

# Cree® XLamp® LED工作容量



## 目录

前言与摘要.....	1
设计方法 / 目标 .....	3
六步骤法.....	3
1. 确定照明要求.....	3
2. 确定设计目标.....	6
3. 估算光学系统、热系统和电气系统的效率.....	6
4. 计算所需的LED数量 .....	10
5. 考虑所有设计方案 .....	10
6. 完成最后步骤：实施和分析 .....	10
结语 .....	17

## 前言与摘要

本文件论证了Cree称作“LED工作容量”的这个概念的应用，以尽可能提高LED的利用率，而不是以其分档电流来驱动LED。本设计表明，在设计电流容量下驱动LED提供了多种降低成本的选择。

在当今LED市场中，对于任何特定的照明项目，市场上均有众多高功率LED可供选择。然而，并非所有LED都是相同的，要制造高性能、可靠的LED照明产品，必须加以特别小心。对于基于LED的灯具设计，一个关键参数是正向驱动电流，因为它决定了最终光源的流明输出、光效和寿命。

**什么是LED工作容量？**

高功率LED按照设定电流水平下的流明输出进行分档。业界选择单个电流水平作为分档电流，并且传统上使用的是350mA。随着LED技术的不断进步，出现了工作范围最高可达到最大驱动电流的LED，而这个LED最大驱动电流可能要高于分档电流。以接近于最大指定驱动电流的电流来驱动LED可使其光输出远远高于分档电流下的光输出。我们把驱动LED发挥其最大能力的潜能称作LED工作容量，即在最大驱动电流下产生的光通量。

图1显示了分档电流与最大驱动电流下的光输出对比。以高于分档电流的电流驱动LED可使每个LED产生更多的流明，从而减少所需LED的数量，降低系统成本。也就是说在高于分档电流的电流下驱动LED可利用原本未利用的LED工作容量。

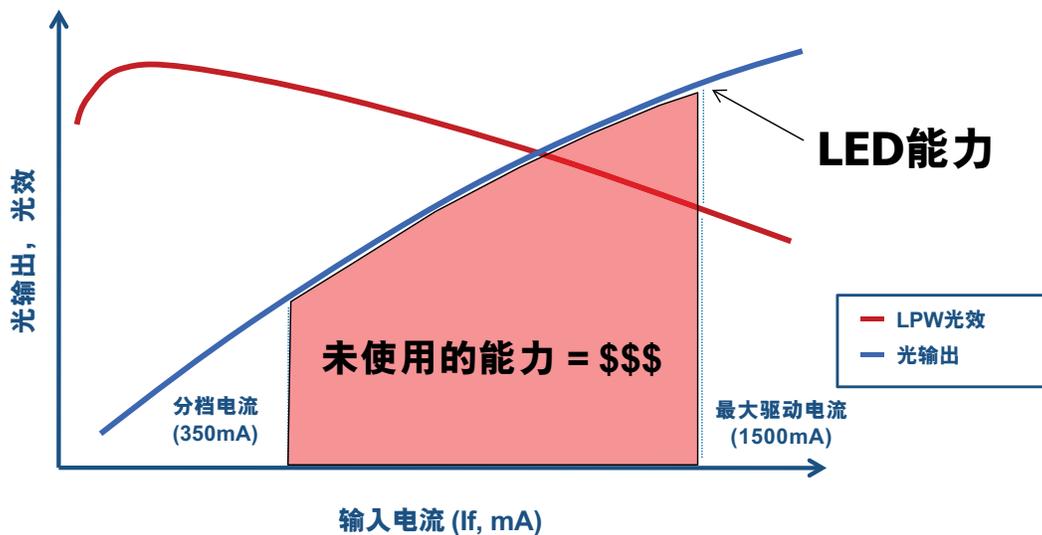


图1: 高于LED分档电流时未利用的LED工作容量

请注意，驱动电流限制还可能受其他因素的影响，如能源之星®的最小光效要求、系统散热性能以及LED L70寿命等。

本参考设计以一只使用Cree XLamp XP-G高功率LED的6英寸筒灯灯具来论证LED工作容量概念。XLamp XP-G LED可在0.35 A至1.5 A的各种正向驱动电流范围内工作，能提供充分的机会来显示在远高于分档电流下驱动LED时所具备的优点。我们制作了2种筒灯设计。设计1使用12只XP-G LED，在其0.35 A分档电流下驱动；设计2使用5只LED，在1 A电流下驱动。5-LED筒灯可以不到一半的LED产生与12-LED筒灯几乎相同的光输出和光分布。两款筒灯均达到能源之星™的光效、相关色温 (CCT) 和显色指数 (CRI) 要求。因此，利用LED的工作容量成了那些要求以更低的成本获得最大流明输出的应用一个非常有吸引力的选择。

## 设计方法 / 目标

在“LED光源设计指南”<sup>1</sup>中，Cree提出了一个用于制作LED光源的六步骤框架。所有Cree参考设计均采用该框架，并在下面的表格中对设计指南的内容作一简要回顾。

步骤	说明
1. 确定照明要求	<ul style="list-style-type: none"> <li>设计目标可根据现有灯具或应用的照明要求确定。</li> </ul>
2. 确定设计目标	<ul style="list-style-type: none"> <li>根据应用的照明要求明确设计目标。</li> <li>明确任何其他会对设计造成影响的目标，如特殊光学或环境要求。</li> </ul>
3. 估算光学系统、热系统和电气系统的效率	<ul style="list-style-type: none"> <li>设计目标将对光学系统、热系统和电气系统设定限制。</li> <li>可以依照这些限制条件对各个系统的效率进行正确的估算。</li> <li>结合照明目标和系统效率的信息，可推算出光源所需的LED数量。</li> </ul>
4. 计算所需的LED数量	<ul style="list-style-type: none"> <li>根据设计目标和估算的损耗，设计人员能计算出满足设计目标所需的LED数量。</li> </ul>
5. 考虑所有设计方案并从中选出最佳方案	<ul style="list-style-type: none"> <li>在任何设计中，都有许多方法可实现各个目标。</li> <li>LED照明是一个新领域，因此适用于常规照明光源的假设可能并不适用LED照明。</li> </ul>
6. 完成最后步骤	<ul style="list-style-type: none"> <li>完成电路板布局。</li> <li>通过制作光源原型，来测试各个设计选择。</li> <li>确保设计达到所有设计目标。</li> <li>利用原型来进一步改进光源设计。</li> <li>记录观察结果和改进想法。</li> </ul>

