

电声设备

——原理及维修

朱维仲 主编

兵器工业出版社

TN912.2

Z90

383053

电声设备

——原理及维修

朱维仲 主编

兵器工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电声设备原理及维修/朱维仲主编. —北京: 兵器工业出版社, 1995.8.

ISBN 7-80038-877-8

I. 电… II. 朱… III. ① 电声器件—基本知识 ② 电声器件—维修 IV. TN64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 11563 号

兵器工业出版社 出版发行

(北京市海淀区车道沟 10 号)

各地新华书店经销

北京昌平百善印刷厂印装

开本: 850×1168 1/32 印张: 8.25 字数: 210 千字

1995 年 7 月第 1 版 1995 年 7 月第 1 次印刷

印数: 2000 定价: 10.00 元

内 容 简 介

本书系统讨论了声音基本知识，人类听觉的主要特点、声学系统的分析方法以及调频立体声收录机、卡拉 OK 伴唱机各部分的工作原理和使用、维修知识，并对 CD 唱机和数字磁带录音机作了初步介绍。

全书概念清晰、叙述简明，具有一定的理论深度和实用价值。可作为大、中专院校的教材及广大电子爱好者、音响设备维修人员的参考读物。

前 言

近年来，随着人们物质、文化生活水平的提高，各种电声设备迅速地进入了每一个家庭。为满足社会对电声设备使用和维护的需要，我们编写了此书。

本书编写时，兼顾理论深度和实用知识，并力求取材新颖，反映当代电声技术的最新发展。理论部分，注重基本概念阐述，对声音信号的本质、人类听觉的主要特性以及声学系统的分析方法做了较为深入的讨论；实用知识方面，以调频立体声收录机、卡拉OK伴唱机为线索，对音响设备的各个主要部分（传声器、均衡放大器、功率放大器、扬声器）的工作原理、常用电路、使用维修等进行了深入分析，并对音响技术发展的最新成果——CD唱机和数字磁带录音机（DAT）做了初步介绍。各章后均附有思考题，供复习时参考。

本书可作为大、中专院校有关专业开设《电声设备》课程的教材，亦可供各种短训班、广大电子技术爱好者及音响设备维修人员使用参考。

全书共分八章，其中第七章由曲梅编写，第一、八章由曲梅、朱维仲编写，其余各章由朱维仲编写。

本书在编写过程中，参阅了大量有关这方面的文献，并得到了我院校、系领导和老师的大力的支持，在此一并表示感谢。

由于电声技术发展迅猛，新型器件和电路层出不穷。限于编者的水平，本书缺点和错误在所难免，诚恳希望广大读者批评指正。

编者 1994 12

于天津职业技术师范学院

目 录

绪论	(1)
第一章 电声基本知识	(4)
§ 1.1 声音基础知识	(4)
1.1.1 概念	(4)
1.1.2 声音的计量	(6)
1.1.3 常用音量表	(9)
1.1.4 声音的传播	(14)
§ 1.2 人类听觉特点	(15)
1.2.1 人对声音强弱的感觉——响度	(16)
1.2.2 人对声音频率的感觉——音调	(17)
1.2.3 人耳对音色的辨别能力	(19)
1.2.4 人耳听觉的延时效应	(19)
§ 1.3 立体声基本原理	(20)
1.3.1 人类听觉的定位特性	(20)
1.3.2 立体声的重现	(22)
§ 1.4 室内声的特点	(25)
1.4.1 室内声的组成	(25)
1.4.2 最佳混响时间	(26)
1.4.3 隔声	(28)
§ 1.5 高保真电声设备概述	(30)
1.5.1 高保真的含义	(30)
1.5.2 高保真放音设备	(31)
1.5.3 主要电声技术指标	(32)
附录 1.1 常用吸声材料和吸声结构的吸声系数	(35)

