

# 供热管网运行安全隐患分析与防控管理措施

陈可 陈滨 马保会

华电潍坊发电有限公司

DOI:10.32629/etd.v7i4.20264

**[摘要]** 城镇集中供热管网是北方地区核心民生基础设施,其运行安全直接关系到民生保障、能源利用效率与城市公共安全。随着我国集中供热规模持续扩大,超期服役管网占比稳步提升,管网泄漏、爆管等安全事故频发,运行安全防控面临严峻挑战。本文基于城镇供热管网实际运行工况,系统梳理了管网本体、附属设备、运行调控、外部环境四大类核心安全隐患,深入剖析各类隐患的形成机理与诱发因素;结合当前供热行业防控管理的现存短板,构建了覆盖全生命周期、融合智能化监测、标准化运维、分级化管控、应急化处置的供热管网安全防控管理体系,并通过工程案例验证了体系的有效性。

**[关键词]** 供热管网; 运行安全; 全生命周期管理

**中图分类号:** TU833+.12 **文献标识码:** A

## Analysis of Safety Hazards in Heating Network Operation and Corresponding Prevention and Control Measures

Ke Chen Bin Chen Baohui Ma

Huadian Weifang Power Generation Co., Ltd.

**[Abstract]** Urban centralized heating networks serve as critical infrastructure for public welfare in northern China, where operational safety directly impacts livelihood security, energy efficiency, and urban public safety. With the continuous expansion of centralized heating systems nationwide, the proportion of pipelines operating beyond their design lifespan has steadily increased, leading to frequent safety incidents such as leaks and pipe ruptures, posing significant challenges to operational safety management. Based on actual operational conditions of urban heating networks, this paper systematically identifies four major categories of core safety hazards—including pipeline structures, auxiliary equipment, operational control systems, and external environmental factors—and conducts an in-depth analysis of their underlying mechanisms and contributing factors. Addressing current deficiencies in heating industry safety management, the study proposes a comprehensive safety management framework covering the entire lifecycle of heating networks, integrating intelligent monitoring, standardized maintenance, tiered control mechanisms, and emergency response protocols. The effectiveness of this framework is validated through practical engineering case studies.

**[Key words]** Heating pipeline network; Operational safety; Full life cycle management

### 引言

随着我国北方地区城镇化进程持续推进与民生保障需求不断提升,城镇集中供热事业实现了跨越式发展。据住房和城乡建设部2024年发布的《城镇供热行业发展统计公报》显示,全国城镇集中供热面积已突破160亿平方米,供热管网总里程超过50万公里,已建成全球规模最大的城镇集中供热系统。集中供热管网作为供热系统的“主动脉”,承担着热能长距离输送的核心功能,其运行安全直接决定了供热系统的稳定性与可靠性。然而,我国现有供热管网中,服役年限超过20年的老旧管网占比已达32%,华北部分早期建设的管网已超出15年的设计服役年限,管网腐

蚀、结构性损伤等问题突出。据中国城镇供热协会统计,2020-2024年全国年均发生供热管网泄漏、爆管等安全事故超1200起,不仅造成巨大的能源浪费与经济损失,更严重威胁城市公共安全与居民正常用热权益。

### 1 供热管网运行安全隐患的核心类型与形成机理

#### 1.1 管网本体结构性隐患

管网本体结构性隐患是导致供热管网爆管、大规模泄漏事故的核心诱因,占供热管网安全事故总量的65%以上,主要包括腐蚀损伤、焊接缺陷、管材老化与应力破坏四大类。其中,腐蚀损伤是最主要的隐患类型,分为电化学腐蚀与微生物腐蚀,地下

