

Cree® XLamp® MX-6 LED A19 灯参考设计



简介	1
设计方法/目标	2
六步骤法	3
1. 确定照明要求	3
2. 确定设计目标	4
3. 估算光系统、热系统及电气系统的效率	4
4. 计算所需的 LED 数量	8
5. 考虑所有设计方案	9
6. 完成最后步骤：实现和分析	10
结论	17

简介

正如所有替换灯泡一样，基于 LED 的 A-19 改型灯对工程设计方面提出了许多挑战。例如，改型灯所提供的光分布和色度特征要相当于或优于同等白炽灯，同时要将 LED 发出数百流明光输出时产生的热负荷散发出去。

此应用说明描述了基于 Cree XLamp MX-6 系列 LED 的 40 W 等效 A19 改型灯的设计。此灯是针对亚洲市场和相关工程国家标准设计的。它是一款冷白灯泡，显色指数 (CRI) 较低，因此不适合于目前的欧洲或美国国家标准。我们制作了两个版本的灯，一个版本采用 MX-6A 封装，包含 4 只并联连接的 LED，另一个采用 MX-6S 封装，包含 4 只串联连接的 LED，使用户有机会比较两种外观一样但电气设计不同的 LED 封装及相关驱动器的性能。

设计方法/目标

在“LED 灯具设计指南”¹ 中，Cree 提出了一个由六个步骤组成的框架，可依照它来制作 LED 灯具。所有 Cree 参考设计都采用这个框架，并在下面的表格中对设计指南的内容作一简要回顾。

步骤	解释
1. 确定照明要求	设计目标可以现有的灯具或应用的照明要求为基础确定。
2. 确定设计目标	- 根据应用的照明要求明确设计目标。 - 明确其它任何会对设计造成影响的目标，比如特殊光学或环境要求。
3. 估算光系统、热系统及电气系统的效率	- 设计目标将对光系统、热系统和电气系统设定限制。 - 可以依照这些限制条件对每个系统的效率作正确的估算。 - 将照明目标和系统效率相结合可推算出灯具中所需的 LED 数量。
4. 计算所需的 LED 数量	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。
5. 考虑所有设计方案并从中选出最佳的一个	- 采用任何设计，都有许多方法可实现目标。 - LED 照明是一个新的领域，适合常规照明光源的假设可能并不适用。
6. 完成最后步骤	- 完成电路板布局。 - 制作原型灯具对不同设计选择进行试验。 - 确保设计达到所有设计目标。 - 使用原型灯具进一步改进灯具设计。 - 记录观察结果和改进想法。

表 1: CREE 六步骤框架

1 “LED 灯具设计指南”，应用说明 AP15，www.cree.com/products/pdf/LED_Luminaire_Design_Guide.pdf

六步骤法

本参考设计的目标是制作一款 40W 等效 A19 改型灯。本设计使用 Cree XLamp MX-6 系列 LED 以及市场上常见的工具、光学器件和驱动器，并且重点在于研制“甜筒”型 A19 改型灯。

1. 确定照明要求

下表列出了本参考设计中 MR16 的设计所需考虑的各项重要特征。

重要性	特征	单位
关键	光通量	流明 (lm)
	光效	流明/瓦 (lm/W)
	照度分布	尺烛光 (fc)
	色彩均匀度	
	外形尺寸	
重要	价格	\$
	寿命	小时
	工作温度	°C
	工作湿度	% RH (相对湿度)
	相关色温 (CCT)	K
	显色指数 (CRI)	100 点尺度
	可制造性	
	安装容易度	

表 2: 40W A19 改型灯的分级设计准则

由于本参考设计针对亚洲市场，因此我们以韩国 KSC7651² 和日本 JIS C 7501³ 标准为基准，如下面表 3 和表 4 中摘录。

摘自韩国标准：

色温 (K)	色温公差	显色指数 (CRI)
6500	7040-6020	70
5700	6020-5310	70
5000	5310-4745	70
4500	4746-4260	70
4000	4260-3710	70
3500	3710-3220	70
3000	3220-2870	70
2700	2870-2580	70

表 3: 韩国 KSC7651 标准摘录

² KSC7651 www.standard.go.kr/CODE02/USER/0B/03/SerKS_View.asp#

³ JIS C 7501 www.techstreet.com/cgi-bin/basket?action=add&item_id=3749386

摘自日本标准：

功率	光通量 flux
25 W	230 lm
40 W	440 lm
50 W	600 lm
60 W	760 lm
75 W	1000 lm
100 W	1430 lm

表 4：日本 JIS C 7501 摘录

2. 确定设计目标

本项目的设计目标：

特征	单位	最低目标	预定目标
光输出	lm	440	> 440
功率	W	< 10	8
灯具光效	lm/W	> 45	56
寿命	小时	50,000	50,000
色温 (CCT)	K	5000	5000
显色指数 (CRI)		70	> 70
功率因数		0.55	> 0.7
最高环境温度	°C	30	40

