

# Cree® XLamp® LED 的脉冲过电流驱动： 相关信息和注意事项

## 目录

前言 .....	1
单脉冲过电流事件.....	2
重复脉冲.....	3
纹波电流.....	9
最大开关频率 .....	11
总结 .....	11
参考文献.....	11

## 前言

Cree 的应用工程团队经常被问及 Cree XLamp LED 在超过数据手册最大额定值的脉冲电流下工作是否安全。该问题通常是在有正当产品要求的情况下询问的，这些要求包括应急车辆应用、专业频闪照明、甚至一般照明调光应用的脉冲调制所产生的要求。

简而言之，答案是“视情况而定”。多个可变因素同时影响着 LED 的初始和长期的性能和可靠性。这些可变因素包括热阻、脉冲持续时间以及电流幅值、频率和暂载率。

Cree 的 XLamp LED 产品组合非常丰富，足以满足绝大多数的照明和脉冲电流照明要求。诸如 XLamp XM-L LED 这样的产品拥有多安培最大电流规格，可使设计保持在这些组件的数据手册规格范围内。

但是，为了评估可能而并不一定合理的限制，我们将审查三种过电流情况：

1. 单脉冲事件，例如，电过载 (EOS)。
2. 重复脉冲，例如，脉宽调制。
3. 纹波电流的影响。

电过载 (EOS) 通常伴有灾难性故障, 如静电放电 (ESD)、突入电流或其他类型的瞬态电涌。<sup>1</sup> LED 驱动电源的设计商应确保采取一切必要的预防措施来防止 LED 出现电过载。第二种过电流情况发生于诸如应急车灯、闪光灯或信号灯塔这样的应用中, 并且 LED 在这些应用中以闪光模式工作。高频 (即大于 120 赫兹) 脉冲通常用于控制调光应用中的 LED 亮度。最后, 纹波电流是在直流波形中的一种重复、周期性的峰到峰变化, 可能来源于未充分过滤的交流电源或开关模式电源。

只要在规格范围内, 这些情况均不会导致有关 LED 的长期流明维持率或可靠性的问题。但是, 任何这些“过电流”情况 (即超出数据手册规格的情况) 均可能缩短 LED 的寿命。

### 单脉冲过电流事件

单脉冲过电流事件通常是过量电能无意中应用于一个或多个 LED 的结果, 并可能导致器件的灾难性故障。Cree XLamp LED 能够承受高出最大额定电流水平几倍的电流瞬变。但是, 特定 LED 器件可承受的确切幅值随瞬变的持续时间和频率的变化而变化。如果超出一定的阈值, 单脉冲事件将立即导致 LED 的灾难性故障, 并且有两种一般故障模式: 短路或开路。

限制 LED 承受电过载事件能力的主要因素是 LED 芯片和内部互连的载流能力。电流密度被给定为单位横截面积的电流, 并且通常以安培每平方米 ( $A/m^2$ ) 为单位进行测量。常规导体的电阻有限, 因而它们以热的形式耗散功率。电流及由此得出的电流密度必须保持足够低, 以防导体熔化或熔断或者绝缘材料损坏。例如, 在高电流密度条件下, 形成互连的材料可能移动。发生这种被称为电迁移的现象时, 移动电子的动量被转移给附近的离子, 使这些离子从原来的晶格位置错位。电迁移并非直接在半导体中发生, 而是在沉积于半导体上的金属接点互连中发生。随着时间的推移, 电迁移可能使大量原子远离它们的原位置并且是导致器件损坏的因素之一。

电流密度的局部增加被称为电流拥挤, 它是由于电流密度在导体或半导体上 (特别是在接点周边和 LED 的 P-N 结点上) 的不均匀分布造成的。限制 LED 效率的已知因素之一以及诸如氮化镓 (InGaN) 这样具有低电荷载流子迁移率的材料特别容易产生电流拥挤。

电流拥挤可能导致局部过热和热点形成, 这在灾难性的情况下可能导致热逸溃, 并且还可能加重电迁移的影响和空隙的形成, 从而导致电流密度的局部、不均匀的分布。空隙周围的电阻增加是一种自动供给式的循环, 将导致局部温度进一步升高, 而这反过来又加速了空隙的形成并最终可能导致开路故障。

1 请访问以下网址查阅 Cree 应用说明 CLD-AP29 之“Cree XLamp LED 电过载”: [www.cree.com/xlamp\\_app\\_notes/electrical\\_overstress](http://www.cree.com/xlamp_app_notes/electrical_overstress), 以获得有关可避免电过载损坏的设计做法的详细信息。

