

照明光源发展的现状和趋势

郑文军

(广西科学院应用物理研究所)

摘要

本文论述了照明光源发展的历史、现状和趋势;介绍了自70年代能源危机以来新型节能电光源进展的情况;对各类光源目前存在的问题及解决这些课题的困难性进行了讨论。作者指出:高质量的照明光源必须具有节能的功效,同时又满足人类视觉生理上的要求。基于这些考虑,作者预期了电光源未来发展的趋势。文中还对一种新型光源——场致发光器件作了介绍。

1、电光源发展简史

人类使用电光源照明的历史,人们认为是从1879年开始的。然而人们对电光源的研究很早就开始了。最早出现的电灯是David^[1]在1810年制成的弧光致电灯,这种灯的使用场合非常有限。1820年法国人De la Rue^[2-3]首先采用铂丝作为白炽体制作真空白炽灯,但在实用上没有成功。之后,德国的H. Goebel用碳化竹丝制成炭素白炽灯,向实用化迈进了一步。1879年10月,爱迪生向人们展示了他制成的碳丝白炽电灯,这盏灯可燃点40多小时,是第一盏可供实用的电灯,标志着人类使用电光源的开始,同时标志了照明工程学的诞生。

气体放电现象在18世纪就有人研究。1910年, Peter Cooper Hewitt 发明汞灯。到20年代,霓虹灯广告牌已广为人知。但放电灯进入照明领域则是30年代的事。灯用荧光粉被研制出来后,1930年出现商品高压汞荧光灯。1936年低压汞荧光灯问世。到60年代,气体放电灯的发展进入繁荣时期。金属卤化物灯和高压钠灯相继出现,在理论上和实用上都丰富了照明工程学,使照明领域出现生机勃勃的景象。

1983年,日本市场上出现场致发光器件^[5]。这是一种坚固、耐久的固态光源。目前这种光源还只是用作低亮度显示器件。

从光源器件来看,人们从利用火焰照明、真空器件,发展到固态器件,经历了三个阶段;就发光机制而言,电光源有白炽体发光,气体放电发光、场致发光三代产品。当然,在照明领域里,新一代产品并不意味着在各项性能指标上要胜过原有产品,因而可以取代原有产品,新产品的出现,在某些应用场合下填补了原有产品的不足。

2、电光源发展的现状

电光源的发展已经一百多年,各项技术、经济指标都有了很大提高。第一盏实用电灯的光

效只有 $1.4 \text{ lm/w}^{[6]}$, 只能燃点四十多小时。今天, 高效低压钠灯的光效高达 183 lm/w , 寿命超过一万小时。高压钠灯寿命可达两万多小时。

白炽灯是人类使用历史最长的电光源, 它的发展已历时一百多年, 已经相当成熟。它价格低廉、使用方便、安全可靠、显色性优良, 是目前室内照明和某些要求高质量照明场合的主要人工光源。现在, 充气白炽灯的光效达到 17 lm/w , 寿命约一千小时。

卤钨灯的出现是白炽灯发展的飞跃。这种根据卤钨循环原理制成的灯泡, 使白炽灯在光效、寿命等方面得到大幅度提高。卤钨灯的寿命可达到 2000 小时以上, 特殊用途的溴钨灯的光效达到 32 lm/w 。近年来红外涂层灯的研究有了进展, 使白炽灯的光效进一步提高。现在已制出光效高达 40 lm/w 的涂层卤钨灯^[7]。

气体放电灯一出现即以其高光效和长寿命受到人们的重视, 发展相当迅速。据估计^[8], 目前在西方国家里使用的放电光源全部同时点亮, 将发出 $8 \times 10^{12} \text{ lm}$ 的光通量。这些光通量均匀分布在地球大陆表面时, 将有约 0.1 lx 的照度, 相当于明亮月光建立的照度。就数量而言, 白炽灯占压倒多数, 但放电灯的光通量为一切电光源的光通量总和的 60%。

荧光灯从问世以来, 光效一直稳步提高, 开始时光效只有 28 lm/w , 目前高效荧光灯光效超过每瓦 100 lm 。长寿命荧光灯工作寿命超过一万小时。70年代初, 人们从理论上证实了仅用三条窄谱带的光即可得到与连续光谱的光相近的显色性。根据这一理论研究了三基色荧光粉。这种荧光粉发出中心波长分别在 610 nm (红)、 540 nm (绿)和 450 nm (蓝)的三条窄谱带的光。随后在提高荧光粉的负荷能力、电极设计等方面也取得了进展。在这些基础上开发出一系列紧凑型荧光灯, 在这些灯显色指数达到 80 以上, 光效在 80 lm/w 以上。现在已经开始代替白炽灯进入家庭室内照明。

