

王季卿編

建筑設計中的噪声控制

上海科学技术出版社

建筑設計中的噪声控制

王季卿編

中國科學院數理化學研究所

內 容 提 要

本书从滿足建筑設計者的实用要求出发,闡述了建筑物內关于噪声控制 and 隔声方面的基本原理和設計方法。内容包括声学的基本概念、噪声、噪声声源的控制、空气声的透射和隔絕、固体声的傳遞和隔离、振动的隔离、墙、楼板、門窗和通风系統中的噪声控制等十章。

本书可作为建筑設計人員和高等学校建筑学課程参考之用。

建筑設計中的噪声控制

王 季 卿 編

上海科学技术出版社出版

(上海南京西路 2004 号)

上海市書刊出版业營業許可証出 093 号

新华书店上海发行所发行 各地新华书店經售

大众文化印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印張 8 18/32 插頁 1 字數 210,000

1959 年 12 月第 1 版 1959 年 12 月第 1 次印刷

印數 1—1,800

統一書号: 15119 · 1363

定 价: (十二) 1.20 元

序

噪声控制是建筑声学中的一个重要部分，也是建筑设计中的一个环节。随着城市的发展，交通运输的增加，工业的发达和文娱生活的开展，以及人民生活水平和经济条件的逐步提高，人们对于安静和良好听环境需要更加迫切，因此建筑师也就很少再会遇到一些与建筑声学毫无关涉的设计了。近年来，国内建筑工作者对这一问题已普遍开始注意，并且认识到它的重要性。但是过去我国在这方面的经验很少，也没有系统研究的资料，有关专门书籍出版的也不多；为此，编者从满足建筑设计者的实用要求出发，搜集了若干国外资料编成此书，当然这还不过是初步的尝试。这些资料大半系取自丹麦、挪威、瑞典等北欧诸国和英国、德国、美国在内的文献和书籍，也介绍了一些苏联资料^①。唯限于编者的水平，谬误不当或不够全面之处在所难免，尚祈读者指正。

噪声控制是一门边缘科学，它需要各方面的协作和努力才能解决实用上的问题。例如研究噪声的性质和透射现象是物理学的一部分，研究噪声对人的影响是生理学家的的工作，降低机器设备发出的噪声就要牵涉到机械设计问题，噪声的测定和分析要依赖电子学的仪器和装备，至于在建筑处理中考虑降低和隔绝噪声当然要和建筑设计密切结合起来。本书编写的目的既然主要是供建筑界设计人员参考，而有关噪声的理论分析则要涉及比较复杂的数

^① 苏联在噪声控制研究方面具有长期的经验和丰富的资料，例如 И. И. 斯拉文著“生产噪声及其防止的方法”（胡澄东译，上海科学技术出版社，1957年）就是一本值得推荐的书籍，本书有许多不足之处可以参考该书。

学推演和物理概念,噪声的測定又要涉及电声学和其他方面,这些对建筑工作者來說,却并不很熟悉,何况有的实用价值还不大,因此在本书中也就談得很少。

本书首先包括两章关于声学 and 噪声的基本概念。接着第三、四、五、六章分別对噪声声源、空气声、固体声和振动的透射及控制原理加以討論。第七章至第十章引述了以上原理的具体应用,包括牆、樓板、門窗和通风設備的隔声設計。附录介紹的隔声資料对設計工作來說是有很大参考价值的,但是由于測定技术的限制,以及建筑材料、构造和施工等种种原因,这些数据很可能和我国的实际工作有所出入,这一点也是值得注意的。

在着手編写本书之初,不論从材料搜集和內容編排方面都得到了李德华先生很多的帮助,他并为本书編写了第一章和第二章的若干部分。全书承章启馥先生在百忙中抽暇校閱和指正,并对本书的內容和編排等方面提出了若干宝贵的意見。編者謹向上述两位同志致以衷心的感謝。

