

加速可靠性试验中 LED 寿命的快速评估

陈 奇 陈 全 罗小兵

(华中科技大学能源与动力工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘 要 对于大功率 LED 产品而言, 由于其寿命较长, 采用传统的方法测定其寿命需花很长时间, 一般采用加速可靠性实验来对 LED 产品寿命进行测试推断。目前的 LED 加速寿命测试多采用离线的方法, 存在数据样本少、不能准确地反映真实衰减情况的问题。本文提出了一种在线测试的方法, 并利用此方法对 LED 模块的加速寿命进行了推断。实验结果证明, 采用在线测试方法可以有效地减少实验时间, 达到快速评估高温加速可靠性试验中 LED 寿命的目的。

关键词 大功率 LED; 在线测试; 寿命评估; 可靠性

中图分类号: TK123 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-231X(2014)03-0554-03

Fast Estimation of LED's Accelerated Lifetime by Online Test Method

CHEN Qi CHEN Quan LUO Xiao-Bing

(School of Energy & Power Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract For high power LED product, measuring its lifetime by conventional process costs a lot due to its long lifetime. Thus high accelerated reliability test is usually used to project lifetime. Most of the present accelerated test methods can be identified as "offline" methods, which have problems like small sample data capacity and further, disability to reflect small changes of the product performance within short time. In this paper, we provided an "online" test method by which the problems above can be exactly solved. A high accelerated experiment was conducted to project a blue LED module's accelerated lifetime. The experimental results illustrated that in terms of lifetime projection, the operation time of accelerated life test could be shortened effectively on the guarantee of precision.

Key words high power LED; online test; lifetime estimation; reliability

0 引 言

大功率 LED 具有效率高、寿命长、环保和体积紧凑等优点, 在背光灯、路灯、景观照明、汽车大灯等领域得到了广泛的应用, 被誉为取代传统光源的新一代绿色光源^[1-3]。在这些优点中, 值得一提的是, LED 的理论寿命可以达到 50000 h^[4]。但是, 由于受生产厂家的技术、生产工艺、使用的材料等各种因素的影响, 各厂的大功率 LED 产品的寿命不尽相同。生产商在推出新的产品时, 往往会公布一系列产品参数, 其中包括产品寿命。目前国内的厂家公布的 LED 产品寿命数据大多还是 50000 h 的理论寿命, 缺乏实际的预测。

由于 LED 产品的寿命较长, 采用传统的方法测定其使用寿命需耗费大量的时间和精力, 一般采用高加速可靠性实验来对 LED 产品的寿命进行测试推断^[5]。目前的加速测试大多数采用的是离线方法, 即在测试样品初始参数后将样品置于实验环境下, 一

段时间后拿出来测量相应的参数, 然后再放回到实验环境, 如此反复得到一系列离散的数据点。这种方法的特点在于, 为了减小测试时取出 LED 样品对实验条件的影响, 通常两次测量的间隔时间很长, 导致整个测试周期很长。换言之, 离线测试方法在短期内获得的实验数据很少。因此, 如何快速评估加速可靠性实验中 LED 的寿命成为了人们关注的热点。

本文通过采用一种在线测试的方法, 实时地采集高温加速实验条件下 LED 模块的出光数据, 在较短的时间内获得大量的实验数据。在这些数据的基础上, 对高温加速可靠性实验中 LED 的寿命进行了推断评估。

1 在线测试方法

传统的高加速实验之所以采用离线的测试方法, 是因为测试设备不能够耐住严苛的实验条件, 如高温、高低温循环、热冲击等。对于大功率 LED 而言,

收稿日期: 2014-01-04; 修订日期: 2014-02-21

基金项目: 国家 973 资助项目 (No.2011CB013106); 国家自然科学基金资助项目 (No.51376070)

作者简介: 陈 奇 (1991-), 男, 博士研究生, 主要从事 LED 可靠性研究。通信作者: 罗小兵, 教授, Email: Luoxb@hust.edu.cn.

