

new

录音技术与艺术系列丛书

扩声技术

朱伟 编著

中国广播电视出版社



53.5
204

录音技术

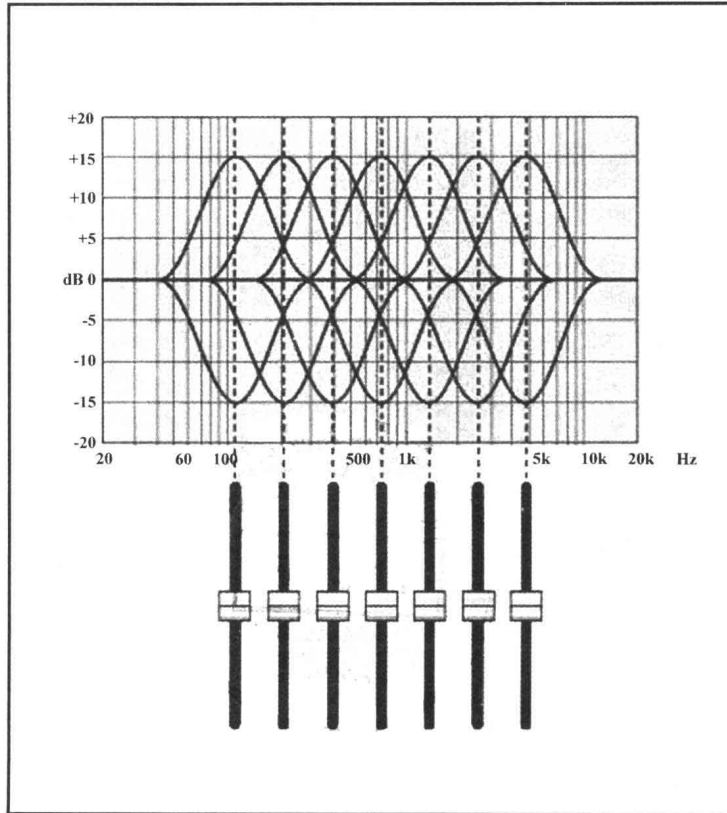
与

艺术系列丛书

扩声

技术

朱伟 编著



中国广播电视出版社

BCC.50/04

图书在版编目 (CIP) 数据

扩声技术/朱伟编著. —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 7-5043-4016-2

I. 扩… II. 朱… III. 扩声系统-电声技术 IV. TN912.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 088071 号

扩 声 技 术

编 著:	朱 伟
责任编辑:	樊丽萍
封面设计:	郭运娟
责任校对:	谭 霞
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:	河北省高碑店市鑫昊印刷有限责任公司
装 订:	涿州市西何各庄新华装订厂
开 本:	787×1092 毫米 1/16
字 数:	220 (千) 字
印 张:	10.75
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 7-5043-4016-2/TN·272
定 价:	22.00 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

本书力求从声学的角度系统阐述扩声技术的基本原理，主要介绍厅堂扩声和室外扩声的基本特点、技术要求以及电声设计，并以演出扩声为例说明在扩声中常用电声设备的基本原理及使用方法。全书共分六章：

第一章 绪论：主要介绍扩声系统的功能、分类、设备组成及工作原理；

第二章 声波的传播：主要介绍声音传播的基本知识；

第三章 扩声系统中的设备单元原理及应用：主要说明扩声中基本电声器件——扬声器及其系统的原理和应用，以及调音台的原理和扩声中的基本调音方法；

第四章 室外扩声系统：介绍室外扩声的特点和电声系统的应用；

第五章 室内声学基础：介绍室内声学的基本知识；

第六章 室内音响系统的作用：介绍室内扩声的特点以及电声系统的设计和应用；

第七章 系统建筑结构和布局：介绍扩声系统的典型信号流程图及设计中的基本布线要求。

本书是《录音技术与艺术系列丛书》中的一部，考虑到丛书的系统性和整体性，有些内容没有在本书中详细阐述，这些内容可以参考丛书中相关的书籍。该书可作为大专院校录音专业、音响工程专业以及相关专业的教材，同时也可供从事扩声工作的技术人员和研究人员参考。

