

音响系统设计 参考手册

[美] 约翰·埃格尔 著

陈永旭 编译

电子工业出版社

内 容 提 要

本书简明地介绍了音响系统设计安装常用的基本原理、公式、图表和数据,对扬声器的指向性及室内外音响系统设计安装中的问题和对策做了详细的分析,并给出许多练习实例。本书可供音响系统设计,建筑声学设计,礼堂剧场、歌舞厅堂、家庭音响设计、布局、安装时参考,又是音响系统管理人员及广大无线电爱好者的科普读物。

音 响 系 统 设 计 参 考 手 册

〔美〕约翰·埃格尔 著

陈永旭 编译

李健山 等 审校

电子工业出版社出版(北京市万寿路)

电子工业出版社总发行 各地新华书店经销

房山区龙门口印刷厂印刷

*

开本: 787×1092毫米1/32 印张: 6.5 字数: 145千字

1990年10月第1版 1990年10月第1次印刷

印数: 1—5000册 定价: 3.50元

ISBN7-5053-1044-5/TN·328

译 者 序

约翰·埃格尔 (John Eargle) 所著《音响系统设计参考手册》是一本集理论和经验为一体的实用性很强的书籍。其最大特点是“短小精悍”。

该书将几十年来声学方面的理论、观点去粗取精，并总结提炼了多年的实践经验，给出了大量简捷、实用的公式和图表，使读者能一目了然获得声学方面的有关概念，并能够方便地进行设计计算。

亚运会工程部分场馆音响系统的设计以及国内一些生产扬声器、音响系统的厂家在设计、研制产品中都引用了该书的内容，我在起草《民防警报系统》的研制报告中也引用了该书中的有关概念、公式和图表，深感该书具有很好的实用价值，其他接触过该书的读者也都认为它是一本简捷明了的实用技术参考书。

该书共分七章。第一、二章介绍了声波传播、分贝的基本概念，给出了大量的有独到之处的公式和图表，使读者对声学的基本概念有一个完整的认识。第三章重点对扬声器的指向性及其应用做了深入浅出的分析，对室外音响系统的设计、安装具有指导作用。第四章论述了室外音响系统设计中考虑的问题及需采取的措施。第五、六两章对室内声学原理、室内音响系统的性能作了详细的分析，列举实例，对建筑声学设计人员十分有用。最后一章给出了音响系统设计和

结构方面的一些实际例子，以供读者在实际工作中参考。

为了便于读者在阅读时查对参考，附录一给出了名词术语解释和英汉对照译法，附录二给出了JBL公司各种型号扬声器和策动单元的主要性能指标，附录三给出了部分国产吸声材料的吸声系数。

本手册的翻译稿分别由陆勇高级工程师、宋启源工程师、周万梁翻译进行了审校，最后由中国科学院声学研究所李健山高级工程师对全书做了审阅，本手册的出版也得到了其他一些同志的大力帮助，在此一并表示衷心的感谢。

在翻译过程中，译者对原著中的公式推导、文字论述中的错误之处做了更正，统一了术语和公式符号。为使本书前后连贯，叙述更加准确、清晰，在译稿的基础上，结合国内实际情况，增加了一些新内容。但由于本人水平及时间限制，疏漏在所难免，恳请读者指正。

陈永旭

1990年5月

前 言

JBL 公司的《音响系统设计参考手册》主要是根据《音响工作手册》编写的，它是由 George Augspurger 为在美国各市举办的一系列音响系统设计专题研讨班编写的。《音响工作手册》在室内声学 and 室内音响系统分析方面的内容，以其详尽全面和合乎逻辑的推理而著称，因此，在《音响系统设计参考手册》中对这些章节予以全部保留。而对声学的基本概念、分贝概念和扬声器指向性概念等内容进行了扩展，并且对系统设计和系统的结构做了更为详尽的论述。此外，还着重论述了双向喇叭系列及根据平坦功率响应概念进行设计的方法。

在美国，要完全废弃英尺、英里而在日常生活中只使用米和千米，恐怕还需要很长时间，不过，公制即我们现在所称的国际单位制（SI）已经成为科学工作中优先使用的单位制，这一点是毫无疑问的。为了保持全书的一致性，本书所有的例子均采用了SI制单位。但为了满足所有使用人员的需要，我们在设计图中同时给出了SI制单位和英制单位，这对我们来说是重要的，因为在 JBL 公司的全部专业产品中有一半以上的产品是销往早已采用标准公制单位的国外市场，所以，我们希望使本书在其它国家具有与美国本土同样的作用。

