

高等学校教学用书



电子与离子设备实验指导

B. M. 斯良坡斯尼可夫著

張潤宇 王子才 譯

吳存亞 校

高等教育出版社

本書系根据苏联国立动力出版社 (Государственное энергетическое издательство) 1954 年出版斯瓦坡斯尼可夫 (Б. М. Шапошников) 著“电子与离子设备实验指导” (Руководство к лаборатории электронных и ионных устройств) 譯出的。

本書共分三部分: 第一部分叙述有关电子器件的实验; 第二部分叙述有关离子器件的实验; 第三部分叙述有关电子与离子器件的实验。本書对于电子器件、無線电工程及电工各方面專業的教師和学生在准备和进行实验时頗有参考价值。本書中对实验所提出的方法及要求等是值得重視的。

参加本書翻譯工作的为哈尔滨工業大学張潤宇(实验 XVI 前)和王子才(实验 XVII 以后) 二同志。

譯稿曾經北京大学吳存亞副教授校訂。

电子与离子设备实验指导

Б. М. 斯瓦坡斯尼可夫著

張潤宇 王子才譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺 7 号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第 054 号)

京华印書局印刷 新华書店發行

統一書号 15010·685 開本 850×1168 1/32 印張 9 7/16 字數 231,000 印數 0001—2,000

1958 年 5 月第 1 版 1958 年 5 月北京第 1 次印刷 定價 (10) 1.40

中譯本序言

目前电子学获得了極大的發展。在技术和科学实践的各个领域中日益广泛采用現代的無線电和自动化設備，这些設備都是在电子学的基础上建立起来的。無線电通信設備(按其广义理解)、計算机、各种自动控制系统和仪器——所有这些都要涉及应用电子学。所以，对于現代的工程师來說，应当特別注意电子学。

我的“电子与离子設備实验指导”中譯本的出版，使得中国高等学校学生——未来的現代工程师的重要队伍——更易閱讀。

我很高兴，做到了这一点。

哈尔滨工業大学的同志們注意到了我这本簡陋的書，并付出了劳动，謹向他們表示衷心的謝意。

希望这个中譯本的問題能在中华人民共和国对电子学的研究和进步有所帮助。祝中国讀者获得最大的成功。

Б. 斯良坡斯尼可夫教授

проф. Б. Шляпников

1957年11月21日于列宁格勒

目 录

中譯本序言.....	v
序.....	vii
緒言.....	1

第一部分 电子器件

一般指示	7
I. 二極管实验	12
II. 三極管实验	21
III. 四極管和五極管实验	34
IV. 光电器件实验	45
V. 电子束管实验	56

第二部分 离子器件

一般指示	64
VI. 充气二極管和開流管实验	69
VII. 玻璃汞弧管实验	81
VIII. 引燃管实验	93
IX. 动态真空金屬汞弧管实验	105

第三部分 电子和离子器件的应用

X. 半导体整流器实验	119
XI. 二極管整流器实验	132
XII. 用来使整流电压平滑的濾波器实验	147
XIII. 光电管直流放大器实验	159
XIV. 單級音频电子管电压放大器的实验	169
XV. 串級音频电子管功率放大器的实验	177
XVI. 二相音频电子管功率放大器的实验	187
XVII. 电子管伏特計的实验	205
XVIII. 电子管高频振蕩器实验	220
XIX. 离子管弛張振蕩器实验	239
XX. 电子示波器实验	244
XXI. 离子管栅極控制綫路的实验	248
XXII. 開流管繼电器的实验	254

XXIII. 多相双程离子管整流器线路的实验	257
XXIV. 多相单程离子管整流器线路的实验	271
XXV. 负载为电动机的单相离子管整流器的实验	278
XXVI. 离子管整流器并联工作的实验	288

参考书目

緒 言

1. 利用真空放電器件——電子和離子器件——組成的裝置，叫做電子離子裝置。這種器件具有一種僅讓電流沿一個方向流通的特性。由於這種單向導電性，可以把它們叫做整流閥。

近些年來，電子和離子器件應用得特別廣泛。它們用在無線通訊、有線通訊、雷達、電視、有聲電影、計算機、自動控制、遙控、X 光透視和醫學器械上。電子束廣泛用於電測量、記錄和檢查的器械里。已經出現了光學的新園地——電子光學。在所有上述技術領域中，電子和離子器件主要的是做為弱電流電路中的元件。