作者简介

朱伟 1985年毕业于北京广播学院无线电工程系电视发送专业，1985~1988年在北京广播学院广播技术研究所攻读通讯与信息系统专业广播声学方向硕士研究生，1988年至今在北京广播学院录音艺术学院录音教研室任教。此间承担了《录音技术》、《数字声频原理》、《声频测量》等课程的本科和硕士研究生教学任务，另外还完成了十余项学院和部级科研项目；主持编写及编译了《数字声频与播控技术》、《数字声频工作站》、《录音节目制作设备及原理》等书，参与了《录音艺术大全》音像教材以及多部著作的录制和编写工作。

目前作者在学院主要负责本科生的教学和研究生的指导，同时从事相关学科的科研工作。现为该学院副教授。

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。



这套丛书由《音乐声学》、《拾音技术》、《录音技术》、《扩声技术》、《数字音频工作站》、《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 绪论	1
第一节 扩声系统的功能.....	1
第二节 扩声系统的分类.....	2
第三节 扩声系统的设备组成及工作原理.....	3
第二章 声波的传播	4
第一节 声音的波长、频率和传播速度.....	4
第二节 正弦波的混合.....	4
第三节 混合延时的正弦信号.....	6
第四节 声音的绕射.....	9
第五节 声音传播过程中温度梯度的影响.....	10
第六节 声音传播过程中风速梯度的影响.....	10
第七节 声音传播过程中湿度的影响.....	11
第三章 扩声系统中的设备单元原理及应用	12
第一节 扬声器.....	12
第二节 声音的调整、控制和分配.....	65
第四章 室外扩声系统	106
第一节 引言.....	106
第二节 声学增益的概念.....	107
第三节 系统最大增益时,指向性传声器和扬声器的影响.....	108
第四节 到底需要多大的增益.....	109
第五章 室内声学基础	111
第一节 引言.....	111
第二节 声音的吸收和反射.....	111



第三节	房间中声场的建立和衰减	115
第四节	混响和混响时间	117
第五节	直达声和混响声声场	122
第六节	临界距离	123
第七节	房间常数	125
第八节	统计模型与实际情况间的关系	130
第六章	室内音响系统的作用	131
第一节	引言	131
第二节	声反馈和潜在系统增益	131
第三节	小房间的声场计算	133
第四节	中等房间的声场计算	135
第五节	分布式扬声器系统的计算	139
第六节	系统增益与频率响应的关系	140
第七节	室内增益公式	141
第八节	测量音响系统的增益	142
第九节	对语言清晰度的一般要求	143
第十节	扩声中延时的作用	147
第十一节	系统均衡和场声器的功率响应	148
第十二节	系统设计综述	151
第七章	系统建筑结构和布局	152
第一节	引言	152
第二节	典型的信号流程图	152
第三节	电缆种类和线路损失	155
第四节	恒压分布式系统(70V或100V线路电压)	157
第五节	低频增强——重低音	158

第一章 绪论

扩声系统的基本作用就是通过建筑声学 and 电声学的手段使听众或技术和艺术人员获得所需要的声音信息。

众所周知，自然声源所发出的声功率是有限的。随着声波的传输，声压级会逐渐下降，从而造成在噪声环境下的听音者就听不清声音的内容，甚至完全听不到声音。因此，在室内厅堂和室外的场合下，需要用扩声系统对声信号进行放大等处理，使听众所处的声场环境有一个令人满意的声压级。

要想达到这样的目的，就要利用室内声学 and 电声学的手段。比如在古老教堂中，就为布道坛加设了音罩，以便对声音增加附加的反射，提高特定区域的声压级；而在一些古遗迹中，我们常常会见到船舶中使用的声管装置被用来传输声音。这些传统的设施还在使用；因为它们可以满足一些基本的要求，并且基本上不用维护。但是其系统的多功能性和传输音质等方面的不足，已经不能满足当代设计的要求了。电声学的发展为现代的扩声系统的设计提供了强大的支持。

除了要传递简单的消息和信息以及再现舞台声场效果之外，电声学的发展为一些全新的应用铺就了道路。比如在一些公共场合的扩声系统中，它向人们传递的除了一些服务性信息之外，还有背景音乐和应急信息等等。

