

# 音响技术与调音技巧

李鸿宾 编著



机械工业出版社

本书首先介绍了声音的各种特殊效应和人耳的听觉特性。重点论述了歌舞厅音响系统的跨接,文艺演出中各种文艺节目的调音、音响系统的调整。同时还讨论了各种不同风格的家庭音响、家庭影院的选配和家庭声场的调理。

本书对于文艺演出团体、剧场、歌舞厅、多功能厅的调音师以及 Hi-Fi 音响爱好者的学习和自修来说,都是一本很适用的参考书籍。通过本书的学习并结合工作实践,一定会提高音响调音师的技术水平和音响艺术水平。

## 图书在版编目(CIP)数据

音响技术与调音技巧/李鸿宾编著. —北京:机械工业出版社, 2005. 10  
ISBN 7-111-17608-1

I. 音... II. 李... III. ①音频设备—电声技术②音频设备—调音  
IV. TN912.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 122245 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)  
策划编辑:吉玲 责任编辑:赵玲丽 版式设计:霍永明  
责任校对:刘志文 封面设计:王伟光 责任印制:

印刷厂印刷

2006 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ ·21.25 印张·521 千字

0 001—册

定价:元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

随着我国经济的快速发展和人民生活水平的不断提高，文化娱乐领域也在不断地扩展，我国逐渐地成为了世界上音视频市场的第一消费大国。世界上最先进的音响、灯光器材只要一问世，一般在6个月以内，在我国消费市场上就会露面，就会有机构开始使用，全世界很多著名的生产厂家在中国都设有经销机构和代理厂商，所以我国的音视频领域具有世界上第一流的硬件设备，但是，我们的软件技术却远远跟不上硬件技术要求，所以人才的培养是我们的重要课题。为了提高音响技术人员的调音技巧与声学技术水平和艺术水平，就必须掌握一定的声学基础知识和音响实践知识。

对于一个合理的音响师来说，首先要有一定的电声基础知识。一套音响系统和各单元设备都是由晶体管电路以及集成电路构成的，所以要求音响师对设备的电路结构、性能、技术参数以及维护有较全面的了解和掌握。其次要有一定的音乐声学知识。因为扩音系统主要是对音乐进行扩音，那么，就要求音响师对音源有比较全面的理解和认识，否则就无法对音乐的音色进行修饰和加工处理。

音乐可分为声乐部分和器乐部分。声乐部分又分美声唱法、民族唱法、通俗唱法和摇滚唱法等。不同的唱法其发声、吐字、共鸣、气息运用都有自己的风格和音色结构上的特性。音响师要保证其音乐流派所特有的最佳风格的音色结构状态。器乐部分又有交响音乐、民族音乐、通俗音乐、爵士音乐和摇滚音乐等不同风格的流派，在音乐上有其显著的音色特性。再细研究，交响音乐有弦乐器、木管乐器、铜管乐器、打击乐器。弦乐器又有小提琴、中提琴、大提琴、贝斯提琴；木管乐器有长笛、黑管、双簧管、大管；铜管有小号、圆号、长号、大号以及众多种的打击乐器。每一种乐器都有自己的音域（频率区域）和最佳音色的频率区域。所以要求音响师应了解其音色结构与特性，才能够对其音色的频率结构进行修饰和加工处理。

三是音场知识（属建筑声学）。因为声音的传播要通过媒体，主要渠道就是空间。无论是剧场、歌厅、舞厅、礼堂、俱乐部、餐厅、体育馆……都是声场。声场具有一定的形状、容积、面积和不同的建筑材料、不同的吸声特性，也就具有不同的反射和吸收特性以及不同的混响时间，声音的传播也就具有不同的频率传输特性。再加上人耳生理组织的特殊结构，造成听觉上有很多不同的听觉特性与效应，这些都需要音响师具有全面的知识。因此一名优秀的音响师要集多方面才能于一身，才能达到出色的音响师的要求。

本书将重点介绍调音工作中比较实用的部分，包括声学基础、声音和人耳的听觉特性以及歌厅的调音技巧。还介绍音响系统的各单元部分，包括传声器、调音台、功放、音箱以及周边设备的功能特性和使用方法。希望读者通过学习本书能够掌握歌舞厅声场特性和调音技巧，从而提高调音技术和音响艺术水平。

作 者

# 目 录

前言	
第 1 章 声音的某些特性	1
1.1 声音的世界	1
1.2 声音的分类与应用	1
1.3 音乐与健康	2
1.4 噪声对人体的危害	4
1.5 音色与发音体	5
1.6 音色的群感	5
1.7 声音主观特性	6
1.8 声音的指向性	8
1.9 声音的共振	10
1.10 声音的掩蔽作用	11
1.11 消声室	12
1.12 混响室	13
1.13 关于立体声的原理	15
第 2 章 人耳的听觉特性	18
2.1 基本概念	18
2.2 人耳的听觉特性	19
2.3 音色的结构	21
2.4 关于音质、音色的评价	26
2.5 颅骨效应	31
2.6 鸡尾酒会效应	32
2.7 回音壁效应	33
2.8 多普勒效应	34
2.9 哈斯效应	35
第 3 章 歌舞厅的声场	39
3.1 卡拉 OK 歌舞厅的发展	39
3.2 卡拉 OK 在各国的风格	40
3.3 对歌舞厅声场的要求	40
3.4 歌舞厅的隔音与防振	41
3.5 歌厅的平行共振	42
3.6 集中式声场及其特性	43
3.7 分散式声场及其特性	47
3.8 声波相互干涉	48
3.9 歌舞厅装饰的技术要求	49
3.10 调音台位置的选择	53
3.11 歌舞厅声学技术等级	55
第 4 章 歌舞厅音响系统的跨接	62
4.1 KTV 包间的 AV 系统	62
4.2 大型 VOD 点歌系统	65
4.3 中小型歌舞厅的音响系统	68
4.4 大型歌舞厅的音响系统	72
4.5 大型文艺演出的音响系统	77
4.6 大型 Disco 舞厅的音响系统	80
4.7 歌厅的返送系统	94
4.8 监听扬声器系统	94
4.9 关于分贝	94
4.10 专业音响常用技术用语	99
第 5 章 调音技巧	113
5.1 混响与混响器	113
5.2 混响时间的调节	114
5.3 混响强度的调节	115
5.4 变调器的调节	116
5.5 伴奏音乐与歌声的比例	120
5.6 清晰度和丰满度	121
5.7 声像的统一协调	122
5.8 充分发挥调音台的功能	122
5.9 九段均衡器的调节	124
5.10 各种乐器的频率特性	125
5.11 乐队的编制和布局对声音的影响	126
5.12 拾音用的传声器	133
5.12.1 传声器的发展和概况	133
5.12.2 传声器的分类	135
5.12.3 传声器的主要技术指标及应用	136
5.12.4 特殊的传声器	140
5.13 对语言声的拾音与调音	145
5.14 民族歌曲的拾音与调音	148
5.15 通俗歌曲演唱的拾音技巧与动圈式传声器	152
5.16 美声歌曲演唱的拾音技巧与电容式传声器	155
5.17 大合唱演出的拾音与调音	165
5.18 舞蹈伴奏音乐的拾音与调音	167
5.19 歌剧、话剧、戏曲舞台台口的拾音	168

