

第六章 光源

热光源 thermal light source

利用物体的热辐射作成的光源称为热光源。当物体被加热到高温后，其原子由基态能级 E_0 被激发到高能级 $E_0 + \Delta E$ ，然后自发跃迁回到基态，同时将能量 ΔE 以辐射能形式放出，发射一个波长为 $\lambda = hc/\Delta E$ 的光子。这就是热辐射发光，它给出的连续光谱基本符合黑体辐射的普朗克公式。

热光源应用很广，常用的有普通白炽灯、卤钨循环白炽灯等。黑体热辐射光源主要用于光度测量，如黑体光强标准器。热光源的发光效率较低，目前在较好的设计和工艺条件下，真空灯泡仅6~7%、普通充气灯泡仅8~10%、卤钨灯约16%的能量转化成光。但由于其结构简单、工艺成熟、显色性好、价格便宜、使用方便，仍是使用最普遍的一种光源。

气体放电光源 gas discharge light source

气体放电光源是置于气体中两电极之间放电发光的光源。电极发射出来的电子在两极之间的电场中被加速，与气体原子碰撞，使其电离或激发形成辐射跃迁产生光辐射。实际进行着的气体放电发光过程极为复杂，如图1-6-1所示。AC段是非自持放电，如果除去外致电离，则电流立即消失。非自持放电见不到光，又称黑暗放电。自C点以上放电是自持的，即除去外致电离，放电仍能持续进行。EF段是正常辉光放电，其特征是电流密

度小而电压降大。辐射的光谱成分则取决于管内所充气体的种类。辉光放电管的光强和电位分布,从阴极到阳极,按其发光程度不同,可分为下述五个区域:(1)阴极暗区;(2)负辉区;(3)法拉第暗区;(4)正柱区;(5)阳极辉光区。其中正柱区是一个等离子区,它是一个均匀的光柱。辉光放电光源主要利用负辉区和正柱区的可见光辐射,其亮度较小,不适合照明。但因它们可制成各种形状的彩色弯管,故常用作广告霓虹灯和信号装置。在实验室中则是很重要的谱线光源。

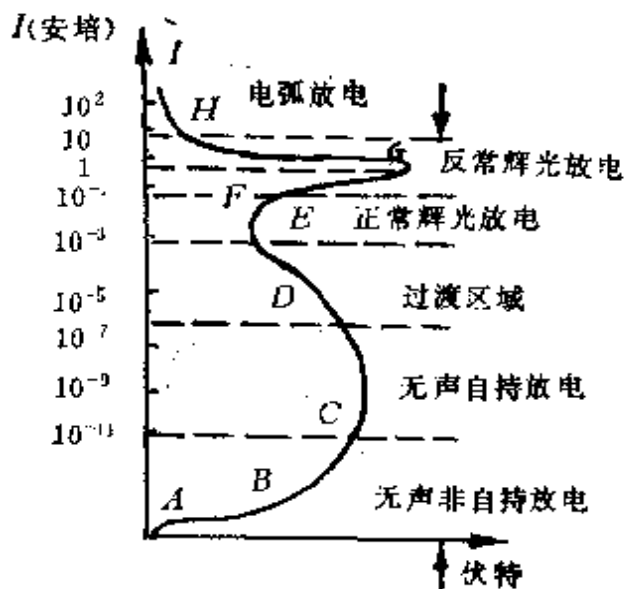


图 1-6-1

多数气体放电光源主要利用弧光放电,其最明显的特征是放电电流大大增加,阴极位降电压很低。低气压弧光放电的正柱区与辉光放电的正柱区是一样的,但在高压和超高压时,弧光放电的正柱区有其独特的性质。

在低气压气体放电时,主要是将气体原子激发至最可能存在的原子激发态的能级上,然后从激发态向基态跃迁产生共振辐射光谱,它以气体的特征线状光谱为主,连续光谱仅占极小的一部分。充气压增高,气体放电向放电管中心收缩,形成中心的高温区,其光辐射通过较冷外层时,发生反复自吸收和重新辐射,使共振谱线增宽,峰值中间出现一个暗淡的中心。进一步增高气压,增宽的谱线相互融合成连续辐射光谱,再增高气压,辐射光谱趋向黑体辐射光谱。一些高压高光效光源就是根据这一原理制成的。

气体放电光源发光效率高，应用十分广泛。它的种类很多，如以灯管内所充气体的压强来分，可分为低压、高压和超高压气体放电光源。一般气压在 $3 \times 10^4 \text{Pa}$ 以下者称为低压气体放电光源， $3 \times 10^4 \sim 3 \times 10^5 \text{Pa}$ 者称为高压气体放电光源， $3 \times 10^5 \text{Pa}$ 以上者则称为超高压气体放电光源。

激光光源 laser light source

激光器作为一种新型光源，它利用受激发射原理和激光腔的滤波放大效应，使其所发光波具有一系列新的特点，主要是：

(1) 光束发散角小，其发散角可小到0.1毫弧左右，使方向性或准直性好；(2) 单色性好，即线宽小；(3) 光束亮度高，可远高于太阳表面的亮度。

激光器一般由工作物质、共振腔和激励源三部分组成，如图1-6-2所示。共振腔长度是光波长的许多倍，两端有两块小的平面反射镜，其间距比其直径大得多。当在一块反射镜附近发出的光波通过受激工作物质原子增长起来，如果这个波沿着轴线运动，就可以在两块平面镜之间来回反射并在共振腔中停留足够长的时间建立强烈的振荡。沿任何其他方向传播的波，在获得较大的放大之前，很快就离开反射镜边缘而散失掉了。共振腔中的一块平面反射镜是部分透明的，所以一部分波能透过该平面镜输出。输

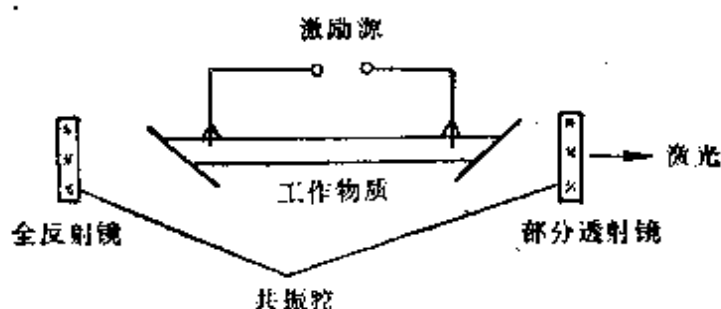


图 1-6-2

出波跟那些在两块平面反射镜之间被放大的波一样，几乎是严格

地沿着轴线传播的，因此输出波非常接近于平面波。

与激光的受激辐射相反，所有普通光源均是光子的自发辐射。在热光源中，发光物质里的电子被高温激励而激发，这些电子一经激发，便发射光子，同时回到低能态。同样地，在气体放电光源中，电子流把原子激发到高量子态，然后以光量子的形式把获得的激发能辐射出来。在光学区域，自发辐射进行得很快。然而自发辐射的速率与 λ^{-3} 成正比，这里 λ 是波长，所以波长越长，自发辐射就越慢，取决于自发辐射的普通光源在红外区是很弱的。此外，每个受激电子或原子的自发辐射和其他粒子的辐射无关，因此普通光源产生的总的波是由许多单个原子发射的波混杂在一起的。一个原子发出的波的相位与其他任何原子的波的相位无关，也就是说普通光源的光波是非相干的。