与几年前《音响工作手册》出现时相比，今天的专业性商人和音响系统承包人的技术能力已大为提高了，JBL 公司

认为，当今有工作责任心的音响系统承包人和专业性商人已不再满足于简单地把数字代入公式的方法，而是不管多么复杂，他们都渴望了解公式的真正含义，以及扬声器和房间的相互影响情况。使读者了解这些内容，正是本书的目的。

约翰·埃格尔

· 目 录 ·

第一章 声波传播	(1)
1.1 波长、频率和声速	(1)
1.2 正弦波信号的合成	(2)
1.3 延时正弦波信号的合成	(4)
1.4 声波绕射	(8)
1.5 温度梯度对声波传播的影响	(9)
1.6 风速和风速梯度对声波传播的影响	(10)
1.7 湿度对声波传播的影响	(11)
1.8 室外远距离声传播的衰减	(12)
第二章 分贝	(14)
2.1 功率关系	(14)
2.2 电压、电流及声压的关系	(16)
2.3 声压级和等响曲线	(18)
2.4 平方反比定律	(22)
2.5 功率级的叠加	(25)
2.6 基准级	(25)
2.7 信号峰值、平均值和均方根值	(26)
第三章 扬声器的指向性及覆盖角	(29)
3.1 基本原理	(29)
3.2 极坐标图、波束宽度图、指向性图 及等压线的对照	(33)
3.3 圆形辐射器的指向性	(36)
3.4 平坦功率响应的重要性	(38)

3.5	指向性特性的测试	(40)
3.6	指向性的应用	(44)
3.7	组合扬声器的指向性	(45)
第四章	室外音响系统.....	(48)
4.1	声增益概念	(51)
4.2	指向性话筒和指向性扬声器对 系统最大增益的影响	(53)
4.3	必需的增益值	(55)
第五章	室内声学原理.....	(58)
5.1	声吸收和声反射	(59)
5.2	室内声场的增长和衰减	(66)
5.3	混响和混响时间	(69)
5.4	直达声场和混响声场	(80)
5.5	临界距离	(81)
5.6	房间常数	(84)
5.7	统计模型与实际环境	(92)
第六章	室内音响系统的性能.....	(94)
6.1	声反馈与系统的可能增益	(94)
6.2	小房间中的系统增益	(98)
6.3	中等房间中的系统增益.....	(102)
6.4	分散式扬声器系统的计算.....	(107)
6.5	系统增益与频率响应的关系.....	(110)
6.6	室内增益公式.....	(111)
6.7	音响系统增益的测试.....	(113)
6.8	对语言可懂度的一般要求.....	(114)
6.9	音响系统中时间延迟的作用.....	(123)
6.10	系统均衡和扬声器的功率响应.....	(125)

6.11	系统设计概要	(129)
第七章	音响系统的设计及结构	(131)
7.1	典型信号流程图	(135)
7.2	扬声器的确定及驱动	(139)
7.3	室内扬声器的布置	(143)
7.4	典型实例研究	(148)
A	剧院多声道音响系统	(148)
B	甚低频(VLF)音响系统, 次低音扬声器	(152)
C	大型礼堂和宾馆会议室中的分散式系统	(155)
D	70V分区式系统	(158)
E	扩展功率带宽	(161)
附录一	名词与术语	(164)
附录二	JBL扬声器系列简介	(188)
附录三	吸声系数表	(190)
附录四	参考文献	(195)

第一章 声波传播

1.1 波长、频率和声速

空气中，声波以近似于 344 米/秒 的速度传播，在一定程度上，声速与温度有关，但相对来说影响较小，在一般室内条件下可以忽略。可听声的频率范围大约为 20 Hz ~ 20 kHz，声波可在空气中传播，也可在其它介质中传播。在声波的传播途径上，两相邻同相位质点之间的距离称为波长。

