

LNG接收站配电系统故障诊断与预防性维护研究

孙 涛

中海浙江宁波液化天然气有限公司 浙江 宁波 315800

摘 要：本文深入探讨了LNG接收站配电系统的结构、运行特点及其对接收站运行的重要性。通过分析设备故障、线路故障和控制系统故障等主要故障类型，揭示了配电系统故障对LNG接收站运行安全的潜在威胁，在此基础上，研究了传统故障诊断方法与现代智能故障诊断方法及在线监测与诊断系统的应用，并提出了设备清洁与检查、紧固件紧固与更换、绝缘电阻测试与绝缘恢复等预防性维护策略，旨在提高LNG接收站配电系统的可靠性和安全性。

关键词：LNG接收站；配电系统；故障诊断；预防性维护

1 LNG接收站配电系统概述

1.1 配电系统结构与组成

LNG接收站配电系统通常较为复杂，主要由电源进线、110KV GIS站、变电站、高低压配电线路、配电箱以及各类用电设备组成。电源进线配置2路进线引自当地电网，通过高压输电线路接入站内变电站。变电站负责将高压电能转换为适合站内设备使用的中、低压电能，其主要设备包括变压器、断路器、隔离开关、互感器等。中、低压配电线路则将变电站输出的电能分配到各个用电区域，连接配电箱和用电设备。配电箱起到分配电能、控制和保护用电设备的作用，内部装有各类开关、熔断器、继电器等元件。用电设备涵盖了LNG接收站中的高压泵、低压泵、BOG压缩机、BOG高压压缩机、气化器、海水泵、DCS控制系统等多种设备，它们对电能的质量和稳定性有着不同程度的要求。

1.2 运行特点与要求

LNG接收站配电系统的运行特性显著。其一，负荷波动性大，随着LNG接卸船、高压气化外输等生产工艺流程的变化，用电设备的启停直接导致负荷的大幅波动。具体而言，在LNG小时气态外输量增大时，大功率设备如高压泵、低压泵、海水泵、压缩机等设备开机数量增多，瞬间增加配电系统负荷；而LNG小时气态外输量减少时，部分设备转为停机热备模式，负荷相应减小。其二，供电可靠性要求严苛，鉴于LNG接收站生产过程的连续性和潜在危险性，任何供电中断都可能带来重大风险，诸如LNG泄漏、设备损毁等严重后果。其三，运行环境严苛，站内不仅存在LNG蒸发释放的天然气（主要为甲烷等可燃气体），还伴有潮湿环境和腐蚀性气体的影响^[1]。

2 配电系统对 LNG 接收站运行的重要性

配电系统对LNG接收站的安全稳定运行具有至关重

要的作用，作为接收站能源供应的核心组成部分，配电系统负责将电能高效、可靠地分配到各个关键设备和操作环节，确保液化天然气（LNG）的卸货、储存、再气化及输送过程得以顺畅进行。它不仅要满足日常运营的高能量需求，还要在紧急情况下迅速响应，保障安全系统的可靠启动，如火灾报警、紧急切断和泄漏检测等。配电系统的稳定性和效率直接影响到LNG接收站的生产能力、运行成本以及环境保护能力。因此，一个设计合理、维护良好的配电系统是LNG接收站实现高效、安全和可持续运营的关键基石。

3 LNG接收站配电系统故障类型分析

3.1 设备故障

LNG接收站配电系统中，设备故障无疑是影响系统稳定运行的关键因素。设备故障涵盖了变压器故障、开关设备故障及电缆终端头故障等多个方面。据一项基于某LNG接收站近三年的详尽运行数据统计分析显示（数据来源为该接收站的运维记录系统，采用随机抽样与全面审核相结合的方法进行数据收集与验证），设备故障在整个配电系统故障中的占比高达45%左右，其中，变压器故障更是首当其冲，占据了25%的比重。变压器故障的具体表现包括绝缘老化、绕组短路及铁芯过热等，这些故障不仅会导致变压器丧失正常功能，更有可能触发火灾等重大安全事故。例如，2021年，该接收站的一台主变压器就因绝缘老化引发的内部短路而烧毁，造成了超过500万元的经济损失，并使接收站停产检修长达两周之久。开关设备故障同样不容忽视，其主要表现为断路器拒动、误动及隔离开关接触不良等，这类故障通常源于机械磨损、电气性能衰退或操作失误，据统计，其占设备故障总数的30%左右。如2022年，该接收站的高压断路器就因机械部件严重磨损而发生拒动故障，对配电系统的正常运行构成了威胁^[2]。此外，电缆终端头故障也不容

小颧，其多因制作工艺瑕疵、密封不严或长期运行导致的绝缘性能退化，进而引发短路或接地故障，这类故障在设备故障总数中占比约15%，同样对配电系统的稳定运行构成了挑战。

