

# 音响发烧友进阶 电子管放大器 DIY精要

唐道济 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

# 音响发烧友进阶

## 电子管放大器

### DIY精要

唐道济 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书内容为作者历年专题讲座之精华，加诸大量实验纪要整理而成，避免深奥理论和繁杂数学计算，对实践有很大参考价值。

第一章~第三章主要论述电子管声频放大器有关设计、装配、调试，以及有关电子管、输出变压器诸问题。第四章~第七章论述音质评价、音箱、听音室声学处理、摩机、线材、防振、音乐与生活 and 汽车音响等方面问题，并对一些误区进行解析。第八章、第九章列举了经典的电路技术及参考电路。

本书内容切合实际，深入浅出，适合音响发烧友、电子爱好者、音响工程师，以及高职高专院校音响专业师生阅读和参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

音响发烧友进阶：电子管放大器 DIY 精要/唐道济编著.

—北京：中国电力出版社，2016.1

ISBN 978-7-5123-7895-7

I. ①音… II. ①唐… III. ①电子管放大器②音频放大器  
IV. ①TN722

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 131548 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京博图彩色印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2016 年 1 月第一版 2016 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.25 印张 332 千字

印数 0001—3000 册 定价 58.00 元

## 敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

# 序 一

唐道济老师音响专业相关撰述，著作等身，素为吾人所崇仰敬重！

近阅新作《音响发烧友进阶——电子管放大器 DIY 精要》，此书把音响放大器制作所需的林林总总，详细有条不紊地为读者条列，分析清楚而完整，从各种放大器原理、线路、组件、结构等的选择，高保真的要求，噪声的避免，装配的方法、布线、调试，音质评价、音箱原理与选择等，专业知识与经验，精辟剖析，无一遗漏。

作者的认知深度、广度都够，不管初学或专业，都值得好好地阅读参考，因为从人的生命实相（禅观）了解，人类各个人身，因为耳根结构是不尽相同的，对音感的感受也就不可能一致，只有某一百分比的公约数，所以追求所谓的极致，永远是个人的事，各人的福报不同，如何追求事项的顶级一致？只能诉诸仪器评量，可是仪器也是人造的，冷冰冰，无生命器物，所以不要太执着、迷信个人意识的直觉，适己知止最为上策。

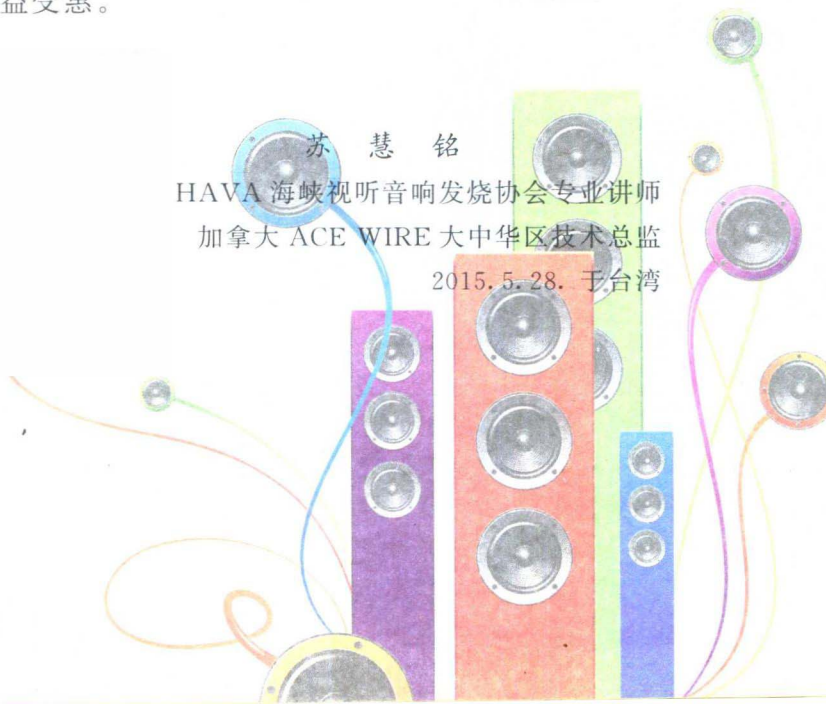
我喜研究哲理，随从已故冯道元老师研习南怀瑾系列著作有年，近年潜修生命实相，对宇宙万物根源，有更深入的体悟，加以年轻时即从事音响、电器产销业，壮年进入学校工作，中年受聘加拿大发烧线材 ACE WIRE 大中华区技术总监，迄今以长期经验者的身份，陈述阅后心得，特为同好及业者推荐，企盼读者都能增益受惠。

