

荧光灯生产 基本知识

《荧光灯生产基本知识》编写组

内 容 提 要

本书介绍荧光灯生产过程中的基本知识。如荧光灯的工作原理、气体放电和发光现象、普通荧光灯的制造过程和生产中经常遇到的技术问题及其解决办法。书中还介绍了灯用各种原材料及灯的测试方法，可供从事荧光灯生产的工人和装修电工阅读，亦可作为工程技术人员参考。

荧光灯生产基本知识

《荧光灯生产基本知识》编写组 编

*

轻工业出版社出版
(北京阜成路3号)

兰州新华印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售

*

787×1092 毫米 1/32 印张：15 24/32 字数：344 千字

1983年4月第一版第一次印刷

印数：1—10,000 定价：1.40 元

统一书号：15042·1750



目 录

第一章 荧光灯中的放电和发光	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 原子结构	(2)
一、原子模型.....	(2)
二、原子的能级.....	(4)
第三节 放电中粒子间的碰撞	(5)
一、碰撞.....	(5)
二、原子的激发和电离.....	(7)
三、亚稳原子.....	(14)
第四节 放电中的辐射和光谱	(16)
第五节 低气压放电及其稳定条件	(19)
一、低气压放电的建立.....	(19)
二、巴邢定律.....	(22)
三、辉光放电.....	(26)
四、弧光放电.....	(31)
五、高频放电.....	(32)
六、荧光灯中的放电过渡.....	(33)
第六节 荧光灯的阴极	(38)
第七节 固体发光和荧光粉	(43)
一、冷光和热光.....	(43)
二、固体发光过程和机理.....	(45)
三、杂质对固体发光的影响.....	(49)
四、卤磷酸钙的辐射光谱.....	(50)

第八节	荧光灯的光色和光效·····	(52)
第二章	荧光灯用材料·····	(57)
第一节	荧光粉·····	(57)
一、	荧光粉的组成和种类·····	(58)
二、	荧光粉制造的基本过程·····	(60)
三、	卤磷酸钙荧光粉及其制备·····	(62)
四、	卤磷酸钙荧光粉的性能测试·····	(86)
第二节	玻璃·····	(89)
一、	荧光灯用玻璃的化学组成·····	(89)
二、	荧光灯玻管的生产——配料，熔制和拉管···	(94)
三、	玻璃的物理化学性能·····	(107)
第三节	电子粉·····	(115)
第四节	消气剂·····	(117)
第五节	气体·····	(120)
一、	纯氩气·····	(120)
二、	氢气·····	(123)
三、	氧气·····	(126)
四、	燃料气体·····	(128)
第六节	金属材料·····	(141)
第七节	焊泥材料·····	(153)
第三章	灯芯制造·····	(156)
第一节	电极的功用、结构和性能·····	(157)
第二节	灯丝·····	(162)
一、	灯丝设计·····	(162)
二、	灯丝绕制和热处理·····	(165)
三、	熔丝(又称化丝)·····	(175)
四、	灯丝检验·····	(175)

第三节	导丝	(176)
第四节	芯柱	(179)
一、	玻管检验	(179)
二、	玻管切割	(179)
三、	制喇叭	(180)
四、	制芯柱	(183)
五、	芯柱退火	(185)
六、	应力检查	(189)
七、	芯柱检验	(192)
八、	芯柱清洗	(195)
第五节	装丝和烧氢	(196)
第六节	涂电子粉	(198)
一、	涂料	(199)
二、	电泳	(201)
三、	涂电子粉检验	(202)
第四章	荧光灯组装工艺流程	(203)
第一节	概述	(203)
第二节	玻管清洗、涂荧光粉和烤管	(204)
一、	玻管清洗	(204)
二、	涂荧光粉	(204)
三、	烤管	(209)
第三节	封口	(214)
一、	封口的要求和方法	(214)
二、	高频封口	(215)
第四节	排气和真空系统	(217)
一、	真空获得和测量的基本概念	(217)
二、	排气工艺过程	(227)

