

团 体 标 准

T/CCCTA 0057—2025

阴极保护测量技术

Cathodic protection measurement techniques

2025-04-25 发布

2025-07-25 实施

中国腐蚀控制技术协会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	2
5 电解质电阻率测量	4
6 电位测量	6
7 牺牲阳极输出电流	14
8 管内直流电流	16
9 绝缘接头（法兰）绝缘性能	17
10 接地电阻	18
11 连通性检测	20
12 腐蚀检测	20
13 腐蚀速率	21
14 杂散电流测量	22

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国腐蚀控制技术协会提出。

本文件由中国腐蚀控制技术协会团体标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：中核核电运行管理有限公司、北京碧海云智新材料技术有限公司、中核武汉核电运行技术股份有限公司、大连科迈尔海洋科技有限公司、浙江钰烯腐蚀控制股份有限公司、宁波大学、常州大学、深圳灵若科技有限公司、苏州热工研究院有限公司、中国腐蚀控制技术协会。

本文件主要起草人：吴昉赟、邱泰深、许超、樊鹏飞、陈纪国、张维、邓志新、刘德军、高路杨、张仁龙、谢辙、李邱达、胡明磊、陈银强、任朋、贾磊、李杰、彭文飞、董亮、刘笑言、马欣悦、张庆佳、王猷俊、纪大伟、李侠。

阴极保护测量技术

1 范围

本文件规定了阴极保护参数的测量技术的基本规定和方法。
本文件适用于掩埋结构和浸没结构金属物的阴极保护系统的参数测量。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 21246 埋地钢质管道阴极保护参数测量方法
- GB/T 31211.2 无损检测 超声导波检测 第2部分：磁致伸缩法
- GB/T 41966 无缝钢管相控阵超声检测方法
- GB/T 43658.1 无损检测 管道腐蚀及沉积物 X 和伽马射线检测 第1部分：切向射线检测
- GB/T 43658.2 无损检测 管道腐蚀及沉积物 X 和伽马射线检测 第2部分：双壁射线检测
- GB/T 50698 埋地钢质管道交流干扰防护技术标准
- GB 50991 埋地钢质管道直流干扰防护技术标准
- SY/T 0087.1—2018 钢质管道及储罐腐蚀评价标准 第1部分：埋地钢质管道外腐蚀直接评价

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

自然电位 natural potential

没有净电流（外部）从研究金属表面流入或流出的腐蚀电位。

3.2

通电电位 on potential

阴极保护系统持续运行时测量的管地电位。

3.3

IR 降 IR drop

阴极保护回路中所有电流与回路电阻（主要是电解质电阻和保护对象电阻）的乘积。

3.4

断电电位 instant-off potential

瞬时断电电位，为测试无 IR 降电位，在回路电流中断短时间延迟后瞬间所测的电位。

3.5

冲击电压 voltage spiking

阴极保护电流被中断或施加的瞬间，由系统的电感和电容特性引起的保护对象上的瞬间性电位波动。

3.6

密间隔电位法 close-interval potential survey, CIPS

沿着管顶地表以固定间距测量保护对象和大地间电位的测试方法。

3.7

远参比法 reference electrode method remote from pipeline

将参比电极置放于距被测保护对象远方大地的地面测量管地电位的方法。

3.8

掩埋结构 buried structures

任何地下建造或铺设的或者建在地面然后用泥土覆盖的金属结构。

3.9

浸没结构 submerged structures

置于液体环境中 [例如淡水 (河、湖)、半咸水 (河口处)、海水] 的任何金属结构或者结构部分。

3.10

保护对象 protection object

接受阴极保护属于电化学电池中阴极端的金属结构。

4 基本规定

4.1 测量仪表

4.1.1 测量仪表应确保使用过程中不会出现电路连接的故障，适应使用环境。

4.1.2 测量仪表的显示速度、精度、准确度和量程应满足测量要求。

4.1.3 应满足携带使用方便、供电方便、适应现场测量环境需求。

4.1.4 应进行定期校验。

4.2 电压、电流仪表

4.2.1 直流电压表选用应遵循以下原则：

- a) 数字式电压表的输入阻抗应不小于 $10\text{ M}\Omega$ ；
- b) 指针式电压表的内阻应不小于 $100\text{ k}\Omega/\text{V}$ ；
- c) 电压表的分辨率应满足被测电压值的精度要求，至少应具有三位有效数；
- d) 数字式电压表的准确度应不低于 0.5 级；
- e) 测量受交流干扰的保护对象的管地电位时，应选用具有抗工频干扰功能的数字式电压表，直流电位的显示值中叠加的交流干扰电压值不宜超过 5 mV 。

4.2.2 直流电流表选用应遵循以下原则：

- a) 电流表的内阻应小于被测电流回路总电阻的 5%；
- b) 电流表的分辨率应满足被测电流值的精度要求，至少应具有两位有效数，当只有两位有效数时，首位应大于 1；
- c) 电流表的准确度应不低于 2.5 级。

4.3 参比电极

4.3.1 电位测量前，应对参比电极进行校准。常用参比电极电位值及温度系数表见表 1。

表 1 常用参比电极电位值及温度系数表

参比电极	电解质溶液	相对标准氢电极电位 (25 ℃)/mV	相对硫酸铜电极电位 (25 ℃)/mV	温度系数/(mV/℃)
硫酸铜 CSE	饱和硫酸铜	+316	0	0.9
高纯锌 ZRE	土壤	-800±100	-1 100±100	—
氯化银 SSC	饱和氯化钾	+222	-94	-0.7

4.3.2 对掩埋结构进行测量时，宜采用铜-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，电极电位误差应不大于 5 mV，制作材料和使用应满足下列要求：

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

4.3.3 对不能使用硫酸铜电极的掩埋结构环境进行长期电位测量时，可采用高纯锌参比电极，纯度不应小于 99.995%。

4.3.4 对于海水等含氯离子介质浸没结构进行测量时，宜采用固态银/氯化银参比电极或高纯锌参比电极，并且固态银/氯化银参比电极需防止光照失效。

4.4 接地电阻仪

4.4.1 通过采用 Wenner 4 极法、3 极法等，间接或直接计算土壤平均电阻率的仪器，2 极法的土壤电阻率仪精度低，仅局限于土壤中紧邻探头附近的电阻率测量。

4.4.2 海水、淡水等浸没结构的液体介质，其电阻率宜使用液体电导率仪或测试盒测量。

4.5 数据记录仪

4.5.1 宜采用数据记录仪连续记录阴极保护参数。

4.5.2 数据记录宜包括测量交流电压、直流电压、交流电流、直流电流、断电电位等。

4.5.3 一次充电使用时间应不得低于 24 h，并具有数据存储功能。

4.6 测量基本要求

4.6.1 测量连接点应电接触良好，且保证与外部系统有充分的绝缘。导线应采用铜芯绝缘软线，在有电磁干扰的地区，应采用屏蔽导线。

4.6.2 测量仪表应按使用说明书的有关规定进行操作。

4.6.3 在对强制电流阴极保护电源设备进行测量时，应执行国家现行有关电气安全标准的规定。

4.6.4 测量接线应采用绝缘线夹和插头，以避免与未知高压电接触，测量操作中应首先接好仪表回路，然后再连接被测体，测量结束时，按相反的顺序操作，并执行单手操作法。

4.6.5 进行测量之前，应先检查被检测设施是否存在危险电压。

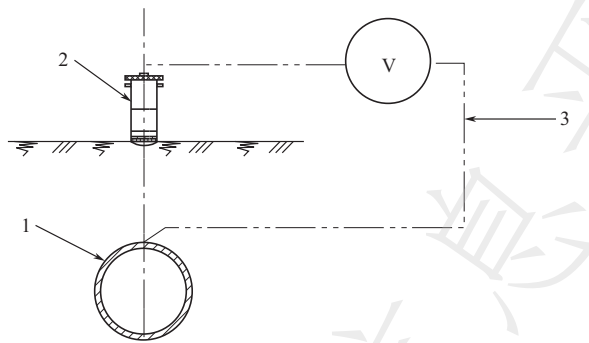
4.6.6 在雷暴天气下，不应进行测量。

4.6.7 当测量导线穿越街道、公路等交通繁忙的地段时，应设置安全警示标志或安全监护人员。

4.6.8 在涵洞、隧道、海水、淡水等深处测量作业时，应在安全条件下方可进行测量。

4.7 电位极性

采用直流数字式电压表测量电位时，应将电压表的负接线柱（COM 端）与参比电极连接，正接线柱（V 端）与保护对象连接，测量接线见图 1。仪表指示的是保护对象相对于参比电极的电位值，正常情况下显示负值。



