

LED 的寿命，你真正理解了吗？

程晔

(依古姿妮照明(中国)有限公司, 上海 201401)

摘要: LED 技术起始于半导体行业, 却带给照明行业应用上的大发展。作为一个新兴事物, 有很多问题都在探索当中。LED 一个显著的特点就是超长寿命。但没有确切的试验, 这超长寿命是如何得来的? 它与传统照明理解的寿命有什么不同吗? 本文将从 LED 寿命这个看似简单的问题作为出发点, 来系统的分析和梳理 LED 元件及系统的寿命问题。通过比较与传统照明的异同点, 分析当今最新标准来帮助 LED 的使用者和系统制造商理解和推导真正的 LED 的寿命。

关键词: LED 寿命; LM-80; TM-21; L70; B50; F5; 元件; 系统

LED Lifetime , Do You Really Understand?

Cheng Ye

(iGuzzini Lighting (China) Co., Ltd., Shanghai 201401)

Abstract

LED technology started in semi-conductor industry, but is booming in the lighting industry. As a newborn thing, it is facing many questions and discoveries. LED is famous for its extra long lifetime. However, how we can predict the lifetime without any convincing tests? Is there any difference of LED life time with the traditional lighting source? This article will be based and focus on this simple concept. Comparing LED with traditional lighting and analyzing the latest standard development meanwhile, this article will help LED users and system manufactures understand what the lifetime stands for really.

Key words: LED; lifetime; LM-80; TM-21; L70; B50; F5; component; system

1 LED 发展背景

随着半导体技术的突飞猛进, 当日本日亚 NICHIA 将 GaN 配合荧光粉专利带给人类, 当 LED 开始照亮这个世界时, 预示着照明行业的又一次技术浪潮。LED 的新技术的诞生, 极大地推动了传统照明行业, 琳琅满目的专业词汇、技术特性层出不穷, 以前可能只有照明行业专业人员才知道的术语, 现在各行各业都在研究与关注。市场的推广更是离不开这些专业数据的宣传, 诸如寿命、显色指数、发光效率、结温、光通量等新鲜词汇纷纷专业化的

映入人们眼帘。其中, 尤以 LED 的超长寿命, 从一开始就最为人们所推崇。

传统光源的寿命主要由灯丝寿命所决定。LED 本身的半导体发光原理, 没有灯丝, 决定了其寿命能超长。相比较其他传统光源几倍甚至几十倍的寿命, LED 技术成熟后一上来就直指替换传统照明。加上其本身的低功率, 令能源及温室效应日益紧张的世界找到了节能减排的又一突破口。在商务宣传上, 我们常常看到 LED 的投资回报率和替换传统照明的节能效果, 让我们的照明行业又添上了专业化的市场色彩。



图1 LED 已深入我们生活各个层面

2 LED 寿命的困惑

LED 的寿命是一切其他优势的保证。最早就有 LED 寿命是 50000 小时甚至更高的宣传。当我们的制造商在大肆宣传自己的产品有多好、寿命有多长时, 我们的终端用户可能根本感觉不到这方面的对其带来的优势。究其原因, 其一对于这样的创新产品客户没有直观的使用感受, 其二以价格换市场的低劣产品使客户使用时用不了多久就无法继续使用, 其三夸大的没有充分试验依据的数据让消费者不敢轻易相信, 其四由于其超长寿命是否真的不用替换了吗? 此外, LED 原本属于半导体行业, 加上半导体产品本身特点的对寿命的定义、受各种不同因素的制约以及不断进步的快速认识, 一个全新的领域还没有标准的统一的认识, 让不仅是普通客户还是传统照明行业的专业人员都有点云里雾里的感觉。我们的传统照明制造商选择什么样的 LED 来保证系统 (光源、灯具) 的寿命呢? 如何进行选择呢?

综上所述, LED 的寿命不再像以前传统光源那样简单的理解, 全新的领域还在不断的探索, 概念繁多又缺乏实际感受。本文的目的就是旨在用标准化的视野来解释 LED 的寿命, 跟踪国际最新前沿, 理清各种关系, 不仅帮助使用 LED 的下游照明企业懂得如何选择可靠的 LED, 制作可靠的系统, 也帮助终端消费者在挑选 LED 产品时不再不知所措。

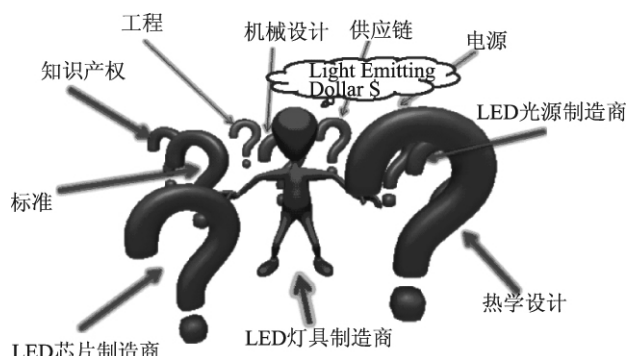


图2 LED 面临的困惑

3 传统光源的寿命及 LED 光通维持率的有效寿命

在理解与众不同的 LED 寿命前, 我们先了解一下传统光源的寿命。传统光源我们使用已被广泛接受的方法来测定其额定光源寿命。这些方法已经在表 1 各种标准中予以给出。

