

• Hi-Fi 特稿 •

胆机电源的 A 电

37-40

林敦

TN86

电源是放大电路的能量基础。我们都知道，电子管与晶体管放大器在原理和结构上都有很大的区别，因此它们电源供给的原理和结构也大相径庭。饮水思源，系统地认识电子管的电源电路，是胆机发烧的必由之路，将为电子管电路的设计、制造和维修打下坚实的基础。

从电源供给的角度来看，电子管的电源分为灯丝电源(A)、高压电源(B+)和负偏压(C-)三部分，基本形式如图1所示。图中我们看到只有B电才能与晶体管电路电源的作用相对应，直接参与放大器的增益和能量转换，而A电和C电就只是电子管电路特有的。

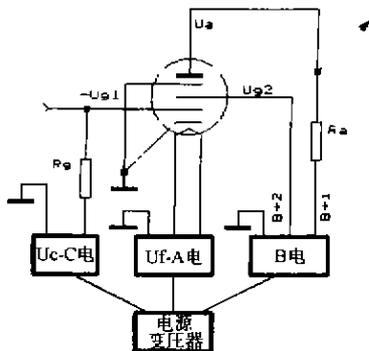


图1 电子管的电源系统

电子管诞生之初是用电池来供电的，当时灯丝、阳极、第一栅极各使用一组电池，A、B、C电的命名因此而来。A电的特征——低电压大电流适应了当时蓄电池的特性。其灯丝电压 U_f 的系列也是按蓄电池的电压标准度身定做，6.3V、12.6V等沿用至今。

按阴极加热的方式区分电子管

有直热式和旁热式两种。直热式电子管的灯丝即阴极，两者二位一体。旁热式电子管的灯丝位于筒状阴极的中心，灯丝仅作为阴极加热之用的热源。直热式电子管中多数是早期的电池收音机的收讯放大管和现在的直热功率放大管，前者已是昨日黄花，后者却以迷人的音质成为现代电子管队伍中的佼佼者——2A3、300B、211、845等，为今天发烧友们梦寐以求的胆之瑰宝。

在电子管放大电路中，A电只是作为灯丝的加热电能供给，不直接参与电路的工作过程，但它对全电路的工作质量依然是举足轻重的。

1. 灯丝电压的影响

一般灯丝电压 U_f 的偏离值要求小于 $\pm 8\%$ ，例如按电子管手册的规定，灯丝电压6.3V的管子的极限值为5.7和6.9V。然而灯丝电压在这个范围内偏移时，电子管的工作表现是否能一如既往呢？

我们先看看描述电子管热发射能力的舒曼公式 $J = AT^2 e^{-W_0/KT}$ ，式中T是阴极的绝对温度，A、K、 W_0 是常数。我们且不讨论此公式，只从公式的文字表达上就可理解到，阴极温度的变化（由灯丝电压变化所导致）对电子管发射能力影响是非常大的。

假如一个氧化物阴极电子管（最常见的普通旁热管）的灯丝电压 U_f 由6.3V降到6.0V，在灯丝电压变化4%这样小的允许范围内，可认为阴极温度变化与灯丝电压变化的平方成正比比例关系。即灯丝电压为正常值的96%时，阴极温度前后的比率为 $T_1/T_2 = (U_1/U_2)^2 = (6/6.3)^2 = 0.92$ ，由上述舒曼公式计算出，此时

阴极发射率急剧降到正常值的0.335！当然决定阴极电流的主要因素还有栅极电压和阳极电压的加速作用，但从这个计算结果也得知灯丝电压偏移的影响程度是相当严重的。

从实践中体会到，若灯丝电压升高，阴极温度随之升高，阴极温度的超额使阴极的发射能力陡然增加，整机的音质表现是生动活泼，丰满和弹性十足，但交流声明显增大（前级）。其害处是阴极的发射物质过量的蒸发，使电子管透支早衰。

