

中华人民共和国国家计量校准规范

连续运行 GNSS 接收机校准规范

（试验报告）

归口单位：全国地震专用计量测试技术委员会

主要起草单位：中国地震局第一监测中心

中国测绘科学研究院

中国地震台网中心

目 录

一、试验目的	1
二、试验对象、项目和条件	1
三、试验结果	1
（一）数据质量检查试验结果	2
（二）零基线误差试验结果	3
（三）天线相位中心偏差试验结果	4
（四）静态测量基线误差试验结果	6
（五）长基线测量重复率试验结果	7
四、试验结论	8

一、试验目的

依据本校准规范,对 2 套连续运行 GNSS 接收机在中国地震局第一监测中心大地测量实验室开展校准项目试验,以验证本规范是否满足预期用途和校准方法的有效性。

二、试验对象、项目和条件

1.试验对象和地点

本规范相关验证试验所用的样品为美国天宝 (TRIMBLE) 公司的 NETR8 型 GNSS 接收机和 NETR9 型 GNSS 接收机,日本拓普康 (TOPCON) 公司的 NET-G3A 型 GNSS 接收机和 NET-G5 型 GNSS 接收机。试验是在中国地震局第一监测中心大地测量实验室完成的。试验对象和地点见表 1。

表 1 试验对象和地点

序号	主机型号	出厂编号	天线型号	生产厂家	校准地点
1	NETR9	5742R1279	TRM159900.00	美国天宝公司	中国地震局第一监测中心大地测量实验室
2	NETR8	5349K48368	TRM59800.00		
3	NET-G3A	618-00214	TPSCR.G3	日本拓普康公司	中国地震局第一监测中心大地测量实验室
4	NET-G5	1294-10347	TPSCR.G5		

2.试验项目

根据本规范的规定,对 GNSS 接收机开展数据质量检查项目,零基线误差、天线相位中心偏差、静态测量基线误差、长基线测量重复率和 1PPS 稳定度校准项目试验。

3.试验条件和设备

表 2 试验条件和设备

序号	试验地点	时间	试验条件	主要设备
1	中国地震局第一监测中心大地测量实验室	2018 年至 2022 年	卫星星座条件 PDOP \leq 4	天宝 NETR9, 水平定位精度 3.0mm+0.5ppm; 天宝 NETR9, 水平定位精度 3.0mm+0.5ppm; 拓普康 NET-G3A, 水平定位精度 3.0mm+0.5ppm; 拓普康 NET-G5, 水平定位精度 3.0mm+0.5ppm

三、试验结果

（一）数据质量检查

1. 数据完整率的检查

将原始观测数据使用对应软件转换为 RINEX 文件，采用 TEQC 数据分析工具对 RINEX 数据进行分析。设置 GNSS 接收机采样率为 30s，截至高度角为 10° ，观测时长为 24h，表 1 为 3 套设备的数据完整率分析。

表 3 3 套设备的数据完整率分析

序号	主机型号	出厂编号	天线型号	观测时间	数据完整率
1	NETR9	5742R1279	TRM159900.00	2023 年 9 月 30 日 00:00:00 至 2023 年 9 月 30 日 23:59:30	98%
2	NETR8	5349K48368	TRM59800.00	2024 年 3 月 24 日 00:00:30 至 2024 年 3 月 24 日 23:59:30	99%
3	NET-G5	1294-10347	TPSCR.G5	2023 年 9 月 28 日 00:00:00 至 2023 年 9 月 28 日 23:59:30	99%

2. 周跳比值

将原始观测数据使用对应软件转换为 RINEX 文件，采用 TEQC 数据分析工具对 RINEX 数据进行分析。设置 GNSS 接收机采样率为 30s，截至高度角为 10° ，观测时长为 24h，表 4 为 3 套设备的周跳比值分析。

表 4 3 套设备的周跳比值分析

序号	主机型号	出厂编号	天线型号	观测时间	周跳比值
1	NETR9	5742R1279	TRM159900.00	2023 年 9 月 30 日 00:00:00 至 2023 年 9 月 30 日 23:59:30	2.79
2	NETR8	5349K48368	TRM59800.00	2024 年 3 月 24 日 00:00:30 至 2024 年 3 月 24 日 23:59:30	0.94

3	NET-G5	1294-10347	TPSCR.G5	2023 年 9 月 28 日 00:00:00 至 2023 年 9 月 28 日 23:59:30	0.20
---	--------	------------	----------	---	------

