

# 應用建築聲學

陳 繹 勤 編 著



首 都 出 版 社 出 版

# 應 用 建 築 聲 學

陳 繹 勤 編 著



首 都 出 版 社 出 版

北京市書刊出版業  
營業許可證出字第〇三三號

版權所有 ★ 不准翻印



應用建築聲學

25 開 240 頁 176 千字  
定價人民幣 20,000 元

編著者 陳 繹 勤

出版者 首 都 出 版 社

印刷者 慈 成 印 刷 工 廠  
北京宣外上斜街西口  
電話(三)二七九五號

發行所 首 都 出 版 社

北京石駙馬後宅甲38號  
電話(二)〇二一八號

1953年8月初版

0001-3,000

## 前 言

“建築聲學”是一門新興的科學，在近代的建築設計中，它已形成爲其中的一個重要構成部分。二十年以來，關於建築物聲音的設計，已有很大的進展，它的重要性已與建築物的照明、採暖、通風和衛生等工程不分軒輊，在個別的建築物設計中，它的迫切需要、甚至遠有超越這些後者的趨勢。

全國大規模的經濟建設已經展開，建築物的設計欲求其盡善盡美，具有良好的聽聲環境，關於建築物內部的聲音控制和調整，也就愈感急需。在國內的出版物中，關於“應用建築聲學”的教材或參考書的刊印很少，爲了在祖國的偉大建設中貢獻一點微力，我在授課餘暇，編寫了這本書。對於國內的建築系、土木系的同學們和建築師、工程師以及其他有關基本建設人員從事建築物的聲音設計者，我希望能或多或少地予以幫助。

本書的編寫內容，注重在解決實際問題，主要表現在以下各方面：

- (1) 力求實用，除重要的理論根據予以指出外，其他純理論的分析，儘量從略。
- (2) 利用圖表及文字，說明大禮堂、電影院、錄音室、交混回響室、發聲室、攝影棚、電台播音室和醫院等最適宜的尺寸和形象

的設計。

- (3)指出此等建築物的隔聲、吸聲和反射聲所用的材料及構造方法,以便適應最良好的設計。
- (4)介紹聲音的測定和計算方法,並舉出計算例,以便參考。
- (5)具體敘述最近二十年來關於建築物內聲音設計的新的發展資料。

本書計算所用的制度,以公制為主,而以英制為輔,並為書中用語便於檢查,另附“名詞對照表”於本書之後,以利檢閱。

由於個人的學識簡陋,本書中的疏誤之處,或所難免,深望國內的同道隨時賜予指教,不勝感幸。

陳釋勤識於山西大學工學院

一九五三年八月

# 目 次

## 前言

## 第一章 聲音的性質

§ 1.1 概說	1
§ 1.2 波動	3
§ 1.3 干涉	6
§ 1.4 拍音	7
§ 1.5 共振	8
§ 1.6 聲音的合成	8
§ 1.7 強度、能量密度及功率	10
§ 1.8 平面聲波基本關係小結	12
§ 1.9 聲音的水平	13
§ 1.10 壓力水平	13
§ 1.11 速度水平	14
§ 1.12 強度水平	14
§ 1.13 壓力水平、速度水平及強度水平的關係	15
§ 1.14 感覺水平	15
§ 1.15 響度水平	16

§ 1.16 反射率、吸聲率、吸聲力、傳透係數及吸聲值 .....	18
§ 1.17 平方反比定律 .....	19

## 第二章 幾何聲學

§ 2.1 幾何聲學的假定條件 .....	21
§ 2.2 單反射 .....	22
§ 2.3 複反射 .....	33

## 第三章 交混回響

§ 3.1 概說 .....	39
§ 3.2 聲音成長及衰滅的方程式 .....	40
§ 3.3 交混回響時間的方程式 .....	43
§ 3.4 空氣中聲音的吸收 .....	47
§ 3.5 交混回響特性 .....	49
§ 3.6 聽感要素 .....	50

