

# LED 路灯特性长程测试中的误差分析

钱可元<sup>1</sup> 付伟<sup>1</sup> 罗毅<sup>1,2</sup>

- (1. 清华大学深圳研究生院半导体照明实验室, 广东深圳518055 ;  
2. 清华大学电子工程系,集成光电子学国家重点实验室, 北京 100084)

## 摘要

作为户外照明产品的 LED 路灯, 其可靠性必须进行现场的长程测试, 而长程测试过程和方法对测量可信度会带来很大影响。本文针对 LED 的特性, 讨论了 LED 路灯长程测试方法和测试过程中可能引入的误差以及改进的方法, 包括被测光源特性、测试设备、测试环境等。

关键词: 大功率 LED, 路灯, 寿命测试

## Research on the measuring accuracy of LED Street light

QIAN Keyuan<sup>1</sup>, Fu Wei<sup>1</sup>, LUO Yi<sup>1,2</sup>

- (1. Semiconductor Lighting Lab., Graduate School at Shenzhen, Tsinghua University, Shenzhen 518055, CHN;  
2. State Key Lab. on Integrated Optoelectronics, Dept. of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, CHN)

## Abstract

As outdoor lighting products, LED street lights, its on-site measurement of the whole device is a very important part to evaluate the reliability and other properties., while the long-term testing process and method will have a great impact on measuring credibility. In this paper, we discussed various factors which may produce errors on the measurement of LED street light's photometric parameters and its on-site luminous degradation. These factors include the characteristics of LED, the measuring method and the measuring equipment etc.

Key words: High Power LED, Street light, Lifetime measurement

## 1 引言

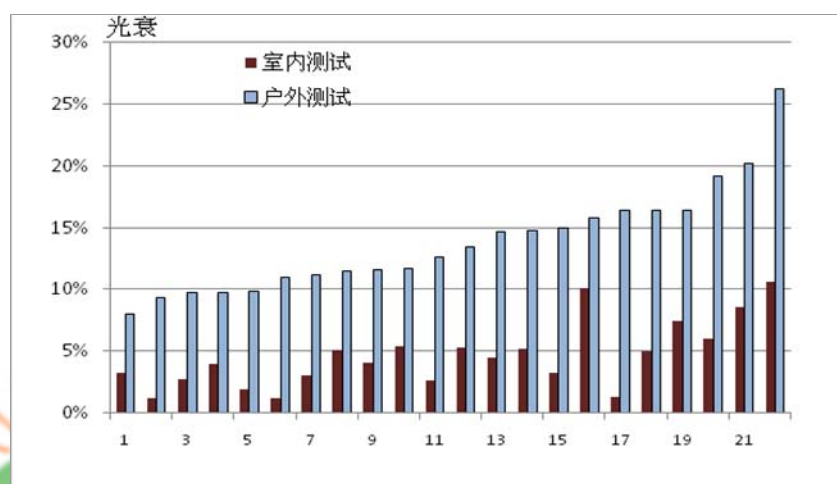
近年来, LED 光源高效、长寿、绿色环保的特点被人们所认识和重视, 同时随着近 10 年来 LED 技术取得突飞猛进的发展, 相关 LED 二次光学设计技术的日臻成熟, 采用半导体光源替换现有城市道路照明光源已经成为半导体照明领域的一大趋势, 日益受到人们的关注。但要大量推广 LED 路灯, 就必须对 LED 路灯产品有一个统一的技术标准和测量标准, 规定一些强制性的

性能指标，以保证产品的性能和质量。从目前 LED 路灯产品技术发展的现状来看，最主要的就是整灯寿命、整灯光效和光衰曲线这几个关键指标。<sup>[1,2,3]</sup>

LED 路灯作为一个系统，影响上述性能的因素较多，如电源驱动的特性、光学元件的耐候性、整灯结构的防水防尘性能等都会严重地影响系统的光效和寿命，即光用 LED 芯片或模组的光学特性并不能完整地描述灯具的性能，因此必须进行整灯的老化测试以取得符合系统实际性能的数据。

作为户外照明产品的 LED 路灯，其可靠性就必须进行现场的长程测试，时间跨度往往需要数千小时，而现场的长程测量的精度由于受到环境、测试方法等方面因素的干扰，会与室内实验室环境的测试结果产生较大的差异。