管网所处的潮湿、杂散电流干扰的土壤环境, 极易引发管材电化学腐蚀, 国内供热管网年平均腐蚀速率可达0.2-0.5mm/a, 当管壁腐蚀余量低于设计阈值时, 极易引发管壁穿孔、泄漏。焊接缺陷主要源于施工阶段的未焊透、夹渣、气孔等质量问题, 在管网长期冷热交替的热应力循环作用下, 缺陷处会产生应力集中, 逐步形成疲劳裂纹, 最终引发管材开裂。此外, 超期服役管网的管材塑性下降、脆性提升, 以及管网敷设补偿不足导致的热胀冷缩应力破坏, 均会加剧管网本体的结构性安全风险。

### 1.2 附属设备功能性隐患

供热管网的附属设备包括阀门、补偿器、水泵、压力/温度仪表、疏水装置等, 是保障管网正常调控、安全防护的核心部件, 该类设备功能性失效占供热管网事故总量的20%左右。其中, 波纹管补偿器的疲劳失效、腐蚀穿孔是最常见的隐患, 补偿器长期承受交变位移与压力载荷, 波纹管壁厚较薄, 极易发生腐蚀与疲劳开裂, 引发介质泄漏。阀门类隐患主要表现为内漏、卡涩、关断失效, 若阀门长期未维护保养, 阀杆锈蚀、密封面磨损会导致阀门在管网出现泄漏事故时无法正常关断, 扩大事故影响范围。此外, 压力、温度仪表失准会导致运行调控数据失真, 引发管网水力失衡、局部超压, 进一步加剧管网运行安全风险。

### 1.3 运行调控与人为操作隐患

运行调控与人为操作隐患属于管理类隐患, 是引发管网非正常工况损伤的重要诱因, 占事故总量的12%左右, 主要包括水力工况失衡、运行参数超标、违规操作与应急处置不当四大类。其中, 水力失衡是供热管网最常见的非正常工况, 若管网水力调节不当, 会导致近端用户超压、远端用户流量不足, 局部管段长期处于超压工况, 会大幅提升管材疲劳损伤速率。运行参数超标主要表现为供热介质温度、压力超出设计阈值, 会加剧管材热疲劳与腐蚀速率, 引发管网结构性损伤。此外, 运维人员未持证上岗、违规带压检修、泄压不彻底等违规操作, 以及事故发生后应急处置不当, 均会直接引发安全事故或扩大事故损失。

### 1.4 外部环境与第三方破坏隐患

外部环境与第三方破坏隐患具有突发性强、破坏性大的特点, 占供热管网事故总量的15%左右, 主要包括第三方施工破坏、地质环境变化、冻胀损伤三大类。其中, 第三方施工开挖是最主要的诱因, 城市地下管线复杂, 若施工前未探明地下管网位置、未履行施工告知程序, 极易造成机械开挖导致的管网破损、爆管。地质环境变化主要包括地面沉降、地下水位波动, 会导致管网敷设标高发生变化, 产生附加应力, 引发管网接口开裂、管材断裂。此外, 北方地区冬季低温环境下, 管网停暖后管内积水未排空引发的冻胀损伤, 以及地下水位上升加剧的管材腐蚀, 均会对管网运行安全造成严重威胁。

## 2 当前供热管网安全防控管理的现存短板

### 2.1 全生命周期安全管控体系缺失

当前多数供热企业仍采用“重建设、轻运维”的管理模式, 未建立覆盖设计、施工、运维、退役全流程的安全管控体系。设计阶段对管网敷设区域的地质环境、杂散电流分布、长期负荷

变化考虑不足, 导致管网先天存在设计缺陷; 施工阶段质量管控不严, 焊接探伤、水压试验等关键工序验收不到位, 为管网运行埋下先天隐患; 运维阶段未建立完善的管网全生命周期台账, 对管网服役年限、腐蚀状况、维修记录等核心信息管控缺失, 无法实现隐患的提前预判与精准管控。

