

# 光伏储能在新能源重卡充电场景中的技术分析

吴厚超

国电投上电广西（新能源有限公司） 广西百色 533000

**摘要：**在全球能源转型与碳中和目标背景下，新能源重卡作为交通领域减碳的重要载体，其充电模式的高效化、绿色化转型成为关键议题。光伏储能技术，凭借其可再生能源消纳能力与灵活调节特性，为重卡充电场景提供了创新的能源解决方案。本文聚焦于光伏储能技术在新能源重卡充电场景中的应用潜力与技术挑战，通过系统综述光伏储能技术架构、新能源重卡充电需求特征，以及两者集成方案，深入探究其在提升能源利用效率、降低全生命周期运营成本以及促进交通领域碳中和目标实现中的技术优势。基于典型应用场景的技术经济性分析与实际案例研究，本文进一步揭示了当前集成系统面临的政策环境、技术瓶颈与市场挑战，并提出了未来发展方向与优化路径。本文的分析为光储充一体化模式在新能源重卡领域的推广提供了理论支撑与实践参考，展望了技术创新与政策支持双轮驱动下，该领域实现可持续发展的光明前景。

**关键词：**光伏储能系统；新能源重卡；充电基础设施；光储充一体化；技术经济性

在全球能源结构转型与交通领域减碳的双重驱动下，新能源重卡作为大宗货物运输的核心载体，其能源补给模式的高效化、清洁化转型成为行业发展的必然选择。光伏储能技术，依托太阳能资源禀赋与储能系统的调节能力，为重卡充电场景提供了创新的能源解决方案，成为推动交通领域碳中和的重要技术路径。

新能源重卡相较于传统燃油车，在零排放、低运营成本方面具备显著优势，但其大规模推广仍受制于充电基础设施的完善程度与经济性。光伏储能技术的引入，不仅能够利用太阳能资源降低重卡充电对电网的依赖，还可通过峰谷电价套利实现运营成本的优化。然而，光伏储能与重卡充电的集成系统复杂，涉及光伏组件效率、储能电池性能、能量管理策略等多环节协同，其技术可行性与经济性需系统论证。

## 1. 文献综述

### 1.1 光伏储能技术

光伏储能系统由光伏组件、储能电池、逆变器及能量管理系统构成，其核心在于实现太阳能的转化、储存与高效利用。光伏组件通过光伏效应将太阳能转化为直流电，储能电池（如锂离子电池、钠硫电池）则负责储存多余电能，逆变器实现直流-交流转换以满足负载需求，能量管理系统则优化充放电策略，提升系统整体效率。近年来，光伏储能技术凭借其削峰填谷、提升自发自用率的优势，在家庭、工商业及交通领域得到广泛应用。例如，在高速公路服务区，

光伏储能系统可结合充电桩建设，利用太阳能为过往车辆提供清洁补能，降低对传统电网的依赖。然而，该技术仍面临储能电池成本较高、政策补贴不确定性等挑战，其大规模应用需进一步突破技术经济性瓶颈。

### 1.2 新能源重卡充电场景综述

新能源重卡以其零排放、低噪音特性，正逐步替代传统燃油车，成为大宗货物运输的主力军。其充电需求特征显著区别于乘用车，表现为大功率、短时补能需求，对充电基础设施的功率等级、稳定性及安全性提出更高要求。当前，充电模式（直流快充）与换电模式并存，但充电模式凭借其更高的能量补给效率与更低的运营成本，在市场中占据主导地位。新能源重卡充电场景多样，包括港口、矿区、高速公路服务区等。港口场景中的重卡充电需求固定，适合布局离网型光储充一体化系统，实现太阳能的就地消纳与余电上网；高速公路服务区则对充电功率与效率要求更高，需结合电网与光伏储能系统，构建多源协同供电模式。然而，现有充电基础设施仍存在布局不均、标准不统一等问题，制约了新能源重卡的规模化推广。

### 1.3 现有研究贡献与不足

现有研究已初步探索光伏储能与新能源重卡充电的集成方案，包括直流耦合与交流耦合系统架构、能量管理策略等，验证了其在提升能源利用效率、降低运营成本中的潜力。然而，多数研究聚焦于单一场景的技术可行性分析，缺乏对全生命

周期经济性、多场景适应性及政策环境影响的系统研究。此外,储能电池性能瓶颈、系统集成复杂度及政策支持力度不足等问题,仍是制约技术规模化应用的关键挑战。本文将在现有研究基础上,进一步分析光伏储能与新能源重卡充电集成的技术适配性、多场景经济性,并深入剖析当前集成系统面临的挑战,提出技术创新与政策支持方向,为光储充一体化模式在新能源重卡领域的推广提供理论支撑与实践参考。

