

油气储运过程中的腐蚀与安全防护技术研究

刘祥福（天津市华腾理工安全科技咨询有限公司，天津 300000）

摘要：在石油工业中油气储运是非常重要的一个环节，其安全性和稳定性与整个石油产业链的顺畅运行有着直接的关系。然而，在油气储存过程中，腐蚀问题始终是一个不可忽视的挑战。腐蚀不仅会导致设备损坏、管道泄露，还可能引发安全事故，对人员和环境造成严重威胁。因此，加强油气储运过程中的腐蚀与安全防护技术研究就显得至关重要。基于此，本文主要对油气储运过程中的腐蚀与安全防护技术进行了研究，以期能为油气储运提供有益的参考。

关键词：油气；储运；腐蚀；安全防护技术

1 油气储运过程中的腐蚀与安全防护技术的应用意义

油气储运涉及到能源的安全供应和高效利用。然而，在油气储运过程中，腐蚀问题成为制约其安全与效率的重要因素。因此，腐蚀与安全防护技术的应用在油气储运领域具有深远的意义。首先，能够确保储运设施安全。腐蚀会造成储运设施的结构强度下降，从而引发安全隐患。应用防护技术，能够有效防止或减少腐蚀现象的发生，确保储运设施的结构完整性和稳定性，降低安全风险；其次，能够延长设施使用寿命。通过实施腐蚀防护措施，可以有效减缓油气储运设施的腐蚀速度，延长其使用寿命。这不仅可以减少因设备更换或维修带来的成本投入，还能够确保设施的持续稳定运行，提高整体经济效益；再次，能够减少油气泄漏风险。腐蚀是导致油气泄漏的主要原因之一。采用腐蚀防护技术，可以显著减少管道、储罐等设备的腐蚀泄漏风险，保障油气资源的安全运输和储存，避免环境污染和安全事故的发生；第四，能够提升资源利用效率。通过优化腐蚀防护方案，提高油气储运设施的运行效率，可以减少能源在储运过程中的损耗，提升资源利用效率。这不仅有助于降低生产成本，还能够满足日益增长的能源需求，促进可持续发展；最后，还能够有效提升行业竞争力。在全球化背景下，油气储运行业的竞争日益激烈。采用先进的腐蚀与安全防护技术，可以提升企业的运营效率和资源利用效率，降低成本，提高服务质量和竞争力。同时，通过技术创新和研发，企业还能够不断提升自身的技术水平和市场地位，赢得更多的市场份额和客户资源^[1]。

2 油气储运过程中腐蚀的影响因素

2.1 油气性质

油气成分复杂，其中某些特定的化学成分是造成

管道腐蚀的重要因素。例如，硫化氢这种具有强烈腐蚀性的气体，在油气储运过程中会与金属管道材料发生化学反应，导致金属逐渐失去其原有的性能。此外，油气中的其他氧化物质也具备相似的腐蚀特性，它们会侵蚀管道的表面，从而缩短管道的使用寿命。二氧化碳在液体中呈酸性，这使得油气中的二氧化碳成为一种潜在的腐蚀源。酸性环境会促进电化学反应的进行，导致金属晶格受损。这种电化学反应会加速管道内壁的腐蚀过程，使管道的厚度逐渐减薄，直至出现穿孔、泄露等严重问题。

2.2 施工因素

油管道的施工过程是一个复杂且耗时的工程，涉及到多个环节和多个参与方。在这个过程中，施工质量的控制对于防止管道腐蚀至关重要。如果施工质量不达标，可能会导致防腐层的破损、焊接质量的缺陷等问题，这些问题都会增加管道腐蚀的风险。

2.3 介质物性

油气储运管道的腐蚀情况还受到周围介质物性的影响。例如，土壤湿度和地下水位的变化会对管道的腐蚀速率产生显著影响。当土壤湿度过高或地下水位上升时，管道所处的环境变得更加潮湿，这有利于腐蚀反应的进行，从而加速管道的腐蚀过程。此外，油气储运管道的埋地环境中还含有土壤、微生物等组分。这些介质的性质同样会对管道的腐蚀情况产生影响。例如，某些类型的土壤可能含有较多的腐蚀性离子，而某些微生物可能会通过生物腐蚀作用加速管道的腐蚀过程。

2.4 温度因素

温度因素在油气储运过程中的腐蚀问题中扮演着举足轻重的角色。温度是影响腐蚀速率的关键因素之一。通常来说，随着温度的升高，管道腐蚀的速度会

明显加快。这是因为高温环境会加速化学反应的速率,导致腐蚀过程的进行更为剧烈。在油气储运过程中,如果管道长时间暴露在高温环境中,其金属表面容易受到氧化、硫化等化学作用的侵蚀,进而引发腐蚀现象^[2]。这种腐蚀不仅会降低管道的强度和密封性,还可能引发泄漏事故,对储运安全构成威胁。