反之，若灯丝电压降低，阴极温度下降造成恶音，其表现是音质暗淡苍白和软弱无力。不过也有人以降低少许灯丝电压来校音，使音质变得松软些，或交流声低一些，当然这种不规范的校音手法难以得到大众认同。

灯丝电压不足对电子管寿命也是有害无益的，因为当阴极加热不足时，阴极的各部位受热不均匀，温度较高之处被逼承受了大部分的阴极发射电流，造成此局部区域的温度—电流—温度的恶性循环上升，使阴极受损，同样很快造成了电子管的衰老。

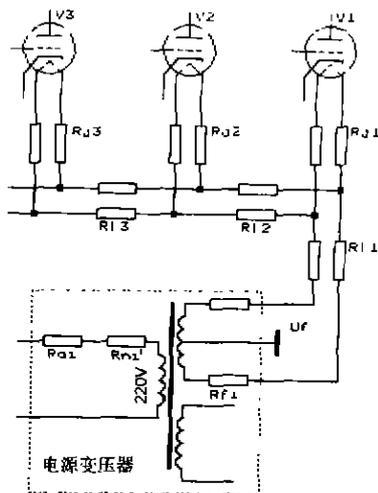
在显示或测量的放大器中，电源电压不稳使电子管的阳极电压波动，会影响输出信号的幅度，其输出变化的量值在显示的波形或者数值上就能直接读出。而灯丝电压在允许范围内变化的影响，输出量值上也许难以觉察。问题的要害在于，在Hi-Fi音响放大器中，灯丝电压波动影响的关键不在乎量（输出功率）上，而是在质（音乐品质）上。发烧友在聆听胆机音



乐时,他并非在领会乐声的体积,而是在欣赏音乐的韵味,用心灵去感受音乐的真髓。灯丝电压不足的面影响,如同阴影般在音乐品质上缠绕附着,使音质黯然失色。遗憾的是,A电的负作用在经典的技术参数和电路分析上却完全被忽略了。

资深发烧友都清楚,电源不稳的波动影响,作用在灯丝电压上的效果更甚于阳极高压上。电子管的阳极电压可选范围很大,例如6P3P(6L6G)的几种典型运用值的阻压在250V到400V的大范围之内,音量音质都有较佳表现。故此阳极电压在一定范围内波动造成的输出功率和失真的影响很小,不会使人耳有所觉察,因为人的听觉服从音量功率的对数变化规律。而灯丝电压不足对音质的损害,人耳却能比较敏锐地感受到,而且对于这种音质的劣化,试图用任何其他改良措施去补偿都是无济于事的。

A电的特征是低电压(5V,6.3V,12.6V)和大电流(后级电流达4~20A),影响灯丝电压幅值的因素有电源变压器的内阻、馈线电阻、以及电子管管座和接插端子的接触电阻,如



- R_{a1} 初级线圈内阻
- R_{ni}' 初级的综合反射内阻
- R_{f1} 灯丝线圈内阻
- R_l 灯丝馈线电阻
- R_j 插座接触电阻

图2 影响灯丝电压的线路电阻

图2所表示。当然还有市电的电压波动的外部因素。

灯丝馈线的电阻对灯丝电压的影响是决不能掉以轻心的。灯丝的电流很大,百分之几欧的电阻所造成的电压损失也不可小觑。下举一例说明。

某胆机灯丝的电流为4A,通常的做法是:选择截面0.3mm²的软铜线馈电(标称载流量是6A,已留有余量)。在其双绞线长0.3m,工作温度75℃时电阻值为0.051Ω,实际的结果造成了0.21V的电压损失,0.8W的功率损耗,使电子管的灯丝电压由6.3V下降到6.09V,音质发生了可以觉察的下降。这么一段毫不显眼的电线也对灯丝电压产生了负影响,其影响程度之大有点出人意料之外。

