



湖北省地方计量技术规范

JJF (鄂) xxxx-20xx

监测型 GNSS 接收机校准规范

Calibration Specification for Monitoring GNSS Receivers

(送审稿)

20XX - XX-XX 发布

20XX - XX - XX 实施

湖北省市场监督管理局 发布

监测型 GNSS 接收机 校准规范

JJF (鄂) XXXX—20XX

Calibration Specification
for Monitoring GNSS Receivers

归口单位：湖北省市场监督管理局

主要起草单位：武汉地震计量检定与测量工程研究院

参加起草单位：武汉地震计量检定与测量工程研究院

开普勒卫星科技（武汉）有限公司

武汉合众思壮空间信息有限公司

武汉梦芯科技有限公司

本规范委托武汉地震计量检定与测量工程研究院负责解释

本规范主要起草人：

汪洋舰（武汉地震计量检定与测量工程研究院）

彭友志（武汉地震计量检定与测量工程研究院）

刘海波（武汉地震计量检定与测量工程研究院）

参加起草人：

洪 卫（武汉地震计量检定与测量工程研究院）

赵齐乐（开普勒卫星科技（武汉）有限公司）

刘洪智（武汉合众思壮空间信息有限公司）

马 骏（武汉梦芯科技有限公司）

目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语.....	(1)
4 概述.....	(1)
5 计量特性.....	(1)
5.1 准实时位移测量稳定性.....	(1)
5.2 实时位移测量重复性.....	(2)
5.3 实时位移测量分辨力.....	(2)
5.4 位移测量误差.....	(2)
6 校准条件.....	(2)
6.1 环境条件.....	(2)
6.2 测量标准及其他设备.....	(2)
7 校准项目和校准方法.....	(3)
7.1 准实时位移测量稳定性.....	(3)
7.2 实时位移测量重复性.....	(3)
7.3 位移测量分辨力.....	(4)
7.4 位移测量误差.....	(4)
8 校准结果.....	(5)
9 复校时间间隔.....	(6)
附录 A 监测型 GNSS 接收机校准原始记录推荐格式.....	(7)
附录 B 校准证书内页格式.....	(10)
附录 C 监测型 GNSS 接收机测量不确定度评定示例.....	(11)

引 言

JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》、JJF1059.2—2012《用蒙特卡洛法评定测量不确定度》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列文件。

本规范为首次发布。

监测型 GNSS 接收机校准规范

1 范围

本规范适用于监测型 GNSS 接收机的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 39267—2020 北斗卫星导航术语

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范。

3 术语

3.1 准实时位移测量 near real-time displacement measurement

测量多历元观测值，输出数据处理后的位移值。

3.2 实时位移测量 real-time displacement measurement

实时测量并输出当前历元的位移值。

3.3 准实时位移测量稳定性 near real-time displacement measurement stability

在一个导航卫星轨道运行周期内，监测型 GNSS 接收机保持其准实时位移测量恒定的能力。

4 概述

监测型 GNSS 接收机（以下简称“接收机”），是一种固定在待监测点上连续运行的 GNSS 终端设备，采用伪距和载波相位观测值进行相对定位，给出实时或准实时位移量，主要用于大坝、边坡、矿山、建筑、桥梁、铁路等安全监测领域。

接收机标称测量标准差表示为

$$a + b \times D \quad (1)$$

式中：

a ——标称固定误差，mm；

b ——标称比例误差，mm/km；

D ——被测点间距离，km。

5 计量特性

5.1 准实时位移测量稳定性

准实时水平位移测量稳定性不大于接收机静态水平方向 a ，准实时垂直位移测量稳定性不大于接收机静态垂直方向 a 。

5.2 实时位移测量重复性

实时水平位移测量重复性不大于接收机动态水平方向 a ，实时垂直位移测量重复性不大于接收机动态垂直方向 a 。

5.3 实时位移测量分辨力

实时水平位移测量分辨力不大于接收机动态水平方向 a ，实时垂直位移测量分辨力不大于接收机动态垂直方向 a 。

5.4 位移测量误差

准实时水平位移测量误差不超过接收机静态水平方向 a ，准实时垂直位移测量误差不超过接收机静态垂直方向 a ，实时水平位移测量误差不超过接收机动态水平方向 a ，实时垂直位移测量误差不超过接收机动态垂直方向 a 。

