

昆明地区冷链系统压力管道失效分析

Failure analysis of pressure

pipeline of cold chain system in Kunming

魏林山 龙 燕 (云南省特种设备安全检测研究院, 云南 昆明 650228)

Wei Linshan LongYan(Special Equipment Safety Inspection Institute in
Yunnan Province,Yunnan Kunming 650228)

摘 要:随着城市化的发展及物联购物平台的构建,“一带一路”为战略主导,昆明地区以冷链系统为中
转,特色农业发展稳步上升,冷链企业逐年递增。针对冷链企业压力管道的特殊性,开展管道定检,基于用户
数据、现场勘查、检验项目进行失效分析,有利于冷链压力管道损伤模式识别,开展高效科学检验,使压力管
道检验更加高效、安全、优质。

关键词: 冷链压力管道; 定检; 失效分析; 科学检验

Abstract:With the development of urbanization and the construction of iot (Internet of Things) shopping
platform,and with the "Belt and Road" as the leading strategy,Kunming takes the cold chain system as the transit point,to
keep the development of characteristic agriculture grow steadily,and increasing the number of cold chain enterprises
progressively year by year.Carrying out pipeline periodic detection to aim at the particularity of pressure pipelines in
cold chain enterprises.Conducting failure analysis based on user data,field investigation,and test item,will be beneficial to
recognize the damage mode of cold chain pressure pipeline,to launch efficient scientific inspection,and make the pressure
pipeline test more effective,secure and high-quality.

Key words:Cold chain pressure pipeline;Periodic detection;Failure analysis;Scientific inspection

云南省有 6000 多万亩农业耕种面积,目前通过
水利工程实现有效灌溉的有 2500 多万亩,其中高效
节水灌溉的近 1000 万亩。蔬菜、花卉、生鲜、水果、
海鲜均用量较大并且呈上升趋势。昆明作为东南亚的
“桥头堡”,“一带一路”的前沿,在气候及政策双向
支持下,昆明的冷链企业也从之前的作坊型向规模
型、集中型、产业型转变,但在转变的过程中,安装
质量、管理意识、经济制约等因素无法从根本上解决,
导致冷链企业压力管道的管理依旧混乱,各种问题层
出不穷,检验机构如何对症下药,降低压力管道失效
风险。

1 昆明地区冷链系统压力管道比较分析

自质检特函〔2013〕61号实施后,昆明地区冷链
系统以此为界可分为 3 个档次,2013 年以前属于坊
间分散型,管道质量低劣;2013 年至 2016 年期间为

过渡阶段,存在取巧拾漏企业,管道质量参差不齐;
2016 年之后,随着政策趋于完善,管理意识逐步上升,
管道质量稳步上升。

新建冷链系统未完全取缔老旧系统,规模化的冷
链物流基地未全部建成,并且冷链系统自身的损伤形
态依旧存在,在管道的定期检验中,一方面以《管检规》
检验,另一方面基于损伤模式进行检验,能很好的剖
析管道存在的问题,并且在失效前加以控制。

2 昆明地区冷链系统压力管道常见的损伤模式

2.1 结构和几何尺寸异常

损伤机理:主要为管道未进行设计或现场安装未
按设计执行,安装质量的随意性、取巧性,导致管道
结构的不合理,管件几何尺寸异常,易造成应力集中、
积压、积液、水锤等,最终导致管道失稳甚至破裂。

损伤形态:高应力位置管道变形、失稳破裂。

易发生位置：三通（含挖孔）、变径尺寸异常处，冲霜管，封头，搭接焊缝，穿墙套管等。

预防措施：结构优化设计，严控安装质量。

检测方法：目视检测、资料审查，无损检测。

2.2 腐蚀减薄

管道在腐蚀介质作用下发生的金属损失，易造成壁厚减薄，导致管道承载能力下降（如表1所示）。

2.3 环境开裂

管道在腐蚀介质和拉应力作用下，材料发生开裂（如表2所示）。

2.4 机械损伤

材料在自身载荷、交变载荷、临时载荷作用下产生的承载能力下降（如表3所示）。

2.5 其他损伤

其他形式的损伤主要为安装质量、管理质量、意外事故等造成的。安装质量低劣：压力管道属于现场安装项目，安装方式灵活，现场组装项目众多，设计单位和安装单位能力参差不齐，安装队伍人员业务素质不一，加之经济因素，非常容易造成鱼目混珠、质量优劣不等，最容易产生材料以劣替优、结构随意化、焊缝未焊透、制冷设备结构紧凑等，会导致制冷能力下降、管线失稳、寿命减低（如表4所示）。