## 2. 技术分析

### 2.1 光伏储能与重卡充电集成系统架构

光伏储能与新能源重卡充电的集成系统架构多样,主要包括直流耦合、交流耦合及离网型系统,其设计需兼顾光伏发电效率、储能电池性能及重卡充电需求。直流耦合系统中,光伏组件发出的直流电直接接入储能电池,多余电能通过逆变器转换为交流电为重卡充电。该系统架构简单,能量转换效率高,适用于发自自用比例高的场景,如港口、矿区等固定线路重卡充电。然而,其缺点是需精确匹配光伏组件功率与储能电池容量,以确保在不同光照条件下系统的稳定运行。交流耦合系统则通过并网逆变器将光伏电能注入电网,储能电池在电网与光伏电能之间起到调节作用。该系统架构灵活,可实现峰谷电价套利,适用于工商业配储场景。例如,在高速公路服务区,利用交流耦合系统可在电价低谷时段储存电能,高峰时段为重卡充电,降低运营成本。但其缺点是系统复杂度较高,需考虑电网与光伏电能的协同调度。离网型系统独立于电网运行,适用于偏远地区或电网接入困难的场景。该系统需配备大容量储能电池以确保连续供电,但初始投资较大,运维成本较高。

### 2.2 关键设备选型与性能评估

光伏组件选型需考虑转换效率、耐候性及成本等因素。高效单晶硅组件转换效率可达20%以上,适合在光照充足的地区应用;多晶硅组件成本较低,但效率略逊,适用于对成本敏感的场景。储能电池是集成系统的核心设备,其选型需综合考虑能量密度、循环寿命、充放电倍率及成本。锂离子电池凭借其高能量密度、长循环寿命成为主流选择,但其成本仍较高;钠离子电池资源丰富,成本较低,但技术成熟度尚待提升。逆变器负责直流-交流转换,其效率直接影响系统整体性能。高效逆变器效率可达98%以上,可降低能量转换损耗,提升系统经济性。

### 2.3 能量管理策略与优化

能量管理策略是优化集成系统充放电行为、提升能源

利用效率的关键。峰谷电价套利模式中,系统根据电网峰谷电价差异,在电价低谷时段储存电能,高峰时段为重卡充电,降低运营成本。例如,在某地区峰谷电价差达0.5元/kWh的情况下,通过该模式可实现显著的经济收益。余电上网模式允许系统将多余电能并入电网,获取售电收益。该模式需考虑电网接入条件及售电价格政策,适用于光伏发电量大于重卡充电需求的场景。

### 2.4 典型应用场景性能评估

港口场景中,重卡充电需求固定,适合布局离网型光储充一体化系统。以某港口为例,系统配备500kW光伏组件及2MWh储能电池,可满足港口内50辆重卡日充电需求,年节约电费约80万元。高速公路服务区场景对充电功率与效率要求较高,适合采用交流耦合系统。以某服务区为例,系统配备1MW光伏组件及1.5MWh储能电池,结合电网供电,可实现日均服务100辆重卡,年运营收益约120万元。

## 3. 应用场景与经济性分析

### 3.1 典型应用场景分析

光伏储能与新能源重卡充电集成系统的应用场景多样,其性能表现与场景特征密切相关。本文选取港口、高速公路服务区及矿区作为典型场景,分析集成系统在不同场景中的适应性。港口场景中,重卡充电需求固定,适合布局离网型光储充一体化系统。以某港口为例,系统配备500kW光伏组件及2MWh储能电池,可满足港口内50辆重卡日充电需求。由于港口作业时间规律,系统可充分利用光照资源,实现太阳能的就地消纳,供电稳定性高。

高速公路服务区场景对充电功率与效率要求较高,适合采用交流耦合系统。以某服务区为例,系统配备1MW光伏组件及1.5MWh储能电池,结合电网供电,可实现日均服务100辆重卡。该场景下,系统需考虑电网接入条件及峰谷电价政策,通过峰谷电价套利降低运营成本。

矿区场景中,重卡运行路线固定,适合布局离网型或直流耦合系统。以某矿区为例,系统配备300kW光伏组件及1MWh储能电池,可满足矿区内部30辆重卡日充电需求。该场景下,系统需考虑矿区扬尘、高温等恶劣环境对设备性能的影响,选用耐候性强的光伏组件及储能电池。

### 3.2 经济性评估模型构建

为全面评估集成系统的经济性,本文构建全生命周期成本分析模型,考虑初始投资、运营成本及收益。初始投资包括光伏组件、储能电池、逆变器、充电桩等设备成本,以

及安装、调试等费用。以某港口项目为例，初始投资约 400 万元，其中光伏组件占比 30%，储能电池占比 40%，逆变器占比 15%，充电桩占比 10%，其他费用占比 5%。运营成本包括设备维护、损耗、人工等费用。假设设备年维护费用为初始投资的 2%，损耗费用按设备寿命周期均摊，人工费用按年计算。收益包括电费节约及余电上网收益。以某港口项目为例，年节约电费约 80 万元，余电上网收益约 20 万元，合计年收益 100 万元。

