

发射管设计手册

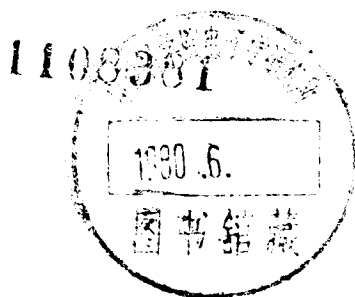


国防工业出版社

75.4118
709

发射管设计手册

电子管设计手册编辑委员会 编

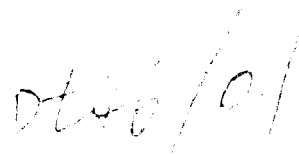


国防工业出版社

内 容 简 介

本手册是我国二十多年来,在总结大功率发射管的设计、试制、生产、测试、应用和维护等方面的经验基础上编写而成的。全书共有二十章,主要包括:发射管设计的任务、原则和一般程序;发射管各种工作状态的分析与计算;发射管各电极材料、结构形式的选择以及电参数的设计计算;发射管各电极组件、整体结构设计应考虑的问题及其工艺过程;发射管的测试、使用和维护等等。书末附有一些数据表,可供设计计算时查阅。

本手册可供从事电真空器件及各类发信设备的设计、制造、使用和维护等方面的工程技术人员、工人及有关院校师生参考。



发射管设计手册

电子管设计手册编辑委员会 编

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168¹/₃₂ 印张20 插页2 515千字

1980年5月第一版 1980年5月第一次印刷 印数: 0,001— 4,300册

统一书号: 15034·1902 定价: 2.95元

目 录

第一章	概 论	1
§ 1.1	设计任务	1
§ 1.2	设计原则	2
§ 1.3	发射管设计的一般程序	3
§ 1.4	发射管设计中的某些问题	4
§ 1.5	发射管设计计算方法简要	7
第二章	由工作状态计算发射管的参量	12
§ 2.1	丙类电报工作状态	13
§ 2.2	丙类电话工作状态	21
§ 2.3	单边带通信用发射管	28
§ 2.4	电视用发射管	31
§ 2.5	工业加热用振荡管	37
§ 2.6	脉冲发射管	37
§ 2.7	脉冲调制管	38
附录 2.1	单音调制和双音调制的阳极耗散功率的计算	40
第三章	阴极设计	43
§ 3.1	阴极材料和结构形式的选择	43
§ 3.2	网状碳化钨钨阴极的计算	45
§ 3.3	笼形碳化钨钨阴极的计算	53
§ 3.4	螺旋形阴极的计算	53
§ 3.5	纯钨阴极的计算	54
第四章	电流与跨导的计算和极间距离的确定	57
§ 4.1	二极管的空间电荷限制电流	57
§ 4.2	直热式阴极二极管的电流和阴极有效度	59
§ 4.3	三极管的阴极电流与跨导	71
§ 4.4	四极管的阴极电流与跨导	84
§ 4.5	电流分配与阳极电流	88

§ 4.6	考虑小岛效应的电流计算	90
§ 4.7	由最大电流点的阴极电流确定极间距离	91
§ 4.8	电极尺寸的热膨胀修正	96
第五章	放大系数的计算和栅极结构尺寸的确定	99
§ 5.1	放大系数	99
§ 5.2	放大系数的计算	100
§ 5.3	栅极网格的转换及栅丝截面的转换	106
§ 5.4	由放大系数计算栅极尺寸	109
§ 5.5	阴极表面电场不均匀时的放大系数	127
附录 5.1	按平板形电极系统计算圆柱形电极系统的 放大系数的误差分析	132
第六章	阳极-二栅距离的确定	134
§ 6.1	确定 d_{g2a} 时应考虑的因素	134
§ 6.2	阳极-二栅空间电位分布的讨论	136
§ 6.3	阳极-二栅距离的确定	143
附录 6.1	用双二极管法计算 d_{g2a}	146
第七章	栅极的热计算	149
§ 7.1	发射管内极间辐射热交换和栅极温度的计算	149
§ 7.2	栅极辐射功率密度的简单估算	159
§ 7.3	考虑栅极热传导时栅极的温度分布	161
第八章	发射管阳极的设计计算	163
§ 8.1	水冷阳极的计算	164
§ 8.2	风冷阳极的计算	167
§ 8.3	蒸发冷却阳极的计算	176
第九章	极间电容和引线电感的计算	186
§ 9.1	电容计算	186
§ 9.2	极间电容估算	188
§ 9.3	引线电感计算	188
第十章	典型实例计算	191
§ 10.1	大功率三极管设计计算	191
§ 10.2	中短波广播发射四极管设计计算	193
第十一章	整体结构设计	214
§ 11.1	概述	214
§ 11.2	阳极调幅发射机的发射管	215

