



new

录音技术与艺术系列丛书

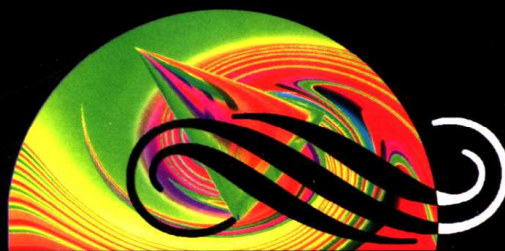
拾音技术

俞 镔 李俊梅 编著

中国广播电视出版社

2.27

- 录音技术
- 拾音技术
- 扩声技术
- 音乐声学
- 数字音频工作站
- 声音质量主观评价
- 影视声音艺术与技术



责任编辑 高子如

封面设计 郭运娟

ISBN 7-5043-4015-4



9 787504 340153 >



ISBN 7-5043-4015-4/TN · 277

定价: 17.00元

录音技术

1j

艺术系列丛书

720.00
Y235

拾音

技术

俞 锴 李俊梅 编著



中国广播电视出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

拾音技术/俞镭, 李俊梅编著. —北京: 中国广播电视出版社, 2003.1

(录音技术与艺术系列丛书/朱伟主编)

ISBN 7-5043-4015-4

I. 拾… II. ①俞… ②李… III. 话筒拾音—基本知识 IV. J933

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第088072号

拾 音 技 术

编 著:	俞 镭 李俊梅
责任编辑:	高子如
封面设计:	郭运娟
责任校对:	张 哲
监 印:	戴存善
出版发行:	中国广播电视出版社
电 话:	86093580 86093583
社 址:	北京复外大街2号(邮政编码 100866)
经 销:	全国各地新华书店
印 刷:	北京市金星剑印刷有限责任公司
装 订:	涿州市西何各庄新华装订厂
开 本:	787×1092毫米 1/16
字 数:	160(千)字
印 张:	8.25
版 次:	2003年1月第1版 2003年1月第1次印刷
印 数:	5000册
书 号:	ISBN 7-5043-4015-4/TN·277
定 价:	17.00元

(版权所有 翻印必究·印装有误 负责调换)

录音技术与艺术系列丛书

主 编 朱 伟

副主编 胡 泽

内 容 提 要

本书主要介绍了各种方式的拾音技术。书中针对不同形式的节目录音，重点从人耳的听觉特性和乐器声学出发，分别介绍了各种立体声拾音方式的基本原理和单件乐器的拾音技术，并且将理论与实践相结合，对实际录音工作中经常出现的问题予以讨论和分析。全书共分四章：

第一章 立体声原理：主要分析了人耳对声源定位的基本因素以及人耳在两扬声器间的定位原理，同时介绍了一些基本的，与人耳声源定位有关的听觉特性和立体声系统的基本原理。

第二章 立体声拾音技术：从人耳对声源定位机理的角度，介绍了一些目前经常采用的立体声拾音方式，并从实际工作的需要对重要的问题进行了总结。另外，对目前正在探索的环绕声拾音技术给出了一些应用实例。

第三章 拾音技术基础：介绍了基本的录音方法和拾音方法，并对传声器使用中应注意的问题作了简单的分析。

第四章 单件乐器和乐器组拾音技术：主要介绍了流行音乐录制中经常采用的拾音技术，重点在于根据音乐作品的风格来确定拾音方案。

本书是《录音技术与艺术丛书》中的一部，可作为大专院校录音专业以及相关专业的教材，同时也可以作为从事音乐录音工作的录音师和音响导演参考用书。

作者简介

俞 镭 工程师,1974年生人。1993年考入北京广播学院录音工程专业,1997年毕业留校任教至今。

留校以后一直从事《现场拾音》、《扩声》、《演播室录音》等课程的本科、高职层次的教学及实验室工作。毕业以后注重专业理论水平的不断提高,参与了多本专业教材的编写及科研工作,发表了论文《双声道立体声拾音技术研究》,并参与了大量广播、电视节目的录制工作,积累了一定的实践经验。

李俊梅 副教授,1963年生人,现任北京广播学院录音艺术系副主任。1987年毕业于北京师范大学艺术系,同年到北京广播学院任教至今。先后从事文艺编导、音响导演、录音工程、录音技术、电子音乐制作、音乐传播等专业的教学及教学管理工作,1999年主持了录音艺术专业的教改工作。撰写了《视唱练耳》、《音乐基础理论》教材,并开发了《视唱练耳》的教学课件,发表了多篇有关音乐、录音方面的论文,并主持多项相关的部级、院级科研项目。

总 序

当前,广播电视事业是我国发展最为迅猛的事业之一。广播电视事业的繁荣首先要有高质量的节目源作保证,然而要想达到这一点,就需要节目创作人员和工程技术人员的通力合作。就目前的广播电视发展现状及发展趋势而言,节目制作中的高科技含量越来越多。节目创作人员不断地用新发展的技术手段和新的观念来丰富节目的表现形式。

由于声音信息是多媒体信息的主要组成部分,所以在多媒体信息业蓬勃发展的今天,人们越来越关注声音信息的制作和传播技术。目前在作为主要传媒机构的广播、电影和电视以及音像领域,人们对声音在节目中的作用有了更新的认识,比如逐渐普及的高清晰度数字电视就采用多通道的数字环绕声技术,以增加艺术表现力。我国的广大广播电视工作者在该领域已经做了大量的工作,积累了很多宝贵的经验,但是总体水平上与目前的世界先进水平相比还有一定的差距,这是一个不容回避的事实。随着我国加入WTO,以及改革开放的进一步深入,特别是新技术、新工艺不断发展,我国在相关领域引进并开发了大量新的制作设备,它给了我们与世界平等竞争的契机,同时也给广大的广播电视工作者提出了新的研究课题,其中之一就是如何用一流的设备制作出一流的节目。北京广播学院录音艺术学院作为声音节目创作与制作技术的研究部门和教学单位,理所当然地要承担这一义不容辞的任务,为此,我们承担了广播电影电视总局的科研立项——《录音技术与艺术系列丛书》的编撰工作。

北京广播学院录音艺术学院有长期从事声音节目创作和技术研究的教授、专家学者(包括兼职教授)多人,他们曾为我国的广播电视事业培养了大量的研究生、本科生和大专生,目前这些毕业生已经成为各自工作岗位上的中坚力量,他们的声音节目作品和科研课题多次在世界、亚广联和全国性学术机构的评比中获奖。为了完成总局的这一科研立项,录音艺术学院集中声音创作和研究领域中高水平的教学和研究人員参加该丛书的编撰工作,力求较为系统和全面地介绍录音创作和制作的原理与技术。

该套丛书的编写宗旨是力求编写出一套具有理论完整、简明扼要、内容充实、技术先进等鲜明特点的录音方面的丛书。为了突出先进性、科学性、实用性和系统性,丛书在对一些必要的理论作深入浅出的论述的基础上,对当前录音领域广泛应用的数字声频工作站、电子音乐制作技术等新技术也进行了较详尽的介绍。虽然丛书中阐述的内容有些已经在其他专业书籍中有过论述,但作者都力求从更新的角度来阐述,以开阔读者的思路。



此套丛书由《音乐声学》、《拾音技术》、《录音技术》、《扩声技术》、《数字声频工作站》、《影视声音艺术与技术》、《声音质量主观评价》等七部书组成，基本上涵盖了录音和扩声工作中所涉及的基本内容。各部书既相互贯通，又有各自的独立性，这样可以方便读者灵活选用。

该套丛书主要以大专院校的录音工程专业、音响导演专业的本科生和录音技术的高职生为主要读者对象，同时也可供相关专业的本科生、从事声音节目制作的技术人员、电子音乐的制作人员以及声学研究人员和音响爱好者参考。

尽管丛书的编撰者在编写上投入了极大的热情和精力，但是由于时间仓促和水平有限，以及受选题的限制，仍然不能将录音工作中所涉及的所有内容涵盖进来，对一些新技术的涉猎也还不够，所以丛书中难免有遗漏和不当之处。衷心地希望广大的读者批评指正，以便在修订和出版新的内容时加以充实和改正。

该套丛书之所以能在如此短的时间里与广大读者见面，除了有录音艺术学院领导的支持和各位编者的积极努力之外，还得到了有关人员的大力协助，张绍高教授为丛书提供了大量的文字资料，中国广播电视出版社的领导和编辑为丛书的出版做了不少工作。在此，丛书编委会谨向为丛书面世做出贡献的各方人士表示衷心的感谢。

《录音技术与艺术系列丛书》编委会

2002年10月

目 录

第一章 立体声原理	1
第一节 人耳的构造和功能	1
第二节 人耳的听觉系统	4
第三节 人耳对声源的定位	7
第四节 立体声系统	15
第二章 立体声拾音技术	23
第一节 立体声拾音技术概述	23
第二节 声级差定位的立体声拾音技术	25
第三节 时间差定位的立体声拾音技术	40
第四节 时间差和声级差定位的立体声拾音技术	43
第五节 采用 PZM 传声器的立体声拾音技术	55
第六节 仿真头拾音技术	60
第七节 环绕声拾音技术	63
第三章 拾音技术基础	69
第一节 基本录音方法	69
第二节 基本拾音方法	71
第三节 传声器的使用技术	73
第四章 单件乐器和乐器组拾音技术	79
第一节 鼓乐器的拾音技术	79
第二节 低音提琴和电贝司的拾音技术	93
第三节 歌声的拾音技术	99
第四节 钢琴和电钢琴的拾音技术	103
第五节 声学吉他与电吉他的拾音技术	107
第六节 木管乐器的拾音技术	111



第七节 铜管乐器的拾音技术·····	114
第八节 拉弦乐器的拾音技术·····	117
参考文献·····	120

第一章 立体声原理

立体声（Stereophonics）是两个希腊单词 Stereo 和 phonics 的组合，Stereo 有三维立体之意；Phonics 有声音科学之意。因此 Stereophonics 可以解释为三维立体声科学。现在经常使用的 Stereo 是由 Stereophonics 省略而来的。人耳的立体声效果是由大脑处理双耳接收的立体声信息而产生的。通常情况下，人耳接收的声音信号之间存在着非常细微的差别，主要是声级差和时间差两个因素，正是这些细微的差别决定了人耳对声源的空间定位。大脑对信息的处理和立体声效果的产生涉及到心理学和生理学等领域，只有在这些领域进行不断深入的研究，才能逐步揭开人耳听觉系统的奥秘。

第一节 人耳的构造和功能

人耳的听觉系统是非常复杂的，目前的许多理论还存在着不足之处，不能完全解释清楚。但是简单的了解人耳的构造和基本工作原理，将有助于录音工作者顺利地完成任务。

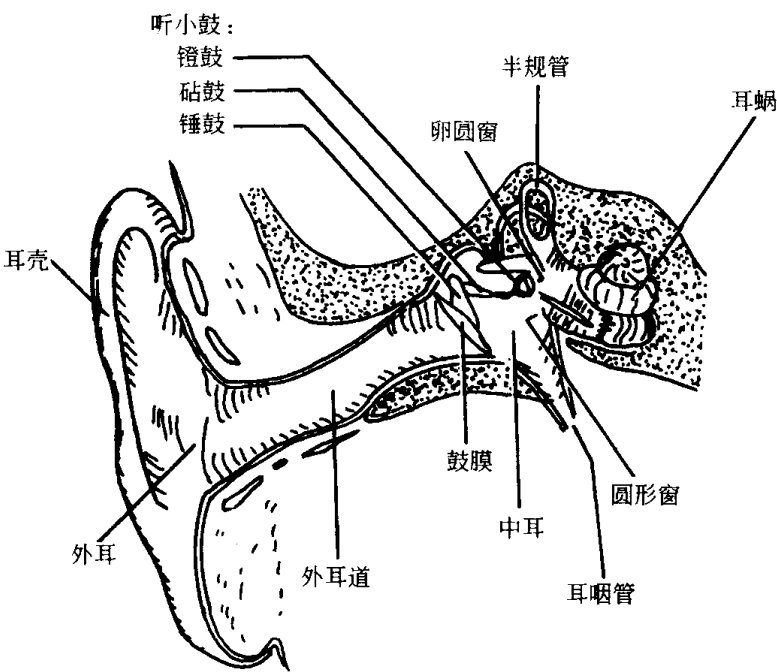


图 1-1 人耳的构造



人耳分为外耳、中耳和内耳三部分，人耳的部分剖面图如图 1-1 所示。声波以空气振动的形式到达人耳，被耳壳收集的声波通过外耳道传递到鼓膜，引起鼓膜的振动。中耳内鼓膜的振动带动三块听小骨的振动，听小骨的机械振动又传送到充满淋巴液的耳蜗，耳蜗内基底膜的振动刺激与之相连的毛细胞，产生电脉冲，通过听觉神经送往大脑皮质中的听觉中枢。

一、外耳

外耳由耳壳和外耳道组成。过去人们认为耳壳是退化的器官，所起的作用非常有限，但现在看来这是不科学的。耳壳起着收集声波的作用，并且在一定程度上起着区分前后声源的作用。图 1-2 显示了波阵面进入外耳道的情况，入射声波用两条声线表示。从图中可以看出，直达声和耳壳的反射声在外耳道入口处将产生干涉，产生梳状滤波器效应，而且这种干涉随着入射声波的方向、频率的不同而不同。这些声波的干涉传送到中耳的鼓膜，将导致作用在鼓膜上的声压随之变化。外耳道可以看作是一个截面变化，扭曲了的管道，从声学的角度，它起着风琴管的作用。外耳道长约 3cm，直径约为 0.7cm，外耳道的终端为鼓膜。来自不同方向的声波在外耳道内将分别产生共振，这样共振产生的方向信息同样以声压变化的形似作用在鼓膜上。当外耳道的长度为波长的 $1/4$ 时，声波在鼓膜处将得到加强，但仅仅是声压的加强，声波的能量并没有变化。相对于声波在外耳道入口处的声压，由外耳道共振所引起的声压的提高大约为 10dB。另外，声波在人头部的衍射也将对声压起到加强的作用，两者共同作用在鼓膜处的声压将提高 20dB 左右。

二、中耳

中耳是鼓膜内侧腔体部分，它由鼓膜、三块听小骨（锤骨、砧骨和镫骨）以及容纳听小骨的鼓室组成，如图 1-3 所示。三块听小骨是作关节状连接的，锤骨与鼓膜相连，

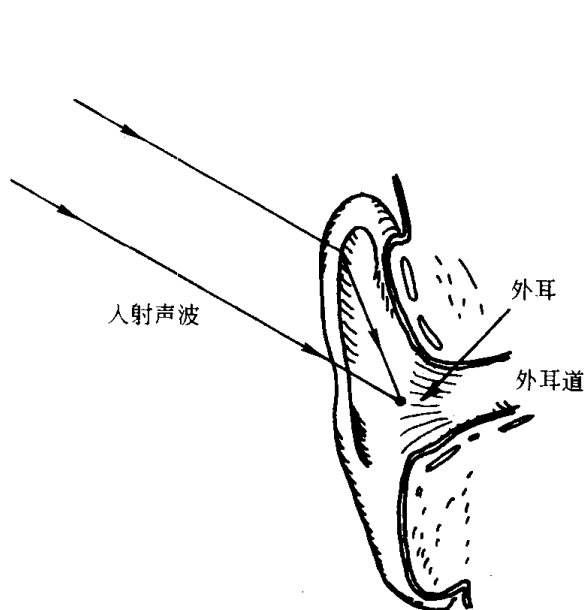


图 1-2 外耳接收不同方向的声波

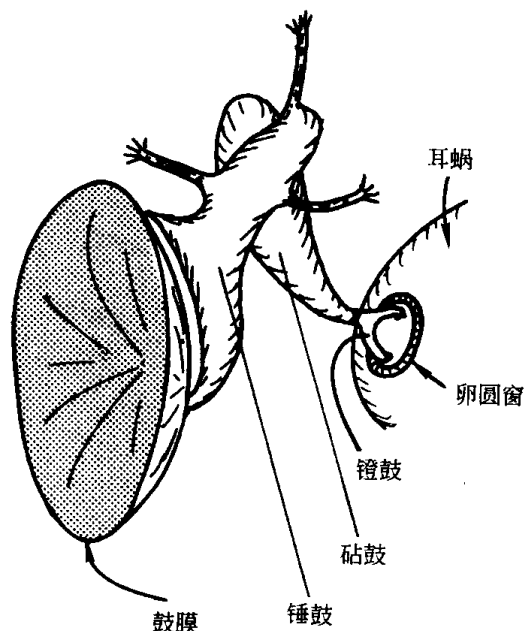


图 1-3 声波在中耳的传递

鼓膜的振动传递给锤骨，经砧骨、镫骨传递到内耳的卵圆窗、耳蜗内的淋巴液。三块听小鼓传递振动，最后到达淋巴液的过程具有非常高的效率，如果将空气的振动直接传递到卵圆窗，将有 99.9% 的能量被反射，只有 0.1% 的能量传递到耳蜗内的淋巴液。这主要是因为空气的密度比较小，易于压缩，而耳蜗内的淋巴液则相对密度要大一些，不易于压缩。另外，听小鼓的合理连接以及鼓膜与卵圆窗面积上的差别也在一定程度上解决了能量传递的问题。对于专业人员的听音训练，实际上是利用内耳的机械系统将外耳的空气和内耳的液体予以声学阻抗的匹配，来提高声波传输的效率。

三、内耳

内耳是由耳蜗和半规管组成，如图 1-4 所示。中耳的镫骨与内耳的卵圆窗相连，声波的振动经镫骨传递到卵圆窗后，由淋巴液传递到耳蜗内的基底膜，如图 1-4 所示。基底膜上产生共振的部分是频率的函数（靠近卵圆窗处与高频声波共振，靠近最里面与低频声波共振）。基底膜的振动传递到与之相连的毛细胞，该处的毛细胞刺激听觉的末梢神经，产生电脉冲，送往大脑皮质中的听觉中枢。

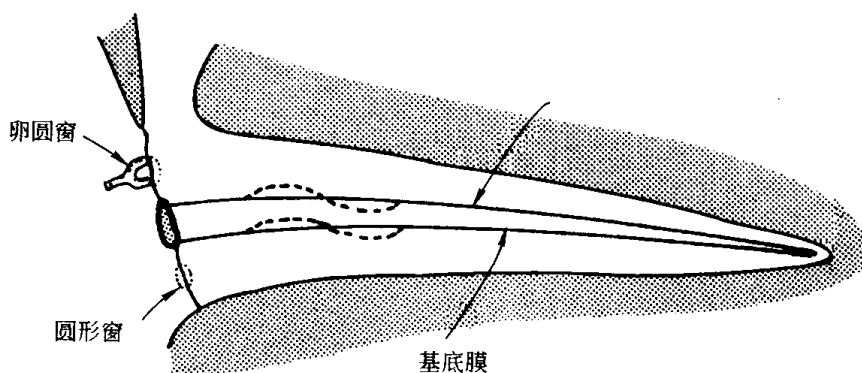


图 1-4 声波在耳蜗内的传递

耳蜗是一个声波分析装置，对声波的频率具有很强的分辨能力，能够将 1000Hz 和 1003Hz 的频率分别出来，分辨力达到 0.3%。要想将复杂的音乐或语音信号的频率成分分辨出来，需要有带宽较窄，衰减较快的峰式频率响应，如图 1-5 所示。图中两条曲线分别为一个毛细胞的调谐曲线和听觉滤波器的临界频带。

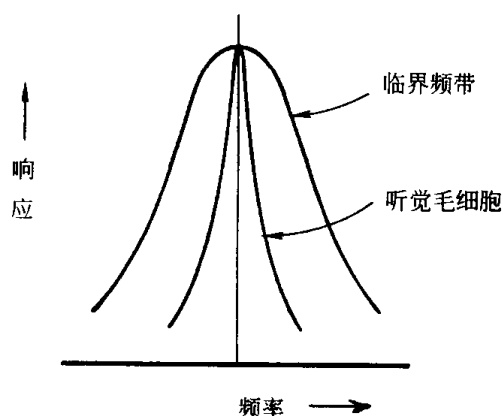


图 1-5 耳蜗对声波频率的分辨



第二节 人耳的听觉系统

一、人耳的传递函数

人耳对声源进行定位的时候,大脑仅是通过鼓膜振动提供的信息进行声源方位判断的。鼓膜上的压力由两部分组成,一部分是固定的,另一部分是变化的。固定部分即外耳道内产生的共振,变化部分则是在外耳道的入口处,携带方向信息的声波。图 1-6 即为外耳道共振的频率响应曲线,由鼓膜和外耳道的入口处测量所得,通常的文献中称之为传递函数。从图中可以看出,由外耳道生理结构决定的第一个共振峰大约在 5kHz,第二个共振峰在 10kHz 左右。外耳道的传递函数迭加上耳壳处大量变化的,携带有方向信息的传递函数,就构成了鼓膜处的传递函数。

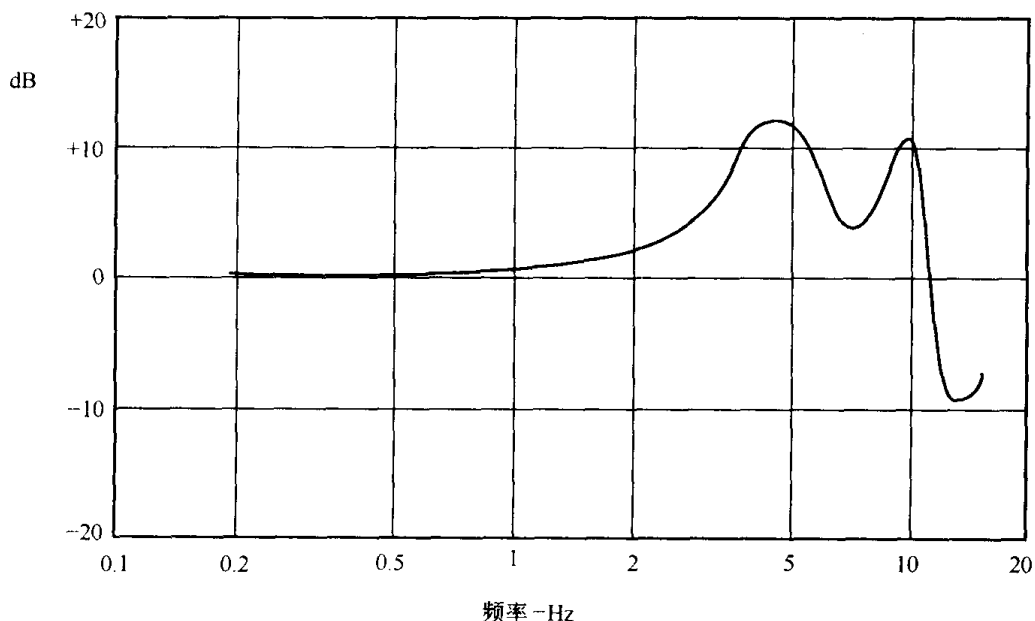


图 1-6 外耳道传递函数曲线

耳壳的传递函数是由声源的入射角决定的,声源从各个方向到达耳壳,经过耳壳的反射在外耳道的入口处形成许多不同的耳壳传递函数,也可以说声源的方向信息在此进行了编码。图 1-7 为几个特定声源入射角上的耳壳传递函数,是由自由声场和外耳道入口处测量所得的。图中三条曲线分别为听音人正前方 0° 位置的耳壳传递函数,左前方 36° 位置到达左耳的耳壳传递函数和听音人左侧 90° 位置到达左耳的耳壳传递函数。将三个不同的耳壳传递函数与外耳道的传递函数相迭加,便得到鼓膜处的频率响应,它包含了所有的方向信息。

从图中的 0° 曲线可以看出,在 2kHz~5kHz 的频率范围内有比较明显的提升,因此录音师往往为了将人声从音乐背景中突出出来,提高人声的清晰度,将该频段做适当的均衡处理。

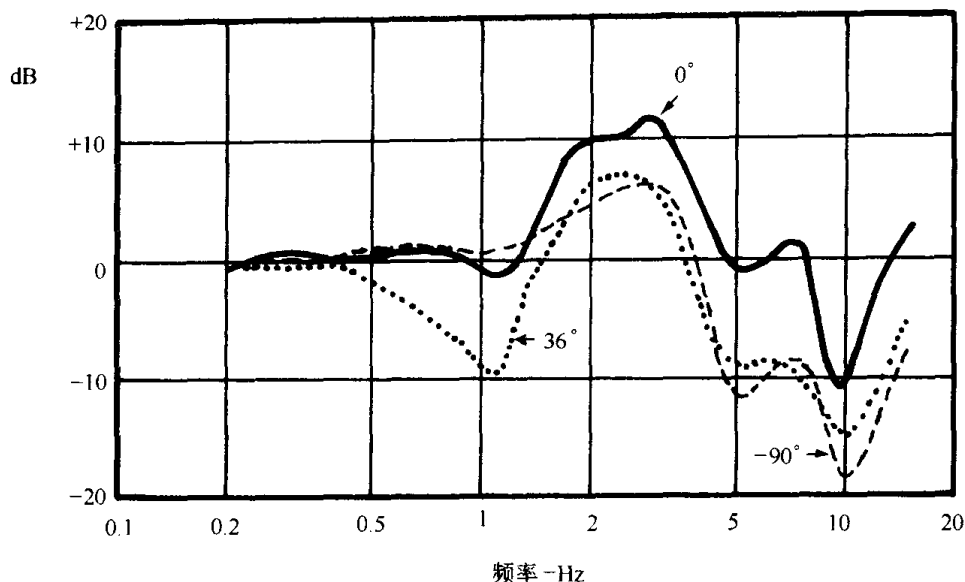


图 1-7 耳壳传递函数曲线

二、隐蔽效应和听觉滤波器

在安静的环境里，人耳能够分辨出比较轻微的声音，但在嘈杂的环境背景下，相对较弱声音则容易被淹没掉。要想听到原来轻微的声音，需要使它增强才行，这就是通常所讲的隐蔽效应。隐蔽效应可以定义为：由于一个声音的存在而使另一个声音的听阈提高的现象。

早期的隐蔽效应实验中人们发现：如果隐蔽噪声的频谱中，被隐蔽信号相应的频段有较大的能量，则被隐蔽信号容易被隐蔽噪声隐蔽掉。后来 Fletcher 引入了听觉临界频带的理论，他认为人耳的听觉系统就像一组具有连续中心频率的带通滤波器，类似于图示均衡器的情况。一般图示均衡器中，带通滤波器的数量是有限的，其中心频率是不连

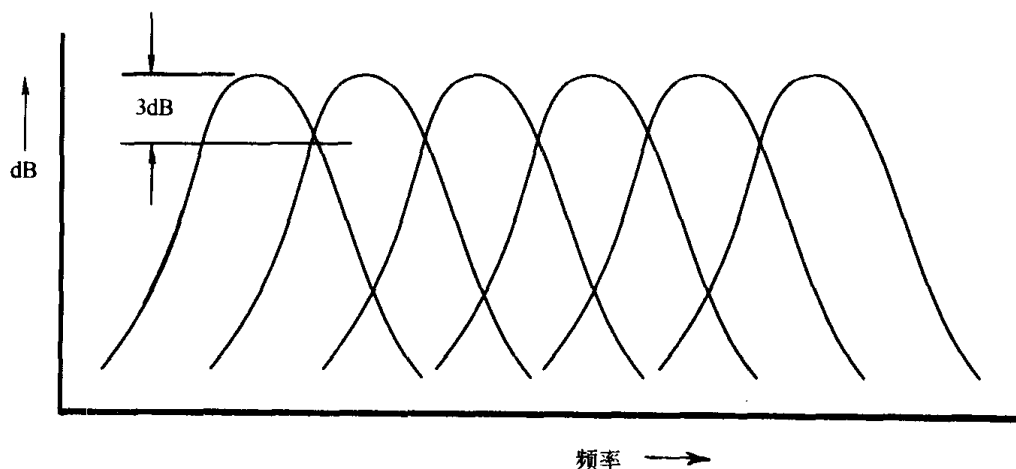


图 1-8 图示均衡器的频率响应

续的，它们在带通滤波器衰减 3dB 处相交，如图 1-8 所示。而人耳的听觉滤波器是连续的，在人耳听觉范围中的每一频率都有一个相应的听觉滤波器，如图 1-9 所示。

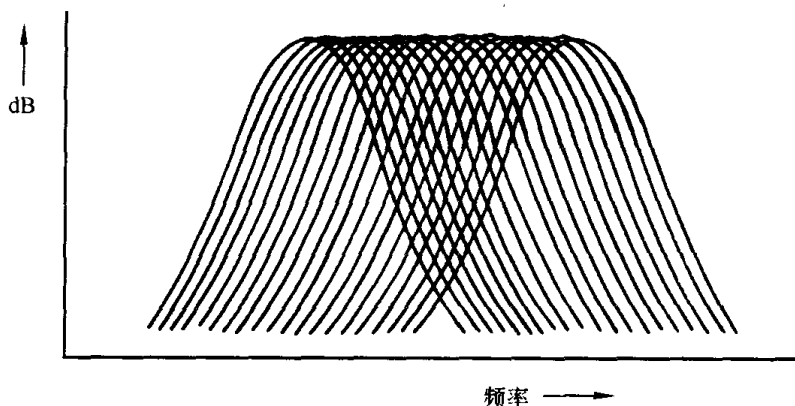


图 1-9 人耳听觉滤波器的频率响应

人耳的每个听觉滤波器的临界带宽由中心频率所决定。在表 1-1 中列出了几个特定中心频率的临界带宽。假设测试信号的频率为 260Hz，隐蔽声为白噪声。根据 Fletcher 的理论，如果听觉带通滤波器的中心频率为 260Hz，仅仅提升通过该滤波器的白噪声电平就能达到某一点，将测试信号淹没掉，有效的隐蔽 260Hz 的声音。

表 1-1 听觉滤波器的临界带宽

中心频率 (Hz)	临界带宽 (Hz)	中心频率 (Hz)	临界带宽 (Hz)
100	38	1000	128
200	47	2000	240
500	77	5000	650

三、反射声的效果

声音在室内传播时，首先到达人耳的是直达声，其后是无数的反射声。每一反射声的延时由它所经历的路径决定，反射声给听音人的主观效果则由反射声的幅度和反射声的延迟时间决定。关于反射声对人耳的主观效果，人们做了大量的研究实验。通常，实验是利用两只扬声器来完成的，扬声器的夹角为 $45^{\circ} \sim 90^{\circ}$ ，一只扬声器发出直达声，另一只扬声器利用延时来模拟反射声，实验的测试信号为语言。同时为了减小房间对实验结果的影响，实验是在没有反射的条件下进行的。通过实验可以总结出四条反射声的主观效果曲线，这些主观效果曲线是反射声电平增加的结果，如图 1-10 所示。

图中的曲线 A 是反射声的觉察阈，即听音人刚刚感觉到反射声存在的阈值。当反射声的电平逐渐增大时，即使是在没有反射的房间里，听到的语言声也将有一定的空间感，但不会影响到直达声的听音效果。当反射声的电平高于曲线 A 的阈值约 10dB 左右

时,将感觉到所听声象的音量大小或位置有变化,曲线 B 就是这种新效果的阈值。图中曲线 C 描述的是在直达声之后,能够清晰听到回声的反射声阈值。如果将反射声的电平继续增大,使得反射声和直达声的响度一样,便得到曲线 D,这就是著名的 Hass 曲线。Hass 发现当延时小于 30ms 左右,延时的反射声电平大于直达声电平 10dB 时,虽然语言的清晰度有所下降,但是不会感到反射声的响度大于直达声。同时在反射声电平增加的过程中,声音的音色、声象和空间感都有所改变。

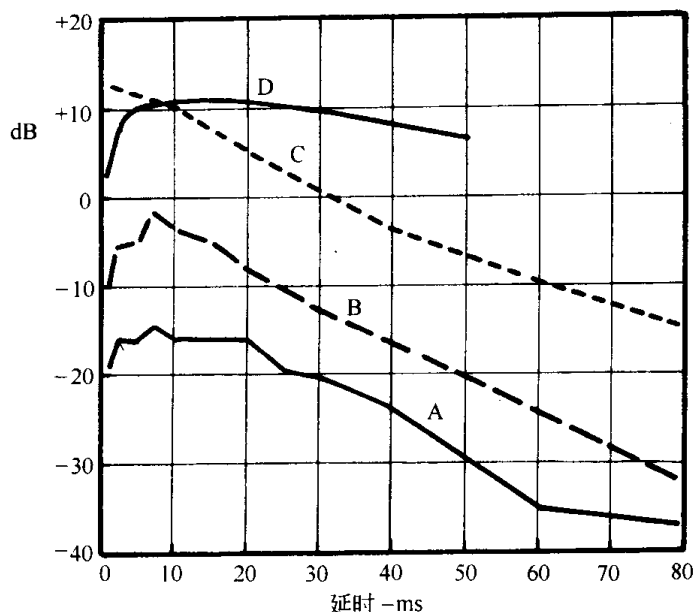


图 1-10 反射声的主观效果曲线

总之,从图 1-10 中可以看出,随着反射声电平的增加,将会有不同的主观听音效果。在曲线 A 以上,反射声给直达声带来空间的感觉。当反射声电平高于曲线 B 时,反射声将影响到声源的声象定位。反射声电平大于曲线 C 进一步增加时,将有回声现象发生。当反射声电平达到曲线 D 时,反射声和直达声的响度一样。在图 1-10 中,这些曲线的间隔大约是 10dB 左右。当然随着反射声电平的增加,声音的音色也将会发生变化,特别是在反射声电平较高的时候。但是比较而言,声音的空间感和方向感的变化更明显一些,因此除了直达声以外,反射声是人耳对声源定位的另一个重要信息。

第三节 人耳对声源的定位

人耳对声源的定位能力即对声源的方位感,也可以称为人耳的声学透视特性。它主要包括人耳对声源的水平定位、上下定位、纵深定位、前后定位几个方面。

一、人耳对水平面内声源方位的定位

如果有一个声源和一个听音人,声源位于听音人的左前方,如图 1-11 所示。由于人的两耳之间有一定的距离,所以声源到达人的两耳的距离是不一样的,左耳距离声源要近一些。换句话说,声源到达人的右耳的时间要延迟于到达左耳的时间,两耳之间存在一定的时间差。不难看出,不同方向的声源到达听音人两耳的时间差是惟一确定的。人耳可以在声源的任何状态下来判断声源到达两耳的时间差,如瞬态的声音、连续的声音或者声音在音色变化的情况下。但是相对来讲,人耳对瞬态的声音定位要比连续声音的定位容易一些。

另外,两耳间的时间差必将导致两耳间存在一定的相位差,而且这个相位差同声源

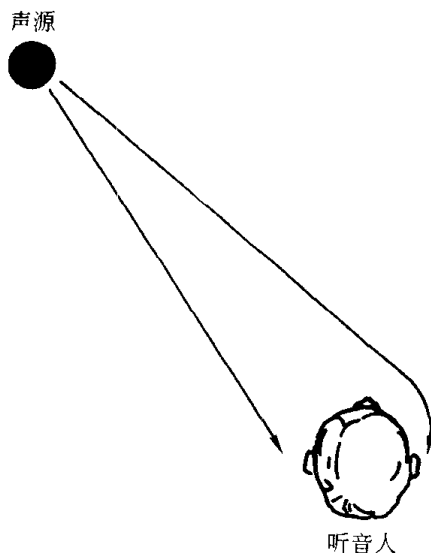


图 1-11 人耳听音情况

的频率有关。当声源的频率很高时，波长较短，由时间差所形成的相位差甚至会超过 360° ，此时人耳不能区别相位差是超前还是滞后，不能根据相位差来判断声源的方位。当声源频率比较低时，波长较长，大于两耳之间的距离，这样两耳便能捕捉到声源在一个周期内的相位差，并且由此来判断声源的方位，如图 1-12 所示。

从图 1-11 人耳的听音情况可以看出，当声源从听音人的左侧传向听音人时，人头在一定程度上阻碍了声波的传递。听音人的左耳接收的声波是稳定的，不随频率的变化而变化，但是听音人的右耳所接收的声波将与声源的频率有关。当声源的频率较低时，波长较长，人头对声波几乎没有任何阻碍作用，如图 1-13 所示。当声源的频率较高时（大于 1000Hz 左右），波长较短，声波将被人头遮蔽不能

衍射到听音人的右耳，在右耳附近形成声影区，如图 1-14 所示。该声影区使听音人的两耳间产生一定的声级差，同时由于右耳缺乏高频成分，两耳所接收声波的频谱也不一样，这样便产生了两耳间的音色差。

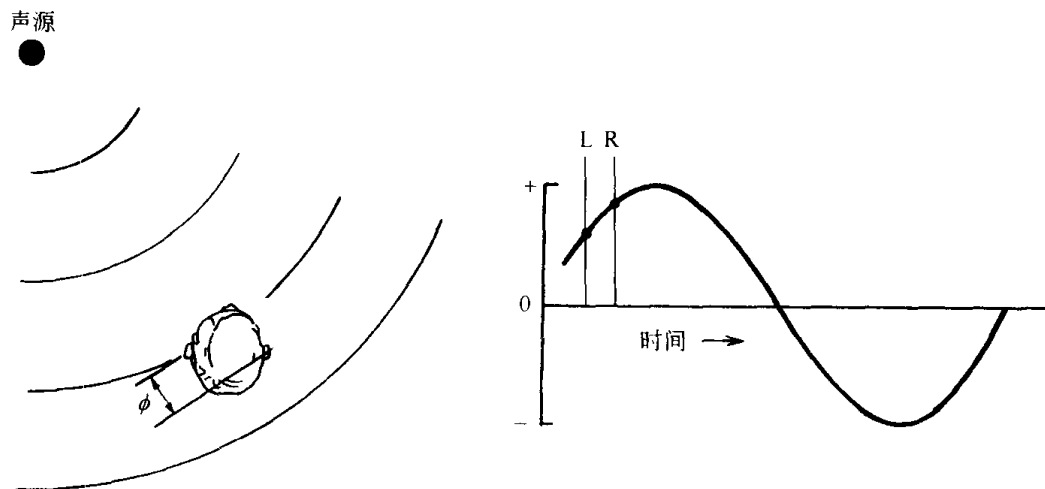


图 1-12 声源频率较低时在两耳产生的相位差

同样不难看出，不同方位的声源到达听音人两耳的音色差是惟一的。图 1-15 显示了声源位于不同的方位上，在两耳间形成的音色差， 0° 表示声源位于听音人的正前方； 90° 表示声源位于听音人的一侧； 180° 表示声源位于听音人的后方。图中 1kHz 以下的曲线比较平直，而 1kHz 以上起伏比较大，也说明了人头对高频声的遮蔽作用。

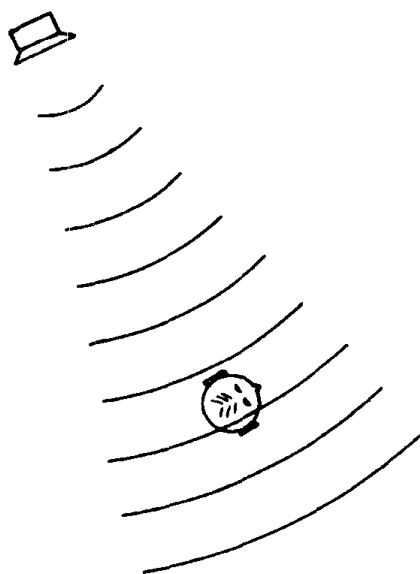


图 1-13 人头对低频声音
没有阻碍作用

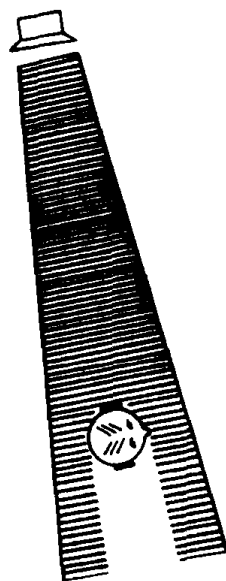


图 1-14 高频声音在头部
形成的声影区

在人的大脑中，两耳间的细微差别和不同方位的声源之间有一定的对应关系，这样当有声源传送到人的双耳，并在两耳间形成细微的差别时（主要是时间差或相位差和声级差或音色差），这种一一对应的关系决定了人耳对声源方位的判断。

通过以上的分析可以得出结论，人耳对声源水平定位的主要因素是时间差（或相位差）和声级差（或音色差）。在低频范围内时间差将是主要的定位因素，而在高频范围内则是声级差起主要的作用，如图 1-16 所示。图中 700Hz~800Hz 的频率范围是时间差和声级差共同起作用对声源定位的过渡区，该过渡频率范围内的波长接近于成年人头部尺寸的大小。在非常低的频率范围内，由于波长太长，人耳基本上不能对声源进行定位，这个频率范围也正是亚低音扬声器的工作频段。根据研究，听音人头部轻微的移动在两耳间引起的时间差，也可以给听音人的大脑提供定位的信息，特别是人耳对声源前后和距离的定位。

值得说明的是，虽然人耳具有对水平面内声源方位的定位能力，但是在不同的方位角上，人耳对声源方位的分辨能力却是不相同的，而且分辨能力也随频率而不同。人耳对正前方附近的 500Hz~1000Hz 声源在水平方向能分辨出 1° 的方位差，当声源偏离正前方 60° 时，约能分辨出 2°~3° 的方位差。再增大角度则分辨能力急剧下降，在 80° 附

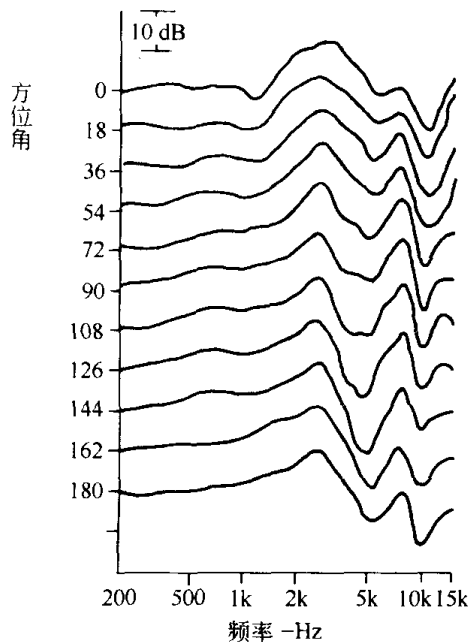


图 1-15 不同方位角上
两耳间的音色差

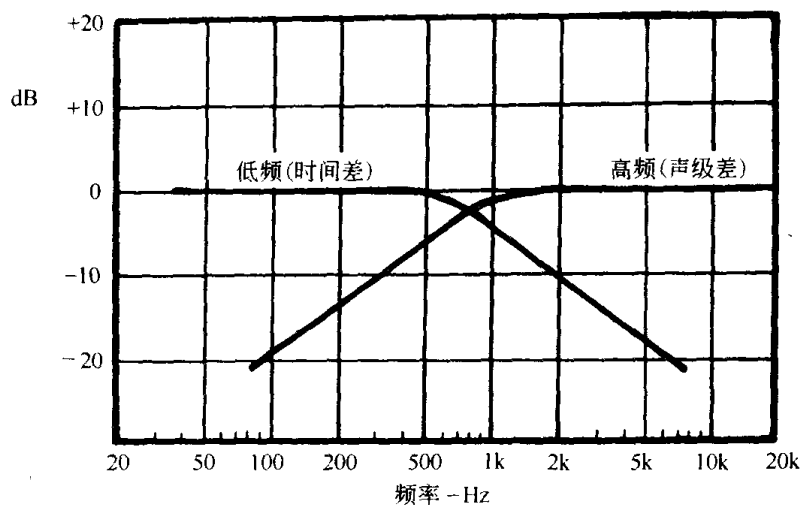


图 1-16 人耳对声源定位的主要因素

近时约为 10° 。2000Hz 的声源要比 1000Hz 时的方位分辨能力显著变坏，到 3kHz ~ 6kHz 附近又大约恢复到 1000Hz 时的分辨能力，频率再高，则分辨能力又会变坏。8000Hz 以上频率的声源，人耳前后方位的判断还比较正确，对 8000Hz 以下频率的声源前后方位的判断能力则很差。

二、人耳对中心垂直面内声源方位的定位

中心垂直面是一个假象的平面，它通过人的头部和鼻子，并且垂直于水平面，如图

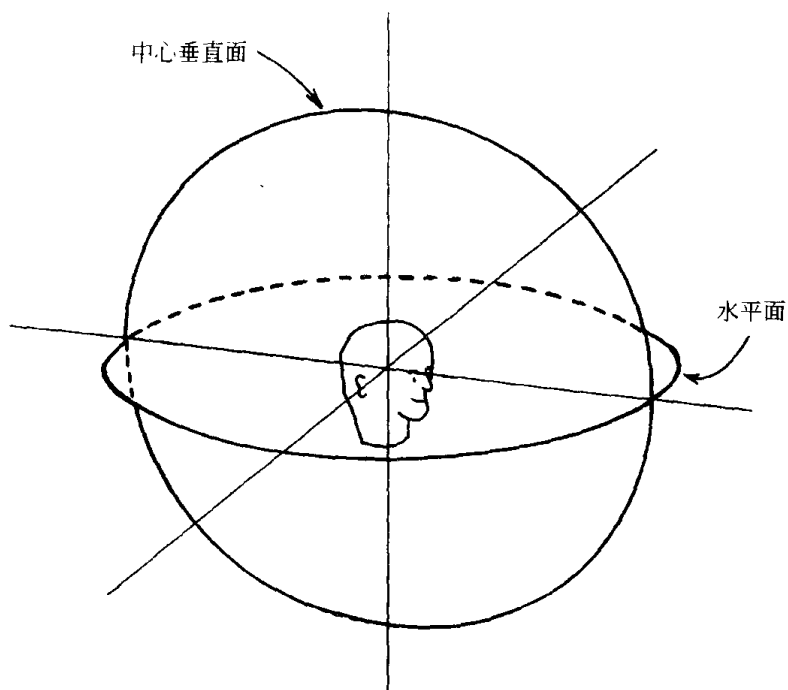


图 1-17 垂直于水平面的中心垂直面

1-17 所示。人耳对中心垂直面内声源方位的定位不同于人耳对水平面内声源方位的定位，在中心垂直面内的声源，到达听音人两耳间的信号基本上是完全一样的，没有人耳在对水平面内声源定位所需要的时间差和声级差。

人耳对中心垂直面内声源的定位，主要是依靠声源频谱的变化，这个垂直定位的信息是由人的头部和耳壳的衍射作用产生的。当中心垂直面内不同方向的声源到达听音人时，人头和耳壳的衍射作用使信号部分频段的能量提升或者衰减，形成了信号在频谱上的变化。对于任何三维立体声重放系统而言，只有将这种定位的信息忠实的记录和重放，才能达到很好的立体声效果。

人耳利用声源频谱变化的信息，来确定水平面以外声源方位的原理是由 P.J.Bloom 提出的。该理论认为，在耳壳传递函数中（如图 1-7），10kHz 左右的陷波是人耳对声源方位判断的信息。这个理论可以通过实验来证明。在实验中用中心频率为 8kHz，带宽为一个倍频程的噪声来模拟到达鼓膜的声音，如图 1-18 所示。

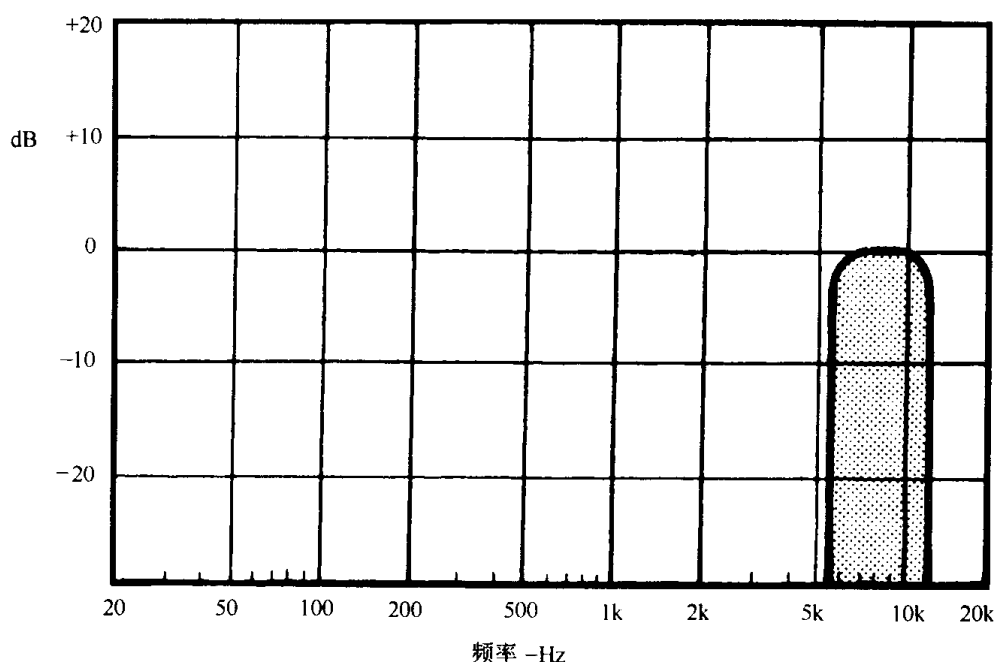


图 1-18 中心频率 8kHz，一倍频程带宽的噪声

将一个可以沿频率平移的陷波信号与该噪声相混合。如果陷波信号的中心频率为 8kHz，则听音人用耳机听音时，会感觉到噪声信号来自听音人的上方，如图 1-19 所示。如果平移陷波信号，中心频率到达 7.2kHz，听音人会感到声源来自听音人的正前方，如图 1-20 所示。如果将陷波信号的中心频率平移到 6.3kHz，听音人则会感到声源来自听音人的下方，如图 1-21 所示。

从实验中可以看出，人的大脑是利用陷波信号的位置作为声源的定位信息的，这一点明显的说明了，在耳壳反射和声源方位之间存在一定的对应关系。后来，Blauert 总结了大量的关于人耳在中心垂直面内定位的实验，通过研究显示，人耳这种方向定位主

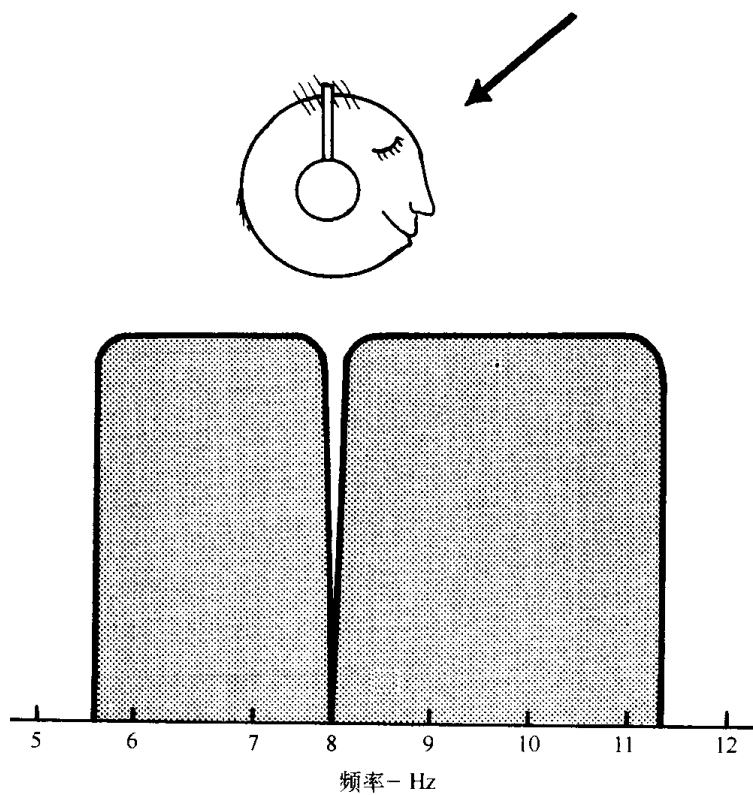


图 1-19 中心频率为 8kHz 的陷波信号与噪声混合后的听音效果

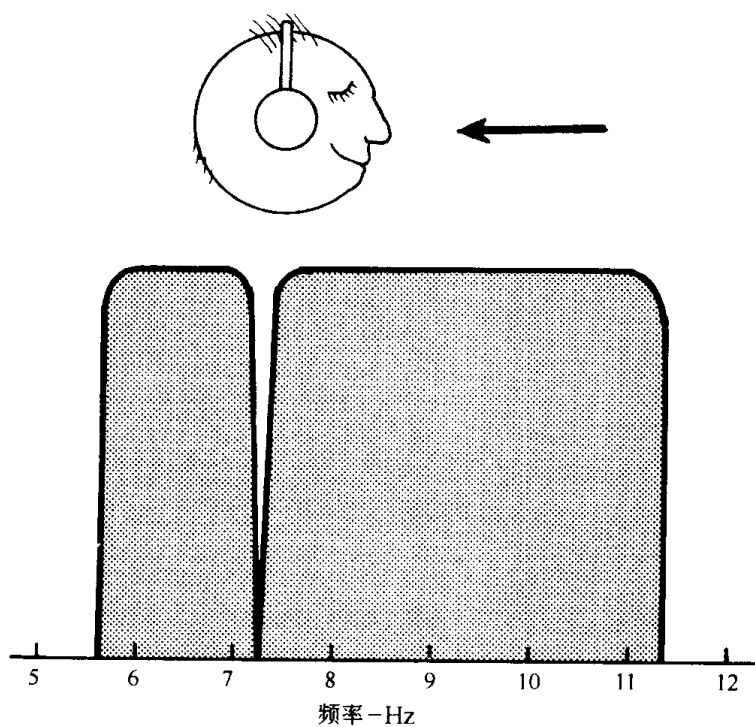


图 1-20 中心频率为 7.2kHz 的陷波信号与噪声混合后的听音效果

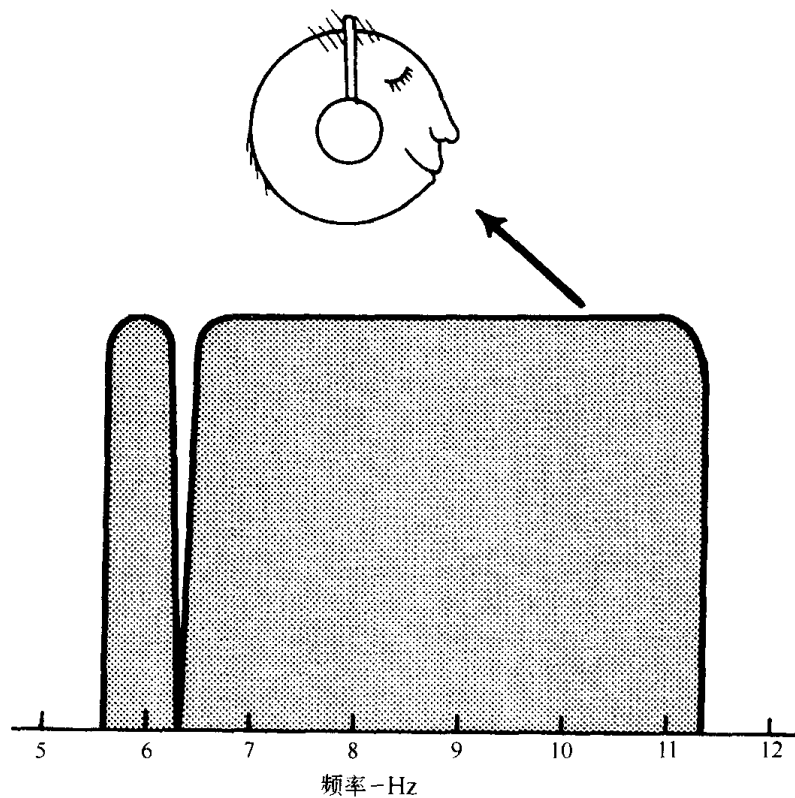


图 1-21 中心频率为 6.3kHz 的陷波信号与噪声混合后的听音效果

要取决于信号所包含的频谱成分。图 1-22 表明了 在中心垂直面内，频率成分与声源定位之间的关系，例如，500Hz 和 8kHz 附近的频率决定了人耳的上方声源的定位，而后方定位的频率在 1kHz 和 10kHz 附近。

