

油气集输管道内防腐技术应用进展

赵毅¹, 许艳艳¹, 朱原原¹, 王毛毛², 李大朋², 王修云², 肖雯雯¹

(1.中石化西北油田分公司 石油工程技术研究院, 乌鲁木齐 830011;

2.安科工程技术研究院(北京)有限公司, 北京 100083)

摘要: 针对油气田集输管道的内腐蚀问题, 分别介绍了耐蚀材料、衬里技术、涂镀层技术与药剂防腐技术等管道内防腐技术及其现场应用效果, 指出了耐蚀金属材料防腐效果显著, 但存在经济效益差的缺点。为降低成本, 选用双金属复合管替代耐蚀金属材料, 但其焊缝位置腐蚀失效频发, 成为制约其应用的薄弱环节。耐蚀非金属材料防腐效果显著, 但耐高温性能与力学性能较差, 受温度、压力与 CO₂、H₂S、固体颗粒等介质成分的影响, 衬里技术与涂镀层技术的应用范围受到限制。药剂防腐技术的防护效果与药剂类型、加药工艺密切相关, 需要根据腐蚀工况监测结果进行实时调整。针对上述内防腐技术存在的问题, 提出了未来内防腐技术的发展方向为改进现有内防腐技术存在的不足, 提升其防护效果。同时, 应开发防腐效果显著、经济成本低、施工简便、易于推广应用的防腐材料与防腐工艺技术。

关键词: 油气集输管道; 内防腐技术; 耐蚀材料; 衬里技术

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2018.06.010

中图分类号: TG174

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2018)06-0053-06

Research Status on Internal Corrosion Protection Technology of Oil & Gas Transportation Pipeline

ZHAO Yi¹, XU Yan-yan¹, ZHU Yuan-yuan¹, WANG Mao-mao², LI Da-peng², WANG Xiu-yun², XIAO Wen-wen¹

(1. Petroleum Engineering Technology Research Institute, Northwest Oil Field Branch Company, Sinopec,

Urumqi, 830011, China; 2. Anko Engineering Technology Institute Limited Company, Beijing 100083, China)

ABSTRACT: In view of internal corrosion problem of oil & gas transportation pipeline, the internal corrosion technology for oil and gas pipeline and their applied result were introduced, including corrosion resistant material, lining technology, coating technology and corrosion inhibitor injection technology. It was indicated that corrosion resistant metal material was featured with good corrosion resistance but has deficiency in economic performance. To reduce the production cost, double-metal composite pipe was selected as substitute for corrosion resistant metal material. But the corrosion problem occurred in the welding seam. The welding seam became the weak link which limited its application. Corrosion resistant non-metal material worked wonderfully in preventing corrosion, but its mechanical property and the capability of bearing high heat was poor. The scope of lining technology and internal coating technology were limited as a result of temperature, pressure and the composition of corrosive medium, such as CO₂, H₂S and solid particles. The corrosion resistance result of corrosion inhibitor injection technology was closely identified with corrosion inhibitor and dosing process. The corrosion inhibitor and dosing process should be changed according to actual working condition. In allusion to the existing problem of internal corrosion technologies above, the development trend of internal corrosion technology of pipeline was proposed. It included two aspects: overcoming the disadvantages of exiting internal corrosion technology and improving the corrosion resistance. Meanwhile, it is required to develop

new anti-corrosion materials and internal corrosion technology which had the advantages of remarkable corrosion resistance result, less production cost, convenient operation and application and extension.

KEY WORDS: oil & gas transportation pipeline; internal corrosion technology; resistant material; lining technology

近年来,随着油气资源的开发与注水、注气、注聚等增产技术的应用,油气集输管道的内腐蚀环境日益恶化,腐蚀穿孔、结垢等问题突出。据统计,2001年我国石油石化行业因腐蚀造成的损失约为700亿人民币^[1]。油气集输管线是油气输送最重要的设施,其频繁发生的腐蚀失效不仅会影响油气田生产,造成巨大的经济损失,也会造成重大人员伤亡事故和严重的环境污染。