2.5 管道材质

管道材质的选择对于油气储运过程中的腐蚀问题具有决定性影响。不同的管道材质在面对腐蚀时展现出了各异的抵抗能力。一些材质具有较高的耐腐蚀性能,能够在恶劣环境下保持较好的稳定性;而另一些材质则可能更容易受到腐蚀的侵袭。

3 油气储运过程中腐蚀安全防护工艺设计

3.1 防腐层工艺设计

在我国油气管道腐蚀安全防护中,管道防腐层工艺占据着举足轻重的地位。针对油气储运管道防腐层的设计,必须细致考量管道的实际使用场景和安全管理准则,从而精确选择防腐涂层材料。这种选择不仅仅是基于单一的考量点,而是涉及多方面的要求。首先,防腐涂层需要拥有优异的绝缘性能;其次,其粘结性、耐剥离强度、稳定性以及对环境的适应能力也需达到高标准;最后,涂层还需具备易于修补和维护的特点,以便在日常运维检修中快速恢复其防护功能。除此之外,涂层材料的选择和设计还需紧密结合管道所处的环境和输送的介质特性。以3PE防腐涂层为例,在设计时必须高度警惕防腐层膜向下方向的腐蚀风险、阴极剥离问题和潜在的机械损伤。目前市场上,两大主流防腐涂层材料备受推崇:纳米级改性材料和无机非金属涂层。特别是纳米级改性材料,其出类拔萃的机械损伤抗性、耐磨性以及防腐效果,无疑为油气储运管道的长期稳定运行提供了强有力的保障。而无机非金属防腐涂层涵盖了多种类型,如搪瓷、玻璃和陶瓷等涂层形式。在中国的石油天然气行业中,针对管道防腐涂层的技术要求明确规定了多种涂层的应用。其中,石油沥青涂层、煤焦油烤漆、环氧煤沥青以及熔结环氧粉末涂层在油气储运管道中是最为常见的防腐解决方案。随着技术的进步和CNPC企业的标准化推动,双层熔结环氧粉末涂层技术凭借其卓越性能,根据Q/CNPC-2002标准,已经成为了市场上的主流选择。然而,近两年备受瞩目的100%固体含量聚氨酯防腐涂料,尽管在市场上表现出色,但其行业标准仍需进一步完善和优化,以适应更广泛的应用

场景。

3.2 内部防腐处理设计

对于油气储运中的管内壁的防腐问题,做好内部设计至为关键。但其中存在很大的挑战,一方面油气储运介质自身的易腐蚀特性,另一方面,很多因素都会影响到管道腐蚀。对此,为了促进管内壁结构稳定性的增强,使油气储运管道内部的腐蚀速度变得缓慢,可以有效应用涂抹缓蚀剂的设计。

3.3 阴极保护工艺设计

阴极保护设计,作为一种先进的防腐策略,其核心思想源于电化学原理,特别是阳极氧化与阴极防护的基本理论。这种设计的目的在于显著增强油气储运管道在面对腐蚀威胁时的抵抗力。尽管初看之下,阴极保护设计可能给人一种仿佛加剧了阴极腐蚀的错觉,但实质上,它通过精心构造的电解质环境,形成了一个闭合的电循环体系。在这一体系中,阴极与管道之间发生了精准的电化学反应,不仅未对阴极本身造成损害,反而通过这一反应对阳极实施了高效保护。这一策略的关键在于阳极材料的选择,只有合适的阳极材料,才能确保阴极电化学反应的稳定进行,从而既保证了防腐效果,又提升了整个保护系统的经济效益。通过精心设计和选用合适的阳极材料,阴极保护技术为油气储运管道的长期稳定运行提供了坚实的保障。

4 油气储运过程中腐蚀安全防护技术的应用

4.1 防腐涂层技术的应用

防腐涂层技术在油气储运管道防腐中是最为常见的一种技术,也是我国最早应用的一项金属管道防腐技术。防腐涂层最常见的处理方法就是喷涂。我国从20世纪50到70年代开始,在对管道防腐层设计时相继使用了石油沥青防腐涂层、环氧煤沥青涂料、聚乙烯胶粘带、煤焦油瓷漆、挤压聚乙烯、熔结环氧粉末、新一代煤焦油磁漆以及三层聚乙烯、双层熔结环氧粉末、三层聚丙烯等材料。这些防腐材料有着各自的优势和劣势。以石油沥青为例来说,其在耐腐蚀性和粘结力方面表现突出,却对输送介质的温度要求比较严格,其必须控制在八十度之内。而且,防腐涂层喷涂的应用需满足一下核心要求:第一,喷涂材料应具备优异的抗剥落性和粘合力,以确保涂层长期稳定附着于管道表面;第二,喷涂形成的防腐保护层应展现出卓越的化学和物理稳定性,无论是在酸、碱环境下,还是面对高温、高压等极端条件,都能保持其防护性

