

# 强流电子枪优选系列



国防工业出版社

# 强流电子枪优选系列

电子管设计手册编辑委员会 编

国防工业出版社

## 内 容 简 介

本书主要对“O”型微波电子管广为采用的轴对称收敛型电子枪进行了优选。

第一章选编了A系列、B系列、C系列和D系列，它们是从目前国内生产中优选出来的电子枪。

第二章是用电子计算机集中设计的Z系列和R系列电子枪，它们的电子光学参数、阴极发射电流密度分布、电子注最小截面处各条电子轨迹半径和外层电子轨迹坐标参数等，均为计算机的计算结果。

第三章总结了电子枪设计中反复实践得到证实的部分经验和数据。

## 强流电子枪优选系列

电子管设计手册编辑委员会 编

\*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

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

\*

850×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印张 14<sup>5</sup>/<sub>16</sub> 插页 2 381千字

1979年11月第一版 1979年11月第一次印刷 印数：0,001—6,200册

统一书号：15034·1708 定价：2.30元

(限国内发行)

# 前 言

在毛主席“独立自主、自力更生”的伟大方针指引下，我国电子管的科研和生产从无到有并取得了很大成就。为了加速电子管技术的发展，提高管子的技术性能，增加品种门类，缩短研制周期，赶超世界先进水平，满足从事电子管生产、科研和使用的广大技术人员、工人和干部的迫切需要，在第四机械工业部领导下，我们组织编写了这套电子管设计手册。

这套手册的每个分册一般均包括基本工作原理、设计方法、测试方法和应用等几个方面的内容。在选材方面，以总结我国电子管设计的实践经验为主，同时，根据“洋为中用”的方针，也选取了国外一些有用的资料。

这套设计手册的编写工作，在毛主席革命路线指引下，坚持了群众路线，实行了技术人员、领导

干部、工人、生产、科研、使用和厂、所、校等几个三结合，贯彻了理论联系实际的原则，进行了比较广泛的调查研究和群众性的经验总结。每个分册定稿前，都经过有关人员多次的讨论、补充和修改，对手册中提供的设计方法和计算公式进行了验算和实验验证。因此，这套设计手册本身就是广大群众集体智慧的结晶。

在编写设计手册的过程中，许多单位的领导和同志们给予了支持和帮助，并提供了很多宝贵的经验和资料，对此，我们深表感谢。由于具体工作做得不好，编写人员水平有限，手册中难免还存在某些缺点甚至错误，我们衷心希望广大读者批评指正。

电子管设计手册编辑委员会

## 序 言

强流电子枪和它所产生的电子注，是微波电子管中的重要组成部分之一。电子注参量的好坏，直接影响到微波电子管质量的高低。因为在微波电子管中，首先要求建立一个符合需要的适当层流的强流电子注，然后通过高频电磁场和电子注相互作用，将电子注的直流功率转换为高频能量。所以，找出一种设计微波电子管所需要的适当层流的电子注，就成为设计强流电子枪的基本指导思想。

我国在强流电子枪的设计、研制和应用方面，积累了许多宝贵经验，摸索出了一套自行设计的规律，这些都应充分地加以总结和推广。这样可以进一步丰富已有的经验，避免工作中的盲目性和重复性。特别是对于刚从事这项工作的新手，直接采用已有的经验，可以节省时间和物力。另一方面，通

过总结经验和推广优选系列，可达到以最少的电子枪满足较为广泛的需要，这将有利于我国微波管电子枪零部件生产的标准化、系列化和积木化。

本书主要对现代无线电工程系统中“O”型微波管（速调管、行波管等）广为采用的轴对称收敛型电子枪进行了优选。运用电子计算机进行了大量的复算和重新设计计算，并作了对比分析。把生产和科研中用得比较好、层流性好、发射比较均匀的电子枪优选出来，进行系列化和汇编。对目前经常采用的磁控注入式电子枪和电调管中采用的电子注入式系统，也作了一些资料收集和汇编工作。面对称电子枪、低噪声电子枪和“M”型电子枪等未纳入本优选系列。

本书第一章给出了A系列、B系列、C系列和

D系列电子枪的几何尺寸、电子光学参数、阴极发射电流密度分布、电子注最小截面处各条电子轨迹半径等各项性能参数。这些电子枪,压缩比一般较小,导流系数不高。因此,它们的使用范围有限。而且它们的电极结构形状很不统一,不利于电子枪零部件的标准化、系列化生产。

