

《音响技术》杂志 '97 增刊

# 专业音响与灯光技术

## Uni

實力型專業功放



Uni 工程師深知工程應用對專業設備的苛刻要求，歷經無數次的現場模擬試驗，從而設計出適合任何專業擴聲用途的功率放大器。

- 特別注重功率輸出能力的設計
- 專利設計散熱器結構
- 精心設計的軟啟動系統
- 精密的直流伺服電路
- Uni公司獨有的專利音頻信號處理模塊

**Uni Audio Inc.**  
37-05 69Th.St.Woodside N.Y.  
N.Y.11377 USA

TN912.27  
974

教师阅览室

# 专业音响与灯光技术

——《音响技术》杂志 97 增刊——



783726

音响技术杂志社编辑出版

# 《专业音响与灯光技术》专刊

## 编著指导委员会

主任:何大中 中国录音师协会理事长

副主任:高雨春 中国录音师协会秘书长

委员:

马福魁 河南省广播电视厅副厅长

叶为文 安徽省广播电视厅总工程师

孙维烈 成都军区企事业单位局长

李焕涛 湖北省广播电视厅副厅长

张伯人 吉林省广播电视厅总工程师

高峰倩 北京市广播电视局副局长

王蕴 江苏省广播电视厅副厅长

吕浩才 北京电台台长

沈景良 浙江省广播电视厅副厅长

陈进先 国际广播电台副总工程师

张承负 海南文体广播管理委员会总工程师

栾志崇 青海省电视台台长

王全来 天津今晚报社社长

刘向晨 黑龙江人民广播电台台长

李天德 广电部无线局局长

陈明孝 四川人民广播电台台长

宋德福 山东省广播电视厅副厅长

秦魁祥 河北省广播电视厅总工程师

王先高 四川省政协委员

刘衍生 青岛广播局副局长

李克康 辽宁省广播电视厅副厅长

陈贵钦 福建省广播电视厅副厅长

董进强 海峡之声广播电台技术部部长

黄乃箴 北京市广播电视局总工程师

王忻济 上海广播电视局顾问

刘顺成 陕西省广播电视厅副厅长

李运兴 中国唱片社副总经理

金国祥 上海广播局副局长

胡振林 内蒙古广播电视局总工程师

黄嘉礼 河北省广播电视厅顾问

王朝运 西藏广播电视厅副厅长

孙迎年 中央人民广播电台

李宗涵 甘肃广播电台台长

杨安邦 新疆广播电视厅副厅长

赵庆忠 新疆电视台台长

程凤年 甘肃广播电视厅副厅长

冯锡增 广东省广播电视厅副厅长

孙熙雍 宁夏广播电台台长

李振祥 山西省广播电视厅总工程师

张华富 广西省广播电视厅副厅长

涂世龙 江西省广播电视厅副厅长

潘洪泽 中央人民广播电台高编

## 《专业音响与灯光技术》《音响技术》专刊

音响技术杂志社出版·发行

社长:何大中

主编:金纯

策划:金纯 隋时

通信地址:北京西城区百万庄大街11号101室

邮编:100037 电话:68331049

印刷:北京百花彩印有限公司

出版日期:1997年1月

开本:787×1092

印张:13

1997年2月第一版

1997年2月第一次印刷

国内统一刊号:CN11—3014/TN

定价:26.00元

# 目 录

## 第一部分 专业音响技术基础

### 一、音响基础

音响的涵义 .....	宋效曾	1
音响专业 .....	宋效曾	1

### 二、声学知识

引言 .....		3
声的自然特性 .....	宋效曾	3
声波 .....		3
频率、周期、音高 .....		3
波长与声速 .....		4
相位 .....		4
强度与响度 .....		5
声的组合 .....		7
声源的指向性与距离的关系 .....		7
室内声学 .....	宋效曾	8
室内声学现象 .....		8
厅堂内声压级的计算 .....		10
房间的共振 .....		10
噪声防治 .....		10
音乐声学 .....	宋效曾	11
人耳的听觉特性 .....		11
音阶 .....		13
谐波与音色 .....		13
乐器知识 .....	宋效曾	13
心理声学 .....	宋效曾	16
哈期效应 .....		16
虚声源 .....		17
双耳定位 .....		17
音响声学 .....	黄瀚	17
人耳的听觉特性 .....		17
声波的音感分析 .....		20
人耳对声源的定位 .....		25

### 三、剧场音响

剧场简介 .....	宋效曾	27
剧场的电声设备 .....	宋效曾	29

主扩声设备 .....		29
录音设备 .....		30
舞台监督系统 .....		30
中继转播设备 .....		30
服务设施 .....		30
剧场声学基本要求 .....	宋效曾	31
剧场设计过程中的一些问题 .....	宋效曾	32
音响与音乐 .....	宋效曾	33

### 四、电声设备的测量与 音响设备的调控

测量用的仪器 .....	宋效曾	34
电声设备的测量 .....	宋效曾	35
音质评价 .....	宋效曾	37
音响设备调控的基本原则 .....	黄瀚	38
电平控制 .....		38
响度平衡 .....		39
声象定位 .....		39
声源的拾音技术 .....		41
降噪处理 .....		41
扩音响度 .....		42
音响效果缺陷的识别及改善方案 .....	黄春克	43
技术指标评定 .....		43
主观效果评定 .....		44
缺陷的识别及改善方案 .....		45
设备调控的其它规则 .....	黄春克	45

### 五、调音、录音的技巧

话筒的选择与使用 .....	隋锡忠	46
话筒的种类与构造 .....		46
话筒的基本特性 .....		48
话筒的选择 .....		50
话筒的使用注意事项 .....		51
单声道拾音话筒的布置 .....		52
立体声拾音话筒的布置 .....		52
调音台的功能与操作 .....	隋锡忠	54
要了解电声组件的主要功能 .....		54

要掌握调音台操作要领 .....	57	弦乐器录音技巧 .....	62
如何调录语音信号 .....	隋文红 58	木管乐器录音技巧 .....	63
各种声调调音技巧 .....	58	铜管乐器录音技巧 .....	63
影视中的语言声调音 .....	59	打击乐器录音技巧 .....	64
实况录音 .....	60	管弦乐队录音技巧 .....	64
教学录音 .....	60	声乐录音技巧 .....	65
报道录音 .....	61	现代音乐录音技巧 .....	66
广告录音 .....	61	民族乐器录音技巧 .....	68
家庭录音 .....	61	戏曲录音 .....	69
如何调录音乐信号 .....	隋文红 61		

## 第二部分 专业音响设备介绍

声艺便携式专业调音台 .....	隋时 71	—VS-880 .....	87
BOSE 牌 403 卫星扬声器 .....	隋时 77	专业功放中的皇冠 .....	李源 88
新一代录音制作系统(浅谈“数字音频工作站”) .....	杨建平 杨克 邵钦尚 78	意大利 LEM 专业数码音箱系统 .....	何亚宁 90
浅谈电视文艺节目录音音响效果 .....	董景 80	一个向世界级挑战的快速恢复系列功放 .....	穆向昕 乔善明 95
小型电视演播厅音频、灯光的数字化调控系统 .....	黄相伯 刘庆田 81	日本三大专业公司的演奏合成器介绍 .....	韩延鹏 97
数字混响器的使用简介 .....	王红军 83	YAMAHA REV100 数字混响器 .....	韩延鹏 101
小型专业录音棚首先—数字音频工作站			

