



# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF xx-xxxx

## 基于卫星导航系统的双天线定位定向仪 校准规范

Calibration Specification of Positioning and heading instrument  
with double GNSS receivers

(征求意见稿)

xxxx-xx-xx发布

xxxx-xx-xx实施

国家市场监督管理总局 发布

# 基于卫星导航系统的双天线定位定向仪校准规范

Calibration Specification of Positioning and heading instrument with double GNSS 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：北京市计量研究院

北京华远星通科技有限公司

北京国卫星通科技有限公司

本规范由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）

**李娜娜**（中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所）

**何群**（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：**

**黄艳**（北京市计量检测科学研究院）

**关超**（北京华远星通科技有限公司）

**姜楠**（北京国卫星通科技有限公司）

# 目 录

引 言 .....	II
1 范围 .....	1
2 引用文件 .....	1
3 术语 .....	1
4 概述 .....	2
5 计量特性 .....	3
6 校准条件 .....	3
6.1 环境条件 .....	3
6.2 测量标准及其它设备 .....	4
7 校准项目和校准方法 .....	4
7.1 校准项目 .....	4
7.2 校准方法 .....	5
8 校准结果表达 .....	8
9 复校时间间隔 .....	8
附录 A .....	9
附录 B .....	12
附录 C .....	13

# 引 言

本校准规范依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》给出的规则和格式编制。测量不确定度依据 JJF 1059.1-2012《测量不确定度的评定与表示》给出的规则进行评定。

本校准规范为首次制定。

# 基于卫星导航的双天线定位定向仪

## 校准规范

### 1 范围

本校准规范规定了基于卫星导航的双天线定位定向仪（简称定位定向仪）的计量特性、校准条件、校准项目、校准方法和校准结果，推荐了复校时间间隔。

本校准规范适用于新制造（或新购置）、使用中、修理后的定位定向仪的校准。

### 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 17424-2009 差分全球导航卫星（DGPS）技术要求

GB/T 18214.1—2000 idt IEC 1108-1: 1996 全球导航卫星系统（GNSS）第 1 部分：全球定位系统（GPS）接收设备性能标准、测试方法和要求的测试结果。

GB/T18314-2001 全球定位系统（GPS）测量规范

GBT19391-2003 全球定位系统(GPS)术语及定义

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（包括修改单）适用于本规范。

### 3 术语

#### 3.1 定位定向仪 Positioning and heading instrument

带有卫星定位定向功能，有前后两个卫星接收天线组成，具有记录、存储位置、方向等状态信息的数字式电子装置；或由卫星定位与惯性测量单元组合而成，可给出位置与方向信息的组合数字式电子装置。

