



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF××××—××××

道路运输车辆卫星定位系统车载终端 校准规范

Calibration Specification for On-Board Terminals of Satellite Positioning
Systems in Road Transport Vehicles
(征求意见稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

国家市场监督管理总局 发布

道路运输车辆卫星定位系统车 载终端校准规范

Calibration Specification for On-Board Terminals of Satellite
Positioning Systems in Road Transport Vehicles

JJF XXXX -202X

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：

参加起草单位：

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：

参加起草人：

目 录

引言	I
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和计量单位	1
3.1 道路运输车辆卫星定位系统车载终端	1
4 概述	1
5 计量特性	2
5.1 卫星信号接收	2
5.2 定位偏差及精密度	2
5.3 里程误差	2
5.4 速度误差	2
5.5 时间同步误差	2
5.6 时间间隔测量误差	2
5 计量特性	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	3
7 校准方法	3
7.1 校准前准备	3
7.2 卫星信号接收	3
7.3 定位偏差及精密度	3
7.4 里程误差	5
7.5 速度误差	6
7.6 时间同步误差	8
7.7 时间间隔测量误差	9
8 校准结果表达	10
9 复校时间间隔	10
附录 A 道路运输车辆卫星定位系统车载终端不确定度评定	11
附录 B 道路运输车辆卫星定位系统车载终端校准原始记录参考格式	23
附录 C 校准证书内页内容	24

附录 D NMEA 数据坐标系统和时间系统的转换	25
--------------------------------	----

引 言

JJF2071-2023 《便携式智能定位计时终端校准规范》、JJF1942-2021 《导航型卫星接收机校准规范》、BDS-JSCS-2021-005 《北斗卫星导航系统民用全球信号多模多频 高精度板卡产品 技术要求和测试方法》、JT/T 794-2019 《道路运输车辆卫星定位系统 车载终端技术要求》、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 1059.1-2012 《测量不确定度评定与表示》、JJF 1001-2011 《通用计量术语及定义》、JJF 1071-2010 《国家计量校准规范编写规则》共同构成支撑本规范制定工作的基础性文件。

本规范为首次发布。

道路运输车辆卫星定位系统车载终端校准规范

1 范围

本规范适用于道路运输车辆卫星定位系统中安装在车辆上的车载终端设备的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 2071-2023 便携式智能定位计时终端校准规范

JJF 1942-2021 导航型卫星接收机校准规范

BDS-JSCS-2021-005 北斗卫星导航系统民用全球信号多模多频 高精度板卡产品 技术要求和测试方法

JT/T 794-2019 道路运输车辆卫星定位系统 车载终端技术要求

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 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示

JJF 1001-2011 通用计量术语及定义技术规范

JJF 1071-2010 国家计量校准规范编写规则

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于该规范；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 术语和定义

3.1 道路运输车辆卫星定位系统车载终端 On-Board Terminals of Satellite Positioning Systems in Road Transport Vehicles

安装在道路运输车辆上，满足工作环境、性能、功能和可靠性要求，支持卫星定位系统，具有车辆状态信息采集、存储、显示、通信、输出和控制等功能，支持公共移动通信网络，用于运输监管、导航服务等的车载设备。

4 概述

道路运输车辆卫星定位系统车载终端（以下简称“道路卫星终端”）是安装在道路运输车辆上满足工作环境要求，具有卫星定位系统、移动网络接入、道路运输车辆行驶记录、道路运输车辆相关信号采集和控制、与其他车载电子设备进行

通讯、提供政府平台或企业平台所需的信息，完成卫星定位系统对车辆控制功能的装置。卫星定位车载终端带有卫星定位功能，是具有记录、存储并通过无线传输系统实时传输车辆行驶方向、速度、时间、里程、位置等信息的数字式电子设备，终端提供的相关数据大量应用于贸易结算、科技创新、产业发展、人民健康等领域。

