

## 极化电位对埋地钢质管道涂层剥离的影响

刘征<sup>1</sup>, 龚敏<sup>1</sup>, 熊娟<sup>2</sup>, 郑兴文<sup>1</sup>, 林修洲<sup>1</sup>, 卢丽娟<sup>1</sup>, 张婷<sup>1</sup>

(1. 四川理工学院 材料与化学工程学院, 自贡 643000; 2. 西南油气田分公司输气管理处, 成都 610500)

**[摘要]** 为了研究提高埋地钢质管道阴极保护电位对管道涂层剥离的影响, 对退役的埋地管道提高保护电位, 收集管道的通电电位和断电电位数据, 并测量涂层的阴极剥离距离。结果表明: 当断电电位达到 $-1.2\text{ V}$ 时, 管道的通、断电电位绝对值并不一定随着距离的增加而减小; 此外, 不同防腐涂层管道的阴极剥离距离不同。

**[关键词]** 埋地钢质管道; 涂层; 阴极保护; 阴极剥离

**[中图分类号]** TG174.41; TG172.4

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1001-3660(2013)01-0032-03

## Effect of Polarization Potentials on Coating Stripping of Buried Steel Pipelines

LIU Zheng<sup>1</sup>, GONG Min<sup>1</sup>, XIONG Juan<sup>2</sup>, ZHENG Xing-wen<sup>1</sup>, LIN Xiu-zhou<sup>1</sup>, LU Li-juan<sup>1</sup>, ZHANG Ting<sup>1</sup>

(1. Material and Chemical Engineering Department, Sichuan University of Science & Engineering,

Zigong 643000, China; 2. Oil and Gas Field Company Management of Southwest, Chengdu 610500, China)

**[Abstract]** In order to study the effect of cathodic protection potential on coating stripping, the protection potential was improved, the on potential and instant-off potential data of buried pipeline were collected, the distance after coating stripping was measured. The results show that when the instant-off potential is  $-1.2\text{ V}$ , the on potential and instant-off potential decrease with the increase of distance, but at some damage points this rule can not be met to the absolute value of the on potential and instant-off potential. The stripping distance for different anticorrosive coating pipelines is not the same.

**[Key words]** buried steel pipeline; coating; cathodic protection; cathodic delamination

SY/T 0036—2005《埋地钢质管道强制电流阴极保护设计规范》中指出, 对于不同的保护涂层, 推荐的最大保护电位不同, 如石油沥青覆盖层为 $-1.5\text{ V}$  (相对于饱和  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$  参比电极, 下同), 环氧粉末涂层为 $-2.0\text{ V}$ 。对于最大保护电位的确定, 国内研究较少, 特别是针对长输埋地钢质管道。笔者所在项目组对四川西南地区两条退役管线进行现场实验, 使保护电位比管道正常运行时更负 (国内较统一的认识是 $-1.70\text{ V}$  为有害剥离的始点,  $-1.50\text{ V}$  为安全值<sup>[1-3]</sup>), 研究管道所能加载的最大保护电位及实验保护电位对管道的保护状态和涂层的剥离情况, 以期对管道保护提供参考。

### 1 腐蚀调查方案及测试内容

依据 SY/T 0087—2006《钢制管道及储罐腐蚀评价标准 埋地钢制管道外腐蚀直接评价》和 GB/T 21246—2007《埋地钢质管道阴极保护参数测量方

法》, 对 A 和 B 两条退役管线进行测量和数据收集。

A 输气管道于 1977 年投入使用, 服役 30 多年后退役。管道规格为  $\phi 426\text{ mm} \times 8\text{ mm}$ , 材质为 16Mn 钢, 实施石油沥青玻璃布加强级涂层和强制电流阴极保护联合防腐。此次实验选取 A1 阴极保护站和 A2 阴极保护站所保护的管线, 外防腐层材质主要为石油沥青涂层和 3PE 防腐层。3PE 防腐层部分在 A2 阴极保护站附近, 是 2006 年进行管线维修时替换了石油沥青涂层, 长约 1.5 公里。石油沥青涂层管道与 3PE 涂层管道相连的部位是转角处, 其防腐涂层是热伸缩带。

