

LED光伏照明系统在市政建设中的可行性研究

谭兰平¹, 梁寅², 杨绍辉³, 张文¹

(1. 昆明经济技术开发区建设管理有限公司, 云南 昆明 650023; 2. 昆明通用水务自来水有限公司, 云南 昆明 650050; 3. 德宏州人民医院, 云南 德宏 678400)

摘要: 路灯是市政工程中必不可少的照明设备, 其主要作用是在夜间为市政道路提供照明确保道路使用者的安全。以节能为切入点, 以工程案例为基础分析 LED 光源及负载特性、太阳能电池组件、蓄电池组件及其与这类负荷的匹配特性, 对市政照明中采用太阳能供电方式的可行性、适用范围和主要设计参数的优化进行了研究。

关键词: 太阳能路灯; 道路照明; LED 光源; 太阳能电池

The feasibility research of LED solar lighting system in the municipal construction

TAN Lanping¹, LIANG Yin², YANG Shaohui³, ZHANG Wen¹

(1. Kunming Economic and Technological Development Zone Construction Management Co., Ltd., Kunming 650023, China; 2. Kunming General Water Co., Ltd., Kunming 650050, China; 3. People's Hospital of Dehong, Dehong 678400, China)

Abstract: Street lights are important illuminating facilities in municipal engineering which illuminate the street in the evening to make assurance the security of all kinds of users. This paper begins with the issue of the energy consumption. The author analysis's the optical characteristics and the load characteristics of LED lighting facilities, and the solar cell modular and the battery modular. Both of the characteristics of source and load are analyzed and whether the sources suite the loads are also discussed. The feasibility, the scope of application, the optimal designing of the principle parameters in the designing of photovoltaic LED lighting system are researched in this paper.

Key words: street lighting; LED lighting facility; LOLP; photovoltaic cell

0 引言

在市政工程领域, 使用传统路灯不仅一次投入成本高, 在后期运营过程中还存在高能耗、高运营成本的缺点。随着技术发展, LED 光源已逐步走入民用及工业领域, 具有定向发光、功率耗低、驱动特性好、响应速度快和使用寿命长等优点^[1]。此外, LED 光源还有直流驱动、驱动电压低的优势, 使得利用太阳能光伏发电-蓄电池-LED 灯独立供电照明系统成为可能。目前我国乡村道路中普遍采用 LED 光伏照明路灯, 而城市道路中仍以市电供电的高压钠灯作为照明工具。随着技术的进步, LED 光伏照明系统技术已较为成熟, CJJ 45—2015《城市道路照明设计标准》^[2]的实施为其应用提供

了依据, 随着光伏组件和储能电池成本的降低, 以及性能的提升, LED 光伏照明在城市道路中应用的技术条件与时机已经逐渐成熟。

1 与传统照明系统对比分析

对比分析传统高压钠灯和 LED 光伏照明系统可知:

1) 高压钠灯光源理论寿命为 2 万 h, 由于受电网电压波动及高起动电流的影响, 实际寿命只有 5 000~6 000 h, 灯具故障随机且需租用高架车更换灯具, 从而导致后期维护成本较高, 而 LED 光伏照明系统中除蓄电池外其他部件寿命均能达到 10 年以上, 采用免维护胶体蓄电池, 蓄电池寿命

从3~5年提高至6~8年,维护成本相对较低。

2) 钠灯色温为2 000~2 500 K,是360°发光,出光效率低,而道路照明适合的色温是2 800~4 200 K^[3],而LED灯具是截止型光源,可以通过封装工艺制造出适合道路照明的色温。

3) 近年来,太阳能光伏组件价格持续下降,笔者调查供职企业历史采购数据显示,2015年1月单晶硅太阳能电池板采购价格为3.5元/W,而至2020年已降至1.5元/W。与此同时,LED太阳能路灯价格也呈现明显下降的趋势。2015年《昆明市建筑材料价格指导》中10 m高单杆单臂70 W LED太阳能路灯指导价格为15 978.00元/套,而2020年09期中60 W/太阳能电池板200 W/胶体铅酸蓄电池160 A·h/灯杆高8 m LED太阳能路灯已降至3 451.33元/套,其单套采购价已逼近约2 000元/套的单杆单臂高压钠灯,由于太阳能LED路灯无须进行电缆沟以及配电工程建设,其实际建造成本已经低于传统路灯的建造成本,逐渐取得了优越性。

2 LED 光伏照明应用的技术设计及可行性研究

本项目位于昆明市经开区,属于“创建文明城市”期间规划的亮化工程,内容为区某支路新建32组太阳能路灯,道路为沥青混凝土路面,宽约14 m,两侧人行道及绿化带各3 m,机动车道宽度8 m。