一个理想的平面波会呈现空间相干性，这时在任何一个平面波阵面上所有各点的相位都是相同的。而激光具有极好的方向性，非常接近一个平面波，所以是空间相干的。造成这种相干的原因是：原子的受激发射是与作用波同相位的，而不是互不相关的。受激发射输出功率很强，这是因为原子受激发射的速率比自发辐射快得多。激光非常接近于单色光，因为受激发射是一个共振过程，而在自发辐射波长区的中心，这种共振过程进行得最快。原子受激发射的相位和现存的波的相位一致，因此这个相位能在许多周期内保持恒定，故激光辐射具有高度的时间相干性。

激光器种类很多，分类方法也不尽相同，有关各种激光器的工作原理、分类、性能，详见第十四章。

太阳 the sun

太阳是最重要的天然光源，实验室中有时也用太阳作辐射源。太阳的辐射基本上符合黑体辐射定律，其连续光谱中的能量分布依赖于它的绝对温度，通常认为它接近于6000K黑体的能量

频谱分布，只是有一些夫琅和费暗线，这产生于太阳大气的自吸收。在光谱中还可以找到这种大气产生的许多亮线。

在地球表面上，太阳的辐射在500nm波处达到其最大值，紫外部分实际上只延伸到290nm，即地球大气上层的臭氧强烈吸收的区域。

考虑到太阳与地球间距离的变化（一月份远日点约大3.4%。七月份近日点约小3.4%），1971年，美国国家航空和宇宙航行局基于太空的辐射测量提出了1355 W/m²的新的太空太阳常数以及如图1-6-3所示的标准光谱辐照度。据此，在紫外范围内太阳辐射能为105.8W/m²（太阳常数的7.82%），在可见光范围内为640.4W/m²（太阳常数的47.33%），在红外范围为606.8W/m²（太阳常数的44.85%）。太阳辐射能的输出基本上是恒定的，但是由于地球绕太阳转动的轨道是椭圆的，太阳常数在冬至的1398W/m²和夏至的1308W/m²的范围内变动，若光照面积为地球的横截面积，则地球每年吸收的太阳能大约为 $751 \times 10^{16} \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，约占太阳总输出能量的百亿分之五。

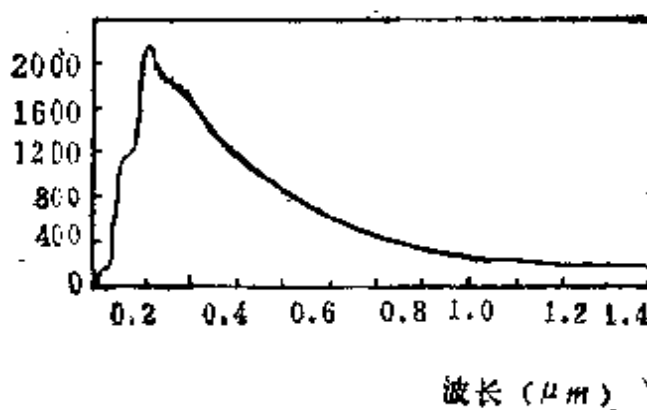


图 1-6-3

月亮和行星 moon and planets

月亮和行星作为天体辐射光源，仅仅是反射太阳的辐射，因此它们给出的光几乎与太阳相同，产生有效温度为5900K的辐射，但弱得多。表1-6-1列出月亮和一些行星的目视星级和有效温度。其中星级由下式定义：

$$\lg \frac{I_1}{I_2} = 0.4(m_2 - m_1)$$

式中 I 为接收谱带内的辐射强度, m 表示星级。

表1-6-1 某些行星的目视星级和有效温度

名 称	目 视 星 级	有效温度 (K)
月亮(满月)	-12.2	5900
金星(最亮时)	-4.28	5900
火星(最亮时)	-2.25	5900
木星(最亮时)	-2.25	5900
水星(最亮时)	-1.8	5900
土星(最亮时)	-0.93	5900

光的主基准 primary standard of light

光的主基准是一个黑体光强标准器, 1948年1月1日正式采用, 其结构如图1-6-4所示。辐射体完全是一些融熔的粉末状氧化钍(A), 放在同样材料做的细观察管(B)内。观察管插在氧化钍坩埚(C)的中央, 两者之间填满白金(P)。坩埚埋在粉末状氧化钍填料(D)内, 而这些填料是盛放在融熔的氧化钍坩埚(E)内, 并再嵌入瓷坩埚(G)的粉末状氧化锆(F)中。白金用高频感应炉熔化, 使整个容器都达到白金的高温; 感应炉关熄后, 白金慢慢冷却。当白金从液态向固态变化的阶段, 温度在约二十分钟内保持不变, 在这期间辐射体的光亮度恰好等于 $60\text{cd}/\text{cm}^2$, 该光强的六

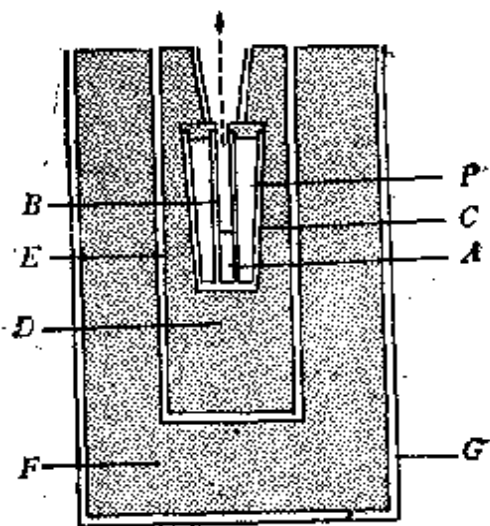


图 1-6-4

十分之一即一坎德拉(又称新烛光)。

主基准难于使用,通常只存放在国立物理实验室内;在其他地方都用严格标定的、通称为副基准的灯泡来代替。然后根据副基准标定标准灯泡,作为教学或工业实验室的发光强度和光通量的标准。

白炽灯 incandescent lamp

白炽灯是应用最广的光源之一。它利用电将灯丝加热至白炽状态而发光。自1879年美国发明家爱迪生发明白炽灯以来已有各种性能、用途的白炽灯。根据使用要求可制成工作电压自数伏至500伏,功率自数分之一瓦至2万瓦以上,寿命由数分钟至5000小时,发光效率自5~32流明/瓦的灯。这种光源与其它光源相比,耗电量大,这可解释为:灯丝加热后辐射出从红外到紫外的电磁辐射波,其中仅有极小的一部分可使人们有光的感觉。

各种白炽灯的结构大同小异。现以普通照明用白炽灯为例说明其主要构成。普通照明用的白炽灯由灯丝、支架、引线、灯泡和灯头等几部分组成。大部分灯泡内都充有氩、氮或二者的混合

