

热力管道腐蚀问题及预防措施探析

唐 博

中电（普安）发电有限责任公司 贵州 黔西南 561503

摘 要：热力管道长期服役过程中易受多重因素影响发生腐蚀失效，直接影响供热系统整体运行可靠性。本文梳理了热力管道均匀腐蚀、局部腐蚀、应力腐蚀三类常见腐蚀类型，阐述了管道腐蚀引发的安全隐患、寿命缩短、成本增加等危害。从环境、材质、设计安装、运行管理四方面剖析腐蚀成因，针对性提出材料优化、防腐涂层、阴极保护、规范设计安装、强化运维等预防措施，为热力管道防腐运维及安全稳定运行提供参考。

关键词：热力管道；腐蚀问题；预防措施

引言

热力管道是集中供热系统的核心基础设施，长期在高温、高压及复杂介质环境下运行，极易发生各类腐蚀问题，严重影响供热系统安全稳定运行。管道腐蚀不仅会造成管壁破损、热媒泄漏，缩短设备使用寿命，还会增加运维成本，引发各类安全隐患。本文系统梳理热力管道常见腐蚀类型及危害，深入剖析腐蚀成因，针对性提出科学有效的防腐预防措施，为热力管道安全长效运行提供参考。

1 热力管道腐蚀类型及危害

1.1 腐蚀类型

（1）均匀腐蚀是热力管道表面常见腐蚀形式，整体发生在管道全部表面，由管道金属与周边介质发生化学反应，金属原子失电子氧化导致。管道处于含水和氧气的环境中，铁元素会与水、氧气反应生成氧化铁，造成管道壁厚均匀减薄。该腐蚀发展速度较慢，长期未处理会持续降低管道结构强度，干扰管道正常安全运行。

（2）局部腐蚀多集中在管道焊缝、弯头、三通等特定部位，腐蚀危害程度更高，腐蚀速率快，短时间内可造成管道局部穿孔、介质泄漏。局部腐蚀主要包含点蚀和缝隙腐蚀两种，点蚀具有高度局部化特征，会在管道表面形成细小且深邃的孔洞，孔洞直径较小，但深度可远超管道壁厚，对管道结构破坏极强；缝隙腐蚀主要发生在管道法兰、螺纹等连接缝隙处，腐蚀介质易在缝隙内滞留、浓缩，加快管道局部腐蚀进程。（3）应力腐蚀是管道在拉应力与特定腐蚀介质共同作用下产生的脆性断裂问题，无明显管道变形，失效突发性强，安全风险极高。应力腐蚀的发生需同时满足三个条件，分别为管道材料对应力腐蚀具备敏感性、管道承受拉应力（包含设计应力、安装应力、残余应力等）、管道接触氯离子溶液、碱性溶液等特定腐蚀介质。三类条件同时满足时，

管道表面会产生细微裂纹，裂纹随使用时间持续扩展，最终引发管道破裂失效。

1.2 腐蚀危害

一是影响管道安全运行，热力管道长期受腐蚀作用，会直接造成管壁厚度减小、结构强度下降，管道整体承压耐热性能大幅降低。在高温高压热媒持续作用下，受损管道极易出现介质泄漏、管壁破裂等故障^[1]。管道发生热媒泄漏后，不仅会造成供热能源的直接损耗，还会引发连锁安全问题，高温热媒喷出易造成人员烫伤、周边设备损毁，严重时还会诱发火灾、爆炸等安全事故，直接威胁现场作业人员生命安全，破坏现场作业及周边环境安全状态。二是缩短管道使用寿命，腐蚀会持续加速管道材质老化、破损进程，破坏管道原有结构稳定性，导致管道无法达到预设设计使用年限，提前出现大面积损坏、失效问题。管道提前损坏需要频繁开展检修、维护及整体更换作业，打破了供热系统连续稳定的运行节奏，造成供热中断、供暖不稳等问题，直接影响用户正常用热需求。三是增加企业经济运行成本，管道腐蚀引发的维修、更换工作，需要持续投入大量人力、物力与财力资源，产生直接运维成本。同时，管道泄漏造成的热媒损耗、供热系统停运带来的生产服务中断，会给企业带来持续性间接经济损失。若因管道腐蚀引发安全事故、供热纠纷，企业还将面临相应的追责与法律纠纷，进一步加重整体经济负担，提升供热项目整体运营成本。

2 热力管道腐蚀成因分析

2.1 环境因素

（1）介质成分因素：热力管道热媒中含氧气、二氧化碳、氯离子、硫化物等腐蚀性成分，氧气可与管道金属发生氧化反应，加速金属腐蚀；氯离子可穿透并破坏管道表面防护膜，使金属直接接触腐蚀介质，提升腐蚀

