**无溶剂液体环氧管道内防腐技术的研究及应用**

**张雅洁 刘学勤**

**（中原设计公司 河南濮阳 457001）**

**摘要：**主要介绍钢质管道内喷涂无溶剂液体技术及采用不锈钢接头补口工艺，以及该内防腐技术在中原油田的应用和取得的保护效果。

**关键词：**无溶剂液体环氧涂料，不锈钢接头，内防腐，中原油田

**1 前言**

随着开发时间的延长，中原油田油气井产出液含水逐年升高，油井产出液平均含水96%以上，造成油田生产系统的腐蚀日趋加重，尤其是原油集输管道、污水管道和注水管道，平均运行四年左右就会因腐蚀穿孔而更换或修复。2013年，在青岛“11.22”发生安全事件后，中原油田全面开展管线安全隐患普查活动，并制定“中原油田管道隐患风险评估分级标准”；截止2013年底，全油田确认存在安全隐患的管线约287km，隐患点1832处，这些隐患点绝大部分是因为腐蚀造成的，且管线腐蚀穿孔量的90%来自于内壁腐蚀。严重的内腐蚀穿孔，不仅带来了巨大的经济损失，同时还会引起严重的环境污染。2014年，中原油田筹集1.18亿专项资金，用于六个采油厂、天然气产销厂、天然气处理厂等十几个单位共185个项目的老旧腐蚀穿孔管线的安全隐患治理。因此，在众多的内防腐层施工技术中，筛选一种经济有效、适合中原油田特点的内防腐技术已刻不容缓。

当前，常用的管道内腐蚀防护技术有：选用耐蚀金属材料或非金属材料，介质处理，加注缓蚀剂，使用衬里和内涂层；其中内防腐层技术是解决油田油气水管道内腐蚀最方便有效的通用方法。

**2 管线内防腐层和补口技术**

中原油田目前常用的管道内衬和内防腐层技术主要有：水泥砂浆复合衬里技术、HDPE内衬管技术、管道内衬玻璃钢技术、风送挤涂内防腐层技术以及单根喷涂无溶剂液体环氧涂料技术等[1]。

HDPE内衬管防腐蚀性能较好，但耐温性能较差，温度高于50℃时，内衬与管道粘结力降低，易变形坍塌脱影响生产甚至引发安全事故；内衬玻璃钢管技术主要有单根预制法和整体翻转法，单根预制法的缺陷是补口问题没有解决；整体翻转法一是一次施工距离短，二是施工要求条件苛刻，稍有不慎就会造成质量隐患，尤其在玻璃纤维与树脂结合的缺陷部位，在较大压力下易发生开裂或渗漏； 风送挤涂内防腐层技术虽然解决了内防腐补口问题，但涂层的均匀性很难控制，薄处起不到防腐作用，厚处可能引起固化不完全造成涂层失效，该技术另一个制约因素是没有办法进行最终质量检验，存在质量隐患。单根喷涂无溶剂液体环氧涂料技术采用单根工厂预制，涂层质量容易控制，接口采用不锈钢短节，解决一般碳钢不耐腐蚀的问题，不锈钢短节根据输送介质的性质选择；无溶剂液体环氧涂料综合防腐性能好，应对苛刻腐蚀环境能力强，高压流动介质的冲刷下，具有良好的附着力和耐磨性，一次涂膜厚可达到300~500um，施工效率高，无挥发组分，可避免固化时溶剂的挥发而造成涂层出现微孔而影响其耐腐蚀性能，同时也减少了溶剂中毒现象以及环境污染。