注：校准工作不判断合格与否，上述计量特性指标仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

1) 环境温度：(-20~+50) °C；

2) 相对湿度：不大于 90%；

3) 校准应在被校仪器的额定工作条件下进行，卫星星座 PDOP \leq 4，仪器不应受到强磁场、电场、振动等干扰。

6.2 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备技术指标见表 2，允许使用满足测量不确定度要求的其他测量标准及设备进行校准。

表 2 测量标准及其他设备技术指标

序号	设备名称	技术指标
1	位移平台	水平向和垂直向测量范围不小于 50 mm； MPE: ± 0.1 mm。
2	GNSS 基线	长度 (0~24) m: $U \leq 1.0$ mm($k=2$)； 高差 (0~2) m: $U \leq 1.0$ mm($k=2$)。
3	参考站 GNSS 接收机	天线相位中心一致性不大于 1 mm； 静态水平测量标准差不大于 2.5 mm $+0.5 \times 10^{-6}D$ ； 静态高差测量标准差不大于 5.0 mm $+0.5 \times 10^{-6}D$ 。

		6D ; 其中 D 为基线长度, km。
--	--	--------------------------------

7 校准项目和校准方法

7.1 准实时位移测量稳定性

将被测接收机天线安置在 GNSS 基线上, 设置为准实时测量模式, 截止高度角为 15° , 初始化后以 1 h 数据输出间隔连续采集 15 h 的数据, 按式 (2)、(3) 计算准实时水平位移测量稳定性和准实时垂直位移测量稳定性。

$$\sigma_{sh} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n})^2 + \sum_{i=1}^n (N_i - \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{n})^2}{n-1}} \quad (2)$$

$$\sigma_{sv} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{n})^2}{n-1}} \quad (3)$$

式中:

σ_{sh} ——准实时水平位移测量稳定性, mm;

σ_{sv} ——准实时垂直位移测量稳定性, mm;

E_i ——第 i 个历元东方向位移测量值, mm;

N_i ——第 i 个历元北方向位移测量值, mm;

H_i ——第 i 个历元高方向位移测量值, mm;

n ——测量值个数。

7.2 实时位移测量重复性

将被测接收机天线安置在 GNSS 基线上, 设置为实时测量模式, 截止高度角为 15° , 初始化后以 1 s 位移输出间隔采集 10 个历元的数据, 按式 (4)、(5) 计算水平和垂直方向的实时位移测量重复性:

$$s_{dh} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E'_i - \frac{\sum_{i=1}^n E'_i}{n})^2 + \sum_{i=1}^n (N'_i - \frac{\sum_{i=1}^n N'_i}{n})^2}{n-1}} \quad (4)$$

$$s_{dv} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H'_i - \frac{\sum_{i=1}^n H'_i}{n})^2}{n-1}} \quad (5)$$

式中:

s_{dh} ——实时水平位移测量重复性, mm;

s_{dv} ——实时垂直位移测量重复性, mm;

E'_i ——第 i 个历元东方向位移测量值, mm;

N'_i ——第 i 个历元北方向位移测量值, mm;

H'_i ——第 i 个历元高方向位移测量值, mm;

n ——测量值个数。

7.3 位移测量分辨力

将被测接收机固定在位移平台上, 位移平台和接收机调至水平, 设置接收机为实时测量模式, 截止高度角为 15° , 采样间隔 1 s。从位移平台的零点位置开始, 沿着水平方向移动接收机 10 次, 每次移动距离为 5.0 mm, 并记录每次位移完成 1 s 后 10 次观测值的平均值作为测量值。从位移平台的零点位置开始, 沿着垂直方向移动接收机 10 次, 每次移动距离为 5 mm, 并记录每次位移完成 1 s 后 10 次观测值的平均值作为测量值。按式 (6)、(7) 计算实时水平位移测量分辨力和实时垂直位移测量分辨力。准实时位移测量分辨力可参照本方法进行校准。

