

高频加热用的 电子管

北京电子管厂技术情报室

一九七八年十月



譯 者 序

遵照伟大领袖毛主席关于“外国一切好的经验，好的技术，都要吸收过来，为我所用。”的教导，为了促进大功率发射管及高频设备的推广应用，我们组织翻译了《高频加热用的电子管》一书。

《高频加热用的电子管》是荷兰飞利浦公司1972年出版的应用手册。书中提出了工业加热用的电子管的特殊性能要求，系统地说明了电源、冷却技术和环境的设计考虑，论述了高频加热的电路技术、测试仪器和方法，还介绍了高频感应加热和介质加热所用的设备以及具体的应用技术等。

本书可供从事于电子管设计和应用技术，高频加热和设备制造等有关工作的工人和广大工程技术人员在实际工作中参考之用。

参加本书译校工作的有毕庶生、戴正武、李融、王尧义、王天泽、陈福兴、刘世伟、钱恩荣、曾英发和仇钰同志。由于我们的水平不高，译文中肯定有不妥之处，恳请读者提出批评指正。

北京电子管厂技术情报室

一九七八年十月

前 言

直到不久以前，能由人类处置的热源只有两种：阳光和火。二者均辐射出同一种能，都处在电磁频谱中的红外频段。简要地说，正是物质以能的形式在此频段内的辐射产生了称之为热的分子现象。

但红外能量只能穿透大多数物质浅浅一层。为深入物质内部，只能通过传导和对流这两种缓慢而低效的过程中的一种或两种来传递热。虽然这两种加热方式对于古代的需要来说已是够了，但很久以前就明显地发现，若能用某种方式在物质内部产生热，则效率会高得多；若能将热集中在最需要的区域，则效率会更高。

由于发现电磁频谱中较长的波，以及掌握了产生这种波所需的技术，使得上述提高效率的办法成为可能。这种波穿透物质比红外线深得多；若掌握得当，可以激励起同样的分子现象。有两种本质不同的方法在应用，每一种方法都在频谱的一定部分最为有效。用频率（不用波长）表示，分别为：

- | | |
|------------------------|--------------------|
| 50赫芝~30兆赫 | 在磁场中以涡流加热金属， |
| 1兆赫~3千兆赫 | 在电场中介质加热非金属。 |
| 频率不仅影响如何施加能量，也影响其怎样产生： | |
| 50赫芝~300赫芝 | 用与交流电源相接的单相或多相变压器， |
| 300赫芝~50千赫 | 用旋转变频器，现多用可控硅变频器， |

50千赫~100千赫	用可控硅变频器或电子管,
100千赫~200兆赫	用常规的电子管,
200兆赫~1千兆赫	用特殊结构的电子管,
1千兆赫~2.5千兆赫	用磁控管, 少数情况下 也用速调管。

本书只限于讨论本公司生产的、用于这些频段中的常规电子管（主要是三极管）。

书中讨论的主要内容是使用这类电子管的实际电路的设计和结构。从此角度来讨论问题可能已经过迟。经验多次表明，电路的设计（在所讨论的频率范围内，这个词也包括布线和结构）也和电子管运用状态的理论计算一样的重要。对此二者不予恰当地对待，则高频振荡器无法正常工作。通常企图把失败单独归咎于电子管或线路是没有意义的。二者联系紧密，必须象一个整体那样工作。

这并不是说所有的负担都落在电路设计者肩上，电子管制造厂也应承担其应负的责任。为此，生产了一系列电子管，都可以在最大可能的范围内整体地用于电路中。本书最后一章中讨论的两例仔细设计的高频加热振荡器表明，在正确的电路设计原则下，正确使用电子管总是容易得到满意的结果。

高频加热用的电子管

(TUBES FOR R. F. HEATING)

