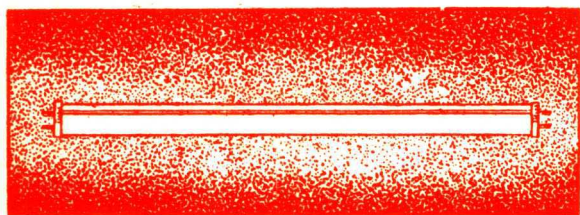


物理基本知识

日光灯和霓虹灯

吳祖堉



科学普及出版社

日光灯和霓虹灯

吳祖堃

科学普及出版社

1958年·北京

本書提要

日光灯和霓虹灯，都是荧光灯的一种。因为它能發出各种顏色的光，而且有發光效率高，不刺眼，寿命長的許多优点，所以在工厂、矿井、飞机、火車上已經普遍使用了。在办公室、家庭和街道中，也有用它来照明的。

現在全世界每年出产的荧光灯不下2万万支。我国随着社会主义建設的进展，荧光灯的使用也日漸广泛。

作者根据他設計、制作荧光灯的經驗，把荧光灯的構造、發光原理和它的优缺点，都敘述得很詳細，适合初中文化水平以上的电業干部、工人和学生閱讀。

总号：641

日光灯和霓虹灯

著 者：吳 祖 壇

出版者：科学普及出版社

(北京市西直門外郡家牌)

北京市書刊出版業營業許可証出字第091号

發行者：新 华 書 店

印刷者：北 京 市 印 刷 一 厂

(北京市西便門南大街乙1号)

开本：787 × 1092 1/32

印張：15

1958年5月第1版

字数：14,500

1958年5月第1次印刷

印数：5,620

統一書号：13051·74

定 价：(9)1角2分

目 次

热光和冷光.....	1
气体的导电和放光.....	5
固体發光.....	8
日光灯的原理和構造.....	10
霓虹灯的原理和構造.....	13
荧光灯的特性和优缺点.....	15
荧光灯的应用及其發展.....	22

日光灯和霓虹灯虽然是大家很熟悉的，但是对它的構造和發光原理，就不見得人人都知道。

“日光灯”是日光色熒光灯的簡称。其实熒光灯不仅可以發出日光色、白色，还可以發出其他各种不同顏色的光，不过日光色的和白色的是最常見的。現在我国制造的日光灯，在 110 伏或 220 伏的电源上就能直接使用，因此，所謂日光灯就是指低电压熒光灯說的。

从前，霓虹灯是氖气灯的俗称，“霓虹”是氖的譯音。它的灯管的長度可以随意，所以可以做成各种文字或圖形的样式，一般是作广告灯或标灯用，它必須在高电压下才能發光。这种灯管只能發出單調的紅色光；后来才有充水銀和氬气而發藍色光和充氦气能發黃色光的灯，人們就把它們也都叫霓虹灯了。

自从熒光粉(固体發光物質)的种类被不断地發現和应用以后，高电压熒光灯能發出五光十色各样的色光，原来的霓虹灯几乎都被淘汰了。現在一般人所指的霓虹灯，其实就是高电压的熒光灯。从構造上來說，高电压熒光灯除在灯管上塗有發光物質外，其他与原来的霓虹灯并無区别，可以說是完全一样的。

因为熒光灯能發出各色的光，所以現在一般人所指的日光灯和霓虹灯，其实都是熒光灯的一种，不过电压高低不同罢了。

在这里我想談一談發光的基 本原理，然后再 把它們的構造，应用和最近的發展情况扼要的說一說。

热光和冷光

根据現代科学的研究結果，光和紫外綫、紅內綫、無綫电波一样，都是电磁波，而且也都是从一些物体中輻射出来的，

因此也都叫做輻射能，只是光是一種能夠為眼睛所感覺的輻射能而已。要能產生視覺，不但要有一定大小的輻射能，而且輻射的波長要在一定的範圍內才行。輻射能波長的範圍是很廣的，可以從 10^{-13} 厘米的宇宙綫中的 γ 綫一直到 10^9 厘米的無線電波；而能為人眼所覺察到的可見光，波長只有從 $3,800-7,600\text{\AA}$ ($1\text{\AA}$ 是一億分之一厘米)。我們把短於 $3,800-300\text{\AA}$ 的輻射綫叫做紫外綫，把 $7,600-60,000\text{\AA}$ 的輻射綫叫做紅內綫。紫外綫和紅內綫都是看不見的，但接近於可見光的波長，所以都叫做不可見光。