目前,国内外常用的内防腐技术主要包括耐蚀材料、衬里技术、涂镀层技术与药剂防腐技术^[2-4]。现场应用效果表明,通过合理选择内防腐技术可以大幅度降低油气集输管道的腐蚀失效数量,保障油气集输管道的安全运行。受自身特点、加工工艺、服役工况与现场施工等因素的影响,各类内腐蚀防护技术的应用存在一定的局限性。通过介绍目前国内外油气田集输管道主要的内防腐技术,分析各类内防腐技术的优缺点与现场应用效果,提出各类腐蚀防护技术的改进建议,指明了内防腐技术未来的发展方向,为油气生产者科学合理选取内防腐技术提供技术支撑。

1 耐蚀材料技术

油气田常用的耐蚀材料可分为耐蚀金属材料与耐蚀非金属材料两种。常用的耐蚀金属材料包括不锈钢、镍基合金等材料,如316L与825等;非金属材料包括工程塑料(玻璃钢、高密度聚乙烯、聚酮等)、橡胶(丁腈橡胶、氢化丁腈橡胶、聚醚橡胶)、无机非金属材料(混凝土、搪瓷)等。

1.1 耐蚀合金材料

目前,国内外各大油气田集输管线用材主要为碳钢、低合金钢,耐蚀合金类管材应用较少。随着油气集输管道内腐蚀环境的恶化,碳钢与低合金钢已无法满足现有某些腐蚀环境的要求,必须选用耐蚀性能更好的金属材料作为集输管线用材。油气工业中常用的耐蚀金属材料主要有316L不锈钢、2205双相不锈钢及718、825镍基合金等金属材料,具体的材质类型可参照NACE MR 0175、EFC 16、EFC 17、ANSI/NACE MR0175/ISO 15156等国内外选材标准与钢材生产商的选材图谱进行选材设计。由于耐蚀金属材料具有优异的耐腐蚀性能、良好的力学性能、加工性能与焊接性能,可从根本上解决油气管道出现的腐蚀失效问题,保障油气集输管道长期安全稳定地运行。因

此,2010年塔里木油田先后将3条集气站管线更换为316L不锈钢,将克拉2气田的6口单井管线更换为了2205双相不锈钢,用以解决高温、高压气田的腐蚀问题。截止2013年,上述管线均未发生腐蚀失效。此外,中国石油天然气集团公司还在克拉2气田集输管网与连接法兰上应用22Cr双相不锈钢,用于解决克拉2气田苛刻腐蚀环境下的腐蚀问题^[5-6]。

在实际应用中,由于耐蚀金属材料价格昂贵、投资过高,纯耐蚀合金管材仅限于高产、腐蚀性强的油气管网。为降低成本,油气工业中多应用双金属复合管。有文献报道^[7-8],德国Butting公司生产的双金属复合管在欧洲、北美及亚洲等国的路上和海底管道中已有上千公里的应用。国内塔里木油田分公司牙哈凝析气田与中石化西北油田分公司地面集输管道多采用20#/316L双金属复合管。

双金属复合管是由两种不同的金属材料构成,以价格低廉的碳素钢管或合金钢管为基管,在其内表面覆衬一定厚度的不锈钢、镍基合金等耐蚀金属材料,利用各类机械生产方法使两种材料之间结合成一体,制得的一种新型金属复合管材。自20世纪60年代开始,日本、美国、德国、英国等国家对双金属复合管的生产工艺、使用性能与检测方法进行了大量研究,相继开发出了多种双金属复合管制造方法(见表1),并编制了双金属复合管的制造标准。例如,美国石油学会的API 5LD为双金属复合管的专有标准,此标准涵盖了机械复合管和冶金复合管两大类复合管材,包括热轧复合、堆焊、粉末冶金复合和爆炸复合等多种制造方法。挪威船级社的DNVOS F101则只对双金属复合管制造方法作了部分要求,而国内颁布的SY/T 6623—2005,则等同于API 5LD。此外,还有部分标准分别针对双金属复合管的基管与衬管进行了规定,如API 5L与EEMUA 166为复合管外碳钢管的制造标准,API 5LC与GB/T 12771则为双金属复合管内衬管的制造标准。尽管双金属复合管具有优异的力学性能、良好的耐蚀性能与显著的经济优势,但是在现场施工过程中存在施焊困难、缺陷多、合格率低等焊接问题,特别是机械复合管采用封焊工艺易在焊缝及热影响区产生腐蚀穿孔的现象,同时也会在实际应用过程中出现内衬层塌陷^[9-11]。虽然现在对封焊工艺作了改进,采用堆焊工艺使得焊接缺陷造成焊缝处及其附近的穿孔现象大为减少,而内衬塌陷问题还是无法避免。冶金复合管就很好地解决了这一问题,但也存在现场焊接的问题。因此,优化现有的焊接工艺

