

无线电电子学知识丛书

电子束管

于毓麟 著



人民邮电出版社

無線電電子學知識叢書

6

電 子 束 管

于 毓 麟 著

民 郵 電 報 社

內 容 提 要

本书介绍各种类型的电子束管的工作原理和应用。首先介绍电子束管的一般结构和工作原理，说明管中各种基本物理现象，如电子发射、电子束的产生和控制等。然后分章讲述各种电子束管的原理、结构和应用。介绍的管子有：示波管、显象管、摄像管、定位管、贮存管、变象管、换接管等。

本书可供无线电通信、广播电视、雷达等部門的管理干部和初级技术人员以及无线电爱好者阅读。

电 子 束 管

著 者： 于 麟

出版者： 人 民 邮 电 出 版 社

北京东四六条19号

(北京市书刊出版业营业许可证出字第〇四八号)

印刷者： 北 京 市 印 刷 一 厂

发行者： 新 华 书 店 北 京 发 行 所

經售者： 各 地 新 华 书 店

开本 787×1092 1/32

1966年1月北京第一版

印张 5 2/32 页数 81

1966年1月北京第一次印刷

印刷字数 114,000 字

印数 1—8,350 册

統一书号：15045·总 1541—无451

定价：（科4）0.55元

編者的話

无綫电电子学是一門发展极为迅速的科学技术，在我国社会主义建設的很多方面都有广泛的应用。在今天，从事无綫电电子学的专业队伍正在不断扩大，在工农业生产和科学实验中要求学习和应用这門技术的人也日益增多。为了使无綫电电子学更好地为我国社会主义建設服务，加强普及无綫电电子学知識已經是一件十分迫切的事情。为此，中国电子学会决定成立“无綫电电子学知識丛书”編輯委员会，組織編写这套丛书，分册介紹本学科的各项基本知識、实际应用和发展趋向。我們希望努力做到概念正确清楚，理論联系实际，讲述深入浅出。主要讀者对象是无綫电电子学有关部門的管理干部和初級技術人員，其他专业的电子技術人員，以及有一定基础的无綫电爱好者。

我們热烈希望广大讀者共同推动这一項工作，提出需要編写哪些書籍，并对已出版各書的內容和写法批評指正。来信請寄北京东四6条19号人民邮电出版社图书編輯室。

“无綫电电子学知識丛书”編輯委员会

前 言

无綫电电子学是二十世紀发展最迅速、应用最广泛的科学技术部門之一。它在我国社会主义建設事业中，已經起着日益重要的作用。

“电子学”是研究在真空或稀薄气体中，如何产生并控制带电质点运动（如控制电流大小、能量交换、运动方向等）、以及研究在半导体中的电子导电現象的学科。根据上述学科原理制成的器件，称作“电子器件”。电子束管是电子器件中的一个重要分支。它是一种电真空器件，在其中利用电场或磁场使电子流聚焦成束，通过控制电子束的运动方向，以达到显示图象或轉变电信号的目的。

第一只电子束管是在1897年出現的。电子束管的历史，虽然已有六十多年之久，但比較迅速的发展还是从本世紀三十年代开始的。目前，电子束管已經广泛的应用于示波技术、无綫电定位（雷达）、电视、电子計算技术、脉冲多路通信等无綫电技术领域中的各个方面。电子束管的发展，是由于客观要求促进的，同时也是电子光学理論和电真空技术水平不断提高的結果。而电子束管的不断发展，反过来又对雷达、电视等无綫电技术起了重要的促进作用。

我們的眼睛是一架可以自动調节的天然摄影机。正常的肉眼，既能看見强烈耀眼的太阳，也能看到一星微明的灯火。既能极目远望几公里外的景色，又能看到近在眼前的书报。不但能够看清楚庞然巨物，还能数出比头发絲还細的材料。我們可以看清楚不論是静止或者运动的物体，不仅能看到天然的色彩，

还会产生立体的感觉。而且所有这些感受都綜合在一起，通过视觉器官机能的自动調节来实现。所有这些，是任何高級的摄影机所望尘莫及的。

尽管如此，由于生理关系，我們的眼睛确实也还存在一些美中不足的地方。我們的视觉，最后毕竟还是受到距离远近、光綫强弱、以及物体尺寸的限制。很久以来流传着“千里眼”等神奇的故事，不知激动了多少人的心弦。从本世紀三十年代开始，随着无綫电技术与电子束管的互相結合及迅速发展，終於把这些幻想变成了现实。

