

雷达手册

第四分册

[美] M.I. 斯科尔尼克 主编

国防工业出版社

710-1823
687
4

雷 达 手 册

(第 四 分 册)

〔美〕 M. I. 斯科尔尼克 主编

谢 卓 译 张直中等 校



4004791

内 容 简 介

本《手册》系根据[美]M. I. 斯科尔尼克主编的《雷达手册》一书译出。

全《手册》共有三十九章。为了读者使用方便，译文不是按原书章次编排，而是大致按细分的专业将其分成十个分册。

《雷达手册》第四分册论述发射机，其中包括正交场管、线性注管、振荡管与放大管及脉冲调制器等。

本《手册》可供所有从事雷达工程的工人、科技人员和大专院校师生参考。

Radar Handbook
M. I. Skolnik
McGraw-Hill, Inc. 1970

雷 达 手 册

(第四分册)

[美] M. I. 斯科尔尼克 主编

谢 卓 译 张直中等 校

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

787×1092¹/₁₆ 印张 5¹/₂ 125 千字

1974年6月第一版 1974年6月第一次印刷 印数：0,001—8,800册

统一书号：15034·1368 定价：0.62元

出版者的话

为了适应我国电子工业迅速发展的形势，我们组织翻译了由〔美〕M.I. 斯科尔尼克主编的《雷达手册》一书，以帮助读者了解雷达方面的情况。

在原书中，编者试图包含雷达技术领域的各种主要问题。看来，本书的内容比较广泛，但不很深。它省略了一般雷达方面的书籍中通常有的数学推导和详细说明。其实，讨论的许多题目本身都可以写成单独的书籍。为了帮助读者深入研究，原书的每章都提供了许多参考文献。

本《手册》共有三十九章。为了读者使用方便，译文不是按原书章次编排，而是大致按细分的专业将其分成十个分册。第一分册包括雷达简介、雷达检测能力、波形设计；第二分册包括目标特性、气候影响、电磁兼容性；第三分册包括接收机、显示器、自动检测理论、数字信号处理；第四分册专论发射机；第五分册包括馈线、移相器；第六分册包括天线、天线罩；第七分册包括连续波、调频、脉冲压缩和动目标显示雷达；第八分册包括脉冲多卜勒、跟踪、测高和合成孔径雷达；第九分册包括固态、民用航海、卫星监视、天文和航天雷达；第十分册包括多基地、激光雷达，以及雷达信标和无源检测。这十个分册先后出版以后，另外再出版一部分合订本。

原书主编者在前言中对全书未能采用单一标准符号作了说明。他认为，由于当前没有一致通用的符号，如果本书采用某种单一的标准符号，就意味着武断地确定某一种符号是优先选用的，因此，原书允许各章的作者采用自己惯用的符号，只要对它作出确切的定义就行。例如，雷达方程这样一种被认为是标准的和常见的公式，在本《手册》的几个不同部分就写成稍有不同但又是等效的形式，用不同的符号来表示距离、功率、最小可检测信号等等。我们认为上述处理办法是可行的，因此，我们对译文全书的符号也没有统一。

虽然本书偏重于雷达系统方面，但除了对从事雷达系统方面的工程技术人员有用外，还可供其他所有从事雷达工程的有关人员参考。

虽然本《手册》篇幅较大，但在有关厂、所、院校的大力协同下，译校工作开展得比较顺利。在此，谨向为《雷达手册》一书的出版作了不少工作的单位和个人表示衷心感谢。

由于水平有限，书中的缺点和错误在所难免，希望读者批评指正。



4004791

目 录

第十五章 发射机●	4-3
15.1 微波管的选择	4-3
15.2 正交场管(M型管)	4-3
15.2.1 磁控管(谐振型慢波结构、重入式、正交场振荡管)	4-7
15.2.2 正交场放大管	4-11
15.2.3 重入式反向波正交场放大管	4-14
15.2.4 用作振荡器的重入式反向波正交场放大管	4-15
15.2.5 非重入式反向波正交场放大管M型返波管	4-15
15.2.6 重入式前向波管	4-15
15.2.7 非重入式注入型前向波正交场放大管	4-16
15.2.8 分布发射式的非重入式前向波管	4-17
15.3 线性注管(O型管)	4-18
15.3.1 速调管	4-25
15.3.2 行波管	4-26
15.3.3 行波速调管	4-27
15.3.4 多注速调管	4-28
15.3.5 静电聚焦速调管	4-29
15.3.6 O型返波振荡管和返波放大管	4-30
15.4 微波管特性的比较	4-31
15.5 振荡管与放大管	4-33
15.5.1 放大链;特殊考虑	4-34
15.6 组合使用和相阵使用	4-36
15.6.1 混合连接(或T形连接)	4-37
15.6.2 相控阵	4-37
15.7 微波管功率容量	4-39
15.7.1 斯坦福直线加速器中心	4-39
15.7.2 频率分集计划	4-40
15.7.3 超高功率计划	4-40
15.7.4 功率-频率边界	4-41
15.8 用于频谱控制的整形脉冲	4-42
15.8.1 虚假输出的减小	4-42
15.8.2 低于 $(\sin x)/x$ 频谱幅度下降的讨论	4-42
15.8.3 用整形脉冲来改进 $(\sin x)/x$ 频谱	4-43
15.9 脉冲串的波形问题	4-46
15.9.1 线性注管	4-47
15.9.2 正交场放大管	4-48
15.10 发射机稳定度的要求	4-49
15.10.1 脉冲动目标显示系统	4-49
15.10.2 脉冲压缩系统	4-51