图（1）为检测部门组织的多家企业提供的不同 LED 路灯在实验室环境与在户外场地测试的光衰结果对比。



图(1)、LED 路灯实验室环境与户外场地环境测试的光衰对比

图(1)所示为 22 种 LED 路灯产品 2000 小时的光衰测试数据，从图中可以看出：

- A) LED 路灯在户外场地测试得到的光衰值都大于实验室环境下测试的光衰值；
- B) 若以实验室测试为依据，则大部分光衰都在 5% 以下，而若以户外测试为依据，则这批路灯的光衰都明显偏大，不宜批量生产；
- C) 不同路灯产品所对应的这一测试差别也不同，范围为 5%~15%。

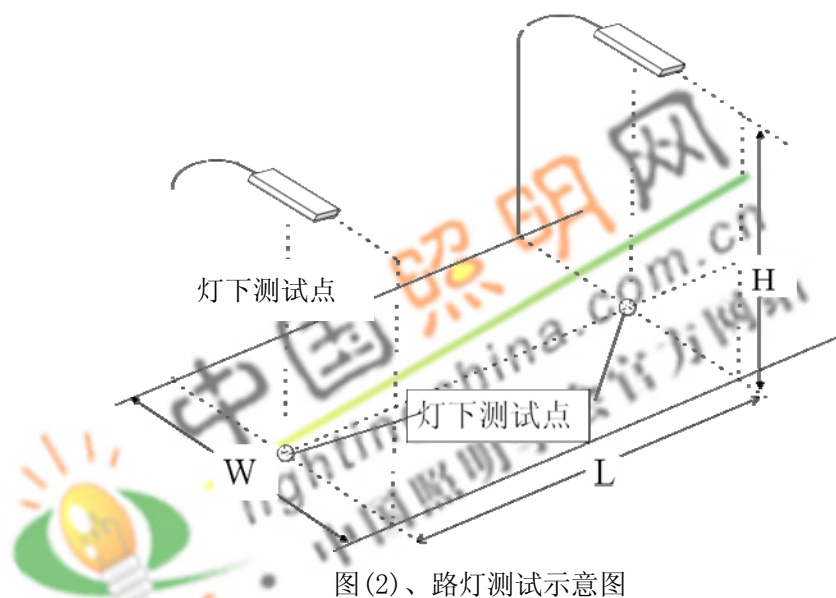
由此就给最终用户对选用 LED 路灯产品造成了困难，即究竟应该采用什么方法来检测，该相信哪组测试数据？

目前在各级与 LED 路灯相关的标准和规范指标中，都对 LED 路灯的光衰做了严格的要求，基本都要求连续点亮 3000 小时后，路灯光衰不高于 2%；要达到如此高的光衰测试要求，对于各类引起测量误差的关键因素就必须进行分析并作适当的补偿。

## 2 影响 LED 路灯光效测量精度的主要因素

对于 LED 路灯的期望寿命测量方法，相关的国家标准中给出了 LED 路灯的期望寿命测量方法，方法规定在一定的技术规范规定条件下老炼 LED 路灯，并在规定的测温点监测 LED 路灯的外壳温升。每隔 100~300 小时记录一定距离下 LED 路灯灯下点的照度，直至测量到 6000 小时。如到 6000 小时仍未达到 LED 路灯寿命，则可用灯下点照度下降的规律外推出 LED 路灯的寿命，即期望寿命。在期望寿命测量和外推计算中，以 LED 路灯在 1000 小时的发光特性为初始值，外推出的 LED 路灯光通量下降到初始值的 70%的时间为期望寿命。

由此可见，对 LED 路灯要进行光衰与寿命测试，时间跨度都在 3 个月以上。由于测试场地的影响往往需要在路灯安装现场进行测试，如图（2）所示。



图(2)、路灯测试示意图

由此也就必然会遇到测试准确度的判定及干扰因素的消除问题，在此我们先分析一下影响 LED 路灯光效测量精度的主要因素。

### 1) 电源的稳定性

在《整体式LED路灯的测量方法》中对于电源电压要求为：在稳定期间，电源电压应稳定在额定值的 $\pm 0.5\%$ 的范围内；测量时，电源电压应稳定在额定值的 $\pm 0.2\%$ 的范围内，基波频率偏差不得大于 $0.1\%$ ，谐波失真小于 $3\%$ ；寿命试验的电源电压应稳定在 $\pm 2\%$ 以内。

