



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF ××-××××

实时差分（RTK）测量系统动态校准规范

（征求意见稿）

Dynamic Calibration Specification for RTK (Real-time Kinematic)

Receivers

××××-××-××发布

××××-××-××实施

国家市场监督管理总局 发布

实时差分（RTK）测量系统动态 校准规范

Dynamic Calibration Specification of RTK
(Real-time Kinematic) Receivers

JJF ××—××××

本规范经国家市场监督管理总局于××××年××月××日批准，并自××××年××月××日起施行。

归口单位：全国卫星导航应用专用计量测试技术委员会

主要起草单位：中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所

参加起草单位：湖南矩阵电子科技有限公司

湖北省计量测试技术研究院

北京世纪润通科技发展有限公司

本规范委托全国卫星导航应用专用计量测试技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

彭 军（中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所）
杨玉莹（中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所）

参加起草人：

喻明星（湖南矩阵电子有限公司）
张琼月（湖北省计量测试技术研究院）
郝文斌（北京世纪润通科技发展有限公司）

目 录

引 言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语	1
4 概述	2
5 计量特性	2
6 校准条件	3
6.1 环境条件	3
6.2 测量标准及其他设备	3
7 校准项目和校准方法	4
7.1 校准项目	4
7.2 校准方法条款	5
8 校准结果表达	11
9 复校时间间隔	11
附录 A	12
附录 B	16
附录 C	17
C.1 定位时间测量不确定度	17
C.2 定位误差测量不确定度	18
C.3 速度误差测量不确定度	20
C.4 航向角误差测量不确定度	22

引 言

本规范依据国家计量技术规范 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度的评定与表示》编制。

本校准规范为首次制定。

实时差分（RTK）测量系统动态校准规范

1 范围

本规范适用于全球卫星导航系统（GNSS）实时差分（RTK）测量系统（接收机）模拟仿真法的校准。

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

GB/T 39399-2020 北斗卫星导航系统测量型接收机通用规范

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

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

JJF 1942-2021 导航型卫星接收机校准规范

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

3.1 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。（GB/T39616-2020）

3.2 基准站 reference station

对卫星导航信号进行长期连续观测，获得观测数据，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固定观测站。（GB/T39616-2020）

3.3 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。（GB/T39616-2020）

3.4 实时差分（RTK）测量系统 RTK Receivers

由一个单基站和一个或多个 RTK 接收机组成的测量系统。

3.5 RTK 校准平台 RTK Calibration system

可模拟产生 GNSS 卫星信号。基于卫星实际轨道模型，信号传播路径和基准站及流动站运动轨迹，进行 GNSS 数据仿真，并将仿真产生的数据模拟生成具有真实导航

信号特征的射频信号。

3.6 标准单点定位 standard point positioning

利用单台 GNSS 接收设备测量多颗导航卫星信号获得伪距观测值及广播星历，实现定位的方式。（GB/T39267-2020）

4 概述

实时差分（RTK）测量系统一般由基准站、流动站、供电设备、信号采集存储设备组成。

实时差分（RTK）测量系统由基准站生成差分数据，通过网络或电台播发，该区域内的终端（流动站）接收卫星信号和差分信息，实现实时高精度定位、速度等参数测量。

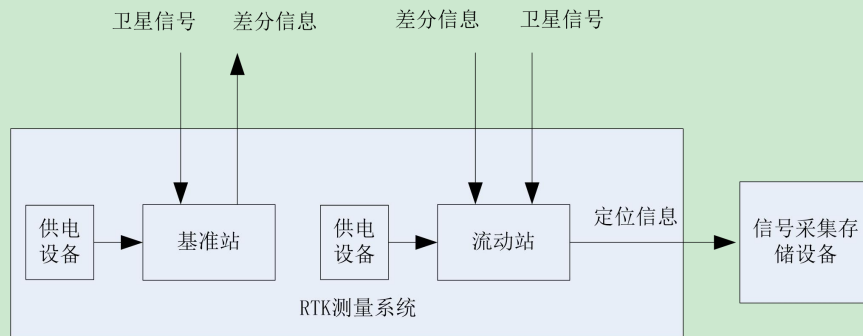


图 1 典型 RTK 测量系统

5 计量特性

RTK 测量系统的主要计量特性见表 1。

表 1 RTK 测量系统计量特性

序号	项目名称		技术指标
1	接收频点		北斗 B1、B3、GPS L1、L2
2	最低跟踪功率		-145dBm
3	定位时间	开机定位时间	≤60s
		RTK 定位时间	≤180s
		RTK 定向时间	≤180s
4	单点定向误差	水平定位误差 (RMS)	≤1.5m
		高程定位误差 (RMS)	≤3.0m

