

⑦

205-208, 217

TG 172.4

地下管线腐蚀的勘测技术与土壤腐蚀性的评价方法

李 成 保

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘 要 地下管线腐蚀的科学勘测和土壤腐蚀性的正确评价是地下管线防腐蚀工程精心设计与优化施工的基础与前提,并可对已有地下管线的维护管理提供指导信息。本文首先简要介绍了影响地下金属管线腐蚀的环境因素和管线腐蚀的主要形态,然后简述不同腐蚀形态的现场勘测技术和土壤腐蚀性的三种评价方法:土壤电阻率法、Baeckman法与极化电阻法。

关键词 地下管线腐蚀勘测;土壤腐蚀性评价;极化电阻

甚力勘测技术

随着城市现代化建设的迅速发展,不仅在地面上高楼林立,在地下还要建立一个庞大复杂的输水、输气、供电、供热、电讯、污水处理等管网系统,为保证管网系统的畅通无阻,需对管道采用先进的防腐蚀技术、精心设计、严格施工。在管网投建之前,需对网区土壤腐蚀性作周密的实地调查与测试,作出正确的腐蚀性评价,为防腐蚀工程的精心设计提供依据,进而达到优化施工。对于已建地下管网进行及时正确的腐蚀诊断,是确保管网正常运行所必须的检测项目。本文除了扼要介绍地下管线(金属管线,下同)腐蚀的环境因素与形态,着重简介地下管线腐蚀的勘测技术与土壤腐蚀性的评价方法,这是地下管线防腐蚀工程精心设计与优化施工的基础与前提。

1 影响地下管线腐蚀的环境因素

影响地下金属管线腐蚀的环境因素可概分为土壤因素和非土壤因素两大类。前者直接与土壤性质有关,后者是由电性因素引起的^[1]。

土壤是个复杂的三相体系。固相部分是由不同粒径的颗粒组成;在土壤孔隙中充满气体和水,二者所占的体积成反相关。土壤中金属腐蚀本质是电化学腐蚀,土壤含有水分是引起金属腐蚀的基本原因。土壤腐蚀除了受金属因素影响外,更多的是受到土壤性质的影响。土壤的组成、含有的气体、微生物和酸度等化学因素,土壤的颗粒大小、透气性、含水量等物理因素都是重要的,特别是土壤的电阻率与去极化性质往往对腐蚀速度起着决定性作用。土壤电阻率取决于含水量与可溶盐含量,而去极化性质则取决于透气性和微生物的作用。还有,雨水、气温、风和光照等气候因素都能引起土壤性质的显著变化,进而影响金属在土壤中的腐蚀速率。这些因素的相互作用使得土壤的腐蚀规律更为复杂化。归纳起来,影响地下管线腐蚀的土壤因素主要有:(1)土壤电阻率,(2)土壤含水量,(3)土壤通气性(氧化还原状况),(4)土壤含盐量及盐分组成和(5)土壤酸度。

当异种金属直接接触埋于地下会形成电偶腐蚀。土壤中杂散的直流电流和高压输电线在土壤中感应产生的交流电流均会引起地下金属管线的电腐蚀。这些是引起地下管线腐蚀的非

土壤因素。

2 地下管线腐蚀的形态

金属管线在土壤中的腐蚀过程主要是电化学溶解过程,由于形成腐蚀电池而招致地下管线的锈蚀穿孔。按腐蚀电池阳极区和阴极区间距的大小,可将管线腐蚀形态分成微电池腐蚀和宏电池腐蚀两大类。

2.1 微电池腐蚀

当管线腐蚀是由相距仅为数 mm 甚至数 μm 的阳极和阴极所组成的微电池作用所引起时,称做微电池腐蚀,其外形特征十分均匀,故又叫均匀腐蚀。由于微阳极和微阴极相距非常近,所以微电池的腐蚀速度不依赖于土壤电阻率,仅决定于微阳极和微阴极的电极过程。微电池腐蚀对地下管线的危害性较小。

2.2 宏电池腐蚀

当管线腐蚀是由相距数厘米,甚至数米的阳极区和阴极区所构成的宏电池作用而引起时,常称宏电池腐蚀或局部腐蚀。由于阳极区和阴极区相距较远,土壤介质的电阻在腐蚀电池回路总电阻中占有相当大的比重,因此宏电池的腐蚀速度不仅与阳极和阴极的电极过程有关,还与土壤电阻率密切相关。土壤电阻率大,就能降低宏电池的腐蚀速率。在埋地管道的表面上出现的斑块状、孔穴状腐蚀即是宏电池腐蚀所致,其危害性特别大。

按宏电池腐蚀的起因,又可分成下列 5 种:

(1) 通气差异电池腐蚀 管线金属表面与通气状况不同的土壤相接触而引起的腐蚀就是通气差异电池作用的结果。这时,与通气性差的土壤相接触的金属表面上的电位较负,构成阳极区而遭受腐蚀;反之,电位较正的管线表面构成阴极区而免遭腐蚀。

