

污水处理厂光伏发电节能策略研究

杨凯

中山公用水务投资有限公司, 广东 中山 528400

DOI:10.61369/ME.2025120058

摘要 : 本文围绕污水处理厂光伏发电节能策略展开研究, 指出建筑结构影响光伏阵列布局, 需合理选型组件、优化安装角度与容量计算。强调电气自动化配套技术、系统能效优化等方面重要性, 阐述无人值守运维、安全风险控制等工程管理要点, 探讨成本核算、碳交易等经济因素, 提出技术创新与智能化、标准化发展建议。

关键词 : 污水处理厂; 光伏发电; 节能策略

Research on Energy Saving Strategy of Photovoltaic Power Generation in Sewage Treatment Plant

Yang Kai

Zhongshan Public Water Investment Co., Ltd., Zhongshan, Guangdong 528400

Abstract : This paper studies the energy-saving strategy of photovoltaic power generation in sewage treatment plant, and points out that the building structure affects the layout of photovoltaic array, so it is necessary to select components reasonably, optimize the installation angle and capacity calculation. It emphasizes the importance of electrical automation supporting technology and system energy efficiency optimization, expounds the key points of engineering management such as unattended operation and maintenance, safety risk control, discusses the economic factors such as cost accounting and carbon trading, and puts forward suggestions on technological innovation, intelligence and standardization development.

Keywords : sewage treatment plant; photovoltaic power generation; energy saving strategy

引言

在国家“双碳”目标(2020年提出)的大背景下, 污水处理厂光伏发电节能策略的研究意义重大。污水处理厂的建筑结构特征为光伏阵列布局提供条件, 从光伏组件选型、安装角度到系统容量计算等都需科学规划。电气自动化配套技术、系统能效优化、无人值守运维体系构建、安全风险控制等多方面技术与管理要点影响着系统稳定运行与节能效果。同时, 关键路径法优化施工流程、设备安装规范与系统调试规程保障项目进度与运行质量。此外, 全生命周期成本核算模型、碳交易机制、数字孪生技术应用、新型电池储能技术、规范体系建设及绿电补贴政策等, 共同推动污水处理厂向绿色、高效方向发展, 助力污水处理行业可持续发展。

一、污水处理厂光伏发电技术应用基础

(一) 水厂光伏系统设计原理

污水处理厂的建筑结构特征对光伏阵列布局有着重要影响。其厂房屋顶等大面积平坦区域, 为光伏系统提供了良好的安装条件。在设计水厂光伏系统时, 需依据建筑结构确定光伏阵列布局, 实现两者协同, 提升发电效率。光伏组件选型至关重要, 要综合考虑污水处理厂的环境条件、光照资源等, 选择转换效率高、稳定性强且适合当地气候的组件。安装角度应根据当地纬度和太阳辐射特性进行优化计算, 以获取最大太阳辐射量。同时, 精确计算光伏系统容量, 需结合污水处理厂的用电需求、场地面积以及投资预算等因素, 遵循相关技术规范进行科学规划^[1]。

(二) 电气自动化配套技术

在污水处理厂光伏发电系统中, 变频节能装置与光伏发电系统、市电供应的联动控制逻辑设计尤为关键, 核心目标是保障污水处理工艺所需的稳定功率输出, 同时实现能源的高效利用。通过对变频节能装置的精细化调控, 使其形成“光伏优先、市电兜底”的自适应运行模式: 当光伏发电量充足且能满足工艺负荷需求时, 装置可依据光伏实时发电量动态调整污水处理设备的运行功率, 确保电能全额消纳、避免冗余浪费; 当光伏发电量波动不足, 或出现光照突变、组件故障等情况导致供电缺口时, 系统将自动触发切换机制, 快速衔接市电供电或通过市电补充供电, 精准补足功率差额, 保障污水处理工艺参数稳定、运行连续不受影响。这种联动控制逻辑的有效构建, 可大幅提升污水处理厂整体能

