ICS 75.200
E 98
备案号：65453—2018

SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

P

SY/T 0087.1—2018

代替 SY/T 0087.1—2006

钢质管道及储罐腐蚀评价标准
第 1 部分：埋地钢质管道外腐蚀直接评价

Standard of steel pipeline and tank corrosion assessment—Part 1:Steel pipeline external corrosion direct–assessment

2018–10–29 发布　　2019–03–01 实施

国家能源局　发布

前　言

本标准是根据《国家能源局关于下达2016年能源领域行业标准制（修）订计划的通知》（国能科技〔2016〕238号）的要求，由中国石油规划总院、中石油管道科技研究中心会同相关单位对《钢制管道及储罐腐蚀评价标准 埋地钢质管道外腐蚀直接评价》SY/T 0087.1—2006进行修订。

本次修订过程中，本标准编写组进行了广泛的调研，认真总结了国内开展管道外腐蚀直接评价的实践经验，参考相关国外先进标准，开展了大量的分析研究及现场测试验证，在广泛征求意见的基础上，修订本标准。

本标准共分为9章和10个附录。主要技术内容包括：总则、术语、基本规定、评价指标、预评价、间接检测与评价、直接检测与评价、后评价、记录和报告。

与SY/T 0087.1—2006相比，本次修订的主要内容为：

——增加了通/断电位法、试片断电法、皮尔逊法、防腐层电阻率法的术语及定义；

——间接检测方法中，增加了通/断电位法、试片断电法、皮尔逊法、防腐层电阻率法四种测试方法和评价指标；

——删除了间接检测中“设备仪器要求”的相关内容；

——修改了腐蚀管道的安全评价方法和引用标准；

——附录中增加了八个测试方法，分别为密间隔电位法、直流电位梯度法、交流电位梯度法、交流电流衰减测试法、皮尔逊法、试片断电法、通/断电位法、防腐层电阻率法；

——删除了原附录A“日常管理调查”、附录B“管道腐蚀深度和腐蚀面积的测量方法”。

本标准由国家能源局负责管理，由石油工程建设专业标

准化委员会负责日常管理，由中国石油规划总院负责具体技术内容的解释。在执行过程中，如有意见和建议，请寄至中国石油规划总院（地址：北京市海淀区志新西路3号，邮编：100083）。

本标准主编单位：中国石油规划总院
中石油管道科技研究中心

本标准参编单位：中石油北京天然气管道有限公司
西南油气田公司安全环保与技术监督研究院
沈阳龙昌管道检测中心
中国石油西气东输管道公司
广东大鹏液化天然气有限公司

本标准主要起草人员：罗　锋　陈振华　刘　权　张　良
刘　明　王磊磊　葛艾天　秦　林
陈洪源　许道振　胡亚博　王春雨
明连勋　姜有文

本标准主要审查人员：吴志平　刘玲莉　王国丽　卜文平
宗照峰　张　昆　方卫林　白树彬
王良军　王世宏

目　次

1　总则 …… 1
2　术语 …… 2
3　基本规定 …… 4
4　评价指标 …… 5
4.1　环境腐蚀性评价 …… 5
4.2　金属腐蚀性评价 …… 6
4.3　防腐层状况评价 …… 6
4.4　阴极保护效果评价 …… 6
4.5　交直流排流效果评价 …… 7
5　预评价 …… 8
5.1　一般要求 …… 8
5.2　资料及数据收集 …… 9
5.3　ECDA 管段划分 …… 9
5.4　检测方法的选择 …… 10
5.5　ECDA 可行性评价 …… 11
6　间接检测与评价 …… 13
6.1　一般要求 …… 13
6.2　间接检测现场实施 …… 13
6.3　数据的确认和修正 …… 14
6.4　间接检测结果评价 …… 15
7　直接检测与评价 …… 18
7.1　一般要求 …… 18
7.2　开挖顺序及数量 …… 18
7.3　开挖检测要求 …… 20
7.4　土壤腐蚀性检测 …… 21

7.5 防腐（保温）层检测 …… 22
7.6 管道腐蚀状况检查 …… 23
7.7 腐蚀管道的安全评价 …… 25
7.8 原因分析 …… 25
7.9 间接评价分级准则、开挖顺序的修正 …… 26
8 后评价 …… 27
8.1 一般要求 …… 27
8.2 再评价时间间隔的确定 …… 28
8.3 ECDA 有效性评价 …… 29
8.4 反馈 …… 30
9 记录和报告 …… 31
9.1 记录 …… 31
9.2 报告 …… 32
附录 A 各种记录表格 …… 34
附录 B 密间隔电位法（CIPS） …… 47
附录 C 直流电位梯度法（DCVG） …… 50
附录 D 交流电位梯度法（ACVG） …… 53
附录 E 交流电流衰减法（ACAS） …… 55
附录 F 皮尔逊法 …… 56
附录 G 通 / 断电位测量测试方法 …… 58
附录 H 试片断电法 …… 60
附录 I 防腐层电阻率法 …… 63
附录 J 极值统计预测最大壁厚损失 …… 66
标准用词说明 …… 69
引用标准名录 …… 70
附：条文说明 …… 71

1 总　　则

1.0.1 为了规范埋地钢质管道外腐蚀直接评价工作，特制定本标准。

1.0.2 本标准适用于陆上埋地钢质管道外腐蚀直接评价。

1.0.3 陆上埋地钢质管道外腐蚀直接评价除执行本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术　语

2.0.1　外腐蚀直接评价　　external corrosion direct assessment (ECDA)

评价外壁腐蚀对管道完整性影响的过程，由预评价、间接检测、直接检测和后评价四个步骤组成。

2.0.2　ECDA 管段　　ECDA region

有相似物理性质、相同运行历史的一个或几个管段，并在该管段可使用相同的间接检测方法。

2.0.3　间接检测　　indirect inspection

在管道上方地面或附近地面进行测量，用来定位或识别腐蚀活性、防腐层漏点或其他异常点的方法。

2.0.4　直接检测　　direct examination

对开挖处管道表面进行的检测和测量。

2.0.5　腐蚀活性点　　corrosion activity

腐蚀正在进行，并以一定速率发展的部位，发展速率足以导致管道在设计寿命内的承压能力降低。

2.0.6　防腐层缺陷　　coating fault

防腐层上所有的异常，包括剥离区和漏点等。

2.0.7　漏点　　holiday

防腐层不连续处（孔），并使管体表面暴露于环境中。

2.0.8　密间隔电位法　　close-interval potential survey (CIPS)

沿着管道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。

2.0.9　直流电位梯度法　　direct current voltage gradient (DCVG)

通过测量管道沿管或管道周围土壤中电压梯度变化，来确

定防腐层漏点位置和描述腐蚀活性的地表测试方法。

2.0.10 交流电位梯度法 alternating current voltage gradient (ACVG)

通过测量管道沿线或管道周围土壤中电流漏失的变化，来确定防腐层漏点位置的地表测试方法。

2.0.11 交流电流衰减法 alternating current attenuation survey (ACAS)

应用电磁场传播理论，测量管道沿线电流衰减情况，评估管道防腐层总体状况的测试方法。

2.0.12 通 / 断电位法 on-off potential survey

在阴极保护系统通 / 断电周期内，测试埋地管道通电状态下和断电瞬间对电解质（土壤）电位的方法。

2.0.13 试片断电法 coupon instant-off potential survey

通过测试与管道连接试片的电位反映管道阴极保护状况的方法，将试片与被保护管道连接并充分阴极极化后，测试试片与管道连接和断开瞬间试片对电解质（土壤）的电位。

2.0.14 皮尔逊法 pearson survey

用于定位埋地管道防腐层漏点位置的地表测量方法，通过对管道施加交流信号，沿管道方向测量在防腐层漏点处泄漏产生的电位梯度。

2.0.15 防腐层电阻率法 coating resistivity measurement

通过测量并计算防腐层电阻率来评价管道（管段）防腐层整体状况的方法。

3 基 本 规 定

3.0.1 埋地钢质管道应定期开展外腐蚀直接评价（ECDA）。

3.0.2 ECDA 评价应为一个连续、循环、不断修正趋准的检测和评价过程，应包括预评价、间接检测与评价、直接检测与评价、后评价四个环节。

3.0.3 ECDA 评价前应根据管道的使用情况，编制检测和评价方案，方案内容应包括调查大纲、检测方法、仪器设备要求等，检测与评价工作应由专业人员完成。

3.0.4 应识别检测过程中的危险有害因素，并应采取安全防护措施。

3.0.5 调查、检测中需要室内分析、化验的项目应按规定取样，并应由专业实验室按相关标准规定的试验方法进行分析。

4 评 价 指 标

4.1 环境腐蚀性评价

4.1.1 土壤腐蚀性评价可按表 4.1.1–1 采用腐蚀速率指标进行评价，也可按表 4.1.1–2 采用土壤电阻率指标进行评价。

表 4.1.1–1 按腐蚀速率划分土壤腐蚀性评价指标

指标 / 等级	弱	较弱	中	较强	强
平均腐蚀速率（试片失重法）[g/(dm^2 · a)]	<1	1 ~ 3	3 ~ 5	5 ~ 7	>7
最大腐蚀速率（腐蚀坑深测试法）(mm/a)	<0.1	0.1 ~ 0.3	0.3 ~ 0.6	0.6 ~ 0.9	>0.9

表 4.1.1–2 按土壤电阻率划分土壤腐蚀性评价指标

指标 / 等级	弱	中	强
土壤电阻率 (Ω · m)	> 50	20 ~ 50	< 20

4.1.2 交直流干扰腐蚀评价应满足下列要求：

1 直流干扰腐蚀评价应按现行国家标准《埋地钢质管道直流干扰防护技术标准》GB 50991 的有关规定进行。

2 交流干扰腐蚀评价应按现行国家标准《埋地钢质管道交流干扰防护技术标准》GB/T 50698 的有关规定进行。

3 对于干扰源复杂且难以评价干扰腐蚀程度的管段，可在埋设腐蚀试片后根据本标准表 4.1.1–1 中的试片平均腐蚀速率指标进行评价。

4.1.3 土壤细菌腐蚀评价宜按表 4.1.3 进行。

表 4.1.3 土壤细菌腐蚀评价指标

指标 / 等级	弱	中	较强	强
氧化还原电位（mV）	≥ 400	200 ~ 400	100 ~ 200	< 100

4.2 金属腐蚀性评价

4.2.1 金属腐蚀性评价宜按表 4.2.1 的要求进行金属腐蚀速度的评价。

表 4.2.1 金属腐蚀性评价指标

指标 / 等级	轻	中	重	严重
最大点蚀速度（mm/a）	< 0.305	0.305 ~ 0.611	0.611 ~ 2.438	≥ 2.438

4.3 防腐层状况评价

4.3.1 开挖检测处的防腐层状况评价应按表 4.3.1 进行。

表 4.3.1 防腐层状况评价指标

等级	描述
优	外观完好，厚度、粘结力满足标准的要求
中	外观良好，粘结力低于标准值，但保持一定粘结强度
差	出现大面积麻点、鼓泡、裂纹、破损等，或剥离

4.4 阴极保护效果评价

4.4.1 测得的管道阴极保护电位应满足现行国家标准《埋地钢质管道阴极保护技术规范》GB/T 21448 中的阴极保护准则要求。

4.4.2 测量电位时，应考虑消除 *IR* 降和杂散电流干扰的影响。

4.5 交直流排流效果评价

4.5.1 直流排流效果评价应符合现行国家标准《埋地钢质管道直流干扰防护技术标准》GB 50991 的规定。

4.5.2 交流排流效果评价应符合现行国家标准《埋地钢质管道交流干扰防护技术标准》GB/T 50698 的规定。

5 预 评 价

5.1 一 般 要 求

5.1.1 预评价应确定 ECDA 对管道检测评价的可行性，并应选择合适的检测方法划分 ECDA 管段。

5.1.2 预评价阶段应包括资料及数据收集、ECDA 管段划分、检测方法选择、ECDA 可行性评价四部分内容，预评价详细步骤宜按图 5.1.2 进行。

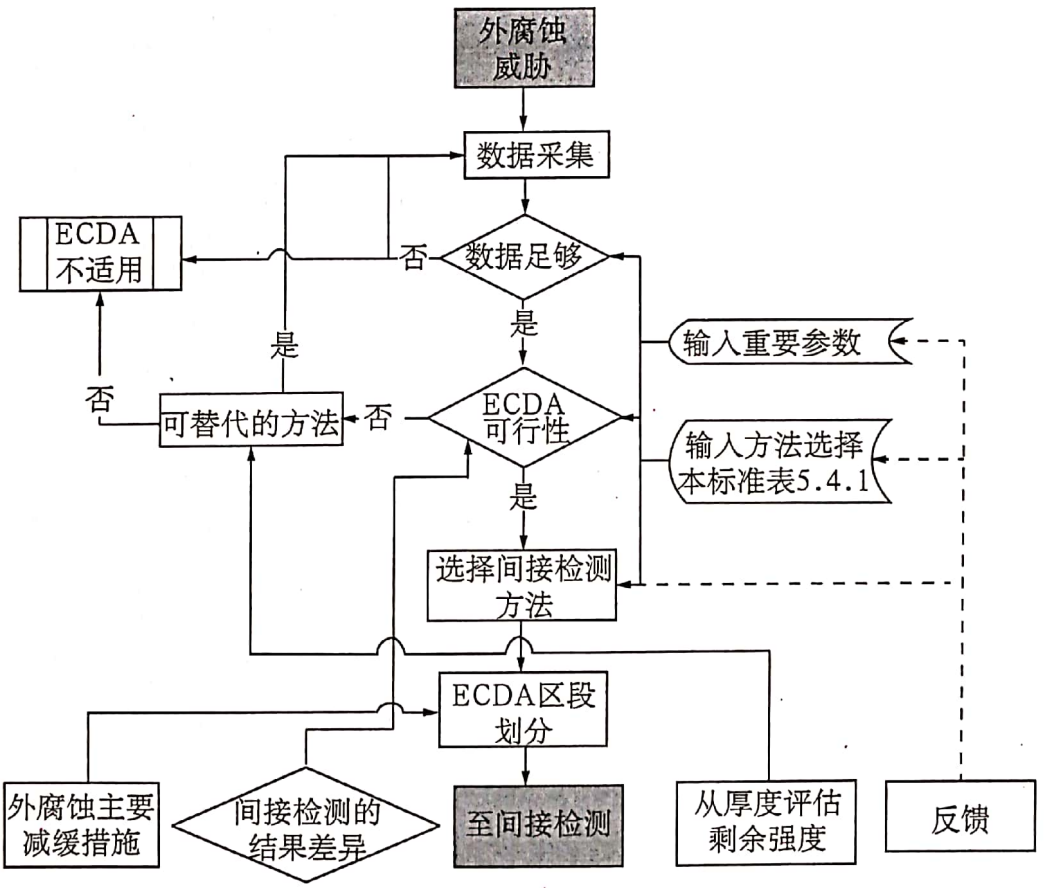

图 5.1.2 预评价的步骤

5.2 资料及数据收集

5.2.1 应根据管段历史和环境情况确定采用 ECDA 所需数据。

5.2.2 应按本标准附录 A 中表 A.1.1 至表 A.1.7 收集并填写管道原始特征、施工概况、运行参数、历次检测评价情况、防腐保温层概况等信息。

5.2.3 管道周围环境概况应按本标准附录 A 中表 A.1.8 收集并填写；土壤腐蚀性测试应符合现行国家标准《埋地钢质管道腐蚀防护工程检验》GB/T 19285 的相关规定。

