

高等学校教学用书

电真空材料及工艺

DIANZHENKONG CAILIAO JI GONGYI

下 册

施 华 编

人民教育出版社

高等学校教材

电真空材料及工艺

PLASMA-SPRAYED COATINGS Technology of Materials

主 编

副 主 编

机械工业出版社

高等学校教学用书



电真空材料及工艺

DIANZHENKONG CAILIAO JI GONGYI

下 册

施 华 编

人民教育出版社

电真空材料及工艺

下 册

施 华 编

人民教育出版社出版 高等学校教学用书编辑所
北京宣武门内大街27号

北京市书刊出版业营业许可登记证字第2号

京 华 印 书 局 印 装

新华书店科技发行所发行

各 地 新 华 书 店 经 售

统一书号 15010-1072 开本 850×1168 $1/16$ 印张 15 $1/16$ 插页 4

字数 390,000 印数 0001—8,800 定价 (7) ¥1.50

1961年9月第1版 1961年9月北京第1次印刷

目 录

第五章 金属零件的制造	305
§ 5.1 电极的结构及其对材料的要求	305
§ 5.2 金属零件加工方法的特点及其分类	317
§ 5.3 零件的冲压加工	321
§ 5.4 零件的切削加工	340
§ 5.5 零件的绕制加工	345
§ 5.6 电极制造过程	358
§ 5.7 零件的特种加工制造	363
第六章 零件的加工与处理	367
§ 6.1 加工与处理的分类及其作用	367
§ 6.2 零件的净化	372
§ 6.3 零件的热处理	402
§ 6.4 零件的表面涂复	423
§ 6.5 零件的连接	449
第七章 阴极的制造	475
§ 7.1 一般问题	475
§ 7.2 纯金属阴极	477
§ 7.3 薄膜阴极	483
§ 7.4 半导体阴极	494
第八章 总成工艺	545
§ 8.1 总成工艺的一般问题	545
§ 8.2 接收放大管的总成工艺	552
§ 8.3 中等功率管的总成工艺	627
§ 8.4 大功率管的总成工艺	643
§ 8.5 工艺技术文件	650
§ 8.6 与废品斗争	656
第九章 特种工艺	662
§ 9.1 新型热电子阴极	662
§ 9.2 超小型管的制造工艺	692
§ 9.3 灯塔管的制造工艺	707
§ 9.4 金属陶瓷管的制造工艺	720

§ 9.5 离子管的制造工艺	733
§ 9.6 电真空材料及工艺的新成就	752
§ 9.7 电子器件的发展方向及展望	776
附录: 辐射体真温度的决定	781

第五章 金屬零件的制造

§ 5.1 电极的结构及其对材料的要求

每一个电子器件都是由許多不同的零件組成的。由于各个电极零件所担负的工作不同,因而其结构形状和对所用材料的要求也就不同,相应的制造工艺也有所区别。这里仅着重地把几个主要电极零件的结构、材料、工艺等加以討論。

5.1.1 陽極

阳极在电子管内是作为接收电极用的。从阴极发射出来的电子,在电场作用下加速,最后打到阳极上,这时电子把从电场中所取得的动能变成了阳极的热能,再加上阳极内部阴极栅极辐射出来的热量使阳极处在较高温度之下工作,这就产生了阳极的热耗散问题。为了使得阳极在允许的工作温度下正常地工作,对阳极的材料就有一定的要求,这可以归纳为如下的几个方面:

1. 机械性质好,在工作温度之下有一定的机械强度,加工过程中不易变形,并且易于进行机械加工。
2. 熔点高,在工作温度之下蒸发不显著。
3. 真空性能好,易于去气,由于阳极体积较大,所以必须尽可能地去掉它所含的气体。
4. 辐射系数大,以便降低温度和缩小零件尺寸。
5. 有良好的导热导电性能,逸出功高,二次发射系数低。

通常要找出一种材料完全满足上述要求是困难的,只能根据具体管型结构、运用状况等来具体选择材料;在生产上常用的阳极材料有镍、鍍镍铁皮、复铝铁皮、钼、钽、碳化镍、石墨以及铜等。其有关的数据