## 第三部分 广播用专业音响

电视转播车的音频系统 .....	薛兵 105	主要功能 .....	114
浅谈广播播音室、电视播送室有关声学的设计 .....	陈胜亮 110	九个主要设计 .....	114
播音室的设计 .....	110	使用情况 .....	119
电视播送室声学设计特点 .....	113	电台现场直播的信号传输 .....	
录音转播车工程设计 .....	邵军 陈小斌 114	.....	耿巧艳 安柱 蔡兴业 119

## 第四部分 灯光技术

### 影视节目布光

前言 .....	121	摄影棚布光方案设计 .....	黄春克 126
人物布光方案设计 .....	黄春克 121	场景布光的一般步骤 .....	126
投射光位及其效果特征 .....	121	日景布光 .....	126
装饰效果光照设计 .....	123	夜景布光 .....	127
人物布光的几种类型 .....	124	拂晓和黄昏布光 .....	127
人物布光的调性处理 .....	124	太空效果布光 .....	127
特殊要求的人物布光 .....	125	特殊光照效果设计 .....	128
		影视拍摄生活实景的布光设计 .....	黄春克 128
		室内日景 .....	128

室内夜景 .....	129
室外日景 .....	129
室外早晚霞 .....	130

室外夜景 .....	130
阴雨天气 .....	130
马田电脑灯操作手册 .....	131

## 附录

进口专业乐器、音响器材目录 .....	韩延鹏	153
与电子键盘乐器有关的英汉词汇 .....	韩延鹏	157

英汉音响技术词汇缩语 .....	黄瀚	160
------------------	----	-----

汇专业音响与发烧音响于一册      融科技与艺术于一炉

## 欢迎订阅《音响技术》杂志

《音响技术》杂志是中国录音师协会主办、通过邮局订阅向全国发行的杂志。

《音响技术》杂志全面介绍和交流音响技术，将技术贯穿于专业音响和家用发烧音响之中。使读者正确全面地了解音响技术。同时为音响工程人员提高音乐素养，辟有爱乐之路和金碟名曲栏目。

在栏目的整体设计上，为专业音响工作者设有“电子音乐苑”，“专业音响”等栏目；为发烧友设有“Hi-Fi 音响”，“家庭影院”，“音响积木”，“设计与制作栏目”；同时为介绍视听新技术设有“AV 新视点”栏目。

本刊注意实用性、可读性、技术性，尤其是汇专业音响于发烧音响与一册的鲜明特点受到专业人士和发烧友的欢迎给专业音响工作者和发烧友提供了一个交流的园地。

创刊以来本刊每年发行量都有大幅度增加，特别是注重技术性和实用性的特点，被读者称为极有价值的音响刊物。

### 主要栏目：

AV 新视点  
电子音乐苑  
专业音响  
Hi-Fi 音响  
家庭影院  
音响积木  
设计与制作  
摩机与维修  
爱乐之友  
金碟名曲  
博士信箱

《音响技术》杂志为双月刊，单月 16 日出版，每期 7 元。全国各地邮局、邮电所发行，订阅代号：82-665。

如果错过订阅时间可在本社订阅，本社将按期寄发。

97 年《音响技术》杂志全年邮购价 45 元。

地址：北京市西城区百万庄大街 11 号 101 室

邮政编码：100037 电话：(010)68331049

# 第一部分 专业音响技术基础

## 一、音响基础

宋效曾

### 音响的涵义 宋效曾

迄今为止，还没有人对音响一词作出比较全面、规范的解释。日本的辞典上有音响一词，它的解释是：音、响、音响学、声学的意思。近代辞典上解释为“音响效果、演奏效果”又作声音解释。我国的辞海辞源上没有这个词，有些小词典上也解释为“音响效果”。从字义上讲，音是声音，响也是声音，虽然都作声音解释，但其含义不同。响字有响动的意思，是发出了声音和响亮、响应，都是声音效果的意思。声音的解释从物理角度讲，声音的发生、传播等过程称为“声波”，听闻过程称为“声音”。声波有超声波和次声波、都是不可听闻的，而音响必需是可听闻的。一般英语的 audio 现在都译为音响，其解释是：音频的、听觉的、可听闻的，和 audile 的解释大致相同。audio 这个词可能是二次世界大战以后的新词，在 30 年代的英语辞典中还没有这个词，英语译作音响的还有 sound、acoustic 和 sonic 等。这说明音响和声学有密切关系。

我国的音响一词始用于何时未作过考证，大约最早用于话剧舞台，一般称为效果音响，或简称为效果。用一些器械发出风、雨、雷、电等模拟自然声，用以渲染气氛、加强戏剧效果。电影上称为拟音。商业上使用的“组合音响”一词是一种简称，它表示家用高保真设备，应该是组合电声设备，还有国外一些商品目录的封面上，也经常有专业音响字样。如 PROFESSIONAL AUDIO，其实这也是一种简化的写法，全称应该是 PROFESSIONAL AUDIO EQUIPMENT，即专业音响设备。

以上用法属于非正式的，就如同把彩色电视机叫做“彩电”一样，是一种约定俗成的称呼。从这些用法上可看出音响和电声设备的关系也是很密切的。但是音响决不等于电声。从下列例子中还可以说明：

通常人们在剧场内欣赏舞台上的表演，对演员的演奏、演唱在评论时可以说“唱得好”或“演奏得好”，更进一步可以说“音色如何，技巧如何”，不

会说这个演员的“音响不错”。

由此可以证明音响不能用来形容自然声。然而，在同一条件下，在观众席内评价听闻效果时则可以说：这个剧场的音响效果不错，如果是在音乐厅，在不使用扩声时，则是舞台上表演的自然声和建筑环境声的综合效果；如果使用了扩声，则是三者的综合效果。

例如剧场音响，其中包括自然声、电声。另外，决定是否可称为音响效果的一个重要条件，就是建筑环境声，或者称为特定听音环境。

综上所述，我们对音响二字的涵义大致可以归纳为如下几点：

1. 音响必须是可听闻的声音，即在音频范围内（指基频，高次谐波可超出听闻范围）；
2. 音响不等于自然声，也不等于电声，但是包括这两种声音在内；
3. 构成音响的一个不可少的条件是声环境，即一定的听音环境。

把上述内容再简化一下，我们可以说：“音响是在一定的听音环境内，声源与声环境所形成的听音效果”。

通过上面的分析，可以归纳出几个关于音响的进一步认识：

- 1) 音响不单纯是电声，所以搞音响也不完全只是搞电声。电声是音响工作的一个重要手段，最终是处理声学所表现的艺术效果问题。
- 2) 音响不是器材，也不是设备。
- 3) 音响效果必需包括声环境。从剧场音响来讲，就是建筑声学。更具体一点，就是室内声学。关于这一点，在我国各省市剧场建设过程中经常被忽略。有的剧场根本没有建筑声学设计，尤其是一些乡镇和工矿俱乐部。现在开放搞活，经济富裕了，各地都建了不少影剧院，有的还很豪华，但从声学角度看，相当数量是豪华的废品，教训是深刻的。

