

无线电 精汇

经典音频功率放大器制作

Classic Audio Power Amplifier DIY projects

40例

■ 《无线电》编辑部 编
门宏 审



A类 B类 A-B类 D类

前级 后级 混合级 耳放

晶体管功放 电子管功放

电路布局 元器件选型 装配详解 听音感受


独特的设计思路 详尽的DIY资料 经典的制作方案

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

经典音频功率放大器制作 40例

Classic Audio
Power Amplifier
DIY projects

■ 《无线电》编辑部 编
门宏 审



人民邮电出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

经典音频功率放大器制作40例 / 《无线电》编辑部
编. — 北京: 人民邮电出版社, 2014. 6
(《无线电》精汇)
ISBN 978-7-115-34955-2

I. ①经… II. ①无… III. ①音频功放—制作 IV.
①TN722.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第079152号

内 容 提 要

《经典音频功率放大器制作40例》是“《无线电》精汇”丛书中的一本,精选了40个经典的音频放大器设计与制作项目,包括晶体管放大器、电子管放大器、集成电路放大器、混合式放大器等。实例中,既有经典的大功率音频放大器制作项目,也有近年来流行的小功率耳机放大器制作项目。

音频放大器是音响发烧友必不可少的听音设备,设计、制作音频放大器也成为很多爱好者或专业人士热衷的项目。本书精选的实例内容丰富、实用性强,是近年来音频放大器制作领域的优秀作品,值得读者学习与借鉴。

本书不仅适合电子爱好者、音响DIY发烧友和音响设计专业人士阅读,还可以为大中专学校师生开展电子科技实践活动提供有益的参考。

◆ 编 《无线电》编辑部

责任编辑 房 桦

责任印制 周昇亮

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京鑫正大印刷有限公司印刷

◆ 开本: 800×1000 1/16

印张: 21

2014年6月第1版

字数: 386千字

2014年6月北京第1次印刷



定价: 59.00元

读者服务热线: (010)81055339 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京崇工商广字第0021号

前言

无线电制作向来都是无线电爱好者、特别是DIY一族的最爱。《无线电》杂志自1955年创刊以来,历经近60年、出版600余期,刊登了大量知识性、趣味性、可操作性俱佳的无线电制作文章,伴随着一代又一代无线电爱好者成长,拥有了一批又一批无线电和电子技术的粉丝。现在很多从事电子技术工作的专家、教授都出自当年的青少年无线电爱好者。有的无线电爱好者虽然没有从事电子技术专业工作,但他们能把自己的专长运用到工作中,使电子技术在其他领域得到了广泛的应用和发展。《无线电》杂志为自己在“科普、创新、实作、分享”当中不懈努力、得到众多粉丝认可感到欣慰。

电子科学技术的发展是一个国家科学技术进步的重要标志之一。普及无线电和电子科学技术既是国家科学技术发展的需要,也是培养新世纪科技人才的需要,更是《无线电》杂志义不容辞的职责。为此,我们适时地把《无线电》杂志上介绍过的、优秀的制作类文章,认真精选汇编成书,以方便广大读者,延伸《无线电》杂志的科普服务功能。

2001年汇编出版了第一本《无线电制作精汇》,精选汇集了《无线电》杂志发表的7大类382个制作项目。2005年汇编出版了《无线电制作精汇(2)》,精选汇集了第一本《无线电制作精汇》以后《无线电》杂志发表的8大类200个制作项目。这些书自出版以来一直受到读者的欢迎并不断重印。

应广大读者要求,我们汇编了“《无线电》精汇”系列图书,内容取自《无线电制作精汇(2)》以后、特别是近年来《无线电》杂志发表的优秀制作类文章。书中内容既有传统的经典无线电与电子制作,又有体现时代特征的单片机应用开发制作,以及新世纪创意迸发的开源制作项目。这些项目既可以用于业余和课外电子制作活动,又可以用于改进家用电器的功能,还可以用于开发电子产品。

