

建筑环境声学

中国建筑工程出版社

建筑环境声学

L. L. 多 勒 著
吴伟中 叶恒健 译



中国建筑工业出版社

本书是专门为建筑师编写的介绍建筑环境声学设计的技术读物。全书共分四篇十九章，而以第二篇室内声学和第三篇建筑环境噪声控制为重点，系统介绍剧院、讲演厅、音乐厅、歌剧院、电影院、播音室和露天剧场等厅堂建筑的音质设计，厅堂、住宅、旅馆、学校、医院、办公楼和工厂的噪声控制措施，以及墙、楼板和门窗的隔声。内容深入浅出，图文并茂，只有很少量必不可少的、比较简单的计算公式，但却有较多的设计实录和图例。附录中列入53种墙体隔声构造和32种楼板隔声构造图例。本书可供建筑设计人员和环境声学科技人员参考，也可供建筑院校师生教学参考。

Leslie L. Doelle
Environmental Acoustics
McGraw-Hill Book Company 1972

* * *
建筑环境声学
吴伟中 叶恒健 译

*
中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*
开本：787×1092毫米 1/16 印张：14 字数：339 千字
1981年10月第一版 1981年10月第一次印刷
印数：1—8,300册 定价：2.15元
统一书号：15040·4038

序 言（节译）

在当前的建筑实践中，由于噪声源和噪声级的急剧增加，建筑物的声学功能的好坏，将主要取决于建筑师在方案设计、建筑细部处理、规范的应用和监督工程时是否重视对声学的要求。

鉴于这种情况，作者曾写信给从事这方面工作的建筑师，征求他们对哪一种环境声学资料最受欢迎的意见，他们一致认为，出版的资料应满足下列要求：

1. 表达的内容要使那些没有声学经验的读者明白易懂。
2. 要尽可能减少一些数学公式或物理细节。
3. 应包括一些对实际设施有较大参考价值的简易而实用的建议。
4. 应有已在实践中应用的声学材料和构造的图例。
5. 能使建筑师自行解决在日常实践中遇到的大量比较简单的声学问题，而不需要阅读大量资料或求教声学专家。

本书严格地按照上述要求编写。它是根据在三所加拿大建筑学校多年教学经验，以及在个人二十多年解决大量声学问题的基础上编写成的。

虽然本书的编写意图是供建筑师和建筑专业的学生阅读，但是对工程师、室内设计人员、建筑施工人员以及从事环境声学问题的研究人员等，也可能有参考价值。对于声学专家来说，本书的分类法或参考文献或许有些参考价值，其它不会找到别的新内容。

本书共分四篇。第一篇介绍主题和论述重要术语。第二篇介绍室内（空间）声学即讲演厅、剧院、音乐厅、歌剧院、电影院、播音室和露天剧场等大型厅堂的声学设计。第三篇讨论环境噪声的各种问题以及它的控制方法，其中包括墙体、楼板、门窗的隔声，以及厅堂、住宅、旅馆、汽车旅馆、学校、医院、办公楼和工业厂房的噪声控制等。第四篇是关于声学工程的实施、管理监督和检查。附录中包括各类材料的吸声系数表以及供选择用的各种建筑声学特性的墙体和楼板构造。在每一章的末尾，还附有供读者深入阅读的文献。附录D为建筑声学最常用的参考书籍。

本书的大部分图表和照片是从我的著作中挑选出来的，这主要是为了取之方便，但是其他声学专家的著作对我帮助也很大。

我对直接或间接给本书编写工作提供准备条件的人们表示感谢。

目 录

第一篇 绪 论

第一章 建筑设计中的环境声学	1	3-1 声源、声传播和声速	11
1-1 声学范围	1	3-2 频率、音调、音色和波长	11
1-2 声学在环境控制中的作用	1	3-3 声压、声强和响度	13
1-3 当前建筑设计中的若干 声学问题	2	3-4 声源的声功率	15
1-4 声源、传声通道和听者	3	3-5 人耳和听觉	15
第二章 建筑声学发展简史	5	3-6 声源的指向性	16
第三章 声音的性质	11	3-7 掩蔽	17
		3-8 声音和距离	18

第二篇 室内(空间)声学

第四章 封闭空间的声学现象	19	6-6 噪声和振动控制	57
4-1 声反射	19	第七章 以语言为主的厅堂的 音质设计	58
4-2 声吸收	20	7-1 厅堂的语言音质	58
4-3 声扩散	21	7-2 剧院	59
4-4 声衍射	21	7-3 讲演厅和教室	70
4-5 混响	22	7-4 会堂和会议厅	74
4-6 房间的共振	25	7-5 会议室和审判室	75
第五章 吸声材料及吸声构造	26	7-6 竞技场和比赛场	75
5-1 多孔材料	26	第八章 音乐厅的音质设计	77
5-2 板状(或薄膜)吸声体	31	8-1 室内声学属性对音乐音质的影响	77
5-3 空腔(亥姆霍兹)共振器	31	8-2 室内音质对音乐的影响	78
5-4 空间吸声体	38	8-3 音乐厅建筑设计中需要考虑的 若干声学问题	79
5-5 可变吸声构造	39	8-4 体型	81
5-6 空气吸收	40	8-5 音乐厅	86
5-7 开口部位吸收	40	8-6 歌剧院	91
5-8 吸声材料的安装和分布	40	8-7 排演室、乐队室、练习室和 听音室	93
5-9 吸声材料的选择	41	第九章 多种声学要求的会堂	96
5-10 吸声测量	42	9-1 教堂	96
第六章 厅堂设计的声学要求	44	9-2 多功能厅堂和公共会堂	99
6-1 声学要求概要	44	9-3 电影院	102
6-2 足够的响度	44	9-4 露天剧场和音乐台	104
6-3 声音的扩散	49		
6-4 混响的控制	51		
6-5 消除音质缺陷	53		