管道内防腐层施工，一般分单根预制和现场补口两个步骤进行；单根预制阶段均是在工厂进行，产品质量容易控制，完全可以满足各种介质条件的耐腐蚀要求；但现场内补口仍是内防腐层施工技术的瓶颈，内补口技术不突破，必将影响内防腐层的整体质量。据文献报道，近几年经过防腐科技人员的努力，管道内防腐补口技术有了新发展，目前已有数种内补口技术得到应用，如记忆合金法、内衬短接（衬套）法、机械压接法、法兰连接加固法、智能补口机法、钻孔补口法、不锈钢短节法等[2]；但有的方法因苛刻的工艺条件和环境条件限制，在管道施工现场无法得到有效应用，如记忆合金法；有的需要繁杂的前期施工准备而难以得到有效推广，如机械压接法和内衬短接（衬套）法。不锈钢短节法弥补了上述内补口方法的缺陷，施工简单、技术成熟，是解决油田地面管线内防腐的有效方法。

不锈钢短节用于管线接口解决内腐蚀技术于2001年首次在大涝坝-雅克拉气田地面建设工程使用，取得了良好的保护效果，2003年现场调研，未发现一处腐蚀穿孔现象；2003年，该技术在中原胡状油田一条集油管线上应用，得到用户的肯定。此后，该技术在中原油田开始了推广应用，截至到2004年8月，没有一条使用该技术进行内防腐的管线因内腐蚀而改造或更换，具有明显的经济和社会效益。

1. **内喷涂无溶剂液体环氧技术**

3.1内防腐材料

3.1.1 无溶剂液体环氧涂料

该技术选择100%固含量的喷涂级双组份液体环氧涂料。涂料的技术指标见表3-1：

表3-1 无溶剂液体环氧涂料及涂层的技术指标

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | | 指标 | 试验方法 |
| 1 | 容器中状态（组分A，B） | | 搅拌后均匀无硬块 | 目测 |
| 2 | 细度（A，B组分混合后）（μm） | | ≤100 | GB/T 1724 |
| 3 | 固体含量（%） | | ≥98 | SY/T 0457附录A |
| 4 | 干燥时间（h） | | 表干≤4，实干≤24 | GB/T 1728 |
| 5 | 电气强度（MV/m） | | ≥25 | GB/T 1408.1 |
| 6 | 体积电阻率（Ω.m） | | ≥1x1013 | GB/T 1410 |
| 7 | 粘结力（MPa） | | ≥10 | GB/T 0319附录B |
| 8 | 耐盐雾性（3000h） | | 不起泡，不开裂，不脱层 | GB/T 1771 |
| 9 | 耐化学性质 | 10%H2SO4（常温，30天） | 涂层完好 | GB/T 0319附录C |
| 10 | 10%NaOH（常温，30天） | 涂层完好 | GB/T 0319附录C |
| 11 | 10%NaCl（60℃±2℃，30天） | 涂层完好 | GB/T 0319附录C |
| 12 | 耐汽油性 | | 涂层完好 | GB/T 0319附录D |

* + 1. 不锈钢接头的选型

不锈钢型号众多、成分各异，适用于不同环境条件；在油田地面工程中，主要接触的是油田产出液，针对中原油田介质的特点，2000年，我们选取不同型号的不锈钢，利用油田污水进行了浸泡实验，实验结果见表3-2。

