

钢质管道阴保设施及 腐蚀环境的常规测量方法

1. 埋地钢质管道的腐蚀与防护

当前，各类地下管网仍是钢质管道为主。钢质管道在土壤环境中受到腐蚀危害，管体的腐蚀程度会随着服役年限的增加不断积累。当腐蚀损伤严重到一定程度时就会威胁管道运行安全，甚至发生失效事故而造成人员伤亡、经济损失和环境污染。为有效地保护钢质管道，延长管网的使用寿命，保证其运行安全，需要采取各种手段减缓和控制腐蚀的发生。埋地钢质管道的腐蚀控制手段主要有两种，其一是在管道外壁涂覆不同类型的防护层，将管体与腐蚀介质（土壤）隔离，使管道免受腐蚀；其二是给管道施加阴极保护，减小甚至消除管体上阴阳极之间的电位差，从而减小腐蚀电流来控制腐蚀的发生。这两种手段往往配合采用，既相辅相成又相互影响。

埋地钢质管道的防腐蚀措施是否有效，直接影响管道的运行安全，这就需要运行单位在管理过程中对管道的腐蚀与防护状况进行检测，并依据检测结果采取相应的运维措施，使得管道上的保护设施能够发挥应有的作用。对防腐蚀措施实施的检测项目，会根据管道的运行状况、检测方法的适应性以及需要的检测费用等因素进行选择。

在管道的长期运行期间，针对腐蚀控制设施的检测一般分为两个层级，一是由管道的运行维护人员定期进行的例行常规测量，这样的检测项目往往较为简单，实施的间隔也很短；二是由运行单位的专业部门，甚至要委托第三方的专业公司来实施的，针对某些特定的检测项目实施的，这样的检测内容更为详细，应用的检测方法和检测设备也更为专业，检测费用也会昂贵很多，检测的时间间隔也就更长。本资料主要针对一般由运行维护人员实施的，在管道运行维护期间经常实施的检测项目加以讲解，这些内容在相关的技术标准中也往往给出了明确的规定。

2. 阴极保护状况常规测量方法

2.1 管地电位测量

2.1.1 地表参比法

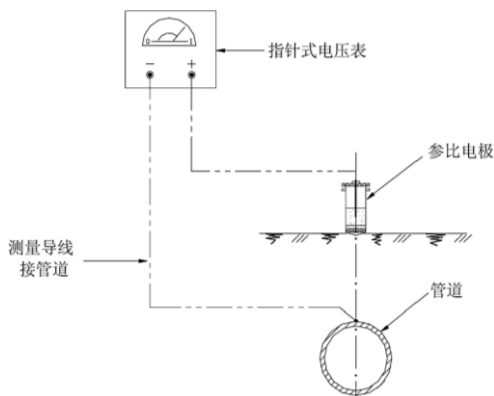


图1 指针式电压表测量管地电位

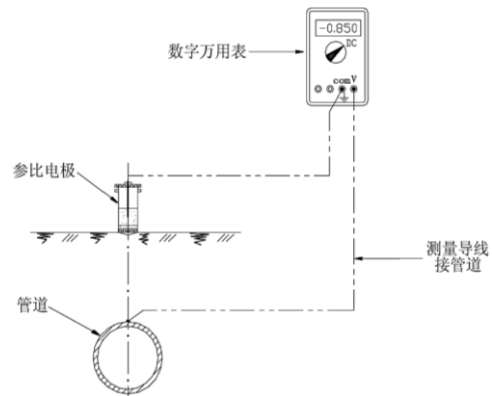


图2 数字式电压表测量管地电位

地表参比法主要用于管道或试片自然腐蚀电位、阴极通电点电位、管道保护电位等参数的测试。具体操作方法是：将参比电极放在管道正上方地表潮湿的土壤上，须保证电极与土壤的电接触良好；将万用表调至合适的量程上，读取数据，作好记录，注明该电位值的名称。用该方法测量有阴保管道上的保护电位时，要注意该测量值包含管道上方土壤造成的 IR 降。

2.1.2 近参比法

近参比法一般用于防腐层质量差的管道管地电位的测量。在管道上方沿管道走向距测试点 1 米左右挖一露出管体的深坑用以安放参比电极，将参比电极置于坑内距管壁 3~5cm 的土壤上；将万用表调至合适的量程上读取数据并作好记录，注明该电位值的名称。尽管这种方法操作过程较为困难，但测量阴保管道的保护电位结果已经消除了 IR 降对其的影响。

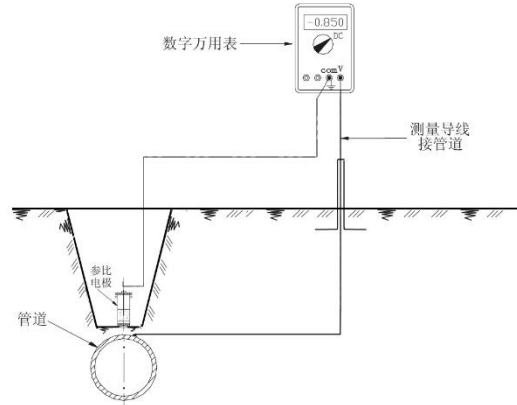


图 3 近参比法管地电位测量

2.1.3 密间隔电位测量

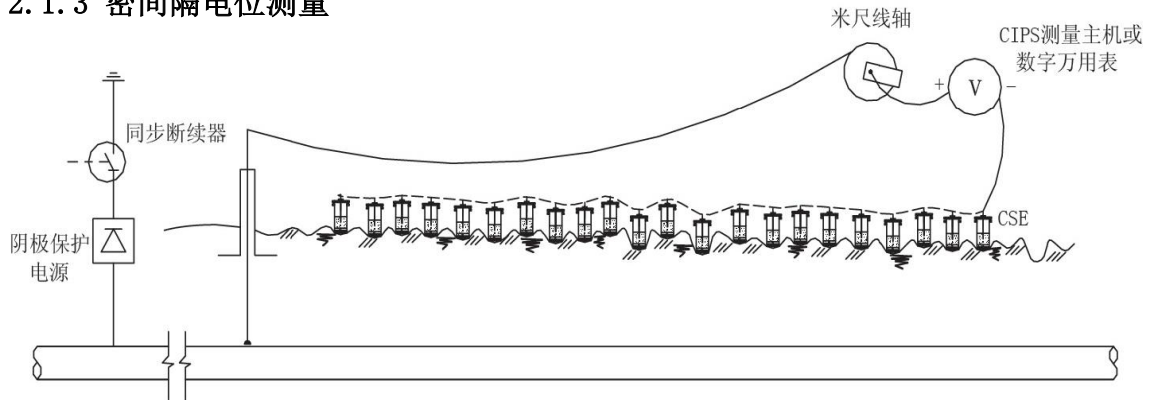


图 4 密间隔电位测量

密间隔电位测量法（CIPS）适用于管道阴极保护系统的有效性进行全面检测评价。该方法可测得管道沿线的通电电位和断电电位，来准确评价管线沿线各点上阴极保护的真正状况。对不能同步中断保护电流（如多组牺牲阳极与管道直接相连不可拆开，或待检管道的外部强制电流设备不能全部被中断）的管道不适用。另外下列情况会使该方法应用困难或测量结果的准确性受到影响：