表 5：设计目标

3. 估算光系统、热系统及电气系统的效率

LED 组件性能

本参考设计基于 Cree 的 MX-6 产品系列。MX-6 LED 根据色温、分档和驱动条件具有多种不同的光效。MX-6 的非定向光输出对于 A19 灯设计非常理想：一个甜筒型柔光罩可以进一步提高照明均匀度，赋予灯一种均匀柔和的照明效果。考虑到总体系统效率和成本，我们的设计采用了 MX-6A 和 MX-6S LED，如图 1 中黄色突出显示。驱动器电流和电压的不同更突显了各组件的优势，并以示例说明了针对特定应用选择组件的重要性。

颜色	色温范围		基本订购代码最小光通量 (lm) @ 350 mA	
	最小	最大	组	通量 (lm)
冷白	5,000 K	8,300 K	Q5	107
			R2	114
			Q4	100
			Q5	107
80- 显色指数白光	3,700K	4,300K	Q2	87.4
			Q3	93.9
	2,600K	3,700K	P4	80.6
			Q2	87.4
暖白	3,700 K	4,300 K	Q3	93.9
			Q4	100
	2,600 K	3,700 K	Q2	87.4
			Q3	93.9

颜色	色温范围		基本订购代码最小光通量 (lm) @ 350 mA	
	最小	最大	组	通量 (lm)
冷白	5,000 K	8,300 K	R3	122
			R4	130
			R2	114
			R3	122
80- 显色指数白光	2,600K	4,300K	Q4	100
			Q5	107
			Q3	93.9
			Q4	100
暖白	3,700 K	4,300 K	Q5	107
			R2	114
	2,600 K	3,700 K	Q4	100
			Q5	107

图 1: MX-6A (左) 和 MX-6S (右) 的分档选项

散热要求

尽管与传统的白炽灯或荧光灯相比，LED 在光效方面具有与生俱来的优势，但高达 75% 的输入功率被转换成了热量。必须将这些热量高效地散发 (传导) 出去，以确保 LED 的流明维持性和可靠性。对于 40 W 等效 A19 改型灯而言，我们估计要耗散的总功率大约 8 W。对于这个功率水平，有许多现有的热解决方案可供选择。在本参考设计中，Cree 选择了一款现有的工艺优良，设计出色的铸铝散热器。⁴ 我们的模拟和实测结果都证实这是该款改型灯的不错选择。

Cree 对输入功率 8W 的 MX-6A 设计的热模拟⁵ 结果表明，焊点温度估计大约 60 °C。这与我们用热电偶在稳态下测得的结果 68 °C 比较一致。图 3 显示了焊点温度的热模拟。图 4 为气流的热模拟，采用 MX-6A A19 灯周围对流的形式。我们没有对两个版本都进行模拟，因为我们预期 MX-6S LED 实现方案的热性能不会有显著的差别。



图 2: 铝散热器

4 散热器来自 How Nice Optoelectronics A19 灯泡，www.haolisi.com/en/3pro.asp
5 Cree 使用了 NIKA EFD Pro 和 Pro Engineering Wildfire
www.mentor.com/products/mechanical/products/floefd/
www.ptc.com/products/creo-elements-pro/



图 3: MX-6 A19 温度热模拟

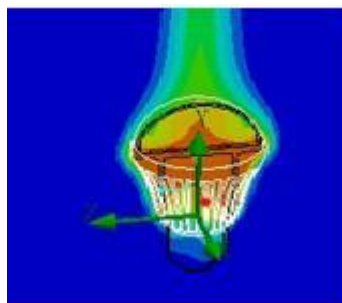


图 4: MX-6 A19 周围气流热模拟

驱动电子元件

为 A19 改型灯选择驱动器时，有个约束条件是需要将驱动器装在 A19 外壳的有限空间内。我们为本 A19 灯设计采用了两种驱动器，一种低电压高电流驱动器用于 MX-6A 灯，另一种低电流高电压驱动器用于 MX-6S 灯。由于 MX-6S LED 的高电压性质，其驱动器预计会有较高的效率。出于安全考虑，我们将设计限制在隔离式电源设计。

