

Doi:10.3969/j.issn.1003-5060.2010.10.034

阳极电压对真空荧光显示器发光效率的影响

张建平^{1,2}, 赵威³, 王睿韬¹

(1. 上海电力学院 能源与环境工程学院, 上海 200090; 2. 上海交通大学 机械与动力工程学院, 上海 200240; 3. 上海工商外国语学院 计算机系, 上海 201300)

摘要:文章以由绿粉制作的3种型号(20-0704N、25-1217FN(B)和40-1004NA)VFD作为实验样品,按照产品检验规范条件,实测每个样品的阳极电流和亮度,应用威布尔分布函数描述其发光效率分布,利用右逼近法定量研究了阳极电压对VFD发光效率的影响,最终得到了绿粉VFD发光效率统一的计算公式;研究表明,实验设计方案切实可行,VFD的发光效率随阳极电压变化服从三参数威布尔分布并呈非线性递减关系,发光效率的威布尔拟合公式很精确,在VFD设计之初只需根据阳极电压设计值就可确定VFD的发光效率。

关键词:真空荧光显示器;发光效率;阳极电压;威布尔分布

中图分类号: TN141

文献标志码: A

文章编号: 1003-5060(2010)10-1582-04

Effect of anode voltage on luminous efficiency of vacuum fluorescent display

ZHANG Jian-ping^{1,2}, ZHAO Wei³, WANG Rui-tao¹

(1. School of Thermal Power and Environmental Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China; 2. School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China; 3. Dept. of Computer Science, Shanghai Industry and Commerce Foreign Language College, Shanghai 201300, China)

Abstract: Three VFD types(20-0704N, 25-1217FN(B) and 40-1004NA) produced by green powder are used as test samples in this paper. According to the norms of product testing, the anode current and the luminance of each sample are measured under each step of anode voltage. The unified calculation formula of the luminous efficiency for VFD is achieved by applying Weibull function in describing luminous efficiency distribution and right approximation method in studying the effect of anode voltage on the luminous efficiency quantitatively. The research results show the test design scheme is correct and feasible. The luminous efficiency of VFD submits to three-parameter Weibull distribution, which decreases nonlinearly when anode voltage increases. The Weibull fitting formula of VFD luminous efficiency has very high accuracy, which makes it possible to determine the luminous efficiency based on the designed value of anode voltage at the beginning of VFD design.

Key words: vacuum fluorescent display; luminous efficiency; anode voltage; Weibull distribution

真空荧光显示器(Vacuum Fluorescent Display,简称VFD)是一种从真空电子管发展而来的自身发光显示器件,具有发光亮度高、显示多色容易、体积小、视角广和寿命长、可以用低压进行驱动及易与集成电路配套等优点,因此,广泛应用

于家电、汽车、办公自动化设备及工业仪器仪表等各种领域^[1,2]。发光效率是衡量VFD发光器件好坏的一个十分重要的物理量,也是直接反映VFD发光性能的重要指标^[3]。为了提高VFD的发光性能,除了对其工作机理、结构、工艺制造及

收稿日期:2009-04-21;修回日期:2009-08-11

基金项目:上海市自然科学基金资助项目(09ZR1413000);上海市高等学校本科教育高地建设资助项目和上海市科委重点科技攻关计划资助项目(08160510600)

作者简介:张建平(1972-),男,江苏南京人,博士,上海电力学院教授,上海交通大学在站博士后。

荧光粉研究之外,主要对其发光效率进行正确测量和计算。

文献[4]研究了影响大功率白光 LED 发光效率的几个因素,得出了 LED 发光效率随温度和电流变化的关系;文献[5]分析了影响彩色等离子体显示器(PDP)发光效率的因素,并提出了改善 PDP 发光效率的 4 种有效途径;文献[6]对彩色 PDP 发光效率的公式进行了推导,并通过适当简化处理,证明了计算彩色 PDP 发光效率的数学表达式。但是有关 VFD 发光效率的测量和计算的研究很少。本文针对 VFD 实际生产情况,通过选取由常见绿色荧光粉制作的 3 种型号 VFD,开展实测其阳极电流和亮度的实验,采用右逼近法计算出其发光效率的威布尔拟合公式,确定了阳极电压变化对其发光效率的影响,并经过进一步优化处理,给出了适用于由绿粉制作的各种型号下 VFD 发光效率随阳极电压变化的统一计算表达式,为 VFD 生产厂商和技术人员提供了一种使用简便、计算结果精确的发光效率确定方法。

