

ICS 35.240.99
CCS L78

T/SSSC

中国土壤学会团体标准

T/SSSC 0 —2026

土壤重金属现场检测数据采集传输技术规范

Technical Specification for On-site Detection Data Collection and Transmission
of Heavy Metals in Soil

(征求意见稿)

2026-XX-XX 发布

2026-XX-XX 实施

中国土壤学会 发布

目 次

前 言	III
1 范围	4
2 规范性引用文件	4
3 术语和定义	4
4 总则	5
5 现场数据总线物理链路布设技术方法	7
6 通信交互操作技术方法	9
7 现场检测数据采集传输作业规范	10
8 统一编码规范	11
9 异常处理通用技术方法	11
附录 A（资料性） 通信帧、XML 设备描述流程	13
附录 B（资料性） 标准化数据总线采集校验软硬件实现方法	19
附录 C（资料性） 编码完整对照表、异常码明细	21
附录 D（资料性） 数据总线采集传输性能校验方法	23

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》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。

本文件由北京市农林科学院智能装备技术研究中心、北京市农林科学院信息技术研究中心提出，中国土壤学会归口。

本文件起草单位：北京市农林科学院智能装备技术研究中心、北京市农林科学院信息技术研究中心、中国农业科学院农业质量标准与检测技术研究所、中国科学院南京土壤研究所、苏州佳谱科技有限公司、江苏萤火虫环境有限公司、钢研纳克检测技术股份有限公司、北京安科慧生科技有限公司、生态环境部土壤中心、农业农村部农业生态与资源保护总站、农芯科技（天津）有限责任公司。

本文件主要起草人：郜允兵、李奥伟、董大明、李柱、李雪、徐靖文、赵贤德、毛雪飞、宋 砦、田宏武、腾飞、潘瑜春、刘明博、刘孝阳、赵亚楠、王晶晶、倪子月、郑超、刘晓静、周剑波。

土壤重金属现场检测数据采集传输技术规范

1 范围

本文件规定了便携式土壤重金属现场检测设备与土壤污染调查智能终端之间的数据总线、物理接入要求、通信协议规约、数据传输、编码规则、通讯异常处理等全套实操技术方法要求。

本文件适用于土壤重金属污染现场快速筛查、监测调查、现场应急评价等工作中现场检测配套设备与现场采集记录终端的设备连接与数据通讯全流程操作，规范现场数据总线采集传输标准化实施方法。

本文件可供设备研发生产单位、土壤环境监测调查单位、第三方检测机构使用。

本文件核心管控数据总线采集传输全流程实操操作，配套仪器硬件参数仅作为落地参考，不作为核心管控内容。

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 29618.315—2013 现场设备工具（FDT）接口规范 第315部分：通信行规集成 MODBUS 现场总线规范

GB/T 19582.1—2008 基于 Modbus 协议的工业自动化网络规范 第1部分：Modbus 应用协议

GB/T 19582.2—2008 基于 Modbus 协议的工业自动化网络规范 第2部分：Modbus 协议在串行链路上的实现指南

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

现场数据总线采集传输方法

野外土壤重金属调查作业中，依托标准化物理接入、通信协议、数据编码体系，完成现场检测配套设备与现场采集记录终端硬件连通、指令交互、检测数据与工况状态标准化归集的整套实操技术流程。

3.2

物理链路布设层

落实本文件物理接入相关实操方法，搭建有线/无线数据传输通道的实施层级，链路包含 RS485 有线、蓝牙无线、WiFi 无线三类，配套对应野外布设、接线、组网操作流程。

3.3

现场检测运行工况同步采集

现场作业时，按照本文件数据传输实操方法，同步采集、记录、上传设备供电、元器件温度、校准状态、故障信息、通信链路类型等运行状态数据的标准化操作。

3.4

标准化现场校验方法

依托配套测试软硬件，依据本文件全部实操技术方法要求，在出厂、野外现场两个场景下，分步完成物理接入兼容性、通信协议合规性、数据字段规范性、编码与异常处置有效性核验的成套操作流程。

3.5

数据总线

依托 RS485、蓝牙、WiFi 多类传输链路构建的标准化现场数据交互通道，基于统一 Modbus-RTU 扩展帧实现土壤重金属检测设备与采集终端双向数据收发、同步归集的标准化传输体系。