5.20 歌剧、话剧、戏曲舞台主要演员的拾音 .....	169	的跨接 .....	260
5.21 歌舞晚会舞台台口的拾音与强指向型压力 (PZM) 传声器 .....	175	6.11 无线传声器的使用 .....	262
5.22 戏剧、小品演出的拾音与驻极体传声器 .....	177	6.12 高档调音台中四段均衡器的调节 .....	266
5.23 相声演出的拾音与调音 .....	179	6.13 强大声压级对健康的危害 .....	270
5.24 西洋乐器独奏演出的拾音与调音 .....	180	<b>第 7 章 家庭音响</b> .....	273
5.25 民族乐器独奏演出的拾音与调音 .....	180	7.1 Hi-Fi 音响的几种风格 .....	273
5.26 交响音乐的拾音 .....	181	7.2 交响音乐风格的音箱 .....	274
5.27 摇滚音乐的拾音与调音 .....	189	7.3 摇滚音乐风格的音箱 .....	276
5.28 小型合奏音乐的拾音与调音 .....	194	7.4 流行音乐风格的音箱 .....	277
5.29 大型合奏音乐的拾音与调音 .....	195	7.5 人们为什么喜欢电子管胆机 .....	279
5.30 音乐酒廊与咖啡厅的调音 .....	204	7.6 THX 家庭影院的要求 .....	283
5.31 各种乐器音色的调节 .....	204	7.7 家庭影院使用中应注意的问题 .....	284
5.32 各种不同频率的声音音色特性 .....	212	7.8 家庭影院音箱的配置 .....	286
<b>第 6 章 文艺演出中音响系统的调节</b> ...	217	7.9 家庭立体声声场 .....	291
6.1 熟练掌握调音台的各种功能键和旋钮 .....	217	7.10 家庭声场的环境 .....	294
6.2 声场频率传输特性的调节 .....	230	7.11 环境音乐的调节 .....	294
6.3 如何保护功率放大器和音箱 .....	237	7.12 功率放大器与音箱的匹配 .....	295
6.4 对音色表现力的修饰 .....	243	7.13 响度控制器的应用 .....	296
6.5 文艺演出中消除噪声的几种实例 .....	248	7.14 音箱线与接线柱 .....	297
6.6 文艺演出中消除声反馈的几种方法 .....	250	7.15 用好家庭卡拉 OK 传声器 .....	298
6.7 露天文艺演出中对人声效果的调节 .....	252	7.16 耳机——欣赏音乐的好伙伴 .....	300
6.8 用储备功率保护音箱和提高音色质量 .....	255	7.17 扬声器单元的选择 .....	303
6.9 数字功率放大器 .....	257	7.18 家用电器的合理摆放 .....	305
6.10 均衡器和压限器在音响系统中		7.19 家庭声场中音箱的摆放 .....	306
		7.20 家庭卡拉 OK 混响声的调节 .....	314
		7.21 家庭卡拉 OK 变调的调节 .....	316
		7.22 Hi-Fi 音响的维护 .....	317
		7.23 Hi-Fi 音响领域常用的技术用语 .....	319
		<b>编后语</b> .....	330

# 第 1 章 声音的某些特性

## 1.1 声音的世界

声音是粒子运动的结果。简单地说就是当一个物体受外力的作用时，产生一个往复的弹性振动，这样就产生了声波，声波经过介质（空间、物体或水）向四面八方传播，人耳接受到声波的振动后，通过听觉神经传达给大脑，这就是声音传播的整个过程，见图 1-1。

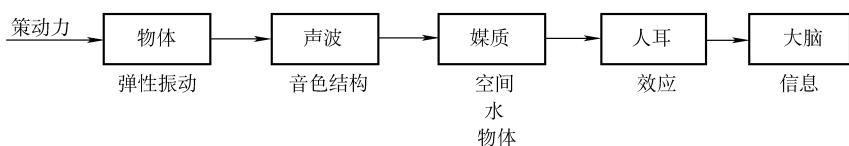


图 1-1 声音的传播过程

声音是世界上很重要的物理现象，它和人们的日常学习、工作、生活有着极其密切的关系。

当一个声音通过空间传入人耳时，人们常常仅凭听觉感受到声音，但这个“声音”并不是原原本本客观存在的声音，而是发生了某些改变，这种现象就是听觉效应。例如：哈斯效应、多普勒效应、鸡尾酒会效应、回音壁效应等等。

所以说声音的振动、传播、听觉感受是一个十分复杂的过程，但其中各部分的关系都是十分清楚的。这些在以后的章节里将详细介绍。

## 1.2 声音的分类与应用

### 1. 声音的分类

研究声音的学科叫作声学，按研究对象不同可分为语言声学、音乐声学、建筑声学和电声学、噪声学。其中音乐声学又可分为声乐声学、器乐声学和音乐律学。这些都是独立的声学的边缘学科，都具有各自完整、系统的理论、实践和广泛的应用领域。

随着科学的不断发展和电子计算机的广泛应用，声学中的许多复杂的计算被解决了。所以，声学研究领域的范围也在不断地扩大。例如：专门研究语言的学科称为语言声学。中国科学院设有语言声学研究所，专门研究语言的结构、特性和分析语音信息的电脑媒体。声学技术就属于语言声学领域中的一个重要课题。

