

电信技术 普及丛书



F122

速调管

邮电五〇六厂《速调管》编写组编著 · 人民邮电出版社出版

内 容 提 要

本书从物理概念方面叙述了速调管的基本原理，也介绍了它的工艺结构、测试、使用和维护常识。适合于具有一般无线电知识、从事无线电通信、微波技术等工作的同志和初学速调管的同志阅读。也可供从事速调管工艺制造的工人同志参考。

速 调 管

邮电五〇六厂《速调管》编写组编著

人民邮电出版社出版
北京东长安街27号
北京第二新华印刷厂排字
北京邮票厂印刷
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售

开本：787×1092 1/32 1978年3月第一版
印张：4²⁰/₃₂ 页数：74 1978年3月北京第一次印刷
字数：105千字 印数：1—14,000册
统一书号：15045·总 2196-无 642
定价：0.40元

出版者的话

在毛主席无产阶级革命路线的指引下，在无产阶级文化大革命的推动下，我国电信事业得到迅速发展。英明领袖华主席提出抓纲治国的战略决策，极大地鼓舞了全国人民的革命热情，决心深入揭批“四人帮”，坚持阶级斗争，生产斗争和科学实验三大革命运动，为实现四个现代化、赶超世界先进水平贡献力量。在此大好形势下，电信新技术的研究和应用日益得到迅速发展和推广。广大的电信工人和干部迫切要求了解有关的电信新技术知识，以便尽快采用先进技术，加速邮电建设的步伐。为此，我们在有关部门党组织的领导与支持下，依靠广大工农兵群众，依靠革命干部和革命知识分子，以组织三结合编写组为主，在已有基础上陆续出版一套“电信技术普及丛书”。

编写这套丛书的指导思想是，以马列主义、毛泽东思想为指针，努力运用唯物辩证法，密切结合三大革命运动的实际，做到内容正确，概念清楚，深入浅出，通俗易懂，适合具有一些电信基本知识的工人和干部阅读。但限于我们的水平，离这些要求还有不少差距，恳切希望广大读者提出批评和建议。

一九七七年六月

前 言

无产阶级文化大革命以来，我国人民在毛主席的无产阶级革命路线指引下，以阶级斗争为纲，发扬自力更生，艰苦奋斗的革命精神，在各条战线上取得了一个又一个的伟大胜利。

随着邮电通信事业的发展，一支又红又专的微波技术队伍正在成长壮大，一大批青年职工参加到微波通信建设中来，他们紧密结合实际，边学习边实践，需要一些有关的参考读物。

为适应这一需要，我们在厂党委和车间支部的组织和领导之下，编写了《速调管》这本小册子。力图结合实际，简要地向读者介绍一般速调管的物理概念、原理、测试和使用常识。对于初学微波管、微波中继通信技术的读者能够有一点帮助。

由于我们的实践经验不足和各方面水平有限，书中会有许多缺点、错误，请批评指正。

邮电五〇六厂《速调管》编写组

1977年5月

目 录

前言

出版者的话

第一章 概述	1
一、普通电子管为什么不适用于超高频段?	1
二、微波管是怎样产生的?	4
三、速调管的产生及其分类	8
第二章 速调管中电子的运动形式	11
一、电场的基本性质	11
二、谐振腔	15
三、速调管工作过程简介	19
四、速调管中电场和电子的相互作用	21
附注	34
第三章 直射式速调管	37
一、双腔速调管的结构与工作原理	37
二、多腔速调管的结构与工作原理	41
三、直射式速调管的分类与应用	56
四、直射式速调管的特点	68
第四章 反射速调管	70
一、反射速调管的基本结构	70
二、电子的速度调制和群聚	73
三、能量交换和振荡的建立	80
四、稳定振荡	85
五、反射速调管的调谐	94
六、反射速调管中的两种现象	99
第五章 速调管的工艺结构与测量	102

一、速调管的工艺结构·····	102
二、速调管的测量·····	111
第六章 反射速调管的使用与维护 ·····	127
一、拆装与调整·····	127
二、工作频率和反射极电压的关系·····	129
三、反射速调管电源·····	131
四、反射速调管故障及其排除方法·····	131
五、检查与维护·····	134
第七章 速调管的发展和新结构 ·····	136
一、多腔速调管的发展概况和新结构·····	136
二、反射速调管的发展概况和新结构·····	141

