省级 CORS 网在长距离运河控制网测量中的应用

薛武申，邓华贵，黄奉洵
（广西北港规划设计院有限公司，广西 南宁 530300）

摘要：针对省级连续运行的卫星定位服务站(CORS)网在长距离运河控制网中的控制点精度可靠性问题，进行比对分析研究。依托平陆运河工程，以省级 CORS 网建立的控制点为基础，利用传统的全球导航卫星系统(GNSS)静态联网方式检验省级 CORS 网解算的控制点平面坐标精度，利用三等水准测量成果检验 CORS 网解算的似大地水准面高程成果精度。结果表明，省级 CORS 网解算的平面坐标精度准确可靠，似大地水准面高程成果精度可达到图根级。该方式不仅作业效率高，且经济效益好，对后续类似长距离运河建设中的控制网测量方式具有指导意义。

关键词：CORS 网；控制测量；精度；平差；平陆运河
中图分类号：U617　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1002-4972(2025)05-0177-06

Application of provincial CORS network in measurement of long-distance canal control network

XUE Wushen, DENG Huagui, HUANG Fengxun
(Guangxi Beigang Planning and Design Institute Co., Ltd., Nanning 530300, China)

Abstract: In view of the accuracy and reliability of control points of provincial continuously operating reference stations(CORS) network in long-distance canal control network, a comparative analysis is carried out. On the basis of the Pinglu Canal project and control points established by the provincial CORS network, we use the traditional global navigation satellite system(GNSS) static networking method to test the plane coordinate accuracy of control points calculated by the provincial CORS network, and use the third-class leveling results to test the precision of the quasi-geoid elevation results calculated by the CORS network. The results show that the precision of plane coordinates calculated by the CORS network is accurate and reliable, and the precision of quasi-geoid elevation can reach the root level. This method not only has high operating efficiency, but also has good economic benefits, and has guiding significance for follow-up control network measurement methods in similar long-distance canal construction.

Keywords: CORS network; control measurement; precision; adjustment; Pinglu Canal

随着网络化概念被引入大地测量应用，由多个连续运行以及固定全球导航卫星系统(GNSS)参考站所构成的连续运行的卫星定位服务站(CORS)系统技术被应用于测绘生产[1]，该系统为测绘行业带来了深刻变革，很大程度上改变了控制测量的作业方式，同时也为数据处理提供了新的思路[2]。联测 CORS 网进行控制网布设，数据量大，图形结构有多种选择[3]，已成为工程测量控制网布设的首选方式，逐渐取代了 C 级和 D 级全球定位系统(GPS)控制点通过联测收集国家高等级起算点，采用 GNSS 静态自行布网联测及平差解算的方式，但省级 CORS 站解算的平面和高程精度的可靠性

收稿日期：2024-07-30
作者简介：薛武申（1981—），男，高级工程师，从事测量专业生产和技术管理。

水运工程

如何，尤其是与传统联测国家高等级起算点自行平差解算相比，一直无研究定论。本文以平陆运河工程施工控制网实施为契机，研究采用省级 CORS 网解算控制点平面坐标和高程精度的可靠性，旨在为类似工程提供有益指导。

1 省级 CORS 网

2006 年 10 月以来，广西现代测绘基准管理与综合服务平台正式上线对外服务，在全区范围建设完成了 102 个基准站、1 个总数据中心以及若干个子系统等，建立了与国家空间定位基准一致、动态、地心、高精度的三维地理空间定位基准，具备全区覆盖、陆海覆盖和辐射边境地区的定位服务能力[4]。用户在平台注册登记后，待测控制点严格按照 GNSS 静态测量外业技术规程采集数据，依据平台控制点解算服务的要求，将观测数据转换成 RINEX 格式，即可申请由省级 CORS 系统附近的连续运行基准站与申请提交的观测数据组成 GNSS 控制网进行解算平差，得到待测控制点的坐标数据和似大地水准面高程数据[5]。

