

T/CITS

团 体 标 准

T/CITS 415—2025

埋地钢质管道阴极保护智能监测系统技术规范

Technical specification for intelligent monitoring system for cathodic protection of
buried steel pipelines

2025 - 05 - 23 发布

2025 - 05 - 23 实施

中国检验检测学会 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 缩略语 2

5 基本要求 3

6 基础设施通用要求 4

7 阴极保护智能管理平台功能要求 5

8 智能恒电位仪 6

9 智能测试桩 7

10 智能排流器 9

11 现场安装要求 10

参考文献 12

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

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专利的责任。

本文件由中国检验检测学会提出并归口。

本文件起草单位：山东港口烟台港集团有限公司、华勘工程实业有限公司、南京焱盛科技有限公司、浙江璟恩物联网科技有限公司、国家管网集团北方管道有限责任公司、山东省特种设备检验研究院集团有限公司、大连科迈尔海洋科技有限公司、杭州先锋电子技术股份有限公司、沈阳仪表科学研究院有限公司、浙江海洋大学、北京碧海云智新材料技术有限公司、功尊仪表（浙江）有限公司、长春燃气热力设计研究院有限责任公司、北京讯腾智慧科技股份有限公司、通标中恒标准化技术研究院（北京）有限公司。

本文件主要起草人：刘德震、王辉、夏伟添、陆荣贵、赵云峰、王炜麒、谷涛、杨波、钱东平、宋华东、洪炳沅、邸泰深、江为阳、宋朋飞、陈书淳、刘世红、孔贞贞、王志威、高晓哲、封加全、沈际元、张军、徐鹏达、王卫强、丁宝峰、陈德财、程全喜、初炜、宋晓俊、路辉、张仁龙、蒋如锜、王坤、王泽宗、张恒洋、徐欢、邵彦峥、杜柱兵、李丽丽、毕建阳、刘芷含、扈文宝、郑浩、张彦坤、董振寰、刘岩、吴永利、汪贤峰、冀云、徐敬铭、包瑾、倪艺瑾。

埋地钢质管道阴极保护智能监测系统技术规范

1 范围

本文件规定了埋地钢质管道阴极保护智能监测系统的必要组成和基本要求，并对系统的主要组成部分的技术参数进行统一的规范要求以及系统安装与维护的必要规范。

本文件适用于埋地钢质管道阴极保护智能监测系统（以下简称监测系统）。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 3482—2008 电子设备雷击试验方法
- GB/T 3836.1—2021 爆炸性环境 第1部分：设备 通用要求
- GB/T 3836.2—2021 爆炸性环境 第2部分：由隔爆外壳“d”保护的设备
- GB/T 4208—2017 外壳防护等级（IP代码）
- GB/T 17626.5—2019 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验
- GB/T 19285—2014 埋地钢质管道腐蚀防护工程检验
- GB/T 21246—2020 埋地钢质管道阴极保护参数测量方法
- GB/T 21447—2018 钢质管道外腐蚀控制规范
- GB/T 33378—2016 阴极保护技术条件
- GB/T 42033—2022 油气管道完整性评价技术规范
- GB/T 44809—2024 物联网 工业物联网系统设备兼容性要求和模型
- SY/T 0029 埋地钢质检查片应用技术规范
- SY/T 0087.4 钢质管道及储罐腐蚀评价标准 第4部分：埋地钢质管道直流干扰腐蚀评价
- SY/T 0087.6 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
- SY/T 7326 恒电位仪通用技术条件
- T/CITS 216 海工装备设施智能阴极保护系统规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

管地电位 potential of pipeline to soil

管道与其相邻电解质（土壤）的电位差。

注：工程人员一般将“阴极保护条件下的管地电位”称为保护电位。

3.2

IR降 IR drop

根据欧姆定律，由于电流的流动在参比电极与金属管道之间电解质内产生的电压降。

3.3

断电电位 off potential

断电瞬间测得的构筑物对电解质电位，也称瞬间断电电位。

3.4

极化电位 polarized potential

由于电流的流动引起电极/电解质界面电位的偏移称为极化，在极化状态下的电位称为极化电位。

3.5

交流电流密度 AC current density

在交流电路中，单位面积中通过的电流大小。本文件默认单位采用 A/m^2 。

3.6

杂散电流 stray current

在非预期回路中流动的电流。

3.7

土壤电阻率 soil resistivity

单位长度上土壤电阻的平均值，是表征土壤导电性能的指标。本文件默认单位采用 $\Omega \cdot m$ 。

3.8

参比电极 reference electrode

在湿润的土壤中，具有稳定可再现电位的电极，在测量其他电极电位值时用以作为参照。

3.9

土壤管 reference tube

一种采用非导电性和非渗透性材料制作，中间填充土壤或其他电解质，用于放置参比电极的管子，通过土壤管可将参比电极安放到距检查片最近之处。

注：工程上一般采用“极化探头”实现参比管相同的功能。

3.10

腐蚀活性区域 corrosion active area

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

3.11

直流干扰排流保护 DC interference drainage protection

将管道中流动的干扰电流，通过人为形成的通路使之间接或直接的流回到干扰源的负回归网络，从而减弱管道的直流干扰影响，达到防止管道电蚀的目的，这种保护管道的方式称为直流干扰排流保护。

3.12

交流干扰排流保护 AC interference protection

为有效的控制交流干扰对埋地钢质管道的交流干扰腐蚀危害，减轻交流干扰对腐蚀控制系统的影响在管道局部位置所采取的防护措施。如埋设去耦隔直装置、局部集中接地体等措施。

3.13

管道交变区 alternating area of pipeline

杂散电流流入或流出管道方向不断变化的区域，此区域杂散电流有时候从管道流入土壤，有时候从土壤流入管道。

3.14

工业物联网兼容性 industrial internet of things compatibility

工业系统、信息资源或其他物联网实体在共享同一硬件、软件环境和网络的同时，能与其他的工业互联网实体交换信息，和执行其需求功能的程度。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

