doi:10.3969/j.issn.1001-4837.2025.08.008

检验与维护

石化承压设备的泄漏管理及当前难题探讨

郑显伟

（中国石油化工股份有限公司，北京 100728）

摘　要：针对石化承压设备中的泄漏管理问题，进行泄漏事故统计，并分析进料过滤器法兰盖垫片、反应器出口混合气管道、粗合成气管道和再沸器换热管束等4起典型泄漏事故过程和原因。介绍石化设备完整性管理的主要内容，总结当前面临的4个难题并提出解决方案。结果表明，泄漏事故主要由设备、材料本身原因和人为因素引起，二者占比可达80%以上。实施以风险管理为核心的设备完整性管理体系，主要内容为设备分级管理、风险管理、过程质量管理、检验检测和预防性维修、缺陷管理、变更管理、设备KPI管理，设备故障维修率降低，2018~2022年，某集团公司千台静设备腐蚀泄漏次数由4.77‰降至2.77‰。本文还就承压设备管理中面临的压力容器使用年限、压力容器检验策略、蒸汽管道检测与评价、绝热层下腐蚀等难题提出具体解决方案。

关键词：承压设备；石化；泄漏；完整性管理

中图分类号：TH49；TH171；O342　　**文献标志码：**B

Discussion on leakage management and current challenges of petrochemical pressure-bearing equipment

ZHENG Xianwei

（China Petroleum & Chemical Corporation，Beijing 100728，China）

Abstract: Aiming at the leakage management issues in petrochemical pressure-bearing equipment，a statistics of leakage accidents was conducted，and the process and causes of four typical leakage accidents were analyzed，including the flange cover gasket of the feed filter，the mixed gas pipeline at the outlet of the reactor，the crude synthesis gas pipeline and the heat exchange pipe bundle of the reboiler.The main contents of the integrity management of petrochemical equipment were introduced，and four current problems were summarize and solutions were proposed.The results show that leakage accidents are mainly caused by the reasons of equipment and materials themselves and human factors，with the two accounting for more than 80%. The implementation of an equipment integrity management system centered on risk management mainly includes equipment classification management，risk management，process quality management，inspection and testing as well as preventive maintenance，defect management，change management，and equipment KPI management.The equipment failure repair rate has been reduced.From 2018 to 2022，the corrosion leakage times of a thousand static equipment in a certain enterprise reduce from 4.77‰ to 2.77‰.This paper also puts forward specific solutions to the existing problems in pressure-bearing equipment，such as the service life of pressure vessels，the inspection strategy of pressure vessels，the inspection and evaluation of steam pipelines，and the corrosion under insulation.

Key words:pressure-bearing equipment；petrochemical；leakage；integrity management

收稿日期：2025-04-15　**修回日期：**2025-07-25

基金项目：中国石油化工股份有限公司科技开发项目（20110A100）

0 引言

石油化工属流程型行业，特点是工艺流程比较复杂，设备运行条件苛刻，自动化控制水平高，且越来越趋于大型化[1]。安全是石化企业保障生产秩序、提高经济效益的前提[2]。近年来，国内外在石化企业特种设备安全管理方面的研究取得显著进展。国外以美国石油协会（API）和欧洲压力设备指令（PED）为代表，形成了基于风险的检验（RBI）、完整性管理（IM）和以可靠性为中心的维修（RCM）的成熟体系，强调全寿命周期风险动态评估和预知性检维修。国内则经历了从“定期停车、事后维修”向“预知性检维修+完整性管理”的跨越：建立了大型石化装置预知性维修与完整性管理技术体系。石化企业结合RBI理念，提出“四检一护”全过程管理模式，将风险提示与个性化检测相结合，显著降低漏检和突发泄漏风险[3]。

近年来，针对承压设备的泄漏管理难题，石油化工装置中的工艺介质和产品，多数具有易燃、易爆、有毒的特性。因此，设备（主要是压力容器和压力管道等）泄漏风险管理，是石油化工企业设备安全管理最主要和最核心的内容。建设应用设备完整性管理体系，成为各石化企业管理危险介质泄漏安全事件的有效方法和机制。设备完整性管理[4]是以风险理论为基础，设备寿命周期全过程管理为主线，综合考虑设备的安全性、可靠性、维修性及经济性，集成应用HAZOP，RBD，RBI，RCM和SIL等技术方法和以信息化平台建设为抓手[5-11]，有效实施设备分级管理、风险管理、过程质量控制、检查、测试与预防性维修（ITPM）、缺陷管理、变更管理、外部提供的产品和服务控制等管理活动，系统地管控设备风险，实现技术与管理的结合、安全性与经济性的统一[12-15]。

