

土壤中的电腐蚀

张道明 吴 沟 孙慧珍

(中国科学院南京土壤研究所)

电腐蚀是杂散电流腐蚀的简称。杂散电流是指非固定通路上流动的电流。它可分直流杂散电流和交流杂散电流。这些电流通过埋地金属构件产生的腐蚀作用称为土壤杂散电流腐蚀或干扰腐蚀,即土壤中的电腐蚀。例如在直流电气化铁路附近的地下管道、储罐、钢桩,含水量较高的钢筋混凝土构件都有可能遭受电腐蚀。与直流电气化铁路平行铺设,壁厚7~8毫米的金属管道,腐蚀严重的数月就发生穿孔。由此可见,电腐蚀,特别是直流电流引起的腐蚀比没有杂散电流的土壤腐蚀要严重得多。

土壤中的电腐蚀过程也是电化学溶解过程,是因杂散电流而产生的强迫溶解,而土壤中自然腐蚀过程是金属与土壤介质发生化学或电化学作用形成的自然溶解过程。因此,电腐蚀是电化学腐蚀的一种特殊形式。

一、电 腐 蚀 类 型

电腐蚀分为直流杂散电流腐蚀和交流杂散电流腐蚀:

(一)直流杂散电流腐蚀 直流杂散电流对金属腐蚀情况类似电解原理,即阳极为正极,为腐蚀区;阴极为负极,为非腐蚀区。

直流杂散电流通过土壤进入埋地金属构件的区域为阴极区。该电流从构件的另一处流出,这一区域为阳极区,遭受严重腐蚀。如图1所示,其腐蚀损耗量可按法拉第定律计算。

腐蚀量: $W = K \cdot i \cdot t$

K为电化学当量(毫克/库仑); i为电流量(毫安); t为时间(年)。

电蚀系数: $\eta = W/W_0 \times 100\%$

W为阳极面积腐蚀量(克); W_0 为实际腐蚀量(克)。

η 值与许多因素有关,如腐蚀产物、金属表面氧化膜的形成及钝化、自然腐蚀强度等。

1安培的电流1年能腐蚀约9公斤铁或10公斤铜,这是按电化学当量计算的值,实际的损耗量还要看电流效率的大小,即电蚀系数的值。由此可见,直流杂散造成的腐蚀危害是很严重的,应该引起人们足够的重视。

直流杂散电流的来源主要是直流电气化铁路、地下电车轨道、有轨电车、无轨电车等的接地装置;直流电焊机、电解和电镀车间等。大地也存在少量的杂散电流,称为地电流。这是由于太阳的紫外线和高能粒子的辐射,将大气中的分子离解为带电的正负离子,在地磁场的作用下,带电离子沿一定的方向流动,在地球表面形成感应电流。地下除了大地场外,还有自然电场和离散电场等,其成因较为复杂,它们对腐蚀的影响一般比较小。

(二)交流杂散电流腐蚀 交流杂散电流一般为互频杂散电流。它主要来源于交流电气化

表 1 铁的电腐蚀*

电流密度 (mA/dm ²)	介 质	
	10 mol/L NaCl	土 壤
0	0.04~0.12	0.88~1.00
直流1.2	2.40~2.60	3.64~3.72
交流1.2	0~0.04	1.04~1.36
直流1.2+交流1.2	2.48	3.98~4.11

* 本试验为3个月的失重量(g/dm²);
交流频率, 50Hz.

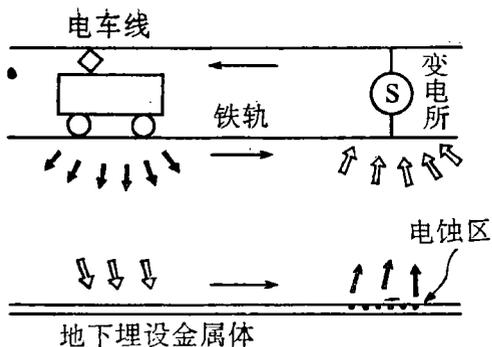


图 1 埋地金属构件直流杂散电流腐蚀示意图

铁路、二线一地制输电线路、高压或超高压输电网等。一般交流腐蚀的危害性要比直流腐蚀小(表 1)。但在高压线与管道平行架设时, 由于静电场和交变磁场的影响, 在钢管上感应出交流电压和电流。它对管道的危害不可忽视。

