

阴极保护数据采集器开发设计需求说明书

1 项目概述

1.1 项目背景

阴极保护技术是油气长输管道、城市燃气管网、储罐、码头钢结构、地下金属管线等基础设施防腐的核心技术，被广泛应用于石油、化工、燃气、市政、海洋工程等领域。当前行业内传统阴极保护监测方式以人工现场巡检、手持设备短时测量为主，存在数据采集不连续、人工误差大、巡检成本高、异常滞后发现、数据无法溯源、难以实现远程管控等问题，无法满足管网智慧化、数字化运维的发展需求。

为实现阴极保护系统运行状态的全天候、自动化、高精度监测，实时掌握金属构筑物防腐状态，及时发现过保护、欠保护、断电异常、腐蚀加剧等故障问题，提升管道及钢结构设施运行安全性、降低运维成本、满足国家及行业防腐监测合规要求，特开发专用阴极保护数据采集器，适配各类阴极保护场景的长期在线监测需求。

1.2 项目目标

开发一款工业级、低功耗、高稳定性、适配性强的阴极保护数据采集终端，支持阴极保护核心参数自动化、高频次、高精度采集，具备本地数据存储、远程无线传输、异常报警、设备状态自检、参数配置远程升级等功能。设备可长期户外、地下、野外恶劣环境稳定运行，适配牺牲阳极法、强制电流法两类主流阴极保护系统，实现阴极保护监测数据数字化、可视化、智能化管控，为防腐运维决策、隐患排查、合规归档提供精准数据支撑。

1.3 适用范围

本需求适用于本次阴极保护数据采集器的硬件设计、软件开发、结构设计、功能调试、性能测试、交付验收全流程，设备适用场景包含：油气长输管道阴极保护监测、城市燃气管道阴极保护监测、钢制储罐底板阴极保护监测、港口码头钢结构阴极保护监测、地下金属管网阴极保护监测等工业场景。

2 规范性引用文件

本产品开发设计严格遵循以下国家及行业标准，未标注更新版本均采用最新有效版本：

- GB/T 21448-2008 《埋地钢质管道阴极保护技术规范》
- GB/T 19285-2014 《埋地钢质管道腐蚀防护工程检验》
- SY/T 0023-2017 《埋地钢质管道阴极保护参数测试方法》
- GB/T 17626 系列电磁兼容测试标准

- GB 4208-2017 《外壳防护等级（IP代码）》
- GB/T 13306-2011 《标牌》
- NB/T 42086-2016 《工业物联网数据采集终端技术规范》

3 总体设计要求

3.1 设计原则

- **高精度可靠性：**核心采集模块采用工业级芯片，严格匹配行业测试标准，数据采集误差小、稳定性高，长期运行无漂移、无丢数。
- **低功耗长续航：**适配野外无市电场景，优化硬件功耗与软件休眠机制，支持电池长期供电，满足数年免更换运维需求。
- **强环境适应性：**设备结构、硬件元器件满足户外高低温、防水防尘、防潮防腐蚀、抗电磁干扰的工业环境要求。
- **易安装易运维：**结构轻量化、接线简单，支持现场快速安装，支持远程配置、远程升级、故障自检，降低现场运维成本。
- **可拓展可兼容：**预留功能接口与协议拓展空间，支持后续新增监测参数、适配多平台对接、兼容不同规格阴极保护设备。
- **安全性合规性：**具备数据加密、设备防篡改、过压过流保护、防雷防静电功能，符合行业安全合规要求。

3.2 设备整体架构

设备采用“采集单元+主控单元+存储单元+传输单元+电源单元+防护单元”一体化架构，各模块独立分工、协同运行，整体集成式设计，无外置冗余模块，便于现场安装固定。

4 详细功能需求

4.1 核心数据采集功能

设备支持阴极保护系统直流参数、交流干扰全维度参数采集，完全匹配SY/T 0023-2017测试标准，重点覆盖通电电位、断电电位、自然电位、交流干扰电压、交流干扰电流、直流保护电流等核心运维参数，具体采集参数及技术要求如下：