DTU：数据传输单元（Data Transfer Unit）

IPv4：互联网协议第四版（Internet Protocol Version 4）

IPv6：互联网协议第六版（Internet Protocol Version 6）

IR：内阻（Internal Resistance）

MOS：金属-氧化物-半导体（Metal-Oxide-Semiconductor）

MPPT：最大功率点跟踪（Maximum Power Point Tracking）

PC：个人计算机（Personal Computer）

PE：聚乙烯（Polyethylene）

PID：比例-积分-微分（Proportional-Integral-Derivative）

- PPR: 无规共聚聚丙烯 (Random Polypropylene Copolymer)
PVC: 聚氯乙烯 (Polyvinyl Chloride)
SIM: 用户识别模块 (Subscriber Identity Module)
SN: 序列号 (Serial Number)
SSL: 安全套接字层 (Secure Sockets Layer)
4G: 第四代移动通信技术 (Fourth-Generation mobile communication technology)

5 基本要求

- 5.1 监测系统监测和管理的对象, 应满足 GB/T 33378—2016 的阴极保护系统设计准则。
- 5.2 监测系统应至少包括阴极保护智能管理平台、智能恒电位仪、智能测试桩, 在管道场景应用还应包括智能排流器。根据用户管理需求, 宜配置土壤电阻率探头、腐蚀探头等其他部件。
- 5.3 智能测试桩应能够及时反映恒电位仪输出调整后保护体的阴极保护状况, 对于现场不良的阴极保护情况, 阴极保护工程师应能通过系统远程控制命令即时调整恒电位仪的运行参数。
- 5.4 监测系统的工业物联网兼容性不应低于 GB/T 44809—2024 中的“兼容性部分满足”级别。其网络拓扑架构见图 1。

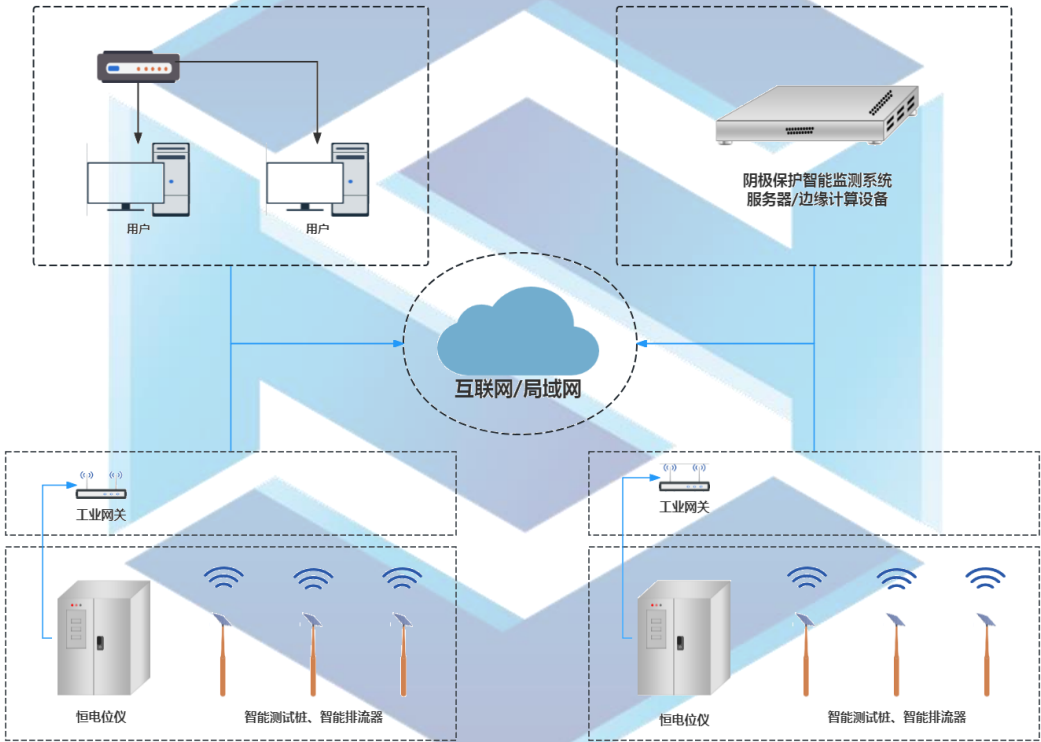


图1 监测系统 网络拓扑架构图

- 5.5 阴极保护智能管理平台属于工业物联网服务平台, 恒电位仪属于独立的工业控制系统, 智能测试桩、智能排流器属于数字工业设备。恒电位仪宜采用外置工业物联网网关、智能测试桩、智能排流器宜采用内置工业物联网网关。具体技术要求包含以下内容。
- a) 物理层面兼容技术要求如下:
- 1) 承载阴极保护智能管理平台的设备, 应具备全双工 1000 Mbps 以上 RJ45 以太网接口;
 - 2) 恒电位仪 (智能化部分), 应具备 RS-485 接口;
 - 3) 设备应同时具备 RJ45 以太网接口以及 RS-232 通信接口、RS-422 接口等其他工业接口;
 - 4) 智能测试桩、智能排流器, 应具备 RS-485 接口;
 - 5) 配套的工业物联网网关应满足业主要求的通信技术需求。
- b) 网络层面兼容技术要求如下:

- 1) 主体部分采用 IPv4 或 IPv6 协议;
- 2) 在局域网内运行时, 可利用 RS-485 协议分配地址组网。
- c) 应用层面兼容技术要求如下:
 - 1) 工业物联网系统的服务和会话, 宜支持 https 协议, 为其他工业系统提供数据接口;
 - 2) 工业物联网系统与数字工业设备的连接, 宜支持 Modbus-RTU 协议 (部分兼容) 和 MQTT 协议 (完全兼容);
 - 3) 工业物联网系统与工业控制系统的连接, 宜支持 https 协议、MQTT 协议 (完全兼容) 和 Modbus-RTU 协议 (部分兼容);
 - 4) 工业控制系统与数字工业设备的连接, 宜支持 Modbus-RTU 协议 (部分兼容) 和 MQTT 协议 (完全兼容);
 - 5) 数字工业设备与数字工业设备的连接, 宜支持 Modbus-RTU 协议 (部分兼容)。
- d) 系统应考虑将专用网络、VPN 网络或网关身份鉴权的方式作为保障数据安全的主要手段。安全策略的兼容性级别应不低于 GB/T 44809—2024 中的“兼容级别”。
- e) 系统更新与升级, 版本兼容性应在同一产品的早期与后期版本提供互操作能力。

5.6 监测系统应选用符合业主方管理需求的通讯方式。在业主方未对通讯方式进行规定的情况下, 应采用 4G 作为主要通讯方式, 并明确 SIM 卡续费和 SIM 卡状态管理责任。

5.7 监测系统在工程应用设计前应应对现场进行勘测, 对智能测试桩、智能排流器等相关设备安装点位附近信号强度进行勘测, 避免由于信号屏蔽等问题导致的设备通讯异常, 并根据实际情况调整合适点位。

5.8 监测系统应在平台侧或设备侧进行校时, 应在设备安装时对坐标进行录入或通过北斗读取安装坐标。

6 基础设施通用要求

6.1 现场供电

6.1.1 监测系统数字工业设备宜选用太阳能供电和一次性高内阻电池两种方式。数字工业设备电源标准电压应为 DC12V。对微控恒电位仪等高能耗场景, 可采用风光互补的供电方式。电池组应放置在现场桩体内, 不应裸露, 避免电池组浸泡在水中的可能。不应采用电池组埋地的安装方式。

6.1.2 应优先采用太阳能供电的方式。采用太阳能供电时, 单晶硅光伏板额定功率应高于 18 V, 60 W, 采用当地最优入射采光面辐射倾角进行安装; 光伏板与支架间应使用铆钉或防松螺丝固定; 光伏板与 MPPT 连接线应避免被挤压; 应选用钛酸锂或其他可循环电池, 电池组深循环寿命不低于 3000 次, 电池组额定容量 ≥ 135 Wh, 在常规低温条件下使用时, 电池组应支持室外环境 $-20^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 区间内可正常充放电, 在极限低温条件下使用时, 应满足业主方实际技术要求。

6.1.3 当太阳能系统出现故障后, 应能向系统进行报警; 太阳能系统故障后, 设备持续运行时间不应低于 168 h。

6.1.4 在不具备安装太阳能条件的情况下, 应选用锌锰电池或其他高内阻的一次性电池组, 配合设备休眠模式, 通过间歇性工作延长可用时间。选用一次性电池组的情况下, 应至少满足电池年自放电电流 $< 1\%$, 电池总容量 ≥ 900 Wh 的技术要求。

6.1.5 在站场或其他场景, 设备安装位置有条件取 AC220V 电源时, 选用外置电源适配器进行供配电。外置电源适配器应满足 IP67 防水级别, 电源纹波系数应小于 120 mVp-p。

6.2 桩体

6.2.1 智能测试桩、智能排流器的桩体宜选用直径不低于 114 mm, 厚度不低于 3 mm 的热镀锌钢管, 并在合适高度进行空间设计, 以安装电位自动采集仪、排流电气部件、接线和现场测量部件。也可选用玻璃钢或不锈钢材质, 桩体外观应平整, 无划伤或锈蚀。

6.2.2 桩体外部应按照业主标识要求的颜色做刷漆处理。

6.2.3 桩体安装部件的内部空间应可以上锁, 应采用不易被开启的特殊通用锁。

6.2.4 桩体应设置标识牌, 内容应至少包括管线名称、设备名称、设备型号、设备编号、测试桩号、生产厂家、安装日期、联系电话。可根据业主需要设立警示牌。

6.2.5 桩体内应设计部件挂耳, 便于部件安装, 应设计接地端子, 便于防雷接地安装。

6.2.6 新建项目选用管道测试桩，宜考虑其结构能够满足智能桩改造，具备空间和余地安放电位自动采集仪和配电装置。

6.3 网关和天线

6.3.1 智能测试桩或其内部仪表内置的网关，应支持 SSL 证书认证加密功能。

6.3.2 网关应选择符合工业物联网兼容标准的其他数字工业设备借用网络与阴极保护智能管理平台所在服务器通讯。

6.3.3 网关应在其外壳表面注明其采用的通讯技术、SN 编码或局域网人工配置的地址；宜在其外壳表面同时注明安装的 SIM 卡卡号；宜在其外壳表面注明业主对网关所在测试桩的编号。

6.3.4 天线应采用夹具外置固定在桩体顶部，一般距地面 3 m 以内。应采用全向玻璃钢天线，增益 5.5 dBi 以上，驻波比 <1.5 ，防水级别 IP67 以上，耐温 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。天线与采集仪接头采用内螺内针方式。

6.3.5 在地区雷暴日数超过 90 天的区域安装的户外天线应加装天线馈线避雷器。

6.4 参比、试片和极化探头

6.4.1 现场应选用铜-硫酸铜饱和电极，对不能使用硫酸铜电极的环境，应采用高纯锌参比电极或氯化银参比电极。参比电极的技术要求应按照 GB/T 21246—2020 第 4.3 条的要求执行。