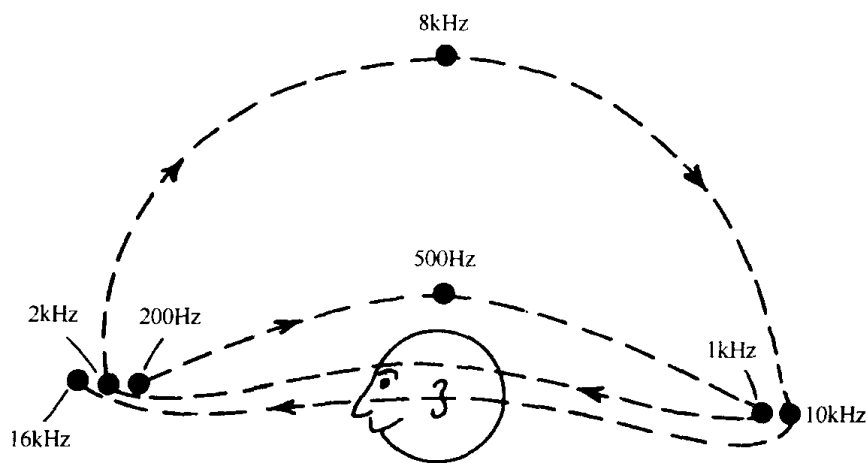


图 1-22 人耳在中心垂直面内声源定位与频率之间的关系

为了进一步研究人耳在中心垂直面内的定位，Blauert 采用 1/3 倍频程噪声脉冲作



为测试信号进行试验。为了简化复杂的研究过程，测试者只要求判断声源是否出现在前方、上方或后方。经过数据统计研究，给出了测试者对不同频率的判断，如图 1-23 所示。从图中可以看出不同方向上相应的大致频率范围：

前方	300~600Hz	3000~6000Hz
上方	8000~9000Hz	
后方	800~1800Hz	9000~15000Hz

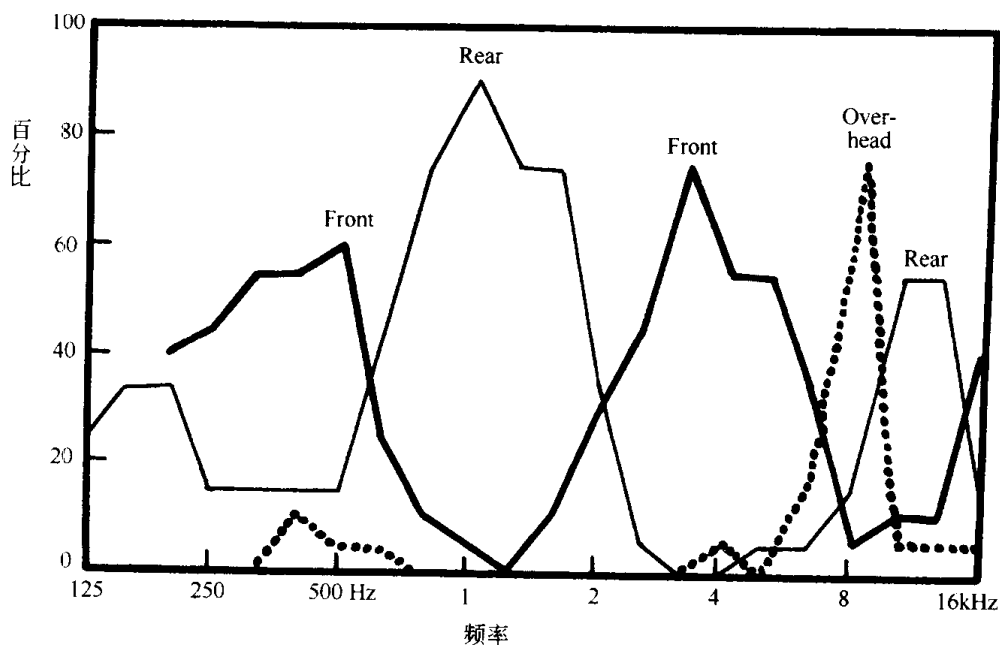


图 1-23 1/3 倍频程噪声脉冲在中心垂直面内的定位

从以上的分析可以看出，大脑就是利用这种声源方位与其频谱成分上的对应关系，对中心垂直面上的声源进行定位的，而不是像水平面上，依靠两耳间细微的差别来进行定位。

三、人耳对声源纵深的定位

人耳对声源纵深感，或者说对声源距离远近的判断，在室内和室外是不同的。在室外主要是由于声音强弱的对比、频谱的变化，以及地面、四周物体对声音的反射程度而得出的。在室内则除了上述因素外，另一个主要的原因是，在室内的不同点，由于听音人与声源距离的不同，反射声的延时是不一样的，直达声和混响声的比例也不同。直达声的比例大，说明该点距离声源较近；混响声比例大，则说明该点距离声源的距离较远。另外，如前所述，听音人头部轻微移动在两耳间形成的时间差，也为大脑提供了纵深定位的信息。

第四节 立体声系统

人耳对声源方位的判断能力，势必促使人们对立体声的录制和重放系统进行不懈的研究，以求对声源有更自然的重放听音。立体声最早是在宽银幕电影中实现的，随后在唱片、磁带、广播中得到普及。立体声系统可以使听音人感受到声源的方位，获较好的自然感和空间感。它由两个或两个以上的传声器、传输通路及扬声器（或耳机）组成，是通过传声器和扬声器的合理设置，使听音人在听音位置获得声源的空间分布感的。

一、双声道立体声系统

在双声道立体声之前，典型的单声道系统在声源和听音人之间只有一个传输通路，利用一只传声器来拾取整个声源。拾取的信号通过一个传输通路送到重放系统，由单只扬声器来进行声音的重放，这种单声道系统持续了几十年，如图 1-24 所示。在该系统中，如果采用全指向形传声器，系统在各方向上的灵敏度是相同的，能够拾取的仅是由于声源间距离差所产生的声级差和直达声与反射声之间的差别。这些差别能够使听音人感

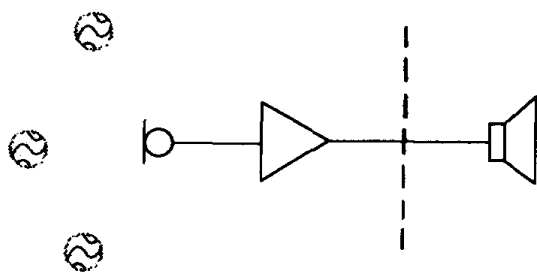


图 1-24 典型的单声道录放系统

受到拾音时传声器到达声源的距离，以及声源所在厅堂的声学特性。在重放听音时，系统能够忠实的再现整个声源，但是没有任何方向感，所有的声源被收缩到一个“点”，没有声源宽度的感觉。而且整个声源的纵身感也将被压缩，同现场听音的情况有所不同。另外，听音人在现场听音时，直达声之后听到的反射声、混响声是随机的，来自各个方向的，听音人被混响声所包围。而该系统重放的混响声、反射声是同直达声一起，从同一方向上重放出来的，它们之间相互隐蔽，因此整个声源的空间感也将被压缩。

随着技术的发展，较为复杂的单声道系统利用多只传声器拾音，由一个通路传送信号来驱动一只或多只扬声器。这种系统中重放扬声器中的信号是完全一样的，不包含任何立体声信息，仍然是单声道系统。而且由于系统采用多只传声器或扬声器，很容易产生由相位引起的失真或梳状滤波器效应。

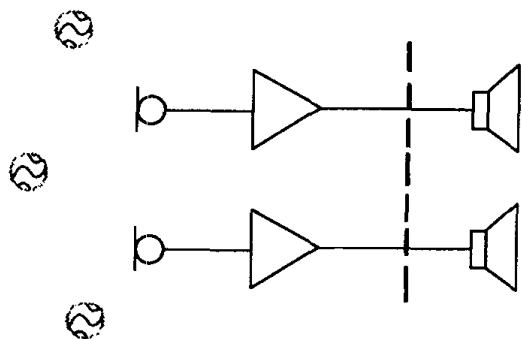


图 1-25 典型的双声道立体声录放系统

双声道立体声系统是利用两个或两个以上的传声器拾音，通过传声器的设置来拾取相互关联，而又相互独立的，具有定位作用的立体声信息，由两个传输通路分别传送到两个或两个以上的扬声器如图 1-25 所示。该系统同样可以采用全指向形传声器，虽然只



是简单的增加了一个拾音、传输和重放通路，但是在系统中增加了通路之间的差别，为听音人提供重要的空间定位信息。另外，由于声源可以在水平方向上分布，因此直达声和混响声、反射声之间的隐蔽作用也大大减小，更近似于现场听音的效果，有更强的空间感（环绕声技术则可以通过环绕扬声器，更真实的模拟现场听音的效果）。

这里传声器设置的技术是十分重要的。一方面，如果采用恰当的传声器技术，可以正确的拾取到人耳定位所需的立体声信息，真实的再现现场听音时声源间的定位关系，保证声象定位的质量。如果传声器设置的不合理或存在其他因素，也有可能拾取到一些错误的信息，导致听音人不正确的声象定位或声象模糊的现象。另一方面，不同的传声器技术可以提供不同的方法，来控制混响声和反射声的量以及空间效果。当然混响声和反射声可以自然的拾取，也可以用人工的方法制作，不管采用什么样的方法，立体声都要比单声道有更强的空间感。

通过以上可以看出，立体声相对于单声道而言，主要是在声音的方位感和空间感上有明显的提高，不过由此也可以使重放声音的其他方面得到改善。首先，立体声可以提高声音的清晰度。这主要是因为立体声声象的展宽，使得声源彼此间的隐蔽作用也大大减小，从而提高了声音的清晰度。其次，立体声有助于音乐声部之间的平衡。立体声可以通过声象的安排，将需要突出的声部安排在特殊的位置上，利用人耳的双耳效应和生理等其他因素提高该声部在大脑中的印象。这样不仅可以保证整个乐队的声部平衡，突出特殊的声部，而且总的节目电平变化不大。再者，立体声节目可以有效的降低背景噪声。在单声道中，信号和背景噪声相混合，由一个点重放出来。立体声中信号分布到各个方位上的同时，背景噪声也被分布到各个方向上，因而听音人主观上会感到背景噪声有所减小。

二、人耳在两扬声器间的声象定位

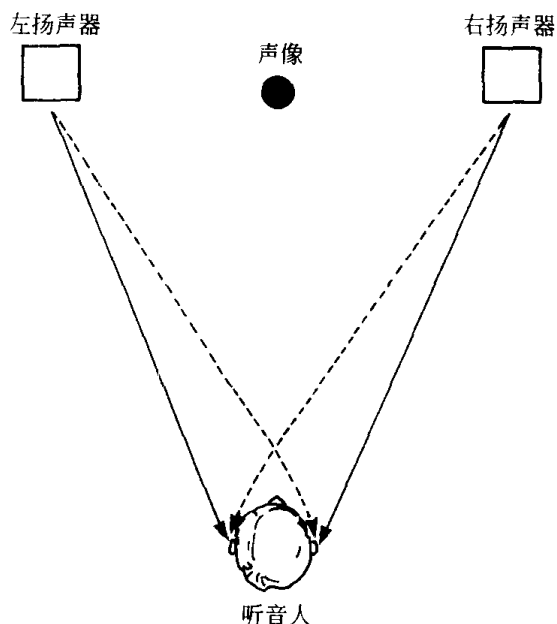


图 1-26 人耳接收两扬声器所发出的声音

前面介绍了人耳对真实声源的定位，在立体声系统中，还需要考虑人耳是如何对扬声器重放的信号进行定位的。在双声道立体声系统中通常采用两只扬声器来重放立体声节目。当听音人离开两只扬声器，且位于两扬声器之间时，如图 1-26 所示，如果送入两扬声器的声源信号完全一样，则听音人会感到在两扬声器连线的中点上有一个虚拟的声象存在，而不是两扬声器分别发出各自的声音。此时每个耳朵将分别听到两只扬声器所发出的声音。例如左耳是先听到左扬声器发出的声音，经过一定的延时才听到右扬声器传到左耳的声音。每个耳朵所接收的声音，是两只扬声器

所发出的声音在人耳处迭加以后的结果。

如果人耳想通过两扬声器对声源进行正确的声象定位,则需要两扬声器发出的信号在人的两耳处形成一定的时间差或声级差。例如,如果一个真实的声源位于听音人正前方 15° 的位置,在人的两耳间形成 0.13ms 的时间差。通过扬声器听音时,要想将声源的声象定位在两扬声器间同样的位置,则需要扬声器发出的声音同样在两耳间形成 0.13ms 的时间差,才能将声象定位在 15° 的位置上。需要注意的是,两扬声器之间的差别和两耳之间的差别是不一样的。

但是,这种基于迭加理论的定位原理仅限于正弦波的情况,对于频带较宽的声源则不适合。实践证明,由 Theile 提出的相关模式理论具有更强的实践性。该理论认为,当人耳通过扬声器听音时,将用扬声器之间的差别来代替两耳之间的差别进行声象的定位——扬声器间的时间差将对低频进行定位,高频定位由两扬声器间的声级差来决定。

1. 时间差对声象的定位

如果将完全一样的语言信号分别送到两扬声器,使两扬声器所发出的声压级相同,利用延时器对其中一只扬声器的信号进行延时,如图 1-27 所示。

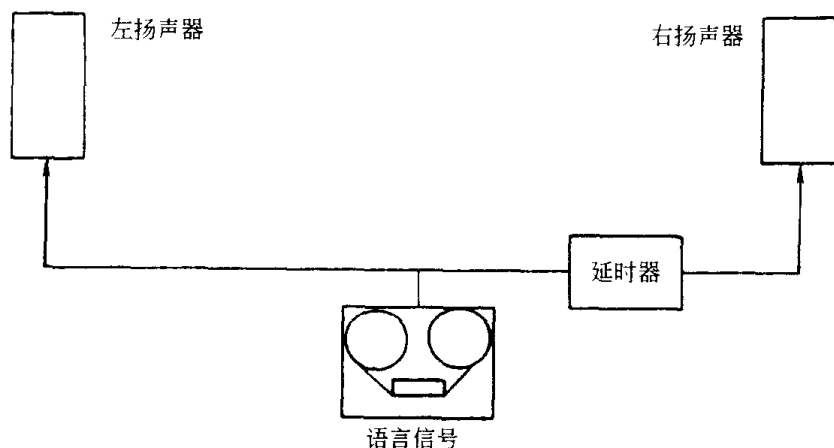


图 1-27 时间差听音实验

当没有延时,两扬声器间既没有时间差,也没有声级差,则听音人会感到声象位于两扬声器连线的中点上,并不感到两扬声器在发音。当加入延时,两只扬声器间只有时间差而没有声级差,听音人会感到声象的位置向未延时的扬声器移动,偏移量与两扬声器之间的延时有关。图 1-28 近似的显示了两扬声器间声象的偏移量与延时之间的关系。图中可以看出,当延时约为 1.5ms 时,声象将定位在未延时的扬声器上。

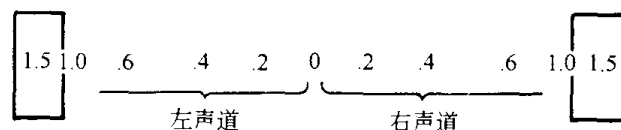


图 1-28 扬声器间时间差和声象定位的大致关系, 单位 ms



图中的听音实验是在标准的听音室中，由 10 位经过训练的听音人进行试听的。听音人位于两扬声器的中间，听音人到两扬声器的听音角为 60° （立体声的最佳听音位置）。实验的结果是 10 位听音人的平均量。

上述声象位于未延时扬声器一边的现象即为第一波阵面定律。第一波阵面定律在室内声学中非常重要，在具有混响的室内听音时，直达声先于反射声到达听音人，因此即使在有混响的室内听音，听音人对声源也能有比较清晰的定位。用两扬声器听音，两扬声器间的延时从 0ms 到 1ms 增加时，声象将由两扬声器的中点向未延时的扬声器移动，如图 1-29 所示。当延时达到大约 30ms 时，开始出现回声的效果，这里有一个过渡的区域，在该区域内听音人会感到延时扬声器的存在，但仍感到声音来自未延时扬声器，回声效果不明显，如图 1-29 所示。当延时大于 40ms~50ms 时，将会产生清晰的回声效果，这个产生回声的阈值是第一波阵面定律有效性的上限。

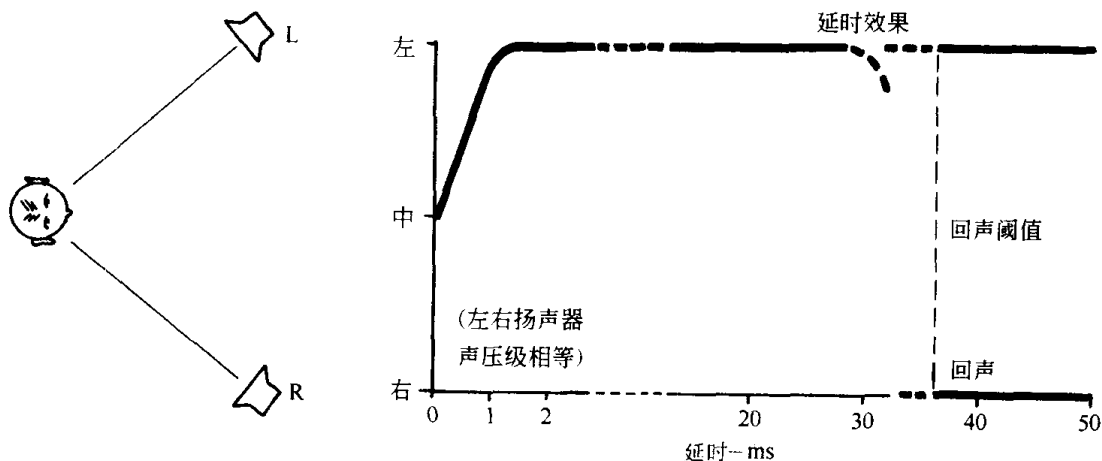


图 1-29 延时效果

2. 声级差对声象的定位

如果将完全相同的语言信号分别送到两扬声器，信号之间没有任何延时，并且在其中一只扬声器的通路上插入衰减器，如图 1-30 所示。

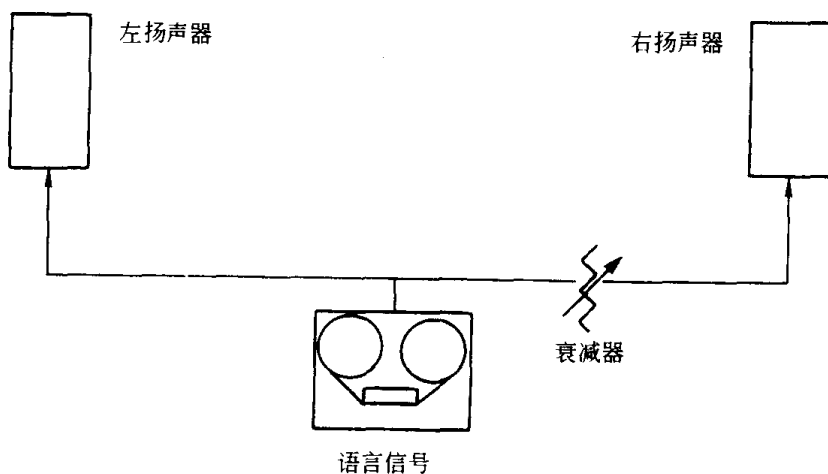


图 1-30 声级差听音实验

同样，当衰减器没有任何衰减时，两扬声器间的信号既没有声级差，也没有时间差，听音人感到声象位于两扬声器连线的中点上。当增大两只扬声器之间的声级差时，听音人会感到声象向较大声压级的扬声器方向偏移，偏移量与两扬声器之间的声级差有关。图 1-31 显示了两扬声器间声象的偏移量与声级差之间的关系。图中可以看出，当声级差达到 15dB~20dB 时，声象将定位在声压级较强的扬声器一边。

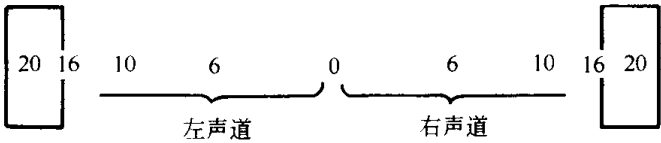


图 1-31 扬声器间声级差和声象定位的大致关系，单位 dB

三、立体声的重放

1. 立体声的最佳听音位置

重放双声道立体声时，最佳的听音位置是以左右扬声器连线为底边的等边三角形顶点 A 处，如图 1-32 所示。

如果左右扬声器间既没有声级差，也没有时间差，当偏离图 1-32 所示的三角形顶点 A 的位置听音，听音位置在横向变化时，声象的位置将如图 1-33 所示，声象将向靠近听音位置的扬声器移动。图 1-34 (a) 所示为一个乐队 a、b、c、d、e 的位置情况。如果不在 A 点听音而在 B 点听音，则声象的位置将如图 1-34 (b) 所示，使重放的乐队的声象发生畸变。

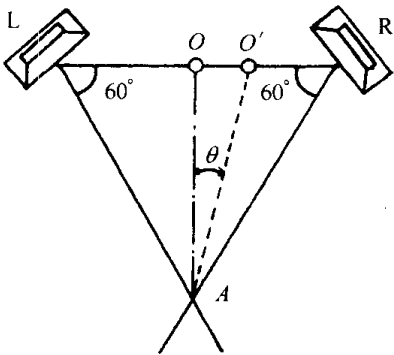


图 1-32 双声道立体声最佳听音位置

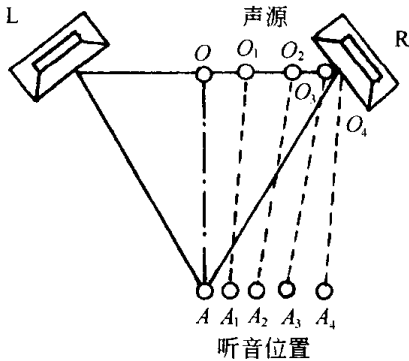


图 1-33 听音位置横向偏移时，声象的移动情况

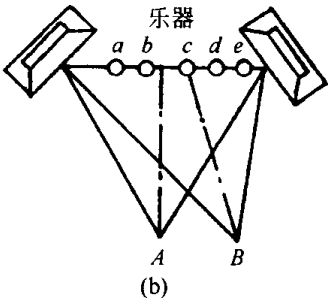
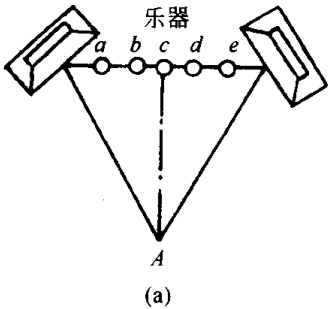


图 1-34 (a) (b) 听音位置横向移动时，声象的偏移情况



当听音点与左右扬声器有距离差时,则左右扬声器所发声音到达听音点将有相位差,这个相位差随频率而不同。图 1-35 所示为左右扬声器间距离差为 34cm 时,各频率产生的相位差。由于各频率的相位差不同,使所听到声源的声象定位也会随频率而改变,如图 1-36 所示,导致声源的声象模糊不清。但是相位差在 60° 的范围以内,可以认为与无相位差时的声象方位一致。

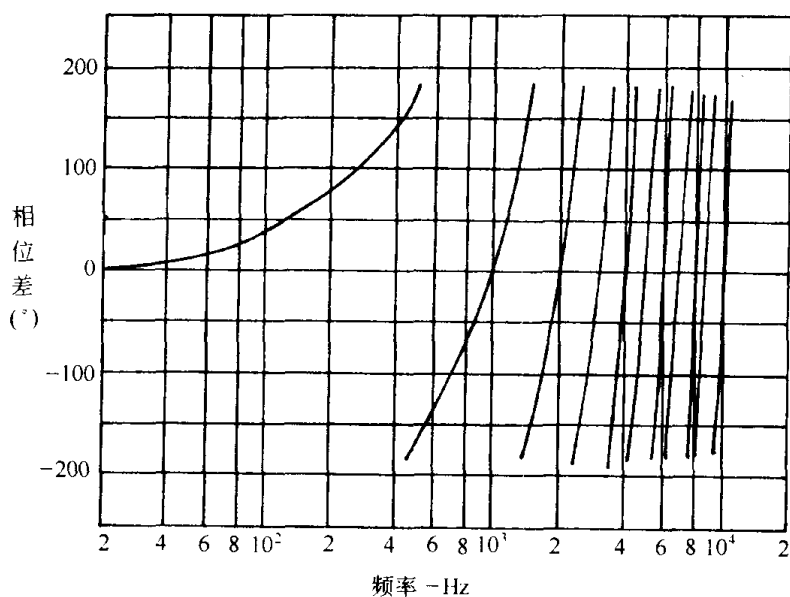


图 1-35 听音点与左右扬声器距离差为 34cm 时所产生的相位差

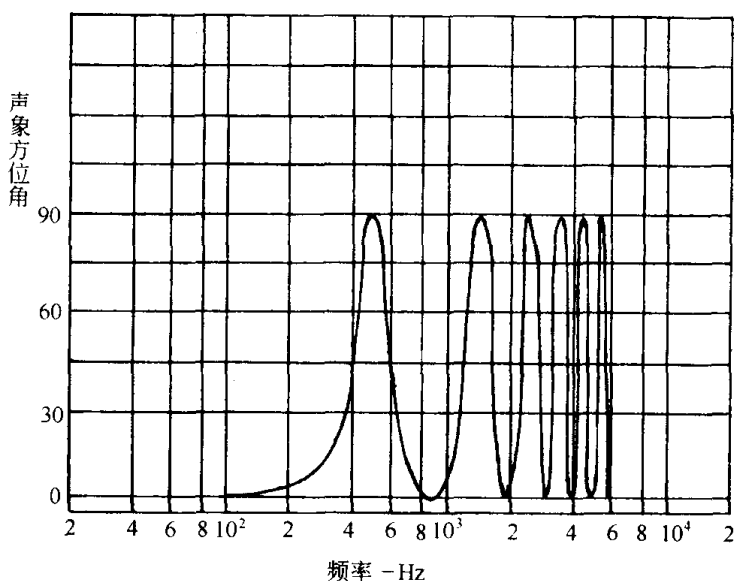


图 1-36 听音点与左右扬声器距离差为 34cm 时声象方位与频率的关系

由于声级差也是人耳在扬声器间定位的因素之一,所以立体声的听音位置应当尽量在左右扬声器声级差较小的范围内。当使用全指向扬声器时,声级差小于 $\pm 1\text{dB}$ 的范

围,如图 1-37 所示,可以看出,这个范围是比较窄的。

2. 听音区域的扩大

(1) 利用扬声器的指向性扩大听音区域

从上面的叙述可以看出,双声道立体声听音时,如果改变听音位置,则声象也将改变,有效的听音区域比较小。为了减小这种变化,使改变听音位置时,尽量减小立体声效果的恶化,可以使用具有指向性的扬声器。在图 1-38 中,设左右扬声器与 P 点的距离分别为 R_L 和 R_R ,由扬声器主轴方向测得的与 P 点方向的夹角分别为 θ_L 和 θ_R ,扬声器的指向性分别为 $D(\theta_L)$ 和 $D(\theta_R)$ 。由于声压与距离成反比,与指向形成正比,所以左右扬声器所发声音在 P 点的声级差为零的条件应为:

$$\frac{D(\theta_L)}{R_L} = \frac{D(\theta_R)}{R_R}$$

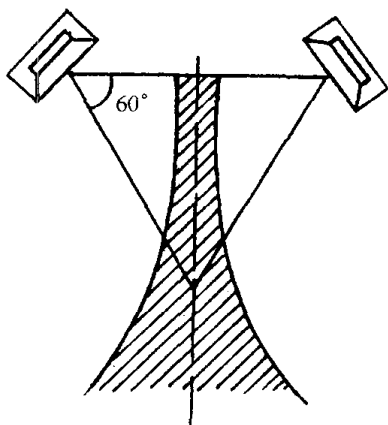


图 1-37 左右扬声器声级差在 $\pm 1\text{dB}$ 以内的分布范围

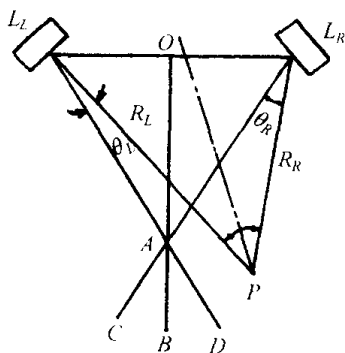


图 1-38 求左右扬声器所发声音在 P 点的声压级为零的条件说明图

在图 1-39 中,两扬声器主轴焦点为 A,由 A 点到各扬声器的距离为 r ,设以 A 为中心,以 r 为半径的圆周上有一点 P,由 P 点到各扬声器的距离分别为 R_L 和 R_R ,则:

$$R_L = 2r \cos \theta_L$$

$$R_R = 2r \cos \theta_R$$

因此

$$\frac{R_L}{R_R} = \frac{\cos \theta_L}{\cos \theta_R}$$

根据上式,为了实现余弦形指向性,低频段由于不需要太强的方向感,可以使用一般的无指向形扬声器;中频段以上可以用口径为 $16 \sim 20\text{cm}$ 以下的扬声器加一小障板,使之成双指向性。但是,通常高频段有比余弦形还要尖锐的指向性,所以能满足上式条件的频率范围是有限的。

(2) 利用反射板改变听音范围

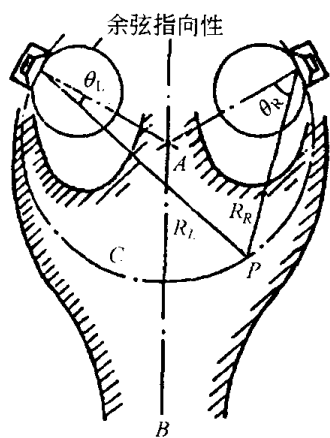


图 1-39 左右扬声器均为余弦形指向性扬声器时,声级差在 1dB 以内的分布范围



图 1-40 所示为利用反射板使扬声器的有效间隔增大的方法。图 1-41 为扬声器间隔过大时, 利用与扬声器纸盆侧面相平行的反板, 使反射声集中在比较近的地方, 在这个范围内获得良好立体声效果的方法。

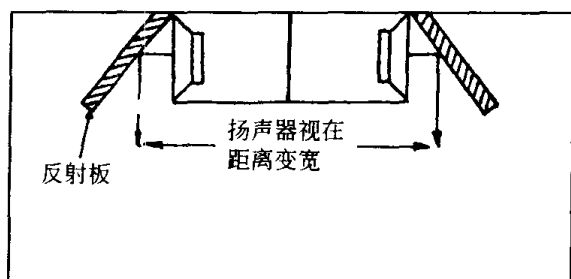


图 1-40 利用反射板扩大听音范围的方法

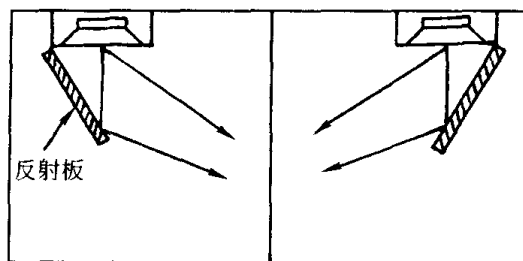


图 1-41 利用反射板缩小听音范围的方法

四、立体声听音房间

立体声听音房间的混响时间不应太长, 以 0.5s 为宜, 也不应有过多的反射声, 以免干扰立体声声象的定位。消除反射声可以用安装窗帘或幕布来达到, 尤其在靠近扬声器的区域更应注意。在扬声器对面的墙上设置幕布来减少反射。扬声器不要放在地面或墙角, 以免由于反射而使低音过重, 以及高音的传播由于扬声器过低而受到损失。通常高音扬声器的高度应与听音人的耳朵在同一水平面上, 否则高频会受到衰减。通常听音室应不小于 12m^2 , 两扬声器可以相距 $1\text{m}\sim 2\text{m}$ 左右。

第二章 立体声拾音技术

第一节 立体声拾音技术概述

立体声拾音技术主要应用于古典音乐的现场录音。通常采用两只或三只传声器在较远的距离拾取整个声源，在扬声器间充分再现现场听音时各乐器间的声象定位关系，整个乐队的纵深感，听音位置到乐队的距离感以及演奏的现场感、临场感和演奏厅堂的空间感。

相对于古典音乐，流行音乐具有清晰、明亮的声音特点，因此往往采用多传声器近距离拾音的方法，声音的定位和空间感等立体声效果则需要在后期制作中人工完成。但是发声体比较大的乐器，如：钢琴，架子鼓等，或者是合唱、弦乐组、管乐组等等往往也要采用立体声的拾音方式。其他的，如：音响效果、环境背景、电影和电视中的对白、新闻采访以及广播剧、体育广播节目往往也需要采用立体声的拾音方式。

立体声拾音的首要目的就是対声源进行准确、自然的声象定位。例如：通过扬声器重放立体声拾音的音乐节目时，在扬声器间，各乐器声象的定位关系，应当与现场演出时演奏者的位置关系相一致，而且乐队的两侧，应当视节目形式相应的定位在左右扬声器或扬声器间适当的位置上。图 2-1 所示为三种立体声定位效果，图 2-1 (a) 为不同的乐器在乐队中的位置，从左至右均匀的分布在乐队中。图 2-1 (b) 中各乐器的声象被准确、充分的定位在两扬声器间，如果传声器设置不合理，容易造成声象过窄（需要注意的是，大型乐队应当使声象充分定位在两扬声器间，而弦乐四重奏这样的小型乐队，则不需要有如此宽的声象），如图 2-1 (c) 所示，或声象畸变的现象，如图 2-1 (d) 所示。

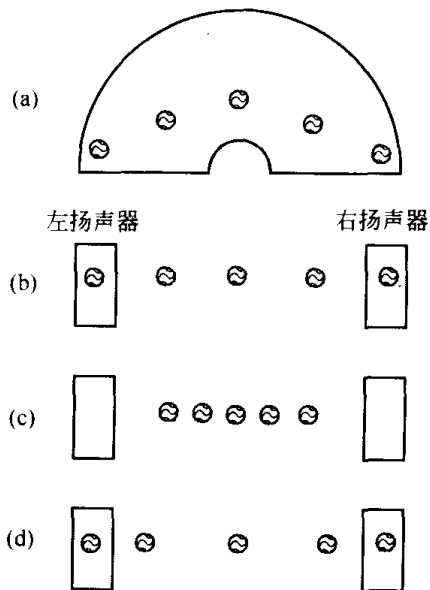


图 2-1 立体声定位效果

要想获得准确、自然的声象定位，一方面，需

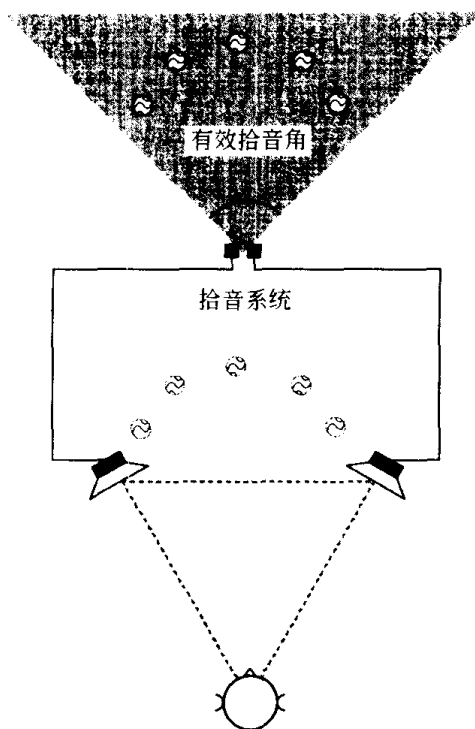


图 2-2 有效拾音角恰好覆盖整个声源

要有标准的听音环境，位于立体声的最佳听音位置进行听音。另一方面，在选择拾音方式和设置传声器时，其有效拾音角要适合于声源的宽度，使声源的宽度尽可能接近拾音系统的有效拾音角，如图 2-2 所示。图 2-2 为一个立体声系统的俯视图，拾音系统的有效拾音角恰好覆盖整个声源，有较好的声象定位。如果有效拾音角较大，则出现图 2-1 (c) 的立体声定位效果；如果有效拾音角较小，其定位效果如图 2-1 (d) 所示。

就单件乐器或乐器组来讲，声象的宽度应当与声源的实际大小相称。例如：吉他的声象基本上是一个点声源，而钢琴或弦乐组等的声象则应当有一定的宽度。各乐器声象的清晰度，一般以声学条件较好的音乐厅中，最佳听音位置上（一般在第十排左右的中间位置，类似于立体声重放的最佳听音位置）所听到的清晰度为标准。由于通过扬声器重放立体声节目缺少了音乐厅现场听音时视觉因素对声象质量的影响，故重放的声象

应当较现场更清晰一些，以求更自然的重放效果。

立体声拾音的空间感主要是以拾取现场自然的反射声和混响声来获得的。现场听音时，厅堂的反射声、混响声是来自各个方向的，因此通过扬声器重放的反射声和混响声也应当来自各个方向或均匀的分布在两扬声器间，才能获得自然的空間感觉，如图 2-3 所示。双声道立体声系统是由两只扬声器进行节目重放的，所以反射声和混响声只能来自听音人的前方，很难获得现场听音的效果。要想听音人获得声音来自各个方向的感觉

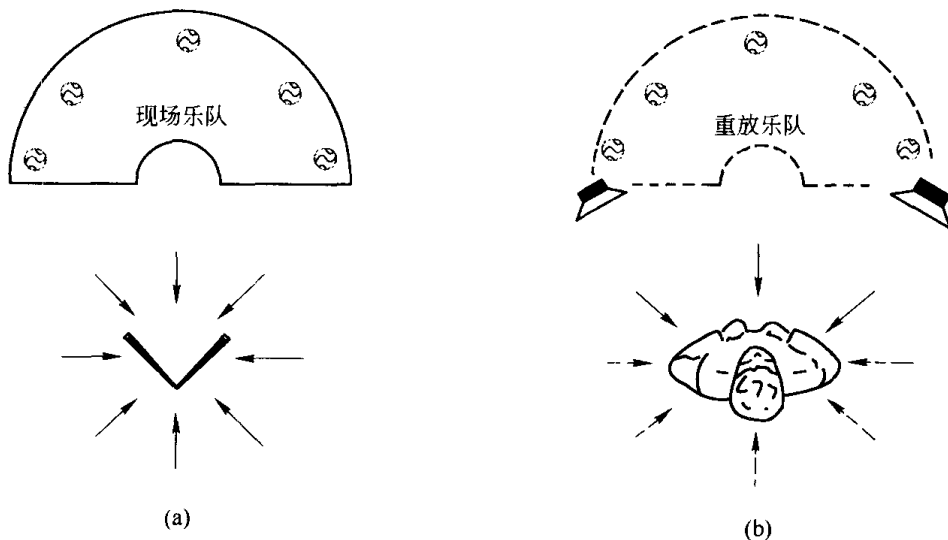


图 2-3 立体声拾音和重放情况

觉，只能增加额外的扬声器，来模拟听音人两侧和后方辐射来的反射声和混响声，即采用环绕声系统。但是在双声道立体声系统中，如果采用将传声器拉开一定的距离进行拾音的方法，则可以部分的改善节目的空间感觉。

目前使用的立体声拾音技术都是根据人耳对声源定位的基本因素：时间差和声级差创立起来的。在各种拾音技术中，传声器或者拾取具有声级差的立体声信号；或者拾取具有时间差的立体声信号；或者拾取的信号中既有声级差，又有时间差，因此立体声拾音技术也常以这三种工作原理来分类。应该说，所有这些立体声拾音技术都有各自的优点和缺点，不存在一种十全十美的拾音方式，每种拾音方式都有其最适合的场合，即不同的录音场地，不同的节目形式都有其最适合的拾音方式。为了录制好不同形式的节目，录音师应当全面了解和熟悉这些拾音方法，并且根据实际的需要做适当的调整，在大量的实践中加以总结，掌握传声器设置与主观效果之间的关系，才能在复杂的录音工作中，选择正确的拾音方式，设计最佳的录音方案，获得最佳的录音效果。

第二节 声级差定位的立体声拾音技术

声级差定位的立体声拾音技术是基于声级差对人耳的定位作用而建立起来的，主要有 XY、Blumlein 和 MS 三种方式。它由两只传声器组成，其中一只传声器置于另一只传声器上，使两只传声器的膜片在水平面上基本重合，传声器的轴向彼此张开一定的角度，因此也可以称为重合式拾音方式。这样声源到达两传声器没有时间差（由于传声器膜片是有尺寸的，因此在垂直面上两传声器间还是有相位差引入，不过其作用可以忽略），只有两传声器主轴夹角和传声器指向性而产生的声级差。因此在讲述声级差定位的立体声拾音技术以前，有必要了解一下几种传声器的指向性和它们的表达式，以便于理解声级差方式的特点。

一、传声器的指向性

传声器按照声波的接收方式分类，主要有两种类型：压强式和压差式。压强式传声器声波只作用到振膜的前表面，对各个方向的灵敏度是相同的，与声波的入射方向无关，为全指向形传声器，如图 2-4 所示。数学表达式为：

$$S = 1$$

S 为传声器的灵敏度，为了表示方便归一化为 1，即传声器的灵敏度与声波的入射方向无关。

压差式传声器振膜的前后两个表面都接收声波，振膜的振动取决于振膜前后的瞬间声压差，其指向性为 8 字形，如图 2-5 所示。数学表达式为：

$$S = \cos(\alpha)$$

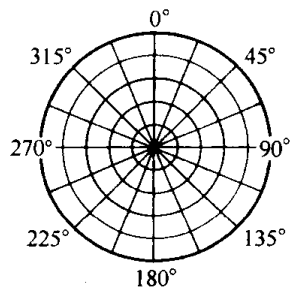


图 2-4 全指向形传声器

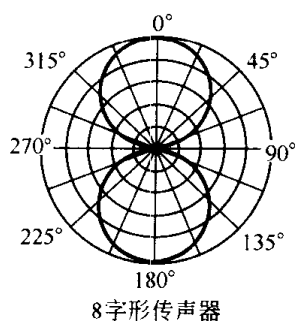


图 2-5 8 字形传声器

S 为传声器的灵敏度, α 为声源入射角。需要注意的是: 8 字形传声器前后的输出信号的极性是反相的。

如果将压强式传声器和压差式传声器组合, 则可以得到其他指向性的传声器, 如图 2-6 所示为心形传声器的合成示意图。

图 (a) 为主轴上灵敏度相同的全指向形传声器和 8 字形传声器。如果将两传声器的输出迭加, 如图 (b) 所示, 8 字形传声器的正瓣将导致两传声器总输出的提高, 负瓣则使两传声器的总输出下降, 从而合成出心形指向性, 如图 (d) 所示。

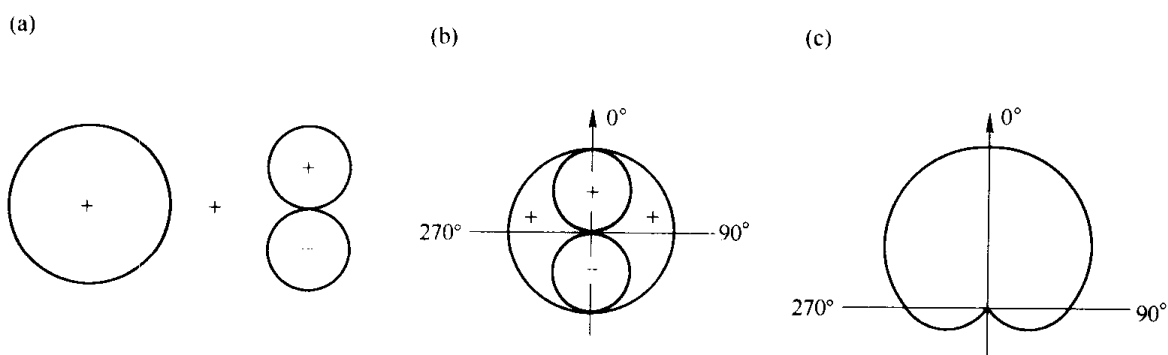


图 2-6 心形传声器合成示意图

其主轴灵敏度为合成前两传声器各自灵敏度的一倍, 90° 和 270° 的方向上将有大约 6dB 的衰减, 180° 的方向上输出为零 (这只是一个理论值, 实际上的心形传声器还是有一定输出的, 其输出的大小由传声器的质量来决定, 高质量的心形传声器可以做到只有非常小的输出)。如果按照一定的比例来合成压强式传声器和压差式传声器的输出, 则可以得到其他常用指向性的传声器, 如表 2-1 所示。

表 2-1

传声器指向性	压强式传声器比例	压差式传声器比例
全指向形	1	0
阔心形	0.75	0.25
心形	0.5	0.5
超指向形	0.25	0.75
8 字形	0	1

如果将上述压强式传声器和压差式传声器合成的比例结合它们的数学表达式, 则很容易得到这些指向性传声器的数学表达式 (如表 2-2 所示)。

表 2-2

传声器指向性	灵敏度表达式	传声器指向性	灵敏度表达式
全指向形	$1 + 0 \cdot \cos(\alpha)$	超指向形	$0.25 + 0.75 \cdot \cos(\alpha)$
阔心形	$0.75 + 0.25 \cdot \cos(\alpha)$	8 字形	$0 + 1 \cdot \cos(\alpha)$
心形	$0.5 + 0.5 \cdot \cos(\alpha)$		

从以上等式可以看出，在已知入射角 α 的情况下，可以得到各种指向性传声器相对于其轴向的灵敏度。例如心形传声器，当声源的入射角为 90° 时：

$$\text{心形传声器的灵敏度} = 0.5 + 0.5\cos(\alpha) = 0.5 + 0.5\cos(90^\circ) = 0.5$$

此时传声器的灵敏度相对于主轴方向下降 50%，用 dB 表示为：

$$\Delta\text{dB} = 20\lg \frac{\text{离轴灵敏度}}{\text{轴向灵敏度}} = 20\lg 0.5 = -6.02\text{dB}$$

同样的方法，可以计算出心形传声器周围所有声源入射角的灵敏度，如图 2-7 所示。

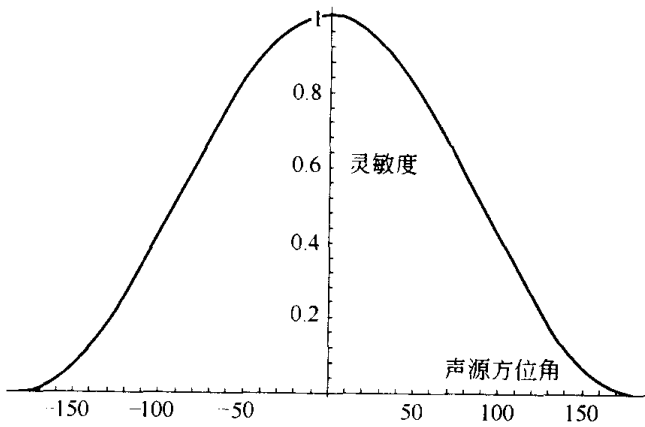


图 2-7 心形传声器的灵敏度

需要注意的是，通常所指的传声器的指向性是在一定的测试频率下得出的结果，随着频率的改变，传声器的指向性也要相应的发生变化。一般来讲，频率越高传声器的指向性越强，当频率很低时，传声器将趋向于全指向形。因此传声器在整个人耳可听频段的频率响应是衡量传声器质量的重要标准。

二、声级差定位方式的声象估计

采用声级差定位的拾音技术时，如果传声器的指向性和彼此间的轴向夹角确定的话，则可以根据这些参数计算出两声道间的声级差，从而近似的估计出声象定位的情况。由传声器的灵敏度表达式不难得出两声道间的声级差为：

$$\Delta\text{dB} = 20\lg \left[\frac{a + b\cos(\theta/2) - a}{a + b\cos(\theta/2) + a} \right]$$

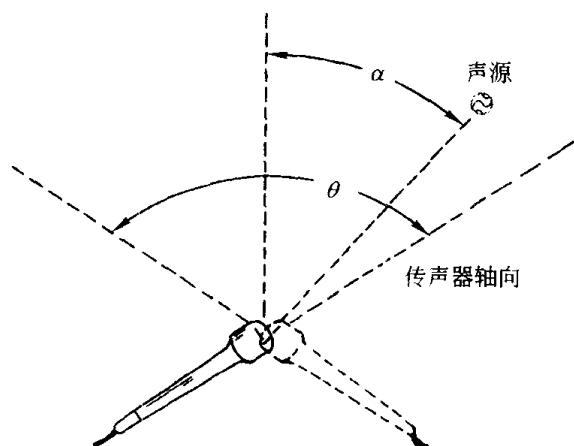


图 2-8 θ 为传声器的轴向夹角;
 α 为声源方位角

上式中: ΔdB 为两声道间的声级差;
 $a + b\cos(\theta)$ 传声器的灵敏度表达式, a 、 b
分别为压强式传声器和压差式传声器的合
成比例 (全指向形 $a = 1$ $b = 0$; 阔心形 $a =$
 0.75 $b = 0.25$; 心形 $a = 0.5$ $b = 0.5$; 超指
向形 $a = 0.25$ $b = 0.75$; 8 字形 $a = 0$ $b =$
 1); θ 为传声器的轴向夹角; α 为声源方
位角, 如图 2-8 所示。

如果传声器采用心形指向性, 传声器
间的轴向夹角为 90° , 则由上式可以得到两
传声器间的声级差为:

$$\Delta\text{dB} = 20\lg \frac{[0.5 + 0.5\cos(\theta/2 - \alpha)]}{[0.5 + 0.5\cos(\theta/2 + \alpha)]} = 20\lg \frac{[0.5 + 0.5\cos(45^\circ - \alpha)]}{[0.5 + 0.5\cos(45^\circ + \alpha)]}$$

将图 2-7 中心形传声器灵敏度图左右平移 45° , 可以得到该传声器组合的灵敏度图, 如图 2-9 所示, 两传声器间的声级差即为两条曲线间的垂直距离。通过上式很容易得到该传声器组合周围 $-180^\circ \sim 180^\circ$ 范围内的声级差, 如图 2-10 所示。图中纵轴表示出在不同的入射角上, 用对数表示的两传声器间的声级差。声级差为正, 表示右声道的声压级大于左声道。声级差为负, 则左声道的声压级大于右声道。图中的最大值和最小值是心形传声器在 180° 的方向上, 对数表示的极值情况。另外, 根据人耳在扬声器间的定位原理可知, 当两扬声器间的声级差为 $15\text{dB} \sim 20\text{dB}$ 时, 声象将定位在声压级较强的扬声器上。当声级差超过 15dB (设声象定位在扬声器上所需的声级差为 15dB 左右), 声象位置不变, 声象不可能定位在扬声器外。因此可将图 2-10 简化, 只研究两声道间声级差为 15dB 范围以内的情况, 如图 2-11 所示。

