

石化企业管廊管道的腐蚀及防护措施研究

李明星（中国石化扬子石油化工有限公司，江苏 南京 210000）

摘要：在现今的石化企业中，管廊管线作为企业生产的大动脉，承载着运输各种原料和成品的使命，一旦出现泄漏将严重影响企业的生产效益和安全环保。对此，加强石化企业管廊管线管理显得尤为重要。本文旨在对管廊管线常见的腐蚀现象和机理进行分析，并提出防护措施和预防管理措施，为优化我国石化企业管廊管线管理提供参考。

关键词：石化企业；管线；腐蚀；安全；环保；防腐

在大型石化企业内部，利用管廊管道输送物料是一种常见的、高效、经济的运输方式，其作用地位相当于整个企业的大动脉^[1]。然而，在日常的生产活动中，管廊的工业管道管理面临的挑战层出不穷，其中时常发生的物料泄漏问题严重影响制约着企业的生产稳定运行和经济发展；同时在现今国家高度重视安全环保的环境下，物料的泄漏极易造成安全环保事故，其后果将对社会、企业造成不可估量的损失和影响。因此对石化企业内部的管廊管线实施有效的管控措施和防腐措施显得至关重要^[2]。

1 石化企业管廊管线常见腐蚀的形式及原因分析

1.1 裸管直接与钢梁接触

现今石化企业中，因设计年限较久远或设计不当的原因，不少管线无管托，直接放置于钢梁上，经长时间摩擦震动，造成底部油漆防腐层被破坏，进而造成腐蚀；管线于钢梁直接接触部位容易聚集水汽，潮湿环境会进一步加速外部腐蚀速率。

1.2 隔着保温棉放置在抱箍型管托或钢梁上的保温管线

在现场实际施工，因为一些施工设计或施工工序的问题，往往会将保温棉直接包在抱箍管托中间或直接将保温管线隔着保温棉放置于钢梁之上，在保温外护铝皮和防潮布完好时不会产生腐蚀，但因实际施工过程中管托处的外护层和防水层相较于直管段更容易出现缺口，从而让雨水渗入保温棉中，当管托卡箍与主管之间的保温棉进水后，雨水将长时间在此处积聚，不易排出，此种情况将极大地加速管线腐蚀。

1.3 管线管托形式为焊接型管托

焊接型管托因其造价低廉、施工安装方便，曾经是管托形式中的主要选择，即使是现在依旧是部分设计院的设计选择范围内，但此类型管托在安装过程中往往会因为焊接过程中电流控制不当，极易引发电化学腐蚀，加速管线腐蚀泄漏，此类案例屡见不鲜。可

见图1，图1为实际现场泄漏情况，可见焊接管托部位处形成穿透性沙眼。



图1 焊接管托部位腐蚀穿孔图

1.4 管线介质对管线的影响

管线介质对管线腐蚀的影响一般从两个方面考虑对管内壁产生腐蚀作用，例如石脑油作为石化企业常见的原料方面考量，一是管线介质具有腐蚀，其往往含有硫等腐蚀介质，极易对管壁形成腐蚀；二是管线介质与水等形成某种环境，例如 H_2S 与水形成湿硫化氢环境造成管线应力开裂。此两类情况应在设计选型过程中采取合适的材质或防腐措施予以规避。

2 石化企业管廊管线腐蚀防护措施

在石化行业中，因其管道大部分均承载易燃易爆有毒介质的输送，一旦泄漏后果之严重不可估量，从天津港爆炸和响水爆炸事故可见一斑。因此，石化企业的管理人员会积极采取一些腐蚀防护措施去避免发生泄漏事故，下面将针对上述不同腐蚀机理，根据一些现场实际实施、切实可行的方法，详细介绍一下石化企业管廊管线腐蚀防护措施。

其实对于前文所描述的1.1节、1.2节和1.3节内容，根据腐蚀形式和机理上可以划分为不同的类别，但在

防护措施上可一定程度的统一归纳为管线管托部位的防护措施。根据实际管理经验,管廊管线的泄漏问题中,十起有九起都是管托部位的腐蚀泄漏,这也是前文着重分析了管托部位的腐蚀泄漏的原因。管托部位的防护措施主要从两个方面考虑,一是在初步设计过程中,因国家规范未强制要求管托形式,很多时候考虑费用节省、设计安装方便等因素,部分设计院往往会采取非抱箍式成型管托,在管线运行前期乃至前十年,基本上不会出现问题,但在管线运行后期,往往会泄漏频发,严重影响装置的稳定运行,也带来极其严重的安全环保问题。长远来看,设计初期所节约的一点点费用,相较于后期泄漏的造成的直接经济损失和次生安全环保隐患风险,完全不值一提。可打这么一个比方,在管线设计安装项目中每 1000m 管线节约的是 5 万元,而这 1000m 管线泄漏 1 次所造成的直接经济损失往往会达到 10 万元以上(根据不同的物料价格会有所波动),更何况还有泄漏所带来的安全环保风险。因此,在目前的石化企业中,新增的管线项目设计中均会采取抱箍式管托,即使有些设计未采取抱箍式管托,在设计审查阶段中,无一例外均会提出采取抱箍式管托。二是针对已经在用的、未使用抱箍

