

Yiyong

医用

Liliao Shebei Yuanli Gouzao He Weixiu

理疗设备

原理构造和维修

主编 吴建刚 栾振涛



中国医药科技出版社

医用仪器原理构造和维修系列 06

医用理疗设备原理构造和维修

主 编	吴建刚	栾振涛			
主 审	倪世强				
副主编	尹 辉	王金宁	郭 智	武文君	
	张志强				
编 委	牛 树	李晓亮	戚仕涛	张宝性	
	李咏雪	王忠诚	沈学良	常 斌	
	赵 鹏	王志余	刘 鹏		

内 容 提 要

本书以实用为原则,比较全面系统地介绍了临床常用的各类理疗设备原理、构造、常见故障和维修方法,给出了典型的故障维修实例,具有较强的指导性和操作性。全书共分七章,第一章讲述理疗设备基础知识,重点介绍理疗设备常用的电路;第二章到第四章分别介绍低频电子治疗机、中频电子治疗机和高频电子治疗机;第五章介绍高频电子治疗机的特例——微波治疗机;第六章介绍磁疗机;第七章介绍光疗治疗机。

本书是医院理疗师和医学工程技术人员难得的参考书,也可供高等院校临床医学工程专业作为教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

医用理疗设备原理构造和维修/吴建刚,栾振涛主编. —北京:中国医药科技出版社,2010.8

(医用仪器原理构造和维修系列;6)

ISBN 978 - 7 - 5067 - 4720 - 2

I. ①医… II. ①吴… ②栾… III. ①物理疗法 - 医疗器械 - 维修 IV. ①TH770.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 148438 号

美术编辑 张 璐

版式设计 郭小平

出版 中国医药科技出版社

地址 北京市海淀区文慧园北路甲 22 号

邮编 100082

电话 发行:010 - 62227427 邮购:010 - 62236938

网址 www.cmstp.com

规格 A4

印张 $10\frac{3}{4}$

字数 288 千字

版次 2010 年 8 月第 1 版

印次 2010 年 8 月第 1 次印刷

印刷 北京季蜂印刷有限公司

经销 全国各地新华书店

书号 ISBN 978 - 7 - 5067 - 4720 - 2

定价 38.00 元

本社图书如存在印装质量问题请与本社联系调换

前 言

随着科学技术的发展，特别是电子技术以及计算机技术的广泛应用，医用理疗设备得到了很大发展。从作用的物理因素上分，有光疗、热疗、电疗、磁疗、声疗设备等；从频率上分，有直流、低频、中频和高频理疗设备。几乎所有的医用理疗设备都是将电能转换为其他各种形式的能量，然后应用于治疗。

医用理疗设备种类繁多，结构千差万别。本书的编写在内容处理上力求做到把握主题，选型得当，以实用为原则，以系统完整、技术先进为目标。对各类医用理疗设备力图归纳一些共性的内容，以利读者举一反三；并尽可能收集了比较新的医用理疗设备，内容讲述深入浅出，通俗易懂，理论与实践并重，突出实践，加强了常见故障和维修方法的介绍，给出了典型的故障维修实例，具有较强的实用性和指导性。

本书共分为七章，第一章讲述理疗设备基础知识，重点介绍理疗设备常用的电路；第二章到第四章分别介绍低频电子治疗机、中频电子治疗机和高频电子治疗机；第五章介绍高频电子治疗机的特例——微波治疗机；第六章介绍磁疗机；第七章介绍光疗治疗机。

本书可供医院理疗师和医学工程技术人员学习参考，也可作为高等院校临床医学工程专业教材使用。

由于作者水平有限，书中错误在所难免，恳请各位同行和读者批评指正！

编 者

2010 年 5 月

目 录

第一章 理疗设备基础知识	(1)
第一节 电子管基础知识	(1)
一、热电子发射	(1)
二、两极电子管	(2)
三、三极电子管	(3)
四、四极电子管	(5)
五、五极电子管	(6)
第二节 常用振荡电路	(6)
一、振荡的概念	(6)
二、脉冲振荡电路	(10)
三、高频振荡电路	(22)
第三节 振荡器的输出与负载	(28)
一、电感耦合谐振式输出	(28)
二、电容耦合式输出	(29)
三、负载阻抗的匹配	(29)
第四节 理疗设备概述	(29)
一、物理治疗的机制	(29)
二、理疗设备的分类	(31)
第二章 低频电子治疗机	(32)
第一节 低频电子治疗基础知识	(32)
一、电疗的概念及作用	(32)
二、低频电子治疗机的作用及分类	(32)
第二节 临床常用机型	(33)
一、ZGL-1 型直流感应治疗机	(33)
二、DMY-2 型低频脉冲电疗机	(42)
三、G-6805 型低频脉冲电疗机	(51)
四、HWY-2 型综合治疗机	(53)
五、DXZ-1 型多波形治疗机	(55)
第三章 中频电子治疗机	(57)
第一节 中频电子治疗基础知识	(57)
一、中频电流的特点	(57)
二、中频电流的生理作用	(57)
三、中频电疗法的治疗作用	(58)
四、中频电疗法的种类	(59)
五、中频电子治疗机的分类	(61)

六、中频电子治疗机的工作原理	(62)
第二节 临床常用机型	(63)
一、K89 - II 型电脑中频电疗仪	(63)
二、ECM99 - II 型电脑中频治疗仪	(65)
三、YL - 3 型音频电疗机	(68)
第三节 中频电子治疗机的维修	(70)
一、常见故障与维修	(70)
二、K8832 - T 型电疗仪的故障与维修	(70)
三、K89 - II 型电脑中频电疗仪的故障与维修	(71)
四、ECM99 - II A 型电脑中频治疗仪的故障与维修	(71)
第四章 高频电子治疗机	(72)
第一节 高频电子治疗基础知识	(72)
一、电磁波的概念	(72)
二、高频电疗法基础	(75)
三、高频电疗法种类	(75)
四、高频电的防护	(78)
第二节 超短波电子治疗机	(78)
一、CDL - 1 型超短波电疗机	(78)
二、CDB - 1 型超短波电疗机	(81)
三、LDT - CD31 型超短波电疗机	(82)
四、80 型超短波电疗机	(83)
五、DL - C - B 型超短波电疗机	(84)
六、1451 型共鸣火花电疗机	(86)
七、D2 - C - II 型五官科超短波治疗机	(87)
第三节 短波电子治疗机	(89)
一、1530 型短波电疗机	(89)
二、GL - 22 型短波电疗机	(90)
第四节 超声波治疗机	(91)
一、超声疗法基础知识	(91)
二、CZ - 1 型超声波治疗机	(98)
三、CSY - 25 型超声波治疗机	(100)
四、使用与维修	(101)
第五节 高频电子治疗机的维修	(102)
一、常见故障	(102)
二、维修方法	(104)
三、使用注意事项	(104)
四、FU - 811 电子管的使用及保养	(104)
五、CDB - 1 型超短波电疗机故障与维修	(105)
六、CDL 型超短波电疗机故障与维修	(106)
七、LDT - CD31 型超短波电疗机故障与维修	(107)
八、CDL - 1 型超短波电疗机故障与维修	(107)
九、80 型超短波电疗机故障与维修	(107)

