ICS 75.180.30
E 98

中华人民共和国国家标准

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 electric parameters of buried steel pipelines

2008-01发 2008-01实施

国家质量监督检验检疫总局 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……3
4.1　测量仪表……3
4.2　电压、电流仪表……3
4.3　参比电极……4
4.4　测量基本要求……4
4.5　电位极性……5
5　电位测量……6
5.1　自然电位……6
5.2　通电电位……6
5.3　断电电位……6
5.4　密间隔电位……7
5.5　消除IR降电位……8
5.6　阴极极化电位偏移……10
5.7　牺牲阳极开路电位……12
5.8　牺牲阳极闭路电位……12
5.9　极化探头法……13
5.10　管道阳极区定位……14
6　牺牲阳极输出电流测量……15
6.1　标准电阻法……15
6.2　直测法……16
7　管内电流测量……16
7.1　电压降法……16
7.2　标定法……17
8　管道外防腐层电阻率测量……19
8.1　适用性……19
8.2　方法介绍……19
8.3　测量基本要求……19

8.4　测量步骤 …… 19
8.5　数据处理 …… 20
9　绝缘接头（法兰）绝缘性能测量 …… 21
9.1　兆欧表法 …… 21
9.2　电位法 …… 22
9.3　漏电电阻法 …… 23
9.4　PCM漏电率测量法 …… 24
9.5　接地电阻测量仪法 …… 25
10　接地电阻测试 …… 26
10.1　长接地体接地电阻测试 …… 26
10.2　短接地电阻测试 …… 28
11　土壤电阻率测量 …… 28
11.1　等距法 …… 28
11.2　不等距法 …… 29
12　管道外防腐层地面检漏测量 …… 30
12.1　交流电流衰减法 …… 30
12.2　交流地电位梯度法（ACVG） …… 31
12.3　直流地电位梯度法（DCVG） …… 32
12.4　音频检漏法 …… 34
附录A（资料性附录）条文说明 …… 35

前　　言

本标准是在总结原行业标准SY/T0023-97实施8年来的实践经验，吸收了国外标准NACE TM0497《埋地或水下金属管道系统阴极保护准则的测量技术》、NACE TM0102《埋地管线保护涂层电导测量技术》、NACE RP0502《管道外腐蚀直接评估方法》、DIN30676《外表面阴极保护的设计和应用》和ISO15589-1《管道输送系统的阴极保护》（第一部分：陆上管道）中相应测量方法的主要内容的基础上，结合现阶段国内在测量手段和管道建设方面出现的新需求编制而成。

本标准自发布之日起，《埋地钢质管道阴极保护参数测试方法》（SY/T0023-97）废止。

本标准的附录A为资料性附录。

本标准由中国石油天然气集团公司提出。

本标准由石油工程建设专业标准化委员会归口。

本标准主编单位：中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司（四川石油勘察设计研究院）。

本标准参编单位：中国石油天然气管道有限公司、西南油气田分公司输气管理处。

本标准主要起草人：

埋地钢质管道阴极保护参数测量方法

1 范围

本标准规定了埋地钢质管道阴极保护参数的现场测量方法，本标准所列方法应根据相关标准的规定和使用者的要求选用。

本标准适用于埋地钢质管道阴极保护参数的现场测量。钢质储罐外底板、滩海钢质管道和结构的阴极保护参数测量可参照采用。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

JJG123 直流电位差计检定规程

JJG124 电流表、电压表、功率表及电阻表检定规程

JJG315 直流数字电压表检定规程

JJG366 接地电阻表检定规程

JJG598 直流数字电流表检定规程

JJG622 绝缘电阻表（兆欧表）检定规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

管地电位 the pipe-to-soil potential

管道与其相邻土壤的电位差。

3.2

通电电位 on potential

阴极保护系统持续运行时测量的构筑物对电解质电位。

3.3

IR 降 IR drop

根据欧姆定律，由于电流的流动在参比电极与金属管道之间电解质内产生的电压降。

3.4

断电电位 off potential

瞬间断电电位 instant-off potential

断电瞬间测得的构筑物对电解质电位。

注： 通常情况下，应在切断阴极保护电流后和极化电位尚未衰减前立刻测量。

3.5

冲击电压 voltage spiking

阴极保护电流被中断或施加的瞬间，由过渡过程引起的管道上的瞬间性电位波动。

3.6

密间隔电位测量（CIPS） close -interval potential survey

一种沿着管顶地表，以密间隔（1~3m）移动参比电极测量管地电位的方法。

3.7

电位准确测量技术 intensive measurement technique

同时测量管地电位与垂直方向土壤电位梯度的技术。

注：通过电位准确测量技术可识别防腐层缺陷，并能够计算出缺陷处的消除 IR 降电位。

3.8

平衡电流 equalising current

平衡电流也称“二次电流”，是指中断保护电流后，在构筑物的极化差异部位之间流动的电流，平衡电流可能是测量消除 IR 降电位的误差源。

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较远（地电位趋于零）的地面测量管地电位的方法。

3.10

远方大地 remote earth

在该区域内任何两点之间没有因电流流动引起的可测量的电压降。

3.11

防腐层电阻率 coating resistivity

防腐层电阻率是防腐层电阻和防腐层表面积的乘积。

3.12

防腐层电阻 coating resistance

防腐层电阻是涂敷有防腐层的金属构筑物和电解质（土壤）之间的电阻。

注：防腐层电阻主要是由防腐层上的缺陷的数量和大小来确定的，因此，它是衡量防腐层质量的标准。

3.13

交流电流衰减法 alternating current attenuation survey

一种在现场应用电磁感应原理，采用专用仪器测量管内信号电流产生的电磁辐射，通过测量出的信号电流衰减变化，来评价管道防腐层总体情况的地表测量方法。收集到的数据可能包括管道埋深、位置、异常位置和异常类型。

3.14

交流地电位梯度法（ACVG） alternating current voltage gradient survey

一种通过测量沿着管道或管道两侧的由防腐层破损点漏泄的交流电流在地表所产生的地电位梯度变化，来确定防腐层缺陷位置的地表测量方法。

3.15

直流地电位梯度法（DCVG） direct current voltage gradient survey

一种通过测量沿着管道或管道两侧的由防腐层破损点漏泄的直流电流在地表所产生的地电位梯度变化，来确定防腐层缺陷位置、大小，以及表征腐蚀活性的地表测量方法。

3.16

腐蚀活性点 corrosion activity

腐蚀正在进行，并以一定速率发展的部位，该发展速率足以导致管道在使用期内承压能力降低甚至穿孔。

4 基本规定

4.1 测量仪表

4.1.1 测量仪表必须具有满足测试要求的显示速度、准确度和量程，同时还应具有携带方便、供电方便、适应现场测量环境的特点。对所用的测量仪表，必须按国家现行标准的有关规定进行定期校验。

4.1.2 为了提高测量的准确度，宜优先选用数字式仪表。

4.2 电压、电流仪表

4.2.1 直流电压表选用原则：

a) 数字式电压表的输入阻抗应不小于 10MΩ；指针式电压表的内阻应不小于 100kΩ/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，应选用对工频干扰电压具有足够滤除能力的数字式直流电压表，确保直流电位的显示值中叠加的交流干扰电压值不超过 5mV，或选用指针式电压表。

4.2.2 直流电流表选用原则：

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，首位必须大于 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 在进行管地电位测量时，通常情况下，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满足下列要求：

a) 铜电极采用紫铜丝或棒（纯度不小于 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 5μA/cm^2。

4.3.2 硫酸铜电极相对于标准氢电极的电位为+320 mV （20℃），其电极电位误差应不大于 5mV。

4.3.3 对不宜使用硫酸铜电极的环境，可采用高纯锌参比电极（纯度不小于 99.995%）替代，相对硫酸铜电极的-850mV 电位的换算关系如下（25℃）：

采用 75%石膏、20%膨润土、5%硫酸钠回填料包覆的高纯锌参比电极：+250 mV。

4.4 测量基本要求

4.4.1 本标准应在受过阴极保护专业知识培训，并具有相关实践经验的人员指导下使用。

4.4.2 所有测量连接点应保证电接触良好。

4.4.3 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。

4.4.4 测量仪表应按使用说明书的有关规定操作。

4.4.5 安全守则

a) 在对强制电流阴极保护电源设备进行安装、调试、测量、维修之前，有关人员应该受过电气安全培训，并掌握相关电气安全知识。

b) 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。

c) 在对电隔离设施进行测量之前，应检查是否存在危险电压。

d) 在雷暴天气下，应避免测试。

e) 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站立安全监护人员。

f) 在涵洞或隧道中测试时，应首先检查涵洞或隧道的结构安全性及对有害气体的浓度进行测量，确认是安全的条件下方可进行测量。

4.5　电位极性

4.5.1　管地电位测量中采用直流数字式电压表时，应将电压表的负接线柱（COM）与硫酸铜电极连接，正接线柱（V）与管道连接，管地电位测量接线见图 1。仪表指示的是管道相对于参比电极的电位值，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，应采用测量接线图 2 方式，在指针没有发生反转的情况下，所记录的数据应该加负号。

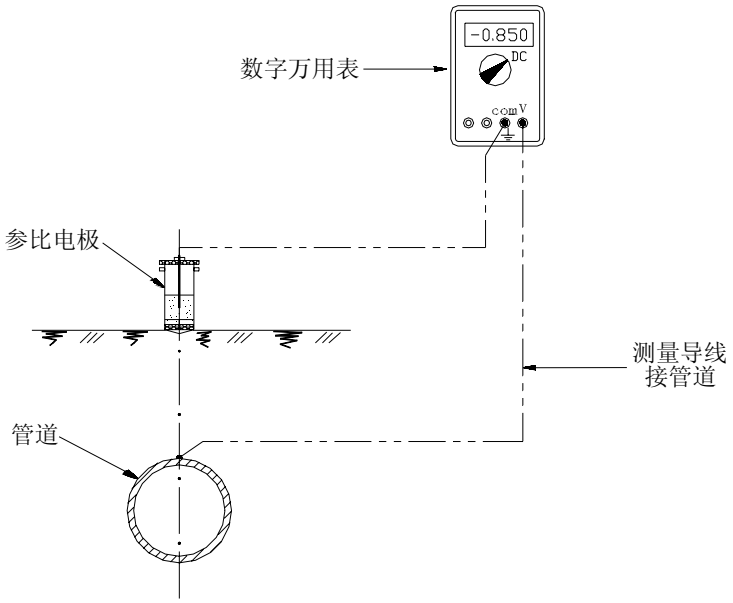

图 1　数字万用表管地电位测量接线图

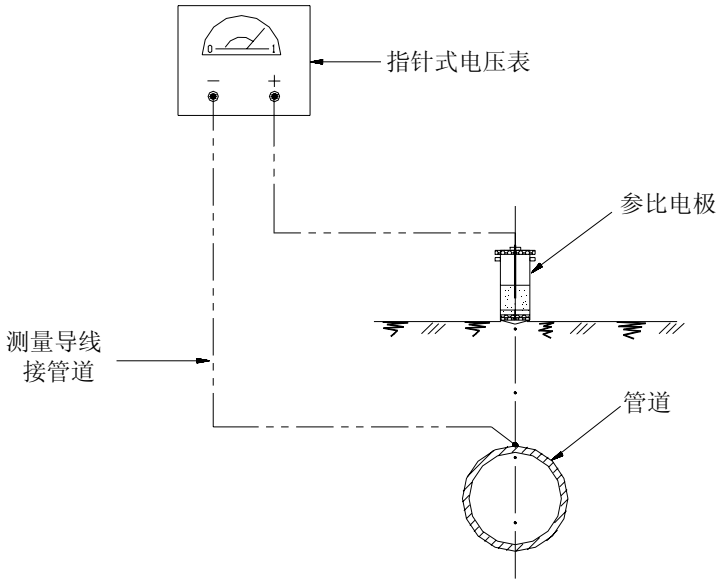

图 2　指针式电压表管地电位测量接线图

5 电位测量

5.1 自然电位

5.1.1 适用性

本方法适用于未施加阴极保护电流的管道腐蚀电位（自然电位）的测量。

5.1.2 测量步骤

1) 测量前，应确认管道是处于没有施加阴极保护的状态下。对已实施过阴极保护的管道宜在完全断电 24h 后进行。
2) 测量时，将硫酸铜电极放置在管顶正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。
3) 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。
4) 将电压表调至适宜的量程上，读取数据，作好管地电位值及极性记录，注明该电位值的名称。

5.2 通电电位

5.2.1 适用性

本方法适用于施加阴极保护电流时，管道对电解质（土壤、水）电位的测量。本方法测得的电位是极化电位与回路中所有电压降的和，即含有除管道金属/电解质界面以外的所有电压降。

5.2.2 测量步骤

1) 测量前，应确认阴极保护运行正常，管道已充分极化。
2) 测量时，将硫酸铜电极放置在管顶正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。
3) 管地通电电位测量接线见图 1 或图 2。
4) 将电压表调至适宜的量程上，读取数据，作好管地电位值及极性记录，注明该电位值的名称。

5.3 断电电位

5.3.1 适用性

本方法适用于管道对电解质极化电位的测量。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降后的管道保护电位。对有直流杂散电流或保护电流不能同步中断（多组牺牲阳极或其与管道直接相接，或存在不能被中断的外部强制电流设备）的管道本方法不适用。

5.3.2 测量步骤

1) 在测量之前，应确认阴极保护正常运行，管道已充分极化。
2) 测量时，在所有电流能流入测量区间的阴极保护电源处安装电流同步断续器，并设置在合理的周期性通/断循环状态下同步运行，同步误差小于 0.1s。合理的通/断循环周期和断电时

间设置原则是：断电时间应尽可能的短，以避免管道明显的去极化，但又应有足够长的时间保证测量采集及在消除冲击电压影响后读数。为了避免管道明显的去极化，断电期宜不大于 3s，典型的通/断周期设置为：通电 12s，断电 3s。

3) 将硫酸铜电极放置在管顶正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。

4) 管地断电电位（V_{off}）测量接线见图 1 或图 2。

5) 将电压表调至适宜的量程上，读取数据，读数应在通/断电 0.5s 之后进行。

6) 记录下管道对电解质的通电电位（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}），即为硫酸铜电极安放处的管道保护电位。

7) 如果对冲击电压的影响存在怀疑时，应使用脉冲示波器或高速记录仪对所测结果进行核实。

5.4 密间隔电位

5.4.1 适用性

密间隔电位测量（CIPS）适用于对管道阴极保护系统的有效性进行全面评价的测试。本方法可测得管道沿线的通电电位（V_{on}）和断电电位（V_{off}），结合直流电位梯度法（DCVG）可以全面评价管线阴极保护系统的状况和查找防腐层破损点及识别腐蚀活跃点。对保护电流不能同步中断（多组牺牲阳极或其与管道直接相接，或存在不能被中断的外部强制电流设备），以及套管内的破损点未被电解质淹没的管道本方法不适用。另外下列情况会使本方法应用困难或测量结果的准确性受到影响：

1) 覆盖层导电性很差的管段，如铺砌路面、冻土、钢筋混凝土、含有大量岩石回填物；

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道。

5.4.2 测量步骤

1) 测量简图见图 3。

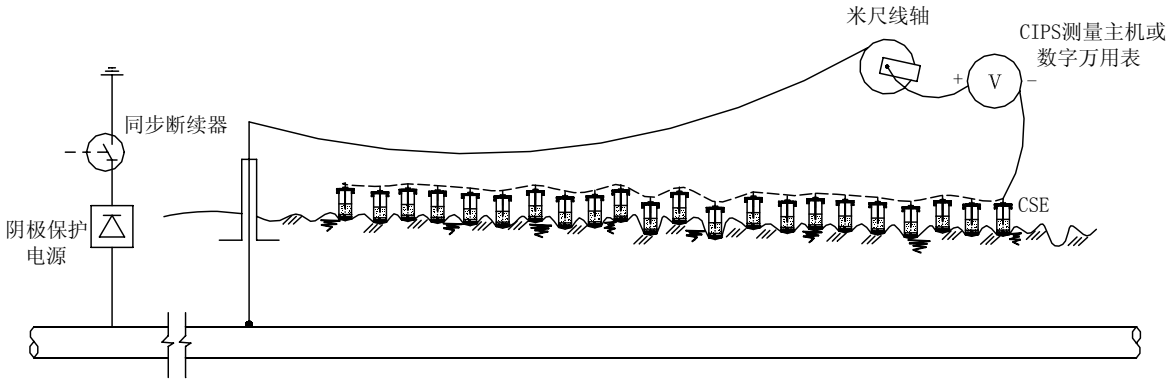

图 3 CIPS 测量简图

2) 在测量之前，应确认阴极保护正常运行，管道已充分极化。

3) 在测量之前，检查测量主机电池电量。

4) 在所有电流能流入测量区间的阴极保护直流电源处安装电流同步断续器，并设置在合理的周期性通/断循环状态下同步运行，同步误差小于 0.1s。设置原则是：断电时间应尽可能的短，以避免管道明显的去极化，但又应有足够长的时间保证能在消除冲击电压影响后测量采集数据。根据具体所用的阴极保护电源设备和测量仪器的不同，典型的循环时间设置宜为：通电 800ms，断电 200ms 或通电 4s，断电 1s 或通电 12s，断电 3s。