#### 3.2 WGS-84大地坐标 world geodetic system 1984

采用国际大地测量和地球物理联合会推荐的大地参考数和 BIH1984.0 系统定向所建立的一种地心坐标系。

#### 3.3 天文方位角 astronomical azimuth

过某点的重力线在大地水准面上的交点的天文子午面到过该交点的重力切线和过另一点的重力线在大地水准面上的交点所组成的平面的夹角。

#### 3.4 定位误差 positioning error

定位定向仪所确定的位置与其所处在 WGS-84 大地坐标上实际位置偏离。

#### 3.5 定向误差 heading error

定位定向仪所确定的方向与其所指与天文方位角的偏离。

### 3.6 冷启动首次定位时间 cold start time to first positioning

定位定向仪在星历、历书、概略位置和概略时间等信息未知的情况下，首次加电运行到获得定位信息（实际捕获）时间。

### 3.7 热启动首次定位时间 hot start time to first positioning

定位定向仪在星历、历书、概略位置和概略时间等信息已知的情况下，首次加电运行到获得定位信息（实际捕获）时间。

### 3.8 冷启动首次定向时间 cold start time to first heading

定位定向仪在星历、历书、概略位置和概略时间等信息未知的情况下，首次加电运行到获得定向信息（实际捕获）时间。

### 3.9 热启动首次定向时间 hot start time to first heading

定位定向仪在星历、历书、概略位置和概略时间等信息已知的情况下，首次加电运行到获得定向信息（实际捕获）时间。

### 4.0 重捕获时间 reacquisition time

定位定向仪在接收到的导航信号短时间失锁后，从信号恢复到重新捕获导航信号所需要的时间。

## 4 概述

定位定向仪主要用于运动载体的定位定向测量，如雷达车、卫星通信车、勘测船、移动通信站，无人机等。定位定向仪主要采用双卫星相位差分技术，来计算出单个卫星天线位置所处的大地坐标，两个天线之间的距离为基线长度，两个天线之间的矢量方向可以确定定位定向仪的方向。若由卫星与惯性组合而成的定位定向仪，通过融合算法，在卫星信号无效的情况下，由惯性测量单元保持定位定向精度。

定位定向仪一般由两个卫星接收天线、一个主机或主板组成，其中主机或主板主要是由基带处理部分、导航处理部分、外部通信、电源管理部分组成。

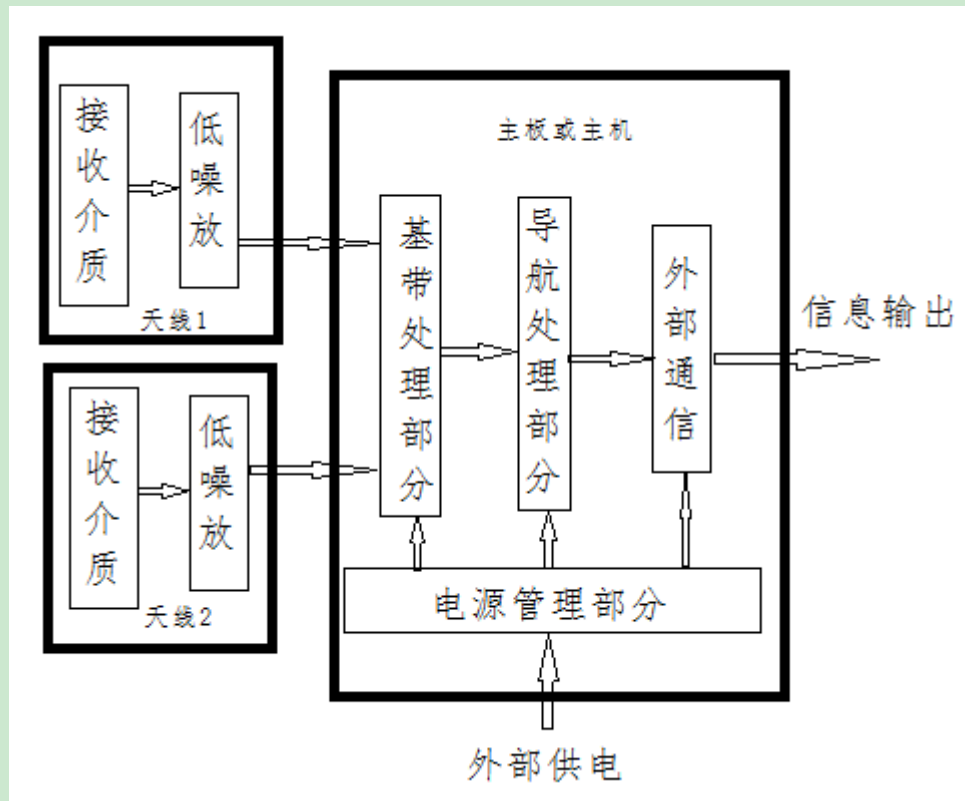


图1 典型定位定向仪硬件模组原理图

## 5 计量特性

接收机的主要计量特性见表1。

表1 接收机计量特性

序号	项目名称	技术指标
1	冷启动首次定位时间	≤90s
2	热启动首次定位时间	≤50s
3	冷启动首次定向时间	≤120s
4	热启动首次定向时间	≤60s
5	重捕获时间	2 s
6	定位误差	≤2m（水平）(rms)；高程6m
7	定向误差	≤0.5°（基线≤3m） ≤0.1°（基线>3m）