相反，电流密度局部降低连同隐性电流密度梯度可能导致来自目前“拥挤”区域的迁移原子沉积。在类似的自动繁殖式循环中，这可能导致电流密度进一步降低以及迁移离子进一步沉积，甚至形成小的突起，而这反过来可能导致短路。

下面的 Figure 1 显示了金属迁移的两个例子。左图显示了带有小于最大阈值的反复瞬态电流的 Cree XLamp 器件，右图显示了正向电压约 20 倍于正常值从而导致显著瞬态故障的器件。

这些影响始终可用适当的电流驱动设计来缓解，以防电气瞬态到达 LED 组件。

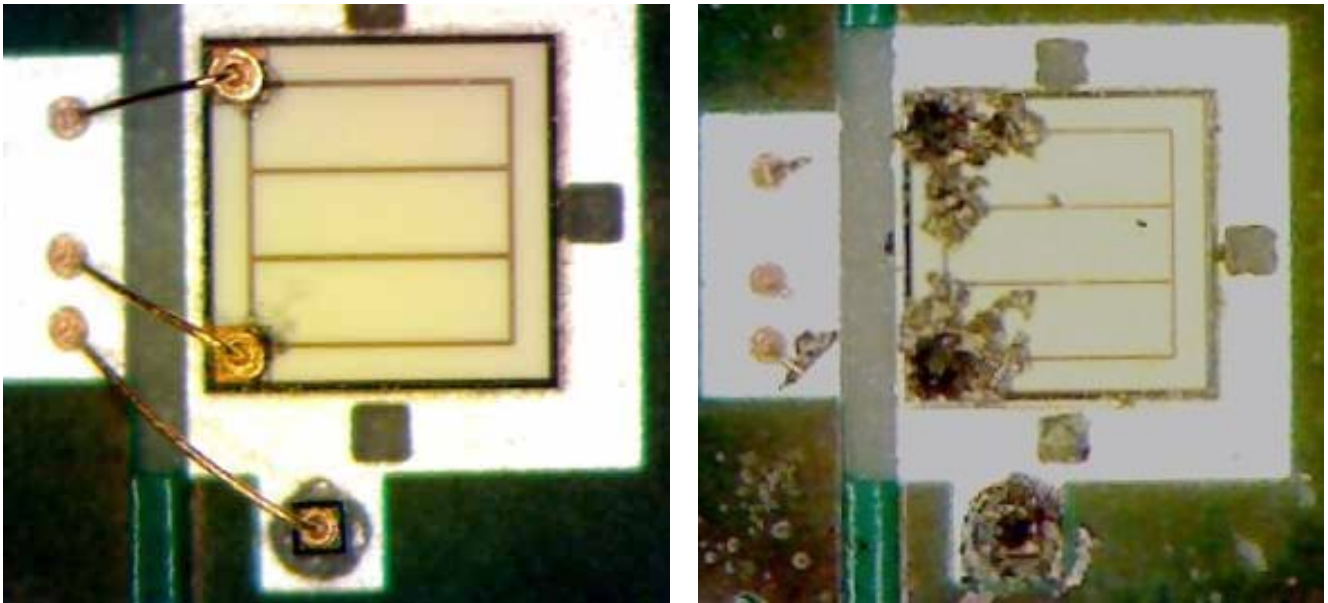


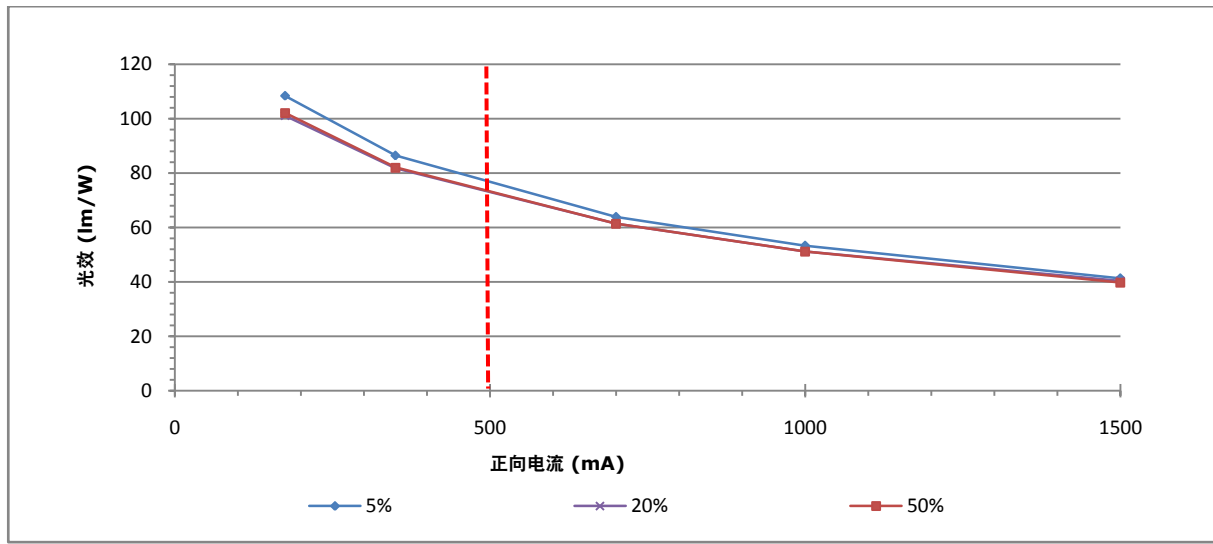
图 1: 金属迁移的两个例子

另一种理论上的限制因素是到 LED 芯片焊线的载流能力。如果超过载流能力（如大规模电过载），导体将熔断并导致开路。虽然金属线或导电焊盘熔断的确切物理特性超出本文件的讨论范畴，但其因素包括金属线的长度和直径、焊接的类型（球压焊或楔焊）以及金属的物理材料特性（包括熔点、热导率、电阻率等）。焊线的熔断是一种非常罕见的继发故障，它仅在芯片已短路后发生并且带有持续过量电流，而这反过来又导致焊线过热。