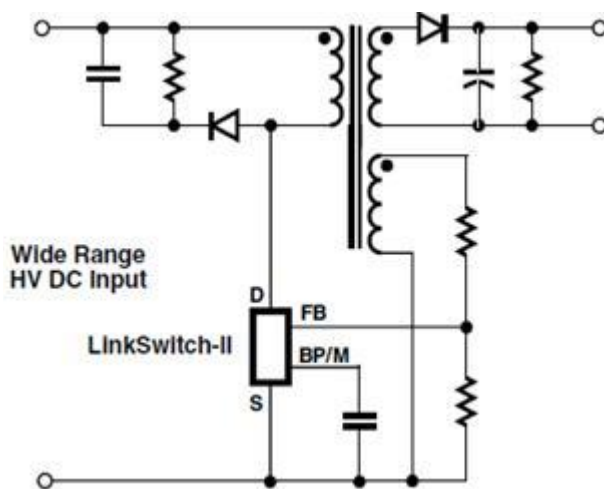


图 5: MX-6 驱动器的常规电路设计

两款电源都使用反激式拓扑设计。两种驱动器的功率因数都在 0.5 以上，且都适合 A19 灯的外形尺寸。

图 6 显示 MX-6S 灯的驱动器比 MX-6A 灯的驱动器略小。

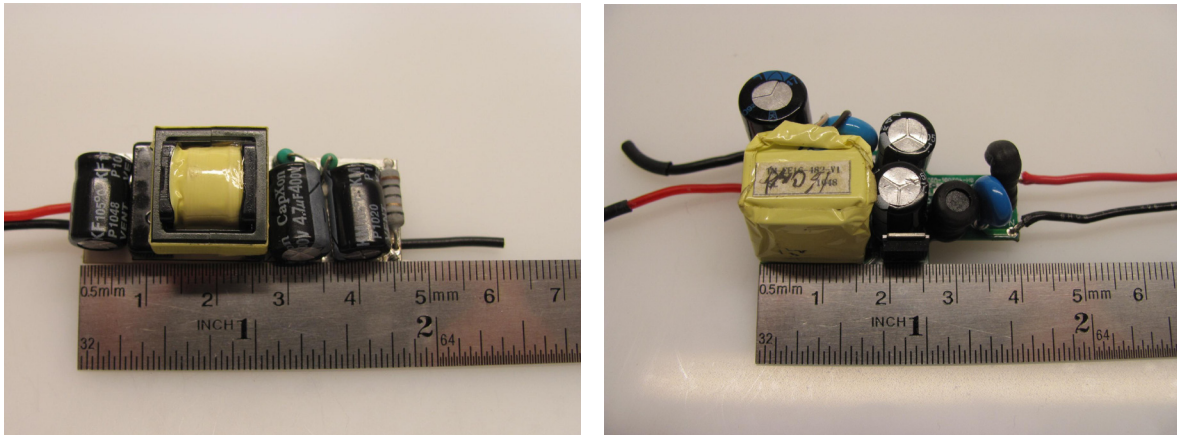


图 6: MX-6A (左) 和 MX-6S (右) 的驱动器

二次光学器件

均匀分布的照明是对基于 LED 的 A19 改型灯的一项关键要求。二次光学器件必须将 LED 发出的光扩射出去，使光均匀一致地分布，产生一种漫射光源的效果而非一个很亮的热点。良好的二次光学器件对亮度和色彩均匀度都很有好处，同时也不会大幅降低光学效率。我们评估的三款圆顶型柔光罩样品的效率都达到了 85%。也就是说，当使用圆顶型柔光罩时，存在 15% 的信号损失。图 7 为 LED 灯中用来获得均匀照明效果的柔光罩示例。



图 7: 柔光罩示例

4. 计算所需的 LED 数量

我们使用了 Cree 的产品参数工具 (PCT)⁶，通过指定诸如光输出之类的参数，以及驱动器和光学效率等限制条件来估计要使用的 LED 数量。由于 MX-6A 和 MX-6S 封装中的不同 LED 排列，我们特别注意从中选择 LED 的分档。我们想要比较两种灯，因为分档条件不同，功率级别也不同。

如图 8 和图 9 中所示，我们为两种 A19 改型灯分别选用了 Q5 通量分档的四只 MX-6A LED (订购代码 MX6ASWT-A1-2B0-Q5)，和 R4 通量分档的四只 MX-6S LED (订购代码 MX6SWT-A1-3C0-R4)。

