

## 化工储罐腐蚀机理与防腐工艺改进研究

赵茁森

唐山中浩化工有限公司, 河北 唐山 063611

**[摘要]**化工储罐长期处于复杂的腐蚀环境之中, 罐壁罐顶以及焊缝区域容易出现生锈腐蚀, 严重影响罐罐的使用寿命, 同时容易出现泄漏风险, 埋下很大的生产安全隐患。以唐山当地化工厂正在使用的普通碳钢储罐作为研究对象, 充分围绕现场的实际情况, 对储罐内外腐蚀的类型以及致腐蚀的各类原因进行分析与探讨, 针对现有的防腐工艺存在的涂层脱落、阴极保护失效、局部腐蚀防控不足等问题, 提出针对性的改进策略, 包括完善日常保养检修流程, 调整优化阴极保护设备数据、表面处理、涂层体系优化等, 整理出一套完整实用的防腐整改策略。经过现场实际试用后发现, 这套改进后的防腐办法能明显放慢储罐生锈腐蚀的速度, 大大延长储罐使用年限, 提升化工储罐运行稳定性与安全性, 以供参考。

**[关键词]**化工储罐; 腐蚀机理; 防腐工艺; 工艺改进; 设备运维; 沿海化工环境

DOI: 10.33142/ect.v4i6.19953

中图分类号: TG174

文献标识码: A

## Research on Corrosion Mechanism and Anti-corrosion Process Improvement of Chemical Storage Tanks

ZHAO Zhuosen

Tangshan Zhonghao Chemical Co., Ltd , Tangshan, Hebei, 063611, China

**Abstract:** Chemical storage tanks are exposed to complex corrosive environments for a long time, and the tank walls, roofs, and weld areas are prone to rusting and corrosion, which seriously affects the service life of the tanks. At the same time, there is a risk of leakage, which poses a great production safety hazard. Taking the ordinary carbon steel storage tanks currently being used in the local chemical plant in Tangshan as the research object, this study fully analyzes and discusses the types of corrosion inside and outside the storage tanks and various causes of clothing wear based on the actual situation on site. In response to the problems of coating peeling, cathodic protection failure, and insufficient local corrosion prevention and control in the existing anti-corrosion technology, targeted improvement strategies are proposed, including improving the daily maintenance and repair process, adjusting and optimizing cathodic protection equipment data, surface treatment, coating system optimization, etc., and compiling a complete and practical anti-corrosion rectification strategy. After on-site practical testing, it was found that this improved anti-corrosion method can significantly slow down the rate of rusting and corrosion of storage tanks, greatly extend the service life of storage tanks, and improve the stability and safety of chemical storage tank operation, for reference.

**Keywords:** chemical storage tanks; corrosion mechanism; anti-corrosion process; process improvement; equipment operation and maintenance; coastal chemical environment

### 引言

化工储罐作为化工产业中重要的承压储料设备, 在精细化工、石油炼化等行业中得到了广泛的使用。唐山地处京津冀化工产业核心区域, 当地的化工储罐主要采用的是露天布设这种形式, 加之长期处于渤海湾沿海的特殊环境之中, 面临着昼夜温差大, 高氯离子侵袭, 高盐雾侵袭的自然气候条件, 同时持续承受着内部温度压力频繁变化、物料流体冲刷等生产工况作用, 容易导致罐体的金属材料

发生腐蚀问题, 此类隐患处置流程繁琐、整改工序繁杂, 检修治理难度较大, 不仅对企业的生产运维开支造成很大的影响, 同时也会增加重大安全隐患的发生概率。目前相关研究主要针对化工储罐防腐相关领域, 缺乏对北方沿海高盐雾地的相关研究。基于此, 文中主要立足于唐山地区沿海的实地工况条件, 并对储罐腐蚀失效的内在成因进行了系统共性的分析与探究, 在此基础上制定一系列措施, 加强日常的运维管控, 为沿海地区化工储罐实现长效防腐

防护筑牢实用技术依据。

## 1 唐山地区化工储罐服役工况与腐蚀现状

### 1.1 区域工况特征

唐山地处渤海湾沿岸,属于暖温带半湿润大陆性季风气候,兼具沿海盐雾腐蚀特征,区域工况对化工储罐腐蚀影响显著。全年空气湿度大,春冬季多海风、盐雾,大气中  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_2$ 等腐蚀性粒子含量偏高,易在储罐金属表面形成电解质液膜。昼夜、冬夏季温差悬殊,储罐涂层反复热胀冷缩,易出现开裂、透水问题,加速基体腐蚀。化工园区生产过程中挥发的酸性气体、粉尘,与水汽、盐雾结合,形成复合腐蚀环境,大幅提升腐蚀速率。本文研究对象为唐山某化工企业在用常压碳钢储罐,主要存储甲醇、苯、硝酸、液氨、成品油等介质。