标引序号说明：

- 1——管道；
- 2——硫酸铜电极；
- 3——测量导线。

图 1 电位测量接线示意图

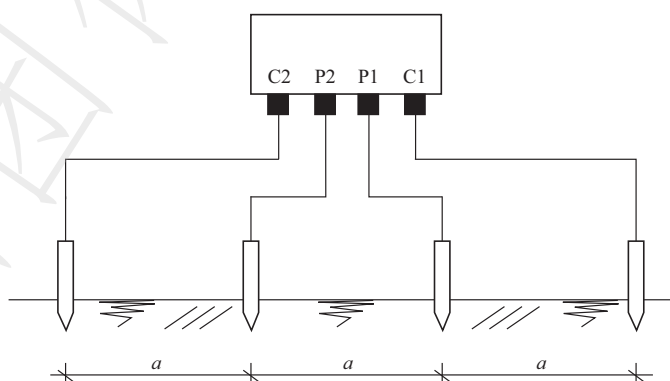
5 电解质电阻率测量

5.1 等距法

5.1.1 适用于掩埋结构和浸没结构金属物阴极保护系统的电阻率测量。

5.1.2 等距法应按以下步骤进行测量。

- a) 在测量点使用电阻测量仪，采用四极法进行测试，测量接线示意图见图 2；



标引序号说明：

- a ——相邻两电极之间的距离，单位为米（m）；
- C2——接线端子；
- P2——接线端子；
- C1——接线端子；
- P1——接线端子。

图 2 等距法电阻率测量接线示意图

- b) 将测量仪的四个电极以等间距 a 布置在一条直线上，电极插入介质深度应小于 $a/20$ 。测试区域存在管线或其他金属构筑物时，应使电极连线垂直于保护对象布置，并使最近的电极与管线的距离大于 $a/2$ ；
- c) 按电阻测量仪使用说明操作测量并记录电阻 R 值。

5.1.3 平均电阻率应按式 (1) 计算：

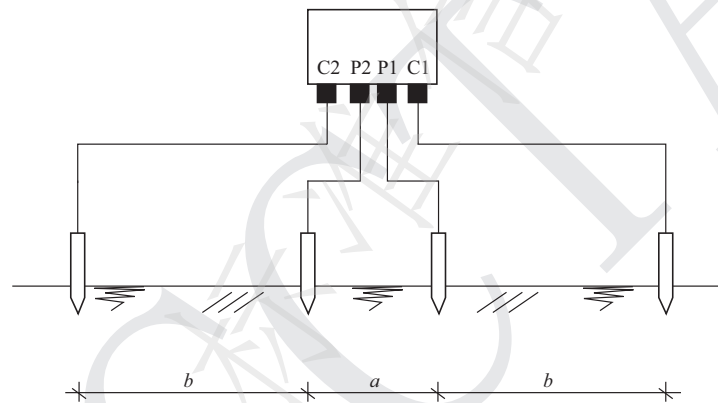
$$\rho = 2\pi a R \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- ρ ——平均电阻率，单位为欧·米 ($\Omega \cdot \text{m}$)；
- a ——相邻两电极之间的距离，单位为米 (m)；
- R ——电阻仪示值，单位为欧 (Ω)。

5.2 不等距法

5.2.1 测深大于 20 m 的土壤电阻率宜采用不等距法，不等距法土壤电阻率测量接线示意图见图 3。



标引序号说明：

- a ——内侧两电极之间的距离，单位为米 (m)；
- b ——外侧电极与相邻内侧电极之间的距离，单位为米 (m)；
- C2——接线端子；
- P2——接线端子；
- C1——接线端子；
- P1——接线端子。

图 3 不等距法土壤电阻率测量接线示意图

5.2.2 不等距法应按以下步骤进行测量。

- a) 采用不等距法应先计算确定四个电极的间距，此时 b 大于 a 。 a 值通常情况可取 5 m~10 m， b 值根据测深计算确定，计算见式 (2)：

$$b = h - a/2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- b ——为外侧电极与相邻内侧电极之间的距离，单位为米 (m)；
- h ——测深，单位为米 (m)；
- a ——内侧电极之间的距离，单位为米 (m)。

- b) 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 $a/20$ ；
- c) 按接地电阻测量仪使用说明操作测量并记录土壤电阻 R 值。若 R 值出现小于零时，应加大 a 值并重新布置电极。

5.2.3 测深 h 的平均土壤电阻率应按式 (3) 计算。

$$\rho = \pi R \left(b + \frac{b^2}{a} \right) \dots\dots\dots (3)$$

式中:

ρ ——从地表至深度 h 土层的平均土壤电阻率, 单位为欧·米 ($\Omega \cdot m$);

R ——接地电阻仪示值, 单位为欧 (Ω);

a ——内侧电极之间的距离, 单位为米 (m);

b ——为外侧电极与相邻内侧电极之间的距离, 单位为米 (m)。

6 电位测量

6.1 自然电位

6.1.1 本方法适用于自然电位的测量。

6.1.2 自然电位应按以下步骤进行测量。

- a) 测量前, 应确认保护对象处于没有施加阴极保护、没有受到电干扰影响以及不存在异种金属连接的状态下, 对已实施过阴极保护的保护对象宜在完全断电 24 h 后进行。
- b) 测量掩埋结构时, 应将参比电极放置在保护对象上方地表的潮湿土壤上, 确保参比电极底部与土壤接触良好; 如现场没有潮湿土壤条件, 可用电解质水充分湿润地表后进行测量。
- c) 测量浸没结构时, 应将参比电极放置在同一介质环境下的保护对象附近。
- d) 按图 1 的测量接线方式, 将电压表与保护对象及参比电极相连接。
- e) 将电压表调至适宜的量程上, 读取数据, 应记录电位值、温度及极性, 注明该电位值的名称。

6.2 通电电位

6.2.1 本方法测得的电位应为极化后的电位与测量回路中其他所有电压降的和。

6.2.2 本方法适用于施加阴极保护电流时, 保护对象对电解质电位的测量。

6.2.3 通电电位应按以下步骤进行测量。

- a) 测量前, 应确认阴极保护运行正常, 保护对象已充分极化。
- b) 测量掩埋结构时, 应将参比电极放置在保护对象上方地表的潮湿土壤上, 确保参比电极底部与土壤接触良好; 如现场没有潮湿土壤条件, 可用电解质水充分湿润地表后进行测量。
- c) 测量浸没结构时, 将参比电极放置在同一电解质环境下的被检测物附近, 确保参比电极的电缆接头浸没在电解质中。
- d) 按图 1 的测量接线方式, 将电压表与保护对象及参比电极相连接。
- e) 将电压表调至适宜的量程上, 读取数据, 应记录电位值、温度及极性, 注明该电位值的名称。

6.3 断电电位

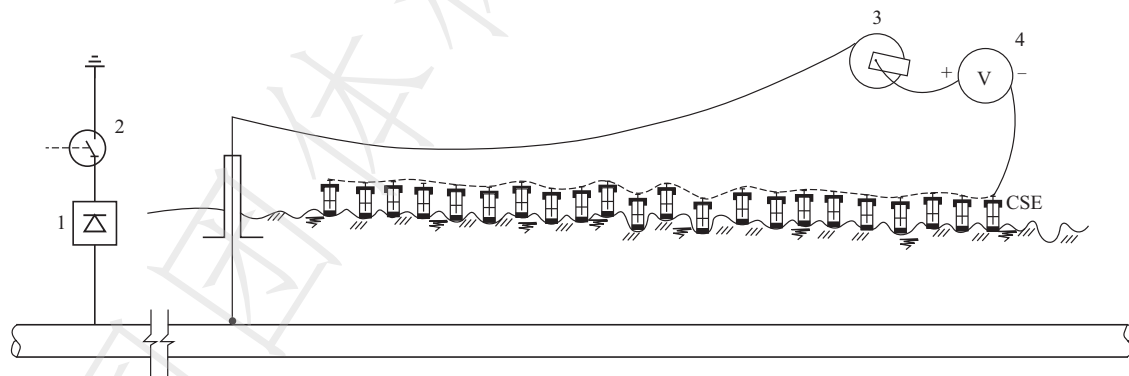
6.3.1 本方法测得的断电电位 (V_{off}) 是消除了由保护电流所引起的 IR 降后的电位。本方法不适用于存在多组牺牲阳极、牺牲阳极与保护对象直接连接、不能被中断的外部强制电流设备等保护电流不能同步中断或受直流杂散电流干扰的保护对象。

