

LED 灯具设计指南



目录

简介	1
设计方法	2
灯具还是灯?	2
针对现有灯具的设计方法	2
灯的概念可能过时了	3
设计流程	4
1. 确定照明要求	4
2. 确定设计目标	6
3. 估算光系统、热系统及电气系统的效率	6
5. 考虑所有设计方案并从中选出最佳的一个	12
6. 最后步骤	17
如何获取帮助	18

简介

本应用说明为将高功率 LED 设计到灯具中的流程提供了一些指导原则。本文档使用一款室内灯具设计作为示例，不过所述的流程可应用于任何 LED 灯具的设计。

照明级 LED 如今可以提供普通照明所需要的亮度、光效、寿命、色温以及白点稳定性。因此，绝大多数普通照明应用设计中都采用这类 LED，包括道路、停车场和室内定向照明。在这些应用中，由于无需维护（因为 LED 的寿命要比传统灯长得多）且能耗成本降低，所以基于 LED 的灯具降低了总拥有成本 (TCO)。

全世界有 200 亿以上的灯具使用白炽灯、卤素灯或荧光灯。其中许多灯具用于定向照明，但都是采用在所有方向发光的灯。美国能源部 (DOE) 认为，在新住宅建筑中，嵌入式筒灯是安装最普遍的灯具类型。¹ 另外，DOE 报告称，使用非反射灯的筒灯通常效率只有 50%，就是说，这类灯所产生的光有一半都浪费在灯具内了。

¹ 美国能源部，能源效率和可再生能源。LED 应用系列：嵌入式筒灯

相反，照明级 LED 可提供至少长达 50,000 小时的高效、定向照明。利用照明级 LED 的所有优点设计的室内灯具能够：

- 超过任何白炽灯和卤素灯的光效
- 与最好的 CFL (紧凑荧光) 嵌入式筒灯的性能相媲美
- 与这些灯具相比，需要维护前的寿命要长五到五十倍
- 减少光对环境的影响：不含汞、电站污染减小，垃圾填埋费用降低

设计方法

灯具还是灯？

在普通照明中设计 LED 需要在两种方法间作出选择，是设计基于 LED 的完整灯具，还是设计安装到现有灯具的基于 LED 的灯。通常，一个完整的灯具设计，其光学、热和电气性能要优于改型灯，因为现有灯具不会约束设计。对于目标应用，到底是新灯具的总体系统性能重要，还是改型灯的便利性更重要，这要由设计人员来决定。

针对现有灯具的设计方法

如果目标应用采用构造新型 LED 灯具更好，那么设计灯具的光输出，使其达到或超过现有灯具就有多个优点。首先，现有设计已针对目标应用进行了优化，可以在围绕有关光输出、成本和工作环境确定设计目标时提供指导。其次，现有设计的外形尺寸已经得到认可。如果外形尺寸相同，终端用户转用 LED 灯具更容易一些。

遗憾的是，有些 LED 灯具制造商误报或夸大了 LED 灯具的光效和寿命特性。在 CFL 替换灯泡的早期数年，照明业也遇到了类似问题。行业标准的缺乏，以及早期产品质量的极不稳定，使得 CFL 技术的采用被推迟了许多年。美国能源部意识到，早期 LED 灯具也可能存在同样的标准和质量问题，这些问题可能会以类似的方式推迟 LED 照明的采用。为此，美国能源部发布了 DOE SSL 商用产品测试计划 (CPTP)，对 LED 灯具制造商声称的指标进行测试。该计划以匿名方式测试 LED 灯具的以下四个特征：

- 灯具光输出 (流明)
- 灯具光效 (流明/瓦)
- 相关色温 (开氏度)
- 显色指数

DOE 的 CPTP 将关注重点放在了灯具的可用光输出上，而非仅仅光源的光输出上，这为 LED 灯具设计树立了一个良好的先例。

灯的概念可能过时了

LED 灯使用寿命很长，这可能使灯的概念变得过时了。照明级 LED 不会像电灯泡那样出现灾难性失效。相反，在逐渐退化到其初始光输出的 70% 以下之前（也称为流明维持），它们具有至少 50,000 小时的使用寿命，也就是说连续点亮 5.7 年！