式管托的管线,此类管线在老石化企业中相当常见。对于裸管直接放置于钢梁上的管线,可使用四氟板进行垫起,与梁隔离开,避免管线与梁直接摩擦;其中腐蚀较重的管线可使用金属胶补强或局部更换管段的方法进行预防性维修,提升管线本质安全能力。对于焊接型管托,对腐蚀严重的部分可采取重新除锈+金属胶补强的方式,但此方式只能在一定程度上延长管线的使用寿命;抑或是人工锯断焊接管托,而后重新安装抱箍式管托,效果会更好一些;最好的方式自然是管线切出维修,直接更换管段。

其次最容易引起腐蚀泄漏的往往是管线介质对管线本体造成的直接腐蚀或者应力腐蚀的。针对这类情况,唯一的办法就是在设计安装过程中采取合适的管道材质和施工安装方法来避免。比如针对含硫化氢管线,一是采取增设伴热的方式,提高管线温度到 100℃ 以上,直接蒸发管线内的水分,避免形成积水,从而避免形成湿硫化氢环境;二是在安装过程中,对焊缝进行热处理,避免应力过于集中于焊缝部位,减缓湿硫化氢环境带来的应力腐蚀。比如针对含酸、碱的物料介质,可采用不锈钢材质管线进行输送,从根源上避免了腐蚀的存在,但不锈钢管线在安装过程中

表 1 新建装置常用防腐蚀涂料配套方案

表面处理等级	适用温度℃	被涂表面材质	涂层构成	涂料名称	设计寿命			用途
					Y ≤ 15 年			
					推荐道数	涂层最小干膜厚度 /μm	涂层最小总干膜厚度 /μm	
Sa2.5	-20 ~ 120	碳钢、 低合金钢	底漆	环氧富锌漆 / 无机富锌漆	1	80/60	280/260	C4 环境下防腐
			中间漆	环氧云铁漆 / 厚浆型环氧漆	1~2	120		
			面漆	脂肪族聚氨酯漆	2	80		
	-20 ~ 120		底漆	环氧富锌漆 / 无机富锌漆	1	80	320	C5 环境下防腐
			中间漆	环氧云铁漆 / 厚浆型环氧漆	2~3	160		
			面漆	脂肪族聚氨酯漆	2	80		
	-20 ~ 120		底漆	耐磨环氧漆	1~2	300	600	干湿交替部位防腐
			面漆	耐磨环氧漆	1~2	300		
	-20 ~ 120		底漆	环氧玻璃鳞片漆	1~2	300	600	
			面漆	环氧玻璃鳞片漆	1~2	300		
Sa1	-20 ~ 120	不锈钢	底漆	环氧酚醛漆	1~2	150	300	保温设备和管道的防腐
			面漆	环氧酚醛漆	1~2	150		
	-20 ~ 120		底漆	环氧树脂底漆	1	60	120	C5 环境下防腐
			面漆	脂肪族聚氨酯面漆	1	60		
	-20 ~ 120		底漆	厚浆型环氧漆	1	100	200	保温、保冷工况设备和管道的防腐
			面漆	厚浆型环氧漆	1	100		
	-196 ~ 200		底漆	环氧酚醛漆	1	100	200	
			面漆	环氧酚醛漆	1	100		

务必注意焊接质量的把控。比如含硫污水的介质,可采用聚乙烯材质管道进行输送,也是材质的选择上避免了腐蚀的存在;抑或在普通的碳钢管线内部增加玻璃钢衬里或采用合适的涂层,避免腐蚀介质与管线的直接接触。