2.1 区域太阳能资源调查与分析

昆明属于太阳能资源丰富区,日照率56%,终年太阳投射角度大,年太阳能辐射量指标为5 016~5 852(MJ/m²),全年日照数为2 200~3 000 h,日标准光照当量时为4.26 h/d,属于非常适合开发利用光伏发电的城市。

2.2 连续阴雨天数计算

独立发电照明的太阳能LED路灯存在的一个重要问题是无法抵御较长的连续阴雨天,而导致亮灯时间不能满足市政道路的照明要求,这是制约太阳能LED路灯发展的主要因素之一^[4]。

国外通常采用负载缺电率LOLP来衡量供电

系统可靠性,它定义为系统停电时间与实际所需用电时间的比值,范围在0~1之间,数值越小代表可靠性越高。文献[5]给出户用光伏系统LOLP=1×10⁻²水平。据调查研究,我国特大城市供电可靠率均达到99.95%以上,平均约为99.96%,而城市道路照明电力负荷为三级负荷。综合以上分析,充分考虑环境、控制器及灯具等元件可能带来的可靠性降低,本文单从蓄电池容量角度出发取LOLP=2×10⁻²。

根据定义有以下公式

$$LOLP = \sum_{i \in L} P_i \quad (1)$$

式中, P_i 为停电事故演化过程中处于停电状态*i*的概率; L 为停电事故演化中停电状态的集合。

文献[6]数据显示:2001~2010年期间昆明发生一般性连续阴雨天气10次,中度连续阴雨天气4次,重度连续阴雨天气2次(一般性连续阴雨,持续时间7~9 d;中度连续阴雨,持续时间10~12 d;重度连续阴雨,持续时间≥13 d)。

设系统能维持照明的连续阴雨天数为*X*天,设年一般性连续阴雨出现概率为 P_1 ,持续时间 D_1 ,折中取8 d;年中度连续阴雨概率为 P_2 ,持续时间 D_2 ,折中取11 d;年重度连续阴雨概率为 P_3 ,持续时间 D_3 ,取14 d。

建立以下计算模型

$$LOLP = \frac{P_1(D_1 - X) + P_2(D_2 - X) + P_3(D_3 - X)}{365} \quad (2)$$

代入计算可以得出*X*为4.9天,考虑连续阴雨天来临前一晚的照明耗电,取最长无日照用电天数为6天,既能满足合理可靠性,又兼顾了系统的最佳经济性。

2.3 照度及功率的分析与计算

《城市道路照明设计标准》给出了支路机动车道照明标准值以及截光型灯具的配光类型、布置方式与灯具的安装高度、间距的关系,文献[7]给出了LED灯道路照明应注意的相关问题。机动车道照明标准值如表1所示。灯具布置方式、安装高度及间距的关系如表2所示。

表 1 机动车道照明标准值^[2]

Tab. 1 Standard value of motorway lighting

级别	道路类型	路面亮度			路面照度		眩光限制阈值增量 最大初始值 $T_1(\%)$	环境比 最小值 SR
		平均亮度维持值 $L_{av}/(cd/m^2)$	总均匀度最小 值 U_0	纵向均匀度 最小值 U_L	平均照度维持值 $E_{h,av}/lx$	均匀度最小 值 U_E		
III	支路	0.5/0.75	0.4	-	8/10	0.3	15	-

注：表中所列的平均照度仅适用于沥青路面。若系水泥混凝土路面，其平均照度值相应降低约 30%。

表 2 截光型灯具的布置方式、灯具的安装高度及间距的关系^[2]

Tab. 2 The arrangement of cut-off luminaires, the relationship between installation height and spacing of luminaires

布置方式	安装高度 H/m	间距 S/m
双侧交错布置	$H \geq 0.7 W_{eff}$	$S \leq 3 H$
双侧对称布置	$H \geq 0.5 W_{eff}$	$S \leq 3 H$

灯具采用双侧布置，悬挑长度 X_l 约 0.5 m，通过式(3)可知有效路面宽度 W_{eff} 为 7 m。

$$W_{eff} = w_s - nX_l \tag{3}$$

式中， w_s 为路面的实际宽度，m； n 为灯的路数，单

侧布置为 1，双侧布置为 2； x_l 为灯具的悬挑长度，m。采用利用系数法平均照度计算公式^[8]

$$E_{av} = \frac{\Phi u k n}{W_{eff} S} \tag{4}$$

式中， u 为利用系数； k 为维护系数。

取 E_{av} 为 10 lx，查表知 u 约为 0.32， k 为 0.7， H 为 8 m， S 取 3 H 布置并避开高大乔木，采用仰角 10° 进行安装以减少眩光，可计算出光通量 Φ 为 3 750 lm。