4 总则

4.1 基本原则

4.1.1 分层解耦实施原则：严格区分全套实操技术方法与设备硬件基础条件，正文核心围绕物理接入、通信、数据、编码、异常处置标准化操作流程展开；硬件参数、设备实现方案仅作为方法实施前置约束，所有调试、试验、案例归入资料性附录，操作流程与硬件规格互不混杂。

4.1.2 多链路统一采集原则：统一编码、统一数据归集操作步骤，分别制定 RS485、蓝牙、WiFi 链路独立物理接入与通信操作方法；链路切换时，设备连接、数据通讯全流程操作保持不变。

4.1.3 双数据同步采集原则：现场作业必须同步执行检测业务数据采集、现场检测运行工况状态采集两套操作流程，完整落实本文件数据传输实操要求，不得单独采集单一数据。

4.1.4 数据全程可溯操作原则：现场设备连接、数据通讯全流程执行统一设备编码、样品编码、故障编码填写与上传操作，落实本文件编码规则实操要求，确保每一组检测数据可溯源、可比对、可复核。

4.1.5 可现场核验落地原则：配套标准化现场校验全流程方法，可在野外作业现场针对物理接

入、通信协议、数据传输、异常处理全套技术方法开展合规性核验，保障标准方法可落地、可验证。

4.1.6 分链路独立操作原则：RS485、蓝牙、WiFi 链路的物理接入布设、通信时序、重连处置操作流程独立；同一设备多链路共存时，每条链路单独执行本标准对应实操技术方法，链路通信互不干扰。

4.2 数据总线采集传输技术架构

本标准数据总线采集传输技术采用四层架构，各层级独立约束、逐级承载、协同工作，架构如下：

4.2.1 物理层：规范三类链路野外接线、组网、防护、距离控制全套物理接入实操方法，规定硬件电气/射频基础参数作为操作前提；三类链路上层通信、数据采集操作流程完全统一。

4.2.2 通信协议层：统一底层通信协议、帧结构规则、功能指令、校验机制，保障指令交互合规可靠。

4.2.3 数据传输层：统一检测数据、工况数据的野外录入、同步上传、数据容错操作步骤，完整落实本文件数据传输标准化实操要求。

4.2.4 设备适配层：规范智能终端设备识别、数据解析、异常告警、本地缓存、现场数据汇交操作方法，匹配编码规则与通讯异常处置相关技术要求。

本标准四层总线整体逻辑架构示意图见图 1，图示完整展示现场检测配套设备、物理传输链路、现场采集记录终端四层数据流转关系，标注各层级数据交互流向、指令传递逻辑，直观体现设备与终端数据完整接入方法。

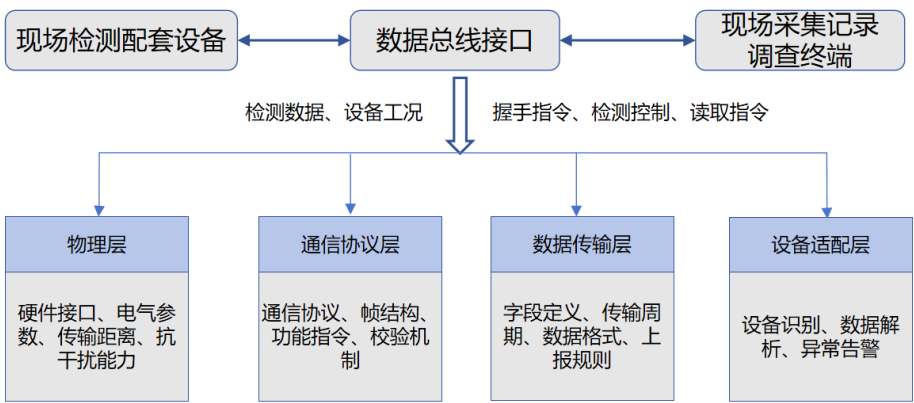


图 1 数据总线采集传输整体逻辑架构图

4.3 检测设备与采集终端通用能力要求

4.3.1 现场检测配套设备：具备三类链路硬件基础条件，可完整执行本文件物理接入、通信协议、数据传输、编码上报、工况周期性采集、故障缓存全套实操技术方法，可配合现场校验方法完成合规测试。

4.3.2 现场采集记录终端：具备多类型物理链路接入操作能力，可完整执行设备自动识别、双类型数据同步解析、标准化编码识别、通讯异常码识别告警、现场数据本地缓存与汇交全套操作流程。