### 音响专业 宋效曾

音响二字的涵义我们已做了初步分析，是否准

确有待大家讨论。有争论更好，总比糊涂不清要好得多。

音响作为一种专业，是近20年发展起来的，这不包括制造业，因为制造业还是叫做电声专业更准确一些。

这里所谈的音响专业主要是扩声专业，也可以包括录音专业在内，因为都有一个声环境问题。

做为一种专业，必然要有专业的要求，首先要明确的是音响专业是为艺术表演服务的，不仅服务，本身也参加表演。这样就对音响专业工作者提出较高的要求。多年来一些音响师努力追求电声技术，这当然是必要的，但是往往忽略了两个方面的提高；一个是自己艺术素质和修养的不断提高，一是对声学知识的充实。因此我国舞台扩声质量一直没有多大改善，除了音量越来越大之外，音质艺术上进步不大。观众到剧场去欣赏艺术表演是通过“视”和“听”两大功能来进行的，但这两者并不是各占百分之五十，任何一种功能搞不好，对演出效果的破坏都是百分之百的。

舞台上的表演，在通过电声以后，由于传声器的角度、距离以及整个系统的失真，和原来表演的自然声就不一样了。最典型的例子是交响乐的扩声。

交响乐是表现力很丰富的一种音乐形式，乐器很多。传声器拾音时，其倒数平方衰减由于离声源很近，反映十分明显。交响乐的扩声、传声器摆放的越多其难度就越大，而现场扩声由于声部平衡的要求，还必须多放一些传声器，因而回输的可能就更大，尤其弦乐部分历来是扩声的一个难点。

交响乐演奏时力度变化很大，每个指挥对一个作品都有自己的处理方法，音响师必须去听排练，而且应该在总谱上作记录，记住指挥的要求，在演出时跟踪配合。因为指挥在台上只能指挥节奏和总的力度，声部的平衡由于通过电声以后起了变化，完全靠音响师的配合。否则，指挥把指挥棒打断，也抵不上音响师手指轻轻一动。即使配合得很好，也不可能做到完全一样。所以国际上也好，国内也好，在音乐厅演出时不用扩声，其道理也就在于此。交响乐是如此，戏曲演出也是如此。同样也有艺术处理上的问题。以京剧为例，梅派和程派唱腔在韵味上有明显的不同，这种不同从电声上分析，是谐波含量的不同需要在均衡器上去补偿。

也许有人说话剧比较简单，那要看怎样要求。

语言清晰度是话剧的基本要求，话剧做到拾声均匀也非易事。而且话剧音响的重点是效果音响。以话剧“雷雨”为例，雷声、雨声何时进入，和剧情的发展有密切关系，是打闷雷还是打霹雷，雷声、雨声的力度变化都要按剧情的要求处理。事实上，这时的音响已经在参加演出，参与艺术创造。总之，台上的声音是通过电声系统后再传给听众的，声音在电声系统传输过程中被“做了手脚”在此过程中，音响师的电声技术是基本功，而效果的好坏则和音响师的艺术修养有直接关系。做为一个音响师应该不断地充实自己在文学、音乐、美术等方面的知识，尤其在音乐方面更是音响师的必修课。因为评价音响效果的好坏必须通过音乐来进行，而音质是附在音乐上来体现的，这些问题在后面音质评价部分还要详细介绍。

个人的艺术修养及对导演和指挥艺术上的要求的理解，还要通过音响师的电声技术去体现，在运用电声技术过程中，还需要音乐声学、电声学、心理声学、建筑声学等方面的知识来支持。

电声技术是从摆话筒开始的，很多人把摆话筒看做是简单的劳动，这是错误的，话筒本身有方向性问题，乐器声、人声都有最佳辐射角度的问题，以小提琴为例，f孔是发出声音的主要位置，但如果把话筒正对着f孔，则琴码附近的弦与琴弓相擦的噪声全被放大，很难听。管乐的喇叭口也是噪声最大的地方。尤其在录音棚内，由于驻波的影响，话筒角度稍有变化，就可能引起音质的变化。所以摆话筒是相当重要的工作，艺术要求愈高，对话筒摆放的要求也愈严格。

对电声设备各项功能的了解并不困难，但在使用过程中要靠其他方面知识的支持。比如，要模拟一个厅堂的效果，你必需知道什么是混响和混响时间、早期反射声与混响声的关系以及其程序如何安排，这需要建筑声学方面的知识。

在剧场扩声质量要求上，声象一致是一个很重要的内容，在调整声象时要使用延时器，要调整扬声器的角度，运用哈斯(HAAS)效应的原理进行调节以及立体声的运用等等，又涉及心理声学。此外有的还涉及生理声学，一个最简单的例子，如在120dB以上声压级下给听觉细胞所造成的损害是不能恢复的。经常从事摇滚乐的人，都多少存在着职业性耳聋，对音响工作者来说，这也是职业道德问题。



音响专业是一种艺术加技术的专业，涉及艺术、美学、电声学、音乐声学、建筑声学、心理声学、生理声学等多学科的边缘学科的专业，而不是某些人印象中仅仅是个“管扩大的”。当然那样的管理者也确实有，那只能称作电声设备管理员，而不是音响师。

综合前面的内容，对音响师素质的要求：第一是艺术上的，因为音响工作本身是参与表演而不是

置身于表演之外，艺术素质赋予技术以灵魂，技术是为表现艺术而工作的，现场扩声是时间艺术，它不同于录音，没有回旋余地，现场处理问题能力必需很强，反应要快，措施要及时，还要有预见性。

电声技术是手段，是表现声音艺术的重要手段，是音响师的基本功，必须熟练掌握。做为一名音响师要得到艺术家的承认是要付出很多努力，要学习很多知识的。

## 二、声学知识

宋效曾 黄瀚

### 引言

声学是音响工作的基础，厅堂提供一个声环境，电声系统提供声处理手段，音响师运用这些条件，加上个人的艺术处理，最后，体现在声音的听闻效果上。

目前我国大多数舞台扩声往往只体现在音量上，而对声音的自然度（保真度）却不大讲究，有的把高低两端提得很高，强调刺激性，声压级也在110dB以上，因而一些音响工作者已产生职业性耳聋。国际卫生组织已把摇滚乐和CD的大动态播放，列为公害作为专题来讨论，因此过大的音量已涉及环卫和职业道德问题。

还有一些音响工作者，面对一些效果器的一些功能不知如何使用，这是因为声学知识不够，不了解声速、早期反射声、混响声之间的关系，因此做不出预想的效果。

音响工作者所应具备的素质在前面已经介绍过，只重视电声技术而忽视声学的学习和艺术修养的提高，是难以提高演出的音响水平的。

我们所学的声学是音频部分，粗略的可划分为：音乐声学、建筑声学、心理声学以及生理声学等等。音响工作者应该了解并掌握工作所需要的部分，“音响”是一门边缘学科，涉及到艺术和技术的许多方面，可把它综合起来称之为“音响学”。

### 声的自然特性 宋效曾

#### 声波

声音有两重解释，声从物体的振动、发声以及传播等物理过程我们称之为“声波”。听闻过程称之

为“声音”。

甚麽是“声”，甚麽是“音”，在我们声学界曾经有过讨论和争论，由于有些事情难以行得通而不再争下去了。例如把收音机改称收声机，录音机改称录声机，理论上可以这样讲，实际生活中根本行不通。有些习惯用语是难以改变的。比如传声器和扬声器，除去写文章以外，平时一般都称话筒和喇叭。

声波在空气中传播时是以“纵波”的形式传播的，但在分析、图示、计算过程都是用“横波”来表示的。

一个平静的水面投入一粒石头，便可见到以石头入水处为圆心，逐渐向外以波浪形扩散，这便是横波。因为它从圆心以上下波动向外扩展，与波的行进方向垂直交叉，这种波型见图1。