最后强调的是就是采用合适的涂层系统。涂层通俗意义上,主要指油漆涂层,但绝不仅仅限于油漆,还有很多其他一些材质的涂料也可以达到很好的防腐效果。但油漆因其方便施工和生产成本低的优越性,在实际施工过程中使用极其普遍,接下来将以此为例进行说明。如何选择合适的油漆,这是一个许多专业人士在不断摸索前进的问题,也会随着许多新材料、新的生产工艺的出现,在不断发展前进、不断变化的。但在涂层系统的选择上主要还是考虑管线材质、管线温度和周围环境状况这三个方面因素,企业根据多年的实际使用经验,形成了一套搭配方案,如表 1 所示。

3 石化企业管廊管线管控措施

在石化行业中,因其输送物料的高危特性和一旦泄漏的严重后果,那么如何采取一些前期管控措施来尽可能避免发生泄漏则是日常设备管理工作的重中之重。下面将从管线检测、监测、巡检等方面详细介绍一下。

石化企业中的管线因其所处的腐蚀性环境和频繁使用的特性,管线的腐蚀是司空见惯的。因此,对其状态的监测则是重中之重。目前常见的宏观检查、超声测厚、涡流扫查、导波、在线定点测厚等技术均可作为日常管线检测的手段,但其中又有所分别。宏观检查主要针对管线外部明显腐蚀,可通过目视观测出来,并辅以焊缝尺等检测工具精准的测量出腐蚀坑深。超声测厚主要针对管线大片整体减薄,可通过接触式超声探头检测出管线壁厚,从而明确其腐蚀情况,但此方法对局部密集腐蚀坑无法检测,且仅能针对检测的那一点,对腐蚀的检测发现存在偶然性。涡流扫查是通过手持检测仪扫查设备某一部分,可较为全面的排查出某这一块面积的腐蚀情况,但其作业过程中需检测人员不间断的手持扫描,对于石化企业高空管廊管线不是很方便。导波检测是最近出现的较为先进的技术,可通过在管线上缠绕一圈检测仪器用于向管线两端发射超声波来检测管线腐蚀情况,前后覆盖范围可达 50m,排查一段管线所需作业面较少,十分便于长距离管廊上管线排查,但其检测结果需专业技术人员使用专业软件模拟后才可形成直观的结果,且价格

较高。在线定点测厚是在管线易腐蚀部位设置一个在线测厚探头,此探头每隔一小段时间检测一次,并将结果通过无线传输的方式发送到云端后台,形成管线壁厚的曲线图,此方式主要针对易腐蚀部位和管线介质腐蚀性较大的管线。以上是常见的、切实有效的一些检测技术手段,不同的单位可根据自己的情况搭配选择管线检测排查方式。

在石化企业中,除了采取有效的措施进行预防腐蚀、监测管线腐蚀情况,如何及时发现泄漏也是管廊管线运行管理的重要一环。一是常见的员工巡检,给倒班巡检人员配备专业的 VOCs 手持检测仪、四合一报警仪、红外热成像扫描仪等设备,定时巡查管廊管线的运行情况,一旦发生泄漏可通过设备报警迅速发现,巡检人员可借此快速锁定泄漏管线,采取应急措施。二是使用巡检机器人等设备和系统,通过智能化巡检,提高了巡检的精确度和可靠性,实现了管廊运维的信息化和智能化,降低了因液体管线泄漏发现不及时而存在的巡检人员腐蚀灼伤的安全隐患,以及因易燃易爆及有毒有害气体泄漏而可能产生的巡检人员中毒、管线火灾爆炸等安全隐患,同时也消除了人工巡检潜在的交通安全风险。

4 结语

综上所述,石化行业中管廊管线因其作为生产的大动脉,运输着各种各样的危险物料,一旦发生泄漏,对企业生产运行和安全环保所产生的后果不可估量。为此,必须不断提高企业管理水平,采取行之有效的预防措施和严格安全管理以及成熟的防腐技术涂层系统和先进的检测监测手段,来确保管廊管线的安全稳定运行。通过这些努力,不仅能够避免泄漏事故的发生,还为企业的稳定运行、生产效益和安全环保提供了有力的保障,为国家能源基石奉献一份力量。

参考文献:

- [1] 马国栋. 油田油气管道储运的安全防范建议 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(14): 77-79.
- [2] 熊伟. 石油化工工艺管道的腐蚀及防护技术分析 [J]. 中国设备工程, 2024, (16): 107-109.
- [3] 闵祥东. 油气管道及储运设施安全保障技术发展现状及展望 [J]. 化学工程与装备, 2023(09): 93-95.
- [4] 赵宇. 石油化工设备常见的腐蚀原因及防腐措施 [J]. 全面腐蚀控制, 2022, 36(05): 84-85.
- [5] 任鹏. 石油化工企业工艺管道腐蚀及防护 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2018, 38(15): 155-156.