

JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF×××—202×

公路基础设施北斗监测系统校准规范

Calibration Specification for Highway Infrastructure Beidou  
Monitoring System

(送审稿)

202×-××-××发布

202×-××-××实施

国家市场监督管理总局 发布



# 公路基础设施北斗 监测系统校准规范

JJF ××××-202×

Calibration Specification for Highway  
Infrastructure Beidou Monitoring System

归口单位：全国公路专用计量器具计量技术委员会

主要起草单位：交通运输部公路科学研究所

参加起草单位：

**本规范主要起草人：**

## 目 录

引 言.....	II
公路基础设施北斗监测系统校准规范.....	1
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语.....	1
3.1 RTK 测量 real time kinematic .....	1
3.2 定位参数 positioning parameter.....	1
3.3 方位角 azimuth.....	1
3.4 初始化时间 start time.....	1
4 概述.....	1
5 计量特性.....	2
5.1 初始化时间.....	2
5.2 静态性能.....	2
5.3 动态性能.....	2
5.4 结构监测性能.....	2
6 校准条件.....	3
6.1 环境条件.....	3
6.2 待校准设备.....	3
6.3 校准设备.....	3
7 校准项目和校准方法.....	4
7.1 初始化时间.....	4
7.2 静态性能.....	4
7.3 动态性能.....	6
7.4 结构监测性能.....	6
8 校准结果.....	6
8.1 校准记录.....	6
8.2 校准证书.....	7
8.3 校准结果不确定度评定.....	7
9 复校时间间隔.....	7
附录 A 公路基础设施北斗监测系统校准记录式样 .....	8
附录 B 公路基础设施北斗监测系统校准证书信息及内页式样 .....	9
附录 C 公路基础设施北斗监测系统不确定度评定示例 .....	11

# 引 言

JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。本规范为首次制定。

# 公路基础设施北斗监测系统校准规范

## 1 范围

本规范适用于公路基础设施北斗监测系统的校准。

## 2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJG 1200-2023 《全球导航卫星系统(GNSS)接收机(测地型和导航型)检定规程》

JJF 1180-2025 《时间频率计量名词术语及定义》

JJF 1403-2013 《全球导航卫星系统(GNSS)接收机(时间测量型)校准规范》

BD 420009-2015 《北斗/全球卫星导航系统(GNSS)测量型接收机通用规范》

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

## 3 术语

### 3.1 RTK 测量 *realtime kinematic*

实时动态测量。

### 3.2 定位参数 *positioning parameter*

公路基础设施北斗监测系统所记录的包括经度、纬度、大地高等位置信息。

### 3.3 方位角 *azimuth*

由子午线方向的北端起，依顺时针方向到目标方向线之间的水平夹角。

### 3.4 初始化时间 *start time*

初始化时间是指系统从加电到实现定位所需要的时间。

## 4 概述

公路基础设施北斗监测系统是利用北斗高精度定位技术的监测设备，支持公路、桥梁、隧道、边坡等基础设施的位移、变形等监测。可对卫星信号进行搜索并捕获到卫星信号，当成功捕获卫星信号后，对信号进行牵引和跟踪，并将基准信号译码得到卫星星历。在某一时刻同时接收到三颗以上卫星信号，测量出到每颗卫星的距离，解

析导航电文得到该时刻卫星的空间坐标，解出位置坐标，进而计算变形，并可将相关信息上报至监测系统平台。公路基础设施北斗监测系统可以在公路、桥梁、隧道、边坡、大坝等公路基础设施监测中实现变形、位移监测。主要由微处理器、通信模块、北斗高精度定位模块等组成。被广泛应用于地质灾害监测、应急救援、军队协同作战等领域。

主要由天线单元、主机单元及电源三部分组成。主机单元主要包括微处理器、数据存储器、卫星定位模块、信息采集模块、无线通信传输模块、实时时钟、数据通信接口等。结构见图1。

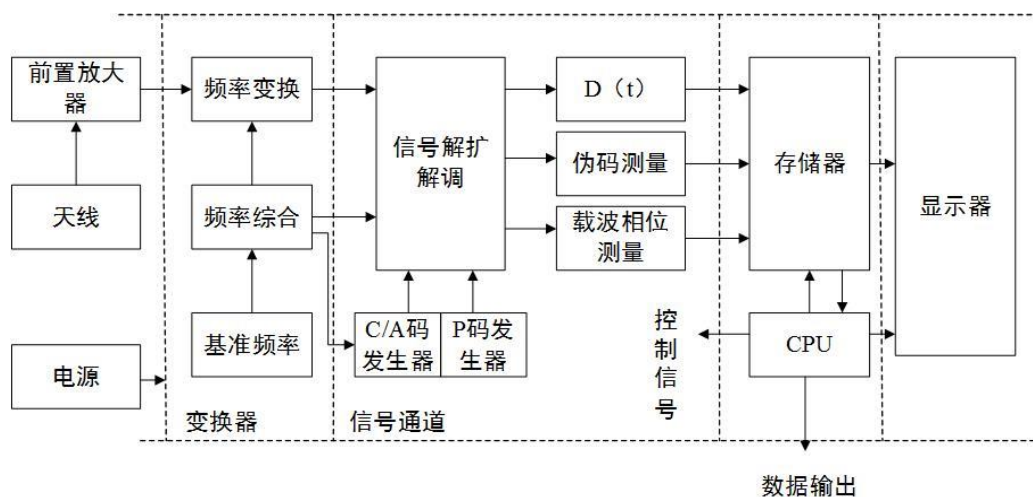


图1 公路基础设施北斗监测系统结构示意图

## 5 计量特性

### 5.1 初始化时间

公路基础设施北斗监测系统初始化时间不大于3min。

### 5.2 静态性能

水平位移误差优于 $2.0\text{mm}+1\text{ppm}$ ，竖向位移误差优于 $3\text{mm}+1\text{ppm}$ ，方位角最大允许误差为： $\pm 1^\circ$ 。

