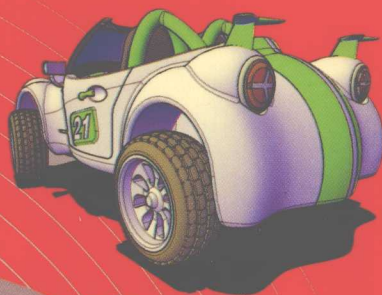
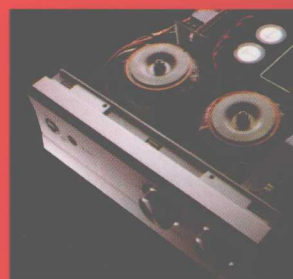


音响

—— 郑国川 主编 ——

摩机技术与技巧

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

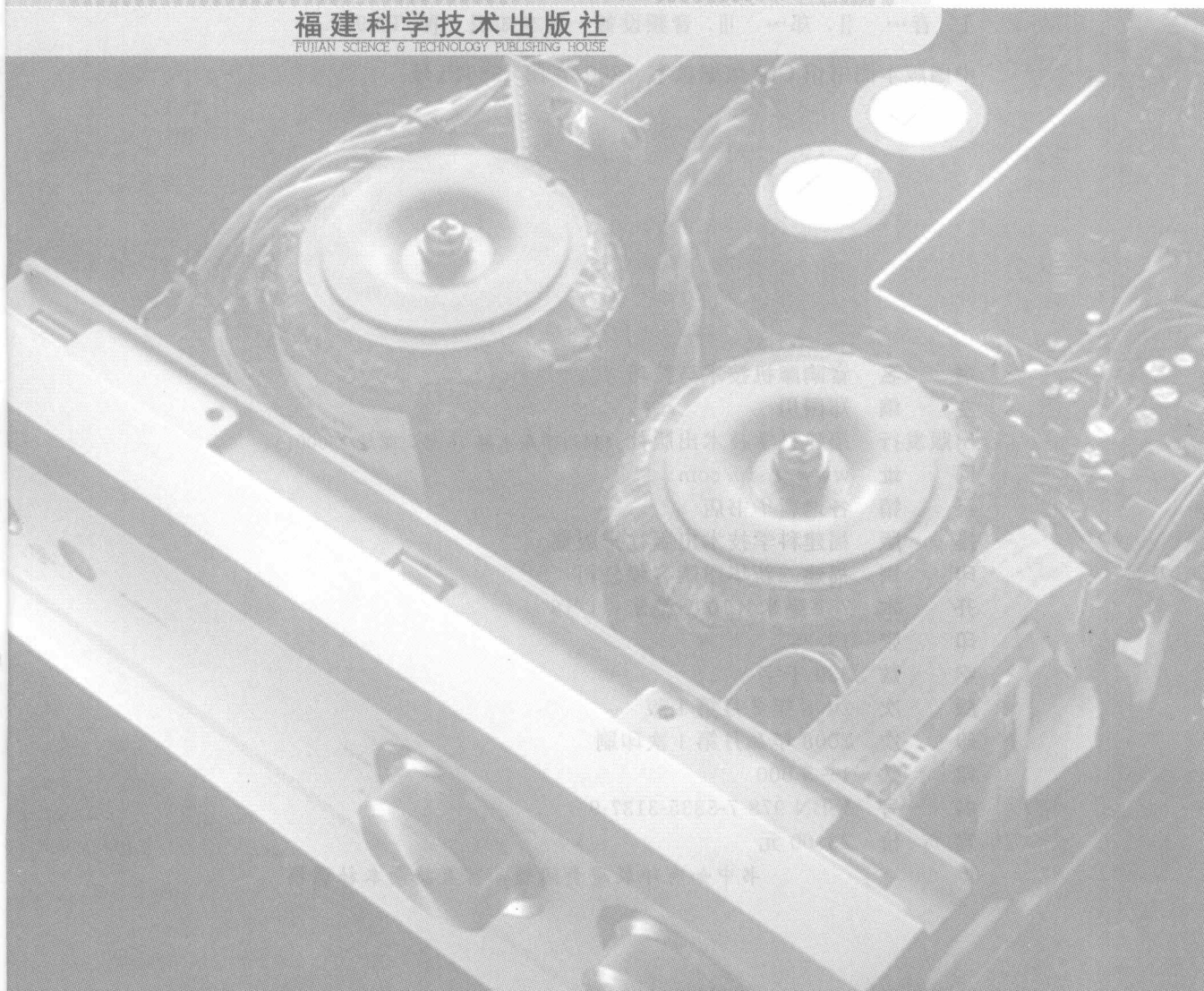


郑国川 主编

音响

摩机技术与技巧

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



主 编：郑国川

编写人员：李洪英 李 泉 李旭辉 董莹颖 董自良 郑冀蓉 高素清
张金林 朱 梅 付 刚 廖 南 俸国良 高文俊 周惠芬
俸 宁 朱 麟 胡 波

图书在版编目 (CIP) 数据

音响摩机技术与技巧/郑国川主编. —福州：福建科学技术出版社，2008. 2

ISBN 978-7-5335-3137-9

I. 音… II. 郑… III. 音频设备—基本知识 IV. TN912. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 198613 号

书 名	音响摩机技术与技巧
主 编	郑国川
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	福建二新华印刷有限公司
开 本	787 毫米×1092 毫米 1/16
印 张	13.25
字 数	330 千字
版 次	2008 年 2 月第 1 版
印 次	2008 年 2 月第 1 次印刷
印 数	1—5 000
书 号	ISBN 978-7-5335-3137-9
定 价	23.00 元

书中如有印装质量问题, 可直接向本社调换

前言

音响为何使人“发烧”，究其原因，归罪于人的耳朵和听觉神经。诚然，人的耳朵远比猫狗之类的耳朵逊色得多，但是人类聪明的大脑又赋予听觉神经更高的分辨率。只有杂技团里经专门训练的狗，能分辨出有限的几个音符，可人类的耳朵对特定音符的频率，只要相差 $1/5$ ，便可听出“走调”了。

音响器材的效果有极强的可塑性，即使不改变音响的主体部分，只换一条信号线或几只同规格的电阻器或电容器，也会使音响的音效大有改观。此点显然和收音机发烧、电视机发烧有明显的不同。市场上大企业的名牌电视机多如牛毛，但同价位、同类型产品极难有明显的特色。而音响器材的设计、生产与音效，直到目前还难有 $1+1=2$ 的因果关系。即使采用名牌机电路、全部发烧级元器件，却不一定能仿制出名牌机的效果，往往因一条连接线的摆放不当，效果就会让你大失所望。此即为音响的迷人之处。