表 1 双金属复合管制造方法及优缺点

复合方法	生产工艺	优点	缺点
冷成型法	将预加工好的薄壁不锈钢管套入碳钢管内，通过拉拔、胀接、旋压和滚压等机械方法使不锈钢管紧贴在碳钢管内壁上	生产工艺简单、成本低	内外壁为机械结合，界面非扩散结合，结合力差，在高温下会因应力松弛而分层失效
热成型法	热成型制造工艺主要是在加热条件下，对内外管施加载荷，在界面处产生“压力焊”的焊接效应，促使界面间的快速扩散和广泛结合，实现界面的冶金结合。包括热轧和热挤压两种方法，前者主要适用于有缝复合管的生产，后者适用于无缝复合管的生产	生产率高、质量好、成本低，并可大量节省金属材料的损耗。其中，热挤压法适合于热加工性不好，塑性低的高合金金属的加工	一次性投资大，而且很多材料组合不能通过轧制复合来实现。目前仅限于碳钢、不锈钢和高镍合金钢间的复合
离心铸造法和离心铝热剂法	均是通过物理或化学加热方式将不同的金属加热至熔融后冷却的方式来制备双金属管的，不同的是离心铸造是当外管冷却至一定温度后，将熔点低于外管金属的液态金属倒入外管内；而离心铝热剂法则是利用铝热反应使混合均匀的金属氧化物粉末氧化还原并熔融成液态，在离心力作用下密度大的产物如 Fe、Cr、Ni 等集中在靠近碳钢管内壁处，形成内衬层的方式制备双金属复合管的	界面实现冶金结合，致密度高，工艺简单	离心铸造法易形成粗大的铸态组织导致各层金属的力学性能不能充分发挥，需要进行后续热变形处理。另外，该方法不能生产外层为轻合金的复合钢管。离心铝热剂法则需要利用机械方法将内层的氧化铝残渣清除
离心铸造+热挤压法	通过离心铸造生产空心复合管坯，然后加热、热挤压或热挤压冷轧，以及后续热处理等工序，获得最终成品复合管	有效整合了离心铸造和热挤压两种方法的优点，缩短了生产工序，实现了复合界面的完全冶金结合	/
爆炸焊接成型法	利用炸药爆炸产生的冲击波，使内管发生塑性变形，紧贴外管，从而形成复合管	一次性瞬间成型，工艺简单，覆层紧密，产品适用性广，且可实现多种金属间的连接	界面非扩散冶金结合，结合力差，对尺寸较长的复合管炸药量很难准确确定，且具有一定的危险性
粉末冶金法	在碳钢或类似材料制成的母管与金属薄壁管之间加入粉末充填层，管子两端分别用底板密封，在预定的温度下加热，再热挤压成复合钢管，最后用酸洗方法去掉底板和金属薄壁管	可加工出强度和耐腐蚀性能良好的复合管，且可生产出很多特殊的复合管，应用比较广泛	一般生产的复合管强度较低，需要强度较高的复合管时需要与高强度的实体金属材料复合

或研发出新型的连接方式，降低双金属管焊缝失效的风险是双金属复合管未来的发展方向。

1.2 耐蚀非金属材料

油气工业中应用最多的非金属耐蚀材料主要为高分子材料，主要的管材类型有玻璃钢管、塑料合金管、柔性复合连续管与钢骨架增强复合管^[12-15]。在这些非金属管中，玻璃钢是以玻璃纤维及其制品为增强材料，以环氧树脂、聚酯树脂、酚醛树脂等合成树脂作为基体材料的一种复合材料。塑料合金复合管是以氯化聚氯乙烯树脂、聚氯乙烯树脂、氯化聚乙烯树脂等两种或多种不同结构单元的均聚物或共聚物的混合物为内衬层，以连续纤维缠绕形成的增强层为结构层的复合管^[16]。由于玻璃钢管与塑料合金管具有良好的耐腐蚀性，可用于含 CO₂、H₂S 的腐蚀环境中。此外，它们还具有内壁光滑、输送阻力小、不易结垢