表 1 各种光源寿命标准

光源	寿命相关的 美国标准	寿命相关的 欧洲标准	与欧洲标准对应 的我国标准
钨丝灯	IES LM - 49	IEC 60064	GB/T 10681
紧凑型荧光灯 CFL	IES LM - 65	IEC 60969	GB/T 17263
荧光灯	IES LM - 40	IEC 60081	GB/T 10682

注: 对于高强度气体放电灯 HID, 由于欧洲与美国标准分类不同, 故未列出。

标准中规定了测试环境、样品选择及测试方法。例如, 对于紧凑型荧光灯, 标准规定了样品须在



图3 欧美及我国的标准体系

25℃的环境中进行测试。一个试验周期为开灯3小时，关灯20分钟。当一半光源失效时的时间即为光源的额定平均寿命。

与LED不同，传统光源并没有使用光通维持率来衡量寿命（下文中会提及LED寿命衡量的方法）。那是什么原因呢？对于钨丝灯光源，光通损失主要是因为灯丝损耗。一般来说，钨丝灯在平均额定寿

命1000小时内，光通损失仅为初始光通量的10%~15%。对于荧光灯，光通损失主要是因为荧光粉涂层及玻璃管的光化学衰减。对于紧凑型荧光灯CFLs在其平均额定寿命10000小时内，光通损失不超过初始光通量的20%。对于使用稀土荧光粉的高品质灯光T8和T5，在其20000小时的寿命内光通量损失不超过5%。

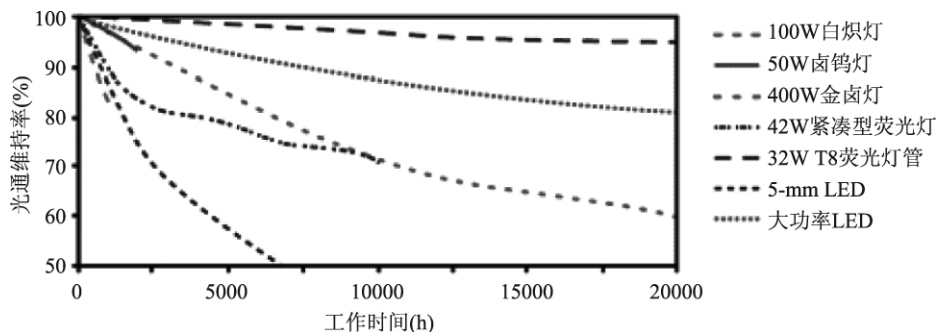


图4 各种光源的典型光通维持值

而对于LED而言，光衰的可能性根据制作原理有着各种各样的原因。例如：驱动电流、结温、荧光粉，透镜等。由于LED的理论寿命很长，可能需要很多年的测试才能使其“点坏”。而且不像其他传统光源，即使光衰到50%，它依旧能持续点亮。但是这时候的光是否还能满足照明设计的要求呢？因此，照明设计师需要确切的了解其能发出不低于有效光通的、能满足他们设计的寿命，而不是其“点坏”的寿命，以精确计算安装、维护、更换成本和传统光源做比对。基于以上原因，LED的寿命往往采用光通维持率来计算的有效寿命。

4 LED元件的寿命

4.1 LED的范围

在给出LED的寿命前，我们要首先把LED的范畴确定下来。我们常听说的LED实际即包括LED元件component，还包括LED系统system。LED元件就是通常的LED芯片，系统是用户所用到的LED的终端产品，包括光源、模组、灯具等。下文中请留意其不同区分。

4.2 LED元件的寿命，L70，L50

寿命的定义：到底什么是寿命？我们需要明确的定义把它规定下来。由于新技术正处于一个探索的阶段，大家都在根据自己的理解和研究来制定相应的定义。现对于标准基础研究的主要有两大阵营，即欧洲和美国。欧洲标准体系主要以IEC标准为基础，由国际电工委员会IEC颁发。美国LED标准体系相对比较复杂。分别由北美照明学会IES、美国国家标准局NEMA以及美国保险商实验室UL掌管

不同的标准。具体区别见下图。我国 GB 标准则一直沿用欧洲标准体系。

根据 IEC62504 (GB/T24826) 《普通照明用 LED 和 LED 模块术语和定义》中的规定,

2. 37

寿命 life

一只成品 LED 灯 (模块) 从燃点至 “烧毁” 或 LED 灯 (模块) 工作至低于本标准中所规定的寿命性能的任一要求时的累计时间。

2. 38

平均寿命 (50% 的灯失效时的寿命) average life (life to 50% failures)

LED 灯 (模块) 的光通维持率达到本标准的要求并能继续燃点至 50% 的 LED 灯 (模块) 达到单只 LED 灯 (模块) 寿命时的累计时间。

根据 IES LM - 80 《Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources》中的规定,

3. 6 Rated Lumen Maintenance Life , (L_p)

The elapsed operating time over which the LED light source will maintain the percentage , p , of its initial light output e. g.