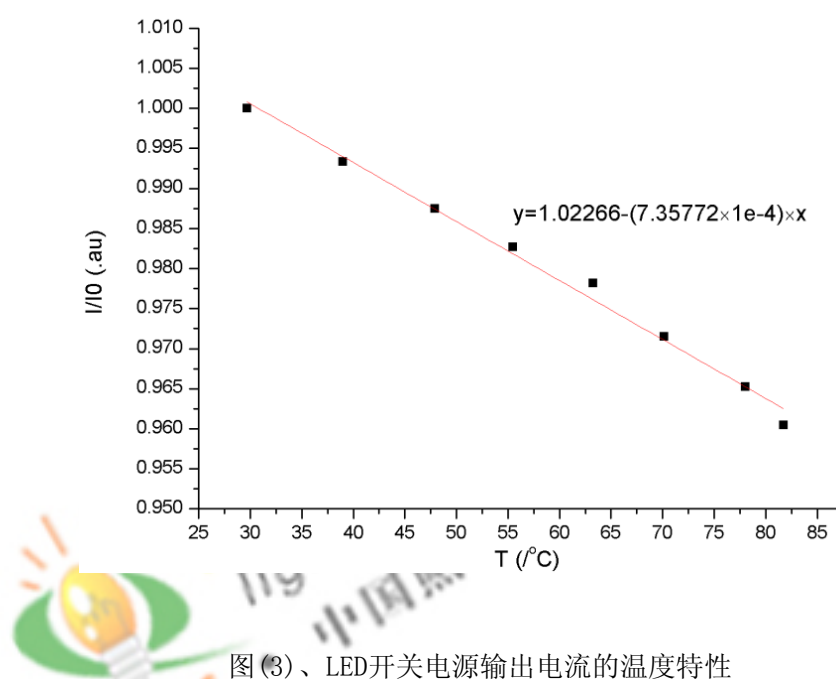
在LED驱动方面，通常使用恒流驱动，电流的波动就直接影响了LED的发光通量，为了验证实际产品的性能，考察了2家在LED路灯电源方面进行了专门设计和有着较多使用经验的电源生产厂家的LED驱动器，其电流控制精度分别为 $\pm 2\%$ 和 $3\%$ 。

然而这只是标明的稳态状况，在此我们更应注意几个参数：稳定电流随外加电压变化的

波动、随运行时间的慢性漂移以及随外界温度变化的稳定性。

实验室对某公司75WLED开关电源进行测试表明，开关电源输出电流基本不随外加电压的变化而变化，稳定精度达到 $\pm 0.01\%$ 以上，可以忽略其影响。对75W大功率开关电源的老化测试情况来看，经2400小时的老化后，电源输出电流稳定精度达到 $\pm 0.02\%$ 以上，也可以忽略此因素对开关电源输出稳流精度的影响。

我们知道，即使在在南方城市，对于跨度2000小时的测试，环境温差也至少有 $20^{\circ}\text{C}$ （下面涉及到温差影响的讨论我们都以 $20^{\circ}\text{C}$ 来计），这种温度的变化会影响LED开关电源输出电流的变化。



图(3)、LED开关电源输出电流的温度特性

图(3)是对一实际使用的LED路灯电源的温度特性进行检测的结果。从图(3)可以看出，LED开关电源与环境温度变化的关系为 $I^{-1} \cdot dI \cdot dT = -0.0736\%/K$ ，即温度上升时开关电源输出电流以每10度0.7%的速率下降（以环境温度 $25^{\circ}\text{C}$ 为初使温度）。由于LED输出光通量与输入电流基本呈线性关系，那么当温度变化 $20^{\circ}\text{C}$ 时，电流的输出就会下降1.47%，下降的电流会直接导致LED输出光通量的下降。LED输出光通量与输入电流呈线性关系，在此温度变化的幅度内，灯具的光通量也将下降1.47%。

