

关于 LED 球泡灯的必备常识

作者：茅于海

进入 2011 年以后，LED 逐渐向室内照明进军，这也意味着开始向民用家庭进军。一方面这是一个大喜事，因为民用的市场是非常之大；另一方面也是一个极为严重的挑战，因为民用市场要求成本特别低，可靠性特别高。现在离开完全满足民用市场的要求还很远，可以说还有很长的路要走。

最普通的民用灯就是白炽灯，也就是我们普通用的灯泡。所以如果 LED 要取代白炽灯泡，就要开发出一种无论在灯头形状还是外型上都和白炽灯泡类似的灯泡，这就是我们通常称为 LED 球泡灯。可以想象，球泡灯的市场是十分巨大的。

一. 对 LED 球泡灯的要求

因为要替换白炽灯，所以至少要有以下几方面的要求：

1. 亮度要相当 白炽灯通常只讲瓦数而不讲流明数。LED 虽然也可以只讲瓦数，但是由于 LED 的光效还在不断发展，只说瓦数并不能代表其流明数。白炽灯最常用的瓦数有 15 瓦、30 瓦、45 瓦、60 瓦、75 瓦和 100 瓦等。如果要讲流明数，那么可以用白炽灯的发光效率来计算。白炽灯的发光效率在 7.5-12lm/W。瓦数越大效率越高。所以上面列出几种瓦数的白炽灯的相对流明数可以列表如下：

	瓦数 W	15	30	45	60	75	100
白炽灯	发光效率 lm/W	7.5	8	8.5	9.5	10.5	12
	流明数 lm	112.5	240	382.5	570	787.5	1200
LED1	瓦数 W	1.56	3.3	5.3	7.9	10.9	16.6
LED2	瓦数 W	1.2	2.6	4.1	6.1	8.4	12.

如果采用 LED 来取代，也可以得出相应的瓦数。但是因为 LED 的发光效率在不断攀升，所以很难给出准确的数字。假定采用目前通常的 LED1，其光效为 100lm/W，假如采用最高光效的 LED2，其光效为 130lm/W（暖白的光效会低于此值）。就可以得出对这两种光效 LED 相应的瓦数来。但是因为 LED 需要恒流源，而恒流源有一定的效率，假定为 85%，另外因为 LED 不可能采用透明泡壳，而只能采用乳白泡壳。其透光率大约为 85%。二者相乘等于 0.72。考虑以上因素以后就可以得出和白炽灯相当的瓦数来。由表中可见，LED2 在同样亮度时大约可以节省 10 倍的功率。有一点需要特别说明的。就是从目前 LED 球泡灯的光效和散热来说，它还不可能做到 10 瓦以上，也就是说目前还只有可以取代 60-75W 白炽灯的 LED 球泡灯。当然 PAR 灯就另当别论了（后面将讨论）。

2. 外形要类似 通常白炽灯为梨形的，所以 LED 球泡灯也应当为梨形的。这点是很容易做到。但是白炽灯为全玻璃制品，LED 因为要散热就很难采用全玻璃的结构。下面会详细讨论 LED 球泡灯的结构。
3. 体积大小要相当，因为 LED 需要恒流源和散热器，所以这是非常难做到的
4. 重量要相当，同样因为 LED 需要恒流源和散热器，所以这也是非常难做到的
5. 灯头要相同 中国过去大都是采用卡口式，改革开放以后大都改用和美国一样的螺口式。就是美国的 E26 或 E27。这点也还是很容易做到的
6. 电源要相同，都应该是 220VAC（或美国的 110VAC），这也是没问题的

二. LED 球泡灯的结构

LED 球泡灯可以分为外部结构和内部结构。我们先来看一下它的外部结构。一个典型的 LED 球泡灯的外形如图 1 所示（这是作者最近在美国硅谷 Fry's 电子商店上看到的最大功率的 LED 球泡灯，价\$40）：