4.3.3 数据总线采集传输、数据解析、协议交互的具体实现方式参照附录 A、附录 C。

4.4 现场数据总线采集传输全流程标准操作方法

完整野外土壤重金属数据总线采集传输作业，全套标准化实操步骤如下：

步骤 1：现场物理链路布设。根据作业环境选择 RS485 / 蓝牙 / WiFi 链路，按照第 5 章物理接入实操方法完成硬件接线、无线配对、组网，做好野外防潮、防静电防护；

步骤 2：设备握手连通。终端执行 B1 握手指令交互操作，读取设备唯一编码、设备类型，完成设备身份识别，建立标准化通讯链路；

步骤 3：样品信息编码录入。在终端填写土壤类型编码、11 位样品标识码、样品类型编码，同步下发至检测设备，落实统一编码规范；

步骤 4：启动现场检测。终端下发 B2 启动检测指令，记录任务流水号与启动时间，等待设备完成重金属检测；

步骤 5：多数据同步采集。下发 03 读取指令，同步采集全套检测结果数据、设备实时工况数据，按统一编码格式存储，落实数据传输操作要求；

步骤 6：链路状态巡检。每 30s 自动执行工况采集操作，实时记录链路类型、在线状态；

步骤 7：通讯与设备异常识别处置。采集过程识别通信 / 检测运行故障码，按照第 9 章通讯异常处理技术方法执行重传、断连补传、停机校准操作；

步骤 8：数据本地缓存与汇交。当日野外作业完成后，导出终端缓存数据，完成现场数据标准化归集归档；

步骤 9：现场合规校验。每日作业前后，采用标准化测试套件，按照附录 B 校验方法核验物理接入、通信、数据、异常处理全流程方法合规性。

5 现场数据总线物理链路布设技术方法

5.1 RS485 有线链路布设操作方法

5.1.1 硬件基础条件：采用 DB9 公头接口，引脚 2 为 A+、引脚 3 为 B-、引脚 5 为 GND，引脚定义固定统一；差分电压、输入阻抗、总线驱动能力符合 GB/T 29618.315 规范，支持工业现场抗干扰传输；野外复杂电磁环境下有效传输距离不小于 100m，在规定测试条件下，误码率 $\leq 1 \times 10^{-7}$ 、丢包率应满足 $\leq 0.01\%$ ，测试方法见附录 D；统一采用 9600bps，数据位 8bit、停止位 1bit、无校验，串

口参数全局统一。本条硬件参数仅为本规范落地适配条件，不属于采集操作核心内容。

5.1.2 野外接线实操步骤

- 1) 屏蔽双绞线两端 DB9 接头按引脚定义压接，数据总线首尾两端加装 $120\ \Omega$ 终端电阻；
- 2) 线缆沿田埂、构筑物固定布设，避开高压线缆、大型电机等强电磁干扰源；
- 3) 设备接口做好防水绝缘包裹，防止野外雨水短路、反接损坏；
- 4) 布设完成后短距离收发测试，确认无乱码后开展正式检测采集。

5.2 蓝牙无线链路布设操作方法

5.2.1 硬件基础条件：设备经典蓝牙兼容 2.0 及以上 BR/EDR 版本，链路采用 RFCOMM/SPP 串口仿真协议实现数据透传；空旷场地有效通信距离 $\geq 20\text{m}$ ，农田、构筑物遮挡环境下有效通信距离 $\geq 10\text{m}$ ；无线透传串口参数与 RS485 保持一致，统一 9600bps、8、N、1 格式，保证链路切换后数据格式统一。本条硬件参数仅为本规范落地适配条件，不属于采集操作核心内容。

5.2.2 野外配对与链路维护操作流程

- 1) 终端开启蓝牙扫描，搜索采集唯一编码对应蓝牙信号，完成配对绑定；
- 2) 农田、树木遮挡场景下，缩短设备与终端间距至 10m 以内；
- 3) 作业中实时采集链路状态编码，断开后自动执行重连操作，重连成功后补传缓存工况数据；
- 4) 多设备现场作业时，单终端单次仅配对一台检测设备，避免信号干扰。

5.3 WiFi 无线链路组网操作方法

5.3.1 组网方式：分为两种模式

- 1) 设备作为热点：终端 WiFi 直连设备 2.4G/5G 本地热点；
- 2) 设备连现场局域网 WiFi：设备与终端接入同一现场路由器。

本条硬件参数仅为本规范落地适配条件，不属于采集操作核心内容。

5.3.2 传输协议：基于 TCP 长连接通信，端口固定 8080，单包最大载荷 256 字节，超长数据分包传输。

5.3.3 射频性能：2.4G/5G 频段，空旷环境通信距离 $\geq 30\text{m}$ ，农田遮挡环境 $\geq 15\text{m}$ ；丢包率 $\leq 0.01\%$ 。