本文通过国内石化企业和某集团公司历史泄漏事故统计和案例分析，找出引起承压设备及管道泄漏的主要原因，并针对上述原因，分析提出减少承压设备泄漏事故的设备完整性管理体系。总结当前承压设备管理面临的难题，并提出相应解决方案。本文的研究内容及成果已经在某集团公司下的炼化企业得到应用，并取得较好地效果。近期，国家市场监督管理总局特种设备安全监察局拟在石化行业开展承压设备完整性管理试点工作，该文也可为石化企业承压设备的管理提供借鉴。

1 石化装置泄漏事故案例及分析

1.1 泄漏事故原因统计

根据建国以来化工系统所发生的重大泄漏事故（主要来自石油化工企业的统计资料），事故原因可分为如下5个方面。

（1）工艺技术：工艺路线设计不合理，关键控制参数要求不严格。

（2）设备、材料本身原因：设备自身缺陷，材料及安装质量未达到标准要求；生产、制造过程中，未按照有关规定进行；材料选择不符合标准。

（3）人为因素：违章操作、误操作、缺少必要的安全生产和岗位技能知识；工作责任心不强。

（4）外来因素：外来物体的打击、碰撞。

（5）其他：不属于以上4种原因的因素。

对某集团公司2010~2019年发生的195起泄漏事故的统计资料[16]，该集团公司最早的炼油装置建成于20世纪60年代，最早的化工装置建成于20世纪90年代，经过多轮改造，新度系数集中在0.3~0.4，加工的原油变化较大，高硫高酸原油约占三分之一。泄漏事故原因统计结果，如图1所示。195起泄漏事故中，工艺技术占比6.2%，设备、材料本身原因占比47.7%，人为因素占比37.4%，外来因素占比4.6%，其他占比4.1%。由图可知，泄漏事故的主要原因为设备、材料本身原因和人为因素。

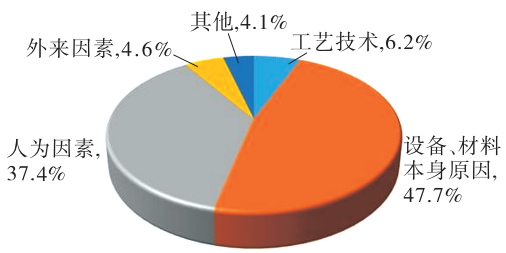


图1 某集团公司泄漏事故原因统计

Fig.1 Causes statistics of leakage accidents in a certain enterprise

195起泄漏事故中，泄漏部位统计结果如表1所示。母材泄漏占比最高，达48.2%，主要损伤模式为冲刷腐蚀、坑蚀、点蚀和停工期间的露点腐蚀，腐蚀规律性不强，防范难度大。其次是动密封泄漏，占比为17.4%。冷换设备泄漏占比15.4%，主要集中在高压空冷等设备。法兰泄漏占比6.7%，具体原因主要为螺栓的预紧力不平衡、过大或过小。法兰泄漏可用夹具临时堵漏，一般可避免事故的扩大，事故后果严重的占比较小。

表1 泄漏部位及事故后果统计

Tab.1 Statistics of leakage locations and accident consequences

主要泄漏部位	泄漏事故后果		
	着火或爆炸	非计划停工	合计占比
母材	8	86	48.2%
动密封(高危机泵和机组)	12	22	17.4%
冷换设备	2	28	15.4%
焊缝	5	19	12.3%
法兰	5	8	6.7%
合计	32	163	100%

1.2 泄漏事故案例及分析

石化企业设备种类繁多,泄漏事故原因各不相同。本文选取的典型泄漏事故案例,包括进料过滤器法兰盖垫片、反应器出口混合气管道、粗合成气管道和再沸器换热管束,并对典型泄漏事故案例原因进行分析。

1.2.1 进料过滤器法兰盖垫片选型不当泄漏

2016年10月,某石化企业重整芳烃联合装置,在关闭进料过滤器FI301A进口电动阀时,物料呈喷射状泄漏,引发着火。经分析,事故原因如下。

(1)垫片选型不当。螺栓为35CrMoA的高强螺栓,法兰为JB/T 4702—2000《乙型平焊法兰》中的乙型法兰。根据JB/T 4700—2000《压力容器法兰分类与技术条件》中表2规定,垫片应为缠绕垫片。后续所选过滤器垫片变更为石墨复合垫片,密封力偏小,与螺栓和法兰不相适应,预紧时易于被压溃。

(2)垫片变更后未重新核算螺栓预紧力。根据GB 150—1998《钢制压力容器》中表9-2,厚度为3 mm的石棉垫片系数和密封比压分别为2和11,而缠绕垫片系数和密封比压分别为3和69。石墨复合垫片与石棉垫片相当,与缠绕垫片所需的螺栓力相差较大。