3. 多路径误差

将原始观测数据使用对应软件转换为 RINEX 文件，采用 TEQC 数据分析工具对 RINEX 数据进行分析。设置 GNSS 接收机采样率为 30s，截至高度角为 10°，观测时长为 24h，表 5 为 3 套设备的多路径误差分析。

表 5 3 套设备的多路径误差分析。

序号	主机型号	出厂编号	天线型号	观测时间	多路径误差 /m
1	NETR9	5742R1279	TRM159900.00	2023 年 9 月 30 日 00:00:00 至 2023 年 9 月 30 日 23:59:30	MP1=0.26 MP2=0.37
2	NETR8	5349K48368	TRM59800.00	2024 年 3 月 24 日 00:00:30 至 2024 年 3 月 24 日 23:59:30	MP1=0.24 MP2=0.37
3	NET-G5	1294-10347	TPSCR.G5	2023 年 9 月 28 日 00:00:00 至 2023 年 9 月 28 日 23:59:30	MP1=0.32 MP2=0.34

(二) 零基线误差

静态测量设置卫星截止高度角 15°、采样间隔 15s，基线解算采用双差固定解。通过功分器或转发器将同一天线接收到的 GNSS 信号传送到两台接收机，接收机同步观测 40min。校准试验结果如表 6 所示。

表 6 试验设备零基线误差校准

序号	设备	设备编号	零基线误差 (mm)
第一组	NETR9	5742R1279	0.2
	NETR8	5349K48368	
第二组	NETR9	5742R1279	0.1
	NET-G5	1294-10347	

第三组	NETR8	5349K48368	0.1
	NET-G5	1294-10347	

（三）天线相位中心偏差校准试验

采用等距基线臂装置开展校准试验。校准时先将等距基线臂装置安装在观测墩上，再将 2 台 GNSS 接收机作为参考天线架设在基线臂两端，参考天线与待检天线等高，定向标志均指向正北。具体试验方法见规范正文。通过两个全天时段的观测，分别求出参考天线旋转前、后与待测天线之间的短基线矢量，可得到待检天线相位中心水平偏差的 E-W 分量和 S-N 分量。表 1 给出了近 5 年，即 2018 年至 2022 年，3 台待检仪器依据常规方法在每年测前、测后分别进行一次仪器检测得到的天线相位中心偏差结果（表 7 中“/”表示该观测时段该天线未进行检测）。基于上述 5 年的常规检测结果和校准试验结果，计算得到了 3 种不同型号 GNSS 天线的 L1、L2 载波相位中心偏差改正前、改正后的历年径向长度的算数平均值与实验标准偏差。由表 7 可知，3 种不同型号的 GNSS 天线的 L1 和 L2 载波相位中心偏差改正前、改正后历年的径向长度的实验标准偏差均不超过 0.2mm，说明各型号天线相位中心偏差检测结果的复现性较好。

表 7 2018 年至 2022 年 3 种型号 GNSS 天线相位中心偏差检测结果统计表

<div>径向长度</div> <div>观测时段</div>	TPSCR.G3				TPSCR.G5				TRM59800.00			
	改正前		改正后		改正前		改正后		改正前		改正后	
	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2
2018 年测前	0.76	0.54	0.56	0.38	0.28	0.61	0.38	0.49	1.59	0.65	0.41	0.53
2018 年测后	0.93	0.40	0.59	0.52	/	/	/	/	1.58	0.30	0.50	0.15
2019 年测前	0.95	0.45	0.61	0.56	0.29	0.64	0.74	0.43	1.37	0.35	0.12	0.23
2019 年测后	0.90	0.36	0.57	0.43	0.25	0.38	0.64	0.43	1.43	0.50	0.21	0.38
2020 年测前	0.72	0.30	0.38	0.41	0.16	0.43	0.53	0.38	1.72	0.85	0.64	0.80
2020 年测后	0.97	0.01	0.63	0.28	0.20	0.65	0.40	0.61	1.45	0.54	0.26	0.43
2021 年测前	1.01	0.46	0.67	0.52	0.18	0.79	0.48	0.63	1.52	0.43	0.37	0.32
2021 年测后	0.93	0.54	0.59	0.49	/	/	/	/	1.41	0.51	0.43	0.41
2022 年测前	0.80	0.35	0.53	0.48	0.36	0.89	0.52	0.59	1.51	0.27	0.72	0.16