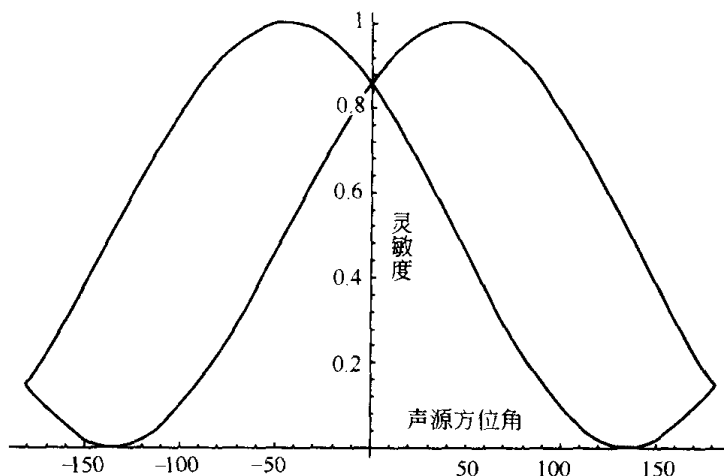
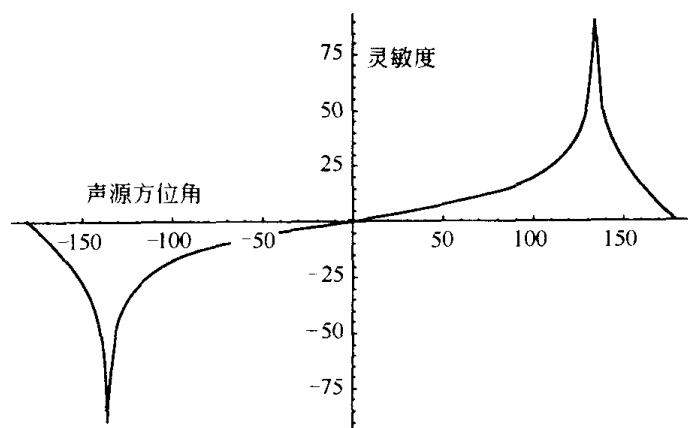
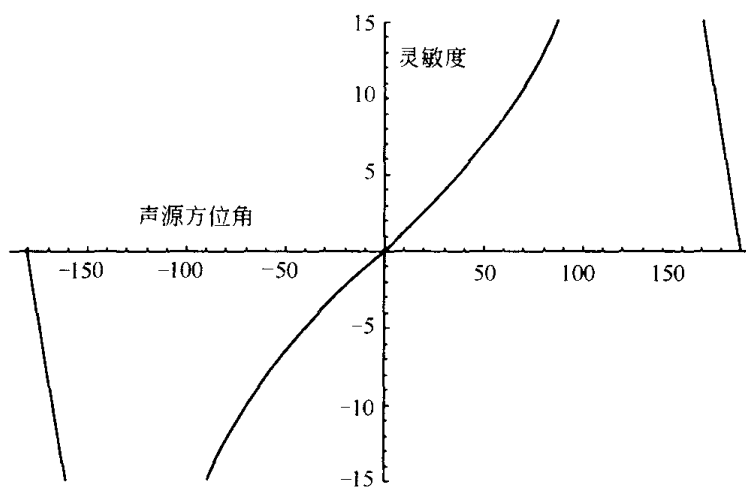


图 2-9 轴向夹角为 90° 时, 传声器组合的灵敏度

图 2-10 轴向夹角为 90° 时, 传声器组合的声级差图 2-11 轴向夹角为 90° 时, 声级差小于 15dB

知道了声源入射角与两声道间声级差的关系, 也就不难得出声源入射角与声象方位角之间的关系。不过这只是一个近似的估计, 因为在分析的过程中假设了传声器具有理想的指向性, 即传声器的指向性不随声源频率的变化而改变, 这在实际当中是不可能实现的。因此在实际的应用中, 这只是一个参考值, 具体还需要现场测试, 由客观的实际情况来定。

三、XY 拾音方式

XY 拾音方式是经常采用的一种声级差定位的拾音技术, 原则上 XY 方式可以采用任何一种指向性的传声器, 但多数采用心形传声器。组成 XY 的两只传声器重叠设置, 两传声器的膜片在水平面上尽量重合, 置于声源的中央。传声器的轴向彼此张开一定的角度 θ , 分别指向声源的两侧, 如图 2-12 所示。主轴朝向左边的传声器称为 X 传声器, 所拾取的信号作为立体声的左声道; 主轴朝向右边的传声器称为 Y 传声器, 所拾取的信号作为立体声的右声道。重放时 X、Y 传声器拾取的信号分别送入左、右扬声器。

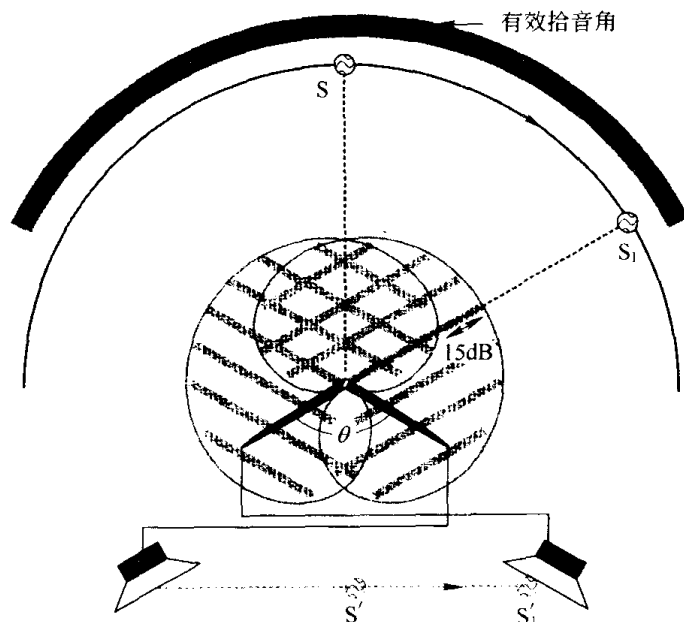


图 2-12 XY 拾音方式

由传声器的指向性可以知道,任何具有指向性的传声器,如心形传声器,其轴向上的灵敏度是最高的,而偏离轴向上的灵敏度将逐渐减小。因此声源正对传声器时,传声器的输出电平要高于声源位于其他方向上的输出电平。当声源位于两传声器的垂直平分线上时,两传声器将拾取完全一样的信号,左右声道间的声级差为零。由人耳在扬声器间的定位原理可知,重放听音时声源的声象将位于两扬声器连线的中点。如果声源沿着圆弧向右移动,则声源将逐渐接近右传声器的主轴方向,同时远离左传声器的主轴,这样右传声器的输出电平将逐渐增加,而左传声器的输出电平将逐渐减小,从而造成两声道间的声级差逐渐增大。重放听音时声象将偏离中心,向右扬声器的方向移动。可以看出,声级差定位的立体声拾音技术是将声源的方位“编码”成两声道间的声级差,重放听音时大脑再将其“解码”成两扬声器间相应的声象定位。

当声源移动到 S_1 处(如图 2-12 所示),使两传声器拾取到的声级差达到 15dB 左右时,声象 S_1' 将定位在右扬声器,同时 S_1 的位置也确定了该拾音系统的有效拾音角。当声源超过 S_1 ,沿着圆弧继续向右移动时,声象仍将固定在右扬声器处。

如果声源在 S_1 处保持不变,减小两传声器彼此间的轴向夹角(如图 2-13 所示),则两声道间的声级差将随之减小,声源的声象将向两扬声器的中心移动。为了使两声道之间再次获得 15dB 的声级差,声象感觉定位在右扬声器上,声源必须继续向右移动超过 S_1 (到达 S_2)。因此 XY 拾音方式的有效拾音角将随着两传声器间轴向夹角的减小而增大。

XY 拾音方式中,两传声器间轴向夹角的选择是有一定的限度的,否则将影响到立体声声象的平衡。对于心形指向性传声器,传声器的轴向夹角的范围应为 $80^\circ \sim 130^\circ$,用上述试验的方法同样可以得出其相应的有效拾音角如表 2-3 所示。

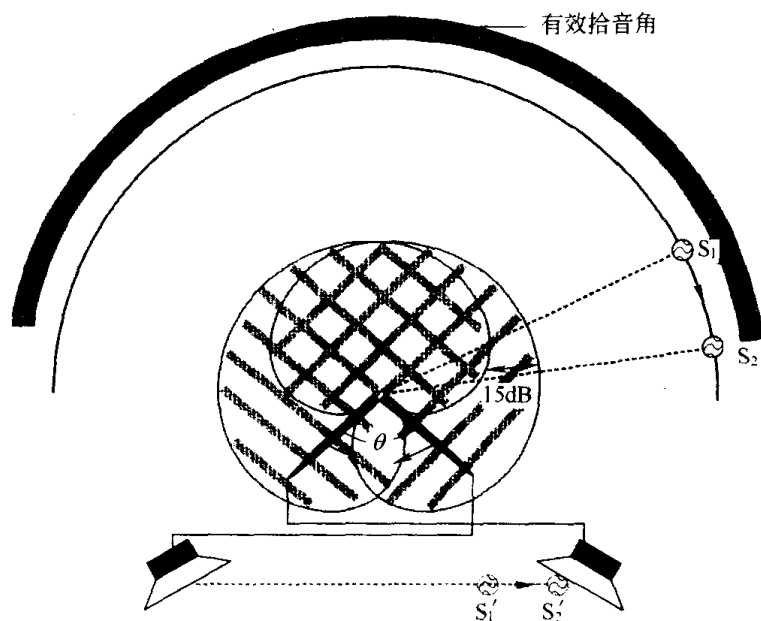


图 2-13 减小两传声器间轴向夹角 θ ，增大 XY 方式的有效拾音角

表 2-3

轴向指向角 θ	有效拾音角 α	轴向指向角 θ	有效拾音角 α
80°	180°	110°	150°
90°	170°	120°	140°
100°	160°	130°	130°

如果传声器的轴向夹角大于 130° ，如图 2-14 所示，正对拾音系统的方向将处在心形指向性传声器的拾音角之外，使系统在该方向上的灵敏度下降，致使信号直达声/混响声的比率也随之下降，听音时能够明显感觉到这 3dB 左右的衰减，声象处在较远的地方。如果传声器对的轴向指向夹角小于 80° ，则传声器对的有效拾音夹角将大于 180° ，则两侧位于心形指向性传声器拾音角以外的声源将被衰减。如图 2-15 所示。

当拾音距离比较远，采用心形传声器不能满足拾音效果时，可以考虑采用较强指向性的传声器，如超指向传声器。超指向传声器可以在距离声源较远的地方进行拾音，其设置类似于心形传声器的情况，但是传声器间的轴向夹角应当较心形传声器小一些。因为

超指向传声器的有效拾音角比较小，传声器的两侧衰减比较明显，这样不但容易造成中间声源后退，两边声源比较集中的现象，其有效拾音角也要相应的减小。超指向传声器

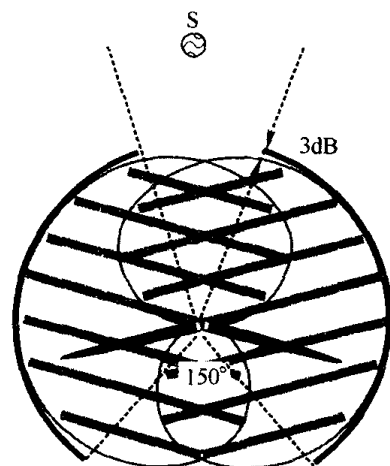


图 2-14 传声器对的轴向夹角大于 130° ， $\theta = 150^\circ$

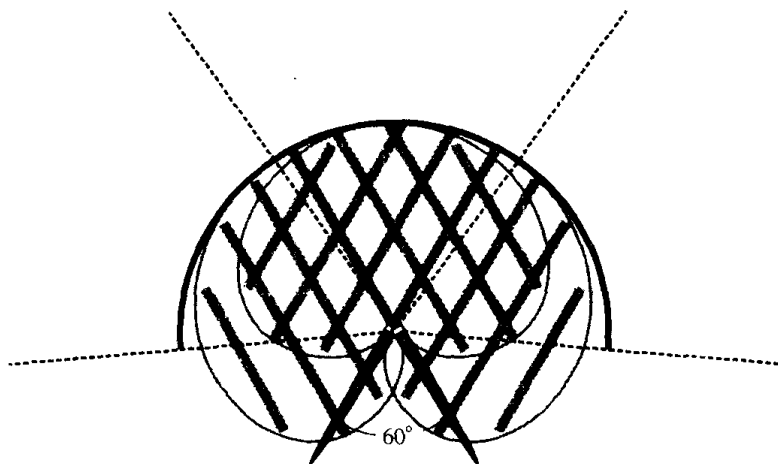
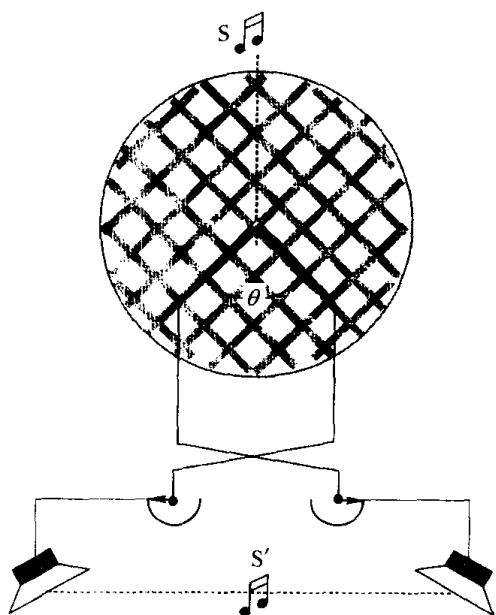
图 2-15 传声器对的轴向夹角小于 80° , $\theta = 60^\circ$ 

图 2-16 采用全指向性传声器的 XY 拾音方式

的后瓣是不为零的，有一定的电平输出，虽然比 8 字形传声器的输出小得多，但是拾音时也应当引起注意。另外，超指向传声器在低频段有一定的衰减，将影响到立体声拾音的效果，可以采用均衡器做适当的补偿。

XY 拾音方式也可以由全指向性的传声器组成，传声器的轴向夹角一般为 90° 左右，如图 2-16 所示。这种方式看起来有些奇怪，好像是单声道拾音。实际上它仍然是立体声拾音，因为全指向性传声器在高频是具有一定的指向性的，这样在拾取的两声道间仍然存在声级差，具有立体声的效果。这种方式的优点在于近距离拾音时具有平直的低频响应，没有心形传声器的近讲效应所带来的不利影响。

在 XY 拾音方式中，传声器无论采用什么样的指向性，都需要有较好的性能。首先，传声器要有良好的极坐标响应。因为组成 XY 方式时，两只传声器间彼此张开一定的角度，轴向对着声源的两侧，传声器的离轴频率响应在一定程度上，就直接决定了中间部分声源的音色。如果离轴频率响应不好，很容易造成中间声源的声染色，同时也将影响到反射声和混响声等的拾取效果。当声源相对于传声器移动时，其音色等方面的变化要比声源静止时更容易察觉。其次，两传声器的频率响应要严格匹配。因为 XY 方式是利用声道间的声级差对声源定位的，传声器间任何频率响应的差别，都将影响到声象的定位质量。例如，如果组成 XY 方式的两只传声器中，X 传声器在高频有所提升，而 Y 传声器在高频有所衰减，以该组合对长笛进行拾音，并将长笛置于中间的位置上。因为长笛的高频成分相对要多一些，故重放的长笛声象将在中间偏右的位置上，而不是在两扬

声器的中间。

由于 XY 拾音方式拾音时，两声道间仅有声级差存在，而没有时间差定位的立体声信息，同实际的双耳听音情况相比较，拾取的信号相对单调，缺乏变化。从重放听音的效果来看，声音的空间感不足。但是从另一方面讲，由于缺少了相位差的干扰，其立体声的声象定位是比较清晰和稳定的。而且具有相当宽的有效拾音角，可以使传声器在较近的距离进行拾音，而不会出现声象飘移，过于集中于两边扬声器上的效果。另外，由于左右声道间基本上不存在时间差，所以其单声道重放的兼容性是非常好的，适合于广播电视进行现场实况录音。

四、Blumlein 拾音方式

Blumlein 拾音方式也是采用声级差定位的立体声拾音技术，它由两只 8 字形传声器组成，两传声器的膜片在水平面上尽量重合，传声器间的轴向夹角为 90° 。由于 8 字形传声器的前后灵敏度最高，而两侧灵敏度最低，因此这种组合中两只传声器灵敏度最高的部分恰好彼此对应着灵敏度最低的部分，有利于两只传声器分别拾取声源的左右部分，声道间有较好的隔离度，如图 2-17 所示。

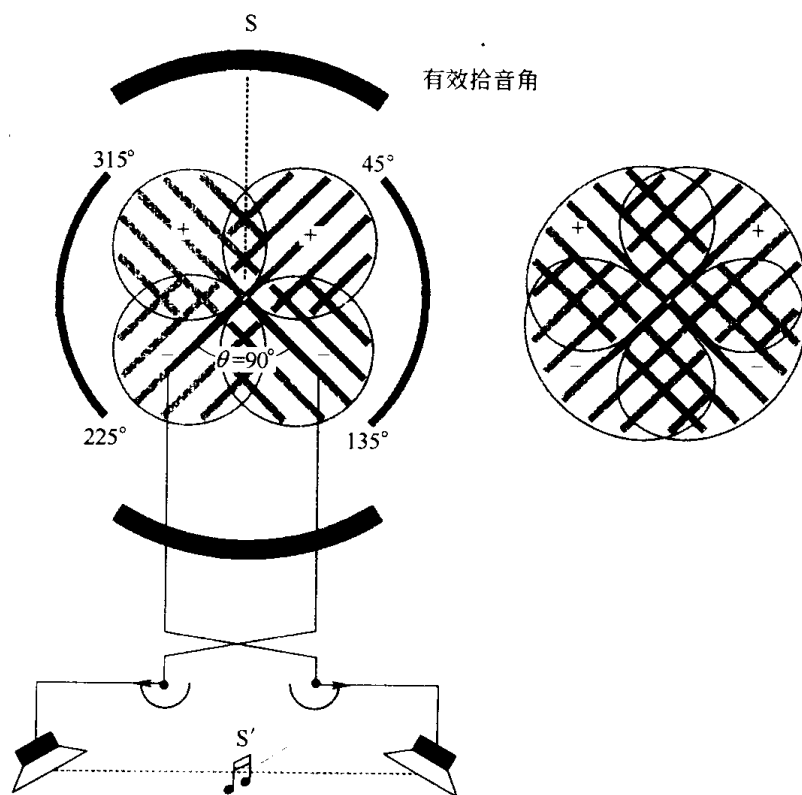


图 2-17 Blumlein 拾音方式

当声源正对该传声器组合时，声源位于两传声器偏离主轴 45° 的方向上，两传声器拾取的信号完全相同，声级差为零，重放的声象将位于两扬声器连线的中点上。当声源偏离中心向右移动时，右传声器的输出将逐渐增加，而左传声器的输出像应减小，两声

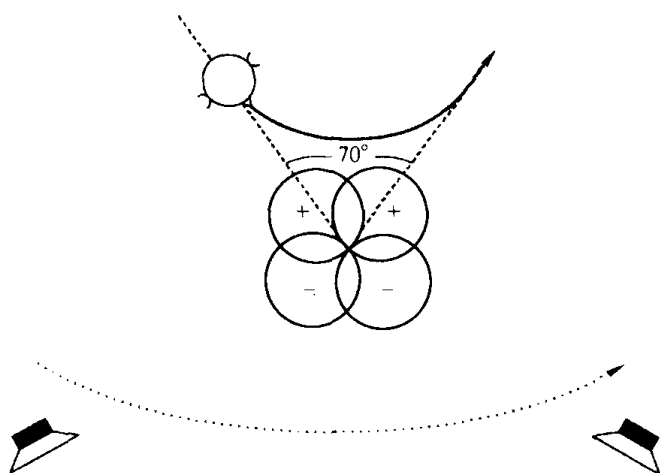


图 2-18 声源在传声器前移动, 可以获得平稳的声象

道间的声级差逐渐增强。当声源偏离中心 45° 时, 右传声器的输出将达到最大值, 而左传声器的输出为零。如果声源在传声器前沿着弧线移动, 两只传声器拾取到的能量之和将完全相同, 这样重放听音将得到电平稳定的声象, 如图 2-18 所示。

Blumlein 拾音方式的前方和后方灵敏度是完全一样的, 但极性是相反的, 因此采用这种方式拾音时, 传声器后瓣将拾取到更多的反射声和混响声, 需要更多的考虑后瓣的

影响。如果厅堂的声学条件比较好, 则可以利用这种方式获得比较满意的厅堂效果, 如果厅堂的混响声比较大, 而且有更多的噪声, 则很难获得满意的厅堂效果, 应该考虑采用其他的拾音方式。在声学条件比较好的情况下, 也可以将演奏的舞台分为两部分, 利用传声器的后瓣来拾取声源, 充分利用其前后两个拾音区, 以达到减少传声器的数量和提高舞台视觉效果的目的, 但传声器后瓣和前瓣的声象定位是相反的, 在布置声源时应注意。

由于 8 字形传声器的前后极性相反, 因此 Blumlein 拾音方式两侧的声源将被两传声器反相拾取, 在传声器的两侧形成反相区, 如图 2-17 所示。从图中可以看出:

- 当声源从 315° 向 45° 移动时, 声源处在拾音区内, 被两只传声器的前瓣拾取, 极性相同。重放听音时, 声象将由左向右移动。
- 当声源从 45° 向 135° 移动时, 声源处在反相区内 (声影区), 分别被两只传声器的前瓣和后瓣拾取, 极性相反, 声象将无法定位。
- 当声源从 135° 向 225° 移动时, 声源再次处于拾音区内, 被两传声器的后瓣拾取, 极性相同, 重放听音时, 声象将由左向右移动 (同声源的移动方向相反)。
- 当声源从 225° 向 315° 移动时, 声源再次处于反相区内 (声影区), 分别被两只传声器的前瓣和后瓣拾取, 极性相反, 声象将无法定位。

由此可见, 在这种拾音方式中, 传声器前后各自 90° 的范围内两传声器拾取的信号极性相同, 是有效的拾音区域。两侧为反相区, 声象无法定位, 产生一种不自然的音响 (有时也可以利用这种特性, 制作某种特殊的音响效果)。这也要求厅堂有良好的声学特性和较大的空间, 因为当声源比较宽时, 则可能有较强的反射声被反相区拾取。正常拾音时声源应当安排在拾音区内进行拾音, 并将后区的声象反向叠加到前区的声象中 (混响较为活跃的厅堂里拾音时, 这种反向有可能使重放的空间感有所下降)。其有效拾音角约为 70° 左右, 这个角度接近于立体声最佳听音位置上听音人相对于两扬声器间的角度, 因此声象的角度分布更接近于自然听音。由于有效拾音角相对较小, 因此在拾音时传声器到声源的距离设置需相对较远, 如果是在混响时间较长的厅堂内拾音, 仅使用主

传声器要录制出乐队演奏的现场感和演奏细节是较为困难的，需考虑增加辅助传声器。

Blumlein 拾音方式最早是在 30 年代提出的，它具有准确、清晰的声象定位，单声道重放的兼容性也非常好。不过，目前采用这种方式拾音的比较少，这主要是因为该种方式能够准确的反映出厅堂的声学特性，对厅堂的要求比较高，只有在声源和厅堂的声学特性都比较理想的情况下，Blumlein 方式才能取得比较好的效果。

五、MS 拾音方式

MS 拾音方式的思想理论最早也是由 Blumlein 提出的，但是直到十几年后其理论才被丹麦国家广播电台的工程师 H. Lauridsen 在实践中得以应用。设计这种拾音方式的目 的，就是为了能够在提供较好的单声道信号的同时，有良好的立体声效果。

MS 立体声拾音方式和 XY 拾音方式一样，也是以声级差定位的拾音方式，它由两只传声器组成，传声器的膜片同样需要在水平面上尽量重合。组成 MS 拾音方式的一只传声器 M（Middle 或 Mono 的缩写）可以采用任何一种指向性（最初是采用心形传声器），传声器的轴向指向声源中间，拾取前方声源总的声音信号，即声源左右方向的和信号；另一只传声器 S（Side 或 Stereo 的缩写）则必须采用 8 字形指向性，传声器的轴向指向左边，与 M 传声器的轴向垂直，主要拾取的是两边反射、混响成分比例较高的声音信号，即声源左右方向的差信号，如图 2-19 所示。

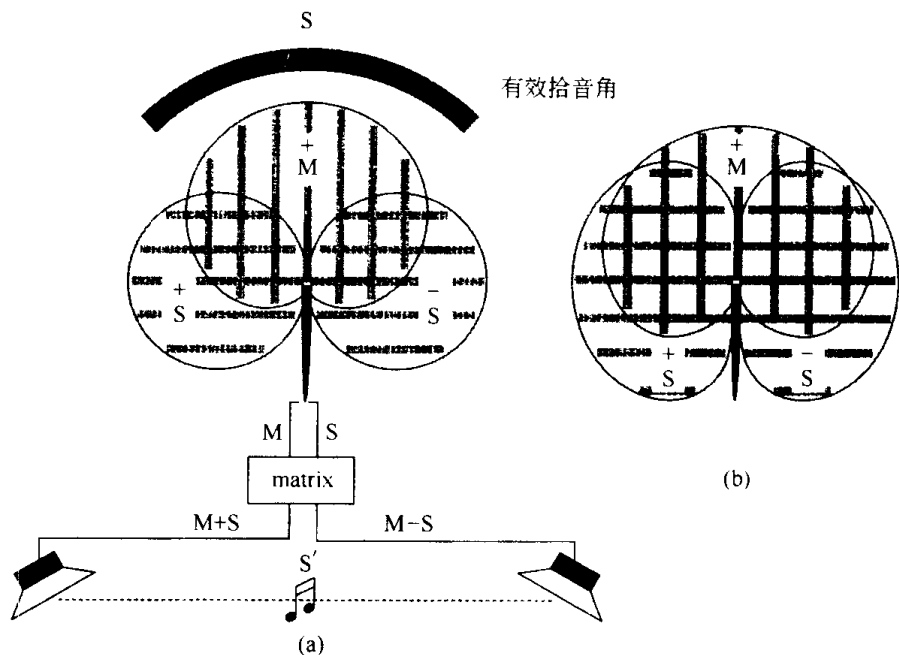


图 2-19 MS 拾音方式
(a)用线性坐标表示 (b)用对数坐标表示

M 和 S 传声器拾取的和、差信号并不能直接作为立体声输出信号，需经过一个和差变换电路才能成为双声道立体声的左右声道信号，其变换为：

$$\text{左声道} = M + S, \text{右声道} = M - S$$



MS 信号的和差变换电路可以用变压器实现,如图 2-20 所示。在实际的应用中也可以直接在调音台上完成,如图 2-21 所示,M 传声器拾取的信号被直接送入调音台,并将调音台上的声象电位器放在中间的位置上,使和信号平均分配到左右声道;S 传声器拾取的信号被分别送到两个输入通道,其中一路信号用声象电位器完全送到左声道,而另一路信号经过反相后被送到右声道。这样,左声道的信号为 $M+S$,右声道的信号为 $M-S$,即分别为立体声的左、右声道信号。另外,也可以用一条一进两出的“Y”形线将 S 信号分为两路。如果调音台上没有倒相开关,可以在“Y”形线的一个输出端利用接线将 S 信号倒相。

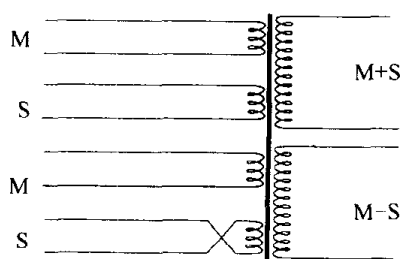


图 2-20 采用变压器矩阵进行和差变换

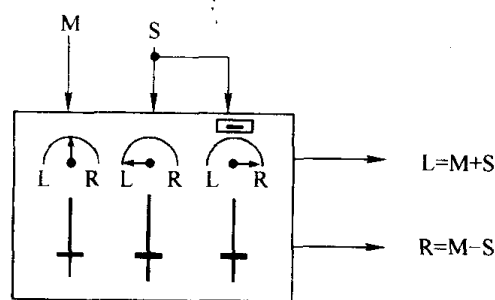


图 2-21 在调音台上进行变换

利用传声器的指向性,可以进一步说明 MS 拾音方式的工作原理,如图 2-22 所示。M 信号和 S 信号相加后,将合成一个主轴朝向左边的心形指向性图,即左声道的指向性图。M 信号和 S 信号相减后,可以合成一个主轴朝向右边的心形指向性图,即右声道的指向性图。因此 MS 拾音方式经过和差变换后的结果,是将 MS 拾音方式转换为 XY 拾音方式。

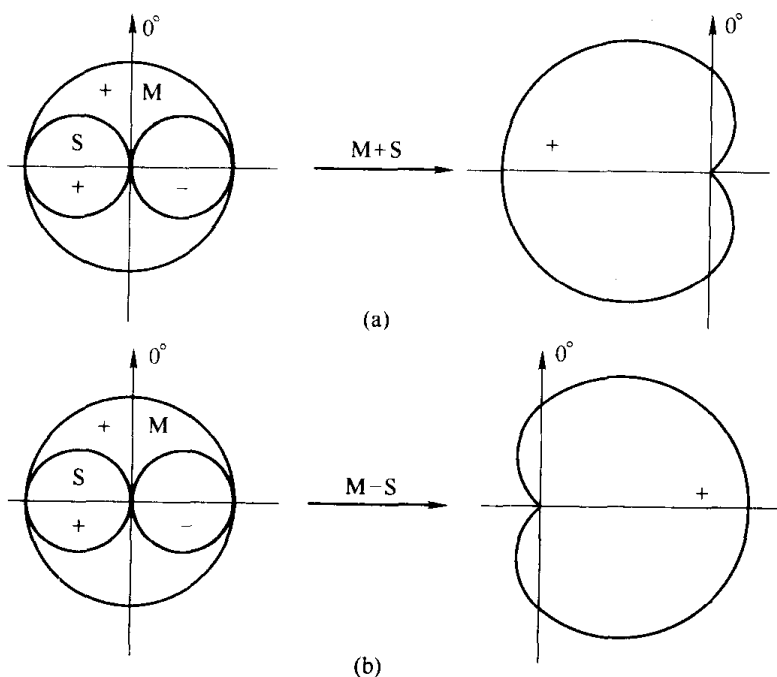


图 2-22 M、S 信号转换为左、右声道信号

MS 拾音方式的最大优点在于，虽然 S 传声器只能采用 8 字形指向性，但 M 传声器可以采用任何指向性，通过改变 M 传声器的指向性，可以使和差变换后等效的 X、Y 传声器呈各种指向性。另外，MS 拾音方式可以在不改变传声器设置的情况下，通过改变 S 传声器和 M 传声器的相对灵敏度，改变等效 X、Y 传声器之间的轴向夹角和指向性，从而调整传声器组合的有效拾音角，控制声源的声象宽度，如图 2-23 所示。图 (a) 中 M 传声器采用全指向形指向性，当两传声器的灵敏度相同时，等效的 X、Y 传声器的指向性为心形，彼此间的轴向夹角为 180° 。当 S/M 的相对灵敏度增大时，等效的 X、Y 传声器的指向性趋向于锐心形，相对灵敏度减小时，则趋向于阔心形。图 (b) 中 M 传声器采用心形指向性，当两传声器的灵敏度相同时，等效的 X、Y 传声器的指向性为锐心形，彼此间的轴向夹角约为 127° 。当 S/M 的相对灵敏度增大时，等效的 X、Y 传声器的指向性趋向于 8 字形，轴向夹角增大，相对灵敏度减小时，则趋向于心形，轴向夹角减小。图 (c) 中 M 传声器采用 8 字形指向性，当两传声器的灵敏度相同时，等效于 Blumlein 拾音方式，即两只 8 字形传声器，彼此间的轴向夹角为 90° ，当 S/M 相对灵敏度增大时，等效的传声器间的轴向夹角增大，相对灵敏度减小时，则轴向夹角减小。

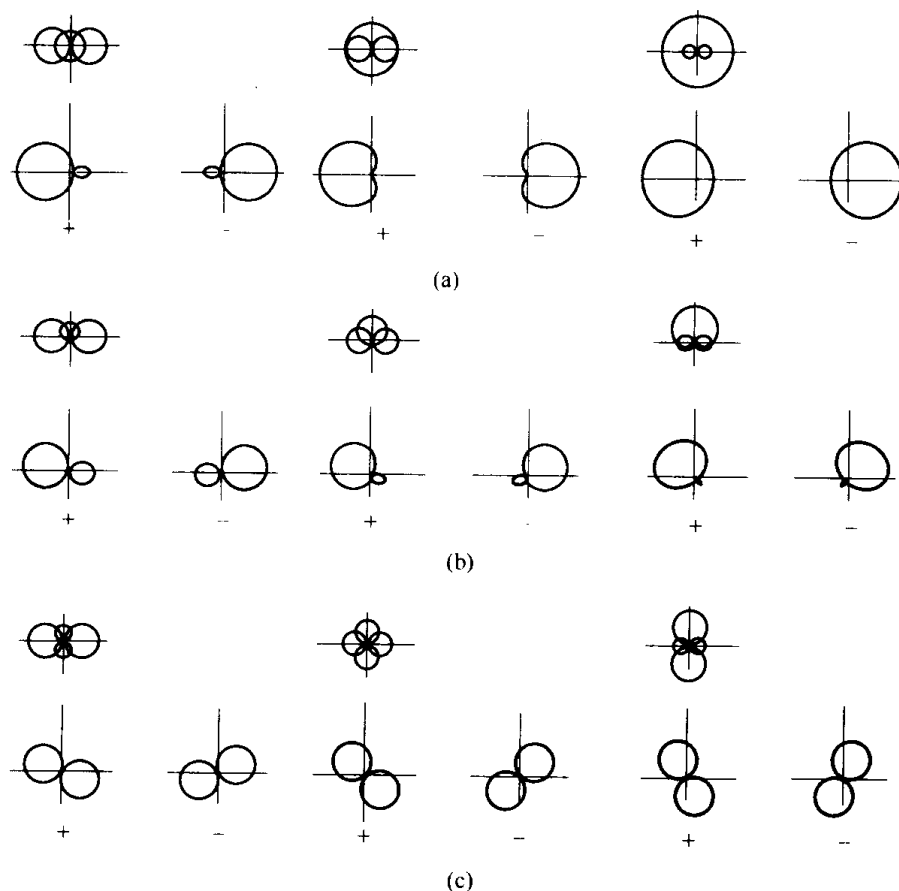


图 2-23 M 传声器的指向性和 S/M 的相对灵敏度与 XY 方式的转换关系 (S/M 为 70:30, 50:50, 30:70)

从上述可以看出，S/M 的灵敏度增大时，等效的 X、Y 传声器彼此间的轴向夹角要相应增大。根据前面的知识可知，XY 拾音方式中，当传声器间的轴向夹角增大时，其有效拾音角将逐渐减小，因此在 MS 拾音方式中，随着 S 信号输出电平的提升，其有效拾音角将逐渐减小，表 2-4 中列出了 M 传声器采用心形指向性时，S、M 传声器相对电平与有效拾音角之间的关系。

表 2-4

S、M 传声器的相对电平	有效拾音角 α	S、M 传声器的相对电平	有效拾音角 α
-6dB	150°	0dB	90°
-3dB	120°	+3dB	60°

如果 S、M 传声器的相对电平超过 3dB，进一步提升 S 传声器的输出电平，则有效拾音夹角将进一步减小，S 传声器输出的差信号占到主导地位。将过分的强调相位的不同，拾取过多的反射声和混响声。如果 S、M 传声器的相对电平超过 -6dB，进一步减小 S 传声器的输出电平，有效拾音角将超过 150°，则两侧的声源将超出心形指向性传声器的拾音角 130°，造成信号的明显衰减。

需要注意的是，在指向性极坐标图中，从极点到 M 传声器与 S 传声器两交点所对应的夹角称为 MS 拾音方式的最大包容角。由于 8 字形传声器的前瓣和后瓣是反相的，在最大包容角以内拾音时，拾取的和分量与差分量同相，而在该角度之外拾音时，则和分量与产分量是反相的。因此无论 S、M 传声器的相对电平是多少，声源都不能超过有效拾音角设置在最大包容角之外，否则声象将无法定位。

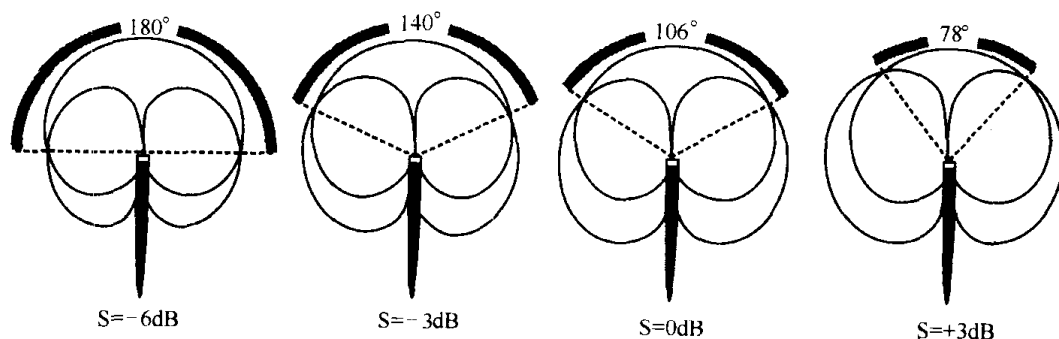


图 2-24 M 传声器为心形指向性时的最大包容角

当 M 传声器采用全指向形指向性时，拾音范围可以扩展到 360°，并且由于等效的 X、Y 传声器前后是对称的，所以其前后声源的声象关系也是一致的。

表 2-5

S、M 传声器的相对电平	有效拾音角 α	S、M 传声器的相对电平	有效拾音角 α
-6dB	180°	0dB	110°
-3dB	150°	+3dB	70°

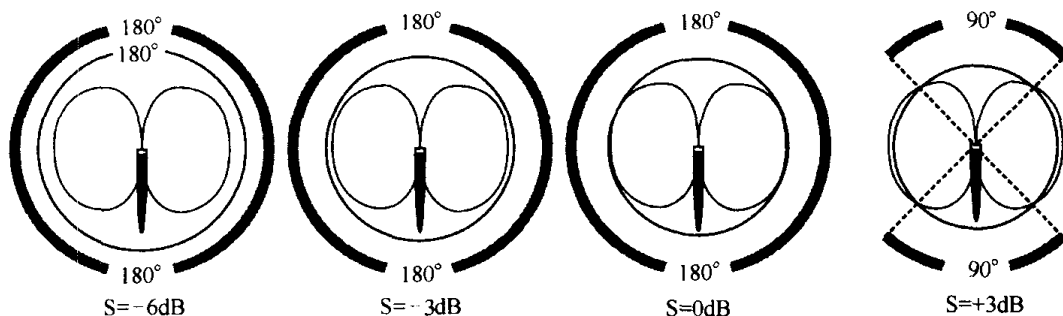


图 2-25 当 M 传声器为全指向性时的最大包容角

尽管采用 MS 方式进行立体声拾音时有如此多的变化，它仍然有最好的单声道重放兼容性。当左右声道的信号混合成单声道信号时， $(M+S) + (M-S) = 2M$ ，S 传声器拾取的信号被完全抵消，只剩下 M 传声器拾取的信号，因此 MS 拾音方式的兼容性要优于 XY 方式，更适合于广播电视的现场实况录制。而且这种抵消将使信号中的反射声和混响声有所下降，从而提高了单声道节目的清晰度。

MS 拾音方式还可以在立体声影视节目的录音中广泛采用。在节目录像过程中，可以将没有解调的和信号和差信号分别录制到录像机的两个声道上，用 M、S 解调矩阵来监听。这样在后期制作时，可以根据不同的景别来调整立体声声象的宽度，从而保证声画的统一。

相对于 XY 拾音方式，MS 拾音方式具有很多的优点：

- MS 拾音方式的 M 传声器可以采用有良好低频响应的全指向传声器，而 XY 方式很少采用，多采用具有指向性的传声器。因此 MS 拾音方式的低频响应要优于 XY 方式。
- MS 拾音方式可以通过调整 S、M 传声器的相对电平，改变等效传声器的轴向夹角，控制声源的声象宽度，而且可以在后期制作中进行调整，而 XY 方式的调整就要受到很多限制，而且调整不方便。
- 当 S、M 传声器的相对输出电平较小时，MS 拾音方式可以获得比 XY 方式更大的有效拾音角。
- M 传声器正对声源的中心，声源到达传声器将更接近传声器的主轴，而 XY 方式传声器的主轴分别朝向两侧，容易由于传声器的离轴响应不好，造成声染色。
- M、S 传声器是分别对称的置于声源的中间，而 XY 方式是两传声器对称的置于声源前方，因此 MS 拾音方式在左右方向上的频率响应将更一致。

作为时间差定位的立体声拾音方式，MS 方式同 XY 方式一样具有清晰、稳定的声象定位，但是空间感不足。理想的立体声效果应当忠实的再现厅堂内现场听音的情况，即既要有一定的清晰度，同时也要有演出现场的空间效果，因为空间感往往有利于音乐作品的情绪表达。为了解决这个问题，Criesinger 提出如果将左声道和右声道的差做适当的低频提升，将有助于声级差拾音方式在保证声象质量的同时，提高节目的空间感和纵深感。另外，增加混响传声器也可以有效的改善节目的空间感，对于 MS 拾音方式，



还可以在两传声器间加入适当的延时, 来提高节目的空间效果。

第三节 时间差定位的立体声拾音技术

时间差定位的立体声拾音技术是基于声级差对人耳的定位作用建立的, 通常采用两只传声器, 彼此间隔一定的距离, 平行设置于声源的前方。声源到传声器的距离要远远大于传声器间的距离, 这样可使由于两传声器间的距离而造成的声级差忽略不计。这种方式即通常所讲的小 AB 拾音方式。

一、时间差定位方式的声象估计

采用时间差定位的拾音技术时, 两传声器之间的距离是关键参数, 如果两传声器间的距离和声源的入射角确定的话, 则可以根据该参数计算出两声道间的时间差, 从而近似的估计出声象定位的情况。如图 2-26 所示, 可以计算出声源到达两传声器的时间差为:

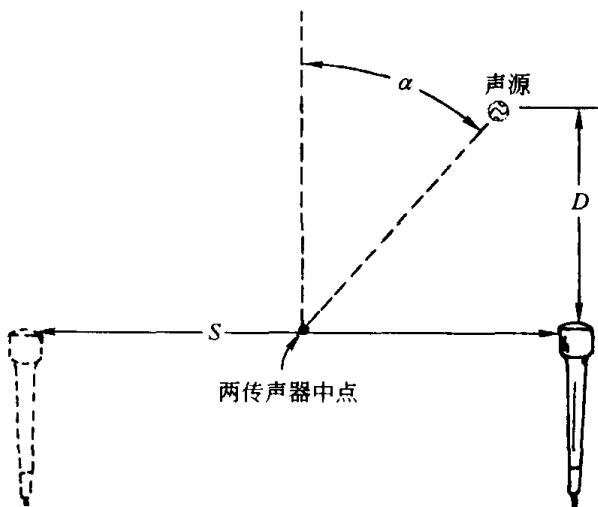


图 2-26 S 为两传声器间的距离, α 为声源入射角

$$\Delta T = \frac{\sqrt{D^2 + [(S/2 + D \tan \alpha)]^2} - \sqrt{D^2 + [(S/2) - D \tan \alpha]^2}}{C}$$

上式中: ΔT 为两声道间的时间差; D 为声源到传声器的垂直距离; S 为两传声器间的距离; α 为声源入射角; C 为声速。当两传声器之间的距离比较小时, 上式可以简化为:

$$\Delta T = \frac{S \cdot \sin \alpha}{C}$$

同声级差的情况一样, 在不同的测试环境下, 声象定位在扬声器上所需的时间差也有一定的变化范围, 通常为 $1\text{ms} \sim 2\text{ms}$, 所以估计值和实际的数值是有一定误差的, 而且此处也是假设传声器为理想的指向性, 传声器的指向性不随声源的频率而变化。实际上, 全指向形传声器在高频段的指向性是比较强的, 对于高频成分较多的乐器, 声级差也将起到一定的作用。

二、时间差定位的拾音方式

时间差定位的拾音方式通常采用两只全指向形的传声器, 传声器的距离为几十厘米, 两传声器平行设置。由于估计的方法误差较大, 所以传声器组合的有效拾音角应当以实际的测试为准, 如图 2-27 所示。

当声源位于两传声器的垂直平分线上时，到达两传声器的距离相等，两传声器拾取的信号间没有延时，即时间差为零，声象定位于两扬声器的中间，即图中的 S' 。当声源沿着弧线向右移动时，声源将先到达右传声器，并且随着声源的移动，传声器的距离差将逐渐增大，两传声器间的时间差也将逐渐增加，而声级差基本不变，这样声象也逐渐向右扬声器移动。可以看出，时间差定位的立体声拾音技术是将声源的方位“编码”成两声道间的时间差，重放听音时大脑再将其“解码”成两扬声器间相应的声象定位。

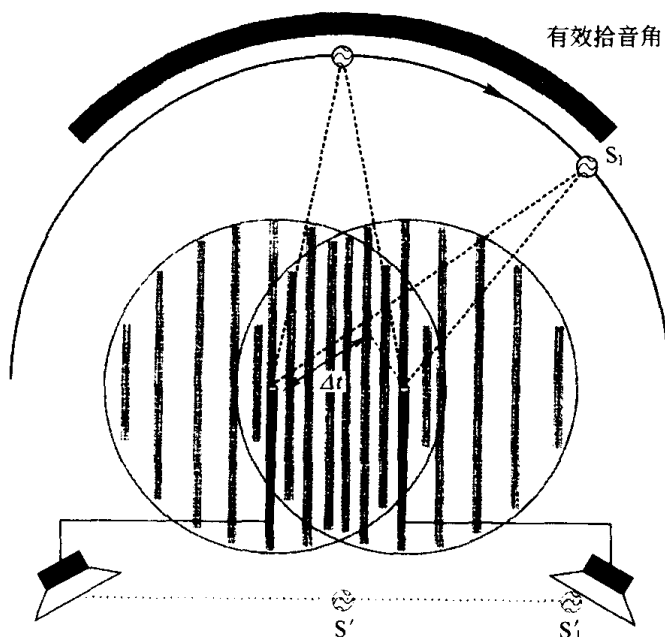


图 2-27 时间差定位的拾音方式

当两传声器之间的延时达到 1.1ms 时（设声象定位在扬声器上所需的时间差为 1.1ms ），如图 2-27 中 S_1 处，则声象将定位到右扬声器处， S_1 处即为要确定的有效拾音角。当声源超过该点继续向右移动时，则声象继续保持在右扬声器处。

如果声源在 S_1 处保持不变，减小两传声器的间距，如图 2-28 所示，声源到达两传声器的距离差将减小。因此两传声器间的时间差也将随之减小，此时声象会感觉向两扬

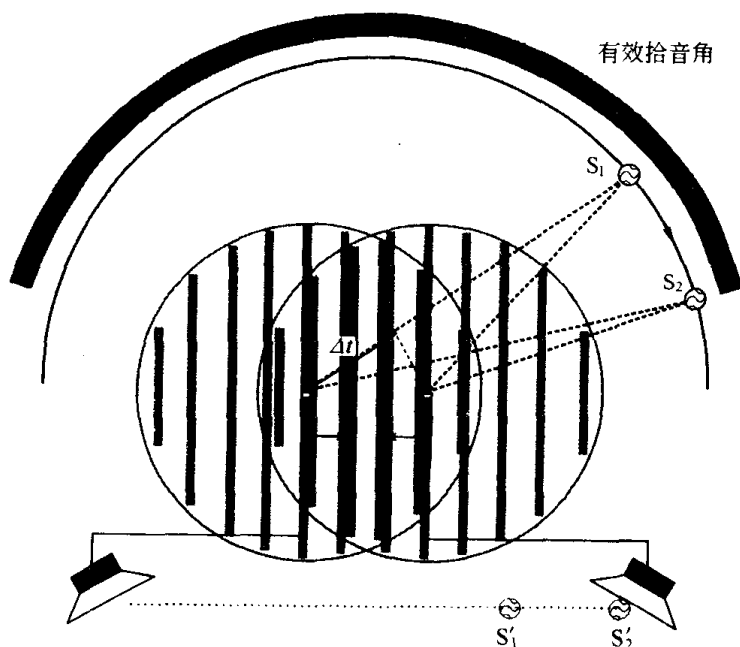


图 2-28 减小两传声器之间的距离，增大有效拾音角



声器的中间移动。为了使两声道间再次获得 1.1ms 时间差, 声象感觉定位在右扬声器上, 声源必须继续向右移动超过 S_1 (到达 S_2)。在时间差定位的拾音方式中, 减小两传声器之间的距离将增大有效拾音角。

表 2-6

传声器间的距离	有效拾音角 α	传声器间的距离	有效拾音角 α
50cm	130°	35cm	160°
45cm	140°	30cm	170°
40cm	150°	25cm	180°

采用该方式拾音时, 两传声器之间的距离不能超过一定的限度有明显的增加或减小, 否则将破坏重放时立体声声象的自然和平衡。一般情况下, 其间距应为 25~50cm, 其相应的有效拾音角大致为 180°~130°。如果传声器间的距离小于 25cm, 如图 2-29 所示, 两声道间将没有足够的延时, 容易造成立体声声象太窄, 声象不能定位在两侧的扬声器上, 立体声缺乏宽度。如果传声器间距大于 50cm, 则声级差在定位中将逐渐起作用, 而且容易出现中间空洞现象, 声象过于集中在两侧的扬声器附近。

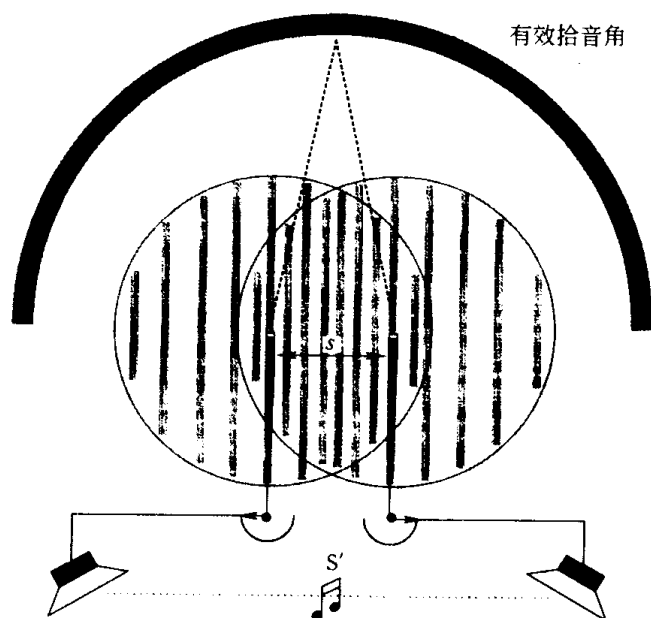


图 2-29 时间差拾音方式, 两传声器间的距离为 25cm, 有效拾音夹角为 180°

采用时间差定位的优点是可以获得良好的空间感和丰满的音响效果, 声音感觉比较温暖, 但是其声象定位效果往往不理想。这主要是由于两传声器间的距离造成的。

时间差定位的拾音方式中, 拾取的混响信号具有随机的相位关系, 声音的空间感和融合度比较好, 因此在混响适中的环境中, 该方式可以获得良好的空间感, 声音比较温暖。全指向形传声器使该种方式有充分的低频响应, 声音比较丰满, 适合于交响乐、管风琴等的录制, 环境和音响效果等的采录也往往采用这种方式。当然良好的低频响应也

有其不利的方面,如空调等低频噪声也容易被拾取。另外,采用全指向形传声器也避免了低频近讲效应的发生,虽然这种方式往往在较远的距离拾音,但是对于录制钢琴等其他乐器的独奏时,拾音距离则相应的要近一些。当传声器设置距离声源较近时(由于该方式的有效拾音角相对较大,拾音距离可达几十厘米左右),则重放的立体声声象比较靠前,有较强的现场感。

这种方式拾音的缺点是声象定位效果不好,只有在声源的瞬态上才有可能获得比较精确的声象定位,因此近处的声源往往定位清晰。对于持续的长音或距离较远的声源,则容易感觉到随着声源频谱的变化,声象的位置有漂移的现象。另外,时间差的存在也必将导致梳状滤波器效应,如图 2-30 所示。因为电路上的迭加要比声学上的迭加效果明显的多,所以当立体声信号做单声道重放时,梳状滤波器效应将更明显。

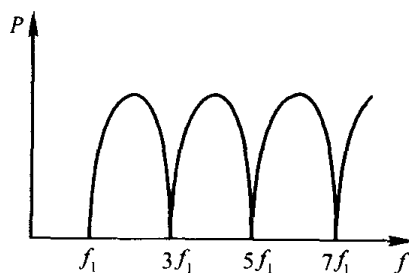


图 2-30 梳状滤波器效应

第四节 时间差和声级差定位的立体声拾音技术

时间差和声级差定位的拾音技术是指以时间差和声级差共同作用对声源进行声象定位的拾音技术。这种方式在单纯用时间差或声级差定位的拾音方式间做了折中,更接近人耳听音的实际情况。