所以在制作胆机的第一步——电源变压器的设计制作中,就应对灯丝绕组加以足够的重视。灯丝绕组的设计貌似简单,但要真正达到Hi-Fi的要求也并非容易。灯丝绕组设计的主要指标是温升和电压调整率 $\Delta U\%$ ($\Delta U\% = \frac{U_{r空载} - U_{r额定}}{U_{r空载}} = \frac{U_{r空载} - 6.3/U_{r空载}}$)。温升指标考虑的是导线载流量和散热条件,比较简单直观。而电压调整率则要综合考虑电源变压器的内阻(包括灯丝线圈的热电阻、初级线圈的直流热电阻及其反射的阻抗,如图2的R_{f1}、R_{i0}和R_{ni}'),此外还要考虑外电路的线路电阻和插座电阻(R_l和R_j)等因素,以达到电子管管脚的灯丝电压为规定值为目的。

设计精良的电源变压器是Hi-Fi胆机的品质的保证和可靠性的基础,遗憾的是鲜见有关电源变压器的设计资料强调灯丝电压准确稳定的重要性,设计中有关A电的部分往往被简化处理。不少发烧友对A电欠佳的负面影响也认识不足,相信大部分制作者就从来没有校核过达到电子管脚上的灯丝电压的真实值。

220V市电也是个不稳定的因素。在市电变化正负百分之十时,6.3V的灯丝电压变化在6.93到5.67之间。电压低时音质恶化,电压

高时声音“情绪激昂”,更危险的隐患是过压可能会造成功率电子管阳极电压系统崩溃而烧坏。因此在市电起伏大的地方,无论从音质或安全的角度看都应该附加电源电压调整的功能电路。

2. 交流噪声的影响

一台合并式胆机竣工时,我们满怀美好的愿望去试机,但一开机的声音表现却令人大为沮丧:信号的背景上浸淫着交流哼声,音质浑浊无层次——这几乎是每一位胆式发烧初哥都必然经受过的痛苦历程。为什么精密的电路谋划和苦心的工艺炮制,却仍遭遇交流声的纠缠?答案是忽视了A电噪声干扰的后果。

A电是电子管放大器噪声的主要来源。交流噪声由电源工频50Hz或100Hz的基波及其高次谐波组成。基波成分听起来比较低沉,称为哼声。而高次谐波交流声的频率较高,其噪声干扰比较尖锐,干扰的穿透力比哼声强。高次谐波来自电源的污染,可控硅、整流子交流电机、开关电源等变流装置会向电源回馈高次谐波,在电源正弦波的波形上附加了畸变,这种高次谐波造成的交流噪声在工业地区比较明显。

在低电平高增益的放大器中,例如话筒、动圈唱头放大和一些仪器的高输入阻抗的测量电路等,抑制交流噪声的干扰往往成了电路制作的第一难题。即使我们一丝不苟地实施了各种技术措施,残余的交流声仍然超过诸如电子管内部热发射噪音、电阻热噪音等等影响。要成功地抑制交流噪声,制作出品质卓越的胆前级放大器,除了精选优良的电路图外还需要炉火纯青的工艺手法,这就难倒了不少发烧友制作者,也使电子管电路长期蒙受“非低噪音放大器”的不自之冤。

电子管的灯丝与栅极存在着分布电容C_{fg}及漏电阻R_{fg}(主要由管座不洁造成)。用交流电点燃灯丝的电子管,其电压U_f会在灯丝两端产生一个峰—峰值为(2^{1/2})U_f的交流电场。由于电子管的信号栅极(第一栅



g1) 的输入阻抗很高达数百千欧, 很容易受到此电场的感染, 使输出信号中混入交流声的背景噪音, 如果灯丝不接地电位, 灯丝的交流电压就全部通过 C_{kf} 和 R_{kf} 耦合到阴极上, 造成强大的哼声干扰。即使是灯丝接了地, 其干扰也不会完全消除。

