

霓虹燈原理

制造與維修

佟大英
任華異
編著



232

电子技术出版社



73.28232
362

霓虹灯原理制造与维修

任华巽 佟大英 编著

四川科学技术出版社

一九九四年五月·成都

(川)新登字004号

责任编辑:解励诚

封面设计:木子

版面设计:崔泽海

封面摄影:苗虎

霓虹灯原理制造与维修

任华巽 佟大英 编著

四川科学技术出版社出版发行 (成都盐道街三号)

资中县印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/32 印张5 插页1 字数114千

1986年4月第一版

1994年6月第2次印刷

印数:3351—9350册

书号:ISBN7-5364-2849-9/TM·13 定价:4.50元

D1105/10

内 容 提 要

随着工农业生产的发展和人民生活水平的提高，霓虹灯作为一种特殊光源，它鲜艳夺目、生气勃勃、五彩缤纷，愈来愈受到人们的重视和喜爱。

《霓虹灯原理、制造与维修》一书，系统叙述了这类灯的工作原理、制造方法，并对提高霓虹灯的质量和排除运行故障作了分析。它是一本理论紧密结合实际的书，填补了国内这项空白，是从事霓虹灯技术工作的人员一本实用的学习资料。

目 录

绪 言	1
第一章 气体放电的基本原理	6
第一节 气体分子激发、电离及带电粒子的产生	6
第二节 气体放电的种类	12
第三节 辉光放电	21
第二章 真空的获得和测量	29
第一节 真空的获得	29
第二节 真空的测量	42
第三节 真空系统和检漏	52
第三章 荧光粉及粉管的制作	56
第一节 荧光粉发光原理	56
第二节 常用荧光粉和荧光粉选用	62
第三节 荧光粉管的制作	67
第四章 霓虹灯电极和灯管的制作	73
第一节 灯工基本设备	73
第二节 玻璃及其基本吹制工艺	81
第三节 霓虹灯电极的制作	93
第四节 灯管的吹制	102
第五章 排气与充气	107
第一节 排气台的结构	107
第二节 排气工艺	114
第三节 充气工艺	122

第四节	灯管的老炼·····	123
第五节	充汞灯管的特殊工艺·····	125
第六章	霓虹灯的安装运行·····	128
第一节	霓虹灯的安装·····	128
第二节	霓虹灯的运行·····	131
第三节	漏磁变压器·····	135
第七章	霓虹灯故障维修与质量讨论·····	140
第一节	霓虹灯故障的判别和修理·····	140
第二节	霓虹灯管的修复·····	144
第三节	霓虹灯质量的讨论·····	146
附录一:	霓虹灯小型生产厂的设备和人员配置·····	152
附录二:	国产机械泵性能·····	156

绪 言

霓虹灯是一种冷阴极辉光放电光源。由于它外形灵活、色彩丰富，广泛应用于各个领域。霓虹灯的制造已成为制灯工业中的一个分支。随着经济的发展，霓虹灯工业必将会在我国各地蓬勃发展。

霓虹灯的历史可以追溯到十九世纪法拉第对气体放电的研究。由于他发现了电磁感应定律，改进了感应圈，使气体放电的研究开展起来。法拉第还研究过各种形式的气体放电，并确定了各种放电形式产生的条件。值得一提的是十九世纪五十年代盖斯勒放电管的出现，以及后来克鲁克斯放电管的发明。这些放电现象的研究，吸引了当时大量能干的科学家，促使了伦琴发现 γ 光和汤姆森发现电子。而放电管中不同气压和放置不同气体时色彩变化，也吸引了科学家对它的应用进行研究。把气体放电的丰富色彩和明亮光线运用于照明是1893年缪勒倡导的，1904年已经初步试制出了霓虹灯，它的灯管直径是45毫米、长60米，用次级电压为一万多伏的变压器供电，当时霓虹灯管的电极是石墨制的，管内充的是氮气或二氧化碳，前者发粉红色光，后者发白光。由于这些气体较活泼，易和电极起化学反应，阴极溅射出来的石墨在玻璃上形成薄膜，强烈吸收这些气体，使放电管内气压很快下降，所以这种霓虹灯寿命很短。为了解决这个问题，曾经在霓虹灯管上加一个特殊的电磁阀门，一定时间后往灯管内放入一定量气体，但这不能克服初期霓虹灯的弱点。这

