

油气储运过程中管道腐蚀的原因及防腐措施

张云铎（中海石油宁波大榭石化，浙江 宁波 315000）

摘要：石油和天然气行业的管道系统是原油和精炼石油运输的核心。然而，管道表面持续暴露于杂质和腐蚀源是完全不可避免的。本文介绍了油气管道腐蚀的原因，并对目前的防腐措施进行了详细的分析。

关键词：油气储运；管道腐蚀；防腐措施

1 引言

全球石油危机而天然气行业发展迅速，管道承担着石油和天然气的运输，主要由钢和金属制成，埋在地下，但是，管道可以因此而产生严重腐蚀。一旦发生腐蚀，就会缩短寿命，管道的使用寿命和内部石油的污染，还有更糟糕的是它可能会导致像着火爆炸这样的事故。在石油和天然气行业，腐蚀问题一直非常重要，其后果与自然灾害的后果相似。腐蚀通常发生在石油和天然气管道中。由于管道起到将石油和天然气从井口输送到加工设施的作用，因此从调试之日起直至退役或废弃，它们都面临着持续的腐蚀威胁。

2 在油气储运中做好管道防腐工作的必要性

在油气储运中，管道的腐蚀是影响其安全运行和经济效益的重要因素之一。由于石油产品具有易燃、爆炸性等特点，因此管道腐蚀容易对石油企业造成巨大经济损失。而我国目前还没有形成一套完整有效地防腐体系及相关制度来保障原油运输过程中所产生各种事故发生时及时处理并避免各类泄漏事件出现；而且在油气储运过程中，管道腐蚀不仅会影响到油品的质量和产量甚至还会降低其使用寿命甚至造成不可逆的环境污染，所以加强管道防护工作尤为重要。随着我国经济的不断发展，石油产品也越来越受到人们的重视，在其使用过程中所出现的问题也逐渐增多。而管道作为石油工业生产、输送以及储存最重要环节之一。因此加强油气储运工作是十分必要和迫切地且必须完成的任务；同时还需要确保油气运输安全及稳定运行等要求都可以得到保证；另外还要提高对腐蚀现象进行预防性处理措施研究，为我国的经济发展提供良好环境基础，保障国家能源安全性及稳定性。

3 油气储运过程中管道腐蚀的原因

3.1 外部环境对于管道的影响

我国是人口大国，能源消耗巨大，而石油又属

于不可再生资源，因此对石油的开采非常谨慎。但是在储油过程中，管道会受到腐蚀。例如：天然气的泄漏、井漏造成泄露等；此外由于施工质量问题也容易引发火灾事故和爆炸现象发生等等都与外部环境因素有关成了一个重要原因，油气管道防腐措施的重点之一就是加强对输配管网、泵房内部结构以及施工作业所使用材料和设备的检修，这些都是影响石油储运过程中腐蚀程度最直接的环节。

在实际的油气储运过程中，管道所处环境的温度、湿度和风速等因素都会对输送管道造成一定程度上或长期性损害。如果在高温或者低温条件下施工，由于施工作业人员操作不当而发生内部与外部接触不良问题时容易产生腐蚀破坏现象；同时也有可能因为工作人员违反职业道德导致泄漏油品事故。因此要想避免这类情况的出现就必须加强企业员工对于管道环境方面的重视度和安全意识教育力度。

另外已经发现土壤特性与其腐蚀性之间存在许多相关性，通过研究和实践经验，因为腐蚀需要离子通过电解质（即土壤），增加土壤导电性的因素往往会增加土壤的电导率腐蚀性。因此，水分含量高、排水不良和含盐量高往往会增加腐蚀性。较高的氧含量也会增加腐蚀性。然而腐蚀性只是决定管道外部腐蚀速率的众多因素之一，甚至不是主要因素。影响管道外部腐蚀速率的主要因素之一是管道沿线不同位置以及从上到下的土壤特征。这些地区通风、含水量和土壤成分的差异会产生强烈的腐蚀的驱动力。虽然低导电性土壤往往表现出相对较低的腐蚀性，但它们也会阻碍水的流动，阴极保护电流流向管道，从而可能在比预期更大的程度上导致管道腐蚀。

土壤类型也会影响涂层的劣化速度。例如，重粘土随着含水量的变化而膨胀和收缩时，会将涂层从管道上拉开。岩石土壤虽然预计排水良好，因此

腐蚀性较低，但可能会破坏土壤涂层以及它们的高电阻率可能会在这些位置阻挡来自管道的阴极保护电流位置。

3.2 防腐措施不当

腐蚀是一种材料通过与其环境反应而受到的破坏性攻击，以及与石油和天然气生产和运输设施相关的自然潜在危险。几乎任何水环境都可能促进腐蚀，这种腐蚀在油气生产、加工和管道系统中的许多复杂条件下都会发生。这个过程由三部分组成：阳极、阴极和电解液。阳极是腐蚀金属的位置，电解质是使电子从阳极转移到阴极的腐蚀介质，阴极形成电池中的电导体，在腐蚀过程中不被消耗。原油和天然气可能携带各种高杂质产品，这些产品本身具有腐蚀性。