不过，在大多数照明场合下，灯是有规律熄灭的。这一熄灭期足足可以将 LED 的使用寿命延长到 30 年以上，如（右侧）图表 1 中所示。在经过 LED 灯具“烧坏”所需的这么些年后，那时的 LED 照明技术将更亮、效率更高，而且 TCO 比早期 LED 灯具更省。

请记住，LED 灯具的这 50,000 小时使用寿命避免了多少环境影响：

- 送到填埋场的白炽灯泡至少减少 25 倍，并且耗能要少五倍。（在美国，大约 50% 的电力来自燃煤，而煤的燃烧会向空气排放汞）
- 或者，被送去处理的含汞 CFL 灯泡至少减少 5 倍。

如前面提到的，免维护是 LED 灯具的一个重要优点。所以，设计 LED 灯具，使其使用寿命最长并节省 TCO，是克服 LED 灯具初期成本较高这个障碍的极佳策略。

设计流程

下面表 1 列出了将高功率 LED 设计到灯具中的一般流程。本文的其余部分依次讨论这些设计步骤。为了更好地说明这些设计概念，本文给出了一个 LED 灯具替换 23 W CFL 筒灯的计算实例。不仅对本例，本设计流程对于所有类型的灯具都可重复使用。



图表 1: 50,000 小时的实际含义

步骤	解释
1. 确定照明要求	<ul style="list-style-type: none"> • 设计目标应当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	<ul style="list-style-type: none"> • 根据应用的照明要求明确设计目标。 • 设计人员应明确其它任何会对设计造成影响的目标，比如特殊光学要求，或者耐高温的能力。
3. 估算光系统、热系统及电气系统的效率	<ul style="list-style-type: none"> • 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。

步骤	解释
4. 计算所需的 LED 数量	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 采用任何设计，都有许多不同方法可最优地实现设计目标。 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于 LED 照明设计。
6. 完成最后步骤	<ul style="list-style-type: none"> 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: 将高功率 LED 设计到灯具中的流程

1. 确定照明要求

LED 灯具必须达到或超过目标应用的照明要求。所以，在制定设计目标之前，必须确定照明要求。对于某些应用，有现成的照明标准可用来直接确定要求。对于其他应用，确定现有灯具的特征是一个好方法。

表 2 (右) 列出了确定现有灯具的特征时要考虑的重要特征。光输出和功率特征始终很关键，而根据应用的不同，其他特征可能重要，也可能不重要。

所有照明公司都能提供数据文件或文档，详细给出其各种灯具的“关键”特征。“潜在重要”的特征更主观些，或者可能不会列在制造商的文档中。在这种情况下，由设计人员自行确定现有灯具的特征。

重要性	特征	单位
关键	光通量	流明 (lm)
	照度分布	尺烛光 (fc)
	电功率	瓦 (W)
潜在重要	灯具美学	
	价格	
	寿命	小时
	工作温度	°C
	工作湿度	% RH (相对湿度)
	色温	K
	显色指数 (CRI)	
	可制造性	
	安装容易度	
	外形尺寸	

表 2: 目标灯具的重要特征

图 1 (如下) 说明了示例 CFL 筒灯的关键特征。表 3 给出了现有灯具的完整特征。



图 1: 示例 CFL 筒灯的关键特征

部件	特征	单位	值
灯	技术		CFL
	光输出	lm	1,500
	功率	W	23
	光效	lm/W	65
	寿命	小时	10,000
	平均销售价格		6 美元
灯具	利用率 (CU)	%	54
	光输出	lm	810
	功率 (不计镇流器)	W	23
	光效	lm/W	35
	平均销售价格 (ASP)		20 美元

表 3: 示例 CFL 筒灯特征

2. 确定设计目标

确定了照明要求后，就能设定 LED 灯具的设计目标了。与确定照明要求时一样，关键设计目标将与光输出和功耗有关。请确保包含对于目标应用也可能重要的其他设计目标，包括工作环境、材料清单 (BOM) 成本和寿命。