$$m_{dh} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} \left(\left(\sqrt{E_i'^2 + N_i'^2} - \frac{\sum_{i=1}^{10} \sqrt{E_i'^2 + N_i'^2}}{10} \right) - \left(d_i - \frac{\sum_{i=1}^{10} d_i}{10} \right) \right)^2}{10}} \quad (6)$$

$$m_{dv} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} \left(\left(H_i' - \frac{\sum_{i=1}^{10} H_i'}{11} \right) - \left(d_i - \frac{\sum_{i=1}^{10} d_i}{11} \right) \right)^2}{10}} \quad (7)$$

$$d_i = i - 1 \quad (8)$$

式中:

m_{sh} ——实时水平位移测量分辨力, mm;

m_{sv} ——实时垂直位移测量分辨力, mm;

E'_i ——第 i 次位移后的东位移测量值, mm;

N'_i ——第 i 次位移后的北位移测量值, mm;

H'_i ——第 i 次位移后的高位移测量值, mm;

d_i ——位移平台第 i 次移动后与零点的距离, mm。

7.4 位移测量误差

7.4.1 准实时位移测量误差

将被测接收机天线安置在 GNSS 基线上，设置接收机为准实时测量模式，截止高度角为 15° ，接收机位移结果输出间隔为 1 h，初始化后将被测接收机从 GNSS 基线一端移动至另一个端，记录 1 h 后 15 次观测值的平均值作为测量值。按式 (9)、(10) 计算准实时水平位移测量误差和准实时垂直位移测量误差。

$$\Delta d_h = \sqrt{E^2 + N^2} - \sqrt{d^2 - d_v^2} \quad (9)$$

$$\Delta d_v = H - d_v \quad (10)$$

式中：

Δd_h ——水平位移测量误差，mm；

E ——接收机东位移值，mm；

N ——接收机北位移值，mm；

d ——GNSS 基线长度标准值，mm；

d_v ——GNSS 基线高差标准值，mm；

Δd_v ——垂直位移测量示值误差，mm；

H ——接收机高位移值，mm。

7.4.2 实时位移测量误差

将接收机设置为实时位移测量模式，参照 7.4.1 的方法，按公式 (9)、(10) 计算实时水平位移测量误差和实时垂直位移测量误差。

8 校准结果

校准结果应在校准证书上反映，校准证书至少应包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 送校单位的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期和发布日期；
- h) 如果与校准结果的有效性或应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；

- i) 对校准所依据的技术规范的标识, 包括名称及代号;
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- k) 校准环境的描述;
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明;
- m) 对校准规范的偏离的说明;
- n) 校准证书签发人的签名;
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明;
- p) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书的声明。

校准原始记录格式见附录 A, 校准证书内页格式见附录 B。

9 复校时间间隔

送校单位可根据监测型 GNSS 接收机的实际使用情况自主决定复校时间间隔, 建议一般不超过 1 年。

附录 A

监测型 GNSS 接收机校准原始记录推荐格式

委托单位		设备名称			
型号规格		出厂编号			
生产厂商		校准依据			
校准日期		校准地点			
校准员		核验员			
校准环境					
校准使用主要标准器					
设备名称	型号/编号	测量范围	不确定度/准确 度等级/最大允 许误差	证书编号/ 溯源机构	证书有效期

1、准时实时位移测量稳定性

单位：mm

序号	北	东	高
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

13			
14			
15			
准实时位移测量稳定性	水平：	垂直：	

2、实时位移测量重复性

单位：mm

序号	北(mm)	东(mm)	高(mm)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
实时位移测量重复性	水平：		垂直：

3、位移测量分辨力

单位：mm

序号	二维位移平台水平和垂直移动距离 d_i	北	东	高
1				
2				
3				
4				
5				
6				

7				
8				
9				
10				
分辨力		水平:	垂直:	
扩展不确定度($k=2$)		水平:	垂直:	

4、位移测量误差

单位: mm

序号	北	东	高
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
位移测量误差	水平:		垂直:
扩展不确定度($k=2$)	水平:		垂直:

附录 B

校准证书内页格式

证书编号：

校准环境条件	温 度： ____℃ 相对湿度： ____%	地点： ____ 其他： ____	
序号	校准项目	校准结果	测量不确定度

校准员： ____

核验员： ____

附录 C

监测型 GNSS 接收机测量不确定度评定示例

C.1 水平位移测量分辨力测量不确定度评定

按照 7.3 的方法，测量模型呈现明显的非线性特征，采用 MCM 法评定校准结果的不确定度。

C.1.1 测量模型

$$m_{dh} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} \left(\left(\sqrt{E_i'^2 + N_i'^2} - \frac{\sum_{i=1}^{10} \sqrt{E_i'^2 + N_i'^2}}{10} \right) - \left(d_i - \frac{\sum_{i=1}^{10} d_i}{10} \right) \right)^2}{10}} \quad (C.1)$$

$$d_i = i - 1$$

式中：

m_{dh} ——实时水平位移测量分辨力；

E_i' ——第 i 次位移后的东位移测量值；

N_i' ——第 i 次位移后的北位移测量值；

d_i ——位移平台第 i 次水平移动后与零点的距离。

C.1.2 不确定度分量的分析

C.1.2.1 接收机实时位移测量重复性引入的标准不确定度

根据本规范 7.3 校准方法重复测量 10 次取平均值作为测量结果，认为北位移和东位移的不确定度相等，对单次东位移做重复性测量，测量结果见表 C.1。

表 C.1 实时水平位移测量数据表

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	测量重复性
东位移(mm)	1.0	-0.7	-1.0	0.9	-0.9	0.4	0.4	1.1	-0.6	-0.9	0.87
北位移(mm)	-1.0	0.8	-0.7	0.6	0.9	-0.9	-0.8	0.8	0.8	-0.9	0.87

由测量重复性引入的不确定度：

$$u(E) = \frac{0.75}{\sqrt{10}} = 0.28 \text{ mm}$$

$$u(N) = \frac{0.75}{\sqrt{10}} = 0.28 \text{ mm}$$

C.1.2.2 位移显示分辨力的标准不确定度

接收机显示分辨力为 0.1 mm，其半宽为 0.05 mm，服从均匀分布，由分辨力引入的位移测量的不确定度为 0.029 mm。由于测量重复性引入的不确定度大于显示分辨力引入的不确定度，因此由接收机位移测量引入的标准不确定度

$u(E) = 0.28 \text{ mm}, u(N) = 0.28 \text{ mm}$ ，服从正态分布。

C.1.2.3 位移平台示值引误差入的标准不确定度

位移平台最大允许误差为 0.1 mm，假设服从均匀分布,引入的标准不确定度 $u(d_i) = 0.058 \text{ mm}$ 。

C.1.3 蒙特卡洛试验数

样本试验数 M 的取值为 10^6 。

C.1.4 计算模型值

随机生成服从上述分布的误差，将其加入由公式 B.1 计算得到的观测值作为起算值。

每组样本输入量个数为 30 个，按照数学模型计算 M 个 m_{dh} 。

C.1.5 输出量及标准不确定度

输出量的均值：

$$\tilde{m}_{dh} = \frac{\sum_{i=1}^M m_{dhi}}{M} = 0.27 \text{ mm}$$

标准不确定度：

$$u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M (m_{dhi} - \tilde{m}_{dh})^2}{M - 1}} = 0.06 \text{ mm}$$

C.1.6 扩展不确定度 U

M 个 m_{dh} 模拟值服从正态分布，取包含因子 $k = 2$ ，则：

$$U = k \cdot u = 2 \times 0.06 \text{ mm} = 0.2 \text{ mm}$$

C.2 垂直位移测量分辨力测量不确定度评定

按照 7.3 的方法，测量模型呈现明显的非线性特征，采用 MCM 法评定校准结果的不确定度。

C.2.1 测量模型

$$m_{dv} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} \left(\left(H'_i - \frac{\sum_{i=1}^{10} H'_i}{10} \right) - \left(d_i - \frac{\sum_{i=1}^{10} d_i}{10} \right) \right)^2}{10}} \quad (C.2)$$

$$d_i = i - 1$$

式中:

m_{dv} ——实时垂直位移测量分辨率;

