

# 防腐组合技术在咸宁高压长输燃气管道上的应用

□ 中石油昆仑燃气有限公司湖北分公司(430077)王兆法

**摘要:** 本文分析了3PE技术和阴极保护组合防腐技术在埋地钢质管道土壤腐蚀中的保护机理,并对组合防腐技术在咸宁高压长输燃气管道工程中应用情况作了介绍和总结。

**关键词:** 阴极保护技术 埋地管道 3PE

## 1 前言

咸宁高压长输燃气管线工程输气管道起点为武汉市江夏区五里界(忠武线武汉东计量站),终点在咸宁市官埠镇,跨过武汉和咸宁两地,全长59.303km,全部埋地敷设。设1座城市门站(咸宁)、1座截断阀室(山坡)和2座分输阀室(乌龙泉和横沟桥)。管道穿越铁路1次;穿越鱼塘4次;穿越中型河流1次;穿越树林1次;穿越省道9次;分为9条定向钻,7条顶管,共计16次穿越。线路设计压力为6.3MPa。该管线距离长、穿越地形复杂、输送介质危险,一旦发生泄漏或断裂就会对其周围的环境和人员产生严重的危害。因此做好管道防腐工作提高管道的本质安全水平对于社会稳定、企业安全生产意义重大。

## 2 防腐组合技术原理

本工程实施了强制电流阴极保护技术和3PE防腐组合技术。

3PE防腐层由环氧粉末、胶粘剂、聚乙烯组成,是采用环氧粉末涂敷打底、胶粘剂及聚乙烯PE热缠绕或热包敷形成的。3PE防腐层被称为“完美涂层”,综合了环氧粉末和聚乙烯的优点,其环氧粉末底层和管体结合牢固,中间胶粘剂层能够为底层和

外层提供理想的粘结力,PE外层完好<sup>[2]</sup>。这种防腐层的优点是绝缘电阻高,黏结力强,耐冲击、耐磨损等机械性能良好,耐植物根茎穿透,化学稳定性好,能够大大增加管道绝缘电阻,从而加大管道阴极保护长度,减小阴极保护电流密度,降低阴极保护系统的安装和运行费用,而适合于恶劣环境,如石方段、盐碱滩地等。

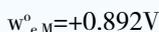
强制电流阴极保护技术是在回路中串入一个直流电源,借助辅助阳极,将直流电通向被保护的金属,进而使被保护金属变成阴极,实施保护,当管道防腐层质量良好时,一个阴极保护站的保护范围可达数十千米。

地下长输管道外加电流阴极保护的电化学反应过程如下:

阴极反应过程:



阳极反应过程:





对于阴极反应,当保护电位在 $-0.85V \sim -1.165V$ 时,过程(1)为唯一阴极电化学反应,当保护电位在 $-1.165V \sim -1.5V$ 时,过程(1)、(2)均为阴极电化学反应。

氢的产生因其机械作用加速了缺陷处的阴极剥离,另一部分氢则渗入金属体,使钢材产生氢脆。通过上述分析可以看出,耐阴极剥离能力较差的涂层(如沥青玻璃布防腐结构、PE胶带等)的最负保护电位应比耐阴极剥离能力较好的涂层(如环氧粉末、三层PE复合结构等)正,而耐阴极剥离能力最强的涂层,其保护电位不能比大量析氢电位负。