在 $3,800-7,600\text{\AA}$ (可見光) 的範圍內，人的眼睛對於不同波長的可見光的靈敏度也是不同的。圖 1 是人眼對不同波長靈敏度的曲綫，曲綫的橫座標是波長，以 $\text{\AA}$ 為單位，縱座標是

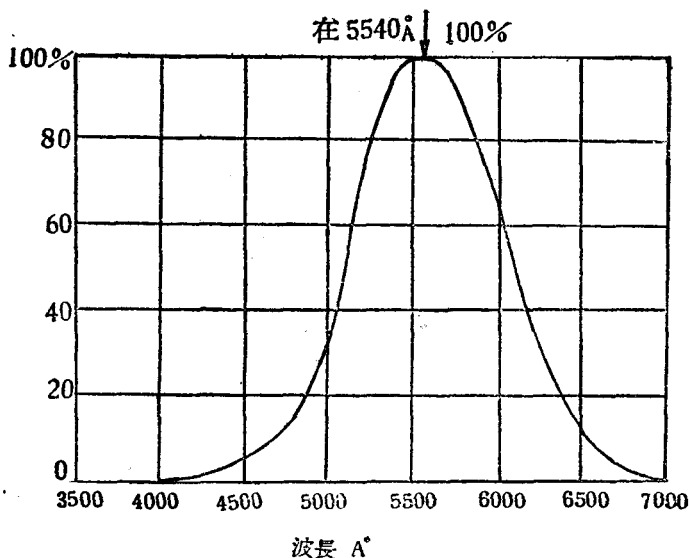


圖 1 眼的靈敏度曲綫。

灵敏度，它是一个相对的数字，即以人眼对 $5,540\text{\AA}$ 的灵敏度为 100% 时，对其他波长的相对灵敏度。从图可知，人眼对 $5,540\text{\AA}$ 的黄绿色光最敏感，长于 $5,540\text{\AA}$ 的橙色、红色光和短于 $5,540\text{\AA}$ 的青蓝色光的灵敏度就逐渐降低而至于零。人的眼睛对于辐射能量愈大的光感觉也愈大。因此总的来说辐射能对人眼所产生的感觉是人眼对它的灵敏度和辐射能量（严格地说，是辐射的功率）的乘积成正比。譬如一个钨丝灯，它的能量分布曲线如图 2 所示：曲线的横座标表示光波的波长，以 $\text{\AA}$ 做单位；纵轴

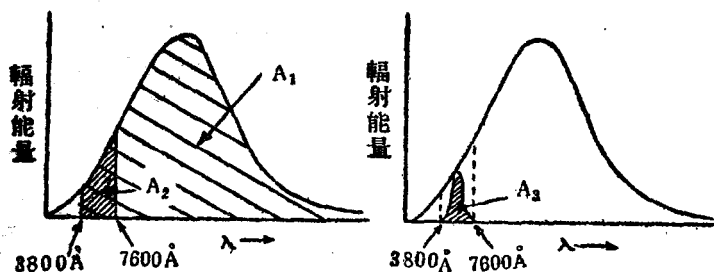


圖 2 鎢絲的發光效率。

表示在波长间隔如 $1\text{\AA}$ 的范围内每秒鐘每平方厘米的表面上所放出的相对的能量。在图中辐射的总能量是以 A_1 面积来表示的。在可见光范围内的能量是以 A_2 来表示的，对人眼产生光的感覺来说，我們还必须將能量分布曲线，乘以相对应的波长的灵敏度，其結果，才是人眼对光的总的感覺，正像 A_3 所表示的。以面积 A_1 代表的辐射总能量中，在人的眼睛中引起感覺的只是 A_3 所代表的面积，所以， A_3/A_1 可以表示發光效率。在理論上如 1 瓦的辐射能量若完全集中在 $5,540\text{\AA}$ ，將产生 685 流明的光。換句話說，理論上最大發光效率是 685 流明/瓦。