此外，離子器件也用於強電流設備中。由於離子器件的出現，直流和交流的相互變換以及頻率的變換都有了新的可能。這種可能已經導致目前的電氣化運輸的動力供給、電化學生產和遠距離直流能量輸送。所有這些，完全是基於應用了離子技術。除此以外，大功率的離子器件還應用在電焊設備、高頻電熱設備（用於金屬的感應加熱和絕緣體的介質加熱）以及礦井起重機和巨型車床可調拖動的供電系統中。用離子器件來給大型和特大型發電機勵磁將代替電機勵磁。

蘇聯科學家和工程師們的科學研究和技术革新以及祖國工業的成就大大地促進了電子和離子裝置的發展。Н. Д. 巴巴列克西（Папалекси）、М. А. 龐奇-龐魯也維奇（Бонч-Бруевич）、А. А. 切爾諾斯夫（Чернышев）、В. П. 沃洛格金（Вологдин）、Г. И. 巴巴特（Бабат）、С. А. 維克新斯基（Векшинский）、А. И. 別爾格（Берг）、В. А. 夫維金斯基（Введенский）等人所做的工作，為大家所熟知。我們科學家工作的內容、他們的地位以及他們在電子離子技術各

个領域的發展过程中所起的指导作用，在目前通用的电子和离子裝置的教材里，有着詳尽的叙述^①。

2. 構成电子和离子器件的主要部件是：真空泡(玻璃的、金屬的或者陶瓷的；后边兩类可以是封口的，也可以不是封口的)和各种电極：陽極、陰極、柵極。这些电極都放在真空泡內，并且在外部有引出綫，以便把器件接于电路中。

电子管和离子管間的基本差別在于：管泡內媒質所处的状态也就是电流通过管子的情况不同。在电子管中放电是在高度稀薄的空气中进行的；而离子管中——則是在充有水銀蒸汽或者惰性气体的低真空中进行的。与此相适应，在电子管中，实际上沒有运动着的电子和气体質点間的碰撞，而在电極空間形成負的空間电荷。在离子管中，發生气体的碰撞电离，它产生了等离子区。在等离子区内，正的容积电荷和負的容积电荷实际上互相抵消。流通电子管的电流是电子运动的結果；但是流經离子管的电流，則不仅是电子的运动，而且也是离子运动的結果。

上述电子管和离子管中电流流过时的条件和性質上的不同，使得甚至在結構相似和电流电压額定值相同时，它們的作用情况和工作特性也有差別。

按照陰極發射方式，电子管可以分为热电电子發射的和光电發射的兩種。

热电子發射的电子管按照电極数目，可以分为二極管、三極管、四極管、五極管等等。

光电發射的器件——光电二極管——既有高真空的，也有充气的。

离子管有根据非自持电弧放电的原理做成的，如充气二極管和閘流管；也有根据自持电弧放电的原理做成的，如汞弧管和引燃

^① 詳見書末參考書目。

管。在第一种情形,应用产生热电子發射的固体陰極;而在第二种情形,应用产生場致發射的液体(水銀)陰極。

电子束管具有灼热的固体陰極以及通常采用的靜电控制或电磁控制附件。

3. 在电工技术中,把那些制造厂在名牌上所写出的工作电压和工作电流的数值,叫做該器件、器械或裝置的額定电压和額定电流。額定电压和額定电流由該器件或裝置的工作情况所决定。在这种工作情况下,照例在相当長的平均使用期限内,它們將最充分地利用。可是电子和离子器件与电机和变压器不同,他們的特性不是用一对工作电路的額定电压和額定电流来表示,而是用电压和电流的許多其他值来表示,这許多其他值也可以取为額定值;并且这些額定值間有着一定的关系。这些关系由管子的作用原理、結構数据、使用条件和受热情况所决定。

所以,在进行电子和离子管实验之前,首先应当确定:最好把那些数值——工作电路的电流、电压及輔助电路的电流、电压——定为額定值。这些电压和电流的值用符号“*nom*”表示。它們可以不和管子特性表中所示的額定值相同。

在許多情况下,电子管和离子管实验是为了求得各种特性曲綫族。常常在这些曲綫族的基础上,运用圖解法决定某些技术参数。一般說来,这些技术参数与管子工作情况間的关系是非綫性的。所以,組成某一个特性曲綫族的各个曲綫彼此靠得越近,也就是說管子在指定工作情况下这些特性彼此差別越小,那么所决定的技术参数也就越精确。

