

# 全生命周期下的石油石化

## 企业防腐蚀现状及整改方案研究

王彦博<sup>1</sup> 牛力宏<sup>1</sup> 王继承<sup>2</sup> 曹进<sup>1</sup> 贺金星<sup>1</sup>

(1. 陕西省延长石油(集团)公司延长油田股份有限公司下寺湾采油厂, 陕西 延安 716100)

(2. 陕西省延长石油(集团)公司延长油田股份有限公司志丹采油厂, 陕西 延安 717500)

**摘要:** 以提高防腐蚀处理水平为目标, 在全生命周期下讨论防腐蚀现状。首先阐述对于 21 世纪石油石化行业防腐蚀整改工作的必要性, 从直接损失、间接损失、腐蚀工况、主要防腐技术四方面总结现状, 明确现阶段石油石化企业在腐蚀预防和处理方面的一些措施。根据全生命周期要求结合腐蚀环境, 提出选择耐腐蚀材料、树立防腐蚀控制全生命周期观念两点防腐蚀整改对策, 最后总结今后在防腐蚀处理方面的启示与建议, 使全生命周期概念和该工作结合, 在全球和国家生态环境总体要求和新行业环境下, 达到对于防腐蚀的全新要求。

**关键词:** 全生命周期; 石油石化行业; 防腐蚀; 经济损失

当前面临腐蚀的问题, 是石油石化管道腐蚀、设备腐蚀问题, 所以设计防腐蚀管道、设备是目前非常重要的工作之一。纵观石化行业的发展, 管道、容器是高温高压、易燃易爆以及有毒有害物质输送的主要工具(或介质), 若出现管道泄露、破坏等现象, 不仅会面临经济损失, 还有很大概率发生中毒、爆炸等严重事故。在已发生的腐蚀事件基础上全面统计分析, 将全生命周期的概念和防腐蚀技术结合, 需要在防腐蚀处理中全面挖掘潜在风险、提出整改建议, 控制腐蚀带来的危害后果。因此, 腐蚀是管道设备失效的关键因素, 需要在设计环节给予重视, 结合全生命周期对石油石化行业要求以及防腐蚀现状, 制定腐蚀的预防方案和整改方案。

### 1 基于全生命周期的石油石化行业防腐蚀预防和整改的必要性

当材料、环境之间产生化学反应、电化学反应, 可能导致材料发生损坏或者恶化, 这在生产、生活当中是十分常见的现象, 腐蚀现象本身比较隐蔽与普遍。一旦材料被腐蚀, 将会导致材料失效, 情节严重还会出现安全事故。截至目前, 发现因腐蚀导致经济损失, 在世界 GDP 中占比达到 3%~5%, 超过其他自然灾害、事故带来的损失甚至是总和, 正因如此腐蚀问题也成为世界各国关注的重点问题<sup>[1]</sup>。分析发现, 石油石化行业做好防腐蚀工作, 可减少腐蚀带来的损失约 25%~40%, 而且安全性与经济性较高, 更是关系到国计民生与生态文明建设, 直接体现出国家文明程度与经济发展水平。所以我国从 2016 年开始发布 GB/T 33314-2016《腐蚀控制工程生命周期通用要求》国家标准, 由此正式提出“腐蚀控制工程生命周期”的概念。

我国按照 2016 年发布的《国内外油气行业发展报告》可见对原油进口的依赖度比较高。截至 2020 年已然成

为世界上的第二大石油进口国, 石油消耗每天可达 550 万桶, 220 万桶则是以进口为主。在这一条件下使得原油加工量和油品等逐渐多元化, 也加剧了石油石化行业腐蚀程度, 对生产、运行的安全性、经济性存在一定程度的威胁。在全生命周期背景下, 行业为了进一步实现能源资源节约, 推动我国产业综合发展, 规避腐蚀问题引发的经济问题, 将防腐蚀整改工作正式提上日程<sup>[2]</sup>。

### 2 石油石化行业防腐蚀现状

总结腐蚀现状, 了解现阶段在防腐蚀方面存在的不足, 用直接经济损失、间接损失、腐蚀工况、主要防腐蚀技术这四方面分别作出分析, 在全生命周期下展开多维度讨论, 综合性提出针对性、实效性的建议。下面分别进行讨论。