速率；硫化物在高温条件下分解产生硫化氢，与管内残留水分结合形成酸性环境，加重管道腐蚀损伤。（2）温度和压力因素：温度与压力决定管道腐蚀反应速度，温度升高会加快腐蚀化学反应，高压会推动腐蚀介质渗入管道材质内部，压力波动会使管壁产生疲劳应力，应力与腐蚀叠加，会加剧管道结构损坏。（3）湿度和水分因素：水分是管道电化学腐蚀的必要条件，潮湿环境会在管壁形成含水膜并构成电解质溶液，触发电化学腐蚀，保温失效、介质泄漏、管道停运积水未及时排出等情况，都会持续诱发腐蚀，缩短管道使用寿命。

2.2 管道材质

管道材质问题是热力管道产生腐蚀的主要原因，主要包括选材不当与材料质量缺陷两类情况。不同金属材质的耐腐蚀性能存在明显差异，热力管道选材过程中，若未结合运行环境和输送介质特性匹配对应材质，选用耐腐蚀性不达标材料，会直接引发管道腐蚀。在含氯离子介质环境中，普通碳钢抗腐蚀性能较差，易发生点蚀和应力腐蚀，不锈钢材质则可有效适应此类工况，减少腐蚀问题^[2]。管道原材料存在质量缺陷也会降低防腐能力，材质内部含夹杂物、气孔、裂纹等问题时，会破坏结构完整性，使腐蚀介质侵入材料内部，加快腐蚀速度。材料加工工艺不规范同样会影响防腐性能，热处理不达标、冷加工变形超限等问题，会改变材料内部组织结构，破坏固有防腐性能，使管道运行中更易出现腐蚀损坏，降低热力管道整体运行的安全性与稳定性。

2.3 设计安装因素

热力管道腐蚀问题与设计、安装环节密切相关，不合理的设计和不合格安装质量会直接增加管道腐蚀风险。管道设计不符合规范会诱发腐蚀隐患，管道坡度设计不当会导致管内积水滞留，长期形成稳定腐蚀环境；支吊架参数设计不合理，会使管道运行产生超标应力，引发应力腐蚀故障。管道防腐设计不完善，未设置防腐层、阴极保护等防护措施，会降低管道本体防护性能，加快腐蚀进程。管道安装质量缺陷同样会加剧腐蚀问题，焊接作业存在未焊透、气孔、夹渣等问题，会使焊接接头成为薄弱结构，易产生腐蚀并引发泄漏。管道安装顺序错误、接口贴合度不足，会造成输送介质渗漏，持续侵蚀管道本体和连接部位，加重管道腐蚀损坏，影响热力管道运行稳定性。

2.4 运行管理因素

热力管道运行管理不当是造成管道腐蚀、威胁运行安全的主要人为因素。管道运行过程中，温度、压力、流量等参数需符合设计标准，参数失控会加速管道腐

蚀。温度过高会降低管道金属的抗氧化性能，加快腐蚀速度；压力过低会使介质流速下降，杂质污物堆积管道内壁，形成积垢并引发局部腐蚀。热力管道长期运行会出现磨损、积垢、保温层损坏等问题，需定期开展腐蚀排查、保温层更换、沉积物清理等运维工作。若运维工作不及时、落实不到位，管道初期腐蚀隐患无法及时发现，既有腐蚀缺陷和管道病害得不到修复，会导致腐蚀问题持续加剧、影响范围扩大，破坏管道整体结构，降低热力管道运行安全系数和使用年限。

3 热力管道腐蚀预防措施

3.1 材料选择与改进

热力管道腐蚀预防需从材料选型与材料质量管控两方面落实。管道材料选型需结合实际使用环境和输送介质成分确定适配材质，高温蒸汽工况的常规热力管道可选用优质碳钢、低合金钢并配套基础防腐处理，输送含氯离子、硫化物等腐蚀性介质的管道，需选用不锈钢、镍基合金等耐腐蚀合金材料^[3]。同时可选用玻璃钢、塑料等非金属防腐材料，应用前需核验材料耐温、耐压性能，确保符合管道运行工况标准。材料质量管控需落实全流程把控，材料采购阶段筛选正规供应商，进场前开展化学成分分析、力学性能试验、金相检验等检测工作，严格执行材料质量标准，杜绝不合格材料投入施工。同时规范管道材料加工流程，严格落实标准化加工工艺，强化加工全过程质量监督，规避加工工艺不规范引发的材料性能缺陷。

3.2 防腐涂层与衬里

热力管道可通过涂刷防腐涂料和采用衬里技术防控腐蚀。涂刷防腐涂料是管道防腐的常用手段，涂料可在管道表面形成致密防护层，隔绝腐蚀介质与管道基体材料的接触，达到防腐效果。目前常用的防腐涂料包括环氧树脂涂料、聚氨酯涂料、无机富锌涂料等，涂料选型需结合管道使用环境和输送介质成分，优先选用耐腐蚀、附着力及耐磨性达标的产品，同时严格遵循标准化施工工艺开展涂刷作业，保障涂层施工质量和防护稳定性。针对腐蚀性较强的介质工况，可采用管道衬里防护技术，通过在管道内壁贴合橡胶、塑料、玻璃钢等耐腐蚀材料，形成固定式防护层，阻断腐蚀性介质与管道内壁接触。衬里防护技术防腐性能稳定、使用周期长，适配高强度腐蚀工况，但存在施工工艺复杂、建设成本较高的特点。实际应用中，需结合输送介质特性、运行温度、工作压力等核心参数综合选型，匹配适配的衬里材料，保证衬里结构稳定可靠。