- 1) 管道上方覆盖层导电性很差的管段，如位于钢筋混凝土铺砌路面、沥青路面、冻土、含有大量岩石回填物下的管段；
- 2) 剥离防腐层下或绝缘物造成电屏蔽的位置，如破损点处外包覆或衬垫绝缘物的管段。

在测量之前，要确认阴保系统运行正常，管道已充分极化。所有电流能流到测量区间内的阴保电源上都串入同步断流器，并设置在同一合理的通/断周期下同步运行。通断周期的设置原则是：断电时间应尽可能的短，以避免管道发生明显的去极化过程，但又要保证有足够的时间能在消除冲击电压影响后测量采集通断电位数据。检测过程中检测主机与断流器的通断要处于严格的同步状态。沿管线管顶地表以密间隔（一般是 1~3m）进行通断电位的测量。

2.1.4 加强型电位测量

该测量方法适用于防腐层完好性差的管段进行断电位的修正测试，且可识别防腐层破损点位置，并能计算出破损处消除IR降后的电位。这是因为对防腐层破损严重的管道进行断电位测试时，仅消除保护电流所引起的电压降（IR降）影响是不够的，各破损点间还存在极化电位差引起的平衡电流产生的电位差，它会使所测得的断电电位仍存在IR降。沿管道路由以最大5米的间隔，采用密间隔电位法测量管顶通断电位（ V_{on} 、 V_{off} ），同时测量对应管道侧向距离10米处的电位梯度（ ΔV_{on} 、 ΔV_{off} ），经

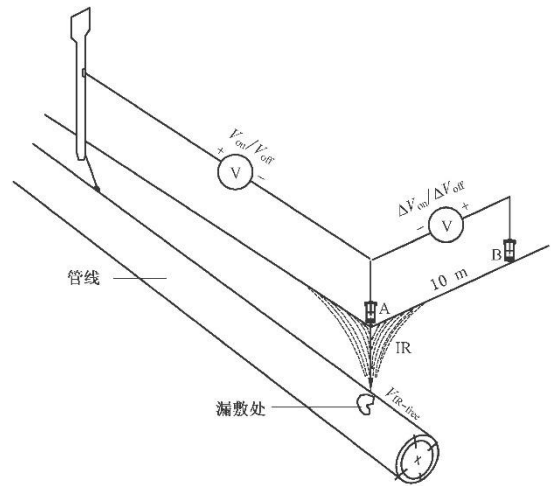


图5 加强型电位测量

下列计算公式得到消除平衡电流引起的IR降电位数值。消除全部IR降电位的计算公式是：

$$V_{IR-free} = V_{off} - \frac{\Delta V_{off}}{\Delta V_{on} - \Delta V_{off}} (V_{on} - V_{off})$$

式中： $V_{IR-free}$ —A测量点的消除IR降电位，mV；

V_{on} —A测量点的通电电位，mV； V_{off} —A测量点的断电电位，mV；

ΔV_{on} —通电状态下，A与B两测量点间的直流地电位梯度，mV；

ΔV_{off} —断电状态下，A与B两测量点间的直流地电位梯度，mV；

2.2 牺牲阳极开路电位测量

该测量方法用于牺牲阳极（组）在埋设环境中未与管道相连状态下的电位测量。测量前，需断开牺牲阳极与管道间的连接线。按右图6的测量接线方法，将数字万用表的正极与牺牲阳极相连接，负极与硫酸铜电极连接。将硫酸铜电极放置在牺牲阳极埋设位置正上方的潮湿土壤上，应保证参比电极底部与土壤接触良好。将万用表调至合适的量程，读取数据并做好电位值及极性的记录，注明该电位值的名称。测量完成后要将牺牲阳极与管道恢复连接。开路电位反映的是牺牲阳极的电性工作状况，能够发现阳极消耗不匀，或因填包料硬化（导电性能变差）而导致不能提供足够高的阳极电位等问题，使用该方法还可以判定阳极种类等信息。

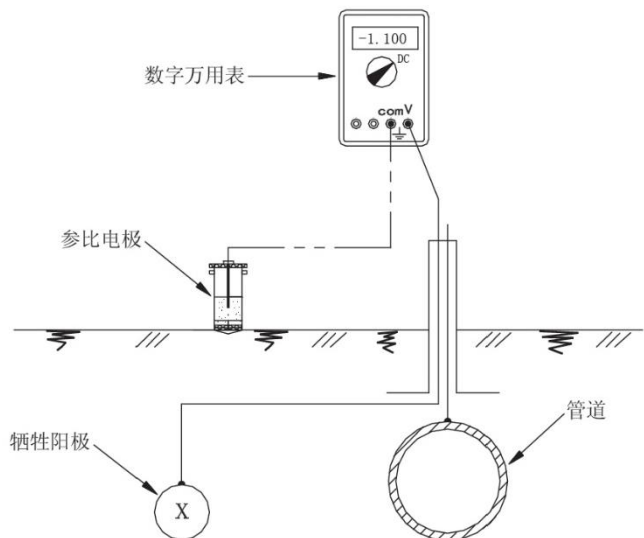


图6 牺牲阳极开路电位的测量

2.3 牺牲阳极闭路电位测量

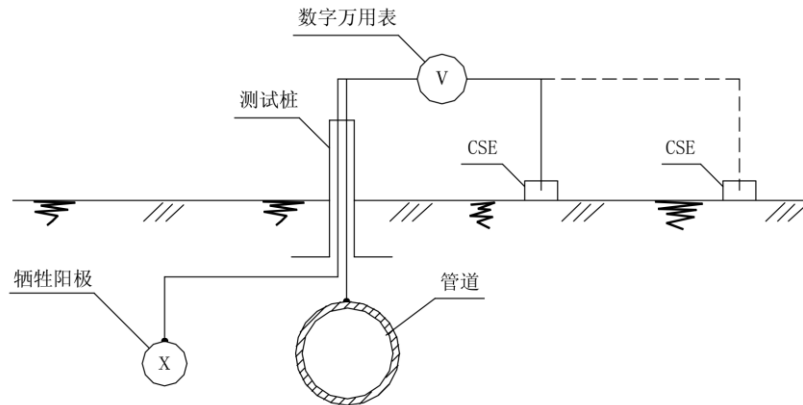


图7 牺牲阳极闭路电位的测量

通常采用远参比法来测量牺牲阳极的闭路电位。该方法是通过测量管道对远方大地的保护电位，计算出该点管道的负偏移电位值，来消除牺牲阳极工作时产生的电位正偏移所引起的管地电位测量误差。远参比法主要用于在牺牲阳极埋设点附近的管段上阴极保护有效性的检测评价。具体的操作步骤是：将硫酸铜电极朝远离牺牲阳极的方向逐次安置在地表上，第一个测量点距管道测试点不小于20米，以后逐次移动5米。将万用表调至合适的量程上，读取数据，作好电位值和极性记录，当相邻两个测量点的管地电位相差小于2.5mV时，参比电极不需再往远方移动，取最远处的管地电位值作为该测试点的管道对远方大地的电位值。