System: Target Lumens : 450					Optical Efficiency: 85%					Electrical Efficiency: 75%					
Current (A)	LED 1					LED 2					LED 3				
	Model Cree XLamp MX-6 {CW/WW}					Model Cree XLamp MX-6 {CW/WW}					Model (none)				
	Flux Q5 [107] Tsp (°C) 70					Flux Q4 [100] Tsp (°C) 70					Flux Tj (°C) 25				
	Price \$ -					Price \$ -					Price \$ -				
	SYS # LED	SYS lm tot	SYS W	LED Vf		SYS # LED	SYS lm tot	SYS W	LED Vf						
0.100	16	462.3	5.92	2.78		17	459	6.29	2.78						
0.110	15	473.6	6.15	2.8		16	472.2	6.56	2.8						
0.120	14	479.3	6.31	2.82		15	479.9	6.76	2.82						
0.130	13	479.5	6.39	2.83		14	482.6	6.88	2.83						
0.140	12	474	6.39	2.85		13	479.9	6.92	2.85						
0.150	11	463.1	6.32	2.87		12	472.2	6.89	2.87						
0.160	11	491.6	6.78	2.89		11	459.5	6.78	2.89						
0.170	10	472.6	6.59	2.91		11	485.8	7.25	2.91						
0.180	10	498	7.03	2.93		10	465.4	7.03	2.93						
0.190	9	471.1	6.72	2.95		10	489.2	7.46	2.95						
0.200	9	493.7	7.11	2.96		9	461.4	7.11	2.96						
0.210	8	458.7	6.68	2.98		9	482.3	7.51	2.98						
0.220	8	478.5	7.04	3		9	503.1	7.92	3						
0.230	8	498.1	7.4	3.02		8	465.5	7.4	3.02						
0.240	7	453	6.8	3.03		8	483.8	7.77	3.03						
0.250	7	469.9	7.12	3.05		8	501.9	8.14	3.05						
0.260	7	486.7	7.45	3.07		7	454.8	7.45	3.07						
0.270	7	503.3	7.78	3.09		7	470.4	7.78	3.09						
0.280	7	519.8	8.11	3.1		7	485.8	8.11	3.1						
0.290	6	459.6	7.24	3.12		7	501.1	8.44	3.12						
0.300	6	473.7	7.52	3.14		7	516.5	8.78	3.14						
0.350	5	451.4	7.5	3.21		6	506.2	9	3.21						
0.400	5	505.8	8.77	3.29		5	472.7	8.77	3.29						
0.450	5	557.7	10.09	3.36		5	521.2	10.09	3.36						
0.500	4	486	9.15	3.43		4	454.2	9.15	3.43						
0.550	4	523.9	10.25	3.49		4	489.6	10.25	3.49						
0.600	4	559.9	11.37	3.55		4	523.3	11.37	3.55						
0.650	4	594.2	12.52	3.61		4	555.4	12.52	3.61						
0.700	3	469.9	10.25	3.66		4	585.6	13.67	3.66						

图 8: Cree 的 PCT 与 MX-6A 数据

6 Cree 的产品参数工具。http://pct.cree.com/

System: Target Lumens : 450					Optical Efficiency: 85%				Electrical Efficiency: 75%			
Current (A)	LED 1				LED 2				LED 3			
	Model Cree XLamp MX-6S {CW/WW}				Model Cree XLamp MX-6S {CW/WW}				Model (none)			
	Flux R4 [130] Tsp (°C) 70				Flux R3 [122] Tsp (°C) 70				Flux Tj (°C) 25			
	Price \$ -				Price \$ -				Price \$ -			
	SYS # LED	SYS lm tot	SYS W	LED Vf	SYS # LED	SYS lm tot	SYS W	LED Vf				
0.020	13	467.7	5.85	16.86	14	472.7	6.3	16.86				
0.030	9	466.8	6.28	17.44	10	486.7	6.97	17.44				
0.040	7	469.7	6.71	17.98	8	503.8	7.67	17.98				
0.050	6	490	7.4	18.49	6	459.9	7.4	18.49				
0.060	5	477.9	7.59	18.98	6	538.2	9.11	18.98				
0.070	5	544.2	9.07	19.44	5	510.7	9.07	19.44				
0.080	4	485.7	8.47	19.86	4	455.8	8.47	19.86				
0.090	4	533.6	9.73	20.26	4	500.7	9.73	20.26				
0.100	4	578.7	11	20.63	4	543.1	11	20.63				
0.110	3	465.9	9.23	20.97	4	583	12.3	20.97				
0.120	3	496	10.21	21.28	3	465.5	10.21	21.28				
0.130	3	524.2	11.21	21.56	3	491.9	11.21	21.56				
0.140	3	550.5	12.22	21.82	3	516.7	12.22	21.82				
0.150	3	574.9	13.23	22.04	3	539.5	13.23	22.04				
0.160	3	597.6	14.23	22.24	3	560.8	14.23	22.24				
0.170	3	618.3	15.24	22.41	3	580.3	15.24	22.41				

图 9: Cree 的 PCT 与 MX-6S 数据

表 6 显示了为本 A19 参考设计选择的 MX-6 LED 的特征。

组件	分档	光输出	测试电流	测试电流下的 Vf	功率	光效
MX-6A	Q5	107 lm	300 mA	3.3 V	0.99 W	108.7 lm/W
MX-6S	R4	130 lm	60 mA	20 V	1.2 W	108.3 lm/W

表 6: MX-6A 和 MX-6S 特征

由于两种设计具有相同的 LED 数、光效和光辐射型式，因此该设计工作能很好地比较两种不同驱动器设计的效率。结果可以作为总体灯具设计中 MX-6A 和 MX-6S 性能的参考。