6.3.2 断电电位应按以下步骤进行测量。

- a) 在测量之前，应确认阴极保护正常运行，保护对象已充分极化。
- b) 存在冲击电压、阴极保护电源设备的响应、电流断续器同步性的影响时，应使用脉冲示波器或高速记录仪进行测量，核实影响大小和持续时间。
- c) 测量时，对测量区间有影响的阴极保护电源应安装电流同步断续器，并设置合理的通/断周期，同步误差宜小于 0.1 s。
- d) 合理的通/断周期和断电时间设置原则是：断电时间应有足够长的时间在消除冲击电压影响后采集数据，读取平缓的断电电位，同时应避免过度去极化；保护对象上设置有用于干扰防护的电容类元件的去耦合装置，应考虑设置较长的断电时间。测试过程中应保持设备输出电流的稳定，当发现相同测试点各通/断周期断电电位出现持续衰减现象，应调整通/断周期。
- e) 将参比电极放置在保护对象上方地表的潮湿土壤上，应保证参比电极底部与土壤接触良好；如现场没有潮湿土壤条件，可用电解质水充分湿润地表后进行测量。
- f) 按图 1 的测量接线方式，将电压表与保护对象及参比电极相连接。
- g) 记录通电电位 (V_{on}) 和断电电位 (V_{off}) 以及相对于参比电极的极性。所测得的断电电位 (V_{off}) 为参比电极安放处消除了由保护电流所引起的 IR 降后的电位。
- h) 测量浸没结构时，确保参比电极的电缆接头不裸露浸没在电解质中，同样使用上述步骤来测量断电电位，并使用电位梯度法来修正断电电位。

6.4 密间隔电位法 CIPS

6.4.1 本方法可测得保护对象沿线的通电电位 (V_{on}) 和断电电位 (V_{off})。本方法适用于对保护对象阴极保护系统的有效性进行全面评价。本方法不适用于多组牺牲阳极、牺牲阳极与保护对象直接连接、存在不能被中断的外部强制电流设备等的保护对象，以及破损点未与电解质（土壤、水）接触的管段。密间隔电位法测量示意图见图 4：



标引序号说明：

- 1——阴极保护电源；
- 2——同步断续器；
- 3——米尺线轴；
- 4——CIPS/DCVG 测量主机或数字万用表。

图 4 密间隔电位测量示意图

6.4.2 密间隔电位法应按以下步骤进行测量。

- a) 在测量之前，应确认阴极保护正常运行，保护对象已充分极化。
- b) 按 6.3.2 要求安装电流同步断续器和设置合理的通/断周期。
- c) 将测量导线一端与测量设备主机连接，另一端与测试桩连接，将一支参比电极与测量设备主

机连接。

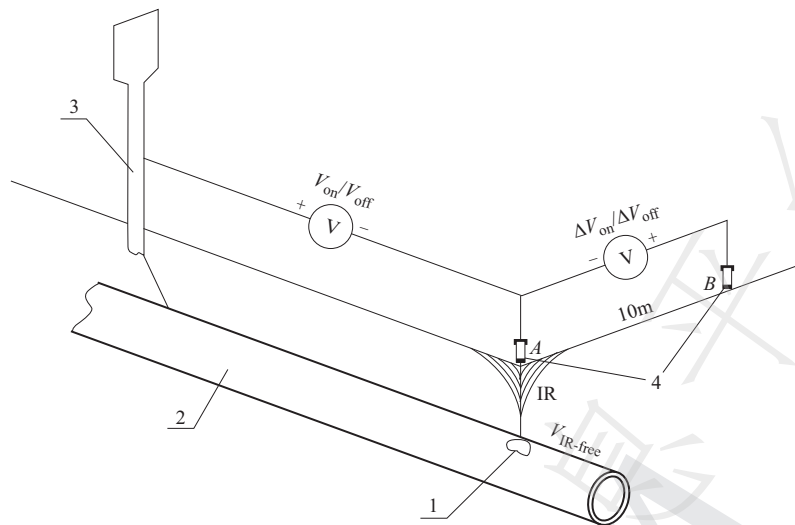
- d) 打开测量设备主机，设置与同步断续器保持同步运行的相同的通/断循环时间和断电时间，并设置合理的断电电位测量延迟时间。
- e) 测量时，利用探管仪对保护对象定位，保证参比电极放置在保护对象的正上方。
- f) 从测试桩开始，沿地表以密间隔（一般是 1 m~3 m）逐次移动参比电极，每移动一次就记录一组通电电位 (V_{on}) 和一组断电电位 (V_{off})，直至按此完成全段的测量。
- g) 同时应使用米尺、全球定位系统坐标测量或其他方法，确定参比电极安放处的位置，应记录沿线的永久性标志、参照物等信息，并应对通电电位 (V_{on}) 和断电电位 (V_{off}) 异常位置处做好标志与记录。
- h) 某段密间隔测量完成后，若当天不再测量，应及时将阴极保护站恢复为连续供电状态。
- i) 测量前宜对测量区段保护电流通/断的同步性进行验证。验证可按下列方法进行。
 - 1) 断续器的同步性，可通过同一测试点位置示波器的波形输出或高速采集记录仪测得的结果进行核实。
 - 2) 保护对象所有电流的同步性，可按电压降法，利用相邻两测试桩或电流桩，分别测量通电和断电周期内接线两点间的电压降，通过定性判断在断电状态下电流的大小进行核实。
 - 3) 保护对象所有电流的同步性，也可通过测量保护对象正上方和与垂直的距离约 2.5 倍保护对象埋深的左右两侧的通电电位 (V_{on}) 和断电电位 (V_{off})，进行判断，若两侧的电位比正上方处更负，表明电流由土壤流向保护对象，当在断电周期内测得有较大电流流向保护对象，则说明电流没有同步断除。

6.4.3 数据处理应按以下要求进行。

- a) 每处位置记录的数据应包括：纬度、经度、通电电位、断电电位等数据，导出数据后对数据的有效性进行分析。
- b) 绘制通电电位、断电电位随位置的变化曲线。
- c) 应评价测试保护对象沿线的阴极保护有效性，并确定欠保护和过保护的范围。

6.5 直流电位梯度法 DCVG

6.5.1 本方法可消除测量回路中所有电流所引起的 IR 降影响，适用于防腐层破损点多的断电电位的修正测量。DCVG 法测量示意图见图 5。



标引序号说明：

- 1——防腐层破损点；
- 2——管线；
- 3——测试桩；
- 4——参比电极。

图 5 加强测量法测量示意图

6.5.2 DCVG 法应按以下步骤进行测量。

- a) 按密间隔电位法测量保护对象正上方图 5 中 A 点的通电电位 V_{on} 和断电电位 V_{off} 。
- b) 采用已校准过的另一支参比电极，置于与保护对象方向相垂直，距离管顶测量点图 5 的 A 点 10 m 位置处图 5 的 B 点，测量并记录 A、B 两点间的通电电位梯度 ΔV_{on} 和断电电位梯度 ΔV_{off} 。
- c) 使用米尺、全球定位系统坐标测量或其他方法，确定保护对象上方测量点的位置，同时应记录沿线的永久性标志、参照物、沿线测量的通/断电电位梯度差 ($V_{on} - V_{off}$) 的峰值位置等信息。
- d) 某段测量完成后，若当天不再测量，应及时将阴极保护站恢复为连续供电状态。

6.5.3 修正后的断电电位 $V_{IR-free}$ 应按式 (4) 计算。

$$V_{IR-free} = V_{off} - \frac{\Delta V_{off}}{\Delta V_{on} - \Delta V_{off}} (V_{on} - V_{off}) \quad \dots\dots (4)$$

