

F·英格斯列夫著 吕如榆译

近代实用建筑声学

中国工业出版社

近代实用建筑声学

F·英格斯列夫著

吕如榆译

中国工业出版社

本书系譯自丹麦 F. 英格斯列夫 (Fritz Ingerslev) 所著
“*Acoustics in Modern Building Practice*”。全书共七章，
对声音的性质、房間音质的設計原理、吸声材料、噪声控制、空
气声和固体声的隔离、机座的隔振、空气調节系統中的噪声降低，
都有論述。此外譯者摘譯了英国 P. H. Parkin 和 H. R. Hum-
phreys 所著 “*Acoustics, Noise and Buildings*” 有关語言
扩声系統的設計一章，列为第八章，另增加了一个有关噪声控制
和隔声评价标准的附录，以补不足。

本书內容簡要实用，可作为高等院校和中等技术学校建筑专
业的教学参考书，也可供建筑师和建筑結構工程师設計参考。

Fritz Ingerslev
ACOUSTICS IN MODERN BUILDING PRACTICE
The Architectural Press
London—1952

* * *

近代实用建筑声学

呂 如 榆 譯

*

建筑工程部編輯部編輯 (北京西郊百万庄)

中国工业出版社出版 (北京修麟園路丙10号)

(北京市书刊出版事业許可証出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{2}$ • 印張 $9 \frac{15}{16}$ • 字数259,000

1963年8月北京第一版 • 1963年8月北京第一次印刷

印数0001—1,980 • 定价(10-7)1.65元

*

統一书号: 15165 • 2213(建工-313)

譯 者 序

本书是按照作者原著的英文修訂版翻譯的，翻譯过程中也参考了1957年莫斯科出版的俄文譯本，并酌量採納了俄文譯本所作的修改和补充，以及所加的注解，分別注于正文頁下。

本书叙述簡明扼要，条理分明，內容实际，容易为初学者接受，故适宜于教学参考和新参加工作的同志自修之用。不够的地方是沒有討論到扩声系統和房間扩散的問題。扩声系統有实际重要性，为了弥补原书的不足，譯者特加进了“高质量語言扩声系統的設計”一章，列为第八章。这是从P.H.Parkin和 H.R.Humphreys: “Acoustics, Noise and Buildings” (声学、噪声和建筑)一书的第六章編譯来的。关于房間扩散問題，也就是房間音质第二评价标准問題，现在还处于研究阶段，沒有肯定的結論，初学者暂时不学，关系也不大。如果讀者有兴趣，可以参考其他的文献^①。

最近几年来，关于噪声控制和隔声的评价标准，各国都做了很多的研究工作，获得了一些进展，因此本书中原来的一些資料，就显得有些不足或者过时了。为了弥补这点，也为了給讀者提供一些有关噪声控制和隔声评价标准的最近資料，譯者增加了一个附录。这个附录的主要内容，是根据上面提到的P.H.Parkin和H.R.Humphreys的“Acoustics, Noise and Buildings”，和L.L.Beranek編的“Noise Reduction” (噪声降低)两书編成的。由于国内已經出版的建筑声学方面的书，还很少介紹这方面的資料，因此譯者相信，加上这个附录，对建筑部門的实际設計人

① 可以参看：上海市物理学会声学工作委员会出版的声学譯丛之四“建筑声学”中B.B.Фурцев著，陈通譯的“建筑声学中的几个新問題”，或者L.L.Beranek著，王季卿譯的“电台播音室的改进設計”(1962)等。

員，不是沒有幫助的。但是應該說明，評價標準是一個主觀量，由於受各種具體條件的影響和制約，不但工作性質不同的人，要求的標準不會相同，就是工作性質相同的人，在不同國家和不同民族之間，恐怕也有要求上的差別。因此對於這個附錄，不能看得太絕對，僅供參考而已。

本書在翻譯過程中，承馬大猷教授多方指導和解決疑問，並校閱了部分譯稿，深表感激。程明華、陳存信、柯豪、張丕璧等同志曾對譯文提出過寶貴的意見，呂如竹和柯峰同志曾負責譯稿的整理和校對工作，同此致謝。

譯者能力有限，學識淺薄，對譯文雖經過反復推敲，錯誤和不妥當的地方恐怕仍然還有，希望讀者多加指正。

呂如榆

一九六二年八月於北京

作 者 序

这本声学书主要是为建筑师和建筑系学生写的，当然同时也希望它能对建筑结构工程师和结构系学生有所帮助。

本书是按教科书计划的，其目的有二：第一是向学生介绍建筑声学的一般概念；第二是提供一些实际解决声学问题的例子。因此本书论述力求避免过多的理论，并尽量少用公式。作者的經驗是，学生们第一次接触到新的课题，总是喜欢用文字而不喜欢用数学公式来讲解的。