人的主观欲望大多对探索极感兴趣，音响的可塑性能使你充分发挥“探索”的用武之地，而且听音乐又使你尽享“探索”的成功之乐。一旦成为音响发烧友，将会使你终生无暇，始终不渝地进行探索。因此，应该说明，喜欢音乐，花上万元买了发烧器材，整日听高保真的摔啤酒瓶声、飞机大炮从头顶上飞过的冲击声，也许只能成为“准发烧友”，真正的音响发烧不只是听，而是一直伴随着对器材的改进、升级，或者说是摩机。摩机一词是Modify的意译，意为修饰、改进。无论是成品音响，还是自行DIY的组装机，在发烧友手中无一不成为摩的对象。有多年“烧经”的发烧友，对音响器材效果的挑剔往往到了吹毛求疵的程度，哪怕是顶级名牌，听起来也会有不足之处，总欲“摩”之而后快，即使只换入几只无源元件，也感今非昔比……摩机是发烧友求知的手段，也是发烧友进取的动力，发烧友既学到知识，又得到了摩机成果享受。所以，摩机是音响发烧友除“听”以外的最主要的DIY。如此的听、改结合，使人一生也不会有止境，所谓发烧友的音响十年摩一剑，实际上往往是不止的。

切勿以为市售中、低档商品机无摩之必要，毕竟不惜工本的Hi-End器材拥有者是少数，绝大多数工厂制造的成品，在产品设计和用料上需受成本和大量生产工艺的限制，从而在某些性能上做出牺牲，使得器材音质平庸，效果不痛不痒。正是此类器材属摩机最好的对象，其主体构件、框架都已现成，只需对关键部分升级、“进补”，即可立竿见影。犹如买了框架结构的商品房一样，可以由自己重新设计、装修，满意度自然就高得多了。

如果将摩机单纯理解为更换几只补品元器件，未免过于肤浅。其实，在产品设计中设计者是通过样机不断地“摩”才最终定型的。发烧友对成品的再摩，属两种不同的要求，设计者不会多用一只高价位元件，而发烧友可以对一台音响不计成本地摩，只求靓声而已。在这个前提下，摩机可大体可以分为两种：一种是局部性能的改进，针对一两项感觉不足的指标，通过元器件的升级、局部性能的调试，使其更理想，更完善；另一种是对器材整体结构的升级，除个别元器件升级换代外，有时甚至改动部分电路结构，增加原机没有的或性能欠缺的功能电路，达到提升音响整体效果的目的。由此看来，摩机并非只是更换几只补品元器件，甚至可以算是对音响的二次设计、调试。因此，摩机不能心血来潮而无计划、无目的地

乱动乱改一番。成熟的发烧友摩机水平不亚于小生产厂的设计者，他们具备有一定的电路知识，对各种元器件性能有相当程度的了解，达到了真正有效的摩机目的。

摩机这一看似杂乱、无系统的活动，却造就了各国大批资深发烧友，成为音响器材设计的强有力的推动力量。近年来，音响放大电路中许多新技术、新电路，最早并非出自专业设计人员，而大多数是由发烧友试验、开发的，而后才被专业厂家所吸纳。如目前盛行的输出级“NO NFB”的放大器、通用运放的驱动级以及 OTL 胆功放等，均出自日本发烧友之手，现已逐渐用于成品机。

由于国内发烧友水平尚处于初级阶段，盲目崇拜、人云亦云者不少。为了使无序的摩机走入有序的轨道，笔者特此向读者介绍有关摩机的必备知识和 DIY 手法。鉴于音响摩机是一项以多学科理论知识和电子产品 DIY 实践为基础的再设计、制作的过程，即使本人有半个世纪的放大器 DIY 经历，写作起来也感到有一定难度，显得有些力不从心，所以书中难免存在偏颇之处，欢迎同行指正。

参加本书资料收集、编写、录入、制图、校对的还有李洪英、李泉、李旭辉、董莹颖、董自良、郑冀蓉、高素清、张金林、朱梅、付刚、廖南、俸国良、高文俊、周惠芬、俸宁、朱麟、胡波（排名不分先后）等，在此一并致谢。

主 编

于成都

目 录

第一章 音响摩机的章法	(1)
一、摩机有术,但也有限	(1)
(一) 音响器材潜力的调查	(2)
(二) 客观确定摩机结果	(3)
(三) 勿给驴子配金鞍	(7)
(四) 摩机不违基本理论	(9)
(五) 以听音评价确定摩机目标	(9)
(六) 摩机效果的听评与检测	(17)
二、辩证施治的摩机技巧	(22)
(一) 器材搭配改善音响效果	(23)
(二) 更换元件法	(26)
(三) 摩电路法升级	(43)
(四) 特效电路的应用	(45)
(五) 电声转换系统	(47)
第二章 半导体音响的摩机	(55)
一、音响升级武器库	(55)
(一) 改善放大器供电电源的方案	(55)
(二) 将准互补输出级升级为全互补	(58)
(三) 用 MOS FET 管升级功放	(59)
(四) 精选音响对管,升级一举多得	(63)
(五) 改善声道平衡度	(65)
(六) 电压放大器对音质的影响	(68)
(七) 音量控制电路升级方案	(71)
(八) 取消 C_c 和 C_F 使音效升级	(75)
(九) 升级多声道 AV 功放	(77)
(十) 升级信号源内部放大器	(81)
二、有的放矢 改善音效	(85)
(一) 弱音效果欠佳	(86)
(二) 低音发出破声的改善	(88)
(三) 声压频响不平衡	(91)
(四) 改善听音环境提高音效	(98)
第三章 电子管音响的摩机	(108)
一、提升胆机测试数据	(109)
(一) 电子管与晶体管应用的差别	(109)
(二) 提高胆机输出功率的多种方案	(111)

(三) 胆机扩展频响方案	(121)
(四) 胆机非线性失真的改善	(126)
二、改善胆机听音效果	(128)
(一) 胆机交流声、噪声的抑制	(128)
(二) 胆功放改善听音效果的摩机 DIY	(131)
三、摩胆机之捷径——仿名机、名电路	(141)
(一) 有动态平衡调整的 FAIRCHILD-275 胆功放	(142)
(二) 准直接耦合的 ALTEC 系列名机	(146)
(三) 精雕细琢的 MARANTZ-9 名机	(149)
(四) 欣赏唱片的 RCA U-109 古典名机	(155)
(五) 国产 B ₂ 类大功率功放	(159)
(六) 多极输出管组成的 LOENG FIELD SL-3 功放	(163)
(七) P-K 分割倒相器的平衡电路——RCA M1-12182 名机	(166)
(八) 晶体管 OTL——麦景图胆输出级	(171)
第四章 汽车音响的摩机	(179)
一、汽车音响大功率多声道方案	(179)
(一) 常见的方案	(179)
(二) 输出功率的选择	(179)
二、汽车音响重要部件	(183)
(一) 专用扬声器	(183)
(二) 逆变电源	(188)
三、汽车音响的改装升级	(194)
(一) 改造思路	(194)
(二) 原装车用音响的拆除	(195)
(三) 线路配设	(196)
(四) 车厢的降噪和隔音处理	(197)
(五) 布线	(199)
(六) 扬声器的安装	(200)
(七) 功率放大器的安装	(201)
(八) 改装过程中常见问题答疑	(201)

