

太阳能路灯的设置需要因地制宜

——浅析太阳能光伏电力与市电互补道路照明

孟昭渊

(无锡尚德太阳能电力有限公司)

1、太阳能光伏照明系统在城市应用的特点

1.1 普通太阳能光伏照明系统在城市应用存在的问题

太阳电池进入实用阶段不久,就被应用在照明领域。在我国,早在 70 年代初太阳电池就被使用在航标灯上。紧接着,为了解决无电源地区的照明问题,太阳能照明灯就越来越多的出现。直到今天,在我国西藏、新疆、青海、内蒙等无电源地区,太阳能光伏发电技术都一直为当地的照明作出贡献。

到了 2000 年以后的今天,全世界太阳电池的年产量也突破 3000 兆瓦,我国的进步更加令人鼓舞,中国已经成为全世界最大的太阳电池生产基地。同时,太阳能照明技术在我国城市、农村的道路照明上得到了应用。大量的太阳能电池和 LED 组合而成的交通信号灯被广泛的使用;太阳能电池和 LED 组合而成的各种照明灯具也出现了。除了上面所介绍的功能性照明,还有大量的太阳能装饰性景观照明在城市出现。这里特别要提一下的是这个领域的一个成功典型——太阳能草坪灯,太阳能草坪灯是我国太阳能电池和 LED 应用领域的一个不可忽视的重要分支。2007 年的出口数量已经超过 2 亿盏,太阳能电池的消耗数量 30MW 左右,LED 的消耗量在 2-3 亿只,这些数量的太阳能电池和 LED 组成的半导体照明系统无论是太阳能照明还是 LED 照明都是目前我国生产的数量最大的。1.2V 的小型蓄电池的消耗也将超过 2 亿只,这绝对是一个让人心动的统计数据。

在太阳能光伏发电技术突飞猛进的令人鼓舞形势下,一直被人们看好的太阳能路灯在广大城市和农村得到了很快的推广和应用,尤其是在广大农村的现代化进程中,太阳能光伏发电技术在没有电网的农村道路照明中得到广泛的重视,并且取得了成功。但同时也暴露出太阳能路灯存在的一些不足之处,特别是在城市公路主干道上的应用上,其照度和在

连续阴雨天条件下的可靠性显得不尽人意，这究竟是什么原因？

下面就以上问题做一粗浅的分析。

1.1.1 道路照明的亮度、照度要求

在讨论这个问题以前，我们首先来看经中华人民共和国建设部批准的，由中国建筑科学研究院主编，编号为 CJJ45-2006，自 2007 年 7 月 1 日起施行的《城市道路照明设计标准》，该标准目前正在使用。（部分摘要）

表 1 机动车交通道路照明标准值

级别	道路类型	路面亮度			路面照度		眩光限制 阈值增量 TI(%) 最大初始 值	环境比 SR 最小值
		平均亮度 Lav (Cd/m ²) 维持值	总均匀度 U0 最小值	纵向均匀度 UL 最小值	平均照度 Eav(Lx) 维持值	均匀度 UE 最小值		
I	快速路、主干路及迎宾路、通向政府机关和大型公共建筑的主要道路、市中心或商业中心的道路	1.5-2.0	0.4	0.7	20/30	0.4	10	0.5
II	次干路	0.75/1.0	0.4	0.5	10/15	0.35	10	0.5
III	支路	0.5/0.75	0.4	-	8/10	0.3	15	-

表 2 交会区照明标准值

交会区类型	路面平均照度 Eav(Lx) 维持值	照度均匀度 UE	眩光限制
主干路与主干路交会	30/50	0.4	在驾驶员观看灯具的方位角上,灯具在 80 度和 90 度角方向上的光强不得超过 30Cd/1000LM 和 10Cd/1000LM
主干路与次干路交会			
主干路与支路交会			
次干路与次干路交会	20/30		
次干路与支路交会			
支路与支路交会	15/20		

