

氙灯

电影放映

陈大华 吴荣生 吴初瑜 编

轻
工
业
出
版
社

责任编辑：裴丰修

封面设计：崔云

电影放映灯

陈大华 吴荣生 吴初瑜 编

轻工业出版社出版 (北京广安门南滨河路25号)

沈阳印刷四厂印刷

轻工业出版社出版发行

1092×787毫米32开本

字数：185千字

1987年12月第一版

1987年12月沈阳第一次印刷

印数：2500册

定价：3.50元

ISBN7-5019-0298-8/TS·0193

统一书号：15042·2258

内 容 提 要

本书主要介绍电影放映光源——超高压短弧氙灯的工作原理、性能、设计和制备工艺；同时也详尽地阐述了放映氙灯所配置的电源设备、触发器、冷膜反光镜、冷却和稳定系统等装置的结构、原理及调节、使用方法。

本书可供电影放映技术人员及使用氙灯光源的人员学习参考；可作为培养电影放映专业人员的学校的教育参考书；也可供从事电光源研制和应用的其他工作人员参阅。

前 言

氙灯放映技术是一门电影放映的先进技术。用氙灯放映电影，发光稳定柔和，人物形象层次清晰，色彩还原逼真，银幕亮度高，操作方便，而且能减轻放映人员的劳动强度并对他们的健康无损害。因此这门技术在许多工业国家已广为采用。目前电影氙灯的开发，对放映座机光源装置如：反光镜、冷却系统、稳弧装置、整流电源和触发器等的设计和结构都提出了一系列新的要求。我们编写本书的目的，是为电影放映人员了解氙灯放映技术的一些基本知识，作为他们工作中的一本参考书。

本书的素材取自文化部科技局委托上海电影发行放映公司主办的全国电影放映技术讲习班的讲义，又结合编者自己多年的实践经验，从物理学基础的知识 and 理论出发来编写的。编者力求在阐述过程中结合我国的情况，深入浅出，便于读者理解。

本书的编写得到了上海、重庆和北京的一些放映部门、研究所和生产工厂的大力支持，并得到了蔡祖泉教授等专家和有关省市电影发行放映公司、工厂和影院的许多同志的帮助，他们对本书编写也给予了热情的鼓励，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，错误在所难免，请读者提出宝贵的意见。

编 者

1987.11

目 录

前言

第一章 电影放映光源发展概况	1
第一节 电气光源发展史.....	1
第二节 现代光源的应用和分类.....	5
第三节 热辐射光源.....	8
第四节 气体放电光源.....	12
第五节 荧光光源和化学光源.....	16
第六节 光源的基本知识.....	18
第七节 光度学基础.....	27
第八节 色度学基础.....	39
第九节 电影放映光源的发展和演变.....	47
第二章 电影放映氙灯的特性	60
第一节 超高压短弧氙灯概况.....	60
第二节 电影放映氙灯的充气特性.....	64
第三节 电影放映氙灯阴极光斑形成的原因.....	68
第四节 电影放映氙灯的结构.....	70
第五节 电影放映氙灯的光特性.....	83
第六节 电影放映氙灯的电特性和工作参数.....	84
第七节 电影放映氙灯使用中的若干问题.....	112
第三章 电影放映氙灯的研制和工艺流程	123
第一节 电影放映氙灯的设计.....	123
第二节 电影放映氙灯的封接工艺.....	128
第三节 电影放映氙灯电极的制备工艺.....	134

第四节	电影放映氙灯的工艺流程·····	142
第四章	电影放映氙灯的冷却系统·····	150
第一节	通风冷却的目的及必要性·····	150
第二节	通风冷却的部位·····	152
第三节	氙灯各部位温度的确定与合理组织 气流的必要性·····	155
第四节	隔舱通风的特点·····	158
第五节	风机的选用、风速与风量的关系·····	160
第六节	通风管道的安排及风机的安装·····	161
第七节	测试仪表·····	163
第五章	电影放映氙灯的启动装置·····	168
第一节	启动器的一般特性·····	168
第二节	启动器中电磁振荡的基本过程·····	172
第三节	电影放映氙灯的启动机理·····	175
第四节	电影放映氙灯的几种常用启动器·····	177
第五节	直流振子触发器电路介绍·····	181
第六节	启动次数对电极的影响·····	183
第七节	定压式触发器的特点及其位置安排·····	185
第八节	定压式触发器的维修保养及调整·····	187
第九节	定压式触发器常见故障及排除·····	188
第六章	电影放映氙灯的直流电源·····	192
第一节	直流电源·····	192
第二节	氙灯对电源的要求·····	196
第三节	电流纹波系数及电流脉动系数·····	198
第四节	限制启动时冲击电流的方法·····	200
第五节	介绍几种新型电源·····	201
第六节	电源常见故障及其调试方法·····	204