本书按照欧洲惯例，统一采用米制作为单位。但也在适当的地方插用英制单位。在本书第10页附有英制和米制的换算表。频率的量度采用欧洲单位—赫(Hertz, 周/秒)。

F·英格斯列夫

1952年3月·哥本哈根

目 录

譯者序

作者序

第一章	声音的性质	1
§1	声音的发生和传播	1
§2	声强、声能、声强级、声压级	12
§3	响度级、声级、干扰度、响度	14
第二章	房間音质	23
§4	房間音质的一般考虑	23
§5	室内声场的增长和衰变	25
§6	声波在房間中的反射和散射	33
§7	各种振动系统的固有频率	39
§8	房間形状的設计	41
§9	声音的分布和扩散与房間形状的关系	41
§10	回声与房間形状的关系	58
§11	簡正方式的混响时间与房間形状的关系	62
§12	检查房間音质設计的方法	65
§13	讲演厅中的最佳混响时间	72
§14	音乐厅的最佳混响时间	79
§15	房間混响时间的計算	86
§16	混响时间的測量	88
§17	控制混响时间用的吸声材料的位置选择	98
第三章	吸声材料	100
§18	多孔材料	100
§19	不穿孔薄板吸声体	106
§20	亥姆霍茲共振吸声体	110

§21	狹縫共振吸声体	125
§22	吸收系数的管测法	129
§23	吸收系数的混响室测量法	130
第四章	噪声和噪声降低	136
§24	噪声的定义和量度	136
§25	建筑物中的容许噪声级	137
§26	噪声的生理和心理影响	141
§27	噪声源	144
§28	声源间的噪声降低	146
§29	城市规划	158
第五章	空气声的透射	163
§30	空气声透射的一般考虑	163
§31	墙的透射系数和隔声量	164
§32	空气声通过非多孔性实心墙的透射	165
§33	墙隔声量的测量, 隔声量作为频率的函数	168
§34	平均隔声量的定义、平均隔声量作为重量的函数	170
§35	空气声通过多孔性墙的透射	171
§36	空气声通过非多孔性双层墙的透射	172
§37	空气声通过楼板的透射	179
§38	空气声通过门的透射	180
§39	空气声通过窗的透射	182
§40	各部位隔声量不同的墙的隔声量	185
§41	墙上孔隙对墙的隔声量的影响	186
§42	建筑物中的有效声压级差	190
§43	空气声通过隔墙透射引起的接收间的声能密度	191
§44	有边缘透射时接收间的声能密度	192
§45	平面布置	193
§46	住宅中空气声的隔声规范	196
§47	空气声隔声要求特别高的结构	198
第六章	固体声和振动的传播	199

§48	固体声和振动传输的一般考虑	199
§49	振动测量	199
§50	固体声测量	202
§51	关于固体声衰减的一般考虑	208
§52	各种楼板下的有效冲击声级	210
§53	住宅中的容许有效平均冲击声级	220
§54	冲击产生的固体声向远处房间的传输	220
§55	机器产生的固体声和振动的降低	222
§56	机器的隔振材料	226
§57	机器隔振实例	228
§58	水管系统产生的噪声	231
§59	传到建筑物的外界振动	238
第七章	空气调节系统中的噪声控制	240
§60	空气调节系统中产生的噪声	240
第八章	高质量语言扩声系统的设计	247
§61	扩声系统的一般考虑	247
§62	传声器	248
§63	扬声器的布置	250
§64	扬声器	253
§65	操作者规则	255
§66	频率响应	256
§67	功率要求	257
§68	时间延滞的设计	257
§69	扬声器柱的设计	263
§70	扬声器柱的使用	269
§71	一般典型厅堂中语言扩声系统的使用	271
附录	噪声控制和隔声的评价标准	276
	前言	276
	评价标准 I 对听觉的损伤	277
	评价标准 II 语言通话	280

评价标准 III	办公室	284
评价标准 IV	测听室	287
评价标准 V	讲演厅、音乐厅和其他用途房間中的 最大噪声級	288
评价标准 VI	空气声隔离	290
评价标准 VII	住宅的隔声	291
评价标准 VIII	听閤和掩蔽	295
评价标准 IX	戶外噪声	300
评价标准 X	区域规划	304
评价标准 XI	工业噪声	305