5.3.4 通信保活机制：心跳包周期 30s，连续 3 次心跳无应答判定 WiFi 链路断开，设备缓存未上传数据，链路恢复后批量补传。

5.3.1 硬件基础条件：支持设备热点、局域网路由两种组网模式，TCP 长连接、固定 8080 端口，单包最大载荷 256 字节；2.4G/5G 双频段，空旷距离 $\geq 30\text{m}$ 、农田遮挡 $\geq 15\text{m}$ ，丢包率 $\leq 0.01\%$ ；心跳包周期 30s，3 次无应答判定链路断开。

5.3.2 野外 WiFi 组网实操方法

- 1) 设备热点模式：终端直连设备本地 2.4G/5G 热点，关闭现场无关 WiFi 减少干扰；
- 2) 局域网模式：设备与终端接入同一现场路由器，记录路由器 SSID 与密码便于现场快速重连；
- 3) 链路保活操作：终端每 30s 发送心跳包，链路断开后设备缓存未上传检测数据，恢复连接后批量补传；
- 4) 野外无市电场景，路由器配套便携电源，避免中途断电断网。

5.4 多链路布设通用操作规范

5.4.1 基础配置：现场作业至少布设 RS485、蓝牙、WiFi 其中一类链路，满足基础物理接入与通讯需求；

5.4.2 链路切换操作：多接口设备切换链路时，无需中断检测任务；切换完成后立即上传新链路类型编码，同步更新工况记录；

5.4.3 野外防护统一操作：所有接口加装静电、防短路、防反接保护措施，雨天作业使用防水保护套。

6 通信交互操作技术方法

6.1 扩展帧统一处理操作方法

6.1.1 全局基于 Modbus-RTU 扩展帧，RS485、蓝牙、WiFi 链路内部二进制帧格式、CRC 校验、帧头 0xAA、帧尾 0xFF 完全一致，仅外层传输封装、交互时序分链路差异化定义。

6.1.2 CRC 算法统一采用 CRC-16/MODBUS 校验，校验字节低字节在前，校验算法统一，不得自定义修改。

6.1.3 通信帧最大长度不超过 256 字节，单帧数据负载长度固定，避免超长帧丢包与解析异常。

6.2 功能指令定义

本标准定义三类核心交互指令，覆盖设备握手、检测启动、数据读取全流程：

6.2.1 设备握手指令（B1）：终端发起连接请求，设备应答并返回唯一设备标识、设备类型编码、设备状态。

6.2.2 启动检测指令（B2）：终端下发检测触发指令，设备接收后执行土壤重金属检测流程。

6.2.3 读取数据指令（03）：终端读取设备最新检测结果数据与实时工况数据。

6.2.4 所有交互帧应携带采集唯一编码，保证数据来源可追溯。

6.3 通信标准化处理方法

6.3.1 通信采用主从问答模式，终端为主机、设备为从机，全程由主机发起通信请求，设备仅被动应答，禁止设备主动无序发送数据帧。

6.3.2 主机下发单次指令后，应答超时阈值为 5s；超时未收到设备应答即判定链路异常，自动启动指令重传流程。

6.3.3 指令最大重传次数限定 3 次，连续 3 次重传无应答则终止本次交互，设备本地记录链路异常事件并写入本地缓存；主机可通过专用查询指令读取设备全部缓存异常事件码。

6.3.4 设备异常事件上报约束设备产生传感器超限、硬件自检故障、供电异常、通信中断等各类事件时，仅本地记录缓存，不主动向外发送告警帧；仅当主机下发事件读取专用指令时，设备在应答帧中批量输出缓存内未上报异常事件，主机读取确认后，设备清除对应已同步事件。

6.3.5 本地事件缓存管理要求

1. 存储介质：采用非易失存储持久化缓存事件，断电、重启后缓存数据不丢失；
2. 队列规则：采用 FIFO 环形队列存储，缓存存储容量 ≥ 100 条事件记录；
3. 优先级策略：缓存满溢时，优先覆盖早期普通告警事件，硬件失效、供电故障等高优先级异常永久保留至主机读取；
4. 同步机制：链路恢复后，主机首次轮询应优先读取缓存异常事件，完成历史事件补传。