式中：

$V_{IR-free}$ —— A 测量点修正后的断电电位，单位为毫伏 (mV)；

V_{on} —— A 测量点的通电电位，单位为毫伏 (mV)；

V_{off} —— A 测量点的断电电位，单位为毫伏 (mV)；

ΔV_{on} —— 通电状态下，A 与 B 两测量点间的直流地电位梯度，单位为毫伏 (mV)；

ΔV_{off} —— 断电状态下，A 与 B 两测量点间的直流地电位梯度，单位为毫伏 (mV)。

6.5.4 数据处理应按以下要求进行。

- a) 每处位置记录的数据应包括：纬度、经度、通电电位、断电电位、通电电位梯度和断电电位梯度等数据，导出数据后对数据的有效性进行分析。
- b) 以距离为横坐标、电位为纵坐标分别画出测量段的通电电位、断电电位、修正后的断电电位分布曲线图，修正后的断电电位曲线代表对断电电位修正后的保护对象保护电位分布曲线。

6.5.5 DCVG 法在浸没环境下的应用。

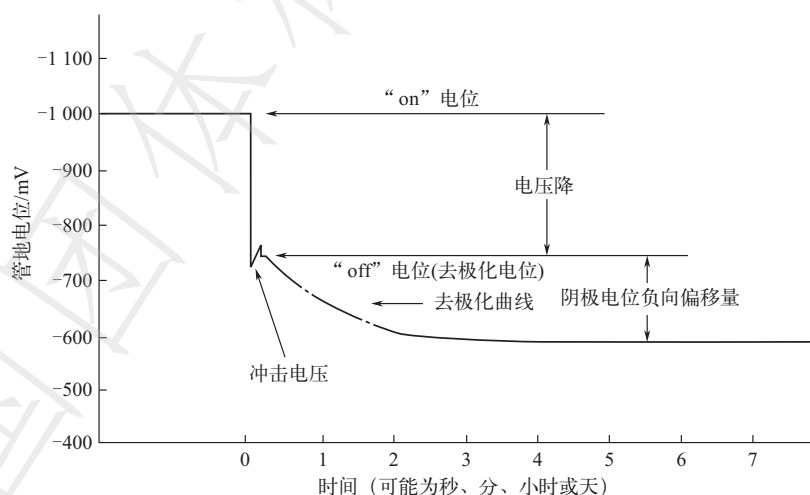
- 在浸没环境下，检测参比电极更容易实现在各位置的分布，DCVG 法适合用来检测浸没环境下保护对象四周电位梯度分布，并用来评估防腐层情况。
- 在含氯离子环境中，使用固态银-氯化银参比电极进行检测，注意检测头位置电解质的扰动情况，流速会影响测量值。

6.6 阴极电位负向偏移量

6.6.1 本方法适用于采用 100 mV 阴极电位负向偏移准则来判定阴极保护效果的测量。通过测量保护对象或极化探头（试片）的极化衰减或极化形成的方法，来判定测量点处是否达到阴极保护准则。

6.6.2 阴极极化衰减应按以下步骤进行测量。

- 在测量之前，应确认阴极保护正常运行，保护对象已充分极化。
- 测量时，对测量区间有影响的阴极保护电源应安装电流同步中断器，同步中断所有阴极保护电流；对断电电位法不适用的保护对象可采用极化探头法或土壤管法测量。
- 将参比电极放置在保护对象上方地表的潮湿土壤上，应保证参比电极底部与土壤接触良好；如现场没有潮湿土壤条件，可用电解质水充分湿润地表后进行测量。
- 测量接线见图 1。
- 将电压表调至适宜的量程上，读取数据，记录通电电位（“on” 电位）和断电电位（“off” 电位）以及相对参比电极的极性，将消除冲击电压影响后采集的瞬间断电电位（“off” 电位）作为计算极化衰减的基准电位值。
- 继续保持阴极保护电流处于关闭状态，直到观察达到稳定的去极化水平后记录保护对象的去极化电位。
- 上述两个电位之差（去极化电位与基准电位），即为阴极电位负向偏移量，阴极极化衰减测量的方法见图 6。



6.6.3 阴极极化形成应按以下步骤进行测量。

- 按 6.1 测量并记录保护对象自然电位，将此电位作为计算极化形成的基准电位值。
- 施加阴极保护电流，并确认保护对象已充分极化。
- 测量时，按 6.3.2 要求安装电流同步断续器和设置合理的通/断周期，对断电电位法不适用的保护对象可采用极化探头法或土壤管法进行。
- 测量并记录通电电位（“on” 电位）和断电电位（“off” 电位）以及相对参比电极的极性。

断电电位和自然电位之差即为阴极电位负向偏移量，阴极极化形成测量的方法见图 7。

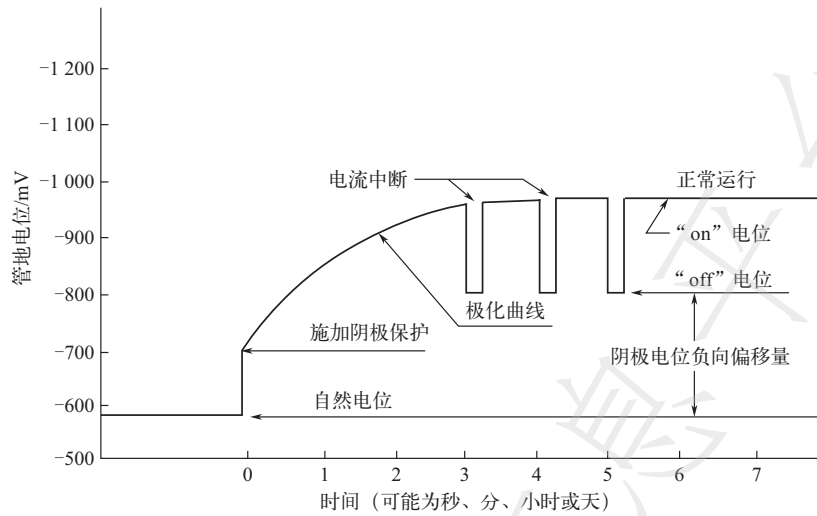


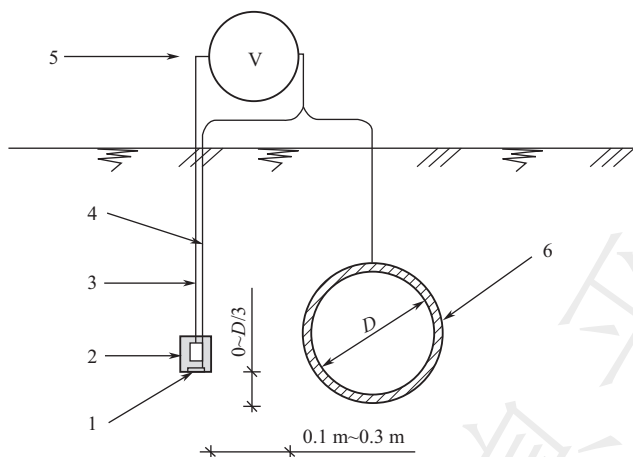
图 7 阴极极化形成测量示意图

6.7 极化探头法

6.7.1 本方法适用于受杂散电流干扰或无法同步中断保护电流的保护对象，用极化探头法测量埋设位置处保护对象的保护电位。

6.7.2 极化探头法应按以下步骤进行测量。

- 极化探头埋设环境宜与保护对象相同，长效型极化探头宜按图 8 所示位置埋设，极化试片裸露面不应面向保护对象，应保证极化试片与周边土壤接触良好。
- 在测量之前，应对极化探头内参比电极进行校核，极化试片的自然电位测量应在极化试片与保护对象连通前进行。
- 保护电位测量前应确认阴极保护运行正常，极化探头的极化试片与保护对象已连通，保护对象和极化试片充分极化。
- 测量中，按图 8 的接线方式，将直流数字电压表的正接线柱（V 端）接探头的极化试片，负接线柱（COM 端）接探头的参比电极。
- 测量并记录极化试片的通电电位。
- 将极化试片与保护对象断开，立即测量并记录极化试片的断电电位，所测得的断电电位，代表埋设点附近保护对象防腐层破损点面积与极化试片裸露面积相近的保护对象保护状况。
- 探头中极化试片裸露面积尺寸应与调查区域中可能产生的防腐层最大缺陷接近，裸露面积宜为 $1\text{ cm}^2 \sim 100\text{ cm}^2$ 。
- 在使用硫酸铜参比电极时，极化试片应与其保持一定距离，防止硫酸铜溶液中铜离子渗出后在试片表面析出金属铜。