### 重复脉冲

第二种过电流情况即高电流重复脉冲可能会或可能不会导致 LED 的早期灾难性故障。重复高电流脉冲可能导致 LED 的正常预期寿命缩短约数万或数十万小时。如果特定器件受到重复瞬变并且瞬变幅度高于数据手册限制一定百分比且低于发生单脉冲故障所需的阈值，则该器件最终仍会发生故障。故障机制很可能是由于电迁移，因为最终会有足够多的金属离子从原晶格位置移离。可能导致寿命缩短的另一因素是 P-N 结点，它将导致 LED 的输出降低到低于其原光通量的 70%。

Cree 的应用工程团队测试了在各种电流水平（包括远高于最大额定连续电流的水平）脉冲电流下的四种不同类型的 XLamp LED。数据表明，如果高于一定的水平，光输出增加得极少并且效率将下降。因此，Cree 建议客户不要让 LED 在此类极端水平下工作。下图分别显示了电流幅值与白光 XP-C、XP-E、XP-G 和 MX-6 LED 器件的典型发光效率之间的关系，其中这些器件分别在三种不同暂载率（5%、20% 和 50%）下工作且工作频率为 1000Hz。<sup>2</sup> XM-L LED 的图显示了在 20% 暂载率下工作的 LED 的典型关系。各图中的垂直虚线表示各个 XLamp LED 产品的最大额定连续电流。