高加速老化实验中所关心的参数主要是出光的相对衰减。因此, 通过将 LED 的出光传导出来, 可以在室温条件下对出光数据进行实时监测和采集, 达到在线测试的目的。

本文采用的在线测试方法的原理如图 1 所示。通过特制的耐高温光缆将 LED 模块发出的光传导出来, 在室温下利用照度计进行实时监测, 并将出光数据存储到电脑上。利用手工设计的夹具保证了 LED 模块、光缆入口和出口以及照度计探头的同轴性, 并利用内壁开有小孔的手工设计的盒子来保证, 在不影响盒子内外环境一致的情况下, 尽可能地减少外界光对实验数据的影响。

通过在不同注入电流条件下的在线测试结果与积分球测试结果的比较, 验证了在线测试结果的相对变化可以如实地反映实际出光的相对变化。在 0~360 mA 之间选取 13 个数值作为注入电流, 依次测得在相应注入电流下, 分别利用在线测试设备和积分球采集相应光参数, 所得结果如图 2 所示。由图 2 可知, 当电流为 350 mA 时, 在线测试采集的光照度为 1385.22 lx, 积分球采集的总光通量为 15.39 lm, 二者的关系可以用下式表示

$$K = \frac{F_v}{E_v} = \frac{F_v \cdot S}{F'_v} \quad (1)$$

其中, F_v 为总光通量, E_v 为在线测试的光照度, F'_v 为相对光通量, S 为探头的面积, K 是常数, $K = 1.11\%$ 。计算在 330 mA 下的最大偏差, 可知相对误

差为 1.4%, 标准差为 0.93%。由此可见, 在线测试的光照度和总光通量之间的线性拟合关系很好, 可以很好地反映实际出光的相对变化。

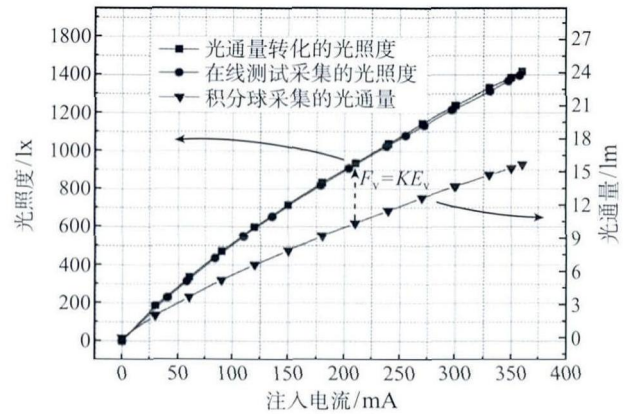


图 2 不同电流下在线测试结果与积分球测试结果的比较

Fig. 2 The relationship between measured partial illuminance and the total flux

2 实验过程

本次实验的设备为在线测试设备, 包括稳流电源、夹具、恒温箱、特指光缆、照度计、电脑以及若干导线, 实验样品为 1 W 蓝光 LED 模块。参照图 1.1 连接实验设备, 将实验温度设定在 125°C 恒温, 注入电流设定为 350 mA, 电脑软件设定为每隔 30 s 采集一次实验数据, 采集时间设为 500 h。

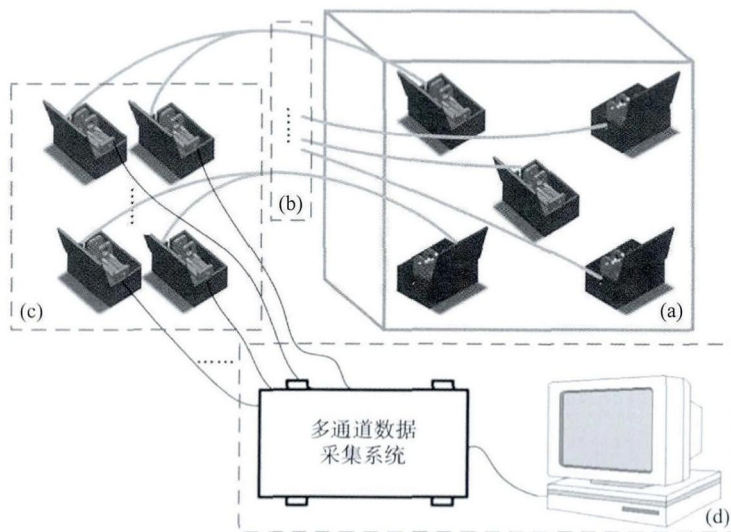


图 1 在线测试实验原理图

(a) 温度腔和出光端外壳; (b) 耐高温光纤; (c) 光接收端外壳; (d) 光照度和色度测试系统

Fig. 1 Configuration of experimental equipment for measuring LEDs optical degradation

(a) Light transmission environment enclosure, (b) Heat-resistant armored cable, (c) Sensing environment enclosure, (d) Photometric and colorimetric measurement system

3 实验结果与分析

在经过 400 h 后,对在线测试采集到的实验数据进行了分析。由图 3 可知,利用在线测试的方法可以采集到的数据样本非常大,在 125°C 的实验条件下经过 424 h 的老化,LED 模块的相对出光衰减了约 9%,采样数据的误差主要来源于照度计探头的不稳定性。