在油气井和管道中，这种高腐蚀性介质是二氧化碳（ CO_2 ）、硫化氢（ H_2S ）和游离水，由于油气井和管道连续产生一氧化碳、 H_2 ，随着时间的推移，油和气体中的游离水会使这些部件的内表面遭受腐蚀。由于流体成分的变化，一段时间内内部介质的酸化以及压力和温度操作条件的变化，管线和管线的配件会随着上述变化而发生材料降解。这种材料降解导致机械性能如强度、延展性、冲击强度等的损失。这导致材料损失、厚度减小，有时甚至最终失效。

石油和天然气行业中最常见的腐蚀形式发生在钢与水环境接触并生锈，当金属暴露在腐蚀性溶液（电解液）中时，阳极位置的金属原子失去电子，然后这些电子被阴极位置的其他金属原子吸收。通过电解质与阳极接触的阴极进行这种交换，试图平衡它们的正负电荷。带正电荷的离子被释放到电解质中，能够与带负电荷的其他原子团结合。以统一的方式对石油和天然气工业中的腐蚀类型进行分类是一个巨大的挑战。腐蚀有多种类型和原因，人们可以根据腐蚀损伤的外观、腐蚀机理、工业部门和预防方法来划分腐蚀。给定管道系统中存在的腐蚀机制根据流体成分、服务位置、几何形状、温度等而变化。在所有腐蚀情况下，电解质都必须存在才能发生反应。在石油和天然气生产行业，腐蚀的主要形式包括甜腐蚀、酸腐蚀、氧腐蚀、电偶腐蚀、缝隙腐蚀、侵蚀腐蚀、微生物引起的腐蚀和应力腐蚀开裂。

油气储运过程中，管道腐蚀主要是由设备、管路和材料等多方面的原因造成。首先，在操作人员进行施工时没有严格按照设计要求执行。其次就是

技术性不强。比如：涂层防腐涂料不符合标准；喷漆工艺不够规范；管道表面粗糙不平整或有杂物污染等问题都会直接影响油气储运过程中油气储运质量与安全与否、安全性及可靠性，甚至还会引发火灾事故的发生和造成巨大财产损失等情况。

3.3 油气自身的氧化特性

油气在储运过程中，由于自身的氧化特性，会使得管道内部产生大量游离氧化物，这些游离氧化物极易与外界环境发生反应。因此造成了其本身具有很强的耐腐蚀性。另外石油和天然气作为燃料时还容易受到外部条件影响。例如：酸、碱等气体对金属有强烈刺激作用；而含硫化氢、氧等气体，则使油气在大气中不稳定形成氧化状态，从而导致原油出现裂纹或分层现象，进而引起管道内部局部受力失效。在管道中，油气的氧化程度会受到其自身性质和环境因素等诸多方面影响。例如：酸碱度、盐类及含氧量等等。因此，腐蚀性是石油化工行业最常见且最重要的一种化学特性之一；同时也因为金属表面具备良好导电性能而造成了严重问题如：锈蚀、碳化以及碳化物堵塞管道等都在对油气储运中产生一定程度上的破坏作用和危害影响。

4 油气储运管道的防腐措施

4.1 选择正确的防腐层材料

有机物以其相对更好的耐酸性和耐腐蚀性而闻名，并被广泛使用。近年来，三层聚乙烯（3PE）涂料、环氧树脂涂料（FBE）和煤焦油涂料等涂料已经问世。无论有机涂层的防腐性能如何，它们都有缺点。虽然有些缺点看起来并不严重。目前，环氧涂料是国际公认的最佳防腐技术之一，在世界各地得到广泛应用。

众所周知，无机非金属材料具有优异的耐腐蚀、耐磨和耐热性能。因此，将无机材料应用于防腐涂料的生产，目前已受到越来越多的关注。国内外已生产了一些产品，并收到了良好的反馈。水泥砂浆涂料，水泥砂浆富含碱，在管道内部形成钝化膜，防止腐蚀。它无毒、安全、物美价廉；搪瓷目前被认为是具有完美整体防腐性能的最佳材料。除氢氟酸外，它还能抵抗各种酸和盐，使其防腐性能达到一个新的水平，而且价格公道。搪瓷涂层具有的优点，在防腐行业得到了广泛的认可；陶瓷涂层本身具有优异的耐高温性和抗氧化性；热喷涂玻璃釉涂料，将热喷涂技术和搪瓷技术相结合，我们得到了一种高度致密、耐腐蚀的涂层，即热喷涂玻璃涂层。表面光滑，阻力小。后三种涂层的使用并不广泛，