但是扩声系统的最大贡献还是体现在文化娱乐领域。如今在室外活动、展览会和音乐表演中，扩声系统已经被普遍采用。这时声音信号在拾取后被直接传输和再辐射出去（实时工作方式），或者先存储在声音媒体中，然后在以后需要的时候传输出去（回放工作方式）。对于实时工作方式，必须格外仔细，因为声音的拾取和放大信号的辐射是发生在同一环境下，这样就会产生相互干扰（声反馈）。这样的扩声工作就要着重考虑系统稳定工作的问题。近些年来，扩声技术和电声学的发展不断地为娱乐事业创造出新的艺术表现方式，比如电子音乐等；同时也为一些古老的艺术表现形式增添了新的表现方法和创作手段。随着科技的进步，扩声技术必将有突飞猛进的发展。

第一节 扩声系统的功能

通常人们希望扩声系统要满足如下一些或全部要求：

1. 改善声音的可懂度和清晰度；



2. 提高声音的动态范围；
3. 改善演出中不同声音部分（语言、歌唱和乐器）间的声学平衡；
4. 确保“虚拟”声源（声象）和原始声源在视觉和听觉上有一定的一致关系，尤其是在大的或复杂几何形状的空间中进行扩声时十分重要；
5. 有助于克服复杂声环境给声传输带来的困难；
6. 增强演出的观众参与意识；
7. 调整扩声场合的声学参数；
8. 增强对空间声学效果的感知，比如对活动声源、空间感和临场感的感知；
9. 调整人声和乐器声的电信号特性；
10. 进行预编程，以简化技术处理。

其中要求1~5是针对基本应用的，而要求6~10是针对大型文化演出的扩声系统的。要想达到这些要求，设计出优良的扩声系统，不仅要满足系统的技术指标，而且要满足对声学环境的要求。

第二节 扩声系统的分类

扩声系统的种类很多，可以按照其环境、声源性质、工作原理、用途、声能分配方式和扩声系统设备的结构来分类。

一、按工作环境分类

所有的扩声系统按工作环境可以分成室外系统和室内系统。室外扩声的特点是反射声音少，有回声干扰，扩声区域大，声学条件复杂，干扰噪声强，音质受气候条件影响比较严重。室内扩声的特点是对音质要求高，有混响干扰，扩声质量受房间的声学缺陷的影响较大。

二、按声源性质分类

按声源性质分，扩声系统可分成语言扩声系统、音乐扩声系统、信息发布系统、语言同声传译系统、转播系统和已录声音的重放系统等。其中后两种系统的扬声器和话筒并不处于同一声场环境中。

三、按工作原理分类

扩声系统按照工作原理分类可分成单声道系统、双声道立体声系统、多声道环绕声系统等。

四、按用途分类

扩声系统可以按用途来分类。室外扩声可分体育场、公园、广场、车站、飞机场等的扩声。室内扩声可分为礼堂、歌舞厅、酒吧、音乐厅、电影院、展览馆、候机（车）

厅、会议室、多功能教室、电视演播室等的扩声。此外还有其他一些特殊的扩声系统，比如紧急报警系统等。

五、按声能分配方式分类

扩声系统按照声能方式分可分集中式系统、分区式系统、分散式系统和混合式系统。

六、按扩声设备的结构分类

按照扩声系统设备的结构分类，扩声系统可分为固定式和流动（便携）式。

第三节 扩声系统的设备组成及工作原理

扩声设备是指在接收声信号的同时向听众传送信息，并保证具有良好可懂度和自然度的一套电声换能和放大设备。

扩声设备的主要作用是将各种声源信号按照具体的扩声要求进行放大、电平调节、动态处理、音质加工、混合、分配和监听等工作。

按照系统中各组成部分的功能的不同，可以将其分成四个部分：声源部分、信号控制及处理部分、声信号记录及重放部分和电源部分。

声源部分主要包括：传声器、各种模拟和数字式录音设备（专业卡座、开盘机、CD 放音机、MD 等）、电子乐器（各种 MIDI 乐器、MIDI 音源和电声乐器等）。其作用是为扩声系统提供各种所需的电声信号。

信号控制及处理部分主要包括：扩声用调音台、声处理设备（压缩器、限制器、延时器、噪声门和均衡器等）以及各种效果设备（混响器、移调器和综合多用途效果处理器等）。其作用是对声源信号进行电平调节、动态处理、音质加工、监听和信号监测以及信号的混合，并且按照需要将各种混合信号分配到不同的输出上。

