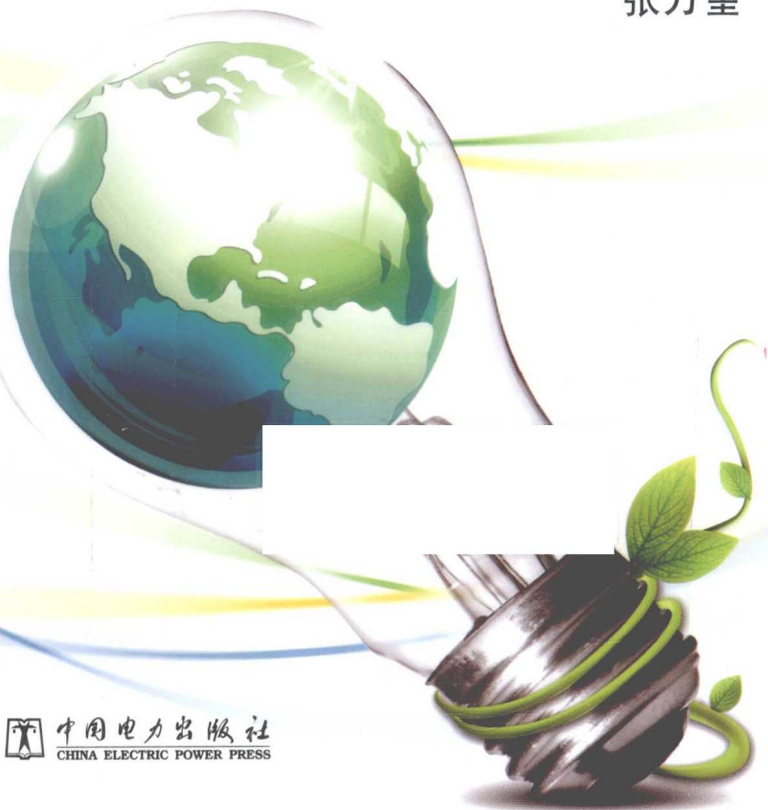


照明设计 与节电技术

ZHAOMING SHEJI YU JIEDIAN JISHU

张万奎 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

照明设计 与节电技术

ZHAOMING SHEJI YU JIEDIAN JISHU

张万奎 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书系统介绍了住宅照明、景观照明、道路照明的有关知识,包括照明设计、照明光源及灯具的选择和使用。在此基础上,重点介绍了绿色照明的理念以及照明节电技术。

本书适合照明器具生产厂商和销售人员、照明工程设计与建设人员、照明用户阅读,也可供大专院校光源与照明、电气工程及其自动化、建筑电气等专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

照明设计与节电技术 / 张万奎著. —北京: 中国电力出版社, 2012.11

ISBN 978-7-5123-3715-2

I. ①照… II. ①张… III. ①照明设计 ②节电 IV. ①TU113.6
②TM92

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 265128 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 12 月第一版 2012 年 12 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 8.25 印张 217 千字

印数 0001—3000 册 定价 20.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言



照明在现代社会中起着十分重要的作用，优秀的照明设计和优良的照明建设工程，可以改善居住环境，美化人们的生活，激发人们的智慧，创造出崭新的业绩。

中国政府高度重视照明设计与节电工作，1996 年启动实施中国绿色照明工程，先后将其列入“九五”、“十五”节能重点领域和“十一五”、“十二五”重点节能工程，并与联合国开发计划署、全球环境基金开展了三期绿色照明国际合作项目。通过多年不懈努力，中国绿色照明工程取得显著进展，受到广大消费者的密切关注和积极支持，得到国际社会的高度评价和一致认可。自计划实施 20 年来，中国绿色照明工程经历了四个时期。第一个时期是 1991~1995 年，提出课题及技术准备。第二个时期是 1996~2000 年，制订并实施《中国绿色照明工程实施方案》。第三个时期是 2001~2005 年，组织合作开展绿色照明第二期工程，2001 年由国家经贸委、财政部和联合国开发计划署、全球环境基金三方合作建立“中国绿色照明工程促进项目”。第四个时期是 2006~2010 年，进一步推动高效节能产品，2008~2010 年共推广高效光源 3.6 亿只，仅此一项节电 290 亿 kWh。