**图 2: XLamp XP-C 发光效率与输入电流 [Q3 分档]**  
 (垂直虚线表示最大额定连续电流，为 500 mA)

2 该信息仅供说明之用，并不旨在用作规格。

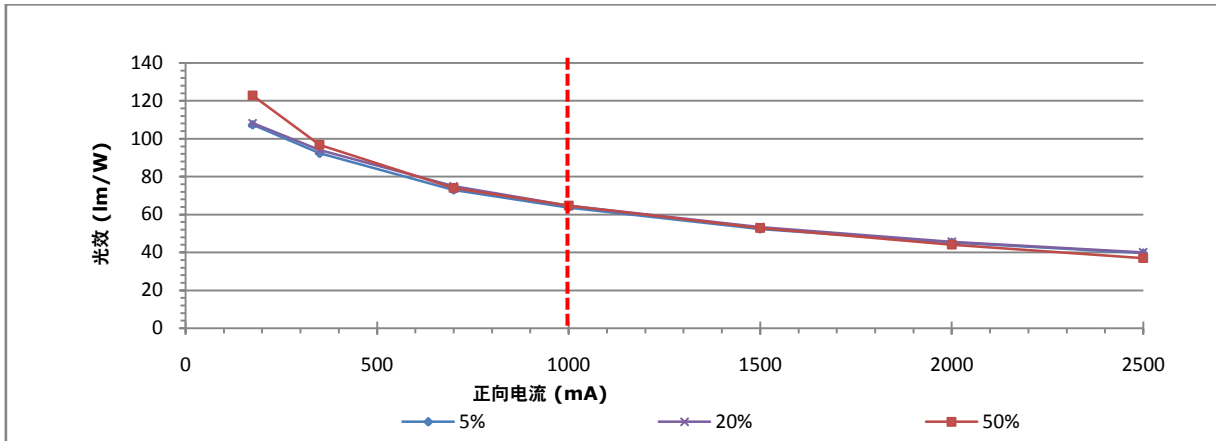


图 3: XLamp XP-E 发光效率与输入电流 [R4 分档]  
(垂直虚线表示最大额定连续电流, 为 1000 mA)

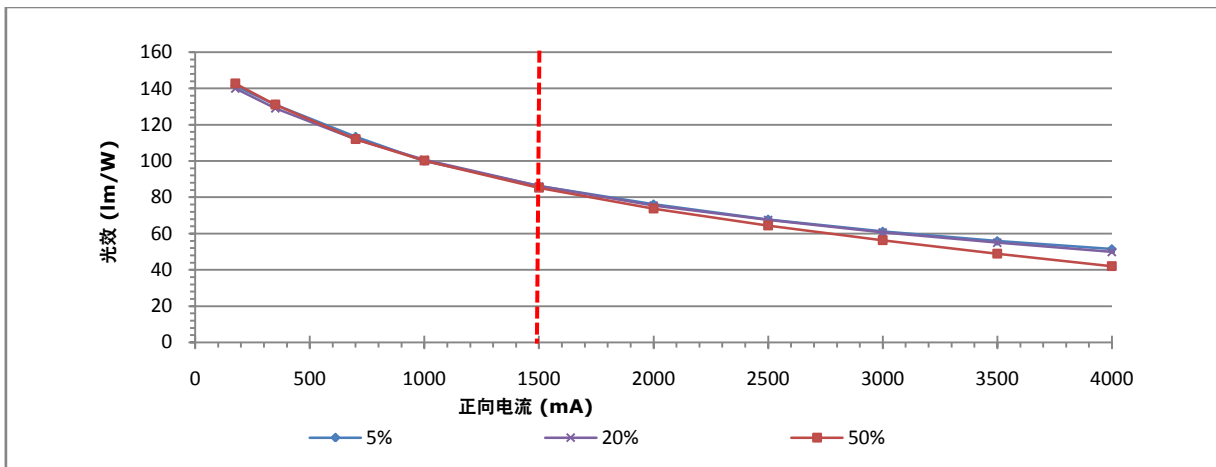


图 4: XLamp XP-G 发光效率与输入电流 [R5 分档]  
(垂直虚线表示最大额定连续电流, 为 1500 mA)

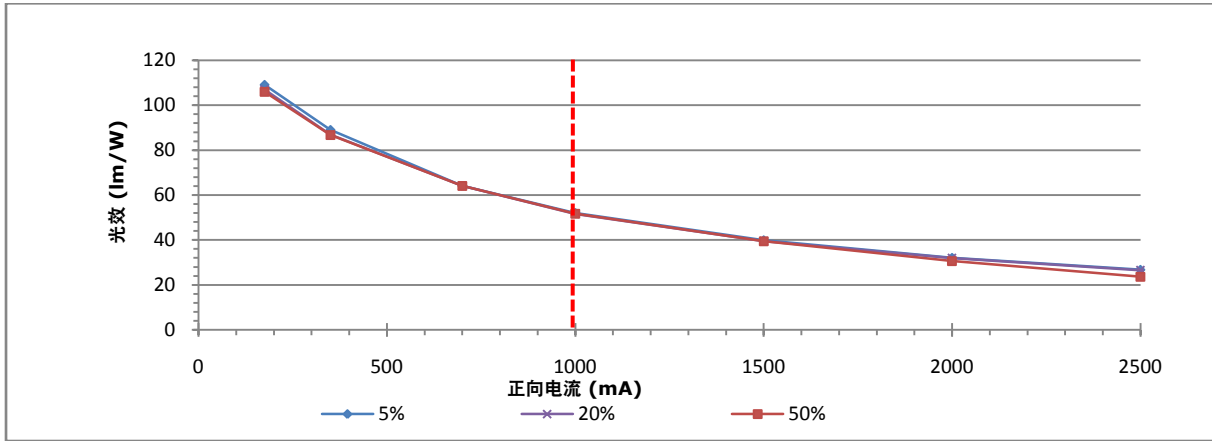


图 5: XLamp MX-6 发光效率与输入电流 [Q3 分档]  
(垂直虚线表示最大额定连续电流, 为 1000 mA)

