



内河航运 CORS 系统动态测试新方法

王锴华¹, 杨海龙²

(1. 武汉大学测绘学院, 湖北 武汉 430079; 2. 长江航道局, 湖北 武汉 430010)

摘要: 随着 CORS 技术的发展以及航运定位精度要求的提高, 我国内河亟需建立各自的航运 CORS 系统, 而传统的 CORS 系统精度测试无法全面反映系统实际精度。提出了一种基于内河航运 CORS 系统的动态测试新方案, 顾及了用户实际需求和内河航运 CORS 系统的特点, 并以长江干线连续运行参考站系统测试为例, 验证该测试方法的可行性, 分析讨论测试结果, 为内河航运 CORS 系统的测试提供新的思路。

关键词: CORS; 内河航运; 动态测试; 可用性; RTD

中图分类号: U 612.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)11-0019-05

A new method of dynamic test for inland river navigation CORS system

WANG Kai-hua¹, YANG Hai-long²

(1. School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, Wuhan 430079, China; 2. Changjiang Waterway Bureau, Wuhan 430010, China)

Abstract: Considering the development of CORS and higher requirement of positioning accuracy in inland river navigation, it is urgent to establish a CORS system for each inland river in China. However, traditional precision test couldn't reflect real precision of inland river navigation CORS system comprehensively. A new method of dynamic test for inland river navigation CORS system is proposed considering actual demand of the users and characteristics of inland river navigation CORS system. Based on the CJCORS system, the feasibility of this test method is verified and the test results are analyzed. The method could provide new ideas for the test of inland river navigation CORS system.

Keywords: CORS; inland river navigation; dynamic test; availability; RTD

内河航运运距长、运量大, 是各种运输方式中成本最低的, 具有效能高、能耗小、污染轻的优势。航道的建设和维护是航运发展必须解决的首要目标, 而高效的测绘技术则是航道建设和维护的前提^[1-3]。利用传统 GPS 技术进行内河导航, 定位精度较低, 且部分航段处于山地, 信号遮挡严重, 导致 GPS 定位的可用性和稳定性较差。

连续运行参考站系统 (continuous operational reference system, CORS) 技术的出现, 可为区域内大量用户同时提供高精度、高可靠性、实时的

定位信息。近年来, 深圳、广州、江苏等省市分别建立了各自的区域 CORS 网, 可为网内用户提供厘米级的定位服务^[4-7]。区域 CORS 系统扩大了 GPS 在动态领域的应用范围, 尤其是在内河航运中, CORS 系统可以在航道内提供高精度、实时的位置服务, 将大大提高航运效率及安全性。目前, 长江航道仅有宜昌段三峡库区建有区域航运 CORS 系统^[1, 8], 其他区段只能依靠当地省 (市) 级 CORS 网, 存在省网之间切换麻烦、省网接合处精度较差的问题。因此, 建设大范围、全流域的内河航运 CORS 系统迫在眉睫。

收稿日期: 2014-09-09

作者简介: 王锴华 (1991—), 男, 硕士研究生, 研究方向为 GNSS 精密数据处理及坐标时间序列分析。

区域 CORS 网建成之后, 需要对系统进行精度及可用性测试。但由于内河航运 CORS 网覆盖范围一般较大, 同时终端用户精度需求较低, 传统的区域 CORS 网测试方法^[5-13]并不适用于大范围内河航运 CORS 网。本文以某连续运行参考站系统的测试为例, 探讨了对于大范围内河航运 CORS 网系统测试的目的及要求, 提出了一种新的动态测试方法, 利用实测数据验证了该方法的可行性, 为内河航运 CORS 网的动态测试提供了新思路。

