

音响用电子管的参数及其选用（上）

郑国川 《音响技术》2001年01期

电子管的参数与晶体管有很大的区别，同一型号的晶体管其各种参数允许有较大范围的差异，例如 β 值及截止频率等，均不可能有准确的数值。电子管则不同，某一型号的电子管其基本参数误差值可以做到极小，小到实用中可以忽略的程度。

为厂不同的使用目的，各国都将电子管分成不同的档次。如国产电子管，即分成T(特级)、J(军级)、Z(专用级)、M(民用级)级。但这些级别的含义并不是按电子管的质量好坏排列，主要指基本参数的误差范围及某些特殊要求。专用级的电子管可按用户的要求，使S达到 $\pm 0.1\text{mA/V}$ ， μ 可以达到5%的精确度。例如M级6N8P，其栅极—阴极间绝缘电阻 $\geq 10\text{M}\Omega$ ，而T级6N8P则要求 $\geq 100\text{M}\Omega$ ，同时还要求两个板极的电流差值 $\leq 2\text{mA}$ (M级无此要求)，另外还要有较好的抗震性。

因此，根据电路要求选择电子管，主要应以其基本参数为准，至于名胆或靓胆，还要看用在什么电路中。虽然，12AX7称得上音响中的名胆，但其 $\mu \approx 100$ ，最大栅极信号振幅 $< 2\text{VP-P}$ ，如果用在驱动级绝无好声之说。电子管和晶体管一样，也有一系列极限参数，使用中绝对不允许任何一项指标超过极限值。最近，某刊的一制作稿中为了提高单级增益，采用大阻值板极负载电阻，将6N1的板极供电电压竟提高到600~700V……。本文以下对电子管的极限参数、基本数据的含意、应用中选择的数据作一简要说明。

电子管极限参数的意义

电子管手册中，对电子管各电极最大电压或电流均给出极限值，使用中如果超出极限参数，一是使电子管过早衰老，二是使电路不能正常工作。对各级电压、电流极限值的意义无需解释，因为和晶体管的极限值相同，仅是电子管瞬间超过极限参数，其损坏的过程不像晶体管那么快。而有的电极电压、电流超过极限值，只是使其衰老速度加快。所以，多数人对电子管极限参数的规定不十分注意，常见的误解有：

1. 极限板压不是RC耦合放大器中的实测板极电压

因为RC耦合放大器的板极负载电阻RC常取 $200\text{k}\Omega$ — $470\text{k}\Omega$ 的高阻值，放大器：工作时板极电流的平均值在RC上产生较大压降，所以测试板极电压远低于板极供电电压。但是应注意，万用表测出的电压值是板极平均电流，电子管栅极输入的永远是负极性的信号。设此信号为正弦波，那么，当输入信号的正峰值时，栅极负偏压被抵消一部分，电子管板流最大，板极电压也降到最低。当输入信号为负峰值时，与栅负压相加，使电子管板流最小，即使是甲类放大，理论上板极电流也会降低到(栅压—板流特性)起始的弯曲点附近。此时电子管板流极小，甚至靠近截止点(对AB1类即如此)，所以，板极电压瞬时最大值近似等于板极供电电压。

由此得出结论，无论在何种电路，所谓板极电压的极限值是指板极供电电压的最大值。前面提到设计者将6N1的板极电阻提高到 $1\text{M}\Omega$ 以上，而用600V电压给板极供电显然是错误的。因为使用不久，电子管便会因剩余气体分子的电离降低真空度，玻璃内壁将出现紫色光而报废c

2. 胆机前级放大管使用不当的几种情况

胆机前级电路中，如果电路设计或选管不当，也会使某项参数超出极限值。例如，目前音响界倍受推崇的级联电路(SRPP电路)、阴极输出器等，电子管的阴极电位比较高，而灯丝一般均为低电位，大多数电压放大管的灯丝—阴极之间的耐压只有100V。如常用的6N2、6N3、6N8P等，阴极对地电位均不得超过+100V。如果前级放大采用SRPP电路，最好选用6N1，其灯丝对阴极电压允许+120V，-250V，即阴极电压对地允许250V(6N6为200V)。

胆机的前级噪音、交流声、微音效应等，是影响胆机效果的重要因素。尤其是前级低电平放大器，要达到低噪音、不明显的交流声，比晶体管放大器困难得多。为了减小交流声，常有人故意将第一级放大器的灯丝电压降低为5V(对6.3V的灯丝电压而

