ICS 93.020
CCS A 44

T/

团　　体　　标　　准

T/XXX XXXX—2025

边坡与结构体雷达监测技术要求

Technical requirements for radar monitoring of slopes and structures

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2025 - XX - XX 发布　　2025 - XX - XX 实施

发 布

目　次

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××××提出。

本文件由××××归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

边坡与结构体雷达监测技术要求

1 范围

本文件规定了边坡与结构体雷达监测技术的术语和定义、监测原理与方法、设备要求、数据采集与处理、监测结果评估与预警、质量控制与安全管理。

本文件适用于以下场景：

a) 自然或人工边坡（土质边坡、岩质边坡、矿山边坡等）的稳定性监测；
b) 结构体（桥梁、隧道、大坝、高层建筑、大型储罐等）的变形、位移、裂缝及倾斜监测；
c) 地质灾害易发区域（滑坡、崩塌、泥石流等）的实时预警与监测；
d) 工程施工过程中对边坡及结构体的安全监测与风险管控。

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 50330-2013 建筑边坡工程技术规范
GB 50343-2012 建筑物电子信息系统防雷技术规范
GB/T 18894-2016 电子文件归档与电子档案管理规范
GB/T 29639-2020 生产经营单位生产安全事故应急预案编制导则
GB/T 37228-2018 公共安全 应急管理 突发事件响应要求
GB/T 50269-2015 地基动力特性测试规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

边坡雷达监测 Slope radar monitoring

利用微波反射与干涉测量原理，通过雷达设备对边坡表面及深层的位移、形变等参数进行非接触式连续监测的技术。

3.2

结构体形变速率阈值 Structural deformation rate threshold

根据工程安全等级设定的形变速率临界值，用于触发分级预警机制。

3.3

地基雷达 ground based radar

固定安装于地面的合成孔径雷达，适用于高精度、近距离监测。

3.4

机载雷达 airborne radar

搭载于飞行平台的雷达系统，适用于大范围、远距离监测。

4 监测原理与方法

4.1 基本原理

4.1.1 微波反射原理

4.1.1.1 雷达系统应发射特定频率的电磁波（通常为X波段或Ku波段），电磁波在遇到边坡或结构体表面后应发生反射，接收器应捕获反射信号并应记录其振幅与相位信息。

4.1.1.2 应根据发射波与反射波的相位差，结合雷达波长（λ），计算目标物的位移量，其精度应可达亚毫米级（≤0.5mm）。

4.1.2 干涉测量技术（InSAR）

应采用合成孔径雷达（SAR）技术，通过多次观测同一区域生成干涉图，结合差分处理（D-InSAR）消除大气延迟和地形误差，提取微小形变信息。

4.1.3 多源数据融合

应将雷达监测数据与GNSS（全球导航卫星系统）、倾斜仪、裂缝计等多源传感器数据融合，提升监测结果的可靠性与空间分辨率。

4.2 雷达类型及适用场景

雷达类型及适用场景应见下表所示：

表 1 雷达类型及适用场景明细表

雷达类型	技术特点	适用场景
地基SAR雷达	固定安装，分辨率≤1mm，监测距离≤5km	矿山边坡、大坝、桥梁、隧道等近距离高精度监测
机载SAR雷达	覆盖范围≥10km，分辨率≤5mm	大面积滑坡区域、交通干线、水利枢纽监测
便携式雷达	快速部署，重量≤20kg，支持实时数据传输	施工区域临时监测、地质灾害应急响应

4.3 监测方法

4.3.1 固定监测

4.3.1.1 设备应长期固定于监测点位。
4.3.1.2 数据采集频率应≥1 次/小时。
4.3.1.3 应适用于重点区域的连续稳定性监测。

4.3.2 移动监测

4.3.2.1 应采用便携式雷达设备。
4.3.2.2 应根据工程需求临时部署。
4.3.2.3 应支持局部区域的高密度扫描与快速响应。

4.3.3 连续监测

4.3.3.1 数据应实时上传至云端平台。
4.3.3.2 应通过预设算法自动触发预警信号。
4.3.3.3 系统响应时间应≤5 分钟。

4.3.4 定期监测

4.3.4.1 应按预设周期（如每周 1 次或每月 1 次）采集数据。
4.3.4.2 应用于工程维护与长期趋势分析。

5 监测设备要求

5.1 性能指标

性能指标应符合下表要求：

表 2　性能指标汇总表

参数	技术指标
工作频率	X波段（8-12GHz）或Ku波段（12-18GHz）
空间分辨率	水平≤1m，垂直≤1mm
最大监测距离	地基雷达≥5km，机载雷达≥10 km
测量精度	静态目标≤0.5mm（RMSE），动态目标≤1mm
数据采集速率	≥1次/分钟（应急模式），≥1次/小时（常规模式）
环境适应性	工作温度-30℃~+60℃，防护等级IP67

5.2　安装与调试

5.2.1　选址要求

5.2.1.1　地基雷达应远离强电磁干扰源。
5.2.1.2　基础采用混凝土浇筑，接地电阻应≤4Ω。
5.2.1.3　机载雷达飞行高度应≥100m，飞行路径应避开禁飞区。

5.2.2　校准流程

5.2.2.1　初始校准

安装后应应使用标准靶标进行基线校准，误差应≤±0.2 mm。

5.2.2.2　周期性校准

每季度应进行一次设备性能测试，校准记录保存应≥5年，并应符合GB/T 18894-2016的相关规定。

5.3　维护与保养

5.3.1　日常维护

5.3.1.1　应每周检查电源模块、通信链路及存储设备状态。
5.3.1.2　应定期清洁雷达天线表面，避免灰尘或水渍影响信号质量。
5.3.1.3　每半年应对设备机械结构进行润滑与紧固，防止因振动导致精度下降。