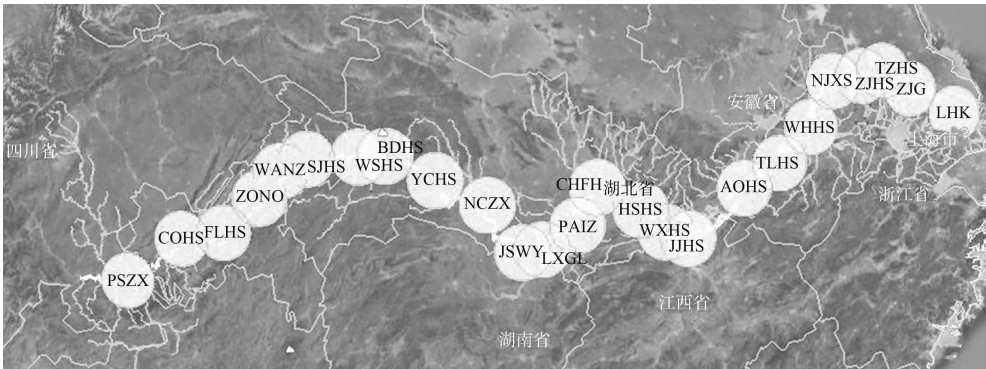


图1 CJCORS 系统各站分布

CJCORS 系统可以通过数据通信网络, 在长江干线全流域提供 GNSS 差分定位服务, 定位精度达到分米级, 信号覆盖率基本能达到 100%, 将极大地提高长江干线的航运效率, 促进数字化智能航道管理的实现。

1.2 测试目标

系统建成后, 需要对系统定位精度、可靠性及稳定性进行测试^[2]。参考以往各省级 CORS 网以及工程 CORS 网的测试方法, 测试主要包括系统的精度及空间可用性测试^[3]。其中, 精度测试方法是在网内和网外分别选取一定数量的静态已知点, 采用网络 RTK 模式在已知点上进行实时动态测量, 根据各测点的外符合精度和内符合精度, 来评价精度测试的结果。空间可用性测试方法是根据精度测试中各测点距离最近 CORS 参考站的距离, 推算整个 CORS 网在保证一定测量精度前提下的覆盖范围。

由于 CJCORS 系统各参考站分布在整个长江

1 系统概况及测试目标

1.1 系统概况

为了给长江航道上行驶的船舶提供精度高、可用性高、稳定性高的位置与导航服务, 沿长江干线建立了某连续运行参考站系统 (以下简称 CJCORS)。

CJCORS 系统目前已建成 24 个基准站, 各基准站从宜宾到上海沿江布设, 途径重庆、湖北、湖南、江西、安徽、江苏等地区, 基本覆盖整个长江干线。图 1 为 CJCORS 各基准站分布及覆盖范围示意图。

流域, 范围较大, 同时终端用户 (如船舶) 是在移动状态下进行定位, 用户的定位精度需求也不同, 因此对于 CJCORS 的系统测试提出以下目标:

- 1) 系统是否能覆盖整个长江干线, 并实现无缝隙式定位及导航服务;
- 2) 系统能否为终端用户提供全天无间断差分定位服务;
- 3) 系统为移动载体提供的位置服务, 其精度能否满足要求。

2 优化的测试方案

基于上述测试目标, 对传统的测试方案进行优化, 创新性地提出在运动状态下, 系统的动态精度测试方案, 包括: 1) 在高速运动 (30 ~ 40 km/h) 的船舶上, 对长江航道的各测段分别进行测试, 以信号覆盖率为指标, 对系统的空间可用性和时间可用性进行评价; 2) 动态测试中, 对运动状态下的终端进行精度测试, 选取沿线各省级 CORS 网作为精度参考依据, 以各测段平均的点位 “外符合精度” 为指标, 评价系统为移动载

体提供位置服务的精度及可靠性; 3) 在整个长江干线区域, 选取一定数量、均匀分布的静态已知点, 在已知点上利用系统播发的差分改正信息求解坐标, 根据坐标内符合精度和外符合精度, 对系统的稳定性和可靠性进行评价。

CJCORS 系统可以向用户终端发送基于伪距和基于相位的实时差分信息。考虑到船舶导航的实际精度需求以及双频接收机终端的成本较高, 因此利用双频接收机和单频导航终端, 分别在 RTK 模式和 RTD 模式下进行测试。