表1-6-2 钨的特性

真温度 $T(k)$	分布温度 $T_d(k)$	亮温度 $T_{655}(k)$	亮度 $L(sb)$	辐射度 Me (W/cm^2)	光效能 $K(lm/W)$	电阻率 $PT(\Omega \cdot cm)$
300						5.65×10^{-6}
2000	2030	1860	21.0	20.95	3.15	56.7×10^{-6}
2200	2237	2030	64.8	33.65	6.05	63.5×10^{-6}
2400	2444	2220	165	51.2	10.1	70.4×10^{-6}
2600	2652	2365	366	74.9	15.3	77.5×10^{-6}
2800	2860	2525	726	105.7	21.6	84.7×10^{-6}
3000	3069	2685	1320	145	28.6	92.0×10^{-6}
3200	3280	2840	2220	193.5	36.0	99.5×10^{-6}

气体，只有少数小功率灯泡内是真空。现在几乎所有白炽灯均以钨作灯丝。表1-6-2给出钨的特性。

白炽灯内充惰性气体主要是用于抑制灯丝蒸发，其机理是，当灯丝在高温下工作时，蒸发出来的钨原子与惰性气体分子发生频繁的碰撞，从而将其反射回灯丝表面。在同样寿命条件下，充气灯可提高灯丝的工作温度，提高光效。为了进一步延长寿命，提高光效，在充气钨灯的基础上又制成了卤钨灯。其主要原理是卤钨循环：高温下从灯丝蒸发出来的钨在泡壁附近与卤素反应，生成挥发性的卤钨化合物。此时，灯内离灯丝距离较远的地方，卤钨化合物的浓度迅速升高，它们就向浓度较低的灯丝附近区域扩散。当卤钨化合物扩散到炽热的灯丝附近时，又分解成卤素与钨，钨沉积在灯丝上，卤素则又扩散到温度较低的泡壁附近与蒸发出来的钨化合，如图1-6-5所示。这一过程常称为卤钨循环，或钨的再循环。这样，不仅可以大大提高灯丝的工作温度和光效，而且泡壳在点燃过程中并不发黑。目前国内外均已能大量生产各种规格的碘钨灯和溴钨灯，氟和氟循环的卤钨灯尚在研制中。

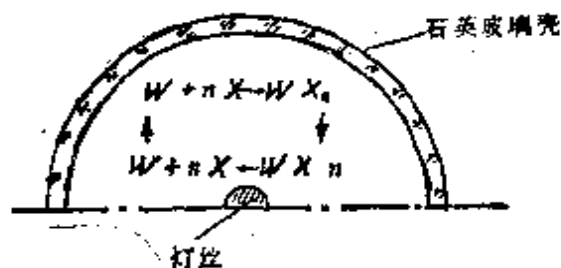


图 1-6-5

视用途不同，灯丝和灯泡可以作成不同的形状。如灯丝可做成点状、线状、排丝状、带状等，而灯泡则可做成管状、球状、圆柱形等。为了改善灯泡的透射光谱，灯泡材料还可采用石英玻璃、硅氧玻璃等。

白炽光源的一个有用的判据是它的色温，它表示灯丝表面的温度，其值等于这样一个黑体的温度，从该黑体辐射的能量和从灯丝表面辐射的能量基本上有相同的频谱分布。普通光源的色温依

赖于工作条件，其近似值附于表1-6-3。

表1-6-3 普通光源的近似色温

光 源	色 温 (K)
蜡 烛	1925
煤油灯	2000
普通钨丝100瓦电灯泡	2800
碳 弧	4000
太 阳	5900

白炽灯的光效能虽然不高，但由于其构造简单，使用方便，且有连续光谱，所以至今仍应用极为广泛。

电弧 electric arc

电弧是开放式气体弧光放电光源。电弧的电极可以是碳或金属制成的，置于大气中。点燃时，先使两极短暂接触，然后拉开即起弧。电弧炽热的阴极发射的电子被极间电压加速，并与两极间隙中的气体原子和分子碰撞，使后者电离，形成电弧等离子体，其温度很高。

电弧中有两类辐射区：极间等离子体辐射和炽热电极辐射。前者主要给出受激原子或离子的线状谱，而后者则产生连续谱。在纯碳电极的情况下，连续谱在紫外区可延伸至230纳米(nm)，另一端则延伸至远红外。线状谱则从可见区一直延伸到紫外区的184.0nm——大气吸收限。

为了丰富电弧等离子体的线状谱并改善电弧的照明技术特性，可将混有碳黑和石墨并附加4%硼酸的稀土金属(如铈、钕、钕等)的氟盐引入正电极。

电弧依其供电方式可分成直流电弧、高压交流电弧、高压电

容火花，其接线电路如图1-6-6。在直流电弧中，电极材料不断

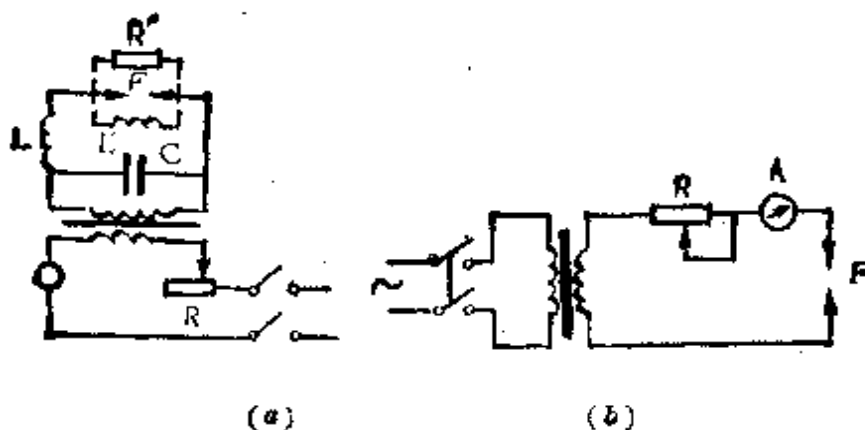


图 1-6-6

地受到加热，蒸发是连续进行的。而在高压电容火花放电中，电极材料的击出是与放电电流的振荡同步而周期地进行的。就电弧稳定性而言，直流的较差，交流的较好，电容火花居中。在光谱方面的差别在于：普通直流电弧的线状谱主要是激发电极材料原子引起的弧线；而电容火花的线状谱则主要是激发离子引起的火花线；交流激活电弧处于中间类型，适当选择电路参数(电容和自感)很易形成或主要是弧线光谱，或主要是火花线光谱，这在发射光谱分析中很有用。

·低压汞灯 low pressure mercury lamp

汞灯即水银灯，是利用水银蒸气放电发光这类灯的总称。其光学特性强烈地依赖于某工作温度下泡内水银蒸气压的大小及灯的结构特点和工作条件。为使灯在253.7毫微米的辐射效率最高，应使灯最冷处维持在40℃。这与灯的功率、结构、形状、环境温度以及冷却条件等有关。低压汞灯中还常充入一些惰性气体，主要用以缩短电子运动的平均自由程，增加与汞原子的碰撞并使之激发电离的机会。惰性气体一般只起启辉作用，而对辐射无多大贡献。

低压汞灯有冷阴极辉光灯和热阴极弧光放电灯。

冷阴极汞气辉光灯的灯管成直线型或弯成U型，两端各有一个安放冷阴极的电极室，其电位降约100~150伏。由于工作电压和启动电压均高，灯的电源常采用漏磁式高压变压器。