绿色照明是美国国家环保局 20 世纪 90 年代初提出的概念。绿色照明是指通过科学的照明设计，采用效率高、寿命长、安全和性能稳定的照明电器产品（电光源、灯用电器附件、灯具、配线器材，以及调光控制设备和控光器件），并充分利用自然光来最终达到高效、舒适、安全、经济、有益环境和改善提高人们工作、学习、生活条件和质量，以及有益于人们身心健康并体现现代文明的照明。

1996 年，国家经贸委、国家计委、科技部、建设部等 13 个

部门共同组织实施了“中国绿色照明工程”，并将其作为节能领域的重大示范工程。通过项目的实施，到 2010 年实现节电 10%。1996~2004 年的 9 年来，经专家测算，中国绿色照明工程累计节电 450 亿 kWh，相当于 900 万 kW 发电机的装机规模，削减了大量电网峰荷，相当于减少二氧化碳（碳计）排放 1300 万 t。项目实施的最终目标是节约电力、保护环境，2001~2010 年间，实现累计照明节电 1033 亿 kWh，相当于减少二氧化碳（碳计）排放 114 亿 t，并建立可持续发展的高效照明电器产品市场及服务体系。

随着我国经济建设的发展，照明也得到了较快速的发展，照明用电约占全国总发电量的 13%~14%。针对城市照明发展中的能源需求和消耗不断加大，以及光污染等问题，住房和城乡建设部会同国家发改委、科技部等部门，在总结“绿色照明工程”工作经验的基础上，在城市照明行业大力推进绿色照明工程，并于“十五”期间取得了积极的进展：明确了城市绿色照明的管理部门；进一步完善城市照明节电管理体制；城市照明法规、绿色照明标准体系建设不断加强；“城市绿色照明示范工程”活动积累了有益的经验；积极推广和采用高效照明电器产品；城市照明日常维护管理工作得到新的加强。“十一五”期间，城市绿色照明工程基本上完成了“完善法规、规范市场、典型示范、宣传教育、国际合作”的主要任务，取得了显著的经济效益和社会效益。

广泛开展绿色照明示范工程活动，通过评价指标、活动原则、具体形式的不断优化，提高示范工程质量，进一步扩大示范效应。同时在一些城市开展现有住宅照明、景观照明、道路照明的节能改造，针对城市照明中存在的单纯追求亮度、追求豪华、能耗密度超标、照明过多装饰、光污染严重、采用低效能照明器材等问题，积极实施节电改造示范工程，对光源与灯具、整个照明供电系统在内的照明系统进行全面改造。采用先进科学的照明设计理念与方法，推广采用高效照明电器产品。

从 20 世纪 80 年代初开始，笔者就开始了道路照明节电和住宅照明节电的研究。近年来，在完成住房和城乡建设部科技计划

项目和湖南省科技计划项目的过程中，对照明设计与节电技术进行了一定范围的调查研究与实践，在此基础上，写成了这本书。在本书的写作过程中，引用了一些作者的研究成果和工程实例，特别是张振撰写了第5章的大部分内容，在此，对他们以及所有参考文献作者的辛勤劳动表示衷心感谢。由于本人水平所限，书中可能出现不足和疏漏，敬请读者批评指正。

张万奎

目 录



前言

① 照明光源	1
1.1 白炽灯	1
1.2 荧光灯	4
1.3 节能灯	14
1.4 高压气体放电灯	25
1.5 LED 灯	42
② 住宅照明	52
2.1 照明设计	52
2.2 住宅照明光源与灯具	80
2.3 住宅照明节电	87
③ 景观照明	107
3.1 景观照明规划与设计	107
3.2 景观照明光源与灯具	118
3.3 景观照明节电	131
④ 道路照明	147
4.1 道路照明设计规范	147
4.2 道路照明光源与灯具	160
4.3 道路照明的控制方式	196

附录 A 照明发展历程	232
A.1 古代照明	232
A.2 近代照明	240
A.3 现代照明	246
参考文献	255

照 明 光 源

照明电光源按其工作原理分为固体发光光源和气体放电光源两大类。

(1) 固体发光光源。固体发光光源主要包括热辐射光源和电致发光光源两种。热辐射光源是以热辐射作为光辐射的电光源，以钨丝为辐射体，通电后达到白炽温度，产生光辐射，如白炽灯、卤钨灯。而电致发光光源是直接将电能转换成光能的电光源，如LED灯、场致发光灯。