复习思考题	(36)
第二章 传声器	(38)
§2.1 概述	(38)
§2.2 传声器的指向特性	(39)
§2.3 电动式传声器	(43)
2.3.1 动圈传声器	(43)
2.3.2 带式传声器	(44)
§2.4 电容传声器	(45)
2.4.1 电容传声器的基本原理	(45)
2.4.2 电容传声器的前置放大器和幻相供电	(46)
2.4.3 复合式电容传声器	(48)
2.4.4 驻极体电容传声器	(51)
§2.5 传声器的技术指标	(52)
§2.6 传声器在使用中的注意事项	(55)
§2.7 传声器拾音方法简介	(56)
2.7.1 拾音的一般原则	(57)
2.7.2 立体声的拾音	(59)
复习思考题	(60)
第三章 磁带录音机	(62)
§3.1 概述	(62)
3.1.1 磁带录音机的组成	(62)
3.1.2 录放音基本过程	(63)
§3.2 录音磁带	(64)
3.2.1 磁带的构成	(64)
3.2.2 磁带的类型及特点	(65)
§3.3 消音原理	(66)
3.3.1 消音磁头	(66)
3.3.2 消音原理分析	(67)
3.3.3 对振荡器和磁头的要求	(68)

§3.4 录音原理	(69)
3.4.1 录音磁头	(69)
3.4.2 录音原理分析	(69)
3.4.3 录音频响与录音均衡	(72)
3.4.4 对录音系统的要求	(75)
§3.5 磁带放音原理	(76)
3.5.1 放音磁头	(76)
3.5.2 放音原理分析	(77)
3.5.3 放音高频损失	(79)
3.5.4 放音放大器的频率均衡	(82)
§3.6 录音机的噪声及降噪设备	(83)
3.6.1 记录带磁通强度	(83)
3.6.2 录音机的噪声	(84)
3.6.3 录音机的动态阈与信噪比	(85)
3.6.4 杜比降噪电路	(86)
§3.7 立体声的磁带记录	(92)
§3.8 录音机的机械传动系统	(93)
3.8.1 传动系统的作用及特点	(93)
3.8.2 传动系统的技术指标	(94)
3.8.3 录音机伺服电路	(96)
§3.9 录音机整机电路分析	(103)
3.9.1 磁带录音机的方框图	(103)
3.9.2 输入电路	(104)
3.9.3 自动电平控制 (ALC) 电路	(105)
3.9.4 录音电平指示电路	(107)
3.9.5 选曲电路	(111)
3.9.6 盒式收录机整机电路分析实例	(113)
复习思考题	(117)
第四章 高保真音频放大器	(119)

§ 4.1	概述	(119)
§ 4.2	前置放大器	(119)
4.2.1	音调控制器	(120)
4.2.2	响度补偿电路	(126)
4.2.3	高低音切除电路	(128)
4.2.4	立体声平衡控制电路	(129)
§ 4.3	功率放大器	(131)
4.3.1	并联供电的 OTL 功率放大器	(132)
4.3.2	集成功率放大器	(134)
附表 4-1 高保真家用声频放大器的最低电声技术		
	指标	(138)
	复习思考题	(138)
第五章 扬声器		(139)
§ 5.1	电—力—声类比	(139)
5.1.1	力学线路	(140)
5.1.2	声学线路	(145)
5.1.3	力学与声学混合线路	(150)
§ 5.2	电动扬声器	(152)
§ 5.3	扬声器的主要技术指标	(154)
§ 5.4	扬声器箱	(158)
5.4.1	干涉现象及声短路效应	(158)
5.4.2	扬声器箱的主要形式	(159)
§ 5.5	扬声器组合及分频电路	(161)
5.5.1	扬声器组合方式	(161)
5.5.2	分频电路	(162)
	复习思考题	(165)
第六章 调频立体声的广播与接收		(167)
§ 6.1	立体声广播的主要制式	(167)
§ 6.2	导频制调频立体声广播与接收	(171)