第五章 微波治疗机	(108)
第一节 微波治疗基础知识	(108)
一、微波的产生	(108)
二、微波的物理性能	(110)
三、微波的治疗作用	(111)
四、微波的治疗方法	(112)
五、微波使用注意事项	(112)
第二节 临床常用机型	(112)
一、DBJ-1 型微波治疗机	(112)
二、WB-74 型微波电疗机	(114)
三、WL-751 型微波电疗机	(115)
四、WZ75 型微波治疗机	(116)
第三节 微波治疗机的维修	(118)
一、常见故障与维修	(118)
二、使用注意事项	(119)
三、ZW-1001 型微波治疗机故障与维修	(119)
四、WB-74 型微波治疗机故障与维修	(120)
第六章 磁疗机	(121)
第一节 磁疗基础知识	(121)
一、磁场的治疗作用	(121)
二、常用的磁性器械	(122)
三、磁场的治疗方法	(122)
四、磁疗的剂量	(123)
五、磁疗的不良反应	(124)
第二节 临床常用机型	(124)
一、CL-B 型磁感应治疗机	(125)
二、DC-4 型低频磁疗机	(127)
三、CS-403 型旋磁治疗机	(130)
四、ECS-2 型电磁、旋磁治疗机	(130)
五、MCS-4B 型超低频脉冲磁疗机	(131)
第三节 磁疗机的维修	(133)
一、CL-B 型磁感应治疗机的常见故障与维修	(133)
二、使用注意事项	(134)
第七章 光疗治疗机	(135)
第一节 光疗基础知识	(135)
一、医用治疗光波	(135)
二、光的吸收	(135)
三、紫外线疗法	(136)
四、红外线疗法	(137)
五、激光疗法	(140)
第二节 红外线治疗机	(142)

· 4 · 目 录

一、工作原理	(142)
二、使用注意事项	(142)
三、YHD-500Ⅱ型红外线治疗机	(142)
四、22型TDP立式治疗器	(143)
五、辐射热治疗器	(143)
六、WS-101C型周林频谱治疗仪	(144)
七、BPM-VI-B型红外光治疗仪	(145)
第三节 紫外线治疗机	(146)
一、工作原理	(146)
二、使用注意事项	(147)
三、804型紫外线治疗机	(148)
四、YZD-500型紫外线治疗灯	(150)
五、84型紫外线治疗机	(151)
六、HANOVIA-10型水冷式体腔紫外线机	(151)
七、GYS-3型脉冲式低压紫外线治疗机	(152)
八、BY-4A型半导体紫外线杀菌治疗机	(154)
九、常见故障与维修	(155)
第四节 激光治疗机	(155)
一、激光器的基本结构	(155)
二、常用医用激光器	(156)
三、激光器的防护与安全法则	(156)
四、MDC-500型激光治疗机	(159)
五、JC-B型二氧化碳激光治疗机	(160)
六、HND5-A-B型He-Ne激光器	(161)
七、YYJG-1A CO ₂ 医用激光器	(161)

第一章 理疗设备基础知识

理疗学又称物理治疗学 (physical therapy) 是研究应用物理因子作用于人体以提高健康水平、预防和治疗疾病, 促进病后机体康复的专门学科。

理疗学是一门既古老又年轻的学科。公元前 7000 年的石器时代, 当时原始人利用阳光、砭石、石针、水和按摩等治疗疾病, 维护健康。我国以及古希腊、埃及、罗马的早期文献都记载了阳光、热水浴、冷水浴、体操、按摩等防治疾病的作用。公元前 5 ~ 3 世纪春秋战国时期《黄帝内经》的“素问篇”详述了攻达 (针灸)、角 (拔罐)、药熨 (温热)、导引 (呼吸体操)、按跷 (按摩)、浸渍发汗 (水疗) 等物理疗法。春秋战国时期名医扁鹊常用针灸、砭石、熨贴、按摩等治病。我国是世界上最早用矿泉水、磁场治疗疾病的国家。古希腊名医希波克拉底 (公元前 460 ~ 公元前 377 年) 积极提倡利用阳光、空气和水等自然疗法增强体质、防治疾病, 且在全世界都产生了一定影响。现代理疗学、疗养学、体疗学以及由许多专业共同组成的康复医学正是在这样的历史基础上发展起来的。

现代物理学促进了医学的发展, 同时也使古老的物理疗法得以不断地完善, 并充实了丰

富的内容。远在 17 世纪产生了静电疗法, 18 世纪产生了直流电疗法, 在 18 世纪下半叶日光疗法有了进一步的发展, 在 19 世纪产生了感应电疗法、直流 - 感应电诊断 (古典式电诊断)、直流电药物导入疗法、达松伐电疗法 (长波疗法), 同时产生并迅速发展了现代光疗中的红外线疗法和紫外线疗法; 20 世纪以来, 由于科学技术的飞速发展, 理疗技术、理疗在医学中的应用和作用原理研究取得了显著的进展。20 世纪上半叶, 产生了中波、短波、超短波、微波、超声等物理疗法; 20 世纪 50 年代以来, 低、中频电疗法有了新的发展, 水疗、磁疗等进而受到重视, 并在应用技术方面有了发展提高。特别是 20 世纪 60 年代实现的激光技术对全部科学 (包括医学在内) 的发展发挥着日益重大作用, 激光疗法已成为现代光疗学的重要组成部分。此外, 20 世纪 70 年代获得显著发展的射频治癌和光敏诊治癌症技术受到了世界上许多国家的重视。总之, 现代理疗学正在迅速发展。由于电疗设备在现代理疗学中占有最为重要的地位, 因此本章系统地介绍电疗学的基础知识, 其他理疗设备的基础知识在以后各章中都有详细介绍。