言), 这种权宜之计是对电子管极为不利的。为了提高电子放射效率, 电子管的阴极表面涂有氧化钍, 以降低阴极的逸出功。如果灯丝达不到额定温度(约 1100°K), 板极静电场对阴极涂层有明显的破坏作用, 电子管将很快失效: 一般电子管的灯丝电压允许误差为 $6.3 \pm 0.6\text{V}$, $12.6 \pm 1.9\text{V}$, 使用中尽量不要超过此范围。就目前来说, 若要降低前级交流噪声, 可以采用桥式整流器加大电容滤波器的直流供电方式, 或者用 7806 稳压供电, 效果会更好。

电压放大器中, 另一经常被忽视的极限值为控制栅极最大电阻值。电子管为电压控制器件, 在甲类放大电路中, 输入电路理论上无电流, 所以输入电阻极大。一般在栅极电路接入 $500\text{k}\Omega$ 左右电阻, 以作为栅极—阴极的直流通路。此电阻值的大小, 不但对单级增益和频响有关, 对电子管的使用寿命也有关。因为电子管内部不可能达到绝对真空, 总会有极少的气体原子(如氮或氧原子), 当板极加上高电压后, 阴极发射的电子高速飞向板极, 使气体原子电离变成少数正离子。如果栅极电阻过大, 正离子的聚集会使栅极负斥被抵消, 使板极电流增大, 同时输入信号也会失真, 严重时产生连锁反应损坏电子管。因此, 一般规定电压放大管的此电阻值不大于 $500\text{k}\Omega$, 个别型号允许达到 $2\text{--}3\text{M}\Omega$ 。

3. 胆机功放发生超极限使用的现象

正常的胆机功放, 设计时均已考虑到功放电子管的极限参数, 但使用不当或某种故障会造成功放级电子管超过最大极限值。常见发生于以下非正常使用情况:

(1) 不按功放要求配接扬声器的阻抗。对晶体管电路来说, 扬声器阻抗偏离正常值直接影响输出功率, 负载阻抗过低时也会损坏功放管, 但一般对负载阻抗要求不如胆机严格。目前, 常见胆机功放多为定阻抗输出, 如果负载阻抗过低, 将使功放管板极电流在大信号输入时超过极限值, 同时产生严重的失真。如果负载开路, 功放变为纯电感负载, 功放胆管板极电流虽然减小, 但板极输出电压会升高, 使输出变压器绝缘击穿, 严重时电子管内部极间打火而报废。

(2) 五极管或束射四极管板极负载开路。如果输出变压器初级断线, 将使五极管、束射四级管帘栅极损坏。当板极负载断开时, 板极电压为 0V , 加有正电压的帘栅极吸收几乎所有电子流, 超过帘栅极电流的极限。发生此现象, 帘栅极立即被烧红变型, 与相邻电极碰极。因此, 五极管、束射四极管电路, 不能断开板极供电电路。

(3) 胆机输出短路的现象。胆机使用中, 一旦扬声器开路, 一般输出变乐器十之八九会击穿绝缘。如果再接好扬声器重新开机, 同时接人信号源时, 功放管板极电流必然增大, 几分钟内板极被烧红, 如不立即关机, 电子管内金属电极在高温下释放出大量气体, 使电子管真空度被破坏。其现象为玻壳内部亮如镜面的吸气剂变成灰白色, 此时电子管已失效。当扬声器接线端短路或输出变压器初级旁路电容, 打穿时, 现象与上述相同。这种板耗超极限的现象, 如短时间内(一分钟以内)关断电源, 电子管尚不会完全失效, 仅缩短寿命而已。

(4) 功放管超过极限的另一原因。阴极电阻自给偏压的滤波电容击穿, 或独立栅负压供电电路故障使栅负压为零。此情况下电子管栅负压减小, 板极电流增大, 产生的现象与负载短路的现象相同。不过, 此现象发生时首先声音会明显失真。

电子管基本参数与应用

电子管选用的唯一依据是厂家给出的基本参数, 至于是否靓胆, 则视该电子管的工艺、生产条件等情况如何。例如, 各国都在生产的 6L6G(与此相同的 6Π3C、6P3P、6L50、6BG6G 等, 相近似的有 EL35、EL39、6CN5、1622、5881 等), 用于同样电路的功放中, 效果上就有些差异(虽然不太明显), 其原因是一些辅助参数(如极间电容)、工艺上的精度不同所致。因此, 选用电子管, 其参数是重要的参考资料。目前, 电子管生产工艺极为成熟, 同型号的差异即使有也并非象发烧文章中所描述的那么明显。

