

常用 电子管应用手册

郑国川 李洪英

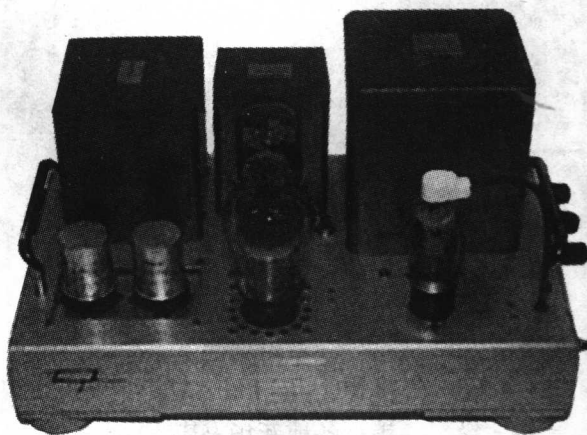
福建科学技术出版社



常用 电子管应用手册

郑国川 李洪英

福建科学技术出版社



图书在版编目 (CIP) 数据

常用电子管应用手册/郑国川,李洪英编著. —福州:
福建科学技术出版社, 2005. 5 (2006. 3 重印)
ISBN 7-5335-2504-3

I. 常… II. ①郑…②李… III. 电子管-技术手册 IV. TN11-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 010542 号

书 名	常用电子管应用手册
编 著	郑国川 李洪英
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	19.5
字 数	486 千字
印 次	2006 年 3 月第 1 版第 2 次印刷
印 数	4 001—7 000
书 号	ISBN 7-5335-2504-3
定 价	30.00 元

书中如有印装质量问题, 可直接向本社调换

前 言

电子管的发明无疑是人类文明史上的一件大事，它奠定了电子学应用的基础。尽管今日的半导体器件的工作原理和电子管有严格的区别，但是各种电子功能电路的发展，无一不是在电子管电路基础上改进、发展形成的。虽然目前在大部分电子电路中，电子管逐渐被半导体器件所取代，但是电子管仍在一些设备中发挥着不可代替的作用，例如大功率的广播发射机、米波范围的 TV 发射机，以及大功率的超声设备、某些工业的特殊加工设备等。对普通音响爱好者来说，电子管放大器也逐渐被认识。电子管的应用历史悠久，人们总结出了丰富的经验，但资料甚少。其实，电子管的应用是一门既严谨又宽松的知识，从目前情况来看，宽松过分，严谨不足，甚至有不少电子管应用的文章中，还出现违反基本规律的言论，以致造成现有的电子管电器设备维护困难，同时不当的应用、维护，不但难以发挥原设计的功能，而且缩短了电子管的使用寿命……虽然半导体器件的出现已有约半个世纪的时间了，并且以极快的速度向电子领域扩张，但是电子管起码在短期内尚不会退出历史舞台。因此，重温电子管的有关理论、应用技术、实践知识是有必要的，而且对半导体电路的设计也不无启发。

继编者的《电子管手册》、《电子管功放设计和装调技术》（两书皆由福建科学技术出版社出版）之后，为了使读者对电子管的数据、曲线的含义及其用法等有进一步的了解，特将有关电子管应用知识汇编成这本《常用电子管应用手册》。本手册主要介绍电子管的典型应用功能、参数、曲线的特点，其中涉及业余通讯发射、广播设备、电子医疗器械和测量仪器的基本功能电路中电子管的应用，重点则放在电子管在目前 Hi-Fi 音响设备中的应用。手册中摘录了国外发表的许多电子管在音响电路上的实际测试数据，说明电路变化对工作点、各级电压等的影响，对电子管应用中的元件、电路电压的选择都极有参考价值。

另外，目前世界上已有电子管型号约 3000 余个，在编者的《电子管手册》一书中，仅将常见的型号收录其中，故仅有千余种型号。本书对其中的部分电子管加以补充介绍，同时还介绍了该手册未提及的一些重要的电子管。除电子管在音响中的应用知识外，对某些电子管的特殊用途，以及典型电子管的电子电路，也适当地列举出实用的电路图，以满足部分读者的特殊需要。

参加本手册资料搜集、翻译、整理、文字录入、制图、校对的，还有江金林、邱国蓉、朱梅、付岗、吴奇坤、张林、吴刚、何伟、董自良、董莹颖、黄玉彬、俸国良、廖南、高素清、郑冀蓉、李泉、李旭辉等（排名不分先后），在此一并致谢！

由于时间仓促加上编者水平有限，手册中难免存在不足和谬误的地方，请读者不吝赐教，以使本手册再版时更臻完善。

编 者

2005 年 1 月于成都

目 录

第一章 电子管应用基础	(1)
一、电极供电及电压测量	(2)
二、灯丝供电	(4)
1. 旁热式电子管灯丝并联供电	(4)
2. 旁热式电子管灯丝串联供电	(6)
3. 直热式电子管灯丝供电电路	(7)
4. 旁热式电子管灯丝供电引起干扰的抑制	(10)
三、阳极和第二栅极供电	(11)
1. U_a 和 V_a 的含义以及两者区别	(11)
2. 阳极和第二栅极损耗功率	(12)
3. 整流二极管极限参数	(14)
4. 灯丝与阴极之间最高耐压	(16)
5. 极限参数超高现象和危害	(16)
6. 特种电子管应用	(18)
四、管座与管帽	(20)
1. 管座类型	(20)
2. 管帽接线方法	(22)
第二章 电子管基本功能电路	(24)
一、二极电子管应用电路	(24)
1. 两类器件特性差别	(24)
2. 整流电路参数计算	(26)
3. 二极电子管其他应用	(29)
二、多极管 Hi-Fi 音响前级放大电路	(31)
1. RC 耦合前级放大器	(32)
2. 驱动级的要求和输出级关系	(44)
三、振荡电路	(50)
1. 小功率高低频信号源振荡器	(50)
2. C 类工作状态	(52)
四、高压电子稳压器	(56)
五、调谐指示管电路	(58)
第三章 特色电子管参数及其应用	(61)
一、特色电子管	(61)
1. 高跨导大动态五极管	(62)
2. 高跨导三极管特殊优势	(63)