表 4 (如下) 列出了示例 LED 灯具的设计目标。

特征	单位	目标	说明
光输出	lm	810	
照度分布	fc		与目标形状相同；照度相当或更高
功率 (不计驱动器)	W	23	
光效	lm/W	35	
寿命	小时	50,000	
色温 (CCT)	K	4,000	
显色指数 (CRI)		75	
圆形开口	in	6	
最高环境温度	°C	55	带通风天花板的商业建筑
大批量生产 BOM 成本		50 美元	

表 4: CFL 筒灯替换灯具的设计目标

3. 估算光系统、热系统及电气系统的效率

设计流程中的其中一个最重要的参数是满足设计目标所需的 LED 数量。其他的设计决策都是围绕着 LED 数量展开，因为它直接影响光输出、功耗以及灯具的成本。

查看 LED 数据表中列出的典型光通量，用该数除以设计目标流明，这种方法很诱人。然而，此方法过于简化，依此设计将满足不了应用的照明要求。

LED 的光通量取决于许多因素，包括驱动电流和结温。要准确计算所需要的 LED 数量，必须首先估计光学系统、热系统和电气系统的低效率。个人以前在原型设计方面的经验，或者本文档中提供的示例数量，都能作为估计这些损失的指导。本节介绍了估计这些系统损失的流程。

光学系统效率

光学系统效率通过检查光损来估计。要估计的光损有两个主要来源：

1. 二次光学器件

二次光学器件是所有不属于 LED 本身的光学系统，例如放在 LED 上的透镜或柔光罩。与二次光学器件关联的损失根据所用特定元件的不同而变化。通过各个二次光学元件的典型光学效率在 85% 到 90% 之间。

2. 灯具内的光损失

当光源发出的光线到达目标之前先打到灯具外壳上时，就发生了灯具光损失。一些光被灯具外壳吸收，而一些光反射回灯具内。灯具的效率取决于光源的布置、灯具外壳的形状以及灯具外壳所用的材料。如表 2 (见下) 所示，LED 光具有方向性，使得灯具效率要大大高于全向光源的效率。

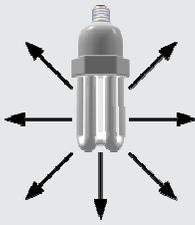
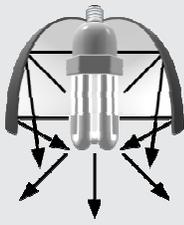
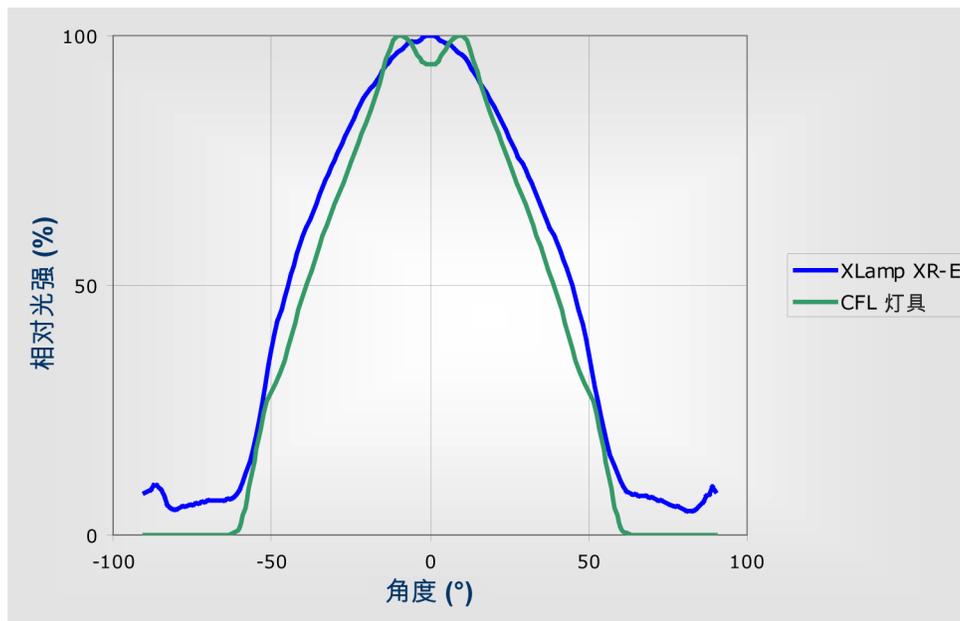
光源	光源光效	利用率	灯具光效
CFL	 65 lm/W	 54%	35 lm/W
XLamp XR-E 中性白	 58 lm/W	 77%	44 lm/W

