

实时差分（RTK）测量系统 校准规范

编制说明

（征求意见稿）

2023年10月

实时差分（RTK）测量系统动态校准规范

一、任务来源

《实时差分（RTK）测量系统动态校准规范》是根据市监计量发[2022]70号《市场监管总局办公厅关于印发2022年国家计量技术规范项目制定、修改及宣贯计划的通知》所列出的计划项目之一。由中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所等单位承担了该规范的起草工作，规范归口单位为全国卫星导航应用专用计量测试技术委员会。

二、编制过程

2.1 编制遵循以下原则

校准规范全部内容应与现行有效相关标准相协调，技术内容应具有先进性、科学性和可操作性。

在充分调研的基础上，根据实际情况，确定实施差分（RTK）测量系统的计量特性、校准项目、校准方法和校准结果的处理等。

规范中的校准方法应通过试验验证，力求方法简单科学，准确可靠。

规范中的文字表述力求层次分明，语句简明，公式表达准确，量和单位使用规范。

2.2 各阶段工作过程

2022年1月进行《实施差分（RTK）测量系统动态校准规范》立项申请，对本项目的必要性、意义、国内外水平现状和发展趋势、具备的基础、关键技术和工作内容等进行了论证，编制了国家计量技术法规项目计划任务书，对工作任务进行了分工。具体实施过程如下：

2022年2月完成了立项申请报告；

2022年4月开始积极组织和落实编制组成员，开展资料收集工作，对校准方法进行了初步试验验证；

2022年12月开始编写《实施差分（RTK）测量系统动态校准规范》初稿；

2023年5月完成规范初稿编写，广泛征求意见；

2023年7月编写组根据征求意见和建议进行了修改、完善，形成了预审稿。

2023 年 8 月完成相关试验和数据的分析工作。

2023 年 11 月 日在 召开了《实施差分（RTK）测量系统动态校准规范》初稿预审会，会上专家对规范初稿进行了认真讨论；

2023 年 月编写组根据预审会各位委员提出的意见和建议进行了修改、完善，形成了送审稿，提交委员会进行审查。

2023 年 月 日~2023 年 月 日，全国卫星导航应用专用计量测试技术委员会在 召开了《实施差分（RTK）测量系统动态校准规范》技术法规的审查会，审查结果：起草单位提交的送审稿等技术资料齐全，内容完整，《实施差分（RTK）测量系统动态校准规范》的编写参照了相关规范中的有关规定，所有条款符合 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》的要求。校准参数符合实施差分（RTK）测量系统的要求，检测方法切实可行。审定会一致同意通过对《实施差分（RTK）测量系统校准规范》国家计量技术规范的审定。

2.3 征求意见单位

给下列单位发出征求意见稿，它们是国家计量科学研究院，中国民航计量检测中心，铁道部标准计量研究所，中国人民解放军空军研究院，中航工业空空导弹研究院、618 所、304 所、航宇救生装备有限公司，航天 13 所、33 所、203 所，54 所、25 所，兵器工业中国北方车辆研究所，中国电子科技集团公司 13 所、514 所，北京理工大学，北京航空航天大学，北京信息科技大学，哈尔滨工业大学，山西国营大众机械厂，北汽福田汽车股份有限公司、长城汽车股份有限公司、中国汽车工程研究院股份有限公司、北京和协航电科技有限公司，北京理工雷科电子信息技术有限公司、上海司南卫星导航技术股份有限公司、北京星地连信息科技有限公司公司等。其中有 21 个单位的专家通过信函或电子邮件方式给了书面答复。

三、调研和分析工作的情况

3.1 差分（RTK）测量系统

全球导航卫星定位系统主要有俄罗斯的 GLONASS、美国的 GPS、欧盟正在建设的 Galileo 和我国正在建设的北斗卫星导航系统。卫星导航系统作为基础性的信息系统能提供全球性的导航定位与授时服务，卫星导航的应用已经渗透到了国家安全、经济建设与发展以及人们日常生活的几乎所有领域，并将产生越来越大

