

學子 聲 築 建

陳 鮫 編 著

203

0-1
4124

37369

124

208
9-1
中124

建築聲學

陳 鮫 編 著
 中國技術協會審訂

大東書局印行

一九五〇年六月初版

技—0007

土—0002

建築聲學

基本定價： 8.50元

(照同業議定倍數出售 外埠酌加郵運包裝費)

版權所有

不准翻印

編著者 陳 鮫

審訂者 中國技術協會

發行者 大東書局

上海福州路310號

發行所 大東書局



總 序

新中國業已誕生，跟着上來的將是一個經濟建設與文化建設的高潮。放在我們眼前的一個艱鉅的任務，是要使中國由一個農業國家發展成爲一個工業國家。爲了達成這個艱巨的任務，我們的主觀的努力是不可忽視的：每一個人應該盡出他最大的力量，來創造促使中國工業化的條件。也許每一個個人的收獲很微小，但，只要是朝向這個目標的，微小的收獲也是有益的。

基於以上的共同認識，我們——中國技術協會和大東書局——在一九四九年四月就開始商討一種合作的辦法，希望利用各自所具備的條件，對於中國工業化作一些貢獻。

中國技術協會開始組織於一九四三年。這六年來曾做過一些普及科學技術知識的工作，如編印雜誌、舉辦講座、廣播、夜校、參觀和展覽等等。大東書局是一個具有三十年歷史的出版機構，有相當的印刷和發行的條件。一九四九年八月，我們解決了合作上的技術問題，決定協力來編印各種工業技術的書籍。

我們決定第一步工作目標是以各種技術學校所急需的教材爲主，而以一般灌輸技術知識的書籍副之。關於前者，

正在着手各種「基本技術叢書」；已經粗具眉目的有「機械製造」和「棉紡織」兩種；正在進行編印的有「電機製造」和「化工機械」……等。同時，爲了幫助技工們提高對於學理方面的了解，我們正進行編印一種「技工補習基本學理叢書」，希望藉此能幫助他們提高對於藍圖、數學、電學、化學等在學理方面的認識。

我們除了照預定計劃編印書籍外，並公開接受有關的投稿。我們選擇稿件時，有如下的幾個原則：

(一)須能切合實際的需要；

(二)照顧國內的情況——例如不但要照顧到目前國內流行的工業上各種制度，如英、美制及公制等，而且要促進萬國性公制的推行；

(三)專門名詞在國內尙未統一，因此要採兼收並蓄的辦法，除學名外，並要盡可能顧及俗名，以便讀者參考；

(四)行文力求大衆化；

(五)盡可能不出版坊間已有的書籍。

在工作過程中，我們得到不少學者們和同志們的指導和幫助。謹在此表示謝意。希望各界人士對於我們的工作——包括編撰方面和印刷方面，多多賜予寶貴的指示。

中國技術協會
大東書局

一九四九年八月

序 言

一直到現在，國人仍多有以爲建築學不過是構造學和造形藝術的結合。這種普遍的錯誤見解的存在，顯示了國人對於建築學觀點上，尚缺乏許多的理解。

成爲人類某一時代的文化的產品——建築物，同時它就必然的反映出當時代文化的一切情況。它廣泛而錯綜着各種自然的與及人爲的文化因素，具體地表現了一時代的技術科學和精神科學的成果。所以建築這一學問的體系必須是綜合而獨立的。當研究建築的任何一部門時，亦非先有整個建築學的基本智識及修養不可。就是這樣的建築家，才能有健全的正確的建築觀，而他所設計的作品，才不致有發生不適應多種要求的錯誤。

建築是人類活動及休息的容器 (Volume)。人類的活動及休息，跟着文化的進展，它所牽涉的範圍也日漸廣大。所以建築學的研究範圍，幾可說是包羅一切科學和藝術在內。現在我國關於建築的基本學問之中，如設計學、裝飾學、建築史、力學、構造學、材料學、施工法、都市計劃學、機械及衛生設備學、採光學、聲學、造園學等等，除一部份接近土木方面的著作及本國建築史之研究外，簡直尚找不到一點研究的跡象，也不可能在這方面找到一些可以參考的書籍。這種學術沈悶的空氣，固然由於

過去反動派政府的長期統治使多數學者生活不安，無暇顧及所致。但我們必須打破這種沈悶，開始準備在未來偉大的建設中一切可能的工作。我希望這本小冊子能代表我個人爲着填補這學術的真空而盡了一部份的微力，同時希望國內建築界同志能共同努力，來完成這件艱苦的工作。