第一节 电子管基础知识

在玻璃 (或金属) 管泡内按一定程序与间距, 装入两个以上不同形状的金属电极, 再将管内抽成真空, 以完成整流、检波、放大、振荡等功能, 这种器件称为电子管。电子管工作的基础是热电子发射。

一、热电子发射

已知金属原子中的外层电子, 因原子核与

其距离较远, 吸引力不大, 可以产生一定的运动, 称为自由电子。但是自由电子只能在原子间运动, 不能离开金属表面向空间飞逸。当温度升高时, 电子的运动速度增大, 动能增加, 就有可能克服原子核的吸引, 飞离金属表面, 这种情况称为热电子发射。在真空或空气稀薄的环境里, 热电子发射的数量较大。试取一普通灯泡, 在其中装一块与灯丝互不接触的金属

片,灯丝用直流电点燃,将一只灵敏的电流表(微安表)的一端接金属片,另一端接灯丝电源的正极,电流表就会有指数,这说明回路中有电流流过,如图1-1所示。

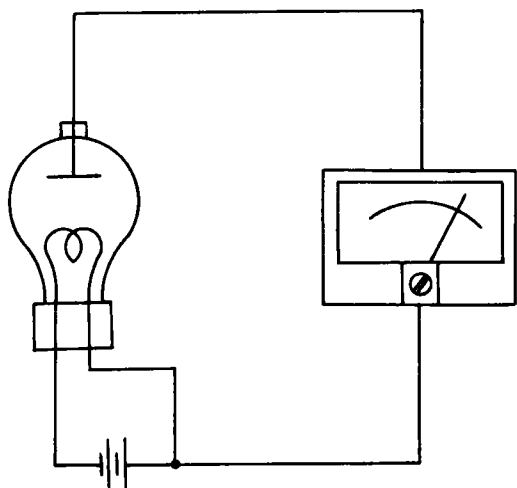


图1-1 热电子发射

这里有3个条件:①有热电子的发射;②泡内真空;③金属片相对于灯丝为正。

以这一现象为基础,制成了各种电子管。

发射电子的物体称为阴极。从上述实验可见,热电子是直接从灯丝发出的,这种以加热的灯丝为发射电子的阴极,称为直热式阴极。由于灯丝所用材料不同,它在同样功率下,发出的电子数量也有不同。上述灯泡内的灯丝是钨丝,其发射效率不高,需要很高的温度(2300°C)才能发射足够量的电子,因而耗电大。但它结构坚固,寿命长,发射稳定,因此目前许多大功率的电子管仍然采用直热式阴极。

在钨丝上加上钍,再经特殊处理,钨丝的表面即形成一层极薄的钍碳化物,称被膜阴极。它在 1600°C 时即可发射大量电子。在同一温度下,所发射的电子数量比钨丝大几千倍,但较脆弱,只用在中等功率的电子管。

在钨丝上涂以钡、锶、钙的氧化物,其发射能力又可增高很多,在灯丝微红时(亦即在 800°C 左右)就有大量电子发射。但其发射不稳定,不能在高电压下工作,而且不坚固,容易受到正离子冲击而损坏,多用于小功率电子管中。

对于这些发射效率较高的金属,也可以涂

在金属小管上,将金属小管套在灯丝外面。当灯丝被点燃时,金属管被烘热,便能发射电子。这种方式称为间热式阴极,如图1-2所示。

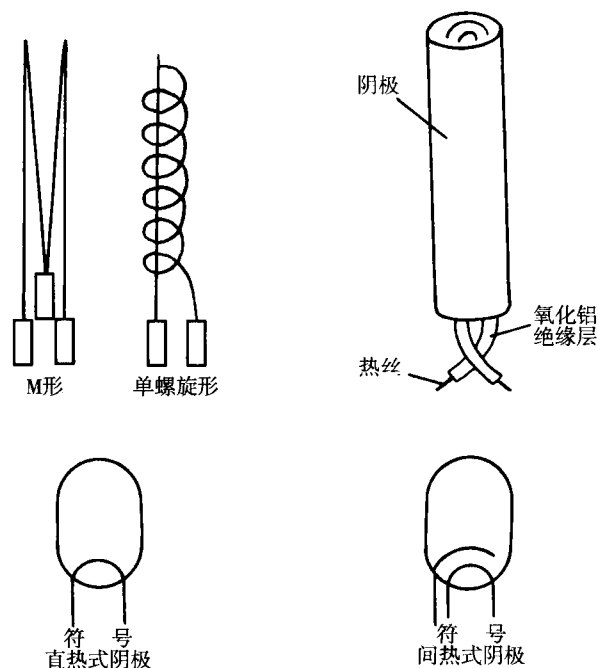


图1-2 阴极构成

二、两极电子管

将一个发射电子的阴极与另一个收集电子的金属屏封装在抽成真空的管泡中,就构成了两极电子管。

灯丝在通电发热后,在灯丝或罩在其外的金属小管上,就逐渐聚集了许多电子,像云雾一样,越靠近阴极表面电子越多,称为空间电荷。若在其外周金属屏上接上比灯丝电压高的电压时,这些空间电荷在外电场的作用下,就会向金属屏运动,电路中就会出现电流,如图1-3所示。金属屏称为屏极,也称为阳极。接在屏极与阴极之间的电源称为乙电,灯丝电源电压称为甲电。乙电通常比甲电电压高,因此称为高压。由于电子流是从阴极飞向屏极,再经乙电源回到阴极,因此此电流也称为屏极电流。屏极电流的大小与以下两个因素有关。

(1)与加在屏极上的电压大小有关 所加电压越高,屏极电流越大。这是因为电压越高,吸引电子能力越强,电子移动的数量越多,电流就越大。开始时增加较慢,接着均匀地增加,