联测 CORS 网解算控制点打破了传统的逐级控制、分级布网、待测控制点需要经同步观测的工作方式。

2 平陆运河工程

2.1 工程概况

平陆运河位于广西壮族自治区，是新中国成立以来建设的第一条通江达海的运河工程，也是西部陆海新通道的骨干工程[6]。运河始于西江干流西津库区南宁横州市平塘江口，跨沙坪河与钦江支流旧州江分水岭，经钦州市灵山县陆屋镇沿钦江干流南下进入北部湾钦州港海域，全长约 135 km，地处 21°44′N—22°38′N、108°35′E—109°30′E，按内河 I 级航道标准建设，可通航 5 000 吨级船舶，项目总投资估算 727 亿元。

结合项目建设规模、线路长度和后期施工对控制点密度和精度要求[7]，本项目首级平面控制网按 C 级点精度布设，高程控制网按三等水准引测。

2.2 控制网布设方案选择

目前，鲜有文献采用其他手段对 CORS 网解算的 GNSS 静态成果平面坐标、高程的可靠性和精度进行研究。在平陆运河工程施工平面控制点布网实施阶段，有 2 种选择方案：方案 1 采用传统的 GNSS 静态测量布网方式，自行采用商业软件进行数据处理；方案 2 按省级 CORS 网解算服务要求联测附近的基准站，每个待测点可单独观测，无需同步，并申请由广西壮族自治区自然资源信息中心负责数据处理并提供控制点成果。2 种方案的优缺点如下。

1）传统 GNSS 控制点布网的基本原则应逐级布设，在保证精度、密度等技术要求时可跨级布设；新布设的 GNSS 网应与附近已有的国家高等级 GNSS 点进行组网联测，联测点数不应少于 3 个[8]。该方式优点是分级布网，来源清晰，可追溯性强；缺点是需要收集附近更高等级的起算点资料，需要现场搜寻起算点并上站测量，每个时段需要多台 GNSS 接收机同步观测，并有重复观测时段的要求。采用传统的 GNSS 静态观测不仅投入大、耗时长，且经济效益差。

2）省级 CORS 系统的方式，其优点明显：CORS 系统提供的坐标系都是建立在同一个坐标系上，有效保障了测绘数据的统一性[9]，省级 CORS 基准站分布均匀，可提供全区覆盖的毫米级高精度定位服务；各待测控制点间无需组网同步观测，无重复观测时段数要求，单人 1 台 GNSS 接收机就可以完成观测；可以全天候作业。缺点是目前成果可靠性存疑，成果解算需要走申请手续，受信息中心工作计划及工作人员时间安排限制大，对于工期要求紧的项目及时性不可控。

平陆运河距离长、地形地貌复杂，经过分析，优先采用 CORS 网起算的解算方式，同时考虑平陆运河工程的社会影响力及重要性，抽取其中一段采用传统平面起算点方式，验证 CORS 成果平

水运工程

面精度的可靠性；高程通过沿线引测的三等水准点，验证似大地水准面精化成果的可靠性。

3　CORS 解算内部精度分析

3.1　组网与解算软件

数据采集采用南方银河 1 型双频 GNSS 接收机，对 13 个待测 C 级控制点进行观测。根据测区附近的基准站分布，观测数据与 JZ05、JZ12、JZ19、KS03、KS05、KS07、LJHP、LJTS 共 8 个基准站的同步观测数据组成 GNSS 控制网，利用 TBC 软件进行基线解算和 CosaGPS 软件进行控制网平差。TBC 软件具有超快速的基线处理，全面支持 GNSS 观测数据，它具有强大的数据处理和分析功能，能够有效提高测量效率和精度。CosaGPS 软件由武汉大学测绘学院研发，该软件成功地将测量学的基本理论与高新技术相融合，实现了从外业数据采集到质量检核、预处理、网平差等内业数据处理，最后成果报表输出的一体化和自动化作业流程[10]。所有解算均由广西壮族自治区自然资源信息中心完成并提供成果。