波长的公式为：

$$\text{波长} = \text{速度} / \text{频率}$$

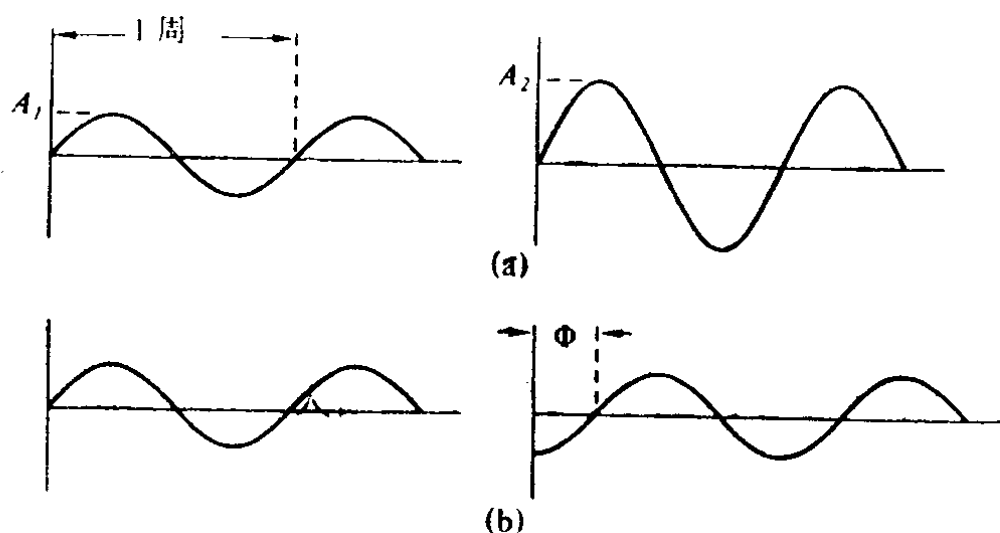
使用普通缩写字母表示， c 代表速度， f 代表频率， λ 代表波长，则公式为：

$$\lambda = c / f \quad (1-1)$$

周期定义为：波形一个循环所需的时间， $T = 1 / f$ 。例： $f = 1\text{kHz}$ ， $T = 1 / 1000$ ，即 0.001 秒， $\lambda = 344 / 1000$ ，即为 0.344 米（或 1.13 英尺）。最低音频频率的波长大约为 10 ~ 20 米（30 ~ 60 英尺），而最高音频频率的波长短到 20 毫米（0.8 英寸）。频率范围是非常宽的，频率范围与声音的特性有很大关系。