B 输气管道于 1967 年投入使用, 服役 40 多年后退役。管道规格  $\phi 529\text{ mm} \times 6\text{ mm}$ , 材质为 16Mn 钢, 实施石油沥青玻璃布加强级涂层和强制电流阴极保护联合防腐。

利用多频管中电流检测方法 (PCM), 对两条管线中三个阴极保护站所保护的部分进行检测, 寻找漏点, 选取并确定 9 个开挖地点。对管道破损点附近的土壤环境、管道通断电电位和破损点涂层剥离情况进行调

**[收稿日期]** 2012-09-19; **[修回日期]** 2012-09-24

**[作者简介]** 刘征 (1987—), 男, 湖南郴州人, 硕士生, 主攻管道的阴极保护。

**[通信作者]** 龚敏 (1963—), 女, 四川自贡人, 硕士, 教授, 主要研究方向为腐蚀电化学及控制技术。

查分析<sup>[4-7]</sup>,以研究提高后的保护电位对埋地钢质管道的保护效果以及对涂层剥离的影响。

2 结果与分析

2.1 退役管道所处的土壤环境

对 9 个开挖点的土壤进行电阻率测定,对破损点附近的土壤进行含水量、无机盐总量(均以质量分数计)和 pH 值测定<sup>[8-9]</sup>,以判断退役管道附近土壤的腐蚀性,结果见表 1。从表 1 数据可知,退役管道所处的土壤环境中含水量和含盐量较高,电阻率较小<sup>[10]</sup>,pH 值较大,说明土壤的腐蚀性较高。

表 1 土壤理化性质

Tab. 1 The physicochemical properties of soil

线段	编号	电阻率 /(Ω·m)	含水量 /%	无机盐总量 /%	pH 值
A1	1	18	25.32	0.35	10.098
	2	44	11.32	0.35	9.056
	3	49	19.51	0.37	9.348
A2	1	42	17.45	0.28	8.015
	2	49	12.88	0.22	7.967
	3	43	14.55	0.17	7.864
B	1	54	53.33	0.18	8.096
	2	66	21.26	0.12	7.332
	3	66	15.66	0.27	7.511

用荧光衍射仪对破损点的腐蚀产物和附近土壤进行成分分析,发现腐蚀产物中的钙元素含量是附近土壤中的 4 倍左右,腐蚀产物中的铁元素含量却低于附近土壤。这说明保护电位过高时,涂层破损点发生了析氢反应,渗透进涂层的水发生分解,生成的 OH<sup>-</sup>与土壤中 Ca<sup>2+</sup>反应生成氢氧化钙<sup>[11-12]</sup>,同时阳极氧化反应生成的铁离子以其它各种化合物的形式流失到附近的土壤中。分析中还发现,腐蚀产物中的 S 元素含量比土壤中高,说明土壤中的微生物<sup>[13]</sup>可能也参与了管道的腐蚀反应。

2.2 破损点处的通/断电电位

依据 GB/T 21246—2007 测定各破损点的通、断电电位,即通电 12 s,断电 3 s,测 3 次,取算数平均值,结果见表 2。

从表 2 的数据可知,退役管线破损点的通电电位都超过了 SY/T 0036—2005 中对石油沥青、环氧粉末涂层推荐的最大保护电位,并且满足 NACERP 0169 中“在通电的情况下,埋地钢铁结构最小保护电位为 -0.85 V 或更负”的要求,说明管线都处于充分的阴极极化保护状态。当使 A1 站点通电电位为 -3.40 V, A2 站点通电电位为 -6.25 V, B 站点通电电位为 -4.63 V