- L70 (hours) : Time to 70% lumen maintenance
- L50 (hours) : Time to 50% lumen maintenance

IEC 标准给出了从传统意义上讲的寿命的概念, 与

传统光源寿命标准统一, 但是由于 LED 的长寿命和新技术, 加上 LED 技术的日新月异, 从操作性上很难来实现。

IES 标准将寿命与光通维持率联系起来, 给出了一个新的对于寿命的理解。在之后我们会看到, 利用这个数据我们能根据现有一段时间的数据来推测出 LED 的真正寿命。所以从某种程度上说, 这里给出的额定光通维持寿命可以理解为 LED 的有效寿命 (Useful life) 。

表 2 两种标准体系对寿命理解的异同点

标准	IEC62504	IES LM - 80
定义对象, 约束范围	LED, 包括 LED 元件及系统	LED 元件
判定依据	失效	光通维持率
平均寿命	有	无规定

但这个标准只规定了 LED 元件的寿命, 并不是 LED 系统寿命的规定。从此标准的出处可以看出, 此标准是参考了 ASSIST 推荐的 《LED Life for General Lighting: Definition of Life》一文。ASSIST = the Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies, a group LED by the Lighting Research Center at Rensselaer Polytechnic Institute in Troy, New York. 即半导体照明系统和技术联盟, 是由 Rensselaer 大学的照明研究中心发起的一个 LED 组织。

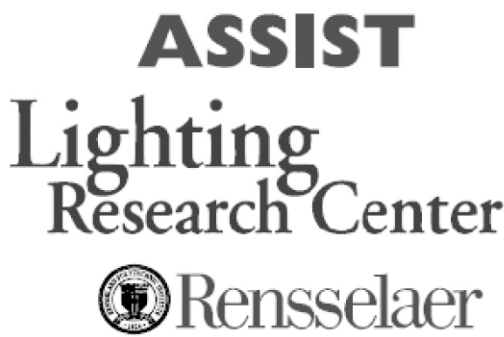
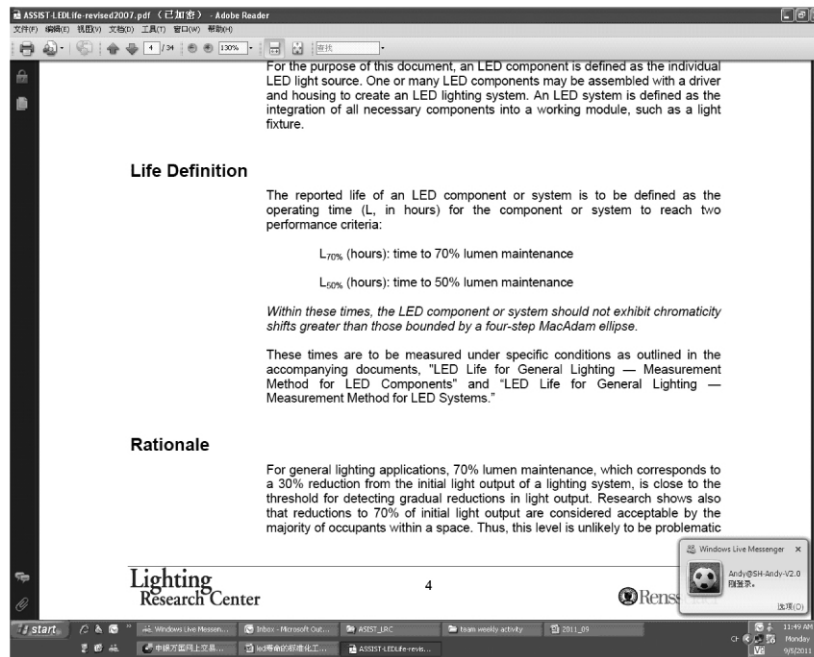


图 5 ASSIST 组织

根据 ASSIST, 它就把流明维持寿命定义为寿命。而且此寿命定义适用于 LED 元件及系统。此外, 它还规定了寿命期间的光色漂移特性, 不能超过 4 MacAdam 椭圆。

从美国标准来看, 它将寿命与光通维持率联系

起来。通过光衰到 70% 或 50% 的寿命来判定 LED 本身的寿命。这段时间相对于至失效时的时间来说较短, 比较好操作, 在 LED 更新换代时也缩短了研发试验的时间。越来越多的 LED 制造企业也开始采用 L70, L50 来标称 LED 的寿命。