§ 11.3	单边带发射机的发射管	220
§ 11.4	电视发射机的发射管	225
§ 11.5	脉冲发射管	232
§ 11.6	脉冲调制管	237
第十二章	阴极组件设计	244
§ 12.1	概述	244
§ 12.2	折线式阴极组件	244
§ 12.3	螺旋阴极组件	245
§ 12.4	笼形阴极组件	247
§ 12.5	网状阴极组件	254
第十三章	栅极组件设计	262
§ 13.1	概述	262
§ 13.2	栅极组件材料的选取	266
§ 13.3	螺旋栅极	272
§ 13.4	笼形栅极	275
§ 13.5	网状栅极	277
§ 13.6	石墨栅极	280
§ 13.7	栅极支撑结构和连接形式	281
§ 13.8	栅极组件结构实例介绍	285
§ 13.9	国内外大功率发射管栅极组件结构简介	289
第十四章	阳极组件设计	296
§ 14.1	概述	296
§ 14.2	风冷阳极组件	299
§ 14.3	蒸发冷却阳极组件	302
第十五章	芯柱结构设计	312
§ 15.1	概述	312
§ 15.2	芯柱设计要求	315
§ 15.3	芯柱材料的选择	316
§ 15.4	玻璃芯柱	321
§ 15.5	陶瓷芯柱	324
§ 15.6	设计芯柱时注意的一些问题	329
第十六章	其他组件设计	331
§ 16.1	阳栅绝缘环设计	331
§ 16.2	绝缘子的设计	339
§ 16.3	弹簧的设计	342

§ 16.4	吸气剂的设计	346
§ 16.5	紧固件的设计	351
§ 16.6	屏蔽片的设计	355
第十七章 总装工艺		358
§ 17.1	钍钨阴极的制造及碳化工艺	358
§ 17.2	栅极制造工艺	374
§ 17.3	栅极涂覆工艺	387
§ 17.4	可伐加工及玻璃封接工艺	400
§ 17.5	装架工艺的要求	411
§ 17.6	排气工艺	414
附录17.1	电极温度测量方法	427
第十八章 发射管的测试		433
§ 18.1	概述	433
§ 18.2	脉冲测试及其设备	434
§ 18.3	减小脉冲测试误差的有关问题	441
第十九章 发射管的应用		450
§ 19.1	电路简介	451
§ 19.2	电子管的工作状态	454
§ 19.3	高频放大器工作状态的计算	456
§ 19.4	阳极调幅发射机	466
§ 19.5	单边带发射机	489
§ 19.6	电视发射机	503
§ 19.7	工业用高频加热设备	528
§ 19.8	脉冲雷达发射机	541
第二十章 发射管的使用和维护		556
§ 20.1	发射管的包装	556
§ 20.2	发射管的维护	565
§ 20.3	发射管的风冷系统	580
§ 20.4	发射管的水冷系统	601
§ 20.5	发射管的蒸发冷却系统	609
§ 20.6	冷却系统的维护	617
附表一	β^2 与 β^* 表	619
附表二	计算放大系数用的某些函数表	626
附表三	余弦脉冲的计算系数	632
附表四	钨的性质	633
附表五	钼的性质	634