第一章 音响摩机的章法

摩机之初可能受到某先行者一篇“摩经”的触发，或者听了别人的音响，感到自己的器材“声不如人”，一时心血来潮，起了摩的念头。开始进入此道时，难免漫无目的，对某些摩经断章取义，牵强附会，手脚乱忙一阵后却毫无收获。其实，入道之初只要不捅出娄子就算成功跨入大门了。既然说摩机属二次设计，当然不会一蹴而就，欲进行有效地摩机，还是应该有一定章法。

实现有序摩机，音响电路知识、元器件性能及对音效的影响，都是必不可少的基础。另外，摩机的目的是改进音响效果，因为各种声源有不同的效果，也就对音响性能有不同的要求。为了满足不同的要求，必须在电路设计、元器件选用等方面侧重于满足这种要求。应该说，将各种电路性能、元器件的诸多参数和音响效果有机地相联系起来，这才是摩机者的基本功。没有扎实的基础知识作为功底，仅依靠道听途说，对一两篇“摩经”断章取义就动手，无异于瞎猫逮死耗子，成功也属偶然，失败了还是一头雾水，结果难免劳民伤财。

综观近年来音响类报刊，就国内的来说，摩机误区就不少。本来说既然写成了文章，必然强调“有效”摩机，其实许多都夸大其词甚至是“想当然”，使人以为是真者而误入歧途。还有一些专业“枪手”拿人钱财，为人消灾，为了说明代言的产品如何好，更不只是夸大其词，甚至无中生有，拉新科技名词之大旗作虎皮。对此，初入摩机之道者，只有以基础知识武装自己，才能识别真伪。

一、摩机有术，但有限

凡事皆有局限，放之四海而皆准的事并不多。尽管摩机手法万千种，不对症则可能一事无成。例如，摩的对象本身素质即为不可忽视的一环，如原机的档次已被生产所限定，再摩也有一定限度。20世纪80年代的夏普800收录机，在国人眼中可属中高档便携式收录机，使听惯了78转唱片的本人也感到颇有Hi-Fi的味道，于是蒙生“升级”之念，拟提高输出功率，增强低音效果。于是乎花大精力、下大本钱更换了功放集成电路，将主扬声器换成橡皮边低音扬声器，中、高音也增大了功率，只希望输出20W有效功率的BTL放大器和橡皮边扬声器能重放出震撼的低音。结果是低音确实增强了，但极薄的塑料机壳也不时发出“吱吱”的响声。而且在提高了放大器增益和输出功率后，各种噪声随之而来；低音提升了，中音人声被淹没，男生独唱变成一片“隆隆”声。看来，夏普800就只能维持 $5W \times 2$ 的原机指标，于是只好作罢，将一切复原。

凡事都有“度”，摩机只能是在原机基础上作一些“修改”，欲不顾本来基本条件，使其脱胎换骨是不可能的。有些摩机老手苦摩几年后，以数字关系形容摩机效果称，摩机改善只能有 $1/5$ 的程度。这种说法虽然欠准确，但也可见摩机不能脱离原机的实际条件，期望过高是失败的常见原因。这就必须对摩机对象有准确的评价。就当前该机的结构、电路而言，总体是何种档次，升级的可能有多大范围，哪些属可以改善的效果，改善到什么程度……所以，摩机开始必须做到心中有数。严格地说，对音响整体提高档次是有困难的，电路结构的

缺陷和音响总体结构的缺陷都将使升级变得非常困难。

（一）音响器材潜力的调查

在欲对音响器材摩机之前，必须通过结构、电路、原有性能进行详细地了解，以确定该器材有无潜力可挖。如果器材本身粗制滥造，元器件东拼西凑，主要部分如电源、印刷电路板、器件容量、参数均无扩展余地，则基本可确定“朽木不可雕也”，即使勉强为之也只能是劳民伤财。例如，市场上有部分无名小厂，本身无任何生产音响放大器的基础，在简陋的铁皮外壳内，装入的是套件组装的集成输出级，采用2只TDA2030，号称 $50\text{W}\times 2$ 。电源变压器即使不考虑质量，仅从体积也可判定不会超过一台黑白电视机变压器的容量，有 20VA 已不错。再者，印刷电路板采用只有 1mm 厚的环氧树脂板，手工画的印刷线路极不规范；元器件排列更是横七竖八；为数不多的元件中，从外观可看出，均为普通碳膜电阻器和CD11型电解电容器。为了轧场子，还由分立元件加装了音调控制器，每声道中的晶体管几乎全部采用9013、9014……像此类不规范、严格地说不合格的“音响”，不用说“摩”，即使重新装调也未必有什么效果可言，稍加改造也不过勉强成为一台 $15\text{W}\times 2$ 的小型放大器而已。

欲摩的音响功放最好是结构、电路都比较完整、齐备的，主要部件无明显偷工减料、以小充大的产品。此类音响放大器市场上各种不成名的牌子相当多，而且有的产品无论从外观上、整体结构上都给以“气派”的感觉。但多数产品却在性能上不敢恭维，究其原因，可能是技术力量所限。有的产品无论外观造型，电路结构竭力向某些名牌机靠近，但性能上却不沾边，因为仿名牌只仿了表面，而电路的内在联系并不清楚，当然，音响总体效果必然大相径庭了。对此类产品的摩机则有必胜的把握，原有硬件完备，摩机的重点可以以音响效果为纲，对不满意的某几项指标进行有针对性的提升，可能在摩机成本极低的情况下得到满意的效果。