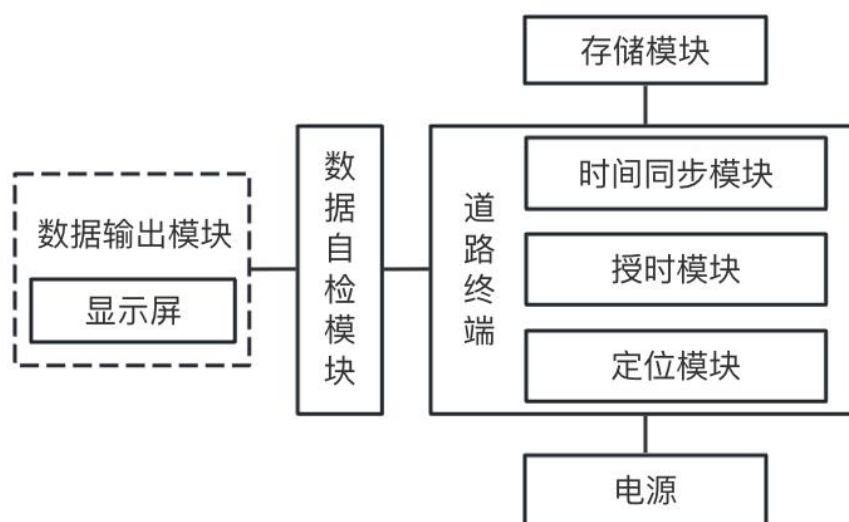


图1 道路运输车辆卫星定位系统车载终端结构示意图

5 计量特性

5.1 卫星信号接收

至少能接收北斗卫星导航系统 B1I 或 B1C 信号。

5.2 定位偏差及精密度

定位偏差：水平不大于 15m，高程不大于 30m；

定位精密度：水平不大于 5m，高程不大于 10m。

5.3 里程误差

-4.0%~ + 1.0%。

5.4 速度误差

水平速度不大于 $\pm 2\text{m/s}$ ，高程不大于 $\pm 4\text{m/s}$ 。

5.5 时间同步误差

5s。

5.6 时间间隔测量误差

5s。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：（20±5）℃；相对湿度：≤80%。

6.1.2 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 卫星信号模拟器

a) 输出频率：支持被校终端所适用的 GNSS 系统，覆盖北斗卫星导航系统 B1I 或 B1C 信号；

b) 伪距相位控制精度：±0.1m；

c) 伪距变化率精度：±0.1m/s；

d) 通道间一致性：0.3ns；

e) 信号功率：输出范围（-150~-110）dBm，绝对功率误差：优于±2dB；

f) 内部时基：

相对频率偏差：±5×10⁻¹¹~±5×10⁻⁸；

频率稳定度：1×10⁻¹²~1×10⁻⁹（τ=1s）。

6.2.2 标准时间频率源

a) 与 UTC（CN）的时间偏差：优于±50ns；显示分辨力：1ms；

b) 相对频率偏差：优于±1×10⁻⁹。

6.2.3 高清照相机

a) 像素：≥4096×1024；

b) 防抖动。

注：一般而言，校准项目应包括定位偏差和里程误差，校准周期建议为1年。

7 校准项目和校准方法

7.1 外观及功能检查

7.1.1 对道路运输车辆卫星定位系统车载终端进行目视观察和通电开机检查，终端及其配套设备不应有影响计量性能的外观缺陷。

7.1.2 道路运输车辆卫星定位系统车载终端面板上所有按键和开关应能正常工作，

显示器可正常显示时间、定位、里程、速度等各项指标。

7.2 卫星信号接收

使用信号模拟器进行测试，设置模拟器卫星信号类型为北斗卫星导航系统 B1I 或 B1C，模拟场景为仿真速度不高于 2m/s 的直线运动用户轨迹，可见卫星个数不小于 12 颗，1 分钟后终端应能正常输出定位结果，且定位偏差应符合要求。

7.3 定位偏差及精密度

a) 将卫星信号模拟器输出端连接至终端输入端口，设置模拟器输出频点为终端可接收频点，接通道路卫星终端电源，确保可以接收到模拟源数据；连接道路卫星终端数据输出接口至电脑；

b) 在仿真软件中设置正确参数，包括但不限于测试点的高精度坐标，起始时间，起始速度等；

c) 开始仿真测试，连续测量 10min，并将测试结果分别保存在 rtf 和 txt 格式的文件中。解析道路卫星终端输出的 NMEA0183 格式数据，同时对坐标系统和时间系统进行转换，其中坐标系使用站心东北天坐标系，原点为仿真输出的标准位置；时间系统使用世界协调时（UTC）；

d) 整理并处理数据，计算转换后的站心东北天坐标并根据公式（1）、公式（2）计算定位偏差；

e) 设置态第二、第三个测试点重复以上步骤，三个点的纬度横跨不小于 3°。三个点分别计算所得定位偏差的最大值为最终结果。

定位偏差计算公式：

$$\bar{e} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i, \quad \bar{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n n_i, \quad \bar{u} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i \quad (1)$$

$$\delta_h = \sqrt{\bar{e}^2 + \bar{n}^2}, \quad \delta_v = \bar{u} \quad (2)$$

式中， (e_i, n_i, u_i) —各个历元在东北天坐标系下的实测数据； δ_h —水平方向定位偏差，m； δ_v —天顶方向定位偏差，m。

精密度计算公式：

$$s_e = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2} \quad (3)$$

$$s_n = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (n_i - \bar{n})^2} \quad (4)$$

$$s_u = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2} \quad (5)$$

$$\sigma_h = \sqrt{s_e^2 + s_n^2}, \sigma_v = s_u \quad (6)$$

式中， s_e 、 s_n 、 s_u 分别为实测数据在东、北、天方向上的标准差； σ_h 为水平方向精密度； σ_v 为天顶方向精密度。

注：NMEA0183 是一种基于 ASCII 码的、纯文本格式的串行通信数据协议。

表 1 定位偏差测量模拟源参数设置表

测试参数名称	测试参数内容
定位模式	静态
静态点个数	3 个
分布地区	三亚
	广州
	南京
连续测试时长	10min
是否存在仿真标准数据	是
测试数据格式	NMEA 0183
时间系统	UTC

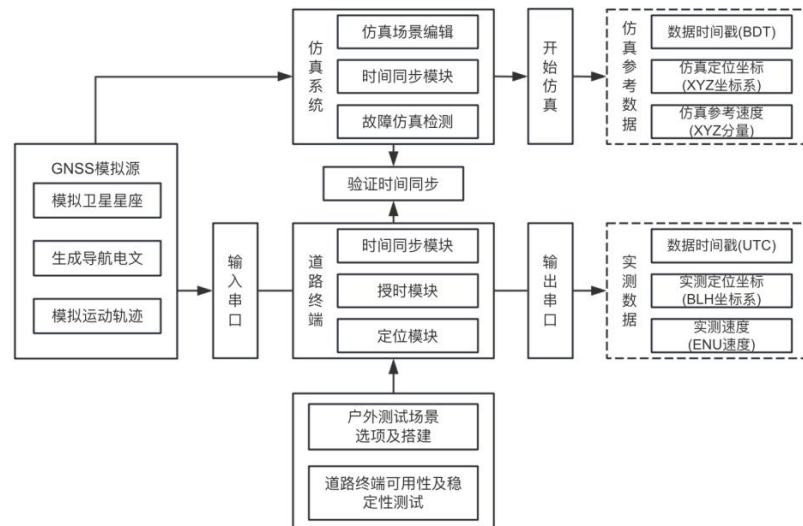


图 2 卫星信号模拟源测试原理图

7.4 里程误差

a) 将卫星信号模拟器输出端连接至终端输入端口，设置模拟器输出频点为终端可接收频点，接通道路卫星终端电源，确保可以接收到模拟源数据；连接道路卫星终端数据输出接口至电脑；

- b) 在仿真软件中设置正确参数，设计行驶路线；测试道路卫星终端是否可以正常工作；检查模拟源与道路卫星终端的时间同步情况；
- c) 在模拟源中正确设置参数，如起点坐标，起始速度，起始时间等；
- d) 打开道路卫星终端和模拟源，按照设计路线，分别以 120km/h、100 km/h、80 km/h、60 km/h、40 km/h、20 km/h、10 km/h 的速度连续行驶；
- e) 开始仿真测试，连续测量 10min，将测试结果分别保存在 rtf 和 txt 格式的文件中；
- f) 解析道路卫星终端输出的 NMEA 数据，同时对坐标系统和时间系统进行转换，其中坐标系使用站心东北天坐标系，原点为动态仿真设置的起点坐标；时间系统使用世界协调时（UTC）；
- g) 整理并处理数据，计算转换后的站心东北天坐标并根据公式（10）计算里程误差，由于时间测量间隔较短，行驶距离较短，所以在计算两个数据点间里程时可忽略 U 方向的坐标变化，即里程为水平距离；
- h) 取各种速率下的最大里程误差为最终结果。

