

LNG 接收站 BOG 压缩机突发故障应急处置 与安全管理实践

陈益明 (浙江浙能温州液化天然气有限公司, 浙江 温州 325000)

摘要: BOG 压缩机是 LNG 接收站的核心关键设备, 其突发故障容易引发工艺紊乱、安全风险及生产中斷问题。本文以 LNG 接收站 BOG 压缩机运维实践为基础, 剖析设备系统特性与突发故障致因机理, 明确故障典型表征与识别要点; 围绕应急处置核心原则搭建全流程响应体系, 优化关键节点管控与联动机制; 同时构建基于风险预控的全生命周期安全管理框架, 提出技术优化与管理落地路径, 并建立效能评估迭代模式。研究形成的应急处置与安全管理方法, 可以为 LNG 接收站同类设备的安全稳定运行提供实践参考与技术支撑。

关键词: LNG 接收站; BOG 压缩机; 突发故障; 应急处置; 安全管理

中图分类号: TE88 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 008-0148-03

LNG receiving station BOG compressor emergency response and safety management practice

Chen Yiming (Zhejiang Zheneng Wenzhou Liquefied Natural Gas Co., Ltd., Wenzhou Zhejiang 325000, China)

Abstract: BOG compressor is the core key equipment of the LNG receiving station. Its sudden failure is easy to cause process disorder, safety risks and production interruption. Based on the operation and maintenance practice of LNG receiving station BOG compressor, this article analyzes the characteristics of the equipment system and the mechanism of sudden failure, and clarifies the typical characterization and identification points of faults; builds a full-process response system around the core principles of emergency response, and optimizes the control and linkage mechanism of key nodes; at the same time, it builds a full-life cycle safety management framework based on risk pre-control, puts forward the path of technical optimization and management, and establishes an iteration model of efficiency evaluation. The researched emergency response and safety management methods can provide practical reference and technical support for the safe and stable operation of similar equipment in LNG receiving stations.

Keywords: LNG receiving station; BOG compressor; sudden failure; emergency response; safety management

LNG 作为清洁高效的能源品种, 其接收站的安全稳定运行是能源保供的关键环节。BOG 压缩机作为接收站核心工艺设备, 承担着蒸发气回收、压力调控的重要功能, 其运行状态直接关联场站工艺安全与生产连续性。受到介质低温特性、设备高频运行及工况波动等因素影响, BOG 压缩机易出现各类突发故障, 若处置不当将引发压力异常、介质泄漏等安全隐患, 甚至造成生产中斷。本文结合 LNG 接收站运维实践, 从故障致因、应急处置体系构建、安全管理优化等方面展开研究, 探索适配 BOG 压缩机的故障应对与安全管理路径, 为能够提升 LNG 接收站关键设备运维水平, 切实筑牢能源保供安全防线提供实践支撑。

1 BOG 压缩机系统特性与突发故障致因机理分析

1.1 LNG 接收站 BOG 压缩机系统核心工艺特性

LNG 接收站 BOG 压缩机系统是蒸发气处理的核心单元, 承担着接收站储罐、管路中蒸发天然气的回收、增压与外输任务, 是维持场站压力平衡、保障介质零排放的关键系统。该系统适配低温、易燃、易爆的介质特性, 需在 -162°C 的低温工况与变压运行环境

下持续工作, 具备高密封、抗低温、强适配的工艺特点, 并且与储罐压力调节系统、天然气外输系统联动运行, 属于接收站的核心关键动设备。

系统由压缩主机、密封系统、冷却系统、变频调节系统等单元组成, 各单元协同实现蒸发气的高效回收, 其工艺适配性直接决定了接收站的运行效率与安全稳定性, 同时作为连续运行设备, 对系统的可靠性和抗干扰性有着极高要求^[1]。

1.2 突发故障类型与典型表征识别

LNG 接收站 BOG 压缩机突发故障多集中于核心动力、密封及调节单元, 故障类型与运行工况高度关联, 并且具备突发性、连锁性的特征, 典型故障可分为机械故障、密封故障与控制系统故障三类。机械故障主要表现为主机轴承卡滞、转子失衡, 典型表征为设备振动值骤升、运行异响及排气压力波动; 密封故障因低温介质易造成密封件脆裂, 表征为介质微泄漏、密封气压力异常, 如果处置不及时极易引发安全隐患; 控制系统故障多由变频模块、压力传感器故障导致, 表征为机组加载卸载失灵、转速调节异常。各类故障