图 1. LED 球泡灯的外形

这是一个 5W 的 LED 球泡灯，全长 13cm，散热器长 5cm，直径 4.5cm，泡壳长 5.2cm，直径 5.5cm，重量 114 克。它大约可以取代 45W 的白炽灯。其外部结构主要包括 3 个部分，一个是灯头，二是散热器，三是泡壳。而内部结构则主要是 2 部分，一是恒流驱动电源，二是 LED 灯板（包括铝基板和 LED）在内（图 2）。



图 2. 球泡灯的构成

下面分别来讨论这几个部分的构成。

三. 球泡灯的电源

因为球泡灯都是用市电供电，所以电源也必须是市电交流输入的，英文称为 Off-Line，有把中文译成离线式是很不恰当的，因为英文原意是 From Line 的意思，应该译成在线，但又会和网络的在线相混，所以不如就直接称为市电式电源。

球泡灯的市电式电源基本指标如下：

1. 电源基本类型：主要分隔离式和非隔离式两种，那是指负载端是否与火线 220V 隔离。一般说，非隔离因为不需要隔离变压器，所以成本低，但要求铝基板耐压高，否则散热器就有可能带电。所以比较不容易通过安规检验。隔离式就比较安全，比较容易通过安规，但成本高。
2. 电源输出功率：因为球泡灯的体积大小必须和玻壳的白炽灯相当，所以散热器大小有限，目前还不能超过 9W。
3. 电源效率：一般隔离式在 80-85%左右，非隔离式在 90%左右
4. 电源功率因数（PF）：不加 PF 校正 在 0.5-0.6, 加 PF 校正 在 0.9-0.99 左右
5. 体积大小：由于球泡灯留给电源的空间很小，所以体积的限制很严。

下面来介绍几种典型的球泡灯电源。

3.1 非隔离式电源

下面是一个采用美国安森美 NCP1014 的非隔离式电源原理图（图 3）

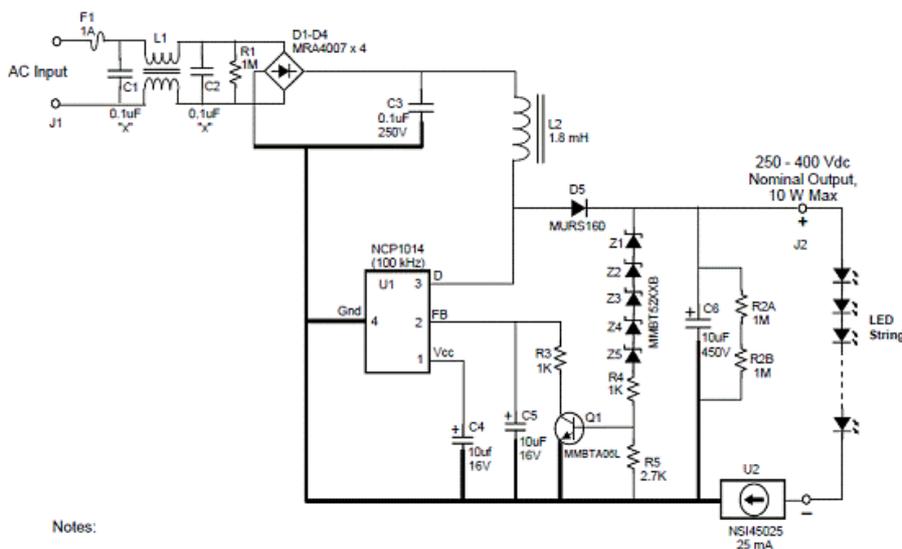


图 3. 非隔离式电源原理图

这个电源的基本指标如下：

输入电压	输出功率	输出电压	输出电流	LED 数	效率	功率因数
90-265VAC	10W	250-400VDC	10-35mA	75-120	80%	>0.9



图 4. NCP1014LEDGT 外形图

其实这个电源的核心就是一个恒流二极管 NSI45025，以确保 LED 恒流在 25mA。所以它只能用于小功率贴片式的 LED。其中外加的集成电路 NCP1014 实际上是一个有源式的功率因数校正 (PFC)，可以把它的功率因数提高到 >0.9 以满足美国能源之星的要求。输入端的 L1, C1, C2 是一个防电磁干扰 EMI 的滤波器。它的缺点是非隔离，所以 220V 会直接加到负载 LED 上。