H'_i ——第 i 次位移后的高位移测量值;

d_i ——位移平台第 i 次水平移动后与零点的距离。

C.2.2 不确定度分量的分析

C.2.2.1 接收机实时垂直位移测量重复性引入的标准不确定度

根据本规范 7.1 校准方法重复测量 10 次取平均值作为测量结果, 测量结果见表 C.2。

表 C.2 实时垂直位移测量数据表

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	测量重复性
高位移(mm)	2.2	2.2	2.2	-0.8	-1.8	1.2	-1.8	-2.8	-0.8	0.2	1.87

由测量重复性引入的不确定度:

$$u(H) = \frac{1.87}{\sqrt{10}} = 0.59 \text{ mm}。$$

C.2.2.2 位移显示分辨率的标准不确定度

接收机显示分辨力为 0.1 mm, 其半宽为 0.05 mm, 服从均匀分布, 由分辨力引入的位移测量的不确定度为 0.029 mm。由于测量重复性引入的不确定度大于显示分辨力引入的不确定度, 因此由接收机位移测量引入的标准不确定度 $u(H) = 0.59 \text{ mm}$, 服从正态分布。

C.2.2.3 位移平台示值引误差入的标准不确定度

位移平台最大允许误差为 0.1 mm, 假设服从均匀分布, 引入的标准不确定度 $u(d_i) = 0.058 \text{ mm}$ 。

C.2.3 蒙特卡洛试验数

样本试验数 M 的取值为 10^6 。

C.2.4 计算模型值

随机生成服从上述分布的误差, 将其加入由公式 B.1 计算得到的观测值作为起算值。

每组样本输入量个数为 20 个，按照数学模型计算 M 个 m_{dv} 。

C.2.5 输出量及标准不确定度

输出量的均值：

$$\tilde{m}_{dv} = \frac{\sum_{i=1}^M m_{dvi}}{M} = 0.55 \text{ mm}$$

标准不确定度：

$$u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M (m_{dvi} - \tilde{m}_{dv})^2}{M - 1}} = 0.13 \text{ mm}$$

C.2.6 扩展不确定度 U

M 个 m_{dv} 模拟值服从正态分布，取包含因子 $k = 2$ ，则：

$$U = k \cdot u = 2 \times 0.13 \text{ mm} = 0.3 \text{ mm}$$

C.3 准实时水平位移测量误差测量不确定度评定

采用长度 3058.8 mm、高差 1.6 mm 的 GNSS 基线作为标准器，按照 7.4 的方法，对准实时水平位移测量误差进行校准。

C.3.1 测量模型

$$\Delta d_h = \sqrt{E^2 + N^2} - \sqrt{d^2 - d_v^2} \quad (\text{C.3})$$

式中：

Δd_h ——水平位移测量误差；

E ——接收机东位移值；

N ——接收机北位移值；

d ——GNSS 基线长度标准值；

d_v ——GNSS 基线高差标准值。

C.3.2 方差和灵敏系数

输入量 E 、 N 、 d 、 d_v 互不相关，灵敏系数 $c(E) = \frac{\partial(\Delta d_h)}{\partial(E)} = \frac{E}{\sqrt{E^2 + N^2}}$ ， $c(N) = \frac{\partial(\Delta d_h)}{\partial(N)} = \frac{N}{\sqrt{E^2 + N^2}}$ ， $c(d) = \frac{\partial(\Delta d_h)}{\partial(d)} = -\frac{d}{\sqrt{d^2 - d_v^2}}$ ， $c(d_v) = \frac{\partial(\Delta d_h)}{\partial(d_v)} = \frac{d_v}{\sqrt{d^2 - d_v^2}}$ ，认为

$u(E) = u(N) = u(x)$ ， x 代表单方向的观测值，则：

$$u_c = \sqrt{c^2(E)u^2(E) + c^2(N)u^2(N) + c^2(d)u^2(d) + c^2(d_v)u^2(d_v)}$$

$$= \sqrt{u^2(x) + \frac{d^2 u^2(d) + d_v^2 u^2(d_v)}{d^2 - d_v^2}} \quad (\text{C.4})$$