冷阴极汞气辉光灯主要用作紫外光源。若在灯管中充入能发各种彩色光的气体，则可做成霓虹灯。

低压水银荧光灯(俗称日光灯)是典型的热阴极弧光放电低压汞灯。它的玻璃灯管内壁涂有荧光粉，管内充有400~500Pa的氩气和少量的汞。两端各封有一个电极，其上涂敷电子发射材料。荧光灯在0.8Pa的汞蒸气中放电，使汞原子激发而辐射出253.7nm的紫外线，由荧光粉将它转变成可见光。

荧光粉是固体发光材料，一般可分成自发发光、亚稳态发光和复合发光三类。选用合适的荧光粉，可制成符合人们要求的色调的荧光灯。目前使用较多的是卤磷酸钙荧光粉。照明用荧光灯的色调主要有日光色(相关色温6500K)、冷白色(2900K)和暖白色(4500K)。它们的相对光谱能量分布示于图1-6-7。

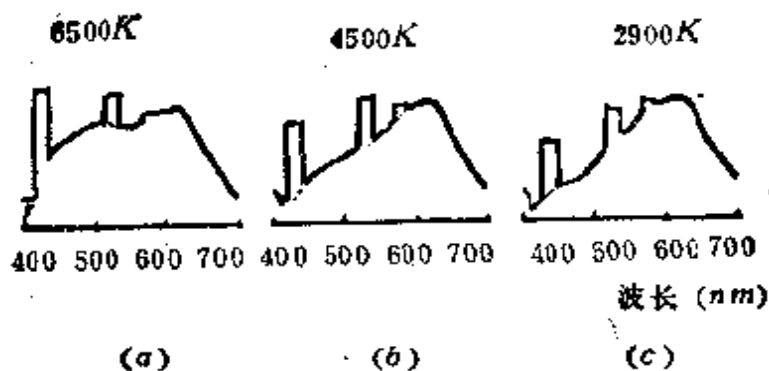


图 1-6-7

荧光灯具有负阻放电特性，工作时必须在电路中串联电感作镇流器，其功耗约占荧光灯功率的10~20%。低压水银荧光灯一

一般在最佳工作条件下，仅将总功率的2%左右转变成可见光，约60%的功率变为253.7毫米微米的紫外辐射，其余则转变成热能。

高压汞灯 high pressure mercury lamp

高压汞灯是最早出现的一种高压气体放电光源。当灯内汞蒸气压力升高时，汞的特征谱线逐渐加宽，连续光谱有所增加，光效也迅速提高。一般汞蒸气压力在 $10^5 \sim 10^6 \text{ Pa}$ 者为高压汞灯。图1-6-8 (a)和(b)分别是低压汞灯和高压汞灯的光谱能量分布。后者的可见光辐射约占总辐射能的37%。

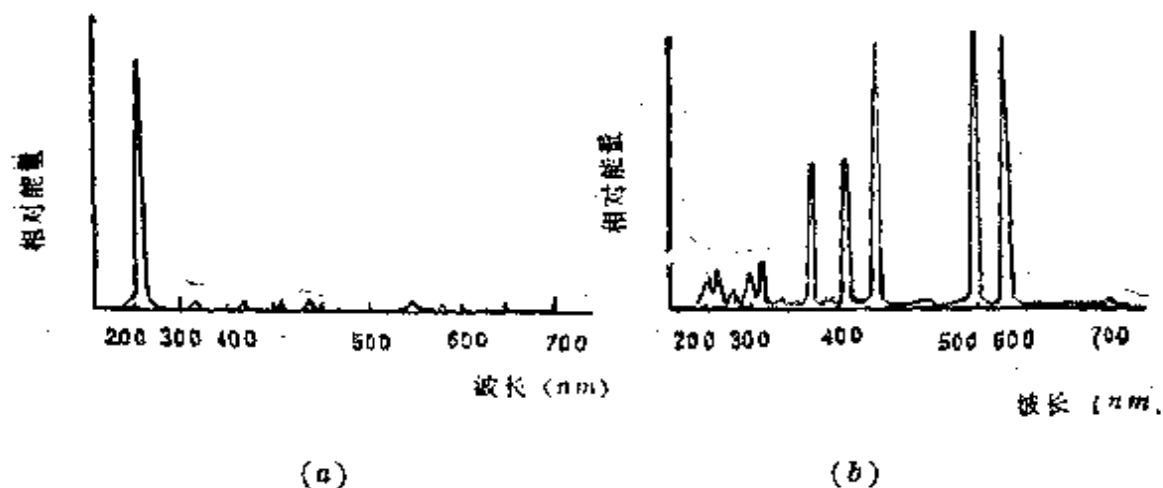


图 1-6-8

高压汞灯的结构如图1-6-9所示。灯管用石英玻璃制成，内充一定量的汞和少量的氙气。采用自热式阴极，电极和石英玻璃靠铜箔实现气密封接。启动通常采用辅助电极法。辅助电极通过一只 $40 \sim 60 \text{ k}\Omega$ 的电阻与不相邻的电极联接。绝大多数高压汞灯使用交流电源，选用电感作限流元件。

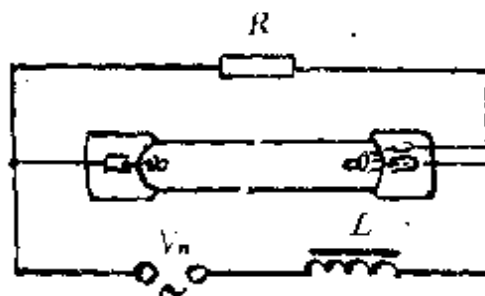


图 1-6-9

使用中须注意电源关闭后须持灯管冷却，汞蒸气压力恢复到初始状

态才能再次点燃，一般重新点燃约需5~10分钟。

高压汞灯有较高的光效，但其光色偏蓝绿，不宜照明使用。为弥补这一缺点，常用两种方法：(1) 在石英灯芯外，再加一个玻璃外壳，其内壁涂有能将紫外辐射转换成红色可见光的氟锆酸镁荧光粉，以改善灯的光色。近年来，采用钒磷酸铋荧光粉，它能给出近暖白色荧光灯的光谱。(2) 采用自镇流方式，即用钨丝代替镇流器并将它与石英高压汞灯一起封在玻璃外壳内。这种灯工作时，除放电管发光外，起镇流器作用的钨丝也发光(主要是红光)，从而改善光色。这种灯即高压白炽汞灯。

高压汞灯由于有紫外辐射，因而不仅可用于照明，还可用于晒图、保健、日光浴、化学合成、荧光分析、紫外探伤等。

超高压汞灯 ultra-high pressure mercury lamp

有些光学系统和投影仪中须要有高亮度的光源。高压汞灯不能满足这种要求，须进一步提高汞灯的亮度，主要途径是：(1) 增大放电电流密度；(2) 增加充气压力；(3) 缩小放电管径；(4) 增大电弧的功率密度。根据上述原理研制了各种功率的毛细管状和球状超高压汞灯，其结构如图1-6-10所示。它们的主要参

