

WUJI YINGGUANGDENG

ZHAOMING SHOUCHE

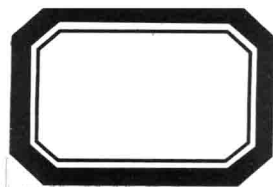
无极荧光灯 照明手册

《无极荧光灯照明手册》 编辑委员会组织编写

陈育明 主编



化学工业出版社



WUJI YINGGUANGDENG

ZHAOMING SHOUCHE

无极荧光灯 照明手册

《无极荧光灯照明手册》 编辑委员会组织编写

陈育明 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书系统介绍了无极荧光灯的原理、技术、装置及照明应用。内容包括：无极荧光灯的发展、放电的基本原理、特性、材料与制造，无极荧光灯的镇流器及其电子镇流器的电磁兼容，无极荧光灯的灯具和系统评价指标，无极荧光灯与节能照明，各种照明设计、测量和计算，以及无极荧光灯的照明应用，并介绍了相关的产品标准内容。

本书是无极荧光灯照明行业从事研发和设计工作的重要的工具书之一，也是本行业安装施工和维护管理人员的实用工具书，也可供大专院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

无极荧光灯照明手册《无极荧光灯照明手册》
编辑委员会组织编写，陈育明主编．—北京：化
学工业出版社，2014.7

ISBN 978-7-122-20788-3

I. ①无… II. ①无…②陈… III. ①荧光灯-照明-手册
IV. ①TM923.321-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 108730 号

责任编辑：戴燕红
责任校对：宋 玮

文字编辑：丁建华
装帧设计：刘丽华

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 刷：北京永鑫印刷有限责任公司

装 订：三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 14 $\frac{1}{4}$ 字数 332 千字 2014 年 10 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：68.00 元

版权所有 违者必究

《无极荧光灯照明手册》编辑委员会

编委会主任：叶关荣

编委会副主任：道德宁 许树良

编写顾问：吴初瑜

编委：

新视界照明电器有限公司 许树良

浙江开元光电照明科技有限公司 沈少骅

成都东旭节能科技有限公司 孙秀芳

芜湖风云能源科技有限公司 徐承云

福建省恒大光电科技有限公司 周志忠

保定奥普节能科技股份有限公司 刘彦平

日照宏朗照明科技有限公司 许家旗

本邦电器（中国）有限公司 张兴华

主编：陈育明

编写人员（按姓氏笔画排序）：

石挺 叶炜 任亚炎 刘洋 李福生 杨深 杨雯雄 陆达琳

陆惠霞 陈大华 陈育明 居家奇 姚其 程雯婷 道德宁 裴鹏

能源问题是世界各国经济发展的首要问题，也是国际冲突的重大起因之一。能源的生产与消费已是世界各国能源政策研究的重点，在能源生产的同时，节约能源已经成为当今社会发展的重要课题，世界照明用电占电力资源总消耗的12%~15%，因此，照明节能、节能光源的研究及应用是能源政策的重点之一。

2011年11月4日国家发改委、商务部、海关总署、国家工商总局、国家质检总局联合印发了《关于逐步禁止进口和销售普通照明白炽灯的公告》。采用高效照明产品替代白炽灯，逐步淘汰白炽灯，对于促进中国照明电器行业结构优化升级、推动实现“十二五”节能减排目标任务、积极应对全球气候变化具有重要意义。

中华人民共和国住房和城乡建设部发布的《“十二五”城市绿色照明规划纲要》提出，建设绿色城市照明环境，采用节能高效的光源是最重要的手段之一。推广应用无极荧光灯对节约能源、减少环境污染都具有很重要的意义。

本手册由多名无极荧光灯研究、生产领域的专家编写而成，相信它的出版发行会促进我国无极荧光灯产业的技术进步，推动我国节能减排的进程。

叶关荣

2014年1月

近二十年来，高效节能光源进展巨大，由于科技进步，发光二极管（LED）、无极荧光灯等新颖节能光源在节能照明领域中发挥了很大作用。与 LED 照明比较，我国在无极荧光灯技术方面已拥有自主知识产权和完整的生产链。