### 1.2 储罐腐蚀失效现状

通过对厂区 19 台在用储罐进行定期检测、壁厚检测及外观排查,统计储罐腐蚀失效类型及分布特征,核心腐蚀问题集中在四大部位,具体现状如下:

(1) 罐底腐蚀:占腐蚀故障的 58%,为最严重腐蚀部位。罐底长期沉积介质污水、杂质、盐分,形成静态电解质环境,以点蚀、缝隙腐蚀为主,局部壁厚减薄速率可达  $0.12\text{mm/a}$ ,远超标准允许腐蚀速率。

(2) 罐壁腐蚀:分为内壁介质腐蚀与外壁大气腐蚀。内壁受化工介质冲刷、酸碱腐蚀,出现均匀减薄;外壁受盐雾、雨水侵蚀,涂层老化脱落,形成片状腐蚀。

(3) 罐顶腐蚀:罐顶通风口区域因介质挥发、水汽凝结,易发生电化学腐蚀,且长期受紫外线照射,涂层粉化失效速度快,局部出现穿孔腐蚀。

(4) 焊缝腐蚀:储罐焊接接头热影响区晶粒组织不均,存在焊接残余应力,加之表面处理不彻底,极易发生应力腐蚀与局部缝隙腐蚀,是储罐泄漏的高发部位。

## 2 化工储罐核心腐蚀机理分析

### 2.1 电化学腐蚀

电化学腐蚀是碳钢储罐最主要的腐蚀形式,普遍存在

于储罐内外所有部位。唐山沿海高湿、高盐雾环境使储罐金属表面极易吸附水汽与氯离子,形成连续电解质液膜,碳钢基体铁元素与电解质溶液形成无数微电池,触发电化学反应。阳极反应:金属基体铁失去电子发生溶解,  $\text{Fe} - 2\text{e}^- = \text{Fe}^{2+}$ ,造成金属壁厚减薄;阴极反应:液膜中溶解氧、氢离子得到电子发生还原反应,  $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- = 4\text{OH}^-$ 。反应生成的  $\text{Fe}^{2+}$ 与  $\text{OH}^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 结合,生成氢氧化铁、氯化铁等腐蚀产物,附着于金属表面。其中氯离子具有极强的穿透性,可破坏金属表面钝化膜,深入基体内部,引发点蚀、坑蚀,这也是唐山地区储罐局部腐蚀严重的核心原因。罐底沉积水区域电解质浓度高、反应稳定,电化学腐蚀速率最快,是储罐腐蚀失效的核心薄弱区域。

### 2.2 化学腐蚀

化学腐蚀主要发生在储罐内壁,由存储化工介质直接与金属基体发生化学反应引发。企业储罐存储的硝酸、苯、液氨等,可直接与碳钢发生置换、氧化反应,无电解质参与即可造成金属腐蚀。同时,介质温度越高,化学反应速率越快,腐蚀失效越严重。

### 2.3 物理冲刷与磨损腐蚀

储罐进料、出料过程中,高速流动的化工介质会对罐壁、接管、焊缝区域产生持续冲刷,介质中含有的固体杂质、颗粒物会加剧金属表面磨损。长期冲刷会磨损表面防护涂层,破坏金属钝化层,使新鲜金属基体直接暴露在腐蚀介质中,形成冲刷-腐蚀耦合损伤,降低储罐局部结构强度。

### 2.4 保温层下腐蚀与应力腐蚀

部分高温介质储罐设有保温层,唐山地区雨水、盐雾易渗入保温层内部,滞留于罐壁与保温层之间,形成密闭潮湿高盐环境,引发保温层下腐蚀(CUI)。同时,在腐蚀性介质作用下,焊缝及应力集中区域易发生应力腐蚀开裂,甚至引发介质泄漏。唐山地区化工储罐主要腐蚀类型及机理见表 1。

表 1 唐山地区化工储罐主要腐蚀类型及机理对照表

腐蚀部位	主要腐蚀类型	核心腐蚀机理	主要诱因
罐底	电化学点蚀、缝隙腐蚀	电解质溶液形成微电池,氯离子破坏钝化膜,局部金属加速溶解	沉积水、盐分堆积、阴极保护盲区
罐壁内壁	化学腐蚀、冲刷腐蚀	介质与金属发生化学反应,介质冲刷磨损防护层	酸碱介质、介质高速流动、固体杂质冲刷
罐壁外壁	大气电化学腐蚀、老化腐蚀	盐雾水汽形成电解质液膜,涂层老化失效	沿海高盐雾、高湿度、温差交变
罐顶	水汽凝结腐蚀、紫外线老化腐蚀	介质挥发+水汽凝结形成腐蚀介质,涂层紫外线粉化	呼吸作用、雨水滞留、强紫外线照射
焊缝区域	应力腐蚀、局部缝隙腐蚀	焊接残余应力+电化学腐蚀耦合作用	组织不均、应力集中、表面处理不彻底

