



中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 5918—2004

代替 SY/T 5918—94, SY/T 6063—94

埋地钢质管道外防腐层修复技术规范

Technical criteria for external coating rehabilitation
of buried steel pipeline

2004—07—03 发布

2004—11—01 实施

国家发展和改革委员会 发 布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 一般规定	1
5 防腐层修复前的检测评价	2
6 修复材料的确定	3
7 施工技术要求	3
8 质量控制	4
9 回填	4
10 HSE 要求	5
11 竣工验收	5
附录 A (资料性附录) 电流—电位法	6
附录 B (资料性附录) 多频管中电流法 (PCM)	9
附录 C (资料性附录) 变频—选频法	10
附录 D (资料性附录) 密间隔管地电位/直流电位梯度测量法 (CIPS/DCVG)	12
附录 E (资料性附录) 常用公式及参数	13

前 言

本标准是对 SY/T 5918—94《埋地钢质管道沥青防腐层大修理技术规定》和 SY/T 6063—94《埋地钢质管道防腐绝缘层电阻率现场测量技术规定》的修订补充而成。

本标准与 SY/T 5918—94 和 SY/T 6063—94 相比，主要差异如下：

- 提出了多种检测评价技术和相应的判定标准；
- 规定了修复材料的选择原则以及不同的修复材料应按相应的技术要求进行施工和质量检验；
- 明确了施工过程中隐蔽工程的处理；
- 提出工程验收过程中提交检测结果符合率数据等。

本标准自实施之日起，同时代替 SY/T 5918—94 和 SY/T 6063—94。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E 均为资料性附录。

本标准由油气储运专业标准化技术委员会提出并归口。

本标准起草单位：中国石油天然气股份有限公司管道分公司、北京华油天然气有限责任公司、中国石化股份有限公司管道储运分公司。

本标准起草人：杨雪梅、李国兴、陈建民、刘志刚、刘玲玲、葛艾天。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- SY/T 5918—94；
- SY/T 6063—94。

埋地钢质管道外防腐层修复技术规范

1 范围

本标准规定了陆上埋地钢质管道（以下简称管道）外防腐层修复的技术和质量要求。

本标准适用于陆上埋地钢质管道的外防腐层修复。

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。

SY/T 0017 埋地钢质管道直流排流保护技术标准

SY/T 0315 钢质管道熔结环氧粉末外涂层技术标准

SY/T 0379 埋地钢质管道煤焦油瓷漆外防腐层技术标准

SY/T 0401 输油输气管道线路工程施工及验收规范

SY/T 0413 埋地钢质管道聚乙烯防腐层技术标准

SY/T 0414 钢质管道聚乙烯胶粘带防腐层技术标准

SY/T 0420 埋地钢质管道石油沥青防腐层技术标准

SY/T 0447 埋地钢质管道环氧煤沥青防腐层技术标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

管道外防腐层修复 rehabilitation of pipeline coating

管道上旧防腐层全部或部分清除，对管道重新防腐作业。

3.2

剥离 disbondment

防腐层与管体粘接不牢或分离，其外观基本保持不变的现象。

3.3

活性腐蚀 active corrosion

正在进行电化学反应的腐蚀。

3.4

检测结果的符合率 accordant percentage of survey result

管道验证时实际的防腐层状况、阴极保护状况和管体状况与管道外检测或内检测结果的符合程度（或百分率）。

4 一般规定

4.1 管道状况符合以下条件之一的，应进行修复前检测和调查。

a) 管道有腐蚀穿孔泄漏产生；

b) 阴极保护站的直流电源输出较以往明显上升、保护段电位下降，阴极保护电位正于

-850mV（相对于饱和硫酸铜参比电极）；

c) 管道普查表明腐蚀控制系统出现异常；

d) 管道外防腐层发生龟裂、剥离、残缺破损，有明显的腐蚀和防腐层老化迹象。

4.2 如确认防腐层剥离，应进行修复。

5 防腐层修复前的检测评价

5.1 防腐层修复的判定途径

5.1.1 全面检测防腐层状况时，按 5.2 进行判定。

5.1.2 非全面检测防腐层状况时，按 5.3 进行判定。

5.1.3 管道内检测表明管体发生外腐蚀可作为防腐层修复的重要决策依据。

5.2 防腐层检测评价

5.2.1 防腐层绝缘性能评价。

5.2.1.1 防腐层绝缘性能的检测评价方法可采用电流—电位法（参见附录 A）、PCM 法（参见附录 B）、变频—选频法（参见附录 C）等。

5.2.1.2 对石油沥青防腐层可通过电流—电位法或变频—选频法进行绝缘性能的定量评价，分级评价标准见表 1；也可采用 PCM 进行绝缘性能的定性评价。

表 1 电流—电位法和变频—选频法对石油沥青防腐层分级标准及相应措施

防腐层等级	一级（优）	二级（良）	三级（可）	四级（差）	五级（劣）
电流—电位法测电阻率 r $\Omega \cdot m^2$	≥ 5000	$2500 \leq r < 5000$	$1500 \leq r < 2500$	$500 \leq r < 1500$	< 500
变频—选频法测电阻率 r $\Omega \cdot m^2$	≥ 10000	$6000 \leq r < 10000$	$3000 \leq r < 6000$	$1000 \leq r < 3000$	< 1000
老化程度及表现	基本无老化	老化轻微，无剥离和损坏	老化较轻，基本完整，沥青发脆	老化较严重，有剥离和较严重的吸水现象	老化和剥离严重，轻剥即掉
采取措施	暂不维修和补漏	每二年为一周期进行检测漏修补作业	每年进行检测漏和修补	加密测点进行小区段测试，对加密测点测出的小于 $1000 \Omega \cdot m^2$ 的防腐层进行维修	大修