4.1.1 电位参数采集

- 采集参数：管道通电电位、管道断电电位、金属自然电位、阳极工作电位、参比电极基准电位
- 测量量程：-20V ~ +5V（直流电位全覆盖）
- 采集精度： $\leq \pm 2\text{mV}$ （静态无干扰场景）， $\leq \pm 5\text{mV}$ （动态波动、杂散干扰场景）

- 分辨率：0.1mV
- 采集方式：支持连续采集、定时采集、同步断电瞬时采集，可精准捕捉电位瞬变、断电瞬间极化电位衰减数据

4.1.2 直流电流参数采集

- 采集参数：阴极保护直流输出电流、阳极支路直流电流、管道直流杂散电流、回路直流电流
- 测量范围：0~10A（内置采集），支持外置分流器拓展至0~500A大量程采集
- 采集精度： $\leq \pm 0.5\%FS$
- 分辨率：0.1mA
- 采集特性：专用直流滤波算法，有效过滤50Hz工频交流干扰，纯直流信号精准采集，无电流零点漂移

4.1.3 交流干扰参数采集

- 采集参数：管道交流干扰电压、管道交流杂散电流、工频交流感应电压/电流
- 适用场景：适配高压输电线路、轨道交通周边管网交流干扰监测，满足管道交流腐蚀风险评估需求
- 交流电压量程：0~100V AC（适配常规交流干扰工况）
- 交流电流量程：0~10A AC（可外接互感器拓展量程）
- 采集精度：交流电压 $\leq \pm 1\%FS$ ，交流电流 $\leq \pm 1\%FS$
- 分辨率：交流电压1mV，交流电流1mA
- 采集特性：针对50Hz工频交流信号专项优化，支持交流有效值精准计算，可分离交直流混合信号，杜绝直流参数、交流参数相互串扰

4.1.4 辅助参数采集

- 采集参数：设备壳体温度、环境温度、电池电压、设备信号强度
- 温度测量范围： $-40^{\circ}C \sim +85^{\circ}C$ ，精度 $\pm 0.5^{\circ}C$
- 电池电压测量范围：0~20V，精度 $\pm 0.1V$

4.1.5 采集配置可自定义

支持用户远程/本地配置采集频率、采集时长、采集间隔、断电采样周期。默认支持1s~3600s采集间隔任意设置，支持24h连续不间断采集，支持定点定时批量采集。

4.2 数据存储功能

- 本地存储：内置大容量工业级存储芯片，本地可存储不少于10万条采集数据，支持断电数据永久保存，数据保存周期不低于5年。

- 数据格式：每条数据包含设备编号、采集时间、各类直流电位、直流电流、交流干扰电压、交流干扰电流、温度、电池电压、信号状态、采集状态等完整字段，数据格式标准化、可溯源、可直接用于交流腐蚀风险分析与阴极保护有效性评定
- 存储机制：支持循环覆盖存储、满存预警，优先保留异常数据、峰值数据，避免关键数据丢失。
- 本地导出：支持USB本地数据导出功能，无需联网即可调取历史监测数据。

4.3 数据传输功能

4.3.1 无线传输

标配4G全网通无线传输模块（兼容移动、联通、电信全网频段），可选配NB-IoT、LoRa、北斗短报文传输模块，适配不同现场网络环境。支持自动联网、断网重连、信号弱自动重试机制，联网成功率 $\geq 99.5\%$ 。

4.3.2 有线传输

标配RS485、USB有线接口，支持本地参数配置、数据导出、设备调试、近距离数据上传。

4.3.3 传输机制

- 支持定时上传、实时上传、异常主动上传三种模式可配置；
- 断网缓存功能：网络中断时数据自动本地缓存，网络恢复后自动补传离线数据，无数据丢失；
- 数据加密传输：采用AES加密算法对传输数据加密，防止数据篡改、泄露。

4.4 异常报警功能

设备支持多维度阈值报警，用户可远程自定义各类参数上下限阈值，触发异常后主动上传报警信息，具体报警类型包含：

- 电位异常：欠保护、过保护、电位突变异常、自然电位偏移异常；
- 电流异常：直流保护电流过载/中断、直流杂散电流超标；
- 交流干扰异常：交流干扰电压超标、交流杂散电流过载、工频干扰异常（可自定义交流安全阈值）；
- 设备异常：电池低压、信号中断、采集故障、设备离线、温度异常；
- 报警形式：平台弹窗报警、短信报警（选配）、设备本地指示灯报警，报警数据附带异常前后时序数据，便于故障溯源。