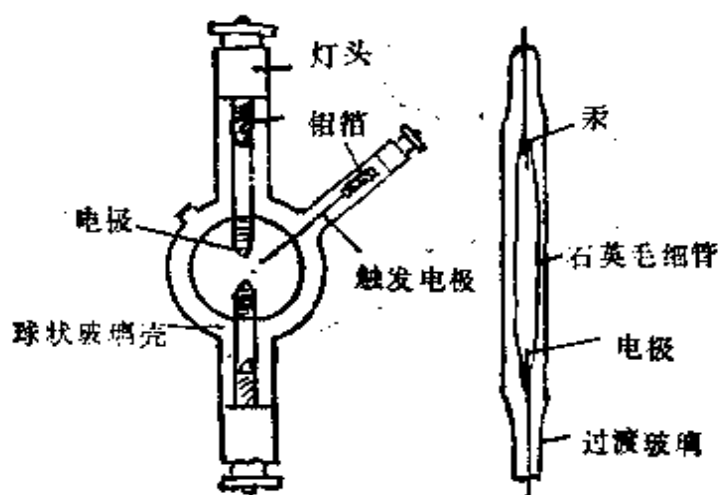


图 1-6-10

数列于表1-6-4。

表1-6-4 超高压汞灯的主要参数

种 类	球 状	毛 细 管 状
直 径 (mm)	10~100	1~3
弧 长 (mm)	0.2~20	1~10
工作气压 (Pa)	$10^6 \sim 5 \times 10^6$	$5 \times 10^6 \sim 2 \times 10^7$
电 流 (A)	2~250	1~2
单位弧长的功率 (W/cm)	300~10000	500~1500
亮 度 (cd/m^2)	$10^5 \sim 2 \times 10^6$	$2 \times 10^7 \sim 10^8$
光 效 (lm/W)	50~55	55~60

球状超高压汞灯是一种理想的高亮度点光源。它以提高灯内汞的充气压力,来实现灯的高亮度。这种灯工作时要串入镇流器,启动方式有装触发电极和不装触发电极两种。

毛细管状超高压汞灯是用压缩放电通道的直径,提高放电电流密度来实现高亮度的。它选用内径小于2mm的厚壁石英玻璃管来压缩放电电弧的直径,其间汞气压在50~200大气压之间,电位梯度达300—1000v/cm。这种灯的寿命只有30—100小时。

低压钠灯 low voltage sodium lamp

低压钠灯是现有光源中光效最高的一种。它主要是利用钠蒸气放电,辐射出589nm和589.6nm二条共振谱线,即黄双线(D线)。低压钠灯在很多方面与低压汞灯相似,概括起来,低压钠气放电有下述特征:

- (1) 钠的蒸气压达0.4Pa时相应管壁温度为533k,光效最高。
- (2) 钠的共振吸收几率较大,钠灯放电管的最佳直径为14~18mm。

(3) 钠灯电弧越长, 效率越高。一般将灯管制成U形。

(4) 充入800~2000Pa的氩氖混合气体对钠灯的启辉和寿命有益。

U形低压钠灯的泡壳内抽成高真空以减小热损耗。为了提高并保持高真空度, 蒸散上一层消气剂。泡壳内壁涂有氧化铟(In_2O_3)红外反射层以减少热辐射损耗。U形放电管由抗钠玻璃制成。

钠灯启动电压一般均超过220伏, 多采用开路电压较高的漏磁变压器启动。低压钠灯使用时应将放电管置水平位置, 即使采用贮钠小泡的灯管, 点燃位置也不宜超过20度。否则, 在重力作用下, 钠会沉积在灯管底部, 致使发光不均, 光效下降。

低压钠灯光效高达150~200流明/瓦(lm/w), 但其光谱近乎单色, 只宜用于一些显色性不高的场合, 如街道、公路等。由于黄光的透雾性极高, 在多雾的港口、码头、矿井等场所, 低压钠灯是一种较理想的光源。表1-6-5给出几种国产钠灯的参数。小功率钠灯GP20Na主要用于光谱仪器, 可作为偏振计、旋光计、折

表1-6-5 低压钠灯的主要参数

型 号	功 率 (W)	启 动 电 压 (V)	管 压 降 (V)	极 间 距 (mm)
GP20Na	20	220	20	200
N45	45	470	80	
N75	75	470	120	
N140	140	470	120	810

光计的单色光源。40w以上的钠灯主要用于照明。

高压钠灯 high voltage sodium lamp

高压钠灯中, 由于钠蒸气压和放电管温度提高, 钠的共振辐

射谱线加宽，形成较宽的光谱带，辐射光谱向长波方向扩展。当钠的蒸气压为 $2.7 \times 10^4 \sim 3.3 \times 10^4 \text{Pa}$ 时发光效率最高。

图1-6-11是高压钠灯的结构图。为使钠蒸气压达 $2.7 \times 10^4 \text{Pa}$ 左右，管壁温度须在973K以上。目前，多晶氧化铝陶瓷是唯一能够耐高温、抗钠腐蚀，并能做成透明管子的材料。这种灯的放电管直径较小，比如400W高压钠灯的内径仅8mm，壁厚约0.75mm，弧长70~90mm。

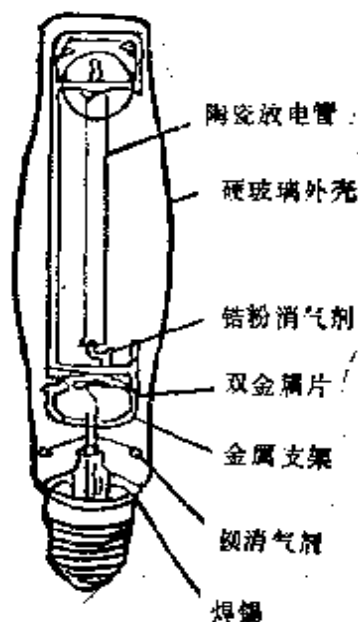


图 1-6-11

高压钠灯中，除充钠外，还要充一定量的汞。钠、汞的重量比约为1:2—1:10。其作用在于(1)提高放电管内的电位梯度，提高光效；(2)减小热导率而降低电弧热损耗提高光效；(3)适当改善灯的颜色。为使高压钠灯能在220V电源电压下启动，灯内充入压力为 $1.3 \times 10^4 \sim 2.7 \times 10^4 \text{Pa}$ 的氙气或氩气。充氙气时，光效要高一些，但启动比较困难。

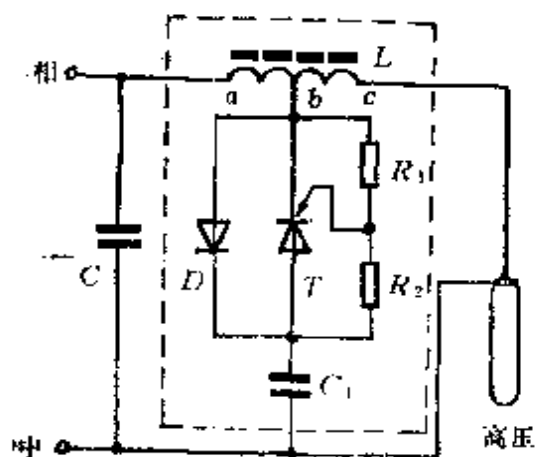


图 1-6-12

近年来，高压钠灯的启动多采用图1-6-12所示的高压脉冲电子启动器。其原理是：在电源的正半周，电源通过二极管D对电容C充电，在负半周，电源电压和C上所充电压叠加在一起加到可控硅T上，适当选择电路参数，当电源电压在负半周达到某一值时，可控硅导通，使原来加在可控硅上的电压几乎完全加在镇

