

实用

# 音频

# 功放制作

Y  
P  
G  
T



主编 王一群



福建科学技术出版社  
FUJIAN SCIENCE & TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

# 高频 实用 江苏工业学院图书馆 功放制作

主编 王一群  
编写 刘征宇 王一群  
蔡坚勇 林卫民  
陈凤斌

基本书库藏书

## 图书在版编目 (CIP) 数据

实用音频功放制作/王一群 编.—福州:福建科学技术出版社,2008.5

ISBN 978-7-5335-3160-7

I. 实… II. 王… III. 音频放大器—基本知识 IV. TN722.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 023573 号

书 名	实用音频功放制作
编 者	王一群
出版发行	福建科学技术出版社 (福州市东水路 76 号, 邮编 350001)
网 址	www.fjstp.com
经 销	各地新华书店
排 版	福建科学技术出版社排版室
印 刷	福州德安彩色印刷有限公司
开 本	850 毫米×1168 毫米 1/32
印 张	6.5
字 数	143 千字
版 次	2008 年 5 月第 1 版
印 次	2008 年 5 月第 1 次印刷
印 数	1—4 000
书 号	ISBN 978-7-5335-3160-7
定 价	12.80 元

书中如有印装质量问题,可直接向本社调换



# 前言

本书是以普及音响实用知识为目的，为电子爱好者学习音频功率放大器的工作原理、安装调试和检修技术而编写的。本书强调实用，注重动手能力的培养。书中列举的实践机型，其元器件在市面上都可以购买到。在介绍音频功率放大器的安装、调试和检修方法的同时，我们对初学者在装调音频功率放大器过程中常遇到的一些问题和应注意的事项作了详细说明，并对常见的典型故障的检修作了实例分析。我们希望广大读者一边动手制作音频功率放大器，一边学习本书。这样，读者能更快更深入地学习音响技术，体会不同元器件、不同电路对音频功率放大器放音音质的影响，正确掌握调整方法，同时能在理解音频功率放大电路基本工作原理的基础上，掌握音频功率放大器的制作和检修技术。

本书共分六章，内容由浅入深，由简到繁。前二章介绍音频功率放大器的基本知识，第三、四章分别介绍由分立元器件和集成电路制作的音频功率放大器，第五章介绍功放附属电路的制作。第六章介绍了初学者在初次组装音频功率放大器时因基础不扎实、经验不足而引起的一些故障的检修方法。

建议初学者先购买制作音频功率放大器的元器件，然后通过基础知识的学习，结合实物以介绍的电路为动手实践对象，循序渐进。这样就能很快地敲开音响世界的大门。

本书既可作为电子爱好者的自学读物，也可作为音响技术、家电维修技术和就业上岗的培训教材。

本书由王一群、陈凤斌、蔡坚勇、刘征宇、林卫民编写，王

一群任主编。

由于作者水平有限，书中错误在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

2007年7月



# 目 录

<b>第一章 概述</b> .....	(1)
一、音频功放的发展历史 .....	(1)
二、音频功放的技术指标 .....	(3)
(一) 频率响应 .....	(4)
(二) 谐波失真 .....	(5)
(三) 信号噪声比 .....	(6)
(四) 互调失真 .....	(7)
(五) 相位失真 .....	(7)
(六) 瞬态响应 .....	(7)
(七) 瞬态互调失真 .....	(8)
(八) 交越失真与削波失真 .....	(9)
(九) 额定功率与功率储备 .....	(9)
(十) 阻尼系数 .....	(11)
(十一) 转换速率 .....	(11)
三、影响音响系统音质的主要因素 .....	(12)
(一) 放音音源 .....	(12)
(二) 音箱及其布局 .....	(12)
(三) 电源 .....	(13)
(四) 功放线路布局 .....	(14)
<b>第二章 音频功放基本电路</b> .....	(20)
一、甲类功率放大器 .....	(20)