第十章 播音室的声学设计	106	第十一章 扩声系统	113
10-1 声学要求	106	11-1 扩声的主要用途	113
10-2 无线电播音室	108	11-2 扩声系统的部件	114
10-3 电视演播室	108	11-3 扬声器系统	115
10-4 录播室	111	第十二章 改善现有厅堂的音质	119
10-5 控制室	111	12-1 音质设计不好的厅堂的音质特点	119
10-6 电影摄影棚	111	12-2 改善音质的方法	120

第三篇 建筑环境噪声控制

第十三章 建筑环境噪声控制概述	124	16-1 水泵系统的噪声	172
13-1 噪声的影响	124	16-2 通风和空调系统的噪声	173
13-2 噪声的测量	125	16-3 机器噪声	175
13-3 噪声源	126	16-4 振动	177
13-4 空气声和固体声	129	第十七章 各类建筑的噪声控制	179
13-5 噪声在建筑物中的传播	130	17-1 厅堂	179
13-6 环境噪声控制方法	131	17-2 播音室	182
第十四章 隔声构造	144	17-3 体育馆、游泳馆和滚球场	182
14-1 空气声的隔绝	144	17-4 居住建筑	182
14-2 固体(撞击)噪声的隔绝	151	17-5 旅馆和汽车旅馆	184
14-3 实验室和现场测量	152	17-6 学校	184
14-4 建筑隔声构造	153	17-7 医院	186
第十五章 噪声标准	168	17-8 办公室	188
15-1 对听觉的危害	168	17-9 博物馆和图书馆	192
15-2 最大的允许背景噪声级	168	17-10 餐厅和咖啡馆	192
15-3 居住建筑的噪声标准	170	17-11 航空港	193
15-4 办公室的噪声标准	171	17-12 工业建筑	193
第十六章 机械噪声和振动的控制	172	17-13 测听室和声学实验室	193

第四篇 实 施

第十八章 建筑细部设计, 制定说明 和施工监督	196	附录 A 吸声系数	202
第十九章 厅堂声学性能的检验	198	附录 B 墙体隔声图例	203
19-1 设计阶段	198	附录 C 楼板隔声图例	211
19-2 施工期间和竣工以后	200	附录 D 参考书总目	218

第一篇 绪 论

第一章 建筑设计中的环境声学

我们的祖先在比较安静的环境中生活，而我们却生活在室内外噪声源和噪声强度不断增加的环境之中，并且产生着严重甚至有害的后果。与此同时，房屋建筑也趋向于采用薄而轻的预制活动构件，代替原来笨重的房屋结构。世界上许多厅堂、剧院、音乐厅、会堂、教室和电影院，越来越要求改善室内的听觉条件。所有这些因素，使建筑声学成为控制室内外环境的一门重要学科。

1-1 声 学 范 围

声学范围包括很广，它差不多触及到人类生活实践的各个方面（图 1-1）。因此，医学家、心理学家、生物学家、音乐家、作曲家、乐器制造商、通讯、空间和计算机科学家、海洋学家；从事无线电、电视和录音工业人员；建筑师、城市规划人员；以及结构、机械、电气、化学工程师等其他人员，在不同程度上都和声学发生联系。

1-2 声学在环境控制中的作用

工程科学的迅速成长，如新能源的发展，合成材料的发明，外层空间研究及其有关工业的进展，人造光源和声源以及对它们的操纵，自动化和机械化程度的不断提高等等，在一定程度上促进了建筑业的发展，使现代建筑物大大超过了只局限于提供人们居住条件和防止不受外界的热、大气、光和声的起伏影响。现代的环境控制能在建筑物内创造出复杂的人工环境，以满足居民身体上、生理上和心理上的需要。这种人工环境在很多方面有时要比自然环境好。室外大气环境不能与有空气调节和湿度控制的房间相比。目前使用的照明灯具不但能模拟日照，而且能造成某些活动所必需的无影光照环境。一座能调节音质的音乐厅或无线电播音室的声学环境，是自然环境所不能比拟的。

显然，一个建筑师不可能具备能造就高度复杂环境条件的才能。他需要请教机械、结构、照明、声学和其他方面的专家，以满足住户安全、健康、舒适和生产的需要。不管怎样，建筑师必须懂得环境控制的内容，一方面以此来衡量别人的建议是否适合，另一方面，也能有效地把别人的意见结合到建筑设计和建筑规范中去。

建筑环境声学，或称建筑声学控制，是建筑空间环境控制学的一门分支。它能在封闭空间或露天场地创造出理想听觉条件的环境，同时能使室内的住户和外部建筑空间不受过高的噪声和振动所干扰。

根据这个要求,建筑声学控制有两个目的:(1)给各种听音场所或露天场地提供产生、传播和收听需要的声音(语言声或音乐)的最佳条件。这种建筑声学控制领域称为室内声学或空间声学,将在第二篇中讨论。(2)排除或减少噪声(不需要的声音)和振动干扰,称为噪声控制,将于第三篇中论述。