2.4 牺牲阳极输出电流的测量

2.4.1 标准电阻法

标准电阻法可以用来测量单个牺牲阳极或阳极组的输出电流。测试人员应用0.1Ω或0.01Ω的标准电阻，将标准电阻的两个接线柱分别接到管道和牺牲阳极的接线柱上，两个电位接线柱分别连接数字万用表的表笔上，并将万用表置于直流电压最低量程。接入导线的总长不应大于1米，截面积不宜小于2.5mm²。标准电阻的阻值为0.1Ω时，准确度为0.02级；为了获得更准确的测量结果，标准电阻可采用0.01Ω，此时采用的数字万用表，电压量程的分辨率应不大于0.01mV。牺牲阳极的输出电流按下式计算：

$$I = \frac{\Delta V}{R}$$

式中：I—牺牲阳极（组）输出电流，mA；

ΔV—数字万用表读数电压，mV；

R—标准电阻阻值，Ω。

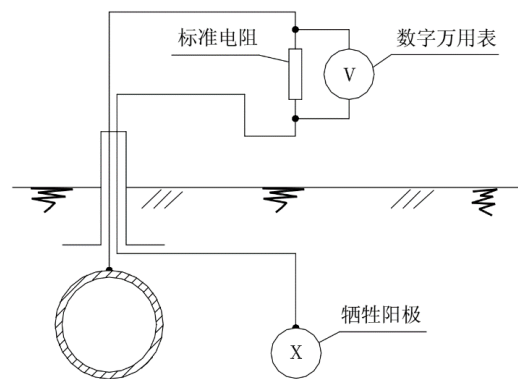


图8 牺牲阳极输出电流测量（标准电阻法）

2.4.2 直测法

当没有配备0.1Ω或0.01Ω标准电阻时，牺牲阳极（组）的输出电流可采用直测法。直测法应选用4位半以上的数字万用表，内阻不小于10MΩ，精度不低于0.5级；将万用表调节到直流10A档量程，该档位下的测量回路内电阻最小。测量的操作步骤是：首先将牺牲阳极与管道连接线断开，将万用表的一只表笔连接在测试桩的管道连线上，另一表笔连接阳极连线，直接读出电流值（单位A），该电流值即为牺牲阳极在当前时刻的输出电流值。该方法操作简单，但结果的精度要差些。

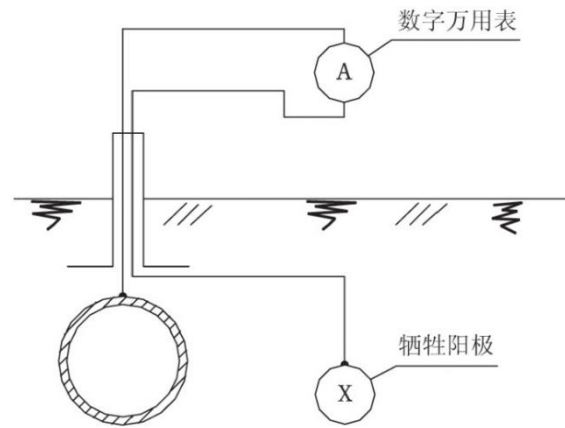


图9 牺牲阳极输出电流测量（直测法）

2.5 管内电流测量

2.5.1 电压降法

电压降法适用于外防腐层状况良好的管道。当被测管段无分支管道、无接地极，又已知管径、壁厚、管材电阻率时，可使用电压降法测管内传导的电流。测量a、b两点之间的管长 L_{ab} ，误差不应大于1%。 L_{ab} 的最小长度应根据管径大小和管内的电流量来确定，最小管长应保证a、b两点间的电位差不小于50 μV。一般 L_{ab} 取30米。采用UJ-33D-1电位差计测量a、b两点之间电位差。a、b段内管道流动电流按下式计算：

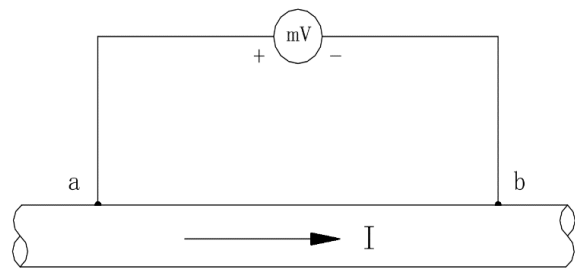


图10 管道内电流测量（电压降法）

$$I = \frac{V_{ab} \times \pi(D - \delta) \times \delta}{\rho \times L_{ab}}$$

式中：I 一流过a、b段的管道内的电流，A；

V_{ab} —a、b间的电位差，V；

D —管道外径，mm； δ —管道壁厚，mm；

ρ —管材电阻率，Ω mm²/m；

L_{ab} —a、b点间的管段长度，m。

2.5.2 标定法

当被测管段具有良好的外防腐层，且无分支、无接地极的情况，在管径、长度、壁厚、钢材电阻率四项参数中有未知数时，可使用标定法测量管内电流。标定法测量接线如图11所示，其中R为0~10Ω的滑动变阻器，E宜为12V直流电源，宜采用UJ-33D-1电位差计或分辨率为1 μV的数字电压表， $L_{ac} \geq \pi D$ ， $L_{ab} \geq \pi D$ ， L_{cd} 的长度不宜小于10米。测量过程是：首先断开开关K，测量并记录c、d的电位差 V_0 ，单位为mV，并注意极性，以识别被测管内电流流向。合上开关K，

调节变阻器，使电流表的读数 I_1 约为10A，并同时记录毫伏表测量的c、d电位差 V_1 。再调节变阻器，使电流表读数 I_2 约为5A，再记录毫伏表测量的c、d电位差 V_2 ，单位为mV，并注意极性。所施加的标定电流应与被测管内电流的流向相同。