声信号记录及重放部分主要有：各种模拟和数字式记录设备（磁带录音机、硬盘录音机和光学式记录设备）、功率放大器和音箱及音箱阵列、监听耳机等。该部分的作用是将混合好的信号记录到声记录设备上（回放工作方式）和/或直接通过音箱进行扩声工作（实时工作方式）。

扩声系统的电源部分是保证系统正常运行的关键，一般应由单独的相电来提供。



第二章 声波的传播

第一节 声音的波长、频率和传播速度

在空气中，声波的传播速度大约为 344m/s (1130 英尺/秒)。该速度值会随温度的变化有微小的相对改变，但在通常的室内环境中，我们可以将其忽略不计。可闻声覆盖的频率范围大约从 20Hz 至 20kHz，给定频率的声波波长是指空气中传播的声音波形中连续的波形中重复点之间的距离。它由如下的公式给出：

$$\text{波长} = \text{速度} / \text{频率}$$

或者，将速度简写为 c ，频率为 f ，波长为 λ ，即

$$\lambda = c / f$$

周期 (T) 的定义为：波形变化一周所需要的时间。

$$T = 1 / f$$

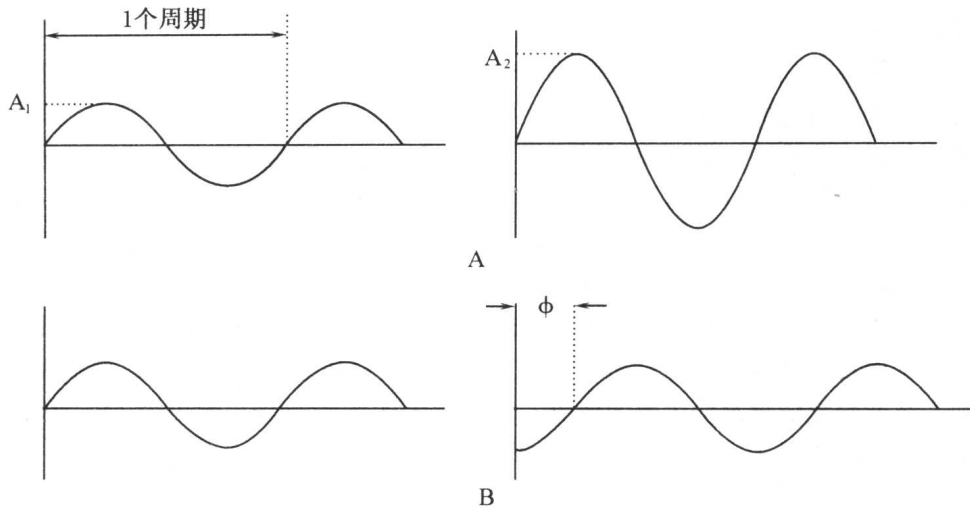
当 $f = 1\text{kHz}$ 时， $T = 1/1000$ 或 0.001s，并且 $\lambda = 344/1000$ 或 0.344m (1.13 英尺)。

最低可闻声波长的数量级为 10m (30 英尺)，而最高声音波长短至 20mm (0.8 英寸)。两者相差的范围相当大。由此我们可以得出这样的结论：人们对声音的感知有很大的容限。

我们已经讨论过的声波当然是指的正弦波，它是所有语言和音乐信号的基本组成成分。图 2-1 示出了正弦波的一些基本特性。需注意的是，相同频率的声波在幅度和相位上可能是不同的。正弦波之间的幅度和相位角关系决定了它们如何进行混合，这一点不论是声学，还是电学都是一样的。