(3)过滤器法兰选用设备法兰标准,公称直径为设备内径,垫片为参照JB/T 4705—2000《缠绕垫片》设计的非标垫片,带内加强环。实际安装垫片应为符合HG/T 20606—2009《钢制管法兰用非金属平垫片(PN系列)》的垫片,管法兰公称直径并非法兰内径,结构和紧固件也有差异。选用的石墨复合垫片尺寸为∅616 mm×∅550 mm×3 mm,垫片内径小于法兰密封面内径,存在安装定位不良、垫片内包边被物料吹走、垫片溃散失效的风险。过滤器及垫片如图2所示。

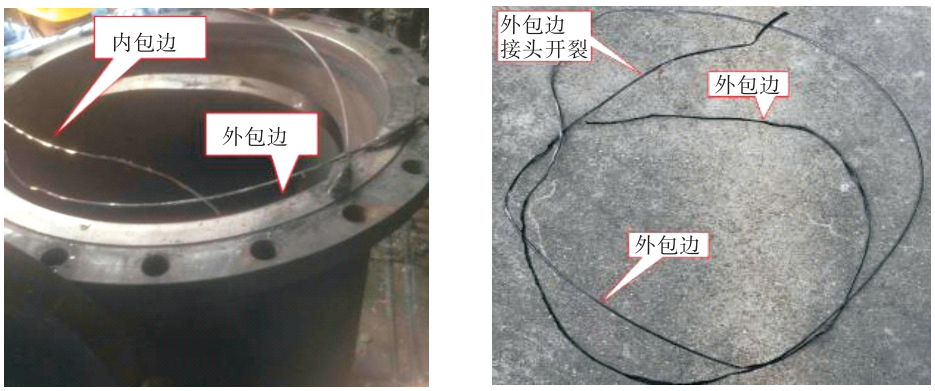


图2 过滤器及垫片

Fig.2 Filters and gaskets

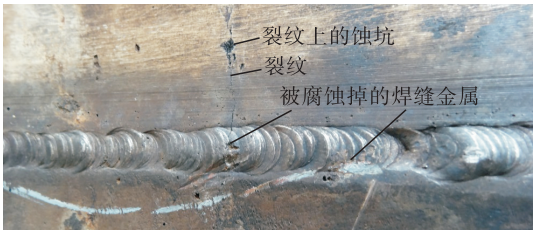
1.2.2 反应器出口混合气管道泄漏

2025年2月,某企业环氧/乙二醇装置反应器出口304不锈钢管道宏观形貌如图3所示,接触的介质为常温混合气体,服役约40年。管道通过卷

板焊接而成，一端与法兰焊接成形。在管道外表面上存在贯穿性泄漏点和裂纹，泄漏发生在焊接接头处，泄漏处有明显的腐蚀痕迹，存在较多黄褐色锈迹。图3(b)示出内表面裂纹和蚀孔，内表面上存在宏观裂纹和众多蚀孔，部分区域焊缝金属被严重腐蚀，形成较大且深的蚀坑。



(a)外表面



(b)内表面裂纹和蚀孔

图3 管道宏观腐蚀形貌

Fig.3 Macroscopic corrosion morphology of pipe

经分析，泄漏原因如下。

(1)不锈钢管道焊接接头在焊接残余应力和腐蚀介质(55%CH_4，32%C_2H_4，7.5%O_2，0.4%H_2O，0.01%EO等，平均游离氯含量2 mg/L)的共同作用下，诱发微裂纹。在长期服役过程中，微裂纹缓慢扩展，直至穿透管道发生泄漏。

(2)304不锈钢是孔蚀敏感材料，在腐蚀性环境中，焊缝中的铁素体、母材中的缺陷，均为易发生腐蚀的部位。一旦蚀孔形成，在孔内“闭塞效应”作用下，孔内的腐蚀性增强，环境中的氯会促进蚀孔不断向纵深方向发展。另外，蚀孔部位会产生应力集中，诱导微裂纹的形成。

1.2.3 粗合成气管道腐蚀泄漏

2022年1月，某企业煤气化装置粗合成气泄漏，气化炉联锁关停4个煤烧嘴，自动打开紧急卸压阀，关闭去下游粗合成气界区切断阀，气化炉停车卸压，切断泄漏点物料来源，现场未见着火。泄漏管道及内壁结垢，如图4所示。经分析，泄漏原因为：开裂口周边明显减薄，并存在多处腐蚀坑和明显腐蚀产物，垢样分析腐蚀产物主要为Fe_2O_3(71.24%)和SO_3(25.56%)，还有少量Cl，SiO_2等。腐蚀类型为垢下腐蚀，属于NH_4Cl沉积腐蚀结合HCl露点腐蚀。腐蚀减薄后承压能力下降，最终管道因无法承受运行压力(约3.8 MPa)，在腐蚀减薄处产生塑性变形，直至瞬间撕裂。