第七章 电影放映氙灯的稳弧	212
第一节 氙灯水平点燃的特点及其对电弧的影响	212
第二节 洛伦兹力	215
第三节 带电粒子在磁场中的运动	217
第四节 轴向磁场与垂直磁场稳弧机理	220
第五节 轴向磁场(环形磁体)稳弧的特点	222
第六节 环形磁体的安装、调整及辅助磁钢的安放	227
第七节 微型磁块稳弧装置	230
第八章 深椭球冷膜反光镜	233
第一节 冷膜反光镜的功能和特点	233
第二节 冷膜反光镜的构造及膜层设计原理	240
第三节 冷膜反光镜的制造工艺	246
第四节 氙灯的配光曲线及反光镜几何形状的确定	260
第五节 冷膜反光镜的保养及色温配对	269
第九章 氙灯与介质反光膜光学特性的测量	271
第一节 综合效果的测量	271
第二节 介质膜反光镜光学特性的测量	275
第三节 放映氙灯光参数的测量	276
第十章 改装系统的几个具体问题	292
第一节 原碳弧灯架部件的拆除	292
第二节 改装部件的安装	293
第三节 遮光器甩油原因分析及解决办法	297
第四节 氙灯改装后设备的统调与检查	298

第五节	阳极定位架.....	301
第六节	使用5K W 氙灯时的片门风冷措施.....	306

参考文献

第一章 电影放映光源发展概况

第一节 电气光源发展史

最古老的人造光源是白炽型的光源。它是将固体加热到一定温度后，在光谱的可见区域发出一部分光辐射。白炽型光源的光是怎样产生的？最初，是通过化学反应得到了高温，如油脂、蜡烛和煤油强烈的氧化燃烧，将碳粒子加热到白炽状态而发光的。根据考古学家的考证，可以追溯到30万年前的远古时代，那时人类就开始燃火照明。公元前4000年，埃及出现用金和石膏粒精制的带灯芯槽的油灯；公元前1000年，中国、希腊、埃及等文明古国才使用可移动灯芯的茶托型油灯，直到公元前500年，人们才开始使用蜡烛。在这漫长的岁月里，光都是通过燃烧的火而产生的。很显然，这种光源的使用有许多缺点和不便之处，后来通过用煤油雾化加热浸有硝酸钍溶液的纤维丝织体“韦耳斯拨”白炽罩，它在光谱的可见区域产生大量辐射。直到19世纪初，伏特发现了电流的发热和发光现象；同时，法国的探纳（Tenar）和高特罗（Gotro）也发现电流可使细金属导线热到发光乃至熔化的程度。1802年苏联物理教授彼得罗夫（Петров）发现了碳电弧，它是最古老的人造气体放电灯。碳电弧的发现，与他制造了当时认为最强大的化学电源电池有关，这一伟大的发现，由于当时电工学上基本问题即获得足够数量的电能还未得到解决，故在当时未能获得实际应用。1820年，当奥斯

特(Oster)发现导线中的电流能够产生磁场时，人们对磁场性质的理解就迈出了重要的一步。1831年法拉第发现电磁感应现象及改进感应圈。1833年楞次发现了重要的电磁感应定则。应用这个定则，确定实用电工学的一个重要原理——电机的可逆原理。它为以后能提供大量电能的发电机的发明奠定理论基础；也给电光源的发展提供了物质基础。

如上所述，由于各国科学家不断研究和努力工作，发现了两种由电能转变为光能的方法，第一种方法是利用电流的发热现象，导致了白炽灯的发明；第二种方法是利用气体放电现象，导致了气体放电灯的发明。

1. 白 炽 灯

19世纪后半叶，各国科学家分别发明了白炽灯，如1854年德国人卡彼(Goebi)制成了白炽灯、1878年英国人斯旺(Swan)制成碳化棉丝灯。为了制造用电流加热真空中的灯丝的电白炽灯，人们进行了许多次尝试。为了防止灯丝氧化，必须要有真空的工作环境。美国发明家爱迪生于1879年成功地做成了如图1—1所示的灯。其灯丝是碳丝，爱迪生选择碳作为灯丝材料，是因为碳的熔点非常高(熔点4000K)；另外，碳是灰色的，它与黑体的光辐射非常接近，随着温度的增加，发光效率迅速地增加。但是，碳丝不可能在非常高的温度下工作，因为碳的蒸发速率很高，以致玻壳在很短的时间内发黑，灯的寿命将很短。所以必须使灯丝温度远远低于熔点(即升华点)，因此1881年设计的白炽灯，寿命为600h，