5. 考虑所有设计方案

由于市场上可用的 A19 改型设计和部件数量繁多，我们的团队尝试了大量的散热器、光学器件和驱动器解决方案组合，最终选择了 Shenzhen How Nice Optoelectronics Co., Ltd. 的 A19 套件，包括散热器、金属核心印刷电路板 (MCPCB)、E27 螺丝灯头和柔光罩。⁷ 该套件中的柔光罩测得的效率为 85%。二次光学器件效率可达 90%；不过，由于此柔光罩的主要功能是混合光线，消除热点，因此较多的内部混合会造成效率降低。我们相信，此光学效率在本参考设计中是可接受的。我们认为，在定制设计中，光学效率会提高。

7 套件型号 HLS-F60，网址：www.haolisi.com/en/3pro.asp

我们选择了 TXM Power Co. Ltd⁸ 和 Gain High Ltd⁹ 的驱动器。表 7 为两种驱动器的一般技术规格。规格对低电压设计比较简单：电流由 PCT 计算确定，电压大于四只串联 LED 的正向电压。对于高电压设计，我们不将所有四只 MX-6S LED 串联；而是制作两个各由两只 LED 串联而成的灯串，再将两个灯串并联。以此方式连接的 MX-6S LED 的 LED 电压大约为 40V。

驱动器设计	LED	排列	输出电压	输出电流	供应商
高电流低电压	MX-6A	4 只 LED 串联	13.7 V	450 mA	TXM Power Co. Ltd.
高电压低电流	MX-6S	两只 LED 串联组成灯串，然后将灯串并联	38.2 V	165 mA	Gain High Ltd.

表 7：驱动器解决方案

6. 完成最后步骤：实现和分析

上述方法确定了合适的 MX-6 LED、组件和驱动条件组合。本部分描述我们如何装配两款 A19 改型灯，并将它们的性能与我们针对亚洲市场的 40W 等效 A19 改型灯的目标进行对比。本部分还包含两种参考设计的驱动方案比较。

原型制作详情

1. 我们核对了组件的尺寸，以确保能正确装配。
2. 按照对 XLamp MX 系列 LED¹⁰ 的建议，我们利用合适的焊膏和回流温度，将 LED 回流焊接到 MCPCB，并用异丙醇清除了焊剂残留物。
3. 将一薄层散热膏涂到 MCPCB 的背面，并用提供的螺丝将 MCPCB 固定到散热器上。
4. 将驱动器插入到灯外壳，并将 DC 输出线通过通孔穿入，再焊接到 MCPCB 上对应的端接焊盘。
5. 将驱动器输入线焊接到 E27 灯头线的电源接头。给 E27 灯头通电并检查 LED 是否点亮，来测试连接是否正常。
6. 功能检查之后，装上灯外壳和 E27 灯头。此套件使用了卡入式设计。其他套件设计可能不同。
7. 拧上柔光罩盖。
8. 执行最终测试。

8 TXM Power Co. Ltd. <http://www.ledpower.com.cn>
9 Gain High Ltd. <http://www.gainhigh.com>
10 “Cree XLamp MX 系列焊接和处理”，http://www.cree.com/products/pdf/XLampMX_SolderingAndHandling.pdf

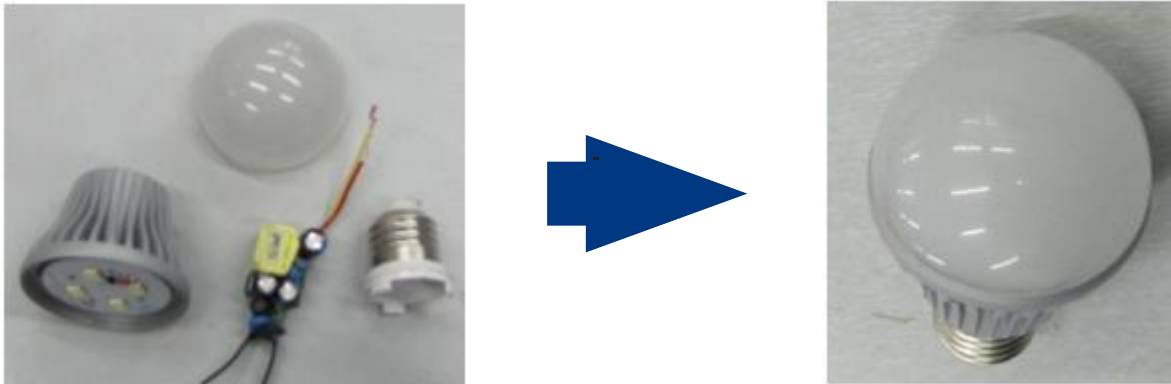


图 10: 组件装配成 A19 改型灯

结果

热结果

Cree 验证了散热器的散热性能与模拟一致。如图 11 中所示，一个热电偶用 Arctic Silver 导热环氧树脂固定到 LED 以测量焊点温度。如图 12 中所示，稳态焊点温度为 68°C ，证明散热外壳足以满足设计要求。图 13 中所示的灯在稳态下的红外热像也确认了温度在设计估计值以内。



