

固态照明热设计中的工艺现状分析

上海坤道信息技术有限公司
www.simu-cad.com
021-62157100



W H I T E P A P E R

热量——影响照明效率的新不利因素

白炽灯主要依靠热量使灯丝发光，使发热黑体产生光能。与白炽灯不同，发光二极管（LED）是半导体，必须保持冷却。当 LED 产生光能时，热量就是其副产物。LED 中产生的热量会使温度增加。由于 LED 的温度增加，光输出相应减小，光会改变颜色，LED 的寿命也会降低。温度对 LED 的照明性能和使用寿命都有不利影响。所以，热性能管理成为固态照明（SSL）设计中最需要解决的问题。

在带 LED 的 SSL 设计中，系统设计的重要性不容小觑。正像飞利浦 Lumileds 照明公司的技术营销主管 Rudi Hechfellner 所说的那样：“要把热系统放在第一位。”

准确热性能指标的重要性

购买热性能差的电子元件无疑是得不偿失的，因为最后势必需要一个更有效的冷却方案，这反而耗费更大的成本。为了产生更大的商业价值，必须选择与应用场合最适应的电子元件，其中热性能指标也是一项必要考虑因素。由于热设计中需要考虑的因素很多，所以指标必须要准确。电子元件的热性能通常是指其热阻，热阻是热量散发到灯壳外的难易程度的一个重要指标。热阻通过外壳加热能量除以外壳的温升得来。

LED 的复杂性在于其热、光、电操作都是相互作用的。例如，产生热量的电能随着温度的变化而变化。热性能指标应以 LED 中散发的实际热量为基础，而不是电源电量，实际热量要求准确测量光输出，而光输出是温度和通电电流的函数。如果使用电源电量，计算的热阻值会过低，LED 越亮，误差就会越大。

如果公开的指标结果一致，说明设计时的冷却方案不充分，或者需要在设计中花费较大成本到制冷上，这不仅增加了成本，也延长了整个设计周期。不管是哪种情况，产品的耐用性都会大打折扣。

使用寿命——一般照明中采用 LED 的主要考虑因素

照明效率相关法规正在逐步淘汰白炽灯。当前节能灯（CFL）因价格相对低廉而成为另一个比较有竞争力的产品，但是有观点认为这类产品使用的是汞蒸气，不够环保。既然要追求亮度和效率，我们就倾向于将高亮 LED（HBLED）用于一般照明场所。

但是，由于其较短的寿命和较高的初期成本，高亮 LED 的应用也受到了质疑。由于镇流器和点火线路的可靠性问题，早期的一些 CFL 的使用寿命比预期的短很多。这在一定程度上限制了 LED 在家用照明系统中的应用，直到后来 LED 与操作系统电子元件进行整合，才证明 LED 可具有较长的使用寿命。

如今，LED 的广泛应用主要面临两大挑战。LED 替代白炽灯应用于原来为白炽灯设计的照明系统，需要做出很多技术改动。最终的结果表明还是需要专门适用于 LED 的新照明系统，这样不需要在热管理技术上做让步。但是，由于标准的缺失，LED 照明系统专用的 LED 是不可以互换的（无法即插即用）。

LED 改型产品要实现接近 40,000 小时的潜在使用寿命，必须具备能够在非特定热环境中正常运行的良好热性能设计，这是消费者认可 LED 代替白炽灯所需要达到的预期水平。

LED 热性能测量的商业优势

高效、高亮的 LED 正在寻找对热性能要求较高的新应用场所，例如 LED 车前灯。要避免今后发生的保修费用及保证车辆的安全性要求，必须确保产品的使用寿命。因此，对准确指标以及标准化的需求也迅速提升。如果厂家没有能够确保指标准确依据和测量的公认标准，除非 SSL 设计师能验证厂家提供的热指标可行，否则他们是不会轻易冒险拿出方案的。

幸运的是，T3Ster 的高测量精度能够使系统相关方（例如汽车照明制造商、汽车 OEM、其它如航空航天业等安全至上行业的客户等）在设计时验证供应商的热阻数据，在投产前对 COTS 元件进行试验。

利用热性能指标进行设计

电子元件热供应链中长期以来的责任划分是：供应商负责提供其元件能够在各项影响环境中应用的特征信息，而客户负责为电子元件提供能按正常规范运行的运行环境。

最新的结至外壳热阻测量 JEDEC 标准 JESD51-14[1] 被认为是目前能够表现电源半导体装置特征的方法，包括电源和高亮 LED。按照 JESD51-14 正确结至外壳热阻，将部分电能转化为光能，这样的方法符合以上原则。

明导电子热瞬态测试仪 T3Ster 利用智能的 JEDEC JESD51-1 静态试验法，该方法在现行市场上最快速、最准确的热瞬态试验方案。TERALED (符合 CIE127:2007 标准的总通量温控测量系统) 与 T3Ster 联合使用时，可为 LED 供应商提供综合的 LED 试验台，可以对 LED 进行独立的热性能、辐射度/光度测量。由于系统是全自动的，LED 的运行特征在1个小时内可以在 50 个操作点 (正向电流和温度组合) 表达出来。