“《无线电》精汇”系列图书内容丰富、信息量大、涵盖技术领域宽广、资料齐全、实用性强,是广大电子技术人员、科研人员、电子爱好者的重要参考手册,也是大中专学校学生开展电子科技实践活动的得力指导书籍。

《无线电》编辑部

目录

经典篇

煮书

第一章 晶体管放大器

- ① 分体式“可变声道”功放的设计与制作 4
- ② 200W 超平衡功率放大器的设计与制作 13
- ③ 打造精品 Audio 功放 27
- ④ 小甲诞生全记录
——25W 晶体管甲类 Hi-Fi 功率放大器 41
- ⑤ 一款为书架箱设计的“胆味”晶体管
功放 50
- ⑥ 打造超强的 Hi-Fi 桌面功放 62

第二章 电子管放大器

- ⑦ 威廉逊放大器自制详解 72
- ⑧ 低成本靓声电子管放大器 84
- ⑨ 电子管功放 DIY——“鱼与熊掌兼得” 91
- ⑩ 低内阻三极管 6C19 功率放大器 100
- ⑪ 一款 805 单端甲类功放的设计制作 109

第三章 集成电路放大器

- ⑫ 超强高性能的小功率纯后级 LPUHP 118
- ⑬ 我的 LM4780 功放制作实战 127
- ⑭ 桌面功放的设计与制作 135
- ⑮ 性能优良的多媒体数字功率放大器的
设计与制作 148
- ⑯ 使用开关电源的高保真功放 156

第四章 混合式放大器

- ⑰ 纯后级 A 类混合功放的制作 170
- ⑱ IRS2092 试用记
——大功率 D 类功放制作实战 181
- ⑲ “A10”的诞生
——一部功放整机的设计制作 189
- ⑳ 2 × 100W 甲乙类胆石组合功放的制作 197

CONTENTS

耳放篇

目录

第五章 晶体管耳机放大器

- 21 PANDA MK2 升级版耳放套件 208
- 22 JLH1969 OTL 耳放制作 213
- 23 8 管 OTL 耳放 220
- 24 场效应管耳机放大器 DIY 手记 223
- 25 TW-J9 小型晶体管耳机放大器 230
- 26 为 HA-1 耳放搭配电源 234

第六章 电子管耳机放大器

- 27 发现被埋没的靓管之旅——电子管耳放 238
- 28 用 6C16 制作靓声耳机放大器 242
- 29 6N1 耳放 246
- 30 高性能耳机放大器 251

第七章 集成电路耳机放大器

- 31 完美的 TPA6120 超级耳机放大器 258
- 32 制作高保真耳机放大器
——对于 47 耳放的完美改进 267
- 33 打造一款非主流耳机放大器——E2 280
- 34 UCP2 耳放 286
- 35 13 种改造方案玩透“47 耳放” 291
- 36 简单实用的小功率耳放 307
- 37 晶莹剔透的 47 耳放 310
- 38 C&C-PRO 超级 4 合 1 耳放 DIY 313

第八章 混合式耳机放大器

- 39 “B2” 小耳放的设计 318
- 40 超平衡耳放的设计与制作 322

经典篇

第一章

晶体管放大器



1 分体式“可变声道”功放的设计与制作

自从研制了第一台“可变声道”Hi-Fi 功放以来，我对此的兴趣日益浓厚。该功放内设有多组高精度的放大器，这些放大器可并联工作或独立输出，在确保实现优秀的双声道 Hi-Fi 音质的基础上，还能完美支持多声道的高保真性能，将各种高保真音乐碟片都播放出最佳音质，这也是吸引我持续研制这种功放的原因之一。

这种功放结构没有名机实例可供参照，为了做好它，我已试制了不少这类合并式功放，积累了丰富的经验。这次制作更高级的分体式“可变声道”Hi-Fi 功放，希望实现几个设想：一是用全

