

光源电器 原理 及其应用

GYDQYLJQYY

蔡祖泉 陈大华 编著
王国富 刘跃群



内 容 提 要

本书较全面地介绍了光源电器的原理、特性和作用,并对光源与相应的电器附件的关系,光源电源及电器附件的设计、制造和材料工艺等作了较系统的论述,同时介绍了测量光源电器参数的方法。此外,书中收集了多则运用实例和电路。本书取材新颖、简明实用,对问题阐述理论严谨、概念准确。

本书可供从事光源和光源电器研制及照明设计的工程技术人员,以及工业、农业、交通运输、电影电视、科研和生产等领域中应用电光源的有关人员阅读,也可供大专院校从事电光源、工程照明专业的师生作为教材或参考书。

光源电器原理及其应用

蔡祖泉 陈大华 编著
王 国富 刘联群

责任编辑 刘 嘉
河南科学技术出版社

上海新华印刷厂印刷

河南省新华书店发行

850×1168毫米 32 开本 13印张 322千字

1988年10月第1版 1988年10月第1次印刷

印数 1—8,000 册

ISBN 7-5349-0271-1/T·272

定价: 4.50 元

前 言

近年来,电光源照明技术发展很快,但我国出版的这方面书籍却为数不多,显然跟不上工业、农业、科技、军事和人民生活对电光源照明的迫切需要。本书是为适应这个需要而写的。本书与众不同之处是从电光源原理出发,系统地叙述了光源电器原理。

光源电器作为照明技术的重要内容之一,起着直接影响照明的作用。无论是浩大的照明工程或局部的灯光照明,都须考虑光源电器的合理应用。照明设计的客观及主观效果、一次性投资的大小、节能情况、运行性能等,这些均与光源电器有关。研制和开发新光源,也须考虑光源电器的合理性和可行性。另一方面,作为光源电器的直接生产单位,更须对其应用原理、设计、测量有详细的了解。本书从电光源原理出发,详细叙述了光源与电器附件的关系,光源电器设计制作中应遵循的原则和方法,并介绍了它们的电参数的测量方法。

本书力求在实用性、系统性和理论性各方面予以兼顾,既使读者能了解本专题的全面情况,又能在实际工作中作为参考。但须说明的是,本书的意图不在于也不可能给读者提供解决问题的特效良方,而是使读者在参考的基础上能触类旁通,结合自己的具体情况进行分析、比较和创造性地加以应用。

本书是为在光源照明领域工作的中级研究人员、工程技术人员和大专师生写的,其他有关人员也能作为参考资料。

在本书编写过程中，复旦大学高级工程师顾元壮，全国自学考试委员会电类委员会主任、交通大学陈鸿彬教授曾审阅了原稿，提出了十分宝贵的意见。在本书的编写出版过程中，全国著名的灯用稀土荧光粉生产工厂——上海跃龙化工厂给予了支持。另外，于冰同志对本书的出版也作了大力协助。在此，我们一并表示衷心感谢。

由于本书所涉专题作为书籍出版在国内不多，我们又缺乏经验，是否应该这么写，是否对读者有所裨益，还需不断积累经验，不断改进，敬请广大读者斧正。

编 者

1988.1 上海

目 录

第一章 电的基本知识和电路	(1)
第一节 电的基本知识	(1)
一、电荷、电量和电荷守恒定律	(1)
二、导体、半导体和绝缘体	(2)
三、电流、直流电流和交流电流	(6)
四、电位和电位差	(10)
五、电阻	(11)
六、电容器	(17)
第二节 电路的计算	(28)
一、基尔霍夫定律	(28)
二、复杂直流电路的特殊计算	(30)
第二章 磁和磁路	(38)
第一节 磁和磁场	(38)
一、磁的基本概念	(38)
二、铁磁物质	(40)
第二节 磁路	(43)
一、磁路基本定律	(43)
二、交变磁通磁路	(45)
三、铁磁共振电路	(50)
四、磁放大器	(53)