6.4.2 为屏蔽杂散电流带来的 IR 降，应采用极化探头的方式测量构筑物断电电位，其方法应按照 GB/T 21246—2020 第 5.7、5.8 条的要求执行。极化探头应至少具有 2 个检查片，1 个极化试片，1 个交流试片。

6.4.3 极化电位试片面积应选用 $6\text{ cm}^2\sim 50\text{ cm}^2$ ，交流腐蚀试片面积宜选用 1 cm^2 。试片的选材、使用与管理应按照 SY/T 0029 的要求执行。

6.4.4 采用多试片时，应考虑各试片之间的相互影响及测量前的预极化时间，测量时序，试片测量时序应考虑预极化，避免其他回路的干扰。

6.4.5 极化探头壳体应选用非导电性和非渗透性材料。极化探头宜采用 UL1277 多芯导线，导体直径优于 AWG14。也可采用 YC 多芯导线，导体直径优于 2.0 mm。

6.4.6 智能测试桩内电位自动采集仪应采用工业航空插头进行接线。极化探头应在引出电缆头部安装工业航空插头直插专用接线盒，通过接线盒转出小航空插头与电位自动采集仪相连。现场管道线应与专用接线盒相连。专用接线盒应留有便于现场快速测试的表笔插孔。

6.4.7 试片线、参比线单独使用应采用 YC1 $\times$ 4mm 单芯导线。管道线应使用 YJV1 $\times$ 10mm 单芯导线。

7 阴极保护智能管理平台功能要求

7.1 基础功能

7.1.1 与恒电位仪、智能测试桩、智能排流器等数字工业设备通讯，对数据进行存储，为业主提供数据查询、调取服务。

7.1.2 允许业主通过平台，对现场设备进行软件升级、采集频率修改、工作模式调节、恒电位仪给定输出参数等控制。

7.1.3 平台应具备地理信息系统 (GIS) 功能，提供 PC、手机多端访问方式，允许用户查询历史运行数据。

7.2 保护效果记录功能

7.2.1 允许业主通过现场开挖、埋设检查片或安装腐蚀速率探头等方式，通过试片失重记录评价阴极保护保护度。

7.2.2 检查片的埋设位置、制备及腐蚀速率的测试应按照 SY/T 0029 的相关要求执行。

7.3 管理辅助功能

7.3.1 通过空间数据特征分析、时序数据特征分析等技术，提示腐蚀活性区域、管道交变区、防腐层风险区、阴极保护屏蔽区等完整性管理高风险特征，为业主单位开展管道检测、管道探伤、防腐层维修、

管段更换、直流干扰排流保护、交流干扰排流保护等工作提供科学决策依据。

7.3.2 对阴极保护运行期间空间、时序数据的采集和整理，应参照 GB/T 42033—2022 第 5 条的要求执行；对现场交流、直流干扰风险相关基础数据的采集和整理，应参照 SY/T 0087.4 及 SY/T 0087.6 的要求执行。

7.4 专家辅助诊断功能

通过故障数据库、故障特征数据识别等方式，分析现场数据异常后可能存在的故障原因，辅助对阴极保护运行过程中出现的问题进行诊断，并给出故障发生的概率、原因和相应的处理意见。

7.5 用户权限管理和审计功能

不应设置弱口令，具备用户终端设备访问白名单、用户终端设备 IP 白名单功能，允许业主管理员查看平台用户登录情况。

7.6 其他功能

7.6.1 应关注现场土壤电阻率、管道防腐层、沿线附属设施的相关情况，并记录深井阳极、浅埋阳极、柔性阳极、牺牲阳极、均压线、绝缘接头、非智能测试桩、参比电极、检查片等设备的安装位置、年限、巡检时运行状态、维护情况等关键信息，并对阴极保护运行情况进行评价。

7.6.2 对现场腐蚀环境风险的分级，应按照 GB/T 19285—2014 第 4 条的相关要求执行，对现场阴极保护保护率、运行率和保护度的整体评价，应按照 GB/T 21447—2018 第 9 条的相关要求执行。

7.6.3 由于不同场景对系统模块设计的需求不一致，在现场工程实际应用中，应合并到最近似对象，或将其拆分为多个单一功能对象，但应在设备名称位置进行标注。如：多回路恒电位仪对多套阴极保护系统进行保护，可在平台管理中认为存在多台恒电位仪。

7.6.4 阴极保护智能管理平台应具备对测试桩名称进行备注的功能。

7.6.5 阴极保护智能管理平台应具备通讯日志功能，对数字工业设备通讯上线、下线情况进行记录，并能够通过通讯数据情况，识别非法运行的模拟设备、测试设备。

7.6.6 阴极保护智能管理平台应能够分析供配电运行数据，发现由供配电模块导致的智能桩故障功能。

8 智能恒电位仪

8.1 智能化技术要求

8.1.1 智能恒电位仪是监测系统独立工业控制系统，主要由控制单元、整流器、电位采集单元三部分构成。智能恒电位仪通过控制单元执行 PID 或其他近似功能算法实现现场恒电位输出控制功能。智能恒电位仪在监测系统中作为从机与阴极保护智能管理平台通讯；在局域网小型场景下，也可作为主机接收其他数字工业设备的信号，以多信号源或外信号源为基准调节整流器输出实现恒电位功能。

