

**T/CECS XXX—202X**

**中国工程建设标准化协会标准**

埋地钢质管道城市轨道交通杂散电流检测评价与防护技术规程

Technical specification for detection, evaluation and protection of urban buried steel pipeline interfered by rail transit stray current

（征求意见稿）

**中国计划出版社**

中国工程建设标准化协会标准

**埋地钢质管道城市轨道交通杂散电流检测评价与防护技术规程**

Technical specification for detection, evaluation and protection of urban buried steel pipeline interfered by rail transit stray current

**T/CECS XXX—202X**

主编单位：中冶建筑研究总院有限公司

北京科技大学

批准部门：中国工程建设标准化协会

施行日期：202X年XX月1日

**中国计划出版社**

202X 北 京

**前言**

根据中国工程建设标准化协会《关于印发﹤2019年第二批协会标准制订、修订计划﹥的通知》（建标协字[2019] 022号文）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制订本规程。

本规程分为9章，主要技术内容包括：前言；1.总则；2.术语；3.基本规定；4.现场调查与测试；5. 干扰的识别与评价；6. 排流防护方案设计；7. 干扰防护效果测试与评定；8. 干扰防护系统的运行维护；9.干扰源方的协调与配合工作（附则）。

请注意本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会冶金专业委员会归口管理，由中冶建筑研究总院有限公司和北京科技大学负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送解释单位（地址：北京市海淀区西土城路33号，中冶建筑研究总院有限公司，邮政编码：100088）。

本规程主编单位：中冶建筑研究总院有限公司、北京科技大学

参编单位：

本规程主编人员：

本规程参编人员：

本规程主要审查人：

**目 次**

[**1 总则** 1](#_Toc76117676)

[**2 术语** 1](#_Toc76117677)

[**3 基本规定** 3](#_Toc76117678)

[**4 现场调查与测试** 3](#_Toc76117679)

[**4.1 一般规定** 3](#_Toc76117680)

[**4.2 干扰源调查** 4](#_Toc76117681)

[**4.3 初步测试** 5](#_Toc76117682)

[**4.4 详细测试** 6](#_Toc76117683)

[**4.5检查片的要求** 6](#_Toc76117684)

[**5干扰的识别与评价** 7](#_Toc76117685)

[**5.1一般规定** 7](#_Toc76117686)

[**5.2 干扰识别** 7](#_Toc76117687)

[**5.3 干扰程度评判准则** 7](#_Toc76117688)

[**6 干扰防护方案设计** 9](#_Toc76117689)

[**6.1 一般规定** 9](#_Toc76117690)

[**6.2 轨交侧干扰防护** 10](#_Toc76117691)

[**6.3 管道侧干扰防护** 10](#_Toc76117692)

[**6.4 联合防护措施** 12](#_Toc76117693)

[**7干扰防护效果测试与评定** 13](#_Toc76117694)

[**7.1 一般规定 13**](#_Toc76117695)

[**7.2 测试内容及要求 14**](#_Toc76117696)

[**7.3 效果评定 14**](#_Toc76117697)

[**8干扰防护系统的运行维护 15**](#_Toc76117698)

[**8.1一般规定 15**](#_Toc76117699)

[**8.2一般性检查与维护 15**](#_Toc76117700)

[**8.3全面检查与维护 15**](#_Toc76117701)

[**8.4数据管理 16**](#_Toc76117702)

[**9干扰源方的协调与配合工作（附则）** 17](#_Toc76117703)

[**本规程用词说明** 18](#_Toc76117704)

**1 总则**

**1.0.1**为防控埋地钢质管道（以下简称“管道”） 所受城市轨道交通动态直流杂散电流（以下简称“杂散电流”）的干扰，规范杂散电流干扰测试、评价与防护技术要求，制定本规程。

**1.0.2**本规程适用于管道在设计和运行阶段为控制杂散电流对管道干扰而开展的测试、评价与防护工作。

**1.0.3** 管道杂散电流干扰测试、评价与防护工作除应执行本规程外，尚应符合国家现行有关标准及相关规定。

**2 术语**

**2.0.1**城市轨道交通 urban rail transit

城市中修建的快速、大中运量，用直流电力牵引，并利用走行轨回流的城市轨道交通线路，线路可在地下、地面或高架上敷设。

**2.0.2**直流杂散电流 DC stray current

在非指定回路中流动的直流电流。

**2.0.3**动态直流杂散电流 dynamic stray current

大小或流动方向随时间变化的直流杂散电流。

**2.0.4**直流杂散电流腐蚀 DC stray current corrosion

由直流杂散电流引起的腐蚀。

**2.0.5**干扰防护 interference protection

为使管道免受直流杂散电流干扰，采取排流、增设阴极保护、修复防腐层或电屏蔽等方式对直流杂散电流干扰进行治理和控制的过程。

**2.0.6**直流杂散电流排流 electric drainage for DC stray current

通过人为形成电气通路，使管道中的直流杂散电流直接或间接的流回到干扰源负极，减弱直流杂散电流对管道干扰影响的防护措施。

**2.0.7**检查片 coupon

由与被调查管道同类材质制作的用于模拟埋地管道防腐层破损点的金属试片，用于腐蚀速率、阴极保护电位或杂散电流干扰参数的测试。

**2.0.8**地电位梯度 soil potential gradient

单位长度上地表土壤电位的变化值或电位对距离的变化。

**2.0.9**车辆基地 base for the vehicle

地铁系统的车辆停修和后勤保障基地，通常包括车辆段、综合维修中心、物资总库、培训中心以及相关的生活设施。

**2.0.10**极化电位 polarized potential

消除由阴极保护电流或其他电流所引起的IR降后金属/电解质界面的电位。

**2.0.11** ER腐蚀探头 ER corrosion probe

 利用电阻值的变化来确定金属腐蚀速率的测试探头。

**2.0.12**接地排流 drainage by grounding

将被干扰管道与排流接地体相连，使管道内的直流杂散电流通过排流接地体流入大地，进而回流干扰源负极的一种排流方式。

**2.0.13**强制接地排流 forced drainage by grounding

被干扰管道与排流接地体通过强制排流电源相连，使管道内的直流杂散电流通过排流接地体流入大地，进而回流干扰源负极的一种排流方式。

**2.0.14**极性排流 polarity drainage

在被干扰的管道与干扰源负极或排流接地体之间串入具备正向导通、反向截止特性的二极管防逆流装置的一种排流方式。

**2.0.15**管道阳极区 anodic region of pipeline

管道向土壤中排放杂散电流的区域。

**2.0.16**管道阴极区 cathodic region of pipeline

管道从土壤中吸收杂散电流的区域。

**2.0.17**交变区 alternating region of pipeline

直流杂散电流流入或流出管道的方向不断变化的区域，这一区域管道的干扰状态不稳定，有时从土壤中吸收直流杂散电流，而有时又会向土壤中排放直流杂散电流。

**3 基本规定**

**3.0.1**管道在设计和运行阶段，应考虑杂散电流对管道的腐蚀危害，并应对管道可能受到的杂散电流干扰进行调查测试和评价。

**3.0.2**对管道造成杂散电流腐蚀影响的城市轨道交通方，应根据国家相关法规及标准采取减少杂散电流的措施，并应为管道杂散电流的调查测试和防护工作提供配合和支持。

**3.0.3**在干扰区域，宜由管道方、城市轨道交通方及其他有关各方的代表组成防干扰协调机构，对干扰进行统一测试、评价和防护设计。

**3.0.4**处于城市轨道交通直流牵引系统干扰源附近的管道，宜进行干扰源侧和被干扰管道侧两方面的调查测试。

**3.0.5**管道在设计和运行阶段，应根据杂散电流干扰评价结果，采取相应的干扰防护措施。

**3.0.6** 在采取防护措施时，应避免对其邻近的其他埋地金属构筑物产生干扰影响，当采取措施后仍不能消除这种干扰影响时，可将受到影响的其他埋地金属构筑物纳入拟定的干扰防护系统，实施共同防护。

**3.0.7** 受杂散电流干扰的管道应设置干扰参数和腐蚀速率测试检查片。

**3.0.8**测试人员应经过电气安全和阴极保护知识培训，并应掌握与测试技术相关的电气安全知识和基本测试知识。

**4 现场调查与测试**

**4.1 一般规定**

**4.1.1** 在调查与测试工作中应遵守现行标准与相关方的有关安全规定。

**4.1.2** 在调查与测试工作中所使用的测试仪表、参比电极应执行现行标准和相关方的有关规定。

**4.1.3** 在调查与测试开始前，应明确调查测试的具体内容和实施测试的管道范围，选定测试点和测试时间。

**4.1.4** 测试作业宜分为下列两种类型：

1. 初步测试：用于初步了解管道受杂散电流干扰程度，通常测试管道通电电位的变化特征和分布；可使用万用表、具备存储功能的数据记录仪或远程监测系统进行短时间测试；
2. 详细测试：包括干扰程度评估测试和防护效果评定测试。
3. 干扰程度评估测试用于详细了解管道受杂散电流干扰程度；防护效果评定测试用于评定管道侧干扰防护措施的效果并指导干扰防护措施的调整。
4. 详细测试内容包括管道的通电电位、断电电位以及直流电流密度及土壤腐蚀性等参数；应使用具备存储功能的数据记录仪或远程监测系统配合检查片进行24h或更长时间测试。