图 11: 装到 MX-6 LED 的热电偶



图 12: MX-6 A19 焊点温度测量

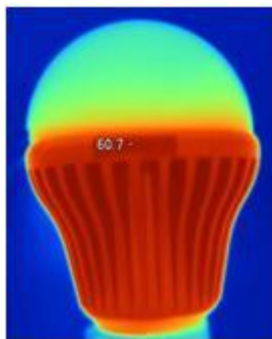


图 13: MX-6 A19 灯的稳态红外热像

基于测得的焊点温度 (T_{sp})、LED 的工作功率以及 MX-6 LED 的典型热阻 $5\text{ }^{\circ}\text{C/W}$ ，计算得出结温 (T_j) 为 $78\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

$$T_j = T_{sp} + (\text{LED 功率} \times \text{LED 热阻})$$

$$T_j = 68\text{ }^{\circ}\text{C} + 2\text{ W} \times 5\text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

$$T_j = 78\text{ }^{\circ}\text{C}$$

根据 Cree 对 MX-6 LED 的 LM-80 测试，并使用行业标准的外推法，Cree 预计本 A19 灯可达到至少 50,000 小时的使用寿命。¹¹

视觉性能

图 14 绘制了 MX-6 “甜筒型” 改型灯在 0 到 150 度区域内的光照分布，连同典型的紧凑荧光灯 (CFL) 和白炽灯的分布。根据设计，“甜筒型” 灯比全向 CFL 和白炽灯具有更好的“直射”性。图 14 中的光照分布曲线还表明其在视角范围内的变化均匀平缓，使被照表面光线均匀。分布的全宽半中值 (FWHM) 大约为 140 度。我们相信，这对于在许多天花板灯具应用中上下颠倒安装的灯是可接受的，在这种场合下，天花板的照明不是关键要求。此设计还能提供均匀的色彩分布，如图 15 中的色温分布图和图 16 中的照片所示。总而言之，本设计能满足其光学要求目标。

¹¹ 在工作 50000 小时后，在设计优良系统中，LED 仍然至少能提供其初始光通量的 70%。

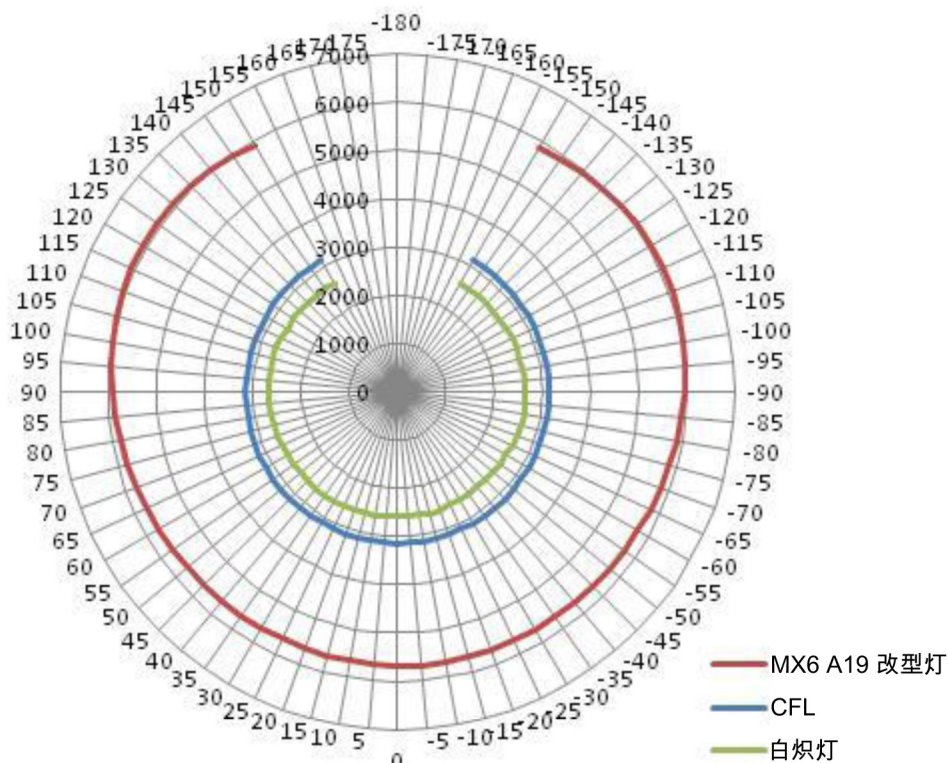
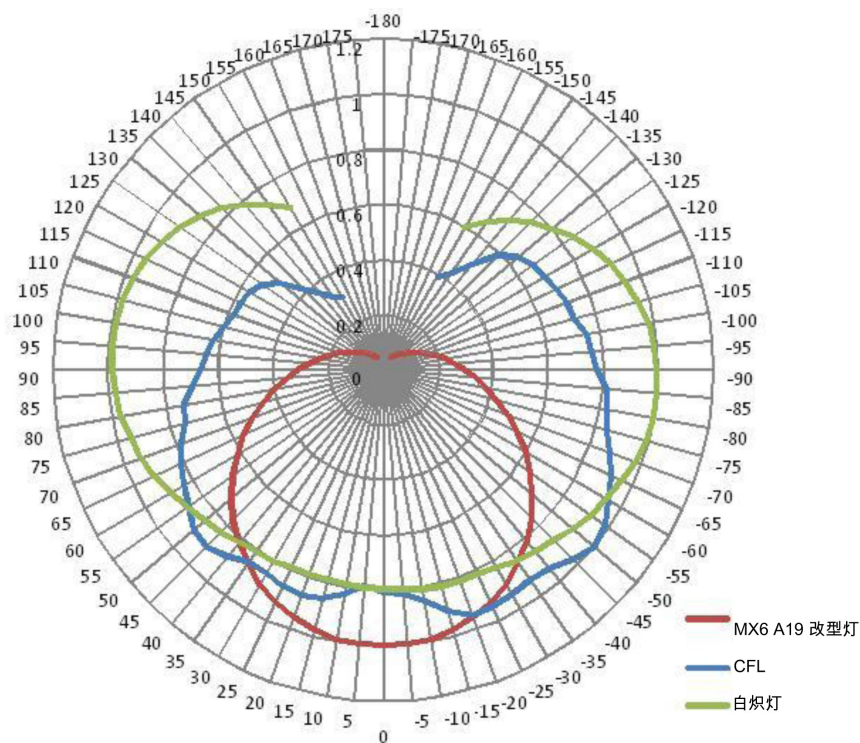