为了稳操胜券，对此类音响的摩机不可贸然动手，最低限度应作好以下准备事项。首先是做好主观听音评价，以自己比较熟悉的软件，选择一两首音域宽、录音质量好的乐曲，反复听，以发现缺陷，如输出功率的冲击力、频响上、下限的表现力、两声道的音效差别、噪声及各种失真等。将不满意的项目分成主次，设定摩的方案，应以涉及电源性能、电路总体结构的音效摩机为主，以涉及个别元器件质量和电路调试不到位的音效缺陷为副。分出主、副的优点是，可以在先动手的摩机过程中给后动手摩机项目打下基础，而且不会发生后者影响前者而造成精力浪费。例如，听音评价时发现有明显的大音量削波失真，中等音量以下正常，涉及的DIY部分应该在电源和输出级两个功能电路。电源电路是否存在容量不足、内阻过大，大信号时供电电压大幅下降；输出级电路输出管 I_{CM} 较低，大电流状态 β 急剧下降，几近饱和……显然，此情况下应先对电源部分进行检测和必要的改进，下一步才是检查输出级。电源的问题可能影响多项听音效果，先解决电源的问题，可以省力，也不易损坏元器件。因此，作好主观听音评价以后，明确动手的范围和目的，依电路常识作出详细的动手计划。

国内音响器材产品中，另一类有摩机潜力的是类似前述的“肝胆俱全”但过时的音响器材，如大批模拟5.1声道的AV放大器。20世纪末，盛行多声道环绕声AV放大器的初期，所谓5.1声道是通过移相式或分频方式产生模拟环绕声。这种机器的前级输入标准的双声道信号，在专用集成电路TDA8425、 $\mu\text{PC}1891/1892$ 的内部对信号的不同频率成分进行移相，

再与原信号相加或相减形成单声道环绕声信号，两声道信号相加形成中置声道信号，送往各自独立的输出级，驱动不同的音箱，得到类似环绕声的效果。无论上述处理过程是模拟方式，或是采用数字控制方式，对环绕效果而言与软件信号无关，可以认为属模拟环绕声系统。所谓后左、后右环绕声实属单声道同一信号，只是通过将并联连接的 2 只小音箱分置于后左后右而已。此类多声道环绕声与现行的 SACD、DVD_{Audio} 是不同的，方便之处是不要求软件的环绕声，仅利用标准双声道输入就有 5.1 声道输出特性，可“环绕”一番。这种电路的最大特点是，R/L 主声道输出功率大得多，且设计完善、讲究；中置声道和左右环绕声道有效输出功率以 25~30W 为限，多采用集成功放，如考虑非线性失真、噪声等限制因素，输出功率不会超过 20W，频响也比主声道窄得多。与此相对应的是，除 R/L 主声道以外，音箱也按此输出功率配置。显然，此类 5.1 声道放大器已过时，对某些有环绕声效果编码输出的软件和最新的多声道 SACD、DVD_{Audio} 软件，要求环绕声道为左右双声道，同时所谓 5.1 中的五声道输出级所有参数应一致，仅超重低音由前级信号输出，以驱动外设的有源超重低音单元。此类 AV 放大器目前市场上仍较多，如选择配置较佳的产品，完全可以升级为有五路独立输入的新型 5.1 或 6.1 声道，适用于 DVD_{Audio} 等新型软件播放器的多声道音响功放。当然，摩机工作量是相当大的。为了形成有独立输入、输出的五声道参数相同的放大器，最简单的升级方案是，以 R/L 主声道为基础，对频响、失真等指标通过摩机适当提升，另外再增加同样结构的环绕和中置声道输出级。电源系统的容量也必须至少增大 1 倍，可另置一套相同的电源系统，所有 R/L 声道采用独立供电的方式，可以解决电源容量和参数对称性的问题。SACD、DVD_{Audio} 多声道放音系统是大势所趋，如此升级无疑是有价值的。

如果将此种 5.1 声道改用于标准立体声放大器，可以将所谓环绕声输出部分拆除不用，利用剩余机内空间和电源功率的余量，对原有的 R/L 声道主放大器进行升级，如扩大输出功率、扩展频响；也可按自己需求，将 AB 类改为纯 A 类输出，都有余地。国内外在 21 世纪前生产的音响功放，不分档次、品牌，无论 OCL、OTL 甚至 DC 放大器，几乎都是准互补 SEPP 输出级。无论标榜测试数据如何理想，电路工作原理使音响效果受到极大的制约。严格地说，“准互补对称” SEPP 输出级，推挽电路的对称性也属“准对称”级别，实际上无论输入、输出阻抗、动态范围甚至输出波形都不可能对称。此种输出级能风靡十几二十年，依靠的是负反馈技术。同一电路结构的准互补 SEPP 输出级，必须采用“大剂量”的负反馈，才能得到说得过去的测试指标和听得过去的音响效果。实际上，准互补 SEPP 是器件生产水平不到位，电路设计者想出的权宜之计，否则 SEPP 只有等到 PNP 大功率晶体管工艺成熟才能问世。不管准互补音响放大器测试指标再理想，音响效果吹得天花乱坠，也只是与原有的输入变压器或有倒相电路的输出级相比较而言。大反馈量的加入使此类放大器变得个性全无，突出的高档产品测试数据，并未得到与之成正比提高的听音效果。所以，对此类颇有档次的音响功放，将准互补变为全互补，降低交流负反馈系数，是摩机的重要课题，也是使测试数据之“名”变成听音效果之“实”的有力措施。

（二）客观确定摩机结果

摩机的目的是为了改善放音效果，但究竟能改善到什么程度，确与诸多因素相关。切莫被那些“将所有前级运放改为 NE5532”后突显“低音有力，泛音丰富”、“音质纯正、中高音明亮、层次分明”等无具体内容的形容词所迷惑。任何一台放大器的音域、非线性失真、交调失真等，均非全部由某一器件所主宰，即使仅对某一指标来说，影响因素也是多种多样

的。无边际地夸大更换某一元器件的摩机效果，除非被换下的元器件本身性能已经失常，否则极难达到如此立竿见影的效果。此种情况不属摩机，而应该称为修机，更不是提高音响效果，至多是恢复应有的效果。实际上，摩机效果不仅与原机整体素质和正确的摩机方案有关，还与自订的“效果”是否客观、合理，有决定性的关联。尽管是摩机高手，也极难将准互补放大器的听音效果摩到全互补放大器的水平。因此，要不使自己失望，期望值勿建立在空想的基础上，如不结合电路实际结构，想通过更换“运放皇”、“大环牛”达到更好的音效是不现实的。