无极荧光灯原理可以追溯到 20 世纪初，但由于原材料等问题，直至 1991 年，荷兰 Philips 公司推出了工作频率为 2.65MHz，发光效率达 70lm/W，寿命达 6 万小时的 QL 系列内置式无极荧光灯。其后，德国 Osram 公司完成了工作频率为 250kHz，将触发装置设于环形灯管外部，发光效率达 80lm/W，寿命达 6 万小时的 ENDURA 系列外置式无极荧光灯，这是一项崭新的技术成果。

无极荧光灯由于没有电极，与传统光源相比具有诸多优势；寿命长，光衰小，采用固态汞齐，对环境污染较小。在发光效率方面，包含电子镇流器在内的大功率无极荧光灯已达到 80~85lm/W，灯管发光效率达 85~90lm/W，是一种高效长寿命绿色照明光源。

目前，我国已全面掌握了无极荧光灯明管制造、制灯工艺、高频软磁材料研制、高效高频电路以及检测技术研究等方面的关键技术。无极荧光灯整体水平已达到国际同类型产品性能，已有多种无极荧光灯产品问世，在国内外得到广泛应用，引起了国际照明界的广泛关注。

本手册是编委会根据无极荧光灯近年来的发展和研究成果，并参照了许多国内外文献编写完成的，内容包含了无极荧光灯的发展历史，无极荧光灯放电的基本原理、特性，无极荧光灯的材料与制造，以及与之配套的电子镇流器技术与评价等，手册也着重介绍了无极荧光灯照明的适用领域及许多实际案例，并介绍了相关的产品标准内容，为推广应用无极荧光灯提供了翔实的资料。

本手册由陈育明主编，全书共分 16 章。第 1 章由陈育明和陈大华编写，第 2 章由刘洋编写，第 3 章由杨深和陈育明编写，第 4 章由陈育明编写，第 5 章由石挺和陈育明编写，第 6 章由叶炜编写，第 7 章由陈育明和李福生编写，第 8 章由任亚炎和陈

育明编写，第9章由刘洋和程雯婷编写，第10章由陈育明和裴鹏编写，第11章由陈育明、居家奇和姚其编写，第12章由杨深、陆惠霞和陈育明编写，第13章由陆达琳和陈育明编写，第14章由杨雯雄和陈育明编写，第15章由陆达琳和陈育明编写，第16章由道德宁编写。全书内容经手册编委会讨论，由叶关荣、道德宁和陈育明完成统稿。

《无极荧光灯照明手册》对从事无极荧光灯技术的专业人员和无极荧光灯照明设计工作者有很好的参考价值，也可作为高等学校相关专业师生的参考资料。

由于无极荧光灯技术涉及多个学科领域，加之作者水平有限，书中难免存在疏漏和不足，真诚期望同行专家和读者指正。

《无极荧光灯照明手册》编辑委员会

2014年6月

第1章 无极荧光灯的发展

- 1.1 无极荧光灯的早期研究 1
- 1.2 无极荧光灯产品的发展 2
- 1.3 我国无极荧光灯的发展 4
- 1.4 无极荧光灯的发展趋势 6

第2章 无极荧光灯放电的基本原理

- 2.1 低气压 Hg 放电的基本原理 9
- 2.2 无极荧光灯放电的建立 13
- 2.3 无极荧光灯的发光机制 14
- 2.4 无极荧光灯与普通荧光灯的比较 15

第3章 无极荧光灯的特性

- 3.1 无极荧光灯的不同结构 17
- 3.2 无极荧光灯的启动特性 18
- 3.3 无极荧光灯的发光特性 21

第4章 无极荧光灯的材料与制造

- 4.1 无极荧光灯的泡壳 27
- 4.2 无极荧光灯的磁芯 29
- 4.3 无极荧光灯的荧光粉 33
- 4.4 无极荧光灯的汞齐 35

第5章 无极荧光灯镇流器

- 5.1 无极荧光灯镇流器的结构和工作原理 37
- 5.2 无极荧光灯电子镇流器的设计 43

5.3 无极荧光灯电子镇流器的调光	46
-------------------------	----

第6章 无极荧光灯电子镇流器的电磁兼容

6.1 强制性产品的认证	49
6.2 电磁干扰及电磁兼容基本概念	49
6.3 国内外电磁兼容标准及发展状态	50
6.4 认证的符合标准和合格评定	51
6.5 减少电磁干扰的相关措施	55