● 为了便于查对原文,在每章题目后的圆括弧内用阿拉伯数字注明了相应的原书章次。——译注

15.11	脉冲调制器的选择和比较	4-53
15.12	线性调制器	4-54
15.12.1	开关器件	4-57
15.13	磁调制器	4-60
15.14	混合型可控硅-磁调制器	4-61
15.15	主动开关调制器	4-61
15.15.1	阴极脉冲调制器	4-62
15.15.2	调制阳极调制器，直接耦合	4-64
15.15.3	调制阳极脉冲调制器，变压器耦合	4-65
15.15.4	栅极脉冲调制器	4-65
15.15.5	减小顶降的方法	4-65
15.15.6	触发耦合法	4-66
15.15.7	主动开关器件	4-66
15.16	撬棒	4-69
15.17	稳压器	4-72
15.18	高压电源和初级电源的影响	4-75
	参考文献	4-77

目 录

第十五章 发射机●	4-3
15.1 微波管的选择	4-3
15.2 正交场管(M型管)	4-3
15.2.1 磁控管(谐振型慢波结构、重入式、正交场振荡管)	4-7
15.2.2 正交场放大管	4-11
15.2.3 重入式反向波正交场放大管	4-14
15.2.4 用作振荡器的重入式反向波正交场放大管	4-15
15.2.5 非重入式反向波正交场放大管M型返波管	4-15
15.2.6 重入式前向波管	4-15
15.2.7 非重入式注入型前向波正交场放大管	4-16
15.2.8 分布发射式的非重入式前向波管	4-17
15.3 线性注管(O型管)	4-18
15.3.1 速调管	4-25
15.3.2 行波管	4-26
15.3.3 行波速调管	4-27
15.3.4 多注速调管	4-28
15.3.5 静电聚焦速调管	4-29
15.3.6 O型返波振荡管和返波放大管	4-30
15.4 微波管特性的比较	4-31
15.5 振荡管与放大管	4-33
15.5.1 放大链;特殊考虑	4-34
15.6 组合使用和相阵使用	4-36
15.6.1 混合连接(或T形连接)	4-37
15.6.2 相控阵	4-37
15.7 微波管功率容量	4-39
15.7.1 斯坦福直线加速器中心	4-39
15.7.2 频率分集计划	4-40
15.7.3 超高功率计划	4-40
15.7.4 功率-频率边界	4-41
15.8 用于频谱控制的整形脉冲	4-42
15.8.1 虚假输出的减小	4-42
15.8.2 低于 $(\sin x)/x$ 频谱幅度下降的讨论	4-42
15.8.3 用整形脉冲来改进 $(\sin x)/x$ 频谱	4-43
15.9 脉冲串的波形问题	4-46
15.9.1 线性注管	4-47
15.9.2 正交场放大管	4-48
15.10 发射机稳定度的要求	4-49
15.10.1 脉冲目标显示系统	4-49
15.10.2 脉冲压缩系统	4-51

● 为了便于查对原文,在每章题目后的圆括弧内用阿拉伯数字注明了相应的原书章次。——译注

15.11	脉冲调制器的选择和比较	4-53
15.12	线性调制器	4-54
15.12.1	开关器件	4-57
15.13	磁调制器	4-60
15.14	混合型可控硅-磁调制器	4-61
15.15	主动开关调制器	4-61
15.15.1	阴极脉冲调制器	4-62
15.15.2	调制阳极调制器：直接耦合	4-64
15.15.3	调制阳极脉冲调制器：变压器耦合	4-65
15.15.4	栅极脉冲调制器	4-65
15.15.5	减小顶降的方法	4-65
15.15.6	触发耦合法	4-66
15.15.7	主动开关器件	4-66
15.16	撬棒	4-69
15.17	稳压器	4-72
15.18	高压电源和初级电源的影响	4-75
	参考文献	4-77

第十五章 发射机

THOMAS A. WEIL

15.1 微波管的选择

发射机是整个雷达系统中典型的最大、最重和最费钱的一个部分。它通常消耗供电电源的最大部分功率，因而也最需要冷却，这将进一步影响整个系统的尺寸重量和费用。而发射机的设计在很大程度上又受所选择的微波管的影响。因此，微波管的选择成为雷达系统设计中的一个重要方面。使得情况变得更复杂的还因为一个新系统所要求的理想微波管很少有现成供应（即已研制出并经过鉴定）的。《微波管数据手册》（见 15.7 节）列出的峰值输出功率在 10 千瓦以上的微波管约有 1000 多种。但是，至少需要二十多个独立参数才能描述一种型号的微波管。现有的管子在所有主要参数，例如峰值功率、脉宽、中心频率、带宽、增益、聚焦方式、冷却方式等方面很难同时满足一个新系统的要求。尤其是这些特性的“不可变易性”，意味着几乎任何技术条件的变动都要求研制一个新管子。

由于大多数新型雷达系统都希望采用各种新的技术成就，从而使现有成熟的管子变得过时而不适用。结果是，大多数新型雷达都按当时还没有的微波管进行规划。通常对管子提出的技术条件都是要求在一定的时间内研制出来，而任何不切实际的想法都会推迟管子的提供。此外，微波管的设计常是不大有把握的，因此最好的动机也会给研制带来难题。这不仅在军用雷达中有这种情况，因为它要求采用最新的技术；而在民用雷达中，既要降低成本，又要提高系统的性能，也会碰到管子实现不了的问题。所以微波管的选择是一个既重要而又困难的任务。