光的發生可分为二大類：一是白熱光，白熱燈內鎢絲的發

光是典型的例子。它的發光是由于电流通过鎢絲，鎢絲的温度高了，既产生了光，又放出大量的热，所以叫做白热光，也叫温度輻射。这种方式的發光效率是很低的。从圖 2 可知，温度輻射的大部分能量是在紅内光区，所以白热灯的發光效率一般在 10—15 流明/瓦。提高灯絲的温度虽然可以提高白热灯的效率，但这又被鎢絲的熔点($3,655^{\circ}\text{K}$)所限制，即便鎢絲达到了熔点，它的發光效率也只有 51 流明/瓦，距理論上最大發光效率还相差很远。假使我們能找到比鎢絲更耐熔的材料，發光效率虽能提高些，但不能無限制地增加。因为白热体的温度要增高，就必须增加輸入的功率；而且能量分布曲綫的峰值逐漸移向不可見的紫外光区（如圖 3 所示），因而可見部分的能量仍是很有限的。由此可知白热光的發光效率是有一个極限的，这个極限是 85 流明/瓦，相应的白热体的温度是 $6,500^{\circ}\text{K}$ 。

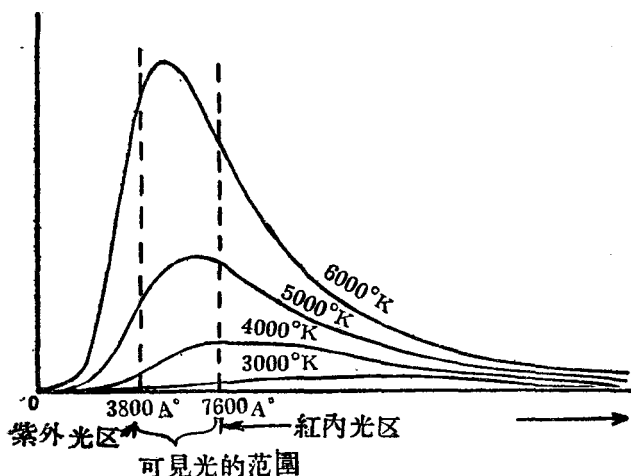


圖 3 輻射体温度的增加与能量分布曲綫峰值的关系。

另一种發光現象就是冷光。冷光是相对热光來說的。严格

地說，冷光是指一种輻射能，它的能量完全分布在可見光区域内，沒有紅內光和紫外光的成分。实际上这种冷光是沒有的，一般所謂冷光，是指非温度輻射來說的。在照明工程上，常用的和正在發展的冷光有气体發光和固体發光二类。气体發光是由于气体的原子被电子或激發了的原子碰撞而發生的；属于这一类的有水銀灯、鈉汽灯、氖气灯……等。固体發光是指固体的發光物質被各种不同能量激發而發光的。譬如 $2,937\text{\AA}$ 或 $3,650\text{\AA}$ 的紫外光去激發發光物質使它發光，这叫做光致發光，熒光灯就是一个例子；又如 α 或 β 質点也可以激發發光物質使它發光，像原子能灯泡就是例子，这种發光叫做离子或 β 綫發光；又如發光物質处于交变的电場中也能發光，这叫做場致發光，电容器灯泡就是这样發光的。

日光灯和霓虹灯就利用了气体导电發光和固体發光的道理。因此我們有必要来講明气体导电和固体發光的現象。

气体的导电和放光

气体放电管是一根抽空的玻管，再充以所需的气体；在兩端有二个电极，一个是陽極，一个是陰極，陰極是發射电子用的。發射电子有各种不同的方法，通常是由加热产生的，也有在电場的影响下产生的，也有借电子或离子的撞击而产生的。