流器 L 的 a 、 b 两端。合理地选择镇流器 ca 部分和 ab 部分的圈数比，就可以在灯的两端获得2500~4500伏的瞬时高压脉冲，将灯点燃。其主要优点是启动快(约1秒左右)、再启动时间短(约2分钟)、寿命长。

高压钠灯的体积很小，功率密度很高，有较高的亮度，紫外辐射少，故很适宜需要高亮度高光效的场所照明。

金属卤化物灯 metal halogenide lamp

金属卤化物灯是六十年代出现的一种新型光源。它是在高压汞灯中充入一定量的金属卤化物，利用气体放电时，金属本身辐射的特征光谱，来补充汞辐射光谱的缺陷，提高显色性。

金属卤化物的蒸气压比纯金属的蒸气压高得多。若合理选择金属卤化物，调节它们之间的配比，即可制成色温2400~10⁴K的各种金属卤化物灯。

金属卤化物灯是利用其管壁与电弧中心有较大的温差，使金属卤化物发生分解与再复合循环：当管壁达到工作温度时，金属卤化物汽化，因浓度梯度面向低浓度的电弧中心区扩散。在约4000~6000K的电弧中心高温区被分解成金属原子和卤素原子。金属原子参与放电并辐射出它的特征光谱。由于此时电弧中心区金属和卤素原子浓度较高，它们又向管壁扩散并在管壁低温区又复合成金属卤化物。就靠这种循环，不断向电弧提供足够浓度的金属原子。

目前，已有五十余种金属卤化物可被选用，故金属卤化物灯品种繁多。但按其光谱特征区分，大致有下述四类。

第一类是选用几种发射强线谱的金属卤化物加在一起，得到白色光源。如碘化钠-碘化铊-碘化铟灯为其典型，如图1-6-13(a)所示。它的外形与高压白炽汞灯相同。管壁工作温度750~780℃时有较高的光效和显色性。为保持灯管的工作温度，将外壳内抽

成高真空并加吸气剂，以减少气体对流引起的热损耗。欲使灯管能在220V电压下启动，灯内充入 $4.7 \times 10^3 \text{Pa}$ 左右的纯氙和适量的汞。汞的作用与其在高压汞灯中的作用完全不同。在电弧高温区汞阻碍了金属气体和卤素的扩散，使金属原子的特征光谱有效地被激发出来，光效显著提高，同时汞与氙气共同造成潘宁效应，降低灯的着火电压，使灯容易启动。图1-6-13(b)为碘化钠-碘化铊-碘化铟灯发光光谱。

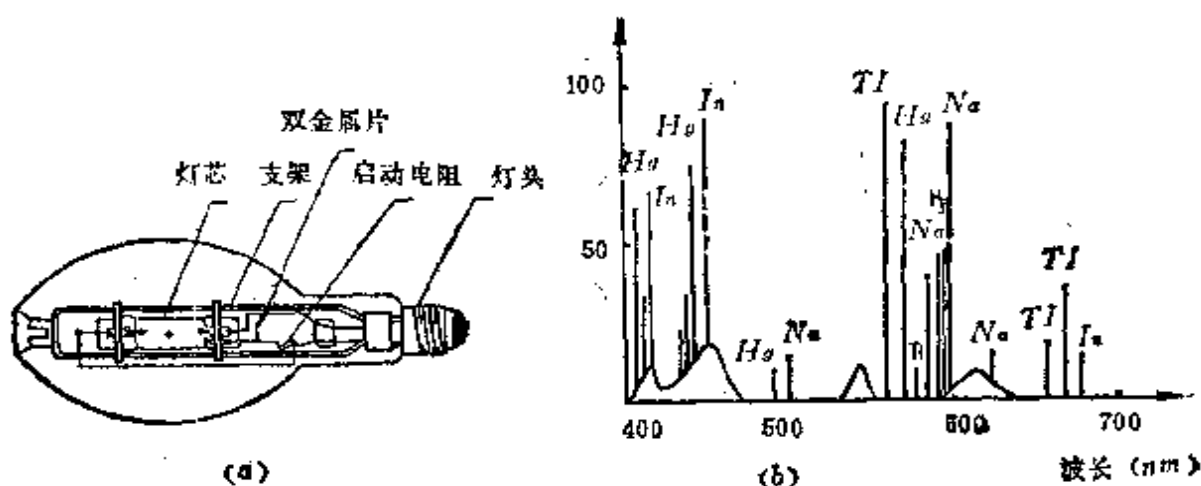


图 1-6-13

第二类是利用能在可见光区发射大量密集谱线的金属，得到类似日光的白光。目前用得较多的有碘化镓—碘化铊(镓—铊)灯、碘化镓—碘化铊—碘化钠(镓—铊—钠)灯、碘化钍—碘化铊—碘化钠(钍—铊—钠)灯、碘化铟(铟)灯等。这些灯大都制成图1-6-14(a)、(b)所示的球形，以提高光效。镓灯等由于有很好的显色性和较高的光效，所以是很好的照明光源。3000W以上的直流球形镓灯可代替炭精灯，用于拍摄彩色影片；1000W交流球形镓灯用于彩照制版。镓灯典型能谱如图1-6-14(c)所示，在整个可见光谱区内相对能量分布均匀。

第三类是利用高压的金属蒸气放电，或利用分子发光的连续辐射，获得日光色的光源。超高压钨灯和卤化钨灯即属此类。

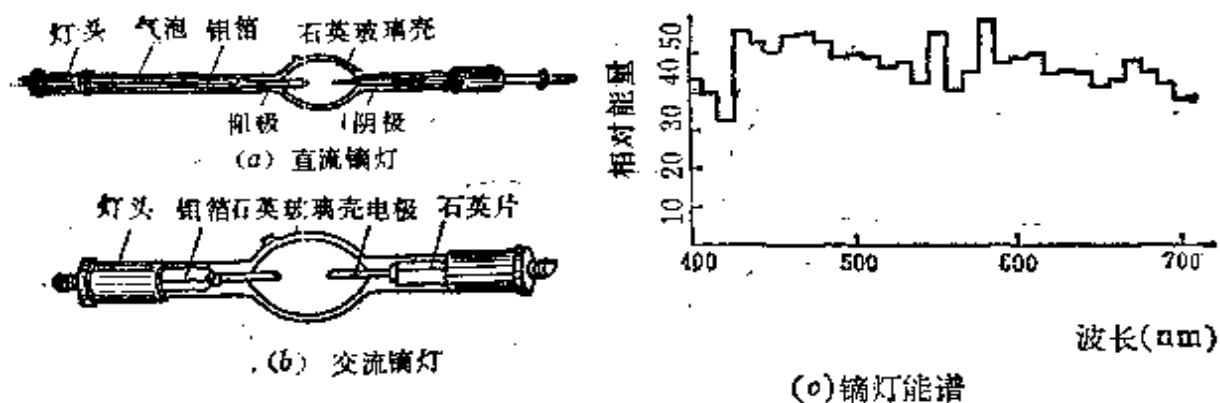


图 1-6-14

前者的结构与能谱见图1-6-15的(a)与(b)。启动阶段主要由410.2和451.1nm的两条谱线发光，当灯内气压达到 10^6Pa 时，放电辐射呈连续光谱，光效约 $40\sim 50\text{ lm/W}$ ，色温在 $5000\sim 6500\text{K}$ 之间。适作电影放映，显微投影光源。卤化锡灯一般采用氯化锡—碘化锡—汞的组合，或碘化锡—溴化锡—汞的组合，有很强的分子辐射，其光谱几乎与 5000K 的日光完全相似，是理想的日光模拟光源。其显色性、稳定性极好，不仅适于室内外照明，也可用于印刷、染色、摄影等场合。