本章大部分内容叙述了微波管的选择，因为雷达设计中的这方面问题在现有书刊上很少论及。关于各种管种在使用中有哪些好处的资料，可以从制管单位方便地得到，所以本章着重论述各类管种的应用问题及其缺点。本章如能帮助雷达系统设计师向制管单位和调制器设计师恰当地提出问题并进行最佳的折衷，即已达到目的。

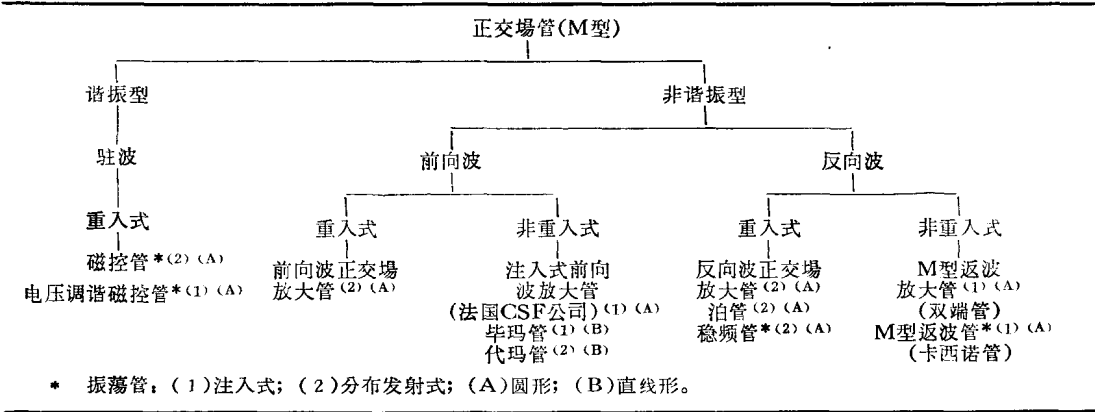
由于频率高于 1000 兆赫（有时低于 1000 兆赫）的大多数雷达都使用微波管而不是三、四极管，而且三、四极管由于在较低的频率下使用广泛，且容易得到使用资料，所以本章很少讨论。这个问题已在参考文献〔2〕第 233~243 页及其参考资料中作了详细论述。在给定的可能应用情况下，对三、四极管也可与其它微波管在 15.4 节表 15-4 的基础上进行比较。

15.2 正交场管（M型管）

如表 15-1 所示，从雷达初期——当时磁控管是仅有的正交场器件——以来，正交场管这一族已经有了很大的发展^(1,87)。

正交场的相互作用 正交场管，是由于管内的直流电场 E 和磁场 B 相互垂直而得名。

表 15-1



它们也叫M型器件，这是来自法文 TPOM（具有磁场的行波管）；与此相对应的是O型管，来自法文 TPO（行波管）。在正交场管内，从阴极发射的电子被电场加速并得到速度，但速度越大，磁场使它们的轨迹偏弯也越大。结果，在阴极上无高频场，在给定磁场强度下，靠近阴极的电子云朝向阳极运动不能超过一定的距离，这时管子也应没有电流。在这电子云中，电子的最大速度正比于 E/B ，

它的方向和电场、磁场都相互垂直，如图 15-1 所示。电子云的边界基本上是等相位线，不论阴极和阳极都是圆形（图 15-1 a），还是平行的直线形（图 15-1 b），或任意形的（在一定限度内，图 15-1 c），这都是正确的。若在阴极结构上加上高频场，处于某些相位的电子将碰到减速作用，从而将动能交给高频场而产生电子的失速。这些较慢的电子将在直流电场内运动到适当距离又重新得到和以前几乎同样的速度。在这过程中，直流的位能转变为高频能量，同时也使电子群聚成空间电荷辐（图 15-1 d）。辐间距离正好相应于阳极结构上高频场两个电压峰值间的距离。正交场的作用使得把足够能量交给高频场的电子得以最后抵达阳极，这种情况使正交场管当然有较高的效率。

处于不利相位的电子，从高频场中吸取能量，从而加速，并转向阴极方向运动。一部分电子从高频场吸取

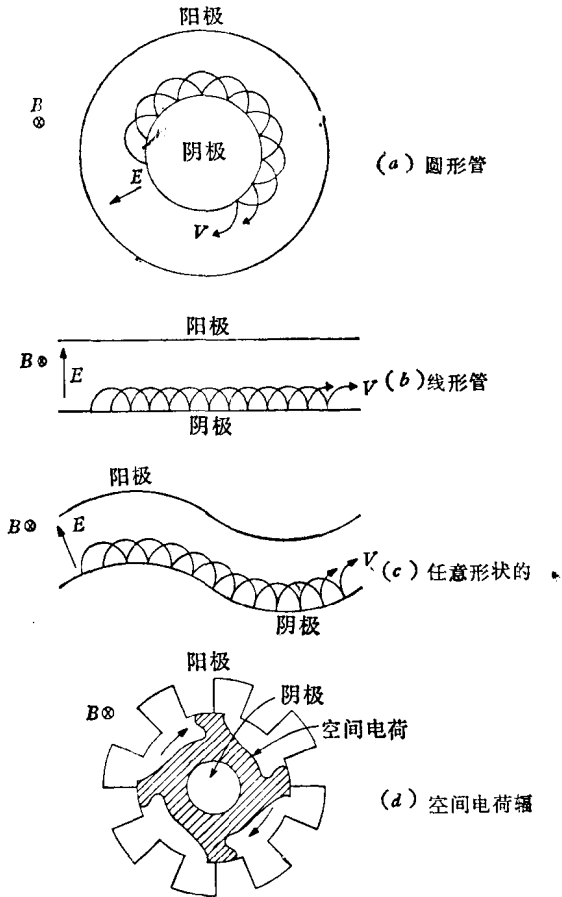


图15-1 正交场管中的电子轨迹

足够的能量，将更有力地回轰阴极；如果阴极的二次发射系数大于1，这些回轰的电子能使阴极发射显著增大。当然，对阴极的回轰也促使阴极发热，损耗了一些能量，使总效率降低。

