

天然气终端光伏运维效能提升策略

黄才钺

中海石油深海开发有限公司

DOI:10.12238/jpm.v6i8.8294

[摘要] 在工业领域广泛应用分布式光伏的大背景下，作为高耗能企业的天然气终端，建设分布式光伏项目对于节能减排意义重大。本文聚焦天然气终端内一个 10MW 的分布式光伏项目，该项目采用 10kV 与 380V 两个电压等级实现并网。深入剖析了影响分布式光伏发电量的关键要素，涵盖设备性能、环境状况、并网技术以及运维管理等方面，并针对性地提出了包括智能化监测、预防性维护、并网优化等内容的运维效能提升策略，还结合实际案例对这些策略的有效性加以验证。通过此项研究，期望能为天然气终端分布式光伏的高效运维提供实践层面的指导，进而提高光伏发电量与经济效益。

[关键词] 天然气终端；分布式光伏；运维效能；发电量；并网技术

Strategy for improving the operational efficiency of natural gas terminal photovoltaic systems

Huang Caicheng

CNOOC Deep Sea Development Co., Ltd. Shenzhen

[Abstract] In the context of the widespread application of distributed photovoltaics in the industrial field, as a natural gas terminal for high energy consuming enterprises, the construction of distributed photovoltaic projects is of great significance for energy conservation and emission reduction. This article focuses on a 10MW distributed photovoltaic project within a natural gas terminal, which uses two voltage levels of 10kV and 380V to achieve grid connection. In depth analysis was conducted on the key factors affecting distributed photovoltaic power generation, covering equipment performance, environmental conditions, grid connection technology, and operation and maintenance management. Targeted strategies for improving operation and maintenance efficiency were proposed, including intelligent monitoring, preventive maintenance, and grid optimization. The effectiveness of these strategies was also verified through practical cases. Through this study, it is expected to provide practical guidance for the efficient operation and maintenance of distributed photovoltaics in natural gas terminals, thereby improving photovoltaic power generation and economic benefits.

[Key words] natural gas terminal; Distributed photovoltaics; Operational efficiency; Electricity generation; Grid connected technology

一、引言

石化行业在能源消耗和碳排放方面占据重要地位，在“双碳”目标的指引下，天然气终端利用厂区闲置的屋顶、空地等资源建设分布式光伏项目，不仅能够满足自身的用电需求，降低外购电的成本，还能减少碳排放，实现绿色发展。某天然气终端所建设的 10MW 分布式光伏项目，覆盖了厂区的多个区域，采用 10kV 和 380V 两个电压等级进行并网，主要以就近消纳为主，多余电量则上网。

不过，天然气终端的环境较为复杂，存在海边腐蚀、大风影响、电磁干扰等问题，这对光伏设备的运行以及运维工作都

提出了更高的要求。当前，该项目在运维过程中面临着发电量波动较大、设备故障处理不及时等问题，从而影响了运维效能。所以，对天然气终端分布式光伏运维效能提升策略展开研究，对于提高项目的经济效益和稳定性具有重要的现实意义。

二、天然气终端分布式光伏系统构成及影响发电量因素分析

2.1 系统构成

该 10MW 分布式光伏项目由光伏组件、逆变器、汇流箱、变压器、并网柜等设备构成，分为多个子系统。其中，8MW 容量通过 10kV 电压等级接入厂区配电系统，2MW 容量通过

380V 电压等级接入各车间低压配电系统。

2.2 影响发电量的关键因素

2.2.1 设备性能因素

光伏组件的转换效率、逆变器的转换效率以及设备的老化程度，都会对发电量产生直接影响。光伏组件在长期运行过程中，可能会出现隐裂、热斑等问题，致使转换效率下降。逆变器一旦出现谐波污染、过载等情况，也会使发电效率降低。它们之间的关系可以用以下公式表示：

$$P=P_0\times\eta_{\text{mo}}\times\eta_{\text{inv}}\times\prod_{i=1}^n\eta_i$$

式中，P 代表实际发电量； P_0 代表理论发电量； η_{mo} 代表光伏组件转换效率； η_{inv} 代表逆变器转换效率； η_i 代表其他设备的效率损失系数。

2.2.2 环境因素

沿海石化厂的环境对光伏发电的影响十分明显。在高盐雾环境中，含有氯离子的海风会加快光伏组件边框、金属支架的腐蚀速度，相关数据显示，没有采取防腐措施的支架在沿海环境中，1年内的锈蚀率能达到30%以上，2-3年就可能出现结构强度下降的情况；组件玻璃表面容易附着盐尘，这不仅可以降低透光率，还会因为盐粒的腐蚀性导致玻璃镀膜受损，实验证明，盐尘积累1个月会使组件发电效率下降5%-8%。