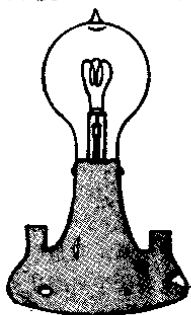


图1—1 美国通用电气公司所制爱迪生灯复制品

发光效率只有 2Lm/W 。为了能够使灯丝得到较高温度，曾寻求高温下与碳相比较低蒸发率的材料，最后采用钨，因为钨蒸发速率最小，熔点为 3683K ，比碳的熔点约低 300K 。而且，钨丝能在更高温度下工作，在相同温度下，钨的蒸气压是碳的蒸气压的大约 $1/5000$ 。较低的灯丝温度可得到较高光效；另外钨在红外线区域中还具有较低辐射之优点。1906年已出现拉制钨丝的白炽灯。到1912~1913年就已经制造出充惰性气体和螺旋丝白炽灯。1934年制成双螺旋丝充气白炽灯，它比单螺旋丝灯有更高的发光效率。1936年出现应用氩和氙作为充填气体的高光效白炽灯。

长期以来，人们就希望把白炽灯内蒸发的钨返回到灯丝上去，这个设想实际上是在1959年才实现。那年，弗里德里希（Fridrich），莫斯贝（Masbey）等在石英泡中的钨螺旋丝和填充气体中添加了一定量的碘。在一定温度下的玻壳壁处，被蒸发的钨和碘化合，形成一种极易挥发的碘钨化合物。当化合物来到灯丝附近时，由于那里的温度高，化合物分解成钨和碘。因此，在灯丝周围的钨的浓度要大于没有碘时的浓度。这时，钨向灯丝的反扩散增加了。全部蒸发出来的钨最终回到灯丝。这样，白炽灯的光衰明显减少。提高了有效寿命，它在使用寿命内光效几乎不下降。目前小型放映机还在广泛采用这种卤钨白炽灯。

2. 气体发光灯

气体放电发光在自然界中已有许多现象。人类自古以来亲眼目睹这些雄伟的现象，如北极光，高耸物在暴风雨前的光辉和自然界中最强有力的气体放电——闪电之类。但直到伽伐尼（Galvani）蓄电池的发明才促使1802年彼得罗夫等发现第一个最强大的人造气体放电发光——碳电弧。

1831年法拉第发现电磁感应现象，并在发光放电方面作了广泛研究，直到1838年止，他已确定了各种放电形式(无声放电，辉光放电、火花放电)和它们发生的条件，这些工作都是借静电发生器进行的。法拉第还观察了放电管负极和正极上的各种发光现象以及在电极之间的暗区(法拉第暗区)。

1856年盖斯勒(Geissler)用人们所改进的抽气方法，开创制造了充以各种气体的白金电极的放电管，并以他的名字来命名。以后，盖斯勒发光管为许多物理学家广泛地利用到研究放电工作上。放电发光和稀薄气体及真空中的其它放电现象，是以后许多人所研究的。例如普留克尔(Plukker)在1895年研究过盖斯勒管的发光谱及其对温度的影响。特别是美国工程师密勒(Moore)在1893年设计的具有稀薄气体(氮和二氧化碳)的管子，开始了目的在于照明的发光管的实际研制。1910年在发光管中改用氖、氙等气体。因钠在260℃温度下就有腐蚀玻璃变成棕色的现象，钠蒸气灯出现略微迟一些，直至1919~1920年才开始流行起来。

1920年初，开普顿(Compton)成功地解决了抗钠玻璃的制造，从而克服了钠灯发展中的一个困难。钠灯是一种光效比较高的气体放电灯，正式供应市场是在1932年(见图1—2)。1930~1932年这一段时期内，汞蒸气放电发光也得到应用，使用了石英泡壳及氧化物阴极，这使利用紫外辐射发光成为可能。开始出现

