ICS 75.180.30
E 98

中华人民共和国国家标准

GB/T 21246—2020
代替 GB/T 21246—2007

埋地钢质管道阴极保护参数测量方法

Measurement method for cathodic protection parameters of buried steel pipelines

2020-11-19 发布　　2021-06-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会　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
4.1　测量仪表 …… 2
4.2　电压、电流仪表 …… 2
4.3　参比电极 …… 2
4.4　测量基本要求 …… 3
4.5　电位极性 …… 3
5　电位测量 …… 4
5.1　自然电位 …… 4
5.2　通电电位 …… 4
5.3　断电电位 …… 4
5.4　密间隔电位 …… 5
5.5　加强测量法 …… 6
5.6　阴极电位负向偏移量 …… 7
5.7　极化探头法 …… 8
5.8　土壤管法 …… 9
5.9　牺牲阳极开路电位 …… 10
5.10　牺牲阳极接入点的管地电位(闭路电位) …… 11
6　牺牲阳极输出电流 …… 11
6.1　标准电阻法 …… 11
6.2　直测法 …… 12
7　管内直流电流 …… 12
7.1　电压降法 …… 12
7.2　标定法 …… 13
7.3　电流环法 …… 14
8　绝缘接头(法兰)绝缘性能 …… 14
8.1　兆欧表法 …… 14
8.2　电位法 …… 15
8.3　电压法 …… 16
8.4　漏电率测量法 …… 17
8.5　电源电流环法 …… 17
8.6　接地电阻仪测量法 …… 18
9　接地电阻 …… 19

9.1 长接地体接地电阻法 …… 19
9.2 短接地体接地电阻法 …… 20
10 土壤电阻率 …… 20
10.1 等距法 …… 20
10.2 不等距法 …… 21
11 腐蚀速率 …… 22
11.1 一般规定 …… 22
11.2 失重检查片法 …… 22
11.3 电阻探针法 …… 22

前　言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 21246—2007《埋地钢质管道阴极保护参数测量方法》，与 GB/T 21246—2007 相比，主要技术变化如下：

——补充了氯化银参比电极及常用参比电极的电位值及温度系数(见 4.3.3，2007 年版的 4.3.3)；

——细化了断电电位测量的要求(见 5.3，2007 年版的 5.3)；

——增加了密间隔电位测量中电流同步性验证的要求(见 5.4.2)；

——修改了阴极极化电位的名称和适用性及图(见 5.6，2007 年版的 5.6)；

——补充了极化探头法的安装和试片要求(见 5.7，2007 年版的 5.9)；

——增加了土壤管法(见 5.8)；

——增加了电流环法(见 7.3)；

——修改了兆欧表法测量仪器要求(见 8.1.2，2007 年版的 9.1.2)；

——细化了绝缘接头(法兰)绝缘性能测试电位法的内容(见 8.2，2007 年版的 9.2)；

——绝缘接头(法兰)绝缘性能测试中增加了电压法和电源电流环法(见 8.3 和 8.5)；

——增加了腐蚀速率的测量(见第 11 章)；

——删除了管道阳极区定位(见 2007 年版的 5.10)；

——删除了管道外防腐层电阻率(见 2007 年版的第 8 章)；

——删除了管道外防腐层地面检漏(见 2007 年版的第 12 章)。

本标准由全国石油天然气标准化技术委员会(SAC/TC 355)提出并归口。

本标准起草单位：中国石油工程建设有限公司西南分公司、中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司安全环保与技术监督研究院、中国石油天然气股份有限公司管道分公司、中国石油天然气管道工程有限公司、中石油北京天然气管道有限公司、广东大鹏液化天然气有限公司。

本标准主要起草人：张平、秦林、陈振华、黄留群、王春雨、刘权、屠海波、张良、唐强、左斐、郑安升、张胜利、徐华天。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

——GB/T 21246—2007。

埋地钢质管道阴极保护参数测量方法

1 范围

本标准规定了陆上埋地钢质管道阴极保护参数的现场测量方法。

本标准适用于陆上埋地钢质油、气、水管道阴极保护参数的现场测量。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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。

JJG 124 电流表、电压表、功率表及电阻表

JJG 366 接地电阻表检定规程

JJG 622 绝缘电阻表(兆欧表)检定规程

JJF 1587 数字多用表校准规范

SY/T 0029 埋地钢质检查片应用技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

管地电位 pipe-to-soil potential

管道与其相邻电解质(土壤)的电位差。

3.2

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。

3.3

通电电位 on potential

阴极保护系统持续运行时测量的管地电位。

3.4

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管道电阻)的乘积。

3.5

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。

3.6

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管道上的瞬间性电位波动。

3.7

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

沿着管顶地表以小的固定间距测量管道和大地间电位的测试方法。

3.8

加强测量法　intensive measurement technique

通过同时测量管地电位与垂直方向土壤电位梯度,识别防腐层缺陷和获取消除所有 IR 降后电位的方法。

3.9

远参比法　reference electrode method remote from pipeline

将参比电极置放于距被测管道远方大地的地面测量管地电位的方法。

3.10

土壤管　reference tube

一种采用非导电性和非渗透性材料制作,中间填充土壤或其他电解质,用于放置参比电极的管子。

4　基本规定

4.1　测量仪表

4.1.1　测量仪表的显示速度、精度、准确度和量程应满足测量要求;同时还应满足携带使用方便、供电方便、适应现场测量环境需求。宜选用数字式仪表。

4.1.2　常规测量仪表的定期校验,应按 JJG 124、JJG 366、JJG 622、JJF 1587 的有关规定执行。

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 MΩ;指针式电压表的内阻应不小于 100 kΩ/V。

b)　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。

c)　数字式电压表的准确度应不低于 0.5 级;指针式电压表的准确度应不低于 2.5 级。

d)　测量受交流干扰的管道的管地电位时,应选用具有抗工频干扰功能的数字式电压表,也可选用指针式电压表。选用数字式电压表时,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。

4.3.2　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 $\mu A/cm^2$。

4.3.3　对不能使用硫酸铜电极的环境,宜采用高纯锌参比电极,纯度不应小于 99.995%,或采用氯化银

参比电极替代。常用参比电极的电位值及温度系数见表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

4.4 测量基本要求

4.4.1 测量连接点应电接触良好,测量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。

4.4.2 测量仪表应按使用说明书的有关规定进行操作。

4.4.3 在对强制电流阴极保护电源设备进行安装、调试、测量、维修时,应执行国家现行有关电气安全标准(规范)的规定。

4.4.4 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。

4.4.5 进行测量之前,应检查是否存在危险电压。

4.4.6 在雷暴天气下,不应进行测量。

4.4.7 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。

4.4.8 在涵洞或隧道中测量时,应确认是安全的条件下方可进行测量。

4.5 电位极性

4.5.1 采用直流数字式电压表测量管地电位时,应将电压表的负接线柱(COM端)与硫酸铜电极连接,正接线柱(V端)与管道连接,测量接线见图1。仪表指示的是管道相对于硫酸铜电极的电位值,正常情况下显示负值。

4.5.2 当采用直流指针式电压表测量管地电位时,应采用图2方式接线,将电压表的负接线柱(−)与管道连接,正接线柱(+)与硫酸铜电极连接,在指针没有发生反转的情况下,所记录的数据应该加负号。