其实假如不要求功率因数的话，那么采用恒流二极管 (CRD) 的电源方案可以做得很简单 (图 5)。

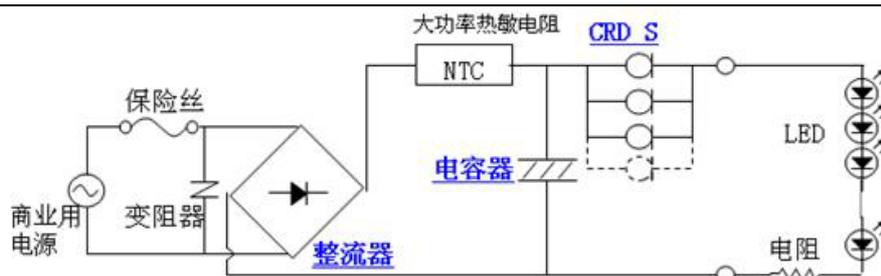


图5. 最简单的采用恒流二极管的球泡灯电源

这种电源的功率因数大约在 0.5-0.6 之间。因为电路简单，所以体积可以做得很小，而且成本很低。

3.2 隔离式电源

为了提高安全性，最好采用隔离式电源，这样就多了一个隔离变压器，增加了体积、成本，降低了效率。图6是一个采用 iWatt 公司 iW3610 的反激式隔离电源电路图。其实这个芯片和 Cypress 公司的 CY8CLEDAC02 十分类似。

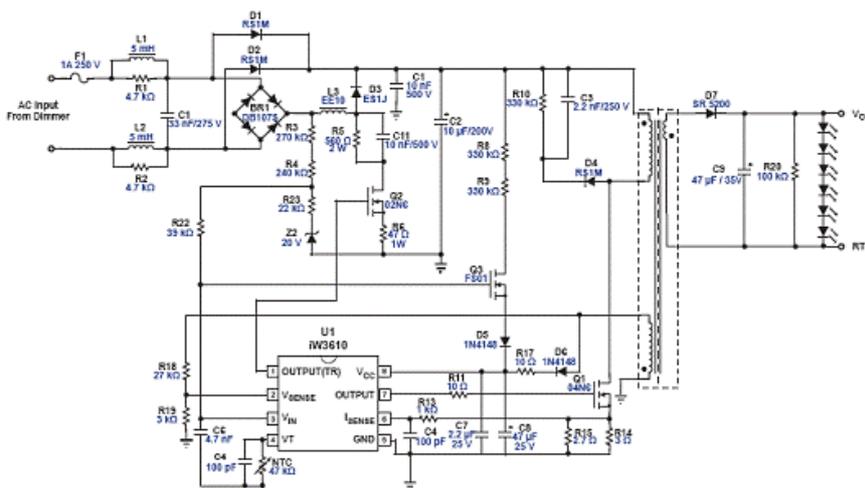


图6. 采用 iW3610 的隔离式电源的电路图

其主要技术指标如下表所示：

输入电压	输出功率	输出电压	输出电流	LED 数	效率	功率因数
100-230VAC	14.7W	21VDC	700mA	6x2W	85%	0.9

这个电路还可以自动检测墙上有无可控硅调光器，如果有的话就可以调光，其调光范围可以从 2%调到 100%。而且最后采用了 PWM 调光，调光频率高达 900Hz，

因此避免了闪烁。另外由于采用了准谐振控制使其总效率高达 85%。它还有一个特点是采用变压器初级反馈从而取消了光耦合器件。它的外形图如图 7 所示。其外形是专门为球泡灯而设计。