为了消除这种影响, 有效的方法是在变压器的灯丝线圈设置一中心抽头, 抽头接地, 从而把电子管灯丝上对地的电压从 $(2^{1/2}) U_f$ 分裂为 $\pm (2^{1/2}) U_f/2$, 每一瞬时都等量而反相, 结果使作用在电子管输入栅极上的噪声干扰电流就可以抵消, 见图 3(a) 所示。

如果变压器灯丝线圈无中心抽头, 可以用电阻组成平衡桥路, 也有异曲同工之效, 见图 3(b) 所示。若用电位器代替电阻, 能精密地找出电桥的平衡点, 使交流声影响最小, 图 3(c) 所示。

以上交流哼声平衡抵消的做法, 只须在前置放大的电子管上施行。功率放大级的电路中因为信号电压已

足够强, 交流哼声的干扰影响已无能为力。

灯丝与阴极存在二极管效应: 高温的灯丝成为类二极管的阴极发射电子, 而阴极成为类二极管的阳极, 吸收的电子形成 50Hz 的整流脉动电流, 混进放大电路造成交流哼声干扰。如果阴极的电位比灯丝高, 形成一个正向的加速电场, 二极管效应就更显著。因此在前置放大电路的设计中, 我们必须使阴极的电位比灯丝的负, 制造一个负电场封锁消除二极管

效应。具体的做法就是给灯丝一个对地的正电压 $U_f(DC)$, 使

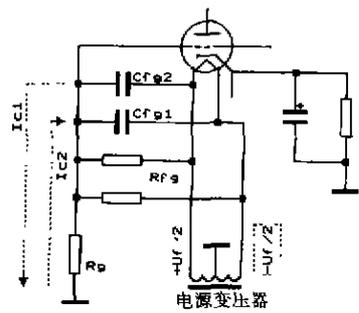
$$U_{f(DC)} > (2^{1/2}) U_f + U_k = (2^{1/2}) \times 6.3 + U_k = 8.8 + U_k \approx 11V.$$

式中 U_k 是前置电子管的阴极电压, $U_f(DC)$ 的数值又不能高过电子管的“最大灯丝与阴极间电压 $U_{fk \max}$ ”(一般 $U_{fk \max} \leq 100V$)。

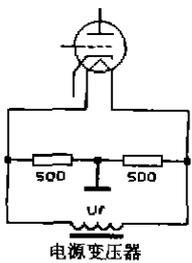
在 A 类单端或推挽输出的后级电路中, 功率放大管的阴极的电压达十几伏以上, 同时并接有大容量的旁路电容器使阴极为交流的地电位。因此这个阴极电压正好被借助作为前置电子管的 $U_f(DC)$, 见图 4(a) 所示。

SRPP 电路中 $U_f(DC)$ 的获得见图 4(b), 有阴极输出器或阴极倒相电路的前置电子管 $U_f(DC)$ 的获得见图 4(c) 所示。直热功率管胆机的前置电子管 $U_f(DC)$ 获得见图 4(d) 所示。

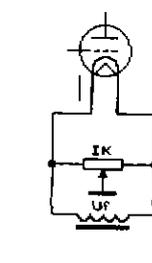
功能完善的通用电路如图 4e。 $U_f(DC)$ 由 B 电分压而得, 并接入灯丝交流电压的中点。这个电路成功地应用



(a)

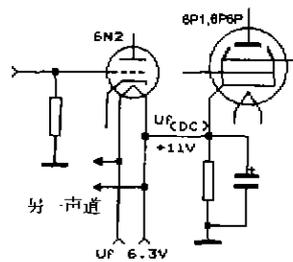


(b)

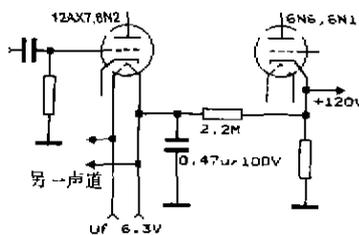


(c)

