山 西 省 地 方 计 量 技 术 规 范

JJF（晋） 86—2024

全球导航卫星系统（GNSS）网络 RTK 接收机校准规范

Calibration Specification for GNSS Network RTK Reiceiver

2024-04-25 发布　　2024-06-25 实施

山西省市场监督管理局 发 布

全球导航卫星系统（GNSS）网络 RTK 接收机校准规范

JJF（晋） 86—2024

Calibration Specification
for GNSS Network RTK Reiceiver

归 口 单 位：山西省市场监督管理局

起 草 单 位：山西省检验检测中心（山西省标准计量技术研究院）
山西省测绘地理信息院

本规范委托山西省检验检测中心（山西省标准计量技术研究院）负责解释

本规范主要起草人：

冯香兰（山西省检验检测中心（山西省标准计量技术研究院））

侯建明（山西省测绘地理信息院）

晏　浩（山西省检验检测中心（山西省标准计量技术研究院））

李彩霞（山西省测绘地理信息院）

岩君芳（山西省检验检测中心（山西省标准计量技术研究院））

参加起草人：

李　涛（山西省检验检测中心（山西省标准计量技术研究院））

冯瑞琪（山西省检验检测中心（山西省标准计量技术研究院））

目　录

引 言 II
1　范围 1
2　引用文件 1
3　术语 1
4　概述 2
5　计量特性 3
6　校准条件 3
6.1　环境条件 3
6.2　测量标准及设备 3
7　校准项目与校准方法 4
7.1　对中误差 4
7.2　RTK 初始化时间 4
7.3　RTK 测量精度 4
7.4　RTK 测量重复性 5
8　校准结果的表达 5
8.1　校准记录 5
8.2　校准结果 5
9　复校时间间隔 6
附录 A　校准原始记录格式示例 7
附录 B　校准证书内页格式 10
附录 C　RTK 测量精度的不确定度评定 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》和 JJF 1059.1—2012 《测量不确定度评定与表示》共同构成本规范制定工作的基础性系列技术规范。

本规范在制定中主要参考并引用了国家校准规范 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》、型式评价大纲 JJF 1347—2012 《全球定位系统（GPS）接收机（测地型）型式评价大纲》、测绘行业检定规程 JJG（测绘） 2301—2013 《全球导航卫星系统（GNSS）测量型接收机 RTK 检定规程》、国家标准 GB/T 18314—2009 《全球定位系统（GPS）测量规范》、国家标准 GB/T 39616—2020 《卫星导航定位基准站网络实时动态测量（RTK）规范》、军用标准 GJB 6564—2008 《全球定位系统（GPS）接收机检定规程》、中国第二代卫星导航系统重大专项标准 BD 420023—2019 《北斗/全球卫星导航系统（GNSS）RTK 接收机通用规范》中相关条款及术语。

本规范为首次制定。

全球导航卫星系统（GNSS）网络 RTK 接收机校准规范

1 范围

本规范适用于各种采用实时动态（Real-Time Kinematic，RTK）载波相位差分技术并支持无线网络传输修正信息的全球导航卫星系统（Global Navigation Satellite System，GNSS）接收机（以下简称网络 RTK 接收机）的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

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

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 1347—2012 全球定位系统（GPS）接收机（测地型）型式评价大纲

JJG（测绘） 2301—2013 全球导航卫星系统（GNSS）测量型接收机 RTK 检定规程

GB/T 39616—2020 卫星导航定位基准站网络实时动态测量（RTK）规范

BD 420023—2019 北斗/全球卫星导航系统（GNSS）RTK 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

下列术语和定义适用于本规范。

3.1 全球导航卫星系统（Global Navigation Satellite System，GNSS）

在全球范围提供定位、导航和授时服务的卫星系统的统称。如全球定位系统（GPS）、格洛纳斯导航卫星系统（GLONASS）、伽利略导航卫星系统（GSNS）和北斗卫星导航系统（BDS）等。