专门研究音乐与声学关系的科学称为音乐声学。其中研究发声、气息、共鸣等生理声学的部分称为声乐声学；研究乐器的结构与制作和它的音域、音色的特性，以及乐器的艺术表现力等等内容的学科称为器乐声学；研究音乐领域中的弦乐器使用的五度相生律、管乐器使用的三分损益律和键盘乐器使用的十二平均律，以及专门研究音乐律学的纯律和这些不同律制之间的关系与应用的学科称为音乐律学。

通过电子电路把声音进行各种特性的加工处理（例如：修饰、美化、扩大、传播）的系统称为电子声学。音响系统的各个单元大部分都属于电子声学领域中的组成部分。

专门研究厅堂建筑设计与声学关系的学科称为建筑声学。例如：对剧场、歌舞厅、会议厅、体育馆声学的设计与研究等都属于建筑声学的领域。

专门研究噪声问题的学科称为噪声学。中国科学院设有噪声研究所，专门研究、分析、处理各种噪声。因为噪声对人类生存的危害越来越严重，所以也越来越被人们所重视。世界许多国家都制定了关于噪声的具体的法律条文，我国也制定了有关噪声的各项技术标准。

## 2. 声音的应用

水声：声纳技术应用于军事领域，驱逐舰通过声纳探测潜水艇；声纳也用于海底探矿。

超声波：可应用于各种工程的引爆系统。

声控：可用于电视机、收音机、录音机以及电子玩具，由声音进行控制。

语音电话机：使用语音叫播对方电话号码。

语音打字机：根据语音总体发音规律制作的单音字母打字机。

语音保险柜：根据每个人音色结构不同的原理制作的声锁，例如：瑞士银行出租的语音保险柜。

音乐医疗：世界上很多国家都建立了音乐疗养院，美国、日本、中国都有，例如：北京的西山音乐疗养院。音乐医疗对治疗一些心血管疾病、脑神经系统疾病以及一些慢性病都有良好的医疗效果。

声文技术：众所周知，水文是研究河流、湖泊、水位、地下地上水的和各种资料的技术。那么，声文则是研究、分析声音的特性与信息的技术。例如：利用声文技术破案的实例——阿基诺将军事件。1983年3月28日，菲律宾将军阿基诺走下飞机时，在各国新闻记者在场的情况下，中弹遇刺，当场有很多记者都在录音录像，后来日本音响研究所所长铃木从日本记者手中拿到录音录像资料，对资料的背景噪声进行成百倍的放大，分析出四个人的对话与案件有关：“到时间了。”“该动手了！”“开枪吧！”“由我来干吧！”铃木对这四个人的声音进行了频谱分析，制成了频谱曲线。然后，又对在场所有的人进行了声音取样，并对这些声音也进行了频谱分析和频谱曲线的制作。其中有四个人的声音与以上四句话的频谱曲线完全吻合，就这样案件很快被侦破了。因为音色的频谱曲线像指纹一样，每个人可以很接近，但没有完全绝对一致的。因为人的年龄、生理生物时钟、遗传特性、生物特性不同，所以人的声带结构和肌肉结构也就各不相同，所发出的声音也就各具特色。再加上人体素质、营养状况、教育状况、环境状况、性格状况和发育状况的不同，这些也都影响人的音色结构。因此，即使孪生子的声音也不完全相同。

## 1.3 音乐与健康

### 1. 音乐与心理健康

人们的健康有两方面概念：人体健康和心理健康。

心理健康包括智力的健全、情绪的的稳定、意志的坚定、反应的适度、行动的统一与协调、心理的反映活动适合于年龄等等。音乐恰好可以调理人体的这些表现。这是因为音乐对大脑皮层的兴奋和抑制的节律起到良好的平衡作用。

生活中，当听到旋律优美、节奏和谐的轻音乐乐曲时，会使人感到心旷神怡，充满无限的惬意，对人身心都有很大的益处。

音乐可以陶冶情操、启迪思维，使大脑中枢神经的反应变得灵敏，对激发脑细胞的活力具有一定的作用。音乐的远期效应是很深广的，而就音乐的近期效应，人们可能感到更直感一些。

## 2. 音乐与医疗

忧郁往往是癌症的活化剂，精神的过度紧张也常常是步入疾病的渠道。有专家提出，脱发就与精神上的冲击有关；白发和精神严重负担有关。所以，利用音乐来治疗某些疾病，可以取得惊人的效果。世界上许多发达国家都建立了音乐疗养院，北京的西山也有一座音乐疗养院。美国曾多次介绍了利用音乐使大脑恢复智力的事例。多年来，从事音乐医疗的专家们从经验总结出：巴赫的音乐能够治疗神经衰弱，且有良好的疗效；本斯特的抒情曲对治疗失眠症有特效；小夜曲对治疗高血压症也有良好的效果。

音乐对人的心理也有积极影响：可以减轻疲劳、促进人体的新陈代谢，使人心胸开阔、精神轻松、消除忧郁，使人体内分泌保持平衡，增强人体的免疫力，从而无形中提高了人的心理健康水平，也提高了人体的素质。

还有，做小型手术时，用耳机听强烈的音乐可以代替麻醉剂；治疗牙齿时，听音乐可以分散焦虑的紧张情绪；做中型手术时，听音乐可以缓解精神上的过度紧张，可减少麻醉剂的用量；母亲听音乐可以促进新陈代谢，保持内分泌的平衡；胎儿听音乐可使其健康地发育。就是对一些疑难病症，一些顺势治疗的专家常常采用一杯清茶、一支轻音乐乐曲，让患者静心地品味，这会使病例人脑神经的兴奋和抑制取得平衡，会使思维稳定、增强人体的免疫能力，从而对疾病的治疗助了一臂之力。

因此，人们的日常生活除每天吃饭、喝水、休息、工作、学习之外，还应该多听音乐——这能起到让大脑进行轻松散步的作用。如此才不失为一个完美健康的人生。

一位名人曾说过：“喜欢音乐的孩子不会变坏”。希望我们的心灵都是美好的！

我们每天的生活和工作都和音乐有着密切的联系，希望我们对音乐的功能有一个更深刻的认识与理解，让音乐给人们带来更多的健康与欢乐！

## 3. 音乐与动物的关系

中国有句俗语“对牛弹琴”，是说牛不懂音乐。但是，今天这句话已经不科学了，其实牛也是懂音乐的。对牛弹琴，牛就能多出奶；对鸡播放音乐，鸡就能多下蛋，这早已被人们所认识了，因为音乐对动物的大脑神经有刺激作用。有节律的声音，例如：轻音乐、抒情歌曲等，对动物都有调解中枢神经的作用。