表1: Cree六步骤框架

## 六步骤法

我们的目标是为了在6英寸筒灯设计中论证应用LED工作容量这个概念。因此，最好的证明方法就是制作一只满足现实世界要求的筒灯。

### 1. 确定照明要求

表2列出了筒灯参考设计需要考虑的特性，并按重要性顺序排列。

1 LED光源设计指南，应用说明AP15，[www.cree.com/~media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/XLamp%20Application%20Notes/LED\\_Luminaire\\_Design\\_Guide.pdf](http://www.cree.com/~media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/XLamp%20Application%20Notes/LED_Luminaire_Design_Guide.pdf)

重要性	特性	单位
关键	价格	\$
	可制造性	
	光通量 (稳态)	流明 (lm)
	光效	流明每瓦 (lm/W)
	照度分布	
	色彩均匀性	
	形态	
重要	寿命	小时
	工作温度	°C
	工作湿度	%相对湿度
	相关色温 (CCT)	K
	显色指数 (CRI)	100点尺度
	安装容易度	

**表2: 针对LED筒灯分级排列的一些设计准则**

尽管本参考设计的主要目的是为了论证应用LED工作容量这个概念，它还证明了在高于分档电流下驱动LED并不妨碍同时满足诸如能源之星之类的要求。表3和表4总结了针对光源的能源之星要求。<sup>2</sup>

光源类型	能源之星要求		
	光源光效 (初始)	光源最小光输出 (初始)	光源区域照明密度要求
筒灯 • 嵌入灯 • 吸顶灯 • 吊灯 • SSL筒灯改型	42 lm/W	≤ 4.5"孔径: 345流明 > 4.5"孔径: 575流明	光源必须在0-60°区域内达到初始总流明的至少75% (轴向最低点对称)

**表3: 能源之星光效、光输出和区域照明密度要求**

特性	最低目标
光源寿命要求: 所有光源	LED封装 / LED模块 / LED阵列 (包括被纳入LED光引擎或基于GU24的整体式LED灯中的LED封装 / 模块 / 阵列) 必须达到以下L70流明维持率寿命值要求 (参见下节中的流明维持率要求):  家用级室内光源25,000小时 家用级室外光源35,000小时 商用级光源35,000小时  超出上述要求的流明维持率寿命预测声明必须通过TM-21流明维持率寿命预测报告加以证明。

<sup>2</sup> 能源之星®计划要求, 光源 (灯具) 的产品规格, 资格标准, 版本1.1, [www.energystar.gov/ia/partners/prod\\_development/new\\_specs/downloads/luminaires/Final\\_Luminaires\\_Program\\_Requirements.pdf](http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/new_specs/downloads/luminaires/Final_Luminaires_Program_Requirements.pdf)

特性	最低目标
<p>流明维持率要求：定向和非定向光源</p>	<p>LED封装 / 模块 / 阵列（包括被纳入LED光引擎或基于GU24的整体式LED灯中的LED封装 / 模块 / 阵列）必须达到以下L70(6k)额定流明维持率寿命值，在原位：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 家用室内L70(6k) ≥ 25,000小时</li> <li>• 家用室外或商用L70(6k) ≥ 35,000小时</li> </ul> <p>上述要求的符合情况必须通过TM-21流明维持率寿命预测报告加以记录（详见TM-21第7节）。该报告必须根据所采用LED封装 / 模块/阵列型号（简称“设备”）的LM-80测试报告中的数据、各个设备所使用的正向驱动电流以及光源中最热LED的原地<math>TMP_{LED}</math>温度来制作。除LM-80报告要求之外，还必须报告以下信息：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 抽样方法和样本大小（依照LM-80第4.3节）</li> <li>• 各个TS和驱动电流组合的测试结果</li> <li>• 设备描述，包括型号以及设备是否是LED封装、模块或阵列（参见“定义”部分）</li> <li>• ANSI目标以及样本集中各个设备的计算相关色温值</li> <li>• 样本集中各个设备在CIE 1976色彩空间上的<math>\Delta u'v'</math>色品位移值</li> <li>• 详细的理由及其证明数据，以便将结果应用于其他设备（如具有其他相关色温值的LED封装）</li> </ul> <p>可通过在光源壳体中开一个极小的孔（如果出于测试目的，可用合适的密封胶重新封紧该孔），来获取<math>TMP_{LED}</math>，从而获知最热的LED。</p> <p>必须对所有热电偶附件和光源壳体的侵扰物进行拍照。</p>
<p>相关色温要求：所有室内光源</p>	<p>光源（定向光源）或可替换LED光引擎或基于GU24的整体式LED灯（非定向光源）的额定相关色温值均须为以下之一：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2700开尔文</li> <li>• 3000开尔文</li> <li>• 3500开尔文</li> <li>• 4000开尔文</li> <li>• 5000开尔文（仅限于商用）</li> </ul> <p>光源、LED光引擎或基于GU24的整体式LED灯还须在相应的7阶色品四边形范围内（如ANSI / NEMA / ANSLG C78.377-2008中所定义）。</p>
<p>显色要求所有室内光源</p>	<p>光源（定向光源）或可替换LED光引擎或基于GU24的整体式LED灯（非定向光源）均须达到或超过<math>Ra \geq 80</math>。</p>
<p>色彩角均匀度要求：定向固态室内光源</p>	<p>在上面详述的整个区域流明密度角度内，以及该角度范围五度以外，在CIE 1976 (<math>u',v'</math>) 色彩空间上的色品变化均须在加权平均点的0.004的范围内。</p>
<p>色彩维持率要求：仅限于固态室内光源</p>	<p>在光源工作头6,000小时中，在CIE 1976 (<math>u',v'</math>) 色彩空间上的色品变化均须在0.007的范围内，如以下任一方式所证明：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 所采用LED封装 / 阵列 / 模块型号的IES LM-80测试报告，或</li> <li>• 0和6,000小时LM-79报告中光源的色品数据比较，</li> <li>• 或0和6,000小时LM-82报告中LED光引擎或基于GU24的整体式LED灯的色品数据比较。</li> </ul>
<p>光源启动时间要求：定向和非定向光源</p>	<p>光源必须在通电后1秒钟内保持持续照亮。</p>
<p>光源上升时间要求：定向和非定向光源</p>	<p>光源必须在通电后1分钟内达到稳定流明输出的90%。</p>
<p>功率因数要求：定向和非定向光源</p>	<p>光源总输入功率小于或等于5瓦：PF ≥ 0.5</p> <p>光源总输入功率大于5瓦： 家用：PF ≥ 0.7 商用：PF ≥ 0.9</p>
<p>瞬变保护要求：所有光源</p>	<p>镇流器或驱动电源必须符合ANSI / IEEE C62.41.1-2002和ANSI / IEEE C62.41.2-2002（A类操作）的要求。线路瞬变必须包括7次共模和差模的2.5 kV级100 kHz环形波。</p>
<p>工作频率要求：定向和非定向光源</p>	<p>频率≥120 Hz</p> <p>注：此性能特性针对由于低频工作造成的明显闪烁问题并适用于稳态及调光操作。调光操作必须在所有光输出级别均达到要求。</p>