里程计算公式

$$d_i = \sqrt{(e_i - e_{i+1})^2 + (n_i - n_{i+1})^2} \quad (7)$$

$$S_i = \sum_{i=0}^n d_i \quad (8)$$

式中， d_i 为相邻两个数据点间在东北天坐标系下的水平距离， S_i 为通过道路卫星终端内计算得到的实测里程。

仿真标准里程计算公式

$$S_0 = v \cdot \Delta T \quad (9)$$

式中， S_0 为仿真场景中运动的标准里程， v 为仿真标准速度， ΔT 为测试的时间长度。

里程误差计算公式

$$E_s = S_i - S_0 \quad (10)$$

式中， E_s 为里程误差。

表 2 里程误差测量模拟源参数设置表

测试参数名称	测试参数内容
定位模式	动态
仿真测试速度	120 km/h、100 km/h、80 km/h、60 km/h、

	40 km/h、20 km/h、10 km/h
测试时长	10 min
是否存在仿真标准数据	是
测试数据格式	NMEA 0183
时间系统	UTC

7.5 速度误差

7.5.1 匀速直线运动

匀速直线运动测试采用对不同速度下连续测量不同时长的方式，具体测试方式见表 3。

a) 将卫星信号模拟器输出端连接至终端输入端口，设置模拟器输出频点为终端可接收频点，接通道路卫星终端电源，确保可以接收到模拟源数据；连接道路卫星终端数据输出接口至电脑；

b) 在仿真软件中设置正确参数，设计行驶路线；测试道路卫星终端是否可以正常工作；检查模拟源与道路卫星终端的时间同步情况；

c) 在模拟源中正确设置参数，如起点坐标，起始速度，起始时间等；

d) 打开道路卫星终端和模拟源，按照设计路线，以 10m/s 的速度连续行驶；

e) 开始仿真测试，在结束设备收敛时间后开始对测试结果进行数据记录；

f) 解析道路卫星终端输出的 NMEA 数据，同时对坐标系统和时间系统进行转换，其中坐标系使用站心东北天坐标系，原点为动态仿真设置的起点坐标；时间系统使用世界协调时（UTC）；

g) 整理并处理数据，计算道路卫星终端在东北天坐标系下的对地速度并根据公式（13）速度误差误差；

h) 其他条件下的测试方法同上，在不同速度条件下测试不同时长，取速度误差最大值为测量结果。

注：重新更改速度或者进入下个测试流程时，均需设备重新热启动并重新计算收敛时间，防止数据横跳。

道路卫星终端速度转换公式

$$v_i = \frac{k_f \cdot 1.852}{1000 \cdot 3600} (m/s) \quad (11)$$

式中, v_i 为 i 时刻下道路卫星终端输出的对地速度, 单位为 m/s; k_i 为 i 时刻下道路卫星终端输出的 NMEA 格式下的速度, 单位为节。

仿真标准分速度转换公式 (XYZ-->ENU)

$$\begin{bmatrix} V_e \\ V_n \\ V_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin\lambda & \cos\lambda & 0 \\ -\sin\varphi\cos\lambda & -\sin\varphi\sin\lambda & \cos\varphi \\ \cos\varphi\cos\lambda & \cos\varphi\sin\lambda & \sin\varphi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} \quad (12)$$

式中, (λ, φ) 是动态仿真起点的经纬度, (V_x, V_y, V_z) 为 XYZ 坐标系下的分速度, (V_e, V_n, V_u) 为 ENU 坐标系下的分速度。

匀速直线运动瞬时速度误差计算公式

$$V_0 = \sqrt{V_e^2 + V_n^2} \quad (13)$$

$$\Delta v_i = v_i - V_0 \quad (14)$$

式中, V_0 为仿真数据的标准参考速度, 即东北天坐标系下的水平速度; V_e 、 V_n 分别为仿真数据东、北方向上的分速度。

速度误差校准结果计算公式

$$E_v = \sqrt{\frac{\sum_i^n \Delta v_i^2}{n}} \quad (15)$$

式中, E_v 为速度误差校准结果, m/s; n 为测量个数。

表 3 速度误差模拟源参数设置表 (匀速直线运动)

测试参数名称	测试参数内容
定位模式	动态
仿真测试速度	120 km/h、100 km/h、80 km/h、60 km/h、40 km/h、20 km/h、10 km/h
测试时长	10 min
是否存在仿真标准数据	是
测试数据格式	NMEA 0183
时间系统	UTC

7.5.2 匀速圆周运动

匀速圆周运动测试采用在 80 km/h、60 km/h、40 km/h、20 km/h、10 km/h 的速度下连续测量 10min 的方式, 具体测试方式见表 4。

a) 将卫星信号模拟器输出端连接至终端输入端口, 设置模拟器输出频点为终

端可接收频点，接通道路卫星终端电源，确保可以接收到模拟源数据；连接道路卫星终端数据输出接口至电脑；

b) 在仿真软件中设置正确参数，设计行驶路线；测试道路卫星终端是否可以正常工作；检查模拟源与道路卫星终端的时间同步情况；

c) 在模拟源中正确设置参数，如起点坐标，起始速度，起始时间等；

d) 打开道路卫星终端和模拟源，按照设计路线，以规定速度连续行驶；

e) 开始仿真测试，在结束设备收敛时间后开始对测试结果进行数据记录，记录时间 10min；

f) 解析道路卫星终端输出的 NMEA 数据，同时对坐标系统和时间系统进行转换，其中坐标系使用站心东北天坐标系，原点为动态仿真设置的起点坐标；时间系统使用世界协调时（UTC）；

g) 整理并处理数据，计算道路卫星终端的速度并根据公式（15）计算速度误差。

匀速圆周运动瞬时速度误差计算公式

$$\Delta v_i = v_i - V_0 \quad (16)$$

式中， v_i 为*i*时刻下道路卫星终端输出的对地速度，可由公式（11）计算得到； V_0 为仿真数据的标准参考速度，可由公式（13）计算得到。

表 4 速度误差模拟源参数设置表（匀速圆周运动）

测试参数名称	测试参数内容
定位模式	动态
测试时长	10min
仿真测试速度	80 km/h、60 km/h、40 km/h、20 km/h、10 km/h
是否存在仿真标准数据	是
测试数据格式	NMEA 0183
时间系统	UTC