第7章 无极荧光灯灯具

7.1 灯具基础	59
7.1.1 基本形式的反射器	59
7.1.2 折射器	62
7.1.3 漫射器	63
7.1.4 遮光器件	63
7.2 灯具的分类	64
7.2.1 按防触电保护方式分类	64
7.2.2 灯具的防尘、防水等级	64
7.2.3 按光通量分布分类	65
7.2.4 按光束角分类	66
7.3 无极荧光灯灯具的设计	67
7.3.1 灯具效率	67
7.3.2 电磁干扰	68
7.3.3 振动	69
7.3.4 热分配	69
7.3.5 材料及加工	69

第8章 无极荧光灯系统的评价指标

8.1 无极荧光灯灯管的评价	71
8.1.1 无极荧光灯的光度学评价指标	71
8.1.2 色度学评价指标	72
8.1.3 无极荧光灯灯管评价	75
8.2 无极荧光灯镇流器的评价	75
8.3 无极荧光灯灯具的评价	76

8.4	系统评价指标与使用特性	77
8.4.1	无极荧光灯系统评价指标	77
8.4.2	无极荧光灯系统的整体使用特性评价	77

第9章 无极荧光灯与节能照明

9.1	节能照明发展的时代背景	79
9.2	照明的要求	80
9.3	无极荧光灯在节能照明中的应用	85
9.4	无极荧光灯在智能照明中的应用	88

第10章 隧道照明

10.1	隧道照明简介	92
10.2	无极荧光灯隧道照明	94
10.3	案例分析	96
10.4	案例图片	98

第11章 道路照明

11.1	道路照明简介	101
11.2	道路照明的常用光源及参数	103
11.3	无极荧光灯在道路照明中的应用	107
11.4	案例分析	109
11.5	案例图片	111

第12章 工厂照明

12.1	工厂照明的设计	114
12.1.1	照明设定和标准	114
12.1.2	光源和灯具的选择	116
12.1.3	照明设计和控制	117
12.1.4	照明环境的评价方法	119
12.1.5	工业照明设计的一般注意事项	123
12.1.6	工业照明设计需特别考虑的因素	127
12.2	无极荧光灯工厂照明灯具	128
12.3	案例分析	130
12.4	工厂照明工程图片	130

第13章 体育场馆照明

13.1 室内体育馆的照明设计要点	133
13.2 体育场馆的无极荧光灯灯具	135
13.3 案例分析	136
13.4 案例图片	139

第14章 夜景照明

14.1 夜景照明的设计	141
14.2 无极荧光灯夜景照明灯具	148
14.3 无极荧光灯夜景照明的设计	149
14.4 案例图片	155

第15章 商业照明

15.1 商业照明的基本要求	158
15.2 商业照明设计	159
15.3 广告和橱窗展示照明	162
15.4 案例图片	165

第16章 无极荧光灯的产品标准

16.1 无极荧光灯产品标准简介	168
16.2 无极荧光灯产品标准综述	168
16.2.1 标准适用的范围	169
16.2.2 相关标准（引用标准）	169
16.2.3 术语和定义	170
16.2.4 型号命名	173
16.2.5 颜色特性	174
16.3 单端无极荧光灯	174
16.3.1 灯的尺寸	174
16.3.2 启动与电特性	176
16.3.3 光特性	177
16.3.4 安全要求	179
16.3.5 检验规则	179
16.3.6 标志、包装、运输和储存	180

16.4	单端无极荧光灯能效限定值及能效等级	181
16.5	单端无极荧光灯用交流电子镇流器	182
16.5.1	一般要求和安全要求	182
16.5.2	性能要求	183
16.6	单端无极荧光灯用交流电子镇流器能效限定值及能效等级	186
16.7	普通照明用自镇流无极荧光灯安全要求	188
16.8	普通照明用自镇流无极荧光灯性能要求	194
16.9	普通照明用自镇流无极荧光灯能效限定值及能效等级	197

附录 无极荧光灯的主要规格 / ○

参考文献 / ○

无极荧光灯的发展

1.1 无极荧光灯的早期研究

无极荧光灯的发展可以追溯到 19 世纪, W. Hittorf 和 J. J. Thomson 分别在 1884 年和 1891 年探讨了射频感应放电的基本原理, 指出无极放电等离子体由线圈感应的电磁场所维持, 并开始采用变压器模型阐释了能量耦合。在 1891 年物理学家 N. Tesla 在纽约的哥伦比亚大学展示了第一个由射频场激发的无极放电。他采用的是低频的容性放电, 仅能在很短的间隙内产生微弱的放电, 但走出了无极放电的重要的第一步。在 Tesla 的研究中表明采用这种谐振结构传输能量, 整个系统的有功功耗可以十分低, 因此从理论上说明了采用无极放电可以得到很高的效率。