表 2 - CFL 和 LED 利用率比较



图表 2: CFL 灯具和 XLamp XR-E LED 的光输出与角度

对于示例灯具，如果灯具需要二次光学器件，则只有二次光学器件损失。二次光学器件的主要目的是改变 LED 的光输出型式。图表 2 (见上) 将 Cree XLamp XR-E LED 的光束角与目标灯具的光输出型式进行了比较。裸 LED 的光束角与目标灯具的非常相似，所以不需要二次光学器件。所以，对于本示例灯具，不存在二次光学器件引起的光学损失。

要计算 CFL 示例的灯具损失，我们假定灯具反光杯的反射率为 85%，60% 的光将打到反光杯上。所以，光学效率将为：

$$\text{光学效率} = (100\% \times 40\%) + (85\% \times 60\%)$$

$$\text{光学效率} = 91\%$$

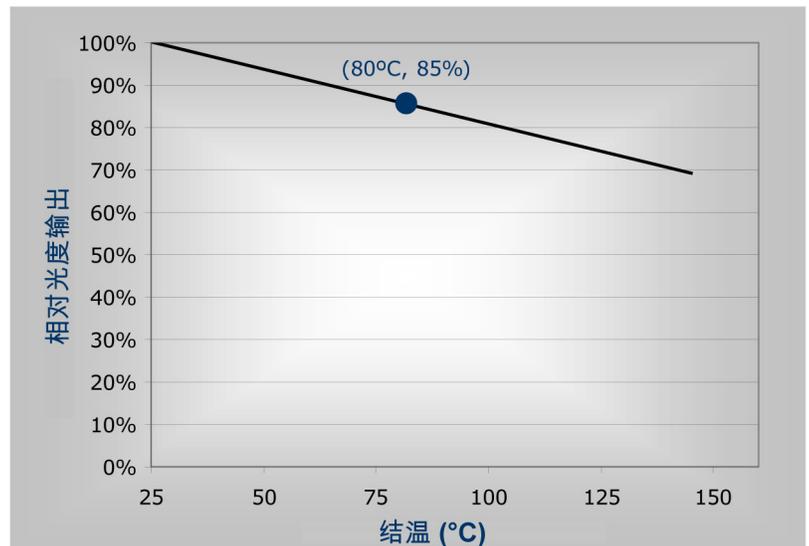
热损失

随着结温 (Tj) 升高，LED 的相对通量输出将降低。大多数 LED 数据表都列出了 Tj = 25°C 时的典型光通量值，而大多数 LED 应用都使用更高的结温。当结温 Tj > 25°C 时，光通量肯定比 LED 数据表上所列的值差。

LED 数据表包含一个图表，它显示了相对光输出与结温之间的关系，例如图表 3 (右) 中显示的 XLamp XR-E 白光 LED。通过选择特定的相对光输出或特定的结温，该图可显示其他特征的值。

对于 CFL 示例，此灯具仅是针对带有通风天花板的商业建筑设计的。根据所列的设计目标，本设计将把光输出、光效和使用寿命放在优先位置。

在 LED 结温不超过 80°C 的情况下，在使用 50,000 小时后，XLamp XR-E LED 额定提供平均 70% 的流明维持率。所以，CFL 示例的相应最高结温为 80°C。这对应 85% 的最小相对光通量，如图表 3 中所示。该 85% 的相对光通量是本示例灯具的热功效估计值。



