

**LED**

太  
阳  
能  
草  
坪  
灯  
原  
理  
及  
控  
制

OFweek太阳能光伏网

## 一、LED 太阳能照明的发展趋势

太阳能作为一种新兴的绿色能源，以其无可比拟的优势得到迅速的推广应用。作为第四代新光源，在城市亮化美化、道路照明、庭院照明、室内照明以及其他各领域的照明和应用中得到了有效的利用。尤其是在偏远无电地区，太阳能照明灯具更具有广泛的应用前景。一般人认为，节能灯可节能 4/5 是伟大的创举，但 LED 比节能灯还要节能 1/4，这是固体光源伟大的革新。除此之外，LED 还具有光线质量高，基本上无辐射，可靠耐用，维护费用极为低廉等优势，属于典型的绿色照明光源。超高亮 LED 的研制成功，大大地降低了太阳能灯具使用成本，使之达到或接近工频交流电照明系统初装的成本报价，并且具有保护环境、安装简便、操作安全、经济节能等优点。由于 LED 具有的光效率高，发热量低等优势，已经越来越多地应用在照明领域，并呈现出取代传统照明光源的趋势。在我国西部，非主干道太阳能路灯、太阳能庭院灯渐成规模。随着太阳能灯具的大力发展，“绿色照明”必将会成为一种趋势。而 LED 太阳能草坪灯作为其中的一个代表，也将得到大力的推广和应用，本文主要介绍它的一些知识，希望能给大家一些启发。

## 二、LED 太阳能草坪灯简介

LED 太阳能草坪灯是一种集节能环保、照明与美化环境为一体的新型的绿色能源景观照明灯具。太阳能草坪灯节能、环保、安全、美观。该太阳能草坪灯采用高效率单晶硅太阳能电池组件，白天可将太阳光光能转换成电能储存于蓄电池，夜晚天黑后则自动点亮灯管照明，广泛适用于公园草坪、花园别墅、广场绿地、旅游景点、度假村、高尔夫球场、企业工厂绿地亮化美化、住宅小区绿地照明、各种绿化带等的景观点缀、景观照明。太阳能系列草坪灯主要用来亮化点缀照明，采用高亮度 LED 发光二极管设计，具有亮度高、安装简便、工作可靠、不敷设电缆、不消耗常规能源、使用寿命长等优点。太阳能草坪灯光源及电源系统设计方法由于太阳能草坪灯独特的优点，近年来得到迅速发展。草坪灯功率小，主要以装饰为目的，对可移动性要求高，电路铺设困难，防水要求高的场地适用。这些使得由太阳电池供电的草坪灯显示出许多前所未有的优势。

## 三、LED 太阳能草坪灯的定义及结构组成

太阳能草坪灯主要利用太阳能电池的能量来进行工作，当白天太阳光照射在太阳能电池上，把光能转变成电能存贮在蓄电池中，再由蓄电池在晚间为草坪灯的LED（发光二极管）提供电源。其优点主要为安全、节能、方便、环保等。适用于住宅社区绿草地美化照明点缀，公园草坪美化点缀。LED 太阳能草坪灯的结构组成：由太阳能电池组件（光电板）、超高亮LED灯（光源）、免维护可充电蓄电池、自动控制电路、灯具等组成。

#### 四、太阳能草坪灯的系统组成、控制原理和电路原理

(1) 太阳能草坪灯的系统组成：LED 太阳能草坪灯是一个独立的发电系统。它能够独立的完成把太阳能转换为电能，并能把电能转换成热能供照明和装饰使用，而不需要电线的传输。一个独立的光伏系统一般由以下三部分组成：太阳能电池组件；充、放电控制器、逆变器、测试仪表和计算机监控等电力电子设备和蓄电池或其它蓄能和辅助发电设备。光伏系统具有以下的特点：没有转动部件，不产生噪音；没有空气污染、不排放废水；没有燃烧过程，不需要燃料；维修保养简单，维护费用低；运行可靠性、稳定性好；作为关键部件的太阳电池使用寿命长，晶体硅太阳电池寿命可达到25年以上；根据需要很容易扩大发电规模。