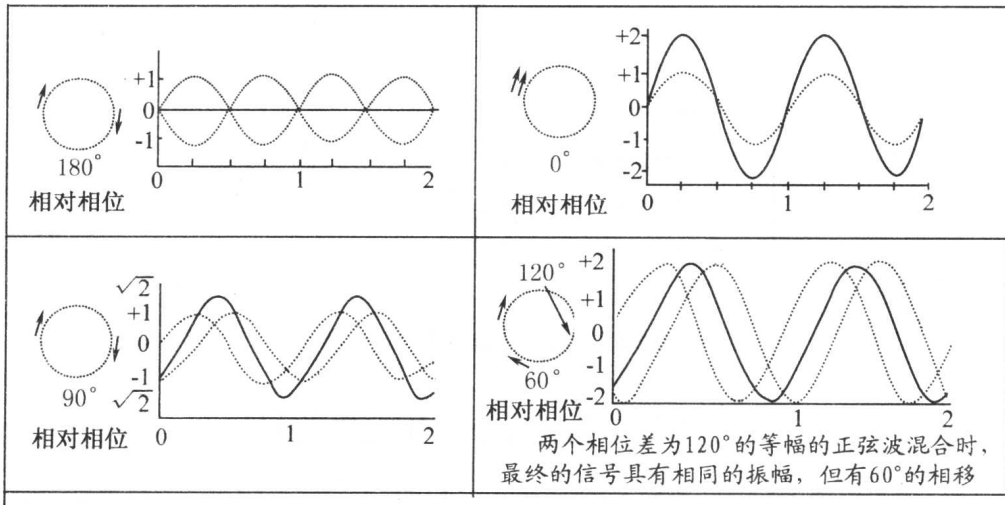
第二节 正弦波的混合

从图 2-2 可以看出：如果将两个或多个具有同样频率和幅度的正弦波信号相加，则最终的信号也具有相同的频率，而它的幅度则取决于原始信号间的相位关系。如果存在 120° 的相位差，则最终信号会与原始信号中任一个的幅度相同；如果是同相混合，那么最终信号的幅度是任一个原始信号幅度的 2 倍。对于相位差在 120° 和 240° 之间的情况，最终信号的幅度始终是要小于任一个原始信号的幅度。如果两个信号完全反相 180° ，那么它们就完全抵消了。



A—振幅不同的两个正弦波信号
B—存在相位差的两个正弦波信号

图 2-1 正弦波的特性



点线代表的是某一个信号；实线代表的是最终的相加信号

图 2-2 两个正弦波进行矢量相加

存在 120° 相位差的两个相等幅度的正弦波信号混合时，最终信号的幅度是不变的，但产生了 60° 的相移。

在电路中，很难获得所有正弦分量均有同样的相位关系的较为复杂的信号。除了特殊情况，信号都是以 0° 或 180° 相位关系进行混合的。获得某些特殊相位关系（例如 45° ）



的电路，要想在大的频率范围内仍保持相位关系不变是相当复杂的。如此宽的范围，在声信号处理中要采用全通相移网络。

在处理像音乐或语言这样的复杂信号时，必须要掌握的一个概念就是相干性。假设我们通过一个高质量的放大器来馈送一个电信号，除了有非常小的失真之外，输出信号完全是重复输入信号，只是幅度不同罢了。尽管两个信号不完全一样，我们也称其为高度相干的。如果信号通过的是质量较差的放大器，那么我们料定输入和输出间存在着实质性的差异，相干性也不是很好了。如果我们比较完全不同的信号，那么任何的似性都完全是随机发生的，这时我们就将这两者称为不相干的。

当两个不相干信号相加时，最终信号的均方根 rms (root mean square) 值可以通过将两个信号的相对功率相加计算出来，而不是通过其电压来计算。例如，如果我们混合的是两个彼此独立的噪声发生器的输出，每个发生器产生的 rms 输出为 1V，那么测得最终信号的 rms 值为 1.414V。如图 2-3 所示。

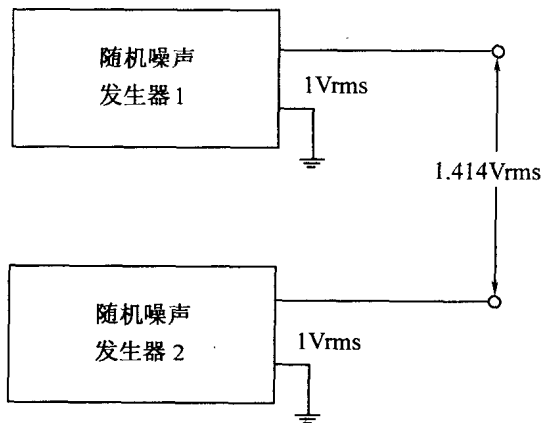


图 2-3 混合两个随机噪声发生器

第三节 混合延时的正弦信号

如果将两个具有特定时间差，而不是固定相位差关系的相干大频率范围信号混合时，那么有些频率会加强，而有些频率会抵消。如果延时到达的信号和原始信号混合时，则会产生“梳状滤波”的情况，它改变了信号的频率响应，如图 2-4 所示。延时可以通过使用全通延时网络或数字处理来从电学上实现。在处理空气中传播的声信号时，没有简单的办法来避免延时的影响，因为声音的速度相对慢一些。