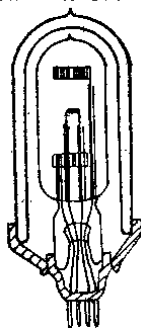


图1—2 1932年的低压钠灯有一个阴极，二个阳极，放电管装在杜瓦瓶中

一个大气压的高压汞灯，后来又出现了几十个乃至几百个大气压的超高压汞灯。应该特别指出，1938年出现一种很经济的气体放电灯，即荧光灯。这种灯是利用惰性气体和蒸气的弧光放电正柱区产生的紫外辐射，通过管壁内的薄荧光粉涂层转变为可见辐射。发光效率很高，受到世界各国的重视。以后几年又出现了用氩、氦、氙等惰性气体制成的超高压强气体灯以及高光强的脉冲灯。1948年西德奥司兰公司首先研制超高压球形氙灯，1951年开始供应市场。1954年氙灯用于电影放映机上。这种既具有碳弧的高亮度，又具有白炽灯那样无需维修和便于清洁的新型光源，光谱接近日光（相关色温为6000K），在制片厂和电影院中得到了广泛的应用。

电气光源的迅速发展，为电影照明和电影放映提供了高亮度，高光效、长寿命和实用可靠的光源。

第二节 现代光源的应用和分类

回顾一个世纪以来电光源发展的历史，是与人类的各种活动紧密联系的。近百年来自然科学的重大发现为电光源的研制提供了可靠的理论基础，而自然科学中各门应用技术科学的发展，反过来又对光源提出了要求，这又给电光源的发展以动力。今日的电光源已成为一门专门科学，它应用了现代化科学技术中多种类科学的成果，尤其是数学、计算机技术、等离子体、固体物理、物理化学、分析化学、普通化学、金属学、玻璃陶瓷工艺学、阴极电子学、照明及电气工程、真空技术及力学工程等。且电光源科技工作中已形成了一支综合科学技术人才的队伍，使这门学科的发展比以往任何时候都要迅速得多。

随着电光源技术的飞速发展，其用途也越来越广泛。近代电光源不仅用在与人民生活不可分离的人工照明方面，而且已广泛地应用到工业、农业、交通运输、医学、国防技术等国民经济各个领域和文化艺术领域。例如在工业上，光源对各种零件和家具上所涂光敏油漆的辐照，可使烘漆过程简便迅速，提高工效数十倍，而且涂漆层表面层熠闪光不起皱纹。化学工业中某些部门使用特种光源后，可以提高产品质量和生产效率。矿井中使用的数量极多的防爆光源和微型矿灯，它们既能保证矿井作业的足够照明，又能满足矿井安全和减轻矿工劳动强度的特殊要求。其它如晒图，照相制版、印刷和复印技术，集成电路的光刻等等都要有特殊光源。

农业上，光对植物生长，发芽，开花和结果都有很大影响，通过人造光源的辐照能使作物产量有所提高。在农业灭虫方面，利用昆虫的趋光性，用特制的电光源每昼夜可诱杀数公斤的害虫。紫外线还有杀菌作用，用紫外光源照射家畜和家禽饲养场后，可大大减少牲畜疫病。渔业上利用鱼类的趋光性，晚间捕鱼也取得了可喜的效果。

交通运输上，新型节能光源的使用，统计数字说明晚间交通事故率下降50%以上，机场光源的改进和完善，使远离机场20km的飞机，能观察跑道的方向，纠正航向安全着陆。火车机头上改装能发强光的短弧汞氙光源后，使司机能看清2km以外的目标，以便及时对各种意外事故采取紧急措施，大幅度地减少了火车事故率。还有一种腰形救生浮灯，在航海事故中，将灯随救生圈抛入夜色茫茫的大海中可以发出闪烁光芒，便于人们发现救生圈的位置。新型航标灯能在晚间正确地指示航道，并使灯光在黄昏时自动开启，黎明时自动熄灭。

医学上，已使用了治疗皮肤癌的抗癌光源，手术时的无影灯和能发出紫外线来杀菌消毒的紫外线灯，进行物理治疗的太阳灯和红外线灯、用作胃肠检查的胃镜和腹腔镜中的超微型灯泡等。

文化艺术上，电影放映机用的放映光源，不但亮度强而且光色好，彩色效果逼真；同时摄影棚里的灯光用了许多体积小、重量轻的新型强光光源，减轻了灯光操作人员的劳动强度。

科学研究上，精密测量仪器如干涉仪、分光计、偏振计上都要用到各种光谱光源，如氢（气）灯、氪灯、氢弧灯、钠灯等近百种仪器光源；分析物质微细结构要用到原子光谱灯；研究半导体器件等需在阳光下老化时，有各种类型的太阳模拟器，这就要用到模拟光源——大功率短弧氙灯。