7.6 时间同步误差

通过高清照相机或其他记录设备，在同一时刻捕获被校终端与标准时间源的显示图像，通过对比被校终端与模拟测试源显示的时间值之差，来计算终端的时间同步误差。

a) 将被测终端的信号输入接口与 GNSS 信号模拟源的输出接口进行正确连接，确保被测终端可以接收模拟的 GNSS 卫星信号；

b) 检查被测终端和模拟测试源界面是否可以正确显示时间信息，并将两者的显示模块平行放置在一个空旷的房间中；

c) 检查时间记录装置（如高清摄像机）是否可以正常运作，并将该装置垂直安装在两个显示模块正前方；

d) 同时打开被测终端和 GNSS 信号模拟源，并等待 10-20min，防止被测终端由于冷启动导致时间同步出现异常；

e) 校准并核验所有设备后启动时间记录装置，采用不同时间间隔多次采集被测终端和模拟测试源显示模块上输出的时间信息，并做好记录，将第 i 次记录时被测终端输出的时间记为 T_m^i ，模拟测试源输出的时间记为 T_b^i 。

f) 使用相同方法重复测量 100 次。核验记录数据，防止出现因为显示模块上的时间正处于变化时被记录导致输出数据模糊。

排除异常值后，先计算每次记录的时间差，然后计算所以时间差的平方之和，最后再计算其平均值的算数平方根，具体计算公式如下：

$$\delta_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=100} (T_m^i - T_b^i)^2}{100}} \quad (17)$$

式中：

δ_T ——时间同步误差，ms；

T_m^i ——被测终端第 i 次被记录时显示的时间，yyyy:doy:hh:mm.ms；

T_b^i ——模拟测试源第 i 次被记录时显示的时间，yyyy:doy:hh:mm.ms。

注：模拟源参数设置参考速度误差设置方式。

7.7 时间间隔测量误差

通过设置模拟测试源标准的时间测量间隔，利用触发装置捕捉模拟测试源输出的变化使得时间记录装置启动并记录被测终端此时显示的时间，然后通过处理两次记录的被测终端输出的时间之差计算出时间测量间隔误差。

a) 将被测终端的信号输入接口与 GNSS 信号模拟源的输出接口进行正确连接，确保被测终端可以接收模拟的 GNSS 卫星信号；

- b) 检查被测终端和模拟测试源界面是否可以正确显示时间信息，检查时间记录装置（如高清摄像机）是否可以正常运作，并将该装置垂直放在被测终端的显示模块前方；
- c) 将触发系统连接在模拟测试源和时间记录装置之间，其通过识别模拟测试源在输出信息时的变化，向时间记录装置传递电信号使其工作；
- d) 同时打开被测终端和 GNSS 信号模拟源，并等待 10-20min，防止被测终端由于冷启动导致测试出现异常；
- e) 设置标准时间测量间隔为 1s，先对时间记录装置进行 20 次触发测试，记录每次的触发延迟为 ε_i ；
- f) 触发测试完毕后，开始对时间测量间隔误差进行测试，记录每次时间记录装置触发时被测终端显示的时间值为 T_m^i ；
- g) 使用相同的标准时间测量间隔和相同方法重复测量 100 次，并计算相邻两次时间的差值 ΔT_m^k ，然后通过标准时间测量间隔 1s 进行对比，最后求出时间测量间隔误差，其公式具体如下：

$$\theta_T = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{k=99} (\Delta T_m^k - 1)^2}{99}} \quad (18)$$

式中：

θ_T ——时间测量间隔误差，ms；

ΔT_m^k ——相邻两次测量记录的被测终端输出的时间之差，ss.ms。

8 校准结果表达

经过校准的道路运输车辆卫星定位系统车载终端出具校准证书。校准证书应包含校准结果，示值误差以及不确定度。校准证书应符合 JJF 1071-2010 中的 5.12 要求。校准实验记录格式参见附录 B，校准结果在校准证书上反映，校准证书信息及格式参见附录 C。

9 复校时间间隔

道路运输车辆卫星定位系统车载终端的复校时间间隔根据仪器使用情况由用户自行确定，建议为 1 年。

附录 A

道路运输车辆卫星定位系统车载终端不确定度评定

A.1 定位偏差校准结果不确定度评定

A.1.1 测量方法

道路运输车辆卫星定位系统车载终端定位偏差采用卫星信号模拟器仿真结果进行校准。

A.1.2 数学模型

依据道路运输车辆卫星定位系统车载终端定位偏差校准的物理模型，进行不确定度分析。

$$\delta_p = \sqrt{(\bar{x} - x_0)^2 + (\bar{y} - y_0)^2 + (\bar{z} - z_0)^2} \quad (\text{A.1.1})$$

式中， $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ 为道路运输车辆卫星定位系统车载终端（下文缩写为“道路卫星终端”）多次测量坐标值的平均值， (x_0, y_0, z_0) 为模拟器仿真标准坐标值，单位为 m。

A.1.3 不确定度来源

采用模拟器校准定位偏差，引入的不确定度主要有测量重复性引入的不确定度、模拟器伪距精度引入的不确定度、道路间误差引入的不确定度、道路卫星终端定位结果分辨力引入的不确定度和坐标转换引入的不确定度。

A.1.3.1 测量重复性引入的不确定度 u_1

进行定位偏差项目校准时，对静态点进行 10 次重复测量。使用的标准点坐标为 $(-2541786.187, 4780404.551, 3360484.426)$ 。10 次静态点坐标测得值和 10 次静态点定位偏差测得值分别如表 1 和表 2 所示。

表 1 10 次静态点坐标测得值（单位：m）

序号	实测值		
	x_i	y_i	z_i
1	-2541784.138	4780400.281	3360481.997
2	-2541784.161	4780400.259	3360482.011
3	-2541784.147	4780400.165	3360481.966
4	-2541784.218	4780400.345	3360482.036

5	-2541784.285	4780400.521	3360482.113
6	-2541784.309	4780400.61	3360482.159
7	-2541784.362	4780400.669	3360482.224
8	-2541784.419	4780400.743	3360482.266
9	-2541784.416	4780400.742	3360482.269
10	-2541784.451	4780400.931	3360482.353

表 2 10 次静态点定位偏差测得值 (单位: m)

次数 i	x 定位偏差	y 定位偏差	z 定位偏差	定位偏差
1	2.049	-4.270	-2.429	5.322
2	2.026	-4.292	-2.415	5.325
3	2.040	-4.386	-2.460	5.427
4	1.969	-4.206	-2.390	5.223
5	1.902	-4.030	-2.313	5.021
6	1.878	-3.941	-2.267	4.919
7	1.825	-3.882	-2.202	4.821
8	1.768	-3.808	-2.160	4.721
9	1.771	-3.809	-2.157	4.722
10	1.736	-3.620	-2.073	4.518