一九四九年五月

陳銜識於上海鐵路管理局工務處

目次

第一章 緒論

1. 建築聲學之內容..... 1
2. 建築聲學之發達..... 1

第二章 聲音之基礎性質

3. 何謂聲音..... 5
4. 聲音分類..... 6
5. 樂音之特性..... 6
6. 聲音之傳播速度..... 6
7. 反射,透射及吸收..... 8
8. 反射及折射之定律.....10
9. 繞射..... 11
10. 干涉.....15
11. 共鳴.....15
12. 聲音虛像.....16
13. 房間形態與聲音反射性質之關係.....18
14. 平面波之性質.....20
15. 語聲及樂聲之能量.....25

第三章 聽覺

- | | | |
|-----|-------------------|----|
| 16. | 感覺聲音所需之時間 | 28 |
| 17. | 聽覺範圍 | 29 |
| 18. | 韋伯弗區拿定律 | 30 |
| 19. | 聲音強弱相差之辨別界限 | 30 |
| 20. | 聲音高低相差之辨別界限 | 31 |
| 21. | 聲音畸變之辨別界限 | 33 |
| 22. | 清晰度與了解度 | 33 |
| 23. | 聲音物理的強度與感覺上的強度之關係 | 36 |

第四章 交混回響

- | | | |
|-----|---------------------|----|
| 24. | 概說 | 40 |
| 25. | 交混回響理論之一 | 42 |
| 26. | 交混回響理論之二 | 52 |
| 27. | 空氣的吸收對於交混回響時間之影響 | 62 |
| 28. | 平均自由路程 P 與參變數 K | 64 |
| 29. | 損率 | 69 |
| 30. | 開口部之損率 | 71 |
| 31. | 振動數與交混回響時間 | 74 |

第五章 聲音絕緣

- | | | |
|-----|---------|----|
| 32. | 響度之實用單位 | 82 |
|-----|---------|----|

33. 聲音傳達之形式	76
34. 開口處聲音之透射	87
35. 膜片之振動之透射	87
36. 通風管之聲音透射	88
37. 機械及其他固體聲之透射	89
38. 遮聲度之定義	91
39. 壁體之遮聲度	93
40. 遮聲度之計算法	95
41. 准許鬧聲度	98

第六章 聽感清晰度及最良交混回響時間

42. 概說	99
43. 房間之聽感清晰度	99
44. 房間形態與聽感之關係	102
45. 鬧聲與清晰度	104
46. 聲音響度與清晰度	106
47. 房間容積與發聲力	108
48. 適當之聲量	109
49. 交混回響與清晰度	109
50. 響度及交混回響與清晰度	112
51. 最良交混回響時間	115
52. 座席數與房間容積	118
53. 講堂形態之討論	119

第一章 緒論

1. 建築聲學之內容

以建築為中心來看聲音問題，約可分做兩大類，一為處理室內聽感上必需的聲音，二為處理不必需之聲音。前者如處置講堂、劇場、播音台等必需之聲音時，考察其發生之環境效果，使其適合吾人之聽感者，稱為室內聲學(Room acoustics)。後者如從建築上造成幽靜之環境以遮隔鬧聲，而研究聲音之透射、傳達等現象，稱為聲音絕緣學(Sound insulation)。二者形成建築聲學(Architecture acoustics)之兩部門。

室內聲學包含之問題，主要是室內聲音之交混回響現象(Reverberation)，分析室內聽感之各要素，並研究其綜合之結果，求得一種以建築技術增進聽感效能之方法。如劇場、講堂、播音台等聲音問題，普通建築物內減低聲音之問題，及建築材料吸音性之研究等。聲音絕緣學包含之問題，是以研究建築內聲音之傳達、透射等為基礎，而考究其由機械等所發生之振動及其鬧聲，以及自外界傳來一般鬧聲之絕緣方法等。

2. 建築聲學之發達

人為的聲音調節方法，殆以希臘劇場為始。或前此已有亦不可知，但乏歷史上之記載。關於希臘劇場之注意音響效果，吾人可由羅馬時代名建築師維特勒維亞斯所作之『建築十書』

(Vitruvius: "Ten Books on Architecture" Book chapter VIII)中略知一二。若以現在之眼光觀之，雖覺幼稚，然距今二千數百年前已有如此之探究及成就，實不得不令吾人感到驚異。