图4 泄漏管道及内壁结垢

Fig.4 Leakage pipe and inner wall fouling

1.2.4 再沸器换热管束腐蚀泄漏

2022年6月，某企业装置产品水含量超标(高达9.19×10^{-4})，紧急停车处理后，打开再沸器E33096A/B发现，E33096A列管中靠近蒸汽入口侧31根换热管泄漏，E33096B列管中13根泄漏堵管。换热器堵管如图5所示，本次堵管13根，主要位于下部。经分析，泄漏原因如下。

(1)再沸器壳程进口蒸汽温度超标，换热器管束被高温醋酸腐蚀。蒸汽减温器设计工作温度210~240 ℃，实际运行蒸汽温度超过270 ℃，减温器无法将蒸汽温度降至正常范围。运行监测发现蒸汽温度曾高达309 ℃，持续时间约40分钟。

(2)工艺运行管理失控，对超温造成设备腐蚀的认识不足，操作方法中没有明确蒸汽的温度控制范围，未设置超温报警。设备腐蚀监测不到位，未能及时发现初期故障。管理培训存在不足，设

备管理人员对醋酸系统腐蚀管理、腐蚀日常监测缺乏应有的技能水平,分析能力不足。

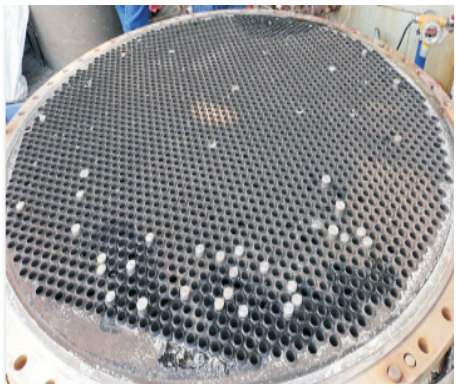


图5 换热器堵管

Fig.5 Heat exchanger plug

案例总结:第1个案例属于195起泄漏事故,其余3个案例都是近几年发生。第1个案例属于人为因素,更换垫片(重要密封件)属于重要变更,没有进行风险评估。第2,3个案例为运行过程中的腐蚀开裂,缺陷的监检测不到位,预防性维护策略执行不足。第4个案例中运行维护不足,没有做到管设备也要管运行环境的要求,如预防性维护检修措施到位,可以实现早期干预、避免泄漏。

2 石化设备的泄漏管理

近年来,某集团公司经过设备完整性管理体系建设实践,探索出了承压设备泄漏管理的有效方法。完整性管理突出设备分级管理、风险管理、过程质量管理、检验检测和预防性维修、缺陷管理、变更管理、设备KPI管理等重点管控内容,风险管控和预防性维修理念深入人心,系统解决企业碎片化、经验式管理弊端,提升整体管理水平和科学性,营造共同应对风险的良好局面。

(1)设备可靠性团队建设。在不增加定员的基础上,设立可靠性团队。主要从事体系建设完善、参与区域团队日常运行维护、可靠性分析、KPI指标分析与改进提升等专业技术工作。建议A类企业15人左右,AA类企业20人左右,AAA类企业25人左右(某集团公司炼化企业按规模大小分为A,AA,AAA三类)。

(2)开展设备分级管理。制定科学合理的设备分级管理标准,可以抓住管理重点、合理安排资源。图6示出设备关键性量化评价,根据4个维度打分,将所有设备分为A,B,C三级。

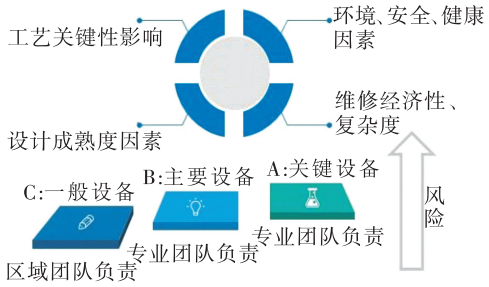


图6 设备关键性量化评价

Fig.6 Quantitative evaluation of equipment criticality

(3)推动设备专业定时性工作。组织系统内专家,归纳总结各专业所需开展的工作,编制定时工作清单,如表2所示。企业在完整性管理体系信息平台设定触发条件和定时提醒等功能,大大降低了遗漏的风险。

表2 定时工作清单

Tab.2 Timed work list

专业	执行部门	频次	工作内容	记录表单	完成时间
综合	设备主管部门	1次/月	总结分析月度KPI指标,分析专业制度执行情况。	各专业月报	每月完成
设备	设备支持中心	1次/月	制定月度预防性检修计划,按计划检修。	月度预防性检修计划	每月完成
防腐	设备管理部门	1次/年	总结防腐工作,排查腐蚀问题,提出应对措施。	防腐年度工作总结和计划	每年完成
电气	电仪中心	1次/季	开展季节性电气维护工作。	记录	每季度完成
仪表	设备主管部门	1次/年	对联锁投用率进行评估,制定改进措施。	联锁投用率评估报告	每年完成