1 实 验

(1) 实验样品的选取。对于 VFD 发光效率计算的实验样品选取有以下几个要求:① 实验样品必须具有典型的代表性;② 生产工艺比较稳定;③ 在生产线上流转量比较大。选取符合以上 3 个要求的产品型号:20-0704N、25-1217FN(B) 和 40-1004NA。目前 VFD 生产厂商常用的荧光粉颜色主要有 8 种,由于绿粉的色度理想、发光效率高,因此由绿粉生产的 VFD 占市场的主导地位,所以选取由绿粉制作的 3 种型号 VFD 作为实验样品。

(2) 实验产品参数的测量。计算 VFD 发光效率主要用到以下参数:阳极电压、占空比、发光面积、阳极电流以及亮度。阳极电压、占空比可采用产品的设计值,不需要测量。发光面积可以利用设计图纸文件和 CAD 软件中的面积计算命令得到。在 VFD 测试仪上,按照产品检验规范条件测试每个型号每只样品的阳极电流,采用亮度计和受光素子来测试实验样品的亮度,并将实测值平均后作为该型号样品的测量值。

(3) 实验所需的仪器设备。根据实验需要测量的参数,主要的仪器设备有:电脑测试仪(选取实验样品时进行 IK 实验)、亮度计(BM-5a,精度 1 cd/m^2 ,校准受光素子倍率来测试亮度)、VFD 光电参数测试仪(测试阳极电流)、示波器(确定产

品的阳极电压和占空比)及数字电压表(确定产品两端灯丝的实际电压)。

(4) 实验步骤。实验步骤如下:① 确定实验样品型号,每个型号样品各取 50 只;② 用电脑测试仪对各产品进行 IK 实验,选取 IK 较好的样品,然后在 VFD 测试仪上对这些样品进行亮度测试,选取亮度接近平均亮度的样品作为实验样品(每种样品 30 只,其中 20 只作为实验样品用,10 只备用),以确保实验结果的准确性(每个型号剩余 20 只样品退还给仓库);③ 选好实验样品后,对各个样品进行编号;④ 利用 CAD 软件计算出所需的发光面积;⑤ 采用亮度计校准每个型号样品所使用的受光素子倍率;⑥ 在 VFD 测试仪上,按照产品检验规范条件,测量每个样品的阳极电流和亮度。

2 发光效率的拟合方法

当测得 VFD 的亮度 L 和阳极电流 I_b 后,发光效率 η 可由以下基本算式进行计算,即

$$\eta = 3.142 \times 10^{-3} \times \frac{LS_b}{E_b I_b D_u} \quad (1)$$

通过(1)式来计算发光效率,需要测量的参数较多、测量过程复杂,而且大量实验数据证实了 VFD 发光效率 η 确实与阳极电压 E_b 有关,并呈现非线性递减的关系。此外,同样一种荧光粉会应用在不同型号的 VFD 中,也就是说,绿粉可以在不同阳极电压下工作。因此,需要确定 VFD 发光效率 η 随阳极电压 E_b 变化的关系式。

由于威布尔分布含有的参数对各种类型试验数据的拟合能力强,本文设 VFD 发光效率 η^* 与阳极电压 E_b 的关系服从三参数威布尔分布,其分布函数为:

$$\eta^* = 1 - \exp\left[-\left(\frac{E_b - E_{b0}}{\lambda}\right)^m\right] \quad (2)$$

令 $\eta^* = 1 - \eta/\eta_0$, 对(2)式进行变换,可得:

$$\eta = \eta_0 \exp\left[-\left(\frac{E_b - E_{b0}}{\lambda}\right)^m\right] \quad (3)$$