通过实验证明：当有节律的、柔和的、旋律和音乐、歌曲传送给动物时，声波会刺激动物大脑皮层的兴奋和抑制，进而促进生理机体的正常、健康的发育。例如：韩国养鸡场（房）里播放有节律的轻音乐乐曲，结果是：产蛋率增加 37%。

再例如：目前的胎教录音带的发行，就是让胎儿听柔和、悦耳的轻音乐，以达到胎儿健康发育的目的。

## 4. 声音与植物的关系

日本早稻田大学山本茂教授进行研究、实验，在植物叶片上装上很多个很小的电极，然后用扬声器播放有节奏的轻音乐曲。此时极片上就产生了电荷，各叶片之间也就产生了电位

差，叶片的毛细孔也随着音乐的节奏一开一合，在植物纤维体内产生了一股离子流，从而促进植物的新陈代谢，加速了植株的生长。在日本无土栽培园内，就采用播放舒缓的轻音乐乐曲来加快植物的生长。但是，强烈的音乐也会损害植物的生长。植物在强大音乐噪声中，10天就会枯萎。在歌舞厅中，扬声器附近的鲜花很快就凋谢了。

所以说，植物也是懂音乐的，它和声音之间有着密切的有机联系。人们对这些知识应该有充分的认识，从而调整、处理好生活中有关声音的问题。

### 5. 植物音乐

法国人斯顿·海顿通过研究实验，采用量子力学原理，根据植物产生蛋白时其分子链运动产生的频率制作出音乐。植物听了这种音乐，就会促进植物蛋白质的形成。例如：番茄听了这种音乐后，其果实比普通番茄大一倍多。这种音乐每段时间很短，一曲只有 29s，而且不能连续地听，只可以断续地听，而且人若听了这种音乐便会头晕和呼吸困难，所以这是一种植物专门音乐。目前斯顿·海顿在法国已申请了专利权。

## 1.4 噪声对人体的危害

人体在 55dB 以上的噪声环境中，就有不舒服的感觉。

中国城市中，60% 的生活噪声对人体有害。目前，法律逐渐把噪声干扰列入了有关法律条文中，例如：建筑工地的噪声干扰民宅，需支付一定的噪声补贴费用。

什么是噪声呢？人们不需要的声音即噪声。例如：在学校里中午休息时间，有的同学想稍事休息，或者睡一会儿午觉，可有的同学想听音乐。虽然收音机中播放出俞丽娜的小提琴协奏曲“梁山伯与祝英台”的优美曲调，但对于想睡午觉的同学来说，再动听的音乐也只是噪声而已。

噪声对人体到底有哪些危害呢？

- 1) 神经方面：引起头晕、失眠、神经衰弱；容易使人产生疲劳；降低工作效率。
- 2) 人体方面：扰乱人体正常的新陈代谢；损害人体的内脏；影响人体的生存寿命。

人如果长期在噪声环境中，例如：在工厂的机加工车间、冲压车间、锻压车间等强噪声环境中工作，就容易产生头晕、失眠、神经衰弱等症状。所以，对强噪声应该进行有效的控制。

在生活环境中的噪声容易使人产生疲劳。例如：星期天逛商店，2h 走 3km 的路程；或者公园里散步，也是 2h 走 3km 的路程，人们的感受却不一样。逛商店会感到很疲劳，因为在嘈杂的噪声环境中，精神很紧张；而逛公园尽管与逛商店消耗的体力一样，却会感觉轻松愉快。

在噪声环境中工作，会导致工作效率下降。例如：一些脑力劳动如抄写文件、电脑打字、艺术创作等工作，若在噪声环境中进行，就会出现容易出错、缺乏灵感等现象。

在噪声环境中生活的人们，常常会出现新陈代谢的功能紊乱。这种现象可能不会被明显地觉察出来，因为像消化、血液循环、内分泌等生理功能，人们没有明显的直接感觉。美国加州某大学生物系对汽车制造厂装配流水线上的工人与疗养院的疗养者进行了基础代谢的测定，前者基础代谢的紊乱参数普遍高；而在安静环境中的人们，其基础代谢比较正常。

强大的噪声损害人体的内脏，主要是心脏、肝脏和肾脏。比如：超过 120dB 声压级的

音乐实际上已是噪声，因为它对人体已构成危害。另外，强大的噪声会使人体内脏出血。例如：战争中炸弹爆炸，杀伤力主要是气压的冲击波，并非弹片。解剖人体后发现死者是心脏、肝脏、肾脏内出血而致命。

噪声影响人体寿命。我国各省人口平均寿命最长的省份为陕西省（据日本“科学朝日”学者对中国人口寿命的调查）。分析其中原因之一是陕西人长年居住在窑洞中，环境背景噪声水平很低，长年累月对人体生物时钟产生影响，所以延长了寿命。

## 1.5 音色与发音体

影响音色的诸因素：每个声音的音色都有所不同，这是因为它们的音色结构不同，也就是它的泛音结构、频率特性曲线不同所造成的。音色结构的不同和发音体的种类不同有着密切的关系。

发音体的类型有：

- 1) 结构：弦、簧片、金属；
- 2) 质料、质地：金属、人体、电子；
- 3) 激发位置：气息、声带、口形、吹奏或拉奏方法；
- 4) 力度大小： $P, f$ 影响音色；
- 5) 共鸣体（腔、箱）大小：影响音色的泛音结构；

6) 振动体的弹性：影响音色的始振特性和衰减特性。例如：声带：儿童——富于弹性，音色清脆明亮；老人——声带松弛，音色花老。哨片：软——始振慢，衰减也慢；硬——始振快、力度大，衰减也快。

## 1.6 音色的群感

乐音即音乐中使用的声音。它不是一个单音，而且一个复音，就是由一个基音和一系列的泛音所组成。这些泛音和基音在频率上成倍数关系。泛音频率是基音频率  $f$  的整数倍。如  $2f$ 、 $3f$ 、 $4f$ 、 $5f$ 、 $6f$  等。