能；第三，在进行防腐涂层喷涂前，必须对金属管道表面进行细致的处理，确保其洁净无污、干燥无水分，为涂层提供良好的附着基础；第四，喷涂防腐层时，要确保用料充足，避免偷工减料，并力求喷涂面均匀一致，以达到最佳的防腐效果；第五，喷涂防腐层的施工应严格遵循规定的施工设计要求，确保环境温度和湿度适宜，以保障涂层质量和施工效率；最后，喷涂完成后，应对防腐层进行细致检查，如果发现不足之处，应马上处理。同时，在后期运维和检修管道过程中，为了确保其防护效果的长久性，在补修剥落或缺损部位的防腐层时要使用和之前相同的原材料。

4.2 缓蚀剂的应用

4.2.1 氧化模型缓蚀剂

在化学防腐领域，铬酸盐和亚硝酸盐是广为人知的氧化型缓蚀剂。这类物质作为强氧化剂，其独特之处在于即使在无水无氧的环境中也能与金属产生反应，有效在阳极区域形成一层氧化膜，起到保护金属的作用。然而，并非所有的氧化膜型缓蚀剂都依赖强氧化作用。一些非强氧化剂类型的缓蚀剂，在减缓管道腐蚀方面，主要依赖于其抑制腐蚀反应的能力，进而在阳极区域形成氯氧化物或氧化物等保护膜。这些保护膜对于延长金属管道的使用寿命至关重要。需要强调的是，虽然氧化膜型缓蚀剂在大多数情况下都非常有效，但在特定条件下，如存在高浓度的氯离子高温环境或介质流速较快的油气储运管道中，其应用可能并不理想。这是因为这些条件可能破坏形成的保护膜，进而影响其防腐效果。为了最大化缓蚀剂的防腐效果和经济效益，需要结合实际应用环境，特别是湿度等关键因素，对缓蚀剂的浓度进行精确的调整。这样不仅能确保管道得到充分的防腐保护，还能避免不必要的浪费，实现经济效益和防腐效果的平衡。

4.2.2 吸附膜型缓蚀剂

吸附膜型缓蚀剂，主要指的是有机缓蚀剂，它通过独特的双重机制实现其功效：一方面拥有可吸附的亲水基团，能紧密附着在金属表面；另一方面，其疏水基团则形成遮蔽效果，构筑起一道防护屏障。当金属表面因吸附作用而带电荷时，这种缓蚀剂的应用能够使电化学反应速率得到减缓，对管道的腐蚀速度进行控制，其技术原理是能在阴极和阳极区域形成分子膜。在常见的类型中，这类缓蚀剂包括含有氮、硫或羟基的具有表面活性的有机化合物，它们既亲水又亲油，因此能在金属表面形成一层致密的保护膜。核心原理在于，通过缓蚀剂的作用，将金属结构中的阳极

区转变为阴极区，使得整个金属管道转变为阴极，从而消除了因阴极区和阳极区之间电化学反应而导致的腐蚀问题，进而实现了对管道腐蚀的有效控制。关于如何实现阳极区向阴极区的转变，这主要依赖于外加直流电的作用。通过为阴极保护系统增加这种直流电，可以将被保护区域的金属结构整体转化为阴极，从而实现腐蚀的有效抑制。

4.3 阴极保护技术的应用

阴极保护技术主要分为两种应用形式。一种是外加电流的阴极保护法，其基本原理是借由连续、稳定的电子流供给来保障金属阴极不被腐蚀。另一种常用的阴极保护法是牺牲阳极保护法。在这种方法中，是借助直流电源和导线人为地调控电子的流动速度，以维持金属与油气管道之间的电流平衡。这种平衡的建立确保金属处于正电状态，而油气管道处于负电状态，从而显著减缓油气管道的腐蚀速度。然而，环境因素对电子的定向移动速度有着显著影响。在复杂多变的环境中，阴极保护技术面临挑战，电子定向移动的稳定性和速度可能会降低，甚至移动速度也会减缓，这进而会影响对金属管道的保护效果。为了应对这一挑战，引入了强制电流阴极保护技术。该技术通过在金属管道两端安装直流电源、导线等强制电流设备，并采用强制电流导入的方法，建立起金属管道与保护金属之间的明确电流关系。这一措施不仅能够确保正负极的明确形成，还能显著提升电子的定向移动速度，从而增强对保护金属的阴极保护效果，使金属管道的腐蚀速度得到减缓。

5 结束语

油气储运过程中的腐蚀问题是影响安全生产的重要因素之一。通过多种腐蚀安全防护技术的实施，能够有效减缓或防止腐蚀的发生，提升油气储运过程的安全性和稳定性。未来，随着科技的不断进步和新的防腐材料的不断涌现，相信油气储运过程中的腐蚀问题将得到更好的解决。

参考文献：

- [1] 胡光美. 油气储运环节分析及优化措施研究 [J]. 中国储运, 2024(05):137-138.
- [2] 卢宁. 油气储运中的安全隐患及防范策略分析 [J]. 石化技术, 2024, 31(04):296-298.

作者简介：

刘祥福（1982-），男，满族，河北迁西人，本科，高级工程师，研究方向：油气储运、化工机械、安全工程。