以后,在要求用实验方法求得管子的某一个特性曲綫族时,都同时給出建議的数值。根据建議的数值,可以适当的挑出这曲綫族的个别曲綫。譬如,在要求求得某一伏安特性曲綫族

$$I = f(U) \quad (\text{当 } E = \text{常数})$$

的同时,也給出 E 的一些个别数值: $E_{HO.M}$ 以及 E' 和 E'' 。与此同时,常常附帶指出上述个别数值間的一定关系。譬如,指出:

$$E'' - E_{HO.M} = E_{HO.M} - E'.$$

在每做一个实验前,必須决定 $E_{HO.M}$ 、 E' 和 E'' 的具体数值。

4. 在学校的实验室内所做的每一个实验,都是按照规定的教学大纲进行的。为了进行实验,必須完成下述各项:

- a) 独立地接成相应的电路并使其工作;
- б) 进行必須的測量,并記下其数值;
- в) 整理所得的实验材料①;
- г) 按照理論上的公式,进行相应的計算;
- д) 比較实验数据和理論計算数据;
- е) 按一定方式做技术报告。

5. 在到实验室工作之前,必須熟悉安全技术規程,并严格地遵守。

只有在教师檢查后,才可以接上电路的电源。在实验过程中,所有电路的变换:变换仪表測量范围、將实验电路中的某些元件接入或断路以及其他类似的、实验过程中的必需变换,只应在借助于供电设备的刀形开关將整个电路与电源切断后进行。

在电路中有电时,绝对禁止用手触及电路中無絕緣的部分。在任何情况下,都不允許用手指接触某接头,来决定是否有电。

当实验电路中产生某种不正常的現象时,必須迅速切断电源,并把所發生的不正常現象报告教师。供电網絡無电时,也应切断实验电路,并报告教师。

在实验电路中有感应綫圈和电容器时,应特別注意。因为在接近諧振的情况下,在这个电路中的某些部分,可以产生比电路电源

① 在繪制圖表时,上面所得的实验数据必須用点、圈、方块、“×”等記号明显地表出。曲綫不应繪成折綫,而应繪成平滑的曲綫。

高得很多的电压。絕對禁止在實驗室公共配電盤或控制台上，自行某些轉換。拆綫只能在把綫路与电源切斷以后进行。

上述指示,适用于實驗設備的对地电压低于 250 伏的情况。当有更高的电压时,尚須遵守保安技术中特殊制定的規則;这些規則須要詳細知道。

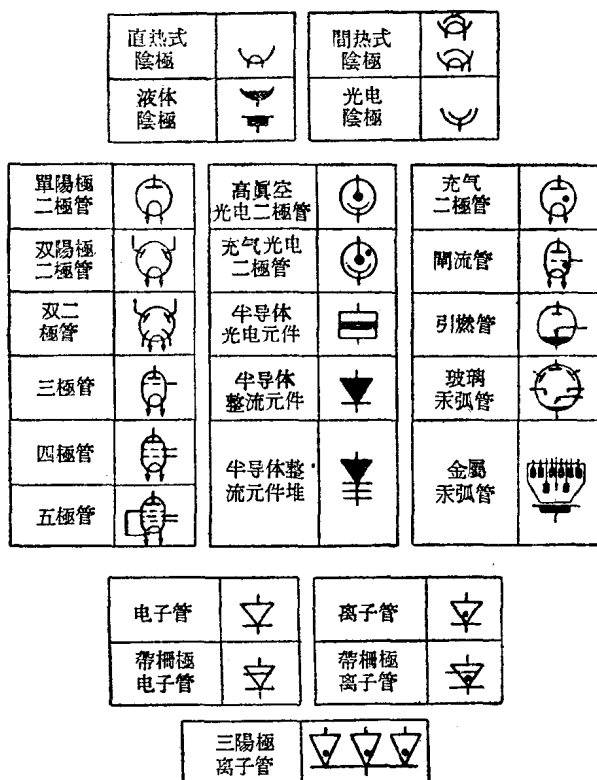


圖 1. 器件的通用符号。

6. 在綫路圖中应用的电子管和离子管符号如圖 1 和圖 2 所示。不可控管的泡子, 用圓表示; 可控的——橢圓形。熱陰極用弧形表示; 液体陰極——下部塗黑。陽極除在光电管中用点表示

