引文格式：赵保睿, 钟静, 韦姗, 等. 清远市现代测绘基准体系建设与应用[J]. 地理空间信息, 2023, 21(10): 96-99. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2023.10.024

清远市现代测绘基准体系建设与应用

赵保睿[1]，钟　静[1*]，韦　姗[2]，黄　颖[1]，严　飘[1]，杜　洋[1]
（1. 湖北地信科技集团股份有限公司，湖北 武汉 430074；2. 清远市自然资源局不动产登记中心，广东 清远 511500）

摘　要：随着科技的不断进步，为保障城市的发展，很多城市迫切需要构建地方现代测绘基准体系。在分析清远市现有测绘基准现状的基础上，根据测绘技术发展趋势和国家相关政策要求，阐述了清远市现代测绘基准体系建设工作，主要包括总体建设思路、技术路线、建设内容及成果应用。建设成果主要应用于清远市自然资源行业的各个方面，为清远市的建设工程和城市管理工作提供了定位支持和基准保障，极大提高清远市测绘技术服务水平和作业效率。所介绍的相关内容对其他城市的现代测绘基准建设具有一定的参考价值。

关键词：现代测绘基准；CORS；似大地水准面精化；CGCS2000
中图分类号：P25　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）10-0096-04

Construction and Application of Modern Surveying and Mapping Benchmark System in Qingyuan City

ZHAO Baorui[1], ZHONG Jing[1], WEI Shan[2], HUANG Ying[1], YAN Piao[1], DU Yang[1]
(1. Hubei Geomatics Technology Group Stock Co., Ltd., Wuhan 430074, China;
2. Qingyuan Natural Resources Bureau Real Estate Registration Center, Qingyuan 511500, China)

Abstract: With the continuous progress of science and technology, many cities urgently need to construct a local modern surveying and mapping benchmark system to ensure development. Based on the analysis of current surveying and mapping benchmark in Qingyuan City, we expounded the construction of modern surveying and mapping benchmark system in Qingyuan City including overall idea construction, technical route, construction content and achievement application according to the development trend of surveying and mapping technology and the relevant national policy requirements. The construction achievements are mainly applied to various aspects of the natural resources industry in Qingyuan City, which can provide positioning support and benchmark guarantee for project construction and urban management of Qingyuan City, greatly improve surveying and mapping technology services and operational efficiency in Qingyuan City. The relevant contents introduced in this paper have a certain reference value for modern surveying and mapping benchmark construction in other cities.

Key words: modern surveying and mapping, CORS, Quasi-geoid refinement, CGCS2000

测绘基准主要包括大地基准、高程基准和重力基准，是进行各种测量工作的起算数据和起算面，更是确定地理空间信息几何与物理特征和时空分布的基础，在国民经济建设、社会发展、国家安全及信息化建设等方面发挥了重要作用[1]。2000 国家大地坐标系是我国自主建立、适应现代空间技术发展趋势的地心坐标系，2008 年 7 月正式发布使用。2012 年我国启动现代测绘基准体系基础设施建设工程，2017 年 5 月通过验收，其建设成果陆续在国家、省级基准服务以及行业领域得到了广泛应用。现代测绘基准体系对于提高我国乃至地方测绘地理信息保障服务能力，满足经济社会发展需求等具有重要意义[2]。

1　历史基准概况

广东省连续运行卫星定位服务系统（GDCORS）于 2006 年正式运行，并于 2008 年完成二期建设及局部加密，清远市内设有 6 座基准站。清远市及周边的省级 GPS 控制网成果为上世纪九十年代起布设的连韶 GPS-C 级控制网，控制点保存完好共 79 个。其中，GPS-B 级点 8 个，GPS-C 级点 71 个。清远市清城区、连州市分别于 2006 年、2013 年建立了单独的基础控制网，坐标系统采用 1980 年西安坐标系，高程基准采