国防上，也要用到许多光源。如坦克夜间瞄准用的夜视红外光源，它使人们借助于红外转换器，在夜间能清晰地瞄准 $1 \sim 2 \text{ km}$ 外的目标。据统计，一架现代化飞机要用 30 多种不同的光源，而一艘现代化军舰要用 300 种以上的光源。

电光源的应用已深入到人类的各种活动之中，在现代社会中，很难发现还有什么领域没有被电光源所渗透。按照发光原理大致可以把电光源分为三类：热辐射光源，气体放电光源和特种光源。如表 1—1 所示。

电光源如按发光体的形状分类，则可分为固体光源，液体光源和气体光源。如表 1—1 所示。

光 源 种 类	光 源 名 称
热 辐 射 光 源	白 炽 灯、碘 钨 灯
低 气 压 放 电 光 源	低 压 钠 灯、氢 灯、氖 灯、氙 灯、氢 弧 灯、原 子 光 谱 阴 极 灯、荧 光 灯、紫 外 线 杀 菌 灯、低 压 高 频 无 极 放 电 灯
高 气 压 放 电 光 源	高 压 钠 灯、高 压 汞 灯、超 高 压 汞 灯、超 高 压 短 弧 氙 灯、长 弧 氙 灯、高 压 高 频 无 极 放 电 灯、金 属 卤 化 物 灯、脉 冲 放 电 灯
特 种 光 源	荧 光 光 源、场 致 发 光 光 源、半 导 体 光 源、化 学 光 源 和 金 属 丝 燃 烧 光 源

第三节 热 辐 射 光 源

热辐射现象是十分普遍的，一切有一定温度的物体，都在产生热辐射。例如我们周围的物体，总有一定的温度，它们也都在产生热辐射，只是它们的温度太低，辐射出来的是不可见的红外线，只有热辐射体达到一定的温度以后，才会辐射出较多的可见光线，这时我们就能得到热辐射光源。

热辐射体的温度和它所辐射的光谱能量的关系可根据斯梯芬——玻耳兹曼公式决定：

$$E = e_r \cdot \sigma T^4 \quad (1-1)$$

式中 e_r 是小于 1 的数值，称为金属的积分辐射系数（又称发射率，它与金属材料的性质和温度有关； σ 是斯梯芬——玻耳兹曼常数； T 是热辐射体的温度，以绝对温度表示； E 是单位时间从单位表面辐射出的能量，称为辐射本领。

由上式可见，热辐射体的辐射能量与其温度四次方成正比，因此热辐射光源的温度提高对辐射光能量的增加是有利的。热辐射体辐射能量的光谱分布，可由普朗克分布定律确定：

$$E_{\lambda} d\lambda = \frac{C_1}{\lambda^5} \frac{\varepsilon_T(\lambda T)}{(e^{C_2/\lambda T} - 1)} d\lambda$$

式中 C_1 、 C_2 是常数， T 是热辐射体温度， $E_{\lambda} d\lambda$ 是表示热辐射体单位表面在1秒钟内向外辐射的波长在 $\lambda \sim (\lambda + d\lambda)$ 之间的能量值， $\varepsilon_T(\lambda T)$ 是光谱发射率。

又考虑到人眼对光的视见函数为 $V(\lambda)$ ，我们可以得出灯的光效应为：

$$\eta = 680 \frac{\int_0^{\infty} V(\lambda) \varepsilon(\lambda T) E_{\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} \varepsilon(\lambda T) E_{\lambda} d\lambda} \quad (1-3)$$

钨丝白炽灯是现代热辐射光源的典型代表。它的主要缺点是能量转换经济效果较差；要提高其效率则受到材料熔点，蒸发率及辐射选择性的限制。因为，人的视觉的敏感度局限在光谱中非常窄狭区间的可见辐射部分内。面白炽灯在其工作温度范围内，其大部分辐射能都落在红外辐射区间内，只有极少一部分被人视觉感受为可见光的辐射（见图1-3）。图中各曲线表示各种温度的黑体的光谱辐射特性。从图中可以看出各种不同温度的黑体，大部分辐射能量都落在1—3 μ m辐射区（即红外区），随着温度的升高，辐射在光谱可见区的辐射量将随之增加（当3200K时，已将视觉灵敏曲线 $V(\lambda)$ 包络）。据计算，灯丝温度 $T = 2450\text{K}$ （真空白炽灯），光谱可见部分所占能量为全部能量的7%左右，在 $T = 2800\text{K}$ （充