一、近重合式拾音方式

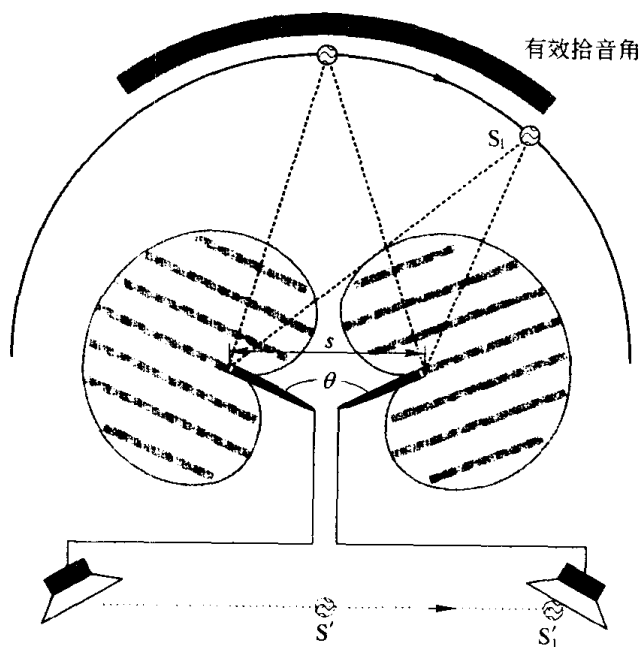


图 2-31 时间差和声级差定位的拾音技术

该种拾音方式是在重合式拾音方式的基础上建立的,将两只具有指向性的传声器拉开一定的距离,轴向彼此张开一定的角度,对称的置于声源的前方。由于传声器间存在一定的距离,因此该种组合将不再是仅以声级差定位,而是由时间差和声级差共同作用来进行定位的。不过传声器间的距离一般比较小,因此声道间的声级差主要由传声器的指向性和轴向夹角确定,而时间差则由传声器间的距离来确定,如图 2-31 所示,其声象定位的估计可以使用以时间差和声级差分别定位的方法。

在图 2-31 中,当声源位于两只传声器的垂直平分线上时,两传声器拾取的信号完全相同,既没有时间差,



也没有声级差,声象 S' 定位于两只扬声器连线的中点。当声源向右移动时,一方面,类似于声级差拾音方式,声源将逐渐接近右传声器的主轴方向,同时逐渐远离左传声器,从而造成两声道间的声级差逐渐增大。另一方面,声源将先到达右传声器,并且随着声源的移动,传声器间的距离差将逐渐增大,造成传声器间的时间差也将逐渐增加。这样,声象也将逐渐向右扬声器移动。当声源到达 S_1 处时,在两传声器拾取的时间差和声级差的综合作用下,声源的声象定位于右扬声器处, S_1 处即为有效拾音角。如果声源超过 S_1 位置,继续向右移动,则声象将固定于右扬声器不变。

如果声源位置 S_1 不变,减小两传声器之间的距离和轴向夹角,如图 2-32 所示,则两传声器间的时间差和声级差也将随之减小,声象的位置将向两扬声器连线的中点移动,只有继续移动声源,超过 S_1 (到达 S_2),两传声器间才能获得足够的时间差和声级差,使声象 S_2' 定位于右扬声器上。因此,减小两传声器之间的距离和轴向夹角,将增大其有效拾音角,反之亦然。

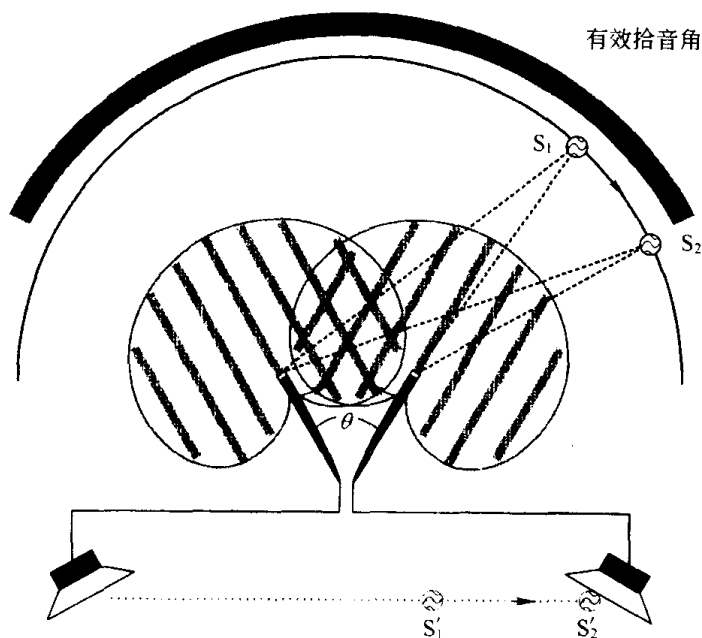


图 2-32 减小两传声器间距和轴向夹角,增大有效拾音夹角

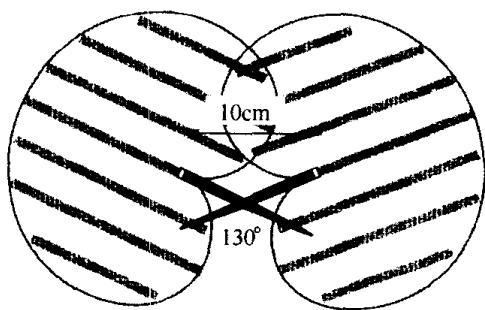


图 2-33 传声器间距离为 10cm, 轴向夹角 130° , 有效拾音角约为 100°

由于是采用时间差和声级差共同作用对声象进行定位的,因此如果增大声道间的声级差同时减小声道间的时间差(如图 2-33 所示),或者增大声道间的时间差同时减小声道间的声级差(如图 2-34 所示),则有可能使不同的传声器组合获得同样的有效拾音角。

从上面的结果可以看出,对于一定的有效拾音角,可以由不同的时间差和声级差组合而成。就有效拾音角约为 100° 的情况而言,两者

间关系可以用图表示，如图 2-35 所示。该图是由 Henri Mertens、Carl Ceoen 和 Mike Williams 首先提出的。

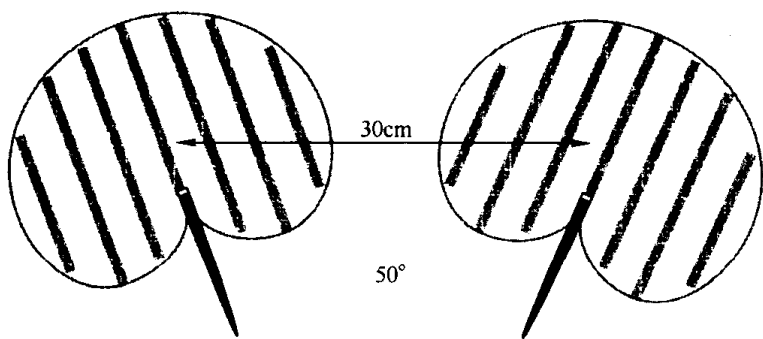


图 2-34 传声器间距离为 30cm，轴向夹角 50°，有效拾音角约为 100°

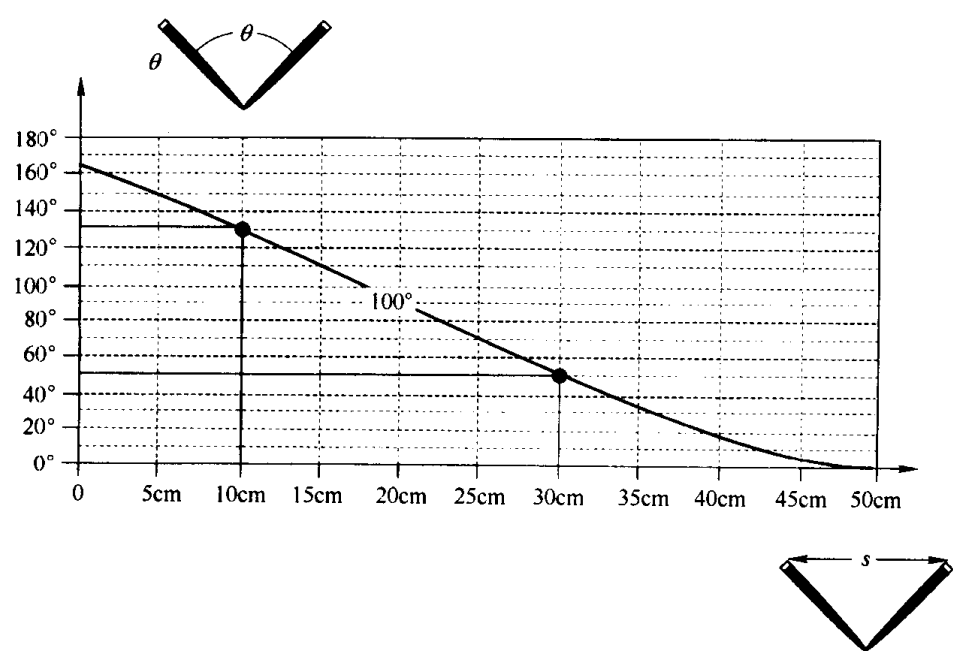


图 2-35 有效拾音角为 100°时，传声器间的距离与轴向夹角的关系

在图 2-35 中，纵坐标表示的是两传声器间的轴向夹角，横坐标表示的是两传声器间的距离。图中两点（130°/10cm 和 50°/30cm）具有相同的有效拾音夹角 100°，而且通过两点的曲线上的各点，也具有相同的有效拾音夹角 100°。因此，如果需要改变传声器对的有效拾音角，可以调整两传声器间的轴向夹角 θ 、两传声器间的距离 S 或传声器的指向性（阔心形、心形或超心形传声器）。

采用这种方式拾音时，两只传声器间的距离和轴向夹角的变化范围同样不能超过一定的限度，否则将影响到立体声声象的平衡效果。当采用心形传声器时，其轴向夹角的选择范围为 50°~130°，两传声器的间距需在 35cm 以内，当两传声器的间距趋向于零时，将逐渐趋向于 XY 拾音方式。130°的轴向夹角上限和 XY 拾音方式相同，同样是为了避免中间的声源处在心形传声器的拾音角以外，而造成中间信号的明显衰减，如图



2-36所示。如果两传声器的轴向夹角小于 50° ，则两侧的声源将处于心形传声器的拾音角以外，有明显的电平衰落，如图 2-37 所示。

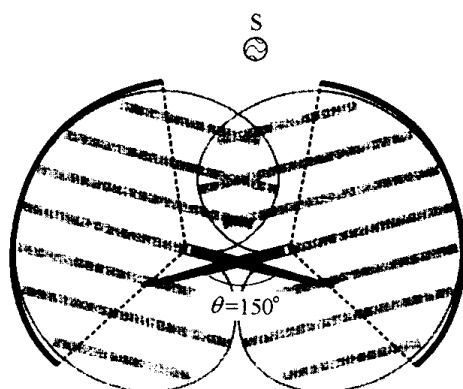


图 2-36 传声器间的轴向夹角大于 130° ($\theta = 150^\circ$)

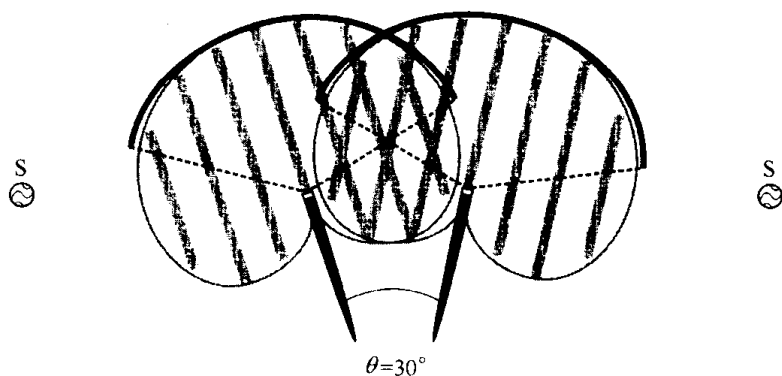


图 2-37 传声器间的轴向夹角小于 50° ($\theta = 30^\circ$)

上述推荐的 35cm 距离上限，一方面可以获得较好的单声道/立体声兼容性，另一方面则可以避免声象集中于两边扬声器，出现中间空洞现象。因为在仅以时间差定位的情况下，时间差小于 0.7ms 时，时间差与声象角之间才为线性关系。当两传声器间距为 35cm，轴向夹角为 90° ，声源方位角为 45° 时，两传声器间的时间差恰好为 0.7ms，如图 2-38 所示。如果继续增大传声器间距，时间差与声象角将呈非线性关系。

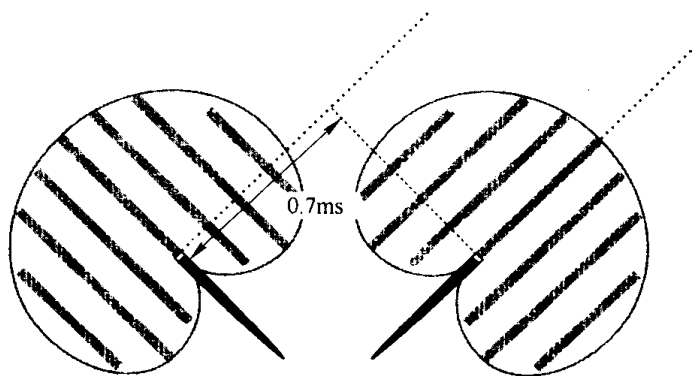


图 2-38 传声器间的距离为 35cm，声源方位角为 45° 时，时间差为 0.7 ms

通过以上分析可以看出，不同的有效拾音角分别为两传声器间的轴向夹角 θ 和传声器间的距离 s 两个变量的函数，其中有效拾音角的范围为 $60^{\circ}\sim180^{\circ}$ （考虑到 θ 和 s 的极限）。如果要增大有效拾音角，可以通过减小轴向夹角或两传声器间距来实现，反之亦然，如图 2-39 所示。图中的阴影区为中间声源衰减（ $\theta>130^{\circ}$ ）以及对两侧声源有衰减（ $\theta<50^{\circ}$ ）的区域。

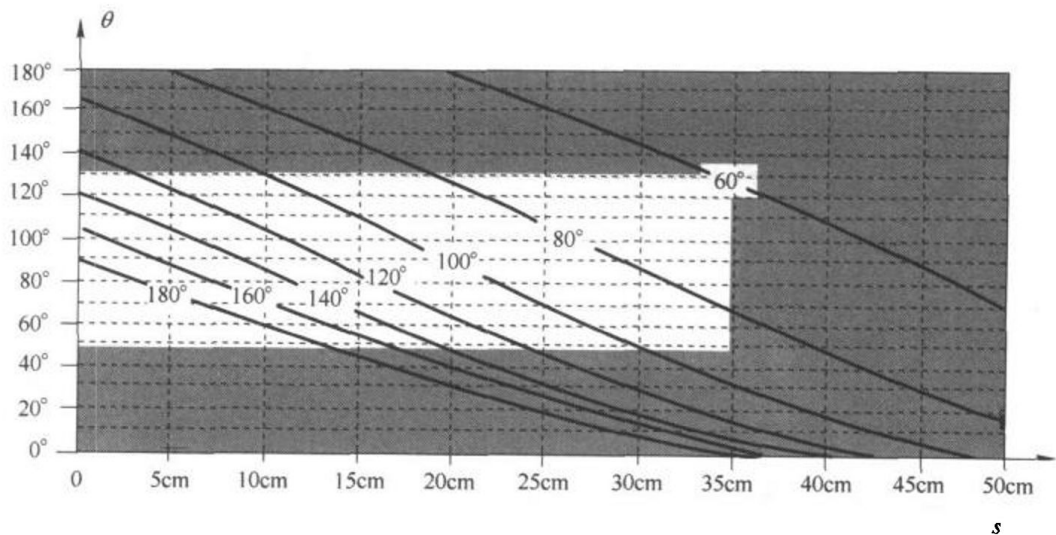


图 2-39 采用心形传声器时，对于不同的有效拾音角，其轴向夹角和传声器间距之间的关系

在有效拾音角确定的情况下，图 2-39 清楚的反映了传声器间的轴向夹角和传声器间的距离之间的关系。例如，当 $S=17\text{cm}$ 时， θ 和 α 之间的关系为：

表 2-7

传声器间轴向夹角 θ	有效拾音角 α	传声器间轴向夹角 θ	有效拾音角 α
130°	80°	70°	130°
110°	90°	50°	160°
90°	110°		

采用锐心形传声器时，其衰减 -3dB 时的拾音角为 105° ，所以经常选择的轴向夹角 θ 为 $40^{\circ}\sim105^{\circ}$ ，两传声器间的距离小于 35cm 。对于不同的有效拾音角，其轴向夹角和传声器间距之间的关系如图2-40所示。

采用阔心形传声器时，其拾音角为 160° ，所以实际应用中经常选择的轴向夹角为 $40^{\circ}\sim160^{\circ}$ ，两传声器间的距离小于 40cm ，其轴向夹角和传声器间距之间的关系如图 2-41所示。

从上述分析中可以看出，近重合式拾音方式中可以变化的参数相对要多一些，形式比较繁多，因此在 50 年代，为了满足广大录音师的需要，工程师们通过大量的实验，总结了许多近重合式的拾音方式：

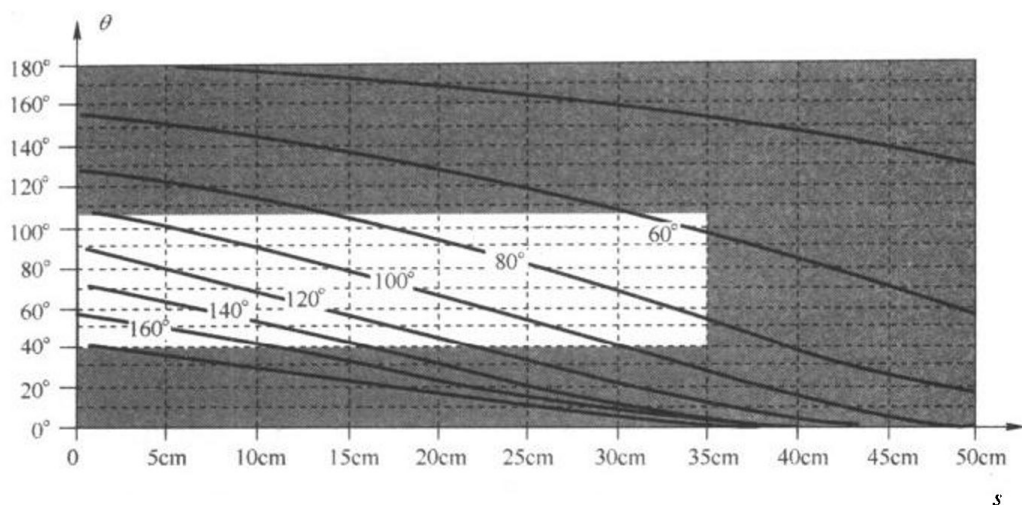


图 2-40 采用锐心形传声器时, 对于不同的有效拾音角, 其轴向夹角和传声器间距之间的关系

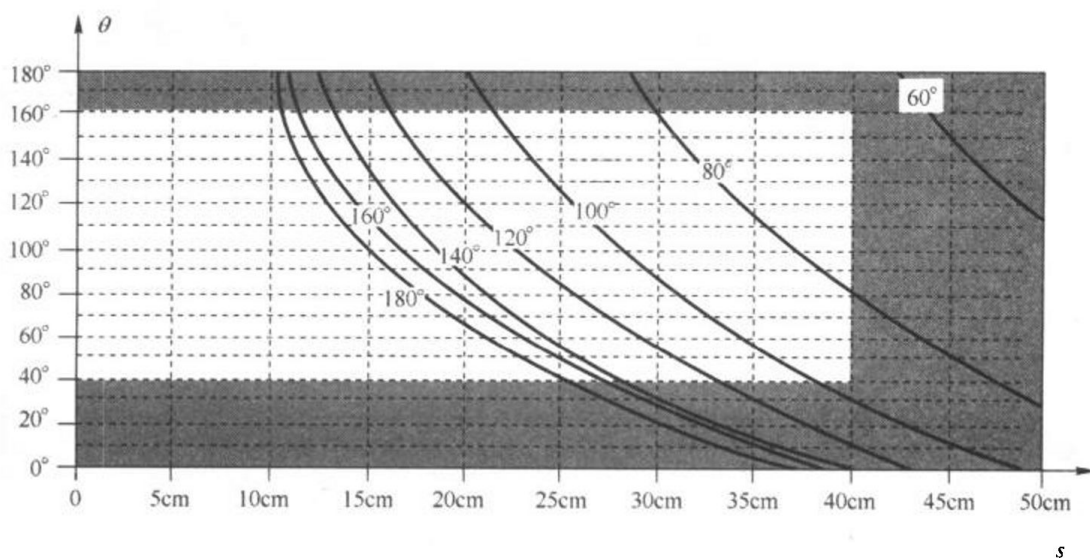


图 2-41 采用阔心形传声器时, 对于不同的有效拾音角, 其轴向夹角和传声器间距之间的关系

1. ORTF 拾音方式

ORTF 拾音方式是由法国无线广播电视协会首先创立并推广使用的, 它采用两只心形传声器, 传声器间的距离为 17cm, 轴向夹角为 110° , 有效拾音角大约为 90° , 如图 2-42 所示。

ORTF 拾音方式在一定程度上近似于人耳听音的情况, 传声器间 17cm 的距离接近于人的两耳间的距离, 而 110°

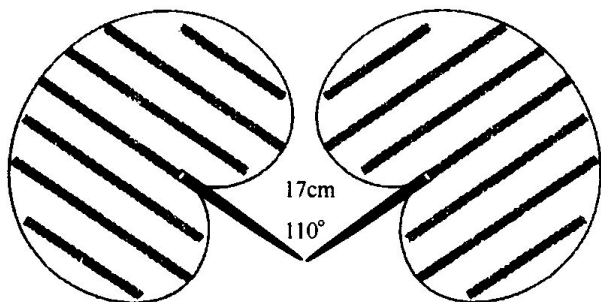


图 2-42 ORTF 拾音方式

的轴向夹角则近似等于耳壳的张角。它的创始人 R. Condamines 认为传声器间 17cm 的距离可以保证重放声象的稳定, 在这个距离的基础上, 110° 的轴向夹角有最准确的声象定位。当轴向夹角小于 110° 时, 声象的宽度不够, 而大于 110° 则容易出现中间空洞现象。ORTF 传声器将两只传声器的膜片固定在同一支架上, 如图 2-43 所示, 使该种拾音方式的使用更加方便。



图 2-43 ORTF 传声器

实践证明, ORTF 拾音方式在声象定位的准确和空间感、温暖感间做了很好的折中, 整个声场也比较平衡, 对单声道重放的影响也不大, 是欧洲较为流行的一种拾音方式。

2. NOS 拾音方式

NOS 拾音方式是由荷兰广播基金的工程师们首先创立的, 它同样采用心形传声器, 两传声器间的距离为 30cm, 轴向夹角为 90° , 其有效拾音角大约为 80° , 如图 2-44 所示。

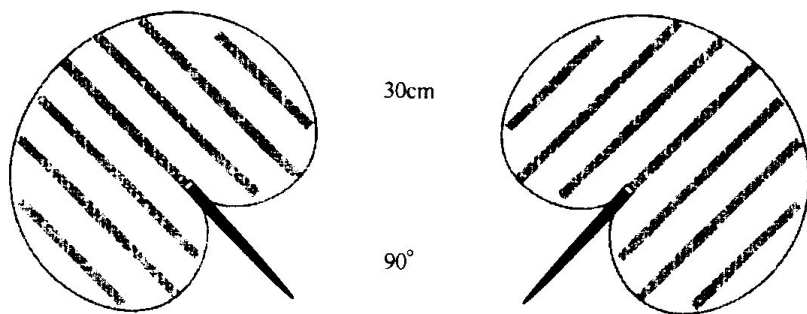


图 2-44 NOS 拾音方式

相对于 ORTF 拾音方式, NOS 方式中传声器间的距离有所增大, 但轴向夹角相应减小, 80° 的有效拾音角使 NOS 方式可以使声源有更宽的声象定位。由于传声器间的距离增大, 因此该方式的单声道兼容性要比 ORTF 方式有所下降, NOS 方式在 250Hz (中央 C 附近) 左右相位差开始比较明显, 而 ORTF 方式要高两个倍频, 大约为

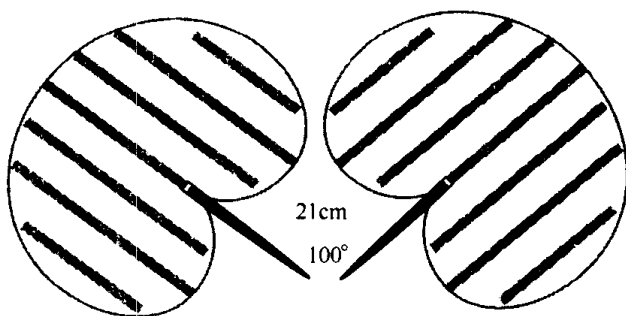


图 2-45 DIN 拾音方式

右, 如图 2-45 所示。

另外, 在近重合式拾音方式中, OLSON 和 RAI 拾音方式的应用也较为广泛, 如图 2-46 和 2-47 所示。OLSON 拾音方式是由 Olson 首先提出来的, 传声器间的距离为 20cm, 轴向夹角为 135° , 其有效拾音角约为 80° 。RAI 拾音方式则是由意大利广播公司首先使用, 传声器间的距离为 21cm, 轴向夹角为 100° , 有效拾音角约为 90° 。

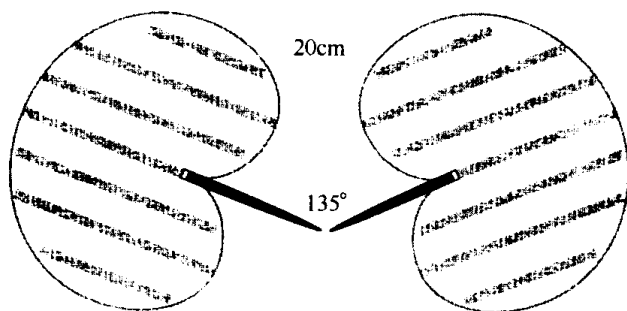


图 2-46 OLSON 拾音方式

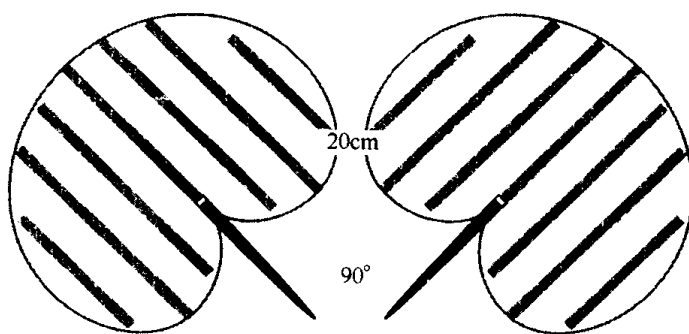


图 2-47 RAI 拾音方式

可以看出, 以上各种拾音方式的有效拾音角约为 $80^\circ \sim 100^\circ$, 可以在图 2-39 中标出其相应的位置, 如图 2-48 所示。图中各种适应方式恰好处在前面讨论的心形传声器的情况下, 轴向夹角和传声器间距的选择范围以内, 因此采用这些方式拾音时, 不会出现很大的问题。如果根据实际的情况, 拾音方式选择得当, 则有可能获得理想的立体声效果。

1000Hz 左右。

3. DIN 拾音方式

DIN 拾音方式是西德广播电台和德意志唱片公司首先采用的, 其拾音方法近似于 ORTF 制式, 因此它的性能和优缺点与 ORTF 制式也基本相同。它也是采用两只心形传声器, 但间距不是 17cm, 而是 20cm, 传声器主轴的夹角是 90° , 其有效拾音角为 100° 左

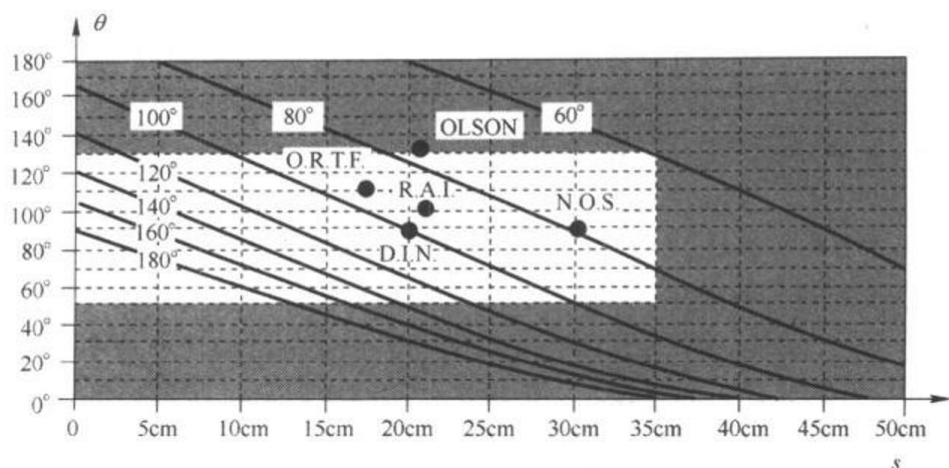
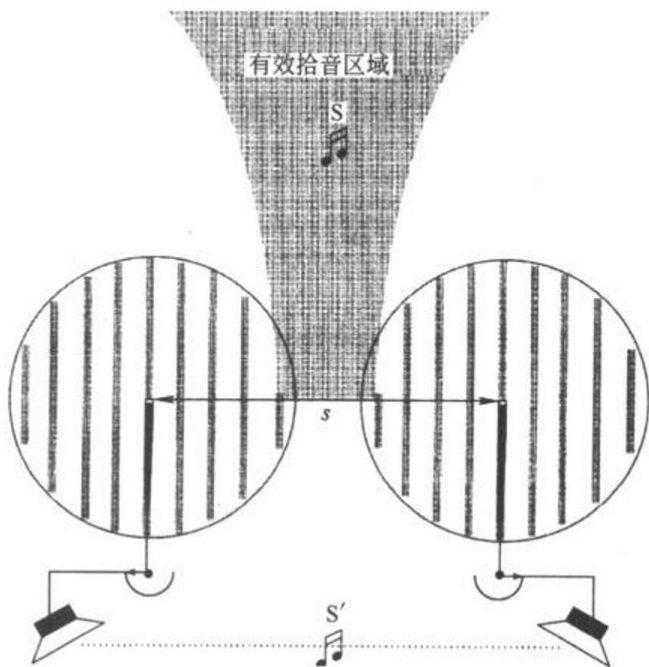


图 2-48 各种近重合拾音方式在图 2-39 中的位置

二、大 AB 拾音方式

大 AB 拾音方式是相对于小 AB 拾音方式而言的，一般采用全指向形传声器，平行置于声源的前方。两者的主要差别在于大 AB 拾音方式的传声器间距要远远大于小 AB 拾音方式，这样传声器间的距离所造成的声级差就不能忽略不计。

当声源位于两传声器的垂直平分线上时，两传声器拾取的信号完全相同，声象位于两扬声器连线的中点上。当声源离开中心向右移动时，声源将接近右传声器。由于声波在传播的过程中其能量反比于传播距离的平方，这样传声器间的距离将在两声道间造成一定的声级差，它将同声道间的时间差一起，共同作用对声源进行定位。从实际的应用情况来看，大 AB 拾音方式中两传声器的间距往往可以和声源的宽度相比较，因而在这种情况下讨论有效拾音角是不恰当的，应称之为有效拾音区域，如图 2-49 所示。图中采用两只全指向形传声器，间距为 1m。可以看出，其有效拾音区域非常狭窄，所以这种拾音方式适合于拾取距离较远和具有较大纵深的声源（例如有的舞台前后纵深较大）。

图 2-49 大 AB 拾音方式, $S = 1\text{m}$

有时为了获得较大的空间感，将声象充分定位到两扬声器间，传声器的间距经常达到几米。这样两侧的声源不但能够有较大的声压级，而且要先于中间声源到达传声器，



造成两侧的声象集中在两扬声器附近，而中间声源能量较弱，声象靠后，即所谓的中间空洞现象。出现这种情况，可以在两只传声器中间增加一只加强传声器，并将该传声器拾取到的信号平均分配分配到左、右声道中，以弥补中间声源的衰落。著名的唱片公司 TELARC，就经常以这种方式作为主传声器，另外再加一些辅助传声器来录制交响乐等古典音乐。

如果录音的现场噪音比较大，或者传声器需要设置在较远的位置上，则需要考虑采用心形或锐心形指向性来代替全指向形传声器。当然，传声器间的距离应当较采用全指向形传声器近一些，而且需要考虑到传声器的离轴相应，以防止声染色的发生。

大 AB 的拾音方式在美国有较广泛的应用，虽然声象定位效果不是特别好，但是具有很好的空间感，声音比较温暖，有利于音乐情感的表达，因此该种方式录制的古典音乐受到很多听众的欢迎。这种拾音方式的最大缺点是单声道兼容性比较差，在设置传声器时应当特别注意。特别是增加第三只甚至第四只加强传声器弥补中间信号的不足时，由于时间差所造成的梳状滤波器效应也将被迭加，使相位间的相互抵消更加复杂。图 2-50 为采用三只传声器拾音时，传声器两两之间产生的梳状滤波器效应。图 2-51 为采用四只传声器拾音时，传声器两两之间产生的梳状滤波器效应。

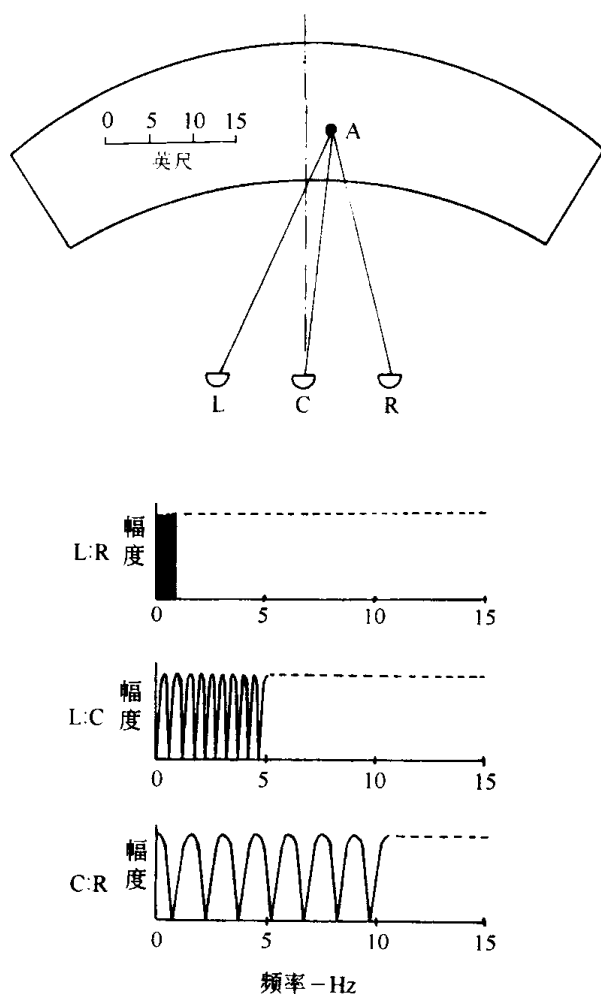


图 2-50 三只传声器间的梳状滤波器效应

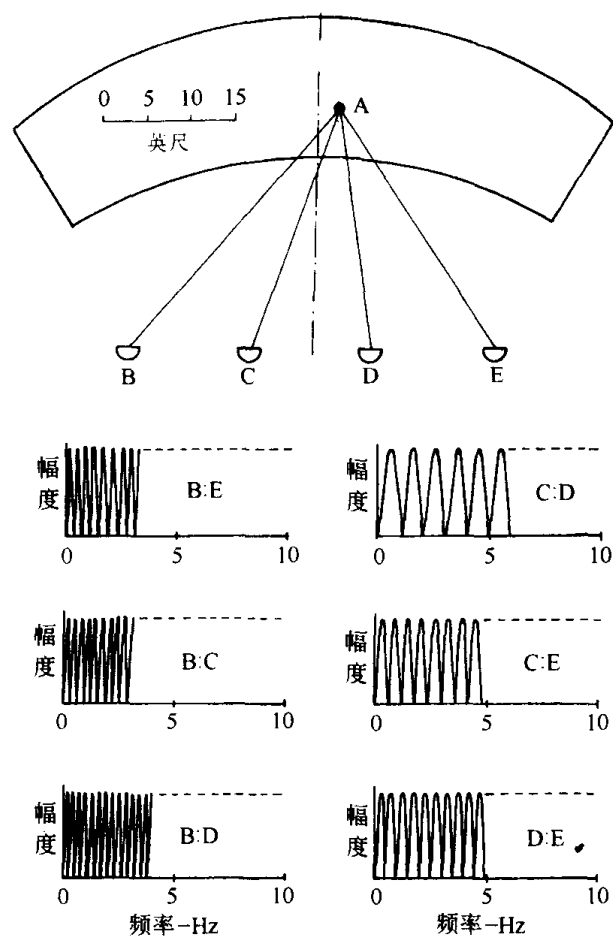


图 2-51 四只传声器间的梳状滤波器效应

三、Decca Tree 拾音方式

Decca Tree 拾音方式是 Decca 唱片公司于 1954 年首先创立的，它由三只全指向传声器组成（Decca 公司最早采用的是 Neumann M-50 传声器），分别置于“T”字形的一端，传声器间的距离取决于所需的空间感和声象宽度。一般情况下左右传声器间的距离

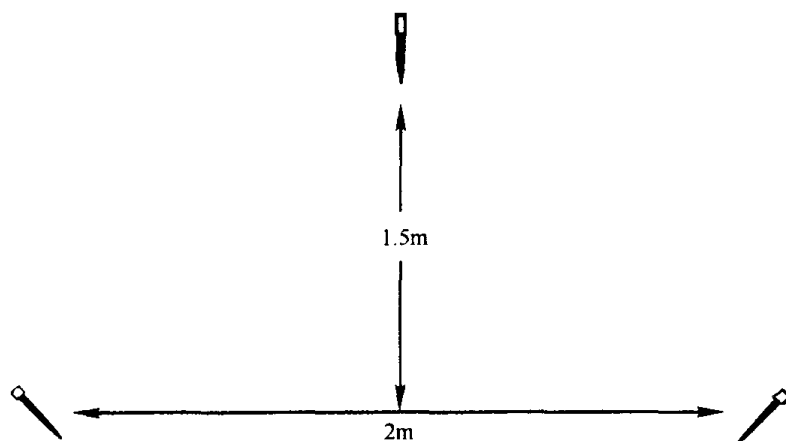


图 2-52 Decca Tree 拾音方式



为 2m 左右, 根据实际的需要两传声器的轴向可以彼此张开一定的角度, 以保障两侧的声源有较好的高频响应。这样左右传声器可以拾取到足够的声级差和时间差, 以保证声象定位和空间感。前置传声器到左右传声器的连线的距离约为 1.5m 左右, 主轴正对声源, 起到加强中间声源的作用, 如图 2-52 所示。

Decca 唱片公司采用 Decca Tree 拾音方式录制了一大批具有 Decca 风格的经典唱片, 受到了广大听众的认可, 同时也很快被其他公司和录音师采用。不过前置传声器的引入也加剧了传声器间的梳状滤波器效应, 因此使用时需多加注意。

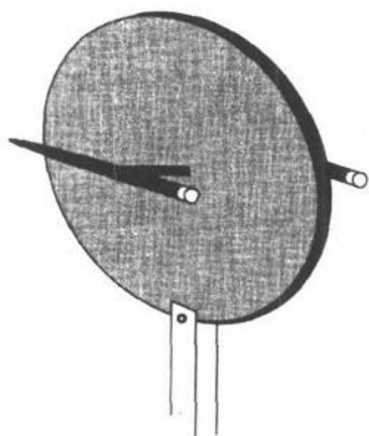


图 2-53 OSS 拾音方式

四、OSS 拾音方式

OSS (Optional Stereo Signal) 拾音方式是由瑞士广播公司的 Jürg Jecklin 首先提出的, 因此也常称之为 Jecklin Disk 拾音方式。它由两只全指向形传声器和一块特制的圆形声学障板组成, 传声器间的距离为 16.5cm, 障板的直径为 28cm, 经常采用木质或塑料, 并开有许多小孔, 如图 2-53 所示。

这种拾音方式在一定程度上, 也是模拟人的双耳听音情况。两传声器间的距离近似于两耳的间距, 拾取一定的时间差, 以获得较好的空间感和深度感; 采用全指向传声器能够获得很好的低频响应; 两传声器间加入障板, 则可以在两声道间引入一定的声级差。这种声级差就好比听音人双耳听音的情况: 当频率升高时, 声波的波长减小, 障板的遮蔽效应变得显著, 从而在左右声道间形成声级差, 并且它主要依赖于声源的频谱成分, 这是该种方式与其他拾音方式的最大不同之处。根据测量, 当频率小于 200Hz 时, 传声器中间的障板将不起作用, 频率为 1000Hz 时, 其隔离度大约为 5dB, 在 5000Hz 处大约为 10dB。

因为具有额外的声级差和时间差, 所以该种方式同时间差定位的小 AB 方式相比较, 具有更好的声象定位, 其有效拾音夹角要小一些, 也更实用一些。

Schoeps 公司生产的 KFM-6U 立体声传声器用一圆球代替两传声器间的障板, 该球体是空心的, 用塑料制成, 直径为 20cm, 球体的表面具有反射的特性, 内部附有吸声材料, 两只传声器的膜片尽量接近球体的表面 (避免出现梳状滤波器效应), 两传声器连线的中心通过球心, 轴向夹角为 180° 。另外, 在球面上还安装了一个发光二极管作为标记, 以便于录音时传声器的设置, 如图 2-54 所示。

这种立体声传声器的有效拾音角约为 90° 左右, 传声器到声源的距离相对要远一些。拾音时厅堂要有良好的声学条件,



图 2-54 Schoeps 生产的 KFM-6U 立体声传声器

混响时间也不能太长。球状的阻尼物同样给左右声道带来由声源频谱所决定的声级差,如果传声器的位置设置的合理,采用这种方式录制出的节目,无论是在音色上,还是在强度上都能获得很好的平衡。总体拾音效果类似于采用全指向传声器的小 AB 拾音方式,但由于两传声器间阻尼材料的作用,其声象定位要更好一些。

第五节 采用 PZM 传声器的立体声拾音技术

一、PZM 传声器

PZM (Pressure Zone Microphone) 传声器也称为压力区域传声器或界面传声器,它是将一小型驻极体传声器或电容传声器的振膜朝下,平行的置于反射板上,两者之间的距离只有几毫米,如图 2-55 所示。这种结构的目的是为了减小反射板附近直达声和经反射板反射的反射声之间的相位差,削弱梳状滤波器效应。

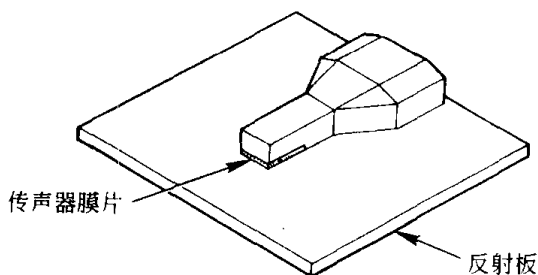


图 2-55 PZM 传声器

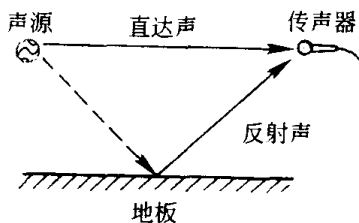


图 2-56 传声器拾取直达声和滞后的反射声

当一只传声器置于某反射面附近拾音时,声源到达传声器膜片的声波有直达声和经附近反射面反射的反射声,如图 2-56 所示。由于两者的传播距离不同,造成直达声和反射声之间存在相位差,而且对于不同频率的声波,相位差是不相同的。例如,当反射声滞后时间为 1ms 时,1000Hz 声波有 360° 的相位差,直达声和反射声同相,声压将加倍,提高 6dB; 500Hz 声波有 180° 相位差,直达声与反射声反相,两者彼此抵消,产生梳状滤波器效应。要想削弱梳状滤波器效应,反射声与直达声之间的声级差应当尽可能的小,PZM 传声器正是利用了这一原理,如图 2-57 所示。图中可以看出,采用 PZM 传声器拾音时,直达声和经反射板反射的声音几乎同时到达传声器振膜,两者之间的时间差非常小,使相位抵消的频率延伸到更高的频率,从而使传声器的输出提高 6dB,并且有平直的频响曲线,如图 2-58 所示。

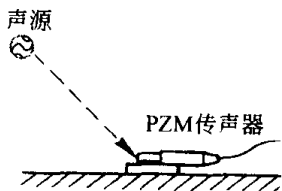


图 2-57 PZM 传声器拾音情况

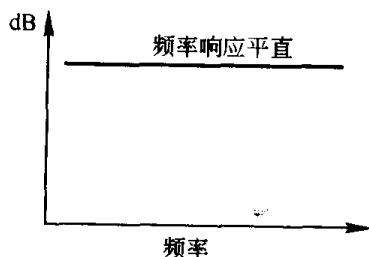


图 2-58 PZM 传声器频响曲线



PZM 传声器对从反射板上各个方向来的声波有相同的灵敏度, 具有半球形的指向性。频响曲线宽而平直, 灵敏度(提高 6dB 左右)和信噪比均有所提高, 没有离轴的声染色现象。

在 PZM 传声器之后, 又出现了指向性界面传声器, 又称为相位相关心形传声器(PCC), 是由小型的超心形驻极体传声器构成。类似于 PZM 传声器的工作原理, 也可以消除梳状滤波器效应, 不过其膜片不像 PZM 传声器那样与反射板平行, 而是垂直于反射板。由于膜片采用了超心形指向性, 因而对后方及侧方的声音可以得到很好的抑制。

二、采用 PZM 传声器的立体声拾音技术

PZM 传声器可以像普通传声器那样, 通过传声器的组合进行立体声拾音取得较好的立体声效果。类似于普通传声器的设置, 其基本设置主要有三种形式:

(1) 将两 PZM 传声器拉开一定的距离, 置于地板、墙面或安装在传声器支架上。

(2) 将两 PZM 传声器的反射板背面靠在一起, 使两传声器的膜片尽量重合, 反射板的边缘指向声源。

(3) 将两传声器的反射板彼此张开一定的角度, 构成近重合式的传声器组合, 或者采用具有指向性的界面传声器置于地板上, 彼此张开一定的角度, 传声器的膜片拉开一定的距离。

采用 PZM 传声器构成的立体声拾音组合可以直接置于地板上, 也可以安装在传声器支架上, 下面就几种常用的组合方式予以分析。

1. 将 PZM 传声器设置于地板上拾音

将 PZM 传声器置于地板上进行立体声拾音是经常采用的一种方式, 它主要有以下几个优点:

- 消除了由地板反射所引起相位抵消
- 使 PZM 传声器有最好的低频响应
- 传声器容易设置
- 有利于现场演出时隐藏传声器

对于交响乐等大型乐队, 如果将 PZM 传声器置于地板上进行拾音, 则由于乐队的前排距离传声器较近, 容易产生前排声音太大, 乐队纵深感不强的现象。这种方式比较适合室内乐、爵士乐队或独奏乐器等的录制。

在实际的应用中, 经常采用的一种拾音方式是将两只 PZM 传声器彼此间隔 1.2m (4 英尺) 左右, 平行置于乐队的前方, 其有效拾音角为 90° 左右。当声源的高度增加时, 则两传声器间的时间差将减小, 因此随着声源高度的增加, 传声器组合的有效拾音角将增大, 这样演员站着演出的声象宽度相对于坐着要窄一些。采用这种方式录制的节目具有较强的温暖感和良好的立体声效果, 立体声的听音范围比较大。同普通的传声器组合一样, 由于两传声器间存在一定的距离, 因此该种方式声象定位的质量不是很好, 单声道重放的兼容性也不是很理想, 两声道间有较大的相位差。

当采用指向性界面传声器时, 可以将传声器拉开一定的距离, 平行的置于声源前方的地板上, 彼此张开一定的角度, 组成近重合式的拾音方式, 如图 2-59 所示。图中两传声

器间的距离为 18cm (8 英寸) 左右, 两反射板之间的夹角为 90° 。这种方式的有效拾音角比较大, 通过调整两传声器间的距离和角度可以控制传声器组合的有效拾音角和重放的声象宽度。相对于上述拉开间距的拾音方式, 该种方式可以获得较好的声象定位。

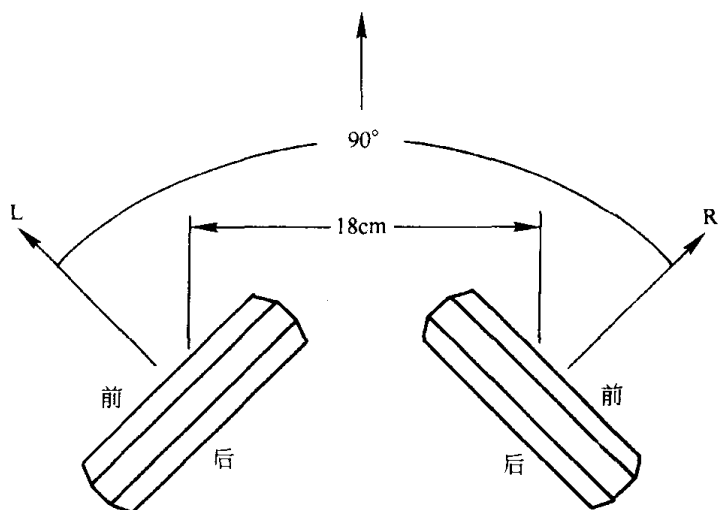


图 2-59 采用指向性界面传声器组成的近重合式拾音方式

L^2 (Lamm-Lehmann) 拾音方式是由 Mike Lamm 和 John Lehmann 设计的, 它采用两只 PZM 传声器, 其设置如图 2-60 所示。该组合利用反射板可以产生两个拉开一定间距, 且彼此成一定角度的具有指向性的极坐标图形。如果将该组合置于较高的位置上拾音, 则低频响应有所下降, 高频相对有所提升, 若置于地板上, 则产生相反的效果。

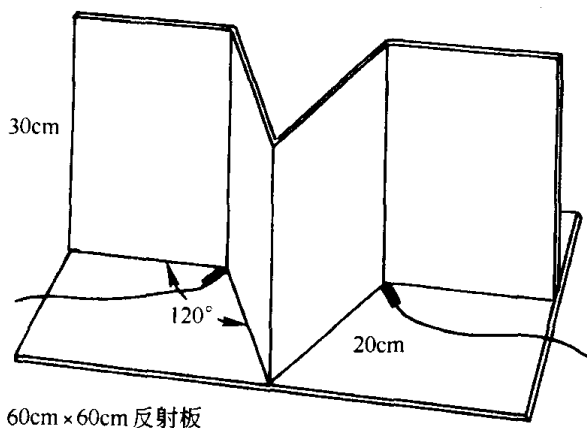


图 2-60 L^2 拾音方式

PZM 传声器也可以组合成 MS 拾音方式, 它是由 Jerry Bruck 首先提出的。这种拾音方式是以一只 PZM 传声器作

为 M 传声器, 另外采用一只小膜片的 8 字形传声器, 置于 PZM 传声器上作为 S 传声器。这样 S 传声器同样距离反射板很近, 从而减弱了梳状滤波器效应, 将相位抵消延伸到更高的频段。由于 PZM 传声器不存在离轴的声染色现象, 因此重放的声象具有较好的声象定位。全指向形的 PZM 传声器也使拾取的声音有很好的低频响应。传声器组合置于地板时, 几乎不会影响到听众的视觉, 适合于现场演出的录制。像其他置于地板上拾音的 PZM 传声器组合一样, 该种方式适合于小型乐队或钢琴等独奏乐器的录制。

2. 将 PZM 传声器悬置拾音

PZM 传声器最初的设计是将其置于地板、墙面、桌面等界面上进行拾音的, 如果将 PZM 传声器悬空对声源进行拾音, 则后方的声波到达传声器的反射板时将发生反射。



而且，当频率较高时，波长相对较短，则容易被反射；频率较低时，声波在反射板处将发生衍射，反射板不起任何阻碍作用，这样反射板尺寸的大小将决定 PZM 传声器的指向性。如果反射板为正方形，则 PZM 传声器开始具有指向性的频率 F 为：

$$F = 56.4/D$$

D 为反射板的边长（单位：米）。如果 PZM 传声器的反射板边长为 0.6m，传声器在 94Hz 频率以下为全指向形，中频时传声器呈超心形，高频则趋向于半球形，如图 2-61 所示。反射板的尺寸大小还会影响到 PZM 传声器的低频响应，反射板越大，传声器的低频响应就越好，当频率低于 $F = 56.4/D$ 时，其响应约下降 6dB。

