

中华人民共和国石油天然气行业标准

埋地钢质管道阴极保护 参数测试方法

SY/T 0023—1997

批准部门:中国石油天然气总公司

批准日期:1997-12-31

实施日期:1998-07-01

代替 SYJ 23—1986

1 总则

1.0.1 为了统一埋地钢质管道(以下简称管道)外壁阴极保护参数的现场测试方法,使测试数据准确、可靠,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于管道外壁阴极保护参数的现场测试。

2 术语

2.0.1 管地电位 pipeline-earth electrical potential

管道与其相邻土壤的电位差。

2.0.2 地表参比法 surface reference electrode method

将参比电极置放于被测管道附近地面测试管地电位的方法。

2.0.3 近参比法 reference electrode method close to pipeline

将参比电极置放于贴近被测管道的土壤中测试管地电位的方法。

2.0.4 远参比法 reference electrode method remote from pipeline

将参比电极置放于距被测管道较远——地电位趋于零的地面测试管地电位的方法。

2.0.5 辅助电极法 auxiliary electrode method

测试与管道相连、有一定裸露面积并与管道材质相同试片的保护电位,模拟管道保护电位的方法。

3 基本规定

3.0.1 测试仪表必须具有满足测试要求的显示速度、准确度,同时还应具有携带方便、耗电小、适应测试环境的特点。对所用的测试仪表,必须按国家现行标准的有关规定进行校验。

3.0.2 为了提高测试的准确度,宜选用数字式仪表。

3.0.3 直流电压表选用原则:

1 指针式电压表的内阻应不小于 $100\text{ k}\Omega/\text{V}$;数字式电压表的输入阻抗应不小于 $1\text{ M}\Omega$ 。

2 电压表的灵敏阈(分辨率)应满足被测电压值,至少应具有两位有效数;当只有两位有效数时,首位数必须大于1。

3 电压表的准确度应不低于2.5级。

3.0.4 直流电流表选用原则:

1 电流表的内阻应小于被测电流回路总内阻的5%。

2 电流表的灵敏阈(分辨率)应满足被测电流值,至少应具有两位有效数;当只有两位有效数时,首位数必须大于1。

3 电流表的准确度应不低于2.5级。

3.0.5 进行管地电位测试时,应采用铜—饱和硫酸铜电极(以下简称硫酸铜电极,代号 CSE)作为参比电极。其制作材料和使用必须符合下列要求:

- 1 铜电极采用紫铜丝或棒(纯度不小于 99.7%)。
- 2 硫酸铜为化学纯,用蒸馏水配制饱和硫酸铜溶液。
- 3 渗透膜采用渗透率高的微孔材料,外壳应使用绝缘材料。
- 4 流过硫酸铜电极的允许电流密度不大于 $5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 。

3.0.6 所有测试连接点必须保证电接触良好。

3.0.7 测量导线应采用铜芯绝缘软线;在有电磁干扰的地区(如高压输电线附近),应采用屏蔽导线。

3.0.8 测试仪表必须按仪表使用说明书的有关规定操作。

4 管地电位测试

4.1 地表参比法

4.1.1 地表参比法主要用于管道自然电位、牺牲阳极开路电位、管道保护电位等参数的测试。

4.1.2 地表参比法的测试接线示意图见图 4.1.2,宜采用数字式电压表。

4.1.3 将参比电极放在管道顶部上方 1 m 范围的地表潮湿土壤上,应保证参比电极与土壤电接触良好。

4.1.4 将电压表调至适宜的量程上,读取数据,作好记录,注明该电位值的名称。

4.2 近参比法

4.2.1 近参比法一般用于防腐层质量差的管道保护电位和牺牲阳极闭路电位的测试。

4.2.2 在管道(或牺牲阳极)上方,距测试点 1 m 左右挖一安放参比电极的探坑,将参比电极置于距管壁(或牺牲阳极)3~5 cm 的土壤上,如图 4.2.2 所示。