### 5.3 动态性能

采样频率不低于20Hz，水平位移误差不大于20mm，竖向位移误差不大于50mm。线性度优于0.2% FS。

### 5.4 结构监测性能

#### a) 结构变形监测（桥梁）

精确度不超过 $\pm 0.1\%FS$ 。

b) 地表位移监测（边坡、隧道）

精确度不超过 $\pm 0.1\%FS$ 。

c) 结构的位移监测（隧道）

精确度不超过 $0.5\%FS$ 。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

- a) 环境温度： $(-20\sim 60)^{\circ}C$ 。
- b) 相对湿度： $\leq 95\%$ 。
- c) 电源电压： $(220\pm 20)V$ 。
- d) 电源频率： $(50\pm 2)Hz$ 。
- e) 无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

### 6.2 待校准设备

a) 公路基础设施北斗监测系统应有清晰的铭牌，内容包括仪器名称、型号、制造厂和出厂编号等。装置外表和内里应平整、光洁，不得有明显的划伤、缺损和锈蚀等。如有铅封装置，铅封装置应完好。

b) 公路基础设施北斗监测系统应具备自检功能。通过信号灯或显示屏明确表示当前主要状态。

c) 按照设定的时间间隔、指定的时刻点或者距离间隔，装置上报位置、速度、方向等信息。

### 6.3 校准设备

校准用计量标准器具见表 1。

表 1 校准用计量标准器具一览表

序号	标准器名称	技术要求
1	信号模拟器	信号功率：输出范围（-160 ~ -70）dBm；最大允许误差：±0.5dB。 伪距精度：≤3mm（RMS）。 场景：可定义校准所需标准场景。
2	模拟基线场	标准[偏]差不得大于 1mm。
3	秒表	分辨力：0.01s； 日差最大允许误差：±0.5s/d。
4	转角位移台	角度分辨力：±0.2"； 温度范围：-20℃~60℃； 重复性：±0.05°。
5	动态校准和结构监测性能校准用组网	在能满足公路基础设施北斗监测系统观测条件的任意场地上，建立 10~15 个地面点(无须强制对中点)，点位之间距离在几十米至数百米范围分布，用高精度全站仪（精度要求±1mm + 1ppm）进行距离和坐标的确定。标准[偏]差按上述指标控制。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 初始化时间

使用信号模拟器，仿真一个静态位置，设置输出功率电平为公路基础设施北斗监测系统使用功率，且不考虑电离层、对流层及钟差影响。在终端成功单点定位后，同时接收模拟器仿真的卫星信号和基准站差分数据，记录从获得差分数据到获得固定解的时间为初始化时间。

### 7.2 静态性能

使用信号模拟器校准，仪器连接如图2。

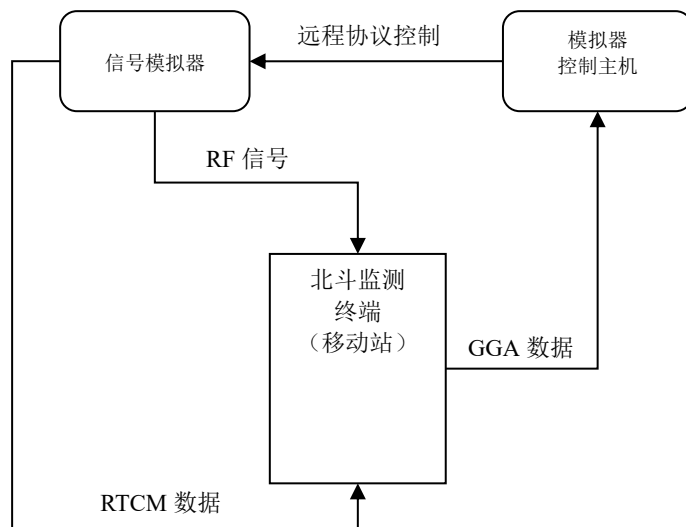


图2 使用信号模拟器法校准示意图

打开模拟器，开启定位偏差校准场景（可见卫星不少于6颗，几何精度因子小于2.5，卫星均匀分布在天顶上空，信号功率按厂家接口电平指标，仿真时间60min），模拟器开始仿真。记录仿真标准位置值 $(x_0, y_0, z_0)$ 。