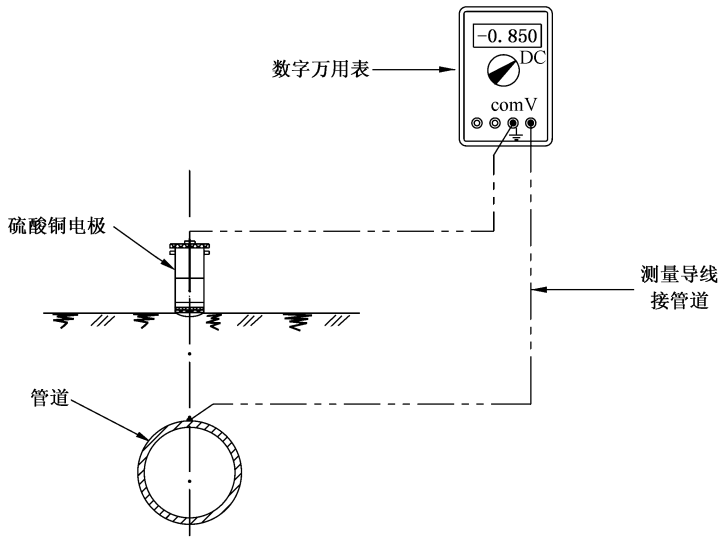


图1 数字万用表管地电位测量接线示意图

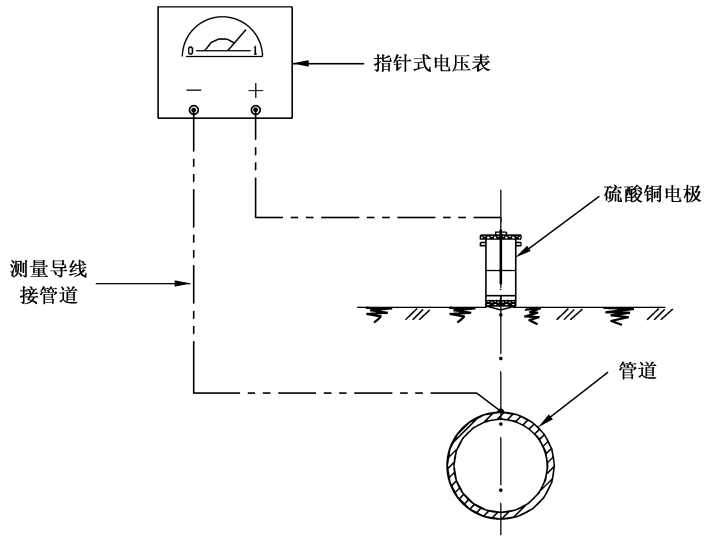


图 2　指针式电压表管地电位测量接线示意图

5　电位测量

5.1　自然电位

5.1.1　本方法适用于管道自然电位的测量。

5.1.2　自然电位应按以下步骤进行测量：

a）　测量前，应确认管道是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管道宜在完全断电 24 h 后进行；

b）　测量时，将硫酸铜电极放置在管道上方地表的潮湿土壤上，应保证硫酸铜电极底部与土壤接触良好；

c）　按图 1 或图 2 的测量接线方式，将电压表与管道及硫酸铜电极相连接；

d）　将电压表调至适宜的量程上，读取数据，应记录管地电位值、温度及极性，注明该电位值的名称。

5.2　通电电位

5.2.1　本方法测得的电位应为包括管道极化后的电位与测量回路中其他所有电压降的和。本方法适用于施加阴极保护电流时，管道对电解质（土壤）电位的测量。

5.2.2　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，管道已充分极化；

b）　测量时，将硫酸铜电极放置在管道上方地表的潮湿土壤上，应保证硫酸铜电极底部与土壤接触良好；

c）　按图 1 或图 2 的测量接线方式，将电压表与管道及硫酸铜电极相连接；

d）　将电压表调至适宜的量程上，读取数据，做好管地电位值、温度及极性记录，注明该电位值的名称。

5.3　断电电位

5.3.1　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 降后的管地电位。本方法不适

用于存在多组牺牲阳极、牺牲阳极与管道直接连接、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管道。

5.3.2 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，管道已充分极化。

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；管道上设置有用于干扰防护的电容类元件的去耦合装置时，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) 将硫酸铜电极放置在管道上方地表的潮湿土壤上，应保证硫酸铜电极底部与土壤接触良好。

f) 按图 1 或图 2 的测量接线方式，将电压表与管道及硫酸铜电极相连接。

g) 记录通电电位(V_{on})和断电电位(V_{off})，以及相对于硫酸铜电极的极性。所测得的断电电位(V_{off})为硫酸铜电极安放处消除了由保护电流所引起的 IR 降后的管地电位。

5.4 密间隔电位

5.4.1 本方法可测得管道沿线的通电电位(V_{on})和断电电位(V_{off})。本方法适用于对管道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、牺牲阳极与管道直接连接、存在不能被中断的外部强制电流设备等的管道，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 3。

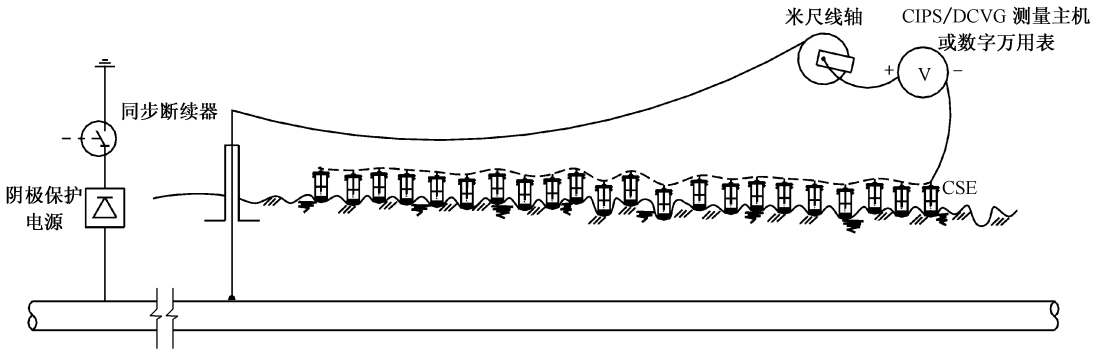


图 3 密间隔电位测量示意图

5.4.2 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，管道已充分极化。

b) 按 5.3.2 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，将一支硫酸铜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) 当采用数字式万用表时，按 5.3 进行测量。

f) 测量时，利用探管仪对管道定位，保证硫酸铜电极放置在管道的正上方。

g) 从测试桩开始，沿管线管顶地表以密间隔(一般是 1 m～3 m)逐次移动硫酸铜电极，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。

h) 同时应使用米尺、全球定位系统坐标测量或其他方法,确定硫酸铜电极安放处的位置,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。

i) 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。

j) 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) 管内所有电流的同步性,可按第 7 章中管内电流的电压降法,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管内电流的大小进行核实;

3) 管内所有电流的同步性,也可通过测量管道正上方和与管道垂直的距离约 2.5 倍管道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,若两侧的管地电位比正上方处更负,表明电流由土壤流向管道,当在断电周期内测得有较大电流流向管道,则说明管内电流没有同步断除。

5.4.3 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) 应评价测试管段沿线的阴极保护有效性,并确定欠保护和过保护的管段范围。

5.5 加强测量法

5.5.1 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管段的断电电位的修正测量。加强测量法测量示意图见图 4。