在总结以上经验的基础上,集中设计了第二章中的Z系列和R系列电子枪。Z系列为优选系列,R系列为在优选Z系列的过程中余留下来的非优选的31把电子枪的汇集,它不足以组成一个完整的系列,仅供选用参考。Z系列电子枪的电极采用了圆头和方头两种结构形式(当然也可根据设计要求,把圆头改成相应的方头,除此而外的特殊结构,未加考虑)。本章中除提供了与第一章现已使用的电子枪优选系列中给出的基本参数外,还提供了百分之三与百分之五的等位面坐标参数、电子注外层电子轨迹坐标参数,以及几种电压下包含总电流百分之九十五与百分之九十九的经热初速修正后的电子注最小截面半径和射程,以便设计多种电性能的电子

枪时选择。Z系列和R系列及附录中的电子枪,所标明的结构尺寸均为热尺寸,使用中需确定出装架尺寸来。一种优选系列不可能把各方面的特点与要求都包含进去,设计时可以利用优选系列中的电子枪,遵循系列化要求的基本精神,做出多种多样的派生,以扩充优选系列的使用范围。

在电子枪优选系列计算过程中,采用了两种计算机程序进行优选和重新设计电子枪的工作。计算结果表明,层流性好的和比较好的电子枪约占收集总数的70%,计算参数与各单位提供的整管测试结果基本一致。在热测和使用中都比较好的电子枪,计算后所得到的层流性也比较好。而这些电子枪阴极的半锥角,都比理论设计曲线所给出的要大。这说明用加大阴极半锥角的方法可以改善电子注的层流性。

在复算A系列时,对多数电子枪的阴极与聚焦极、阴极与阳极之间的尺寸,都做过一些调整。这是因为图中提供的大部分是装架尺寸,在计算中,须考虑热膨胀的影响。这样,尺寸略加调整之后,

计算结果基本上与整管测试相符合。在一些热电子初速效应较大的电子枪中，计算值与实测结果偏离比较大。对此，做了一些简单的修正，参数表中提供了修正后电子注最小截面半径和射程的数值。

通过大量复算表明，计算机用于电子枪的设计是可行的，计算结果是可以信赖的。因此，在这个实践经验的基础上设计出来的 Z 系列、R 系列及附录中的电子枪，都有一定的使用价值，它比采用电

解槽设计的电子枪精度高得多。例如优选系列中的 A-7 型电子枪和 A-41 型电子枪，就是将计算结果直接用于装管，获得了满意的结果。因此，运用电子计算机来进行电子枪的设计工作应大力推广。

在第三章中讨论了，如何正确地利用优选系列来选择和设计所需要的电子枪；介绍了经过反复实践总结了的一些设计电子枪的经验和数据，设计时可以直接采用它们来派生新的电子枪。

# 目 录

|                               |     |                               |     |
|-------------------------------|-----|-------------------------------|-----|
| 符号说明 .....                    | 1   | § 2.4 汇集的 R 系列电子枪尺寸图与特性 ..... | 304 |
| 第一章 现已使用的电子枪的优选系列 .....       | 5   | 第三章 利用优选系列选择和设计               |     |
| § 1.1 概述 .....                | 5   | 电子枪的若干问题 .....                | 366 |
| § 1.2 电子枪电子光学参数总表 .....       | 5   | § 3.1 怎样选择符合需要的电子枪 .....      | 366 |
| § 1.3 优选的 A 系列电子枪尺寸图与特性 ..... | 10  | 3.1.1 选择电子枪的方法 .....          | 366 |
| § 1.4 优选的 B 系列电子枪尺寸图与特性 ..... | 120 | 3.1.2 应该注意的几个问题 .....         | 367 |
| § 1.5 汇集的 C 系列电子枪尺寸图与特性 ..... | 134 | § 3.2 利用优选系列派生新的电子枪 .....     | 372 |
| § 1.6 优选的 D 系列电子枪尺寸图与特性 ..... | 144 | 3.2.1 怎样改变电子注最小截面半径 .....     | 372 |
| 第二章 计算机设计的电子枪优选系列 .....       | 161 | 3.2.2 怎样改变电子枪的导流系数 .....      | 373 |
| § 2.1 概述 .....                | 161 | 3.2.3 怎样改变压缩比 .....           | 374 |
| § 2.2 电子枪电子光学参数总表 .....       | 162 | 3.2.4 怎样改变射程 .....            | 375 |
| § 2.3 优选的 Z 系列电子枪尺寸图与特性 ..... | 164 | 3.2.5 关于改成栅控电子枪的问题 .....      | 375 |
|                               |     | § 3.3 电子枪结构设计中应注意的问题 .....    | 376 |