室内声学 and 噪声控制既相互独立又密切联系而不可分离。在厅堂音质设计中,噪声的控制非常重要。同样,房间的噪声控制,也包含着室内声学问题。

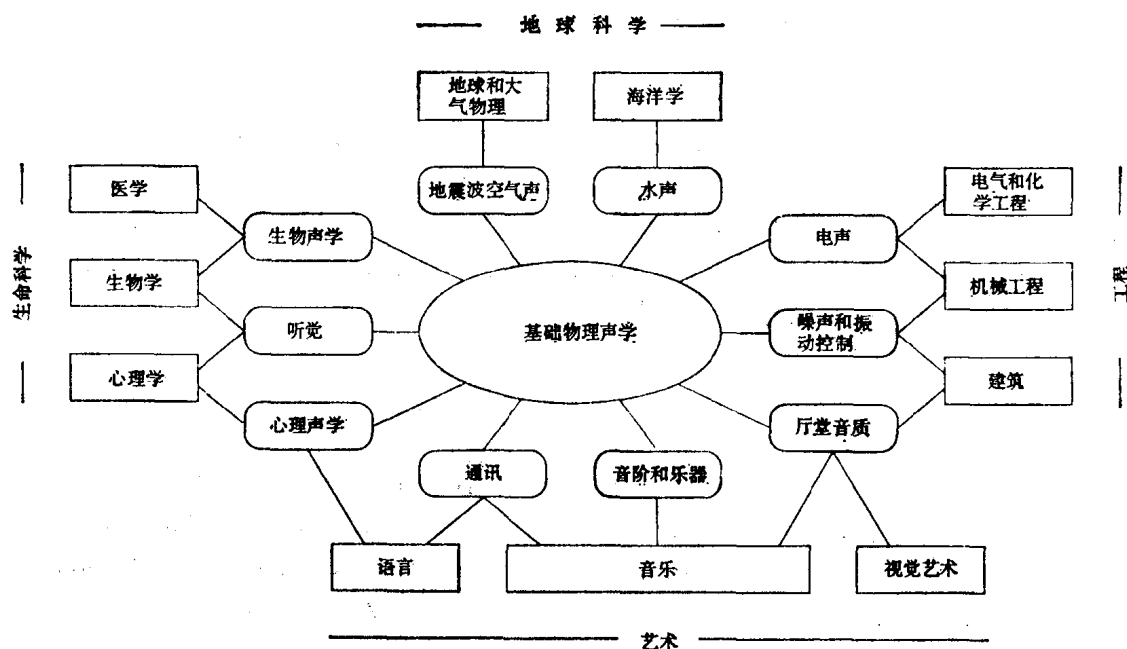


图 1-1 声学艺术与科学的关系

1-3 当前建筑设计中的若干声学问题

对于新建的住宅、科研、学校、文体、商业和工业建筑,建筑师面临很多新问题,其中有声学功能所提出的一些要求。下面列出建筑师面临的声学问题的几个主要方面:

1.随着人口的增长,需要增设大量的剧院、演讲大厅、教堂、音乐厅和电影院等厅堂建筑。这类厅堂建筑,大多面临着前所未有的室内声学问题。解决这些问题,需要进行大量的研究工作,这是由于要求厅堂能容纳大量观众;在观众和演员关系上(多种形式的厅堂)要求更具有灵活性和适应性;要求厅堂成为多功能厅堂,能作讲演、音乐演奏、放电影等多种用途。

2.在各种建筑设计倾向中,很多基本设计概念与声学的安静要求是背道而驰的。例如,有一种倾向是鼓吹建筑物房间的设计应与视野结合起来,在大面积房间内不造隔断,如分组教学用的教室、带园林的办公室等,而且认为这种设计概念能改进功能和创造融洽的内部气氛。然而,它却违背了把互相干扰的声源隔离开来的噪声控制原则。另一种倾向是在建筑平面布局上,忽视尽可能把噪声区设在远离安静地区的原则,很多设计往往把噪声很响的机械设备间设在厅堂的顶部,或者把体育馆设在学校音乐系的旁边。象这些例

子，噪声控制的额外费用肯定比节省机械安装费用要多得多。

3. 在建筑结构和构造方面，为了节约空间和建筑造价，越来越多地采用薄而轻的建筑材料和构造。这是由于当前建筑工艺发展的趋向是在不影响结构稳定和保温的情况下，要尽量节省一些材料。目前，建筑物的内外墙、隔断、楼板和吊顶，已广泛采用预制构件。由于这些构件的重量轻，它的隔声能力比较差，因此，有害的噪声通过构件之间的接缝和轻质板材本身传入室内。

4. 建筑物越来越多地安设机械设备，例如采暖通风设备，空气调节系统用的风扇、压缩机和冷却塔；办公用的打字机和计算机；家庭用的空气调节器、真空吸尘器、洗碗机、垃圾清除机、电视机和立体声系统等；都成为建筑物内部的噪声源。事实上，一幢现代化建筑物的内部都由传递噪声和振动的管道、竖向通道和装有机电设备的设备层所组成的网路包围着。

5. 自从营造商发现利用高层建筑的地下室作为地下停车场有利可图之后，他们把产生严重噪声的机械设备从原来设在地下室改为设在屋顶，把下面各层出租给住户，这样就产生严重的噪声和振动问题。

6. 除了房屋内部的机械噪声外，原有的和新的室外噪声也成倍地增加到灾难性的程度，造成所谓环境噪声污染。这些外部噪声源来自地面和空中的交通噪声，例如，涡轮喷气发动机、超音速军用和民用飞机、直升飞机、垂直起落飞机、气垫船、卡车、内燃发动机等，都严重地威胁着城市和乡村的居民生活。

1-4 声源、传声通道和听者

在任何有声音的地方，都需要考虑三种因素（图1-2）：（1）声源，它可能是人们愿意听的或不愿意听的；（2）声传播通道；（3）听者，他可能希望或不希望听这种声音。

如果是想要听的声音（语言声或音乐），则必须为它的产生、传播和接收提供良好的条件。声源应有足够的响度，以满足听者需要；声传播通道要加强有效的声反射；听者应尽可能靠近声源。此外，还必须排除内部或外界噪声对听者的所有干扰。这些都属于室内声学 and 噪声控制范畴。