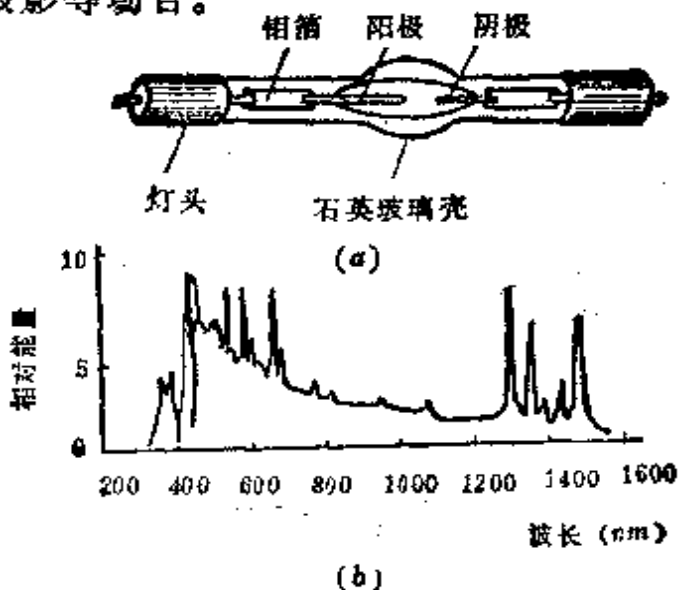


图 1-6-15

第四类是利用有很强共振辐射的金属产生纯度很高的光，如碘化铟、碘化铊、碘化锂可制成蓝、绿、红三种颜色的灯用于特殊照明。

氙灯 xenon lamp

利用在高压和超高压下，惰性气体原子被激发到高能级并大量电离，从而在可见光区发出叠有少量线光谱的强连续辐射，可以制成一类效率很高的光源。其中氙气放电辐射与日光最接近，且当电流与氙气压在很大范围内变动时，光谱能量分布变化很小。按电弧的长短，氙灯分为长弧氙灯与短弧氙灯两种(见图1-6-16)。

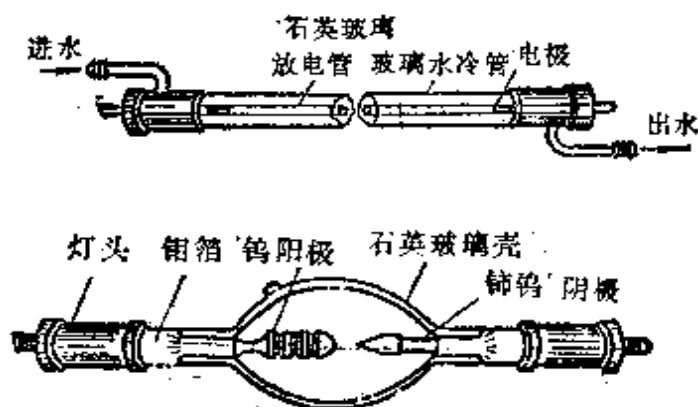


图 1-6-16

长弧氙灯呈管状，有自然冷却和水冷两种，后者比前者多了一个水冷套。灯管用石英玻璃制成，电极用钍钨、钨钨等耐离子轰击材料制成，内充适量纯氙气。自然冷却型氙气压为 $2.7 \times 10^3 \sim 2.7 \times 10^4 \text{ Pa}$ ，水冷型为 $1.3 \times 10^4 \sim 5.3 \times 10^4 \text{ Pa}$ 。它适于广场、码头等大面积照明，还可用于布匹验色，人工气候植物培养及光化反应。水冷型体积小，亮度高，很大一部分红外线被水吸收，可用于人工老化机、复印机等光源。

短弧氙灯呈球形，氙气压高达 $5 \times 10^5 \sim 3 \times 10^6 \text{Pa}$ ，故短弧氙灯又称超高压氙灯。我国生产的球状超高压氙灯的功率为 $75 \sim 3000 \text{W}$ ，亮度 $(50 \sim 650) \times 10^8 \text{cd/m}^2$ 。长弧氙灯的电弧为管壁稳定型，而短弧氙灯的电弧则属对流稳定型。短弧氙灯是高亮度点光源，且光色近日光，启动时间短，小功率的主要用于各种光学仪器； $2 \sim 3 \text{kW}$ 的则用于放映电影。

脉冲灯 pulsed lamp

脉冲灯不同于连续发光的光源，它是利用贮存在电容器中的电能，在极短的时间内发出高强度脉冲光的光源，俗称闪光灯。其发光时间称为脉冲光宽度，主要由脉冲灯的结构和点灯电路决定的。目前脉冲灯的脉冲光宽度一般为 $10^{-6} \sim 10^{-8} \text{s}$ 。瞬时亮度可达 $15 \times 10^{10} \text{cd/m}^2$ ，是除激光外，亮度最高的一种光源。它的瞬时光通量可达 10^8lm ，广泛用于摄影、航海、测速等。

脉冲灯种类很多，泡壳多由石英玻璃制成，几种主要结构示于图1-6-17。纯钨或钍钨电极做成平滑圆头以利瞬时脉冲大电流通过，内充适量高纯氙气。一般管状脉冲灯外绕有金属触发丝。近代小能量闪光灯，常在灯管表面蒸涂一层透明导电的氧化锡薄膜取代金属触发丝。

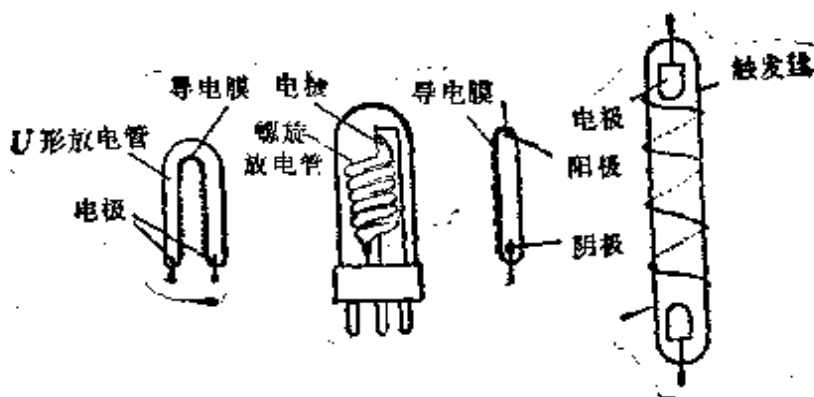


图 1-6-17

脉冲灯工作时，必须在其触发丝或触发电极上施加具有一定能量的高频高压脉冲，才能闪光。典型触发电路如图 1-6-18 所示。直流电源向主电容 C_1 充电储能，同时经电阻 R_2 和 R_3 组成分压器向触发电容 C_2 充电。当开关 S 闭合后， C_2 放出的电能与脉冲变压器初级构成电振荡，在次级产生具有一定能量的高频高压脉冲加到触发丝或触发电极上，使灯内气体电离，贮在 C_1 的电能迅速通过脉冲灯释放出来。

