

老旧热网管道安全隐患排查与整改措施研究

杨永锋 蔡炜锋

绍兴上虞杭协热电有限公司 浙江 绍兴 312000

摘要:城市集中供热系统中的老旧热网管道经过长期运行,普遍面临腐蚀减薄、材料劣化、保温失效、补偿器损坏及阀门内漏等多重安全隐患,严重威胁供热安全与公共安全。随着管网服役年限延长,因设计标准偏低、施工质量参差不齐、运行维护欠账累积以及外部环境侵蚀等因素叠加,老旧管道的失效风险呈指数级上升趋势。本文对造成老旧热网管道安全隐患因素进行梳理总结,包括内腐蚀、外腐蚀、疲劳损伤、应力开裂、保温结构破损、防水层失效、支架问题和阀门补偿器问题等;在此基础上提出一套包含资料审查、宏观检查、无损探伤、壁厚测量、保温层评价和水力试验的安全隐患排查方法;同时针对管道更新或修复、防腐保温处理、阀门补偿器改进、支架修理、智能化监控安装及运行管理改善等方面制定相应对策建议。研究认为,对于老旧热网管道安全管理应当以防为主、以查为先、分层治理,在隐患排查上要常态化,在治理措施上要标准化,在监管工作上要制度化,从而达到安全可靠性和经济效益之间的平衡。

关键词:老旧热网管道;安全隐患;腐蚀减薄;隐患排查;整改措施

引言

城市集中供热是北方冬季民生保障的重要内容,而热网管道是热量运输的“主动脉”,其正常工作对于供热至关重要。我国大规模供热系统大多在上世纪八九十年代建设,大量主干线以及分支线已经使用二十到三十年,处于故障频发阶段。近年来,旧管因破裂导致停热、地面沉降等问题时有发生,造成大面积停供、经济损失甚至安全隐患。相比于新管,旧管由于当初的设计标准较低、材质老化、热应力造成的蠕变疲劳、土壤腐蚀以及杂散电流的影响等多种原因,再加上长期以来缺乏必要的养护资金支持,实际剩余使用寿命已接近甚至低于安全标准。目前很多供热单位对于自己的管线情况不了解,隐患排查走过场,治理零敲碎打、缺乏整体规划,所以需要建立符合旧热网实际情况的隐患排查及处理的技术方法,具有非常重要的意义。

1 老旧热网管道安全隐患类型与成因

1.1 管壁腐蚀减薄

管壁腐蚀减薄是老旧热网管道最主要的安全问题,可分为内腐蚀和外腐蚀两种类型,其中内腐蚀主要是由于热水或者蒸汽中溶解氧、二氧化碳、氯离子以及微生物造成的。早期的开式或者半开式系统除氧效果不好,在高温条件下溶解氧和 CO_2 (形成碳酸)不断对碳钢进行腐蚀造成均匀减薄或者是危险性的局部点蚀,而这种点蚀容易产生应力集中从而产生裂缝甚至爆管。

外腐蚀是由于敷设条件引起的,在直埋管道防腐层老化或者破损的情况下,土壤中的盐分、酸碱物以及杂散电流都会造成电化学腐蚀;而在地沟内敷设时由于有水或者腐蚀性气体(如 H_2S 、 NH_3)的存在会加剧外壁腐蚀。外腐蚀比较分散而且不易被发现,所以对其检测困难较大并且会大大降低其承受压力的能力,对安全运行带来很大影响。

1.2 材料性能劣化与疲劳损伤

碳钢管道在长时间处于高温、高压工况下服役时,其内部组织会发生缓慢变化,例如珠光体球化以及石墨化,从而降低其强度和塑性;而温度周期性变化所造成的热应力以及由于压力波动而导致的交变载荷都会对管道金属产生一种累计疲劳损伤^[1]。尤其是那些经常启停或者负荷变化较大的热水管网,一年内承受数以千计的应力循环次数,疲劳裂纹从应力集中区域(比如焊缝、接管根部、螺纹连接等)开始产生并逐步发展到最后发生低应力脆断。这种破坏一般都没有明显的壁厚减薄预兆,来势凶猛而且危险。

1.3 保温结构失效与防水层破坏

虽然保温层损坏不会直接影响管道承受压力的能力,但是它对管道造成的危害也不容忽视。当保温材料吸水后,其导热系数大幅上升,热量损失增多;并且水进入保温层与钢管表面之间,产生湿气,从而加剧了外部腐蚀。防水层老化或者施工接口处理不当,使得地下

水进入保温层,在寒冷季节由于冰冻膨胀会导致保温层破裂以及管体移动。另外,聚氨酯硬质泡沫保温材料在较高温度条件下会发生老化降解,产生的腐蚀性气体也会对管道内部造成腐蚀。