因为它们的制造相对更复杂。它们更耗能,也更昂贵。此外,它们的结合强度都很低,而且非常脆,这使得它们很容易从表面脱落。

玻璃鳞片涂层和环氧富锌底漆涂层是目前比较知名的两种复合涂层。涂层与玻璃层相互重叠,互不渗透。然后,该层迫使介质绕道进入周围环境,防止管道受到腐蚀。玻璃鳞片涂料因其使用寿命长,耐化学腐蚀、渗透、耐寒、耐热性能好而脱颖而出。对于环氧富锌底漆涂层,内部有机物具有抗腐蚀性。它牺牲阳极以保护管道免受周围腐蚀。环氧富锌底漆涂层具有良好的抗渗性和耐腐蚀性。

4.2 对管道进行电镀镀层

电化学防腐技术作为一种备用手段,显著提高了防腐效率。外加电流保护将负电流添加到管道外部,并通过极化其阴极来抑制腐蚀。由于其对阳极的灵活控制,适用于高电阻的恶劣腐蚀环境。但是,外加电流保护非常昂贵,会对周围的金属设施产生电磁干扰。牺牲阳极保护针对外加电流保护的缺陷,旨在牺牲阳极以保护管道免受腐蚀。它通过与一些金属连接来极化管道并降低腐蚀速率,从而提供保护电流。牺牲阳极保护易于实施和固定,适用于无电源区域。

尽管石油和天然气储量丰富,但它们必须从地表和海底提取。这需要使用各种类型的设备,如泵、钻机、分离器等等,这些设备由许多金属零件和部件组成。恶劣的环境加上钻井和相关过程造成的持续冲击,给开采设备增加了沉重的负担。因此,石油和天然气设备制造商依赖金属表面处理和电镀来保护其产品并延长其使用寿命。电镀是一种用于在金属零件表面施加保护涂层的精加工工艺。金属上的两种电镀是:电镀,电镀也称为电沉积,它利用专门开发的电解液和电流,用另一种金属(如金、镍或铜)的溶解离子涂覆金属部件;化学镀,化学镀还将金属涂层施加到金属部件上。关键的区别在于,与电镀不同,化学镀不需要电流。相反,沉积通过自催化化学反应发生。尽管在化学镀工艺中使用了各种金属,但在大多数工业应用中,镍通常能提供最好的结果。

4.3 使用缓蚀剂

缓蚀剂技术主要应用于管道内侧。通过使用缓蚀剂,它改变了被腐蚀金属或合金的表面,改变了阳极和阴极之间的反应,从而降低了反应速率,减缓了腐蚀。更妙的是,只要加入少量抑制剂,管道的寿命就会延长。有机缓蚀剂通过吸附技术减少腐

蚀,而无机缓蚀剂通过与腐蚀过程的阳极或阴极部分反应,来防止腐蚀。

由氮、氧、硫组成的有机化合物被认为是有效的工业腐蚀抑制剂。这些抑制剂继承了通过吸附过程在金属表面和腐蚀性环境之间形成保护层以延迟金属分解的能力。例如,唑类和嘧啶副产物是最常用的抑制剂,可通过在低处理浓度下将抑制剂注入系统来最大限度地减少金属和合金的腐蚀。此外,有机抑制剂倾向于在所有酸浓度下都有效地发挥作用,并且不会毒害炼油厂的催化剂。然而,有机抑制剂在酸存在下会随着时间的推移而化学还原,但仍不能承受高于95℃的温度;此外,它们的使用成本很高。其次,无机缓蚀剂含有锌、铜、镍、砷和其他金属的盐,其中最常用的是砷化合物。当这些砷化合物与腐蚀性溶液混合时,它们会刮擦未受保护的金属表面的阴极电池。由于在钢和酸中形成硫化铁作为障碍物,镀层降低了氢离子交换的百分比。

酸与硫化铁的反应被称为动态过程。使用无机抑制剂既有优点也有缺点。优点是它们在高温下工作时间更长,而且比有机抑制剂便宜。至于缺点,尽管这些抑制剂在高浓度时是有效的,但它们无疑会对环境造成损害。结合这个问题,研究了专注于聚合物和植物基物质的新型抑制剂。然而,聚合物被定义为中度抑制剂,需要进行二次改进,这只会导致更高的成本。因此,正在对植物部分进行广泛的研究,因为它们很容易以廉价的方式获得。

与商业抑制剂相比,天然无毒的绿色抑制剂(如植物提取物)的需求量更高。这是因为植物提取物因其天然和生物特性而被认为是绿色和可持续的材料,并且能够抑制金属和合金的腐蚀。在植物的所有部分中,叶子最喜欢通过合成产生的丰富的植物化学物质(活性成分),其作用类似于商业抑制剂。同样重要的是要承认植物其他部分的提取物,如根、树皮、花、果实、木材、种子和果皮对抑制效率有贡献,此外植物化学合成利用被称为剧毒温室气体的二氧化碳进行光合作用,也为绿色化学理论做出了贡献。

参考文献:

- [1] 姜宜君. 油气储运过程中的管道防腐现状及解决措施[J]. 科技创新导报, 2020, 17(14): 2.
- [2] 刘鹏飞, 于涛, 周东萍. 油气储运中的管道防腐措施探讨[J]. 科学与财富, 2020(7): 313.