苏 慧 铭

HAVA 海峡视听音响发烧协会专业讲师

加拿大 ACE WIRE 大中华区技术总监

2015. 5. 28. 于台湾



## 序二

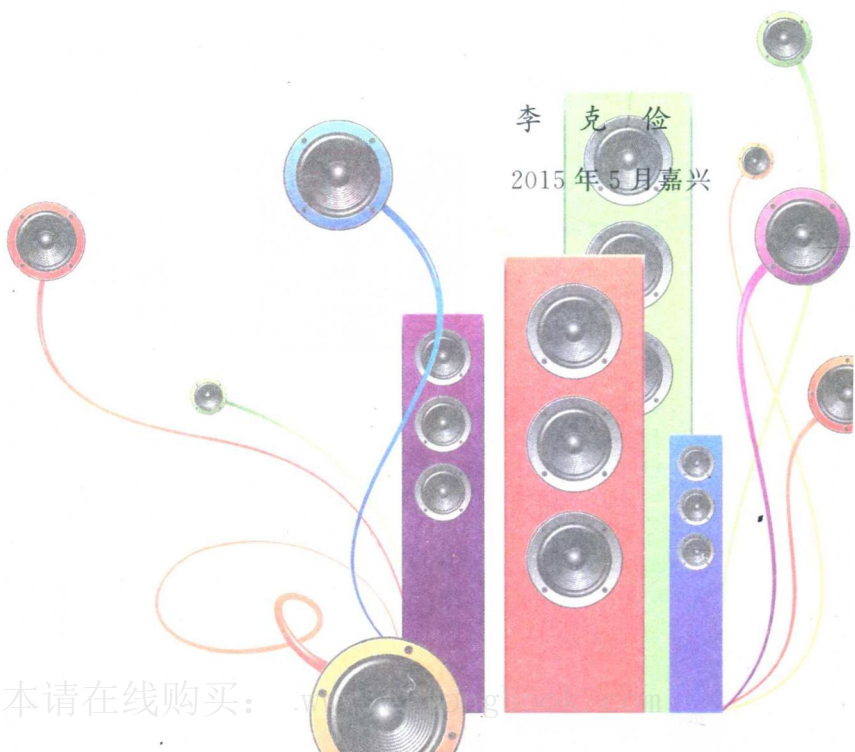
欣闻唐道济老师又一部力作将要面市。唐老师孜孜不倦、锲而不舍，为普及音响知识、音乐知识丰富人们的精神生活而默默耕耘的博大胸怀，让人钦佩和折服。

唐老师始终积极倡导科学的发烧理念。本书深入浅出的论述，详尽而有说服力的事例，告诫人们玩音响发烧要讲科学、要有理智，不能盲从、不能跟风攀比、更不能偏执，要把握度，要谦虚好学。重点要理解音乐内涵，不断拓展自己的听音范围和音乐知识，才能让您步入音乐的圣殿，真正享受音乐所带来的愉悦和养生效果。

音响发烧不在于投入多少，而在于找到一套您喜欢的音响，能陪伴您渡过美好时光，让您时刻惦记。这才是理智发烧。也是本书的精华所在。愿您早日踏上音响发烧之路。

李克俭

2015年5月嘉兴



# 写在前面

自20世纪70年代始，从事电声技术工作，历年之专题讲座，实验纪要，累积不少，现把有关现代电子管声频放大器的内容，包括设计、装配、调试及相关课题，整理集册付梓出版，希望能对大家有些帮助和启发。

声频放大器虽经人们大量研究改进，但重放声仍与真实声音存在差异，有个音质问题，使得声频放大器的设计和制作不容易掌握，形成特有的电路技术。特别是电子管声频放大器经历过衰落，昔日电子管电路之设计精髓未得承袭，出现技术断层，存在不少误解，笔者作了一些探讨，与大家交流。