2.1 精度测试方案

为了使精度测试的结果更为全面, 测试分为两个部分进行。

第 1 部分为定点测试, 即在整个长江干线, 选取均匀分布的地点进行测试, 尤其是在观测条件较差的航段, 评价系统差分定位服务的精度及可靠性。

第 2 部分为动态测试, 即跟随运动船只在各航段上进行差分定位精度测试, 评价在船只实际运动过程中, 系统差分定位服务的相对精度及稳定性。

1) 定点测试。

定点测试共选取了从泸州到芜湖共 13 个测点, 利用双频和单频 GPS 接收机 (分别为 RTK 和 RTD 模式) 连接 CJCORS 网络, 进行动态模式的实时定位, 采样率为 1 s, 连续记录 60 个以上坐标数据, 断开连接并初始化测量 3 次。

将测得的坐标和已知点精确坐标对比, 得到外符合精度, 反映系统定位的正确性、可靠性; 将测得的坐标进行对比, 得到内符合精度, 反映系统定位的可靠性、稳定性。

2) 动态测试。

动态测试主要在上游重庆段和中下游各段进行, 能够较为准确地评价终端在移动状态下的相对定位精度。

由于动态测试过程中, 各测点没有真实的坐标值作为比对基准, 同时考虑到船舶动态定位的

精度在分米级, 因此采用以下方案得到较准确的动态点位坐标精度, 动态测试方案见图 2。首先, 使用一台双频 GPS 接收机 A, 接入沿线各省级 CORS 网, 计算出待测点 A 较为精确的坐标; 同时, 使用双频接收机 B 和单频接收机 C, 接入 CJCORS 系统计算待测点 B 和 C 的坐标; 然后, 比较测点 A 与测点 B (C) 的坐标, 分别得到 CJCORS 系统 RTK 和 RTD 模式下动态定位的精度。方案假设 3 台天线的相位中心重合 (即 A、B、C 为相同点), 因此要求接收机天线间距尽可能最小。

精度对比时, 首先提取所有时刻下, 接收机 A 测得的固定解、接收机 B 测得的浮点解和固定解、接收机 C 测得的差分解; 然后对齐时刻, 分别保留接收机 A 和 B、接收机 A 和 C 具有相同时刻下的坐标; 最后, 以接收机 A 记录的固定解作为点位坐标比对标准, 分别计算双频接收机和单频导航终端的定位精度。

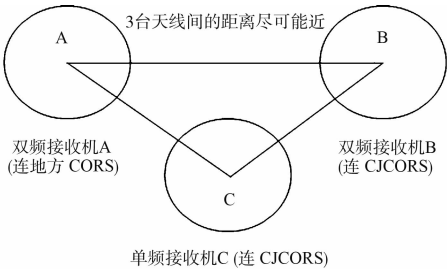


图 2 动态测试方案

2.2 可用性测试

动态测试中, 分别计算接收机 B、C 接收到系统差分信号的历元数占总历元数的百分比, 并将其作为评价系统空间可用性的依据, 反映了 CJCORS 系统网络的覆盖范围及信号的稳定性。对于无法连接网络、接收不到差分改正数的区段, 应及时记录。

同时, 为了测试系统能否全天候提供稳定的差分信号, 选取部分参考站, 采用 RTD 模式进行连续 24 h 定位, 计算内符合精度、外符合精度和数据可用率, 并依此评价系统的时间可用性。

3 测试结果及分析

3.1 精度评价

精度评价的指标包括内符合精度和外符合精度^[4]。内符合精度反映系统内部的可靠性和稳定性，外符合精度反映整个系统的精确性和可靠性。

假设对同一点连续测量，得到 N 个坐标值，那么内符合精度为

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{N-1}}$$

(1)

式中： Δ 为各测量值与平均值的偏差。

动态测量中，假设某测段共 t 个时刻，测得坐标为 L_i ，对应时刻各测点的真实坐标（实际中把较准确的各省 CORS 网测得坐标视为真值）为 l_i ，则该测段动态测试的平均外符合精度为：