§ 6.3 立体声解码器	(173)
6.3.1 矩阵式解码器	(173)
6.3.2 开关式解码器	(174)
§ 6.4 集成电路开关式解码器	(176)
6.4.1 差分式开关解调电路	(177)
6.4.2 LA3301 立体声解码器	(180)
6.4.3 LA3361 锁相环立体声解码器	(184)
§ 6.5 实际立体声接收机电路分析	(187)
复习思考题	(188)
第七章 卡拉 OK 伴唱机	(190)
§ 7.1 概述	(190)
7.1.1 卡拉 OK 的由来及发展	(190)
7.1.2 卡拉 OK 机的结构原理	(191)
§ 7.2 卡拉 OK 伴唱机特殊电路	(192)
7.2.1 混音电路	(192)
7.2.2 歌声消除电路	(197)
7.2.3 延时混响电路	(199)
7.2.4 环绕立体声处理电路	(206)
§ 7.3 卡拉 OK 伴唱机整机电路分析	(209)
7.3.1 采用运放的双路 MIC 卡拉 OK 简易伴唱机	(210)
7.3.2 多功能卡拉 OK 伴唱机	(210)
7.3.3 采用数字延时混响器的卡拉 OK 伴唱机	(214)
附录 7.1 卡拉 OK 伴唱机维修概述	(216)
复习思考题	(219)
第八章 数字声频技术	(221)
§ 8.1 概述	(221)
8.1.1 数字音响技术的发展	(221)
8.1.2 脉冲编码调制 (PCM)	(222)
§ 8.2 数字音响基础	(223)

8.2.1	数字音响系统的基本构成	(223)
8.2.2	采样	(224)
8.2.3	量化	(225)
8.2.4	编码	(227)
8.2.5	误码校正	(228)
§8.3	CD 唱片和 CD 唱机	(234)
8.3.1	CD 唱片	(234)
8.3.2	CD 唱机	(237)
§8.4	数字磁带录音机	(242)
8.4.1	DAT 磁带和磁迹规格	(244)
8.4.2	DAT 系统的组成	(245)
	复习思考题	(249)

绪 论

声学是一门古老的科学，至今已有几千年的历史。而电声学是随着电子技术的发展和应用，近百年来才出现的一门新兴的学科。电声学的出现和发展与其它学科一样，为社会的进步和科学技术的发展做出了自己的贡献。

电声学首先是在可闻声领域发展起来的。因为人们首先提出来的需要就是如何对听觉功能感受到的可闻声进行加工、传播和长期地保留。

在声音传播方面，当美国艺术家莫尔斯在 1844 年发明了有线电报之后，自然就引起了人们的联想，如果能直接传送人的声音，亲自感受到真情实感不是更好吗！曾经做过聋哑学校教师的美国人亚历山大·贝尔研究过听、说的生理功能，后来受聘为美国波士顿大学声音生理学教授。他于 1873 年辞去了教授职务，开始专心研究电话，终于于 1876 年研制成实用的电话装置，并且成立了第一个电话公司，在世界历史上，第一次完成了声—电—声的转换，为人们的生活和工作提供了极大的便利，在近代应用科学技术方面开拓了一方新的领域。当然，这时的声音传送必须依靠传输电线。如果要从航行的船舶上与陆地通电话是不行的。后来马可尼在英国发明了无线电报。1901 年他在英国建立了一个特别高的发射塔，向空中发射的电磁波信号在大西洋彼岸都可以接收到。从此，便可以实现海陆联系，为现代的无线电广播的发展打下了基础。

随后人们开始研究无线电广播。1906 年 12 月 24 日，美国进行了人类历史上第一次实验性的无线电广播。此时，正是圣诞节的前夕，广播电台广播了圣经故事和唱片，最后祝听众圣诞快

乐。当时，正在船上工作的报务员从耳机中听到的不是滴滴嗒嗒的电报码声，而是人们的说话声和乐曲声，报务员们都惊呆了，他们甚至不敢相信自己的耳朵。无线电广播逐渐的完善，特别是在第一次世界大战的1914年到1918年期间，由于战争的需要加快了无线电技术的发展速度。

再看声音的存储。发明家爱迪生于1877年发明了圆筒留声机。爱迪生的留声机公司的宣传口号是“请你在家中欣赏歌剧”。虽然，现在这是一件非常普通的事，但在当时确实是激动人心的。所以，在本世纪最初的十年，留声机得以很快的普及和发展。