外，在所有其他管子中用直線段表示。柵極用点綫表示。为了和电子管的表示区别开来，在离子管的泡子里画一点；但在液体陰極的管子中就没有这一点。除了將管子內具有的电極完全表示出来的通用符号以外，采用加上直綫的三角形的符号也是便利的(圖 1)。

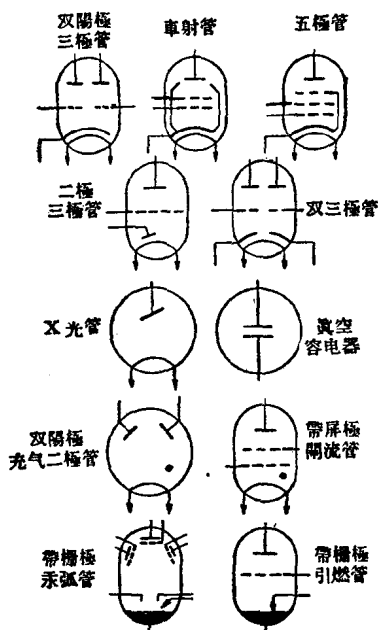


圖 2. 器件的通用符号

第一部分 电子器件

一般指示

1. 热陰極电子管的陰極分直热式的和間热式的兩種。在直热式的管子中, 灯絲电流直接流經陰極, 并將后者加热。在間热式的管子中, 灯絲电流流經一种特殊的热子。然后利用輻射使陰極發热。

加在热陰極电子管加热物体引出綫上的电压 (也就是加在陰極引綫上的或者特殊的热子上的电压) 叫做 灯絲电压。这个电压以后用符号 U_H 表示。加于电子管陰極和各个電極間的一些电压, 簡称为相应電極的电压。譬如: 陽極电压 U_a 就是陽極和陰極間的电压, 第二柵極柵压 U_{c2} 就是第二柵極和陰極間的电压, 依此类推(圖 3)。

多柵管的柵極号数由靠近陰極的柵極算起, 最靠近陰極的叫第一柵極。

2. 热陰極电子管的陽極电路和灯絲电路可以按不同方式互相联接起来。

圖 4 表示灯絲电路用直流供电时的情形 (圖 A、B、B、Γ 和 Д)。

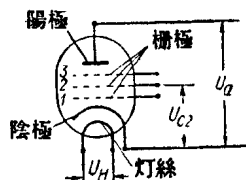


圖 3. 加在管子各个電極上电压的名称。

間热式电子管陰極部分有三根引出綫: 灯絲二根引出綫, 陰極有一根引出綫。在这种情况下, 陽極电路和灯絲电路彼此無關, 綫路的接法也沒有什么特殊的規定(圖 A)。如果間热式电管子的陰極接在灯絲的一根引出綫上(如圖 B 和圖 B), 則測量灯絲电流的安培計必須接在灯絲上和陰極不相連接的引綫端 (引出綫 α 端)。

假如把安培計接于相反的一端(引出綫 b 端), 測量出的电流就是灯絲电流与陽極电流之和(圖 B)或差了(圖 B)。

在直热式管子中, 無論安培計怎样接, 所量出的电流不是灯絲电流与陽極电流一半之和(圖 A), 就是兩者之差(圖 Γ)。只有在陽極电路开路时, 才能測量出灯絲电流的真实数值。

直热式电子管子灯絲电路用直流供电, 这种方法有下述特点:

a) 一个陰極引綫(其电流为灯絲电流和陽極电流之和)的温度高于另一引綫的温度(此端为兩者之差)。这就使得陰極表面上的發射电流分布不均匀。

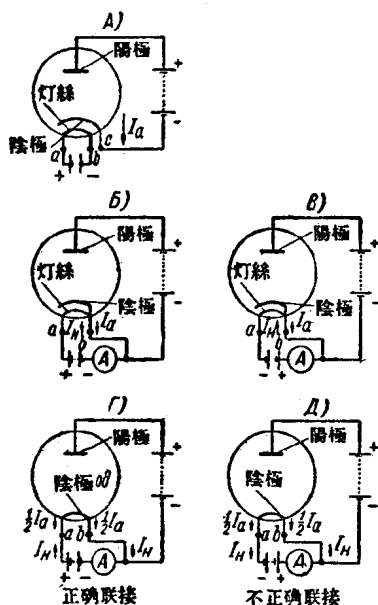


圖 4. 二極管用直流加热时的接綫方法。

6) 陽極电流的大小与陽極电路和灯絲电路的电源的接法有关: 逆联接时(圖 Γ)的陽極电流小于順联接时(圖 Δ)的陽極电流。

电子管的灯絲电路和陽極电路如果在电路上有联系时(如圖 B 、 B 、 Γ 、 Δ), 則应采用如下联接法: 即灯絲电路的电源与陽極电路的电源逆联(圖 B 、 Γ)。这个接法, 以后將称做“正确接法”。它的特点, 是兩电源的負端联在一起。在分析装置的工作时, 从这一点(兩电源的負端)計算所有加于管子各个电极及整个电路各个部分的电压。

灯絲电路用交流供电时的綫路, 如圖 5 所示。在直热式电子

管时(圖 A),陰極的引出綫和灯絲变压器相接,而变压器的次級中点的引出綫則和陽極电路相接。在此中点,陽極电流分相等的兩路流向陰極。直热式电子管灯絲电路用交流供电时,陰極兩引綫的溫度实际上相同。然而,就在这种情况下,陽極电流也有波动。波动的頻率与灯絲电路电压頻率相同,波动的振幅很小。圖 5 的 B 和 B 为間热式电子管灯絲电路用交流供电时的接綫圖。

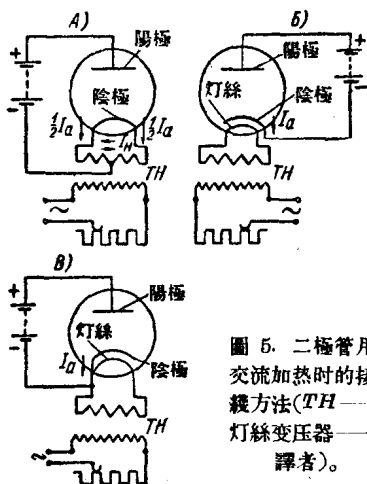


圖 5. 二極管用交流加熱時的接綫方法(TH——灯絲变压器——譯者)。

3. 热陰極电子管的特性与陰極的溫度有很大关系。所以,在研究热陰極电子管时,必須使陰極的加热功率 P_h 的稳定,同时要求能够調整它。为此,灯絲引出綫应和变阻器串联;或者通过分压器和电源相接。灯絲电源电压要比所須要的高些。也可以应用稳定器件,如鎮流电阻器、热变电阻等。这就有可能,在实验过程中,維持灯絲电压不变。

使用热陰極电子管时,不应忘記: 如果加热功率 P_h 以及陽極损耗功率 P_a 超过允許值 $P_{h,ном}$ 和 $P_{a,ном}$, 管子就可能损坏。

在描繪热陰極电子管的特性时,严格地講,所有測量必須在管子溫度不变时进行。事实上,陰極(一般尺寸都不大)的溫度在接通后几乎立刻稳定;陽極也一样,如果它沒有人工冷却裝置的話。所以,試驗热陰極电子管时,实际上,在电流值改变之后 3—5 秒內,进行所有必須的測量是完全可以的。

热陰極电子管被加热物体(在直热式电管子中,为陰極;在間

热式管子中,为灯絲)是由溫度系数为正数的金屬做成的。所以,与加热功率 P_n 以及相应的溫度 T 增加的同时,被加热物体的电阻 R_n 也增加。

由公式
$$P_n = I_n^2 R_n = \frac{U_n^2}{R_n},$$

得
$$I_n = \sqrt{\frac{P_n}{R_n}}; \quad U_n = \sqrt{P_n R_n}.$$

从上面等式就容易看出:灯絲电压变化时所引起的加热功率的变化(与此同时,也伴随着陰極溫度的变化)比灯絲电流变化时所引起的变化来得大^①。而在某些場合(直热式管子),当陽極电路接通时,也就是在管子工作时,又不能直接量出灯絲电流。这样,实际上我們也就只能依靠伏特表的讀数来檢查加热功率及与此相应的陰極溫度。事实上这种方法也是比較方便的。 U_n 不允許超过額定值 $U_{n,HO.M}$, 这样就可以避免陰極或加热絲损坏的危險^②,