**4.2 干扰源调查**

**4.2.1** 被干扰管道侧及干扰源侧调查与测试项目宜按表4.2.1的规定进行选择。

表4.2.1调查与测试项目

| 测试对象 | 调查与测试项目 | 测试分类 |
| --- | --- | --- |
| 初步测试 | 干扰程度评估测试 | 防护效果评定测试 |
| 管道侧 | 管道路由、材质、直径、埋深、服役年限、腐蚀历史及形貌特征等基础信息 | ◎ | ◎ | ◎ |
| 管道外防腐层类型，防腐层面电阻率，破损点及开挖腐蚀检测、以及缺陷点修复状况 | ○ | ○ | ○ |
| 管道阴极保护系统和干扰防护系统的设置、运行参数及运行状况 | ○ | ● | ● |
| 管道绝缘法兰/接头、跨接线、测试点分布状况 | ◎ | ● | ○ |
| 管地电位及其分布 | ● | ● | ● |
| 管（壁）中流动的干扰电流 | ○ | ○ | — |
| 管道干扰电流流入、流出管段分布规律 | ○ | ● | ● |
| 检查片或探针的腐蚀速率 | ○ | ◎ | ◎ |
| 管道沿线土壤电阻率 | ◎ | ● | ○ |
| 土壤表面电位梯度与杂散电流流向 | ○ | ○ | ○ |
| 相邻或交叉的其他埋地金属结构物的阴极保护和干扰防护系统的运行参数和运行状态 | ◎ | ● | ○ |
| 管道和站场、阀室的接地系统电连接状况 | ◎ | ● | ○ |
| 其他需要测试的内容 | 根据需要选择 |
| 轨道交通侧 | 牵引供电系统的建设时间、供电电压、馈电方式 | ◎ | — | — |
| 轨道交通线路、车站、车辆段、检修基地分布情况及与管道的相互位置关系 | ● | ● | — |
| 牵引变电所的分布情况与管道的相互位置关系 | ◎ | ● | — |
| 轨道交通沿线杂散电流收集网设计参数及运行情况 | ○ | ○ | ○ |
| 轨道交通沿线接地装置分布及运行状况 | ○ | ◎ | ○ |
| 轨道交通沿线排流柜、钢轨电位限制装置设置及运行状况 | ◎ | ◎ | ○ |
| 轨道交通钢轨回流系统内单向导通装置的设置及运行状况 | ○ | ◎ | ○ |
| 车辆运行状况及牵引电流分布 | ○ | ○ | ○ |
| 轨道对地电位及其分布 | ○ | ○ | ○ |
| 钢轨过渡电阻及纵向电阻 | ○ | ◎ | ○ |
| 钢轨附近地电位梯度 | ○ | ○ | ○ |
| 其他需要测试的内容 | 根据需要选择 |

注：●—应进行的项目；◎—宜进行的项目；○—可进行的项目

**4.2.2**管道与轨道交通系统交叉或水平距离接近时，应按照如下原则设置杂散电流干扰测试装置：

1. 管道与轨道交通系统线路交叉的位置，应设置杂散电流干扰测试装置。
2. 管道与轨道交通系统车站间距不足1km的位置，应设置杂散电流干扰测试装置。
3. 管道与轨道交通系统车辆基地间距不足3km的位置，应设置杂散电流干扰测试装置。
4. 管道与轨道交通系统线路并行，且最小水平间距小于50米时，应设置杂散电流干扰测试装置，并行管段的测试装置间隔应不大于1km；最小水平间距在50～1000米之间时，宜设置杂散电流干扰测试装置。

**4.3 初步测试**

**4.3.1** 初步测试应符合下列规定：

1. 在可能存在轨道交通杂散电流干扰的管段进行测试时，宜利用管道现有的测试点；
2. 初步测试的主要内容是管道的通电电位的波动情况。可采用万用表、具备存储功能的数据记录仪或远程监测系统进行不少于10分钟的连续测量并记录电位波动范围；如测量中使用万用表，宜采用具备自动采集最大值、最小值、平均值功能的数字万用表。

**4.4 详细测试**

**4.4.1** 详细测试应符合下列规定：

1. 测试点应根据初步测试结果布设在干扰较严重的管段上，可利用管道现有的测试点，在干扰幅值最大的位置附近宜增加测试点，测试点最大间距不宜大于1km；
2. 每次测试的持续测试时间宜不少于24h。在已经了解干扰源负荷变化规律的情况下，持续测试时间可适当缩短，但应包括干扰源负荷的高峰和低谷2个时间段，对现有排流点、管道绝缘接头（法兰）两端，管道与干扰源接近或交叉处等具有代表性的点，应进行不少于24h连续测试。应使用数据记录仪或远程监测装置测量并记录阴极保护检查片的断电电位，数据记录仪采样频率不低于每分钟4次。

**4.4.2** 防护效果评定测试除应符合本规范第4.4.1条的规定外，还应符合下列规定：

1. 测试点宜在干扰程度评估测试的测试点中选定，应包括拟定排流点、实际排流点和采取其他防护措施的位置、相邻两个排流点中间位置等具有代表性的点；
2. 持续测试时间应不少于24h；
3. 测试宜在所有防护设施全部运行状态下进行。

**4.5检查片的要求**

**4.5.1**检查片裸露面积宜为1cm2～50cm2，检查片除裸露表面外，其余部位应作好防腐绝缘；当杂散电流干扰程度为低时，用于评估阴极保护有效性的测试试片面积可根据防腐层类型依据表4.5.1进行选取；当对杂散电流干扰程度进行评估时，检查片面积宜选用1cm2；自腐蚀试片的面积可选取6.5 cm2～50 cm2。

**表4.5.1检查片面积选取建议**

|  |  |
| --- | --- |
| **防腐层类型** | **试片尺寸** |
| 3PE | 1 cm2～6.5 cm2 |
| FBE | 6.5 cm2～10 cm2 |
| 煤焦油沥青、胶带类防腐层 | 10 cm2～50 cm2 |

**4.5.2**所选检查片面积及数量不宜影响阴极保护系统的输出电流。

**5干扰的识别与评价**

**5.1一般规定**

**5.1.1** 宜通过干扰源调查与不少于24h的长周期测试来对管道所受杂散电流干扰进行识别和评价。

**5.1.2**在进行埋地钢质管道受杂散电流干扰识别与评价时应综合考虑但不限于以下因素：管地电位，管道与轨交系统的相对位置，走行轨对地的过渡电阻，土壤电阻率等。

**5.2 干扰识别**

**5.2.1**埋地钢质管道所受杂散电流干扰宜通过管地电位随时间的变化规律与轨道交通系统运行状况的对应性来进行识别，当轨道交通系统运行期间，管地电位呈现周期为0~300s的明显波动，且轨道交通系统停运期间，管地电位基本无波动，可判断为存在轨交杂散电流干扰。