图 15-1 a 中的正交场管是圆形和重入式的，其中第一次绕过阳极的高频结构而未消失的电子还可以在第二次通过时得到利用。图 15-1 b 中的管子是直线形（它们也可以是圆的一部分）和非重入式的。电子单程地通过高频结构而未交给高频场的能量将被浪费掉。这些部分地换能的电子正如在线性注管（见图 15-13）中一样将被收集极吸收。非重入式正交场管的效率，总的说来要比重入式正交场管的效率为低，但应注意到，当高频激励停止时，在不具有控制极或偏压极的情况下，只有非重入式正交场放大管才能自行熄灭。

阴极 正交场管中采用了好几种阴极，发射面就是柱形表面。圆形正交场放大管中的阴极和以上相同，但也可用冷阴极。在漂移区中的一段阴极有时为控制极或偏压极所代替。在非重入式正交场放大管中，从靠近收集极端的阴极部分所发射的电子很少有机会和高频场相互作用，其中许多是被浪费掉了。因此，在这类管中，阴极只有部分表面发射，而其余部分或者不加热或者选用具有低的二次发射系数的材料，故意使之不发射电子。阴极的不发射部分叫做底极，用来延续阴极的表面形状，以便保持所希望有的直流静电场。底极之名来自法文 sole，意思是“参考”或“基础”（电极）。电子也可以用普通电子枪注入，这时底极就沿整个管子长度延伸。电子枪的应用允许用高 μ 栅极对管子进行控制，但由于发射面积小，只限于比较低的功率。用分布发射阴极，可以得到最大功率。

在振荡管中，必须有足够的热子功率使阴极发射从而起振。通常在工作时，一旦有了阴极回轰，就要根据工作比的大小来降低热子功率，以避免阴极过热。这可参考磁控管灯丝加热的规范。

在放大管中，在大多数情况下可以采用冷阴极。即使管内是高真空，其中也总是存在着足够的气体分子（在 10^{-8} 托压强下每立方厘米约有 3×10^8 个分子）。当加上足够大的高频功率时，部分气体分子电离，某些由此而生的自由电子将撞回阴极（可用场致发射或单表面二次发射倍增效应来解释冷阴极的启动）。这将从合适的阴极材料中产生二次发射并极快地（一般在 5 毫微秒以内）建立起足够的阴极电流。在高平均功率的情况下，由于约百分之五的输入功率耗散在阴极表面，实际上就须要对冷阴极进行液冷以避免过热⁽³⁵⁾，如图 15-2 所示。

冷阴极既然不需要加热，看来它的寿命好象是可以无限长，实际上，为了维持正常工作，阴极表面必须有足够的发射系数，并且人们对二次发射了解得还不够，对长寿命阴极的工艺和材料控制是非常困难的。例如，大家知道，某些材料（如由于从打火阳

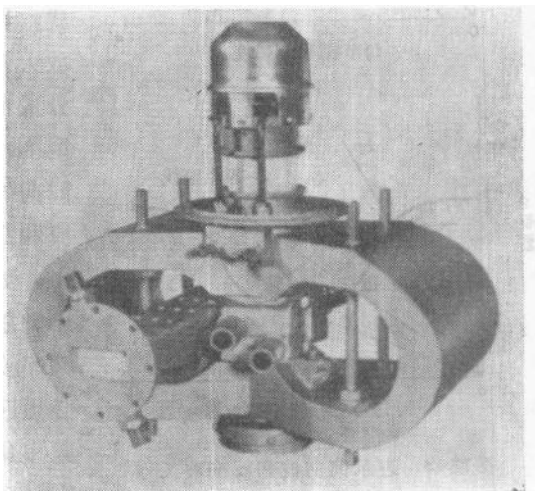


图15-2 泊管的水冷阴极

极蒸发出的铜)能损害阴极二次发射的本领。虽然已在材料工艺上有很大的改进,但管子的长寿命只有通过寿命试验才能在一定程度上得到保证。

慢波结构 在正交的电场和磁场作用下,电子基本上是以常速行进的,所走的轨迹如图 15-1 所示。为了使电子能有利地和沿阳极结构的高频场相作用,电子速度必须等于高频场的相速。在给定功率电平下,电子速度在一个较窄的范围内变化,因而必须设计相速与之匹配。由于电子速度远小于光速,必须采用一个适当的慢波结构:如图 15-3 a 中将高频传输线折叠起来,或如图 15-3 b 中的周期加载结构,或在谐振型结构内适当地安排翼片(分隔邻近腔体之用)的间隔。