3.2　平面精度分析

本项目共观测 21 个点，其中 13 个 C 级点、8 个省级 CORS 基准站，剔除质量不佳基线，共选用 141 条基线，平均基线长为 81 km，环闭合差等各项指标均满足规范要求。

三维无约束平差：无约束平差以基准站 KS03 为起算点，最终平差结果最弱点为平陆 05，坐标精度为 34.7 mm；最弱边为平陆 13—平陆 12，比例误差为 0.34×10^{-6}。

控制网检验：以省级 CORS 基准站 JZ12、KS05 和 LJHP 为检查点，坐标成果 x 方向较差最大为 6 mm（LJHP 站），y 方向较差最大为 2 mm（JZ12 站），平面坐标比对结果小于 3 cm，满足 C 级 GPS 成果精度要求。

约束平差：将已知的 8 个省级 CORS 站起算点全部参与平差，坐标最弱点平陆 05，坐标精度为 34.2 mm；最弱边为平陆 13—平陆 12，比例误差为 0.35×10^{-6}。

CORS 网解算方式采用网联式，数据处理模型严密，方法合理，环闭合差、无约束平差基线分量改正数、约束平差与无约束平差基线分量改正数较差等各项指标均满足规范要求。平差后最弱边长中误差均小于 10^{-6}，成果精度达到 C 级 GPS 网要求。

3.3　高程精度分析

省级 CORS 站利用“广西似大地水准面精化模型”将约束平差得到的大地高进行高程转换，获取待测控制点的 1985 国家高程基准的高程成果。以省级 CORS 基准站 JZ12、KS05 和 LJHP 为检查点，高程成果较差最大为 6 mm，小于 50 mm，高程精度可靠。

4　检验方案及精度对比分析

4.1　联测检验概况

对基于 CORS 基准站解算的控制点成果，为了验证其精度的可靠性，采用传统的 GNSS 静态联网方式进行抽查检验，本次抽查的控制点为平陆 07～13 共 7 个。外业采用南方银河 1 型双频 GNSS 接收机对 C 级控制点进行同步组网观测，卫星高度截止角为 10°，数据采样间隔 15 s，每个点累计重复观测时段数大于 2 个，观测时间大于 4 h。观测完毕后，同样采用 TBC 解算软件进行数据处理，获取高精度的基线解算向量，然后采用 CosaGPS 软件进行平差处理。

通过三维无约束平差和二维约束平差，检查基线残差及基线向量相对中误差，该基线实际上均为 CORS 解算控制点间的基线边长，可有效检验 CORS 站解算成果的可靠性。

通过 2 种方式解算的平面坐标较差检验 CORS 解算平面精度的可靠性；CORS 网解算的似大地水准面高程精度通过与三等水准的成果较差进行精度检验。联测网型见图 1。

水运工程

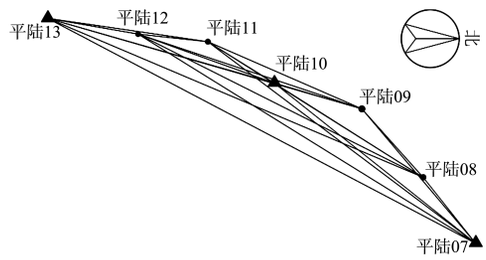

图 1　联测检验控制网

Fig. 1　Control network for joint measurement and inspection

4.2　联测检验基线解算

进行数据处理时，尽可能保留相邻点之间的短基线，剔除质量不好的基线后，数据可利用率大于 90%。基线处理结束后，检查重复基线较差见图 2，闭合环分量闭合差的精度见图 3，均符合限差要求。表明通过 TBC 软件的处理，获取了高精度的联测检验基线解算成果。