二、乙类功率放大器 .....	(21)
(一) OTL 功率放大器 .....	(22)
(二) OCL 功率放大器 .....	(24)
(三) BTL 功率放大器 .....	(26)
三、甲乙类功率放大器 .....	(27)
四、丁类功率放大器 .....	(32)
五、超甲类功率放大器 .....	(33)
六、集成功率放大器 .....	(35)
(一) 差动式放大电路 .....	(35)
(二) 抑制零点漂移 .....	(38)
(三) 差动式放大电路几种接法 .....	(39)
(四) 集成功率放大器组成原理 .....	(42)
<b>第三章 分立元器件功放制作 .....</b>	<b>(48)</b>
一、简易优质 OTL 功率放大器 .....	(48)
(一) 电路工作原理 .....	(48)
(二) 安装与调试 .....	(53)
二、高保真 OCL 功率放大器 .....	(57)
(一) 电路工作原理 .....	(57)
(二) 安装与调整 .....	(62)
三、2N3055/MJ2955 功率放大器 .....	(66)
(一) 功放电路工作原理 .....	(66)
(二) 电源电路 .....	(67)
(三) 安装与调试 .....	(67)
四、MOS 场效应管功率放大器 .....	(70)
(一) 电路工作原理 .....	(70)

(二) 安装与调试 .....	(71)
五、功放电源 .....	(76)
(一) 元器件选用 .....	(77)
(二) 制作实例 .....	(78)
(三) 故障分析及检修 .....	(81)
<b>第四章 集成电路功放制作 .....</b>	<b>(83)</b>
一、集成电路功放设计要点 .....	(83)
二、STK4191 厚膜集成功放 .....	(86)
(一) STK4191 厚膜集成器件 .....	(86)
(二) 电路设计与制作 .....	(88)
三、LA4100/4101/4102 功率放大器 .....	(92)
(一) LA4100/4101/4102 集成电路 .....	(92)
(二) 电路设计与制作 .....	(94)
四、LM377/378/379 功率放大器 .....	(95)
(一) LM377/378/379 集成电路 .....	(95)
(二) 电路设计与制作 .....	(96)
五、TDA2030 功率放大器 .....	(98)
(一) TDA2030 集成电路 .....	(98)
(二) 电路设计与制作 .....	(100)
六、TDA1521/A 功率放大器 .....	(105)
(一) TDA1521/A 集成电路 .....	(105)
(二) 电路设计与制作 .....	(105)
七、TDA1514A 功率放大器 .....	(109)
(一) TDA1514A 集成电路 .....	(109)
(二) 电路设计与制作 .....	(110)



八、STK4036 XI 功率放大器 .....	(117)
(一) STK4036 XI 集成电路 .....	(117)
(二) 电路设计与制作 .....	(118)
九、LM1875 功率放大器 .....	(120)
(一) LM1875 集成电路 .....	(120)
(二) 电路设计与制作 .....	(122)
十、LM3875T/3876T 功率放大器 .....	(126)
(一) LM3875T/3876T 集成电路 .....	(126)
(二) 电路设计与制作 .....	(128)
十一、LM12 运放 .....	(131)
(一) LM12 集成电路 .....	(131)
(二) 电路设计与制作 .....	(133)
十二、LM4766 功率放大器 .....	(134)
(一) LM4766 集成电路 .....	(134)
(二) 电路设计与制作 .....	(138)
十三、LM4780 功率放大器 .....	(141)
(一) LM4780 集成电路 .....	(141)
(二) 电路设计与制作 .....	(145)
十四、LM4912 耳机功率放大器 .....	(149)
(一) LM4912 集成电路 .....	(149)
(二) 电路设计与制作 .....	(151)
<b>第五章 音频功放附属电路制作 .....</b>	<b>(152)</b>
一、输入信号选择电路 .....	(152)
(一) 信号源分类及特点 .....	(152)
(二) 电路工作原理 .....	(153)

(三) 制作与调试	155
二、音调控制	159
(一) 电路原理及设计	159
(二) 元器件选用	160
(三) 制作与调试	162
三、扬声器保护电路	162
(一) 电路原理及设计	163
(二) 元器件选用	165
(三) 制作与调试	167
<b>第六章 音频功放常见故障检修</b>	<b>168</b>
一、完全无声	168
二、声音小	169
三、输出端中点直流电压失常	171
四、元器件发热	172
(一) 电阻发热或冒烟	172
(二) 散热器发烫	173
五、声音故障	175
(一) 音质不好	175
(二) 噪声大	176
(三) 自激啸叫	177
附录一 自制印刷电路板步骤	179
附录二 常用分立器件参数	181
附录三 常用集成功放电路参数	184
附录四 简易音箱制作	193