二、特色电子管特性参数和应用电路	(65)
1. 高可靠性中 μ 双三极管 6463	(65)
2. 高稳定度双三极管 5687	(69)
3. 高 S 低 μ 三极管 6CK4	(74)
4. VHF 段放大三极管 6C45II-E	(77)
5. 低频电压放大中 μ 双三极管 12R-LL3	(80)
6. 高频放大振荡高 μ 低噪声三极管 EC86/6CM4	(83)
7. 场输出束射四极管 6JB5/6JC5/6HE5	(85)
8. 场扫描专用管 6LU8/21LU8	(88)
9. 低噪音中 μ 双三极管 6DJ8/ECC88	(91)
10. RF 放大五极管 EF184 和 6EJ7	(94)
11. 长寿命双三极管 5692	(97)
第四章 音响前级电子管应用	(101)
一、小功率三极管和双三极管	(101)
1. 国产双三极管 6N1	(102)
2. 国产双三极管 6N2/6N4	(108)
3. VHF/UHF 放大三极管	(113)
4. 国产高 S 双三极管 6N6	(118)
5. 通用双三极管 6SN7	(121)
6. 共阴极双三极管 6N7 及同类管	(129)
7. 低 μ 双三极管 12AU7 及同类管	(132)
8. 20 种高 μ 双三极管	(138)
9. 特种高 μ 三极管	(148)
10. VHF 频段三极管 6C1	(153)
11. 超小型高 μ 三极管 6C7B	(156)
12. 计算机用双三极管 ECC99	(158)
二、五极电压放大管	(162)
1. 五极管的特性及其与三极管的区别	(163)
2. 采用负反馈五极管电压放大级	(166)
三、前级应用示例	(169)
1. 前级电路例一	(169)
2. 前级电路例二	(174)
第五章 音响功放电子管应用	(177)
一、直热式小功率输出管	(177)
1. 3Q4/3S4 应用电路和元件参数	(179)
2. 迷你立体声耳机放大器	(181)
二、交流供电直热式输出管	(183)
1. 古典三极输出管 12A/71A/12C	(183)
2. 2A3 系列输出管	(187)
3. 专用音频功率管 300B	(195)

4. 45/PX25 功放专用输出三极管	(206)
5. 交流灯丝供电直热式输出五极管 33/46/47/UY47B	(207)
6. 旁热式五极管功率元老——2A5	(210)
7. 单端 A 类输出功率为 4W 以下五极管输出管	(218)
8. 束射四极管输出管 6V6/6L6/807	(224)
9. 6L6 系列束射功率管	(230)
10. 欧洲 KT 系列高跨导输出管	(248)
11. 欧洲 EL 系列输出管	(259)
第六章 电子管功放业余设计与制作技巧	(267)
一、从电子管基本参数中确定应用数据	(267)
1. 基本参数和特定用途关系	(267)
2. 特性曲线设定放大器应用数据	(269)
3. 无资料输出管	(280)
二、功放铁心线圈及变压器	(285)
1. 输出变压器选择以及变通应用	(286)
2. 输出变压器阻抗比检测和应急代用	(287)
3. 滤波阻流圈不是非用不可	(289)
三、借鉴名机电路	(292)
1. RCA M1-12182A 放大器	(293)
2. WE 142A 功率放大器	(296)
3. WE 93SX321 功率放大器	(297)
4. RCA MDL-2A 功率放大器	(299)
5. 日本数码音源胆功放及其改造	(300)
附：本书使用的符号与中文释义	(304)

第一章 电子管应用基础

年轻一代初识电子管大多起源于电子管音响功放，其实，电子管的应用领域远不止音响功放。电子管的大功率输出，使某些发射设备、功率型医疗设备和工业上高频加工等仍然离不开电子管。单只电子管输出 10kW 的射频功率并不是最大的，音响中常用的功率管 6L6GC 用于单管晶体振荡、基波和二次谐波输出功率即可达到 20W，三次谐波也可达到 5W。组成这种频率极为稳定的 RF 信号源，除 6L6GC 本身和供电电源之外，外围电路仅需 7~8 只元件。也就是说，1 只 6L6GC 应用于 4MHz 晶体振荡电路，不仅可以输出 20W/8MHz 的射频功率，而且电路之简单、调整之容易，均非晶体管电路可比。

较大的超声波发生器用电子管比晶体管更为有利，不仅能得到大功率输出，而生产和调试也十分简单，可靠性也高。除寿命的限制外，电子管在使用中不会像晶体管那样经常被热击穿。即使采用复杂的保护电路，也只是避免对其他电路的破坏。由于晶体管本身的过压、过流特性极为敏感，尤其在大功率电子设备中，有时保护电路比主功能电路还复杂。相对于晶体管来说，电子管是比较可靠的，过压、过流状态下的损坏过程以“分”来计算，而晶体管则以微秒来计算。例如，音响功放的输出变压器负载增大使电子管阳极发红时（根据负载短路程度，大功率管 805 输出 300W 的功放，负载短路后约几分钟阳极即发红），如果在 5 分钟内发现后关机，电子管还未完全损坏；即使不关机，电子管最终因漏气到高温将灯丝烧断，这过程也要 10~20 分钟的时间。所以任何保护装置都可以有效地对电子管进行保护，甚至简单的机械继电器、双金属断路器，都可以实现对大功率电子管的保护。

电子管的上述特性，说明电子管的“命大”，恶劣的使用环境造成立即“死去”是不容易的。但实际上电子管的使用寿命极短，氧化物阴极电子管的有效寿命为 500~1500 小时。电子管的有效寿命范围是根据不同用途限定的，比如测量仪器中和军事设备中，寿命限定为 500 小时，即使完好也必须更换。而工业用途中，寿命是指有效跨导降低为规定值的 60% 以下，即认为已失效。实际上，在民用音响设备中，常用输出功率往往距额定输出功率甚远，由电子管衰老引起的最大输出功率降低，往往不易被发觉，因此正常使用寿命可达 2000~5000 小时。

