

# 浅析滩海地区管道的防腐涂层与阴极保护

李雪<sup>1\*</sup>, 张存华<sup>2</sup>, 曹伟秋<sup>2</sup>, 刘杰<sup>2</sup>, 郭东红<sup>1</sup>

(1. 中国石油天然气管道工程有限公司天津滨海分公司, 天津 300457;

2. 中国石油天然气管道局, 河北 廊坊 065000)

**摘要:**从滩海地区管道的重要性出发, 简述了滩海地区管道防腐层的一般性能要求及常用类型, 同时对阴极保护方法进行概述, 并论述了影响管道阴极保护的各因素, 指出了管道涂层防护与阴极保护的密切关系。

**关键词:**滩海地区; 涂层保护; 阴极保护

中图分类号: TE83

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2016)11-0210-03

DOI: 10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2016.11.050

## Corrosion coating and cathodic protection of beach areas

LI Xue<sup>1\*</sup>, ZHANG Cun-hua<sup>2</sup>, CAO Wei-qiu<sup>2</sup>, LIU Jie<sup>2</sup>, GUO Dong-hong<sup>1</sup>

(1. China Petroleum Pipeline Engineering Corporation Tianjin Binhai Branch, Tianjin 300457, China;

2. CNPC China Petroleum Pipeline Bureau, Langfang 065000, China)

**Abstract:** Base on the importance of beach areas pipeline, the requirements for coating protection and typical coatings for beach areas are briefly introduced. The methods for cathodic protection are also described. Various factors affecting pipeline cathodic protection are analyzed. The relationship between pipeline coating protection and cathodic protection is pointed out as well.

**Key words:** beach areas; coating protection; cathodic protection

油气输送是油气资源开发的重要组成部分, 随着我国石油行业水平的提高, 油气开采的方向逐渐从陆地转移到海洋。其中, 滩海地区管道的工作环境较陆地更加复杂恶劣, 腐蚀严重影响着管道的使用寿命, 使其损坏率逐年增大, 泄漏和断裂破坏事故逐渐增多。油气泄漏不但会造成油气田停产, 影响用户的正常使用, 而且将导致生态环境的污染。

天津港-华北石化原油管道工程管道全长 188 km, 管径 D508 mm, 其中 27 km 敷设在鱼塘虾池段。全线设汇鑫油库首站、青县中间热泵站和任丘合建站 3 座工艺站场以及 8 座阀室(包括 RTU 阀室 5 座、手动阀室 3 座), 设置 2 座线路阴极保护站。

本文中结合天津港-华北石化原油管道工程, 针对滩海地区管道特点, 分析该特殊地理环境下管道涂层与阴极保护的关系。

## 1 滩海地区管道防腐层

### 1.1 滩海地区管道防腐层的一般要求

高质量的外防腐层是滩海地区管道寿命保证的重要措施, 一般应具备下列特性。

(1)有良好的绝缘性, 高的涂层电阻能保证管道防腐层泄漏电阻大, 使阴极保护电流分布更均匀, 管道沿线得到更充分的阴极保护。

(2)化学稳定性好, 耐化学和微生物腐蚀, 滩海地区环境存在微生物多, 细菌多, 有的细菌或微生物能对管道防腐层进行降解, 使防腐层的有效厚度降低。

(3)较低的吸水率, 滩海地区防腐层的吸水渗透包括阴极保护电位梯度下的电渗透、毛细现象引起的扩散和渗透, 其结果是涂层与基面剥离或分层<sup>[1]</sup>。

(4)抗阴极剥离, 在管道施加阴极保护时, 当管道的保护电位达到析氢电位时, 涂层与钢管界面有氢气形成, 氢气鼓泡使涂层和管道剥离。

(5)良好的黏附性, 涂层必须与钢管表面有良好的黏结力, 以抵抗管道安装时承受的剪切力。剪切力可从混凝土配重层通过涂层传递到管道本身, 使管道移动就位, 因此要求涂层有足够的黏结剪切强度。另外, 涂层与配重混凝土层之间必须要有足够的黏结阻力, 以防止混凝土在安装或运行时滑移。

(6)易于现场补口、补伤, 滩海地区管道施工具有工期紧凑、施工质量要求高的特点, 因此与主管匹配的现场接头防腐层应便于施工且质量可靠<sup>[2]</sup>。