另一种声音记录仪器是磁带录音机，它是由丹麦科学家波尔森于1898年发明的。第一台录音机使用钢丝作为存储声音信号的磁性载体，以电话机的送话器和电话话筒作为声音的输入输出器件。磁带录音机技术的迅速发展和普及也是源于战争的需要。由于军事、情报和广播事业的需要，第二次世界大战后，录音机开始大量普及并民用。1951年，我国上海钟声电工社制成中国第一台钢丝录音机，两年后又制造出中国最早的磁带录音机。1950年，日本最早开始商业出售磁带录音机。

现在，无论是无线电广播，还是电唱机、录音机都已大大地发展了。从使用功能、外型到内部结构都与最初的形式有了较大的改进和发展。目前，比较流行的是“组合音响”，或者称之为“家庭音乐中心”。它集收音、电唱、磁带录音机于一体，采用高品质的放大、音箱等设备，以获得高品质的音响效果，不仅音质优美动听，而且目前也成为家庭环境的装饰品。

随着科学技术的发展，特别是无线电技术的发展，使电声技术的发展和电声学的研究领域及范围在不断地拓宽和深入。现代电声学的研究范围已经超出了最初的可闻声领域，如超声电声学，次声电声学等。电声技术在工业、农业、现代军事、国防、医学及其它许多领域中得以广泛的应用。

随着计算机使用的广泛普及，计算机技术日新月异的飞速发展，为电声学的研究和电声技术的应用又开拓了一片新天地。声音信号的数字分析、存储等数字处理技术，更有效地抑制了噪声的影响，使音质更好，音响效果更加舒适悦耳。计算机数字技术在电声学中的应用，必将使电声学的研究和电声技术的应用得到更快的提高和更大的发展。

本书研究的重点是可闻声电声学和电声设备(传声器、扬声器、磁带录音机、卡拉OK伴唱机及立体声的广播与接收)，并介绍数字声频技术的基本知识。

声学是一门综合科学。就技术而言，除电声设备的好坏外，还包括建筑结构、环境等方面问题。对声音的评价(如音乐)，除了有技术问题外，还有艺术观点，人的情绪，心理状态的影响等。对此，在本书中只偶尔涉及，不作专门讨论。

第一章 电声基本知识

电声学是研究声电相互转换的原理和技术以及声信号的储存、加工和测量的科学。随着电子技术的发展，古老的声学被赋予了新的生命。电声技术被应用到了现代工业、现代农业、现代医学、现代国防和现代文化教育等许多领域。特别是对可闻声进行加工处理的电声设备，已成为人们物质文化生活中不可缺少的一部分。为此，有必要将可闻声及其特点进行简单的介绍。

§ 1.1 声音基础知识

如前所述，电声学的研究范围和应用领域已愈来愈广泛。人们早已熟知了的录音机、电化教学、立体声音响等可闻声电声技术正以其锐不可挡的势头向更新的方向前进。声音是怎样产生的？如何描述声音呢

1.1.1 概念

一个正常的健康人可以听到自然界中各种各样的声音。声音是声波作用于人耳使人产生的一种感觉。这是正常人所具有的一种生理功能——听觉。声波是一种机械波，是机械振动在媒质中的传播。最简单的振动是简谐振动，例如音叉的振动，其振动方程为

$$x = A \cos(\omega t + \varphi) \quad (1-1)$$

机械振动在媒质（空气、液体、固体）中传播时，先引起其周围媒质质点的振动，由于质点间以弹性力互相联系着，故引起较远质点的振动，于是振动就以一定的速度由近及远地向各个方向传播出去，从而形成了波动。

声波可以在气体中传播，也可以在液体和固体中传播。从生理学上讲，声波经传导进入大脑听中枢有两种途径。一种是鼓膜的振动传入内耳叫空气传导。另一种是外界空气振动经颅骨、耳蜗骨壁传入内耳叫骨传导。空气传导比骨传导效率高得多。由于声波所具有的波动现象，因此它具有一般波动现象所共有的特性，如反射、折射、干涉现象等。