5.2.4 应调查交（直）流电气化铁路、高压输电线路等可能构成干扰源的供电设施与管道平行、交叉的相互位置关系，供电设施调查应包括整流器、变电所及其接地体等内容。

5.2.5 应按本标准附录 A 中表 A.1.9 收集管道交流、直流干扰调查测试资料，收集的资料不能满足要求时，可按现行国家标准《埋地钢质管道直流干扰防护技术标准》GB 50991 的规定进行预备性测试和按现行国家标准《埋地钢质管道交流干扰防护技术标准》GB 50698 的规定进行普查测试；并应按本标准附录 A 中表 A.1.10、表 A.1.11 填写管道交流、直流排流设施运行情况。

5.2.6 管道附属设施，铁路、公路、河流的穿（跨）越工程及相关情况应按本标准附录 A 中表 A.1.12 收集并填写。

5.2.7 管道腐蚀泄漏事故及维修、管道外防腐层（保温层）大修记录应按本标准附录 A 中表 A.1.13、表 A.1.14 收集并填写。

5.3 ECDA 管段划分

5.3.1 应按管道材质、施工因素、管道腐蚀泄漏事故发生频率等运行中发现的问题、间接检测方法、管段风险、自然地理位置、地貌环境特点、土壤类别等因素确定 ECDA 管段划分原则。ECDA 管段可为连续的，也可为不连续的。宜根据间接检测与评价及直接检测与评价的结果对管段的划分进行修正。

5.3.2 下列管段宜划分为单独管段：

1　防腐层管道的裸管部分、不同焊接方法段、不同金属连接处的两端。

2　不同防腐层类型的管段、不同年代施工的防腐层管段。

3　弯头、套管、阀门、绝缘接头、连结器、进出土壤管段、固定墩等影响防腐层老化和质量的共性部位，施工质量差异段、穿越段、未施加阴极保护的管段、管道埋深差异大的管段。

4　腐蚀事故多发段、风险高的管段、阴极保护电流明显流失和改变区域、改线或更换段、防腐层和阴极保护修复段、交（直）流干扰段。

5　不同土壤性质段、冻土段、沥青和水泥路面段、细菌腐蚀管段。

5.4　检测方法的选择

5.4.1　检测方法应根据检测需求、检测对象特性、工况环境等因素确定，间接检测方法宜按表 5.4.1 进行选择，宜对所选择检测方法的适用性进行评估。

5.4.2　检测方法选择时应考虑方法对防腐层漏点及腐蚀活性点的检出能力，同一 ECDA 管段应采用相同的间接检测方法。

5.4.3　对一种间接检测方法检出和评价的“重”点应采用另一种互补的间接检测方法进行再检。

表 5.4.1　ECDA 检测方法选择表

环境	测试方法							
	密间隔电位测试法（CIPS）	电位梯度法		皮尔逊法	交流电流衰减法（ACAS）	通 / 断电位法	试片断电法	防腐层电阻率法
		ACVG	DCVG					
带防腐层漏点的管段	2	1，2	1，2	2	1，2	2	2	2
裸管的阳极区管段	2	3	3	3	3	2	2	3
接近河流或水下穿越段	2	3	3	3	2	2	2	2

续表 5.4.1

环境	测试方法							
	密间隔电位测试法（CIPS）	电位梯度法		皮尔逊法	交流电流衰减法（ACAS）	通 / 断电位法	试片断电法	防腐层电阻率法
		ACVG	DCVG					
无套管穿越的管段	2	1，2	1，2	2	1，2	2	2	2
带套管的管段	3	3	3	3	3	3	3	3
屏蔽的腐蚀热点	3	3	3	3	3	3	3	3
铺砌路面下的管段	3	3	3	3	1，2	3	3	2
冻土区的管段	3	3	3	3	1，2	3	3	2
相邻金属构筑物的管段	2	1，2	1，2	3	1，2	2	2	2
相邻平行管段	2	1，2	1，2	3	1，2	2	2	2
杂散电流区的管段	2	1，2	1，2	2	1，2	2	2	3
高压交流输电线下管段	2	1，2	1，2	2	3	2	2	2
管道深埋区的管段	2	2	2	2	2	2	2	2
湿地管段	2	1，2	1，2	2	1，2	2	2	2
岩石带 / 岩礁 / 岩石回填区的管段	3	3	3	3	2	3	3	3
牺牲阳极无法断开管段	3	2	2	2	2	3	2	3
采用标准	附录 B	附录 D	附录 C	附录 F	附录 E	附录 G	附录 H	附录 I

注：1 表示可适用于小的防腐层漏点（孤立的，一般面积小于 600mm²）和在正常运行条件下不会引起阴极保护电位波动的环境。

2 表示可适用于大面积的防腐层漏点（孤立或连续）和在正常运行条件下引起阴极保护电位波动的环境。

3 表示不能应用此方法，或在无可行措施时，不能实施此方法。

5.5 ECDA 可行性评价

5.5.1 ECDA 不宜用于处于下列环境的管道：

1　防腐层剥离引起的电屏蔽部分。

2　石方区、沥青路面、冻结路面、钢筋混凝土地面。

3　附近埋设有金属构筑物的部分。

4　穿跨越地区及其他不易检测或检测不能实施的区域。

5.5.2　经可行性评价的管段不能使用本标准推荐的间接检测方法或其他检测方法时，该管道不得使用本标准规定的 ECDA 进行评价。

6 间接检测与评价

6.1 一 般 要 求

6.1.1 有外防腐层的管道间接检测内容应包括阴极保护有效性评价、防腐层完整性评价、土壤腐蚀性等内容。开展管道阴极保护有效性评价时，应对管道存在的交直流干扰情况和程度进行评估；对无外防腐层的管道或防腐层质量较差的管道，宜以确定腐蚀活性为主。

6.1.2 应按照预评价阶段确定的 ECDA 管段进行间接检测，在同一个 ECDA 管段内，可使用两种间接检测方法进行间接检测，并应按照本标准第 6.3 节的要求对检测结果数据确认和修正，间接检测步骤宜按图 6.1.2 进行。

6.2 间接检测现场实施

6.2.1 开展检测前，宜对预评价步骤确定的每个 ECDA 管段边界进行确认并设置明显标记。

6.2.2 在整个管线或待评估管段上所使用的地面检测方法应能满足连续性检测的要求。

6.2.3 在同一 ECDA 管段区域内应保持检测方法的连续性，检测和数据分析应采用成熟的、被广泛接受的技术。

6.2.4 初次应用 ECDA 时，宜通过抽样校核、重复检测或其他验证方法，保持所测数据的一致性。

6.2.5 应根据防腐层类型、检测方法要求确定检测间距，检测间距应能够检测到管段上可疑腐蚀活性点的位置。

6.2.6 检测时间宜在计划时间内完成，检测时间跨度较大或检测期间发生了安装、拆卸管线设施、阴极保护参数大幅调整等

重大变化时，检测结果的分析评价应考虑上述变化对检测结果的影响，并宜做出合理的解释。

6.2.7 同一管段通过不同检测方法或在不同时间段进行检测得到的数据，在进行分析对比时应注意空间位置误差，可采用卫星定位系统或用地面参照物进行标记。

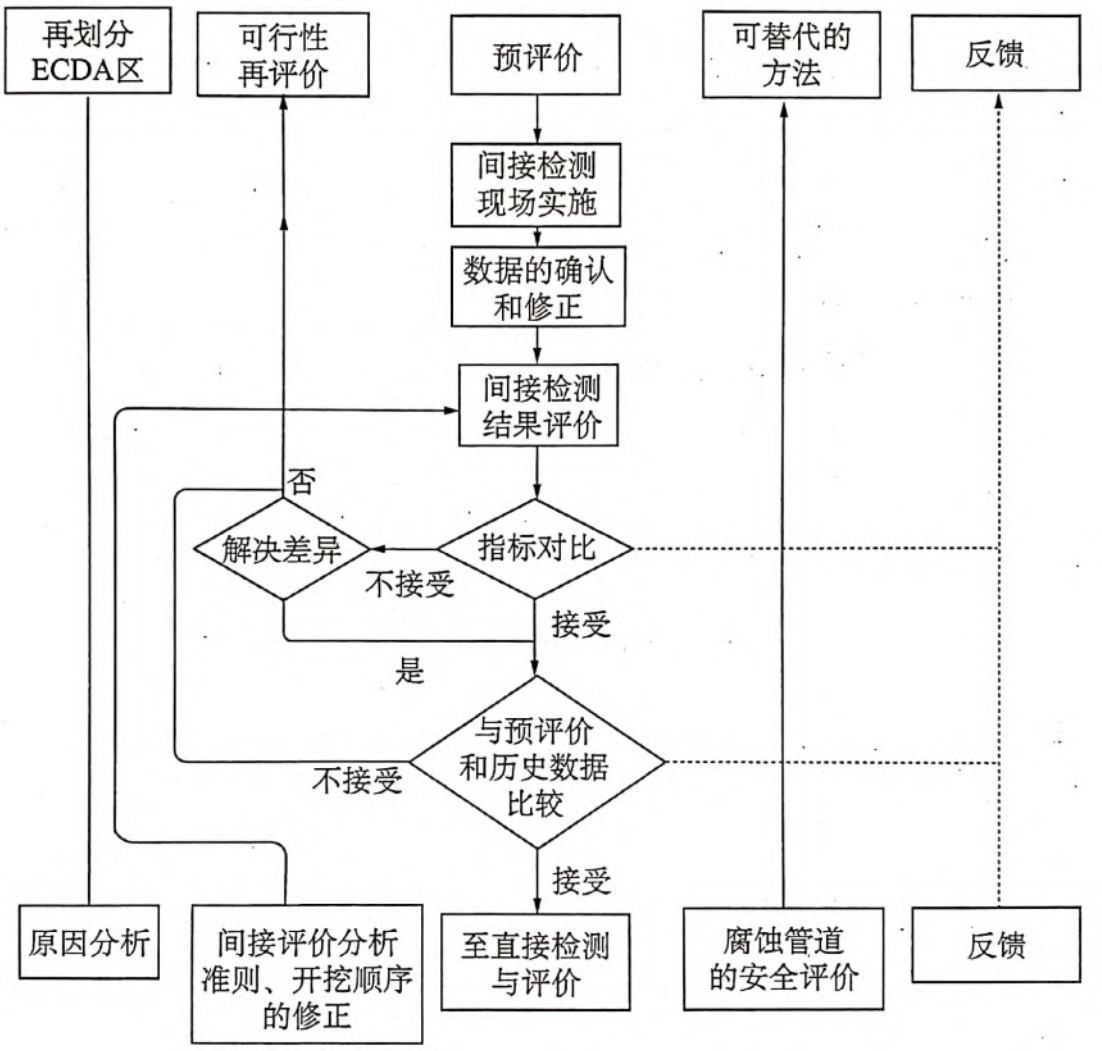

图 6.1.2 间接检测步骤

6.3 数据的确认和修正

6.3.1 在开展检测过程中，应及时（定期）对检测数据进行确认和修正。

6.3.2 可通过使用其他间接检测方法、局部复测等方式，对检测过程中的异常数据进行确认和修正。

6.3.3 经过修正的检测数据应进行标记。

6.4 间接检测结果评价

6.4.1 间接检测结果应根据现场检测和历史运行情况确定分级原则。分级评价时应包括但不限于以下内容：

1 阴极保护。

2 交直流干扰。

3 土壤腐蚀性。

4 外防腐层漏点大小及密度。

6.4.2 间接检测结果单项评价可按表 6.4.2–1 进行，综合评价可按表 6.4.2–2 进行。交流干扰腐蚀宜作为一个相对独立的评价因素，在交流干扰严重管段应单独进行评价，交流干扰评价指标应按现行国家标准《埋地钢质管道交流干扰防护技术标准》GB/T 50698 的有关规定进行。

表 6.4.2–1 间接检测结果单项评价指标

检测方法 / 指标评价	轻	中	重
皮尔逊法 / 交流电位梯度法（ACVG）或直流电位梯度（DCVG）	低电压降	中等电压降	高电压降
密间隔电位法（CIPS）/ 通断电位法或试片断电法	电位曲线轻微下降，满足阴极保护电位准则	电位曲线中等下降，不满足阴极保护电位准则	电位曲线大幅下降，不满足阴极保护电位准则
交流电流衰减法	单位长度衰减量小	单位长度衰减量中等	单位长度衰减量较大
防腐层电阻率法	电阻率轻微下降	电阻率中等下降	电阻率大幅下降

表 6.4.2–2　间接检测结果综合评价指标

间接检测结果单项指标评价			综合评价结果
土壤腐蚀性	阴极保护	外防腐层单项评价	
强	不达标	重	重
		中	重
		轻	中
	轻微不达标	重	重
		中	中
		轻	中
强	达标	重	中
		中	中
		轻	轻
中	不达标	重	重
		中	中
		轻	中
	轻微不达标	重	中
		中	中
		轻	轻
	达标	重	轻
		中	轻
		轻	轻
弱	不达标	重	重
		中	中
		轻	轻
	轻微不达标	重	中
		中	轻
		轻	轻
	达标	重	轻
		中	轻
		轻	轻