图 16: 白色墙壁背景上的 MX-6 A19 改型灯照明效果

光学结果:

Cree 在一个直径 500-mm 的积分球内测试了这两种设计的流明输出。¹² 我们等待了十分钟让灯到达稳态, 然后进行测量。表 8 为测试结果汇总。我们注意到, MX-6A 灯的光输出略低于 450 流明的目标值, 尽管装置在瞬时通电测量时达到了 450 流明。改进散热器设计可以减少由于温度升高导致的流明输出降低。另一种解决方案是将输出电流提高到 485 mA; 不过, 由于在设计中使用新的驱动器需要时间, 我们并未采用此选项, 因为 MX-6S 设计已能满足光输出要求。导致这个不足的另一个原因是, 实际的柔光罩效率为 85%, 而非 PCT 估计中的 90%。

¹² 在位于加州圣巴巴拉的 Cree 设施中的一个积分球内测得。

特征	单位	MA-6A	MA-6S
光输出 (10 分钟准时)	lm	410	451
电流	mA	462	165
功率	W	8.6	7.9
光效	lm/W	47.7	57
色温 (CCT)	K	5951	4922
寿命	小时	50,000	50,000
显色指数 (CRI)		71.4	68.9

表 8: MX-6 A19 改型灯光学结果

与 MX-6A 灯相比，MX-6S 在光输出、电流和光效方面具有优势。另外，高电压 MX-6S 灯可以使用尺寸更小、效率更高的驱动器。

PCT 数据中并未反映出使用 MX-6S LED 的全部优点。在《LEDs Magazine》2011 年 2 月刊的一篇文章中，National Semiconductor 的 Matthew Reynolds 指出，使用高压 LED 可使驱动器电子元件的工作温度降低，从而可能使驱动器更高效和更可靠。¹³ 在图 17 的 PCT 分析中，驱动器效率从 80% 到 86% 提高 6%，使得光效也同样提高 6%。

改进机会

我们对 MX-6S A19 改型灯的一项可能改进的结果进行了评估。PCT 配置为使用从该 MX-6S 灯测得的数据：目标流明 450，85% 光学效率，80% 电气效率，T_{sp} 为 68°C。通过使用 MX-6A 灯 8.6W 的功率水平，以利用 MX-6S LED 的可用“多余”功率，我们推测流明输出可达 525，提高了 7%，同时保持 CCT 和 A19 外形尺寸不变。

图 17 是使用暖白 MX-6S LED 以获得比设计中所用冷白 LED 更暖 CCT 的结果评估。该图提供了 Q5 和 Q4 通量分档的暖白 LED 的数据，与设计中所用冷白 LED 的数据进行对比。再次将 PCT 配置为使用从该 MX-6S 灯测得的数据：目标流明 450，85% 光学效率，80% 电气效率，T_{sp} 为 68 °C。数据表明，要达到 450 流明，需要 10W 以上的功率。驱动电流对于 Q5 LED 必须提高到 100 mA，对于 Q4 LED 必须提高到 110 mA。暖白 LED 较高的 T_{sp} 反映了较高功率水平的一个结果。在此功率水平，Q4 LED 光效值降到 40 lm/W，低于此设计的目标值，但如果色温比光效重要，这可能也是可接受的。