标引序号说明：

- 1——极化试片；
- 2——参比电极；
- 3——参比电极电缆；
- 4——极化试片电缆；
- 5——数字万用表；
- 6——管道。

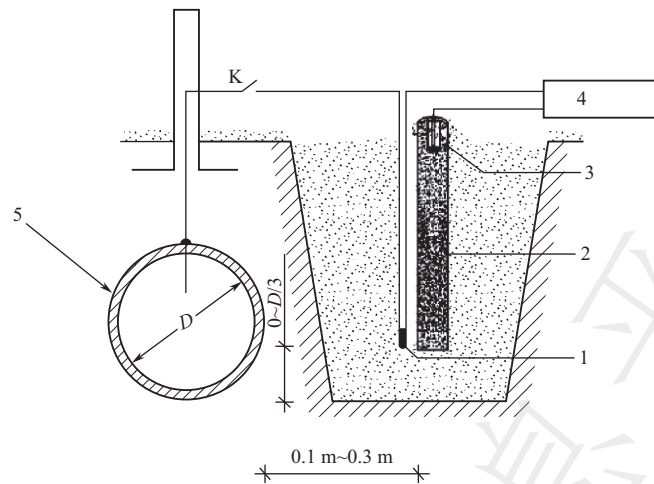
图 8 极化探头法测量接线示意图

6.8 土壤管法

6.8.1 本方法适用于受杂散电流干扰或保护电流不能同步中断的保护，用土壤管与极化试片配合测量掩埋结构的保护电位。

6.8.2 土壤管法应按以下步骤进行测量。

- a) 土壤管宜采用 PVC/PE/PC 管，土壤管的安装见图 9。
- b) 安装时，土壤管与极化试片安装于保护对象的同一侧，与掩埋结构埋深相同，极化试片可安装在土壤管的一侧，与掩埋结构外壁的间距宜为 100 mm~300 mm。土壤管不应置于极化试片与被保护结构物之间。
- c) 土壤管管顶端宜高出地面 300 mm 以上，直径不宜小于 50 mm，端口设端盖。
- d) 土壤管中用土壤或其他电解质填实，在土壤电阻率高于 $100 \Omega \cdot \text{m}$ 的场合，土壤管中应填充低电阻率的物质，如膨润土或混合了钙盐的土壤，填充物不应对极化试片埋设位置附近的土壤造成污染。
- e) 测量前，应确认阴极保护正常运行，极化试片已充分极化。
- f) 按照图 9 所示接线，测量并记录试片通电电位，土壤管中电解质干燥时，应进行浇水处理，冬季测量时，应先判断土壤管内填充物是否结冰。
- g) 断开极化试片与保护对象的连接，并立即测量和记录极化试片的断电电位，所测得的断电电位，代表埋设点附近防腐层破损点面积与极化试片裸露面积相近的保护对象保护状况。
- h) 埋设极化试片和参比电极时要注意彼此位置，在极化试片与参比电极探头连线范围内应避免其它掩埋结构以减少电位测量偏差。



标引序号说明：

- 1——极化试片；
- 2——PVC 或 PE 管；
- 3——参比电极；
- 4——数据记录仪；
- 5——管道。

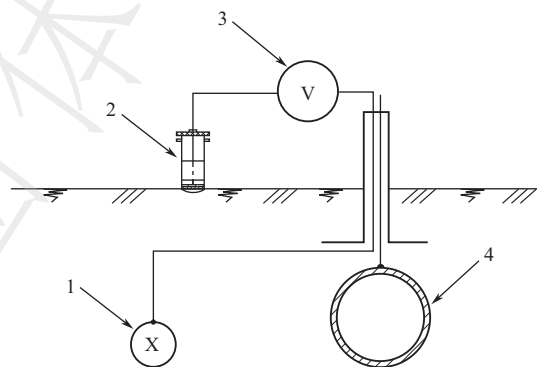
图 9 土壤管法安装测量接线示意图

6.9 牺牲阳极开路电位

6.9.1 本方法适用于测量牺牲阳极在埋设环境中与保护对象断开时开路电位。

6.9.2 牺牲阳极开路电位应按以下步骤进行测量。

- a) 测量前，应断开牺牲阳极与保护对象的连接。
- b) 测量中，按图 10 的接线方式进行测量。



标引序号说明：

- 1——牺牲阳极；
- 2——硫酸铜电极；
- 3——数字万用表；
- 4——管道。

图 10 牺牲阳极开路电位测量接线示意图

- c) 将参比电极放置在牺牲阳极埋设位置上方的潮湿土壤上，应保证参比电极底部与土壤接触良好；如现场没有潮湿土壤条件，可用电解质水充分湿润地表后进行测量。
- d) 将数字万用表调至适宜的量程上，读取数据，做好电位值及极性记录，注明该电位值的

名称。

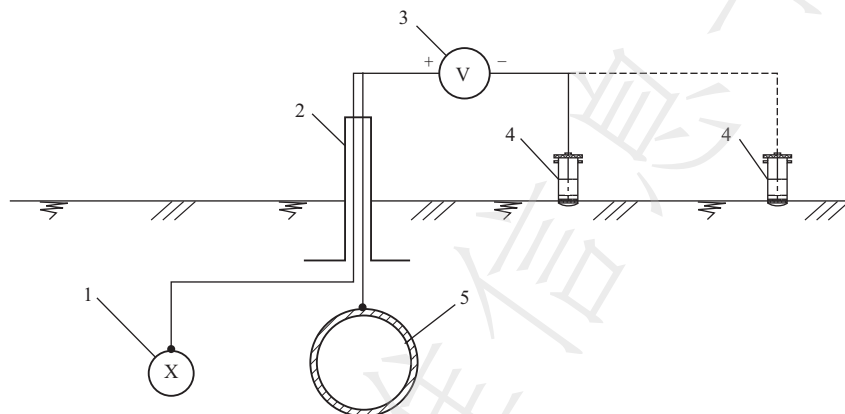
e) 测量完成后将牺牲阳极与保护对象连通。

6.10 牺牲阳极闭路电位

6.10.1 本方法适用于消除牺牲阳极工作时，产生的地电位正偏移所引起的电位测量误差。该误差可采用远参比法消除。

6.10.2 牺牲阳极闭路电位应按以下步骤进行测量。

a) 按图 11 远参比法测量接线示意图接线。



标引序号说明：

- 1——牺牲阳极；
- 2——测试桩；
- 3——数字万用表；
- 4——硫酸铜电极；
- 5——管道。

图 11 远参比法测量接线示意图

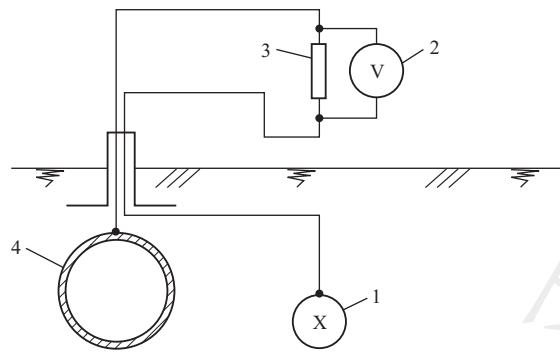
b) 将参比电极朝远离牺牲阳极的方向逐次安放在地表上，第一个安放点距保护对象测量点不小于 20 m，以后逐次移动 5 m，将数字万用表调至适宜的量程上，读取数据，做好电位值和极性记录，当相邻两个安放点测量的管地电位相差小于 2.5 mV 时，参比电极不再往远方移动，取最远处的电位值作为该测量点的牺牲阳极闭路电位。

7 牺牲阳极输出电流

7.1 标准电阻法

7.1.1 标准电阻法应按以下要求进行测量。

a) 按图 12 标准电阻法测量接线示意图接线。



标引序号说明：

- 1——牺牲阳极；
- 2——数字万用表；
- 3——标准电阻；
- 4——管道。

图 12 标准电阻法测量接线示意图

- b) 标准电阻的两个电流接线柱分别接到保护对象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 电压最低量程，接入导线的总长不大于 1 m，截面积不宜小于 2.5 mm²。
- c) 标准电阻的阻值宜为 0.1 Ω，准确度为 0.02 级；为了获得更准确的测量结果，标准电阻可为 0.01 Ω，采用的数字万用表，DC 电压量程的分辨率应不大于 0.01 mV。