6.4.3　漏点严重性分级确定后，应对不同检测方法的检测结果一致性进行对比。

6.4.4　使用两种或两种以上间接检测工具测得的管道腐蚀活性点存在差异，且此差异不能用检测仪器本身的性能、管道和环

境原因来解释时，宜考虑使用其他间接检测方法或通过直接开挖确认。

6.4.5 直接检测后确认导致该处差异为局部或孤立的原因时，可不再使用其他的间接检测方法。

6.4.6 直接检测不能解释结果差异问题时，宜使用其他间接检测方法进行进一步的确认。

6.4.7 采用其他的间接检测方法仍不适用或不能解决结果差异问题时，宜重新评价 ECDA 可行性。

6.4.8 初次应用 ECDA 的管段，不能合理解释检测结果差异时，应暂定为评价等级中较高的评价等级

6.4.9 差异问题解决后，应将差异情况和预评价结果以及相关历史记录进行比较；判定间接检测结果和预评价结果及历史记录不一致时，宜重新评价 ECDA 可行性。

7 直接检测与评价

7.1 一 般 要 求

7.1.1 直接检测应确定间接检测结果中腐蚀活性趋向严重的点，并应收集数据进行管体腐蚀安全评价。

7.1.2 直接检测应包括下列内容：

1 确定开挖顺序及数量，在最可能出现腐蚀活性的区域开挖并收集数据。

2 进行土壤腐蚀性参数测试。

3 测试防腐层损伤及管体腐蚀状况。

4 腐蚀管道安全评价。

5 原因分析。

6 确定间接评价分级准则、开挖顺序的修正。

7.1.3 直接检测步骤宜按图 7.1.3 进行。

7.2 开挖顺序及数量

7.2.1 根据间接检测结果，宜按下列类别确定开挖顺序：

1 下列腐蚀可能正在进行的点或正常运行条件下可能对管道构成近期危险的点应为一类点：

1）存在多个相邻“重”等级的点。

2）两种以上间接检测和评价均为“重”等级的点。

3）同时存在“重”、“中”等级的点，结合历史和经验判断有可能出现严重腐蚀的点。

4）无法判定腐蚀活性严重程度的点；或初次开展 ECDA 评价时，检测结果不能解释的点；或不同间接检测方法测试结果有差异的点。

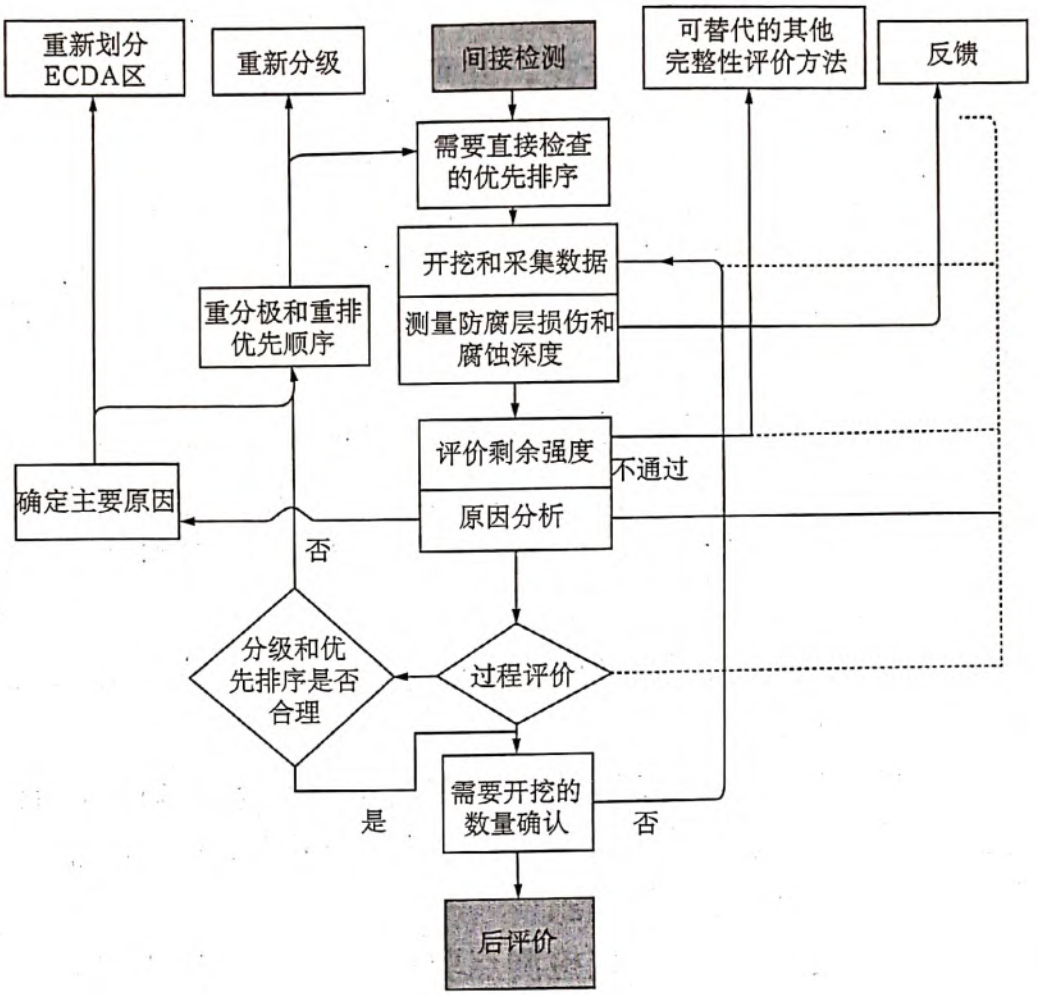

图 7.1.3　直接检测步骤

2　下列腐蚀可能正在进行的点或正常运行条件下可能不会对管道构成近期危险的点应为二类点：

1）孤立并未被列入一类“重”等级的点。

2）只存在“中”等级点的集中区域，并且以往有腐蚀事故记录的点。

3　以下腐蚀活性低的点或正常运行条件下管道发生腐蚀的可能性极低的点应为三类点：

1）间接检测判断为“轻”等级的点。

2）未被列入一类、二类的点。

7.2.2 开挖数量宜按下列原则确定：

1 对列入一类的点，宜全部开挖检测。数量多时可按抽样检查程序按一定比例抽样开挖，并可根据开挖验证的结果处理其他未开挖的点。

2 对列入二类的点，开挖数量宜按下列情况确定：

1）在同一 ECDA 管段中，二类点应至少选择一处相对严重的点进行开挖检测。首次开展 ECDA 时，宜至少选择两处。

2）在二类点的开挖检测结果表明腐蚀深度超出管壁原厚度的 20%，并比一类点显示结果更严重的点，应至少增加一处开挖点。首次应用 ECDA 时，应至少增加两处开挖点。

3 对列入三类的点，可选择一处进行开挖检测验证，也可不进行开挖检测。

4 间接检测的评价结果均为三类点时，可选择 ECDA 管段中相对严重的点进行开挖检测。首次开展 ECDA 时，应至少选择两处相对严重的点进行开挖。

7.2.3 应至少选择一处开挖检测点验证评价方法和结果的有效性，首次进行 ECDA 时，应选择两处开挖检测点，一处宜为二类点，无二类点时可选择三类点，另一处可为任意点。

7.3 开挖检测要求

7.3.1 开挖点探坑中的管段出现漏点时，应将漏点完整暴露或暴露到能够准确判断漏点的性质和范围为止，其悬空裸露长度应符合现行行业标准《埋地钢质管道外防腐层保温层修复技术规范》SY/T 5918 的要求。

7.3.2 开挖时应保持土层顺序不混乱，检查后应按土层顺序分层回填。

7.3.3 现场采集的土壤、防腐层、腐蚀产物等样品均应按实验

室分析的要求采集、封存、保管。

7.3.4 开挖测量中破坏的防腐层或发现的管体损伤处，应采取局部修补、整体修补或更换等措施予以维修，修补防腐层质量应满足现行行业标准《埋地钢质管道外防腐层保温层修复技术规范》SY/T 5918 的要求。

7.3.5 开挖时，应记录开挖点的地理位置信息以及开挖点探坑周边的环境情况，并应进行现场拍照。

7.3.6 开挖至管体防腐层破损点时钟方位时，应避免防腐层破损点位置管道表面的原始状态被破坏，并应详细记录防腐层损伤形态。

7.3.7 直接开挖检测应包括下列内容：

1 土壤腐蚀性检测。
2 探坑处管地电位测量。
3 防腐（保温）层检测。
4 管体腐蚀状况检测。
5 腐蚀形貌描述。
6 腐蚀产物收集。
7 其他需要检测的项目。

7.4 土壤腐蚀性检测

7.4.1 应对每个开挖点探坑中的土壤剖面进行分层描述，内容宜包括土壤颜色、土层干湿度、土壤质地、土壤松紧度、植物根系、地下水位野外观察，并应按本标准附录 A 中表 A.3.1 填写。

7.4.2 可根据现场情况收集开挖点探坑处的土壤样品送实验室分析，土壤理化性质分析宜包括以下项目：

1 土壤电阻率。
2 氧化还原电位。
3 pH 值。
4 含水率。

5　土壤容重。

6　氯离子。

7　硫酸根离子。

8　碳酸根离子。

9　土壤总含盐量。

10　微生物种类。

7.4.3　分析结果应按本标准附录 A 中表 A.3.1 的规定填写。

7.5　防腐（保温）层检测

7.5.1　应检测并记录开挖点探坑处管道防腐层类型、外观、厚度、粘结力、破损面积、损伤形式等情况。防腐层漏损点开挖腐蚀情况应按本标准附录 A 中表 A.3.3 记录。

7.5.2　防腐层外观检查内容应包括表面有无破损、裂纹、鼓包、剥离等，并应切开防腐层记录其材料和结构。对已进水的防腐层，应测量防腐层膜下液体的 pH 值，记录破损防腐层周边的剥离情况及管体表面腐蚀情况。

7.5.3　管道补口处防腐层检查内容应包括表面有无破损、褶皱、剥离情况，并应测量并记录补口防腐层与管体及管道防腐层搭接处的粘结力。

7.5.4　应根据不同防腐层类型并按相关标准要求检测防腐层厚度，测量并记录每个调查点上、下、左、右四个位置的防腐层厚度。

7.5.5　应根据不同防腐层类型并按相应标准要求进行粘结力检测，并记录粘结力大小。

7.5.6　带有保温层的管道检测时，应在完成保温层检测后，再进行防腐层检测；保温层检查内容应包括：保温层外观、材质和结构，测量管道圆周上、下、左、右四点保温层的厚度，保温层吸水情况及水膜的 pH 值。

7.5.7　可在现场收集防腐（保温）层样品，并送至实验室按相

关标准进行防腐（保温）层性能分析。

7.5.8 应对防腐（保温）层状况进行现场彩色拍照，按本标准附录 A 中表 A.3.1 填表。

7.6 管道腐蚀状况检查

7.6.1 清除破损防腐层后，应观察和记录管道金属表面的腐蚀产物、腐蚀形貌。

7.6.2 外观目检时应详细描述金属腐蚀的部位，腐蚀产物厚度、颜色、结构、紧实度及产物分布状况，并应对腐蚀部位外观进行拍照。

7.6.3 清除腐蚀产物后，应记录腐蚀形状、位置，宜按表 7.6.3 初步判定腐蚀类型，并应对管体的腐蚀状况进行拍照。

表 7.6.3 腐蚀形貌特征

类型	特征
均匀腐蚀	腐蚀深度较均匀一致，创面较大
点蚀	腐蚀呈坑穴状，散点分布，呈麻面，深度大于孔径
交流干扰腐蚀	防腐层破损面积小，腐蚀产物大而坚实，腐蚀坑呈凹陷的半球圆坑状
直流干扰腐蚀	腐蚀呈坑穴状，创面光滑、有金属光泽，腐蚀产物呈炭黑色
微生物腐蚀	腐蚀呈坑穴状，成片或线状分布，坑面粗糙，腐蚀产物堆积呈瘤状

7.6.4 腐蚀产物成分现场初步鉴定应按以下步骤进行：

1 目检法鉴定应根据产物颜色按表 7.6.4 的方法进行。

2 化学法鉴定时取少量腐蚀产物于小试管内，加数滴 10% 的盐酸，若无气泡，可评定腐蚀产物为 FeO；若有气体，但不

使湿润的醋酸铅试纸变色，可判为 $FeCO_3$；若产生有臭味气体，并使湿润的醋酸铅试纸变色，可判为 FeS。

表 7.6.4　现场目检法判别腐蚀产物成分

产物颜色	主要成分	产物结构
黑	FeO	—
红棕至黑	Fe_2O_3	六角形结晶
红棕	Fe_3O_4	无定形粉末或糊状
黑棕	FeS	六角形结晶
绿或白	$Fe(OH)_2$	六角形或无定形结晶
灰	$FeCO_3$	三角形结晶

7.6.5　腐蚀产物采样分析应符合下列要求：

1　现场取样的腐蚀产物应密封保存后送至实验室进行成分和结构分析。

2　腐蚀产物现场取样应具代表性，当腐蚀产物的颜色、外观等不同时，应分别采样，收集在不同的容器内并进行标注，并在采集腐蚀产物前进行拍照。

3　采集到的腐蚀产物宜进行腐蚀产物形貌（SEM）、能谱分析（EDS）以及 X 射线衍射分析（XRD）。

7.6.6　管壁腐蚀坑深和腐蚀面积的测量应符合下列要求：

1　金属管壁腐蚀区域的最大腐蚀坑深或最小剩余壁厚 T_{mm}、腐蚀面积应在清除表面腐蚀产物后进行，可采用超声波法或探针法、三维激光扫描等方法测量。

2　当管体存在大面积腐蚀坑时，除测量腐蚀区域的最大腐蚀坑深或最小剩余壁厚 T_{mm}、腐蚀面积外，还应按照现行行业标准《钢质管道管体腐蚀损伤评价方法》SY/T 6151 确定危险区域尺寸。

7.6.7　当检测的防腐层破损点没有全部开挖或开挖点的腐蚀管

道没有全部测量钢管壁厚时，应对测量的管壁腐蚀坑深数据进行处理。由局部开挖点探坑测量数据推算整个管段（或管道）最大腐蚀坑深时，应按下列方法进行：

1 应在局部探坑内测量 10 ～ 12 个最大腐蚀坑深，应按本标准附录 J 规定的极值统计方法推算整体管道可能出现的最大腐蚀坑深，计算相应的最小剩余壁厚 T_{mm}。

2 当上述方法实施有困难时，工程上可采用考虑安全系数、管道可能的最大腐蚀坑深近似取实测最大腐蚀坑深值的两倍的方法进行估计，并依此计算最小剩余壁厚 T_{mm}。

7.6.8 可采用其他检测管道最大腐蚀坑深的测试方法。

7.7 腐蚀管道的安全评价

7.7.1 根据直接检测结果，应对管道外壁腐蚀减薄严重部位进行管道剩余强度评价；开挖处管道腐蚀深度减薄超过壁厚的 10% 时，应进行管道剩余强度评价，并应给出“立即维修”“计划维修”“监控使用”的建议。

7.7.2 管道剩余强度评价应按现行行业标准《腐蚀管道评估推荐作法》SY/T 10048、《含缺陷油气管道剩余强度评价方法》SY/T 6477 或《钢质管道管体腐蚀损伤评价方法》SY/T 6151 等相关规定进行。

