

现代照明光源的发展趋势

魏戈兵

(重庆大学应用技术学院,重庆 400030)

摘要:该文从照明光源的发展历史开始,介绍了现代照明光源及发展中的新型电光源产品。

关键词:白炽灯;光源;荧光灯;固体光源

1 引言

随着科学技术的发展,人类物质文明与精神文明得到不断提高,从20世纪90年代开始,人们已将照明提高到照明文化或光文化的高度来认识,并对照明形成一种全新的理念。人们已不再满足简单的照亮某个环境,而是希望通过科学的照明设计,充分体现环境的文化、艺术特征,营造一个安全、舒适、高质量、高品味的光环境。面对日益丰富的照明设备,照明技术和照明设计,以及五彩斑斓的夜晚,让我们回过头去,看看照明是如何一步一步从过去走向我们,并不断的走向未来的。

2 照明光源的过去

2.1 传统光源

弧光灯和白炽灯是人类最早发明的电光源。1807年英国的戴维制成了碳极度弧光灯,1878年美国的布拉许在街道和广场照明中成功的利用了弧光灯。1879年美国费城的2位高级中学教师汤姆生和霍斯顿通过设计弧光灯系统开创了他们的电工业。而白炽灯就是最早的钨丝灯泡。其实,就电灯泡的历史来说,爱迪生并不是第一个制造者。英国的科学家 J. W. Swan 比爱迪生早一年就发明了真空的碳丝灯泡,但由于碳丝软、寿命短,故未能得到广泛的使用。

1879年是照明历史上重要的一年。1879年10月21日高阻力白炽灯诞生,它可以连续点燃40个小时。1879年10月22日,爱迪生在经历无数次失败后终于对电灯的研究取得了突破,第一盏真正有广泛实用价值的电灯被点亮了。为了延长灯丝的寿

命,他不断试验,不断寻找,大约试用了6000多种纤维材料,最后找到日本竹皮,用竹皮的纤维作碳丝,从而得到新的发光体——日本竹丝,这种材料可持续使用1000多小时,非常耐用。1879年11月1日碳丝灯申请了专利。1879年爱迪生又发明了实用白炽灯,揭开了电应用于日常生活的序幕。这是爱迪生对照明的最大贡献,另外他还发明了一种供电系统,可以使远处的灯具能从中心发电站配电,这是他为照明所做的另外一大贡献。1908年改用钨丝的灯泡开始普及。

2.2 卤钨灯

1959年根据卤钨循环原理,人们制造出碘钨灯,从而产生了一种崭新的白炽灯——卤钨白炽灯。它比普通白炽灯有明显的优点。这类灯体积小,光维持率达到95%以上,灯丝亮度高,玻壳小而坚固,光效和寿命明显优于白炽灯。近年来,我国已生产出可直接用于电网、电压为220V或110V的卤钨灯,其尺寸最小到14mm×54mm,具有优异的灯丝稳定性和抗震性。与白炽灯一样,泡壳有透明和磨砂两种不同规格,灯头易于连接。最近出现的新型卤钨灯,它是卤钨灯的一种改进型,通过真空蒸镀法等方法,在石英泡壳上采用红外反射技术,可以让可见光透过,同时将红外线反射回灯丝,可以有效提高光效30%~45%,延长灯寿命达3000h左右。

2.3 普通直管荧光灯

爱迪生之后,电灯不断改进。1939年根据气体放电原理的管状日光灯问世,并很快被广泛应用于住宅,办公室,营业厅,工厂车间,候车(船)大厅,成为又一种重要的照明光源。荧光灯主要是由汞放电产生的紫外线辐射激发荧光粉层而发光的低气压放

收稿日期:2003-07-07

电灯,电源输入后,电流会流过电极,钨丝的温度上升,同时电子放射物质的温度也上升,大量的热电子被释放,这个热电子在两极间加压,由负极流向正极,造成管内电流的流动,在管内撞击水银原子,因而产生能量激发紫外线,再由紫外线照射玻璃管壁的荧光物质,由紫外线吸收可视光造成荧光灯管发光,而由于荧光灯管所涂覆的荧光物质种类的不同,有暖色、冷色、日光色等多种颜色,它与白炽灯相比具有灯光柔和、发光效率高、显色性能优良、寿命长等优点。刚出现时荧光灯玻管外径为 $\phi 38$ mm(T12),光效约 60 lm/W,显色指数 R_a 为 70 。随着荧光灯研究的不断深入,人们发现如果适当提高管壁温度,具有较高光效的灯管的直径就可以相应缩小,这样使产生的光子到达管壁的距离缩短,光子与其它原子的碰撞机率降低,自吸收损失减少,这样制成的管径为 $\phi 26$ mm(T8)荧光灯光效可以提高,更便于制造和运输,它作为国家“九五”绿色照明工程重点发展的产品之一。它必须使用能承受较强紫外线辐照的优质卤磷酸钙荧光粉,或三基色荧光粉,管径减小后可使体积减少 40% ,重量减轻 30% ,光效提高 10% 。进一步配合工作在 $40 \sim 60$ kHz频率的电子镇流器,它的光效可比工作在 50 Hz频率下的电感镇流器再提高 10% 。近几年来,又出现管径更细为 $\phi 16$ mm(T5)和 $\phi 11$ mm(T3)的节能细管径荧光灯,它们的最佳管壁温度更高,发光效率可达到 104 lm/W的水平,同样这种荧光灯必须配备优质电子镇流器工作。