第三章 光源电器中常用的电子器件	(59)
第一节 半导体的基础知识	(59)
一、半导体的导电性能	(59)
二、 $p-n$ 结的形成及其单向导电性	(62)
第二节 半导体二极管	(64)
一、二极管的结构	(64)
二、二极管的特性和技术参数	(65)
三、二极管的分类及稳压二极管	(67)
第三节 晶体三极管	(70)
一、晶体三极管的结构	(70)
二、晶体三极管的电流放大作用	(72)
三、晶体三极管的输入和输出特性曲线	(73)
四、晶体三极管的主要技术参数	(75)
第四节 可控硅	(76)
一、可控硅的结构	(76)
二、可控硅的工作原理	(77)
三、可控硅的阳极伏安特性	(78)
四、可控硅的型号和主要技术参数	(80)
五、可控硅使用中的保护问题	(80)
第五节 其它特殊半导体器件	(81)
一、双基极二极管	(81)
二、双向可控硅	(85)
三、光控可控硅	(86)
四、快速可控硅	(86)
五、可关断可控硅	(88)
六、双向触发二极管	(92)

第四章 光源电源	(94)
第一节 电光源原理简述	(94)
一、电光源分类.....	(94)
二、热辐射光源原理简述.....	(95)
三、气体放电光源原理简述.....	(95)
第二节 光源对电源的要求	(96)
一、热辐射光源对电源的要求.....	(96)
二、气体放电光源对电源的要求.....	(99)
第三节 光源电源的分类	(100)
一、交流稳压电源.....	(100)
二、交流调光电源.....	(114)
三、直流电源.....	(124)
四、高压电源.....	(136)
五、高频电源.....	(141)
第五章 镇流器	(148)
第一节 气体放电光源的稳定工作	(148)
一、气体放电光源的伏安特性.....	(148)
二、气体放电光源的等效电路.....	(152)
三、放电的稳定条件.....	(159)
第二节 镇流器的性能和结构	(166)
一、镇流器的功能.....	(166)
二、镇流器的运用指标.....	(173)
三、镇流器的材料和结构.....	(175)
第三节 镇流器的设计	(177)
一、电阻镇流器.....	(178)
二、交流电源用的电感镇流器.....	(182)

第四节 镇流电路介绍	(199)
一、荧光灯阻容镇流电路	(199)
二、漏磁变压器	(201)
三、LC超前镇流电路	(215)
四、LC超前顶峰式镇流电路	(223)
第六章 气体放电光源的启动器	(225)
第一节 气体放电光源的着火启动	(225)
第二节 启动的工作原理和实际应用	(227)
一、工作原理	(227)
二、改善启动的附加措施	(228)
第三节 低压气体放电光源的启动器	(231)
一、荧光灯的启动	(231)
二、低压钠灯启动器	(237)
第四节 高压气体放电光源的启动器	(238)
一、高压汞灯的启动器	(238)
二、高压钠灯的启动器	(240)
三、金属卤化物灯和短弧氙灯的启动器	(252)
第七章 控制电路的应用	(272)
第一节 光电器件及应用	(272)
一、光电器件	(272)
二、常用光电器件	(277)
三、应用举例	(294)
第二节 其它控制电路	(301)
第八章 光源电路的电气测量	(319)
第一节 电气测量的基础知识	(319)
一、测量与误差	(319)

二、测量技术与测量仪器	(325)
第二节 常用测量指示仪表	(325)
一、分类	(325)
二、电气测量指示仪表的组成和基本工作原理	(326)
三、常用仪表	(327)
第三节 常用电子测量仪器	(338)
一、示波器	(338)
二、频谱分析仪	(340)
三、数字式电表	(341)
四、数字式功率计	(342)
五、失真度仪	(343)
第四节 光源电路中部分电参数测量	(344)
一、对测量仪器的要求	(344)
二、热幅射光源电参数测量	(345)
三、气体放电光源电参数测量	(346)
四、镇流器电参数测量	(352)
五、启动装置电参数测量	(357)
六、电源电参数测量	(360)
附录一 常用光源的主要技术参数	(362)
附录二 常用电工材料技术参数	(395)
附录三 标准球隙50%放电电压	(407)