5.2.1.3 对新型防腐层（如煤焦油瓷漆、熔结环氧粉末、聚乙烯类等防腐层）的绝缘性能可采用电流—电位法进行评价（但目前数据有限，无法形成定量分级标准），也可采用 PCM 法进行定性评价。对于 PCM 法可根据测绘出的电流衰减曲线的陡缓程度找出防腐层绝缘性能相对较差的管段，曲线越陡，电流衰减越快（即电流衰减率越大），防腐层绝缘性能就越差；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。

5.2.1.4 对绝缘性能相对较差的管段，防腐层可全部进行修复，也可按照 5.3.1 推荐的方法进行阴极保护状况检测评价，对低电位管段和存在活性腐蚀区域的防腐层进行修复。

5.2.2 防腐层地面检漏：各种防腐层都可进行地面检漏，可使用检漏仪或 DCVG 法（参见附录 D）进行检测，单个漏点，单个修复；漏点比较密集，应整段修复。

5.3 阴极保护状况检测评价

5.3.1 阴极保护状况可在测试桩上测得电位进行评价，也可采用 CIPS 法（参见附录 D）进行密间隔电位检测评价。采用 CIPS 法时数据采集应在电流冲击峰后管道去极化前进行。CIPS 法可全面评价管道阴极保护状况，确定管道低电位管段和表面的局部活性腐蚀区域。

5.3.2 保护电位正于 -850mV （相对于饱和硫酸铜参比电极）的管段和存在活性腐蚀的区域，应检测防腐层状况，可采用5.2推荐的方法。防腐层状况不好，如剥离、破损或老化严重等，应对该段防腐层修复，修复后复测该段阴极保护电位；防腐层状况良好，应调节阴极保护系统输出，使阴极保护达到要求。

5.3.3 存在活性腐蚀，应进行直流干扰测试。直流干扰测试和采取的排流保护措施应符合SY/T 0017的规定。

5.4 开挖检测评价

5.4.1 根据防腐层评价和阴极保护状况评价结果结合管道运行情况及管道所处的地理环境，确定开挖检验点，检查防腐层外观、厚度、粘接剂、漏点等指标，按照相应防腐层技术标准进行评价。现行防腐层石油天然气行业（以下简称行业标准）标准有：SY/T 0315，SY/T 0379，SY/T 0413，SY/T 0414，SY/T 0420，SY/T 0447。

5.4.2 测试完毕应按照相应防腐层技术标准对破损点进行修补。

6 修复材料的确定

6.1 一般规定

6.1.1 对原防腐层进行分析，确定防腐层失效原因，如设计选择不当、环境腐蚀、人为破坏等，以便选择修复用防腐层。

6.1.2 修复材料性能达到防腐要求的同时应与环境条件、管线运行条件相匹配，不同防腐层的适用环境以及不同土壤环境适用的防腐层参见附录E中表E.6和表E.7。

6.1.3 不同修复材料之间、修复材料与管体防腐材料之间的配伍性。

6.1.4 修复材料的寿命与管道预期寿命相匹配。

6.1.5 材料要求的施工条件与管道所处实际情况及现实的施工水平相匹配。

6.2 修复材料的确定

6.2.1 修复材料根据6.1选择原则初选后应进一步经现场实验筛选确定。

6.2.2 修复材料到现场后，其主要技术指标达到要求方可使用。

7 施工技术要求

7.1 土方开挖

7.1.1 管沟开挖时管沟的深度一般挖至管底悬空 0.5m ，管沟边坡坡度应根据土壤类别和管沟开挖深度确定。深度在 5m 以内（不加支撑）管沟最陡边坡的坡度可按表2确定。

表2 深度在 5m 以内（不加支撑）管沟最陡边坡的坡度

土壤类别	最陡边坡坡度		
	坡顶无载荷	坡顶有静载荷	坡顶有动载荷
中密的沙土	1:1.00	1:1.25	1:1.50
中密的碎石类土 (填充物为砂土)	1:0.75	1:1.00	1:1.25
硬塑的轻亚粘土	1:0.67	1:0.75	1:1.00
中密的碎石类土 (填充物为粘性土)	1:0.50	1:0.67	1:0.75
硬塑的亚粘土	1:0.33	1:0.50	1:0.67
老黄土	1:0.10	1:0.25	1:0.33
软土（经井点降水）	1:1.00	—	—
硬质岩	1:0	1:0	1:0