由于土壤电腐蚀中直流杂散电流腐蚀危害特别严重, 本文将围绕杂散电流对管地电位的影响, 土壤电位梯度与杂散电流的关系进行讨论, 并列举实例, 提出防护措施。

二、杂散电流对管地电位的影响

金属与土壤接触后, 在金属土壤界面上建立双电层, 即产生金属/土壤界面电位。如用 Cu/CuSO₄ 或饱和甘汞电极作为参比电极, 这样, 金属和参比电极构成一电池, 测得的电位称自然电位, 也称自腐电位或腐蚀电位。如金属管道和参比电极构成一测量电池, 测得的电位即为管地电位。

从管地电位的大小和变化, 可分析地下金属管道上无杂散电流的存在, 因此测定管地电位是土壤腐蚀环境调查的一个重要内容, 也是确定有无杂散电流腐蚀的重要指标之一。

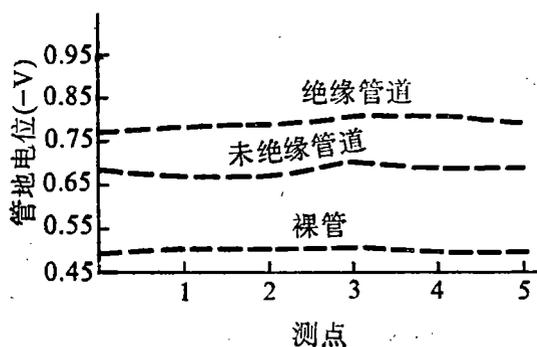


图 2 裸管和有涂层的管地电位

图 2 为无阴极保护的典型裸管和有涂层的管地电位图。从图中可见, 裸管几个测点的管地电位变化不大, 均在 0.50V 左右, 其中有涂层的管道的管地电位均比较稳定, 涂层很好的管地电位在 0.75V 左右, 涂层较差的管地电位在 0.66V 左右。

现场测定管地电位时，在数分钟内电位发生很大的波动，而且偏离正常值，这主要是由于地下杂散电流影响构件所致。我们在土壤腐蚀调查中曾测得最大的管地电位的波动幅度有5V左右，这时一般的毫伏计就难以读数，因输入阻抗较高的电位计测量范围为-2.0V~+2.0V，在这种情况下可改用DT-830万用电表或携带式电子自动电位差计来测定，后者还可进行原位连续测试。

测定管地电位的注意事项：

1. 使用原位测试的Cu/CuSO₄电极前，如固体半透膜上部有气泡，应轻轻拍击电极，使气泡上升至顶部液面，用毕后洗净，浸泡在饱和硫酸铜溶液中备用。2. 在含水量很低的土壤中测定管地电位，应在电极周围加些淡水，在水田中测试时，应注意电极上端的金属部分不要泡入水中。3. 测试桩的引线如已腐蚀，要将腐蚀产物去除后露出金属光泽处，夹上鳄鱼夹，再进行测试。4. 使用高输入阻抗的电位计。

三、土壤电位梯度与杂散电流的关系

当土壤中存在杂散电流时，因土壤是一个具有一定电阻的导体，当有电流通过时则产生IR降，即产生地电位差。这个地电位差可以通过相隔一定距离(20~50米)的不易极化的两支参比电极和串连了一个高输入阻抗的毫伏计测得，测得的电位数除以导线的长度即为土壤电位梯度。

在土壤腐蚀环境调查中，一般通过测定土壤电位梯度，可作出地电位分布图。根据其大小可判断杂散电流的危害程度，当土壤中电位梯度<0.5mV/m时，杂散电流的危害较小，因为地电流是一种自然现象，它们产生的电场强度较小，对腐蚀的影响不大。电位梯度为0.5~5mV/m时，杂散电流危害中等；电位梯度>5mV/m时，杂散电流危害相当严重。另外通过测定电位梯度可找出管道上电流的泄流段，对已埋设管道进行土壤腐蚀调查时，一般电位梯度与管池电位同时测定。

表2 几个测点的土壤电位梯度值(mV/m)

测点号	A-5	A-7	B-2	B-6	C-1	C-3	
电位梯度的测定方向	与管线行与垂直	13.6	2.9	11.8	6.8	3.8	0.1
	与管线直	13.4	0.9	10.3	10.2	1.2	0.2