若欲延缓电子管的衰老，首先必须严格按照手册中规定的条件使用电子管。手册中规定了电子管各极电压的典型值、极限值等诸多参数，如何选定合理的应用参数使电子管既能发挥性能又不加速衰老，这不是一件简单的事情。除充分了解电子管参数的含义外，如何测试电子管各极电压，以什么为基准进行测量等，都是非常重要的。因为电子管为电压控制器件，决定工作点的是各极电压值，而电子管又是高输入输出阻抗的器件，对高内阻电压源来说，若测试不当，误差将超过 50%。另外，电子管是工作在高温下的热电子发射器件，对安装位置、周围散热空间也有一定的要求。从某种意义上讲，电子管是通过静电场控制电子的器件，外部强磁场、强电场等也会影响其正常工作。

一、电极供电及电压测量

所谓电压，是指两点之间的电位差。各种电子电路中，为了测试方便，常在功能电路中设置统一的参考点作为电压测量的基准点。

一般电子电路中习惯以电路的共地点为基准点，电压测量和输入信号电压测量均以共地点（通常电子管电路又为阳极供电端为负极）为参考点，所以也就不再注明参考点。但电工电路、电子电路中标注电压并非都符合此规定，实际操作时必须注意某一功能电路的参考共地点应该在什么地方。现举两例说明一般常用电压标注的方法。

最常见的是彩色电视机的隔离式（又称冷底板机心）供电电路。此类供电方式为了避免机内金属部分带市电，设有两个参考点，开关电源的初级电路直接以市电整流供电进行开关变换，交流 220V 电压经整流滤波后为 310V 直流电压。此部分电压测量基准点为滤波电容器负极，一般图注电压值即以此点为负测量。而脉冲变压器次级各组输出电压有一共同参考点，一般为几组电压负极的公共点，但一般图中并未注明，因为此规律已成为惯例，也就不言而喻了。

电子管音响放大器中也有类似的模糊电压标注，例如 6L6GC 为 A 类放大状态时，手册中规定标准工作电压：阳极电压为 250V，第二栅极电压为 250V，栅负压为 -14V。当放大器采用独立的 -14V 栅负压供电时，电子管的阴极是直接共地点（即 250V 电压的负极端）。上述各电压的参考点是共地，也即为阴极。但是，如果放大器采用阴极电阻取自给栅负压时，阴极对参考地之间有 +14V 的电压，此时如果以共地为参考点测量阳极电压，测得电压值仍为 250V，见图 1-1。但实际上手册中规定的阳极工作电压，是指阳极与阴极之间的电位差，则只有 $250\text{V} - 14\text{V} = 236\text{V}$ ，放大器将达不到设定的输出功率。欲使放大器符合手册中规定的标准工作状态，则阳极（包括第二栅极）电压应为 264V。一般放大器的电子管栅负压较低，所占阳极电压的比值甚小，往往将此忽略，仍标注 250V。但是对于 2A3、6N5P 等电子管来说，栅负压达 -50V 以上，此时就不能忽略了。因此，测量电子管的真正阳极电压、第二栅极电压，应以阴极为基准点。若以共地点为基准点，则要求阳极电压实测值应高出设计的自给栅负压的电压值。

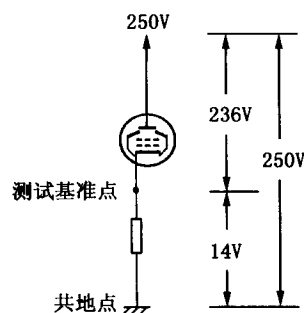


图 1-1 测试基准点的选择

上述原则是对旁热式电子管而言，旁热式电子管阴极单引出端的等电位电极，但如果是直热式电子管则不如此简单了。直热式电子管灯丝既为加热体，也是电子放射的阴极，实际灯丝两端加有灯丝电压。然而作为阴极功能来说，电子发射体的每一点对阳极的电位差是不相等的，如果用直流供电加热灯丝，灯丝供电的正极端对阳极之间电位差为阳极电压减去灯丝电压后，才构成真正的阳极有效电压。灯丝的负极端与阳极电位差为阳极电压与灯丝电压之和，即以灯丝的正、负极各为基准点，将测出两种不同的电压值。

常见的直热式电子管设定灯丝中点电压为其他各极电压的基准点，为了得到该基准点，对电子管灯丝有中心抽头的则以中心抽头作为基准点，无中心抽头者则将供电变压器灯丝供电绕组中心抽头作为基准点，有时也可以在灯丝两端接入两只等值小电阻器取得基准点。基准点的电位等于旁热式阴极的电位。严格说来，这种方式仍与旁热式等电位发射体有差异，

因为灯丝不是等电位电极，即使以中点电位作基准点，从灯丝中点往两端，其一端电位差与阳极电位差逐渐增大，而另一端的电位差则与阳极电位差逐渐减小，不过，增大与减小的总变动幅度仅为灯丝供电电压。由于此不是等电位发射体，因此电子管阳极电流的分布密度相对灯丝各点是不同的，结果引起附加噪声，如用交流供电还会引入交流声。正因为如此，直热式灯丝的电压都采用远低于阳极电压的供电方式，以使这种电子流的不均匀性影响降到最低。2A3 的灯丝供电为 2.5V，仅为阳极电压的 1%；300B 的灯丝供电为 5V，但常规阳极电压常在 400~800V。最近新生产的 300B 如天津生产的 FULL MOSL C 300B，灯丝供电已经改为 2.5V。直热式电子管不仅基准点不同，而且灯丝供电方式也大有讲究。