图 4-0 几种常见的 LED 太阳能草坪灯

图 4-1 是一个典型的供应直流负载的光伏系统示意图。其中包含了光伏系统中的几个主要部件：光伏组件方阵：由太阳电池组件（也称光伏电池组件）按照系统需求串、并联而成，在太阳光照射下将太阳能转换成电能输出，它是太阳能光伏系统的核心部件。

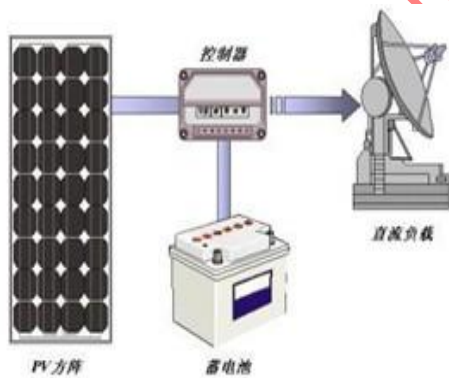


图 4-1 直流负载的太阳能光伏系统

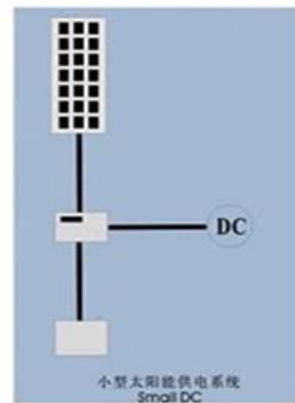


图 4-2 小型太阳能供电系统 (Small DC)

LED 太阳能草坪灯是一个小型的太阳能供电系统（图 4-2 是一个简单的太阳能供电系统）。它的结构非常简单主要由太阳能电池板、充放电控制器、蓄电池、照明电路和灯杆等部分组成（如图 4-3）。

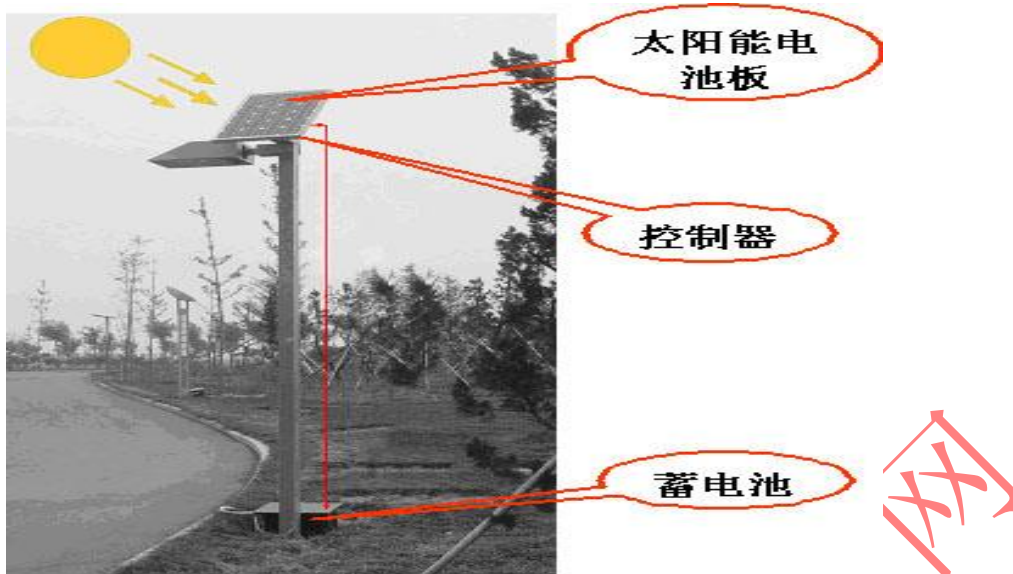


图 4-3 LED 太阳能草坪灯的组成

(2) 太阳能草坪灯的控制原理：太阳能草坪灯的控制主要是用于蓄电池充放电的而控制。图 4-4 就是一个最基本的充放电控制器。在该图中，由光伏电池板、蓄电池、太阳能控制器和负载组成了一个基本的光伏应用系统。这里的开关 K1 和 K3 为充电开关，K2 为放电开关，它们均属于太阳能控制中心的一部分。图中开关的开合由控制电路根据系统的充放电状态来决定。当蓄电池充满电时断开充电开关，需要充电时闭合充电开关；当蓄电池放电时闭合 K2，否则断开。而这些控制电路可以采用三极管、电阻、电容、电感构成的电压比较升压充放电电路，也可以采用光控电路，或者采用集成运放构成的电压滞回比较器，还可以采用单片机。鉴于廉价的考虑一般采用前者。