最早的无极荧光灯专利出现在 1907 年, 由 P. C. Hewitt 提出, 其放电结构与今天的 ICP 放电装置相类似。放电的结构采用球形泡壳内充少量汞和惰性气体并在球形泡壳外面设置线圈将能量耦合到泡壳内部, 由于当时没有高频电子设备, 放电的驱动频率为 125~300Hz, 因此整个系统的效率十分低, 甚至比白炽灯的光效还要低一些。但 Hewitt 的发明开始了人们采用无极放电结构研究气体放电光源的步伐。

随后不少科学工作者对无极放电光源进行研究探索, 其中有两个比较重要的专利, 分别是 1936 年 J. Bethenod 和 A. Claude 提出的专利和 1970 年 J. M. Anderson 提出的专利。J. Bethenod 和 A. Claude 提出的专利, 其泡壳结构采用凹状空腔结构, 在空腔内放入线圈和磁芯。这个结构在目前的无极荧光灯中也得到了较多的应用, 其优点是放电结构紧凑, 感应线圈不会阻挡光线, 射频辐射可以被等离子体屏蔽以及结构加工方便。1970 年 Anderson 提出了外置感应线圈的结构, 放电结构采用一个环形密闭的泡壳, 感应线圈放置在泡壳外面。目前这种结构放电启动容易并可以很好地解决散热问题, 对材料的要求可以降低, 可以实现大功率放电, 而且放电性能较稳定, 光效较高。

但这些发明在当时并没有转化成市场化的商品, 主要原因是当时射频电子学还没得到充分发展, 得到的无极放电灯的光效还不如白炽灯。另外没有办法得到可靠廉价的高频发生器, 因此要制造一个足够光效和可靠低价的无极荧光灯产品在当时看来几乎不可能。

1.2 无极荧光灯产品的发展

无极荧光灯真正发展和进入实际使用是 20 世纪 90 年代以后的事情。1991 年松下公司首先推出了 Everlight 无极荧光灯并投入日本市场，这种感应灯没有使用磁芯进行能量耦合，而是直接在直径为 4.5cm 的球形泡壳外绕上线圈，通以 13.65MHz 的高频电流，感应泡壳内的等离子体发光（见图 1-1）。泡壳外面的笼罩是为了降低电磁干扰（EMI）和射频干扰（RFI）问题，使电磁辐射达到规定要求。Everlight 无极荧光灯使用氩气作为启动气体，产品系统功率为 27W，光效为 37lm/W，平均寿命 40000h。

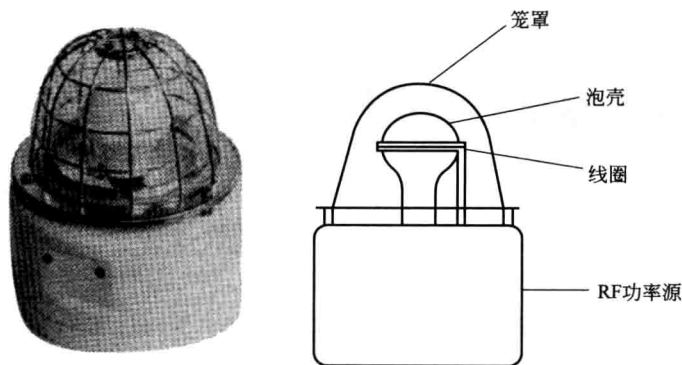


图 1-1 Everlight 的产品和结构示意图

RF 功率源—射频功率源

同在 1991 年，Philips 公司的 QL 无极荧光灯也投入市场。它在一梨形泡壳内有一个凹状空腔，带有线圈的铁氧体磁芯柱插入凹状空腔（见图 1-2）。率先推出的产品功率为 85W，驱动频率是 2.65MHz，泡壳形状类似普通白炽灯泡，直径为 11cm，长度为 18cm。泡壳内填充的气体为 33Pa 的氩气，汞蒸气压通过主辅汞齐控制，光效达到了 70lm/W。由于采用分离的镇流器结构，因此制造商认为灯的寿命可以达到 100000h。由于铁氧体磁

