UDC

中国土木工程学会标准

P T/CCES X－20XX

**城市埋地钢质管道  
动态直流杂散电流腐蚀防护技术规程**

Technical specification for dynamic stray current corrosion protection of urban buried steel pipelines

**（征求意见稿）**

20XX–XX–XX 发布 20XX–XX–XX 实施

中国土木工程学会 发布

**中国土木工程学会标准**

**城市埋地钢质管道轨道交通  
动态直流杂散电流腐蚀防护技术规程**

Technical specification for dynamic stray current corrosion protection of urban buried steel pipelines

**T/CCES X－20XX**

批准单位：中国土木工程学会

施行日期：20XX年X月X日

20XX 北 京

**前言**

本规程是根据中国土木工程学会《关于发布<2021年中国土木工程学会标准立项计划》的通知》（学标委〔2021〕25号））的要求，由北京市燃气集团有限责任公司会同有关单位编制完成。

在本规程编制过程中，编制组广泛调查研究和总结了北京燃气集团的经验，参考了国内外有关标准，并在广泛征求意见基础上，对具体内容进行了反复讨论、协调和修改，最后经审查定稿。

本规程主要技术内是：1.总则；2.术语与参考标准；3.基本规定；4.现场调查与测试；5.干扰的识别与评价；6.干扰防护措施；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）。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国土木工程学会学术与标准工作委员会负责管理，由北京市燃气集团有限责任公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有修改意见或建议，请寄送XXXX（地址：XXX；邮政编码：XXXX；电子邮箱：XXX）。

本规程主编单位：北京市燃气集团有限责任公司

本规程参编单位：北京凯斯托普科技有限公司

常州大学

中国石油大学（北京）

中国石油天然气股份有限公司规划总院

深圳市燃气集团股份有限公司

中特检深燃安全技术服务（深圳）有限公司

国家管网北京管道有限公司

国家管网西气东输分公司

无锡华润燃气有限公司

国家管网东部原油储运有限公司

成都燃气集团股份有限公司

港华燃气

中国石油西南油气田分公司重庆气矿

本标准（规程……）主要起草人员：

本标准（规程……）主要审查人员：

**目次**

[1 总则 1](#_Toc139902773)

[2 术语与参考标准 2](#_Toc139902774)

[3 基本规定 5](#_Toc139902775)

[4 现场调查与测试 6](#_Toc139902776)

[4.1 一般规定 6](#_Toc139902777)

[4.2建设阶段现场调查与测试 6](#_Toc139902778)

[4.3运行阶段现场调查与测试 7](#_Toc139902779)

[5干扰的识别与评价 10](#_Toc139902780)

[5.1干扰识别 10](#_Toc139902781)

[5.2 干扰程度评判准则 10](#_Toc139902782)

[6 干扰防护措施 13](#_Toc139902783)

[6.1 一般规定 13](#_Toc139902784)

[6.2 轨道交通系统侧干扰防护 13](#_Toc139902785)

[6.3 管道侧干扰防护 14](#_Toc139902786)

[6.4 联合防护措施 16](#_Toc139902787)

[7干扰防护效果测试与评定 18](#_Toc139902788)

[8干扰防护系统的运行维护 20](#_Toc139902789)

[9干扰源方的协调与配合工作（附则） 22](#_Toc139902790)

[本规程用词说明 23](#_Toc139902791)

[引用标准名录 24](#_Toc139902792)

[条 文 说 明 25](#_Toc139902793)

**1 总 则**

1.0.1为有效缓解城市埋地钢质管道（以下简称“管道”）受轨道交通动态直流杂散电流（以下简称“动态杂散电流”）的干扰，规范动态杂散电流干扰测试、评价与防护技术要求，制定本规程。

1.0.2本规程适用于管道受动态杂散电流干扰的测试、评价与防护工作，。

1.0.3 管道受动态杂散电流干扰的测试、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、法律法规的规定。

**2 术语与参考标准**

## 2.1 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 DC 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直流干扰防护DC interference protection

为使管道免受直流杂散电流干扰而发生腐蚀，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样，用于阴极保护参数、杂散电流干扰参数或腐蚀速率的测试。