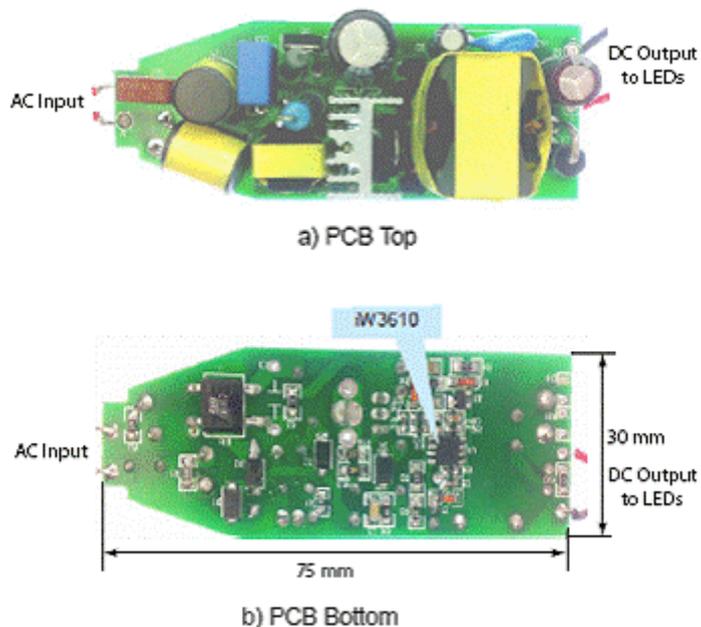


图 7. iW3610 的演示板

四. 球泡灯的散热器

球泡灯的 LED 通常焊接在一块铝基板（LED 底板）上，这块铝基板再和一片圆形铝散热板固定，然后再把这块铝散热板固定到散热器外壳上去（见图 8）。



图 8. LED 底板如何固定到散热器上去

图中的铝散热板上可以看出有精加工的痕迹。经过精加工以后 LED 底板就可以直接固定上去，否则的话，二者之间会有气隙，需要涂覆硅导热胶以改善导热。

球泡灯由于体积的限制所以散热是一个大问题。无论是哪种散热器都是只能依靠对流和辐射两种方法来把热量散发到空气中去，而这两种散热的能力都是和它的散热的面积成正比。而球泡灯的散热面积可以如下计算。假定其散热器可以近似为一个截去尖顶的圆锥体。假定大圆锥体的高度为 H ，直径为 D ，而截去的小圆锥体的高度为 h ，直径为 d 。

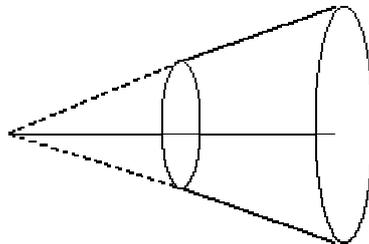


图 9 截顶的圆锥体

圆锥体的侧面积为 $\pi HD/2$ ，所以截去一个尖顶以后的侧面积是 $\pi HD/2 - \pi hd/2 = \pi (HD-hd)/2$ 。假定 $H=8\text{cm}$ ， $h=3\text{cm}$ ， $D=5\text{cm}$ ， $d=3\text{cm}$ ，那么这个截顶以后的侧面积就是 48.7cm^2 ，可近似为 50 平方厘米。而因为大多数散热器都开了沟槽，以增加其散热面积，开沟槽以后所增加的散热面积为沟槽深度 g 乘长度 l 再乘 2，再乘以沟槽数。假定沟槽平均深度为 0.3cm ，长度为 5cm ，沟槽数为 46 个，那么开沟槽以后增加的面积为 $0.3 \times 5 \times 2 \times 46 = 138. \text{cm}^2$ 。总计散热面积为 188cm^2 。根据经验数据，每瓦所需要的散热面积大约在 $35-60 \text{cm}^2$ 。具体要多大取决于环境温度和允许的升温。因为球泡灯大部分是用在室内，环境温度不是很高，所以可以采用 $35 \text{cm}^2/\text{W}$ 。所以 188cm^2 的散热面积可以散大约 5.3W 左右。不过这只是极为粗略的估计，可以得到一个数量级的概念而已。真正的散热情况还是要实际测定才可以。

日本的技术在线拆解了几种 LED 球泡灯。并实测了其泡壳温度，结果如下表所示：因为室温是相同的，

公司品名	勤上	东芝	三星	真明丽	锦湖	飞利浦	比亚迪	三星	Star Comgistic 4W
	7.5W	7.2W	7.1W	7W	6W	6W	4.8W	4.7W	
表面温度	43℃	61℃	47℃	45℃	48℃	47℃	45℃	45℃	38℃
辐射率	0.64	0.37	0.6	1	0.94	0.96	0.96	0.97	0.71