5) 将线轴（长测量导线）一端与 CIPS/DCVG 测量主机（或数字式万用表）连接，另一端与测试桩连接，将一根探杖（硫酸铜电极）与 CIPS/DCVG 测量主机（或数字式万用表）连接。

6) 打开 CIPS/DCVG 测量主机，设置为 CIPS 测量模式，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，典型的延迟时间设置宜为 50~100ms。

7) 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。

8) 从测试桩开始，沿管线管顶地表以密间隔（一般是 1~3m）逐次移动探杖（硫酸铜电极），每移动探杖一次就采集并记录存储一组通电电位（V_{on}）和一组断电电位（V_{off}），直至到达前方一个测试桩。按此完成全线管地电位沿管道变化的测量。

9) 同时应使用米尺线轴、GPS坐标测量或其它方法，测量硫酸铜电极安放处沿管线的距离，应对沿线的永久性标志、参照物及它们的位置等信息进行记录，并应对管道通电电位（V_{on}）和断电电位（V_{off}）异常位置处作好标志与记录。

10) 某段密间隔测量完成后，若当天不再测量，应通知阴极保护站恢复为连续供电状态。

5.4.3 数据处理

1) 将现场测量数据下载到计算机中，进行数据处理分析。

2) 对每处两组数据中的几个数据，分别取其算术平均值，代表该测量点的通电电位（V_{on}）和断电电位（V_{off}）。

3) 以距离为横坐标、电位为纵坐标绘出测量段的电位分布曲线图，图中一条为通电电位曲线，另一条为断电电位曲线，在直流干扰和平衡电流影响可忽略不计地方，断电电位曲线代表阴极保护保护电位分布曲线。

5.5 消除 IR 降电位

5.5.1 适用性

电位准确测量技术适用于防腐层破损点多的管段的断电电位的修正测试；可识别防腐层破损点位置，并能计算出破损处消除 IR 降电位。对防腐层破损点多的管道进行断电电位测试时，仅能消除保护电流所引起的电压降（IR 降）影响，而各破损点间存在极化电位差引起的平衡电流会使所测得的断电电位被歪曲。

5.5.2 方法介绍

一种沿管道以最大 5m 间隔放置参比电极，采用密间隔电位法（CIPS）测量管顶上方管地电位，同时测量出相对应的与管道垂直的（间隔 10m）电位梯度，经计算获得消除 IR 降的管道/土壤界面电位的测量技术。

5.5.3 测量方法

1) 电位准确测量技术测量简图见图 4。

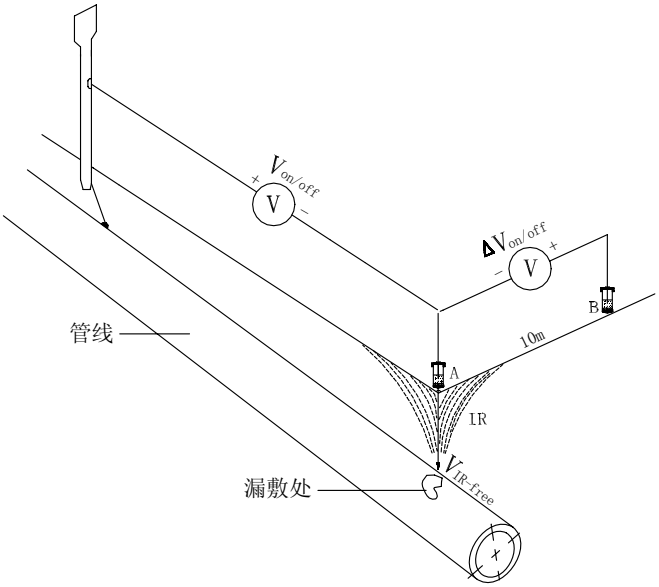

图 4 电位准确测量技术测量简图

2) 在防腐层破损点多的被测量区域管段，按第 5.4 密间隔管地电位测量法采集并记录存储管道正上方（如图A点）的通电电位V_{on}和断电电位V_{off}。

3) 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，距离管顶测试点（A点）10m位置处（如图B点），测量并记录存储两点（A、B）间的通电电位梯度ΔV_{on}和断电电位梯度ΔV_{off}。

4) 使用米尺线轴、GPS坐标测量或其它方法，测量管顶测试点（硫酸铜电极安放处）沿管线的距离，应对沿线的永久性标志、参照物及它们的位置等信息进行记录，尤其是沿线测量的通/断电位梯度差（ΔV_{on}-ΔV_{off}）的峰值位置。

5) 依次以密间隔移动两硫酸铜电极进行测量，完成被测量区域管段的测量。某段的准确测量完成后，若当天不再测量，应通知阴极保护站恢复为连续供电状态。

5.5.4 计算方法

管顶测试点管道的消除IR降电位$V_{IR\text{-}free}$按式（1）计算。

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

式中：

$V_{IR\text{-}free}$——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；

5.5.5 数据处理

1) 将现场测量数据下载到计算机中，进行数据处理分析。

2) 以距离为横坐标、电位为纵坐标画出测量段的电位分布曲线图，图中一条为通电电位曲线，另一条为断电电位曲线，第三条为消除 IR 降电位曲线。消除 IR 降电位曲线代表对断电电位修正后的阴极保护电位分布曲线。

5.6 阴极极化电位偏移

5.6.1 适用性

本方法适用于防腐层质量差或无防腐层的裸管道阴极保护效果的测试。通过管道极化衰减或极化形成来判定测试点处管道是否达到适当的阴极保护。

5.6.2 阴极极化曲线见图 5 和图 6。

a) 极化衰减

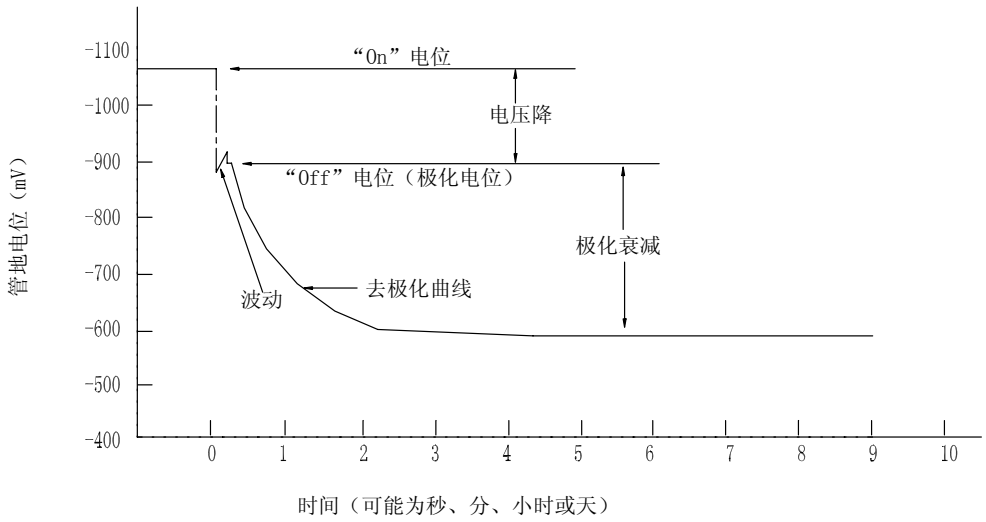

图 5 阴极极化衰减曲线图

b) 极化形成

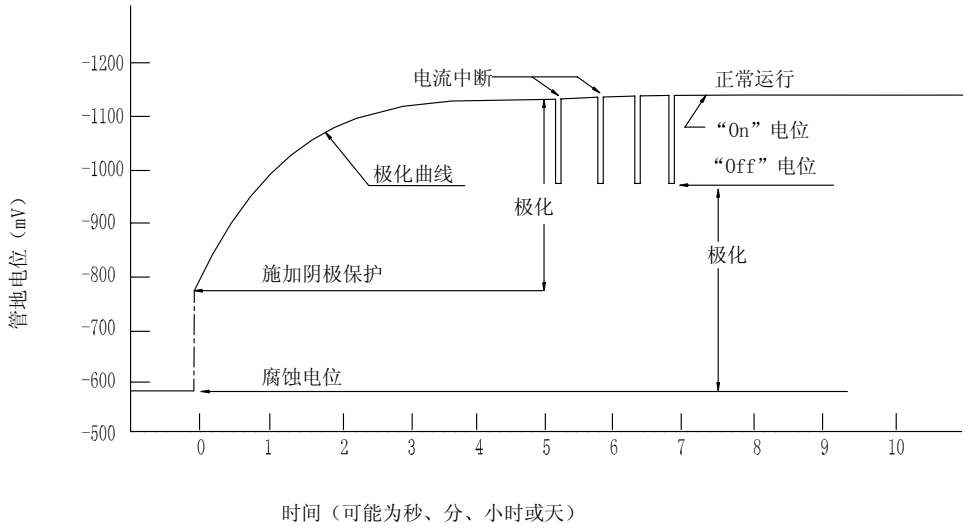

图 6 阴极极化形成曲线图

5.6.3 管道阴极极化衰减的测量

1) 在测量之前，应确认阴极保护正常运行，管道已充分极化。

2) 测量时，在所有电流能流入测量区间的阴极保护电源处安装电流同步断续器，并设置在通/断循环状态下同步运行，同步误差小于 0.1s。

3) 将硫酸铜电极放置在管顶正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。

4) 测量接线见图 1 或图 2

5) 将电压表调至适宜的量程上，读取数据，记录管地通电电位和断电电位以及相对硫酸铜电极的极性。将管道断电仅 0.5s~1s 的断电电位作为计算极化衰减的基准电位。

6) 关闭可能影响测试点处管道的阴极保护电源，直至观察到出现至少 100mV 阴极去极化衰减或达 到稳定的去极化水平，并记录管道的去极化电位。

7) 上述两个电位之差（去极化电位与基准电位），即为极化电位偏移值。

5.6.4 管道阴极极化形成的测量

1) 按 5.1 条测量并记录没有施加阴极保护电流时的管地自然电位。将此电位作为计算极化形成的基准电位。

2) 施加阴极保护电流，并确认保护管道已充分极化。

3) 测量时，在所有电流能流入测试区间的阴极保护电源处安装电流同步断续器，并设置在通/断循环状态下同步运行，同步误差小于 0.1s。

4) 测量并记录管地通电电位和断电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就是形成的极化电位值。

5.7　牺牲阳极开路电位

5.7.1　适用性

本方法适用于牺牲阳极在埋设环境中未与管道相连时开路电位的测量。

5.7.2　测量步骤

1)　测量前，应断开牺牲阳极与管道的连接。

2)　测量中，按图 7 的测量接线方式，将数字万用表的正极与牺牲阳—极连接，负极与硫酸铜电极连接。

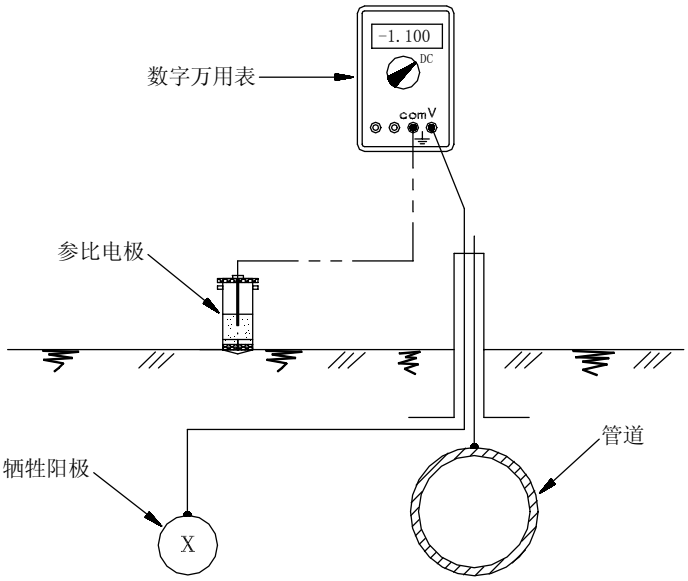

图 7　牺牲阳极开路电位测量接线图

3)　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，应保证硫酸铜电极底部与土壤接触良好。

4)　将数字万用表调至适宜的量程上，读取数据，作好电位值及极性记录，注明该电位值的名称。

5)　测量完成后将牺牲阳极与管道恢复连通。

5.8　牺牲阳极闭路电位

5.8.1　适用性

牺牲阳极闭路电位测量应采用远参比法。远参比法主要用于在牺牲阳极埋设点附近的管段，测量管道对远方大地的电位，用于计算该点的负偏移电位值。

5.8.2　测量方法

1) 远参比法的测量接线见图 8。

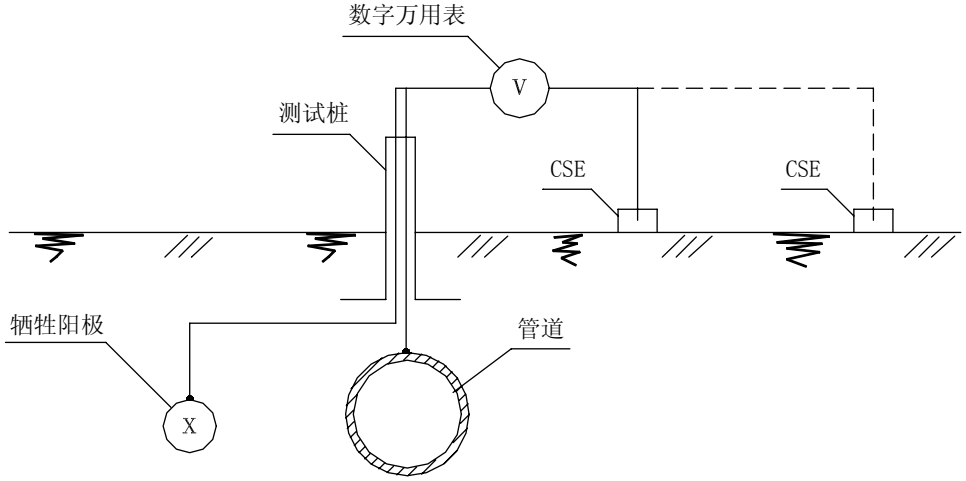

图 8 远参比法测量接线图

2) 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试点不小于 20m，以后逐次移动 5m。将数字万用表调至适宜的量程上，读取数据，作好电位值和极性记录，当相邻两个安放点测试的管地电位相差小于 2.5mV 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。

5.9 极化探头法

5.9.1 适用性

本方法适用于受杂散电流干扰区域管段或无法同步瞬间中断保护电流的管道，用极化探头测量埋设位置处管道极化电位的测量。

5.9.2 极化探头制作

典型的极化探头由在测试位置处代表管道的金属试片和长效硫酸铜电极构成。试片应与管道具有相同的材质及适当裸露的面积，为避免过量阴极保护电流的流失，裸露尺寸代表防腐层缺陷大小；硫酸铜电极通过探头内部合理结构与试片尽可能接近。

5.9.3 测量方法

1) 极化探头埋深及回填状态与管道相同。
2) 在测量之前，应确认阴极保护运行正常，试片与管道已连通，管道和试片充分极化。
3) 测量中，按图 1 的测量接线方式，将极化探头的与试片连接的测量电缆接数字万用表的正极，与硫酸铜电极连接的测量电缆接负极。
4) 测量并记录试片相对于对硫酸铜电极的通电电位。
5) 将试片与管道断开，立即测量并记录相对于对硫酸铜电极的断电电位。此过程应尽可能快，以避免试片的去极化。所测得的断电电位，代表埋设点附近防腐层破损点破损面积不大于

试片裸露面积的管道极化电位。

5.10 管道阳极区定位

5.10.1 适用性

本方法适用于裸管或防腐层质量很差的管道的管道阳极区（本节以下简称为阳极区）的定位。管道阳极区可通过双参比电极法和管地电位法沿管道测量来判定。

5.10.2 双参比电极法

1) 双参比电极法对施加有足够阴极保护电流的裸管最为适用。
2) 测量前，选用已校正过的参比电极，确定两支参比电极间的电位差。
3) 测量时，应使用数字式直流电压表，并选用最低量程。
4) 测量在管道中心线正上方以同等间隔（通常为 3 米）进行。电压表正极与调查行进方向（沿管道方向）上靠前的硫酸铜电极测试线连接，负极与调查行进方向上靠后的硫酸铜电极测试线连接。双参比电极法地表电位测试见图 9。