2.2.3 并网技术因素

10kV 和 380V 两个电压等级的并网面临着不同的技术难题。10kV 并网需要考虑与厂区高压配电系统的谐波治理以及电压波动协调问题；380V 并网则关注三相不平衡、功率因数等方面的问题。并网不顺畅会导致弃光现象的发生，使发电量减少。比如，当厂区 10kV 配电系统的电压波动超出允许范围时，光伏系统为了保护自身设备，会自动断开并网，从而造成发电量损失。此外，在电网出现故障时，光伏系统的低电压穿越能力不足，也会导致系统脱网，影响发电量。对于 380V 并网系统而言，如果各车间用电负荷变化较大，可能会使光伏系统输出功率与负荷不匹配，出现功率倒送现象，这不仅会影响电网安全，还有可能被电网公司处以罚款。

2.2.4 运维管理因素

运维人员的专业水平、维护周期以及故障响应速度等，都会对运维效能产生影响。如果维护不及时，设备的小故障可能会发展成大问题，导致发电量大幅下降。据统计，缺乏有效运维的光伏项目，年发电量损失可能达到5%-10%。而且，运维记录的完整性和准确性也会对后续运维工作的优化产生影响，不规范的记录可能会导致无法准确分析设备故障原因，也难以制定出针对性的维护计划

三、天然气终端分布式光伏运维效能提升策略

3.1 智能化监测系统建设

3.1.1 多维度数据采集

在光伏组件阵列、逆变器、汇流箱等关键设备上安装传感器，收集组件温度、光照强度、输出电压电流、逆变器效率等实时数据。针对 10kV 和 380V 并网系统，分别安装谐波检测仪、电压监测仪，实时监测并网参数。数据采集频率设定为 1 分钟 / 次，以保证数据的及时性和准确性。同时，在厂区内设置多个气象监测点，收集风速、风向、降雨量等气象数据，为发电量预测和设备维护提供更全面的参考信息。此外，还可以安装电磁干扰监测设备，实时监测厂区内的电磁环境，及时发现可能对设备运行产生影响的干扰源。

3.2 针对性的预防性维护措施

3.2.1 组件清洁与防腐处理

根据厂区粉尘浓度，制定每周 1 次的组件清洁计划，采用高压水枪配合中性清洁剂进行清洗，避免划伤组件表面。对于屋顶的光伏组件，清洁时还要注意安全，防止人员坠落。对于金属支架和接线端子，每季度进行一次防腐处理，涂刷耐腐蚀性涂料，针对 10kV 并网区域的设备，选用抗腐蚀性更强的 316 不锈钢材质。此外，定期检查组件的密封性能，防止腐蚀性气体进入组件内部，影响其使用寿命。对于处于腐蚀性气体浓度较高区域的光伏组件，可以考虑增加防腐涂层的厚度或者采用更高级别的防腐材料。

3.2.2 设备定期检测

每月对光伏组件进行 EL 检测，及时发现隐裂、断栅等问题；每季度对逆变器进行效率测试和绝缘电阻检测，确保其转换效率在 96% 以上；每年对 10kV 和 380V 并网变压器进行油质分析和绝缘测试，预防设备老化故障。同时，对汇流箱内的熔断器、断路器等设备进行定期检查，确保其正常工作，避免因这些设备故障导致光伏组件无法正常并网发电。对于受电磁干扰影响较大的逆变器，定期进行电磁兼容性测试，确保其在厂区的电磁环境下能够稳定运行。

3.3 并网系统优化

3.3.1 10kV 并网优化

在 10kV 网节点安装 SVG 静止无功发生器，动态补偿无功功率，使功率因数维持在 0.95 以上。采用有源电力滤波器（APF）治理谐波，确保谐波总畸变率（THD）控制在 5% 以内，符合 GB/T 14549-1993《电能质量 公用电网谐波》标准要求。同时，安装电压暂降治理装置，当厂区 10kV 配电系统出现电压暂降时，该装置能够快速响应，维持光伏系统的正常运行，减少因电压暂降导致的并网断开时间。此外，对光伏系统的低电压穿越能力进行测试和优化，确保在电网发生故障时，系统能够保持并网运行，提高系统的可靠性。

3.3.2 380V 并网优化

针对 380V 并网系统的三相不平衡问题，安装三相负荷平衡装置，实时调整各相负荷，使三相电流不平衡度控制在 5%

以内。同时，合理配置储能装置（如 200kWh 锂电池储能），平抑功率波动，提高并网稳定性。此外，在 380V 并网点安装智能电表和监控装置，实时监测各车间的用电情况和光伏系统的发电情况，根据用电负荷的变化，合理调整光伏系统的输出功率，提高自用率，减少余电上网的电量，因为余电上网的电价通常低于自用电价。还可以引入需求响应机制，当电网负荷较高时，通过调整光伏系统的输出功率或控制储能装置放电，参与电网的调峰，获得额外的收益。