8.1.2 智能恒电位仪应具有恒通电位、恒断电位、恒压模式、恒流模式、通断模式五种工作模式。工作模式切换和工作参数可通过远程给定。具体说明如下：

- a) 恒通电位模式：基于恒电位仪本机或同一网络环境内其他智能测试桩的通电位信号，调节整流器输出实现恒电位功能；
- b) 恒断电位模式：基于恒电位仪本机或同一网络环境内其他智能测试桩的断电位信号，调节整流器输出实现恒断电位功能，除在通电位受严重干扰无法正常读数情况下，由于试片需要极化时间，因此恒断电工作模式应采用记录断电位与恒电位标准差值周期性校准的方式，降低断电位的采集频率；
- c) 恒压模式：不依据任何外基准源信号，直接控制整流器电压输出；
- d) 恒流模式：以给定的恒流值为基准，调节整流器输出实现恒电流功能；
- e) 通断模式：通断时间可以由用户调整：通 12 s，断 3 s 反复运行，通 4 s，断 1 s 反复运行，通 0.8 s，断 0.2 s 反复运行。

8.1.3 智能恒电位仪支持同一网络环境内，其他智能测试桩的参比信号切换为恒电位基准源，或支持阴极保护智能管理平台算法处理过的参比信号切换为恒电位基准源。

8.1.4 智能恒电位仪应与阴极保护智能管理平台同步自身运行状态。现场发生故障时，除现场声光报

警外，应将故障状态自诊断功能及时反馈到管理平台。应至少具有下列报警功能：

- a) 输出电流、电压超限报警：输出电流或电压超过额定值的 105% 时，仪器报警；
- b) 电位超限错误报警：参比电位超过“过欠电位报警值”上限或低于“过欠电位报警值”下限时，仪器报警，过、欠电位报警值上下限为预置电位 ± 50 mV；
- c) 极性错误报警：恒电位仪输出极性接反时，仪器报警且自动停机；
- d) 参比失效报警：恒电位仪输出对参比基准电位影响小于阈值时，仪器报警；
- e) 过温报警：恒电位仪内部温度超阈值时，仪器报警并停止输出。

8.2 技术参数要求

8.2.1 除微控恒电位仪外，恒电位仪电气性能应符合 SY/T 7326 的相关技术要求。

8.2.2 微控恒电位仪与 SY/T 7326 的相关技术要求主要差别如下：

- a) 工作环境：工作温度范围为 -35 $^{\circ}\text{C}$ $\sim$ 60 $^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 供电电源：选用 DC24V 为标准电压，在满足本文件 6.1.2 条的基础上，电池组容量应能满足仪器额定功率下 85 h 连续工作需求，太阳能或风光互补装置的理论 max 功率应能在 4 小时内补充电池组容量从 0% 到 90%；
- c) 外壳防护级别：IP65 以上；
- d) 不强制要求微控恒电位仪本身具备电位测量功能。

9 智能测试桩

9.1 智能桩布设选址

- 9.1.1 管道绝缘接头附近位置。
- 9.1.2 油气田集输管网区域的中心点与阴极保护设计辐射末端位置。
- 9.1.3 管网交汇点存在均压线的位置。进出站均压线跨接多条管道的，应监测各个管道之间是否存在电位差，均压线是否正常。
- 9.1.4 高后果区。
- 9.1.5 地质条件可能存在屏蔽的区域。
- 9.1.6 腐蚀活性区域。
- 9.1.7 长输管道沿线，应根据阳极地床设计的理论保护距离，在一套阴极保护系统中分安装多个智能测试桩。
- 9.1.8 阴保站进出站位置：进出站 1 公里左右。
- 9.1.9 长输管道人员难以出入，又存在维护点的位置。
- 9.1.10 存在直流干扰风险的区域。
- 9.1.11 管道交变区域或杂散电流干扰风险较高的区域。
- 9.1.12 站场多储罐共用一套阴保系统的情况下，可根据管理需求选装。
- 9.1.13 老旧管道改造智能测试桩时，应对原测试桩引线进行利用，减少对管道防腐层的破坏。
- 9.1.14 智能测试桩应安装在通风、向阳的地方。应避免安装在水中，如必须安装在水中或周期浸泡在水中，桩体和各个部件连接部位应满足 GB/T 4208—2017 中规定的 IP68 级防护要求，且采用 IP68 级别的配电装置、防水线缆。

9.2 一般要求

- 9.2.1 智能测试桩由供电装置、桩体、天线、参比、试片组合（或极化探头）、电位自动采集仪、接线和测量部件构成。网关应内置在电位自动采集仪或桩体中。备品备件的比例应符合业主要求成套供货。
- 9.2.2 智能测试桩在采用太阳能供电条件下，应采用实时在线工作模式，设备定时向阴极保护智能管理平台发送心跳包；在此工作模式下，应通过智能阴保管理平台远程实时调节现场设备，现场设备每组数据采集周期间隔最小应达到 5 s，采集周期应根据用户需求自由设定。
- 9.2.3 在采用一次性电池供电条件下，应参用间歇工作模式（数采频次较低的日常工作模式）让设备定期休眠以节约能耗，在此工作模式下，应通过智能阴保管理平台修改测试桩休眠周期、数据采集周期间隔、唤醒阈值等参数，数采频率不高于 24 次/天。

9.2.4 在采用一次性电池供电条件下,智能测试桩应具有自动触发监测功能,当智能测试桩采集到管地电位相对于常规保护电位的偏移量超过设定值,触发监测功能,在一段时间内不进入间歇工作模式,并以设定好的较高频次实施数采(此频次在间歇工作模式下可定义),当外界干扰结束后,电位偏移量回到正常范围内时,自动恢复常规模式采集传输数据。

9.2.5 在设备离线的情况下,智能测试桩可自动存储1年数据(每天一条),支持网络恢复后自动上报或阴保平台远程访问获取。

9.2.6 智能测试桩应向平台上报供电装置当前电压,以便管理人员评估电池余量,并同时向平台上报当前信号强度。

9.2.7 智能测试桩在采用太阳能供电条件下,其整机平均功耗不应高于1.6 W/h,在采用一次性电池供电条件下,其间歇工作模式下整机平均功耗不应高于0.01 W/h。