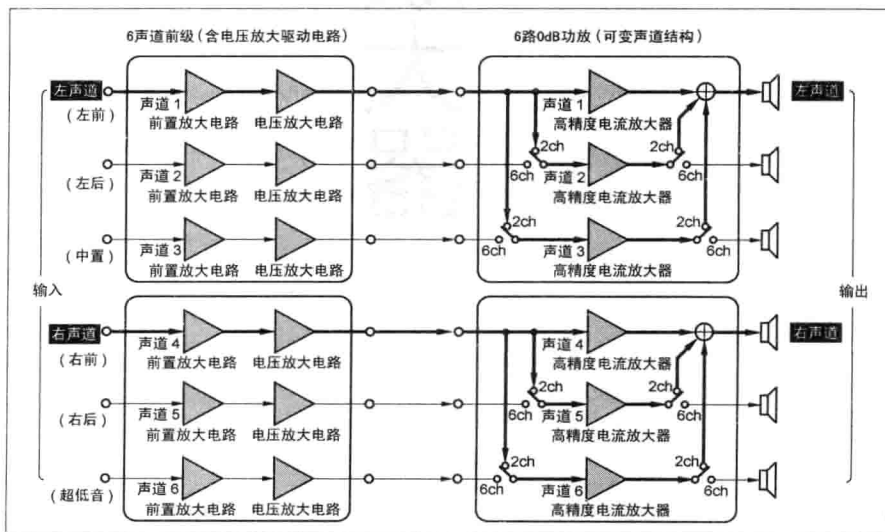


图1.1 分体式可变声道功放原理框图

对称放大电路和无负反馈技术制作出音质优秀的作品；二是利用分体机内宽阔的空间，大量地使用精品元件，让功放的音色尽善尽美。最后，用这台分体功放组建多声道 PC Hi-Fi 系统，自由自在地享受各种 Hi-Fi 音乐。

1.1 设计思路

随着科技的发展，Hi-Fi 音乐的来源十分广泛，除普通的 CD 光盘外，还有 HDCD、XRCD、HQCD 等高品质的 CD 光碟，也有 DTS CD、SACD、DVD AUDIO、蓝光碟等多种 5.1 声道音乐光盘，以无损音乐为主的 PC Hi-Fi 更成为当前的热点。丰富多样的音乐早已不限于双声道立体声了，因此，制作一台完美兼顾双声道和多声道音质的 Hi-Fi 功放是充满乐趣和挑战的事情。

在 Hi-Fi 功放中，功率放大级含有功率管、散热片、滤波电容和变压器等大体积的元件，占了功放的大部分成本。现有功率放大级电路结构是固有的，在设计之初就已决定了功放声道数量和功能特性，要么设计双声道 Hi-Fi 功放，要么做 5.1 声道（或更多声道）AV 功放，二者选其一。5.1 声道 AV 功放在播放 Hi-Fi 音乐时，只有两个主声道在工作，其余声道的功率元件均闲置着。靠主声道有限的功率元件和散热器，很难实现高电流输出和甲类放大等 Hi-Fi 功放常用的技术，不利于提高音质。而双声道 Hi-Fi 功放是无法表现多声道音乐的，这就形成了 Hi-Fi 和 AV 两种不同特点的音响系统。

我构思的“可变声道”功放的功率放大级是可活动的，当播放立体声音乐时，其多个功率放大级电路可合并成为双声道 Hi-Fi 功放。所有大功率管、散热片、滤波电容都在两个主声道里工作，最大输出电流可跃升数倍，输出内阻显著降低，可轻松地推动低阻抗音箱。此时所有散热片共同发挥作用，输出管可工作在大电流甲类放大状态，彻底消除交越失真和开关失真，将音质提升到极致。而在播放多声道音乐时，功放的多个功率放大级切换成各自独立工作，成为多声道 Hi-Fi 功放，可高质量地播放环绕立体声音乐。这样设计就使双声道与多声道的性能自然地融合在一起了。

