

光伏电站运维成本分析与优化控制研究

买买提·托合提

新疆华电喀什热电有限责任公司 新疆喀什 844000

摘要: 在光伏产业蓬勃发展的当下,光伏电站运维成本的管控对其经济效益与可持续发展起着决定性作用。本研究运用多学科理论,深入剖析运维成本的构成要素、影响因素,并从智能化运维技术、运维流程、设备管理、人员培训及电站规划布局等多个维度,提出一系列具有创新性与可操作性的优化策略,旨在为光伏电站降本增效、增强市场竞争力提供坚实的理论与实践支撑。

关键词: 光伏电站; 运维成本; 优化控制

引言

在全球能源转型的大背景下,光伏电站作为太阳能高效利用的关键设施,在能源结构中的占比持续攀升,其稳定运行对保障能源供应、减少碳排放意义非凡。从经济学的投资回报理论来看,光伏电站的经济效益不仅取决于初期建设投资,长期运维成本更是影响投资回报率的关键因素。合理管控运维成本,能够显著提升光伏电站在能源市场的竞争力,推动光伏产业的可持续发展。因此,深入探究光伏电站运维成本的构成及优化策略,具有极为重要的现实意义。

一、光伏电站运维成本构成分析

(一) 人工成本

人工成本在光伏电站运维成本体系中占据重要地位,涵盖薪资、福利和培训等多方面费用。依据人力资源管理中的人力资本理论,人工成本的高低受多种因素制约。规模经济理论表明,大型光伏电站由于设备规模庞大、系统复杂,需要配备更多专业技术人员来确保电站稳定运行^[1]。以大型集中式光伏电站和小型分布式光伏电站为例,大型电站的设备数量可能是小型电站的数十倍甚至上百倍,相应地,每兆瓦所需运维人员数量,大型电站约为2-3人,而小型分布式电站仅为0.5-1人。从劳动力市场理论角度分析,不同地区的劳动力价格存在显著差异。经济发达地区生活成本高,对专业人才的竞争激烈,运维人员薪资水平较高。偏远地区虽然生活成本相对较低,但由于人才稀缺,招聘和留住运维人员的成本也较高。

(二) 设备维护成本

设备维护成本是光伏电站运维成本的重要组成部分,

涉及光伏组件、逆变器、电缆等核心设备的定期检修、零部件更换和突发故障维修等费用。从设备全生命周期理论来看,设备在运行阶段的维护成本与设备选型、使用环境、运行时间等因素紧密相关。光伏组件长期暴露在自然环境中,受到风沙、雨水、紫外线等侵蚀,性能会逐渐下降,需要定期清洁、检测和修复。逆变器作为将直流电转换为交流电的关键设备,内部电子元件在长期运行过程中易受温度、电压波动等因素影响而老化损坏,维修成本较高。研究表明,采用先进材料和制造工艺的高质量光伏组件,虽然初始购置成本较高,但在其使用寿命内,能够有效降低维护和更换成本。

(三) 运行监测成本

运行监测成本是保障光伏电站安全、高效运行的必要投入。依据系统工程理论,为实现对光伏电站运行状态的实时监控,需要构建一套完整的监测体系,涵盖监测设备的采购、安装以及后续的数据采集、处理等环节。监测设备的性能和精度直接影响数据质量,高精度的光伏板监测传感器能够更准确地测量光伏板的输出电压、电流等参数,为及时发现潜在故障提供依据。在数据采集与处理方面,涉及数据传输、存储和分析算法等技术。根据信息论中的香农定理,高效的数据传输协议能够确保数据快速、准确地传输至监控中心,先进的数据处理算法则能从海量数据中提取有价值的信息,实现对电站运行状态的精准评估。另外,故障排查和维修过程中产生的费用也是运行监测成本的重要部分。

(四) 电网接入成本

光伏电站所发电能并入电网进行输送和售卖的过程中,会产生电网接入成本,主要包括电网接入设备(如

变压器、开关设备等)的采购与安装、输电线路建设以及签订并网协议等费用。从电力系统规划理论来看,电网接入成本受电站地理位置、电网布局以及接入电压等级等因素的制约。地处偏远地区的光伏电站,由于接入距离远、电网基础设施薄弱,需要克服长距离输电带来的线路损耗和建设成本增加等问题,导致电网接入成本居高不下。

(五) 其他成本

其他成本包括土地租赁费用(若电站建于租赁土地)、保险费用(用于防范自然灾害和意外事故风险)、办公费用等。对于漂浮式光伏电站,由于其特殊的建设环境和技术要求,土地租赁成本可能更高^[2]。从风险管理理论角度分析,保险费用是转移电站运行风险的必要支出。土地租赁费用则与电站选址及土地资源稀缺性相关。这些成本虽然在运维成本中占比较小,但在总成本控制中同样不容忽视。