王季卿

一九五八年十月于同济大学建筑系

緒 論

噪声控制和室内声学是建筑声学中的两个主要方面。一个音质设计良好的厅堂，如果受到噪声的干扰必然会严重地影响到室内的听闻条件，因此即使在处理方法和设计要求上各不相同，但是也有其密切相关之处；至于把两者混为一谈那是不恰当的。噪声控制是要把无论室内或户外的噪声降低至适当的程度，或与建筑物内各不同部分互相隔绝；而室内声学却要求提高厅堂内良好的听闻条件。

近年来由于工业、交通运输和人们日常生活工作中广泛地采用了机械化的设备，以及社会经济的发展，人们的生活和活动日益集中，商店、办公室和公寓等类建筑物普遍地建造起来，因此噪声问题已较之过去任何时代更为严重。虽然人们对噪声所能忍受的程度各不相同，但是对噪声感到厌恶的心理却是一样的。许多人聚集在一小块地方高声谈论，从声学观点上来说是很不利的；而且一般人对自己所发出的噪声往往并不在意，对别人的噪声却非常敏感。因此自己在活动时能处处考虑到旁人的安宁是应该加以注意的。

隔声问题虽然早已列为建筑设计中的一项基本要求，但是往往由于设计者忽视了这个问题，或者对这方面的知识不够了解，以致近年来即使在建筑中的其他条件如采暖、通风、采光和防潮等方面均有所改善，而在隔声方面的情况却日趋不利。目前在一般工作室中（例如办公室等）已广泛地运用了机械化设备，家庭中也已普遍地有了收音机和卫生设备，这样势必使噪声声源的数量和强

度都有了增加。此外,由于近代建筑結構的整体性加强了,对固体傳声更为有利,并且根据結構和构造的要求,質料輕薄的材料和构件有了很大的发展,因此使声音更容易透射到房屋的其他部分中去。这种实例在我們周圍的环境中是經常遇到的。例如:有不少公寓住戶抱怨邻居的收音机开得太响,以及时常受到孩童哭鬧或交通車輛等傳来的噪声所干扰;住在旅館或宿舍中的人們常因楼上或走道中有人来往活动,或使用卫生設備等发出的噪声而不能入睡;辛勤的夜班工人更被喧嘩終日的高声喇叭所騷扰,在白天不能安眠。至于工厂中的情况則往往更为严重,工人受到长期的过分噪声刺激,不但精神容易疲劳,而且听觉也容易受到損害甚至永久失灵。噴气飞机的发展在航空事业中是一个很大的成就,但是它給城市居民带来了較之其他运输工具更为令人厌烦的噪声,它的强大噪声足以使靠近的工作人员发生危險,因此是不容忽視的。总之,噪声是一个很严重的现实問題,它要求我們从各方面迅速寻求改进的方法和措施。

首先我們必須指出在工程技术范围以外的某些人为因素亟应消除或减少。人們在日常生活中的活动往往就是噪声的根源,如果在必要时不加以适当的控制而仅从建筑隔声上来解决是不可能的,也是不合理的。例如行政当局如能联合城市公用事业、里弄居民、公安机关以及其他有关部門采取一系列的措施,来彻底改善目前城市中不必要喧嘩現象是完全必要的。苏联莫斯科市苏維埃执行委员会在前几年通过了一項“关于减少莫斯科市街道噪声和生活噪声的重要措施”的專門決議案^①,对一切違反決議規定者即应受到違反交通規則或其他的处分。1967年我国也在治安管理处罰条例中作了类似的規定,并向居民广泛宣傳^②。这样把减少城

① 参閱“关于减少莫斯科街道噪声和生活噪声的重要措施”一文,工程师 Я. П. 什馬特科夫和 В. Н. 拉巴佐夫著,城市建設譯丛第2期,1955年7月。

② 中华人民共和国治安管理处罰条例,第七条第五項(1957年10月22日頒布)。

市噪声而作的宣傳教育推广到每一个角落和每一个人的日常生活中去是积极而有效的办法。在另一方面，我們也要求机器制造者在設計时能多多考虑到如何降低噪声的問題。这样对建筑隔声方面可以減輕不少負担。