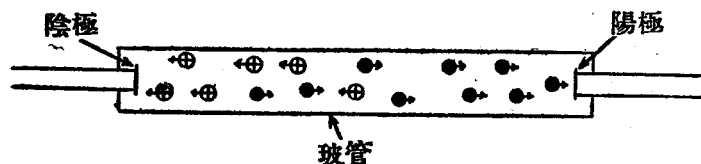


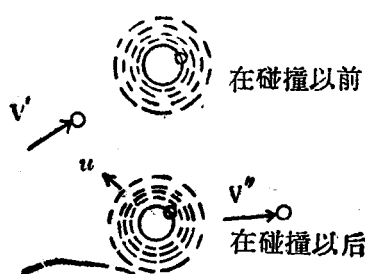
圖 4 气体导电：

⊕表示陽离子；●表示电子。

当电子射出以后，它就要受到陽極的吸引，而向陽極移动，它

在電場中逐漸獲得較大的功能，在奔向陽極的過程中，它將跟管內不帶電的氣體原子撞擊，撞擊以後可能產生三種情況：

(1) 電子從原子撞了回來，原子除速度改變外沒起別的变化，像兩個大小不同的彈子相互碰撞一樣。這正像圖 5a 所示，



v' 表示碰撞以前電子的速度， v'' 是電子碰撞以後的速度， u 是原子碰撞後的速度。

(2) 電子的碰撞相當劇烈時，使得原子外層的电子從原來的軌道躍遷到其他的軌道上去。在這裡要說明的，圍繞原子核轉動的許多电子，分布在

距核遠近不同的幾層軌道上，所謂外層的电子，是指距核最遠的一層軌道上的电子。這個外層的电子，雖然改變了它的軌道或位置，但基本上沒有離開這原子，這個原子就處於“激發狀態”(如圖 5b 所示)。激發狀態不止一種，而有無窮種。當這电子回復到正常的位置或次激發的狀態時，就要輻射出能量，紅內光、可見光或紫外光都有可能。

(3) 電子的碰撞非常劇烈時，可以使外層的电子完全脫離了原子，使這個原子處於游離的狀態而帶了陽電，這個原子也叫做離子(如圖 5c 所示)。這個帶陽電的離子是向陰極移動的。



圖 5b 原子的外層电子從正常的軌道躍遷到別的軌道。



圖 5c 原子離化，外層电子以 w 的速度離開原子。

這樣，在氣體放電管內就有了向陽極移動的帶陰電的电子

和向陰極移动的帶陽電的离子。圖 4 就表示了這兩種帶電質點移动的情况，这种帶電質点的移动就形成了电流，也就形成了气体导电現象。在圖內注明一个陰極和一个陽極，这表示是用直流电源，假使用了交流电源，情形还是相仿的，不过这二个電極輪流地成为陽極和陰極。

在气体放电管內除了电子和离子以外，还有被激發的和未被激發的原子。被激發了的电子，它外層的电子已經从正常的軌道躍迁到別的軌道上去。假使在放电管內有着水銀的原子，那末这些被激發的水銀原子，当它外層电子从各种激發状态过渡到次激發状态或正常状态（也叫基态）时，就發射出各种水銀原子所特有的波長：在紫外光区域有 $1,850\text{\AA}$ 、 $2,537\text{\AA}$ 和 $3,650\text{\AA}$ ，在低气压放电管中 $2,537\text{\AA}$ 的紫外光最强；在可見光区有 $4,358\text{\AA}$ 、 $5,461\text{\AA}$ 和 $5,791\text{\AA}$ 等波長。要說明各种能級的躍迁或过渡，最好用能級圖的帮助。所謂能級圖就是一个被激發后的原子，它的外層电子所处的各个可能的能級，每一个能級都是跟外層电子所处的

不同的軌道相对应的。在圖 6 中，外層电子最低的能級相当于水銀原子正常的状态，也叫基态。各能級間的距离是以伏来表示的（严格地說，應該叫电子伏）。最高的能級就表示水銀的游离电压，在圖

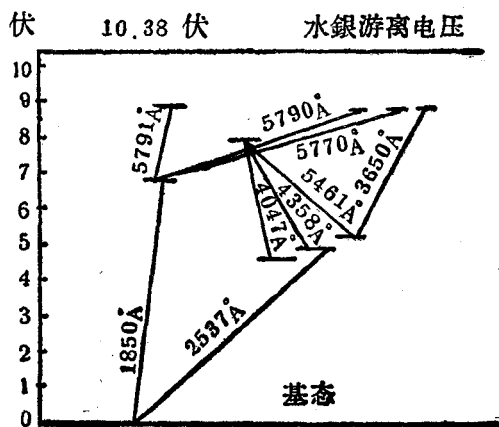


圖 6 簡化了的汞原子能級圖。

中为 10.38 伏。各个能級是以横綫来表示的，从最低的激發状态过渡到基态就發射出 $2,537\text{\AA}$ 的紫外光。在圖中由各能級間的过渡而發射出的可見光或紫外光的波長，就标志在过渡的直綫上。