9.2.8 智能测试桩在站场内应安装在GB/T 3836.1—2021规定的防爆Ⅱ区区域内,由于智能测试桩测量系统中的极化探头接地这一特性,防爆型智能测试桩应取得符合GB/T 3836.2—2021规定的防爆合格证方可在站场内安装,防爆级别不应低于ExdbⅡBT6Gb。

9.2.9 阴极保护电位自动采集仪应具备对阴极保护工艺中主要电流、电压参数进行自动采集、储存、上传的功能,并与阴极保护智能管理平台匹配数据接口,实现交互兼容。

9.3 电位自动采集仪技术要求

9.3.1 在常规桩体条件下安装,电位自动采集仪的防护等级不应低于GB/T 4208—2017中规定的IP65级,宜达到IP67级。工作温度范围为-25℃~55℃。在极限温度条件下使用时,应满足业主方技术要求。

9.3.2 电位自动采集仪应满足参比线与外壳、零位线与外壳的绝缘电阻 $>10\text{ M}\Omega$,且仪器外壳应能承受对机壳1500 V(有效值)的介电强度试验电压,历时1 min无击穿和闪络现象。

9.3.3 电位自动采集仪应满足GB/T 3482—2008中第4级或GB/T 17626.5—2019中第4类安装类别的防雷要求。

9.3.4 电位自动采集仪单独安装在GB/T 3836.1—2021规定的防爆区域内时,电位自动采集仪应独立取得符合GB/T 3836.1—2021规定的防爆合格证。

9.3.5 电位自动采集仪测量阴极保护试片电位时,应断开交流试片;测量交流试片时,应断开阴极保护试片。

9.3.6 通电电位、自然干扰电位应满足下列要求:

- a) 采样范围: $-5.0\text{ V}\sim+5.0\text{ V}$; $-100.0\text{ V}\sim+100.0\text{ V}$ 自动切换;
- b) 输入阻抗: $\geq 10\text{ M}\Omega$;
- c) 分辨率: 优于量程的0.1%;
- d) 准确度0.5级(误差 $\leq 0.5\%$)。

9.3.7 试片断电(瞬间断开被保护体与极化试片连接,取断电前0.2 s,断电后0.8 s所有采样数据,绘制极化曲线,采用断电特征捕捉算法,或近似取断电后0.15 s的电位值,计算断电电位值,去极化曲线主要表征阴极保护被保护体上的电子富集程度):

- a) 绘制去极化曲线的电位采样频率不低于100 Hz;
- b) 应采用交流滤波算法对数据进行处理,在30 V交流干扰电压条件下误差不超过 $0.5\%\pm 5\text{ mV}$;
- c) 在交流干扰条件下测量现场断电电位时,应根据完整去极化波形考虑交流干扰对采样时间选择的影响。

9.3.8 交流电压(在被保护体与管道相连情况下,测量管道与参比间交流电压值,该参数主要表征管道受交流干扰电压影响程度):

- a) 采样范围: $0\text{ V}\sim 10\text{ V}$ 、 $0\text{ V}\sim 100\text{ V}$ 自动切换RMS有效值;
- b) 分辨率: 0.1 V;
- c) 准确度1级(误差 $\leq 1\%$)。

9.3.9 交流试片交流电流(管道与交流试片相连情况下,测量交流试片与参比间交流电流值,该参数主要表征管道受交流干扰严重程度):

- a) 交流电流采样范围: $0\text{ mA}\sim 20\text{ mA}$; $0\text{ mA}\sim 200\text{ mA}$ 自动切换;
- b) 分辨率: 优于量程的0.5%;

- c) 交流电流采样误差: $\leq 1\%$;
 - d) 采样电阻宜为 $10\ \Omega \sim 20\ \Omega$ 。
- 9.3.10 极化试片直流电流(管道与极化试片相连情况下,测量极化试片与参比间直流电流值,该参数表征管道表面破损点流入或流出的直流电程度,在工程条件下,多数为 $20\ \mu\text{A} \sim 80\ \mu\text{A}$):
- a) 直流电流采样范围: 应满足 $-1\ \text{mA} \sim +1\ \text{mA}$; $-20\ \text{mA} \sim +20\ \text{mA}$ 自动切换,同时满足 $-0.1\ \text{mA} \sim +0.1\ \text{mA}$ 量程自动切换;
 - b) 分辨率: 优于量程的 0.5% ;
 - c) 直流电流采样误差 $\leq 1\%$;
 - d) 采样电阻宜为 $5\ \Omega$ 。

10 智能排流器

10.1 选型与安装

10.1.1 智能排流器将管道与泄放接地极联通。智能排流器主要分为固态去耦合器与极性排流器两种设备,分别应对交流干扰和直流干扰两种情况。固态去耦合器将管道交变区交流杂散电流释放到其他区域,以稀释管段交流干扰强度;极性排流器是利用 MOS 管单向导通原理,将直流能量泄放回干扰源负回归网络。

10.1.2 当管道与 $110\ \text{kV}$ 及以上高压交流输电线路、交流电气化铁路直线距离小于 $1000\ \text{m}$,即存在交流干扰风险,经调查交流干扰电流密度大于 $100\ \text{A}/\text{m}^2$ 时,应布置智能排流器,交流干扰电流密度大于 $30\ \text{A}/\text{m}^2$ 时,应布置智能排流器。交流干扰电流密度不足 $30\ \text{A}/\text{m}^2$ 时,不必布置智能排流器,交流电流密度大于 $30\ \text{A}/\text{m}^2$ 且小于 $100\ \text{A}/\text{m}^2$ 时阴极保护断电电位在 $-0.9\ \text{VCSE}$ 至 $-1.1\ \text{VCSE}$ 区间时,不属于交流腐蚀易发区域,应进一步确定布置排流器的必要性。

