

城市道路 照明节电技术

CHENGSHI DAOLU
ZHAOMING JIEDIAN JISHU

张万奎 著

中国建筑工业出版社



城市道路照明节电技术

张万奎 著



NLIC 2970653403

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

城市道路照明节电技术/张万奎著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2010. 9

ISBN 978-7-112-12249-3

I. ①城… II. ①张… III. ①城市道路—照明设计—节能 IV. ①TU113.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 134250 号

城市道路照明节电技术

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京永峥排版公司制版

北京市兴顺印刷厂印刷

*

开本: 850 × 1168 毫米 1/32 印张: 8% 字数: 240 千字

2010 年 9 月第一版 2010 年 9 月第一次印刷

定价: 22.00 元

ISBN 978-7-112-12249-3

(19534)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码: 100037)

本书系统地介绍了城市道路照明、道路照明电光源、道路照明灯具和道路照明标准等有关内容,包括城市道路的功能照明、景观照明和广告照明。在此基础上,介绍了城市道路照明节电技术,重点介绍了单相变压器—高压钠灯自动降压节电新技术。

本书适合城市道路照明管理部门、照明工程公司、市政公司、建筑设计院所的有关人员使用,也可供大专院校电气工程及其自动化、建筑电气、工程管理等专业的师生参考。

* * *

责任编辑:张文胜 姚荣华

责任设计:张虹

责任校对:张艳侠 赵颖

前 言

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。为了进一步推动中国绿色照明工程的开展,国家经贸委与联合国开发计划署(UNDP)和全球环境基金会(GEF)于2001年共同实施了“中国绿色照明工程促进项目”,目的是通过发展和推广效率高、寿命长、安全和性能稳定的照明电器产品,逐步替代传统的低效照明电器产品,节约照明用电,改善人们的工作、学习、生活条件和质量,建立一个优质高效、经济、舒适、安全,并充分体现现代文明的照明环境。通过项目的实施,到2010年实现节电10%。经专家测算,1996~2004年的9年间,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,实现照明节电10%,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,城市化进程的加速,城市照明得到了长足发展。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，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，在“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。

“十一五”期间是全面建设小康社会的关键时期。国家确定了“十一五”时期单位国内生产总值能源消耗降低 20% 的目标，强调要落实节约资源和保护环境的要求，建设低投入、高产出、低能耗、少排放、能循环、可持续的国民经济体系和资源节约型、环境友好型社会，并把“绿色照明——在公用设施、宾馆、商厦、写字楼以及住宅中推广高效节电照明系统等”列为十大节能重点工程之一。发展城市绿色照明事业面临着艰巨的任务，也面临着极好的机遇。主要目标以 2005 年底为基数，年城市照明节电目标 5%，5 年（2006 ~ 2010 年）累计节电 25%。

广泛开展城市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路灯、景观照明的节能改造，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、道路照明过多装饰、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，对光源灯具、整个照明供配电系统在内的道路照明和景观照明系统进行全面改造。推广采用高效照明电器产品。

城市道路照明节电包括三个方面：贯彻照明标准，道路照明要适度，而不是越亮越好；选用高效电光源和灯具，合理的

照明设计；使用恰当的控制方式。比较理想的控制方式是在下半夜降低加在灯具上的电压，同步降低光源的光通量，即将路灯的光通量都减小到相同的水平，保证了道路照明的功能性（路面平均亮度、路面亮度均匀度、平均水平照度），在保证城市深夜道路照明功能的前提下节电。

目前国内外城市道路照明广泛采用的节电方式是降压，其中主要是电磁式降压。而电磁式照明节电器基本上采用自耦变压器、补偿变压器或电抗器为主要元件，用系统软件控制其分时段调压调亮，以达到节电的目的。 V/V_0 — V/V 单相变压器—高压钠灯照明节电系统不需要增加自耦变压器、补偿变压器或电抗器等设施，通过光—电子控制器在下半夜自动断开 V/V_0 变压器二次侧的中性线，变成 V/V 接线；使灯具的电压从相电压自动变换到线电压的一半。由于下半夜变压器二次侧的线电压为 400V，这样就实现了灯具供电电压从 220V 降为 200V。能收到降压节电和单相变压器节电的双重节电效果，是一种适合推广的降压节电新方法。