注：1.上述指标不做合格与否判定，仅供参考。  
2.上述指标以某型接收机为例，其他类推。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

环境温度：-20℃~+50℃

相对湿度：不大于 90%

供电电源：电压(220±10)V AC，频率(50±1)Hz



周围应便于安装接收机设备和操作，视野开阔，视场内障碍物的高度角不宜超过  $15^\circ$ ；附近不应有强烈反射卫星信号的物件（如大型建筑物等）。

远离大功率无线电发射源，其距离不小于 200m，远离高压输电线和微波无线电信号传送通道，其距离不得小于 50m；

## 6.2 测量标准及其它设备

### 6.2.1 大地标准点

通过GPS组网测量得到的已知大地坐标的点位，其中GPS网的布设、选点、埋石、测量仪器、观测作业数据处理等符合GB/T18314-2001全球定位系统（GPS）测量规范。

### 6.2.2 天文方位角目标基准

利用天文测量的方法在室内(外)建立一条接近天文北方向N的已知方位角为 $\alpha$ 的目标基准， $\alpha$ 的测量不确定度不大于 $1''$ ，见图1。

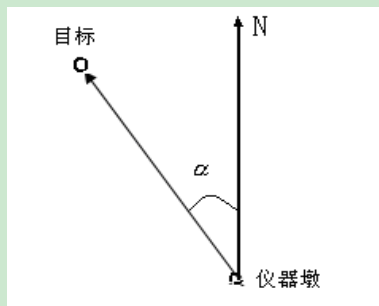


图1 天文方位角目标示意图

### 6.2.3 经纬仪

测角误差不大于  $2''$ 。

### 6.2.4 陀螺经纬仪

寻北误差不大于  $6''$

### 6.2.5 秒表

分辨力  $0.01s$ ，日差  $\pm 0.5s/d$

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

表2 校准项目表

序号	校准项目
1	冷启动首次定位时间
2	热启动首次定位时间
3	冷启动首次定向时间
4	热启动首次定向时间
5	重捕获时间
6	定位误差
7	定向误差

## 7.2 校准方法

将天线置于测试场中固定，天线的安装应按厂家的说明书进行，其高度应距电气地之上 1.0m~1.5m，从天顶到水平面上 5°仰角空间，对卫星的视野要清晰。用连接馈线连接到测量单元，测量单元与记录单元连接，并按要求将测量单元连接供电电源。按下图2接线。

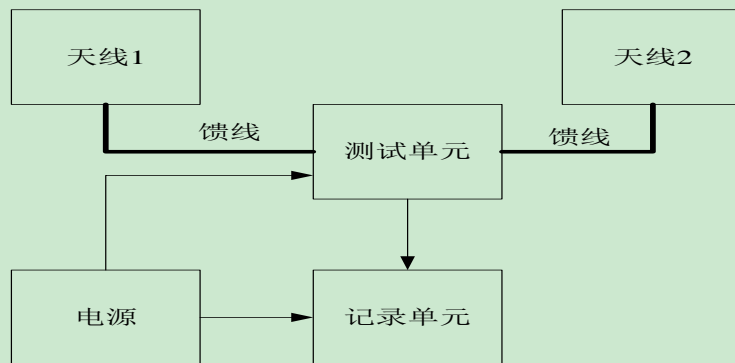


图2 双天线定向校准接线图

### 7.2.1 冷启动首次定位时间

将记录单元启动，测试单元上电，在彻底清除掉星历、历书、概略位置和概略时间的情况下，用秒表记录从系统加电运行到获得定位信息（实际捕获）时间，记为系统的冷启动首次定位时间。