固体發光

当紫外光去激發熒光粉时，正和电子去激發原子一样，当熒光粉吸收了紫外光以后，就会發射出比紫外光波長更長的光，这就是熒光和磷光的現象。不过在日光灯內發光物質不同于气体的發光，它是結晶的無机化合物，而且在晶体中含有附加的雜質。晶体本身叫做基質，附加的雜質叫做激活剂。譬如在日光灯內常用的熒光粉是鹵磷酸鈣，它的分子式为 $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{FCl})_2 : \text{Sb} : \text{Mn}$ 。鹵磷酸鈣本身 $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{FCl})_2$ 叫做基質，而銻 Sb 和錳 Mn 叫做激活剂。因为它是固体，在同一單位体积內的原子的数量，要比在气体中大得多。換句話說在固体內原子間的距离是很短的，因此原子間相互的影响是很大的，这样在固体中就沒有像气体中那样單一的能級，而有無數个能級，这些能級構成了能帶。

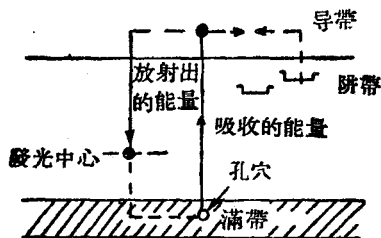


圖 7 固体發光的能帶。

在正常状态下，熒光粉晶体內的各电子处于各种不同的能态，可以低能帶來表示。因为这能帶的無數的能級是由所有的电子所占据的，所以也叫做滿帶。当滿帶中的电子被激發就上升到高

能帶中。落入高能帶的电子很容易沿整个晶体格子移动，这和导体中的自由电子相仿，所以这个高能帶也叫做導帶。在滿帶中

由于电子的躍迁，就留下了帶正电的孔穴，又可以从發光中心捕获一个电子，而这个發光中心又可以从导电能得一个电子。当电子从导帶过渡到發光中心的时候，就發出光来。所謂發光中心是由于激活剂存在而造成的，要是沒有激活剂也就沒有發光中心了，因此純粹的發光物質是不能發光的。电子和發光中心复合而發光的現象就叫做熒光現象。在导帶下面还有局部的能級叫做阱帶，这是由于發光物質晶体不完整而造成的。从滿帶躍迁到导帶的电子可能掉入到阱帶，再由于热震动的原因，这个电子可以重新被釋放出来而到达导帶，再由导帶过渡到發光中心。这样在激發的能量消失以后，过了一个时候，發光物質繼續会發光，这就是磷光現象。磷光的强度是随着激發能量消失以后的時間增長而衰落的，衰落的快慢隨各种不同的物質而異。熒光和磷光的过程可以从圖 7 得知。

在熒光灯內常用的發光物質俗称熒光粉。虽然在自然界中和人造的熒光粉已近 1 万种，但在熒光灯內常用的只不过一、二十种。熒光灯內塗上不同的熒光粉，就可發出不同的彩色光。下表是常用的几种熒光粉的特性：

表 1 常用的几种熒光粉的特性

熒 光 粉	發光顏色	發射最强的波長	發光效率 (流明/瓦)
鎢酸鎂 $MgWO_4$	青 白	4,800Å	30
鎢酸鈣 $CaWO_4$	青 藍	4,400Å	15
矽酸鋅 $Zn_2SiO_4:Mn$	綠	5,250Å	60—75
矽酸鋅鈹 $(ZnBe)_2SiO_4:Mn$	黃 白	5,950Å	40—60
硼酸鎘 $Cd_2B_2O_5:Mn$	淡 紅	6,150Å	25
鹵磷酸鈣 $3Ca_3(PO_4)_2 \cdot Ca (FCl)_2:Sb:Mn$	白	4,800Å 5,800Å	65