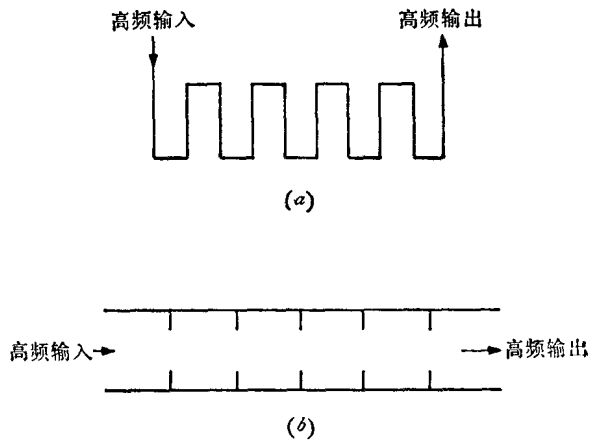


图15-3 慢波结构

a—折叠式; b—周期加载式。

在单频率下使电子速度和相速匹配是简单易行的。但相速随频率的变化率,却决定了在管子工作的带宽内保持与电子同步的工作电压的变化。相反,在振荡管内,相速随频率的快速变化却是可取的,

因为这样在给定电压下可以确切地建立起所需的某一振荡频率,而这种频率对电子速度的

变化可以相对地不敏感。沿阳极结构上单位长度的高频相位移与频率间的关系称为布里渊图或 $\omega-\beta$ 图,它对管子的带宽和稳定度有巨大影响^(1,51,87)。

因为没有一种结构兼有全部的优点,所以采用了许多不同的慢波结构以折衷地满足带宽、功率、易于加工和尺寸大小诸方面的要求。正交场管可以根据其慢波结构的类型而方便地分成两种基本形式:谐振型,如磁控管,以及非谐振型,如正交场放大管。也可根据高频信号沿慢波结构的运行方向分成前向波(与电子运动同向)和反向波两种类型⁽⁴⁾,在这两种情况下,高频相速总是和电子速度同向的,所以在反向波管(即返波管)内高频功率流和高速相速方向是相反的。图 15-4 的 $\omega-\beta$ 图示出,如果管子运用于反向波,沿慢波结构的相速急剧地随频率而变化;但若运用于前向波,则相速随频率变化很小。相互作用要求电子速度和高速相速必须匹配,所以反向波正交场放大管的运用电压随频率急剧变化,而前向波正交场放大管的运用电压则随频率变化很小。如以下将要讨论的,两种管子在不同应用下各有优点。

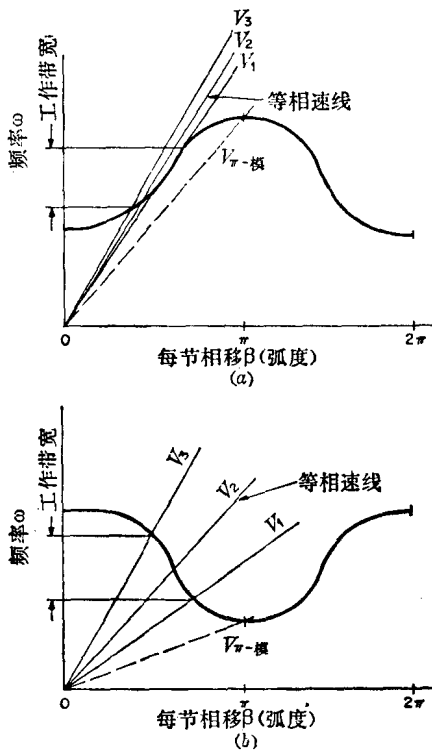


图15-4 表示前向波和反向波工作情况的 $\omega-\beta$ 图

a—前向波; b—反向波。

磁控管内采用了谐振型结构，恰当地说，在其上的是驻波而不是行波；或者也可以说，它上面同时存在有前向波和反向波，因为二者加起来就是一个驻波。同理，只要电子在两相邻翼片间运动所费时间为半个周期，那么无论向哪个方向运动都可以得到有利的相互作用。事实上，如忽略掉第二级效应，由于磁控管的对称性，它在任何一种磁场的极性和电子运行方向下都能工作是不足为奇的。

不象早期的一些磁控管，大多数近代大功率正交场管都设计有高效率的风冷或水冷系统。本章对高效率冷却所需的阳极翼片设计将不予讨论。

15.2.1 磁控管（谐振型慢波结构、重入式、正交场振荡管）

第二次世界大战时兴起的一般磁控管，在今天仍然是雷达发射机中通用的微波管。如能满足系统要求，它仍是优选的管子，因为价格低、尺寸小、重量轻、电压低、X射线辐射小以及效率高。但由于以下各种原因，它将变得不适用：

1. 为了消除二次地面回波噪声等，就需要脉冲到脉冲间相参；
2. 如需要对频率进行精确控制，而要求的精度超过磁控管调谐所能达到的程度，这里包括调谐齿隙造成的游移、热漂移、频推和频牵等；
3. 如需要精确的频率跳变，或在一个或一群脉冲内的频率跳变；
4. 如把几个高频源合在一个输出端，而又要求相位相干；
5. 如要求编码或成形脉冲。在磁控管内只能实现几个分贝范围内的脉冲成形。即使这样，频率推移效应也可能妨碍上述目的；
6. 如要求最低可能的杂散功率电平。

在磁控管能适用的其它场合下，它的性能比起早期已有相当大的改进。

调谐器 大功率磁控管的机械调谐范围一般为5~10%的频率，在某些情况下可达25%。常用的电感调谐器“多针冠形”甚至在L波段只要移动不到1吋即可覆盖这个带宽，但它需要精确地予以定位。典型的调谐机构（如差动螺丝式蜗杆装置）的效率是极低的，快速调谐时需要耗费大量驱动功率。另外一些方法是液压调谐、音圈调谐、高效率齿轮系等。不用齿轮时须有一个联动装置来指示调谐器的位置。在整个调谐频带上液压调谐速率为每秒20次，而最好的齿轮调谐速率则为每秒2次。音圈调谐速率在一小段频带内为每秒200次，而在整个频段内约为每秒60次。在活动目标指示系统中，对不能自行锁定的调谐机构要加上制动器，以使调谐在固定频率达到适度的稳定。