最后逐渐减慢，直至屏极将所有空间电荷完全吸收，此时电流称为饱和电流，在图 1-4 所示

的关系曲线上这一点称为饱和点。屏压越高，饱和值越大，而形成一条曲线。

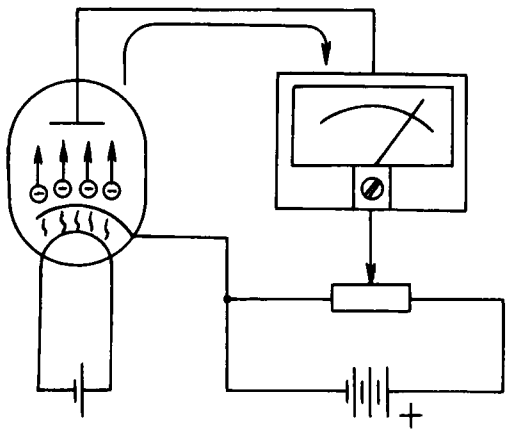


图 1-3 两极电子管

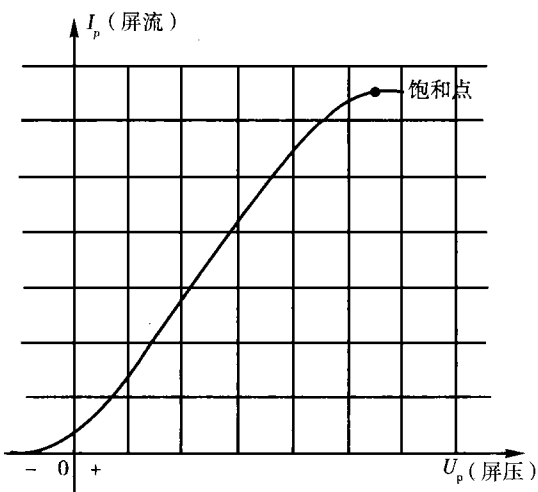


图 1-4 屏流 - 屏压关系

(2) 与灯丝电压和灯丝温度有关 甲电电压较低时，灯丝温度低，无电子发射，屏极电流为零，甲电电压升至灯丝工作电压时，灯丝温度升高，电子发射，出现屏极电流。此后甲电电压越高，灯丝温度越高，饱和电流也越大。

这种电流是由于电子和屏极接触而产生，故称接触电流。屏极所加的电压为负时，接触电流就减小，直至为零，此时电子管产生了阻断，因此两极电子管有一个重要的特征——单向导电性。但是加在屏极上的电压也不能无限增大，否则会损坏灯丝或阴极上的物质。

从图 1-4 中可见，当屏压等于零时，屏流并不等于零（稍大于零），只有当屏压负到一定值时，屏流才等于零。这一特殊现象的产生，是由于阴极因热运动产生的空间电荷有不规则的运动，当运动的电子接触到屏极时，就沿着屏极与阴外电路回到阴极，形成微弱的电流。

三、三极电子管

在阴极和阳极之间再装上可以控制电子运动的栅极，就构成了三极电子管，如图 1-5a 所示。

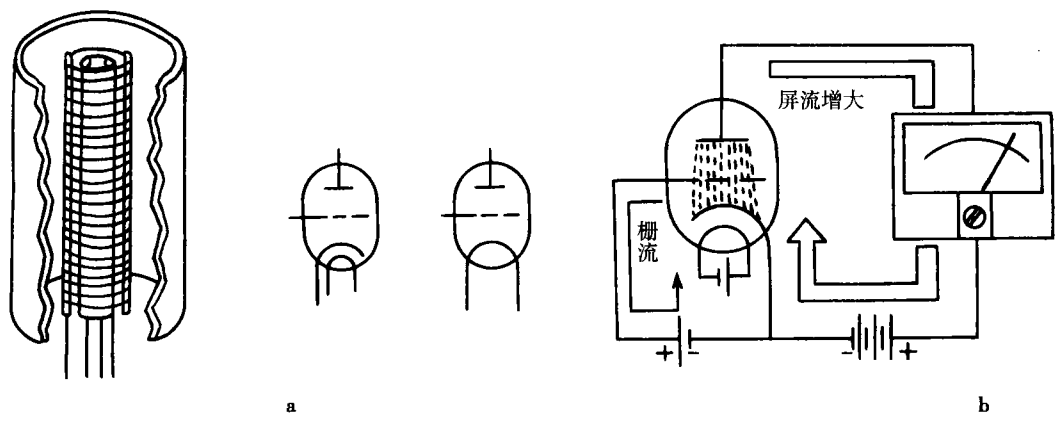
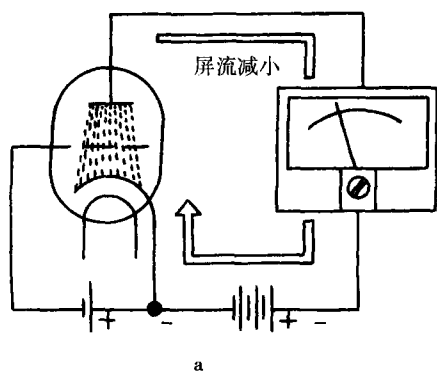


图 1-5 三极电子管

a. 三极电子管结构及符号

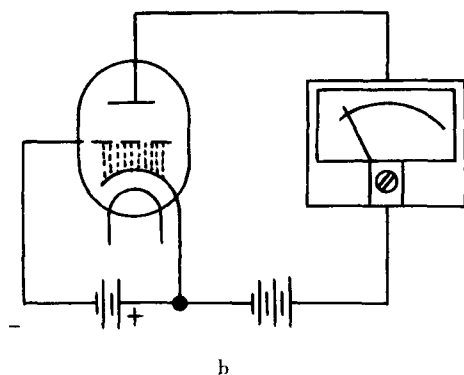
b. 三极电子管工作原理

栅极是绕成栅状的金属丝，它的位置与阴极较近。当阴极与栅极之间接上一定电压（称为栅压）时，栅极将对阴极与屏极之间的电子运动产生重大影响。如果栅极接上正电压，它将具有帮助屏极吸收电子的作用。由于栅极是由金属丝绕成的栅状，所以大部分电子从栅状金属丝的空隙中飞过，增加了屏流，但也有一小部分电子接触到栅极金属丝形成栅流，如图 1