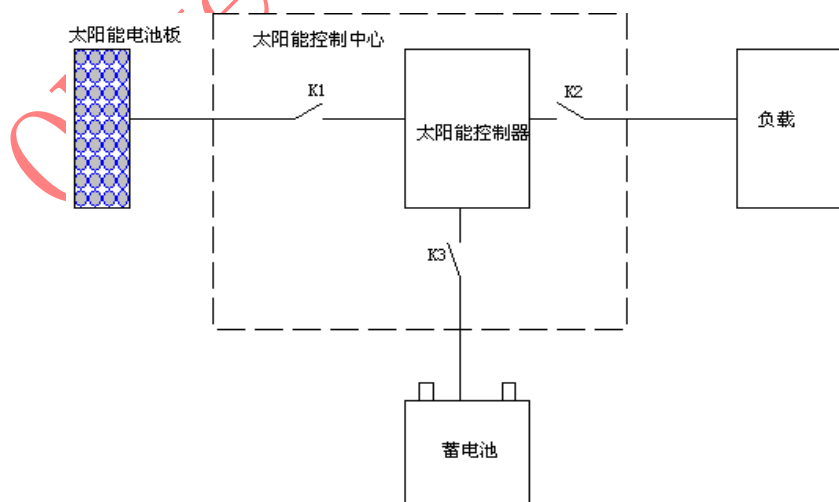


图 4-4 充放电控制器基本原理



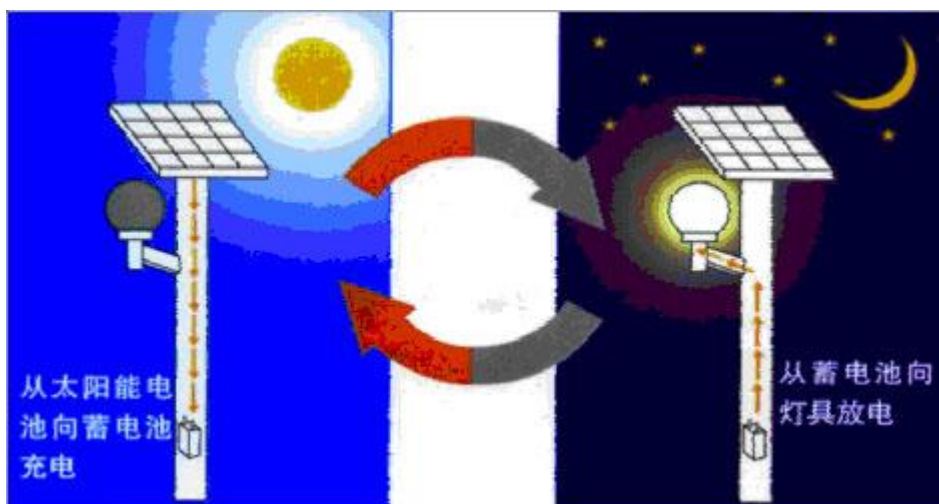


图 4-5 蓄电池充放电示意图

一般来说，一个合格的太阳能充放电控制器具有以下几种充放电保护模式：

1、直充保护点电压：直充也叫急充，属于快速充电，一般都是在蓄电池电压较低的时候用大电流和相对高电压对蓄电池充电，但是，有个控制点，也叫保护点，就是上表中的数值，当充电时蓄电池端电压高于这些保护值时，应停止直充。直充保护点电压一般也是“过充保护点”电压，充电时蓄电池端电压不能高于这个保护点，否则会造成过充电，对蓄电池是有损害的。