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、培训中心等部分，以及相关的生活设施。

2.10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。

2.11 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。

2.12过渡电阻 transition resistance

走行轨与结构之间，走行轨与大地之间或其他两个导体之间单位长度的电阻。

2.13钢轨电位限制装置over-voltage protection device（OVPD）

为防止钢轨对地电位过高造成人身伤害，在车站和车场设有的保护装置，当发生超出安全许可的接触电压时，此装置可将钢轨与大地快速短接，从而保证人员和设施的安全。

2.14轨地电位 rail-to-soil potential

钢轨与相邻土壤之间的电位差。

2.15直接接地排流direct drainage by grounding

将被干扰管道与金属接地体相连，使管道内的直流杂散电流通过接地体向大地排放，后由大地回流至干扰源负极的一种杂散电流防护方式。

2.16强制接地排流 forced drainage by grounding

被干扰管道与金属接地体通过直流电源相连，强制管道内的直流杂散电流通过接地体向大地排放，后由大地回流至干扰源负极的一种杂散电流防护方式。

2.17极性接地排流 polarity drainage by grounding

在被干扰管道与金属接地体之间串入具备正向导通、反向截止特性的防逆流装置，使管道内的直流杂散电流通过接地体向大地排放，但防止大地中的杂散电流通过接地体流入管道的一种杂散电流防护方式。

2.18极性直接排流 polarity drainage tointerferingsource

在被干扰管道与干扰源负极之间串入包括断路开关、限流电阻、单向导通装置等安全控制、限流和防逆流装置，使管道内的直流杂散电流直接返回干扰源负极，但不会反向逆流的一种杂散电流防护方式。

2.19联合防护 combined protection

为使管道免受直流杂散电流干扰，管道侧和轨道交通侧共同协作采取防护措施对直流杂散电流干扰进行治理和控制的过程。

2.20管道阳极区 anodic region of pipeline

管道向土壤中排放杂散电流的区域。

2.21管道阴极区 cathodic region of pipeline

管道从土壤中吸收杂散电流的区域。

2.22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。

## 2.2 参考标准

1. 《埋地钢质管道阴极保护参数测量方法》GB/T 21246

2. 《埋地钢质管道直流干扰防护技术标准》GB 50991

3. 《埋地钢质管道阴极保护技术规范》GB/T 21448

4. 《金属和合金的腐蚀交流腐蚀的测定防护准则》GB/T 40377

5. 《地铁杂散电流腐蚀防护技术标准》CJJ/T 49

6. 《阴极保护管道的电绝缘标准》SY/T 0086

**3 基本规定**

3.0.1管道在建设和运行阶段，应充分考虑动态杂散电流对管道的腐蚀危害，并应对管道可能受到的动态杂散电流干扰进行调查测试、评价和防护。

3.0.2城市轨道交通在建设和运行时，应根据国家标准采取减少动态杂散电流的措施。

3.0.3动态杂散电流干扰宜由管道方、城市轨道交通方及其他有关各方的代表组成干扰防护协调机构，进行统一测试、评价和防护。

3.0.4在干扰影响区域，宜进行干扰源和被干扰管道两方面的调查测试。对确认遭受干扰影响的管道，应采取与干扰程度相适应的干扰防护措施。

3.0.5 受动态杂散电流干扰的管道宜根据管道和干扰源的相对位置及干扰程度设置检查片，对阴极保护及干扰参数或腐蚀速率进行测试评价。

3.0.6 受动态杂散直流干扰的管道同时存在交流干扰时，应防止交流干扰对动态杂散电流测试和防护的影响；动态杂散电流干扰风险评价和排流效果评价时，应考虑交流干扰的影响。

**4 现场调查与测试**

**4.1 一般规定**

4.1.1调查与测试应遵守现行标准与相关方的有关安全规定。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。

4.1.2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。

4.1.3在调查与测试工作中所使用的测试仪表、参比电极应符合《埋地钢质管道阴极保护参数测量方法》GB/T 21246的有关规定。

4.1.4动态杂散电流干扰的现场调查与测试宜按照建设和运行两个阶段来进行。

4.1.5管道与城市轨道交通系统交叉或并行时，应按照如下原则设置动态直流杂散电流干扰测试点：

1管道与城市轨道交通系统交叉的位置，应设置动态杂散电流干扰测试点，测试点间隔不应大于1km。

2管道与城市轨道交通系统并行，且最小水平间距小于1km时，应设置动态杂散电流干扰测试点，测试点间隔不应大于1km。

3管道与城市轨道交通系统最小水平间距在1km～4km之间时或大于4km但确定存在动态杂散电流管道，宜设置动态直流杂散电流干扰测试点。

**4.2建设阶段现场调查与测试**

4.2.1建设阶段应对距离管道拟经路由4km范围内的城市轨道交通系统进行调查，调查内容宜包括以下内容：

1城市轨道交通系统的建设时间、供电电压、馈电方式、馈电极性和牵引电流；

2轨道线路分布情况及其与管道的相互位置关系；

3直流供电所的分布情况及其与管道的相互位置关系；

4电车运行状况。

4.2.2建设阶段宜对管道拟经路由上干扰源前后4km范围内的地电位梯度进行测试，地电位梯度的测量应符合《埋地钢质管道直流干扰防护技术标准》GB 50991的有关规定，测试密度宜不少于1km/处。