3.2 线路故障

线路故障是LNG接收站配电系统中另一类常见故障，主要包括电缆线路故障和架空线路故障。电缆线路故障多因外力破坏、绝缘老化、施工工艺不良或过载运行导致。根据统计，电缆线路故障占线路故障总数的70%

左右。例如，2023年，某LNG接收站的一条高压电缆因外力破坏导致绝缘层破损，引发短路故障，造成接收站部分区域停电。架空线路故障则多因雷击、大风、冰雪等自然灾害或鸟害、树障等人为因素引起。这类故障占线路故障总数的30%左右。例如，在2022年冬季，某LNG接收站附近的架空线路因冰雪覆盖导致线路断裂，引发停电事故；线路故障不仅会导致LNG接收站停电，还可能引发火灾、爆炸等严重后果。

表1 LNG接收站配电系统线路故障统计表

故障类型	占比	故障原因	影响范围	处理时间（小时）
电缆线路故障	0.7	外力破坏	部分区域停电	24
架空线路故障	0.3	冰雪覆盖	接收站全站停电	48

3.3 控制系统故障

控制系统故障是LNG接收站配电系统中的特殊故障，涵盖PMS（电源管理系统）故障、传感器故障、通信故障等，多由软件错误、硬件损坏或电磁干扰引发。虽其占比约10%，但一旦发生，易致配电系统瘫痪，影响接收站正常运行。

PMS故障表现为系统程序运行异常、数据采集处理错误、控制指令输出失误等，常因软件升级不当、硬件老化、电磁干扰或外部网络攻击引起。如2021年某站

PMS软件升级兼容性问题致系统异常，引发连锁故障，造成停产检修与经济损失。传感器故障多因测量不准、信号中断或损坏，影响监测控制精度，甚至导致误操作。2022年某站电流传感器因恶劣环境损坏，测量值失真，引发保护装置误动作，威胁安全运行。通信故障表现为网络中断、数据丢失或协议不匹配，影响远程监控与控制能力，降低自动化水平。2023年某站通信网络受外部电磁干扰短暂中断，部分远程监控数据丢失，技术人员难以及时获取系统状态信息，影响故障响应处理。

表2 LNG接收站配电系统控制系统故障统计表

故障类型	占比	故障原因	影响程度	恢复时间（小时）
PMS故障	0.4	软件升级不当	配电系统瘫痪	36
传感器故障	0.3	传感器损坏	监测和控制精度下降	12
通信故障	0.3	网络中断	远程监控和控制能力丧失	24

4 LNG接收站配电系统故障诊断方法研究

4.1 传统故障诊断方法

传统故障诊断方法在LNG接收站配电系统故障排查中仍占据重要地位，主要依赖于人工巡检、电气参数测量以及经验判断。例如，在某LNG接收站的实际运行中，技术人员通过定期巡检发现某段电缆存在局部过热现象，利用红外热成像仪测量后确认温度异常点，进一步排查发现电缆绝缘层存在老化破损，及时更换电缆避免了潜在的安全事故。另外，传统方法还包括使用万用表、示波器等工具对电压、电流、电阻等电气参数进行测量，通过与标准值对比判断设备状态。据统计，在某LNG接收站过去三年的故障处理记录中，传统故障诊断方法成功识别并解决了约60%的配电系统故障，尤其是在设备老化、接触不良等明显故障特征的识别上具有较高准确性。然而，传统方法受限于人力成本高、实时性差

以及难以发现隐蔽性故障等缺点，难以满足LNG接收站对配电系统高可靠性、高安全性的要求^[1]。

4.2 智能故障诊断方法

随着人工智能和大数据技术的发展，智能故障诊断方法在LNG接收站配电系统中的应用日益广泛。通过构建基于机器学习、深度学习等算法的故障诊断模型，能够实现对配电系统运行数据的实时监测与分析，自动识别故障类型并定位故障位置。例如，某LNG接收站引入了基于卷积神经网络（CNN）的故障诊断系统，对配电系统的电压、电流波形数据进行特征提取与分类，成功实现了对变压器绕组短路、开关柜接触不良等故障的准确识别，诊断准确率达到了90%以上。此外，智能故障诊断方法还能通过数据挖掘技术发现设备运行中的潜在规律，提前预警可能发生的故障，为预防性维护提供有力支持。

