

太阳能光伏电池技术在公路光伏发电中的应用与改进

操龙斌

安徽职业技术学院 汽车工程学院 安徽合肥 230011

摘要: 公路光伏发电是我国新增长最快的可再生能源利用方式之一。但目前公路光伏电站的发电效率整体偏低,设备安装难度大,运行维护成本高。导致发电效率不高的主要原因是电池转换效率有限,公路场地条件复杂也降低了效率。为提升公路光伏发电的技术经济效益,本研究通过分析现有光伏系统的工作原理、公路环境适应性和运维情况,提出了针对性对策。研究认为,核心是提高光伏电池自身的转换效率,并优化系统的设计集成方案。同时,要研发适应恶劣环境的安装工艺和维护技术,建立专业的运行团队。研究表明,持续推进技术创新和管理创新,可以有效提升公路光伏系统的发电效率、可靠性和经济竞争力。

关键词: 太阳能光伏技术; 公路光伏发电; 应用与改进

经济的快速发展,导致我国公路运输量激增,道路设施用电需求大幅提高。公路沿线分布广阔的空间资源和优质的光照条件,为公路光伏发电的发展提供了独特优势。近年来,我国公路光伏发电取得长足发展,已初步形成一定规模。但是,公路光伏发电系统效率较低,严重制约了其推广应用。提高公路光伏发电效率,是目前亟待解决的技术难题。在全球应对气候变化的大背景下,发展清洁可再生能源刻不容缓。公路光伏发电作为一个可持续的新兴规模化可再生能源利用途径,蕴藏巨大的发展潜力。

1 公路光伏发电应用现状

我国公路光伏发电主要采用硅基光伏组件与公路设施集成技术,成本较低且可靠,但转换效率有限。项目规模普遍较小,主要集中在百千瓦至万瓦级,最大仅达十几兆瓦,受限于公路场地空间。东部经济发达省份如江苏、山东的规模较大,西部地区发展相对滞后。2019 年,公路光伏装机容量约 1500 兆瓦,主要用于为路灯、交通信号灯等公路设施供电,部分电量上网或供应周边用户,体现出较好的经济效益。内部消纳电价约 0.3–0.4 元/千瓦时,上网电价最高可达 1 元/千瓦时。尽管面临一定技术与规模挑战,公路光伏发电的市场前景广阔,亟需推进技术与管理创新以降低成本并促进广泛应用。

2 光伏技术在公路光伏发电中的应用分析

2.1 光伏电池的工作原理

光伏电池是实现光电转换的核心部件,通过半导体的

光生伏特效应,将光子转化为电子和空穴,在外部电路中形成电流。光伏电池由 p 型和 n 型半导体材料构成的 pn 结组成,阳光照射时,价带中的电子获得能量跃迁至导带,留下空穴,在电场作用下,电子和空穴分别流向 n 型和 p 型区域,形成光伏效应电流。晶体结构和禁带宽度影响电子空穴对的生成效率和复合概率,从而决定光电转换效率。当前公路光伏电站使用的晶硅电池效率为 15–20%,而新型量子点和有机薄膜电池的效率有望突破 25%。

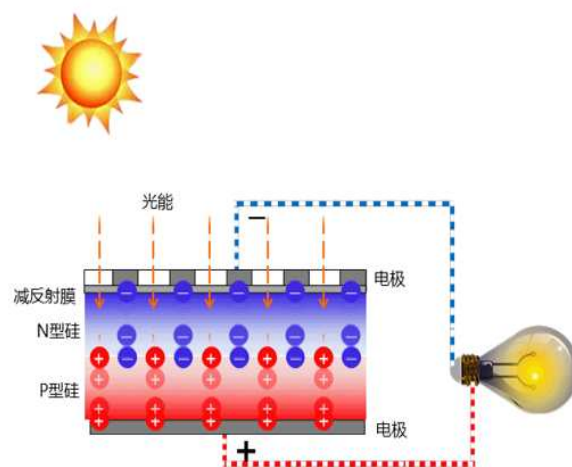


图 1 光伏电池工作原理

2.2 光伏电池在公路设施中的集成应用方式

光伏电池可以与不同的公路设施有机集成,形成光伏发电系统。主要的集成应用方式有:

（1）光伏隔音屏

光伏隔音屏将光伏电池组件安装在公路隔音屏表面，兼具发电和减噪功能，最大化利用线性设施的面积。结构通常采用玻璃钢或混凝土板，背面粘贴光伏组件，并采用钢化玻璃封装以抵抗风压。电池布置需避开监控摄像头视角死角，组件连接需牢固可靠。电气系统需考虑阴影遮挡影响，采用优化逆变器提高效率。光伏隔音屏提高土地利用率，降低投资成本，通过优化设计确保长期发电效率。