#### 2.1 直接经济损失

包括财产损失、事故伤亡、善后处理等。如新建设备、旧设备更新与改造、涂料与涂装等产生环节产生的费用, 根据石油石化防腐蚀的经验, 直接经济损失按照从高到低的顺序, 前三名分别是药剂、涂料与涂装、旧设备更新与改造, 费用最少的项目是腐蚀余量投入费用。按照现有防腐蚀技术经验, 可以确定腐蚀问题带来很大经济损失, 而且腐蚀本身具有不可避免的特点。如果有效预防腐蚀, 严格控制技术与管理, 基于全生命周期链条的设定目标, 最大程度地减少腐蚀损失与节省防腐蚀成本<sup>[3]</sup>。

#### 2.2 间接经济损失

企业单位因腐蚀原因停产、减产损失, 工作损失, 资源损失, 处理环境污染的费用, 补充新工培训和员工再培训再教育费用, 还有其他损失。

#### 2.3 腐蚀工况

所有设备的工况相对比较复杂, 按照行业中企业运

营状况,发现常见设备工况包括潮湿、干燥、酸性、碱性、高负荷以及高低温等。由设备比较严格的工况,例如高低温、潮湿与酸性环境等,分析都会因腐蚀性介质引发腐蚀,所以对技术与管理要求非常高。比如原油生产井中  $H_2S$  气体与油杆反应发生“脆断”,而  $CO_2$  会导致甜腐蚀和  $H_2S$  应力腐蚀裂缝,而上述问题还会对高酸性气田采输系统运行、净化设备管道材料应用效果带来干扰。 $CO_2$ 、 $H_2S$  之间发生交互腐蚀,是“氢鼓泡”裂缝的主要原因,也会个别地区发生含硫气田设备管道腐蚀事故的根本原因。如果现场生产环境比较复杂,如氯离子、硫化物与温度等相对复杂的腐蚀环境,将会引发多样化的腐蚀问题,而且会使腐蚀问题更加严重<sup>[4]</sup>。比如对于高含硫天然气进行处理的过程中,发现气体中包括  $H_2S$ 、 $CO_2$ 、 $H_2O$  这些介质,分离与凝析处理后得到凝析油、化学添加剂与污垢等,在设备的底部沉积,加剧了腐蚀环境的复杂性与腐蚀严重性。

另外对埋地管道而言,土壤富含多种气体与有机物、无机物等,具有特殊性电解质腐蚀,而且土壤自身带有不均匀性和多孔、多相的特征,其基本参数复杂是管道腐蚀的主要原因,例如电阻率、含氧量和温度等。尽管管道在防腐蚀整改上已经采取涂装和阴极保护等一系列方法,但难免在长时间运行之后遭到腐蚀、破坏<sup>[5]</sup>。土壤内部富含的硫酸盐还原菌(SRB)产生阴极极化、局部电腐蚀等现象,可能引发钢管局部穿孔。如果杂散电流经过土壤流向管道会直接形成阴极,由管道流向土壤则为阳极,可能在管体部分出现电腐蚀穿孔现象,而且杂散电流还会破坏阴极保护控制系统的运行。

一直以来管道设备预防全面腐蚀多数只是考虑腐蚀余量设计,带来危害小而且控制难度不高。局部腐蚀一般只是集中在金属表面的其中一个区域,腐蚀行为常见的有点蚀、焊缝腐蚀和缝隙腐蚀等,短时间内便会对设备、管道造成穿孔破坏,造成停产、减产,甚至会威胁所在地区的环境质量,对比发现其危害性要高于全面腐蚀<sup>[6]</sup>。

由此可见,石油石化行业整体工况非常复杂,腐蚀问题与机理十分常见,在全生命周期下需要关注到装置与基础设施,形成防腐蚀全生命周期意识,梳理全生命周期链条中设定目标的完成情况,提出对防腐蚀有价值的整改措施。

#### 2.4 主要防腐蚀技术

按照下寺湾采油厂近年来的防腐蚀现状,发现油田在关键防腐蚀技术的应用上,多数是采用加注药剂、运用耐腐蚀材料、加强阴极保护、增设涂镀层以及包覆防腐等方法,这些防护措施在石油生产中的运用比较广泛,原理都是以腐蚀介质、工况为前提,实施起来也具有较强针对性<sup>[7]</sup>。如果选择耐腐蚀材料和腐蚀余量这两项措