按照以上思路，我设计了这台分体式“可变声道”Hi-Fi 功放，整机原理框图如图 1.1 所示，前级有 6 个前置放大电路和 6 个电压放大驱动电路，每个声道的电路完全相同。后级功放由 6 个高精度电流放大器电路组成（以下简称 O_{dB} 功放电路），在每个 O_{dB} 功放电路前后分别设有信号切换电路，控制这些 O_{dB} 放大器合并输出或独立输出，组成了“可变声道”结构。由于采用无负反馈设计 O_{dB} 功放电路，取消了前后级间的环路反馈连线，简化了电路，这种功放的结构也更加明朗。

1.2 电路原理

1.2.1 6 声道前级设计特点

与通常的 Hi-Fi 前级不同, 这台分体机的前级中包含了前置放大电路和电压放大驱动级, 前级一步完成了整个功放的电压增益, 后级则采用无

负反馈 0dB 功放电路, 只放大电流推动扬声器。无负反馈电路对元件品质是非常挑剔的, 这在无形中就增加了制作成本, 因此这类设计往往只在昂贵的高级 Hi-Fi 功放中见到, 如国产 Hi-Fi 名机钟神 JA-10/JA-200、瑞士的 darTZeel 108 等。

前级中前置放大电路 (见图 1.2) 主要由运放构成, 采用运放做前置放大具有性能高、失真小、音质好的优点, 许多 Hi-Fi 名机都采用运放来担任前置放大, 而且运放的一致性很好, 更适合于多声道前级。

电压放大驱动级电路是功放的电压放大部分 (见图 1.3), 它采用两级差分全对称放大电路, 输入信号经两级放大就可获得足够的开环增益, 有利于简化补偿, 提高稳定性。输出部分由 VT9, VT10 构成, VD1 ~ VD4 为输出管提供 2.5V 的偏置电压, 使 VT9, VT10 工作在甲类状态, 具有很低的失真和很强的驱动能力。前置放大级和电压放大级设计在一起, 使得输出到后级的信号电