下面将要讨论的声波为正弦波，它们是组成语言信号和音乐信号的基本成份。图 1-1 给出了正弦波形的一些基本特

性。频率相同的波形在幅度和相位上也可能不同。在电学上或声学上，两正弦波之间幅度和相位的关系决定了它们的合成结果。

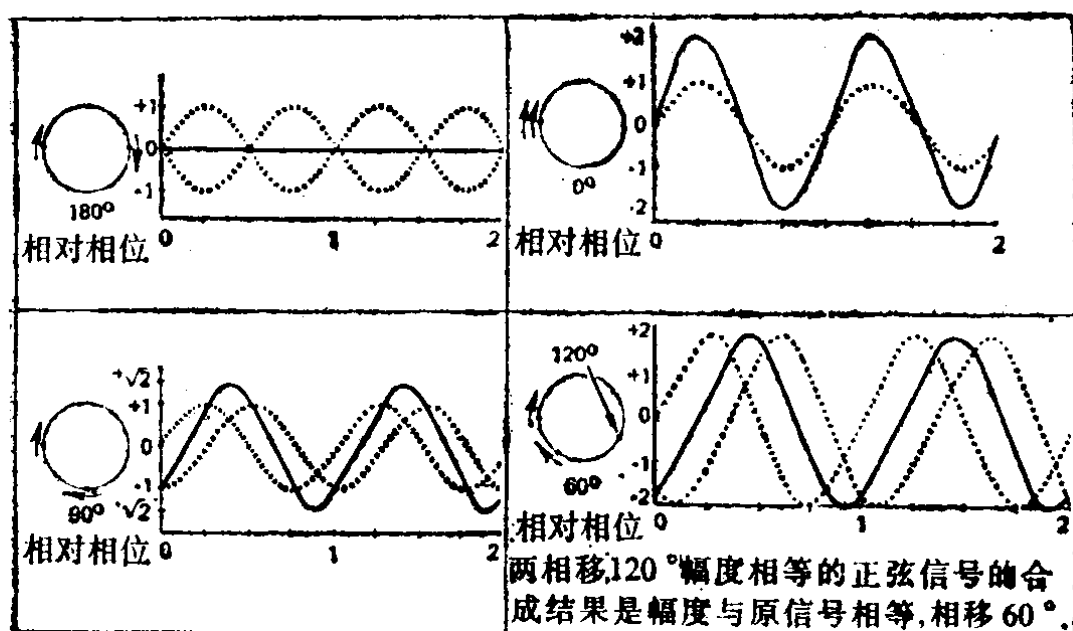


(a) 一幅度不同的两正弦波信号
(b) 一相位不同的两正弦波信号

图1-1 正弦波的特性

1.2 正弦波信号的合成

参看图1-2，如果两个或多个具有相同频率和相等幅度的正弦信号相加，它们的合成信号也具有相同的频率，而其幅度取决于原信号之间的相位关系。如果相位差为 120° 和 240° ，则合成信号幅度正好与原信号相等；如果两正弦波以同相位合成，则合成信号是原信号幅度的 2 倍；相位差在 $120^\circ \sim 240^\circ$ 之间时，合成信号的幅度总是小于两个原信号中的任何一个；如果两信号相位正好差 180° ，则合成信号的幅度为零。



虚线表示单个正弦波信号；实线表示合成正弦波信号

图1-2 两正弦波相加

在电路中，要保持多个复合信号的所有正弦波分量之间有一个相等的相位关系是困难的，特殊情况例外，如信号是由 0° 或 180° 相位关系的正弦波合成。在一较宽的频率范围内，要保持一些特殊的相位关系（如 45° ）的电路是相当复杂的，但这种宽带的相移网络在声信号处理过程中是要用到的。

当处理象音乐或语言这类复杂信号时，人们必须懂得相干概念。假设电信号通过一个高质量放大器，在不考虑信号失真的情况下，输出信号与输入信号除了幅度变化外，几乎一模一样。这两个信号虽然是幅度不相等的信号，但我们说它们是高度相干的。如果信号通过一个劣质放大器，可以想象到，在输入和输出信号之间确实会出现差别，而且它们之间的相干性也不象前面所说的那么大。当比较两个完全不同

的信号时，它们之间任何相似性的发生都是完全随机的，我们说这两个信号是非相干的。

当两个非相干信号相加时，合成信号的均方根值是用两信号功率相加进行计算，而不是电压相加。例如，如果合成两个无关噪声发生器的输出信号，每个发生器的输出信号电压为 1 V ，则合成信号的均方根为 1.414 V ，如图 1-3 所示。

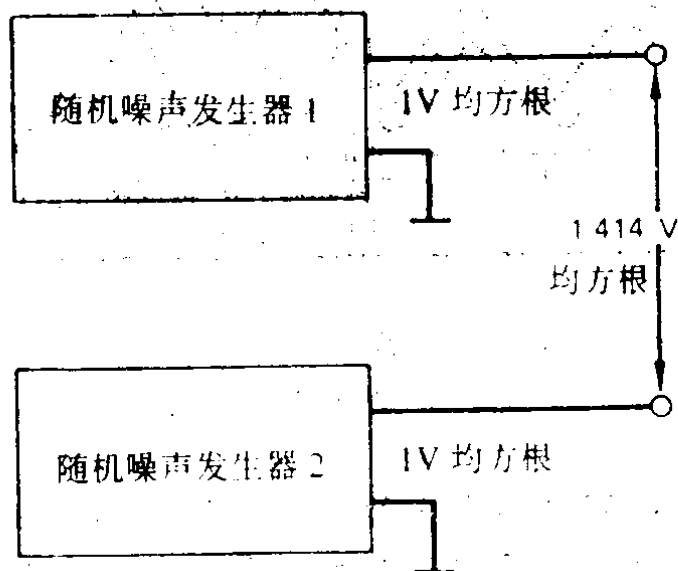


图1-3 随机噪声发生器的合成

1.3 延时正弦波信号的合成

如果两个相干的宽带信号合成时，两个信号有一固定的时间差，即相位关系保持不变，某些频率幅度则相互叠加，另一些频率幅度则相互抵消。一旦有时间延迟信号发生并与原信号合成时，其合成波形就相当于一个梳状滤波器产生的波形，它改变了信号的频率响应，见图1-4。电学上，可以通过全延时网络或数字处理技术来实现延迟。在处理空气中传播的声信号时，因为声速较低，所以根本没有办法避免延迟效应。