|                          |     |                       |     |
|--------------------------|-----|-----------------------|-----|
| 3.3.1 灯丝磁场产生的影响 .....    | 376 | § 3.5 设计举例 .....      | 380 |
| 3.3.2 金属电极的热膨胀 .....     | 376 | 附录 T型电子枪汇集 .....      | 389 |
| 3.3.3 局部的无用发射 .....      | 377 | 一、T型电子枪电子光学参数总表 ..... | 391 |
| 3.3.4 管壁效应 .....         | 379 | 二、T型电子枪尺寸图与特性 .....   | 393 |
| § 3.4 装架和热测时应注意的问题 ..... | 379 |                       |     |

## 符 号 说 明

- $\hat{B}$ ——峰值磁场, 单位为  $G_s$ 。
- $B_b$ ——布里渊磁场, 单位为  $G_s$ 。
- $B_k$ ——阴极区磁场, 单位为  $G_s$ 。
- $\hat{B}_r$ ——新设计电子枪电子注所需要的聚焦磁场, 单位为  $G_s$ 。
- $d_{ka}$ ——阴极面到阳极头的距离, 单位为  $mm$ 。
- $d_{k+}$ ——阴极面到聚焦极的距离, 单位为  $mm$ 。
- $d_{+a}$ ——聚焦极到阳极的距离, 单位为  $mm$ 。
- $d_{+ar}$ ——新设计电子枪的聚焦极到阳极的距离, 单位为  $mm$ 。
- $I$ ——电子注电流, 单位为  $A$ 。
- $I_k$ ——电子枪的总发射电流, 单位为  $A$ 。
- $I_r$ ——新设计电子枪的电子注电流, 单位为  $A$ 。
- $J_k$ ——在阴极面上, 对应于  $R_0$  各点的发射电流密度, 单位为  $A/cm^2$ 。
- $\bar{J}_k$ ——阴极发射电流的平均电流密度, 单位为  $A/cm^2$ 。
- $J_{k\max}$ ——阴极发射电流密度分布的最大值, 以  $A/cm^2$  表示。
- $J_{k_s\max}$ ——新设计电子枪的阴极发射电流密度分布的最大值, 以  $A/cm^2$  表示。
- $\bar{J}_{k_s}$ ——新设计电子枪阴极发射电流的平均电流密度, 单位为  $A/cm^2$ 。
- $J_{k\min}$ ——阴极发射电流密度分布的最小值, 以

$A/cm^2$  表示。

$J_{max}$ ——阴极的发射能力，表征在运用条件下，  
阴极每平方厘米所允许支取的最大电流  
以  $A/cm^2$  表示。

$K$ ——电子枪的缩尺系数

$$K = \frac{R_{b'}}{R_b}$$

$K_c$ ——磁场屏蔽系数。

$M^2$ ——压缩比（又称面积压缩比），定义为阴极  
面积  $S_k$  与电子注最小截面面积  $S_b$  之比

$$M^2 = \frac{S_k}{S_b} = \frac{r_k^2}{R_b^2}$$

$P$ ——导流系数

$$P = \frac{I}{U_a^{3/2}}$$

是电子注总电流  $I$  与阳极电压  $U_a$  的  $-\frac{3}{2}$  次方之比，  
单位为  $P$ （朴）。常用  $\mu P$ （微朴）表示。 $1\mu P = 10^{-6} P$ ，  
 $1 P = 1 A/V^{3/2}$ 。

$R_0$ ——把阴极半弦长分成  $N$  等分后，由阴极曲  
率中心到每一等分点所作直线与阴极面  
相交之交点的  $R$  坐标值，单位为  $mm$ 。