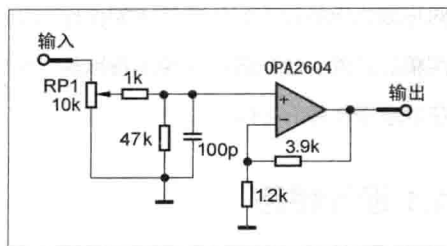


图1.2 前级中前置放大电路

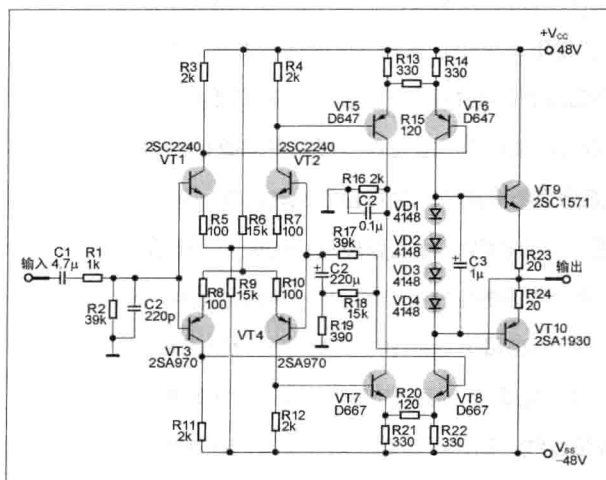


图1.3 电压放大驱动级电路

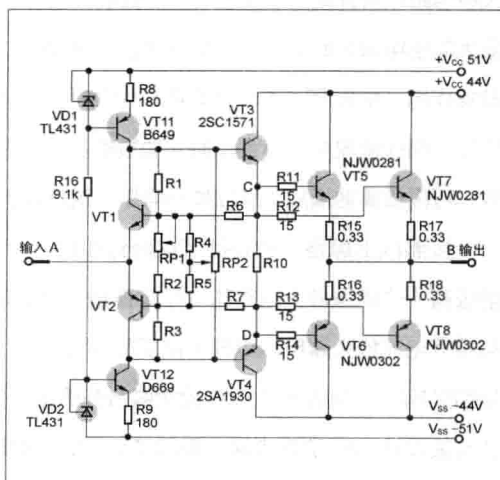


图1.4 新型0dB功放电路

压幅度很大，具有很好的抗干扰能力，有利于提高信噪比，让声音细节展现无遗。

前级采用了 2 个注田式高速稳压电源，每个稳压电源为 3 个声道的前级板供电，左右两侧完全独立供电，充分保证左右声道的信号分离度。

1.2.2 可变声道后级的设计特点

新型 0dB 功放电路是本机的核心电路（见图 1.4），由共基极放大器构成直耦合电路，后接达林顿电路。其中 VT1、VT2 是共基极放大管，也是偏置管，VT1、VT2 分别与输出管 VT5、VT6 紧贴在一起，实现准确的温度补偿。R1、R2、R3、RP1 是偏置电阻，调节 RP1 可以改变输出管的工作点，R6、R7 是反馈电阻，反馈输出管的基极电压。

0dB 电路中共基极管 VT1、VT2 的实际增益接近于 1，其主要作用在于传递输入信号电流，并在输入信号电压上叠加上正负偏压，将输出管 VT5、VT6、VT7、VT8 的基极电压准确地钳制在输入信号 $\pm 0.7V$ 的范围内，使所有输出管的基极电压都与输入信号保持同步。由于 VT1、VT2 通过反馈电阻 R6、R7 与功率管共享基极偏压，当输出管基极电压有轻微漂移时，VT1、VT2 的负反馈环路会强烈地抵消各种漂移的趋势，保持输出管的基极电压稳定同步。

当 0dB 功放电路并联工作时，各功放的输入端并联在一起共享输入信号。各声道 VT1、VT2 的发射极的输入信号电压完全相同，迫使输出管基极电压与输入信号保持同步，这样每个 0dB 电路的输出电压也完全一致了。而工作温度、元件离散性等因数引起的偏差，可用误差校正电路消除，保证功率管基极电压的同步精度，使输出电流更均衡。其中，RP1 可改变输出管的偏压，独立调节每组输出管的静态电流。RP2 可微调输出的中点电压，将每个 0dB 电路输出的中点电压调节成相同值，消除 0dB 电路输出端之间的电压差值。实际制作中，在输入端并联时各个 0dB 电路输出端的电压差值可调节成 0mV，经长时间使用后，实测中点电压的最大差值未超过 $\pm 1.5mV$ ，比功率管直接并联的差值还小。0dB 功放电路的输出管偏压控制精度很高，静态电流很稳定。由开机时的冷态到正常工作状态，散热片的温升达 $20^{\circ}C$ 以上，而实测输出管的静态偏流的变化未超过 9%，显示出该电路的良好性能。

1.2.3 放大器并联使用存在的问题及对策

让功率放大器精确稳定地并联工作是件富有挑战性的事情。并联工作的放大器需要有很好的 consistency，普通的功放电路很难达到这样精密的要求，采用功放并联技术的商品机十分少见。因为

放大器并联时其输出端会相互形成负载，放大器除了输出正常的负载电流外，还可能因互为负载而产生有害的“短路电流”。特别是功率放大器的输出内阻极低，若某一放大器的输出电压有微小的偏差，就会引起较强的短路电流，轻则造成放大器振荡发热，影响音质，重则可能瞬间烧毁输出管。这是功放并联电路面临的主要风险和难点，也是我最有兴趣研究的问题。只有设计极为精密、可靠并具备优良的一致性和稳定性的功放电路，才能使每一时刻的输出电压完全一致、输出内阻相同、输出电流均衡，从而获得并联输出的优点。