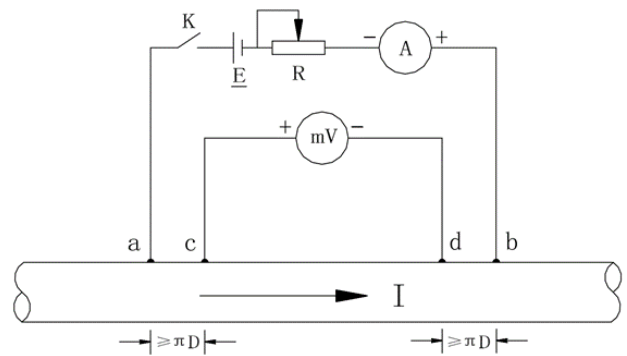


图 11 管道内电流测量（标定法）

按照以下公式可分别计算施加电流 I_1 、 I_2 时，校正因子 β_1 、 β_2 及平均校正因子 β ：

$$\beta_1 = \frac{I_1}{V_1 - V_0} \quad \beta_2 = \frac{I_2}{2 - V_0} \quad \beta = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2}$$

式中： I_1 、 I_2 — 第一次，第二次标定施加的电流，A；

β_1 、 β_2 — 施加电流 I_1 、 I_2 时的校正因子，A/mV；

β — 平均校正因子，A/mV；

V_0 — 未施加标定电流时c、d两点间的电位差，mV；

V_1 、 V_2 — 施加 I_1 和 I_2 电流时c、d和c、d两点间的电位差，mV；

管道c、d段管中流动的电流按下式计算：

$$I = V_0 \times \beta$$

式中： I — 管道c、d段内电流，A；

2.6 管道阳极区测量

2.6.1 双参比电极法

双参比电极法适用于防腐层质量很差管道的阳极区定位，对有足够阴极保护电流的裸管最为适用。测量前选用已校正过的参比电极，确定两支参比电极间无明显的电位差。测量时使用数字式直流电压表并选用最低量程，测量在管道中心线正上方以同等间隔（通常为3米）进行。

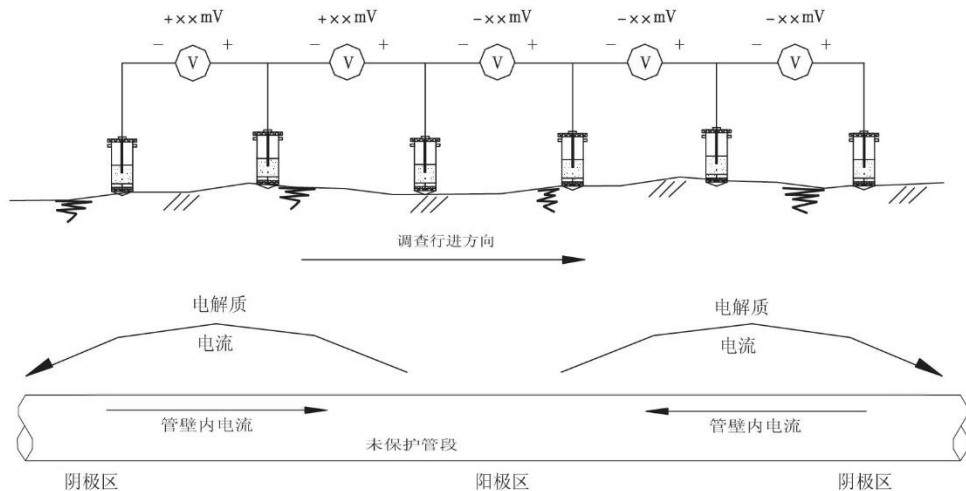


图 12 管道阳极区测量（双极法）

电压表正极与测量行进方向上靠前参比电极连接，负极与测量行进方向上靠后参比电极连接。通常情况下两个参比电极之间的读数小于50mV，当经过中间部分的阳极区时，极性将由正变负。

这种极性的变换表明存在阳极区。记录所测电压的数值和极性。当极性发生变化时，可能指示存在一个阳极区。

初步确定阳极区后可将参比电极的间距减半，从而使阳极区的定位更精确。阳极区的强度和范围可通过在垂直于管道的方向使用双参比电极测试确定。此时与电压表正极相接的参比电极置于管道正上方，另一支参比电极以同等间隔位于管道一侧。若测得结果为正值，说明电流从管道流向大地，此区域为阳极区。反之，若测得负值则说明此区域为阴极区。此种测量要在管道两侧分别进行，从而使阳极区的定位更准确可靠。

2.6.2 管地电位法

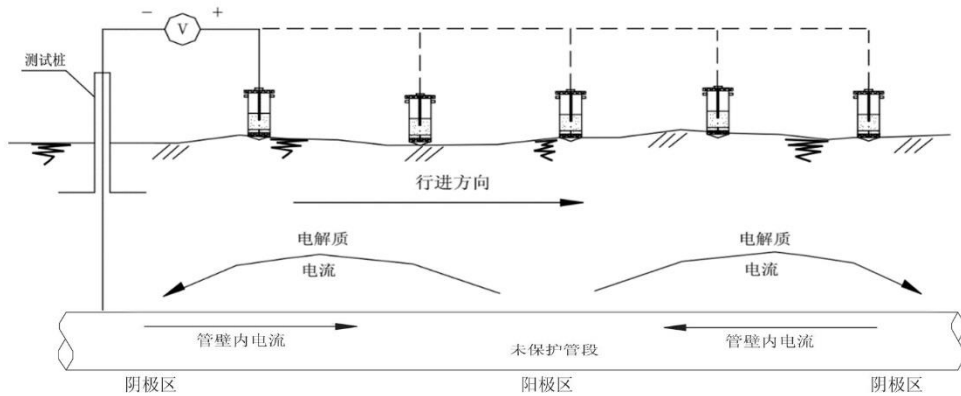


图 13 管道阳极区测量（管地电位法）

管地电位法也可用来定位未施加阴极保护的管道上可能出现的腐蚀阳极区。测量时选用饱和硫酸铜电极和数字式电压表。电压表正极与参比电极连接，负极与管道上的测试点连接。在管道路由正上方以3米为间距测量并记录管地电位数值。初步确定阳极区后，测量间距可以缩短，从而使阳极区的定位更精确。将测得管地电位随距离变化的数据绘制成曲线图，负电位最高的区域为腐蚀的阳极区。

3. 阴极保护设施常规测量方法

3.1 绝缘接头（法兰）性能测量

3.1.1 兆欧表法

兆欧表测量方法适用于尚未埋地的管道绝缘接头（法兰）性能的测量。测量接线如右图14所示。测量导线与管道的连接宜采用磁性接头或夹子，连接点必须除锈。测量仪表宜为500V/500MΩ（误差不大于10%）兆欧表。转动兆欧表手柄达到规定的转速，持续10s，兆欧表稳定指示的电阻值即为绝缘接头绝缘电阻值。

