

冷阴极电子管

苏联 Г. К. 鲍尔赫瓦尔德特 著

于 闻 译

人民邮电出版社

业余无线电丛书



冷阴极电子管

陈其昌、陈其昌、陈其昌、陈其昌

王 明 著

人民邮电出版社

冷 陰 極 电 子 管

苏联 Г. К. 鮑尔赫瓦尔德特著

于 聞 譯

人 民 郵 電 出 版 社

內 容 提 要

这本小册子是供有一定基礎的无綫电愛好者閱讀，其中討論冷陰極的气体放电管。本書的主要篇幅是敘述輝光放电穩压管和电子式电压調整器。

冷 陰 極 电 子 管

著 者:	苏联 Г. К. 鮑尔赫瓦尔德特
譯 者:	于 聞
審 校 者:	刘 錦 德
出 版 者:	人 民 邮 电 出 版 社 北京东四区 6 条胡同 13 号
印 刷 者:	人 民 邮 电 出 版 社 南 京 印 刷 厂 南京太平路戶部街 15 号
發 行 者:	新 華 書 店

書号无96 1956年12月南京第一版第一次印刷 1—6,770 册

787×1092 1/32 34頁 印張 $2\frac{1}{8}$ 印刷字数 44,000 字 定价 (9)0.26 元

★北京市書刊出版業營業許可証出字第〇四八号★

統一書号: 15045

Г. К. БОРХВАРДТ
ЛАМПА
С ХОЛОДНЫМ КАТОДОМ
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ 1953

目 錄

1. 緒論	(1)
2. 放电	(4)
3. 冷陰極管的性能	(17)
4. 穩压管	(19)
5. 电子式电压調整器 (电子式穩压器)	(30)
6. 冷陰極管發生器	(42)
7. 冷陰極三極管	(47)
8. 其他形式的冷陰極管	(51)
9. 光电管	(60)

緒 論

所有現代的灯几乎都是电灯。电确实是創造光效应的富源。而电本身的秘密，在很大的程度上也正是依靠光和光效应的存在，由于一般人（特別是学者們）对光的响往才被認識的。

發光的朽木、沼池上雜散的微光、活着的螢火虫、腐肉和腐魚特有的發光——所有这些神奇古怪的自然現象，自古以來就引起了人类的兴趣。認識这些現象的秘密，使其效劳于人民，給人民以有效的人工光源——这就是学者給自己提出的任务。卓越的俄罗斯学者、俄罗斯电工学的創始人、謙遜的劳动者和有成就的教授華西里·符拉季米罗維奇·彼德罗夫（1761——1834年）給自己提出了这样的任务：不要單純地觀察，而是要將所觀察的現象变成人类知識的源泉。

C·H·瓦維洛夫院士在“B·B·彼德罗夫院士”一書的序言中寫道：「直到十九世紀中叶，在俄國物理學歷史中，B·B·彼德罗夫不僅在年代上而且在作用上都是直接承繼着 M·B·罗蒙諾索夫的。这位卓越的学者、俄國物理学及物理学教学的組織者的名子与事業，应被每一个苏联的物理学家和技术人員所牢記着的。」

B·B·彼德罗夫自从十八世紀九十年代起，就开始了有关發光方面的研究工作，同时觀察了腐朽植物發光的現象。他的著作「关于植物界的磷光体与关于腐朽木材發光的真正原因」以

及其后对「礦物質磷光体」發光原因的研究，証明学者对于發光現象有着濃厚的兴趣和進行实验的坚忍不拔的精神。

B·B·彼德罗夫对人类的巨大功績，在于他發現了电弧(1802年)。B·B·彼德罗夫在試圖將当时已發現了的有趣味的物理現象——电流現象予以实际应用时，首先創造了強力的原电池。

在B·B·彼德罗夫以前，有关电池的實驗都帶有純粹物理的性質。由于对研究光現象的爱好，使这位学者注意到了，在其他条件下不能观察到的效应，即金屬導綫在通过电流时就会發紅的現象。B·B·彼德罗夫在熔解金屬以还原金屬氧化物时，組成一个接有木炭的电路，这时就得到了光的效应。B·B·彼德罗夫在他的一篇論文中寫道：「若把導綫从強力的电池接到碳上，并將碳接近，則在碳之間就会發生非常明亮的白光或火焰，因此碳就迅速地或緩慢地燃燒，因而暗黑的房間可被它照得很亮」。