**4.3运行阶段现场调查与测试**

4.3.1运行阶段的现场调查与测试宜分为预备性测试、干扰程度评估测试及防护效果评定测试三种类型，分别对应的调查与测试项目应符合表4.3.1的规定。

**表4.3.1调查与测试项目**

| 测试对象 | 调查与测试项目 | 测试分类 | | |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 预备性  测试 | 干扰程度评估测试 | 防护效果评定测试 |
| 管道 | 管道路由、管道外防腐层类型等基础信息 | ● | ● | ● |
| 材质、服役年限、防腐层面电阻率，破损点检测及开挖检测与缺陷点修复状况，管道直径、埋深、腐蚀历史及形貌特征 | ◎ | ◎ | ◎ |
| 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 | ○ | ● | ● |
| 检查片通、断电电位，直流电流密度 | ○ | ● | ● |
| 管道绝缘法兰/接头，跨接线，测试点的分布状况 | ◎ | ● | ○ |
| 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 | 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、检修基地（车辆段、停车场）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及与管道的相对位置关系 | ◎ | ● | — |
| 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，检修基地（车辆段、停车场）和正线之间的轨道单向导通装置工作状况及导通的电流 | ○ | ◎ | ○ |
| 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：1●—应进行的项目；◎—宜进行的项目；○—可进行的项目

2预备性测试适用于新建管道、在役管道的首次测试，或者干扰环境发生较大变化时，用于初步了解管道杂散电流干扰程度及管地电位的变化特征，为下一步详细测试提供参考。

3干扰程度评估测试适用于新建管道及在役管道的杂散电流干扰程度评估测试，用于详细了解管道杂散电流干扰程度及管地电位的变化特征，为杂散电流干扰程度评估提供数据。

4防护效果评定测试适用于杂散电流防护措施实施后的效果评定测试，用于评定被干扰管道侧采取防护措施后的效果，并指导干扰防护措施的调整。

4.3.2预备性测试应符合下列规定：

1在可能存在城市轨道交通动态直流杂散电流干扰的管段进行测试时，宜利用管道现有的测试桩作为测试点；

2对与城市轨道交通线路交叉、接近或靠近车辆基地的管段，应选择在干扰源负荷的高峰时间段内进行测试，测试过程应至少有一个高峰负荷变化周期，且宜大于1h。

4.3.3干扰程度评估测试应符合下列规定：

1测试点应根据预备性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桩作为测试点，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，但应大于1h，且应选择在干扰源负荷的高峰的时间段，对现有排流点、管道绝缘接头（法兰）两端及管道与干扰源接近和交叉处等具有代表性的点，应进行不少于24h连续测试。

4.3.4防护效果评定测试除应符合本规程第4.3.3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；

4.3.5断电电位采集频率每分钟不应小于4个，管地电位采集频率宜为1s/组。

4.3.6应采取检查片法来消除管地电位测试中IR降的影响。

4.3.7检查片裸露面积宜为1cm2～50cm2，检查片的材质宜与埋地管道材质一致，检查片除裸露表面外，其余部位应作做好防腐绝缘。当杂散电流干扰程度为低时，用于评估阴极保护有效性的检查片面积可根据防腐层类型依据表4.3.7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；自腐蚀检查片的面积可选取6.5 cm2～50 cm2。

**表4.3.7试片面积选取**

|  |  |
| --- | --- |
| **防腐层类型** | **检查片面积** |
| 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 |

**5干扰的识别与评价**

**5.1干扰识别**

5.1.1宜通过干扰源调查与不少于24h 的长时间测试来对管道所受动态杂散电流干扰进行识别和评价。

5.1.2在进行管道受动态杂散电流干扰识别时应综合考虑但不限于以下因素：管地电位，管道与轨道交通系统的相对位置，走行轨对地的过渡电阻，土壤电阻率等；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。

5.1.3管道所受动态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，管地电位呈现周期性明显波动，且轨道交通系统停运期间，管地电位基本无波动，可判断为存在轨道交通系统杂散电流干扰。