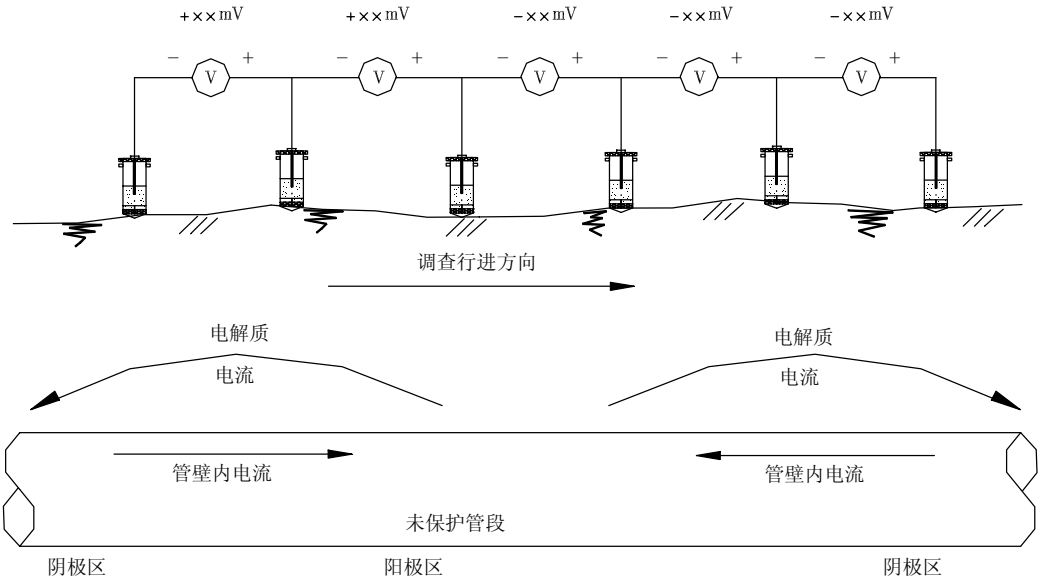

图 9 地表电位调查

通常情况下读数小于 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

5) 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。初步确定阳极区时可将参比电极的间距减半，从而使阳极区的定位更精确。
6) 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硫酸铜电极置于管道正上方，另一支硫酸铜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。

5.10.3 管地电位法

1) 管地电位法可用来定位未保护管道可能出现的阳极区。

2) 测量时，选用适宜的硫酸铜电极和电压表。电压表正极与硫酸铜电极测试线连接，负极与未保护管段上的测试点连接。

3) 测量在管道正上方沿管线方向以 3 米为间隔测量并记录数据。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。

4) 测量管段必须确保电连续性。

5) 将测得管地电位随距离变化的数据绘制成曲线图。负电位最高的区域表明为阳极区。

6 牺牲阳极输出电流测量

6.1 标准电阻法

6.1.1 适用性

当测试单位有 0.1Ω或 0.01Ω标准电阻时，牺牲阳极（组）的输出电流应采用标准电阻法。

6.1.2 测量方法

1) 标准电阻法测量接线见图 10：

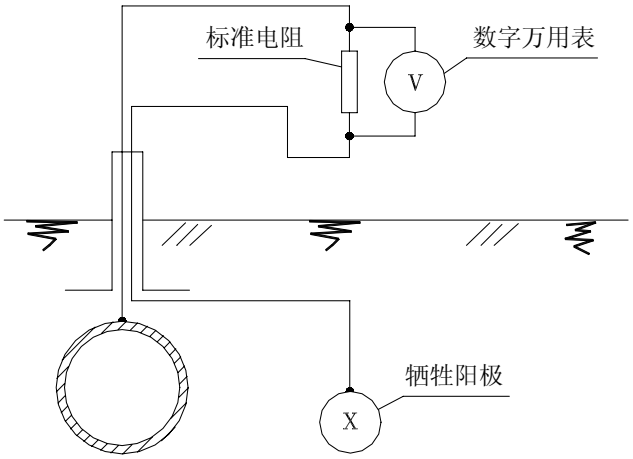

图 10 标准电阻法测量接线图

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电压最低量程。接入导线的总长不大于 1m，截面积不宜小于 2.5mm^2。

3) 标准电阻的阻值宜为 0.1Ω，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 0.01Ω，此时采用的数字万用表，DC 电压量程的分辨率应不大于 0.01mV。

6.1.3 数据处理

牺牲阳极的输出电流按式（2）计算：

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

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。

6.2 直测法

6.2.1 适用性

当测试单位无 0.1Ω或 0.01Ω标准电阻时，牺牲阳极（组）的输出电流也可采用直测法。

6.2.2 测量方法

1） 直测法测量接线图见图 11：

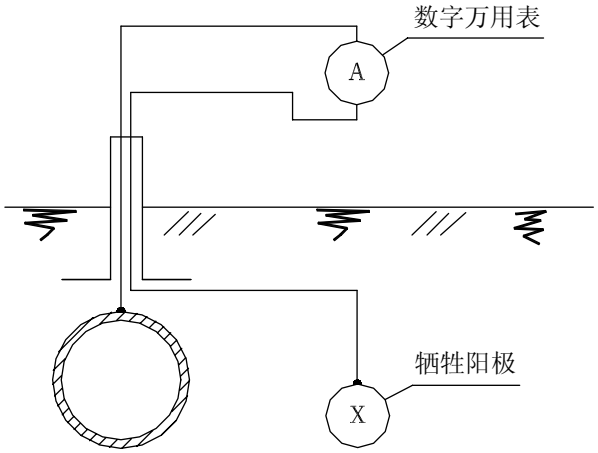

图 11 直测法测量接线图

2） 直测法应选用 $4\frac{1}{2}$ 位的数字万用表，用 DC 10A 量程直接读出电流值。

7 管内电流测量

7.1 电压降法

7.1.1 适用性

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、管材电阻率时，可使用电压降法测管内电流。

7.1.2 测量方法

1） 电压降法测量接线图见图 12。

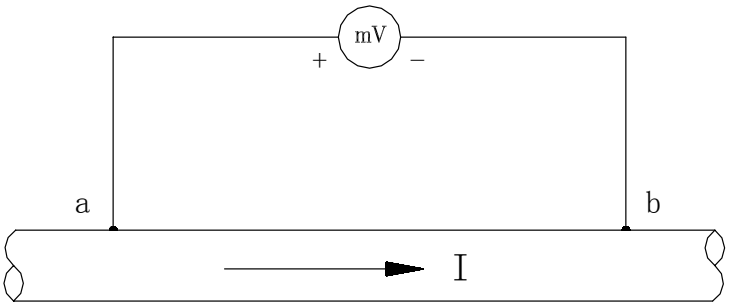

图 12　电压降法测量接线图

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量决定，最小管长应保证a、b两点之间的电位差不小于 50μV，一般L_{ab}取 30m。

3)　测量 a、b 两点之间的电位差。

如果采用UJ-33D-1 电位差计测量，应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-33D-1 直流电位差计“未知”端的相应接线柱上，细测V_{ab}值。

当采用分辨率为 1μV的数字电压表，可直接测量V_{ab}值。

7.1.3　数据处理

ab 段管内的电流按式（3）计算：

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

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，Ω·mm^2/m；

L_{ab} ——ab 间的管道长度，m。

7.2　标定法

7.2.1　适用性

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，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。

7.2.2　测量方法

1)　标定法测量接线图见图 13，其中R宜为 0～10Ω的磁盘变阻器，E宜为 12V直流电源，毫伏表宜采用UJ-33D-1 电位差计或分辨率为 1μV的数字电压表，L_{ac}≥πD，L_{db}≥πD，L_{cd}的长度

不宜小于 10m。

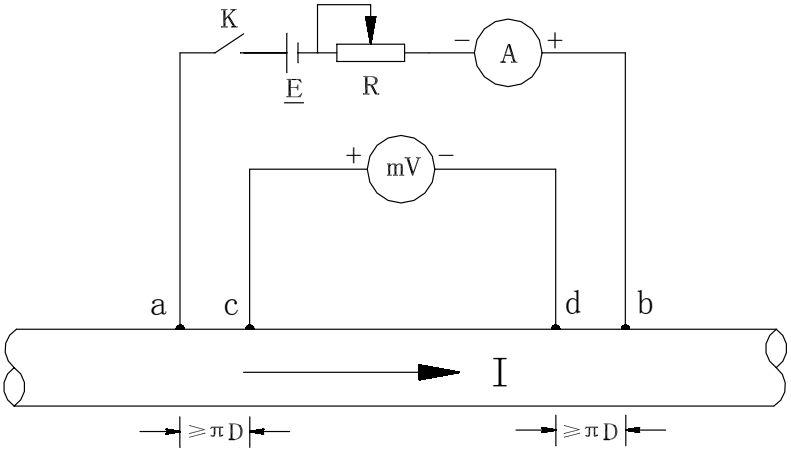

图 13　标定法测量接线图

2）　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。

3）　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，并同时记录毫伏表测量的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。

7.2.3　数据处理

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

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

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

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

式中：

β_1——施加I_1电流时的校正因子，A/mV；

β_2——施加I_2电流时的校正因子，A/mV；

β——平均校正因子（c、d 管段管道电阻的倒数），A/mV；

I_1——第一次标定施加的电流，A；

I_2——第二次标定施加的电流，A；

V_0——未施加标定电流时 c、d 电位差，mV；

V_1——施加I_1电流时c、d电位差，mV；

V_2——施加I_2电流时c、d电位差，mV。

2） c、d段管内电流按式（7）计算。

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

式中：

I——c、d管段管内电流，A。

8 管道外防腐层电阻率测量

8.1 适用性

本方法适用于衡量管道实际运行状况中表征防腐层质量的防腐层电阻率的测量。

8.2 方法介绍

通过沿线设置的电流测试桩（或相距10~30m探坑），测量各点上的通电电位与断电电位和管内电流；以此分别计算各测量段的平均电位偏移和管内保护电流漏失量，再计算出各测量段防腐层电阻率。

8.3 测量基本要求

8.3.1 测量段内管道应无分支、无接地装置，若有牺牲阳极必须断开。

8.3.2 在新建管道上测试应保证回填沉降已经完全密实。

8.3.3 测量段必须不受阳极地电位影响，且距离通电点不小于πD。

8.3.4 测量段保护电流方向应同向流回通电点，否则应重新分段。

8.3.5 在动态杂散电流区域，应在测量段两端同时测试管地电位和管内电流。

8.4 测量步骤

8.4.1 测量简图见图14。

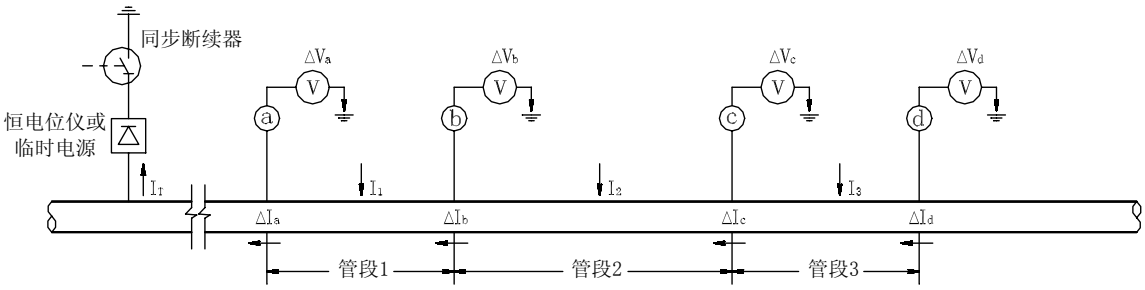

图14 外防腐层电阻率测量简图

8.4.2 在测量之前，应确认测量段管道已经充分极化，保护电流稳定，且在靠近通电点附近的断电电位没有出现比-1150mV（对厚度小于1mm的薄防腐层为-1100mV）（CSE）更负的过保护电位。

8.4.3 获得测量段的长度（精确到m）。

8.4.4 测量期间，凡是电流能流入测量区间的所有保护电流必须同步工作于供电12s，断电3s的间

歇工作状态，同步误差小于 0.1s。

8.4.5　按 5.3 断电电位的测量方法，测量各测量点的通电电位和断电电位，测量点的通/断电位差按式（8）计算。例如 a 点：

$$\Delta V_{\mathrm{a}} = V_{\mathrm{a\cdot on}} - V_{\mathrm{a\cdot off}} \qquad \cdots\cdots（8）$$

式中：

ΔV_{a} ——a 测量点的通/断电位差，V；

$V_{\mathrm{a\cdot on}}$ ——a 测量点的通电电位，V；

$V_{\mathrm{a\cdot off}}$ ——a 测量点的断电电位，V。

8.4.6　按式（9）计算每对相邻两测量点的电位偏移比率 K，K 值应在 1.6～0.625 之间，否则应在中间再增加一处或多处测量点。

$$K = \frac{\Delta V_{\mathrm{a}}}{\Delta V_{\mathrm{b}}} \qquad \cdots\cdots（9）$$

式中：

K ——第 1 管段的电位差比率；

ΔV_{a} ——a 测量点的通/断电位差，V；

ΔV_{b} ——b 测量点的通/断电位差，V；

8.4.7　按第 7 章管内电流测量方法，测量各测量点处通电状态和断电状态下的管内电流，其通和断状态下的管内电流量应有明显的变化，测量点的管内保护电流量按式（10）计算。例如 a 点：

$$\Delta I_{\mathrm{a}} = I_{\mathrm{a\cdot on}} - I_{\mathrm{a\cdot off}} \qquad \cdots\cdots（10）$$

式中：

ΔI_{a} ——a 测量点的管内保护电流，A；

$I_{\mathrm{a\cdot on}}$ ——a 测量点的通电状态下的管内电流，A；

$I_{\mathrm{a\cdot off}}$ ——a 测量点的断电状态下的管内电流，A。

8.4.8　按上述第 8.4.5~ 8.4.7 完成各测量段每一测量点的测量，并将测量数据和基本计算结果填写在表 1 中。

表 1　　电阻率测量基本参数记录表

测试位置	里程（km+m）	管地电位（V）			K	管内电流（A）		
		V_{on}	V_{off}	ΔV		I_{on}	I_{off}	ΔI

8.5　数据处理

8.5.1　按式（11）和式（12）分别计算第 1 测量段的平均通/断电位差（ΔV_1）和电流漏失量（ΔI_1）。

$$\Delta V_1 = \frac{\Delta V_a + \Delta V_b}{2} \quad \cdots\cdots (11)$$

$$\Delta I_1 = \Delta I_a - \Delta I_b \quad \cdots\cdots (12)$$

式中：

ΔV_1——第 1 测量段的平均通/断电位差，V；

ΔI_1——第 1 测量段的保护电流漏失量，A。

8.5.2　第 1 测量段的防腐层电阻按式（13）计算。

$$R_1 = \frac{\Delta V_1}{\Delta I_1} \quad \cdots\cdots (13)$$

8.5.3　第 1 测量段的平均防腐层电阻率按式（14）计算。

$$r_{u,1} = R_1 \cdot \pi \cdot D \cdot L \quad \cdots\cdots (14)$$

式中：

$r_{u,1}$——第 1 测量段的平均防腐层电阻率，Ω·m^2；

R_1——第 1 测量段防腐层电阻，Ω；

L ——第 1 测量段的长度，m。

8.5.4　依照上述 8.5.1~8.5.3 的计算方法完成相应各测量段的数据计算，所得计算数据按表 2 进行填写记录。

表 2　　测量段平均防腐层电阻率数据表

测量管段	管段长度（m）	平均通/断电位差 ΔV(V)	电流漏失量 ΔI(A)	防腐层电阻 R(Ω)	管段表面积（m^2）	平均电阻率（Ω·m^2）

9　绝缘接头（法兰）绝缘性能测量

9.1　兆欧表法

9.1.1　适用性

本方法用于制造检验和产品验收。即制成但尚未安装到管道上的绝缘接头（法兰），可用该方法测量其绝缘电阻值。

9.1.2　测量方法

1）　兆欧表法测量接线如图 15 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。

2) 测量仪器宜为 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（法兰）的绝缘电阻值。

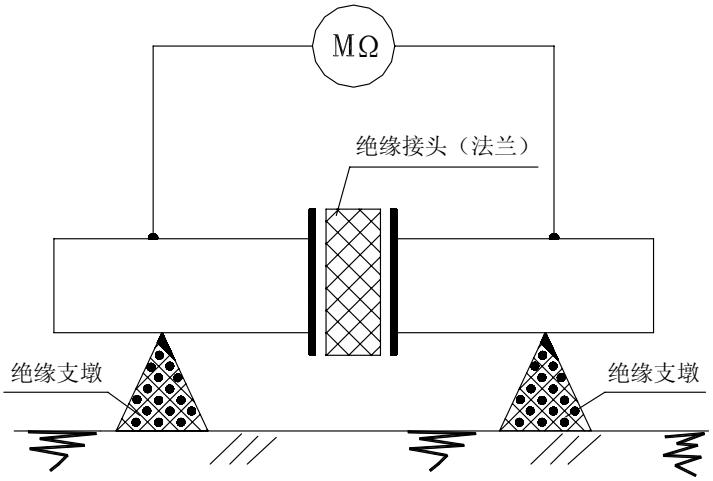

图 15 兆欧表法测量接线图

9.2 电位法

9.2.1 适用性

已建成的管道上的绝缘接头（法兰），当阴极保护可以运行时，可用电位法判断其绝缘性能。

9.2.2 测量方法

1) 电位法测量接线如图 16 所示。

2) 在对被保护管道通电之前，用数字万用表V测试绝缘接头（法兰）非保护侧a的管地电位 V_{a1}；

3) 保持硫酸铜电极位置不变，对保护管道通电，并调节阴极保护电源，使保护侧b点的管地电位 V_b 达到-0.85V～-1.50V之间；

4) 测试a点的管地电位 V_{a2}。

9.2.3 数据分析

若 V_{a1} 和 V_{a2} 基本相等，则认为绝缘接头（法兰）的绝缘性能良好；若 $|V_{a2}|>|V_{a1}|$ 且 V_{a2} 接近 V_b 值，则认为绝缘接头（法兰）的绝缘性能可疑。若辅助阳极距绝缘接头（法兰）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（法兰）的绝缘性能很差（严重漏电或短路）；否则应按 9.3 或 9.4 的方法进一步测量。