5	RTK 定位误差	RTK 水平定位误差(RMS)	$(0.02^{\pm}D \times 10^{-6})$ m, D 基线长度
		RTK 高程定位误差(RMS)	$(0.03^{\pm}D \times 10^{-6})$ m
6	RTK 动态定位误差(RMS)		$(0.05^{\pm}D \times 10^{-6})$ m
7	速度误差(RMS)		0.03m/s
8	定向误差(RMS)		$\leq 0.5^{\circ}$ ($D \leq 3$ m)
			$\leq 0.1^{\circ}$ ($D > 3$ m)
9	航向跟踪误差(RMS)		$\leq 0.5^{\circ}$ (基线 ≤ 3 m、角速度:)
			$\leq 0.1^{\circ}$ (基线 ≤ 3 m、角速度:)
10	无线通讯距离		10km

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度: $(23^{\pm}5)$ °C。

6.1.2 环境相对湿度: $\leq 80\%$ 。

6.1.3 电源电压: $(220^{\pm}11)$ V, 电源频率: $(50^{\pm}1)$ Hz。

6.1.4 无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 RTK 校准平台

RTK 校准平台主要技术参数见表 2。

表 2 RTK 校准平台主要技术参数

名称		指标
载波频率	频点	BD-B1i、BD-B3i、GPS-L1、GPS-L2
信号规格	每频点	12 通道
信号精度	伪距相位控制精度	优于 0.01m
	伪距变化率精度	优于 0.003m/s
	通道间一致性	0.3ns
信号质量	相位噪声	-75dBc/Hz, 100Hz; 80dBc/Hz, 1kHz; 85dBc/Hz, 10kHz;

		90dBc/Hz, 100kHz
	谐波功率 (MAX)	-35dBc
	杂波功率 (MAX)	-40dBc
信号功率	频率范围	-150dBm~-60dBm
	功率分辨率	优于 0.2dB
	功率准确度	优于 0.7dB
外部接口	参考 1PPS 脉冲信号 (SMA 型头)	输入、输出各 1 个
	参考 10MHz 时钟信号 (SMA 型头)	输入、输出各 1 个
	射频输出口 (N 型头)	1 个
时钟稳定度	秒稳	$\leq 5 \times 10^{-11}$
	天稳	$\leq \pm 5 \times 10^{-10}$
外部参考输入	1PPS 脉冲信号	1 路
	10MHz 时钟信号	1 路
标准参考输出	1PPS 脉冲信号	1 路
	10MHz 时钟信号	1 路
输出秒脉冲指标	输出电平	LVTTL
	上升沿稳定度	0.1ns
	高电平持续时间	>20ms

6.2.2 电子秒表

电子秒表测量不确定度：0.001s

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表 3 所示。

表 3 校准项目表

序号	校准项目名称
1	外观及工作正常性检查
2	接收频点
3	最低跟踪功率
4	定位时间
5	单点定位误差
6	RTK 定位误差
7	RTK 动态定位误差
8	速度误差

9	航向角误差
10	航向角跟踪误差
11	无线通讯距离

7.2 校准方法条款

7.2.1 外观及工作正常性检查

被校RTK测量系统不应有影响正常工作及读数的机械损伤,各项标识应清晰完整,输入输出插座应牢靠,按键及旋钮应能正常动作。仪器通电后状态正常,显示器能正常显示。

7.2.2 校准前准备

将RTK校准平台导航模拟通道1输出的射频信号连接到RTK测量系统基准站接收机,导航模拟通道2输出的射频信号连接到RTK测量系统流动站接收机,开启无线电通信,如图2所示进行连接。

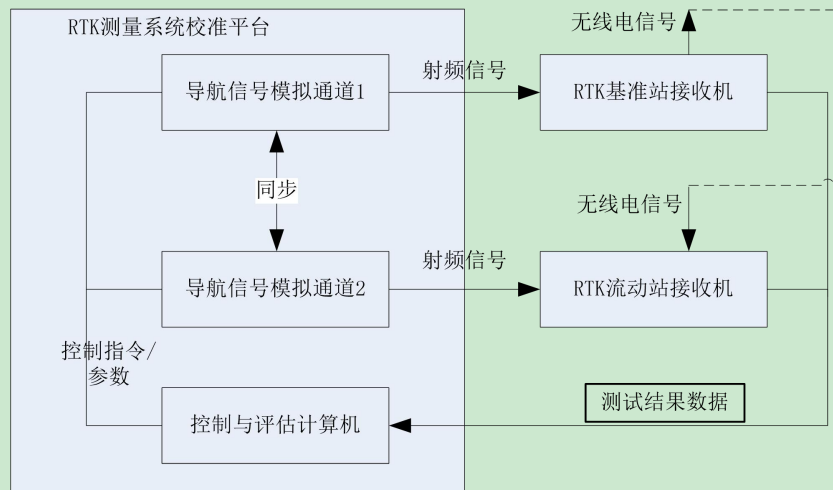


图2 RTK测量系统校准接线图

7.2.3 接收频点

按图2进行连接,将RTK校准平台上电,按照被校RTK测量系统说明书中具有频点逐一对校准平台导航模拟通道1和导航模拟通道2进行频点设定。将导航模拟通道1设为基准站场景:某一固定点;将导航模拟通道2设为流动站场景:与基准站基线长度1的另一固定点。对被校RTK测量系统进行差分设置,当RTK测量系统可以进行差分定位输出,则表示被校RTK含有该频点。