由于B·B·彼德罗夫所生活和工作的条件，盲目崇拜外國的皇家科学院的因循守旧和对这位学者的工作發展的蓄意阻撓，使得这位卓越的研究家不能在生前將如此重要的發明运用到实际中去。只有在偉大的十月社会主义革命之后，才实现了这位卓越的俄罗斯学者的希望，这就是他曾經寫过的：「我希望進步与公正的物理学家，至少在某一个时候会同意給我的劳动以正确的評價，而我的劳动的重要性是不会辜負于这个評價的」。現在我們親眼看到了，电弧和其他各种放电已在技术上得到了广泛的应用。

十九世紀大批俄罗斯电工学家，都曾从事过把电流应用在

照明和其他目的方面的研究。*П·Н·雅布洛奇科夫* (1847—1894年) 曾把电弧应用于强力照明灯方面。*A·H·洛德金* (1847—1923年) 在1873年創造了世界上第一盞白熾灯。*H·H·彼納尔达斯* (1842—1905年) 应用电弧來銲接金屬。*H·Г·斯拉佛亞諾夫* (1854—1897年) 曾提出金屬电鑄的方法，并采用金屬电极來代替碳电极，因而發展了由彼納尔达斯提出的电銲方法。

在發明电弧以后大約又經過了一世紀，卓越的俄罗斯学者亞歷山大·斯捷潘諾維奇·波波夫 (1859—1906年) 把絕妙的远距离通信工具——無線电献給了世界。

在第一架無線电發射机中也应用了放电，但这不是电弧放电而是火花放电，并且这不是用來制造人工光源，也不是用來銲接金屬，而是用來產生高频电流。这样，由于世界上最优秀的俄罗斯电工学家的劳动，放电越來越广泛地为人民的利益而在实际方面应用了。这样，学者*B·B·彼德罗夫*的理想終於成为事实了。

二十世紀初期的特征是，电工技术的蓬勃發展，而由于無線电的發明，放电的研究就有着特別的意义。对于电流流过真空，流过不同气体和气体混合物的研究，獲得了輝煌的成就。于是气体放电管出現了。

在称为离子管的气体放电管的創制和实用方面，*A·A·切尔耐舍夫*院士、*B·П·伏洛格金*教授、*M·A·鮑奇*——布魯也維奇教授和其他苏联学者們，作了很多并且很有成效的工作。

在各种类型的气体放电管（离子管）中，冷电极气体放电管是特別令人感到兴趣的，这种管子被称为冷放电管或輝光放

电管。这种管子在管泡的外形和構造方面，在很多地方都类似于无綫电电子管。但这种管子的电極構造与电子管（无綫电电子管）的电極構造有着很大的差別。如所周知，在无綫电电子管中，一个电極（陰極）是由外部电源的电流來加热的。这是为了使自由电子从燒热了的、一般是很細的金屬陰極絲上發射出來。在輝光放电离子管中，沒有一个电極是加热的，但其中却有电子存在，而且在一定条件下發生放电。这种与热陰極电子管不同的管子，可以称作冷陰極管。

屬於冷陰極管的不僅有輝光放电管，而且还有弧光放电管（在金屬蒸汽中發生冷弧光），以及某些不充气的管子（光电管）。

以下將討論冷陰極管中的物理現象、此种管子的性能以及其中某些管子在电路中的实际应用。

放 电

电流流过導电体的現象称为放电。为了要人为地建立这种放电，必需要有儲存电能的电源和導电体。当把導电体接到电源上时，电就流过導电体。

电容器是一种典型的蓄电器，即是一种能够儲存电的裝置。被电的絕緣体分隔开的兩塊平行金屬板（电容器），能够充以若干数量的电（充电的方法暫不敘述）。

已充电的电容器的性能可簡述如下。已充电的电容器的兩塊板上，有着符号相反的电荷（圖1）。因为电荷的物理性能

是符号相反的电荷互相吸引，故在电容器板间的空间中，有电力存在。有电力存在的空间叫做电场。电容器板上的电荷愈多，板间的电场就愈强，即此场储存的位能就愈高。

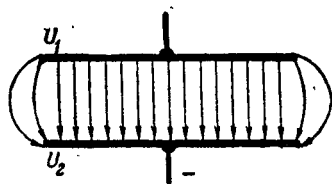


圖 1. 平板狀电容器中電場的力綫

和所有其他的場一樣，電場也能作功。電容器電場作功（移動電荷）的能力完全由兩塊板的電位差來決定。取 U_1 為電容器一板的電位，而 U_2 為另一板的電位，則電位差（或電源電壓）可用 $U_1 - U_2$ 來表示。因為用兩個數值計算出來的電位差本身可以用某一數值表示出來，故它常常用 U 來代表。例如，若電容器的一塊板接地，則它的電位為 $U_2 = 0$ （設地的電位等於零），而另一塊板充電到 $U_1 = 200$ 伏，則 $U_1 - U_2 = 200 - 0 = 200$ 伏。