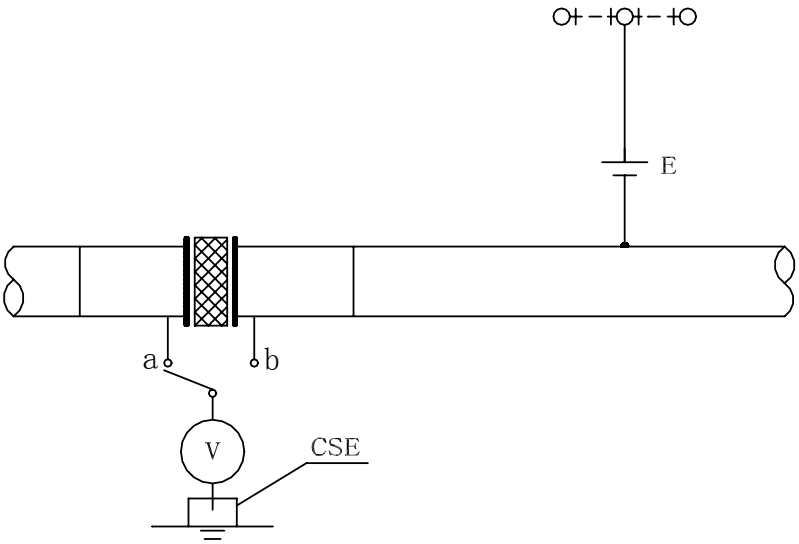

图 16　电位法测量接线示意图

9.3　漏电电阻法

9.3.1　适用性

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绝缘电阻及漏电率时，已经安装有绝缘接头测试桩，并符合 7.1 的条件时，可采用漏电电阻法

9.3.2　测量方法

1)　漏电电阻法测量接线如图 17 所示。

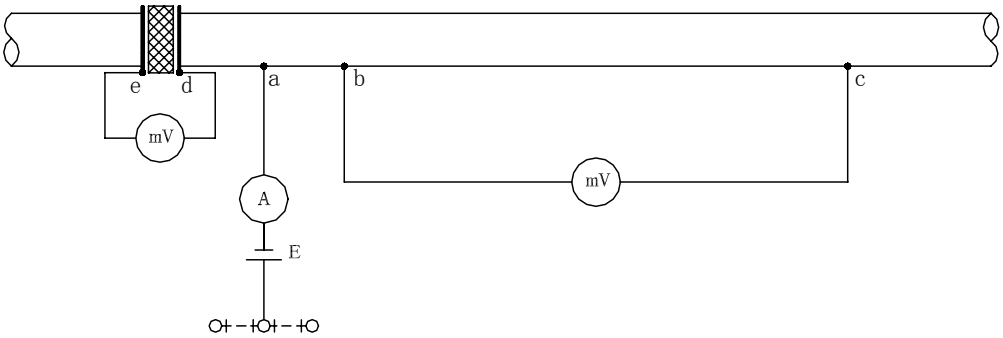

图 17　漏电电阻测量接线图

2)　其中 a、b 之间的水平距离大于 πD，bc 段的长度宜为 30m。

3)　调节强制电源 E 的输出电流 I，使保护侧的管道达到阴极保护电位值。

4)　用数字万用表测定绝缘接头（法兰）两侧 d、e 间的电位差 ΔV 。

5)　按电压降法（见 7.1 节）测试bc段的电流I_1。

6)　记录强制电源向管道提供的阴极保护电流 I。

9.3.3　数据处理

1） 绝缘接头（法兰）漏电电阻按（15）式计算：

$$R_{\mathrm{H}} = \frac{\Delta V}{I - I_1} \qquad \cdots\cdots (15)$$

式中：

R_H——绝缘接头（法兰）漏电电阻，Ω；

ΔV——绝缘接头（法兰）两侧的电位差，V；

I ——强制电源 E 的输出电流，A；

I_1 ——bc 段的管内电流，A。

2） 绝缘接头（法兰）的漏电百分率按（16）式计算：

$$\eta = \frac{I - I_1}{I} \times 100\ \% \qquad \cdots\cdots (16)$$

式中：

η——漏电百分率，%。

9.4 PCM 漏电率测量法

9.4.1 适用性

已建成的管道上的绝缘接头（法兰），测试单位拥有管道电流测绘系统时，可用管道电流测绘系统（PCM）测量漏电率，判断绝缘性能。

9.4.2 测量方法

1） 测量接线如图 18 所示。

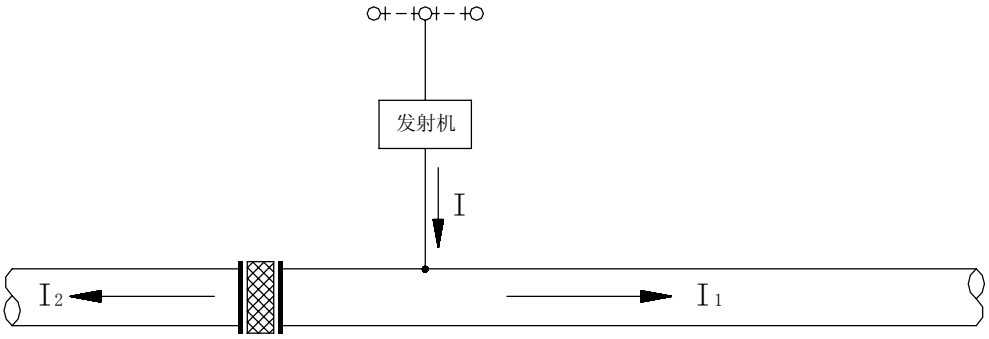

图 18 PCM 漏电率测量接线图

2） 断开保护侧阴极保护电源。

3） 按 PCM 操作步骤，用 PCM 发射机在保护侧接近绝缘接头（法兰）处向管道输入电流 I。

4） 在保护侧电流输入点外侧，用PCM接收机测量并记录该侧管道电流I_1。

5） 在非保护侧用PCM接收机测量并记录该侧管道电流I_2。

9.4.3 数据处理

用式（17）计算绝缘接头（法兰）漏电百分率。

$$\eta = \frac{I_2}{I_1 + I_2} \times 100\,\% \qquad \cdots\cdots (17)$$

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）保护侧管内电流，A；

I_2——接收机测量的绝缘接头（法兰）非保护侧管内电流，A。

9.5 接地电阻测量仪法

9.5.1 适用性

已建成的管道上的绝缘接头（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。

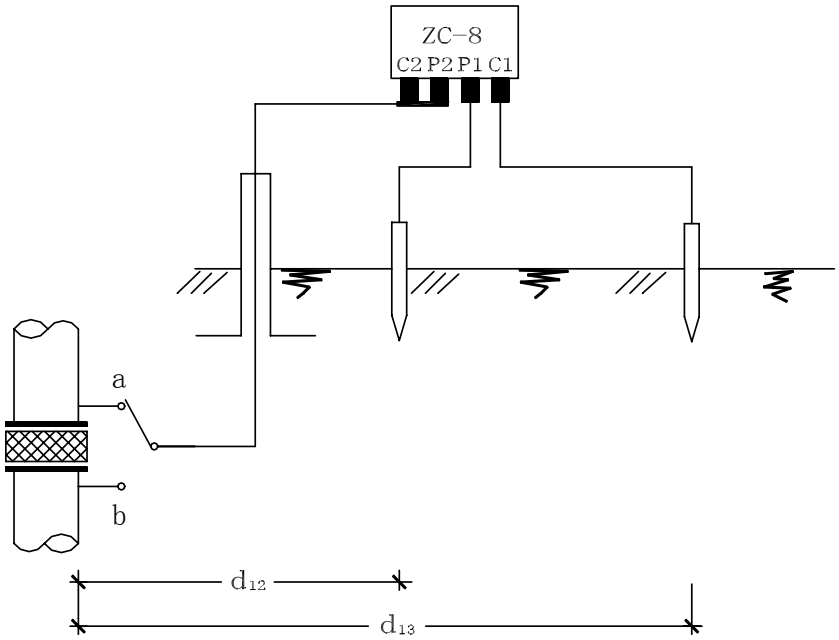

图 19 绝缘接头（法兰）两端接地电阻测量接线图

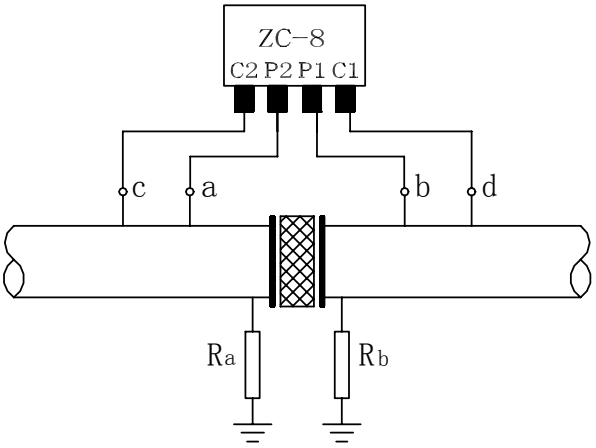

图 20　接地电阻仪法测量接线图

9.5.2　测量方法

1）　先测量绝缘接头（法兰）两端管道的接地电阻，其测量接线如图 19 所示。分别对a点和b点按 10.2 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。

2）　再测量绝缘接头（法兰）回路的总电阻，其测量接线按图 20 所示。按 10.1.2 第 4）款的操作步骤，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。

9.5.3　数据处理

实际运行工况下的绝缘接头（法兰）的电阻按式（18）计算。

$$R = \frac{R_r(R_a + R_b)}{(R_a + R_b) - R_r} \qquad \cdots\cdots(18)$$

式中：

R ——绝缘接头（法兰）的电阻，Ω；

R_r ——绝缘接头（法兰）回路的总电阻，Ω；

R_a——绝缘接头（法兰）保护端接地电阻，Ω。

R_b——绝缘接头（法兰）非保护端接地电阻，Ω。

10　接地电阻测试

10.1　长接地体接地电阻测试

10.1.1　适用性

强制电流辅助阳极地床（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，可采用本方法测量接地电阻。

10.1.2 测量方法

1) 测量接线如图 21 所示。

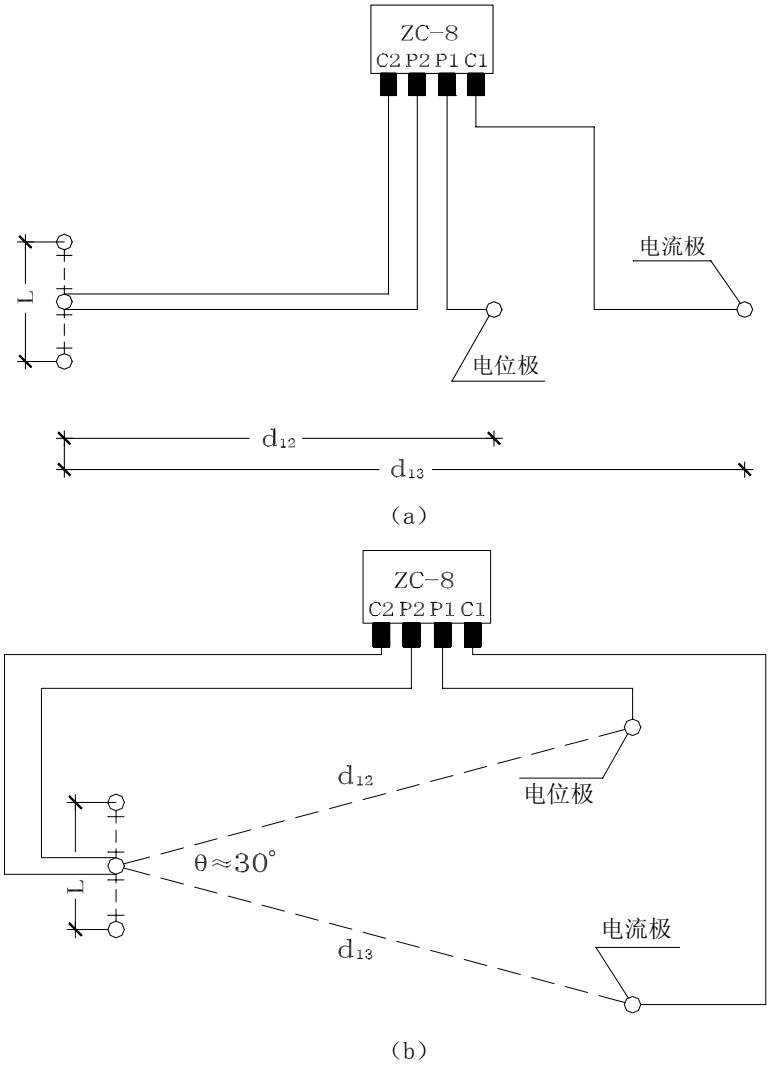

图 21 长接地体接地电阻测量接线图

2) 当采用图 21（a）测量时，d_{13}不得小于 40m，d_{12}不得小于 20m。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。

3) 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，将电位极往电流极方向移动，直至测试值接近为止。

长接地体的接地电阻也可以采用图 21（b）所示的三角形布极法测试，此时d_{13}= d_{12}≥2L。

4) 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。

10.2 短接地电阻测试

10.2.1 适用性

当对角线长度小于 8 米的棒状牺牲阳极组或长度小于 8 米的锌带，可采用本方法测量接地电阻。

10.2.2 测量方法

测量前，必须将牺牲阳极与管道断开，然后按图 22 所示的接线图沿垂直于管道的一条直线布置电极，d_{13}约 40m，d_{12}取 20m左右，按 10.1.2（4）的操作步骤测量接地电阻值。