这个图形很重要，以后无论声波、电波都是用这种图形来解释和分析的，这个图形又称为正弦波，从图上可以观察到波浪所形成的是一条正弦曲线，这个图形有着重要的数学的、电学的和声学的意义，在以后的内容中将不断地提到它。

声波在空气中传播和水波不同，是以疏密波的方式传播的，因为它行进方向和传播方向一致，所以称为“纵波”，见图2a，纵波以横波解释如图2b。

#### 频率、周期、音高

我们看图1a，从第一个峰到第二个峰是一个周期，用钟摆来解释，钟摆从垂直状态向左摆动，到了一定位置又摆回到右边，当摆到右边一定位置又往左边摆，在回到垂直线时，正好完成一周，每秒完成的周数便是频率，称为赫兹（HERTZ）简写为Hz。

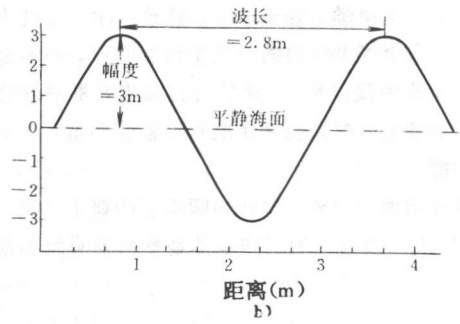
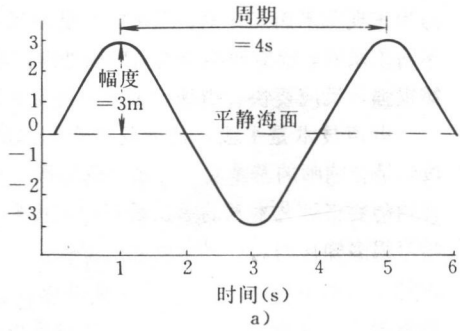


图 1

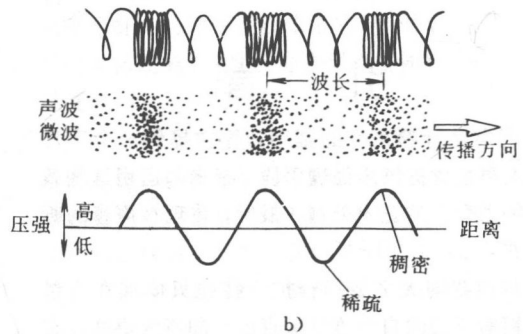
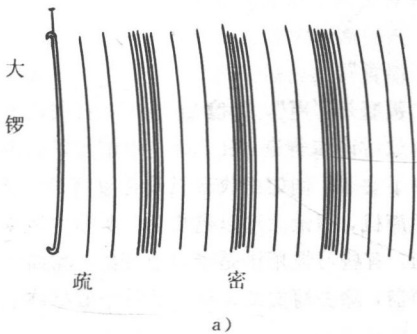


图 2

### 波长与声速

声波每秒时间传播的距离称为声速，声速受温度和湿度的影响，所以一般取常温的声速计算，即 340m/s。

声速在室内声学设计和扩声技术中应用很多，一般以毫秒计算，即千分之一秒 1s/1000 简写为 ms。早期反射声都控制在 50ms 以内，在常温下 50ms 所传播的距离为  $340 \times 0.05 = 17\text{m}$ 。我们最好记牢这个数值，以后工作中常常会用到。因为它是一个界限，50ms 以内的早期反射声，有助于加强直达声，超过 50ms 的反射声会影响清晰度。

### 相位 (PHASE)

声波的一个振动周期等于  $360^\circ$  见图 3。虚线是对应正弦波的位置，在这一个振动周期中，一个振动点（或粒子）所达到的阶段用度来表示，如果是  $0^\circ \sim 180^\circ$  与  $180^\circ \sim 360^\circ$  的关系，也就是前面我们所说的正值与负值的关系，它们的相位是相反的。通常我们在调音台的输入端，可以见到相位开关，该开关就是处理  $180^\circ$  反相关系的。如果两个同样的话筒接收同一个

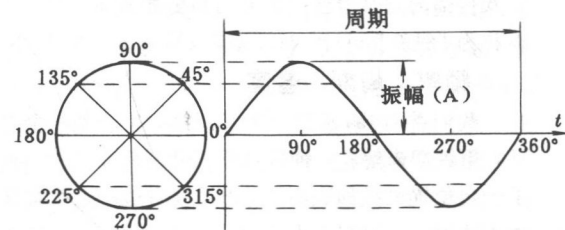


图 3

音的高低是由频率决定的，每秒频率数多，音就高，每秒频率数少，音就低。在音乐会演出时和制造乐器时，都需要一个标准音高，标准音高又称音乐会音高，或斯图加特音高。我国在 1956 年由轻工业部召开的乐器专业会议上，把在常温下的 a 定为 440Hz，做为乐器制作的标准音高，音叉的频率大多是 440Hz。音叉是英国宫廷乐手约翰肖尔 (J·SHORE) 于 1711 年发明的。高频、中频、低频和高音、中音、低音它们之间不是绝对的对对应关系，无线电系统和音频系统以及声乐、器乐对高中低的概念各不相同。

信号，话筒的相位相反，其结果是互相抵消，在实验室内，可以抵消的干干净净，如图4。

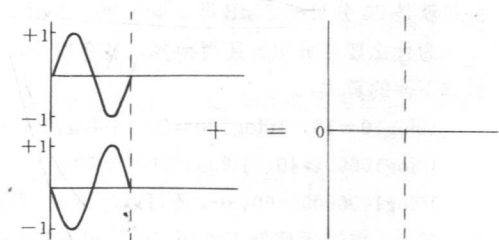


图 4

如果相位相同则振幅相加，提高输出电压，见图5。

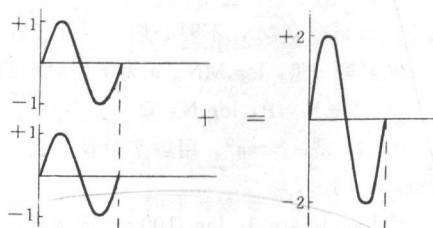


图 5

上面讲的是  $180^\circ$  正反相关系，如果不是  $180^\circ$ ，而是部分移相相加时，则有加有减，见图6。

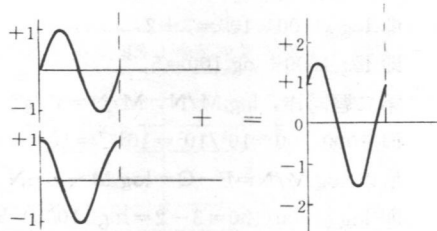


图 6

两个相同的波，由于一个波的相移（时间差），相加就形成图6所示的情况。在录音和扩声工作中常常可以见到在舞台口摆设三支低架话筒，尤其是京剧为代表的戏曲界最常见，这种摆话筒的方法缺点甚多，从音质上说会产生梳状滤波效应（如图7所示），且传声增益低，特别对武打演员精神威胁太大，对电视实况录像者来说，更是一个讨厌的障碍物。解决这个问题的办法是把话筒头靠近声界面，一般电容话筒做起来有些困难。现在有一种界面话筒，可以解决这个问题，早些时候有PZM话筒，但由于是半球形指向性，在舞台上使用容易回授（如图8所示），不久又由美国皇冠公司推出PCC相位相干超心形话筒，但由于价格较高难以普及。1993