7.1.2 牺牲阳极的输出电流应按式 (5) 进行计算：

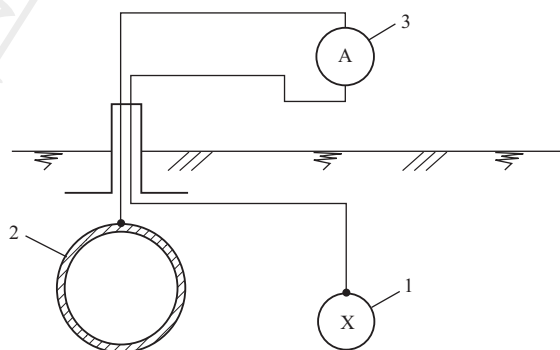
$$I = \frac{\Delta V}{R} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- I*——牺牲阳极（组）输出电流，单位为毫安（mA）；
- ΔV ——数字万用表读数，单位为毫伏（mV）；
- R*——标准电阻阻值，单位为欧（Ω）。

7.2 直测法

7.2.1 直测法应按图 13 直测法测量接线示意图接线，进行测量。



标引序号说明：

- 1——牺牲阳极；
- 2——管道；
- 3——数字万用表。

图 13 直测法测量接线示意图

7.2.2 直测法应选用分辨率为 1 mA 的数字万用表，用内阻小于 0.1 Ω 的 DC 直流量程档直接读取并记录电流值。

8 管内直流电流

8.1 电压降法

8.1.1 电压降法适用于具有良好外防腐层的保护对象，且被测管段无分支保护对象、无接地极，又已知管径、壁厚、长度、管材电阻率时，可使用电压降法测量管内电流，电压降法测量接线示意图见图 14。

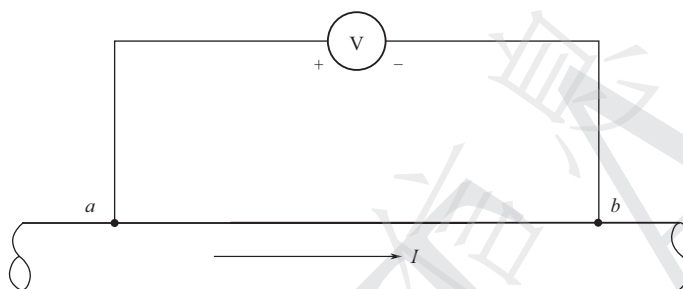


图 14 电压降法测量接线示意图

8.1.2 电压降法应按以下要求进行测量。

- a) 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 $5 \mu\text{V}$ ， L_{ab} 典型值取 30 m~100 m；
- b) 可采用分辨率为 $1 \mu\text{V}$ 数字电压表，测量 a 、 b 两点间的电位差 V_{ab} 。

8.1.3 ab 段的管内电流应按式 (6) 计算。

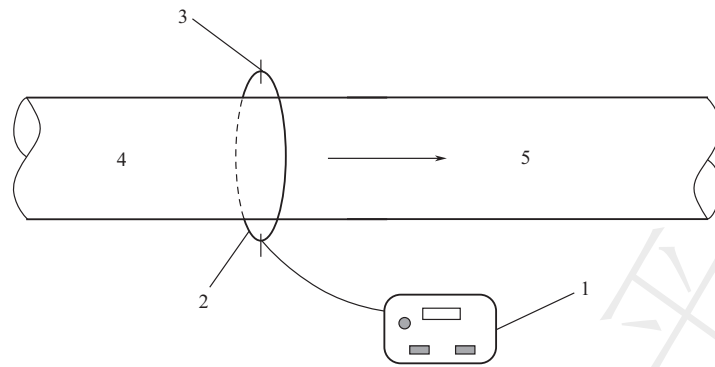
$$I = \frac{V_{ab} \cdot \pi(D - \delta)\delta}{\rho L_{ab}} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- I —— ab 段的管内电流，单位为安 (A)；
- V_{ab} —— ab 间的电位差，单位为伏 (V)；
- D ——保护对象外径，单位为毫米 (mm)；
- δ ——保护对象壁厚，单位为毫米 (mm)；
- ρ ——管材电阻率，单位为欧平方毫米每米 ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)；
- L_{ab} —— ab 间的保护对象长度，单位为米 (m)。

8.2 电流环法

8.2.1 本方法适用于直接测量管内电流和判断绝缘接头（法兰）的绝缘性能，电流环需要安装在架空管段或者开挖悬空的管段上，管内电流小于 1 A 时，应评估电流环的适用性。电流环测试管中电流示意图见图 15。



标引序号说明：

- 1——测量仪；
- 2——电流环；
- 3——指示箭头；
- 4——管道；
- 5——电流。

图 15 电流环法测试管中电流示意图

8.2.2 电流环法应按以下步骤进行测量。

- a) 测试前，根据被测保护对象尺寸选择与保护对象尺寸相匹配的电流环，并垂直安装在被测保护对象上，使电流环的正向与管中介质流向一致。
- b) 测试过程中，不能断开或移动电流环，待电流读数稳定后，读取并记录电流值和方向。

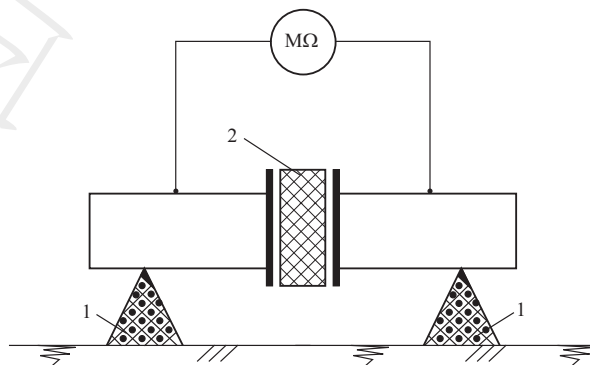
9 绝缘接头（法兰）绝缘性能

9.1 兆欧表法

9.1.1 本方法适用于测量未安装到保护对象上的绝缘接头（法兰）的绝缘电阻值。

9.1.2 兆欧表法应按以下要求进行测量。

- a) 兆欧表法测量接线示意图见图 16。测量导线与保护对象的连接宜采用磁性接头或夹子，连接点应除锈。



标引序号说明：

- 1——绝缘支墩；
- 2——绝缘接头（法兰）。

图 16 兆欧表法测量接线示意图

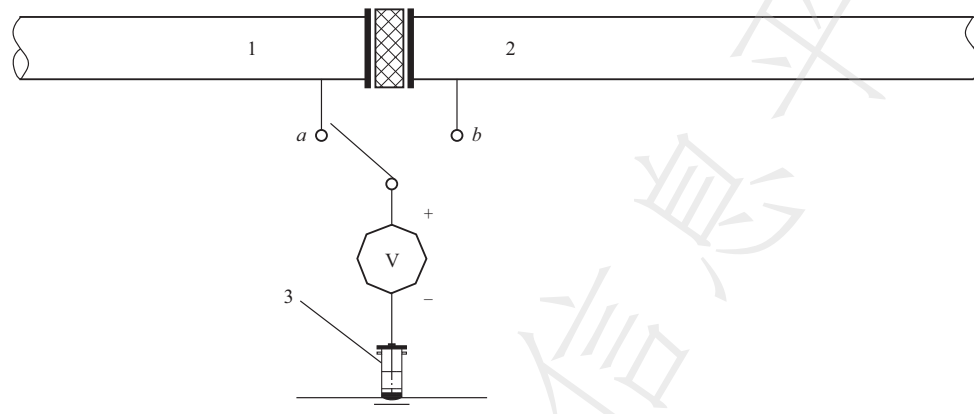
- b) 测量仪器采用 1 000 V 兆欧表，转动兆欧表手柄达到规定的转速，持续 10 s，兆欧表稳定指