4.2.3 按 4.1.4 进行测试和记录。

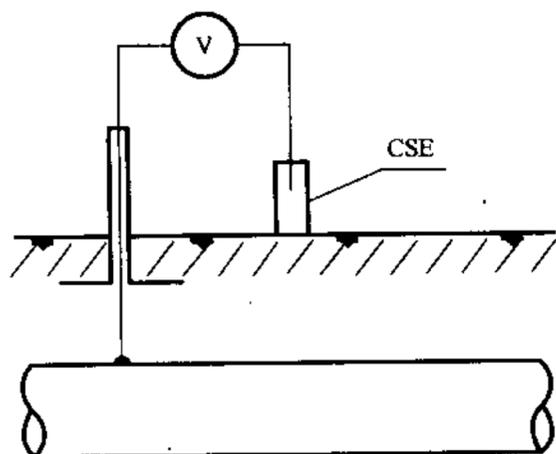


图 4.1.2 地表参比法测试接线示意图

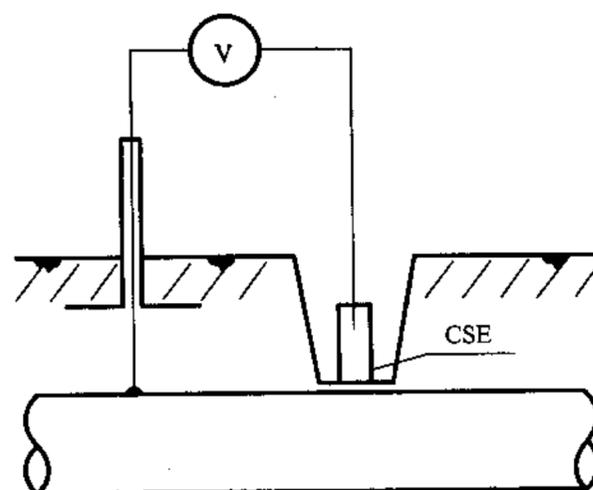


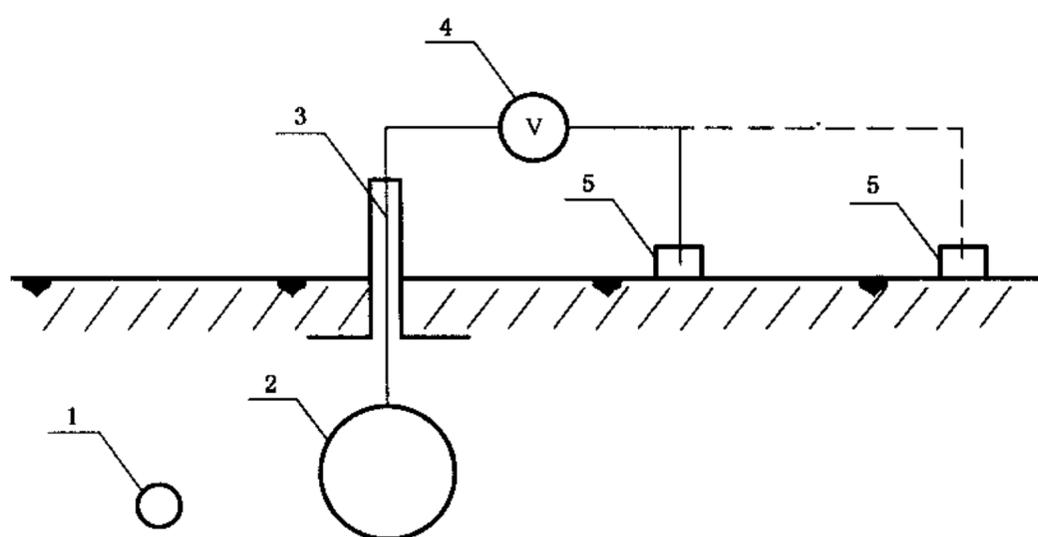
图 4.2.2 近参比法测试接线示意图

4.3 远参比法

4.3.1 远参比法主要用于强制电流阴极保护受辅助阳极地电场影响的管段和牺牲阳极埋设点附近的管段,测量管道对远方大地的电位,用以计算该点的负偏移电位值。

4.3.2 远参比法的接线示意图见图 4.3.2。

4.3.3 将硫酸铜参比电极朝远离地电场源的方向逐次安放在地表上,第一个安放点距管道测试点不小于 10 m,以后逐次移动 10 m。用数字万用表按 4.1.4 测试管地电位,当相邻两个安放点测试的管地电位相差小于 5 mV 时,参比电极不再往远方移动,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。



1—辅助阳极或牺牲阳极；2—管道；3—测试桩；
4—数字万用表；5—参比电极(CSE)

