

埋地燃气钢管腐蚀检测及防腐对策

□ 温州市公用事业投资集团有限公司 (325000) 王良君

□ 温州市燃气有限公司 (325000) 郝兴军

摘 要: 阐述了埋地燃气钢管防腐的重要意义, 通过对某管道燃气公司埋地燃气钢管腐蚀检测, 分析了产生腐蚀的原因, 提出了减缓腐蚀的方法与对策, 对该公司的外加电流深井阳极阴极保护法的防腐实践进行总结与探讨。

关 键 词: 埋地钢管 腐蚀检测 防腐层 保护电位 阴极保护 深井阳极

Corrosion Inspection and Anticorrosion Countermeasures of Buried Gas Steel Pipelines

Wenzhou Public Utilities Investment Group Co.,Ltd. Wang Liangjun

Wenzhou Municipal Gas Co.,Ltd. Hao Xingjun

Abstract: The great significance of corrosion prevention of buried gas steel pipelines is elaborated, corrosion causes discovered through corrosion inspection of buried gas steel pipelines of a pipeline gas company are analyzed, solutions and countermeasures of slowing corrosion are suggested, the company's corrosion prevention practice known as impressed current cathodic protection using deep well anode is summarized and discussed.

Keywords: buried steel pipeline corrosion inspection anticorrosive coating protection potential cathodic protection deep well anode

1 前言

腐蚀是金属在周围介质的化学、电化学反应下所引起的一种破坏。土壤中存在各种酸碱性的腐蚀成分, 埋设地下的燃气钢质管道经过长期使用会发生腐蚀、穿孔、断裂等腐蚀现象, 进而造成漏气, 引发火灾、爆炸等严重后果, 不仅破坏正常平稳供气, 影响用户生产和生活, 而且严重威胁人民生命安全, 给企业和社会造成很大的经济损失。

提高埋地燃气钢管防腐施工质量, 加强对在役钢

管防腐能力监测、保护和修复, 确保埋地燃气钢管平稳安全运行, 是管道燃气企业一项非常重要的工作。多项国家或行业规范对埋地燃气管道防腐施工与运行要求进行了规定。

按照CJJ95-2003《城镇燃气埋地钢管腐蚀控制技术规程》, “新建的高压、次高压、公称直径大于或等于100mm的中压管道和公称直径大于或等于200mm的低压管道必须采用防腐层辅以阴极保护的腐蚀控制系统。管道运行期间阴极保护不应间断。”“仅有防腐层保护的高压、次高压和公称直径大于或等于

150mm的中压在役管道应逐步追加阴极保护系统。”

温州市公用事业投资集团有限公司（以下简称集团）下属企业温州市燃气有限公司（前身为温州市管道燃气有限公司，以下简称公司）高度重视埋地燃气钢管的防腐工作，根据国家和行业相关规范要求，2007年底起对公司埋地钢管进行了全面的防腐检测及腐蚀点修复，2011年上半年对部分埋地钢管集中区域增设了2座外加电流深井阳极阴极保护站，取得一定成效。通过防腐实践，总结经验教训，探讨存在的问题，旨在抛砖引玉。

2 埋地钢管腐蚀情况

上世纪90年代初温州市开始大规模的城市燃气管道建设，在2000年以前基本上采用无缝钢管作为输送燃气的市政和庭院管网管材，其后才出现PE管并逐步替代钢管，因此，埋地钢管基本上已有10年以上使用时间。公司埋地钢管约为130km，其中市政管线（管径DN100~DN300）约60km，庭院管线（管径DN50~DN100）约70km。2008年至2010年3年间分别发生12起、7起、9起埋地钢管腐蚀泄漏事件，合计产

生费用39.9万元，腐蚀和损失情况严重。

3 防腐检测

埋地管道腐蚀检测为分析腐蚀产生的原因、确定合适的防腐措施具有重要作用，在役检测技术的进步为管道燃气企业全面掌握钢管的腐蚀状况创造了条件。根据CJJ95-2003《城镇燃气埋地钢管腐蚀控制技术规程》规定：“在役管道防腐层应定期检测”，公司在2007年底首次对在役埋地钢管进行了一次全面检测。