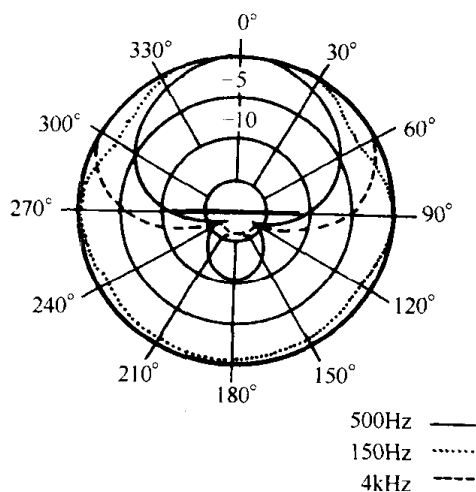


图 2-61 反射板边长为 0.6m 时，PZM 传声器的极坐标

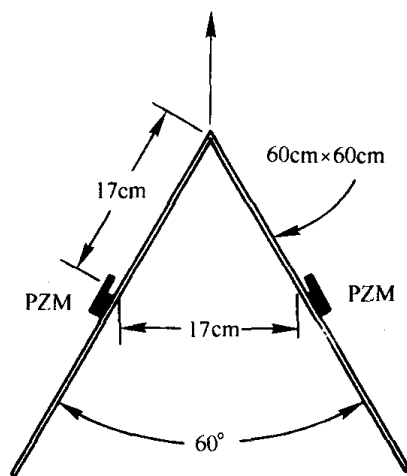


图 2-62 PZM “楔”拾音方式

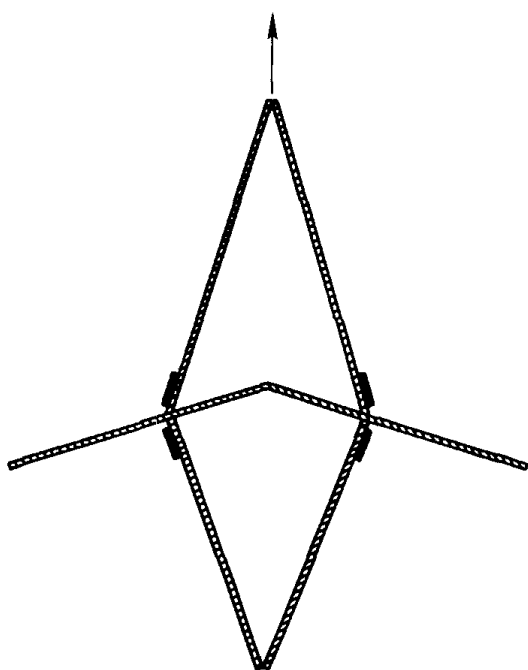


图 2-63 L^2 拾音方式

PZM 传声器悬空设置时，较常采用的一种方法是 PZM “楔”拾音方式，如图 2-62 所示。图中两 PZM 传声器反射板的一边重合，夹角为 60° ，使传声器呈 “V” 字形，其顶点正对声源。这种方法属于近重合式拾音方式，具有较好的声象定位，单声道重放的兼容性也不错。通过调整两反射板之间的角度，可以控制其有效拾音角，改变声象的宽度，同时也可以控制直达声和混响声的比例。为了消除现场录音时的视觉影响，反射板也可以采用树脂玻璃等透明材料。

Mike Lamm 和 John Lehmann 在 PZM “楔”的基础上，设计出了多用途的另一种 L^2 拾音方式，如图 2-63 所示。该方式由两个 “楔” 相对组成，在它们之间是两块障板，传声器的反射板可以沿着各自的障板滑

动, 这样便可以更灵活的调整传声器间的相对关系, 以适应不同拾音要求的需要。

SASS (Stereo Ambient Sampling System) 是另一种利用 PZM 传声器原理构成的立体声拾音方式, 其设计目的是解决其他立体声拾音方式中所存在的问题。它采用两只 PZM 传声器, 分别安装在呈一定角度的反射板上, 使传声器具有一定的指向性。在两传声器的中间是起遮蔽作用的泡沫塑料, 传声器膜片间的距离为 17cm, 如图 2-64 所示。

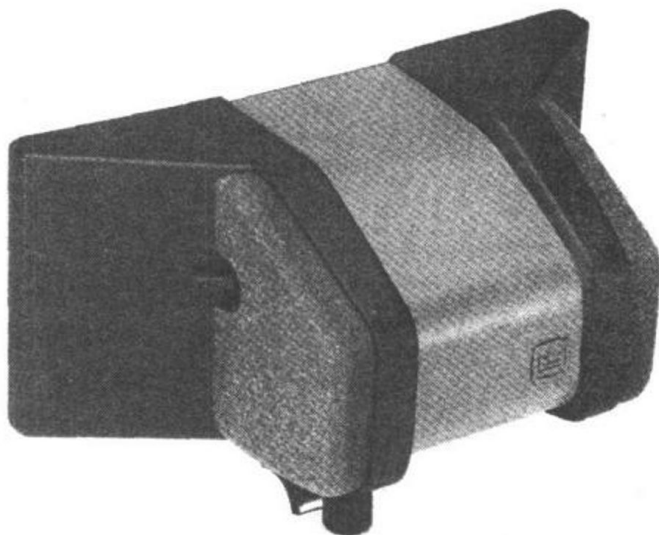


图 2-64 Crown SASS-P MK II PZM 立体声传声器

对于不同的频率, SASS 拾音方式的定位方式是不同的。在低频段, 传声器的反射板和它们之间的障碍物基本不起作用, 类似于拉开一定距离的两只全指向传声器, 主要以两声道间的时间差来定位; 在高频端, 传声器的反射板使其具有一定的指向性, 传声器间的泡沫塑料也将起一定的遮蔽作用, 因此主要以两声道间的声级差来定位; 在中频段, SASS 拾音方式则是以声级差和时间差共同作用来进行声象定位。可以看出, SASS 拾音方式非常类似于人耳听音的情况。

虽然 SASS 拾音方式的反射板尺寸比较小, 但是仍能获得平直的低频响应, 这主要是因为: 一方面, 当频率小于 500Hz 时, 其传声器趋向于全指向形, 两传声器的低频输出电平相等。在立体声听音时, 两个声道的低频信号作用到人耳, 将有 3dB 的提升。另一方面, 在低频段传声器趋向于全指向形, 但是高频端却呈一定的指向性, 在有混响的声场中拾音时, 其低频又将提升 3dB 左右。这样总共 6dB 的提升, 将有效的补偿由于反射板尺寸较小而造成的低频段 6dB 左右的衰减, 使总体的频率响应在 20Hz ~ 20kHz 的范围内趋向于平直。

由于 SASS 拾音方式采用了 PZM 传声器, 而且是基于人耳听音的情况而设计的, 因此相对于传统的立体声拾音方式具有很多的优点:

- 相对于重合式拾音方式, SASS 拾音方式有更好的低频响应和空间感。
- 相对于近重合式拾音方式, 两者具有相同的单声道重放兼容性, 但是 SASS 拾音方式的低频响应要优于近重合式, 而且没有离轴的声染色现象。
- 相对于大 AB 拾音方式, SASS 拾音方式则有更好的声象定位和单声道重放的兼容性。
- 相对于后面要介绍的仿真头拾音方式, SASS 方式有更平直的频率响应和更好的单声道重放的兼容性, 而且无论是用扬声器重放, 还是用耳机重放, 均能获得满意的效果。不过其声象定位的效果不如仿真头拾音方式。



第六节 仿真头拾音技术

仿真头拾音技术是一种在听音人鼓膜处再现传递函数的双耳录音技术，该传递函数即为听音人在拾音位置听音时，声源到达听音人鼓膜处所形成的传递函数，它和声源本身有直接的关系。

声源的特点是由自身的频谱成分所决定的，它通过空气传播到达人耳的过程中，其频谱成分要发生一定的变化。一方面，声波的能量是同传播距离的平方成反比，传播距离越远，声源的幅度衰减越大。另一方面，高频成分的波长比较短，如果传播距离较长，其能量将被空气部分的吸收，从而使高频的幅度有所衰减。这样传播路径的不同，决定了声源到达人耳的传递函数是不一样的。反射声滞后于直达声到达人耳，除了传播距离和空气吸收的因素，反射声的频谱成分还要取决于反射界面的特性以及反射的次数，每一反射声都有各自的传递函数，将以不同的人射角到达人耳。可以看出，声源到达人耳的成分是由无数的，各不相同的传递函数组成的。如果声源为一乐队，则乐队中的每件乐器到达人耳时都有一组复杂的传递函数。另外，听音人的肩部、躯干也将起到反射声波的作用，人头还将对声波进行衍射，通过耳壳的反射和收集，这些直达声、反射声以及衍射成分将相互作用，使外耳道产生共振，整个过程如图 2-65 所示。

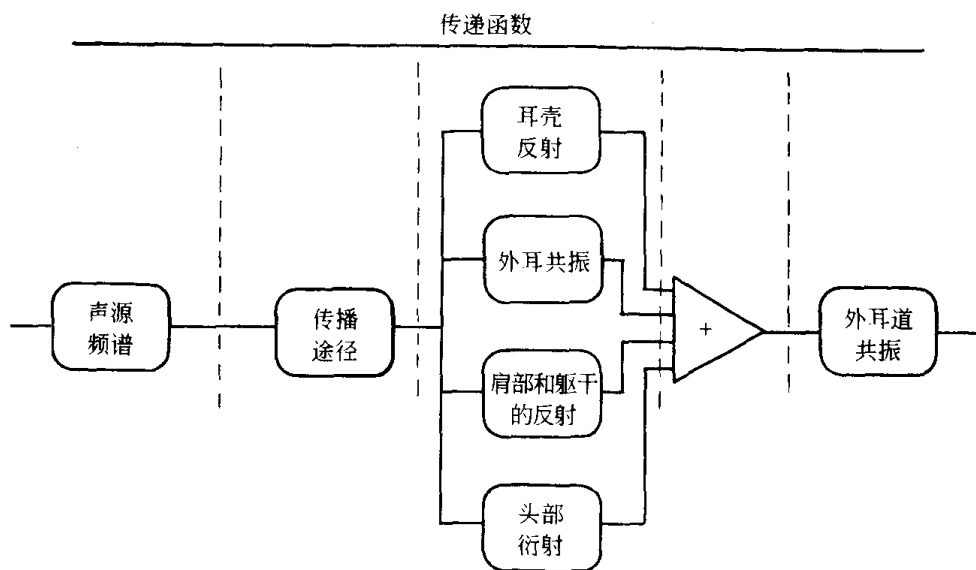


图 2-65 人耳听音的传递函数

从前面的知识可以知道，外耳道的传递函数是固定的，由其生理结构所决定。这样，所有进入外耳道前的传递函数通过外耳道后，将同外耳的共振一起作用到人耳的鼓膜上，由中耳内的三块听小鼓传递到内耳，产生电脉冲送入大脑的听觉中枢。

声波通过传递到达鼓膜时，将包含两个主要的信息，一是声源本声的频谱成分，二是声源频谱形状所携带的方向信息。采用仿真头录音，就要将这两个信息忠实的记录下来，再现现场听音的情况。由于方向信息主要取决于耳壳的反射、外耳的共振、肩部的

反射、躯干的反射以及头部的衍射，因此仿真头的尺寸和特性应当接近于人体的平均水平，才能获准确的声象定位，图 2-66 为 Neumann 所生产的只有头部的仿真头立体声传声器。

采用传统的立体声方式录音时，重放的声象仅仅是在水平面上进行声象定位，而采用仿真头拾音则可以得到三维的声场空间。因为传声器是置于仿真头的外耳道入口处进行拾音的，所以当采用耳机听音时，仿真头的左右传声器拾取的信号将分别送入听音人的左右耳，两耳之间没有任何的串扰，如图 2-67 所示。这个过程实际上就等于把听音人转移到仿真头的拾音位置上去听音，其自然的立体声效果是可以想像的。仿真头的声学特性与真实人头平均水平的接近程度，将最终决定空间声象定位的准确性。如果听音人通过耳机听音对鼓膜的激励与在仿真头拾音位置上声波对鼓膜的激励一样，将会得到完全真实的声音重放，具有环绕声的现场感受。

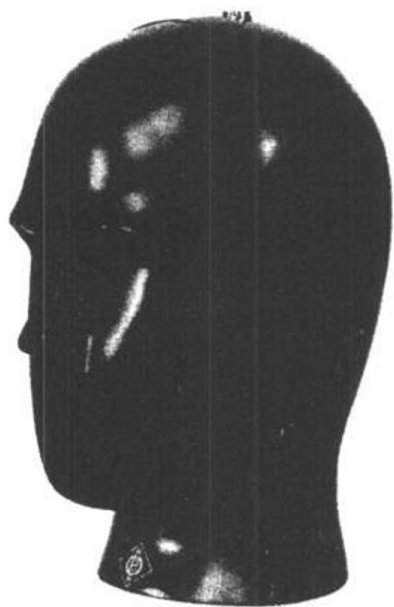


图 2-66 Neumann KU8li 仿真头立体声传声器

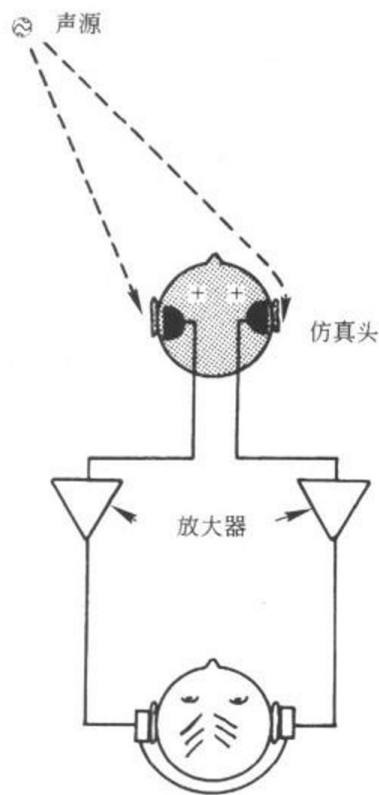


图 2-67 采用耳机重放仿真头录音

但是，采用耳机听音时有时会产生所谓的头中效应和头前效应，即听音人不是感觉到声象是在自己的前面，而是感到在头的内部两耳的连线上，或者感到是在自己头部前额附近，使人感到很不自然。

至于头中效应和头前效应所产生的原因，目前存在很多的观点。一种观点认为头中效应和头前效应是由双重耳壳效应和耳壳形状的改变引起的。耳壳的传递函数中含有声源的方位信息，将仿真头录音置于录音现场拾音时，传声器已经拾取了声源的方位信



息,如果重放时信号再次被耳壳反射,势必影响的原有的方位信息,给人耳对声源的定位造成混乱,形成所谓的双重耳壳效应;戴耳机时容易造成耳壳形状的改变,从而使其反射的情况发生变化,影响人耳对声源的定位。另一种观点认为戴耳机听音时,在耳机和听音人的鼓膜之间将有共振发生,并且它们之间形成驻波。这样便改变了原有的传递函数,从而使人耳的定位发生改变。还有一种观点认为听音时头部轻微的移动是造成头中效应和头前效应的一个原因。当听音人位于声源的前方听音时,头部将有轻微的移动,造成声源到达两耳的时间差有细微的变化,而这种变化是提供给大脑的一个信息,即声源位于头部以外。也就是说听音时头部轻微的移动是声源定位于头部以外信息。而采用仿真头拾音时,则缺少这种信息,容易出现重放时的头中效应和头前效应。

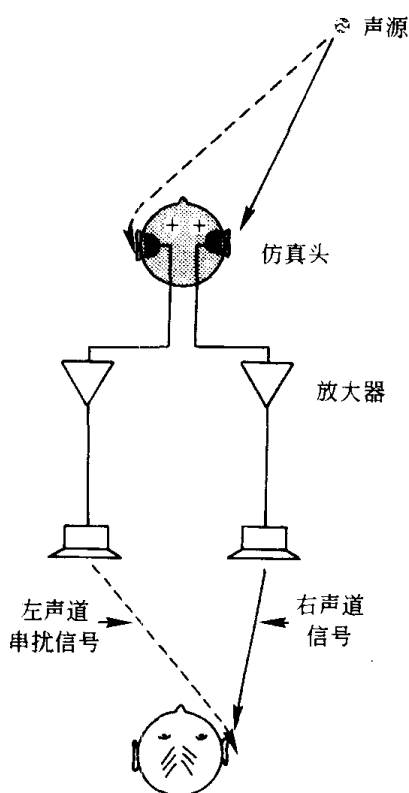


图 2-68 采用扬声器重放仿真头录音

其中补偿滤波器是为了补偿通过扬声器重放时,由于头部遮蔽所造成的两耳间不同的频率响应,延时则是扬声器到达两耳之间的时间差。可以看出,处理后信号的频率响应将与左扬声器到达右耳的串扰信号完全相同,但相位反转 180° 。这样在重放过程中,该信号将与左扬声器的串扰信号在人耳附近,以声学的方式完全抵消,使右耳所接收的信号中只有仿真头拾取的右声道信号,从而解决扬声器重放仿真头录音所出现的问题,获得耳机听音的立体声效果。

值得注意的是,该方法虽然可以使听音人采用扬声器重放仿真头录音,但是对重放听音的要求比较高。只有在强吸声的环境中,处在最佳听音位置上才能有较好的效果。不过随着仿真头重放技术的发展,目前在有混响的环境中也可以通过扬声器来重放仿真头录音,而且有效的听音区域也有所扩大。

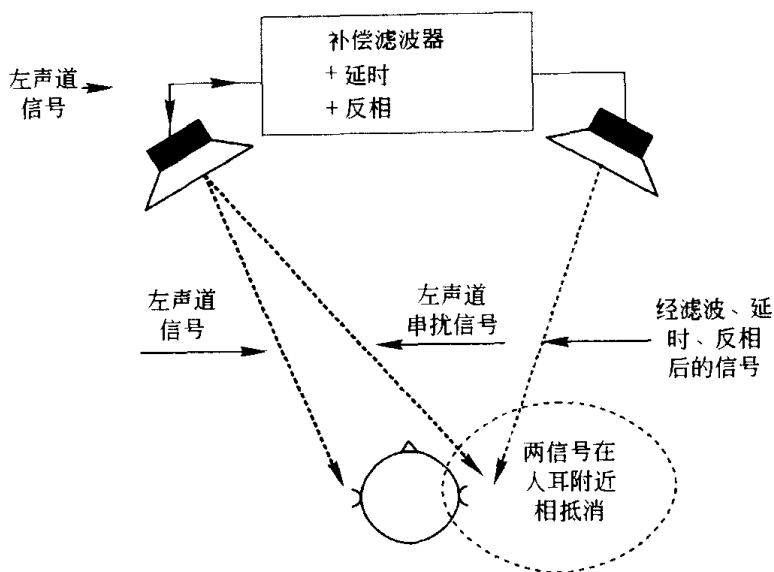


图 2-69 抵消声学串扰的原理

第七节 环绕声拾音技术

前面几节讲述的为双声道立体声拾音技术，在双声道立体声中，无论是声源还是混响声，都是定位在听音人前的两只扬声器之间。而环绕声技术则可以用多个声道来传输信号，同时采用多个扬声器来进行重放，更真实的模拟现场听音的情况，将乐队定位在听音人的前方，而厅堂的混响声和反射声来自各个方向。

采用仿真头拾音的双耳录音虽然也可以获得环绕声的效果，但是需要戴耳机来听音，非常不方便。采用扬声器重放时，即使是将信号进行处理，抵消掉声学上的串扰信号，也因其可以获得正确声象定位的有效听音角比较小，而不适合更多的听众。环绕声技术则可以采用扬声器来重放节目，并且能够在较大的范围内有很好的环绕声效果。聆听环绕声节目时，可以获得更强的空间感和现场感，感觉将听音人和乐队置于同一空间。因此相对于双声道立体声而言，环绕声可以有效表达音乐的内在情感，引起听众的共鸣。

一、环绕声的扬声器设置

环绕声研究最早是从音乐录音开始的，但是研究的过程中遇到了很多困难。目前的环绕声标准则是源于电影工业，后来才逐渐在数字电视和音乐录音中得以应用，其中应用较为广泛的为 5.1 环绕声系统。它采用六个通道来传输信号，分别传送到环绕在听音人周围的六只扬声器来放音。其中 0.1 通道为 LFE (Low Frequency Enhancement) 通道的频率上限为 120Hz，采用亚低音扬声器来重放。其他五只扬声器分别为左、右扬声器，中置扬声器和左、右环绕声扬声器，其设置如图 2-70 所示。

图 2-70 为 ITU (International Telecommunication Union) 所推荐的 5.1 环绕声系统

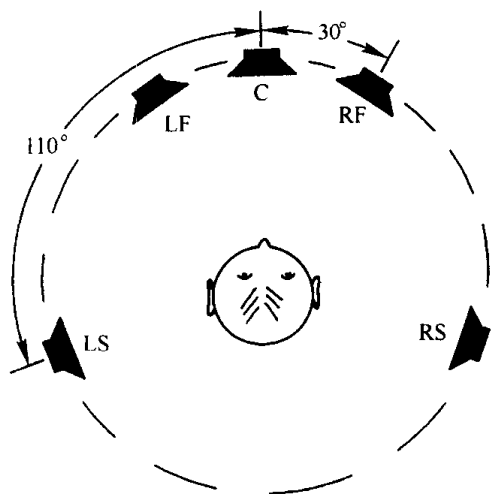


图 2-70 推荐的 5.1 环绕声系统扬声器设置

扬声器设置标准，左、右扬声器偏离中心的角度为 $\pm 30^\circ$ ，即双声道立体声的设置标准，左、右环绕扬声器偏离中心的角度为 $\pm 110^\circ$ 。所有扬声器应当同人耳在同一水平面上，或者稍微高于人耳，以避免声波在传播过程中受到反射物的影响。听音人到达各扬声器的距离应当相等，如果由于客观条件不能实现，应当采用适当的延时予以补偿。

左、右扬声器保持双声道立体声的设置，是因为该角度可以在听音人的前方获得较好的立体声效果，而且通过实验也已经证明，在 5.1 环绕声系统中，左右扬声器保持 60° 夹角有最佳的声象定位效果。对于中置扬声器，则可以在

一定程度上解决立体声重放中可能出现的中间空洞现象。环绕扬声器的角度是由实验决定的，扬声器处在 $\pm 110^\circ$ 。重放时，一方面，听音人可以获得最佳的环绕声象定位。另一方面，环绕扬声器的这种设置方式也类似于家庭中听音的情况：一般情况下，听音人是在比较靠后的位置进行听音的，而不是在中间的位置来听音。另外，环绕扬声器还应当和左、中、右扬声器采用同一型号的扬声器，使各扬声器有相同的功率和频率响应。因为人耳对 120Hz 以下的低频是无法定位的，故亚低音扬声器原则上可以设置在任何位置上而不影响声象的定位。但是，如果将其设置在墙角的位置，则由于地面和两个墙面的反射，可以加强低频的输出，提高低频的阈值，获得更均匀的低频响应。还可以根据实际的房间声学情况，调整亚低音扬声器的设置，以减小房间驻波，从而使低频响应趋于均匀。

二、环绕声拾音技术

环绕声音乐节目是近些年随着环绕声标准的建立发展起来的，它利用左、中、右扬声器对前方的声源进行定位，而环绕扬声器来重放厅堂的反射和混响声。环绕声拾音技术是在双声道立体声拾音技术的基础上建立起来的，下面将介绍几种常用的方法。

1. 声场传声器方式

声场传声器是基于 MS 拾音技术的一种相对更精密的多膜片传声器，如图 2-71 所示。它采用四只心形传声器，膜片朝外呈四面体状，它们之间尽量相互重合，构成重合式的拾音方式。为了减小声源到达传声器的时间差，还分别将传声器的输出进行移相，以弥补膜片尺寸带来的影响。该传声器的输出有两种模式，模式 A 即为四只传声器各自的输出，模式 B 是由矩阵电路产生的，分别为：

- 全指向形指向性
- 垂直与水平面的 8 字形指向性
- 左右方向上的 8 字形指向性

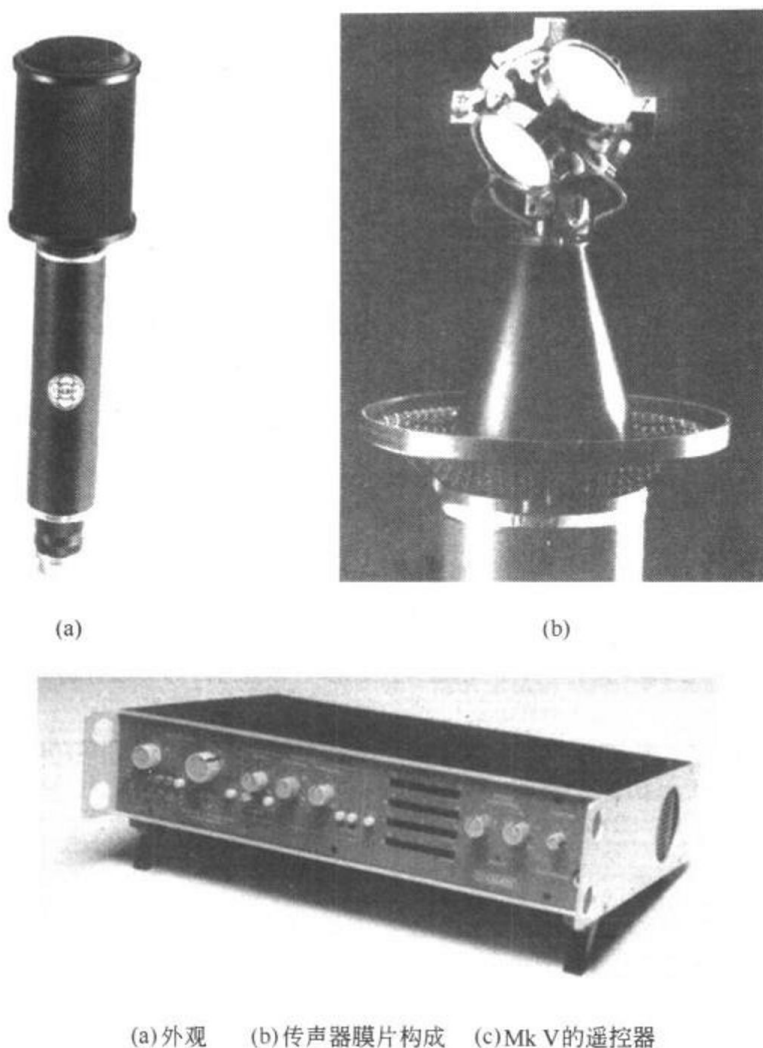


图 2-71 Mk V 声场传声器

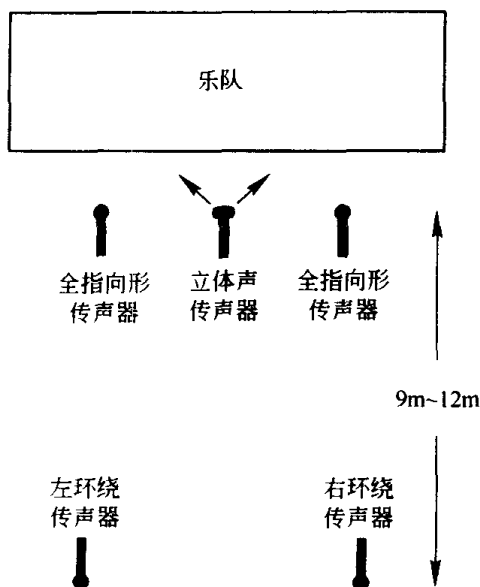
- 前后方向上的 8 字形指向性

这些模式 B 的信号可以进一步处理成为双声道立体声、四声道立体声或者是混响信号，该信号将包括上下、左右、前后的信息。通过遥控器，还可以调整传声器的指向性，使传声器在水平面内旋转，控制拾音角度。5.1 声场传声器系统是由声场传声器 (Mk V 或 ST250) 环绕声解码器组成，该解码器可以将模式 B 的信号解码成左、中、右、左环绕、右环绕和亚低音扬声器的输入信号。

2. VR² 环绕声拾音方式

VR² (Virtual Reality Recording) 环绕声拾音技术是由 John Eargle 为电影的 VR² 模式提出的拾音方式，其传声器设置如图 2-72 所示。

该方式采用一近重合式组合的传声器对置于声源的中间，两侧分别为一只全指向形传声器，它们之间的间隔约为 1.2m 左右。另外两只传声器在主传声器的后方 9m~12m 处，采用全指向形或心形指向性来拾取厅堂的混响，传声器间的距离为 3.7m 左右。如

图 2-72 VR² 环绕声拾音方式

果需要还可以设置点传声器作为补偿。这样拾取的信号将分别记录到 8 轨的数字录音机上:

- 1、2 轨: 所有传声器混合后的信号
- 3、4 轨: 近重合式传声器对拾取的信号
- 5、6 轨: 两侧传声器拾取的信号
- 7、8 轨: 两环绕传声器拾取的信号

3. NHK 的环绕声拾音方式

日本的 NHK 广播中心在多年的环绕声研究工作中发现, 在进行环绕声拾音的过程中, 采用心形传声器可以获得比全指向形传声器更自然的混响效果, 其常用的传声器设置如图 2-73 所示。

图中正对声源的传声器所拾取的信号为中置扬声器的输入, 其两侧的近重合式传声器对分别作为左、右扬声器的输入信号, 乐队两侧附近的传声器则起到展宽声象的作用。主传声器经常设置在厅堂

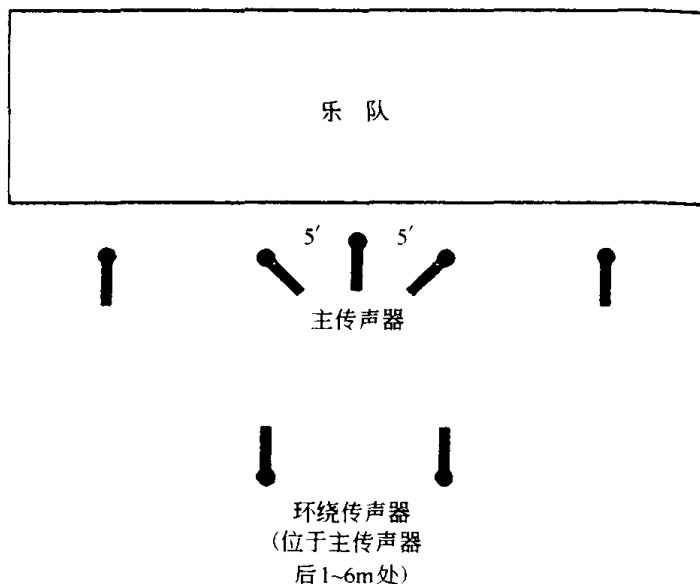


图 2-73 NHK 环绕声拾音方式

的混响半径上, 后方的混响传声器则可以根据实际情况, 设置在距离主传声器 1m~6m 的位置上, 传声器的数量可以适当的增加, 最多的时候可以设置 3 对传声器来拾取混响效果。另外, NHK 的工程师们认为, 为了保证多声道环绕声和双声道立体声的兼容性, 两者的直达声/混响声的比例应当保持一致。

4. KFM360 环绕声拾音方式

KFM360 环绕声拾音技术是由 Bruck 首先提出的, 它在 Schoeps KFM-6U 立体声传声器的两侧, 紧靠其膜片分别增加了一只 8 字形传声器, 两者的主轴彼此垂直, 如图 2-

74 所示。这样便在两侧构成一对 MS 拾音方式, 传声器对的主轴分别指向左右两边。

四只传声器拾取的信号可以分别记录在四个声轨上, 通过矩阵电路转换成左、中、右以及环绕声信号。其中左、右声道中全指向形和 8 字形指向性相加减后, 将分别合成两个主轴指向前后的心形指向性组合。这样可

以通过调整其相对电平的大小, 控制前后信号的比例, 来改变听音人到声源的距离, 就像听众在音乐厅内前后寻找自己所喜欢的听音位置那样。

另外, 为了补偿 8 字形传声器的低频滚降和高频的衰减, 可以适当加入均衡处理, 不过为了保证节目的信噪比, 该处理可以在信号编码以后进行。

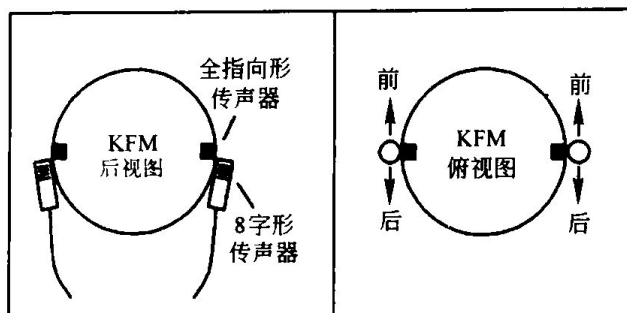


图 2-74 KFM360 环绕声拾音方式

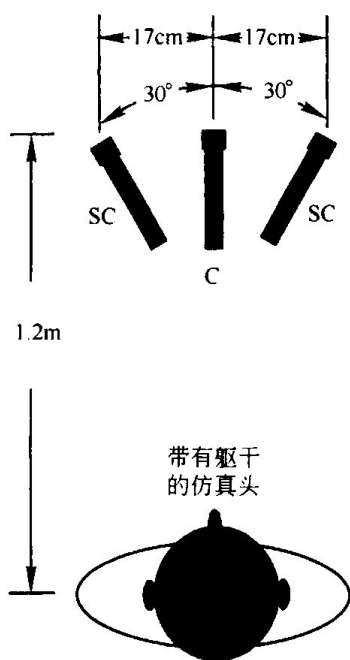


图 2-75 利用仿真头进行环绕声拾音

5. 采用仿真头的环绕声拾音方式

利用仿真头进行环绕声拾音的技术是由 John Klepko 首先提出来的, 其中仿真头主要用于拾取混响声信号。另外采用三只具有指向性的传声器作为主传声器, 各传声器的灵敏度和增益均保持一致。中间一只采用心形指向性, 正对声源设置, 两边为超心形传声器, 以避免中间声源突出的现象, 如图 2-75 所示。

经过测试, 采用该种方式录制的环绕声节目在 $\pm 30^\circ$ 和 $\pm 90^\circ$ 的听音范围内, 相对于其他环绕声拾音方式具有更连续、清晰的声象定位, 而且有很好的双声道立体声兼容性。由于采用了仿真头来拾取混响声信号, 因此当用耳机听音时, 仍然可以获得环绕声的效果。

6. 采用 Decca Tree 的环绕声拾音方式

Decca Tree 的环绕声拾音方式是 Tom Jung 首先采用的, 他以三只心形传声器按照 Decca Tree 的传声器布局来拾取乐队的声音, 以另外一对传声器组成重合式或 AB 拾音方式来拾取混响信号, 如图 2-76 所示。当采用 AB 方式时, 传声器间的距离应当与 Decca Tree 后

面两只传声器的间距相匹配。

7. 利用 PZM “楔” 进行环绕声拾音

这种环绕声拾音方式是 Wieslaw Woszczyk 首先在实际当中应用的, 他采用 PZM “楔” 来拾取前方乐队的声音, 两反射板的尺寸为 $45\text{cm} \times 72\text{cm}$, 反射板间的夹角为 45° 。在距离 PZM 传声器至少 6m 远的地方再设置一重合传声器对, 传声器间的轴向夹角为 180° , 并且极性相反, 如图 2-77 所示。

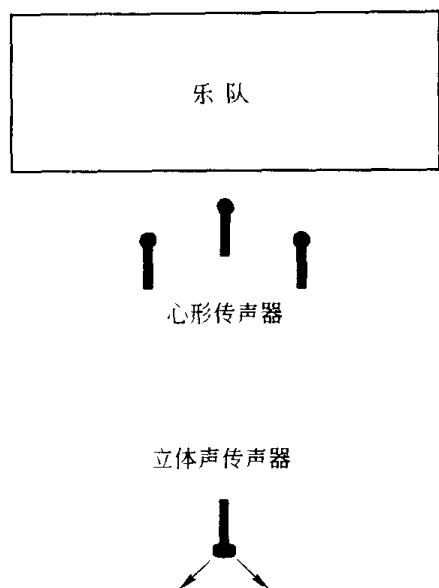


图 2-76 采用 Decca Tree 的环绕声声音方式

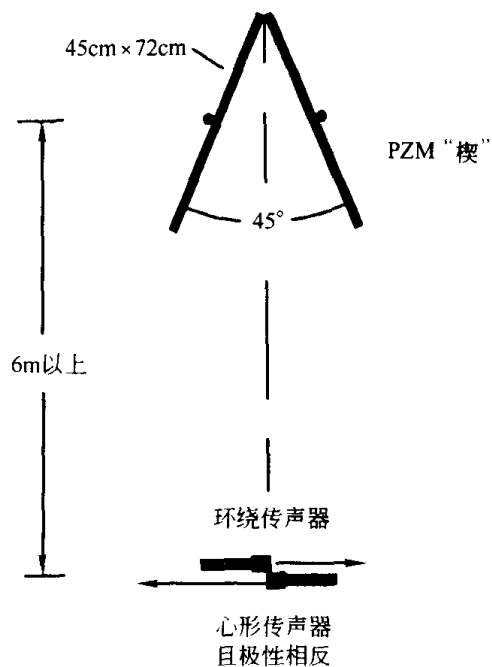


图 2-77 利用 PZM "楔" 进行环绕声拾音

采用这种方式拾音时，有非常精确的声象定位，而且由于拾取到较多的侧墙反射，重放的空间感也比较好，迭加了 PZM 传声器的信号后，将消除后方传声器间的反相效果。其最大的优点在于兼容环绕声、双声道立体声和单声道重放。

第三章 录音技术基础

第一节 基本录音方法

在目前经常采用的录音方法中，以录音工艺分类，基本上可以分为同期录音和分期录音两大类。同期录音要求组成音乐各声部的所有乐器或人声同时演奏或演唱；分期录音则是将各声部分别单独进行录音，然后再将各声部按要求合成在一起。以记录形式分类，则可以分成直接合成（双声道录音）和多声道录音。同期录音可以采用以上两种记录形式，而分期录音只能采用多声道录音。

根据录音现场的情况，同期录音可以分为相同空间内的同期录音和不同空间内的同期录音。不论是在同一空间还是在不同的空间内，同期录音都要求各声部同时在一起演奏。在进行录音时，整个乐队可以在统一的指挥下演奏，便于演员之间，或者演员和指挥之间的合作与交流，符合表演者的习惯。在音乐演奏过程中，容易做到对音乐的整体把握，有利于音乐情绪的表现。特别是旋律性表现力较强的作品，如：抒情的段落，演奏的速度和力度，在很大程度上受当时演奏气氛的影响，所以，适合采用同期录音。

相同空间内的同期录音，各声源之间的交流更为自然，声音的融合度较好，空间感及声象定位显得较自然。相同空间内可以进行双声道同期录音和多声道同期录音。

双声道同期录音是指在录音的同时，一次性完成立体声节目。它适用于录制古典音乐的节目形式，如交响乐、室内乐、协奏曲，以及速度和力度变化较多的各种独唱、独奏、重唱、重奏等形式。也适用于录制民族乐曲、民歌、戏曲和曲艺、歌剧、合唱等。双声道同期录音能够保持文艺节目本身的自然、融合和艺术上的完美，可以将指挥对作品的细微处理充分体现出来，速度、力度、节奏的变化和对比以及空间效果比较自然。而且双声道同期录音不再需要后期制作合成，节约录制的时间。

双声道同期录音的局限性是：对演员和各种乐器的音质、音色的处理要受到时间和条件的限制，无法利用后期加工来细致的精雕细琢，只能靠表演者自身合作的默契和表演者对作品的理解及其技术水平来保证艺术质量；乐队中各乐器的平衡关系，一经录制完成，就没有再调整的余地；演员和各乐器间的声象安排、宽度和深度的层次处理等，在录成之后也没有改变的可能；由于是所有演员集中在一起进行演出，所以录音时要求每个演员的精神状态或嗓音状况都要良好，如果一件乐器演奏错了或演员没有唱好，就



必须重新一起演奏。对于录制人员来讲,这种录制方式也是比较有难度的,它要求录制人员在规定的时间内同时解决艺术上和声音质量的多方面要求。例如,音乐声部间的平衡、声象的安排和定位的准确、深度层次和总体的空间感觉等等。

因此,双声道同期录音对表演者和录制人员的要求都是比较高的。有时在录制过程的有限时间里,很难使艺术和声音质量同时达到较高的水平,为了弥补这种方式的不足,常常采用“剪接”的办法来解决艺术上和声音上的缺陷,使它尽可能完美。同时也可以节省表演者的时间和精力,节约一些录音时间。有时则采用乐队和演唱分期录制的方法,来节约双方的时间。

在相同空间里可以利用多声道录音技术,采用同期多声道的录音方式。这种录音方式在不进行声隔离或稍作隔离的情况下,也可以录制多种艺术形式的节目,包括交响乐、合唱、歌剧、戏曲等形式。多声道同期录音是通过后期制作完成立体声节目的,具有一定的后期加工和调整余地,便于音乐家和录制人员共同完成节目的制作。由于这种方法可以将各组乐器分别录在不同的声道上,在后期制作中对声部的平衡、动态、声象和层次等进行细致的调整,不受时间的限制,因此,相对于双声道同期录音具有一定的优越性。但不能完全避免各声道之间的串音干扰,对某一声源信号进行单独的补偿时,不能轻易的改变声象的安排,不能做大幅度的频率或电平补偿的改变。

不同空间的同期录音,只能采用多声道录音,这样可以提高多声道录音时各声部信号间的隔离度,便于单独对各路信号进行加工处理,提高了节目的可制作程度。但是,由于各声部间是处于不同的空间内进行演奏,各声部的声音会具有各自的演奏空间的特点,这样在后期合成时,就容易出现多重空间,导致各声部之间融合性的变差。

对于分期录音,只能采用多声道技术,通常将乐队按照乐器的类型,在节奏乐器的基础上分别录制。演员通过耳机监听自己的演奏或演唱和已经录制好的素材进行同步录音,经过多次录制后,再经后期制作完成整个节目。由于各声部不在同一时刻演奏,是分别录制到不同的声轨上,所以各声部之间不存在串音问题,有利于录音过程中对失误的地方进行修改,还可以做到一位演员演奏几种乐器或演奏不同的声部。采用分期录音时,乐器的音质、音色和混响时间可以在后期调整的比较理想;乐队的平衡、演唱与伴奏的比例、远近层次可以在后期缩混时充分的调整;声象布局可以根据需要任意安排,随意设计;乐队和人声可以用加倍的办法使演奏者的数量增加;演员的多次演唱可以录制在不同的声轨上,以便后期选择使用。总之,多声道分期录音的最大优点就是可以进行后期加工、制作,将比较复杂的录制程序和要求分作两段来完成,后期制作中可以不受时间的限制,摆脱了各方面的牵制,给予录音师在声音艺术上进行再创作的可能和条件。甚至对某一录音可以有多种录音方案,最后选择其中一个最理想的,这些都是在同期录音中无法实现的。

但是,由于各声部的乐器之间没有相互协调的演奏条件,所以整体的融合性不太好,节奏比较死板、单一,缺乏艺术上的细微处理和感染力,故不适合那些节奏、速度、力度变化较多的艺术作品和大型的艺术形式,如管弦乐、合唱、歌剧、戏曲等。它比较适合那些节奏固定,速度、力度变化不大的节目,如通俗流行音乐、轻音乐和符合

上述要求的独唱、重唱等。另外，由于后期制作时需要对声音进行各种处理，因此所需要的周边设备也相应较多。

第二节 基本拾音方法

拾音既是一个技术问题，也具有很强的艺术性，技术是艺术表现的重要手段。不论是同期录音，还是分期录音，所采用的拾音方法主要有三种：单点拾音法、主传声器拾音法和多传声器拾音法。只有根据具体的实际情况，合理的运用技术，选择适合的拾音方法，才能保证理想的艺术效果。

一、单点拾音法

单点拾音法是指，用一只传声器同时拾取各声部的混合声音及反映演奏空间的混响声信号。若是立体声录音，那么这只传声器应当是立体声传声器。这种拾音方式对传声器的设置要求比较高，既要取得各声部之间的平衡和总体的融合，又要求有理想的空间感。它只能用于相同空间内的同期录音方式，适合于录制乐队本身编配比较平衡，演奏形式固定的古典音乐。采用该种方式拾音时，要注意选择的立体声传声器与节目形式的对应，这里包括选择传声器的指向性，传声器间的轴向夹角等。如果传声器选择合适，设置得当，可以取得自然的层次与深度感。单点拾音法传声器位置的设置需要注意以下几点：

(1) 传声器应设置在具有自然声音平衡的位置上。为了取得这样一个平衡点，要求在布置乐队各乐器的位置时，就应考虑到形成平衡的声音。这种平衡一般包括左右声象的声音平衡，前后纵深方向的声音平衡，以及高、低频声音的平衡等。通过调整传声器在水平方向的位置，可以调节左右声象的声音平衡关系；通过调整传声器的高低位置与指向角度，可以改变纵深的平衡。

(2) 传声器应放在声场中直达声与混响声比例合适的位置上。这一点对于利用自然混响的录音来讲特别重要，它决定了录音节目中各声部融合的程度和对演奏空间印象的表现程度，另外，它还决定了声源声象以及音色特征的清晰度。一般这个比例是以厅堂的混响半径为参考点，通过改变传声器与乐队间的距离来调节的，厅堂的混响半径和传声器指向性的不同以及音乐节目所要求的空间特点的不同，决定了所设置的传声器与乐队的相对距离也不同。

(3) 传声器的有效拾音角应当与乐队的实际宽度相对应，以保证乐队的立体声声象充分分布在两扬声器之间。如果传声器的有效拾音角比较宽，或传声器距离乐队比较远，则会使立体声声象较窄，反之，则容易造成声象过于集中于两边的中间空洞现象。

二、主传声器拾音法

这种拾音方法是单点拾音法的改进形式，它是在保留单点拾音法的整体拾音的条件



下,再对需要加强的声源增设辅助传声器,作为对主传声器拾取的信号的补充。一般来讲,辅助传声器的设置都具有一定的目的性,通常有以下几种情况:

(1)在功率比较弱的乐器前加辅助传声器,以弥补主传声器拾取音量的不足,从而保证整个乐队的平衡,如管弦乐队中的竖琴、木管乐器等。

(2)在低音乐器前加辅助传声器,有助于其声象的平衡和稳定,对音乐起到很好的支持作用。

(3)对定音鼓等打击乐器增设辅助传声器,可以加强乐器的瞬态和冲击感,保证其清晰度。

(4)对弦乐组增设辅助传声器,则可以加强弦乐的音量,增强其丰满度和演奏时的细节表现。

(5)在乐队的两侧加辅助传声器,可以提高两侧乐器的清晰度,同时可以保证两侧的乐器能够有充分的声象定位。

但是应当注意,主传声器拾取的信号在整个录音节目的信号中应始终占据主导地位,增设的辅助传声器,只是对某种信号分量起到增强的作用,它不应超过主传声器中相应的信号分量。而且要注意尽量少使用辅助传声器,能通过主传声器的设置来解决的,就尽可能的避免增设辅助传声器。通常设置主传声器要注意以下几点:

(1)主传声器的电平要大于辅助传声器的电平,以确保主传声器的主导地位。这样可以使录音节目仍保留单点拾音法的特点。同时由于增设了辅助传声器,因而可以得到更清晰和稳定的声源声象和音色特点。

(2)在传声器的选择上,主传声器的灵敏度和频响、动态都要求较好。辅助传声器主要是近距离拾取直达声与混响声比例较大的信号,往往采用具有指向性的传声器,灵敏度可以不那么高,以避免拾取过多的串扰信号。

(3)主传声器的设置与单点拾音法相同。辅助传声器的设置要注意防止辅助传声器之间拾音范围的过多的重合。同时,在声象控制上,辅助传声器信号的声象要服从于主传声器中建立的声象,两者要重合,否则不仅达不到增强的目的,还会使声音变的模糊不清。

主传声器拾音法具有自然的空间感和层次,以及和谐的整体感,同时又具有清晰的声象定位和音色特征,是应用较为广泛的一种拾音方法。

三、多传声器拾音法

多传声器拾音法,是利用多只传声器同时或分别的拾取各不相同的某一部分的声音,通过人工的加工处理后,合成为一个统一的节目信号。由于这种方法提高了制作的可能性,所以对一些配器不甚理想,自然平衡差的音乐,用这种方法效果最好。

在多传声器拾音法中,按演奏空间设置的不同,又可以分为:全封闭多传声器拾音法、半封闭多传声器拾音法、不封闭多传声器拾音法三种。

(1)全封闭多传声器拾音法:该方法把声源的各部分以封闭的隔音房间完全隔开或将声源的各部分在同一房间分别进行录制,使各部分声音之间的串音最小,信号可以完

全独立的进行处理加工。

(2) 半封闭多传声器拾音法：该方法只对部分音量较大的声源作隔离，允许一定量的串音，故信号之间的独立性不如全封闭形式，处理起来灵活性差一些，但是它对录音场所的要求下降了。传声器的选择上主要选用指向性相对较强的传声器，并且以近距离拾音为主。

(3) 不封闭多传声器拾音法：该方法对各声源之间不加任何隔离，仅通过传声器灵敏度、指向性的选择、拾音距离、拾音角度的设置来取得声源之间的相互隔离。所以采用这种方法拾音时，信号之间的串扰比较大，为此，应做到以下几点：

- 提升或衰减本路信号，不会影响其他路信号在整个节目中的作用。
- 改变本路信号的声象位置，不会影响其他信号的声象位置。

因此在安排各声源的演奏位置时，应将声源的各部分拉开一定的距离，以提高隔离效果，同时应当尽量使声源的位置与重放的声象保持一致，以确保声象定位的质量。

以上介绍只是基本的拾音方法，在实际的拾音时并不一定局限于这三种拾音方法，可以根据实际的情况，将这三种方法混合使用，充分发挥各自的特点，为制作出好的节目奠定一个良好的基础。

第三节 传声器的使用技术

传声器的使用技术包括很多方面，如传声器种类的选择、指向性的选择、传声器与声源的相对位置等，很难逐一总结出固定的规律。这里一方面有技术的因素存在，另一方面录音师的经验也起到决定性的作用，本节将主要就几个在传声器设置时需要考虑的问题进行讨论。

一、声源特性对传声器设置的影响

采用传声器对声源进行拾音时，看起来就像人耳听音的过程，只不过是用传声器代替了人耳，其实两者之间存在着本质的差别：人耳听音时除了物理的作用外，还要受到生理和心理因素的影响，而传声器拾取的信号中则只包含物理因素。因此在设置传声器拾音时，需要考虑到影响其的主要声源特性：

- 声源的频率范围
- 声源的辐射特性
- 声源的动态范围
- 声源的机械噪声

1. 声源的频率范围

声源的频率成分一般由其基音和泛音组成，基音决定了声源的音高，泛音则决定了不同声源间音色的差异。泛音列的幅度一般是由低到高线性衰减的，基音与泛音为倍数关系，其中也有例外，打击乐的泛音是不规则的。声源的频谱与其强弱变化有密切的关系，音量小时，泛音比较少，随着声源音量的加强，泛音的数量将成倍的增加。如弦乐



的泛音可以达到人耳的听觉上限,甚至超过 20kHz,使其具有明亮的音色,而打击乐的泛音也可以达到很高的频率,并且在一定程度上反映了乐器的冲击感。

采用传声器拾音时,为了能够真实的记录乐器信号,传声器的频率响应应当尽可能的平直。拾取高音乐器时,选用的传声器应当有较高的频率上限,至少达到 20kHz。由于乐器和传声器在高频段均呈较强的指向性,因此在确定传声器和乐器的相对位置时,应当对此予以充分的考虑。一般乐器的低频下限不低于 60Hz,对于个别的低音乐器,如管风琴等,则可以达到 16Hz。各种传声器,无论其指向性如何,在非常低的频段均接近全指向形,因此在演播室中采用多传声器拾音时,低频串扰是经常出现的问题。即使采用隔声屏来防止传声器间的串扰,也仅仅是对中、高频的隔离,对于低频段基本不起作用。当传声器间的低频串扰比较严重时,应当考虑在传声器上或调音台上做适当的均衡处理。

虽然在一般情况下,传声器、声音处理设备以及重放设备等达不到很低的频率,在重放过程中实际已经没有非常低的频率成分,但是人耳往往能够察觉到这些损失的频率。其原因在于人耳可以通过泛音推断出其基频,感觉到这些较低频率的存在,人耳的这种主观效应称为主观基频效应。当然,很多音响爱好者并不依赖于利用人耳特性来听到这些极低的频率,通常是采用优质的扬声器使重放的频率下限真正扩展到 16Hz。不过值得注意的是,目前市场上很多唱片或磁带为了避免极低频率对一般重放设备的影响,往往在 30Hz 或更高的频率以下做了适当的衰减。

音乐节目的频谱分布范围及其高、中、低各频段相对幅度的大小,可以通过对其进行频谱分析得出,图 3-1 为典型摇滚乐的频谱分析。从图中可以看出,高频段成分的衰减相对要大一些。实际上不只是摇滚乐,其他类型的音乐,如古典音乐,同样也是高频能量要相对弱一些,这主要是空气对高频的吸收,致使声源的泛音迅速衰减所造成的。当然,并不是说声源的高频谐波不重要,在一定程度上,它反映了声源的瞬态、清晰度等特性。因此采用传声器拾音时,应当充分考虑到这些方面的因素,根据音乐的风格,合理设置传声器的位置。

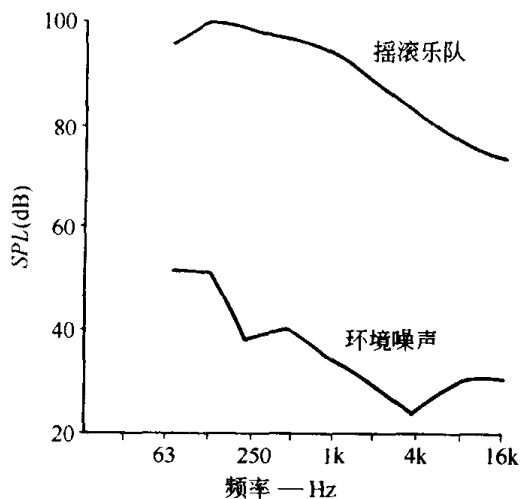


图 3-1 典型摇滚乐的频谱分析

2. 声源的辐射特性

声源的辐射特性是在拾音过程中需要认真考虑的问题,它决定了所录制的节目是否能够保持音色上的平衡。由于各种乐器的形状都非常复杂,因此很多乐器的辐射特性都随着频率的变化而不同,难以非常具体的分析。决定每件乐器辐射特性的关键是乐器的尺寸大小,如果乐器的尺寸相对于辐射的声波的波长非常小,则可视其为一点声源。设乐器的直径为 D ,其辐射的波长为 λ ,当 D/λ 的值小于 0.1 时,可以近似的认为其辐射特性为全指向形。随着频率的升高,波