表 3 人行道路照明标准值

夜间行人流量	区域	路面平均照度 Eav(Lx) 维持值	路面最小照度 Eav(Lx) 维持值	最小垂直照度 Eav(Lx) 维持值
流量大的道路	商业区	20	7.5	4
	居住区	10	3	2
流量中的道路	商业区	15	5	3
	居住区	7.5	1.5	1.5
流量小的道路	商业区	10	3	2
	居住区	5	1	1

从以上表 1-2 中可以看出, 城市道路照明设计有明确的照度要求, 机动车交通道路照度根据不同的地点的要求, 平均照度分别为 10-30lx, 最低平均照度为 8lx, 只有这样才能确保城市道路照明能为车辆驾驶人员以及行人创造良好的视看环境, 达到保障交通安全, 提高交通运输效率, 方便人民生活, 防止犯罪活动和美化城市环境的效果。

根据《城市道路照明设计标准》(CJJ45-2006), 在机动车交通道路照明标准值中要求最低的是城市支路, 就是次干路和居住区的连接道路, 其道路照明标准为: 平均照度 $E_{av}(lx) \geq 8-10lx$, 按照平均照度为 8lx 的最低要求, 我们设计一盏在上海地区机动车交通道路使用的太阳能路灯, 是怎样的结果呢?

假设道路宽 25 米, 灯杆间距 15 米, 平均照度 $E_{av}(lx)=8$ 那么, 光通量计算:

$$\text{需要光通 } \Phi = E_{av} \times K \times A / (N \times \eta) = 8 \times 1.25 \times 25 \times 15 / 0.42 = 8928 \text{ Lm}$$

公式中: Φ ——光通量(Lm)

N ——光源数(只)

η ——灯具利用系数(一般取0.42)

K ——维护系数的倒数(野外 $K=1.25$)

A ——照射面积(m^2)

如果选择发光效率90lm/W金卤灯, 实际需要的灯功率为: $8928lm \div 90lm/W = 99W$, 选100W标准件, 可以满足照度要求; 太阳能电池板的选择此方案对100W光源进行太阳能供电, 负载输入电压24V, 由于需要增加镇流器, 实际功耗约110W, 每天工作时数8.5h, 负载的日耗电量= $0.11KW \times 8.5H = 0.935KWh$ 。所需太阳能组件的功率= $2.4 \div 0.935 = 0.39KW$ (在上海地区1KW太阳能电池平均每天发电2.4KWh); 可以选择200W的太阳能电池组件2块。尽管太阳能电池的功率已经相当大了, 以上计算还是以最低要求进行的。

实际上, 机动车交通道路的照度要求比以上计算结果要高得多。为了达到这个要求, 对于快速路, 主干路及迎宾路、通向政府机关和大型公共建筑的主要道路、市中心或商业中心的道路、等城市道路的照明灯具通常采用由 9-12 米的灯杆, 250-400W 的钠灯或者金卤灯作为光源组成的路灯, 每间隔 20-30 米安装一盏路灯。假如每天工作 12 小时, 按照这个要求设计的路灯每天需要消耗电力 3-4.8KWH。为了说明问题, 现在我们仅仅计算一个要求最低的用于机动车交通道路照明的太阳能路灯太阳能电池功率。

1.1.2 太阳能电池提供电能的能力

自从 50 年代太阳能电池开始为人们应用以来, 它的转换效率一直在不断的提高, 目前商品化的太阳能电池转换效率已经达到 17-18%, 普遍使用中的太阳能电池转换效率也达到 15%。

使用这种转换效率的太阳电池，每 1KW 每天平均能发多少电呢？

这个问题必须认真对待。首先，太阳电池产生电能的多少是由太阳电池接收到太阳辐射强度所决定的，不同的位置、不同的时间、不同的气象条件、差别很大，精确计算比较复杂，同时在这里也不一定有这个必要。根据我国近年在北京、上海等地所做的太阳发电示范工程所公布的发电量统计，每 1KW 太阳电池每天平均发电量在 1.7-3.5KWH，其中绝大部分的报道在 2.5KWH 左右。同时，北京电科所在西藏双湖施工的 25KW 独立太阳能电站为 3.2KWH，常州天合在西藏卡玛乡施工的 25KW 独立太阳能电站据报道为 5.9KWH。上面的统计说明，在北京、上海等地，太阳电池每 1KW 太阳电池每天平均发电量在 2.5KWH 左右，而在西藏，可以达到 3.2-5.9KWH。这就是太阳电池提供电能的能力。