目 录

译者序

前 言

1、高频加热用的电子管	(1)
1.1 设计要求	(1)
1.2 电子管的型号	(2)
1.3 管壳结构	(4)
1.4 “K” 栅极	(5)
1.5 电极结构	(6)
1.6 阳极电源	(7)
1.7 其他考虑	(7)
1.8 小结	(8)
2、高压电源	(11)
2.1 电源电压波动	(11)
2.2 整流	(11)
2.3 自整流	(11)
2.4 电源波纹	(12)
2.5 灯丝电源	(12)
2.6 阳极电压电源	(20)
3、冷却系统和温度测量	(22)

3.1	阳极冷却系统	(22)
3.1.1	风冷	(22)
3.1.2	水冷	(23)
3.1.3	蒸发冷却	(25)
3.2	温度测量	(26)
4、	环境设计考虑	(27)
4.1	干扰问题	(27)
4.2	辐射抑制	(28)
4.3	振荡器频率的稳定性	(32)
4.4	安全电路	(34)
4.4.1	正常工作和人员保护	(35)
4.4.2	线路故障保护器	(36)
4.4.3	负载位置故障保护器	(40)
5、	回路技术	(44)
5.1	基本振荡电路	(45)
5.1.1	单管电路	(45)
5.1.2	多管电路	(50)
5.2	槽路	(56)
5.2.1	功率损耗	(56)
5.2.2	杂散电抗的影响	(57)
5.2.3	槽路电感器	(61)
5.2.4	槽路电容器	(63)
5.2.5	线圈和电容的组件	(66)
5.2.6	集总电路	(97)
5.2.7	叠层电路	(70)
5.2.8	环形谐振腔	(76)
5.2.9	科尔斯特电路	(79)

5.2.10 长线电路	(79)
5.3 激励和反馈电路	(82)
5.3.1 调谐输入—调谐输出	(83)
5.3.2 高频分压器	(84)
5.4 阴极电路	(87)
5.5 隔直流电容器	(88)
5.5.1 隔直流电容器的位置	(89)
5.5.2 隔直流电容器的选定	(89)
5.6 滤波电感器	(92)
5.6.1 四分之一波长扼流圈	(93)
5.6.2 自去耦系统	(94)
5.7 电源线的滤波	(99)
5.7.1 容性滤波	(99)
5.7.2 组合滤波器	(100)
5.8 寄生振荡的抑制	(101)
5.8.1 电阻和电容抑制器	(102)
5.8.2 调谐电容	(102)
5.8.3 阻流器	(103)
5.9 接地点	(104)
5.10 栅极偏压电路	(106)
5.10.1 电阻	(106)
5.10.2 稳压管	(107)
5.11 栅极开关电路	(107)
5.12 电弧抑制电路	(109)
6、负载耦合电路	(112)
6.1 要求	(112)
6.1.1 功率的公式	(112)

6.1.2	电路设计	(113)
6.2	感性负载	(114)
6.2.1	直接耦合	(119)
6.2.2	不调谐的变压器耦合	(120)
6.2.3	调谐变压器	(122)
6.2.4	电流集中器	(122)
6.2.5	工作线圈和加热部位	(123)
6.2.6	感应加热器的负载接地点	(124)
6.2.7	功率控制	(126)
6.3	介质负载	(126)
6.3.1	直接耦合系统	(129)
6.3.2	间接耦合系统	(131)
6.3.3	合成耦合系统	(134)
6.3.4	负载位置电容	(135)
6.3.5	焊接电极	(139)
6.3.6	介质加热器中的接地点	(140)
6.3.7	介质加热器的功率控制	(141)
7	测量装置和测量方法	(143)
7.1	栅流示耦表	(144)
7.2	氦管探头	(145)
7.3	波形监视器	(148)
7.4	扫调接收机	(153)
7.5	功率测量	(154)
7.5.1	功率测量方法	(154)
7.5.2	效率分析	(156)
8	应用	(158)
8.1	感应加热振荡器	(158)