(2) 气体放电光源。气体放电光源是利用电流通过气体或蒸汽而发光的光源，主要以原子辐射形式产生光辐射。根据放电形式不同，气体放电灯可分为辉光放电灯和弧光放电灯，照明工程中广泛应用的是弧光放电灯。

1.1 白 炽 灯

白炽灯（incandescent lamp）是最早出现的热辐射光源，因而被称之为第一代电光源。随着科学技术的不断进步，相继发明了多种性能优良的其他电光源以替代白炽灯，但白炽灯以其结构简单、成本低廉、使用方便、显色性好、点燃迅速、容易调光的特点，在照明工程中得到过广泛应用。

1. 白炽灯的结构与类别

(1) 白炽灯的结构。白炽灯一般由玻壳、灯丝、支架、引线和灯头等几部分组成。

1) 玻壳。普通白炽灯的玻壳一般用玻璃制造，根据用途不同

而制作成不同的形状。大多数普通白炽灯的玻壳是透明的，有时为了降低光源表面的亮度，采用乳白玻璃或磨砂玻璃，有些灯泡作成反射型的，在玻壳靠近灯头的上半部分镀有一层反光铝膜。

2) 灯丝。灯丝由钨丝作成，是灯的发光体。灯丝是白炽灯的关键组成部分，在一般情况下，灯丝的形状和尺寸直接影响到灯的寿命、光效和光的利用率。要提高普通白炽灯的光效，就必须提高灯丝的工作温度，尽量减少热损耗。因此，一般都将白炽灯的灯丝绕制成单螺旋、双螺旋甚至三螺旋的形状，以减少灯丝的长度。由于普通白炽灯工作时灯丝的温度很高，钨很容易被蒸发。从灯丝上蒸发出来的钨沉积在灯泡壁上而使玻壳变黑，透光性降低，使灯泡光效率降低；同时钨蒸发还会使灯丝变细，灯丝容易熔断而使灯的使用寿命降低。为了防止钨丝氧化燃烧，降低钨丝的蒸发速度，通常将玻壳抽成真空后，再在玻壳内充入对钨丝不起化学作用、热传导小、具有足够电气绝缘强度的惰性气体。灯泡使用时，由于气体的对流作用，蒸发出来的钨粉末将被气体的规则运动带到灯泡的顶部，而不致沉积在灯泡上，能够保持灯泡的透光性以减少光通量的衰减。一般只对功率 60W 以上的灯泡充气，普通白炽灯充氩气和氮气的混合气体，特殊灯泡才充氪气和氙气的混合气体。

3) 灯头。灯头起固定灯泡和接通电源的作用。按形式和用途可分为螺口灯头、插口灯头、聚焦灯头和特种灯头。常用的是螺口灯头和插口灯头，如标准 E27 螺口灯头或 B22 插口灯头。螺口灯头接触面积大，适用于功率较大的灯泡；插口灯头接触面积小，适用于功率较小的灯泡，另外，插口灯头与插口灯座配合使用时具有防震功能。

(2) 白炽灯的类别。早期照明使用的白炽灯主要有普通白炽灯和反射型灯两种。

普通白炽灯应用最多的形式是梨形透明玻璃灯泡，其特点是结构简单、价格低，但亮度大、易产生眩光。

反射型灯采用内壁镀有反射层的玻壳制成，能使光束定向反

射，主要应用于灯光广告等需要光线集中的场合。

2. 白炽灯的光电参数及特性

(1) 光通量和发光效率。白炽灯的光通量一般是指点燃 100h 后的光通量输出。根据不同的功率，白炽灯的光通量在几十到 1100 lm 之间。白炽灯功率的 75% 以上都以红外线的方式产生热能辐射掉，仅有小部分能量转换成可见光，因而普通白炽灯的光效不高，为 10~15 lm/W。

(2) 寿命和点燃时间。白炽灯的平均使用寿命较短，一般为 1000 h。影响其使用寿命的主要原因是钨丝在工作过程中会蒸发钨而使灯丝变细，从而使灯丝熔断。钨丝通电加热过程十分迅速，一般加热到输出 90% 光通量所需的时间只有 0.07~0.08 s，能够瞬时启燃和再次启燃。