普通的功放电路放大级数多，开环增益高，不利于提高一致性。若在输入级产生了微小偏差，会被放大电路放大数十倍（增益系数），使放大器输出端产生更大误差电压，所以开环增益较高的功放并联的难度也大大增加。在实际应用中，比较成熟的方法是精选稳定性高、一致性好的功率集成电路并联，如美国 Hi-End 名牌 Jeff Rowland Model 10、11、12 等型号。采用多枚 LM3886 集成电路并联，每枚 IC 的电路中设有增益微调电位器，输出端还串联有均流电阻，用以均衡输出电流，让多枚集成电路并联使用，取得顶尖的音质效果。而常规的分立元件功放很难达到并联工作所必须的一致性和稳定性，即使是名牌功放也不宜盲目地并联使用，因为同样有烧毁功放的危险。

本机设计的 0dB 功放电路无电压增益，电路简练，一致性和稳定性良好。更为重要的是，该电路可精细地调控输出管的偏流、中点电压、输出内阻等功能，主动消除各项偏差，取得更好的均流效果，为分立元件制作可并联功放提供了基础。在实际制作中发现该电路性能稳定，对元件的离散性不太敏感，一般使用中点和偏流这两项调节就可以了。当播放音乐时，3 路 0dB 功放电路并联在一起，每路 0dB 功放只承担 1/3 的负载电流，显著降低了末级功率管的输出电流摆幅，减少了非线性失真。同时，分立元件功放很容易实现高电流输出和甲类放大状态，这也是 IC 并联功放不易做到的，因此更有潜力获得理想的音质。

1.3 制作过程

绘制印制电路板是相当重要的过程，新颖的理念和优良的音质要靠设计合理的电路板来实现。设计音质好、工艺漂亮的 Hi-Fi 功放要花不少功夫，设计多声道功放则更为复杂。其结构紧凑、元件密度高，要妥善解决电磁兼容性和均匀散热等问题，可变声道功放综合了以上的技术要求。要进一步设计出音质好、可靠、实用的功放有相当的难度，由于前期试制了许多这类合并机，积累了许多的经验和方案，各种线路和布局已多次实验过，就使得分体机的电路板设计变得水到渠成了。本机全部采用单面板设计，没有多层板过孔脱落等问题，各个元件的排列经过仔细考虑，尽可能

让音频信号走线最短化,不必大面积覆铜也能取得良好的信噪比。主要电路板有前级电压放大板、后级功放板、输出保护板,上述3块板子的PCB图可在无线电官方网站(www.radio.com.cn)下载,除此之外还有输入信号切换板和控制板等。

前级内的电路板按左右方向排列布局,每声道一片电压放大板,总共6片(见图1.5),分别安装在前级中部和右侧(见图1.6),输入信号切换板靠近RCA信号输入端,变压器及稳压板安装在靠左侧,使干扰源远离信号放大区域,有利于提高信噪比。在实际制作中着重追求音质效果,大量使用了各种精品元件(见图1.7)。信号耦合电容采用瑞典的RIFA 420系列MKP电容,反馈电容采用日本ELNA棕神音频专用电解电容。其他部位使用了美国丝碧、美国化工、德国WIMA、英国NOVER等名牌电容。电阻主要使用美国DALE军品金属膜电阻和美国AB碳质电阻。音量控制采用日本松下6联音量电位器,机内连线全部使用特富珑镀银信号线,减少信号损失。由于信号切换继电器的线圈紧靠着最微弱的输入信号,这里使用了两级稳压电源为信号切换继电器供电,消除了线圈串扰的可能性。前级电源变压器采用特制的160VA环形变压器,并用优质硅钢带加强磁屏蔽,再扣上漂亮的不锈钢的牛罩。前级内的220V电源线均套上带屏蔽的避振网,并串联了日本TDK电源滤波器,减少振动和干扰。

后级采用AR998大型机箱,规格为宽485mm×深490mm×高180mm,机箱净重17.5kg。内部采用对称布局,两侧巨大的散热器上各安装1块后级功放板(见图1.8),每块板上含有3个声道0dB功放电路,输出保护板安装在扬声器接线端子附近。机箱的中部安装了2个特制的800VA低磁漏无噪声专利变压器,每个重量达到9.7kg,各负责3个声道的供电,使功放的左右两侧电路板完全独立供电,彻底保证了左右声道分离度指标。