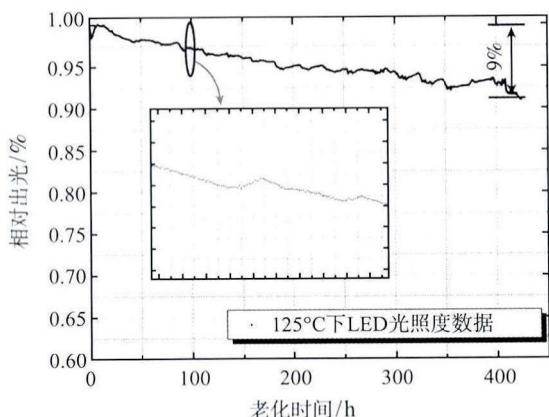


图 3 LED 模块相对出光随时间的变化

Fig. 3 Light output degradation as a function of aging time under 125°C

由 TM-21 标准^[6]可知,温度对 LED 寿命的影响可以用指数衰减的模型进行推断,即

$$\phi(t) = B \exp(-\alpha t) \quad (2)$$

其中, t 是实验时间, $\phi(t)$ 是相对出光, B 是初始常数, α 是衰减率。对于如 LED 的半导体器件而言,退火的影响会导致其在开始阶段的出光发生波动,不能真实反应温度对样品的实际影响。因此,舍弃掉开始阶段的数据,利用 12~424 h 的数据对 LED 模块的寿命衰减进行推断。如图 4 所示,推断结果显示, $B = 0.98926$, $\alpha = 1.74404 \times 10^{-4}$, LED 样品推断的中位寿命(相对出光衰减到一半所需的时间)为 $L_{50} = 3912$ h, 相关度 $r^2 = 0.95354$ 。

定义快速测试方法与常规离线测试方法相比的加速程度为,推断出的样品中位寿命与推断所用数据的测试时间的比值,即

$$A = \frac{L_{50}}{t} \quad (3)$$

对于本实验,加速程度 $A = 9.2$ 。由此可知,采

用这种方法可以大幅缩短高温加速实验的时间,达到快速评估高温加速实验中 LED 寿命的目的。

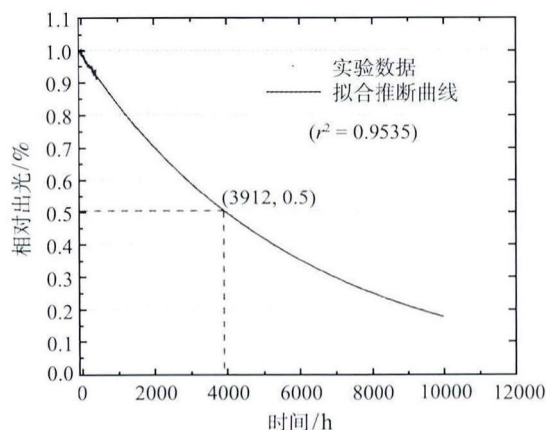


图 4 中位寿命推断原理图

Fig. 4 The schematic diagram of the accelerated life projecting

4 结 论

本文提出了一种在线测试的方法,开展了不同电流下的对比试验对其可行性进行了验证,并利用此方法对高温加速可靠性实验中 LED 的寿命进行了推断。结果表明,与传统的离线测试方法相比,采用在线测试方法对高加速可靠性实验中 LED 寿命进行推断,可以有效地减少实验时间,达到快速评估高温加速可靠性试验中 LED 寿命的目的。

参 考 文 献

- [1] Krames MR, Shchekin OB, Mueller-Mach R, et al. Status and Future of High-Power Light-Emitting Diodes for Solid-State Lighting [J]. J Disp Technol, 2007, 3: 160-175
- [2] Steranka FM, Bhat J, Collins D, et al. High Power LEDs — Technology Status and Market Applications [J]. Phys Status Solidi (A), 2002, 194(2): 380-388
- [3] Schubert EF, Kim JK, Luo H, et al. Solid-State Lighting—a Benevolent Technology [J]. Rep Prog Phys, 2006, 69(12): 3069-3099
- [4] Koh S, Driel W V, Zhang G Q. Degradation of Light Emitting Diodes: A Proposed Methodology [J]. Journal of Semiconductors, 2011, 32(1): 014004
- [5] Silverman M. Summary of HALT and HASS Results at an Accelerated Reliability Test Center [C]//Reliability and Maintainability Symposium, 1998. IEEE, 1998: 30-36
- [6] Illuminating Engineering Society. TM-21-11 Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED Light Sources [S]. New York(NY): Illuminating Engineering Society, 2011