3.2 实时动态测量（Real-Time Kinematic，RTK）

GNSS 相对定位技术的一种，主要通过基准站和流动站之间的实时数据链路和载波相对定位快速解算技术，实现高精度动态相对定位。

3.3 基准站（reference station）

对卫星导航信号进行长期连续观测，获取观测数据，并通过通信设施将观测数据实时或者定时传送至数据中心的地面已知坐标的固定观测站。

3.4 流动站（roving station）

在基准站的一定范围内流动作业的接收机所设立的测站。

3.5 网络 RTK（network RTK）

由数据处理中心对覆盖在一定范围内多个基准站的同步观测数据进行处理，以这些基准站中的一个或多个为基准生成差分数据并通过网络播发，该区域内的流动站接收卫星信号和差分信号，实现实时动态定位（RTK）的技术。

3.6 截止高度角（elevation masking angle）

可用于观测卫星数据，接收卫星数据的最低角度。

3.7 位置精度衰减因子（Positional Dilution of Precision，PDOP）

卫星几何分布对用户三维位置测定精度影响的因子。

3.8 固定解（fixed solution）

卫星载波相位观测值的整周模糊度固定为整数时得到的坐标值。

3.9 初始化（initialiazation）

RTK 接收机从开机到获得固定解的过程。

4 概述

测量原理：在一个区域内建立多个（一般为三个或三个以上）GNSS 基准站，对该区域构成网状覆盖，并以这些基准站中的一个或多个为基准计算和发播 GNSS 改正信息，在用户站（流动站）附近生成虚拟差分源，提供差分数据。从而对该地区内的 GNSS 用户进行实时定位。

网络 RTK 精度高且使用简便，在测绘、电力、交通、自然资源、地质、水利水电、农业、建筑等各行业都有广泛应用。

网络RTK是由基准站网，数据处理中心和数据通信线路组成的，测量原理如图1所示。

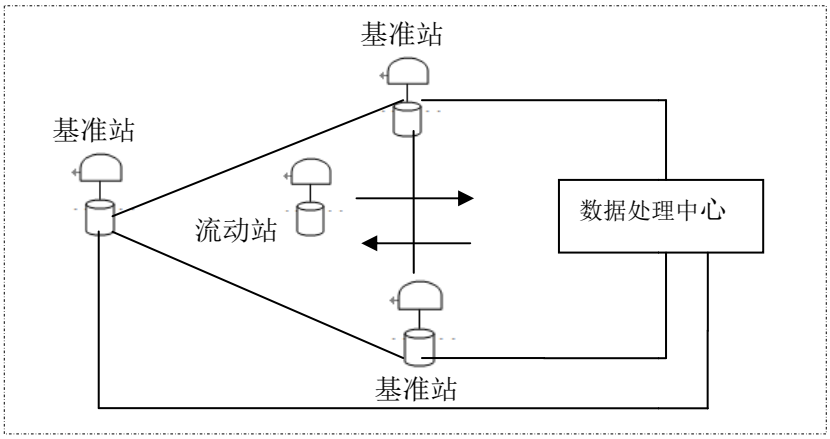

图 1 网络 RTK 测量原理

5 计量特性

5.1 对中误差

网络 RTK 仪器对中误差应不大于 1 mm。

5.2 RTK 初始化时间

RTK 初始化时间不大于 3 min。

5.3 RTK 测量精度

RTK 测量精度应不大于 2 倍 RTK 水平方向标称标准差σ_H。

RTK 接收机标称标准差为（$a + b \times D$），RTK 水平方向标称标准差为

$$\sigma_H = a_H + b_H \times D$$

式中：

σ_H——RTK 水平方向标称标准差，mm；

a_H——RTK 水平方向标称固定误差，mm；

b_H——RTK 水平方向标称比例误差，mm / km；

D——被测点间距离，km（不足 500 m 按 500 m 计算）。

5.4 RTK 测量重复性

RTK 测量重复性应不大于 RTK 水平方向标称标准差σ_H。

以上指标仅供参考，不作合格性判别。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 校准场应设在连续运行基准站系统（CORS）信号覆盖的区域内。