源利用效率，助力节能减排，推动污水处理厂向绿色、高效方向发展^[2]。

二、光伏发电系统集成与运行管理

(一) 系统能效优化策略

在污水处理厂光伏发电系统中，系统能效优化极为关键。一方面，通过对设备性能参数的精细化监测与调控来实现。密切关注光伏板的倾斜角度、清洁程度等，依据当地光照特点与季节变化，动态调整光伏板角度，确保其始终以最佳姿态接收光照，同时定期清洁以减少遮挡损耗。另一方面，借助先进的智能控制系统，依据污水处理厂不同时段的用电需求以及光伏发电的实时功率，灵活分配电能。将多余电能储存于储能设备，在光照不足或用电高峰时补充使用。基于大数据分析技术，深入挖掘历史发电与用电数据，精准预测发电功率与用电负荷，为能源分配提供科学依据，最终实现污水处理厂光伏发电系统能效的全面提升^[3]。

(二) 无人值守运维体系

在污水处理厂光伏发电系统集成与运行管理的无人值守运维体系构建中，智能诊断系统发挥着关键作用。通过在光伏组件维护中应用智能诊断系统，可实时监测组件的工作状态，快速精准定位潜在故障隐患，提高故障发现的及时性与准确性^[4]。同时，开发远程运维平台，借助该平台能够远程监控光伏发电系统的各项运行参数，如发电量、组件温度、光照强度等，突破时间与空间限制，实现对系统的高效管理。针对可能出现的突发状况，制定完善的应急响应预案，明确故障发生时的处理流程、责任分工等，确保在最短时间内恢复系统正常运行，保障污水处理厂光伏发电系统稳定、高效运行，助力污水处理厂实现节能目标。

三、工程实施质量管理体系

(一) 施工组织技术要点

1. 安全风险控制

在污水处理厂光伏发电工程实施中，安全风险控制至关重要。建立高空作业安全防护标准，作业人员必须佩戴合格的安全帽、安全带等防护用具，设置牢固的登高设备与可靠的安全网，且对高空作业区域进行有效隔离，防止无关人员进入。制定电气设备安装的防雷接地技术规程，接地电阻要严格控制在规定范围内，接地体的埋设深度、材料规格等都需符合标准，防雷装置要定期检测维护，以确保其性能可靠。通过这些措施，降低因高空作业和电气设备安装不当带来的安全风险，保障工程顺利进行及人员生命财产安全^[5]。

2. 进度节点控制

在污水处理厂光伏发电项目施工中，借助关键路径法优化施工流程，明确各施工工序的先后顺序与相互关系，找出决定项目工期的关键路径，集中资源保障关键工序顺利推进。同时，设计动态进度监控指标体系，选取如每日完成光伏板安装数量、电气

设备接线进度等具体指标，实时跟踪项目进展情况。基于这些指标，构建预警机制，当实际进度与计划进度偏差超过设定阈值时，及时发出预警信号。通过这种方式，可提前发现潜在的进度风险，及时采取调整措施，确保项目按计划的进度节点稳步推进，避免工期延误，保障污水处理厂光伏发电项目能按时完工并投入使用，实现节能目标^[6]。

(二) 质量验收标准体系

1. 设备安装规范

在污水处理厂光伏发电工程中，设备安装规范至关重要。对于光伏支架，应依据相关标准确保其结构强度达标。安装时要保证支架基础稳固，螺栓连接牢固，满足不同气候条件下的承载要求^[7]。针对逆变器，需严格按照并网性能测试的技术指标进行安装与调试。确保逆变器的输出电能质量符合电网接入标准，包括电压、频率、谐波等参数在允许范围内。同时，要保证逆变器与光伏阵列、电网之间的电气连接正确无误，通信线路畅通，以便实现高效、稳定的并网运行。此外，各类电气设备的接地系统也需安装规范，保障人员和设备安全，为污水处理厂光伏发电系统的稳定运行奠定坚实基础。