另一方面，对于不想听的声音（例如邻居电视机的噪声或交通噪声），则必须设法抑制这些声音的产生、传播和对听者的干扰。采取的办法首先是降低噪声源的强度，或把噪

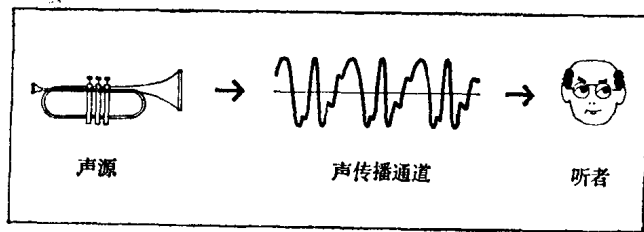


图 1-2 凡是有声音的地方都有三个因素需要考虑：声源、声传播通道和接收声音的听者

声源尽可能远地移开。其次在传播通道中尽量设置一些障碍，例如用一些障板作隔声或隔振；对听者所处的地方要有隔声措施，或者使噪声及周围音乐声的干扰能达到可以忍受的程度。所有这些办法都属于噪声控制范围。

参 考 文 献

期刊

"Beautiful Buildings and Horrible Sounds," *Architectural Forum*, September 1956, pp. 152-157.

Allison, D.: "Acoustics for Modern Interiors," *Architectural Forum*, April 1959, pp. 145-149.

Langdon, F. J.: "The Social and Physical Environment," *J. RIBA*, October 1966, pp. 460-464.

Creighton, H.: "Noise in the External Environment," *J. RIBA*, October 1966, pp. 465-470.

第二章 建筑声学发展简史

厅堂是供人们聆听语言或音乐的场所，它是从古典露天剧场发展过来的。从希腊和罗马选择天然场地所建设的露天剧场中，有迹象表明，当时它们对声学原理特别重视。

众所周知，露天剧场的听觉条件一般都比较差，特别是听众席位设在一个水平面上时则更差。在露天剧场聆听比较困难的原因是由于：（1）当声波在露天传播时，声能逐渐下降；（2）相当大的声能被听众吸收；（3）来自各方面噪声源的干扰。露天剧场的听觉条件可以在声源的周围安装声反射罩，或把听众席位建成倾斜的坡度而得到改善（图2-1）。古希腊和古罗马曾按照这一原理建造过露天会场。由于当时不存在外界噪声干扰问题，这是一个较为有利的条件。

图2-2为希腊露天剧场的平面设计，它的舞台设在中央，围绕舞台四周是倾斜的观众席位，长方形建筑物为更衣室、储藏室和舞台背景。后来把舞台移至观众席位的前沿，可能是利用舞台后面和剧场中部地面的声反射作

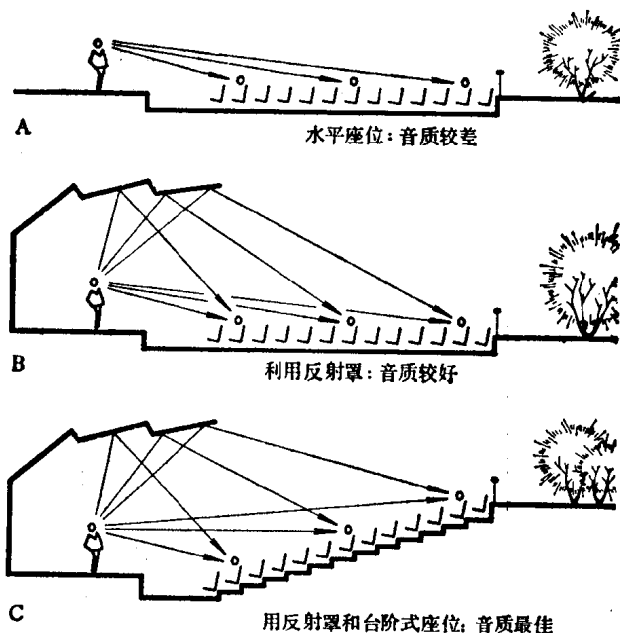


图 2-1

A—露天剧场的听觉条件；B—不用扩声系统而只用反射罩改进音质，C—把座位建成倾斜或台阶式的

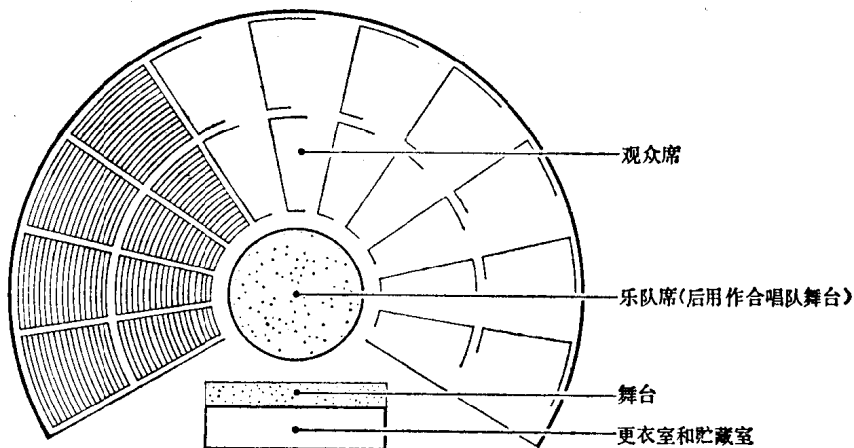
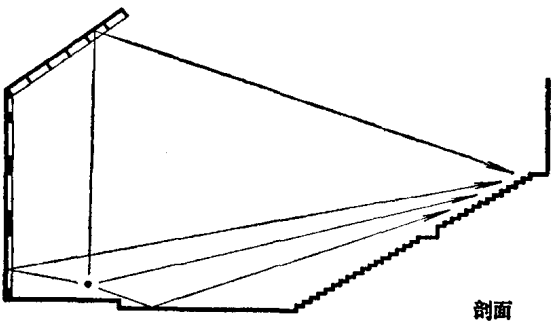