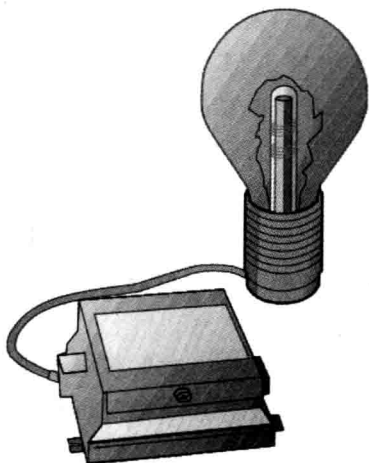


图 1-2 QL 灯系统示意图



图 1-3 GENURA 灯的结构

芯在泡壳内部，因此，泡壳的散热处理成为一个重要问题，在铁氧体磁芯内层采用铜材质导体将空腔内热量传导到灯的金属底座上的方法来解决，因此安装时保持灯底座良好的热接触可以使灯的性能更稳定。随后，QL 还推出了另外两个功率规格：55W 和 165W。

1994 年，GE 公司推出了 GENURA 无极荧光灯，其结构与 Philips 的 QL 无极荧光灯相似，采用内置磁芯的结构（见图 1-3）。由于其目的是希望取代普通的反射型白炽灯，因此电路和泡壳采用一体化的结构，达到紧凑的目的，并且泡壳外形与反射型白炽灯相仿，采用反射结构。灯的功率为 23W，工作频率为 2.65MHz，泡壳内的气体是 Ar，光效是 48lm/W，由于电路设计的原因，其寿命为 15000h。值得注意的是该灯由于结构设计的原因和采用 SnO₂ 半导体涂层技术，很好地解决了电磁兼容（EMC）问题。

无极荧光灯的另外一个结构是前面提到的 Anderson 的外置磁芯的结构，1994 年，Osram 公司推出了 ENDURA 无极荧光灯，它采用管状矩形放电管结构，并在放电管两端环绕带线圈的磁环（见图 1-4）。ENDURA 无极荧光灯最大的改进是工作频率，从原来的 2.65MHz 降低到

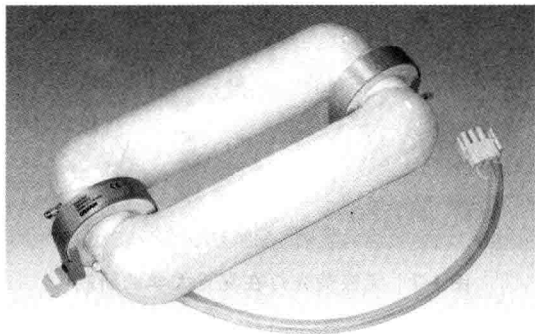


图 1-4 ENDURA 灯的结构

250kHz，不仅减少了 EMI 问题，还降低了驱动电路的成本和设计难度。150W 的灯在直径 5.4cm 时光效最高，达到了 80lm/W，平均寿命 60000h。ENDURA 无极荧光灯采用 Ar-Ne 混合气体加⁸⁵Kr 为工作气体，灯的启动性能优良。

在 21 世纪初期，由于电子产业特别是微电子技术的进展，低功耗技术使小功率无极荧光灯得到了长足的发展。松下照明电器有限公司 2003 年推出了名为 Pa-Look Ball YOU 的 12W 无极荧光灯，其结构如图 1-5 所示，工作频率 480kHz。该灯特别优良的散热设计，能够保证一体化的电路有 30000h 的寿命。由于使用了性能优异的磁芯材料，热损耗较少，12W 时还有 68lm/W 的效率。另外泡壳外面的防爆裂保护膜和良好的显色性能，使灯能够在很多场合代替 100W 的白炽灯。Osram 也推出了 20W 的 Dura-One 灯，有反射型和普通型两种（见图 1-6）。