(4)推进设备预防性维修工作。编制动静电仪预防性维修策略,预防性维修策略的实施使得设备管理关口前移,逐步改变了设备故障维修的被动局面。

(5)推进设备KPI指标引领作用。优化设备KPI指标并制定《设备KPI指标数据自动采集要求》,逐渐形成KPI指标引领专业管理态势。将KPI指标落实到基层考核,充分发挥KPI指标的"指挥棒"作用。

(6)加强设备缺陷管理。完善EM系统通知

单标准模板。增加专业类别、缺陷现象、缺陷等级、维修类型、配件、配件数量、配件部位、更换原因等内容，作为设备缺陷统计的重要凭证。

（7）建立KPI指标引领管理循环提升机制。

（8）提升设备本质安全。通过体系建设，加强对风险的“根源控制”和“提前预防”，减少人的不安全行为；通过预防性工作提升设备可靠性，消除物的不安全状态；管理体系更为科学合理，减少管理缺陷和漏洞。通过体系建设，加强人机互补，提高环境安全因素，提升管理科水平，促使企业系统安全可靠，实现本质安全的目标。2018~2022年，通过静设备腐蚀状态监测、定期检验等手段，及时发现设备缺陷并开展预防性维修，降低设备腐蚀泄漏的风险，某企业[16]千台静设备腐蚀泄漏次数逐步降低，由4.77‰降至2.77‰，如图7所示。

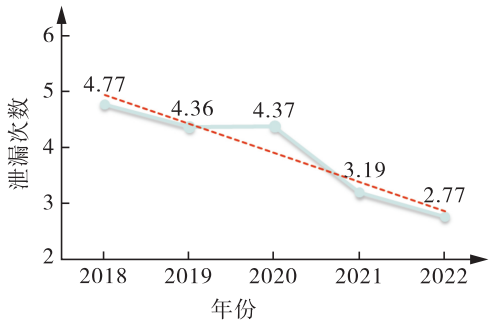


图7 千台静设备腐蚀泄漏次数

Fig.7 Corrosion leakage times of thousands of static equipment

3 设备管理面临的难题及解决方案探讨

依据某石化企业承压设备泄漏管理现状，对照2023年全国人大执法检查组，关于检查特种设备安全法实施情况的报告，指出的特种设备安全法实施中存在的产业发展存在短板弱项、企业主体责任尚未全面落实等问题，梳理某石化企业在承压设备泄漏管理方面面临的主要难题，并依据长期运行经验，探讨主要解决方案，如要夯实制造业基础，支持特种设备行业高质量发展；压实企业安全主体责任，推进本质安全落到实处；强化支撑保障，提升安全监管效能等。

3.1 压力容器的使用年限

3.1.1 存在的问题

早期压力容器（二十世纪六七十年代生产）设计制造时，重点关注强度、刚度和稳定性，没有全面考虑苛刻环境下压力容器的各种失效模式和损伤机理，并按照设计寿命20年的腐蚀速率来设定压力容器的腐蚀裕度，无法科学预估压力容器的服役寿命，未充分发挥设备的服役潜力。

3.1.2 解决方案

（1）风险评估技术的发展、应用和标准化。根据GB/T 30579—2022《承压设备损伤模式识别》、API 571：2020 *Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry*、GB/T 26610—2022《承压设备系统基于风险的检验实施导则》等系列标准的实施，研究具有国际先进水平的基于风险的检验技术，开发具有自主知识产权的风险评估软件，并在中石化、中石油、国家能源集团的炼油、化工、化肥、煤化工等几千套装置中进行应用。既保障了高风险设备的本质安全，又为企业节约了巨额的检维修成本，实现我国石化工业承压设备系统检维修理念的根本转变。

（2）合于使用评价技术（含缺陷评定）的发展、应用和标准化。针对在役含缺陷设备，在缺陷定量检测和缺陷成因分析的基础上，基于缺陷动力学发展规律，通过严格的理论分析与计算，确定缺陷对设备安全使用的影响。形成承压设备缺陷安全评定及合于使用评价方法，GB/T 35013—2018《承压设备合于使用评价》、GB/T 19624—2019《在用含缺陷压力容器安全评定》等标准，为炼化装置承压设备安全评估与寿命预测提供重要支撑。

（3）无损检测技术的发展、应用和标准化。磁粉、渗透、射线、超声等技术已经非常成熟，NB/T 47013—2023《承压设备无损检测》系列标准，为承压设备表面缺陷和埋藏缺陷的检测提供了重要技术支撑。先进无损检测技术如超声相控阵、衍射时差法、电磁超声阵列、超声导波、声发射、金属磁记忆、红外热成像等获得极大发展。