3 结论

检验人员根据《工业管道定检规》相关要求进行检验，从资料审查、现场检测、报告出具，基于管线服役环境进行损伤识别，根据具体的损伤模式，选择合适的检验检测方法，结合企业质量管理体系和管线现

场条件，有针对性的进行定性检验综合分析，有利于在役管线的检测和评估，利于在管线发生失效前及时进行修复或报废处理，避免造成经济损失或人身伤害。

参考文献：

- [1] 刘宇. 发展节水农业潜力无限 [J]. 致富天地, 2019(4).
- [2] 质检总局特种设备局. 质检总局特种设备局关于氨制冷装置特种设备专项治理工作的指导意见 [R]. 2013(11).
- [3] GB/T 30579-2014. 承压设备损伤模式识别 [S]. 北京：国家标准化委员会, 2014.
- [4] TSG 7005-2018. 压力管道定期检验规则 工业管道 [S]. 北京：国家质量监督检验检疫总局, 2018.
- [5] 白杨, 白春动. 压力管道失效风险定量分析 [J]. 自动化应用, 2022(02):157-159+165.
- [6] 端慧. 一起压力管道开裂失效现象原因分析 [J]. 设备管理与维修, 2021(Z1):59-61.
- [7] 陈如木, 邱金水, 等. 基于爆裂失效的腐蚀压力管道剩余强度研究 [J]. 船舶力学, 2020, 24 (07):925-933.
- [8] 罗利. 聚乙烯管材拉伸应变硬化行为与管道强度失效分析 [D]. 湘潭：湘潭大学, 2019.
- [9] 赫玲波. 压力管道全寿命周期疲劳裂纹扩展分析 [J]. 一重技术, 2018(06):1-5.
- [10] 任康. 大数据方法在压力管道风险分析中的应用 [D]. 北京：北京化工大学, 2018.

作者简介：

魏林山（1990-），男，本科，学士，主要从事特种设备压力管道检验工作。

表1 腐蚀减薄损伤模式

项目	大气腐蚀减薄（无保温）	大气腐蚀减薄（有保温）	微生物及垢下腐蚀
损伤机理	未敷设隔热层的金属在大气中发生腐蚀；阳极反应： $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ ， $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{e}^-$ ， $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$ ；阴极反应： $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$	主要为层下腐蚀，破损部位空气进入易形成原电池，腐蚀管道	主要为细菌、藻类或真菌类活性有机物造成的腐蚀，多与团簇状或泥污状有机物有关。管壁结水垢也容易造成腐蚀减薄
损伤形态	碳钢表现为均匀腐蚀或局部腐蚀，纯铜易在表面形成铜绿	碳钢拆除保温后，表面形成片状锈皮或蜂蛹状点蚀坑	主要为局部垢下腐蚀成杯状点蚀，外壁成片脱落
易发生位置	蒸发冷凝器附近、裸露于大气中的管道、防腐层破损部位等	结构设计不合理或安装不良形成积水、保温层破损位置、保温层质量低劣管段、冷热循环管段（室外）等	蒸发冷凝器附近结垢管道、潮湿环境氨泄漏管段
预防措施	防腐层保护、蒸发冷凝器附近湿度控制（ $\leq 50\%$ ）、通风良好	优化结构设计，避免冷热循环；控制保温层质量，及时修复破损保温	循环水质保护、通风阳光直射、添加缓蚀剂
检测方法	目视检测和壁厚测定	目视检测、壁厚测定、渗透检测、红外热成像检测	挂片、目视、水质检测