3.1 检测内容和检测方法

主要进行防腐层绝缘电阻率和防腐层缺陷检测，以及管道阴极保护电位检测，同时对土壤特性进行检测和调查，检查内容、方法等如表1所示。

3.2 检测结果

3.2.1 防腐层绝缘性能

对埋地钢管随机抽样进行防腐层绝缘电阻率检测，将35个数据排序如图1，根据SY/T5919-2009《埋地钢质管道阴极保护技术管理规程》对数据进行分类如表2所示。

表1 检测项目和检测方法

检测内容	检测项目	检测方法	检测仪器	仪器型号
防腐层绝缘性能	防腐层绝缘电阻率	变频选频法	绝缘电阻测量仪	SL-AY508
防腐层缺陷位置检测	防腐层破损点检测及定位	人体电容法（皮尔逊法）	地下管道防腐层探测检漏仪	SL-2088
阴极保护效果	阴极保护电位测试	地表参比法	数字万用表	VC890D
土壤腐蚀性	土壤特性检测（土壤电阻率、酸性、含水率、含盐量等）	等距法等	土壤电阻率测定仪	ZC-8

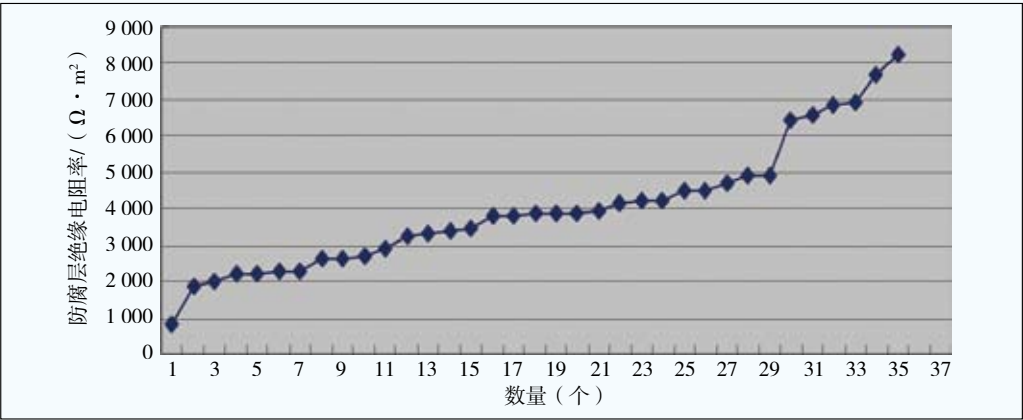


图1

表2 防腐层绝缘性能分类

防腐层面电阻/ ($\Omega \cdot \text{m}^2$)	技术 等级	实测 点数	所占比例 (%)	采取的维修方式
> 10 000	1	0	0	暂不维修
5 000~10 000	2	6	17. 1	按规定进行检漏和修补
3 000~5 000	3	18	51. 4	按规定进行检漏和修补
1 000~3 000	4	10	28. 6	加密测点进行测试, 对 < 1 000 $\Omega \cdot \text{m}^2$ 段进 行维修
< 1 000	5	1	2. 9	大修
合计		35	100	

35个测点的防腐层电阻率从 $826\Omega \cdot \text{m}^2 \sim 8\,218\Omega \cdot \text{m}^2$, 管道的外防腐层电阻率大部分在 $3\,000\Omega \cdot \text{m}^2 \sim 5\,000\Omega \cdot \text{m}^2$, 平均值为 $3\,996\Omega \cdot \text{m}^2$, 说明管道防腐层等级基本上为“差”。

3.2.2 防腐层缺陷检测

按照SY/T0087-95《钢质管道及储罐腐蚀与防护调查方法标准》，破损缺陷 ≥ 8 处/10km钢质管网评级为“差”。在公司长达130km埋地钢质管网中，共检出防腐层破损缺陷303处，超过23处/km，显然管道防腐层属“差”的等级。开挖发现防腐层缺陷包括以下几种形态：（1）施工时未防腐；（2）施工时创伤（包括点状和带状），此种情形占据了大部分，触目惊心（见图2）；（3）防腐层经长时间浸水起泡；（4）管线弯头、三通、四通等部位防腐施工质量差；（5）入户管线出土处腐蚀较普遍。防腐层缺陷处管道本体腐蚀包括点状腐蚀和面状腐蚀，其中以点