采用 DIALUX EVO8.1 按 CIE R2 道路标准进行模拟仿真，发现该光通量并不能满足表 2 中平均亮度维持值、总均匀度 U_0 最小值的要求，在调整光通量至 3 900 lm 时，有以下模拟结果如下图所示。

维护系数：0.70
格栅：10×6点

$L_m[cd/m^2]$ ≥ 0.50	U_0 ≥ 0.40	$T_1[\%]$ ≤ 15	U_L	EIR
✓0.50	✓0.58	✓4	*0.47	*0.83

*含信息，不属评估的一部分
水平照度

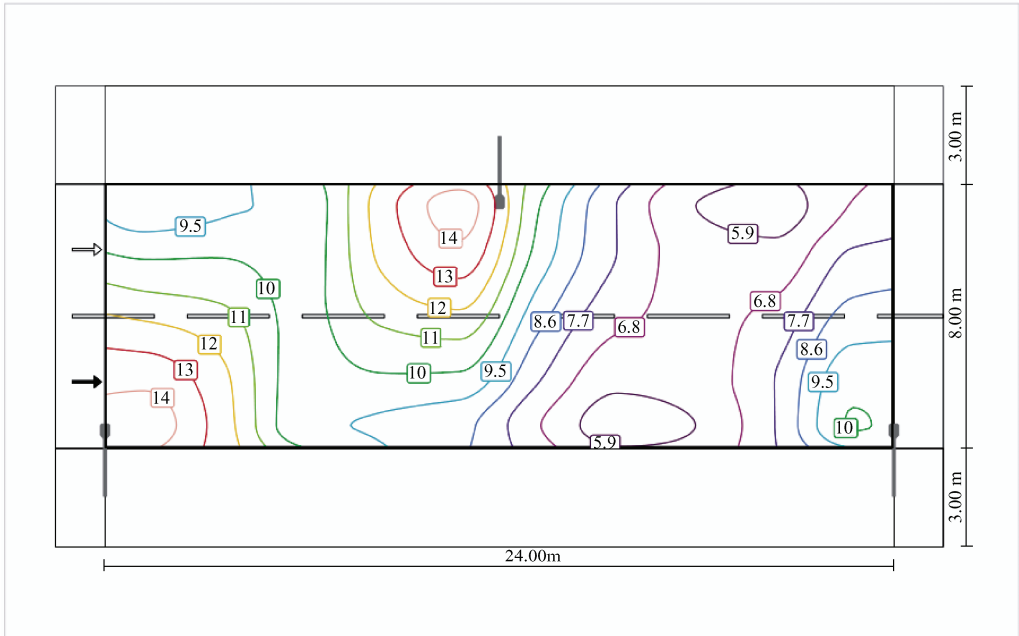


图 双侧交错布置照明模拟结果
Fig. Simulation results of two side staggered layout lighting

在该照度条件下,模拟结果满足道路照明指标要求,若继续增加光通量,各指标将进一步改善,因此取光通量约 4 000 lm 的 40 W LED 灯即可满足设计标准要求。

2.4 蓄电池容量计算

太阳电池组件及蓄电池容量组合进行最优化的目标在于:在保证 LED 路灯负载供电可靠性需求的前提下,使用最少数量的太阳电池组件以及蓄电池的容量来降低项目成本,以最优化的设计保证 LED 照明系统按经济的方式运行^[9]。

上节分析可知照明功率为 40 W,设系统电压等级为 24 V,照明系统平均每天亮灯时长约 9 h,每日总耗电计算公式为

$$Q_L = Wh \quad (5)$$

式中, Q_L 为每日总耗电瓦时, W·h; W 为总负载功率; h 为平均每天工作时间。

根据式(5)可以计算出每日总耗电量为 360 W·h。

太阳能充放电电池组蓄电池容量的计算公式为

$$C = \frac{DQ_L}{LDODV_t} \quad (6)$$

式中, C 为蓄电池组容量, A·h; D 为最长无日照用电天数,取 6 天; L 为蓄电池组充放电效率,取 0.85^[10]; DOD 为蓄电池组的放电深度,取 75%; V_t 为系统工作电压。

利用式(6)计算结果表明:所需的电池容量为 24 V, 141.18 A·h, 采用两只 12 V, 150 A·h 胶体电池串联即可实现。

2.5 光伏组件功率选择

昆明地区光伏固定倾斜角以 25° 最佳^[11],根据文献[12]统计数据表明,正南向 25° 倾斜面太阳辐射年总量为 6 004.0 MJ/m²,则光伏组件按照正南向 25° 安装时,日平均辐射当量时为 4.57 h/d。