长 λ 将逐渐减小, D/λ 的值逐渐增大, 乐器的指向性则更强。当频率非常高时, 其能量将集中于乐器的主轴方向上。但是很多乐器, 如小提琴, 是由上、下两个面板组成, 中间形成其共鸣腔, 这样实际乐器的主轴并不是垂直于面板, 而是有一定的偏移, 而且随着频率的不同, 偏移量也不一样。

看上去, 传声器设置在主轴方向上可以有很好的高频响应, 获得理想的音色上的平衡, 实际上这将带来很多的问题。乐器的主轴方向上高频能量很大, 拾取的声音往往比较刺耳, 而且管乐器开口处较强的气流也将影响到传声器的拾音。另外, 如果在乐器主轴方向设置传声器, 则需要演员在演奏过程中乐器不能移动。否则, 即使是轻微的移动, 特别是在近距离拾音时, 也将使拾取到的声音有比较大的电平和音色变化。因此传声器一般是设置在稍微偏离主轴的方向来拾音。

3. 声源的动态范围

在音乐的范畴内, 声源的动态范围是指在正常的演奏条件下, 乐器或乐队所演奏的最强和最弱音量之差, 人们将这个范围划分为几个等级:

ppp	尽可能的弱
pp	很弱
p	弱
mp	中弱
mf	中强
f	强
ff	很强
fff	尽可能的强

在上述的两个等级之间, 通常的声级差为 6~10dB, 其绝对的声压级则取决于演奏时的诸多因素, 如演奏的乐器、演奏的距离、厅堂的混响时间以及房间大小等, 所以其绝对声压级的数值有一个很宽的摆动幅度。在一般的交响乐队编制中, 弦乐的声压级要比木管低 10dB 左右, 而铜管又要比木管高 5~10dB 左右, 图 3-2 所示为典型乐器的动态范围。

实际上, 很多乐器的动态下限可以比图中所示的还要低, 这里所示的只是在一般的演出情况下, 能够让听众听到的最小声压级。另外, 很多乐器的动态还依赖于它演奏的音高, 如小提琴在 200Hz~2000Hz 以上的频率范围内动态始终在 40dB~70dB。小号在 200Hz 左右时动态为 30dB, 到了高音区则只有 10dB 左右, 虽然绝对电平大了, 但是动态范围小了。竖笛的动态随着音高的增高而增长, 可以保持一个比较平稳的状态, 黑管在中音区则有一个很大的动态范围。像弦乐、钢琴、吉他、竖琴的动态范围和绝对电平则在全部声音范围内是比较平衡的。对于所有这些乐器的声学特性, 有经验的作曲家在创作时都会考虑到, 通过乐谱上的强弱记号传递给演奏者, 以保证整个乐队有更好的平衡。

4. 声源的机械噪声

乐器在产生乐音的同时, 往往还伴随着一定的噪声, 而且各种乐器的机械噪声也不尽相同。弦乐产生的噪声最大, 其次是木管。木管乐器中长笛的噪声是最大的, 主要是演奏时的吹奏气息所引起的。另外, 钢琴的踏板声, 歌唱的呼吸声等也是经常伴随着乐

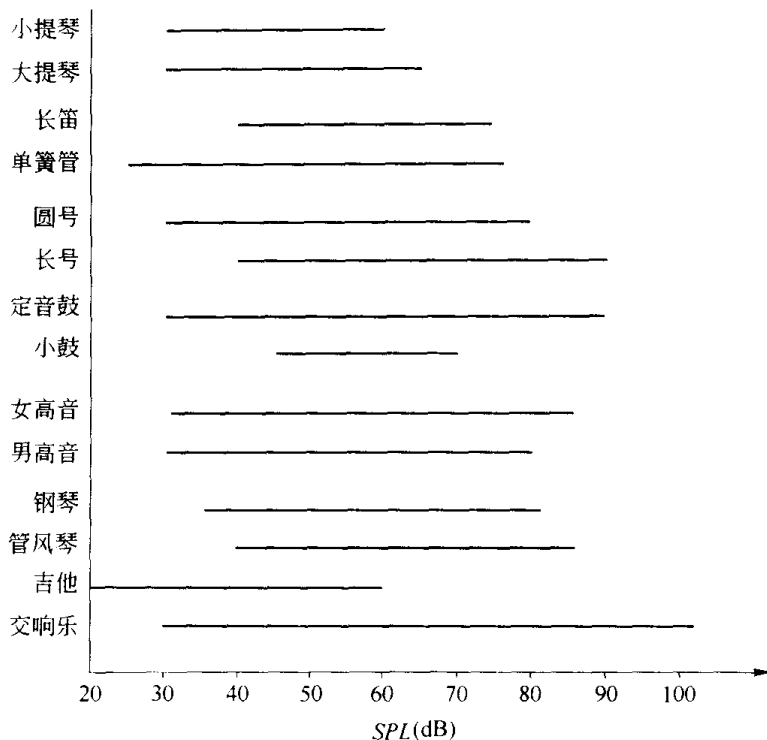


图 3-2 典型乐器的动态范围

音出现的。这些噪声在现场演出时，往往由于各种原因不容易察觉，但当录制下来反复听时，则很容易被听到。特别是在数字录音的情况下，较低的本底噪声使这些机械噪声会更突出。不过，录音时这些机械噪声可以有一些，体现一种真实、自然的感觉，但要有一定的限度，一般情况下应当利用传声器的设置尽量避免。

二、拾音时的相位问题

在传声器的拾音技术中，相位是经常讨论的重要问题，它包括声相位和电相位两部分。声相位与声波到达传声器的时间差有关，电相位则与电路中信号间的相对极性有关。如果相位问题处理不好，将严重影响到节目的录制质量。

1. 声相位

声波是具有周期性的，如果两个声波在空气中传播，在某参考点上二者在一个周期范围内没有时间差，则该位置上两声波是同相的；如果在参考点上二者在一个周期的范围内存在时间差，则两声波间存在反相问题。同相的两声波幅度将得到加强，而反相将发生抵消现象。当两个频率、波形、幅度相同的声波完全同相时（相位差为0），声波的幅度将是原来的两倍。同样，如果这样的两声波完全反相，则完全被抵消。但是这两种情况在演播室中是很少出现的，在演播室中经常发生的是部分反相的现象。如果两声波是部分反相的，则声波将出现部分衰减同时部分加强的现象，如图 3-3 所示：

当采用单传声器拾音时，反射声要延时于直达声到达传声器，这样反射声和直达声之间便有相位差存在，造成在某些频率上产生全部抵消或部分抵消，而另一些频率则被

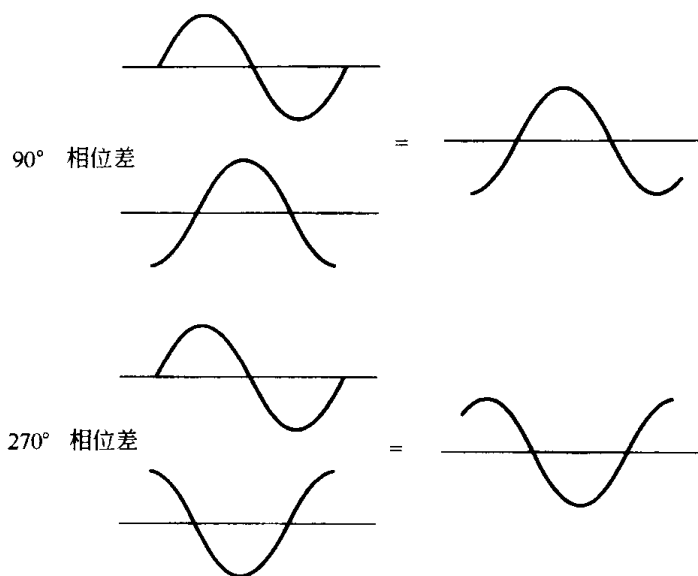


图 3-3 两声波部分反相情况

得到加强的现象。虽然录音师经常利用延时制作各种音响效果，但是当它影响到声源的频率响应，特别是中、低频的频率响应，或者影响到声音的稳定以及清晰度等特性时，往往是所不希望的。

当采用多传声器拾音时，如果声源相对于传声器的位置不合适，声波到达各传声器的时间不一样，也容易出现相位问题。例如，采用两只传声器拾音，传声器之间拉开一定的距离。如果声源偏离两传声器的对称轴，则声源到达两传声器时存在时间差，这样两传声器拾取的信号混合后将出现抵消的现象。如果反相问题比较严重时，人耳比较容易觉察，声音将有明显的减弱或抵消；如果反相问题不严重，人耳则很难察觉。

为了避免在拾音时出现反相问题，在设置传声器时可以遵循 3:1 的原则，即任何两只传声器之间的距离大于其中任何一只传声器到声源距离的三倍。例如，如果一只传声器到声源的距离为 10cm，则另一只传声器与该传声器之间的距离应当大于 30cm。如图 3-4 所示。

不过，如果声源的声压级非常大，则可以考虑适当增加这个比例，达到 4:1 甚至 5:1，同样如果声源的声压级比较小，也可以考虑适当的减小这个比例。另外，采用两只传声器拾取声源时也可以将传声器尽量接近，彼此张开一定的角度，以减小声源到达两传声器的时间差，避免出现声相位

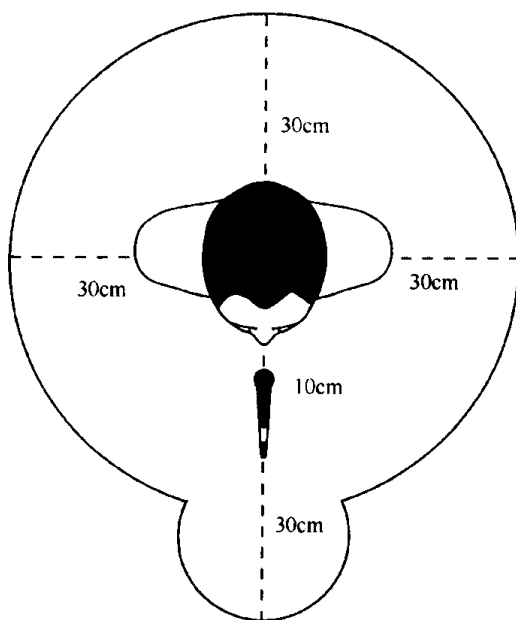


图 3-4 避免反相问题的 3:1 原则



问题。总之，声相位问题主要是由于传声器设置不合理造成的，只要遵循 3:1 的原则，就可以减轻或避免反相问题对声音质量的影响。

2. 电相位

不同于声相位的是，电相位取决于电信号中的相对极性。电相位出现反相问题经常是由于传声器插接件连线错误造成的。RCA 标准的 XLR-3 型插接件进行信号的平衡连接时，是按照一定的插接件标准进行的，1 脚接地，2 脚接信号的“+”端（热端），3 脚接信号地“-”端（冷端）。应当注意地是，这里并没有一个电子标准来规定产品的 2 脚和 3 脚，大多数设备是按照上面的惯例来设计接口的，但是也有部分设备将上面的 2 脚和 3 脚对调使用的。因此设备之间的连接需保持极性的一致，否则将会出现反相问题。

检验传声器是否存在电相位反相问题，可以将两只传声器彼此靠拢，拾取一个稳定的声源，将两只传声器的增益分别调整到适当的位置，然后将两个信号混合。如果混合后电平表的指示比单只传声器时上升 3dB 左右，则表明两传声器是同相的；如果混合后电平表有所下降，则表明有电相位反相，此时低频会有所衰减，甚至完全被抵消。校正电相位反相的一种方法是将传声器插接件中的两根芯线对调；为了迅速解决问题，也可以用调音台上的反相开关，将信号反相 180°来校正电相位的反相。

三、拾音距离的选择

传声器拾音距离的选择，主要是从音乐风格的角度上来考虑的。通常情况下，采用同期录音的乐队或乐器组需要进行远距离拾音，而流行音乐则以近距离拾音为主。当传声器在较远的距离拾音时：

- 直达声/混响声的比例将有所下降，从而加强了声音的空间感和距离感。
- 有更多的高频能量被空气吸收，声音更趋于温暖、柔和，但是声音的清晰度、瞬态和演奏细节有所下降。

• 在传声器有效拾音角一定的情况下，传声器距离声源越远，有效的拾音范围就越大。这样拾取的声音将更趋于平衡，接近听众正常听音时的效果，

- 避免了过多的机械噪声。
- 需要有良好的厅堂声学特性以避免发生声染色的现象

当传声器在较近的距离拾音时：

- 拾取的声音基本上没有空间感，感觉声音距离听音人很近。
- 有较好的高频响应，声音瞬态、冲击感强，较为明亮、清晰，但是如果传声器设置不当，则很容易使声音尖锐、刺耳。

• 传声器的有效拾音范围比较小，尤其是乐器的尺寸比较大时，不容易拾取到乐器的“全貌”，造成音色上的不平衡。

- 容易拾取到更多的机械噪声。
- 多传声器拾音时，容易出现声相位问题。
- 采用指向性传声器时，有低频近讲效应。

第四章 单件乐器和乐器组拾音技术

本章单件乐器和乐器组的拾音技术，主要是针对多声道分期录音而言的，它是流行音乐录制中普遍采用的录音方式。前期制作中，单件乐器和乐器组录制效果的成败，将直接影响到最终合成的节目质量。如果前期录制存在很多问题，后期制作中即使采用各种声音处理设备弥补，也很难达到理想的效果，而且每件声音处理设备的引入都要带来额外的噪声和失真。对于经常采用同期录制的古典音乐来讲，也经常需要采用辅助传声器对单件乐器或乐器组拾音，以弥补主传声器的不足。因此，无论是同期录音，还是分期录音，单件乐器和乐器组的拾音技术都是需要考虑的问题。

第一节 鼓乐器的拾音技术

在流行音乐中最常用的打击乐器是架子鼓，它是音乐节目中节奏的基础，也是最难录制的乐器。架子鼓本身包括了7~20件单独的乐器，通常有低音大鼓、军鼓、通通鼓、吊钹、和踩钹等乐器，它们彼此间距离很近，又相对独立，致使录音时传声器之间串扰很大，对单件乐器的电平、音色、声象等很难控制。架子鼓的调整也没有固定的标准，通常是根据乐曲的需要进行调整。如果整套架子鼓调整的不理想，用再好的传声器和录制方法，也很难取得理想的效果。

一、鼓乐器的基本声学特性

1. 鼓的发声特点

虽然各种鼓乐器的尺寸、形状上差异很大，但其结构大致相同，由鼓腔、鼓皮、鼓架和松紧螺丝等组成，鼓皮在各个方向上以相同的张力固定在鼓架上。当用鼓槌击打鼓面时，鼓皮将偏离静止位置，在静止位置附近振动，由激发点将振动传递到整个鼓面，并且在鼓的边缘被反射回来。

对于不同的激发位置，鼓皮的振动方式是不一样的。当击打鼓皮中央时，如图4-1(a)所示，鼓皮将以最简单的方式振动，它决定了鼓声的基频。当击打鼓皮直径 $1/6$ 处时，鼓皮的振动则包含4-1(a)和4-1(b)两种方式，产生另一频率较高的声音。同样，当击打鼓皮直径 $1/10$ 处时，将有更高频率的声音产生，这些频率成分的高低取决于鼓皮的张力、质地、鼓皮的有效直径以及整个鼓的体积。



当鼓皮振动传递到鼓的边缘时, 还要发生扇形共振 (如图 4-2 所示), 生成新的频率。而且, 鼓皮的直径越大, 鼓皮越薄, 共振越明显。特别是当鼓皮的激发位置偏离中心, 或鼓皮在各方向上张力不一致时, 将在鼓声的稳态和衰减过程中, 有明显的颤音。当听音人或传声器在较远的位置听音或拾音时, 能量相对较弱的颤音很容易被隐蔽掉。但是, 在鼓的边缘处采用近距离拾音, 则容易被传声器拾取。不过, 由于鼓皮的振动比较复杂, 各种方式的振动迭加后, 在某些区域的共振有可能被加强, 而另外一些区域则有可能完全被抵消, 因此可以通过细致调整传声器的拾音位置, 加强有益的共振, 而避免影响鼓声的振动。

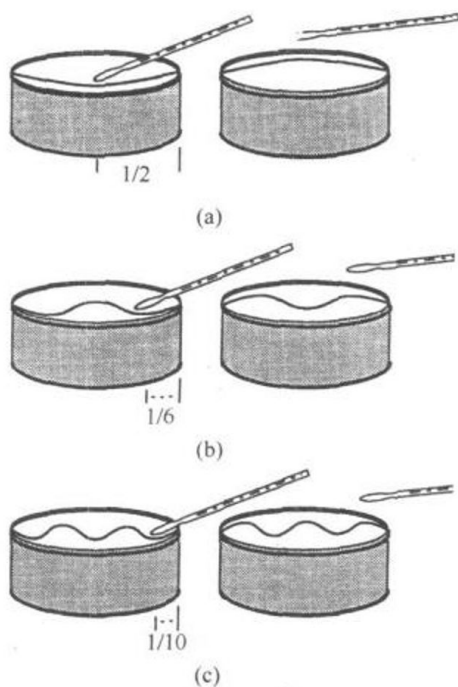


图 4-1 鼓的三种振动方式

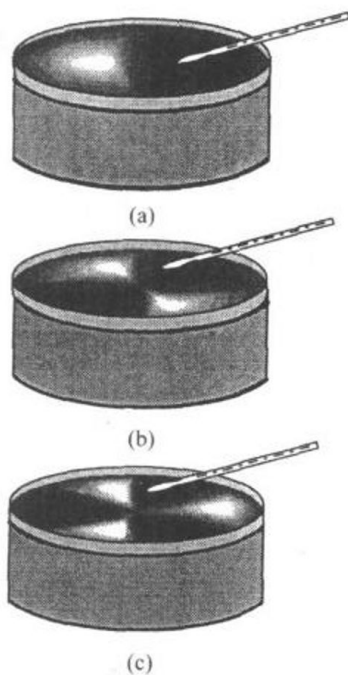


图 4-2 鼓的三种扇形共振方式

除了鼓皮的共振以外, 鼓腔内的空气、鼓架也会发生一定共振。鼓腔内空气的共振频率取决于鼓腔的体积, 鼓架共振则由其尺寸、厚度、密度以及重量来决定, 两者的共振频率是各自独立的。有些两面蒙皮的鼓设有开孔和阻尼装置。开孔使鼓腔内外的空气连通, 有效的增加了共振空气的体积, 从而降低了鼓腔内空气的共振频率, 阻尼装置则在一定程度上提高了鼓的音高。另外, 有时不同的鼓是安装在同一支架上的, 这样, 当敲击临近的鼓时, 也要引起其他鼓的共振。

从上面的分析可以看出, 鼓受激发后发出的音色与激发位置和鼓的特性有关。在演奏中, 一般鼓的最佳激发位置不在中心, 而是在鼓面直径的 $1/3 \sim 1/4$ 处, 此处可以加强鼓的基频振幅, 同时抑制掉部分不和谐的成分。强奏时, 为了使鼓能够承受较大的压力, 随力度的加强, 可以将激发位置逐渐移向中心。鼓皮的质地影响鼓的音色, 鼓皮的张力不仅影响鼓的音高, 而且在一定程度上还影响鼓的音色。例如, 为了得到朦胧的鼓的音色, 可以在鼓面上蒙上一层棉织物, 使其基频的振动受到抑制。另外, 鼓的激发工具的软硬程度, 对音色也有很大的影响。一般软而钝的鼓槌激发出的鼓声柔和、起振过

程较长,硬鼓槌激发出的鼓声脆而明亮,起振过程较短,力度也较强。

2. 鼓的选择与调整

鼓的各种共振为其录制带来了很大困难,要想利用传声器拾取到满意的鼓声,一方面,需要合理选择鼓的尺寸和配置,另一方面,需要对整套鼓进行细致的调整,消除各种共振之间的相互影响。

常用的低音大鼓有 24 英寸和 26 英寸两种。26 英寸低音大鼓的声音相对比较低沉,更容易引起其他鼓的共振。在实际的应用中较少使用,往往需单独设置传声器拾音,并配合均衡使用。在摇滚乐和大多数的流行音乐中,为了获得比较坚实的大鼓声,经常采用 24 英寸低音大鼓进行录制。低音大鼓的调整非常重要,但是实际调整中经常出现误解,认为减小低音大鼓的鼓皮张力,可以使大鼓的声音更低沉。实际上,这样调整往往会使鼓声音调变高,而不是使鼓声低沉。其原因在于低音大鼓的能量主要集中在低频段,调低鼓皮的张力后,容易使大鼓的低频下限降到人耳的听音范围以下,使人耳听不到较低的频率。相反,如果增大鼓皮的张力,则可以使其低频下限位于人耳的听音范围以内。因此要想得到冲击感较强的大鼓声,应适当调低鼓皮的张力,而不是将鼓皮调整的更紧。

在流行音乐的架子鼓配置中,通通鼓的数量一般为三只,较为常用的为 12 或 13 英寸通通鼓、14 英寸通通鼓和 16 英寸的低音通通鼓,而 18 英寸的低音通通鼓在录音中很少使用。通通鼓的音高应当根据乐曲的调性进行调整,使各通通鼓的音高呈三度和弦关系。如:当乐曲为 F 大调时,高音通通鼓(12 或 13 英寸通通鼓)通常调至小字组的“a”,而另外一只通鼓和低音通通鼓则应相应的调至小字组的“f”和“c”,使之构成大三和弦关系。调整时为了避免上下鼓皮相互干扰,可将通通鼓从支架上取下,利用阻尼物抑制住下鼓皮振动,然后来调整上鼓皮。用鼓槌敲击松紧螺丝附近的鼓面,调整鼓皮的张力,直到其音高与所期望的音高一致,然后在该点的基础上,依次调整其他各点的音高。因为很多鼓手并不是敲击鼓的中心,所以还应当根据实际的激发点做细致的微调。下鼓皮的调整方法与上鼓皮一样,只是不用根据实际的激发点再做调整。

军鼓的种类很多,不同的军鼓所选择的鼓皮和鼓架各不相同,鼓腔的长度也不一样。鼓腔越长,军鼓声越坚实,富有弹性;鼓腔越短,军鼓声越清脆、明亮,冲击感越强。长鼓腔的军鼓低频成分相对较多,而且由于下鼓皮距离低音大鼓更近,容易使串音增加,减弱军鼓的冲击感。所以为了增强其冲击感,一方面可以采用均衡处理,另一方面,可以适当的加入更多的混响声。短腔军鼓高频成分相对较多,鼓声清脆,适合于爵士乐等音乐形式,力度相对较小的鼓手也往往偏爱短腔军鼓。军鼓的调整不同于通通鼓,而是更多的根据音乐的风格进行调整,一般情况下,其音高由乐曲的速度来决定。如果乐曲的速度比较快,鼓声的音调要调整得相对高一些,使激发的鼓声有较快的衰减,以免影响下一次激发。对于民谣等节奏较慢的音乐,则应调整的低一些,以求更好的军鼓音色。虽然通通鼓要求上下鼓皮的音高应当一致,但是对军鼓的要求并没有那么严格,因为军鼓往往以保持节奏为主,不必有充分的共振,特别是当乐曲速度比较快时,太大的共振容易使鼓声显得拖沓。



吊钹的音色和声音特点在很大程度上受到钹片的大小、重量、厚度以及材料的影响,吊钹的选择也应当根据音乐的风格来选取。如果乐曲的速度比较快,就应当选取起振和衰减较快的钹片,以免较长的起振和衰减影响到钹声的冲击感。通常为了立体声声象的对称,在整套鼓的选配上应当有两面音量相差不多,衰减平稳的吊钹,但是其音高应当有所不同。因为如果两面钹的音高过于接近,同时演奏就容易出现相位问题,造成某些频率成分的抵消。叮叮钹的选取受环境因素的影响很大,为了能够得到清晰的叮叮钹声音,选取的钹片不应当有较强的共振。另外,要想得到理想的叮叮钹声音,鼓手也是一个重要的因素,好的鼓手可以通过控制叮叮钹的激发位置来保证其清晰度。踩钹和军鼓、低音大鼓一样,是整套架子鼓中重要的节奏乐器。一般来讲,对于摇滚乐等类型的音乐,选取的钹片音量较大,含有更多的中、低频成分;对于一般的流行音乐或布鲁斯音乐则需要明亮、清晰的踩钹声音。这种钹片高频成分较多,而且衰减较快。

3. 反射、混响对鼓声的影响

人们通常听到的鼓声不仅仅是鼓自身振动而发出的声音,往往还包括了房间的因素,即早期反射声和混响声。随着听音距离的改变,鼓声的音色会有很大的变化,图4-3所示为在三个不同的距离上,军鼓的包络和频谱成分。其中(a)为6m处的情况;(b)为0.75m处的情况;(c)为军鼓上方7.5cm处的情况。从图中可以看出,鼓声从起振到衰减的时间大约为0.4ms,距离越近,损失掉的房间声越多。在6m和0.75m的位置上,军鼓的高频成分还比较丰富,在7.5cm处时,2kHz以上频率成分开始衰减,8kHz以上的能量已经很小了。

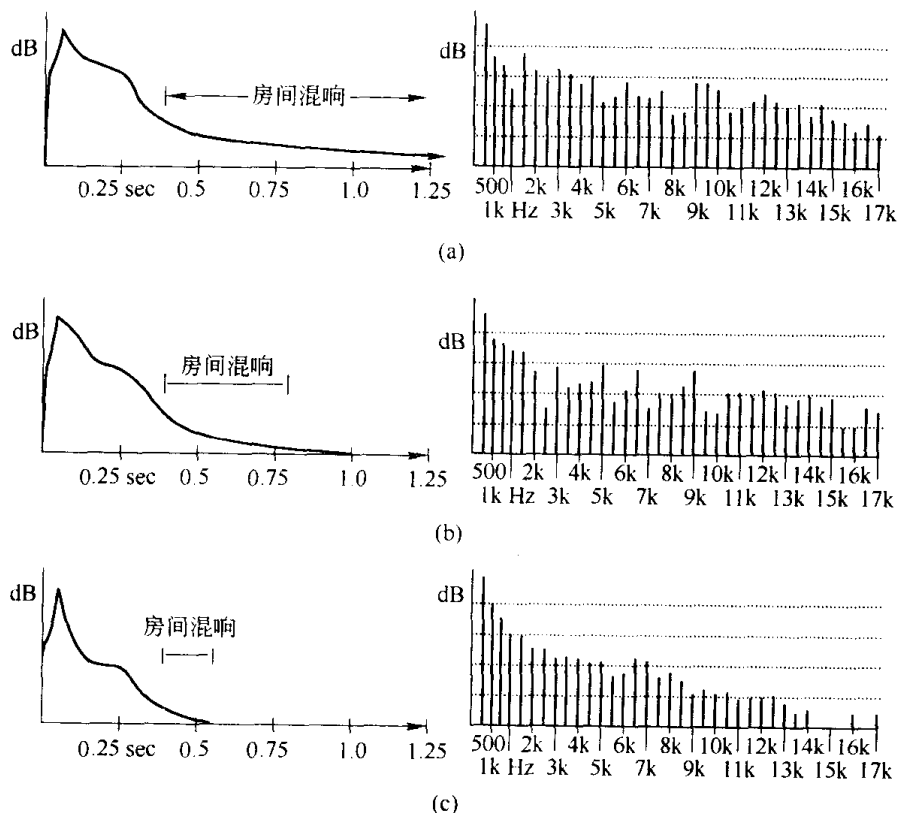


图 4-3 在三个不同的距离上,军鼓的包络和频谱成分

鼓手在演奏的时候,耳朵到军鼓的距离大约为 0.9m (3 英尺) 左右,在直达声后听到的是各种早期反射声,彼此之间的延时大约为 3ms~30ms。延时小于 30ms 时,人耳是无法分辨的,所以在人们的印象中,这种早期反射已经成为鼓声的一部分,它可以延长鼓声的瞬态,提高鼓声的音量。激发力度相同的情况下,在没有混响的房间内,0.9m 处测得的军鼓瞬态为 23ms,声压级为 105dB,而在有混响的房间内其瞬态将延长为 52ms,声压级达到 112dB。声压级每提高 6dB,声压要增大一倍,信号的能量为原来的四倍,因此在有混响的房间内,早期反射使军鼓的瞬态增加了一倍,能量提高了四倍。

采用传声器近距离拾音时,会损失掉很多房间声的成分。传声器与声源的距离每减小一半,会使传声器的输出电平大约提高 6dB,当传声器设置在距离声源 7.5cm 处近距离拾音时,其输出电平将较 0.9m 处提高 21dB 左右,而实际的反射声能量却没有增加。这样若在相同监听电平下分别监听 0.9m 和 7.5cm 处传声器拾取的信号,两信号中反射声电平将相差 21dB,致使很多反射声被隐蔽掉。实际上,听众的听音的距离要远大于 0.9m,听到的房间声成分也会更多。对于处在声场距离声源 9m 处的听众来说,听到的声音中早期反射声和混响声的声能要占其整个声能的 80% 以上。因此要想将演播室中拾取的鼓声中损失掉的早期反射声效果恢复或重建起来,就需要利用声处理设备进行必要的信号处理。

二、鼓乐器的拾音

鼓乐器的拾音方法很多,但拾音方案应当根据鼓乐器在音乐作品中的作用,以尽可能简单的传声器设置为原则来确定。例如,在爵士乐中应注意声音的整体和动态范围,以及乐器间的融合性,所以一般不采用流行音乐或摇滚乐拾音时,为了获得最大隔离度和冲击感而经常采用的近距离拾音和大压缩处理的方法。爵士乐拾音时,通常用两只全指向形或阔心形传声器,彼此间隔一定的距离,设置在鼓的上方来拾取整套鼓的声音。为了避免传声器对拾取到太多的钹声音,可以将传声器对设置的稍高一些,以取得整套鼓中各乐器间的平衡。由于低音大鼓的振动面产生的是前后方向的振动,而其他乐器基本上是上下振动,所以一般要为低音大鼓单独设置一只传声器来拾音,以免大鼓在弱击时被钹声淹没。另外,如果乐曲要求军鼓有较强的冲击感,可以在军鼓的斜上方设置一点传声器,并将该传声器拾取的声音信号以适当的比例混合到主传声器对中。图 4-4 即为所述拾音方式,这种方式虽然在串音、单独控制乐器等方面存在不足,但是可以得到具有自然空间感和融合感的架子鼓声音,更适合爵士乐的音乐特点。由此可见,并不是所有鼓的录制都需要很多的传声器来拾音。

1. 低音大鼓的拾音

在很多流行音乐和摇滚乐中,低音大鼓和军鼓往往是整套架子鼓中音量最大的乐器,因此二

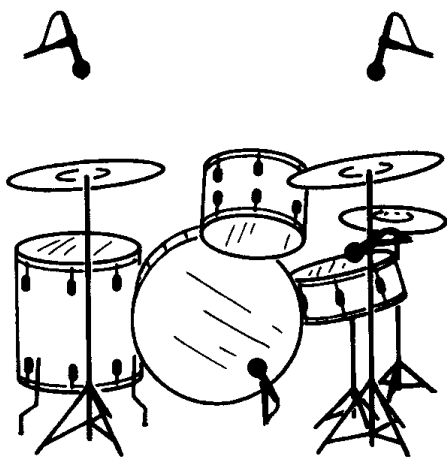


图 4-4 适合于爵士乐的架子鼓拾音方式

者的声音质量将直接影响到整套鼓的录制效果。大鼓也是整套架子鼓中音调最低的乐器，无论是单面蒙皮还是双面蒙皮，其低频成分（25Hz~400Hz）的能量很大，泛音的频率范围为1kHz~6kHz，强奏时声压级最高可达150dB SPL。采用近距离拾音时，应当选用能够承受如此大声压级的优质动圈传声器，如 Electro-Voice RE20、Sennheiser MD421U、AKG D112、AKG D-12E、Shure SM57、Beyer M380 等。其中以 RE20、MD421U 和 D112 这几种传声器应用最为广泛。这几种传声器都有较好的指向性，可以有效地增加各鼓乐器间的隔离度，并且可以利用传声器内部的滤波器来衰减大鼓中过重的低频成分。MD 421U 在 3kHz~6kHz 的频率范围内略有提升，而这一频段正是大鼓的泛音部分，故 MD421U 将有助于加强大鼓的中高频响应。

对于摇滚风格的音乐节目，通常要求能清楚地听到各个鼓的瞬态。由于低音大鼓的体积比较大，鼓皮比较重，双面蒙皮时两鼓皮将先后振动，从而使大鼓的瞬态变长，冲击感下降。因此拾音时为了消除两鼓皮间的相互影响，常将远离鼓手一面的鼓皮取下，以获得大鼓的瞬态和冲击感，此时传声器可以置于鼓腔外或鼓腔内进行拾音。另外，也可以将毯子等阻尼物放在鼓腔内来控制其低频成分，加强大鼓的瞬态和冲击感。需要注意的是，此时应当以较重东西置于阻尼物上，或采用其他的方法将阻尼物固定，以免演奏时阻尼物的位置发生变化，影响到拾音效果。

当传声器在鼓外或鼓皮位置正对鼓皮中心开孔拾音时，承受的声压级最高，因为鼓腔内所有振动产生的声压均从该孔向外辐射。如果开孔很小，则很可能使传声器过载失真。传声器移近鼓面，能使声音温暖、饱满；而传声器移远鼓面时，则高频会有所提高。由于开孔的中心是受激鼓皮基频的波腹，并且在此位置上可以接受到整个鼓皮振动产生的声音，所以在此位置上拾取的信号有更平衡的低频响应。

如果采用心形传声器置于鼓腔内拾音，将拾取到更多的敲击声，同时也将拾取到更多的鼓皮局部共振，并且正对传声器膜片的波腹所对应的频率成分也要多一些。此时，如果传声器垂直与鼓皮设置，如图 4-5 所示，可以得到较为低沉、丰满的大鼓声音。如果传声器不是垂直与鼓皮，而是与鼓皮呈一定的角度设置，如图 4-6 所示，则一方面可以减小极低频率成分对传声器膜片的声压，有助于避免传声器过载失真，另一方面可以



图 4-5 传声器垂直于鼓皮设置

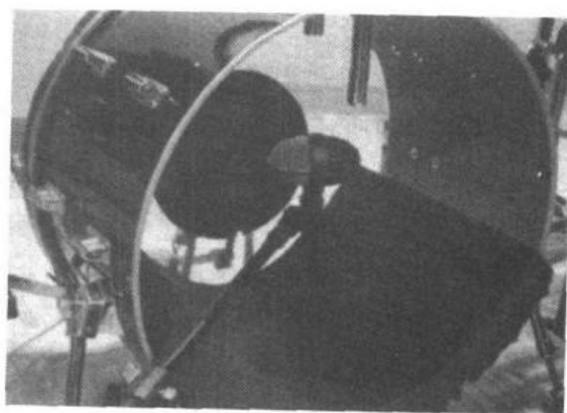


图 4-6 传声器与鼓皮呈一定的角度设置

减少信号中过多的低频成分,拾取更多的泛音。另外,还可以将传声器的轴向偏离其他鼓乐器,利用传声器的指向性获得一定的声隔离,从而有可能在后期制作中不必再使用噪声门等设备进行处理。通常在鼓腔内摆放传声器拾音时,传声器并不是位于鼓皮的中心,而是偏离中心设置。传声器到鼓皮的距离大约为 10cm~20cm,角度稍微朝下,指向低音通通鼓,以此来减小军鼓和其他通通鼓的串音。

由于大鼓产生的声能很大,因此应将传声器固定在稳定的传声器支架上,并且将支架置于硬质的地板上,不能将支架设置在木制的演奏台上,以免机械振动通过支架传递到传声器上。为了减小机械振动,还可以将传声器置于具有减振效果的减振垫上,来减小传声器支架的振动。另外,还应注意不要使传声器接触到鼓腔内的阻尼材料,否则鼓的机械振动将直接通过阻尼材料传递到拾音传声器。

2. 军鼓的拾音

军鼓的特点是在鼓的背面有弹簧状的响弦,这种响弦使其能够产生独特的音色。它在摇滚乐、流行音乐等节目中具有非常重要的地位,在一定程度上反映了这些音乐形式的风格。如果军鼓的拾音和处理效果不理想,则有可能使摇滚风格的音乐节目缺乏冲击感。相反,对于平缓的民谣等音乐形式,则容易产生声音尖锐、刺耳等不和谐的感觉。在实际的拾音过程中,军鼓的串音问题是比较严重的,很容易被其他传声器拾取,因此在后期制作中很难保证其声音的稳定。另外,军鼓自身的共振以及同其他乐器的共振也为获得理想的军鼓声增加了难度。

近距离拾音使鼓声的稳态和衰减细节非常明显,虽然噪声门可以在后期制作中使鼓声的包络发生变化,但是却不能抑制鼓的鸣响和局部共振。为了抑制这些有害的鸣响和共振,通常可以在鼓的边缘,共振比较明显的鼓皮上粘一些胶带或其他阻尼物以达到减振的目的。此外,也可以采用 Noble 和 Cooley 专门为鼓设计的减振器来抑制共振,它是由非常薄的塑料制成的圆环,可以恰好沿着鼓的边缘覆盖在鼓皮上,减振效果非常明显。为了得到更好的军鼓声,还应考虑到响弦对军鼓声音的影响,如果军鼓响弦调整的比较松,它不但在军鼓被激发的时候产生振动,演奏其他鼓乐器时也容易引起响弦的共振。此时,可以适当的将响弦调整的紧一些,或者选用其他更宽或者更细的响弦。为了抑制较强的响弦振动,除了可以用胶带等阻尼物减振外,还可以在响弦的一侧或两侧附着些棉纱等阻尼物。如果用很细的胶带在鼓的边缘附近将响弦固定在鼓面上,则实际上相当于缩短了响弦的长度,同样可以起到抑制响弦振动的作用。另外,也可以通过调整鼓皮的张力来抑制响弦的振动,不过每只军鼓的共振是不一样的,所以这种方法有时不一定能够解决出现的问题。一般情况下,适当调低鼓皮的张力,可以消除军鼓中经常出现在 200Hz 左右的共振。如果下鼓皮在 100Hz 左右的能量比较大,则可以用于减弱军鼓和高通之间的串音。因为军鼓的上鼓皮距离高通比较近,很难在该频段进行有效的隔离,如果下鼓皮在这个频段的能量比较大,可以适当的提升所拾取的下鼓皮信号,而衰减上鼓皮的低频,不过这种情况并不是经常发生。

对军鼓进行拾音可以根据音乐作品的需要,采用一只传声器或两只传声器来拾取,两者的效果完全不同。在近距离拾音的情况下,如果在鼓腔长度为 15cm 军鼓上方,距



离上鼓皮 7.5cm 处设置一传声器拾音, 则传声器到下鼓皮的距离为 22.5cm, 是上鼓皮距离传声器的 3 倍。若上、下鼓皮辐射的能量一样, 传声器拾取的下鼓皮信号就要比上鼓皮低 9dB, 这种衰减是很难用压缩或均衡来补偿的。另外, 现场听音时听到的鼓声是两鼓皮的直达声和反射声, 大多数房间的反射界面所反射的中频成分要多于高频和低频成分, 而军鼓的响弦声能量多集中于 1~4kHz 的频率范围内, 这样, 房间将会相对明显的提升响弦声的电平。如果采用一只传声器对上鼓皮近距离拾音, 拾取的鼓声中将会损失掉这些早期反射。这两个因素综合作用, 将导致军鼓的声音比较沉闷, 缺乏军鼓所特有的爆破力。

军鼓的频率范围很宽, 基频的范围在 100Hz~200Hz 左右, 泛音可达 15kHz, 而且军鼓的声压级也很高, 强奏时可达 150dB 或者更高, 因此录音师常选用优质的动圈传声器来拾音, 如 Sennheiser MD421U、MD441。这两种传声器在 3~5kHz 频段上有一定的提升, 拾取的声音比较明亮。特别是 MD441, 其高频补偿开关可使传声器在 5kHz 以上产生高达 6dB 的搁架式提升。此外两种传声器也都设有低频衰减控制, 可以有效的减小低音大鼓的串扰。Electro-Voice RE15 和 RE10 的低频衰减要更陡峭一些, 高频响应较为平缓。因此采用这两种传声器拾取下鼓皮时, 不但可以更好的防止串音, 而且可以使明亮的响弦声更细腻一些。其他常用的传声器还有 Shure SM57 和 58s 等, 也有采用 Neumann KM84 电容传声器对军鼓进行拾音的。它所拾取的军鼓声具有坚实、爆破力强的特点, 但如果演奏力度很大, 将会造成传声器过载。Shure SM81 电容传声器拾取的声音也很明亮, 但也不适合拾取高声压级的军鼓声。如果传声器设有低频衰减开关, 应将衰减频率选在 100Hz 以下, 以免影响拾取军鼓的基频成分。在用心形传声器近距离拾音时, 还应注意传声器的低频近讲效应, 应适当的对高频进行提升或衰减低频。

无论是采用一只、还是两只传声器拾音, 传声器都应当避免在军鼓的边缘, 垂直于鼓皮设置传声器。特别是在选用锐心形或超心形传声器的情况下, 垂直设置将减小传声器的拾音范围, 拾取到更多的局部振动。传声器的轴向与鼓皮的角度越小, 其覆盖的拾音范围越大, 所拾取的鼓皮振动也就越全面。通常传声器是设置在远离鼓手一边的斜上方, 传声器的轴向与鼓皮呈一定角度, 以拾取到整个鼓皮的振动, 如图 4-7 所示。由于军鼓下方的传声器要考虑到拾取响弦的声音, 因此在设置传声器的时候还要额外注意应当沿着响弦的方向设置传声器, 此时容易拾取到整个响弦的振动。传声器的轴向与响弦在水面内垂直设置, 传声器覆盖响弦的范围将最小。

理论上, 如果上、下鼓皮调整的非常接近的话, 两只传声器都可以拾取到军鼓的基频。然而考虑到演员演奏方便的因素, 只有下面的传声器才有可能更接近鼓的中心设置, 拾取到更多的基频成分。因此如果鼓皮下方的传声器同低音大鼓串音不是很严重的情况下, 可以适当增加下传声器在整个军鼓信号中的比例, 以加强军鼓的基频成分。一般情况下, 军鼓下方的传声器很少采用电容传声器。一方面是因为电容传声器的灵敏度比较高, 很难解决同低音大鼓的串扰问题。而且传声器的主轴向上, 在同样的位置上, 吊钹的串扰要比动圈传声器明显的多。另一方面, 电容传声器的频率响应宽而平直, 在



图 4-7 采用一只传声器拾取军鼓



图 4-8 采用两只传声器拾取军鼓

军鼓下方近距离拾音时，容易造成响弦声过于清晰，整体效果不好。因此在实际的应用中，军鼓下方的传声器多采用 MD421、441、SM57、58s、RE 15 等动圈传声器，以一定的角度沿着响弦的方向设置，传声器的轴向指向鼓手的胸部附近，最大程度的拾取包括响弦在内的下鼓皮振动，同时尽量减小同吊钹等其他乐器间的相互串扰，如图 4-8 所示。

采用两只传声器对军鼓进行拾音时，在混合的时候还应注意两信号是否存在相位的问题。因为当上鼓皮被激发后，两鼓皮将几乎同时向下移动。这样，上方传声器周围的空气要相对稀疏一些，而下方传声器周围的空气将被压缩，所以两信号间很容易出现严重的反相问题。检查两信号间是否存在反相问题，需要通过主观判断来决定。可以通过调音台将两信号的电平调整一致，并且利用调音台上的反相开关进行反复的听音比较。如果两信号同相，军鼓应当有更多的低频成分和冲击感。不过，在实际的拾音过程中，两信号完全反相的情况非常少见，更常见的是部分反相问题，而且频率不一样，反相的情况也不尽相同。此时，究竟选择何种混合方式，并没有一定的规律，可以根据音乐的风格和感觉来选择一种更合适的混合方式。

录制摇滚风格的音乐节目时，录音师总是希望各乐器间能有足够的隔离度来满足后期制作的需求。虽然上面介绍了部分利用传声器的选择和设置避免军鼓和其他乐器串音的方法，但是由于各乐器间的距离太近，加上军鼓和通通鼓在结构上非常相似，吊钹和军鼓的鼓皮几乎平行，容易成为其他乐器的反射面等因素，实际的隔离效果往往不能满足制作的要求。为了能够使军鼓以及其他乐器间有更好的隔离度，还可以在各传声器设置好以后，用比较薄的小块毛毡围绕着传声器，在传声器的前面松散的卷成一个较宽锥形的圆筒，固定在合适的位置上，来隔离传声器轴向以外所不期望的高频信号。并且可以根据需要调整锥形底面的大小，以获得更好的隔离度。采用这种方法减小军鼓信号中的吊钹串音时，甚至可以衰减 10dB 来自吊钹的高频信号。



当然,这种方法也有可能产生一定的负面效应,如很多传声器的指向特性是通过各方向传来的声波以及声波进入传声器外壳后之间的相互作用形成的。如果传声器被毛毡等材料遮住,势必会损失部分传声器原有的特性。因此采用这种方法时一定要特别的小心,只有感觉到非常有必要的时候才可以使用,而且使用的时候也应当注意少用。例如,可以只对串音比较严重的军鼓使用。在实际的应用中,还需反复地比较加上毛毡前后信号的变化,然后对毛毡进行调整,确保传声器拾取的声音质量。

3. 踩钹的拾音

踩钹的拾音相对要容易一些,如果音乐作品要求较为明亮、尖锐的踩钹声音,可以考虑使用心形电容传声器,如 Neumann KM84、Shure SM81 等。如果要求比较平缓、透明的踩钹声音,则可以选用动圈传声器,如 Sennheiser MD441、Electro-Voice RE15 等。无论采用何种类型的传声器拾音,传声器与上钹片的距离都不应小于 10~15cm,距离太近容易造成拾取的开钹和闭钹声音的电平相差太大。通常传声器是以一定的角度设置,轴向指向鼓手的右侧。这样可以避免传声器拾取到太多的吊钹和附近鼓的声音。对踩钹进行拾音时,传声器的位置不同,踩钹的音色会有一定的变化。如果传声器设置在钹片的上方,如图 4-9 所示,将拾取到更多敲击声;若距离钹片中心太近,则容易产生振铃声;传声器设置在钹片边缘的上方,如图 4-10 所示,则拾取的声音非常明亮。需要注意的是,传声器的轴向应当避免正对两个钹片的开合处,如图 4-11 所示,因为钹片的开合处要产生一定的气流,正对拾音容易拾取到明显的气流噪声。

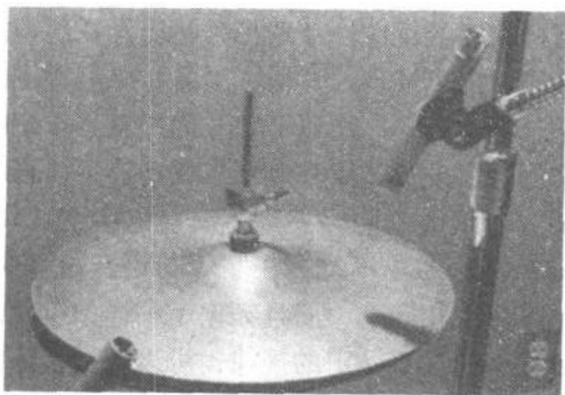


图 4-9 传声器设置在钹片的上方拾音

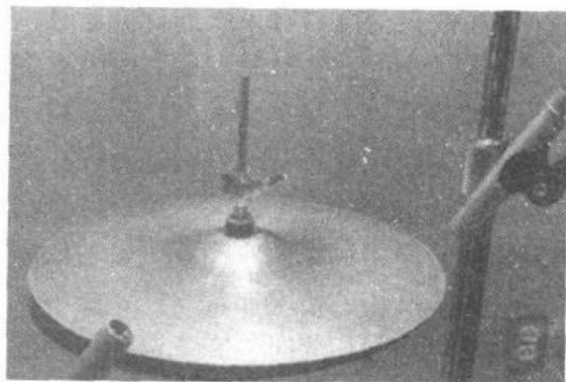


图 4-10 传声器设置在钹片边缘的上方拾音

另外,在使用较少传声器拾取整套架子鼓的情况下,由于军鼓和踩钹的距离比较近,还经常用一只传声器来拾取军鼓和踩钹的声音,并且通过调整传声器的相对位置取得二者的平衡,如图 4-12 所示。

4. 通通鼓的拾音

通通鼓的声压级也是非常高的,具有较长的稳态和衰减过程,并且在 8kHz 以上的频率成分很少。一般情况下,通通鼓自身应当有充分的共振,平缓的衰减过程,避免声音的颤动。为了达到这个目的,除了要求有良好的调校以外,还要防止各乐器之间的硬性连接,尽量避免各种机械振动。在对通通鼓拾音时,常选用动圈传声器,如 Sennheiser

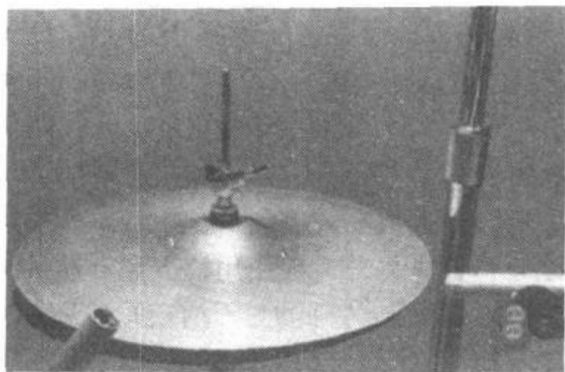


图 4-11 传声器正对钹片的开合处拾音



图 4-12 采用一只传声器拾取军鼓和踩钹的声音

MD 441 和 MD 421 因具有一定的中高频提升和连续变化的低频滚降衰减,而经常作为通通鼓拾音的首选传声器。Electro-Voice RE15 有较好的瞬态响应,其良好的指向性可以在一定程度上减小吊钹的串扰,因此实际应用中也较为广泛。另外,Shure SM57、58s 也经常用于通通鼓的拾音。

对通通鼓进行拾音时,为了避免影响鼓手的演奏,传声器一般靠近鼓的边缘设置,与鼓皮呈一定的角度,轴向指向鼓手的腰部附近,如图 4-13 所示。这样可以拾取较为丰满的通通鼓声音,各频率成分间的平衡也很好,避免拾取过多的局部振动。拾音距离较近时,可能音色会略显沉闷,而稍微远一些,则可能得到更为生动的音色。但是,此时传声器也正好对着军鼓,有时串扰会非常严重,还会与拾取军鼓的传声器间产生一定的相位干涉。即使是采用噪声门处理,效果也不是太好,因为军鼓信号的电平太强,噪声门可能会总被打开。

解决这一问题从信号处理的角度很难完成,因此只能从传声器的设置方面来考虑。一个办法可以使传声器的轴向偏离军鼓的方向,同时加大传声器与鼓面的角度来减小军鼓的串音,

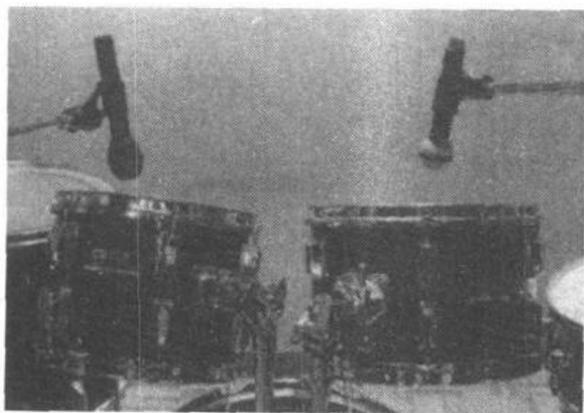


图 4-13 高音和低音通通鼓的拾取



图 4-14 低音通通鼓的拾取



但此时通通鼓的音色要受到一定的影响。另外解决的方法是在两个通通鼓的上方设置XY制式的成对传声器，两传声器的轴向分别指向两边的通通鼓，并且两传声器的倾角与军鼓至少保持在45度以上。由于采用成对传声器拾音时，会使鼓的低频成分在两传声器混合时提高大约6dB，所以需进行一定的低频衰减。

录制通通鼓时，有时还要将其下鼓皮卸下，将传声器放在鼓腔内进行拾音。这样拾取到的鼓声串音较小，但音色深沉，不丰满，缺乏弹性。另外，在使用较少传声器录制整套鼓时，也可以在两只通通鼓的中间设置一只传声器拾音，此时声象问题将无法解决。

5. 整个鼓乐器组和吊钹的拾音

对架子鼓的整体拾音方法很多，并且各有利弊，至于究竟采用哪一种方法，需根据架子鼓在音乐作品中的作用而定。常用的方法有两种，一种方法是在两边吊钹的上方架设空间成对传声器，另一种方法是在架子鼓的上方组成XY传声器对来拾音，如图4-15所示，传声器对可以采用电容传声器，也可以采用动圈传声器。电容传声器灵敏度较高，有很好的瞬态响应和高频响应，拾取的声音明亮、清晰，有很强的力度和冲击感，适合对摇滚乐、布鲁斯、舞曲中的架子鼓拾音。常用的传声器有Neumann U87、KM89和AKG 414s，其中U87和KM89拾取的声音非常明亮，AKG 414的声音则相对较为柔和。动圈传声器或铝带式传声器拾取的声音十分柔和，整体的空间感比较好，适合对柔和的爵士乐、民谣、轻音乐中的架子鼓拾音。常用的动圈传声器有Sennheiser 460s、441s和Electro-Voice RE 55s等。