施,在全生命周期当中都是设备防腐设计环节的有效防腐方法,涂镀层、热喷涂金属、包覆防腐这三项措施,是建设期采取的防腐方法,一般在试运行之前应用,而加注药剂、阴极保护在设备运行过程中使用。综合对比所有设备防腐措施,如果是以单一装置为对象,主动或者是被动防腐均不会以单一形式存在,单位选购设备时一般更加关注联合防腐,可以减少腐蚀带来的威胁<sup>[8]</sup>。

立足于防腐蚀全生命周期链条目标的角度,防腐蚀方法从前期设计环节,一直到最后设备回收的全生命周期中,始终对设备防腐蚀成效与使用期限带来影响。技术方面通过防腐蚀方法,与新技术、材料、工艺等结合,加强关键设备防腐蚀措施的针对性,是目前防腐蚀整改的重要任务之一。

### 3 全生命周期下石油石化行业腐蚀预防和整改策略

#### 3.1 结合腐蚀环境选择材料

腐蚀预防和整改按“本质安全”防腐技术,从设计环节开始按照工艺规范、管道参数要求等编制等级表,还需要根据输送介质的差异科学选择管道材料。基于腐蚀环境的材料选择,如果工作温度  $\geq 100^\circ C$ ,此时介质内富含氢气碳钢、合金钢管道,要按照管道高温操作规程,以此为依据添加  $10^\circ C - 30^\circ C$  裕量、介质内氢分压,绘制 Nelson 曲线之后作为抗氢钢材的选择依据<sup>[9]</sup>。再如市面上的铬、铬镍不锈钢等材质,对于硝酸的耐蚀性非常好,不超过 70% 稀硝酸的适用温度可达到沸点,但是在选择时不能将不锈钢作为万能耐蚀材料,例如 18/8 铬镍不锈钢的抗大气腐蚀性能要优于碳钢,但是还原性酸和碳钢耐蚀性相比都不是非常高,氯离子应力腐蚀破裂甚至低于碳钢。在已明确了管道材质后,按照腐蚀特性可以确定好相应等级腐蚀余量,结合操作环境、条件、介质特性,分析管道是否需要消除应力。选择管道材料、明确腐蚀余量、应力消除等流程之后,可以从选材环节优化防腐蚀设计方案<sup>[10]</sup>。

#### 3.2 树立防腐蚀控制全生命周期观念

考虑到企业一旦出现腐蚀问题会带来巨大经济损失,按照全生命周期链条设定的目标,需要从各个环节分析潜在腐蚀风险,包括腐蚀源、工况、材料、工艺与技术、设计、制造与安装、调试与验收、运行与检验、维修与保养、延寿与报废等,随之遵循整体性原则和系统性原则,制定防腐蚀控制的控制方案,这就需要树立防腐蚀控制全生命周期观念,根据所有潜在要素,按照专业技术要求达到防腐蚀控制全生命周期目标<sup>[11]</sup>。

防腐蚀的各项因素存在于生命周期链条的各个环节,一般可从技术与管理两个方面提出解决建议。第一,技术方面。防腐蚀控制全生命周期将所有要素作为管理对象,严格按照专业技术规范要求优化全生命周期链条中的目标,要使用防腐蚀技术调整设计、开发、安装等

各个环节的方案。对于“四新”防腐蚀修复等技术手段,也要在此环节进行优化。当全生命周期链条目标中存在与技术有关的问题,必须要与技术标准相符,以此达到抗腐蚀全生命周期要求。第二,管理方面。全生命周期的各个流程中,除了以上技术控制,还必须加强管理控制。例如防腐蚀培训管理、防腐蚀规范管理、腐蚀数据库建设与管理、全生命成本评估、防腐蚀质量管理等,通过全流程管理实现防腐蚀控制全生命周期的整体控制<sup>[12]</sup>。

上述分析发现技术、管理“两条腿走路”,分布在防腐蚀全生命周期的各个环节,利用科学有效的管理优化防腐蚀布局,加强防腐蚀管理规范性提升防腐蚀整改质量。定期组织防腐蚀相关的教育、培训,加强防腐蚀工作人员专业技能和操作水平,采集腐蚀数据并建立数据库,并对数据库进行管理,详细记录腐蚀信息是防腐蚀技术方案设计与后期维护的有效参考。除此之外,开发、应用防腐蚀新技术,结合企业防腐蚀现状提出全新管理对策,利用防腐蚀修复、监测技术更加提升防腐蚀质量,使石油石化装置的使用期限得到延长,还有利于优化防腐蚀整改的最终效果。按照防腐蚀全生命周期要求,在树立该观念之后充分发挥出防腐蚀全生命周期链条目标的作用,使技术、管理之间可以相互控制,在行业中形成良性循环,满足防腐蚀全生命周期要求。