图 10 几种球泡灯的外壳温度

图中的球泡灯功率从 7.5W 到 4W。温升最低的是 4W 球泡灯，其外壳温度为 38 度。温升最高的为东芝照明的 7.2W 球泡灯，其表面温度高达 61 度。这是因为东芝的球泡灯散热器没有开槽沟的缘故。所以不开槽沟的散热器，虽然表面光滑，外形好看，但其散热效果会差很多。而表面温度越高，在同样的系统热阻和功耗情况下，LED 芯片的结温也越高，LED 的寿命就越短。

由于球泡灯散热器面积的限制，所以很难散热超过 7-9W。根据目前的 LED 光效，它的流明数也就相当于 60W 白炽灯。随着以后 LED 光效的逐年提高，相信会出现同样大小而能取代 100W 的白炽灯。

散热器的材料目前大多数采用铝合金，因为成本低廉，加工容易，而且导热性好。但是最近出现了很多绝缘的塑料散热器和陶瓷散热器，其散热效果也不差。因为最后的散热主要靠对流和辐射。而对流完全由其形状和面积决定。辐射则和材料的辐射性有关。各种材料的热辐射系数如下表所示：

材料	钢	铸铁	不锈钢	铝	铜	导热塑料
抛光未氧化	0.05	0.2	0.1- 0.25	0.02- 0.1	0.04- 0.05	0.8-0.9
粗加工轻微氧化	0.5	0.5		0.2-0.4	0.4	
严重氧化	0.7- 0.95	0.8- 0.95	0.85	0.3-0.4	0.8	

由表中可见，氧化处理是改进金属材料的辐射散热的重要途径。而导热塑料则不需要任何氧化处理就可以达到极高的辐射系数。因此只要其外形和金属散热器一样，那么其对流和辐射的效果是和金属散热器的效果是相同的。但是其热传导性能肯定不如金属，所以整体散热效果会差一些。但是如果把它做得尽可能薄，再加上一层金属的内壁，就可以把这个热传导低的不利因素降至最低。现在已经有导热系数大于 20 w/mk 的塑料，但是其单价比较高。陶瓷散热器的情况和塑料散热器情况一样。只是其导热系数可以做得更高，当然成本也要高很多。图 10 是上海龙茂微电子公司的 6W 塑料外壳球泡灯。它的散热器温度为 67 度。



图 11 一个 6W 的塑料散热器 LED 球泡灯

塑料和陶瓷的最大优点是绝缘，所以即使采用非隔离电源也容易通过安规检验。

此外，为了改善泡壳里恒流驱动电源的散热，通常都要加入导热密封胶，以取代导热差的空气。还有一种方法是在散热器上打孔，以便空气的流通。但是就会有防水的问题。

五. 球泡灯的泡壳

所谓泡壳就是指前面透明的玻壳。在白炽灯中，全部都是由玻璃做成的外壳，但是在球泡灯中，虽然也可以用玻璃做前面的外壳，实际上也是有这样做的。但是因为 LED 球泡灯重量很重，要比白炽灯重 5 倍以上，如果用玻璃做的话，掉在地上，摔破的可能性就大多了。因此更多的 LED 球泡灯采用塑料做泡壳，以防摔坏。而且 LED 球泡灯因为热量都从散热器散出去了，所以通过泡壳的光大都是可见光，很少有发热的红外线，所以采用塑料来做泡壳也不会由于过热而损坏。

但是塑料外壳的最大问题是透光率的问题。因为 LED 存在眩光的问题，所以尽可能采用乳白色的泡壳，以免看到里面的 LED 灯珠。而乳白色的泡壳。其透光率就更成问题了。所以对于用于 LED 球泡灯泡壳的塑料有以下要求：

1. 具有高透光、高扩散、无眩光、无光影；
2. 光源隐蔽性要好（尽可能看不到 LED 灯珠）；
3. 透光率达到 90% 以上；
4. 具有高阻燃性；
5. 具有高抗冲击强度；