使用模拟源对某道路卫星终端的定位偏差测量 10 次,得到的结果为:5.322m、5.325m、5.427m、5.223m、5.021m、4.919m、4.821m、4.721m、4.722m、4.518m,按照贝塞尔公式计算标准不确定度如下:

$$u_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (\text{A.1.2})$$

测量次数 $n=10$, 代入上式得 $u_1=0.311\text{m}$ 。

A.1.3.2 模拟器伪距精度引入的不确定度 u_2

测量中使用的卫星信号模拟器伪距误差为 0.05m, 按照 B 类标准不确定度计算公式计算标准不确定度如下:

$$u_2 = \frac{a}{k} \quad (\text{A.1.3})$$

模拟器伪距误差为 0.05m, 且在此区间内认为服从正态分布, 则 $a=0.05\text{m}$, $k=2$ 。代入上式得 $u_2=0.025\text{m}$ 。

A.1.3.3 通道间误差引入的不确定度 u_3

伪距误差计算公式如下:

$$(\Delta\rho) = \text{时间误差}(\Delta t) \times \text{光速}(c) \quad (\text{A.1.4})$$

测量中使用的卫星信号模拟器通道间误差为 0.3ns, 光速 $c \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$,

代入上式得伪距误差为 0.09m。

按照 B 类标准不确定度计算公式计算标准不确定度如下：

$$u_3 = \frac{a}{k} \quad (\text{A.1.5})$$

模拟器伪距误差为 0.09m，且在此区间内认为服从正态分布，则 $a=0.09\text{m}$ ， $k=2$ 。

代入上式得 $u_3=0.045\text{m}$ 。

A.1.3.4 道路卫星终端定位结果分辨力引入的不确定度 u_4

按照 B 类标准不确定度计算公式计算标准不确定度如下：

$$u_4 = \frac{a}{k} \quad (\text{A.1.6})$$

大多数道路卫星终端定位结果的分辨力为 0.001m，且在此区间内认为服从均匀分布，则 $a=0.001\text{m}$ ， $k=\sqrt{3}$ 。代入上式得 $u_4=0.0006\text{m}$ 。

注：分辨力与测量重复性引起的值相比较，取大者。

A.1.3.5 坐标转换引入的不确定度 u_5

按照 B 类标准不确定度计算公式计算标准不确定度如下：

$$u_5 = \frac{a}{k} \quad (\text{A.1.7})$$

坐标转换引入的不确定度为 0.001m，且在此区间内认为服从均匀分布，则 $a=0.001\text{m}$ ， $k=\sqrt{3}$ 。代入上式得 $u_5=0.0006\text{m}$ 。

A.1.4 合成不确定度及扩展不确定度

A.1.4.1 主要标准不确定度汇总表

分量名称	评定类型	不确定度分量 u_i (m)
道路卫星终端定位偏差测量结果的重复性	A	0.311
模拟器伪距精度	B	0.025
通道间误差	B	0.045
坐标转换	B	0.0006

A.1.4.2 合成标准不确定度的计算

合成标准不确定度 u

$$u = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_5^2} \quad (\text{A.1.8})$$

代入上式得 $u=0.0315\text{m}$ 。

A.1.4.3 拓展不确定度的计算

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为

$$U = ku \quad (\text{A.1.9})$$

采用卫星信号模拟器进行定位偏差校准，合成标准不确定度 $u=0.0315\text{m}$ ，取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为 0.0630m 。

A.2 速度误差校准结果不确定度评定

A.2.1 测量方法

道路运输车辆卫星定位系统车载终端速度误差采用卫星信号模拟器仿真结果进行校准。

A.2.2 数学模型

依据道路运输车辆卫星定位系统车载终端速度误差校准的物理模型，进行不确定度分析。

匀速直线运动瞬时速度误差计算公式

$$\Delta v_i = v_i - \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} \quad (\text{A.2.1})$$

式中， V_x 、 V_y 、 V_z 分别为仿真数据 XYZ 方向上的速度，单位为 m/s。

匀速圆周运动瞬时速度误差计算公式

$$\Delta v_i = v_i - V_0 \quad (\text{A.2.2})$$

式中， V_0 为仿真数据的标准参考速度。

速度误差校准结果计算公式

$$E_v = \sqrt{\frac{\sum_i^n \Delta v_i^2}{n}} \quad (\text{A.2.3})$$

式中， E_v 为速度误差校准结果，m/s； n 为测量个数。

A.2.3 不确定度来源

采用模拟器校准速度误差，引入的不确定度主要有测量重复性引入的不确定度、模拟器伪距变化率引入的不确定度、时钟稳定度引入的不确定度、道路卫星终端定位结果分辨力引入的不确定度。

A.2.3.1 测量重复性引入的不确定度 u_1

进行速度误差项目校准时，使用模拟器对某道路卫星终端的速度误差测量 10 次。使用的标准速度为 10m/s。10 次速度测得值和 10 次速度误差测得值分别如表 3 和表 4 所示。

表 3 10 次速度测得值（单位：m/s）

序号	v_i
1	9.929
2	9.723
3	10.083
4	10.032
5	10.032
6	9.980
7	9.620
8	9.877
9	9.774
10	10.032

表 4 10 次速度误差测得值（单位：m/s）

次数 i	Δv_i
1	-0.071
2	-0.277
3	0.083
4	0.032
5	0.032
6	-0.020
7	-0.380
8	-0.123
9	-0.226
10	0.032

使用模拟器对某道路卫星终端的速度误差测量 10 次，得到的结果为：
-0.071m/s、-0.277m/s、0.083m/s、0.032m/s、0.032m/s、-0.020m/s、-0.380m/s、-0.123m/s、
-0.226m/s、0.032m/s，按照贝塞尔公式计算标准不确定度如下：

$$u_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (\text{A.2.4})$$

测量次数 $n=10$ ，代入上式得 $u_1=0.156\text{m/s}$ 。

A.2.3.2 模拟器伪距变化率引入的不确定度 u_2

测量中使用的卫星信号模拟器伪距变化率精度为 $\pm 0.005\text{m/s}$ ，按照 B 类标准不确定度计算公式计算标准不确定度如下：

$$u_2 = \frac{a}{k} \quad (\text{A.2.5})$$

伪距变化率精度为 $\pm 0.005\text{m/s}$ ，且在此区间内认为服从正态分布，则 $a=0.005\text{m/s}$ ， $k=2$ 。代入上式得 $u_2=0.0025\text{m/s}$ 。