(一) 电子管的三项基本参数及其相互关系

正确地说电子管只有两项基本参数, 即内阻 R_i 和跨导 S 。第三项电压放大系数 μ 为 R_i 与 S 的乘积, 所以有的手册中只给出 R_i 和 S , 根据应用状态时的 R_i 和 S 求出 μ , 再作为设计放大器增益的参考值。

1. 跨导的含意

电子管为电压控制器件, 即栅极电压的变化控制板极电流的变化, 变化的板极电流再经负载电阻后变成输出电压 c 。所谓跨导是指电子管控制栅极对板极电流的控制能力。其单位是 mA/V , 即表示栅极对阴极间电压变化 1V , 引起板极电流变化的 mA 值。

例如，常用音频电压放大管 12AU7 和 12AT7，12AU7 的 $S=2.2\text{mA/V}$ ，12AT7 的 $S=5.5\text{mA/V}$ 。如果单纯从栅极电压对板极电流的控制能力来说，12AT7 优于 12AU7，但并不能说 12AT7 在音响电压放大中的表现就比 12AU7 好，其中还受诸多因素的影响。

电子管手册中给出的 S 值为其标准状态的测试值，实际应用中，由于电子管工作点不同，S 值与手册中也不完全相同。另外，电子管的栅压—板流特性曲线不是直线，在曲线各点的 S 值也有差别。在已知电路参数情况下，根据栅压、板流特性曲线，可以求出电子管标称 S 值和实际应用电路中的 S 值。以常用的双二极管 6SN7GT 为例（与之完全相同的有前苏联的 6H8C、国产的 6N8P、欧美的 ECC32、6180 等）。

图 1 为厂家给出的栅压—板流特性曲线。

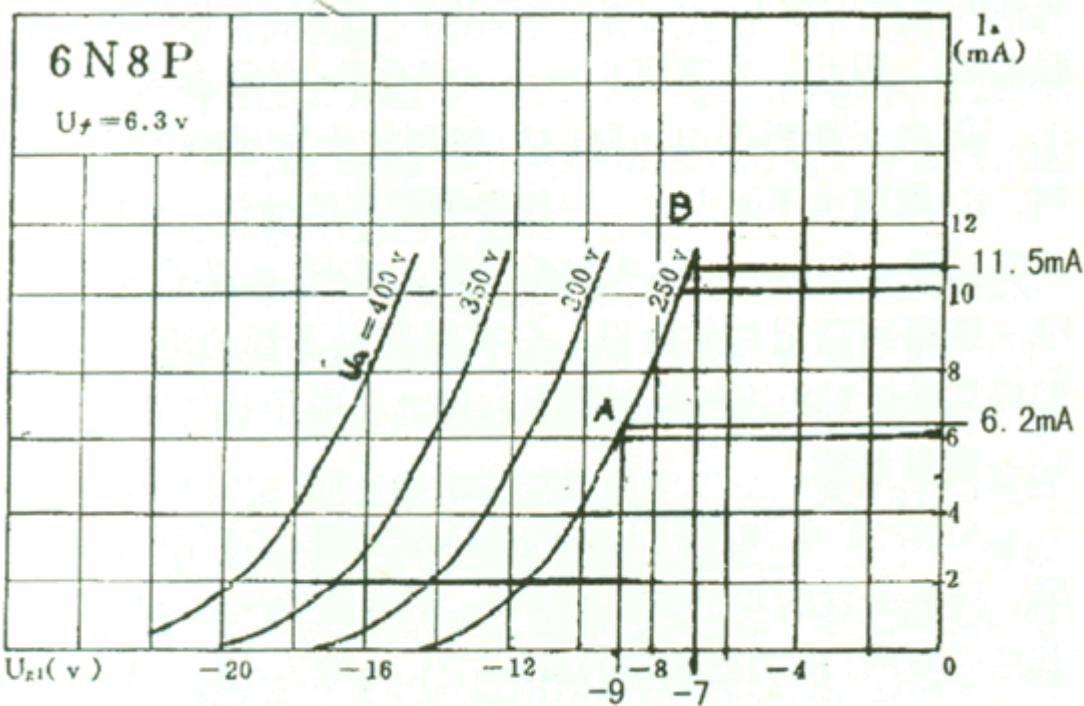


图 1

手册中注明，其板压 $U_a=250\text{V}$ ，栅负压 $U_{g1}=-8\text{V}$ ，跨导为 $2.6 \pm 0.5\text{mA/V}$ 。首先在图 1 横坐标上找出 U_{g1} （栅负压） -7V 和 -9V 的点及 U_a （板压） 250V 曲线上的垂直连接点 A、B，然后以 A、B 为始点作水平线与 Y 轴相交，读出相应的板极电流为 6.2mA 和 11.5mA 。因此， $S=(11.5\text{mA}-6.2\text{mA})/(9\text{V}-7\text{V})=2.65\text{mA/V}$ 与手册上的值相符。很明显，此跨导值为板极电压 250V 和栅负压 -8V 左右时的值。由于不同板压下，特性曲线的斜率并不完全相同，所以实用电路中 S 值一般小于此静态值。