公路基础设施北斗监测系统终端开机，记录终端的定位数据值 $(x, y, z)$ （终端位置更新率应不低于1Hz）。

15min后，停止记录。根据式（1）计算终端定位信息测量值 $x_i$ 、 $y_i$ 、 $z_i$ （ $i=1, \dots, n$ ， $n$ 为测量次数）的平均值 $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 、 $\bar{z}$ ，由式（2）、（3）分别计算终端的水平定位偏差 $\delta_{hp}$ 和竖向定位偏差 $\delta_{vp}$ 。

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad \bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i \quad (1)$$

$$\delta_{hp} = \sqrt{(\bar{x} - x_0)^2 + (\bar{y} - y_0)^2} \quad (2)$$

$$\delta_{vp} = \sqrt{(\bar{z} - z_0)^2} \quad (3)$$

式中：

$\delta_{hp}$ ——水平定位偏差，单位 mm；

$\delta_{vp}$ ——垂直定位偏差，单位mm；

$x_0, y_0, z_0$ ——模拟器仿真标准位置值；

$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ ——公路基础设施北斗监测系统位置测量值 $x_i$ 、 $y_i$ 、 $z_i$ （ $i=1, \dots, n$ ， $n$

为测量次数)的平均值。

方位角误差采用信号模拟器模拟 3 个位移信息,记录公路基础设施北斗监测系统上报的方位角数据,取 3 次数据的平均值作为实测值,以实测值与模拟的标准方位角的差值作为方位角误差。按式(4)计算方位角差值作为方位角误差校准结果。

$$\Delta\varphi = \varphi_d - \varphi_m \quad (4)$$

式中:  $\Delta\varphi$ —公路基础设施北斗监测系统方位角误差, (°);

$\varphi_d$ —公路基础设施北斗监测系统实测方位角, (°);

$\varphi_m$ —信号模拟器模拟标准方位角, (°)。

### 7.3 动态性能

a) 启动并调试转角位移台;

b) 每隔 10 分钟测量并记录 3 个动态水平位移值,取算术平均值作为本次测量结果,记为  $d_{Ri}$ ,重复测量 6 次;同步测量公路基础设施北斗监测系统的动态水平位移值,记为  $d_{Si}$ ;

c) 按照公式(1)计算公路基础设施北斗监测系统动态水平位移的测量示值误差  $\Delta d_i$ ;

$$\Delta d_i = d_{Si} - d_{Ri} \quad (1)$$

式中:

$\Delta d_i$ —公路基础设施北斗监测系统动态位移测量的示值误差,单位为: mm;

$d_{Si}$ —公路基础设施北斗监测系统动态位移测量值,单位为: mm;

$d_{Ri}$ —转角位移台输出的动态位移值,单位为: mm。

d) 重复 a)-c) 步骤,采用相同方法对公路基础设施北斗监测系统的动态竖向位移示值误差进行计算。

### 7.4 结构监测性能

依托动态校准和结构监测性能校准用组网搭建公路基础设施模拟场景,针对不同量程需求在不同环境下按 7.3 步骤进行结构监测性能指标的校准。

## 8 校准结果

### 8.1 校准记录

公路基础设施北斗监测系统的校准记录应信息齐全、内容完整,校准记录式样见附

录 A。

## 8.2 校准证书

公路基础设施北斗监测系统的校准结果以校准证书的形式表达,校准证书包含的信息及内页式样 见附录 B。

## 8.3 校准结果不确定度评定

公路基础设施北斗监测系统的校准结果的不确定度评定按照 JJF1059.1 进行,不确定度评定示例 见附录 C。

## 9 复校时间间隔

公路基础设施北斗监测系统的的复校时间间隔建议为 12 个月, 由于复校时间间隔的长短是由传感系统的使用情况、使用者等诸多因素所决定的, 因此, 送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

## 附录 A

## 公路基础设施北斗监测系统校准记录式样

送检单位			校准日期				
型号规格			出厂编号				
生产厂家			出厂日期				
环境温度			环境湿度				
其他			备注				
项目 序号	校准项目		校准结果				
1	初始化时间	-	第一次 测量值		第二次 测量值		第三次 测量值
2	静态性能	北斗系统	第一次 测量值		第二次 测量值		第三次 测量值
		参考系统	第一次 测量值		第二次 测量值		第三次 测量值
3	动态性能	北斗系统	第一次 测量值		第二次 测量值		第三次 测量值
		参考系统	第一次 测量值		第二次 测量值		第三次 测量值
4	结构监测性能	北斗系统	第一次 测量值		第二次 测量值		第三次 测量值
		参考系统	第一次 测量值		第二次 测量值		第三次 测量值

校准:

核验:

日期:

## 附录 B

### 公路基础设施北斗监测系统校准证书信息及内页式样

#### B.1 校准证书信息

公路基础设施北斗监测系统校准证书应至少包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 校准实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点；
- d) 证书编号、页码及总页数；
- e) 委托单位的名称和地址；
- f) 被校准仪器的信息；
- g) 进行校准的日期；
- h) 证书的批准发布日期；
- i) 校准所依据的技术规范名称和代号；
- j) 所用测量标准或主要设备的名称、编号、主要技术参数及溯源证书有效期；
- k) 校准时的环境条件；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 校准报告批准人的签名或识别；
- n) 校准结果仅对校准对象有效的声明；
- o) 未经校准实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明；
- p) 如可获得，任何调整或修理前后的结果；
- q) 相关时，与要求或规范的符合性声明；
- r) 已与客户达成协议时，给出复校时间间隔的建议。