图 4.3.2 远参比法测试接线示意图

4.4 断电法

4.4.1 为消除阴极保护电位中的 IR 降影响,宜采用断电法测试管道的保护电位。

4.4.2 断电法通过电流断续器来实现,断续器应串接在阴极保护电流输出端上。

4.4.3 在非测试期间,阴极保护站处于连续供电状态;在测试管道保护电位或外防腐层电阻期间,阴极保护站处于向管道供电 12 s、停电 3 s 的间歇工作状态。同一系统的全部阴极保护站,间歇供电时必须同步,同步误差不大于 0.1 s。停电 3 s 期间用地表参比法测得的电位,即为参比电极安放处的管道保护电位。

4.5 辅助电极法

4.5.1 采用与管道相同材质的钢片制作一个检查片作为辅助电极,片面除一面中心留下一个 10 mm 直径的裸露孔外,其余部位全部被防腐层覆盖,埋设于管道附近冻土线以下的土壤中。埋设时裸露孔朝上,覆盖 1~2 cm 细土后,将长效硫酸铜电极的底部置于裸露孔正上方,然后回填至地平面。辅助电极的导线和长效硫酸铜电极的导线分别接于测试桩内各自的接线桩上,辅助电极接线柱用铜片或铜导线与测试桩内管道引出线的接线桩短接。

4.5.2 采用数字万用表定期测试辅助电极与长效硫酸铜电极的电位差。有阴极保护时,该电位差代表该点的管道保护电位。

5 牺牲阳极输出电流测试

5.1 标准电阻法

5.1.1 标准电阻法测试的接线示意图见图 5.1.1。

5.1.2 标准电阻的两个电流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接数字万用表,并将数字万用表置于 DC 200 mV 量程。接入导线的总长度不大于 1 m,截面积不宜小于 2.5 mm²。

5.1.3 标准电阻的阻值应为 0.1 Ω,准确度为 0.02 级。

5.1.4 牺牲阳极的输出电流按下式计算。

$$I = \frac{\Delta V}{R} \quad (5.1.4)$$

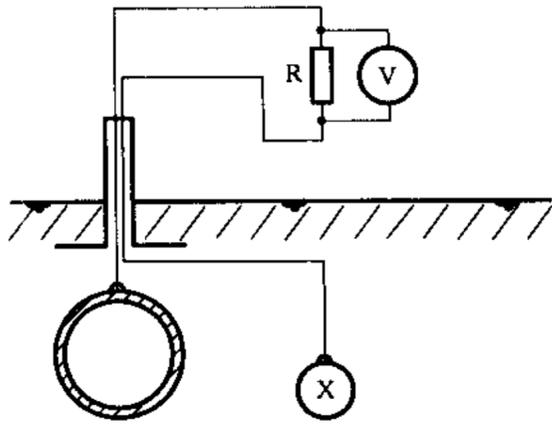
式中: I —牺牲阳极(组)输出电流(mA);

ΔV —数字万用表读数(mV);

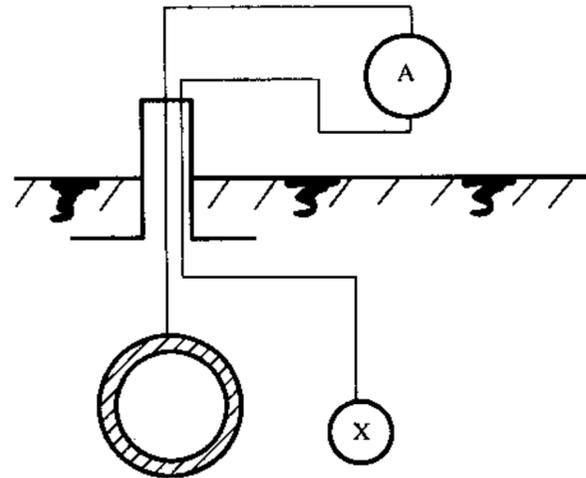
R —标准电阻阻值(Ω)。

5.2 直测法

5.2.1 直测法的接线示意图见图 5.2.1。



R—标准电阻；V—数字万用表；X—牺牲阳极
图 5.1.1 标准电阻法测试接线示意图



A—4½位数字万用表；X—牺牲阳极
图 5.2.1 直测法接线示意图

5.2.2 直测法应选用 5 位读数(4½位)的数字万用表,用 DC 10 A 量程直接读出电流值。

6 管内电流测试

6.1 电压降法

6.1.1 具有良好外防腐层的管道,当被测管段无分支管道、无接地极,又已知管径、壁厚、材料的电阻率时,沿管道流动的直流电流按图 6.1.1 进行测试。

6.1.2 测量 a、b 两点之间的管长 L_{ab} ,误差不大于 1%。 L_{ab} 的最小长度应根据管径大小和管内的电流决定,最小管长应保证 a、b 两点之间的电位差不小于 $50 \mu\text{V}$,一般取 L_{ab} 为 30 m。