年北京生产出CZJ超心形界面隐形话筒，已由中央电视台、总政话剧团、战友京剧团及国务院等单位广泛使用，效果很好，完全取代了原来台口的三支低架话筒。

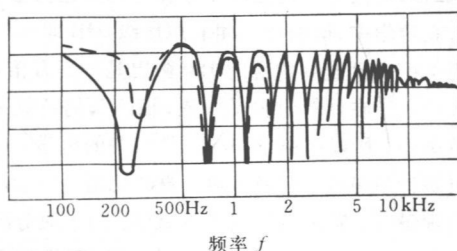


图 7 普通话筒拾音时产生的梳状滤波

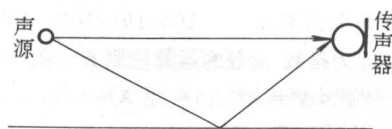


图 8

扩声系统中相位的调整在调音台上只限于  $180^\circ$  反相调整。扬声器的相位更要特别注意，剧场扬声器大都放在舞台两侧，如果一侧反相会导致观众席中有一段盲区。立体声扩声时，一边扬声器反相，会使声象混乱，没有立体效果。流动演出时，扬声器拆装次数多，但每次都要核对相位，切不可掉以轻心。

### 强度与响度

声音的强度与响度是两个概念，物体振动的幅度大小称为振幅，振幅要大就必须赋予大的能量，声源每秒发出的能量，称为源的功率，声的强度与源的功率成正比，与传播的面积成反比，称为距离平方反比定律。

声音的响度与声源的功率，周围的环境有密切关系，一个明显的例子是：一个人在澡堂唱歌和在旷野唱歌，虽然距离相同但响度相差很多。同一强度的各种频率其响度是不同的，这个问题在后面讲到的等响曲线时再详细介绍。为了后面讲解方便，我们先把一个计量单位“分贝”（dB）搞清楚，因为通过调查了解，许多音响师对分贝的用法、理解上不很清楚，这样在进行到后面的内容时就会出现困难，所以有必要先把它搞清楚。

分贝就是分贝耳（decibel）也就是十分之一贝尔。贝尔是一个无量纲计量单位，是为了纪念电话

发明家亚历山大·格雷厄姆·贝耳 (A. G. BELL) 而命名的。如同安培、伏特、欧姆一样以人名作计量单位, 但分贝不同于上述单位, 它不是一个绝对的物理量, 而是两个量比值的常用对数。

在声学中, 例如可听闻的声压级 0dB 即 0.0002 微巴 ( $\mu\text{Pa}$ ) 到震耳欲聋的 120 微巴是一百万倍, 这样大的数字在计算时很不方便, 而人耳的听觉又呈对数关系。所以在声学 and 与声学有关的电学, 中用分贝做计量单位, 它表示两个量的比值, 在涉及具体物理量时, 应对 0dB 先予以赋值。为了对分贝有一个比较清楚的认识, 我们先复习一下指数和对数。

### (1) 指数

最简单的算式  $10 \times 10 = 100 = 10^2$  式中的 2 即为指数 指数的运算法则则有 7 条

1)  $A^m \times A^n = A^{m+n}$  设  $A=4, m=3, n=2$

验算  $4^3 \times 4^2 = 4^{3+2} = 4^5 = 1024$

2)  $A^m \div A^n = A^{m-n}$  ( $A \neq 0$ ), ( $m > n$ )

验算  $4^3 \div 4^2 = 4^{3-2} = 4^1 = 4$

3)  $(A^m)^n = A^{m \times n}$

验算  $(4^3)^2 = 4^{3 \times 2} = 4^6 = 4096$

4)  $(AB)^n = A^n \times B^n$  (设  $B=6$ )

验算  $(2 \times 4)^2 = 4^2 \times 6^2 = 16 \times 36 = 576$

5)  $(A/B)^n = A^n / B^n$  ( $B \neq 0$ )

验算  $(4/6)^2 = 4^2 / 6^2 = 16 / 36 = 4/9$

6)  $A^n \div A^n = A^{n-n} = A^0 = 1$  ( $A \neq 0$ )

验算  $4^2 \div 4^2 = 16 \div 16 = 1$

7)  $A^{-P} = 1/A^P$  ( $A \neq 0$ ),  $P$  是正整数, 设  $P=2$

验算  $4^{-2} = 1/4^2 = 1/16$

学习指数是了解对数的第一步, 因为不了解对数就无法了解分贝的内涵, 只要有初中文化程度, 理解这些公式并不困难, 希望你耐性子看下去, 不要因为太简单而不重视, 也不要一见公式就头疼, 如果分贝都不清楚, 怎能算音响师呢?

### (2) 对数

把最初那个算式再列出来。

$$10 \times 10 = 100 = 10^2$$

100 的对数为  $\log_{10} 100 = 2$  (常用对数的底数为 10 可以不写即  $\log 100 = 2$ ), 其中 100 是真数, 10 是底数, 2 是以 10 为底数的 100 的对数。

应用实例: 一个功率放大器讲话时输出是 2W, 演出时增大到 200W, 用对数来表示  $\log 200/2 = \log 100 = 2$ 。200W 比 2W 增大 100 倍, 它的对数便

是 2, 这个 2 是 2 贝尔 (Bel)。由于贝尔这个单位还嫌大, 取其 1/10 称为分贝 (decibel), 简称为 dB, 2 贝尔就是 20 分贝即 20dB 即  $10 \log 100 = 20\text{dB}$ 。

为什么要用分贝? 还得换算, 多麻烦呀, 我们看看下面的算式:

$$10 \log 10 = 10, 10 \log 100 = 20, 10 \log 1000 = 30,$$

$$10 \log 10000 = 40, 10 \log 100000 = 50,$$

$$10 \log 1000000 = 60, \dots, \text{还可以写下去, 但真数}$$

越写越大, 书写运算都不方便, 对数可把复杂的乘除变成加减, 而且人耳的听觉呈对数状态, 所以对数计算较方便。下面再看对数:

已知  $\log_a M$  和  $\log_a N$  求:  $\log_a MN, \log_a M/N, \log_a M^n$  和  $\log_a \sqrt[n]{M}$ , 不要心烦, 耐性子看下去。

先解第一题,  $\log_a MN$ 。a 为常用对数的 10,

设:  $\log_a M = P, \log_a N = Q,$

则  $M = a^P, N = a^Q$ 。用数字验算一次, 设  $M = 1000, N = 100,$

则  $\log_{10} 1000 = 3, \log_{10} 100 = 2$  即  $P = 3, Q = 2$ 。

按上式代入  $1000 = 10^3, 100 = 10^2, MN = a^P \times a^Q = a^{P+Q}$  (参见前面指数运算法则),

即  $1000 \times 100 = 10^3 \times 10^2 = 10^5 = 100000$

所以  $\log_a MN = P + Q = \log_a M + \log_a N$

即  $\log_{10} 1000 \times 100 = 3 + 2$

即  $\log_{10} 1000 + \log_{10} 100 = 5$ 。

第二题同样,  $\log_a M/N, M/N = a^P/a^Q$

即  $1000/100 = 10^3/10^2 = 10^{3-2} = 10^1 = 10$

所以  $\log_a M/N = P - Q = \log_a M - \log_a N$

即  $\log_{10} 1000/100 = 3 - 2 = \log_{10} 1000 - \log_{10} 100 = 1$

第三题  $\log_a M^n, M^n = (a^P)^n = a^{nP}$

设  $n=2$  代入式中  $1000^2 = (10^3)^2 = 10^{2 \times 3} = 10^6$

所以  $\log_a M^n = nP = n \log_a M$

即  $\log_{10} 1000^2 = 2 \times 3 = 2 \log_{10} 1000 = 6$

第四题  $\log_a \sqrt[n]{M}$

所以  $\sqrt[n]{M} = \sqrt[n]{a^P} = a^{P/n}$

即  $\sqrt[2]{1000} = \sqrt[2]{10^3} = 10^{3/2}$

所以  $\log_a \sqrt[n]{M} = P/n = 1/n \log_a M$

$\log_{10} \sqrt[2]{1000} = 3/2 = 1/2 \log_{10} 1000 = 1.5$

归纳一下得出四条运算法则:

1)  $\log_a MN = \log_a M + \log_a N$

$$2) \log_a M/N = \log_a M - \log_a N$$

$$3) \log_a M^n = n \log_a M \quad 4) \log_a \sqrt[n]{M} = 1/n \log_a M$$

好了,学这些算式有甚麽用吗?目的很清楚,就是要分贝搞清楚。举一个例子,如功率增加一倍是 3dB 而电压增加一倍是 6dB 这又为什么?请看

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\frac{U_1^2}{R}}{\frac{U_2^2}{R}} = \frac{U_1^2}{U_2^2} = \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2$$

式中  $P_1$ 、 $P_2$  —— 功率;

$U_1$ 、 $U_2$  —— 电压;

$R$  —— 电阻。

它们的对数  $\log_{10} P_1/P_2 = 2 \log_{10} (U_1/U_2)$ ,

按对数法则  $\log_a M^n = n \log_a M$ ,

则  $\log_{10} (U_1^2/U_2^2) = 2 \log_{10} (U_1/U_2)$ 。

上式  $\times 10 = 10 \log_{10} P_1/P_2 = 20 \log_{10} U_1/U_2$ 。

也可能看第一遍你不大明白,千万不要灰心,多看几遍就清楚了。如果你还是不太清楚,没关系,暂时先放过去。先复习一下欧姆定律再看就明白了。

关于分贝就到这里,为了查阅方便,我们把分贝表简化。

功率比	分贝 dB	电压电流声压比	分贝 dB
1	0	1	0
2	3	2	6
3	4.8	3	9.5
4	6	4	12
5	7	5	14
6	7.8	6	15.6
7	8.5	7	16.9
8	9	8	18.1
9	9.5	9	19.1
10	10	10	20
100	20	100	40
1000	30	1000	60
10000	40	10000	80
100000	50	100000	100
1000000	60	1000000	120

上面这个表可以从比值查分贝或从分贝查比值例如:

一个放大器输入电压 1mV 输出电压可到 10V 其比值为  $10/0.001 = 10000$  从上表中电压比栏下 10000 为 80dB 我们说此放大器增益为 80dB。还可以把上表换一种列法,把分贝以正数列在前边,比值列在后边。

功率比		电压、电流、声压级比		
dB	正比	负比	正比	负比
0	1	1	1	1
1	1.259	0.7943	1.122	0.8913
2	1.585	0.6310	1.259	0.7943
3	1.996	0.5012	1.413	0.7080
4	2.512	0.3981	1.585	0.6310
5	3.162	0.3162	1.778	0.5623
6	3.981	0.2512	1.995	0.5012
7	5.012	0.1995	2.239	0.4467
8	6.310	0.1585	2.512	0.3981
9	7.943	0.1295	2.818	0.3548
10	10.000	0.1000	3.162	0.3162
20	100.000	0.01000	10.000	0.1000
30	1000.00	0.001	31.620	0.03162
40	10000. —	0.0001	100.00	0.01000
60	1000000 —	0.000001	1000.00	0.001

### 声的组合 (差频与拍频)

当许多频率同时发声时,例如两个频率一个是 1000Hz, 一个是 900Hz, 同时发声, 听者会听到除去这两个频率之外, 还有一个声音, 那就是  $1000 - 900 = 100\text{Hz}$ , 这个频率称为差频, 如果两个频率相差不到 10Hz 时会明显的感到一个脉动的频率, 这个频率称为拍频。

### 声源的指向性与距离的关系

一个点声源, 例如庙宇的钟声, 离它的距离愈远声音就愈小, 这是我们前面讲过的平方反比衰减, 距离每增加一倍, 则声压级衰减 6dB, 这种情况是指在“自由声场”即无反射的声场下的几何扩散, 见图 9。

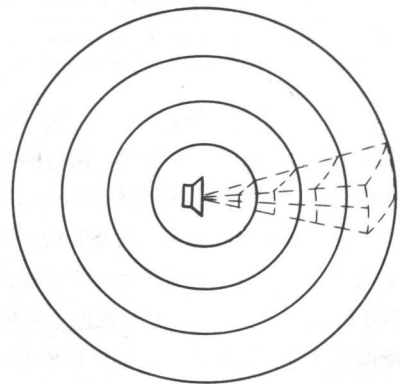


图 9 声的几何扩散

如果是在封闭的厅堂内, 由于反射、折射、绕射等因素, 声级的衰减就不会按照平方反比定律去衰减, 一个声源全方位扩散, 如图 9, 根据平方反比

定律，声音减弱了，如果同样功率按一定方向发射或聚焦在一束，则传播的距离就远的多，例如号筒。人的讲话、扬声器的辐射都有一定的指向性，指向性随频率不同而变化，一般情况下，有一个规律，即高频的辐射比较集中在声源纵向周围，中频稍宽，低频更宽其典型指向性如图 10。

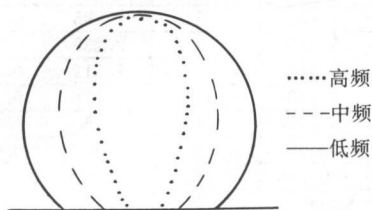


图 10

## 室内声学

宋效曾

剧场的室内声学是建筑声学的一部分，有两个主要内容，一是为艺术表演和讲演提供最佳声学条件，再就是排除噪声干扰。

### 室内声学现象

由于剧场是封闭空间，因而产生如下现象

**声反射** 声音从舞台上发出以后，遇到墙壁会产生折射或反射，高频的反射和折射和光线相似，而低频则存在绕射现象如图 11。

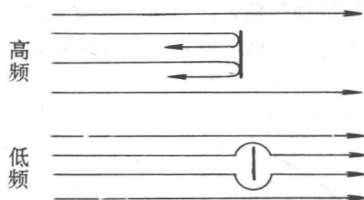


图 11 折射图

以舞台上的声源做为一个点，向周围的墙面可以画出辐射线，称为声线，声线与墙壁相交时，其反射规律是反射角等于入射角。这是几何声学，但反射面必须大于波长，所以低频由于波长较长且有绕射，不适用几何声学。反射是有用的也可能是有害的，所以在一个厅堂内既要有反射也要有吸声。

**声吸收** 厅堂的屋顶，墙壁无论用什么材料装修，都有一定的吸声系数，就是指入射声能被吸收掉的部分。例如 1000Hz 的声音撞击到大理石墙壁上，声能被吸收 30%，反射出 70%，则称大理石的吸声系数为 0.3。最大吸声系数为 1 这是指厅堂窗

口部分，吸声与反射在室内声学中是矛盾统一体，为了达到预定的声学效果，要用吸声系数最小的反射面，如大理石来做早期反射声的墙面如台口部分，厅堂的中间部分则做成各种扩散体，厅堂后面墙体为了避免回声，则做成吸声体。