示的电阻值即为绝缘接头（法兰）的绝缘电阻值。

9.2 电位法

9.2.1 本方法适用于定性判别有阴极保护运行的绝缘接头（法兰）的绝缘性能。

9.2.2 电位法是通过测量绝缘接头（法兰）两侧保护对象对地电位，判断其绝缘性能，测量接线应按图 17 所示。测量应按以下步骤进行。



标引序号说明：

- 1——非保护端；
- 2——保护端；
- 3——硫酸铜电极。

图 17 电位法测量接线示意图

- a) 测量前，应确认绝缘接头（法兰）两侧保护对象的阴极保护工作状况和运行参数，使绝缘接头（法兰）一侧的阴极保护处于工作状态，另一侧处于非保护状态。
- b) 埋地安装的绝缘接头（法兰）保持硫酸铜电极位置不变，采用数字万用表分别测量绝缘接头（法兰）非保护端 a 点的管地电位 V_a 和保护端 b 点的管地电位 V_b ，对地面安装的绝缘接头（法兰）硫酸铜电极可分别放置在两侧的出入土位置处测量。
- c) 测量中可根据 V_a 和 V_b 的差值情况，通过适当调整变化保护电流量；或使保护端处于通/断电周期状态，测量并观察非保护端管地电位 V 的变化情况。

9.2.3 绝缘接头（法兰）绝缘性能可按以下测量结果进行判断。

- a) 在保护电流没有异常偏大情况下，若 V_b 明显地比 V_a 更负，则认为绝缘接头（法铸）的绝缘性能良好。
- b) 在保护电流增大的情况下，若非保护端管地电位 V 没有明显变化或数值正向偏移，则认为绝缘接头（法铸）的绝缘性能良好。

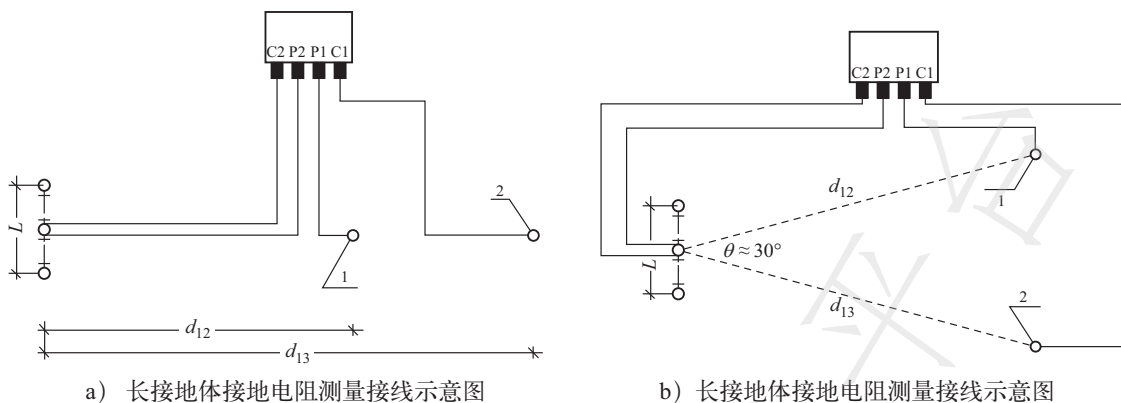
10 接地电阻

10.1 长接地体接地电阻法

10.1.1 本方法适用于测量对角线长度大于 8 m 的接地体的接地电阻。

10.1.2 长接地体接地电阻应按以下步骤进行测量。

- a) 按图 18 长接地体接地电阻测量接线示意图接线。



标引序号说明：
1——电位极；
2——电流极。

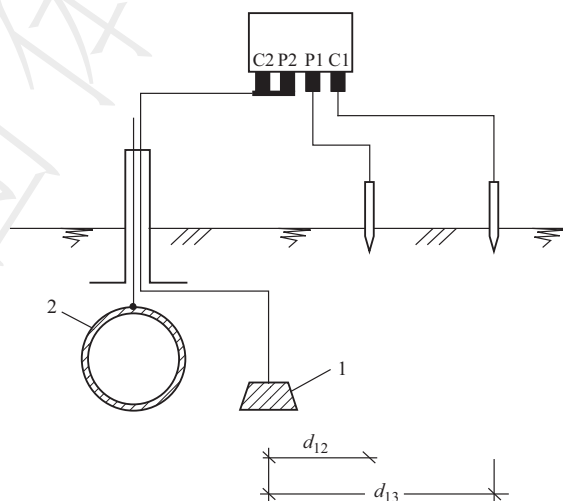
图 18 长接地体接地电阻测量接线示意图

- b) 当采用图 18a) 测量时， d_{13} 不得小于 40 m， d_{12} 不得小于 20 m，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 $1.7L$ 。
- c) 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 d_{13} 的 5% 左右，若三次测量值接近，取其平均值作为长接地体的接地电阻值；若测量值不接近，将电位极往电流极方向移动，直至测量值接近为止；
- d) 长接地体的接地电阻也可以采用图 18 b) 所示的三角形布极法测试，此时 $d_{13} = d_{12} \geq 2L$ 。

10.2 短接地体接地电阻法

10.2.1 本方法适用于测量对角线长度小于 8 m 的接地体的接地电阻。

10.2.2 测量前，应将接地体与保护对象断开，然后按图 19 所示的接线图沿垂直于保护对象的一条直线布置电极， d_{13} 约 40 m， d_{12} 取 20 m 左右，测量接地电阻值。



标引序号说明：
1——短接地体；
2——管道。

图 19 短接地体接地电阻测量接线示意图

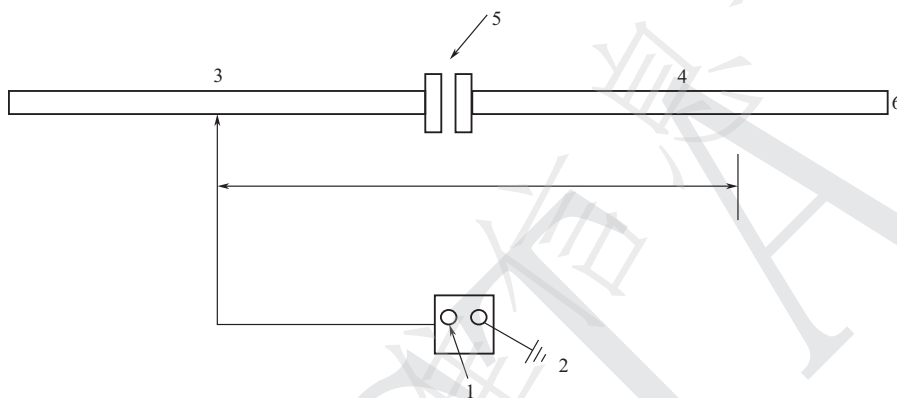
11 连通性检测

11.1 当出现结构非连续，则结构必须安装连通性搭接以获得连通性，或者结构上每个电气隔离的部位都要用独立的阴极保护系统提供保护。

11.2 使用交流电流衰减法（PCM 法）定位隔离点，但应排除防腐层破损等异常干扰。

11.3 使用密间隔电位测量法（CIPS 法），对结构施加电流，并沿结构测量电压降。

11.4 采用超声波检测能够确定开口接头的位置，如图 20 所示。



标引序号说明：

- 1——音频；
- 2——接地；
- 3——强信号；
- 4——弱信号；
- 5——绝缘接头；
- 6——管道。

图 20 隔离区超声波检测

12 腐蚀检测

12.1 一般规定

12.1.1 应定期采用开挖或非开挖方式评估掩埋结构金属物腐蚀情况。

12.1.2 应定期采用内部进入或外部无损方法评估浸没结构金属物腐蚀情况。

12.1.3 应根据腐蚀检测结果，作为评价阴极保护有效性的一种方式。

12.1.4 掩埋结构金属物腐蚀检测的非开挖方式宜采用皮尔逊检测方法（Pearson）、直流电位梯度法（DCVG）以及密间隔电位测试（CIPS）等方法，或采用多种方法相结合的方式。