三、排气的质量问题·····	(238)
四、排气方法及其设备·····	(239)
第五节 装头、老炼、检验、包装·····	(245)
一、装头·····	(245)
二、老炼·····	(248)
三、检验、包装·····	(250)
第五章 异形荧光灯及其生产·····	(251)
第一节 环形荧光灯·····	(252)
一、玻管·····	(252)
二、荧光粉悬浮液配制工艺·····	(252)
三、封口·····	(253)
四、环形灯的弯制·····	(254)
五、装头·····	(257)
第二节 U形荧光灯·····	(257)
一、U形荧光灯的弯制·····	(258)
二、装头·····	(259)
第三节 小功率荧光灯·····	(260)
第四节 大功率荧光灯·····	(261)
一、管内最佳蒸气压力的保持·····	(261)
二、254毫微米紫外线的饱和现象及其克服·····	(263)
三、100瓦隔热型高功率荧光灯·····	(268)
第五节 缝隙式荧光灯·····	(271)
第六章 荧光灯生产质量控制·····	(274)
第一节 概述·····	(274)
第二节 影响光效的因素和控制方法·····	(275)
一、灯管设计对光效的影响·····	(276)
二、灯管制造工艺对光效的影响·····	(279)

三、灯管使用条件对光效影响·····	(280)
第三节 影响光衰的因素和控制方法·····	(282)
第四节 影响寿命的因素和控制方法·····	(285)
第五节 影响启动的因素和控制方法·····	(289)
第六节 荧光灯早期发黄发黑及其控制·····	(291)
一、概述·····	(291)
二、如何控制早期黄黑·····	(292)
第七章 荧光灯的附件·····	(295)
第一节 直流电源用电阻镇流器·····	(296)
一、简单分析·····	(296)
二、放电稳定的必要和充分条件·····	(299)
三、电路分析·····	(302)
第二节 交流电源用电阻镇流器·····	(304)
第三节 交流电源用电感镇流器·····	(310)
第四节 交流电源用电容或电容电感串联式镇流器·····	(322)
一、电容作镇流器·····	(322)
二、电容电感串联式镇流器·····	(324)
第五节 电感镇流器的结构和设计·····	(326)
一、电感镇流器的结构·····	(326)
二、电感镇流器的设计·····	(328)
三、电感镇流器的校检·····	(330)
第六节 荧光灯启动器及其功用·····	(332)
一、辉光式启动器的结构·····	(332)
二、启动器的功用·····	(332)
第七节 镇流电路的改进·····	(333)
一、提高迴路的功率因数·····	(333)

二、带副线圈的镇流器·····	(336)
三、快速启动型镇流线路·····	(337)
第八节 荧光灯用低压直流电源·····	(338)
第八章 荧光灯的测试与检验·····	(342)
第一节 电气参数的测量·····	(342)
一、电源电压和波形的影响·····	(343)
二、电源频率的影响·····	(344)
三、环境温度的影响·····	(346)
四、镇流器的影响·····	(346)
五、电参数测量·····	(348)
第二节 光色参数的测量·····	(349)
一、光通量的测量·····	(349)
二、色坐标和显色指数·····	(356)
第三节 寿命试验·····	(372)
一、产品质量与可靠性·····	(373)
二、寿命试验方法·····	(379)
三、加速寿命试验·····	(384)
第四节 检验抽样原理·····	(387)
一、抽样检验的一般原理·····	(389)
二、百分比抽样法的不合理性·····	(391)
三、计数两次抽验方法·····	(393)
四、调整型抽验方案及其程序·····	(396)
第九章 汞污染的控制·····	(422)
第一节 使用汞释放器制造荧光灯·····	(422)
一、概述·····	(423)
二、汞释放器及其应用·····	(424)
三、使用汞释放器制造荧光灯的特点·····	(439)