图 1-5 松下的小功率无极荧光灯

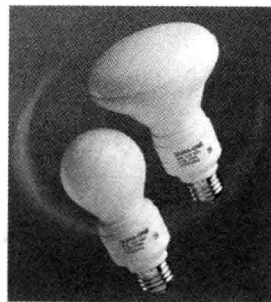


图 1-6 Dura-One 灯的结构

1.3 我国无极荧光灯的发展

我国无极荧光灯方面的研究工作在 20 世纪 70 年代就已积极展开，如复旦大学电光源研究所在蔡祖泉的领导和组织下，对无极荧光灯的结构设计、工作参数、电路设计、泡壳

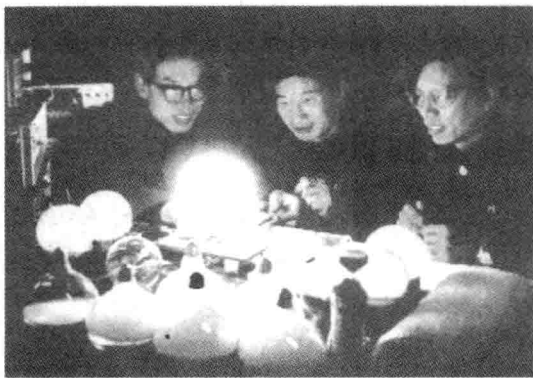


图 1-7 无极荧光灯在复旦大学的研制

的成形和涂粉等方面开展了大量的工作（见图 1-7），研究工作得到很大的进展，第一个球形无极荧光灯在第一届科技大会上献礼，研究成果在国际上得到了照明同行的肯定，并最终设计了 400W 的大功率印刷制版灯用于彩色印刷。由于当时的电子技术不够发达，研制可靠性好、效率高的电源有很大的难度，成本也比较高，因此，无极荧光灯并没有在中小功率得到实践，但对无极荧光灯的特性和工艺方面进行了大量有益的探索。

随着电子科学技术的进步，我国的电子产业得到蓬勃发展，生产廉价可靠的高频驱动电源成为可能，无极荧光灯重新得到发展。在 20 世纪 90 年代初，我国最早面世的无极荧光灯是由福建东大照明有限公司推出的东大无极荧光灯，产品采用内置式结构，如图 1-8 所示，当时东大无极荧光灯的主要目标市场为工矿企业，产品采用 E40 的灯头以方便使用。由于在放电结构和生产工艺上有较系统的研究，功率范围可以从 23W 到 200W。东大无极荧光灯将驱动电源集成在泡壳上，采用比较完善的散热设计解决高温问题，光效约为 60lm/W，成本约为国际品牌的 1/6，产品也比较有竞争力。由于当时无极荧光灯产品还没有得到充分的认识，因此产品没有得到大面积的应用。但是在此过程中，无极荧光灯的生产工艺得到了很大的改进，产品的性能和一致性较好，为我国无极荧光灯的发展走出了坚实的一步。

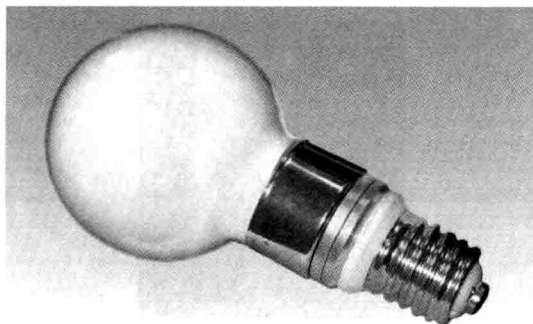


图 1-8 东大照明 85W 的无极荧光灯

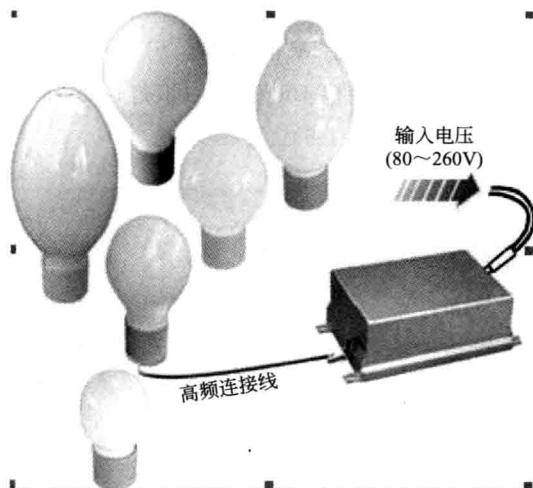


图 1-9 宝石无极荧光灯

随后河北宝石集团也推出了无极荧光灯，与东大无极荧光灯的明显不同是采用分体式的结构，驱动电源与泡体分开安装。宝石的无极荧光灯采用内置式的结构，但在泡壳的形状上有了很大的变化，可以有多种形状（见图 1-9），并对各种形状进行优化。宝石无极荧光灯在设计和工艺上进行了大量的研究，在泡壳的制造工艺、涂粉工艺和气体充填等方面进行了系统的实验，在内置式无极荧光灯的批量规模制造上取得了长足的进步。