旋转调谐 约在1960年研制出了旋转调谐（自旋调谐）的磁控管^[8,20]。如图15-5所示，在阳极腔体上悬挂了一个带槽的碟，当它旋转时，就交替地给空腔加上感性或容性的负载，以提高或降低频率。能够实现快速调谐，因为调谐碟旋转一周时，频率在整个带宽内来回变化的次数等于沿阳极的腔体数目。碟用轴承支撑在真空内（开始研制是用于旋转阳极的X光管内）通过磁力线耦合到真空外的轴上。如转速为每分钟1800次，管子有10个腔体，则在带宽内每秒钟来回调谐300次。若

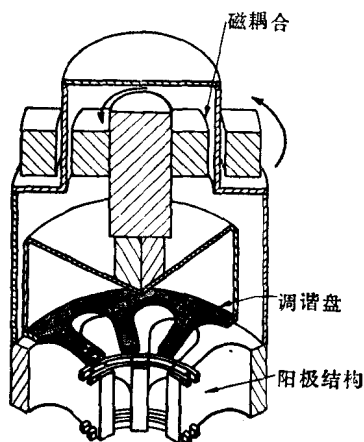


图15-5 磁控管的旋转调谐

保持调制器的脉冲重复频率不同步于调谐速率，则发射的频率将随脉冲按某一规定图象变化，它的变化速率等于脉冲重复频率和调谐速率之差。迅速地改变调制器的脉冲重复频率或马达转速，将得到高频频率的不规则的（伪随机）跳变。为了使接收同步，通常可将一个电容性的变换器接到接收机本振上，而这个变换器是和调谐碟装在同一轴上的。旋转调谐除了较重和较费钱以外，还有一些不足之处：

1. 由于旋转碟不易冷却，管子的平均功率输出小于采用一般调谐的磁控管；
2. 不能保证精确的带边调谐。因为每一调谐来回都覆盖了整个调谐范围，而在指定带宽以外的运用通常又不允许，这样，精确的带边调谐就无法保证。目前还无法从机械方面加以调整，使旋转调谐器覆盖较小的调谐范围。但是，如果使脉冲重复频率同步于调谐速率，并使之跳变而获得需要的频率变化，可以用电的办法得到同样的结果；
3. 对在固定频率下的活动目标指示的运用，由于较松的机械耦合和可能存在的微音效应，旋转调谐磁控管的稳定度不如用其它调谐方法的磁控管。有时用一电机内部的制动器来改进固定频率运用下的稳定度。

抖动调谐 为了降低非固定目标指示应用中的噪声干扰，有时希望使所有发射脉冲的频率在对目标扫描的时间内互相至少差 $1/T$ ，其中 T 是发射脉冲的宽度⁽¹⁸⁾。为了接收方便，这些脉冲应位于一个尽可能窄的频带内，为此而进行的快速调谐称为“抖动”调谐。虽然等间隔的发射频率是最佳的，但只要精心选择与脉冲重复频率相应的抖动频率，即使是在正弦调谐的情况下，也能在对目标扫描的时间内，得到相当均匀的不重复的频率图形。

抖动调谐的磁控管有几种形式^(26,27)。一种是将一根机械谐振的金属簧片插入阳极的一个或几个腔体，再用电磁线圈吸引使之抖动，但这样的抖动频率是个定值。另一方法是在管外用马达对一标准的调谐机构加上一个微小的振动，通过调节马达来改变抖动速度。还可以在真空中放置一种旋转装置，它与旋转调谐磁控管中的旋转碟相似，但具有较小的调谐范围，也可用于抖动调谐。采用一种压电陶瓷的调谐，称为“啜嘴”调谐⁽¹⁹⁾，它本身就用作变换器。在所有这些磁控管内，抖动源都是独立设置的，即使抖动源发生故障也不影响原来的正常调谐。

稳频磁控管 磁控管的稳定度决定于有载 Q 值，即 Q_L 。由于总效率等于电子效率乘上 $(1 - Q_L/Q_U)$ ，式中 Q_U 是无载 Q 值，减轻负载的耦合以增大 Q_L 将导致效率的降低；这样，在实际上增大 Q_L 首先就要求增大 Q_U 。磁控管阳极腔体内的空间限制了所能达到的 Q_U ，因此需要再外加一个腔体。最普通的稳频磁控管是同轴磁控管，其中用一个高 Q 的环形腔和内圆筒中的翼片紧密耦合，如图 15-6 所示。在较高的频率（ X 波段以上），将阴阳极反过来放的反同轴磁控管是更合适些（如图 15-7 所示），

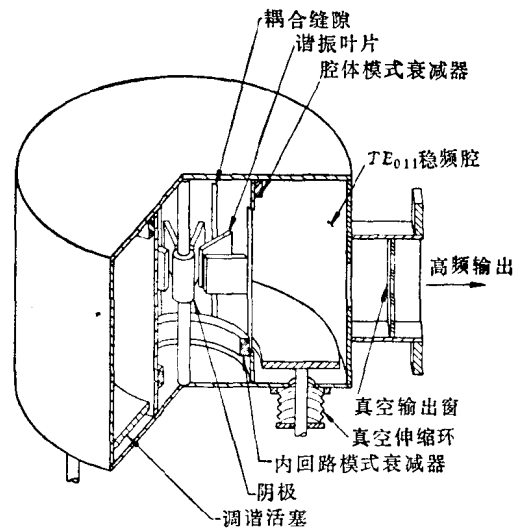


图15-6 同轴磁控管

因为这时腔体非常小，正常的结构将使阴极和阳极都摆不下了。

采用以上措施^(6,51,70)将在频推和频牵方面提高稳定度达3到10倍。这在高的频率时(X和K波段)特别重要,因为这时频推和频牵比起典型的脉宽所占的频带是相当显著的。在这样