C.3.3 不确定度分量的确定

C.3.3.1 接收机引入的标准不确定度 $u(x)$

C.3.3.1.1 准实时水平位移测量稳定性引入的标准不确定度 $u_1(x)$

根据本规范 7.1 校准方法测量 15 个观测值，测量结果为-2.1、0.2、0.1、0.7、-1、0.4、0.5、-0.2、-1.3、0.4、1、-0.8、0.8、1.2、-1.0，单位：mm，计算位移测量稳定性为 1.0 mm，引入的不确定度：

$$u_1(x) = \frac{1.0}{\sqrt{15}} = 0.25 \text{ mm}。$$

C.3.3.1.2 接收机对中误差引入的标准不确定度 $u_2(x)$

接收机对中误差为 0.1mm，假设为均匀分布，且接收机在 GNSS 基线两端对中误差不相关，引入的标准不确定度：

$$u_2(x) = \sqrt{\left(\frac{0.1}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.1}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0.08 \text{ mm}$$

$$u(x) = \sqrt{u_1^2(x) + u_2^2(x)} = 0.26 \text{ mm}$$

C.3.3.2 GNSS 基线长度引入的标准不确定度 $u(d)$

GNSS 基线长度的扩展不确定度 $U=1.0 \text{ mm}$ ， $k=2$ ，则：

$$u(d) = \frac{1.0 \text{ mm}}{2} = 0.5 \text{ mm}$$

C.3.3.3 GNSS 基线高差引入的标准不确定度 $u(d_v)$

GNSS 基线高差的扩展不确定度 $U=1.0 \text{ mm}$ ， $k=2$ ，则：

$$u(d_v) = \frac{1.0 \text{ mm}}{2} = 0.5 \text{ mm}$$

C.3.4 合成标准不确定度 u_c

$$u_c = \sqrt{u^2(x) + \frac{d^2 u^2(d) + d_v^2 u^2(d_v)}{d^2 - d_v^2}} = 0.56 \text{ mm}$$

C.3.5 位移测量误差扩展不确定度 U

取包含因子 $k=2$ ，则：

$$U = k \cdot u_c = 1.1 \text{ mm}, \quad k = 2$$

C.4 准实时垂直位移测量误差测量不确定度评定

采用长度 3058.8 mm、高差 1.6 mm 的 GNSS 基线作为标准器，按照 7.4 的方法，对准实时水平位移测量误差进行校准。

C.4.1 测量模型

$$\Delta d_v = H - d_v \quad (\text{C.5})$$

式中：

Δd_v ——垂直位移测量误差；

H ——接收机高位移值；

d_v ——GNSS 基线高差标准值。

C.4.2 方差和灵敏系数

输入量 H 、 d_v 互不相关，灵敏系数 $c(H) = \frac{\partial(\Delta d_v)}{\partial(H)} = 1$ ， $c(d_v) = \frac{\partial(\Delta d_v)}{\partial(d_v)} = -1$ ，

$$u_c = \sqrt{c^2(H)u^2(H) + c^2(d_v)u^2(d_v)} = \sqrt{u^2(H) + u^2(d_v)} \quad (\text{C.6})$$

C.4.3 不确定度分量的确定

C.4.3.1 准实时垂直位移测量稳定性引入的标准不确定度 $u(H)$

根据本规范 7.1 校准方法测量 15 个观测值，测量结果为 0、1.4、-1.5、1.5、-1.5、1.7、-1.3、1.4、-2.8、1.5、1.6、-1.9、0.2、-1.7、0.6，单位：mm，计算位移测量稳定性为 1.6 mm，引入的不确定度：

$$u(H) = \frac{1.6}{\sqrt{15}} = 0.41 \text{ mm}$$

C.4.3.2. GNSS 基线高差引入的标准不确定度 $u(d_v)$

GNSS 基线高差的扩展不确定度 $U = 1.0 \text{ mm}$ ， $k=2$ ，则：

$$u(d_v) = \frac{1.0 \text{ mm}}{2} = 0.5 \text{ mm}$$

C.4.4 合成标准不确定度 u_c

$$u_c = \sqrt{u^2(H) + u^2(d_v)} = 0.65 \text{ mm}$$

C.4.5 位移测量误差扩展不确定度 U

取包含因子 $k = 2$ ，则：

$$U = k \cdot u_c = 1.3 \text{ mm}, \quad k = 2$$