築概況

展館展區主要包括歡迎大廳、前展大廳、主展大廳、後展大廳，每個展廳可容納約 500 人。四個展廳在主題上連貫、展示內容環環相扣，特別是主展廳部分座椅可以根據展示內容而產生晃動，從而帶給觀眾直觀、震撼的感受。四個展廳需要向觀眾提供安靜、舒適、清晰的聽聞環境，保證觀眾能夠準確地接受到展示資訊內容，並不受任何外界雜訊干擾。

2. 四個展區的聲學設計技術指標

- 2.1 中頻空場混響時間 RT: <1.5 秒（根據美國策展公司 BRC 要求）；
- 2.2 廳內本底雜訊要求： \leq NC25；
- 2.3 廳內無回聲、顫動回聲及聲聚焦等聲缺陷。

3. 主要聲學措施

歡迎大廳部分，聲學採用 ECOPHON-FOCUS 吊頂板進行廳內混響時間控制，側牆面則尊重策展公司和室內設計要求使用乳膠漆粉刷牆面。前展大廳、主展大廳天花使用 A 級防火吸聲噴塗（顏色由室內設計確定），牆面大面積應用織物軟包吸聲板。後展大廳天花採用 A 級防火吸聲噴塗（顏色由室內設計確定），牆面採用織物軟包吸聲板（暖通管道之上）和乳膠漆粉刷牆面。

世博通信資訊館牆面全部採用輕型板材建造。為了保證資訊館隔牆擁有良好的隔聲性能，聲學與建築共同設計了 6 種牆體構造，分別應用於資訊館外牆和不同房間之間的分隔牆。

八. 世博軸電視轉播間

電視轉播間位於世博軸地上二層 1-12 軸，1/G~1/H 軸附近，占地面積 211 m²。室內有效面積 82 m²（平地面面積），中截面最大面積 143 m²，底部轉盤面積 100.2 m²，底部轉盤直徑最大 11m（軸線），建築高度 6·4m，轉盤高度 1·1m。結構形式為鋼結構。建築外圍護材質：球面亞克力（透明部分，約 70m²）+球面鋁板幕牆（約 270m²，含龍骨及填充保溫礦棉）。



圖 23 世博軸電視轉播間效果圖一

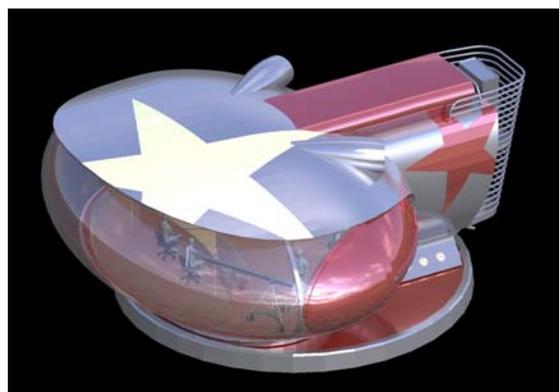


圖 24 世博軸電視轉播間效果圖二

聲學要求與措施：地面採用地毯。側牆除門及透明部分外，均需做穿孔鋁板吸聲結構。適當調節弧形側牆的半徑和圓心位置、主持人和受訪者的位置，避免圓心聚焦影響轉播效果。不透明部分的頂部也做穿孔鋁板吸聲吊頂。合理控制轉播間風機雜訊。