表中A-5、B-2、B-6的电位梯度均大于5mV，这些测点附近的金属管道处于杂散电流严重干扰的范围，也就是杂散电流危害相当严重。如这些地段土壤电阻率较低，金属管线涂层较差，则该地段的管道将受到严重的电腐蚀，其中A-5附近的管道腐蚀速度高达0.8毫米/年以上。

土壤电位梯度测定采用土壤对土壤即S/S(Soil to Soil)法，测定时应注意下列事项：

1. 测试前先测量两个不易极化电极间的电位差，两个电极间距很小时电位差值应小于2mV。2. 应选择土壤性质一致，地势比较平坦的地方测试。在干燥土壤中测定时，电极与土壤接触处应加些水；在水田中测试时，电极上端的金属部分不要浸在水中，否则会影响测定结果。3. 电极应离开测试桩数米，因可能管道测试坑有电流泄出，影响测量结果。4. 测试时导线的长度与电位数要同时记录。5. 应选用高输入阻抗的毫伏计，因土壤有一定的电阻(固体部分10⁹欧姆米)，尤其是强淋溶性土壤中土壤电阻较高，为减小IR降对测试结果的影响应选用DMP-1型袖珍式数字mV/pH计，该仪器的输入阻抗>1×10²欧姆。6. 应注意仪表读数的极性，判断电流方向。

测定电位梯度是判断杂散电流危害程度的间接方法。茂名石油公司管道处与福建三明市无线电厂合作研制成直接测试地电流强度和方向的 YQC—1 地电流测试仪，经初步试用效果良好^①。

四、土壤电腐蚀的实例分析

我们在调查华东某地一条输油管线腐蚀穿孔原因时发现，由于管线附近电机系统未按技术要求设计和检修，以致有大量电流漏入土壤成为杂散电流，且金属管道防护层质量较差，又没有采用电法保护，造成严重的电腐蚀，腐蚀速度达到 0.83 毫米/年，致使输油管线多处穿孔漏油，造成较大的经济损失并污染了环境。其存在的主要问题是：

1. 管地电位极不稳定且偏离正常值

图 3 是一个测点管地电位的变化情况。从图中可见，管地电位不稳定，在 10~15 分钟内波动幅度有数千毫伏之大。管地电位稳定与否，是检验管道有无杂散电流影响的一个重要指标。考察地段管地电位均有急剧的波动，说明该管段受到土壤中杂散电流的严重影响。

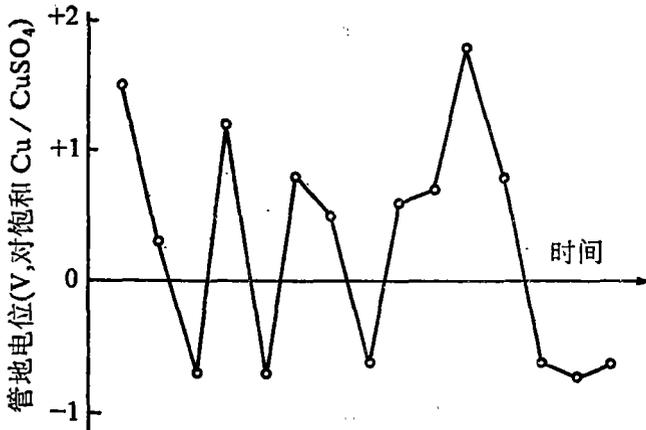


图 3 管地电位的变化

表 3 10 个测点的管地电位测定值
(相对于饱和硫酸铜电极)

测点号	管地电位变化范围(V)	变化幅度(V)	偏离正常最大值(V) (正常值以 -0.65 伏计)
1	-0.61 ~ -0.50	0.11	正偏 0.15
2	-0.65 ~ -0.38	0.27	正偏 0.27
3	-0.55 ~ -0.40	0.15	正偏 0.25
4	-0.70 ~ +0.01	0.71	正偏 0.66
5	-0.70 ~ +1.80	2.50	正偏 2.45
6	-3.40 ~ +1.50	4.90	正偏 2.15, 负偏 2.75
7	-3.80 ~ -0.76	3.04	负偏 3.15
8	-1.80 ~ -0.56	1.24	负偏 1.15
9	-1.35 ~ -0.51	0.84	负偏 0.70
10	-0.98 ~ -0.60	0.38	负偏 0.33