根据 ASSIST 的研究成果，在普通办公室照明中，只要照明水平不低于初始值的 70%，其变化是会被察觉出来的，特别是这种变化是逐渐的。所以使用 L70 来作为普通办公室照明的有效寿命。对于装饰和重点照明，ASSIST 推荐使用 L50 来作为有效寿命。所以 L70 和 L50 数据是两个重要的数据，涵盖了大部分照明应用。

4.3 B50, B10

在实际操作过程中，我们发现在批量样品进行测试 L70, L50 测试时，由于工艺、材料等一系列因素造成 LED 个别个体之间存在差异性及其不同的可靠性，例如光通维持率极低或损坏。考虑到实际可能的次品率，ASSIST 又引入了 B50, B10 的概念。

表 3 各种光源的寿命

光源	典型额定寿命范围 (h)	估计的有效寿命 (L70)
白炽灯	750 ~ 2000	
卤钨灯	3000 ~ 4000	
紧凑型荧光灯 CFL	8000 ~ 10000	
金卤灯	7500 ~ 20000	
荧光灯管	20000 ~ 30000	
大功率白光 LED		35000 ~ 50000

B 后面跟的数值表示为经过计算 LED 光通量低于“L”表示的百分比或者损坏的比率。通过 Bxx Lxx 的组合来表示 LED 的寿命。

B50 L70 表示为此寿命下的 LED 的光通维持率不低于 70%，且经过计算有 50% 的 LED 的光通量

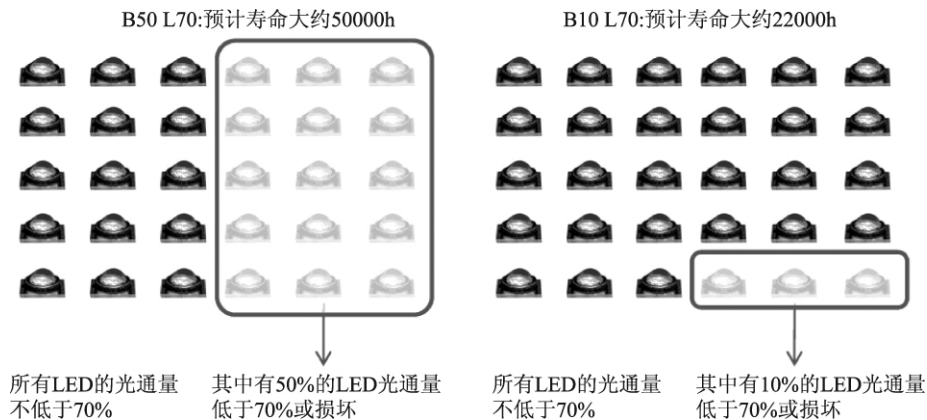


图 6 B50L70 和 B10L70 示意图

低于 70% 或者损坏。

B10 L70 表示为此寿命下的 LED 的光通维持率不低于 70%，且经过计算有 10% 的 LED 的光通量低于 70% 或者损坏。

4.4 TM-21

以上 $B_{xx} L_{xx}$ 的寿命表示法都是基于一定的试验数据和公式推导。但都不是实际测试的寿命。现在的问题是，在根据 LM-80 的测试数据和 L70、L50 数据之间有一个障碍。如何根据已有的光通维持率和测试时间的关系来预测 LED 的有效寿命呢？因为在实际的项目中，照明设计师、建筑师、业主和承包商在评估和使用 LED 照明产品时，就和其他传统照明产品一样，他们想要知道这些 LED 照明产品能使用多久。也就是说，他们想要知道需要多久这个产品的光输出会低到需要更换的程度，已满足照明设计的需求，因为 LED 的光通维持及长寿命的特殊性，已不再是灯坏了才需要更换。LED 光衰到一定程度，它依然能持续发光，而不是我们通常理解的立即损坏。可能此时 LED 并不像传统光源已经损坏，但是它的光通量已不能满足照明设计的要求。设计师们需要了解这样的寿命。这样就需要想出一种可操作的方法来推测出 LED 的寿命。由于已有了根据 LM-80 规定的光通维持率的数据，顺着思路就想根据 LM-80 数据能否推导出 LED 的最终寿命，也就是说新方法是已有 LM-80 的延伸，从而很好的配合了已有的标准。基于以上原因，IES

Technical Memorandum 各专家们正在积极寻找方法以发布在 TM-21 标准上。但在 TM-21 公布之前，LED 制造厂商如果宣称他们 L70、L50 数据是符合 LM-80 的话，唯一的办法只能通过长时间的试验。如果以典型的 LED 的 L70 的数据 50000 小时来衡量，此试验也至少需要 5 年。但这 LED 技术更新换代如此之快以至于一切都是不切合实际的。虽然专家们为此已工作了 2 年多，但文件还未正式完成。究其原因，由于 LED 技术不同、光衰原理不同，用短时间的测试（如根据 LM-80 规定的 6000h 测试数据）来预测其设计寿命是不可靠的，所以寻找一种标准化方法来预测 LED 流明维持不是一件简单的任务。