## B.2 公路基础设施北斗监测系统校准结果内页式样

公路基础设施北斗监测系统校准结果内页式样见表 B.1。

表 B.1 公路基础设施北斗监测系统校准结果

表格编号：

第 页 共 页

序号	被检项目	校准结果	结论
1	外观及功能		
2	初始化时间		
3	静态性能		
4	动态性能		
5	结构监测性能		

校准：

核验：

日期：

## 附录 C

## 公路基础设施北斗监测系统不确定度评定示例

定位误差通过和已知边长比对测试予以确定。

## C.1 与已知基线比对数学模型

$$\Delta d = D - d \quad (5.1)$$

式中： $\Delta d$ ——定位误差；

$D$ ——北斗接收机解算值；  $d$ ——基线长度值。

## C.2 不确定度来源

标准装置误差引入的不确定度分量： $u_1$

北斗接收机安置误差引入的不确定度分量： $u_2$  北斗接收机分辨力引入的不确定度分量： $u_3$

因此

$$u^2(\Delta d) = c^2 u^2 + c^2 u^2 + c^3 u_3 \quad (5.2)$$

式中： $c_1 = c_2 = c_3 = 1$

## C.3 标准不确定度的评定

C.3.1 基线长度误差的不确定度分量 $u_1$ 

按 GB/T 18314-2024《全球导航卫星系统（GNSS）测量规范》要求，AA级基线长度误差（精度）用下式表示：

$$\sigma = \sqrt{3^2 + (0.01c \times 10^{-6})^2} (\text{mm}) \quad \text{式中：} c \text{——相邻点距离，mm。}$$

估计基线长度误差在 $\pm \sigma$ 范围内按正态分布变化，故  $c < 50000 \text{mm}$  时，

$$\sigma = 3.00 \text{mm} \quad u_1 = \sigma / 3 = 3.00 \text{mm} / 3 = 1.00 \text{mm}$$

估计其相对不确定度为 10%，故自由度

$$v_1 = 50$$

C.3.2 北斗接收机安置误差的不确定度分量 $u_2$ 

北斗接收机安置采用强制归心孔，其安置误差可控制在 $\pm 0.1 \text{mm}$ 范围内，安置误差按对称区间均匀分布，故

$$u_2 = 0.1 \text{mm} / \sqrt{3} = 0.06 \text{mm} \quad \text{估计其相对不确定度为 } 20\%$$

则自由度

$$v_2 = 12$$

C.3.3 北斗接收机分辨力的不确定度分量 $u_3$  北斗接收机分辨力为 1mm，故

$$u_3 = 0.298, = 0.29 \times 1 \text{mm} = 0.29 \text{mm}$$

$$v_3 = 0$$

C.4 合成标准不确定度及有效自由度 按式(5.2) 计算:

$u_{\circ}(\Delta d)=\sqrt{1.00^2+0.06^2+0.29^2}=1.04\text{mm}$  依韦尔奇-萨特思韦特  
公式计算:

$$V_{\text{eff}}=57$$

C.5 扩展不确定度

取置信概率为 99%,

$$k_{99}=t_{99}(57)=2.68$$
$$U_{99}=k_{99}\times u_{\circ}(\Delta d)=2.68\times 1.04=2.8\text{mm}$$

---

# 国家计量技术规范

## 《公路基础设施北斗监测系统校准规范》

### 编制说明

(送审稿)

规范编制组

2026年05月

# 目 录

一、任务来源 .....	1
二、编制背景 .....	1
(一) 制定目的 .....	1
(二) 制定意义 .....	2
(三) 国内外概况 .....	2
三、编制过程 .....	2
(一) 编制原则 .....	3
(二) 工作进程 .....	4
(三) 人员分工 .....	4
四、编制依据 .....	5
五、主要技术内容的论据 .....	5
(一) 范围 .....	5
(三) 概述 .....	6
(四) 计量特性 .....	7
(五) 校准条件 .....	8
(六) 校准项目和校准方法 .....	9
(七) 校准结果 .....	12
(八) 复校时间间隔 .....	12
六、其他应予说明的事项 .....	12

## 一、任务来源

根据“市场监管总局办公厅关于印发 2025 年国家计量技术规范制定、修订及宣贯计划的通知”（市监计量发〔2025〕45 号），由交通运输部公路科学研究所主持承担国家计量技术规范《公路基础设施北斗监测系统校准规范》的制定工作。计划编号为：

## 二、编制背景

### （一）制定目的

十八大以来，现代化交通运输体系取得了迅速发展，截至 2023 年，公路和水路交通固定资产投资总额达到 3.02 万亿元，全国桥梁总数达到 103.2 万座，交通运输领域已然成为科技前沿技术广泛应用的重要场景。