其中, E_{b0} 为阳极电压 E_b 的初始值; η_0 为对应于 E_{b0} 通过(1)式计算得到的发光效率 η 的初始值; m 和 λ 分别为 Weibull 分布的形状和尺度参数。

设实验数据为 (E_{bi}, η_i) , $i = 1, \dots, n$ (n 为实验中所测阳极电压的个数), 将(3)式变换成如下线性关系^[7]:

$$\ln \ln[(\eta/\eta_0)^{-1}] = m \ln(E_b - E_{b0}) - m \ln \lambda \quad (4)$$

令

$$y = \ln \ln(\eta/\eta_0)^{-1}, x = \ln(E_b - E_{b0}),$$

$$a = m, b = -m \ln \lambda \quad (5)$$

则有线性方程:

$$y = ax + b \quad (6)$$

根据(5)式可以把实验数据 (E_{bi}, η_i) 转化为如下的线性模型数据:

$$(\ln(E_{bi} - E_{b0}), \ln \ln(\eta_i/\eta_0)^{-1}) = (x_i, y_i) \quad (7)$$

采用最小二乘法对(7)式的数据进行直线拟合,回归直线中系数的表达式为:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i)/n}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2/n},$$

$$b = \sum_{i=1}^n y_i/n - a \sum_{i=1}^n x_i/n \quad (8)$$

由(5)式和(8)式可得 m, λ 的估计为:

$$m = a, \lambda = e^{-b/a} \quad (9)$$

x_i 与 y_i 的决定系数表达式为:

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i)/n)^2}{(\sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2/n)(\sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2/n)} \quad (10)$$

采用右逼近法^[8]估计三参数威布尔分布(3)式中的 E_{b0} , 以便获得最佳的拟合效果。该方法具

体描述如下:首先取 $E_{b01} = \min\{E_{bi}\}$ 为参数 E_{b0} 的初始值,做参数变换 $(E_{b0i} - E_{b01}, \eta_i)$, 将三参数转化为二参数威布尔分布,用最小二乘法对数据点进行直线拟合,由(10)式计算出相应的决定系数 R_k^2 , 然后选取步长 Δ , 从 $E_{b02} = E_{b01} - \Delta$, $E_{b03} = E_{b02} - \Delta, \dots, E_{b0k} = E_{b0(k-1)} - \Delta, \dots (k = 1, 2, \dots, n)$ 下降,从右逼近 E_{b0} (即 $E_{b0} \leq E_{b0k} \leq E_{b01}$), 重复上述步骤,求出每次的决定系数 R_k^2 。最后,取 $R_{\max}^2 = \max\{R_k^2\}$, 通过选择最大的 $R_{\max}^2$, 就可以由(8)式、(9)式得到(3)式中的形状参数 m 和尺度参数 λ , 进而能够确定 VFD 发光效率 η 随阳极电压 E_b 变化的威布尔拟合公式。

3 实验结果与讨论

(1) 实验数据。3 种型号 VFD 的发光面积 S_b 、占空比 D_u 和阳极电压 E_b 范围见表 1 所列,不同阳极电压 E_b 下测得 20 个 VFD 样品的平均阳极电流 I_b 和平均亮度 L 见表 2 所列。

表 1 3 种型号的 VFD S_b, D_u 和 E_b 范围

产品型号	S_b/mm^2	D_u	E_b/V
20-0704N	15.090 0	1/8	14~46
25-1217FN(B)	9.788 0	1/13	14~46
40-1004NA	27.361 6	1/11	14~46