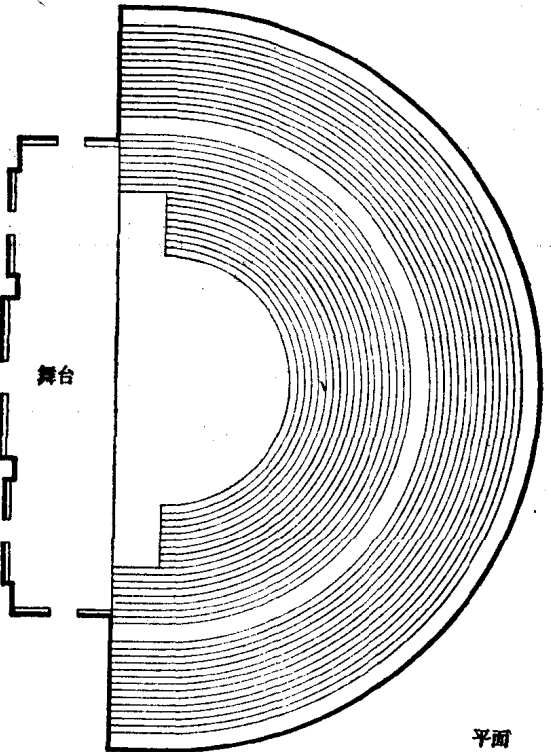
图 2-2 古希腊露天剧场示意图

用，这些地方常常是使用对声音反射特别好的大理石来铺设。现在还可以从雅典、伊皮打鲁斯、普里恩尼和德洛斯等地看到古希腊露天剧场的遗迹。

目前，已发表很多论述古代露天剧场声学问题的文献，内容大多论述希腊和罗马露天



剧场的声学设计。他们当初可能只是想解决视线的问题，而这样处理使听觉问题也得到合理解决。它们尽量把观众的座位建成紧靠舞台的半圆形台阶式的座位，这就很自然获得合适的良好听觉效果。此外，演员们配带大面具，一方面用作显示他们的面部表情，另一方面用作加强他们的发音能力。其后，罗马人把圆形乐队席改为半圆形乐队席，使听众更加接近声源，同时在舞台上修建大型的斜屋顶，在两侧修建侧墙。这些设施成为有效的声反射体，使离舞台较远的观众对剧情的理解也愿到满意。



公元50年，罗马人在法国奥朗日修建的剧场是典型的古罗马式露天剧场（图2-3）。共有6000个座位，观众席面积的直径为104米，在舞台顶部建有大型声反射天棚。

历史记载第一次提到建筑声学的是公元前一世纪的维特鲁威（Vitruvius）。在他著的《建筑十书》(De Architectura^①)一书中，介绍了在某些露天剧场中应用一些瓶子作声共振器，但在这些剧场附近却没有找到这些瓶子。

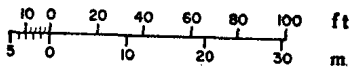
为了给击剑比武、体育表演和战车竞赛提供较大的场地，罗马建造了由两个露天剧场面对面围绕成椭圆形的中心比赛场。留存至今的罗马圆形剧场，就是一个用作体育比赛、斗牛、马戏表演并设有舞台的正规剧场。

自从罗马帝国被推翻以后，中世纪建造的唯一的厅堂型式就是教堂。由于中世

纪只继承了封闭空间声学的经验知识，因此，中世纪教堂声学环境的特点是音质特别丰满，但混响时间过长，可懂度较差。

中世纪时期城市市政机构发展很快，后期的另一种厅堂型式是会议室，通常是设在市

图 2-3 法国奥朗日的古老露天剧场
台阶式观众席能使观众获得优美的直达声。舞台两侧和顶部的声反射表面使原来的声音得到加强



① 维特鲁威所著《建筑十书》原文应为De Architectura Libri Decem。——编者

政厅内。这种同时供司法、立法、社会活动和商业用的会议室，在十一世纪时主要在意大利的帕多瓦、维琴察、威尼斯和佛罗伦萨，德国的戈斯拉尔、奥格斯堡、纽伦堡、乌尔姆和蒙斯特等地方兴建。

十六世纪中叶，英国的跑江湖卖艺的艺人利用旅馆中的圆形、方形或八边形庭院作为演出的舞台。庭院是露天的，供观众站立观看演出。沿着庭院的走廊为观众的座席。四方形的舞台从一边伸出庭院中央（图2-4）。自从希腊的露天剧场出现以来，这种剧场的布置型式第一次使观众和演员的关系显得亲切，同时为几座当时建造的露天舞台（或伸出式舞台）提供了设计模式。

在以后的几个世纪里建成了很多剧场，有些剧场的观众容量很大。如在意大利维琴察，由帕拉迪奥（Palladio）设计的奥林匹科剧院，是1579~1584年建造的，有3000个观众席位。又如1618年由亚历奥迪（Aleotti）设计的意大利帕尔马市的法内斯剧院，容纳观众2500人。从掌握的资料来看，这时期建造的几座剧院和其他厅堂，没有发现任何显著的音质缺陷。由于观众的吸声和剧院内华丽的表面装饰所起的作用，使剧院的混响时间控制比较适当，声能的分布也较均匀。