(3) 色温和显色指数。白炽灯的色温取决于它的工作温度。白炽灯属于低色温、暖色调光源，色温一般为 2400~2900 K。白炽灯的显色性取决于它的光谱分布。白炽灯属于热辐射光源，具有与黑体一样的连续光谱。其显色性很好，显色指数可达 99。

(4) 光电参数与电源电压的关系。电源电压发生变化对白炽灯的影响极大。当电源电压高于额定电压时，将大大降低白炽灯的使用寿命；当电源电压低于额定电压时，将会使白炽灯的光通量输出大大降低。例如，电源电压下降 10%，白炽灯的光通量将下降 30%；电源电压下降 30%，白炽灯只剩下灯丝发红，已经不发光了。当电源电压产生波动时，白炽灯因输出光通量波动会出现闪烁而影响照明的视觉效果，但是，由于灯丝的热惯性，用于工业频率电源的白炽灯光通量的波动是不大的。因此，白炽灯对电压的要求很高，对于一般照明场所，要求电压偏移量不超过额定值的 $\pm 5\%$ 。另外，当电源电压以较大的幅度下降时，白炽灯虽然光通量输出也大幅度下降，但它不至于猝然熄灭。因此常采用调压方式对白炽灯进行调光控制。普通白炽灯的技术数据见表 1-1。

表 1-1 普通白炽灯的技术数据

型 号	电压 (V)	功率 (W)	初始光通量 (lm)	平均寿命 (h)	灯头型号
PZ220-15	220	15	110	1000	E27/B22
PZ220-25		25	220		E27/B22
PZ220-40		40	350		E27/B22
PZ220-100		100	1250		E27/B22
PZ220-500		500	8300		E40/45
PZS220-36		36	350		E27/B22
PZS220-60		60	715		E27/B22
PZS220-100		100	1350		E27/B22
PZM220-15		15	107		E27/B22
PZM220-40		40	340		E27/B22
PZM220-60		60	611		E27/B22
PZM220-100		100	1212		E27/B22
PZQ220-40		40	345		E27
PZQ220-60		60	620		E27
PZQ220-100		100	1240		E27

注 PZ 指普通白炽灯, PZS 指双螺旋普通白炽灯, PZQ 指球形普通白炽灯。

1.2 荧 光 灯

荧光灯 (fluorescent lamp) 是一种气体放电灯。1752 年, 华特生首先试验气体放电可以发出辉光。1830 年, 威伦发现天然荧光石受电子冲击发出绿蓝色光辉。1866 年巴克雷尔用发光粉剂涂于玻璃管内, 放电后发光, 这是发明荧光灯的先兆。1910 年和 1931 年分别研制成充有氖气和氩气等的放电灯, 适用于广告和标志灯。1932 年制成低压钠灯, 发出浅黄色光, 有能透过浓雾的特性, 可用作舰船、港口照明。到 1938 年广泛应用的管状荧光灯问世, 它晚于高压钠灯的发明 8~9 年, 荧光灯是一种低压汞灯, 光色接近

白色，光效达 60lm/W，寿命长达 7000h 左右，是重要的照明电光源。

1.2.1 荧光灯的结构与类别

荧光灯是由一根在其两端各封装一个电极和内部含有低压汞蒸汽及少量帮助启动的惰性气体的管形玻璃壳组成。管子的内表面涂有荧光粉，电流流经气体混合物时，产生大量的紫外辐射，荧光粉则将这种辐射转变为可见光。荧光灯命名见表 1-2。

表 1-2 荧光灯型号命名表

荧光灯名称	型 号 组 成		
	第一部分	第二部分	第三部分
直管形荧光灯	YZ	额定功率 (W)	颜色特性： 日光色为 RR，冷 白色为 RL，暖光 色为 RN
U 形荧光灯	YU		
环形荧光灯	YH		
自镇流荧光灯管	YZZ		
黑光荧光灯管	YHG		不同结构的顺序号
白炽荧光灯泡	ZY		

1. 荧光灯的结构

管状荧光灯主要由内壁涂有荧光粉的玻管、电极、填充气体和灯头组成。

(1) 灯管。普通荧光灯的灯管由钠钙玻璃制成，玻璃中渗入了氧化铁，以便控制短波光线的透过率。灯管内壁涂有荧光粉，两端装有钨丝电极，为了减少电极的蒸发和帮助灯管启燃，灯管抽成真空后封装了气压很低的汞蒸汽和惰性气体。