1.1.3 太阳电池目前在道路照明领域的地位

除了人们对环境保护的追求以外，路灯对光源的要求以及太阳电池提供电能的能力决定了太阳电池目前在照明领域的地位。假如我们设计《城市道路照明设计标准》中的 I、II 道路类型的路灯，由于每天用电在 3-4.8KWH，太阳电池的功率需要达到 1KW 以上。我们暂且不去考虑 1KW 太阳电池的成本，仅仅就太阳电池的面积就令设计工作难以进行。目前，太阳电池的面积为 120W/平方米，1KW 的太阳电池的面积大约 9 平方米，这么大的面积几乎没有可能在杆上固定。另外，为了满足城市在连续阴雨天的条件能够工作，蓄电池的容量还要扩大若干倍，因此还需要一个很大的蓄电池箱。

但是，有许多太阳能路灯的生产厂家不同意以上的结论。他们认为普通路灯使用的是低光效的光源，只要将光源改为节能灯或者 LED 光源就可以用很小的电功率达到国家标准所要求的照度，或者用改变光学设计的方法，用很小的光通量就可以得到高的照度，于是用小功率的太阳电池就可以做成功太阳能路灯。这种看法显然是欠妥的，照度是单位面积上的光通量，没有光通量怎么可能有照度？退一步讲，如果有这种可能，路灯照明领域早就应该进行这一场光源的创新了。另外目前市场化 LED 的发光效率仍然比常规的钠灯或者金卤灯低的多，甚至也不能够和节能灯比。

鉴于以上分析，我们认为太阳电池目前在照明领域只适合制造《城市道路照明设计标准》中的支路和供行人和非机动车通行的居住区道路和人行道的路灯，也就是通常大家所说的街灯和庭院灯。做次干路的路灯就很勉强了。

2、因地制宜安装城市太阳能路灯

太阳电池作为没有任何污染的绿色能源，非常适合应用在道路照明上，尤其是无电源地区或者敷设电源线路困难的地方。

目前困扰太阳能路灯在城市发展的主要原因之一是定位的错误，盲目地将其使用在城市道路的主要道路、市中心或商业中心的道路、大型交通枢纽等位置，其结果是虽然经过努力，目前尚不能够满足快速路，主干路及迎宾路的照度要求，太阳电池在道路照明上的应用目前主要是街灯和庭院灯。

太阳能光伏电力与市电互补照明方法是解决普通太阳能光伏照明系统在城市有市电地区应用所存在问题的方法，特别是在原来就已经敷设了照明电缆的城市道路上如果要安装太阳能路灯，完全没有必要为了每年并不多见的几次连续阴雨天条件而成倍的增加蓄电池和太阳电池的容量，在每年的大多数的时间内它是一种浪费。在种情况下，只需要考虑一年中日照时间最长、而夜晚需要照明时间最短时间段的电能需求就可以了，其他的能量，可以由市电补充。这样，太阳电池的效能得到最大的利用，蓄电池的容量可以使用的最小，系统成本最小，而太阳能路灯的系统可靠性可以达到最高。

所以，在城市原来就已经敷设了照明电缆的道路上如果要安装太阳能路灯，采用太阳能光伏电力与市电互补照明方法是因地制宜的好方法。

同时，按照2007年7月1日起施行的《城市道路照明设计标准》CJJ45-2006中第6.1.2条强制执行规定的要求，在城市的重要广场必须做到双电源供电，太阳能光伏电力与市电互补照明不能说不是一个好方法，在城市里，有的地方双路供电的成本是相当高的，太阳能光伏电力与市电互补照明将大幅度降低路灯双路供电的成本。