8.1.1 设计考虑.....	(158)
8.1.2 槽路计算.....	(160)
8.1.3 结构.....	(162)
8.1.4 测量.....	(169)
8.1.5 小结.....	(171)
8.2 使用30兆赫半波长线的介质加热器.....	(172)
8.2.1 设计考虑.....	(174)
8.2.2 长线尺寸.....	(178)
8.2.3 振荡器电路.....	(179)
8.2.4 电路设计.....	(181)
8.2.5 性能.....	(190)
8.2.6 小结.....	(193)

1、高频加热用的电子管

根据传统，大功率高频放大器或振荡器用的电子管，不论其用于无线电发射或高频加热设备中，都称之为发射管。这种有些随意的分类方法易使人产生一种印象：具有所需功率容量的任意电子管都适用于任一种用途。但是，这种假设完全不能成立，因为两类应用的使用条件是非常不同的。

在无线电发射台的固定设备中，功率管几乎工作在理想条件下。这种安装条件实际上完全避免了机械振动和冲击，并且总是由稳压电源供电，最重要的是总在固定的匹配负载情况下工作。这样的工作条件在工业高频加热应用中是罕见的。工业加热应用的设备通常与生产线或其他电气机械装置在一起，电源稳压经常比理想情况差，并且常常要经受不同程度的振动。此外，受需完成的工作性质的决定，负载难得匹配适当，并且变化很大。由此可见，工业用的功率管的设计原则有别于发射机用的电子管。

1.1 设计要求

工业加热电子管的设计原则在几个方面都不同于发射管。如前所述，两种新的性能要求为：更好的耐冲击和耐振动的能力以及更高的过载能力，以工作在不匹配情况下。而在发射管中通常具有的某些性能对于工业高频振荡器并不需要，诸如宽带、低失真和高功率增益。

这里可能产生一个问题，为什么工业用电子管不需要高功率增益，其原因比较复杂，将在以后的章节中讨论。

给定一组功率三极管的恒流曲线，就可画出一条代表管子工作条件的负载线；给出某些使用要求，由负载线及其他数据，就可确定栅极偏压、阳极电压、栅极阻抗、阳极负载阻抗和输出功率。若保持阳极电压、反馈系数和栅极阻抗不变，在上述曲线上划一组代表不同负载阻抗值的负载线，则联接这些负载线的端部而成的曲线代表恒栅极阻抗线。与此相似，变化栅极阻抗而保持其他参数不变，则可得到恒定阳极负载阻抗线。最后，可以使负载阻抗和栅极阻抗二者变化，而保持输出功率不变，则可画出恒定输出功率线。

由此可见，若使恒定栅极阻抗线和恒定输出功率线相一致，则不管负载阻抗怎样变化，输出功率都保持不变。然而，这种理想情况是不可能实现的，但研究发现：当功率增益低，并且栅极的热放射和二次电子发射都低时，则即使负载阻抗在很大范围内变化，输出功率仍相当稳定。这确实要求较高的激励功率，但这与电子管性能得到稳定相比是次要的。在典型的例子中，当负载阻抗相对于假定值变化0.6倍至1.4倍时，输出功率仅变化约4%。

飞利浦公司生产的电子管所需的激励功率大约是输出功率的2%。

1.2 电子管的型号

为满足工业应用的要求，早先曾专门设计了一个系列管子。该系列包括TBL(W)(H) 7/8000, TBL(W)(H) 6/17, TBL(W) 12/38和TBL/9000。它们都得到设备制造厂和用户的好评。这些管子的最为重要和独特之点是使用了“K”栅极。这是因其所用的结构材料而命名的（见1.4节）。

在其研制过程中，最高工作频率取为30兆赫，因当时实际所有工业设备的使用频率都比它低。

近来，为了对低损材料进行介质加热，对运用于更高频率的功率管的需求增长了。而且感应加热设备也需要更高的功率电平。基于这些要求和早期工业用电子管的成就，发展了一系列陶瓷功率管，其特点就是使用“K”栅极，并具有许多其他优点。