除以上几点外, 滩海地区管道防腐层还要求抗冲击性及抗弯曲性优良, 耐温、耐老化性, 涂料来源广泛等特点。

## 1.2 滩海地区管道防腐层的常用类型

滩海地区管道沿线腐蚀环境恶劣,对管线外防腐层的质量要求很高。根据国内外工程经验和参考规范,适用的滩海地区管道外防腐涂层主要有熔结环氧粉末(FBE)涂层、三层PE等防腐结构。

### (1) 熔结环氧粉末(FBE)涂层

环氧粉末和钢表面可以产生牢固的化学键结合,环氧粉末在高温钢管表面熔融,固化形成的防腐层对钢铁表面具有极强的黏结力,形成了以黏结力为性能支点的FBE防腐层。

FBE防腐层具有优异的黏结力、防腐层坚牢、耐腐蚀和耐溶剂性,同时和阴极保护配套性好,对保护电流几乎无任何屏蔽作用。但是,FBE防腐层吸水率较大,耐湿热性能有限,抗冲击损伤能力也比较有限。

FBE防腐层应用于管道工业的历史已经近40年,其优异的防腐性能得到了验证。虽然有报道指出,管道长期运行后,有的FBE防腐层出现失效,防腐层内部产生气疹,失去和钢管的黏结,防腐层下产生阴极保护碱性沉积物,但管线由于有效的阴极保护而免受腐蚀危害。据此,可认为FBE防腐层是“失效-安全”防腐层,而其他常见管道防腐层多数都会因为防腐层失效产生阴极屏蔽而导致腐蚀危害。

### (2) 三层PE防腐层

三层PE防腐层是近些年从国外引进的先进的防腐技术,其结构由以下3层组成:底层为熔结环氧,中间层为胶黏剂,面层为挤塑聚乙烯。

在三层结构中,环氧底漆的主要作用是形成连续的涂膜,与钢管表面直接黏结,具有良好的耐化学腐蚀性和抗阴极剥离性能,同时与中间层胶黏剂的活性基团反应形成化学黏结,保证整体防腐层在较高温度下具有良好的黏结性。

中间层通常为共聚物黏结剂,其主要成分是聚烯烃,共聚物胶黏剂的极性部分官能团与环氧底漆的环氧基团可以反应生成氢键或化学键,使中间层与底层形成良好的黏结;而非极性的烯烃部分与面层聚乙烯具有很好的亲合作用,所以中间层与面层也具有很好的黏结性能。

聚乙烯面层的主要作用是起机械保护与防腐作用,与传统的二层结构聚乙烯防腐层具有同样的作用。

三层PE防腐层其最常见的失效形式是应力开裂失效。螺旋钢管或直缝焊管有一道或多道成型焊

缝,在三层PE防腐层加工过程中,由于焊缝余高的存在使得焊缝处的防腐层比其他部位偏薄。在防腐层冷却成型过程中,由于厚度差异产生了冷却收缩残余应力。因此,三层PE防腐层预制时,要求焊管的焊缝余高高低,并平滑过渡。

### (3) 现场接头补口防腐

滩海地区管道防腐层补口质量的好坏直接影响着管道的服役寿命,一般情况下,管体的防腐层在工厂预制,防腐质量能够得到保障。钢管之间的现场接头补口防腐需在铺管船上完成,其防腐质量受施工机械水平、操作人员素质、环境条件的制约。

根据现场接头补口材料应与管体防腐层匹配的原则,对于三层PE防腐层或FBE防腐层,可选用的补口材料有烯烃热收缩材料,液体环氧/聚氨酯材料等。

近些年来,通过对西气东输管道等国内重点管线的PE热收缩带补口材料进行开挖抽检,发现局部开挖点有防腐层失效现象,常见的失效形式有:密封失效,热收缩带与管体防腐层剥离<sup>[3]</sup>,如图1所示;环氧底漆涂装失效,环氧底漆和热收缩带整体与



图1 密封失效



图2 环氧底漆涂装失效



图3 热收缩带破损

钢表面脱开,如图 2 所示;热收缩带破损严重,热收缩带折皱、穿透,如图 3 所示。

通过分析发现,热收缩带失效的主要原因有:

①补口安装时钢表面处理不符合要求,表面盐分含量高;②环氧底漆湿膜安装时涂装质量差,无法进行电火花检漏;③管体火焰预热时产生氧化皮,预热温度不够,热收缩带的胶层未充分熔融。