### 3 现有防腐工艺及存在的问题

#### 3.1 现有防腐工艺体系

目前唐山本地多数中小化工企业储罐防腐采用传统工艺,主要分为涂层防护与阴极保护两部分,施工及运维流程如下:一是储罐表面人工除锈,去除浮锈、油污;二是涂刷普通环氧防腐底漆、面漆,总干膜厚度 200~250 $\mu\text{m}$ ;三是罐底配套牺牲阳极阴极保护;四是年度常规外观检查、补漆维护。该工艺适用于常规干燥环境,成本较低,但无法适配唐山沿海复杂腐蚀工况。

#### 3.2 现场应用存在的核心问题

当前所用的防护工艺难以适配本地的实际运行状况,在实际应用过程中存在诸多突出问题。虽然传统的人工除锈手段能够清理表层的浮锈,但是对于氧化皮与深层锈蚀物质难以彻底剔除,因此构件表面出现粗糙度参差不齐的情况,降低防腐涂层粘附牢固度,容易出现鼓皮、脱落等质量隐患。阳极防腐构件排布规划欠缺科学性,阴极保护范围存在空白区域,且未按周期检测阳极损耗程度、及时完成更换作业,最终导致电化学防腐防护功能丧失。常规环氧防腐涂层耐盐雾侵蚀、耐高温耐受能力偏弱,在渤海湾高氯离子特殊环境中极易出现开裂、粉化破损,同时未配备防静电与抗冲刷防护结构,设备冲刷部位磨损损耗速度较快。对于易腐蚀的关键位置,例如保温层内侧以及焊缝接缝等区域,未实施针对性的防腐处理措施,加之在日常运维工作中,并未开展常态化的检测工作与排查工作未能及时察觉潜藏性腐蚀隐患。此外,户外露天防腐施工管控不严,阴雨潮湿天气依旧违规开展施工作业,造成防腐涂层固化效果不达标,基面留存水汽与杂质污染物,大幅缩短整体防腐体系使用年限。

### 4 防腐工艺优化与改进方案

#### 4.1 优化金属表面预处理工艺

表面处理是防腐施工的核心基础,直接决定了涂层的附着力与防护寿命。摒弃传统人工除锈的方式,采用喷砂除锈+机械打磨联合工艺。储罐大面积基体通常采用的是干式喷砂除锈,一般而言除锈的等级可以达到 Sa2.5 级,能够有效地彻底清除氧化皮、锈蚀、油污、杂质,表面粗糙度一般控制在 40~70 $\mu\text{m}$  范围之内,可以更好地满足涂层的附着要求。对于焊缝、边角、接管等复杂部位主要采用的是专用打磨机进行精细化的打磨,可以有效消除焊接飞溅、尖锐棱角与残余应力。除此之外对施工的环境进行严格的把控,要确保空气相对湿度高于 85%、阴雨、大雾天气禁止除锈及涂装施工。值得注意的是,除锈完成后

4h 内完成底漆涂装,避免金属表面二次返锈,从源头提升涂层防护性能。

#### 4.2 优化防腐涂层体系配置

采用分区差异化涂层体系,替代传统单一涂层,提升防腐针对性。储罐内壁选用耐酸碱、耐冲刷、防渗性能优异的酚醛环氧导电防腐涂层,底漆采用环氧富锌底漆(干膜厚度 80 $\mu\text{m}$ ),中间漆采用环氧玻璃鳞片漆(干膜厚度 120 $\mu\text{m}$ ),面漆采用酚醛环氧导电面漆(干膜厚度 100 $\mu\text{m}$ ),总干膜厚度 300 $\mu\text{m}$  以上。储罐外壁(大气腐蚀区)采用“环氧底漆+聚氨酯耐候面漆”体系,底漆干膜厚度 80 $\mu\text{m}$ ,面漆干膜厚度 100 $\mu\text{m}$ ,整体耐盐雾、耐紫外线、抗老化性能大幅提升。罐顶及呼吸区域增加抗粉化、耐水汽凝结涂层,加厚面漆厚度,重点封堵呼吸孔、通风口缝隙。

#### 4.3 升级罐底阴极保护工艺

采用均匀分布式布局,重点加密罐底边缘板、焊缝、接管等薄弱区域阳极布置。选用高活性镁合金牺牲阳极,适配沿海高盐土壤环境,设定保护电位区间-0.85~-1.10V;建立季度电位检测、年度阳极损耗排查制度,实时监测阴极保护参数,及时更换失效阳极,消除保护盲区,彻底抑制罐底电化学腐蚀。同时采用涂层+阴极保护联合防护模式,实现罐底长效防腐。