第二节 汞污染的控制	(440)
一、厂房布局与防护措施.....	(440)
二、重汞工序的几种防护措施.....	(443)
三、净化方法.....	(446)
四、消除流散汞.....	(455)
五、建立健全防护制度.....	(460)
六、汞蒸气的测定方法.....	(461)
第十章 特种荧光灯及自动生产设备概况	(466)
第一节 类型与品种	(466)
一、汞齐荧光灯.....	(466)
二、高频无电极荧光灯.....	(469)
三、充氩荧光灯.....	(471)
四、无干扰辐射荧光灯.....	(473)
五、无紫外线输出荧光灯.....	(474)
第二节 自动生产设备概况	(475)
一、喇叭机.....	(475)
二、芯柱机.....	(476)
三、装丝机(绷丝机).....	(477)
四、封口机.....	(481)
五、排气机.....	(482)
六、穿线机.....	(484)
七、装头机.....	(487)
八、灯脚焊接机.....	(488)
九、同步控制.....	(489)

第一章 荧光灯中的 放电和发光

第一节 概 述

从 1750 年 F·霍克斯比建立了第一个人造辉光放电，到 1850 年 H·盖斯拉研究了不同气体的放电光辉，并制成了一系列各种色彩的霓虹灯为止的整整一个世纪中，人们的不懈努力为放电光源的问世奠定了理论和实践基础。到 1900 年、各种低气压汞灯的出现正式开创了放电光源的历史。1936 年荧光灯的制成更使放电光源的发展得到了一次飞跃。荧光灯的光效高、亮度柔和、寿命长和很容易做成彩色灯等优点引起了普遍重视。

荧光灯把电能转变为可见光的过程是通过两个步骤完成的，第一步通过低压强汞蒸气放电把电能转变为人眼看不见的波长为 253.7(有时也用 254) 毫微米的紫外线。放电时也伴随有 185 毫微米紫外线和少量可见光产生；第二步是紫外线照射管内壁的荧光粉，荧光粉再把紫外线转换为所需要的可见光。因此，荧光灯的发光包含气体的放电辐射和荧光粉的固体发光两个基本物理过程。

图 1-1 是普通荧光灯的典型结构和基本电路。由图可见灯管两端各有一个涂有电子粉的灯丝作为电极，灯管内壁均匀涂复着薄层荧光粉，管中除注入适量汞外，还需充入适当压力的惰性气体。荧光灯电路的工作过程是这样的：电源开关一经接通，启动器首先放电。由于启动器的一个电极是由

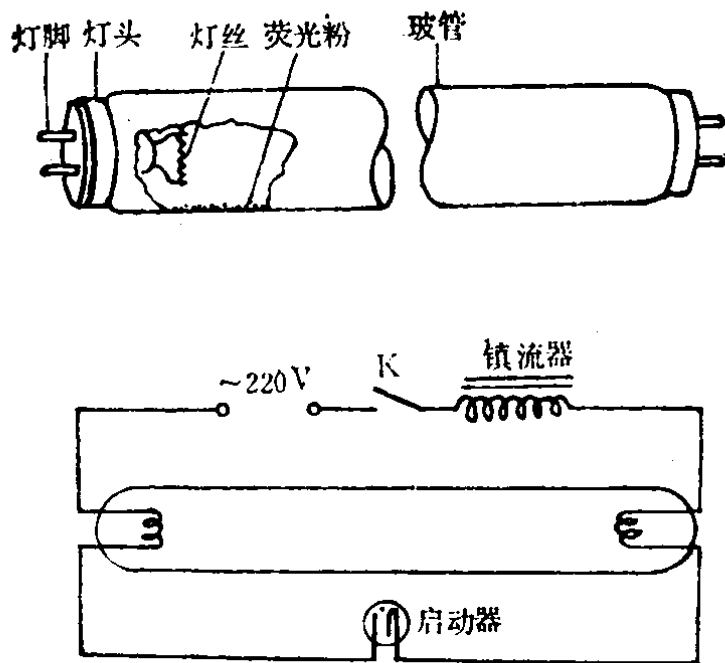


图 1-1 荧光灯的结构和基本电路

双金属片制成的，放电的加热使之弯曲并和另一个电极相碰。这时，电源通过镇流器、灯丝、启动器接通，灯丝中因有电流流过而被加热。同时，启动器的双金属电极则逐渐冷却，数秒钟后恢复原来形状而使线路切断。镇流器在电流切断瞬间产生的高电压脉冲，可使灯管两端电压升至 800 伏以上。这时，处于低电位端的灯丝发射的热电子向高电位端加速运动，与气体原子发生极其频繁的碰撞，并产生大量的激发和电离，最后形成稳定的弧光放电。放电中产生的大量紫外线使荧光粉激发并发光。这样灯管就发出了明亮的光。