电子束管首先应用在示波技术方面。研究电現象时，必須有一些基本測試設備。电表只能指示或量度电現象的存在与大小，却无从得知它們的变化形状。机械示波的方法由于运动部分的慣性，限制了可量測的頻率范围。利用“示波管”，可以在它的熒光屏上忠实地显示出电信号的变化形状。电子的质量只有 9.1×10^{-28} 克，它在运动时表现的慣性几乎可以略去不計。示波管可以成功地显示高至几兆赫的信号。随着无綫电技术向微波方面进展，又制成超高频示波管，显示高至几万兆赫（厘米波段）的信号已經不成問題。由于力、声、光、热方面的物理量都能轉換成电的形式，电子示波器的应用已經跨出无綫电电子学的領域，它是現代科学实验技术中不可缺少的基本設備之一。

电视是人造“千里眼”。它能帮助我們克服视觉受到的距离限制，不仅使我們能看到远处的事物，还能隔着不透明的障碍物看到物体。电视的意思，是利用无綫电方法传送与显示活动的人物形象。为了使观众看到这些形象，必須先把光象变成电视信号进行传送，而接收到这些信号后，又必須把它們重現为光象。用电视的術語來說，这两个过程分别称作“摄象”与“显象”。

关于电视传送的问题，早在上个世纪末就已经提出。不过那时是利用机械方法进行摄象与显象的。由于笨重、惯性及图象质量不高等缺点而未获实际应用。只是在本世纪三十年代以后，出现了两种电子束管——“摄象管”与“显象管”，从而用电子电视取代了机械电视，才实现了电视工程的大革命。现在，又在进一步对彩色电视与立体电视进行了研究。

雷达是在第二次世界大战以前，由于战争的需要而产生出来的。当时主要用于防空方面。雷达显示器中有一个“定位管”。在它的荧光屏上，可以探测和监视远方敌机舰艇的活动情况。此外，雷达在和平事业中也有广泛应用。例如：即使在气候恶劣、能见度最差的情况下，飞机驾驶员凭借指示器上的图象，仍能控制飞机安全着陆。航海时利用雷达，也就不至迷失方向，从而避免碰撞或触礁的危险。

漆黑的夜晚，伸手不见五指。即使在白天，也没有谁能看出大雾迷漫或滚滚浓烟中的东西。人们曾经编造了孙悟空的“火眼金睛”的神话。然而在二次大战中，这种“火眼金睛”却真的制造出来，用于追察烟幕中的逃敌。这种眼睛就是“变象管”。变象管是将不可见光象变成可见光象的电子束管。把它与红外线探照灯结合起来使用，就可以在夜间侦察敌情而不致暴露自己。輪船上把它当作望远镜，就能在浓雾中看清前方的船只与航道情况。利用变象管，可以在红外线领域内进行科学研究。如果把它与电视结合起来，还有助于人类窥探宇宙的秘密。

此外，还有一些新型的电子束管。例如：把“储存管”用在电子计算机中，可以记牢已经运算好的数字而不致被忘记。将它用在雷达技术中，可以减轻在接收微弱信号时伴随而来的干扰，从而提高信号噪声比。它还可以使雷达指示器上只显示出被侦察的运动目标（如敌机群）而不出现固定背景（如山川森

林)，使雷达机的有效作用距离与分辨能力有所提高。

由于电子束的控制几乎没有惯性，就能够利用它作为电路中的快速自动开关，由此产生了换接管。换接管在脉冲多路通信中有重要的应用。

电子显微镜也是一种电子束管，放大率达十万倍以上，可以用来观察病毒、细菌及金属的晶体结构等等。它在生物、化学、物理、金相等各个技术领域中都得到广泛的应用。现在已经独立成为专门性学科。

从上面介绍的例子中可以看出，电子束管的发展与应用，是和无线电电子学方面的各个技术领域相互联系相互促进的。如果把无线电波看作是现代科学战线上的侦察兵，就可以认为电子束管起了侦察兵的眼睛的作用。电子束管能够完成我们肉眼所不能完成的任务。可以预料，它们在现代无线电电子学中必然有着更为广阔的发展前景。