## 第一章 概述

### 一、音频功放的发展历史

电子管于 1904 年问世，由电子管组成的音频放大器是出现最早的音频放大器，它在音响技术发展史上曾经辉煌过。

20 世纪 60 年代以前，在音响领域占统治地位的一直是用电子管装置的各种音响设备，那时负反馈（NFB）技术已成功地运用于音频功率放大器中。威廉逊放大器、超线性放大器及其改进机种有力地推动了高保真技术的发展，一批名机先后涌现，并以优美的音质使电子管音频功率放大器在 20 世纪 50 年代中期达到鼎盛。

1947 年贝尔实验室的三位物理学家 William Shockley、John Bardeen 和 Walter Brattain 发明了晶体管（1956 年他们因此获诺贝尔物理学奖）。这之后的十余年间，晶体管被广泛应用于电子技术的各个领域，由晶体管制作的音频功率放大器也层出不穷。由晶体管制作的音频功率放大器完全克服了电子管音频功率放大器的三大弱点（一是电子管阴极需灯丝加热后才能发射电子，电能损耗较大，功放效率降低，并使其本身成为一个热源；二是电子管寿命短，防振与防机械冲击能力也低；三是电子管功放的体积、重量太大），并具有良好的音色，因而在音响系统中确立了其地位。当时由于晶体管技术的飞速发展，电子管逐渐销声匿迹，几乎退出了历史舞台。然而电子管音频功率放大器信号的

过载承受能力明显优于晶体管，在同功率等级及相同的工作条件下，电子管音频功率放大器的音质会比晶体管音频功率放大器更好一些，其低频声柔和、浑厚优美，高频声纤细而洁净。电子管音频功率放大器所需的功率储备量小（一般小于晶体管音频功率放大器的功率储备量的一半），开环指标较好，负反馈加得不深，所以一般不存在瞬态互调畸变，且其热稳定性也极好。作为音频功率放大器主要器件的电子管，在规定的使用寿命内一般不易损坏。因此在某些不计较设备的尺寸、重量与用电量的场合，电子管音频功率放大器仍备受人们重视。当20世纪80年代初数码音源（CD机等）出现时，人们发现其音质生硬、偏“冷”，不如以前使用的模拟音源（LP、磁带）自然、舒服，总有一种“数码声”的感觉。当人们将数码音源接入电子管音频功率放大器时，这种“数码声”就得到了很大的改善，因此数码音源的出现对电子管音频功率放大器的发展起到了一定的推动作用。在一些先进发达的国家，电子管又东山再起，并有越来越热的趋势，其产品以美国的ARC、CJ、TVA，法国的Jadis，以及日本的LUXMAN等为代表。20世纪90年代，我国的电子管音响也进入了辉煌时期，以广州、深圳、珠海地区为代表的电子管音频功率放大器发展迅速。

20世纪70年代以来，制造晶体管的硅单晶片纯度的不断提高，使晶体管的工艺技术不断完善。新的晶体管音频功率放大器电路不断涌现，从单端推挽方式发展到对称互补的OCL、DC、CL方式，从甲类工作方式发展到乙类、甲乙类、丁类工作方式，电路增益大大提高，功率放大器的低频和高频特性得到了明显改善。无负反馈晶体管音频功率放大器电路的出现，打破了传统负反馈电路的设计，解决了晶体管音频功率放大器易瞬态互调



失真和高频相位反转等问题，使晶体管音频功率放大器的音色有了明显提高。

1978年以后，超甲类、新甲类等放大器以其高效率、低失真等特点成功地解决了甲类、乙类放大器不能两全其美的问题。到了20世纪90年代，许多晶体管音频功率放大器的指标已相当高：输出功率超过100W、谐波失真低于0.01%、频响范围5Hz~20kHz、信道分离度和信噪比大于90dB等等，这些指标使晶体管音频功率放大器的音色能与电子管音频功率放大器相媲美。