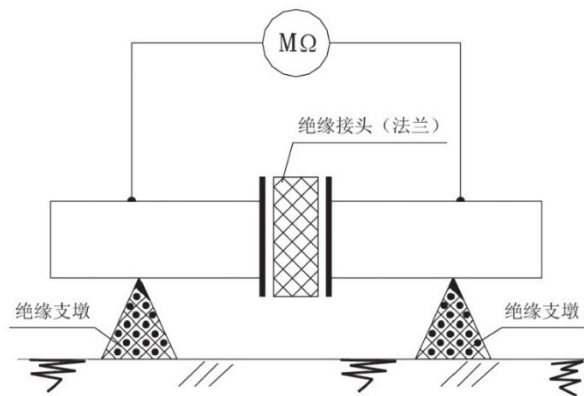


图 14 绝缘接头性能测量（兆欧表法）

3.1.2 电位法

电位法适用于已经建成埋地且有阴极保护管道的绝缘接头(法兰),当阴极保护可以运行时,可用电位法判断其绝缘性能。在对被保护管道通电之前,用数字万用表测试绝缘接头非保护a侧的管地电位 V_{a1} ;之后,保持参比电极位置不变,对保护管道通电,并调节阴保电源的输出,使保护

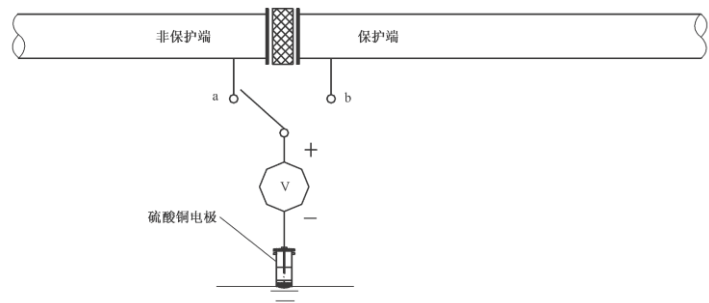


图 15 绝缘接头性能测量(电位法)

侧b点的管地电位 V_b 达到 $-0.85V \sim -1.50V$ 之间;测试a点的管地电位 V_{a2} ;若 V_{a1} 和 V_{a2} 大体相等,则认为绝缘接头的绝缘性能良好;若 $|V_{a2}| > |V_{a1}|$ 且接近 V_b 值,则认为绝缘接头的绝缘性能可疑。若辅助阳极距绝缘接头足够远,且判明与非保护侧相连的管道没同保护侧的管道接近或交叉,则可判定为绝缘接头的绝缘性能很差(严重漏电或短路);否则应按3.1.3或3.1.4的方法进一步测量。

3.1.3 漏电电阻法

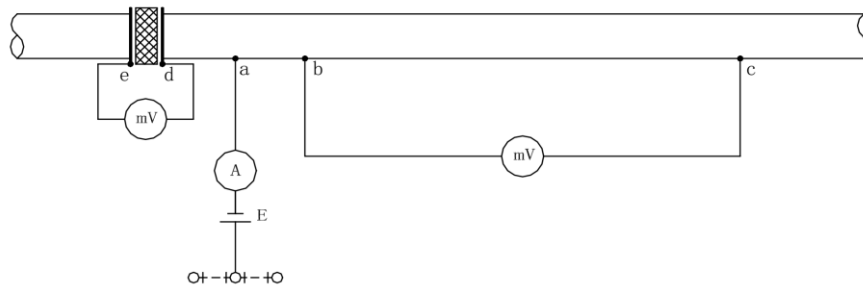


图 16 绝缘接头性能测量(漏电电阻法)

当采用电位法判定绝缘接头绝缘性能存疑,或需要更为准确地确定绝缘电阻及漏电率时,已经安装有绝缘接头测试桩,且被测管段无分支管、无接地极,又已知管径、壁厚、管材电阻率等测量条件能够测量管内电流时,可采用漏电电阻法进行绝缘性能测量。使用漏电电阻法测量绝缘接头绝缘性能时如上图16所示连接,其中a、b之间的水平距离大于 πD ,b-c段的长度宜为30米。调节强制电源E的输出电流 I ,使保护侧的管道达到有效保护电位值。用万用表测定绝缘接头两侧d、e间的电位差。按电压降法测试b、c段的电流 I_1 。记录强制电源向管道提供的保护电流 I 。绝缘接头漏电电阻按下式计算:

$$R_H = \frac{\Delta V}{I - I_1}$$

- 式中: R_H —绝缘接头漏电电阻, Ω ;
- ΔV —绝缘接头两侧电位差, V;
- I —强制电源E的输出电流, A;
- I_1 —b、c段管道内电流, A;

绝缘接头（法兰）的漏电百分率按下式计算：

$$\eta = \frac{I - I_1}{I} \times 100\%$$

式中： η —漏电百分率，%；

3.1.4 PCM 漏电率法

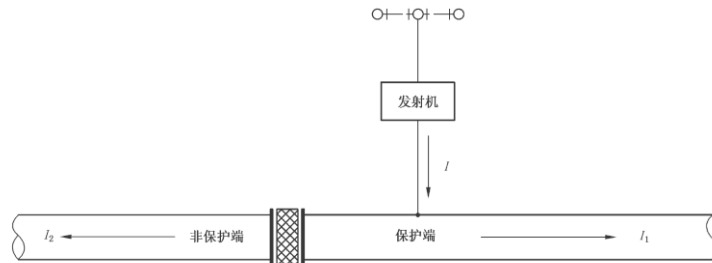


图 17 绝缘接头性能测量（PCM 漏电率法）

PCM漏电率法适用于已建成的管道，使用电流测绘系统（PCM，DM）测量绝缘装置保持电流的能力，判定绝缘接头（法兰）的性能。按PCM操作步骤，用发射机在保护侧接近绝缘接头（法兰）处向管道输入电流 I 。在保护侧电流输入点外侧，用接收机测量并记录该侧管道电流 I_1 。在非保护侧使用接收机测量并记录该侧管道电流 I_2 。用下式计算绝缘接头漏电百分率：