由于声波的频率不同，幅值各异以及波形不同，人耳听到的自然界中的声音各种各样，高低不同。在可闻声领域里，声音尖锐者其频率高，反之频率低。声波按其频率范围可划分为：

声波	次声波	$< 20\text{Hz}$	(不可闻声波)
	声频波	$20\text{Hz} \sim 20\text{kHz}$	(可闻声波)
	超声波	$> 20\text{kHz}$	(不可闻声波)

声频波作用于人耳，只要具有一定的强度，就会产生足够的刺激，使大脑中枢产生声音的感觉。但是，由于人存在生理、年龄等差异，同样的声波在不同的人中，会产生不同的感觉。同样地，对不同频率声音的敏感度（听阈）和对该频率声音所能忍受的最大强度（最大可听阈）也因人而异。仅从可闻声的高频声来讲，儿童可听到 20kHz ，中年人可能听到 17kHz ，大多数的老年人只能听到 13kHz 左右。另一方面，可以用音调、音强和音色来描述对声音的感觉。第一，由于声波频率的不同，人的听觉感受便有音调高低之分。第二，由于声波振幅的不同，听觉便有音强音弱的差异。声波振幅大者，感觉声音强，振幅小者感觉弱。因此，不能将声音的高低和声音的强弱混同起来。第三，自然界中存在的声音绝大多数是由若干纯音构成的复合音。其中，频率最低、振幅最大者叫基音，其余的称为泛音。成分不同的复合音在人的听觉中引起的音感也不一样，即音色不同。例如，不同种类的乐器（如短笛和二胡），虽然可使它们发出频率与强度都相同的声音，但人听觉感受到的音色是不一样的，这是因为两者的泛音不尽相同的缘故（见图 1-1 说明）。

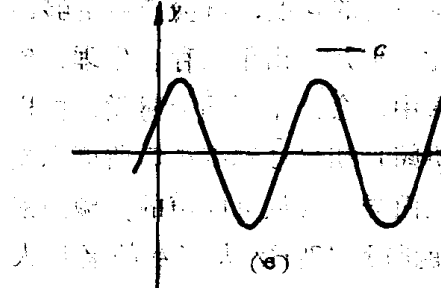
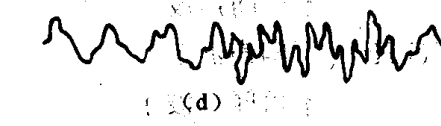
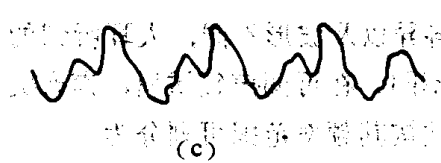
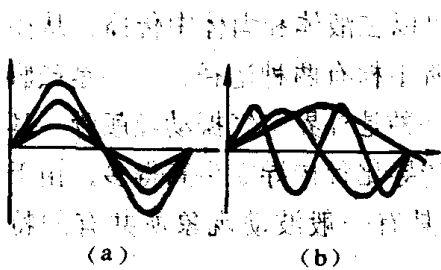


图 1-1 声波波形图

(a) 频率相同, 振幅不同的三条声波曲线;

(b) 振幅相同, 频率不同的三条声波曲线;

(c) 一种管风琴乐曲, 有周期性的复合音;

(d) 铃响的噪音, 不规则声波, 无周期性;

(e) 声波的传播

声音是由声源产生的。声源是引起声波的物体。声波所及的空间范围称为声场。声场和电磁场一样, 也可以通过一些参数来描述。

声波是一种纵波, 当它在空气中传播时, 引起空气疏密的变化。自由声场中媒质的任一点的振动方程为

$$y = A \cos \omega \left(t - \frac{x}{c} \right) \quad (1-2)$$

式中: y —— 位移;
 c —— 声波传播的速度。

为简化讨论过程, 在以后的内容中都设波为平面波。

1.1.2 声音的计量

尽管声音是人的一种感觉, 但声波是可以客观物理量来描述的。通常用声压、声强和声强级来计量声波的大小。

一、声压 (p)

声压是声场中某处由声波引起的媒质压强的变化值。在静止的空气中存在着

均匀的大气压强。在海平面处标准大气压为 $1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$, 波在空气中传播时, 空气中各部分会产生周期性的压缩和膨胀, 即