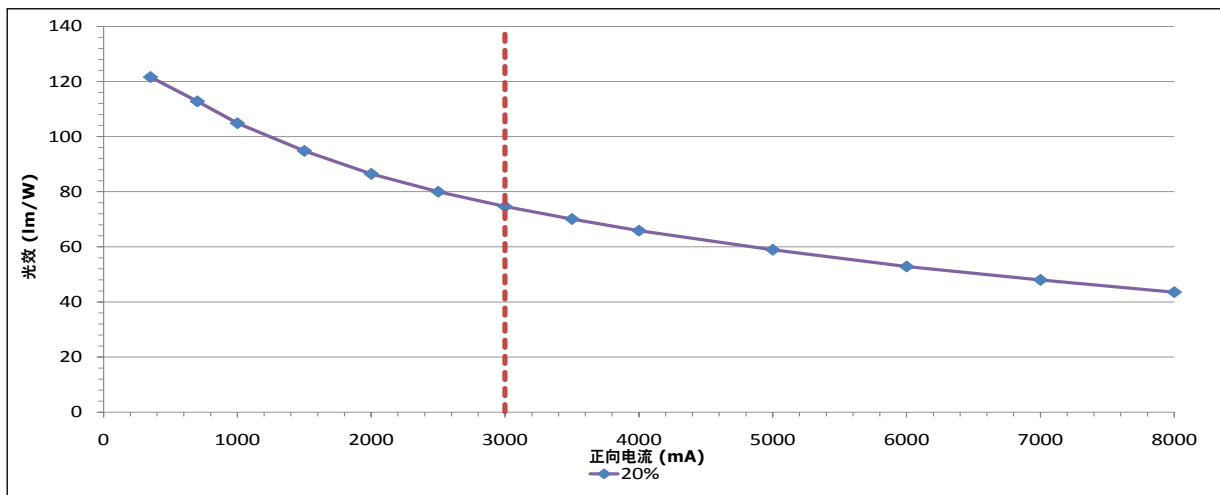


图 6: XLamp XM-L 发光效率与输入电流 [T4 分档]  
(垂直虚线表示最大额定连续电流, 为 3000 mA)

光输出与正向电流之间的关系是非线性的，正向电压与电流之间的关系也是非线性的。例如，LED 的驱动电流增加两倍将导致功率的增加大于两倍。这些来源于 Figure 4 中所示的 XP-G LED 数据的关系在下面的 Table 1 中列出。同样的情况也适用于光输出。电流翻倍不会导致输出翻倍，并且实际上，在一定的点以上的光输出甚至可能随着 LED 的内部温度上升而降低。

电流 (mA)	$V_f$ (V)	平均功率
175	2.84	0.100
350	2.99	0.209
700	3.21	0.449
1000	3.35	0.671
1500	3.56	1.067
2000	3.74	1.494
2500	3.89	1.944
3000	4.04	2.422
3500	4.17	2.920
4000	4.30	3.442

**表 1: 典型 XLamp XP-G, 20% 暂载率, 1 KHz 脉冲  
(最大额定连续电流为 1500 mA)**

以绿色突出显示的数据是在指定最大电流时的数据, 以红色突出显示的数据是超过指定电流限制时的数据。

除了效率降低之外, LED 在高电流下工作还会产生其他潜在问题(包括色品位移)。随着 LED 正向电流增大, 1931 CIE (国际照明委员会) 色彩空间上的 x 和 y 色彩坐标开始向左下方位移, 从而导致相关色温 (CCT) 升高。下表显示了冷白光和暖白光 XP-E LED 的典型数据。

冷白光 XP-E, 20% 暂载率, 1 KHz				暖白光 XP-E, 20% 暂载率, 1 KHz			
电流 (mA)	x	y	相关色温 (CCT)	电流 (mA)	x	y	相关色温 (CCT)
175	0.308	0.307	7007	175	0.435	0.410	3084
350	0.306	0.301	7303	350	0.433	0.407	3098
700	0.302	0.293	7771	700	0.430	0.404	3122
1000	0.300	0.289	8109	1000	0.428	0.401	3142
1500	0.298	0.284	8542	1500	0.425	0.398	3158
2000	0.296	0.281	8842	2000	0.424	0.396	3171
2500	0.295	0.279	9041	2500	0.422	0.394	3180

