

# 极端气象条件下天然气接收站应急保供体系建设研究

李震宇

国家管网集团天津液化天然气有限责任公司 天津 300457

**摘要:** 极端气象下天然气接收站应急保供体系建设聚焦能源供应链韧性提升。通过设施抗灾能力评估、运行脆弱性分析、应急机制效能评价及资源调度边界测定,构建涵盖材料革新、智能监测、协同调度、动态预案及人员培训的技术路径。实施保障机制包括技术创新投入、跨部门协同、演练反馈迭代及信息透明化策略,形成“监测—评估—调整—优化”闭环,支撑区域能源网络稳定与经济社会可持续发展。

**关键词:** 天然气接收站; 应急保供体系; 极端气象条件; 抗灾韧性

## 引言

全球气候变化加剧极端气象事件频发,对天然气接收站安全运行构成严峻挑战。构建适应高温、严寒、暴雨等复杂环境的应急保供体系,成为保障能源供应链持续稳定的关键。本文从重要性出发,系统分析接收站设施抗灾能力现状、运行脆弱性及应急机制效能,提出设施升级、智能监测、资源调度、预案动态生成及人员培训等核心要素构建路径,并配套实施保障与持续优化机制。

### 1 极端气象条件下天然气接收站应急保供体系建设的重要性

极端气象条件下天然气接收站应急保供体系建设关乎能源供应链的持续稳定与抗风险能力提升,其重要性体现在多维度价值创造中,通过构建适应高温、严寒、暴雨等极端天气的运行机制,可保障接收站在复杂环境下的设备安全与操作可靠性,避免因气象因素导致的停供风险。同时,该体系能够强化资源调配的灵活性与响应速度,在需求波动或供应中断时快速启动备用方案,维持区域能源平衡;此外,通过持续监测气象数据与设备状态,可提前预判潜在风险并主动调整运行策略,实现从被动应对到主动防御的转型;最终,该体系建设不仅提升接收站自身的运行韧性,更支撑区域能源网络的整体稳定性,为经济社会持续发展提供坚实的能源基础保障,形成安全屏障与价值支撑<sup>[1]</sup>。

## 2 现状分析与风险识别

### 2.1 接收站设施抗灾能力现状评估

接收站设施抗灾能力现状评估需聚焦设备耐候性、结构稳定性及监测系统可靠性等核心维度。当前,设施在极端气象条件下的运行表现存在差异,部分老旧设备因材料老化、防腐工艺不足,在强风、低温环境中易出现密封失效、管道脆裂等问题;新建设施虽采用高强度合金、智能温控涂层等先进材料,但在多气象要素叠加

场景下的适应性仍需验证。监测系统方面,现有传感器布局多集中于关键节点,对微小形变、应力变化的感知精度有限,且数据融合分析能力不足,难以形成实时风险画像。此外,设施间的联动防护机制尚未完善,如储罐与管道的应力匹配、应急电源与通信网络的冗余设计等,在极端天气下的协同抗灾效能有待提升,需通过系统性测试与模型仿真进一步明确能力边界与改进方向。

### 2.2 极端气象条件下的运行脆弱性分析

极端气象条件对系统运行的脆弱性影响呈现多维渗透特征,高温环境下设备散热效率降低与材料热膨胀系数变化,可能导致机械部件精度偏移及电子元件性能衰减;暴雨洪涝则通过浸没式侵蚀与水压冲击,加剧地下管网、隧道结构及低洼地带设施的水密性失效风险;寒潮引发的低温冷脆效应,会削弱金属构件抗疲劳强度,导致管道脆性断裂或路面结冰引发的交通流阻滞;强风过境时,高空构筑物、输电线路及露天设备的风振响应加剧,可能引发共振损伤或锚固失效;雷电频发区域,电气系统防雷设施的瞬时过电压承受能力面临严峻考验,易诱发局部短路或设备击穿。此类气象因子通过物理性冲击、化学性腐蚀及系统性扰动,形成多尺度、跨领域的运行脆弱性叠加效应,需从材料耐候性优化、结构冗余设计及动态监测预警三方面构建韧性提升路<sup>[2]</sup>。

### 2.3 现有应急响应机制效能评价

现有应急响应机制效能评价需聚焦运行流程与实际成效的内关联,从信息传递效率、资源调度协同性、执行环节流畅度等维度展开分析。信息传递环节强调时效性与准确性,需确保预警信号快速触达、灾情动态实时更新,避免信息滞后或失真影响决策质量;资源调度侧重跨部门、跨区域资源整合能力,需评估物资储备分布合理性、人员配置科学性及设备调用便捷性,保障应急资源高效调配至需求节点;执行环节关注操作规范性与

