

T/GLAC

中国卫星导航定位协会团体标准

T/GLAC 24—2025

北斗交通工程应用 高速公路路基形变监测系统技术要求

BDS transportation engineering application—Technical requirements for deformation monitoring system of highway subgrade

2025 - 06 - 25 发布

2025 - 06 - 25 实施

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	1
5 总体要求	2
6 系统架构	2
7 功能要求	3
8 性能要求	4
9 设计和安装	5
附录 A (资料性) 物理感知设备与监测内容的对应关系	8

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。

本文件由中国卫星导航定位协会提出并归口。

本文件起草单位：河北省北斗导航位置服务有限公司、北京市中位协北斗时空技术研究院、湖北亿立能科技股份有限公司、广州市中海达测绘仪器有限公司、雄安交投工程养护科技有限公司、深圳市微星物联科技有限公司、广东嘉益工程有限公司。

本文件主要起草人：朱英群、刘智伟、田鑫、程潞样、孙京侨、张新强、周青松、杨祥、黄建辉、陈诚、刘元鹏。

北斗交通工程应用 高速公路路基形变监测系统技术要求

1 范围

本文件规定了基于北斗的高速公路路基形变监测系统的总体要求、系统架构、功能要求、性能要求、设计和安装要求。

本文件适用于基于北斗的高速公路路基形变监测系统（以下简称“系统”）的开发、设计和安装。

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 4208—2017 外壳防护等级(IP代码)

GB/T 11828.3—2012 水位测量仪器 第3部分：地下水位计

GB/T 37937—2019 北斗卫星授时终端技术要求

GB/T 39267 北斗卫星导航术语

GB/T 39399 北斗卫星导航系统测量型接收机通用规范

GB/T 39414（所有部分） 北斗卫星导航系统空间信号接口规范

GB/T 39772 北斗地基增强系统基准站建设和验收技术规范 第1部分：建设规范

GB/T 42528—2023 时空大数据技术规范

GB/T 45224—2025 智慧城市 城市交通基础设施智能监测技术要求

GB 50026—2020 工程测量标准

GB 50689 通信局（站）防雷与接地工程设计规范

JGJ 8—2016 建筑变形测量规范

YD/T 3337—2018 面向物联网的蜂窝窄带接入（NB-IoT）终端设备技术要求

3 术语和定义

GB/T 39267、GB/T 39399中界定的术语和定义适用于本文件。

3.1

北斗基准站 BeiDou reference station

在位置坐标已知点上架设高精度 BDS 观测设备、通信终端等设备，并在一定时间内连续观测、记录卫星信号，将数据传输给数据处理中心或经处理后直接播发差分改正数据的设施。

[来源：GB/T 39267—2020, 2.1.25, 有修改]

3.2

北斗监测站 BeiDou monitor station

通过接收北斗卫星导航信号，采集公路路堤边坡、路面、路堑及裂缝的水平/竖向位移数据，并支持本地存储、断点续传，同时向数据层传输观测数据的地面站。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

BDS:北斗卫星导航系统 (BeiDou Navigation Satellite System)

CAN:控制器局域网络 (Controller Area Network)

GIS:地理信息系统 (Geographic Information System)

- MTBF:平均故障间隔时间 (Mean Time between Failure)
- NB-IoT:窄带物联网 (Narrow Band Internet of Things)
- RJ45:RJ45连接器 (Registered Jack 45)
- RMS:均方根 (Root Mean Square)
- RS232:推荐标准232 (Recommended Standard 232)
- RS485:推荐标准485 (Recommended Standard 485)
- RTK:实时动态测量 (Real-Time Kinematic)
- UPS:不间断电源 (Uninterruptible Power Supply)
- USB:通用串行总线 (Universal Serial Bus)
- WLAN:无线局域网 (Wireless Local Area Network)

5 总体要求

- 5.1 系统设备选型应基于监测工程实际需求，并满足精度、灵敏度、稳定性等性能要求。
- 5.2 系统应具备感知设备泛在接入能力，预留可扩展接口。
- 5.3 系统应具备无人值守，以及自动、长期、连续运行的能力。