### 7.2.2 热启动首次定位时间

定位定向仪冷启动首次定位断电后，将记录单元启动，测试单元上电，用秒表记录从系统加电运行到获得定位信息（实际捕获）时间，记为系统的冷启动首次定位时间。

### 7.2.3 冷启动首次定向时间

将记录单元启动，测试单元上电，在彻底清除掉星历、历书、概略位置和概略时间的情况下，用秒表记录从系统加电运行到获得定向信息（实际捕获）时间，记为系统的冷启动首次定向时间。

### 7.2.4 热启动首次定向时间

定位定向仪冷启动首次定位断电后，将记录单元启动，测试单元上电，用秒表记录从系统加电运行到获得定位信息（实际捕获）时间，记为系统的定位时间。

#### 7.2.5 捕获时间

系统在不断电的情况下，用秒表记录系统中断搜星 30 秒后重新获得定位信息的时间，记为重新捕获时间。

#### 7.2.6 定位误差

将被校天线安装在大地标准点位上，用连接馈线连接到测量单元，连接测量单元与记录单元，系统上电，待系统捕获到定位信息输出稳定后，观测三个时段，每个观测时段记录不少于 1000 组数据。

计算每个采样点定位误差

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

式中： $x_{ij}$ —第*i*个观测时段第*j*个采样时刻接收机输出的X方向坐标值，单位：m；

$y_{ij}$ —第*i*个观测时段第*j*个采样时刻接收机输出的Y方向坐标值，单位：m；

$z_{ij}$ —第*i*个观测时段第*j*个采样时刻移动站接收机输出的Z方向坐标值，单位：m；

$x_0$ —大地标准点的X方向坐标值，单位：m；

$y_0$ —大地标准点的Y方向坐标值，单位：m；

$z_0$ —大地标准点的Z方向坐标值，单位：m；

计算定位误差：

$$\sigma = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sigma_{ij} \right) \quad (2)$$

#### 7.2.7 定向误差

将天线1和天线2置于支架上，天线1与天线2之间的距离按仪器说明书中规定的基线长度，分别用连接馈线将天线连接到测量单元，测量单元与记录单元连接；使用经纬仪瞄准天线1、天线2连线方向，测量出其与天文方位角目标基准之间的水平夹角 $\alpha_1$ ，如图 3所示， $\alpha_1$ 由经纬仪的左盘与右盘的平均值获得。

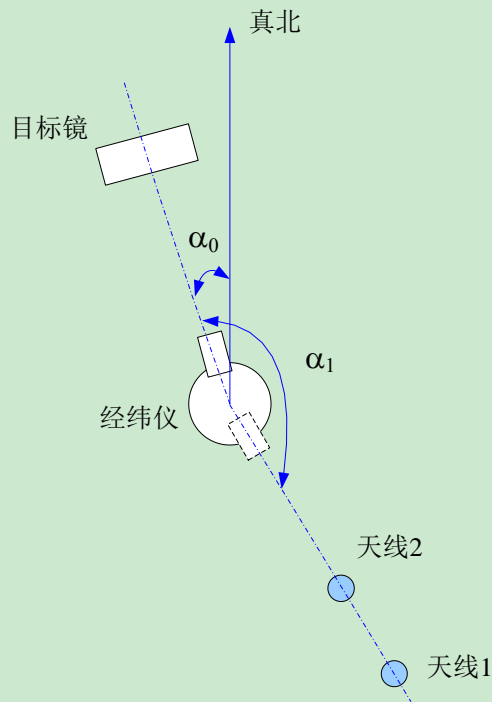


图3 经纬仪定向误差校准图

将被测系统上电，待系统捕获到定向信息输出稳定后，测量记录仪不少于 1000 个角度数据  $\varphi_{ij}$ ，然后断点，重新上电，测量记录，重复  $i$  次。