灵活性平衡，既要遵循既定流程确保行动有序，又需根据现场态势动态调整策略，提升应对复杂局面的适应能力。整体效能评价需基于多场景模拟与实战演练数据，通过量化指标与定性分析结合，客观反映机制在压力测试下的表现，为后续优化提供实证依据。

### 3 应急保供体系关键要素构建

#### 3.1 设施抗灾能力提升技术路径

设施抗灾能力提升需聚焦材料耐候性革新、结构冗余设计优化及动态监测预警系统升级三维度展开。材料层面，可研发高强度耐候合金与复合防护涂层，提升设备在高温、低温、高湿环境下的抗腐蚀与抗疲劳性能；结构层面，采用模块化冗余架构与自适应变形设计，增强设施在极端荷载下的稳定性与损伤容限能力；监测层面，部署多参数传感器网络，集成温度、湿度、应力、振动等实时数据，构建智能诊断模型实现故障早期预警与风险分级管控。技术路径实施需兼顾经济性与实用性，通过实验验证与迭代优化确保技术方案可行性，同时强化跨学科协同创新，推动材料科学、结构工程与信息技术深度融合，形成从基础研究到工程应用的全链条技术支撑体系，最终实现设施抗灾能力系统性、持续性提升，保障极端气象条件下系统运行的连续性与可靠性。

#### 3.2 智能监测预警系统架构设计

智能监测预警系统架构设计需集成多模态传感网络与边缘计算单元，实现灾害信号的高精度捕获与本地化处理；采用自适应滤波算法剔除环境噪声干扰，提升数据信噪比；通过分布式存储架构实现海量监测数据的低延迟传输与动态扩容；引入深度学习模型对多源异构数据进行特征融合与模式识别，构建灾害演化趋势预测模型；部署智能决策引擎实现预警信息的动态分级与精准推送；结合数字孪生技术构建三维可视化监测平台，实现灾害场景的实时映射与动态推演。通过模块化硬件设计提升系统可扩展性，支持快速接入新型传感器与算法模块；建立跨平台数据接口标准，实现与现有基础设施管理系统的无缝对接，形成覆盖感知、分析、决策、响应全链条的智能监测预警技术体系，全面提升复杂灾害场景下的早期识别与快速响应能力<sup>[3]</sup>。

#### 3.3 应急资源协同调度策略优化

应急资源协同调度策略优化需聚焦极端气象场景下的资源特性匹配、政企联动机制与信息实时融合三大核心维度。针对LNG接收站面临的台风、海啸、地质结构形变、海岸腐蚀等极端风险，结合站内-163℃LNG储运所需的防低温应急物资特性，细化应急物资、低温防护设备、抢险配件等资源分类，制定差异化储备与调度优

先级。深度衔接相关部门气象、地质、海洋灾害预警发布体系，建立常态化政企联动机制，同步预警信息与应急响应等级，实现应急资源调度与相关部门防灾部署同频协同。构建多源数据共享平台，整合灾害预警、站内设施状态、资源储备数据，实现资源需求精准预判与调度方案智能生成，通过政企协同闭环保障极端气象下应急资源高效适配，筑牢接收站保供安全防线。

#### 3.4 多场景应急预案动态生成模型

多场景应急预案动态生成模型需以场景特征识别为起点，通过数据采集模块捕捉环境变量、风险因子、历史事件等多源信息，构建场景特征库实现精准画像；模型构建采用模块化架构，将预案要素拆解为资源调配、流程规则、协同机制等可复用组件，支持快速组合适配新场景需求；动态生成机制融入机器学习算法，基于历史预案执行效果与场景变化趋势，自动优化预案参数与逻辑链条，提升生成效率与适配性。同时设置人工校验节点，由领域专家对机器生成预案进行合理性评估与细节完善，确保预案既符合技术逻辑又具备实践可操作性；最终形成“数据驱动-算法生成-人工校验”的闭环流程，推动预案从静态文档向动态智能模型进化，在应对复杂多变场景时实现快速响应与精准适配，提升整体应急保障能力。

#### 3.5 人员应急响应能力标准化培训体系

人员应急响应能力标准化培训体系需聚焦技能模块化、场景模拟化与评估动态化三大维度；技能模块应涵盖设备操作、故障排查、应急流程执行等核心能力，通过分阶段训练实现从基础操作到复杂场景应对的能力跃升；场景模拟需构建强风、低温、暴雨等极端气象条件下的虚拟仿真环境，结合VR/AR技术实现沉浸式演练，提升人员在真实场景中的心理适应力与决策效率。评估动态化应采用过程性考核与结果性评价相结合的方式，通过实操评分、情景模拟测试及反馈改进机制，持续优化培训内容与方式；培训体系需定期更新课程模块以匹配技术迭代与场景变化，同时建立跨岗位协同演练机制，强化团队沟通与协作能力，最终形成从个体技能到团队协同的全链条能力提升路径，为极端气象条件下的高效应急响应提供坚实人力保障<sup>[4]</sup>。