（4）在线监测技术的发展、应用和标准化。超声壁厚监测、腐蚀探针、声发射等在线监测技术已在炼化装置中广泛应用。-180~600 ℃范围的压力容器剩余壁厚在线监测，550 ℃以下压力容器的应变在线监测已成熟，0.1 mm级裂纹的在线监测已开始工程应用。基于特征安全参量的压力容器远程监测预警及运维系统，已经实现剩余壁厚、应力应变等参量的在线监测、评估与防控等。

3.2 压力容器的检验策略

3.2.1 存在的问题

压力容器安全保障是一项系统工程，定期检验是保障在役压力容器安全的重要技术手段之

一。检验策略是决定检验效果的关键依据,主要存在的问题包括:检验部位重复检验;检验有效性和损伤机理的针对性不足;存在“重理论分析,轻现场检验”的问题;检验策略没有充分考虑装置运行工况与腐蚀监测等状态参数变化的影响;宏观检查工作与腐蚀调查工作内容重复、结论不一致等,增加检修费用和不必要的现场工作;检验经费不足与企业安全意识不强,比如在企业亏损或盈利不佳的情况下,为了降低成本而不合理的减少压力容器的检验费用。

3.2.2 解决方案

(1)识别部件损伤机理及完善检验策略。为解决因对压力容器部件检验方法针对性及有效性不强导致的缺陷漏检问题,以GB/T 30579—2022《承压设备损伤模式识别》、API 571:2020 *Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry*、RBI报告为主要参考依据,研究压力容器及部件的结构、选材、工艺介质、运行工况及其变化关系,建立各压力容器及部件的潜在失效机理库,制定压力容器重点检验部位、检验方法、检验比例等检验策略,融合潜在失效机理、运行工况、历史检验、缺陷返修、故障隐患、腐蚀监测、法规要求和行业经验等多因素信息,能大大提高检验的针对性和有效性。

(2)根据运行工况及腐蚀监测对检验策略进行修正。在分析压力容器状态参数的基础上,通过数据接口,从DCS、LIMS、腐蚀监测系统,以及腐蚀调查报告等,自动获取最近一个生产周期的运行数据,针对性修正压力容器检验项目的检验比例。

(3)企业应增强安全意识,特别是在企业盈利不多甚至亏损的情况下,也要保障安全生产的费用,不能一味减少压力容器检验、维修等费用。要加强全员安全知识、能力和应急水平的培训,特别是要提高基层的安全意识。

3.3 高压蒸汽管道检测与评价

3.3.1 存在的问题

针对使用15年以上的高压蒸汽管道的检测和更换情况进行调查,共统计697条高压蒸汽管线,其中128条(约占总数的18.4%)存在不同程度的缺陷问题。存在缺陷的高压蒸汽管道更换情况如表3所示,63条已完成更换,23条已列入更换计划并监控运行,42条未有计划,安全状况评估可运行或监控使用。

表3 存在缺陷的高压蒸汽管道更换情况

Tab.3 Replacement situation of defective high-pressure steam pipes

更换情况	数量/条	占比	主要原因
已完成更换	63	49.2%	因珠光体球化更换41条,因鼓胀变形更换8条,因焊缝裂纹更换6条,因晶间腐蚀更换6条,因其他原因更换2条。
列入更换计划	23	18%	珠光体球化达到3级及以上。
未有计划	42	32.8%	38条珠光体球化3级或4级,安全状况评估可运行;4条管道完全球化,监控运行。

3.3.2 解决方案

针对上述问题,相关石化企业和研究机构开展研究,编制了《在用高压蒸汽管道定期检验导则》,明确高压蒸汽管道定期检验,除应满足TSG D7005—2018《压力管道定期检验规则——工业管道》中规定的检验项目和要求外,还应满足该导则中规定的检验项目和要求。创新性如下。

(1)详细给出了高压蒸汽管道损伤检测方法及易损伤部位,并给出相应的检验策略和损伤评价方法。可有效解决安全状况和检验周期难以合理确定等技术问题。

(2)研究形成了温度–时间–球化等级趋势图和工艺温度–运行时间–风险等级评估图,在生产运行过程中,可以通过该趋势图和评估图,结合工艺运行状态,进行寿命评估和风险预警。