a. 屏电流抑制

-5b 所示。如果栅极接上负电压，将阻止电子移动，减少了经过栅极的空隙飞向屏极的电子数量，因此屏流减小，如图 1-6a 所示。如果栅极接上较大的负电压，则在栅极上有较强的负电场存在，致使电子无法穿过栅极到达屏极，因此屏电流为零，如图 1-6b 所示。使屏流完全阻断的栅极电压，称为截止电压，在特性曲线上此点称为截止点。



b. 屏电流截止

图 1-6 三极电子管栅极控制

从上述情况可知，加了栅极以后，栅极起到重要的控制作用，所以栅极又称为控制栅极，栅极电压与屏极电流的变化曲线如图 1-7 所示。

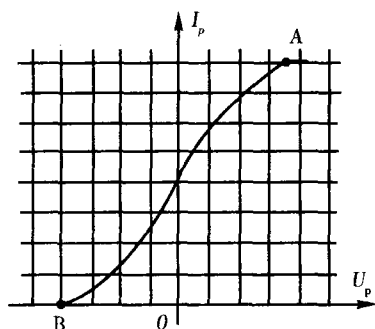


图 1-7 栅极电压与屏极电流曲线

曲线上即是截止点 B，此时栅极电压称为截止电压。当电位器向 A 端滑动，栅极电压逐渐增加，屏流也增大；当栅极电压为正时，屏流更大，但是当栅极电压增加到一定数值时，屏流最大，此后即使栅极电压再增大，屏流也不再增大，如曲线上的 A 点称饱和点，即阴极上所发出的电子几乎全部被屏极吸收，达到饱和。这种栅极电压与屏极电流的关系曲线与屏极电压有关，屏极电压越高，截止电压就越负，也形成一簇曲线，如图 1-8b 所示。

三极电子管的这种栅极电压对屏流的控制作用，大于屏极电压对屏极电流的控制作用，这就是三极电子管能够起放大作用的基础。

三极电子管是使用最多的一种电子管，理疗设备常用的 FU-5、FU-811 都属于三极电子管。但是三极电子管存在一定缺陷，主要有如下几点。

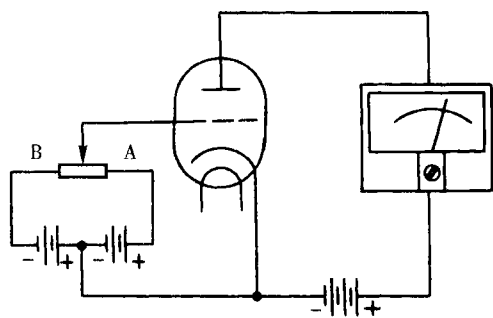
(1) 在管内电极间存在较大的电容 因为电子管内灯丝、阴极、栅极、屏极均由金属制成，平行装置，互不接触，这样在各极间就形

图 1-8a 中栅极与阴极之间加上两组电池，通过电位器改变栅极相对于阴极的电压。当电位器中间点滑至 B 端，栅极负于阴极，越向 B 端，栅极电压越负；滑向 A 时栅极电压较阴极为正，通过串接在屏极电路上的电流表可读出屏流的大小。当栅极电压负至一定值时屏流等于零，此点在栅压与屏流关系

成了电容器，具有一定电容量（如屏 - 栅间、栅 - 阴间、屏 - 阴间）。从一个电子管看，栅 - 阴是输入电路，所以栅 - 阴电容称为输入电容，屏 - 阴是输出电路，所以屏 - 阴电容称为输出电容。在用作高频放大时，这种极间电容也起

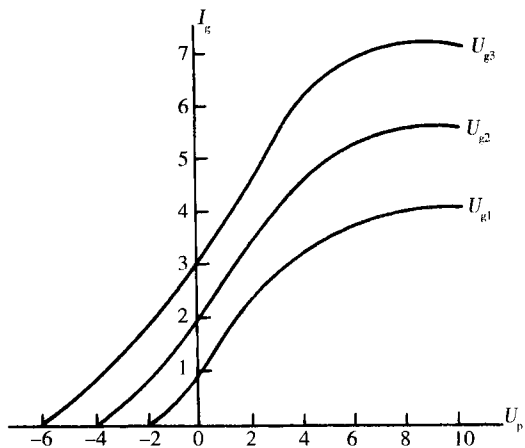
作用，经常通过屏 - 栅电容产生反馈，所以三极电子管不能用于频率很高的电路中。

(2) 三极电子管的另一个不足是放大因数不够大。



a

a. 栅压控制



b

b. 不同屏压时的屏流曲线

图 1-8 栅压与屏流曲线

四、四极电子管

为了减少三极电子管的极间电容，再加上一个与栅极相仿的电极，也就是用金属丝一圈圈绕在栅极的外面，它比栅极绕得稍密，在其上接上和屏极极性相同、电位较低的电压，称为帘栅极，这样就构成了四极电子管，如图 1-9 所示。

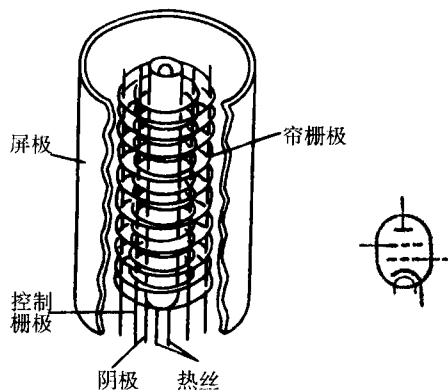


图 1-9 四极电子管

在四极电子管中阴极发射电子，屏极和帘栅极接收电子，控制栅极控制电子的运动。帘

栅极虽然为正电压，但因其为栅状，大量电子穿越其栅孔飞向屏极，仅有一小部分被帘栅极吸收，形成帘栅流。由于屏极距离阴极较远，而且中间隔有帘栅极，所以对阴极电子的作用力较小，以致内阻增大，所以放大因数也加大。帘栅极电压的变动，对屏极电流也有影响，所以要求其电压相当稳定，才能使电子管正常工作。为此电路中常在帘栅极上接上一只电容，一方面使电压稳定，另一方面使帘栅极上的交流成分短路，完成隔离屏栅的任务。