#### 4 建议与启示

全生命周期下企业进行防腐蚀整改落实措施。根据防腐蚀现状的分析,发现腐蚀问题具有极强的复杂性,但其本质是技术、管理。为此,要想获得理想的防腐蚀整改效果,必须要立足于防腐蚀技术、整改方案、技术研发、材料应用等方面深入思考。

石油石化行业的从业人员,应该定期接受防腐蚀整改的教育培训,分别从从业者级别与类型,使教育培训更有针对性。例如可以划分管理、防腐蚀操作、检修、监理等专业模块,选择相应专业的培训内容,定期培训员工掌握行业动态,使其了解新技术与工艺或者科技方向。实际上在防腐蚀操作过程中,对于实操过程的监督、监测、维护等,都需要作为重点危险源,各项实操措施则要按照既定标准与规范实施,保证防腐蚀整改效果满足达到预期。结合企业现状建立腐蚀数据库,针对设备全寿命管理详细建立腐蚀档案,通过全寿命周期评价体系与投资回报经济模型等,在油、气处理中落实防腐蚀法律法规。

将防腐蚀全生命周期作为控制管理的核心,以此为中心推行全面质量管理,即PDCA循环,保证防腐蚀在实操中的实施力度与效果。采取PDCA循环这一方法,现有的防腐蚀整改措施要展开科学合理的系统追溯,而且要在实践中总结。利用螺旋式提升加强防腐蚀的处理

水平。从技术、管理两个层面着手分析,石油石化行业在全生命周期下需要详细了解防腐蚀控制全过程链条目标的各项要素,总结可能导致腐蚀的潜在风险,做好风险因素的防范与整改,加强各项因素之间协调性,按照防腐蚀控制要求制定整改措施,不仅要节省防腐蚀整改的成本,还要保证最佳的防腐蚀处理效果,以免因为腐蚀问题带来严重事故与危害。

#### 5 结束语

综上所述,石油石化行业在一直以来的生产与可持续发展道路上,管道、设备腐蚀问题始终困扰着从业者。根据全生命周期在行业中的落实与体现,在防腐蚀方面相继提出了一些新的整改建议、要求。为了满足防腐蚀处理要求,需要加强投资技术与管理“两条腿走路”,优先采用新技术与新工艺,创新防腐蚀管理方法,为石油石化企业的防腐蚀整改夯实基础。

#### 参考文献:

- [1] 谭鹏飞.新时期石油炼化设备腐蚀与控制分析[J].科技创新与应用,2021,11(27):139-141.
- [2] 强整齐.石油炼化企业腐蚀控制措施研究[J].化工设计通讯,2021,47(09):17-18.
- [3] 张管,乔文丽,裴海华,王现杰.胜利油田污水回注井管线腐蚀预防措施研究[J].当代化工,2021,50(08):1893-1896.
- [4] 任刚,吕伟,李晓炜,张雷,段永锋.炼化企业防腐蚀涂层应用现状调研及应对措施[J].石油石化腐蚀与防护,2021,38(04):24-28.
- [5] 袁天皎,李东华.石油石化行业爆炸危险区域有防腐要求的地面设计及探讨[J].石油石化安全环保技术,2021,37(04):45-48+7.
- [6] 孙浩.石油石化设备常见腐蚀原因及防腐措施应用的思考[J].工程与建设,2021,35(04):721-722.
- [7] 闫文娟,蔡威威.石油石化设备常见的腐蚀问题及防腐措施[J].化工管理,2021(20):168-169.
- [8] 袁芯.石油石化工艺管道安装工程施工管理中的常见问题及处理[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(12):51-52+54.
- [9] 赵靓.石油石化机械设备腐蚀的监测与防护[J].化工管理,2021(18):189-190.
- [10] 潘向东,马占国,贺启学,黄斌.石油和天然气化工管板式换热器的腐蚀与防护研究[J].石油和化工设备,2021,24(06):123-125.
- [11] 张勇.基于石油石化管道安装新技术的要点分析[J].化工设计通讯,2020,46(12):18-19.
- [12] 常鹏瑞.南方临海石油石化企业仪表自动化设备的故障预防与维护措施[J].中国设备工程,2020(19):55-56.