7.2.4 最低跟踪功率

按图2进行连接,将RTK校准平台上电,按照被校准RTK测量系统说明书中给出的信号标称功率,对校准平台导航模拟通道1和导航模拟通道2进行功率设定。将导

航模拟通道 1 设为基准站场景：某一固定点；将导航模拟通道 2 设为流动站场景：与基准站基线长度 1 的另一固定点。对被校 RTK 测量系统进行差分设置，重复测量次，若 RTK 测量系统均可以进行差分定位输出，则表示被校 RTK 信号最低跟踪功率满足指标要求。

7.2.5 定位时间

7.2.5.1 开机定位时间

按图 2 进行连接，将 RTK 校准平台上电，按照被校 RTK 测量系统说明书中具有频点对校准平台导航模拟通道 1 和导航模拟通道 2 进行频点设定。将导航模拟通道 1 设为基准站场景：某一固定点；将导航模拟通道 2 设为流动站场景：与基准站基线长度 1 的另一固定点。打开被校 RTK 测量系统，用电子秒表测量从开机到被校 RTK 测量系统输出有效标准单点定位信息的时间为开机定位时间，测量 3 次，取其平均值作为开机定位时间。

7.2.5.2 RTK 定位时间

按图 2 进行连接，将 RTK 校准平台上电，按照被校准 RTK 测量系统说明书中具有频点对校准平台导航模拟通道 1 和导航模拟通道 2 进行频点设定。将导航模拟通道 1 设为基准站场景：某一固定点；将导航模拟通道 2 设为流动站场景：与基准站基线长度 1 的另一固定点。打开被校 RTK 测量系统，对被校 RTK 测量系统进行差分设置，用电子秒表测量从开机到被校 RTK 测量系统输出有效 RTK 定位信息的时间为 RTK 定位时间，测量 3 次，取其平均值作为 RTK 定位时间。

7.2.5.3 RTK 定向时间

按图 2 进行连接，将 RTK 校准平台上电，按照被校准 RTK 测量系统说明书中具有频点对校准平台导航模拟通道 1 和导航模拟通道 2 进行频点设定。将导航模拟通道 1 设为基准站场景：某一固定点；将导航模拟通道 2 设为流动站场景：与基准站基线长度 1，基线与北向的方向角设定为 X (X 为任意方位角)。打开被校 RTK 测量系统，对被校 RTK 测量系统进行差分设置，用电子秒表测量从开机到被校 RTK 输出与正确的方向角的时间，测量 3 次，取其平均值作为 RTK 定向时间。

7.2.6 单点定位误差

按图 2 进行连接，将 RTK 校准平台上电，按照被校准 RTK 测量系统说明书中具有频点对校准平台导航模拟通道 1 和导航模拟通道 2 进行频点设定。将导航模拟通道

1 设为基准站场景：某一固定点；将导航模拟通道 2 设为流动站场景：与基准站基线长度 100m(或按被测 RTK 测量系统要求的基线长度)的另一固定点 (x_0, y_0, z_0) 。打开被校 RTK 测量系统，对被校 RTK 测量系统设置为单点定位状态，待系统定位输出正常后，测量并记录 1 个观测时段流动站输出信息 (x_i, y_i, z_i) ，测量点个数不少于 300 个或采样时间不小于 5min。按下式公式计算水平定位误差 σ_p 和高程定位误差 σ_h 。

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2]}{n}} \quad (1)$$

$$\sigma_h = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z_i - z_0)^2}{n}} \quad (2)$$

式中：

σ_p ——单点水平定位误差，m；

σ_h ——单点高程定位误差，m；

(x_0, y_0, z_0) ——校准平台给出的流动站坐标值，m；

(x_i, y_i, z_i) ——RTK 测量系统测得的流动站坐标值，m；

n——测量点个数， $n \geq 300$ 。

重复上述过程，进行第 2 个观测时段和第 3 个观测时段的测量，取 3 次观测时段的平均值作为校准结果。

7.2.7 RTK 定位误差

按图 2 进行连接，将 RTK 校准平台上电，按照被校准 RTK 测量系统说明书中具有频点对校准平台导航模拟通道 1 和导航模拟通道 2 进行频点设定。将导航模拟通道 1 设为基准站场景：某一固定点；将导航模拟通道 2 设为流动站场景：与基准站基线长度 100m(或按被测 RTK 测量系统要求的基线长度)的另一固定点 (x_0, y_0, z_0) 。打开被校 RTK 测量系统，对被校 RTK 测量系统设置为差分状态，待系统差分定位输出正常后，测量并记录 1 个观测时段流动站输出信息 (x_i, y_i, z_i) ，测量点数不少于 300 次或采样时间不小于 5min。按公式 (1) 和 (2) 计算 RTK 定位水平定位误差和高程定位