根据不同档次的机器，总体电路结构、工艺水平，也可以达到的音效限制在同档次机型相差不多的水平上，生产厂家不会无原则的加大投资成本，以供“二次设计”的性能提升。相反的是，尽管是同一档次的机型，个别产品的某一项或少数几项指标则可能偏低，而造成听音效果的明显不足，此少数项目的不足之处可作为摩机的主攻方向。摩机方向确定以后，能改善到什么程度，摩机方案和用料可以起到50%的作用，另外50%仍取决于原机其他性能。因为听音效果也存在掩蔽效应，当某一项指标大幅提升以后，可能使原来感觉不到的新的矛盾明显暴露出来。所以，提高任何一项技术指标也是有限度的，此限度仍与原机总体水平相关。例如，近年来有些发烧友，对低音爆棚效果情有独钟，不考虑已有器材的水平，肆意改善低音频响，然后加装高增益30~160Hz的有源超低音箱，有的为了使低音震天动地，以使听音范围内的茶杯被震动移位为理想。看似只是改善低频下潜的力度，低音有源音箱又在机外有独立电源和大功率低音放大器，似乎摩机的范围不大，既不大改电路，也不必在原机内增设过多的附属电路。有的发烧友简单认为，增大各级放大器耦合电容器的容量，然后取出前级R/L驱动信号，装上输出插口即大功告成，其余低通滤波、低音放大都是有源音箱原设功能。殊不知，这种摩机结果十有八九会让你失望。

1. 增大耦合电容的利弊

为了提高超重低音的低音爆棚效果，必须将放大器频响曲线的低音转折频率降低到40Hz以下，否则有源超重低音成为无本之木，放大后的重低音输出将会以噪声为主。因此，加装重低音，首先改善放大器的低频响应是无疑的。对前级RC耦合放大器而言，增大耦合电容器的容量，采用补品电容器也无可厚非，但是要注意以下两点：首先是整体音响放大器的频响，是各级放大器频响的综合，随放大器级数的增多，频响曲线会越来越陡，特定的衰减量下的频响变窄。其次，放大器的低音转折频率下降曲线越陡，相位移也越大，对采用大环路负反馈的电路，极易在某一低音频率时相移过大而进入正反馈，形成某一频率附近的临界自激。当信号中有此频率分量时，将使放大器产生触发振荡，在听音效果中有明显的随放音过程而随机产生的“轰隆隆”的尾音，破坏低音的分解力。因为这种自激限于相移较大的频率段，因此低音混浊是不连续随机的，常规检修极难发现。

增大耦合电容，也不能按某些摩机文章中所称“将所有电解电容器全部换以10 μ F以上的补品电容器”，否则可能引起某些负面效应。放大器的电路不同，输入电阻值的区别极大，而耦合电路的转折频率关系式为：

$$f_L(\text{Hz}) = 159 / [R(\text{k}\Omega) \cdot C(\mu\text{F})]$$

式中R为下级放大器输入电阻总值，应包括偏置电路的电阻和放大器的输入电阻。当下级放大器属共射级电路时，上下偏置电阻并联值一般大于放大器输入电阻。本级无负反馈时，输入电阻可按1k~2k Ω 计。当下级采用射极输出器或有本级电流负反馈时，放大器输入电阻较大，则R可认为是上下偏置电阻并联值。所以，随放大电路的不同，R值的变动

范围可从 $1\text{k}\sim 1\text{M}\Omega$ 。可选择的耦合电容器常在 $0.22\mu\sim 22\mu\text{F}$ 之间,当 $R=1\text{k}\Omega$ 时,可选用 $20\mu\text{F}$ 的耦合电容器,低端转折频率为 7Hz 左右,单级频响曲线在 7Hz 处有 -3dB 的衰减,且以 -6dB/oct 的斜率下降。当同样的放大器有 2 级时, 7Hz 频率将以 -12dB/oct 的斜率下降, -3dB 处的频率也将高于 7Hz 。显然,对输入电阻较低的放大器而言,耦合电容器可以更大,如 $47\mu\text{F}$ 以上,以使总频响曲线转折频率低于 20Hz 。而对高输入电阻的放大器,采用过大的耦合电容器,转折频率的过低无实际意义,同时 RC 耦合电路成为 RC 延时电路,使放大器易形成开机不正常的延时。无论哪种电容器,漏电流总是随容量增大而增大,即绝缘电阻随容量增大而减小。当放大器输入电阻达到兆欧级时,必须考虑漏电的影响。一般高阻抗输入的前级放大器,都采用 $0.1\mu\sim 1\mu\text{F}$ 的无极性电容器,即使是输入电阻 $100\text{k}\Omega$ 的放大器,耦合电容器最大用 $1\mu\text{F}$,低端转折频率为不足 2Hz 也能满足,再大就要受到漏电的影响了。

2. 声压频响特性的平衡

根据高、低音平衡原理,任何放大器放音频响(声压频响而非输出信号频响)的高音和低音延伸范围,以中音 1kHz 为准必须有相同的倍频程,否则听感会明显感到高音或低音不足。

放大器的频响有两种测量和标注方式。电信号输出的频响,测试的是放大器输出电信号幅度的不均匀性。对成套的音响设备来说,这种测试和标注的频响曲线系指放大器本身输出电信号的频响,而非放音频响,最终放音频响则取决于扬声器的电声转换频响曲线以及放大器和扬声器的配合。成套音响设备若只标出放大器的电信号频响,而不提供放音频响,则怀疑电声转换系统——扬声器、音箱有不便说明的不理想之处,也可能是商家在有意误导消费者。

名牌成套音响多标出放声的频响曲线,可使消费者省去另配扬声器的麻烦。说到这里,不要以为一台电信号频响理想的音响放大器,配接名牌扬声器或成品音箱,就会有理想的放声频响曲线。实际上,无论放大器、扬声器的档次再高,价格再贵,也难免有一定的频响不平衡度。尤其是扬声器还音曲线起伏较大,在名牌音响器材生产中,两者搭配时可以采取互补的方式予以校正,使得起伏被填平,但这对消费者或发烧友来说,是难以做到的事。例如,扬声器和音箱即使按设计生产的合格产品,在频响范围内出现放音声压较大的起伏,如系某一频率附近出现声压下凹,则可通过调整放大器电路参数使相同频率附近出现一定的上凸,通过电信号频响校正放声曲线,以使音响设备的放声频响更理想。这种装配调试过程没有相应的设备是难以实现的。

音响设备的放声频响与音质的高保真直接相关,但是一味追求宽频响也有不利因素。放大器的频响越宽,提高整机增益越困难,同时产生其他失真的可能性也越大。因此,采用频响范围也应权衡利弊,量力而行。虽然宽频响与放大器音效直接相关,但有的情况下也可以在有限的频响范围内得到较好的音响效果。

音响界前辈经多年来的实际测评,发现人耳对高低音域的对称性相当敏感,对此对称性的听音要求有两种异曲同工的说法。

放大器在其频响范围内,以人耳灵敏度最高的中音域 $800\sim 1200\text{Hz}$ 为中点,使低音区和高音区的频率延伸保持对称、平衡。相对于中音频率,高音频率的延伸必须使低音频率有等量的延伸。此处的等量不是指高音或低音的频率绝对值,而是指“倍频程”。当高音频率延伸达到几个倍频程时,低音区延伸倍频程需与之相等,通常称为频宽等式。按此规律设定频