鉴于人们对声音的感觉难以消除偏好之影响，还因人而异，故而听音评价工作往往很困难，笔者在此对有关问题作了些讨论。有关摩机、线材、防振、音乐与生活 and 汽车音响等均有涉及。

设计声频放大器涉及面很广，更需要丰富的经验，本书内容，是声频放大器领域的一角，但给出的实验资料和总结，相信对大家会有些具体帮助。

爱好者玩音响、DIY，要有科学的观点，否则会钻牛角尖，不仅浪费时间和金钱，还得不到真正的音乐享受，谨以“打破音响神话 倡导科学发烧”作开场白，伴你步入音响殿堂之门。

唐道济

2015年3月无锡



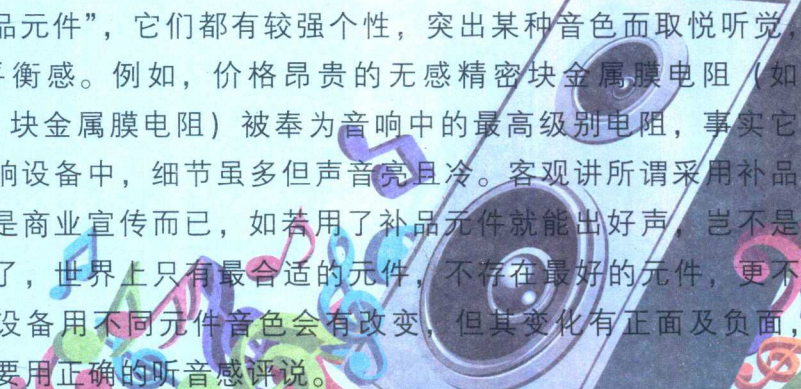
## 打破音响神话 倡导科学发烧

音响把音乐带给大家，提供精神食粮，但为了组建一套自己的音响系统，追求更高的境界，在诸多问题上常会有烦恼，为了正本清源，建立正确的科学发烧观十分重要。

音响界长期流传不少说法，不仅误导爱好者，甚至影响一些专业工作者。更有一些玄而又玄的论点，使不少不熟悉音响技术的爱好者深陷其中，去寻找那种虚幻的效果，浪费金钱和精力。这在商业气氛浓重的某些音响刊物中发挥得淋漓尽致，出神入化，一再传布重复，那些虚无的说辞似乎成了“真理”。爱好者绝大多数并无电子、电声技术基础，对那些似是而非，玩弄概念的说法缺少分辨能力，加上心理暗示效应，一步步地就使不少人深信不疑，于是乎音响界伪科学泛滥，这不能不说是发烧界的一种悲哀。

一、越老越好。电子产品并非古董，越老越好实在是误会，何况几十年前的材料和技术水准，远非今日可比，老元件之性能绝不会比现在的好。例如，几十年前的油浸纸介电容器，其有机介质——纸会老化、绝缘会降低，年代久远的铝电解电容器，其铝箔极片会腐蚀、电解液会干涸，那些古董级的元件即使现在还能使用，其寿命和性能也实在难有保证。当然有些老式电容器（如 Vitaman Q 油浸电容器）有较多声染，中频音色相当不错，会取悦某些人，但分析力差而缺少细节，更难以取得平衡的声音，老式碳质电阻（如 AB 电阻）声音虽较温暖，但噪声较大。排除心理因素，除非现生产的产品质量不佳或是使用不当，是不会输给老元件的。

至于所谓“补品元件”，它们都有较强个性，突出某种音色而取悦听觉，但会影响声音的平衡感。例如，价格昂贵的无感精密块金属膜电阻（如 CADDOCK “加当”块金属膜电阻）被奉为音响中的最高级别电阻，事实它并不适合使用在音响设备中，细节虽多但声音亮且冷。客观讲所谓采用补品重料元件云云，都是商业宣传而已，如若用了补品元件就能出好声，岂不是满世界都是好音响了，世界上只有最合适的元件，不存在最好的元件，更不是越贵越好。音响设备用不同元件音色会有改变，但其变化有正面及负面，并非有变化就好，要用正确的听音感评说。