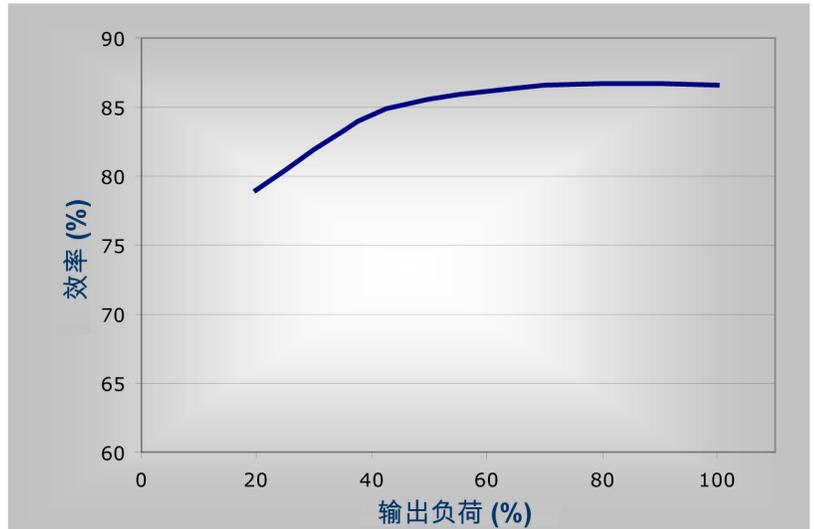
图表 3: XLamp XR-E 白光 LED 的相对光强与结温曲线示例图

电气损失

LED 驱动电子元器件将可用电源（例如墙壁插座交流电或电池）转换成稳定的电流源。这一过程与所有电源一样，效率不会达到 100%。驱动器中的电气损失由于将输入功率浪费在发热上，而非转换成光，而降低了总体灯具光效。在开始设计 LED 系统时，就应考虑到电气损失。

典型 LED 驱动器的效率在 80% 到 90% 之间。效率高于 90% 的驱动器，其成本将要高得多。请注意，驱动器效率可能会随输出负荷而变化，如图表 4 中所示（右）。应指定驱动器在 50% 以上输出负荷下工作，以使效率最高，并使成本最低。

对于室内应用，87% 是驱动器效率较准确的估计值。用于室外或使用寿命长的驱动器，效率可能要低一些。



图表 4: LED 驱动器的效率与负荷示例图

下面表 5 概括了示例灯具的光学、热和电气系统的效率。

系统	效率	类型
光学	91%	光
热	85%	光
电气	87%	功率

表 5: 示例 CFL 替换灯效率概括

4. 计算所需的 LED 数量

实际所需流明

在所有系统效率估算好之后，就可以计算要达到设计目标需要的实际 LED 流明数。对于本计算，只用到光效率（光学和热）。电气效率只影响总功耗和灯具光效，而不影响灯具的光输出量。本示例灯具“实际所需流明”的计算如下：

$$\text{实际所需流明} = \text{目标流明} / (\text{光学效率} \times \text{热效率})$$

$$\text{实际所需流明} = 810 / (91\% \times 85\%)$$

$$\text{实际所需流明} = 1,050 \text{ lm}$$

工作电流

另一个需要确定的是 LED 的工作电流。工作电流在确定 LED 灯具的光效和寿命时很重要。提高工作电流会使各 LED 光输出变大，从而减少所需 LED 的数量。不过，提高工作电流同时也有一些缺点，如表 6 (见下) 中所示。根据应用的不同，考虑到每个 LED 的流明输出更高，这些缺点也许可以接受。

对于本示例灯具，使用寿命和光效是最优先考虑的设计目标。该灯具将在 XLamp XR-E 数据表中所列的最小工作电流 (350mA) 下工作，以最大限度提高 LED 光效并延长使用寿命。

缺点	解释
光效降低	工作电流提高会降低功率型 LED 的光效。通常，电源的尺寸将随工作电流的提高而增大，因为产生相同的流明数需要的功率更大。
最高环境温度降低 或者 寿命缩短	<p>电流提高将增加 LED 结和 LED 热路径之间的温差。实际上，由于最大结温已确定，这会降低灯具的最高环境温度。</p> <p>反之，如果不降低最高环境温度，而是升高最高结温，则在 LED 的使用寿命期间，光输出下降速度会更快。</p>

表 6: LED 灯具高工作电流的缺点

LED 数量

在确定了工作电流之后，就可以计算各 LED 的流明输出了。由于在实际所需流明的计算中已考虑了 LED 的热损失，因此可以直接使用 LED 供应商文档中指定的数量，不再作进一步解释。

对于本计算，应使用 LED 订购代码所列的最小通量，而不是数据表上给出的典型数。大多数 LED 公司根据最小通量范围销售。按照此最小数进行设计，就可确保所有用该 LED 订购代码制造的灯具都能满足目标要求。