为了搞清楚 TM-21，首先要搞清楚 TM-21 的范围。首先，同 LM-80 所约束的范围一样，TM-21 的范围也是针对 LED 元件产品。其次，TM-21 是根据 IES LM-80 测试所得的数据来推测长期的光通维持率。

一般来说，通过应用测试数据可以有两种方法来预测 LED 光通维持率。一种是工程方法，一种是数学方法。

对于工程方法，起初应确定光衰原因，例如是 LED 芯片老化、透镜或荧光粉层的衰退或者是结构变化。一般可以通过 LED 加速寿命试验，如在高温、高湿或更大电流的情况下，来判定这些衰退原因。然后要依据专家的专业经验及测试数据来建立

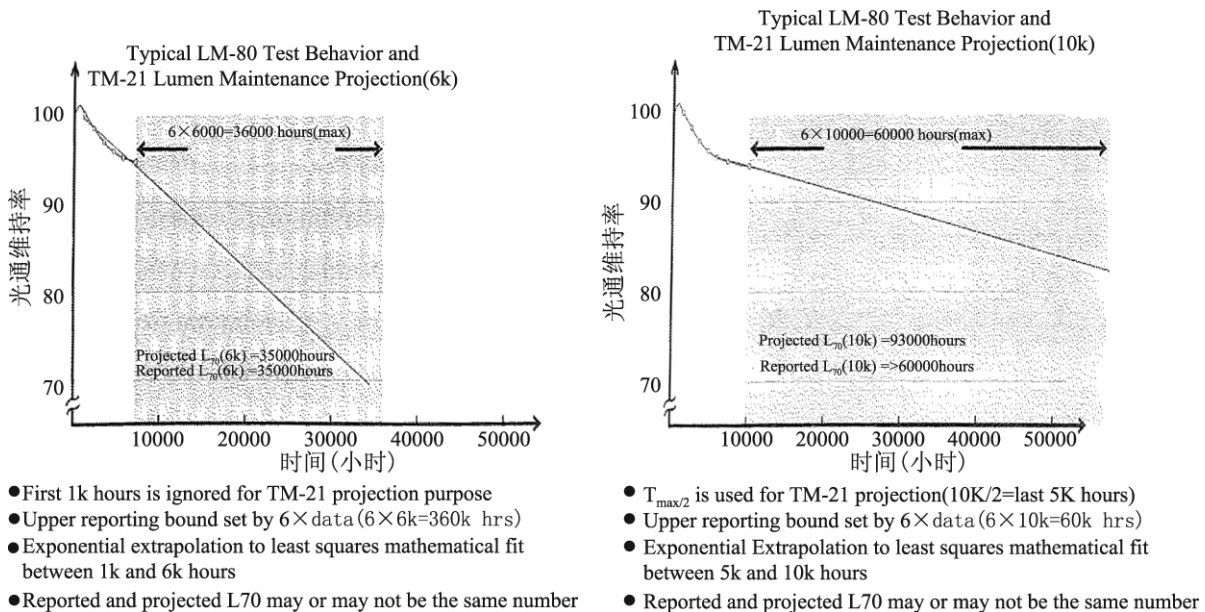


图7 某LED制造厂商根据TM-21推导的寿命

相对应的数学模型。

对于数学方法，其实是一种统计方法，完全基于已有数据的本身，根据已有一系列数据来形成数学公式来外推预测趋势。两种方法各有利弊，TM - 21 标准的制作者们也处在十字路口。

但从已有的资料上看，有一点可以确定的是，TM - 21 规定了 LED 推导出来的寿命不得长于 6 倍的 LM - 80 测试时间。推导的时间用 $L_p (Y_k)$ 的形式来表示。P 为流明维持率，Y 为 LM - 80 数据获得时间（单位 kh）。例如：L70 (10k)

前面我们提到的无论是 LM - 80 还 TM - 21 都是关于 LED 元件寿命的标准。但是对于最终产品的 LED 系统来说，还是有待于进一步的工作来解答。

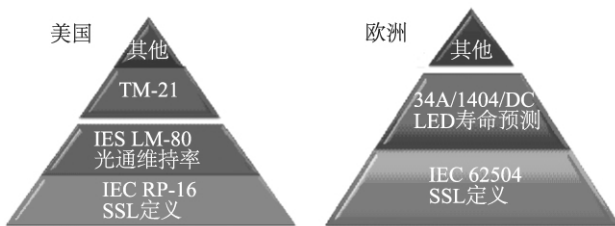


图 8 美国与欧洲关于 LED 寿命的标准体系

4.5 LED 的寿命与温度

正如我们所知，LED 的寿命跟温度也有着密切关系。LED 的结温是其性能的重要指标。根据 LM - 80，制造商的测试温度为同一驱动电流下 3 种 T_s 温度（ T_s 是指制造商规定的在 LED 封转上能用热电偶来测试的温度），即 55℃，85℃，以及制造商根据可能的应用情况自己确定的温度。然后根据 TM - 21 来推出各种 T_s 温度下的寿命。