## 2 防腐蚀组合技术应用

### 2.1 咸宁沿线复杂的腐蚀环境

咸宁天然气输气管道,经武汉至咸宁路段,该地区属我国南方地区,常年多雨,土壤湿润,酸碱、盐物质丰富,钢制管道在此类土壤中极易产生腐蚀。经调查,沿线土壤 $0m \sim 2m$ 的腐蚀等级为中腐蚀,土壤电阻率在 $8.4\Omega \cdot m \sim 35.9\Omega \cdot m$ 之间,其中, $1m \sim 3m$ 平均值为 $68.7\Omega \cdot m$ , $5m \sim 8m$ 平均值为 $73.2\Omega \cdot m$ 。从平均值看,腐蚀性一般。但局部管段,面临严重腐蚀威胁。本项目管道沿线全部是丘陵地带,碎石土多。且穿越湖泊、沟渠较多,不利的环境对管道的外防腐层有破坏的风险;本项目输气管道需要穿越武广快速铁路1次、正在施工的武咸城际铁路1次、天子山大道1次、纸咸公路2次、咸宁外环1次、咸贺公路1次、仙人湖湖汉1次、小型沟渠42次、一般乡镇公路17次。管线面临杂散电流(来源于电能和宏观原电池)的腐蚀。

### 2.2 阴极保护设计计算

计算参数:三层结构PE护层电阻率: $10\,000\Omega/m^2$ 。

最小保护电位: $-0.85V$ 。

最大保护电位: $-1.25V$ 。

钢管电阻率: $0.166\Omega \cdot mm^2/m$ 。

土壤电阻率: $68.7\Omega \cdot m$ 。

自然电位: $-0.55V$ 。

计算公式:

(1) 阴极保护站的保护长度按如下公式计算

$$2L = \sqrt{\frac{8\Delta V_L}{\pi \cdot D \cdot J_s \cdot R}}$$

$$R = \frac{PT}{\pi(D-\delta)\delta}$$

式中:L——单侧保护长度,m;

$\Delta V_L$ ——最大保护电位与最小保护电位之差,V;

D——管道外径,m;

$J_s$ ——保护电流密度, $A/m^2$ ;

R——单位长度管道纵向电阻, $\Omega/m$ ;

PT——钢管电阻率, $\Omega \cdot mm^2/m$ ;

D——管道外径,mm;

$\delta$ ——管道壁厚,mm。

(2) 保护电流按如下公式计算

管道保护电流:

$$2I_0 = 2\pi D \cdot J_s \cdot L$$

其中, $I_0$ 为单侧保护电流,A。

本工程中管线保护长度为 $54.19km$ ,保护电流密度为 $0.008mA/m^2$ ,计算保护半径为 $57.7km$ ,只需设置1座阴极保护站就可以保护到整段管道。电流为 $1.1A$ ,因此选用 $10A/20V$ 恒电位仪。将阴极保护站在武汉东计量站内。由计量站提供两路 $380V/220V$ 回路作为阴极保护站的电源。

### 2.3 3PE外防腐层的选择及性能

第一层环氧粉末的主要作用是形成联结的涂膜与钢管表面直接黏结,具有很好的耐化学腐蚀和抗阴极剥离性能;第二层聚烯烃共聚物,它作为胶粘剂的作用是连接底层与外防护层;第三层(防护层)聚烯烃。如低密度聚乙烯、高/中密度聚乙烯,或改性聚丙烯(PP)。3PE防腐利用了环氧类涂层高抗阴极剥离特性和高密度聚乙烯类涂层高抗机械损伤特性,使用共聚物黏合剂在高温下将两者牢固地结合在一起,使涂层在具有高绝缘特性的同时,既保持了高的抗机械损伤能力,又具较强的抗阴极剥离性能。3PE防腐使用温度在 $-50^\circ C \sim 80^\circ C$ 之间,抗冲击强度 $150N/cm$ 以上,抗剥离强度超过 $150N/cm$ ,由于外层的高密度聚乙烯添加了各种稳性剂、抗氧剂和适量的炭黑,使涂层具有优良的户外特性,使用寿命超过30年。

### 2.4 防腐蚀组合系统的构成

#### 2.4.1 3层PE外防腐层

其结构为:环氧粉末涂层 $\geq 80\mu m$ ,中间胶粘剂

170  $\mu\text{m}$  ~ 250  $\mu\text{m}$ ，面层为聚乙烯。DN400mm的钢管普通级防腐层厚度 $\geq 2.2\text{mm}$ ，焊缝部位的防腐层厚度不宜小于2.5mm；加强级防腐层厚度 $\geq 2.9\text{mm}$ ，焊缝部位的防腐层厚度不宜小于2.7mm。