## 第四章 室內聲學

§ 4.1 概說 .....	55
§ 4.2 交混回響 .....	55
§ 4.3 吸聲材料的選用和分佈 .....	57
§ 4.4 房間的形象和大小 .....	59
§ 4.5 噪聲 .....	63
§ 4.6 聲源的響度 .....	63

## 第五章 聲音隔絕

§ 5.1 概說 .....	68
----------------	----

§ 5.2 空氣傳聲的隔絕	70
§ 5.3 固體傳聲的隔絕	75
§ 5.4 蘇聯居住房屋的隔聲規定	80

## 第六章 吸聲材料

§ 6.1 吸聲抹灰	81
§ 6.2 吸聲磚	84
§ 6.3 纖維板	86
§ 6.4 軟木板	87
§ 6.5 毛氈	88
§ 6.6 帷帳	88
§ 6.7 新型吸聲材料	88
§ 6.8 吸聲材料的吸聲率	89

## 第七章 大禮堂設計

§ 7.1 設計要則	90
§ 7.2 麥克風種類及性能	93
§ 7.3 麥克風使用方法	99
§ 7.4 禮堂內回聲及補救方法	100
§ 7.5 禮堂內聲焦點及補救方法	102
§ 7.6 禮堂內響度不足及補救方法	104
§ 7.7 禮堂內平頂面決定法	103
§ 7.8 禮堂設計良否判別法	108
§ 7.9 禮堂內聲音調整的實例	115

## 第八章 電影院設計



§ 8.1 概說	119
§ 8.2 基本要求	119
§ 8.3 觀衆席容積	120
§ 8.4 觀衆席的長寬高尺寸	121
§ 8.5 觀衆席個別部分的表面形象	123
§ 8.6 樓廳高度	125
§ 8.7 樓廳深度	126
§ 8.8 樓廳底面	127
§ 8.9 後牆設計	128
§ 8.10 平頂設計	128
§ 8.11 側牆設計	129
§ 8.12 樓廳前臉	129
§ 8.13 樓廳上方的空間	130
§ 8.14 設計要則	130

## 第九章 錄音室設計

§ 9.1 錄音的方法	133
§ 9.2 錄音室的聲音隔絕	135
§ 9.3 錄音室容積	137
§ 9.4 錄音室形象	140
§ 9.5 錄音室的交混回響及凸形木嵌板的做法	143

## 第十章 交混回響室設計

§ 10.1 概說	157
§ 10.2 聲音成長及衰滅的計算	157

§ 10.3 交混回響室容積及長寬高比例 .....	160
§ 10.4 合併的交混回響時間 .....	161
§ 10.5 錄音需要的交混回響 .....	161
§ 10.6 交混回響室的佈置 .....	162

## 第十一章 發聲室設計

§ 11.1 概說 .....	164
§ 11.2 正常振動方式的計算 .....	165
§ 11.3 半開式發聲室 .....	167
§ 11.4 歌手與麥克風的距離 .....	167

## 第十二章 攝影棚設計

§ 12.1 概說 .....	169
§ 12.2 攝影棚容積及構造 .....	169
§ 12.3 攝影棚的吸聲處理 .....	170
§ 12.4 石毛的特性 .....	171
§ 12.5 施用石毛的方法 .....	172

## 第十三章 廣播電台播音室設計

§ 13.1 播音室類型 .....	174
§ 13.2 播音室條件及構造 .....	174
§ 13.3 監聽室容積及播音室最適宜交混回響時間 .....	177

## 第十四章 電視電台播音室設計

§ 14.1 應備的條件 .....	179
--------------------	-----

§ 14.2 設計要則 .....	179
§ 14.3 附屬設施 .....	180

## 第十五章 醫院設計

§ 15.1 設計要則 .....	181
§ 15.2 門戶的隔聲 .....	183
§ 15.3 通風設備噪聲的防止方法 .....	184
§ 15.4 適用的吸聲材料 .....	185
§ 15.5 完全隔聲的病房設置 .....	186