电子管正常工作时需 3 种不同的供电，且 3 种供电电源的要求随电子管功能电路有所不同。以音频放大器为例，A 类、B 类放大器的供电电路对电源内阻的要求差距极大，而且三极管和五极管的阳极供电对电源纹波也有不同的要求。3 种供电电压理论上说各自独立，因此测量的参考点不同会使测量结果大相径庭。多年来在电子管应用领域习惯称呼有 A 电源、B 电源、C 电源 3 种。

所谓 A 电源又称甲电源，是专指向电子管旁热式或直热式灯丝供电的电源。早期开发的电子管始于电池供电，因此最早的电子管灯丝电压总是以锰锌干电池或铅酸蓄电池电压为基础。例如最早的电子管 30、33、A109（飞利浦产），灯丝供电电压均为 2V，以便于将 2 节 1.5V 的 A 电池串联成 3V，经可调线绕电阻降压后，提供 2V 灯丝供电。干电池随着放电电压降低，通过调节可调线绕电阻可以保持 2V，以提高干电池的利用率。此外，2V 的灯丝也可由 2 节铅酸蓄电池供电，2.4V 电压由电阻调整降低为 2V。此供电方式一直保持到用交流供电的电子管的出现，如 2A5、56、57、47 等，灯丝供电电压开始采用 2.5V。随着电子管用于汽车收音机，为了避免灯丝降压供电的损耗，开发了以 6.3V 为标准灯丝电压的电子管，用于移动应用，既可由三单元的铅酸蓄电池直接供电，也可以用交流电降压供电。此供电标准在中小型电子管中一直沿用至今。其后，为了减小电器设备电源变压器的容量，20 世纪 40 年代，又开发了电子管灯丝串联供电的方式，产生了灯丝电压不同，而灯丝电流分成 0.15、0.3、0.45A 的几种标准，以便于串联后直接由市电供电。

电池供电的电子管随生产技术的进步，灯丝功耗越来越小，性能却不断提高。后期生产的电池供电的电子管，灯丝电压降低为 1.2~1.4V，可以直接由单节锰锌干电池供电，省去了降压的可变电阻。

其次是 B 电源，又称乙电源，是指向电子管阳极、第二栅极供电的高电压小电流电源。早期用于电池式电子管设备的乙电池为锰锌干电池组，端电压有 22.5、45、67.5、90、180V 等几种。电子管小型化以后，与 1 号 1.5V 干电池共同组成 A、B 电池组。为了在汽车上使用电子管收音机、扩声设备，乙电池组不可能由蓄电池组合。在 20 世纪 40 年代初，曾开发了一种称为振动子的变压器，专用于汽车和移动设备，向电子管提供 B 电源。振动子实际是一种依靠电磁铁自动换向开关，结构类似电磁式电铃，在电磁铁吸引铁制簧片状物时，一方面通过触点开关改变电磁铁电流方向，使铁片不断振动，另一方面簧片还带动另一组触点，将蓄电池的正负极连续换向。通过这样的机械换向方式，使蓄电池直流电变成正负交替输出的脉冲波，用电源变压器将脉冲交流电压升高，再经整流、滤波输出高压直流电，向电子管提供 B 电源。振动子的成品类似继电器，制成 GT 式电子管大小，带有 8 脚插座，以便于更换。这种机械变流器可以认为是直流变换型开关电源的始祖，直到半导体器件发展以后才被淘汰。

因电子管放大器工作于不同的类别电路,故对B电源也有不同的要求。采用A类放大的收音机、扩音机,电子管阳极电流平均值相对稳定;而输出级为 AB_2 类、B类时,输出级的工作电流随信号幅度大小变化极大,要求B电源在负载电流变动时输出电压相对稳定。在早期移动扩音设备中,采用B类放大时往往将输出级和前级电路采用两组电池组分别供电。交流市电供电设备中,为了向 AB_2 类、B类提供B电源则往往采用汞气整流,通过降低B电源内阻的方式,改善负载变动稳定度,同时采用电感输入式滤波器使市电整流器负载调整率更高。当用市电整流滤波提供电子管B电源时,对输出级采用三极管和五极管的放大器波纹系数有不同的要求。三极管功率管内阻较低,阳极供电的纹波会引起阳极电流的相应变化,通过输出变压器使扬声器发出交流声。因此,无论A类还是 AB_2 类,三极管的阳极供电要求纹波极低,即使是输出级也不例外。对于前级则更应降低纹波率,否则,纹波频率和信号通过耦合电路加到下一级被放大,形成非常令人讨厌的交流声。

如果输出级采用束射四极管或五极管,阳极等效内阻极高,可以认为,阳极电压的波动很难形成阳极电流有相应的波动。因此,多极管输出级阳极供电允许有较大的纹波。在音响放大器中,一般束射四极管和五极管输出管,阳极供电即使全波整流后,仅由电容器滤波也未尝不可。但若为三极管,则必须用 $LC\pi$ 式滤波才能有较小的交流噪声。必须说明的是,五极管、束射四极管输出管,阳极供电可以简化为单电容器滤波,但第二栅极却不能由此类B电源直接供电。第二栅极对阳极电流有控制作用,控制功能虽远不如控制栅极,但对阳极而言,也常有8~20倍的放大作用。如交流纹波加到第二栅极,将使阳极电流中纹波成分大为增加。其实输出功率管第二栅极电流一般仅为阳极电流的1/4以下,加入简单的RC滤波,比较容易改善交流噪音的影响。

再一种是C电源,又称丙电源,指专用向电子管提供栅负压的供电电源。对于全部工作于A类放大的电子管设备,栅负压并不提供电流,只向栅极提供静电场,所以C电池组都用容量极小的电池组供电,或者不用单独的C电源,用其他方式从乙电源中获得栅负压。但对于采用 AB_2 类、B类放大器的电器设备,C电源是向栅极提供栅极电流的供电电源,不仅要有一定的电流,而且要求电源内阻越小越好。电子管用交流市电整流供电以后, AB_2 类、B类放大器仍需设置单独的整流滤波器,向输出级提供栅负压,因此相对独立的C电源供电电路仍然存在,而且要求相对较高。既然是栅负压供电,电压的稳定度直接影响电子管的工作点,所以大型 AB_2 类、B类放大器中的C电源不容忽视。