第一章 概 论

产品设计是产品投入生产前的重要环节。设计好坏，对产品的性能和质量都有很大影响，因此必须认真搞好设计这一环。

发射管设计是从发射管的生产实践和科学实验积累的经验中总结、提炼出来的，它是理论与实践紧密结合解决发射管设计实际问题的一种工程方法。

§ 1.1 设计任务

为了满足社会主义建设迅速发展的需要，多、快、好、省地发展新产品，改进产品性能，提高产品质量，需要一套工程计算和设计方法。生产实践、科学实验、新理论、新工艺和新材料是产品设计发展的基础，客观需要和实现的可能性是产品设计的主要依据。发射管设计工作者的任务，就是要根据使用要求设计出先进又合理的产品来。譬如使用单位提出了发射管工作状态和输出功率等要求，从而求出其参量，但是满足同一参量要求却可以有许多种几何尺寸不相同和结构不相同的发射管，哪一种符合特定的需要？哪一种是最佳设计？这是发射管设计所要解决的问题。

设计工作要从调查研究着手，根据使用部门的要求编制设计任务书。编制好设计任务书，对以后设计工作的顺利进行，合理设计，少走弯路，将是重要的一环。设计任务书的内容应包括技术性能指标、使用条件等，例如：

技术性能指标

工作频率，

输出功率，

工作效率，

工作状态和调制方式;
 阳极直流电压;
 寿命要求等。

使用条件

环境温度范围、相对湿度;
 海拔高度、气压范围;
 振动、冲击和离心加速度;
 冷却方式要求等。

其他特殊要求,例如对于单边带通信用的发射管有互调失真的要求,对电视发射管有带宽的要求等等。有关使用要求尽可能详细写明。

根据设计任务书进行设计计算和必要的工艺试验,通过设计计算确定发射管的几何尺寸和结构方式,确定采用的主要材料和工艺。

§ 1.2 设计原则

产品设计既要考虑采用最新技术成果,又要考虑充分利用技术上的继承性。这些都是产品设计必须遵循的指导思想。对发射管设计我们提出以下几条原则:

(1) 根据我国的资源条件和工业基础作为设计的基本立足点。在发射管设计中应尽量采用国产材料,做到用材立足于国内。

(2) 充分考虑到生产制造的条件和要求。对于大量生产的产品,设计过程中要处处着眼于生产制造的工艺性。从我国工业发展水平出发,充分利用技术上的继承性,使设计的产品在生产制造工艺上是能实现的,或通过一定努力就能掌握的。在确保产品技术性能指标的前提下,迅速投产,争取时间,发挥效用。

(3) 尽量采用先进技术,运用技术革新和科研成果。这同充分利用技术上的继承性和考虑现有生产条件出发是辩证关系。在

合理的基础上采用先进技术,将会提高劳动生产率,降低成本,提高产品质量,从发展观点看,有利于提高技术水平,有利于生产。

(4) 产品设计要符合标准化要求。如果按理论计算得到的零件尺寸和材料规格进行生产,则当产品品种增多时零件和材料的规格种类将大大增加,不利于大量生产。应当将理论计算值作适当调整,在满足设计要求的前提下,尽量采用标准件、通用件和移用件,这样不仅有利于生产,亦可缩短产品试制和投产周期。所选用的材料(如钨、钼材料的丝、杆、板等)更要采用国产标准化、规格化和系列化的品种和规格。

(5) 产品设计应该考虑到使用、维护、安装、运输等因素,要方便于使用和维护,同时也对使用和维护提出一定要求,以保证发射管正常运用。此外,大功率发射管中使用多种稀贵材料,尤其在结构设计时应注意节约,也要考虑到制造过程中便于返修和出厂后的材料回收(例如回收铜阳极以及其他稀贵材料)。