收稿日期：2023-05-06。
项目来源：国家自然科学基金资助项目（41971356）；自然资源部城市国土资源监测与仿真重点实验室开放基金资助课题（KF-2022-07-001）。
第一作者简介：赵保睿（1987—），高级工程师，主要研究方向为新型基础测绘、区域测绘基准的建设和维护等，E-mail：492318720@qq.com。
通信作者：钟静（1980—），硕士，高级工程师，主要研究方向为地理信息系统、区域测绘基准的建设和维护，E-mail：81975593@qq.com。

用1985国家高程基准，但是历经数年之久，市域内许多控制点已经被破坏，急需完善和补测。

清远市历史坐标系基准现势性差，测绘基准不统一，历史测绘成果均基于1954年北京坐标系或1980年西安坐标系，高程系统是1985国家高程基准。2008年7月1日起我国正式启用2000国家大地坐标系，并于2018年全面完成其转换工作[3]。2018年7月1日起，广东省国土资源系统空间数据全面采用2000国家大地坐标系，要求在2018年6月30日前完成省、市、县三级国土资源主管部门所属存量数据向2000国家大地坐标系的转换工作，各级国土资源主管部门之间的数据上传、下发等全面采用2000国家大地坐标系[4]。随着城乡一体化进程和城市信息化建设的加快，2000国家大地坐标系问题已成为制约清远市可持续发展的瓶颈问题。因此，为全面完成国家和省下达的建设、统一现代测绘基准的任务，为清远市经济社会发展保驾护航，建设清远市现代测绘基准刻不容缓。

2　现代测绘基准总体建设思路

根据清远市境内以及周边县市区已有GDCORS，新建设9座卫星导航定位基准站且并入GDCORS进一步提升区域内实时高精度定位的准确性和可靠性。布设覆盖全市域范围的框架网（GPS-B级网）、基本网（GPS-C级网）。完成全市二等水准网的建设和联测。综合利用GNSS/水准数据、重力数据、数字高程模型等资料，完成与国家高程基准一致的似大地水准面计算；利用已建立的平面控制网，通过建立转换模型及参数计算，研发数据坐标转换服务软件，完成数据转换。清远市现代测绘基准体系结构如图1所示。

3　现代测绘基准建设内容

3.1　卫星导航定位基准站建设

在市内现有的GDCORS基准站基础上，新增9座卫星导航定位基准站，构成清远市动态空间参考框架基础设施，站间距约30～60 km，平均站间距约45 km，通过新增基准站的建设能显著提升实时定位服务能力。基准站建成并接入GDCORS后，进行了数据测试与试运行。通过对9个基准站同时段观测数据，进行网络接入测试、基准站观测数据质量分析、基准站接入GDCORS网进行运行测试，上述9个基准站网络通信稳定，观测数据质量良好，设备性能稳定，关键技术指标符合基准站建设相关规范。

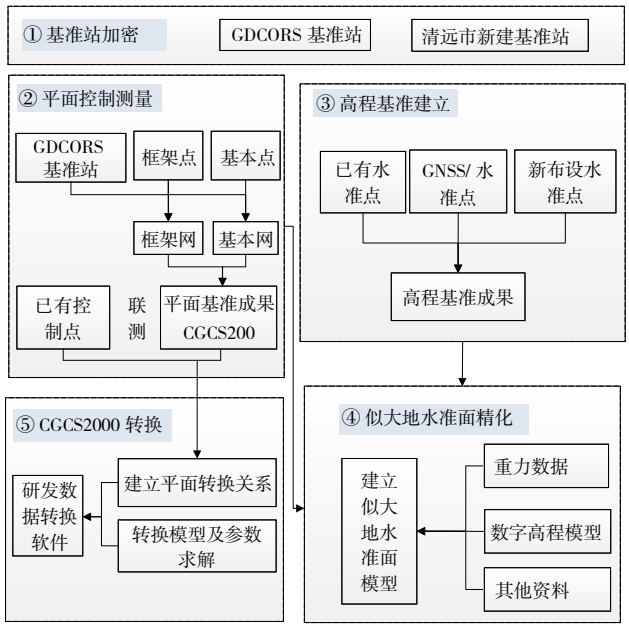


图1　清远市现代测绘基准框架建设体系结构

3.2　控制网布设

3.2.1　平面控制网建设

平面控制网建设分为框架网（GPS-B级网）、基本网（GPS-C级网）、框架网。以清远市内及周边14个GDCORS基准站作为起算点，新布设20个框架网点，作为本次平面基准框架网点，与GDCORS联测统一平差，获取成果作为基本网的起算点。框架网点建设按GPS-B级网要求执行。框架网采用三天三夜连续观测的方式，共观测2个同步环。基线解算使用GAMIT软件，平差使用GLOBK软件。