**早期反射声** 这是指听众在厅堂内听到直达声以后，最早听到的反射声，50ms 以内的早期反射声有助于加强直达声的力度和清晰度。超过 50ms 以后的反射声，是语言会影响其清晰度；是音乐则还可适当延长到 70ms，再长则会出现双音的回声效果了。

**声扩散** 声扩散的目的是为了使厅堂内声场各个部位声压大致均匀，同时可以消除像颤动回声一类的声缺陷。厅堂内的扩散体可以用半圆体、折体（如锯齿形）、浮雕、圆雕等，在扩散体中间可安排一些吸声补丁，扩散体进行装修之前，需要做一次声学测试，根据测试结果对扩散体的形状，材料做适当调正。

**声音的绕射** 在前面一节中，介绍过声的反射折射，它们可以称为几何声学，但在低频段，大约在 250Hz 以下几何声学便失去意义，当 250Hz 以下的频率遇到柱子等小型障碍物可以绕行，所以有的剧场眺台伸出较长，眺台下的观众听不到直达声，中高频被眺台挡住了，但低频可以绕过去，听到的低频多因而清晰度很差，这和情况称为声影。

**混响** 在一个封闭的厅堂中，例如剧场，在舞台上发出一个声音，在达到稳态以后，立刻关掉，一般情况下还可听到余音。从声音停止到完全听不见会有一段时间，这个时间便叫做混响时间。它的计量方法是从声源停止发声起衰减 60dB 所需的时间，可以用声级计测量，一般记做  $T_{60}$ 。

首先研究混响时间的是美国人赛宾，他研究出一个公式称为赛宾公式它可以帮助设计师算出混响时间的近似值。

$$\text{混响时间 } T_{60} = \frac{0.16V}{A + XV}$$

式中  $T_{60}$  ——混响时间 (s)；

$V$  ——厅堂的体积；

$A$  ——厅堂内总吸声量 (每平方米吸声系数 × 总面积的总和)；

$X$  ——空气吸声系数。

$A$  的内容很多，墙壁、座椅、地板、屋顶、还有人体的吸声，(冬天、夏天不一样) 所以很难计算

准确。只能是一个近似值，但它可以帮助设计师先确定混响时间，求出吸声系数以便选择装修材料。还有厅堂的体积等。

混响时间是音质评价中的一个重要参数，没有混响便没有空间感，这样的厅堂人们会感觉声音发干。混响时间的长短和声源的内容不同而有所区别，音乐厅要求丰满、宏大，因而要求混响时间要长，话剧院则以听清台词为主，因而要求混响时间要短一些。根据实践结果，大致找出一个规律，下面曲线图便是人们多年的体会推荐出的参考数据。

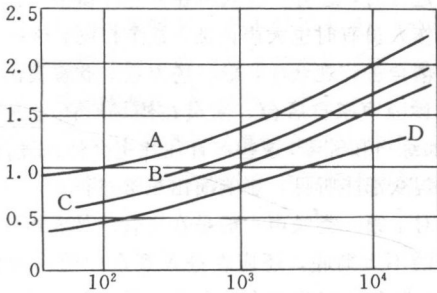


图 12

A—教堂 B—音乐厅 C—音乐厅  
D—会议厅、影院

**混响半径** 混响半径又称极限距离，就是说声音从声源发出，直达声传播一定距离以后，逐渐衰减下来。在反射声和直达声声能相等的地方，与声

源的距离称为混响半径。由此开始，声音继续往前传播时，反射声能可能大于直达声能，此时声音的清晰度就很差了，这时需要把这个距离后面的反射体改为吸声体，衰减反射声才能保持清晰度。

混响半径的计算公式如下

$$\frac{Q}{4\pi R^2} = \frac{4}{R_0}$$

式中  $Q$  —— 声源指向性因数；

$\pi$  —— 圆周率 (3.1416)；

$R$  —— 房间常数 ( $m^2$ )；

$R_0$  —— 混响半径 ( $m$ )， $R_0 = 0.14 \sqrt{Q \times R}$ 。

声源的指向性因数见下图表。

	声源位置	指向性因数
甲		$Q=1$
乙		$Q=2$
丙		$Q=4$
丁		$Q=8$

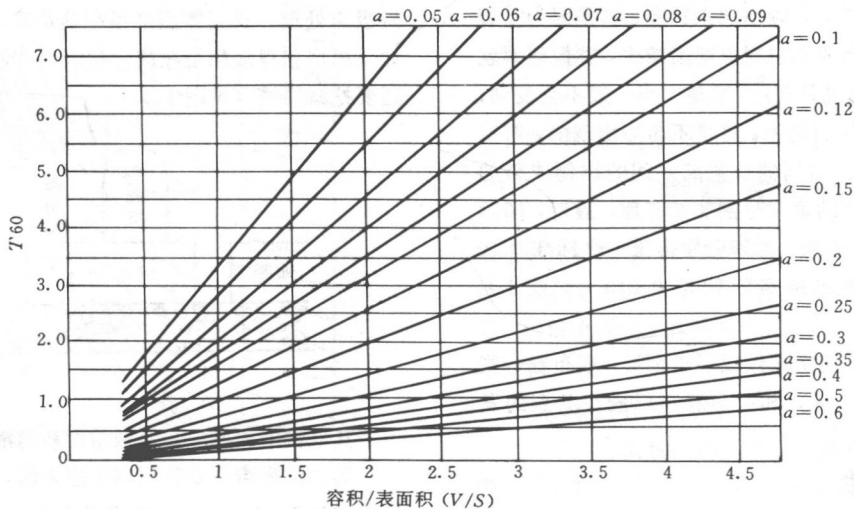


图 13

$$\text{房间常数 } R = \frac{Sa}{R-a} \text{ (m}^2\text{)}$$

式中  $S$  —— 房间总表面积;

$a$  —— 房间平均吸声系数。

$V/S$  与平均吸声系数及混响时间相互关系见图 13。

### 厅堂内声压级的计算

在求出房间常数和声源指向性因数以后就可以计算出观众席各点的声压级, 计算公式如下:

$$10\log_{10} \frac{\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}}{\frac{Q}{4\pi} + \frac{4}{R_0}}$$

式中  $\frac{Q}{4\pi r^2}$  —— 直接声;

$r$  —— 座位与声源的距离;

$\frac{4}{R}$  —— 反射声。

设: 式中  $Q=4$ ,  $r=12\text{m}$ , 大厅表面积为  $4800\text{m}^2$  平均吸声率为  $0.2$

则房间常数  $R$  为  $\frac{4800 \times 0.2}{1 - 0.2} = \frac{960}{0.8} = 1200\text{m}^2$  代入上式 (且  $R=R_0$ )

$$10\log_{10} \frac{\frac{4}{4 \times 3.1416 \times 12^2} + \frac{4}{1200}}{\frac{4}{4 \times 3.1416} + \frac{4}{1200}}$$

$$= 10\log_{10} \frac{0.00221 + 0.0033}{0.3183 + 0.0033} = 10\log_{10} 0.171$$

$$= -17\text{dB}$$

### 房间的共振

日常生活中例如给暖水瓶注水, 先听到较低的频率, 随着水位上升频率越来越高, 这是因为随着水位的上升, 水瓶的空间也渐渐减少, 共振频率就越来越高。厅堂也是如此, 只是大小一般不会变动, 因而共振频率是固定的, 这是不希望出现的, 解决的办法是不要让房间的长宽高之间的比例成整的倍数关系。古代的黄金分割非常有趣, 最近, 国际声频工程学会 (AES) 对听审室提出一个标准即  $10 \times 16 \times 26$  这个比例实际就是  $0.618 : 1$  或  $1 : 1.618$ 。