第二节 原子结构

一、原子模型

原子是很微小的粒子，直径约 10^{-8} 厘米。但内部结构很复杂。为了简化分析，通常都采用玻尔的原子模型。在这

种原子模型中，原子结构和行星结构很相似。中央是一个带正电的原子核，核的周围则是一系列围绕着核旋转的电子（如图 1-2 所示）。原子核是非常密实的，它的直径只有 $10^{-13} \sim 10^{-12}$ 厘米，但却集中了原子质量的 99.99% 以上。电子是带负电的微小粒子，直径仅为 10^{-13} 厘米，质量为 9.1×10^{-28} 克，而所带电荷则有 4.8×10^{-10} 静电库伦。凡是正常原子，所有电子的负电荷与原子核所带正电荷恰好相等，二者的作用正好抵消，从外界看原子成了完全不带电的中性粒子。

不同元素的原子结构是不相同的。对于任何一种元素，原子核所包含的正电荷数（或周围电子所带的负电荷数），正好等于该元素的原子序数。例如原子序数为 1 的氢原子，周围只有 1 个电子围绕着原子核旋转。而原子序数为 18 的氩，周围就有 18 个电子，至于原子序数为 80 的汞，原子核周围则有 80 个电子旋转着。

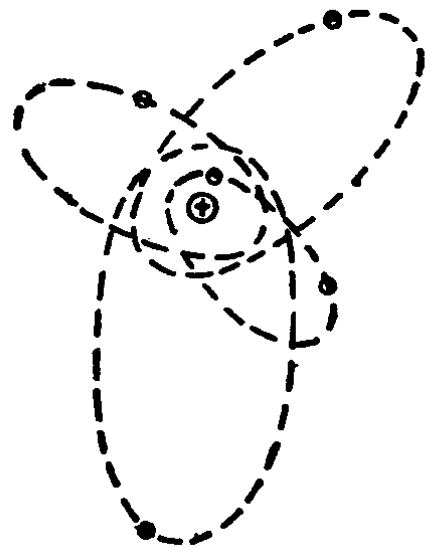


图 1-2 原子模型

原子中有很多允许电子存在的轨道，这些轨道都是圆形或椭圆形的，各有一定的形状和大小。原子核周围的电子按一定的规律分布在这些轨道上。由于电子有趋向最低能量的本性，因此电子通常总是在半径尽可能小的内层轨道上运动。但是由于每个轨道上所允许的电子数目是一定的，当内层轨道上的电子满了的时候，其余的电子就只能依次排到较外一层的轨道上去。

最外层轨道上的电子与原子核的结合力最弱，这些电子比较容易脱离原子，而内层电子通常不太可能发生这种变化。最外层的电子就称为原子的价电子。无论在化学反应中或是在电离、激发等物理过程中，通常都只有价电子参与变化。

二、原子的能级

前面提到原子核周围的电子，分别处在一系列不同的椭圆轨道上。一定的轨道和一定的能量相对应，轨道半径越大，电子的位能(亦即能量)越大。但是原子核周围允许电子存在的轨道是固定的，也就是说电子只能具有和这些轨道相对应的固定能量，中间状态是不存在的。这种能量必需是某些不连续的固定数值的情况称为能量的“量子化”，允许电子存在的各个能量状态称为能级。

原子周围的所有电子都有自己固有的轨道，因此也具有各自的能级。内层电子所处的能级较低，而价电子所处能级最高。但是，在价电子的能级以上还有一系列允许电子存在的能级。正常情况下，由于电子都具有趋向最低能级的本性，因此，价电子能级以上的一系列能级都是空着的，而价电子能级以下的所有能级又都被内层电子占据了。这种电子分布的正常状态称为“常态”或“基态”。价电子所处的能级则称为基本能级，基本能级以上的所有能级称为激发能级。