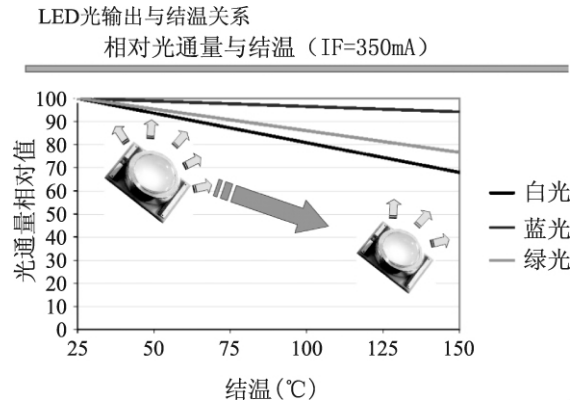


图 9 某 LED 制造商产品温度与光通量的关系

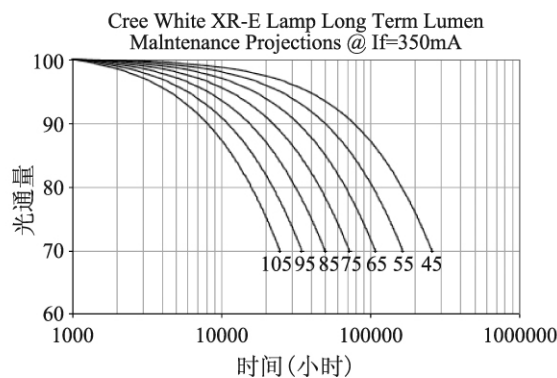
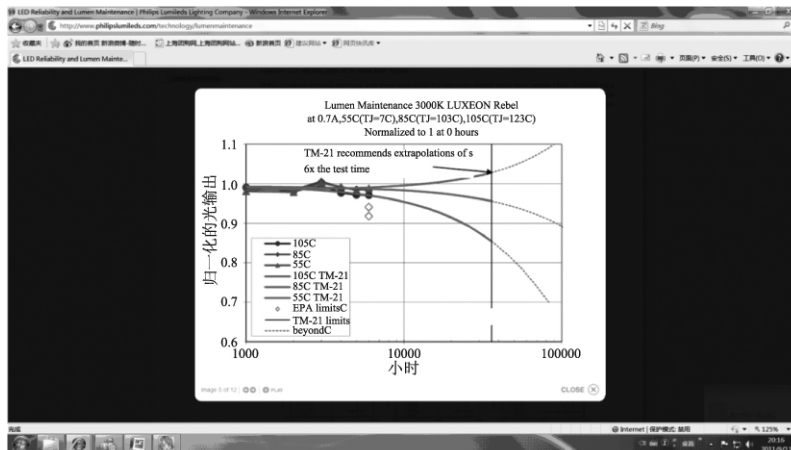


图 10 某 LED 制造商不同温度下根据 TM - 21 推导出的寿命

5 LED 系统的可靠性和寿命

LED 照明系统真正的可靠性和寿命还不是通常为人们所知的。更糟糕的是, 我们常常把 LED 元件的光通维持率作为 LED 系统的寿命。LED 元件的光通维持率只是 LED 系统可靠的部件之一。事实上, 好的设计和制造的 LED 照明系统的寿命并不是由 LED 的光衰所决定的。制造商需要记录失败的案例并开发好的产品以评估失败的原理。

关于 LED 灯具的寿命, 美国能源部 DOE 及下一代照明产业联盟于 2011 年 6 月发布了最新的

《LED 灯具寿命: 测试及报告推荐》。LED 照明系统, 例如灯具或光源, 通常包含许多相互关联的零部件和子系统, 每一个都有其不同的寿命和可靠性。一般不可能直接用它们最差的或者最好的值, 而需要把它们当作整体来进行评估以考虑他们之间的相互影响。

对于 LED 系统来说, 光输出不足不再是唯一的系统需要被更换的原因。还需要考虑光色漂移和一些 LED 损坏时光分布的变化。根据 LM - 80, 它指出了颜色的重要性, 并且要求在测试报告应给出在测试时间时的色漂移。但可惜的是, 目前为止还不能提出一个有效的方法来推测寿命期间的色漂移。