6.4 终端解析方法

终端应具备设备自动识别、链路自适应、业务编码解析、异常码识别、双数据同步解析、标准化告警方法，具体解析实现方案见附录 A。

7 现场检测数据采集传输作业规范

7.1 数据分类

设备与终端交互数据分为检测结果数据、现场检测运行工况数据两类，设备需同步支持两类数据应答传输。

7.2 检测结果数据

检测结果数据为单次检测的核心业务数据，必传字段以及排列顺序按以下进行：设备类型编码、采集唯一编码、土壤类型编码、样品标识码、检测时间、样品类型标识、重金属指标含量、测量标准差、检测状态码。

7.2.1 重金属指标应包含镉(Cd)、汞(Hg)、铅(Pb)、砷(As)、铬(Cr)、镍(Ni)、铜(Cu)、锌(Zn)等。

7.2.2 检测状态码区分正常检测、数据无效、检测中断、超量程四类状态。

7.2.3 样品类型标识统一分为四类编码，单字节标识，取值规定：

01=普通样，02=平行样，03=质控样，04=盲样。

7.3 现场检测运行工况数据

工况数据为设备实时运行状态数据，轮询/上报周期应不大于 30s，链路在线状态下持续轮询更新，必传字段包含：供电状态、核心元器件温度、校准状态、检测运行故障代码、通信链路类型、在线状态等信息。

7.4 数据传输通用约束

7.4.1 所有数据字段格式、单位、精度统一，数值保留两位小数，保证数据一致性。

7.4.2 无效数据、未检测数据需填充固定占位标识，禁止空字段、乱码、自定义填充。

7.4.3 终端接收数据后应具备本地临时缓存能力，断网重连后可续传数据，避免数据丢失。

8 统一编码规范

8.1 业务编码操作流程

8.1.1 设备类型编码：双字节分类编码，区分现场检测配套设备。

8.1.2 采集唯一编码：8 位设备唯一 ID，单设备终身不变，保证设备可溯源。

8.1.3 土壤类型编码：单字节标准化编码，适配农田、工矿、场地、生态土壤分类。

8.1.4 样品 ID：11 位 ASCII 统一编码，支持现场样品唯一标识。

8.1.5 检测时间：检测时间采用 7 字节固定格式，格式为 YYMMDDHHMMSSZZ，ASCII 数字存储。

8.1.6 完整编码对照表、取值规则见附录 C。

8.2 异常编码操作流程

全局采用 1 字节统一异常码，分为通讯异常、检测运行故障两大类，编码采用十六进制且唯一无歧义：

8.2.1 通讯异常码：01=CRC 校验失败、02=通讯超时、03=帧格式错误、04=物理链路断开。

8.2.2 检测运行故障码：10=电量过低、11=光源故障、12=校准失效、13=本地存储已满。

8.2.3 异常码应随工况数据实时上报，终端统一识别、统一告警、统一记录。

9 异常处理通用技术方法

9.1 通讯异常处理

通信帧校验失败、超时、格式错误时，设备自动触发重传机制，最大重传 3 次；全部失败后终止交互并上报对应通讯异常码。

9.2 设备检测异常处理

设备出现硬件故障、校准失效、电量不足、检测超量程等异常时，立即终止检测，待主机问询时推送故障码，停止输出无效检测数据。

9.3 数据校验与容错

所有双向通信帧应携带 CRC16 校验字段，校验失败直接丢弃帧，禁止解析、入库与上传，同时触发告警与重传逻辑。

9.3.1 终端具备异常数据过滤、重复数据去重能力，保证入库数据合规有效。

附录 A（资料性） 通信帧、XML 设备描述流程

A.1 范围

本附录为资料性附录，不构成标准强制条款，仅提供可直接复用的通信帧模板、设备 XML 自描述文件、CRC-16/MODBUS 校验计算示例，供设备厂商、智能终端开发单位开展软硬件适配调试参考。

A.2 通用通信帧基础规范

A.2.1 帧通用结构

本标准 Modbus-RTU 扩展帧统一结构，顺序固定：帧头(0xAA) + 从机地址(1Byte) + 功能指令码(1Byte) + 数据长度(1Byte) + 业务数据域(N Byte) + CRC16 校验(2Byte，低字节在前) + 帧尾(0xFF) 单帧总字节长度 ≤ 256 Byte，超出需分包传输。

A.2.2 CRC16 校验算法

1. 采用标准 Modbus CRC16 多项式 0xA001；
2. 初始值 0xFFFF；
3. 对帧头至业务数据域全部字节参与运算；
4. 校验结果低字节在前、高字节在后填入帧校验区；