### 2.2 隐患排查与监测技术水平滞后

当前国内多数供热企业仍采用“人工巡检+事后抢修”的传统管控模式, 智能化监测与预警技术应用不足。行业调研数据显示, 国内供热企业的管网支线在线监测覆盖率不足40%, 仅对主干线的压力、温度进行有限监测, 无法实现对管网腐蚀、泄漏、应力变化等隐患的实时监测。人工巡检存在效率低、隐蔽性隐患无法识别的问题, 多数隐患仅在发生泄漏、爆管事故后才被发现, 无法实现隐患的早识别、早预警、早处置。

### 2.3 标准化运维管理与人员能力不足

当前供热行业运维管理标准化程度较低, 多数企业未制定完善的管网运维、设备保养、隐患排查标准化规程, 设备定期校验、管网定期检测等制度落实不到位, 导致阀门、补偿器等附属设备长期处于失修状态。同时, 运维人员专业能力参差不齐, 部分人员未接受系统专业培训, 对管网运行工况、隐患识别、应急处置的专业能力不足, 无法适配智慧化供热系统的管控需求, 人为操作失误引发的安全事故频发。

### 2.4 风险分级管控与应急处置机制不完善

多数供热企业未建立完善的风险分级管控体系, 未对管网进行风险等级划分与差异化管控, 对老旧管网、人口密集区、穿越道路河流等高风险管段的管控力度不足。同时, 应急预案的针对性与可操作性不强, 多数企业的应急预案仅为框架性内容, 未针对泄漏、爆管、超压等不同事故场景制定专项处置流程, 应急演练频次不足、形式化严重, 多部门联动机制不健全, 应急抢险队伍与物资储备不足, 导致事故发生后无法快速有效处置, 事故影响范围与损失大幅扩大。

## 3 供热管网运行安全全流程防控管理体系构建

### 3.1 构建全生命周期源头管控体系, 消除先天安全隐患

源头管控是防范供热管网安全隐患的核心基础, 需建立覆盖设计、施工、竣工验收全流程的质量管控体系。设计阶段需严格遵循《城镇供热管网设计标准》CJJ34-2022要求, 充分调研管网敷设区域的地质条件、杂散电流分布、负荷发展规划, 优化管网敷设方案与防腐设计, 对高腐蚀区域采用加强级防腐层与阴极保护联合防护体系, 合理设置补偿装置, 消除热应力破坏隐患。施工阶段需建立全过程质量管控机制, 对管材、附属设备的进场质量进行严格检验, 对焊接工序实行100%无损探伤检测, 严格执行水压试验、气密性试验等验收标准, 杜绝不合格工序进入下一环节。竣工验收阶段需建立完整的管网数字化台账, 同步录入管网走向、管材参数、焊接记录、设备信息等全维度数据, 为后续运维管理提供数据支撑。

### 3.2 升级智能化监测与隐患排查体系, 实现隐患精准预警

针对传统监测模式的短板, 需构建“全域覆盖、实时监测、

智能预警”的智慧化管控平台。在管网主干线、高风险支线加装分布式光纤测温系统、压力在线监测终端、腐蚀速率传感器,实现对管网温度、压力、泄漏、腐蚀状况的24小时实时监测;结合GIS地理信息系统与BIM技术,构建管网数字孪生模型,实现管网运行工况的可视化管控。同时,建立“日常巡检+定期检测+专项排查”的三级隐患排查机制,日常巡检实行网格化管理,责任到人;定期检测采用超声检测、射线检测等无损检测技术,对老旧管网、高风险管段每年开展至少1次全面检测;专项排查针对供暖季前、极端天气、第三方施工等特殊场景开展,实现隐患全时段、全覆盖排查。建立隐患分级整改机制,对排查发现的隐患按照重大、较大、一般、较小四个等级分类,制定整改方案,明确整改时限与责任人,实现隐患闭环管理。