2、均充控制点电压：直充结束后，蓄电池一般会被充放电控制器静置一段时间，让其电压自然下落，当下落到“恢复电压”值时，会进入均充状态。为什么要设计均充？就是当直充完毕之后，可能会有个别电池“落后”（端电压相对偏低），为了将这些个别分子拉回来，使所有的电池端电压具有均匀一致性，所以就要以高电压配以适中的电流再充那么一小会，可见所谓均充，也就是“均衡充电”。均充时间不宜过长，一般为几分钟~十几分钟，时间设定太长反而有害。对配备一块两块蓄电池的小型系统而言，均充意义不大。所以，路灯控制器一般不设均充，只有两个阶段。

3、浮充控制点电压：一般是均充完毕后，蓄电池也被静置一段时间，使其端电压自然下落，当下落至“维护电压”点时，就进入浮充状态，目前均采用 PWM（既脉宽调制）方式，类似于“涓流充电”（即小电流充电），电池电压一低就充上一点，一低就充上一点，一股一股地来，以免电池温度持续升高，这对蓄电池来说是很有好处的，因为电池内部温度对充放电的影响很大。其实 PWM

方式主要是为了稳定蓄电池端电压而设计的,通过调节脉冲宽度来减小蓄电池充电电流。这是非常科学的充电管理制度。具体来说就是在充电后期、蓄电池的剩余容量(SOC) >80%时,就必须减小充电电流,以防止因过充电而过多释气(氧气、氢气和酸气)。

4、过放保护终止电压:这比较好理解。蓄电池放电不能低于这个值,这是国标的规定。蓄电池厂家虽然也有自己的保护参数(企标或行标),但最终还是要向国标靠拢的。需要注意的是,为了安全起见,一般将12V电池过放保护点电压人为加上0.3V作为温度补偿或控制电路的零点漂移校正,这样12V电池的过放保护点电压即为11.10V,那么24V系统的过放保护点电压就为22.20V。目前很多生产充放电控制器的厂家都采用22.2V(24V系统)标准。

(3) 太阳能草坪灯充放电控制器的设计:充电控制器作为光伏电池和铅酸蓄电池的接口电路,一般都希望让其工作在最大功率点,实现更高的效率,但是在实现最大功率点跟踪(MPPT)的同时,还需要考虑进行蓄电池充电控制。目前常用的主电路拓扑主要有降压型电路(Buck)变换器、升压型电路(Boost)变换器、丘克电路(Cuk)变换器等。一般光伏电池输出电压波动较大,而Buck变换器或Boost变换器只能进行降压或升压变换,受此影响,光伏电池不能在大范围内完全工作于最大功率点,从而造成系统效率下降。同时,Buck变换器输入电流纹波较大,如果输入端不加一个储能电容就会使系统工作在断续状态下,从而导致光伏电池输出电流时断时续,不能处于最佳工作状态;而Boost变换器输出电流纹波较大,用此电流对蓄电池进行充电,不利于蓄电池的使用寿命;Cuk变换器同时具有升压和降压功能,将Cuk变换器应用于光伏系统充电控制器中,可以在较大范围内实现最大功率点跟踪,有利于系统效率的提高。因此,常选用Cuk变换器作为充电控制器的主电路,其系统拓扑如图3—2所示。

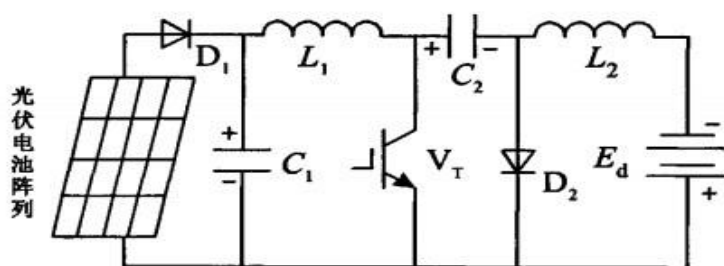


图 3-2 Cuk 充电控制器主电路

Cuk 变换器在负载电流连续的情况下，其电路的稳态过程有：

### 1、开关管 $V_r$ 导通期间

此期间开关管  $V_r$  导通，电容  $C_2$  上的电压使二极管  $D_2$  反偏而截止，这时输入电流  $i_{L1}$  使  $L_1$  储能； $C_2$  的放电电流  $i_{L2}$  使  $L_2$  储能，并供电给负载，如图 3-3(a)所示。