二、光伏电站运维成本影响因素剖析

(一) 电站规模与地理位置

电站规模对运维成本有着显著影响。大规模电站设备数量多、分布范围广,巡检维护工作量呈几何倍数增加。从劳动经济学的边际成本理论来看,大规模电站需要投入更多的人力资源,导致人工成本上升。同时,设备数量的增加也提高了设备故障的概率,加大了设备维护成本。地理位置方面,地处偏远、自然条件恶劣地区的电站,运维人员工作环境艰苦,劳动强度大,人工成本相应提高。恶劣的气候条件还会加速设备老化,增加设备故障率,导致维修频次上升^[3]。再者,偏远地区物资运输不便,运输成本高,进一步制约了运维成本的控制。

(二) 设备质量与可靠性

设备质量与可靠性是影响运维成本的关键因素。高质量、可靠性强的设备在运行过程中故障率低,能够显著降低长期维护成本和设备更换频率。根据设备全生命周期成本理论,虽然高质量设备初始投资较高,但在整个生命周期内,其维护成本与设备更换成本总和较低,具有更高的经济性。例如,采用先进材料和制造工艺的光伏组件,抗老化性能强,可减少因组件性能下降导致的维护和更换成本。高性能逆变器稳定性好,可降低故障维修次数。

(三) 运维管理水平

科学、精细化的运维管理能够有效降低运维成本。

通过精准定位故障,可减少设备停机时间,降低维修成本。合理安排巡检维护计划,可提高运维效率,避免过度维护。优化备件库存管理,可减少资金占用和库存积压。从项目管理理论中的精益管理理念来看,良好的运维管理能够实现资源的优化配置,提高运维效率和效益。相反,粗放式管理容易导致故障排查不及时、维护计划不合理、备件库存混乱等问题,进而导致成本失控。

(四) 技术进步与创新

技术进步与创新为光伏电站运维成本优化提供了新途径。智能化运维技术如无人机巡检、智能监测系统、大数据分析辅助决策等的应用,能够大幅提升运维效率、降低人工成本、提前预知故障。从技术创新理论中的破坏性创新理论来看,新技术的应用改变了传统运维模式,提高了运维的智能化水平。然而,新技术的引入需要前期投入大量资金用于技术研发、系统建设和人员培训,因此需要在技术投入与成本节约之间寻求平衡,以实现运维成本的有效降低。

三、光伏电站运维成本优化控制策略

(一) 引入智能化运维技术

智能化运维技术是光伏电站运维成本优化的前沿方向。通过搭建高度集成的智能化运维平台,融合大数据分析、机器学习、深度学习等人工智能算法,可构建设备故障智能预警与精准定位体系。大数据分析技术能够运用时间序列分析、关联规则挖掘等方法,对海量的历史运行数据和实时监测数据进行深度挖掘,建立精准的设备故障预测模型。该模型基于设备运行参数的细微变化,提前洞察潜在故障隐患,为维修决策提供科学依据,有效避免设备突发故障导致的长时间停机和高昂维修成本^[4]。

智能运维无人机在光伏电站运维中具有独特优势,尤其适用于地势复杂、组件分布分散的大型电站。从自动化控制理论中的反馈控制原理来看,无人机搭载先进的高分辨率成像设备和传感器,在预设航线和程序的控制下,能够对大面积光伏组件进行快速、高效巡检。其高效性体现在能在短时间内覆盖大面积区域,相较于传统人工巡检,巡检效率可提升数倍乃至数十倍。精准性体现在能够捕捉到光伏组件表面微米级别的细微缺陷。不受地形限制的特性使其能够轻松抵达人工难以涉足的区域,如山地、沼泽等,极大地削减了人工巡检所需的人力、物力和时间成本。

（二）优化运维流程与管理

优化运维流程与管理是降低光伏电站运维成本的核心手段之一。标准化运维作业流程的建立，需要对光伏电站运维全过程进行细致梳理和规范制定。通过编撰详细、全面且具有可操作性的运维手册，明确每个运维环节的操作步骤、技术标准和质量要求，确保每位运维人员执行任务时遵循统一规范，减少因操作不规范引发的设备故障和维修成本。从质量管理理论中的六西格玛管理理念来看，标准化作业流程有助于消除人为因素导致的质量波动，提升整体运维质量水平。

强化设备全生命周期管理，是从系统工程与资产管理理论的高度出发，对设备从采购选型、安装调试、运行维护到报废更新的全流程进行精细化管控。在采购选型阶段，运用多属性决策分析方法，综合评估设备性能、质量、可靠性、维护成本以及供应商售后服务等多个维度的因素，选择最优设备方案。在设备运行维护阶段，借助先进的设备状态监测与评估技术，如振动分析、红外热成像、油液分析等，实时掌握设备运行状态，依据设备实际运行状况和预期使用寿命，运用可靠性预测模型和成本效益分析方法，合理安排维护计划和更新策略，避免过度维护或设备带病运行造成的资源浪费和经济损失，实现设备资产使用效益的最大化。