表 2 不同阳极电压下测得的 VFD 阳极电流 I_b 、亮度 L 和发光效率 η

E_b/V	VFD20-0704N			VFD25-1217FN(B)			VFD40-1004NA		
	I_b/mA	$L/(\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$	$\eta/(\text{lm} \cdot \text{W}^{-1})$	I_b/mA	$L/(\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$	$\eta/(\text{lm} \cdot \text{W}^{-1})$	I_b/mA	$L/(\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$	$\eta/(\text{lm} \cdot \text{W}^{-1})$
14.00	0.84	464.63	14.99	0.56	371.12	18.93	0.94	195.10	14.02
16.00	1.39	604.21	10.30	0.89	507.46	14.25	1.33	255.39	11.35
18.00	1.93	819.62	8.95	1.26	648.82	11.44	1.81	327.06	9.49
20.00	2.44	1 044.66	8.12	1.63	811.92	9.96	2.33	409.26	8.31
22.00	2.97	1 282.81	7.45	1.97	979.31	9.03	2.87	511.88	7.67
24.00	3.48	1 558.55	7.08	2.32	1 178.43	8.46	3.37	611.41	7.15
26.00	4.06	1 874.81	6.74	2.72	1 371.51	7.75	3.85	726.42	6.86
28.00	4.69	2 184.01	6.31	3.14	1 568.22	7.13	4.42	833.14	6.37
30.00	5.40	2 549.64	5.97	3.63	1 794.76	6.59	5.05	946.71	5.91
32.00	6.04	2 937.55	5.76	4.11	2 047.95	6.23	5.69	1 068.86	5.55
34.00	6.72	3 307.85	5.49	4.59	2 261.26	5.79	6.29	1 195.77	5.29
36.00	7.55	3 753.27	5.24	5.13	2 504.25	5.42	6.86	1 326.92	5.08
38.00	8.27	4 135.97	4.99	5.63	2 771.92	5.18	7.48	1 448.17	4.82
40.00	9.14	4 567.56	4.74	6.18	3 023.84	4.89	7.96	1 567.70	4.66
42.00	9.86	4 883.04	4.47	6.73	3 281.64	4.64	8.50	1 685.23	4.46
44.00	10.70	5 302.37	4.27	7.18	3 484.49	4.41	8.81	1 788.04	4.36
46.00	11.48	5 746.59	4.13	7.64	3 684.12	4.19	9.30	1 869.66	4.13

(2) 发光效率随阳极电压变化关系的确定。首先,结合表 1、表 2 的参数值根据右逼近法估计

出(3)式中的 3 个参数值,见表 3 所列。3 种型号 VFD 发光效率 η 威布尔拟合公式的最大决定系

数分别为 $R_{1\max}^2 = 0.999\ 8$ 、 $R_{2\max}^2 = 0.999\ 4$ 和 $R_{3\max}^2 = 0.999\ 0$, 均很接近于 1, 说明其拟合效果都很好。以表 2 中由(1)式计算出的发光效率实验值为基准, 3 种型号 VFD 发光效率 η 威布尔拟合公式得到的发光效率计算值与实验值相比较, 平均相对误差分别为 1.39%、1.89% 和 2.47%, 说明发光效率的计算比较精确。3 种型号 VFD 发光效率 η 随阳极电压 E_b 的变化关系如图 1 所示。由图 1 可见, 由绿粉制作的 VFD 发光效率 η 随阳极电压 E_b 呈非线性递减, 而且不同型号之间曲线衰减的一致性比较好。

为了得到适用于由绿粉制作的不同型号下 VFD 发光效率 η 随阳极电压 E_b 变化的统一计算公式, 先将 3 种型号的威布尔公式变换成如(4)式的线性关系, 再通过各参数取平均的方法可得到绿粉 VFD 发光效率 η 随阳极电压 E_b 变化的统一计算公式为:

$$\eta = 15.977 \exp \left[- \left(\frac{E_b - 14.000}{18.136} \right)^{0.532} \right] \quad (11)$$

其中, 参数 $\bar{\lambda}$ 、 $\bar{m}$ 、 $\bar{\eta}_0$ 、 $\bar{E}_{b0}$ 的值分别由 $\bar{E}_{b0} = \sum_{j=1}^3 E_{b0j} / 3$, $\bar{\eta}_0 = \sum_{j=1}^3 \eta_{0j} / 3$, $\bar{\lambda} = \exp(\sum_{j=1}^3 \ln \lambda_j / 3)$, $\bar{m} = \sum_{j=1}^3 m_j / 3$ 求出, 见表 3 所列, 绿粉发光效率 η 和阳极电压 E_b 的拟合效果如图 1 所示。