- 7.1.2 管沟开挖时，应将挖出的土石方堆放到防腐修复施工设备对面一侧的沟边，堆土应距沟边0.5m以外。耕作区开挖管沟时，应将表层耕作土与下层土分别堆放。
- 7.1.3 沙漠地区管道或深度超过5m的一般土壤地区的管道，管沟边坡可根据实际情况采取边坡适当放缓、加支撑或采取阶梯式开挖措施。
- 7.1.4 管道开挖时，应根据管道直径、壁厚、材质、输送介质等进行计算，确定最大允许悬空长度。对于热油管道，常见尺寸的管道开挖时允许的悬空长度见表3。

表 3 常用的几种尺寸的管道挖出时允许悬空长度

管径×壁厚 mm×mm	720×8	529×7	426×7	377×7	377×7
材质	16Mn	16Mn	16Mn	16Mn	A3F
允许悬空长度 m	<20	<18	<15	<15	<9

- 7.1.5 修复施工时，应分段挖，分段防腐。上一段完工填压实后，再开挖下一段。
- 7.1.6 挖土需移动测试桩、里程桩或标志桩时，将桩小心移出管沟即可。移动测试桩时应注意不得将电缆线碰断。施工完毕，应将测试桩、里程桩或标志桩及其他原附属设施恢复原貌。
- 7.2 防腐层涂敷
- 7.2.1 涂敷前管体表面处理
- 7.2.1.1 管线挖出后，首先将原防腐层清除干净，查找管体腐蚀点并作出标记。
- 7.2.1.2 按照现行标准有关规定进行管体修复。
- 7.2.1.3 管体表面处理等级应根据所选用的再涂防腐层决定，现行行业标准中规定的表面处理等级参见附录 E 中表 E.8；没有现行行业标准的，应符合其企业技术标准的规定。
- 7.2.2 再涂施工
- 7.2.2.1 不同类型防腐层的涂敷，应符合现行行业标准的有关规定，现行行业标准中规定的防腐层等级与结构参见附录 E 中表 E.3、表 E.4 和表 E.5；没有现行行业标准的，应符合其企业技术标准的规定。
- 7.2.2.2 在悬空管之间留作管支撑用的土墩管上部土壤应保留不开挖，必须在悬空段防腐完毕，检查合格、按规定要求回填后方可开挖进行防腐作业。
- 7.2.2.3 管道上表面结露时，应等管道表面干燥后施工；风沙雨雪雾天气应停止施工。

8 质量控制

- 8.1 管道外防腐层修复时，应按照国家现行工程建设质量控制标准的有关规定进行质检，对不符合规定的应立即停止作业。上道工序质检合格，方可进行下道工序的施工。
- 8.2 修复后的管道外防腐层质量验收，应符合现行行业标准的有关规定；没有现行行业标准的，应符合其企业技术标准的规定。
- 8.3 防腐层修复时涉及到的隐蔽工程（如交叉、并行的管道、电缆、阴极保护系统的汇流点、阳极装置、测试桩接线等）在覆土回填之前，应通知业主进行中间验收后方可进入下一道施工工序。

9 回填

- 9.1 防腐层质量检查合格后回填应符合 SY/T 0401 的有关规定。
- 9.2 在穿越铁路、二级以上公路或地下水位较高的管段，管道无法夯实的情况下，应进行填沙处理。
- 9.3 有管堤的管道，管堤应统一整形，必须以管道中心线达到面、角平整。

9.4 管沟回填过程中，将测试桩、里程桩或标志桩恢复到原位置，并检查测试桩的电缆引线是否良好，地面水土保护工程、构筑物应恢复原貌。

10 HSE 要求

施工单位在埋地管道外防腐层修复作业过程中应编制 HSE 作业方案，并按方案执行。

11 竣工验收

11.1 施工单位按合同要求对修复完的管道提出验收申请。由业主组织有关单位对工程进行验收。

11.2 施工单位应向甲方提供以下竣工资料：

- a) 修复位置平面图：比例按甲方提供的原图要求，一般不宜小于 1/50000，平面图上应标明修复的位置、桩号区间、新增的地下隐蔽物等。
- b) 修复段的纵断面图：横向比例不小于 1/10000，纵向比例视修复段高差确定。纵断面图上标明管段的桩号、埋深、防腐层类型等级、补强位置、新增地下隐蔽物等。纵断面图采用厘米坐标纸制作。
- c) 管道腐蚀补强记录资料：记录腐蚀部位、面积、坑深及补强情况。
- d) 各段防腐修复的施工记录：修复区间应标明桩号和非整数桩号的米数。
- e) 涉及到的隐蔽工程验收记录。
- f) 防腐材料原始产品合格证、施工中的化验单等。
- g) 施工总结。