二、多极管不及三极管。五极管、集射管比三极管音质差的说法，流传极广，主要根据是多极电子管的非线性失真较大、内阻较高。事实上现代声频放大技术随着负反馈技术的进步，多极管功率放大有了超线性、多重负反馈等方式，使多极管的缺点得以克服，而且增益高、效率高、功率大、驱动易更是三极管所难以企及的。只要合理设计，三极电子管和多极电子管的音色虽有不同，但绝非是好与坏的不同。电子管声音的好坏并不取决于其电极的多少，通常多极电子管的泛音表现更是好过三极电子管，这种情况在小信号的电压放大中同样存在。在选用器件时切忌孤立地看问题，要全面整体思考，否则容易片面理解，得出与事实相违的结论。

在三极管比多极管声音好的思维下，加上商业需要，一种可转换三极接法和多极接法的电子管功率放大器应运而生。功率电子管作输出放大时都有个最佳负载阻抗值，失真较小而输出较大。而多极管的最佳负载阻抗值与其三极接法的最佳负载阻抗值间相差较大，例如KT88超线性推挽的屏至屏最佳负载阻抗为 $6\text{k}\Omega$  (500V, 50W)，三极接法推挽时为 $4\text{k}\Omega$  (485V, 31W)，若用同一输出变压器，势必难以兼顾，多极接法负载阻抗偏低会使输出降低、失真增大，三极接法负载阻抗偏高会使输出降低、失真减小，只能选弊端较小的多极接法的阻抗值，牺牲三极接法时的部分输出功率。可见这种设计并不理想，仅可选择两种不同音色，再无长处可言。

三、推挽不如单端。单端功率放大的不对称性有较多偶次谐波，有种独特的音色，受到一些爱好者的热爱和推崇。推挽功率放大由于偶次谐波相互抵消，就有不同的声音表现，音色上与单端功率放大有所不同，但这种不同同样不是声音好坏的区分，只要合理设计两者难分高下。鉴于单端功率放大的效率低，输出变压器成本高，难以得到大的功率输出，更由于动态小，在应用上受一定局限，与音箱的适配能力也差，由于推挽功率放大的效率较高，易于取得大的功率输出，理应优先考虑。英国人就很少有人使用单端功率放大器。至于大功率放大器声音较粗糙，应该是其质量不高的表现。所以把单端功率放大加以神化，认为非单端不可的观点，未免有些偏颇武断。

四、电子管整流。电子管整流才能出好声音，是一种流传很广的观点，认为采用半导体二极管整流音质一准不好。半导体二极管整流对高频音色的不利影响，事实并非整流管之过，而是设计方面的原因造成。相反高真空整流二极管整流，真空整流管的内阻大，管压降大，对放大器的电压稳定性和响应速度等都有极大的不利影响，会造成放大器反应速度慢和冲击力不足。

还流传“大水塘”滤波电容器一说，认为电容量越大越好，可滤波电容器电容量过大，不仅对整流管提出高要求，还会影响声音的活泼感，使声音





呆滞，滤波电容器的电容量事实上要适度才好。类似的问题也出现在耦合电容器的电容量上，大容量的耦合电容器表面看好像有些好处，但过大会严重影响瞬态响应的速率。对元器件的选用，利弊取舍，不可简单化，合理与适度十分重要，要全面考虑不能片面追求，所谓过犹不及。

五、无负反馈。否定负反馈，鼓吹无负反馈（Non Negative Feed Back），至今尚有人在，事实上 20 世纪 80 年代学术界早有定论，可说没有负反馈就没有高保真。有些号称无反馈放大器实际也并非真正没有负反馈，它还是采用了局部负反馈，仅仅没有大环路反馈而已，所谓无反馈纯属宣传，哗众取宠而已。

对于电子管放大器，输出功率管的屏极内阻大，唯有施加负反馈才能减小，改善阻尼系数。无反馈多极功率管放大器的阻尼系数均小于 0.15，对扬声器的电气阻尼远远不够，没有负反馈也不可能有 0.1%~1% 的非线性失真度，最好的无反馈三极管单端功率放大器阻尼系数也只能做到 4，非线性失真 5% 左右，仍远低于高保真的最低要求。多极管功率放大器加以适当的负反馈，阻尼系数轻易就可达到 10 以上，非线性失真小于 0.5%，使用负反馈也并不像有些人担心的那样，会使放大器的转换速率变慢。当然，负反馈使用不当确有害处，关键在于方法，不在负反馈本身。