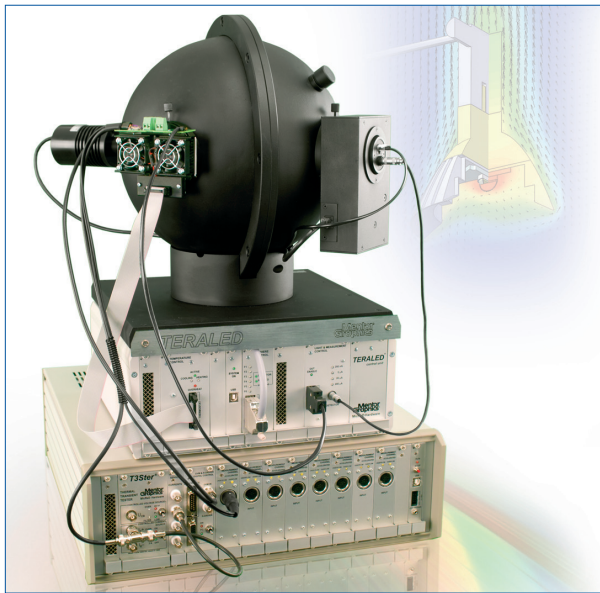


图1: T3Ster 和 TERALED 共同作用，为 LED 试验提供全面解决方案[4]。

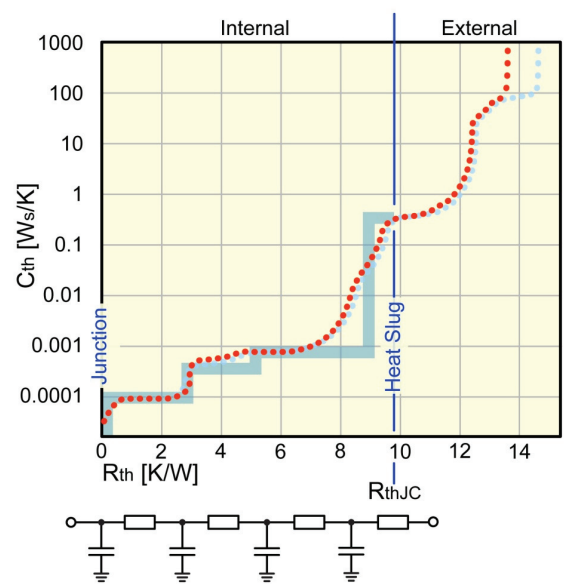


图2: 动态热模拟时，动态小型热模型 (DCTM) 准确表现LED 与时间的热反应函数。

LED 供应商通常只提供一个温度下的热指标。例如，结点温度 25°C 下，这与 LED 正常运行温度相差甚远。这个数据可以利用光输出与结点温度的函数关系图加以补充，但是这些曲线的来源没有统一的方法。

利用 25°C 下结至外壳热阻设计产品是有效的，但是必须考虑到温度越高效率越低这个因素，此时光输出也很低。由于正向电压是随温度的升高而降低，光输出和功率效率也发生变化，直至 LED 达到稳定的运行温度。

如应用恰当，热性能指标也可用于早期设计的计算。产品越复杂，热性能指标的应用出现的问题越多。距离较近时，LED 相互作用，为彼此提供热量。光能产生、电能消耗、热量释放之间存在着复杂的相互依存作用。结至外壳热阻说明自热对结点温度的影响，但没有标明来自其它 LED 的热量影响，所以这个指标在设计复杂的多热源产品时并不适用，如 LED 车前灯等。

热模型——成功 SSL 设计的关键

热模型不能代替指标，但是在引导电子的热设计专用软件如 FloTHERM 中，热模型在产品设计中非常有用。热模型可以帮助设计师调查多 LED 之间的热相互作用，提供能够在预期运行温度下实现目标光输出的产品，同时消耗产生的热量。这意味着需要对产品的热设计进行优化，降低成本、重量、形状系数等，同时满足性能目标。

T3Ster 处理后软件可将符合 JESD5- 标准的瞬态结至外壳热阻测量中得到的温度时间曲线转换成 JESD5- 标准中附件 A 中的“结构函数”。这些图形显示了热流路中所有局部热阻的幅值。

结构函数可用逐段线性拟合表示，将曲线分成多个离散热阻和热容阶段。热阻和热容值提供了一个以测量为依据的热模型，该模型可用来有效准确表现热流路的状态。热学设计师一般都知道动态简化热模型 (DCTM) 能够捕捉 LED 热反应与时间的函数(见图 2)。用 T3Ster 和 TERALED 创建模型时，模型与所测得的光输出性能一致。利用原来的“动态”试验模型得到的测量结果比较小，无法提供 JESD51-14 标准中热阻测量所要求的精度，在构建 DCTM 时也会发生根本性错误，这些错误的原因在本节中不再深入讨论¹。