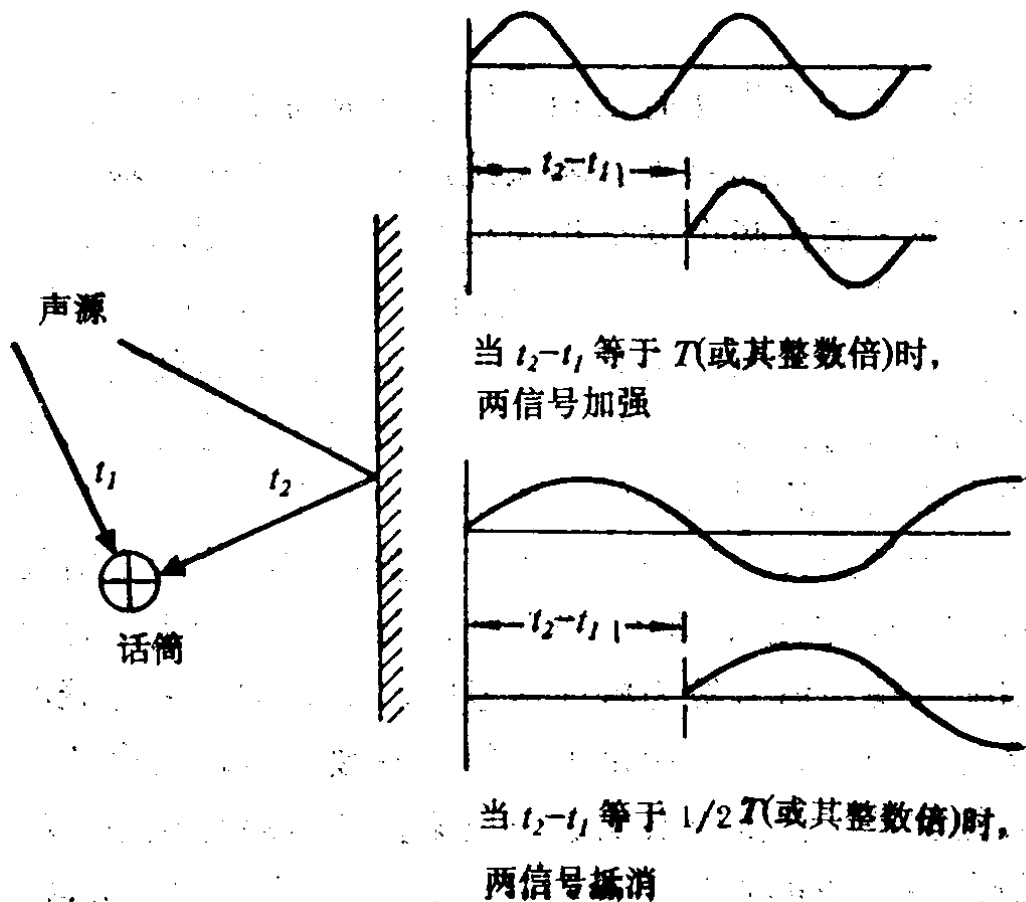


图1-4(a) 延时正弦波信号的合成

下图曲线为幅度相差0.5dB、时延为1ms的两宽带信号合成后的频响。

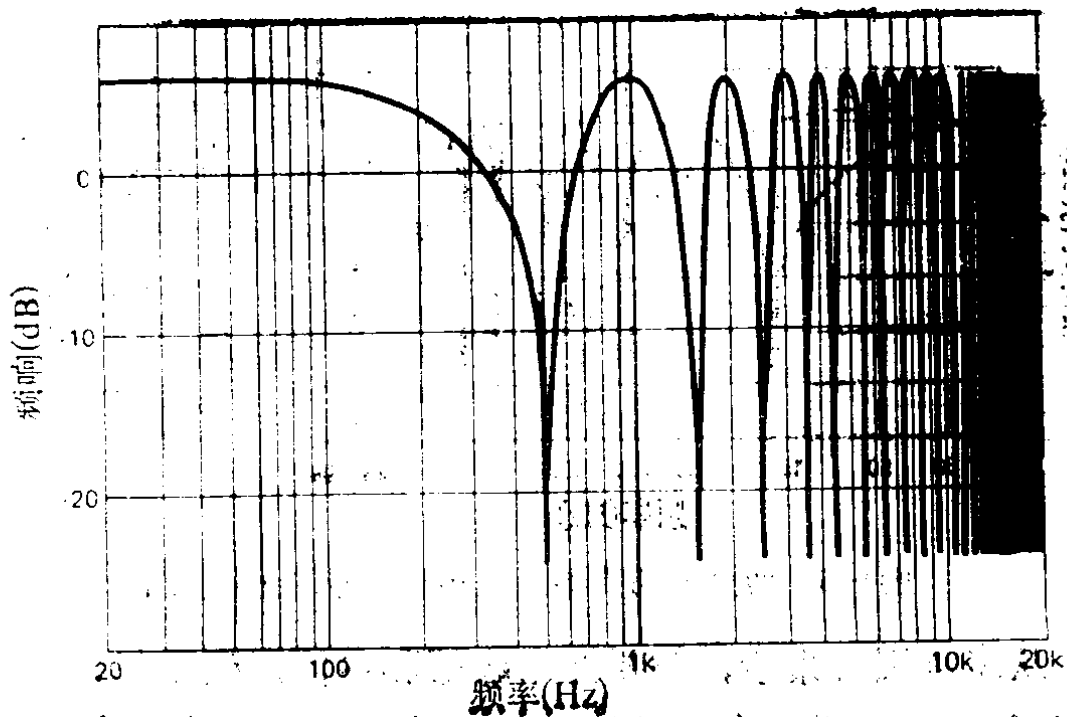


图1-4(b) 具有恒定时间延迟的相干正弦波信号合成

图 1-5 中给出了时延相干信号合成的典型例子。下面研究一个大家熟悉的室外音响系统。在该系统中，输入话筒的信号被放大后由两个完全相同但分开的扬声器输出。假设这两个扬声器被安装在舞台前面的两个角上，彼此相距 6 米（20 英尺），在与舞台垂直的水平中心平面上的任何距离处，两个扬声器的信号同时到达，但在其它任何地方，由于和两个扬声器之间的距离不等，所以其中一个扬声器的声音必定比另一个稍迟或稍早一些到达。试验表明，收听者所处的位置 A、B 仅仅变化 2.4 米（8 英尺），频响就会产生显著变化。

当用随机噪声信号做为测试信号时，如果从 B 点走到 A 点，将会听到一个几乎象警笛发出的“嗖嗖”声，若穿过中心线继续往前走，会重新出现这一现象。音质的变化在垂直于 AB 连线中心点的垂直平面附近最大，因为在这一区域，频率响应的峰值和谷值之间的频率间隔更大些。从图中能直观地看出这一结论。