六、历史名机。迷信名机电路是另一种流行时尚，不过几十年前名噪一时的名机，限于当时的技术水准，以及扬声器和信号源等性能，有些电路设计在今天看来并非十分合理，也难满足现代听音的要求。不少媒体对历史上的名机，有着大量过度的评价，十二分的炒作，几乎达到绝对神化地步，大多出于商业目的等因素，鉴于爱好者大多不懂技术，就产生一些并不实际存在的性能期望，进而迷信其电路，事实能得到的效果与宣传所称总相去甚远，使不少音响爱好者尝了苦果。

声频放大器的好坏与否，并不是单凭其电路设计，电路本身并没有魔法可以保证其特性指标，关键在于电路设计中出现问题的解决方法，不同的解决方法各有优缺点，这就是同一电路，不同人制作会出现不同声音表现的缘由。不要盲目迷信电路，包括名机电路，电路固然重要，仅是一方面，除了电路组成合理外，整机的质量和性能还与元器件的选取、制作的工艺以及正确调试有着极大关系。盲目仿制常会使你花大笔金钱，换来个大失望，还怀疑自己的制作水平。20 世纪 50~60 年代的那些放大器普遍存在高频延伸不足，分析力欠佳，过于突出中频和有太多染色等不足，所以对历史名机要有正确的认识，方能不走弯路，世上没有绝对的好电路，只有设计合理的电路。



# 目 录

序一

序二

写在前面

打破音响神话 倡导科学发烧



## 第一章 电子管声频放大器的设计 ..... 1

### 一、电子管功率放大器设计概要 ..... 1

1 电子管的工作状态 ..... 2
2 单端及推挽 ..... 3
3 功率管的最佳负载阻抗 ..... 4
4 功率管的栅极偏压 ..... 4
5 功率管的栅极电阻及耦合回路 ..... 6
6 倒相 ..... 6
7 功率管的激励 ..... 7
8 功率放大器的负反馈 ..... 8
9 功率放大器的电源 ..... 9
10 发射管的使用 ..... 10
11 行输出管的使用 ..... 11
12 建议 ..... 12
13 实例 ..... 13

### 二、电子管前置放大器设计概要 ..... 14

1 阻容耦合放大器 ..... 15
2 阴极输出器 ..... 19
3 唱头放大器 ..... 20
4 电压放大器的负反馈 ..... 21
5 输入选择和音量控制 ..... 22

6	高压稳压电源 .....	22
7	建议 .....	24
8	实例 .....	24
三、	功率电子管帘栅极的稳定供电 .....	25
四、	电子管推动放大级的失真 .....	27
五、	高保真输出变压器 .....	30
六、	元件的选用 .....	33
1	电阻器 .....	33
2	电位器 .....	34
3	电容器 .....	34
4	开关 .....	35
5	管座和接插座 .....	35
七、	印制电路板设计要领 .....	36
八、	声频设备的电源变压器和滤波电容器 .....	40
九、	声频设备的整流管和滤波电路 .....	43
1	整流管和整流电路 .....	43
2	滤波电路 .....	45
十、	声频设备的噪声与降噪措施 .....	46
1	噪声的种类 .....	46
2	降低噪声的措施 .....	48
十一、	声频设备的接地 .....	50
十二、	声频放大器的参数 .....	51
 <b>第二章</b>	<b>电子管声频放大器的装配和调整</b> .....	55
一、	声频设备的机械装配 .....	56
二、	声频设备的焊接 .....	61
三、	声频设备的布线 .....	64
四、	电子管声频放大器的调整 .....	70
五、	电子管声频放大器的测量 .....	74
1	声频放大器频率响应的测量 .....	75
2	声频放大器失真的测量 .....	75
3	声频放大器方波的测量 .....	76
4	声频放大器瞬态响应的测量 .....	76
5	声频放大器输出功率/输出电压的测量 .....	77
6	声频放大器信噪比的测量 .....	78
7	声频放大器阻尼系数的测量 .....	78

