

Application of Photovoltaic Power Generation in Energy Conservation and Consumption Reduction at Water Treatment Plants

Kang Ning

Guilin Urban and Rural Environmental Water Affairs Co., Ltd., Guilin, Guangxi, 541002, China

Abstract

Against the backdrop of comprehensive advancement toward the dual carbon goals, energy conservation, carbon reduction, and quality improvement have become core priorities for transformation in the water utilities sector. Water treatment plants, as continuously operating, high-energy-consuming public infrastructure, exhibit substantial electricity consumption across processes—including pump operation, water purification, equipment maintenance, and facility lighting—while remaining heavily reliant on traditional grid power supply, resulting in persistently high operational costs and elevated carbon emissions. Distributed photovoltaic (PV) systems offer advantages such as local material sourcing, nearby energy consumption, zero pollution, and simplified maintenance, making them ideal for utilizing large idle rooftops and pool surfaces in water plants. This paper analyzes the energy consumption structure and challenges faced by water plants based on their actual operational conditions, outlines appropriate application models for PV systems, establishes an operational management framework for PV-powered energy efficiency, validates the system's energy-saving, cost-reduction, and carbon mitigation benefits through real-world engineering cases, and proposes targeted optimization measures. The findings provide actionable references for green energy retrofitting and sustainable low-carbon operations across regional water facilities.

Keywords

photovoltaic power generation; energy conservation and consumption reduction; distributed photovoltaics; water utility operation and maintenance

光伏发电在水厂节能降耗中的应用

宁康

桂林城乡环境水务有限公司, 中国·广西·桂林 541002

摘要

双碳目标全面推进背景下, 水务行业节能降碳、提质增效成为行业转型核心方向。水厂属于连续运行型高耗能公共基础设施, 水泵输送、水质净化、设备运维、厂区照明等环节电力消耗量大, 长期依赖传统电网供电, 运营成本居高不下且碳排放偏高。分布式光伏发电具备就地取材、就近消纳、零污染、运维简便的优势, 完美适配水厂大面积闲置屋顶、池面空间的应用场景。本文结合水厂实际运行工况, 分析水厂能耗构成与耗能痛点, 阐述光伏发电系统的适配应用模式, 搭建光伏节能运行管控流程, 结合实际工程案例验证光伏系统的节能、降本、减碳成效, 针对性提出应用过程中的优化改进措施, 为各地区水厂绿色节能改造、实现低碳长效运营提供可落地的实践参考。

关键词

光伏发电; 节能降耗; 分布式光伏; 水务运维

1 引言

城市供水、净水处理是保障民生、支撑城市运转的基础性行业, 水厂作为核心运维载体, 需要 24 小时不间断连续运行, 整体能耗水平在市政基础设施中位居前列。在日常一线水务运维工作中能够直观感受到, 传统水厂的能耗支出主要集中在机电设备运转, 尤其是原水输送泵、曝气设备、

加药装置、消毒系统等核心设备, 常年高频运转, 对市电依赖度极高。再加上厂区办公照明、监控系统、辅助设备的持续耗电, 电力成本长期占据水厂日常运营开支的主要部分, 也是制约水厂精细化降本、绿色转型的关键痛点。

随着节能降耗政策不断落地, 传统依靠市电供电、粗放式能耗管理的水厂运营模式, 已经难以适配当前低碳发展要求。很多水厂尝试通过设备技改、工艺优化、错峰用电等方式降低能耗, 但这类优化方式的节能空间有限, 很难从根源减少传统电力消耗。而分布式光伏发电技术的成熟普及, 给水厂节能改造提供了全新路径。

【作者简介】宁康(1997-), 男, 瑶族, 本科, 助理工程师, 从事电气工程研究。

水厂厂区普遍拥有大面积净水构筑物顶棚、闲置屋顶、空旷厂区地面，无高大建筑遮挡，光照条件优越，无需额外占用土地资源，是分布式光伏落地的优质场景。同时水厂用电负荷稳定、全天持续耗电，能够最大限度消纳光伏自发电力，有效避免电力浪费。基于一线水务运维实践，本文结合水厂能耗特点，探讨光伏发电系统的具体应用方式、运行管控策略，结合真实项目数据验证节能成效，分析现存问题并给出优化方案，旨在推动光伏技术在水务行业的规模化、规范化应用。

2 水厂能耗构成与节能改造现状

2.1 水厂主要能耗构成

结合市政水厂常规运行工况来看，其能源消耗以电能为主，几乎无燃煤、燃油消耗，能耗结构相对单一但消耗量巨大。核心耗能环节主要分为三大类。首先是水处理核心设备能耗，原水提升泵、循环水泵、曝气风机、搅拌装置、过滤冲洗设备是主要耗电设备，这类设备功率大、启停频繁、全天不间断运行，占据水厂总耗电量的75%以上，是能耗管控的核心重点。