率范围，则会在有限频响范围内得到令人满意的效果。

所谓倍频程是指频率增大1倍，称之为1个倍频程，含义类似音乐中的8度音阶。如频率 $f_2/f_1=2$ ，即称为 f_2 与 f_1 相距1个倍频程。如按此平衡规律，以800Hz中音频率为准，选择频响低端频率为50Hz，则50Hz的第1个倍频程频率为100Hz，相对的2个倍频程和3个倍频程的频率分别为200Hz、400Hz，也就是说到800Hz中音、低音区有4个倍频程的范围。按平衡的要求，中音800Hz到高端截止频率也需有4个倍频程，则1~4个倍频程的频率分别为1.6kHz、3.2kHz、6.4kHz、12.8kHz。因此，对低档次放音设备选择50Hz~12.8kHz的窄频响范围，也可使放大器有较理想的音效，听音者既不会感到高低音不足，也不会感到高低音过强。

如果不按上述规律，根据个人偏爱低音的特点选择20Hz为低频截止频率，若高音截止频率仍为12.8kHz，则听音感觉会明显感到声音发闷，缺乏高音。事实上，目前流行的书架式音箱组成的台式音响，正是利用人耳的这一听音特性开发的。书架式音箱，无论低音扬声器还是箱体，低频响应特性必然较差，造成声压频响特性向下延伸的困难，此时只要控制高音频响的声压，使之与低端平衡，则人耳感觉到的高、低音是均衡的。此平衡规律被广泛的应用于小型音响和便携式音响中。

上述听音规律是在20世纪中期，由欧洲音响界众多专家通过实验结果得出的，此结论表明的是人耳的听音生理特征，无道理可言。从20世纪50年代起被音响界公认，而且被一些音响器材生产厂广泛利用，同时也对音响放大器的摩机提供参考原则。

例如放大器的音调控制器，如果采用单一高音或低音控制电路，在提升低音时必然同时衰减高音；而采用分开的高、低音控制电路则结果稍有不同，提升低音时相对地对高音衰减比较小。很明显，采用此类音调控制的结果必然使音响的上述平衡性被破坏，结果是使放音中感到缺少高音或低音。此点也正是音调控制器的设计初衷，以满足个别听音者的偏好，或使某些本身频响不平衡信号源通过调整音调达到平衡。

所以，在扩展低频响应的同时，如不改善高频响，则会感到总体音响效果偏暗，高音不明亮。因此展宽频响必须高、低音同时进行。一台放大器扩展高频响，往往比单纯扩展低音更困难。首先是音箱的配置：当配用输出功率较大的有源低音单元时，对原有音箱的中、高音单元的功率也应相应地增大。即使放大器有足够的功率储备，音箱中放音单元的功率、尺寸，成为中、高音放音频响的限制因素。由此说来，对已经选定的放音单元来说，加入超重低音音箱，要考虑尺寸和功率，否则效果也难如人意。

一位AV家庭影院的痴迷者，为了欣赏大片中电影配音，购置AIWA组合音响，额定功率标称值为100W×2，左右声道音箱为小型书架形两单元分频音箱，高音为球顶2.5英寸扬声器，中、低音为2只5英寸扬声器。使用中因感低音冲击力不足，自行升级，将R/L声道输出外加电阻矩阵，取出R/L信号，另设8英寸扬声器的有源低音音箱。改装后，欣赏大片配音，虽然低音颇有力度，但人物对白、背景音乐几乎被淹没，一片“轰轰”声，使语言分解力惨遭破坏，以致听音乐碟片时只能关掉低音。

对于名牌组合音响，放音单元的配置和放大器的功率带宽是严格匹配的，以使能在小型音箱的条件下有极理想的、平衡的音域。生产厂家绝对不会让放大器的驱动指标，远远超出单元的范围，也不会配用超过放大器输出指标过多的音箱。在此特定匹配的组合中，想扩展频响必然牵一发而动全局。利用8英寸扬声器的重低音有源音箱提高低频声压，欲使中、高音声压同比扩展将十分困难。若想维持可听的水平，只有将重低音音量压低，以保持声频频

响的平衡。可是，扬声器尺寸越大，低频谐振点频率越低，人耳听音灵敏度随频率降低。所以，对组合音响或配有特定音箱的放大器，扩展声频响须谨慎对待，即使功率储备较大，对高、低音扬声器的功率配置也极为麻烦。当然，对自配音箱的音响器材有较大的自由度，如果加装 8~10 英寸的重低音单元，只要放大器功率足够，可以适当增大中、高音单元的功率，重新配置放音单元。

（三）勿给驴子配金鞍

俗话说“好马配金鞍”，对音响器材中的配套也是恰如其分的形容。给驴子配金鞍显然是不明智之举，但初入摩机之路者却难免误入歧途。音响器材和附属设备的档次几乎是无止境地扩展，放大器的档次有天壤之别，仅仅是一根信号线，高低档次也相差极大，从低档的隔离线售价不足十元人民币，到高档信号线达到万元者也不少。至于信号源、扬声器等更是高低悬殊，在搭配选择中如不门当户对，不但不能发挥优势高价器材的潜在功能与表现力，而会使慷慨解囊化为一片失望，给驴子配上金鞍也未必比一匹最劣等的马跑得更快，远不如把购置金鞍的经费换一匹配用木鞍的马！

近年来，音响发烧友对信号线、接插件给予极大的关注，采用价格昂贵的名牌信号线和镀 24K 金的 RCA 插头、插座成为发烧时尚。首先应该肯定的是，优良的信号线和接插件对降低音响的失真和噪声确有关系。长期使用音响的发烧友可能都有以下经验，即一段时间未使用的音响，当某一天打开电源时突然发现某一声道无声，拔下输入信号线，开大音量扬声器有轻微“电流声”，手持小改刀触及输入插座内心，左右声道扬声器有正常的噪声，说明放大器完好。而用电视机检查播放的信号源有正常的声图，因此可以肯定问题出在信号线及 RCA 接口上。用万用表检测信号线无断路、短路，再插入放大器又一切正常，无疑是输入接插件日久接触不良所致。一般的放大器和信号线 RCA 插头、插座大多为镀铬的产品，也有的低档次产品为镀镍的黄铜制品。镀铬的产品都经抛光，表面光亮，不太容易氧化生锈。镀镍的产品新购入时和镀铬相近，但光泽较暗，而且去掉包装后经过月余表面即呈灰白色，用手轻擦会有白色粉末。镀铬的产品有的镀层太薄，日久磨损后露出内部镀镍保护层，则和外层镀镍者无异。更严重的是，镀层被氧化后有褐色铁锈，说明此 RCA 接插件的本体铆接焊片中采用的是铁，经镀铜再镀铬的假冒伪劣品。即使是本体为黄铜镀铬的大多数普通 RCA 接插件，长期在潮湿的空气中受酸、碱性气体侵蚀，也会被腐蚀，造成上述接触不良的故障。