**表 2: XLamp XP-E 在各种脉冲电流条件下的色品位移  
(XP-E 的最大额定连续电流为 1000 mA)**

图 7 和图 8 分别显示了来自绘制在 CIE 色彩空间上的相同数据集的信息, 其中 5 个 XP-E LED 的平均结果表示在最大指定驱动电流 (绿色数据集) 内的色品位移以及在过电流规格时的持续色品位移 (红色数据集)。

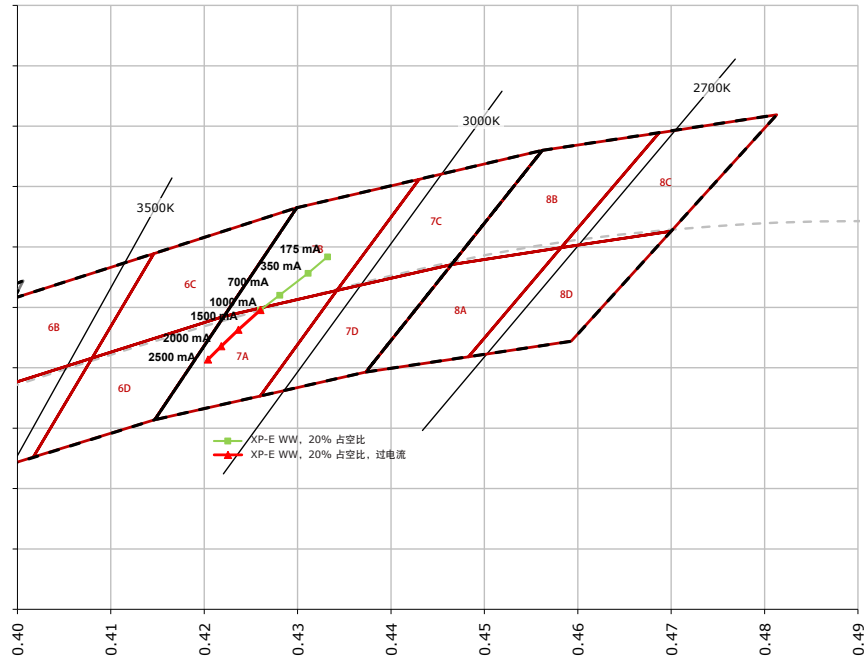


图 7: 暖白光 XLamp XP-E, 1 KHz, 20% 暂载率, 带欠电流和过电流设置

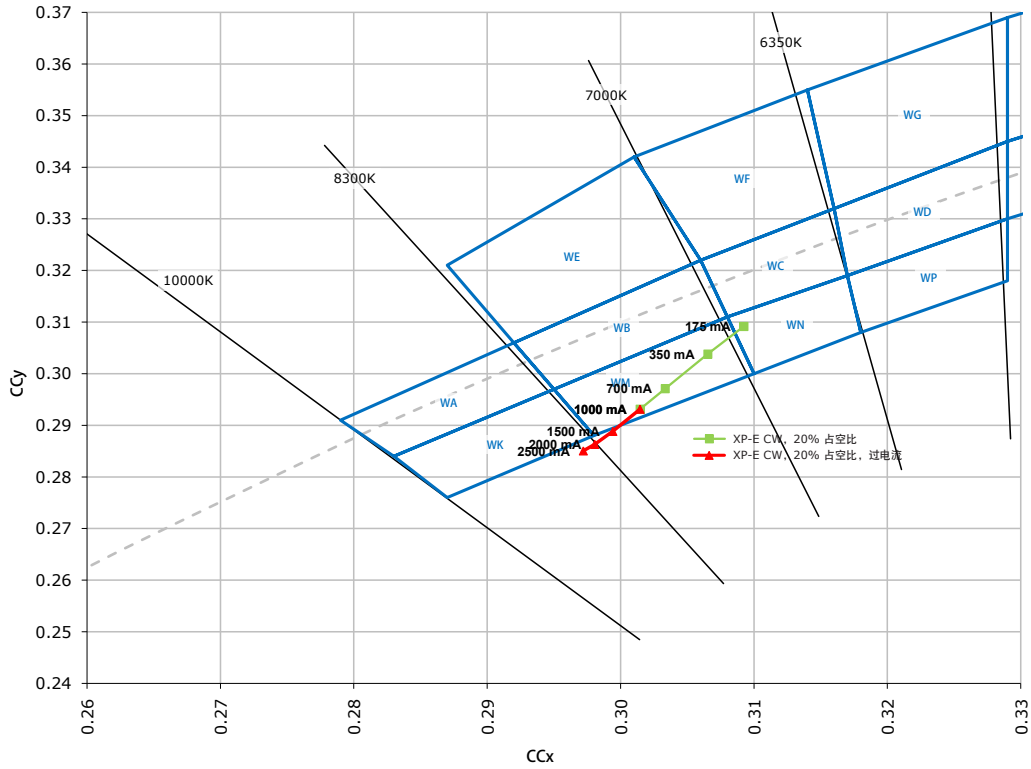


图 8: 冷白光 XLamp XP-E, 1 KHz, 20% 暂载率, 带欠电流和过电流设置



一个更大的长期可靠性问题是 LED 在更高电流下工作的影响。这是由于 P-N 结点的加热造成的，特别是暂载率大于 25% 时。若要确定是否将超过最大结温 ( $T_j$ )，必须测量 LED 的电流 ( $I_f$ )、电压 ( $V_f$ ) 和表面温度 ( $T_c$ )。脉冲 LED 的功率与暂载率 ( $D$ ) 成比例，因此可用以下公式来计算结温 ( $T_j$ )。

$$T_j = T_c + D * I_f * V_f * R_{thj-c}$$

但是，这仅是等式的一部分。环境温度和热阻（从表面到环境空气）也必须考虑在内。正确的热管理技术仍须遵循。<sup>3</sup>