时,这三个阴极保护站附近破损点的断电电位都在 -1.2 V 左右,也就是在析氢电位附近。

表 2 破损点的通断电电位

Tab. 2 The on potential and instant-off potential of damaged points

管线	站点	编号	管线深度 /m	距离 /m	通电电位 /V	断电电位 /V
A	A1	1	1.2	50	-3.38	-1.28
		2	0.7	200	-2.22	-0.99
		3	0.5	1500	-2.65	-0.99
A	A2	1	0.5	900	-6.20	-1.25
		2	0.6	990	-6.20	-1.25
		3	0.7	2100	-6.11	-1.19
B		1	1.3	100	-3.97	-1.06
		2	1.4	2990	-3.08	-1.26
		3	0.6	5200	-2.71	-1.20

一般而言,在涂层无破损点的理想阴极保护状态下,管道各处随着与通电点距离的增加,通/断电电位的绝对值减小。但在实际测试过程中发现,通、断电电位的变化并未严格遵循此规律。例如: B 站点段的 2 号破损点的断电电位绝对值比 1 号和 3 号破损点的大; A1 站点段的 3 号破损点的通电电位绝对值比 2 号破损点的大; A2 站点段的 1 号和 2 号破损点的通、断电电位绝对值均一样; A1 站点段的 2 号和 3 号破损点的断电电位绝对值一样。不过, A1 站点段的断电电位和 A2 站点段的通、断电电位变化情况大体上遵循此规律。出现这种情况跟各破损点所处土壤环境和破损点的数量有关,涂层破损越严重,从管道向土壤中流散的电流就越大,从而引起各破损点通、断电电位的波动变化。

3 破损点涂层剥离情况

测定涂层破损点的粘结力及阴极剥离距离。测粘结力时,用刀在防腐层上沿环向划开 10 mm 宽的带,然后用弹簧秤与管壁成 90°角拉开,拉开速度应不大于 300 mm/min<sup>[14]</sup>,在拉开防腐层的过程中读数,若管道防腐层的粘结力 ≥ 100 N/cm<sup>[15]</sup>,则说明涂层与基体的结合很好,没有发生阴极剥离。测阴极剥离距离时,以破损点为中心,用小刀沿 360°圆周的八个等分向外划割涂层,要求划透防腐层,露出基体,划割距离至少为 5 cm,再用游标卡尺对破损点处的剥离距离进行三次测量,取平均值。测定结果见表 3。

石油沥青涂层管道由于服役时间很长,三布三油的涂层结构大都已经分层,玻璃布之间的粘结力小,使得破损点处的涂层可以整块剥离(见图 1),加之表面

表3 涂层的粘结力与剥离距离

Tab.3 The cohesive force and stripping distance of coatings

涂层	粘结力/(N·cm <sup>-1</sup> )	剥离距离/cm
热伸缩带	40	0.6~1.6
3PE	150	0.8~1.3

的石油沥青已经脆化,用手一捻即碎<sup>[16]</sup>,所以无法测量粘结力及剥离距离。

在涂层为热伸缩带和3PE的管道上制造人为缺陷,一个月后再次开挖,发现热伸缩带缺陷处裸露的基体得到了很好的保护,表面没有蚀点或蚀坑。对因水渗进涂层发生缝隙腐蚀<sup>[17]</sup>的区域进行测量,测得剥离



图1 石油沥青涂层剥离情况

Fig.1 Coating stripping of petroleum asphalt



图2 热伸缩带剥离情况

Fig.2 Coating stripping of thermal expansion belt



图3 3PE涂层剥离情况

Fig.3 Coating stripping of 3PE

## 4 结论

在实际的管道阴极保护管理中,会随着管道服役时间的延长而提高保护电位,以使管道得到充分的保护。当断电电位在析氢电位(-1.2 V)附近时,会引起破损点周围的涂层发生阴极剥离,继而造成管道的穿孔腐蚀。在此次实验中发现,防腐涂层不同的管道,其破损处的阴极剥离距离不同,三种涂层的抗阴极剥离能力由大到小依次为3PE涂层>热伸缩套涂层>石油沥青涂层。要使管道得到充分保护,在提高保护电位的时候,最好根据实际情况测试确定其保护电位。