見表 5.1。

表 5.1 各种阳极材料的有关数据

材 料 名 称	工作温度 (°C)	工作温度时 的辐射系数	各单位有效面积 的功率耗散 (瓦/厘米 ²)	最大允許瞬 时功率耗散 (瓦/厘米 ²)
光 鋁	900	0.12	1.4	16.0
光 鈹	1000	0.20	2.0	20.0
光 鎳	600	0.08	0.4	2.0
沙 鎳	800	0.25	0.9	4.0
碳化毛 鎳	450	0.95	1.8	5.0
毛 石 墨	450	0.80	1.5	10.0
复 鋁 鉄	570	0.86	1.5	—

下面我們按照生产管型的分类法,即以接收放大管、功率振蕩管等分別来討論阳极的結構及一些有关事項。

一、接收放大管用阳极

这一类阳极的热負荷不大,一般均在 0.5—2 瓦/厘米²之間;它們在工作时主要靠本身的輻射来散热,工作溫度在 400—700°C 左右;为了机械加工和去气方便起見,它們都用金属板料制成,常用的材料有鎳、鍍鎳鉄等,厚度約为 0.1—0.2 毫米。阳极的結構除了它們的几何形状(如圓形、矩形、橢圓形等)决定于电子管的参量設計外,在工艺制造上还要考虑装配方法,支撑方式,机械强度,散热作用以及排气速率等問題。在图 5.1 中表示了几种常見的阳极結構形式。

图中 a)表示一个整片的阳极,它的固定是通过把阳极支持杆穿过左边的小槽孔焊接而成。这种結構形式主要用于热負荷很小的电子管里,因为阳极体积很小,只要单面支撑就可以了,如 6SQ7 的阳极即如此。

b)表示两个半片阳极由穿过两边槽孔的支持杆焊接(点焊)起来并成一个整阳极。为了增加阳极的刚度,避免在生产过程中及工作时的变形起見,在机械加工时应用成形模冲制二条或几条凸筋;这种結構

形式目前用得比较普遍。

c) 也是两个半片阳极,它在装架前就用机械铆接法连接起来做成一个整阳极;多用于要求阳极的形状和尺寸很准确的管子里。阳极材料如果不易焊接,亦可用这种机械的连接方法来装配。

d) 表示不用槽孔及支持杆的阳极支撑方法,依靠阳极上下部分突出的小耳来和云母片相连接。装架时将小耳插入云母片孔中,再将小耳弯好,阳极即固定在云母片上。

e) 这种阳极不用槽孔,但带有凹槽,芯柱导线就焊牢在凹槽中。

f) 表示二片平板形阳极,它们用有凸筋的带相连接;这种结构的阳极由于其面积小因而极间电容就小,常用于高频电压放大五极管中。

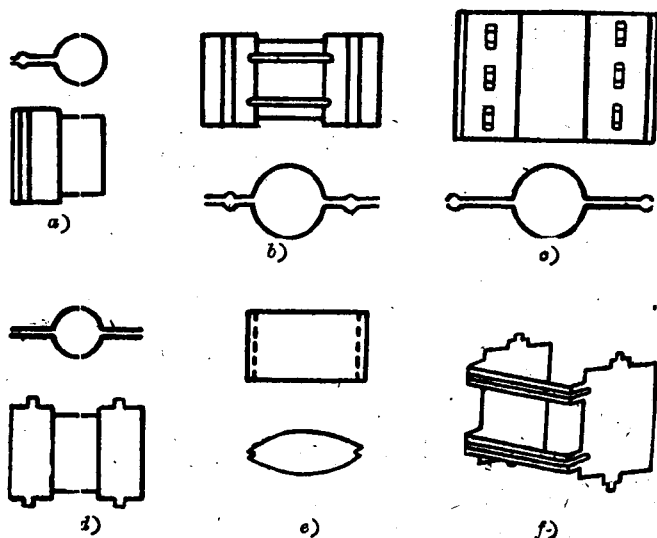


图 5.1 接收放大管用阳极的结构形式。

对于一般的接收放大管,由于热负荷不大,所以阳极常用自然冷却的方式。以上所述的阳极,它们的延伸部分实际上都有散热的作用。为了更好地增加表面散热的能力,有时常在阳极的表面进行一定的加

工处理,通常对不同材料可以分别用氧化法,碳化法,噴砂法,以及采用能黑化的代用材料等来提高阳极表面的輻射系数。

一般來說,阳极外表面的輻射系数越高越好。內表面則相反,如在間热式阴极的整流管中,內表面的輻射系数不希望高,以免阴极过热。

接收放大管阳极材料最理想的为鎳;但因鎳貴,且資源較少;因此在电真空工业中已逐漸采用鎳的代用品,如鍍鎳鉄,复鋁鉄等来制造;常用的帶料其厚度一般为 0.1—0.2 毫米。