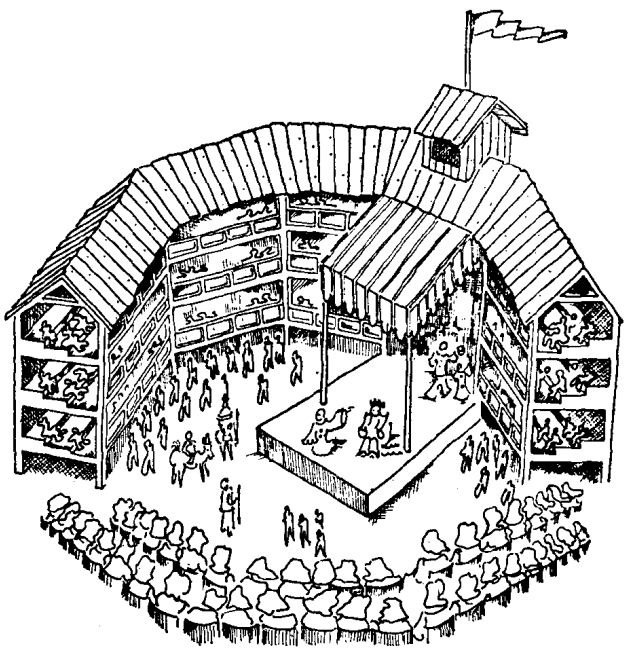


图 2-4 根据当时绘图重建的伊丽莎白剧场

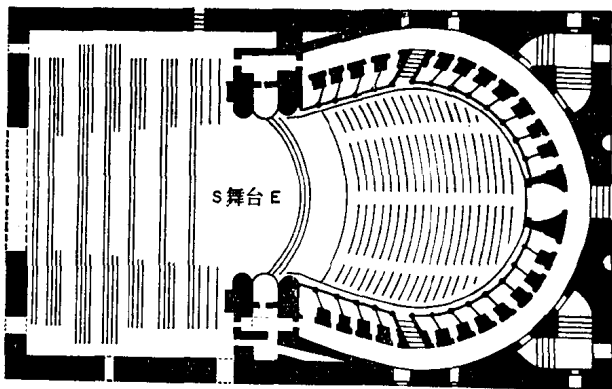


图 2-5 圣卡洛剧场平面图(1737年，那不勒斯)
这是欧洲典型的马蹄形歌剧院

“声学”著作。它论述了早期的简单声学实践，可以认为，这是对建筑声学历史发展的一个贡献。

到十九世纪初，德国人E.F.弗里德利克察拉迪（E.F.Freidrich Chladui）在他的

自从十五世纪修建了一些剧院之后，到十七世纪又发展了马蹄形歌剧院，这种剧院有较大的舞台和舞台建筑，以及环形包厢或台阶式席位，排列至接近顶棚。它的特点是利用观众席面积大量吸收声音，使混响时间比较短，这种声学环境适合于轻松愉快的意大利歌剧的演出（图2-5）。

十七世纪阿·柯切尔(A.Kircher)所著的《声响》（Phonurgia）一书是一本最早介绍室内声学现象的“科

《声学》一书中，致力于解释混响现象。

十九世纪之前，关于室内声学问题，几乎无人所知，在演奏音乐的厅堂设计中（当时主要指教堂、歌剧院和舞厅），它的声学问题，附属于其他因素来考虑。教堂和赞美诗音乐、歌剧、室内音乐和交响音乐的发展，在一定程度上取决于演奏房间（公共或私人）的良好声学条件。例如，每个风琴演奏师都感到，正如两个风琴的音调和音质很少相同一样，在每座教堂演奏时，它们的音质也都不一样。

巴洛克音乐和古典音乐并不是为在教堂演奏而写的，它通常在贵族的舞池内演奏。有些舞厅设有私人的交响乐队。很多悦耳的音乐原来只为在小型房间内演奏而写的，称为室内音乐。

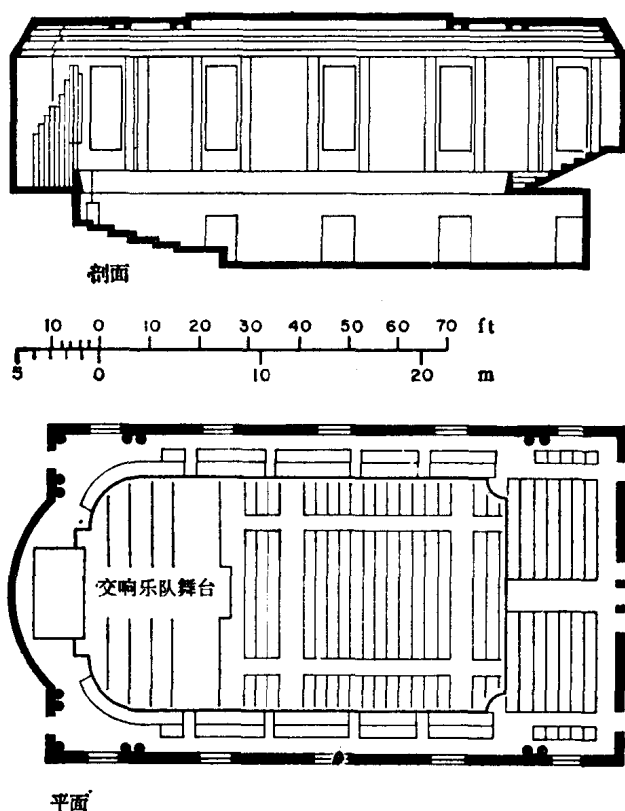


图 2-6 瑞士巴塞尔的斯塔特-卡西诺音乐厅（1876年建，1400席位）是一座十九世纪建造的较好的矩形音乐厅，它在演出浪漫音乐时的声学效果非常优美

另一方面，意大利歌剧则属于戏剧性的，在米兰、慕尼黑、伦敦、巴黎和维也纳的马蹄形歌剧院上演时，与这些歌剧院的声学环境非常协调。

从十九世纪开始，在维也纳、莱比锡、格拉斯哥和巴塞尔等城市，都建造了一些供演出的音乐厅（图 2-6）。在二十世纪科学研究取得巨大进展，明确和解决了一些当代室内声学问题之前，这些十九世纪建造的声乐厅已反映出声学上的丰硕成果，直到今天仍然有参考价值。