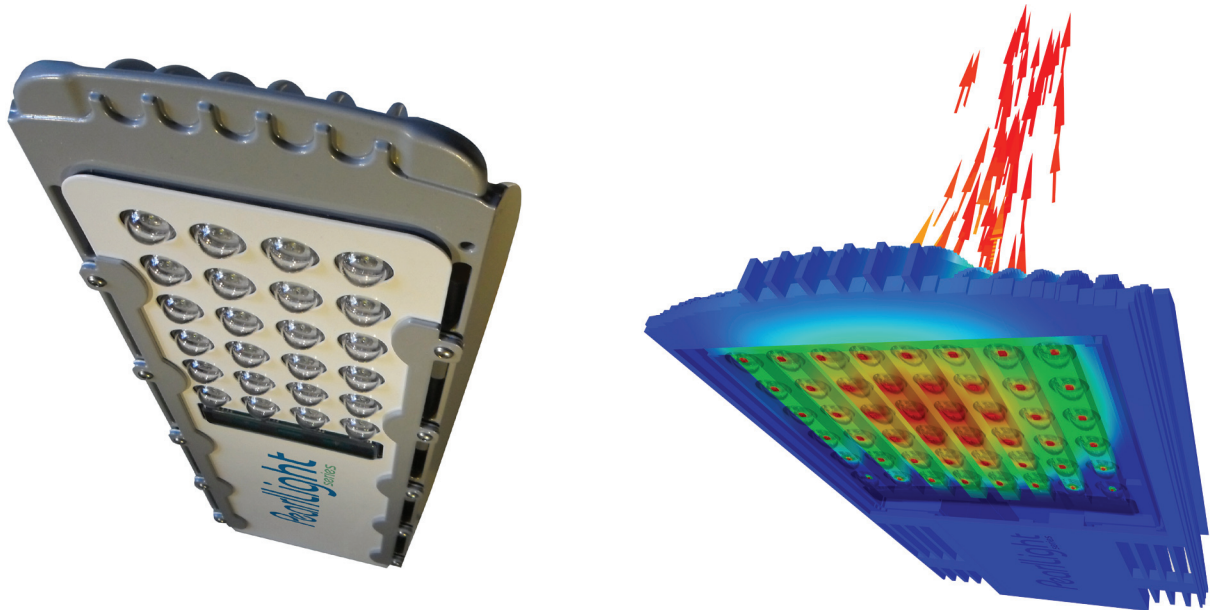


图 3: FloTHERM 中利用 LED 简化模型模拟 LED 街灯照明装置的结果

完善供应链

如果为特定应用环境选择适当的 LED，那么正确的热性能指标就非常重要。指标还将用于早期初步设计阶段的冷却方案的“定型”试验。产品要得到最佳的热设计需要准确的热模型，这些热模型可利用 T3Ster 和 TERALED 测量中的结构函数直接创建。SSL 设计师可在详细设计阶段利用这些模型，将它们直接植入 FloTHERM 中(图 3)。

过去，如果设计需要一个准确的热模型，则设计师要创建一个涵盖所有重要内部几何体和材料特性的详细外壳模型。如今，基于测量的热模型不再有这样的麻烦。

但是这些详细模型仍然不可替代，例如在表示 LED 灯发动机或街灯照明装置时，供应商需要利用 T3Ster 验证这些详细模型，然后进行调整得到近乎精确的结果，从而在产品阶段就赢得客户信任度。

小结

准确瞬态热性能测量得出的热指标和热模型提高了 SSL 设计的可靠性, 推动 LED 照明在各个领域包括家用照明、街道照明和车前灯等的广泛应用。

高度的准确性将热设计提升到了一个新的高度, 改善了供应链中传递的热性能信息的质量, 从而从根本上提升了客户对 SSL 设计师的信任度, 提高了产品质量、使用寿命和盈利能力。

参考

1. JESD51-14 “在热量流过单一路径的半导体器件时, 用于检测结 (注: 器件的结点) 一壳 (注: 封装的外壳) 间热阻的双面瞬态检测方法” 2010 年 11 月, http://www.jedec.org/sites/default/files/docs/JESD51-14_1.pdf.

脚注

¹ 简言之, 如果 LED 的热性能指标在加热模式下测出, 且加热曲线上的数值来自利用 JESD51-1 动态测试法测量的结果, 这样每个所测量的数据点与受试 LED 的各个操作点 (结点温度、实际发热量) 是分别对应的。这显然违背 LED 只能在稳态下才能表现其正确特征的基本测量原则, 这个原则也是 CIE127:2007LED 光输出测量标准中的要求。

² 由匈牙利布达佩斯的 HungaroLux 公司提供