4.3 在线监测与诊断系统

在线监测与诊断系统是LNG接收站配电系统故障诊断的重要发展方向。该系统通过集成各类传感器、数据采集装置以及智能分析软件,实现对配电系统运行状态的实时监测与数据分析。例如,某LNG接收站部署了基于物联网技术的在线监测与诊断系统,对变压器油温、绕组温度、开关柜触头温度等关键参数进行实时监测,并通过无线通信技术将数据传输至监控中心。系统利用大数据分析技术对监测数据进行处理与分析,一旦发现异常立即触发报警机制,并自动生成故障诊断报告。在实际运行中,该系统成功预警了多起潜在故障,如某变压器油温异常升高、某开关柜触头过热等,为技术人员及时采取措施提供了有力支持。据统计,在线监测与诊断系统的应用使LNG接收站配电系统的故障发现率提高30%,故障处理效率提升50%,显著降低了因故障导致的停机时间和经济损失。同时,该系统还具备数据存储与追溯功能,为后续的设备维护与管理提供宝贵的数据支持。

5 LNG接收站配电系统预防性维护策略制定

5.1 设备清洁与检查

设备清洁与检查是LNG接收站配电系统预防性维护的基础。定期清理配电设备上的灰尘、油污和杂物,可以保持设备良好的散热性能,防止因过热而导致的设备故障。同时,设备检查也是必不可少的环节,它包括对设备的运行状态、指示灯显示、接线端子的紧固情况、电容器和电抗器的外观等进行全面检查。在设备清洁方面,应使用干燥、柔软的布料擦拭配电柜、变压器等设备的表面,避免使用潮湿或有腐蚀性的清洁剂。在检查过程中,应重点检查设备是否存在异响、过热、漏油等异常情况,并及时记录和处理发现的问题。另外,还应定期对设备内部的元器件进行除尘和清洁,确保其处于良好的工作状态。为了确保设备清洁与检查的有效性,建议制定详细的维护计划和周期。例如,可以设定每月进行一次设备表面清洁和常规检查,每季度进行一次深入检查和必要的元器件清洁^[4]。

5.2 紧固件紧固与更换

紧固件在配电系统中起着固定和连接设备的作用,其紧固程度直接影响设备的稳定性和安全性。随着时间的推移,由于振动、温度变化等因素,紧固件可能会松动,导致设备连接不稳,进而引发故障。在预防性维护中,应对所有紧固件进行定期检查并适当紧固。对于已经出现松动或损坏的紧固件,应及时进行更换,以确保

设备的稳定性和安全性。在紧固过程中,应使用合适的工具,避免过度拧紧导致螺纹损坏。为了跟踪紧固件的紧固状态,建议建立紧固件管理台账,记录每次紧固的时间、位置和人员等信息。另外,还可以考虑使用扭矩扳手等专用工具,以确保紧固件达到规定的扭矩值。

5.3 绝缘电阻测试与绝缘恢复

绝缘电阻测试是评估配电系统绝缘性能的重要手段。通过测量设备的绝缘电阻值,可以及时发现绝缘材料的老化、受潮或损伤等问题,从而采取必要的维护措施。在进行绝缘电阻测试时,确保设备处于断电状态,并按照相关安全规程进行操作。测试过程中,应记录每个测试点的绝缘电阻值,并与历史数据进行比较,以评估绝缘性能的变化趋势。对于绝缘电阻值偏低的设备,应进一步分析原因,并采取必要的绝缘恢复措施;绝缘恢复措施可能包括更换老化的绝缘材料、修复损伤的绝缘层或加强设备的密封性能等。在实施这些措施时,应确保所使用的绝缘材料符合相关标准和要求,以确保设备的绝缘性能得到有效恢复。为了确保绝缘电阻测试与绝缘恢复的持续性,建议将这两项工作纳入定期维护计划中,并根据设备的实际情况进行适时调整。同时,还应加强操作人员的培训,提高其绝缘测试技能和绝缘恢复能力。

结束语

综上所述,LNG接收站配电系统的故障诊断与预防性维护对于确保接收站的安全稳定运行至关重要。通过采用先进的故障诊断技术和实施科学的预防性维护策略,可以有效降低系统故障率,提高设备使用寿命,保障LNG接收站的高效运行。未来,随着智能化技术的不断发展,LNG接收站配电系统的故障诊断与预防性维护将更加精准高效,为接收站的长期安全运行提供坚实保障。

参考文献

- [1]刘伟.LNG接收站内变配电系统的设计[J].通信电源技术,2020,37(20):91-93.DOI:10.19399/j.cnki.tpt.2020.20.034.
- [2]朱峰.机电系统故障诊断与预防性维护策略研究[J].机械工程与自动化,2020,44(1):12-18.
- [3]王红.机电系统故障诊断的传感器技术应用研究[J].传感技术学报,2021,34(3):321-327.
- [4]王亮,曹媛.天然气液化工厂安全仪表系统的分析与研究[J].通用机械,2020(8):22-25,59.