二、中小功率振蕩管的阳极

这一类阳极的热負荷比較大些,在 1.5—10 瓦/厘米² 左右。它們在工作时仍依靠輻射来散热,实际的工作溫度按材料性质的不同約在 500 到 1000°C 之間。

由于工作溫度提高了,因此要选用熔点更高、蒸气压更低和机械强度更好的金属来做阳极。功率較小的振蕩管阳极仍可以用鎳来做,但要加上散热翼片及使表面黑化。最常用的材料則为鉬,鉭和石墨。在結構上由于阳极的尺寸較大,重量較重,应考虑零件的机械强度;在应用上則由于阳极的电压高还应考虑支持处的絕緣强度等問題。在图 5.2 中給出了中小功率振蕩管用阳极的几种典型結構形式。

图中 a) 为中等功率振蕩管中阳极耗散功率較小的一种結構 (40 瓦)。它与接收放大管一样,仍用鎳的材料制成,但为了增加鎳阳极的耗散功率,需进行表面碳化,有时还要加焊散热片。这种形式通常应用于 807, F-811 等型号的电子管中。

图中 b) 为鉬制阳极,用于耗散功率在 100 瓦以上的振蕩管中。由于鉬的熔点高,容易机械加工,热导率亦很好,因此很多振蕩管的阳极都用鉬制。但是,由于鉬的焊接性能較差,因此須用机械鉚接法来連接。所給的結構形式为 833A 型振蕩管阳极的具体結構,它的耗散功率为 400 瓦。应用时該阳极的电压最高可达 4000 伏,因此阳极需单独

引出,以增加电极引线间的绝缘强度。阳极的一边所用的槽板具有很大的刚度,能够单独支持整个阳极,并作阳极的引出线用。

钼制阳极除了可以增加散热翼片外,亦可用喷砂,碳化、涂钎等方式来增加辐射系数,而涂钎还可使表面具有吸气能力。

图中c)为钼制阳极,钼是制造振荡管阳极的常用金属之一;它有很多优点,如熔点高,蒸汽压低,易于机械加工,并有良好的焊接性能,同时还具有良好的吸气性能。当钼的温度在 700°C 左右时,它开始显著地吸收许多气体;当 1000°C 时达到最大值;而当温度超过 1300°C 时则又重新放出所吸收的气体。因此钼阳极的工作温度最好是在 $700\text{--}1200^{\circ}\text{C}$ 的范围内。由于它的工作温度高,热负荷可以增大,因此阳极的体积可以减小,更适宜于制造高频振荡管的阳极。

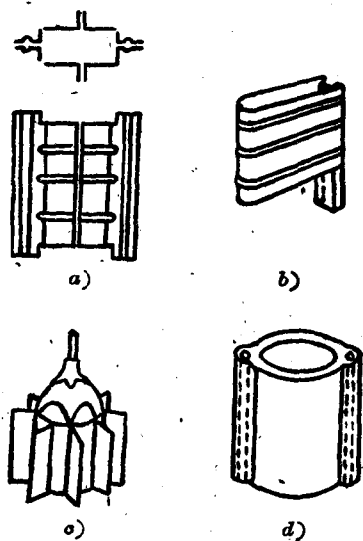


图 5.2 中小功率振荡管阳极的结构形式。

为了增加钼阳极的耗散功率,还可以进行表面喷砂,或加装散热翼片。

散热翼片的正确装置如图 5.3 a)所示, b)则为不正确的散热翼片装置法,这是因为把散热翼片和阳极本身用同一片材料制成才能保证良好的热接触。用厚为 $0.1\text{--}0.2$ 毫米的镍、钼和钽所制的散热翼片宽度一般不超过 $8\text{--}10$ 毫米;因为更宽的时候,阳极散热翼片边缘的工作温度不高,散热效率不大。另外由于钽的价格贵,所以壁厚较小,加了散热翼还能够增加阳极的刚度。

图 5.2 中 d)为石墨制阳极的一种形式,用石墨制造振荡管阳极的

优点主要为不必经过特殊的表面处理,就能得到很大的辐射系数。(一般加工好的石墨阳极在空气中燃烧后急速浸入蒸馏水中就能使表面格外毛糙,这是由于浮灰被所形成的水蒸汽吹掉之故)其次是吸气能力