等优点，广泛用于油田注水管网、原油集输及外输系统。截止 2006 年 1 月，新疆油田应用的非金属管道中，塑料合金复合管使用了约 2600 km^[17]。尽管防腐效果显著，但仍然存在接头渗漏拉断、热熔接头失效、管体破裂、内衬管收缩变形等问题，这主要由于玻璃钢与塑料合金管为热固性塑料，弹性模量低，抗冲击性能差，在运输、安装及服役过程中易发生破损。同时，现场操作不规范，存在野蛮操作的行为，也会导致金属接头部位被砸坏，管道接头渗漏或拉断^[18]。此外，在长期服役期间，受自然环境、化学介质、机械应力等因素的影响，玻璃钢容易出现色变、微裂纹等老化现象，尤其是玻璃钢管与其他金属钢管的连接接头处。

柔性复合连续管是主要由芯管、增强层、外包层组成。芯管为聚乙烯管、聚丁烯或改性的其他高分子聚合物；增强层为芯管上编织或缠绕的增强纤维丝或

钢丝,各增强纤维层间使用粘结剂粘结;外包层为聚乙烯防腐保护层^[19]。钢骨架增强复合管是以缠绕并焊接成型的管状钢丝网为增强体,以热塑性塑料为连续基材,采用一次成型、连续生产工艺,将金属和塑料两种材料复合在一起成型的。钢骨架增强复合管与柔性复合管等热塑性塑料的管道连接采取法兰连接和电熔连接两种方式,具有可连续成型、柔性好、安装方便等优点,多用于单井注水、单井集油管道、伴生气管道^[20]。在现场应用中,会出现爆管、热熔接头失效的问题,这主要是因为其耐温与承压能力低。以钢骨架增强聚乙烯管为例,其最高使用温度为70℃,最高使用压力为4 MPa。研究表明^[21],在使用温度范围内,每升高10℃,钢骨架增强聚乙烯管的强度下降5%。因此,在管材选用时应充分考虑实际工况变化,避免因温度升高造成管材性能下降,而引起最终失效。同时,现场施工时应注意管材扭曲应力的释放,否则在后续施工完成后,管材一直处于扭曲状态,其承压能力大幅度降低,极易造成爆破失效。

2 衬里技术

目前,油气集输管道常用的衬里技术主要有水泥砂浆衬里、塑料衬里、橡胶衬里与陶瓷衬里等。

1) 水泥砂浆。水泥砂浆衬里可采用各种成型工艺,将搅拌好的水泥砂浆在清理过的管道内壁上按照设计厚度要求分一次或多次涂衬,经养护后形成一个与管道内壁紧密结合的高强度圆壳体内衬层^[22]。水泥砂浆衬里既可以通过阻隔腐蚀介质与钢管来抑制腐蚀,也可以通过硅酸钙盐水解产生 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,使钢管表面pH增大,促使金属管道钝化来抑制腐蚀。相比于其他内衬技术,水泥砂浆衬里是一种成本低、无污染、易施工的内防腐技术,广泛用于市政管道、油气集输管道防腐工程^[22]。在现场应用时,会发现水泥砂浆衬里出现开裂与剥落的现象,这既有可能是水泥砂浆在浇筑、硬化过程或外力作用下形成的,也有可能是水泥砂浆中的有效成分会与输送介质发生反应,形成的物质具有低溶解度与吸水功能,引起水泥砂浆内衬的内应力增加,导致内衬开裂与剥落^[23-25]。针对上述问题,可通过添加聚合物对水泥砂浆进行改性或在其表面涂覆有机涂层以提高其防护效果。例如,江苏油田采用聚合物砂浆内衬对真武集输干线进行了防腐层修复,防腐效果显著。截止2013年,该油田已累计采用聚合物砂浆内衬对40 km的旧管线进行了修复^[26]。