§ 1.3 发射管设计的一般程序

发射管设计有电性能、热性能和机械性能方面的计算,这些内容大致可分电设计、结构设计和外阳极设计计算三类。电设计是为满足使用要求而确定各电极的几何尺寸和结构方式,要用到热计算,这一部分主要是管内电极部分的管芯的设计计算;结构设计要保证电极支持部分有足够的机械强度,电极引出导体能安全地通过额定电流,保证管壳和引出导体间的绝缘、耐压;外阳极设计主要是在规定冷却条件下,确定外阳极形状的几何尺寸,其他电极外部有必要计算冷却效果的,亦包含在此部分。一般说来,发射管的大致设计程序为:

(1) 设计工作从深入调查研究开始,根据使用部门的具体要求,共同研究编制设计任务书。

(2) 根据设计任务书中的要求,参考国内同类型电子管,也可以参考国外一些同类型的先进管型,经过综合分析,全面考虑,

提出发射管结构方案。

(3) 通过多方面的论证, 广泛征求意见, 确定方案。方案确定后, 按设计任务书中的技术要求进行设计计算:

- a. 由工作状态计算发射管的参量;
- b. 由参量计算发射管各电极的几何尺寸, 选用电极材料和规格;
- c. 电极热计算, 确定栅极加工工艺、涂覆材料及阳极内表面的处理工艺;
- d. 外阳极设计计算;
- e. 结构设计, 包括管壳和芯柱设计。

在设计过程中, 有必要时需要进行电模拟的实验, 以及应用电子计算机进行计算, 以期获得较为合理的设计。有时需要进行工艺或结构的试验工作。要重视技术储备 (即对某些课题进行预先研究)。若有技术突破, 也可以提出更先进的设计方案。

(4) 一般情况下, 在初步设计基础上, 就可以绘制草图, 确定制造工艺, 经过标准化核查, 即可进行样管试制。通常在初步设计基础上利用现有条件, 因地制宜, 很快就可拿出样品。通过样管试制, 以至少批量制造, 进行实际试验, 对设计进行全面考核。

上述设计程序仅作为参考, 在实际设计工作中可根据实践经验和具体情况灵活掌握。但是, 在任何情况下, 都应以尽可能少的人力和物力来达到使用上所要求的技术性能。

§ 1.4 发射管设计中的某些问题

发射管设计过程中会碰到如下几个问题:

1. 可靠性

大功率发射管的可靠性涉及面较广, 例如使用中发生碰极、灯丝断、管壳炸裂、性能不稳定等, 这些与使用、制造有关, 也与设计有关。从设计角度来说, 较为突出的是阴栅距离的确定。缩小阴栅距离 (小岛效应可忽略情况下), 可以增大发射管的跨导, 提

高功率增益，整机末前级的功率可降低，缩小了整机的体积，减轻了重量。但阴栅距离减小后，对可靠性是不利的，二者相互矛盾。大功率发射管中，热膨胀引起电极几何尺寸的改变也不能忽视，计算时要考虑热膨胀量的影响。在结构设计时须采取有效措施，设法在获得高跨导下尽力提高发射管的可靠性。

2. 寿命

影响寿命的因素较多，特别是制造工艺上的问题，原材料的质量，使用的条件等都有关系。这里所指寿命是在正常情况下的使用期限，对于碰极、灯丝断、管壳炸裂等“夭折”不属此范围。对正常情况下的寿命与阴极寿命关系极大。设计阴极要考虑阴极发射的储备量，储备量过大，管子体积庞大，灯丝耗电量增大，造成浪费，储备量太小则会影响寿命。对于钍钨灯丝应当选取合适的碳化度，碳化度太高灯丝发脆易断，但碳化度过低亦会影响寿命。栅极、阳极亦有一个承受过载能力的问题，设计不当会引起栅极或阳极过热，制造不当使电极不同心，也会造成阳极局部过热，使电极变形和放气，影响电性能和寿命，甚至烧毁。

3. 频率和功率

随着发射管功率的增大，必须加大阴极的发射面积，以及为增加散热面积而加大电极尺寸，从而加大了极间电容。发射管的临界频率决定于极间电容等。因此增大功率与提高频率是相互矛盾的。在中、短波大功率发射管中，尤其在短波段，甚至引出线的结构都必须考虑对频率的影响。当频率增高到甚高频和特高频时，功率与频率的矛盾将更加突出，有时为了缩短电子渡越时间，阴栅距离设计得很小，其结果可能出现严重的小岛效应。