1.4 补偿器及支架系统异常

补偿器(波纹管补偿器、套筒补偿器或者方形补偿器)是热网管道上承受热位移及应力集中位置。由于反复拉伸造成波纹管补偿器疲劳破坏,而套筒补偿器则是由于密封填料磨损、老化造成渗漏。补偿器出现问题会降低管道热位移能力,甚至因为渗漏造成局部冲蚀。支架主要有固定支架、导向支架和滑动支架,它们出现的问题有基础下沉、管托脱落、滑动面卡涩等,如果支架不能正常工作,管道热位移就不能满足设计需要,在弯头以及支管处会产生较大二次应力而导致开裂。

1.5 阀门内漏与操作失灵

老旧热网中阀门由于长期运行,其密封面受到磨损、腐蚀以及冲刷作用导致损坏,造成内漏或外漏。内漏使得隔离失效,在检修或者事故状态下不能形成可靠的检修工作区;调节阀流量特性发生变化,影响控制效果,加重水力失调。阀门的操作机构生锈或者传动部分卡涩,在紧急情况下不能及时关闭或者开启,存在安全隐患。

2 老旧热网管道安全隐患排查方法体系

2.1 基础资料核查与档案建立

隐患排查的第一步是全面收集并整理管道相关资料,如设计图纸、竣工资料、材料合格证、焊接记录、压力试验报告、历年的检修台账以及改造记录等;对缺少资料的管段进行现场测量、材质复检等手段补全,以此为基础为每一段管道建立技术档案,标明管道规格、材质、壁厚、敷设方式、投用时间和已更换情况等,便于后期检查和分析使用。

2.2 宏观检查与运行状态观察

宏观检查是基础、必不可少的方法。沿着管道走向进行巡查,在地面寻找是否有凹陷、漏水、蒸汽冒出或者植物枯萎等,这可能是由于管道破裂或者保温层进水造成的。对架空管道以及地沟内的管道,则要查看管道外表是否生锈严重、防腐层是否脱落、保温层是否破损、支架是否变形或移位等。此外还要观察阀门、补偿器、疏水装置和排气阀外观状态并做好记录,如出现渗漏、锈死或异常震动等情况^[2]。运行参数分析也十分重要,比较不同区段进出站温度、压力及流量的变化情况,发现其中差别较大的地方,比如压差变大可能表示

管道内部存在沉积物或者某处被阻塞,温度下降过快则说明保温不佳。

2.3 无损检测与壁厚测定

对于经过宏观检查发现有疑问部位,要对其进行进一步无损检测。超声波测厚是判断管壁剩余厚度最直观方法,在管道上不同方向选择几个固定点测量壁厚形成壁厚分布图,进而得出均匀腐蚀速度以及局部减薄量。对直埋管道可用防腐层检漏仪查找防腐层缺陷位置,再通过开挖核实腐蚀最严重地方。焊缝需用磁粉探伤或者渗透探伤检查表面裂缝,必要时还需用X射线或者超声波相控阵探伤检查内部缺陷。但是检测点设置应具有代表性并且有针对性,尽量包含低点、弯头、三通、补偿器两侧还有以往发生过泄漏处等高危区。

2.4 保温层与防水层评估

保温层与防水层检查时常被忽略,但是这对管道安全来说十分重要,在保温层上取芯样,观察颜色、密实程度以及含水量,可以判断保温材料是否已老化或者潮湿。对于直埋预制保温管,可以通过测量管道外表面温度或者用红外线测温仪扫描地面温度场来判断保温层状况如何。而防水层损坏程度可以通过检查地沟中是否有水或者在埋地管道周围取土样测定土壤湿度来进行判断。

2.5 压力试验与严密性验证

经过以上非破坏性检测之后,对高风险或者接近使用寿命年限的管段可以进一步做水压试验或者气压试验来评估该管段目前承受力以及密封性。试验压力一般为设计压力的1.25到1.5倍,稳压时间需符合相关规定。压力试验是全方位检查管道是否安全可靠的一种方法,但是在进行之前要编制好相应应急预案以免出现意外爆裂等事故。

3 安全隐患整改措施与治理路径

3.1 分级分类整改策略

由于老旧热网分布范围较广、改造资金不足等原因,在隐患排查的基础上,根据管段的风险程度的不同采取不同的整改措施。对于高风险管段(壁厚减薄大于设计壁厚30%、有较大裂纹或者经常性泄漏),需及时更换,纳入下一次检修计划;对于中风险管段(减薄率为15%-30%、保温层部分失效),可进行局部修补、加固或者增加监控等方法降低风险,列入中期改造计划;而对于低风险管段只需加强巡视、保养即可,不需要更换^[3]。该方法可有效利用有限的资金对最危险的地方进行重点整治而不用“平均用力”或“一把抓”。