北斗卫星系统技术具有高精度、全天候、全球化、选点灵活、不受通视条件限制、高自动化等特点，在结构监测领域具有广泛的应用前景。《交通强国建设纲要》指出，要“强化交通基础设施养护，加强基础设施运行监测检测，提高养护专业化、信息化水平，增强设施耐久性和可靠性”，同时《国家综合立体交通网规划纲要》指出，要“全方位布局交通感知系统，部署关键部位主动预警设施，提升多维监测、精准管控、协同服务能力。”的要求。随着持续优化和功能扩展，北斗卫星系统技术将步成为公路交通领域不可或缺的技术支撑，为交通安全和基础设施的长期稳定性带来有力保障。中华人民共和国行业标准 JTG/T J21-2011《公路桥梁承载能力检测评定规程》对承载能力中桥梁变形的指标有明确的要求，把桥梁变形作为桥梁承载能力评定的重要内容之一。为确保公路工程试验检测数据的准确、可靠，《公路工程试验检测仪器设备检定/校准指导手册》（质监综字〔2013〕第 5 号）对《公路水运工程试验检测机构等级标准》中综合甲级、桥梁隧道工程专项及交通工程专项 3 个等级所涉及的仪器设备，明确了管理方式、依据标准及计量溯源方式。但是目前国内外尚缺少公路用北斗测量系统计量标准规范体系，规范的计量技术要求，保障测量结果的准确性和该类设备测量数据溯源性。建立此类设备的专门的计量技术规范迫在眉睫。



图 1 市场上不同型号的公路用北斗测量系统

## （二）制定意义

本规范制定的意义主要表现为：

（1）促进量值统一：校准规范可为计量机构提供有效的计量依据，将大大促进毫米波雷达的量值统一和准确可靠。

（2）规范产品生产：制定校准规范可以为生产商在产品设计和制造阶段提供校准依据，有助于规范产品生产行为，提高系统的质量和性能。

（3）方便用户使用：校准规范的制定可以为社会提供科学统一的校准方法，保障了不同厂家产品在计量性能方面的可比性，有利于用户客观认识备选产品，并做出理性选择。

## （三）国内外概况

北斗卫星导航系统始建于 20 世纪 90 年代，经过多年的发展，已经形成了覆盖全球的卫星导航网络。北斗系统的高精度、高可靠性和高安全性，能够满足公路基础设施监测中对定位精度和实时性的需求。特别是在复杂地形和城市环境中，北斗系统展现出了良好的抗干扰能力和信号稳定性。

在中国，随着经济的快速发展和城镇化进程的加快，公路基础设施的建设规模与日俱增。然而，传统的监测手段往往存在数据采集效率低、实时性差、维护成本高等问题。因此，采用北斗系统进行公路基础设施的监测，能够有效提升监测的效率与精度。目前，国内已经有多个省市在公路监测中引入了北斗技术实现了对桥梁、隧道等重要基础设施的实时监测，及时获取结构健康状态，为安全管理提供了重要的数据支持。然而，针对北斗系统在公路监测中的应用，尚缺乏统一的校准规范和标准，限制了其在更大范围内的推广与应用。

在国际上，公路基础设施监测技术也在不断发展。许多国家和地区已经采用全球导航卫星系统(GNSS)来进行公路监测，例如美国的GPS、俄罗斯的GLONASS、欧洲的Galileo等。各国普遍重视GNSS在基础设施监测中的应用，并逐渐形成了一系列标准和规范。例如，美国土木工程师学会(ASCE)和交通部(USDOT)均已发布了关于GNSS在交通基础设施监测中的应用指南，涵盖了从数据采集、处理到结果应用的各个环节。这些国际标准的建立，为我国在公路基础设施监测中引入北斗技术提供了宝贵的借鉴。

制定《公路基础设施北斗监测系统校准规范》具有重要的现实意义。一方面，校准规范可以为各级公路管理部门提供技术指导，确保监测数据的准确性和可靠性；另一方面，可以为相关科研机构和企业应用北斗技术时提供标准依据，促进技术的标准化和规范化发展。

### 三、编制过程

#### (一) 编制原则

本规范由全国公路专用计量器具计量技术委员会提出并归口，将致力于服务“安全、便捷、高效、绿色、经济”的交通运输高质量发展目标。项目组对国内外监测设备生产厂家、公路运营机构、交通建设业主单位、专业研究院所及高等院校等，就公路基础设施北斗监测系统的技术性能、应用场景和计量特性进行了广泛的调研与分析。在充分吸收国内外先进经验和技术成果的基础上，结合我国公路行业的实际需求，确定了系统的关键计量技术指标、校准条件及测试方法，最终形成本计量技术规范。其编制原则如下：

##### (1) 科学性原则

规范的编制将严格遵循计量学的科学理论和基本原理。所有技术条款的确定均建立在充分的国内外技术调研、深入的理论分析以及大量重复性试验验证的基础之上。确保所规定的系统性能指标、校准环境条件、所使用的标准器等级以及具体的校准方法和数据处理算法科学、合理、可靠，能够真实、客观地反映交通基础设施北斗监测系统的整体性能和技术状态。

## (2) 适用性原则

规范的编制将紧密结合我国公路基础设施监测的现状与发展趋势，充分考虑国内市场的普遍需求。校准流程的设计将力求清晰、明确，具备良好的可操作性，使各级计量技术机构、系统集成商和终端用户都能够依据本规范有效地开展校准工作，保证校准结果的一致性和可比性。