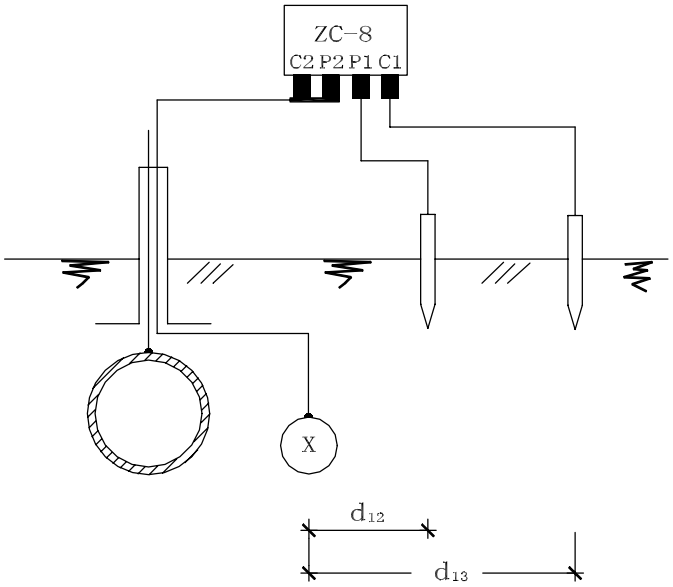

图 22 短接地体接地电阻测量接线图

11 土壤电阻率测量

11.1 等距法

11.1.1 适用性

本方法适用于从地表至深度为 a 的平均土壤电阻率的测量。

11.1.2 测量步骤

1) 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，测量接线见图 23。

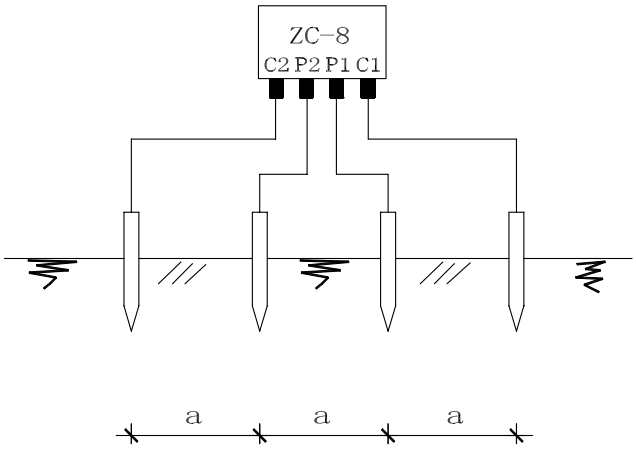

图 23　土壤电阻率测量接线图

2)　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。

3)　按 10.1.2 第 4）款的操作步骤测量并记录土壤电阻 R 值。

11.1.3　数据处理

从地表至深度为 a 的平均土壤电阻率按式（19）计算。

$$\rho = 2\pi aR \qquad \cdots\cdots (19)$$

式中:

ρ——测量点从地表至深度 a 土层的平均土壤电阻率，Ω·m;

a ——相邻两电极之间的距离，m;

R ——接地电阻仪示值，Ω。

11.2　不等距法

11.2.1　适用性

本方法主要用于测深不小于 20m 情况下的土壤电阻率测量。

11.2.2　测量步骤

1)　不等距法测量接线见图 24。

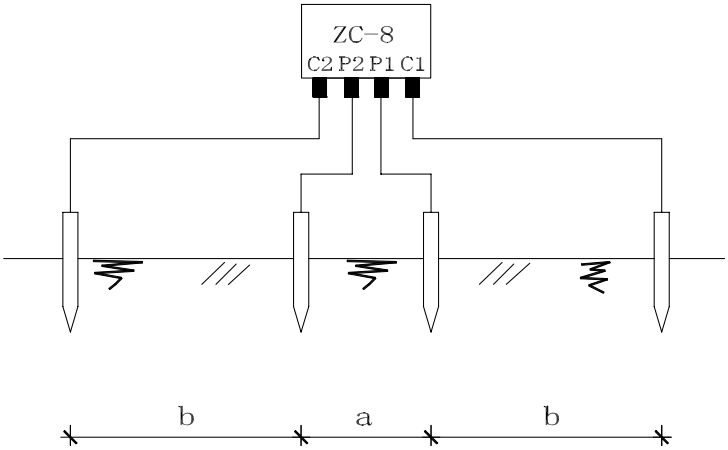

图 24　不等距法土壤电阻率测量接线图

2) 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 5～10m，b 值根据测深计算确定，计算见式（20）：

$$b = h - \frac{a}{2} \qquad \cdots\cdots（20）$$

式中：

b ——为外侧电极与相邻内侧电极之间的距离，m；

h ——测深，m。

a ——相邻两内侧电极之间的距离，m；

3) 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。

4) 按 10.1.2 第 4）款的操作步骤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。

11.2.3 数据处理

测深 h 的平均土壤电阻率按式（21）计算。

$$\rho = \pi R(b + \frac{b^2}{a}) \qquad \cdots\cdots（21）$$

式中:

ρ ——测量点从地表至深度 h 土层的平均土壤电阻率，Ω·m；

R ——接地电阻仪示值，Ω。

12 管道外防腐层地面检漏测量

12.1 交流电流衰减法

12.1.1 适用性

交流电流衰减法（PCM）适用于除钢套管、钢丝网加强的混凝土配重层（套管）外，远离高压交流输电线地区，任何交变磁场能穿透的覆盖层下的管道外防腐层质量检测。对埋地管道的埋深、位置、分支、外部金属构筑物、大的防腐层破损，能给出准确的信息；根据电流衰减的斜率，可以定性确定各段管道防腐层质量的差异，为更准确的防腐层破损点详查提供基础。

12.1.2 设备

交流电流衰减法测试设备包括发射机和接收机两大单元，以及配套的电源设备、连接线、接地电极等。

12.1.3 测量步骤

1) 在和管道的连接点，按仪器的使用说明书连接好发射机的输出和电源接线，并保证接地良好。

2) 根据需要选定合适的检测频率和输出电流。

3) 检查接收机电池，必要时更换新电池。

4) 调整接收机的接收频率，使其与发射机的检测频率一致。

5) 按照使用说明书，设定接收机的定位方式为峰值法或峰谷法，并对管道定位。

6) 沿目标管道正上方，使用接收机跳跃式测量并记录发射机施加在管道上的信号电流值（测量 4Hz测绘电流时，应先测量管道埋深），并对测量点位置（里程或坐标）予以记录，测量点的间隔根据实际需要确定是加密还是放宽，当两点间的电流量变化较大时，应在这两点之间加密测量点，尽可能找到电流突变点；并在电流衰减异常（斜率增大）的管段位置使用信号旗或其它合适的标志插在地面上作标记。

12.1.4 数据处理

根据各测量点的电流值和距离数据，绘制出电流衰减曲线图。电流衰减曲线的陡缓程度表征管道防腐层质量的优劣状况，曲线越陡，电流衰减率越大，防腐层质量越差；某一点电流突然衰减，则该处防腐层发生破损或有支管、搭接等。

12.2 交流地电位梯度法（ACVG）

12.2.1 适用性

交流地电位梯度法（ACVG）采用埋地管道电流测绘系统（PCM）与交流地电位差测量仪（A 字架）配合使用，通过测量土壤中交流地电位梯度的变化，用于埋地管道防腐层破损点的查找和准确定位。对处于套管内破损点未被电解质淹没的管道本方法不适用，另外下列情况会使本方法应用困难或测量结果的准确性受到影响：

a) A 字架距离发射机较近；

b) 测量不可到达的区域，如河流穿越；

c) 覆盖层导电性很差的管段，如铺砌路面、冻土、沥青路面、含有大量岩石回填物。

12.2.2 设备

交流地电位梯度法测试设备包括发射机、接收机、交流地电位差测量仪（A 字架），以及配套的电源设备、连接线、接地电极等。

12.2.3 测量步骤

1) 按 11.1 交流电流衰减法的测量步骤将发射机接线连接好，并用接收机对管道定位。

2) 按仪器的使用说明书将接收机固定在 A 字架上，并与 A 字架接线连接好后，再将 A 字架的两个电极插入地面靠近发射机的接地极附近，这时会以三位数显示“dB”（分贝）读数，交流地电位差测量仪箭头应显示远离接地点方向。

3) 在目标管道正上方检测。沿着疑有防腐层破损点的管段的路由和测量仪箭头指示的方向，以一定间隔将 A 字架触地测量，箭头指示无反转表明无破损点，接近破损点时 dB 值增大，当走过破损点时，箭头会反向指向破损点，出现这情况要反向移动，用更小的间隔重复测

量，直至将 A 字架向前向后稍加移动至箭头变回反向时为止。当 A 字架正好位于破损点正上方时，显示的箭头为两个方向，同时显示的 dB 值读数最小，在 A 字架中心划一条垂直线，之后将 A 字架旋转 90 度，并沿这垂直线再进一步准确定位，使 A 型架向前向后稍加移动至箭头变回反向为止。这样两条线的交叉点就是管道防腐层破损点位置。

12.3 直流地电位梯度法（DCVG）

12.3.1 适用性

直流地电位梯度法（DCVG）测量技术适用于埋地管道外防腐层破损点的查找和准确定位；对破损点腐蚀状态进行识别；结合密间隔管地电位测量（CIPS）技术可对外防腐层破损点的大小及严重程度进行定性分类。对套管内破损点未被电解质淹没的管道不适用，另外下列情况会使本方法测量结果的准确性受到影响或应用困难：

a) 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道；

b) 测量不可到达的区域，如河流穿越；

c) 覆盖层导电性很差的管段，如铺砌路面、冻土、沥青路面、含有大量岩石回填物。

12.3.2 方法介绍

采用周期性同步通/断的阴极保护直流电流施加在管道上后，利用两根硫酸铜参比电极探杖，以密间隔测量管道上方土壤中的直流地电位梯度，在接近破损点附近电位梯度会增大，破损面积越大，电位梯度也越大，根据测量的电位梯度变化，可确定防腐层破损点位置；通过检测破损点处土壤中电流的方向，可识别破损点的腐蚀活性；依据破损点 IR%定性判断破损点的大小及严重程度。

12.3.3 设备

a) CIPS/DCVG（管地电位及直流地电位梯度）测量主机一套；

b) GPS 卫星同步电流断续器两台或更多；

c) 探管仪；

d) 两根硫酸铜参比电极探杖；

e) 配套测量线轴及连接导线。

12.3.4 测量步骤

1) 在测量之前，应确认阴极保护正常运行，管道已充分极化。

2) 检查测量主机电池电量，并对两硫酸铜电极进行校正。

3) 将两根探杖与 CIPS/DCVG 测量主机相连,按 5.4 密间隔电位测量法对管道定位、设备安装及通/断周期设置完毕后，测量人员沿管道行走，一根探杖（主机上标有 PIPE 端）一直保持在管道正上方，另一根探杖放在管道正上方或垂直于管道并与其保持固定间距（1m~2m），以 1~3m 间隔进行测量。当两根探杖都与地面接触良好时读数，记录同步断续器接通和断开时直流地电位梯度读数的变化，以及柱状条显示方向或数字的正负。

4） 当接近破损点时，可以看到电位梯度数值会逐渐增大；当跨过这个破损点后，地电位梯度数值则会随着远离破损点而逐渐减小，变化幅度最大的区域即为破损点近似位置。

5） 在破损点近似位置，返回复测，以精确确定破损点位置。在管道正上方找出电位梯度读数显示为零的位置；再在与管道走向垂直的方向重复测量一次，两条探杖连线的交点位置就是防腐层破损点的正上方。

6） 在确定一个破损点后，继续向前测量时，宜先以每 0.5m 的间隔测量一次，在离开这个梯度场后，若没有出现地电位梯度读数及极性的改变，可按常规间距继续进行测量；否则，说明附近有新的破损点。

7） 在确定的破损点位置处，通过观察测量主机上电流方向柱状条的显示方向，对管道在通电和断电状态下，土壤中电流流动的方向分别进行测量与辨别，以判断破损点部位管道的腐蚀活跃性。所测结果按表 3 进行填写记录，原则上对破损点腐蚀状态的评价分为：阴极/阴极（C/C）、阴极/中性（C/N）、阴极/阳极（C/A）和阳极/阳极（A/A）四种类型。

8） 在确定的破损点位置处，测量并记录储存该点的通电电位（V_{on}）、断电电位（V_{off}）、电位梯度（$V_{G,on}$和$V_{G,off}$）、GPS坐标及里程；应对附近的永久性标志、参照物及它们的位置等信息进行记录，并应在破损点位置处作好标识，尤其是通/断状态下电流均从破损点流出到土壤的点。

12.3.5 数据处理

1）将现场测量数据下载到计算机中，进行数据处理分析。

2）以距离为横坐标、直流地电位梯度为纵坐标绘出测量段的 DCVG 分布曲线图。

3）根据破损点位置处测量的数据，按式（22）计算表征破损点的大小及严重程度的 IR%值，并根据使用经验和对典型破损点的验证开挖结果，分类记录。

$$IR\% = \frac{\Delta V_{on} - \Delta V_{off}}{V_{on} - V_{off}} \times 100\% \qquad \cdots\cdots（22）$$

式中：

$IR\%$ ——破损点位置处百分比 IR 降；

ΔV_{on} ——通电状态时测得的直流地电位梯度值，mV；

ΔV_{off} ——断电状态时测得的直流地电位梯度值，mV；

V_{on} ——破损点位置处的通电电位，mV；

V_{off} ——破损点位置处的断电电位，mV。

4）根据破损点位置处测量的数据，将测量数据和计算结果填写在表 3 中。

表 3　　破损点 DCVG 测量数据表

编号	位置	管地电位 mV		直流地电位梯度 mV		电流方向		腐蚀状态类型	IR%	备注
		V_{on}	V_{off}	ΔV_{on}	ΔV_{off}	通电	断电			

12.4　音频检漏法

12.4.1　适用性

音频检漏法适用于一般地段的埋地管道防腐层检漏；不适用于露空管道、覆盖层导电性很差的管道、水下管道、套管内的管道的防腐层地面检漏；水田或沼泽地、高压交流电力线附近的埋地管道，使用本方法进行防腐层检漏比较困难。

12.4.2　设备

音频检漏仪主要由发射机、寻管仪（探管仪）、接收系统及其配套的电源系统组成。

12.4.3　测量步骤

1）　检查发射机、寻管仪、接收机电源电量是否充足，并在合适的地方，将发射机的信号输出端用仪器的短线与管道连接，长线与接地极连接。

2）　按仪器的使用说明书调节发射机的输出电流。

3）　按仪器的使用说明书设定寻管仪的寻管方式和接收机的灵敏度。

4）　两位检测人员按使用说明书戴好腕表，接好电缆，在距发射机接入点 30m 以后，沿管顶一前一后行走，前面人员携带寻管仪，后面人员携带接收机，保证两名检测人员一直沿着管顶前进。

5）　当接收机的声、电信号越来越强时，预示着前进方向出现破损点，当手持寻管仪者走到破损点正上方时，声、电信号最强；两人继续前进，声、电信号逐步减弱，当破损点位于两人的几何中心点时，信号最弱；两人继续前进，声、电信号又逐步增强，当后面持接收机者位于破损点正上方时，声、电信号第二次达到最强。

6）　测量中两次声、电信号最强，一次声、电信号相比最弱的位置，即为防腐层破损点的正上方。确定破损点准确位置后，作好地面标志和记录坐标位置。

附录 A

（资料性附录）

条文说明

1 范围

阴极保护参数测量主要用于管理与维护中阴极保护系统的监控测量、外腐蚀评价测量以及为防腐蚀设计取得必要的资料。本标准是在原行业标准《埋地钢质管道阴极保护参数测试方法》SY/T0023-97 为基础上，根据 8 年多来的实践经验，借鉴国外先进标准，结合国内测试手段的技术发展情况而制定的。本标准制定的目的在于统一测试方法，力求测试数据准确可靠。对于争议较大或误差较大的测试方法，本标准没有收入。本标准考虑了与《埋地钢质管道阴极保护技术规程》、SY/T0087.1《埋地钢质管道外腐蚀直接评价》等标准间的协调配套性，只保证测试数据的准确性，不涉及利用测试数据对阴极保护状况进行判定，对防腐层质量进行评定。如何利用测试数据对阴极保护效果正确评价及对防腐层质量进行评级划分等数据评估的内容见相关标准的要求。杂散电流及检查片的测量是在特定的区域和环境所需进行的专项测量，本标准不包括这方面的测量方法，其测量方法见相应行业标准。

2 规范性引用文件

本标准第 4.1.1 条中规定“对所用的测试仪表，必须按国家现行标准的有关规定进行定期校验”，将该条文中涉及的标准名称作为规范性引用文件摘录。

3 术语及定义

本标准中的术语和定义原则上符合 GB/T10123 的要求，由于本标准的专业性，对于上述标准中不含的术语和定义参照国外相关标准给出。

4 基本规定

4.1 测量仪表

4.1.1 本标准所进行的测试都是在野外条件下进行的，野外使用的测量仪表自然要求质量轻、体积小、坚固耐震、供电方便、显示速度快等特点。本条对测量仪器的各项要求都是以野外工作这一特定条件提出的，否则会给操作者带来极大的不便。

本标准所涉及的测量仪表的规格、型号较多，准确度差异很大，在本条中不能一一指出各仪表

的校验规程，但测量仪表必须按照国家或行业标准定期校验，否则准确度无法保证。因此，在条文中用“必须按国家现行标准的有关规定进行校验”给予概括。

4.1.2　数字式仪表比相应的指针式具有更优良的性能。比如 4 位半数字万用表 DT-930 与指针式万用表 MF-10 型相比，其直流电压档的准确度从 2.5 级提高到 0.5 级，分辨率从 1mV 提高到 0.1mV，内阻（输入阻抗）从 250 kΩ 提高到 10MΩ；而且读数直观、体积更小、质量更轻、更便于携带。但指针式万用表未完全淘汰。