現在如果把導電體接到已充電的電容器上，如圖 2 所示，

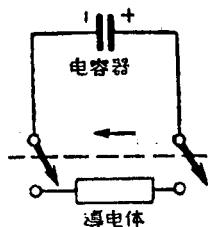


圖 2. 電容器向導電體
放電

則電容器就進行放電，也就是導電體中有電流通過。通常認為，在外部電路中，電流是從電源的較高電位流向較低電位，如圖 2 中的箭頭所示。

那麼導電體究竟是什麼呢，它的性質如何呢？要知道放電的種類正是由導電體的性質來決定的，因此對我們來說，確定其特性是十分重要的。

最廣泛地用作為導電體的是金屬導電體。這種導電體的特徵在於當電流通過時，它能穩定地保持本身的電特性。雖然這

种材料在电流的作用下，其导电率的数值有一些变化（随温度的上升其导电率变坏），但这个变化是不重要的，因为导电体的质量不起什么根本的变化。变化本身也进行得比较缓慢，而有很大的惰性。

其实气体也可用作导电体。但在这时可看到非常有兴趣和有意义的现象，以至于每个现象都需要单独地叙述和研究，同时每个现象在实际上都有着完全独立的应用。

用强电池通过不大的空气隙来放电，比其他放电实现得较早。这种放电就是所谓电弧放电，它是在1802年由B·B·彼德罗夫发现的。另一类型通过空气隙的放电是火花放电，它是在一个小功率电源的两个电极间有相当大的电位差的情况下发生的。充气管有着特殊的地位，它常被称为气体放电管，但如果把它称为经过稀薄气体而放电的管子则比较更确切一些。

与在电工中广泛应用的导电体不同，稀薄气体的导电率在某些条件下是变化得很大。稀薄气体导电率的变化速度是那样的大，以致在实际上常常可以认为是突然的。

当电流流过充电管时，究竟产生怎样的物理过程呢？为了产生这个物理现象需要有什么样的条件呢？

设想一个装有两片金属（或碳质）电极的玻璃泡，先从这个泡子中抽出空气，抽到稀薄程度等于0.000001公厘水银柱为止（例如在电子管中就是抽到这样的程度）。在抽出空气以后，再往管泡里注入少量的气体（氩、氖、氩及其他）。在实际情况下，管泡的充气要使气体的密度约为0.001—100公厘水银柱。这样就成了一个简单的气体放电管。

如果將电源（已充电的電容器或電池）接到氣體放電管 $\mathcal{A}$ 的電極 1 和 2 上，如圖 3 所示，那麼就會發生各種的物理過程。

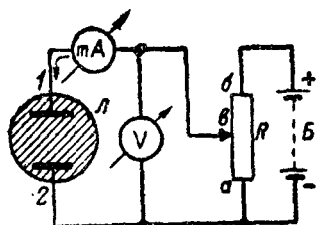


圖 3. 氣體放電管接線圖

對於电源（電池） B 來說，氣體放電管 $\mathcal{A}$ 和接線都是外部電路，如果管子是導電的，那麼就有電流通過這個管子，其方向則如圖 3 中箭頭所示。事實上，當管子的兩個電極間有某一電位差時，即在某一必需的電池電壓之下，電極間的氣體隙就會劇烈地改變其性質，而變成很好的導電體。這個電位差（電池電壓）的數值，在本質上決定於電極間氣體稀薄的程度和其間的距離的。

氣體放電管從非導電體轉變為良導電體的現象，與管中放電的點火有關。發生點火的電壓稱為點火電壓 U_0 。這個名稱與其說是反映通過氣體而放電的實質，不如說是與放電同時發生的外表的光效應。事實上，氣體隙在變為導電體（發生放電）時，就被該氣體所特有的光彩所照亮。這時管子發光，即點上火了。