高的频率下,稳频也是最现实的,因为这时的高Q谐振腔的尺寸不会太大。改进调谐活塞行程的指示精度将是一个附带的收获,但热漂移还是一个问题,因为要求稳频腔和阳极内腔间有一个紧密的耦合,而且还有较大的高频电流从腔体流进和流出。由于脉冲内和脉冲间的频率稳定度提高,在活动目标指示方面,它们胜过普通磁控管。但这种优点不一定会实现,除非在每个脉冲前沿的抖动和噪声都很低,而在不同类型的稳频磁控管中,这些特性差异很大,主要取决于模式分割和脉冲电压的上升率。对一特定的磁控管,活动目标指示的性能通常随脉冲宽度的变短而变坏,这是因为脉宽短时,脉冲前沿效应也相对的变得重要起来。

可将上述某些调谐方法结合起来,例如抖动调谐稳频磁控管已相当普遍⁽²⁶⁾。另一方面,旋转调谐却不能和稳频腔合用,除非研制一种完全不同的结构形式,这是因为决定频率的是稳频腔而不是阳极的翼片或腔体。

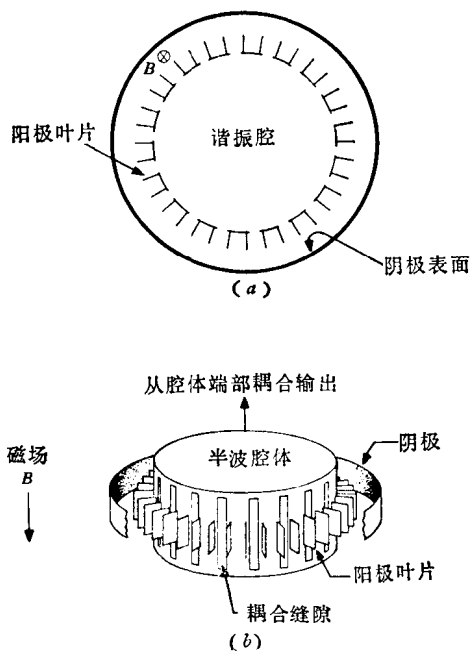


图15-7 反轴磁控管

a—简化的截面图; b—简化的结构示意图。

在具有复杂液压调谐系统的磁控管或磁控管内有一个能供给接收机本振用的连接件时,有时就很难确定在整个雷达系统中到底从哪儿终止和发射机其余部分从哪儿开始。在整个系统使用期内,磁控管要更换多次,因此希望随管更换的器件越少越好。例如,用来将典型磁控管调谐器的频率-轴位置非线性特性转换为线性特性的一套齿轮最好做成发射机上的一个永久部件,而不要每次随管子更换。若齿轮系统的寿命很短,则当别论。

共同性的问题 磁控管运用时的老问题仍然存在。但人们对它已有了较好的理解,并能加以控制。简要地说来,最重要的问题有下列这些:

1. 打火 当磁控管开始起动时,在一小部分脉冲里阴阳极间打火是正常的。在模式跳变或熄灭时也有这种现象。调制器必须能短期允许这种现象而不致跳闸,并在打火后随即能供给正常功率。

2. 跳模(模式跳变) 如另一模式振荡条件(即管子的其它可能工作的频率)很接近于正常模式电流电平,就很难达到稳定。对所希望的模式起动,要求磁控管阴极电压上升率正处于一个由起动时间和与邻近模的靠近程度所决定的范围内。由于起动时间约等于 $4Q_L/f_0$,所以要将大功率低频率的磁控管工作于短脉冲宽度是很困难而且也是低效率的。调制器脉冲电压前沿上升太慢或后沿下降太慢也能激起一个低电流的模式(如果管子具备这个模式的话)⁽⁸⁷⁾。

3. 噪声环 脉冲后沿的过大反电压或即使是一个小的正向“后继脉冲”加到磁控管上,

都能产生与短程目标信号相匹敌的足够大的噪声。这在某些磁控管中,情况更为严重些,这可能和阴极端的漏电流有关。之所以采用“噪声环”这个术语,是因为这种噪声比发射的脉冲有一恒定的相位延迟,在平面位置指示器上产生一个环。根据雷达所希望的最小作用距离,当正常脉冲电压的后沿不降落得那么陡峭的话,也会产生类似问题。有时采用一种“截尾”(tailbiter)电路(见15.12节)来促使脉冲后沿快速下降。在小功率系统中,采用一个简单的负载电阻也能产生同样的效果。这个问题及其解决方法随不同的管子和调制器而各有不同。

4. 杂乱的高频输出 除了所需的输出功率电平外,磁控管也产生相当大的杂乱噪声。这些和表15-4中列出且在15.4节中讨论的正交场放大管内的相似。但磁控管的谐振特性抑制了远离工作频率以外的噪声,当然对谐波是例外。

5. 阴极腿的高频泄漏 一个S波段的管子一般能从它的阴极腿不但产生出基波和谐波,也辐射出相当多的高频能量。这种效应随不同磁控管而有很大差异,并且也随引线的安排,灯丝电压、磁场等而变。虽然最好是在管内就消除这种泄漏,但有时也能成功地在管外对这些能量进行收集、吸收,容许少量泄漏。