3 现代照明光源

3.1 紧凑型荧光灯

为了便于装饰和美化,对细管径荧光灯通过采用接桥和弯管等工艺,使灯管的尺寸紧凑,制成保持高光效的紧凑型荧光灯,特别是选用白炽灯螺口灯头(E27)又配有电子镇流器的一体化型,已在许多领域取代了白炽灯,它是国家绿色照明工程重点推广项目之一。紧凑型荧光灯刚出现时为H、U和 Π 型,并逐步发展为双H、双U和双 Π 型。近年又开发出3U、3 Π 、4U、4 Π 和螺旋型,功率达到 18 W以上,用以取代 100 W以上的白炽灯,并已有 85 W和 125 W大功率紧凑型荧光灯产品上市。这类荧光灯所配用电子镇流器已从分列元件,发展到使用贴片,甚至集成电路,功率因素达到 0.98 ,谐波失真总量小于 10% ,灯的寿命提高到 $10\,000$ h。2001年全世界紧凑型荧光灯的总产量已超过 8 亿支,其中 6 亿支产于我国。

3.2 无极荧光灯

无极荧光灯是基于高频感应放电原理而研制成功的一种新型照明光源。由于该灯不含灯丝,其寿命可高达几万小时。该灯的另一大优点是效率高,显色性好,色质接近于太阳光。随着电子学技术的发展,近年来实用型无极荧光灯发展很快,产品有日本ever-Light型无极荧光灯,功率 9 W和 27 W,光效为 41 lm/W,寿命 $40\,000$ h,工作频率 15.56 MHz;荷兰QL型,功率分别为 55 W和 85 W两种,光效约 68 lm/W,寿命 $60\,000$ h,工作频率 2.65 MHz;美国Genura型无极荧光灯,功率 23 W,光效 48 lm/W,寿命 $10\,000$ h,工作频率 2.65 MHz;还有德国Endura型无极荧光灯,功率 100 W和 150 W,光效 80 lm/W,寿命 $60\,000$ h,工作频率为 250 kHz。

3.3 超细冷阴极荧光灯

随着背光照明在办公用笔记本电脑、等离子体显示器和家用电器如电视机、数码像机、摄像机等中的应用与日俱增,高亮度的冷阴极超细管径荧光灯为此应运而生。这类灯的管径为 $2.6 \sim 6.0$ mm,普遍采用三基色荧光粉,通常采用Ni、Ta、Zr等金属作为冷阴极,在高的启动电压下形成辉光放电使灯管工作。

3.4 HID光源

3.4.1 HID光源

高强度气体放电光源是汞灯、金属卤化物灯和高压钠灯的总称,简称为HID灯。这类灯单灯输出光效高,寿命长,结构紧凑,体积小,因此被应用于大面积范围和室外照明。HID灯内工作压强往往超过 10 个大气压强,其中高压汞灯的光效可达 50 lm/W,显色指数超过 65 ,色温 $4\,000 \sim 6\,000$ K,寿命约 $10\,000$ h,功率为 $35 \sim 3\,500$ W系列。高压钠灯发光效率达 120 lm/W,显色指数为 25 ,寿命达 $24\,000$ h,规格有 $30 \sim 1\,000$ W,虽然其光色稍逊,但其光效是所有能发出接近白光的人工光源中最高的。近年来又开发出高显色高压钠灯,显色指数 80 左右,寿命 $8\,000$ h。金属卤化物灯是一种新生的,很有前途的光源,并兼备了荧光灯显色性优良和光效高的特点以及高压汞灯的功率高、发光体集中的特点,从而克服了这两种灯所存在的严重缺陷,在许多方面都比它们中的任何一种都好,可以替代荧光灯在许多场合的照明。金属卤化物灯由于光效高(≥ 80 lm/W)和光色好($R_a \geq 80$)的优点,随着近年来等离子体模型理论和诊断技术不断完善和成熟,其中PICC/MCC模型方法使用更为广泛,其它流体模型,综合和模拟电路模型,以及杂