其次是水质保障系统能耗，包括紫外线消毒、加药计量、水质在线监测等配套设备，虽然单台设备功率不高，但24小时持续运行，长期累积能耗不容忽视。最后是厂区辅助能耗，涵盖办公区域照明、厂区路灯、监控系统、消防设备、机房空调等辅助用电，占总能耗的10%左右。整体来看，水厂能耗稳定、负荷持续，具备稳定的绿电消纳条件，适配光伏发电的运行特性。

2.2 传统节能方式的局限性

目前多数水厂开展的节能降耗工作，大多集中在设备升级与用电管控层面。比如更换节能型水泵、优化设备运行参数、关停闲置设备、利用峰谷电价错峰运行等。这些常规手段只能小幅压缩能耗，属于“精细化节流”，无法改变依赖市电的能源结构，节能上限较低。^[1]

部分老旧水厂还存在设备老化、线路损耗大、能耗管理制度不完善等问题，单纯依靠运维管控很难实现大幅度降本减碳。这也意味着，想要实现水厂能耗的突破性下降，必须从能源供给结构入手，引入清洁能源替代传统市电，而光伏发电就是性价比最高、落地最成熟的改造方式。

2.3 光伏发电应用于水厂的适配优势

相较于其他行业，水厂应用光伏发电具备得天独厚的条件。第一是空间优势，沉淀池、絮凝池、清水池等构筑物顶棚面积开阔，厂区厂房屋顶平整，无遮挡、无粉尘污染，光照利用率高，可大规模铺设光伏组件。第二是用电优势，水厂全天连续用电，光伏日间发电可直接就地消纳，不存在发电闲置、并网浪费的问题，自发自用率极高。

第三是运维优势，水厂机电运维体系完善，现有工作人员可兼顾光伏设备日常巡检，无需额外组建专业运维团

队，后期运维成本极低。除此之外，光伏板覆盖水池表面，能够有效遮挡阳光，抑制池内藻类滋生，减少水质恶化风险，降低后期水质处理、水池清洗成本，实现节能与提质双重收益。

3 水厂光伏发电系统应用架构与运行流程

结合水厂建筑布局、设备分布与用电负荷特点，目前行业内主流应用模式为厂区分布式光伏发电系统，采用屋顶光伏+池面光伏相结合的布局方式，以自发自用为主、余电上网为辅，适配水厂稳定的用电需求。为清晰呈现系统运行逻辑，梳理完整节能运行流程如下。

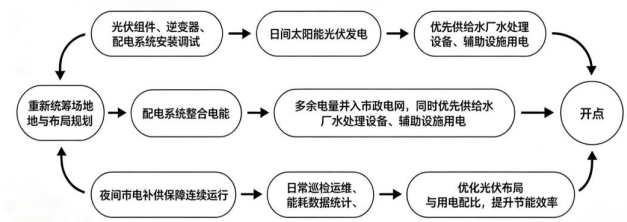


图1 水厂光伏发电节能运行流程示意图

整套系统运行逻辑贴合水厂生产特性，白天光照充足时段，光伏系统产生的电能直接接入厂区配电房，优先替代市电供应生产设备运转；光照不足、阴雨天气及夜间时段，自动切换市政电网供电，全程无需人工干预，可保障水厂水处理工作连续稳定开展，不会因发电波动影响供水安全。

4 光伏发电在水厂节能降耗中的具体应用方式

4.1 合理规划光伏组件布局，最大化利用闲置空间

水厂光伏改造无需占用生产、绿化、通行用地，核心利用厂区闲置立体空间。常规改造中，优先在水厂综合办公楼、机泵房、配电房平整屋顶铺设标准光伏组件，这类区域地势高、无遮挡，发电效率稳定。其次利用絮凝池、沉淀池、清水池上方空间架设光伏阵列，搭建“棚上发电、棚下净水”的一体化模式。^[2]

布局设计中需要结合本地日照时长、季风风向、建筑倾角优化组件安装角度，避免积水积灰影响发电效率。同时预留设备检修、水池清洗的操作空间，确保光伏发电系统与水厂日常运维工作互不干扰，兼顾发电效益与生产安全性。

4.2 适配水厂负荷特性，优化自发自用供电模式

水厂用电负荷昼夜稳定、无明显断崖式波动，完美匹配光伏发电日间集中出力的特点。系统运行采用“自发自用、余电上网”模式，日间光伏电力优先供给高耗能的水泵、曝气、消毒等核心设备，最大限度替代高价市电。

结合分时电价政策来看，日间属于电网用电高峰、电价较高，光伏发电恰好对冲高峰高价电费，降本效果最为显著。遇到阴雨、雾霾等光照不足天气，光伏发电量衰减，系统会自动切换市电补给，保障水处理设备功率稳定，不会出现设备停机、处理负荷不足等问题，守住供水生产安全底线。