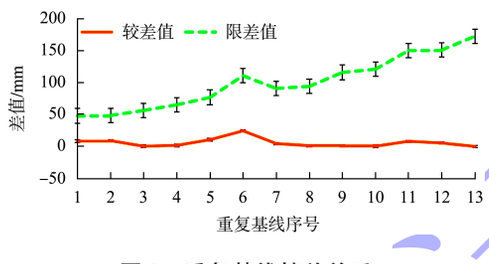

图 2　重复基线较差关系

Fig. 2　Differential relationship of repeated baselines

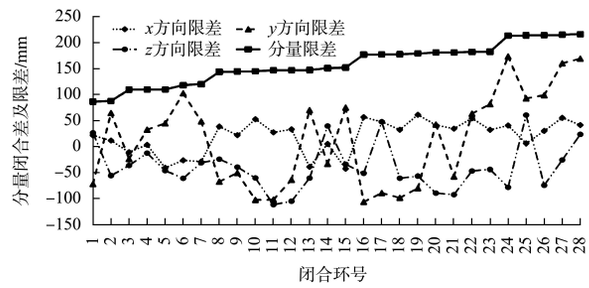

图 3　闭合环分量闭合差与限差关系

Fig. 3　Relationship between closure error and limit error of closed loop component

4.3　三维无约束平差

在基线向量检核符合要求后，以三维基线向量及其相应方差-协方差阵作为观测信息，以一个点在 2000 国家大地坐标系中的三维坐标作为起算依据，进行无约束平差，检验控制网内符合精度的可靠性，其实就是检验 CORS 解算控制点成果点间三维基线向量的精度。本文以点平陆 10 为起算依据，三维基线残差及限差见图 4，最弱边平陆 08—平陆 07，比例误差为 0.85×10^{-6}。经过检验，CORS 解算控制点间三维基线向量的精度是可靠的。

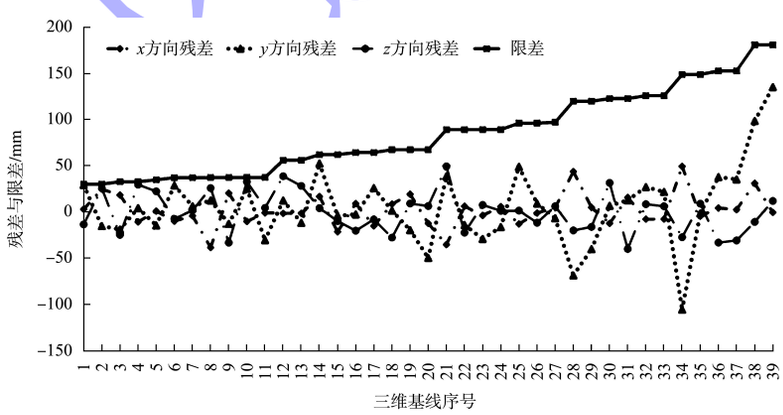

图 4　无约束平差三维基线残差与限差关系

Fig. 4　Relationship between three-dimensional baseline residual data and limit data of unconstrained adjustment

4.4　二维约束平差

控制网检验：以其中两个起算点作为约束点，1 个起算点为检查点，坐标成果 x 方向较差为 11 mm，y 方向较差为 3 mm，平面坐标比对结果小于 3 cm，精度可靠。

约束平差：将 3 个已知起算点全部参与约束平差，约束平差基线分量改正数与限差关系见图 5，平差后最弱边长中误差为 0.91×10^{-6}；约束平差相邻点坐标分量及其相对中误差见图 6。