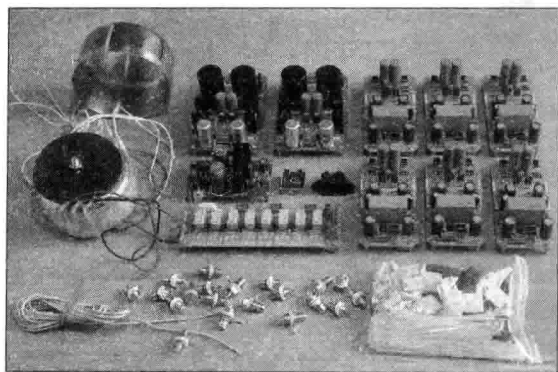


图1.5 前级内电路板按左右方向排列

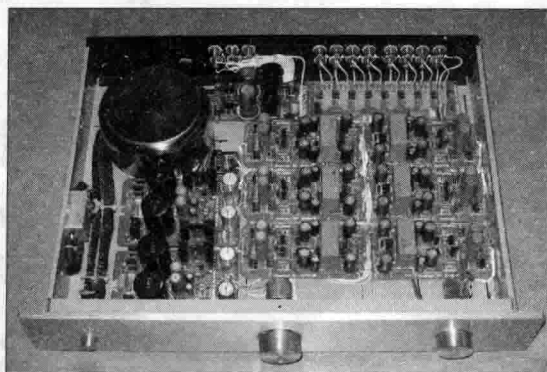


图1.6 前级电路板安装在前级中部和右侧

后级功放（见图 1.9 左）使用了总计 140000 μ F 的滤波电容，共 24 只安森美大功率管。功放板上无极电容主要有德国 WIMA、ERO，荷兰 PHILIPS 等品牌，电解电容主要采用英国 NOVER、德国 ROE（见图 1.10）、美国化工等品牌。小容量电容主要采用日本双信高精度银云母电容，电阻主要用美国 DALE 金属膜电阻。机内音频接线均采用英国鲨鱼 OFC 高级线材，采用富珑镀银信号线传递输入信号。功放设有软启动线路，避免了开机的冲击电流，保护电路采用单独的电源供电，由微电脑程序控制，动作灵敏可靠，妥善地保护音箱的安全。后级重 43.5kg，前级 7.5kg，整机总重 51kg。后级输出额定功率为：80W \times 2 或 80W \times 6（甲乙类）。

当听立体声音乐时，后级所有功率元件（12 对输出管、6 对推动管）全部合并在两个主声道。每声道 6 对大功率管并联工作在甲类状态，可承受 60A 峰值输出电流，推动低阻抗音箱轻松自如，达到极好的音质。在听多声道音乐时，功放切换到 6 声道等功率功放，每声道两对大功率管，最大输出电流仍然高达 20A。面积巨大的外置式散热器，可承受 6 个声道同时工作的高热量，每个声道依然具有 Hi-Fi 功放的音质，可高质量地播放多声道音乐。