**5.2.2**可利用管地电位与附近轨地电位、管轨电位、轨道交通系统运行状态等因素的关联性明确干扰源。

**5.3 干扰程度评判准则**

**5.3.1**管道工程处于设计阶段时，可采用管道拟经路由两侧各20m范围内的地电位梯度判断土壤中杂散电流的干扰程度，评判指标见表5.3.1；当干扰程度评判为中时，宜设计干扰防护措施；当干扰程度评判为高时，应设计干扰防护措施。

**表5.3.1 杂散电流干扰程度地电位梯度评判指标**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 干扰程度 | 低 | 中 | 高 |
| 地电位梯度(mV/m) | ≤0.5 | 0.5 ~ 2.5 | ≥2.5 |

**5.3.2** 未施加阴极保护的管道，杂散电流干扰程度宜采用管道极化电位相对于该环境中管道自然腐蚀电位正向偏移超过20mV的时间比例进行评判，评判指标见表5.3.2。

**表5.3.2 未施加阴极保护的管道杂散电流干扰程度评判指标**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 干扰程度等级 | 低 | 中 | 高 |
| 管道极化电位相对于自然腐蚀电位正向偏移大于20mV的时间比例 | ≤5% | 5% ~15% | ≥15% |

**5.3.3**已施加阴极保护的管道，当可以获得腐蚀速率数据时，杂散电流干扰程度宜根据腐蚀速率进行评判，评判指标见表5.3.3。

**表5.3.3杂散电流干扰程度腐蚀速率评判指标**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 干扰程度等级 | 低 | 中 | 高 |
| 平均腐蚀速率(mm/a) | ≤0.03 | 0.03 ~ 0.1 | ≥0.1 |

**5.3.4** 已施加阴极保护的管道当无法获得腐蚀速率数据时，杂散电流干扰程度宜采用管道极化电位相对于该环境中管道最小阴极保护电位准则偏移量及时间比例进行评判，评判指标应符合表5.3.4的规定。

**表5.3.4 已施加阴极保护的管道杂散电流干扰程度评判指标**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 干扰程度等级 | 管道极化电位正于最小阴极保护电位准则不同偏移量的时间比例 | 备注 |
| 正于最小阴极保护电位准则的时间比例 | 正于最小阴极保护电位准则+50mV的时间比例 | 正于最小阴极保护电位准则+100mV的时间比例 |
| 低 | ≤5% | ≤2% | ≤1% | 同时满足三个条件评价为低 |
| 中 | 5% ~ 20% | 2% ~15% | 1% ~5% | 先对高、低风险进行评判，既不属于低风险，也不属于高风险的情况，评价为中 |
| 高 | ≥20% | ≥15% | ≥5% | 满足其中一个或多个条件评价为高 |

**注：**表5.3.4中的最小阴极保护电位准则根据《埋地钢质管道阴极保护技术规程》 GB/T 21448 第4.4.2节中规定的最小阴极保护电位（管地极化电位）确定，对于碳钢材料：

1. 一般土壤或水环境，最小保护电位为-0.85V（相对于铜/饱和硫酸铜参比电极，以下电位均相对于该参比电极）；
2. 温度高于60℃时，最小保护电位为-0.95V；
3. 当环境电阻率大于100 Ω·m 且小于1000 Ω·m时，最小保护电位为-0.75V；
4. 当环境电阻率大于或等于1000 Ω·m时，最小保护电位为-0.65V；
5. 当存在硫酸盐还原菌（SRB）时，最小保护电位为-0.95V；

**5.3.5** 当管道受杂散电流干扰程度评判为中时，宜采取干扰防护措施；当干扰程度评判为高时，应采取干扰防护措施。

**6 干扰防护方案设计**

**6.1 一般规定**

**6.1.1** 杂散电流干扰防护可通过轨交侧控制杂散电流泄漏量和管道侧施加防护措施（含联合防护）来实现。

**6.1.2**轨交侧应从源头上控制杂散电流的泄漏，并限制其向轨交系统外部扩散。

**6.1.3**管道侧应根据调查测试和评价的结果，综合下列因素选择适当的干扰防护措施：

1. 干扰源具体位置及与管道的相互位置关系；
2. 干扰的范围与影响程度；
3. 干扰极值位置，阳极区、阴极区和交变区的位置；
4. 管道周围地形、地貌、建构筑物、土壤电阻率等环境因素；
5. 管道外防腐层类型及绝缘性能；
6. 管道绝缘装置及绝缘性能；
7. 管道已有干扰防护措施（包括阴极保护和绝缘装置等）及防护效果。

**6.1.4**对于已采用强制电流阴极保护的埋地钢质管道，应优先考虑发挥阴极保护系统的作用，当通过调整现有阴极保护系统无法有效抑制干扰时，再采取直接接地排流、强制接地排流、极性接地排流或其它防护措施。

**6.1.5**对于已采取干扰防护措施的埋地钢质管道遭受新的杂散电流干扰时，应优先考虑利用现有防护措施。当调整现有防护措施无法有效抑制干扰时，再考虑增加其它干扰防护措施。

**6.1.6** 干扰防护中使用的电缆应具备足够的截面，电缆的额定承载电流应为电缆内设计电流量的1.5~2倍。干扰防护中使用的其他材料与设备设施的选取与敷设宜参照现行相关标准的规定。

**6.2 轨交侧干扰防护**

**6.2.1** 轨交系统杂散电流防护原则应为抑制杂散电流产生，并应减少杂散电流向轨交系统外部扩散。选取的防护方案应符合现行行业标准《地铁杂散电流腐蚀防护技术标准》CJJ/T 49中的相关要求。

**6.2.2** 轨交侧应至少通过以下措施控制杂散电流的泄漏量：

1. 走行轨对结构、对地应保持绝缘。当地铁采用防护工程方案二时，新建线路和运行期内轨地过渡电阻均不应小于150 Ω·km；当地铁采用防护工程方案三时，新建线路和运行期内轨地过渡电阻均不应小于15 Ω·km；地铁单线钢轨24h或24h整数倍时间段内流出的平均杂散电流值不应大于2.5 A/km。
2. 适当缩短牵引变电站间距。
3. 走形轨应在正线与车辆段或车辆基地连接处设置绝缘轨缝，此处无机车运行时应保持绝缘状态。
4. 走行轨不得直接接地，不应与无回流要求的其他系统有电气连通，凡与走行轨相连的设备或装置应与接地的基础或元件绝缘，并定期检查。

**6.2.3** 轨交系统杂散电流防护工程应在地铁工程建设阶段完成施工，并应按照《地铁杂散电流腐蚀防护技术标准》CJJ/T 49要求进行工程验收检验，检验合格才能移交使用。

**6.3 管道侧干扰防护**

**6.3.1**管道侧可采用的干扰防护措施包括排流保护、阴极保护、防腐层修复、分段绝缘等，宜根据实际情况采用一种或多种防护措施。

**6.3.2**排流保护方式包括强制接地排流、极性接地排流和直接接地排流等，宜在被干扰埋地钢质管道上选取一点或多点作排流点，设置排流保护设施。

**表6.3.1 常用的管道侧排流保护方式**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 方式 | 强制接地排流 | 极性接地排流 | 直接接地排流 |
| 原理示意图 |  |  |  |
| 适用范围 | 适用于管道阳极区不稳定且干扰相对较大、有供电条件、不能直接向干扰源排流的场合 | 适用于管道阳极区不稳定且不能直接向干扰源排流的场合。 | 适用于管道阳极区稳定且不能直接向干扰源排流的场合 |

**6.3.3**排流点的选择应以获得最佳排流效果为准，宜通过现场排流试验或数值模拟计算并综合下述条件确定：

1. 排流点处管地电位存在较大的正向偏移且正向偏移持续时间较长；
2. 管道沿线存在多个干扰源时，应进行详细的干扰源调查，排流点宜选择影响最大的干扰源附近；
3. 强制接地排流点应考虑供电条件；
4. 排流接地体埋设处的土壤电阻率应较低；
5. 排流点所在场地应便于管理。