A.2.3.3 时钟稳定度引入的不确定度 u_3

查阅文献可知，一般普通晶振卫星信号模拟器由于时钟稳定度而可能引起的速度偏差估计为 0.015m/s ，按照 B 类标准不确定度计算公式计算标准不确定度如下：

$$u_3 = \frac{a}{k} \quad (\text{A.2.6})$$

速度偏差估计为 0.015m/s ，且在此区间内认为服从正态分布，则 $a=0.015\text{m/s}$ ， $k=2$ 。代入上式得 $u_3=0.0075\text{m/s}$ 。

A.2.3.4 道路卫星终端定位结果分辨力引入的不确定度 u_4

按照 B 类标准不确定度计算公式计算标准不确定度如下：

$$u_4 = \frac{a}{k} \quad (\text{A.2.7})$$

大多数道路卫星终端定位结果的分辨力为 0.001m ，且在此区间内认为服从均匀分布，则 $a=0.001\text{m}$ ， $k=\sqrt{3}$ 。代入上式得 $u_4=0.0006\text{m}$ 。

注：分辨力与测量重复性引起的值相比较，取大者。

A.2.4 合成不确定度及扩展不确定度

A.2.4.1 主要标准不确定度汇总表

分量名称	评定类型	不确定度分量 u_i (m/s)
道路卫星终端速度误差测量结果的重复性	A	0.1558
模拟器伪距变化率	B	0.0025
时钟稳定度	B	0.0075

A.2.4.2 合成标准不确定度的计算

合成标准不确定度 u

$$u = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} \quad (\text{A.2.8})$$

代入上式得 $u=0.1560\text{m/s}$ 。

A.2.4.3 拓展不确定度的计算

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为

$$U = ku \quad (\text{A.2.9})$$

采用卫星信号模拟器进行速度误差校准，合成标准不确定度 $u=0.1560\text{m/s}$ ，取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为 0.312m/s 。

A.3 里程误差校准结果不确定度评定

A.3.1 测量方法

道路运输车辆卫星定位系统车载终端里程误差采用卫星信号模拟器仿真结果进行校准。

A.3.2 数学模型

依据道路运输车辆卫星定位系统车载终端定位偏差校准的物理模型，进行不确定度分析。

$$d_i = \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2 + (z_i - z_{i+1})^2} \quad (\text{A.3.1})$$

$$S_i = \sum_{i=0}^n d_i \quad (\text{A.3.2})$$

式中， d_i 为相邻两个数据点间的欧式距离， S_i 为通过行车记录仪内计算得到的实测里程。

里程误差计算公式

$$E_s = S_i - S_0 \quad (\text{A.3.3})$$

式中， S_0 为仿真场景中运动的标准里程， E_s 为里程误差。

A.3.3 不确定度来源

采用模拟器校准里程误差，引入的不确定度主要有测量重复性引入的不确定度、模拟器伪距变化率引入的不确定度、模拟器伪距精度引入的不确定度、通道间误差引入的不确定度、道路卫星终端定位结果分辨力引入的不确定度和坐标转换引入的不确定度。

A.3.3.1 测量重复性引入的不确定度 u_1

进行里程误差项目校准时，使用模拟器对某道路卫星终端的里程误差测量 10

次。使用的标准里程值为 600m。10 次里程测得值和 10 次里程误差测得值分别如表 5 和表 6 所示。

表 5 10 次里程测得值（单位：m）

序号	S_i
1	600.715
2	600.312
3	600.971
4	599.800
5	599.252
6	600.215
7	600.247
8	599.930
9	600.180
10	600.242

表 6 10 次里程误差测得值（单位：m）

次数 i	里程误差
1	0.715
2	0.312
3	0.971
4	-0.200
5	-0.748
6	0.215
7	0.247
8	-0.070
9	0.180
10	0.242

使用模拟器对某道路卫星终端的速度误差测量 10 次,得到的结果为:0.715m、0.312m、0.971m、-0.200m、-0.748m、0.215m、0.247m、-0.070m、0.180m、0.242m,按照贝塞尔公式计算标准不确定度如下:

$$u_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (\text{A.3.4})$$

测量次数 $n=10$, 代入上式得 $u_1=0.472\text{m}$ 。

A.3.3.2 模拟器伪距变化率引入的不确定度 u_2

测量中使用的卫星信号模拟器伪距变化率精度为 $\pm 0.005\text{m/s}$, 按照 B 类标准不确定度计算公式计算标准不确定度如下:

$$u_2 = \frac{a}{k} \quad (\text{A.3.5})$$

伪距变化率精度为 $\pm 0.005\text{m/s}$, 测量时间 10min, 伪距变化率引起的里程计算

误差为 $0.005 \times \sqrt{600} = 0.122\text{m}$ 。且在此区间内认为服从正态分布，则 $a=0.122\text{m}$ ， $k=2$ 。代入上式得 $u_2=0.061\text{m}$ 。

A.3.3.3 模拟器伪距精度引入的不确定度 u_3

测量中使用的卫星信号模拟器伪距误差为 0.05m ，按照 B 类标准不确定度计算公式计算标准不确定度如下：

$$u_3 = \frac{a}{k} \quad (\text{A.3.6})$$

模拟器伪距误差为 0.05m ，且在此区间内认为服从正态分布，则 $a=0.05\text{m}$ ， $k=2$ 。代入上式得 $u_3=0.025\text{m}$ 。

A.3.3.4 通道间误差引入的不确定度 u_4

伪距误差计算公式如下：

$$(\Delta\rho) = \text{时间误差}(\Delta t) \times \text{光速}(c) \quad (\text{A.3.7})$$

测量中使用的卫星信号模拟器通道间误差为 0.3ns ，光速 $c \approx 3 \times 10^8\text{m/s}$ ，代入上式得伪距误差为 0.09m 。

按照 B 类标准不确定度计算公式计算标准不确定度如下：

$$u_4 = \frac{a}{k} \quad (\text{A.3.8})$$

模拟器伪距误差为 0.09m ，且在此区间内认为服从正态分布，则 $a=0.09\text{m}$ ， $k=2$ 。代入上式得 $u_4=0.045\text{m}$ 。

A.3.3.5 道路卫星终端定位结果分辨力引入的不确定度 u_5

按照 B 类标准不确定度计算公式计算标准不确定度如下：

$$u_5 = \frac{a}{k} \quad (\text{A.3.9})$$

大多数道路卫星终端定位结果的分辨力为 0.001m ，且在此区间内认为服从均匀分布，则 $a=0.001$ ， $k=\sqrt{3}$ 。代入上式得 $u_5=0.0006\text{m}$ 。