6 系统架构

系统由感知层、传输层、数据层、应用层组成，见图 1。

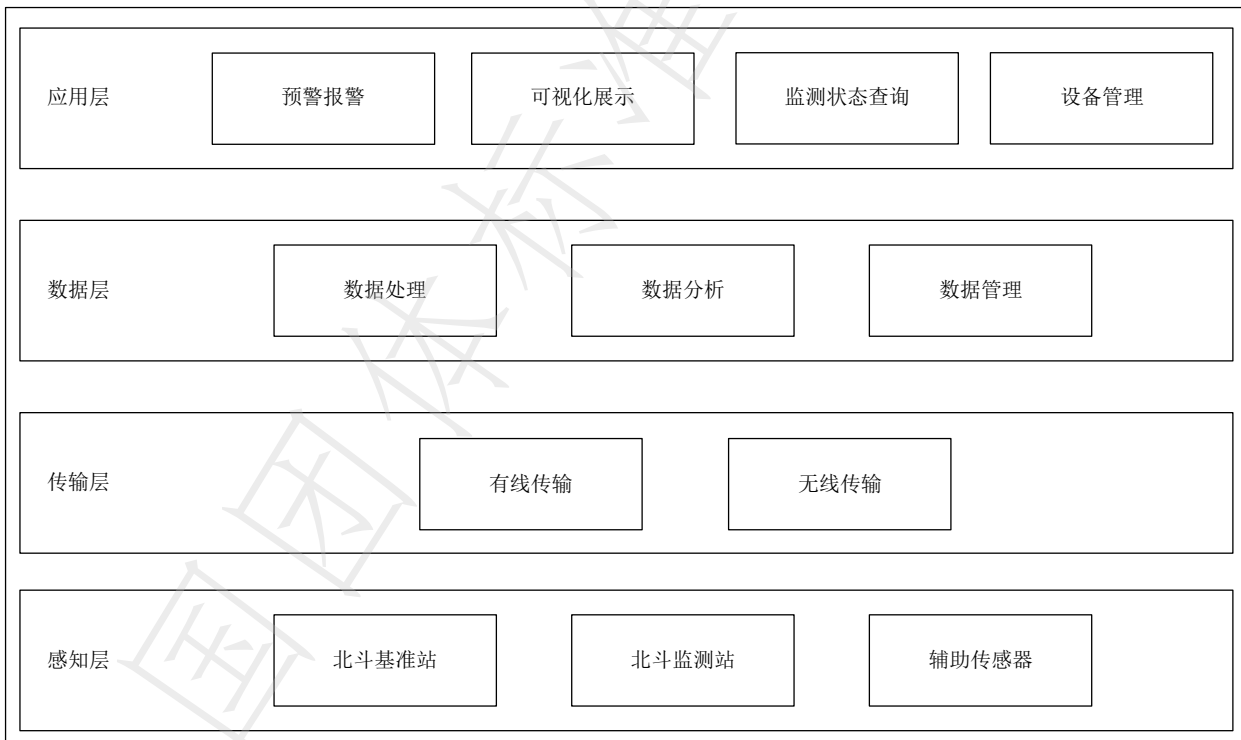


表1 系统架构图

其中：

- a) 感知层：由北斗基准站、北斗监测站和辅助传感器构成，通过对公路路堤边坡、路面、路堑等对象进行感知，采集水平位移、竖向位移、倾斜率、倾斜方向、结构的动态应变、静态应变、以及已有裂缝的位置、宽度、长度、深度和走向等数据，感知设备与其监测内容的对应关系见附录 A；
- b) 传输层：为物理感知设备提供泛在接入能力，将采集后的各类物理量数据通过有线或无线传输协议传输至数据层进行处理，同时为第三方系统接入和互操作提供接口服务；

- c) 数据层：对采集数据进行处理、大数据分析和管理等操作；
- d) 应用层：为公路路基形变监测业务提供报警预警、可视化展示、监测状态查询、设备管理等应用。

7 功能要求

7.1 感知层

7.1.1 北斗基准站

北斗基准站为北斗监测站实现高精度定位提供差分改正数据，应符合下列要求：

- a) 支持单点定位、RTK 定位和网络 RTK 定位功能；
- b) 具备数据存储、本地缓存功能；
- c) 仅支持接收和处理 GB/T 39414（所有部分）规定的信号；
- d) 支持电压、温度、信号强度等设备状态自监测和故障报警功能。

7.1.2 北斗监测站

北斗监测站用于对公路路堤边坡、路面、路堑、以及已有的裂缝的位移变化情况进行监测，应符合下列要求：

- a) 支持采集路基水平位移和竖向位移数据，支持静态和动态两种监测模式；
- b) 支持数据本地存储和断点续传功能；
- c) 支持通过移动蜂窝网、NB-IoT、以太网、串行接口等方式传输时空数据；
- d) 支持 GB/T 37937—2019 中 8.1.1 规定的单向授时功能，各监测站能同步进行数据采集；
- e) 支持低功耗模式运行功能。

7.1.3 辅助传感器

辅助传感器用于对高速公路路基的倾角、位移、水位等物理量进行辅助测量，例如全站仪、压力计、倾角仪、视频监控器、激光雷达、合成孔径雷达、分布式光纤监测系统、地下水水位计、雨量计等，应符合下列要求：