3.3 阴极保护技术

阴极保护技术主要包含牺牲阳极法和外加电流法两种常用方式。牺牲阳极法的原理为在管道上连接镁、锌、铝等比管道材料更活泼的金属作为牺牲阳极,依靠牺牲阳极优先发生腐蚀的特性,规避管道发生腐蚀,实现管道防腐保护。该方法施工流程简单,无需外接电源,保护效果稳定,适用场景有限,主要用于土壤电阻率低、整体长度较短的管道防腐场景。外加电流法是通过外接直流电源为管道施加电流,将管道转化为阴极,以此抑制管道腐蚀的发生。该方法保护覆盖范围广,保护电流可根据实际工况灵活调节,设备整体使用寿命长,适配土壤电阻率高、长度较长的管道使用场景^[4]。相较于牺牲阳极法,外加电流法的设备配套要求更高,需要配置外部电源和辅助阳极,整体施工流程和后期运维工作更为复杂,投入成本也相对更高,两种方法可根据管道工况、土壤条件及工程成本需求合理选用。

3.4 优化设计与安装

热力管道的优化设计与安装主要从管道合理设计与安装质量管控两方面开展。在管道设计阶段,需结合管道实际使用环境和输送介质成分,对管道坡度、支吊架结构、防腐方案等内容进行规范化设计。设计过程中需保证管道具备合规坡度,可及时排出管道内部积水,避免积水残留引发管道腐蚀、破损等问题。同时需科学布置支吊架,控制管道运行过程中产生的应力,防止应力过载造成管道变形、开裂。依据介质的理化特性匹配对应的防腐手段,可通过敷设防腐层、采用阴极保护技术等方式,提升管道防腐性能。在管道安装环节,需全程落实质量管控工作,保证各项安装工序符合行业标准。管道焊接作业需严格遵循既定焊接工艺规范,保障焊接结构的完整性与稳定性。管道连接施工需保证接口贴合紧密,杜绝介质泄漏问题。管道整体安装作业完成后,需依次开展压力试验和泄漏试验,全面检测管道安装质量,排查安全隐患。

3.5 加强运行管理

热力管道运行期间需严格落实运行管理工作,严控

管道运行温度、压力、流量等各项核心参数,保证所有参数始终处于设计规定区间内。常态化开展运行参数监测与数据分析工作,实时跟踪管道运行状态,第一时间排查参数异常问题,并针对性落实调整处置措施,杜绝参数失控引发管道腐蚀加剧等安全隐患。同时建立健全热力管道常态化维护保养机制,将管道检查、维护、保养工作常态化、规范化。日常检查重点排查管道腐蚀状况、保温层完整状态以及支吊架运行工况等关键内容,针对检查发现的管道腐蚀缺陷及时开展修复处理,对破损、失效的保温层及时更换补齐,对出现松动、移位的支吊架及时紧固调校^[5]。定期开展管道内部沉积物清理工作,清除管道内部积存杂质,从源头规避管道局部腐蚀问题,持续保障热力管道运行状态稳定。

结语

综上所述,热力管道腐蚀包含均匀腐蚀、局部腐蚀、应力腐蚀三类主要形式,会危害管道运行安全、缩短设备使用寿命、增加企业运营成本。管道腐蚀问题由环境、材质、设计安装、运行管理多方面因素共同引发。落实材料优选、防腐防护、阴极保护、优化施工、规范运维等防控措施,可有效降低管道腐蚀速率。全方位落实防腐管控工作,能保障热力管道稳定运行,降低故障发生率,保障供热系统持续可靠运转,减少经济损耗。

参考文献

- [1]郝文辉.热力管道腐蚀问题分析与预测[J].全面腐蚀控制,2024,38(6):153-156.
- [2]马舒琪,刘鑫泉,黄利华,等.埋地热力管道腐蚀泄漏事故演化分析[J].安全与环境学报,2025,25(10):3882-3889.
- [3]于力,范宇,李永智,等.长输热力管道内衬修复技术的应用研究[J].中国科技纵横,2025(3):98-100.
- [4]郝文辉.埋地热力管线腐蚀失效的形式[J].全面腐蚀控制,2024,38(8):175-178.
- [5]石丹阳,张鸣,左怀梦,等.基于内腐蚀泄漏的高压燃气管道建设要点[J].煤气与热力,2025,45(8):37-42.