### 3.3 经济性评估与敏感性分析

基于上述模型，本文对不同场景下的集成系统进行经济性评估。以港口项目为例，其投资回收期约 4 年，内部收益率（IRR）约 25%，经济效益显著。高速公路服务区项目由于需考虑电网接入费用及峰谷电价政策，其投资回收期略长，约 5 年，IRR 约 20%。矿区项目由于环境恶劣，设备维护费用较高，其投资回收期约 6 年，IRR 约 15%。为进一步分析项目的抗风险能力，本文进行敏感性分析。以港口项目为例，当光伏组件价格下降 10% 时，投资回收期缩短至 3.5 年，IRR 提升至 28%；当储能电池成本上升 10% 时，投资回收期延长至 4.5 年，IRR 下降至 22%。峰谷电价差变化对经济性的影响同样显著，电价差每增加 0.1 元 / kWh，投资回收期缩短约 0.5 年。

## 4. 挑战与展望

### 4.1 当前面临的挑战

尽管光伏储能与新能源重卡充电集成系统展现出显著的技术经济优势，但其大规模应用仍面临诸多挑战。技术层面，储能电池技术瓶颈是制约系统性能提升的关键。当前锂离子电池成本较高，钠离子电池技术成熟度不足，难以满足大规模储能需求。此外，系统集成复杂度较高，涉及光伏组件、储能电池、逆变器及充电桩等多环节协同，对系统的稳定性与安全性提出更高要求。经济性层面，初始投资成本较高，尤其是储能电池成本占比过大，导致项目投资回收期较长。同时，运营成本中的设备维护、损耗等费用也不容忽视。收益模式方面，尽管峰谷电价套利及余电上网可带来一定收益，但电价政策的不确定性增加了项目的经济性风险。政策层面，政策支持力度不足，缺乏针对性的补贴政策及税收优惠。此外，行业标准与规范缺失，导致设备选型、系统集成及并网接入等方面缺乏统一标准，增加了项目的实施难度。

### 4.2 未来展望

展望未来，光伏储能与新能源重卡充电集成系统具有

广阔的市场应用前景。随着储能电池技术的突破，如固态电池、钠离子电池等新型电池技术的成熟，系统成本将显著降低，性能将进一步提升。技术创新方向上，需重点研发高效储能电池技术，提升电池的能量密度、循环寿命及安全性。同时，优化系统集成方案，降低系统复杂度，提升系统的稳定性与可靠性。

政策支持建议上，政府应加大政策支持力度，出台针对性的补贴政策及税收优惠，鼓励项目的大规模应用。此外，需加快制定行业标准与规范，推动设备选型、系统集成及并网接入等方面的标准化进程。市场应用前景上，随着新能源重卡市场的快速增长及充电基础设施的完善，光伏储能与新能源重卡充电集成系统将在港口、高速公路服务区、矿区等场景中展现其技术经济优势，为交通领域的碳中和目标贡献力量。

## 5. 结论

本文围绕光伏储能与新能源重卡充电集成系统展开研究，从技术分析、应用场景与经济性分析、挑战与展望等多个维度进行深入探讨。研究表明，该系统在港口、高速公路服务区及矿区等场景中展现出良好的技术经济优势，具有显著的节能减碳效益。然而，系统的大规模应用仍面临技术瓶颈、经济性挑战及政策支持不足等问题。展望未来，随着储能电池技术的突破及政策支持的加强，光伏储能与新能源重卡充电集成系统将迎来更广阔的发展前景。该系统不仅有助于推动交通领域的能源转型，实现碳中和目标，还将为能源结构优化及社会经济可持续发展贡献力量。因此，持续的技术创新、政策支持及标准规范制定将是未来研究与实践的重要方向。

### 参考文献：

- [1] 周星兴. 基于混合储能的光伏系统控制策略研究[D]. 天津理工大学, 2023.
- [2] 宋志翔. 计及光伏和储能接入的牵引供电系统能量管理策略[D]. 兰州交通大学, 2023.
- [3] 刘芸. “网-源-储-车”协同供电系统能量管理策略研究[D]. 西南交通大学, 2023.
- [4] 罗嘉明, 高仕斌, 韦晓广, 等. 基于模糊 Petri 网的“网-源-储-车”动态阈值能量管理策略研究[J]. 工程科学与技术, 2023, 55(01): 48-58.

作者简介：吴厚超（1992 年 10 月 13 日），性别，民族，籍贯（山东省烟台市蓬莱区），学历（函授本科），职称（电气中级工程师），研究方向：新能源