**5.2** **干扰程度评判准则**

5.2.1新建管道在设计阶段，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，评判指标应符合表5.2.1的规定；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5.2.1 动态直流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 |

5.2.2 已建管道未施加阴极保护时，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5.2.2。

表5.2.2 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% |

5.2.3已建管道施加阴极保护，只存在动态直流杂散电流干扰时，宜优先采用腐蚀速率指标进行杂散电流干扰程度的评判，评判指标见表5.2.3。

表5.2.3动态直流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 |

5.2.4 施加阴极保护的已建管道当无法获得腐蚀速率时，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正向偏移量及时间比例进行评判，评判指标应符合表5.2.4的规定。

表5.2.4 已施加阴极保护的管道动态直流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 | ≤10% | ≤5% | ≤1% | 同时满足三个条件评价为低 |
| 中 | 10% ~ 20% | 5% ~15% | 1% ~10% | 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% | ≥10% | 满足其中一个或多个条件评价为高 |

注：表5.2.4中的最小阴极保护电位准则应根据《埋地钢质管道阴极保护技术规范》GB/T 21448-2017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100Ω·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；

5.2.5当已建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；在动态直流杂散电流造成电位过负情况下，应考虑交流干扰的影响，可参照现行国家标准《金属和合金的腐蚀 交流腐蚀的测定 防护准则》GB/T 40377进行评判。

**6 干扰防护措施**

**6.1 一般规定**

6.1.1 动态杂散电流干扰防护可通过轨道交通系统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 轨道交通系统侧应从源头上控制杂散电流的泄漏，并限制其向轨道交通系统外部扩散。

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或新增阴极保护系统无法有效抑制干扰时，宜采取直接接地排流、强制接地排流、极性接地排流、分段绝缘、极性直接排流或其他防护措施。

6.1.5对于已采取干扰防护措施的管道遭受新的动态杂散电流干扰时，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，应增加其他干扰防护措施。

6.1.6干扰防护中使用的电缆应具有足够的截面，电缆的额定承载电流应为设计排流电流量的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。

6.1.7新建地铁线路在规划设计阶段应尽量避免管道与轨道交通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动态杂散电流防护方案。

**6.2 轨道交通系统侧干扰防护**

6.2.1 轨道交通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道交通系统外部扩散。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轨道交通系统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、对地应保持良好绝缘。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 走行轨应在正线与车辆基地或停车场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 轨道交通系统杂散电流防护工程应在地铁工程建设阶段完成施工，并应按照现行行业标准《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，宜根据实际情况参考表6.3.1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 | 适用于管道干扰程度高、阳极区不稳定且有供电条件的场合 | 适用于管道干扰程度较高、阳极区不稳定的场合。 | 适用于管道干扰程度较高、阳极区稳定的场合 |

6.3.3排流点的选择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GB 50991中提供的方法确定。

6.3.5排流防护系统应与管道已有腐蚀防护系统综合考虑。

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管道采用极性接地排流或直接接地排流时，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接地排流；

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国家标准《埋地钢制管道阴极保护技术规范》GB/T 21448的有关规定；

3 牺牲阳极排流床设计寿命宜不少于10年；

4 宜设置在土壤电阻率小的位置。

6.3.10管道采用绝缘接头或绝缘法兰等绝缘装置进行管道分段绝缘时，应符合下列规定：

1 对于采取其他干扰防护措施后无法有效缓解干扰的管段，可通过绝缘措施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 新建管道临近车辆段或车辆基地和车站的管段宜优先考虑采用分段绝缘的防护措施；

3 对于分段绝缘的受干扰管道，宜优先考虑增设强制接地排流站，必要时采取其他防护措施；

4 绝缘装置宜防电涌保护器；

5 绝缘装置位置宜设置测试装置；

6 绝缘装置性能应符合现行行业标准《阴极保护管道的电绝缘标准》SY/T 0086的有关规定；

7 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埋地钢质管道与轨道交通系统交叉处、埋地钢质管道与轨道交通系统水平间距小于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，宜采用极性直接排流。不具备管轨电连接的区域，管道侧应独立设置排流系统。

6.4.2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 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；

3 管道排流系统各器件的额定电流应为设计排流量的1.5~2倍，且不小于100A；

4 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；

5 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；

6 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；

7 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，并尽量靠近负母排。

# **7干扰防护效果测试与评定**

7.0.1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，测试评定内容应符合第4章表4.3.1的要求。