根据我们在本应用说明中审查的 1-kHz 脉冲测试，Cree 建议脉冲电流工作遵循以下准则：

1. 如果暂载率为 51% 到 100%，则不要超过最大额定电流的 100%；
2. 如果暂载率为 10% 到 50%，则不要超过最大额定电流的 200%；
3. 如果暂载率小于 10%，则不要超过最大额定电流的 300%。

除了光输出下降之外，其他可能受到长期高电流工作影响的特性包括色点稳定性、反向泄漏电流及正向电压。Cree 建议客户自行进行长期测试，以确保其设计的可靠性。

## 纹波电流

纹波电流是平均电流水平的一种周期性峰到峰变化。未过滤的整流 120 Hz 信号通常被用于驱动 LED 照明应用，并且在规格范围内不会对 LED 造成任何问题。但是，过量的涟波电流可能导致问题，但这不仅是针对 LED 而言的。它还可能导致电解电容器在 LED 驱动电源的输出滤波级上产生问题。高纹波电流可能导致电容器过热并加剧产生驱动电源电路的早期故障。还有一种可能是如果滤波电容器发生故障，则在其他情况下已减弱的瞬态电流将存在并可能反过来损坏 LED。Figure 9 和 Figure 10 显示了典型 LED 驱动电源的纹波电流。

<sup>3</sup> 如需更多信息，请访问以下网址查阅 Cree 应用说明 CLD-AP05 之“Cree XLamp LED 的热管理”：  
[www.cree.com/xlamp\\_app\\_notes/thermal\\_management](http://www.cree.com/xlamp_app_notes/thermal_management)。