## (二) 工作进程

2025年2月规范制定计划下达，编制组立即着手进行任务分工，正式启动编写工作。首先进行资料搜集，汇总分析国内外与公路基础设施北斗监测系统相关的标准规程规范等；同时对相关试验设备的规程及标准规范进行研读，并初步进行必要的试验验证。

2025年4月，第一编写人组织编写组完成草案稿初稿撰写，并对试验验证方案及测量不确定度评定进行了进一步完善。

2025年9月，第一编写人组织编写组完成征求意见稿初稿，组织项目组进行内部讨论，明确需要进一步通过试验进行验证的校准条件、校准项目和校准方法等技术内容。

## (三) 人员分工

表1 主要起草人承担工作情况表

序号	姓名	单位	主要工作
1	彭璐	交通运输部公路科学研究所	负责规范的统筹
2	冯笑凡	交通运输部公路科学研究所	负责规范的总编写

3	唐煜	交通运输部公路科学研究所	负责试验方法研究及组织试验验证
4	韦韩	交通运输部公路科学研究所	负责试验方案建立
5	崔建军	中国计量科学研究院	负责计量方法的研究
6	兰春光	北京市建筑工程研究院有限责任公司	负责测量不确定度评定、附录编制
7	李宾宾	浙江大学	负责部分试验验证工作

#### 四、编制依据

JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

#### 五、主要技术内容的论据

按照 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》要求，本规范包括八个章节和四个附录：1 范围、2 引用文件、3 术语、4 概述、5 计量特性、6 校准条件、7 校准项目和校准方法、8 校准结果、9 复校时间间隔，以及附录 A 校准记录表格式、附录 B 校准证书内页格式 XXX 等。

##### （一）范围

本规范适用于公路基础设施北斗监测系统的校准。

##### （二）术语

编写组系统梳理了与卫星导航定位、时间频率、计量校准相关的现行国家标准、行业标准和技术规范。通过比对和筛选，最终引用了 JJF 1118-2004（GPS 接收机校准方法参考）、JJF 1403-2013（GNSS 接收机时间校准参考）、BD 420009-2015（北斗接收机通用技术要求核心依据）等关键文件，确保了本规范技术内容的兼

容性、一致性和权威性。

引用文件

本规范引用下列文件：

JJF 1118-2004 《全球定位系统(GPS)接收机(测地型和导航型)校准规范》

JJF 1180-2007 《时间频率计量名词术语及定义》

JJF 1403-2013 《全球导航卫星系统(GNSS)接收机(时间测量型)校准规范》

BD 420009-2015 《北斗/全球卫星导航系统(GNSS)测量型接收机通用规范》

### (三) 术语

编写组以 JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》为基础,参考 JJF 1118-2004、JJF 1403-2013 等同类规范中的术语定义,结合北斗监测系统的技术特点,对“RTK 测量”“定位参数”“方位角”“启动时间”等专有术语进行明确定义。

#### 3.1 RTK 测量 realtime kinematic

实时动态测量。

#### 3.2 定位参数 positioning parameter

公路基础设施北斗监测系统所记录的包括经度、纬度、大地高等位置信息。

#### 3.3 方位角 azimuth

由子午线方向的北端起,依顺时针方向到目标方向线之间的水平夹角。

#### 3.4 启动时间 start time

启动时间是指系统从加电到实现定位所需要的时间。

### (四) 概述

编写组经过广泛调研后提炼出北斗监测系统的通用工作原理和基本组成。概述部分的内容是对该系统的一个高度概括和共性描述,可帮助快速理解被校对象的实质。

公路基础设施北斗监测系统是利用北斗高精度定位技术的监测设备，支持公路、桥梁、隧道、边坡等基础设施的位移、变形等监测。可对卫星信号进行搜索并捕获到卫星信号，当成功捕获卫星信号后，对信号进行牵引和跟踪，并将基准信号译码得到卫星星历。在某一时刻同时接收到三颗以上卫星信号，测量出到每颗卫星的距离，解析导航电文得到该时刻卫星的空间坐标，解出位置坐标，进而计算变形，并可将相关信息上报至监测系统平台。公路基础设施北斗监测系统可以在公路、桥梁、隧道、边坡、大坝等公路基础设施监测中实现变形、位移监测。主要由微处理器、通信模块、北斗高精度定位模块等组成。被广泛应用于地质灾害监测、应急救援、军队协同作战等领域。

主要由天线单元、主机单元及电源三部分组成。主机单元主要包括微处理器、数据存储单元、卫星定位模块、信息采集模块、无线通信传输模块、实时时钟、数据通信接口等。结构见图 1。