表3-2 不锈钢腐蚀速率表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 介  质  (mg/L)  腐  蚀  速  率  (mm/a)  不  锈  钢  类  型 | 文一联污水 | 文二联污水 | 马寨联污水 | 3%NaCl溶液 |
| 总矿化度：14.6  Cl-含量：8.8 | 总矿化度：6.5  Cl-含量：3.9 | 总矿化度：3.5  Cl-含量：2  CO2含量：0.0123  H2S含量：0.00025 | Cl-含量：11.79 |
| 06Cr19Ni10  (304) | 0.192  表面有轻微蚀点 | 0.189  表面有轻微蚀点 | 0.237  表面有轻微蚀点 | 0.288  表面有轻微蚀点 |
| 06Cr17Ni12Mo2  (316) | 0.152  表面有轻微蚀点 | 0.134  表面有轻微蚀点 | 0.234  表面有轻微蚀点 | 0.285  表面有轻微蚀点 |
| 022Cr17Ni12Mo2  (316L) | 0.075  表面无腐蚀 | 0.021  表面无腐蚀 | 0.153  表面无腐蚀 | 0.065  表面无腐蚀 |
| 06Cr19Ni13Mo3  (317) | 0.063  表面无腐蚀 | 0.017  表面无腐蚀 | 0.141  表面无腐蚀 | 0.052  表面无腐蚀 |
| 019Cr19Mo2NbTi  (444) | 0.028  表面无腐蚀 | 0.017  表面无腐蚀 | 0.070  表面无腐蚀 | 0.15  表面无腐蚀 |
| 备注：1、实验条件，90d，40℃~50℃。  2、实验开展时间为2000年，不锈钢型号以根据国标GB/T 20878-2007更新。  3、[腐蚀速率](http://www.baidu.com/s?wd=%E8%85%90%E8%9A%80%E9%80%9F%E7%8E%87&hl_tag=textlink&tn=SE_hldp01350_v6v6zkg6)＜0.1mm/a(毫米每年)，为完全耐蚀，属优质[不锈钢](http://www.baidu.com/s?wd=%E4%B8%8D%E9%94%88%E9%92%A2&hl_tag=textlink&tn=SE_hldp01350_v6v6zkg6)；  [腐蚀速率](http://www.baidu.com/s?wd=%E8%85%90%E8%9A%80%E9%80%9F%E7%8E%87&hl_tag=textlink&tn=SE_hldp01350_v6v6zkg6)0.1~1.0mm/a之间，尚耐蚀，属一般[不锈钢](http://www.baidu.com/s?wd=%E4%B8%8D%E9%94%88%E9%92%A2&hl_tag=textlink&tn=SE_hldp01350_v6v6zkg6)；  腐蚀速率大于1.0mm/a；为不耐蚀。 | | | | |

304、316奥氏体不锈钢在含Cl-的介质中耐腐蚀性能较差，根据国际上材料耐蚀性按年[腐蚀速率](http://www.baidu.com/s?wd=%E8%85%90%E8%9A%80%E9%80%9F%E7%8E%87&hl_tag=textlink&tn=SE_hldp01350_v6v6zkg6)的分类属一般不锈钢。316L和317奥氏体不锈钢表现出较好的耐Cl-腐蚀性能，属完全耐蚀材料。随着Cr含量的增加及Ti金属的加入，444铁素体不锈钢在酸性介质的条件下耐蚀性能强。

不锈钢接头补口技术使用于油田内部含水原油、污水及注水管道，也可以用以输送含水天然气管道。根据室内实验结果，结合中原油田油井产出液的性质，原油管道、污水管道、注水管道、含水天然气管道以及卫城油田含硫化氢和二氧化碳的管道分别选用相应的不锈钢接头，详见表3-3。

表3-3 不锈钢选型表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 腐蚀环境 | 不锈钢类型 | 型号 |
| 高Cl-含量（除三厂以外的采油厂：原油管道、污水管道，含水天然气管道） | 高Si奥氏体不锈钢或高纯奥氏体不锈钢 | 022Cr17Ni12Mo2 (**316L**)  06Cr19Ni13Mo3(**317**)  022Cr19Ni5Mo3Si2N (**S31500**) |
| 低Cl-含量（注水管道等） | 含Mo的Cr-Ni不锈钢 | 06Cr17Ni12Mo2 (**316**)  022Cr17Ni12Mo2 (**316L**) |
| H2S，CO2酸性环境下Cl-环境（卫城油田管道） | 超纯铁素体不锈钢 | 444、RT1200、RT1802 |

当介质中氯离子含量高时应选用高Si奥氏体不锈钢或高纯奥氏体不锈钢应对不锈钢穿晶SCC腐蚀；对于低浓度氯离子介质可选用含Mo的Cr-Ni不锈钢；针对高Si不锈钢在酸性环境下不耐氯离子腐蚀的问题，可选用超纯铁素体不锈钢。目前，中原油田基本上是按表3-3选择不锈钢接头的。