四极电子管的跨导与三极管相近，内阻达几十千欧到几兆欧，因而其放大因数达几十至几百倍。

增加帘栅极可以减少屏栅间电容，但由于帘栅极接正压，具有加速电子运动的作用，与屏极正压的作用相加后，对电子吸引力更加强，使电子运动速度显著加快，这种高速运动的电子，在到达屏极时，会把屏极原子中的电子撞出，使屏极产生二次电子放射。它与阴极加热所产生的一次电子放射不同。屏极上产生的二次放射出的电子，被附近的帘栅极（因帘栅极带正电位）吸收，使屏流下降而帘栅流上升，

特性曲线发生弯曲,因而不能稳定工作,输出受到影响,所以现在已被淘汰,为效能更好的五极电子管所取代。

五、五极电子管

为了发挥四极电子管放大因数大,极间电容小的优点,克服二次电子放射的缺陷。在屏-帘栅极间,再加上一个用金属丝绕成比较稀

疏的栅极,将之与阴极相连(在管内或管外),使其带负电位,称为抑制栅极,这样就制成了五极电子管。由于抑制栅极带负电位,从屏极上产生的二次放射电子,一离开屏极,便立刻被抑制栅极排斥回去,这样可使屏流稳定。将抑制栅极接较屏压为低正电位,也可起到抑制二次放射的作用,如图1-10所示。

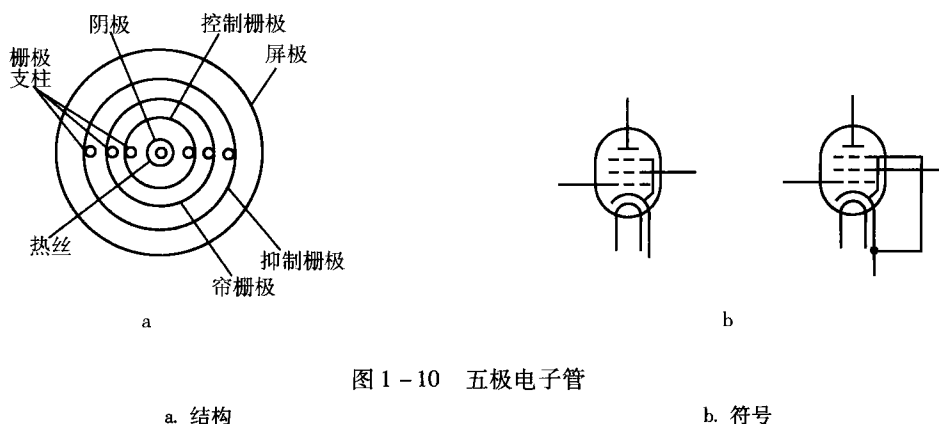


图1-10 五极电子管

这样,五极电子管有3个栅极。第一栅极 G_1 即控制栅极,第二栅极 G_2 即帘栅极,第三栅

极 G_3 即抑制栅极。

第二节 常用振荡电路

一、振荡的概念

(一) 机械振荡和电振荡

1. 机械振荡 日常人们所能见到的机械振荡现象很多,例如钟摆就是一种典型的机械振荡现象,图1-11是一个钟摆示意。

要想使摆产生振荡,必须使其获得一定的能量。如推它一下或将其拉到一边后放手,摆就会从2经0到1,然后又从1经0到2,随后将继续下去。摆的这种振荡靠最初所获的能量来维持,由于克服阻力而损耗能量,所以振幅(m_0)将逐渐减小,直到停止。将这种振荡称为“自由振荡”,或称“衰减振荡”。

摆从1→0→2,再从2→0→1摆动1周所需

时间,称为“振荡周期”,常用 T 来表示。1s时间内的周期数叫做“频率”,常用 f 来表示,单位为Hz。摆对静止位置0的最大偏角称为“振幅”(0→1或0→2),其大小取决于摆所得到的外加能量,能量大则振幅就大,否则就小。

自由振荡是一种阻尼振荡,它所得能量因为克服空气阻力和机械摩擦而损失,使振幅逐渐减小,直到停止。图1-11下面的减幅波形就是摆在一张活动纸上的投影。

摆的频率 f 的多少,只决定于摆的参数(长度、重量),而与振幅无关。也就是说振幅从最大值减到最小直到停止,振荡的周期 T 和频率 f 保持不变,因为振幅的大小,完全决定于摆最初所得到能量的大小。

综上所述,这个振荡的过程是周期性地由

势能到动能，再由动能到势能的转变。摆到1或2的位置时，就具有最大的势能，动能等于0。摆从1或2向0移动的过程是势能到动能的转变。在通过0时，势能等于0，动能最大，所以从0向1或2移动时，是动能到势能的转变过程。由于能量的损耗，振幅逐渐衰减。若想得到不衰减的等幅振荡，就必须周期性地施加一个外力，去补偿所损失的能量。这种振荡称为“强迫振荡”或“它激式振荡”。

了解机械振荡，对理解电振荡有很大帮助，因为它们有类似之点。

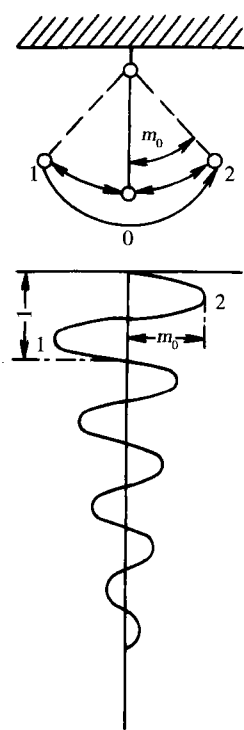


图 1-11 钟摆示意

2. 电振荡 电振荡

可由线圈L、电容器C共同组成，所以又叫L、C振荡器，电振荡也有自由振荡和强迫振荡之分。

自由振荡电路仅在振荡前供给一定能量，以后在无外加能量下作周期性振荡。因为电路中存在有效电阻，故能量将因克服阻力而损耗，振幅逐渐减小，直到停止。这种电振荡没有实际应用意义，只能用作学习理论的说明。