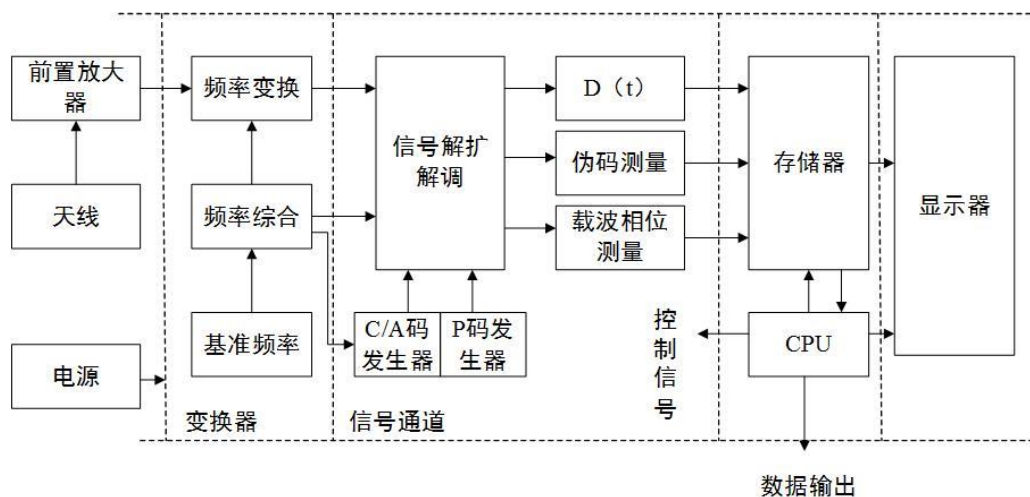


图1 公路基础设施北斗监测系统结构示意图

### (五) 计量特性

编写组经过与专家、业主单位、主管机构和生产厂家调研后，形成了以下的计量特性：

#### (1) 初始化时间

公路基础设施北斗监测系统初始化时间不大于 3min。

#### (2) 静态性能

水平位移误差优于 2.0mm+1ppm，竖向位移误差优于 3mm+1ppm，方位角最

大允许误差为： $\pm 1^\circ$ 。

### (3) 动态性能

采样频率不低于 20Hz，水平位移误差不大于 20mm，竖向位移误差不大于 50mm。线性度优于 0.2%。

### (4) 结构监测性能

#### a) 结构变形监测（桥梁）

精确度不超过 $\pm 0.1\%FS$ 。

#### b) 地表位移监测（边坡、隧道）

精确度不超过 $\pm 0.1\%FS$ 。

#### c) 结构的位移监测（隧道）

精确度不大于 0.5%FS。

## (六) 校准条件

编写组结合北斗信号和公路现场环境的特点，确定了环境条件和标准器清单，总结了现有计量技术机构和高等级实验室的成熟实践方案，将其转化为可操作的规范性要求，确保了校准条件的科学性和现场可实现性。

### (1) 环境条件

- a) 环境温度： $(-20\sim 60)^\circ C$ 。
- b) 相对湿度： $\leq 95\%$ 。
- c) 电源电压： $(220\pm 20)V$ 。
- d) 电源频率： $(50\pm 2)Hz$ 。
- e) 无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

### (2) 待校准设备

a) 公路基础设施北斗监测系统应有清晰的铭牌，内容包括仪器名称、型号、制造厂和出厂编号等。装置外表和内里应平整、光洁，不得有明显的划伤、缺损和锈蚀等。如有铅封装置，铅封装置应完好。

b) 公路基础设施北斗监测系统应具备自检功能。通过信号灯或显示屏明确表示当前主要状态。

c) 按照设定的时间间隔、指定的时刻点或者距离间隔，装置上报位置、速度、

方向等信息。

### (3) 校准设备

校准用计量标准器具见表 1。

表 1 校准用计量标准器具一览表

序号	标准器名称	技术要求
1	信号模拟器	信号功率：输出范围（-160 ~ -70）dBm； 最大允许误差：±0.5dB。 伪距精度：≤3mm（RMS）。 场景：可定义校准所需标准场景。
2	模拟基线场	标准[偏]差不得大于 1mm。
3	秒表	分辨力：0.01s； 日差最大允许误差：±0.5s/d。
4	转角位移台	角度分辨力：±0.2"； 温度范围：-40℃~80℃； 重复性：±0.05°。
5	动态校准和结构监测性能校准用组网	在能满足公路基础设施北斗监测系统观测条件的任意场地上，建立 10~15 个地面点(无须强制对中点)，点位之间距离在几十米至数百米范围分布，用高精度全站仪进行距离和坐标的确定。标准[偏]差按上述指标控制。

### (七) 校准项目和校准方法

编写组对每项校准方法都进行了重复性、复现性和可操作性验证。

初始化时间：采用信号模拟器法，是在实验室环境下复现现场条件、排除干扰因素的最可靠方法。

静态性能：借鉴 JJF 1118-2004 的基线比对思想，但创造性地提出使用信号模拟器仿真标准场景的方法，解决了现场基线场无法覆盖所有用户、受环境影响大的难题，提高了校准的效率和普适性。

动态/结构监测性能：该方法来源于编写组与传感器校准领域的专家共同研

讨，将转角位移台这一高精度标准器引入北斗监测系统的动态性能校准，设计了详细的比对的流程，确保了动态参数校准的计量溯源性。

### (1) 初始化时间

使用信号模拟器，仿真一个静态位置，设置输出功率电平为公路基础设施北斗监测系统使用功率，且不考虑电离层、对流层及钟差影响。在终端成功单点定位后，同时接收模拟器仿真的卫星信号和基准站差分数据，记录从获得差分数据到获得固定解的时间为初始化时间。