种灯不仅寿命短、使用不便,而且造价也高,所以很难推广。

1907年克劳特和林德发明了利用液态空气分馏提取惰性气体的新方法,使惰性气体的工业生产成为可能。1910年克劳特改变霓虹灯内充的气体成分,将各种惰性气体代替原来的活泼气体,大大减慢了气体在灯管内消耗的速度,为实用的霓虹灯打下了基础。这个重大革新使霓虹灯寿命大大延长了,色彩也丰富了,红、黄、蓝、绿等颜色的灯管都能制作。这是一项重大的技术突破。

二次大战前夕,人们在光致发光的研究中有了新的突破。一种能用紫外辐射激发而发可见光的材料被制造出来。这些材料能利用汞蒸气放电辐射出的紫外线,发出各种颜色的光,而且发光效率也高,我们把这些材料称为荧光粉。荧光粉被引进霓虹灯后,使霓虹灯的发光效率得到显著提高,而且使灯的色彩更能变化自如,制作工艺也简化了。所以战后大量推广应用。目前霓虹灯制作技术已较成熟,但在提高发光效率和进一步延长寿命方面,仍有待改进。制作性能更优良的变压器,扩展霓虹灯的应用领域也是目前的研究课题。

霓虹灯有两种形式:一种是利用透明玻璃管制作;另一种是在玻璃管内壁均匀地涂上荧光粉,即由粉管制作。

霓虹灯技术主要涉及玻璃吹制,真空的获得和测量、气体放电、光致发光以及漏磁变压器等方面的知识和技术,所以这是一项综合性的技术。

霓虹灯的基本结构如图0—1所示。在玻璃管的两端封接上两个电极,电极的引出线穿过玻璃而引出管外。玻璃管按要求弯曲成各种文字和图案,用一只漏磁变压器给放电管供电,霓虹灯就能发出各色耀眼的光芒。霓虹灯大多是利用

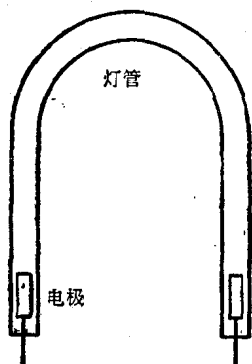


图 0—1 霓虹灯基础结构

冷阴极辉光放电工作。透明玻璃管制作的霓虹灯，是利用辉光放电正柱区放射的辉光照明。粉管制作的霓虹灯，是利用放电正柱区放射的紫外线，激发灯管内壁的荧光粉发出耀眼的光辉照明。

两种霓虹灯制作方法大同小异。都是根据设计，由灯工把玻璃管吹制成一定形状的文字或图案。在灯管两端装置电极后，接到特制的真空排气台上，干净彻

底地抽去灯管内的空气。去气完成后，在管内充入惰性气体。用粉管制作的霓虹灯，充入的惰性气体一般是氙，同时要在管中注入纯净的汞。这种形式灯管的颜色由涂在灯管内壁荧光粉的种类决定。用透明玻管制作的霓虹灯，根据需要的颜色，充入确定的惰性气体。例如红色要充氖气，黄色充氙，而蓝色则需充氖和氙并加少许汞。

现代发光理论认为，气体正柱区内发光过程是气体分子、原子从能量的基态跃迁到激发态并由激发态回复到基态引起的。在分子、原子从激发态回复到基态的过程中，以辐射光子的形式放出能量。光子的能量由激发态和基态之间的能量差决定。而光子能量又和光的波长相对应的，人们观察到的颜色实际上是由光的波长决定的。红色就是波长从0.62至0.78微米的光，绿色光的波长在0.49至0.56微米之间，而紫色光的波长处在0.38至0.42微米之间。当充入的气体在放电中放出光的波长在红色区，霓虹灯是红的，其它类推。而粉管是利用汞蒸汽在放电中放出强烈的紫外线，一般都利用波长为0.2537