7.0.2干扰防护效果测试应符合下列规定：

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；

7.0.3 干扰防护措施效果评定应符合本规程中第5.2.3、5.2.4节中的干扰程度的评判指标要求。

7.0.4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、采用特殊设计（绝缘装置）对关键区域进行隔离防护；

7其它被证实有效的方法。

7.0.5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，直到达到指标要求。

7.0.6当干扰源或者管道出现重大变化时，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管道改线、绝缘接头等相关附属设施整改、线路阴极保护系统及排流装置调整等。

# **8干扰防护系统的运行维护**

8.0.1干扰防护系统的运行维护宜包括定期测试、远程监测、专项测试、维修和资料归档。

8.0.2干扰防护系统的检测宜与阴极保护系统的定期检测合并进行。年度检测应包括以下所有内容，季度检测应包括:1，2，3，6，7。

1管道通/断电电位；

2强制接地排流和极性接地排流系统排流器的工作状态；

3强制接地排流系统的控制电位、输出电压和输出电流；

4极性接地排流和直接接地排流系统的排流电流；

5排流接地体的开路电位、闭路电位、排流电流和接地电阻；

6系统各电气连接点的接触情况。

7系统各主要元器件的性能；

8系统各指示仪表的准确性；

9干扰防护效果评定测试；

10干扰环境调查。

8.0.3在干扰严重区域设置的干扰防护系统宜使用远程监测装置。远程监测装置的数据宜与现场测量的数据保持一致，并在检测时进行复核调整。

8.0.4对于季度检测和远程监测发现的电位正向偏移较大或电位的异常点或区域，年度检测发现的干扰防护效果不足或干扰环境发生较大变化的区域，应进行专项测试。根据专项测试结果进行干扰防护系统的调整/改造或补充/追加。

8.0.5干扰防护系统的维修应包括以下内容：

1更换失效的元器件；

2对接触不良的连接点应进行处理并重新连接牢固；

3维修或更换失效的仪表；

4降低排流接地体电阻。

8.0.6当干扰防护系统主要元器件进行维修后，应进行干扰防护效果评定测试。

8.0.7 干扰防护系统的检测、远程监测、专项测试和维修记录应分类归档和保存。资料宜包括以下内容：

1季度检测和年度检测数据和记录；

2干扰防护系统调整/改造或补充/追加后测试的数据和记录；

3干扰防护系统主要元器件维修后测试的数据和记录；

# 

# **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，轨道交通方宜在邻近的正线、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道交通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管道排流装置的安装、调试、运行与维护阶段，轨道交通方和管道方应相互配合开展相关工作，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**规程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”。

**中国土木工程学会标准**

**城市埋地钢质管道  
动态杂散电流腐蚀防护技术规程**

Technical specification for dynamic stray current corrosion protection of urban buried steel pipelines

T/CCES X－20XX

# **条 文 说 明**

**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，城市轨道交通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范城市轨道交通系统动态直流杂散电流干扰测试、评价及防护技术要求，以现有的条件为基础，从工程实际出发，达到控制动态直流杂散电流造成的管道腐蚀危害，保障管道安全运行的目的。

**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，对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。本条明确了城市轨道交通对埋地钢质管道造成杂散电流干扰测试、评价与防护工作应遵照执行本标准，同时尚应符合国家现行有关标准及相关规定。国家现行相关标准包括GB 50991，GB/T 21448，GB/T 21447，GB/T 40377，SY/T 0029及SY/T 0087.6等。

**2 术语**

**2.1** 参考城市轨道交通设计规范 DB11/995-2013术语描述。

**2.2～2.8, 2.10, 2.11,2.15~2.22** 参考了GB 50991-2014及DG/TJ 08-2302-2019，并依据本标准的使用场合进行了补充和部分修改完善。

**2.9,2.12～2.14** 参考了GB 50157-2013、CJJ 49-2020、DB 11/995-2013及DG/TJ 08-2302中有关轨道侧术语的规定。

**2.16**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**

**3.0.2**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和配合；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**动态直流杂散电流干扰影响具有如下特点: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；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；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；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。

**3.0.4**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，并根据干扰程度及实施条件参照本标准第6章采取直接接地排流、极性接地排流、强制接地排流等防护措施。

**3.0.5**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入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。

**3.0.6**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，利用试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。

**3.0.7**近年来国内外交流腐蚀研究表明直流参数会对交流腐蚀产生较大影响，在管地电位偏正或偏负，直流电流密度偏小或偏大情况下均存在交流腐蚀风险，因此同时存在直流干扰和交流干扰时，需要综合考虑交直流参数的影响，具体可依据国家标准GB/T 40377-2021《金属和合金的腐蚀交流腐蚀的测定防护准则》及石油天然气行业标准SY/T 0087.6-2021《钢质管道及储罐腐蚀评价标准第6部分：埋地钢质管道交流干扰腐蚀评价》进行评判。