第一章 声音的性质

§1 声音的发生和传播

“声学”(ACOUSTIC)一詞是从希腊字“ακουειν”(听)演变来的,是研究声音的发生、传播和接收的科学。

“声音”(Sound)一詞是指在气体、液体或固体媒质中的一种物理扰动,也就是一种变化或者脉动——声波。声音可分三类:次声、可听声(或简称声)和超声。次声是每秒振动次数过低,人们不能如“真正”声音那样听到的声波。超声是每秒振动次数过高,人耳不能感觉的声波。

空气中的声波起源于物体的振动。固体的振动带动靠近固体的空气质点振动;这些质点的振动是与固体的振动相一致的。因为空气质点是通过“弹性力”互相耦合着的,靠近振动体的质点的振动,引起这些质点和邻近质点间“弹性力”的改变,从而引起这些邻近质点振动。这些最后說到的质点又以类似的情况带动离振动体更远的新质点振动;固体的振动就以这种方式在空气中传播。振动或声波在空气中传播的速率,称为声速。

传播声波的空气质点并不改变其正常位置。它们仅在他們的平衡位置,即沒有声波传播时的位置附近作振动。空气质点位移的数值,总是随着离振动体距离的增加而减少的。

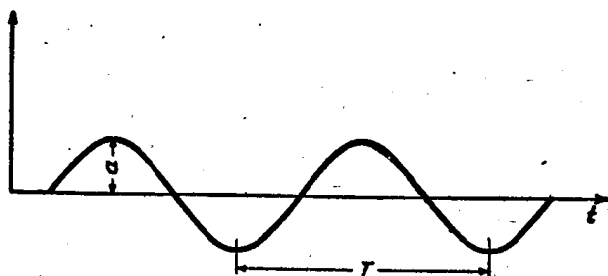


图 1-1 諧和曲綫

图 1-1 为最基本的一种振动的图解，表示质点位移与时间的关系。这种类型的振动称为简谐振动，图 1-1 的曲线是谐和曲线。如果固体的振动是谐和的，那末空气的振动也是谐和的。 a 表振幅，即最大位移； T 表周期，即作一次完全振动所需的时间。固体和空气质点在一秒钟内所作的完全振动的次数，称为振动的频率，以 f 表频率，则频率和周期间的关系为：

$$f = \frac{1}{T} \quad (1-01)$$

频率的单位是赫芝，1 赫芝 = 1 周/秒，本书中采用赫芝（简称为赫）作为频率的单位。1000 赫以上的频率，通常用千赫为单位，1 千赫 = 1000 赫。

低音具有低频率，高音具有高频率。可听频率范围的低限和高限，分别约为 20 赫和 20000 赫。

表 1 和表 2 示以等程音阶表示的音和以赫表示的频率之间的关系，为国际标准协会 1939 年在伦敦开会时通过。

表 1

音阶	C_{11}	C_1	C	c	c^1	c^{11}	c^{111}	c^{1v}	c^v	c^{vi}	c^{vii}
频率 (赫)	16.35	32.70	65.41	130.81	261.63	523.25	1046.5	2093.0	4186.0	8372	16744

表 2

音阶	C	$C^{\#}$ D^b	D	$D^{\#}$ E^b	E	F
与起点的 频率比	1 1.0000	$\sqrt[12]{2}$ 1.0595	$(\sqrt[12]{2})^2$ 1.1225	$(\sqrt[12]{2})^3$ 1.1892	$(\sqrt[12]{2})^4$ 1.2599	$(\sqrt[12]{2})^5$ 1.3348
音阶	$F^{\#}$ G^b	G	$G^{\#}$ A^b	A	$A^{\#}$ B^b	B
与起点的 频率比	$(\sqrt[12]{2})^6$ 1.4142	$(\sqrt[12]{2})^7$ 1.4983	$(\sqrt[12]{2})^8$ 1.5874	$(\sqrt[12]{2})^9$ 1.6818	$(\sqrt[12]{2})^{10}$ 1.7818	$(\sqrt[12]{2})^{11}$ 1.8878

除了图 1-1 表示的位移对时间的曲线外，还可以画出质点速

度对时间的曲线。这曲线也是谐和曲线，但代表质点速度的曲线，要偏离位移曲线 $1/4$ 周期，因为位移极大时，速度是零；位移是零时，速度极大——对照摆的振动有类似现象。