二、灯丝供电

确定了各极电压检测的基准点后,同时还需注意电子管的各极供电电路。由于电子管的高内阻特性,在测试各极电压时,需注意测试仪表的选用、测试方法等,否则将产生较大的误差,使电子管寿命缩短。

1. 旁热式电子管灯丝并联供电

各种电子管无论直热式还是旁热式,灯丝电压都有比较严格的规定,一般小功率收音机、放大器用电子管,要求灯丝电压偏离额定值的范围不超出 $\pm 10\%$ 。如此规定的目的是使电子管有稳定的电子发射,同时能充分发挥电子管性能,使电子管有较长的寿命,且在规定的使用期内参数变动最小。

有些爱好者以为，采用较额定值低的灯丝电压可以延长电子管寿命，其实也不尽然。收音机、放大器用小功率电子管大多为氧化物阴极（或灯丝），当其表面温度在 $900\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 时，电子放射效率最高，低于此温度，电子放射密度则急速降低。此时如果电子管其他电极电压，特别是阳极电压和第二栅极电压仍处于额定值，由于阴极发射电流的减小使管压降增大，阳极的强电场将使阴极表面电子被强行拉出，使阴极表面氧化物涂层受损而活力降低，电子发射逸出功增大，阴极寿命必然缩短。

在有些特殊情况下，电子管灯丝电压是可以降低使用的，但前提是必须同时降低阳极电压和第二栅极电压，以使阴极发射的电子与阳极电流对阴极的电子补充保持设计的平衡状态，以避免降低阴极表面涂层的活力。此方式多用在高增益放大器的低电平输入前级放大电子管，将 6.3V 灯丝供电降低为 5V ，同时阳极电压也适当降低，以减小前级放大器的本身噪声。在早期的铝带式话筒放大级中，常采用此法降低前级噪声。此类放大器输入信号在 5mV 以下，采用 RC 耦合放大，阳极负载电阻在 $200\text{k}\Omega$ 以上，阳极电压不超过 150V 。

除人为降低灯丝电压的用法外，一般应按规定的灯丝电压使用电子管。但是，有些人忽视的因素使电子管灯丝供电处于欠电压状态。因为灯丝供电电路极简单，一般往往测得变压器灯丝供电电压在正常范围内即认为电子管灯丝电压必然正常无误，其实不然。下列因素极易造成电子管因灯丝供电欠电压或过电压而过早衰老。

第一，变压器电压不准确。以 6.3V 电子管为例，允许灯丝电压变动范围是 $5.7\sim 6.9\text{V}$ ，偏高或偏低的范围只有 0.6V 。若变压器设计不当，线径、硅钢片选择不妥，都会使次级电压负载变动调整率变差。因此，测试电源变压器时必须加额定负载，且在市电电压为标准的 220V 条件下测试。所谓额定负载，并不是说只在 6.3V 输出端接入额定负载，而是在变压器所有次级绕组接入额定负载，使初级达到额定电流，才能准确测量各组输出电压。这是因为变压器的损耗包括铜损和铁损，铜损是指初、次级绕组的导线直流电阻引起的损耗，铁损是指铁心的磁滞损耗和涡流损耗。两类损耗的功率总值形成的等效损耗电阻，串联于初级绕组与电源之间，压降为初级电流与等效损耗电阻的积。所以只有使初级电流为额定电流，才能准确测出次级在额定负载下的输出电压值。不合格的变压器加入额定负载后测得的电压值和加入部分负载的电压值相差极大，忽视此点将使电子管灯丝供电长期处于欠电压状态下工作。

第二，灯丝供电处于欠电压状态，主要因素是电子管灯丝供电电路设计不当。有的焊机派将底板作为灯丝供电的一条通路，若是采用铝制底板，由于不能焊接，一般用螺丝固定焊片，但这种方式接触是极不可靠的，因为铝在空气中瞬间即可生成氧化铝膜。若是采用铁制底板，焊点的锈蚀也会增大电路电阻。无论哪种底板，只要灯丝通路中（包括焊点）有 0.5Ω 的电阻值，若灯丝总电流为 3A ，灯丝电压将被降低 1.5V 。而电子管放大器的灯丝总电流超过 3A 者为多数（大功耗三极管 $6\text{C}33\text{C}$ 即达 6.6A ），因此要求灯丝供电电路的总阻值不大于 0.1Ω 并非苛求。如果电子管灯丝采用双线接法无上述问题，但是采用的电线必须有足够的截面积。当采用多管灯丝并联时，应从灯丝电流最大的管座处与变压器相连，以减小布线的电阻损耗。此外，灯丝电路的焊接绝不能采取“搭焊”方式，必须将灯丝供电引线穿入管脚孔绕 $1\sim 2$ 圈，再用钳夹紧后焊接，以使引线和管座焊片直接接触而不是单纯通过焊锡接通。

第三，灯丝供电处于过电压状态。出现这种情况，除变压器设计不当以外，还有变压器容量过大这一易被忽略的因素。质量再好的工频变压器都有一定的损耗，当使用功率余量过

大的变压器时初级电流远小于额定值，由损耗等效电阻引起压降减小，各组输出电压都会相应升高。一只 $100\text{V} \cdot \text{A}$ 的变压器，当负荷只有 $1/3$ 时， 6.3V 绕组电压升高到 7V 以上是常见的，所以不能选用容量过大的变压器。除此之外，市电电压长时间、大幅度过高，也将造成灯丝供电处于过电压状态。遇此情况，最好将电子管灯丝采用直流稳压供电（实现直流稳压比交流稳压更容易），而采用整流后三端稳压器扩流供给灯丝电压不失为最佳方案。