第一章 概 述

随着无线电技术的发展，工作频率越来越高，从而要求电子管能够在更高的频率上工作。然而，普通电子管在 100 兆赫以上的超高频波段，就很不适用。这是为什么呢？下面我们就从讨论这个问题入手，看一看是怎样提高电子管的工作频率和怎样发展成为速调管的。

一、普通电子管为什么不适用于超高频段？

这主要是因为它们受到电子管的“电子惰性效应”和“能量损耗”等限制。下面我们简单地谈谈这些问题。

(一) 电极引线电感和极间电容的影响

我们知道，一个电子管振荡器或调谐放大器，其振荡或放大频率的高低，取决于它的振荡或调谐回路中的总电感量 L 和总电容量 C 的大小，即：

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1.1)$$

式中， f_0 为振荡或调谐回路的谐振频率。计算 L 和 C 时，不仅要考虑电子管外部电路中的电感量 $L_{外}$ 及电容量 $C_{外}$ ，还须考虑电子管内部的电感量 $L_{内}$ 及电容量 $C_{内}$ ，即：

$$L = L_{外} + L_{内}$$

$$C = C_{外} + C_{内}$$

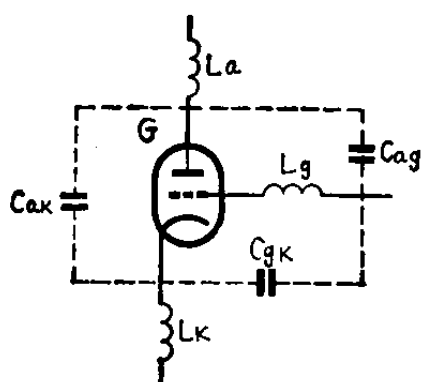
很明显，为了提高工作频率 f_0 必须减小 L 和 C 。但是，这样做

是有限度的。因为即使我们把 $L_{外}$ 及 $C_{外}$ 都减小到接近于零, 最高的工作频率也不可能超过

$$f_{0max} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{内}C_{内}}}$$

普通电子管的内部结构决定了它的各极引线有一定的电感量, 各电极之间有一定的电容量。图 1-1 是一个普通三极管的引线电感和极间电容示意图。图中 L_a 、 L_g 、 L_k 分别为阳极、栅极、阴极的引线电感; C_{ak} 、 C_{ag} 、 C_{gk} 分别为阳极与阴极、栅极与阳极、栅极与阴极间电容。正是

这些电感量和电容量, 当频率很高时, 起到限制工作频率的决定性作用。下面我们举一个实例来说明这个问题。



$C_{外}=0$ $L_{外}=0.03\mu H$
 $L_{内}=0.08\mu H$ $L_g=0.07\mu H$
 $C_{ag}=2.3\mu\mu F$ $C_{ak}=0.15\mu\mu F$
 $C_{gk}=2.0\mu\mu F$

图 1-1 普通三极管引线电感、极间电容示意图

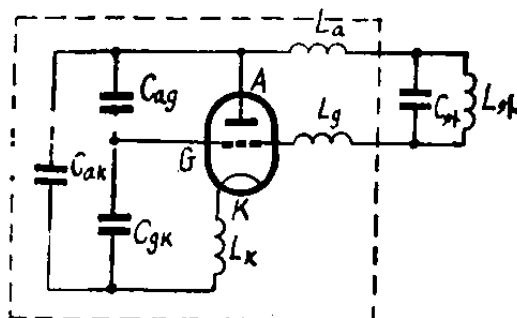


图 1-2 电子管振荡电路示意图

在图 1-2 所示的电子管振荡器电路中, 由于希望工作频率高, 已经把 $C_{外}$ 减小到无可再小, 把 $L_{外}$ 减小到只用了一条线段; 而由于 $L_{内}$ 及 $C_{内}$ 的存在, 使

$$L = (0.08 + 0.07 + 0.03) \times 10^{-6} = 0.18 \times 10^{-6} \text{ 亨}$$

$$C = \left(2.3 + \frac{2 \times 0.15}{2 + 0.15} \right) \times 10^{-12} = 2.44 \times 10^{-12} \text{ 法}$$