4.2.1

a) 直流电压测量中最主要、最经常的项目是管地电位测量。管地电位测量是用电压表测量管道相对于安放在土壤中的硫酸铜电极的电位差。测量回路中包括：1）硫酸铜电极内阻；2）硫酸铜电极对地电阻；3）电压表内阻；4）测试导线及接触电阻。如果指针式电压表的内阻或数字式电压表的输入阻抗没有达到测量回路中总电阻的绝大部分时，就会产生明显的误差。为使测试值的准确度高于 5 级，作此条文规定。

b) 电压表除须满足规定的内阻外，选用电压表时，重要的是考虑电压表的量程和分辨率，为保证测量值达到规定的准确度，必须对电压表型号或使用量程的分辨率作出一定的规定。由于电压的测量范围很广，不可能在基本规定中规定一个分辨率的具体数值，只能规定测量值至少应具有三位有效数，对用来显示精确电压值的有效数字的位数予以明确。例如测量中电压表能显示出-0.853V，-1.142V，管地电位即使处于边缘保护电位也能满足测量要求，而更精确的测量值-0.8531V，-1.1423，对现场保护测量来讲是没必要的，电压表的选择当然也包括性价比的评估。

d) 近年来，由于高压输电线路建设的快速发展和诸如三层 PE 这类完整性好、防腐层电阻高的管道外防腐层的大量使用，在起到良好防腐性能的同时，也带来易受交流干扰的不利影响，在测量和记录中，感应的交流电压（来自高压输电线路的或来自交流牵引系统的）经常叠加在被测量的用于腐蚀防护的直流电压上的，使直流电压表的显示极不稳定，甚至无法读数，所以在受交流干扰的管道上进行管地电位测量时，使用直流电压表应具有足够的抗交流干扰特性。为满足测量精度要求，本条对其滤除交流干扰的性能做出规定。

德国标准 DIN30676《外表面阴极保护的设计与应用标准》指出：在测量直流电压中叠加有干扰的交流电压时，放大式电压表可通过串联单级或多级 RC 滤波器得到避免。由于具体管道上感应的交流电压大小各异，对直接反映直流电压表滤除交流干扰性能的参数（工频电压抑制量）不可能做一个统一的最低规定，而应根据被测管道的具体情况，选择适宜的数字式万用表。对感应有 15V 交流干扰电压的管道，使用工频电压抑制量不小于 70dB 的数字式万用表，即可使叠加的直流电位限制在 5mV 以内，如 FLUKE189 型数字万用表，具有工频电压抑制量（共模抑制比）大于 100 dB 的滤除交流干扰性能，可通过滤波器使输入交

流电压衰减到比它低 100000 倍的输出交流电压。指针式电压表由于具有较大阻尼作用，根据多年的工程测试经验，交流电压只能造成指针的小幅抖动，不会明显影响直流电压的读数，能满足在交流干扰下的直流电压测量要求。

4.2.2　本条各款提出的指标是基于阴极保护参数现场测试电流（用电流表测试）的准确度要求不高，除阴极保护输出电流一项外，一般不易测得很准确而制定的。比如牺牲阳极输出电流测试。在牺牲阳极保护中，管理者最关心的是管道的实际保护电位，当保护电位不正常时，才需要测试牺牲阳极的开路电位和输出电流，判定出现不正常的原因，到底是牺牲阳极已经严重极化，还是管道阴极保护电流需要量急增或是牺牲阳极输不出正常电流量。输出电流与阳极的极化电阻、接地电阻、管道涂层质量、极化电位等诸因素有关，其中接地电阻与土壤电阻率几乎成正比变化，而土壤电阻率随土壤的温度、含水量等的变化而变化。在一些地区，一年之中土壤电阻率的变化可达 3 倍。所以，不可能以当时实测的牺牲阳极输出电流准确地推断阳极的实际使用寿命。故对牺牲阳极输出电流的测试没有必要追求过高的准确度。在后面的牺牲阳极输出电流的测试方法中，考虑的引入误差控制在 5%左右为宜。

4.3　参比电极

4.3.1　管地电位测量是测量管道与其所处的电解质之间的电位差，必须借助于参比电极才能完成。由于各处的土壤理化指标相差很大，参比电极在各处的电极电位应相对稳定，测试数据才具有可比性。目前，世界上通用的管地电位参比电极（适用于土壤）为硫酸铜电极。硫酸铜电极具有制作简单、在土壤中稳定性较好、使用方便等优点。本标准规定通常环境下用它作为管地电位测量的参比电极。

对制作材料和使用的规定是依据按行业标准 SY/T0023-97 进行编制的，根据多年的实际使用经验，只要按本条规定的材料制作，各硫酸铜电极的电极电位差异极小，稳定性也不错，完全能满足管地电位的测量要求。

4.3.2　硫酸铜电极的电极电位误差指测量用硫酸铜电极与校准过的硫酸铜电极之间的偏差，本条文是依据 NACE TM0497-2002《埋地或水下金属管道系统阴极保护准则的测量技术》对参比电极的精确度作出规定。由于测量中可能存在硫酸铜电极被污染、铜电极表面氧化或溶液饱和度不够、多孔塞被有机物阻塞、永久性安装的参比电极有缺陷等不良情况，测量前应对使用的硫酸铜电极进行精确性核实，以保证测量结果的准确性，尤其是在野外进行参比电极对参比电极的测量时，采用校准过的参比电极是十分必要的，比如需采用双参比电极进行的腐蚀活性检测或电位准确测量技术测试。野外用硫酸铜电极的精确度可以通过将其与校准硫酸铜电极一同置于装有淡水的塑料盆中，通过测试它们之间的电位差的方法来核实，其电位差应不大于 5mV。

4.3.3　硫酸铜电极容易在氯离子含量高的盐水环境中被污染，对需长期安放在高氯离子环境或被水浸泡的带套管穿越或隧道穿越的特殊环境，不宜采用硫酸铜电极，按 ISO15589-1 给出替代参比电极

的换算关系，饱和氯化钾甘汞电极由于不很坚固，存在泄漏水银的风险，不适用于野外现场环境，更常用于实验室中。

4.4　测量基本要求

4.4.2　本条为电气测量的基本要求。若电接触不良，接触电阻会很大，一方面会带来不应有的测量误差；另一方面，在低电压测量时，如管内电流测量，根本无法进行。

4.4.3　本标准的各种测量方法，在测量过程中测量导线均将移动，这就要求测量导线柔软。在一些测试场合，比如高压输电线附近，电磁干扰非常严重，使用屏蔽导线将减小电磁场干扰，故推荐使用屏蔽导线。

4.4.4　本标准共有 28 个测量方法，使用的测量仪表种类较多。标准条文不能等同于仪器操作规程，不可能一一详细叙述这些仪表的使用方法，在此统一规定为“按仪表使用说明书的有关规定操作”。

4.5　电位极性

4.5.1　电压仪表通常都有一个设计为 " 公共 " （COM）的接线柱。这个接线柱采用黑色或者标为负极（⏚）标志，而正极端采用红色或者标为正极(+)符号。所测得的电压都是指相对于仪表的负接线柱而言的，相对于硫酸铜电极来说，钢质管道是负的。阴极保护测试中，习惯上常讲的管道相对于硫酸铜电极的电位，即按图 1 接线方式进行测量的结果，管地电位测量中电位极性的识别和正确记录至关重要，为避免出现疏忽，本标准推荐采用这种接线方式。

4.5.2　指针式仪表的指针是向正方向偏移的，只能按图 2 接线方式进行测量，条文中对电位极性的记录预以提醒注意。

5　电位测试

5.1　自然电位

5.1.1　管道自然电位是了解管道基本情况和去极化电位测试的基准数据，也是先于其它管地电位测试，因此，作为一项必要参数项目的测试，为使用方便，单独列出。

5.1.2　对已实施过阴极保护的管道测试自然电位，应在完全断开阴极保护电流并充分去极化后（极化衰减至电位稳定不再偏移）进行。

潮湿土壤的电阻率低，有利于减小硫酸铜电极与土壤的接触电阻，现场测量中若硫酸铜电极与干燥或冻土、岩石、植物或铺砌材料之间的高电阻接触，都会带来测量误差。条文规定硫酸铜电极与土壤电接触良好，这也是为了减小硫酸铜电极与土壤的接触电阻。

只有电压表在适合的量程上，才能保证电压表的测量准确度。量程过低，有损坏仪表的可能；量程过高，测量误差将加大。

5.2　通电电位

5.2.1　本方法测得的管地通电电位是极化电位与 IR 降之和，它包括来自强制电流、牺牲阳极和大

地等电流源的电流，通过电解质和防腐层时所产生的电压降。此电位在评价阴极保护效果的有效性时，必须考虑 IR 降对真实极化电位的影响。本方法是采用阴极保护准则第一条时的测量方法，与其它两条测试方法相比，优点是：1）对设备、人员及车辆的要求最少；2）所需测量时间最短。缺点是：1）所测得的电位值含有除管道金属/电解质界面以外的所有电压降；2）为满足对较大电压降进行考虑的要求，可能导致在测试现场多花一些时间以评价阴极保护的满意程度。因此，当 IR 降影响程度已考虑，在没有较大的环境、构筑物、防腐层完整性及阴极保护参数改变的情况下，本方法可用于日常常规管理的监测测量。

5.2.2　管道在阴极保护系统正常供电并经足够长的时间充分极化后，测得的数据才有意义；但具体管道防腐层质量不同，所需极化的时间差异较大，根据工程实践经验，防腐层质量好的三层 PE 防腐层管道，甚至在施加保护电流几分钟后，极化就可以达到稳定，而对石油沥青防腐层管道，则一般需要 24 小时，标准中不可能对极化时间给出一个确切值，应根据具体管道情况确定：当观察恒电位仪的输出电流，其减小量变化在半小时内都在可忽略不计的程度时，可判断管道已极化充分。

5.3　断电电位

5.3.1　电化学的极化电位和土壤中的欧姆电压降具有不同的时间常数，因此，保护电流所引起的电压降可通过瞬时断开保护电流来予以消除。本方法是采用阴极保护准则第二条时的测量方法，与其它测试方法相比，优点是：可以消除由保护电流所引起的电压降。缺点是：1）需要更多的设备；2）需要更多的时间、人员、车辆来安装测试装置，并进行管道对电解质电位测量；3）如果管道存在不能对保护电流外的其它电流源同步断开时，将影响本方法的测量精度，或者说测量结果无法分析。如：管道存在各种原因引起的直流杂散电流或阴极保护电流没有同步中断或极化电位差引起的平衡补偿电流。

5.3.2

2）　保护电流的同步中断可通过能和管道监视控制与数据采集系统（SCADA 系统）协同工作的阴极保护电源设备或通过 GPS 卫星同步断流器来实现。阴极保护电源设备具有与 SCADA 系统的远程终端装置（RTU）相连接的远控接口装置，由调控中心给各 RTU 发出同步周期性开/关指令信号，启动设备中的高速无触点开关，使同一系统的阴极保护站处于供电 12s，断电 3s 的间歇工作状态，同步误差小于 0.1s；采用 GPS 同步断流器方式时，将断流器串接在阴极保护设备输出阳极与阳极地床或输出阴极与管道之间，并应合理地架设天线，使 GPS 断流器能搜索 3 颗以上卫星并锁定，保证响应时间的同步性。通电时间与断电时间之比一般为：4:1。NACE TM0497 指明一般断电时间应小于 3s，本方法现场测试的位置及采集数据的数量远不及密间隔管地电位测试法多，根据 CPE 西南分公司与德国 PLE 公司、鲁尔煤气公司及法国索菲公司所进行的技术交流，目前德、法两国都是采用供电 12 秒，断电 3 秒的间歇供电状态测试管道的保护电位和外防腐层电阻，现我国许多工程也采用此通断周期，

如：西气东输管道工程、陕京管线、克拉 2 等，工程实践经验证明采用供电 12s，断电 3s 是适当的。

5) 阴极保护电源设备由开到关或由关到开的转换瞬间，管地电位往往产生一个尖峰值，这种现象是由系统的电容效应造成的，并且可能被错误地当作管道对电解质的断电电位或通电电位而记录，这种影响的强度和持续时间可能各不相同，但其作用期一般小于 0.5s，并且在靠近通电点处数值较大，根据 NACE TM0497 并结合实践经验，在通/断电 0.5s 之后读取读数是合理的。

5.4 密间隔电位法

5.4.1 密间隔电位测试法是 NACE RP0502 中用于评价阴极保护系统的有效性重要方法。国标《埋地钢质管道阴极保护技术规范》中要求对运行一年内的管道应进行 CIPS 测量。硫酸铜电极安放处的断电电位代表该处的管道保护电位，密间隔管地电位测试法是以密间隔移动硫酸铜电极进行通/断管地电位的测量，所以不仅可以测量测试桩处的保护电位，沿线各处的保护电位都可以测得，通过对全线管地电位的数据处理与变化趋势分析，可对全线的保护状况（管道是否获得全面、合适的阴极保护，是否存在欠保护或过保护情况）给予评价。因此，本方法可用于衡量管道各点的阴极保护状况，决定是否采取进一步措施，给运行管理方提供全面、合理的监测及维修方案的测量。国内外现场测试中常采用管地电位及直流电位梯度检测仪，将管地电位和电位梯度一同进行测量，CIPS+DCVG 综合测量可判断防腐层的状况和阴极保护是否有效；确定管线阴极区、阳极区的分布及可能正在发生腐蚀的位置。对直流杂散电流干扰，CIPS 测量技术也可以辅助识别，收集到干扰电流影响的分布情况、管地电位的波动及极性变化情况等有用信息，评价其对管道外腐蚀的影响，但测量的断电电位不能代表极化电位。对河流穿越或水下管道，可通过在与其靠近处（两岸）测试通/断电位的变化情况辅助识别穿越段保护状况。对剥离防腐层构成绝缘屏蔽，测试回路的电流传导不能形成电连续通道的环境，使用本方法误差太大，属测量结果的可靠性会受影响情况；而冻土、铺砌路面等特殊敷设环境造成的参比电极的接触电阻过大的情况，可采取钻孔、浇水润湿、移去冻土层等有效措施来予以降低，但本方法测试点很多，属应用困难情况。

5.4.2

4)～7) 密间隔管地电位测试可采用管地电位检测仪或数字式万用表两种方式测量，从测量中所花费的时间、人力及准确性考虑，宜采用管地电位检测仪。管地电位检测仪系统是由：CIPS/DCVG 测量主机、探杖式硫酸铜参比电极、GPS 卫星同步电流中断器（若干个）、线轴和探管仪组成。CIPS/DCVG 测量主机是具有高输入阻抗，能滤除交流干扰的直流毫伏表微功耗高速数据采集器设备，可测量距离（与线轴配合）、管地电位和电压梯度、GPS 坐标，并可储存、显示这些数据及与计算机连接输出数据。采用管地电位检测仪时，当阴极保护电源设备桥式整流元件为硅整流类型时，按 NACE RP0502 中的典型设

置及使用经验，可设置为通电 800ms，断电 200ms 的快周期；而整流元件为可控硅整流类型时，通/断周期可设置为通电 4s，断电 1s。设置合理的断电延迟测量时间是免除电压尖脉冲的影响，根据国外资料和使用经验，电压尖脉冲的影响一般在 50ms~100ms。从国内装备情况及具体管道实际情况考虑，也可采用数字式万用表，采用数字式万用表时，可采用通电 12s，断电 3s 的慢周期。无论采用快周期还是慢周期，测量前，使用示波器波形记录仪对电流中断器（已设置好通/断周期，尚未连接安装前）的同步性进行确认是重要的。

10) 管道管地电位异常位置（欠保护或过保护点及变化趋势异常点）是今后决定是否采取措施及重点监测的指导位置，因此，应作好标志与记录。由于现场地形、环境条件的复杂性，精确距离的测量是困难的，对线路上的三桩（里程桩、转角桩、标志桩）及堡坎、沟渠等永久性标志、参照物信息进行记录，对修正距离，指导位置是重要的。