计算每个测量点的定向误差

$$\theta_{ij} = \varphi_{ij} - (\alpha_1 - \alpha_0) \quad (3)$$

式中： $\theta_{ij}$ ——第  $i$  次测量第  $j$  个测量值的定向误差，单位： $^{\circ}$ ；

$\varphi_{ij}$ ——记录仪测得第  $i$  次测量第  $j$  个测量值偏离真北的方向角度，单位： $^{\circ}$ ；

$\alpha_1$ ——天线连线与方位角目标基准的水平夹角，单位： $^{\circ}$ ；

$\alpha_0$ ——方位角目标基准与天文真北的夹角，单位： $^{\circ}$ ；

$i$ ——测量次数。

$j$ ——测量值个数，

计算定向误差：

$$\theta = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \theta_{ij} \right) \quad (4)$$

上述方法中，也可以直接用陀螺经纬仪测量两天线的连线的方法进行。先将陀螺经纬仪经纬仪瞄准两天线的连线，然后将陀螺经纬仪大致旋转到北方向，开启寻北功能，待寻北后，记录此时陀螺经纬仪上显示的水平角度  $\beta_0$ ，将用经纬仪旋转至天线 1、天线 2 连线方向，记录经纬仪上的显示的水平角度值  $\beta_1$ ，如图 3 所示， $\beta_1$  由经纬仪的

左盘与右盘的平均值获得。

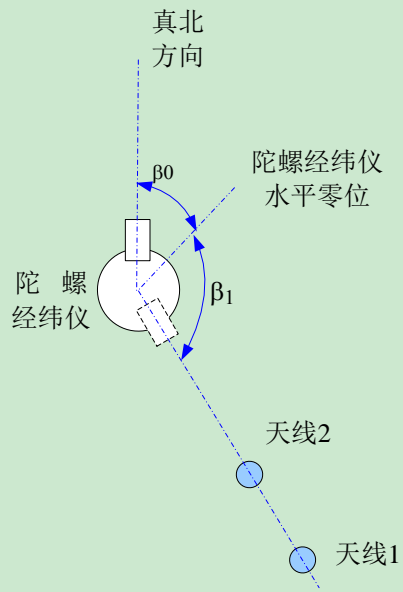


图 4

将被测系统上电，待系统捕获到定向信息输出稳定后，测量记录不少于1000个角度数据 $\varphi_j$ ，然后断点，重新上电，测量记录，重复*i*次。数据处理按公式(3)、(4)进行。

## 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

定位定向仪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

表A -1 定位定向时间校准记录表

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:		
测量结果:					
冷启动首次定位时间					
热启动首次定位时间					
冷启动首次定向时间					
热启动首次定向时间					
重捕获时间					

表A -2 定位校准记录表

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:						
测量结果:												
大地标准点坐标		$x_0$										
		$y_0$										
		$z_0$										
序号	第一观测时段				第二观测时段				第三观测时段			
	$x_{1j}$	$y_{1j}$	$z_{1j}$	$\sigma_{1j}$	$x_{2j}$	$y_{2j}$	$z_{2j}$	$\sigma_{2j}$	$x_{3j}$	$y_{3j}$	$z_{3j}$	$\sigma_{3j}$
1												
2												
3												
...												
n												
$\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sigma_{ij}$												
定位误差	$\sigma = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sigma_{ij} \right)$											

表A -3 定向校准记录表

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:			
测量结果:						
$\alpha_0$						
$\alpha_1$						
序号	第一观测时段		第二观测时段		第三观测时段	
	$\varphi_{1j}$	$\theta_{1j}$	$\varphi_{2j}$	$\theta_{2j}$	$\varphi_{3j}$	$\theta_{3j}$
1						
2						
3						
...						
n						
$\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \theta_{ij}$						
定向误差		$\theta = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \theta_{ij} \right)$				

校准不确定度:

校准人:

核验人:



## 附录 B

## 校准证书页内格式

序号	校准项目	校准结果及不确定度
1	冷启动首次定位时间	
2	热启动首次定位时间	
3	冷启动首次定向时间	
4	热启动首次定向时间	
5	重新捕获时间	
6	定位误差	
7	定向误差	

## 附录 C

## 不确定度评定

## C.1 定位测量不确定度

## C.1.1 数学模型；

$$\sigma_{ij} = \sqrt{(x_{ij} - x_0)^2 + (y_{ij} - y_0)^2 + (z_{ij} - z_0)^2} \quad (\text{C.1})$$

传递公式及灵敏度

$$u_1(\sigma_{ij}) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i)} = \sqrt{c^2(x_{ij})u^2(x_{ij}) + c^2(y_{ij})u^2(y_{ij}) + c^2(z_{ij})u^2(z_{ij})} \quad (\text{C.2})$$

$$\text{其中: } c(x_{ij}) = \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_{ij}} = -\frac{x_{ij} - x_0}{\sigma_{ij}}$$

$$c(y_{ij}) = \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial y_{ij}} = -\frac{y_{ij} - y_0}{\sigma_{ij}}$$

$$c(z_{ij}) = \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial z_{ij}} = -\frac{z_{ij} - z_0}{\sigma_{ij}}$$

$$\begin{aligned} u_1(\sigma_{ij}) &= \sqrt{\sum_{i=1}^N \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i)} = \sqrt{c^2(x_{ij})u^2(x_{ij}) + c^2(y_{ij})u^2(y_{ij}) + c^2(z_{ij})u^2(z_{ij})} \\ &= \frac{1}{\sigma_{ij}} \sqrt{(x_{ij} - x_0)^2 u^2(x_{ij}) + (y_{ij} - y_0)^2 u^2(y_{ij}) + (z_{ij} - z_0)^2 u^2(z_{ij})} \quad (\text{C.3}) \end{aligned}$$

## c.1.2 定位标准不确定度分量

定位标准不确定度分量见表c-1所示。

表 c-1 定位标准不确定度分量一览表

标准不确定度 $u(x_i)$	不确定度来源	不确定度分类
$u_1$	传递引入的不确定度分量 $u_1(\sigma_{ij})$	
$u_1(X), u_1(Y), u_1(Z)$	标准坐标点引入的 x、y、z 方向不确定度分量	B
$u_1(x), u_1(y), u_1(z)$	被校接收机分辨力引入的 x、y、z 方向不确定度分量	B
$u_2$	测量分析软件	B
$u_3$	测量结果的重复性	A

$u_c$	$u_c(\sigma) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2}$	
-------	----------------------------------------------	--

## c. 1.3 不确定度评定

(1) 传递引入的不确定度  $u_1$  :

标准大地点给出的不确定度  $u_1(X)$ ,  $u_1(Y)$ ,  $u_1(z)$

由标准大地点测量成果证书给出, 端基线时基线标准偏差  $p=3\text{mm}$ , 假设其在  $x, y, z$  三个方向上的贡献一样大, 则不确定度可表示为:

$$u_1(X) = u_1(Y) = u_1(z) = 0.003\text{m}$$

接收机分辨力引入的不确定度  $u_1(x)$ ,  $u_1(y)$ ,  $u_1(z)$

假设接收机在某一采用时段采样点数1000, 计算定位误差为  $r=2.005\text{m}$ , 经度、纬度和高程的分辨力为  $0.000005^\circ$ , 依据两点误差公式, 可知引入的距离差值为  $0.5\text{m}$ , 假设其在  $x, y, z$  三个方向上的贡献一样大, 转换到  $X, Y, Z$  上的分辨力为  $0.29\text{m}$ , 由接收机分辨力引入的不确定度为:

$$u_1(x) = u_1(y) = u_1(z) = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.2886\text{m}$$