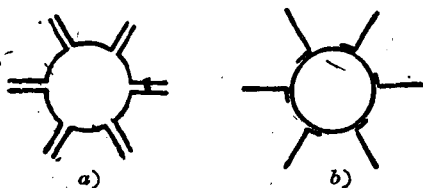


图 5.3 散热翼片的装置方法:

a)正确; b)不正确。

强,能使管内剩余气体的压强减低,但亦因此而引起预先去气的困难。一般用切削加工制造成一定形状,由于它性质很脆,因而零件的壁厚通常选用在 1.5 毫米以上,这样也改善了石墨的导热性能,使之不易

发生局部过热的现象。石墨不但熔点高,而且蒸气压亦很低,因此用石墨阳极制成的振荡管,在工作过程中不会使玻壳或瓷夹板发黑而引起的漏电。

石墨的缺点除了机械加工困难外,就是装架固定的方法比较复杂。因为它不能焊接,与边杆的连接只能通过支持杆与石墨阳极槽孔间的机械接触或者用螺丝连接起来。石墨中灰分应尽量少,因为灰分主要是碱金属及碱土金属的氧化物,它们会使石墨表面的逸出功降低,易于引起逆弧等不良现象。

、为了增加管子寿命,有时把石墨阳极进行金属化处理;所用的方法是先把石墨阳极在空气中用高频线圈烤至微红,然后浸入钼酸(H_2MoO_4)和浓氨水的饱和溶液中,取出待溶液滴干后再烘烤至微红程度。最后将阳极放入钟罩中通以氢氮混合气(1:1),第三次用高频线圈加热至 $1400^{\circ}C$ 维持 2 分钟,冷却后取出则阳极呈现出暗灰色,即表示已经金属化,金属化的石墨阳极亦可以再经过喷钎处理,增加其吸气能力,这时候表面将呈黑棕色。

由于石墨和汞不起作用,所以石墨阳极经常用于充汞气或汞弧整流管中。

三、大功率振荡管阳极

当阳极耗散功率达到 1 瓦以上时,为了降低阳极的温度,必须采用强迫冷却的方法,在这种管子中阳极成为外壳的一部分(图 5.4),所以亦叫做外阳极管以区别于靠辐射冷却的内阳极管。冷却的媒质可以是水亦可以是压缩空气。

这种阳极多用铜制造,最好是用牌号为 MB 的无氧铜, M1 电解铜亦能够应用。采用铜的原因是由于它的导热性和导电性都很好,组织结构又很紧密,气密性较好,而且铜的韧性很好,加工成薄边与玻璃

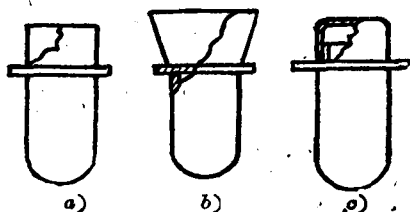


图 5.4 大型管阳极的结构:

- a) 直的薄边; b) 斜的薄边;
c) 带有可伐的铜阳极。

封接时能够随着玻璃而伸缩以消除由于二者膨胀系数不一致所产生的应力。但是由于薄边的机械强度低,当阳极的直径大时,就不易支持整个阳极的重量和沿薄边所承受的大气压力;所以在有的阳极中采用了可伐合金的过渡接头,如图 5.4c) 所示阳极本身由于散热的需要仍用铜做成,然后把铜和可伐钎焊起来,再用可伐和玻璃相封接。在铜和可伐硬焊时,铜应该在可伐里边,否则加热时,由于铜的膨胀系数大,会在接缝处使焊料漏出来而焊不牢。焊料通常都用 ПСР-72 的银铜焊料。为了避免焊接时焊料中的银渗入可伐的晶格边缘使可伐变脆,在焊接前可伐须先镀银。又由于可伐的电阻率较大,为了减小高频时的电阻值可以在不与玻璃封接处的表面镀银。

铜阳极的缺点在于它的熔点低,蒸气压力大,所以工作温度必须限制在 400—450°C 以下;因而它的冷却必须十分有效。现将二种冷却方法的要点说明如下:

1. 强迫水冷式 这时候铜阳极和玻璃封接的一端焊上一个习惯上叫做法兰盘的圆环。(见图 5.5)它的作用是把管子和水套压紧,以免

水溢出来。由于水流量是一个恒量，流程中截面愈小则流速愈大；因此水套的内表面应尽量做得和阳极的外表面距离很小，使水在阳极的外面形成湍流，提高冷却效率，同时高速的水流还能够把可能形成的水泡带走，不然水泡处会引起局部的过热。

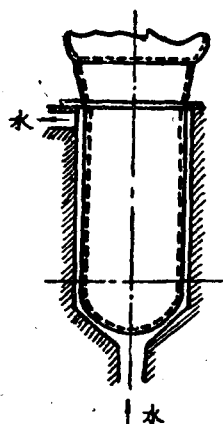


图 5.5 水冷管阳极的冷却方式。

采用强迫水冷式振荡管的阳极，可使无线电设备的地位紧凑些，在同样大小的阳极中，这种冷却方式亦可使管子功率耗散大一些；但是这时候无线电设备附近必须安装水冷管道，同时水中的矿物质成分必须相当少，以免积垢，影响铜阳极的导热率。

2. 强迫风冷式 这种冷却阳极外面须焊接一个散热器，它通常由许多铜的散热翼片组成，其结构如图 5.6。典型的强迫风冷式振荡管连同散热器的装置如图 5.7 所示，散热器放在圆形的绝缘支座上，用电扇向圆筒内吹送供冷却用的压缩空气，把阳极的热量带走。散热器的安装一般在排气后烘装工序中完成。

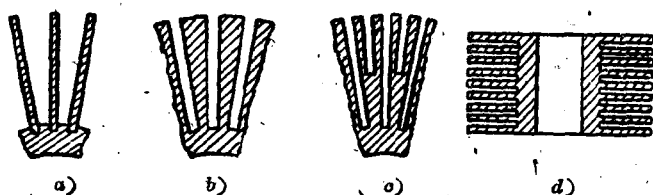


图 5.6 散热翼片的结构。

和强迫水冷式比较起来，强迫风冷式的设备装置及维护要简便些。这种设备便于移动，因为它不必考虑水源的问题；但是同样的阳极采用强迫风冷时，功率耗散的额定值一般要低些。

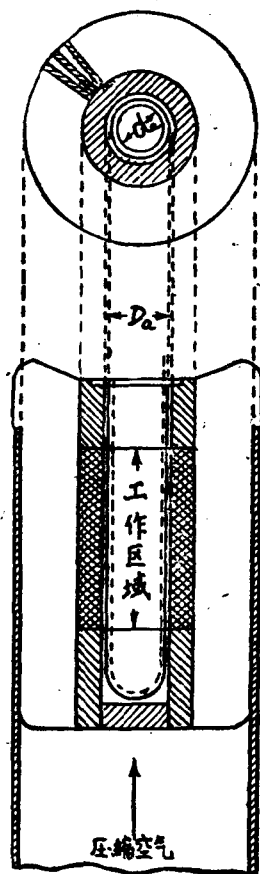


图 5.7 强迫风冷式
振荡管阳极。

5.1.2 栅极

栅极的结构大多为栅栏状或网状，按它的横截面来看，可分成为圆形，椭圆形及矩形等(图 5.8)。通常的栅极是这样组成的，把栅丝以螺旋的形式绕在边杆上并加以固定；也有的栅极是先把栅丝编成网状然后固定在边杆上做成，至于大功率或中等功率振荡管的栅极则常常把它做成为鼠笼形(图 5.9)。

一般说来，栅丝在栅极中起着控制电子流的作用。而边杆主要只起固定栅极的作用，当然也有一定的散热作用。栅极的机械强度应该达到一定的要求，否则将引起栅极

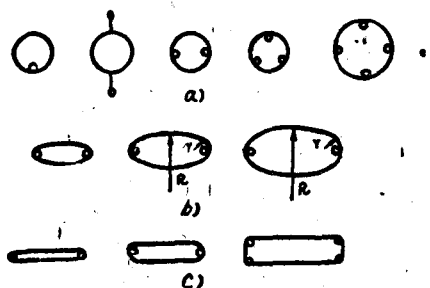


图 5.8 栅极结构的截面图：
a) 圆形；b) 椭圆形；c) 矩形。

与阴极之间的距离或栅丝螺距的变化；也将引起电子管的跨导或放大系数改变，以及引起管内微音效应及噪声等。

在振荡管中，为了防止电子由边缘部分飞出在栅极两端常常要加上腰带。一般的接收放大管中，则可以将栅极两端的栅丝绕得更密些。另外，在装架时我们常常希望栅极比较容易的插入云母片孔中，所以有