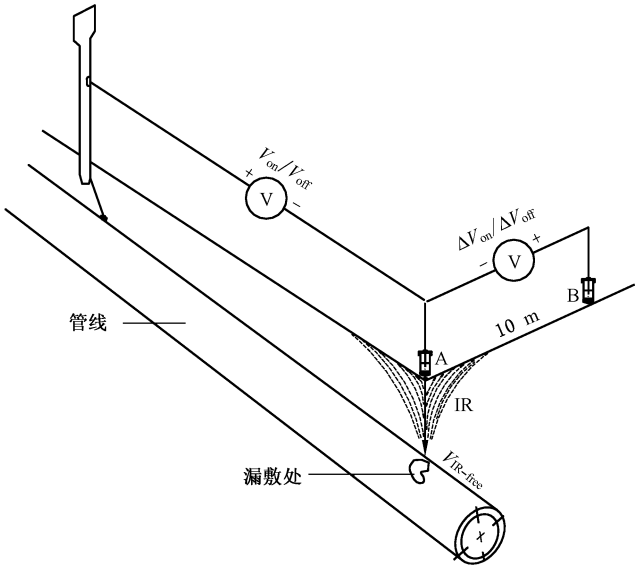


图 4 加强测量法测量示意图

5.5.2 加强测量法应按以下步骤进行测量:

a) 按 5.4 密间隔管地电位测量法测量管道正上方图 4 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硫酸铜电极，将其置于与管道方向相垂直，距离管顶测量点图 4 的 A 点 10 m 位置处图 4 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，确定管顶测量点的位置，同时应记录沿线的永久性标志、参照物、沿线测量的通/断电位梯度差（$\Delta V_{on}-\Delta V_{off}$）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。

5.5.3 修正后的断电电位 $V_{IR\text{-}free}$ 应按式(1)计算：

$$V_{IR\text{-}free}=V_{off}-\frac{\Delta V_{off}}{\Delta V_{on}-\Delta V_{off}}(V_{on}-V_{off}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

式中：

$V_{IR\text{-}free}$——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)。

5.5.4 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管道保护电位分布曲线。

5.6 阴极电位负向偏移量

5.6.1 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。通过测量管道或极化探头(试片)的极化衰减或极化形成的方法，来判定测量点处管道是否达到阴极保护准则。

5.6.2 管道阴极极化衰减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，管道或连接的试片已充分极化。

b) 管道测量时，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管道可采用极化探头法或土壤管法测量。

c) 将硫酸铜电极放置在管道上方地表的潮湿土壤上，应保证硫酸铜电极底部与土壤接触良好。

d) 测量接线见图 1 或图 2。

e) 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)以及相对硫酸铜电极的极性。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。

f) 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管道的去极化电位。

g) 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。管道阴极极化衰减测量的方法见图 5。

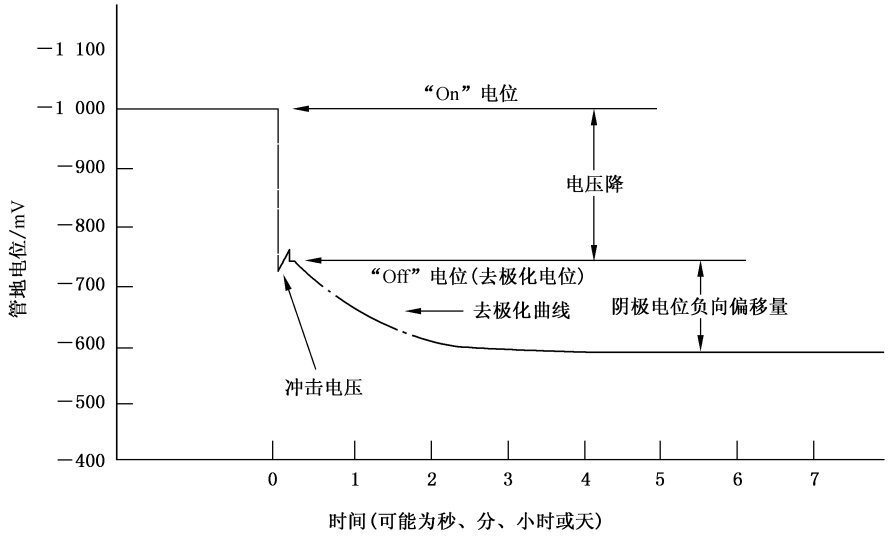


图 5　阴极极化衰减测量示意图

5.6.3　管道阴极极化形成应按以下步骤进行测量：

a）　按 5.1 测量并记录管道或试片的自然电位。将此电位作为计算极化形成的基准电位值。

b）　施加阴极保护电流，并确认保护管道或连接的试片已充分极化。

c）　管道测量时，按 5.3.2 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管道可采用极化探头法或土壤管法进行。

d）　测量并记录通电电位(“on”电位)和断电电位(“off”电位)以及相对硫酸铜电极的极性。断电电位和自然电位之差即为阴极电位负向偏移量。管道阴极极化形成测量的方法见图 6。

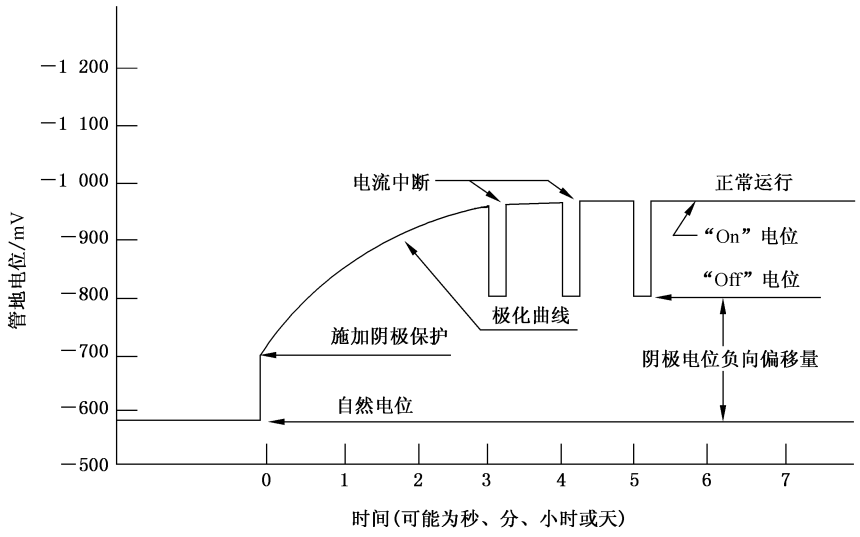


图 6　阴极极化形成测量示意图

5.7　极化探头法

5.7.1　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管道，用极化探头法测量埋设位置处管道保护电位。

5.7.2　极化探头法应按以下步骤进行测量：

a) 极化探头埋设环境宜与管道相同。长效型极化探头宜按图 7 所示位置埋设，极化试片裸露面不应面向管道，应保证极化试片与周边土壤接触良好。

b) 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管道连通前进行。

c) 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管道已连通，管道和极化试片充分极化。

d) 测量中，按图 7 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)接探头的硫酸铜电极。

e) 测量并记录极化试片的通电电位。

f) 将极化试片与管道断开，立即测量并记录极化试片的断电电位。所测得的断电电位，代表埋设点附近管道防腐层破损点面积与极化试片裸露面积相近的管道保护状况。

g) 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 cm^2～100 cm^2。

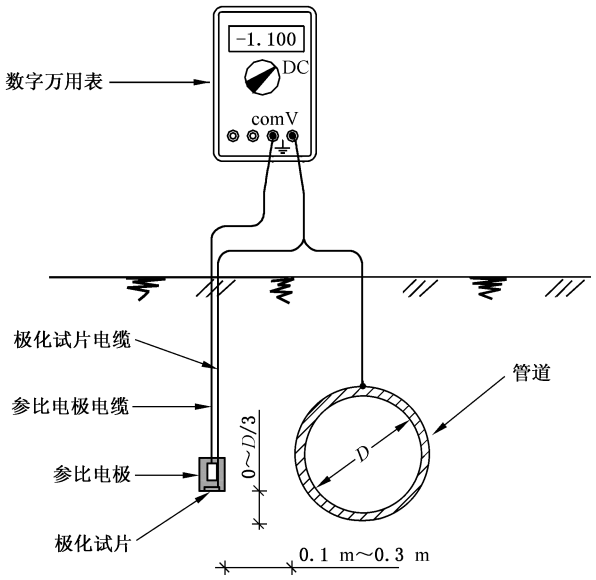


图 7　极化探头法测量接线示意图

5.8　土壤管法

5.8.1　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管道，用土壤管与极化试片配合测量埋设处管道的保护电位。