8 音频放大器频谱的测量 .....	79
--------------------	----



### 第三章 电子管 .....

一、电子管越老越好吗 .....	80
二、电子管的寿命有多长 .....	83
三、300B 的前世今生 .....	84
四、电子管的误解 .....	87
1 盲目迷信老管 .....	87
2 盲目迷信军用管及高可靠管 .....	88
3 盲目迷信品牌 .....	89
4 片面认为直热式电子管声音优于旁热式电子管 .....	90
5 片面认为三极管的声音优于多极管 .....	90
6 片面认为真空整流管声音优于半导体整流管 .....	90
7 胡乱代换 .....	91
8 极限使用电子管 .....	92
五、电子管的选择 .....	93
1 电子管的选购 .....	93
2 电子管的选型 .....	96
3 电子管的代换 .....	97
六、电子管应用须知 .....	98
七、从 KT88 声音粗糙说起 .....	101
八、换管调声须知 .....	103
九、电子管的使用寿命 .....	104
十、多极管的三极接法 .....	105



### 第四章 关于听音评价 .....


一、声音的感觉与听音 .....	108
二、音乐欣赏与视觉环境 .....	111
三、心理暗示的影响 .....	112
四、盲听 A/B 比较的不足 .....	113
五、音质评价 .....	113
六、容易误解的音质评价用语 .....	117
七、欣赏音乐需要超高音和超低音 .....	118
八、当今音响的声音走向 .....	119



### 第五章 关于音箱 .....

一、扬声器与音箱问题 .....	121
1 带式高音与锥盆低音的匹配问题 .....	122

	2 全频扬声器的不足 .....	123
	3 号角音箱的缺点 .....	123
	4 老款音箱好还是新款音箱好 .....	124
	二、音箱的选择 .....	125
	三、音箱的脚架 .....	128
	<b>第六章 关于听音室声学处理</b> .....	130
	一、声音的特性 .....	130
	二、听音室的建筑声学特性 .....	137
	三、听音室的声学处理 .....	138
	四、听音室处理的误区 .....	142
	<b>第七章 其他</b> .....	143
	一、“胆”“石”之争 .....	143
	二、摩机的检讨 .....	145
	三、说说发烧线材 .....	147
	四、音响设备和机械振动 .....	151
	五、电源处理的重要 .....	154
	六、音乐和健康 .....	155
	七、音乐疗法的历史 .....	157
	八、音乐对儿童学习能力的帮助 .....	157
	九、汽车音响纵横谈 .....	158
	<b>第八章 技术的回眸</b> .....	161
	一、交直流两用收音机及其使用注意事项 .....	161
	二、交直流电池三用收音机及其灯丝电路 .....	163
	三、音调控制及其精髓 .....	164
	四、输出变压器绕组消除交流声 .....	167
	五、矿石收音机 .....	167
	六、再生式收音机 .....	169
	七、超再生式收音机 .....	171
	八、来复式收音机 .....	172
	九、调谐指示管——电眼 .....	173
	十、模拟唱片的频率特性 .....	175
	十一、响度控制 .....	176
	十二、放大器里的滤波器 .....	177
	十三、音量扩展 .....	178
	十四、增强高低音的负反馈 .....	180
	十五、可调电压的整流电路 .....	180

 <b>第九章 参考电路</b> .....	181
一、300B 单端功率放大器 .....	181
二、300B 功率放大器 .....	183
三、845 单端功率放大器 .....	185
四、6V6 推挽功率放大器 .....	187
五、6BQ5/EL84 推挽功率放大器 .....	189
六、6L6 推挽功率放大器 .....	192
七、5881 推挽功率放大器 .....	194
八、807 推挽功率放大器 .....	196
九、EL34 推挽功率放大器 .....	200
十、KT88 推挽功率放大器 .....	206
十一、211 单端功率放大器 .....	207
十二、12E1 功率放大器 .....	209
十三、813 单端功率放大器 .....	211
十四、6146 推挽功率放大器 .....	214
十五、ECC88 前置放大器 .....	215
十六、MM 唱头放大器 .....	215
十七、6SL7GT 耳机放大器 .....	216
<b>附录 A</b> .....	219
A.1 常用电子管引脚接续 .....	219
A.2 电阻规格标志 .....	221
A.3 电子管阻容耦合放大电路数据 .....	222
A.4 电子管倒相电路数据 .....	226
A.5 中国型号电子管的外围替代型号 .....	226
<b>参考文献</b> .....	229