在系统电压等级同为 24 V 时,有以下估算公式

$$W_p = \frac{Q_L D}{DOD d h_d} \quad (7)$$

式中, W_p 为光伏组件功率, W; d 为充电天数,设为 3 天; h_d 为倾角 25° 时日平均辐射当量时,值为 4.57 h/d。

式(7)计算结果表明:光伏组件功率为 225.1 W,将两块 24 V 的 120 W 太阳能板并联可满足需求。

3 运行调查与评估

本研究调查了该项目在实施后的运行情况,该项目自 2017 年 8 月竣工至今运行正常,2020 年 5 月 24 日~2020 年 5 月 28 日连续五日阴雨天,笔者于 5 月 28 日晚进行现场调查,并用 TASI TA8121 照度计进行测量,结果显示:全部路灯均能正常亮灯,在无明显杂散光干扰的路灯地面照度测量值在 11~14 lx 之间,在有较明显杂散光干扰的路灯地面照度测量值在 15~18 lx 之间,可以认为该项目光照效果以及抵抗连续阴雨天的能力可满足设计要求,且项目运行期间无发生故障及修缮事项。

参考昆明市 2020 年 09 期价格指导,60 W/太阳能电池板 200 W/胶体铅酸蓄电池 160 A·h/灯杆高 8 m 的 LED 太阳能路灯(胶体铅酸蓄电池)为 3 451.33 元,考虑到本设计中采用的太阳能电池板 120 W×2,蓄电池 150 A·h×2 以及路灯灯杆强度设计带来的成本增加,满足设计要求的太阳能路灯采购费用约为 4 200 元,而实现相同照明效果的传统市电照明路灯采购价格约为 2 000 元,两者价格相差并不显著。

建造太阳能路灯无须搭设照明箱式变电站、建设管路、敷设电缆、设置照明监控箱和检修井等配套设施,而传统市电路灯所必需的这些工作工程量大、周期长以及建造费用巨大,远远超出了路灯本身的采购费用,而且还严重影响道路的使用,相比之下太阳能路灯的建造就显得尤为简便和节约成本。

在运营方面,太阳能路灯无须消耗市电,无线路上的能耗损失,具有更低的维护费用,大大地节约了运营和维修费用,实现了节能环保的目的。

4 结束语

研究表明,在昆明地区满足市政支路照明设计标准要求的 LED 光伏照明系统在当前技术经济条件下,可以实现传统照明路灯同样高的可靠性,在标准更低的人行和非机动车道及城市景观、园区等场所的照明中,其可靠性、经济性更好,因此在一些日照资源丰富的城市中进一步推广建设 LED 光伏照明系统是具有可行性的,既能达到节能环保的要求,又能满足和谐城市环境的需要,为城市道路照明建设提供了一种新的选择。**EA**

参考文献

- [1] 章海骢. LED 成为道路、街路照明用光源的几点看法[J]. 照明, 2008(6): 37-48.
- [2] 中国建筑科学研究院, 安徽鲁班建设投资集团有限公司. 城市道路照明设计标准: CJJ45—2015 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
- [3] 冯士良, 陆哲. 论城市道路 LED 路灯的色温选择[J]. 建设科技, 2016(9): 61-63.
- [4] 俞安琪. LED 道路照明推广应关注的问题[J]. 照明工程学报, 2015(4): I0003-I0006.
- [5] 杨金焕, 汪征滋, 陈中华, 等. 负载缺电率用于独立光伏系统的最优化设计[J]. 太阳能学报, 1999(1): 93-99.

- [6] 周鹏康, 秦金梅, 孙秀芬, 等. 云南 1981~2010 年 5~10 月连阴雨时空分布特征[J]. 干旱气象, 2015(5): 796-801.
- [7] LED 道路照明“灯下黑”问题的分析[J]. 照明工程学报, 2018(1): 67-71, 81.
- [8] 谈莹, 汤威. 道路照明设计的几个常见问题[J]. 建筑电气, 2019(3): 37-41.
- [9] 邓敏, 徐冬梅, 赵雪凯, 等. 太阳能路灯系统的优化设计与分析[J]. 太阳能, 2016(5): 45-48.
- [10] 沈洁, 丁玮, 等. 光伏发电系统设计与施工[M]. 北京: 化学工业出版社, 2017.
- [11] 毕二朋, 刘寒芳, 刘耀, 等. 昆明地区太阳辐射量计算与分析[J]. 工程质量, 2017(5): 85-88.
- [12] 王春彦, 张洪梅, 彭尔瑞. 昆明地区倾斜面上太阳辐射的计算与分析[J]. 现代农业科技, 2013(11): 231-233.

作者简介:



谭兰平

谭兰平(1982—), 男, 硕士, 工程师, 从事建筑电气设计、城市照明和亮化工程施工管理等工作。

(收稿日期: 2020-12-15)