**6.3.4**排流的电流量（排流量）宜通过现场排流试验或数值模拟确定。不具备条件时，可参照现行国家标准《埋地钢质管道直流干扰防护技术标准》GB 50991中提供的方法确定。

**6.3.5** 排流防护系统在轨交系统停运后不应对管道腐蚀防护产生影响。

**6.3.6**排流区域应设置排流测试装置，测试装置应具备排流效果测试功能，并与排流系统同步实施。

**6.3.7**埋地钢质管道采用强制接地排流防护时，应符合下列规定：

1. 排流地床宜设置在干扰严重区域，宜尽可能靠近干扰源；
2. 控制系统宜具备自动调节功能；
3. 干扰严重区域宜设实时远程监测报警系统；
4. 地床材料宜选用高硅铸铁阳极或金属氧化物阳极，材料性能符合现行国家相关标准的有关规定。

**6.3.8**埋地钢质管道采用极性接地排流或直接接地排流时，排流地床位置应符合下列规定：

1. 应设置在被干扰管道的干扰较为严重的区段，宜根据缓解目标来确定是否采用极性排流；
2. 应采用电位较负的镁阳极或锌阳极等材料作为接地体，材料性能应符合国家现行相关标准的有关规定；
3. 宜设置在土壤电阻率小的位置。

**6.3.9**应定期进行防腐层绝缘性能检测，及时发现防腐层是否存在破损，干扰区域防腐层的修复应慎重考虑。

**6.3.10**受干扰管道可设置绝缘接头或绝缘法兰等绝缘装置实现管道分段绝缘，并符合下列规定：

1. 对于干扰复杂且采取其他干扰防护措施后无法有效缓解干扰的管段，可通过绝缘装置将其从整条管道中隔离出来，单独采取针对性的防护措施；
2. 绝缘装置应安装防电涌保护器；
3. 绝缘装置位置应设置测试装置；
4. 绝缘装置性能应符合现行相关标准的有关规定；
5. 绝缘装置两侧各10m内的管段防腐等级应提高一级；
6. 应对绝缘装置两端区域进行测试评估，避免形成新的干扰点。

**6.4 联合防护措施**

**6.4.1** 轨交系统杂散电流对埋地钢质管道的干扰防护，应采取“以防为主、以排为辅、防排结合、共同防护”的原则，轨交方与管道方共同协作减少杂散电流的危害。

**6.4.2** 新建线路在规划设计阶段应尽量避免埋地钢质管道与轨交系统近距离并行或交叉敷设，当无法避免时双方应协商确定可行的杂散电流防护方案。

**6.4.3** 埋地钢质管道与轨交系统交叉处、埋地钢质管道与轨交系统水平间距小于50m位置、及埋地钢质管道与车辆段靠近位置，具备管轨电连接的区域，管轨两侧均应设置杂散电流防护的连接端子，宜采用极性排流。不具备管轨电连接的区域，管道侧应独立设置排流系统。

**6.4.4**埋地钢质管道采用极性直接排流防护时，应符合下列规定：

1. 极性直接排流防护系统在管道上的连接点应选择在被干扰管道的杂散电流流出风险较高的位置。
2. 管道排流系统通过电缆与轨道交通牵引变电站负母排相连，管道排流系统应包括断路开关、限流电阻、单向导通装置等器件，各器件参数值宜根据现场实际测试结果确定。
3. 排流用电缆截面不应小于25 mm2，排流用电缆各处接线端子连接完好。
4. 管道排流系统各器件的额定电流应为计算排流量的1.5~2倍，且不小于100A。
5. 排流器的所有动接点应能承受频繁动作的冲击，能适应管轨电压或管地电位的波动变化。
6. 单向导通装置应具有正向电阻小、反向击穿电压大的特点，反向击穿电压不小于2kV。
7. 管道排流系统宜在保证管道排流效果的前提下限制排流量，限流电阻的阻值应计算确定，无法准确计算时，不宜小于2Ω，功率不小于10kW，有条件的场所宜设置可调电阻。
8. 来自管道的排流电缆应方便连接至轨道交通牵引变电站负母排处，与负母排距离应较小。

# **7干扰防护效果测试与评定**

## 7.1 一般规定

**7.1.1** 干扰防护措施建成后，应立即投入使用，并对防护效果进行评定。

**7.1.2** 当干扰防护效果评定未达标时，应进行干扰防护措施的调整，宜根据现场试验或模拟计算确定调整方案，可综合采用以下措施：

1. 改变排流点位置（包括接至干扰源的连接点位置）或增设排流点及其设施；
2. 调整各排流点的排流量；
3. 调整阴极保护系统的控制电位或输出电流；
4. 利用单向导通装置对排流地床的电流方向进行限定；
5. 采用分段绝缘对关键区域进行隔离防护；
6. 对防腐层进行修复；
7. 其它被证实有效的方法。

**7.1.3** 干扰防护措施调整后，应重新进行干扰防护效果的测试与评定，直到达到低干扰程度的评判指标。

**7.1.4** 当干扰源或者管道本身出现重大变化时，应及时对干扰防护措施的防护效果重新进行测试和评定。重大变化包括但不仅限于以下情况：

1. 城市轨道交通线路在管道附近延伸、拆解、改线。
2. 城市轨道交通系统新增直流牵引变电站、车辆基地及已有站扩容等；
3. 城市轨道交通系统新增复线或改线等；
4. 管道接线、改线，增加附属设施，包括：绝缘接头、排流装置等。

## 7.2 测试内容及要求

**7.2.1** 应在干扰防护措施正常投入运行后及时进行干扰防护效果测试，推荐的调查与测试项目可按第4章表4.2.1进行。

**7.2.2** 测试要求

1. 测试点宜在干扰程度评估测试的测试点中选定，应包括排流点、缓解程度较大的位置、缓解程度较小的位置、采取其他防护措施的位置、相邻两个排流点中间位置等具有代表性的点；
2. 干扰防护效果测试的评定点一般不应少于3处（不包括排流点）。当干扰段较长、管道系统复杂且管地电位多变时，评定点不应少于5处（不包括排流点）。
3. 持续测试时间应不少于24h；
4. 测试宜在所有防护设施全部关闭和全部运行两种状态分别进行。测试时应统一测量点、测定时间段、读数时间间隔、测量方法和仪表设备。

## 7.3 效果评定

**7.3.1** 干扰防护措施实施后，应按本规程4.4节的要求进行测试，应达到本规程中第5章中的低干扰程度的评判指标。

**7.3.2** 采用牺牲阳极排流地床时，宜根据现场测得的排流地床输出电流情况，对排流地床的寿命进行评估。

**7.3.3**可对管道实施干扰防护措施前后的内检测数据或外腐蚀泄漏数据进行比对分析，辅助验证防护措施的效果。

# **8干扰防护系统的运行维护**

## 8.1一般规定

**8.1.1**干扰防护系统的运行维护包括一般性检查与维护和全面检查与维护；

**8.1.2**每季度应进行一次一般性的检查与维护，每年应进行一次全面检查与维护；

**8.1.3**当干扰环境发生较大改变时，应及时进行各项调查测试，并应根据调查测试结果进行干扰防护措施的调整；

**8.1.4**当干扰防护系统主要元件进行维修或更换后，应进行干扰防护效果评定点的管地电位及排流保护装置排流电流的24h连续测试；

**8.1.5**采用干扰防护系统的管道，宜按现行行业标准《钢质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的有关规定进行管道外腐蚀与防护专项调查。

**8.1.6**受杂散电流干扰管段进行施工作业、阴极保护及杂散电流检测作业时要制定安全作业要求；

## 一般性检查与维护

**8.2.2**干扰防护系统的一般性检测与维护应符合以下规定：

1. 应进行排流设施完整性检查，内容包括：设施是否损坏或丢失，对损坏和丢失的部件及时进行更换。
2. 应检查各电气连接点的电气连接情况，对接触不良的连接点进行处理并重新连接牢固。

## 全面检查与维护

**8.3.1**干扰防护系统的全面检查与维护应符合下列规定：

1. 应检查各元器件的性能，并应更换失效的元器件：
2. 应检查各指示仪表的准确性，并应维修或更换失效的仪表；
3. 应检查接地排流装置的接地情况，在接地电阻过大时应及时采取降阻措施；