注：分辨力与测量重复性引起的值相比较，取大者。

A.3.4 合成不确定度及扩展不确定度

A.3.4.1 主要标准不确定度汇总表

分量名称	评定类型	不确定度分量 u_i (m)
道路卫星终端里程误差测量结果的重复性	A	0.472

模拟器伪距精度	B	0.025
模拟器伪距变化率	B	0.061
通道间误差	B	0.0006

A.3.4.2 合成标准不确定度的计算

合成标准不确定度 u

$$u = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} \quad (\text{A.3.10})$$

代入上式得 $u=0.477\text{m}$ 。

A.3.4.3 拓展不确定度的计算

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为

$$U = ku \quad (\text{A.3.11})$$

采用卫星信号模拟器进行里程校准，合成标准不确定度 $u=0.477\text{m}$ ，取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为 0.953m 。

A.4 时间同步误差校准结果不确定度评定

A.4.1 测量方法

道路运输车辆卫星定位系统车载终端时间同步误差采用参考标准时间进行校准。

A.4.2 数学模型

依据道路运输车辆卫星定位系统车载终端时间同步误差校准的物理模型，进行不确定度分析。

时间同步误差计算公式

$$\Delta t_i = T_i - T_{local} \quad (\text{A.4.1})$$

$$E_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta t_i^2}{n}} \quad (\text{A.4.2})$$

式中， T_i 为行车记录仪输出的 UTC 时间， T_{local} 为记录的对应本地时间， Δt_i 为 i 时刻下对应的同步误差， E_t 为时间同步误差校准结果。

A.4.3 不确定度来源

采用模拟器校准时间同步误差，引入的不确定度主要有测量重复性引入的不

确定度和通道间误差引入的不确定度。

A.4.3.1 测量重复性引入的不确定度 u_1

进行时间同步误差项目校准时，使用模拟器对某道路卫星终端的时间同步误差测量 10 次。使用的标准时间为模拟器时间。10 次时间同步误差测得值如表 9 所示。

表 1 10 次时间同步误差测得值（单位：s）

序号	Δt_i
1	0.046
2	0.185
3	0.112
4	0.061
5	0.108
6	0.178
7	0.049
8	0.247
9	0.215
10	0.226

使用模拟源对某道路卫星终端的时间同步误差测量 10 次，得到的结果为：0.046s、0.185s、0.112s、0.061s、0.108s、0.178s、0.049s、0.247s、0.215s、0.226s。

按照贝塞尔公式计算标准不确定度如下：

$$u_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (\text{A.4.3})$$

测量次数 $n=10$ ，代入上式得 $u_1=0.024\text{s}$ 。

A.4.3.3 标准时间引入的不确定度 u_2

测量中使用的参考标准时间的最大允许误差为为 1ms，按照 B 类标准不确定度计算公式计算标准不确定度如下：

$$u_2 = \frac{a}{k} \quad (\text{A.4.4})$$

参考标准时间的最大允许误差为为 1ms，且在此区间内认为服从均匀分布，则 $a=1\text{ms}$ ， $k=\sqrt{3}$ 。代入上式得 $u_2=0.58\text{ms}$ 。

A.4.3.2 通道间误差引入的不确定度 u_3

测量中使用的卫星信号模拟器通道间误差为 0.3ns，按照 B 类标准不确定度计算公式计算标准不确定度如下：

$$u_3 = \frac{a}{k} \quad (\text{A.4.5})$$

模拟器通道间误差为 0.3ns，且在此区间内认为服从正态分布，则 $a=0.09\text{ns}$ ， $k=2$ 。代入上式得 $u_2=0.15\text{ns}$ 。

A.4.4 合成不确定度及扩展不确定度

A.4.4.1 主要标准不确定度汇总表

分量名称	评定类型	不确定度分量 u_i ()
道路卫星终端时间同步误差测量结果的重复性	A	0.024s
参考标准时间	B	0.58ms
通道间误差	B	0.15ns

A.4.4.2 合成标准不确定度的计算

合成标准不确定度 u

$$u = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \quad (\text{A.4.6})$$

代入上式得 $u=0.0242\text{s}$ 。

A.4.4.3 拓展不确定度的计算

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为

$$U = ku \quad (\text{A.4.7})$$

采用卫星信号模拟器进行时间同步误差校准，合成标准不确定度 $u=1.912\text{s}$ ，取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为 0.050s。

附录 B

道路运输车辆卫星定位系统车载终端校准原始记录参考格式

送检单位 _____ 地址 _____ 证书号 _____
 制造商 _____ 型号规格 _____ 出厂编号 _____
 标准器 _____ 证书号 _____ 有效期至 _____
 测量范围 _____ 不确定度/准确度等级 _____ 温度 _____ 湿度 _____
 校准日期 _____ 年 _____ 月 _____ 日

1. 卫星信号接收： _____
2. 定位偏差及精密度：

表 1 定位偏差及精密度校准结果表

站点名称	水平定位误差 (m)	高程定位误差 (m)	水平定位精密 度 (m)	高程定位精 密度 (m)
扩展不确定度 ($k=2$) :				

3. 里程误差：

表 2 里程误差校准结果表

校准点 (km/h)		测得里程值	标准里程值		里程误差
速度值	10				
	20				
	40				
	60				
	80				
	100				
	120				
	10				
扩展不确定度 ($k=2$) :					

4. 速度误差校准结果：

表 3 速度误差校准结果表

运动方式	速 度 点 (km/h)	运动时间	速度误差
		10min	
匀速直线运动	10	10min	
	20	10min	
	40	10min	
	60	10min	
	80	10min	
	100	10min	
	120	10min	

匀速圆周运动		10min	
	10	10min	
	20	10min	
	40	10min	
	60	10min	
	80	10min	
扩展不确定度 ($k=2$):			

5. 时间同步误差校准结果:

表 4 时间同步误差校准结果表

时间同步误差校准结果	
扩展不确定度 ($k=2$):	

6. 时间间隔测量误差校准结果:

表 5 时间间隔测量误差校准结果表

时间间隔测量误差校准结果	
扩展不确定度 ($k=2$):	

备注:

核验人员:

校准人员:

附录 C

校准证书内页内容

1. 卫星信号接收：_____

2. 定位偏差及精密度：

表 1 定位偏差及精密度校准结果表

站点名称	水平定位误差 (m)	高程定位误差 (m)	水平定位精密 度 (m)	高程定位精密 度 (m)
扩展不确定度 ($k=2$) :				

3. 里程误差：

表 2 里程误差校准结果表

校准点 (km/h)	测得里程值	标准里程值	里程误差
速度值	10		
	20		
	40		
	60		
	80		
	100		
	120		
	10		
扩展不确定度 ($k=2$) :			