的影响。

伴随着高新技术的发展，航空、航天、航海、武器装备等领域对定位精度的要求越来越高，RTK (Real-time kinematic) 实时差分定位技术应运而生。RTK 测量方法主要依据实时动态差分技术，又称为载波相位差分技术。这是一种新的常用的 RNSS 测量方法。RTK 它能实时提供观测点的三维坐标，能够在野外实时得到厘米级高精度。与伪距差分原理相同，RTK 由基准站通过数据链实时将其载波观测值及站坐标信息一同传送给用户站。用户站接收 RNSS 卫星的载波相位与来自基准站的载波相位，并组成相位差分观测值进行实时处理，能实时给出厘米级的定位结果。

在 RTK 作业模式下，基准站除了采集卫星数据外，还要通过数据链将其观测值和站点坐标信息一起传送给移动站。移动站在采集卫星数据的同时，还要接收来自基准站的数据链，并在系统内对采集和接收的两组数据，进行实时载波相位差分的处理，得出定位结果。将这些观测值进行差分的结果是极大地削弱和消除轨道误差、钟差、大气误差等影响，将实时定位精度大幅提升，定位精度可达 1cm~2cm。

以上所述的定位技术是传统的 RTK 技术，它存在一个问题：移动站和基准站之间存在距离限制。为了解决这个问题，即出现了网络 RTK 技术。在网络 RTK 技术中，在一个较大的区域内，均匀分散设置多个基准站（3 个或以上），构成一个基准站网。网络 RTK 相比传统的 RTK，是用区域型的 GNSS 网络误差模型取代了单点 GNSS 误差模型。

网络 RTK 用多个基准站组成基准站网，它们将数据发给中央服务器。中央服务器会根据数据模拟出一个“虚拟基准站”，所以网络 RTK 也被称为“虚拟基准站技术”。对于移动站来说，它只会看到这个“虚拟基准站”，基于这个“虚拟基准站”来的数据完成最终的测试运算。

网络 RTK 具有明显的优势，随处可见的移动通信基站，可以用于兼职“基准站”，网络 RTK 基本实现了无缝覆盖。移动站与中央服务器的通信，也可以通过移动站（终端）内置的无线通讯模组来完成，这些高精度定位模组，集成了 RTK 技术，且本身也是移动通信模组；对于用户而言，不需要自建基准站，节约了大量成本；网络 RTK 具有众多基准站，精度和可靠性更高。

3.2 应用领域和生产厂家情况

RTK 测量系统可全面服务于高精度国家或区域大地坐标基准的建立和维持、高精度靶场控制网建设、远程打击武器的快速定位定向与精密制导、智能驾驶、无人机、机器人、测图、地壳变形监测等领域。

RTK 主要生产厂家及产品，NovAtel 公司生产的 RTK 接收机 PWRPAK7，RACELOGIC 公司的 VB3i，英国牛津公司的 RT3000 等，主要用做汽车性能的检测设备，目前国内汽车生产和检测厂家进口了大量的 VB3i 和 RT3000 这两个型号的设备，用于汽车性能的检测。国内产家主要有北京北斗星通导航技术股份有限公司生产的 TQ-NC 系列，北京中兴蓝鼎公司的 LD-VR100，上海司南导航技术股份有限公司的 MYQTA1664 等。

RTK 测量系统技术比较成熟，有自主研发的，也有从国外引进的，主要用于运动载体的定位与航向测量。在飞机、舰船、高铁、汽车等领域均有广泛的应用。但主要的动态定向误差和跟踪航向角误差还没有有效的检定或校准方法，急需计量部门完成该技术法规的制定，并尽快实施。

3.3 目前国内相关标准情况

在 CH/T 8018-2009 全球导航卫星系统 (GNSS) 测量型接收机 RTK 检定规程中，对 RTK 的测试方法介绍较为具体，提出的检定方法需要已知高精度基线检定场，即检定场应至少由 6 个点构成，这些基线点可以构成一条直线，也可以构成网状。基线边长应为 (2~5) km，基线边长的相对精度应优于 1×10^{-6} 。该方法是在一个基线点上架设基准站并设置基准站的各项参数，启动基准站使其正常工作，连接并设置移动站，待移动站初始化成功后，依次将移动站置于检定场内其他各点进行 RTK 测量数据采集。规程中对 RTK 测量精度的计算公式为：