误差。

重复上述过程，进行第 2 个观测时段和第 3 个观测时段的测量，取 3 测观测时段的平均值作为校准结果。

7.2.8 RTK 动态定位误差

按图 2 进行连接，将 RTK 校准平台上电，按照被校准 RTK 测量系统说明书中具有频点对校准平台导航模拟通道 1 和导航模拟通道 2 进行频点设定。将导航模拟通道 1 设为基准站场景：某一固定点；将导航模拟通道 2 设为流动站场景：以一定的速度移动流动站（按被校 RTK 说明书给出的速度范围选 3 个速度移动）。打开被校 RTK 测量系统，对被校 RTK 测量系统设置为差分状态，待系统差分定位输出正常后，测量并记录 1 个观测时段流动站输出信息 (x_i, y_i, z_i) 及对应的 RTK 校准平台给出的流动站的坐标值 (x_{0i}, y_{0i}, z_{0i}) ，测量点数不少于 1000 次或采样时间不小于 5min。按下列公式计算 RTK 定位水平动态定位误差 σ_{dp} 和高程动态定位误差 σ_{dh} 。

$$\sigma_{dp} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - x_{0i})^2 + (y_i - y_{0i})^2]}{n}} \quad (3)$$

$$\sigma_{dh} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z_i - z_{0i})^2}{n}} \quad (4)$$

式中：

σ_{dp} ——水平动态定位误差，m；

σ_{dh} ——高程动态定位误差，m；

(x_{0i}, y_{0i}, z_{0i}) ——校准平台给出的流动站坐标值，m；

(x_i, y_i, z_i) ——RTK 测量系统测得的流动站坐标值，m；

n ——测量个数， $n \geq 1000$ 。

重复上述过程，进行第 2 个观测时段和第 3 个观测时段的测量，取 3 测观测时段的平均值作为校准结果。

7.2.9 速度误差

按图 2 进行连接，将 RTK 校准平台上电，按照被校准 RTK 测量系统说明书中具有频点对校准平台导航模拟通道 1 和导航模拟通道 2 进行频点设定。将导航模拟通道 1 设为基准站场景：某一固定点；将导航模拟通道 2 设为流动站场景：以一定的速度移动（按被校 RTK 说明书给出的速度范围选 3~5 个速度移动，一般应包括速度的上下限）。打开被校 RTK 测量系统，对被校 RTK 测量系统设置为差分状态，待系统差分完成后，测量并记录 1 个观测时段流动站输出信息 v_i 及对应的 RTK 校准平台给出的流动站的速度值 v_{0i} ，测量点数不少于 1000 次或采样时间不小于 5min。按下列公式计算 RTK 速度误差。

$$\delta_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i - v_{0i})^2}{n}} \quad (5)$$

式中：

δ_v ——速度误差，m/s；

v_{0i} ——校准平台给出的速度，m；

v_i ——RTK 测量系统测得的速度，m；

n ——测量点数， $n \geq 1000$ 。

重复上述过程，进行第 2 个观测时段和第 3 个观测时段的测量，取 3 次观测时段平均值作为校准结果。

7.2.10 航向角误差

按图 2 进行连接，将 RTK 校准平台上电，按照被校准 RTK 测量系统说明书中具有频点对校准平台导航模拟通道 1 和导航模拟通道 2 进行频点设定。将导航模拟通道 1 设为基准站场景：某一固定点；将导航模拟通道 2 设为流动站场景：与基准站基线长度 10m(或按被测 RTK 测量系统要求的基线长度)航向角 A_0 。打开被校 RTK 测量系统，对被校 RTK 测量系统设置为差分状态，待系统差分定位输出正常后，测量并记录 1 个观测时段被校 RTK 测量系统输出的航向角信息 A_j ，测量点数不少于 300 次或采样时间不小于 5min。按下面公式计算 RTK 测量系统航向角误差。

$$\Delta A_J = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_{J_i} - A_0)^2}{n}} \quad (6)$$

式中：

ΔA_J ——航向角静态误差，（°）；

A_0 ——校准平台给出的航向角，（°）；

A_{J_i} ——RTK 测量系统给出的航向角，（°）；

n ——测量点数： $n \geq 1000$ 。

被测 RTK 测量系统航向角 A_{J_i} 可以通过直接输出得到，也可由输出的基准站和流动站定位信息计算得出：

$$A_{J_i} = -\arctan \frac{\Delta e}{\Delta n} \quad (7)$$

式中：

Δe ， Δn ——分别为基准站与流动站坐标之间的东向距离与北向距离，m。

重复上述过程，进行第 2 个观测时段和第 3 个观测时段的测量，取 3 次观测时段的平均值作为校准结果。

7.2.11 航向角动态跟踪误差

按图 2 进行连接，将 RTK 校准平台上电，按照被校准 RTK 测量系统说明书中具有频点对校准平台导航模拟通道 1 和导航模拟通道 2 进行频点设定。将导航模拟通道 1 设为基准站场景：某一固定点；将导航模拟通道 2 设为流动站场景：与基准站基线长度 10m(或按被测 RTK 测量系统要求的基线长度)，按 $1^\circ/\text{s}$ 的角速度做圆周运动，航向角 A_{0_i} 。打开被校 RTK 测量系统，对被校 RTK 测量系统设置为差分状态，待系统差分定位输出正常后，测量并记录 1 个观测时段被校 RTK 测量系统输出的航向角信息 A_{J_i} 及对应的 A_{0_i} ，测量点数不少于 300 个或采样时间不小于 5min。按公式 (8) 和 (9) 计算 RTK 测量系统航向角跟踪误差。