2. 系统调试规程

系统调试规程旨在确保污水处理厂光储系统的稳定运行与高效节能。首先，需对光伏组件进行调试，检查其外观有无损坏，测试开路电压、短路电流等关键参数，确保符合设计要求^[8]。其次，调试储能系统，检查电池组的连接是否牢固，检测充放电性能、SOC（荷电状态）估算精度等。再者，调试光储系统的联合运行，模拟不同光照、负载条件，验证系统的功率分配策略，确保光伏优先供电，储能适时调节。调试过程中，详细记录各项数据，若发现参数异常或运行故障，及时分析原因并进行针对性调整，最终实现光储系统联合稳定高效运行，达到预期的节能效果。

四、节能效益分析与可持续发展

(一) 经济效益评估模型

1. 成本效益分析

构建全生命周期成本核算模型，能全面量化污水处理厂光伏发电节能策略的成本与收益。以中山中嘉污水处理厂8MWp分布式光伏发电项目为例，成本方面，其投资总额约3600万元，主要包含光伏设备采购、安装施工、日常运维及场地相关等各项支出；收益方面，25年总发电量预计可达20790万 kWh，年均发电量约830万 kWh，通过“自发自用，余电上网”模式，自用电比例高达约85%，因自发自用减少的电费支出显著，清晰呈现该节能策略在经济层面的可行性。这种成本效益分析，为污水处理厂评估光伏发电项目提供了科学的决策依据，助力其在践行节能理念的同时实现经济收益提升，稳步迈向可持续发展^[9]。

2. 碳交易机制研究

在污水处理厂光伏发电项目中，碳交易机制对项目经济性影响显著。以中山中嘉污水处理厂光伏发电项目为例，其等效节能

减排量标煤6.3万吨，等效节能减排二氧化碳11.8万吨，当污水处理厂通过光伏发电减少碳排放，可将多余的碳排放配额在碳市场出售获取收益。基于碳足迹核算的环境收益评估方法，能精准衡量这种减排效益。通过明确污水处理厂各环节的碳排放量以及光伏发电带来的碳减排量，将其量化为具体的环境收益。此评估方法结合碳交易价格波动等因素，可建立动态的经济效益评估模型。如此，不仅能直观展现项目在碳交易市场中的经济价值，助力项目管理者制定更科学的决策，还能促使污水处理厂积极采用光伏发电节能策略，实现节能减排与经济效益双赢，推动行业的可持续发展^[10]。

（二）智能化升级路径

1. 数字孪生技术应用

在污水处理厂光伏发电节能策略研究中，数字孪生技术应用为智能化升级提供关键路径。借助该技术建立光伏系统三维仿真模型，能精确模拟光伏板布局、光照条件及发电效率间复杂关系。通过对不同参数如倾斜角度、方位角的动态模拟，获得最佳设计方案，提升发电效率。同时，开发的能效预测和优化决策支持系统，利用数字孪生模型的数据反馈，实现对光伏发电能效实时预测，结合污水处理厂用电需求，给出优化调度策略，有效降低能源成本。这不仅显著提升节能效益，降低对传统能源依赖，减少碳排放，也助力污水处理厂向绿色、可持续方向发展，在实现自身节能减排目标同时，为行业绿色转型提供可借鉴模式。

2. 储能技术创新

新型电池储能技术在污水处理厂光伏发电系统中有着关键作用。不同类型的电池储能技术适用性各异，需对比分析。例如，锂离子电池能量密度高、循环寿命长，适用于对储能容量和充放电次数要求较高的场景；铅酸电池成本较低，在初期投资有限且对储能性能要求相对不高时可选用。通过对比明确各类技术适用场景后，提出光储充一体化解决方案。该方案能有效提升能源利用效率，光伏发电多余电量存储于电池，在用电高峰或光照不足时释放，实现削峰填谷。从节能效益看，降低了污水处理厂对市电的依赖，减少电费支出。从可持续发展角度，减少碳排放，助力污水处理厂向绿色、低碳方向转型，契合环保与可持续发展理念。