状腐蚀危害为重，严重处已穿孔漏气。



图2 春晖路9组10栋西侧庭院管网防腐层胶带破损、剥离、漏铁

3.2.3 阴极保护效果检测

对整体管道的自然电位测试和原牺牲阳极保护系统进行测试，大部分管道处在自然腐蚀电位状态（ -0.45V ， Cu/CuSO_4 参比电极），所测的60处管地电位在 $-0.49\text{V} \sim -0.72\text{V}$ 之间波动（见图3），其中正值占77%，最负值 -0.49V ，达不到管道阴极保护电位（即管/地界面极化电位）要求的 -0.85V ，即管道运行没有处于阴极保护状态。

3.2.4 土壤腐蚀性

土壤腐蚀性主要通过测定土壤电阻率、酸碱性、含水率、含盐量等来确定。检测结果显示，60个测点处土壤的电阻率在 $19.34 \sim 39.65$ 之间，均值为 $29.32\Omega \cdot \text{m}^2$ ，为中等腐蚀性土壤（表3）。33个测试点中，土壤pH值在 $5.5 \sim 9$ 之间，其中有15处pH值在 $5.5 \sim 7$ 之间，对埋地钢管有较强腐蚀性。

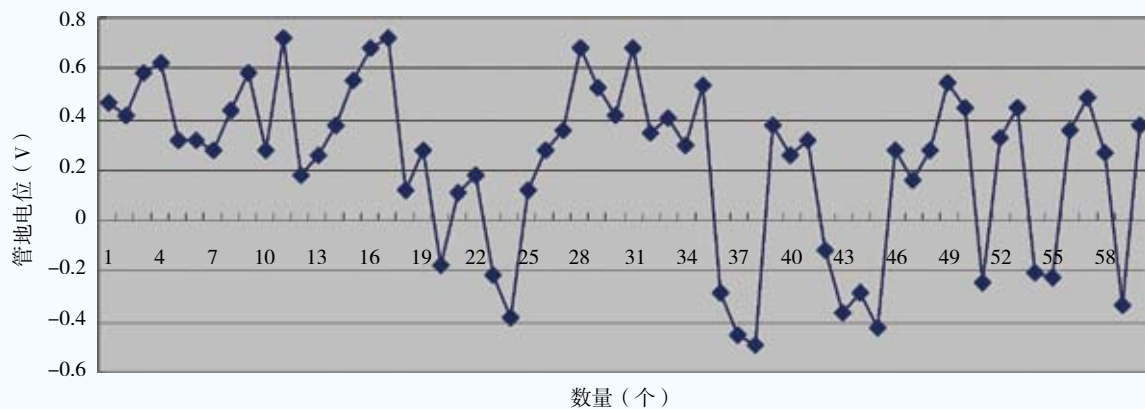


图3 管地电位检测数据

表3 土壤腐蚀性评价

腐蚀等级	强	中	弱
土壤电阻率/($\Omega \cdot \text{m}^2$)	< 20	20 ~ 50	> 50

3.3 腐蚀评价

公司在役埋地钢管经过10多年运行,防腐层绝缘质量差,且破损严重,原有牺牲阳极保护已完全失效,土壤具有较强腐蚀性。

4 腐蚀原因分析

4.1 铁的活泼性是钢管腐蚀的内因

铁是活泼的金属元素,在空气中会与氧气发生缓慢化学反应而腐蚀,在潮湿空气或土壤中腐蚀得更快。钢管含有碳等元素,若外防腐层破损,埋地钢管接触土壤,铁与碳组成原电池,发生如下电化学腐蚀,铁变成了疏松的亚铁离子化合物,形成管道腐蚀。

阳极(铁): $\text{Fe}-2\text{e} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$

阴极(碳): $\text{H}_2\text{O}+1/2\text{O}_2+2\text{e} \rightarrow 2\text{OH}^-$

4.2 土壤的腐蚀性是钢管腐蚀的外因

土壤是由固、液、气三相组成的不均一的复杂多相体系,其中水分、溶氧、微生物等使土壤成为特殊的腐蚀介质,其腐蚀性强弱取决于土壤电阻率、溶解盐含量、pH值、透气性及微生物活动等多因素的共同作用。