表 3 是该管段 10 个测点的管地电位测定结果，其波动范围最大的达 4.90V，最小的也有 0.11V，正偏最大值为 2.45V，负偏最大值为 3.15V，其中最小的正偏为 0.15V，这也说明该管道受到相当大的杂散电流的干扰。其中 2 号~6 号测点管地电位正偏应为阳极区，即腐蚀区；5 号测点电位最正，即腐蚀最严重的地区，而实际穿孔地区正在 3~6 号之间，以 4~5 号之间最为严重，这些测定结果与实际穿孔漏油点位置分布基本一致。

2. 土壤电位梯度较大

^① 刘业基、蔡霖怡、吴少林，港茂管道杂散电流腐蚀调查(资料)，1992。

表 4 2个测点的土壤电位梯度测定值

测点号	测定方向位置	土壤电位梯度 (最高值 mV/m)	电位梯度方 向
7	南北向,铁轨西侧3米处	13.6	南高北低 东高西低
	东西向,由铁轨向管道	13.4	
5	南北向,公路东侧	2.9	北高南低 西高东低
	东西向,跨越公路	0.9	

表 4 为土壤电位梯度的测定值。7号测点的电位梯度达 13mV/m 以上,是杂散电流危害相当严重的地区。5号测点南北方向是杂散电流危害中等的地段。

从以上测试及分析结果表明,该管道腐蚀穿孔的主要原因是土壤电腐蚀所致。

五、土壤电腐蚀的防护

如已确定管道系统受到较强的杂散电流的危害,应采取排流保护措施减轻和克服杂散电流对管道的影 响。排流保护法是用绝缘的金属电缆、保护的金属管道与排流设备连接,将杂散电流引回铁轨或回归线,管道与电缆的连接点即为排流点。

排流保护方式有直接排流、极性排流、强制排流和接地排流。前两种方式 是依靠管道与铁轨之间的电位差来排流。如管轨电位差较小可采用强制排流。在不能直接向干扰源排流时采用接地排流。现将各方法的特点简述如下:

1. 直接排流保护法 用于极性不变的阳极区,采用可变电阻调节排流量的大小和管道的相对电位。此法效果好且简单经济,但用途不广。2. 极性排流保护法 可用极性变动,在排流电缆中接入整流器,使电流只能由管道流向铁轨,而不能逆向流动。该法安装方便,应用较广,但在管道与铁轨较远时效果较差。3. 强制排流 在管道与铁轨或接地阳极之间接恒电位仪,在外加电位差下强制排流。该法适用于排流量大和其他排流方法不能使用的地方,但此法成本较高需要电源。4. 接地排流 管道的排流连接到一个埋地的阳极上,杂散电流从管道引入阳极,再经过土壤返回铁轨。该法使用方便但效果不佳,还需辅助阳极地床。

采用排流装置之后,必须加强管理,经常测定管地电位、土壤电位梯度、轨地电位和轨管电位,并注意排流装置对附近地下金属构件的影响等。在使用排流保护的 地段,一般可不用阴极保护。

杂散电流腐蚀也可以是由附近埋地金属构件的阴极保护系统产生的,如接地阳极有一部分电流进入邻近的其他金属构件上,使其遭受腐蚀,也称为干扰腐蚀。在油(气)田中,各种地下构件星罗棋布,一条管道电法保护后,附近的管线就会受到干扰,在这样的环境条件下应采取区域保护法。这方面华北油田等单位均做了不少工作。另外如平行管道的可采取一个阴极保护站综合保护,并加用“均压线”,使各管线电位相同。此外,电气化铁路使铁轨间具有良好的导电性并采取增大铁轨与大地绝缘性能的措施,管道与干扰源之间埋设屏蔽物减轻干扰;合理选择管道走向,远离干扰源;采用绝缘性能好的防护层等方法减少杂散电流对金属管道的侵袭。

随着我国经济不断发展,电气化铁路日益增多,地下电车的增加,输电系统的接地装置和阴极保护的管道广泛使用,它们都可能在土壤中产生杂散电流,使埋地金属构件产生电腐蚀。这种腐蚀速度惊人,我们应采取适当的防护措施。减少或防止这种电化学腐蚀的发生。

(参考文献略)