2. 旁热式电子管灯丝串联供电

欧美各国都生产了大批灯丝串联供电的电子管，原设计用于各种无变压器的电子设备。其中欧洲生产的电子管型号，除第一字母为 E 表示 6.3V 灯丝电压以外，其他字母则表示灯丝电流，以便于串联应用。比如第一字母为 C，表示灯丝电流为 200mA ；第一字母为 H，表示灯丝电流为 150mA ；第一字母为 P，表示灯丝电流为 300mA ；第一字母为 U，表示灯丝电流为 100mA ；第一字母为 V，表示灯丝电流为 50mA ；第一字母为 X，表示灯丝电流为 600mA ；第一字母为 Y，表示灯丝电流为 450mA ……所以选用欧洲电子管时，只要第一位字母相同，灯丝都可以采用串联供电。

美日生产的电子管型号中，则用第一、二位阿拉伯数字表示电压值，如 $25\text{L}6$ 、 $35\text{Z}5$ 等，至于能否用于串联电路，则需要从手册上查出灯丝电流是否相同。无论欧美或其他国家生产的用于串联灯丝供电的电子管，即使同一型号、标称灯丝供电电流相同，实际上也有差异，结果将造成串联后灯丝电压与标称值不符，好在此类电子管灯丝电压都较高，允许误差绝对值也较大。一般串联供电用电子管，最低灯丝电压为 12.6V ，允许电压误差为 $10 \sim 14\text{V}$ 。例如 $50\text{L}6$ ，灯丝电压为 50V ，允许电压误差为 $45 \sim 55\text{V}$ 。虽然如此，当采用灯丝串联供电时，如发现某一只电子管因灯丝电流负误差较大使灯丝电压偏高时，应在串联灯丝的两端并联电阻，使其与其他串联供电的电子管电流相当，以免灯丝电压超标过多。

旁热式电子管灯丝的串联供电，可以使设备的电源变压器省去灯丝绕组，以减小电源变压器的体积和功率容量。此法从 20 世纪 40 年代起即被大量用于收音机中，后来黑白电视机问世，发展达到高潮。当时欧洲生产的 24 英寸黑白电子管电视机，放大器采用此类电路的极为普遍。甚至有些机型，整机均不用变压器，采用市电直接整流提供高压，整机供电的参考点采用类似印刷电路的悬浮供电，不但降低了成本，而且还减轻了整机重量。至今，国外胆机功放中还有此类机型。

采用无变压器灯丝串联供电时，需注意的问题是，电子管灯丝与阴极的耐压。当高、低压全部由市电直接供电时，市电的一端必须悬浮，因为参考点地必然使距市电另一端最近的电子管灯丝与阴极间加有接近市电输入电压的峰值。不过，灯丝电压较高的电子管，阴极与灯丝之间的最高耐压也比较高，例如 $50\text{L}6$ ，灯丝与阴极的耐压达到 250V 。有些小功率电压放大管的灯丝电压为 12.6V ，经常被用于无变压器式电路中。此类电子管的灯丝与阴极间耐压与普通电子管相同，在串联应用时则应该将串联在接近市电接参考地的一端，以求安全。

图 1-2 为美国早年推出的 $35\text{C}5 \times 2$ 串联供电、双三极管 $12\text{SC}7$ 自平衡于倒相的 A 类推挽放大器电源电路。交流 117V 市电分成两路，一路向灯丝串联电路供电，另一路则直接由 $35\text{Z}4$ 半波整流，经电容器 $\text{C}1$ 滤波，向 A 类推挽放大器输出级供电。灯丝串联供电的串联次序是， $35\text{Z}4$ 、 $35\text{C}5 \times 2$ ，接在悬浮地的是 $12\text{SC}7$ 。此连接顺序一方面考虑到 $35\text{Z}4$ 、 $35\text{C}5$ 的灯丝与阴极间耐压较高，将耐压仅 100V 的 $12\text{SC}7$ 接在悬浮地端，不仅使阴极与灯丝间电位差仅 12V 左右（自平衡倒相时阴极自给栅负压为 2V ），同时灯丝交流电位较低也使感应

交流声的可能性大为降低，以利于提高放大器的信噪比。

普通音响放大器采用的电子管数目不是很多，一般都可按上述原则实现灯丝的串联供电，即使采用高压变压器提供直流整流电压和整流管灯丝电压，也使电源变压器功率大为减小。欧洲生产的电子管大多数型号都有参数完全相同、灯丝供电不同的同类管，如电视机行输出管 PL500、EL500，场输出管 ECL86、PCL86 等。音响放大器输出管也是如此，例如 EL84、UL84 等。这使电子管选用十分方便。对于大型音响和电子管电视机，由于电子管数目太多，有时还采用两组灯丝串联供电、再并联接入市电的方式。

串联灯丝供电，各电子管的灯丝电压允许有较大的不同，但灯丝电流则应完全相等，有时不得已串联接入一只灯丝电流比电路总电流小的电子管，则需在该管灯丝两端接入电阻 R 分流，使其与串联电路电流相等。显然，在串联供电电路中接入灯丝电流比总电流更大的电子管是不适宜的，为了一只电子管的灯丝电流过大将所有电子管灯丝电路并联接入分流电阻，功耗必然十分惊人。

采用灯丝串联供电时，若串联电压值和市电有效值相差过大，则需采用串联降压电阻供电电路。此方法最早应用在美国的 PHILCO 交/直流两用收音机和小型放大器中。所谓直流是指，当时某些国家地区的城市中市电采用直流。在 20 世纪 50 年代前，仅中国的武汉、天津、沈阳等涉外较多的城市中就存在多种不同的市电供电，交流市电有 220V 和 110V 两种，直流市电有 110V；即使是交流市电，频率也不同，有 25Hz 和 50Hz 之分。另外，不同国家的企业当时在中国都按自己既定的规定提供市电，这种情况一直延续到解放初期，才被逐步统一于 220V/50Hz。电压不同，频率不同（频率 50Hz 的电源变压器就不能用于 25Hz 的交流电），给电子管设备供电造成困难。所以在这个时期，欧美生产的收音机、放大器，都采用灯丝串联的交/直流 110V/220V 两用的型式。