## 第十六章 聲音的測定及計算

§ 16.1 交混回響時間的測定 .....	187
§ 16.2 揚聲器試驗及所需電力的計算 .....	189
§ 16.3 噪聲的測定及減低的計算 .....	191
§ 16.4 牆壁隔聲量及房間隔聲量的計算 .....	194
§ 16.5 通風管噪聲衰減的計算 .....	197
§ 16.6 分婁測定的平均法 .....	197

附錄一 吸聲率表(附:說明) .....	205
----------------------	-----

附錄二 各種建築材料及構造的隔聲量表 .....	211
--------------------------	-----

名詞對照表 .....	215
-------------	-----

§ 14·2 設計要則 .....	179
§ 14·3 附屬設施 .....	180

## 第十五章 醫院設計

§ 15·1 設計要則 .....	181
§ 15·2 門戶的隔聲 .....	183
§ 15·3 通風設備噪聲的防止方法 .....	184
§ 15·4 適用的吸聲材料 .....	185
§ 15·5 完全隔聲的病房設置 .....	186

## 第十六章 聲音的測定及計算

§ 16·1 交混回響時間的測定 .....	187
§ 16·2 揚聲器試驗及所需電力的計算 .....	189
§ 16·3 噪聲的測定及減低的計算 .....	191
§ 16·4 牆壁隔聲量及房間隔聲量的計算 .....	194
§ 16·5 通風管噪聲衰減的計算 .....	197
§ 16·6 分婁測定的平均法 .....	197

附錄一 吸聲率表(附:說明) .....	205
----------------------	-----

附錄二 各種建築材料及構造的隔聲量表 .....	211
--------------------------	-----

名詞對照表 .....	215
-------------	-----

# 第一章 聲音的性質

## § 1.1 概說

“聲”與許多其他“能”的形態相似，乃是一種波動現象。在建築聲學中，許多實際的問題，是可以只用波動的概念來解決的，而無須關顧到純粹的幾何方法之廣泛應用。此種情形與光學相類似，不過在聲的範圍中，迄今尚未建立“微粒說”。聲與光只有某些在數學上是一致的，但兩者的性質，却並不相同。

聲需要空氣或其他媒介質，以供其傳送。此種事實，已在普通物理實驗中獲得證明：即在玻璃罩中置放一電鈴，通電後電鈴作響，嗣後用真空抽氣機將罩中空氣逐漸抽出，即可發見鈴聲漸微，俟空氣抽淨後，鈴聲即告消失。一般情況，聲係由空氣所傳送，但也能為其他材料所傳達，如水、木料、鋼鐵或混凝土等。