结果得:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{0.18 \times 2.44 \times 10^{-18}}} = 240 \text{兆赫}$$

这就是这个普通电子管振荡器的最高工作频率。由此可见，要产生更高频率的振荡（例如 1000 兆赫），仍用普通电子管振荡器是不可能的，因为 $L_{\text{内}}$ 和 $C_{\text{内}}$ 都有电抗，这就是所谓“电抗效应”的限制。

（二）电子渡越时间的影响

所谓电子渡越时间，就是指电子由一个电极跑到另一个电极所用的时间。当工作频率低时，这个时间比电信号一个周期短得多，其影响可以不计；当工作频率很高时，它的影响就相当严重，甚至会使电子管失去效用。

我们看看三极管中的情况。如图 1-3 所示，我们在栅极——阴极间加一个频率很高的交变电压。在此电压的正半周，由阴极发射出来的电子受到加速而跑向阳极。由于所加交变电压的频率很高，周期很短，以致电子在栅-阴极间的渡越时间大于半个周期，结果电子在正半周中来不及到达栅极，那就更不可能到达阳极。这样，三极管的阳极电流 i_a 不能随栅极上交变电压 U_g 的变化而变化，三极管也就无法工作。

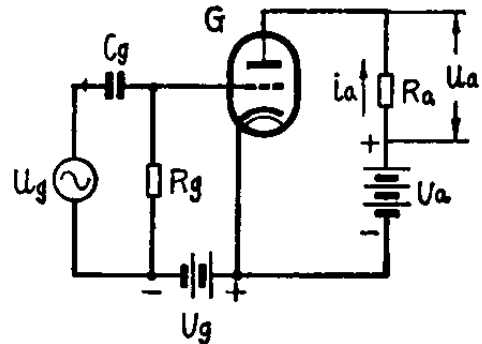


图 1-3 电子在高频电场中运动

这种电子渡越时间是电子的惰性所引起的，所以这就是“电子惰性效应”的限制。

（三）热损耗和辐射损耗的影响

普通电子管的热损耗和辐射损耗，都随频率的增高而增大。

大家知道，高频电流有“趋肤效应”，即频率越高时电流越向导体的表面集中，实际导电的导体截面积因此就相应减小，这就相当于增大了导体的电阻，使热损耗增大。此外，随着频率的增高，管内的绝缘介质的热损耗也增加。

另外，我们知道，当电路元件的尺寸与工作波长可以比拟时，就会有电磁能量由电路向空间辐射出去。这是一般天线的工作原理。同理，当电子管各电极的尺寸和引线的长度与工作波长可以比拟时，电子管就会由管内向管外辐射能量，同样会造成高频能量的损耗。

热损耗和辐射损耗能量的增多，意味着可供利用的高频能量将变小。这就是“能量损耗”的限制。

二、微波管是怎样产生的？

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。由于普通电子管不适用于 100 兆赫以上的超高频段，自然更不适用于 3000 兆赫以上的微波波段，于是人们就不断寻找提高电子管工作频率的方法。结果，从理论上和实践上已经证明：用改进普通电子管的结构的方法，可以收到一定的效果，但要彻底摆脱上述各种限制因素的影响，使电子管能工作于 3000MHz 以上的微波波段，是不可能的。须改变电子管的工作原理并采用相应的根本不同于普通电子管的结构，方有可能制成微波管。对此，我们下面将作扼要的说明。

（一）改进普通电子管结构的效果

为了减小上述各种限制因素的影响，人们对普通电子管的

结构做过不少改进，例如：

1. 缩小各电极的尺寸及引线的长度，以减小极间电容和引线电感；

2. 各电极采用分散引线，以减小引线间电容；采用双引线、粗而短的引线、把电极和引线做成盘状，尽可能减小引线电感。盘状电极的热损耗和辐射损耗也可达到极小。

3. 把极间距离做得很小，以减小电子渡越时间。

这样，人们做成了各种小型管，图 1-4 所示的小型橡实管，是其中一个例子。它的最高工作频率可达约 500 兆赫。人们又制成以盘状电极及极小极间距离为其特点的灯塔管，如图 1-5 所示，其最高工作频率可达 3000 兆赫。