6.1.3 先用数字万用表判定 a、b 两点的正、负极性并粗测 V_{ab} 值。然后将正极端和负极端分别接到 UJ-33a 直流电位差计“未知”端的相应接线柱上,细测 V_{ab} 值。

6.1.4 ab 段管内的电流按下式计算。

$$I = \frac{V_{ab} \cdot \pi(D - \delta)\delta}{\rho L_{ab}} \quad (6.1.4)$$

式中： I ——流过 ab 段的管内电流(A)；

V_{ab} ——ab 间的电位差(V)；

D ——管道外径(mm)；

δ ——管道壁厚(mm)；

ρ ——管材电阻率($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)；

L_{ab} ——ab 间的管道长度(m)。

6.2 补偿法

6.2.1 具有良好外防腐层的管道,当被测管段无分支管道、无接地极,管内流动的直流电流比较稳定时,可使用补偿法测量管内电流。补偿法的接线示意图见图 6.2.1。

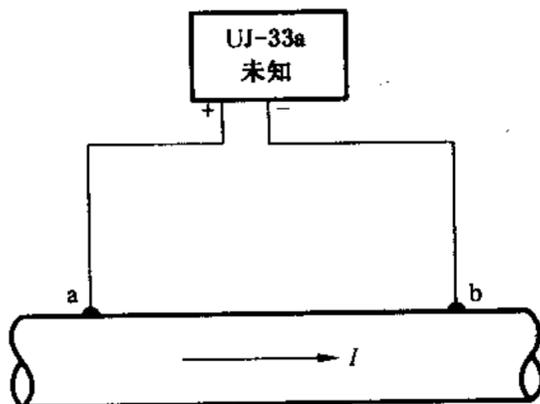


图 6.1.1 电压降法测试接线示意图

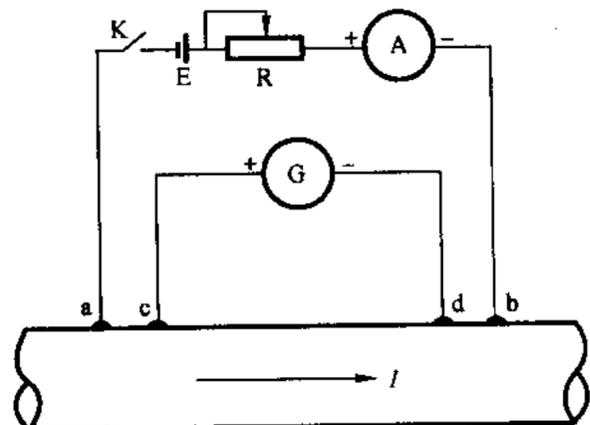


图 6.2.1 补偿法测试接线示意图

6.2.2 图 6.2.1 中, $L_{ac} \geq \pi D$, $L_{db} \geq \pi D$, L_{cd} 的长度宜为 20~30 m。

6.2.3 按图 6.2.1 接好测试回路, 合上开关 K, 调节变阻器 R, 当检流计或电位差计 G 的指示为零时, 电流表 A 指示的数值即为管内电流 I 的绝对值。

7 绝缘法兰(接头)绝缘性能测试

7.1 兆欧表法

7.1.1 制成但尚未安装到管道上的绝缘法兰(接头), 其绝缘电阻值用兆欧表法测量。

7.1.2 如图 7.1.2 所示, 宜用磁性接头(或夹子)将 500 V 兆欧表输入端的测量导线压接(夹接)在绝缘法兰(接头)两侧的裸管上(连接点必须除锈), 转动兆欧表手柄达到规定的转速, 持续 10 s, 此时兆欧表稳定指示的电阻值即为绝缘法兰(接头)的绝缘电阻值。