微米的紫外线，激发荧光粉发光。荧光粉分子吸收紫外光的光子，也发生从基态向激发态的跃迁，当从激发态回到基态时，辐射出一定波长的光，因不同荧光粉发出的光不一样，所以显示出不同的颜色。这些荧光粉结构十分复杂，所以发出的光不可能是单一波长，不过它总有一个波长最强，由它来决定颜色。如钨酸钙发射光的波长在 $0.31\sim 0.70$ 微米范围内，覆盖了紫外到红光，但其最强波长在 0.44 微米处，所以显示出蓝色（蓝光波长在 $0.42\sim 0.45$ 微米之间）。而磷酸锌镉虽然辐射光波波长在 $0.40\sim 0.70$ 微米之间，因其辐射最强波长在 0.65 微米，所以显示深红色。

冷阴极辉光放电霓虹灯一般寿命超过人们常用的日光灯。另外因为冷阴极工作，整个灯基本不发热，从电能变为光能的效率高。所以霓虹灯作为一种特殊光源有重要的应用价值。

充氮气的明管霓虹灯发出强烈而鲜艳的红光，它不易被空气中的水汽吸收，可以把光照射到很远的地方，即使在雾和雨中也如此。所以这种灯管用作航标灯，可以为夜航的船只指示航程，在机场上也因其易辨认而作为信号灯光，亦能在道路上作路标。总之，凡是需要提醒人们注意的地方都可以用霓虹灯作指示，它在车站、码头和医院等处能给旅客和病人带来方便。

广告可算目前霓虹灯最大的用途，在城市的街头、屋顶，在商店的门口和柜台前，霓虹灯耀眼、美丽的光辉能给人以深刻的印象，能为工厂、商店做各种宣传。目前虽已发明了大屏幕电视可供广告宣传之用，但其价格之昂贵是一般工厂、商店不敢问津的。

霓虹灯可大可小，所以目前霓虹灯已和电子技术结合起

来作为一种终端显示装置，以显示比较大的数字或图象。这种装置可对很多物理量或其它量进行现场数字显示。例如街道上的噪声大小，车间里的温度、湿度。在一些特殊的情况下，用它来显示空气污染程度或放射性强度，目前尚难有其它便宜的手段代替它。霓虹灯作为一种特殊光源，能美化城市环境。在美丽柔和又不断变换色彩的灯光下，给人们的生活增加不少情趣。作为宣传工具也很醒目。随着霓虹灯的改进，进入家庭作为装饰也是可能的，到那时霓虹灯将会有更大的发展。

第一章 气体放电的基本原理

气体在通常情况下，是一种良好的绝缘体，但在适当条件下，处在气体中的两个电极之间加上电压，也会有电流流过，这种气体导电的现象称为气体放电。人们常见的闪电就是一种气体放电现象，极光也是气体放电。霓虹灯就是利用气体放电发光的一种电气光源。

第一节 气体分子激发、电离及带电粒子的产生

一、激发、电离的基本概念

气体放电和气体分子、原子的电离现象密切相关，而气体放电伴随的发光现象则和气体分子、原子的激发、消激发以及气体分子的复合相联系。

一般情况下气体并不导电，因为气体中带电粒子（包括自由电子和离子）极少。要使气体导电，必须在气体中产生足够多的带电粒子。我们知道气体的原子象一个小小的太阳系：中间是原子核，在周围不同距离的轨道上，各有一定数量的电子绕着核旋转。原子核直径很小，仅 10^{-13} 厘米，原子的直径约为 10^{-8} 厘米。一般情况下核带的正电荷等于轨道上电子所带负电荷的总量，所以原子是中性的。若外界给原子提供能量，轨道上的电子运动状态会发生变化。外层电子即

价电子最易发生变化，在气体放电研究中，最注意这些电子。

量子理论告诉我们，原子能量值是不连续的，象阶梯一样，是一级一级的，不能取中间值，这就是能量量子化。这些能量阶梯我们称为能级。一定原子的能级是确定的，不同原子有不同的能级。图1—1是氢原子能级图。 $n=1$ 是最低的能