均会直接影响机组运行状态，典型表征的快速识别是开展应急处置的前提，需要结合设备运行参数与现场巡检信息，建立多维度的故障表征识别体系，实现故障的早期预警与精准判定。

1.3 故障致因的多维度机理解析

BOG 压缩机突发故障的形成并非单一因素导致，而是设备自身、运行工况、运维管理等多维度因素共同作用的结果，其致因机理呈现出复杂性与关联性特征。设备自身层面，低温工况容易造成部件材料脆化、磨损速率加快，核心部件的疲劳损耗是故障发生的主要内在诱因；在运行工况层面，场站储罐压力波动、介质流量突变会导致机组频繁加载卸载，造成运行负荷骤变，加剧部件损耗与系统的不稳定；运维管理层面，日常巡检不到位、维护保养不规范，会导致隐性故障无法及时发现，形成故障累积效应。三类因素相互影响、相互诱发，低温介质特性为故障发生提供了环境条件，工况波动是故障触发的外在动因，运维漏洞则是故障失控的关键因素，三者共同构成了故障发生的完整致因机理。如表 1 所示。

2 LNG 接收站 BOG 压缩机突发故障应急处置体系构建

2.1 应急处置的核心原则与响应层级划分

BOG 压缩机突发故障应急处置需紧扣 LNG 介质特性与场站运行要求，确立安全优先、快速响应、分级处置、联动协同的四大核心原则，以故障影响范围、风险等级为依据，划分三级应急响应层级。一级响应针对机组停机且引发工艺系统压力异常的重大故障，启动全站应急预案；二级响应为单台机组故障但未波及周边系统的一般故障，由设备运维部门主导处置；三级响应为可现场快速排除的轻微故障，由当班班组完成处置^[2]。各层级明确响应触发条件、责任主体与处置权限，形成权责清晰、衔接顺畅的响应机制，确保故障处置全程无层级衔接漏洞，实现风险的精准管控。

2.2 全流程应急处置流程设计与关键节点管控

基于故障处置全周期，设计“故障识别 - 紧急停机 - 风险隔离 - 故障排查 - 修复重启 - 工况恢复”六步全流程应急处置流程，聚焦各环节关键节点实施精准管控。故障识别阶段依托设备在线监测系统与现场巡检双渠道，实现故障表征的快速判定；紧急停机与风险隔离阶段严格执行联锁操作规范，切断故障机组与工艺系统的介质连接，防止风险扩散；故障排查阶段按“先安全后设备、先系统后部件”原则开展专项检测；修复重启与工况恢复阶段强化参数复核，逐步提升机组负荷至正常工况。各关键节点设置操作复核与风险确认环节，制定标准化操作流程，杜绝人为操作失误引发的二次风险，保障处置流程高效落地。

2.3 应急处置的资源配置与联动机制搭建

应急处置的高效落地依赖完善的资源配置与跨部门联动机制，资源配置方面按“足额储备、分类存放、快速调配”原则，配齐故障处置所需的备品备件、专用工具、安全防护装备及应急通讯设备，建立备品备件动态补充机制，确保关键部件库存充足。同时搭建“设备运维 + 工艺操作 + 安全管理 + 应急救援”四位一体的跨部门联动机制，明确各部门在故障处置中的职责分工，建立 24h 应急通讯联络体系，定期开展跨部门协同处置演练^[3]。通过常态化演练磨合联动流程，提升各部门的协同配合能力，确保故障发生时各环节响应无缝衔接，实现应急资源与人力的最优配置。

3 LNG 接收站 BOG 压缩机安全管理体系优化与实践路径

3.1 基于风险预控的全生命周期安全管理框架

围绕 BOG 压缩机全生命周期，构建“事前预防、事中管控、事后复盘”的风险预控型安全管理框架，打破传统碎片化管理模式，实现设备管理的全流程闭环。事前预防聚焦设备采购、安装、调试阶段，强化设备选型的低温适配性验证与安装质量管控，建立设备基础信息档案；事中管控以运行状态监测为核心，