本示例灯具将使用 4000-K 色温的 XLamp XR-E LED，350 mA 时的最小光通量为 67.2 (P2 通量分档)。LED 数量计算如下。

$$\text{LED 数量} = \text{实际所需流明} / \text{每个 LED 流明数}$$

$$\text{LED 数量} = 1,050 \text{ lm} / 67.2 \text{ lm}$$

$$\text{LED 数量} = 16 \text{ 只 LED}$$

5. 考虑所有设计方案并从中选出最佳的一个

在计算好 LED 数量之后，考虑满足设计目标的所有设计可能。由于每只 LED 都是一个小光源，且使用寿命比传统光源长得多，因此可以采用新型和非常规设计元素将 LED 集成到灯具中。设计人员可以充分利用 LED 光的定向性和大量可用的二次光学器件来构造原始设计。

同时，请记住有许多不同的规定约束着设计的选择。提供适用于 LED 灯具的全世界标准的完整列表超出了本文档的范围，不过，下面表 7 给出了世界上某些地区所适用规定的例子。

本节的其余部分对本示例 LED 灯具的各系统的三个设计选项进行说明：光学系统、热系统和电气系统。对于每个系统，都给出了最佳选项的选择指南。

标准类型	照明标准示例
EMI (电磁干扰)	<ul style="list-style-type: none"> FCC CFR Title 47 Part 15 EN61000 EN55015
安全性	<ul style="list-style-type: none"> UL 1310, 2 类 UL 48
效率	<ul style="list-style-type: none"> California Title 24, Part 6, 加利福尼亚法规汇编: 加利福尼亚住宅和非住宅建筑的能源效率标准

表 7: 关于 LED 照明的标准示例

光学系统选项

1. 裸 LED 和现有灯反光杯

如之前所讨论，现有 CFL 灯具的光束角和 LED 非常相似。因此，一个可用的选项是不使用二次光学器件。此选项可使系统的成本最低，并且光学损失最小。由于使用较少的组件和较少的人工，因此灯具的组装更简单，且费用更低。

缺点是会出现多光源阴影效应，下页将对此予以解释。而且，如果 LED 的光分布与目标灯具的分布显著不同，就不能采用此方法。

2. 带有二次光学器件的 LED 和现有灯反光杯

二次光学器件是除 LED 的初级光学器件之外附加的光学元件，用来对 LED 的光输出进行整形。二次光学器件的一般类型是反射（光在表面发生反射）或折射（光在折射材料中发生弯曲，通常是玻璃或塑料）。二次光学器件可以通过购买标准件、现成的零件，或者用光源模型通过光线跟踪模拟来设计定制。

每个 LED 使用一个二次光学器件，各 LED 的光束角可以定制，从而提供所需的准确光输出型式。例如，可以缩小每个 LED 的光束角，以使得灯具针对局部照明进行优化，而非针对普通照明优化。

此方法有几个缺点。首先，因为增加了组件并且组装较复杂，灯具的成本较高。其次，由于光学器件连接到各 LED 上，可能仍然存在多光源阴影。最后，二次光学器件会降低光学系统的功效。

3. 裸 LED、现有灯反光杯和柔光罩

不是每只 LED 使用一个光学器件，而是整个 LED 阵列使用一个柔光罩来扩散光线。此方法的优点是光束角比裸 LED 能达到的光束角更宽，并能消除多光源阴影效应。