### [参考文献]

- [1] 涂明跃,葛艾天. 浅谈3层PE管道阴极保护电位对防腐层阴极剥离的影响[J]. 全面腐蚀控制,2008,22(6):41—43.
- [2] 杨印臣. 埋地钢质管道最大保护电位的探讨[J]. 材料保护,2007,40(12):67—69.
- [3] 张其滨,刘金霞,赫连建峰,等. 管道3PE涂层的阴极剥离性能研究[J]. 腐蚀与防护,2006,27(7):331—333.
- [4] 王亚平,李志,张艳. 洪湖—荆门原油输送管道腐蚀调查评估[J]. 材料保护,2006,39(11):76—77.
- [5] 龚敏,张婷,熊娟,等. 油气运输管道防腐层的抗阴极剥离性能[J]. 表面技术,2012,41(1):30—32.
- [6] 潘杰,张明举,虞庆文,等. 快速查找埋地管道防护层破损点仪器选择与检测方法比较[J]. 腐蚀与防护,2001,22

距离为0.6~1.6 cm。对缺陷周围的涂层进行翘剥,如图2所示,发现裸露基体上的底漆都附在表面涂层上,底漆与基体的粘附力为40 N/cm,与SY/T 0413标准中“粘附力应大于等于100 N/cm”的要求相差很大,说明此缺陷处的阴极剥离比较严重<sup>[18]</sup>。

对3PE涂层缺陷处进行剥离,对因水渗透入涂层发生阴极剥离的区域进行测量,测得剥离距离为0.8~1.3 cm。对缺陷周围的涂层进行翘剥,如图3所示,发现缺陷处附近的底漆都附在管体上。底漆与基体的粘附力<sup>[19]</sup>为150 N/cm,达到SY/T 0413标准规定的粘结力要求。同时,对底漆进行翘剥也比较困难。这说明3PE涂层破损点处的阴极剥离较轻微。

(5):218—219.

- [7] 王光雍,王海江,李兴谦,等. 自然环境的腐蚀与防护[M]. 北京:化学工业出版社,1997.
- [8] NY/T 1121.16—2006,《土壤检测第16部分:土壤水溶性盐总量的测定》[S].
- [9] NY/T 1121.16—2006,《土壤检测第2部分:土壤pH值的测定》[S].
- [10] 曲良山,金名惠. 油田埋地输气管道的腐蚀检测、评价及原因分析[J]. 油气田地面工程,2005,24(2):51—52.
- [11] 韩兴平. 阴极保护有效性评价技术的应用研究[J]. 全面腐蚀控制,2002,16(5):10—15.
- [12] 李强,文唤成,胡彩荣,等. 土壤pH值的测定国际国内方法差异研究[J]. 土壤,2007,39(3):488—491.
- [13] 王芷芳. 土壤的腐蚀性调查及其评价[J]. 化工腐蚀与防护,1997(4):17—20.
- [14] SYJ 4014—93,《埋地钢质管道聚乙烯胶粘带防腐层施工及验收规范》[S].
- [15] SY/T 0413,《埋地钢质管道聚乙烯防腐层技术标准》[S].
- [16] 李铁城,陈健峰,刘志刚,等. 埋地钢质管道石油沥青防护层老化机理猜想[J]. 石油化工腐蚀与防护,1999,16(3):58—60.
- [17] 胡士信. 阴极保护工程手册[M]. 北京:化学工业出版社,1999.
- [18] 王可强,陈建民. 油气管道沥青防腐层的判废方法[J]. 油气储运,1999,18(9):30—31.
- [19] 闫茂成,王俭秋,柯伟,等. 埋地管线剥离覆盖层下阴极保护的有效性[J]. 中国腐蚀与防护学报,2007,27(5):257—261.