A.3 三类核心指令完整通信帧示例

A.3.1 B1 设备握手指令帧

1. 请求帧模板：0xAA [设备地址] 0xB1 0x00 CRC_L CRC_H 0xFF
2. 应答帧模板：0xAA [设备地址] 0xB1 [数据长度] [设备类型编码+采集唯一编码+在线状态码]
CRC_L CRC_H 0xFF

A.3.2 B2 启动检测指令帧

1. 请求帧模板：0xAA [设备地址] 0xB2 [数据长度] [样品类型标识+样品标识码] CRC_L CRC_H 0xFF
2. 应答帧模板：0xAA [设备地址] 0xB2 [数据长度] [任务流水号+任务启动时间] CRC_L CRC_H 0xFF

A.3.3 03 读取数据指令帧

1. 读取检测结果请求帧模板：0xAA [设备地址] 0x03 [数据长度] [读取数据条数+样品标识码+读取表示位] CRC_L CRC_H 0xFF

读取标识位（1 字节）取值规则：

0x01：仅读取设备实时工况数据

0x02: 仅读取检测结果数据

0x03: 同步读取检测结果 + 实时工况数据

2. 统一应答帧模板（检测/工况混合同步上传）： 0xAA [设备地址] 0x03 [数据长度] [全套检测结果字段集合+全套现场检测运行工况字段集合] CRC_L CRC_H 0xFF

全套检测结果字段集合包含但不限于：设备类型编码、采集唯一编码、土壤类型编码、样品标识码、检测时间、样品类型标识、重金属指标含量、测量标准差、检测状态码。

全套现场检测运行工况字段集合包含但不限于：供电状态、核心元器件温度、校准状态、检测运行故障代码、通信链路类型、在线状态等信息。

A.4 XML 设备自描述模板

A.4.1 文件命名规范

DevInfo_采集唯一编码.xml, UTF-8 编码, 终端蓝牙/RS485 握手时自动下发至终端。

A.4.2 XML 完整示例

包含根节点<DeviceInfo>, 子节点:

1. BaseInfo: 设备类型 DeviceTypeCode、采集唯一编码 DeviceID、设备出厂日期 FactoryDate、校准有效期 CalExpireDate、支持接口 (RS485/蓝牙) SupportInterface;

2. MetalIndex: 单条重金属指标配置 Metal、重金属元素符号 Name、计量单位 Unit、量程下限 MinRange、量程上限 MaxRange、保留小数精度 Precision;

3. CodeMap: 内置业务编码子集, 土壤类型 SoilTypeCode、标准单字节土壤编码值 code、编码对应的文字释义 desc、样品类型 SampleTypeCode、通信物理链路类型 LinkCode;

4. CommParam: 串口参数 (波特率 BaudRate、串口数据位 DataBit、停止位 StopBit、校验位 CheckBit)、重传次数 MaxRetry、超时时间 Timeout;

5. AlarmCode: 内置异常码说明, 单字节标准异常码 code、异常文字描述 desc、异常分类 (通讯异常/检测运行故障) type。

示例如下:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<DeviceInfo>
  <!-- 基础设备信息 -->
  <BaseInfo>
    <DeviceTypeCode>0101</DeviceTypeCode>
```