表2 环境开裂损伤模式

项目	氢应力腐蚀开裂	液体金属侵蚀	其他环境开裂
----	---------	--------	--------

损伤机理	空气中的氧或二氧化碳混入冷却系统后发生的腐蚀，在应力集中部位形成应力腐蚀开裂	金属材料与低熔点金属接触时引发的晶间脆裂现象	铜合金氨裂、铜合金脱锌
损伤形态	焊缝金属和热影响区发生开裂	形成沿晶裂纹，裂纹充满低熔点金属	铜合金与氨接触产生氨裂，黄铜脱锌
易发生位置	氨液充装部位、机械密封部位、放油口、泄露点、挖孔三通、高应力部位。 含水量：0.005%~0.2% 易发生	碳钢 + 铜合金 / 铝合金焊接部位	保温破损积液部位，异种钢焊接部位
预防措施	加装空气过滤器、规范化充装操作、泄漏监测，防止空气或氧气混入	防止超温超压运行	合理选材、保温防护
检测方法	泄漏检测、磁粉检测、氨成分分析	目视检测、渗透检测、磁粉检测	渗透检测、壁厚测定

表 3 机械损伤模式

项目	机械振动疲劳	冲刷腐蚀	过载
损伤机理	在循环载荷作用下，因结构原因或工艺条件，产生机械磨损、振动、水锤等不稳定流体，在交变载荷作用下产生疲劳开裂	金属材料与气体或液体等单相、两相介质相互作用，致使表面金属层加速剥离的过程	外加载荷超过设备的承受极限，形成超温超压或负压，会发生变形、失稳、喘振、破裂等，严重将发生爆管
损伤形态	应力集中中产生裂纹、刚性连接松脱等	金属材料局部腐蚀，产生蚀坑、凹槽、条坑等，且具有方向性	超压导致管材塑性变形，甚至韧性破裂，严重部位将爆管；超温导致蒸发冷凝器冷凝不足，两相汇聚贮氨器，容器超温超压；阀门失效后的负压设备
易发生位置	压缩机、氨泵、蒸发冷凝器进出口处，气液两相管，应力集中部位（如焊缝未焊透）、融霜管等	三通、弯头、变径、节流阀、氨泵等部位，气液两相管，介质流向突变位置，高流速排气管线	所有承压设备和管道，包括抽真空设备
预防措施	优化结构设计，合理运行设备，消除焊接超标缺陷，提升操作技能	优化结构设计，减低流速，合理选材	工艺结构优化、设备安全裕度、压缩机过载保护、安全连锁保护
检测方法	目视检测、磁粉检测、标记检测	壁厚测定、导波检测、流场仿真	目视检测、压力监控、电流检测

表 4 其他损伤模式

项目	低温脆断	地基沉降	材质混用	操作失误	管理意识淡薄
损伤机理	金属材料在韧脆转变温度一下服役时，在应力作用下几乎不发生塑性变形就突然断裂导致失效	企业及附近居住区长期使用地下水或地基松软导致机房地基沉降，长期受动载荷作用下承受外加拉应力，管道易变形、失稳	以劣等采用混用于制冷系统，导致制冷系统制冷能力下降、密封失效、使用寿命下降，甚至发生失稳、脆断	操作人员误操作将导致设备过载，管线异常振动，管件泄露，应力集中部位产生裂纹，安全连锁失效部位产生破裂，易发生中毒、火灾等危险	企业人员安全管理意识淡薄，安全间距不足，通风不良，用电装置不可靠，易发生介质泄露、中毒、火灾、环境污染
损伤形态	断口脆性	管道受拉变形，易失稳	管线失稳破裂、密封不足漏液、脆断	管线失稳破裂、密封失效漏氨、系统过载	中毒、火灾、环境污染
易发生位置	速冻急冻库保温破损部位、低温库高应力集中部位、节流阀前后管段	压缩机基础下沉	阀门选材错误、材料壁厚负偏差较大	压缩机进出口阀门开度不匹配、压缩机能级过高，充氨、放油不合理，机组冷却不当等	电缆线与管线交叉、制冷间住人、机房内通风不良、保温层防火材料不阻燃
预防措施	合理选材（碳锰钢），-20℃ 以下服役管道进行冲击试验，高应力部位无损检测	地基加固，减少地下水使用	合理选材选型、材质验收规范	严格执行操作规程，定期安全培训教育	强化企业安全管理意识，现场应急保护机制完善，消防设施完善
检测方法	检验无法减缓脆性断裂	标记检测	壁厚测定、材质元素分析	目视检测，台账查巡	外观检测、制度检查