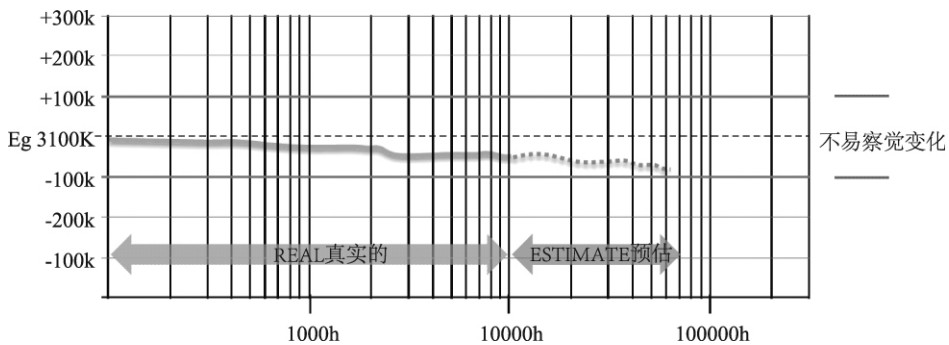


图 11 LED 在寿命期间的色漂移

你可以在设计时选用的零部件有着和 LED 一样的长寿命, 但这往往不是最经济有效的。一个系统长寿命设计的可行性目标是要在数据可能性及成本之间找到一种平衡。也就是在合理的成本下, 设计的系统在预期寿命中有可接受范围内的失效率。可靠性和寿命是 LED 系统有效寿命的两个重要衡量标准。

根据 IEEE 国际电工委员会的定义, 可靠性是指在所述环境及标称的时间下, 系统或零部件能够完成所要求功能的一种能力。可靠性是与额定使用寿命期内在其额定条件下运行的产品故障率相关的一个概念。通常表达可靠性的方法是 MTBF (Mean Time Between Failures), 即产品的平均无故障时间。是衡量一个产品 (尤其是电器产品) 的可靠性指标。单位为“小时”。它反映了产品的时间质量, 是体现产品在规定时间内保持功能的一种能力。具体来说, 是指相邻两次故障之间的平均工作时间, 也称为平均故障间隔。

对于电子产品, 系统的性能表现在初始阶段会有一个较高失效率 (即 infant mortality), 接着进入

长时间低随机失效率的使用阶段, 最后达到耗损期, 失效率急剧上升。下图显示了众所周知的“浴盆曲线 bathtub curve”。

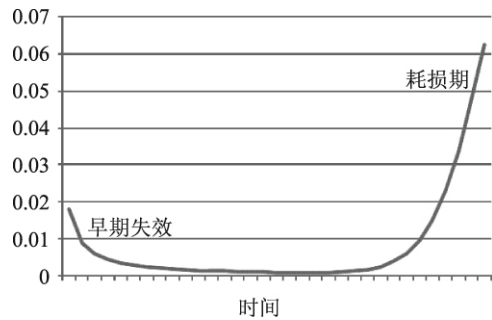


图 12 浴盆曲线

对于 LED 照明系统, 主要有以下 3 个方面影响可靠性:

设计缺陷: 主要包括差的热管理、使用了会使透镜或芯片光衰的不匹配的化学物质、差的 LED 驱动、芯片过载、会使水汽渗入的不良封装等。

制造缺陷: 这种缺陷是无法消除的, 并主要在早期失效发生, 特别是随着产量加大时容易发生。制造商可以通过工厂测试及老化等方法来减少这种

缺陷。

寿终：系统中一些关键元器件的失效会导致其

无法再使用。我们需要选择合适的零部件并且来合理预估系统的寿命。

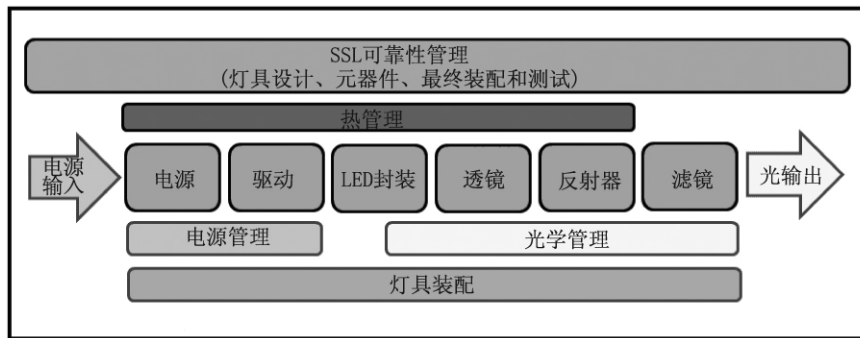


图13 LED的可靠性管理

基于以上原因，此文件推荐对LED灯具产品根据LM-79做全项目使用用于确认LED灯具的寿命。

对于设计缺陷，推荐使用压力测试方法作为有效的方法来确定设计缺陷和制造缺陷。基于美国CALiPER项目的经验，推荐至少燃点1000h用以验证新开发产品无严重的、立刻显而易见的缺陷。

CALiPER:

如果通过观察长时间光衰的方法来确定和评估LED灯具的寿命是非常复杂。与此同时，当人们越来越意识到LED系统寿命的短板在于LED的控制装置。影响控制装置寿命的主要是其使用的电解电容的寿命。电容中的电解液会随着工作温度及工作时间不同程度的挥发，而电容纹波电流也会影响寿命。虽然电解电容可能各有不同，不同厂家或不同的元件型号，但一个典型的电解电容器的寿命一般可以采用以下公式来表示 [1]:

$$L_x = k \cdot L_0 \cdot 2^{(T_s - T_a) / 10} \quad (1)$$

式中 L_x —— 寿命计算的结果;

k —— 由电容的RMS纹波电流和工作电压决定的系数，可以是一个值或一个函数;