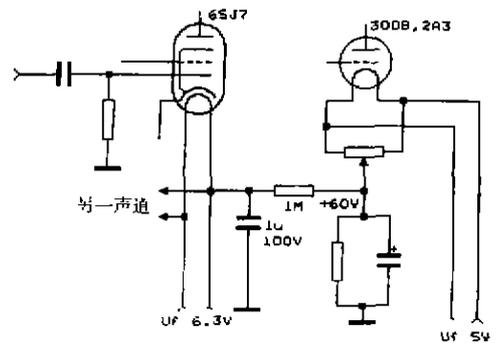
图 3 交流噪声的平衡抵消方法



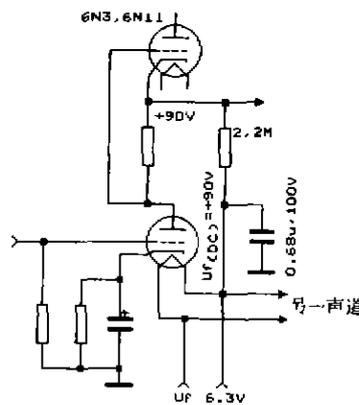
(a) 从 A 类功放管阴极上取得



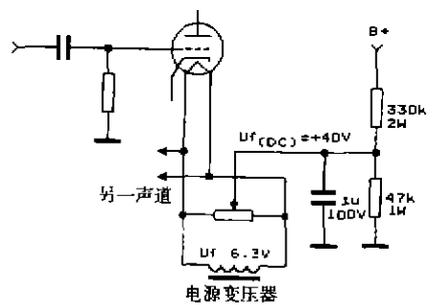
(b) 从阴极输出器上取得



(d) 直流功放管灯丝上取得



(c) SRPP 电路上取得



(e) 从高压电源上取得

图 4 灯丝正电位的获得



在信噪比达 70dB 以上的低噪声放大器中。

在安装工艺过程中抑制交流声干扰也是非常重要的。

灯丝馈线作为电力的输送者直达电子管的管脚，在放大电路内纵横交错，大达数安计的灯丝电流会在馈线上产生交流电场。为此交流灯丝馈线必须双绞，使此交流电场互相抵消，有的电路甚至用金属屏蔽的芯线作灯丝馈线，以隔离灯丝馈线交流噪声对放大电路的感染。

灯丝电流如果混进了放大器的地母线，洪大的交流电流势必干扰着微小的信号电流，对高增益的前级放大电路造成明显的噪声影响。为此不应采用借用地线（一线一地）的方式为此电子管灯丝馈电，而必须用双绞线独立馈电，并有选择合适之处一点接地。使灯丝电流与地电流分道扬镳，井水不犯河水。

按前面所举的种种方法，我们可以在相当大的程度上解决灯丝交流声干扰的问题，但要根本治理还是要把灯丝电源直流化。

3. 灯丝电压的直流化

把前级放大器的电子管的灯丝电源改为直流，就把交流噪声电场的根源去掉了，是个釜底抽薪的办法。图 5(a) 是常用的灯丝交流改直流的电路，电阻 R^* 的数值可以微调输出电压至标准值 6.3V。此电路比较简易和省电，可作摩机之用，不过仍然未能摆脱灯丝电压随市电起伏而变化的不良影响。

图 5(b) 是三端稳压 IC 的灯丝直流电路，稳压 IC 7812 的接地端串联了一普通硅二极管，把稳压输出抬高到 12.6V，以供两只电子管 6.3 的灯

丝串联，或 12.6V 的两只电子管灯丝并联使用。7812 的电源输入端和输出端要有 2~3V 以上的压差才能工作正常，故此 6.3V 的电子管宜串联不宜并联，否则电流加倍使 IC 的功率损耗要增大一倍。此电路采用倍压整流，是为了能直接利用原来的单个 6.3V 灯丝绕组。如果变压器有 12.6V 的电压，就应该改为性能更好的桥式整流。