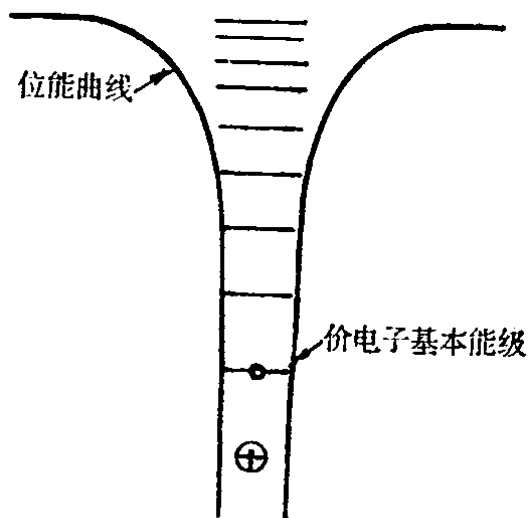


图 1-3 原子的能级

当原子从外界吸收了能量时，价电子会跃迁到和所吸收的能量相当的激发能级上去，这样的原子称为受激原子。受激原子是不稳定的，有放出能量恢复基态的自发趋势。

图 1-3 是原子激发能级的示意图。图中的位能曲线表示电子位能与离开原子核距离的关系。通常人们把离开原子核无穷远(即与原子核脱离关系)的电子位能定为零。因此原子内部电子的位能都是负的。图 1-3 中画出的最低能级是价电子的基本能级。基本能级以下的所有能级都已被内层电子所填满。

第三节 放电中粒子间的碰撞

一、碰 撞

气体是由大量自由运动的分子或原子组成的。即使在很低的压强下，各种粒子的密度仍然很高，通过分析就能知道，在一托气压下，气体分子的密度为 3.2×10^{16} 个/立方厘米。荧光灯中惰性气体的压力都在一托以上，所以气体分子密度比上述数值更要大些。这些气体分子在空间以很大的速度不停地运动，常温时的平均速度约为每秒数百米。如果温度升高，速度便增大。至于放电中的电子和离子，由于受到电场的加速，速度还要大得多，特别是电子的速度常在每秒几百万米以上。

大量快速电子、原子和离子在空间运动时相互间发生着极为频繁的碰撞。在常温和一托气压下，每个分子每秒大约要遭到一千万次的碰撞。每两次碰撞间自由飞行的平均路程——平均自由程不到 200 微米，由此可见气体粒子间的碰撞次数是非常惊人的。

物体相碰时，会发生能量和动量的交换，气体粒子间的碰撞也不例外。根据碰撞时动量和能量的交换情况，可以将碰撞分为弹性碰撞和非弹性碰撞两大类。如果相碰物体遵守能量守恒和动量守恒定律，即碰撞前的总动能和总动量与碰撞后相同，则这种碰撞称为弹性碰撞。气体分子间的碰撞决大多数都是这种碰撞。反之如果不遵守动能守恒和动量守恒定律，则是非弹性碰撞。

气体分子在极其频繁的弹性碰撞中不断进行能量交换与动量交换，结果使得分子的运动情况变得极为杂乱。杂乱运动中单个分子的运动是毫无规律的，但是大量粒子作为一个整体，则表现出了一种统计的运动规律。首先这种运动是各向均匀的。第二，杂乱运动中各个分子的速度虽然极不相同，并在不断地变化，但是处在各种速度范围内的分子数则是不变的。第三，所有分子的平均动能是固定的，并由气体的温度决定。温度越高，分子的平均动能越大，大能量的分子也越多。

产生非弹性碰撞时的情况就不同了。我们知道当两个弹子猛烈相碰时，其中的一个甚至两个都会破碎。这时不仅弹子的动能而且内能都参与了交换，因此不再遵守动能守恒和动量守恒定律，这种碰撞称为非弹性碰撞。显然只有在相碰物体的动能或内能很大时才产生非弹性碰撞。