强迫振荡电路是在振荡过程中不断地、周期性地从电源电路中取得能量，因此这种振荡电路可以实现不衰减的等幅振荡。

(1) 理想的自由振荡 为了便于说明，现假定电路中没有任何损耗，即有效电阻等于0的自由电振荡。

电路如图1-12a，电路工作分析及波形如图1-12b。

当电源开关S在1位置时C被充电，电压可达 E_b 值。C充电至 E_b 值时，电路中电流(I)等于0，此时电容器C存有电场能，相当于摆在位置1时的位能，图1-12b中的“1”

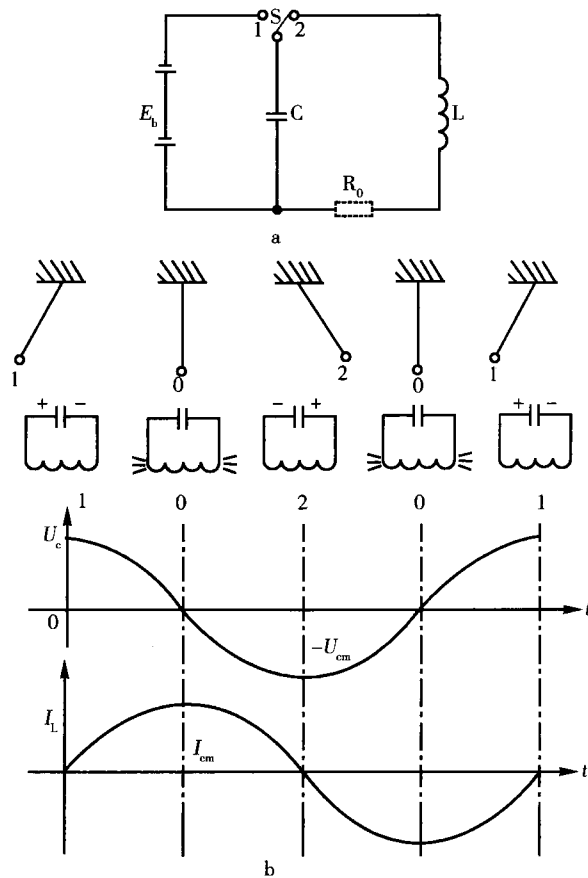


图 1-12 电振荡

a. 振荡电路

b. 振荡波形

位置。

将开关S置于2位时，C便经L放电。这个放电过程中由于L的自感效应，使电流不能突变。随着L上电流的增加，C的端电压将下降，至某一瞬间C上的电压等于0而L上的电流最大。这时L上的磁场能，相当于摆在“0”位置的动能。

C上电压等于0，放电电流停止增加，L上的磁场能开始减少，由于L上自感电势的作用，而不允许电流产生剧烈的变化（不立即变为0）。这衰减的磁场能将维持电流以相同的方向继续流通，并使C再次充电（电压方向与开始恰好相反）。在某一瞬间C上电压又升至最大值（ $-U_{cm}$ ），电路中电流又一次等于0，相当于摆由0到2的位置，图1-12b图中2位。此时可以认为L上的磁场能又全部转变为C上的电场能。

此后, 电容器 C 又开始第二次放电, 放电电流也与前次相反, 当 C 重新完成放电后, 即电场能第二次转变为磁场能, 相当于摆由 2 位回到 0 位, 即电位能转变为动能, 图 1-12b 图中的第二个 0 位。然后再由磁场能转变为电场能, 相当于摆由 0 到 1 位置, 即由动能转变为位能, 图 1-12b 图中的第二个 1 位置。这样便完成了一次振荡的全过程, 即振荡的一个周期。

在这理想电路中, C 上的电压和电路中电流相位可以被认为彼此相差 90° , 如图 1-12b 中的 U_C 和 I_L 所示。

经过分析可知, 振荡电路的振荡频率 f_0 和电路 L 、 C 乘积的平方根成反比。因此通过改变电感 L 或电容 C 的大小, 就可以改变振荡电路的频率 f_0 。 L 、 C 增大, 充放电时间增长, 振荡周期 T 增大, 所以 f_0 也低, 反之 L 、 C 减小, 充放电时间变短, 周期 T 减小, 频率 f_0 增高。

(2) 实际电路中的自由振荡 在实际振荡电路中, 总是有能量损耗的, 因为电路中除 LC 外, 还有有效电阻 R_0 的存在, 图 1-12a 中虚线表示的 R_0 。 R_0 可以代表电路元件和线路中所有电阻之和, 其中也包括绝缘不良的漏电、电容器的介质损耗和电磁波能量辐射的损耗等, 这些损耗随着频率的增加而增大。

R_0 的存在将使电路中的自由振荡发生衰减, 振幅不断地减小直至停止。衰减程度完全取决于 R_0 , R_0 阻值越大衰减越快, 图 1-13 表示不同阻值 R_0 的衰减情况。衰减振荡的特点是振幅不断地减小, 而频率保持不变。

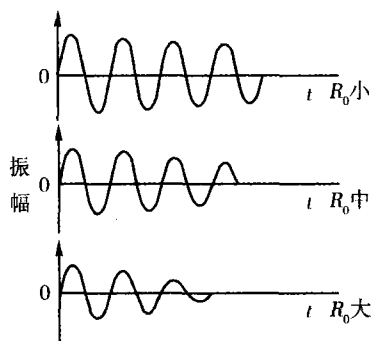


图 1-13 不同 R 值的衰减情况

综上所述, 振荡并不是非常复杂的问题, 而是一种常见的自然现象, 只要条件具备即可形成振荡。然而衰减振荡没有实际应用价值, 实际需要的是不间断的振荡, 如时钟的机械振

荡, 高频治疗机的电路振荡。若想达到不间断的振荡, 就必须不断地、周期性地补偿损失的能量, 如时钟的发条, 电路的反馈, 使其形成强迫振荡。

(3) 强迫振荡 为了获得实际应用的连续振荡, 必须采用强迫的振荡形式。所谓强迫振荡, 就是在周期性外力作用下进行的振荡。它广泛地应用在电子管振荡器、高频放大器等电路之中。

首先研究一下机械的强迫振荡, 例如有一个已具有某一固有频率 f_0 的摆, 用具有周期性的外力去推动它, 使其产生连续的振荡, 这时摆的振荡频率完全取决于外加频率。