7.2 电位法

7.2.1 已安装到管道上的绝缘法兰(接头), 可用电位法判断其绝缘性能。

7.2.2 如图 7.2.2 所示, 在被保护管道通电之前, 用数字万用表 V 测试绝缘法兰(接头)非保护侧 a 的管地电位 V_{a1} ; 调节阴极保护电源, 使保护侧 b 点的管地电位 V_b 达到 $-0.85 \sim -1.50$ V 之间, 再测试 a 点的管地电位 V_{a2} 。若 V_{a1} 和 V_{a2} 基本相等, 则认为绝缘法兰(接头)的绝缘性能良好; 若 $|V_{a2}| > |V_{a1}|$ 且 V_{a2} 接近 V_b 值, 则认为绝缘法兰(接头)的绝缘性能可疑。若辅助阳极距绝缘法兰(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, 则可判定为绝缘法兰(接头)的绝缘性能很差(严重漏电或短路); 否则应按 7.3 的方法进一步测试。

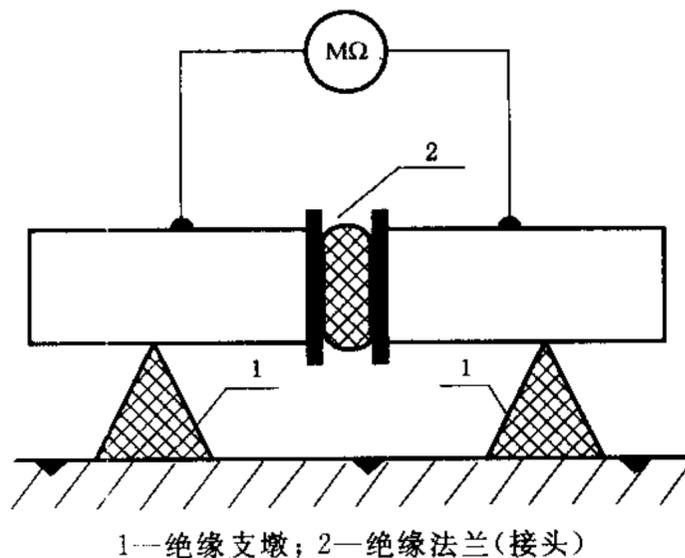


图 7.1.2 兆欧表法测试接线示意图

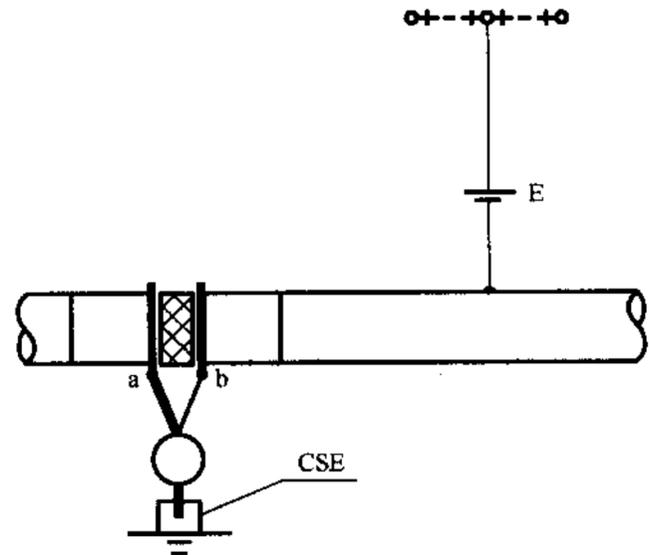


图 7.2.2 电位法测试接线示意图

7.3 漏电电阻测试法

7.3.1 已安装到管道上使用的绝缘法兰(接头), 采用电位法测试其绝缘性能可疑时, 应按图 7.3.1 所示的测试接线示意图进行漏电电阻或漏电百分率测试。

7.3.2 绝缘法兰(接头)漏电电阻测试的步骤如下:

- 1 按图 7.3.1 接好测试线路, 其中 a、b 之间的水平距离不得小于 πD , bc 段的长度宜为 30 m。
- 2 调节强制电源 E 的输出电流 I_1 , 使保护侧的管道达到阴极保护电位值。
- 3 用数字万用表测定绝缘法兰(接头)两侧 d、e 间的电位差 ΔV 。
- 4 按 6.1 所示的方法测试 bc 段的电流 I_2 。
- 5 读取强制电源向管道提供的阴极保护电流 I_1 。