特性	最低目标
噪音要求: 定向和非定向光源	光源内使用的所有镇流器和驱动电源均须达到A类噪音评级。 建议以使光源在工作时发出的声音不会超过24 dBA的实测水平的方式来安装镇流器和驱动电源。
电磁和射频干扰要求: 定向和非定向光源	电源和 / 或驱动电源必须达到FCC要求: <ul style="list-style-type: none"> <li>• A类——用于商业、工业或商务环境的电源或驱动电源（不包括用于公用或家用的设备）。</li> <li>• B类——用于住宅环境的电源或驱动电源（无论是否用于商业、商务和工业环境）。</li> </ul>

**表4: 能源之星光源要求**

## 2. 确定设计目标

表5列出了本项目的的设计目标。

特性	单位	最低目标	预定目标
光输出	lm	900	> 900
照度分布		两个灯具完全相同	
功率	W	20	< 20
光源光效	lm/W	45	55
寿命	小时	35,000	35,000
相关色温 (CCT)	K	3000	3000
显色指数 (CRI)		80	> 80
功率因数		0.9	> 0.9
最大环境温度	°C	30	40

**表5: 设计目标**

## 3. 估算光学系统、热系统和电气系统的效率

我们采用Cree的“产品特性工具”（简称“PCT”）来确定各个设计方案的驱动电流。<sup>3</sup>

对于900流明的目标，我们采用的是典型的85%光效和83%驱动电源效率。我们还估算两个设计方案的焊点温度分别为65 °C和75 °C。

3 可访问以下网址获取PCT: [pct.cree.com](http://pct.cree.com)

电流 (A)	LED 1				LED 2			
	型号	Cree XLamp XP-G (CW/NW/WW)			型号	Cree XLamp XP-G (CW/NW/WW)		
	光通量	Q5 [107]			光通量	Q5 [107]		
	价格	\$ -	Tsp (°C)	65	价格	\$ -	Tsp (°C)	73
	LED倍数				LED倍数			
	系统总流明	系统LED数量	系统瓦数	系统流明/瓦	系统总流明	系统LED数量	系统瓦数	系统流明/瓦
0.100	900.4	37	11.96	75.3	906.3	38	12.19	74.4
0.150	909.5	25	12.32	73.8	926.9	26	12.72	72.9
0.200	914.9	19	12.68	72.2	943.8	20	13.25	71.2
0.250	954.5	16	13.54	70.5	935.4	16	13.45	69.6
0.300	921.4	13	13.39	68.8	902.9	13	13.3	67.9
0.350	900.4	11	13.4	67.2	962.4	12	14.51	66.3
0.400	925.3	10	14.1	65.6	906.7	10	14	64.8
0.450	926.7	9	14.45	64.1	908	9	14.35	63.3
0.500	904.9	8	14.44	62.7	997.5	9	16.13	61.8
0.550	984	8	16.05	61.3	964	8	15.95	60.5
0.600	928.3	7	15.48	60	909.4	7	15.38	59.1
0.650	993.5	7	16.94	58.7	973.3	7	16.83	57.8
0.700	906.1	6	15.78	57.4	1035.5	7	18.29	56.6
0.750	959	6	17.06	56.2	939.4	6	16.95	55.4
0.800	1010.1	6	18.34	55.1	989.5	6	18.23	54.3
0.850	1059.9	6	19.64	54	1038.2	6	19.52	53.2
0.900	923.3	5	17.46	52.9	904.3	5	17.35	52.1
0.950	962.2	5	18.55	51.9	942.4	5	18.44	51.1
1.000	999.6	5	19.65	50.9	978.9	5	19.53	50.1
1.100	1070.7	5	21.86	49	1048.6	5	21.73	48.3
1.200	909.2	4	19.26	47.2	1112.9	5	23.93	46.5
1.300	958.1	4	21.03	45.6	938.1	4	20.9	44.9

图2: 所用LED数量和驱动电流的PCT视图

PCT产生以下结果:

设计方案1: 在350 mA时, 11个LED看似足够, 但光输出却仅能勉强达到目标, 因此为了安全起见, 我们选择使用12个LED。

设计方案2: 5个LED可在900 mA时达到900 lm; 但这需要定制的驱动电源。由于驱动电源可放在筒灯外部, 不受空间限制, 因此我们选择采用现成的驱动电源和1 A的电流来代替。