3、太阳能光伏电力与市电互补照明系统设计

太阳能光伏电力与市电互补照明系统设计中的技术关键已经不是太阳电池和蓄电池问题，而是市电在什么条件下切入、在什么位置切入；市电切入过程对不同种类光源的影响；在太阳能光伏电力与市电互补照明系统中自动开关灯的特点以及系统的日常管理等问题。

3.1 市电切入的依据

在太阳能光伏电力与市电互补照明系统中，只有在太阳电池所提供的能量不足以驱动光源的情况下才能够让市电切入。如何判断太阳电池所提供的能量不足以驱动光源，是这

个问题的关键。

检验蓄电池的端电压应该是最简单有效的方法。由于光源的功率是不变的，蓄电池的放电电流基本恒定，太阳能光伏系统的状态，尤其是其存储能量的大小，都可以反映在蓄电池的端电压上，所以可以通过检验蓄电池的端电压来控制市电的切入。对于铅酸蓄电池，12V 系统一般选择当蓄电池电压降到 11V 时，天黑时路灯由太阳能光伏供电转移到市电；如果是 24V 系统，蓄电池电压降到 22V 时转移到市电。

3.2 市电切入点的选择

太阳能光伏电力与市电互补照明系统主要有三种结构：

3.2.1 蓄电池补充充电形式

这种太阳能光伏电力与市电互补形式的特点是当连续阴雨天太阳能光伏电力不足时，由市电直接给蓄电池充电，蓄电池每天始终可以保持在电力充足的状态下，蓄电池的寿命可以得到很大的延长。这种太阳能光伏电力与市电互补形式在技术上的难点是市电切入时间的判断；在太阳能路灯的工作过程中，并不是只要存储能量不足时都需要由市电直接给蓄电池充电，这需要根据 AC/DC 充电器的容量、估计蓄电池缺电的多少、综合起来计算市电在白天切入的时间。当然，也可以设计成为可以在夜晚一边给蓄电池充电，一边同时给光源放电的形式，这样 AC/DC 充电器的容量就需要比较大，显然不合理。合理的方法是由单片计算机自动控制的，由一个容量尽可能小的 AC/DC 充电器给蓄电池补充充电，其方框图如图 1 所示，单片计算机在系统工作时不停的对蓄电池的电压和时间进行检测，当计算机判断这一天太阳电池所发的电能不足以满足夜晚照明需要时，AC/DC 充电器在适当的时间开始给蓄电池补充充电。这个系统的缺点是结构控制比较复杂，如果蓄电池出现故障，系统将不能够运行。

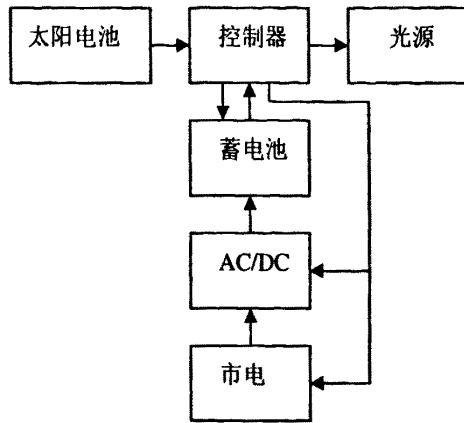


图 1

3.2.2 低压直流光源切换

这是使用低压直流光源的太阳能灯的一种控制方法，如图 2 所示。当蓄电池的电压低到一定值以后系统直接转换到市电。这个系统比蓄电池补充充电形式可靠，这是因为它可以完全不依赖蓄电池工作，甚至当太阳能光伏系统出现故障时，太阳能路灯照样可以工作。它的 AC/DC 变换器的功率要求比较大，需要能够直接启动低压直流光源。