### (2) 静态性能

使用信号模拟器校准，仪器连接如图2。

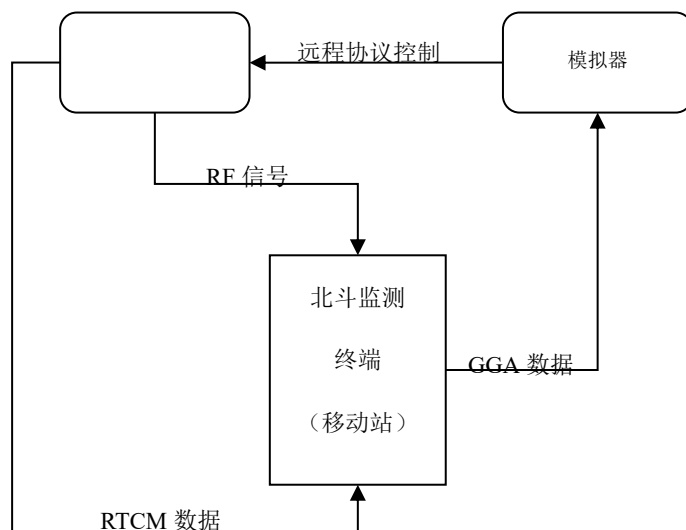


图2 使用信号模拟器法校准示意图

打开模拟器，开启定位偏差校准场景（可见卫星不少于6颗，几何精度因子小于2.5，卫星均匀分布在天顶上空，信号功率按厂家接口电平指标，仿真时间60min），模拟器开始仿真。记录仿真标准位置值 $(x_0, y_0, z_0)$ 。

公路基础设施北斗监测系统终端开机，记录终端的定位数据值 $(x, y, z)$ （终端位置更新率应不低于1Hz）。

15min后，停止记录。根据式(1)计算终端定位信息测量值 $x_i, y_i, z_i (i=1, \dots, n)$ ， $n$ 为测量次数)的平均值 $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ ，由式(2)、(3)分别计算终端的水平定位偏

差  $\delta_{hp}$  和竖向定位偏差  $\delta_{vp}$ 。

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad \bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i \quad (1)$$

$$\delta_{hp} = \sqrt{(\bar{x} - x_0)^2 + (\bar{y} - y_0)^2} \quad (2)$$

$$\delta_{vp} = \sqrt{(\bar{z} - z_0)^2} \quad (3)$$

式中：

$\delta_{hp}$  ——水平定位偏差，单位 mm；

$\delta_{vp}$  ——垂直定位偏差，单位 mm；

$x_0, y_0, z_0$  ——模拟器仿真标准位置值；

$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$  ——公路基础设施北斗监测系统位置测量值  $x_i, y_i, z_i$  ( $i=1, \dots, n$ ,  $n$ 为测量次数) 的平均值。

方位角误差采用信号模拟器模拟 3 个位移信息，记录公路基础设施北斗监测系统上报的方位角数据，取 3 次数据的平均值作为实测值，以实测值与模拟的标准方位角的差值作为方位角误差。按式 (4) 计算方位角差值作为方位角误差校准结果。

$$\Delta\varphi = \varphi_d - \varphi_m \quad (4)$$

式中： $\Delta\varphi$  ——公路基础设施北斗监测系统方位角误差，( $^\circ$ )；

$\varphi_d$  ——公路基础设施北斗监测系统实测方位角，( $^\circ$ )；

$\varphi_m$  ——信号模拟器模拟标准方位角，( $^\circ$ )。

### (3) 动态性能

a) 启动并调试转角位移台；

b) 每隔 10 分钟测量并记录 3 个动态水平位移值，取算术平均值作为本次测量结果，记为  $d_{Ri}$ ，重复测量 6 次；同步测量公路基础设施北斗监测系统的动态水平位移值，记为  $d_{Si}$ ；

c)按照公式(1)计算公路基础设施北斗监测系统动态水平位移的测量示值误差 $\Delta d_i$ ;

$$\Delta d_i = d_{Si} - d_{Ri} \quad (1)$$

式中:

$\Delta d_i$ —公路基础设施北斗监测系统动态位移测量的示值误差,单位为: mm;

$d_{Si}$ —公路基础设施北斗监测系统动态位移测量值,单位为: mm;

$d_{Ri}$ —转角位移台输出的动态位移值,单位为: mm。

d)重复 a)-c)步骤,采用相同方法对公路基础设施北斗监测系统的动态竖向位移示值误差进行计算。

#### (4) 结构监测性能

依托动态校准和结构监测性能校准用组网搭建公路基础设施模拟场景,针对不同量程需求在不同环境下按 7.3 步骤进行结构监测性能指标的校准。

### (八) 校准结果

编写组设计了规范化的校准记录和证书模板(附录 A、B),旨在统一全国范围内校准活动的输出格式,保证数据的完整性和可比性。不确定度评定示例(附录 C)是基于编写组多次实测数据的分析结果,选取了最具代表性的项目进行讲解,为校准人员提供实际、可参考的评定模型

### (九) 复校时间间隔

编写组调研了多家公路管养单位对监测系统的维护周期和经验,分析了设备在野外恶劣环境下的可靠性数据,最终给出了“复校时间间隔建议为 12 个月”的结论。

## 六、其他应予说明的事项

无。