L_0 —— 电容生产厂家提供的在规定标准条件的寿命数据;

T_s —— 电容生产厂家提供的在规定标准条件的电容器表面温度;

T_a —— 目标工作情况下电容器表面温度。

可见，电容温度升高10度，寿命降低一半。

从图9中可以看出该照明系统，光输出减少到原先80%之前是因为LED，接着由于LED驱动的快

速失效导致光衰加剧。

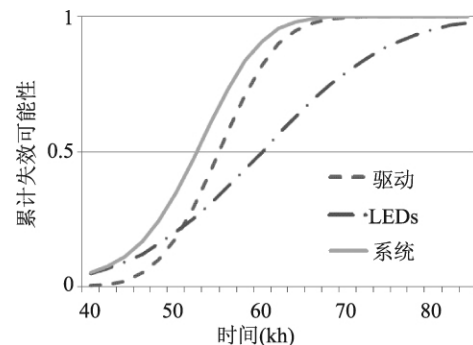


图14 LED灯具失效可能性与LED及驱动的关系

为了考察这部分，2010年6月在芬兰赫尔辛基召开的IEC TC34工作组会议上，美国代表对LED照明灯具的寿命提出了L70加F5的方案，即在LED照明灯具光衰达到70%的有效使用寿命期间，失效率应该不高于5%。

基于多方面的原因，要给出LED灯具产品的寿命是很难的。然而，与此同时，消费者需要了解其寿命，对影响交易的能效、维护成本、初始投资等因素做出一个计算，然后在考虑是否购买LED产品要给出一个明智的决定。为了兼顾现实的需求及困难，DOE及NGLIA推荐LED系统的标准寿命只考虑光通量，定义其半数产品的光输出低于70%初始光输出的时间为其寿命即L70 B50，若考虑到LED电器驱动的损坏还需增加Fxx的概念。同时还指出所提供的寿命必须有足够的测试精度与样品已至少提供50%的可信程度。但鉴于测试的昂贵及费时，企业可以提出“担保时间”来代替“寿命”。

综上所述，本文根据现在人们对LED的理解和标准发展情况，讨论了LED元件及LED系统的寿

命, 希望对广大传统照明行业的制造商有所启示与帮助。

参 考 文 献

- [1] ASSIST. LED Life for General Lighting: Definition of Life. Volume1 , Issue 1 February 2005
[2] DOE , NGLIA , Led Luminaire Lifetime: Recommendations

- for Testing and Reporting , second edition , June 2011
[3] Jianzhong Jiao. TM - 21 seeks methods for lumen-maintenance prediction. LEDs magazine , February 2011
[4] Philips Color Kinetics. Useful Life , Technical Brief
[5] IES LM - 80 - 08. Approved Method: Measuring LumenMaintenance of LED Light Sources. IESNA

中国照明学会 《照明工程学报》 关于出版 《中国照明工程二十年专刊》 邀请函

为了充分总结二十年来中国照明工程的发展成就, 提炼中国照明工程之精华, 利用中国照明学会《照明工程学报》成立二十周年之际, 编辑出版《中国照明工程 20 年专刊》。《专刊》将采用铜版全彩印刷, 面向国内外发行。

作为中国唯一的国家级照明工程学术刊物, 编辑出版中国二十年照明工程精品案例, 展示中国照明工程的发展历程, 从而向全社会宣传节能、环保的照明工程具有重要的意义。

主办: 中国照明学会《照明工程学报》

一、稿件征集时间: 2011 年 7 月 20 日 - 2011 年 12 月 30 日

二、稿件征集内容:

- 二十年中国照明工程回顾文章;
- 二十年 (特别是近三年) 中国照明工程优秀案例, 分类: 室内、室外、道路、专题 (奥运会、世博会、亚运会等)

三、稿件征集方式:

网上报名; 专家推荐; 媒体推荐; 向编辑部投稿

四、出版时间: 2012 年年初

五、投稿邮箱: zmgcjk@163.com; QQ: 1900562230

六、联系电话: 010 - 65815905 - 803; 010 - 65830997

支持单位: 中国照明网、阿拉丁照明网、中国设计师网、中国建设报、《消费时报 (照明周刊)》、《照明技术与设计》、广州仰光文化传播有限公司、新世纪 LED 网、《阿拉丁》杂志

申请项目名称				类别	
姓名	职务 职称				
单位					
通讯地址				邮编	
联系方式	办:	宅:	手机:	Email:	
申报方式	() 网上申报	() 投稿	() 媒体推荐	() 专家推荐	
申报理由					
项目内容简介					
编委会审批意见					
备注					