```
<DeviceID>88661235</DeviceID>

<FactoryDate>20260115</FactoryDate>

<CalExpireDate>20270115</CalExpireDate>

<SupportInterface>RS485, BLE</SupportInterface>

</BaseInfo>

<!-- 支持检测重金属指标参数 -->

<MetalIndex>

  <Metal>

    <Name>Cd</Name>

    <Unit>mg/kg</Unit>

    <MinRange>0</MinRange>

    <MaxRange>300</MaxRange>

    <Precision>0.01</Precision>

  </Metal>

  <Metal>

    <Name>Hg</Name>

    <Unit>mg/kg</Unit>

    <MinRange>0</MinRange>

    <MaxRange>100</MaxRange>

    <Precision>0.01</Precision>

  </Metal>

  <Metal>

    <Name>Cu</Name>

    <Unit>mg/kg</Unit>

    <MinRange>0</MinRange>

    <MaxRange>10000</MaxRange>

    <Precision>0.01</Precision>

  </Metal>
```

```

<Metal>

  <Name>Pb</Name>

  <Unit>mg/kg</Unit>

  <MinRange>0</MinRange>

  <MaxRange>10000</MaxRange>

  <Precision>0.01</Precision>

</Metal>

<Metal>

  <Name>As</Name>

  <Unit>mg/kg</Unit>

  <MinRange>0</MinRange>

  <MaxRange>2000</MaxRange>

  <Precision>0.01</Precision>

</Metal>

<Metal>

  <Name>Zn</Name>

  <Unit>mg/kg</Unit>

  <MinRange>0</MinRange>

  <MaxRange>20000</MaxRange>

  <Precision>0.01</Precision>

</Metal>

<Metal>

  <Name>Ni</Name>

  <Unit>mg/kg</Unit>

  <MinRange>0</MinRange>

  <MaxRange>5000</MaxRange>

  <Precision>0.01</Precision>

</Metal>

</MetalIndex>

```

```
<!-- 标准业务编码子集说明 -->
<CodeMap>
    <SoilTypeCode>
        <code>01</code>
        <desc>农田耕作土壤</desc>
    </SoilTypeCode>
    <SampleTypeCode>
        <code>01</code>
        <desc>普通监测样</desc>
    </SampleTypeCode>
    <LinkCode>
        <code>01</code>
        <desc>RS485 有线</desc>
    </LinkCode>
    <LinkCode>
        <code>02</code>
        <desc>蓝牙无线</desc>
    </LinkCode>
    <LinkCode>
        <code>03</code>
        <desc>WiFi 无线</desc>
    </LinkCode>
</CodeMap>
<!-- 通信底层参数配置 -->
<CommParam>
    <BaudRate>9600</BaudRate>
    <DataBit>8</DataBit>
    <StopBit>1</StopBit>
```