把噪声声源的声量降低到最低限度是目前迫切須要解決的問題。建筑設備要求選擇在使用时发出声响并不强大刺耳的用具。例如：电动机應該具有声响很低的轉动零件，轉动部分要适当加以平衡，同时要一点也沒有嘶嘶的杂声；卫生設備在使用时有的声响非常大，也有的声响很小；抽水馬桶在抽水冲洗和水箱注水时希望不发鬧声也是可以做得到的；所有水管的弯头應該是对水流很通暢的。目前这些設備的确是要多花一部分額外的費用，但是如果我們对这些有声的設備提出更多的要求，那么設計制造这些設備的工程师們就会对这些問題集中更多的力量来研究，将来成本也一定会降低。

以上談到的是关于降低噪声源的两个方面，虽然这是解决噪声的有效方法，但是我們應該認識到这样做只可能消除或降低一部分噪声，把全部問題寄托在上述两个方面来解决是不全面的，何况有許多声音还是不可避免的。因而建筑师在建筑設計中如何考虑噪声控制和隔絕是非常必要的，特別在建筑設計的最初阶段就应该把这个問題同时考慮在內，这是很重要的一个步骤。优良的隔声效果并不是容易达到的，因此應該把房屋中有隔声要求的地方减少到最低限度；也就是說在建筑的布局中一方面應該在数量上减少噪声的声源，把产生噪声的单元尽量聚集在一起，另一方面要把噪声声源与那些要求安靜的房間分隔得越远越好。布局上如果不能达到隔声的要求，那末可以运用房屋构件的隔声能力来弥补这方面的缺陷；当然这种方法是会增加一些額外造价的。目前經濟問題是每一个設計人員所关心的，所以我們在考虑隔声措施的各种构造方案时，必須充分掌握声音透射的原理和了解各种材

料的隔声性能和构造特点等基本知識，才有可能使設計既有效又經濟，这也是本书的最基本目的。过去我們常看到某些設計人員为了要滿足高度的隔声效果，把薄薄的多孔性材料层层叠起，互相緊密地釘牢，厚达数十公分，所費工料很多，而其隔声效果之差往往还及不上一磚厚牆的一半。当然这也可能受了市上一般把多孔性吸声材料誤称为“隔声板”、“避音板”的影响，但是从它的构造方法上来看，可知其对隔声原則的了解也是不够的。最后我們还得重复地指出：假使平面布置得当，非但对建筑物中的安靜环境大有帮助，而且是一项并不添增額外費用的有效措施。

噪声有的来自室外，有的来自室内；噪声可以由空气傳送到室内，也可以由于围蔽結構直接受到撞击或机器振动而傳來（当然这里也还要經過空气傳送才能被人們的听觉所感受）——这些情况在建筑隔声中均屬同样重要。此外我們还要注意噪声的声譜（即在各种不同頻率下的噪声級），以及建筑物或房間的使用目的和人們針对这些使用目的所能容許的最高噪声級。这个标准既要适合人們主观上所能容忍的程度，同时又必須結合人們的生活水平，生活习惯，以及經濟基础。隔声标准的研究和心理声学是分不开的，声学工作者过去在这方面已作了不少的努力，噪声的定量分析也正在发展之中，而目前我們还只能主要地依靠大量的統計数据来制訂一些比較实用而粗略的标准。

在进行具体的隔声設計时，所要考虑的因素是很多的。如果我們想要非常精确地計算出某一房間四周圍蔽結構的隔声量时，那么即使把其中的一个牆壁加以分析研究，便須要牽涉到許多波动声学理論上的問題，而且往往要应用到高等数学等方法解析某些繁复的公式，这些工作对建筑师在实用中未必有多大的实际意义。因此本书仅在第四章和第五章中簡單地分別介紹了一些隔声处理的基本原理，尽量减少繁复的数学公式。全书的大部分材料是着重在一些实用資料的介紹和討論方面；此外实验室的試驗結

