公用工程管网泄漏应急处置流程优化降低全厂停车风险的评价

禹　宁

宁夏和宁化学有限公司 宁夏 灵武 750411

【摘　要】：公用工程管网作为化工装置稳定运行的基础保障，管网泄漏易引发连锁工况波动，是造成全厂非计划停车的重要诱因。针对现有应急处置流程存在响应层级划分模糊、工况联动预判不足、隔离操作时序不合理等短板，基于管网介质特性、泄漏点位风险等级开展流程重构。优化泄漏分级判定标准，完善现场侦测、风险隔离、介质控散、工况保供、复产核验的闭环处置环节，增设跨装置工况联动预警机制与岗位协同操作清单。依托历史泄漏事故案例开展模拟推演，对比优化前后应急响应时长、有效隔离成功率、次生风险发生率指标。优化后的处置流程可缩短管网泄漏应急处置周期，减少公用介质中断对生产装置的冲击，抑制局部泄漏向系统性风险传导，显著降低全厂非计划停车概率，为同类化工园区公用工程管网泄漏应急管理提供实操支撑。

【关键词】：公用工程管网；管网泄漏；应急处置流程；全厂停车；风险管控

DOI:10.12417/2705-0998.26.14.026

1 公用工程管网泄漏诱发全厂停车的风险成因及现有处置流程短板分析

1.1 公用工程管网泄漏向全厂系统性风险传导机理

化工生产装置与公用工程管网深度耦合，蒸汽、循环冷却水、工艺压缩空气等公用介质贯穿多套生产单元，管网属于全厂生产的基础性支撑系统。管网发生腐蚀穿孔、法兰密封失效、外力破损等泄漏故障时，介质压力、流量参数会发生瞬时偏移，参数波动信号沿管网快速传递至各关联装置。局部泄漏事件不局限于泄漏点位本身，介质流失会造成供能不足，泄漏介质还会引发区域环境风险，触发现场安全联锁保护动作[1]。联锁动作会逐级向上游、下游装置传递，单一点位的管网故障突破局部管控边界后，连锁停机信号扩散，最终演变为全厂非计划停车事故。公用工程管网介质种类多、敷设范围广、管线交叉密集，泄漏位置分布具备不确定性，故障传导路径复杂。

1.2 泄漏风险分级判定体系存在缺陷

现有公用工程管网泄漏应急判定模式多依靠现场人员主观经验完成风险划分，判定依据缺少标准化框架，泄漏规模、介质危害程度、管网所属关键等级、临近生产装置敏感度等要素未能整合纳入分级判定环节。同类泄漏场景下，不同岗位人员给出的风险等级判定结果存在差异，直接影响应急响应启动层级选择。低等级泄漏被高估时会造成应急资源过度调动，占用现场人力设备；高风险泄漏被低估则会延迟高级别应急力量投入，错失工况干预窗口。风险判定环节缺少管网拓扑关联分析，无法快速识别泄漏管线关联的生产单元清单，难以预判故障波及范围。判定流程独立于生产工况监测系统，仅依靠现场巡检目视、简单检测手段采集信息，无法实时同步管网压力、流量在线监测数据。分级判定结果无法支撑跨装置协同操作指令下发，分级响应启动节点滞后，局部泄漏发展为系统性工况扰动的概率提升。

1.3 现有应急处置流程岗位协同与操作时序缺陷

现行应急处置流程的岗位任务边界划分模糊，公用工程运维岗位、生产装置操作岗位、安全监护岗位之间信息传递链路冗长，险情信息传递依靠多层口头汇报，信息传递过程易出现内容失真、关键参数遗漏[2]。各岗位操作动作缺少统一时序约束，隔离操作、泄漏管控、工况保供等工作并行开展缺乏统筹，部分隔离操作时机选择不当，反而加剧管网压力波动，扩大工况扰动范围。处置预案内容偏向通用化险情处置，缺少针对不同介质、不同管网位置泄漏的专项操作清单，现场人员面对突发泄漏时，需要花费大量时间查阅预案文本，延长响应耗时。跨装置之间缺少常态化联动沟通机制，公用工程岗位开展管网隔离作业前，未提前告知下游生产装置做好工况缓冲，装置来不及调整运行负荷，介质供应中断直接触发装置联锁保护。岗位协同缺失与操作时序不合理，成为局部泄漏升级为全厂停车事故的重要推手。