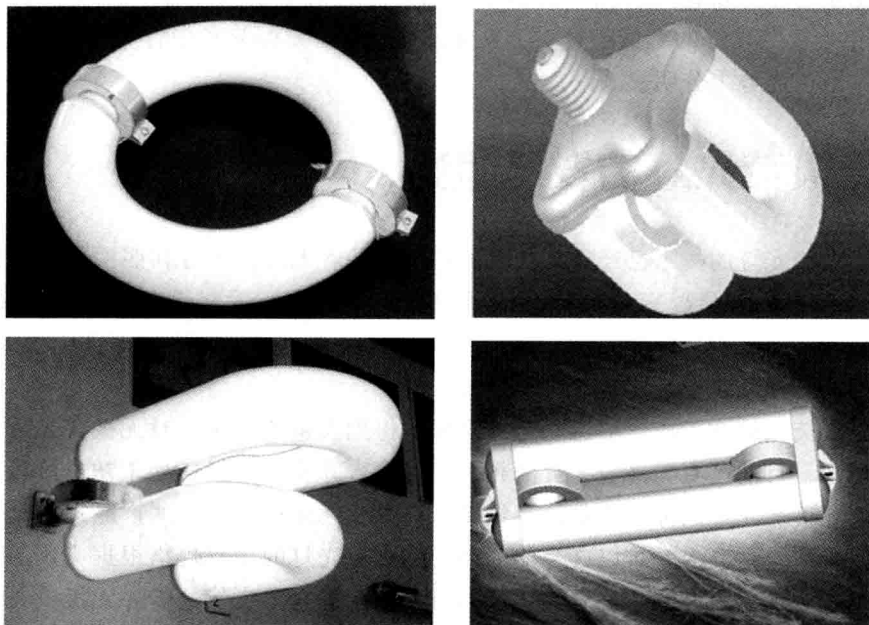


图 1-10 LVD 无极荧光灯

2003 年，上海宏源照明电器有限公司推出了外置式的 LVD（低频）无极荧光灯，放电管有多种形状，采用外置的磁环结构（见图 1-10）。LVD 灯采用的工作频率更低，在 200~230kHz 之间，根据灯的功率和结构有所不同。采用外置式结构的无极荧光灯光效较高，大功率灯的光效超过 80lm/W，寿命为 60000h。LVD 无极荧光灯高频发生器具有调光性能，典型的 120W 的 LVD 无极荧光灯通过工作频率的变化能够实现 30%~100% 的连续调光。

目前，淘汰白炽灯的公告给新型节能光源带来发展的机遇，小功率发光二极管（LED）一体化光源、节能灯和小功率一体化无极荧光灯都是白炽灯的替代光源。小功率一体化无极荧光灯在 18~23W 功率范围内替代 100~150W 白炽灯具有优势，其光效可达到 60~65lm/W，寿命达 30000h 以

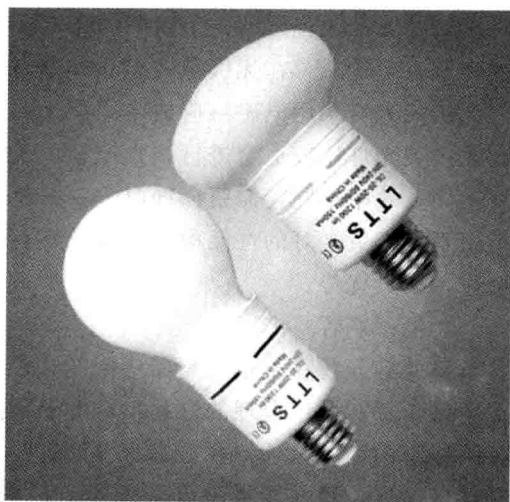


图 1-11 LTTS 小功率无极荧光灯