**散热要求**

本参考设计中的6英寸筒灯的几何形状简单, 因此我们决定定制一个铝外壳, 如图3所示。此外, 我们还决定使用一款市场上买得到的散热片(如图4所示), 将其安装在外壳的背面进行散热。<sup>4</sup>

4 零部件编号637303B03000, AAVID Thermalloy公司网站: [www.aavidthermalloy.com/product-group/led](http://www.aavidthermalloy.com/product-group/led)



图3: 定制的铝外壳



图4: 散热片

为了确保本散热设计的效用，我们对两个光源设计方案进行了热模拟。我们假设，约75%的输入功率被转换为热，其余被转换为光。我们在模拟中采用了6英寸的容器和天花板来模拟现实应用条件。

图5显示了12-LED设计方案在350 mA时的热模拟结果。模拟的 $T_{sp}$ 为55 °C。

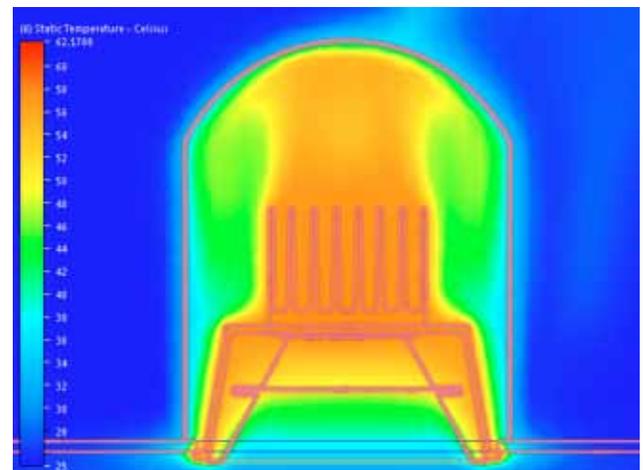
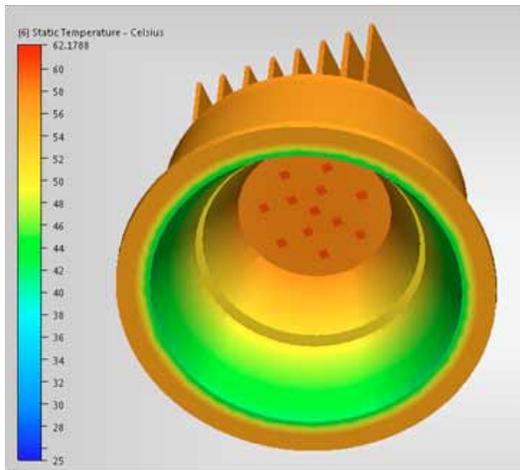


图5: 12-LED筒灯（左）和安装在天花板上的筒灯（右）的热模拟

图6显示了5-LED设计方案在1000 mA时的热模拟结果。模拟的 $T_{sp}$ 为73 °C。

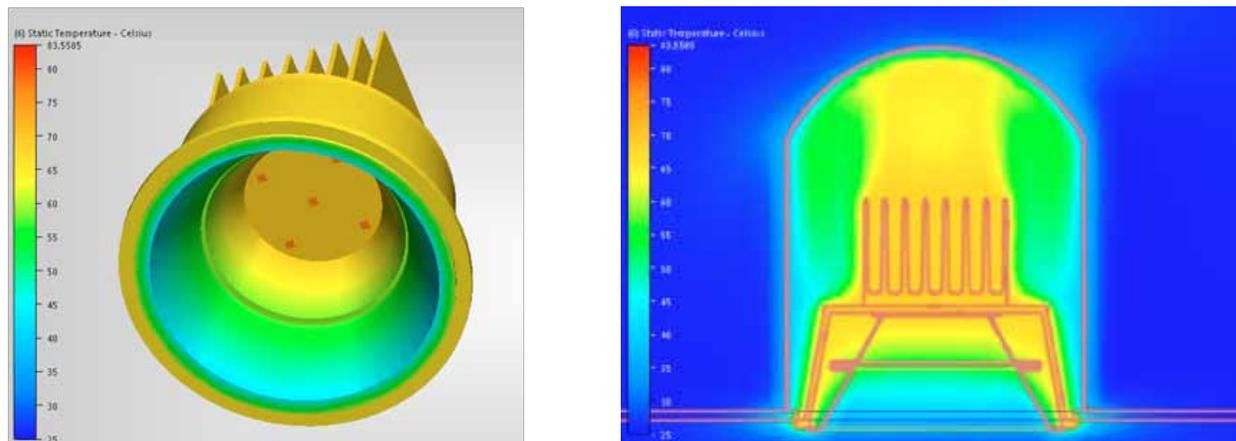


图6: 5-LED筒灯（左）和安装在天花板上的筒灯（右）的热模拟

### 驱动电源

由于用于6英寸筒灯的驱动电源能放置在天花板上靠近筒灯外壳的位置，对驱动电源没有尺寸限制。因此，没必要为本参考设计定制一个驱动电源。我们决定采用由Thomas Research公司生产的现成驱动电源。<sup>5</sup>两个驱动电源都是标准的电流型元件，具有约87%的效率。



用于12-LED筒灯的350 mA驱动电源

用于5-LED筒灯的1000 mA驱动电源

图7: 驱动电源

### 二次光学元件

在多LED照明系统中，通常使用柔光罩作为二次光学元件来尽可能减少眩光和热点，并使光均匀分布。许多情况下，在LED和柔光罩之间使用一个白色的反光杯，以形成一个光回收腔，使光输出最大。在本参考设计中，我们尝试了许多种反光杯和柔光罩的组合，最后发现

5 350 mA驱动电源零部件编号LED20W-24-C0700，1000 mA驱动电源零部件编号LED25W-24-C1040；Thomas Research公司网站：[www.thomasresearchproducts.com/led\\_drivers.htm](http://www.thomasresearchproducts.com/led_drivers.htm)

一种白色反光纸、一种Bright View Technologies生产的柔光罩<sup>6</sup>，搭配使用一款商用筒灯装饰套件<sup>7</sup>，可将所有元件组合在一起，为本设计构造了一种成功的二次光学元件。