1.4 应急处置效果校验机制缺失

公用工程管网泄漏险情处置完成后，工作重心集中在泄漏点修复作业，缺少针对处置全过程的复盘评估环节。处置完成后仅确认泄漏点封堵状态，未系统性评估本次应急操作对全厂生产工况带来的扰动程度，无法识别处置动作中潜藏的隐性风险。处置记录内容仅留存泄漏发生时间、泄漏原因、修复措施，缺少对响应启动、隔离操作、工况维持等关键节点的过程信息归档。缺少标准化评估维度，无法识别现有流程内的薄弱环节，同类管网泄漏险情重复出现相似处置问题。历史事故案例资源未能转化为流程优化依据，事故经验无法沉淀更新至应急预案。缺少工况恢复阶段的核验标准，管网介质恢复供应过程中压力、流量调节操作缺少管控，介质回供过程产生的压力冲击，同样会造成生产装置工况异常，诱发二次停机事件。

表 1 现有公用工程管网泄漏应急处置核心问题汇总表

类别	具体问题表现	风险后果
风险判定	依靠人工经验判定，缺少管网拓扑关联分析	风险等级误判，响应层级匹配失当
岗位协同	岗位职责边界不清，跨装置信息传递链路长	险情信息传递滞后、信息失真
操作时序	操作动作无统一时序约束，无专项操作清单	隔离操作加剧管网参数波动
效果校验	处置复盘机制不完善，缺少工况恢复核验标准	同类事故反复发生，易出现二次停机

2 面向全厂停车风险防控的公用工程管网泄漏应急处置流程优化方案构建

2.1 基于管网拓扑的泄漏风险分级模型搭建

依托全厂公用工程管网图纸，梳理蒸汽、循环水、压缩空气管线敷设路径，建立管网拓扑关系台账，标记主管线、分支管线、关键节点以及管线对应的受供生产装置清单。将介质理化特性、管线管径、运行压力、泄漏点位距离关键装置距离、介质中断后装置耐受时长纳入分级评价要素，构建标准化泄漏风险分级模型。依据模型输出结果划分泄漏风险等级，不同等级对应固定响应层级，消除人工主观判断带来的偏差[3]。风险分级模块接入管网在线监测系统，自动采集压力、流量实时数据，结合现场检测反馈信息，快速完成风险等级判定，同步输出受影响装置清单。模型内置风险传导推演逻辑，预判泄漏发生后介质参数下降的扩散范围，提前锁定需要重点监护的生产单元。

2.2 多岗位协同任务清单与操作时序重构

重新界定公用运维、生产操作、安全监护岗位的职责边界，拆解泄漏处置全流程任务，形成分岗位标准化操作清单，明确各岗位在侦测预警、现场警戒、介质隔离、工况保供、现场监测各阶段的工作内容。理顺各项操作先后逻辑，制定标准化操作时序，将工况预调整设置为管网隔离作业前置动作，管网隔离操作执行前，由生产岗位提前对下游装置实施负荷缓冲，降低介质中断带来的冲击。建立跨装置信息同步机制，险情发生后，公用工程岗位发起预警，关联装置同步接收预警信息，同步开展工况监护。清单区分不同介质、不同管线位置泄漏场景，针对主管线、分支管线泄漏设置差异化操作条目，减少现场人员查阅预案的时间消耗。设置岗位信息交互节点，在关键操作节点完成信息确认，保障险情参数、操作进度信息准确传递。时序方案规避多岗位无序操作，防止隔离动作造成管网压力剧烈波动，阻断风险向全厂范围传导。

2.3 泄漏处置闭环管控环节完善

完善公用工程管网泄漏应急处置全链条管控环节，构建预警侦测、现场控险、工况保供、隔离截断、持续监测、复产核验的闭环处置框架。预警侦测环节依托在线监测与现场巡检联动机制，捕捉管网参数异常信号，第一时间识别早期隐蔽泄漏；现场控险环节落实警戒范围划定，管控泄漏介质扩散，防范次生安全风险。工况保供环节优先维持关键装置介质供给，通过管网备用支路切换、负荷调节等手段，降低介质参数波动幅度。隔离截断环节严格按照既定时序实施阀门操作，减少管网扰动。险情控制阶段持续监测管网参数与生产装置运行状态，动态更新风险等级。复产核验作为管网恢复供能前必要环节，制定介质回供分步调节方案，缓慢恢复管网压力流量，规避介质回供冲击。闭环框架覆盖险情发生至恢复正常运行全部阶段，填补原有流程工况保供、复产核验环节薄弱问题，减少非计划停车触发条件。