为了增加音乐的美感和丰富的艺术魅力，常常使用和声结构，组成大三和弦和小三和弦、属七和弦和减七和弦等方式来美化和声的结构。

音乐当中往往还采取群感来美化和丰富声音的声色结构，以此提高音色的表现力，也就是在一个音高上选用多个音源，例如：合唱，即一个声部采用多个音源来演唱。大合唱具有女高、女低、男高、男低四个声部，每一声部有若干人。每一个声音在音高上允许有  $2 \sim 3$  个音分的差异，而且在始振时间上，即起步时间上，允许有  $3 \sim 5\text{ms}$  的前后时间差异，从而形成一群人来演唱的效果。在聆听感觉上给人以群感，从视觉上会领会到一种浮雕性。

如果把一个声音比作一块布，那么，一群人演唱就是一块绒，声音富有弹性感和丰厚感，是音色的一种类型，在艺术舞台上任何方式所不能代替的。

在录音棚内则可以用加工的方法来制作群感的效果：可以先录制一两个人的声音作为原始声，然后，把原声在音高上进行提升或降低  $2 \sim 3$  个音分的处理，再和原声混合录制成一条新的声带；另外，还可以把原声在时间上进行提前或滞后  $3 \sim 5\text{ms}$  的处理，然后再和原声

混合录制成一条新的音带。经过多次这样的处理，即可得到一个音色丰满的合唱效果声带。如此可以减少参加录音的人员，既减少开支，又方便了组织者的工作。在提琴（v）上也可以用这样的方法进行提琴群感的制作。

## 1.7 声音主观特性

首先了解一下声音的几个最基本的概述：

频率（ $f$ ）：每秒钟振动的声波次数，单位为赫兹（Hz）。

周期（ $T$ ）：每一次全振动所需要的时间，单位为秒（s）。

波长（ $\lambda$ ）：相邻的两个波，同相位点的距离。

频率和周期的关系： $f = 1/T$ 。

波速（ $r$ ）：单位时间内，声波传播的距离（m/s）， $r = f\lambda$ 。

声波频率范围：20Hz ~ 20kHz。

超声波：20kHz 以上频率的声波。

次低声：20Hz 以下频率的声波。

角速度（ $\omega$ ）：等于  $2\pi R$ （rad/s）。

### 1. 灵敏度曲线与动态范围

人耳对于不同频率的声音有完全不同的灵敏度，最灵敏的区域是 700 ~ 3000Hz 之间，人耳在这一区域内的灵敏度是非常高的。但是，不同的人，甚至同一个人的左右两耳，也可能有大不相同的灵敏度。听觉灵敏度随着年纪的增长而降低，同时，可闻频率上限也会逐渐下降。

图 1-2 是人耳的灵敏度曲线。横坐标为频率，纵坐标为声音强度，图中最下一条曲线是闻阈的界限，最上一条是痛感阈界限，两曲线间包括的范围代表整个听觉区域，由图可见，人耳最灵敏的地方在 3000Hz 左右，在 16Hz 以下和 20000Hz 以上的区域，无论强度多大，人耳都不会听到。

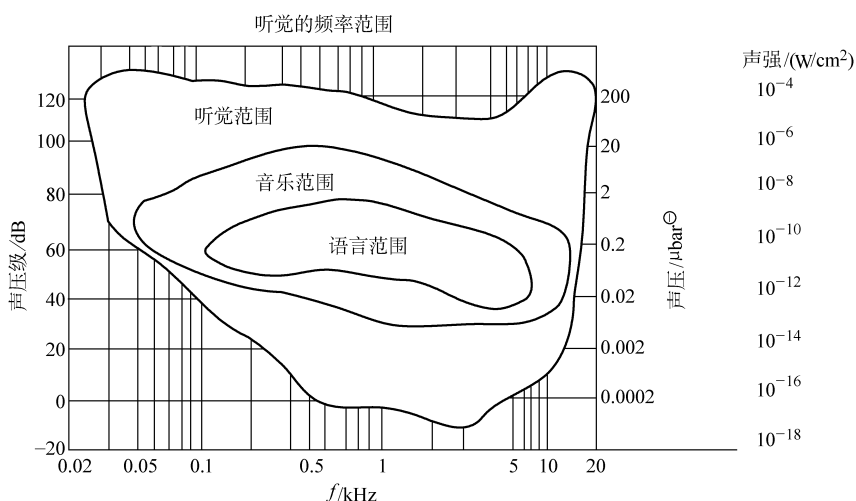


图 1-2 人耳听觉的频率范围

痛感阈的声强与可闻阈的声强的比值称为（听力范围的）动态范围。显然，在中频区

(500 ~ 4000Hz) 的动态范围比在高频及低频区要大得多。例如：在 1000Hz 时，动态范围为  $10^{-4}/10^{-16} = 10^{12}$ ，而在 30Hz 时则约为  $10^7$ 。

图 1-2 不仅是人耳的灵敏度曲线，同时它又表示声音可听范围、音乐、语言频率范围及音量、动态范围等等。

## 2. 声音强度与音高

音高的变化主要决定于频率，但是和振幅的大小也有一定的关系。当听到一个固定频率的音，而且持续时间较长时，只要强度一有变化，则在听觉上也产生相应的感觉变化。例如：频率在 2000Hz 以下的音，如将强度增大，表面上就感到低了；相反，强度减小，就会感到高了。但频率接近 2000Hz 的声音强度如有变化，就不产生如此感觉；如果超过 2000Hz 时，它的音高的表面提高程度就不太显著。

图 1-3 是一些实验结果：横坐标表示频率，纵坐标表示当某一纯音的响度级从 40phon (方) 增加至图中所示的另一值时，音高的表面变化的百分数。例如：100Hz 的声音从 40phon 的响度级增加至 100phon 时，音高好像降低了 10%；又如当 500Hz 的声音从 40phon 增至 100phon 时，音高好像只降低了 2.5%。

声音强度和响度级的变化在一定条件下影响音高在主观上的感觉，这是因为当振幅增加至很大时，声音对于人耳鼓膜的刺激可能使它胀大或变形，鼓膜的重心移动因而影响到神经上的感觉。