交模型(Hybrid models)也得到应用。至今气体放电等离子体诊断技术还是以光谱诊断为主。用模型和诊断技术来指导研制和生产金属卤化物灯,使光源性能有了极大的提高,其中35~150 W规格的小功率金属卤化物灯已广泛地应用到室内照明和汽车前照灯上。

3.4.2 陶瓷金属卤化物灯

高强度气体放电灯是电光源产品中重要的一员和白炽灯相比,高强度气体放电灯在发光效率上有了很大的提高。然而,要保持光色质量的稳定性和一致性却不是那么容易做到的。所以从20世纪60年代开始,人们就一直在设想是否能够开发研制出一种集金卤灯的良好光色性能和钠灯优秀的发光效率于一身的光源——陶瓷金卤灯。1993年人们成功地解决了陶瓷和电极的封接工艺,对陶瓷金卤灯的开发研制取得了突破性的进展。1994年,飞利浦照明成功首创了陶瓷金属卤化物灯,陶瓷金属卤化物灯(CDM)的问世是HID光源在近年发展中最引人注目的成果。采用陶瓷材料作外壳避免了灯内金属材料的损失,而且电弧管尺寸可以控制得非常精确,因此光电性能一致性和稳定性好,允许更高电弧温度,灯的光效可提高10%~20%;且发光体小,亮度高,便于投影照明系统的设计。现有35 W,70 W和150 W三种产品,结构为单端型,双端型及反射型,光效达到90 lm/W,亮度290 cd/m²,显色指数为83,有效寿命达12 000 h。另外,美国GE公司最近又推出用三部体结构工艺制造的300 W大功率陶瓷外壳金属卤化物灯,其应用范围将会有进一步扩大。

4 新型电光源产品

4.1 微波光源

1992年国际电光源科技界提出了微波硫灯的新技术,微波硫灯是用2 450 MHz微波来激发石英泡壳内的发光物质硫和低压氩气,使它形成分子能级跃迁,从而产生连续光谱。该种可见光是一种节能、长寿命、光色好、污染小的全新发光机理新光源。1994年,美国融合公司制成了一个功率为3 400 W微波硫灯照明系统。灯内有一个直径为28 mm的石英球泡,工作时该石英泡内由10个大气压强的硫蒸气的分子辐射产生亮度非常强的白光,其光效为120 lm/W,色温为6 500 K,显色指数为86。1995年,美国开始出售solar-1000和Light Drive-1000两种规格的微波硫灯。通过耦合到硫灯的功率密度从250 W/cm³降到30 W/cm³,使石英玻璃壳的温度保持在925℃之下。该产品辐射光谱接近太阳光谱,可在很大范围内调

光,寿命60 000 h,可任意方向燃点。微波硫灯还可以利用导光管技术,将该灯发出的强光沿着导光管传送到所需照明的宽广区域。最近为使硫灯适宜于家庭和商业照明,一方面通过充填物质的改变使灯的光色更符合人们需求;另一方面正在积极研制开发100 W以下的小功率微波硫灯,通过应用叶片式谐振器的微波源,可将2 450 MHz的微波能量集中在一个很小的空间,从而使充有InBr和Ar的内径为3 mm的球形石英玻璃壳,激发辐射白光。我国光源界经过几年联合研制,也在1999年推出VEC-1000微波硫灯产品,其技术指标接近国际同类产品水平。

4.2 超高压汞灯(UHP)

近年来,配投光系统的显示装置受到人们的极大重视,在投影仪、舞台、电影、电视照明,以及许多工业、商业设施中,往往需要高强度的光束。为了能够采用比较便宜的光学系统达到上述目的,需要体积小,亮度高的超高压汞灯。而影响其性能的关键配件是短弧光源,荷兰飞利浦公司于1995年首先开发成功一种超高压汞灯,极距约1.3 mm,功率100 W。此超高压汞灯的电弧管较小,通常是球形的,泡壳温度应控制在安全的范围内,典型的应用是黑白幻灯和电影放映光源,显微胶片投影光源,实物投影光源以及工业上的检测光源。在灯工作时,汞蒸气压可达200个大气压。由于汞蒸气压愈高,灯的亮度也越高,而且汞原子谱线宽度变大,分子连续光谱与带电粒子复合光谱也更强,特别是595 nm以上的红光辐射随灯内工作压强的升高而增强,从而使灯的显色性提高。该灯工作时电极处的温度极高,会造成钨材料蒸发并沉积在球壁上造成光衰,现通过在工艺上对灯内充入微量氧——卤素,有效清洁泡壳,使灯的寿命达12 000 h。

UHP光源的电弧亮度能超过小面积高效投影装置所需的1G cd/m²,为了达到更好的集光效果,近年来UHP光源的电弧极距减少到1.0 mm,其寿命达10 000 h以上,功率为200 W,配备于投影仪产品,重量仅4 kg,体积不到2升便于携带,其屏幕照度超过1 100 lx,能够达到明亮的XGA显示水平。