基于以上原因,目前滩海地区管道项目推行了环氧底漆采用干膜安装,并进行电火花检漏,以保证环氧底漆安装质量。同时推广了中频加热技术,使管体预热温度高,管体表面无氧化皮产生,保证了热熔胶充分熔融。

## 2 滩海地区管道阴极保护

阴极保护有牺牲阳极和外加电流 2 种。考虑到天津港—华北石化原油管道长 188 km,同时考虑到本工程管道经过地区人口稠密、地下金属构筑物密集,且 27 km 管道处于滩海地区,综合这些因素,采用强制电流法进行保护较为经济。对于管道敷设中特殊部位的保护,应采用牺牲阳极进行补充加强保护。

### 2.1 阴极保护长度计算

本工程管道选择了三层 PE 与环氧粉末防腐涂层结构,性能优异,其计算参数见表 1。

表 1 阴极保护计算参数

计算参数	数值
管道防腐绝缘层电阻/(\$\Omega \cdot m^2\$)	\$\geq 100000\$
保护电流密度/(\$\mu A \cdot m^{-2}\$)	5 ~ 12
保护电位/V	-0.85 ~ -1.20
自然电位/V	-0.55
钢管电阻率/(\$\Omega \cdot mm^2 \cdot m^{-1}\$)	0.224

根据《埋地钢质管道阴极保护技术规范》<sup>[4]</sup> GB/T 21448—2008 及本工程相关设计参数,对阴极保护长度进行了计算,计算如下:

$$2L_p = \sqrt{(8 \times \Delta V) / (\pi \times D_p \times J_s \times R_s)} \quad (1)$$

$$R_s = \rho_l / [\pi(1000D_p - \delta)\delta] \quad (2)$$

式中, \$L\_p\$ 为单侧保护管道长度, m; \$\Delta V\$ 为极限保护电位与保护电位之差, V; \$D\_p\$ 为管道外径, m; \$J\_s\$ 为保护电流密度, \$A/m^2\$; \$R\_s\$ 为管道线电阻, \$\Omega/m\$; \$\rho\_l\$ 为钢管电阻率, \$\Omega \cdot mm^2/m\$; \$\delta\$ 为管道壁厚, mm。

由此,得出了管道阴极保护的最大保护长度,结

果见表 2。

表 2 阴极保护计算结果

保护电流密度/(\$\mu A \cdot m^{-2}\$)	单侧保护长度/km	双侧保护长度/km
5	66.15	132.29
8	52.29	104.59

### 2.2 阴极保护站设置

根据阴极保护长度计算,结合本工程实际的工艺场站和阀室的设置情况,本工程共设置 2 座线路阴极保护站,具体分布见表 3。

表 3 阴极保护站设置

阴保站编号	阴保站名称	里程/km	间距/km
CPS-1	2# 监控阀室	30.3	
CPS-2	6# 监控阀室	125.5	95.2

## 3 结语

良好的管道涂层防护与有效的阴极保护是确保滩海地区管道寿命的有效手段,随着管道服役寿命增加,管道的涂层质量下降,涂层破损率也相应增加,所需要的阴极保护电流密度增大。

根据工程经验,影响滩海地区管道涂层破损率的因素主要包括钢管本体的防腐层质量及环焊缝补口的质量。对于钢管本体防腐层,要充分考虑到防腐层在管道运输、铺管等施工过程中造成的机械损伤。适当增大防腐层的厚度对于降低涂层破损率是有益的;对于环焊缝补口,在选择补口材料时要考虑到其与钢管本体防腐结构的配套性,补口材料的吸水率、剥离强度等重要指标。

因此对于滩海地区管道,建议以提高涂层质量出发点,选择优异的防腐层,例如三层 PE 或其他防腐层,同时辅以牺牲阳极阴极保护,保证管道服役寿命。

### 参考文献

- [1] 朱一林,尹航. 海底油气管道防腐层的选择[J]. 焊管, 2005, 28(4): 32-33.
- [2] 李维贤,李瑞莲. 冀东油田腐蚀与防护技术研究及应用[J]. 石油天然气学报, 2005, 27(6): 965-967.
- [3] 陈洪源,刘玲莉,赵君,等. 三层 PE 管道热收缩带失效原因[J]. 腐蚀与防护, 2010, (2): 154-157
- [4] 中国石油天然气管道工程有限公司. GB/T 21448—2008. 埋地钢质管道阴极保护技术规范[S]. 北京:中国计划出版社, 2010. ■