(3)通过硬度和金相演变规律研究,形成硬度和金相与温度、时间的拟合趋势,通过与力学性能指标的演变规律结合,对材质劣化程度进行初步判断。

(4)通过对服役高压蒸汽管道取样试验研究,得出球化级别对管道力学性能指标的影响规律,为进行高压蒸汽管道割管取样材质评定,以及形成寿命评估方法提供数据支持。

3.4 绝热层下腐蚀

3.4.1 存在的问题

调研发现80%的绝热层下腐蚀都发生在管

道系统，其中腐蚀泄漏主要在服役16年以后发生，如图8所示。

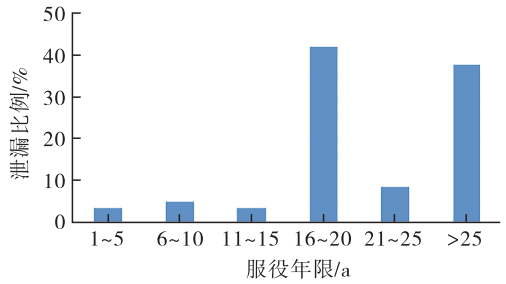


图8 绝热层下腐蚀泄漏数据分析

Fig.8 Analysis of corrosion leakage data under the insulation layer

3.4.2 解决方案

（1）防腐涂层配套选择。在可能发生绝热层下腐蚀的碳钢、低合金钢和不锈钢表面，宜选用环氧类涂料。若运行温度高于120 ℃，宜选用环氧酚醛类涂料，不应选择有富锌类底漆的涂层配套体系。

（2）绝热结构设计及施工。绝热结构施工应采用不锈钢丝或不锈钢带捆扎紧实，水平管道保护层纵向接缝应在水平线以下15°~45°范围内，不得出现朝天缝，若遇障碍无法避开，则需涂抹密封胶。三通、阀门法兰与直管段等应按顺序搭接，保护层接缝处应涂抹密封胶，保护层螺钉应采用不锈钢螺钉，间距不得大于200 mm。

（3）绝热材料选择。绝热材料应符合GB 50264—2013《工业设备及管道绝热工程设计规范》、SH/T 3010—2013《石油化工设备和管道绝热工程设计规范》的规定。绝热材料应具有良好的憎水性，用于覆盖奥氏体不锈钢或双相不锈钢的绝热材料，浸出液的pH值应在7.1~11.7范围内（25 ℃）。

（4）绝热层下腐蚀检查。开展绝热层下腐蚀检查前，应基于设备或管道的绝热层下失效概率和失效后果进行腐蚀风险等级划分，针对不同腐蚀风险等级制定检查方案。

3.5 其他

石化企业承压设备泄漏管理还存在一些其他问题。

（1）微小泄漏与隐蔽泄漏的早期发现，如加氢反应器出口管道保温层内的氢气微漏。

（2）复杂工况下的介质特性与多重危害，如液化烃泵的机械密封一旦失效，泄漏介质会瞬间汽化并大面积扩散。

（3）高价值检测技术应用的经济性与普及难题，如光学气体成像（OGI）热像仪对VOCs泄漏检测效果显著，但其高昂的成本和人员技能要求，限制了其在中小型企业的大规模普及。

（4）海量监测数据的实时处理与精准报警等。

未来石化企业承压设备泄漏管理方向可以考虑智能化网络化监测预警平台、预测性维护与完整性管理深度融合、本质安全设计与新材料应用、数字孪生与应急响应仿真等。

4 结论

（1）泄漏风险管理是石油化工企业承压设备管理的核心内容，泄漏主要原因为设备、材料本身因素和人为因素，分别占比47.7%和37.4%。预防泄漏是石化企业设备管理的重要工作。

（2）石化企业设备完整性管理为承压设备的泄漏管理提供有效的体系和方法，有助于降低设备故障维修率，减少装置非计划停工，提高设备管理水平。某集团公司2018~2022年，千台静设备腐蚀泄漏次数由4.77‰降至2.77‰。

（3）当前石化承压设备泄漏管理面临压力容器的使用年限、压力容器的检验策略、高压蒸汽管道检测与评价、绝热层下腐蚀等难题。解决上述难题有赖于风险评估、合于使用评价、无损检测、在线监测等技术的发展和应用。随着石化行业设备完整性管理体系建设实践的不断深化，石化行业承压设备的泄漏管理水平必将迈向新的高度。

参考文献：

[1] 王建平，王乐.流程工业生产过程优化技术发展趋势探讨[J].中外能源，2021，26（4）：61-68.
WANG J P，WANG L. Discussion on development trend of process optimization technology in process industry[J].Sino-Global Energy，2021，26（4）：61-68.

[2] 唐洋.基于RCM海洋平台动设备完整性管理关键技术研究[D].成都：西南石油大学，2016.
TANG Y.Research on key technology of asset integrity management for mechanical equipment on the offshore platform based on RCM [D]. Chengdu：Southwest Petroleum University，2016.

[3] 张健，樊亚军.石化企业特种设备检验的策略与方法[J].化工机械，2020，47（2）：157-160.
ZHANG J，FAN Y J.Strategies and methods of special equipment inspection in petrochemical enterprises[J]. Chemical Engineering & Machinery，2020，47（2）：157-160.