笔者早在 1982 年就提出了城市道路照明降压节电的一种方法。近年来，在完成住房和城乡建设部科学技术计划项目“城市道路照明节电新方法的研究”（2008-KI-34）和湖南省住房和城乡建设厅科学技术计划项目“城市道路照明降压节电新技术的研究与应用”（200917）以及湖南省科技计划项目“高压钠灯节电新技术的研究及在城市照明中的应用”（2010GK3191）的过程中，对城市道路照明以及道路照明节电方法与途径进行了一定范围的调查与研究，在此基础上，写成了本书。在本书的写作过程中，引用了其他人员的研究成果和工程实例，在此，对他们的辛勤劳动表示衷心的感谢。由于本人水平所限，书中可能出现不足和缺陷，敬请读者批评指正。

张万奎

2010 年 6 月

目 录

第1章 道路照明电光源	1
1.1 白炽灯	1
1.1.1 白炽灯的发明	1
1.1.2 白炽灯的结构与类别	3
1.1.3 白炽灯的光电参数及特性	5
1.2 荧光灯	6
1.2.1 荧光灯的结构与类别	6
1.2.2 荧光灯的光电参数及特性	10
1.3 高压汞灯	11
1.3.1 高压汞灯的结构与类别	12
1.3.2 高压汞灯的工作原理	15
1.3.3 高压汞灯的光电参数及特性	16
1.4 高压钠灯	17
1.4.1 高压钠灯的结构与类别	18
1.4.2 高压钠灯的工作原理	21
1.4.3 高压钠灯的特性	22
1.5 金属卤化物灯	23
1.5.1 金属卤化物灯的结构与类别	24
1.5.2 金属卤化物灯的工作原理	27
1.5.3 金属卤化物灯的光电参数及特性	27
1.6 LED 灯	28
1.6.1 LED 灯发展进程	28
1.6.2 LED 灯的发光原理与特点	30
1.6.3 LED 光源景观灯	31

1.6.4 LED 光源应用实例	33
1.7 太阳能灯	36
1.7.1 太阳能路灯的结构	36
1.7.2 太阳能路灯的工作原理	39
第2章 道路照明灯具	42
2.1 灯具的分类	42
2.1.1 按光束角分类	42
2.1.2 按光通量分布分类	43
2.1.3 按防触电保护形式分类	45
2.1.4 按防尘、防固体异物和防水等级分类	46
2.2 灯具的构造和材料	49
2.2.1 灯具的构造	49
2.2.2 灯具的材料	51
2.3 灯具的光学特性	54
2.3.1 配光特性	55
2.3.2 导出光度数据	57
第3章 城市道路照明	60
3.1 道路照明	60
3.1.1 道路照明技术	61
3.1.2 道路照明方式	62
3.1.3 道路照明方法	63
3.2 景观照明	65
3.2.1 城市景观照明	66
3.2.2 景观照明灯具	71
3.2.3 景观照明电光源	73
3.2.4 夜景照明实例	76
3.3 广告照明	78
3.3.1 广告照明的分类	78
3.3.2 广告照明光源和灯具	79
3.3.3 广告照明的亮度	80

第4章 城市道路照明标准	84
4.1 道路分类	84
4.1.1 机动车道路分类	84
4.1.2 道路照明标准评价指标	86
4.2 中国城市道路照明标准	89
4.2.1 连续照明的机动车道路照明标准	89
4.2.2 机动车道路交会区的照明标准	91
4.2.3 人行道路和区域的照明标准	92
4.2.4 公共活动区的照明要求	94
4.2.5 隧道的照明要求	95
4.2.6 道路照明功率密度	95
4.3 国际照明委员会道路照明标准	99
4.3.1 机动车道路照明等级和照明要求	100
4.3.2 复杂路段照明等级和照明要求	101
4.3.3 居住区道路的照明等级和照明要求	102
4.3.4 隧道内部段的照明要求	105
4.3.5 人行地下通道的照明要求	106
4.3.6 人行过街天桥的照明要求	107
4.3.7 人行横道的照明要求	108
第5章 城市道路照明节电技术	110
5.1 贯彻照明标准规范照明设计	111
5.1.1 正确选择道路照明标准	112
5.1.2 合理选择照明方式	115
5.1.3 道路照明设计与节能	120
5.1.4 城市道路照明规范设计管理示例	121
5.2 选择高效电光源和灯具	126
5.2.1 选择高效电光源	126
5.2.2 选择高效率灯具	142
5.2.3 DSM 照明节电示范项目	145
5.3 照明控制技术	149