$R_a$ ——阳极曲率半径，单位为  $mm$ 。

$R_b$ ——电子注的最小截面半径，单位为  $mm$ 。

$R_{b0}$ ——在选定作为热初速修正的起始截面  $Z_0$  处  
所对应的外层电子轨迹的  $R$  坐标值，单  
位为  $mm$ 。

$R'_{b0}$ ——外层电子轨迹  $R_{b0}$  点的斜率

$$R'_{b0} = \left. \frac{dR}{dZ} \right|_{Z=Z_0}$$

$R_{b1}$ ——在给定电压下，热初速修正后包含总电

流百分之九十五时, 电子注的最小截面半径, 单位为 mm。

$R_{b2}$ ——在给定电压下, 热初速修正后包含总电流百分之九十九时, 电子注的最小截面半径, 单位为 mm。

$R_{bn}$ ——空心电子注的内半径, 单位为 mm。

$R_{br}$ ——新设计电子枪的电子注最小截面半径, 单位为 mm。

$R_{bw}$ ——空心电子注的外半径, 单位为 mm。

$R_D$ ——阳极漂移管内半径, 单位为 mm。

$R_k$ ——阴极曲率半径, 由阴极曲率中心到阴极表面的距离, 单位为 mm。

$r_k$ ——阴极半径(或阴极半弦长), 单位为 mm。

$r_{ks}$ ——新设计电子枪的阴极半径, 单位为 mm。

$R_\phi$ ——聚焦极内半径, 单位为 mm。

$U_a$ ——相对于阴极的阳极电压, 单位为 kV。

$U_{as}$ ——新设计电子枪所要求的阳极电压, 单位为 kV。

$U_{gM}$ ——栅控电子枪相对于阴极的栅极脉冲电压, 单位为 V。

$U_\phi$ ——相对于阴极的聚焦极电压, 单位为 V。

$Z_0$ ——在阳极口内的漂移空间里选定作为热初速修正的起始截面的 Z 坐标值, 单位为 mm。

$Z_m$ ——电子枪的射程, 定义为阳极头到最小截面处的距离, 单位为 mm。

$Z_{m1}$ ——在给定电压下, 热初速修正后包含总电流百分之九十五时电子枪的射程, 单位为 mm。

$Z_{m2}$ ——在给定电压下, 热初速修正后包含总电流百分之九十九时电子枪的射程, 单位为 mm。

$\sigma$  ——在给定阳极电压下, 从阴极中心出发的

具有横向速度为  $\sqrt{\frac{kT}{m}}$  的电子在  $Z = Z_0$

截面上的  $R$  坐标值, 单位为 mm。其中  $k$

为玻尔兹曼常数, 等于  $8.62 \times 10^{-5} \text{ eV/deg}$ ;  $T$  为阴极的绝对温度, 计算时选取

$T = 1100^\circ \text{ K}$ ;  $m$  为电子质量, 等于  $0.91$

$\times 10^{-2} \text{ g}$ 。

$\sigma'$  ——在  $Z = Z_0$  点的  $\sigma$  电子轨迹的斜率

$$\sigma' = \left. \frac{d\sigma}{dZ} \right|_{Z=Z_0}$$

$\eta_D$  ——电子枪直流通导率。

$\eta_H$  ——电子枪高频通导率。

# 第一章 现已使用的电子枪的优选系列

## § 1.1 概 述

通过调查研究，收集了 130 多把电子枪，对它们进行了验证计算、分析和对比。其中保留下了比较好的或者具有代表性的电子枪共 85 把，分别编成本章中的 A 系列、B 系列、C 系列和 D 系列。选择的原则是：

- (1) 在生产和科研中，证明电子枪使用性能是良好的。
- (2) 通过计算机的验证计算，证明电子枪的层流性良好、阴极发射电流密度分布比较均匀。
- (3) 电子枪的零件加工方便，装架容易。

那些使用起来电性能较好，但工艺性能稍差的电子枪，未列入优选系列。

本章介绍的 A 系列是在充分优选的基础上，由 55 把收敛型无栅电子枪编成的。B 系列编入的是栅控电子枪。C 系列是磁控注入式电子枪。D 系列是反射速调管电子枪。