不仅上述土壤电阻率和pH数据体现土壤的较强腐蚀性,土壤含水率和含盐量同样显示了强腐蚀性。某些路段由于地下水位变化,管道反复浸泡会大大增加管网的腐蚀程度。当土壤中含有大量可溶性盐和水时, Fe^{2+} 易与 Cl^- 和 SO_4^{2-} 等离子结合,加速钢管腐蚀。33处测试点土壤中 Cl^- 和 SO_4^{2-} 总含量>0.05%有20处,在0.01~0.05%有13处,这说明 Cl^- 和 SO_4^{2-} 是公司管网腐蚀不可忽视的因素。

综合以上各种因素,温州市土壤属于腐蚀性较强土壤,钢质埋地管道的腐蚀是难以避免的。

4.3 防腐层破损是钢管腐蚀的关键因素

公司对防腐检测中发现的303个腐蚀点逐处进行开挖并修复,开挖后发现绝大部分为防腐层胶带存在问题,比如破损、剥离、松动浸水,甚至露铁。防腐

层是阻止铁与腐蚀性介质接触的屏障,公司早期施工的埋地钢管防腐层为环氧煤沥青加PE保护层加强级防腐,钢管防腐层在施工过程中尤其在下管沟时极易被管沟中未清理的石头、砖块所损伤,为日后腐蚀埋下隐患。尤其细小点状损伤,若钢管隐蔽前没有进行电火花测试,难以发现,此种情形发生的点状腐蚀速度较快,甚至很快会穿孔。有些在污水池周围的钢管受污水长期浸润,腐蚀特别严重,寿命大大缩短。

开挖时还发现原牺牲阳极施工安装数量严重不足、安装不规范、庭院管道基本无保护等问题,导致一旦防腐层损伤,钢管加速腐蚀。在凝水缸、阀门、三通、弯头等不规则形状部位防腐质量不好,存在严重漏点,阴极保护电流损失很大,有限的牺牲阳极过早就消耗失效。

4.4 杂散电流与微生物腐蚀是不可忽视的因素

由于各种用电设备接地和漏电以及高压电力线在附近埋地钢管上产生感应交流电等,管道与周围土壤产生几伏甚至几十伏的电位差,形成杂散电流,这是造成埋地钢质管腐蚀的另一个因素。

土壤中微生物在新陈代谢过程中直接参与腐蚀作用,产生的酸性物质形成了金属表面易于腐蚀的环境,以硫酸盐还原菌腐蚀较为普遍。

5 防腐对策

5.1 新埋设管道

对新埋地中低压管网,尽量使用耐蚀性能好、寿命长的PE管材。但对于车辆荷载大的特殊地段、高压和次高压管网还是需要埋设钢管,应采用防腐性能更佳的3PE防腐辅以阴极保护。在防腐层施工过程中加强对已施工防腐层的保护,下管后进行完整性检测,采取技术、经济、管理等措施,确保防腐层完好。

5.2 在役埋地钢管

2009年,公司对埋地钢管腐蚀较为严重的西城路特陶小区进行全面改造,将埋地钢管全部更换为PE管,至今平稳安全运行,取得了很好的效果。但因费用较高、开挖困难,难以全面推广。

鉴于在役埋地钢管的市政管网阴极保护系统失效以及庭院管网无阴极保护,对检测发现的明显腐蚀点进行修复是被动的治标办法。埋地钢质管道不追加

阴极保护不仅违反国家相关规范要求,安全运行环境也得不到保障,需要经常抢修,不仅浪费大量的人力物力,而且还要承担较大风险,社会负面影响较大。GB/T 21448-2008《埋地钢质管道阴极保护技术规范》规定,已建带有防腐层的管道应限期补加阴极保护措施,势在必行。