## 数据管理

**8.4.1**干扰防护系统的检查、维护等均应分类归档和保存。主要包括以下内容：

1. 干扰防护系统的设计、施工资料；
2. 干扰防护效果评定测试的数据和记录；
3. 干扰环境监测的数据和记录：
4. 干扰防护系统调整或改进后测试的数据和记录；
5. 干扰防护系统主要元件维修及更换后测试的数据和记录
6. 腐蚀控制措施检测及施工记录；
7. 干扰防护系统维护记录；
8. 干扰源信息记录。

# **9干扰源方的协调与配合工作（附则）**

**9.0.1**轨道交通方与管道方应建立相互协作机制，明确负责人、联系人、联系方式和协作办法，定期进行杂散电流防护工作的数据交换和通报。

**9.0.2**在役管道附近新建城市轨道交通系统时，轨道交通方应在邻近的正线、车辆基地、牵引变电站及具备条件的地方，预留管道排流装置的空间、管道排流线缆与轨道连接端子、相应的电源等，并在轨道交通工程设计阶段开展管道的干扰影响评估，并应根据评估结果确定在轨道交通系统和管道上分别应采取的干扰防护措施。

**9.0.3**已运行轨道交通附近管道明确受到轨交系统杂散电流干扰时，轨道交通方与管道方应启动协作机制，就双方杂散电流干扰防护具体措施及其工作情况进行沟通，分析杂散电流干扰来源及其影响，开展杂散电流干扰联合测试和评估，并根据评估结果确定干扰防护措施。

**9.0.4**埋地钢质管道向轨交系统钢轨或回流装置排流的连接电缆进入轨交红线前的敷设路径，应由管道方设计阶段予以考虑；进入轨交红线后的敷设路径，应由轨交方设计阶段予以考虑。

**9.0.5**管道排流装置的调试、运行与维护阶段，轨道交通方需配合管道方开展相关工作，保持排流装置的正常工作。

# **本规程用词说明**

**1** 为便于在执行本规程条文时区别对待，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：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

**2**） 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

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，在条件允许时首先应这样做的：

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，采用“可”。

**2** 条文中指明应按其他有关标准执行时的写法为：“应符合……的有关规定”或“应按……执行”。

**中国工程建设标准化协会标准**

埋地钢质管道城市轨道交通杂散电流检测评价与防护技术规程

Technical specification for detection, evaluation and protection of urban rail transit stray current in buried steel pipeline

（征求意见稿）

**条文说明**

**中国计划出版社**

 **目 次**

[**1 总则** 21](#_Toc76117620)

[**2 术语** 21](#_Toc76117621)

[**3 基本规定** 22](#_Toc76117622)

[**4 现场调查与测试** 23](#_Toc76117623)

[**4.1 一般规定** 23](#_Toc76117624)

[**4.2 干扰源调查** 24](#_Toc76117625)

[**4.4 详细测试** 24](#_Toc76117626)

[**4.5检查片的要求** 24](#_Toc76117627)

[**5干扰的识别与评价** 24](#_Toc76117628)

[**5.1一般规定** 24](#_Toc76117629)

[**5.2干扰识别** 25](#_Toc76117630)

[**5.3 干扰评价** 25](#_Toc76117631)

[**6 干扰防护方案设计** 32](#_Toc76117632)

[**6.1 一般规定** 32](#_Toc76117633)

[**6.2 轨交侧干扰防护** 32](#_Toc76117634)

[**6.3 管道侧干扰防护** 33](#_Toc76117635)

[**6.4 联合防护措施** 34](#_Toc76117636)

[**7干扰防护效果测试与评定** 35](#_Toc76117637)

[7.1 一般规定 35](#_Toc76117638)

[7.2 测试内容及要求 35](#_Toc76117639)

[7.3 效果评定 36](#_Toc76117640)

[**8干扰防护系统的运行维护** 36](#_Toc76117641)

[8.1一般规定 36](#_Toc76117642)

[8.2 常规测试 36](#_Toc76117643)

[8.4 数据管理 36](#_Toc76117644)

**1 总则**

**1.0.1**城市轨道交通运行会在周围环境中产生动态直流杂散电流，对周边管道产生干扰影响，带来腐蚀风险。大量管道腐蚀失效案例说明，动态直流杂散电流干扰腐蚀穿孔在管道腐蚀失效事故中占相当大的比例。为保证管道安全运行，杂散电流对管道干扰测试评估及防护工作变得更加迫切和重要。编制本标准就是为了规程城市轨道交通城市轨道交通系统动态直流杂散电流干扰防护的技术要求，以现有的条件为基础，从干扰防护的工程实际出发，达到控制干扰腐蚀，保障管道安全的目的。

**1.0.2**城市轨道交通系统动态直流杂散电流对管道干扰及防护是涉及包括城市轨道交通系统和管道系统的设计及运行管理各层面的系统工程。设计环节的选线、绝缘防护级别的加强、主动防护理念，施工环节的质量控制，运行管理环节的监测和保养都对动态直流杂散电流泄漏及防护有直接影响，在综合国内外标准对各环节的要求和现场实验测试的基础上，本标准对包括设计和运行管理等不同环节提出了要求。

**1.0.3**近年来，国内交通、电力等部门为控制动态直流杂散电流干扰已先后制定了一些国家和行业标准,这对于上述系统相关设施减少动态直流杂散电流的泄漏及对管道的干扰影响提供了指导和依据。本条明确了对管道产生直流干扰影响的直流牵引系统应遵照执行的标准。国家现行相关标准包括GB 50991《埋地钢质管道直流干扰防护技术标准》，GB/T 21448《埋地钢质管道阴极保护技术规程》及SY/T 0029《埋地钢质检查片应用技术规程》。

**2 术语**

**2.0.1～2.0.11** 根据GB 50991《埋地钢质管道直流干扰防护技术标准》中的术语依据本标准的使用场合进行了补充和部分修改完善。

**2.0.13**强制接地排流类似于外加电流阴极保护原理，电源设备的响应速度要求达到秒级，同时抗干扰强度高于一般的阴极保护电源装置。

**3 基本规定**

**3.0.1** 对于管道，应当对附近城市轨道交通系统动态直流杂散电流干扰进行测试和评价，根据测试结果，采取对应的防护措施。

**3.0.2**对管道造成动态直流杂散电流影响的城市轨道交通方，是指城市轨道交通产权单位或运营单位。从源头控制动态直流杂散电流是管道干扰防护最有效的措施。对管道造成直流干扰的干扰源方，应从国民经济发展和安全环保大局出发，积极采取相关措施减轻动态直流杂散电流对外部设施的干扰影响。例如，电气化铁路可通过降低铁轨接头电阻、提高铁轨对大地的绝缘程度、适当缩小供电区间范围等措施减少动态直流杂散电流的泄漏。此外，管道方的干扰防护工作离不开干扰源方的支持利配合；例如，干扰的调查测试工作往往需要对干扰源进行调查和测试，这就需要干扰源产权或运营单位帮助供相关信息，帮助选择干扰源侧的测试点并在测试过程中进行安全监护。在防护措施的实施过程中，也需要干扰源产权或运营单位的积极参与和配合，才能安全、顺利地实现干扰防护目标。

**3.0.3~3.0.4**动态直流杂散电流干扰影响具有如下特点:

1. 干扰影响广，往往是地域性的，即在某一干扰地区，所有的埋地金属构筑物均会受到干扰影响。
2. 干扰影响的分布和状态复杂多变。对于理地金属管道，复杂多变较为突出，其干扰影响在位置(管道长度方向)分布、时间分布上都存在较大的差异，往往没有固定的规律，只是大体上的趋同。
3. 干扰影响具有交互作用。一个被干扰体往往也是另一个埋地金属构筑物的干扰源，特别是某一被干扰体单独采取防护措施时，对其他埋地金属构筑物所造成的干扰通常是不能忽视的。反之，其他埋地金属构筑物也会对某一特定的被干扰体造成影响。
4. 在干扰防护上没有一个普遍适用的方法。例如，排流法虽然是主要的有效方法，但是如果没有其他辅助性的方法与之配合使用，其排流效果也会受到较大的影响。