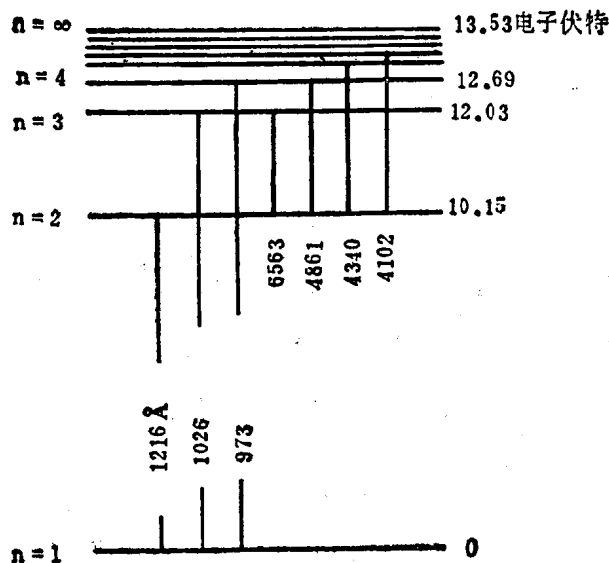


图1—1 氢原子能级示意图

级，这时原子处在最稳定状态，称基态。当原子吸收了外界的能量，电子即跃迁到更远离原子核的轨道上去，原子的这种状态叫做激发态，这个过程称为激发。当吸收足够的能量后，电子可以脱离原子核的吸引成为自由电子，这种过程称为电离。电离的结果就产生了带电粒子，即自由电子和离

子。激发和电离的相反过程，称为消激发和复合。这时原子从高能状态跃迁至低能状态，会以各种形式放出能量。常见的是以光的形式放出能量，这就是发光现象，即气体放电光源发光的本质所在。分子的激发、电离以及它的逆过程和原子相似，只是它们的能级结构要复杂些。

讨论激发和电离所需的能量，常用电子伏特这个单位。电子伏特是一个电子经过一伏特电位差加速后，所获得的动能，以 ev 表示。人们通常用激发电位和电离电位表示激发、电离所需要的能量，其意义是能量的电子伏特数。一个电子伏特的能量是 1.6×10^{-19} 焦耳。表1—1列出了一些气体和汞的数据。引起原子激发和电离的能源形式很多，所以电离、激发的方式也有多种，主要有：

表 1—1 惰性气体和汞的第一激发电位、电离电位

气 体 种 类	氦	氖	氩	氪	氙	汞
第一激发电位 (伏)	21.2	16.7	11.6	9.98	8.4	4.9
电离电位 (伏)	24.6	21.6	15.8	14.0	12.1	10.4

1) 可见光、紫外线、 γ 射线等电磁辐射，它们都以光子形式给原子提供能量，使它们激发、电离。

2) 电子和原子碰撞后，电子能把自己的动能交给原子而使其激发或电离，这个过程在气体放电中特别重要。单个电子能量不足以使原子电离时，可能发生两个电子对一个原子提供能量。

3) 原子和原子之间的碰撞，一个原子将自己能量交给另一个原子。

4) 离子和原子之间的碰撞发生能量的转移。

二、粒子之间的碰撞

在气体放电中，微观粒子之间的碰撞是关键因素，也是产生带电粒子的主要方式。粒子之间的碰撞分两大类：一是弹性碰撞，这种碰撞只能在相互碰撞的粒子间交换动能和动量而不会发生激发和电离；二是非弹性碰撞，这类碰撞尚可细分第一类和第二类非弹性碰撞。在第一类非弹性碰撞中两粒子动能减少，能量使其中一个粒子激发或电离。在第二类非弹性碰撞中，两粒子中一个放出内部能量，使两粒子总动能增加。

设两个粒子的质量分别为 m_1 、 m_2 ，而碰撞时一个粒子速度为 v_1 ，而第二个粒子速度为0（这是为了处理问题方便）。在弹性碰撞中，根据能量守恒和动量守恒定律可得：