别以为将其拔出再重新插入稍加转动一下就完全正常了。笔者做过一个实验，以证明信号线、接插件之重要性。首先在严重氧化的接插件造成的无声、声音断续的音响中，拔下接插件，然后不转动插头，将其轻轻插入，人为形成接触不十分可靠的状态。此状态下接通音响电源，播放一曲自己熟悉的乐曲，你会发现音响的放音效果会出现一种特殊的失真现象：低音扬声器发出的是类似人被卡住喉咙大声喊叫时受阻的声音，只有在声音最大瞬间发出声音，无前后的过渡阶段。如果以信号波形形容，本来是正弦波，被削去最大值前后，上升下降阶段而变成准矩形波，低音鼓色变成了短促的敲桌面的声音；中、高音扬声器发声明显变小，音量开到最大也仅有正常的 1/10，但听不出明显的失真。分析产生此现象的原因是，接插件接触不良造成的，在接触点上形成较大的接触电阻，此电阻不同于一般集中参数的电阻，不但阻值极不稳定，而且在外加一定范围内的电压时，出现单向导电现象。铜在复杂的腐蚀性潮湿气体中会产生单向导电的氧化铜，当电压较低时具有类似“二极管”的特性，一

且电压稍高，电流较大则被击穿，又具有接触电阻特性。音频信号中的低音不只幅度高、电流大，持续时间（周期）也比较长，大电流使接触电阻压降急剧增大，以致信号中过渡期电压稍低时传导受阻。加上氧化物产生单向导电效应，使正弦波信号被“检波”，产生大量的谐波。在此过程中，高音信号幅度也同时被降低，同样会产生类似的失真，只不过人耳对音量小时感觉不灵敏而已。

此种接插件被腐蚀后，一般是将插头用力转几下插入，或者用细砂纸打磨后继续使用，一般听来好像正常，其实只是程度的不同，接触处仍有不可忽视的接触电阻，在放音时也引入了失真，只是较小而并未被一般人所发觉而已。用细砂纸打磨后，镀铬层被破坏，露出铜后会加速上述腐蚀过程。综上所述，接插件的腐蚀过程都在进行，信号传导过程中的非线性也就难以避免。

克服 RCA 插件的上述现象，显然镀 24K 金是有效的。由此可引申到信号源采用无氧铜，或采用纯银线，且密封装配也并非多余。导线的氧化物等杂质使导体电流分布不均，是产生杂音的祸首，只不过上述现象是极端现象。信号线、接插件在未达到上述明显故障之前已存在易被忽略的失真，要分辨出这种失真，一是靠发烧级耳朵，二是放大器的档次。低档次放大器本身噪声、失真都远超出线材和接插件引起的 $THD+N$ ，内部劣质元件，无论电阻器还是薄膜电容器的电极引线引出方式，由于不可靠的连接，形成“低电平失效”，也形成与接插件类似的现象。配用镀金接插件、纯银信号线也于事无补。

发烧友常迷信的另一件是“补品”电容器。在音响报刊中常有报道称，将耦合电容器由廉价电解电容器更换为 SOLEN、WIMA 顶级无极性薄膜电容器，可有效消除音质劣化因素，使声场开阔，定位准确，高音靓丽……名牌电容器 $\tan\delta$ 小，绝缘电阻高，高频 ESL、ESR 极低是不容否认的。但是只要原来用的电解电容器是合格的，在低档音响中名牌电容器的优势难以优势。因为电容器的高频等效电感 ESL 极小，受影响的频率也极高，受此分布电感影响的是高音的谐波成分，谐波分量是表现特有的音色的，低档音响本身频响局限于 20kHz 以下的基波成分已属不错的指标，对高次谐波含量根本无能为力，此点是低档音响音质较差的重要原因。仅更换几只耦合电容器而使频响大幅扩展是不可能的，因为频响宽度除耦合电容以外，受制约的条件，耦合电容只是九牛之一毛，单纯更换耦合电容显然不能达到改善频响的目的。

前级运放在 OCL 放大器有举足轻重的地位，其小信号放大功能是使放大级有足够灵敏度的条件下，有较小的 $THD+N$ ，同时负反馈的直流伺服功能可以保证 OCL 放大器有极低的零点电位漂移。因此，摩机时更换运放成为主打手段，一时“运放王”、“运放皇后”之类封号满天飞，先是 NE5532，随后是 HA5112、NE5534、NE5535。迷信者称 NE5535 等有更高的开环增益、带宽积和极高的速率。据称，新一代军用品运放 LT1057 被称为移声选像的大师，替换音响中 NE5532、HA5112，音质飞跃立竿见影，音乐细节突现无遗，解析力大幅提高……依笔者之见，所有对某一种元器件的作用夸大其词都是不可信的，红花还需绿叶配，很难想像二流音响换上 LT1057 立即成为名牌机，也许只有在一流名牌机中换入 LT1057，才会出现锦上添花的结果。

在音响器材中，元器件部件的选择和音响器材中的搭配，都涉及“好马配金鞍”的原则，目的是以最低的成本得到可以实现的最佳效果。

(四) 摩机不违基本理论

设计音响放大器均以基本理论为纲,结合市场实际需要决定功放的取舍,采用相应档次的元器件和保证产品符合要求的工艺流程等,是一个严密的系统工程。摩机属二次设计,脱离甚至违背基础理论的摩机,虽暂时可得到自认为满意的效果,但毕竟经不起推敲,一旦自身欣赏素质有所提高,必为当时的“满意”而脸红。前几年曾有人“发明”一种称为“胆味校声器”的产品,在电子报刊上打广告,向摩机者推荐。据称,只要在晶体管放大器输入级之前加入此胆味校声器,则石机变胆机,不仅胆味十足,而且音效靓丽,数码声去无踪。由发表的电路不难看出,实际上是由普通电压放大三极电子管组成的阴极输出器,为了达到所谓“校声”效果,该三极管的工作电压低至 $20\sim 30\text{V}$ 。据原文称,此状态可使输出信号中有丰富的谐波,以达到“胆味”的效果。此言不错,一般电子管工作于极低电压时,在特性曲线的弯曲处,非线性必然导致谐波含量提高,也即产生严重的非线性失真。实际上,“胆味”从何而来,福建科学技术出版社出版的《电子管放大器设计与装调技术》一书有详尽论述,可供参考。此处只肯定地说,“胆味”绝非是由高谐波分量所致。基本概念的错误,设计出错误的电路,如果照此摩机也必然得到错误的结果。