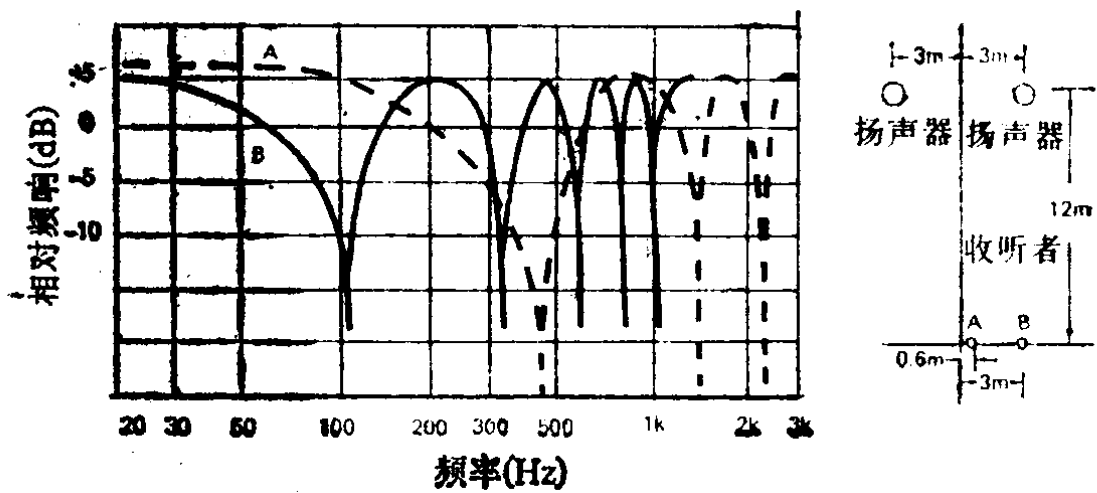
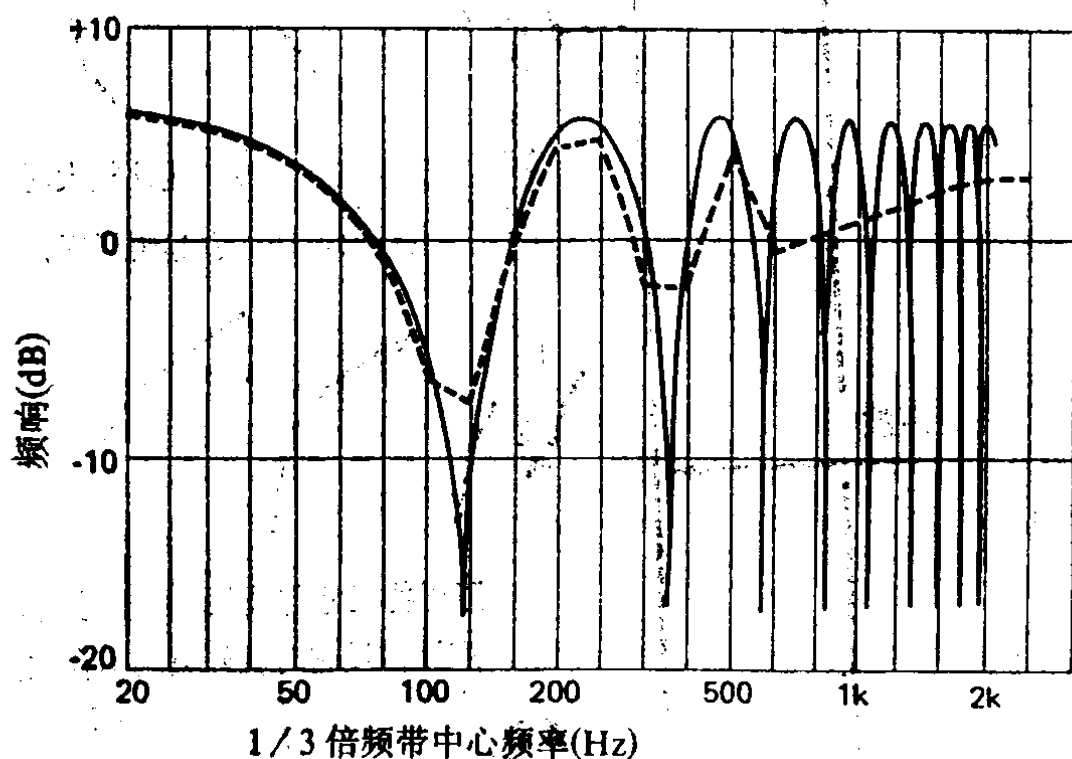


图1-5 两分离扬声器产生相干信号的干涉现象

从主观因素来看，只要几个峰值和谷值产生于每个 $1/3$ 倍频带内，这样一个梳状滤波器效应是不会引起特别注意

的。从图 1-6 可见，实际上起决定作用的是人耳的“临界带宽”，这是一种声学上已经进行了详细研究的音质现象。人耳不仅是一个极端灵敏的“话筒（传声器）”，还可以起到分析器的作用，而且具有相当大的选择本领。在有干扰作用的本底噪声下，人们能够听出某些特殊频率的声音，这就是说，人耳好象起了一组连续“滤波”带的作用。在描述电滤波器时，我们常用“频率带宽”一词，在对人耳进行分析时，同样也要用到这个名词。人耳的频带宽度通常叫“临界带宽”，是用人们在无规白噪声存在的情况下，能够鉴别一个纯音的本领来测定的。对于音响系统设计和建筑声学中的实际工程来讲，我们可以假设人耳的临界带宽非常接近 $1/3$ 倍频带宽。