鉴于上述特点，单靠被干扰管道方采取措施往往难以收到满意的干扰防护效果，需要被干扰方，干扰源方及其他相关方组成防干扰协调机构，相互配合，共同采取行动，按照统一测试和评价，协调设计干扰防护措施并分别实施和管理的原则开展工作。本条对此作了原则性的规定。

**3.0.5**通过对干扰的调查和测试结果的分析，可以明确干扰是否存在，了解干扰的严重程度，从而决定是否应该采取干扰防护措施。

**3.0.6**许多干扰防护措施对被防护管道以外的邻近埋地金属构筑物会产生程度不同的干扰影响，例如排流法会对排流地床附近的其他管道造成新的干扰影响。对于这种干扰影响加以限制才能避免干扰的扩展和转移，最大限度减少干扰对各类设施的危害。当采取限制措施后仍不能消除这种干扰影响时，将受到影响的其他埋地金属构筑物纳入拟定的干扰防护系统，实施共同防护则是一个较好的方法。所谓共同防护包括两个方面的含义，其一是将处于同一干扰环境或区域的不同被干扰系统作为一个防护系统共同采取防护措施;其二是将明确受到某一防护系统干扰的其他系统纳人该防护系统中共同防护。在受杂散电流干扰的区域如果存在多条燃气管道，为了避免干扰防护系统对目标管线外其他管道的干扰，需要开展多条燃气管道动态直流杂散电流干扰的综合评价及联合防护。

**3.0.7**使用干扰参数或腐蚀速率测试探头或检查片可以帮助了解无干扰时的自然电位，也可以测试不包含IR降的管地电位，利用检查片还可以测试腐蚀失重速率，这对于干扰状况和防护效果的准确评价都非常重要。

**4 现场调查与测试**

**4.1 一般规定**

**4.1.3** 干扰范围包括了管道和轨道交通系统，二者均需要调查与测试。杂散电流干扰区域广且轨道交通系统实际运行状态对测试结果有影响，需在现场测试工作开展前进行确认。

**4.1.4**根据两种类型测试中不同项目的重要性，分为“应、宜、可”三级。在规定两类测试中，详细测试尤为重要，是必须进行的。如果已清楚干扰源和被干扰管道的情况，且干扰情况不复杂，则可以省略初步测试而直接进行详细测试。另外，表4.2.1的规定是根据一般规律提出的，由于各项调查和测试项目的重要程度往往随着干扰源和被干扰体的情况及干扰的具体情况的不同而变化，同一个测试项目在某一特定的切合中可能是必须进行的，而且另外的场合可能就毫无意义或无须测试，因此允许灵活运用，但表中应进行的项目除外。

**4.2 干扰源调查**

**4.2.2**根据近年来相关研究成果和现场调查的数据，轨道交通系统距离埋地钢质管道越近，管地电位波动越大，轨道交通系统影响明显，其中轨道交通的铁轨、轨道交通系统车站和车辆检修基地为地铁杂散电流干扰的主要来源。轨道交通系统线路与管道交叉时，地铁杂散电流可能通过铁轨泄露，流入管道。轨道交通系统的车站内为了保证轨道对地电压在安全范围内，在铁轨和地铁接地网直接设置有钢轨电位限制器，在钢轨电位限制器导通时，地铁杂散电流会通过地铁站的接地网流入流出，因此车站是地铁杂散电流流入流出的一个主要源头之一。轨道交通系统的车辆基地为了保证检修人员安全，会将检修基地的铁轨接地，因此检修基地也是地铁杂散电流泄露的一个主要源头之一。根据SY/T5919-2009《埋地钢质管道阴极保护技术管理规程》中5.4.3条规定，认为干扰源距离管道50米以内，干扰程度严重。本标准提出主动防护理念，为主动防护措施提供测试条件。

**4.4 详细测试**

**4.4.1**持续测试时间、读数时间间隔和测试点的间距等规定符合标准GB 50991《埋地钢质管道直流排流保护技术标准》的要求并结合近年来我国的干扰防护工程实践提出的，实际工作中采用专用的数据记录仪来完成。

**4.5检查片的要求**

**4.5.1** 参考SYT 0029《埋地钢质检查片应用技术规范》检查片和极化试片的面积要求的提出，根据不同的防腐层类型，建议选取不同面积的检查片，3PE的防腐层，建议选取6.5cm2，石油沥青的防腐层，建议选取50cm2。

**5干扰的识别与评价**

**5.1一般规定**

**5.1.1** 由于管道所受城市轨道交通系统（轨交系统）杂散电流干扰为动态干扰，其管地电位的24h监测数据呈现典型的波动特征，同时动态的时间累积效果又会影响到腐蚀程度的评判，因此干扰的识别与评判都需要长时间的测试，同时还需要结合干扰源的调查来开展。

**5.1.2** 管道受轨交系统杂散电流干扰的影响因素很多，包括管道与轨交系统的相对位置，走行轨对地过渡电阻，土壤电阻率，管道的阴极保护水平等，需要重点关注的管道与轨交系统相对位置包括（1）管道与轨交线路交叉处；（2）管道与轨交线路正线并行且距离较近处；（3）管道临近车辆基地处。一般情况下走行轨对地过渡电阻越小，由走行轨泄漏到土壤中的杂散电流会越大。管道是否施加了阴极保护及阴极保护的水平会直接影响其在轨交杂散电流干扰下的腐蚀程度，在腐蚀程度评价指标部分需要考虑二者的影响。

**5.2干扰识别**

**5.2.1** 大量现场测试数据显示，在轨交系统杂散电流干扰下，管道管地电位呈现典型的动态波动特征，如图5.2.1所示，在受轨交系统杂散电流干扰宜通过管地电位随时间的变化与车辆运行状况的对应性来进行识别，当车辆运行期间，管地电位呈现周期为0~300s的明显波动，车辆停运期间，管地电位基本无波动，可判断为存在轨交杂散电流干扰；



图5.2.1 受轨交系统杂散电流干扰管道管地电位24小时图谱

**5.2.2** 当测试的管地电位沿时间分布不能明确为轨交系统杂散电流干扰，或者受多条轨道交通线路影响需要分析影响的主次时，已通过多次的现场测试数据证明用管地电位与附近轨地电位、车辆运行时刻上的关联性可明确干扰源。

**5.3 干扰评价**

**5.3.1**在管道工程设计阶段，无法通过测试管道电位评价干扰情况，但可以通过测试管道所经路由的地电位梯度来了解土壤中的动态直流杂散电流情况，虽然这时得到的情况与管道敷设后的情况往往会存在一定差异，但仍能帮助我们了解现存的动态直流杂散电流强度及来源。日本《电蚀、土壤腐蚀手册》推荐的地电位梯度与动态直流杂散电流强弱的关系见表5.3.1。当发现管道所经路由的地电位梯度超过一定限值时(本标准中此限值采用表5.3.1中规定的“一般”程度上限的中值，即2.5mV/m) ，管道敷设后受到直流干扰影响的可能性大为增加，因此条文中规定此时应评估管道敷设后可能受到的直流干扰影响，并应根据评估结果预设干扰防护措施。

**表5.3.1 地电位梯度与动态直流杂散电流强弱对应表**

|  |  |
| --- | --- |
| **地电位梯度（mV/m）** | **杂散电流的强弱** |
| <0.5 | 弱 |
| 0.5~5 | 一般 |
| >5 | 强 |

地电位梯度在管道所经路由两侧的一定范围内测试才有意义，条文中根据地电位梯度分布规律和以往工程经验，明确了地电位梯度采用管道拟经路由两侧各20m范围内的测试数据。

**5.3.2**未实施阴极保护的管道受杂散电流干扰腐蚀风险评判指标是基于现场腐蚀检查片试验和实验室模拟实验数据确定。近年来，标准编写组在遭受城市轨道交通动态直流干扰的管道上埋设了腐蚀检查片，其中一部分数据来自于没有施加阴极保护的管道上，同时通过室内模拟实验考察了管线钢在自然腐蚀状态下遭受动态直流干扰后的腐蚀速率变化规律，分析了消除IR降的试片极化电位相对于没有遭受干扰时同一环境中的自然腐蚀电位正向偏移超过20mV的比例与腐蚀速率之间的相关性，结果如附图5.0.3所示，部分数据发表于论文《Corrosion Behavior of Buried Pipeline under Dynamic DC Stray Current Interference》NACE CORROISON 2019-13203中，用于评估的自然腐蚀电位为不存在动态直流干扰时的电位稳定值，自然腐蚀电位现场测试数据取夜间城市轨道交通系统停运后的电位稳定值。