**4 现场调查与测试**

**4.1 一般规定**

**4.1.2** 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。

**4.1.5** 动态直流杂散电流干扰测试点，需要根据管道与城市轨道交通系统交叉或并行情况进行设置，可以为永久性测试点，也可以是临时设置的测试点：在管道与多个地铁同时交叉时，可在各个交叉点位置均设置测试点，测试点间距，不宜大于500m。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漏，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，在钢轨电位限制器闭锁时，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漏的一个主要源头之一。SY/T5919-2009中5.4.3条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，当轨道交通系统采用专用回流轨供电方式时，对外界杂散电流干扰可能降低，因此在与采用专用回流轨供电的轨道交通系统交叉并行时，监测装置的设置间距可以适当放宽。

**4.3 运行阶段现场调查与测试**

**4.3.1** 表4.3.1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场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。在进行干扰程度测试时，可通过同步监测不同时刻，管道电位的正负向偏移情况，分析杂散电流流入流出的规律，为采取干扰防护措施提供数据支撑。

**4.3.3**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 50991-2014的相关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。根据初步测试的结果判定管道是否存在地铁杂散电流干扰，对应管道的管地电位波动在300mV以上，初步判定为杂散电流干扰严重，宜进行详细测试。

**4.3.7** 当杂散电流干扰程度为低时，用于评估阴极保护有效性的检查片面积参考SY/T 0029-2012选取，选取较大面积检查片评估的阴极保护效果要比小面积检查片评估结果差，即选取的检查片面积越大，评估的结果越保守，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。但当对杂散电流腐蚀危害进行评估时，现场试验表明，检查片面积越小腐蚀风险越高，即选取的检查片面积越小，评估的结果越保守，因此规定当对杂散电流干扰程度进行评估时，检查片面积宜选用1cm2。

**5干扰的识别与评价**

**5.1干扰识别**

**5.1.1**由于管道所受城市轨道交通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**管道受轨道交通系统杂散电流干扰的影响因素很多，包括管道与轨道交通系统的相对位置，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道交通系统相对位置包括：（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；当测试的管地电位沿时间分布不能明确为轨道交通系统杂散电流干扰，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。

**5.1.3**大量现场测试数据显示，在轨道交通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5.1.3所示，在受轨道交通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；

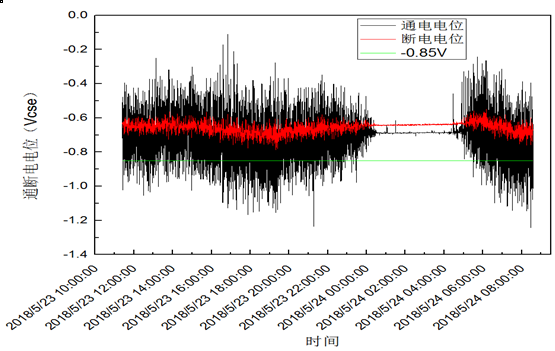


图5.1.3 受轨道交通系统杂散电流干扰管道管地电位24小时图谱

**5.2** **干扰程度评判准则**

**5.2.1**在新建管道工程设计阶段，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5.2.1。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5.2.1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5.2.1 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，测试地电位梯度的平均值。

**5.2.2**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试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试片，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5.2.2 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试片对试片的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，之后对试片断电电位的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。

**5.2.3** 腐蚀速率是评估腐蚀风险最直接的指标，可通过试片、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0.03mm/a作为低腐蚀风险的指标，主要基于现场腐蚀试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余组腐蚀试片，一部分腐蚀试片不与管道电连接，用于获取在所埋设环境中的自然腐蚀速率；还有一部分腐蚀试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个月后对试片进行开挖，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5.2.3所示，腐蚀速率数值分布在0.001~0.03mm/a之间，在60组腐蚀速率数据中，其中58组数据低于0.03mm/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0.03mm/a作为低腐蚀风险的指标。同时在杂散电流干扰下的腐蚀试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5.2.4），故选取了0.1mm/y作为高腐蚀风险的指标，而介于0.03与0.1mm/y之间的腐蚀速率作为中腐蚀风险指标。