实线：测得的正弦波频响。

虚线：1/3倍频带频响，当收听正常节目时与主观感受的音质相当接近。在 1kHz 以上，主观感受的频响基本上是平坦的。

图1-6 梳状滤波器频响的主观感受曲线

1.4 声波绕射

绕射是指声波传播中遇到障碍物时沿障碍物边缘弯曲的现象。当声波遇到坚硬而又无孔的障碍物时，就可能产生反射或绕射，这取决于障碍物相对于波长的尺寸。一方面，如果障碍物尺寸与声波波长相比较大时，它起到了障板的作用，大部分声波被反射，并在障碍物后形成相当大的“阴影区”，从而有效地挡住声波；另一方面，如果障碍物尺寸与声波波长相比较小时，声波就很容易绕过它，就象它根本不存在一样，这种情况在图1-7中给出。

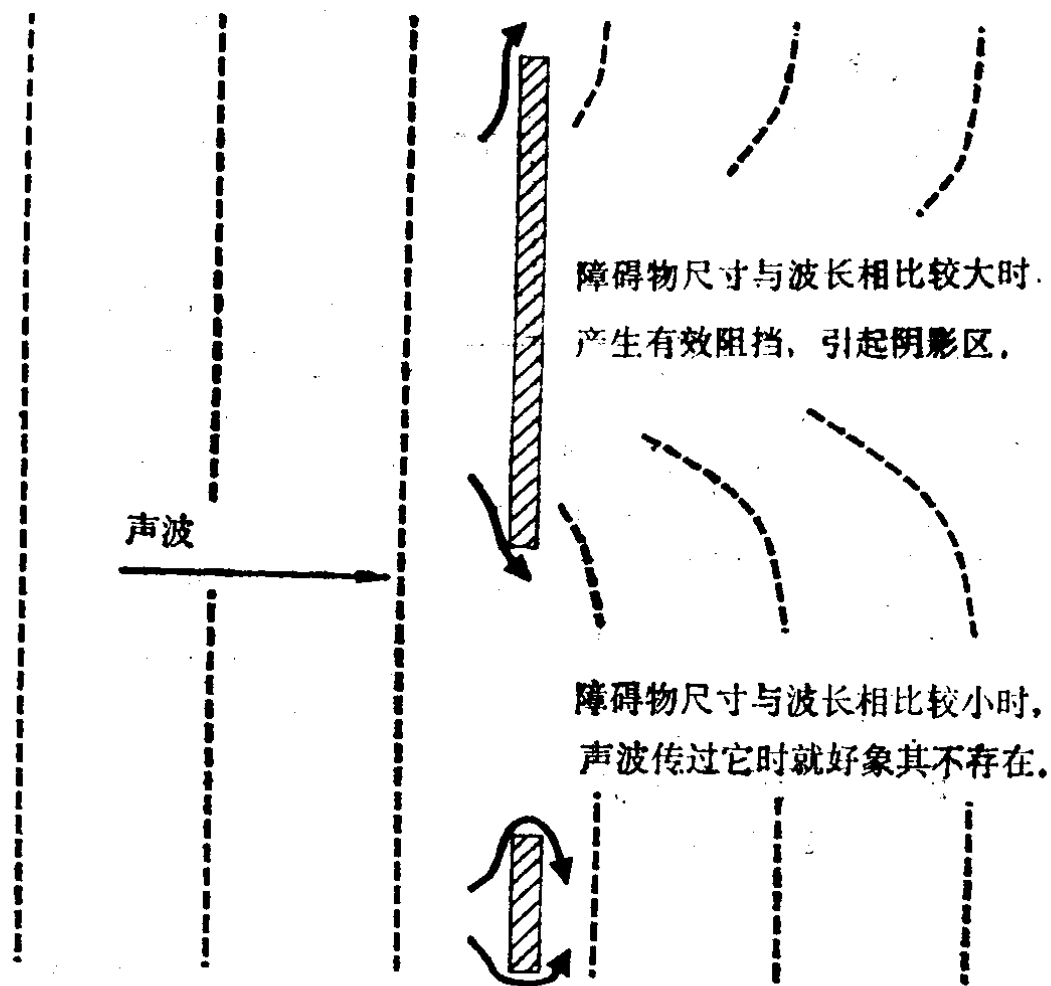


图1-7 声波绕过障碍物的绕射现象