在裝有稀薄氣體的管子中，冷電極中間所觀察到的物理過程，稱為冷放電。那麼管子中所發生的過程的實質究竟是什麼呢？

如所周知，任何氣體都是由許多運動着的分子所組成的，1 立方公分中運動着的分子的數量決定着氣體的密度。分子對盛放氣體的容器的器壁的撞擊，產生了氣體對器壁上的壓力。

容器中气体压力的大小，是由气体單位体积中分子的数量，以及分子运动的速度來决定。

气体分子在电气上是中性的。因为分子中任意一个原子核的正电荷都被沿原子核外圍軌道上运动着的电子的負电荷所平衡。但在某些条件下，气体分子可能成为正的或負的离子。若从原子軌道（一般是外边的軌道）上打出一个或几个电子，原子就成为正离子。若原子在某一个穩定的軌道上得到另外的电子，它就成为負离子。自由运动的电子（其中一小部分是由宇宙綫的作用而不断地形成的）有着足够的能量，当它們和分子撞击时，就可以从原子的外边軌道上打出电子，而使这个分子（原子）变成离子。因此在装在管泡中的大量气体原子中，自由运动电子的数量也就在增加着。

圖 3 示气体放电管的接綫圖，管中电極上的电压可以均匀地变化。現在來考察一下，如果把电位器 R 的滑鍵从 a 点移到 b 点，在气体放电管中將會發生什么現象。

在管泡內部，也就是在兩個电極中間，有稀薄气体存在。气体的分子在运动着，自由电子以不定的方向移动着。当我们把电位器的滑鍵从 a 点向上移动，就可在电極 1 和 2 間形成一个电位差，从而在电極間產生一个电场，这电场就能够作移动电荷的功。因为在場中存在的电子具有負电荷，故它們將向充正电的电極 1 移动。在場的作用下运动着的电子的速度，因而电子的能量，是随着电極間电压的增加而增加。在場的作用下向一定方向运动的电子，在运动的路徑上与分子相遇，它們与分子撞击后，便略为改变自身的方向，然后再与分子相遇，再

撞击，而按發生撞击时的角度和电子能量的大小，又略为改变其运动的方向。但是总的說來，电子总是保持着向正电極移动的方向。作用于电子的場愈弱，即此場的强度愈小，以及电子在运动的路徑上与气体分子相遇的机会愈多，則电子在电極間就愈难以移动。

現在我們若繼續平滑地移动电位器的滑鍵，以增加管子电極間的电位差，則最后（在綫路圖的B点）在某一电位差时，电場强度將达到那样大的数值，以致电子与气体分子相遇时，会从原子軌道上打出电子，而使原子变为离子。从原子打出的电子也將被电場吸引，因而它們本身在运动路綫上也將撞击原子而打出电子。这个过程很快的進展，电極間的气体隙实际上在一瞬間就变成很好的導电体。但是所敘述的过程还不能完全决定冷放电或輝光放电，而只是說明在管子中放电的閃光过程。其实，为了在管子中持久地維持冷放电，尚需創造附加的条件。

事实上，在初始的电子与气体原子撞击之下所形成的电子和离子，也就是气体的电离，使得管子电極間的空間中出現大量負的和正的电荷，就是电子与离子。

电子与离子的电荷是相等的，只是符号相反（原子失去电子而成为正离子）。但离子的質量比电子的質量大数千倍。因此，电場自然地会使較輕的电子的移动速度比較重的离子的大得多。这时，电子向电極1（陽極）移动，而离子緩慢地向电極2（陰極）的方向轉移。

为了保持电流从陽極向陰極的方向流过管子，應該連續不

斷地產生電子，並且其形成的速度應該等於電子被陽極吸引的速度。另一方面，在管子中不應有固定的帶正電的原子（離子）的聚集現象。離子形成的速度應該與复合速度相平衡，即與它們在陰極上變為中性原子的速度相平衡。

輝光放电或冷放电是靠它自己獨立維持的氣體放电（自持放电）的一種，其維持放电的方法如下。

在電極間的空間中，特別是在陰極附近，聚集着大量的正離子，它們在這空間中造成體積相當大而有厚度及密度的正電荷，其數量大約等於陽極電荷，這也就是說靠近陰極之點和陽極之間電位差是非常小的。靠近陰極之點和陰極本身之間的電位差是相當大的，並且在實際上是等於陽極上的電壓。在靠近陰極而離它距離為 OX （圖 4, a）的那些帶正電荷的離子，受到陰極電荷強力的吸引作用，因而就很快地被驅散，有力地撞擊陰極。陰極金屬在離子的撞擊作用下發射出自由電子，這些電子飛向陽極，而在它們的路程上使所遇到的氣體分子電離。鄰近的離子佔據從 X 點走開了的離子的位置。它們到達 X 點後，就很快地跑向陰極，而鄰近的離子又重新佔據它們的位置，等等。