5.3.1	道路照明节能调光控制	150
5.3.2	智能照明控制装置	156
5.3.3	电磁式道路照明节电器	160
5.3.4	电磁式节电器道路照明节电实例	169
第6章 单相变压器—高压钠灯降压节电技术		180
6.1	单相变压器	181
6.1.1	单相变压器的技术优势	181
6.1.2	单相变压器供电应用示例	184
6.1.3	城市道路照明专用单相变压器	191
6.2	高压钠灯的技术参数	193
6.2.1	高压钠灯产品型号	193
6.2.2	高压钠灯的技术特性	194
6.2.3	高压钠灯降压节电应用	200
6.3	负荷平衡	203
6.3.1	引起负荷不平衡的因素	203
6.3.2	三相负荷不平衡的危害	204
6.3.3	V/V ₀ 接线变压器理论分析	205
6.4	V/V ₀ —V/V 单相变压器—高压钠灯降压节电技术	209
6.4.1	高压钠灯降压调光试验	209
6.4.2	道路照明降压控制技术	212
6.4.3	V/V ₀ —V/V 变压器—高压钠灯照明节电系统	228
6.5	道路照明供电	232
6.5.1	照明供电要求	233
6.5.2	照明供电方式	236
6.5.3	道路照明负荷计算	238
附录1 “十一五”城市绿色照明工程规划纲要		245
附录2 关于切实加强城市照明节能管理严格控制景观照明的通知		252
参考文献		255

第 1 章 道路照明电光源

人类的照明历史经历了漫长的发展过程,许多年以来,人类只能靠燃烧木材照明。1772 年,人类开始了燃气照明;到 1879 年,爱迪生发明了白炽灯以后,人类的照明才进入一个崭新的时代。荧光灯是继白炽灯之后的第二代电光源。以高压钠灯为代表的高压气体放电灯是继白炽灯、荧光灯之后的第三代照明电光源。随着对半导体材料氮化镓研究的突破和蓝、绿、白光发光二极管的问世,迎来了半导体照明时代,其标志是半导体 LED 灯将逐步替代白炽灯和荧光灯,结束 130 年以来白炽灯照明的历史。

目前,国内外道路照明中所使用的电光源主要是气体放电灯。气体放电灯是指电流通过气体媒质时所发生的过程,利用气体放电原理制成的电光源。

1.1 白炽灯

白炽灯是最早出现的热辐射光源,因而被称为第一代电光源。随着科学技术的不断进步,尽管相继发明了多种性能优良的其他电光源,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、容易调光等特点,在工业和建筑照明工程中仍然得到应用。

1.1.1 白炽灯的发明

在美国 1845 年的一份专利档案中,辛辛那提的斯塔尔提出可以在真空泡内使用炭丝。英国的斯旺按照这种思路,用一条条碳化纸作灯丝,企图使电流通过它来发光,但是,因当时抽真空的技术还很差,灯泡中的残余空气使得灯丝很快被烧断。

因此，这种灯的寿命相当短，仅 1h 左右，不具有实用价值。1878 年，真空泵的出现使斯旺有条件再度开展对白炽灯的研究。1879 年 1 月，他发明的白炽灯当众试验成功，并获得好评。

1879 年，爱迪生也开始投入对电灯的研究。爱迪生认为，延长白炽灯寿命的关键是提高灯泡的真空度和采用耗电少、发光强且价格便宜的耐热材料作灯丝。他先后试用了 1600 多种耐热材料，结果都不理想，在 1879 年 10 月 21 日的傍晚，爱迪生和助手们成功地把炭精丝装进了灯泡。一个德国籍的玻璃专家按照爱迪生的吩咐，把灯泡里的空气抽到只剩下一个大气压的百万分之一，封上了口，爱迪生接通电流，他们日夜盼望的情景终于出现在眼前：灯泡发出了金色的亮光！在连续使用了 45h 以后，这盏电灯的灯丝才被烧断，这是人类第一盏有广泛实用价值的电灯。爱迪生为此获得了专利。

后来人们就把 10 月 21 日定为电灯发明日。之后，爱迪生还一直致力于白炽灯的改进，为了提高灯泡的质量，延长灯泡的寿命，想尽一切办法寻找适合制作灯丝的材料。到 1880 年 5 月初，他试验过的植物纤维材料共约 6000 种。在很长的一段时间里，爱迪生派遣了很多人的前往世界各地寻找适合于制作灯丝的竹子。直至 1908 年的 9 年间，日本竹一直是供应炭丝的主要原料。

1880 年 10 月，爱迪生在美国新泽西州设立自己的工厂，开始进行白炽灯的批量生产，这是世界上最早的商品化白炽灯，英国的斯旺也于 1881 年在新堡郊外的本威尔设厂。