### 3.3 完善标准化运维管理体系,强化人员能力建设

标准化运维是保障管网长期安全运行的核心环节,需制定完善的供热管网运维管理标准化规程,明确管网巡检、设备保养、参数调控、隐患处置的标准化流程与技术要求。严格落实设备定期维护保养制度,阀门每年至少开展1次启闭试验与密封性校验,补偿器每2年开展1次壁厚检测与疲劳评估,仪表每年开展1次计量检定,确保设备处于完好状态。建立完善的人员培训与管理体系,实行运维人员持证上岗制度,定期开展专业技能培训与考核,培训内容涵盖管网运行原理、隐患识别、规范操作、应急处置等全维度内容,提升运维人员的专业能力与责任意识。建立网格化运维责任制,将管网划分为若干网格,明确每个网格的运维责任人,实现运维管理全覆盖、无死角。

### 3.4 健全风险分级管控与应急处置体系,提升系统抗风险韧性

建立完善的风险分级管控机制,基于管网服役年限、腐蚀状况、敷设位置、重要程度等指标,对管网进行风险等级划分,建立风险分级管控清单,对高风险管段实行重点监测、加密巡检、优先改造,实现风险差异化、精准化管控。针对第三方施工破坏隐患,需建立与城市规划、住建、交通等部门的联动机制,实行施工告知制度,施工前必须探明地下管网位置,安排专人现场监护,对重点管段加装防护套管与警示标识,杜绝第三方施工破坏。健全应急处置体系,针对管网泄漏、爆管、超压等不同事故场景,制定专项应急预案,明确应急组织机构、处置流程、人员职责、物资保障等内容;每年至少开展2次应急演练,提升应急处置能力;建立专业化应急抢修队伍,储备充足的应急抢修物资

与设备,确保事故发生后能够快速响应、有效处置,最大限度降低事故损失与影响范围。同时,制定老旧管网系统性更新改造计划,优先对服役超20年、腐蚀严重、事故频发的管网进行升级改造,从根本上消除存量安全隐患。

## 4 工程应用案例验证

本文以华北某地级市主城区供热管网为研究对象,该主城区集中供热面积2800万平方米,供热管网总里程870公里,其中服役年限超过20年的老旧管网占比38%,2020-2022年年均发生供热管网安全事故18起,管网事故率0.72次/公里·年,安全防控形势严峻。

2023年,该供热企业全面应用本文构建的全流程安全防控管理体系,完成120公里老旧管网更新改造,搭建智慧供热管控平台,实现主干线100%、支线65%的在线监测覆盖,建立标准化运维规程与网格化责任制,完善风险分级管控与应急处置体系。应用结果显示,2023-2024年供暖季,该主城区供热管网事故率降至0.18次/公里·年,较改造前下降75%,隐患整改率达到100%,未发生重大及以上安全事故,供热系统能耗下降8.7%,民生保障能力与系统安全韧性大幅提升,验证了本文构建的防控管理体系的有效性与实用性。

## 5 结束语

本文针对城镇供热管网运行安全问题,系统分析了管网本体、附属设备、运行调控、外部环境四大类核心安全隐患的特征与形成机理,识别了当前防控管理体系存在的全生命周期管控缺失、监测技术滞后、运维管理不规范、应急体系不完善等核心短板,构建了覆盖全生命周期源头管控、智能化监测预警、标准化运维管理、风险分级管控、应急处置的全流程安全防控管理体系,并通过工程案例验证了体系的有效性。

## [参考文献]

- [1]刘浩军,吴玉峰,张云志.城镇供热管网超大管径保温管电预热施工技术[J].低碳世界,2024,14(12):70-72.
- [2]吴春玲,付强,汪倍倍.双碳背景下城镇供热现状及低碳转型发展建议[J].建设科技,2024,(21):28-30.
- [3]马国锋,刘明,李卫东,等.考虑变负荷能耗特性的技术经济最佳热化系数研究[J].工程热物理学报,2024,45(3):644-651.

## 作者简介:

陈可(1980-),男,汉族,山东潍坊人,大学本科,工程师,研究方向:供热安全在供热实际中的应用。