6.1.2 数据采集应确保电源电压符合接收机正常工作要求。

6.1.3 数据采集应采用实际卫星信号。

6.1.4 校准应在仪器标称的工作环境条件下进行。

6.1.5 数据采集至少应接收五颗截止高度角大于 15°的定位卫星，且卫星分布情况良好，PDOP 值应小于 4。

6.1.6 接收机附近应无信号遮挡，无振动源，无强电磁干扰，并应远离大面积水域、玻璃幕墙等多路径效应环境。

6.2 测量标准及设备

校准用主要标准器及相应设备的推荐计量性能见表 1，也可以采用其它符合测量不确定度要求的标准器。

表 1　测量标准及设备一览表

序号	测量标准及设备	技术要求
1	标准基线场	标准偏差≤ 1.0 mm + 1 × $10^{-6}D$（D 为测试距离，单位：mm）
2	秒表	分辨力不大于 0.1 s

构成校准场各点位应为强制对中观测墩，校准用点位不应少于五个，各校准点间距离已知，基线长度不大于 2 km，可在同一直线上或组成网状。

7　校准项目与校准方法

校准前检查接收机外观和各部件相互作用，接收机及其配套设备不应有影响计量性能的外观缺陷。接收机控制面板按键、开关、各种状态指示功能应能正常工作，数据通讯保持完好，电源接口、数据存储等功能应正常，接收机及手簿应有清晰的铭牌，包括名称、型号、出厂编号和生产厂商等标识。

7.1　对中误差

将基座安置在检验台或三脚架上，转动照准部，观测距离 1.5 m 处分划板上变化量，取最大变化量的一半作为校准结果。

7.2　RTK 初始化时间

RTK 测量的初始化时间是流动站接收机从开机到锁定足够数量卫星信号，并且获得标称定位精度结果的时间，它反映 RTK 接收机捕获卫星的速度和实时解算整周模糊度的速度。

校准过程如下：

在基线点上架设仪器，开机后设置各个参数，启动流动站正常工作，关闭接收机；再次开机，从开机开始计时，直到显示获得固定解为止。记录这段时间为初始化时间，共记录三次，取最大值作为校准结果。

7.3　RTK 测量精度

在基线点上架设仪器，在互为 120°三个方向量取天线高，量取精确到 1 mm，其较差不大于 3 mm，取均值作为流动站天线高。

在手簿中打开新建工程模块，依次完成坐标系统及投影的选择，并输入当地的中央子午线；将手簿与主机连接，进入仪器设置模块，选择移动站设置，设置截止高度角为 15°，采样间隔为 1 s，选择数据链路为移动网络模式下的 CORS 网络，依次设置账号、密码、IP 地址及端口号等相关参数，选择正确的接入点，连接网络，开始初始化。

校准过程中，如出现卫星信号失锁，应重新初始化。

待移动站达到固定解状态，进行数据初步校核后输入点名及天线高，开始测量并存储。

每个点采集不少于 20 个坐标数据，坐标数据记录精确到 1 mm。

共采集不少于五个点的 RTK 数据，并进行数据内业处理，按公式（1）、公式（2）计算出 RTK 测量精度。

$$D_{\mathrm{ij}}=\sqrt{(x_{ij}-x_0)^2+(y_{ij}-y_0)^2+(z_{ij}-z_0)^2} \tag{1}$$

$$m_{\mathrm{s}}=\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left(D_{ij}-D_{0i}\right)^2/(m\times n)} \tag{2}$$

式中：

x_0，y_0，z_0——首个点实测坐标的平均值，单位为 m；

x_{ij}，y_{ij}，z_{ij}——流动站第 i 点第 j 个实测坐标，单位为 m；

m——除首个点之外的所测基线点的个数；

n——每个基线点观测记录的坐标数；

D_{ij}——流动站第 i 点第 j 个坐标点到首个点的实测距离，单位为 m；

D_{0i}——流动站第 i 点到首个点的已知距离，单位为 m；

m_{s}——测定的 RTK 测量精度，单位为 mm。

7.4 RTK 测量重复性

利用 7.3 条款校准 RTK 测量精度采集的数据，按照公式（1）、公式（3）计算 RTK 测量重复性。

$$m_r=\sqrt{\sum_{\mathrm{i}=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left(D_{\mathrm{ij}}-\overline{D_i}\right)^2/\left(m\times(n-1)\right)} \tag{3}$$