选项 2 的缺点是成本更高，且光学系统的功效降低。如果光分布必须比裸 LED 窄，也不能选择这种方法，因为柔光罩只能扩散光，不能聚焦光。

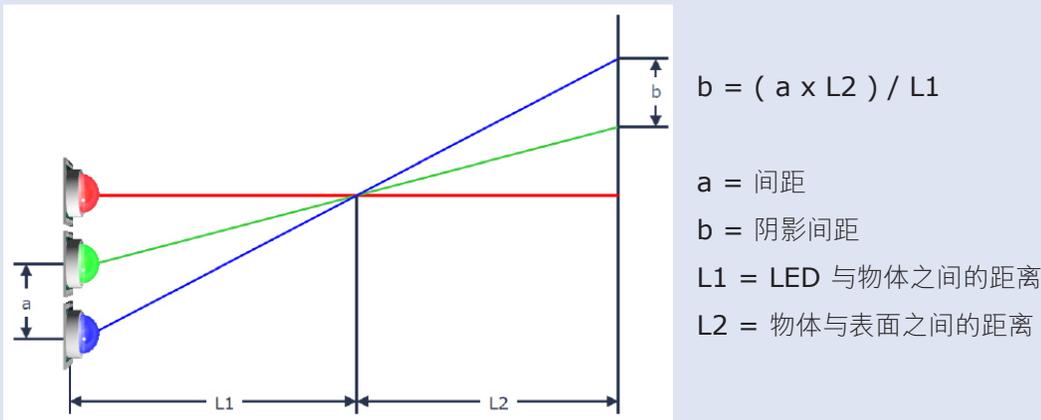
照度分布、多光源阴影效应和美观度通常决定了光学系统的选择。如果光输出必须比裸 LED 的窄，就只能选择选项 2。否则，选项 1 在成本、光效和亮度方面更优。不过，选项 1 和 2 都有多光源阴影效应。

另外，对选项 1 和 2 这两个方案，用户在抬头看时，都会发现单个的 LED。而选项 3，用户只看到一个柔和、均匀的光源。

多光源阴影效应

多光源阴影效应是当物体放在多个光源之间时，表面会产生多个阴影的现象。大多数人都见过浴室水池上方安装的多个灯泡。如果注意到身后墙壁上出现多个自己的影子，这就是多光源阴影效应。

相距很近的 LED 产生多个相距很近的阴影。这些相距很近的阴影的出现可能不是目标应用所希望看到的。设计人员需要确定多阴影效应对目标应用的重要性有多大，增加柔光罩以减小此效应而带来额外的光学损失是否值得。



热系统选项

1. 现有灯具外壳

成本最低的选项是重复使用现有设计的灯具外壳，将其作为 LED 灯具的外壳和散热器。

新灯具设计显然不能选择这一选项。而且，大多数现有外壳是钢制的，热导性差。通常，钢制外壳不适合于作为散热器。

2. 现成的散热器

另一个选项是购买现成的散热器。这种现成的散热器设计经过验证，制造商有完整的规范。

不过，其性能、尺寸或形状可能没有针对目标应用进行优化。

3. 定制散热器

定制解决方案为应用提供了优化散热器的最佳机会，但有几个缺点。

此选项需要设计人员借助于热模拟软件，或借助于具有热设计经验的第三方。加工和制造费可能使定制散热器的单位成本高于现成设计的成本。

目标灯具成本、可用散热器开发时间以及目标最高环境温度常常决定了热系统的选择。通常，在降低成本比最高环境温度更重要的情况下，选项 2 更好。如果最高环境温度更重要（例如，室外照明或者无空调空间的室内照明），选项 3 更好。

示例 LED 灯具将使用热阻为 $0.47^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 的现成散热器。使用这个散热器热阻值，可用以下公式计算出最高环境温度：

$$T_j = T_a + (R_{th\ b-a} \times P_{total}) + (R_{th\ j-sp} \times P_{LED})$$

- T_j = LED 结温
- T_a = 环境温度
- $R_{th\ b-a}$ = 散热器的热阻
- P_{LED} = 单只 LED 功耗
= (工作电流) \times (该工作电流下的典型 Vf)
- P_{total} = 总功耗 = (LED 数量) \times P_{LED}
- $R_{th\ j-sp}$ = LED 封装的热阻

示例灯具的值：

- $T_{j\ MAX}$ = 80°C
- $R_{th\ b-a}$ = $0.47^{\circ}\text{C}/\text{W}$
- P_{LED} = $0.35\ \text{A} \times 3.3\ \text{V} = 1.155\ \text{W}$
- P_{total} = $16 \times 1.155\ \text{W} = 18.48\ \text{W}$
- $R_{th\ j-sp}$ = $8^{\circ}\text{C}/\text{W}$

$$T_{a\ MAX} = T_{j\ MAX} - (R_{th\ b-a} \times P_{total}) - (R_{th\ j-sp} \times P_{LED})$$