$$D_i = \sqrt{(X_0 - X_i)^2 + (Y_0 - Y_i)^2 + (Z_0 - Z_i)^2} \quad (1)$$

$$m_s = \sqrt{(\sum_{i=1}^n (D_0 - D_i)^2) / n} \quad (2)$$

式中：

D_i ——移动站实测到参考站的距离；

m_s ——RTK 测量精度。

在 BD 420002-2015 北斗/全球卫星导航系统 (GNSS) 测量型 OEM 板性能要求及测试方法中, 对 RTK 测量精度的测试方法为使用实际卫星信号, 选取适当基线长度进行检验, 有效 GNSS 卫星数目不少于 8 颗, 设置卫星截止高度角不大于 10 度, 流动站 OEM 板卡在已知坐标点位上进行观测, 共观测 10 组数据, 每组采集不少于 100 个测量结果。计算方法如下:

$$m_{hk} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(E_i - E_0)^2 + (N_i - N_0)^2]} \quad (3)$$

$$m_{vk} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (U_i - U_0)^2} \quad (4)$$

式中:

m_{hk} 、 m_{vk} ——分别为 RTK 测量水平、垂直精度;

N_i 、 E_i 、 U_i ——分别为被测设备第 i 个定位结果在站心地平坐标系下北、东、高坐标;

N_0 、 E_0 、 U_0 ——分别为已知点在站心地平坐标系下北、东、高坐标。

RTK 水平定位标称精度为 $\pm (10+1 \times D)$ mm (其中 D 为距离, 单位 m), 垂直标准精度应优于 $\pm (20+1 \times D)$ mm, RTK 初始化时间不大于 10s (在不大于 8km 的基线上)。

3.4 结论

目前 RTK 测量系统测试主要借助室外标准大地点进行。外场检定, 容易受到多路径效应的影响, 对场地、气候条件、天气要求比较高, 而现行的规范及测试方法都只进行了静态校准。越来越多的 RTK 测量系统用于动态定位、速度和航向角测量, RTK 测量系统的动态定位, 速度和航向角的校准没有相应的规范和手段。

编制组针对国内 RTK 的发展状况以及国内外相关标准展开了广泛的资料收集。对国际的相关标准进行了查询, 现行有效的国际标准针对 RTK 的动态定位、速度、航向角等测量没有相关的内容介绍。国内外基于卫星导航系统的 RTK 接收机的校准主要有以下标准和方法。

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

JJF 1942-2021 导航型卫星接收机校准规范

CH/T 8018-2009 全球导航卫星系统（GNSS）测量型接收机 RTK 检定规程

BD 420002-2015 北斗/全球卫星导航系统（GNSS）测量型 OEM 板性能要求及测试方法

BD 420023-2019 北斗/全球卫星导航系统（GNSS）RTK 接收机通用规范

本规范在起草中对上述标准中接收机定位精度测试的方法进行了借鉴，结合目前 RTK 测量系统在战车、舰艇、无人机等导航系统的应用，为确保 RTK 测量系统给出的测量结果的准确和可靠，迫切需要寻找出一种更为全面的计量校准评价方式，建立测试校准平台，编制统一的校准规范，满足各行各业对 RTK 测量系统动态校准需求。

四、主要技术内容的说明

4.1 主要技术内容的确定依据

航空工业北京长城计量测试技术研究所角运动校准实验室主要从事惯性导航系统、惯性与卫星导航组合导航系统、卫星导航应用系统的测量设备及其校准方法的研究。建立了与卫星导航测试校准及卫星/惯性组合导航系统相关的多项标准，建有超短基线检测场、多星模拟器校准装置、组合导航校准系统、基于火箭橇的接收高动态校准装置、接收机航姿校准系统、北向基准等标准，在长期的检测校准过程中，与客户建立了广泛的、深入的联系，积累了丰富的经验，对实施差分（RTK）测量系统动态测试和校准需求非常了解。这些为确定实施差分（RTK）测量系统主要技术内容测试与验证提供了依据。

开展实施差分（RTK）测量系统动态校准规范编制的目的是确保其量值准确可靠，保证校准方法统一。本着对实施差分（RTK）测量系统校准方法准确，同时考虑规范的可操作性，确定了实施差分（RTK）测量系统动态校准的计量特性、校准条件、校准项目、校准方法及复校间隔。