式中：

m_{r}——RTK 测量重复性，单位为 mm；

m——除首个点之外的所测基线点的个数；

n——每个基线点观测记录的坐标数；

$\overline{D_i}$——流动站第 i 点到首个点实测距离的平均值，单位为 m。

8 校准结果的表达

8.1 校准记录

校准记录格式参见附录 A。

8.2 校准结果

校准结果应在校准证书上反映。校准证书应至少包括以下信息：

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）客户的名称和地址；

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；

h）如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；

i）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）校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；

o）校准结果仅对被校准对象有效的声明；

p）未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

9 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量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，建议不超过一年。

附录 A

校准原始记录格式示例

网络 RTK 接收机校准原始记录及计算表见表 A.1、表 A.2。

表 A.1　校准原始记录

<table>
<tr><td colspan="8">证书编号：</td></tr>
<tr><td colspan="8">送校单位名称：</td></tr>
<tr><td colspan="8">送校单位地址：</td></tr>
<tr><td colspan="4">仪器名称：</td><td colspan="4">型号：</td></tr>
<tr><td colspan="4">生产厂家：</td><td colspan="4">出厂编号：</td></tr>
<tr><td colspan="5">校准地点：</td><td colspan="2">环境温度：</td><td colspan="1">相对湿度：</td></tr>
<tr><td colspan="8">校准依据：</td></tr>
<tr><td colspan="8">校准用标准器具</td></tr>
<tr><td>名称</td><td>测量范围</td><td>编号</td><td colspan="2">不确定度/准确度等级/最大允许误差</td><td>证书编号</td><td>证书
有效期</td><td>溯源机构</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">校准项目</td><td colspan="4">校准结果</td></tr>
<tr><td colspan="4">对中误差/ mm</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td colspan="4" rowspan="2">RTK 初始化时间/ s</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>初始化时间</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">RTK 测量精度/ mm</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td colspan="4">RTK 测量重复性/ mm</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td colspan="8">校准结果的扩展不确定度：<u>U=　　mm　（ k=2）</u></td></tr>
</table>

校准员：　　核验员：　　校准日期：

表 A.2　RTK 测量精度和测量重复性原始记录及计算表

仪器型号：　　生产厂家：　　出厂编号：

校准员：　　计算：　　校准日期：

点号	测量点	x / m	y / m	z / m	Δx / m	Δy / m	Δz / m	D / m	$(D-D_0)^2$ / mm^2	$(D-\overline{D})^2$/ mm^2
0 (首点)	1				—	—	—	—	—	—
	2				—	—	—	—	—	—
天线高：	3				—	—	—	—	—	—
	... .				—	—	—	—	—	—
	18				—	—	—	—	—	—
	19				—	—	—	—	—	—
	20				—	—	—	—	—	—
	平均:				—	—	—	—	—	—
1 D_{01}：	1									
	2									
天线高：	3									
	... .									
	18									
	19									
	20									
	平均：								—	—
2 D_{02}：	1									
	2									
天线高：	3									
	... .									
	18									
	19									
	20									
	平均：								—	—

表 A.2（续表）

点号	测量点	x / m	y / m	z / m	Δx / m	Δy / m	Δz / m	D / m	$(D-D_0)^2$ / mm^2	$(D-\overline{D})^2$/ mm^2
3 D_{03}: 天线高:	1									
	2									
	3									
	· · ·									
	18									
	19									
	20									
	平均:								—	—
4 D_{04}: 天线高:	1									
	2									
	3									
	· · ·									
	18									
	19									
	20									
	平均:								—	—
总和:										
测量精度m_s（mm）										
测量重复性m_r（mm）										

$$m_s = \sqrt{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left(D_{ij} - D_{0i}\right)^2 / （m \times n）} = \sqrt{\Sigma\,(\delta D)^2 / （4 \times 20）}$$

$$m_r = \sqrt{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left(D_{ij} - \overline{D_i}\right)^2 / \left(m \times (n-1)\right)} = \sqrt{\Sigma\,(\Delta D)^2 / （4 \times 19）}$$