12.1.5 浸没结构金属物腐蚀检测的外部无损方法宜采用超导、相控阵、射线等，或采用多种方法相结合的方式。

12.2 皮尔逊检测方法

按 SY/T 0087.1—2018 中附录 F 的要求执行。

12.3 直流电位梯度法

按 6.5 节的要求执行。

12.4 密间隔电位测试

按 6.4 节的要求执行。

12.5 超导检测

按 GB/T 31211.2 的要求执行。

12.6 相控阵检测

按 GB/T 41966 的要求执行。

12.7 射线检测

按 GB/T 43658.1 和 GB/T 43658.2 的要求执行。

13 腐蚀速率

13.1 一般规定

13.1.1 阴极保护保护对象的腐蚀速率可采用失重检查片法、电阻探针法进行测量，用于评估电干扰严重或腐蚀风险高的保护对象测量位置处的阴极保护效果和腐蚀程度。

13.1.2 失重检查片法适用于掩埋结构和浸没结构金属物腐蚀速率测量，电阻探针法适用于埋地保护对象外腐蚀速率的非开挖测量。

13.2 失重检查片法

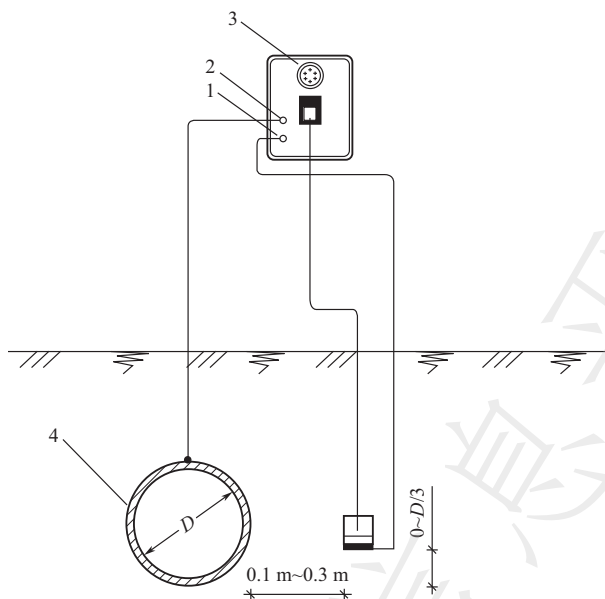
13.2.1 失重检查片应与施加了阴极保护的保护对象连接，测量前确认阴极保护运行正常，且检查片已充分极化，分别测试并记录检查片的通电电位和断电电位。

13.2.2 取样试验周期不宜小于 12 个月，同批取出试样宜为 3 片，测量后应保持检查片与保护对象连通。

13.2.3 失重检查片裸露面积尺寸应根据调查区域的检测需要确定，裸露面积宜为 $1\text{ cm}^2 \sim 100\text{ cm}^2$ 。

13.3 电阻探针法

13.3.1 探针埋设环境与保护对象相同，并与周边土壤接触良好，宜按图 21 所示位置埋设。



- 标引序号说明：
- 1——探针电缆；
 - 2——管道电缆；
 - 3——数据接头；
 - 4——管道。

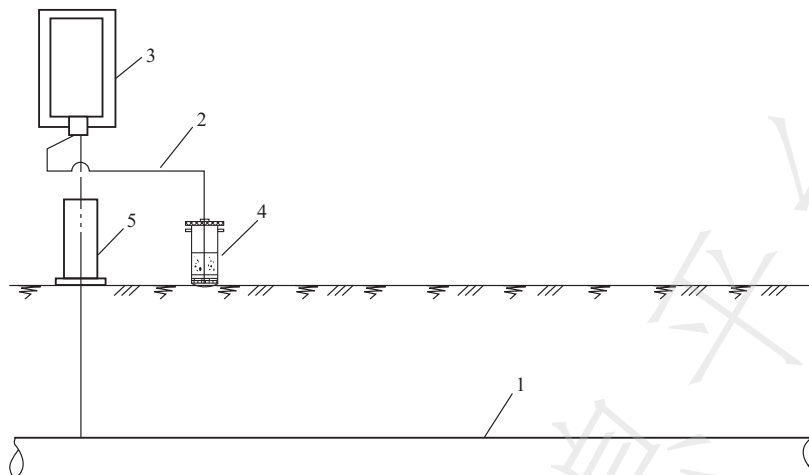
图 21 电阻探针法安装测量连线示意图

- 13.3.2 探针埋设后应先采集初始值，采集仪器精度不低于 0.01% 探针有效厚度，设置测量时间、编号，读取并储存探针的初始值。
- 13.3.3 测量前确认阴极保护运行正常，且已充分极化，分别测试并记录探针的通电电位和断电电位。
- 13.3.4 测量时采集仪与探针接头端子连通读取并储存探针的当前金属损耗值。
- 13.3.5 应根据预期的腐蚀情况确定合理的测量间隔周期。
- 13.3.6 探针裸露面积尺寸应根据调查区域的检测需要确定。
- 13.3.7 测试完成后应进行数据处理，计算腐蚀速率。

14 杂散电流测量

14.1 杂散电流干扰测试方法

- 14.1.1 杂散电流干扰测试方法适用于掩埋结构金属物的阴极保护系统。
- 14.1.2 在现有的阴极保护状态下，采用 72 h 管地电位测试方法记录管地电位和保护对象的交流电压，用于评价干扰水平。
- 14.1.3 在测试桩处测试接线按如下图 22 所示连接好。



标引序号说明：

- 1——保护对象；
- 2——测试导线；
- 3——数据记录仪；
- 4——铜/硫酸铜参比电极；
- 5——测试桩。

图 22 管地电位和交流电压测试接线图

14.1.4 采用数据记录仪读取并记录管地电位和交流电压数据，采样间隔为 1 s。

14.2 直流杂散电流干扰评价指标

14.2.1 保护对象工程处于设计阶段时，可采用保护对象拟经路由两侧各 20 m 范围内的地电位梯度判断土壤中杂散电流的强弱，当地电位梯度大于 0.5 mV/m 时，应确认存在直流杂散电流；当地电位梯度大于或等于 2.5 mV/m 时，应评估保护对象敷设后可能受到的直流干扰影响，并根据评估结果预设干扰防护措施。

14.2.2 没有实施阴极保护的保护对象，宜采用管地电位相对于自然电位的偏移值进行判断，当任意点上的管地电位相对于自然电位正向或负向偏移超过 20 mV，应确认存在直流干扰；当任意点上管地电位相对于自然电位正向偏移大于或等于 100 mV 时，应及时采取干扰防护措施。

14.2.3 已投运阴极保护的保护对象，当干扰导致保护对象不满足最小保护电位要求时，应及时采取干扰防护措施。

14.2.4 具体干扰防护措施应按 GB 50991 的要求执行。

14.3 交流杂散电流干扰评价指标

14.3.1 当保护对象上的交流干扰电压不高于 4 V 时，可不采取交流干扰防护措施；高于 4 V 时，应采用交流电流密度进行评估，交流电流密度可按式 (7) 计算：

$$J_{AC} = \frac{8V}{\rho\pi d} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

J_{AC} ——评估的交流电流密度，单位为安/平方米 (A/m^2)；

V ——交流干扰电压有效值的平均值，单位为伏 (V)；

ρ ——土壤电阻率，单位为欧姆·米 ($\Omega \cdot m$)；

d ——破损点直径，单位为米（m）。

- 注：1) ρ 值应取交流干扰电压测试时，测试点处与保护对象埋深相同的土壤电阻率实测值；
 2) d 值按发生交流腐蚀最严重考虑，取 0.011 3。

14.3.2 保护对象受交流干扰的程度可按表 2 交流干扰程度的判断指标的规定判定。

表 2 交流干扰程度的判断指标

交流干扰程度	弱	中	强
交流电流密度/(A/ m ²)	<30	30~100	>100

14.3.3 当交流干扰程度判定为“强”时，应采取交流干扰防护措施；判定为“中”时，宜采取交流干扰防护措施；判定为“弱”时，可不采取交流干扰防护措施。

14.3.4 应用于阴极保护下埋地保护对象交流腐蚀电压评价标准：当保护对象附近局部土壤电阻率高于 25 Ω·m 时，交流感应电压不应超过 10 V；当局部土壤电阻率低于 25 Ω·m 时，交流感应电压不应超过 4 V。

14.3.5 交流电流密度低于 30 A/m² 时，交流腐蚀可能性很低；介于 30 A/m² ~100 A/m² 之间时，发生交流腐蚀的可能性为中等；高于 100 A/m² 时，发生交流腐蚀的可能性很高。

14.3.6 具体干扰防护措施应按 GB /T 50698 的要求执行。

中国腐蚀控制技术协会

团体标准

阴极保护测量技术

T/CCCTA 0057—2025

出版发行：化学工业出版社

(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

北京科印技术咨询服务股份有限公司数码印刷分部

880mm×1230mm 1/16 印张2 字数52.9千字

2025年9月北京第1版第1次印刷

书号：155025·4333

购书咨询：010-64518888

售后服务：010-64518899

网址：<https://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定价：26.00元

版权所有 违者必究