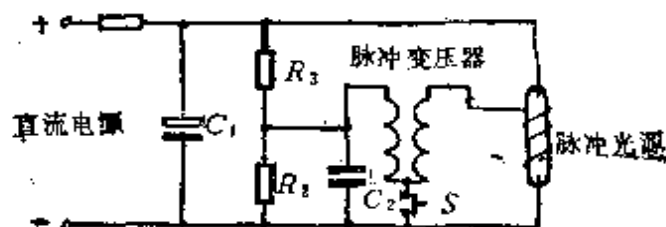


图 1-6-18

脉冲灯放电波形不仅与灯管尺寸、充气种类及其压强有关，而且取决于放电回路的参数。图 1-6-19 给出不同电感量的放电波形（其中将灯等效为电阻 R ）。(a) 中电感 L 远小于 $4R^2C$ ，放电前沿较陡，下降很慢，(b) 是 $L = 0.445R^2C$ （即临界阻尼）时，放电

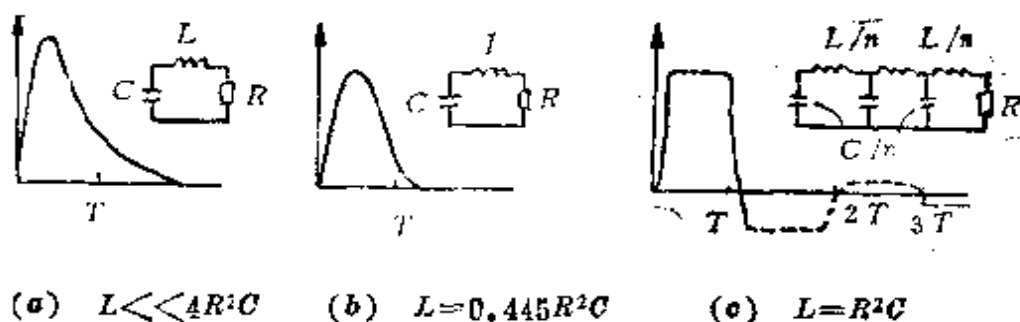


图 1-6-19

脉冲呈钟形；(c) 是传输线（由相同的电感和电容所组成的一节节网络）作为放电回路得到的矩形脉冲，其主要优点是，在脉冲持续

期内光输出几乎恒定，这种性质用于光泵十分合适。

在激光技术中，脉冲氙灯常用作泵浦光源。固体激光器常用的脉冲氙灯有直管形和螺旋形两种，能量为几千焦耳，闪光时间为数毫秒。

原子光谱灯 atomic spectral lamp

原子光谱灯又称为空心阴极灯。它的阳极和圆筒形空心阴极封在九五料玻璃制成的泡壳内，泡壳上端面是一个光学透明的石英窗。灯工作时，窗口透出放电负辉光区的光，其中主要是阴极金属的原子光谱。它采用空心阴极的原理是：空心阴极的放电电流密度可比正常辉光放电高出 100 倍以上而不进入反常辉光放电区。空心阴极放电时，放电电流很大，但温度并不高，因此谱线不仅强度大而且线宽很小，同时稳定性很高。由于这些优点，它被广泛地用于元素的光谱分析，特别是微量元素分析。

场致发光屏 field induced photoemission screen

场致发光是一些荧光粉在电场的直接作用下被激发而发光的。场致发光屏的结构基本上是一种平板式电容器。两平板电极间的介质是荧光材料，其中一个电极是透明的，光可以从中辐射出来。所以场致发光屏又称电容灯。

场致发光屏的典型结构如图1-6-20所示。铝箔作为一个电极，透明的导电膜作为另一个电极；高介电常数的反射层通常用搪瓷或钛酸钡等制成；荧光粉层由荧光粉、树脂或搪瓷等混合而成，上面

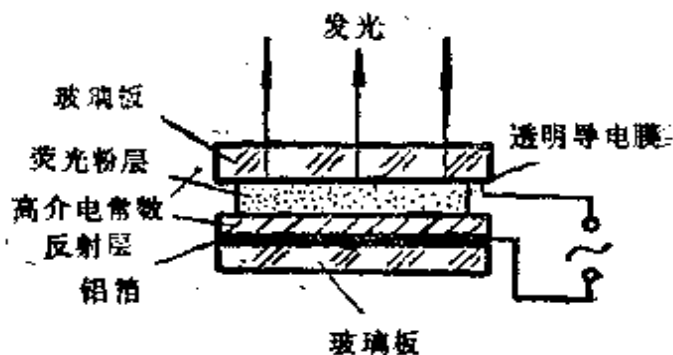


图 1-6-20

的一块玻璃板，既透光又有保护作用。为使屏面各处发光均匀，每层各处的厚度尽可能一致。由于发光屏二电极之间距离很小（只有几十微米），即使在市电电压下也可达到足够高的电场强度（大于 10^4 伏特/厘米）。在这个强电场作用下，自由电子被加速到很高的能量。当它们撞击发光中心时，可使发光中心放出电子而处于激发态。由于荧光粉与电极是绝缘的，被释放出的电子不能达到阳极而被束缚在阳极附近。在交流电的负半周，这些电子反向运动，与被激发的发光中心复合而发光。

场致发光屏的光效很低，但耗电少、寿命长，结构简单，使用可靠，因此被广泛用于地下室、隧道等无光区的指示照明，还可用于像增强器、像反转器、平板电视等。

发光二极管 luminous diode

发光二极管又称半导体灯，或 $p-n$ 结灯。它实际上是一个由 p 型半导体和 n 型半导体组合而成的二极管。当在 $p-n$ 结上施加正向电压时，就发出光来。

发光二极管发光的简单机理是：当 p 型半导体与 n 型半导体接触时，由于 n 区电子和 p 区的空穴都向对方扩散而在交界面处形成所谓 $p-n$ 结。 $p-n$ 结的电场方向就阻止电子与空穴的进一步扩散。若在 $p-n$ 结上施加正向电压，电子就会继续源源不断地从 n 区流向 p 区，同时空穴则从 p 区流向 n 区。这样，在 $p-n$ 结区将有大量电子与空穴复合，并以光或热的形式放出能量。

发光二极管的电特性与整流二极管很相似。使用一般电源时应串联限流电阻，反向电压不能太高，击穿电压范围为 $5\sim 25$ 伏。

发光二极管光效较低，但体积小、电源简单、耗电少、寿命长，因而被用于信号灯和显示光源，也可用于光通信等领域。