延时的相干信号混合的典型例子示于图 2-5。以人们熟悉的室外 PA 系统为例，单只传声器的信号通过一对相同的分开放置的扬声器放大重放出来。假定研究的扬声器被安放在舞台正面的两个角落处，彼此相距 6m (20 英尺)。对于舞台中心线的任何位置，

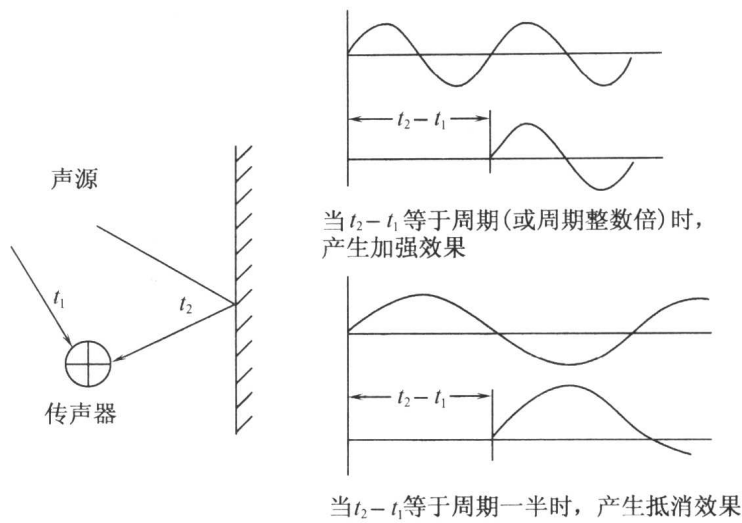
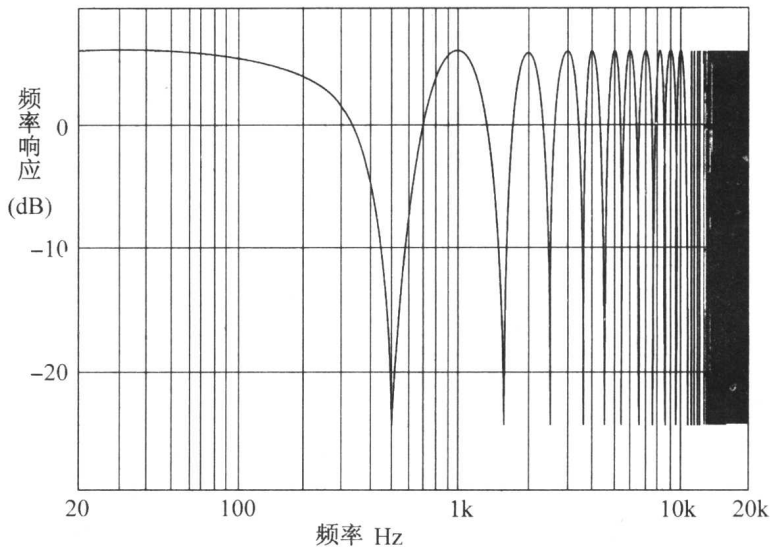


图 2-4A 延时信号的混合



在将通道间存在 1ms 延时的两个宽频节目信号混合后的频率响应
同样的节目信号馈送给两个信道, 只是幅度相差 0.5dB

图 2-4B 混合有恒定时间延迟的相干信号

来自两个扬声器的信号总是同时到达。但是在任何其他的地方, 其到两个扬声器的距离就不相等了, 从一只扬声器发出的声音总是稍迟于来自另一只扬声器发出的声音到达那处。图例表明由于听音位置仅 2.4m (8 英尺) 的变化, 造成了频率响应产生很大的变化。以随机噪声作为测试信号, 如果听音人从 B 处走到 A 处, 并且跨越中心线, 则会听到有飕飕的声感, 就像气笛一样。音质上的改变在接近中心线时最明显, 因为在这一