表 3 各型号及其统一的威布尔拟合公式参数值和决定系数

产品型号	E_{b0j}	η_{0j}	λ_j	m_j	R_j^2
20-0704N	14.000	14.986	18.952	0.436	0.999 8
25-1217FN(B)	14.000	18.925	14.860	0.568	0.999 4
40-1004NA	14.000	14.020	21.181	0.592	0.999 0
平均值	14.000	15.977	18.136	0.532	

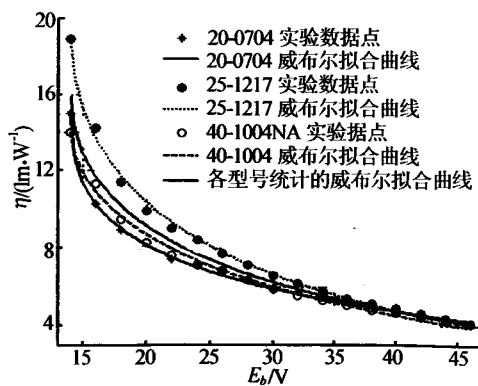


图 1 E_b 变化的威布尔拟合曲线

(3) 发光效率的计算值与实验值比较。由于 VFD 型号 20-0704N、25-1217FN(B) 和 40-

1004NA 的工作电压分别为 24 V、28 V 和 30 V, 所以选取其工作电压作为阳极电压 E_b 的起始值, 根据(1)式计算得到的各型号 VFD 发光效率 η 实验值为基准, 采用绿粉 VFD 发光效率 η 统一计算, (11)式的计算值与实验值相比较后可知: 3 种型号发光效率 η 的最小相对误差分别为 0.08%、1.44% 和 0.05%, 平均相对误差分别为 2.84%、3.47% 和 3.35%, 精度较好。因此, (11)式适合由绿粉制作的各型号 VFD 发光效率的计算。

4 结束语

本文实验得出以下结论: VFD 发光效率 η 随着阳极电压 E_b 的增大呈非线性递减的变化关系; VFD 发光效率威布尔拟合公式决定系数高达 0.999 8, 拟合程度非常好, 由拟合公式得到的发光效率值与发光效率实验值相比, 最大平均相对误差不超过 3.5%, 计算精度较高。本文的实验方案计算方法通用性很强, 适用于确定由其它颜色荧光粉制作的 VFD 发光效率计算表达式。因此, 今后只需根据 VFD 阳极电压的设计值而不再通过测量其阳极电流和亮度等光电参数, 即可快速、准确地得到 VFD 的发光效率, 为生产厂商和技术人员进行 VFD 亮度特性的研究提供了重要的理论依据和技术参考。

【参 考 文 献】

- [1] 阮世平. 高性能真空荧光显示器(VFD)开发和应用[J]. 光电电子技术, 2005, 25(4): 211-217.
- [2] 张建平, 王睿韬. 基于 MAM 真空荧光显示器寿命预测的研究[J]. 液晶与显示, 2008, 23(6): 765-770.
- [3] 吕银环, 张涛, 刘艳, 等. 热真空环境下 LED 发光效率的实验研究[J]. 光学技术, 2006, 32(5): 713-716.
- [4] 王健, 黄先, 刘丽, 等. 温度和电流对白光 LED 发光效率的影响[J]. 发光学报, 2008, 29(2): 358-362.
- [5] 耿艳霞, 王建琪, 何锋, 等. 彩色 PDP 发光效率的分析及改善方法[J]. 真空电子技术, 2004, (1): 41-44.
- [6] 樊卫华. 彩色 PDP 发光效率的计算[J]. 真空电子技术, 2001, (1): 39-40.
- [7] Zhang Jianping, Xie Xiuzhong, Zhao Keren. Constant-step stress accelerated life test of VFD under logarithmic normal distribution case [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University: English Edition, 2006, E-11(1): 14-17.
- [8] 曹伟刚, 刘瑞元. 威布尔分布位置参数估计的性质[J]. 青海大学学报: 自然科学版, 2002, 20(6): 50-52.

(责任编辑 张 镏)