4. 速度误差校准结果：

表 3 速度误差校准结果表

运动方式	速 度 点 (km/h)	运动时间	速度误差
		10min	
匀速直线运动	10	10min	
	20	10min	
	40	10min	
	60	10min	
	80	10min	
	100	10min	
	120	10min	
匀速圆周运动		10min	
	10	10min	
	20	10min	
	40	10min	
	60	10min	

	80	10min	
扩展不确定度 ($k=2$):			

5. 时间同步误差校准结果:

表 4 时间同步误差校准结果表

时间同步误差校准结果	
扩展不确定度 ($k=2$):	

6. 时间间隔测量误差校准结果:

表 5 时间间隔测量误差校准结果表

时间间隔测量误差校准结果	
扩展不确定度 ($k=2$):	

附录 D

NMEA 数据坐标系统和时间系统的转换及范例

1. NMEA 0183 输出数据格式解析

1.1 GGA 语句

```
$GNGGA,131544.000,4004.6478,N,11613.8126,E,1,20,0.6,101.7,M,0.0,M,,*73<CR><LF>
```

表 1-1 GGA 语句解析表

字段 序号	含义	示例值	说明
1	语句类型	GNGGA	Global Navigation Satellite System Fix Data
2	UTC 时间	131544.00	格式为 HHMMSS.SS
3	纬度	4004.6478	格式为 DDMM.MMMM
4	纬度半球	N	N 表示北纬，S 表示南纬
5	经度	11613.8126	格式为 DDDMM.MMMM
6	经度半球	E	E 表示东经，W 表示西经
7	定位状态	1	0 表示无效；1 表示单点定位；2 表示差分定位
8	使用卫星数量	20	当前用于定位的卫星数量
9	水平精度因子	0.6	HDOP 越小，定位精度越高
10	海拔高度	101.7	无
11	高度单位	M	单位：米
12	大地水准面高度	0.0	相对于椭球面的高度差
13	高度单位	M	单位：米
14	差分数据龄期	空	仅差分定位时有效
15	差分参考站 ID	空	差分基站编号
16	校验和	*73	用于验证数据完整性

1.2 RMC 语句

```
$GNRMC,131544.000,A,4004.6478,N,11613.8126,E,38.90,103.36,120925,,,A*4A<CR><LF>
```

表 1-2 RMC 语句解析表

字段	含义	示例值	说明
----	----	-----	----

序号			
1	语句类型	GNRMC	Recommended Minimum Navigation Data
2	定位状态	A	A 表示有效；V 表示无效
3	UTC 时间	131544.00	格式为 HHMMSS.SS
4	纬度	4004.6478	格式为 DDMM.MMMM
5	纬度半球	N	N 表示北纬，S 表示南纬
6	经度	11613.8126	格式为 DDDMM.MMMM
7	经度半球	E	E 表示东经，W 表示西经
8	地面速度	38.90	单位：节；1 节=1.852 公里/小时
8	地面航向	103.36	单位：度
9	UTC 日期	120925	格式为 DDMMYY
10	磁偏角	空	单位度
11	磁偏角方向	空	E 表示东；W 表示西
12	校验和	A*4A	用于验证数据完整性

2. 数据转换

2.1 坐标系统转换（大地坐标系-地心地固坐标系）

$$N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 * \sin^2 B}} \quad (2-1)$$

$$X = (N+H)*\cos B*\cos L \quad (2-2)$$

$$Y = (N+H)*\cos B*\sin L \quad (2-3)$$

$$Z = [N*(1-e^2)+H]*\sin B \quad (2-4)$$

式中，a 表示半长轴；e 表示偏心率；N 为卯酉圈曲率半径；L 为经度；B 为纬度；H 为大地高；（X，Y，Z）为 ECEF 坐标系下的坐标。

2.2 时间系统转换（UTC-BDT 周+周内秒）

$$BDT = UTC + 4s \quad (2-5)$$

$$S_{total} = T_{now} - T_{start} \quad (2-6)$$

$$WN = \text{floor}[S_{total}/(7*24*60*60)] \quad (2-7)$$

$$nSOW = S_{total} \% (7*24*60*60) \quad (2-8)$$

式中，BDT 为北斗时间系统； S_{total} 为总秒数； T_{now} 为当前北斗时间； T_{start} 为北斗起始时间（2006-01-01 00:00:00 UTC）；WN 为北斗时间的周数； $nSOW$ 为周内

秒。

3. 数据处理范例

表 3-1 范例数据表

编号	数据名称	数据值
1	纬度 B	40°04.6478'
2	经度 L	116°13.8126'
3	大地高 H	101.7m
4	UTC 日期	120925
5	UTC 时间	131544

3.1 坐标转换

(1) 确定转换时使用的参考椭球

本范例采用 CGCS-2000 椭球参数：长半轴 $a = 6378137.0\text{m}$ ，扁率 $f = 1/298.25722101$ ，第一偏心率平方 $e^2 = f(2-f) \approx 0.00669437999$ 。

(2) 计算经纬度的三角函数值

$$\cos B = 0.7646, \sin B = 0.6445, \cos L = -0.4488, \sin L = 0.8936$$

(3) 计算卯酉圈曲率半径

$$N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 B}} = \frac{6378137}{\sqrt{1-0.00669437999 \sin^2 40^\circ 04.6478'}} \approx 6386976.2 \text{ m}$$

(4) 计算 ECEF 坐标

$$N+H=6387077.9\text{m}$$

$$X \approx 6387077.9 \times 0.7646 \times (-0.4488) \approx -2194019.705\text{m}$$

$$Y \approx 6387077.9 \times 0.7646 \times 0.8936 \approx 4371502.239\text{m}$$

$$Z \approx 6335156.2 \times 0.6445 \approx 4082790.721\text{m}$$

3.2 时间转换

(1) 将当前 UTC 时间转换成 BDT

$$T_{\text{now}} = 13:15:44 + 4\text{s} = 13:15:48$$

$$S_{\text{total}} = (14 \times 365 + 5 \times 366 + 254) \times 24 \times 60 \times 60 + 47748 = 621,609,348\text{s}$$

$$WN = \text{floor}(621,609,348 / 604800) = 1027$$

$$nSOW = 621,609,348 - 1027 \times 604,800 = 479,748\text{s}$$

式中， $14 \times 365 + 5 \times 366 + 254$ 表示从北斗起始时间开始到当前时间的总天数，其中包括 5 个闰年；604800 表示一周的秒数。