以上述20个框架点作为基本网的起算点，考虑尽可能覆盖整个清远市，在充分利用已有30个地方控制点的基础上，新布设110个控制点作为基本网点（同时结合似大地水准面精化要求，将25个二等水准点一并纳入基本网进行联测，统一平差）。基本网点建设按GPS-C级网要求执行。基本网采用一天一夜连续不少于23 h的观测方式，共观测22个同步环。基线解算使用GAMIT软件，平差使用GLOBK软件。

通过以上工作，清远市约20 000 km^{2}的区域，实现了以CORS基站网（A级）为起算基准，框架网（B级）为骨干，基本网（C级）为加密的全域基础控制网络，建立了完善的、统一的大地基准，达到了整体设计、分级布网、逐级控制的效果。各级控制网的各项精度均优于国家标准规范的对应指标。

3.2.2　高程控制网建设

高程控制网共联测291个控制点。其中联测新埋设二等水准点121个、框架网点20个、基本网点

76个，联测地方已有GPS点23个、国家一等水准点15个（其中4个为起算点），已有旧水准点36个，共同组成覆盖清远市全域的高程控制网。

控制网以在清远市境内和周边地区的4个一等水准点为起算数据，二等水准路线往返观测总长度约5 945 km。共计38条水准路线，751个测段，组成13个闭合环、6条附合路线。采用武汉大学科傻地面控制测量数据处理系统(CODAPS)进行严密平差，各项平差精度均达到了国家二等水准测量技术规范要求。

3.3 似大地水准面精化模型建立

本项目似大地水准面精化模型建立使用的数据及模型为：新建设的清远市平面控制基本网作为大地基准，新建设的清远市二等水准高程控制网作为高程基准，广东省最新的5 m格网DEM用于地形改正计算，使用EGM2008模型作为计算所用重力场模型。收集清远市及周边范围内已有重力点数据，经试算并剔除粗差后，使用剩余的6 952个重力点数据用于重力水准面计算；使用均匀分布于整个清远市范围的143个控制点（其中框架网点20个，基本网点98个，水准点25个）作为高程异常控制点。

在以上数据和模型的基础上，构建重力似大地水准面和GPS水准似大地水准面，然后将两者进行拟合。分别进行精度统计，挑选精度最好的结果，作为本项目最终似大地水准面成果。通过统计可知采用二次多项式、三次多项式、多面函数3种算法的计算结果精度并无显著区别，三次多项式的统计结果相对最好，3种拟合算法外符合精度分布图如图2所示。

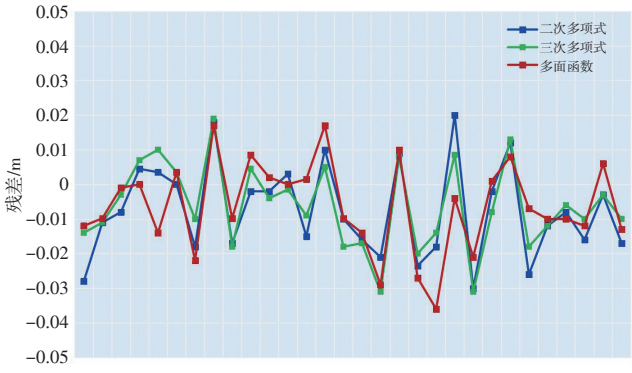


图2 多种算法拟合结果检验点外符合精度统计

基于上述结果，结合精度、模型合理性等因素，确定采用三次多项式进行拟合的30″分辨率似大地水准面成果，作为本项目最终似大地水准面模型。最终确定可应用的新一代清远市似大地水准面模型，纬度范围为23°25′~25°13′，经度范围为111°54′~113°57′，格网分辨率为30″×30″，模型精度为0.012 m。似大地水准面模型如图3所示。