## 2) LED光源的稳定性

LED光源是半导体器件，对温度十分敏感。测试中必须考虑LED光源光通量受环境温度的影响，这是影响整灯性能一个非常重要的方面。通常从半导体器件的温度特性可以得到光发

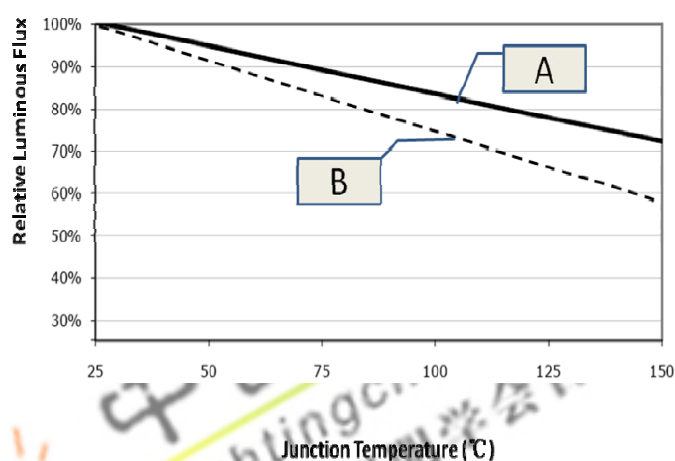
射强度与温度的关系:

$$I(T) = I_0 \exp(-T/T_I); \quad [2, 3]$$

这里 $T_I$ 为特征温度, 对于采用GaInN/GaN量子阱有源层的蓝光LED器件, 其特征温度 $T_I=1600\text{K}$ 。

对于蓝色芯片加黄色荧光粉的白光LED器件, 由于器件的性能还受荧光粉、填充胶等材料的影响, 其温度特性就会偏离上述理论公式。在一般情况下, 白光的光输出变化随温度的变化的关系大致为 $\Phi^{-1}d\Phi/dT = -0.2\% \text{K}^{-1}$ , 也即是说光通量的输出随温度的升高以每10度2%的速率下降。然而对于不同的芯片以及不同的封装工艺与材料, 上述参数也会发生变化。

实验中对国内外2种不同的LED器件进行了输出光通量与结温关系的测试, 结果如图(4)所示。



图(4)、不同白光LED件的光输出与结温的关系

对于样品A, 其白光的光输出变化随温度的变化的关系为 $\Phi^{-1}d\Phi/dT = -0.22\% \text{K}^{-1}$ ,

对于样品B, 上式变为 $\Phi^{-1}d\Phi/dT = -0.30\% \text{K}^{-1}$ , 也即温度每升高10度光通量下降3%。

因此在测量期间如温差超过20°C, 会使LED灯具的光通量测试产生5%左右量级的误差。

由此可见在进行耗时较长的光衰测试时, 必须将温度的影响考虑在内, 并根据实测的温度进行相应的修正。反之, 若是在夏天开始测试, 而在冬天结束, 则衰减会大大减小, 甚至会出现光输出的增加。

### 3) 测试设备的影响

目前所用路面测试设备, 通常都为照度计或亮度计, 这些仪器的探头是决定光参数测试准确度的核心, 一般的光敏元件(如硅光电池、光敏电阻等)都有其固有的相对光谱灵敏度曲线, 而理想的光谱灵敏度曲线应该是与CIE 1931人眼的光视光效函数即 $V(\lambda)$ 曲线完全吻合, 只有如此才可能实现精确的光度学测量。但一般光敏器件光谱灵敏度曲线与CIE 1931  $V(\lambda)$ 曲线相

差很大，<sup>[4]、[6]</sup>因而需要加上一系列的滤色片来进行校准，由此也就产生了光谱响应误差 $f_i$ 。

根据CIE 69-1987和中国JJG245-2005照度计量检定规程，不同等级的光度探头/光度计的分级技术指标要求见表1。

表 1 光度计分级一览表

等级 考核项目	CIE 1983 best	中国（光度计）		
		标准级	一级	二级
$V(\lambda)$ 失匹配误差 $f_1$	2%	3.5%	6%	8%
UV 响应 $u$	0.2%	0.5%	1.5%	2.5%
IR 响应 $r$	0.2%	1%	2%	4%
余弦响应 $f_2$	1.5%	2%	4%	6%
非线性误差 $f_3$	0.2%	0.3%	1%	2%
温度系数	0.2%/K	0.2%/K	0.5%/K	2%/K
疲劳 $f_5$	0.2%	0.2%	0.5%	1%