在振荡电路中, 如果以某种方式反馈一个交变的电能给振荡电路, 则这个反馈电能将使电路产生强迫振荡, 其频率应相当于外加频率。

强迫振荡的特点: ①振幅不衰减, 而是恒定的; ②频率不决定于电路中的 LC , 只决定于外加电势的频率, 但对相位有所影响; ③振幅不但决定于外加电势, 而且还决定于外加电势的频率和电路中的谐振频率 (固有频率 f_0) 之间的关系。这一特点是高频治疗机电路最值得注意和研究的问题。

每一个强迫振荡电路, 从外界取得一定能量后, 就以电路中的固有频率 f_0 进行振荡, 当外加电势的频率与电路中的固有频率 f_0 相近时, 则振幅就大, 同时要维持这个振荡所需要的外加能量也越小。如果两者的频率相等, 则振荡电路的振幅急剧增加, 而达最大值。这时维持振荡需要的外加能量也最小, 这能量只是用来补偿 R_0 上的损耗, 无需克服振荡电路振荡反转的阻力。

(二) 谐振与谐振电路

1. 谐振 若外加电势的频率和振荡电路固有频率完全相等时所产生的振荡叫做“谐振”, 外加频率叫谐振频率, 用 f_p 来表示。

要想获得谐振, 一种方法是改变外加电势的频率, 使它与电路固有频率相等, 另一种方法是改变振荡电路中的 C 或 L 的参数, 使电路的固有频率 f_0 和外加电势频率 f_p 相等。在高频治疗机的输出电路中都是采用这种方法, 使电路达到谐振, 得到最大输出。由于电容量 C 较容易改变, 所以多采用调节 C 的办法取得电路

的谐振。

谐振现象可用振荡电路的谐振曲线来表示，如图 1-14 是谐振曲线示意。

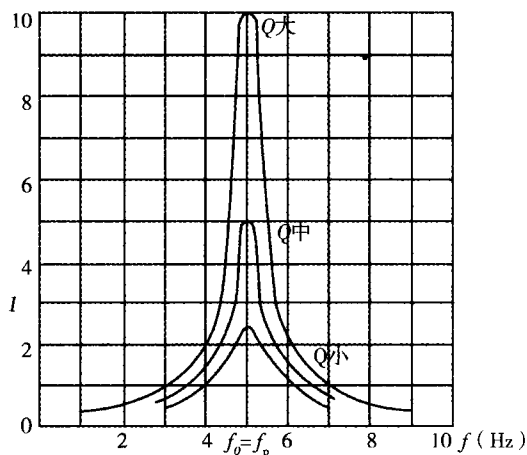


图 1-14 谐振曲线

从图 1-14 中可以看出，在谐振时电路中的电流振幅达到最大值 ($f_0 = f_p$) 的点为谐振点。若频率向任何一边离开谐振点时，电流就会迅速下降。

谐振电路中的 Q 值越大（衰减因数越小），谐振曲线越尖锐。这是因为当外加电势的频率

f_p 和具有高 Q 值电路的固有频率 f_0 谐振时，电路只有有效电阻 R_0 存在，所以谐振电流最大。若 f_p 和 f_0 稍有偏差不等时，外加能量不但很难加给电路，同时还会起反作用。

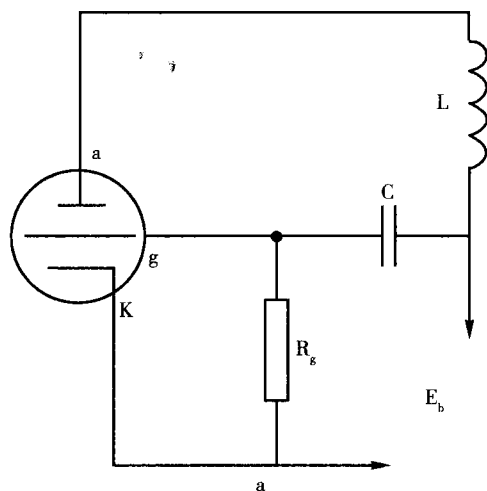
比如 C 刚要放电，而外加电势又要给 C 充电，这两电势的方向恰好相反，结果是适得其反，并使振荡幅度大减，而成为钝谐振。

综上所述，要想获得等幅振荡，除周期地供给振荡电路以能量外，还必须具有谐振条件，方能得到最大输出。

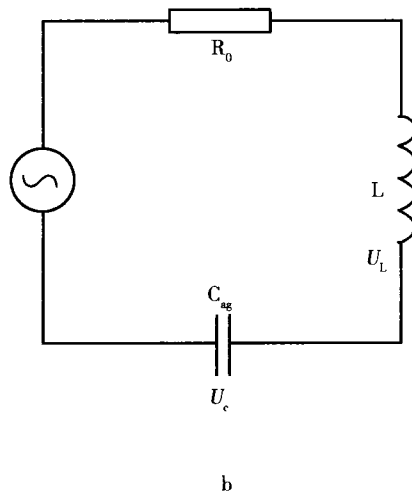
怎样从外界得到能量，要看振荡电路和 its 用途而定。一般可分“自激式”和“它激式”两种振荡电路。在高频治疗机中都采用自激式振荡电路，即将振荡器输出的部分能量反馈给振荡管去控制屏流，而达到自激振荡。

2. 谐振电路

(1) 串联谐振电路 电路如图 1-15a 所示。这种电路由线圈 L 、屏栅极间电容 C_{ag} 组成，交流源在振荡电路之中，图 1-15b 是它的等效电路， R_0 是电路中有效电阻，电容器 C 未画出，因为 C 的容量较大，对高频而言可视为短路，它在电路中起隔直流作用，防止直流高压加在栅极上（包括低频 50Hz）。



a. 电路连接



b. 等效电路

图 1-15 串联谐振电路

串联谐振电路在谐振时，有下面几个特点：
①电路的总阻抗 z_0 最小，等于有效电阻 R_0 。
②电路中的电流最大，并与电源电压同相。
③在谐振时，交流源频率应与电路固有频率相等。

在高频治疗机的输出电路中，因为主振电路 f_p 一定，而输出电路由于治疗部位不同，使用电极也不同，即固有频率 f_0 是个变量，为了使输出电路达到谐振，常用改变电路中可变电容器的