现在国内有一种称为智光 LED 光学灯罩的据说可以实现所有以上要求（图 12）。

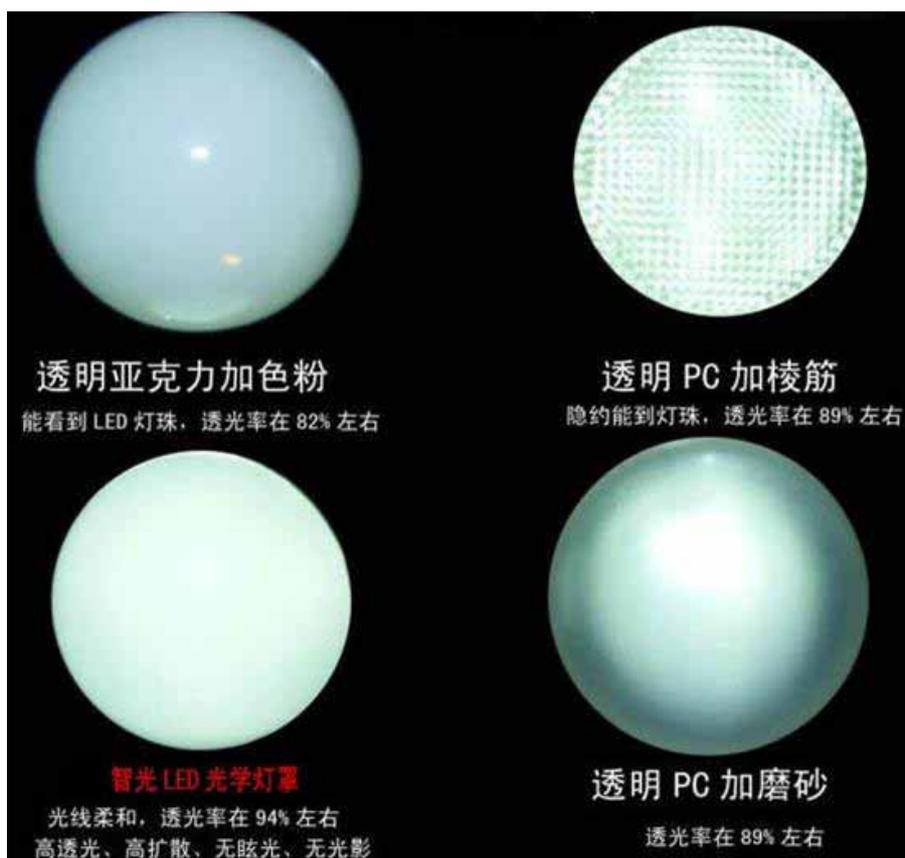


图 12 各种 LED 塑料泡壳

假如真的可以实现 94%的透光率，而且还能防眩光，无光影，那么真的是十分理想的了。其外观图如图 12 所示。



图 13 智光 LED 光学灯罩的外观图

六. 几种品牌 LED 球泡灯

下面列出了几种市面上批量生产的品牌 LED 球泡灯的实测结果

公司	型号	电压 VAC	输入功 率 W	发光流明 lm	光效 lm/W	额定寿命 万小时	重量(无光 罩)克
东芝		100	8.7W	810	93		
东芝	LDA7N	100	7W	600	83	4 万	58
东芝	E-Core	100	4.3W	310	72		
松下		100	6.9W	570	82.6		
松下		100	4.0W	340	85		
夏普		100	7.5W	485 (日光)	64.6		
				380 (暖白)	50.6		
三星		220	7W	540	76	5 万	140
三星		220	6W	320	68	5 万	134
锦湖	IL-6W	100-220	5W	350	60	5 万	152
勤上	SLA1907	90-265	6W	525	70	3 万	145
灿星网 通公司	TSK-8E014W	110	3W	220	55	4 万	

比亚迪		100-250	4W	210	44	4 万	
真明丽		110	5W	300	46.2	3 万	
飞利浦	ECO A55	220	6W	240	40	4.5 万	114

可以注意到一个 60W 的玻壳白炽灯重量只有 28g。要比这些 LED 球泡灯轻 5 倍左右。另外表中的发光效率不是 LED 本身的发光效率，而是指整个球泡灯的发光效率，其中包括了电源的效率和光罩的透光率。所以，要能达到 100lm/W 的整体光效还有一段路程要走。