**附图5.3.2 未施加阴极保护的管道在杂散电流干扰下腐蚀速率与极化电位相对于自腐蚀电位正向偏移超过20mV的时间比例**

管地电位偏移比例的测试方法是采用数据记录仪及检查片对检查片的24h通、断电电位进行测试，取夜间不波动的数据作为试片自然腐蚀电位，之后对检查片断电电位的24h测试数据与夜间自然电位的数据进行对比，统计电位正向偏移超过20mV的比例。

**5.3.3** 腐蚀速率是评估腐蚀风险最直接的指标，可通过检查片、ER腐蚀探头、在线检测设备或其它已证明有效的检测方法测试获得。国内外阴极保护相关标准如ISO 15589-1:2015， GB/T 21448-2017及GB/T21447-2018等采用0.01mm/a作为阴极保护下低腐蚀风险的指标，而NACE 0169-2013采用0.0254mm/a（1mil /a）作为阴极保护下低腐蚀风险指标。本标准此处采用的腐蚀速率分级指标是基于近年来多个现场测试及实验室获得的腐蚀速率数据确定（部分数据发表于论文《Corrosion Behavior of Buried Pipeline under Dynamic DC Stray Current Interference》NACE CORROISON 2019-13203），本标准规定腐蚀速率低于0.025mm/a作为低腐蚀风险的指标，主要基于现场腐蚀检查片埋设试验和实验室模拟实验结果确定。在20多个区域的实际埋地管道附近埋设了300余组腐蚀检查片，一部分腐蚀检查片不与管道电连接，用于获取在所埋设环境中的自然腐蚀速率；还有一部分腐蚀检查片与埋地管道通过测试桩进行电连接，用于模拟管道外防腐层缺陷漏点，受到阴极保护或动态直流杂散电流干扰。在试片埋设过程中，通过数据记录仪连续采集试片的通、断电电位数据，在埋设6 ~12个月后对检查片进行开挖，通过腐蚀失重法获得腐蚀速率数据。实验室实验是通过模拟实验控制试样阴极保护电位满足标准要求，通过失重测试获得腐蚀速率数据。对于阴极保护效果良好，受外界干扰试片极化电位波动幅度很小，且在整个埋设期间，试片极化电位均满足GB/T21448中最小保护电位准则的试片腐蚀速率如表5.0.2 中现场腐蚀检查片试验及实验室实验数据所示，腐蚀速率数值分布在0.001~0.026mm/a之间，在60组腐蚀速率数据中，其中58组数据低于0.025mm/a，满足的比例超过96%；同时49组超出了0.01mm/a的数值，不满足低于0.01mm/a的比例超过82%，这是由于在如此低的腐蚀速率条件下，采用失重或其它方法评估腐蚀速率时存在一定的测量误差，故考虑到实际腐蚀速率评估的可操作性，此处选取了低于0.025mm/a作为低腐蚀风险的指标。同时在杂散电流干扰下的腐蚀检查片腐蚀速率数据显示，在存在较为明显的动态直流杂散电流干扰时的腐蚀速率分布在0.1mm/y~0.5mm/y之间（见附图5.0.2-1及5.0.2-2），故选取了0.1mm/y作为高腐蚀风险的指标，而介于0.025与0.1mm/y之间的腐蚀速率作为中腐蚀风险指标。

**表5.3.3 在阴极保护极化电位满足GB/T 21448 标准要求下现场及实验室腐蚀速率数据**

**(条件：阴极保护极化电位始终处于-0.85VCSE~-1.2VCSE范围内)**

| 数据标号 | 腐蚀速率（mm/a） | 数据来源 |
| --- | --- | --- |
| 1 | 0.023 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 2 | 0.024 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 3 | 0.014 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 4 | 0.021 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 5 | 0.023 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 6 | 0.019 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 7 | 0.022 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 8 | 0.026 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 9 | 0.014 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 10 | 0.017 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 11 | 0.018 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 12 | 0.008 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 13 | 0.015 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 14 | 0.014 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 15 | 0.011 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 16 | 0.017 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 17 | 0.017 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 18 | 0.021 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 19 | 0.026 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 20 | 0.010 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 21 | 0.014 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 22 | 0.014 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 23 | 0.011 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 24 | 0.012 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 25 | 0.014 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 26 | 0.008 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 27 | 0.012 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 28 | 0.005 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 29 | 0.014 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 30 | 0.012 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 31 | 0.004 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 32 | 0.012 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 33 | 0.012 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 34 | 0.010 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 35 | 0.012 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 36 | 0.001 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 37 | 0.002 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 38 | 0.003 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 39 | 0.012 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 40 | 0.020 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 41 | 0.001 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 42 | 0.006 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 43 | 0.012 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 44 | 0.021 | 现场腐蚀检查片试验 |
| 45 | 0.017 | 实验室模拟实验 |
| 46 | 0.013 | 实验室模拟实验 |
| 47 | 0.017 | 实验室模拟实验 |
| 48 | 0.013 | 实验室模拟实验 |
| 49 | 0.017 | 实验室模拟实验 |
| 50 | 0.020 | 实验室模拟实验 |
| 51 | 0.013 | 实验室模拟实验 |
| 52 | 0.012 | 实验室模拟实验 |
| 53 | 0.010 | 实验室模拟实验 |
| 54 | 0.019 | 实验室模拟实验 |
| 55 | 0.019 | 实验室模拟实验 |
| 56 | 0.011 | 实验室模拟实验 |
| 57 | 0.025 | 实验室模拟实验 |
| 58 | 0.020 | 实验室模拟实验 |
| 59 | 0.011 | 实验室模拟实验 |
| 60 | 0.019 | 实验室模拟实验 |

**5.3.4** 已施加阴极保护的管道受城市轨道交通系统动态直流杂散电流干扰腐蚀风险评判指标是基于现场腐蚀检查片试验和实验室模拟实验数据确定。近年来，标准编写组在遭受城市轨道交通系统动态直流干扰的管道现场埋设了腐蚀检查片，同时开展了动态直流干扰下的实验室腐蚀模拟，在现场及实验室实验中连续监测了腐蚀检查片消除IR降的极化电位在动态直流干扰下的变化规律，通过腐蚀失重法获得了在不同动态直流干扰条件下的腐蚀速率数据，将消除IR降的极化电位相对于阴极保护准则正向偏移量及时间比例与腐蚀速率进行相关性分析，结果如附图5.0.4（a）~（c）所示，部分数据发表于论文《Corrosion Behavior of Buried Pipeline under Dynamic DC Stray Current Interference》NACE CORROISON 2019-13203中。







**附图5.3.4（a）～（c）已施加阴极保护的管道动态直流杂散电流干扰腐蚀速率与极化电位偏移阴极保护电位准则的时间比例**

管地电位偏移比例的测试方法是采用数据记录仪及检查片对检查片的24h通、断电电位进行测试，之后对检查片断电电位的24h测试数据与阴极保护最小保护电位准则进行对比，统计电位正向偏移的比例。

**6 干扰防护方案设计**

**6.1 一般规定**

**6.1.2** 本条为原则性规定。在干扰源头采取控制措施，往往会有事半功倍的效果。现行行业标准《地铁杂散电流腐蚀防护技术标准》CJJ/T 49-2020中3.0.2条的有关规定：应将预防与治理地铁直流牵引系统回流电流的泄漏作为防护工程的根本，并应使其产生的杂散电流减小至最低限度。应限制杂散电流向地铁外部扩散。

**6.1.3** 参照《埋地钢质管道直流干扰防护技术标准》GB 50991-2014中6.1.1条内容和《埋地钢质燃气管道杂散电流干扰评定与防护标准》DG/TJ08-2302-2019中6.1.3内容。增加了干扰极值位置的考虑因素，其原因是干扰极值位置的确定对于干扰防护措施设置点有非常重要的影响。考虑到构建物的存在对干扰防护方案的制定有非常重要的影响（尤其是城市燃气管道），此处增加了建构筑物的考虑因素。分段绝缘方法在燃气管道中应用效果良好，在此处增加“管道绝缘装置及绝缘性能”。