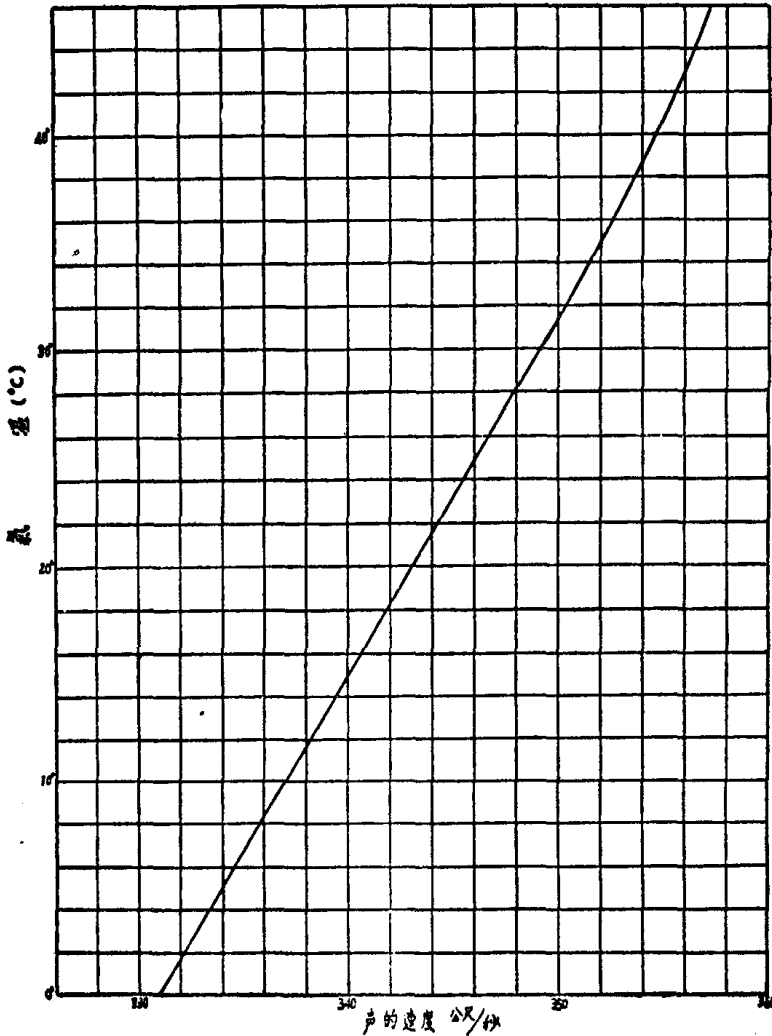
聲音傳播的速度，因與媒介質的密度有關，故速度的大小，乃為氣溫的變化所影響。空氣的溫度如為  $t^\circ$  (攝氏表)，則聲在空氣中的傳播速度，可計算如下：

$$C_t = 331.2 \sqrt{1 + \frac{t}{273}}$$

式中  $C_t$  = 在  $t^\circ$  (攝氏表) 時，聲在空氣中的傳播速度 (公尺/秒)

331.2 = 在  $0^\circ$  (攝氏表) 時，聲在空氣中的傳播速度 (公尺/秒)

由上列方程式，可知聲的速度是隨着溫度的上昇而增加的。由此方程式所計算的結果，見第 1·1 圖。



聲的速度(空氣中)

第 1·1 圖

空氣中溫度增加時，聲的速度也增加。在固體中和流體中，聲的速度較在空氣中的傳播迅速甚多；如第 1·1 表所示，係幾種固體及流

體(水)與常溫時氣體(空氣)中的聲音傳播速度的比較。

第 1.1 表

固體、液體、氣體中聲的速度比較

各物質名稱	聲 的 速 度
鋁	5,100 公尺/秒
鉛	1,320
鐵	5,000
銅	3,900
黃銅	3,580
玻璃	5,190—5,950
磚	1,500—3,200
紙	2,100
水	1,500
空氣(平常溫度)	340

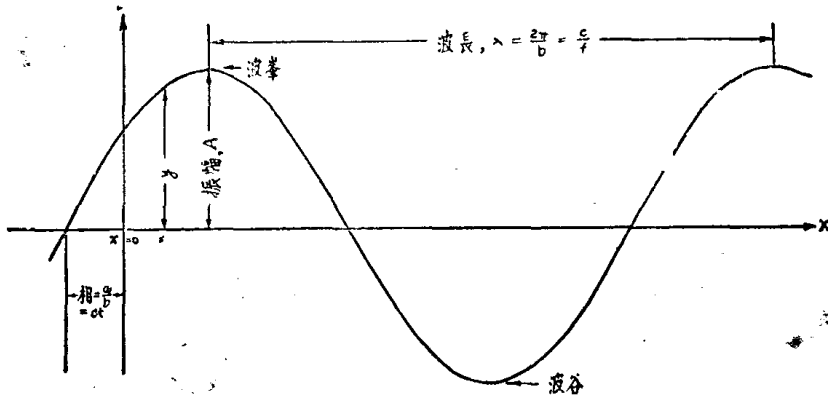
## § 1.2 波動

“波動”的意義，可解釋為在媒介質中所傳播的前進擾動；而此種擾動，是由於媒介質質點的週期振動而產生。此一週期擾動的全部循環值，稱為一“週”。每單位時間(秒)的週數，稱為“頻率”。頻率的反數稱為“週期”。