表 1 LNG 接收站 BOG 压缩机突发故障致因维度及影响特征

故障致因维度	具体影响因素	故障诱发概率占比	故障发展速度	典型影响部件
设备自身	部件材料低温脆化、核心部件疲劳损耗	38%	缓慢	轴承、转子、密封件
运行工况	压力波动、流量突变、机组频繁启停	42%	快速	变频模块、压力调节阀、压缩主机
运维管理	巡检不到位、保养不规范、隐性故障累积	20%	中等	传感器、密封系统、润滑单元

结合在线监测系统与人工巡检,实现风险的实时识别与动态管控,针对高风险环节制定专项管控措施;事后复盘建立故障分级复盘机制,对各类故障的处置过程、成因进行全面分析,形成故障案例库并反哺事前预防环节^[4]。各环节层层衔接、相互支撑,将风险管控前置,从根源上降低突发故障发生概率,提升安全管理的系统性与前瞻性。

3.2 故障防控的技术优化与管理措施落地

从技术与管理双维度推进故障防控措施落地,技术层面聚焦设备运行短板,优化低温密封系统、振动监测系统等核心部件,加装故障预警传感器,实现设备运行参数的超阈值自动报警,提升系统的智能化监测水平;同时对机组冷却、润滑系统进行升级,适配场站变工况运行需求,降低部件损耗速率^[5]。管理层面建立标准化运维体系,制定设备日常巡检、定期保养、大修维护的全流程操作规范,明确各环节的责任主体、操作标准与验收要求;推行“专人专机”的设备负责制,强化运维人员的技能培训与考核,将运维质量与绩效考核挂钩,通过技术升级与管理强化的双向发力,实现故障防控的精细化落地。

3.3 安全管理实践的效能评估与迭代方法

建立多维度的安全管理实践效能评估体系,从故障防控、应急处置、运维效率三个核心维度设置量化评估指标,通过定期数据采集、指标分析,客观判定安全管理体系的运行效果,同时结合表2的评估结果实施分级迭代优化。针对评估中发现的管理短板,建立“问题梳理-原因分析-措施制定-落地验证-效果反馈”的迭代优化流程,明确各环节的完成时限与责任主体;将安全管理迭代与设备运维实践相结合,及时将新技术、新方法融入管理体系,同时通过常态化的评估与迭代,实现安全管理体系的动态完善。除

此之外,应建立评估结果共享机制,将评估与迭代经验纳入企业知识库,推动安全管理水平的持续提升^[6]。

4 结语

本文围绕LNG接收站BOG压缩机突发故障应急处置与安全管理展开系统研究,明晰了故障成因机理,构建了分级应急处置体系与全生命周期安全管理框架,提出了兼具实操性的防控与优化路径。后续可以结合智能化监测技术,深化故障预警与预判研究,推动管理体系向数字化、智能化升级转化,持续提升设备运行可靠性,为LNG接收站安全稳定运营筑牢坚实的保障。

参考文献:

- [1] 王东阳.接收站LNG泄漏应急处置分析[J].石油石化物资采购,2020(16):77-78.
- [2] 吕勇.LNG接收站新增冷能利用工程风险分析与应对措施[J].化工管理,2025(29):161-164.
- [3] 陈文博,张雪峰,杨勇,李灯.关于LNG接收站泄漏火灾事故处置的思考[J].当代化工研究,2019(10):15-16.
- [4] 张圆.LNG接收站的火灾应急处理分析[J].石化技术,2018,25(11):236-236.
- [5] 黄少华,董岩,赵钰,杨吉强,陈刚.LNG接收站安全生产可视化管理系统研发[J].石化技术,2024,31(3):254-257.
- [6] 王璐,张勇,张奕,彭超,孙庆东.LNG接收站BOG压缩机辅助系统故障分析与控制措施[J].石化技术,2016(04):38-39.

作者简介:

陈益明(1977.03—),男,汉族,浙江温州人,专科,热动助理工程师,研究方向:化工安全技术与管理。

表2 LNG接收站BOG压缩机安全管理效能评估指标与优化方向

评估维度	核心量化指标	评估标准	优化优先级	典型改进方向
故障防控	年度突发故障发生率、故障复现率	同比下降 $\geq 15\%$	一级	优化核心部件运维周期、升级监测系统
应急处置	故障平均处置时长、处置成功率	处置时长 $\leq 2\text{h}$,成功率100%	一级	完善联动机制、补充应急资源
运维效率	设备综合效率、保养合规率	综合效率 $\geq 95\%$,合规率100%	二级	标准化运维流程、强化人员培训