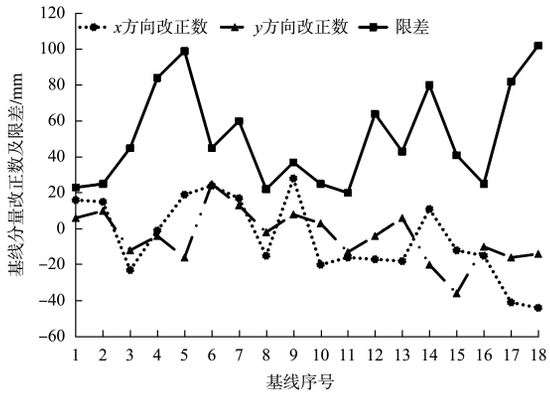

图 5　二维基线分量改正数

Fig. 5　Two-dimensional baseline component correction

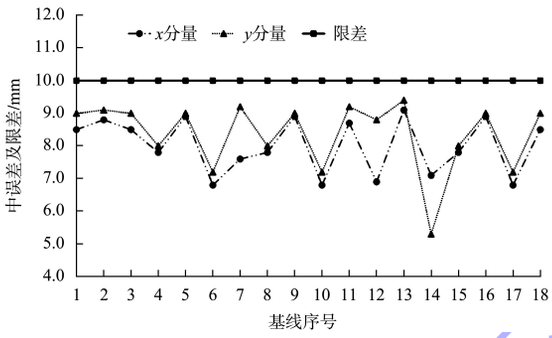

图 6　相邻点基线水平分量中误差

Fig. 6　Mean error of baseline horizontal component at adjacent points

通过以上约束平差基线分量改正数、基线相对中误差及相邻点基线水平分量中误差统计说明，CORS 解算控制点间水平分量的精度是可靠的。

4.5　平面坐标精度检验结果

将通过 CORS 网解算的控制点成果与检验方案单独组网解算的成果进行对比分析，以 CORS 网解算的结果为基准，与传统 GNSS 静态联网方式的作业成果进行比对，两种方式的各点坐标差值见表 1。可以看出，平面坐标较差均小于 30 mm，采用 CORS 网方式解算的平面控制点成果精度是可靠的。

表 1　两种方式平面坐标较差对比

Tab. 1　Comparison of plane coordinate difference between two methods

点号	Δx/mm	Δy/mm
平陆 08	−7.0	−7.0
平陆 09	−6.0	−8.0
平陆 11	−9.0	−6.0
平陆 12	−8.0	−5.0

4.6　高程精度检验及结论

采用联测 CORS 基准站的方式，利用“广西似大地水准面精化模型”将三维约束平差得到的大地高进行高程转换，获取控制点的 1985 国家高程基准的高程成果。各控制点似大地水准面成果与三等水准测量的成果比对较差见图 7，较差平均值为 −38 mm，最大较差为−76 mm，CORS 解算的似大地水准面高程成果精度可以达到图根级精度，不能达到四等高程精度。

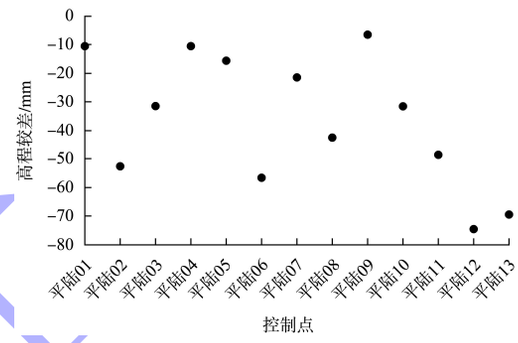

图 7　高程较差

Fig. 7　Elevation difference

5　结语

1）省级 CORS 网解算的平面坐标精度是可靠的，与传统 GNSS 静态控制测量实施对比，可不必将待测控制点进行同步观测，无重复观测时段数要求，对控制网的网型也可不做强制要求，不仅提高了外业数据采集的作业效率，对内业数据处理，也可灵活选取区域内的起算点，有良好的经济效益。这种更高效的作业方式，值得在长距离的运河工程建设中推广。

2）在检验联测及数据处理过程中，利用的 TBC 基线处理软件和 CosaGPS 平差软件，对长基线的数据处理精度良好，软件性能良好，方式方法正确可靠，值得参考借鉴。

3）省级 CORS 网解算的似大地水准面精化成果与三等水准成果较差的平均值为−38 mm，最大较差为−76 mm，高程精度达到图根级，不能达到四等高程精度。同时，也反向验证了平陆运河三等水准测量成果的可靠性，无粗差。

参考文献：

[1] 张鹏飞, 李旺民, 李秀龙. CORS 在区域 GNSS 控制测量中的应用分析[J]. 测绘与空间地理信息, 2023, 46(5): 90-92.
ZHANG P F, LI W M, LI X L. Application analysis of CORS in regional GNSS control survey[J]. Geomatics & spatial information technology, 2023, 46(5): 90-92.