5.8.2　土壤管法应按以下步骤进行测量：

a) 土壤管宜采用 PVC 管、PE 管或 PC 管。土壤管的安装见图 8。

b) 安装时，土壤管与极化试片安装于管道的同一侧，与管道埋深相同。极化试片可安装在土壤管的一侧，与管道外壁的间距宜为 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 Ω·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 8 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) 断开极化试片与管道的连接，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管道保护状况。

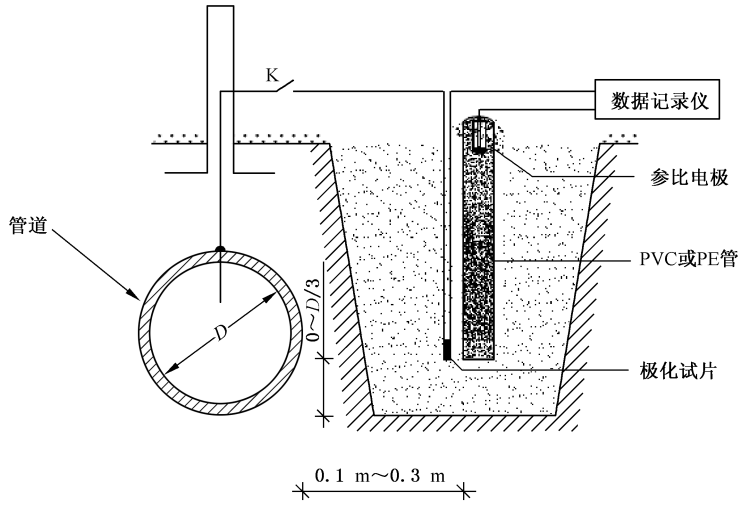


图 8 土壤管法安装测量接线示意图

5.9 牺牲阳极开路电位

5.9.1 本方法适用于测量牺牲阳极在埋设环境中与管道断开时开路电位。

5.9.2 牺牲阳极开路电位应按以下步骤进行测量：

a) 测量前，应断开牺牲阳极与管道的连接；

b) 测量中，按图 9 的接线方式进行测量；

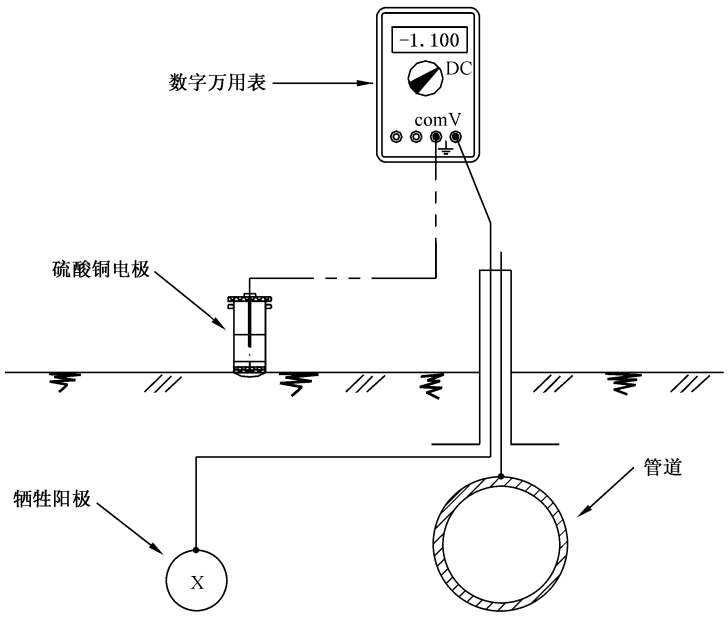


图 9 牺牲阳极开路电位测量接线示意图

c) 将硫酸铜电极放置在牺牲阳极埋设位置上方的潮湿土壤上，应保证硫酸铜电极底部与土壤接触良好；

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管道连通。

5.10 牺牲阳极接入点的管地电位(闭路电位)

5.10.1 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管地电位测量误差。该误差可采用远参比法消除。

5.10.2 牺牲阳极接入点的管地电位应按以下步骤进行测量：

a) 按图 10 远参比法测量接线示意图接线。

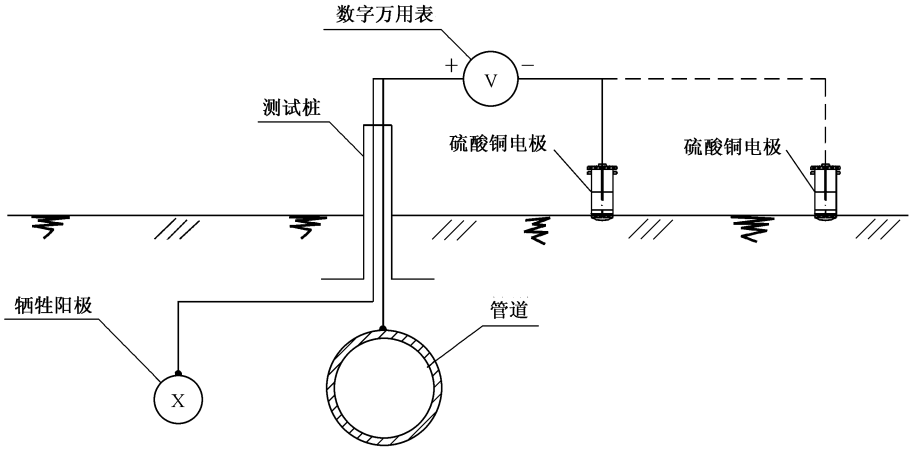


图 10 远参比法测量接线示意图

b) 将硫酸铜电极朝远离牺牲阳极的方向逐次安放在地表上，第一个安放点距管道测量点不小于 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，硫酸铜电极不再往远方移动，取最远处的管地电位值作为该测量点的牺牲阳极接入点的管地电位。

6 牺牲阳极输出电流

6.1 标准电阻法

6.1.1 标准电阻法应按以下要求进行测量：

a) 按图 11 标准电阻法测量接线示意图接线。

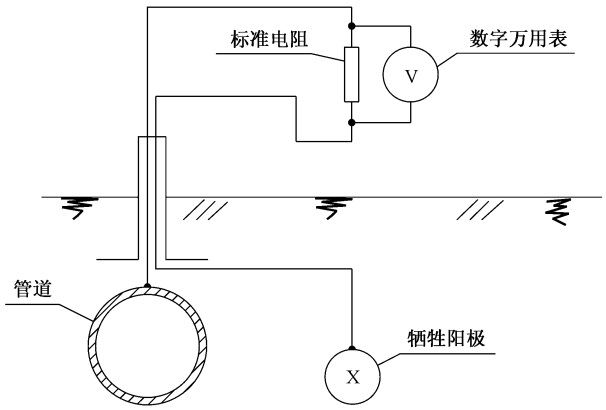


图 11 标准电阻法测量接线示意图

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 mm^2。

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。

6.1.2 牺牲阳极的输出电流应按式(2)进行计算：

$$I=\frac{\Delta V}{R} \qquad \cdots\cdots(2)$$

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)。

6.2 直测法

6.2.1 直测法应按图12直测法测量接线示意图接线，进行测量。

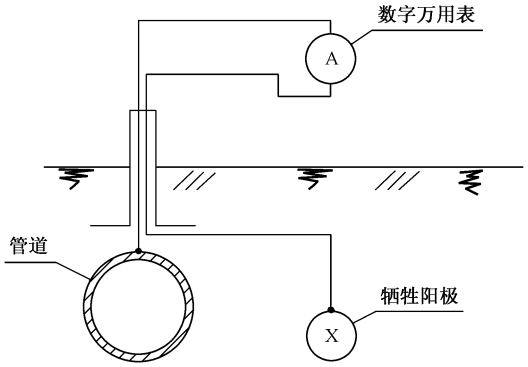


图12 直测法测量接线示意图

6.2.2 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。

7 管内直流电流

7.1 电压降法

7.1.1 电压降法适用于具有良好外防腐层的管道，且被测管段无分支管道、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13。