陽極損耗功率可用下式表示:

$$P_a = U_a I_a.$$

热陰極电子管的陽極电流 I_a , 与陽極电压 U_a 和加热功率 P_n 兩者有关。所以, I_a 本身就不能做为檢查功率 P_a 的尺度。每当陽極电压和陽極电流变化时,必須根据上式,將 U_a 和 I_a 兩者相乘算出 P_a 的数值。

当进行热陰極电子管实验时,如果須要过負載,也就是 $P_n > P_{n,HO.M}$ 或者 $P_a > P_{a,HO.M}$, 時間也必須短促:不超过 3—5 分鐘。在此時間內讀下測量仪表的讀数。

① 此处恐怕恰相反,即应为:电流变化时所引起的功率变化,比电压变化时所引起的来得大——譯注。

② 陰極加热方法(U_n 恒定或是 I_n 恒定)对管子使用期限的影响,此地从略。

热电子发射电子管对于电流变化感觉异常灵敏。所以即使是在管子的允许范围内增加阳极电流 I_a ，也必须缓慢。如上所述，被加热物体（阴极或其灯丝）的电阻具有正的温度系数。在灯丝电路接通的瞬间，被加热物体的电阻比在工作状态下小得多。所以，在灯丝电路接通时，有很大的启动电流。为了减少启动电流，最好把灯丝电路接于较低的电压，然后再逐渐增加电压。当灯丝电路用交流供电时，这点就更加重要。这时启动电流值，除了上面因素外，尚与接通时灯丝电压的瞬时值有关。

4. 在把电子管插入底座而接入电路之前，必须仔细研究电极的外部接头。大部的接头都安置在管基上。一般，管基分四脚的、五脚的和八脚的三种，如图 6 所示。

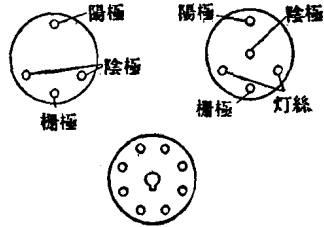


圖 6. 电子管底座。

直热式电子管用四脚管基，间热式——五脚管基。管基各脚间的距离并不相等，这样就固定了电子管插入底座的位置（底座有相应的孔）。

八脚管基目前应用得很广泛。这种型式管基的各脚沿圆周平均分布。为了避免管子错插到底座上，在管座中央有一径向凸出的圆柱脚。在底座上，也有与管座相应的凹下部分。如果电子管用八脚管基，而不需要八个外部引线，则剩下的管脚或者是空的，或者仍旧保留在管基上。

必须注意：对于不同型号的电子管，在相同的管脚上可以接不同的电极。所以，在每一种场合下，必须从电子管参数表或者手册中找出该管的管基图。管基图指出引线在管基的分布情形——应从管基向电子管看，也就是自下向上看。底座上接头的分布，正好是管脚分布的镜像。

在某些場合，除了管基有接头外，在泡子壁的側面或者上部，也有接头。这些接头：一般都屬於接陽極或控制柵極的。

以后將把一些电子管的管脚接綫圖和實驗綫路一起用圖表示出来，以作为例子。

I. 二極管实验

实验目的

1. 二極管(也叫二極整流管)陽極电流与陽極电压 U_a 和灯絲电压 U_n 有关:

$$I_a = f(U_a; U_n).$$

进行二極管实验，須要完成以下几項:

- a) 决定加热特性，验证加热功率的測量方法；
- б) 决定陰極的發射特性，求出發射效率(陰極效率)与灯絲电压的关系；
- в) 描繪陽極特性曲綫族，并求出陽極損耗功率与陽極电压間的关系；
- г) 决定二極管的結構参数；根据陽極特性檢驗“二分之三次方定律”；求出陽極特性曲綫直綫部分中点的斜率；
- д) 求出二極管的內阻和陽極电流的关系；
- е) 測量反向电流；檢驗反向耐压性能。

实验內容

2. 圖 7 表示直热式二極管实验的綫路圖。这里也表示出了單陽極二極管和双陽極二極管的接綫圖，作为例子。如果实验用的二極管是間热式的，則圖 7 的实验綫路須要相应地改变；如果加热絲和陰極沒有电的联系，按圖 4, A 接綫；如果陰極和加热絲有电