7.7.3 评价得出的剩余强度最小值或最严重评价级别可确定为 ECDA 评价管段的最终评价结果。

7.7.4 开挖时发现不在本评价方法的范围内的管道外部缺陷、应力腐蚀等其他类型腐蚀缺陷，应采用其他相应的方法进行评价。

7.8 原因分析

7.8.1 应结合腐蚀产物分析结果、环境腐蚀性分析结果、管道阴极保护电位测试结果以及内检测情况分析腐蚀发生的原因，

并应评估当前外腐蚀防护措施是否有效。

7.8.2 分析中出现不适应于 ECDA 评价的原因时，应考虑采用其他方法评价管段的完整性。

7.9 间接评价分级准则、开挖顺序的修正

7.9.1 应根据直接开挖检测评价结果及原因分析修正间接评价的“重”“中”“轻”等级的分级准则，宜按下列要求进行修正：

1 应根据直接检测评价结果，确定所有已开挖点的相对严重程度。

2 当直接检测评价结果与间接检测评价结果的相对严重程度不匹配时，应按直接检测评价结果，结合间接检测方法和埋地管道检测条件，修正评估管段的间接检测评价分级准则、开挖点的顺序和数量。

3 首次开展 ECDA 时，不应降低分级准则、调整开挖点的顺序和减少开挖点数量。

8 后 评 价

8.1 一 般 要 求

8.1.1 后评价内容应包括：再评价时间间隔的确定、ECDA 有效性评价、反馈，后评价步骤宜按图 8.1.1 进行。

8.1.2 再评价时间间隔应基于腐蚀发展情况和计划维修指示制定。“立即维修”应在本次直接检测期间维修；“计划维修”应在再评价时间间隔内维修。

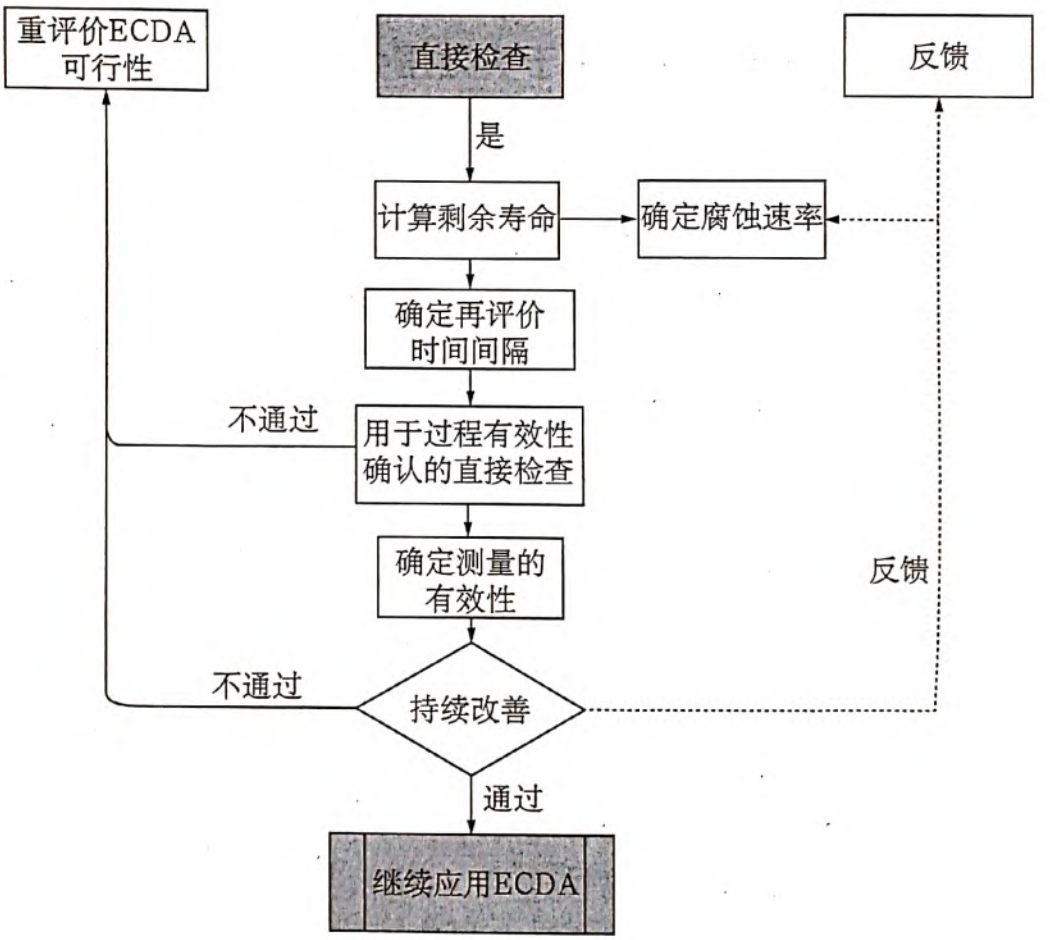

图 8.1.1 后评价步骤

8.2 再评价时间间隔的确定

8.2.1 开展下一轮评价的最大时间不宜超过再评价间隔的要求。

8.2.2 不同管段可有不同的腐蚀发展速率和再评价时间间隔。可根据前次调查发现的腐蚀程度、维修程度以及腐蚀发展速度估算再评价时间间隔。

8.2.3 剩余寿命评估可按下列公式计算：

$$RL = C \cdot SM \cdot \frac{t}{GR} \tag{8.2.3-1}$$

失效压力比（无量纲）＝计算失效压力 ÷ 屈服压力 (8.2.3–2)

最大操作压力比（无量纲）＝最大操作压力 ÷ 屈服压力 (8.2.3–3)

式中：RL——剩余寿命（a）；

C——校正系数，取 0.85；

SM——安全裕量，等于失效压力比减去最大操作压力（MAOP）比；

t——管道公称壁厚（mm）；

GR——腐蚀速率（mm/a）。

8.2.4 再评价时间间隔可按下列两种方式进行计算：

1 根据剩余寿命的近似估算时，最大再评价时间间隔应取剩余寿命的一半。不同 ECDA 管段可有不同的再评价时间间隔。

2 根据腐蚀速率可按下式计算：

$$\text{再评价时间间隔（a）} = (T_{mm} - T_{min}) / GR \tag{8.2.4}$$

式中：T_{mm}——上次调查维修后，按本标准第 7.6.6 条确定的被评价管段的最小剩余壁厚（mm）；

T_{min}——最小安全壁厚（mm）；

GR——腐蚀速率（mm/a）。

8.2.5 根据工程分析确定腐蚀速率（GR），可采用下列方法：

1 可通过一定时间间隔实际测量被评价管段的管道最大腐蚀坑深，计算实际腐蚀速率。

2 缺乏被评价管道的实际腐蚀速率时，可按行业标准《埋

地钢质检查片应用技术规范》SY/T 0029—2012 测算被评价管道的外壁腐蚀速率。

3　缺乏被评价管道的实际腐蚀速率时，可采用相同管材、相近腐蚀环境的管道腐蚀速率数据。

4　基于内检测结果分析给出腐蚀速率。

5　缺乏被评价管道的实际腐蚀速率时，可按 0.4mm/a 的点蚀速度作为被评价管道的外壁腐蚀速率。

8.3　ECDA 有效性评价

8.3.1　应对评价过程的有效性、评价方法的有效性进行评价，并应对管道外腐蚀状况做出整体评价，提出改进建议。

8.3.2　应根据直接检测结果，确认 ECDA 过程的有效性；发现比 ECDA 过程中的评价结果更严重时，应重新评价或采用其他完整性评价方法。

8.3.3　对于已进行内检测与评价的管道，可结合检测数据评价 ECDA 的有效性。

8.3.4　评价 ECDA 过程的长期有效性应采用下列方法：

1　应跟踪 ECDA 过程中分级和重排优先次序的数目，再分级和重排优先次序所占百分数较大时，建立的准则可认为不可靠。

2　应跟踪 ECDA 的应用过程。潜在问题调查的开挖数量增加时，应确定是否需要进行加密腐蚀监测；多次间接检测的管道总公里数增加时，应确定是否需要进行加密腐蚀监测；有效的间接检测方法在管线上使用长度增加时，可认为 ECDA 的应用更有针对性。

3　应跟踪 ECDA 的应用结果。评价得出的“立即维修”和“计划维修”点的出现频率减小，可认为整个管网的腐蚀管理水平在提高；直接检测时发现管道外壁腐蚀严重性降低，可认为腐蚀对管道结构完整性的影响降低。

4　在本次直接评价后至在下次再评价前，管道没有发生因

外腐蚀造成的泄漏和破裂，可证明该评价管段与外腐蚀有关的完整性满足标准要求。

8.3.5 在下次开展的 ECDA 评价中发现经本次 ECDA 评价修复后，管道腐蚀控制状态没有改善时，宜重新评估 ECDA 应用的有效性。

8.4 反　　馈

8.4.1 每次 ECDA 评价后，应及时归纳反馈评价中的相关数据和信息，完善评价方法。

8.4.2 反馈工作宜包括以下内容：

1 对间接检测结果的确认和分类。

2 直接检查中收集的数据。

3 安全评价、维护方案、原因分析。

4 间接评价分级准则、开挖顺序的修正。

5 确定过程有效性的直接检测。

6 评价长期有效性的准则。

7 监测和周期性再评价的安排。

9 记录和报告

9.1 记　　录

9.1.1 ECDA 项目记录应清晰、完整地反映外腐蚀直接评价的整个过程，并应与报告一并提交。

9.1.2 ECDA 项目记录可按本标准附录 A 中的表格填写，针对预评价、间接检测、直接检测的各个阶段应分别做好记录。

9.1.3 预评价阶段的部分记录可按本标准 A.1 中的表格填写，应包括以下内容：

1 管道原始特征。

2 管道施工概况。

3 管道运行参数。

4 历次检测评价情况。

5 阴极保护系统运行参数。

6 牺牲阳极设施运行概况。

7 管道防腐（保温）层概况。

8 管道环境概况。

9 交直流干扰概况。

10 管道排流设施运行概况。

11 附属设施。

12 管道腐蚀泄漏事故及维修记录。

13 管道外防腐层（保温层）大修记录。

9.1.4 间接检测阶段应根据检测方法确定合适的记录表格，可按本标准 A.2 中的表格填写。间接检测阶段记录应包括下列内容：

1 间接检测工具检测管段的起始和终点位置、固定参考点

位置。

2 间接检测数据对应的位置信息。

3 间接检测数据不连续管段的情况描述，以及选用的替代性间接检测工具。

4 间接检测实施的日期、天气状况。

5 其他可能影响检测结果的异常状况。

9.1.5 直接检测阶段可按本标准 A.3 中的表格进行记录，应包括以下内容：

1 开挖点位置信息。

2 开挖点周围环境信息。

3 开挖点土壤、地下水情况。

4 开挖点防腐层或保温层破损形貌。

5 开挖点阴极保护检测数据。

6 开挖点管体腐蚀形貌。

7 开挖过程中进行的其他相关测试记录。

9.2 报　告

9.2.1 ECDA 项目报告应详细记录检测和评价的整个过程，报告内容应涵盖预评价、间接检测、直接检测、后评价等各个环节，可分阶段提交。

9.2.2 预评价报告应包括以下内容：

1 对管道相关资料和数据的整合。

2 选择间接检测工具的方法和步骤。

3 划分各 ECDA 管段的范围、特点、检测的可行性分析。

9.2.3 间接检测报告应包括以下内容：

1 不同间接检测工具的实施范围、实施流程。

2 间接检测数据的对齐程序、汇总分析。

3 间接检测结果综合评级准则和评价结果。

4 直接检测计划。

9.2.4 直接检测报告应包括以下内容：

1 直接检测的实施范围、实施流程。

2 直接检测数据的汇总分析。

3 依据直接检测结果对间接检测数据的修正过程。

4 腐蚀发生原因分析。

5 修复、维护建议。

9.2.5 后评价报告应包括以下内容：

1 管体外腐蚀漏点的报告。

2 管体外腐蚀速率的预测。

3 管道剩余寿命的预测。

4 再检测时间间隔。

5 ECDA 结果及方法有效性的评估。

附录 A　各种记录表格

A.1　预评价表格

A.1.1　预评价管道原始特征参数宜按表 A.1.1 填写。

A.1.2　预评价管道施工概况宜按表 A.1.2 填写。

A.1.3　预评价管道运行参数宜按表 A.1.3 填写。

A.1.4　预评价管道历次检测评价情况宜按表 A.1.4 填写。

A.1.5　预评价阴极保护系统运行参数宜按表 A.1.5 填写。

A.1.6　预评价牺牲阳极设施运行概况宜按表 A.1.6 填写。

A.1.7　预评价管道防腐（保温）层概况宜按表 A.1.7 填写。

A.1.8　预评价环境概况宜按表 A.1.8 填写。

A.1.9　交直流干扰概况宜按表 A.1.9 填写。

A.1.10　交流排流设施运行概况宜按表 A.1.10 填写。

A.1.11　直流排流设施运行概况宜按表 A.1.11 填写。

A.1.12　预评价附属设施宜按表 A.1.12 填写。

A.1.13　管道腐蚀泄漏事故及维修记录宜按表 A.1.13 填写。

A.1.14　管道外防腐层（保温层）大修记录宜按表 A.1.14 填写。

A.2　间接监测表格

A.2.1　防腐层检测记录宜按表 A.2.1 填写。

A.2.2　土壤腐蚀性检测记录宜按表 A.2.2 填写。

A.2.3　CIPS/DCVG 检测记录宜按表 A.2.3 填写。

A.2.4　防腐层漏损点记录宜按表 A.2.4 填写。

表 A.1.1　管道原始特征表

调查日期：　　管理部门：　　调查人：

管段名称	管段长度	材质	管径（mm）	壁厚（mm）	成管类别	连接方式	厂家及制造日期	腐蚀裕量	安全系数

注：成管类别是指螺旋焊缝管、直缝管、无缝管等类别。

表 A.1.2　管道施工概况表

调查日期：　　管理部门：　　调查人：

管段名称	管段长度	投产日期	弯管方式	埋深（m）	试压情况

注：试压情况应注明介质、压力和结果。

表 A.1.3　管道运行参数表

调查日期：　　管理部门：　　调查人：

管段名称	管段长度	输送介质	设计压力(MPa)	运行压力范围(MPa)	设计输量(t 或 m^3/a)	运行输量(t/a)	运行温度(℃)

表 A.1.4　历次检测评价情况统计表

调查日期：　　管理部门：　　调查人：

序号	检测评价时间	内容	检测评价结论	整改情况	检测评价单位

表 A.1.5　阴极保护系统运行参数表

调查日期：　　管理部门：　　调查人：

参　数												
阴保站	设备型号	额定功率（V·A）	投用时间	仪器运行模式	仪器输出电压（V）	仪器输出电流（A）	仪器给定电位（V）	仪器给定电流（A）	通电点电位（V）	阳极材料及埋设方式	阳极接地电阻（Ω）	备注