果和数据是有較大幫助的，其中也包括一些還沒有在实际工作中获得証实的經驗，但是这些方法在原理上都具有比較穩固的基础，因而这些建議还是值得推荐和介紹的。

最后向建筑設計人員提出兩項注意要点作为工作中的参考：

1. 建筑物的隔声效果并不仅仅是一牆一門的問題。由于声音是四散傳播和无孔不入的，要防范或者阻隔它們的透射，必須从整体上来考虑，即房間四周一切可能傳声的条件都要充分估計在內，使它們都具有相应的隔声效果。

2. 隔声构造处理的效果还取决于施工的质量，尤其在某些关键性問題上应特別加以說明，务使施工人員熟悉隔声构造的簡單原理，并严格按照操作規程办事，否則如不連續性的构造很容易因施工时的疏忽在其間掉进了一些泥灰石块，而大大地影响了它的高度隔声效果，事后便往往无法檢查和修正。

目 录

序

緒論

第一章 声学的基本概念	1
§ 1. 声音的产生和傳播.....	1
諧音——复音——声速——媒質对声音的吸收——反射和衍射	
§ 2. 声音的强度和量度.....	11
声压——声压級、分貝标度——有效声压級——声能—— 能量密度——声强——声强級和声压級	
§ 3. 听觉和主观量度.....	17
响度級、相当响度——响度、相对响度	
第二章 噪声	23
§ 1. 噪声的定义和測定.....	23
噪声的分析——声級——噪声的疊加	
§ 2. 噪声的来源.....	29
住宅內的噪声——办公楼、工厂和学校等房屋中的噪声—— 戶外噪声	
§ 3. 噪声对心理上和生理上的影响.....	37
§ 4. 建筑中的容許噪声級.....	43
§ 5. 用列綫图解約計适当隔声条件的构造.....	47
第三章 噪声声源的控制	51
§ 1. 直接抑制噪声声源的措施.....	51
§ 2. 遮蔽噪声声源的措施.....	55