### 2、开关管 $V_r$ 截止期间

此期间开关管  $V_r$  截止，二极管  $D_2$  正偏而导通，电源和  $L_1$  的释能电流  $i_{L1}$  向  $C_2$  充电，同时  $L_2$  的释能电流  $i_{L2}$  以维持负载，如图 3.3(b)所示。因此， $V_r$  截止期间  $C_2$  充电， $V_r$  导通期间  $C_2$  向负载放电， $C_2$  起能量传递的作用。

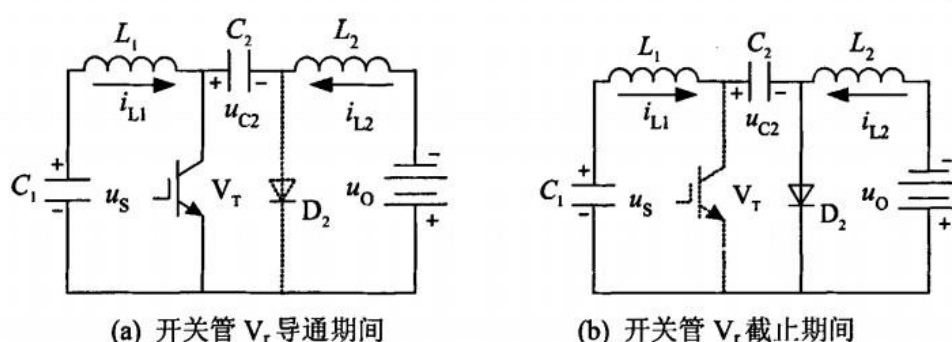
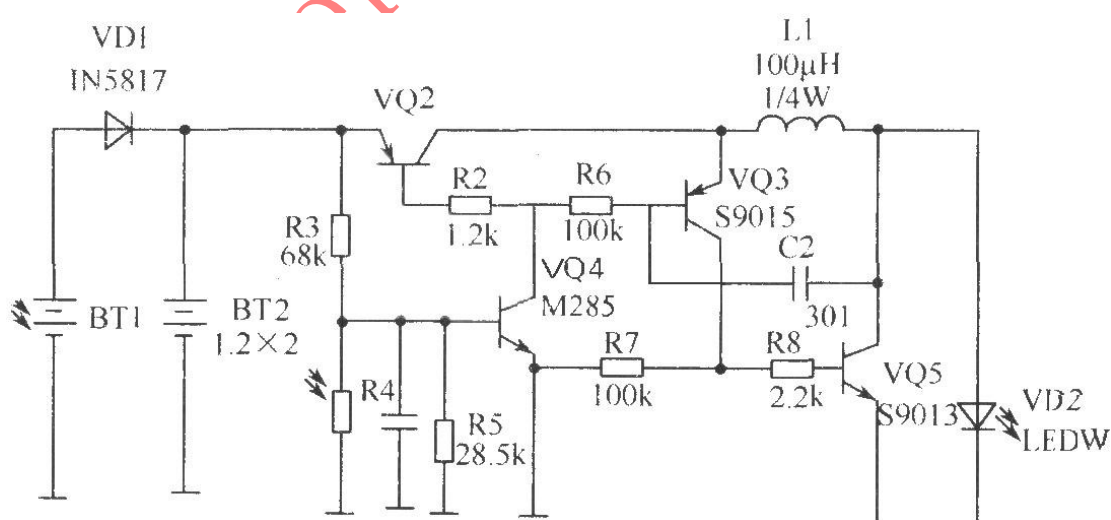