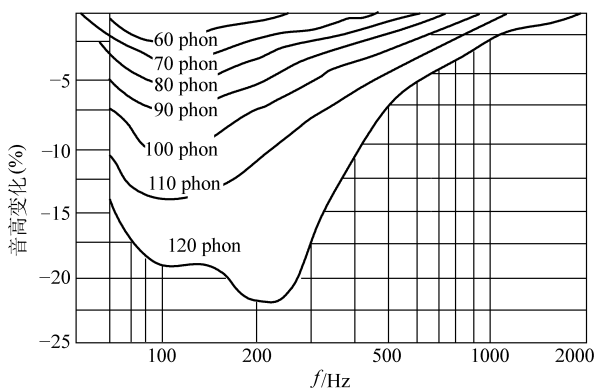


图 1-3 音高变化的百分数

## 3. 等响度曲线

人耳对于不同频率的声音有不同的响度响应。用实验的方法比较各种频率下人耳实际感受声音的响度，就可以得到一个用 phon 表示声音响度对频率关系的曲线，这就是有名的 H. Fletcher 和 W. A. Munson 两人测定的等响度曲线，见图 1-4。用 1000Hz 的纯音作为参考频率，并选定参考频率的声压级，调节其他各频率的声压级，直到它们被认为是响度相等为止，即得出此图。图中横坐标表示频率，纵坐标表示声级，图中间的曲线代表相等的响度级。从响度级来看，此图表有以下的性质：

1) 两个声音的响度级 (phon) 相同，但强度 (分贝) 不一定相同，它们与频率有关。例如：80Hz70dB 的音是 50phon，而 1000Hz60dB 的音却是 60phon。两者相比，前者大 10dB，而响度级却小 10phon，相反，50Hz 及 500Hz 的两个音，如响度级都等于 20phon，那么强度则不相等，前者是 64dB，而后者是 25dB。

2) 两个声音的响度级 (phon) 及强度 (dB) 仅在 1000Hz 时才相等。例如：在 800 ~ 1000Hz 这个范围内，phon 的变化和 dB 的变化其数值是完全一致的。因此，在这个频率范围内，可以用 dB 代表 phon，如超过此范围则不是这样。但这是在纯音条件下的情况，如具有宽频谱的声音或声音较强时 (如强的乐队音等)，也可用 dB 来代表 phon。

3) 在响度级大于 80phon 的强大声音时，响度级只决定于强度 (dB)，而与频率无关。在此情况下可以近似地认为 phon 与 dB 值相等。

从图 1-4 可以看出，如果音在几个不同频率同样声级（如 50dB）时，人耳对于 50Hz 的音则听不到（因低于闻域 2dB），响度级接近于 0phon；100Hz 的音，响度级为 20phon；300Hz 的音为 40phon；1000Hz 的音为 50phon（这等于 50dB，两者吻合）。对 1000Hz 的音来说，声级每变化 10dB 响度就改为 10phon（在 700~1500Hz 时大体都如此）。但在低频时，如果声级小于 90dB，phon 比 dB 变化得快，这些声音的等响度曲线较密，因而声级每变化 3~4dB，响度级即变化 10dB；当频率为 50Hz，声级为 68dB 时，响度级为 30phon（相当于耳语的响度）；当声级增加 10dB 而变为 78dB 时，则响度级相应地增加 30phon 而变为 60phon（相当于普通讲话的响度）。

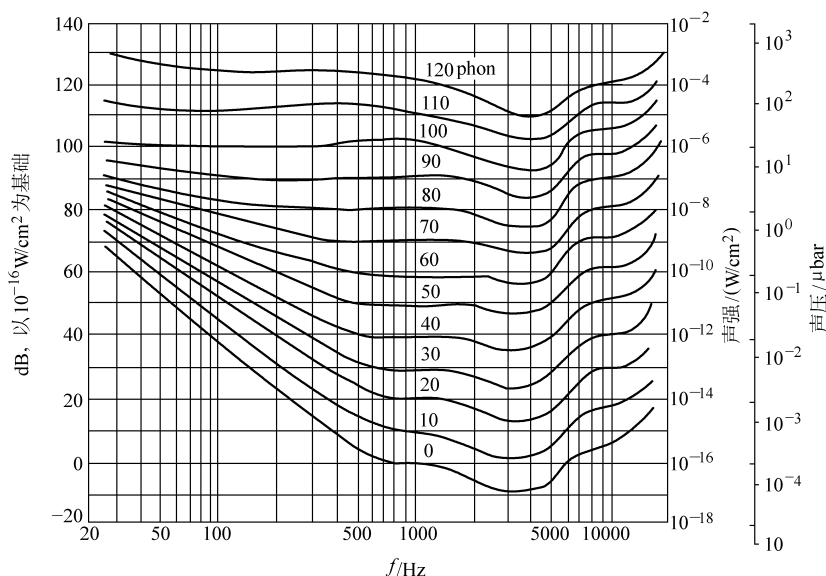


图 1-4 人耳听觉的等响曲线

由于听觉上的这些特点，在加强或减弱乐队的音量时，用低音乐器加强低音，对乐队音量的增大产生显著效果。在这方面听觉的自然条件刚好对我们有帮助，因为相对地稍许加强低音的声强，音量就能大大加强；反之，相对地稍许减弱低音的声强，音量就大大减弱。

大体可以认为，当分贝改变相同时，60~80Hz 以下音，在小于 90dB 时，它的 phon 值的改变要比高音快 1 倍。这就是说明，低音乐器的音越低，对全乐队的音量改变也就越大。

响度级和声级（即 phon 和 dB）之间的数量之差越大，则声音越弱，并且它的频率也越低。因此，低频率区音量的大小又与频率有关。然而在响度级大于 80phon 时，声音的响度级（phon 值）只决定于它的声强，而与频率无关，因而可以近似地认为 phon 与 dB 相等。对于频率范围宽（或宽频谱的声音）并且较强的声音（如较强的乐音或乐队音），用 dB 值代表 phon 值也是可以的，以便于实测。实测时使用声级计，测得的数值为 dB，然后按 dB 值计算出相应的其他数值。

## 1.8 声音的指向性

高频率声音的指向性很强，中频率声音有一定的指向性，低频率声音的指向性不明显，

见图 1-5、图 1-6。

由于不同频率的声音指向性不同，所以不同频率的声音其等响度覆盖面积也不同。低频率声音指向性不强，向四面八方辐射，声功能损失很大，传播距离不远；中频率声音有一定的指向性，比较容易控制；高频率声音指向性很强，覆盖角度窄小，射程远，穿透力强。