第一章 电的基本知识和电路

第一节 电的基本知识

一、电荷、电量和电荷守恒定律

众所周知，有了电，灯会发亮，电动机会旋转，电炉会发热，电视机会显示图像和出现伴音，但电究竟是什么呢？

1. 电荷的定义

人们对于电的认识，最初来自摩擦。人们发现经过摩擦的物体，能够吸引轻微物体，对于这种经过摩擦以后处于特殊状态的物体，人们就称它们为带电体，或者说这类物体上带了电荷，简称带电。经过进一步实验发现，相互摩擦后带电的物体所带的电荷数量相等，而极性相反。

通常情况下，同一原子中的原子核所带的正电荷和它周围电子所带的负电荷数必定相等。因此，整个原子的正负电荷的作用恰好完全抵消，所以物质平时对外界不显示带电的现象，即整个物质呈中性。如果物质由于某种原因失去电子，那么物质就带正电。相反，如果物质由于某种原因得到过多的电子，那么就带上负电。这样很自然地解释了摩擦生电的现象。

2. 电量

物体带电的多少取决于多余的电子或缺乏的电子的数量，即带电物体所带的电量总是一个电子或一个质子所带基本电量的整

数倍；这种性质叫做电荷的量子化。物体所带电荷的绝对量叫做电量，用 Q 或 q 表示。电量的单位是库仑，中文代号是库，国际上惯例以C表示。1库仑的电量就等于 6.25×10^{18} 个电子所带的电量。所以，一个电子所带的电量就是 -1.602×10^{-19} 库仑，一个质子所带的电量亦是这个数值，只是符号为正而已。

物体带电后，则在它的周围存在着电场，电场也是物质存在的一种形式。实践证明，带异号电荷的两物体之间有相互吸引的力，反之，带同号电荷的两物体之间有相互排斥的力。这种现象是通过电场的作用力表现出来的。

3. 电荷守恒定律

物质的带电是电荷迁移的结果，电荷既不能凭空产生，也不会凭空消灭，它只能从一种物质转移到另一种物质，或者在一种物质的内部移动。这个原理称为电荷守恒定律。

二、导体、半导体和绝缘体

虽然一切物质都是由原子组成，并且一切原子都是由原子核和电子组成，但物质传递电的本领的差别是很大的。所有物质按其传递电的性质可分成两个基本的类别：导体或绝缘体（或称为电介质）。然而导体和绝缘体的区分也不是绝对的，在一定的条件下它们可以相互转化。在导体和绝缘体之间，还有一种导电性能介于两者之间的半导体。物质的导电能力通常由电阻率（ ρ ）来表示。常用的体积电阻率是指某物质长为1米，截面积为1平方米时的电阻数，它的单位为 $\Omega \cdot m$ （欧姆·米）。面电学中常用的电阻率是指某物质长度为1米，截面积为1平方毫米时的电阻数，其单位为 $\Omega \cdot mm^2 / m$ （欧姆·平方毫米/米）。各类物质的电阻率如表1-1所示。

表 1 - 1

物质的电阻率

性质 物质	导电能力	电阻率 ($\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$)	体积电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$)
导 体	良 好	$10^{-2} \sim 10^{-1}$	$10^{-2} \sim 10^{-4}$
绝 缘 体	极 差	$10^{11} \sim 10^{16}$	$10^7 \sim 10^{10}$
半 导 体	中 间	$10^{-2} \sim 10^{11}$	$10^{-4} \sim 10^7$

1. 导体

传导电的物质称为导体。导体又可分为第一类导体和第二类导体。

第一类导体具有如下特性：当电荷在这类导体内传递时，并不引起导体化学性质的变化，也不会产生任何显著的质量迁移。一切金属如铜、铝、铁、钨、钼和汞都属于第一类导体。在这类导体中，原子的外层价电子与原子核联系很弱，可以比较自由地在各个原子之间移动，起到导电的作用。这些电子称为自由电子。因为电子的质量比原子核要小得多，因此自由电子的移动所造成的质量迁移可以忽略。常用金属导体的性质如表 1 - 2 所示。

表 1 - 2

常用金属导体的性质

(20 °C)

材料名称 电阻率 ($\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$)	银	铜	金	铝	钨	钼	锌	镍
	0.016	0.0172	0.022	0.029	0.0477	0.049	0.059	0.073
材料名称 电阻率 ($\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$)	铁	铂	锡	铅	汞	康 铜 (54% 铜+ 46% 镍)	锰 铜 (2% 镍+88% 铜+12% 锰)	
	0.0918	0.105	0.114	0.206	0.958	0.50	0.43	