3.2 管道更换与补强修复

而对于壁厚减薄严重的或者有裂缝的管段,最根本的办法就是更换。在更换过程中要选择耐腐蚀性更好的材质(比如采用环氧粉末涂层无缝钢管),并且适当加大一些壁厚余量。如果因为场地原因不能全部更换,则可以采取局部加强的方式,例如对于点蚀坑进行焊接堆焊后磨平,或者用钢套筒修复的方法来对腐蚀穿孔处进行包裹加固等。但是这些补强方法都需要经过详细的受力分析以及焊接工艺评定,保证补强之后能安全运行到下次检修为止。

3.3 防腐保温层更新与防水密封

对于防腐层老化失效的管段,要除去原涂层后再做表面处理及涂覆工作,必须达到规定的涂层厚度并且针孔检测合格。直埋管道保温层如果大面积潮湿,需要全部更换,新的保温层应该选择闭孔率较高的硬质聚氨酯泡沫,外护管为高密度聚乙烯,在接头位置用热收缩带做好防水密封。地沟敷设的管线还要一并改造地沟内的排水系统使沟内不能有水,同时恢复通风设备降低湿度。

3.4 补偿器与阀门更新改造

达到设计疲劳寿命(一般为1000-3000次全行程往复运动)的波纹管补偿器予以更换,在选择时需考虑现场实际情况热位移以及压力等因素确定所要求的补偿量及使用寿命。对于套筒式补偿器只需要更换其中的密封圈即可,如果条件允许还可以将其全部更换成免维护型^[4]。对于阀门需要对那些不能完全关闭的进行打磨修理或者更换,在重要的支路处采用具有良好双向密封性的金属硬密封球阀或闸阀,并在该阀门前后装有放散和检测泄漏设施以便日后检修。

3.5 支架系统整治与管道柔性化调整

对于下沉、倾斜或者脱焊支架进行基础加固以及重新标定,滑动支架摩擦面要保持干净、光滑以便于管道受热膨胀后能够自由滑动;固定支架应当检查其焊接部位是否有裂缝存在,有裂缝要及时修补并且加强筋板厚度。同时结合支架整修工作对全系统进行一次应力分析复核,以确定目前管道热位移是否处于补偿器所能承受

范围之内,如果超出则需要增设补偿器或者调整支架位置,避免造成过大局部应力。

3.6 智能监测与预警系统建设

同时,在进行物理修复的基础上,也要大力布设智能化监测措施。在重要的部位安装壁厚在线监测探头、温度压力一体化仪表以及振动监测器等,在线获取相关的信息并通过无线的方式上传到云端进行远程监视。建设管道腐蚀率数据库及剩余寿命预测系统,一旦发现监测的数据有加快恶化的倾向就及时报警,做到从“亡羊补牢”到“未雨绸缪”。智能化监测并不能代替常规的人工检查,但是可以很大程度上减少漏检的可能性并延长正常检查的时间间隔。

4 结语

老旧热网管道安全隐患排查与整改是一项融合检测技术、材料工程、结构力学与管理机制的系统工程。主要隐患包括腐蚀减薄、材料劣化、保温失效、补偿器损伤及阀门故障,根源在于设计标准滞后、施工缺陷、维护不足及环境变化。本文构建了“资料核查—宏观检查—无损检测—压力试验”的递进式排查体系,并提出分级分类整改、管道更换或补强、防腐保温更新、关键部件改造、支架整治、智能监测及制度完善等综合路径。强调应摒弃“头痛医头”做法,推行预防优先、检测驱动、分级施策的全生命周期管理。未来应推广管道完整性管理,实现隐患排查常态化、整改效果可量化,并加快智能传感与大数据技术应用,推动检修模式由计划性向基于风险的预测性维护转型,以技术与管理双轮驱动保障城市供热安全长效运行。

参考文献

- [1] 王志强,李国华,张伟.城市供热管道腐蚀失效特征及剩余寿命预测方法[J].腐蚀与防护,2023,44(5):22-29.
- [2] 陈敏,赵志刚,刘洋.直埋热水管道外腐蚀风险评估与检测技术综述[J].管道技术与设备,2022,29(4):10-15.
- [3] 张建军,王丽华,高磊.基于超声导波的老旧热网管道缺陷检测应用研究[J].无损检测,2024,46(3):34-40.
- [4] 周晓峰,刘慧,吴昊.供热管道补偿器失效模式分析与预防措施[J].压力容器,2023,40(8):55-62.