质点位移和质点速度的振幅，是声波强度的量度。振幅愈大，声音愈强。

声速决不可与质点速度混为一谈。声速是振动或声波在空气中传播的速率，而质点速度是空气质点在平衡位置附近来回运动的速率。声波强度与声速无关^①，但与质点速度成正比。

在一个周期中声波传播的距离，称为声波的波长，它用希腊字母 λ 表示，因此：

$$\lambda = c \times T \quad (1-02)$$

从方程式(1-01)和(1-02)可得：

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1-03)$$

由公式(1-03)可见，波长与频率成反比。

可听声频率范围中，低音部分的波长达数米，高音部分的波长仅几厘米。

在传播方向上相隔短距离的两个空气质点，一般是相位不同，即不是同时振动的。但是如果相隔距离是波长的整数倍，那末两质点相位相同。

声波引起空气质点的振动，使大气压力产生迅速的起伏。这种起伏，称为声压，它和未受扰动的大气压力相比较是很小的。声波的声压量在听阈是大气压力的 10^{-10} 。具有为大气压力 10^{-4} 的声压的声波，强度足可使人耳感到疼痛。实际上，一般只记录声压，因为声场的总压力是没有多大意思的。

以相当于正常大气压力的每平方厘米 10^6 达因的单位作声压的单位是过大了，常用单位是每平方厘米 1 达因，也称 1 微巴

① 作者这里是指小振幅的声波，就是日常碰到的声波。如果是大振幅的声波，例如爆炸发生的，则声速就与声波的强度有关。——译者注

(microbar或簡写为 μbar)^①。这两个名称可随意采用。可听声压範圍中声波具有从大約 10^{-4} 微巴到大約 10^3 微巴的压力。

最强与最弱的可听声压之比約为 10^8 。这是一个巨大的比值，不能制作一个简单的机械或电学仪器来测量。換算成重量，这个比值相当于1吨同1克之比。

由于有必要来处理伸展到这样广闊範圍的声压，以及其他原因(見第二节)，采用一种称为分貝(db)的对数标度来度量声压是方便的。把声压与一基准值作比較。习惯上取 2×10^{-4} 达因/厘米²的声压作为基准值。用对数标度度量的声压称为声压級，声压級是20乘以这声音的压力 p 与基准压力 p_0 之比的以10为底的对数。因而：

$$\text{声压級} = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0} \text{ 分貝} \quad (1-04)$$

p_0 为 2×10^{-4} 微巴。

图1-2示以达因/厘米²作单位的声压和以分貝作单位的声压級之間的关系。

有关对数标度和上述声压級定义的局限性的更多的資料，見本章第二节。

声压級可用电学仪器测量。傳声器、放大器和指示装置等可合并組成声压計。更精确地說，它应该称为“声压級計”，因为这种仪器是按声压級校准的。

图1-3是声压級計。用普通商品声压級計，由于电器裝置的限制，不能测量低于約 3×10^{-5} 微巴的声压，这数值相当于25分貝(以 2×10^{-4} 微巴为基准)。

存在于通常的声波中的声压很低，有理由可以假定不同的过程都是綫性的。在声場中所有点上的质点位移、质点速度和声压

① 本书采用的微巴单位，同苏联出版的(或譯成中文的)书中的巴(бар)的单位相当。我国現采用微巴单位(見“声学术語”，中国科学院編譯出版委员会名詞室和中国科学院电子学研究所声学研究室合編)。如果用米·公斤·秒制表示，1微巴 = 0.1 牛頓/米^2 ；譯者个人认为以采用米·公斤·秒制較為合适。——譯者注

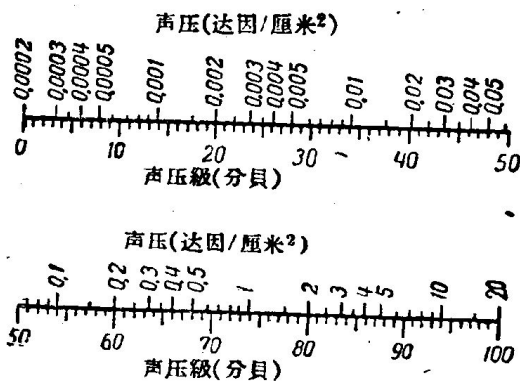


图 1-2 以达因/厘米²作单位的声压和以分贝作单位的声压级之间的关系

都和声源一样以同样的方式随时间而改变。离声源的距离增加，各不同数量的量值逐渐减少，而相角则增加。

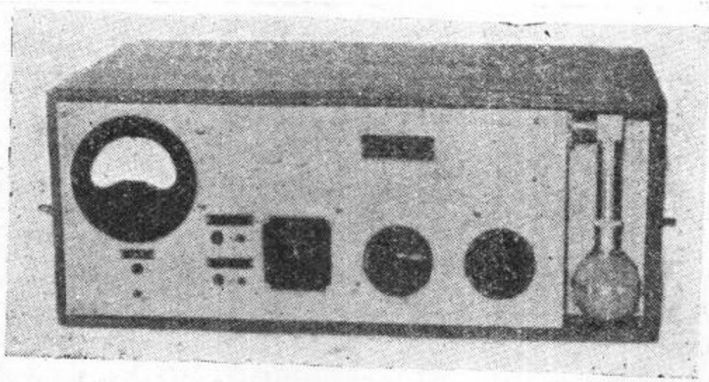


图 1-3 声压级计(哥本哈根, Radiometer厂出品)