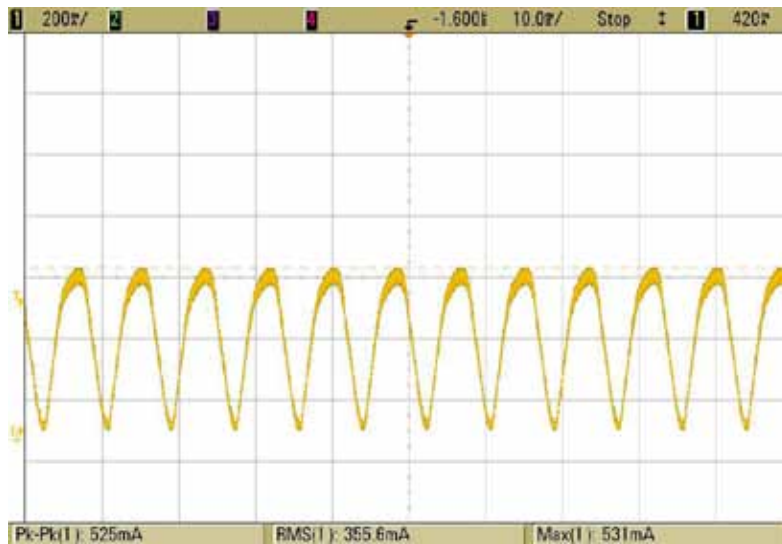


图 9: 高纹波电流, 525 mA, 峰到峰

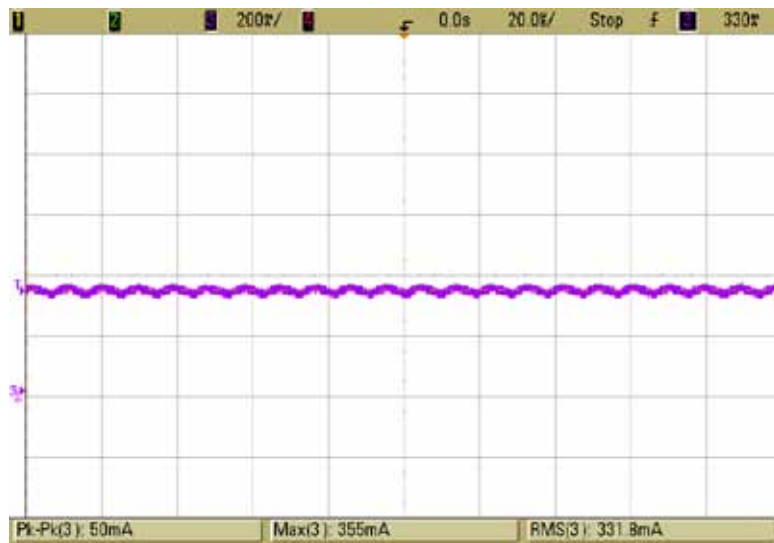


图 10: 低纹波电流, 50 mA, 峰到峰

峰到峰电流的大幅波动还可能影响 LED 的发光效率。一个例子是带有 Table 3 中所所示光通量的示例 XP-E 灯。

流明	电流 (mA)
66	200
142	500
203	800

表 3: XP-E 稳态时的光通量

如果灯在稳定的 500 mA 直流电流下工作，则输出将是 142 流明。另一方面，如果灯的驱动电流在最小 200 mA 到最大 800 mA 之间波动，则光输出将在 66 流明到 203 流明之间波动。平均流明输出仅为 134.5，这比 LED 在稳定直流电流下工作时的流明输出小约 5%。

## 最大开关频率

脉冲 LED 的最大开关频率受到器件接通时间以及开关电路的上升和下降时间限值的限制。XLamp 器件的典型接通时间约为 10 纳秒或更小，其最大开关频率约为 100 MHz。

## 概要

虽然 Cree 的 XLamp 产品能够承受远高于最大额定连续电流水平的电流瞬变，但是不得超过某些物理限值，以免发生电过载。LED 可能以连续脉冲模式在更高电流水平下工作，但副作用是可能对效率、色品和长期可靠性造成不利影响。

对于某些专业应用，可能有很好的理由来超过最大额定电流，以达到所需的性能水平。但是在这些情况下，Cree 建议客户在证明将产生 3 种过电流情况任意之一的设计的合理性时自行进行寿命测试。确定副作用是否是可接受的是客户的责任。如果超出 Cree 公布的规格限制来使用我们的产品，则 Cree 无法作出有关可靠性或性能的保证。<sup>4</sup> Cree 鼓励对独特应用存有任何疑问或顾虑的客户与 Cree 的应用支持团队联系，以获得有关产品选型和系统设计的技术指导。

## 参考文献

*Wire bonding in microelectronics: materials, processes, reliability and yield*, George C. Harman, pp. 58-61

*Advanced wire bond interconnection technology*, Shankara K. Prasad pp. 25-26

“Physical Analysis of Data on Fused-Open Bond Wires”, Eugene Loh *IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology*, Vol. CHMT-6, No.2 June 1983

“Electrical Overstress in Integrated Circuits,” J.T.May

*Handbook of Nitride Semiconductors and Devices, Physics and Technology of GaN- Based Optical and Electronic Devices*, Vol. 3, H. Morkoc

“Current spreading and thermal effects in blue LED dice,” K. A. Bulashevich, I. Yu.Evstratov, V. F. Mymrin, S. Yu.Karpov

<sup>4</sup> 让 XLamp LED 在超出所公布的规格范围工作将导致 Cree 的销售条款和条件中所公布的保修失效。参阅 [www.cree.com/~media/Files/Cree/Legal/termsandconditionsread.pdf](http://www.cree.com/~media/Files/Cree/Legal/termsandconditionsread.pdf)。