校准试验结果	0.85	0.70	0.66	0.46	0.29	0.30	0.68	0.56	1.06	0.67	0.35	0.62
算数平均值	0.88	0.41	0.58	0.45	0.25	0.59	0.55	0.52	1.46	0.51	0.40	0.41
实验标准偏差	0.10	0.19	0.08	0.08	0.07	0.20	0.13	0.10	0.18	0.18	0.19	0.20
差异值	0.03	0.29	0.08	0.01	0.04	0.29	0.13	0.05	0.40	0.16	0.05	0.21

表 8 给出了等距基线臂法校准试验和常规方法计算得到的同一型号（主机 Trimble NetR9/天线 TRM159900.00）天线相位中心偏差的多组（10 组）对比试验结果及其重复性。由表 2 可知，校准试验得到的 10 组 L1 和 L2 载波相位中心偏差改正后径向长度与常规方法的对应结果在量值上基本相当，两种方法的 10 组试验结果重复性都小于 0.2mm，采用独立样本 T 检验法对两组数据的差异性进行分析，可知两组数据无显著差异，说明两种方法的检测结果基本一致，多组对比检测结果的一致性表明校准试验结果是稳定可靠的。

表 8 TRM159900.00 型号的 10 组原位检测和常规检测天线相位中心偏差结果对照表

载波	校准试验					常规检测				
	年积日	Δ N (mm)	Δ E (mm)	改正前	改正后	年积日	Δ N (mm)	Δ E (mm)	改正前	改正后
L1	91-93	-0.03	-0.01	0.03	0.64	109-110	0.46	-0.32	0.56	0.43
	95-96	0.03	0.00	0.03	0.59	112-113	0.08	-0.25	0.26	0.62
	99-100	-0.01	0.19	0.19	0.63	114-115	0.40	-0.33	0.51	0.46
	101-102	0.13	0.08	0.15	0.48	109-110	0.23	-0.28	0.36	0.52
	103-104	0.01	0.17	0.17	0.60	112-113	0.14	-0.25	0.28	0.58
	130-131	0.03	0.00	0.03	0.59	114-115	0.32	-0.24	0.40	0.44
	134-135	0.05	-0.05	0.07	0.57	144-145	0.25	-0.30	0.42	0.49
	136-137	0.28	0.05	0.28	0.34	148-149	0.30	-0.30	0.42	0.49
	138-139	0.13	0.00	0.13	0.49	144-145	0.10	-0.25	0.27	0.61
	143-144	0.18	0.08	0.19	0.44	148-149	0.25	-0.35	0.43	0.56
	重复性	0.09	0.08	0.08	0.09	重复性	0.12	0.04	0.10	0.06
L2	91-93	0.88	0.09	0.88	0.76	109-110	0.13	0.32	0.34	0.24
	95-96	0.58	0.14	0.59	0.50	112-113	-0.33	0.24	0.40	0.64
	99-100	0.72	0.11	0.73	0.63	114-115	-0.16	0.04	0.16	0.63

	101-102	0.64	0.19	0.67	0.51	109-110	-0.01	0.34	0.34	0.32
	103-104	0.50	0.29	0.57	0.34	112-113	-0.21	0.25	0.32	0.54
	130-131	1.00	0.33	1.05	0.77	114-115	-0.15	0.01	0.15	0.65
	134-135	0.73	0.25	0.77	0.55	144-145	-0.35	0.10	0.36	0.73
	136-137	0.63	0.23	0.66	0.48	148-149	0.05	0.20	0.21	0.38
	138-139	0.45	0.28	0.53	0.32	144-145	-0.40	0.20	0.45	0.72
	144-143	0.45	0.18	0.48	0.40	148-149	-0.10	0.15	0.18	0.51
	重复性	0.18	0.08	0.17	0.15	重复性	0.17	0.11	0.10	0.17

表 7 和表 8 的数据结果显示，基于等距基线臂的校准方法能够对 GNSS 天线水平相位中心偏差进行精确地矢量化描述，其校准结果可靠且重复性较好，可在不干扰 GNSS 基准站连续观测的前提下实现天线相位中心偏差的校准。

（四）静态测量基线误差

对连续运行 GNSS 接收机，静态测量基线误差一般在长基线上进行观测，待测仪器与大于 30km 的 CORS 站点仪器同步观测，本试验选取的 CORS 站点为天津宝坻、天津武清和天津滨海。具体校准方法见规范正文。观测结束后，用仪器厂商的软件解算各条基线，解算结果与已知基线之差为静态测量基线误差。第一次测量时间为 2025 年 6 月 12 日。第二次测量时间为 2025 年 6 月 27 日。