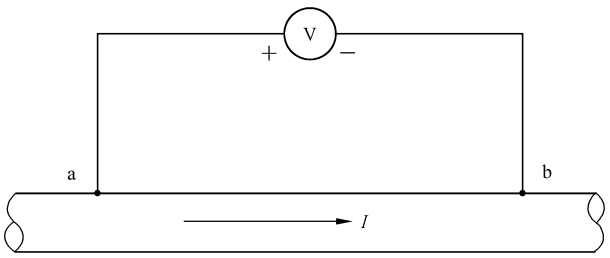


图13 电压降法测量接线示意图

7.1.2 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量决定，最小管长应保证 a、b 两点之间的电位差不小于 50 μV，L_{ab} 典型值取 30 m～100 m。

b) 可采用分辨率为 1 μV 数字电压表，测量 a、b 两点间的电位差 V_{ab}。

7.1.3 ab 段的管内电流应按式(3)计算：

$$I=\frac{V_{ab}\cdot\pi(D-\delta)\delta}{\rho L_{ab}} \qquad \cdots\cdots(3)$$

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 ——管道外径，单位为毫米(mm)；

δ ——管道壁厚，单位为毫米(mm)；

ρ ——管材电阻率，单位为欧平方毫米每米($\Omega\cdot mm^2/m$)；

L_{ab} ——ab 间的管道长度，单位为米(m)。

7.2 标定法

7.2.1 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，无须知道管径、长度、壁厚、钢材电阻率四项参数，可使用标定法适应于测量管内电流。

7.2.2 标定法应按以下步骤进行测量：

a) 测量并记录 c、d 两点间的电位差 V_0，单位为 mV，并注意极性，以识别被测管内电流流向。

b) 标定法测量接线示意图见图 14，其中 R 宜为 0～10 Ω 的磁盘变阻器，E 宜为 12 V 直流电源，电压表宜采用分辨率为 1 μV 的数字电压表，A 为直流电流表，$L_{ac}\geqslant\pi D$，$L_{db}\geqslant\pi D$，L_{cd} 的长度不宜小于 10 m。

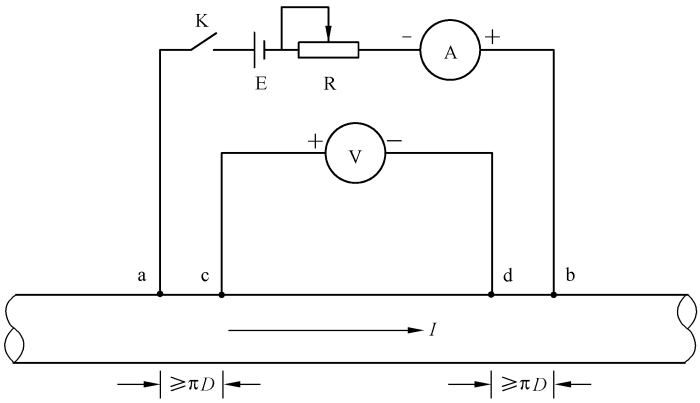


图 14 标定法测量接线示意图

c) 合上开关 K，调节变阻器，使电流表的读数 I_1 约为 10 A，记录 I_1 准确读数，并同时记录电压表测量的 c、d 两点间的电位差 V_1。再调节变阻器，使电流表读数 I_2 约为 5 A，记录 I_2 准确读数，并同时记录电压表测量的 c、d 两点间的电位差 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。

7.2.3 数据处理应按以下步骤进行：

a) 计算施加 I_1 和 I_2 时的校正因子 β_1、β_2 及平均校正因子 β 宜按式(4)、式(5)和式(6)分别进行。

$$\beta_1=\frac{I_1}{V_1-V_0} \qquad \cdots\cdots(4)$$

$$\beta_2 = \frac{I_2}{V_2 - V_0} \quad \cdots\cdots(5)$$

$$\beta = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} \quad \cdots\cdots(6)$$

式中：

β_1——施加 I_1 电流时的校正因子，单位为安每毫伏(A/mV)；

β_2——施加 I_2 电流时的校正因子，单位为安每毫伏(A/mV)；

β ——平均校正因子(cd 管段管道电阻的倒数)，单位为安每毫伏(A/mV)；

I_1——第一次标定施加的电流，单位为安(A)；

I_2——第二次标定施加的电流，单位为安(A)；

V_0——未施加标定电流时 cd 间的电位差，单位为毫伏(mV)；

V_1——施加 I_1 电流时 cd 间的电位差，单位为毫伏(mV)；

V_2——施加 I_2 电流时 cd 间的电位差，单位为毫伏(mV)。

b) cd 段管内电流宜按式(7)计算。

$$I = V_0 \times \beta \quad \cdots\cdots(7)$$

式中：

I——cd 管段的管内电流，单位为安(A)。

7.3 电流环法

7.3.1 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。

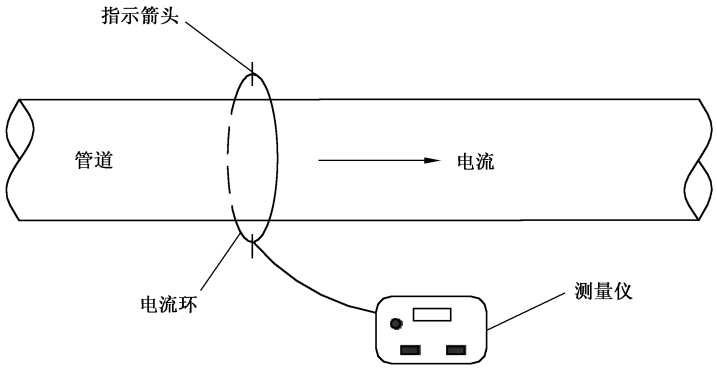


图 15 电流环测试管中电流示意图

7.3.2 电流环法应按以下步骤进行测量：

a) 测试前，根据被测管道尺寸选择与管道尺寸相匹配的电流环，并垂直安装在被测管道上，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。

8 绝缘接头(法兰)绝缘性能

8.1 兆欧表法

8.1.1 本方法适用于测量未安装到管道上的绝缘接头(法兰)的绝缘电阻值。

8.1.2 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。测量导线与管道的连接宜采用磁性接头或夹子，连接点应除锈。

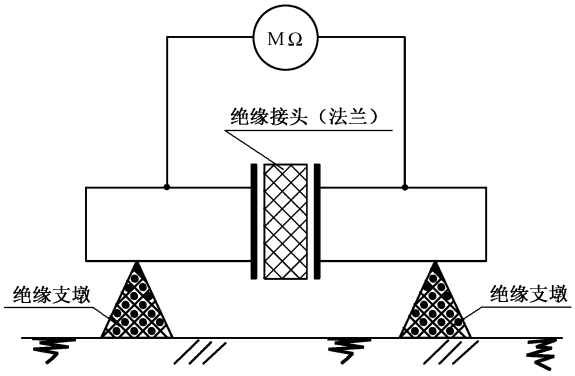


图 16 兆欧表法测量接线示意图

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。

8.2 电位法

8.2.1 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。

8.2.2 电位法是通过测量绝缘接头(法兰)两侧管道对地电位，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：