10.1.3 管道与高压直流输电线路、牵引供电系统、其他具有阴极保护系统的埋地金属构筑物距离过近时,直流干扰可通过地电位梯度和腐蚀特征进行识别,当干扰无法通过现有阴极保护系统的调整进行抑制时,与干扰源方达成一致,可采用布置智能排流器与屏蔽相结合的方式将直流能量泄放回干扰源负回归网络。

10.1.4 在未进行 SY/T 0087.4 和 SY/T 0087.6 所规定的调查测试,或调查测试结果认为安装排流器必要性不足的情况下,不应安装排流器。

10.2 一般要求

10.2.1 智能排流桩由供电装置、桩体、天线、排流电气部件、智能控制单元构成。网关可内置在智能控制单元中,也可内置在桩体中。

10.2.2 智能排流桩应采用太阳能供电,并采用实时在线工作模式,可通过阴极保护智能管理平台实时管理现场设备,设备定时向阴极保护智能管理平台发送心跳包。

10.2.3 智能排流桩应将智能测试桩电位自动采集仪、极化探头等部件集成安装在同一桩体内,实现排流前、后数据的对比。

10.3 技术参数

10.3.1 在常规桩体条件下安装,智能排流器的防护等级应不低于 GB/T 4208—2017 中规定的 IP65 级,设备工作温度 $-45\ ^\circ\text{C} \sim 60\ ^\circ\text{C}$ 。

10.3.2 智能排流器内部智能控制单元部分应满足 GB/T 3482—2008 中第 4 级或 GB/T 17626.5—2019 中第 4 类安装类别的防雷要求。

10.3.3 当构筑物遇雷或故障电流时,智能排流器通过内部电涌保护器实现导通,将冲击能量释放进入大地,应优于雷电冲击通流容量 ($4/10\ \mu\text{s}$) $100\ \text{kA}$ 。故障电流 ($\text{AC-rms}/\text{工频}/30\ \text{周波}$) $\geq 3500\ \text{A}$ 。

10.3.4 排流器直流电流漏泄量、额定隔离电压、极性排流导通参数,宜根据现场存在的直流干扰强度进行要求。

10.3.5 排流器稳态交流电流额定值应大于 $45\ \text{A}$ 。

10.3.6 交、直流稳态能量泄放强度计量(通过互感器计量通过排流器的电流方向、强度):

- a) 电流采样范围: $0\ \text{A} \sim 50\ \text{A}$;

- b) 分辨率：量程的 0.5%；
- c) 电流采样误差：≤1%。

11 现场安装要求

11.1 阴极保护智能管理平台的安装

11.1.1 阴极保护智能管理平台的部署和调试应由产品供应商专业人员遵照业主方对信息安全管理的相关要求执行。

11.1.2 阴极保护智能测试桩安装前，应先部署阴极保护智能管理平台，将 DTU 通讯指向服务器固定 IP，并在平台中进行设备预录入。

11.2 极化探头/土壤管的安装

11.2.1 安装极化探头时，应埋设在管道一侧，与管道埋深相同，与管道外壁的间距宜为 0.1 m~0.3 m，极化试片应冲管道方向埋设。试片与参比管合用安装时，参比管与极化试片安装于管道的同一侧，与管道埋深相同，极化试片应安装在参比管的一侧，与管道外壁的间距宜为 0.1 m~0.3 m，参比管不应置于极化试片与被保护结构物之间。安装位置见图 2、图 3。