§ 1.2 电子枪电子光学参数总表

| 系列代号 | 电 子 枪 型 号 | $P(\mu\text{P})$ | $M^2$ | $Z_m(\text{mm})$ | $R_\delta(\text{mm})$ | 页次 |
|------|-----------|------------------|-------|------------------|-----------------------|----|
| A    | A-1       | 0.09             | 5.0   | 7.8              | 0.63                  | 10 |
|      | A-2       | 0.11             | 9.8   | 11.5             | 0.4                   | 12 |
|      | A-3       | 0.11             | 11.4  | 6.9              | 0.37                  | 14 |
|      | A-4       | 0.17             | 6.3   | 22.0             | 0.5                   | 16 |
|      | A-5       | 0.26             | 118   | 5.74             | 0.23                  | 18 |
|      | A-6       | 0.29             | 15.0  | 5.2              | 0.23                  | 20 |
|      | A-7       | 0.29             | 118   | 10.8             | 0.23                  | 22 |
|      | A-8       | 0.3              | 4.7   | 9.4              | 1.25                  | 24 |
|      | A-9       | 0.3              | 19.4  | 11.15            | 0.66                  | 26 |
|      | A-10      | 0.32             | 7.0   | 11.0             | 1.19                  | 28 |
| 系    | A-11      | 0.32             | 16.0  | 9.51             | 0.66                  | 30 |
|      | A-12      | 0.32             | 16.0  | 21.6             | 1.5                   | 32 |
|      | A-13      | 0.33             | 8.8   | 7.5              | 0.84                  | 34 |
|      | A-14      | 0.35             | 3.7   | 23.0             | 3.25                  | 36 |
|      | A-15      | 0.35             | 22.2  | 8.0              | 0.74                  | 38 |
|      | A-16      | 0.35             | 25.0  | 8.0              | 0.70                  | 40 |
|      | A-17      | 0.37             | 11.1  | 9.5              | 0.75                  | 42 |
|      | A-18      | 0.38             | 9.3   | 11.2             | 0.77                  | 44 |
|      | A-19      | 0.45             | 23.8  | 13.0             | 0.85                  | 46 |
|      | A-20      | 0.52             | 11.0  | 46.5             | 4.25                  | 48 |
| 列    | A-21      | 0.53             | 10.8  | 24.3             | 2.34                  | 50 |
|      | A-22      | 0.54             | 29.0  | 16.2             | 0.77                  | 52 |
|      | A-23      | 0.60             | 4.0   | 13.0             | 3.1                   | 54 |
|      | A-24      | 0.62             | 10.9  | 21.2             | 2.39                  | 56 |
|      | A-25      | 0.63             | 5.7   | 24.0             | 3.25                  | 58 |



(续)

| 系列代号                | 电子枪型号 | $P$ ( $\mu\text{P}$ ) | $M^2$         | $Z_n$ (mm)    | $R_b$ (mm)     | 页次         |     |
|---------------------|-------|-----------------------|---------------|---------------|----------------|------------|-----|
| A<br>系<br>列         | A-51  | 2.23                  | 6.4           | 6.9           | 1.74           | 110        |     |
|                     | A-52  | 2.3                   | 15.4          | 44.0          | 7.9            | 112        |     |
|                     | A-53  | 2.3                   | 16.5          | 44.0          | 6.9            | 114        |     |
|                     | A-54  | 2.5                   | 3.5           | 60.0          | 17.1           | 116        |     |
|                     | A-55  | 2.55                  | 20            | 5.6           | 1.68           | 118        |     |
| B<br><br>系<br><br>列 | B-1   | 0.43                  | 65.6          | 11.6          | 0.36           | 120        |     |
|                     | B-2   | 0.5                   | 23.5          | 10.0          | 0.6            | 122        |     |
|                     | B-3   | 0.9                   | 5.0           | 8.25          | 1.25           | 124        |     |
|                     | B-4   | 1.2                   | 13.4          | 8.2           | 0.6            | 126        |     |
|                     | B-5   | 1.85                  | 10.2          | 7.7           | 1.0            | 128        |     |
|                     | B-6   | 2.1                   | 6.4           | 7.1           | 2.72           | 129        |     |
|                     | B-7   | 2.1                   | 7.1           | 3.25          | 1.05           | 130        |     |
|                     | B-8   | 3                     | 3.8           | 110.0         | 13.6           | 132        |     |
| C<br><br>系<br><br>列 | 电子枪型号 | $P$ ( $\mu\text{P}$ ) | $R_{bu}$ (mm) | $R_{bn}$ (mm) | $\hat{B}$ (Gs) | $U_a$ (kV) | 页次  |
|                     | C-1   | 0~2                   | 12.5          | 9.5           | 1000           | 25         | 134 |
|                     | C-2   | 8                     | 10.5          | 7.3           | 770            | 2          | 136 |
|                     | C-3   | 11                    | 10            | 5             | 640            | 2          | 138 |
|                     | C-4   | 12                    | 9             | 6             | 770            | 2          | 140 |