4. 提高阳极电压和阴极电流

为了满足增大发射管输出功率的要求，可以提高阳极电压，但随着阳极电压的提高带来一系列问题，特别是电子管出现打火，以致使电子管不能正常运用。阳极电压过高还会给整机线路上带来许多困难。高频电压引起击穿打火的原因更为复杂，设计时要根

据实际情况,不能任意提高阳极电压。结构设计和工艺条件对阳极电压是有影响的,实践中采取的许多防止打火的措施是极为有效的。增大输出功率的另一个途径是增大阴极电流,但要增大阴极电流势必增大阴极尺寸,这就影响临界频率的提高,同时也带来热膨胀、引出线通过大电流等问题。因此,为满足对发射管输出功率的要求,存在着选择合适的阳极电压的问题。

5. 线性

现代通信系统中,广泛采用单边带通信体制。其末级是应用线性放大器,所以对发射管提出了一定的线性指标要求(如三阶和五阶互调失真的指标)。同样,电视发射管亦有线性要求。因此,提高线性是发射管改进方向之一。

6. 电流分配

改善电流分配是发射管改进的又一个重要课题。利用静电聚焦作用的设计,可降低四极管中第二栅极电流,但关于束射四极管的电流分配迄今还没有完善的理论。在进行工程计算时,可根据同类型结构的电子管的统计数据作估算。

7. 栅极材料和结构的选择

大功率发射管栅极的材料和结构也是当前很突出的问题。栅极温度升高对发射管特性影响很大,例如会引起栅极热发射、电极放气、机械强度变坏等等。所以设计时要选择导热性好、辐射系数大、热膨胀系数小、熔点高、逸出功高、二次电子发射系数小的材料作为栅极材料,栅极表面要进行涂覆处理。栅极结构要设计得吸热少,有利于热辐射和具有良好的热传导。近年来新发展的栅极材料(如热解石墨)和涂覆材料,值得注意。

8. 蒸发冷却技术

由于蒸发冷却能承受较高的耗散功率密度,并有承受短时间过载能力。因此,30千瓦以上的大功率发射管普遍采用了蒸发冷却阳极。在第八章中,对基本蒸发器冷却阳极的设计计算提出了初步的建议,并简单介绍了过蒸发和超蒸发冷却的工作原理。过

设计计算, 是根据工作状态来计算参量开始, 进而计算电极尺寸。这里必须指出, 对于中、短波发射管, 在计算中忽略了电子渡越时间效应。以下就设计计算方法和过程作简要介绍。

一、阴 极 设 计

阴极设计, 是以发射管在给定工作状态下的输出功率 P_{out} 、阳极电压 E_a 、工作频率 f 三个量作为依据。

1. 确定阴极加热功率

根据第二章的计算、发射管的输出功率和选取的阳极电压等参量, 计算出最大阴极电流, 从而求出灯丝加热功率。

2. 确定阴极结构 (以碳化钨钨阴极为例)

圆柱电极系统的阴极结构, 主要有以下几种:

螺旋形阴极 (主要用于小型三、四极管或脉冲三、四极管);

笼形阴极 (主要用于大功率三、四极管);

网状阴极 (主要用于甚高频电视用四极管, 亦用于中、短波发射三、四极管)。

对于频率比较高的三、四极管, 阴极的高度要求小于最短波长 (λ) 的 $1/16$ 。

3. 确定阴极尺寸

碳化钨钨阴极的工作温度, 一般选择为 2000K。考虑到多根灯丝彼此相距很近所引起的温度影响, 以及管内电极的反射和辐射热的影响。因此设计时要考虑灯丝的有效辐射系数的改变, 最好通过实测温度来验证。