§ 3. 利用吸声处理降低噪声·····	61
----------------------	----

吸声材料的选择

§ 4. 城市规划·····	73
----------------	----

§ 5. 护耳器的作用·····	76
------------------	----

第四章 空气声的透射和隔絕·····	81
---------------------------	-----------

§ 1. 墙的透射系数(透射率)和隔声量(透射损失)·····	82
---------------------------------	----

§ 2. 空气声通过一坚实非多孔性墙的透射·····	82
----------------------------	----

§ 3. 墙的隔声量的测定。墙的隔声量和频率的函数关系·····	85
----------------------------------	----

§ 4. 平均隔声量的定义。平均隔声量和重量的函数关系·····	88
----------------------------------	----

§ 5. 由各个不同隔声量部分所組成的墙的隔声量·····	91
-------------------------------	----

§ 6. 墙上小孔对墙隔声量的影响·····	94
------------------------	----

§ 7. 室内有效声压級差·····	98
--------------------	----

§ 8. 空气声通过隔墙透射到受声室内的声能密度·····	100
-------------------------------	-----

§ 9. 受声室内的声能密度和对侧向透射的限制·····	101
------------------------------	-----

§ 10. 平面布置上的措施·····	102
---------------------	-----

§ 11. 居住建筑中对空气声的隔絕标准·····	105
---------------------------	-----

第五章 固体声的傳遞和隔离·····	108
---------------------------	------------

§ 1. 对物体撞击、机器运转和卫生设备等固体声的测定·····	108
----------------------------------	-----

由物体撞击而产生的固体声——由机器产生的固体声——

由卫生设备产生的固体声

§ 2. 有关固体声衰减的一般討論·····	117
------------------------	-----

§ 3. 居住建筑中容許的有效平均撞击声級·····	120
----------------------------	-----

§ 4. 由撞击产生的固体声向远处房間的傳遞·····	121
-----------------------------	-----

§ 5. 卫生设备的噪声·····	122
-------------------	-----

在声源处抑制噪声——水龙头所产生的噪声在傳送至水管前的衰减情况——从管子傳遞至房屋結構的噪声的衰减——关

于卫生设备噪声的一些基本说明

第六章 振动的隔离	130
§ 1. 振动的测定.....	131
§ 2. 人对振动的敏感程度.....	135
§ 3. 振动对房屋的损害.....	137
§ 4. 减低由机器产生的振动.....	139
§ 5. 隔绝机器振动的材料.....	143
软木——橡皮——毡——金属弹簧	
§ 6. 隔振设计.....	145
§ 7. 机器隔振的实例.....	149
§ 8. 外界振动向建筑物的传递.....	156
第七章 墙	162
§ 1. 均匀质体的单层墙壁.....	165
§ 2. 非均匀质体的单层墙壁.....	169
§ 3. 双层墙壁.....	170
双层墙之间的声学耦合作用——双层墙之间的力学耦合作用	
§ 4. 多层墙壁.....	177
第八章 楼板	179
§ 1. 楼板层下敲击声级的意义.....	182
§ 2. 不同混凝土楼板下的敲击声级.....	183
§ 3. 不同木搁栅楼板下的敲击声级.....	187
§ 4. 各种木搁栅楼板结构的实验结果和分析比较.....	189
对空气声的隔绝——对撞击声的隔绝	
§ 5. 悬吊平顶.....	195
第九章 门窗	197
§ 1. 空气声通过门户的透射.....	197
§ 2. 门缝处理.....	201
§ 3. 缝口垫料的保护.....	204

§ 4. 鉸鏈·····	206
§ 5. 扯門·····	207
§ 6. 門扇板格的构造·····	210
§ 7. 門檔的构造·····	211
§ 8. 紧閉門扇的方法·····	212
§ 9. 小門厅的作用·····	214
§ 10. 空气声通过窗戶的透射·····	214
§ 11. 窗的隔声价值·····	217
§ 12. 双层玻璃窗的設計·····	222
第十章 通风系統中的噪声控制 ·····	226
§ 1. 通风系統中噪声的产生及其透射·····	226
§ 2. 容許的噪声級·····	227
§ 3. 在声源处将噪声降低·····	228
§ 4. 降低管道內的噪声·····	229
§ 5. 降低噪声的計算·····	233
§ 6. 分格板的作用·····	237
§ 7. 直管中噪声减低量的限度·····	239
§ 8. 弯头和障板的用处·····	240
弯头——障板	
附录 隔声資料表 ·····	242
附表 I. 多孔柔性材料和纖維板	
附表 II. 薄型剛性材料	
附表 III. 門和窗	
附表 IV. 剛性牆壁(陶土磚,粘土磚和混凝土等)	
附表 V. 灰板粉刷牆和鋼絲网粉刷牆等	
附表 VI. 樓板和平頂	
附表 VII. 特种組合牆壁	
附表 VIII. 双层牆	
主要参考文献 ·····	260

第一章 声学的基本概念

在彈性媒質(固体、液体和气体)中的振动和波,其頻率和强度都在人的听觉器官感觉范围以内的称为声音,或称它为“可聞声”。一般认为頻率从 16 周/秒 $\sim$ 20000 周/秒的声波都属于这个范围。听觉所能感觉到的頻率范围是因人而异的,并且和年龄有关,頻率超过这个范围(高于 20000 周/秒)的声波称为超声,低于这个范围(低于 16 周/秒)的声波称为次声,这两种声波是人们听觉器官所不能觉察的,因而对人们主观印象不起作用,所以也就不属于建筑声学的范畴。