11.3 施工方配合甲方提供开挖修复时验证管道外防腐检测、内检测数据的符合率资料。

11.4 工程监理单位向业主提供现场质检报告。

11.5 修复段全部回填压实后测量该段防腐层状况和阴极保护状况，防腐层地面检测应没有漏点，阴极保护电位达到保护要求。

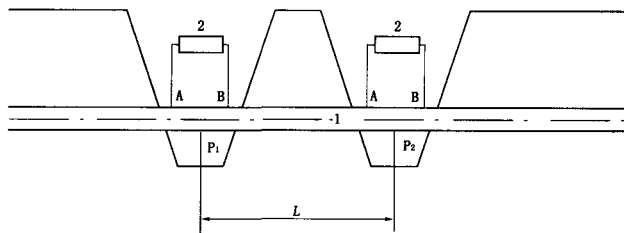
附 录 A
(资料性附录)
电流—电位法

A.1 使用仪表及工具

- a) 直流电位差计一台：准确度不低于 0.05 级；
- b) 万用表一块：输入阻抗 $\geq 10^6 \Omega$ ，准确度不低于 2.5 级；
- c) 饱和硫酸铜参比电极一支；
- d) 铜塑导线若干；
- e) 能提供 1A 以上直流电源一组；
- f) 长度 500mm 以上，直径 20mm~40mm 钢电极 3~4 根。

A.2 测量接线

A.2.1 利用阴极保护电流测试接线见图 A.1。



1—管道；2—直流电位差计；A、B—直流电位差计与管体的接线点。

图 A.1 利用阴极保护电流测量防腐层绝缘电阻率接线示意图

A.2.2 临时外加电流法测试接线图见 A.2。

A.3 测量要求

A.3.1 测量管段内无分支、无接地，若有牺牲阳极必须断开。

A.3.2 所有导线与管道接触点均应除去防腐层，磨出钢管本色。将导线用手按在管道上或用夹子夹住，使其接触良好。

A.3.3 分别包含 P_1 、 P_2 点各取一段管道，使每段测取的电位差以不小于 $50\mu V$ 为宜。

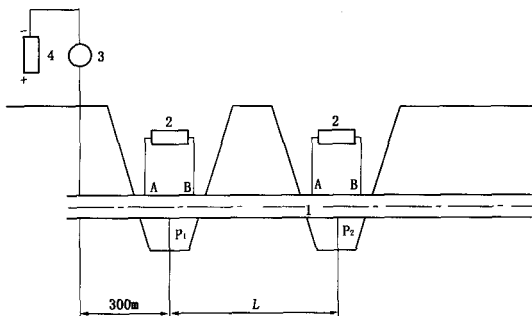
A.3.4 测量点距汇流点应大于 300m。

A.3.5 P_1 点与 P_2 点测量应连续进行，时间间隔不大于 1h，测量时保护站输出电流应保持稳定。

A.3.6 对于牺牲阳极保护的管段和两保护站间电流交汇点 1km 内的管段，采用临时外加电流法进行测量。

A.3.6.1 将钢电极打入与管道垂直距离 20m 以外的潮湿土壤中，电源正极接钢电极，负极接管道与电流表串联（见图 A.2）。

A.3.6.2 其他要求同 A.3.1~A.3.5 步骤。



1—管道；2—直流电位差计；3—电流表；4—电源；

A、B—直流电位差计与管体的接线点。

图 A.2 临时外加电流法测防腐层绝缘电阻率接线示意图

A.4 测量方法

A.4.1 测取被测管段 P_1 点到 P_2 点间的长度 L （精确到 1m）， L 应大于 1km。

A.4.2 测取 A、B 两点间距离（精确到 1cm）。

A.4.3 用电压表及饱和硫酸铜参比电极测出 P_1 、 P_2 点的通电电位 $E_{V_{12}}$ 、 $E_{V_{22}}$ 和瞬间断电电位 $E_{V_{11}}$ 、 $E_{V_{21}}$ 。

A.4.4 将直流电位差计调零，然后将测量开关打到“标准”，旋动工作电流调节旋钮，使指针指零，接到电路中，离通电点远端接正，将倍率选择钮、测量刻度盘调到估算值的位置，将测量开关打到“未知”，细调倍率和测量盘，使表针指零。此时所测值即为 A、B 两点电压降，记录数值。

A.4.5 当不知道管材的电阻率时，在通电点附近选取一段管道，测出电流在这段管道上的压降，换算出实际电阻率，测点应选在离汇流点 $1.5D$ （ D 为管线外径）外。

A.4.6 重复 A.4.4 步骤，取重复性好的三组以上数据的平均值为测量值。

A.4.7 临时外加电流法进行测量时，应先通电，待电流、电位稳定后方可进行测量，步骤同 A.4.1～A.4.5。

A.5 计算方法

A.5.1 根据欧姆定律按式（A.1）～式（A.4）计算 P_1 、 P_2 点的电流和电阻值。

$$I_1 = \frac{\Delta V_1}{R_1} \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

$$I_2 = \frac{\Delta V_2}{R_2} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

$$R_1 = \frac{\rho L_1}{S} \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

$$R_2 = \frac{\rho L_2}{S} \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中：

ΔV_1 —— P_1 点处 AB 两点间的管道电压降，mV；

ΔV_2 —— P_2 点处 AB 两点间的管道电压降，mV；

R_1 —— P_1 点处 AB 两点间的电阻, Ω ;