高强度放电灯在广场、道路等场合的大面积照明方面, 一直发挥重要作用。它们能做到很大功率的灯泡, 所达到的光效也相当高。近年来高强度气体放电灯的小型化取得进展, 目前高压钠灯从 30 w 到 100 w 都有商品, 光效和寿命极佳。如美国通用电气公司生产的 360 w 高压钠灯, 在色温 2050 K , 显色指数 25 时, 光效为 130 lm/w , 寿命 12 000 小时^[9]。金属卤化物灯是气体放电光源中很有发展前途的灯。除了具有气体放电灯的一般优点外, 还具有很高的显色性, 是家庭照明节能化的最有希望的光源之一。目前金属卤化物灯从 70 w 到 $12 000 \text{ w}$ 都有产品。 70 w 金属卤化物灯光效达 80 lm/w , 所发出的光通量相当于 250 瓦卤钨灯, 而耗电仅为后者的三分之一, 显色指数 $65^{[10]}$ 。高效金属卤化物灯的光效已达到 130 lm/w , 卤化锡系列灯显色指数达到 95。

表 1, 各类光源能量分配及显色指数

灯类别	功率 (W)	光效 (lm/w)	辐射损耗(%)		非辐射损耗(%)		显色指数
			可见辐射	不可见辐射	传导	电极	
普通白炽灯	100	17.5	7	80	13		100
高压汞灯	400	52	15	33	42	10	30 - 40
低压汞灯	180	183	36	4	50	10	-
荧光灯	40	80	23	40	17	20	>80; 50-70
金属 卤化物灯	400	100	34	20	16	10	>80; 60-65
高压钠灯	400	120	30	20	40	10	20 ~ 28

3、目前的困难

白炽灯目前在理论上和工艺上都已经相当成熟, 主要问题是光效低, 寿命不够长。白炽灯是通过电流加热至白炽状态的物体中发光的光源, 它的光效理论极限值为 $78 \text{ lm/w}^{[9]}$ 。目前光效最高的涂层白炽灯只达到这个值的一半。

目前的卤钨灯虽然把白炽灯的寿命和光效提高了许多, 但就卤钨循环来说还未满足理想的要求。人们早些年已认识到氟钨循环可能实现循环“自我补偿”, 即把从灯丝蒸发出的钨沉积到灯丝最热的部位上。但氟钨循环在泡壳、灯丝和灯丝架腐蚀、充氟量的精确量化等方面的困难仍未能解决。

白炽灯光效低的主要原因之一是大部分辐射以红外线的形式发射。理论上在相同的灯丝温度和寿命的条件下, 加红外反射涂层能使白炽灯光效提高 30% 以上。但是, 目前白炽灯相当便宜, 要使涂层灯为人接受, 价格上不能过高。因此开发高效、低成本的涂层材料以及实用的涂层工艺, 还需要做大量工作。

曾经提出使用红外荧光粉将红外直接转化为可见光, 如果能付诸实现, 白炽灯将发生革命性飞跃。但在理论上, 这是违反斯托克斯定律的。能否找到反斯托克斯荧光粉目前不敢断言, 即使有, 在目前的条件下从技术上看也许是相当难于生产的。

尽管气体放电灯在光效和寿命方面比白炽灯有很大优势, 但由于光色较单调, 显色性不好, 在使用上受到限制。另外, 放电灯不易小型化, 单灯功率降低时光效将变低。

荧光灯在提高显色性和小型化方面已取得很大进展。但要更进一步小型化, 就要求荧光粉有更大的负荷能力。70年代以来开发出一系列灯用荧光粉, 但它们的价格偏高。目前的荧光粉只是利用了汞放电的 254nm 谱线。进一步节能化要求把 185nm 谱线也利用起来。现在这样的荧光粉还没有。

金属卤化物灯有较好的显色性, 但在工作寿命期间灯光颜色漂移问题尚未获很好解决。另外, 在点灯过程中形成的气态碘将使放电收缩, 引起放电参数改变。解决这个问题的方法之

一是把灯中过量碘消除,但至今还没有比较满意的碘消气剂。

气体放电灯的单灯光效很高,但由于点灯控制线路耗能大,影响了总体光效。目前普遍使用的电抗式镇流器功率因数低、体积大,需要改革。利用现有电子元件制作的电子镇流器虽然能缩小体积、降低能耗,但价格过高。必须开发灯用专门电子元器件。