[4] 任刚，杨锋，王建军.设备完整性管理体系在炼化企业的应用[J].石油化工设备技术，2021，42(4)：48-55.
REN G，YANG F，WANG J J. Application of equipment integrity management system in refining and chemical enterprises [J]. Petrochemical Equipment Technology，2021，42(4)：48-55.

[5] 陈炜，庄力健，朱建新，等.基于(石化装置)系统RBI-SIL分析的承压设备完整性评估技术[J].压力容器，2012，29(9)：43-49.
CHEN W，ZHUANG L J，ZHU J X，et al.Based on the (petrochemical units) "RBI-SIL" analysis pressure equipment integration risk assessment technology[J]. Pressure Vessel Technology，2012，29(9)：43-49.

[6] 滕易坤.HAZOP模型研究及在SIL评估中的应用[D].大庆：东北石油大学，2022.
TENG Y K. Research on HAZOP model and application in SIL evaluation [D]. Daqing：Northeast Petroleum University，2022.

[7] 唐洋，刘清友，王国荣，等.面向石油石化设备完整性管理的RRCM分析方法[J].石油机械，2017，45(11)：77-83.
TANG Y，LIU Q Y，WANG G R，et al. Research on reinforced reliability centered maintenance analysis method for petroleum and petrochemical equipment integrity management[J].China Petroleum Machinery，2017，45(11)：77-83.

[8] 陈学东，王冰，艾志斌，等.以风险与寿命为基准的承压设备设计与制造[J].压力容器，2007，24(10)：1-5.
CHEN X D，WANG B，AI Z B，et al. Design and manufacture of pressure-bearing equipment based on risk and life[J].Pressure Vessel Technology，2007，24(10)：1-5.

[9] 程伟，陈炜，陈益辉，等.常压塔塔顶冷凝系统设备腐蚀计算与风险评估[J].压力容器，2024，41(9)：68-76.
CHENG W，CHEN W，CHEN Y H，et al. Corrosion calculation and risk assessment of overhead condensing system equipments of atmospheric pressure tower [J]. Pressure Vessel Technology，2024，41(9)：68-76.

[10] 秦雪源，何巍杨，刘勇，等.吸收氧化塔腐蚀机理分析及防腐策略[J].压力容器，2024，41(8)：56-63.
QIN X Y，HE W Y，LIU Y，et al.Analysis of corrosion mechanism and anti-corrosion strategy for absorption oxidation tower [J]. Pressure Vessel Technology，2024，41(8)：56-63.

[11] 刘森，刘美，贺银超，等.基于DCNN网络及Self-Attention-BiGRU机制的轴承剩余寿命预测[J].机电工程，2024，41(5)：786-796.
LIU S，LIU M，HE Y C，et al.Residual life prediction of bearings based on DCNN network and Self-Attention-BiGRU mechanism [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering，2024，41(5)：786-796.

[12] 陈泽波，王振鑫，李婷婷.设备ITPM，未来设备管理新趋势[J].中国设备工程，2020(13)：38-39.
CHEN Z B，WANG Z X，LI T T.Device ITPM，the new trend of future device management [J]. China Plant Engineering，2020(13)：38-39.

[13] 王波，张文泽，解志刚.基于风险的静设备分级与检维修管理方法[J].新技术新工艺，2022(9)：75-80.
WANG B，ZHANG W Z，XIE Z G.Risk-based static equipment classification and inspection and maintenance management method [J]. New Technology & New Process，2022(9)：75-80.

[14] 李园园.石油化工企业设备缺陷管理系统的研发与应用[J].石化技术，2021，28(4)：144-146.
LI Y Y.Research and application of equipment defect management system in petrochemical enterprises [J]. Petrochemical Industry Technology，2021，28(4)：144-146.

[15] 窦金金.石化企业工艺技术变更风险分析及安全管理措施[J].石油化工安全环保技术，2025，41(1)：25-28.
DOU J J. Risk analysis and safety management measures for process technology changes in petrochemical enterprises [J]. Petrochemical Safety and Environmental Protection Technology，2025，41(1)：25-28.

[16] 中石化安全环保部.中国石化42家石化企业的统计资料(内部资料)[Z].中国石油化工股份有限公司，2020.
Sinopec Safety and Environmental Protection Department. Statistical data of 42 petrochemical enterprises of Sinopec (internal information) [Z]. China Petroleum & Chemical Corporation，2020.

作者简介：郑显伟(1968)，男，高级经济师，主要从事石化装置设备管理工作，通信地址：100728 北京市朝阳区朝阳门北大街22号中国石油化工股份有限公司化工事业部，E-mail：zhengxw@sinopec.com。

本文引用格式：
郑显伟.石化承压设备的泄漏管理及当前难题探讨[J].压力容器，2025，42(8)：61-69.
ZHENG Xianwei.Discussion on leakage management and current challenges of petrochemical pressure-bearing equipment[J].Pressure Vessel Technology，2025，42(8)：61-69.