随着半导体工艺技术的不断完善，集成电路以其质优、价廉的特点，开始应用于音频功率放大器。最初的集成电路音频功率放大器均以厚膜电路为主，由于音频专用集成运算放大器和由场效应管制作的集成音频功率放大器的面市，这个局面已被打破。目前应用于音频功率放大器的厚膜电路的性能指标为：总谐波失真（THD）小于0.008%，频响20Hz~100kHz，输出功率大于100W。高性能的厚膜集成电路系列有日本三洋公司的STK系列、荷兰飞利浦的TDA系列、美国国家半导体公司的NSC系列等。由以上系列集成电路制作的音频功率放大器以其低失真、高稳定性和高性价比而被广泛应用于各个领域。

## 二、音频功放的技术指标

音频功率放大器是放音系统的重要组成部分，基本上决定了放音系统的电性能。有效的音频功率放大器的技术指标应该与听音评价统一，即音频功率放大器技术指标好，则对应的主观听音评价就高。

早在20世纪20~30年代，音响设备已经形成了三大技术指

标：频率特性、谐波畸变（失真）、信号与噪声比（简称信噪比）。但人们很快就发现这3个指标不能完整地描述音响设备的放音质量，技术指标（客观评价）与听音评价（主观评价）之间会出现不一致，有的音频功率放大器的技术指标高但主观评价效果却不好。

20世纪40年代末，人们提出了互调失真的概念，认为谐波失真的测量是用单一频率信号来进行的，而音乐、语言信号是由多个频率信号组成的，因此谐波失真不能反映音频功率放大器是否工作在非线性状态下，但听音评价结果发现互调失真的确与音质有关。谐波失真与互调失真既有联系但又不能相互取代。

20世纪60年代末，人们开始重视动态指标的研究，并发现使用脉冲信号测量可以反映音响设备对音乐、语言的跟随能力，这就是瞬态响应的概念。人们起初用方波信号作为信号源来进行测量，后来改用猝发声系列，如玻璃的粉碎音、盛夏的雷鸣声、暴雨声、波音747飞机起飞-远离-着陆的轰鸣声、3m直径的大鼓声、深山古寺的钟声等。加上动态指标后，音频功率放大器的技术指标才可能更好地说明主观听音评价的结果。音频功率放大器的技术指标很多，下面介绍其中最重要的几项。

### （一）频率响应

频率响应是指放大器对声音信号中各种频率分量的放大能力，它表明了放大器中通频带的宽度以及在通频带内放大各频率分量的不均匀性等。理想的频率响应在通频带内应是非常平直的，即放大器的输出信号电压沿频率坐标的分布近似于一条水平直线，直线平直说明对各频率分量的放大是均匀的。所谓通频带宽度是指输出信号电平下降3dB处的上限频率值与下限频率值

之差。如图 1-2-1 所示即为音频功率放大器的频率响应曲线。

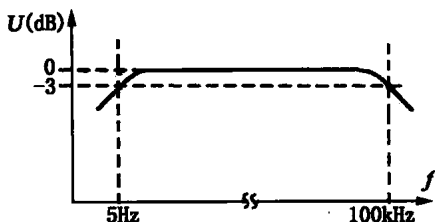


图1-2-1 音频功率放大器的频率响应曲线

人类的听觉范围是  $20\text{Hz} \sim 20\text{kHz}$ ，但为了改善瞬态响应以及如实地反映各种声音信号的特点，一般对音频功率放大器要求要有更宽的通频带，例如从  $5\text{Hz} \sim 100\text{kHz}$  甚至更多，带内不均匀度应小于  $1\text{dB}$ 。各种乐音音色的不同是由其频谱的构成来区分的，带宽上限的扩张可保证放大器超音频谐波的重放，下限的扩张可保证次声波的重放，从而使音频功率放大器所播放的各种乐器的音色更丰满、清晰、动听。如果音频功率放大器的频率响应不够宽，则放音时会感到声音干硬，在一些音色相近的乐器齐奏时就不易分辨出来。