**图8: 柔光罩透镜**

#### **4. 计算所需的LED数量**

设计方案1采用12个Q5光通量组的XP-G LED，驱动电流为350 mA。

设计方案2采用5个Q5光通量组的XP-G LED，驱动电流为1000 mA。

#### **5. 考虑所有设计方案**

通过使用上述方法，我们确定了LED、组件和驱动条件的适当组合。本节描述了Cree如何组装筒灯并比较了两个设计方案的结果。

#### **6. 完成最后步骤：实施和分析**

本节介绍了使用XLamp XP-G LED来制作筒灯实物原型的一些技术。

#### **原型制作详细信息**

1. 我们验证组件尺寸，以确保正确的匹配。
2. 按照Cree XP-G LED焊接和处理应用说明中的建议<sup>8</sup>，利用合适的焊锡膏类型和回流焊接温度，将LED回流焊接到金属核心印刷电路板 (MCPCB) 上。用异丙醇 (IPA) 清除焊剂残留物。

<sup>6</sup> 零部件编号P001, Bright View Technologies公司网站: [www.brightviewtechnologies.com](http://www.brightviewtechnologies.com)

<sup>7</sup> Halo公司网站: [www.residential-landscape-lighting-design.com/store/ppf/manufacturer\\_id/17/manufacturer\\_categories.asp](http://www.residential-landscape-lighting-design.com/store/ppf/manufacturer_id/17/manufacturer_categories.asp)

<sup>8</sup> Cree XLamp XP系列LED焊接和处理应用说明AP25, [www.cree.com/~media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/XLamp%20Application%20Notes/XLampXP\\_XT\\_SH.pdf](http://www.cree.com/~media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/XLamp%20Application%20Notes/XLampXP_XT_SH.pdf)

3. 将驱动电源输入线焊接到MCPCB上。给LED通电检查其是否点亮，来测试连接是否正常。
4. 将一薄层散热膏涂到MCPCB的背面，并用螺丝将MCPCB固定到铝制外壳上。
5. 将一薄层散热膏涂到铝制外壳的背面，并用螺丝将翅片式散热片固定。
6. 用双面胶将白色反光纸固定到MCPCB上。
7. 将柔光罩装饰盖固定到铝制外壳。
8. 用连接器将LED直流输入线连接到驱动电源直流输出线上。
9. 进行最后的测试。

### 结果

我们比较了两个流明输出相同但LED使用数量和工作电流不同的筒灯设计方案。结果表明，发挥LED工作容量能够使设计人员在降低成本的同时保持性能和可靠性。

### 散热结果

Cree用热电偶和红外热像仪来验证电路板的温度，以确认散热片的散热性能与我们的模拟情况一致。12-LED筒灯的焊点温度为52 °C。5-LED筒灯的焊点温度为74 °C。两个结果均与模拟情况比较一致，这表明散热片可满足本设计的要求。

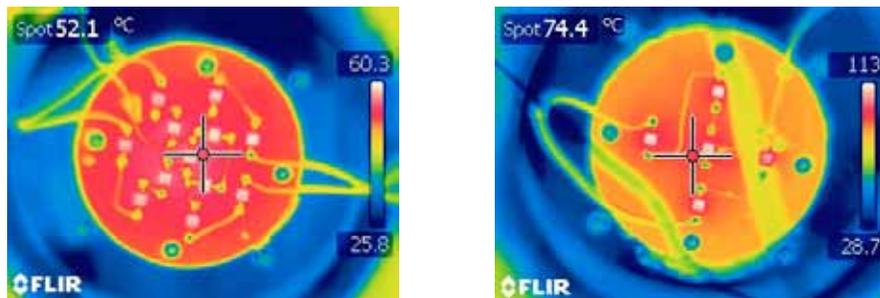


图9: 12-LED (左) 和5-LED (右) XP-G筒灯的散热结果

**LED估算寿命**

我们使用Cree的TM-21计算器工具 (Calculator Tool) 来预测本筒灯所采用的XP-G LED的寿命。图10显示了使用TM-21预测算法计算和报告的XP-G LED寿命（在3个焊点温度，输入电流为500-mA时）。

LED	XLamp XP-G白光		
I	500 mA		
数据集	7	8	9
Tsp	45°C	55°C	85°C
样本尺寸	25	25	25
测试持续时间	10,080小时	10,080小时	10,080小时
$\alpha$	-1.322E-06	3.963E-07	-1.060E-06
$\beta$	1.005E+00	1.006E+00	9.996E-01
计算的寿命	$\alpha < 0$ ; 参见报告的寿命	L70(10k) = 914,000小时	$\alpha < 0$ ; 参见报告的寿命
报告的寿命	L70(10k) > 60,500小时	L70(10k) > 60,500小时	L70(10k) > 60,500小时