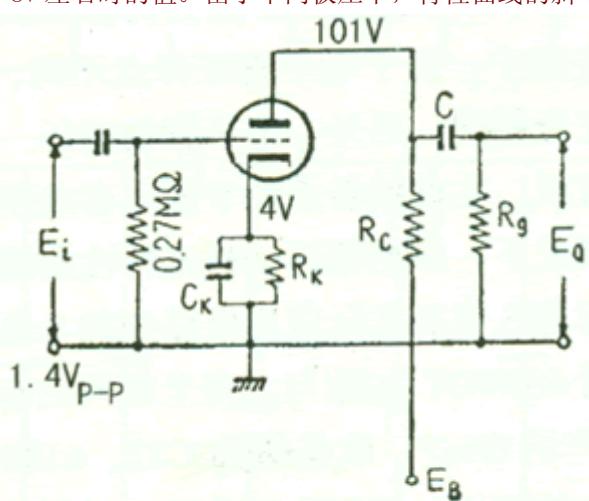


图 2 三极管基本电路

再以 6SN7GT 组成的 RC 耦合放大器为例（其电路如图 2 所示，图注数据中，板极电压和阴极电压为实测值）。其输入信号为 1.4V_{PP} ，动态栅极电压 U_{g1} 为 $-2.6\text{V} \sim -5.4\text{V}$ ，板极电压为 $101\text{V} \sim 104\text{V}$ 。根据 100V 特性曲线，按上述方法求得： $S=(2.8-0.2\text{mA})/(5.4-2.6\text{V})=0.93\text{mA/V}$ 可见，由于采用 RC 耦合，板极有效电压下降使有效 S 值也降低。

2. 电子管内阻 R_i 和 μ 的含义及 $S \times \mu$ 的实用意义

既然在一定板极电压下对应有一定的电流，说明电子管板—阴之间存在一定的内阻。 $6SN7CT$ 在 $U_a=250\text{V}$ 、 $U_{g1}=-8\text{V}$ 时，手册中其 $R_i=7.7\text{k}\Omega$ 。在此参数测试中，测试电路无板极负载电阻，只接人电流表，可视为等效阻抗为零；根据跨导的定义，通

过 R_i 和 S , 可以求出放大系数 μ 。在此简单电路中, 可以计算出板极内阻两端的被放大后的输出电压值, 即 2.6mA 的电流变化在 $7.7\text{k}\Omega$ 电阻上的压降为 20.02V , 输出电压与输入电压 1V 之比为 20.02 , 所以说在此状态下电压放大系数为 20 。即 $S \times R_i = 2.6\text{mA} / V \times 7.7\text{V} / \text{mA} (\text{k}\Omega) = 20$ 因为二者之间有 $S \times R_i = \mu$ 的关系, 一般手册中只给出两个参数。

由上述关系可知, 电子管的电压放大系数不等于放大器的增益。作为放大器(以图 2 为例), 被放大后的电压只是一部分, 另一部分压降在电子管内阻上, 实际的电压增益 $K = \mu \times R_c / (R_c + R_i)$ (其中 R_c 为板极负载电阻)。因此, 要想使 $K \approx \mu$, 那么 R_c 必须远大于 R_i , 但由于受板极电压降的限制和放大器频响的限制, R_c 取值也不能太大。要想得到较高的增益, 显然不能只看 μ 的大小, μ 大的电子管, 其 R_i 也必然大, 唯一能得到高增益的效果, 只有提高电子管的跨导, 即提高栅极对板流的控制能力。因此, 电子管的跨导是一重要参数。

6SN7GT 系 50 年代开发的电压放大管。50 年代末期, 国外开发的双二极管 12AT7, 其 S 值为 $5.5\text{mA} / V$ 。其后开发的 6BG7(前苏联的 6H14n), S 值为 $6.4\text{mA} / V$; 5687(前苏联的 6H6n), S 值提高到 $13 \sim 15\text{mA} / V$ 。