现代电子束管的种类繁多，用途各异，结构及工作过程也各不相同。但就大多数电子束管来说，它们的基本结构原理还是相同的。在本书第一章里，首先浅显地介绍电子束管的基本原理，使读者对它的全貌有个初步认识。第二章和第三章分别讨论电子束管中取得电子流以及使电子流聚焦成束的基本方法。第四章和第五章简要地叙述电子束管中几个主要元件的作用及结构特点。从第六章开始到第十二章，介绍各种电子束管的原理、结构、应用，以及与运用有关的一些问题。

作者在编写本书时，虽已作了很大努力，但由于个人水平所限，书中缺点一定很多，热诚地希望读者批评指正。

作者

目 录

編者的話

前言

一、电子束管的基本原理	1
电子枪	2
偏轉系統	5
荧光屏	6
二、电子束管中的电子发射	8
金属中的电子	8
热电子发射	10
二次电子发射	11
光电子发射	12
三、电子光学基本原理	15
光綫的传播	15
电子在电场中的运动	18
电子在磁场中的运动	27
电子光学与普通光学的比較	32
四、产生与控制电子束的方法	33
电子枪	33
偏轉系統	40
五、荧光屏	46
荧光屏发光的原理	46
荧光屏的特性	47
介质的二次发射与平衡电位	48
六、示波管	51
显示波形的基本原理	52

示波管的基本結構与綫路	54
双束示波管	57
后加速示波管	58
超高频示波管	61
示波管的选用常識	63
七、显象管	67
电视传象的基本原理	67
显象管的工作原理	68
显象管的結構特点	72
投射式显象管	77
彩色显象管	78
显示立体图像	80
显象管的发展状况	84
八、定位管	85
雷达的基本原理	85
定位管显示目标的原理	87
定位管的結構特点	92
九、摄象管	96
摄象管的基本原理	96
光电摄象管	98
超光电摄象管	104
超正摄象管	108
視象管	112
摄象管的发展前景	114
十、儲存管	116
儲存管的一般原理	116
儲存管在雷达技术中的应用	123
儲存管在电子計算技术中的应用	125
十一、变象管	131

变象管的基本原理	131
变象管的应用	134
十二、换接管	137
脉冲多路通信的基本原理	137
换接管的工作原理及应用	141
附录 电子束管型号的命名方法	152

一、电子束管的基本原理

电子束管的种类繁多，用途极广，工作过程也各不相同，但是它们的基本原理及结构却是一致的。在这一章里，先简单地介绍一下电子束管的总的轮廓。

在电子束管中，用得最多的要算“示波管”和“显象管”。示波管用在电子示波器中以显示电信号的形状曲线，显象管用在电视接收机中以显示活动的图象。可以把曲线看成一种特殊的图象。那么，电子束管的图象是用什么东西“画”出来的呢？

提到图象，读者就会联系到画图。我们先举一般画图的例子来说明。

每到春光明媚、或者秋高气爽、风和日丽的假日，大家都喜欢到公园或风景优美的野外去漫步。在这些地方，时常可以遇到一些爱好写生的人们。他们面对大自然中的景物，握着毛笔，沾着墨水，在铺着白纸的画板上画，认真而又细心地一笔一笔的临摹着。过了一段时间以后，秀丽的景色就以水墨画的形式在纸上展现出来。

提起沾着墨水的毛笔，用手握住它并在铺着纸张的板上移动，让墨水流到纸上，构成一幅美丽的画面。这便是画图的主要过程。

电子束管的图象也是根据类似画图的道理，在电子束管的屏幕上“画”出来的。当然，在电子束管中，没有笔墨纸张之类的东西，可是却装着一些具有相应作用的元件。

图 1.1 表示现代电子束管的典型结构，在一个密封的真空管泡中，装着电子枪、偏转系统及荧光屏三个基本元件。电子

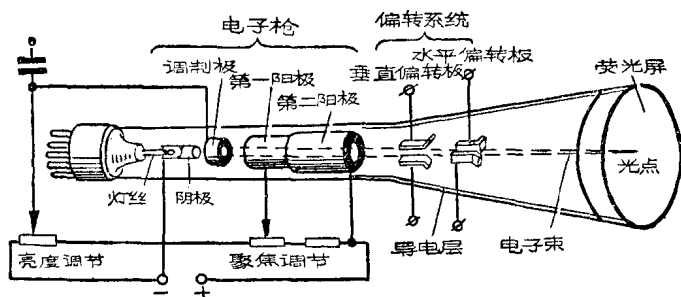


图 1.1 电子束管的典型结构（静电式）

枪好比画笔，荧光屏好比图画纸。电子枪能发出纤细的电子束。电子束打在荧光屏的某一点上，就在那里产生一个明亮的光点。偏转系统的作用就好象画家的手，它控制着电子束在荧光屏上任意移动，从而在荧光屏上“画”出一幅所需要的图画。