#### 2.4.2 外加电流阴极保护系统

(1) 辅助阳极。经过计算和论证，本工程的辅助阳极采用预包装式含铬高硅铸铁规格，型号为 $\phi 50\text{mm} \times 1500\text{mm}$ ，采用垂直浅埋方式。阳极自带16mm<sup>2</sup>电缆，避免中接头。阳极引出线与阳极钢芯的接触电阻小于0.01 $\Omega$ ，拉脱力数值大于阳极自身质量的1.5倍。消耗率小于0.5kg/(A·a)，属于微溶型阳极，设计使用寿命可达20年以上。阳极填料采用焦炭粉，厚度为100mm，焦炭最大粒径小于15mm，含碳量大于85%。在我国各地有较多的使用先例，安全可靠。阳极地床采用2m规格预包装含铬高硅铸铁阳极20个。

(2) 直流电源。管线保护长度为54.19km，保护电流密度为0.008mA/m<sup>2</sup>，保护电流为1.1A，因此选用10A/20V恒电位仪。本工程采用恒电位仪作为直流电源，恒电位仪为一个控制台加上一备一用两台仪器。

(3) 参比电极。检测、监控用参比电极选用长效饱和Cu/CuSO<sub>4</sub>参比电极。该参比电极具有极化小，稳定性好，不易损坏，使用寿命长等特性，并能适用于所处的环境介质，是目前最常用的永久性参比电极。工程共安装参比电极2个。

(4) 测试桩。为了保证阴极保护能收到好的效果，须设置测试桩定期检测阴极保护电参数，分析检测结果，并根据结果进行调整。本工程中测试桩包括：电位测试桩：汇流点和每千米处设置1支；电流测试桩：一般5km~8km设1支；穿越套管电位测试桩：每一套管处设1支；绝缘接头测试桩：每一处绝缘连接处设1支；站内测试桩：按需要数量设置；跨接测试桩：与其它管道、电缆等构筑物相交处设1支。

### 3 结论

(1) 本工程采用的组合防腐蚀技术是确保高压长输天然气管线安全运营的基础，体现了安全第一的思路。由于钢质管道穿越河流、山丘、铁路、公路，

大都处于复杂的土壤环境中，且高压运行，一旦管道被腐蚀穿孔，就会造成污染环境，并可能引起火灾，造成危害。

(2) 最新的3PE防腐技术与高科技阴极保护技术相组合是目前最佳的防护手段。本工程现已交付使用，保护效果良好，实现了长输管线系统耐久性、安全性和经济性的目标。

(3) 一旦投入使用，就应该加强系统的运行管理，以确保阴极保护系统持续有效，及时发现和处理系统工作过程中的各种异常现象并排除故障。

#### 参考文献

- 1 韩汉清. 埋地管线阴极保护系统综述. 城市燃气, 1992; 2: 24-26
- 2 汪令辉, 蒋学林. 3PE防腐在大牛地气田地面建设工程中的应用. 科技情报开发与经济, 2010; 20(31): 190-192
- 3 晋爱民. 外加电流阴极保护技术在酸性气田工程中的应用. 中国化工贸易, 2012; 10: 106-108
- 4 孙波浪. 阴极保护技术在埋地管道中的应用. 石油和化工设备, 2011; 14: 66-68

## 欢迎使用《城市燃气》投稿系统

**简  
单**

在“燃气在线” ([www.gas800.com](http://www.gas800.com)) 网站首页，点击《城市燃气》在线投稿图标即可。

**方  
便**

专为作者设计的“稿件查询”系统，让作者可以随时查询到所投稿件的审核状态。

投稿系统网址：[www.gas800.com](http://www.gas800.com)