荧光灯灯管的直径为 11~38 mm，长度为 150~2400 mm，功率为 4~125 W。普通的标准化灯管的直径为 16 (T5 型)、26 (T8) 型、38 mm (T12) 型三种，最常见的灯管长度为 600、1200、1500 mm。相同功率的荧光灯，管径越小的越节能。一般荧光灯是直管型，根据不同场所的照明需要，灯管也可制作成环形或其他形状。

(2) 荧光粉涂层。荧光粉涂层的作用是把荧光灯所吸收的紫外辐射转换成可见光。因为在最佳辐射条件下，普通荧光灯只能将 3% 左右的输入功率通过放电直接转换为可见光，63% 以上转变为紫外辐射。在荧光灯中最强烈的原子辐射谱线为 253.7 nm 和 185.0 nm 的紫外光，这些紫外线（尤其是 253.7 nm 的紫外线）射向灯管内壁的荧光粉时，产生可见光辐射。

管内壁涂的荧光粉不同，相应的荧光灯的光色（色温）和显色指数也不同。如果单独使用一种荧光物质，可以制造出某种色彩的荧光灯，如蓝、绿、黄、白、淡红和金白等彩色荧光灯。有些荧光粉只要改变其构成物质的含量，即可得到一系列的光色，如日光色、冷白色、白色、暖白色等荧光灯。如果将几种荧光物质混合使用，可得到其他的光色，如三基色荧光灯。

目前使用的荧光粉主要有卤磷酸钙荧光粉和三基色荧光粉。

(3) 电极。电极是荧光灯的核心部件，它是决定其寿命的主要因素。荧光灯电极产生热电子发射，经维持放电，将外来的电能输送到灯中。

大多数荧光灯在启动之前，电极要经过电流预热。在开关启动电路中，电极的预热是由单独的辉光启动器或电子启动器来完成的。

(4) 填充气体。荧光灯内充有汞，当灯正常工作时，灯内既有汞蒸气，也有液态汞，荧光灯是工作在饱和汞蒸气中的。灯内汞蒸气的气压取决于灯的冷端温度，不同管径的荧光灯各有相应的最佳汞蒸气压，因而，它们所要求的最佳冷端温度也不相同。

为了帮助荧光灯启动，维持其正常工作，还需要在灯内充入适量的惰性气体。常用的惰性气体是氩和氮。惰性气体还有调整荧光灯电参数的功能。

(5) 灯头。管形荧光灯的两端各有一个灯头，对于需要对灯丝进行加热的荧光灯，每一端的灯头都有两个触点；冷启动的荧光灯采用单触点形式的灯头；环形荧光灯只有一个灯头，灯头上有四个触点。荧光灯灯头上的触点一般是针状插脚结构。

单端荧光灯一般采用特别设计的灯头，将控制器件与光源组合在一起的一体化单端荧光灯，采用标准 E27 螺口灯头或 B22 插口灯头，可以直接替代白炽灯。

2. 荧光灯的类别

荧光灯种类很多，分类方法也很多，具体如下。

(1) 按启动线路方式分类。

1) 预热式。这种灯一般采用启辉器预热电极，并施加反冲电压使灯管点燃。

2) 快速启动式。灯管经特殊设计，镇流器内附加灯丝预热回路，提高镇流器的工作电压，灯管在施加电源电压后约 1s 就可启动。

3) 冷阴极瞬时启动式。这种灯是利用漏磁变压器产生的高压瞬时启动，因此电极不需要预热，灯管可瞬时启动。

(2) 按灯管形状和结构分类。

1) 直管荧光灯。直管荧光灯是产量和使用量最大的一种照明光源，而且品种繁多。目前使用的产品主要有 T5、T8、T12 三种。其中，T 代表 3.175 mm，T5 荧光灯管的直径约为 $3.175 \times 5 = 16$ (mm)，T8 荧光灯管的直径约为 25 mm，T12 荧光灯管的直径约为 38 mm。灯管越细越节电。T5 荧光灯采用三基色荧光粉，T5 荧光灯与 T8 荧光灯相比，具有显色性好，显色指数为 85；光效高，可达 85~96 lm/W；节能电能约 20%；寿命长，达 7500 h 的优点。