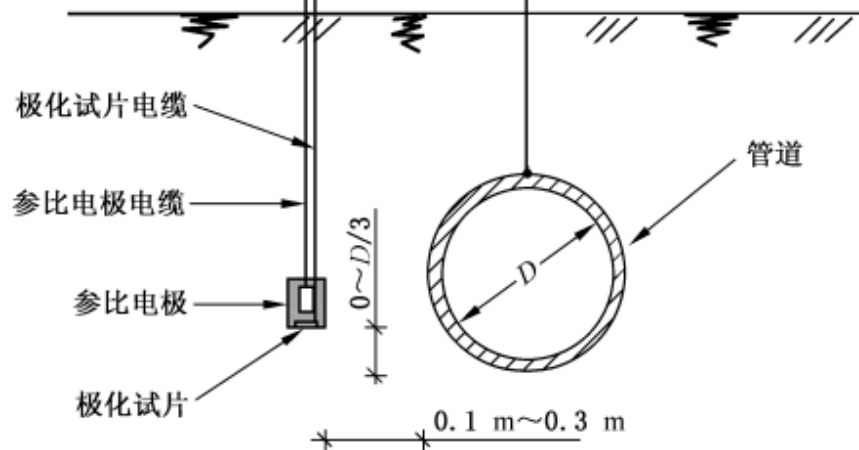


图2 极化探头与管道相对位置示意图

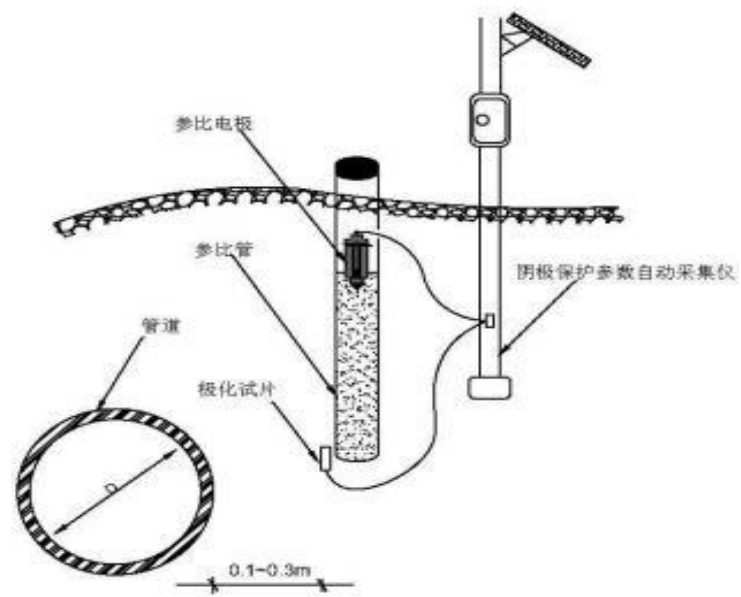


图3 参比管、管道与智能桩安装相对位置示意图

11.2.2 参比电极安装和使用时应注意：

- a) 对于黏土或地下水位较高，保水性能较好的土壤环境，参比电极应直接埋设；
- b) 对于沙漠、戈壁等地表高电阻率环境，应在地表预留参比管，饱和硫酸铜参比电极宜通过参比管埋设于深层低电阻率土壤中，参比管的材质应选择 PVC、PPR 或 PE，直径不应小于 $\phi 110\text{ mm}$ ，参比管内应填土并夯实；
- c) 在特殊土壤环境中，应采用高纯锌参比电极（纯度不小于 99.995%）作为长效参比电极使用，高纯锌参比电极使用时应采用 75%石膏、20%膨润土及 5%硫酸钠回填料包覆，相对于硫酸铜电极-850 mV 的电位为：+250 mV (25 °C)，使用温度不应大于 60 °C；
- d) 采用经校核的便携式硫酸铜参比电极对所使用的参比电极进行校核，其电极电位误差不应大于 5 mV，校核过程中应确保两只参比电极之间没有外界电场的影响。

11.2.3 安装检查片、土壤管、参比电极或极化探头时，在安装过程中应对土壤进行筛选和压实，并保存安装记录。试片直接埋设原位土时，如原位土壤含有杂质且不均匀，应对试片埋设部位的土壤用均匀的细土壤粉末进行置换；试片埋设过程中，应使用原生细土在试片表面夯实压紧，确保周围无气泡阻隔，此后采用分层夯实的方法进行回填；可使用少量的水来湿润和压实土壤。

11.2.4 检查片、参比电极、极化探头在低温区域安装，应安装在冻土层以下，具体深度以实际冻土深度为准。

11.2.5 极化探头/土壤管到桩体内部的引线，应采用线号进行标明，如采用接线端子进行安装，引线末端应安装接线鼻，端子应紧固压实。

11.3 智能测试桩的安装

11.3.1 现场施工时，应先安装极化探头/土壤管，后安装桩体。

11.3.2 智能测试桩应采用金属桩体，采用优于 C20 标号的混凝土现场浇筑或预制深度不低于 300 mm，见方不低于 400 mm 的基座。采用其他桩体时，现场应根据实际情况浇筑基础，以确保测试桩的牢固性。

11.3.3 智能测试桩内部接线应整洁、美观，调试前应检查是否有因挤压破坏线缆护套的情况。

11.3.4 智能测试桩安装完成后，应进行调试和测试，确保测试桩能够与阴极保护智能管理平台正常通讯。

11.3.5 调试完成后，应用胶泥对测试桩底部进行封堵，塑形固定线缆，并避免地气上涌对桩内可能带来的损害。

11.3.6 智能测试桩供货商应附安装说明书。

11.4 恒电位仪安装

11.4.1 恒电位仪应安装在通风良好、不影响散热的区域。

11.4.2 在恒电位仪通电前，应测量管道的自然电位，自然电位应为-0.50 VCSE 左右；测量阳极地床的电位，电位值应在 0.20 VCSE~0.30 VCSE 之间。

11.4.3 设备安装到位后，应检查机壳接地是否正确的连接。

11.4.4 根据接线图进行接线，确保输出电源极性正确。在接线端子上注明“+”或“-”等标识，并用万用表检查接线柱是否正确。

11.4.5 检查电源是否符合恒电位仪的额定电压值。

11.4.6 通电调试时，应确保恒电位仪的电位控制准确，电位控制误差应在 5 mV 以下，并注意观察仪器的工作状态是否正常。

11.5 排流器安装

11.5.1 在排流器安装期间，施工人员应穿戴绝缘手套、绝缘鞋等劳动防护用品。

11.5.2 当交流干扰有明确来源时，应与相应的主管部门协调采取干扰源排除或屏蔽措施。

11.5.3 在雷雨期间不应开展排流器安装工作。

11.5.4 施工前应检查排流器与管道、接地极连接电缆导体直径是否大于 35 mm。

11.5.5 现场需要测量时，先将引线连接到仪器上，再连接到待测试的结构上；移除引线时先从结构上移除引线，再从仪器上移除引线。

11.5.6 安装排流器应按照以下顺序：先将接地电缆从接地极上引出，安装在耦合器上；再将管道排流电缆从管道上引出，安装在耦合器上，拆卸式应执行相反顺序。

参 考 文 献

- [1] GB 3836.2—2021 爆炸性环境 第2部分：由隔爆外壳“d”保护的設備
 - [2] GB/T 17949.1—2000 接地系统的土壤电阻率、接地阻抗和地面电位測量导則 第1部分：
常规測量
 - [3] GB/T 44089—2024 物联网 工业物联网系统兼容性设备要求和模型
 - [4] SY/T 6793—2018 油气输送管道线路工程水工保护设计规范
-

T/CITS 415—2025

中 华 人 民 共 和 国
团 体 标 准
埋地钢质管道阴极保护智能监测系统技术规范
T/CITS 415—2025

*

中国检验检测学会
网址 www.cits.ac.cn

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 12.3 千字
2025 年 5 月第一版 2025 年 5 月第一次印刷

*

如有印装差错 由中国检验检测学会调换

版权专有 侵权必究

举报电话：010-68844089



T/CITS 415—2025