表 A.1.6　牺牲阳极设施运行概况表

调查日期：　　管理部门：　　调查人：

管道名称	安装位置	牺牲阳极的类型	安装方式	安装时间	维护记录

注：通过测试桩连接，直接焊接。

表 A.1.7　管道防腐（保温）层概况

调查日期：　　管理部门：　　调查人：

管段名称	管段长度	防腐（保温）层类型	结构及等级	厚度（mm）	破损数量（个/10km）	补口			备注
						材料	结构及厚度（mm）	施工工艺	

注：破损数量指历史检测中发现的破损点数量。

表 A.1.8　环境概况表

调查日期：　　管理部门：　　调查人：

管段名称	管段长度	年均温度（℃）	年雨量（mm）	气候类型	土壤电阻率	地形	土壤类型	植被	电干扰	与周围建、构筑物的间距

注：1　气候类型包括风力大小、风向、年最高及最低温度等。

2　土壤电阻率指设计时取值。

3　地形指地貌类型、部位、坡度、坡型等。

4　土壤类型指黏土、沙土等反映土壤渗透性的指标。

5　电干扰指有无干扰。

表 A.1.9　交直流干扰概况表

调查日期：　　管道名称：　　管理部门：　　调查人：

管道名称	测试桩编号	管 / 地电位（V）							电位梯度（mV/m）	交流电压（V）	土壤电阻率（Ω · m）	交流电流密度（A/m²）	干扰程度	
		自然电位	通电电位			断电 / 极化电位							直流干扰	交流干扰
			最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值						

表 A.1.10　交流排流设施运行概况表

调查日期：　　管道名称：　　管理部门：　　调查人：

序号	位置	排流方式	排流前交流电压（V）	排流后交流电压（V）	交流电流密度（A/m²）	交流排流量（A）	直流电流漏流量（mA）	接地极接地电阻（Ω）	土壤电阻率（Ω · m）	排流效果

表 A.1.11　直流排流设施运行概况表

调查日期：　　管道名称：　　管理部门：　　调查人：

序号	位置	排流方式	排流前管地电位（V）			排流后管地电位（V）			直流排流量（mA）	接地极接地电阻（Ω）	土壤电阻率（Ω · m）	排流效果
			最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值				

表 A.1.12　预评价附属设施表

调查日期：　　管道名称：　　管理部门：　　调查人：

	名称	地点	长度（m）	穿跨越方式	腐蚀控制方式	备注
穿跨越						

	项目	设施				备注
		数量	位置	保护措施	历史失效情况	
特殊部位	阀室或阀					
	三通 / 支管					
	其他					

注：应对上述设施中的漏电情况进行调查说明。

表 A.1.13　管道腐蚀泄漏事故及维修记录表

管道名称：　　总长度（km）：　　投产日期：

温度（℃）：　　起止地点：

压力（MPa）：　　调查人：

序号	事故日期	事故位置	事故原因	介质泄漏量	维修			维修后防腐（保温）层		
					日期	方式	单位	种类	结构	厚度（mm）

注：1　事故原因指是内腐蚀造成的事故，还是外腐蚀引起的事故。

2　介质泄漏量 = 介质泄漏速度 × 介质泄漏时间。

表 A.1.14　管道外防腐层（保温层）大修记录表

管道名称：　　总长度（km）：

管径及壁厚（mm）：　　起止地点：

材质：　　调查人：

序号	位置	长度（km）	原因	日期	维修方式	管体		维修后防腐（保温）层				备注
						状况	处理方式	种类	结构	厚度（mm）	施工工艺	

表 A.2.1　防腐层检测记录表

检测日期：　　检测单位：　　记录人：

管道名称	发射机输出电流（A）	发射机安装位置	检测点编号	防腐层漏点编号	防腐层漏点位置信息				电流（mA）		埋深（m）	dB 值	检测日期	检测单位	记录人
					现场测试绝对距离（m）	相对测试桩的距离（m）	经度	纬度	上游	下游					

表 A.2.2　土壤电阻率记录表

检测日期：　　检测单位：　　记录人：

管道名称	位置信息				土壤电阻率（Ω · m）	土壤类型	土壤腐蚀性等级	氧化还原电位
	最近测试桩	相对距离（m）	经度	纬度				

表 A.2.3　阴极保护检测记录表

检测日期：　　检测单位：　　记录人：

管道名称	测试桩编号	检测点编号	防腐层漏损点编号	位置信息				通断周期（通电时间/断电时间）	CIPS		阴保有效性评价
				现场测试绝对距离（m）	相对测试桩的距离（m）	经度	纬度		通电电位（V）	断电电位（V）	

表 A.2.4　防腐层漏损点记录表

检测日期：　　检测单位：　　记录人：

管道名称	漏点编号	位置信息				埋深（m）	dB 值	*IR*%	通电电位（V）	断电电位（V）	干扰程度		漏损点等级	修复建议	修复状态	检测日期	检测单位	记录人
		最近测试桩	相对距离（m）	经度	纬度						交流干扰	直流干扰						

A.3 直接检测表格

A.3.1 防腐层漏损点开挖记录宜按表 A.3.1 填写。

A.3.2 防腐层漏点开挖汇总情况宜按表 A.3.2 填写。

A.3.3 防腐层漏损点开挖腐蚀情况记录宜按表 A.3.3 填写。

表 A.3.1 防腐层漏点开挖记录表

管道名称：　　探坑编号：　　探坑位置：

地表状况：　　管道埋深（m）：

调查日期：　　取样编号：　　检测人：

<table>
<tr><td rowspan="6">土壤剖面描述</td><td>土壤性质</td><td colspan="5">层次</td><td>地下水位（m）</td><td></td><td>地形地貌描述</td><td>备注</td></tr>
<tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>深度（cm）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="2">氧化还原电位（V）</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="5"></td><td rowspan="5"></td></tr>
<tr><td>颜色</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>湿度</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="3">自然电位（V）</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>松紧度</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>植物根系</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="8">防腐层及保温层</td><td>结构</td><td colspan="5"></td><td>外观</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">项目</td><td colspan="5">厚度（mm）</td><td colspan="4">进水情况</td><td colspan="2" rowspan="2">浸水pH值</td></tr>
<tr><td>上</td><td>下</td><td>左</td><td>右</td><td>最薄</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>保温层</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>保温层补口</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">项目</td><td colspan="5">厚度</td><td colspan="2" rowspan="2">外观</td><td colspan="3">粘结力</td></tr>
<tr><td>上</td><td>下</td><td>左</td><td>右</td><td>最薄</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr>
<tr><td>防腐层</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>防腐层补口</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

表 A.3.1（续）

管体	腐蚀形貌描述	图片										
	腐蚀产物	分布										
		厚度（mm）										
		颜色										
		结构										
		紧实度										
		成分										
		取样编号										
	金属腐蚀	外观										
		类型										
		最大坑深（mm）										
		最小剩余壁厚 T_{mm}（mm）										
		最大纵向、环向长度（mm）										
		最大点蚀速度（mm/a）										
分析与结论												

注：腐蚀部位发生的焊缝，应在腐蚀部位记录时注明焊缝腐蚀发生的区域（母材、热影响区、焊缝）。

表 A.3.2　防腐层漏点开挖汇总表

检测日期：　　检测单位：　　记录人：

管道名称	漏损点编号	位置信息				埋深（m）	dB 值	*IR*%	通电电位(V)	断电电位(V)	漏损点等级	防腐层状况	管体状况
		最近测试桩	相对距离(m)	经度	纬度								

表 A.3.3　防腐层漏损点开挖腐蚀情况记录表

检测日期：　　检测单位：　　记录人：

管道名称	管道壁厚 (mm)	漏损点编号	位置信息				时间时钟	漏损点等级	腐蚀类型	腐蚀面积 (cm^2)	腐蚀深度 (mm)	腐蚀速率 (mm/a)	安全评价	剩余寿命 (a)
			最近测试桩	相对距离(m)	经度	纬度								

附录 B　密间隔电位法（CIPS）

B.1　一　般　规　定

B.1.1　密间隔电位测试法（CIPS）适用于全面评价管道阴极保护系统的有效性。CIPS 可单独进行测试，也可与 DCVG 进行联合测试。

B.1.2　对于并行管道、实施联合阴极保护的管道、采用线性阳极阴极保护系统的管道，应确认采用密间隔电位测试法（CIPS）的有效性。

B.1.3　在测试前应收集管道基础资料、路由情况、埋深情况、阴极保护系统运行情况、杂散电流干扰情况等相关资料，评估方法的适用性。

B.1.4　电压测量仪表可采用电子表，也可采用模拟表，电压测量仪表应符合下列规定：

1　测量仪表应具有防电磁干扰性能。

2　测量仪表的输入阻抗应与测试环境相匹配。

3　测量仪表应能记录电位的极性及其反转过程。

4　测量仪表的采样频率应能够区分通电电位与断电电位，并消除冲击电位的影响。

5　测量仪表及测量导线应符合现行国家标准《埋地钢质管道阴极保护参数测量方法》GB/T 21246 的有关规定。

B.1.5　参比电极应符合下列规定：

1　参比电极宜采用饱和硫酸铜参比电极，环境中氯离子浓度较高时，应采用 Ag/AgCl 参比电极。

2　采用硫酸铜参比电极时，参比电极应符合现行国家标准《埋地钢质管道阴极保护参数测量方法》GB/T 21246 的有

关规定。

3　参比电极放置处，应采取措施保证低的接触电阻。

B.1.6　进行 CIPS 测试时，与管道的电连接应符合下列规定：

1　应尽可能降低测试回路的电阻，与测试桩连接的铜导线直径应大于 0.16mm。

2　测试过程中，应减少测试误差，应使铜导线与周围环境、测试人员完全绝缘。

B.1.7　进行中断器设置时，宜满足下列要求：

1　应同步中断所有可能影响测试结果的电源，包括阴保电源、牺牲阳极、外部干扰源等。

2　中断周期应结合管道实际和现场环境合理设置，应以不改变管道原始极化状态为原则。

3　安装中断器后，应对阴保电源输出适当调整补偿断电造成的输出降低。

B.1.8　测试时应对管道进行准确定位，应设置临时标记物以减少位置误差；参比电极宜放置在管道正上方，参比电极与管道中心线位置的偏移应小于管道的直径。

B.2　测　　试

B.2.1　密间隔电位法（CIPS）测试图可参考图 B.2.1。

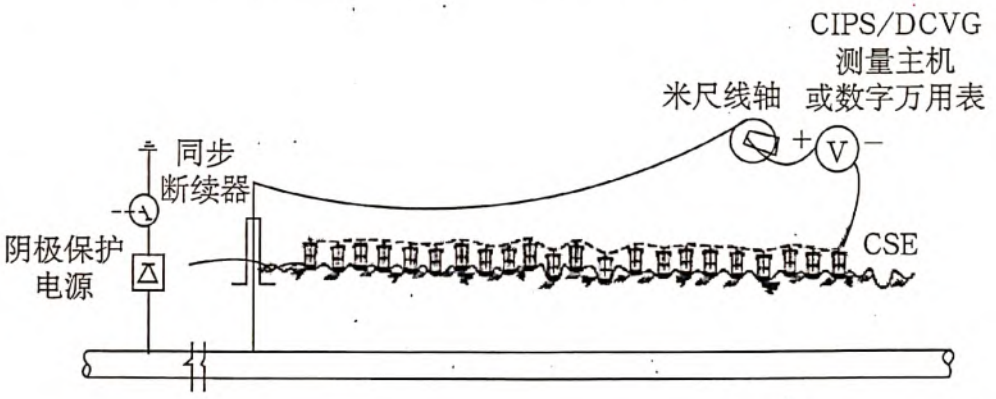

图 B.2.1　CIPS 测试示意图

B.2.2 CIPS 测试应包括以下步骤：

1 测量前应确认阴极保护系统处于正常运行状况，管道应已充分极化。

2 应根据阴极保护电源类型、管道防腐层类型确定合理的通断周期并安装同步中断器。

3 长测量导线一端与 CIPS 主机连接，另一端与管道测试电缆连接，参比电极与 CIPS 主机连接。

4 测试主机应设置为 CIPS 测量模式，并应设置与中断器相同的通断电周期，应通过试验确定读取断电电位的延迟时间。

5 宜采用管线定位仪定位管道中心线，参比电极宜放置在管道正上方，在经过沥青、混凝土、冻土等路段时，可采用钻孔、浇水等方法降低接触电阻。

6 测试间隔宜取 1m ~ 3m，每移动一次应记录一组通电电位、断电电位。

7 测试过程中，可采用米尺、GPS 坐标等方法记录参比电极的放置位置，记录沿线的参照物信息，应控制位置信息的累计误差。

8 应详细记录测试管段范围；地上管道、套管等不适合 CIPS 测试的管道范围，应做好记录。

9 测试结束后，应及时将阴极保护站恢复为连续供电状态。

B.2.3 数据处理应符合下列规定：

1 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。

2 绘制通电电位、断电电位随位置的变化曲线。

3 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。

附录 C　直流电位梯度法（DCVG）

C.1　一　般　规　定

C.1.1　直流电位梯度法（DCVG）适用于查找、定位管道防腐层破损点，确定防腐层破损大小和管体腐蚀活性。

C.1.2　采用两支参比电极，以密间隔的方法测量管道上方的直流地电位梯度。通过检测破损点处土壤中电流的流向，可识别破损点的腐蚀活性；并依据计算的 *IR*% 降值定性判断漏点的相对大小及严重程度。

C.2　测　　试

C.2.1　DCVG 测试图可参考图 C.2.1。

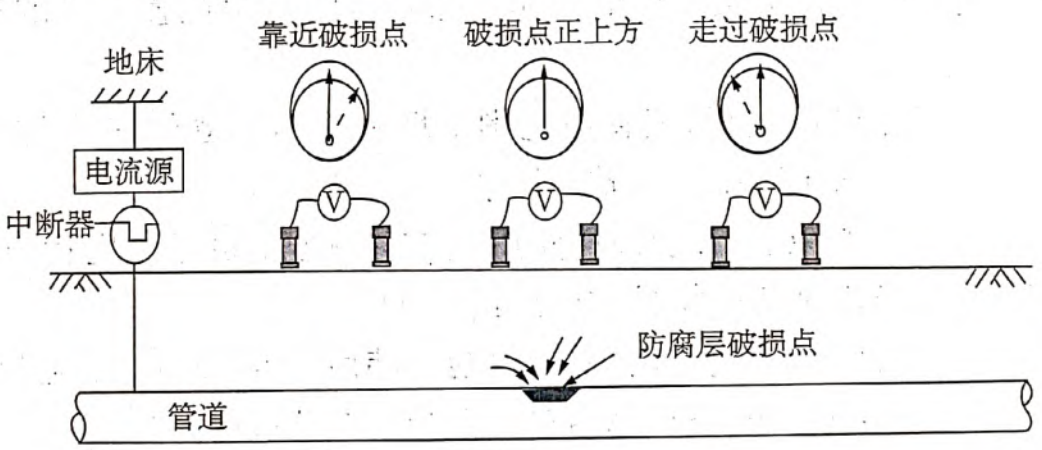

图 C.2.1　DCVG 测试示意图

C.2.2　DCVG 测试的地电位梯度值较小时，使用的测试仪表应能够准确测试 100mV 或更小的电压值。

C.2.3　DCVG 测试应包括以下步骤：

1　测量前应确认阴极保护系统正常运行，管道已充分极化；阴极保护系统现有的输出状态无法满足 DCVG 测试要求时，

可调整电流输出或增加临时电源。土壤环境中的 DCVG 信号强度宜为 100mV ～ 1500mV，混凝土或沥青表面典型的到远地点的 DCVG 信号幅值为 800mV 或更高。