（三）政策保障体系

1. 标准体系构建

梳理现行技术规范体系，对于污水处理厂光伏发电节能意义

参考文献

- [1] 陈明.光伏发电系统 MPPT 及 ADRCa 并网控制策略研究 [D].河南理工大学, 2022.
- [2] 沈琦.光伏发电系统控制策略及并网的研究 [D].内蒙古科技大学, 2021.
- [3] 刘云莲.光伏发电间谐波电流系统重复控制策略研究 [D].太原科技大学, 2022.
- [4] 周书真.碳中和污水处理厂沼光互补发电联合调度研究 [D].华北水利水电大学, 2023.
- [5] 母雪东.封闭煤棚光伏发电系统的研究 [D].内蒙古科技大学, 2022.
- [6] 李永康, 辛金营.光伏发电系统在污水处理厂改造中的应用 [J].现代建筑电气, 2023, 14(7):10-15.
- [7] 刘扬, 熊骏.并网光伏发电系统在污水处理厂中的应用 [J].化工设计通讯, 2021, 47(2): 174-175, 194.
- [8] 田环宇.江夏污水处理厂光伏发电系统设计与效益分析 [J].光源与照明, 2023(5):138-140.
- [9] 李保泽, 王瑜.谈光伏发电在污水厂的应用 [J].电力设备管理, 2022(9):140-142.
- [10] 杨昌海, 张天宇, 许欢.新能源光伏发电助力农业设施节能减排策略 [J].农业开发与装备, 2024(7):125-127.

重大。现行的相关技术规范中，部分涉及到光伏发电的通用标准，但针对污水处理厂这一特殊场景的规范较少。应全面剖析现有规范，找出适用于水厂光伏应用的部分，并明确缺失内容。在此基础上，提出水厂光伏应用的地方标准建设框架。该框架需涵盖光伏设备在污水处理厂的选址规范，确保光伏设备既不影响污水处理流程，又能获得充足光照；规定设备选型标准，考虑到污水处理厂的环境特点，选择合适防护等级与发电效率的设备；制定安装与维护标准，保障光伏系统长期稳定运行，通过构建完善标准体系，推动污水处理厂光伏发电节能策略的有效实施。

2. 激励政策设计

研究绿电补贴政策对污水处理厂光伏发电项目实施的促进作用，意义重大。绿电补贴可降低项目前期投资成本，提升项目收益率，吸引更多资本投入，加速项目落地。比如，给予一定比例的电价补贴，使光伏发电上网电价更具竞争力，增强项目经济可行性。在促进技术推广的财税政策方面，建议实施税收减免，对用于污水处理厂光伏发电项目的设备、技术进口，减免关税及进口环节增值税，降低技术引入成本。对从事相关技术研发、生产的企业，减免企业所得税，鼓励创新。同时，设立专项财政补贴，对采用先进光伏发电技术的污水处理厂给予一次性补贴，激发其应用新技术的积极性，推动污水处理厂光伏发电节能策略广泛应用与可持续发展。

五、总结

污水处理厂光伏发电节能策略的研究，对于推动污水处理行业的可持续发展具有重要意义。通过对光伏发电系统技术创新路径的探索，如提升光伏组件效率、优化系统集成等，为节能奠定了技术基础。工程管理要点的明确，从项目规划、施工到运维，保障了光伏发电系统的高效稳定运行。智能化与标准化发展建议，有助于提高能源利用效率、降低运营成本，推动行业整体进步。这种模式不仅助力污水处理厂实现节能减排，更是在国家双碳目标达成中发挥关键战略价值。未来，应进一步推动能源结构转型，加大光伏等可再生能源在水厂的应用比例，探索更多创新节能策略，构建更加绿色、高效的污水处理能源体系。`