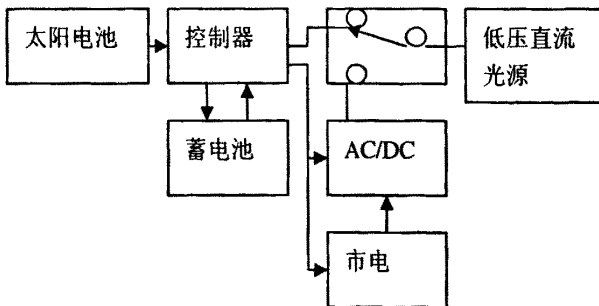


图 2

3.2.3 高压交流光源切换

在太阳能路灯的光源中，最可靠的应该是传统的由 220V 交流电镇流器所组成的光源，这是因为 220V 交流电镇流器比低压直流电子镇流器的技术要成熟，220V 交流电子镇流器的工作电流小，半导体元件的发热也小，它的使用寿命比低压直流电子镇流器要长的多，所以图 3 中的高压交流光源切换太阳能路灯是可靠性最高的，建议在可靠性要求比较高的场合，使用这种系统。它的缺点是逆变器的存在降低了系统的效率，逆变器的效率在 85% 左右。

在图 3 中，特别要注意的是转换继电器的常闭触点要和市电连接，而继电器的电磁线圈一定要由蓄电池供电，这是由于市电系统比太阳能光伏发电系统的可靠性高，高可靠性系统一个处在可以优先进入的状态，一旦太阳能光伏发电系统由于连续阴雨天或者其它原因出现故障，市电将可靠进入连接状态。

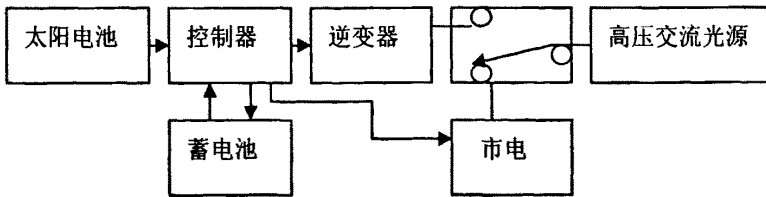


图 3

3.2.4 三种市电切入的优缺点

表 4 三种市电切入的优缺点

	技术特点	效率	可靠性	成本
蓄电池补充充电形式	太阳能光伏电力不足时，由市电直接给蓄电池充电，蓄电池每天始终可以保持在电力充足的状态下	低	比较低	低
低压直流光源切换	是使用低压直流光源的太阳能灯的一种控制方法，AC/DC 变换器的功率要求比较大	高	高	比较高
高压交流光源切换	使用传统的由 220V 交流电镇流器所组成的光源，逆变器的存在降低了系统的效率	比较低	最高	比较低

3.3 市电切入过程对光源的影响

由于道路照明主要使用的气体放电灯，所以太阳能路灯所使用的主要也是气体放电灯。

比如，近年来特别被看好的陶瓷金卤灯，由于它发光效率高，显色性好颜色稳定，使用寿命长等优点，成为了太阳能路灯光源的首选。陶瓷金卤灯熄灭以后，由于灯内的气体压力很高，原来 0.5-5KV 的启动电压就不可能将其顺利再次启动点燃。必须在陶瓷金卤灯的灯管冷却以后再次启动点燃。所以太阳能路灯的市电切入过程不是简单的继电器开关转换，而是比较复杂的过程，这样才能可靠地启动熄灭的路灯。

在有一些要求不高的场合，允许一定时间内道路上灯熄灭，可以采用延时切入市电的方法，当太阳能路灯需要切入市电时，首先让灯管冷却，温度可以由传感器测量，也可以

根据季节或者环境温度以定时器的方法控制，延时切入市电。

有些情况下，道路是不允许灭灯的，这就需要下面两个方法来控制市电切入。

第一，可以用 30-60KV 的高电压启动熄灭的路灯。

第二，在使用低压直流光源切换的系统中，可以在切换前提前进行由二极管隔离的双路直流供电，这样可以实现真正的“无缝隙”切换。如果是高压交流光源切换系统，就需要定制可以双路供电的交流 220V 电子镇流器。