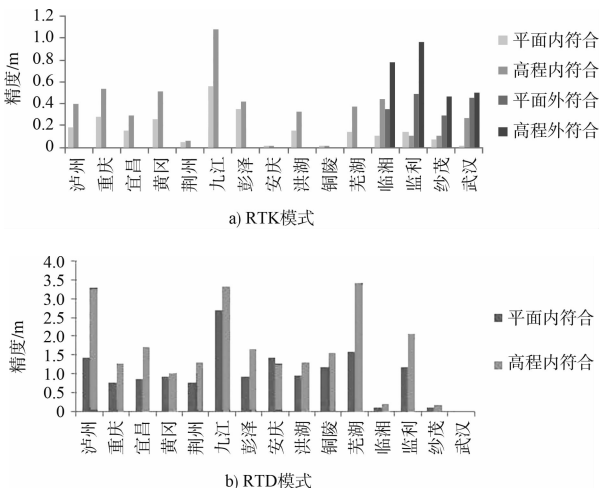
$$n = \pm \frac{\sum_{i=1}^t |L_i - l_i|}{t}$$

(2)

3.2 精度测试

3.2.1 定点测试

测试的 13 个测点中，临湘、监利、纱茂、武汉 4 处测试是在已知点上进行的，因此可以计算内符合精度和外符合精度。其他 9 处测试由于缺少待测点精确的 CGCS2000 坐标，因此只计算内符合精度。测试结果见图 3。



注：临湘至纱茂采用徕卡单频接收机

图 3 定点测试精度

可以看出，各测点 RTK 模式平面、高程的平均内符合精度分别为 0.165、0.328 m，平均外符合精度分别为 0.394、0.680 m；各测点 RTD 模式平面、高程的平均内符合精度分别为 0.914、1.439 m，满足精度设计要求。其中，九江、泸州、芜湖的测试结果，尤其是单频测试精度相对较差。泸州处结果异常可能是太阳活动剧烈引起的电离层异常造成的，九江处结果异常可能和多路径效应有关。

3.2.2 动态测试

动态测试中，以连接各省网 CORS 的双频接收机测量结果为对比标准，来评价船舶等移动终端利用 CJCORS 系统定位的相对精度。测试结果见表 1。

表 1 动态测试各区段精度

测段名	点位精度/m		双频平面精度比例/%					单频终端平面精度比例/%				
	双频	单频	<1 m	1~<2 m	2~<3 m	3~<5 m	≥5 m	<1 m	1~<2 m	2~<3 m	3~<5 m	≥5 m
ch-zj	0.38	2.96	97.02	2.57	0.28	0.12	0.01	23.43	43.81	13.94	11.91	6.92
hg-hs	0.23	1.82	100.00	0	0	0	0	31.63	47.27	18.61	2.26	0.24
hs-wx	0.52	1.63	97.81	2.19	0	0	0	25.29	53.43	18.78	2.31	0.20
jz-ss	0.94	3.70	83.61	6.42	9.95	0.02	0	6.00	23.47	27.78	31.84	10.91
ss-jl	1.23	4.12	63.92	26.57	3.28	6.23	0	4.71	15.78	21.62	35.38	22.52
jl-tp	0.32	2.23	100.00	0	0	0	0	50.02	35.77	12.31	0.28	1.62
tp-cl	1.14	2.28	67.66	19.80	11.88	0.66	0	25.61	27.94	32.28	12.59	1.59
cl-wh	0.69	5.46	90.41	8.86	0.70	0	0.03	12.99	31.60	18.57	16.51	20.33
平均点位精度/m	0.68	3.02	87.55	8.30	3.26	0.88	0.01	22.46	34.88	20.49	14.14	8.04

注：单频为导航级单频天线终端。

可以看出, 动态测试中, 双频接收机终端和单频导航终端的平均点位精度分别为 0.68 m 和 3.02 m, 满足船舶导航需求。双频接收机平均 95.85% 的精度在 2 m 以内, 单频导航终端平均 91.97% 的精度在 5 m 以内。

其中, jz-jl 段、tp-cl 段精度普遍较差, 分析原因可能是测试地点位于湖北、湖南两省交界处, 所用的湖北省 CORS 网测量精度较差, 导致比对精度也较差。