R_2 —— P_2 点处 AB 两点间的电阻, Ω ;

ρ ——钢管电阻率 (A3: 0.30~0.36; 16Mn: 0.224; 20 号: 0.142; X60: 0.14), $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$;

L_1 —— P_1 点处 AB 两点间的距离, m;

L_2 —— P_2 点处 AB 两点间的距离, m;

S ——钢管环形截面积, m^2 ;

I_1 —— P_1 点处的管内电流, mA;

I_2 —— P_2 点处的管内电流, mA。

A.5.2 根据 P_1 , P_2 两点处的电流, P_1 至 P_2 管段上漏失的电流按式 (A.5) 计算。

$$\Delta I = I_1 - I_2 \quad \text{..... (A.5)}$$

A.5.3 P_1 , P_2 点开机前后的电位差 ΔE_1 (mV), ΔE_2 (mV) 分别按式 (A.6)、式 (A.7) 计算。

$$\Delta E_1 = E_{P_{11}} - E_{P_{12}} \quad \text{..... (A.6)}$$

$$\Delta E_2 = E_{P_{21}} - E_{P_{22}} \quad \text{..... (A.7)}$$

式中:

$E_{P_{11}}$ —— P_1 点瞬间断电电位, mV;

$E_{P_{12}}$ —— P_1 点通电电位, mV;

$E_{P_{21}}$ —— P_2 点瞬间断电电位, mV;

$E_{P_{22}}$ —— P_2 点通电电位, mV。

A.5.4 P_1 至 P_2 管段防腐绝缘层电阻率按式 (A.8) 计算。

$$r = \frac{\Delta E_1 + \Delta E_2}{2\Delta I} \pi D L \quad \text{..... (A.8)}$$

式中:

r ——被测管段防腐绝缘层电阻率, $\Omega \cdot \text{m}^2$;

D ——管道外直径, m;

L —— P_1 P_2 间管道长度, m。

附 录 B

(资料性附录)

多频管中电流法 (PCM)

B.1 方法介绍

多频管中电流法的理论依据是“线传输函数”。将信号输入管道，理论上可视为单线—大地回路，电流沿管道纵向逐渐衰减，衰减率与防腐层质量优劣有关。该方法通过测取感应电流（代替管中电流）沿管线纵向传输系统的损耗和给定参数值（其中包括管道与地的分布电容 C 、管道分布电感 L ）计算出防腐层绝缘电阻，来判断管道外防腐层的好坏，同时该系统具备探管功能。

B.2 使用仪器

RD-PCM 埋地管线电流测绘系统。

B.3 测量接线

B.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、与恒电位仪相连的阴极接线等任何可以与管道相连的位置；将绿色引线连接到“地”线上，可以是与管道垂直的远地点、与恒电位仪相连的阳极接线等可以作为接地极的地方。

注：(1) 接线前应断开牺牲阳极阴极保护接线。

(2) 用手接触夹钳及引线前，发射机应处于关闭状态。

B.3.2 电源接线

电源采用 220V 交流电源、20V~50V 直流电源供电或 14V~35V 交流整流电源供电。电源应满足最大 5A 的需要。黑线接负极，红线接正极。

注：在连接引线前应关闭发射机。

B.4 测量步骤

B.4.1 选定检测频率。

B.4.2 设定给定电流强度。根据回路电阻情况调节发射机输出电流，使其尽量大地稳定输出。降低回路电阻，如导线各接触部位经过打磨、接地极尽量在土壤电阻低的位置、增加接地极的个数等，是增加电流输出的有效办法。

B.4.3 检查接收机电池，必要时更换新电池。

B.4.4 设定接收机探测频率，必须与发射机工作在同一频率上。

B.4.5 避开盲区开始测量电流值，盲区位置可以通过在其他位置通入信号再进行测量。可以用峰值法或零值法对管道定位，在管道正上方测量并记录 PCM 电流值，数据采集距离根据实际需要确定是加密还是放宽。

B.5 数据处理

检测数据由专门的埋地钢管外防腐检测数据处理软件 GDWFF 进行处理，绘制出电流衰减曲线，计算出电流衰减率。

附录 C

(资料性附录)

变频—选频法

C.1 方法简介

变频—选频法的理论依据是“线传输函数”。将信号输入管道，理论上可视为单线——大地回路，电信号沿管线纵向逐渐衰减，采用改变频率使信号衰减到某个电平值来求取信号传播常数。防腐层绝缘电阻就包含在该常数中，根据已知参数和现场测量参数即可求得防腐层绝缘电阻。

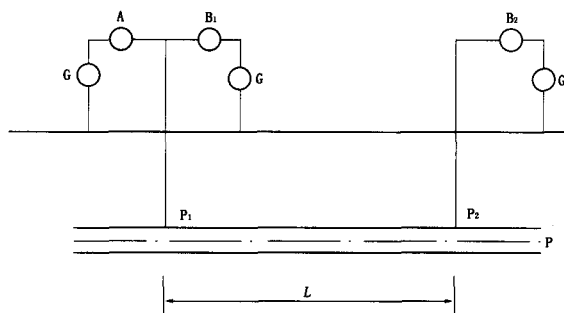
C.2 使用仪器

- a) 防腐层绝缘电阻测量仪一套；
- b) 土壤电阻率测试仪一套；
- c) 对讲机一对。

C.3 测量接线

信号发射端与信号接收端与管道的电连接原则上利用管道上已设置的测量电位或电流的装置。无条件时可开挖管道将防腐层剥开 5cm^2 设临时接点，所有电连接点必须连接牢固，接触良好。