2) 高光通单端荧光灯。高光通单端荧光灯与直管荧光灯相比，具有结构紧凑，光通输出高，光通维持好，灯具内布线简单的特点。高光通单端荧光灯在灯管的一端有四个插脚，其灯具主要用于室内有吊顶装饰的场所。高光通单端荧光灯的主要规格见表 1-3。

表 1-3 高光通单端荧光灯的规格

功率 (W)	18	24	36	40	55
灯管长 (mm)	255	320	415	535	535

3) 环形荧光灯。环形荧光灯的工作原理,是利用汞蒸汽产生的 254nm 紫外线激发管壁上的荧光粉涂层发光,主要用于室内照明,是绿色照明工程推广的主要照明产品之一。

环形荧光灯是针对直管荧光灯安装不便和装饰性差的不足出现的一种荧光灯。与直管荧光灯相比,环形荧光灯光源集中,照度均匀,造型美观。环形荧光灯有粗管和细管之分,粗管直径大约在 30 mm,细管直径大约在 16 mm,有使用电感镇流器和电子镇流器两种。从颜色上分,环形荧光灯色调分为暖色和冷色,暖色比较柔和,冷色比较偏白。

直管荧光灯如图 1-1 所示,环形荧光灯如图 1-2 所示。



图 1-1 直管荧光灯

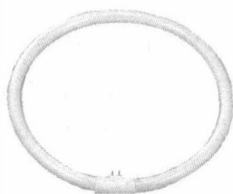


图 1-2 环形荧光灯

(3) 按灯管工作电流的频率分类。

1) 工频灯管。工频灯管是指工作在电源频率为 50Hz 或 60Hz 电路中的灯管,工业频率灯管一般与电感镇流器配套使用。市面上销售的大多为此类荧光灯。

2) 高频灯管。高频灯管是指工作在电源频率为 20~100kHz 范围高频状态下的灯管,一般与电子镇流器配套使用。高频电流是由与其配套的电子镇流器产生的。

3) 直流灯管。直流灯管是指工作在直流电压下的灯管。点灯电路从市电获取工业频率的交流电,经整流电路整为直流后向灯管供电。

1.2.2 荧光灯的工作原理

热阴极荧光灯电路由荧光灯管、镇流器和启辉器等组成,如图 1-3 所示。当开关 S1 闭合后,电源电压加在启辉器 S2 上,S2

产生辉光放电而发热，其中的双金属片受热膨胀变形，使触点闭合，接通阴极电路预热灯丝。双金属片触点闭合后，辉光放电停止，经 1~2s，双金属片冷却收缩，将触点弹开分离，就在这一瞬间，串联在电路中的镇流器 L 产生较高的自感电动势，加在灯管两端，使灯管内的气体和汞蒸汽电离而导电，汞蒸汽放电时产生的紫外线激发灯管内壁的荧光物质发出可见光。

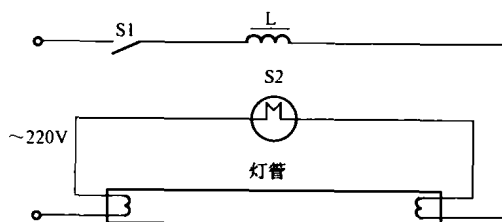


图 1-3 荧光灯工作电路

荧光灯管启燃后，电源电压就加在镇流器和灯管上，灯管两端电压远低于电源电压，这时，启辉器上的电压达不到启辉电压而不再启辉。镇流器起限制和在一定程度上稳定预热电流及工作电流的作用。

1.2.3 荧光灯的光电参数与特性

用于照明的电能除一部分在荧光灯工作时转换为可见光之外，还要在光源和灯具中损失一些。荷兰工程师对显色性好的 40W 荧光灯进行了试验，大约有 1W 直接转换成可见辐射，24W 转换成紫外辐射，在这 24W 中，约有 9W 又转换为可见辐射；另外的 15W 加上开始的 40W 中不能转换成紫外辐射的 15W，以热的形式消耗在灯管的管壁和电极上。

1. 光通量与发光效率

(1) 光通量。荧光灯在使用过程中光通量有明显的衰减现象，点燃 100h 后光通量输出比初始光通量输出下降 2%~4%，之后光通量下降将比较缓慢。因此，荧光灯的额定光通量一般是指点燃了 100h 后光通量的输出值。