记住，高频介质加热和大功率感应加热，选择了下述输出功率和极限频率的组合：

功 率 (KW)	频 率 (MHz)	型 号
2.5	160	YD 1240
4.0	160	YD 1150 系列
7.5	150	YD 1160 系列
16	120	YD 1170 系列
32	80	YD 1180 系列
62	30	YD 1190 系列
122	30	YD 1202 系列
247	30	YD 1212 系列
480	30	YD 1342 系列

列出的输出功率代表阳极输出功率。传递到负载的功率要比这个数值小，并取决于槽路效率和为维持振荡所需的激励功率。

最高频率和输出功率的组合可以是任意的。但选择这些

组合却是基于两个充分的理由：第一，大多数介质加热所用的频率为25兆赫至30兆赫，而需工作于更高频率者一般所需的功率电平低于10千瓦。第二，功率容量越大，要得到更高的频率特性就越困难。这是因为需要较大的电极结构，同时也产生了较大的电容和电感并增加了电子的渡越时间，所以组合的选择表示了电子管价格和频率特性之间的最好的折衷。

在研制这些新系列的陶瓷工业三极管时，以下述各点作为原则：

- 1、从直流至高频的转换效率至少为75%，
- 2、在电子管寿命期内栅流不变，
- 3、比较低的阳极工作电压，
- 4、电极结构牢固，
- 5、适于高频运用，
- 6、在高压下有优良的安全系数及其他参数，
- 7、频率低于4兆赫时，电极封接处不需附加冷却（功率较大的管子需要流速低的空气流，以避免在封接处因较高的工作电压而引起电离），
- 8、对水冷型电子管则应使水的损耗小。

1.3 管壳结构

电极装架于环形引出线上，这些引出线都同轴地装在圆柱形的高纯氧化铝瓷绝缘子上。这种结构在整个陶瓷管系列中是很典型的，能保证最大的机械强度和在高频运用时有小的电感。使用低损陶瓷也使热电极封接处的容性电流最小。

基于经济原因，陶瓷绝缘以前主要用于通讯用电子管中。对于工业用电子管这种材料也表现出一些优点。其中两个优点上面已经提到过，就是高机械强度和低容性损耗。此

外，陶瓷的熔点比玻璃熔点高得多，这就可使管子在较高的温度下处理，以求更有效地去气，从而得到好的真空。陶瓷加工的精度可以比玻璃高得多，这就可使电极非常精确地对中。最后，陶瓷承受瞬时过热的能力也比玻璃好，这对工业设备用户来说是一个非常重要的性能。

1.4 “K” 栅极

由于下述三个特点，这种栅极特别适用于工业应用：

1、逸出功很高，甚至被由阴极蒸发的钍复盖后仍然很高，

2、表面粗糙，具有良好的热辐射能力，

3、导热率高。

“K” 栅极能承受持续功率 25瓦/厘米^2 (161瓦/吋^2)，甚至在这样恶劣的条件下，而且又由于沉积有钍，使情况更为复杂，但其热发射仅约 1微安/厘米^2 (6.4微安/吋^2)。在整个管子的正常寿命期内，此值无明显变化。

由此可见，“K”栅极的热发射很低，满足了连续运用的最重要的要求之一。此外，“K”栅极的优良的导热率和热幅射保证了良好的热耗散性能，这也是在负载不匹配时工作的另一个要求。当由不匹配而致的负载阻抗变化时，阳极和栅极耗散也会变化。若负载阻抗低于正常值，则栅极耗散降低，而阳极耗散增加；若负载阻抗高于正常值，则情况相反，即阳极耗散降低、而栅极耗散升高；当负载阻抗接近无负载的数值时，栅极耗散达最大值。由于“K”栅极具有优良的导热率和幅射特性以及低的二次放射这些主要的特性，它特别适用于这种运用状态。