（2）光伏遮阳棚

光伏遮阳棚主要用于公路服务区、停车场等需要遮阳的场所，采用钢架结构和光伏组件顶部覆盖。钢架需具备足够抗风压强度，光伏板选用抗风压钢化玻璃或高透光率硅薄膜组件。电气系统需防潮防雷，遮阳棚倾角根据纬度设定，一般为 15–45 度。遮阳棚间距需考虑通行需求。光伏遮阳棚兼具发电与遮阳功能，充分利用停车场等空间，提供停车位，具有较高的综合应用价值。

（3）透光光伏路面

透光光伏路面将透光型太阳能电池组件铺设在公路或停车场地面，兼具光线透射与发电功能。组件材料包括硅基薄膜和铜铟镓硒薄膜，设计可采用镂空或栅格结构，透光率为 10–30%。考虑路面承重，组件背面需粘贴增强层，安装时需保证平整基层并密封组件间隙。电气系统需防水、防压处理。该系统充分利用公路地表空间，适度透光保障地面功能，具有较高综合效益。

（4）光伏护栏

光伏护栏将光伏组件集成在公路护栏上，利用护栏主体（如混凝土）和钢筋骨架进行固定。光伏组件安装在护栏外侧，采用耐撞击的钢化玻璃封装材料以承受车辆冲击。电气系统布线隐藏于护栏体内。光伏护栏有效利用公路两侧无遮挡空间，扩大分布式电站规模，同时兼顾发电和安全防护功能，提升土地利用率。

（5）光伏雨棚

光伏雨棚将光伏系统安装在公路服务区加油站高架棚顶，兼具遮阳、遮雨和发电功能。顶棚采用钢架或钢结构骨架，确保足够承重并留出通行高度。系统需进行防水和绝缘设计，采用高效薄膜组件提升发电效果。LED 照明可与系统集成，确保全天候运行，发电量稳定。光伏雨棚综合能源生产和基础设施功能，具有良好的技术经济性。

2.3 光伏技术对提高公路发电效率的作用

光伏技术的应用是提升公路光伏发电系统效率的关键。在电池层面，通过改进材料质量、优化结构设计和采用高效电池技术，能够提高光电转换效率，增加单位面积的发电量。作为光伏系统的核心，电池效率的提升直接促进系统发电量的增加。在电力转换环节，先进的逆变器变流技术可显著减少能量转换损失，提高电能利用率。逆变器作为并网发电的关键设备，其转换效率和稳定性对系统整体效率至关重要。在系统配置上，优化组件布置角度、方向和间距，并精心设计电气布线，可减少遮挡效应，提升光能吸收与转换效果，进而提高发电量。

3 公路光伏发电存在的主要问题

3.1 发电效率较低

公路光伏发电系统的发电效率较低，光电转换率约为 15%，低于静态光伏发电的 5–8 个百分点。当前应用的硅基光伏电池（如多晶硅、单晶硅）转换效率一般为 20–25%，低于高效薄膜电池。这一效率限制直接影响系统发电量。公路场地环境进一步降低发电效率，狭窄的空间导致部件间遮挡，光照不足；同时，车辆行驶产生的灰尘污染也影响组件性能。这些特有的环境因素对光伏系统的效率产生了负面影响。

3.2 安装难度大

在公路中使用光伏电池意味着电池不仅要面对日常的气候变化，还必须承受过往车辆所带来的巨大压力。这些特殊的需求使得研发专门针对公路环境的光伏安装工艺变得尤为关键。一方面，考虑公路负载要求，光伏结构设计较复杂；光伏组件与公路设施的匹配难度大。另一方面，系统机电安装配合度高，对施工作业精度要求较高；公路复杂环境对系统安全性和防护性要求较高，施工风险防控难度大。这些因素增加了公路光伏项目的设计、施工和安装难度。

3.3 维护成本高

由于公路光伏发电系统需要面对公路上机动车辆的影响，其运维保障难度较大，维护成本也较高。系统运行过程中，橡胶颗粒、灰尘等污染物易附着在光伏组件表面，影响发电量，需要频繁清洗以保持性能。恶劣天气可能对设施造成损坏，需要加强抗风防雷等防护措施。另外，电站设备的运行检修需要对道路交通实施管制，操作复杂，维修保养不易开展。最后，更换损坏的电气部件和光伏组件存在一定安全隐