$$\eta = \frac{I_2}{I_1 + I_2} \times 100\%$$

式中： η —绝缘接头漏电百分率，%；

I_1 —接收机测量的绝缘接头保护侧管内电流，A；

I_2 —接收机测量的绝缘接头非保护侧管内电流，A。

3.1.5 接地电阻测量仪法

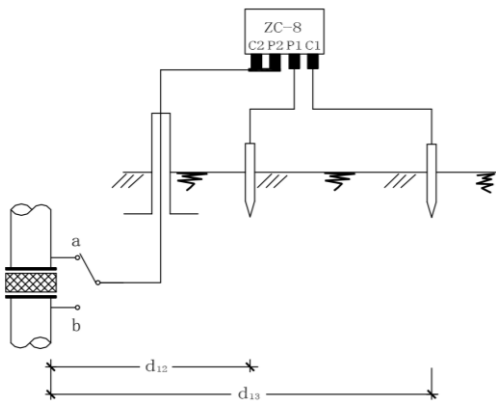


图 18 绝缘接头两端管道接地电阻测量

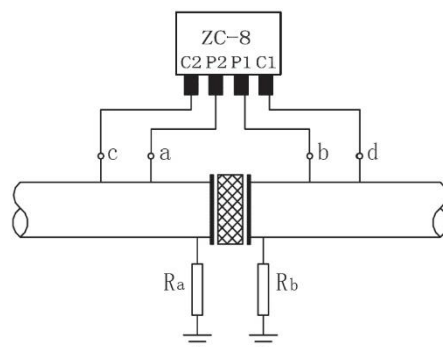


图 19 绝缘接头回路总电阻测量

接地电阻测量仪法适用于已建成管道上的绝缘接头（法兰），在其两侧具有四个测量连接点时，可使用接地电阻测量仪法，定量测量其电阻。先测量绝缘接头两端管道接地电阻，其测量接线如图18所示。分别对a点和b点按3.2.2节的测量方法进行测量，读取并记录仪表读数值 R_a 和 R_b 。再测量绝缘接头（法兰）回路的总电阻，其测量接线按图19所示。按3.2.1节的测量步骤，测量并记录仪表读数值 R_r 。当 $R_r \leq 1\Omega$ 时，相邻两测量接线点的间隔应不小于 πD ；当 $R_r > 1\Omega$ 时，相

邻两测量接线点 (a点与c点, b点与d点) 可合二为一, 此时C₁与P₁、C₂与P₂可短接。绝缘接头 (法兰) 的绝缘电阻按下式计算:

$$R = \frac{R_r \times (R_a + R_b)}{(R_a + R_b) - R_r}$$

式中: R—绝缘接头的电阻, Ω;

R_r—绝缘接头回路总电阻, Ω;

R_a—绝缘接头保护端接地电阻, Ω;

R_b—绝缘接头非保护端接地电阻, Ω;

3.2 接地电阻测量

3.2.1 长接地体接地电阻测量

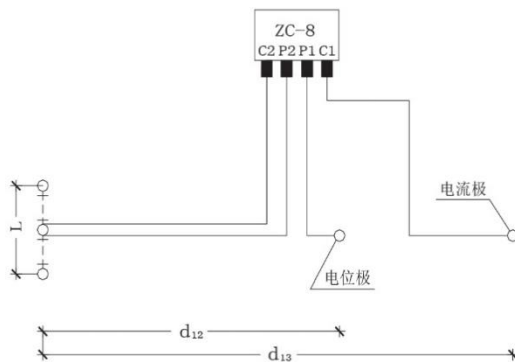


图20 接地电阻测量直线型布置

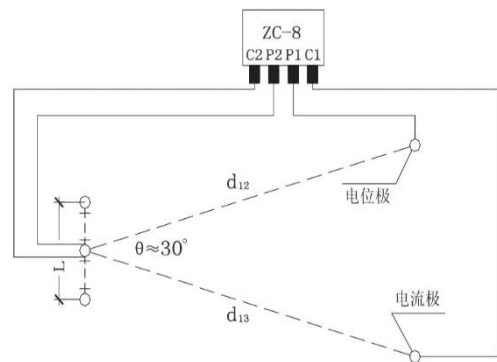


图21 接地电阻测量三角型布置

直线布置型长接地电阻测量法适用于强制电流的辅助阳极地床 (浅埋式或深井式阳极地床)、对角线长度大于8米的棒状牺牲阳极组或长度大于8米的锌带, 接地电阻的测量。当采用直线型布置测量长接地体接地电阻时, d₁₃不得小于40米, d₁₂不得小于20米。在土壤电阻率较均匀的地区d₁₃取2L, d₁₂取L; 在土壤电阻率不均匀的地区, d₁₃取3L, d₁₂取1.7L。

在测量过程中, 电位极沿接地体与电流极的连线移动三次, 每次移动的距离为d₁₃的5%左右, 若三次测试值接近, 取其平均值作为长接地体的接地电阻值; 若测试值不接近, 将电位极向电流极方向移动, 直至测试值接近为止。采用三角型布置测量长接地体接地电阻时, d₁₂=d₁₃≥2L。选择一种电极布置方式, 摇动接地电阻测量仪的手柄, 使发电机达到额定转速, 调节平衡旋钮, 直至电表指针停在中间黑线上, 此时黑线指示的度盘值乘以倍率即为接地电阻值。

3.2.2 短接地体接地电阻测量

短接地体接地电阻测量适用于当对角线长度小于8米的棒状阳极组或长度小于8米锌带等接地体。测量前, 必须将牺牲阳极与管道断开, 然后按如图22所示接线图, 沿垂直于管道的一条直线上布置电极, d₁₃约40米, d₁₂取20m左右, 转动接地电阻测量仪的手柄, 使手摇发电机达到额定转速, 调节平衡旋钮, 直至电表指针停在中间黑线上, 此时黑线指示的度盘值乘以倍率即为接地电阻值。

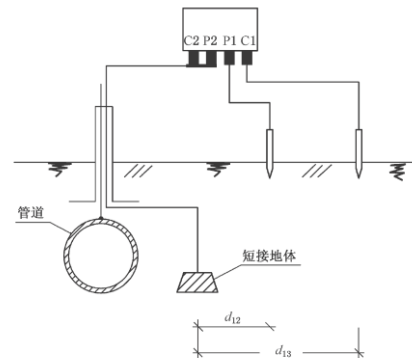


图22 短接地体接地电阻测量

4. 腐蚀环境常规测量方法

4.1 土壤电阻率测量

4.1.1 等距法

等距法适用于从地表至深度为a的平均土壤电阻率的测量。在测量点使用接地电阻测量仪（常用仪器为ZC-8，误差不大于3%），采用四极法进行测试，测量接线如右图所示。测量仪的四个电极以等间距a布置在一条直线上，电极入土深度应小于a/20。转动接地电阻测量仪的手柄，使手摇发电机达到额定转速，调节平衡旋钮，直至电表指针停在中间黑线上，此时黑线指示的度盘值乘以倍率即为土壤电阻值R。