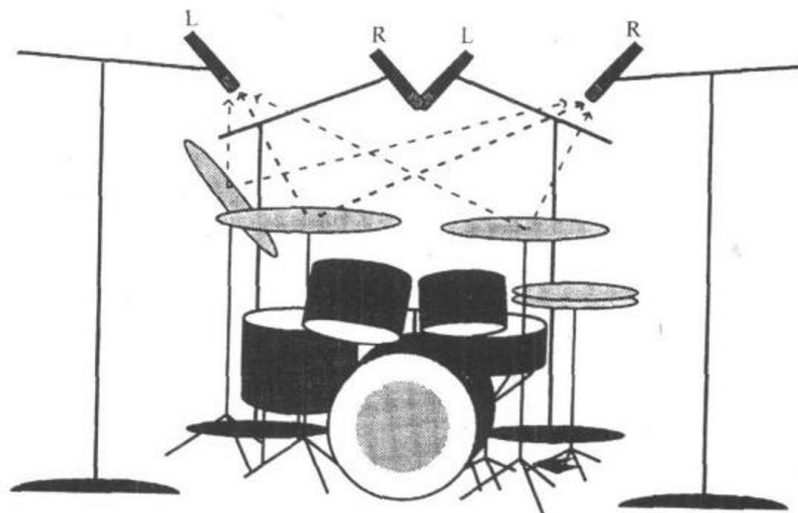


图 4-15 架子鼓整体拾音示意图

选择和设置传声器时，传声器的类型和指向性还要根据房间的结构、体积、架子鼓上方的空间高度、以及音乐作品所需要的空间感来决定。如果空间体积较小，则可以选择全指向形传声器，并将传声器设置在距离地面大约2m左右，或者距离吊钹大约0.6m左右的位置，传声器间距离至少应为0.6m。这种拾音情况下，偏离中心的各乐器

到达两传声器时将存在时间差，因而单声道重放时会导致某些频率成分被抵消。图 4-16 所示为单声道重放前后吊钹的频谱成分。图 (a) 为一只传声器拾取的吊钹的频谱成分，图 (b) 为两传声器混合后吊钹的频谱成分。从图中可以看出，两传声器混合后，2kHz 以上的频率有明显的衰减，因此在设置空间成对传声器时，检查其单声道兼容性是非常重要的。如果房间比较高，则可以选择心形传声器，并将其组合成 XY 拾音方式，设置在鼓手头部的上方，距离地面 2.2m~2.5m 高，传声器的轴向分别指向左右两侧。这种方式产生的立体声声象比较自然，不会出现相位问题和中间空洞现象。

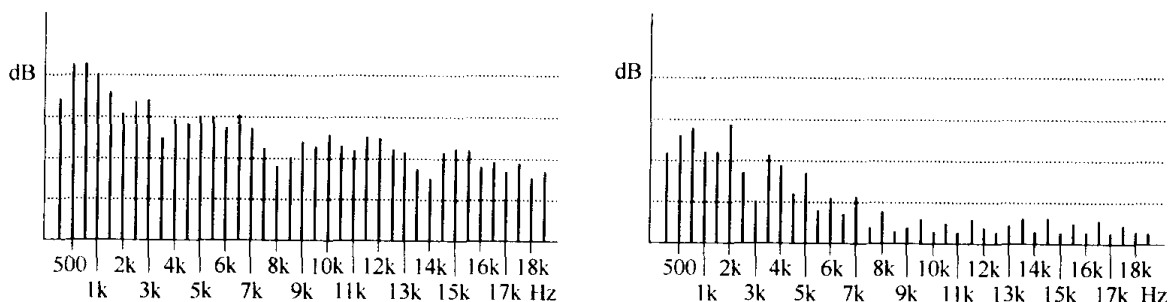


图 4-16 吊钹单声道重放前后的频谱成分

另外，也可以选用 PZM 传声器对整套架子鼓进行拾音，传声器可以安装在支架上，也可以直接固定在墙壁上或天花板上，图 4-17 中是将 PZM 传声器固定在墙壁上。比较起来，将 PZM 传声器安装在墙壁上或天花板上时，要比安装在传声器支架上有更好的立体声空间感。

吊钹在整个架子鼓的拾音中一般不单独设点传声器进行拾音，而是用架子鼓整体拾音的传声器就足够了。在对整套架子鼓听音时，会感觉吊钹的信号只存在

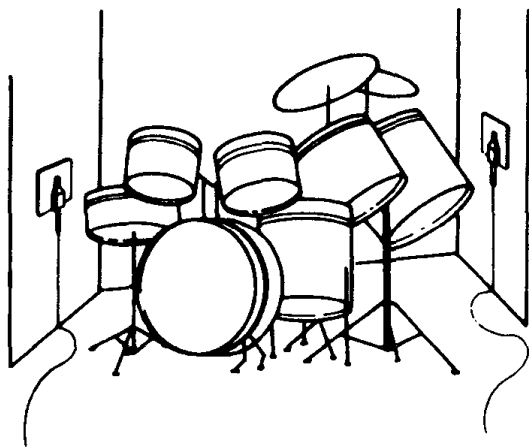


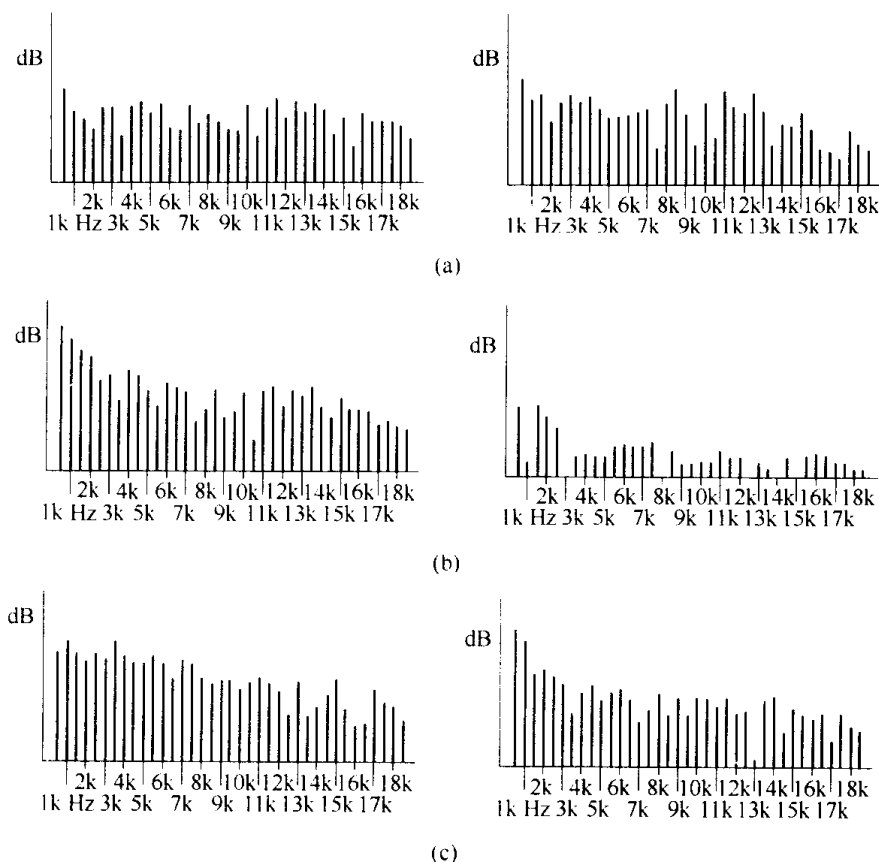
图 4-17 采用 PZM 传声器对整套架子鼓进行拾音

2kHz 以上的频率成分，实际上吊钹的频谱范围是很宽的，直径 50cm 的叮叮钹产生的最低频率可到 50Hz，而高频较高的钹片高频成分可达 20kHz 以上，只是吊钹的声音中，高频信号能量相对于低频信号来讲，占的比例很大。也正是因为这个原因，吊钹产生的串音对其他鼓的弹性和力度影响不大。

钹基本上属于刚性的金属膜片，当用鼓槌击打钹片的一侧时，激发点一侧的钹片将向下偏转，声波通过钹片传递，将产生一个扇形的反作用力，使另一侧的钹片向上偏转。声波在金属中传播的速度是非常快的，也就意味着在激发点一侧钹片向下偏转的同时，另一侧的钹片向上偏转，结果造成在较远的位置听音时，几乎所有的低频成分被抵消。如果传声器设置在钹片中心的上方 0.9m 左右的位置拾取钹的声音，信号中的低频成分将很少。但是，如果传声器设置在钹片边缘的下方拾音，将会拾取到较多的低频成



分,如图4-18所示。图中,左侧为全指向传声器分别在三种不同的钹片的上方0.9m处拾取的钹声音的频谱成分,右侧为同样的传声器分别在三种不同钹片边缘的下方15cm处拾取的钹声音的频谱成分。



(a) 22 英寸叮叮钹; (b) 16 英寸吊钹; (c) 18 英寸中国钹

图 4-18 全指向形传声器分别在三种不同钹片上方和下方边缘处拾取到的钹声音的频谱成分

很明显,拾取军鼓、通通鼓、踩钹的传声器将位于吊钹边缘的附近或下方,如果传声器设置不合理的话,将会拾取到很多类似于图4-18右侧频谱成分的吊钹串音,而且这些串音信号与钹片上方传声器拾取的信号间将存在相位差。当所有的传声器信号在调音台上进行混合时,会造成某些频率的抵消或加强,致使吊钹的左右立体声声象定位模糊不清。因此,合理的设置传声器,加强各鼓乐器间的隔离度,以及防止吊钹的串音是非常重要的。在实际的拾音过程中,吊钹产生的真正问题发生在1~3kHz的频率范围内。当所用的钹片较重或者较厚时,该频段的信号能量比较大,稳态过程也比较长,对军鼓和通通鼓有一定的隐蔽作用,致使军鼓和通通鼓的清晰度和明亮感下降。出现这种问题时,通常可以在钹片的边缘粘些稍微厚一点的胶带来抑制这些中高频段的振动。对于摇滚乐、爵士、重金属等音乐,要想取得理想的录制效果,最好采用比现场演出时更薄一些的钹片,使吊钹中的低频能量有更快的衰减。

对整套架子鼓拾音的传声器可以拾取到更平衡的架子鼓声音,而且由于不存在或只有很少的低频近讲效应,拾取的声音要比各点传声器所拾取的信号明亮的多。理论上,立体

声成对传声器可以使整套架子鼓的声音明亮,但是由于吊钹在 $1\sim 3\text{kHz}$ 较高的能量,反而会使鼓声的明亮感有所下降。为了解决这个问题,可以通过适当的衰减立体声传声器对中的中高频成分,突出近距离传声器拾取的高频成分,来保证整套架子鼓声音的平衡。

第二节 低音提琴和电贝司的拾音技术

无论是低音提琴还是电贝司都是乐队中的主要低音乐器,担任着乐队中的低音声部,是音乐旋律与和声的基础。标准低音提琴的频率范围为 $30\text{Hz}\sim 10\text{kHz}$,主要的能量集中在 500Hz 以下。虽然低音提琴最低的 E 弦的频率大约在 40Hz 左右,但是大多数低音提琴在拨奏时可以辐射出更低的频率成分,使其低频下限延伸到 30Hz 左右。而且,这种瞬态可以使低音提琴或电贝司具有一定的冲击感,因此在录制时不能轻易对其极低的频率进行深度的衰减。低音提琴或电贝司演奏时,拉奏或拨奏所发出的高频谐波的能量很弱,但可以使其在摇滚乐队或管弦乐队中显得更突出。综合以上因素可以看出,贝司是一种较难录制的乐器,而且不同类型的贝司还会有各自不同的问题。

正如鼓乐器那样,贝司在不同的音乐形式中所发挥的作用也是不一样的,并且很多风格的音乐节目中,贝司和鼓都是比较突出的,所以使贝司的声音能够适合音乐作品的需要是非常重要的。当需要贝司配合和加强低音大鼓的节奏,用连续的低音铺垫来支撑乐曲的旋律与和声时,贝司的声音应当丰满,有较长的稳态过程。当相对于低音大鼓和军鼓,贝司更多以乐曲节奏的角色出现时,则要求贝司每次的拨弦声应当有一定的冲击感和力度,而且贝司的能量相对集中,保证乐曲有清晰的节奏。对于不同的音乐作品可能还会要求贝司声音有稳定的输出电平和迅速的包络衰减,或者相反,需要贝司声音有很高的动态以及持续的低音。

虽然利用各种声音处理设备可以对声音加以修饰和润色,改变乐器的声音和感觉,但是这样也会带来额外的噪声和失真。最好的方法应当是选择好的声源,然后利用传声器技术获得期望的声音效果。无论是低音提琴还是电贝司,要想录制出好的效果,除去乐器本身的因素,一般要在录制前换上新的琴弦。这样,一方面可以保证乐器的音准以及稳定的输出,另一方面可以加强乐器声音的谐波成分。需要注意的是,应当提前换上琴弦,以免录制过程中乐器走音,需要不断的调整。电贝司的输出电平还会随着琴弦与拾音器之间距离的变化而变化,需要在录音前进行调整。调整时可以通过主观听音判断,也可以利用 VU 表来进行,使调整后一弦(E 弦)到四弦(G 弦)第五品上(电贝司相邻的空弦为纯四度音程)的音量下降 3dB 左右,整个音域上约下降 6dB 左右。如果电贝司的输出电平调整的比较平衡的话,则有可能在录制过程或者后期制作中不再需要进行压缩处理。

一、低音提琴的录制

1. 低音提琴的基本声学特性

在标准低音提琴的基础上,低音提琴还有几种不同的尺寸,最大的 5 弦低音提琴



的低频下限可达 27Hz。另外，低音提琴无论是在拨奏还是拉奏的情况下，其动态范围均可达到 30dB 以上，在某些频段上，其陡峭的瞬态甚至接近低音大鼓。

低音提琴在发声时，琴弦的振动将通过琴码首先传递到琴的前面板，然后由前面板传递到整个琴身及其内部的空气，并且在琴弦振动的频率上产生共振，将声音的能量放大后辐射到周围的空气中。图 4-19 所示为低音提琴侧面图和俯视截面图，与一般的鼓乐器所不同的是，低音提琴的琴身是不规则的，前、后面板的厚度和弧度也是变化的。因为琴的前面板要通过琴码承受琴弦的拉力，所以前面板要比后面板厚。一定的弧度变化将有助于在较宽的频带范围内辐射低音提琴的中高频谐波成分，如果面板为平的，则只能放大某一频率的声音。由此可以看出，低音提琴的振动方式要比鼓乐器复杂的多，图 4-20 所示为干涉仪观测到的低音提琴在 540Hz 和 800Hz 振动的情况，图中灰色区域为不发生振动的部分，黑色区域为振动部分。在振动区域内，越靠中心面板的振动幅度越大。从图中可以看出，540Hz 的振动主要集中在面板的左侧，而 800Hz 的振动则由三个较小的区域组成。

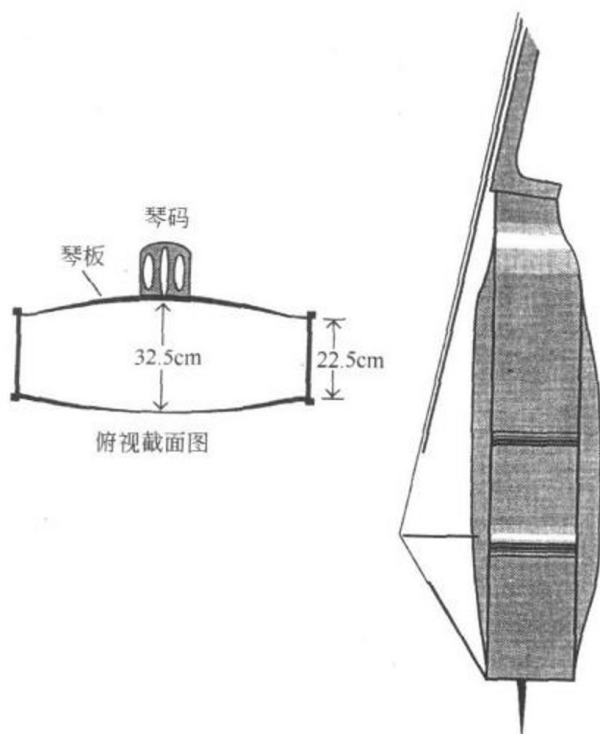


图 4-19 低音提琴的侧面图和俯视截面图

540Hz 和 800Hz 振动的情况，图中灰色区域为不发生振动的部分，黑色区域为振动部分。在振动区域内，越靠中心面板的振动幅度越大。从图中可以看出，540Hz 的振动主要集中在面板的左侧，而 800Hz 的振动则由三个较小的区域组成。

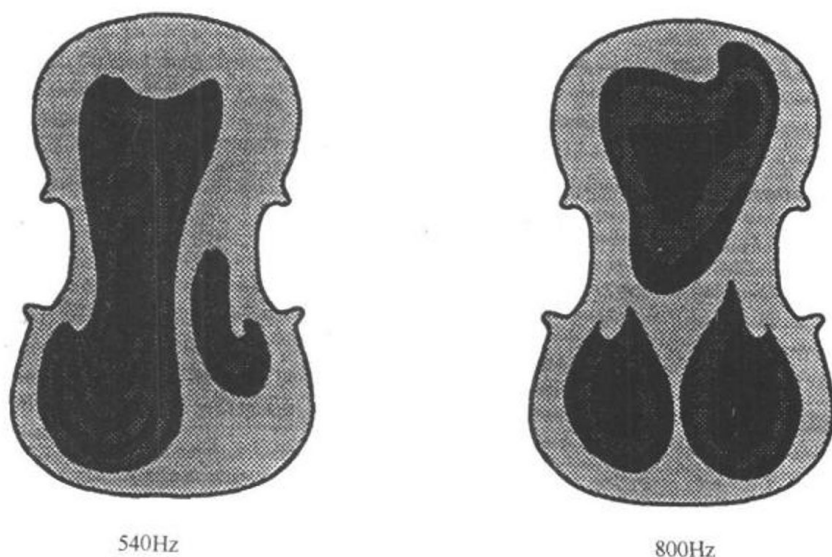


图 4-20 低音提琴在 500Hz 和 800Hz 的振动情况

当前后面板振动弯曲的弧度一致时,将对乐器的最低频率产生共振。因为琴身在 f 孔附近被上下分为两部分,所以每一部分的面板还有各自的共振特性,分别放大两个较高的频段。而且在每一部分面板内,更小的区域里还将对更高的频率产生共振。琴身内主要的空气共振要受到琴身高度、宽度和深度尺寸大小的影响,对于不同的尺寸,琴身内的空气将在很窄的频带内产生共振,共振频率的波长约为各自尺寸大小的4倍。例如,如果某一低音提琴琴身的高度、宽度和深度的尺寸分别大约为135cm、75cm和25cm,则主要的空气共振频率将分别为65Hz、110Hz和320Hz。低音提琴的琴颈看起来不会随着琴身发生振动,实际上,当拨弦的力度非常大时,琴颈也要发生一定的前后振动,其振动的频率取决于琴颈的长度、重量、硬度以及琴颈与琴身结合的方式。综合以上各种共振,低音提琴可以将所有琴弦振动产生的声音进行放大,但是各个音之间的放大幅度是不一样的,即使是最好的低音提琴,在演奏力度保持不变的情况下,各音符上的音量也将有3~6dB的变化,尤其是对于较低的谐波成分,其放大的幅度更不均匀。

琴弦的振动方式类似于前面介绍的鼓皮振动,最简单的振动方式是仅有一个波腹位于琴弦的中间,两个波节分别位于琴码和弦枕处。第二种振动方式则有两个波腹,三个波节,其他振动方式以此类推,分别产生低音提琴的高次谐波,各种振动方式相对的能量大小由琴弦上的演奏位置来决定。如果拨弦的位置位于琴弦的中间,则基频及其奇次谐波的能量相对要大一些。如果在琴弦1/4处拨奏,则偶次谐波听起来会更平衡一些。拨奏的位置越靠近琴码,声音中的基频成分越少,高频谐波越丰富。图4-21所示为以相同的力度在三个不同位置上拨奏100Hz的声音时,基频与其高次谐波的频谱相对关系。

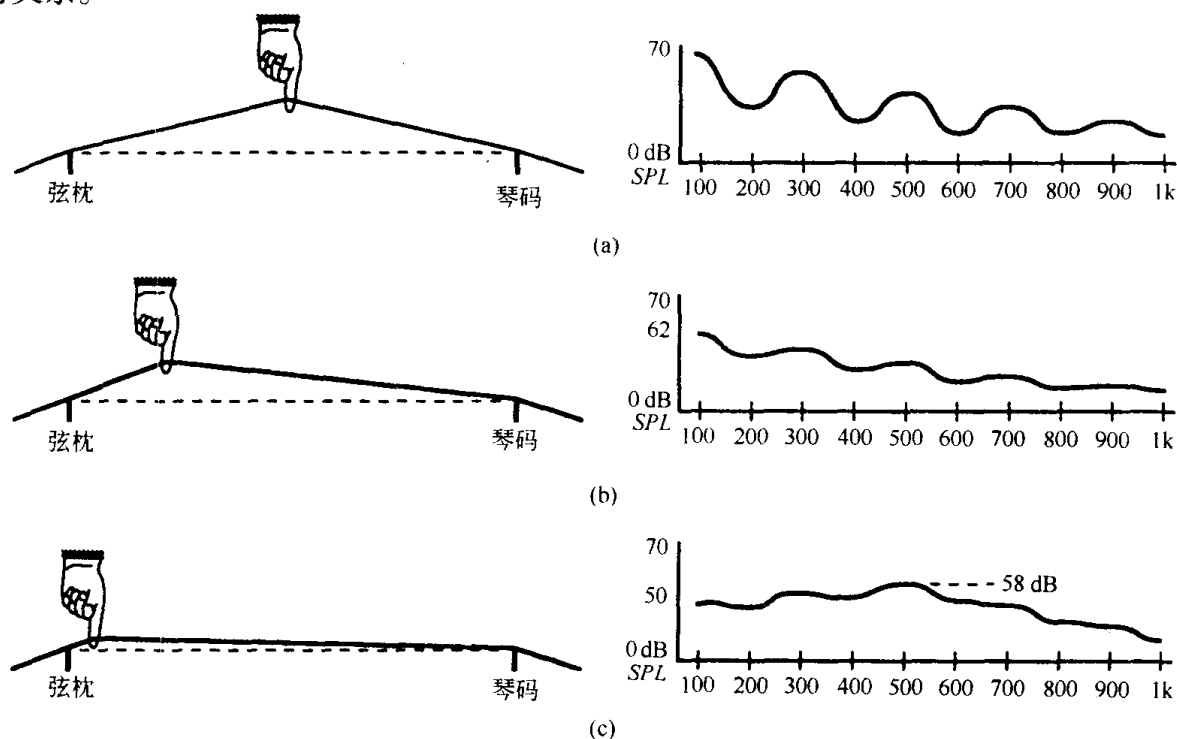


图 4-21 相同力度在三个不同位置上拨奏 100Hz 的声音时,低音提琴的频谱成分



用弓拉奏低音提琴时，在某种意义上相当于弓的每根马尾不断快速的拨动琴弦，经常会产生一些不和谐的高频成分和机械噪声，频率甚至会超过 10kHz，但是其能量相对于低频小很多（在小提琴中则相对要大很多）。虽然整个琴声中各频段的相对能量是由演奏的位置来决定，但是无论演奏哪个音符，这些高频成分则相对稳定，致使低音提琴的声音有时显得很尖利，而有时又非常的柔和。这些成分是反映低音提琴现场感所不可缺少的重要成分，因此在拾音和后期信号处理的过程中，应当给予充分的考虑。

虽然在拨奏时，琴弦可以在任何的方向上振动，但是用弓拉奏时，在弓的作用下，琴弦则以横向（平行与前面板）振动为主。这样琴码的横向振动也要大于上下振动，前面板所接受的基频和较低谐波的能量也要相应的小一些。因此，拉奏低音提琴的声音要比拨奏时明亮，弓、弦摩擦的不和谐声音和机械噪声的比例也要高。基于这个原因，录制和处理拉奏低音提琴时要尽量地避免声音过于尖利和明亮。不过，当一个作品中既有拉弦又有拨奏时，往往很难找到合适的方法，保证二者均有理想的效果。

2. 低音提琴的拾音技术

拾取低音提琴时，应当根据特定的琴声、录音环境的声学特性以及音乐作品的需要来选择传声器。通常情况下，因为电容传声器有良好的瞬态特性，并且 5kHz 以上的频率响应比较平直，有利于拾取到现场感更强的低音提琴声音，所以录音师常常选用电容传声器来拾取低音提琴。近距离拾音时，较为常用的电容传声器有 Neumann U87、KM89、U47 等型号。这些传声器有非常明亮的高频响应，虽然在拾取小提琴和中提琴时往往有刺耳的感觉，但在拾取低音提琴时却有助于提高其现场感和穿透力。若需要相对柔和的低音提琴，可以选用 AKG 414 或 C-451，采用心形或全指向形来拾取低音提琴。如果期望得到更柔和、丰满的声音，则可以选用动圈传声器，如 Sennheiser 421U、441 以及 Electro-Voice RE 20 等传声器。

由于低音提琴的体积比较大，所以在较远的距离拾音时声音趋于丰满、平衡，近距离拾音时则很难拾取到比较平衡的声音。通常可以将传声器设置在距离琴身约 30cm 处，左或右 f 孔上下的位置来拾音，这样不但可以拾取到琴弦、面板、整个琴身及其内部空气的振动，而且有较好的平衡。如果不存在串音问题，可以选择全指向传声器来拾音，以扩大传声器的拾音范围，同时也避免了指向性传声器所具有的低频近讲效应。另外，近距离拾音还应当注意避免传声器拾取到过多的机械噪声，采用心形传声器拾音时，可以使传声器的轴向避开弓弦摩擦产生的噪声，全指向形传声器则可以用小块的毛毡做适当的隔离。

有时也可以用多只传声器对低音提琴进行立体声拾音，特别是在为了减小串音而采用心形传声器拾音的情况下，这样可以进一步扩大传声器的拾音范围，避免过多的强调局部共振。此外，立体声拾音还可以使低音提琴具有一定的声象感和更好的空间感。设置传声器时，传声器不必一定是对称与琴弦设置，只要保证两传声器的电平大致相同，传声器各自到琴的位置也可以根据需要变化。事实上，对于体积比较大的低音提琴，若将两传声器上下设置，甚至是两传声器均位于琴弦的一侧，会更有利于拾取其上下两部分各自不同的共振。不过，采用多只传声器拾音时，应特别注意传声器间的相位问题。

有时录音师也用微型传声器固定在琴码的下方进行拾音；这种方法拾取的琴声缺乏空间感，声音较为坚实，有点像电贝司的音色。不过，扩声中采用这种方法时，则可以有效的增加拾取声源的电平，避免通路增益过高而出现回授现象。

二、电贝司的录制

1. 电贝司的基本电声特性

电贝司的琴身和琴颈是实心的，无法像传统乐器那样利用琴身和空气的振动放大和辐射声音，而主要是利用金属琴弦下方的拾音器来感应琴弦的振动，产生一个输出电压，如图 4-22 所示。虽然不能像低音提琴那样拥有复杂的发声机理，但是在录音过程中，相对简单的电贝司也会产生各种特殊的问题。

电贝司的拾音器由一个或多个带有磁极片的磁体组成，当琴弦在磁场中振动时，磁极片内部的线圈中将产生感应电流，输出的电压由磁体的长度，线圈的匝数以及琴弦的偏移量等因素决定。因为拾音器仅是拾取其上方的琴弦振动，所以很多电贝司有两个拾音器，一个在琴码的附近，拾取更多的高次谐波，另一个接近中间，更多的拾取琴弦振动的基频和低次谐波。电贝司的声音质量取决于拾音器的设计，内部的电路将各拾音器的信号混合后输出。如果拾音器电磁屏蔽不好或者是接地有问题，则很容易受到各种射频信号的干扰。为了减小射频干扰，应使用分布电容较低的连接电缆。如果录音过程中仍然存在射频干扰，可以试着改变 DI 盒的极性或将接地端完全断开。有时演奏者手指出汗附着在琴弦上，也容易造成地环路。

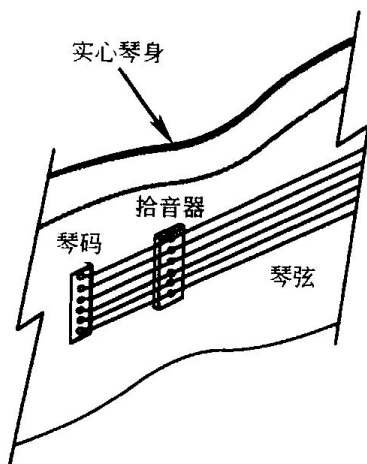


图 4-22 电贝司的结构



图 4-23 DI 盒 (Direct Box)

某些电贝司在拨奏的时候所产生的低频能量要比低音提琴更显著，因为虽然电贝司的琴身是实心的，但是还是会在一定的频率产生共振，尤其是在琴颈和琴身的结合处，会进一步加强这种共振，在拾音器的输出中占有很大的比例。尽管很多乐器放大器的低频响应达不到如此低的频率，但这些频率成分却容易使 DI 盒或调音台前置放大器过载，致使演奏的声音信号出现失真。



电贝司的低频信号失真是以谐波失真和互调失真为主。当演奏的低频信号低于扬声器的低频下限时,往往会产生以二次谐波为主的谐波失真。由于偶次谐波会给主观听音一种温暖的感觉,所以这种失真会使原来的声音显得更温暖一些。不过,在很多情况下,不同频率信号的这种谐波失真的量是不一样的,会造成一种明显的不平衡效果。当电贝司演奏的音量比较大时,演奏的较高频率的信号将受到拨弦或共振产生的较低频率的信号调制,造成互调失真,使电贝司产生一种柔和的,近似于大号的音色。例如,如果拨弦时产生的较低频率为 20Hz,当演奏的音符的频率为 65Hz 时,可能会听不到 20Hz 的声音,但是却能听到 45Hz 的声音。简单解决这个问题适当的方法可以适当的减小电贝司的输出电平,直到能够听到较为清晰、坚实的电贝司为止,并且在调音台上予以补偿。

2. 电贝司的拾音技术

对电贝司的拾音主要有两种方式,一种是将电贝司的输出的信号直接输入调音台,另一种是用传声器来拾取电贝司由扬声器重放出来的声音。采用直接输入的方法时,电贝司将有较好的高频响应,声音趋于明亮、清晰。不过,电声乐器的输出阻抗很高,而专业音频设备的输入阻抗比较低,因此为了满足阻抗匹配的要求,需在电贝司的输出和调音台输入之间接入 DI 盒。此外,电贝司能够产生一个电压较低的持续稳定输出,瞬态的电压也很高。演奏长音符时,其输出电压可以小于 0.1 伏,打弦时的瞬态输出则可以达到 1 伏,很容易造成 DI 盒或调音台上传声器前置放大器的过载,因此应注意选择具有较大动态的 DI 盒。

采用传声器拾取电贝司扬声器时会遇到很多问题,首先,需要选择适当的传声器,选取合适的拾音位置。其次,需要解决各乐器之间的串音问题。再者,即使最好的扬声器也会有噪声输出,这种噪声在拾音过程中是很难避免的。但是这种方法可以获得比直接输入更自然的声音效果,而且如果采用电子管放大器来推动扬声器的话,在很大的音量下拾取的电贝司声音所具有的温暖感和质感是任何声音处理设备不能实现的。

为了能够承受电贝司扬声器所发出的较大声压级,减小各乐器间的串扰,降低扬声器噪声和射频信号的干扰,很多录音师选用心形动圈传声器来拾音,如 Sennheiser MD421U、441 和 Electro-Voice RE20 等。也可以选用大振膜电容传声器,如 Neumann KM87、Beyer MC740、AKG 414 等,或者选用电子管传声器。需要注意的是,当使用电容传声器拾音时,应使用传声器内部的衰减器对高频段进行衰减。

设置传声器时应考虑到扬声器的指向性,当传声器的轴向正对扬声器拾音时,如图 4-24 所示,将拾取到比较明亮的电贝司声音。如果传声器的轴向与扬声器呈一定的角度拾音,如图 4-25 所示,能够拾取到更为丰满的声音。若将传声器设置在扬声器纸盆边缘处拾音,则拾取的声音将更圆润,同时还可以减小拾取到的扬声器噪声。近距离拾音可以得到清晰、坚实的声音,要想使电贝司的低频有更松弛的感觉,可以在距离扬声器 3m 左右的地方设置一只传声器,用两只传声器来拾音,远距离的传声器可以增大电贝司的声象大小,但是需注意可能会带来的相位问题。如果演播室没有足够的空间来额外设置传声器,也可以用混响效果进行模拟。另外,如同拾取其他低音乐器一样,传声

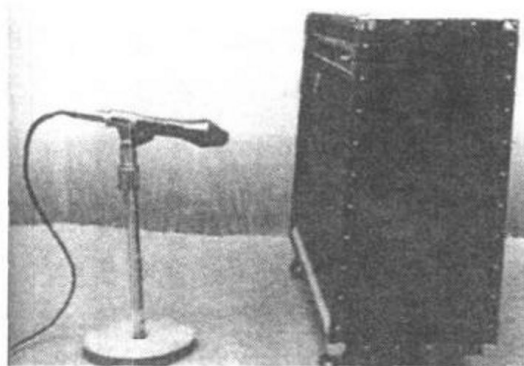


图 4-24 传声器轴向正对电贝司扬声器拾音



图 4-25 传声器轴向与电贝司扬声器呈一定角度拾音

器应当安装在稳定的支架上，避免产生机械噪声。

对电贝司拾音时，还可以将上述两种方法混合使用，即在用传声器拾音的同时将电贝司的输出信号通过 DI 盒接入调音台，并根据需要两信号按一定的比例混合。为了防止负载阻抗的降低和信号间的相互干扰，此时需要用音分器来进行分配，简单的“Y”型线将会造成输出电平下降和一定的高频损失。如果扬声器上有线路输出，也可以用该输出作为调音台的输入信号，不过应当确保此信号在扬声器内部没有进行额外的处理和过多的噪声。

两信号在调音台上混合时，应做适当的均衡处理，通常以传声器拾取的信号作为主要的低频信号，而中高频信号以直接拾取的信号为主。拨奏时，由于传声器拾取的信号相对要柔和一些，而直接拾取的高频成分则非常清晰，因此需要对直接拾取的信号做适当的压缩处理，使演奏的不同音符有平缓的过渡。另外，混合时还应注意信号间是否存在相位问题。一般情况下，信号间不会出现完全反相，大多是部分反相，应根据主观听音来选择适当的相位关系。

第三节 歌声的拾音技术

歌声是由人演唱出的音乐，是一种最古老、最自然的音乐。乐器的发声和人声的歌唱是音乐的两大组成部分，虽然世界上的乐器种类很多，但歌唱有其独有的特点和魅力。人的发声机构复杂，在各种情况下靠什么发音至今还没有定论。人发声的各个器官也是可以变化的，有各种不同的运动状态，而且是由不同的肌肉群和神经控制的。正因为歌唱具有如此复杂的特性，因此从拾音和声源等角度来看，歌声的录制的随机性要比其他乐器大的多，歌声的录制相对要复杂一些。

一、歌声的基本声学特性

歌唱是抒发或传递感情的一种行为，作为一门表演艺术的歌唱，除了吐字清楚以



外，嗓音的高低，音量的大小，音质的特点以及对歌声的控制都是非常重要的。人体中与发声有关的器官主要集中在人的头部、咽喉以及胸部，这些器官是有骨骼支撑并由肌肉控制的，肌肉的运动又靠神经的指挥。与其他乐器一样，歌唱也是由动力部分（气息源）、发声部分和共鸣部分组成。

人体通过呼吸控制隔膜的运动，自下而上把气息往上顶，使声带发声振动或在咽腔里形成共振。气息量的大小或由腹肌控制，或由喉结、声门的闭合等因素决定。歌唱时，在头部眉眼以下、牙床以上、两腭的小窦腔之内形成一个高、中、低音主要的共鸣区，喉腔、鼻腔、咽腔和口腔是直接起共鸣作用的。另外，胸部、头部软腭以上、前额、两颧也有共鸣作用。软腭以上的部分叫上共鸣机构；软腭以下的口腔、咽腔、喉腔上部等处叫做下共鸣机构。下部共鸣机构主要对基频共鸣，上部共鸣机构则对泛音起共鸣。发低音时还要加上胸腔共鸣。

歌唱是一种没有固定形状的乐器，因为每一个器官都可以通过肌肉等来调节，使它在一定程度内改变形状，并处于不同的运动状态。因此歌声是可以训练的，每个人都可以通过训练改善自己的发声。不同的唱法有不同的发声机制、歌唱音区、共鸣部位、发声技术和训练方法，并产生不同的音质和音色。在中低频段 500Hz、1500Hz、2500Hz、3500Hz 附近有明显的共振峰，可以加强歌声的穿透力。

二、歌声的拾音技术

对歌声进行拾音时，应根据歌声的特点来选择传声器，昂贵的传声器并不一定适合所有的人声。有时，一支并不昂贵的话筒可能恰好与某位演员的音色相吻合，适合于音乐创作的需要，这样便会给录音师后期的均衡和信号处理带来很大方便，起到事半功倍的效果。

如果演员在演唱过程中能自己控制其齿音，可以考虑采用电容传声器。特别是对于丰满而柔美的声音，可以选用 Neumann U87 等传声器，该传声器的高频响应较好，可以使歌声更加明亮、清晰，有利于乐曲情感的表达。对于明亮的男高音，可以考虑使用 AKG 414、Neumann U47 等传声器。在数字录音日益普及的今天，越来越多的录音师采用电子管电容话筒来拾取歌唱声，因为它的过载失真是以软失真的形式表现的，而非晶体管的硬失真。这两种失真在产生的谐波成分上有所不同，电子管是以偶次谐波为主，使声音更具温暖感，而晶体管是以奇次谐波为主，从而造成人耳对其听觉上的差别。常用的经典电子管传声器有 Neumann U67、Sony C800G 等，而较新的 Neumann M147、M149、M150 以及 AKG C12VR 电子管传声器也越来越多的出现在很多演播室中。对于齿音较重的演员选用动圈或铝带传声器效果会更好一些，如 Sennheiser MD421、441，会使柔美的声音更明亮一些，Electro-Voice RE15 和 Meyer 的铝带式传声器，如 D160，则可以使声音更具温暖感。

如果歌声和乐队进行同期录音，或者期望得到更有亲切感的歌声，应当选用心形传声器来拾音。若录制过程中不存在串音问题，或者是在编曲比较密集、明亮的情况下，希望得到更嘹亮、更开阔的声音形象时，则应当选用全指向形传声器。

除了歌剧中的低声部以外,大部分人声在 125Hz 以下几乎没有能量分布。但是,很多房间声、交流噪声以及演唱爆破音时所发出气流声的频率成分在 80Hz 以下,因此如果所选择的传声器有内部的低频衰减滤波器的话,应对这些声音进行衰减。否则,后期制作中做压缩处理时,将影响到节目的信噪比。不过,在使用低频衰减滤波器的时候应当注意不要影响到 100Hz 以上的频率成分,因为有的传声器上标有明确的截止频率,如 AKG 414 可选的截止频率为 75Hz 和 150Hz,而有的传声器并没有标注。如果传声器标注有 M/S (Music/Speech) 字样,使用的时候就应当注意:通常情况下,这是为广播、电视应用所设计的,如 Sennheiser MD421U 传声器的截止频率可以高达 500Hz。若传声器上没有低频衰减,也可以用调音台上的滤波器来完成,但是不要两者同时使用,否则将会影响到声音的低频响应。

对歌声进行拾音时,传声器的设置要考虑到各种因素。如果乐曲要求演唱具有较大的力度和动态范围,应将话筒放得远一些,以利用声音在空气中传播时,会被压缩的情形,使歌唱声在后期制作时更好地与伴奏平衡。如果要求演唱比较柔和、平稳,则应当将传声器设置得近一些。这样,一方面可以取得比较大的信噪比,另一方面可以在动态范围上有所补偿。传声器位置的远近还决定了拾取反射声的多少。如果想通过传声器拾取到更多的自然反射声,传声器应距离声源近一些,反之,则拾取的信号将以直达声为主。传声器的轴向与演员的相对角度也是一个关系到拾音音质的重要因素。通常情况下,传声器并不是正对着演员的嘴,而是呈一定的角度设置。实际上,从话筒的指向性随着频率改变的这一观点出发,传声器本身也是一个均衡器,因此调整传声器的角度,可以取得某种自然的均衡效果。

一般情况下,传声器是高于演员的嘴部设置,基本上在演员的视平线上下,传声器的轴向指向演员的鼻子附近,距离在 20~25cm 左右,如图 4-26 所示。这样设置有几个好处,首先,可以避免演唱时的气流直接作用于传声器的膜片上,产生喷话筒的现象。其次,可以避免拾取太多演员演唱时的齿音。再者,在歌声的频谱成分中,2~3kHz 范围内的频率主要是沿着嘴上方 30° 的方向辐射,而这一频段在一定程度上反映了歌声的清晰度,因此这种方式有利于该频段声音的拾取。当然这种传声器的设置方式并不是绝对的,通常可以在此位置的基础上根据不同的情况,再做有针对性的调整。在进行拾音时,最重要的一点就是要保证整个录制过程中,演员应保持与话筒的相对位置不变,否则,会造成录制歌声音色的变化。解决的方法可以在确定了演员演唱位置后,在地板上做一定的标记,这样,演员在休息后重新录音,就可以回到原来的位置上,保证前后录音的一致性。

有时为了减小气流的影响,还可以在传声器和声源之间摆放一个用薄尼龙丝制成的爆破声滤波器,即防喷罩,一般到声源的距离为 10~30cm 左右,可以大大减少喷话筒

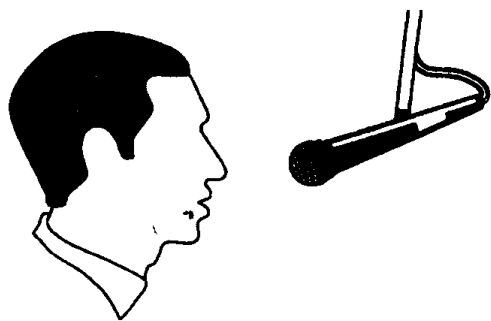


图 4-26 拾取歌声的传声器设置



的情况。不过,防喷罩并不是适用于所有的拾音情况,因为所有的防喷罩都会对高频有一定的衰减,当声源本身过于明亮的时候使用是比较适合的,若声源本身就缺乏高频则建议不要采用防喷罩。当有些作品为了追求一种气氛或将歌声处理成就在听者面前的效果时,防喷罩所起的作用就非常有限,就可以不用这种网罩。此时,可以在传声器的膜片前固定一只铅笔或胶带,来减小气流的影响。

如果演员演唱的时候需要谱架的话,声音到达谱架时将会发生一定的反射,反射声与直达声混合后将产生梳状滤波器效应,影响到声音的质量。谱架上的金属面板还会在一定的频率上发生共振,很容易对歌声造成声染色。解决这个问题,一方面可以调整谱架的位置和角度,避免反射声直接进入传声器,另一方面可以在谱架上适当的放些毛毡或把反射表面包起来,否则,出现的问题在后期制作中将很难解决。在录制歌声时,传声器的防震架也是必不可少的,因为地板的震动能通过支架传递到传声器,对传声器拾取的信号产生调制,从而造成信号的失真。有时,录制歌声时还需要使用隔声屏风和带有吸声材料的平面障板来调节反射声能与吸收声能之比,对声音的一些微小细节进行处理,或者对演唱的声学空间重新加以调整。以上这些方法和措施如果能够合理运用,会获得令人满意的拾音效果,避免后期制作中过度的信号处理,反之,则会适得其反。

三、伴唱和背景歌声的录制

前面所述的是有关乐曲中主唱歌声的拾音技术,通常乐曲中除了主唱以外,还经常有伴唱和背景歌声,它们在乐曲中主要有三个方面的作用:

(1) 当背景歌声与主唱以和声关系逐字对应时,将加强歌声的厚度和感情色彩。如果背景歌声在高于主唱的音域密集排列,以两个或三个声部的旋律线出现时,可以使歌曲更欢快或更强烈,若编写在主唱的下方,则有更沉重或紧张、急促的感觉。另外,和声按照与主唱四度、五度的关系编写,则给人以庄严、肃穆的感觉。

(2) 如同管乐三重奏或四重奏那样的无词伴唱,经常是完全以乐器声部的形式来支持主唱,或者间断的穿插在歌曲中,来激发听众的情感。

(3) 背景歌声以重述主唱歌词的形式出现,用以展示演唱者潜在的情感和动机。

背景歌声在歌曲中与主唱歌声的关系及其作用决定了它的演唱技巧和录制方法。如果背景歌声是一种内心独白或表现主唱的真挚感情,那么最好录制成有温暖感的音色;如果背景歌声是用来加强主唱的感情色彩,那么就可以用类似录制主唱的方法来录制背景歌声,使其与主唱的情感变化相呼应。为了能够使伴唱或背景歌声更好的发挥在乐曲中的作用,针对不同的要求也应当有不同的拾音和处理方法。例如,用背景歌声加强主唱的情况,如果采用立体声的方式来同期录音,最好能使背景歌声环绕在主唱的周围。此时,可以采用有较大有效拾音角的 XY 或 MS 立体声拾音方式来拾音,使背景歌声的声象充分、自然的分布在两扬声器间。如果主唱歌词热情、奔放、充满希望,那么立体声伴唱会使主唱更富于感情;但如果主唱歌词表现的是苦难、孤独、痛苦甚至是胆怯的,则可以考虑用单声道伴唱,这样就能更加明确的表现其感情,增强主唱绝望的感觉。

因为伴唱或背景歌声主要是为了支持主唱，因此不能过于突出，要有很好的整体感，声音不应当太明亮。为了能使主唱和伴唱较好的混合，避免出现竞争，伴唱不应保留全频带记录。比如：将伴唱的高低频段加以衰减，保持中频段，这样可以保留伴唱的力度和丰满感，同时在缩混时显得并不过分突出；或者衰减中频段能量，而保留高频段的明亮、清晰和低频段的震撼力。这些可以在后期制作中进行处理，但是，如果在拾音过程中能够考虑到效果将会更好。

在大多数情况下，伴唱可以通过加倍处理来获得美化，即使在没有时间或声道来实现加倍处理时，也可以通过适当的延时或合唱效果来得到加倍，不论是真实的加倍还是人工处理的加倍，都可以造成一种丰满的包围主唱声的效果。

第四节 钢琴和电钢琴的拾音技术

一、钢琴的基本声学特性

钢琴属于弦振动乐器，是各种音乐形式中经常出现的一种乐器。它是通过琴键带动覆盖有毛毡的音锤敲击有很大张力的琴弦使之振动发生的。琴弦振动将一部分能量传送给共鸣体，共鸣体将振动放大后再耦合给周围的空气。钢琴分为三角钢琴和立式钢琴两大类，立式钢琴的琴盖与琴弦是垂直的，而三角钢琴是平行的。在中高音和高音区域，每个音实际上是由三根琴弦组成，在中低音区域由双弦组成，而在低音区域则为一根琴弦。

三角钢琴具有 7 个或 $7\frac{1}{3}$ 个倍频程，如果是 $7\frac{1}{3}$ 个倍频程，中央 C 以上为 5 个倍频程，中央 C 以下为 $2\frac{1}{3}$ 个倍频程，基频范围从 27.5Hz 至 4180kHz，泛音的频率范围在很大程度上取决于演奏的力度，当弹奏力度较大时，甚至可达 20kHz。钢琴的频谱中基频的能量很大，在 100~250Hz 的低音区有密集的谐波成分，音色富于变化，而高音区在 c4 以后听起来显得单调，谐波成分较少，这部分基频基本上近似于正弦波，因此钢琴是偏重于中低音的乐器。钢琴的动态范围可达 50dB 以上，只有始振和衰减过程，而没有中间的稳态过程。始振时间约为 10~30 ms，主要和演奏方式有关。始振时间越短，衰减的时间越长，其包络曲线是持续下降的，很少有共振峰，有时会在 500Hz~2kHz 出现。在整个音域范围内，钢琴的音量有自然的过渡，是呈曲线变化的。

钢琴演奏时经常伴有各种噪声出现，如踩踏板声、手指触键噪声和共鸣板始振时的噪声等。演奏低音时，共鸣板的噪声会同演奏声音混合在一起，不容易听出来，而演奏高音时则可以听到，这种噪音一般还与钢琴的质量有关，不太好避免。大部分听众心目中的钢琴的不仅是弦振动的声音，还包括这些非音乐的机械噪声，这些机械噪声可以看作是古典音乐中钢琴声的一部分，但对于流行音乐来讲，常常需要在录制时将这些机械噪声消除。

钢琴的辐射特性是比较复杂的，如图 4-27 所示，为音乐厅中测得的钢琴在垂直面

上高、中、低音域各自的辐射特性,测量的间隔为 15° 。图(a)为钢琴在**高音区**的辐射特性,从图中可以看出,在 $30^\circ\sim 45^\circ$ 的范围内其辐射的能量是最强的,超过琴盖打开的角度后(约 40°),将有明显的下降。图(b)为钢琴在**中音区**的辐射特性,指向性较高音区要弱一些。图(c)为钢琴在**低音区**的辐射特性,值得注意的是,在 250Hz 左右辐射能量最强的角度为 $135^\circ\sim 150^\circ$ 。图2-28所示为钢琴在水平面内的辐射特性,从图中也可以看出,演奏的频率越高,其能量辐射的指向性越强。

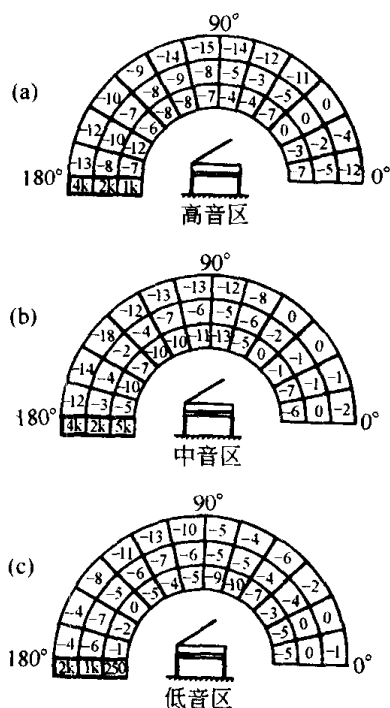


图 4-27 音乐厅中钢琴在垂直面内的辐射特性

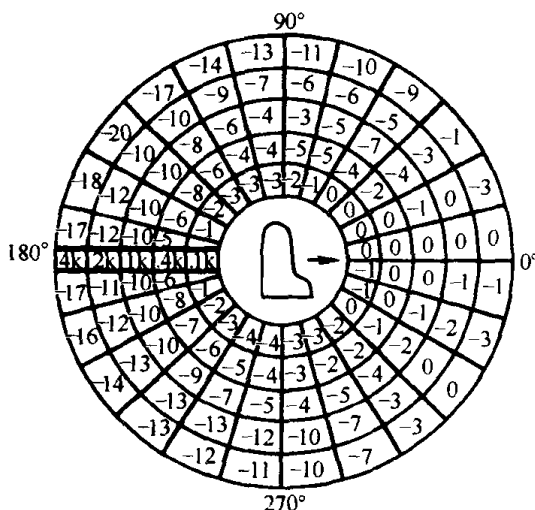


图 4-28 钢琴在水平面内的辐射特性

三角钢琴的琴盖也是影响钢琴音色的重要因素。当琴盖闭合时,高频成分有明显的衰减,钢琴声音冷淡,没有光彩,缺乏亮度;而打开琴盖时,琴弦上方的高频成分(4000Hz 左右)会有明显的增加;如果琴盖半开启,则人们就会听到一部分来自琴盖的反射声,所以,钢琴的声学特性是较为复杂的。

二、钢琴的拾音技术

由于钢琴是一个大的发声体,所以要得到不同音域间满意的平衡,传声器的位置就十分重要。特别是对于古典音乐和流行音乐等现代风格的音乐,两者要求的不同,决定了两者的录制的方法也不同。一般现代风格音乐中的钢琴不要求严肃音乐中的那种自然、真实和整体感,而是要求一种明亮、透彻的效果。

在对钢琴进行拾音时,如果不存在串音问题,可以将琴盖完全打开设置传声器,如图4-29所示。传声器到琴弦的距离应当根据作品的需要来确定,若想得到中低频段浑厚、有力,而高频明亮、颗粒感强的琴声,传声器应距离琴弦近一些。想要拾取到更为自然的钢琴声,则传声器到琴弦的距离应至少 1m 以上。对于古典音乐或钢琴独奏,为了取得各音区间更好的平衡效果,可以采用立体声传声器对来拾取钢琴的声音,且最好