希臘劇場是利用小丘建築而成之露天劇場，對於聲音上有數種優點。

- (1) 在聲源附近設有數種有效之反射面以增強聲音之能量。
- (2) 由發聲點至聽衆途中無任何之障礙物。
- (3) 一旦向聽衆投射之聲音，幾全在該處吸收，不再向演壇反射。

又因在野外演唱，聲音散逸過速，致聲量不足，故有利用俳優之面具以增強聲量，或在演員足下置共鳴箱，客座下置共鳴用瓶 (Scheia) 的，此項方法雖不如上述諸點之有效，然於此可見希臘人對於聲音處理之周密。

野外之希臘劇場既苦於聲量之不足，中世之寺院却因房子宏大，且全用石料及玻璃(小部份用木)等做成，屋內交混回響甚大。由於建築物具有此種聲音之特性，便自然的要使音樂和演說成爲另一格之形式。

英國之沙翁劇場爲半野外之劇場，規模雖較小，但其音樂之特性則與希臘劇場相似，故在此種形式劇場中所演出之沙翁詩劇，當如希臘劇之能適合無交混回響條件之形式。

文藝復興以後之初期劇場形式與希臘羅馬之劇場形式大致相同，不過前者爲室內劇場，上蓋平直之天花板。及至十九世

紀前後，平頂漸改變為圓頂，而自沙翁劇場傳統下來之前舞台 (Apron) 亦次第廢棄，乃失去平頂及前舞台反射面 (Splay) 構造之優點，而進入聲音惡劣時期。當時戲劇內容每以動作代替唱白，蓋亦因劇場內聲音之不良影響而致改變演劇之形式。

及意大利歌劇場興，次第風靡全歐，其觀客席均用柔軟之織品及絨氈鋪成，三面圍繞數層之廂樓，致交混回響甚少。又因係洛哥哥風 (Rococo style) 之裝飾，將聲波擴散，不致發生回響 (Echo) 現象。在此情形下，勢必產生快調子之音樂形式。並為增大聲量起見，漸將樂器數目增加，由此遂形成以樂器演奏為主而歌唱為伴奏之場面。後來偉大的音樂家華爾納氏 (Richard Wagner) 深悉此種缺陷，為欲使其藝術更能發揮起見，乃與其友建築家山姆派爾 (Gottfried Semper) 協力，造成新形式之華爾納劇場。此劇場無以前數層之廂樓，而代以地層緩斜度之客席，樂團座 (Orchestra pit) 深深放在下面。因交混回響之增大，歌手乃得一展其歌喉，而樂團亦得以完成其伴奏之任務。

由上觀之，建築與聲音之間，不論在任何時代，總是互相交錯發展，即先發生適應建築物聲音性格之音樂或演詞，次以其本身之不斷改進同發展，而有更變建築型式之需要。

及到近代，由於建築構造發生甚大之變化，乃引起新的聲音問題。而近代科學發明之無線電、有聲電影及其他各種聲音文化，對於建築方面，又顯出新的需要，因而建築聲學之研究對象，綜錯複雜，有加無已。例如播音演奏及有聲電影之拍攝等，均有賴於建築物之具有特殊聲音之性格。又因鋼骨、鋼筋混凝土等

構造之次第發達，以輕構造為目標發達而成之建築物，增加其自身之振動性，因而甚易發生或傳達聲音。更因便利之設備簇出，發生鬧聲之機會漸多，其結果每每增大建築物之聲量。加以都市交通機械之普及發達，發生鬧聲之程度亦漸增大，建築物對此又不得不採用絕緣方法。因此聲音與建築有關之問題，將日增複雜，而研究之範圍亦必更廣。

首創以科學研究建築聲學之途徑者，當推美國哈佛大學賽賓教授 (W. C. Sabine)，其研究注重於室內交混回響現象，行實驗和理論之定量決定，在各種問題上構成建築聲學之基礎。此種研究始於本世紀之初，後此四十年間，各國物理學者，電氣學者，建築學者紛起研究，乃成今日之偉大發展。

第二章 聲音之基礎性質

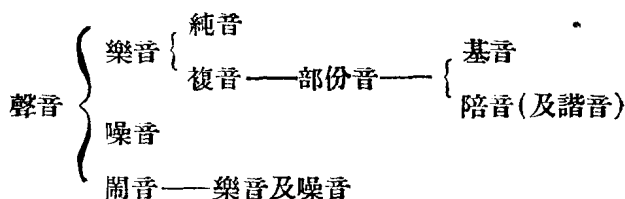
3. 何謂聲音

聲音 (Sound) 爲物體的振動 (Vibration) 波及周圍的媒質 (Medium) 之一種波動 (Wave) 現象。聲波發生之處，外界即有空氣振動的聲。此所謂客觀的聲，爲物理聲學所詳究。其藉聽官所感覺者，則謂之主觀的聲。建築聲學之研究，對於後者尤爲重要。然吾人司聽感之耳，雖爲一極敏銳之受音機械，但感覺程度人各殊異，且不易準確。故吾人尚須求助於機械及物理數學等客觀之考察，而建築聲學之研究，遂勢非廣涉物理、數學、心理學、醫學等之綜合研究不可。