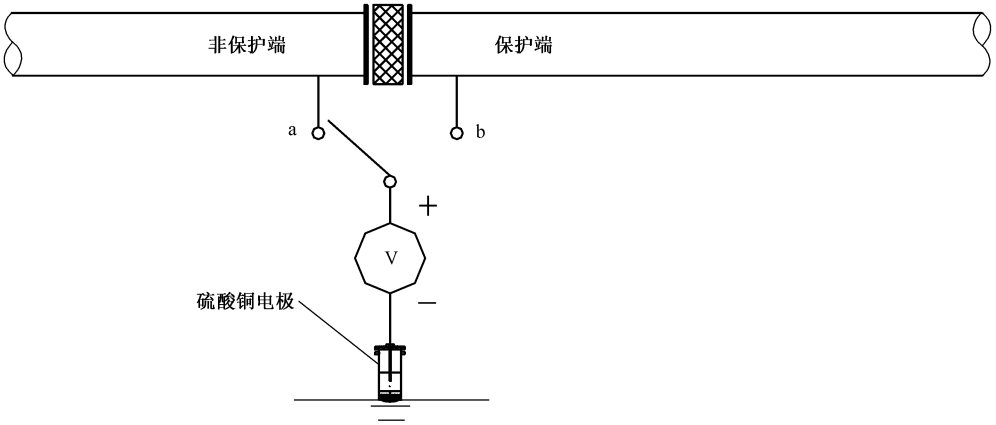


图 17 电位法测量接线示意图

a) 测量前，应确认绝缘接头(法兰)两侧管道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_a 的变化情况。

8.2.3 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(法兰)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_a 没有明显变化或数值正向偏移，则认为绝缘接头（法兰）的绝缘性能良好；

c) 在通/断电周期内，若 V_a 和 V_b 的同步变化趋势明显，则需核实绝缘接头的绝缘性能，可按 8.3 或 8.4 或 8.5 的方法进行后续测量；

d) 若 V_a 和 V_b 相同或相近，则认为绝缘接头（法兰）的绝缘性能可疑；若核实辅助阳极距离绝缘接头足够远，且已判明与非保护端相连的管道和保护端管道没有异常交叉搭接，绝缘接头（法兰）防电涌保护器等设施完好或已临时断开，则可判定绝缘接头的绝缘性能差（严重漏电或短路）。否则可按 8.3 或 8.4 或 8.5 的方法进行后续测量。

8.3 电压法

8.3.1 当采用电位法判定绝缘接头（法兰）绝缘性能可疑，或需要比较准确确定漏电率时，对一侧有地面管段的绝缘接头（法兰）的绝缘性能可采用电压法测量。电压法测量接线示意图见图 18。

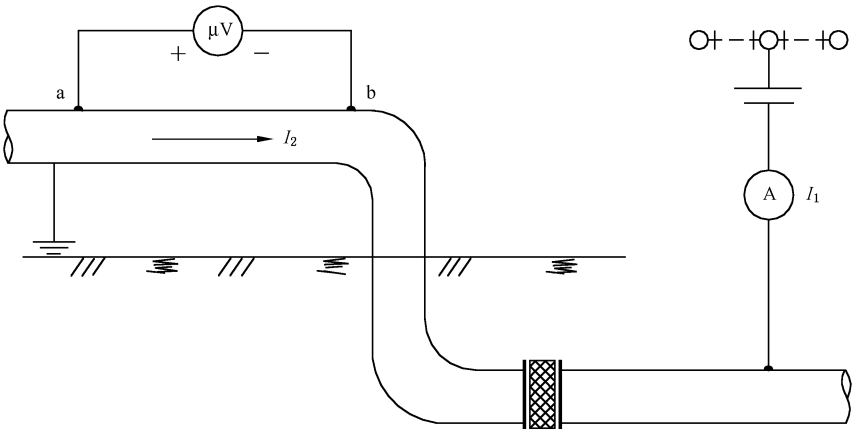


图 18 电压法测量接线示意图

8.3.2 电压法应按以下步骤进行测量：

a) 利用管道阴极保护系统的电源或外加直流电源在绝缘接头（法兰）一侧进行馈电，电流宜大于 2 A；

b) 在无分支管道、无接地极的地面管段选取 a、b 两点，间距宜大于 2 m，采用分辨率为 1 μV 数字电压表，测量 a、b 两点的电压差 V_{ab} 和电流流向，宜采用电位差计；

c) 测量并记录强制电源向管道提供的电流 I_1。

8.3.3 绝缘接头（法兰）绝缘性能可按以下测量结果进行判定：

a) 当测得的 $V_{ab} \geqslant 20$ μV 时，按 7.1 管内电流的电压降法用式（3）计算绝缘接头（法兰）的漏泄电流 I_2。绝缘接头（法兰）漏电率按式（8）计算。

$$\eta = \frac{I_2}{I_1} \times 100\% \qquad \cdots\cdots (8)$$

式中：

η ——绝缘接头（法兰）漏电百分率；

I_1——强制电源向管道提供的电流，单位为毫安（mA）；

I_2——绝缘接头（法兰）非保护端管内电流，单位为毫安（mA）。

b) 对 DN＞500 mm 管道，对应于 2 m 间距测得的 $V_{ab} \geqslant 5$ μV，且随阴极保护电流或馈电电流增大而增大，电流方向指向绝缘接头时，则可判定绝缘接头（法兰）性能较差。

8.4 漏电率测量法

8.4.1 本方法适用于采用交流电流测量在役管道绝缘接头(法兰)的漏电率,判断其绝缘性能。漏电率测量接线示意图见图 19。

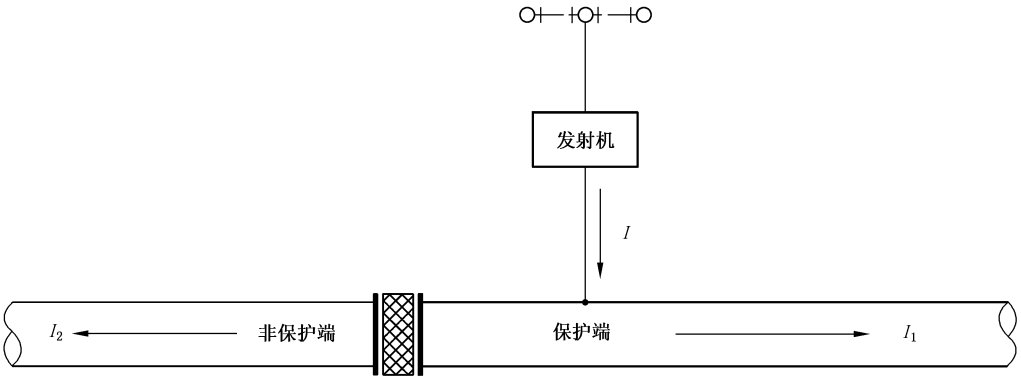


图 19 漏电率测量接线示意图

8.4.2 漏电率应按以下步骤进行测量:

a) 断开保护端阴极保护电源、跨接电缆和绝缘接头保护器;

b) 用发射机在保护端接近绝缘接头(法兰)处向管道输入低频交流电流 I;

c) 在保护端电流输入点外侧,用接收机测量并记录该侧管道电流 I_1;

d) 在非保护端用接收机测量并记录该侧管道电流 I_2。

8.4.3 绝缘接头(法兰)漏电百分率宜按式(9)计算:

$$\eta = \frac{I_2}{I_1 + I_2} \times 100\% \qquad \cdots\cdots(9)$$

式中:

η——绝缘接头(法兰)漏电百分率;

I_1——接收机测量的绝缘接头(法兰)保护端管内电流,单位为毫安(mA);

I_2——接收机测量的绝缘接头(法兰)非保护端管内电流,单位为毫安(mA)。

8.5 电源电流环法

8.5.1 本方法适用于测试和判断在役管道绝缘接头(法兰)的绝缘性能。电流环测试管道绝缘性能示意图见图 20。

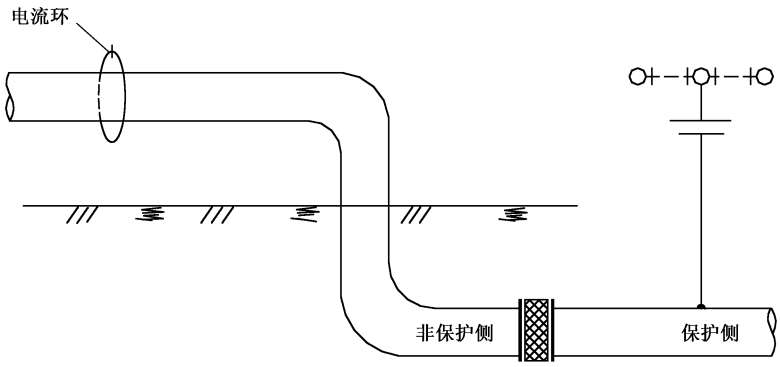


图 20 电流环测试管道绝缘性能示意图

8.5.2 电源电流环法应按以下步骤进行测量:

a) 测试前，选择与管道尺寸相匹配的电流环，并安装于绝缘接头一侧的管道上。电流环宜优先安装于非保护侧且靠近绝缘接头的地上管道。必要时，也可将绝缘装置开挖，用于安装电流环。

b) 测量时，可利用管道阴极保护系统的电源，也可外加直流电源进行馈电。加载电流量不宜小于1 A。

c) 依次调节电源的输出电流大小，分别读取和记录电流的大小和方向，观察电流读数和方向变化。

8.5.3 若电流环安装于非保护侧时，若测量到的电流值为零或很小，则认为绝缘性能可靠。若测量到的电流值接近或等于电源输出电流，且电流流向绝缘接头(法兰)，则认为绝缘性能差。

8.6 接地电阻仪测量法

8.6.1 本方法适用于用接地电阻仪测量在役管道绝缘接头(法兰)的绝缘电阻。

8.6.2 接地电阻仪测量法应按以下步骤进行测量：

a) 先测量绝缘接头(法兰)两端管道的接地电阻，其测量接线示意图按图21所示。分别对a点和b点按9.1的测量方法进行测量(d_{12}和d_{13}根据站场或阀室接地体对角线长度L确定)，读取并记录仪表读数值R_a和R_b。

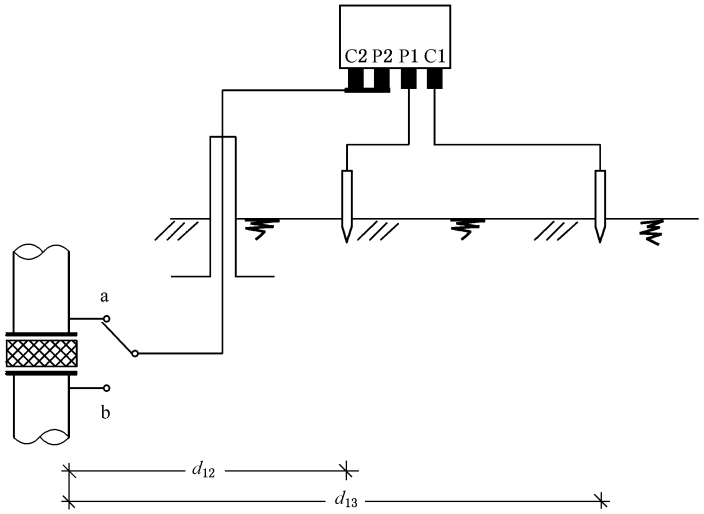


图21 绝缘接头(法兰)两端接地电阻测量接线示意图

b) 再测量a、b两点的总电阻，其测量接线示意图按图22所示。测量并记录仪表读数值R_r。当$R_r \leqslant 1\ \Omega$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。

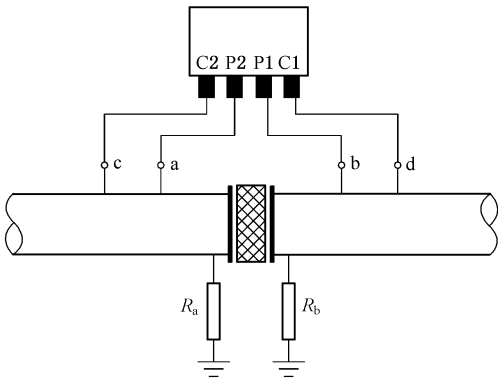


图22 接地电阻仪法测量接线示意图

8.6.3 绝缘接头(法兰)的绝缘电阻应按式(10)计算：

$$R=\frac{R_r(R_a+R_b)}{(R_a+R_b)-R_r} \qquad \cdots\cdots(10)$$

式中：

R ——绝缘接头(法兰)的电阻，单位为欧(Ω)；

R_r ——a、b 两点的总电阻，单位为欧(Ω)；

R_a ——绝缘接头(法兰)保护端接地电阻，单位为欧(Ω)；

R_b ——绝缘接头(法兰)非保护端接地电阻，单位为欧(Ω)。

9 接地电阻

9.1 长接地体接地电阻法

9.1.1 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。

9.1.2 长接地体接地电阻应按以下步骤进行测量：

a) 按图 23 长接地体接地电阻测量接线示意图接线。

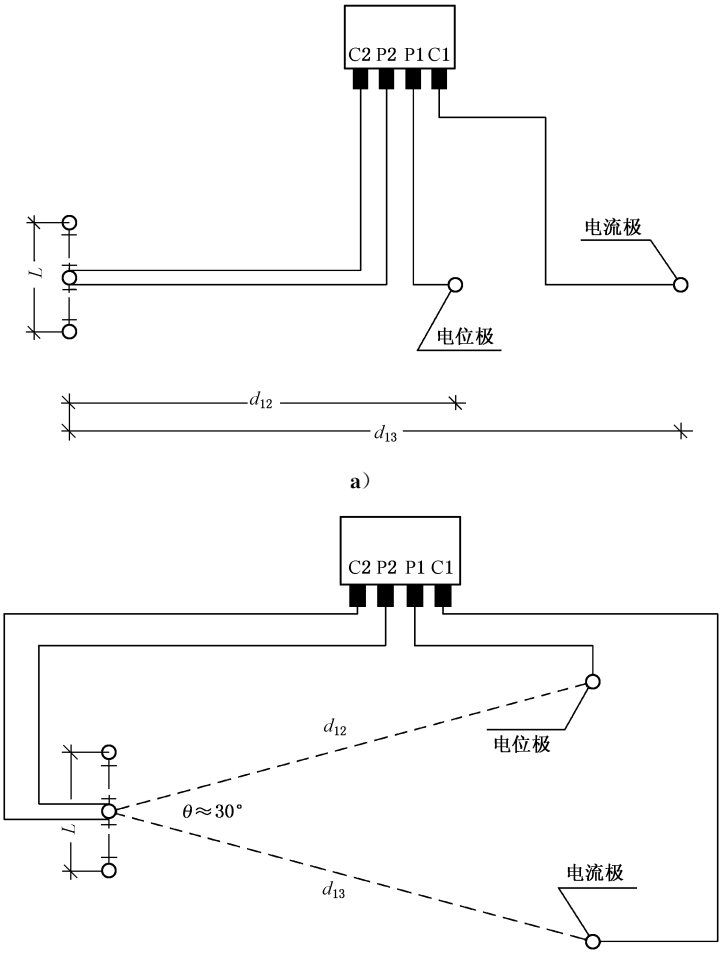


图 23 长接地体接地电阻测量接线示意图

b) 当采用图 23 a)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 23 b)所示的三角形布极法测试，此时 $d_{13}=d_{12}\geqslant 2L$。