2) 塑料衬里。目前,油气田常用的塑料衬里有玻璃钢、高密度聚乙烯、聚酰胺、聚酮、聚苯硫醚、聚丙烯、环氧塑料、酚醛塑料、氟塑料、尼龙等材料,具有质量轻、化学稳定性优越、电气绝缘性能佳以及

耐磨性能优良等特点,在油气集输系统及注水系统中应用较多。据报道^[27],胜利油田临盘采油厂共计使用了约20 km长的改性玻璃钢内衬油管,有效地解决了注水井油管腐蚀结垢的问题。中石化西北油田分公司在采用高密度聚乙烯内衬管、耐高温聚烯烃内衬管对旧管线进行内穿插整改后,腐蚀失效数量大幅度下降,防护效果显著。尽管塑料内衬管防腐效果显著,但因其分子链较长,结晶度低,在长期使用过程中, H_2S 、 CO_2 等腐蚀介质会渗入衬里内部,引起塑料内衬发生鼓泡,在内外压差作用下可发生破裂失效。此外,在高温条件下,非金属内衬管易发生脆化、脱落等现象。因此,在选用塑料衬里时应考虑塑料衬里的力学性能、热稳定性、化学稳定性及耐化学介质腐蚀的性能^[28]。

3) 橡胶衬里。橡胶是一种化学稳定性较高的高分子材料,只有少数强氧化性酸可使其发生膨润现象。将橡胶贴附在金属表面,形成一层连续、封闭的隔离层,可有效阻止腐蚀性介质与金属材料接触,从而抑制腐蚀。目前,常用的橡胶材料主要有丁腈橡胶、氯化丁腈橡胶、聚醚橡胶三种,在油气工业中主要作为密封制品使用,其作为内衬使用主要应用于容器设备的防护。尽管橡胶衬里具有较好的耐腐蚀性、耐磨性与较高的可靠性,可作为油气设备内腐蚀防护技术,但在油气集输管道中应用较少。由于橡胶衬里会因材料质量不合格、硫化过程不当、服役环境苛刻与施工质量不当,出现起泡、龟裂、脱层、针孔等现象,失去对金属基体的防护效果。因此,在选用橡胶内衬防护技术时,一方面要严格把控原材料的质量,另一方面要严格按照橡胶内衬防护工艺进行施工^[29]。

4) 陶瓷衬里。目前,工业中应用最多的是氧化铝陶瓷衬里。一般采用“自蔓延高温合成法”技术,将陶瓷氧化铝衬在钢管内壁上的。氧化铝陶瓷衬里具有优异的耐磨损性能、良好的力学性能与耐蚀性能,适合用于冲刷磨损严重的管道或设备。例如,长庆油田利用自蔓延高温合成法的原理,采用了陶瓷油管端口保护和密封防腐接箍等技术对80%的失效油管进行修复,修复后的油管使用寿命是普通新防腐油管的3倍以上^[30]。由于氧化铝陶瓷衬里表层中含有铁铝尖晶石(FeAl_2O_4),不适用于 CO_2 、 H_2S 等酸性气体含量较高的管道中^[31-32]。

3 内涂镀层技术

内涂镀层是解决集输系统和注水系统管道内腐蚀问题的一种非常有效的措施。目前,常用的涂层类型主要有环氧树脂、聚乙烯、聚氨酯、氯化橡胶、环氧酚醛、改性环氧树脂、富锌、玻璃鳞片环氧树脂、聚苯胺、环氧玻璃纤维复合涂层等。其中,环氧粉末

涂料涂层具有优异的力学性能与耐化学腐蚀性能,可提高管道内壁的光洁度,降低摩阻,目前国内新建的长输管线几乎全部采用环氧粉末涂料涂敷。此外,玻璃鳞片环氧树脂涂层在塔河油田集油干线中也具有良好的应用效果。截止目前,选用玻璃鳞片环氧树脂涂层进行内防的集油干线已运行 5 年,期间未发生过腐蚀失效。长庆油田在注水管线中探索使用的环氧玻璃纤维复合涂层也同样具有显著的防护效果,环氧玻璃纤维复合涂层内防的管线运行 3 年后均未发生腐蚀失效。为提高涂层的防护效果,美国 King Industries 公司与 Halox 公司开发出了 NACORR 1151、Halox 750 等多种涂层缓蚀剂,可以与多种涂层配合使用,增强涂料的耐蚀性能。