5.3 阴极保护方法的比选

阴极保护是给被保护物体通以阴极电流,使之阴极极化减小或防止金属腐蚀的方法,主要有牺牲阳极法和外加电流法(也称强制电流法)两种,两者比较如表4。

表4 两种阴极保护方法比较

保护方法	优点	缺点
牺牲阳极	不需外加电源,对临近金属构筑物无干扰或干扰小,投产调试后管理工作量少,工程越小越经济,保护电流分布均匀,利用率高,一般不会出现过保护,适用于需要局部保护的场合。	高电阻环境下不宜使用,产生的有效电位差及输出电流都是有限的,只适用于小电流的场合。调节电流困难,阳极消耗大,需要定期更换。
外加电流	输出电流连续可调,保护范围大,不受环境电阻率限制,工程越大越经济,保护装置寿命长。	需要有外部电源,维护工作量大,当附近有其他结构时,可能产生干扰腐蚀,有可能出现过保护。

外加电流深井阳极阴极保护法具有施工涉及区域小、覆盖面积广、施工速度快、开挖少等明显优势。市区地下管线众多,地下空间十分紧张,开挖审批流程繁琐,施工协调难度大。经过分析对比,以外加电流深井阳极阴极保护为主、牺牲阳极保护为辅的对策更符合公司对阴极保护工程经济性、可行性的要求。

5.4 公司外加电流阴极保护方法选择

根据现有市政和庭院埋地钢管分布和腐蚀情况以及土壤情况等,对需保护钢管划分为3个区域。区域一(旧城区)和区域二(南浦-车站大道区)的埋地钢管较为集中,采用深井阳极外加电流保护方式,强制电流系统设计寿命25年,保护电位 $-0.85\text{ V} \sim -1.50\text{ V}$ (相对饱和 Cu/CuSO_4 参比电极);区域三的埋地钢管较分散,采用牺牲阳极保护方式。

6 深井阳极电流保护实践

6.1 设计与施工

公司于2011年3月首先启动了区域二的深井阳极电流保护工程。经计算管道保护面积为 $19\,631\text{ m}^2$,设计保护电流密度为 $10\text{ mA}/\text{m}^2$,保护总电流为 196 A ,在南浦气化站和位于车站大道的公用集团内各设置1座深井阳极阴极保护站。每个站内设 $100\text{ A}/100\text{ V}$ 恒电位仪2台,一开一备。在站内距离管线 $50\text{ m} \sim 100\text{ m}$ 的低洼潮湿、土层较厚处钻建直立式阳极地床,井深 60 m ,井内装分段预制型阳极体7组,规格为 $\Phi 325 \times 6\,000$,内装 $\Phi 75 \times 1\,500$ 高硅铸铁阳极3支。将高硅铸铁阳极、高性能碳素填料,PVC排气管,部分阳极引线电缆,井套管组合装配为一体,便于运输和安装,并可保证装配精度和质量(图4)。每 500 m 左右设置一个测试桩或在原有阀门井内设置测试点。对于平行或跨越管道按一定间距或在最接近处作均压处理,使电位分布均衡。

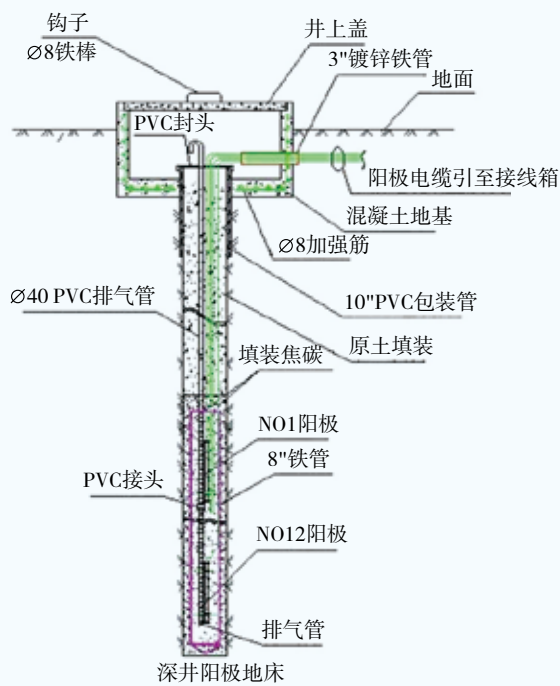


图4 深井阳极地床安装图

6.2 保护电位测试及效果评价

区域二两座深井阳极安装后,对管网进行了一段时间的极化,各测试点保护电位测试结果见表5,大

多数检测点的电位在 -0.85V 至 -1.5V 之间,达到了保护电位,但也有小部分电位在 -0.85V 以上达不到保护电位,个别在 -1.5V 以下,管网处于过保护状态。