3.4 太阳电池和蓄电池容量的选择

由于太阳能光伏电力与市电互补形式的太阳能路灯不需要考虑连续阴雨天太阳光照不足的影响，太阳电池和蓄电池的容量都可以每天最小的要求计算。由于一年中不同的季节太阳电池的发电量是不同的，在我国南方，通常发电量最多的是 7-10 月份，最少的是 2-4 月份；太阳能光伏电力与市电互补形式的太阳能路灯只要按照发电量最多的是 7-10 月份计算就可以了。如果按照最少的是 2-4 月份，到 7-10 月份太阳电池发的电就会被浪费。蓄电池的容量，只需要满足一天的电量就可以。为了满足蓄电池的寿命要求，放电深度不宜过深，应该不超过 80%，具体到控制方法上，蓄电池电压在 11V（对于 12V 系统）以上就要进行市电切入，市电切入在控制上应该是单向的，当天夜晚蓄电池电压无论怎样恢复，必须到天亮以后市电才能够退出，这样就可以确保蓄电池的放电深度。

3.5 对实际节能效果的检测

采用太阳能光伏电力与市电互补照明系统以后会给人一个错觉，究竟这种太阳能路灯是否还是节能的？究竟每天还能够节省多少电？这个问题如果不能解决，太阳能光伏电力与市电互补照明系统这个因地制宜的好方法很难得到认同和推广。

一种价格低廉、结构简单的太阳能光伏电量采集器可以统计出太阳电池每天的发电量，它甚至可以直接做在控制器里面。下面介绍 电量采集器的结构原理：

基本结构组成

该采集器主要由太阳能电池组，电流电压转换电路，数字显示装置，单片机控制系统，蓄电系统五部分组成。其结构如下图 4 所示：

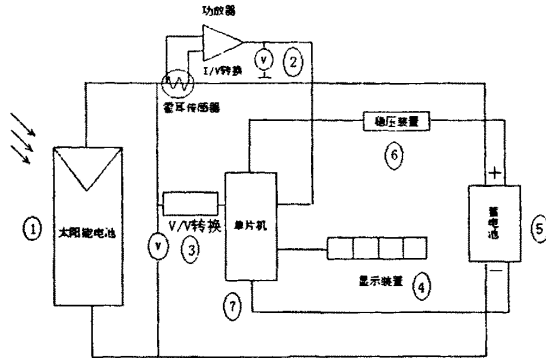


图 4 电量采集器的结构图

其组成为：①太阳能电池组 ②I/V 转换电路（霍耳传感器，功率放大器，电压表）③V/V 转换电路（衰减器）④数字显示装置 ⑤蓄电池组 ⑥稳压装置 ⑦单片机控制器

2. 2 工作过程

其工作过程为太阳能电池接收光照时，内部产生电流，对蓄电池充电，单片机通过稳压装置由蓄电池提供驱动电压，对太阳能电池产生的电量进行信号采集，由于单片机只能接收电压信号，且不能超过 5V，所以在信号接收前由 I/V、V/V 转换电路把信号调至合适的电压，经内部运算处理，结果送数字显示装置显示电池发电总量。

3. 6 日常管理和自动报警系统

虽然太阳能光伏电力与市电互补形式的太阳能路灯是在城市因地制宜应用太阳能光伏照明的好方法，克服了普通太阳能路灯的不足，系统的可靠性非常高，但是市电的可靠性有时候会掩盖了太阳能路灯的故障；也就是说，太阳能路灯坏了，管理者还不知道。所以我们应该对太阳能光伏电力与市电互补形式的太阳能路灯的日常管理提出更高的要求；首先要配备一定的硬件设施。

在硬件设施中，最简单的的在路灯的明显位置安装太阳能光伏系统工作显示装置。通常是用绿颜色或者红颜色的 LED 在太阳能路灯顶端或者太阳电池板边沿组成显示器，表示太阳能路灯是由太阳能光伏系统提供电能的，否则说明系统已经切换到市电上了，这可能是由于太阳的辐射量不足，也可能是太阳能光伏发电系统出现故障。

由于太阳能光伏电力与市电互补形式的太阳能路灯系统中有电力线路的存在，所以利用电力线载波对其进行日常管理和自动报警是最理想的方法。况且目前各种电力线载波通信模块已经比较成熟，价格也比较低，它和单片计算机可以很方便地组合成太阳能光伏电力与市电互补形式的太阳能路灯系统中的日常管理和自动报警系统。