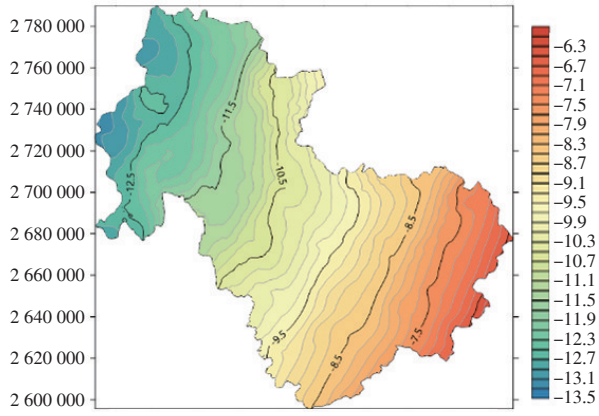


图3 30″×30″似大地水准面模型等值线图/m

3.4 确定区域坐标转换关系

清远市各县市区常用国土资源数据均为1980西安坐标系（分为全省旧分区1980西安坐标系和全省统一新1980西安坐标系）。清远市全域参数，分别求解了原有全省旧分区1980西安坐标系与CGCS2000的转换参数，以及全省统一新1980西安坐标系与CGCS2000的转换参数。并分别采用二维四参数模型和二维七参数模型计算，共4套参数。在对旧1980西安坐标系与CGCS2000、新1980西安坐标系与CGCS2000坐标转换时，针对重合点分别采用二维四参数模型、二维七参数模型进行试算分析。在选用不同模型进行计算时，采用控制变量方式进行分析不同模型的精度情况，其转换参数精度情况见表1。

表1 新旧西安1980与CGCS2000转换参数精度比较统计/m

坐标转换类型	模型	内符合精度计算		外符合精度计算	
		控制点数	精度	控制点数	精度
旧1980西安与CGCS2000坐标转换	二维四参数模型	20	0.044 1	10	0.049 9
	二维七参数模型	20	0.029 4	10	0.032 6
新1980西安与CGCS2000坐标转换	二维四参数模型	20	0.029 4	165	0.029 6
	二维七参数模型	20	0.019 2	165	0.019 5

由表1可知，二维七参数模型精度具有较高的精度，内外符合精度分别为0.019 2 m、0.019 5 m。因此本项目在进行旧1980西安坐标系与CGCS2000、新1980西安坐标系与CGCS2000坐标转换时均建议采用

二维七参数模型。以转换参数为基础，研制了清远市坐标转换软件，并完成了清远市及各县市区的国土资源数据向2000国家大地坐标系成果的转换。

4　现代测绘基准成果应用

项目建设成果于2020年1月正式交付使用。本次项目新建设的9座基准站并入GDCORS后，基准站总量达到了15座，区域内GPS网络RTK信号的覆盖程度、稳定性得到了明显改善，极大地提高了清远地区各项测绘地理信息数据采集工作的坐标观测效果。建成各等级控制点共280个，其中GPS–B级点20个、GPS–C级点110个、GPS–D级点29个、二等水准点121个，共同构成清远市的平面控制网基准，各级基础控制点维护良好，为全市提供了统一的坐标起算基准。清远市原有的似大地水准面精化模型为广东省统一提供的似大地水准面精化模型，模型精度约为3 cm，本次项目完成覆盖全域的似大地水准面精化模型，精化精度达到1.2 cm，有效地提高了区域高程精度，为地方建设提供更加精准可靠的高程数据。为全域提供了统一的坐标转换参数和转换软件，并为各区县单独提供了各自区域的坐标转换软件，累计完成清远市及各县市区的国土资源数据向2000国家大地坐标系成果的转换1 354.57 GB，为地方测绘企事业单位的数据融合共享提供了便利，标志着清远市开始全面启用2000国家大地坐标系。