对于一般企业的测试设备，大都为一级精度，其 $V(\lambda)$ 失匹配误差 $f_1$ 达6%，因此各自光色不同的LED路灯也就必然会由此失配造成一定的测量误差。由于 $f_1$ 描述的是探头的最大误差，并非在所有波长范围内都是这一数值，最后光度测量的总误差一般应小于此值。

设在某一波长，探头的 $V(\lambda)$ 失匹配误差为 $f_1(\lambda)$ ，造成的光度测量的总误差为：

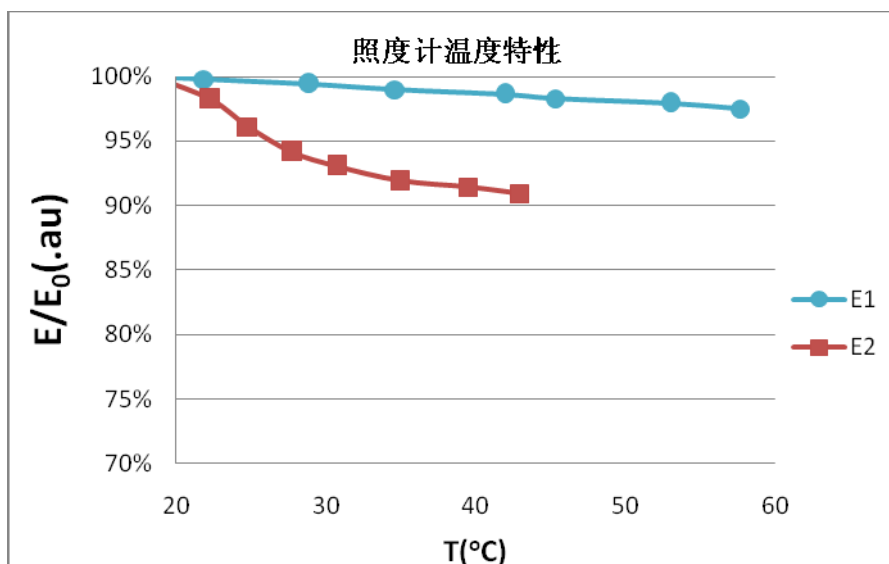
$$\Delta\Phi = \int \varphi(\lambda) \cdot f_1(\lambda) d\lambda$$

$\varphi(\lambda)$  为被测光源在波长  $\lambda$  处的光强度，由于白光LED的发射谱主要集中于黄绿色和蓝色两个主要波段，其中黄色光对光通量的影响最大，因此探头在这一波长范围的失配误差就对LED光度测量的精度尤为重要。

另外，光电探头的温度系数在此的影响是最不容忽略的，根据中国JJG245-2005照度计量检定规程，即使是采用标准级的探头，其温度系数为0.2%，这也就意味着在时间跨度为2000小时的测试期间，在环境温度的变化为20℃的条件下，只此一项也会使LED灯具的光通量测试产生4%的误差。

为系统研究照度计的温度特性，我们分别对某公司生产一级品照度计的光探头和整体照度计进行了温度特性测试实验，其结果分别为下图(5)中E1和E2两条曲线。





图(5)、相对照度随温度变化曲线

以20°C为起始温度，图(5)中E1曲线显示光度探测头的温度特性，它包括 $V(\lambda)$ 修正滤波器、余弦校正玻璃、表头电阻和硅光电池，这部分随温度的上升而输出信号的下降速率为 $0.062\%K^{-1}$ 。E2曲线显示了探测头再加上照度计后面A/D转换电路、显示电路部分在内的整体照度计的温度特性<sup>[5]</sup>，整体照度计随温度使照度下降速率为 $0.374\%K^{-1}$ ，可以看出后面A/D转换和显示部分的受温度变化给照度值带来影响更大。以本照度计进行测试，20°C的温差时，带来的测量误差为7.48%。