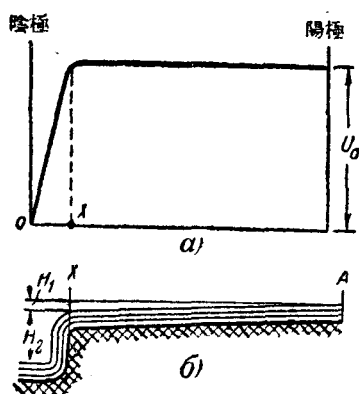


圖 4. 在輝光放电（冷放电）的情況下，放电空間中電場電位分佈(a)及其近似的比擬(b)

前面所敘述的过程在某种程度上，与河流中水流动的过程有些相似的地方，即这个河流河床的傾斜一直不太大，但后来高度急剧地变了（圖 4, 6）。水的質点緩慢地向 X 点移动（A 点和 X 点的高度差 H_1 是很小的），然后急速地从懸崖上掉下去，于是失去了相当的高度差 H_2 而撞击着懸崖的底部，同时产生了与質点的位能成比例的相当大的机械功。

离子与金屬接触时，就恢复它所失掉的电子而变成中性原子或者分子。这样，就不会产生正电荷聚集的现象，于是放电就依靠离子从陰極打出来的电子来持久地维持下去。

冷放电（輝光放电）的物理现象是由下面所敘述的極重要的特征所决定的。其实，前面所敘述的管中的自持放电，不是在管子点火时的那个电压（电位）下进行的，而是在較小的电压下进行的。管子在点火时的導电体和在正常地进行放电的条件下的導电体，在本質上是不同的，并且因为一种導电体变为另一种導电体而使一种状态变为另一种状态，在实际上是在瞬时之間产生的，如圖 5 所示那样。

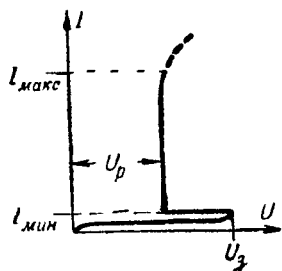


圖 5. 在放电点火和輝光放电的情况下的管子的伏特——安培特性

产生正常冷放电的电压 U_p ，也就是在气体放电管導电体上的电压降，称为正常的陰極电位降。

气体放电管的特殊而卓越的性能是：在輝光放电时，它能够流通不同大小的电流而不变动管子上电压降的大小。

为了保証冷陰極管的正常工作状态，也就是將陽極电位从点火时的电压值 U_i 降到点火以后的 U_p 值，需要把冷陰極管接在有附加电阻的电路里。事实上，設管子在 $U_i=80$ 伏的电压下点火，而在放电时其正常电压降为 $U_p=50$ 伏。这时在点火之后，多余的电压就等于 $U_i-U_p=80-50=30$ 伏。

設所給予管子的最大容許电流为 $I_{max}=40$ 毫安。那么为了保証管子中正常的过程，究竟需要接入多大的附加电阻 R_0 呢？因为，在电流不大于40毫安下，附加的电阻上需要有30伏的电压降，則 $R_0 \geq 30/0.04=750$ 欧。

那么究竟为什么不能使比 I_{min} 小，和比 I_{max} 大的电流流过管子呢（这些数据都在管子的說明書中列出的）？

事实上，若电流比 I_{min} 小时，在管子中形成的离子就会不够，在离子撞击陰極的作用下电子的形成就会不穩定并且管子將工作得不正常。当过多地减少电流时，管子就会熄滅。

如果在从 I_{min} 到 I_{max} 的范围之内增加流过管子的电流，則并不会引起管子中电压降的增加，这是因为离子撞击陰極的强度并不增加（此强度与陰極上的离子电流的密度相对应）所以这样是因为离子体电荷的厚度与密度并未增加，而只是增加离子体电荷区域在与陰極表面平行方向的平面的長度与寬度，撞击陰極的离子总数以及相当的發射电子的面積。

如果流过管子的电流增加到这样的程度，以致离子的撞击已分佈在陰極的全部面積上（离子正体电荷包围整个陰極），則要繼續增加陰極的电子發射，只有依靠增加离子撞击的强度。增加离子撞击的强度就要求管子電極上的电位差要大，也就是