4.5 设备自检与运维功能

- 实时自检：设备上电自动自检，运行中实时监测采集模块、传输模块、电源模块工作状态，异常自动记录并上报；
- 远程运维：支持远程参数配置、远程程序升级、远程重启、远程故障诊断，无需现场拆机调试；

- 本地调试：配备状态指示灯，可直观查看设备供电、联网、采集、故障状态；
- 设备溯源：内置唯一设备ID，支持设备身份识别、运维日志记录、操作记录留存。

4.6 低功耗管理功能

针对野外无市电场景，设计多级功耗管理机制，支持智能休眠、定时唤醒、采集唤醒、传输唤醒，非工作时段设备进入低功耗休眠状态，最大限度降低静态功耗，延长电池续航时间。支持功耗数据本地统计与远程上传。

5 硬件设计需求

5.1 核心硬件参数

5.1.1 主控单元

采用工业级低功耗MCU芯片，工作温度范围-40℃~+85℃，抗干扰能力强，运行稳定，支持多任务并行处理，满足采集、存储、传输、报警多功能同步运行需求。

5.1.2 采集单元

采用高精度工业级AD采集芯片，搭载独立直流、交流采集采样通路，差分采集设计，可精准分离交、直流混合信号，有效抑制共模干扰、工频干扰、杂散电流干扰，适配高压线路、轨交周边等强交流干扰工业复杂环境，完全满足行业交直流参数同步采集标准。

5.1.3 存储单元

内置工业级非易失性存储芯片，抗高低温、抗震动，支持长期数据保存，存储容量不低于16MB，可扩展外置存储。

5.1.4 传输单元

4G模块支持全网通，兼容CAT1/CAT4制式，传输速率稳定；预留LoRa、NB-IoT、北斗模块拓展接口，满足不同场景传输需求。

5.2 电源系统设计

- 供电方式：支持锂电池直流供电（主流）、外置DC12V市电供电双模式；
- 电池配置：配套工业级耐高温低温锂电池，容量不低于10000mAh，常规采集频率下续航不低于3年；
- 电源保护：具备过充、过放、过压、过流、短路、反接保护功能，防止电源故障损坏设备；
- 功耗指标：设备休眠电流 $\leq 10\mu A$ ，工作平均电流 $\leq 50mA$ 。

5.3 结构与防护设计

- 外壳材质：采用高强度ABS/铝合金工业外壳，防腐蚀、抗老化、抗撞击；
- 防护等级：整机IP67防水防尘，可户外淋雨、地下潮湿环境长期运行，防潮、防凝露、防盐碱腐蚀；
- 环境适应性：工作温度-40℃~+85℃，存储温度-50℃~+90℃，工作湿度10%~95%RH（无凝露）；
- 抗干扰：符合工业EMC电磁兼容标准，具备防雷、防静电、抗工频干扰能力，可在变电站、阀室等强电磁环境稳定工作；
- 安装结构：支持壁挂式、抱箍式、埋地式多种安装方式，接线端子防水防尘，拆装便捷。

5.4 硬件接口配置

- 模拟采集接口：直流电位接口、交直流通用电流接口、交流电压采集接口，支持参比电极、分流器、交流互感器接入；
- 通讯接口：RS485接口、USB调试接口；
- 拓展接口：预留功能拓展IO口、外置传感器接口；
- 状态指示灯：电源灯、联网灯、采集灯、故障灯。

6 软件设计需求

6.1 嵌入式终端软件

- 系统稳定：嵌入式系统轻量化、低卡顿、无死机bug，长期连续运行无异常，平均无故障运行时间（MTBF） $\geq 20000\text{h}$ ；
- 参数配置：支持采集频率、上传频率、报警阈值、设备地址、通讯参数等自定义配置；
- 智能算法：内置独立直流、交流数据滤波算法，自动分离交直流混合信号，过滤无效干扰数据，保留有效监测数据，支持断电电位精准同步采集计算、交流干扰有效值精准运算；
- 日志记录：完整记录设备运行日志、报警日志、升级日志、操作日志，日志可查询可导出；
- 自动恢复：支持异常断电重启、网络异常自动重连、程序异常自动修复，无需人工干预。