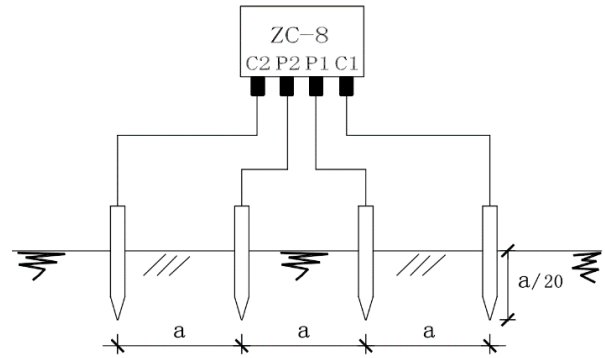


图23 等距法土壤电阻率测量

从地表至深度为a的平均土壤电阻率按下式计算：

$$\rho = 2\pi aR$$

式中： ρ —测量点从地表至深度a土层的平均土壤电阻率， $\Omega \cdot m$ ；

a —相邻两电极之间的距离，m；

R —土壤电阻值， Ω 。

4.1.2 不等距法

不等距法适用于测深不小于20m情况下的土壤电阻率测量。测量时应先计算确定四个电极的间距，此时 $b > a$ 。a值通常情况可取5~10米，b值则根据测量深度如下公式计算确定：

$$b = h - \frac{a}{2}$$

式中： b —外侧电极与邻近内侧电极之间的距离，m；

a —相邻两内侧电极之间的距离，m；

h —测深，m。

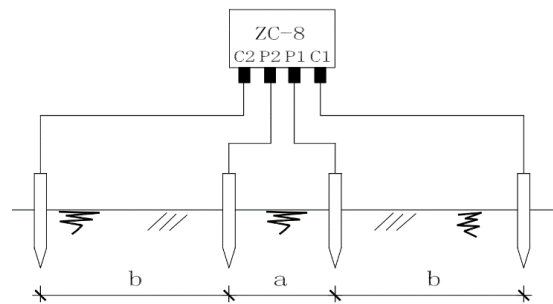


图24 不等距法土壤电阻率测量

根据确定的间距将测量仪的四个电极布置在一条直线上，电极入土深度应小于a/20。转动接地电阻测量仪的手柄，使手摇发电机达到额定转速，调节平衡旋钮，直至电表指针停在中间黑线上，此时黑线指示的度盘值乘以倍率即为土壤电阻值R。若R值出现小于零时，应加大a值并重新布置电极。测深h的平均土壤电阻率按下式计算：

$$\rho = \pi R \left(b + \frac{b^2}{a} \right)$$

式中： ρ —测量点从地表至深度h土层的平均土壤电阻率， $\Omega \cdot m$ ；

R —土壤电阻值， Ω 。

4.2 管道杂散电流的测量

4.2.1 管地电位法测量直流干扰

本测量方法是，通过埋地钢质管道的管地电位测试来评价直流干扰对管地电位的影响程度。测试连线按图25进行连接，数据记录仪应选用具有数据存储功能的设备，长时间记录管地电位。测量时间段应分别选择在干扰源的高峰、低峰和一般负荷三个时间段上，测量时间段一般为60分钟，对运行频繁的电气化铁路可取30分；读数时间间隔一般为10s~30s，电位交变激烈时，不应大于1s。对每个测试值按下式计算管地电位相对于自然腐蚀电位偏移值（电位偏移值）：

$$\Delta V = V - V_0$$

式中： ΔV —电位偏移值，mV； V —管地电位测量值，mV； V_0 —管道自然腐蚀电位值，mV。

管地电位正、负向偏移值的平均值按下式计算：

$$\bar{V}(\pm) = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta V_i(\pm)}{n}$$

式中： $\bar{V}(\pm)$ —规定的测试时间段内正、负向电位偏移值的平均值，V； $\sum_{i=1}^n \Delta V_i(\pm)$ —分别计算的正、负向偏移值总和，V； n —规定的测试时间段内全部读数的个数。

建立直角坐标系，纵轴表示电位，横轴表示时间，将测试点在测试时间段内各电位测试值记入坐标中，则绘制成该测试点的电位—时间曲线；如把电位测试值换成电位偏移值则绘制成电位偏移值—时间曲线；建立直角坐标系，纵轴表示电位，横轴表示距离，将各测试点的正、负电位偏移值的平均值和最大值、最小值记入坐标中，则绘制成某一干扰管段的电位偏移值—距离曲线，即是电位偏移值分布曲线。依据相关标准进行埋地钢质管道直流干扰状况的评价。

采用嘉信公司的MDL多功能电位检测仪能够进行自动检测。检测数据可直接应用配套的数据分析软件进行分析。具体使用方法请参阅嘉信公司相关技术资料。

4.2.2 土壤表面电位梯度法测量直流干扰

直流干扰的土壤表面电位梯度测量法适用于直流干扰引起的钢质管道上方土壤表面电位梯度的测试。测量时按照图 26 所示的方式连接，ac 与 bd 的距离相等，且垂直对称布设，其中 ac 或 bd 应与管道平行，参比电极间距一般不宜小于 20 米。当受到环境限制时可适当缩短，但应使电压表有明显的指示。同时读取电压表 A、B 的数值（ V_A 和 V_B ）；按照电压测试值的正负将读数分成 $[V_A(+), V_B(+)]$ 、 $[V_A(+), V_B(-)]$ 、 $[V_A(-), V_B(+)]$ 、 $[V_A(-), V_B(-)]$ 4 种读数组合，再分别计算

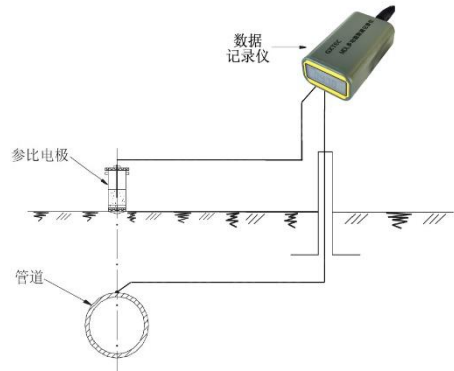


图25 管地电位法测量直流干扰

4 种读数组合中的 $V_A(+)$ 、 $V_A(-)$ 、 $V_B(+)$ 、 $V_B(-)$ 的平均值。以如下公式计算 $V_A(+)$ 的平均值：

$$\bar{V}_A(+)=\frac{\sum_{i=1}^n \Delta V_{Ai}(+)}{n}$$

式中：

$\sum_{i=1}^n \Delta V_{Ai}(+)$ —规定的测试时间段内 $V_A(+)$ 的测试值的总和，V；

$\bar{V}_A(+)$ —测试时间内 $V_A(+)$ 的平均值，V；

n—测试时间段内全部读数的总次数。

建立直角坐标系，使其纵、横两轴分别与图 26 的 ab 和 cd 相对应。将计算出 4 种读数组合的平均值分别记入坐标中，然后利用矢量合成法，分别求出各自的矢量和；上述测得的数值或经数据处理后的测试值，分别除以各自对应的参比电极间距（以米为单位），即为电位梯度；沿着某一干扰段选取几个地点，重复进行上述的测试及数据处理，通过几个测试点的电位梯度的大小和方向，判断杂散电流源的方位。当单独测试地电位梯度时，参比电极的间距应小一些，在可能的情况下以 1 米为宜。