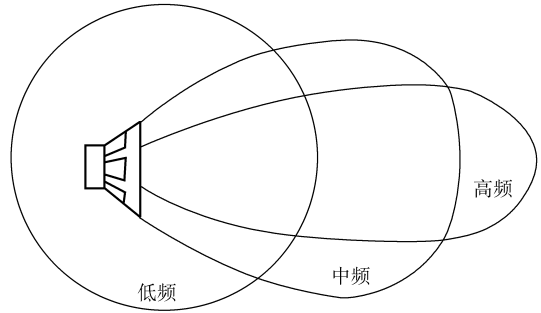


图 1-5 不同频率的声音的指向性

人们的聆听环境要求低频、中频、高频声音都有比较均衡的传输特性，所以可以在扬声器和音箱上做一些控制声音指向性的措施。如：

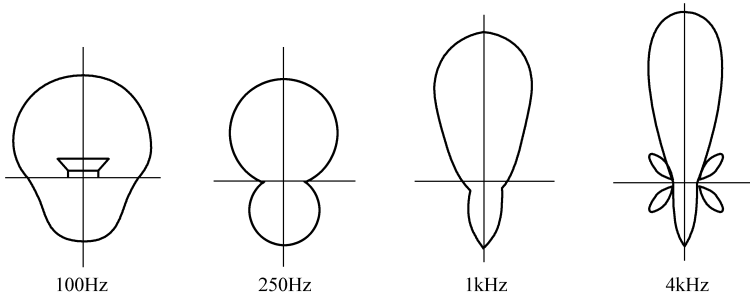


图 1-6 不同频率声音的覆盖面积

纸盆：低音、中音、高音扬声器纸盆，见图 1-7。

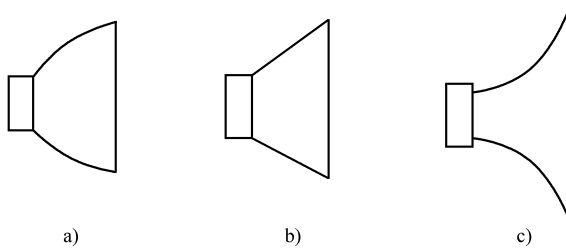


图 1-7 扬声器纸盆的形状

a) 低音扬声器纸盆 b) 中音扬声器纸盆 c) 高音扬声器纸盆

音箱：低音箱。

抑制板：用来控制低频声音的指向性，见图 1-8a。

号角型扬声器：将高频声音方向扩散一些，见图 1-8b。

球顶型扬声器：将高频声音扩散，见图 1-8c。

低频音箱的抑制板，使低频声音传播受到了限制，减少了音箱背部和两侧无用的声音扩散，使声音得到了有效的利用。

通过高频扬声器的高频声音，经过扩散性处理后传播角度得到了扩展，扬声器正面的覆盖面积大，从而使高音的覆盖均匀，使每一个位置的观众都能听到高频率的声音。

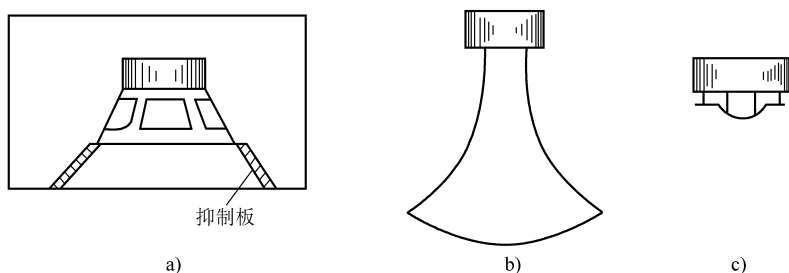


图 1-8 不同频率特性的扬声器结构

a) 低音音箱 b) 号角形高音扬声器 c) 球顶形高音扬声器

## 1.9 声音的共振

### 1. 声音的共振

声音的振动和传播过程中，有一种很重要的物理现象——共振，也叫共鸣。

当策动力变化的频率跟物体的固有频率一致时，振动的振幅就会特殊地增大到最高峰值，这种现象称为共振。也就是说：当外界的振动频率和物体固有的共振频率相一致时，这个频率的声音就会得到特殊地加强。

在生活中存在着许许多多的共振现象。例如：当用暖水瓶接开水的时候，会发现听到的是由低频率渐渐变成为高频率的声音。其实，水流冲击水面的声音频率的频带是很宽的，有低频率的声音，也有高频率的声音成份。这是因为在刚灌水时暖水瓶的空间较大，这时暖水瓶的固有振动频率就低，与水流击水的低频率声音产生共振，低频率的声音得到了加强，所以人耳听到的是低音声；当水快灌满时，暖水瓶的空间小了，它的共振腔小了，这时暖水瓶的共振频率就高了，所以与水流击水的高频率声音产生了共振，这时高频声音得到了加强，人耳听到的声音就变高了，见图 1-9。

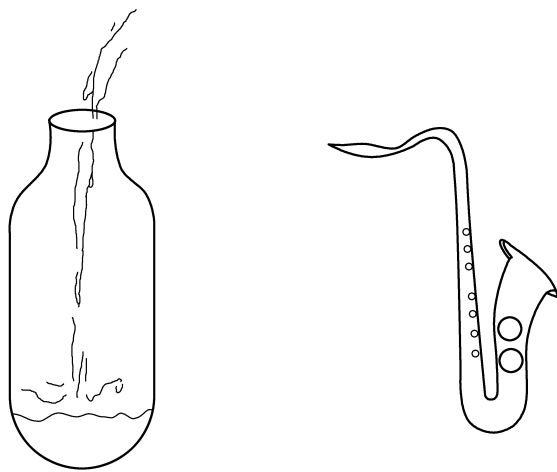


图 1-9 声音的共振腔

意大利是一个音乐很发达的国家，他们有很多露天音乐堂。由于是露天的，又常在野外，没有天花板和侧壁，所以声音损失很大。为了弥补这一点，他们在建筑上进行了共振处理。在每个座位下面安装一个陶瓷罐子，使得声音在座位下的罐子里得到一个共振，使其声音得到加强，以满足人们的聆听需要。

在中国古代的唐朝时期佛教兴盛，建有很多庙宇，庙宇中多设讲经堂。那时，人们往往在讲经案下放置一口大水缸，讲经者讲经时，声音经水缸得到共振，使其声音得到了特殊的加强，显得威严、深沉，有浑厚感和雄壮感，突出了庄严肃穆的气氛。