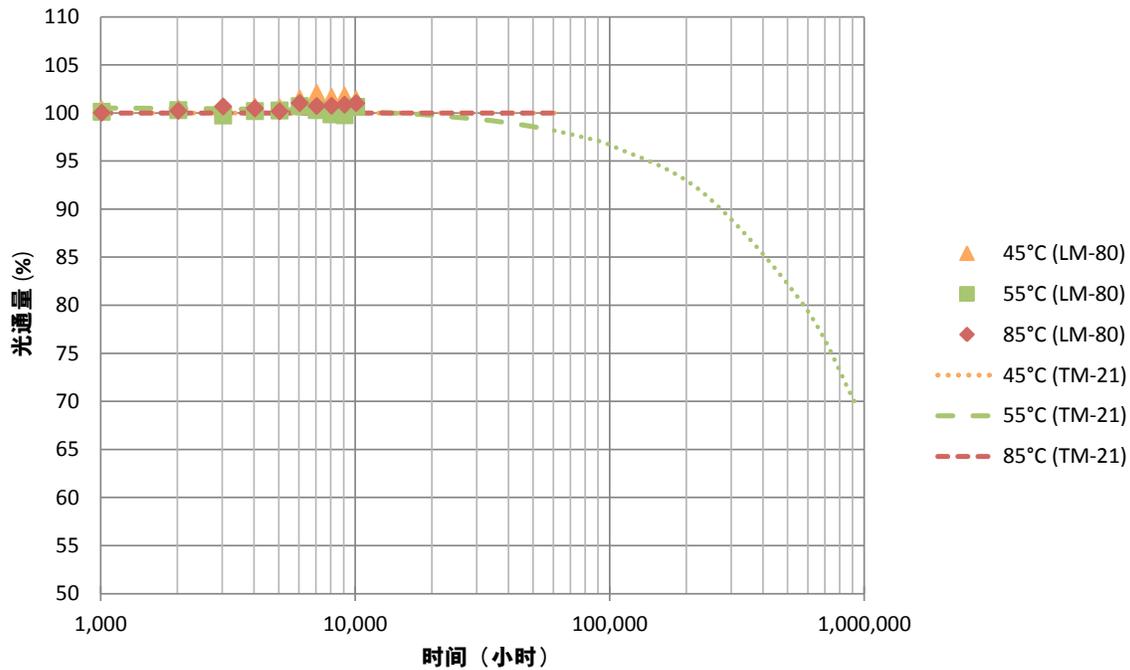
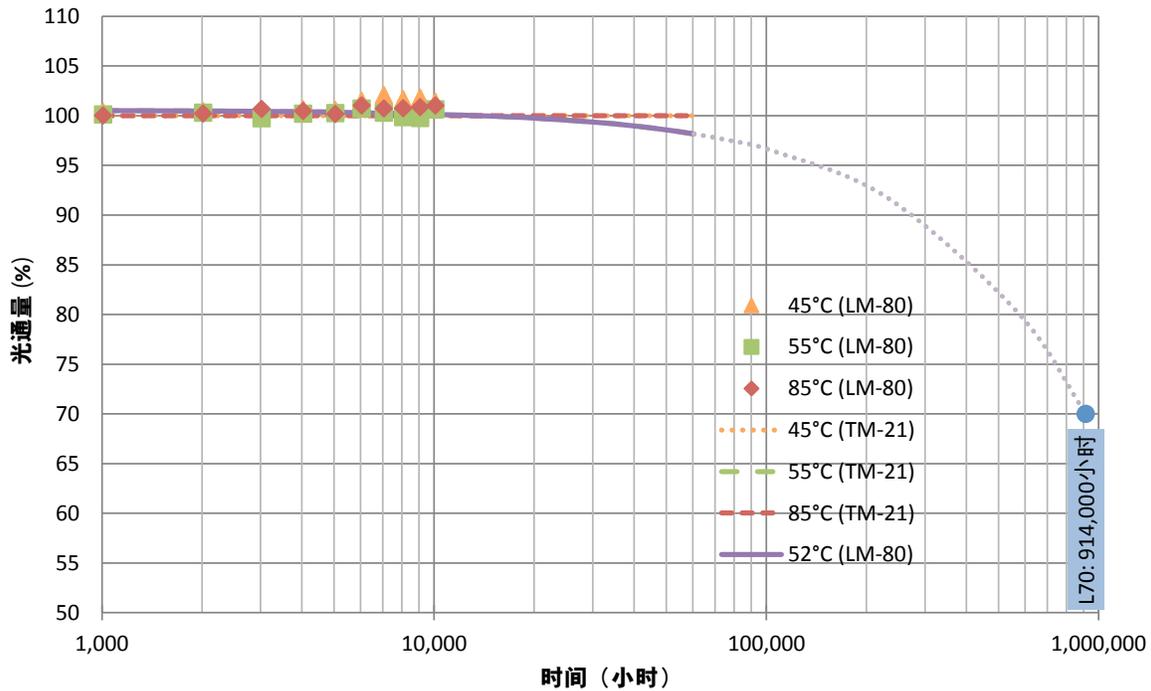

**图10: 500 mA时的XP-G TM-21数据**

图11显示利用插值法从图10中的数据得到的XP-G LED的计算寿命和报告寿命（12-LED灯的实测 $T_{sp}$ 为52 °C时，但驱动电流为500 mA，高于本参考设计中使用的350 mA）。在报告的L70(10k)寿命大于60,500小时并且计算的L70(10k)寿命为914,000小时的情况下，我们预计12-LED筒灯可轻松达到能源之星的寿命要求。

LED	XLamp XP-G白光		
I	500 mA		
	Ts1	Tsi (内插)	Ts2
Tsp	45°C	52°C	55°C
Tsp	318.15 K	325.15 K	328.15 K
Ea/kB	N/A		
A	N/A		
$\alpha$	-1.322E-06	N/A	3.963E-07
$\beta$	1.005E+00	N/A	1.006E+00
计算的L70	$\alpha < 0$ ; 参见报告的寿命	L70(10k) = 914,000小时	L70(10k) = 914,000小时
报告的L70	L70(10k) > 60,500小时	<b>L70(10k) &gt; 60,500小时</b>	L70(10k) > 60,500小时
计算的寿命		L70(10k) = 914,000小时	
报告的寿命		<b>L70(10k) &gt; 60,500小时</b>	



**图11: XP-G的TM-21报告（在500 mA,  $T_{sp}$ 为52 °C时）**

图12显示了使用TM-21预测算法计算和报告的XP-G LED寿命（在3个焊点温度，输入电流为1000mA时）。

LED	XLamp XP-G白光		
I	1000 mA		
数据集	10	11	12
Tsp	55°C	85°C	105°C
样本尺寸	20	20	20
测试持续时间	10,080小时	10,080小时	6,048小时
$\alpha$	-4.219E-06	1.284E-06	5.561E-06
$\beta$	9.847E-01	1.016E+00	1.007E+00
计算的寿命	$\alpha < 0$ ; see Reported Lifetime	L70(10k) = 290,000小时	L70(6k) = 65,500小时
报告的寿命	<b>L70(10k) &gt; 60,500小时</b>	<b>L70(10k) &gt; 60,500小时</b>	<b>L70(6k) &gt; 36,300小时</b>