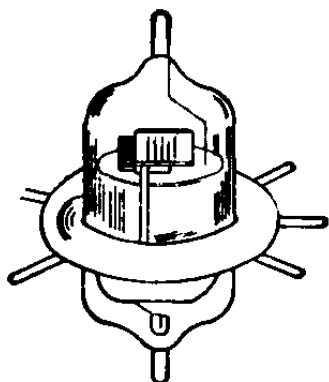


图 1-4 橡实管

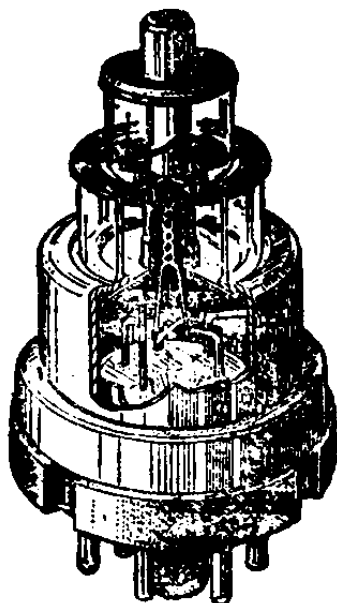


图 1-5 灯塔管

但是，人们在作各种改进设计的过程中，却发现了很多矛盾。举例来说：

1. 为了减小极间电容，可以采用两种办法：一是缩小各电极的尺寸，一是增加极间距离。但增加极间距离，会增加渡越时间；

2. 引线间的距离愈小，辐射损耗也愈小。但引线间的距离

太小，又会增加引线间的电容。

3. 为了减小渡越时间，可以增加阳极电压使电子跑得快些；又可以缩短极间距离，使电子飞越的路程短些。但是极间距离愈小，愈不能耐高压，电子管就有被击穿的危险。

因此，只用改进普通电子管结构的办法来提高工作频率，其效果是有限度的。为了制造微波管，还必须开辟新的途径。

（二）用调制电子速度的办法制做微波管

这里所说的调制电子速度，就是让电子管内电子流中电子的速度随着输入信号而改变。

为什么人们会想到调制电子速度的办法呢？

我们知道，无论工作频率多么高的电子管，其基本作用与普通电子管是相同的。它们都是利用输入的交变信号，以电子为媒介，来控制输出的交变信号的大小，从而将电子从直流电源所获得的动能，转变为交变的电磁能量。我们一直认为过长的电子渡越时间，是提高电子管工作频率的一个重要障碍。但是，事物在一定条件下，是可以向其反面转化的。是否可以把这个不利因素变为有利因素，使微波管不仅不受电子渡越时间的不良影响，反而能利用电子渡越时间来完成其基本作用呢？在这样的设计思想指导下，人们进而研究电子流与微波调谐回路交换能量的办法，因为所有电子管都必须与外部电路交换能量，把电子流的动能转化为供给外电路的电磁能量。在微波波段，谐振回路已经不是一般的 $L-C$ 回路，而是一个谐振腔。这样就必须研究如何使电子流与谐振腔交换能量的办法。

关于谐振腔的结构和工作原理，本书第二章将有说明。这里，我们先假设它是一个特制的金属空腔，如图 1-6 所示，是用两个同轴金属圆筒，其两端用金属环板封闭连接所构成的，

内圆筒的中间开了一个缝隙，缝隙的左、右两边呈栅网状，电子流从网孔中通过。速调管中又把电子流称为电子注。

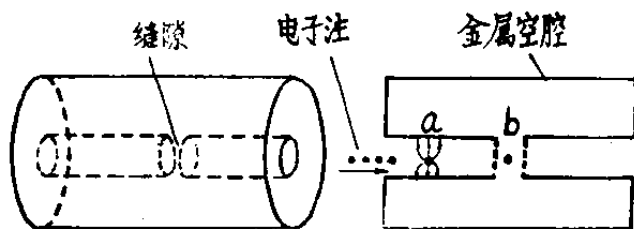


图 1-6 谐振腔示意图

现在我们来问：什么样的电子注，才能把能量给予金属空腔？

下面我们把电子注中的电子在其流动轴线上，某处的密度分布永远一样的，叫做均匀电子流；而电子在轴线上某处的密度有时大又有时小的，叫不均匀电子流。

我们先分析一下假定只有一个电子通过缝隙的、最不均匀的情况。

设有一个电子在外加直流电压作用下，由阴极发出，从左向右运动到达图 1-6 的 a 处。通过静电感应作用，它在空腔外壁上感应出正电荷，而对空腔内部还没有影响。电子继续向右运动到达与缝隙两边缘等距离的 b 处时，它在缝隙区左、右边缘上将感应出等量的正电荷。电子再向右运动，它与左边缘的距离增大，而与右边缘的距离减小，因此它在左边缘上感应的正电荷逐渐减少，在右边缘上感应的正电荷则同时逐渐增多，等于在空腔内引起了电荷的运动，即产生了电流，从而使空腔中有了电磁能量。