测量接线如图 C.1 所示。



A—变频信号源；B₁—发端选频指示器；B₂—收端选频指示器；
G—金属接地极；P—管道。

图 C.1 选频—变频法测量管道外防腐层绝缘电阻率

C.4 测量步骤

C.4.1 开启变频信号源及选频指示器，向管道试送一个频率信号（一般沥青防腐层习惯上试送频率为 10Hz ）。

C.4.2 利用对讲机向收端通报发射频率，收发端同时调节选频钮，测取该频率下的收端与发端管道对地电平。

C.4.3 计算收发端电平差，若小于 23dB ，应增高输入信号频率，直到两点所测电平差大于 23dB ，

并记录此时的频率及实测电平值。

C.5 数据处理

将实测电平差值、土壤电阻率、所用频率值输入计算软件，由软件计算出防腐层绝缘电阻率值。

附录 D

(资料性附录)

密间隔管地电位/直流电位梯度测量法 (CIPS/DCVG)

D.1 方法介绍

密间隔管地电位测试法 (CIPS) 是用来测试埋地管道阴极保护系统有效性的方法, 不仅可以测量测试桩处的管地电位, 沿线的管地电位都可以测得, 并且通过 GPS (卫星同步中断器) 对阴极保护信号进行中断, 可以同时测得阴极保护的 ON/OFF 电位。结合直流电位梯度法 (DCVG), 根据测量时沿管道横向电位梯度查找破损。CIPS/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。

D.2 使用仪器

- a) CIPS/DCVG 管地电位及直流电位梯度检测仪一套;
- b) CI-50/GPS 卫星同步断流器两台;
- c) 探管仪。

D.3 测量接线

D.3.1 CI-50/GPS 的连接

将 CI-50/GPS (卫星同步断流器) 串接在整流器与阳极地床或整流器与管道之间, 红色引线接高电位点, 黑色引线接低电位点。

D.3.2 CIPS/DCVG 管地电位及直流电位梯度检测仪的连接

将线轴一端与 CIPS/DCVG 管地电位/直流电位梯度检测仪连接, 另一端的铜导线与管道电位测试桩连接, 将两根探杖与 CIPS/DCVG 管地电位/直流电位梯度检测仪连接。

D.4 测量步骤

D.4.1 凡是对被测管道存在的直流干扰源应尽可能排除干扰或进行同步中断, 通常长输管道所测管段两端的阴极保护站都应进行同步中断。

D.4.2 关闭恒电位仪, 打开 CI-50/GPS, 搜索卫星并锁定后, 设置合理的通断周期和通断时间比, 使其处于工作状态, 打开恒电位仪。

D.4.3 利用探管仪对管线定位。

D.4.4 打开 CIPS/DCVG 管地电位/直流电位梯度检测仪, 设置与 CI-50/GPS 相同的周期和通断时间比, 并与 CI-50/GPS 同步, 进行数据采集并存储, 一根探杖放在管道正上方, 另一根探杖放在与管道垂直约 1m 的位置。数据采集间距可以根据实际需要确定。

D.5 数据处理

将现场测量数据传输到计算机中, 进行数据处理分析。

附 录 E
(资料性附录)
常用公式及参数

E.1 电平表指示电平与电压的关系

衡量信号沿传输线传输量的大小变化，国际标准用分贝 (dB) 作单位，过去我国曾用奈 (N) 作单位，电压与电平的关系见表 E.1。

电压电平按式 (E.1) 及式 (E.2) 计算：

$$A = 20 \lg \frac{V_1}{V_0} \quad \text{..... (E.1)}$$

$$A = \ln \frac{V_1}{V_0} \quad \text{..... (E.2)}$$

式中：

A——电压电平，dB；

V_0 ——输入端电压，V；

V_1 ——末端电压，V。

注：1dB (分贝) = 0.115N (奈)；1N (奈) = 8.686dB (分贝)；电压与电平的关系式： $V = e^{0.775A}$ 。

表 E.1 电压与电平的关系表

伏特，V	0	0.01	0.1	0.775	1	10
分贝，dB	$-\infty$	-37.38	-17.38	0	+2.21	+2.21
奈，N	$-\infty$	-4.35	-2.05	0	-0.255	-2.55

E.2 管道规格表

管道规格见表 E.2。

表 E.2 管道规格

管径 mm	管壁厚 mm
108	5, 6, 7, 8
159	5, 6, 7, 8
219	5, 6, 7, 8
273	6, 7, 8, 9, 10
325	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12
377	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12
426	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12
529	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12
630	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12
720	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12