**表5.2.3 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 | 现场腐蚀试片试验 |
| 2 | 0.024 | 现场腐蚀试片试验 |
| 3 | 0.014 | 现场腐蚀试片试验 |
| 4 | 0.021 | 现场腐蚀试片试验 |
| 5 | 0.023 | 现场腐蚀试片试验 |
| 6 | 0.019 | 现场腐蚀试片试验 |
| 7 | 0.022 | 现场腐蚀试片试验 |
| 8 | 0.026 | 现场腐蚀试片试验 |
| 9 | 0.014 | 现场腐蚀试片试验 |
| 10 | 0.017 | 现场腐蚀试片试验 |
| 11 | 0.018 | 现场腐蚀试片试验 |
| 12 | 0.008 | 现场腐蚀试片试验 |
| 13 | 0.015 | 现场腐蚀试片试验 |
| 14 | 0.014 | 现场腐蚀试片试验 |
| 15 | 0.011 | 现场腐蚀试片试验 |
| 16 | 0.017 | 现场腐蚀试片试验 |
| 17 | 0.017 | 现场腐蚀试片试验 |
| 18 | 0.021 | 现场腐蚀试片试验 |
| 19 | 0.026 | 现场腐蚀试片试验 |
| 20 | 0.010 | 现场腐蚀试片试验 |
| 21 | 0.014 | 现场腐蚀试片试验 |
| 22 | 0.014 | 现场腐蚀试片试验 |
| 23 | 0.011 | 现场腐蚀试片试验 |
| 24 | 0.012 | 现场腐蚀试片试验 |
| 25 | 0.014 | 现场腐蚀试片试验 |
| 26 | 0.008 | 现场腐蚀试片试验 |
| 27 | 0.012 | 现场腐蚀试片试验 |
| 28 | 0.005 | 现场腐蚀试片试验 |
| 29 | 0.014 | 现场腐蚀试片试验 |
| 30 | 0.012 | 现场腐蚀试片试验 |
| 31 | 0.004 | 现场腐蚀试片试验 |
| 32 | 0.012 | 现场腐蚀试片试验 |
| 33 | 0.012 | 现场腐蚀试片试验 |
| 34 | 0.010 | 现场腐蚀试片试验 |
| 35 | 0.012 | 现场腐蚀试片试验 |
| 36 | 0.001 | 现场腐蚀试片试验 |
| 37 | 0.002 | 现场腐蚀试片试验 |
| 38 | 0.003 | 现场腐蚀试片试验 |
| 39 | 0.012 | 现场腐蚀试片试验 |
| 40 | 0.020 | 现场腐蚀试片试验 |
| 41 | 0.001 | 现场腐蚀试片试验 |
| 42 | 0.006 | 现场腐蚀试片试验 |
| 43 | 0.012 | 现场腐蚀试片试验 |
| 44 | 0.021 | 现场腐蚀试片试验 |
| 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 |

**5.2.4** 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试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试片，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试片消除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5.2.4（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试片对试片的24h通、断电电位进行测试，之后对试片断电电位的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**

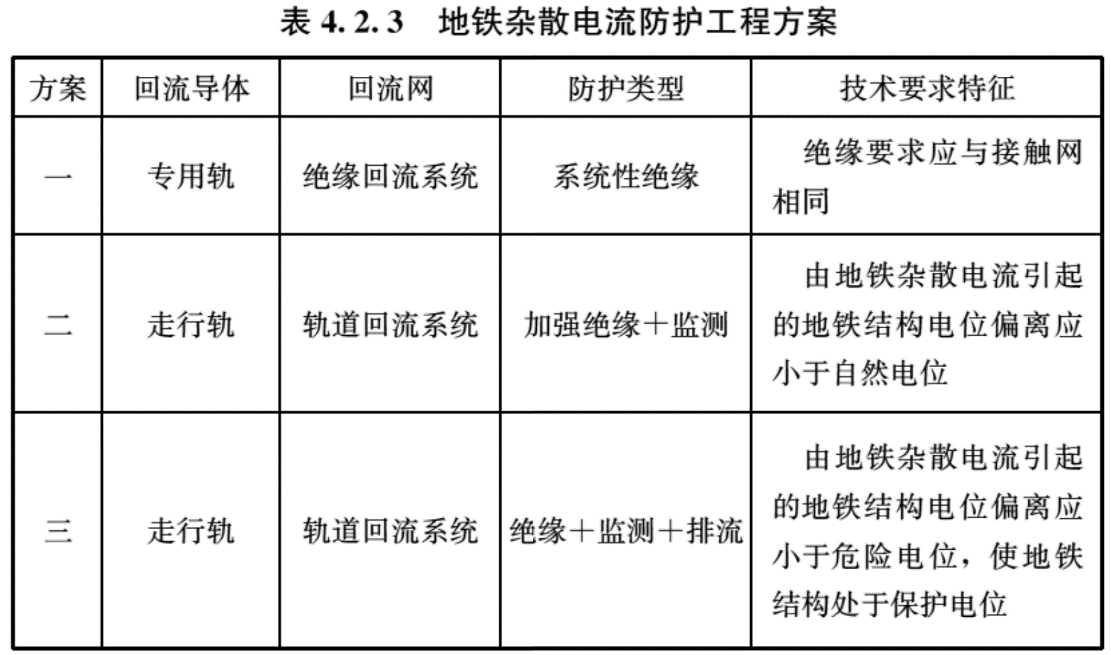
**6.1.2**本条为原则性规定。在干扰源头采取控制措施，往往会有事半功倍的效果。现行行业标准CJJ/T 49-2020中3.0.2条的有关规定：应将预防与治理地铁直流牵引系统回流电流的泄漏作为防护工程的根本，并应使其产生的杂散电流减小至最低限度。应限制杂散电流向地铁外部扩散。