相比而言,目前油气田中常用的镀层主要为 Ni-P 合金化学镀层^[33-34]。与涂层技术相比,镀层防护技术具有硬度高、不易磨损与脱落的优点,既可用于管道防护,也可用于井下油套管的防护。因化学镀 Ni-P 合金镀层的针孔缺陷无法得到有效控制,所以其不适合用于大型、长距离管道的防腐^[35]。对此,日本国家石油公司和日本金属研究与开发中心已开始探索使用化学蒸镀法、物理蒸镀法等高新技术进行涂镀,以期获得致密性更好的镀层。国内则开发出了三层复合涂镀技术,即在碳钢表面制成高耐蚀的镍基合金底层,而后通过特殊的化学处理方法使底层合金表面长出致密且纤细的金属绒毛形成复合的第二层,最后再浸涂一种具有特殊表面功能的有机聚合物产品,形成结构封闭、无孔隙且具备特殊表面功能的复合涂镀层。三层复合涂镀技术在炼油厂试验应用的结果表明,其具有优异的防腐、防垢的性能^[36]。

4 药剂防腐技术

缓蚀剂是一种能够有效减缓金属或合金腐蚀破坏过程的化学药剂,通过缓蚀剂与腐蚀介质的融合,从而抑制金属或者其他腐蚀介质的破坏,大大提高了金属的耐蚀性能,从而降低腐蚀程度,延长管道寿命。在现场应用前,缓蚀剂要进行室内筛选,筛选出缓蚀效果显著、经济效益突出的缓蚀剂类型。接着进行中试放大试验,选取同种工况条件的管道或设备,利用腐蚀挂片法与缓蚀剂残余浓度监测对缓蚀剂的现场应用效果进行评价,确定合适的缓蚀剂类型与加药工艺。最后,根据中试试验确定的加药类型与加药工艺开展缓蚀剂防护工作。同时,对腐蚀工况与缓蚀剂加药浓度进行监测,以便随时调整加药类型或加药工艺。在进行缓蚀剂室内评价时,可参照标准 ASTM G170、ASTM G184、ASTM G185、SY/T 5273 中推荐的缓蚀剂评价方法进行。主要的缓蚀剂评价方法有旋转圆盘电极/旋转圆柱电极法、旋转笼法、轮转法、

鼓泡法、冲击喷射法及腐蚀环路法。其中,旋转圆盘电极/旋转圆柱电极法与鼓泡法都是利用电化学技术进行缓蚀剂效果评价的方法,操作简单便捷。旋转笼法、轮转法、冲击喷射及环路是利用腐蚀试片进行缓蚀剂效果评价的方法,除轮转法外,其余均可模拟现场流体的流速与流态。

目前,国内外油气集输管道内防腐用的缓蚀剂的主要成分是咪唑啉、有机胺、季胺盐类以及炔醇类等有机物^[37],相关的缓蚀剂型号为 KY-5、CZ3、DPI、IMC、CT2、TG、WSI、GP-1 等缓蚀剂,均取得了比较理想的防腐效果^[38-39]。在进行缓蚀剂优选时,除了通过室内评价方法进行大规模的缓蚀剂评价外,还可以根据缓蚀剂的作用机理,进行缓蚀剂分子设计,获得针对性的缓蚀剂。已有研究表明,同系列的有机缓蚀剂,分子中杂原子不同,其缓蚀效果也不同,一般遵循如下规律,即 $P > Se > S > N > O$ 。徐士祺^[40]等根据延长油田注水管线的腐蚀工况环境,合成出了 LED、TC-610、CQ-HO2、HJF-94 和 ODD 五种缓蚀剂,并通过静态失重法和电化学方法对其缓蚀效果进行了评价。结果表明,TC-610、CQ-HO2 和 LED 均具有很好的缓蚀效果。施宝昌等^[41]针对油田井含水率不断上升,矿化度达到 20~30 万 mg/L, pH 为 6.0~6.5,且存在 CO_2/H_2S 腐蚀,硫酸盐还原菌的腐蚀工况,设计开发了一种具有缓蚀、阻垢和杀菌作用的高效缓蚀剂。