表 9.1 3 台设备静态测量基线误差校准结果

Trimble NetR9					
待测仪器点位	CORS 站点位	测得值/m	参考值/m	差值/mm	限差值/mm
XN02	TJBD	67043.7590	67043.7730	14.0	36.5
XN02	TJWQ	33814.1431	33814.1514	8.3	20.0
DN02	TJBH	35965.6531	35965.6458	7.3	21.0

表 9.2 3 台设备静态测量基线误差校准结果

Trimble NetR8					
待测仪器点位	CORS 站点位	测得值/m	参考值/m	差值/mm	限差值/mm
XN02	TJBD	67043.7590	67043.7730	14.0	36.5
XN02	TJWQ	33814.1401	33814.1514	11.3	20.0
DN02	TJBH	35965.6330	35965.6458	12.8	21.0

表 9.3 3 台设备静态测量基线误差校准结果

Topcon NETG5					
待测仪器点位	CORS 站点位	测得值/m	参考值/m	差值/mm	限差值/mm
XN02	TJBD	67043.7860	67043.7730	13.0	36.5
XN02	TJWQ	33814.1417	33814.1514	9.7	20.0
DN02	TJBH	35965.6387	35965.6458	7.1	21.0

（五）长基线测量重复率

长基线测量重复率的校准是将待检连续运行 GNSS 接收机连续观测四天，采用高精度的数据解算软件 GAMIT，与多个不同的距离的观测站数据联合处理。

试验设备：Trimble NETR9

时间：2023 年 9 月 22 日（年积日 265）至 25 日（年积日 268）

地点：地震计量大楼楼顶 GNSS 长度基线场

观测点位与联合解算点间的长基线测量重复率检测结果见表 10。

基线	1279				结果	
	年积日 265	年积日 266	年积日 267	年积日 268	重复率/mm	限差/mm
BJFS	131714.0836	131714.0827	131714.0826	131714.0840	0.24	3.00
BJGB	176914.6703	176914.6681	176914.6683	176914.6707	0.31	3.00
HECD	219598.1667	219598.1657	219598.1651	219598.1671	0.18	3.00
SDLY	463880.8118	463880.8133	463880.8091	463880.8136	2.10	4.64
SDYT	405873.0319	405873.0311	405873.0296	405873.0325	3.00	4.06

试验设备：Trimble NETR8

时间：2024 年 1 月 22 日（年积日 22）至 25 日（年积日 25）

地点：地震计量大楼楼顶 GNSS 长度基线场

观测点位与联合解算点间的长基线测量重复率检测结果见表 11。

基线	618-00214				结果	
	年积日 265	年积日 266	年积日 267	年积日 268	重复率/mm	限差/mm

JIXN	110426.4184	110426.4205	110426.4193	110426.4187	0.57	3.00
BJSH	156187.0981	156187.0988	156187.0987	156187.0999	0.32	3.00
SDCY	323729.0188	323729.0200	323729.0206	323729.0188	0.90	3.24
SDLY	463881.4398	463881.4414	463881.4422	463881.4403	1.09	4.64

试验设备：TOPCON NET G5

时间：2024 年 1 月 22 日（年积日 22）至 25 日（年积日 25）

地点：地震计量大楼楼顶 GNSS 长度基线场

观测点位与联合解算点间的长基线测量重复率检测结果见表 12。

基线	QXWZ				结果	
	年积日 265	年积日 266	年积日 267	年积日 268	重复率/mm	限差/mm
JIXN	110425.4047	110425.4067	110425.4055	110425.4052	0.57	3.00
BJSH	156185.6935	156185.6943	156185.6941	156185.6954	0.35	3.00
SDCY	323730.3747	323730.3759	323730.3764	323730.3746	0.89	4.64
SDLY	463882.6943	463882.6960	463882.6968	463882.6947	1.17	4.64

四、试验结论

通过对 4 种型号连续运行 GNSS 接收机开展的全部检查和校准项目试验，证明了《连续运行 GNSS 接收机校准规范》中所提出的检查、校准项目和方法是科学、合理的，适用于预期用途，可验证连续运行 GNSS 接收机性能，进而保障地震监测仪器测量数据的准确可靠性。