## 2. 各种乐器的共振

小提琴的共鸣箱较小，所以它的共振频率就高一些，为 256 ~ 1100Hz；大提琴的共鸣箱大一些，所以它的共振频率就低一些，为 110 ~ 400Hz；贝斯提琴的共鸣箱就更大了，它的共振频率也就更低了，为 80 ~ 350Hz。

萨克斯管——在左右手指全部按下时，管内共振腔容积就大，共振频率就低，发出低音区音域声音；当右手手指逐渐抬起时，萨克斯管的共振腔体相对地缩小了，共振频率也就提高了，发出的声音也进入了萨克斯管的中音区了；当左手手指也逐渐抬起时，萨克斯管的共振腔体更小了，共振频率也就提高了，高音得到了共振，声音也就进入了高音区。

## 3. 次低声

次低声能够损伤人体内脏和神经系统，甚至于将人致死。

任何物体都有自己本身的固有频率，人体也不例外。与各种乐器一样，人体也有自己的共振频率。人体的固有频率为 3 ~ 17Hz。物体体积越大，其共振频率就越低。

当外界次低声波振动的频率和人体的固有频率相一致时，人体也就跟着产生共振，人体本身（主要是内脏）和大脑承受不了这种振动，当共振增大到一定程度时，人就会出现头晕、恶心、血压失常、脱水和血管破裂等症状，甚至于死亡。

人们利用这种共振原理制造了驱蚊器。蚊子很小，所以其共振频率很高，在 16 ~ 20kHz 范围内。人们制造的是一种高频振荡器——16 ~ 20kHz 的驱蚊器，可发射出 16 ~ 20kHz 的高频声波。当蚊子飞进驱蚊器高频声波的覆盖面时，蚊子就受不了，飞走了。美国在越南作战期间，美国士兵就曾使用过这种驱蚊器。

目前，一些国家正在次低声的定向和大功率方面进行实验。

# 1.10 声音的掩蔽作用

当不同频率的声音在同一个声场中传递时，各频率之间就会发生掩蔽现象。

## 1. 能量大的声音掩盖能量小的声音

在交响乐队中，提琴声常常被木管乐器所掩盖；而木管乐器声也常常会被铜管乐器声所掩盖。在民族乐队中，也同样存在着声功能强的乐器声把声功能弱的乐器声给掩盖了，如：二胡声常常被淹没在强声级乐器声中。解决的办法是：

1) 从乐队编制解决：交响乐队的编制，无论是单管编制还是双管编制，都是科学的、合理的，是经过数十年的演奏经验而得出来的。民族乐队也要模仿交响乐队的编制而进行编制，对弦乐声部、拨弹乐声部、吹管乐声部、打击乐声部等进行统一协调的编制，要求有合理的声部和乐器的分配，调整好各个声部之间、各种乐器之间声功能的平衡，使弱声级乐器的声音不被强声级乐器的声音所淹没。例如：小提琴、二胡等弱声乐器要多一些。

2) 从音乐结构上解决：序曲（引子）高潮、尾声等各段音乐、和声及配器要合理，保持各声部之间的声功能的平衡。

3) 从声场音响上解决：要求音响师在以下几个方面进行处理：

① 对不同音源选择最适合表现这种乐器音色特性的传声器（型号）；

② 选择拾取音源的最佳距离、高度、角度；

③ 在调音台上进行音频信号电平的处理：通过调整各传声器之间（如各声音间的传声

器、各个乐器使用的传声器的电平增益，使各声部之间的声功能保持一定的平衡，从而完整地、圆满地把音乐的音响艺术传达给人们。

综上所述，音响师要有一定的调整处理各声部和各种乐器声音的能力，要作为一个优秀的音响师，应具备一定的音乐素养。

### 2. 中频声音掩盖高频和低频声音

在同一个声场中，如果同时存在着低频声音、中频声音和高频声音，那么，在这三种声音的传递过程中，就会产生掩盖作用，中频声音会将低频声音和高频声音掩盖。这是因为在声音强度相同的情况下，人耳对中频声音听觉比较灵敏，对低频声音和高频声音听觉不够灵敏，所以人耳听到的中频声音强。根据这个原理，在制作音箱时，低频声音的送出功率往往占全频率声音的 65% 以上。

### 3. 高频声音掩盖低频声音

当高频声音和低频声音同时在一个声场中进行传递时，高频声音有明显的突出感觉。这是因为高频声音的声波波长较短、穿透力强，比低频声音易于传到人耳。低频声音有绕射特性、散射强、功能损失大；高频声音指向性强、穿透力很强、声音射程远，对人耳刺激感受明显。例如：唢呐、板胡、京胡、笛子等高音乐器容易掩盖贝司提琴、大提琴、巴松、大号、低胡、低音鼓等低音乐器。

低频声音按球面向四面八方发散时，声功能损耗与距离的二次方成反比关系。

高频声音按圆锥体向单方向进行辐射，声功能损耗很小，所以高频声音不需要太大的功率。

## 1.11 消声室

消声室是一种双层的建筑结构，要求内部房间脱离大地，采用强吸声材料（如泡沫塑料）制成狼牙棒形或钟乳石形状，造成一个人工的模拟宇宙空间。在消声室里发出的声音是一去不复返的，见图 1-10。

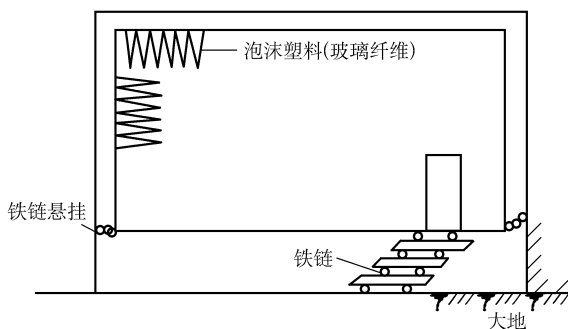


图 1-10 消声室的结构

消声室是进行声学研究和声学实验的场所，同时也是进行声学教学的场所。

消声室可以准确无误地测试电声单元的技术参数，也可以测量扬声器不同频率声音的覆盖面积。根据声场测量的不同位置的声级强度不同，可以绘制覆盖面图形（可测量不同频率声音的不同位置的不同声级）。还可以绘制频率响度曲线的具体数据。在测量电声元件（如扬声器）