3.3 可用性测试

可用性测试中, 各终端接受 CJCORS 系统发送的差分改正信息, 以能得到差分解的时刻数占总时刻数的百分比作为统计指标。结果见图 4。

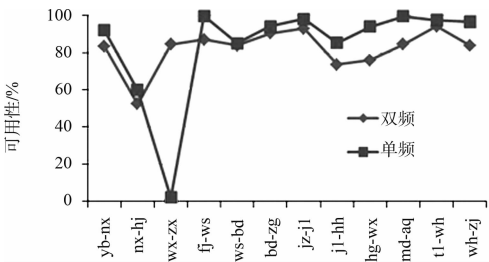


图 4 各测段系统空间可用性

各测段的平均空间可用性, 双频接收机为 83.47%, 单频导航终端为 92.88%, 基本满足系统指标, 且导航终端更容易接收到系统播发的差分信息。

图 4 中, nx-hj 和 wx-zx 段可用性明显很差, 尤其是单频终端, 可能是由太阳活动活跃引起的电离层异常造成的。

4 结论

1) 定点测试中, 各测点 RTK 模式平面、高程的平均内符合精度分别为 0.165、0.328 m, 平均外符合精度分别为 0.394、0.680 m; 各测点 RTD 模式平面、高程的平均内符合精度分别为 0.914、1.439 m, 均满足精度设计要求。

2) 动态测试中, 所有测段内双频接收机终端和单频导航终端的平均点位精度分别为 0.68、3.02 m。其中, 双频接收机的平均点位精度有 95.85% 小于 2 m, 单频导航终端的平均点位精度有

91.97% 小于 5 m, 均可以满足船舶导航的需求。

3) 可用性测试中, 各测段的平均空间可用性, 双频接收机为 83.47%, 单频导航终端为 92.88%, 基本满足系统指标。

测试结果表明, 该动态测试方法完全可以用于内河航运 CORS 系统的测试, 能够体现系统及用户的实际应用要求, 为其他流域航运 CORS 系统的测试提供了新思路和新方法。

参考文献:

[1] 赖寅基, 傅博, 陈春, 等. CORS 系统在内河航道测量中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2013(10): 133-135.

[2] 焦明连, 王继刚, 史建青, 等. GPS 在航道控制测量中的应用[J]. 测绘通报, 2004(8): 22-23.

[3] 李新书. 长江宜昌航道 CORS 系统建设与应用[J]. 水利信息化, 2011(3): 59-63.

[4] 姜卫平, 马强, 刘鸿飞, 等. CORS 系统中坐标移动转换方法及应用[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2008, 33(8): 775-778.

[5] 丁玉平, 许友清. 区域 CORS 系统的定位精度分析[J]. 测绘通报, 2011(3): 86-87.

[6] 蔡荣华, 苏立钱, 杨一挺, 等. 浙江省省级 CORS 系统 RTK 测试与分析[J]. 全球定位系统, 2009, 34(3): 41-45.

[7] 张西军, 唐卫明, 曾广鸿, 等. 广州市 CORS 系统实时动态定位精度测试[J]. 测绘信息与工程, 2008, 33(5): 6-8.

[8] 林国利, 张文言, 於永东, 等. 上海北斗连续运行参考站系统(SHBD-CORS)的建设与精度测试[J]. 测绘通报, 2013(11): 136-137.

[9] 钱文进. 网络 GPS/RTK 精度测试与评价分析[D]. 成都: 西南交通大学, 2011.

[10] 龚真春, 杨晋强, 白冰, 等. GPS CORS 系统实时定位精度检测方法探讨[J]. 测绘与空间地理信息, 2011, 34(3): 88-90.

[11] 王锴华, 徐爱功. 基于单基站 CORS 的 RTK 精度与距离测试[J]. 矿山测量, 2012(1): 29-31.

[12] 史珂, 夏天. 昆明市卫星定位综合服务系统的建设与测试[J]. 城市勘测, 2009(6): 49-51.

[13] 张周平, 刘忠. 城市 CORS 的测试内容与方法研究[J]. 测绘技术装备, 2010, 12(3): 7-9.

(本文编辑 武亚庆)