```

    <CheckBit>N</CheckBit>

    <Timeout>5000</Timeout>

    <MaxRetry>3</MaxRetry>

    <FrameHead>0xAA</FrameHead>

    <FrameTail>0xFF</FrameTail>

</CommParam>

<!-- 设备异常故障码说明 -->

<AlarmCode>

    <code>01</code>

    <desc>CRC 校验失败</desc>

    <type>通讯异常</type>

</AlarmCode>

<AlarmCode>

    <code>02</code>

    <desc>通讯超时</desc>

    <type>通讯异常</type>

</AlarmCode>

<AlarmCode>

    <code>10</code>

    <desc>电量过低</desc>

    <type>检测运行故障</type>

</AlarmCode>

<AlarmCode>

    <code>11</code>

    <desc>光源故障</desc>

    <type>检测运行故障</type>

</AlarmCode>

</DeviceInfo>

```

附录 B（资料性） 标准化数据总线采集校验软硬件实现方法

B.1 范围

本附录为资料性附录，不作为设备出厂强制验收依据，给出测试套件硬件架构、软件功能模块、标准化校验流程、现场调试案例，用于厂商自检、第三方机构合规核验参考。

B.2 测试套件硬件整体架构

1. 物理适配转换模块：DB9 RS485 母座、经典蓝牙透传模块、切换拨码开关、静电防护电路；
2. 主控单元：工业级单片机，负责帧捕获、CRC 校验；
3. 交互外设：显示屏、功能按键、USB 数据导出接口；
4. 供电模块：外接 DC5V 与内置锂电池双供电，适配野外现场测试。

B.3 套件上位机软件功能模块设计

1. 通信监控模块：实时捕获收发原始十六进制帧，支持日志存储；
2. 协议校验模块：自动校验帧头帧尾、CRC16、指令码、帧长度合规性；
3. 编码解析模块：自动解析设备编码、样品编码、异常码并对照附录 C 对照表；
4. 压力测试模块：模拟高频轮询、断连重连、丢包场景，验证异常处理逻辑；
5. 报告导出模块：生成 Excel 合规校验报告，包含测试项、结果、不合格项说明。

B.4 标准化分步校验操作流程

B.4.1 物理接口兼容性校验

1. RS485：传输距离、防反接、短路防护、9600\8\N\1 串口校验；
2. 蓝牙：空旷/遮挡环境通信距离、链路切换稳定性测试步骤。
3. WiFi：空旷/遮挡环境通信距离、链路切换稳定性测试步骤。

B.4.2 通信协议合规校验

1. 帧结构完整性、CRC 校验正确性、重传与超时机制验证；
2. 三类指令 B1/B2/03 全流程交互测试。

B.4.3 数据与编码校验

1. 检测数据字段完整性、数值精度校验；
2. 设备编码、样品编码、异常码匹配度校验。

B.4.4 异常机制专项校验

模拟 CRC 错误、链路断开、设备低电量、校准失效等场景，验证异常码主动上报逻辑。

B.5 套件校准与维护说明

硬件模块定期校准周期、软件版本更新方式、日志存储规范。

附录 C（资料性） 编码完整对照表、异常码明细

C.1 范围

本附录为资料性附录，标准正文引用编码规则以本表为参考，厂商可在本表基础上扩展自定义编码（自定义编码段需单独标识，不占用标准预留编码区间）。

C.2 业务编码完整对照表

C.2.1 设备类型编码（双字节）

编码	设备类型	适用场景
0101	便携式 XRF 检测设备	农田、场地现场快速筛查
0102	便携式 LIBS 检测设备	农田、场地现场快速筛查
0103	便携式电热蒸发原子阱检测设备	农田、场地现场快速筛查

C.2.2 土壤类型编码（单字节）

编码	土壤分类
01	农田耕作土壤
02	工矿污染场地土壤
03	生态保护区自然土壤
04	尾矿、固废堆场表层土

C.2.3 样品类型编码（单字节）

编码	样品类型
01	普通样
02	平行样
03	质控样
04	盲样

C.2.4 检测状态码（单字节）

C.2.5 通信链路类型编码（单字节）

编码	检测状态说明
01	检测数据正常有效
02	信号弱，数据无效
03	检测中途中断
04	重金属指标超量程

编码	链路类型
01	RS485 有线通信数据总线
02	蓝牙无线通信数据总线
03	WiFi 无线通信数据总线

C.3 采集唯一编码、样品标识码、时间编码格式说明

采集唯一编码：8 位十进制 ASCII 字符（由 0~9 数字组成），设备终身唯一；

样品标识码：11 位 ASCII 编码，前 6 位采样日期 + 后 5 位现场样品流水号；

检测时间编码：7 字节固定格式 YYMMDDHHMMSSZZ，ASCII 数字存储。

C.4 异常码完整明细（1 字节）

C.4.1 通讯类异常码（01~09 区间）

异常码	异常名称	异常说明
01	CRC 校验失败	收发帧校验值不匹配，数据存在传输错误
02	通讯超时	指令下发 5s 未收到设备应答
03	帧格式错误	帧头 / 帧尾 / 数据长度字段不符合标准规范
04	物理链路断开	RS485 断线、蓝牙主动断开连接

C.4.2 设备硬件故障码（10~19 区间）

异常码	异常名称	异常说明
10	供电电量过低	设备电压低于工作阈值，建议充电
11	光源故障	光源无法正常启辉，无法开展检测
12	设备校准失效	标准曲线过期 / 校准样品核查不合格
13	本地存储已满	设备本地存储空间不足，无法保存检测数据

C.5 编码扩展规范

标准预留编码区间 00~39，厂商自定义编码起始区间 40，自定义编码需在 XML 设备描述文件中备注：

新增异常码、业务编码需同步更新附录对照表，不强制旧设备兼容扩展编码。

附录 D（资料性） 数据总线采集传输性能校验方法

D.1 测试设备

1. 被测设备（DB9 485 接口）
2. 标准屏蔽双绞线 100m
3. 电磁兼容抗扰度综合测试仪
4. 上位机收发测试软件（统计误码、丢包、乱码）
5. 高精度信号源、示波器（可选，波形校验）

D.2 测试接线

两台被测设备 / 测试主机通过 100m 双绞线 DB9 互联，总线两端接 $120\ \Omega$ 终端电阻，设备可靠接地。

D.3 测试步骤

1. 按标准搭建 100m 传输链路，设置约定波特率、校验位、数据位；
2. 启动循环收发程序，记录基准无干扰下初始误码、丢包数据；
3. 依次施加静电、脉冲群、射频、浪涌等多级电磁干扰；
4. 全程连续运行 60min，软件自动统计总发送帧数、接收帧数、错误帧、乱码帧；
5. 更换不同供电电压重复试验，记录全部测试数据。

D.4 指标判定规则

1. 误码统计：接收端与发送端原始数据逐字节比对，单 bit 错误记 1 次误码，计算 BER；
2. 丢包判定：发送帧未收到完整应答帧判定为丢包；
3. 乱码判定：接收数据校验和错误、字节错位、非法字符均判定为乱码；
4. 合格判定：全工况下误码率、丢包率不大于条款规定限值，无持续性通信中断即为合格。