3 应急处置流程优化效果验证与全厂停车风险控制效能分析

3.1 基于历史事故场景的流程模拟推演

选取过往公用工程管网泄漏真实事故场景搭建模拟工况，还原泄漏发生位置、介质类型、管网初始运行参数以及关联装置运行状态，分别采用原有处置流程与优化后处置流程开展多轮模拟推演。推演过程完整复刻险情预警、风险判定、岗位操作、工况变化全过程，记录不同方案下管网参数波动幅度、险情影响范围、工况扰动持续时长。推演重点关注局部泄漏信号向生产装置传递过程，对比两套流程下联锁保护触发条件能否被抑制。推演场景覆盖隐蔽性缓慢泄漏、管线突发破损、法兰密封失效等多种典型泄漏类型，兼顾分支管线与主干管网泄漏工况。

3.2 风险传导路径变化对比分析

梳理原有处置流程下管网泄漏风险传导路径，泄漏发生后介质参数下降直接传递至下游装置，联锁动作沿生产单元依次扩散，风险传导缺少阻断节点。优化后的流程在风险传导链路增设多层干预节点，风险分级判定环节完成影响范围预判，工况预调整环节削弱介质波动对装置的冲击，管网隔离时序优化减少压力扰动强度，备用介质支路作为兜底保障手段，切断风险继续向上下游传递。对比两类流程的风险传播边界，原有流程风险容易突破单套装置边界，扩散至全厂系统；优化流程将风险限制在泄漏管线所属局部管网区域，阻断单点故障升级为系统性工况危机。分析不同泄漏等级下风险传导的差异特征，主干管网泄漏场景下，多层干预节点协同发挥作用，大幅压缩

风险扩散空间；分支管线泄漏场景下，快速分级响应可以缩短险情持续时间，避免小隐患持续发展。

3.3 应急处置关键环节效能评估

针对应急处置全流程关键节点开展效能评估，评估维度包含泄漏识别响应速度、风险判定准确度、岗位信息传递质量、管网隔离操作可控性、工况维持能力、复产阶段工况稳定性。优化后的流程依托管网拓扑分级模型，泄漏风险判定依靠多要素标准化模型，减少主观判断偏差，风险判定结果和实际险情匹配度提升。标准化岗位操作清单与时序方案理顺各岗位工作逻辑，信息传递节点固定，险情信息传递失真现象减少。工况保供措施介入时机提前，管网隔离操作带来的介质扰动得到控制，生产装置运行参数波动幅度降低。复产核验环节分步调节管网介质参数，消除介质一次性回供带来的冲击，复产阶段工况异常事件减少。各环节效能改善共同作用，降低联锁停机触发概率，减少全厂停车事件发生可能。

4 结语

公用工程管网泄漏作为化工生产系统非计划停工的重要诱因，管网故障风险传导具备快速扩散、多单元联动扰动特征。梳理现有应急处置体系短板，剖析泄漏风险由局部向全厂蔓延的内在机理，从风险分级模型、岗位协同时序、闭环处置框架、应急资源调配维度完成应急流程重构。依托典型泄漏事故场景开展模拟推演，验证优化方案能够在风险传导链路设置多层干预节点，削弱介质参数波动对生产装置的冲击，约束险情扩散范围，降低全厂停车发生概率。

参考文献：

[1] 孟启,张军,侯东卫.农村“气代煤”防泄漏工作探讨[C]//中国城市燃气协会安全管理工作委员会.2021 第五届燃气安全交流研讨会论文集（下册）.[出版者不详],2023:175-179.

[2] 姚峰,基于物联网的燃气管网泄漏事中自动应急处置技术研究和产品开发.广西壮族自治区,北部湾大学,2022-08-31.

[3] 张玉星,马旭卿,黄丽丽,等.城市复杂燃气管网应急风险防控体系构建与实践[J].城市管理与科技,2022,23(3)51-54.