# 第一章



## 电子管声频放大器的设计

理想的声频放大器能按原样放大输入信号，但当前只能做到在特定频率范围内正弦波在纯电阻负载两端响应的高准确性，对复杂的音乐信号，完全消除各类失真还不可能，所以声频放大器就有了自己独有的音色表现，并有了声频放大独有的技术。

### 一、电子管功率放大器设计概要

功率放大器 (power amplifier) 也称主放大器 (main amplifier)。功率放大器依据使用放大器件不同，可分电子管功率放大器和晶体管功率放大器两类。典型的电子管功率放大器由前级 (pre)、倒相级 (phase inverter)、输出级 (output) 组成 (见图 1-1)。对于高激励电压的三极功率电子管，由于倒相电路输出电压不够，在倒相级后面还需增加一级激励级 (driver)，以取得必要的增益量和输出电压，前级与倒相级常采取直接耦合方式。

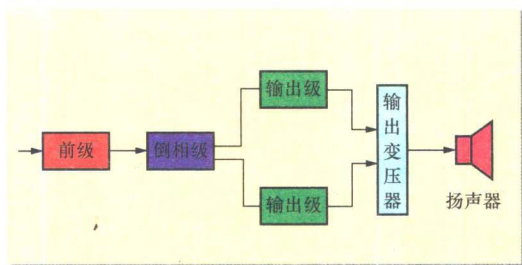


图 1-1 电子管功率放大器框图



功率放大器在最大功率输出时的输入信号电平，也就是灵敏度，传统电子管功率放大器大约 1V，现代电子管功率放大器则为 0.5V。输入阻抗则为  $1\text{M}\Omega\sim 100\text{k}\Omega$ 。功率放大器的输出功率应有适当的余量，一般居室内以普通音箱进行管弦乐的真实重放，电子管功率放大器必须具备 15~20W 以上的不失真功率输出能力，总谐波失真度小于 1%。

### 1 电子管的工作状态

电子管的工作状态，可分 A 类 (Class-A, 甲类)、B 类 (Class-B, 乙类) 和 AB 类 (Class-AB, 甲乙类) 等。A 类放大的栅偏压加在转移特性 ( $U_g-I_p$  特性) 的中间部分，运用于转移特性直线部分，如图 1-2 (a) 所示，不论信号电平如何变化，其屏极电流不变。小信号放大，大多是 A 类放大。B 类放大的栅偏压接近截止值，如图 1-2 (b) 所示，无激励信号时，屏极电流接近为零，加上激励信号时，屏极电流流通时间仅为信号周期的一半，实现线性放大需用一对电子管作推挽工作。AB 类放大的栅偏压使屏极电流流通时间大于半个周期而小于整个周期，在低驱动电平时，放大器为 A 类工作，当提高驱动电平时，变为 B 类工作。AB 类放大在字母 B 后加 1，表示在信号周期内无栅极电流，若有栅极电流则加 2。