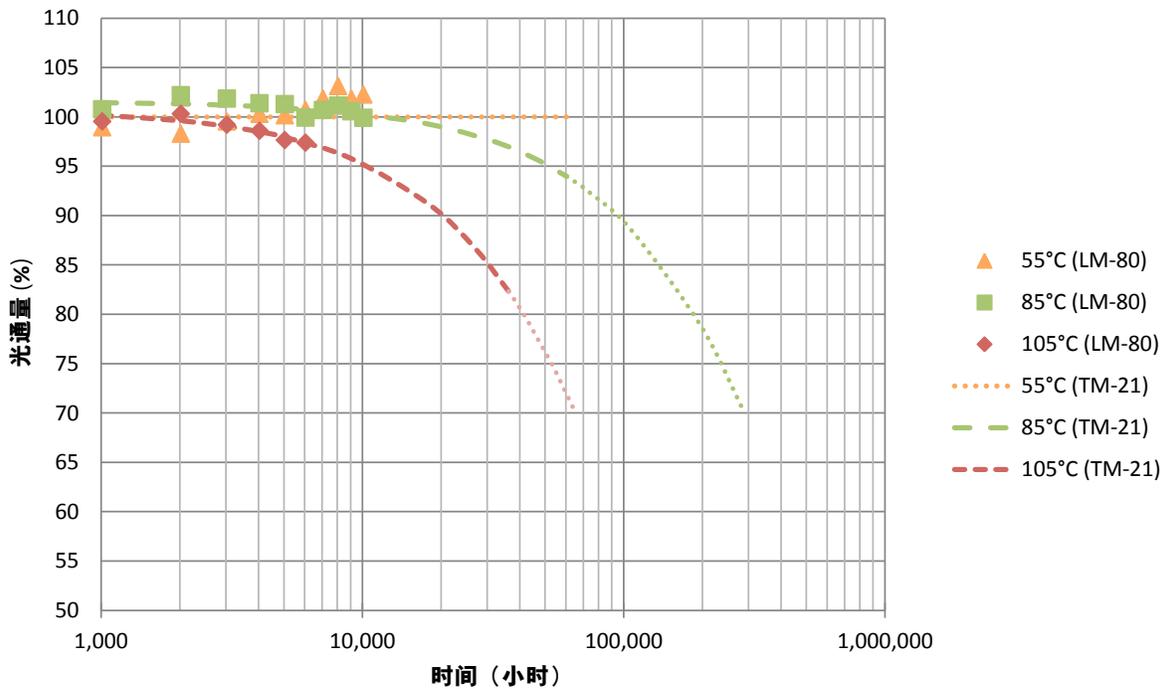


图12: 1,000 mA时的XP-G TM-21数据

图13显示利用插值法从图10中的数据得到的XP-G LED的计算寿命和报告寿命（5-LED灯的实测 $T_{sp}$ 为74 °C时）。在报告的L70(10k)寿命大于60,500小时并且计算的L70(10k)寿命为290,000小时的情况下，我们预计5-LED筒灯也可轻松达到能源之星的寿命要求。

LED	XLamp XP-G白光		
I	1000 mA		
	Ts1	Tsi (内插)	Ts2
Tsp	55°C	74°C	85°C
Tsp	328.15 K	347.15 K	358.15 K
Ea/kB	N/A		
A	N/A		
$\alpha$	-4.219E-06	N/A	1.284E-06
$\beta$	9.847E-01	N/A	1.016E+00
计算的L70	$\alpha < 0$ ; 参见报告的使用寿命	L70(10k) = 290,000小时	L70(10k) = 290,000小时
报告的L70	L70(10k) > 60,500小时	<b>L70(10k) &gt; 60,500小时</b>	L70(10k) > 60,500小时
计算的寿命		L70(10k) = 290,000小时	
报告的寿命		<b>L70(10k) &gt; 60,500小时</b>	