6. 漂移 磁控管的振荡频率随环境温度(冷却水或空气的温度)并根据腔体材料的温度系数而变,在加热期间,也有显著的变化。甚至在连续运用时,改变调谐器位置可能改变腔体或调谐器的热状态,也会引起漂移。在某些情况下可以加上温度补偿结构。

7. 频推 磁控管的频率随着阳极电流而变化的数值称为频推⁽⁸⁷⁾。应当适当设计调制器以使脉冲到脉冲以及脉冲内的频率变化限制在系统所要求的范围内。虽然这对具有高的频推系数的管子较困难,但是调制器设计师通常是可以承担这个任务的。

8. 频牵 磁控管的频率随失配负载的相位而变化的数值称为频牵系数⁽⁸⁷⁾。由于铁氧体隔离器的采用,在近代雷达发射机中频牵已不是问题。根据同样理由,长线效应⁽⁷⁸⁾也已成为过去的问题,只具有理论上的兴趣。这是因为成熟的隔离器能使磁控管所遇到的失配降低到引不起振荡频率的跳变。

9. 寿命 虽然某些磁控管的本身寿命有限,但许多磁控管的短寿命是由于操作不熟练之故。在某些情况下,通过对工作人员的适当训练以及操作过程的改进,可以得到长得多的寿命^(28,83)。

10. 调谐寿命 由于考虑了管子的成本和尺寸关系,调谐机构波纹管的有限疲劳寿命限制了管子寿命。在管外的调谐机构应有合适的齿轮和轴承设计,以免影响管子寿命。另外游移也是一种限制。

电压调谐磁控管 在具有高Q谐振腔的普通磁控管内,阳极电压的提高显著地增加了阴极电流和功率输出,但振荡频率却变化很少。如降低谐振腔的Q值,振荡频率就按电子群聚通过阳极的速度而有较大的改变。当Q值足够低时,可以达到2:1或更大的电压调谐范围^(30,51,51)。采用低Q腔可以得到宽的电压调谐范围,但阳极上的高频电压也降低了,从而限制了能适当群聚的电子数目。因此必须采取特殊设计措施以限制管子的电流,自然这也限制了功率输出。随着频率改变,功率输出也有大幅度的改变。电压调谐磁控管广泛用于几瓦到几百瓦的连续波功率源,提供快速和线性的电子调谐;它们的效率远远超过返波振荡管,并且频率调谐曲线基本是直线而不是平方律的。电压调谐磁控管也用作本地振荡器、信号发生器、高度计以及人为干扰发射机等,而一般不用于雷达发射机。

15.2.2 正交场放大管

五十年代初期成功地研制了M型行波管和泊管，为进一步研制从米波到毫米波段的各种正交场放大管开辟了途径。效率高、尺寸小和低电压运用，特别使正交场放大管在便携式和飞机用的雷达发射机中得到应用。通常正交场放大管用在放大链的最后一级或两级，在这种情况下效率是个重要因素，而在前面则采用中功率行波管或速调管，以提供放大链的大部分增益。为此，可用正交场放大管增强现有雷达系统的最后一级输出。

表15-1示出了现有的正交场放大管类型，但它们特性上的重要差异则示于表15-2。其中高增益和自调制管是最近研制出来的，但可供选择的数量还不多。

首先得到应用的是反向波器件（泊管），但在六十年代初期它们受到前向波器件的有力竞争，虽然后者的效率低，但却有较高的增益并能在固定电压下运用（下面讨论）。固定电压运用对频率快变系统特别有利，这是因为当频率改变时不需重新调整调制器功率而能保持基本不变的功率输出。在反向波器件内，为了得到给定峰值电流所需的电压正比于频率，这对在固定电流区域内运用的刚管调制器或线性调制器是可以自动满足的。

在重入式正交场放大管内，当电子群重入与高频输入信号同相或异相时，能引起频率响应的改变。在二者同相时的频率下，正回授能使增益提高。这种效应允许泊管在较短的慢波结构下能有适当的增益和高的效率。但利用这种效应管子的带宽却限制在约10%内，在此范围内这一效应才是有利的。另一途径是（如图15-8）加一没有高频场的漂移区，以使电子重入到高频输入端前受到空间电荷的散聚作用。这使带宽变得较大，但要求有较长的慢波结构（典型的为14个波长）来达到同样的增益。较长的慢波线却给出耗散平均功率

表15-2 大功率脉冲型正交场放大管

名 称	前 向 波			反 向 波	
	重 入 式	非 重 入 式		重 入 式	非 重 入 式
	分布发射式	注 入 式	分布发射式	分布发射式	注 入 式
形 式	圆 形	直 线 形 或 圆 形		圆 形	直 线 形 或 圆 形
增 益	10~16分贝	10~30分贝	7~18分贝	6~18分贝	3~20分贝
带 宽	10~15%	10~25%	10~15%	8~12%	30%
效 率	30~60%	20~50%	30~40%	40~80%	25~50%
插入损耗	1.5~3分贝	1~4分贝		0.5~2分贝	1分贝
控 制 极	无或关掉	栅 极	不 需 要	无或关掉	栅 极
冷阴极(高频激励)	有	无	有	有	无
自 关 闭	有 ^①	无	有	无	无
固定电压运用	可(1~2%)	可以(1~2%)		不可(~10%)	不 可
雷达中的应用	普 遍	较 少	较 少	普 遍	较 少
π 模振荡频率	约在工作频带以上15%			约在工作频带下15%	

① 用偏压电极。