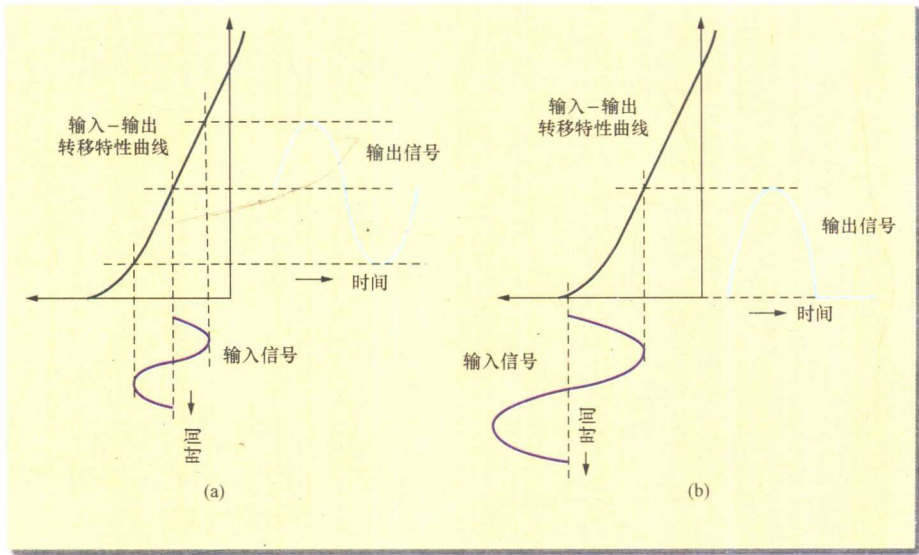


图 1-2 放大器工作曲线

(a) A 类; (b) B 类

电子管功率放大最常采用的除 A 类状态外，是 AB1 类状态。采用多极管作输出管时，AB1 类放大已能得到很高的屏极效率。AB2 类推挽放大在使用相同屏极电源电压，和相同电子管时，虽能在更高的屏极效率下获得大功率输出，但大信号输入时输出管会产生栅极电流，成为前级产生很大非线性失真的原因，故而在高保真功率放大中 AB2 类不被采用。电子管在不同工作状态时的屏极效率见表 1-1。



表 1-1

电子管功率放大的屏极效率

工作类别	单端 (SE)		推挽 (PP)		
	A1	A1	AB1	AB2	B1
理论效率 (%)	50	50	视工作点		78.5
实际效率 (%)	13~35	30~45	40~55	50~60	50~65

A1 类、AB1 类及 B1 类三类放大的最大输出功率相同，两屏极间的负载阻抗也可以相同。由于栅极偏压的变化而使零信号时的屏极电流也随之改变，所以不论工作于何种状态，其输出不变，就不必更换输出变压器。从 A1 类转移到 B1 类放大时，虽然屏极损耗减少，但栅极激励电压增大。

欲使功率放大级工作于最佳状态，必须考虑下列三点。

- (1) 栅极输入信号的大小，使栅极在负范围内。
- (2) 电子管的屏极耗散功率必须在允许值以内。
- (3) 工作点上的屏极电压。

## 2 单端及推挽

声频功率放大器可分单端和推挽两类，如图 1-3 及图 1-4 所示。

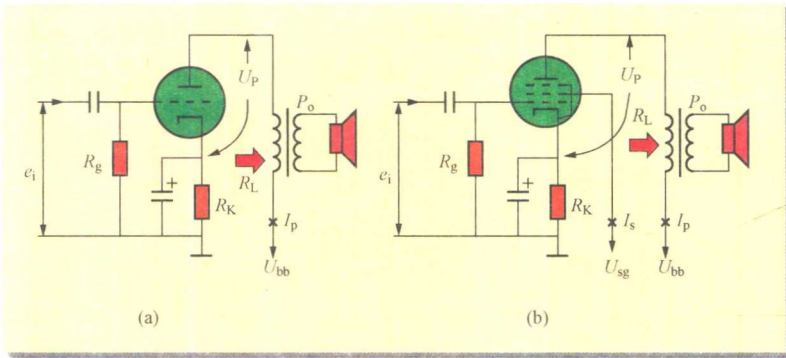


图 1-3 单端功率放大电路

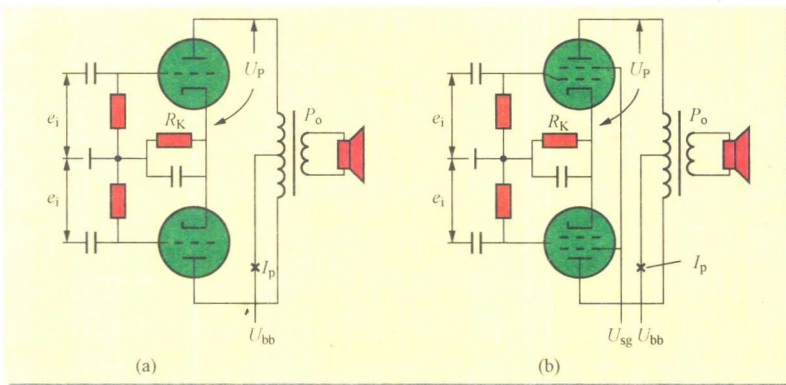


图 1-4 推挽功率放大电路