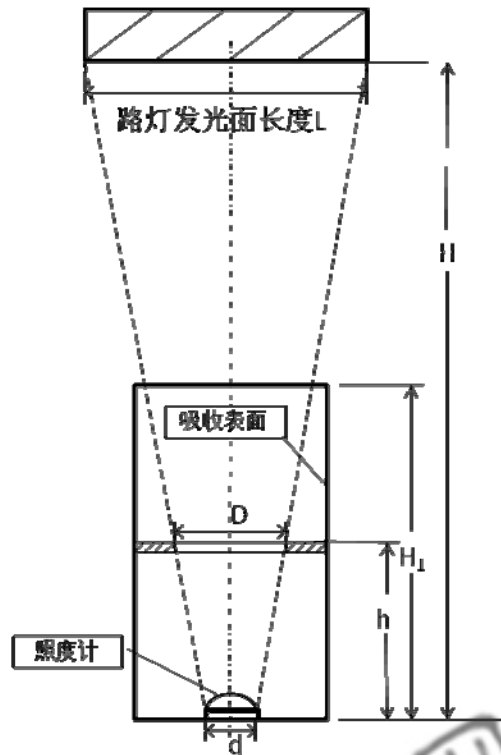
#### 4) 测试方法的影响

在实地测量，就必然会受到各类杂散光的影响，主要的杂散光包括：

1. 道路上车辆的光照；
2. 相邻路灯的光辐射；
3. 路边其它光源的干扰；
4. 路灯光源在其它物体上反射光的干扰；

上述杂散光其实质都是非稳定的，如相邻路灯的光辐射会随路灯布置位置的不同，路灯光型分布的不同而变化；当路边的绿化植物、建筑物、广告牌等物体遮挡或反射光辐射时，这种光的干扰也极不稳定。

为了消除这类不稳定杂散光的影响，在实地测试中可以使用一个辅助的隔离筒，如图7所示。



图(6)、 用于消除杂散光影响的隔离筒简图

隔离筒内部涂吸收光涂层，可以有效地隔离外界的干扰光，从而保证有效地接受正上方的被测路灯的光辐射。图中d为照度计测光表面直径，H为路灯的高度，D为隔离筒光阑孔径，从隔离外界干扰来看，D的尺寸应当尽量接近d的大小，由于LED路灯目前大都是有多颗LED模块阵列组成，其等效发光面的尺度不容忽视，隔离筒的构造就需保证能有效地接受路灯发光面上所有LED模块的光线，即： $\frac{D-d}{h} \geq \frac{L-d}{H}$ 。

## 5) 环境污染的影响

室外LED灯具必然会受到落尘堆积、胶质悬浮物等杂质的污染，这一污染在灯具的透光面出现时将会直接导致灯具光效的下降，而且这一影响的程度也会随路灯安装的地点、在路面使用的时间以及路灯表面的处理情况不同而变化。

为了测试路灯表面污染对光度测试的影响，我们对正常道路上的LED路灯进行了定点照度随时间变化的测试，图7(a) 显示了在同一条道路上的10 盏路灯在表面不清洗的情况下的测试结果，而在图7(b) 中则显示了最后一次测量进行了灯具出光面清洗后的结果。两者有着明显的差距，从表2可见，在4500小时的路面运行后，路灯因表面污染引起的照度测试误差平均达-7%。