#### 4.4 增设局部专项防腐工艺

针对焊缝、保温层下、接管等易腐蚀薄弱部位,制定专项防护工艺。焊缝区域涂装前增加打磨探伤工序,消除焊接缺陷,涂刷专用焊缝防腐腻子找平,再分层涂装加厚防护;保温储罐在保温层与罐壁之间增设防水隔离层,选用憎水性保温材料,定期排查保温层破损、进水情况,杜绝保温层下隐蔽腐蚀。介质冲刷严重的进料口、出料口区域,增加耐磨防腐涂层,同时增设导流挡板,降低介质冲刷强度,实现结构优化与防腐防护双重改进。

#### 4.5 规范施工与运维管理工艺

建立标准化防腐施工管控体系,明确施工环境、工序流程、厚度标准、验收指标,施工完成后采用干膜测厚仪、附着力测试仪严格验收,确保施工质量达标。优化设备运维机制,改变传统年度巡检模式,实行“月度外观检查、季度壁厚检测、年度全面探伤”的常态化监测制度,精准掌握储罐腐蚀速率与失效隐患;建立储罐防腐档案,记录施工时间、涂层参数、检测数据、维修记录,实现全生命周期管控。同时定期对涂层破损、局部锈蚀部位及时修补,避免小腐蚀缺陷扩大为重大故障。

## 5 应用效果分析

在化工储罐实际使用过程中,罐体常年遭遇温度压力忽高忽低、内部物料挥发外泄、空气中水汽凝结结露、户外强光紫外线暴晒等多种恶劣环境叠加侵蚀。这次升级改良的防腐施工工艺,对比过去老式防腐做法,在实用性能上有着全面明显的优势。

以往传统防腐工艺对罐体表面基础清理要求宽松,防腐防护结构简单单一,容易出现防腐层起皮开裂、整块脱落,罐体局部还会慢慢发生锈蚀损坏,整体防腐耐用性下降速度很快。本次全新优化的防腐方案,专门针对储罐顶部呼吸阀位置、罐体焊接缝隙、物料长期冲刷磨损这些最容易生锈损坏的关键区域做重点处理。先严格做好罐体基面除锈除污处理,牢牢稳住防腐涂层贴合力度;再搭配多层组合防腐涂料,搭建层层防护防线;同时加密加装阴极保护装置,补齐所有防护不到位的死角;搭配针对性专项防护手段,精准搞定局部锈蚀多发问题,从根源上应对多种环境共同造成的罐体腐蚀问题。日常使用维护方面,采用这套优化工艺之后,不用再频繁停工重做防腐修补翻新,平日做好正常例行检查就能保证储罐平稳安全使用,可以降低后期维修养护费用。

整体来看,新式防腐工艺施工稳靠靠谱、防腐使用年限更长、还能有效节约工程投入成本,实用性和性价比较高,非常适合在各类化工储罐工程项目里大范围推广使用。

## 6 结论

化工储罐易受到环境因素的叠加侵蚀,而常规防腐工

艺实际应用效果并不理想,因此,通过规范基面处理、复合型防护涂层布设、优化阴极保护体系,加强全流程的精细化管理,有助于降低设备腐蚀速率。在未来的研究中,可以通过加装腐蚀在线监测设备,采用新型的高性能防腐材料等,以此可以筑牢化工生产安全防护根基,并推动储罐防腐运维模式朝着智能化的方向转型。

### [参考文献]

- [1]青岛飞普思环保科技有限公司.一种耐腐蚀型化工储罐油气回收接口:202520713480.X[P].2026-03-10.
- [2]应急管理部信息研究院(煤炭信息研究院).非接触式化工储罐隐蔽腐蚀检测设备和方法:202511015681.3[P].2025-10-28.
- [3]白经校,杨宁,迟盛梅,等.大型化工储罐安全防腐蚀装置:202422315485.5[P].2025-08-12.
- [4]陈海霞.一种耐腐蚀化工原料存储罐:202211310190.8[P].2023-04-04.
- [5]王宁,马韵升,赵立秋,等.氧化聚合包覆防腐蚀技术在京博石油化工有限公司的应用[J].当代化工研究,2022(18):117-119.
- [6]巨野百林化学有限公司.一种耐腐蚀化工原料存储罐:202110513393.6[P].2022-08-12.

作者简介:赵苗森(1997—),男,汉族,河北唐山人,云南省昆明理工大学过程装备与控制工程专业毕业,助理工程师,现就职于唐山中浩化工有限公司,从事化工设备工作。