2　测试前应对两支参比电极的电位进行校正，误差应小于 ±5mV。

3　设置合理的通断周期并安装同步中断器，管道中心线定位宜采用管线定位仪。

4　将两支参比电极与测量主机连接，测量人员沿管道行走，两支参比电极位于管道正上方，并保持一定间距，每隔 1m ～ 1.5m 进行测试，记录中断器连通和断开时的直流地电位梯度方向、大小变化。

5　根据地电位梯度方向、大小的变化，按照本标准附录 C 中图 C.2.1 的原理，现场确定漏点位置，并做好标记和记录。

6　在漏点位置，对土壤中的电流流向进行测量与辨别，判断破损点位置管体的腐蚀活性。根据通断电条件下土壤中的电流流向，可分为“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）”四种状态。

7　在漏点位置，记录附近的永久性标志、参照物等信息，并做好地面标识。

C.2.4　测试站对远地信号电位测量应按以下步骤进行：

1　应测量每个测试站接触点和远地点的 DCVG 信号电位[管道到远地（*P/RE*）电位梯度]，并做好记录。

2　测量从测试站接触点到远地点的电位梯度时，应将两支探杖置于同一平面并沿管道纵轴垂直移动直至到达远地点。

3　测量漏点至远地点电位梯度，该值应为漏点中心点向远地点方向测得与管道垂直位置一系列电位梯度读数的总和。当侧向 DCVG 电位梯度值为一个一致小（1mV）的读数时，应为远地位置。

4　任意两个测试点之间的距离宜保持尽可能小，不宜大于 2km。不应采用测试点（S_1 和 S_2）通 / 断电位之差作为 DCVG

信号电位。DCVG 信号电位应包括测试点对地的电位和测试点至远地点电位梯度的总和。

C.3 数 据 处 理

C.3.1 每处位置记录的数据应包括：纬度、经度、漏点至远地点电位梯度等。

C.3.2 应根据漏点位置测量的数据计算 *IR*% 降。

C.3.3 漏点处管道对远地电位 DCVG 信号电位可按下式计算：

缺陷处管道对远地点电位

$$P/RE = S_1 + \frac{d_x(S_2 - S_1)}{(d_2 - d_1)} \tag{C.3.3}$$

式中：*P/RE*——管道到远地点的 DCVG 信号电位（mV）；

S_1——测试桩 1 到远地点的 DCVG 信号电位（mV）；

S_2——测试桩 2 到远地点的 DCVG 信号电位（mV）；

d_1——测试桩 1 的测量距离（测试起始点处为 0）（m）；

d_2——测试桩 2 的测量距离（m）；

d_x——从测试桩 1 到缺陷点的测量距离（m）。

C.3.4 缺陷点位置确定后，缺陷点的 *IR*% 可通过缺陷中心点到远地点（*OL/RE*）的电位梯度值和缺陷点与远地点的总电位偏移来计算。可按公式（C.3.4）计算表征破损点相对严重程度的 *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。

$$IR\% = \frac{OL/RE \times 100}{P/RE} \tag{C.3.4}$$

式中：*IR*%——破损点位置处百分比 IR 降；

OL/RE——管道缺陷点至远地点 DCVG 信号电位（mV）；

P/RE——管道至远地点的 DCVG 信号电位（mV）。

C.3.5 计算出的 *IR*% 降结果，应根据管道实际、防腐层类型、土壤类型确定合适的临界值，并应根据直接检查结果进行修正，对防腐层破损程度进行评估。

附录 D　交流电位梯度法（ACVG）

D.1　一　般　规　定

D.1.1　交流电位梯度法（ACVG）适用于查找、定位管道防腐层破损点。

D.1.2　用于进行 ACVG 检测的设备应专门设计，可在管道上方间接检测由发射器提供电流所产生的交流电位梯度。

D.1.3　检测设备应包括发射器、接收器和 A 字架三个主要部分。

D.2　ACVG 测试

D.2.1　ACVG 测试应包括以下步骤：

1　在信号馈入点，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　调整接收机的接收频率，接收频率应与发射机的检测频率一致，用接收机对管道定位。

4　按仪器的使用说明书连接好 A 字架，将 A 字架的两个电极插入地面靠近发射机的接地极附近，A 字架的指示箭头应显示远离信号接入点方向。

D.2.2　沿 A 字架箭头指示方向查找破损点。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；将 A 字架旋转 90° 复测，两条连线的交点位置即为破损点的正上方，确定破损点的准确位置，记录位置并做好地面标志。

D.2.3　应记录每个检测到的漏点的最大值。

D.2.4　沿管道路由行走，并以一致的检测间距检测电位梯度；当不能直接在管道上方进行检测时，检测者应记录距离管道中

心线的距离及方向。

D.2.5 可使用地图、地理信息系统（GIS），或 GPS 数据记录器储存漏点的位置。

D.2.6 分析 ACVG 测量结果时，宜同时考虑电流、土壤电阻率、管道尺寸及其他相关数据。

附录 E　交流电流衰减法（ACAS）

E.1　一　般　规　定

E.1.1　交流电流衰减法（ACAS）适用于远离高压交流输电线地区，交变磁场能穿透覆盖层的管道外防腐层质量检测。该方法不适用于钢套管、钢丝网加强的混凝土配重层（套管）。

E.1.2　根据电流衰减的斜率可定性确定各段管道防腐层质量的差异；可给出对埋地管道的位置、埋深、分支、外部金属构筑物搭接，以及大的防腐层破损等信息。

E.1.3　检测设备主要包括发射机和接收机两大单元。

E.2　ACAS 测试

E.2.1　ACAS 测试应包括以下步骤：

1　在信号馈入点，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　应根据需要选定合适的检测频率和输出电流。

3　调整接收机的接收频率，接收频率应与发射机的检测频率一致。

4　应按照使用说明书，根据现场情况选择接收机的定位方式对管道定位。

5　沿目标管道正上方，以一定间距测量并记录发射机施加在管道上的信号电流值，并对测量点位置记录，测量点的间距应根据实际需要确定，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，并在电流衰减异常（斜率增大）的管段位置做好标识。

E.2.2　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。

附录F　皮尔逊法

F.1　一　般　规　定

F.1.1　皮尔逊法可用于埋地管道防腐层检漏。通过比较沿管道方向两个可移动式的接地电极间的电位梯度来定位埋地管道防腐层漏点位置。

F.1.2　检测设备主要由发射机、接收器、接地极及附件组成。

F.1.3　接收器为手持独立的、具备接收信号灵敏度控制的电池驱动单元。接地极宜为检测者的靴子钉鞋、镶嵌靴子，或者是改进的铝制滑雪杆。

F.2　测　量　步　骤

F.2.1　测试前，应根据防腐层特性选择测量频率，接收器频率应与发射机频率调至一致。

F.2.2　发射器的一端应通过连接阴极保护测试端或管道任意的电连续部位与管道连接，另一端连接到远地点。发射器应以最小的输出激活并进行校准。

F.2.3　检测时应在管道中心线的上方沿管道路由行进，宜将接收器置于探管模式或使用探管器。通过设置标志点或标志旗来指明路由，标志间隔宜为30m。

F.2.4　测试前宜断开与牺牲阳极、其他结构的连接，避免小的漏点不被掩盖或可检管段的长度大幅降低。

F.2.5　管道定位后，应用电缆将接收器接地，以保证每个检测者应与大地保持导电状态，两检测者可佩戴或手持接收器，检测者之间连接电缆宜为6m。

F.2.6　当检测者接近漏点时，耳机的声音强度增加或接收器信

号指示表读数增加；当检测者走过漏点时，信号强度降低。

F.2.7 当进行侧向皮尔逊测量时，携带仪器的检测者直接横穿管道位置，而另一个检测者则与管道侧向保持一定的距离，在通过漏点顶部时会出现一个峰值，可借助最大信号确定该漏点。

F.2.8 漏点位置宜使用标志物进行标志并记录。接收器有记录功能，信号应能被自动记录。

F.2.9 信号强度不易识别时，或检测者间有一个以上的漏点时，宜进行侧向皮尔逊法检测加以验证。

F.2.10 数据处理应符合下列规定：

1 皮尔逊法检测获得的信息为可疑漏点处信号强度的变化，对于无信号强度指示表的仪器，只能记录位置以及测试者关于信号强度的解释；对于有信号强度指示表的仪器，收集的数据宜包括信号强度的增长率、下降率、最大信号强度以及漏点周围信号强度的变化，以便于分析漏点的大小与位置。

2 应使用相对于固定点的距离记录漏点的位置，宜记录仪表上各种信号强度的观察值，用于漏点评价。

3 应记录管道特点、参考点、与其他设施的交叉、信号强度水平及特征等信息。分析检测结果，确定需进一步调查或采取补救措施的位置。当进行多次重复检测时，宜比较记录以确定防腐层的变化情况。

附录 G　通 / 断电位测量测试方法

G.1　一　般　规　定

G.1.1　本方法适用于与电解质（土壤、水）接触良好的埋地金属管道，测量结果可用于从宏观上评价管道阴极保护的有效性。

G.1.2　本方法不适用于存在直流杂散电流干扰或阴极保护电源难以中断的场合。

G.1.3　在测量之前，应确认阴极保护系统运行正常，管道已充分极化；在安装有电容式排流器的区域，测量前应拆除排流器。

G.1.4　目标管段内存在多个阴极保护电源时，应均安装同步电流中断装置，同步精度不低于 10ms。

G.1.5　在采用恒电位仪供电的阴极保护系统中安装电流中断装置时，应将电流中断装置串联至阴极保护电流回路中，并合理选择通 / 断周期，防止出现设备超压。

G.1.6　安装电流中断装置并打开阴极保护电源后，应观察电源的工作参数是否稳定，观察每一个通 / 断电周期内，设备输出电流及管道的断电电位是否有持续衰减现象。存在不稳定状态时，应重新设置通断电周期。

G.1.7　测量过程中所使用的数据记录仪、测量导线及参比电极应符合附录 B 的有关规定。

G.1.8　测试结束后，应及时将阴极保护电源恢复至连续供电状态。

G.2　测　试　步　骤

G.2.1　通断电位法测量图可参考图 G.2.1。

G.2.2　测量时，以一定间隔进行测量，分别读取通电电位（V_{on}）和断电电位（V_{off}）。

G.2.3 测量时，每个测试点应记录 3 次测量结果，取平均值；当电位波动超过 20mV 时，应记录电位波动的范围。

G.2.4 断电电位读取时间应避开电压冲击峰。

G.2.5 发现通 / 断电位衰减较快，或出现明显差异和异常情况时，应缩短测量间隔。

G.2.6 在测量过程中，测量仪器与测试桩内测试电缆和参比电极电接触应保持良好。

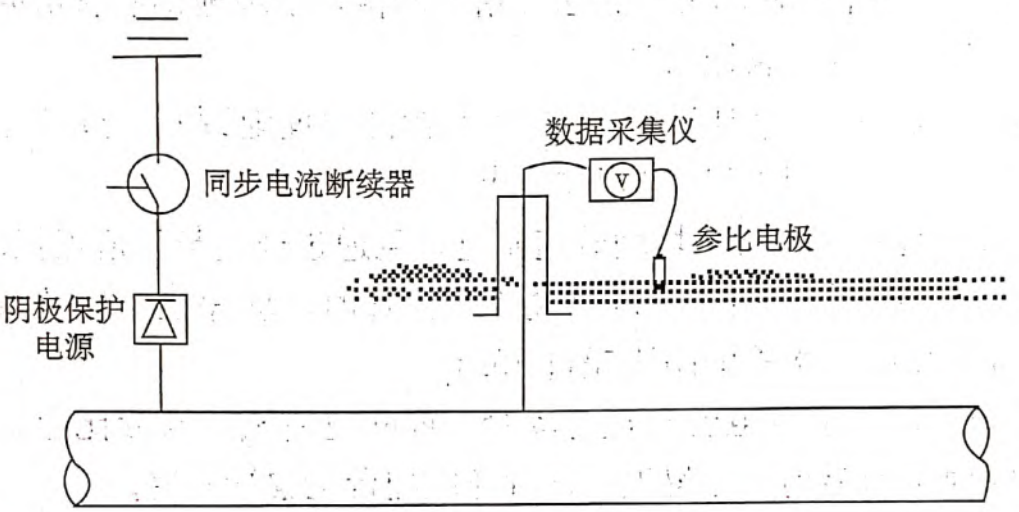

图 G.2.1 通断电位法测量示意图

G.3 数 据 处 理

G.3.1 将测得通 / 断电位数据绘制成曲线图。

G.3.2 根据曲线图识别管道的欠保护、过保护和有效保护管段的长度。

附录 H　试片断电法

H.1　一　般　规　定

H.1.1　本方法适用于在阴极保护电源无法同步中断的场合，可作为通 / 断电位法的替代方法，用于间接评价埋地钢质管道阴极保护的有效性及腐蚀风险。

H.1.2　试片的制作应符合现行行业标准《埋地钢质检查片应用技术规范》SY/T 0029 的相关要求。

H.1.3　试片宜埋设于埋地管道附近，且通过开关与管道连接。

H.1.4　试片若同时用于腐蚀速率的测量时，埋深应与埋地管道的埋深相同，水平间距不超过 30cm。

H.1.5　存在杂散电流干扰的场合，或断电后试片与参比电极之间的地电场影响不可忽视，试片还应配合土壤管使用。

H.1.6　在无杂散电流干扰的场合，试片埋设间距以不造成管道阴极极化出现明显衰减为宜；在存在杂散电流干扰的场合，试片埋设间距应加密。

H.2　测　试　步　骤

H.2.1　测量保护电位前，应确认阴极保护正常运行，试片已充分极化。

H.2.2　按照图 H.2.2 所示接线，测量并记录试片通电电位。

H.2.3　测量试片断电电位时，宜采用数据记录仪详细记录试片的电位衰减过程。数据记录仪的采样频率不低于 25Hz，并选择合适的延时时间读取试片的断电电位值。延时时间可通过现场测试结果确定，并应注意测量结果的重现性。