3.4 运维管理体系完善

3.4.1 专业运维团队建设

对运维人员开展专项培训，培训内容包括光伏设备原理、10kV 和 380V 并网技术、智能化系统操作等，考核合格后方可上岗。建立“师带徒”制度，提升团队整体技能水平。定期组织运维人员参加行业内的技术交流活动，了解最新的运维技术和管理经验。同时，明确运维人员的岗位职责和 workflows，确保运维工作的规范化和标准化。可以为运维人员配备先进的运维工具和设备，如便携式 EL 检测仪、红外热像仪等，提高运维工作的效率和准确性。

3.4.2 故障应急处理机制

制定分级故障处理流程，对于组件故障等小问题，要求 24 小时内处理完毕；对于逆变器、并网柜等重大故障，成立应急小组，4 小时内到达现场，8 小时内恢复运行。建立备品备件库，储备 10kV 逆变器、380V 并网开关等关键备件，缩短故障修复时间。此外，与设备供应商建立良好的合作关系，当出现复杂故障时，供应商能够及时提供技术支持和维修服务。同时，定期进行故障应急演练，提高运维人员的应急处理能力，确保在故障发生时能够迅速响应和处理。还可以建立故障案例库，将每次故障的原因、处理方法和结果记录在案，为后续的故障处理提供参考。

3.5 特殊场景下的运维策略调整

在天然气终端检修期间，厂区内的用电负荷可能会发生较大变化，此时需要调整光伏系统的运行策略。例如，当部分车间停产检修时，用电负荷降低，应及时调整光伏系统的输出功率，避免出现大量余电上网的情况。同时，检修期间可能会有大型设备进出厂区，需要注意避免对光伏组件和支架造成碰撞和损坏。在恶劣天气（如暴雨、大风、雷电）来临前，应对光伏系统进行全面检查，加固组件和支架，断开不必要的设备电源，防止设备遭受损坏。暴雨过后，及时检查光伏系统的排水情况，清除组件表面的积水和杂物；大风过后，检查组件和支架是否有松动和变形；雷电过后，检查逆变器等设备是否正常工作。

四、实践效果验证

某天然气终端 10MW 分布式光伏项目应用上述运维策略

后，运维效能得到显著提升。实施前，项目年发电量为 1050 万 kWh，设备故障停机时间累计 80 小时 / 年；实施后，年发电量提升至 1120 万 kWh，增长 6.7%，故障停机时间减少至 30 小时 / 年，下降 62.5%。10kV 并网系统的谐波总畸变率从 7% 降至 3.5%，380V 并网系统的三相不平衡度从 8% 降至 4%，均达到国家标准。

在经济效益方面，实施运维策略后，每年增加的发电量可带来约 28 万元的收入（按 0.4 元 / kWh 计算），同时减少的故障停机时间和维护成本节约约 15 万元，每年总共可增加经济效益约 43 万元。此外，通过参与电网调峰等需求响应活动，每年还可获得额外收益约 5 万元。在环境效益方面，年发电量的增加相当于减少二氧化碳排放约 1120 吨（按每发 1kWh 电减少 1kg 二氧化碳排放计算），为天然气终端的节能减排工作做出了重要贡献。

五、结论

天然气终端分布式光伏运维面临着设备、环境、并网及管理等多方面的挑战。通过建设智能化监测系统，实现数据实时采集与预警；采取针对性的预防性维护措施，减少设备故障；优化 10kV 和 380V 并网系统，提高并网稳定性；完善运维管理体系，提升团队响应能力；并根据特殊场景调整运维策略等，能够有效提升运维效能。实践表明，这些策略可显著提高发电量，降低故障损失，为天然气终端分布式光伏项目的可持续发展提供有力保障。

未来，可进一步探索数字孪生技术在运维中的应用，实现更精准的运维管理。通过构建光伏系统的数字孪生模型，能够模拟系统在各种工况下的运行状态，提前预测可能出现的问题，并制定最优的维护方案。同时，结合人工智能技术，不断优化发电量预测模型和故障预警模型，提高运维的智能化水平，进一步提升天然气终端分布式光伏的运维效能和经济效益。还可以研究将区块链技术应用于光伏电量计量和交易中，提高数据的安全性和透明度，为分布式光伏的市场化交易提供支持。

参考文献

- [1]赵争鸣，雷一，贺凡波。分布式光伏发电系统设计与应用 [M]。北京：机械工业出版社，2020。
- [2]王伟胜，刘纯，戴海峰。分布式电源并网技术 [J]。中国电机工程学报，2021，41（5）：1581-1592。
- [3]李建林，惠东，许洪华。光伏电站运维技术与管理 [M]。北京：中国电力出版社，2019。
- [4]张北伟，周念成，王强钢。工业厂区分布式光伏系统能效提升研究 [J]。电力自动化设备，2022，42（3）：123-129。
- [5]杨金明，黄伟，吴福保。光伏电站性能监测与优化技术 [J]。太阳能学报，2020，41（2）：1-8。