七. LED PAR 灯

PAR 灯实际上是飞利浦公司的一种大功率卤素灯的规格，飞利浦把它称为“氯铵灯”。但是这个名字并没有得到推广。一般称为“筒灯”或者“射灯”。而射灯主要是指那种具有 MR16 插座的灯，所以我们暂时还称它为 PAR 灯或筒灯。因为要和这种 PAR 灯兼容，所以大功率 LED PAR 灯就也采用和 PAR 灯相同的尺寸。只是结构不同，瓦数不同，亮度不同。飞利浦公司的 PAR20、PAR30 和 PAR38 的外形图如图 14 所示。而相兼容的 LED 的 PAR 灯，其外形尺寸和他们完全相同（图 15）。





图 14. 飞利浦公司的 PAR20、PAR30 和 PAR38 的外形图





图 15 和 PAR20、PAR30、PAR38 相对应的 LED 筒灯

采用 LED 以后，由于没有统一的规格，所以具有各种不同的性能指标，现在选择其中比较典型者和原来飞利浦卤素灯的指标比较如下表所示。

	功率	电压 VAC	射角(度)	光强	寿命(小时)
PAR20	50W	230	25	1000cd	2,000
LED PAR20	5x2W	100-240	15, 30, 45, 60, 90	330 lm	>50,000
PAR30	100W	230	30	3000 cd	2,000
LED PAR30	7x2W	100-240	8, 15, 30, 45, 60, 90	680 lm	>50,000
PAR38	100W	230	10, 30	8500 (10°) 2500 (30°)	2,000
LED PAR38	12x2W	100-240	8, 15, 30, 45, 60, 90	1,140 lm	>50,000

其中光强指标二者所用的单位不同，飞利浦采用 cd（烛光），而通常 LED 则采用 lm（流明）。二者的关系如下： Φ （流明）=4 π I（烛光）。但是因为二者的发射立体角不同，所以无法换算。只能大致说，卤素灯的发光效率大约为 17-33 lm/W。而 LED 的发光效率在 100-130lm/W。约比卤素灯高 4-6 倍。

PAR 灯和球泡灯的结构基本相同，只是体积大一些，瓦数大一些。因此要求的电源功率也要大一些。

今年 2 月美国凌特公司宣布了一个用于 LED 恒流驱动的 IC（LT3799），它可以驱动 4-100W 的 LED，而且本身带 PFC，外置功率 MOSFET 开关管，反激隔离式而不需要光耦合器，外置元件减到最少，而且还可以用于可控硅调光。