5.5 消除 IR 降电位

对防腐层破损点多的管段，各破损点间存在极化电位差引起的平衡电流会使所测得的断电电位被歪曲，示意图见图 A.1。

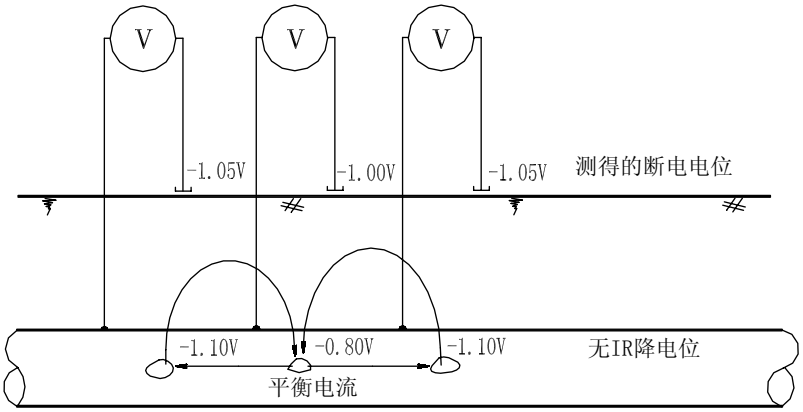

图 A.1 平衡电流所引起的断电电位歪曲示意图

电位准确测量技术是德国鲁尔煤气公司 70 年代以来，普遍采用的测试法，也是ISO15589-1 中强调的，用于破损点较多管道上修正断电电位的重要测量方法。使用该方法，可检测涂层缺陷位置，即沿管线测量的电位梯度（ΔV_{on}-ΔV_{off}）峰值位置处，电位梯度（ΔV_{on}-ΔV_{off}）绝对值取决于许多因素，并与防腐层漏点的尺寸大小成比例。如果沿管线以 5m的间隔测量，通常情况下，所有大漏点能被验证。对（ΔV_{on}-ΔV_{off}）＞100mV，所获得的测量值的精确性足以计算土壤中的IR降，即消除IR降电位。在仅存在平衡电流时，对管道而言电位梯度是近似对称的，因此，采用图中A点和B点用于确定ΔV_{on}和ΔV_{off}值大小是足够的。

ISO15589-1 附录 D.5“电位准确测量技术”中详细叙述了电位准确测量法与断电电位修正后测试点消除 IR 降电位的计算公式，本节等效采用。

电位梯度是与距离相关的电位变化，在本测量方法中由于两个参比电极间距为固定值（10m），所测得的电位梯度值即双参比电极的电位差，故按 ISO15589-1 计算公式中单位采用 mV。

5.6 阴极极化电位偏移

5.6.1 阴极极化电位检测方法对裸管和覆盖层较差的管道较为适用。在腐蚀电位较低（如≥-500mV）或达到-850mV 的极化电位所需电流非常大的情况下，也较为有效。但是如果管道与牺牲阳极直接连接，存在杂散电流、或其他不能被中断的外部强制电流设备时，进行此种测试则很难得到理想的结果，测试数据也不能用于结果评价。

5.6.2 阴极极化曲线图是一般的极化衰减和极化形成的曲线示意。

5.6.3

3) 对参比电极的位置作上标记，以便以后的测试都在同一地点进行。

5) 测试仪表的要求与常规电位测量是一致的，通常使用的数字式仪表的正常阻抗为 10MΩ。在回路电阻较低的情况下， 使用内阻 100kΩ/V 的指针式仪表较合适。在某些情况下，也可使用电位差计。

由于管道的电容效应，电流中断后引起的电压冲击的强度和持续时间可能各不相同，其作用期一般均小于 0.5s。电流中断后至进行读数前的时间应足够长(0.5s)以避免由电压冲击产生的误差。如果对电压尖脉冲的影响存在怀疑时，应使用示波表或高速记录设备，核实测得数据是否受到电压冲击的影响。

6) 避免因测量时间间隔过长而使管地电位降至腐蚀电位，从而导致测试时间不必要地延长。如预计去极化时间过长，就需要使用记录式电压表去判断是否达到腐蚀电位或充分的极化衰减。

5.7 牺牲阳极开路电位

5.7.2

牺牲阳极开路电位与自然电位测试均是采用地表参比法，当土壤中几乎没有电流（阴极保护电流和测试电流）流过时，可以认为从管道或牺牲阳极表面到地表参比电极安放处没有土壤的 IR 降。由于采用的是高内阻电压表，测试电流可以近似为零。在测管道的自然电位和牺牲阳极开路电位（忽略其他埋设点牺牲阳极流过来的电流）时，阴极保护电流也为零。所以在地表上安放参比电极，测试误差几乎为零。

5.8 牺牲阳极闭路电位

5.8.1

在几乎无地电场影响的地区，管道通电电位与管道对远方大地的电位值相等，但在地电场影响

较严重的地区，所测得的管道通电电位中含有较大的地电位值，用地表参比法，对牺牲阳极接入点的管段进行管地通电电位测量时，由于牺牲阳极输出电流集中于此，造成地电平电位偏移，很难测准管道与自然电位的负偏移电位值，采用远参比法时，管道对远方大地来说，就几乎没有这个地电位值。因此，牺牲阳极闭路电位应采用远参比法。本测试法与行业标准 SY/T0023-97 中的远参比法一致。

5.8.2

本条没有给出一个安放硫酸铜电极最远的距离。因为在实际测试中，各处的地电场影响的范围很不一致，在这里不明确给出最远距离更恰当。我们规定，当平均地电位梯度不大于 0.5mV/m 时，参比电极可不再往远方移动。这是依据：1）日本规定：地电场梯度小于 0.5mV/m 属弱干扰区。2）实际测试发现：当相距 5m 的两个参比电极安放处之间的管地电位差小于 2.5mV 时，由于管地电位变化很微，就不必再移动参比电极了。

5.9　极化探头法

5.9.1　极化探头法与 NACE TM0497-2002 中用试片判定阴极保护的满意度所用测量方法的本质相同，只是为方便现场方便，将试片与参比电极事先安装在一个结构合适的探头内。极化探头法也是 DIN30676 标准中，所使用的一种埋地金属构筑物电位的辅助测量方法。对存在杂散电流的干扰或无法采用同步瞬间断电断开保护电流的管道，不能通过断电测量来消除 IR 降误差，因此，采用探头模拟防腐层缺陷，所测电位代表类似土壤电阻率环境与相同通电电位状况下，管道的消除 IR 降极化电位。

5.9.3　探头中试片尺寸小，为一孤立的点，参比电极又与试片间通过合理结构使之尽可能接近，断开电流后，阴极保护电流及其它电流（杂散电流、平衡电流及大地电流）影响可消除。防腐层破损点面积越大和土壤电阻率越高，要达到保护电位就越是不易，只有将探头处于与管道相同的土壤中才有效。当防腐层的缺陷小于试片的面积时，若试片测得的断电电位符合阴极保护准则时，则管道测试点处可认为获得了保护。

5.10　管道阳极区定位

5.10.1　本方法是测量从电解质流向管道表面的保护电流。

5.10.2　双参比电极地表测量是测量与土壤接触的两支参比电极间的电位差。双参比电极法特别适用于对裸管进行调查以确定阳极区，以便对其进行热点保护。

2）　可采用以下方法对参比电极进行校正：用蒸馏水清洗塑料体内侧，更换新的堵塞，清洁参比电极内的铜棒，更换新溶液，净化饱和硫酸铜溶液。若一次清洁达不到要求，可重复清洗。

3）　试验中的测量值一般低于 50mV，故必须使用合适的电压表。

4）　进行调查前对待查管线进行精确定位和标记，同时在测量进行中认真更换参比电极。要求

参比电极和土壤之间的接触不存在树叶、杂草、石子以及其他杂物。由更换参比电极不正确导致的微小测量误差可能造成对数据的错误解释。

6) 牺牲阳极的存在或其他埋地构筑物都可能提高阳极区的暗示，在证明没有其他因素影响情况下才可确定阳极区。

5.10.3 管地电位测量是以密间隔测量与土壤接触的参比电极与管道间在没有施加阴极保护状态下的电位差。

1)～5) 未知牺牲阳极或杂散电流等其他因素均可能影响测试结果和数据解释，应谨慎对待。

6 牺牲阳极输出电流测试

在埋地钢质管道牺牲阳极保护工程中，牺牲阳极输出电流量是衡量牺牲阳极性能和保护效果的重要参数，本章所列的两个方法，都是以串入测试回路的电阻不大于总回路电阻的5%为原则，避免测试电流值与真实的电流值相差越过5%而带来太大的误差。

6.1 标准电阻法

采用标准电阻串入测试回路，再用高灵敏度电压表测量标准电阻上的电压降来计算牺牲阳极的输出电流，是目前世界上的通用做法，当牺牲阳极（组）的接地电阻不小于2Ω时，串入0.1Ω标准电阻，其阻值不大于总电阻的5%；当牺牲阳极的接地电阻小于2Ω时（一般不会发生），串入0.1Ω的标准电阻，则将会超过回路总阻的5%。理论上此时应采用0.01Ω的标准电阻。标准电阻的阻值越小，对牺牲阳极输出电流影响越小，但对数字电压表的灵敏度要求越高，比如牺牲阳极输出电流为38mA，在0.1Ω电阻上的压降为3.8mV，在0.01Ω电阻上的压降则为0.38mV，所以相应的对数字电压表的分辨率分别要求为0.1mV和0.01mV，否则，电压表的测量值将带来不允许的误差。

6.2 直测法

标准电阻法虽然目前世界上通用，但标准电阻的销售规则为成套出售，一套标准电阻售价上万，不是一般管理、测试单位都拥有；随着电子仪器的进步，从上世纪八十年代起，数字式万用表越来越普及，直流电压的分辨率越来越高，相应的直流电流档的内阻越来越小，以DT-830为例，DC 10A量程的内阻仅为0.0138Ω，但分辨率为10mA，内阻合格，分辨率不行；DT-930 DC 10A量程的内阻为0.0132Ω，但分辨率为1mA，则完全满足牺牲阳极输出电流测量的精度要求。

7 管内电流测试

7.1 电压降法

电压降法的基本原理是测量管内电流流过管道产生的欧姆压降计算电流，要计算电流必须知道测量段的管道电阻，而管段的电阻取决于钢材的电阻率、壁厚、管径、长度，所以本节规定除无分

支、无接地极（这些东西有分流作用）外，要知道管径、壁厚、管材电阻率，并丈量（或已知）测量段的长度。关于碳钢、低合金钢的电阻率，根据我们的实测和美国资料，碳钢的电阻率在 0.15 Ω·mm^2/m左右，低合金钢的电阻率为 0.22～0.23Ω·mm^2/m之间，在设计强制电流阴极保护时，钢材的电阻率是一项基本参数。

由于电压降法一般测量的管段长度在 30m左右，管道的电阻很小，尤其是大口径厚壁管，比如∅1016 厚 26.2mm的管道（西气东输、陕京二线四级地区用管），30m管段的电阻仅 8.47×10^{-5}Ω，如果管内电流为 0.5A，此时测量出的管压降仅 42.35μV。目前比较容易购买，价格又不是太高，操作方便、抗干扰能力强、供电方便的仪表有UJ33D-1 数字电位差计（国产）和FLUKE189 数字式万用表（进口）满足此项要求。

7.2 标定法

标定法与电压降法的差别，是不需要事先知道被测管段的电阻，也就是管径、壁厚、钢材电阻率和测量段长度，采取在a、b两点提供外加电流，在c、d两点测量电位差计算出cd段管道的电导（校正因子），再通过管内电流在cd段产生的电位差也计算管内电流量，标定法与电压降法相比的优点是不需要事先知道影响cd段管道电阻的各项参数，就能通过测量cd段管内电流产生的电位差V_0计算出管内电流；它的缺点是使用的测量仪器更多，操作更复杂。

本方法 a、c 和 b、d 两点之间的距离必须大于πD 是按电工学原理所确定，a、b 两供电点在其附近的电流分布极不均匀，只有在一个圆周长以后，电流分布在基本均匀，所以 c、d 两点必须与 a、b 两点相距一个πD 以上的距离。

电压降法和标定法测量管内电流，分别是德国和美国相关标准首选的测量方法，目前国内的阴极保护电流桩的设计基本上是按电压降法设计，但西气东输工程的设计，电流测试桩的接线是按标定法设计。

8 管道外防腐层电阻率测试

8.1 适用性

防腐层电阻率是防腐层电阻和面积的乘积。防腐层电阻是管道和电解质（土壤）之间的电阻，取决于土壤电阻率、破损点的数量和面积，是管道防腐层材料性能和施工质量的综合体现，因此，它是衡量管道实际运行状况中防腐层质量的标准指标。无漏点的聚乙烯或沥青防腐层，它们的防腐层电阻率（材料本身的电阻率）都不小于 10^{10}Ω·m^2。比如按DIN30670 标准检验预制厂出的挤塑聚乙烯防腐层的电阻率，实验要求试样在人工海水中浸泡 100d后，防腐层电阻率不小于 10^8Ω·m^2才算合格。在管道实际运行中，聚乙烯防腐层的电阻率大于 10^5Ω·m^2、沥青防腐层的电阻率达 10^4Ω·m^2就已是很好的施工质量，但与它们的工厂预制标准相差很远，这中间的差距是运输、施工、运行中的损伤造成的。防腐层电阻是防腐层漏点接地电阻之和（并联值），既代表了防腐层的完整性，代表

了防腐层的质量，又是阴极保护设计的基本参数，是一个极其重要的参数，国内、国外对此都非常重视。

8.2 方法介绍

本测量方法参照 NACE TM0102-2002《埋地管道防腐层电导率的测量》中的“第 3 章一般方法”编制而成，也是国际上普遍采用的测量方法，如 DIN30676 和 NACE TM0102 均采用利用沿线电流测试桩把管道分成 5km 左右一段，然后测量该段的电流漏失量，同时测量本段始末点通电与断电电位之差，取其平均值作为ΔV，由此计算该段的防腐层电阻。为方便掌握，现将根据 NACE TM0102 举例说明的测试程序表引录如下：

1) 测量接线如图 A.2 所示。

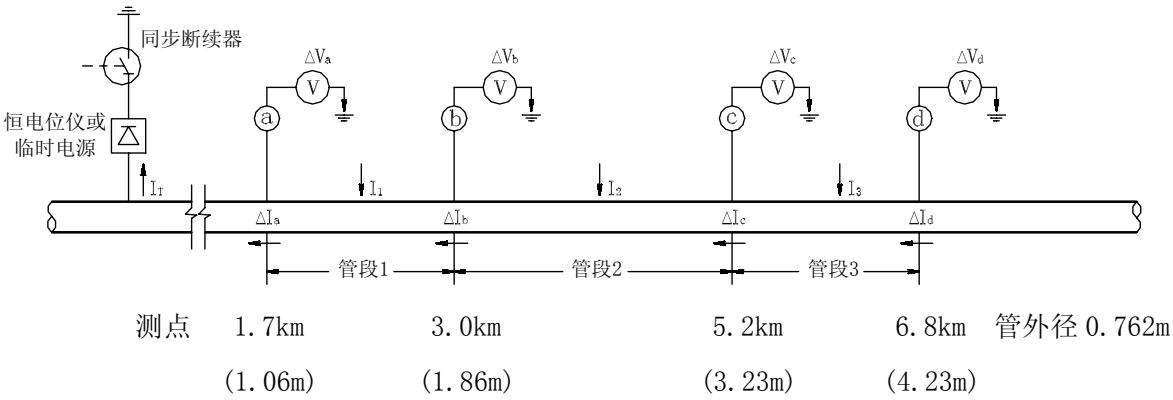

图 A.2 测量简图

2) 表 A.1 电阻率测量基本参数记录表

测试位置	里程（km+m）	管地电位（V）			K	管内电流（A）		
		V_{ON}	V_{OFF}	ΔV		I_{ON}	I_{OFF}	ΔI
A	1.7	-1.400	-1.000	0.400	1.14 1.40 0.69	3.0	1.4	1.6
B	3.0	-1.350	-1.000	0.350		2.9	1.4	1.5
C	5.2	-1.200	-0.950	0.250		1.8	1.3	0.5
D	6.8	-1.400	-1.040	0.360		1.65	1.20	0.45

3) 表 A.2 测量段平均防腐层电阻率数据表

测量管段	管段长度（m）	平均通/断电位差 ΔV(V)	电流漏失量 ΔI(A)	防腐层电阻 R(Ω)	管段表面积（m^2）	平均电阻率（Ω·m^2）
1	1300	0.375	0.1	3.759	3112	11698
2	2200	0.300	1.0	0.300	5267	1580
3	1600	0.305	0.05	6.098	3830	23355

8.3.1　测试管段上存在牺牲阳极、短路套管、分支或短路、劣质涂敷的阀门等，都对精确计算防腐层电阻有不利影响。

8.3.3　测量段远离阳极地床，是避免测试的管地通电电位因受地床电位影响而更负，给测量带来较大误差。

8.4.2　如果瞬间断电电位比-1150mV（对厚度小于 1mm 的薄防腐层为-1100mV）（CSE）更负，管道出现过保护，防腐层电阻将不再取决于电压与电流两者的关系。

8.4.7　测试点处的管内电流中除正常的阴极保护电流外，断电情况下还可能存在杂散电流和平衡电流的流动，因此，用通电电流与断电电流之差作为测试点处的管内保护电流量，以使测量误差最小，其差必须有明显的变化，否则将引入较大误差。