稳压后灯丝电源的残留交流纹波只有十数毫伏，所造成的噪声影响已微乎其微。同时灯丝电源是稳压的，在市电电压变化 $\pm 15\%$ 内时能保持直流 6.3V 灯丝电压的稳定，保证了放大电路的音质不受市电电压起伏的影响。一般的前级放大多用双三极管电子管，故全机双声道只需这样的一路整流稳压就够用了。

一个有争议的问题是直流后灯丝电压如何选取。有看法是电压值只能用到原交流电压值的 $1/(2^{1/2})$ ，即 6.3V 的电子管的直流灯丝电压只能取 4.5V。其实电工技术上的交流电的数值都是指它的有效值。交流电有效值的定义是：“在两个相同的电阻器中，分别通过直流电和交流电。如果经过同一时间它们发出的热量相等，那末就把此直流电的大小定为此交流电的有效值。”电子管的灯丝是纯电阻负载，由定义可知直流 6.3V 与交流 6.3V 作用于电子管灯丝的热功率是等效的，我们只需观察阴极灯丝的亮度颜色便可以为之辅证。当把标称的交流电压误认成它的最大值（峰值）电压时，就会得出直流电压等效于 0.7 倍交流电压值的错误结论。

必须指出，直流灯丝电压的不正确实施会造成音质的恶化和电子管

的早衰。

前置电压放大的灯丝电源直流化的好处如此多，但如果欲罢不能更将后级功放胆的灯丝也改为直流供电，那就是矫枉过正了。基于以下诸原因：

功率放大级处于大输入信号电压的工作状态，交流灯丝电压的干扰影响已微乎其微，若为降低交流哼声而改直流供电，实为画蛇添足，即使是直热功放管 2A3、300B 亦如此。

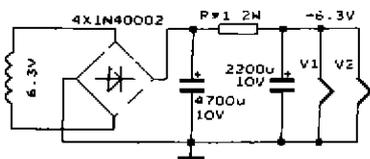
功率放大电子管的灯丝电流很大，假如再加入整流稳压等手段，会显著增加 A 电的损耗，对于电能效率已经相对低的胆机来说，无疑是雪上加霜。

在用交流供电时，直热式功率电子管的阴极（灯丝）是一等电位体。而在直流供电后阴极两端的电位就不同了，相差为 U_f 伏，亦即阴极两端的栅偏压相差 U_f 伏，造成阴极两端的电流发射量大小不同。例如 300B 的灯丝直流供电后，阴极两端电压（即栅负压值）分别是正 65V 和 60V，长期工作下去会造成 60V 一端阴极的早衰。这现象也正是解释直热电子管的灯丝用直流供电后音质变差的原因之一。

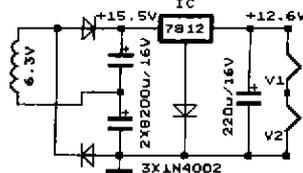
直热式电子管灯丝改为直流供电后，石（硅整流二极管）的成分融入的阴极电流之中，纯洁的胆味遭到了掺杂，音质有转硬的感觉，这是纯胆派发烧友所不容许的，认为音质受到玷污而“石化”；

不同的金属的化学电极势各自不同，直流大电流通过两种不同金属材料连接处时会产生电化学效应，造成电腐蚀。功率电子管的灯丝电流相当大，改为直流供电后灯丝和管脚引线的焊接处可能因直流电腐蚀而烧断，令电子管损坏，必须三思而行。

A 电虽然其貌不扬，也是胆机音响博大精深内容中的不可缺少的一页，而在浩瀚的电路图纸和技术文章中，A 电的精彩却少见经传，默默无闻地被冷落。因此我们认识 A 电是正本清源，善待 A 电必会收益菲浅。



(a) 简单的灯丝直流电路



(b) 稳压的灯丝直流电路

图 5 灯丝的直流电路