十九世纪的一些设计师对厅堂设计的态度的最好反映，是设计巴黎歌剧院的建筑师查尔斯加尼尔（Charles Garnier）的话，他说：“我必须说明，我没有遵循什么原则，我的设计没有理论根据，我的成功与失败听其自然”。●

在二十世纪以前，只有一座厅堂按声学意图设计，在某些方面考虑了声学要求。德国拜罗伊特市的费斯特施皮尔大厅是唯一用作演奏华格纳歌剧而设计建造的（图 2-7）。这座大厅没有环形包厢和一层层座位，因而减少了声吸收表面，其混响时间比欧洲的典型剧院要长得得多。在二十世纪世界各地建造的带标准拱形舞台口的剧场，都采用费斯特施皮尔大厅的扇形平面设计，场内并设有一个或几个挑台。

十九世纪五十年代以后，亥姆霍兹（Helmholtz）、贝尔（Bell）、韦伯（Weber）和费克纳（Fechner）等人对声学作出了重大贡献。瑞利（Lord Rayleigh）发表了他

● C.Garnier, Le nouveau opéra de Paris....., 2vols, Ducher et cie, Paris, 1876~1880.

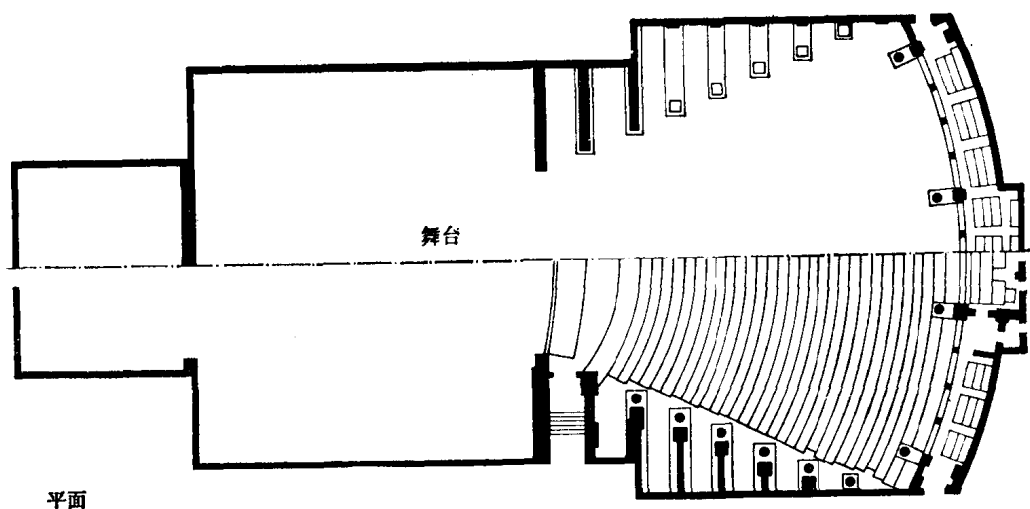
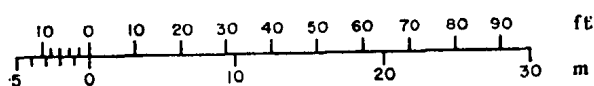
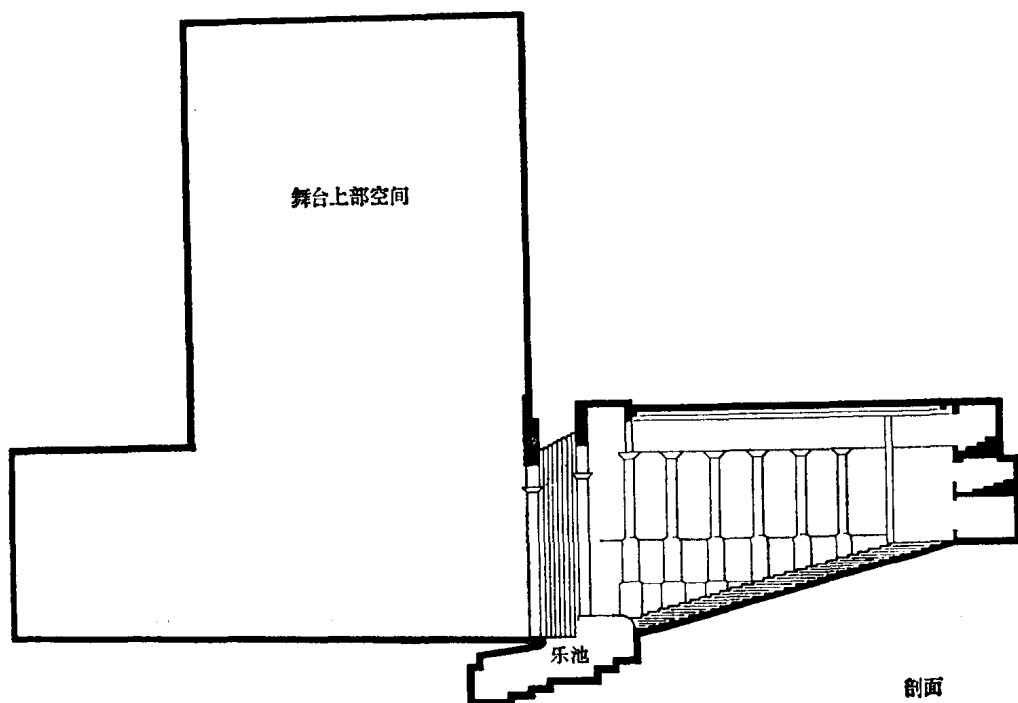