在土壤中,通气状况的差异是普遍存在的,如在水旱田交界处,江河池塘岸边,地下水水位面上下,砂粘相间的土层中等等。金属管线埋设在这些位置上,就会形成气差电池,致使位于为水饱和的通气性差的土壤中的管线表面产生严重腐蚀。

(2) 盐分差异电池腐蚀 在盐渍土地区,由于水盐运行的特点,盐分在土壤剖面中的分布差异明显;在水平方向上,由于地形起伏,使盐斑成插花状分布。当管线埋于含盐土壤中,其表面将与含盐量不同的土壤接触,往往可以形成盐分差异电池,使与含盐量低的土壤相接触的管线表面成为阳极区而遭受腐蚀。在盐渍土和重污染地区,金属管道埋下不到二、三年就锈蚀穿孔,往往与盐差电池的腐蚀作用有关。

(3) 金属差异电池腐蚀(电偶腐蚀) 当地下管线上具有不同金属的连接体,由于金属本性的不同,使金属-土壤界面电位互不相同,形成金属差异电池,低电位金属就成为腐蚀电池的阳极而遭到锈蚀,高电位金属构成阴极而得以保护。这种电偶腐蚀的腐蚀面一般发生在异种金属接触处附近的小范围内,常呈孔穴状蚀斑。

(4) 杂散电流腐蚀 大地是个巨大的导体,当土壤中由于种种原因(如电气铁轨)而存在的杂散直流电流过地下管线时,在电流流出处就会产生腐蚀。它不是原电池作用的结果,但与一般的宏电池腐蚀一样,也具有局部腐蚀的特征。当地下金属管线交叉分布时,杂散电流选择电阻小的路线流动,此时在管线上电流流出处就会产生电蚀。

(5)交流电腐蚀 处于交流电干扰环境中的埋地金属管线,由于防腐层漏敷点及其它缺陷的存在,必然有交流干扰电流进入大地,造成管线交流电腐蚀。

3 地下管线腐蚀的现场勘测

数十年来我们在土壤腐蚀与防护研究中,已逐渐建立并形成了一整套地下管线腐蚀的现场勘测技术^[2,3]。这里仅作简单介绍,各项测试的具体操作可参阅有关文献。

(1)土壤电阻率的原位测量

在现场勘测中,就地测量土壤电阻率的常用仪器是 ZC-8 型接地电阻测定仪,将四根铜棒排成一直线等距相间直插于土表,将仪器读数 $R(\Omega)$ 和铜棒间距 $a(m)$ 代入下式即可求得土壤电阻率 $\rho(\Omega \cdot m)$:

$$\rho = 2\pi aR$$

如果希望测量不同深度土层的电阻率,可通过改变间距 a 作多次测量,然后利用 Hummel 原理计算不同土层的电阻率。

由于土壤电阻率受温度影响,所以同时要测量土温,以便对实测电阻率作温度校正。

(2)土壤中金属电极极化电阻的原位测量

为了能在现场原位测量土壤中腐蚀金属电极的极化电阻 P_p ,我们制作了坚固的三电极探头,研制成便携式 PRM-01 型极化电阻计,电源为 9V 干电池,液晶显示,采用恒电流极化法。将三电极探头插入待测土层,平衡一定时间(一般 30 分)后,从极化电阻计上读取极化电流 $I(\mu A)$ 和极化电位 $\Delta V(\leq 5mV)$,可算得 $R_p = \Delta V/I$ 。

(3)宏腐蚀电池电动势的测定

通过现场目测,发现欲测土层在水平或垂直方向上具有明显差异,将预先准备好的金属电极分别插入不同土层,平衡一定时间(最好 1 小时以上)后,用 mV 计测量相邻二电极间的电位差。电位差越大,说明形成宏腐蚀电池的可能性就越大。

(4)土壤中杂散电流的诊断

在现场勘察中,如要诊断土壤中无杂散直流电流存在,可在地表成十字交叉相间 5-10 米插上 $Cu-CuSO_4$ 电极,用 mV 计测量每对电极间的电位差,如果各对电极间的电位差等于或接近零,表明土壤中无杂散电流;如有可观的电位差(数十至数百 mV 等),表明土壤中有杂散电流。只要将硫酸铜电极的插土点作适当改变,可测得地表的电位梯度,并可找到杂散电流的源头。

关于杂散电流(直流电气化铁路,电车,直流供电所,阴极保护系统及其它干扰源)对地下管线的干扰调查与测试方法可参阅有关标准。

(5)管线交流干扰电压测试

在现场勘察中,当空中有高压输电线路通过时,在土壤中会感应产生交流电,对地下管线会形成交流腐蚀。对交流腐蚀的现场勘测,一般只测量管线交流干扰电压,具体操作可参见石油部标准 SYJ32-88。