由于缓蚀剂防腐技术具有用量少、见效快、操作简单、没有设备需求、技术实用性较广等优点,因此其在油气管道防腐工作中应用广泛。在不同腐蚀环境中,采用的缓蚀剂也是不一样的,需要根据具体的生产工艺与工况条件确定缓蚀剂的加注类型、加注方式及添加量。同时需要说明的是,加注缓蚀剂的管道最好具有收发球装置,定期进行清管和预膜作业,方可使缓蚀剂发挥最佳的效果。

5 结语

近年来,随着管道内腐蚀防治技术在各大油田的推广应用,油气集输管线的腐蚀失效问题得到了有效的控制,同时也产生了一些新的问题。比如,耐蚀合金管材投入成本太高,经济效益差;经济成本相对较低、耐腐蚀性强、力学性能优异的双金属复合管又存在焊接困难与焊缝腐蚀风险高的问题;非金属材料虽具有良好的耐蚀性能,但强度与热稳定性较弱;衬里技术具有良好的现场应用效果,现场施工方便、成本低,但热稳定性差,易发生老化失效;涂镀层技术的防腐效果与涂镀层材料、施工质量密切相关;药剂防护技术操作简单,经济投入低,但需要根据管道内腐蚀环境实时调整药剂类型与配套的加注工艺。这些防

腐措施一旦出现问题,不但无法保护金属基体,还会加速其腐蚀。目前,尚无一种经济有效的内防腐技术,可以解决各类工况环境下的腐蚀问题。因此,未来管道内防腐技术的发展方向是立足于现在,改进现有内防腐技术存在的不足,提升其防护效果。同时,要开发防腐效果显著、经济成本低、施工简便、易于推广应用的防腐材料与防腐工艺技术。

参考文献:

- [1] 张清玉. 油气田工程实用防腐技术[M]. 北京:中国石化出版社,2009.
- [2] 杨双春, 吴芳芳, 张金辉, 等. 管道内防腐技术研究进展[J]. 当代化工, 2012, 41(11): 1242-1245.
- [3] 张文毓. 国内外管道腐蚀与防护研究进展[J]. 全面腐蚀控制, 2017, 31(12): 1-6.
- [4] 赵帅, 兰伟. 管道内防腐技术现状与研究进展[J]. 表面技术, 2015, 44(11): 112-118.
- [5] 齐友, 李静, 王赤宇, 等. 超深、超高温、超高压“三超”油气田地面集输管线使用现状、选材及建议——以新疆塔里木盆地库车、拜城地区为例[J]. 中国石化腐蚀与防护, 2013.
- [6] 熊惠. 克拉 2 气田地面建设用 22Cr 双相不锈钢耐腐蚀性能研究[D]. 西安: 西安石油大学, 2010.
- [7] 王永芳, 袁江龙, 张燕飞, 等. 双金属复合管的技术现状和发展方向[J]. 焊管, 2013, 36(2): 5-9.
- [8] 刘勇, 候远盛, 王义, 等. 双金属复合管道在牙哈凝析气田的应用[J]. 油气田地面工程, 2006(9): 62.
- [9] 李发根, 魏斌, 邵晓东, 等. 高腐蚀性油气田用双金属复合管[J]. 油气储运, 2010, 29(5): 361-364.
- [10] 王纯, 毕宗岳, 张万鹏, 等. 国内外双金属复合管研究现状[J]. 焊管, 2015, 38(12): 7-12.
- [11] 孙育禄. 耐蚀合金双金属复合管的应用技术[D]. 西安: 西安石油大学, 2013.
- [12] 张冠军, 齐国权, 戚东涛. 非金属及复合材料在石油管领域应用现状及前景[J]. 石油科技论坛, 2017, 36(2): 26-31.
- [13] 韩方勇, 丁建宇, 孙铁民, 等. 油气田应用非金属管道技术研究[J]. 石油规划设计, 2012, 23(6): 5-9.
- [14] 陶佳栋, 卢明昌, 曾万蓉. 玻璃钢管道在油气田的应用与发展[J]. 石油管材与仪器, 2017, 3(5): 1-4+8.
- [15] 郭强, 孙阳洋, 刘兴茂, 等. 非金属管在油田的应用及探讨[J]. 天然气与石油, 2012, 30(06): 19-21+6.
- [16] HG/T 4087—2009, 塑料合金防腐蚀复合管[S].
- [17] 何冯清, 吴燕, 刘炜, 等. 非金属管道在新疆油田的应用[J]. 油气田地面工程, 2016, 35(1): 94-96.
- [18] 李厚补, 李鹤林, 戚东涛, 等. 油田集输管网用非金属管存在问题分析及建议[J]. 石油仪器, 2014, 28(6): 4-8.
- [19] 罗贞礼. 柔性复合管在油气田中的开发应用探讨[J]. 新材料产业, 2011(6): 55-57.
- [20] 李凯, 张贤波, 李康锐, 等. 柔性复合管在油田集输管线的应用[J]. 石油工业技术监督, 2013, 29(4): 13-14.
- [21] 单正宏. 新型双面防腐压力管道-钢骨架塑料(PE)复合管[J]. 化工设备与管道, 2002, 39(6): 33-37.
- [22] LUO Su-zhen, ZHENG Yu-gui, LI Jin, et al. Effect of Curing Degree and Fillers of Slurry Erosion Behavior of Fusion-Bonded Epoxy Powder Coating[J]. Wear, 2003, 254(3-4): 292-297.
- [23] 董学旺. 水泥砂浆衬里管道防腐技术[J]. 油气田地面工程, 2000(3): 43-44.
- [24] 郑小东. 输水钢管水泥砂浆内防腐裂缝研究[J]. 广西水利水电, 2012(2): 72-73.
- [25] 孙静, 崔友坤. 管道水泥砂浆衬里失效机理及对策[J]. 内蒙古石油化工, 2016, 42(6): 89-90.
- [26] 高丽, 胡建业, 华学平. 聚合物砂浆复合内衬结构技术研究及在江苏油田旧管道修复中的应用[J]. 石油工程建设, 2010, 36(3): 57-61.
- [27] 李小林, 吕学忠, 刘中云, 等. 改性玻璃钢内衬油管的试验与应用[J]. 石油钻采工艺, 2001(2): 76-78.
- [28] 宋连仲. 含硫气田管道内衬修复选材及结构设计[C]//99 中国国际腐蚀控制大会论文集. 北京: 中国化工防腐蚀技术协会, 1999.
- [29] 潘一, 徐荣其, 刘守辉, 等. 橡胶衬里技术的发展研究[J]. 当代化工, 2013, 42(3): 304-306.
- [30] 吉效科. 废旧油管内衬金属陶瓷再制造技术与应用[J]. 机械工程师, 2017(9): 29-31.
- [31] 王志刚. 陶瓷内衬油管的研究与应用[J]. 中国石化, 2016(S1): 100.
- [32] 何鹏, 刘寒梅. 陶瓷内衬复合油管在靖边油田的应用[J]. 延安职业技术学院学报, 2011, 25(3): 128-130.
- [33] 朱砚葛, 马春阳, 高媛媛, 等. 石油管道基材表面化学沉积 Ni-P-TiN 镀层研究[J]. 兵器材料科学与工程, 2016, 39(2): 27-29.
- [34] 张启阳. 镍磷镀层在胜利油田的应用[J]. 油气田地面工程, 2006(3): 47.
- [35] 何时剑. 化学镀 Ni-P 合金镀层在化工设备和化工管道防腐中的应用概况[J]. 电镀与环保, 2017, 37(5): 69-71.
- [36] 盛长松, 刘希武, 苗普. 油气田渗镀涂层防腐技术展望[J]. 石油化工腐蚀与防护, 2011, 28(6): 4-8.
- [37] 杨雪莲, 常青. 缓蚀剂的研究与进展[J]. 甘肃科技, 2004, 20(1): 79-81.
- [38] 刘裕萍, 赵桥生. 油气储运管道防腐技术的现状与应用[J]. 化工管理, 2016(13): 191.
- [39] 李惟简. 输油管道的防腐技术应用现状[J]. 化学工程与装备, 2015(2): 91-92.
- [40] 徐士祺. 延长油田注水管线内腐蚀机理及防腐技术研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2013.
- [41] 施宝昌, 王勤娜. 新型多功能高效缓蚀剂 BH—931 的研制[J]. 腐蚀与防护, 1996(4): 156-157.