E.3 管道外防腐层结构

管道外防腐层结构见表 E.3、表 E.4 和表 E.5。

表 E.3 石油沥青等防腐层结构与厚度

防腐层类型及等级		防腐层结构	每层沥青厚度 mm	防腐层总厚度 mm
石油沥青防腐层	普通防腐	沥青底漆—沥青—玻璃布—沥青—玻璃布—沥青—聚氯乙稀膜	≈1.5	≥4.0
	加强防腐	沥青底漆—沥青—玻璃布—沥青—玻璃布—沥青—玻璃布—沥青—聚氯乙稀膜	≈1.5	≥5.5
	特强防腐	沥青底漆—沥青—玻璃布—沥青—玻璃布—沥青—玻璃布—沥青—玻璃布—沥青—聚氯乙稀膜	≈1.5	≥7.0
环氧煤沥青防腐层	普通级	底漆—面漆—面漆—面漆		≥0.3
	加强级	底漆—面漆—面漆—玻璃布—面漆—面漆		≥0.4
	特加强级	底漆—面漆—面漆—玻璃布—面漆—面漆—玻璃布—面漆—面漆		≥0.6
环氧粉末防腐层		普通级		0.3~0.4
		加强级		0.4~0.5
聚乙烯胶粘带防腐层	普通级	一层底漆—一层内带—一层外带		≥0.7
	加强级	一层底漆—一层内带（搭结为胶带宽度的 50%~55%）—一层外带（搭结为胶带宽度的 50%~55%）		≥1.4

表 E.4 聚乙烯防腐层结构与厚度

钢管公称直径 mm	环氧粉末底层 μm	胶粘剂层 μm		防腐层最小厚度 mm	
		二层	三层	普通型	加强型
≤100	60~80	200~400	170~250	1.8	2.5
100~250				2.0	2.7
250~500				2.2	2.9
500~800				2.5	3.2
≥800				3.0	3.7

表 E.5 煤焦油瓷漆防腐层结构与厚度

防腐层等级		普通级	加强级	特强级
防腐层总厚度 mm		≥2.4	≥3.2	≥4.0
防腐层结构	1	底漆—一层	底漆—一层	底漆—一层
	2	瓷漆—一层 厚度为 2.4mm±0.8mm	瓷漆—一层 厚度为 2.4mm±0.8mm	瓷漆—一层 厚度为 2.4mm±0.8mm
	3	外缠带—一层	内缠带—一层	内缠带—一层
	4	—	瓷漆—一层 厚度≥0.8mm	瓷漆—一层 厚度≥0.8mm

表 E.5 (续)

防腐层等级		普通级	加强级	特强级
防腐层 结 构	5	—	外缠带一层	内缠带一层
	6	—	—	瓷漆一层 厚度 $\geq 0.8\text{mm}$
	7	—	—	外缠带一层

E.4 防腐层与土壤环境的相互适用

防腐层与土壤环境的相互适用见表 E.6~表 E.8。

表 E.6 常用防蚀涂层的适用环境

	使用温度 ℃	适用环境	慎用或禁用环境
熔结环氧	-30~+100	大部分土壤环境,特别适用于定向钻孔穿越段及粘质土壤	多石土壤、石方段、埋设位置有地下水或土壤含水量较高地区
煤焦油 瓷 漆	A 型: -13~+35 B 型: -8~+60 C 型: -3~+80	环境要求不高的大部分土壤环境,特别适用于埋设位置有地下水或土壤含水量高、生物活动频繁、植物根系发达地区	多石土壤、石方段、粘质土壤,环境保护要求较高
三层复 合结构	≤ 70	各类环境通用,特别适用于对涂层机械性能、耐土壤应力及阻水屏障性能要求较高的苛刻环境,如多石土壤、石方段、埋设位置有地下水或土壤含水量高、生物活动频繁、植物根系发达地区	目前尚未发现其环境适用性方面的缺点,但造价高,一般土壤环境中不推荐使用
石油沥青	≤ 80	对涂层性能要求不高的一般土壤环境,如砂土、壤土环境	埋设位置有地下水或含水量较高、生物活动频繁、植物根系发达环境
聚乙烯 防腐层	LDPE: ≤ 60 HDPE: ≤ 80 泡沫夹克: ≤ 100	大部分土壤环境通用,特别是机械强度要求较高、土壤应力破坏作用较大的地区	尚未发现其环境适用性方面的缺点,但失去粘结后易造成阴极保护屏蔽,易产生环境应力开裂
聚乙烯 胶粘带	-30~+70	一般土壤地区,特别适用于现场涂装作业	土壤应力较强的环境中,如粘质土壤、干湿交替、冻融循环及沼泽地区
环氧煤 沥 青	+110 以下	对涂层机械性能要求不高,但要求耐水、微生物及植物根茎的地区	多石土壤、石方段、强土壤应力地区;长输管线慎用

表 E.7 土壤环境对涂层破坏性及对涂层的特殊要求

评价指标		对涂层破坏性	特别要求的涂层性能
土壤质地	粘土	强土壤应力导致涂层开裂、起皱、剥离	粘结性能、耐土壤应力
	壤土	中等土壤应力,破坏性一般	粘结性能
	砂土	破坏性较弱	常规要求
	砾石土	冲击、砾压导致涂层破损	冲击强度、机械性能