4.2 主要技术内容说明

本校准规范采用 RTK 校准平台，模拟产生 RTK 测量系统校准所需的信号，对 RTK 测量系统的接收频点、最低跟踪功率、定位时间、定向时间、定位误差、

动态定位误差、速度误差、定向误差、航向跟踪误差、无线通讯距离等技术指标进行测试校准。

4.3 主要技术内容说明

a) 主要计量特性见表 1 所示。

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	航向角误差 (RMS)		≤0.5° (D≤3m)
			≤0.1° (D>3m)
9	航向跟踪误差 (RMS)		≤0.5° (基线≤3m、角速度:)
			≤0.1° (基线≤3m、角速度:)
10	无线通讯距离		10km
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 RTK 测量系统为例, 其他类推。			

b) 校准用主要设备见表 2 所示。

表 2 校准用主要设备

序号	校准用标准装置及配套设施	技术指标	用途
1	RTK 校准平台	伪距相位控制精度： $\leq 0.01\text{m}$ 伪距变化率精度： $\leq 0.003\text{m/s}$ 通道间一致性：0.3ns	定位误差、定向误差、RTK 动态定位误差、速度误差、航向角误差、航向角跟踪误差
2	电子秒表	测量不确定度：0.001s	定位时间

c) 校准项目

校准规范中规定了实时差分（RTK）测量系统的定位、航向角等校准项目，详见表 3。

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

d) 校准方法

本规范针对 RTK 测量系统主要性能特性规定了校准方法，所用测试、校准方法经多家单位现场试验验证，是可行的。

为了合理表征测量结果，必须对测量结果的不确定度进行评定。对 RTK 测量系统的定位误差、速度误差和航向角误差等主要校准参数的测量不确定度分别进行了评定，并作为规范性附录给出。评定过程严格按有关国家军用标准的要求进行，包括测量方法、数学模型、测量不确定度来源、测量不确定度评定、扩展不确定度等内容。

e) 校准结果的处理

校准结果的有效值保留位数应以校准结果的不确定度为主要依据。

f) 复校时间间隔

考虑到 RTK 测量系统使用的情况，其性能指标的准确与否，直接关系到载体运动的准确性与安全性。因此建议 RTK 测量系统的复校间隔为一年。

五、验证试验的情况和结果

通过试验手段来验证本标准的技术方法。通过大量试验，证实实时差分(RTK)测量系统校准规范中所描述的对被校对象的技术特性要求，对标准仪器的选择，校准点的选择以及采用的校准方法是正确可行的。此外，还进行了比对、重复性、稳定性考核实验，进行了校准装置测量不确定度的评定和验证，并按照国军标的要求进行数据分析，比对结果及重复性、稳定性考核实验数据均符合国军标的要求。具体试验结果见试验验证报告。

六、与国外同类标准水平的对比分析

未查到国内外相同标准，国外相关的建议只是概念性介绍，没有实质内容。

七、与现行法规、标准的关系

在定位误差校准中的一些项目的不确定度分析参考了 JJF1403-2013《全球导航卫星系统(GNSS)接收机(时间测量性)校准规范》和 JJF1942-2021《导航型卫星接收机校准规范》中的分析方法。

八、实施标准的要求和措施的建议

实施本标准需要建立相应标准装置。

实时差分(RTK)测量系统动态校准规范是确保该类设备量值准确可靠的有效手段，没有标准可依制约了该技术的发展，希望该校准规范能及时得到通过，并宣贯执行。

九、其他要说明的事项

无

十、参考资料清单

- [1] JJF 1001-2011 通用计量术语及定义
- [2] JJF 1071-2010 国家计量校准规范编写规则
- [3] JJF 1059-2012 测量不确定度评定与表示
- [4] GB/T 39267-2020 北斗卫星导航术语
- [5] GB/T 39399-2020 北斗卫星导航系统测量型接收机通用规范

- [6] GB/T 39616-2020 卫星导航定位基准站网络实时动态测量（RTK）规范
- [7] JJF 1403-2013 全球导航卫星系统（GNSS）接收机（时间测量型）校准规范
- [8] JJF 1942-2021 导航型卫星接收机校准规范
- [9] BD 420023-2019 北斗/全球卫星导航系统（GNSS）RTK 接收机通用规范
- [10] BD 420002-2015 北斗/全球卫星导航系统（GNSS）测量型 OEM 板性能要求
- [11] CH/T 8018-2009 全球导航卫星系统（GNSS）测量型接收机 RTK 检定规程

实时差分（RTK）测量系统动态校准规范编制组

2023 年 10 月 30 日