4 评价土壤腐蚀性的部标准和 Baeckmann 法

现行的土壤腐蚀性评价方法,对于一般地区的土壤腐蚀性通常采用石油工业部部标准进行分级;对于腐蚀因素较复杂地区,可参考 Baeckmann 法划分腐蚀等级。

表1 土壤对钢铁腐蚀性的要素及其评价指数⁽⁴⁾

要素	评价指数						
	2	1	0	-1	-2	-3	-4
土类	石灰质土 石灰质泥灰土 黄土 砂土		壤土 壤质泥灰土 壤质砂土 } 含砂≤75% 粘质砂土		粘土 粘土泥灰土 腐殖土		泥炭土 淤泥土 沼泽土
埋设物处的地下水			无	有	时有时无*		
土壤状况(1) (2)			自然土壤 同类土壤		人工堆积土		异类土壤
土壤电阻率 ($\Omega \cdot m$)			>100	100-50	50-23	23-10	<10
含水量(%)			<20	>20			
pH			>6	<6			
总酸度(pH7) (mg/kg)			<2.5	2.5-5	>5		
Eh7(mV)	>400		200-400		0-200		<0
总碱度(pH4.8) (mg/kg)	>1000	200-1000	<200				
H ₂ S和硫化物 (S ²⁻ mg/kg)			无		<0.5	>0.5	
煤或焦炭			无				有
氟离子(mg/kg)			<100	>100			
硫酸根(mg/kg)			<200	200-500	500-1000	>1000	

*原书此项评价指数为-1,显然与实际不符,似宜改为-2。(作者注)

(1)石油工业部部标准

部标准 SYJ7-84 规定,对一般地区土壤,按其电阻率的大小;<20, 20-50 和 >50 $\Omega \cdot m$, 将腐蚀性等级依次定为强、中和弱。

(2)Baeckmann 法

1971年 Baeckmann 提出了土壤腐蚀性的指数评价法⁽⁴⁾,它是测定土壤介质的各个腐蚀因素,采用打分的方法(表1)来划分土壤腐蚀性等级(表2)。

表2 土壤腐蚀性分级

腐蚀性等级	强	中	弱	不腐蚀
评价指数之和	<-10	-5--10	0--4	>0

5 土壤腐蚀性的极化电阻表征法

从70年代末,我们就开始对金属电极极化技术在金属土壤腐蚀与防护中的应用进行系统的研究,特别对于用线性极化技术评价土壤对钢铁腐蚀性进行了系统深入的研究^(5,6)。取得的研究结果已为现行的土壤腐蚀性评价方法的改进提供了有力的手段。

(下转第217页)

量下,溶出的无机铝和有机铝的浓度均低于江西红壤中者。

参 考 文 献

- 1 徐仁扣,季国亮. pH对酸性土壤中铝的溶出和铝离子形态分布的影响. 土壤学报, 1998, 35(1): 162-171
- 2 Xu Renkou and Ji Guoliang. Pedosphere, 1997, 7(4): 331-338
- 3 徐仁扣,季国亮. 用氟离子电极测定土壤溶液中无机单核铝的实验验证. 环境化学, 1998, 17(1): 72-78
- 4 徐仁扣. pH、温度和水土比对酸性土壤溶液中铝离子形态分布的影响. 热带亚热带土壤科学, 1998, 7(1): 26-30
- 5 Furrer, G. and Stumm, W. Geochim. Cosmochim. Acta, 1986, 50: 1847-1860

(上接第208页)

由极化电阻公式⁽⁵⁾ $R_p = B/i_{\text{corr}}$ (1)
可知腐蚀电流密度 i_{corr} 与极化电阻 R_p 成反比。对于缓慢的土壤腐蚀过程来说, 式(1)可写成⁽³⁾:

$$\bar{R}_p = \frac{B}{\bar{i}_{\text{corr}}} \quad (2)$$

式中 \bar{R}_p 和 \bar{i}_{corr} 分别为 R_p 和 i_{corr} 的积分平均值。

研究结果表明, 钢电极在全国7种土壤中的极化电阻 R_p 在埋土初期是随时间变化的, 约经10-15天趋达稳定值 R_{ps} 。 R_{ps} 与 \bar{R}_p 间的相关系数 $r=0.992$, 具有很好的相关性。因此, 对于常数 B 比较接近的土壤介质而言, 可用 R_{ps} 值来表征和比较土壤对钢铁的腐蚀性^(3,6), R_{ps} 愈大, 土壤腐蚀性就愈小, 反之亦然。

如果 B 值测知, 根据式(2)可由 \bar{R}_p (或 R_{ps}) 值求得平均腐蚀速率 \bar{i}_{corr} 。这样, 将可提高土壤腐蚀性评价的量化水平。

参 考 文 献

- 1 李成保. 土壤. 1979, (3): 110-114
- 2 于天仁, 季国亮等编著. 土壤和水研究中的电化学方法. 科学出版社, 1991, 348-382
- 3 李成保. 材料保护. 1984, (1): 21-28
- 4 Baeckmann W V, W Schwenk. Handbuch des Kathodischen Korrosionsschutzes, Verlag chemie Gmbh, 1971, 52-59
- 5 Fontana M G, R W Staehle, Advances in Corrosion Science and Technology V. 6, Plenum Press, 1976, 163-262
- 6 李成保. 油气储运. 1988, (2): 60-62