管道直流干扰的严重程度，以及实施干扰减缓措施后的治理效果评定，参照 GB 50991-2014 《埋地钢质管道直流干扰防护技术标准》进行。

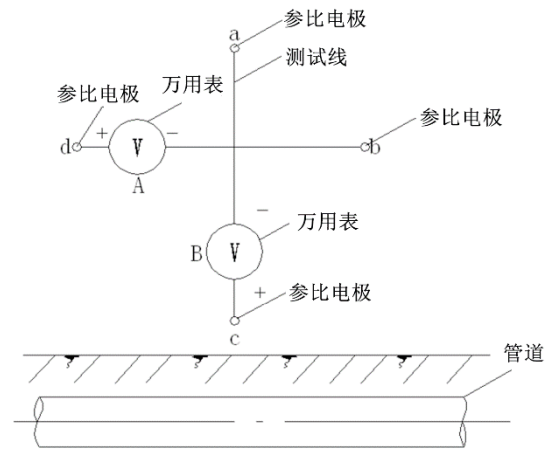


图26 土壤表面电位梯度测量

4.2.3 交流干扰电压测量

该测量方法适用于交流干扰源引起的管道交流干扰电压的测量。测试连线按图 27 进行连接，交流电压表也可选用具有数据存储功能的设备（如嘉信公司的 MDL），长时间记录管道上的交流电压。测试点应选在与干扰源接近的管段，间隔宜为 1 千米，应尽量利用现有测试桩；测量时间段应分别选择在干扰源的高峰、低峰和一般负荷三个时间段上，测量时间段一般为 60 分，对运行频繁的电气化铁路可取 30 分。对强度大或剧烈

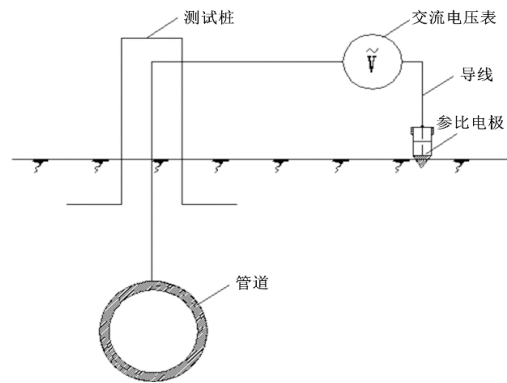


图27 交流干扰电压测量

波动的干扰，普查测试期间测得的交流干扰电压最大和交流电流密度最大的位置点，以及其它具有代表性的点，应当进行 24 小时连续测试，或者直到确定出与干扰源负载变化的对应关系为止。读数时间间隔一般为 10s~30s，电位交变激烈时不应大于 1s。测试点的干扰电压最大值、最小值，从已记录的各次测量数据中选择；交流电压的平均值按如下公式计算：

$$V_p = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n}$$

式中： $\sum_{i=1}^n V_i$ —交流干扰电压各次测量值的总和，V；

V_p —规定的测试时间段内测试点交流电压的平均值，V；

n—规定的测试时间段内全部读数的总次数。

根据交流干扰电压的最大值、最小值和平均值绘制干扰电压曲线图，依据 GB/T 50698-2011《埋地钢质管道交流干扰防护技术标准》等相关标准进行管道交流干扰状况的评价。

4.2.4 交流电密度测量

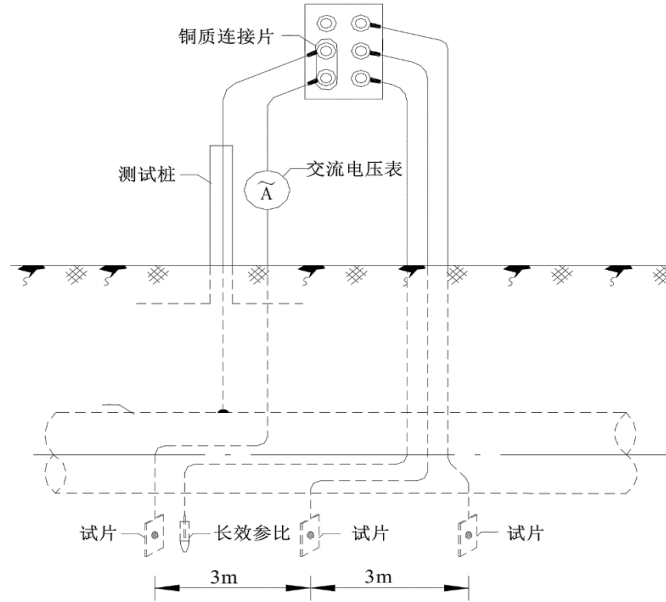


图28 交流电密度测量

交流电密度测量法适用于监测及评估管道运行期间交流干扰影响程度的测量。

对于管线实施测试的详细步骤是：使用裸露面积为 100mm² 的便携式棒状探头，将棒状探头插入靠近管道的土壤内，并通过测量电缆与管道进行电性连通，保持与管道相同的阴极保护和交流干扰状态；对用于监测及评估管道运行期间交流影响程度的测量，应使用腐蚀检查片组（如：3 片），其中应有一个检查片通过测量电缆与管道电连通，保持与管道相同的阴极保护和交流干扰状态。各检查片间距至少大于 1 米，一般为 3 米，检查片中心与管壁净距不小于 0.3 米，一般 0.5 米左右。检查片除裸露面积为 100mm² 的金属表面外，其余部位应作好防腐绝缘；将交流电流表串入回路与管道及检查片相连接，将交流电流表调至合适的量程上，记录测量值和测量时间。将直接测量获得的交流电流值 (I_{AC}) 除以检查片裸露面积即为交流电流密度值 (J_{AC})。

如果管道未埋设腐蚀试片，可使用电压法测量管道上的交流干扰电压。当管道上的交流干扰电压不高于 4V 时，可不采取交流干扰防护措施；高于 4V 时，应采用交流电流密度进行评估，交流电流密度可按下式计算：

$$J_{AC} = \frac{8V}{\rho \pi d}$$

式中： J_{AC} —评估的交流电密度，A/m²；

V —交流干扰电压有效值的平均值，V；

ρ —土壤电阻率， $\Omega \cdot m$

d —破损点直径，按交流干扰最严重考虑，取0.0113米；

(林守江 2024 年 10 月修订)