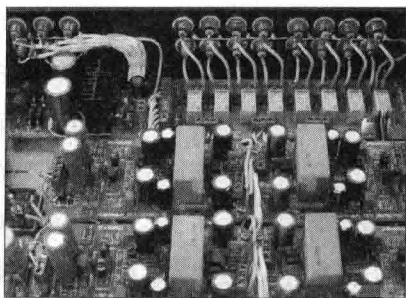


图1.7 考究的元器件

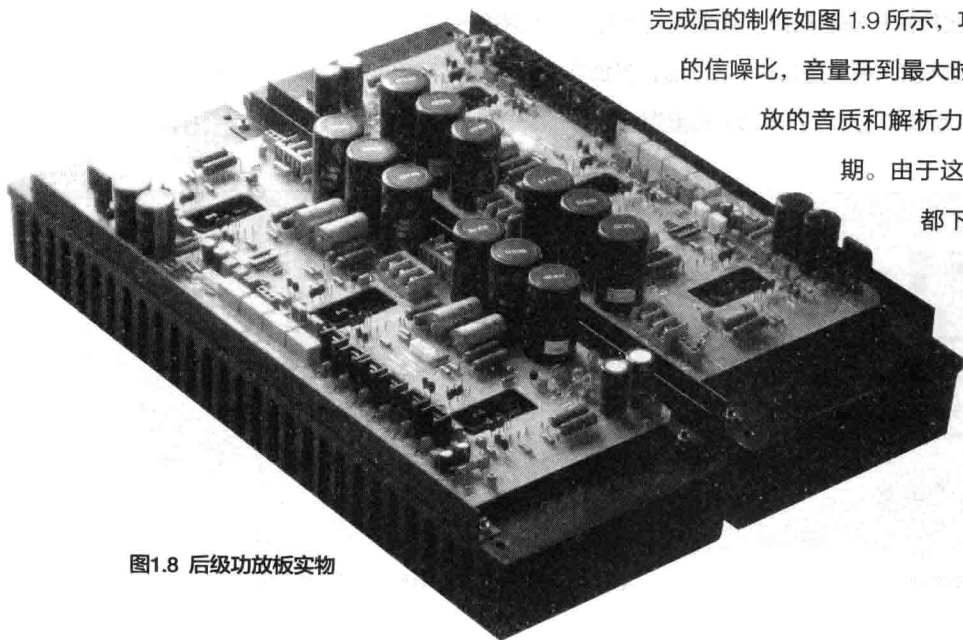


图1.8 后级功放板实物

完成后的制作如图 1.9 所示，功放刚调试正常时就有很好的信噪比，音量开到最大时 6 个声道噪声都很小，功放的音质和解析力也很好，各项表现符合预期。由于这台功放的设计制作和用料都下足了功夫，我对它的期望值自然也很高，希望它能发出各个方面都能精准完美的声音！之后一段较长的时间里，我对比聆听了多款名牌 Hi-Fi 器材，并按照自己的理解精细地调整功放的每

一项声音细节，其间搭配了多款音箱。初期使用了博良牧歌、KEF IQ30、丹拿 Focus 140 等书架箱试音。后期则用 KEF XQ40、芬兰之声 Amphion Argon3 L、丹拿 Contour S3.4 等落地箱听了很长时间，历经多轮调试修正，最终将这台分体式功放的声音调整到满意的地步。

1.4 实际试听

实际试听时使用了 OPPO 蓝光播放机、HTPC、1704K×4 音频解码器（接蓝光机的数字同轴输出）、KEF XQ 40 系列音箱、10 英寸有源低音炮以及高清投影机等设备。

起初试听了一些 Hi-Fi 音乐，分体功放的声音明快活泼，高频纯净纤细，中频饱满润泽，低频深沉有力，表现出宽阔的声场和良好的动态。相比之下，现场的名牌 Hi-Fi 功放在气势、力度和细腻度反而显得稍弱。

感受了优美的音乐，接下来用蓝光机播放安德烈·波切利音乐会、蔡琴演唱会及其他的 DTS 音乐碟，试了一下多声音乐的表现力。

安德烈·波切利用激情洋溢充满活力的歌声娓娓倾诉，那优雅自信的神采令人入迷。同样用 AV 功放看这段时，声音细节被“吃掉了”不少，欢呼的冲击力减弱，临场感稍欠。用普通的 Hi-Fi 功放播放这一段时，声音细腻柔和、乐感丰富，但声场在两个主音箱之间，是二维平面的，与环绕声的感染力相距甚远。

多声道音乐得到了有力的表现，再用这台功放试验了高清电影《阿凡达》等电影。播放影片时这台功放推动了丹拿 Contour S3.4 主音箱，音质相当好，解析力高，力度强劲，充分发挥了丹拿音箱的优势。

总的来说，这台功放音质良好、性能稳定、可靠实用，这台分体式可变声道功放算是制作成功了。



图1.9 完成后的制作