图 2-7 德国拜罗依特的费斯特施皮尔大厅平面图。建于1876年，容纳观众1800人，供演奏作曲家华格纳的音乐作品

的经典著作《声的理论》（《The Theory of Sound》）。到二十世纪，美国哈佛大学 W. C. 赛宾（W. C. Sabine）教授首先从事室内声学设计的研究工作，他第一次提出声吸收系数，并得出它与房间体积、吸声材料用量和混响时间之间的简单的关系式（见第四章）。这样，赛宾把厅堂声学问题从原来推测的领域解放出来，并把它作为工程科学中的一门系统的分支学科。

从此以后，建筑声学这门新学科得到迅速的发展。科学家和工程师从事理论和实践的研究，一些声学量测仪表成为很有用的工具，同时也建立了一些室内声学理论。

1930年出现了有声电影，从那时开始，高质量的录音、放大和声音的复制，在人们生活中的几个方面——科学、教育、文化、社会活动——开始起着重大的作用。无线电广播和电视的飞跃发展，给声学提出了一系列新问题，同时对欣赏音乐也引起了广泛兴趣。

声学材料的大量生产和进行实验室试验，给建筑设计人员控制建筑空间的声学问题提供了必要的工具。世界各国修建了数目相当大的厅堂。

建筑声学的巨大发展，在二十世纪的上半世纪，最明显地表现在室内声学方面。然而，鉴于当前噪声情况日益严重，而且在房屋建筑中用薄而轻的预制装配结构日益增多，可以预见不久的将来，至今仍被忽视的环境声学的另一分支——噪声控制，将会获得较快的发展。

十年前，人们自相矛盾地把嘈杂的噪声说成是人类社会进步的产物，这是因为噪声是随着人类知识的增长而增加的。可以肯定，随着即将普遍使用直升飞机和巨型喷气客机，以及推广超音速的飞机，噪声环境将会变得更坏。当前和不久的将来，防止我们的环境受噪声污染（将于第十三章详细讨论）将是头等重要的任务。这一任务的目的是要在环境声学中开辟新途径。

参 考 文 献

图书

Beranek, L. L.: *Music Acoustics and Architecture*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1962, 586 pp.

Sabine, W. C.: *Collected Papers on Acoustics*, Dover Publications, Inc., New York, 1964, 279 pp.

期刊

Canac, F.: "On the Acoustics of Grecian and Roman Theaters," *J. RIBA*, July 1949, pp. 412-414.

DeGaetani, T.: "Theater Architecture," *J. AIA*, August 1961, pp. 71-76.

第三章 声音的性质

虽然本书的编写意图是供建筑师在设计时作为声学的实用指南，但简略地阐述一下环境声学的简单原理以及声音的基本性质，对他们还是有帮助的，在某种情况下，甚至是很重要的。

3-1 声源、声传播和声速

“声音”这个词有两种含意：从物理方面说，它是一种压力的波动，如象质点在空气弹性介质中的位移。这是客观声音。从生理方面说，乃是从上述物理波动现象而引起的听觉感觉。这是主观声音。

本书所阐述的声音是指通过人耳而获得听觉，它是由于空气压力的波动而产生的。通常某些物体的振动便会引起这种波动，例如，拨动吉他的弦或敲击音叉便有此现象（图3-1）。

由于压力的波动，形成空气质点向外传播的压缩和稀疏层，产生声波的运动。这类似一块石子掉在水池中造成水波在池面扩散的现象。声波的传播并不改变空气质点的垂直位置，它们只在平衡位置上振动，这平衡位置是指没有声波传播时质点所处的位置。压力的波动叠加在几乎是稳态的大气压力上，人耳便接收到这种波动。

在20°C室温时声波运动的速度约为每秒344米。在下面一些章节中将表明，由于声波传播速度比较慢，将引起一些音质的缺陷，例如长延迟反射声、回声和过长的混响时间等。

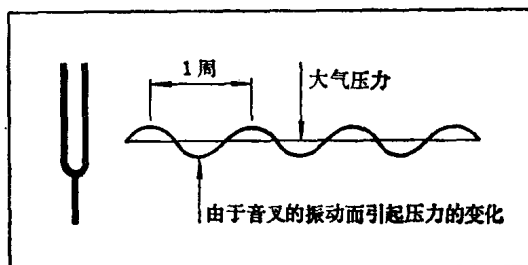


图 3-1 敲击音叉时由于音叉振动而引起空气的压力变化，因而产生声音

3-2 频率、音调、音色和波长

质点在一秒钟内位移或振动的次数称为频率。每一个完整的位移称为一周。频率的单位为赫（Hz），它相当于每秒多少周。如果琴弦在一秒钟内振动261次（261赫），就会在聆听者的鼓膜里产生C调中音感觉。频率是客观的物理现象，它可以用声学仪器测量。

正常的人耳对声音的反应是在20~20000赫的音频范围。这个范围与各种声源的频率范围示于图3-2。可听频率范围因不同的人 and 不同的年龄而异。年龄越大，可听频率上限越低。高于10000赫的频率对语言的懂度和欣赏音乐无重大影响。

很多声音（语言、音乐、噪声）包含多种频率，如低频、中频、高频。因此，声学问