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_1 v_1'^2}{2} + \frac{m_2 v_2'^2}{2}$$

$$m_1 v_1 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

其中 v_1' 、 v_2' 是碰撞后第一和第二粒子的速度。解上列方程组可得：

$$v_1' = v_1 \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}$$

$$v_2' = 2v_1 \frac{m_1}{m_1 + m_2}$$

第二个粒子在碰撞中获得的动能是

$$E_2 = \frac{m_2 v_2'^2}{2} = 2 \frac{m_1^2 m_2}{(m_1 + m_2)^2} v_1^2 = 4 \frac{m_1 m_2}{(m_1 + m_2)^2} E_1$$

其中 E_1 是碰撞前第一个粒子的动能。从上式中看出, 当 $m_1 \approx m_2$ 时, 即两粒子质量相近时, $E_2 \approx E_1$, 第一粒子几乎把全部能量交给了第二个粒子。相反当 $m_1 \ll m_2$ 时, $E_2 = 4$

$\frac{m_1}{m_2} E_1$, 第一个粒子只有极少部分能量交给第二个粒子,

m_2 不同, 获得能量不一样。在非弹性碰撞中, 根据能量守恒定律和动量守恒定律, 可以算出运动粒子能量可能转化为用于激发、电离的能量最大值 E_m :

$$E_m = \left(\frac{m_2}{m_1 + m_2} \right) \frac{m_1 v_1^2}{2}$$

显然当 $m_2 \approx m_1$ 时

$$E_m = \frac{1}{2} \frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{1}{2} E_1$$

而当 $m_1 \ll m_2$ 时

$$E_m = \frac{m_1 v_1^2}{2} = E_1$$

可见两个质量相近的粒子碰撞时, 不能充分把粒子的动能转化为使原子激发和电离的能量, 而两个质量悬殊的粒子碰撞, 能充分利用粒子的动能。所以电子和原子、分子碰撞在激发、电离中起极为重要的作用。因为电子质量比原子、分子质量小数千倍以上, 所以它能把在电场中加速获得的动能几乎全部用于使原子分子的激发和电离上。

三、激发函数和电离函数

电子的激发作用常用激发函数表示，它是确定原子被电子激发的几率和碰撞电子能量之间关系的函数。电子能量常用电子伏特表示。不同气体会不同的激发函数，即使相同气体在不同能级，激发函数也不相同。在一般情况下，当电子能量低于激发所需能量时，激发几率为零。当电子能量等于激发所需要的能量，开始激发几率急剧增长，在电子能量超过激发能量一定值的地方达到最大值，然后又重新减少。

电子使原子、分子电离的情况常用电离函数来描述，电离函数表明电离几率和电子能量之间的数量关系。图 1—2

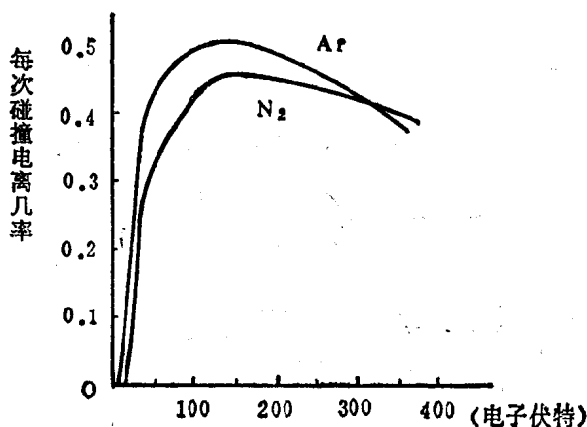


图 1—2 Ar、N₂ 的电离函数

给出了两种气体的电离函数。当电子能量小于气体的电离电位 V_i 时，电离几率为零。从电子能量的电子伏特数 V 等于 V_i 开始，电离几率 Q_i 陡然上升。在 V 处于五至十倍 V_i 内， Q_i 有一个极大值。当电子能量继续增加，则电离几率徐缓下