$$\Delta A_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_{J_i} - A_{0_i})^2}{n}} \quad (8)$$

$$A_{ji} = -\arctan \frac{\Delta e_i}{\Delta n_i} \quad (9)$$

式中：

ΔA_d ——航向角静态误差，（°）；

A_{0i} ——i 时刻校准平台给出的航向角，（°）；

A_{ji} ——i 时刻 RTK 测量系统测得的航向角，（°）；

$\Delta e_i, \Delta n_i$ ——分别为 i 时刻 RTK 测量系统基准站与流动站坐标之间的东向距离与北向距离，m。

重复上述过程，进行第 2 个观测时段和第 3 个观测时段的测量，取 3 次观测时段的平均值作为校准结果。

7.2.12 无线通讯距离

将被校 RTK 测量系统置于室外，按被校 RTK 测量系统说明书要求的无线通讯距离和要求，分别架设基准站和流动站，将基准站和流动站上电，并分别设置为单点定位模式，测量出两点之间的距离 L；将基准站和流动站模式设置为差分模式，若被校 RTK 测量系统可以正常差分，表示被校 RTK 测试系统的无线通讯距离 1 满足 $1 \leq L$ 。

8 校准结果表达

校准结束后出具校准证书。校准证书应准确、客观的报告校准结果，校准结果以校准数据、校准曲线等形式给出。校准证书应包含委托方的要求、说明校准结果所必需的和所用方法要求的全部信息。

9 复校时间间隔

导航型接收机的复校时间间隔一般为 1 年。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等因素决定的，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

记录表

表 A.1 接收频点记录表

客户名称:		客户地址:			
样品名称:		制造厂商:		型号:	出厂编号:
校准日期:		环境温度:		相对湿度:	
标准器具名称	编号	测量范围	最大允许误差/测量不确定度	证书编号	有效日期
所依据的技术文件:					
校准人:			核验员:		
测试记录 测试要求		测量结果		符合情况	
		基准站	流动站		
频点					

表 A.2 最低跟踪信号强度记录表

客户名称:		客户地址:			
样品名称:		制造厂商:		型号:	出厂编号:
校准日期:		环境温度:		相对湿度:	
标准器具名称	编号	测量范围	最大允许误差/测量不确定度	证书编号	有效日期
所依据的技术文件:					
校准人:			核验员:		
测试记录 测试要求		测量结果		符合情况	
		基准站	流动站		
跟踪信号强度					

表 A.3 定位时间记录表

客户名称:		客户地址:				
样品名称:		制造厂商:		型号:	出厂编号:	
校准日期:		环境温度:		相对湿度:		
标准器具名称	编号	测量范围	最大允许误差/测量不确定度	证书编号	有效日期	
所依据的技术文件:						
校准人:			核验员:			
测试记录 测试要求		测量结果/s				符合情况
		1	2	3	平均值	
开机定位时间						
RTK 定位时间						
RTK 定向时间						

表 A.4 定位误差记录表

客户名称:		客户地址:			
样品名称:		制造厂商:		型号:	出厂编号:
校准日期:		环境温度:		相对湿度:	
标准器具名称	编号	测量范围	最大允许误差/测量不确定度	证书编号	有效日期
所依据的技术文件:					
校准人:			核验员:		
测试记录 序号		给定值: (x_0, y_0, z_0)			
		测量结果/m			
		x_i	y_i	z_i	
1					
2					
...					
n					
定位误差		水平:			垂直:

表 A.5 RTK 动态定位误差记录表

客户名称:		客户地址:				
样品名称:	制造厂商:	型号:	出厂编号:			
校准日期:	环境温度:	相对湿度:				
标准器具名称	编号	测量范围	最大允许误差/测量不确定度	证书编号	有效日期	
所依据的技术文件:						
校准人:		核验员:				
测试记录 序号		测量结果/m				
		x_{0i}	y_{0i}	z_{0i}	x_i	y_i
1						
2						
...						
n						
动态定位误差		水平:				
		垂直:				

表 A.6 速度误差记录表

客户名称:		客户地址:			
样品名称:	制造厂商:	型号:	出厂编号:		
校准日期:	环境温度:	相对湿度:			
标准器具名称	编号	测量范围	最大允许误差/测量不确定度	证书编号	有效日期
所依据的技术文件:					
校准人:		核验员:			
测试记录 序号		测量结果 m/s			
		v_i		v_{0i}	
1					
2					
...					
n					
速度误差					