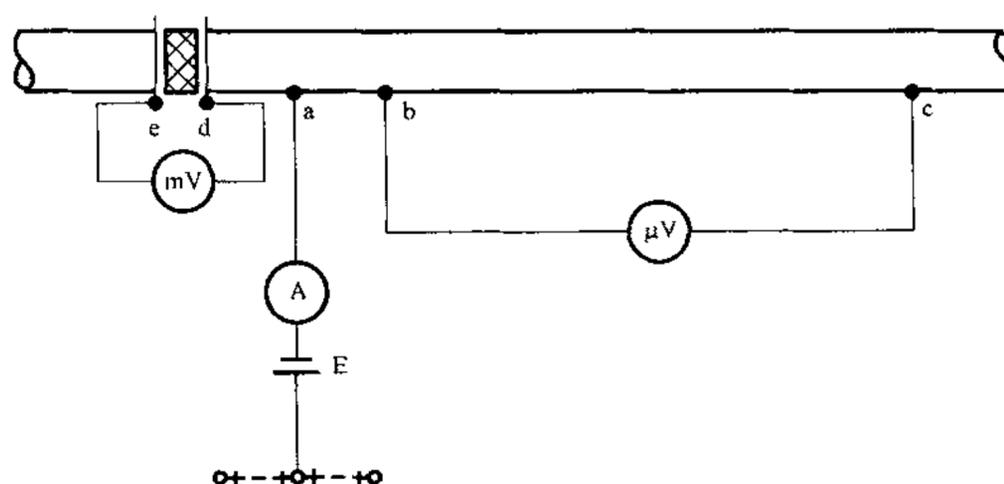


图 7.3.1 漏电电阻测试接线示意图

7.3.3 绝缘法兰(接头)漏电电阻按下式计算。

$$R_H = \frac{\Delta V}{I_1 - I_2} \quad (7.3.3)$$

式中： R_H ——绝缘法兰(接头)漏电电阻(Ω)；

ΔV ——绝缘法兰两侧的电位差(V)；

I_1 ——强制电源 E 的输出电流(A)；

I_2 ——bc 段的管内电流(A)。

7.3.4 绝缘法兰(接头)的漏电百分率按下式计算。

$$\text{漏电百分率} = \frac{I_1 - I_2}{I_1} \times 100 \quad (7.3.4)$$

7.3.5 若测试结果 $I_2 > I_1$ ，则认为绝缘法兰(接头)的漏电电阻无穷大，漏电百分率为零，绝缘法兰(接头)的绝缘性能良好。

8 接地电阻测试

8.1 辅助阳极接地电阻测试

8.1.1 辅助阳极接地电阻采用接地电阻测量仪测试，测试接线示意图见图 8.1.1。

1 当采用图 8.1.1(a)测试时，在土壤电阻率较均匀的地区， d_{13} 取 $2L$ ， d_{12} 取 L ；在土壤电阻率不均匀的地区， d_{13} 取 $3L$ ， d_{12} 取 $1.7L$ 。在测试过程中，电位极沿辅助阳极与电流极的连线移动三次，每次移动的距离为 d_{13} 的 5%左右，若三次测试值接近，取其平均值作为辅助阳极接地电阻值；若测试值不接近，将电位极往电流极方向移动，直至测试值接近为止。

2 辅助阳极接地电阻也可以采用图 8.1.1(b)所示的三角形布极法测试，此时 $d_{13} = d_{12} \geq 2L$ 。

8.1.2 按图 8.1.1 布好电极后，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，直至电表指针停在黑线上，此时黑线指示的度盘值乘以倍率即为接地电阻值。

8.2 牺牲阳极接地电阻测试

8.2.1 测量牺牲阳极接地电阻之前，必须将牺牲阳极与管道断开，然后按图 8.2.1 所示的接线示意图沿垂直于管道的一条直线布置电极， d_{13} 约 40 m， d_{12} 取 20 m 左右，按 8.1.2 的操作步骤测量接地电阻值。

8.2.2 当牺牲阳极的支数较多或为带状牺牲阳极，该组牺牲阳极的对角线长度(或带状牺牲阳极长度)大于 8 m 时，按 8.1 测试接地电阻，但 d_{13} 不得小于 40 m， d_{12} 不得小于 20 m。