图 3-3 Cuk 变换器连续工作模式等效电路图

**(4) 太阳能草坪灯的电路原理：**太阳能草坪灯的电路原理比较简单。下面我们具体介绍一种简单的太阳能草坪灯的电路原理。它的控制器就是采用升压电路来实现的。



一种简单的太阳能草坪灯的电路原理图

元器件选择：BT1 选用 3.8V / 80mA 太阳能电池板，单晶硅为好，多晶硅次



之；BT2 选用两节 1.2V / 600mA Ni-Cd 电池，如需要增大发光度或延长时间，可相应提高太阳能板及电池功率。VQ2、VQ3、VQ5 的 $\beta$  在 200 左右，VQ4 需 $\beta$  值大的晶体管。VD1 尽量选管压低的，如锗管或肖特基二极管。LED 可选用白、蓝、绿色超高亮度散光或聚光。当选用红黄橙等低压降 LED 时，电路需重新设定。R3、R5 建议选用 1%精度电阻；R4 用亮阻  $10k\Omega \sim 20k\Omega$ ，暗阻  $1M\Omega$  以上的光敏电阻。其他电阻可选用普通碳膜(1 / 4)W、(1 / 8)W 电阻。L1 用(1 / 4)W 色电感，直流阻抗要小。

该电路的工作原理：白天有太阳光时，由 BT1 把光能转换为电能，由 VD1 对 BT2 充电，由于有光照，光敏电阻呈低阻，VQ4 b 极为低电平而截止。当晚上无光照时光敏电阻呈高阻，VQ4 导通，VQ2 b 极为低电平也导通，由 VQ3、VQ5、C2、R6、L1 组成的 DC 升压电路工作，LED 得电发光。

DC 升压电路其核心就是一个互补管振荡电路，其工作过程为：VQ2 导通时电源通过 L1、R6、VQ4 向 C2 充电，由于 C2 两端电压不能突变，VQ3 b 极为高电平，VQ3 不导通，随着 C2 的充电其压降越来越高，VQ3 b 极电位越来越低，当低至 VQ3 导通电压时 VQ3 导通，VQ5 相继导通，C2 通过 VQ5 ce 结、电源、VQ3 eb 结(由于 VQ2 导通，我们假设其 ec 结短路，VQ3 e 极直接电源正极)放电。

当放完电后 VQ3 截止，VQ5 截止，电源再次向 C2 充电，之后 VQ3 导通，VQ5 导通，C2 放电，如此反复，电路形成振荡，在振荡过程中，VQ5 导通时电源经 L1 和 VQ5 ce 结到地，电流经 L1 储能，VQ5 截止时 L1 产生感应电动势，和电源叠加后驱动 LED，LED 发光。本可以提高电池电压直接驱动 LED，以提高效率，但电池电压提高，相应的太阳能电池价格也大幅提高，只要电路元件设置合适，其效率还是可以接受的。当白天充电不够时(如遇上阴雨天等)，BT2 可能发生放电，这样会损坏电池，为此特加 R5 构成过放保护：当电池电压降至 2V 时，由于 R5 的分压使 VQ4 基极电位不足以使 VQ4 导通，从而保护电池。增加 R5 会影响 VQ4 的导通深度。

## 五、LED 太阳能草坪灯的光源优势及光源的选择

目前多数草坪灯选用 LED 作为光源，LED 寿命长，可以达到 100000 小时以上，工作电压低，非常适合应用在太阳能草坪灯上。特别是 LED 技术已经经历了其关键的突破，并且其特性在过去 5 年中有很大提高，其性能价格比也有较

大的提高。另外，LED 由低压直流供电，其光源控制成本低，使调节明暗，频繁开关都成为可能，并且不会对 LED 的性能产生不良影响。还可以方便地控制颜色，改变光的分布，产生动态幻景，所以它特别适用在太阳能草坪灯上。

但是 LED 有它许多固有的特性，使用时如果不注意就会造成不良后果。LED 目前市场上销售的发光效率仅能达到 15lmW，只能达到三色基色高效节能灯 1/3，三色基色高效节能灯的发光效率可以达到 50—60lmW，从价格上看，目前生产每 1m 的成本：三色基色高效节能灯（含电子镇流器）0.022 元，2002 年  $\phi$  5mm 白光 LED 价格为 1.9—3.0 元，目前生产每 1m 的成本价格相差悬殊。从使用寿命上看，三色基色高效节能灯（含电子镇流器）的寿命可以达到 6000h，LED 可以达到 100000h 以上，从表面上看 LED 寿命是三色基色高效节能灯（含电子镇流器）的几十倍，但是事实并非如此。目前太阳能草坪灯大多数采用超高亮白光 LED，它在 20mA 下超高亮白光 LED 光通维持率达到初始强度 50% 的时间（寿命）不到 10000h，复旦大学电光源所曾经证明上述论点。这就是说，目前在许多情况下 LED 并非最好的太阳能草坪灯光源，除非它是低档的使用年限仅 1—2 年的太阳能草坪灯，或者是 1W 以下的太阳能草坪灯。对于 1W 以上的太阳能草坪灯，最好使用三色基色高效节能灯。目前有一些太阳能草坪灯用 30—40 只超高亮白光 LED，输入功率 2W 以上，在这种情况下如果用三色基色高效节能灯，价格只有 LED 的 1/10，光通量是原来的 4 倍，可喜的是现在已经研制成功 2—10W 的低压直流三色基色高效节能灯，寿命可以达到 6000h。