该类收音机放大器用于 110V/220V 的转换，也大多采用电阻降压的方式，将另配电阻组件插入设于市电输入端处（图 1-2 的 x 与 y 之间）。当用于 AC/DC 110V 时，x 与 y 之间通过电阻组件内连接线短路。用于 AC/DC 220V 时，将电阻组件转一方向插入，短路线路断开，同时电阻串联接入电路。该电阻插件的插座为有两个互呈 90°对准插槽的标准 8 脚管座，按两个插槽插入后，电阻组件金属网上标有 110V 和 220V 的醒目标记对准底板上的红色箭头，以防误插。

上述电压变换供电方式，一直沿用到 20 世纪 70 年代初才消失。目前电子管的串联灯丝应用方式极少，但在欧洲产的个别音响放大器中仍有应用。

3. 直热式电子管灯丝供电电路

直热式电子管其实有两大类，第一类既可以用交流供电，也可以用直流供电。此类电子管多用于各种放大器、振荡器的功率输出级，如常用的 2A3、300B。而大型发射管几乎均采用碳化钨材料的直热式结构，因此都可以用交流或直流供电。第二类则专用电池供电设计的直热式电子管，功率都比较小，灯丝供电功耗也极小，灯丝电流常在 20~100mA 之

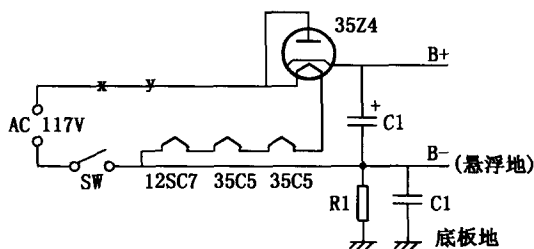


图 1-2 电子管灯丝串联供电电路

间，因此只能用纯直流电源供电。目前，第一类仍被各种音响放大器、射频 C 类放大器和功率振荡电路所采用，而第二类则基本被半导体器件所取代，应用极少。

直热式电子管的灯丝既为电子发射的加热体，又为电子发射的阴极，因此灯丝供电方式有其特殊性。既然是阴极，电子管的阳极电流、第二栅极电流必然要流经灯丝。而直热式灯丝构成的阴极，并非一等电位的导体，相对于阳极而言，灯丝的每一点电位并不相同。为了使直热式电子管的阴极成为近似的等电位，AC/DC 两用的直热式电子管都采用较低的供电电压，使灯丝电压仅为阳极电压的 1% 左右，以减小灯丝表面电位差的不同给阳极和灯丝之间静电场均匀性造成的影响。实用中一般以灯丝中点电位作为各电极电压的基准点，所以阳极和灯丝（阴极）间静电场的不均匀性仅占灯丝电压的 1/2，即不大于阳极电压值的 0.5%。所以即使采用交流电供电，灯丝电压的 1/2 等效串联于阳极至阴极电路中，而阳极电流的交流成分也不会增大。

以常用的 2A3 为例，灯丝供电为 2.5V/2.5A，应用电路如图 1-3 所示。图中将灯丝电路的中点作为阴极电路接地端，灯丝供电电压由 A、B 点接入管内灯丝。而阳极电流 I_a 沿灯丝表面电子发射层，由外电路平衡电阻 R_a 、 R_b 汇集于一点，构成阳极电流的通路。由阳极电流的流经途径可见， $R_a = R_b$ 。阳极电压只有相对于灯丝的中点方可认为是有效的 B+ 电压值，相对于管内灯丝 A 或 B 的位置，瞬时阳极电压有一附加的 1.25V 交流电压串联在 +B 供电回路中，由于此电压很低，一般用于输出级可以被

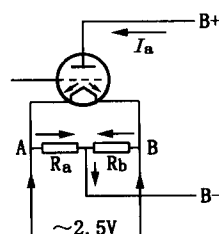


图 1-3 灯丝电路和 I_a 通路

忽略。但用于前级类驱动级则必须考虑，此交流纹波输入到末级放大后将产生一定的交流声。

尽管 AB₂ 类、B 类功率放大以及 C 类的 RF 功率放大最适合用低内阻三极管作为功率驱动级，但由于 2A3 一类直热式三极管的灯丝在前级电路中不能采用交流供电方式，因此即使千瓦级的 C 类放大器一般也极少采用直热式小功率管作为功率驱动级。此类电子管的灯丝供电选用低电压、大电流，除上述原因以外，还考虑到直热式灯丝的结构。以大电流供电时，采用的灯丝直径必然较大，相应的灯丝热容量也较大，当交流电瞬时值变化时灯丝表面温度惰性也较大，温度来不及与正弦波形的交流电呈正比变化，因而发射电子数量不会受到交流电的调制。目前，老式电子管 300B 已有改进产品，将灯丝电压由 5V 改为 2.5V，以增大灯丝电流，使热容量更大，放大后的信号噪声将进一步减小。

严格地说，直热式电子管灯丝中流过的电流不只是供电本身的电流，其中还包括阳极电流，但因为此类电子管的灯丝供电电流远大于阳极电流，故一般可以忽略。例如 2A3，灯丝电流为 2.5A，阳极最大电流仅 100mA，经灯丝两端后，每端电流只有 50mA，只占灯丝电流的 1/50。此类功率输出管虽以交流供电，但仍保留原始的直热式结构是有其原因的。首先，对功率型电子管来说，管内温度高，灯丝消耗功率大，阴极的生产工艺也难免复杂化，省掉阴极，既简化了生产工艺又提高了可靠性。再者，直热式阴极结构的热效率远高于旁热式阴极，这点对灯丝功率消耗较大的输出管来说是必须考虑的。2A3 曾一度被改成旁热式结构，但性能却大打折扣。例如，美国 RCA 公司由 2A3 改进生产的旁热式三极管 6A3G，尽管灯丝供电采用 6.3V/1.6A，但灯丝功耗为 10W，比 2A3 灯丝功耗（6.25W）增大了近 40%，跨导仅达到 3.6mA/V，远小于 2A3 的 5.25mA/V，同时内阻增大到 1.1kΩ，而 2A3 仅为 800Ω，最后还是被 2A3 所淘汰。