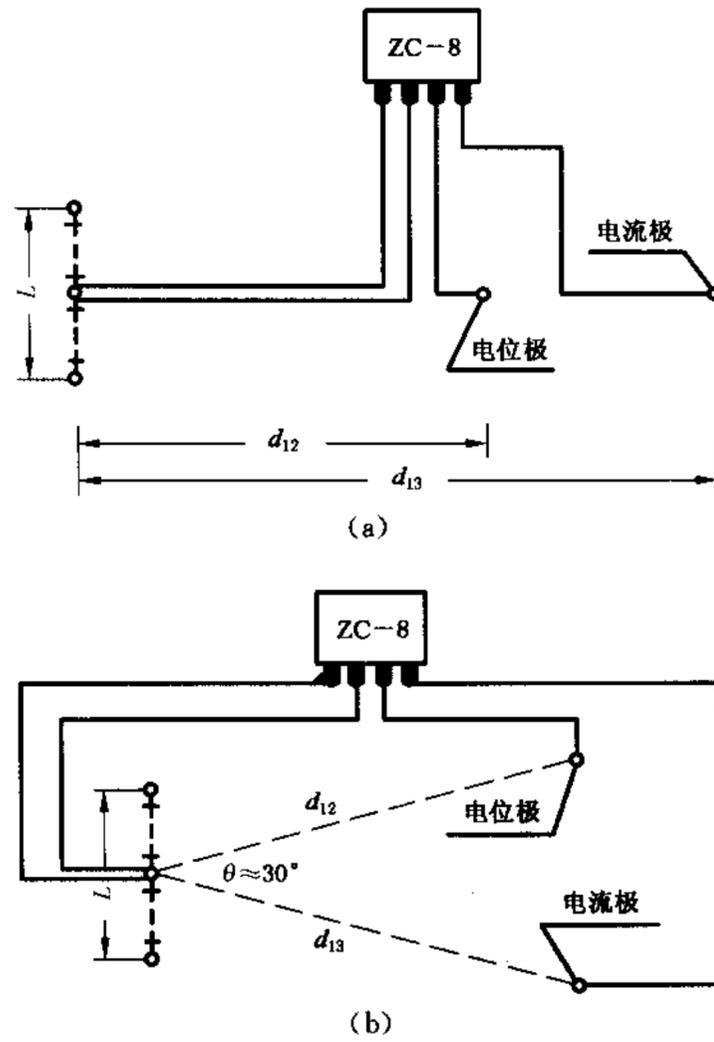


图 8.1.1 辅助阳极接地电阻测试接线示意图

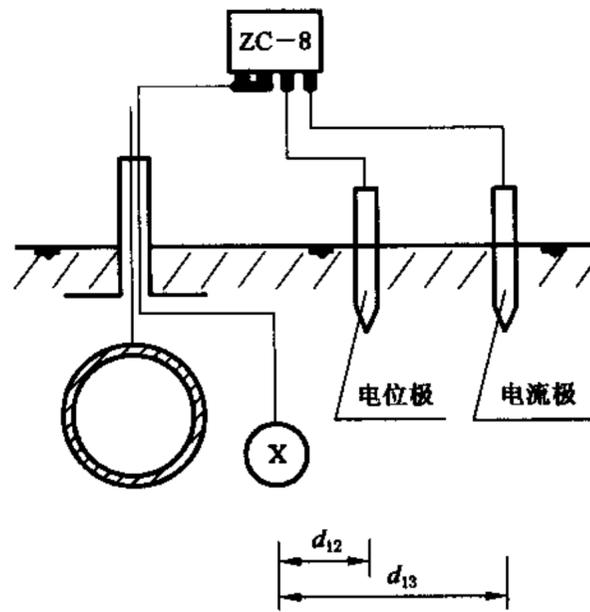


图 8.2.1 牺牲阳极接地电阻测试接线示意图

9 土壤电阻率测试

9.1 等距法

9.1.1 从地表至深度为 a 的平均土壤电阻率,按图 9.1.1 所示的四极法测试。图中四个电极布置在一条直线上,间距 a 、 b 代表测试深度且 $a=b$,电极入土深度应小于 $a/20$,常用接地电阻仪为 ZC-8。

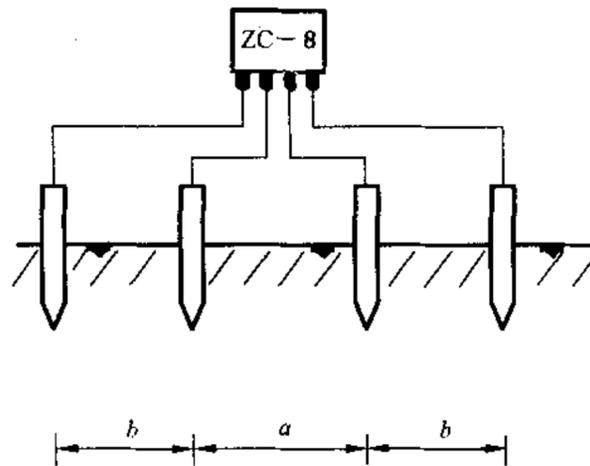


图 9.1.1 土壤电阻率测试接线示意图

9.1.2 按 8.1.2 的操作步骤测得电阻 R 值后,土壤电阻率按下式计算。

$$\rho = 2\pi aR \quad (9.1.2)$$

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

a ——相邻两电极之间的距离(m);