根据上面分析，我们认为 1W 以下的小功率太阳能草坪灯，有调节明暗，频繁开关的功能，一般应该使用 LED 作为光源。但是在使用超高亮白光 LED 时特别要注意光通维持率问题，否则容易引起质量事故。对于功率较大的太阳能草坪灯，目前使用三色基色高效节能灯比较合理。这里要强调的是，以上结论仅仅是目前的分析，当 LED 技术水平提高以后，价格下降，以上结论需要调整。

## 六、太阳能草坪灯系统组合中的几个问题

(1) 光敏传感器。太阳能草坪灯需要光控开关，设计者往往会用光敏电阻来自动开关灯，实际上太阳能电池本身就是一个极好的光敏传感器，用它做光敏开关，特性比光敏电阻好。对于仅仅使用一只 1.2VNi—Cd 电池的太阳能草坪灯来说，太阳能电池组件由四片太阳能电池串联组成，电压低，弱光下电压更低，以

至天没有黑电压已经低于 0.7V，造成光控开关失灵。在这种情况下，只要加一只晶体管直接耦合放大，即可解决问题。

(2) 按蓄电池电压高低控制负载大小。太阳能草坪灯往往对连续阴雨可维持时间要求很高，这就增加系统成本。我们在连续阴雨蓄电池电压降低时减少 LED 接入个数，或者减少太阳能草坪灯每天的发光时间，这样就能减少系统成本。

(3) 太阳能电池封装形式。目前太阳能电池的封装形式主要有两种，层压和滴胶。层压工艺可以保证太阳能电池工作寿命 25 年以上，滴胶虽然当时美观，但是太阳能电池工作寿命仅仅 1—2 年。因此，1W 以下的小功率太阳能草坪灯，在没有过高寿命要求的情况下，可以使用滴胶封装形式，对于使用年限有规定的太阳能草坪灯，建议使用层压的封装形式。

(4) 闪烁变光。渐亮渐暗是节能的好办法，它一方面可以增加太阳能草坪照射效果，另一方面可以通过改变闪烁占空比控制蓄电池平均输出电流，延长系统工作时间，或者在同等条件下，可减小太阳能电池的功率，成本将大幅度下降。

(5) 三色基色高效节能灯的开关速度。这个问题非常重要，它甚至决定着太阳能草坪灯的使用寿命，三色基色高效节能灯启动时有高达 10—20 倍的启动电流，系统在承受这样大的电流情况下可能电压有大幅度下降，太阳能草坪灯无法启动或者反复启动，直至损坏。

(6) 升压电路效率的提高及对 LED 灯的影响。小功率太阳能草坪灯一般都有升压电路，如果采用振荡电路，电感升压。电感采用标准色码电感器，标准色码电感器中使用开放磁路，磁通损失大，所以电路效率低。如果采用闭合磁路制造电感升压，如磁环，升压电路效率将有很大提高。LED 的特性接近稳压二极管，工作电压变化 0.1V，工作电流可能变化 20mA 左右。为了安全，普通情况下使用串联限流电阻，极大的能量损失显然不适合太阳能草坪灯，并且 LED 亮度随工作电压变化，而且一定要自动限流，否则将损坏 LED。一般 LED 的峰值电流 50—100mA，反高能电池反接或者蓄电池空载，升压电路峰值电压过高时很可能超过这个极限，损坏 LED。