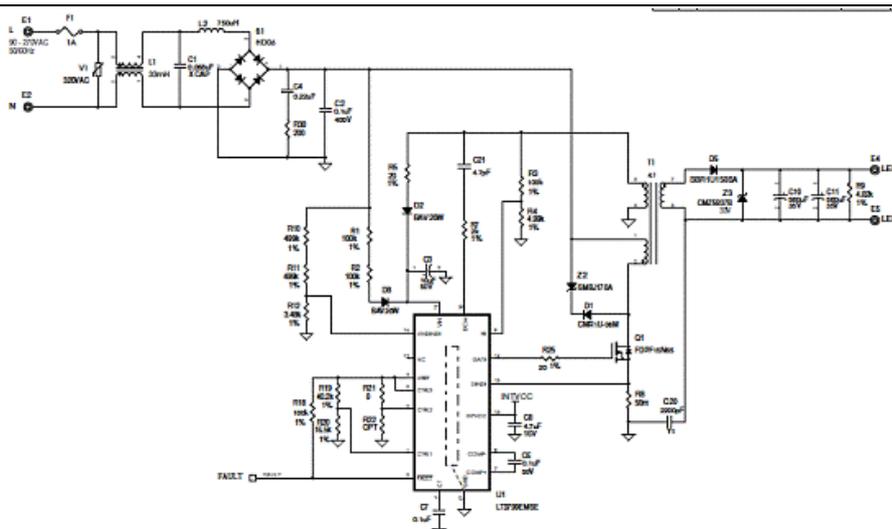


图 16 可用于高功率 LED PAR 灯的反激式隔离型恒流电源

这个电路图是一个给 24 瓦 PAR 灯用的演示板的电路图。其主要技术指标如下：

输入电压	输出功率	输出电压	输出电流	LED 数	效率	功率因数
90-270VAC	25W	25VDC	1A	8x3W	83-86%	0.92-0.99

它的演示版的布置图如图 17 所示。具体应用时当然也可以设计成圆形。

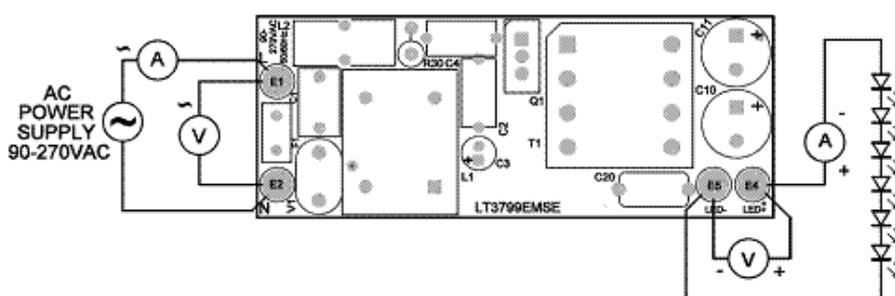


图 17. LT3799 的演示版

这个市电恒流源因为功率大，而且可以适应 4-100W 的宽功率范围，所以一定是采用外置 MOS 开关管，而且也因为功率大，所以要求采用功率因数校正（PFC）。对于不同的功率，除了要选择不同的 MOS 管外，还要求选择不同大小的变压器。

变压器加大了整个恒流源的体积和重量，降低了效率。但是这是为隔离市电所必需的。

八. LED 球泡灯的市场前景

据有关方面估计，LED 将以每年 30%以上的成长率增长直至 2014 年。LED 球泡灯如果要全部取代白炽灯的话，其全球市场规模达到 6400 亿美元，而到 2010 年 12 月为止，LED 球泡灯销售量为 2000 万颗。其市场渗透率只有 3.2%，预计到 2013 年可以达到 12.5%。也就是相当于 800 亿美元的销售额。而其单价将以每年 15-20%的速度递减。一个能够取代 60W 白炽灯的 LED 球泡灯，在 2008 年卖 90 美元，到 2010 年就只卖 40 美元。

而中国更是生产和使用白炽灯的大国，2009 年生产的白炽灯 37.9 亿只，约为全球产量的三分之一，本国每年消费 14 亿只。但是中国还没有规定何时禁止白炽灯的生产日期，而只是准备通过征收消费税来加快淘汰白炽灯。然而，目前也只是准备用节能灯来取代白炽灯，而不是用 LED 球泡灯来取代。所以虽然中国也生产了不少 LED 球泡灯，但是主要为出口。本国销售的只占极少数。其根本的问题还是价钱太贵。不过随着 LED 发光效率的提高，生产成本的降低，LED 球泡灯一定会有一天能够全部取代白炽灯。假定取代全中国的白炽灯需要 10 年的时间，我们可以来粗略地估计一下这十年里在中国 LED 球泡灯的取代过程。

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
取代率	0.5%	1%	3%	8%	15%	30%	50%	70%	90%	100%
数量	700 万	1400 万	4200 万	1.12 亿	2.1 亿	4.2 亿	7 亿	9.8 亿	12.6 亿	14 亿
单价	\$40	\$35	\$30	\$25	\$20	\$15	\$10	\$7	\$3	\$1
总值	280M	0.49B	1.2B	2.8B	4.2B	6.3B	7.0B	6.86B	3.78B	1.4B

*由于人民币汇率不好预测，所以以美元计

现在 LED 的最高发光效率大约为 140lm/W，预计到 2020 年，LED 的光效将要提升到 240lm/W。这就可以降低电源功耗，减小散热器体积和重量。从而降低整个 LED 球泡灯的成本。那时候，LED 球泡灯全面取代白炽灯的时代就会到来！