§ 1. 声音的产生和傳播

空气中的声波是由于物体的振动而产生的,物体的振动促使它周围空气的质点也产生了振动,这些质点的振动和物体的振动是一致的。当这些空气质点起了振动,也就使这些质点附近的其他质点也产生了振动。这样就逐渐使离开原来振动物体更远的空气也漸次地受到振动,这个物体的振动便这样地在空气中傳播开来。这种振动(如果它的頻率和强度都在人的听觉范围以内)便称之为声波。

当声波在空气中傳播时,空气的质点并没有改变它們原有的位置,而不过是沿着原来的平衡状态位置振动着。所謂原来的平衡状态位置就是指沒有声波傳入时它們的固有位置。空气质点在振动中所移动的幅度一般是离开振动的声源愈远就愈小。

諧 音

图 1-1 所示是最基本的振动情况，曲线是根据位移和时间关系而标繪出来的。这种振动形式称为簡諧振动，图 1-1 的正弦曲

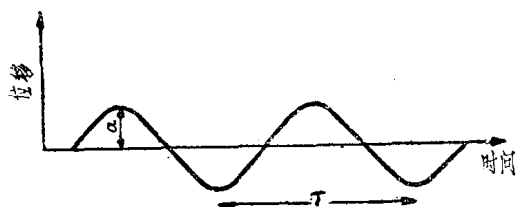


图 1-1 簡諧振动曲线

线也就叫做簡諧振动曲线。如果物体的振动是簡諧的，则它周围的空气质点的振动也是簡諧的。图中 a 是振动最大的位移，称为振幅， T 是周期，即往返一次完全振动所需的时间。在一秒钟的时间内，物体和空气质点振动的次数叫做振动的频率，通常以 f 作为频率的符号，频率和周期的关系是

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

频率的单位是周/秒(常用符号为 cps 或 c/s)。在有些国家中也有采用赫兹作为频率单位的，1 赫兹等于 1 周/秒(常用符号为 Hz)。频率高于 1000 周/秒时，常以千周(=1000 周/秒)或千赫兹作为单位。

低沉的音调具有較低的频率，音调尖锐的声音，频率就比较高。

除了图 1-1 中所示以位移和时间关系标繪出声波的曲线以外，我们还可以根据以时间为横轴，以质点速度为纵轴而标繪出另一形状完全相同的曲线。这个表示质点速度的曲线也是簡諧振动曲线，不过它和位移曲线相差四分之一的周期。因为当位移最大的时候，速度是零；而当位移最小的时候，速度最大。这种现象和

钟摆的振荡是一样的。

从质点振幅的大小和质点移动的速度可以知道声波的强度；振幅愈大，声音就愈强。

声音的速度和质点的速度不能混为一谈，它们之间是有所区别的。声音的速度是指声波在空气中传播的速度，而质点速度则是空气的质点在振动中从平衡状态作往返移动的速度，声波的强度和声速无关，但与质点速度成正比。声音在空气中的传播速度并不显著地随频率而改变，除了一些非常强烈的声波以外，一般并不随强度而改变。

声波在一周期时间中所行进的距离叫做波长(λ)，它等于声速 c 被频率 f 除，因为

$$\lambda = c \times T \quad (1-2)$$

从公式(1-1)和(1-2)，可得

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1-3)$$

从公式(1-3)，我们可以知道波长是与频率成反比。低频率声音的波长较长，有长至数公尺的，而高频率声音波长短的只有几公分。

振动的相位是说明振动点在任一时刻时的位置和该时刻振动点运动的方向。在声波行进的方向上，相距极近的空气质点的振动往往是不同相位的，也就是说这两质点振动得不合节拍。如果质点之间的距离是声波波长的整倍数，则此两质点在振动时是同相位的。

复 音

谐振动虽不是最普通的振动，然而它是振动中最基本的。如果我们了解了声源谐振动所产生的声场情况，那末就有可能掌握由于这同一声源的任何其他周期性运动所产生的声波。正由于任