在空气和液体中，质点运动的方向和声波传播的方向相同。在固体中，这两种运动可能方向相同，在这种情形下的声波称为纵波；或者也可以相互垂直，这时，就称为横波。

大气中的声速，在 $t^{\circ}\text{C}$ 是：

$$c = (330 + 0.6t) \text{ 米/秒}$$

或者

$$c = (1083 + 1.96t) \text{ 呎/秒}$$

(1-05)

正常室温下，声速约为340米/秒。

表 3 中列出在不同气体中的声速：

表 3

气 体	声 速, 20°C(米/秒)	声 速, 20°C(呎/秒)
氢	1305	4281
氮	971	3186
惰性气体	450~550	1475~1800
大 气	343	1126
氦	338	1109

純水的声速是1450米/秒。水的声速随含盐量成正比例增加，例如含盐量为3.5%，则声速是1558米/秒。

表 4 中列出在各种固体材料中的声速：

表 4

材 料	声 速, 20°C(米/秒)	声 速, 20°C(呎/秒)
花 崗 石	6400	2100)
玻 璃	5000~6000	16400~19700
铝	5100	16750
镍	5000	16400
铁	4700~5100	15400~16750
砖	4300	14100
混 凝 土	4000	13100
铜	3900	12080
黄 铜	3500	11500
银	2600	8530
砖 砌 体	2000	6560
铅	1320	4330
软 木	450~530	1480~1740
橡 皮	40~150	130~490

图1-1是振动的最简单类型，即諧和振动，虽然很少见到，但在理論上是最重要的一种振动。如果已知由固体声源的諧和运动产生的声場，则同一固体声源的任何其他周期运动产生的声場，

是可以决定的。这是因为任一周期函数可以分解为很多諧和函数。这样，复杂周期振动能看成是由通常称为諧和成分的很多諧和振动所組成的。个别諧和成分的頻率是基頻的整数倍，基頻相当于复振动的周期。实用上常說第一、第二、第三諧和成分等等。組成复振动的各种諧和振动产生的声場，可分別逐一决定，而复振动的声場等于个别諧和振动所产生的声場的总和，因为迭加原理适用于綫性过程。

图 1-4 是周期性复振动的例子，它可以分解成两个諧和成分。

其实，周期性复振动可以很簡單地用頻譜图来表示。頻譜图是由繪在水平軸的頻率标度上面的一些垂直綫所組成。綫的长度（以綫性或对数标度）表示相应頻率成分的强度。頻譜图不能表出不同成分間的相位关系。相位关系在性质上对振动的波形非常重要，但对声音的听觉作用不大。图 1-4 是对某一特定振动的頻譜图。

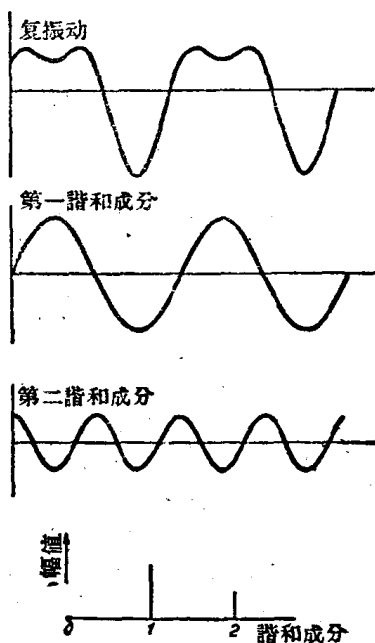


图 1-4 复周期振动及其頻譜图

周期性非諧和振动的声波的位移、质点速度或声压的最大值，不能象在諧和声波中那样作为声波强度的量度。这是因为最大值依赖于不同諧和成分間的相位关系。有效声压才是强度的量度。有效声压是瞬时声压的方均根值①。

① 有效声压(p)可用公式表示:

$$p = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt}$$

式中 T ——瞬时声压 $p(t)$ 的复周期振动的周期。

——譯者根据本书俄文譯本附注譯注