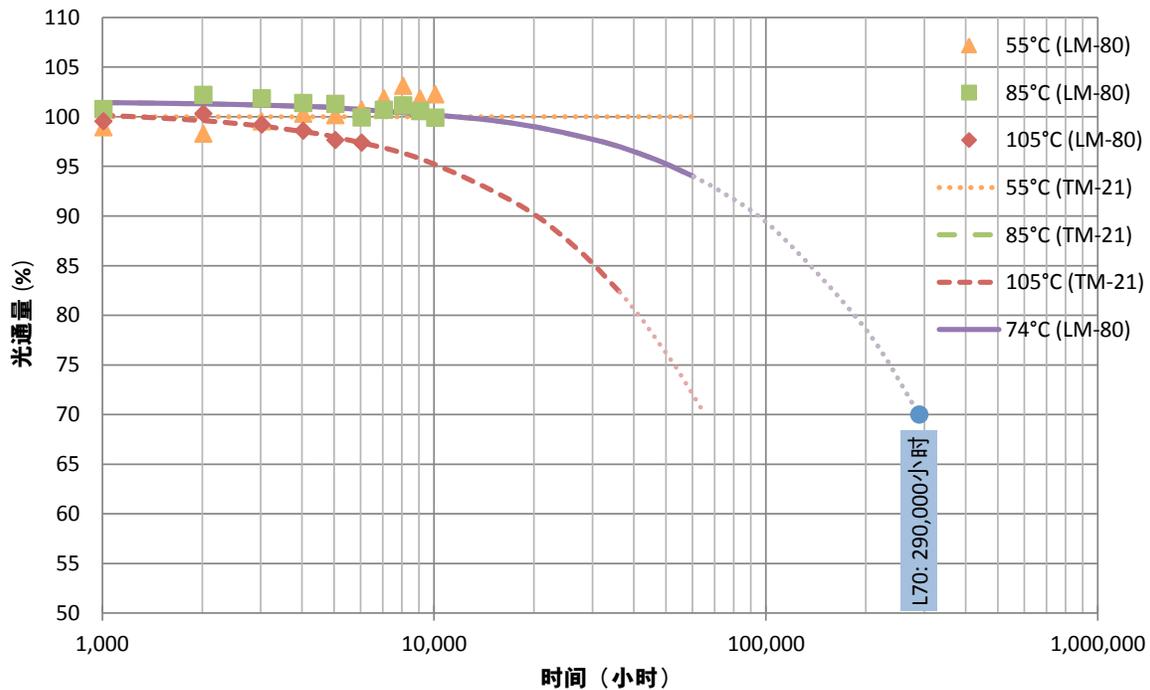


图13: XP-G的TM-21报告（在1,000 mA,  $T_{sp}$ 为74 °C时）

**光学和电气结果**

我们对两个设计方案的筒灯原型在2米范围内进行了30分钟的测试，并且得到表6中的结果。<sup>9</sup>如该表所示，两种设计方案均可达到900lm的设计目标。两种设计方案也均可达到能源之星的光效和显色指数要求。较之5-LED设计方案，12-LED设计方案的功率降低约25%且光效增加约15 lm/W。但是，5-LED设计方案使用的LED数量不到12-LED设计方案的一半，显著节省了费用。

请注意，寿命值仅针对XP-G LED，而并不反映筒灯其他组件的寿命。

特性	单位	12-LED筒灯	5-LED筒灯
光输出 (接通30分钟)	lm	943	930
电流	mA	350	1000
功率	W	14.5	19.2
光效	lm/W	65.0	48.4
相关色温 (CCT)	K	3000	3020
驱动电源效率	%		
L70(10k)报告的寿命	小时	> 60,500 (500 mA时)	> 60,500 (1,000 mA时)
L70(10k)计算的寿命	小时	914,000 (500 mA时)	290,000 (1,000 mA时)
显色指数 (CRI)		80.6	80.2
T <sub>sp</sub>	°C	52	74
T <sub>j</sub> (计算的)	°C	57	89

**表6: 12-LED和5-LED XP-G筒灯比较**

我们还测试了两个设计方案的的光强分布图14表明，两个筒灯的光强分布非常类似5-LED筒灯具有与12-LED筒灯几乎完全相同的光强分布，但使用的LED数量减少了60%。尽管LED的数量和位置存在差异，柔光罩仍使光均匀分布。

<sup>9</sup> 测试在Cree位于加利福尼亚州圣巴巴拉的工厂进行。

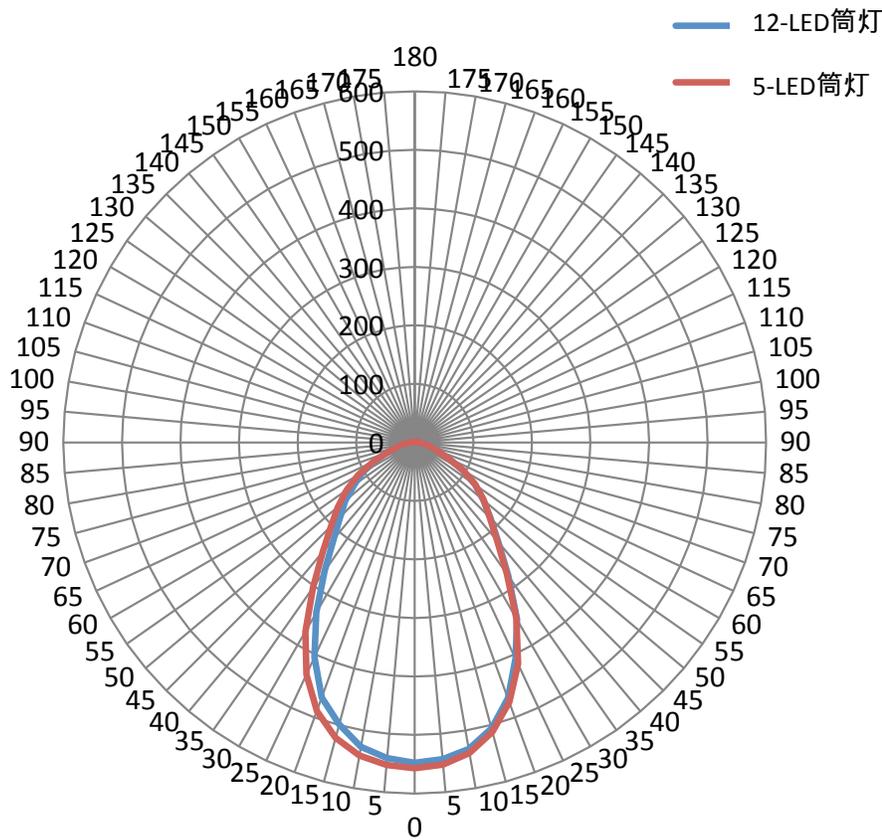


图14: 12-LED和5-LED XP-G筒灯的光强角分布

**结语**

本参考设计通过基于Cree XLamp XP-G高功率LED的6英寸筒灯来实例说明LED工作容量这一概念。5-LED筒灯使用数量少60%的LED达到了与12-LED筒灯相同的光输出。两个筒灯均达到目标流明输出和光效。由于XP-G LED的最大驱动电流为1.5 A，因此即使在本参考设计中，也有部分LED工作容量尚未得到完全利用。更高的驱动电流可增加光输出并减少LED的使用数量。任何照明设计均须权衡考虑许多因素，包括光效、热管理、色品和长期可靠性，<sup>10</sup>并且对LED工作容量这一概念的应用使照明设计师和工程师能够减少LED的使用数量，从而降低成本而又不牺牲性能或可靠性。

10 有关XLampLED在不小于最大驱动电流的电流下工作的其他信息，请参阅“XLampLED的脉冲过电流驱动：相关信息和注意事项”，应用说明AP60，[www.cree.com/~media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/XLamp%20Application%20Notes/XLampPulsedCurrent.pdf](http://www.cree.com/~media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/XLamp%20Application%20Notes/XLampPulsedCurrent.pdf)