最重要的波動形式，是“簡諧運動”或“正弦運動”，聲波的運動，即是此種形式。第 1.2 圖具體表明了此一種波的形式，在數學上，是用下列的方程式表示：

$$\begin{aligned}
 y &= A \sin \frac{2\pi}{\lambda} (ct - x) \\
 &= A \sin 2\pi \left( t - \frac{x}{c} \right) \\
 &= A \sin (\omega t - kx) \\
 &= A \sin (a - bx)
 \end{aligned}$$

式中

 $c$  = 聲波的傳播速度 $\lambda$  = 波長 $f$  = 頻率 =  $\frac{c}{\lambda}$  $\omega = 2\pi f$  $k = \frac{2\pi f}{c} = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda}$  $\frac{a}{b} = ct$  = “相”，或稱“位相”。

$$y = A \sin \frac{2\pi}{\lambda} (ct - x)$$

$$= A \sin 2\pi f (t - \frac{x}{c})$$

$$= A \sin (a - bx)$$

$c$  = 波傳播速度  
 $f$  = 振動頻率  
 $t$  = 時間  
 $\frac{a}{b}$  = 相, 或稱位相

正弦波(聲波)

第 1.2 圖

上列的方程式,指明是一個“平面波”,因在三量的波型之中,所有在平面中的各點垂直於  $x$  軸者,是屬於同一位相的。所謂平面波,也可解釋為:其“波前”<sup>\*</sup>乃是一個平面。同樣,“球面波”的波前,乃是一個球形,而“柱面波”的波前,則為一個圓柱形。此外,劃分為平面波、球

\* 將媒介質中的位相相同的各振動點,聯成一個面,即得“波前”。



面波和柱面波的方法，也可依每一種波的起源而定：如起源為一平面，則為平面波，如為一點，則為球面波，如為圓柱形，則為柱面波。

聲波的傳播速度，在已知的媒介質中，是不受其頻率所影響的。因在頻率增加後，聲波的壓縮與稀疏，將為數更多而緊密，如此，聲波的波長便將縮短。所謂“波長”，就是聲波的一個壓縮至次一壓縮的距離。至於聲音的頻率、波長和速度的相互關係已在第1·2圖中表明。

聲波也如光波，能“反射”、“折射”及互相“干涉”，但聲波的波長，却較光波大得特多，因此只能大致地觀察此等作用而已。下面所列的第1·2表，指出幾種具體聲音的波長尺寸；如將此等尺寸與極短的光波波長相比較，則不可不注意：所用反射物的大小，必須較波長為大，例如：光可由極小的鏡面反射，而關於聲的反射物，却必須甚大。

第1·2表 聲音的頻率及波長

聲 別	頻 率 (週/秒)	波 長 (大約值)
最高可聽音調	30,000	10 公厘
鋼琴上最高音鍵	3,500	81 公厘
女子語聲	280	1.22 公尺
男子語聲	140	2.45 公尺
鋼琴上最低音鍵	27	12.40 公尺
最低可聽音調	20	16.80 公尺

現將有關波動的名詞，解釋如下：

“橫波動”：此種波動，其中各質點的振動，與傳播的方向成垂直。例如用一繩，將其兩端伸開成一直線，然後用力突然將其一端拉緊，則順沿繩身所表現的波動，就是橫波動。光波和電磁波的波動，即是橫波動。

“縱波動”：此種波動，其中各質點的振動，與傳播的方向相平行。例如用一伸長的彈簧，沿其長度予以擾動，則所得的波動 即是縱波