气体分子间也可能产生非弹性碰撞。在气体温度很高时会出现少数高能量分子，这些分子与其它分子相碰就可能产生非弹性碰撞。在气体中出现电子时，由于电子很容易从电场中获得并积累能量，当大能量电子与气体分子或原子相碰时，就比较容易产生非弹性碰撞。

二、原子的激发和电离

弹性碰撞和非弹性碰撞是气体放电中普遍存在的基本过程，其中特别是非弹性碰撞更直接关系到放电的建立和发光过程，因此我们下面着重介绍非弹性碰撞的情况。

汞蒸气是荧光灯放电中的工作气体，因此我们以汞原子为例来说明放电中的情况。下面先叙述汞原子中的电子分布情况(电子组态)。

原子核外的电子是分处在一系列电子壳层中的，每一壳层中包含若干个椭圆电子轨道，这些轨道又可分为若干亚层，并依次用字母 s 、 p 、 d 、 f 、 g 、 h ……表示，这样就能对原子核外的电子进行编组，如 $3p$ 电子是表示第三电子壳层、第二亚层中的电子，而 $5s$ 电子则表示第五电子壳层、第一亚层中的电子，同样 $7d$ 、 $8h$ ……也都有类似的含意。

不同电子壳层中所包含的亚层数是不同的，第一电子壳层中只有 $1s$ 一个亚层，第二电子壳层中包含 $2s$ 、 $2p$ 两个亚层，第三电子壳层包含 $3s$ 、 $3p$ 、 $3d$ 三个亚层，而第四、第五……电子壳层则包含从 $4s$ 到 $4f$ 和从 $5s$ 到 $5g$ 的四或五个亚层。在更高壳层中还将包含更多的亚层数。

不同亚层中所包含的电子轨道数也是不同的， s 亚层中只包含一个电子轨道， p 亚层包含三个，而 d 、 f 、 g ……等亚层则分别包含 5、7、9……个电子轨道，越是外亚层包含的电子轨道数也愈多。

每个轨道中所能允许的电子数是有限的，最多不能超过两个。所以 s 亚层最多有两个电子， p 亚层则是 6 个，而 d 、 f 、 g 等亚层最多是十个，十四，十八个电子……。由此

可推知，每一电子壳层中最多能有 $2n^2$ 个电子，这里 n 是电子壳层的序数。

原子核外的实际电子数是有限的（正常原子的电子数与原子序数相等），这些电子总是分布在尽可能靠近原子核的内层轨道上，填满最内层轨道以后再逐个向外填充，最外一个电子壳层中的电子就是该原子的价电子。价电子以外的轨道在正常情况下都是空的，价电子被激发时就跃迁到这些轨道上去，所以空着的轨道和原子的能级是完全相对应的。

汞原子是周期表中的第八十号元素，共有八十个电子，这些电子分处在 $1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 3d, 4s, 4p, 4d, 4f, 5s, 5p, 5d, 6s$ 等各个能级上，在第六电子壳层中只有 $6s$ 亚层上有两个电子，这两个电子就是汞的价电子，所以汞的基态是 $6's_0$ 态，这里 s 左上角的数字表示原子状态的多重性（数字 1 表明是单重态）， s 右下角的数字则表示总角动量量子数，关于这些数字的物理意义这里就不多介绍了。

对于汞原子 $6's_0$ 以上的所有能级，在正常情况下都是空着的。但是在高速电子的撞击下， $6's_0$ 能级上的电子可能吸收能量而被激发，同时跃迁到和所获得的能量相应的较高能级上去，这种能级发生变化的过程称为激发。激发是一种非弹性碰撞，激发了的原子称为受激原子。

激发要吸收一定的能量，这一能量必须正好等于跃迁前后两个能级的能量差。在电子学中常采用电子伏特作为能量单位。电子伏特是指一个电子经过一伏电位差时的能量变化。其单位常用符号(eV)表示。通过换算可知。

$$1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ 焦耳}$$

以 eV 作单位的激发能称为激发电位。任何元素的原子都有