13 Reynolds, Matthew, “High LED Drive Currents with Low Stack Voltages Creat Efficiency Challenges” (高 LED 驱动电流与低堆栈电压产生效率挑战), 《LEDs Magazine》, 2011 年 2 月, 53-59 页。

System: Target Lumens : 450					Optical Efficiency: 85%				Electrical Efficiency: 80%			
Current (A)	LED 1				LED 2				LED 3			
	Model Cree XLamp MX-6S {CW/WW} x2				Model Cree XLamp MX-6S {CW/WW} x2				Model Cree XLamp MX-6S {CW/WW} x2			
	Flux R4 [130] Tsp (°C) 68				Flux Q5 [107] Tsp (°C) 80				Flux Q4 [100] Tsp (°C) 85			
	Price \$ -				Price \$ -				Price \$ -			
	SYS # LED	SYS lm tot	SYS W	SYS lm/W	SYS # LED	SYS lm tot	SYS W	SYS lm/W	SYS # LED	SYS lm tot	SYS W	SYS lm/W
0.020	14	506.7	5.92	85.6	16	459.5	6.67	68.9	18	475.6	7.45	63.8
0.030	10	521.8	6.55	79.6	12	496.7	7.76	64	12	457	7.71	59.3
0.040	8	540.1	7.21	74.9	10	535.5	8.89	60.2	10	492.6	8.84	55.7
0.050	6	493	6.95	70.9	8	521.4	9.15	57	8	479.6	9.1	52.7
0.060	6	577	8.56	67.4	6	457.6	8.45	54.2	8	561.3	11.21	50.1
0.070	6	657	10.22	64.3	6	521	10.1	51.6	6	479.2	10.05	47.7
0.080	4	488.7	7.96	61.4	6	581.2	11.8	49.3	6	534.5	11.74	45.5
0.090	4	536.9	9.14	58.8	6	638.4	13.54	47.1	6	587.1	13.47	43.6
0.100	4	582.3	10.33	56.3	4	461.5	10.21	45.2	6	636.6	15.25	41.8
0.110	4	625.1	11.55	54.1	4	495.4	11.42	43.4	4	455.5	11.37	40.1
0.120	4	665.5	12.79	52	4	527.3	12.65	41.7	4	484.8	12.59	38.5
0.130	4	703.3	14.04	50.1	4	557.2	13.89	40.1	4	512.3	13.82	37.1
0.140	4	738.7	15.3	48.3	4	585.1	15.13	38.7	4	537.9	15.06	35.7
0.150	4	771.4	16.56	46.6	4	610.9	16.38	37.3	4	561.6	16.31	34.4
0.160	4	801.9	17.82	45	4	635	17.63	36	4	583.7	17.55	33.3
0.170	4	829.7	19.08	43.5	4	656.9	18.88	34.8	4	603.8	18.79	32.1

图 17: 暖白 MX-6S LED 的 PCT 数据

驱动器电路比较

在本参考设计中，我们为 MX-6 LED 使用了两种驱动器电路设计。表 9 为结果汇总。它们都是原边反馈反激设计，电流精度和固有损失非常类似。运行 MX-6S 驱动器所需的功率比 MX-6A 驱动器的小约 9%，如效率差别中所示。与 MX-6S 设计相比，MX-6A 驱动器设计中存在两项主要损失：电压降大，电流损失高。较大的电压差可以看作与变压器转换效率相似：差异越大，损失就越大。对于高电流损失，输出功率损失可以简单地表示为：

$$P_{\text{loss}} = I^2 \times R$$

其中 R = 总内阻
 I = 输出电流

当输出电流增加时，功率损失也增加。这是对效率差别的简单解释，也是研制高电压版本 MX-6 组件的原因，即为了有机会优化其他系统组件，以提高系统总效率。

特征	4 只 MX-6A LED 串联	4 只 MX-6S LED，两两串联， 然后两个灯串并联
输入电压	220 VAC	220 VAC
输入功率	8.6 W	7.9 W
输出电流	462 mA	165 mA
输出电压	13.7 V	38.2 V
功率因数	0.58	0.55
效率	73.6%	79.8%
电流纹波	38%	12%

表 9: MX-6A 和 MX-6S LED 驱动器结果比较

结论

在本参考设计中，我们实现了用 Cree XLamp MX-6A 和 MX-6S 高功率 LED 设计一款针对亚洲市场的 40W 等效 A19 改型灯的目标。通过使用四只 MX-6A 和 MX-6S LED，“甜筒型”灯能达到与传统 A19 白炽灯相当的性能，但功耗节省 80%，且使用寿命超过 50,000 小时。

我们的测试表明本设计中所用的组件能满足我们的大部分要求，且为参考设计提供合理的性能。通过应用资源来优化各光学、热和电气组件，可以全面改进设计。而且，MX-6A 和 MX-6S A19 灯的比较表明，MX-6S LED 可以减少其他系统组件的限制，从而进一步提高系统效率。这是一个提供改进机会以达到更高性能水平的设计实例。