表 A.7 航向角误差记录表

客户名称:		客户地址:			
样品名称:		制造厂商:		型号:	出厂编号:
校准日期:		环境温度:		相对湿度:	
标准器具名称	编号	测量范围	最大允许误差/测量不确定度	证书编号	有效日期
所依据的技术文件:					
校准人:			核验员:		
测试记录 序号	给定值: A_0				
	测量结果/ ($^{\circ}$)				
		A_i		A_{j0}	
1					
2					
...					
n					
航向角误差					

表 A.8 航向角动态跟踪误差记录表

客户名称:		客户地址:			
样品名称:		制造厂商:		型号:	出厂编号:
校准日期:		环境温度:		相对湿度:	
标准器具名称	编号	测量范围	最大允许误差/测量不确定度	证书编号	有效日期
所依据的技术文件:					
校准人:			核验员:		
测试记录 序号	测量结果/ ($^{\circ}$)				
			A_{0i}		A_{ji}
1					
2					
...					
n					
航向角动态跟踪误差					

附录 B

校准证书页内格式

表 B.1 校准证书页内格式

序号	校准项目	校准结果及不确定度
1	频点	
2	最低跟踪信号强度	
3	定位时间	开机： RTK 定位： RTK 航向：
4	单点定位误差	水平： 垂直：
5	RTK 定位误差	水平： 垂直：
6	速度误差	
7	航向角误差	
8	航向角动态跟踪误差	
9	无线通讯距离	

附录 C

不确定度评定示例

C.1 定位时间测量不确定度

C.1.1 数学模型

$$T = t \quad (\text{C.1})$$

C.1.2 时间测量不确定度评定

表 C.1 定位时间标准不确定度分量一览表

不确定度来源	符号	类型	值	分布	因子	标准不确定度
电子秒表引入的不确定度分量	u_1	B	0.001s		1	0.001s
人的反应时间引入的不确定度分量	u_2	B	0.1s	矩形	$\sqrt{3}$	0.029s
测量结果重复性	u_3	A	0.15s		1	0.15s

(1) 电子秒表引入的不确定度 u_1

由电子秒表的校准证书可知，电子秒表测量不确定度为 0.001s，则： $u_1=0.001\text{s}$

(2) 人反应时间引入的不确定度 u_2

假设人的反应时间为 0.1s，并假设按矩形分布，则引入的不确定度为：

$$u_2 = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.029\text{s}$$

(3) 测量结果重复性引入的不确定度 u_3

某型 RTK 接收机 3 次测量的定位时间分别为 59.53s，59.32s 和 59.10s，则重复性用极差法计算为：

$$s = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{d_n} = \frac{59.53 - 59.10}{1.693} = 0.25\text{s}$$

式中：

d_n ——极差法估计系数， $d_n=1.693$ 。

则：

$$u_3 = \frac{0.25}{\sqrt{3}} = 0.15\text{s}$$

(4) 合成标准不确定度:

$$u_c(T) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.22\text{s} \quad (\text{C.2})$$

(5) 扩展不确定度:

$$U(t) = 2u_c(T) = 2 \times 0.22 = 0.5\text{s} (k = 2) \quad (\text{C.3})$$

C.2 定位误差测量不确定度

C.2.1 数学模型

(1) 水平定位误差:

$$\sigma_p = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} \quad (\text{C.4})$$

传递公式及灵敏度:

$$u(\sigma_p) = \sqrt{c^2(x)u^2(x) + c^2(x_0)u^2(x_0) + c^2(y)u^2(y) + c^2(y_0)u^2(y_0)} \quad (\text{C.5})$$

式中:

$$c(x) = \frac{\partial \sigma_p}{\partial x} = \frac{x - x_0}{\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}}$$

$$c(x_0) = \frac{\partial \sigma_p}{\partial x_0} = -\frac{x - x_0}{\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}}$$

$$c(y) = \frac{\partial \sigma_p}{\partial y} = \frac{y - y_0}{\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}}$$

$$c(y_0) = \frac{\partial \sigma_p}{\partial y_0} = -\frac{y - y_0}{\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}}$$

式中:

$u(x)$ 、 $u(x_0)$ 、 $u(y)$ 、 $u(y_0)$ ——分别为 x 、 x_0 、 y 、 y_0 的标准不确定度, m 或 mm。

x 、 x_0 、 y 、 y_0 的不确定度主要来源相同, 公式 (C.5) 可以表示为:

$$u(\sigma_p) = \sqrt{2}u(x) \quad (\text{C.6})$$

(2) 垂直定位误差:

$$\sigma_h = \sqrt{(z - z_0)^2} \quad (\text{C.7})$$

传递公式及灵敏度

$$u(\sigma_h) = \sqrt{c^2(z)u^2(z) + c^2(z_0)u^2(z_0)} \quad (\text{C.8})$$

式中:

$$c(z) = \frac{\partial \sigma_h}{\partial z} = \frac{z - z_0}{\sqrt{(z - z_0)^2}}$$

$$c(z) = \frac{\partial \sigma_h}{\partial z_0} = -\frac{z - z_0}{\sqrt{(z - z_0)^2}}$$