（三）提升设备可靠性与维护性

在设备采购环节，基于全生命周期成本理论，综合考量设备性能、质量、口碑以及供应商售后服务等多方面因素，优先选用高可靠性、易维护的产品。虽然此类产品购置时初始成本较高，但从设备全生命周期来看，其卓越的可靠性能显著降低设备运行过程中的故障率，减少因故障停机导致的发电量损失^[5]。易维护性使得设备日常维护和故障维修更为便捷、高效，大幅降低维护成本。例如，在逆变器的选择上，采用具备先进散热技术和智能控制功能的产品，可有效提升其在高温、高负荷环境下的运行稳定性和可靠性。

对在运设备进行技术改造与升级，是提升设备可靠性与维护性的重要途径。从设备工程理论中的可靠性增长模型来看，通过为逆变器加装散热优化装置，运用热传导、对流散热等原理，改善其散热条件，降低内部电子元件的工作温度，从而延长逆变器的使用寿命。对光伏组件进行表面自清洁涂层处理，利用纳米材料的超疏水、超亲油特性，降低灰尘、污垢在组件表面的附着，减少清洁维护频率和成本。这些技术改造与升级措施能

够有效降低设备运行过程中的故障率，提高设备可维护性，从根本上降低运维成本。

（四）加强运维人员培训与团队建设

定期组织运维人员参加专业技能培训，是提升其专业素养和工作效率的关键举措。培训内容涵盖光伏技术领域的最新研究成果和应用进展，如新型光伏材料、高效逆变器技术等。智能化运维工具的使用方法和技巧，包括智能运维平台、无人机巡检系统等。故障诊断与维修技巧，运用故障树分析、专家系统等方法提升运维人员对复杂故障的诊断和修复能力。从人力资源开发理论中的成人学习理论来看，持续、系统的培训能够使运维人员及时掌握行业前沿技术和先进运维方法，提升其解决实际问题的能力。

建立运维团队激励机制，是激发团队积极性和创造力的有效途径。根据运维指标完成情况，如故障响应时间、发电量提升幅度、设备故障率降低程度等关键绩效指标，制定科学合理的奖励制度，对表现优秀的团队成员给予物质和精神奖励。从激励理论中的期望理论来看，合理的激励机制能够满足员工的物质和精神需求，激发其内在动力，促使团队成员主动挖掘成本优化潜力，积极探索创新运维方法，实现组织目标与员工个人目标的有机统一。

（五）合理规划与布局电站

在电站前期规划阶段，从系统工程理论的高度出发，充分考量地理位置、地形地貌、周边基础设施等多种因素，对电站进行优化布局。通过运用地理信息系统（GIS）技术和空间分析方法，合理规划设备布置，在满足电站发电性能要求的前提下，尽量缩短设备之间的连接线路，减少设备运输距离，降低设备安装与维护过程中的运输成本。同时，充分利用电站地形地貌特点，优化电站地形利用方案，采用削高填低、合理规划坡度等措施，减少土方工程等建设成本。此外，预留合理的维护通道和操作空间，确保在电站运行过程中，运维人员能够便捷、安全地进行设备巡检、维护和维修工作。合理规划与布局电站能够实现电站建设与运维的整体优化，从源头上降低光伏电站全生命周期成本。

结论

光伏电站运维成本的有效控制对提升其经济效益、推动光伏产业可持续发展至关重要。通过深入剖析运维成本的构成要素，全面把握影响成本的关键因素，并从

智能化运维技术应用、运维流程优化、设备管理强化、人员培训提升以及电站合理规划布局等多个维度实施优化策略,能够实现运维成本的全方位降低,提高电站运营效率和市场竞争力。在光伏产业快速发展的当下,光伏企业应高度重视运维成本管理,持续探索创新举措,不断完善运维管理体系,以适应行业发展需求,为清洁能源产业的繁荣贡献力量。未来,随着技术的不断进步和管理经验的积累,光伏电站运维成本有望进一步降低,推动光伏产业迈向更高的发展阶段。

参考文献

[1] 曾颖.风力发电运维成本优化与经济性分析研

究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(12):080-083.

[2] 陈永亮.基于智能化技术的变电站运维优化研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2024(7):0045-0048.

[3] 张宏伟,龚优军,王洛南,田轶倭.光伏电站的智能运维技术应用研究[J].通讯世界,2024,31(2):106-108.

[4] 贾全.基于物联网的分布式光伏电站运维管理系统设计与优化[J].通信电源技术,2024,41(11):240-242.

[5] 张波.光伏电站智能化运维分析[J].中国科技纵横,2024(22):135-137.