另一个问题是灯具的通用化。这要求放电灯能以任意位置点燃。为此,在电极、灯管等方面要有新的设计。

5、照明光源发展的趋势

照明对人类的活动有很大影响。当今,照明电耗占全部电耗的12%左右(美国高达20%),大约占初级能耗总量的3%~4%^[1]。1973年的能源危机对照明界的冲击,在时间、数量、质量等方面都比其他任何部门来得严重;同时也成为近十多年来照明工程发展的动因。自那以来,提高光源的光效,使照明光源节能化一直是照明界的奋斗目标。

从人类功效学来说,照明应该在生理学和心理学两方面都能满足人的要求。就是说,除了足够的照度外,照明光必须具有符合特定场合要求的一定的光色。

为了满足人们的要求,电光源发展总的趋势是高光效、长寿命、高显色性、点灯费用低、安全可靠。

由于白炽灯所具有的一系列优点,它将继续存在。目前,白炽灯的主要发展是使卤钨灯普灯化、小型化。另一个发展是开发经济实用的红外涂层灯。

气体放电灯节能效果显著,在室外照明方面已占主导地位。照明节能尚待开发的领域是室内照明。目前室内照明以白炽灯为主要光源,能耗很高。虽然在使白炽灯高效化方面还有很大潜力可挖,但用放电灯取代白炽灯是在短期内降低能耗的最有效的措施。例如在美国,白炽灯每年耗电占总照明耗电的42%左右,但只提供全部照明的16%左右。预计到90年代,新型节能灯将被用来代替白炽灯,它们的光效比现有白炽灯要高2至4倍,在保证相同的照度条件下,将使电耗降低50%以上^[2]。因此,气体放电灯的发展趋势仍然是小型化、紧凑化、整体化,以适应家庭室内照明的要求。

荧光灯是近期内进入家庭照明最有希望的光源,它的发展是进一步紧凑化,并使点灯线路电子化。

金属卤化物灯的发展,一方面是开发更大功率的灯泡,以满足室外照明的要求;另一方面是紧凑化,以进入家庭照明。

高压钠灯的发展主要是提高显色性,高压汞灯预计不会有太大发展。

关于开发新类型光源,在近期内不大可能出出现象荧光灯、高强度放电灯那样的在照明领域引起革命的新光源。因为传统光源的性能参数已达到较高的水平,而且发展潜力相当大。新光源不见得在短期内比现有光源有更大的优越。场致发光光源目前只作为低亮度显示器件,还不能作为普通照明光源。将来有可能提高其亮度,作为面光源在室内照明和某些特别场合起重要作用。

至于目前可设想的反斯托克斯荧光灯、分子放电灯、液态放电灯、化学灯等,将有赖于新理论模型的建立、新材料的发现和新技术的突破。这涉及各学科的发展和多学科的合作。因此是更远期的发展。

纵观各类电灯发展的历史,从原理到实用化,都经历一定的发展时期。白炽灯经历近 60 年;从第一盏汞灯问世到商品化花了 30 年。因此人们在改良现有光源的同时,对新类型光源给予适当的注意是必要的。

本文得到何淑文先生的有益指教,作者在此表示感谢。

参考文献

- [1] 刘熙译,白炽灯的发展概况;电光源通讯,1979(5) 41
- [2] 佟兆强译,白炽灯的发展和改进;电光源通讯 1979(5) 45
- [3] 日本照明学会编,照明手册;中国建筑工业出版社,1985年版 P141
- [4] 各类灯的发展简史;电光源通讯,1979(1) 50
- [5] 胡文伟,场致发光显示器件综述;显象管技术,1986(4) 55
- [6] 蔡祖泉,照明领域的一次伟大革命;电光源通讯,1979(1) 1
- [7] 刘熙译,1984年的新进展;电光源,1985(5) 30
- [8] 艾海译,气体放电光源的发展现状和前景;电光源 1988(5) 38
- [9] 艾海译,国外照明工程;电光源 1985(6) 31
- [10] 那林译,1987年的新进展;电光源,1988(4) 33
- [11] 詹庆旋,室内照明节能的进展;照明技术 1984(1)
- [12] 程春花译,新节能灯技术的比较;电光源,1986(3) 33

The Development of Lighting Sources: Present Situation and Trend

Zheng Wenjun

(Institute of Applied Physics,
Guangxi Academy of Sciences)

ABSTRACT

The article tells of the history, the present situation and the developing trend of electrical lighting sources. Since the explosion of the energy crisis which took place in 1970's, there has been great progress in researching and making new types of saving-energy lighting sources. The situation is reported in the article. The article discusses the problems which exist in kinds of lighting sources and the difficulties of solving the problems. The author holds that a high quality lighting source must be of saving-energy, and match mankind's requirements of visual physiology. Considering the factors, the author predicts the probable development of electrical lighting sources. The electroluminescent lightor, a new kind of lighting source, is introduced in the article.