项目建设成果将清远市城市建设和开发纳入了一个统一的时空基准，为各项建设工程和城市管理工作提供了定位支持和基准保障，极大提高了地方测绘技术服务水平和作业效率，为清远市的基础测绘、数字中国地理空间基础框架、区域沉降监测、环境预报与防灾减灾、国防建设、海洋科学、气象预报、地学研究、交通、水利、电力等多学科研究与应用提供必要的测绘服务，具有重大的科学意义。项目成果的应用避免了重复投资、节约了财政资金，取得了良好的社会和经济效益，推动了清远市测绘基准建设、维持于服务模式的现代化进程，促进了我国北斗卫星导航系统和2000国家大地坐标系的推广与应用，凸显了我国测绘科技的跨越式进步[5]。

5　结　语

本文结合了清远市的实际情况，构建了统一的市域全覆盖的现代测绘基准体系，实现了清远市现代测绘基准维持和服务能力，提升了地方大地基准、高程基准和重力基准的现实性、完整性，改变传统繁重的测绘作业模式，测绘基准保障服务能力实现了历史性的飞跃。为适应国家、广东省政策和发展需求，更好地服务于城市发展和民生，在“十四五”期间，还需继续健全和完善现代化测绘基准框架和地理空间框架，提升测绘基准服务与保障能力，积极开展和探索新型基础测绘保障体系，助力“智慧清远”建设[6]，深化推广社会化服务。

参考文献

[1] 张鹏,武军郦,孙占义. 国家现代测绘基准建设与服务[J]. 地理信息世界,2018,25(1):39-41

[2] 赵利江,马国宝,省天琛. 青海省现代测绘基准体系的现状与思考[J]. 测绘技术装备,2022,24(4):21-25

[3] 国土资源部.《国土资源部国家测绘地理信息局关于加快使用2000国家大地坐标系的通知》(国土资发〔2017〕30号)[Z]. 北京: 国土资源部,2017

[4] 广东省国土资源厅.《广东省国土资源厅关于印发使用2000国家大地坐标系工作方案的通知》(粤国土资测绘发〔2017〕116号)[Z]. 广州: 广东省国土资源厅,2017

[5] 清远市自然资源局. 清远市基础测绘“十四五”规划[Z]. 清远: 清远市自然资源局,2021

[6] 张鹏,武军郦,孙占义. 国家测绘基准体系基础设施建设[J]. 测绘通报,2015(10):9-11

[7] 施闯,楼益栋,宋伟伟,等. 广域实时精密定位原型系统及初步结果[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2009,34(11):1 271-1 274

[8] 赵鑫,段怡红,吕玉霞,等. 现代测绘基准体系标准化建设探讨[J]. 地理空间信息,2018,16(5):23-25

[9] 佟洞,李昱春,宋玉兵. 江苏省陆海统一测绘基准的建设探讨[J]. 现代测绘,2017,40(4):49-52

[10] 陈豪,王波,杨华先,等. 湖北省现代测绘基准规范化研究[J]. 地理空间信息,2013,11(2):178-179

[11] 贾伟定,姚鹏,覃雪梅,等. 基于CGCS2000的崇阳县现代测绘基准体系建设[J]. 测绘与空间地理信息,2022,45(8):213-215

[12] 黄涛,孙伟,娄坤,等. 潜江市现代测绘基准体系建设[J]. 城市勘测,2018(2):105-107

[13] 孙国平,魏国辉,赵舒扬. 沈阳市现代测绘基准体系建设项目的质量管控[J]. 测绘通报,2019(增刊):11-14

[14] 熊伟,韦纯训. 云南省现代测绘基准体系建设思路探讨[J]. 测绘与空间地理信息,2016,39(2):219-221

[15] 邓思胜,宋传峰,陈敬,等. 粤港澳大湾区大地基准和高程基准的统一[J]. 地理空间信息,2022,20(5):169-172