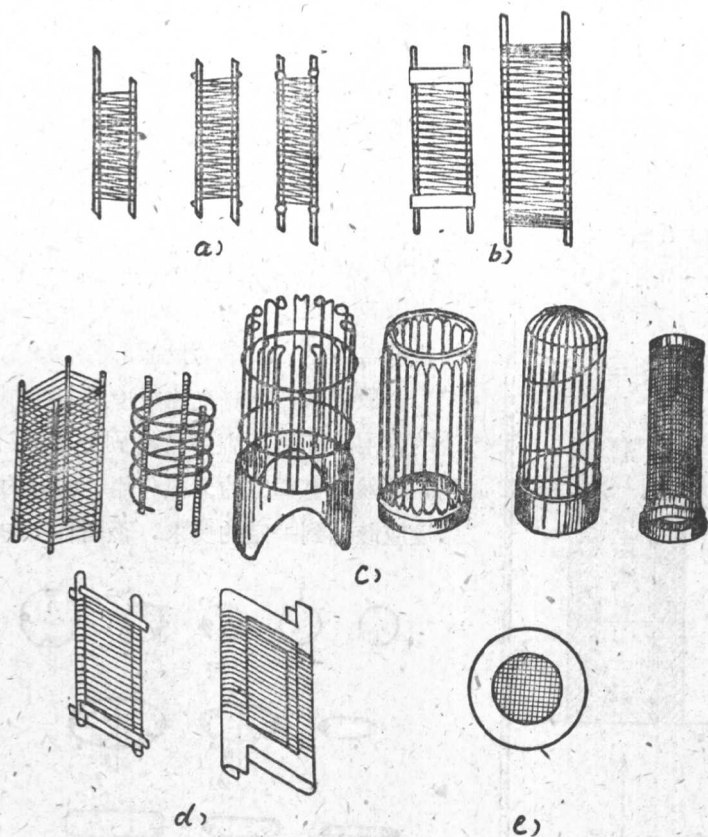


图 5.9 栅极的结构:

a) 一般接收放大管的栅极结构; *b)* 有腰带及两端栅丝加密的栅极; *c)* 各种振荡管栅极; *d)* 框架栅极; *e)* 平板形栅极。

时将栅极的边杆切成 45° 的斜角。

通常在制造高跨导管中, 必须使栅极和阴极间的距离减小。因此, 有的栅极采用框架状的结构。

在激活阴极的电子管中, 往往会由于栅极上蒸发上了一层阴极的活性物质, 容易引起栅极的热发射和改变栅极与阴极间的接触电位差。

这些都会使电子管的参量发生变化。因此栅极的表面性质是很重要的。

由于栅极在电子管工作中起着很重要的作用，所以对制造电子管栅极的材料也相应的提出了下列要求：

一、对栅丝材料的要求

1. 抗张强度高，能耐拉并有适当的韌性。
2. 热膨胀系数小，高温时不易变形，而导热率好。
3. 熔点高，蒸气压低，且化学稳定性好，不易氧化。
4. 热电子发射和二次电子发射要很低，即逸出功要高。
5. 含气量少，且易去气。

二、对于边杆材料的要求

1. 机械强度高。
2. 导热性好。
3. 易于点焊。
4. 不易氧化。

在实际上，并不存在完全符合上述条件的理想栅极材料。因此，在电子管生产中，除了采用某些金属材料外，还采用了若干合金材料来制造栅极；目前常用的栅丝材料有镍丝、钼丝、钨丝、钽丝、镍锰丝、镍钼丝、镍铬丝及镍钨丝等；而边杆材料主要有镍杆、钨杆、钼杆、铬铜杆以及镀镍铜包钢丝等。

5.1.3 热子

电子器件中采用着各种不同结构的热子，其形状如图 5.10 中所示：

一般在间热式阴极中，阴极要达到工作温度所必需的热量是由热子来保证的。在电子器件中所采用的热子通常是由一种金属丝做成各种不同的形状，再在外面涂复一层绝缘物而组成。由于热子的工作情