H.2.4　应连续测量三次，取断电电位的平均值。

H.2.5　在应用土壤管时，土壤管应采用电绝缘材料，直径应大

于测试用参加电极的直径。

H.2.6 试片安装于土壤管底部，土壤管中填充土壤，且保证其露出地面的一端与地表土壤绝缘，按照图 H.2.6 所示安装。

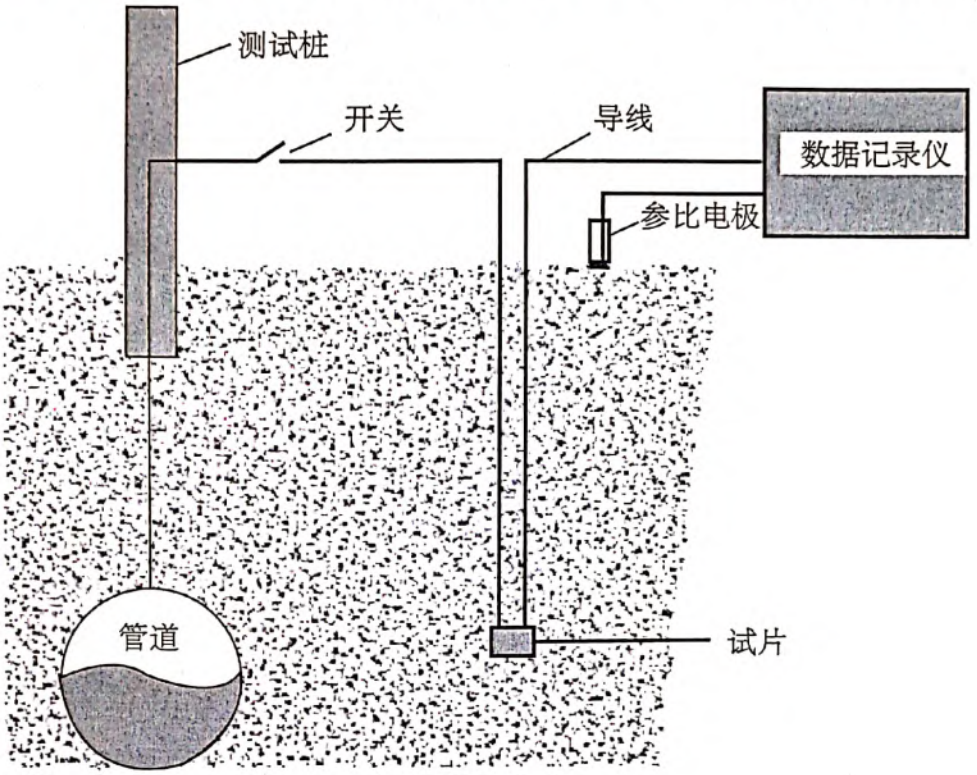

图 H.2.2 试片安装示意图

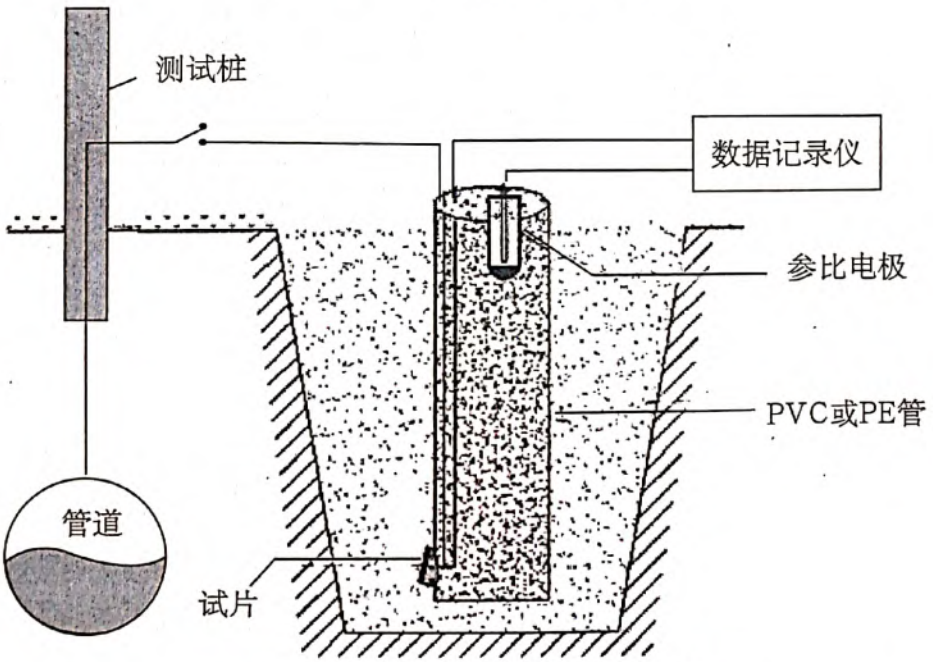

图 H.2.6 试片 + 土壤管安装方法

H.2.7 土壤管中电解质干燥时，应进行浇水处理。

H.2.8 试片及土壤管埋设后应连续工作，并应定期进行维护。

附录 I　防腐层电阻率法

I.1　一　般　规　定

I.1.1　本方法适用于埋地管道外防腐层电阻率的测量，通过沿线设置的电流测试桩或采用电流测试环，测量各点上的通电电位与断电电位和管内电流；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。

I.1.2　防腐层电阻率法测量可参考图 I.1.2。

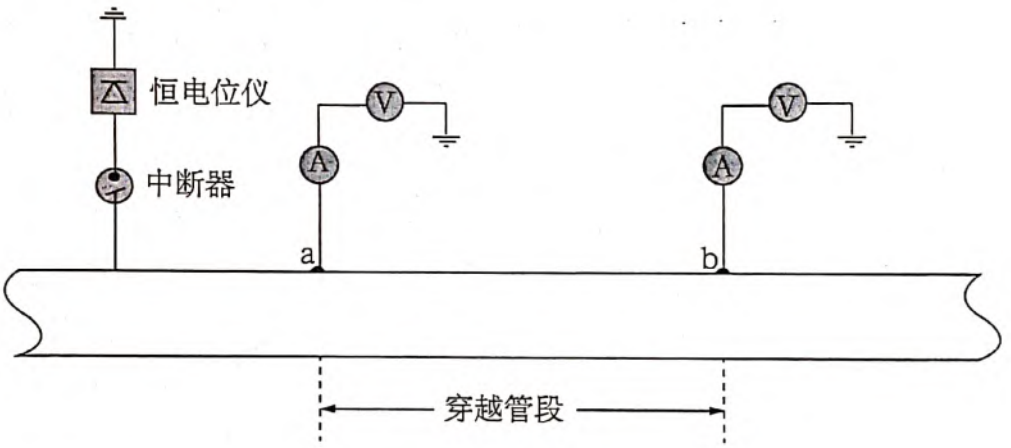

图 I.1.2　外防腐层电阻率测量示意图

I.1.3　测量段内管道应无分支、无接地装置。

I.2　测试及计算

I.2.1　测量段保护电流方向应同向流回通电点，且测量段距离通电点应不小于 πD。采用电流环测试时，两电流环间距应覆盖测试管段。

I.2.2　测试前，应检查检测管段有无外界杂散电流干扰，是否与牺牲阳极相连。有牺牲阳极的应断开。

I.2.3 测试前，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保护准则更负的过保护电位。

I.2.4 测量期间，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，并设置合理的通 / 断周期，同步误差应小于10ms。通 / 断周期设置宜为：通电 12 s，断电 3 s。

I.2.5 在动态杂散电流区域，应在测量段两端同步测量管地电位和管内电流。

I.2.6 测量各测量点的通电电位和断电电位，并可按下式计算电位变化量：

$$\Delta V_a = V_{a\cdot on} - V_{a\cdot off} \tag{I.2.6}$$

式中：ΔV_a——a 测量点的通 / 断电位差（V）；

$V_{a\cdot on}$——a 测量点的通电电位（V）；

$V_{a\cdot off}$——a 测量点的断电电位（V）。

I.2.7 两个测量点的电位差比可按下式计算，比值应在 0.625 ~ 1.6 之间，不满足要求时应在两点之间再增加一处或多处测量点。

$$K = \frac{\Delta V_a}{\Delta V_b} \tag{I.2.7}$$

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）。

I.2.8 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下式计算：

$$\Delta I_a = I_{a\cdot on} - I_{a\cdot off} \tag{I.2.8}$$

式中：ΔI_a——a 测量点的管内保护电流（A）；

$I_{a\cdot on}$——a 测量点的通电状态下的管内电流（A）；

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

I.2.9 各测量段的平均通/断电位差（ΔV_1）和电流漏失量（ΔI_1）可分别按下式计算：

$$\Delta V_1 = \frac{\Delta V_a + \Delta V_b}{2} \tag{I.2.9-1}$$

$$\Delta I_1 = \Delta I_a - \Delta I_b \tag{I.2.9-2}$$

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）。

I.2.10 各测量段防腐层电阻可按下式计算：

$$R_1 = \frac{\Delta V_1}{\Delta I_1} \tag{I.2.10}$$

I.2.11 测量段的平均防腐层电阻率可按下式计算：

$$r_{u,1} = R_1 \cdot \pi \cdot D \cdot L \tag{I.2.11}$$

式中：$r_{u,1}$——测量段的平均防腐层电阻率（$\Omega \cdot m^2$）；

R_1——测量段防腐层电阻（Ω）；

D——管道外径（m）；

L——测量段的长度（m）。

附录 J　极值统计预测最大壁厚损失

J.1　方　法　概　述

J.1.1　本方法适用于根据局部管段的测量数据来预测整体管段的最大腐蚀坑深值。

J.2　极值预测计算及方法

J.2.1　极大值数据分布公式：极大值数据常见分布形式为二重指数分布。其数据累积分布函数 $F(x)$ 数学表达式见公式 (J.2.1)：

$$F\left(x\right) = \exp\left\{-\exp\left[-\frac{x-\lambda}{\alpha}\right]\right\} \tag{J.2.1}$$

式中：λ——数据分布的位置函数；

α——数据分布的尺度函数。

J.2.2　数据累积分布函数的计算应按下列步骤进行：

1　将 N 个在同样条件下测得的最大腐蚀坑深数据由小到大排成序列。

2　标出序号 i 和相应坑深数值 x_i。

3　按平均排列法，累积分布函数宜按下式计算：

$$F\left(x_i\right) = \frac{i}{N+1} \tag{J.2.2}$$

J.2.3　Gumbel 概率纸：为避免烦琐计算，设计了专用的 Gumbel 概率纸 (图 J.2.3)。该纸横坐标为线性刻度，纵坐标为累积分布函数 $F(x)$ 值 (二重指数值)。将实际得到的最大腐蚀坑深数据 x_i 排列后，按公式 (J.2.2) 计算相应的 $F(x_i)$ 值。这些数据点在 Gumbel 概率纸上应呈线性关系。

如果数据不呈线性，表明不符合二重指数分布。其原因可能为测量问题，也可能为样本选择的问题。应先排除这些问题，

方可继续用本方法处理。

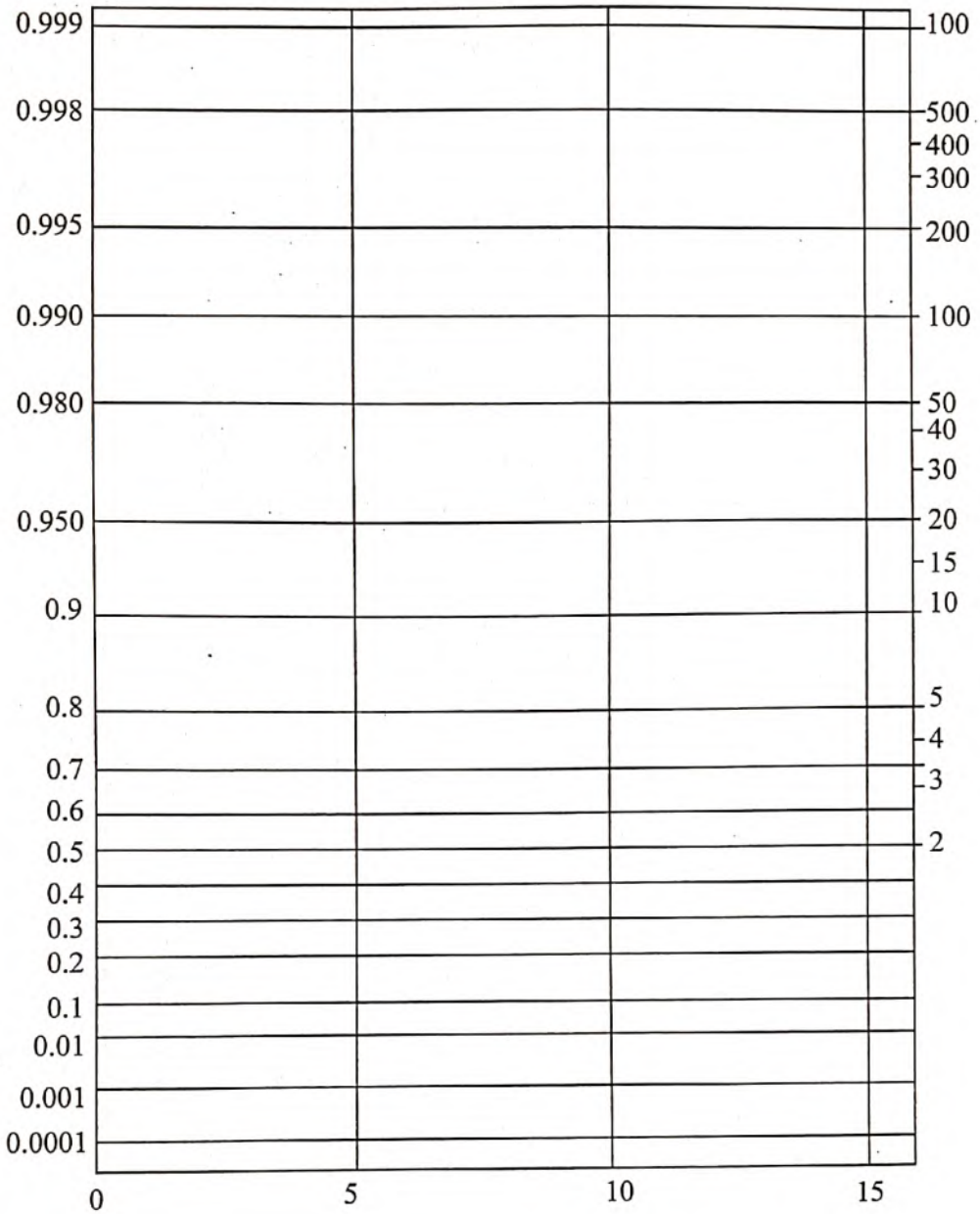

图 J.2.3　Gumbel 概率纸

J.2.4　预测方法：用小样本数据预测大样本极值时，即用少量测试数据预测整体管段（管道）的最大腐蚀坑深，需考虑放大倍率，数学上称为回归期 T，计算式为公式 (J.2.4)：

$$T\left(x_i\right) = \frac{i}{1 - F(x_i)} \tag{J.2.4}$$

将 T 值也绘到 Gumbel 概率纸上，作为右侧纵坐标。

预测时，只要将测量数据拟合的直线向外延伸到实际所需的 T 值位置，交点横坐标即代表放大样本后的最大可能值。

J.2.5 实际放大倍率计算：

方法一：假如某危险管段总长 M 千米，实际开挖区（测量壁厚的管段）长 m 千米，那么根据实测最大腐蚀坑深预测整个危险管段可能存在的最大腐蚀坑深时，放大倍率应为：

$$T=M/m$$

方法二：根据间接检测，发现漏点 M 个，实际开挖测量壁厚的漏点为 m 个，那么预测所需的放大倍率为：

$$T=M/m$$

标准用词说明

1　为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1）表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2）表示严格，在正常状况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2　条文中指明应按其他有关标准、规范执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