9.2 短接地体接地电阻法

9.2.1 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。

9.2.2 测量前，应将接地体与管道断开，然后按图 24 所示的接线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，测量接地电阻值。

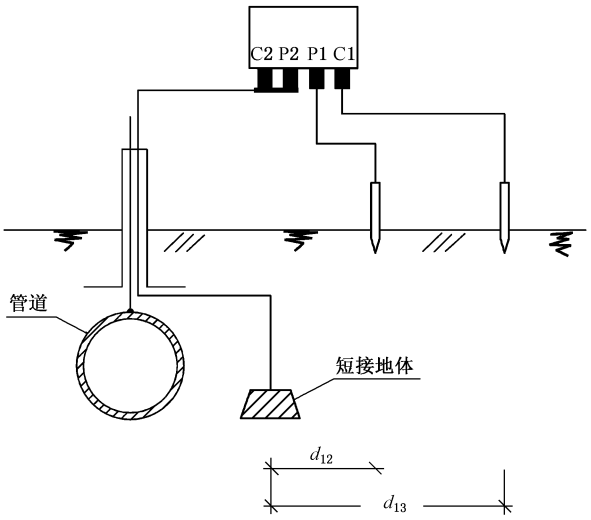


图 24 短接地体接地电阻测量接线示意图

10 土壤电阻率

10.1 等距法

10.1.1 本方法适用于平均土壤电阻率的测量。

10.1.2 等距法应按以下步骤进行测量：

a) 在测量点使用接地电阻测量仪，采用四极法进行测试，测量接线示意图见图 25。

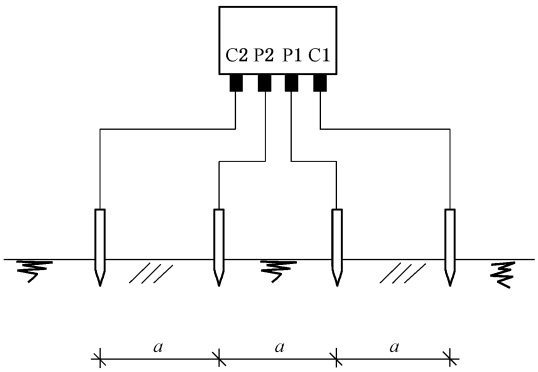


图 25 土壤电阻率测量接线示意图

b） 将测量仪的四个电极以等间距 a 布置在一条直线上，电极入土深度应小于 $a/20$。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管道布置，并使最近的电极与管线的距离大于 $a/2$。

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。

10.1.3 从地表至深度为 a 的平均土壤电阻率应按式(11)计算：

$$\rho = 2\pi aR \qquad \cdots\cdots(11)$$

式中：

ρ ——从地表至深度 a 土层的平均土壤电阻率，单位为欧米(Ω·m)；

a ——相邻两电极之间的距离，单位为米(m)；

R——接地电阻仪示值，单位为欧(Ω)。

10.2 不等距法

10.2.1 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 26。

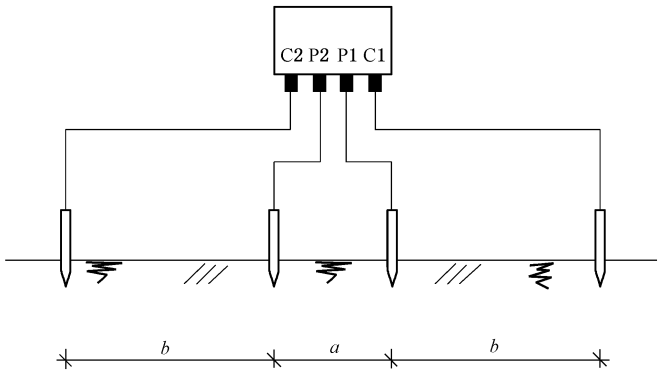


图 26 不等距法土壤电阻率测量接线示意图

10.2.2 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 $b>a$。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(12)。

$$b = h - \frac{a}{2} \qquad \cdots\cdots(12)$$

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。

10.2.3 测深 h 的平均土壤电阻率应按式(13)计算：

$$\rho = \pi R\left(b + \frac{b^2}{a}\right) \qquad \cdots\cdots(13)$$

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(Ω·m)；

R——接地电阻仪示值，单位为欧(Ω)。

11 腐蚀速率

11.1 一般规定

11.1.1 阴极保护管道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管道测量位置处的阴极保护效果和腐蚀程度。

11.1.2 失重检查片法适用于埋地管道外腐蚀速率定期开挖测量，电阻探针法适用于埋地管道外腐蚀速率的非开挖测量。

11.2 失重检查片法

11.2.1 失重检查片尺寸、制备、埋设、现场取样及处理、记录应符合 SY/T 0029 的相关规定。

11.2.2 失重检查片应与施加了阴极保护的管道连接，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。

11.2.3 开挖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管道连通。

11.2.4 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 cm^2～100 cm^2。

11.3 电阻探针法

11.3.1 探针埋设环境应与管道相同，并与周边土壤接触良好，宜按图 27 所示位置埋设。

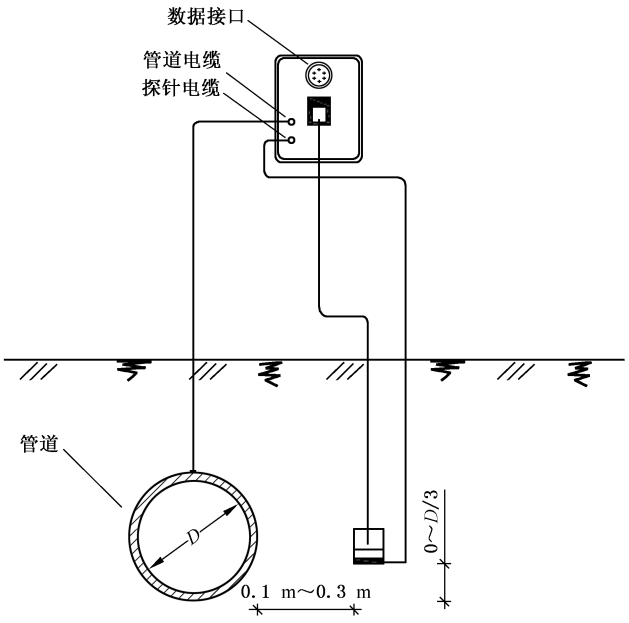


图 27 电阻探针法安装测量接线示意图

11.3.2 探针埋设后应先采集初始值，采集仪测量精度不低于 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。

11.3.3 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。

11.3.4 测量时将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。

11.3.5 应根据预期的腐蚀情况确定合理的测量间隔周期。

11.3.6 探针裸露面积尺寸应根据调查区域的监测需要确定。

11.3.7 测试完成后应进行数据处理,计算腐蚀速率。