- a) 支持低功耗工作模式；
- b) 支持防尘、防水、防潮、防风等功能；
- c) 支持自定义数据采样频率，通过时间同步或授时的方式实现与北斗监测站数据同步采样；
- d) 支持自组网功能，具备抗干扰能力；
- e) 支持自检、自动校准、补偿计算等功能。

7.2 传输层

传输层符合下列要求：

- a) 应支持 RS232、RS485、USB、CAN、RJ45、光纤等通用物理接口，其中 RJ45 接口宜采用双绞线实现数据传输；
- b) 应支持移动蜂窝网、WLAN、NB-IoT 等无线传输协议和接口，NB-IoT 接口应符合 YD/T 3337—2018 中第 10 章的规定；
- c) 应支持多种物理感知设备组网，并进行互操作；
- d) 应支持第三方系统调用数据和互操作。

7.3 数据层

7.3.1 数据处理

数据处理应符合下列要求：

- a) 支持 BDS 定位数据（含 RTK）的实时接入、动态/静态解算、动态播发；
- b) 支持剔除异常值、噪声过滤等数据清洗和格式转换功能；
- c) 支持多源异构数据融合，建立时空关联数据库；
- d) 支持数据结构化处理方法或算法；

- e) 支持汇聚处理功能，符合 GB/T 42528—2023 中第 7 章的规定。

7.3.2 数据分析

数据分析应符合下列要求：

- a) 支持数据统计分析、关联性分析和模型分析，符合 GB/T 45224—2025 中 8.4 的规定；
- b) 支持由辅助传感器采集的物理量数据和 BDS 时空数据间的双向修正；
- c) 支持历史推演、聚类分析、神经网络、逻辑分析等大数据挖掘方法进行多因子关联分析、时空演变分析。

7.3.3 数据管理

数据管理应符合下列要求：

- a) 支持定期清理重复数据、修正错误值；
- b) 支持分别建立业务数据库储存静态数据和监测数据库储存实时采集数据；
- c) 支持物理感知层各设备和服务应用的数据自动透传或存储，自定义存储周期；
- d) 支持对象存储、列式存储、分布式数据库等存储模式；
- e) 支持存储空间动态分配和管理；
- f) 支持转换前对数据进行存储备份，保障数据完整性；
- g) 支持数据更新和历史数据、元数据的存档，数据安全符合 GB/T 42528—2023 中 8.2.2.5~8.2.2.8 的规定。

7.4 应用层

应用层功能包含预警报警、可视化展示、监测状态查询、设备管理等，应符合下列要求：

- a) 预警报警：
 - 1) 支持针对不同的监测对象设置自定义预警等级和对应触发阈值；
 - 2) 支持通过短信、邮件、应用软件、语音、声光等方式进行报警；
 - 3) 支持自定义预警和报警处置预案，当触发报警或预警时，系统能自动执行预案。

注：通常预警等级设定为蓝色、黄色、橙色和红色，共四个级别。

- b) 可视化展示：
 - 1) 支持生成路基变形热力图、趋势曲线、分布直方图等可视化成果；
 - 2) 支持按路段、时间、监测点类型进行多维度统计；
 - 3) 支持 GIS 地图绘制和浏览功能；
 - 4) 符合 GB 50026—2020 中 10.12.1 的规定。
- c) 监测状态查询：
 - 1) 支持对里程桩号、结构类型、施工时间等路基工程属性信息的查询；
 - 2) 支持流媒体视频服务，将视频实时监测画面通过流媒体进行推送；
 - 3) 支持数据动态展示，能依据时间、监测对象、预警/报警、设备种类等信息对历史数据进行查询。
- d) 设备管理：
 - 1) 支持管理设备名称、型号、用户、厂商、安装位置、维护记录等台账数据；
 - 2) 支持为设备分配唯一标识编码，对设备进行全生命周期管理；
 - 3) 支持对系统中的感知设备进行群组管理、远程控制、系统配置和恢复。

8 性能要求

8.1 感知层

8.1.1 北斗基准站

北斗基准站的性能应符合下列要求：

- a) 支持接收处理 GB/T 39414（所有部分）规定的公共服务信号；
- b) 符合 GB/T 39772.1—2021 中 C 级基准站的规定；

- c) 静态测量水平定位精度 (RMS) 优于 $\pm(2.5 \text{ mm} + 0.5 \times 10^{-6} \times D)$, 高程定位精度 (RMS) 优于 $\pm(5.0 \text{ mm} + 0.5 \times 10^{-6} \times D)$;
- d) 动态测量水平定位精度 (RMS) 优于 $\pm(8 \text{ mm} + 1 \times 10^{-6} \times D)$, 高程定位精度 (RMS) 优于 $\pm(15 \text{ mm} + 1 \times 10^{-6} \times D)$;