[2] 陈学锦. 基于 CORS 的工程控制测量静态数据解算探讨[J]. 测绘技术装备, 2020, 22(4): 20-22, 31.
CHEN X J. On static data solution for cors-based engineering control survey[J]. Geomatics technology and equipment, 2020, 22(4): 20-22, 31.

[3] 王萧寒, 花斌, 黄勇清, 等. 平陆运河工程施工控制网的建立[J]. 水运工程, 2024(4): 196-201.
WANG X H, HUA B, HUANG Y Q, et al. Establishment of construction control network for Pinglu Canal project[J]. Port & waterway engineering, 2024 (4): 196-201.

[4] 吴寒, 许超钤, 刘邢巍. 基于 CORS 的现代测绘基准体系应用[J]. 全球定位系统, 2016, 41(3): 89-92, 96.
WU H, XU C Q, LIU X W. Applications of fiducial system for modern surveying and mapping based on CORS[J]. GNSS world of China, 2016, 41 (3): 89-92, 96.

[5] 杨翼飞. 广西现代测绘基准管理与综合服务平台构建与实现[J]. 全球定位系统, 2019, 44(2): 116-120, 126.
YANG Y F. Construction and implementation of Guangxi modern surveying and mapping datum management and comprehensive service platform[J]. GNSS world of China, 2019, 44(2): 116-120, 126.

[6] 刘宁. 平陆运河工程建设关键问题研究与思考[J]. 水运工程, 2024(6): 1-11.
LIU N. Research and contemplation on key issues in construction of Pinglu Canal project[J]. Port & waterway engineering, 2024(6): 1-11.

[7] 程启明. 引江济淮工程(安徽段)控制网设计与实施[J]. 黑龙江水利科技, 2023, 51(4): 133-136.
CHENG Q M. Design and implementation of control network for the Yangtze River to Huaihe River diversion project (Anhui section) [J]. Heilongjiang hydraulic science and technology, 2023, 51(4): 133-136.

[8] 邓标, 洪绍明, 宋雷. 区域厘米级似大地水准面的精化[J]. 大地测量与地球动力学, 2009, 29(3): 125-127.
DENG B, HONG SM, SONG L. Refinement of centimeter-precise local quasi-geoid [J]. Journal of geodesy and geodynamics, 2009, 29(3): 125-127.

[9] 全球导航卫星系统(GNSS)测量规范: GB/T 18314—2024[S]. 北京: 中国标准出版社, 2024.
Specifications for survey and measurement of global navigation satellite system: GB/T 18314-2024[S]. Beijing: Standards Press of China, 2024.

[10] 赵辛宇. CORS 系统建设及其在常规测量中的应用[J]. 河南科技, 2020, 39(34): 34-36.
ZHAO X Y. CORS system construction and its application analysis in routine survey[J]. Henan science and technology, 2020, 39(34): 34-36.

(本文编辑 王璁)

· 消 息 ·

创历史新高！中交集团 13 名职工获评全国劳动模范

在 4 月 28 日举行的庆祝中华全国总工会成立 100 周年暨全国劳动模范表彰大会上，中交集团 13 名职工荣膺“全国劳动模范”称号，创造历届获评人数最高记录，位居建筑类中央企业前列。

此次受表彰的 13 名职工，来自公司所属 12 家单位的多个专业领域，既有深耕一线的产业工人，也有技术攻坚的科研骨干；既有建设“中国路”“中国桥”的项目经理，也有驰骋重要区域市场的“一把手”，充分展现了新时代中央企业劳动者的卓越风采。

https://www.ccccltd.cn/news/gsyw/202504/t20250430_220208.html(2025-04-30)

水运工程