虽说第二类电池供电的直热式小功率管已被半导体器件所淘汰，但最近国内电子刊物中仍有将其用于音响的介绍，理由是“直热式电子管最靓声……”此理论是否成立暂且不说，既然有人对这种电子管感兴趣，此处不妨对其应用稍加介绍。

由电池供电的直热式电子管，最大优点就是节能。一般用于收音、放大类直热式电子管，除 2V 电压灯丝由蓄电池供电外，1.2~1.4V 电压灯丝，均由单节锰锌干电池供电。小信号放大管的灯丝电流不超过 50mA，输出管不超过 100mA。可见，灯丝直径相当小，采用交流供电时灯丝放射电子必然会随交流电瞬时值变化。再者，此类电子管的灯丝也极为脆弱，对过电压、过电流极为敏感，直接由电池供电，电池最高电压只有 1.55V（全新的 Zn-Mn 干电池），安全性得到保障。如果采用交流市电降压、整流供电，电压允许变动范围约 0.2V 左右，不加入稳压电路是难以满足要求的。此类直热式电子管极少用于交流供电设备中，但对于一些老式珍贵设备、仪器，改装为交流整流后供电还是可以的，但改装中必须注意以下问题。

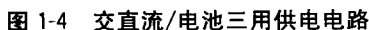
在目前来说，此类设备改用交流供电，由半导体整流稳压电路提供阳极 90V 纯直流电压还是比较简单的，麻烦的是灯丝供电。有些早期的可移动的电子医疗设备和电子测量仪器等，由于采用电子管较多，灯丝电路不仅要求提供稳定的 1.2~1.4V，而且要求电流高达几安培。对于如此要求的低电压、大电流的稳定精度，即使采用半导体整流滤波器件也难以达到。因此，大多数改装者都往往将原机中电子管灯丝供电由并联改为串联，以高电压、小电流供电。但此时有些问题常被忽视，以致造成不良后果。笔者遇到的此类事例较多，不妨从理论上进行剖析。

首先，电池供电的直热式电子管灯丝电压是有规定极性的，对多数小七脚管来说，①脚为负极端，⑦脚为正极端，在测试其他各极电压时应以①脚为基准点。此规定的意义是，因为五极管的控制栅 G_3 或束射四极管的束射极都接在①脚一侧，电子管工作时阳极电流的中心点可以认为是灯丝的中点，那么这种接法实际上使 G_3 的负电压为灯丝电压的 1/2，可以有效发挥抑制阳极二次电子放射的作用。如果手册中未注明灯丝供电的正负极，则以接入 G_3 的一端为负极（此类小信号放大管极少有三极管）。如果全部电子管采用并联方式，供电电压为 1.4V，则可以将 G_3 接共地端。

其实，此类小信号电压放大管的灯丝供电和栅负压的关系完全与旁热式电子管不同，当采用上述接法时，阳极电流的通路为灯丝的中心点，而灯丝却是以负极接地，因此对灯丝中心部位发射的电子来说，与①脚共地端有灯丝电压值 1/2 的负电压。当电子管控制栅极直流通路（控制栅极电阻或 LC 回路）接共地时（即①脚），第一栅极将得到灯丝电压值 1/2 的栅负压，而不必另设栅负压供给电路（功率管的栅负压较高者除外）。所以在电子管手册上，无论高、中频放大还是低频电压放大的小信号放大管（如国产 1K2、1B2 等），规定栅负压一栏均为 0V，但实际上已由灯丝分得 0.6~0.7V 的栅负压。对于此类功率放大管，由于栅负压较高，则采用 R_k 、 C_k 从灯丝中心抽头处，或由两只小阻值电阻串联代替灯丝中心抽头取得栅负压。一般电池供电的功率管输出功率大多只有 50~200mW，栅负压为 -3V 左右。

直热式电子管，特别是由电池供电灯丝电流极小的电子管，用于流动器材上有时采用灯丝串联供电，以减小供电电池组的放电电流，延长电池的使用寿命。但切勿以为和旁热式电子管一样，只要灯丝电流相等，串联后接入适当电压即可正常工作。直热式电子管的灯丝又是阴极，当电子管串联供电后，前一只电子管的阳极电流从本级灯丝流向下一只电子管的灯丝，最后到供电负极。由此可见，各管的灯丝电流不可能相等，距参考地最近的电子管，灯

图 1-4 为交流/直流/电池三用短波收音机的串联灯丝供电电路。该电路中共用了 6 只电子管, 其中射频放大管为 1T4, 变频管为 1R5, 中频放大管为 1T4, 功率放大管为 3V4, 复合管 1U5 的二极管作为检波, 五极管作为电压放大。该机的特殊之处是, 无论 117V 为交流电还是直流电, 整流管并不退出电路。所以当 117V 为直流时, 电源必须上端为正, 下端为负, 否则整流管不导通, 电路不工作。



灯丝电路中, $R_1 \sim R_5$ 为将阳极电流分流而设。很明显, 如果未设 R_4 , 功放级 3V4 的阳极电流将经过其后 4 只电子管的灯丝。除 R_5 是 3V4 的自给栅负压电阻外, 应计算使其他 4 只电阻的阻值刚好将前级阳极电流和第二栅极电流分路, 以免各管灯丝电流增大。然而, 为了保证准确的 1.5V 灯丝电压, 无论计算或实际调整 $R_1 \sim R_4$ 都是相当麻烦的, 因此这种供电方式已被淘汰, 此处不作详细介绍, 只是提醒音响发烧友, 在采用电池供电的直热式电子管时应注意其特殊性。

旁热式电子管用于音、视频设备中，由灯丝交流供电引起的 50Hz 交流声是难免的，因此电路中必须采取适当的措施（特别是低电平输入的音响设备），否则将无法正常工作。

10