**6.1.6** 电缆应采用铜芯电缆，参照《埋地钢质管道阴极保护技术规范》GB/T 21448-2017中8.5.2.1内容，电缆截面不宜小于16 mm2。防护措施使用的其他材料与设备设施等可参照该标准的有关规定。

**6.2 轨交侧干扰防护**

**6.2.1** 杂散电流应从源头上控制才是根本。根据现行行业标准《地铁杂散电流腐蚀防护技术标准》CJJ/T 49中4.2.2内容，根据回流导体的类型即专用轨或走形轨，为专用轨设置了系统性绝缘防护方案一，为走行轨设置了加强绝缘+监测的防护方案二或绝缘+监测+排流的防护方案三，各方案均有详细的规定。从理论上讲，采用方案一是最佳的，对于新建轨可以考虑方案二。对于采用方案二和方案三的情况，应首先确保设计满足要求，且实际运行时仍然能保持较高的要求。



**6.2.2** 从理论上讲，以走行轨回流的轨交系统，杂散电流的泄漏通道包括正线轨道、车辆段轨道和可能导通的接地系统等，分别从1、3和4条对此进行规定有利于控制杂散电流的泄漏量，其中在第4条中，“接地”中指轨交系统内安全、防雷等接地，不包含受干扰的埋地管道，即走行轨不得直接与轨交系统内安全等接地相连，需要增加单向导通装置，且需确保其有效性。在上述因素一定的情况下，适当缩短牵引变电站间距也能够降低杂散电流泄漏量。

**6.2.3** 要求轨交系统杂散电流防护工程应在轨道交通建设期内同步建成，并验收合格，满足相应标准要求，以确保杂散电流得到合理控制。

**6.3 管道侧干扰防护**

**6.3.4** 排流量过大则易引起管道侧过负，排流量过小则效果不明显。应尽可能制造测试条件采用现场排流试验的测试结果确定电流量。

**6.3.5** 排流系统是为排杂散电流而设，在无干扰即轨交系统停运时不应导致原有腐蚀防护系统不达标。

**6.3.6** 由于轨交系统杂散电流的时变性，排流量和排流效果也处于时刻变化中，有必要跟踪排流量及防护效果，为防护效果评价、防护措施的正常运行和优化调整提供数据支撑。

**6.3.7** 当干扰水平较高时，推荐采用工作原理与外加电流系统相近的强制接地排流防护干扰，不一定提供阴极保护。当管道附近土壤电阻率较高或者排流量较大而轨交系统无法提供连接端子而不能采用极性排流时，可采用强制接地排流。

**6.3.10**分段绝缘是在受干扰管道上的一处或多处位置安装绝缘接头或绝缘法兰等绝缘装置或利用已有绝缘装置，将管道分隔成电气上不连续的若干管段，通过增大被干扰管道回路电阻来减小进入管道系统的杂散电流量，并缩短干扰范围。分段绝缘适宜于已有较多绝缘装置的城市燃气管网或新建的输送非导电介质的埋地管道，可有效降低干扰影响范围和程度。对于输送导电介质的埋地管道，要采取预防措施防止绝缘接头阳极侧管壁上可能发生的内腐蚀问题。

**6.4 联合防护措施**

**6.4.3** 根据已有的文献报道，以地铁为代表的轨道交通系统与埋地钢质管道交叉或并行交叉较小时，相邻位置干扰程度严重。因此对于这些可能存在干扰严重的区域，参照《埋地钢质管道直流干扰防护技术标准》GB 50991-2014中6.2.1条规定，采取联合防护措施时可选用直接排流、接地排流和强制排流等方式，考虑到直接排流可能引入电流，强制排流实践少，在本规程中推荐极性排流，要求具备管轨电连接的地方管轨双方均预留好连接端子，为极性排流防护提供便利。不具备管轨电连接的区域，在管道侧独立采取排流措施，宜为强制接地排流，进行主动防护。在条文规定范围之外的管道，应根据干扰程度评估结果来决定是否采取防护措施。

**表6.4.1 常用的联合防护排流保护方式**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 方式 | 强制排流 | 极性排流 | 直接排流 |
| 原理示意图 |  |  |  |
| 适用范围 | 适用于管道与干扰源电位差较小的场合，或者位于交变区的管道。被干扰源管道需位于干扰源的负回归网络附近，且需征得干扰源方同意 | 适用于管道阳极区不稳定的场合，被干扰源管道需位于干扰源的负回归网络附近，且需征得干扰源方同意 | 适用于管道阳极区稳定且可以直接向干扰源排流的场合，此方式使用时需征得干扰源方同意 |

**7干扰防护效果测试与评定**

## 7.1 一般规定

**7.1.2** 由于实际现场环境比较复杂多变，导致预先设计的防护措施的效果可能和实际情况存在一定的出入。因此，需要对防护措施进行调整。本条内容给出能调整的大概内容，对于如何调整是个复杂的问题。需要有经验的工程师根据现场测试结果和相关参数进行试验和调试，或者根据现场测试结果结合数值模拟计算，形成调节方案并应用于现场进行验证。

**7.1.4** 对于干扰源来说，影响其负载电流大小，泄漏点位置以及泄漏点接地电阻的因素都会对干扰产生影响。根据相关研究结果显示，城市轨道交通的检修站接地电阻较低，有大量电流从检修站泄放入大地。因此，当城市轨道交通系统新增检修站时应予以重视。对于管道来说增加绝缘接头会改变管道电流长度，对其干扰影响比较明显。

## 7.2 测试内容及要求

**7.2.1** 对于干扰效果的测试不仅仅要测试管道本身的干扰水平，也应该对排流地床的相关参数和运行状况进行测试，以便判断排流措施的工作状态。该测试结果可以用于校核初设的相关参数，评价初设采用的模型、边界条件等因素是否与现场工况吻合。并根据测试结果不断完善计算模型，指导其他排流工作。

**7.2.2** 测试要求

1. 在排流地床位置测试时，会因为测试位置靠近地床使得测试排流结果较好。因此，进行测试时不仅要测试排流位置的效果，更应该关注排流措施作用较小的位置，如：相邻两个排流点中间位置。
2. 本条参考GB 50991-2014《埋地钢质管道直流干扰防护技术标准》设定。实际工程中，对于防护效果的测试可根据1条的内容，制定详细的方案。确保所有高风险、高后果位置能够被覆盖。
3. 城市轨道交通的一般以1天为一个工作周期，白天列车运行时波动比较剧烈。晚上列车停运时，基本无干扰。此外，白天也存在列车运行高峰，此时列车数量增加，可能产生更高的干扰。因此，实际测试时一般以24小时为一个测试周期。
4. 对于防护效果的测试，需要选择相同的干扰时段，在防护措施关闭及运行情况下进行测试对比，以验证防护措施效果。

## 7.3 效果评定

**7.3.2** 如果采用牺牲阳极作为排流地床，此时地床不仅起到排流作用还为管道提供阴极保护电流，这会加快地床的消耗。因此，需要在排流措施运行后进行测试和分析，并对牺牲阳极的寿命进行评估。

**7.3.3** 作为杂散电流的终极目的是保障管道的本质安全，阴保电位等参数均为管道腐蚀评价的间接参数。当干扰比较严重，现有的手段难以完全消除杂散电流干扰，可回归管道本质安全评价，以腐蚀导致的管道失效为目标开展现场腐蚀速率及失效案例分析，确定管道的安全性。

# **8干扰防护系统的运行维护**

## 8.1一般规定

**8.1.3**由于排流系统的排流量通常较大，增加了施工和检测的安全要求。

## 8.2 常规测试

**8.2.2** 在现行国家标准 GB 50991《埋地钢质管道直流干扰防护技术标准》基础上补充排流设施完整性的检查相关工作。

## 8.4 数据管理

**8.4.1**在现行国家标准 GB 50991《埋地钢质管道直流干扰防护技术标准》基础上补充了腐蚀控制措施检测及施工记录、干扰防护系统维护记录、干扰源信息记录。