1.5 电极结构



图1.1 “K”栅极 构更为牢固。

采用两种不同的内部结构：一种供额定值达7.5千瓦的管子使用，另一种供15千瓦或更高的管子使用。

在功率较低的管子中，栅极和阴极结构与TBL(W)(H)7/8000和TBL(W)(H)6/4000的结构类似。阴极由两个平行绕制的螺旋线构成，保证了强度、可靠性和长寿命。

因利用同轴的金属陶瓷封接，阴极结

虽然这种螺旋型阴极在较低功率的管子中是很优良的，但在大功率管中却不适用。由于对这类管子的要求是阳极电压低，所以，功率给定时就要求大的阴极电流。

这就需要使用很长的螺旋线或多股阴极，但这种阴极并不牢固，而且在寿命期间易于变形。为此，设计了一种特殊的网状阴极，供功率为15千瓦和更高的管子使用。

网状阴极的特点是高发射、机械结构牢固、尺寸小、电感低（在较高频率下尤为重要）、适合需要的灯丝电压电流比和高跨导。对网状阴极做开关试验表明，在寿命期内其变形微不足道。

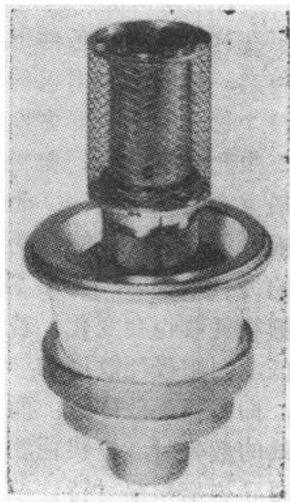


图1.2 网状阴极

1.6 阳极电源

、 阳极电源电压低的工业用电子管与通常高电压小电流的运用情况相比，具有以下优点：

- 1、因内部容性电路引起的封接处的损耗较小，
- 2、电离和电晕效应最小。

另外，用这类管子设计的电路使用固态整流器组，则其费用会显著降低，其原因将在第二章“阳极电源”中详细讨论。

1.7 其他考虑

网状阴极尺寸小使得管子总尺寸相对于功率容量来说也相当小。尺寸和重量小的优点并非立即显现，因工业设备中尺寸和重量通常并不成为问题，对于设备制造厂来说尤其如此。

但功率管的尺寸和重量从运输、储存和管理备份管的角度考虑，对于设备使用者却非常重要。对于轻便的或可移动的设备来说，尺寸和重量也是非常重要的。

尺寸对功率的比值低使得热耗散问题在对阳极和栅极的一般要求中变得突出了。“K”材料是很容易就可满足栅极耗散的材料。至于阳极耗散，无论是风冷和水冷的管子，都设计有高效的阳极冷却系统，保证在最为有恶劣的运用条件下阳极也能有足够的冷却。在功率为30千瓦和更高时的水冷系统中，在阳极的厚壁上加工出螺旋形的水流槽，这种系统特别有效；一般需要的水消耗量为每千瓦（阳极耗散）每秒0.34升（0.16加仑）。

纵观本章，特别突出强调了结构牢固和承受瞬时过载的

能力。对功率为240千瓦的管子YD1212的试验室检验表明，在一个短时间内输出功率高达450千瓦而管子毫无损坏，这可作为这一系列新管子的典型代表。

1.8 小结

归纳一下，新的陶瓷外壳工业三极管系列具有下述特点：

- 1、效率至少为75%，
- 2、结构非常牢固，
- 3、尺寸小，
- 4、高效的水冷系统，
- 5、良好的高频特性，
- 6、所有参数都有较大的安全系数，
- 7、寿命期内栅流和激励不变，
- 8、低频运用时无附加冷却要求，
- 9、较低的阳极电压，
- 10、寿命期内阴极和栅极不变形，

简要的工业加热用的陶瓷三极管选用指南示于表1.1。