患,维修过程复杂。

4 解决公路光伏发电问题的对策

4.1 提高光伏电池转换效率,优化公路结构改善光照

转换效率是评估光伏电池性能的关键指标,决定了其将阳光转化为电能的能力。近年来,钙钛矿等新型半导体材料展现出超越传统硅材料的潜力,具备更高的光吸收率和电荷传输效率。电池设计同样重要,异质结构和多结电池可扩展光谱范围,提高效率。对于公路光伏发电,单纯铺设电池板不足以达到最佳效果,需要优化公路结构和布局。例如,根据公路地理位置和纬度调整电池板角度,利用斜坡或凹槽结构确保均匀的光照分布。结合反射材料,能进一步增加电池板接收到的阳光量,从而提高系统效率。

4.2 研发适合公路的安装工艺,合理设计承重

公路光伏发电系统的稳定性不仅依赖于电池性能,还需要优化安装环境和结构设计。电池封装材料需具备良好的透光性和抗压性能,钢化玻璃或高强度复合材料可提高机械强度并实现轻量化。优化安装结构设计时,要确保均匀分散车辆荷载,避免局部应力过大,这可能需要运用工程力学和材料学原理进行承重分析。公路稳定性取决于地基和下层结构的质量,良好的地基承载力是光伏系统稳定运行的前提。地基沉降、裂缝等问题可能导致电池移位或损坏,影响工作效率和使用寿命。

4.3 开发抗脏污和防刮擦光伏电池,培养专业维修团队

为确保公路光伏发电系统长期稳定运行,不仅需要先进的电池技术,还需专业的维修团队支持。通过在电池表面涂覆特殊防污涂料或纳米涂层,可减少尘土和污垢附着,同时提供一定的物理保护,抵御刮擦或撞击。尽管电池具有防护性能,长时间使用和外部环境仍可能导致性能下降。因此,培养专业维修团队至关重要。经过良好培训的团队能定期检查设备,发现潜在问题,并进行必要的维护和清洁,确保电池保持最佳状态。随着技术发展,维修团队需不断更新知识,以应对新的挑战和需求。

5 总结

公路光伏发电作为一种新兴的可再生能源利用方式,具有显著的环境和经济效益。它可以有效利用公路空间资源,

为道路设施供电,也可以并网发电。但是目前公路光伏发电系统的发电效率较低、安装难度大、维护成本高等问题制约了其进一步发展。为实现公路光伏发电的规模化应用,需要从电池材料、系统设计、安装工艺和维护管理等方面进行全面的技术创新与改进。提高光伏电池转换效率是关键,同时还需要研发适合公路环境的集成技术方案,建立专业的运行维护体系。只有持续推进技术进步和管理创新,才能发挥好公路光伏发电的独特优势,实现其可持续、高效、低成本的发展。

参考文献:

- [1] 柳伟. 太阳能光伏发电技术的应用探讨[J]. 科学与信息化, 2023(14):76-78
- [2] 李明东, 李婧雯. “双碳”目标下中国分布式光伏发电的发展现状和展望[J]. 太阳能, 2023(5):5-10
- [3] 刘宇轩, 杜永英. 浅谈太阳能光伏发电技术[J]. 电大理工, 2022(4):7-11
- [4] 赵晓明. 新能源光伏发电技术的应用探析[J]. 机械与电子控制工程, 2023, 5(6): 240-242.
- [5] 王俊朝. 国内太阳能光伏装备的现状与发展[C]// 中国电子材料行业协会, 陕西省工业与信息化厅, 陕西省科技厅, 陕西有色金属控股集团有限责任公司. 多晶硅及太阳能电池技术发展研讨会论文集[出版者不详], 2011:214-235.
- [6] 安徽职业技术学院. 一种公路光伏遮光系统:CN201910436543.0[P]. 2021-02-05.(国家发明专利, 第一发明人: 操龙斌)
- [7] 安徽职业技术学院. 一种全年角度可调光伏装置:CN201910707007.X[P]. 2021-09-10.(国家发明专利, 第一发明人: 操龙斌)

作者简介: 操龙斌(1987—), 男, 汉族, 安徽潜山市人, 安徽职业技术学院讲师, 硕士, 研究方向为光伏发电效率提升与研究。

基金项目: 2023 年度安徽省高校自然科学研究项目“基于发电效率提升的公路光伏发电系统优化设计研究”(2023AH051446)