**6.1.3**参照GB 50991-2014中6.1.1条内容和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 轨道交通系统侧干扰防护**

**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，以走行轨回流的轨道交通系统，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”中指轨道交通系统内安全、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道交通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**要求轨道交通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管地电位过负，排流量过小则效果不明显。应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，在无干扰即轨道交通系统停运时不应导致原有腐蚀防护系统不达标。

**6.3.6**由于轨道交通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道交通系统无法提供连接端子而不能采用极性直接排流时，可采用强制接地排流。控制系统宜具备的自动调节功能除了常规恒电位仪具备的自动调节功能外，还包括启停时间（与受轨道交通系统侧杂散电流干扰时间相匹配）、反馈频率（匹配杂散电流的波动频率）等。

**6.3.9**对于受干扰的管道，当外检测发现防腐层破损点时，宜先开展杂散电流干扰专项评价，当评价结果显示干扰程度等级为低时，应及时修复防腐层；当评价结果显示干扰程度等级为中或高，宜待采取有效防护措施后再修复防腐层。防腐层修复时应采用加强级防腐。

**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，要采取预防措施应防止绝缘接头阳极侧管壁上可能发生的内腐蚀问题。绝缘装置的绝缘性能可能会受到雷电等因素的影响而降低，应安装防电涌保护器，设置测试装置。考虑到部分区域雷电极少发生或受现场安装条件限制，或管道已具备其他有效防护或检测手段，要求宜安装防电涌保护器和宜设置测试装置。

**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、极性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（即本规程中的极性直接排流），要求具备管轨电连接的地方管轨双方均预留好连接端子，为极性直接排流防护提供便利。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**干扰防护效果测试应符合下列要求：

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

**7.3.1** 5.2.2及5.2.4中规定的极化电位偏移量与偏移比例指标是基于腐蚀速率提出的，现场便于测量，所以干扰防护措施实施后，先按照这些指标进行测试评判；由于腐蚀速率检测需要周期，所以放在7.3.3，更多起验证作用。

**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。

牺牲阳极地床寿命，可按照以下方法粗略计算：

1现场安装与实际排流地床相同材质的临时牺牲阳极排流地床；

2对临时排流地床的电流进行48小时监测；

3测试排流地床接地电阻；

4利用如下公式计算阳极年消耗率

（7-1）

式中：*W*a为牺牲阳极地床的年消耗率，kg/a；

*T*为测试时间，h；

*U*为牺牲阳极利用系数，无量纲；

*E*为牺牲阳极电流效率，无量纲；

*C*r为牺牲阳极理论消耗率，kg/(A·a)；

*I*为阳极输出电流（电流由阳极流向土壤为正），A；

*R*t临时地床接地电阻，Ω

*R*a实际地床接地电阻，Ω

5根据实际地床的重量，估算牺牲阳极地床寿命。

**7.3.3**作为杂散电流防护的终极目的是保障管道的本质安全，交直流电位、电流密度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**

8.0.1在现行国家标准 GB 50991-2014基础上补充排流设施完整性的检查相关工作。

8.0.7 在现行国家标准 GB 50991-2014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。

# **9干扰源方的协调与配合工作（附则）**

**无**