R ——接地电阻仪示值(Ω)。

9.2 不等距法

9.2.1 不等距法主要用于测深不小于 20 m 情况下的土壤电阻率测试,其测试接线示意图如图 9.1.1 所示,此时 $b > a$ 。测深 0~20 m 时, $a=1.6$ m, $b=20$ m; 测深 0~55 m 时, $a=5$ m, $b=60$ m。此时测深 h 按下式计算。

$$h = \frac{a + 2b}{2} \quad (9.2.1)$$

9.2.2 按 9.2.1 规定布极后,按 8.1.2 操作接地电阻测量仪测得 R 值,测深 h 的平均土壤电阻率按下式计算。

$$\rho = \pi R \left(b + \frac{b^2}{a} \right) \quad (9.2.2)$$

10 管道外防腐层电阻测试

10.0.1 无分支、无接地装置的某一段(长度宜为 500~10 000 m,一般为 5000 m)管道,其防腐层电阻应采用本标准的方法测试,测试接线示意图见图 10.0.1。

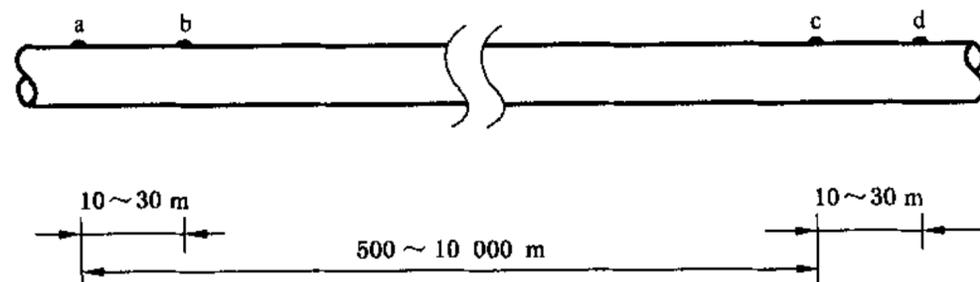


图 10.0.1 管道防腐层电阻测试接线示意图

10.0.2 测试步骤如下:

- 1 被测段 ac 距通电点必须不小于 πD 。
- 2 获得被测管段的长度(精确到 m)。
- 3 若 ad 段埋有牺牲阳极,则将其与管道断开。

4 在强制电流阴极保护站供电之前,测试 a、c 两点的自然电位值。阴极保护站供电 24 h 后,测试 a、c 两点的保护电位值,并计算 a、c 两点的负偏移电位值。

5 按 6.1 同时测试 ab 和 cd 两段的管内电流值。

10.0.3 管道防腐层电阻按下式计算。

$$\rho_A = \frac{(\Delta V_a + \Delta V_c)L_{ac}\pi D}{2(I_1 - I_2)} \quad (10.0.3)$$

式中: ρ_A ——管段防腐层电阻($\Omega \cdot m^2$);

ΔV_a ——管段首端 a 点的负偏移电位(V);

ΔV_c ——管段末端 c 点的负偏移电位(V);

I_1 ——ab 段管内电流绝对值(A);

I_2 ——cd 段管内电流绝对值(A);

L_{ac} ——被测管段 ac 的管道长度(m);

D ——管道外径(m)。

10.0.4 两端装有绝缘性能良好的绝缘法兰(接头),又无其他分流支路,防腐层质量良好的管道,当其长度不超过一座阴极保护站的保护半径时,从阴极保护站通电点至末端管道的防腐层电阻可按下式计算。

$$\rho_A = \frac{(\Delta V_a + \Delta V_c)L\pi D}{2I} \quad (10.0.4)$$

式中: ΔV_a ——供电点管道负偏移电位值(V);

ΔV_c ——末端管道负偏移电位值(V);

I ——向被测管道提供的阴极保护电流(A);

L ——被测管道长度(m)。