白炽灯的发明，美国通常归功于爱迪生，英国则归功于斯旺。在英国，电灯发明百周年纪念于 1978 年 10 月举行，而美国则于一年后的 11 月举行。

两位发明家的竞争十分激烈，专利纠纷几乎不可避免。后来，两人达成协议，合资组建了爱迪生——斯旺电灯公司，在英国生产白炽灯。

现代的钨丝白炽灯到 1908 年才由美国发明家库利奇试制成功。发光体用金属钨拉制的灯丝，这种材料最可贵的特点是其

熔点很高，即在高温下仍能保持固态。事实上，一只点亮的白炽灯的灯丝温度高达 3000°C 。正是由于炽热的灯丝产生了光辐射，才使电灯发出了明亮的光芒。因为在高温下一些钨原子会蒸发成气体，并在灯泡的玻璃表面上沉积，使灯泡变黑，所以白炽灯都被制造成“大腹便便”的外形，这是为了使沉积下来的钨原子能在一个比较大的表面上弥散开。否则的话，灯泡在很短的时间内就会被熏黑了。由于灯丝在不断地升华，所以会逐渐变细，直至最后断开，这时一只灯泡的寿命也就结束了。

1.1.2 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，有些灯泡做成反射型的，在玻壳靠近灯头的上半部分镀有一层反光铝膜。

(2) 灯丝

灯丝由钨丝做成，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，从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。在使用时，由于气体的对流作用，蒸发

出来的钨粉末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。一般只对功率在 60W 以上的灯泡充气，普通白炽灯充氩和氮的混合气体，特殊灯泡才充氮和氙的混合气体。

(3) 灯头

灯头起固定灯泡和接通电源的作用。按其形式和用途分为螺口灯头、插口灯头、聚焦灯头和一些特种灯头。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振功能。

2. 白炽灯的种类

早期道路照明使用的白炽灯主要有普通白炽灯和反射型灯两种。

普通照明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。

反射型灯泡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。

图 1-1 所示为普通白炽灯，图 1-2 所示为节能灯。

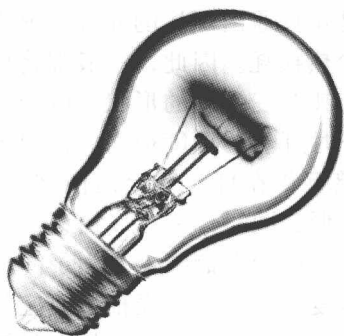


图 1-1 普通白炽灯

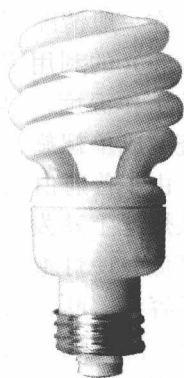


图 1-2 节能灯

1.1.3 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 1100lm 之间。白炽灯功率的 75% 以上都以红外线的方式产生热能，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，约为 $10 \sim 15\text{lm/W}$ 。

2. 寿命和点燃时间

白炽灯的平均使用寿命较短，一般为 1000h。影响其使用寿命的主要原因是钨丝在工作过程中会蒸发而使灯丝变细，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需 $0.07 \sim 0.08\text{s}$ ，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 $2400 \sim 2900\text{K}$ 。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，因输出光通量波动，白炽灯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，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。

早年白炽灯曾在城市居民小区的道路照明中应用，现在只能在一些景观照明工程中看见白炽灯的身影，道路照明光源已经被气体放电灯和新型光源所替代。

1.2 荧光灯

荧光灯是1936年出现的新型光源，通常被称为继白炽灯之后的第二代电光源。荧光灯的发光原理与白炽灯完全不同，它属于低气压汞蒸气放电灯。荧光灯与白炽灯相比，其特点有：发光效率高，约为白炽灯的4倍；使用寿命长，约为白炽灯的2~3倍；光色好。荧光灯已经成为主要的一般照明光源。

有很多类型的荧光灯可以在道路照明上使用，电子镇流器的出现改善了荧光灯的工作条件，使其能在环境温度较低时快速启动，更加拓宽了荧光灯在道路照明中的使用范围。

一般情况下，荧光灯可以使用在人行道路、居住区或商业区的非机动车道路等处。直管荧光灯具有较长的尺寸，使用在隧道照明中可以形成连续的照明光带，具有良好的诱导性，并可有效降低因灯具间隔所造成的闪烁现象。紧凑型荧光灯可以广泛应用在具有各种装饰造型的步道灯或庭院灯中。

1.2.1 荧光灯的结构与类别

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，玻璃中掺入了氧化铁，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气和惰性气体。

荧光灯灯管的直径为11~38mm，长度为150~2400mm，功率为4~125W。普通的标准化灯管的直径为16mm（T5型）、26mm（T8型）、38mm（T12型）3种，最常见的灯管长度为