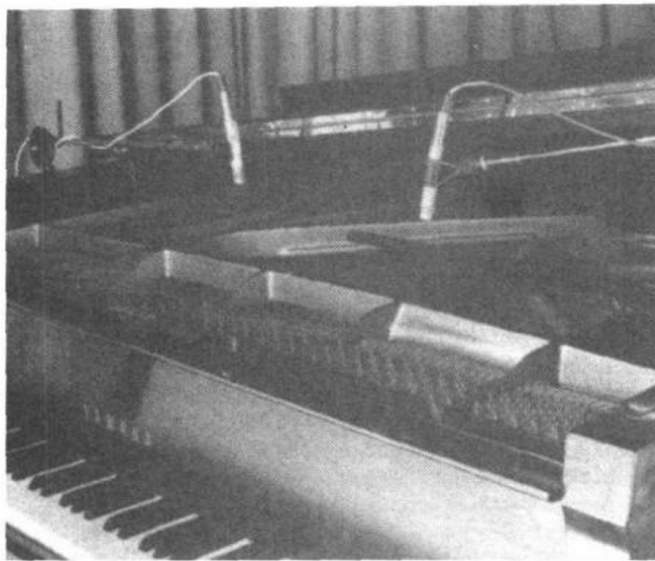


图 4-29 将琴盖完全打开拾取钢琴的声音

采用全指向形传声器，如 B&K4006、AKG 414 或带电子管预放的电容传声器，可以获得更圆润的琴声。在录制摇滚乐或爵士乐中的钢琴时，经常需要利用均衡器来增加琴声的明亮度，因此所选用的传声器也应当是明亮感比较强的，如 Neumann U87、U89、AKG C451 等传声器，选择心形指向性，且不用传声器内部的低频衰减。另外，Shure SM81s 也是录制钢琴时经常采用的传声器。如果采用动圈传声器来拾音，则传声器的距离应相对更近一些，如 Sennheiser MD421U、441 在 1~5kHz 的自然提升，可以使钢琴在乐队中更突出。

大多数情况下，为了减小传声器间的串音，常将琴盖放置在半开启的状态，并将传声器设置在琴盖和共鸣板之间来拾音。在选择拾音位置时，应使在该位置设置的传声器所拾取的中高频声音有清晰、独立的感觉，对中音区（中央 C 上下一个八度）的各音不被自然的强调为准。如果只存在一个这样的点的话，可以采用 XY 方式来拾音，此时，传声器不要正对着音锤和阻尼器，以免拾取到太多的机械噪音。如果在相距至少 30cm 处另有一个这样的点的话，则可以采用一对全指向形传声器来拾音，这样可以使声音更丰满，但机械噪声可能会增大。解决这个问题，可以采用心形传声器，但此时容易出现中空现象，可以通过调整传声器的角度来弥补。另外，录制流行音乐等节目时，也常在钢琴的高音区和低音区分别选择一点来拾音，低音区一般在中央 C 弦靠下一些，高音区 c5~c6 之间，拾音距离约为 20~30cm 如图 4-30 所示。

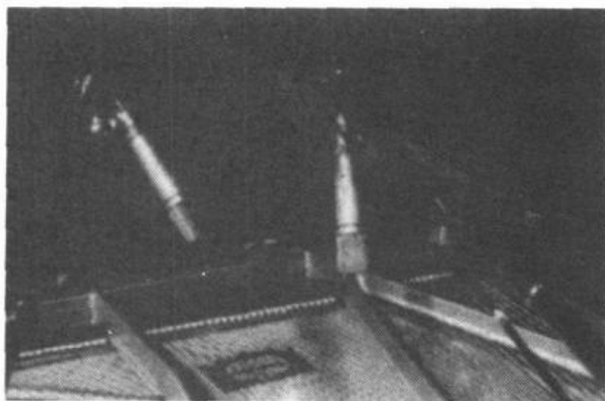


图 4-30 两只传声器分别拾取钢琴的高、低音区



这样拾取的声音将更丰满，但机械噪音也将更大。

如果不需要太丰满的钢琴声以及近距离产生的亲切感，可以使用一对 PZM 传声器来拾音。在琴盖半开启的状态下，可以将 PZM 传声器分别置于钢琴的高音区和低音区上方，并固定在琴盖的内表面上，彼此相距 30cm 以上，如图 4-31 (a) 所示。如果将琴盖完全打开，可以将传声器分别靠近琴弦的高、低音区，固定在琴架的内部，如图 4-31 (b) 所示。若要拾取单声道的钢琴声，可以在一个较为平衡的位置上，将 PZM 传声器固定在琴盖上，同时为了减小串音，可以将琴盖完全关闭，如图 4-31 (c) 所示。采用 PZM 传声器可以拾得非常明亮得钢琴声，因此，这种拾音方式通常是对流行音乐中担任节奏的钢琴拾音时采用。

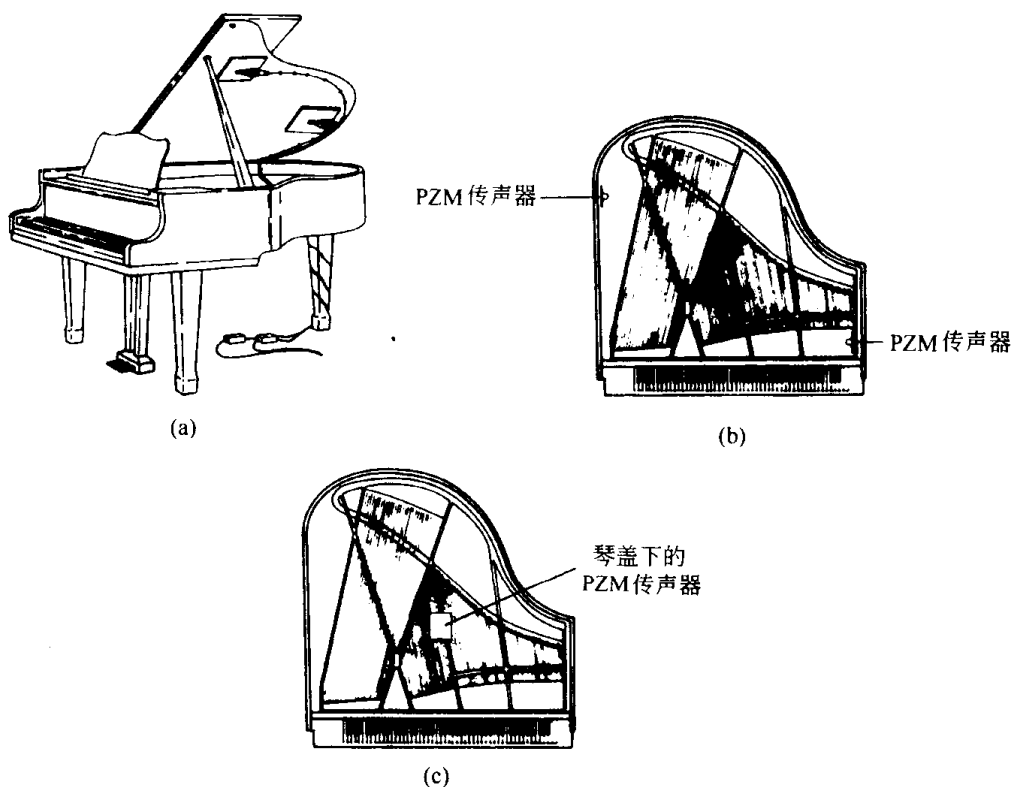


图 4-31 采用 PZM 传声器拾取钢琴的声音

立式钢琴在音乐录音中很少采用，在录音时经常需要将琴盖和前面板拆除，以减小声音在琴的内部过多的反射，发出隆隆的声音。图 4-32 为经常采用的两种单声道和立体声的拾音方式。

三、电钢琴的拾音技术

电钢琴的发声与三角钢琴有些不同，它是由琴键带动音锤去击打金属棒，金属棒的振动由拾音器拾取后转换成电信号，所以，通常将其视为打击乐器。

在演播室录制电钢琴时，很少用传声器来拾取音箱重放处的电钢琴声音，一般采用直接输入的方式。电钢琴信号的瞬态很陡，它的输出电平可以使大多数音频设备的输入级过载，特别是在高于中央C一个八度附近的各个音的输出电平非常高，录制时应采

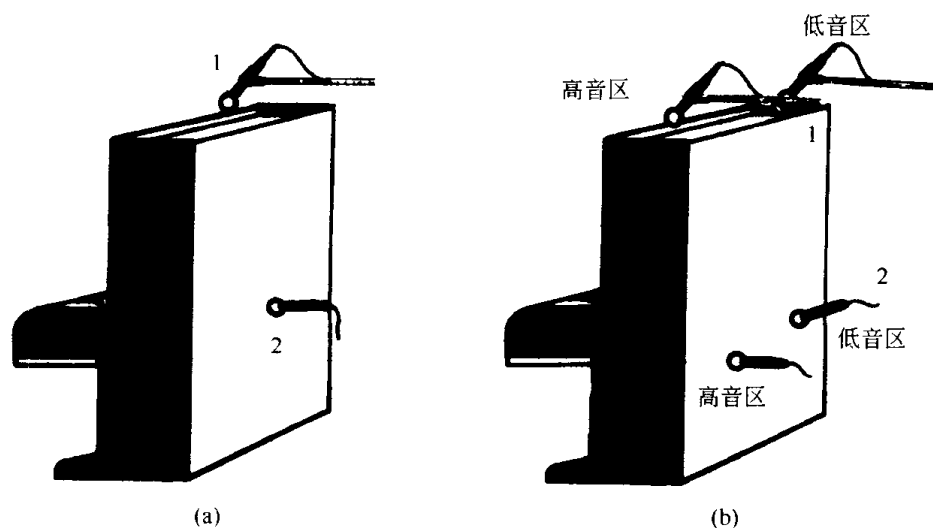


图 4-32 立式钢琴的拾音方式

取适当的措施。录音时可以在 400 或 500Hz 附近对电钢琴的声音进行 4~6dB 的峰式衰减,以解决中央 C 以上各音输出太大的问题。5~6kHz 的提升可使声音更明亮,同时还将使声音包络更平缓。

第五节 声学吉他与电吉他的拾音技术

吉他主要有普通声学吉他和电吉他两类,普通声学吉他又有民谣吉他和古典吉他两种,是流行音乐中经常使用的一种拨弦乐器。它在乐曲中除了具有加强节奏的作用外,还经常在乐曲的前奏和间奏中演奏缓慢抒情的或华彩性音调。在摇滚、重金属音乐中大量的使用电吉他来演奏,并且经常和各种各样的效果踏板模块配合使用,产生某些特殊的调制失真等效果。

一、声学吉他的基本声学特性

声学吉他主要有民谣吉他和古典吉他两种。民谣吉他琴身较大,并且使用金属弦;古典吉他琴身相对较小,使用的是肠线或尼龙琴弦。通常普通声学吉他都是用高级的云杉木料制成,可以演奏出变化丰富的各种音色。

声学吉他产生的振动主要有三部分,即琴弦的振动、木制琴箱的振动和琴箱内空气的振动。一般来讲,琴箱越大,木质越薄、越软,则产生的振动频率越低。另外,吉他的音质还和弦的质地有关,尼龙弦的音色温暖、柔和,产生的低频共振峰较金属弦低一些;金属弦的声音则明亮,尤其是在弹拨演奏时,泛音丰富。当然,以上这些与琴弦的拉力不同也有关系。吉他的音域较宽,高频可达 18.7kHz,低频则在 50Hz 左右。吉他除了低音宽厚、低沉,中高音明亮、清脆外,其滑音和揉弦的声音也别具特色。

二、声学吉他的拾音技术

吉他的音量比较小,往往需要在较近的距离进行拾音。这样就容易减小传声器的拾



音范围,而更多的强调局部的辐射和共振。因此不同的拾音位置,拾取的吉他音色是不同的。录制吉他时,传声器的选择和拾音位置应根据乐曲所需要的音色和效果来确定。

吉他的低频辐射主要来自音孔,如果拾音距离很近,而且正对音孔拾音,如图 4-33 所示,往往低频过重,特别是对于尼龙弦的古典吉他,会产生隆隆的声音,有一种饱满、膨胀的感觉。要想获得比较自然的吉他声音,需增加传声器到乐器的距离,一般为 30cm~1m 左右,若想拾取到更多的高频声音,可以调整传声器的轴向,使之偏向高音弦,反之,则可以使传声器的轴向指向低音弦。对于古典吉他录音,一般拾音距离应当在 1m 以上。这样,一方面可以获得更加平衡的吉他声音,另一方面还可以消除很多演奏时的噪声。不过,此时琴声的亲切感会有所下降。采用这种方式拾音时,应当选取灵敏度较高的电容传声器来拾音,而且要求房间的声学特性有一定的混响。如果拾取的声音的电平比较低,也可以将传声器移近吉他,高于吉他 25cm 左右,传声器的轴向指向音孔和琴码之间的位置,也能获得比较自然的吉他声音。

如果吉他在乐曲中是起支持节奏的作用,就需要拾取高频成分要相对多一些,较为干净,噪声比较小的吉他声音。这时,传声器应摆放在靠近琴码的一边,因为吉他的泛音成分很少,大部分高频成分是集中在琴码附近较窄的区域里,如图 4-34 所示。

如果乐曲中想突出吉他的揉弦和滑奏的音色,则可以将传声器设置在靠近琴头的地方。这样也容易拾取到演员按弦的噪声,虽然这种噪声是自然情况下演奏的吉他声音的一部分,但是有的演员可能会更严重一些,影响到所录制的吉他声音。出现这种情况,可以将传声器距离乐器远一些,也可以采用超心形或锐心形传声器,与琴身以较小的角度设置传声器,如图,4-35 所示。这样将使这种噪声处在传声器灵敏度较低的侧向,

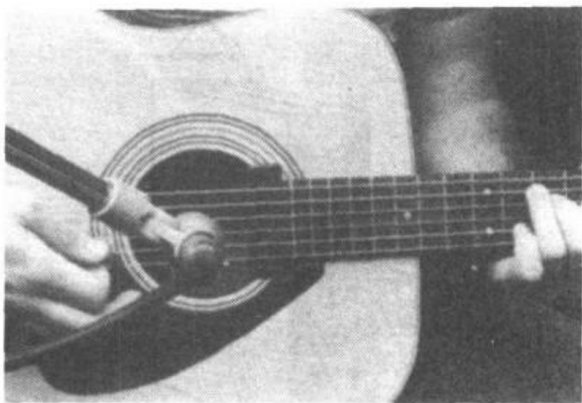


图 4-33 传声器正对吉他音孔拾音



图 4-34 在琴码附近拾取较为清晰、明亮的声音

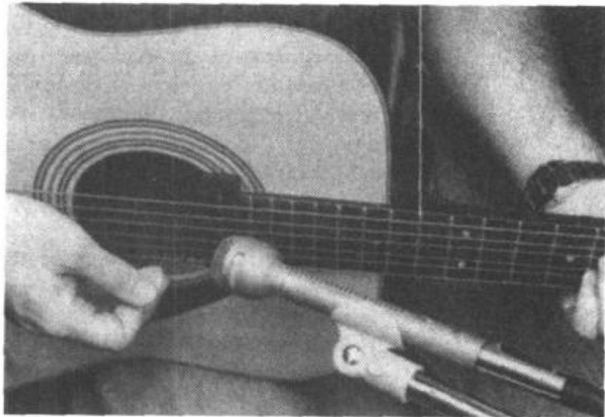


图 4-35 利用超心形或锐心形传声器控制演奏的噪声

起到控制按弦声的作用。

一般情况下, 如果不存在串音问题, 近距离拾取吉他时最好使用全指向形传声器, 这样不但可以消除近讲效应, 而且有较宽的拾音范围, 可以取得较好的音色平衡。采用动圈传声器(如 Electro-Voice RE55 或 635 等)和铝带传声器(Beyer D160 等)所拾取的声音比较平滑, 而电容传声器拾取的信号则声音清脆, 有穿透力, 具体的选择要看吉他在乐曲中的作用来决定。如果传声器上具有低频衰减开关, 可以将 100Hz 以下的频率衰减, 以消除不利的琴体共振。

在串音严重的情况下, 就应使用心形指向性的传声器, 如 Sennheiser MD421U, 它可以在减少串音的同时提升中高频段, 使吉他声音从乐队中突出出来。不过其灵敏度要低一些, 所以相应的拾音距离也要小一些才能保证一定的信号电平和信噪比。利用领夹式传声器也可以进行拾音, 一般是将传声器固定在音梁下方, 不正对着音孔, 以避免拾取到气流的扑扑声。在安装时, 不要直接将传声器固定在琴板上, 应垫上一些棉花或毛毡之类的物质避免传声器拾取到表演过程中产生的机械噪声。这种方法拾取的吉他声音非常细腻。

三、电吉他的拾音技术

声学吉他的声音较微弱, 很容易被其他乐器所淹没。为了增强吉他的响度, 从 30 年代开始发展了电吉他, 以后电吉他逐渐演变成了重要的独奏乐器, 特别是现代音乐中, 电吉他已经成为乐队中的支柱。

类似于电贝司的拾音方式, 电吉他声音的拾取也主要有三种方式: 一是直接拾取电吉他输出的电信号。二是用传声器拾取电吉他扬声器重放出来的声音。三是同时采用以上两种方法进行拾音。

采用直接输入法拾取电吉他时, 同样要使信号经过一个 DI 盒来进行阻抗的匹配后再输入到调音台上。原始的电吉他信号同样具有很强的瞬态, 应避免出现调音台前置放大器或 DI 盒过载。电吉他的基频范围为 82Hz~174Hz, 在 2~4kHz 有较大的能量, 所以, 这种方法可以录制出更清脆, 更具金属质感的电吉他声音。

采用传声器拾取电吉他扬声器发出来的信号时, 最好采用心形指向性的动圈传声器, 如 Shure SM57、SM58、Electro-Voice RE15、Sennheiser 421 等。动圈传声器的灵敏度较低, 可以避免拾取到额外的放大器的噪音。如果吉他扬声器只有一个扬声器单元, 可以采用近距离拾音。为了避免拾取过多的噪声和避免传声器过载, 应将传声器设置在偏离中心的位置上, 并与扬声器的轴向呈一定的角度(30°左右)拾音, 如图 4-36 所示, 可以获得较为圆润的声音。另外, 为了减小过强的地面反射, 还可以将吉他扬声器升高, 使之与地面保持一定的距离。不过近距离拾音所拾取的信号中, 更多的是直达声, 环境声的比例很小。在分期录音时, 由于不存在串音的问题, 可以在近距离传声器的基础上在较远的位置上另外设置一只传声器, 以获得更好的空间感, 如图 4-37 所示。若该传声器采用全指向形传声器时, 还可以使吉他声音更加丰满。需要注意的是, 采用这种方法时应注意传声器间的声相位问题。

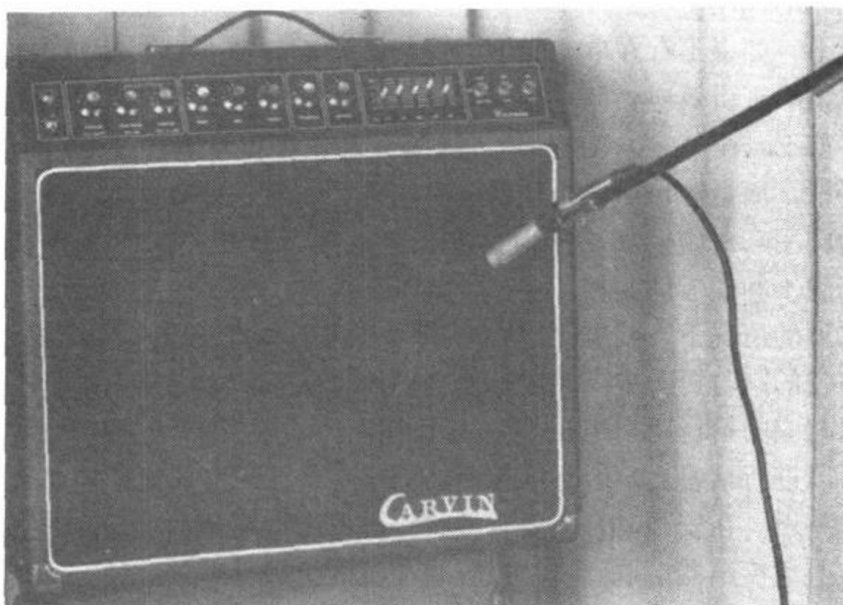


图 4-36 近距离拾取吉他扬声器重放的声音



图 4-37 采用两只距离不等的传声器拾取
吉他扬声器重放的声音

如果吉他扬声器是由高、中、低单元组成，传声器应设置在距音箱 70~100cm 处，确保拾取到更平衡的扬声器声音。传声器的高度应根据扬声器的布局和所需要的音色来决定，一般情况下，应对准高音扬声器。

因为直接拾取的电吉他信号具有声音清晰、穿透力强等优点，而传声器可以拾取到具有现场感、空间感，声音丰富、饱满。所以，同拾取电贝司的情况一样，也可以充分利用这两种拾音方法的优点，同时采用上述两种方法来拾取，并且在后期制作中根据需要混合在一起。同样，这种方法在混合的时候应当在调音台上注意电相位的问题。

第六节 木管乐器的拾音技术

一、木管乐器的基本声学特性

木管乐器种类繁多，因用乌木或硬木而得名。有些新式木管乐器已经改用金属制作，如长笛，但是其发音原理仍然和木管乐器一样，所以仍属木管乐器。木管乐器的音色很有特点，在乐队中能较好的同其他乐器的声音相融合，在流行音乐等现代音乐中，木管乐器也经常作为特色乐器出现。

木管乐器有三种不同的激振方式，即边棱激振、单簧激振和双簧激振。长笛、短笛、竹笛等横吹乐器为边棱激振，演奏者用嘴唇将气流吹进吹孔，气流在吹孔的边缘处产生边棱音，并向两边传播，进入吹孔的气流激发管内空气柱的振动，因此称之为边棱激振。单簧管、萨克斯属于单簧激发，是借助一个单簧片进行演奏的。簧片用芦苇类的东西制成，在演奏者吹气的速度，嘴唇的压力等控制下，使簧片发声振动，由此共鸣管中空气的振动。双簧管和大管的簧片是由两片组成，双簧片的质量给演奏者带来的困难大大超过了单簧片，所以，双簧管、大管的演奏者通常是自己修制簧片。

木管乐器声音的辐射方向随着频率的变化而改变，中、低频成分大约到 2kHz，从乐器音孔的侧方向往外辐射，高频成分大约到 3~4kHz 起，从管口方向往外辐射。木管乐器的音色变化与辐射方向关系密切，比弦乐更为突出。木管乐器的动态范围很大程度上取决于吹奏的音高，在高、低音区，动态范围变化较小，中音区变化较大，如长笛在低音区的动态范围就比较窄，而单簧管在中音区有一个较大的动态范围。木管乐器的声级平均比弦乐器高 10dB 左右，并且木管乐器的声级随着音高有所增加，长笛在这一点上更为突出。

二、木管乐器的拾音技术

长笛是典型的边棱激振乐器，其基频为 247Hz~2.1kHz，其低音区声音宽厚、略带沙哑，中音区明亮而柔和，高音区则响亮，不易弱奏。中等响度的吹奏时，主要是以基频和边棱音为主，共振峰相对较弱，泛音相对贫乏。所以拾取长笛产生的泛音就十分重要，否则其纯正的音色就很容易被其他明亮的乐器声音隐蔽掉。而且，长笛声音的建立过程比较长，如果不提高其信号电平，很容易被隐蔽掉，致使难以拾取到理想的长笛声音。

为了保证拾取到更多长笛吹奏时的泛音成分，一般采用频响宽而平直的心形电容传声器拾音。通常情况下，长笛的中高频成分（3~6kHz）在水平方向上辐射的能量比较



大,而6kHz以上的高频信号的辐射则主要集中在垂直方向。对于古典音乐的录音,传声器到长笛的距离应当在1m~2.5m左右。当近距离录制流行风格的长笛时,由于长笛5~6kHz频率范围会产生一种刺耳的金属声音,可以将传声器设置在吹奏者嘴部的斜上方或斜下方约30cm处。这样不但可以取得较好的平衡,还可以减小拾取到的吹奏气流声。如果将传声器设置在长笛的正中央的位置,声音也将变得单薄,因为在此位置上低频信号将会被部分抵消。若将传声器置于最远的音孔处或吹口左边管口的上方来拾音,则可以得到丰满的长笛声音。另外,若演员吹奏的气流声比较严重,可以将传声器置于演员头部的后方拾音,此时拾取的声音比较明亮,而且可以减弱吹奏噪声。如果将传声器的轴向偏离演员的嘴部,则可以进一步有效的予以控制,如图4-38所示。

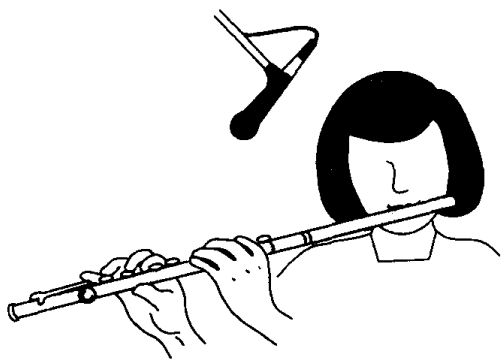


图4-38 将传声器置于演员头部的后方并偏离吹口来减小吹奏噪声

簧片激振的木管乐器包括单簧管、双簧管、萨克斯等。单簧管的最低频率由它的最低基音来决定,如:降B调单簧管基音是147Hz,A调单簧管基音是139Hz,它的最高频率在很大程度上取决于吹奏乐器的力度,最高可达12kHz,其共振峰特性类似于长笛的情况,而且它的偶次谐波的振幅很小。双簧管基频范围为233Hz~1760Hz相对有比较强的共振峰特性。萨克斯管有五种不同调高的乐器,其泛音的多少取决于演奏的技巧,一般来说,泛音可达8kHz。另外,诸如呼吸噪声等成分可将萨克斯的声谱成分扩展到12~13kHz。对这类乐器进行拾音时,由于管口和音孔均有不同频率的声音辐射,所以一般是将传声器置于乐器管口和演奏者头部之间,距离0.5m~1m,并与乐器呈一定的角度(约20°~30°),图4-39和图4-40所示分别为单簧管和萨克斯管的传声器设置。这样拾取的声音比较柔和,而且没有太多的口风。

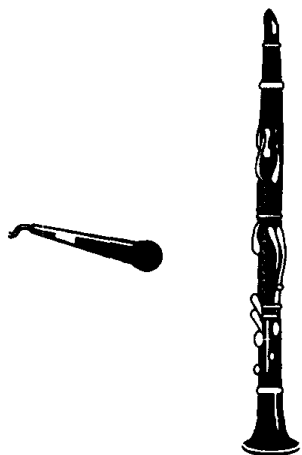


图4-39 单簧管拾音的传声器设置



图4-40 萨克斯管拾音的传声器设置

通常情况下,可以选择心形电容传声器来拾音,对于声音比较柔和的乐器,如单簧管、双簧管、大管等乐器,可以选择 Neumann U87 和 KM89 等传声器,以拾取到更明亮的声音,AKG414 将使拾取的声音更加柔和。萨克斯管具有较为丰富的泛音和吹奏噪声,则可选用动圈传声器或铝带式传声器,或者 Electro-Voice RE20、RE16、Shure SM57 等传声器。对于较低的乐器,如果低频响应不够,可以将传声器移近乐器。若将传声器置于乐器一侧进行拾音,则可以避免感觉拾取的乐器太近。

以上所述分析的是木管乐器近距离拾音的情况,通常近距离拾音后还要对乐器的声音进行各种的信号处理。其实,这种处理并不是为了使木管乐器的声音更加完美,而是因为多轨录音情况下,采用近距离拾音时并没有考虑乐器在作品中的作用以及现场演奏的效果。通常情况下,除了独奏乐器或加强低音声部,对于木管乐器组的拾音应当采用远距离拾音的方式。其原因在于,首先,编曲者编写乐器组的目的是为了获得该乐器组的整体感,而不是希望它们有各自的旋律线,要想获得整体感更强的乐器组声音,只能采用远距离拾音的方式。其次,各种不同的木管乐器在不同的音域范围内有一定的不平衡性,作为一个乐队的各个声部,它们可以相互弥补,相互补充。如果通过拾音和信号处理的方法来弥补乐器自身的不足,容易造成个性突出,整体感差的结果。再者,远距离拾音可以避免拾取过多演奏过程中产生的各种噪声,使整个乐器组的声音更融合,整体感更强。最后,也是最重要的是远距离拾音可以使各声部间的配合更加密切、交融,可以获得更自然,层次感更强的乐器组声音,而近距离拾音加以信号处理只能是在一定程度上去模仿。这样就要求在远距离拾音时,除非编曲有特殊的声象要求,安排演员的位置时应当考虑到便于演员之间的交流(可以使演员呈一半圆或圆弧),传声器应当设置在圆弧的焦点附近,距离演员 2.5m~3m 左右,高度不应低于 2m 左右,而传声器到天花板的距离不能少于 0.5m 左右。为了避免机械振动,还应对传声器支架作适当的隔振处理。

选择立体声的拾音方式时,应更多的考虑其空间效果以及是否适合于作品的需要。如重合式拾音方式具有更自然、清晰的声象定位以及良好的单声道兼容性,如果需要乐器组烘托主唱或独奏乐器,增强其情绪的表达,则重合式的拾音方式是比较适合的,此时可以根据不同演播室的声学条件,适当的对 XY 传声器对进行调整。相反,如果乐曲要体现一种孤独、凄凉的意境,表达一种内心独白,或者乐曲在配器上密度较厚,容易隐蔽主唱或独奏,则需要乐器组有更大的空间感以及声象宽度,此时采用大 AB 的拾音方式是比较理想的。采用全指向形传声器空间效果会要好很多,但是也会拾取到很多额外的噪声以及房间的声学缺陷;采用心形传声器则可以获得较好的左右隔离度,而且可以利用其更明显的中间空洞现象来设置主唱或独奏乐器。

对木管乐器组拾音时,传声器的选择没有固定的要求,主要是因为每件木管乐器都有其独特的声音,各个演播室的声学条件也不一样,即使是在同一演播室录制,不同乐队的情况也有差异。通常情况,若采用重合式拾音方式时,AKG 414 或者是电子管传声器可以使木鼓乐器组的声音更加亲切、柔和,Neumann KM89s 则可以使声音更加明亮。另外,也可以采用 Sanken、Sony、Telefunken 的电容传声器效果也不错,但是在多



数演播室中这些传声器很少配置。采用大 AB 拾音方式时, AKG 414 (采用全指向形) 拾取的效果要比 Electro-Voice RE55s 丰满一些, Beyer M300 和 Sennheiser 的心形传声器拾取的声音则有些刺耳。如果传声器选择不合适, 将很难区别木管乐器高于中央 C 一个八度以上的声音, 因为它们的泛音结构非常的相似。

第七节 铜管乐器的拾音技术

一、铜管乐器的声学特性

铜管乐器一般为铜合金制成, 它的发音与木管乐器的区别在于演奏者用嘴唇代替了簧片, 气流通过唇部与号嘴共同构成铜管的发音部分。因此, 铜管演奏者的技巧与精神状态将直接影响到演奏的质量。铜管乐器有两种不同形式的号嘴, 一种号嘴为漏斗形, 直径较小, 纵深浅, 发出的声音尖锐、明亮, 泛音较多, 如小号、长号的号嘴就是这种形式。另一种号嘴为半圆形, 直径相对较大, 纵深较深, 声音柔和, 如圆号即为这种号嘴。

相对于木管乐器, 铜管乐器的辐射特性要简单的多, 因为它们都是密闭系统, 声能全部由管口辐射出来, 在很大程度上, 声音的辐射方向在管口的周围是对称的。随着频谱中高频成分的增加, 辐射范围将变窄, 在低音区将形成一个声束。例如, 小号 500Hz 以下声能的辐射是全方向的, 500Hz 以上开始呈现指向性。不过, 小号在 800Hz 时, 辐射范围有一定的扩展, 1.5kHz 以上的辐射特性将变得十分尖锐, 5kHz 以上衰减 3dB 以内的辐射角仅为 30°。长号在 400Hz 以下是全方向辐射的, 在 600Hz 时有一定的扩展, 2kHz 以上辐射角将变窄到 45°左右, 强奏时所产生的 7kHz 以上的频率成分只有 20°的辐射范围。但总体来讲, 长号与小号的辐射特性是类似的。大号发出的声能同样是集中在管口, 75Hz 以下的声能是全方向辐射的, 对于全频带 29Hz~2kHz 的范围来讲, 辐射角大约为 15°。圆号 100Hz 以下的声能是全方向辐射的, 从 100Hz 以上开始显现指向性, 到了 4kHz 以上则变窄到 15°。不过, 由于其结构的原因, 圆号的辐射特性较其他管乐器要复杂一些。

柔和的铜管乐器声音的始振时间在 40~120ms 之间, 小号可达到 180ms, 强奏的始振时间在 20~40ms, 圆号则可达到 80ms。铜管乐器的动态范围是由音高决定的, 小号从低音区到高音区的范围内, 动态范围将从 30dB 减小到最高音的 10dB 左右, 而长号的动态范围是相对比较大的。因此, 对于铜管乐来讲, 在低音区可以弱奏, 而高音区实际上只能强奏。

在小号的频谱成分中, 它的基频范围是 165Hz~1175Hz, 泛音十分丰富, 可以一直延伸到 15Hz, 其典型的共振频率介于 1.5~2kHz (恰好位于最低基频的谐波范围内) 和 3kHz 附近。另外, 小号有很多弱音器, 一般分为硬音和软音两种。安装上硬音弱音器后, 声音沙哑而带有金属色彩, 软音弱音器则可以软化小号的音色, 使其发出的声音接近木管乐器。如常用的杯状弱音器, 可以衰减 2.5kHz 以上的成分, 而另一种锥状弱

音器,可以使4kHz以上的频率顺利通过,衰减1.5kHz以下的频率成分。长号的种类很多,最常用的是次中音长号,它的基频位于82Hz~520Hz左右。长号有几个特殊的泛音,如果按中等强度吹奏,其泛音频率不会超过5kHz,若强奏则可以延伸到10kHz,其典型的共振峰在480~600Hz和1200Hz左右。大号和小低音号是交响乐队中铜管乐器的最低乐器,常用音域中大号的最低音比小低音号低五度,其最低频率为29Hz。大号发出的泛音很少,泛音的上限频率在1.5~2kHz左右。圆号又称法国号,基频范围为62Hz~700Hz,在强奏的情况下,泛音的频率的上限可达5kHz。圆号那种丰满而圆润的音色取决于它的共振峰,其主要的共振峰在340Hz附近,另外两个次要的共振峰在750Hz~2kHz和3.5kHz附近。如果圆号使用弱音器,则可以把3kHz附近的频率成分突出出来。在拾音的过程中,要想获得清晰的圆号声音是较为困难的。

二、铜管乐器的拾音技术

拾取铜管乐器的声音时,一般有两种风格的选择。一种是较为圆润、丰满的铜管乐器声音,另一种则为明亮、尖锐的音色。演员在演奏铜管乐器时,所听到的乐器基频和低次谐波成分大多为直达声,而3kHz左右以上的频率成分则基本上是各种反射声,因此多数铜管乐器演奏者都喜欢比较丰满的铜管声音。从听众的角度来讲,如果正对铜管乐器听音,则听感上要明亮的多。如小号演奏的情况,其管口是直接对着听众的,在最低的两个八度可以吹奏出较为平稳的声音,在频率响应曲线中有几个不明显的共振峰,而1.5~2kHz和3kHz附近的共振峰则比较明显,其他较小的共振峰可以延伸到6kHz。此外,小号无论在哪个音域演奏,还会由于演奏时的“唇音”使其频谱中在10~12kHz附近形成一个较窄的共振峰。其实,几乎所有的铜管乐器都会由于该原因产生这种特色的音响,不同的乐器产生的位置不一样,大致范围在6~12kHz以内。总体来讲,虽然通过厅堂的反射可以部分的提高铜管乐器基频和低次谐波的能量,但是听众所听到的乐器声音还是要比演奏者听到的单薄、尖锐(圆号的情况有些特殊,其管口朝向演奏者的右下侧,声音辐射背向听众)。

要想得到较为丰满、圆润的铜管乐器声音,一般可将传声器设置在管口上方20°~30°的位置上,并将传声器的轴向指向乐器,如图4-41所示,传声器到管口的距离可以

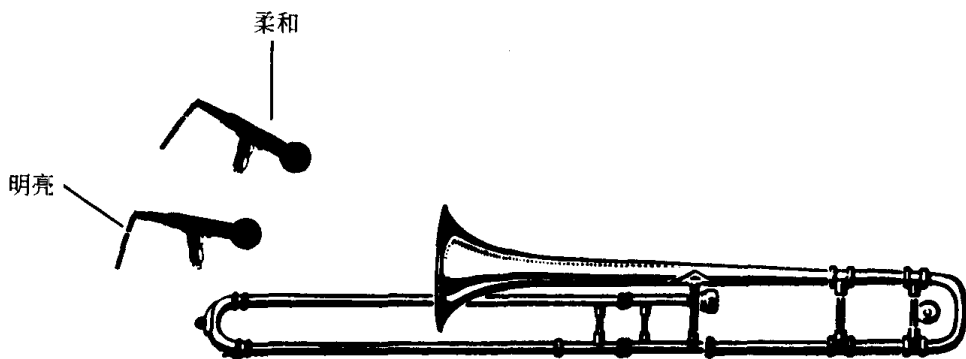


图 4-41 铜管乐器拾音的传声器设置



根据需要在 $0.5\text{m} \sim 1\text{m}$ 左右。无论采用何种传声器，在该位置上拾取的铜管乐器声音可以避免拾取到过多的高频成分，使乐器的声音趋于圆润。而且，如果将传声器左右偏离乐器设置，尽量远离乐器的活塞阀键，还可以有效的避免拾取所不希望的机械噪声。圆号是铜管乐器中听起来最柔和的乐器，由于其辐射特性不同于其他铜管乐器，因此拾取圆号的声音时，可以采用两种不同的方法来拾音。一种方法即为普通铜管乐器的拾音方法，如图 4-42 (a) 所示。另一种方法可以通过一块放射板来拾取圆号的反射声，如图 4-42 (b) 所示，这种拾取的圆号声音将更自然，更接近现场演出的效果。需要注意的是，当采用同期录音拾取整个乐队的时候，若需要给个别铜管乐器加辅助传声器，为了能使拾取的信号更容易融合到整个乐队的声音中去，应当避免声音过于尖锐。

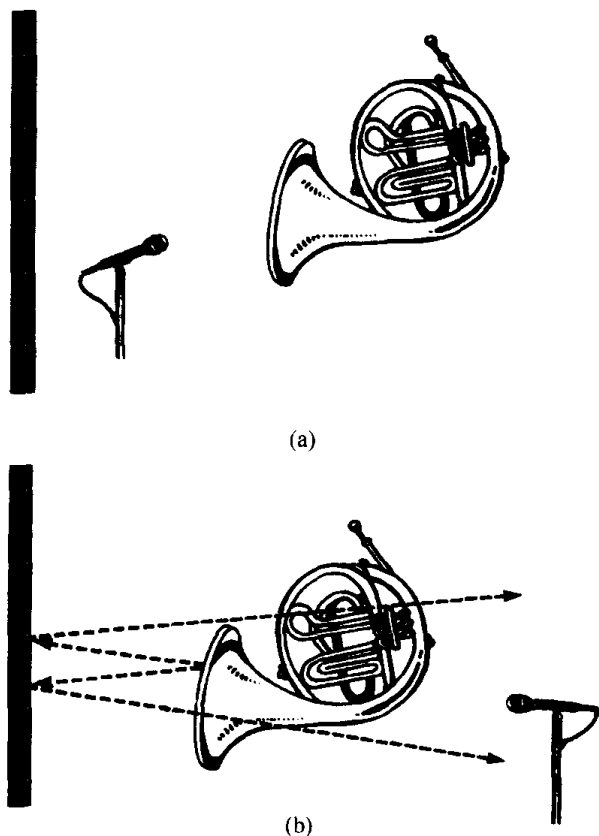


图 4-42 圆号的两种拾音方法

在拾音过程中，要想拾取到更多的直达声，最好的方法是在距离管口十几厘米处进行近距离拾音，同时将传声器偏离管口的中心，避免拾取太多 $5 \sim 6\text{kHz}$ 范围内的气流声，也可以防止传声器过载（小号强奏的声压级可达 130dB SPL ）。用该方法录制出的小号声音，有点类似于摇滚布鲁斯里用于加强节奏的较为尖锐的号声，但是在编曲中有一定旋律性，或作为主旋律的小号，这种效果是不合适的。在录制摇滚和流行爵士等音乐节目时，也有录音时将传声器设置在铜管乐器的管口处，甚至置于管口内部进行拾音，但是拾取的乐器声音发“干”，重放的声象距离太近，而且会伴有“嗡嗡”声音。有时现场演出时，演奏者习惯于乐器前放置一传声器来演奏，此时可以采用在管口前设置假传声器的方法来保证演奏的质量，而实际在较远的距离进行拾音。此外，采用这种方法还可以避免演员在演奏过程中改变乐器的位置，保证录音过程中乐器音色的统一。

选择拾取铜管乐器的传声器时，应当明确几个原则：当在较近的距离拾音时，应当尽量选用动圈传声器来拾音；对于低音乐器，如大号、圆号等，较为明亮的动圈传声器或铝带式传声器（如 Sennheiser、AKG、Shure 等）效果比较好；像小号这样的乐器，频率响应较为平直的动圈传声器（如 Electro-Voice 等）则应为首选。这些传声器在 8kHz 以上的频率响应都比较好，可以保证乐器声音的光彩性，同时能够有效的抑制 5kHz 附近比较刺耳的频率成分，该频段的声音容易隐蔽鼓乐器的声音，而且容易使铜管乐器的声音从乐队中突出。为了避免心形传声器的近讲效应，还应注意在传声器上

进行低频衰减。另外，乐器声压级过高时，可以将传声器内部的固定衰减开关打开。

对铜管乐器组拾音时，传声器和拾音方式的选择也要符合音乐作品的风格和要求。类似于木管乐器组，若铜管乐器组是为了烘托和支持主唱而编写的，那么重合式拾音方式的拾音效果是比较理想的，不但可以提供清晰的声象定位，由于声道间不存在相位差，还可以得到更加坚实的低频响应。同样，传声器间距较大的 AB 方式可以在突出主唱的情况下有良好的空间效果。

在录制铜管乐器时还应当考虑各声部间在立体声中的布局。若要求铜管乐器组在乐曲中有较大的形象，作为抒情性的铺垫，则要求各声部间的间隔较小，声部间能够更好的融合在一起，有良好的整体感。此时乐器组的声音不但要在 8kHz 附近有一定的明亮感，还需要有良好的低频响应，具有格外的温暖感。为了满足这个要求，采用 B&K 4006、Electro-Voice RE55 等传声器组成 AB 拾音方式进行拾音是比较理想的，也可以采用 Electro-Voice RE20 组成 XY 方式进行拾音，两种方式都能使声音具有更多的亲切感。若需要比较开放、热烈的铜管乐声音，则可以选择大膜片的电容传声器，如 Neumann U47 或 AKG MC740，AKG 414 或 C451 拾取的声音则比较自然。如果乐曲需要较为强烈的铜管乐声音，采用更为明亮的 Neumann U87s 或 U89s。

如果立体声拾音时需要加强低音乐器，则可以选用 Neumann KM84 作为辅助传声器。另外，在较大铜管乐队中，圆号的声音是比较难录制清晰的，解决这个问题也可以选用 KM 84 或 Sennheiser MD421U 等明亮的动圈传声器，在演员的背后，距离圆号 0.5m 左右处设置辅助传声器来提高圆号的清晰度。

第八节 拉弦乐器的拾音技术

一、拉弦乐器的基本声学特性

本节所指的拉弦乐器主要是指交响乐队中弦乐组的各种乐器。弦乐器的音域很宽，泛音特别丰富，富于歌唱性，表现力极强。其声学特性类似于前面讲过的低音提琴。低频下限是通过弦的定音来限定的，而高频上限则在一定程度上取决于演奏者的技巧。小提琴的基频在 185Hz~1.3kHz 之间，高次谐波可达 20kHz，频率小于 10kHz 的能量随着频率增加而线性下降，频率大于 10kHz 的能量较小，但分布均匀，衰减缓慢，主要能量集中在 250~3000Hz。中提琴基频在 131~1046Hz 之间，高次谐波可达 12kHz，中提琴的定音要比小提琴低纯五度。大提琴属于低音乐器，基频在 65.4~523.5Hz 之间，高次谐波可达 14kHz，主要能量集中在 180~3000Hz。弦乐演奏时机械噪声有一个很宽的频带，弱奏噪声则显得比较大，而强奏时则显得小一些。

弦乐器的音色与强度和演奏者的弓子速度、弓子压力和弓子在弦上的着力点有关。弓速影响声音强度，弓压及着力点决定了声音的音色。小提琴音色明亮，色彩丰富，穿透力较强。在乐队中，小提琴经常演奏主旋律，其音色很容易同其他乐器融合，小提琴群也经常作为节奏乐器使用。中提琴的琴体比小提琴大，音色相对浑厚，适合于演奏抒



情性的旋律。大提琴与低音提琴类似，其音响富有人声美，音色低沉、厚实，有温暖感，经常演奏各种宽广、抒情的旋律，有时也演奏各种技巧性较高的华彩乐段。

总的来讲，弦乐的始振时间是比较长的，而且始振时间随演奏方法改变而不同。弱进时，始振时间一般为 $100\sim 300\text{ms}$ ，强进时为 $30\sim 60\text{ms}$ ，拨奏的始振时间则很短，一般为 20ms 以下。弦乐器的声音辐射特性随频率的改变而变化，演奏的声音越高，辐射面越窄，指向性越差。小提琴在 500Hz 以下的声能在各方向的辐射是均匀的，当频率升高时，辐射方向将主要集中在垂直于面板的方向，在垂直方向 15° 的夹角范围内拾音时，可以获得全频带的声音。中提琴的大小和演奏方式基本上同小提琴一样，辐射特性也类似于小提琴。大提琴的全频带辐射方向是 $10^\circ\sim 15^\circ$ ，但是在此区域内， $300\sim 800\text{Hz}$ 之间辐射的能量有些跌落。不过，在此频段内没有重要的共振峰，所以对大提琴的音色的拾取没有什么影响。由于大提琴是支撑在地面上演奏的，因此其辐射特性要相对复杂一些。

二、拉弦乐器的拾音技术

弦乐是人们非常熟悉的乐器之一，在录制过程中，除了独奏以外，很少单独对各乐器进行拾音，通常是采用同期录音的方法。在确定录音方案之前，同样要考虑到录制的音响效果要适合于音乐作品的需要。不过，经常出现的问题是很多录音师对好的弦乐声音有非常固定的概念，经常忽略了其在乐曲中的角色，往往适得其反。

当采用心形传声器组成 XY 方式拾音时，由于左右声道中弦乐的中、低频成分间基本不存在相位差，所以声音比较温暖，立体声的空间感也比较好，没有中间空洞现象，适合于编曲中各弦乐声部较为密集的情况。由于弦乐中频成分对歌声有一定的隐蔽效应，因此在后期制作中经常会出现所谓的“压唱”现象。为了使歌声从乐队中突出出来，需适当提高歌声的电平，不过这样也能为歌声提供一个更稳定的支持。

用全指向或心形传声器组成 AB 方式拾音时，可以使弦乐的声象更多的集中到两侧，有更强的空间感，而声道间的相位差会使其低频的稳定性较 XY 方式差一些。不过，可以利用这种方式产生的空洞现象，在不用提高歌声或主奏乐器电平的情况下，将其安排在声场的中间位置上。这种拾音方式减小了对主唱的影响，适合于间断穿插在乐曲中的弦乐声部，特别是弦乐用于同主唱相呼应的情况。

如果弦乐在乐曲中是用于揭示演唱者的内在情感，则可以在较近的距离对每组乐器进行拾音，然后在调音台上完成声象的定位。这样，可以通过对不同乐器的特定声象安排来暗示整个乐曲的思想意图。例如，如果将低音提琴和大提琴的声象完全安排在左侧或右侧，将给人一种不平衡或不安全的感觉；如果将整个乐队的声象充分的展开，则有一种演唱者陷入困境的感觉。

如果弦乐声部在乐曲中将扮演不同的角色，可以设置两套不同的拾音方式，以便在不同的乐段适当的调整。或者也可以将两种方式分别录制在不同的声轨上，然后在后期制作中予以混和、平衡。

一般情况下，主传声器可以采用灵敏度较高的电容传声器，而动圈传声器用于在较

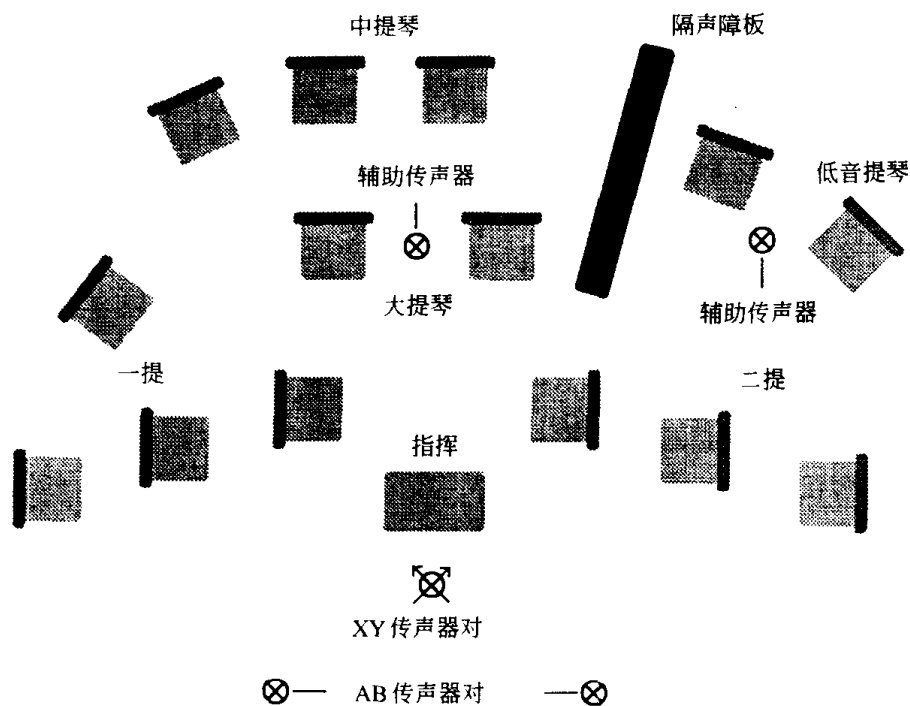


图 4-43 常用弦乐组的拾音方式

近的距离分别拾取不同的乐器。如果弦乐是用于整个乐曲的铺垫，可以采用 Neumann U87 或 U89 作为主传声器，虽然拾取的声音有些明亮，但总体的感觉还是令人满意的。若要得到温暖而又有一定细节的弦乐声音，则可以采用 AKG 414、Neumann U47 或其他带有电子管预放的传声器。采用 AB 方式拾音时，B&K4006 效果是非常理想的，也可以采用 Electro-Voice RE55，不过一般需对高频作适当的提升。需要注意的是，在设置传声器的过程中应保证低音提琴和大提琴在整个乐队中的清晰度，这一点往往比拾取到小提琴和中提琴较高的泛音更重要。

当采用点传声器对小提琴和中提琴拾音时，会使声音具有明显的颗粒感，如果这种现象比较严重，则可以采用动圈传声器或铝带式传声器来拾音，如 Electro-Voice RE20、BeyerD160。点传声器到乐器的距离一般不要小于 0.5m 左右，否则将拾取到乐器更多的局部共振，并且容易出现空间感不一致的现象。传声器最好不要正对琴体中央，以免拾取到较强的琴板和琴箱共振。通常传声器的轴向应当与乐器呈一定的角度，传声器与乐器之间的距离还应当考虑到演员演奏过程中，晃动所引起的音量、音色等变化。



参考文献

1. The New Stereo Soundbook—F. Alton Everest, Ron Streicher
2. Microphones: Technology and Technique—John Borwick
3. Stereo Microphone Techniques—Bruce Bartlett
4. Sound Advice: The Musician's Guide to The Recording Studio—Wayne Wadhams
6. Audio in Media: The Recording Studio—Stanley R. Alten
7. On - Location Recording Techniques—Bruce Bartlett with Jenny Bartlett
8. Stereophonic Sound Recording—Christian Hugonnet
9. Music, Sound, and Technology—John M. Eargle
10. The Musician's Guide to Home Recording—Peter Mclan and Larry Wichman
11. Morden Recording Techniques -- 5th ed—David Miles Huber, Robert E. Runstein.
12. 数字声频与播控技术—杨耀清, 朱伟
13. 广播中心与广播声学—张绍高
14. 广播中心技术系统—张绍高
15. 乐器法手册—梁广程, 潘永璋
16. 音乐基础理论—李俊梅
17. 立体声拾音技术研究—李俊梅, 俞铭

Images have been losslessly embedded. Information about the original file can be found in PDF attachments. Some stats (more in the PDF attachments):

```
{
  "filename": "MTEwNjMwNjBf5ou+6Z+z5oqA5pyvLnppcA==",
  "filename_decoded": "11063060_\u62fe\u97f3\u6280\u672f.zip",
  "filesize": 24762065,
  "md5": "0f434e68a29bf739903f47c9dd438cfb",
  "header_md5": "1aca8a1ae35201a1b8919ac44b6f4a05",
  "sha1": "a1bc7b23c586a63d4b4cf1e03e75ff83fc694fd3",
  "sha256": "46b1370bf46b97da391f6a54d7f26260ca5024cfe05cb89dda663fab177d385",
  "crc32": 2341311964,
  "zip_password": "",
  "uncompressed_size": 26519486,
  "pdg_dir_name": "",
  "pdg_main_pages_found": 120,
  "pdg_main_pages_max": 120,
  "total_pages": 131,
  "total_pixels": 844812732,
  "pdf_generation_missing_pages": false
}
```