9　绝缘接头（法兰）绝缘性能测量

9.1　兆欧表法

本方法用于产品检验，采用的是一般电工绝缘的检测方法，所用的 500V 兆欧表（如 ZC25-3 型）是电工常用仪表，方法简单易行。

9.2　电位法

在有阴极保护的管道上，只要输出介质没有含大量的导电介质，电位法是简单易行的检测绝缘接头（法兰）是否起到绝缘作用的测量方法，比较两端的电位就能判定其性能的好坏；但它也可能出现误判，其误判的原因主要有两种：一种情况是在阴极保护站所在站场，辅助阳极距测试点太近，由于阳极入地电流造成测试点处地电平明显正移，就使绝缘接头（法兰）非保护侧的管地电位在有阴极保护时明显负移；另一种情况是与站场没有安装绝缘接头（法兰）的管道在站外短路，此时也会发生绝缘接头（法兰）两侧几乎没有管地电位差。

9.3　漏电电阻法

本方法是一个比较完善的绝缘接头（法兰）绝缘性能测试方法，目前工程设计中所设计的绝缘接头测试桩就是采用本方法检测绝缘性能，本标准只画了通电处的绝缘接头测量图和漏电电阻计算公式，如果绝缘接头处于阴极保护末端（不在通电点处），此时，只按电压降法测试bc段的管内电流 I_1，其漏电电阻按式（A.1）计算：

$$R_{\mathrm{H}} = \frac{\Delta V}{I_1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{(A.1)}$$

若 $I_1 = 0$，$R_{\mathrm{H}} = \infty$。

9.4　PCM 漏电率测量法

PCM电流测绘系统是近年从国外引进的先进测试手段，由PCM发射机向被测管道提供 4HZ测绘电

流，用接收机在地面接收测绘电流产生的交变磁场转换成各点的 4HZ测绘电流，如果绝缘接头（法兰）绝缘电阻很高，此测绘电流基本上流不过绝缘接头（法兰），图 18 中I_2几乎为 0（PCM接收机的分辨率为 1mA）；如果绝缘接头（法兰）存在漏电，则I_2＞0，此时按式（17）计算漏电百分率。

9.5 接地电阻测量仪法

在管道建设阶段，未安装的绝缘接头（法兰）其绝缘性能可按兆欧表法测量；已建成管道的绝缘接头（法兰）由于两端都分别通过外防腐层的破损点或站内的接地装置接地构成回路，不能再用兆欧表或其它电阻表直接测量其绝缘性能；此时，在实际运行工况下的绝缘接头（法兰）两端的回路总电阻等于：两端接地电阻相串联后的电阻，再与绝缘接头（法兰）的电阻相并联的总电阻。本节等效采用了欧洲标准 EN13509 中的计算公式。与漏电电阻法不同的是，即使在一些已经投入运行的管道由于各种原因阴极保护尚没有运行，而需定量测量绝缘接头（法兰）绝缘电阻时本方法也适用。

10 接地电阻测量

10.1 长接地体接地电阻测量

本方法参见电力部门对接地网接地电阻的测量方法编制，与原《埋地钢质管道阴极保护参数测试方法标准》（SY/T0023-97）一致。

10.2 短接地体接地电阻测量

本方法与原《埋地钢质管道阴极保护参数测试方法标准》（SY/T0023-97）一致。

11 土壤电阻率测量

11.1 等距法

11.1.1～11.1.3 等距法即国外标准资料中所称的文纳法（Wenner Method），就地球表面而言，常用四极法测量土壤电阻率。四极法的数学模型为两个电流极在土壤中形成电流场，在两个电位极（内电极）之间形成电位差，这个电位差与电流极入土的电流量以及电位极之间、电流极之间的土壤电阻率成一定的数学关系，当电流极的入地深度小于 a 的 5%时，可以看成球形电极，由施隆贝格导出如下公式：

$$\rho = F(ab)R$$

$$= \pi aR(\frac{b}{a} + \frac{b^2}{a^2})$$

当$a = b$时，上式变为：

$$\rho = 2\pi aR$$

11.2　不等距法

11.2.1～11.2.3　由于石油天然气的勘探重心西移，我国西部地区往往要在沙漠、戈壁地区建设阴极保护站。另外，油田内部区域性阴极保护、市区煤气管网阴极保护及站内管网阴极保护，都需要采用深井阳极，若还是一律采用等距布极，势必测量导线过长，操作很不方便。德国 PLE 公司在陕京线基本设计文件中，推荐深井阳极土壤电阻率测量采用不等距布极测量土壤电阻率，在联邦德国 W.V.贝克曼著的《阴极保护简明手册》（1992 年版）第 6.3.2 条“土壤电阻率测量”中，详细叙述了不等距四极法的土壤电阻率测深与数值计算公式，本节等效采用。

CPE 西南分公司在陕北进行陕京线和陕甘宁气田内部集输阴极保护野外勘察时，在各阴极保护站优先采用不等距布极（施隆贝格法）法进行土壤电阻率测量。将 a 值取 5m 时，由于电位极相距太近，采用 ZC-8 接地电阻仪进行测量，有些地方无法测出 R 值，而有些地方又能测出 R 值。在不能测出 R 值的地方，改用文纳法（等距法）则可很方便地从 ZC-8 接地电阻仪上读出 R 值，计算出土壤电阻率。在靖西管线化子坪深阳极地床及长白气田中央处理厂深阳极地床野外勘察时，吸取了 a 值过小，测不出 R 值的教训，将 a 值取 10m 时（测深 40m、60m），均可测出 R 值，并对两种测量方法（不等距法和等距法）进行验证测量，两种测量方法计算出的土壤电阻率结果是一致的。

12　管道外防腐层地面检漏测量

12.1　交流电流衰减法

12.1.1

交流电流衰减检测可对管线防腐层质量的总体情况作出定性评价。本方法可指示防腐层质量好或质量差，但一般不用于确定防腐层破损点的具体位置，如需要准确定位破损点的具体位置应采用本标准的相关方法进行确定。

本方法是根据电磁感应原理，由发射机（信号发生器）连接到管道上输出一个恒定的交流信号，且此信号在管道内传输，管线上的交流电流在管线周围产生一个交变的电磁场，手持式接收机内置天线阵列，可对地下管道定位，并通过被测管道发射的交变磁场在接收机内的天线阵产生的感生电压，根据管道埋深及感生电压值大小，由接收机内的计算软件系统处理后直接显示为被测点的管内电流值。因此适用于处于任何磁力线能穿透的覆盖层下的管道防腐层状况的检测，如铺砌路面、山区石方或冻土下方敷设的管道；但对磁力线有屏蔽的钢套管，以及采用钢丝网加强的混凝土配重层下的管道不适用；本方法是间接检测方法，在高压输电线附近检测，检测数据易受干扰，检测数据不稳定、波动大。

12.1.2

PCM 埋地管道电流测绘系统，配备有电流衰减检测所要求的设备，近年来在国内运用也越来越普遍，该系统容易携带，尤其在采用 CIPS 或 DCVG 法受限制的地区，如敷设于水田、水网、铺砌沥青或水泥地面下的管道，具有效率高、实用性强、操作方便的特点，能够满足测量的技术要求。

12.1.3

1) 发射机接线：将白色引线连接到管道上，可以是管道测试桩、阀门、与恒电位仪相连接的阴极接线等任何可以与管道相连接的位置，视管道具体情况而定；将绿色引线连接到“地”线上，可以是与管道垂直的远地点、与阳极地床相连接的阳极接线等作为接地的地方，在阴极保护站内架设发射机时必须关闭恒电位仪。在野外架设发射机时，为保证发射机输出更大的电流，应保证接地良好，可采用多地针同时接地打梅花桩的方法，也可将地线直接连接在附近铁制水管、电桩拉索上。

2) 不同频率下测得的电流特点不同，频率低信号衰减慢，可使测试距离更长，但破损点处信号衰减率也小；频率高破损点处信号衰减率明显，但信号衰减快，测试距离短，适宜于破损点较小和干扰区段。

6) 测量点的间隔根据管道防腐层质量状况确定，可从几米的短距离到几百米的长距离不等。一般的做法是先短距离检测（20m~30m），如防腐层状况良好（电流衰减不明显）则可放宽检测距离（50m~100m），如发现防腐层状况有异常则缩短检测距离（10m~20m）。4Hz测绘电流测量不同于 64Hz或 128Hz测量，应带磁力靴并先测管道埋深，否则会使接收机测得的电流大小出现误差。

12.1.4 数据处理

根据绘制出的电流衰减曲线图，对疑有防腐层破损点的管段，可采用本标准的交流地电位梯度法或直流电位梯度法对破损点进行准确定位，并按照本标准的 CIPS 及 DCVG 法，进行阴极保护状况检测评价，对欠保护管段和存在活性腐蚀区域的防腐层进行修复。

12.2 交流地电位梯度法

12.2.1

本方法采用埋地管道电流测绘系统（PCM）与交流地电位差测量仪（A 字架）配套使用，在交流电流衰减检测的基础上，用于埋地管道防腐层破损点的查找和准确定位，具有准确、方便、实用无需开挖的特点，近年来在国内运用较普遍。对套管穿越段的管道，若破损点处未被电解质淹没构不成良好电连续通道，因此不适用；对 A 字架的两个金属电极不能与土壤之间有良好连续电通道的状况，会使测量土壤中交流地电位梯度应用困难；当 A 字架距离发射机距离较近时，会使测试结果的准确性受到影响。

12.2.2

A 字架为固定长度的两个金属电极，将接收机与 A 字架通过专用连接线连接后，组成交流地电

位梯度测量仪。

12.2.3

1) 通过调节接收机上的模式档，接收机可在探管与防腐层破损点检测间切换，先将模式调节到探管的位置（必须与发射机输出频率相同）确定管道位置，然后切换到防腐层破损点检测位置进行检测。现场检测时为节约时间，提高效率，减轻劳动强度可专人先在前方（10m~20m）探管，检测人员在后尾随进行检测。

3) 检测时，应保证 A 字架电极与土壤接触良好，检测距离可根据管道防腐层状况而定，通常为 3m~5m，涂层状况好检测距离可适当放大。实际检测时很难找到测量仪（A 字架）显示的箭头为两个方向的位置，但并不影响涂层破损点的准确定位，只要将 A 字架向前向后稍加移动，待箭头变回反向时既可作出判断。

遇到检测困难的沥青或水泥路面上检测时，可采用地面缝隙并在每一电极触地处浇水，或钻孔或利用与管道平行的绿化地等方法，进行辅助测量判定。

12.3 直流地电位梯度法

12.3.1

直流电位梯度法（DCVG）测量技术是地面检漏中查找、定位埋地管道外防腐层破损点的重要方法，并可识别腐蚀活跃点及对破损点的大小及严重程度进行定性分类（结合 CIPS 法），这是其他间接测量技术所不及的。但该方法在水田、水网及地形复杂、植被发育的丘陵地区不及采用埋地管道电流测绘系统（PCM）与交流地电位差测量仪（A 字架）配套使用方便，各种间接测量技术均有其局限性和适用范围，DCVG 测量技术对测试回路的电流传导不能形成电连续通道的情况不适用，如对套管内破损点未被电解质（水或土壤）充满的管道；对裸管不适用；在以下几种情况都会使测试结果的准确性受到影响或应用困难：

a) 不能保证有良好电连续通道的情况，如、铺砌路面、冻土、沥青路面、含有大量岩石回填物；

b) DCVG 测量不可到达的环境，如河流穿越段；

c) 测量段存在未知的牺牲阳极、排流装置或直流电源等；

d) 在防腐层大缺陷附近的信号可能会掩盖一些较小的缺陷，在大的缺陷得到修复后需要重新对该管段进行检测。

12.3.4

7) 可通过测试土壤中电流方向来判断防腐层破损点管道的腐蚀活跃性。由于腐蚀导致电流从防腐层破损点处流出，而阴极保护则使电流流向防腐层破损点，所以可通过电流断续器在接通或断开时，分别对防腐层破损点处电流方向进行辨别，确定管道是否正发生腐蚀。辨别电流方向时，将一直保持在管道正上方的探杖放在破损点位置处，另一根与其保持固定

间距探杖逐次放在前、后、左、右四个位置，测量主机显示屏上的电流方向柱状条可指示电流从那根探杖流向另一个探杖，依此可分别对通/断时的电流方向予以判断并记录。根据NACE RP0502《管道外腐蚀直接评估方法》，原则上对破损点腐蚀状态的评价分为以下四类：

a) 阴极/阴极（C/C）--即当阴极保护系统接通时，破损部位管道是阴极（保护状态），在阴极保护中断或断开时，破损处管道仍然保持极化。它们仅消耗阴极保护电流，但不具备活泼的腐蚀性。

b) 阴极/中性（C/N）--这类破损点在阴极保护系统接通时是受阴极保护的，而在阴极保护中断或断开时，破损处管道极化状况接近或达到保护要求。这类破损点消耗保护电流，并且在阴极保护系统不正常时会发生腐蚀。

c) 阴极/阳极（C/A）--这类破损点在阴极保护系统接通时处于保护状态，而阴极保护断开时，则处于阳极状态。它们不但消耗阴极保护电流，甚至当阴极保护系统正常运行时，这类破损点也可能发生腐蚀。

d) 阳极/阳极（A/A）--这种类型指的是不管阴极保护系统是否接通，防腐层破损处管道都没有受到保护。它们可能正在发生腐蚀。它们不一定消耗保护电流。

破损点中最严重的是A/A类，因为这类破损点最易成为腐蚀活性点。

12.3.5

对防腐层破损点大小及严重程度的判断需要有丰富经验的专业技术人员来完成，每一次相对独立的作业区应对不同等级的防腐层破损点设置标示，至少要对一处进行开挖并作好详细记录以校正检测结果。依据 NACE RP0502《管道外腐蚀直接评估方法》评估破损点大小及严重程度定性分类有以下四种：

种类Ⅰ：1%至 15%IR。在该类中的防腐层破损点通常被认为不需要修复。合适的阴极保护系统能够对防腐层破损部位的管道提供有效的长期保护。

种类Ⅱ：16%至35%IR。根据与埋地试片或者邻近已开挖的防腐层破损情况相比较，对该类中的防腐层破损可能会建议修复。通常认为，这类破损点危害性不太严重，并有可能通过合适的阴极保护得到充分的保护。但这类破损需要被记录下来，精确定位（GPS）并进行监测，以便当防腐层质量变差或阴极保护发生变化时能够及时得到修复。

种类Ⅲ：36%至60%IR。这类破损点一般需要修复。它们通常是阴极保护电流主要的漏失点，以及预示着可能存在严重的防腐层损伤。根据这类破损点接近地床或与其他重要构筑物的程度，通常建议对这些缺陷有计划的进行修复。这类破损点对管线总的完整性存在威胁。同样这类缺陷需要被记录下来，精确定位（GPS）并进行监测。当保护水平波动时，有可能改变其状态，造成进一步破坏。

种类Ⅳ：61%至 100%IR。对这类防腐层破损应立即进行修复。这样的缺陷不但是阴极保护电流主要的漏失点，同时防腐层还可能存在非常严重的问题，并对管道的总体完整性造成危害。

12.4 音频检漏法

12.4.1

本方法实际上是皮尔森法（Pearson surveys）的改进，其原理是：防腐层破损点漏泄的发射机给出的1000HZ左右的信号电流，在土壤中形成以破损点为中心的地电场，其地电位梯度随距离的增大而减小，破损点正上方的地表就是地电位梯度在地面的最大位置。皮尔森法是采用镶钉皮靴直接接触土壤来测量，早在上世纪七十年代，原华东石油学院教学仪器厂研究发现，不用穿镶钉皮靴，通过人体感应，通过戴在手上的金属电极也能反应出这一地电位，所以我国生产的音频检漏仪都是采用此方法来测量地电位差，从而检测出埋地管道的外防腐层破损点。

由于音频检漏法是通过两名检漏员所在位置的地电位差，来寻找外防腐层破损点，所以覆盖在管道上面的土壤导电性，以及破损点向土壤漏失检测电流的通道非常重要。因此，对处于冻土、套管、沥青路面、干燥的混凝土地坪下的管道和露空管道等都不能用本方法检测破损点；对河流穿越段的水下管道，由于人不能行走在管道上方，自然也不能使用；水田、沼泽地检测人员难以行走，所以检测困难；高压交流输电线附近，由于电力线产生的交变磁场很强，检测信号受到干扰，往往信号全被噪声淹没，反映出信号噪声比不是很大，如果接受机的带宽不是很窄，很难检测到有用信号。

破损点漏失的检测信号，在地面形成的地电位梯度，除与破损点的大小有关外，还与管道埋深、土壤电阻率、信号电压等诸多因素有关，很难根据地面检测到的信号强度判定破损点的大小。