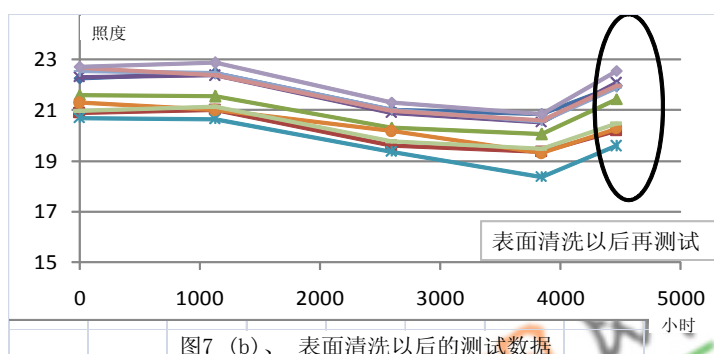
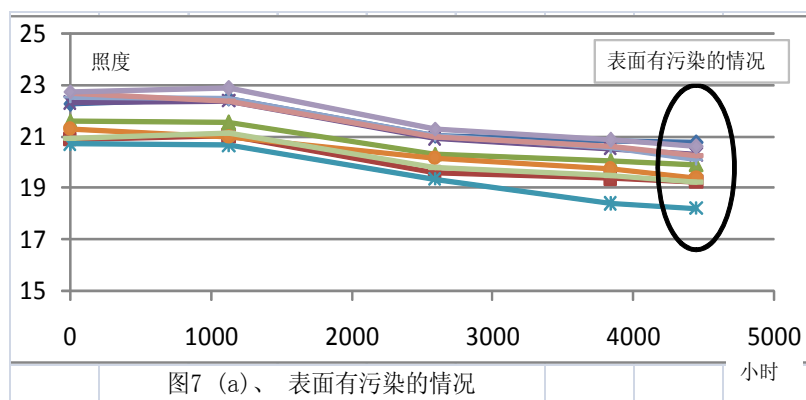


表2 . 表面污染引起的测试误差

路灯序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
照度误差	-6%	-5%	-8%	-9%	-8%	-5%	-9%	-8%	-6%	-9%

上述结果是对出光面为平面结构的LED路灯而作的测试所得，对于一些出光面兼做二次光学透镜表面从而具有凹凸结构的LED路灯，这一影响会更严重并会进一步影响光型分布。特别是用在交通量较大的公路和隧道照明场合，灯具表面往往会被油污严重污染，采用目前传统对隧道灯具的清洗方法就很难对这些具有凹凸结构的LED路灯出光面进行有效的清洗。

### 3 总结

由上述实验分析可知，对LED路灯整灯光参数的实地长程测量，将受到很多外在因素的影响，其中温度的影响最不容忽视。当温度升高1℃时，由驱动电源、LED光源、照度计引入的测量误差分别为-0.0735%，-0.25%，-0.374%，当温度升高20℃时，上述各项误差引起的总测量误差将达到-13.95%。而路灯因表面污染引起的照度测试误差也相当严重，在城市主干道的应用环境下，4500小时的路面运行后表面污染引起的测试照度下降值平均也达-7%左右。再看图(1)，不同厂家室内和室外测试的数据相差5%-15%也就不难解释了。当然我们数据只是研究某一种电

源、光源和照度计，不同的电源，不同的LED光源，不同的照度计受温度的影响不同。

从上述研究结论可知，要准确地在时间跨度较大的长程测量中获取LED路灯整灯的光电参数，就必须尽可能地排除各类非LED光源自身造成的影响因素，尤其是在户外实地测试中，各类外界的影响也更严重。通过清洁灯具、规范测试方法可以减少由于或消除因环境污染和测试方法带来的误差。但LED路灯系统中的开关电源、LED光源和测量用照度计受温度影响较大。如要测试光衰小于3%，则测量精度最基本也应优于1%，如此就需选用标准级的测试仪器；温度的影响必须进行控制（测试时间跨度内环境温度的变化 $\Delta T < 3^{\circ}\text{C}$ ）或给予必要补偿；光的采集须避开各类杂散光的干扰；同时必须考虑灯具表面污染对测试的严重影响。

#### 参考文献：

1. E.Fred Schubert, **Light-Emitting Diodes, second edition**[M], Cambridge university press,2006:191
2. A. Zukauskas, **Introduction to Solid-State Lighting**[M]. New York, Wiley, 2002.
3. Datasheet Lumileds Luxeon emitters, Lumileds website [online]: [http:// www.lumileds.com](http://www.lumileds.com)
4. 潘建根, 闵芳胜. 测量 LED 用高精度光度探头及其性能评价[J].《液晶与显示》, Vol. 20. NO. 2 , Apr. , 2005
5. 候文辉. 高精度照度计的设计[D].大连: 大连理工.2007:3-8.
6. 许艳.照度计的特性及测量误差的定量评价[J].《现代计量测试》vol3.2002