第二类导体具有如下特性：当电荷在这类导体内移动时，总伴随着化学变化和明显的质量迁移。酸、碱、盐的水溶液都属于这一类导体。在第二类导体中，不存在自由电子，但有缺少电子或电子过多的原子或原子的集团，这些带电的原子和原子集团称为离子，因为各种离子的化学成分和质量都不相同，所以在以离子导电的第二类导体导电时，有化学变化发生，并伴随有质量的迁移。

2. 绝缘体

不传导电的物质称为绝缘体，又称电介质。在电介质中不是不存在电荷，而是它们的分子中电子和原子核的引力很大，这种引力使电子不能够在物质内自由地运动。实验证明，如果电介质某一部分由于外界的作用而带了电，其电荷不会流动，因此使电介质呈局部的带电状态。

绝缘体按其化学性质不同，可分为无机绝缘材料、有机绝缘材料和混和绝缘材料。

(1) 无机绝缘材料：云母、石棉、大理石、玻璃、硫磺等。主要用作电机、电器的绕组绝缘，开关的底板和绝缘子等。

(2) 有机绝缘材料：虫胶、树脂、橡胶、棉纱、纸、麻、蚕丝、人造丝等，大都用于制造绝缘漆、绕组导线的被覆绝缘物等。

(3) 混合绝缘材料：由以上两种材料经加工后制成的各种成型绝缘材料。

常用绝缘材料的性质技术指标有：①绝缘耐压，它是指绝缘材料不被击穿所能承受的最大电场强度临界值，通常是以1mm厚的绝缘材料所能耐压的千伏数作单位。②抗张强度，是绝缘材料每单位面积能承受的拉力，例如玻璃每平方厘米截面积能承受140kg力。

③比重,是单位体积绝缘材料的重量。④膨胀系数,它表示物质受热以后体积增大的程度。

电光源工业常用绝缘材料的性能见表 1—3。

表 1—3 部分绝缘材料的性能数据

名 称	型 号	厚 度 (mm)	击穿电压 (kV)	体积电阻系 数 ($\Omega \cdot m$)	抗张强度 (kg/mm^2)		
					径 向	纬 向	对 角 线
黄蜡布	2010	0.17	3.1 ~ 4.8	$> 10^9$	3.0	2.0	1.8
黄绸布	2211	0.12	3.6 ~ 5.4	$> 10^{10}$	2.0	1.5	1.5
玻璃漆布	2430	0.13	3.2 ~ 5.5	$> 10^{10}$	12	10	5
聚酯薄膜	2820	0.1	9.0	$> 10^{13}$	13	13	13
聚氯乙烯膜	SFM-1	1.0	200	$> 10^{13}$	—	—	—

对于绝缘体来说,并非绝对不导电,只是它的导电能力与导体相比相差悬殊而已。当我们人为地给电介质加以一定的条件,如高温、高电压,或用某些射线照射,以及用某些化学物质腐蚀等,那么电介质的分子结构可能遭到破坏,原来结合得很牢固的电荷被分开,使电介质中载荷体大大增加。这时,电介质就转变为导体,它的绝缘性被破坏,即常说的电介质击穿。

3. 半导体

导电性能介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体,如硅、锗、砷化镓等。根据物质的电结构分析可知,此类物质中运载电荷的粒子,既不会如绝缘体里受到的束缚那么紧密,也不会如导体中的粒子那么自由。通常半导体中掺进少量杂质,例如硼或磷,可使其导电能力大大增强,形成特殊的导电能力。根据半导体这