事实上电子注中有很多电子前后接踵而来，当电子流为均匀电子流时，前一个电子离开的位置有后一个电子来补充，整个电子注与缝隙的相对位置始终不变，在缝隙孔区左、右边缘上所感应的电荷量将没有什么变化，谐振腔内部不会产生电流和电磁场。

所以，如果希望电子注对谐振腔起作用，必须先把要通过谐振腔的均匀电子注变为不均匀的电子注。换句话说必须对电

子注进行密度调制。

一方面要利用电子渡越时间；一方面要调制电子注密度。在设计微波管时，怎样把这二者结合起来呢？最简单的办法是调制电子运动的速度。因为如果能设法使电子注中一些电子运动速度快，另一些慢，那么在空间渡越的过程中，后面速度较快的电子就会赶上前面速度较慢的电子，而成群地聚在一起，在聚集处这时的电子密度就密，在密集的电子群流过之后，紧接着流到此处的电子就稀疏。可见通过调速，利用渡越空间，就可得到所需的密度调制的电子注，因此，近代微波电子管多数是用调速的原理制成的。

三、速调管的产生及其分类

最早出现的微波管之一就是速调管。速调管发展到现在，又已经有了多种形式，可分为直射式和反射式两大类。无论哪种形式，都是以谐振腔为其不可缺少的组成部分，并且都是对一个均匀的电子注进行速度调制，以得到密度调制的电子注，而把由直流电源所获得的能量变为高频能量的。直射式速调管按谐振腔的多少来分，可分成双腔速调管、多腔速调管（三、四、五腔等）；如按用途分，可分成放大器、振荡器和倍频器。反射式调速管只有一个谐振腔，只能作振荡器。如按管壳材料来分，可分成金属管壳和玻璃管壳两种；如按谐振腔的装置方法来分，可分为：内腔式的，即谐振腔是真空管壳的组成部分，只留出引线；另一种是外腔式的，谐振腔装在真空管壳之外，分别如图 1-7 (a)及(b)所示。内腔式的腔体较小，工作频率较高，但由于腔体在真空壳内，机械调谐比较困难，调谐范围较小，工作频率范围较窄。外腔式的则恰好相反，因此工作频率