还有, 可以把房间做成不规则形, 或布置一些不规则形的扩散体, 和吸声补丁以减少共振的发生。

### 噪声防治

这里所说的噪声不是一般概念中的噪声, 剧场的噪声是指凡不需要进入观众厅的声音, 即使是美

妙的音乐也算是噪声。

剧场里的噪声有如下几种:

第一类: 机械噪声, 包括空调、转台、吊竿、大幕等噪声。其中处理难度较大的是空调噪声, 一部分从风管中传过来, 一部分是固体传声, 尤其是空调机房和观众厅连在一起的, 难度更大。

第二类: 外部噪声, 如交通、商业、飞机、汽车、火车、小贩叫卖、宣传扩声等噪声。

第三类: “实时噪声” 这是我们给的临时的命名, 它的意思就是只有当剧场在使用时才发生的噪声, 像观众休息厅, 有小卖部、甚至还有咖啡厅, 当演出进行时, 总有一些人留在休息厅谈话, 小卖部的工作人员有时也大声说话, 甚至打闹, 这些噪声都会耦合进到观众厅, 影响场内观众欣赏演出。另外一种噪声来自后台, 演员在候场时还要进行练习, 如练声和练琴, 这些声音往往也会传到舞台上, 甚至观众都能听见, 影响演出正常进行。

对于第一类噪声一般是在风管中加吸声体, 但解决的不太彻底, 还应在进入观众厅前再加缓冲室, 另外从机房到观众厅所有弯道, 部位都用  $4 \sim 5\text{cm}$  的泡沫塑料贴在管壁上 (见图 14)。

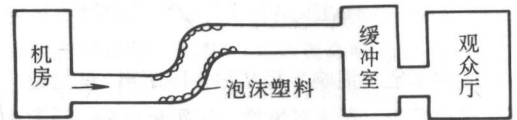


图 14

机房的噪声一般在  $80 \sim 86\text{dB}$ , 因此机房内要做吸声处理, 对固体震动可用弹簧和橡胶垫减震, 如果机房和观众厅是在同一建筑内, 空调机座周围还要挖减震槽 (见图 15)。

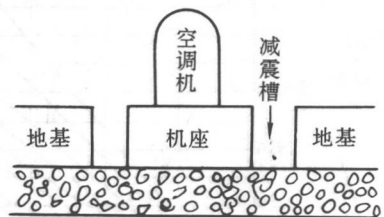


图 15

其他机械噪声应从机械精度和润滑上想办法。

第二类噪声主要从隔离上想办法, 不要把观众厅入口正对剧场大门, 特别是大门外又是繁华街道, 如果已经形成了, 可在观众厅入口处加声锁。观



众厅周围用休息厅围起来,使休息厅起到隔音作用。观众厅入口最好开在大厅两侧。

第三类噪声从提高精神文明教育入手,同时也必需采取一些措施,例如减少休息厅与观众厅的声耦合,可在休息厅与观众厅之间建立一个过渡区,在过渡区内做成强吸声区,使观众在经过过渡区时突然感到自己的声音变小了,使他在进入观众厅之前有一个心理准备。

后台化妆间、候演室、过道、甚至厕所都要吸声处理,这一点,过去许多剧场都忽略了。

剧场的建声设计一定要请专业人员进行设计,不可掉以轻心。剧场的声光不好等于是一个废品。

剧场内完全没有噪声是不可能的,有一个允许的指标,其标准采用 NC 曲线,其形式与国际标准化组织 (ISO) 所制定的噪声评价曲线 (NR) 很类似,见图 16、17。一般推荐的各类场所噪声标准,见图 18。

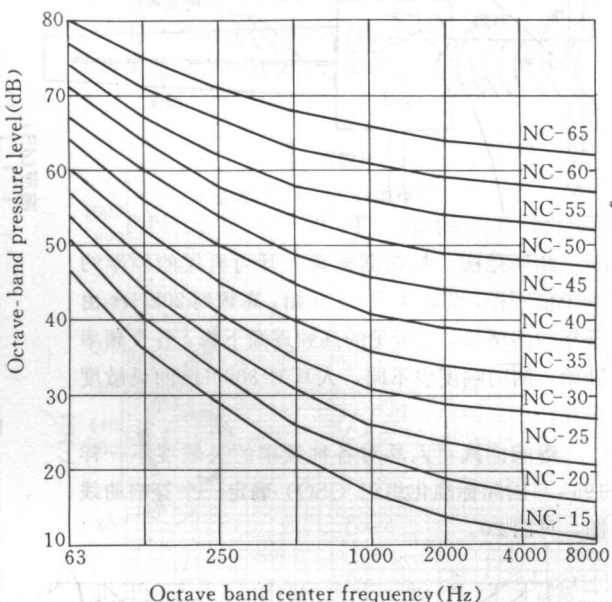


图 17 NC 曲线 (Noise Curves)

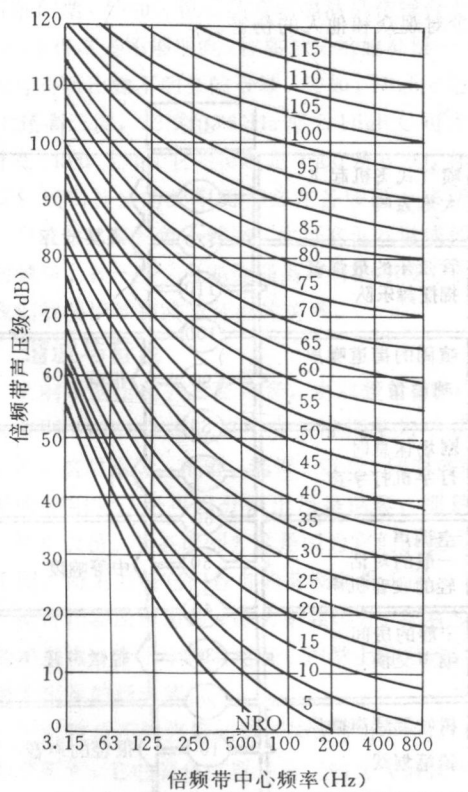


图 16 NR 评价数 (Noise Rating)

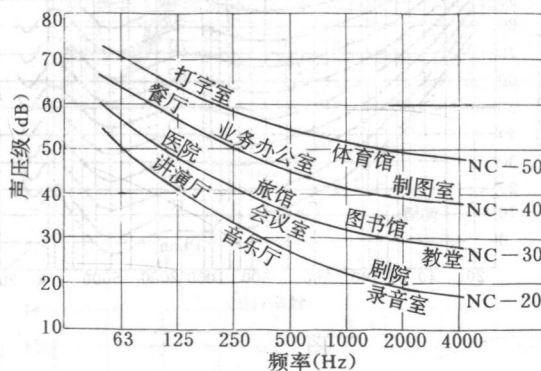


图 18 推荐各类噪声标准 (最高允许数)

## 音乐声学

宋效曾

音乐声学是一门新兴的学科,涉及范围比较广泛,我们选择和音响工作较为密切的部分加以介绍,以解决音响工作应用上的问题,先了解一下基本知识。

### 人耳的听觉特性

关于人耳的构造许多书籍中都有,这里不再详细介绍,在讲人耳听觉特性之前,把听音过程绘出一个示意图,见图 19。

人耳的听觉特性大致可归纳成以下几个方面。