一特性，它可以用来制造许多应用广泛的电子器件。此外，温度、光照等物理条件对某些半导体导电性能的影响也特别显著。

三、电流、直流电流和交流电流

1. 电流

电荷有规则的运动称为电流。这是由电场引起的。通常规定：正电荷运动的方向是电流的方向。

应强调的是：电流的方向与电子流动的方向恰好相反（如图 1-1）。

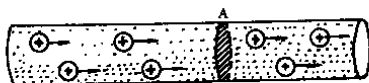


图 1-1 电流和电流的方向

电流除了方向以外，还有强度之分，电流的强弱程度用“电流强度”表示，符号为 I 。电流强度日常又简称为电流。我们用单位时间通过导线任一截面的电量的多少定义电流强度。如果用符号 Q 表示通过导线某一截面的电量， t 表示通过电量所用的时间，则得

$$I = \frac{Q}{t}。$$

电流强度单位为安培，简称安，用字母 A 表示。它表示在 1 秒钟内有 1 库仑的电荷量通过导线的截面。

如果不同横截面积的导线，通过相同的电流强度，效果就不一样，必须引入一个不同于电流强度的关于电流的新概念。在工程技术上，我们就引进了电流密度这个物理概念，以符号 J 来表示。如果电流经过导体横截面分布是均匀的，它的大小就等于导

线里的电流强度 I 与导线横截面 S 的比值, 即:

$$J = \frac{I}{S}。$$

电流密度的单位是安/米² (A/m²), 常用的是安/毫米² (A/mm²)。

2. 直流电流

如果电流的大小和方向都不随着时间变化, 即在任一时刻测量, 单位时间内通过导体横截面的电荷量均相同, 其方向也始终不改变, 则这种电流称为直流电流。在光源电器中, 为了使输出光平稳和恒定, 往往采用直流工作电流。如电影放映用的短弧氙灯, 物质微观成分分析用的原子光谱灯等, 均用直流工作电流。

3. 交流电流

如果电流的大小和方向是随时间变化的, 这样的电流就叫做交流电流。

交流电又可分为正弦交流电和非正弦交流电两类。正弦交流电是指它的电流随时间按正弦规律变化。非正弦交流电是指它的电流随时间不按正弦规律变化。日常生活中用的白炽灯工作电流就是正弦交流电流, 而荧光灯中的工作电流就是非正弦交流电。为便于区别, 图 1-2 列出直流电, 正弦交流电和非正弦交流电的波形。

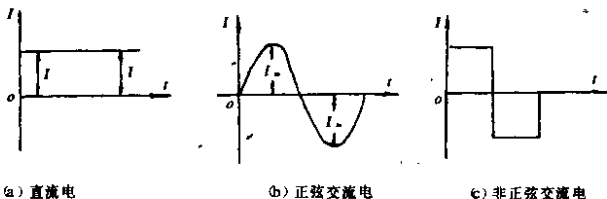


图 1-2 直流电和交流电的波形

(1) 正弦交流电的三要素：由于正弦交流电使用最多，而且变化较为规律，因此它的要素和表示可以归纳如下：正弦交流电和任何正弦波形一样，它的三个要素是振幅、频角（角频率或周期）和初相角。

A. 振幅：由于正弦交流电的电流是随时间呈正弦规律变化的，因此我们把每一时刻测出的它的不同值称作瞬时值，而把瞬时值中的最大值叫做振幅，用 I_m 表示。一般电表的读数都不是正弦交流电的振幅，而是它的 $1/\sqrt{2}$ 倍，或近似为 0.707 倍，该值叫做正弦交流电的有效值。

B. 频率（角频率或周期）：频率是指 1 秒钟内交流电变化的次数，用字母 f 表示。其单位是赫兹，简称赫，常用字母 Hz 表示。

每秒钟内变化的电流相位角叫做角频率，用字母 ω 表示，其单位是弧度/秒。这样 ω 与 f 之间的关系为：

$$\omega = 2\pi f。$$

周期是指交流电变化一次所需的时间，用字母 T 表示。它的单位是秒（s）、毫秒（ms）、微秒（ μs ）、及毫微秒（ns）。

周期和频率是互为倒数的，即 $f = \frac{1}{T}$ 。

在我国的供电系统中，交流电的频率是 50 Hz，周期为 0.02 s，通常光源使用的交流电的工作频率都是 50 Hz，但采用新颖的电子镇流器的荧光灯，它的工作频率就会达到几千赫兹，甚至高达几十千赫兹。

C. 初相角：我们把开始的瞬间（ $t = 0$ ）所对应的交流电的角度 φ ，叫做初相角，如图 1-3 中的 φ 角即初相角。

初相角是确定交流电瞬时值的重要参数，在变化频率相同的