式中:

$u(z)$ 、 $u(z_0)$ ——分别为 z 、 z_0 的标准不确定度, m 或 mm。

z 、 z_0 的不确定度主要来源相同, 且与 x 、 x_0 、 y 、 y_0 的不确定度主要来源相同, 公式 (C.8) 可以表示为:

$$u(\sigma_h) = \sqrt{2}u(z) \quad (\text{C.9})$$

C.2.2 定位误差测量标准不确定度评定

定位测量标准不确定度分量见表 C.2 所示。

表 C.2 $u(x)$ 、 $u(x_0)$ 、 $u(y)$ 、 $u(y_0)$ 、 $u(z)$ 、 $u(z_0)$ 标准不确定度分量一览表

不确定度来源	符号	类型	值	分布	因子	标准不确定度
RTK 校准平台定位测量不确定度	u_1	B	静态: 0.01m 动态: 0.025m			静态: 0.01m 动态: 0.025m
接收机定位信息分辨力	u_2	B	0.001m	矩形	$\sqrt{3}$	0.0003m
测量重复性	u_3	A	0.0024m			0.0014m

C.2.2.1 水平定位测量不确定度评定

(1) 由 RTK 校准平台引入测量不确定度 u_1

由 RTK 校准平台技术指标可知, 其定位测量扩展不确定度为静态定位 0.02m, 动态定位 0.05m, 则引入的定位测量标准不确定度为静态定位 0.01m, 动态定位 0.025m。

(2) 接收机定位信息分辨力引入不确定度 u_2

某型接收机可给出的分辨力为 0.001m, 矩形分布, 故由接收机定位信息分辨力引起的最大误差绝对值为 0.0005m, 其引入的定位测量不确定度为:

$$u_2 = \frac{0.001}{2\sqrt{3}} = 0.0003\text{m}$$

(3) 测量重复性引入的不确定度 u_3

某型 RTK 接收机静态定位三个观测时段测量的水平定位误差结果分别为 0.002m, 0.003m 和 0.006m, 则重复性用极差法计算为:

$$s = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{d_n} = \frac{0.006 - 0.002}{1.693} = 0.0024\text{m}$$

则:

$$u_3 = \frac{0.0024}{\sqrt{3}} = 0.0014\text{m}$$

(4) 合成标准不确定度 $u_c(\sigma)$

RTK 接收机测量重复性引入的不确定度大于分辨力引入的不确定度, 计算时仅考虑重复性引入的不确定度的影响, 则合成标准不确定度:

$$u_c(\sigma) = \sqrt{2}u(x) = \sqrt{2} \cdot \sqrt{u_1^2 + u_3^2} = 0.015\text{m} \quad (\text{C.10})$$

(5) 扩展不确定度 $U(\sigma)$

$$U = 2u_c(\sigma) = 0.03\text{m} \quad (\text{C.11})$$

C.2.2.2 垂直定位测量不确定度评定

参照章节 C.2.2.1 水平定位测量不确定度评定。

C.3 速度误差测量不确定度

C.3.1 数学模型

$$\delta_v = \sqrt{(v - v_0)^2} \quad (\text{C.12})$$

传递公式及灵敏度

$$u(\delta_v) = \sqrt{c^2(v)u^2(v) + c^2(v_0)u^2(v_0)} \quad (\text{C.13})$$

式中:

$$c(v) = \frac{\partial \delta_v}{\partial v} = \frac{v - v_0}{\sqrt{(v - v_0)^2}}$$

$$c(v_0) = \frac{\partial \delta_v}{\partial v_0} = -\frac{v - v_0}{\sqrt{(v - v_0)^2}}$$

式中：

$u(v)$ 、 $u(v_0)$ ——分别为 v_i 和 v_{0i} 的标准不确定度，m/s。

v ， v_0 的不确定度主要来源相同，公式（C.13）可以表示为：

$$u(\delta_v) = \sqrt{2}u(v) \quad (\text{C.14})$$

C.3.2 速度误差测量标准不确定度评定

速度测量标准不确定度分量见表 C.3。

表 C.3 v 或 v_0 标准不确定度分量一览表

不确定度来源	符号	类型	值	分布	因子	标准不确定度
RTK 校准平台速度测量不确定度	u_1	B	0.01m/s			0.01m/s
RTK 接收机速度信息分辨力	u_2	B	0.001m/s	矩形	$\sqrt{3}$	0.0003m/s
测量重复性	u_3	A	0.0041m/s			0.0024m/s