3.2 施工工艺

3.2.1施工前准备→单根管端焊接不锈钢短节→接口焊接质量检测→内表面预处理→涂料喷涂（覆盖一定长度的不锈钢接头）→涂层固化→涂层检验→现场管段焊接（相应的不锈钢焊材焊接）→管线焊口检测→管线投运。

3.2.2施工前准备

管道内表面处理前应清除钢管及管件内表面的油污、泥土等杂质；有焊缝的钢管应清除焊瘤、毛刺、棱角等缺陷；表面处理过程中，钢管表面温度应高于露点3℃以上，如钢管内壁潮湿，可采用热风或不会使管道变形的加热方法驱除潮气，使内壁干燥。

3.2.3 管端处理

钢管内表面处理后，先在管端焊接80~100mm不锈钢补口接头。管线内防腐补口见图2-1。内防腐层施工完毕后，在现场直接用相应的焊接材料将不锈钢短节进行焊接，无需再采取其他补口措施。

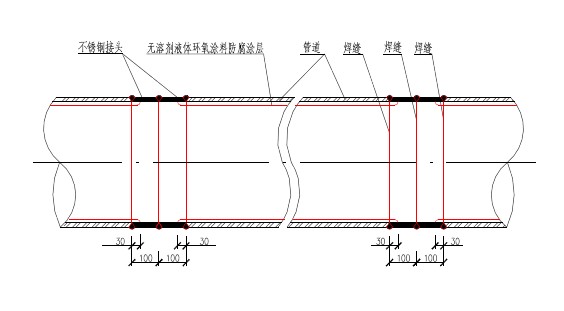


图3-1管线内防腐补口示意图

3.2.4 表面预处理

按照SY/T0407规定的方法进行喷砂除锈。除锈质量等级达到GB/T 8923.1中规定的Sa2.5级，锚纹深度应达到30~60μm。除锈合格后，用清洁、干燥、无油的压缩空气将钢管及管件内部的砂粒、尘埃、锈粉等等微尘清除干净，并在4小时内进行涂敷施工，喷涂前不应出现浮锈，当出现返锈或表面污染时，必须重新进行表面处理。

3.2.5 涂料的配置

严格按照设计说明或产品使用说明书进行涂料配制。配制涂料所用的工具、容器必须干净，涂料开桶前应先倒置晃动或旋转振动，然后开桶并搅拌均匀。

3.2.6 管道内喷涂

按设计的涂层结构进行涂装作业，涂装时间间隔可参照涂料使用说明书，一般以上道漆表干为宜。涂料施工环境温度和湿度应执行涂料产品说明书的要求；在环境温度低于5℃或相对湿度大于85%时不得进行涂敷作业。管道内涂覆采用喷涂方式进行。涂层应覆盖不锈钢短节长度的1/2，并要求涂膜厚薄均匀。全部喷涂完成后，一般需自然干燥5～7个天就可进行质量检查，质量合格后即投产使用。

3.2.7 涂层修补

在质量检验时发现防腐层有漏点、漏涂等缺陷时应进行修补，以提供连续完整的涂层。附着力不合格的防腐层或厚薄严重不均匀移影响到涂层固化的必须进行重涂。涂层修补时严格按原涂层结构和质量要求进行补涂。修补层和原防腐层的搭接宽度不得小于50mm。

**4内喷涂无溶剂液体环氧技术的应用**

喷涂无溶剂液体环氧+管端加焊不锈钢短节补口钢质管线内防腐技术首次应用于2001年大涝坝-雅克拉气田地面建设工程中，在工程上取得了良好的保护效果，自2003年开始已在中原油田所辖的胡庆油田、濮城油田、文留油区、桥口油田、卫城油田等多条原油集输、污水、注水管线上得到推广应用。2013年中原油田全面开展管线安全隐患普查时，发现使用该技术进行内防腐的管线无一条因内腐蚀而穿孔，2014年该技术已在油田推广使用。