附录 B

校准证书内页格式

校准证书内页格式见表 B.1

表 B.1 校准证书内页格式

序号	校准项目	校准结果
1	对中误差/ mm	
2	RTK 初始化时间/ s	
3	RTK 测量精度/ mm	
4	RTK 测量重复性/ mm	
校准结果的扩展不确定度：U=　　mm，k=2		

附录 C

RTK 测量精度的不确定度评定

C.1 概述

C.1.1 测量依据：依据 JJF（晋） 86—2024《全球导航卫星系统（GNSS）网络 RTK 接收机校准规范》。

C.1.2 计量标准：标准基线场。

C.1.3 被测对象：网络 RTK 接收机。

C.1.4 环境条件：连续运行基准站系统（CORS）信号覆盖的区域内，接收机附近应无信号遮挡，无振动源，无强电磁干扰，并应远离大面积水域、玻璃幕墙等多路径效应环境。

C.1.5 测量方法：

选取基线上 5 个点，在首测点上架设仪器，在互为 120 度三个方向量取天线高，其较差不大于 3mm，取均值作为流动站天线高。

在手簿中打开新建工程模块，依次完成坐标系统及投影的选择，并输入当地的中央子午线；将手簿与主机连接，进入仪器设置模块，选择移动站设置，设置截止高度角为 15°，采样间隔为 1 秒，选择数据链路为移动网络模式下的 CORS 网络，依次设置账号、密码、IP 地址及端口号等相关参数，选择正确的接入点，连接网络，待移动站达到固定解状态，进行数据初步校核后输入点名及天线高，开始测量并存储。每个点采集不少于 20 个坐标数据。

依次架设在基线其余 4 个点上，校准方法同第一个点。进行数据处理，计算出 RTK 测量精度。

C.2 数学模型

$$m_s = \sqrt{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left(D_{ij} - D_{0i}\right)^2 / （m \times n）}$$

m_s——测定的 RTK 测量精度，单位为 mm；

D_{ij}——流动站第 i 点第 j 个坐标点到首个点的实测距离，单位为 m；

D_{0i}——流动站第 i 点到首个点的已知距离，单位为 m；

m——除首测点之外的所测基线点的个数；

n——每个基线点观测记录的坐标数；

C.3 不确定度传播率

$$u^2(m_s)=\left(\frac{\partial m_s}{\partial(D_{11}-D_{01})}\right)^2u^2(D_{11}-D_{01})+\cdots+\left(\frac{\partial m_s}{\partial(D_{1n}-D_{01})}\right)^2u^2(D_{1n}-D_{01})$$
$$+\left(\frac{\partial m_s}{\partial(D_{21}-D_{02})}\right)^2u^2(D_{21}-D_{02})+\cdots+\left(\frac{\partial m_s}{\partial(D_{2n}-D_{02})}\right)^2u^2(D_{2n}-D_{02})$$
$$+\cdots$$
$$+\left(\frac{\partial m_s}{\partial(D_{i1}-D_{0i})}\right)^2u^2(D_{i1}-D_{0i})+\cdots+\left(\frac{\partial m_s}{\partial(D_{in}-D_{0i})}\right)^2u^2(D_{in}-D_{0i})$$

$$\left(\frac{\partial m_s}{\partial(D_{11}-D_{01})}\right)^2=\left(2(D_{11}-D_{01})/2\sqrt{mn\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left(D_{ij}-D_{0i}\right)^2}\right)^2$$
$$=(D_{11}-D_{01})^2/\left(mn\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left(D_{ij}-D_{0i}\right)^2\right)$$