下面就来分别地谈谈这三个元件。

电 子 枪

电子束管中，用来“画”图象的是电子而不是墨水。电子是从电子枪中“流”出来的。因而，电子枪就好比画图用的吸饱墨水的毛笔。

稍为研究一下毛笔头的样子，有助于理解电子流应该具有什么样的形状以及电子枪的机构。

大家知道，毛笔头的形状一般都是倒立的圆锥体。与纸面接触的部分是一个纤细的尖端。这样就可以通过细致的笔触，描画出图中最为细小的内容。此外，这种笔头的形状，还有助于储存大量的墨水，通过笔头尖端而流泻到纸上。

显然，在屏幕上“画”图象的电子流，也应该是形成点状的细束。电子流是从电子枪的阴极表面发射出来的。阴极是在金

属表面涂着一层氧化物半导体构成的。阴极下面有一个灯丝。将灯丝通电烧红，并使阴极也处于红热状态时，阴极就会发射出大量的电子。为了取得足够的电流，阴极具有一定的面积。因此必须把它发射出来的电子流会聚在一起。此外，电子流集中一点以后，可以使屏幕上“画”出的点子显得更亮一些。犹如流往纸上的墨水多了，就显得颜色较深的效果一样。

由此可见，电子枪的作用是产生电子流，并把它們会聚成点状的细束。电子束管的名称就是这样得来的。

电子枪是由一连串电极组成的，这些电极协调地完成产生点状电子束的任务。下面介绍这些电极的作用。在电子枪中，除了包括上面所说的灯丝与阴极以外，在阴极前面有一个调制极。它是一个套在阴极外面的空心圆筒，在它顶端对着阴极的中心，装着一块开有小孔的膜片。调制极上加以比阴极稍负的电压。离开阴极的电子流，通过调制极小孔时，就被“挤”在一起，会聚成一条比较狭的电子束。和电子管一样电子枪产生的电子束电流的大小是能够任意调节的。调制极除了具有上面会聚电子束的作用以外，还具有和电子管的控制栅极相同的作用。改变调制极的电压，可以控制通过小孔的电流大小。因此可以把电子枪看成一支墨水流量能随心所欲控制的自来水笔。电子“笔”的作用比毛笔要高明得多，不论深的或浅的颜色，都可以一笔画出。但是使用一般画图的毛笔就没有这样方便，颜色深的地方必须重复几笔，浅的地方还得换用沾清水的毛笔来擦洗。在电子束管中，墨水的流量能够随意控制，只要自动调节调制极上的电压就可以了。在显示图象的电子束管中，图象上某一光点的亮度，就是通过调制极上所加电压的大小来控制的。

大家知道，在画图时，颜色的深浅程度，不仅取决于流往纸上墨水流量的多少，还与墨水的浓度有关。在电子束管中，

屏幕上光点的亮度，除了决定于束电流的大小以外，还决定于电子打上屏幕时的速度。为了使图象能够反映出丰满的色调，（即深的浅的颜色都能表现出来），希望电子打上屏时有较高的速度，使光点变得更亮一些。当需要浅的颜色时，只要把调制极电压略为降低（稍负）一些，减小束电流就行了。

电子束离开调制极以后，还要通过几个阳极。在图 1—1 中，表示电子要通过两个阳极。阳极也是由空心的金属圆筒构成的，有时还在一端盖上一块有孔的膜片。第一阳极加有比阴极正几百伏的电压。由第一阳极产生的电场，吸引着离开阴极的电子，使会聚过的电子束以高速通过阳极圆筒而不被阳极截获。电子束通过第一阳极后，又遇上第二阳极。第二阳极的电压更高，一般在几千伏以上。在两个阳极之间，存在着较强的不均匀电场，形成一个“电子透镜”，对电子起会聚作用。电子通过该透镜时，又一次被会聚，形成一条更细的电子束。通常，第一阳极的电压是可以改变的，用来调节电子透镜的会聚作用（聚焦），使屏幕上得到一个最为细小的光点。这样，电子束离开该电子透镜时，已经被会聚得更细，速度也更快了。于是就能在屏上形成一个非常明亮的细小光点。