（1）由 RTK 校准平台引入测量不确定度 u_1

由 RTK 校准平台技术指标可知，其速度测量扩展不确定度为 0.02m/s，则引入的速度测量标准不确定度为 0.01m/s。

（2）接收机速度信息分辨力引入不确定度 u_2

某型接收机可给出的分辨力为 0.001m/s，矩形分布，故由接收机速度信息分辨力引起的最大误差绝对值为 0.0005m/s，其引入的速度测量不确定度为：

$$u_2 = \frac{0.001}{2\sqrt{3}} = 0.0003\text{m/s}$$

（3）测量重复性引入的不确定度 u_3

对某 RTK 接收机在 2m/s 速度下测试，三次测量的速度误差分别为：0.019m/s，0.015m/s 和 0.012m/s，则重复性用极差法计算为：

$$s = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{d_n} = \frac{0.019 - 0.012}{1.693} = 0.0041\text{m/s}$$

则：

$$u_3 = \frac{0.004}{\sqrt{3}} = 0.0024\text{m/s}$$

(4) 合成标准不确定度 $u_c(\delta_v)$

RTK 接收机测量重复性引入的不确定度大于分辨力引入的不确定度，计算时仅考虑重复性引入的不确定度的影响，则合成标准不确定度：

$$u_c(\delta_v) = \sqrt{2}u(v) = \sqrt{2} \cdot \sqrt{u_1^2 + u_3^2} = 0.015\text{m/s} \quad (\text{C. 15})$$

(5) 扩展不确定度 $U(\delta_v)$

$$U(\delta_v) = 2u_c(\delta_v) = 0.03\text{m/s} \quad (k = 2) \quad (\text{C. 16})$$

C.4 航向角误差测量不确定度

C.4.1 数学模型

$$\Delta\alpha = \sqrt{(\alpha - \alpha_0)^2} \quad (\text{C. 17})$$

传递公式及灵敏度

$$u(\Delta\alpha) = \sqrt{c^2(\alpha)u^2(\alpha) + c^2(\alpha_0)u^2(\alpha_0)} \quad (\text{C. 18})$$

式中：

$$c(\alpha) = \frac{\partial\Delta\alpha}{\partial\alpha} = \frac{\alpha - \alpha_0}{\sqrt{(\alpha - \alpha_0)^2}}$$

$$c(\alpha_0) = \frac{\partial\Delta\alpha}{\partial\alpha_0} = -\frac{\alpha - \alpha_0}{\sqrt{(\alpha - \alpha_0)^2}}$$

式中：

$u(\alpha)$ 、 $u(\alpha_0)$ ——分别为 α 和 α_0 的标准不确定度，单位： $^{\circ}$ 。

α ， α_0 的不确定度主要来源相同，公式 (C. 18) 可以表示为：

$$u(\Delta\alpha) = \sqrt{2}u(\alpha) \quad (\text{C. 19})$$

C.4.2 航向角标准不确定度评定

航向角测量标准不确定度分量见表 C. 4。

表 C.4 α 或 α_0 标准不确定度分量一览表

不确定度来源	符号	类型	值	分布	因子	标准不确定度
RTK 校准平台角度测量不确定度	u_1	B	静态: 0.0025° 跟踪: 0.005°			静态: 0.0025° 跟踪: 0.005°
RTK 接收机航向角信息分辨力	u_2	B	0.0001°	矩形	$\sqrt{3}$	0.00003°
测量重复性	u_3	A	0.0007°			0.0005°

(1) 由 RTK 校准平台引入测量不确定度 u_1

由 RTK 校准平台技术指标可知,其航向角测量扩展不确定度为静态测量 0.005°,跟踪测量 0.01°,则引入的航向角测量标准不确定度为静态测量 0.0025°,跟踪测量 0.005°。

(2) 接收机航向角信息分辨力引入不确定度 u_2

某型接收机可给出的分辨力为 0.0001°,矩形分布,故由接收机航向角信息分辨力引起的最大误差绝对值为 0.00005°,其引入的航向角测量不确定度为:

$$u_2 = \frac{0.0001}{2\sqrt{3}} = 0.00003^\circ$$

(3) 测量重复性引入的不确定度 u_3

对某 RTK 接收机的航向角进行静态校准,三个观测时段的航向角误差分别为: 0.0059°, 0.0071°, 0.0067°,则重复性用极差法计算为:

$$s = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{d_n} = \frac{0.0071 - 0.0059}{1.693} = 0.0007^\circ$$

则:

$$u_3 = \frac{0.0007}{\sqrt{3}} = 0.0005^\circ$$

(4) 合成标准不确定度 $u_c(\Delta\alpha)$

RTK 接收机测量重复性引入的不确定度大于分辨力引入的不确定度,计算时仅考虑重复性引入的不确定度的影响,则合成标准不确定度:

$$u_c(\Delta\alpha) = \sqrt{2}u(\alpha) = \sqrt{2} \cdot \sqrt{u_1^2 + u_3^2} = 0.004^\circ \quad (\text{C.20})$$

(5) 扩展不确定度 $U(\Delta\alpha)$

$$U(\Delta\alpha) = 2u(\alpha) = 0.008^\circ \quad (k = 2) \quad (\text{C. 21})$$