表4-1为采用该技术的部分管线运行情况。

表4-1管线运行情况一览表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 管线 | 投运时间 | 运行情况 |
| 1 | 采油二厂北七集油干线 | 2005 | 内防腐层完好，不锈钢接头崭亮如新 |
| 2 | 采油二厂东六集油干线 | 2006 | 内防腐层完好，不锈钢接头崭亮如新 |
| 3 | 采油二厂濮城油田东区及外围集输支线 | 2005 | 内防腐层完好，不锈钢接头崭亮如新 |
| 4 | 采油二厂濮城油田西区集输干线 | 2006 | 内防腐层完好，不锈钢接头崭亮如新 |
| 5 | 六厂马厂油田M9#阀组-M3#阀组集输干线 | 2004 | 内防腐层完好，不锈钢接头崭亮如新 |
| 6 | 六厂马厂油田马23#站-马17#阀组集输干线 | 2005 | 内防腐层完好，不锈钢接头崭亮如新 |
| 7 | 采油五厂胡状联合站至刘20输气干线 | 2007 | 内防腐层完好，不锈钢接头崭亮如新 |
| 8 | 采油五厂庆祖油田输气管网 | 2007 | 内防腐层完好，不锈钢接头崭亮如新 |
| 9 | 采油五厂胡状油田胡19块输油输气干支线 | 2005 | 内防腐层完好，不锈钢接头崭亮如新 |
| 10 | 采油三厂卫东北集输干线卫37-卫38号站 | 2004 | 内防腐层完好，部分不锈钢接口开裂 |
| 11 | 三厂卫一复集输干线卫19号站-卫20号站 | 2004 | 内防腐层完好，部分不锈钢接口开裂 |
| 12 | 采油三厂明19号站-26号站集输支线 | 2004 | 内防腐层完好，不锈钢接头崭亮如新 |
| 13 | 采油一厂文15块集输支线线 | 2009 | 内防腐层完好，不锈钢接头崭亮如新 |
| 14 | 采油一厂文10块集输干线 | 2009 | 内防腐层完好，不锈钢接头崭亮如新 |

自2004年以来，管线运行近十年，未发现该技术保护下的管线发生内腐蚀穿孔的情况，仅有少部分的不锈钢接口开裂，但未造成严重的腐蚀穿孔，经研究发现，采油三厂卫东北卫37-卫38号站集输支线、明19号站-26号站集输支线两条管线内介质Cl-含量较高，该管线内防腐不锈钢接头采用的是0Cr18Ni8（304）不锈钢，该类型不锈钢在耐Cl-腐蚀方面性能较弱。因此出现了部分不锈钢接头开裂情况。而其余采用该技术保护下的钢质管线，均表现出了良好的耐介质腐蚀性能，延长了管道的安全使用寿命，提高了油田的整体效益。

**5 结果与讨论**

（1）无溶剂液体环氧涂料是一种高固份、常温固化的无溶剂环氧防腐涂料。具有附着力强、化学稳定性好、耐磨性高、摩擦系数小等优点，施工方便，具有广泛的应用前景。

（2）不锈钢接头补口属于焊后无补口工艺，该补口技术制作简单，施工方便，使用寿命长，质量可控。

（3）多年的现场应用表明，该技术应用于油田地面管线内防腐，施工简单，质量易于检测，安全可靠，解决了管线内防腐层质量存在隐患的问题，可以认为是一种技术突破。

（4）经过多年的现场施工和使用，整个技术得到了逐步完善，从设计、施工到质量检验均已形成一套完整的方案，具有很广的应用前景。

参考文献

. 龙媛媛. 8种管线内防腐蚀技术在胜利油田的中试应用及性能评价[J]. 材料保护.2007,40(4):53-57

2. 梅奇. 管道液体涂料内涂装工艺技术[J]. 石油工程建设.2006,40(2):39-42