在二次世界大战前后，日光灯內常把發青白色光的鎢酸

鎂、發黃白色光或橙紅色光的矽酸鋅鈹和發紅色光的硼酸鎘按着不同的比例混合起來，就能發出白色光。但是矽酸鋅鈹的成本較高，而且有一個嚴重的缺點，在製造過程中一旦有少量的鈹被吸入內臟，就很難排出體外，日積月累，就形成嚴重的鈹中毒病，現在還無法醫治。幾年來蘇聯、英、美、匈牙利、荷蘭等國都已改用了無毒的鹵磷酸鈣熒光粉；用了這種熒光粉，不一定需要和它的熒光粉配合，就能發出白色光。

日光燈的原理和構造

日光燈的發光經過兩個步驟：首先是在水銀汽中放電，水銀分子就發出 $2,537\text{\AA}$ 紫外綫，然後再用這種紫外綫去激發燃管內壁的熒光粉，就發出可見光。

日光燈的外形是一根玻璃管，在管內有氬氣和水銀，在管的內壁塗有熒光粉。在燈管的兩端有二根燈絲，燈絲是用鎢絲繞成兩重彈簧的形式，這在燈泡製造工業中叫做疊簧絲。在這二個燈絲上塗着能夠發射電子的物質，如氧化鋇、氧化鋁和氧化鈣等。下面就是這種燈絲的照片，這種燈絲經過電加熱以後就會發射電子。在燈絲的兩側有兩個陽極，它是接受一部分電



圖 8 熒光燈燈絲。

流用的，這樣可以使一部分的電流不流經陰極，以免陰極溫度過高，引起

氧化物的蒸發。圖 9 是常用的一種日光燈的構造。管內充了氬氣有兩個作用。一為幫助燈管啓點；一為延長燈管的壽命。因為氬氣的壓力高，燈絲不容易蒸發，燈的壽命就長，但這樣就不易啓點。如果氬氣壓力低了，燈管容易啓點，但壽命就短了。因此氬氣的壓力要有一個恰當的數值，一般為 3.5 毫米水

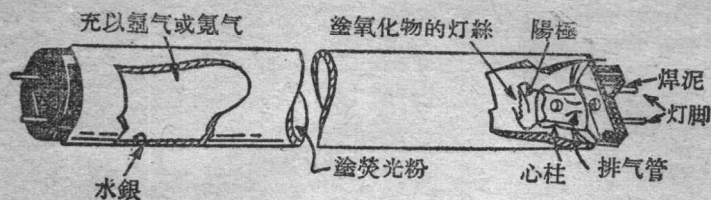


圖 9 熱陰極日光燈的構造。

銀柱的壓力。當燈管啓點以後，水銀就逐漸汽化，水銀的原子比氬氣的原子更容易離化和激發；因此到了後來，水銀的原子就代替了氬氣，而發射出 $2537\text{\AA}$ 的紫外光，管內壁的螢光粉就被激發而發光。

現在我們來研究這種燈管的基本線路。這種燈管在 110 伏或 220 伏就能直接使用。在燈管啓點以前，電流的途徑如圖 10 所示。在圖內 L 是鎮流器， S 是自動開關， C 表示陰極。等到燈絲已經熱了而發射電子，自動開關即行斷路，燈管就導電發光。那時電流的途徑如圖 11 所示，如電源的電壓為 220 伏，40 瓦燈管的電壓降為 110 伏左右。