4. 聲音分類

聲音在物理學上可分爲樂音與噪音二種，無一定頻率之聲音爲噪音 (Noise)，有一定頻率之聲音爲樂音 (Musical tone)。兩者之中，其與人以不快感覺，並降低吾人之工作能率者，稱爲鬧聲 (Larm)。樂音之波形爲週期複雜之振動曲線，通常均可分析爲數個正弦曲線之純音 (Pure tone)，被分解之聲音則名爲複音 (Composite tone)。如此分析複音時，此種純音稱爲部份音 (Partial tone)，其頻率最低之純音，則名爲基音 (Fundamental)，其他頻率較多之純音則爲陪音 (Overtone)。陪音之頻率適爲其基音之倍數時，則稱爲諧音 (Harmonic)。以上聲音之分類

列表如下：



5. 樂音之特性

樂音所生之感覺其差異有三端：(1)強度 (Intensity)，(2)音調(Pitch)，(3)音品(Quality)。聲音之強度視聲波之振幅而定，振幅愈大，則所發之聲愈強。音調之高低純由振動之頻率(Frequency)而定。振動頻率多者，其所生之音亦較高。若一秒鐘之振動頻率為 N ，則稱為 N 週 (Cycle)。故若以 T 表週期，則 $N = \frac{1}{T}$ 。以 λ 表波長， V 表傳播速度，則完成一振動之時間時(週期 T 之間，聲波前進一波長之距離時)，其相互關係為 $\lambda = VT$ 或 $\lambda = \frac{V}{N}$ 。音之品質則視聲波之波形(Wave form)而定。波形之不同者，乃由於部份音之種類及成份之差異。

6. 聲音之傳播速度

聲波在空氣中進行，其壓縮與稀疏相間而生，需時過於短促，故因壓縮而增加之溫度，與稀疏而引起之冷卻，均不能即行傳達於其四周。於是聲波之傳播情形，非等溫而為絕熱的，故所用之彈性係數亦須為絕熱的。惟氣體之絕熱彈性係數，等於其等溫彈性係數乘以 γ ， γ 表定壓比熱與定容比熱之比數。空氣之 γ 在 1 氣壓 0° [攝] 時為 1.408，在水蒸氣時約為 1.26。

今以 V 表聲波速度 (公尺/秒), P 表空氣之彈性係數 (約為 1.04×10^6 達因/公分²) ρ 表空氣之密度 (平常狀態約為 0.0013 克/公分³), 則

$$V = \sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}} = \sqrt{1.408 \times \frac{1.014}{0.0013} \times 10^3} \quad (1)$$

$$= 331.5 \text{ 公尺/秒}$$

此值與實驗之結果甚為符合。但由於下列之影響而稍有不同。

(1) 濕度之影響: 空氣中含有濕氣時, 水蒸氣之密度約為同溫同壓時的乾燥空氣之 $5/8$, 故聲速較大。然水蒸氣之 γ 值為 1.26, 空氣之 γ 值為 1.408, 故在同溫同壓狀態下, 水蒸氣之 $\sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}}$ 值約為空氣之 1.2 倍。故空氣之濕度若大, 則聲速亦增加。

(2) 壓力之影響: 完全遵循波義耳定律 (Boyle's law) 之範圍, 恆溫狀態下, $P/\rho = \text{常數}$, 故即改變壓力, 聲音之速度不變。

(3) 溫度之影響: 氣體之密度隨溫度而變化。在 1 氣壓 0° [攝] 時, 空氣密度為 $\rho_0 = 0.0013$ 克/公分³, 溫度 t° [攝] 壓力為汞柱 H 公分時, 空氣密度為 ρ , 定壓之下, 氣體之膨脹係數 $\alpha = 1/273 = 0.00367$, 則

$$\rho = \rho_0 \frac{H}{76(1 + \alpha t)} \quad (2)$$

汞之比重若為 1.36, 則 $P = g\delta H$ 達因/公分², 故若以 V 及