4.3 搭建智能管控体系，实现光储协同节能

现代化水厂可搭配智能配电监控系统,对光伏发电量、设备用电量、市电使用量进行实时统计、动态监测。通过后台数据比对,精准掌握不同时段光伏消纳率、能耗节约量,根据每日光照变化、水厂生产负荷微调用电分配。

对于规模较大的水厂,可配套小型储能装置,将日间多余光伏电量储存起来,用于傍晚、阴天光照不足时段补电,进一步提升绿电利用率,减少市电依赖。同时智能系统可实现故障自动报警,及时发现组件损坏、线路故障、发电异常等问题,降低设备故障带来的能耗损耗与安全隐患。

4.4 依托光伏附属优势,降低间接运维能耗

除了直接节电降本之外,光伏系统还能实现间接节能降耗。光伏板覆盖水池表面后,能够有效隔绝阳光直射,大幅抑制水体藻类繁殖,减少水体富营养化问题,降低加药杀菌、水池清淤、水质过滤的工作频次与物料消耗。^[1]

除此以外光伏板可起到隔热降温作用,降低厂房、泵房室内温度,减少空调、通风设备的耗电量,优化厂区微环境。多重附属效益叠加,让光伏改造的节能价值不再局限于发电节电,实现水厂整体运维成本的系统性下降。

5 工程案例成效分析

为直观验证光伏发电在水厂节能降耗中的实际价值,本文选取国内某大型市政净水水厂光伏改造项目作为研究案例。该水厂为城市核心供水设施,24小时连续运行,原有用电完全依赖市政电网,年均耗电量大,电费成本高昂。2024年该厂完成分布式光伏系统改造,采用屋顶+池面综合布局模式,总装机容量适配厂区闲置空间,全面覆盖主要可利用采光区域。

项目投入运行后,整体节能降碳成效十分突出。光伏系统日间发电量可覆盖厂区20%—23%的日常用电需求,核心生产设备高峰用电压力大幅缓解。项目稳定运行以来,年均节约市电超百万度,有效削减了水厂的用电开支。从环保效益来看,替代传统火电电力后,每年可节约大量标准煤,大幅减少二氧化碳、硫化物排放,助力水厂完成低碳考核指标。

同时,光伏板遮挡水体后,厂区水池藻类滋生问题得到明显改善,水质稳定性提升,年度药剂消耗、水池清洗运维成本显著降低。该项目实践证明,光伏发电不仅可以直接降低水厂电力能耗,还能优化生产运维体系,实现经济效益、环保效益、运维效益三重提升,是水厂节能改造的最优路径之一。

6 水厂光伏应用现存问题与优化对策

6.1 现存应用短板

从多数水厂光伏落地情况来看,依旧存在一些细节问题。一是部分老旧水厂前期布局规划不合理,光伏组件排布杂乱,部分区域存在遮挡,发电效率未能最大化。二是缺乏精细化运维管理,长期忽视组件积灰、线路老化问题,导致发电损耗逐年增加。三是部分小型水厂未配套智能管控系统,无法动态匹配发电与用电负荷,少量光伏电量闲置浪费。四是阴雨、冬季光照不足时段发电量不足,部分水厂未制定互补用电方案,节能稳定性有待提升。

6.2 针对性优化对策

针对布局问题,水厂可结合厂区地形、日照规律重新优化光伏阵列布局,清理遮挡杂物,调整组件倾角,提升单位面积发电效率。针对运维短板,建立月度巡检、季度清洁、年度检修的常态化运维制度,及时清理光伏板灰尘、杂物,排查线路故障,保障系统稳定高效运行。

针对用电匹配问题,加装智能能耗监控系统,实时联动发电、用电、储能设备,动态优化电力分配,提升绿电消纳率。针对光照波动问题,合理搭配储能设备,结合峰谷电价优化用电策略,晴天储电、阴天用电,平段储电、高峰用电,进一步放大节能降本效果,让光伏发电系统适配水厂全时段运行需求。

7 结语

在水务行业低碳转型背景下,节能降耗是水厂精细化运营的关键方向。分布式光伏突破传统节能模式局限,依托水厂场地与用电优势,成为节能改造优质方案。光伏项目落地既可削减用电成本,又能改善厂区生态环境,兼具经济与生态效益。

依托实践经验,科学规划布局、强化智能运维,可有效解决水厂高能耗运营难题。未来水厂应因地制宜推进光伏建设,完善光储协同运行体系,深化清洁能源与水务生产融合,深挖节能潜力,助力传统水厂实现绿色智能升级,为行业双碳目标实现筑牢实践基础。

参考文献

- [1] 吴明华,葛绍根,李成,等.典型自来水厂能源管理与节能降耗实践[J].供水技术,2024,18(03):18-22.
- [2] 许威,桂树强,李海峰,等.分布式光伏发电系统应用于污水处理厂的分析[J].绿色科技,2022,24(12):258-262.
- [3] 曹轩,王萍,王党辉,等.分布式光伏助力净水厂实现能源“源-网-荷-储”协同优化研究[J].科技与创新,2025,(20):161-164.