## 4 实施保障与持续优化机制

#### 4.1 技术创新与研发投入长效机制

技术创新与研发投入需构建动态平衡体系，以市场需求为导向，聚焦前沿科技领域，推动研发资源精准配置。通过建立跨学科协同平台，促进技术团队与行业专家深度交流，加速技术迭代与成果转化效率；研发流程

应采用敏捷开发模式,缩短从概念验证到产品落地的周期,同时强化质量控制环节,确保技术成果稳定可靠。人才激励方面,设计差异化考核指标,兼顾短期创新突破与长期技术积累,激发团队持续创新活力;资源分配需采用弹性预算机制,根据项目进展动态调整投入力度,避免资源浪费与短缺并存。创新生态构建需整合产业链上下游资源,形成技术共享、风险共担的合作网络,提升整体创新效能,推动技术体系持续进化升级,形成自我驱动的良好循环机制。

#### 4.2 跨部门协同联动网络构建

跨部门协同联动网络需以信息共享为核心枢纽,搭建数字化协作平台实现数据实时互通,避免信息孤岛阻碍效率。通过标准化沟通协议与流程规范,明确各职能部门角色定位与协作边界,减少职责重叠或空白导致的推诿扯皮;引入动态反馈机制,定期收集协作中的堵点痛点,快速调整优化流程节点,保持网络弹性与适应性;建立信任培育体系,通过团队建设活动与跨部门轮岗机制,深化成员间业务理解与情感联结,降低协作摩擦成本;绩效评估需突破单一部门考核框架,设计跨部门协作贡献度指标,引导资源向协同价值创造倾斜。最终形成自组织、自适应的协同网络,在应对复杂任务时能自主调配资源、快速形成合力,推动整体效能持续跃升<sup>[4]</sup>。

#### 4.3 应急演练效果评估与反馈迭代

应急演练效果评估需聚焦多维指标体系,涵盖响应速度、资源调配效率、协同配合度等核心维度,通过量化评分与定性分析结合,精准定位演练短板;反馈迭代机制强调闭环管理,演练后即时收集参与方观察记录,运用结构化复盘工具梳理问题清单,区分技术操作失误、流程设计缺陷、沟通协调障碍等不同类型问题。针对问题根源制定改进方案,明确责任主体与完成时限,通过下一轮演练验证改进效果,形成“评估-反馈-改进-验证”的良性循环;同时引入模拟仿真技术,构建虚拟演练场景进行压力测试,提前暴露潜在风险点,提升预案前瞻性与适应性;最终通过持续迭代优化,推动应急管理体系从被动应对向主动预防转型,形成动态演进的能力提

升路径。

#### 4.4 预警信息管理与极端气候风险智能研判体系

预警信息管理与极端气候风险智能研判体系,需以多源预警信息接入为基础,以大数据智能分析为核心,全面提升LNG接收站极端气候风险研判的精准性与前瞻性。建立覆盖我国、省市、区域三级气象、海洋、地质灾害预警信息的标准化接入接口,实现台风、海啸、地质结构变化、海岸腐蚀等各类预警警报信息的实时获取与集中管理。依托大数据、深度学习技术,融合多维度预警数据、站内设备运行数据、-163℃LNG储运设施低温防护状态参数,构建极端灾害演化趋势预测模型,实现风险因子的精准识别与灾害发展态势的动态研判。通过风险分级管控机制,提前锁定潜在隐患,推动接收站应急管理从被动响应向主动预判、超前防控转型,为极端气象下应急保供体系高效运行提供决策支撑<sup>[5]</sup>。

结束语:天然气接收站应急保供体系建设通过多维技术路径与保障机制,实现从被动应对向主动防御转型。设施抗灾能力提升、智能监测预警、资源协同调度及人员标准化培训形成协同效应,配合技术创新投入、跨部门协同网络、演练反馈迭代及信息透明化策略,构建起覆盖“感知-分析-决策-响应”全链条的韧性体系,为区域能源安全提供坚实保障,推动经济社会可持续发展能力跃升。

#### 参考文献

- [1]李栋,王慧文.天然气集输场站安全现状和管理对策[J].化学工程与装备,2023,(04):216-217+224.
- [2]王蹦蹦,任康,张通,等.液化天然气应用中的消防安全措施探究[J].消防界(电子版),2023,9(07):4-6.
- [3]平静波.液化天然气接收站项目建设生命周期风险管理研究[J].现代商贸工业,2022,43(16):237-239.
- [4]谢庚.天然气站场调压装置故障分析与处理[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(03):23-25.
- [5]李广东.天然气输气站建设及运行安全管理策略探究[J].清洗世界,2021,37(12):155-156.