根据公式(c. 3), 并假设

$$u_1(X) = u_1(Y) = u_1(z) = 0.001\text{m},$$

$$u_1(x) = u_1(y) = u_1(z) = 0.29\text{m},$$

$$(x_{ij} - x_0) = (y_{ij} - y_0) = (z_{ij} - z_0) = \frac{r}{\sqrt{3}} = 1.158\text{m},$$

同时注意到:

$$u(x_{ij}) = \sqrt{u_1^2(x_i) + u_1^2(X)}$$

$$u(y_{ij}) = \sqrt{u_1^2(y_i) + u_1^2(Y)}$$

$$u(z_{ij}) = \sqrt{u_1^2(z_i) + u_1^2(Z)}$$

则:

$$\begin{aligned} u_1(\sigma_{ij}) &= \sqrt{\sum_{i=1}^N \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i)} = \frac{1}{\sigma_{ij}} \sqrt{3(x_{ij} - x_0)^2 u^2(x_{ij})} \\ &= \frac{\sqrt{3 \times 1.158^2 \times (0.003^2 + 0.2886^2)}}{2.005} = 0.289\text{m} \end{aligned}$$

(2) 测量分析软件引入的不确定度  $u_2$

测量分析软件引入的不确定度估计， $u_2 = 0.100$  m

(3) 测量重复性引入的不确定度 $u_3$

测量分析软件引入的不确定度估计，

$$u_3 = 0.03 \text{ m} \quad (\text{C. 4})$$

(4) 合成标准不确定度：

$$u_c(\sigma_{ij}) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.307 \text{ m} \quad (\text{C. 5})$$

(5) 扩展不确定度：

$$U = k \cdot u_c(\sigma_{ij}) = 2\sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.614 \text{ m} \quad (k = 2)$$

## C.2 定向测量不确定度

### C.2.1 数学模型：

$$\theta_{ij} = \varphi_{ij} - (\alpha_1 - \alpha_0) \quad (\text{C. 6})$$

c.2.2定向测量标准不确定度分量见表c-2所示。

表 c-2 定向测量标准不确定度分量一览表

标准不确定度 $u(x_i)$	不确定度来源	不确定度分类
$u_1$	传递引入的不确定度分量 $u_1(\theta_{ij})$	
$u_{11}$	北向基准镜引入的测量不确定度	B
$u_{12}$	经纬仪引入的测量不确定度	B
$u_{13}$	接收机角度测量分辨力引入的不确定度	B
$u_2$	测量分析软件	B
$u_3$	测量结果的重复性	A
$u_c$	$u_c(\theta) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2}$	

### c.2.3 不确定度评定

(1) 传递引入的不确定度 $u_1$

北向基准镜对北的最大测量误差为 $\pm 0.51''$ ，由基准镜引入的测量不确定度 $u_{11}$ ：

$$u_{11} = \frac{0.51}{\sqrt{3}} = 0.29''$$

经纬仪测量角度时的最大误差为 $\pm 2''$ ，由此引入的测量不确定度 $u_{12}$ ：

$$u_{12} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1.16''$$

某接收机角度测量分辨力为 $0.001^\circ$ ，引入的不确定度 $u_{13}$ ：

$$u_{13} = \frac{0.001 \times 3600}{\sqrt{3}} = 2.08''$$

传递引入的不确定度 $u_1$

$$u_1 = \sqrt{u_{11}^2 + u_{12}^2 + u_{13}^2} = 2.4'' \quad (\text{C.7})$$

(2) 测量分析软件引入的不确定度 $u_2$

由测量分析软件引用的测量不确定度估计为：

$$u_2 = 2.0''$$

(3) 测量结果的重复性引入的测量不确定度 $u_2$

由测量结果的重复性引入的测量不确定度估计为：

$$u_3 = 2.0''$$

(4) 合成标准不确定度：

$$u_c(\theta) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 3.7'' \quad (\text{C.8})$$

(5) 扩展不确定度：

$$U = k \cdot u_c(\sigma_{ij}) = 2\sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 7.4'' \quad (k = 2) \quad (\text{C.9})$$