钨钨灯丝直径可以参考已生产的同类型电子管, 确定一个大致的灯丝直径值, 以后再根据别的条件, 作些修改, 最后确定一个适宜的尺寸。

4. 确定灯丝根数和灯丝长度

阴极加热功率、工作温度、碳化度和灯丝的直径已知后, 按第三章中的公式不难求出灯丝根数和灯丝长度。灯丝根数应该是

整偶数。为凑成整偶数，还得作种种调整。至此可估计阴极直径，其确切尺寸，需在下面计算中确定。

按上述理想阴极设计计算后，还需对冷端等作些修正。

二、阴栅距离的计算

阴栅距离的计算方法有两种：一种是选定的，即根据结构上的考虑，选择阴栅距离允许的最小值，结构上的考虑主要是保证在热状态下机械结构上的可靠性。另一种是根据阴极尺寸和第二章计算得到的参量计算阴栅距离，这个值不能小于允许的最小值，否则需调整阴极的局部尺寸。不论阴栅距离是选定的还是计算的，在热状态下的阴栅距离和阴极尺寸都必须满足阴极电流方程，即在一定参量下满足所要求的阴极电流。

圆柱形三极管的阴极电流方程为

$$I_K = G \sigma \left(u_g + \frac{u_a}{\mu} \right)^{3/2}$$

式中 G ——导流系数。

按 k 曲线方法得到的导流系数为

$$G = 2.33 \times 10^{-6} \frac{k N_f H_K}{R_K \ln \frac{R_g}{R_K}}$$

式中 k ——对应于 $\frac{N_f \ln \frac{R_g}{R_K}}{2\pi}$ 和 $\frac{R_K \ln \frac{R_g}{R_K}}{r_f}$ 的函数，由图 4.3 查得。

控制强度系数 σ 为

$$\sigma = \left[1 + \frac{1}{\mu} \left(1 + \frac{2}{3} \beta_g^* \ln \frac{R_a}{R_g} \right) \right]^{-3/2}$$

式中 β_g^* ——对应于 $\frac{R_g}{R_K}$ 的函数，查本书附表一。

以上导流系数 G 公式中的 N_f ，对于笼型阴极， N_f 即为灯丝根数（竖立平行丝数目）；对于网状阴极，用有效灯丝根数 n_f 代替，即

$$n_f = \frac{N_f}{2m \sin \theta_f}$$

式中 N_f ——网状阴极的灯丝根数；

θ_f ——网格仰角（如图 3.2 所示）；

m ——灯丝节距转换系数，是 $\frac{N_f \ln \frac{R_g}{R_k}}{4\pi \sin \theta_f}$ 和 $\frac{R_k \ln \frac{R_g}{R_k}}{2r_f}$ 的函

数，由图 4.7 查得。

四极管的阴极电流，可应用下式作近似计算：

$$I_K = G \sigma \left(u_{g1} + \frac{u_{g2}}{\mu_1} \right)^{3/2}$$

即把第二栅极面当作三极管的阳极面，按三极管相同的方法进行计算。

三、确定栅极尺寸和阳栅距离

按放大系数公式计算栅极尺寸，有两种计算过程：在选定栅极结构后，可以先选取小岛系数 d_{gk}/p 值，进而计算出栅极尺寸；或根据经验先选取栅丝直径，进而计算出栅极其他尺寸。

圆柱形三极管的放大系数，可应用下面半经验公式求得

$$\mu = \frac{\frac{2\pi R_g}{p} \ln \frac{R_a}{R_g}}{F(S)}$$

式中 p ——节距；

S ——屏蔽系数；

$F(S)$ ——由表 5.2 查得。

如果是网格栅的情况，在一定范围内可按 § 5.3 中的方法转换为等效的平行栅，得到等效节距（例如由图 5.2 查得），从而计算等效平行栅的屏蔽系数，然后代入上式计算。如果栅丝截面是非圆形，则需转换成等效的圆截面后进行计算，例如截面是矩形，可按图 5.3 转换为等效的圆截面。另一种计算网格栅方法，是针对不同阴极结构用不同的屏蔽系数公式，详阅第五章。三极管的阳