5.3.2　故障处理

5.3.2.1　设备异常时应记录故障代码。
5.3.2.2　应在 24 小时内联系技术支持。
5.3.2.3　故障记录应保留≥3 年。

6　数据采集与处理

6.1　数据采集要求

6.1.1　数据格式

6.1.1.1　原始数据存储为 HDF5 格式，字段应包括以下内容：
- a)　时间戳（UTC 格式）；
- b)　三维坐标（WGS-84 坐标系）；
- c)　位移量（单位：mm）；
- d)　信噪比（SNR≥20 dB）。

6.1.1.2　元数据应标注监测区域的以下信息：
- a)　名称；
- b)　设备型号；
- c)　操作人员；

d） 环境参数（温度、湿度、风速）。

6.1.2 采集频率

6.1.2.1 连续监测模式下，数据采集频率应≥1 次/小时。
6.1.2.2 应急模式下，数据采集频率应≥1 次/分钟，系统响应时间应≤5 分钟，且应符合 GB 50330 的相关规定。

6.2 数据处理流程

6.2.1 预处理

6.2.1.1 滤波去噪

应采用小波变换（Daubechies小波基）消除高频噪声，或卡尔曼滤波平滑动态数据。

6.2.1.2 大气校正

应利用气象数据（温度、气压、湿度）修正大气延迟误差，提升干涉测量精度。

6.2.2 三维建模

6.2.2.1 应结合地理信息系统（GIS）数据与雷达形变场，构建三维形变模型。
6.2.2.2 空间分辨率应≤1m，高程精度应≤3mm，且应符合 GB/T 50269-2015 的相关规定。

6.2.3 数据可视化

6.2.3.1 形变速率图

应采用红-黄-绿色阶表示形变速率范围（-5mm/d至+5mm/d）。

6.2.3.2 时间序列图

应展示关键点位移随时间的变化趋势，图表应标注置信区间（95%置信水平）。

7 监测结果评估与预警

7.1 评估标准

评估标准应符合下表内容：

表 3 评估标准汇总表

风险等级	形变量（mm）	形变速率（mm/d）	响应措施
低风险	≤10	≤0.5	记录数据，每季度复查
中风险	10~30	0.5~1.0	加密监测（频率≥1次/小时）
高风险	≥30	≥1.0	立即疏散，启动工程加固

7.2 预警机制

7.2.1 预警等级划分应符合以下要求：
- a） 黄色预警：形变速率≥0.5 mm/d 或形变量≥10 mm，应人工核查数据并提交分析报告；
- b） 橙色预警：形变速率≥1.0 mm/d 或形变量≥30 mm，应通知责任单位启动应急预案，应急预案编制应参考 GB/T 29639-2020 的相关规定；
- c） 红色预警：形变速率≥2.0 mm/d 或形变量≥50 mm，应立即疏散人员并封锁危险区域，同时应上报主管部门，响应措施应符合 GB/T 37228-2018 的相关规定。

7.2.2 预警信息发布应符合以下要求：
- a） 应通过短信、平台弹窗、声光报警等多渠道实时推送预警信息；
- b） 信息内容应包括监测点位置、风险等级、建议措施及联系人信息。

7.3 监测报告要求

报告包含但不限于以下内容：

a) 监测概况：监测时间、区域范围、设备型号、环境条件；

b) 数据分析：形变量统计表、形变速率分布图、三维形变模型截图；

c) 风险评估：风险等级判定依据、历史数据对比分析；

d) 建议措施：加固方案、后续监测计划。

7.4 格式规范

7.4.1 报告应采用PDF/A格式，图表分辨率应≥300dpi。

7.4.2 电子文档管理应符合GB/T 18894-2016的相关规定。

7.4.3 纸质报告应加盖监测单位公章，并应存档≥10年。

8 质量控制与安全管理

8.1 质量控制措施

8.1.1 人员资质

8.1.1.1 操作人员应持有省级以上机构颁发的雷达监测技术认证证书。

8.1.1.2 每年宜参加≥24学时培训（宜含理论8学时、实操16学时）。

8.1.2 数据审核

8.1.2.1 监测数据应经双人独立复核，异常数据（如突变值、噪声超标）应标注原因并应重新采集。

8.1.2.2 每月应生成数据质量报告，内容应包括但不限于以下内容：

a) 数据完整性；

b) 精度统计；

c) 异常处理记录。

8.1.3 设备校验

每季度应使用标准靶标进行设备性能测试，校准记录保存应≥5年。

8.2 安全管理要求

8.2.1 设备安全

8.2.1.1 雷达设备应配备避雷装置（接地电阻≤4Ω）、防盗锁具及GPS追踪模块，安全设计应符合GB 50343-2012的相关规定。

8.2.1.2 应定期检查设备固定螺栓及支架稳定性，防止因强风或振动导致设备移位。

8.2.2 作业安全

8.2.2.1 野外作业人员应穿、携戴以下装备：

a) 反光背心；

b) 安全帽；

c) 防滑鞋；

d) 携带GPS定位仪；

e) 应急通讯设备；

f) 急救包。

8.2.2.2 在暴雨、雷电、大风（≥6级）等恶劣天气条件下应暂停监测作业。