《埋地钢质管道腐蚀防护工程检验》GB/T 19285
《埋地钢质管道阴极保护参数测量方法》GB/T 21246
《埋地钢质管道阴极保护技术规范》GB/T 21448
《埋地钢质管道交流干扰防护技术标准》GB/T 50698
《埋地钢质管道直流干扰防护技术标准》GB 50991
《埋地钢质检查片应用技术规范》SY/T 0029
《埋地钢质管道外防腐层保温层修复技术规范》SY/T 5918
《钢质管道管体腐蚀损伤评价方法》SY/T 6151
《含缺陷油气管道剩余强度评价方法》SY/T 6477
《腐蚀管道评估推荐作法》SY/T 10048

中华人民共和国石油天然气行业标准

钢质管道及储罐腐蚀评价标准
第1部分：埋地钢质管道
外腐蚀直接评价

SY/T 0087.1—2018

条 文 说 明

修 订 说 明

本标准是根据《国家能源局关于下达2016年能源领域行业标准制（修）订计划的通知》（国能科技〔2016〕238号）的要求，由主编单位会同参编单位共同编制修订而成。

本次修订及标准研究中，本标准编制组进行了广泛的调研，认真总结了国内开展管道外腐蚀直接评价的实践经验，参考《管道外腐蚀直接评价》NACE SP 0502：2010等国外先进标准，开展了现场应用验证，将我国应用实际与国外的腐蚀直接评价技术思路相结合，在检测技术、评价技术方面均形成了先进实用的管道外腐蚀直接评价技术，使修订后的标准在技术的先进性、可靠性和可操作性方面均有所提高。

本版标准在检测及评价技术方面有了重大修改。

为便于有关人员在使用本标准时能够正确理解和执行条文规定，本标准编制组根据中华人民共和国住房和城乡建设部《工程建设标准编写规定》有关编制标准条文说明的规定，按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与本标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握本规范规定的参考。

目　次

1　总则 …… 74
2　术语 …… 75
3　基本规定 …… 76
4　评价指标 …… 77
4.4　阴极保护效果评价 …… 77
4.5　交直流排流效果评价 …… 77
5　预评价 …… 78
5.3　ECDA 管段划分 …… 78
5.4　检测方法的选择 …… 78
5.5　ECDA 可行性评价 …… 79
6　间接检测与评价 …… 80
6.4　间接检测结果评价 …… 80
7　直接检测与评价 …… 82
7.3　开挖检测要求 …… 82
7.5　防腐（保湿）层检测 …… 82
7.7　腐蚀管道的安全评估 …… 82
9　记录和报告 …… 84
附录 A　各种记录表格 …… 85
附录 D　交流电位梯度法（ACVG） …… 86

1 总　　则

1.0.2　本条规定了本标准的适用范围，主要适用于石油行业各类陆上埋地钢质管道外腐蚀直接评价。

2 术　语

本次修改的“直流电位梯度法”、“交流电位梯度法”等定义主要参考《管道外腐蚀直接评价》NACE SP0502：2010 等国外标准进行适当修改。增加了“通断电位法”、“试片断电法”、“皮尔逊法”、“防腐层电阻率法”四种方法定义。

2.0.12 “通 / 断电位法”定义是参考《埋地或水下金属管道上密间距和直流表面电位梯度测量的实施》NACE SP0207：2007 中电中断的密间隔电位检测（on/off 检测）[interrupted close-interval potential survey (on/off survey)] 给出的。

2.0.13 “试片断电法”定义是参考《埋地或水下金属管道上密间距和直流表面电位梯度测量的实施》NACE SP0207：2007 中的瞬时断电电位 (instant-off potential) 定义和现行行业标准《埋地钢质检查片应用技术规范》SY/T 0029 的相关内容确定的。

2.0.14 “皮尔逊法”是以该技术的发明者 J.M. Pearson 的名字来命名，主要用于涂层漏点的定位。《地上检测技术评价地下管道涂层情况的测试方法》NACE TM0109：2009 中给出的“皮尔逊法”定义为：一种用于埋地管道漏点位置定位的地上测量方法，电位梯度来源于涂层漏点处交流信号向大地的泄漏。本标准主要参考 NACE 的定义。

2.0.15 “防腐层电阻率法”是美国防腐蚀工程协会标准《埋地管道保护涂层电导测量方法》NACE TM0102：2002 推荐的方法，NACE 标准虽然给出了方法的具体内容、测试步骤以及计算等要求，但有关该方法的术语定义，在国内外相关标准均没有明确给出，本标准的定义为该方法的首次定义。

3 基 本 规 定

3.0.3 强调检测与评价工作应由专业人员完成，外腐蚀检测评价工作要求专业化程度较高，需由经过专业培训和相关实际经验的人员方可胜任，有利于保证检测和评价工作的准确性和可靠性。

4 评 价 指 标

4.4 阴极保护效果评价

管道阴极保护准则，在现行国家标准《埋地钢质管道阴极保护技术规范》GB/T 21448 中已有明确要求，按该标准执行即可。

4.5 交直流排流效果评价

《埋地钢质管道交流干扰防护技术标准》GB/T 50698—2011、《埋地钢质管道直流干扰防护技术标准》GB 50991—2014 中已有明确要求，本标准应执行相应专项标准进行评价。

5 预 评 价

5.3 ECDA 管段划分

划分 ECDA 管段的目的是将具有相似物理特性、腐蚀历史、腐蚀环境、施工和管理、可采用的间接检测方法等条件管段进行区分，以便对比和评价。

5.4 检测方法的选择

在原标准中增加了通 / 断电位法、试片断电法、皮尔逊法、防腐层电阻率法，上述四种检测方法也是目前检测应用中相对较为成熟的方法。

通 / 断电位法主要用于对外腐蚀的确认性评价，一般用于完成首次 ECDA 后的再评价，适用于上次 CIPS 评价中管道阴极保护状况好、管道周边环境变化不大的管段，能够提高阴极保护检测的效率，减少工作量。

试片断电法主要用于直流杂散电流干扰段或对其他阴极保护检测方法进行对比确认。正常情况下一般采用 CIPS 法评价管道阴极保护有效性，但在直流杂散干扰段，特别是地铁等动态直流干扰段，由于通过通断阴极保护电源不能完全中断阴极保护测量回路中的电流，不能得到管道的准确断电电位，对于此段管道的评价需要用试片断电法评价管道阴极保护水平。需要指出的是，由于试片断电法电位仅代表与管道裸露面积大小相当且所处环境相似的管道破损处的阴极保护水平，同时极化试片的极化水平与埋设管道深度、试片朝向、形状、大小等关系密切，采用试片断电法应充分考虑上述因素。

防腐层电阻率法是参考美国防腐蚀工程协会标准《埋地管

道保护涂层电导测量方法》NACE TM0102:2002 提出的一种基于防腐层平均电导率来评价防腐层质量状况的方法。该方法已被中国石油天然气集团公司企业标准《油气管道定向钻穿越外涂层技术规范》Q/SY 1477—2012 所采用，在国内定向钻穿越段被广泛认可。由于检测技术的局限性，目前的外检测方法主要以徒步检查为主，对于河流等穿越段不能实现对管道的 100%防腐层漏点检测，通过防腐层电阻率法可对穿越段管道的腐蚀防护水平做整体判断。该方法在密云支线等在役管道开展的现场试验，效果良好，故纳入本标准。

本标准取消了原标准中有关现场检测专用设备、仪表等内容，这部分内容应不属于本标准规定的内容。

5.5 ECDA 可行性评价

5.5.1 受到检测现场环境和检测方法的限制，本条所列条件下 ECDA 不宜使用。因此在出具 ECDA 报告时，应注明开展 ECDA 受限的管段和原因。

6 间接检测与评价

本章参考《管道外腐蚀直接评价》NACE SP0502:2010 对外腐蚀直接评价中的核心内容进行细化，充实了间接检测现场实施、数据的确认和修正、间接检测结果评价等方面的内容，以增强标准的可操作性和实用性。

6.4 间接检测结果评价

6.4.2 间接检测结果指标通常是一般性准则，而在确定分级准则时，运行方还必须考虑管线所处具体环境和工作人员分析数据的专业水平。对于单项检测指标，仪器显示指标仅为测试过程中的相对指标，在实际判定时应根据多方面因素进行综合考虑。表 6.4.2–1 中的每一个指示分级应考虑所用间接检测工具能力和 ECDA 区特定环境。

在原标准基础上，增加了表 6.4.2–2，即间接检测结果综合评价指标，提示在使用时，根据土壤腐蚀性、阴极保护情况、防腐层缺陷情况等多方面因素进行综合评价。

综合评价指标主要用于更科学地指导后续开挖修复。随着国民经济的发展，防腐层开挖修复的成本逐年增加，如何合理确定开挖数量，减少不必要的开挖修复，是管道企业所关注的问题。决定开挖的主要因素是腐蚀风险，腐蚀风险和土壤电阻率关系密切，《埋地钢质管道阴极保护技术规范》GB/T 21448—2008 等标准中针对不同土壤电阻率地区，规定不同的阴极保护有效性指标，如土壤电阻率在 100Ω·m～ 1000Ω·m环境中的管道阴极保护电位宜负于 –750mV（相对 CSE），土壤电阻率大于 1000Ω · m 环境中的管道阴极保护电位宜负于 –650mV（相对

CSE)。因此对土壤电阻率高且阴极保护有效的管段可验证性地开挖修复，若开挖发现同等程度的缺陷点破损不大且阴极保护良好，在后期的“间接评价分级准则、开挖顺序的修正”的过程中检测人员可适当减少开挖数量。

交、直流干扰是缺陷腐蚀性的独立影响因素，阴极保护不一定能降低交流腐蚀风险，交、直流腐蚀与土壤电阻率和防腐层漏点大小关系密切。因此，在新版标准中建议单独对交、直流腐蚀进行评价，在间接检测过程中应注意对交、直流干扰数据的采集。

关于间接检测评价指标，《管道外腐蚀直接评价》NACE SP0502:2010 仍然采用了定性指标，在 DCVG 测量指标中取消了 *IR*% 这个评价指标。《地上检测技术评价地下管道涂层情况的测试方法》NACE TM0109:2009 中也针对上述检测方法提出了电流衰减率 γ，*IR* %，*dB* 可以用来表征防腐层缺陷的大小，但并未给出具体的分级指标。目前外腐蚀检测行业中逐步形成了一些基于电流衰减率、交流电位梯度 *dB* 值、直流电压降 *IR*% 的定量评价指标，这些指标在实际应用中的可靠性并不高。基于上述原因，本次修订间接检测评价指标仍采用定性指标。

国外标准分级是指在一般年平均条件下，评价每个指示出现腐蚀活性可能性的方法。其分级如下：

重——管道运行方认为具有最高腐蚀活性可能性的指示。

中——管道运行方认为具有一般腐蚀活性可能性的指示。

轻——管道运行方认为具有钝化或最低腐蚀活性可能性的指示。

7 直接检测与评价

7.3 开挖检测要求

7.3.1 原标准中仅给出了管道悬空长度的最低标准，对于管道开挖悬空长度在现行行业标准《埋地钢质管道外防腐层保温层修复技术规范》SY/T 5918 附录 A 关于管道开挖允许悬空长度的计算方法中有明确规定，因此在新版标准中给出了具体的参照标准号，以便于使用者查找和计算。此外，为便于后期跟踪调查和复检，在开挖检测要求部分增加了对直接开挖点位置及现场环境的描述。

7.5 防腐（保湿）层检测

7.5 在防腐（保温）层检测部分，鉴于目前在 3PE 防腐层管道上补口失效所占比例较大，因此将补口调查单独列出，并规定了补口处防腐层检查的具体内容。

考虑到在开挖检测前期阴极保护状况已经检测，且在开挖完成后，防腐层破损点暴露后，阴极保护电流已不再对该破损点处的管道金属起到阴极极化作用，且外部的阴极保护电位分布已发生变化，所测电位无法反映防腐层破损点处的阴极保护状况，因此删除了原标准中开挖点处阴极保护状况调查的内容。

7.7 腐蚀管道的安全评估

7.7 现行行业标准《含缺陷油气管道剩余强度评价方法》SY/T 6477、《腐蚀管道评估推荐作法》SY/T 10048 或《钢质管道管体腐蚀损伤评价方法》SY/T 6151 等，对腐蚀管道安全评价方

法均有细致、明确的规定和要求，上述标准目前在完整性评价中应用较为普遍，且基本是采标或引用了国际上的 API RP 579、DNV RP F101、AMSE B31G 等标准的内容或计算方法。因此，删除了原标准中关于腐蚀管道的安全评价方法，推荐直接采用上述标准的做法。

在实际工程中，由于电火花检测应用较少，在使用过程中还存在击穿防腐层的风险，因此删除了原标准中关于电火花检测的内容。

9 记录和报告

记录和报告内容要求增多主要为适应完整性管理需求，强调过程数据收集，因此对此部分内容进行了细化，补充了检测过程中应记录的内容和检测单位需要提交的报告内容，使用时可根据工程特点和检测要求对报告进行必要调整。

附录 A　各种记录表格

附录 A 中所有表格为参考表格，使用时可根据实际情况进行必要增减。

表 A.2.3　仅列出了 CIPS，DCVG 两种应用较多的检测方法，实际应用时应按选用的不同方法进行适当调整。

附录 D　交流电位梯度法（ACVG）

D.2　ACVG 测试

D.2.6　分析 ACVG 测量结果时宜同时考虑电流、土壤电阻率、管道尺寸及其他相关数据，主要因为：电位梯度是电流的函数，它受管道周围土壤电阻率和土壤均匀性的影响。例如，在高土壤电阻率中的涂层管道上检测到的一个很小缺陷，事实上，实际的缺陷尺寸（如定义为与电解质接触的裸露表面）可能比另一个土壤电阻率低的环境中指示为很大的缺陷尺寸更大。