同理；

$$\left(\frac{\partial m_s}{\partial(D_{1n}-D_{01})}\right)^2=(D_{1n}-D_{01})^2/\left(mn\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{\mathrm{n}}\left(D_{ij}-D_{0i}\right)^2\right)$$

$$\left(\frac{\partial m_s}{\partial(D_{in}-D_{0i})}\right)^2=(D_{\mathrm{in}}-D_{0i})^2/\left(mn\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{\mathrm{n}}\left(D_{ij}-D_{0i}\right)^2\right)$$

可得

$$u^2(m_s)=(1/mn)u^2(\mathrm{D})$$

灵敏系数

$$c=1/\sqrt{mn}$$

C.4 标准不确定度评定

C.4.1 由标准装置误差引入的标准不确定度分量 u_1

依据 JJF（晋） 86—2024 《全球导航卫星系统(GNSS)网络 RTK 接收机校准规范》，基线场不超过 2 km，按最大值，基线场标准偏差为 3 mm，故由标准装置误差引入的标准不确定度分量 u_1=3 mm。

C.4.2 接收机安置误差引入的标准不确定度分量 u_2

RTK 接收机安置采用强制对中装置，其安置误差可控制在±0.1 mm 范围内，安置误差按对称区间均匀分布，故 u_2 = 0.1 mm / $\sqrt{3}$ = 0.06 mm

C.4.3 RTK 测量误差引入的标准不确定度分量 u_3

观测过程中测量误差引入的标准不确定度包括以下几方面：

1、与卫星有关的卫星星历误差、卫星钟差及相对论效应；

2、与信号传播有关的电离层折射延迟误差，对流层折射误差以及多路径误差；

3、与 RTK 接收机有关的接收机钟差、接收机位置误差；

4、CORS 数据中心与 RTK 数据通信误差等。

按规范中测量精度校准方法，用同一仪器在不同时间段对同一段距离测量，每组测量 20 次，共测四组，测量结果如表 C.1：

表 C.1　同一距离不同时间段测量结果

		9.25 上午 7：00	9.26 上午 10：00	9.27 下午 13：00	9.28 下午 18：00
ΔD	1	11.04	9.84	23.05	10.56
	2	13.02	6.96	23.03	6.53
	3	13.38	9.77	22.26	5.67
	4	11.78	6.46	23.01	7.57
	5	14.88	7.92	23.24	7.51
	6	13.81	11.68	16.94	9.47
	7	13.19	11.08	19.17	7.53
	8	9.55	11.22	18.10	9.48
	9	13.54	9.65	22.83	9.41
	10	14.20	11.58	22.95	8.47
	11	16.47	9.67	20.00	7.28
	12	15.41	10.83	17.97	10.37
	13	17.28	13.68	17.89	7.38
	14	15.01	11.27	21.97	7.37
	15	14.14	10.00	22.69	9.31
	16	12.51	10.77	20.72	7.34
	17	15.44	7.79	21.72	9.168
	18	13.31	9.53	21.7	7.405
	19	10.84	1.46	26.66	9.20
	20	12.02	4.12	22.72	7.57

测量数据最大偏差为 26.66mm，服从正态分布。

$$u_3=26.66 / 3=8.88 \text{ mm}$$

则

$$u^2(\mathrm{D}) = u_1^2 + u_2^2 + u_3^2$$

$$u(D) = \sqrt{3^2 + 0.06^2 + 8.88^2} = 9.37 \text{ mm}$$

C.5 合成标准不确定度计算

由 JJF 1059.1—2012 《测量不确定度评定与表示》中合成不确定度公式可得合成标准不确定度为:

$$u_c^2(m_s) = c^2 u^2(D)$$

$$u_c(m_s) = \frac{1}{\sqrt{mn}} u(D) = \frac{1}{\sqrt{4 \times 20}} \times 9.37 = 0.11 \times 9.37 = 1.03 \text{ mm}$$

C.6 扩展不确定度计算

取包含因子 k=2，则 U=2.1 mm

C.7 测量不确定度报告

网络 RTK 测量精度的不确定度为 U=2.1 mm，k=2。