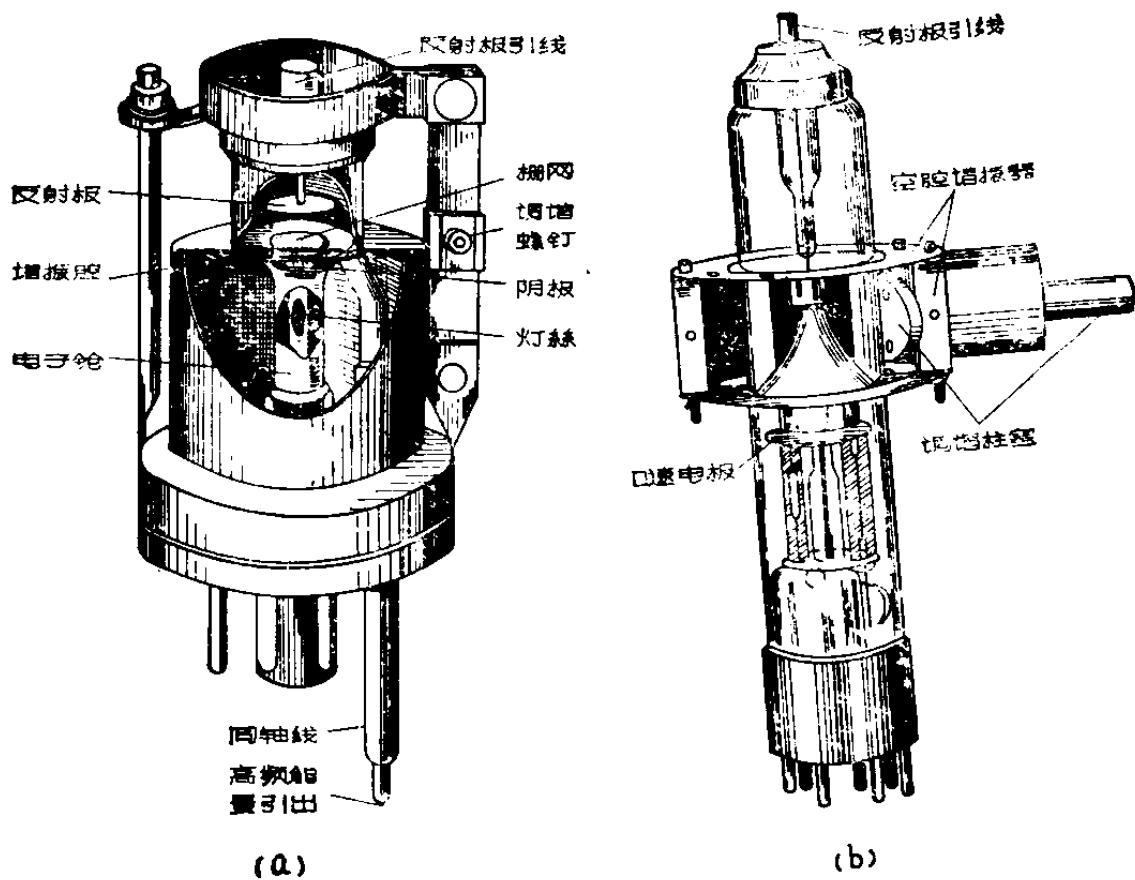


图 1-7 内腔式与外腔式速调管结构示意图

范围较宽，甚至一只管子可以换用不同谐振腔，加宽工作频率范围。内腔式的多用金属管壳；外腔式的多用玻璃管壳。

双腔速调管是最早出现的一种基本形式，由于它的放大倍数低，工作效率也不高，出现了多腔速调管以后，就很少用它作放大器；出现反射速调管后，也很少用它作振荡器。多腔速调管用作功率放大器时，其连续功率输出可达 100 千瓦，脉冲功率输出可达数千兆瓦，放大倍数可达 10^6 ，工作频率可达 10,000 兆赫。在人造卫星通信、散射通信、电视广播等方面，广泛用作输出功率放大器。反射速调管广泛用在微波接收机中以及在实验室内作本地振荡器和信号振荡源之用。由于它具有工作频率随反射极电压变化而变化的特性，也可在微波中继通

信中作调制器用。其输出功率较小。工作频率可达 90,000 兆赫以上。

速调管的应用，在微波技术领域起着很重要的作用。以上只对速调管的产生原因及其发展状况作了一个简单的介绍。其具体工作原理结构及使用等问题，将在以下各章作详细分析讨论。

第二章 速调管中电子的运动形式

速调管是利用电子注中高速飞行的电子与输入及输出谐振腔缝隙区的高频交变电场相互作用的原理而制成的。这里有普通电子管中所沒有的几个过程：

1. 产生一个均匀电子注；
2. 用输入高频信号在输入谐振腔中所产生的高频电场，对均匀电子注进行速度调制；
3. 利用适当的渡越空间，把已调速的电子注变为密度调制的电子注；
4. 以密度调制的电子注作用于输出谐振腔，在腔中产生一个对应于输入高频信号的高频电磁场，从而输出高频能量。

本章主要是讲明这些过程。由于每一过程只不过是速调管整个工作过程中的一个环节，这就需要先介绍一下整个过程，使读者了解各个环节在整体中的地位和作用。其中，往往要讲到电场和谐振腔的作用。为了便于讲述起见，下面我们就先讲电场、谐振腔，再简单介绍速调管的工作情况，然后逐个分析上述各过程。

一、电场的基本性质

只要讲“电”，人们总会讲到“电场”。例如，电荷周围的空间有电场；直流电源两电极之间有“静电场”；交流电源两电极之间有“交变电场”。那末，电场的基本作用是什么呢？