注: D为测量距离, 单位为毫米 (mm)。

- e) 防水防尘等级不低于 GB/T 4208—2017 规定的 IP67;
- f) 接收机主机平均功耗 $\leq 1.3 \text{ W}$;
- g) MTBF $\geq 60000 \text{ h}$ 。

8.1.2 北斗形变监测站

北斗监测站的性能应符合下列要求:

- a) 静态测量水平定位精度 (RMS) 优于 $\pm(2.5 \text{ mm} + 0.5 \times 10^{-6} \times D)$, 高程定位精度 (RMS) 优于 $\pm(5.0 \text{ mm} + 0.5 \times 10^{-6} \times D)$;
- b) 动态测量水平定位精度 (RMS) 优于 $\pm(8 \text{ mm} + 1 \times 10^{-6} \times D)$, 高程定位精度 (RMS) 优于 $\pm(15 \text{ mm} + 1 \times 10^{-6} \times D)$;
- c) 防水防尘等级不低于 GB/T 4208—2017 规定的 IP67;
- d) 接收机主机平均功耗 $\leq 1.3 \text{ W}$;
- e) MTBF $\geq 60000 \text{ h}$ 。

8.1.3 辅助传感器

辅助传感器的性能应符合下列要求:

- a) 精度、工作量程、采样频率、灵敏度、分辨率、线性度和信噪比满足监测需求, 符合 GB/T 45224—2025 中表 4 的规定;
- b) 地下水位计符合 GB/T 11828.3—2012 中 5.4、5.6、5.11 和 5.14 的规定;
- c) 通过温度对物理量测量精度修正时, 温度传感器量程不低于 $-30 \text{ }^\circ\text{C} \sim 70 \text{ }^\circ\text{C}$, 精度优于 $0.5 \text{ }^\circ\text{C}$;
- d) 采样频率设置精度优于 0.1 Hz 。

8.2 系统整体性能/软件性能

系统整体性能/软件的性能应符合下列要求:

- a) 符合 GB 50026—2020 中 10.12.2 的规定;
- b) 报警延迟时间 $\leq 30 \text{ s}$, 误报率 $\leq 0.1\%$;

注: 报警延迟时间指从物理感知设备开始发送监测数据到各类人机交互终端接收到系统发送的报警信息的时间间隔。

- c) 支持至少 100 个监测点同时分析;
- d) 数据库单条查询响应时间 $\leq 1 \text{ s}$, 不大于 100,000 条数据的批量查询时间 $\leq 10 \text{ s}$;
- e) 在不出现过拟合的情况下, 预测 7 d 内形变趋势统计模型的拟合优度 ≥ 0.8 ;

注: 拟合优度指回归直线或统计模型对观测值的拟合程度, 用于衡量模型所预测的结果与真实观测数据之间的匹配度或接近度。

- f) 定位数据解算水平误差优于 2 mm , 高程误差优于 3 mm ;
- g) 监测站单日 24 h 原始数据解算时间 $\leq 10 \text{ min}$;
- h) 数据存储空间具备能保存至少 5 a 的原始监测数据的能力;
- i) 数据备份恢复时间 $\leq 1 \text{ h}$;
- j) 支持 ≥ 50 个用户同时在线操作, 页面响应时间 $\leq 2 \text{ s}$ 。

9 设计和安装

9.1 一般要求

系统的设计和安装符合下列要求:

- a) 应根据监测方法、结构特点、现场条件等因素制定监测方案，监测点的布设应能正确反映路基安全状态和变化趋势，工程难度高、气候水文条件恶劣、周边环境发生变化、已发生病害的路段或部位应增设监测点。

注：工程难度高的路段或部位包含陡坡、台背、隧道出入口、新旧路基结合部、路基—结构物过渡段等，气候水文条件恶劣的路段包含季冻区、地下水位剧烈波动区、河流、湖泊、水库等地表水体冲刷区、以及强降雨地区，周边环境发生变化的场景通常包含临近有重大工程施工或进行大规模堆载或卸载作业，病害路段包含已出现裂缝、沉降、隆起等病害的路段，以及养护维修或加固处置后的路段。

- b) 感知设备与信息采集汇集设备位置电缆布线应齐整，降低对后期施工的影响和干扰。
- c) 根据不同的地质条件，系统设计应考虑下列内容：
 - 1) 软土地基：加密布设监测点，重点监测路基沉降速率、深层土体位移等，使用北斗监测站和视频监控器进行数据采集；