总之，功率放大器的频带越宽越好，而其后紧跟的正负分贝数越小越好。但分贝数也不能太小，否则其前面的带宽再宽也是没有意义的。GB/T14200-93 规定高保真音频功率放大器增益限制的有效频率范围最低要求为  $40 \sim 16000\text{Hz}$ ，对于无均衡的输入端，相对于  $1000\text{Hz}$  的容差在  $\pm 1.5\text{dB}$  之内；对于有均衡的输入端，相对于  $1000\text{Hz}$  的容差在  $20\text{dB}$  之内。

## (二) 谐波失真

由于音频功率放大器的非线性会使其输出信号中产生许多新

的谐波分量，这些谐波分量的均方根的和即为总谐波分量。谐波失真用总谐波失真量和输出信号百分比来描述的，也称谐波畸变，是音响设备性能的另一个重要技术指标。当音乐或语言节目经过有谐波失真的放大器后，节目就会失真。当谐波失真严重时，声音听起来会有发酸的感觉，谐波失真用谐波失真系数来计算。

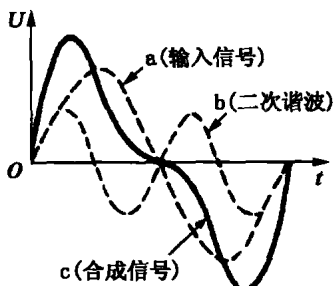


图 1-2-2 二次谐波失真

图 1-2-2 中，a 线为输入放大器的正弦波信号，b 线为放大器输出信号中新产生的二次谐波信号，c 线为输入信号和二次谐波信号的合成信号。由图可见，合成信号波形产生了较大的失真，当然新产生的谐波分量还会有三次甚至更高次的谐波。一般说来，谐波阶次越高，则其幅度越小，对听觉的影响也越小。另外，谐波失真还与信号的频率以及输出功率有关，也就是说谐波失真是信号频率的函数，当放大器接近于预定的最大输出功率时，谐波失真将急剧增大，因此放音时应让实际放音功率远小于最大输出功率。

### (三) 信号噪声比

信号与噪声的比，简称信噪比，是指信号功率与无信号输入时的噪声功率之比，通常用分贝数来计量。信噪比越大，则放大器的性能越好。

信噪比高意味着听音时“干净”，特别是在信号间隙时会感到非常寂静。当听音时能感到“动态范围大”、“音质清晰”、“干净”、“细致”时，信噪比大约要超过 100dB。如果信噪比在



80dB 以下，听音时就能明显听到“沙沙”声了。

#### (四) 互调失真

当两个或两个以上不同频率的信号输入放大器后，由于音频功率放大器的非线性，其输出信号除原输入的信号外，还新产生了两个输入信号的和信号和差信号。例如输入放大器的两个信号的频率分别为 300Hz 和 500Hz，那么输出信号中除了这两个频率的信号外，还多出了  $(500 - 300) \text{ Hz} = 200 \text{ Hz}$  的差信号和  $(500 + 300) \text{ Hz} = 800 \text{ Hz}$  的和信号。新产生的两种谐波分量即构成了互调失真，由于互调失真信号与自然音调无相似之处，所以听起来令人生厌。

#### (五) 相位失真

相位失真也称相位畸变，是指音频功率放大器在工作频段内的输出信号与输入信号之间的相位差。相位失真通常以工作频段内的最大相移与最小相移之差来表示，是信号频率的函数。

相位失真与音频功率放大器的输出功率有关，所以应在音频功率放大器的额定工作状态下进行测量。另外相位失真不但与瞬态响应有关，而且与近些年来才受到重视的瞬态互调失真有着密切的关系。对高保真音频功率放大器，要求其相位失真在  $20 \sim 20000 \text{ Hz}$  范围内应在  $\pm 5\%$  以内。

#### (六) 瞬态响应

瞬态响应也称作瞬态畸变，是指放大器对瞬态信号的跟随能力。打击乐器、弹拨乐器都能产生猝发声脉冲，即瞬态信号。当瞬态信号输入到音频功率放大器的输入端时，如果放大器的瞬态