表5 部分管道保护电位实测值

测点编号	测试位置	管道保护电位实测值(V)	测点编号	测试位置	管道保护电位实测值(V)
1	车站-F-30	-0.98	10	车站-F-06	-0.85
2	站北南浦-F-01	-0.99	11	车站-F-05	-0.86
3	划龙-N-12	-1.01	12	黎明中-F-03	-0.88
4	车站-N-09	-1.18	13	上陡门-F-01	-0.88
5	车站-F-20	-1.59	14	锦绣-F-29	-0.87
6	桥头	-1.41	15	锦绣-F-28	-1.01
7	车站-F-18	-1.35	16	上陡门九-F-01	-0.83
8	车站-N-07	-1.25	17	上陡门九-N-05	-0.82
9	车站-F-15	-1.30	18	划龙-N-11	-0.77

深井阳极电流保护试运行半年以来,区域二内未发生过一起因腐蚀导致的抢修事件,而暂未进行阳极保护的区域同期却发生了4起腐蚀抢修事件,从一定程度上说明外加电流深井阳极起到了较好的保护作用。

7 结论与探讨

(1) 燃气企业应对埋地钢管进行定期腐蚀检测,从钢管防腐层电阻率、土壤电阻率、钢管对地电位等检测数据综合判断埋地钢管的腐蚀、运行与环境情况,藉此确定防腐对策。当然还要根据企业实际情况,通过技术经济分析最终确定具体的防腐措施。

(2) 随着城市的发展和技术的进步,外加电流深井阳极阴极保护在埋地钢管保护中凸显其应用价值,管道燃气企业可积极实践与探索,认真做好设计与施工工作,使工程发挥应有的效用。

(3) 过保护可能会导致防腐层析氢剥离。公司管道保护电位的下限暂定为 -1.5V ,这与新标准是不相吻合的。若长期在此电位运行下,原采用环氧煤沥青加强级防腐PE保护层很可能会因防腐层浸润而发生析氢,导致防腐层的剥离。所以,一方面公司需密切检测监视电位变化情况,另一方面在管道极化保护一

段时间后应降低保护电压至规定范围内,这需与对管道进行绝缘、对薄弱部位增加牺牲阳极保护措施结合起来。

(4) 未对保护管道进行绝缘会导致保护电流大量流失。事实证明对埋地钢管进行绝缘可提高外加电流保护效果。尽管其工作量、难度及费用大,但不可或缺,尤其需对保护电流漏失严重的部位如阀门井、过街钢套管、出地面立管、与自来水管搭接等部位进行绝缘,这样可保证末端管道也能达到保护电位。

(5) 外加电流阴极保护运行期间需定期进行监测,发现问题,不断改进。对深井阳极站的输入电压电流值、各测试点的电位以及深井阳极运行情况要进行密切监视与记录。公司将大部分检测点设置在阀门井内带来日常检测不便,需要增加路面测试桩数量。

8 结语

开展埋地钢管腐蚀检测并采取有效防腐措施,既是规范要求,也是管道燃气企业改善供气环境、确保安全稳定运行、延长管道寿命提高经济效益的内在需求。温州市燃气有限公司在埋地钢管的腐蚀检测和深井阳极的防腐实践中进行了积极的探索,其经验与教训可供业内借鉴探讨。

参考文献

- 张增斌,孙卫红,张辉等.唐山燃气管道腐蚀状况检测与评价[J].城市燃气,2008;3:14-16
- 叶晓波,常力兴,李琮.埋地燃气管道腐蚀漏气修复总结[J].城市燃气,2006;7:3-6
- 金昌浩.埋地钢质燃气管道腐蚀定期检测与维修实践[J].煤气与热力,2011;31(7):B01-B04
- 张宝宏,丛文博,杨萍.金属电化学腐蚀与防护[M].北京:化学工业出版社,2005:8
- 夏阳,张玉梅,阮金华.在役埋地钢质燃气管道追加阴极保护系统的设计[J].上海煤气,2009;5:18-22
- 马长福,杨印臣.牺牲阳极是否导致3PE防腐层阴极剥离的探讨[J].煤气与热力,2010;30(8):B01-B02