我们把这些电极组成的整体叫做电子枪，是有道理的。因为它犹如一架机关枪，能发射出连续密集的电子弹雨，高速轰击屏幕。第二阳极的电压愈高，则电子打上屏幕的速度也愈大。电子的速度真是大得惊人。如果第二阳极电压为 5 千伏，可以算出电子打上靶的速度高达每秒 42500 公里。

上面讲的是利用静电场的方法使电子流得到聚焦，这种聚焦方法叫做静电聚焦。

静电聚焦并不是使电子流聚焦的唯一方法，还可以利用磁场来聚焦（图 1.2）。在电子束管的管颈上，套一个短的螺管绕

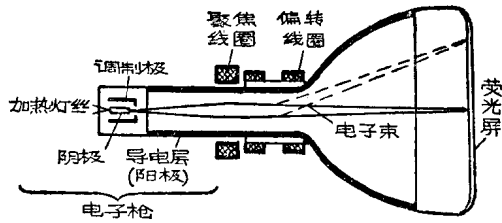


图 1.2 电子束管的结构 (电磁式)

圈，线圈里面通有直流电来产生按一定形状分布的磁场。这种电子枪只有一个阳极(加有高压)。线圈就放在阳极的后面。高速电子流通过线圈空间时，受到磁场力的作用而会聚成细电子束。这个线圈叫做聚焦线圈。

在画图过程中，需要用手握住笔在纸面上移动，让墨水流到纸面上指定的地方。但在电子束管中，电子枪是固定而不能移动的。唯一的方法只有控制电子束的运动方向。但那里去找这种只移动墨水而不移动毛笔的“万能手”呢？

偏转系统

画家作图时，不管图形如何，画面大小，除了落笔有轻有重，画的速度有快有慢以外，毛笔总是在纸的平面上移动。离开电子枪的电子束，如果不受外力的作用，只能笔直地打上屏幕的中心。因此有必要在电子束经过的途径上，设置一双“电子手”，强迫电子束同时在荧光屏面上的垂直方向和水平方向产生偏移，并在屏幕上“奔跑”起来，这样就能画出一幅图画来了。

偏转系统就是上述万能的电子手。它的结构是在电子枪的前面，放着两对相互垂直的金属平板（仍见图 1.1）。一对沿水平面放置，两块板对称地位于管轴的两侧。在两块板上加一

电位差，板的中間就产生电场。电子束通过这空間时，就会受到力的作用，往加有正电压的那块板的方向偏轉，因此荧光屏上的光点也就偏移了。而且两板間的电位差越大，光点的偏移就越大。水平放置的偏轉板，使电子束沿屏幕垂直軸方向移动，叫做垂直偏轉板。另一对偏轉板放得与水平面垂直，使电子束沿屏幕水平軸方向移动，就叫水平偏轉板。当两对偏轉板同时分别加上随时間变化的电压时，光点就在屏上按任意方向移动，这样就能在屏上显示出一幅图象或曲綫了。

上面讲的是靜电偏轉的方法。也可以利用磁场使电子束偏轉。图 1.2 中表示在聚焦綫圈的前面放着两对相互垂直的电流綫圈。电流通过綫圈时，周围空間就产生磁场。电子束进入該空間时，就受到磁场力作用而产生偏移。这种偏轉方法叫做磁偏轉。

荧光屏

电子束管的最后一个部分就是荧光屏。它是在透明的玻璃管頂上涂有一种受到电子轰击时能够发光的材料，这种材料叫做荧光粉。随着材料成份的不同，荧光粉能发出綠色、蓝色、白色或其它彩色的光綫。

前面已經讲过，阳极电压如为 5 千伏，电子束轰击荧光屏的速度就高达每秒 42500 公里。高速度的电子轰击屏幕时，会使它表面的原子受到强烈震动，一部分与原子結合較松的电子就从原子中脫落出来而进入空間。为了接受这些新电子，在电子束管的內壁，涂有一层导电材料。这个导电层与阳极連在一起。被撞出的新电子，飞到导电层上，通过阳极迴路而形成一股电流，不过这股电流很小，一般只几十到几百微安左右。

既然这股电流是用高速电子轰击屏幕而产生的，高速电子