$$T_{a\ MAX} = 80^{\circ}\text{C} - (0.47^{\circ}\text{C}/\text{W} \times 18.48\ \text{W}) - (8^{\circ}\text{C}/\text{W} \times 1.155\ \text{W})$$

$$T_{a\ MAX} = 80^{\circ}\text{C} - 8.6856^{\circ}\text{C} - 9.24^{\circ}\text{C}$$

$$T_{a\ MAX} = 62^{\circ}\text{C}$$

对于此室内应用，示例灯具 62°C 的最高环境温度可以接受。对于需要最高环境温度更高的工作环境，既可以提高最高结温（这可能影响使用寿命）或改进热系统 ($R_{th\ b-a}$)（例如使用更好的散热器）。

电气系统选项

1. 现成的 LED 驱动器

由于现成 LED 驱动器已经上市销售，并且还有参考电路设计，所以，使用现成的 LED 驱动器将使设计周期最短。所有零部件都进行电磁干扰 (EMI) 和安规测试，并且一般来说，批量情况下单位成本最低。

缺点是现有 LED 驱动器效率通常只在 85% 左右。根据供应商和应用的不同，使用寿命和工作温度也可能是个问题。

2. 下一代 LED 驱动器

随着 LED 照明越来越普及，有更多半导体公司将注意力转向对 LED 驱动器设计的优化上。也可以选择与一家这样的公司合作研发下一代 LED 驱动器，这样效率更高，且能获得管理部门的完全认可。

不过，等待产品开发可能会推迟 LED 灯具的开发。而且，较小的公司可能没有能力与驱动器公司合作研发尚未发布的产品。

3. 定制设计

与热设计一样，可以选择完全定制电气系统。尽管这可能比使用现成的产品获得更高的光效，但也有很多潜在缺点。

开发和认证由设计人员承担。即使开发之后，单位成本可能也会高于现有解决方案。而且，请记住，在 LED 灯具开发期间，驱动器公司将会继续开发效率更高且更便宜的驱动器。

可用的开发资源和目标效率通常决定了电气系统的选择。在当今的高功率 LED 环境中，总体灯具光效的提高受 LED 本身的影响比受驱动器的影响要大。尽快推出产品可能比试图等待电气设计更完美后要有利。

6. 最后步骤

在作出设计决策之后，可以依照表 8 (见下) 来完成构造和评估原型灯具的最后步骤。

步骤	解释
电路板布局	<ul style="list-style-type: none"> 完成电路板布局。 根据热和成本约束条件，选择电路板材料 (是 FR4 还是 MCPCB)。 牢记部件的布局 and 位置会如何影响灯具的光输出和热流。
构造原型	<ul style="list-style-type: none"> 构造一个原型 (或多个) 是验证设计的有效方式。 验证光学、热和电气系统的性能达到设计要求。 测试装置组装的难易度。
针对设计目标测试原型	<ul style="list-style-type: none"> 测试原型，确保其达到了所有设计目标。 测试可以内部进行，也可以由订立合同的灯具测量公司外部进行。
最终确定设计和 BOM	<ul style="list-style-type: none"> 根据分析原型得到的信息对设计作最后修改 (如果需要)。 最终设计和材料清单形成文档。
得出结论	<ul style="list-style-type: none"> 如果选择了不同的设计选项，如何能改进现有设计？ 所有原始设计目标是否仍适用，或者是否部分目标的重要性比最初有所下降？ 是否有其他应用能从 LED 照明中受益？

表 8: LED 灯具设计的最后步骤

如何获取帮助

整个 LED 灯具设计流程是决定整个照明系统方案的决定性因素。表 9 (见下) 提供了最新 Cree 合作伙伴名单的链接，它们可以在最终设计完成之前提供协助。

帮助来源	可协助项目
<p>Cree XLamp LED 光学器件解决方案 http://www.cree.com/products/xlamp_part.asp</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 光学系统设计
<p>Cree XLamp LED 驱动器解决方案 http://www.cree.com/products/xlamp_drivers.asp</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 电气系统设计
<p>Cree XLamp LED 经销商 http://www.cree.com/products/xlamp_dist.asp</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 热系统设计 • 现成的光学器件和 LED 驱动器 • 电路板布局 • 组装 • 小数量订单

表 9: Cree XLamp LED 解决方案提供商