4.3 准分子光源(ELS)

在光源辐射机理研究中,用介质阻挡放电(Dielectric Barrier Discharge)产生的准分子光源是目前转换效率最高的光源。近年来采用准分子(Excimer)工作物质,如KrF、ArF、NeF和XeCl等,来制造高功率的紫外光源。同时,通过微波放电等无电极放电形式可制成新型的准分子辐射光源,其工作

物质可为 Xe_2 (172 nm), Kr_2 (146 nm) 和 Ar_2 (126 nm), 其中 Xe_2 (172 nm) 准分子光源的效率最高, 光能转换效率达 50% 以上。现已制成 $(58 \times 68) \text{cm}^2$ 的 60WX2 准分子大面积平面照明系统, 这种灯无需充汞, 因此更加环保。作为一种新颖的无汞荧光灯, 它的光效与直管型荧光灯相仿, 又能制成平面形状, 且无有害物质, 不会造成污染等特点, 因此, 准分子光源具有广阔的应用前景。

4.4 固体光源

自出现发光二极管 LED 以来, 人们一直在努力追求实现固体光源, 近 30 年来, 作为固体光源的半导体发光二极管 (LED) 取得了重大突破, 灯的光效增加了 100 倍, 成本下降 10 倍, 近几年又突破单一颜色的局限性向白色光照明迈进。与白炽灯及荧光灯相比, LED 具有体积小 (多颗、多种组合)、发热量低 (没有热辐射)、耗电量小 (低电压、低电流启动)、寿命长、反应速度快 (可在高频操作)、环保 (耐震、耐冲击不易破、废弃物可回收, 没有污染) 和可平面封装易开发成轻薄短小产品等优点, 没有白炽灯耗电、易碎及日光灯废弃物含汞污染的问题等缺点。白光 LED 是 LED 产业中最被看好的新兴产品。所谓白光是一种多种颜色混合而成的光, 以人类眼睛所能见的白光形式至少须两种光混合, 如二波长光 (蓝色光 + 黄色光) 或三波长光 (蓝色光 + 绿色光 + 红色光), 目前

已商品化的产品仅有二波长蓝光单晶片加上 YAG 黄色荧光粉, 在未来较被看好的是三波长光, 以无机紫外光晶片加 R.G.B 三颜色荧光粉, 此外有机单层三波长型白光 LED 也有成本低、制作容易的优点。在全球能源短缺的忧虑再度升高的背景下, 白光 LED 在照明市场的前景备受全球瞩目, 欧、美及日本等先进国家也投入许多人力, 并成立专门的机构推动白光 LED 研发工作。它将成为 21 世纪的新一代光源——第四代电光源。

5 结语

1879 年爱迪生点亮第一盏电灯, 点亮了自古漆黑的夜空, 也点亮了现代照明的光辉前景。步行在五光十色的夜都市中, 穿行于迷离的霓虹灯河内, 我们看到了都市的蓬勃生机, 也看到了照明事业的美好前程。

参考文献:

- [1] 陆小丰. 建筑灯具与装饰照明手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.
- [2] 詹庆旋, 等译. 建筑光学译文集[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1982.
- [3] 室外室内灯光照明设计资料集[M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 1992.

(上接第 22 页)

参考文献:

- [1] 城区照明指南 (CIE92 号出版物). 肖辉乾, 等译.
- [2] IESNA, 北美照明手册.

- [3] 范世福. 高等学校校园照明设计研究——兼论天津大学校园照明[J]. 照明工程学报, 1996, 3.
- [4] 甘文霞. 校园建筑的夜景照明设计谈[J]. 新建筑, 2001, 2.
- [5] 国际黑天空协会 (International Dark - Sky Association (IDA)) 第 23 号 (Information Sheet # 23) 文件.

(上接第 25 页)

3 结语

现代生活会带来光污染, 但只要有预防和减少光污染的意识, 采取各种措施, 以改善和调节采光环境等, 就可以减少甚至避免光污染对人的损伤和危害。

参考文献:

- [1] 张绍纲, 等. 住宅光环境的调查研究[J]. 照明工程学报, 2001, 12(1): 13 ~ 17.

- [2] 章海骢. 对光污染的再认识——澳大利亚之行的感觉[J]. 光源与照明, 2001, 2.
- [3] 肖辉乾. 夜景照明的规划与设计[J]. 建筑科学, 1996, 2.
- [4] 马剑, 沈天行. 论夜景照明规划[J]. 照明工程学报, 1995, 1.
- [5] 中村肇. 日本夜景照明规划技术简介——上海国际夜景照明研讨会论文集[C]. 上海: 2001, 11.
- [6] 王建华. 住宅客厅照明环境调查及设计[J]. 住宅科技, 2001, (10): 36 ~ 38.