表 E.7 (续)

评价指标		对涂层破坏性	特别要求的涂层性能
埋设部位 地 下 水	有	水进入涂层, 降低涂层绝缘性能及粘结性	低吸水性, 强抗透湿性, 粘结良好
	无	视含水量高低而定	视含水量高低而定
	时有时无	水一旦进入涂层可能会形成涂层含水或封闭的局部腐蚀环境, 降低涂层绝缘性, 导致失粘	低吸水性, 强抗透湿性, 粘结良好, 不屏蔽阴极保护电流
含 水 量	高	水渗入涂层导致绝缘性下降	低吸水性, 较强抗透湿性, 良好粘结
	低	无特别破坏性	常规要求
	干湿交替	易产生土壤应力、吸水	粘结性能、耐土壤应力、低吸水性、高抗透湿性
根系植物	茂盛	植物根系穿透涂层造成涂层破损	强耐植物根系穿透性
	中等	植物根系穿透涂层造成涂层破损	耐植物根系穿透性
	无或很少	无特别破坏性	常规要求
微 生 物	强	微生物依附涂层生存、噬咬涂层	耐微生物破坏性
	弱	无特别破坏性	常规要求
杂散电流	有	导致阴极区涂层剥离	绝缘性能、耐阴极剥离性能
	无	无特别破坏性	常规要求
显著非水溶 剂	有	由于化学反应或物理溶解溶胀导致涂层材料加速老化	耐化学品性能
	无	无特别破坏性	常规要求

E.8 不同防腐层表面处理要求

防腐层类型	管体除锈等价
石油沥青防腐层	Sa2 或 St3
环氧沥青防腐层	Sa2
环氧粉末防腐层	Sa2½
煤焦油瓷漆防腐层	Sa2
聚乙烯防腐层	二层结构: Sa2 三层结构: Sa2½
聚乙烯胶粘带	Sa2 或 St3

E.5 常用钢材电导率

常用钢材电导率见表 E.9。

表 E.9 常用钢材电导率表

型 号	电阻率 $\Omega \cdot \text{mm/m}$	电导率 ($\Omega \cdot \text{m}$) ⁻¹
10 号钢	0.11	9.09×10^6
20 号钢	0.142	7.41×10^6
45 号钢	0.132	7.58×10^6
16Mn 钢	0.224	4.46×10^6
铬钢	0.22	4.55×10^6
T8 钢	0.14	7.14×10^6

E.6 钢材相对导磁率

钢材相对导磁率为 150~250。

E.7 不同绝缘材料电参数

不同绝缘材料电参数见表 E.10。

表 E.10 不同绝缘材料电参数

材 料	介电常数	损耗角正切	备 注
沥 青	2.5~2.8	0.015	频率为 10Hz~50Hz
聚氯乙烯	2.73~6.0	<0.015	
聚 乙 烯	2.30~2.35	<0.0005	
环氧树脂	3.5~5.0	0.002~0.05	
聚苯乙烯	<2.7	<0.0005	
纤 维 素	2.6~7.5	0.02~0.12	

E.8 不同结构防腐层电参数计算

管道外防腐层一般由不同绝缘材料组成，其介电常数应为等效介电常数。计算等效介电常数公式见式 (E.3)：

$$\epsilon_0 = \frac{\epsilon_{11} \cdot S_1 + \epsilon_{12} \cdot S_2}{S_1 + S_2} \quad \dots\dots\dots (E.3)$$

式中：

ϵ_0 ——等效介电常数；

ϵ_{11} ——第一种材料介电常数；

S_1 ——第一种材料的截面积， cm^2 ；

ϵ_{12} ——第二种材料介电常数；

S_2 ——第二种材料的截面积， cm^2 。

对于有发泡塑料的防腐层，应考虑发泡中空气所占的比例，其发泡部分的等效介电常数由式 (E.4) 计算：

$$\epsilon_p = (\pi/4)(d_1^2 - d_0^2)(1 - P)\epsilon_1 \quad \dots\dots\dots (E.4)$$

$$P = V_{\text{空}} / V_{\text{塑}} \quad \dots\dots\dots (E.5)$$

式中：

ϵ_p ——泡沫塑料防腐层等效介电常数；

d_0 ——泡沫防腐层内直径， cm ；

d_1 ——泡沫防腐层外直径， cm ；

P ——发泡度；

$V_{\text{空}}$ ——泡沫塑料中空气所占的体积， cm^3 ；

$V_{\text{塑}}$ ——泡沫塑料中塑料所占的体积， cm^3 ；

ϵ_1 ——材料介电常数。

E.9 地表土壤和水的介电常数

地表土壤和水的介电常数见表 E.11。

表 E.11 地表土壤和水的介电常数

类 别	介 电 常 数
沿海干沙地	10
湿润森林平地	12
肥水农耕地	15
放牧地、丘陵	13
淡水	80
海水	80