在日光燈的圖 11 的線路里我們見到二個附件。一個是預熱燈絲用的自動開關

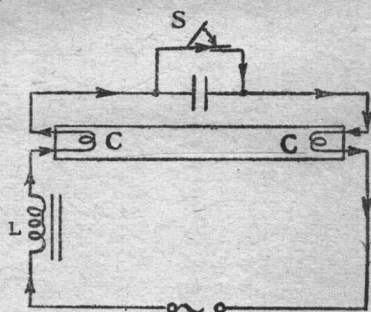


圖 10 燈絲預熱的線路即自動開關合上後的電流情況。

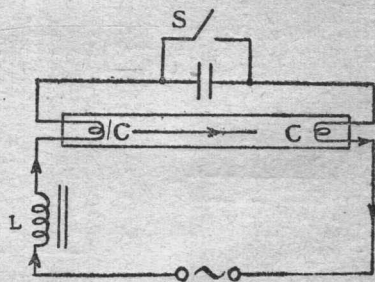


圖 11 自動開關跳開後的電流途徑。

S , 經 2 至 3 秒以后就会自动地把灯絲断路, 使灯管放电發光。預热灯絲, 为的是要使它的温度升高容易發射电子, 这样就使得吸引陰極射出电子的电势降可以减低, 也就是降低了啓点的电压, 啓点电压低就可以使灯絲避免因受离子轟击而損伤。如果灯絲沒有經過适当的預热, 啓点电压就要增高, 灯管的寿命也要縮短。另一个附件是鎮流器 L , 这是一个具有鉄心的綫圈, 它有两个作用: 第一, 它能帮助日光灯啓点, 当自动开关啓跳而断路的时候, 由于綫圈产生的反电压达 400—600 伏, 就会使灯管放电; 第二, 它可以限制灯管的电流, 假使沒有这个綫圈, 灯管的电流在啓点以后, 立刻增加到漫無止境, 以至把灯絲和電極燒毀。这种日光灯的灯絲必須預热, 所以叫做預热式陰極的熒光灯。在国外有瞬息啓火的日光灯, 它用的是热陰極, 这在我国还没有使用。

自动开关有各种型式, 現在把用电子放射和气体放电的一种(輝光开关)談一談。它的構造如圖 12 所示: 在一个小的玻璃壳里有一个垂直的電極或固定的接触点, 还有一个 U 形的

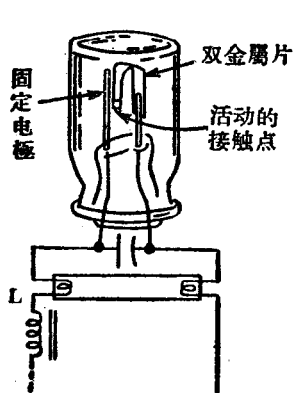


圖 12 輝光开关。

双金屬片或活动的接触点; 玻璃內抽成真空以后充以氖气或氬气, 或者是两种气体的混合物, 充气的种类和压力随开关的設計及断路的电压而不同; 另外还有一个小的电容器和开关并联, 目的在于减少对無綫电的干扰。

輝光开关的兩極各接到日光灯的一端。当綫路上的开关閉路时, 鎮流器內沒有电压降, 所有的电压降几乎完全作用在自动开关的兩極, 这电压

就使 U 形双金屬片和固定的电極間产生了輝光放电。在这个时候，开关本身就像一个平常的輝光灯一样，由放电产生了热量。双金屬片自由行动的一端，受热而向固定的电極移动，形成閉路。这样使灯管兩端的灯絲和鎮流器在电路中串联起来，灯絲就热了。

当自动开关的接触閉路以后，輝光放电即行熄灭，双金屬片就冷却起来，在 1 到 3 秒的时间內接触又断路了。断路是瞬息的，这使鎮流器因感应而产生了 400—600 伏的反电压，这样的反电压就促使日光灯放电發光。在这个时候，一半以上的电压降消耗在鎮流器上；灯管的电压降就等于自动开关兩極的电压降，不过 110 伏（40 瓦日光灯），这不能使自动开关的輝光放电的，因此自动开关仍然是断开的，也就不耗电能。这时日光灯的兩極間的电压虽然和自动开关兩極間的电压相等，但因为灯絲经过預热，电子容易射出，因此可以放电。假使日光灯沒有啓点放电，那末輝光开关將重复地啓动一次，直到日光灯放电以后才停止。

霓虹灯的原理和構造

霓虹灯过去是指氖气放电管來說的。它是一根透明的玻璃管，兩端有二个电極，管内充以氖气，它的發光是由氖气的原子被激發所致，这可以用第二节所講的能級的理論来解釋。氖气导电發光的光譜富有 $6,402\text{\AA}$ 、 $6,383\text{\AA}$ 、 $6,334\text{\AA}$ 、 $6,143\text{\AA}$ 、 $6,266\text{\AA}$ 、 $6,096\text{\AA}$ 和 $5,945\text{\AA}$ 等波長，都位于橙紅色光的波段，因此發出橙紅色的光。同样如在管内充以氖气和水銀，就可以發出水銀原子所特有的黃綠色光；如果在管内充以氦气，它就發出金黃色光；由于它們都是作广告或指示灯用的，后来都叫做霓虹灯了。可是这些灯管的發光效率較低，一般为 10—20 流明/瓦，自从