6.2 通讯协议要求

- 支持标准MQTT、Modbus RTU/TCP通用工业协议，可对接主流工业物联网平台；
- 支持自定义私有协议，可适配客户定制化平台对接需求；
- 协议兼容性强，支持多设备组网、批量管理。

6.3 平台对接能力

终端可无缝对接阴极保护监测云平台，实现数据实时上传、历史数据查询、曲线展示、数据统计、异常报警、设备管理、远程运维、报表导出等功能，支持多终端（电脑端、手机端）数据同步。

7 性能指标需求

7.1 采集性能

- 电位采集精度： $\leq \pm 5\text{mV}$ ，分辨率 0.1mV ；
- 直流电流采集精度： $\leq \pm 0.5\%\text{FS}$ ，分辨率 0.1mA ；
- 交流参数采集精度：交流电压/电流 $\leq \pm 1\%\text{FS}$ ，电压分辨率 1mV ，电流分辨率 1mA ；
- 数据有效率：正常环境下有效采集数据率 $\geq 99.8\%$ ；
- 数据一致性：多次重复采集数据偏差极小，无随机跳变，交直流参数无交叉干扰。

7.2 传输性能

- 数据上传成功率：网络正常情况下 $\geq 99.9\%$ ；
- 断网缓存补传成功率：100%；
- 数据传输延迟：常规数据上传延迟 $\leq 3\text{s}$ ，报警数据实时上传。

7.3 稳定性性能

- 连续运行稳定性：设备支持 $7 \times 24\text{h}$ 不间断长期运行，连续运行12个月无死机、无宕机、无大规模丢数，交直流长期采集无精度漂移；
- 环境稳定性：高低温、潮湿、电磁干扰环境下采集精度无明显漂移，设备工作正常；
- 抗震动性：支持野外轻微震动环境运行，结构无松动、数据无异常。

7.4 功耗性能

默认1分钟采集、5分钟上传频率下，电池续航 ≥ 3 年；可通过调整采集频率适配更长续航需求。

8 安全需求

8.1 设备安全

- 硬件防护：具备防雷、防静电、防短路、防过压过流、防反接保护，杜绝硬件烧毁故障；
- 防篡改：设备参数、程序加密保护，非授权人员无法随意修改设备配置与程序；
- 异常防护：检测到短路、过载等危险状态时自动断电保护，规避安全隐患。

8.2 数据安全

- 传输加密：数据全程加密传输，防止数据被窃取、篡改；
- 本地安全：本地存储数据加密保存，防止数据丢失、泄露；

- 日志追溯：所有设备操作、数据异常、报警记录全程留存，可溯源审计。

8.3 运维安全

远程运维需权限验证，分级管理账号权限，避免非法操作导致设备故障或数据异常。

9 适配与拓展需求

- 场景适配：兼容牺牲阳极、强制电流两种阴极保护系统，适配管道、储罐、钢结构等各类监测场景；
- 设备适配：兼容常规硫酸铜参比电极、锌参比电极、各类分流器设备；
- 功能拓展：预留传感器拓展接口，支持后续新增土壤电阻率、腐蚀速率等参数监测；
- 协议拓展：支持后续新增通讯协议，适配更多第三方平台对接。

10 交付与验收需求

10.1 交付内容

项目交付需包含：硬件成品设备、嵌入式程序、配套云平台对接程序、设备使用说明书、安装手册、调试手册、检测报告、合格证、溯源资料等全套资料。

10.2 验收标准

- 外观验收：设备外壳完好、无破损、接口完整、标识清晰；
- 功能验收：所有既定功能全部实现，无功能缺失、无异常bug；
- 性能验收：采集精度、传输成功率、续航、稳定性等指标全部达标；
- 环境验收：通过高低温、防水防尘、电磁兼容、震动测试，环境适应性达标；
- 资料验收：交付资料完整、规范、可落地。

11 质保与售后需求

- 设备质保期不低于2年，电池质保期不低于1年；
- 质保期内非人为损坏免费维修、免费更换配件；
- 提供终身技术支持、软件免费升级、远程调试服务；
- 售后响应时间：2小时内响应，24小时内完成故障处置。

（注：部分内容可能由 AI 生成）