注：监测点密度通常由专家综合被监测路段的周边环境、土建状况、交通情况等多种因素进行研判后决定，一般高速公路沿线监测点纵向间距在50 m~200 m之间，关键路段沿线监测点纵向间距在20 m~50 m之间。

- 2) 膨胀土/湿陷性黄土地区：重点监测土体含水率变化引发的胀缩变形，并同步监测地表沉降、深层水平位移等；
 - 3) 岩质路基或陡坡路段：重点监测边坡岩体裂隙变化、沿结构面的滑动趋势等，使用北斗监测站、视频监控器对岩体进行实时监测。
- d) 根据不同的路基设计，系统设计应考虑下列内容：
 - 1) 高填方路基：在路基中心、路肩及坡脚处布设监测点，重点监测填方自身的压缩变形及基底沉降；
 - 2) 填挖交界路基：重点监测交界处的差异沉降，通过北斗监测站实时监测，对不均匀变形导致的路面开裂进行预警；
 - 3) 复合地基路基：重点监测桩土的应力分担比及桩顶的沉降度；
 - 4) 加筋路基：重点监测土工格栅等加筋材料的拉力变化。
- e) 根据不同的周边环境，系统设计应考虑下列内容：
 - 1) 邻近建（构）筑物或管线：重点监测路基变形对邻近建（构）筑物或管线的影响，如建筑物沉降、管线位移等；
 - 2) 高水位或侵蚀性环境：重点监测地下水渗透对路基稳定性的影响，侵蚀性土壤区域重点监测材料腐蚀对监测设备的影响；
 - 3) 交通荷载频繁区域：重点监测轮迹带下方路基的动态响应，分析疲劳累积变形规律。

9.2 北斗基准站

北斗基准站的设计和安装应符合下列要求：

- a) 设立在路基变形影响区之外地势较高、基础稳定的区域；
- b) 相邻北斗基准站的间隔距离为20 km~60 km；
- c) 加装加固防振、防雷、防风等设施，其中防雷应符合GB 50689的规定；
- d) 固定墩的建设符合JGJ 8的规定；
- e) 基准站安装点位符合GB/T 39772.1—2021中7.2和7.3的规定；
- f) 基准站观测墩的建设符合GB/T 39772.1—2021中8.1的规定，防雷工程符合GB/T 39772.1—2021中8.3的规定。

9.3 北斗监测站

北斗监测站的设计和安装应符合下列要求：

- a) 配置UPS、光伏等具备不间断供电能力的电源；
- b) 加装加固防振、防雷、防风等设施，其中防雷应符合GB 50689的规定；
- c) 固定墩的建设符合JGJ 8的规定；
- d) 监测站安装点位符合JGJ 8—2016中4.6.4的规定；
- e) 监测站观测墩建设符合GB/T 39772.1—2021中8.1的规定，防雷工程符合GB/T 39772.1—2021中8.3的规定。

9.4 辅助传感器

辅助传感器的设计和安装应符合下列要求：

- a) 全站仪、分布式光纤监测系统、激光雷达、视觉图像雷达、合成孔径雷达的布设与安装分别符合 GB/T 45224—2025 中 6.2.2~6.2.7 的规定。
- b) 倾角仪沿同一垂直线在被测体的顶部、中部与底部分别布设监测点，当测量顶部相对于底部的整体倾斜度时，沿统一垂直线在顶部与底部布设监测点，当测量局部倾斜度时，沿同一垂直线在所测物体上部和下部布设监测点。
- c) 压力计采用钻孔法、挂布法或压入法进行安装，其中：
 - 1) 压力盒受力面与压力方向垂直、并贴紧监测对象；
 - 2) 安装过程中设置土压力膜保护措施；
 - 3) 采用钻孔法安装时，回填均匀紧实，且回填材料与周围岩土体一致；
 - 4) 采用挂布法安装时，挂布兜住钢筋笼外侧。

附录 A
(资料性)

物理感知设备与监测内容的对应关系

物理感知设备与监测内容的对应关系见表1。

表A.1 物理感知设备与监测内容对应表

序号	设备	监测内容
1	北斗监测站	位置、水平位移、竖向位移
2	全站仪	竖向位移、倾斜度
3	压力计	岩土压力
4	倾角仪	倾斜的斜度与方向
5	分布式光纤监测系统	位移、应力应变
6	激光雷达	位移、变形
7	视频监控器	位移、倾斜度、裂缝
8	合成孔径雷达	位移
9	地下水位计	地下水位高度
10	雨量计	降雨量