此类错误在通常摩机中并不在少数。近来音响发烧界又有一种新的“理论”,说是单端A类输出级音响效果优于A类推挽输出级,原因是单端A类输出级有丰富的偶次谐波,更具“胆味”,而A类推挽将偶次谐波大部分被抵消,故“胆味”不浓。此种“理论”对胆味的曲解颇有市场。以音乐欣赏的角度评价,无论奇次还偶次谐波,均属非线性失真的产物,如果你有欣赏非线性失真的“癖”,个人所好无可厚非,但令众人认可的听音评价方为真理。试问,偶次谐波又使听音效果的哪一具体项目有所改善呢?大部分拥戴者又无言以对,只是听之好听……有人觉得摔酒瓶、原子弹爆炸的声音好听,自己听可以,但勿冠之以天下最美妙的声音。听高级音响,别人都说效果无与伦比,可也有人说“的确不错,‘松香味’极浓”,此话若被小提琴大师听到恐怕气得撞墙。所以,热衷于摩机还必须提高自身的音乐素养和欣赏音乐的水平。

(五) 以听音评价确定摩机目标

如果以摔酒瓶的高保真和听出“松香味”为摩机目标,不是不可,也可以达到某种目的。根据频谱分析原则,摔酒瓶声音的保真程度,取决于放大器的突然爆发的冲击声有干净利落的反映能力,玻璃碎片在光滑地板上滑动的声音和碎片突然落地的声音,则要求放大器有较好的高频响应和高音分解力。说来如此,简单根据摔酒瓶来判断放大器的音效却不那么容易。首先是,摔酒瓶的现场声音并无一定标准和规律,何种效果最保真也就无法说清,当然对放大器音效的听音评价也就难以下确定的结论。再者,摔酒瓶也好,“松香味”也好,即使能表现出放大器的某一方面音响效果,也是极不全面的。如摔酒瓶的声音清脆、利落,有一定的冲击力,只能说放大器的高音分解力、冲击爆发力尚可,但高音是否失真,当有低音同时存在时,有无交调现象,都无法分辨,毕竟摔酒瓶的声音组成是单调的。作为摩机对象来说,首先必须对放大器各种效果做出全面的评价,然后才能施行摩机手术。

利用各种音乐软件对放大器的频率响应、不同性质的非线性失真、交调失真、冲击信号的响应速率、放大器的动态范围,以及主观听感感觉到的其他各种不满意的音响效果,进行主观听音评价。音乐与生活中噪声之区别在于,音乐的组成不仅包含了音域广阔的音符,同

时还由不同的乐器组成各种不同的音色，致使人类听觉神经对有规律的变化十分敏感；音乐中音强、音调、音色、音品的细微变化，都会使人有明显的不同感觉。利用音乐对音响器材的主观评价，甚至连专业测试仪器也望洋兴叹。真正达到能在音乐欣赏中对音响器材的音效做出正确的评价，能指出某一不理想的音效是由放大器的哪一部分电路、哪部分功能的不足所导致的，是摩机“老手”必须具备的基本功。当然，达到高水平的音乐欣赏和丰富的音响电路知识并非易事，必须经过长期修炼方可达到。对初入门者，不可操之过急，如感到自己尚有不足，可以从以下几个方面起步。

1. 选择特定的音源

目前，CD机即使是普通产品也有足够的Hi-Fi效果，以标准立体声听音，即使不用SACD、DVD_{Audio}，也可以满足。关键的是碟片的选择。对一般发烧友来说，要求有较高的音乐欣赏水平不太现实，因此，选择音乐软件的首要原则是自己喜欢的乐曲。无论民乐、摇滚乐、流行音乐，选择几首乐曲作为听音评价的基础，但要考虑到以下几个选择原则。

民乐的特点是音域较窄，传统的京胡、板胡、扬琴、琵琶、笙等高音不超出4kHz，低音在100Hz左右，只有大低音胡可发出低于50Hz的低音。若以此类音源作为听音评价的根据，首先是受放音频带的限制，对频响的考核难以满足。其次是民族音乐的气势也显不够宏大，动态范围、交扰调制等缺点难以显露出来，尤以二胡独奏、丝竹乐等为甚。对于以民族音乐为原本，经过重新配器的器乐曲则不在此例。

音源中音域最宽者首推钢琴。钢琴键盘的高音基频为4.186kHz，最低音为27.5Hz，高音的高次谐波含量最高可达12kHz以上。现代的摇滚乐、流行音乐的音域也比较宽，其中低音鼓、电贝斯有强劲的低音，超低音鼓的谐波在40Hz以下还有震撼人心的效果，而三角铁、沙锤的高音谐波可达15kHz以上。此类碟片不仅对评价音响的频响极为有效，对其他指标也有明显的听感判别力。交响乐、流行音乐的声压动态范围极大，高、低潮之间起伏可达90dB，低潮阶段细如秋虫鸣叫，使放大器的噪声、交流声、杂音均无藏身之处，而高潮阶段出现的震天动地的爆棚，使放大器各种失真，包括非线性失真、互调失真等暴露无遗。因此，碟片选择最好是宽音域、大动态的交响乐、流行音乐等，尽量避免选择民乐、小乐队伴奏的独唱和各种独奏乐曲。除此之外，还应注意碟片本身录音质量和影音公司的规模、信誉。

近年来，CD刻录也极为普遍，某些名不见传的音像出版社也绞尽脑汁地开发出部分CD片，其中有不少产品由普通录音带、老式33 $\frac{1}{3}$ 转唱片甚至78转唱片，不加任何校正地进行翻录，效果可想而知，即使音响设备再好也使人听之乏味。此类CD片可从曲目、产品开发商和音乐效果方面加以分辨。

为了正确评价音响器材，如果选择的曲目自己不太熟悉，可用较高档器材在较理想的听音环境中多听几遍，以对音乐节奏起伏、音色的变化甚至演奏技巧的特色有所了解，听音评价中对此细节的细微变化才可有所觉察。档次差别不大的音响器材，音效的差异尽在细微之中，粗略听之是难以发现的。听音评价本身是一项艺术性欣赏，对主观音乐欣赏的素质有一定要求。

按此原则选择世界名曲、交响乐似乎是最理想的，君不见音响报刊，一谈到听音评价的音源，动辄约翰·施特劳斯的《紫罗兰波尔卡》、格里格的《A小调钢琴奏鸣曲》、柴可夫斯基的……不可否认，欧洲的古典音乐、交响乐均属流行了近百年的世界名著，无论乐曲的