引文格式：余锐,谭福宏,汤佳明. 广佛产业园现代测绘基准体系的建立[J]. 地理空间信息, 2023, 21(7): 117-119. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2023.07.029

广佛产业园现代测绘基准体系的建立

余　锐[1,2]，谭福宏[1,2]，汤佳明[1,2]
（1. 广州市城市规划勘测设计研究院，广东 广州 510060；2. 广东省城市感知与监测预警企业重点实验室，广东 广州 510060）

摘　要：由于佛冈县未建立CORS，且广东省CORS在产业园信号不稳定、高程差异过大，因此亟需运用现代测绘技术手段构建园区测绘基准体系。详细介绍了广佛产业园现代测绘基准体系的建立过程，包括高精度GNSS控制网、精密水准网、基于2000国家大地坐标系（CGCS2000）的基准转换模型和区域高程模型的建立，为类似的园区测绘基准建设提供了参考。

关键词：广佛产业园；现代测绘基准体系；高精度GNSS控制网；精密水准网；高程模型；CGCS2000
中图分类号：P228　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）07-0117-03

Modern Surveying and Mapping Datum System Establishment in Guangzhou-Fogang Industrial Park

YU Rui[1,2], TAN Fuhong[1,2], TANG Jiaming[1,2]
(1. Guangzhou Urban Planning & Design Survey Research Institute, Guangzhou 510060, China;
2. Guangdong Enterprise Key Laboratory for Urban Sensing, Monitoring and Early Warning, Guangzhou 510060, China)

Abstract: Fogang has not established the CORS system yet, and the signal of CORS system of Guangdong Province is unstable in the industrial park. Thus, it is urgent to build the surveying and mapping datum based on modern surveying and mapping technology. In this paper, we introduced the establishment process of modern surveying and mapping datum system in Guangzhou-Fogang industrial park in detail, including the establishment of high-accuracy GNSS control network, precision leveling network, regional elevation model and datum transformation model based on CGCS2000, which could provide reference for similar industrial parks.

Key words: Guangzhou-Fogang industrial park, modern surveying and mapping datum system, high-accuracy GNSS control network, precision leveling network, elevation model, CGCS2000

现代测绘基准体系是指综合运用卫星定位、通信、精密几何水准测量和大地水准面精化的最新研究理论和成果来建立的城市现代测绘基准，能更好地服务于城市建设和经济发展[1]。本文详细阐述了现代测绘基准体系在广佛产业园的建立和运用。广佛（佛冈）产业园是广州和清远产业共建、推进广清一体化发展的重要园区之一。目标是发挥两地地域优势，开创以政府主导、市场运作、产业协作为核心，以管理协同为手段的区域合作共建新模式，将园区建设成为现代产业与生态宜居相结合的经济合作区。为科学合理规划和开发建设园区，建设园区测绘基准是首要任务。园区位于清远市佛冈县南部温泉之乡汤塘镇，一、二期规划建设面积分别约为 12 km^2 和 14 km^2，作业区以山地、丘陵为主，地形地貌复杂。由于佛冈县未建立CORS系统，广东省CORS系统在园区信号不稳定，且高程差异过大，因此亟需运用现代测绘技术手段构建园区测绘基准体系。

1　首级平面控制网的建立

根据广佛产业园管委会要求，园区首级控制成果需与广东省坐标系统一致，可利用园区附近3个省级CORS站[2]。广佛产业园管委会提供了园区内4个E级平面控制点（EGPS39、EGPS40、EGPS42、EGPS51）和园区前期加密的4个加密点（GQ3、T10、T13、E6）。按照管委会要求，对8个控制点进行了精度检测。根据园区范围和地形特点，本次布网以3个CORS站为起算点进行三等GPS控制点布设，对广佛产业园一期和二期规划范围进行整体布网，新埋9个控制

收稿日期：2022-04-14；修回日期：2022-07-18。
项目来源：广东省城市感知与监测预警企业重点实验室基金资助项目（2020B121202019）；广州市城市规划勘测设计研究院科技基金资助项目（RDI220190201002）。
第一作者简介：余锐（1986—），硕士，高级工程师，注册测绘师，主要研究方向为大地测量与变形监测数据处理，E-mail：375745905@qq.com。

点，利用控制点EGPS39、EGPS40、EGPS42、EGPS51组成园区三等首级控制网。在施测时，按照三等平面控制网观测要求，对加密点GQ3、T10、T13、E6进行联网检测，统一园区首级平面控制网点坐标[3]。

1.1 外业观测

三等控制网外业观测采用13台天宝GNSS双频接收机，观测GPS控制点20个，包括CORS站点3个，共设站观测34次，重复设站次数为两次。项目组按照控制网设计网形逐步推进，并建立微信群，有突发状况及时沟通解决，2 d完成外业观测。

1.2 数据处理

1）基线解算。控制网基线解算采用天宝公司的TBC3.0软件进行处理，选取广播星历进行解算。每条基线都采用双差相位观测值和双差固定解来求解，共解算独立基线87条，最长基线为XINH–EGPS51，长度为47 169.698 m，最短基线为EQ3–G2，长度为666.974 m，基线平均长度为12 123.952 m。

2）平差计算。平差计算采用独立基线87条，复测基线48条，独立异步环20个，独立异步环最大边数为5条。20个闭合环的坐标差分量、异步环闭合差均满足《卫星定位城市测量技术标准》要求。最大异步环闭合差为3.7 cm（限差为36.7 cm），最小异步环闭合差为0.1 cm，异步环闭合差平均值为1.42 cm。

以控制网新华站三维坐标为固定点，在WGS84坐标系下进行三维无约束平差，分析其基线向量改正数的绝对值情况（表1），可以看出，所有基线向量的改正值均在限差范围内，表明基线中没有粗差，符合规范要求。

表1 三维无约束平差基线向量改正数统计

方向	0.0～1.0	1.0～2.0	2.0～3.0	3.0以上	最小值/cm	最大值/cm	平均值/cm
V_x	85	1	1	0	0.01	2.38（限差22.39）	0.26
V_y	75	9	2	1	0	3.52（限差27.64）	0.52
V_z	83	2	2	0	0	2.23（限差22.39）	0.35

将检验合格并进行三维无约束平差后的基线数据，在CGCS2000坐标系下进行二维约束平差，以3个CORS站点的CGCS2000大地坐标为起算点。约束平差基线分量的改正数与对应的同一基线无约束平差基线分量的改正数较差值X、Y、Z方向的平均值分别为0.34 cm、0.54 cm和0.35 cm，全部符合规范要求。本次网平差解算未知点17个，约束平差后，最弱点为G10，点位中误差为0.35 cm（表2）。从统计结果来看，内符合精度高，满足点位中误差规范要求。控制网二维约束平差中最弱边GQ3–G2边长为666.976 m，相对中误差为1/335 570（2.98×10^{-6}），满足1/80 000的精度要求。

表2 二维约束平差点位中误差统计

方向	0.0～0.2	0.2～0.3	0.3以上	最小值/cm	最大值/cm	平均值/cm
M_x	16	1	0	0.13	0.23	0.18
M_y	11	6	0	0.15	0.27	0.20
M_z	2	12	3	0.20	0.35	0.27

2 首级高程控制网的建立

2.1 高程控制网的布测

高程控制网由1个水准线路结点网（31.7 km）和两条水准附合路线（共38.2 km）构成（图1）。由于二期基本为山区，地形起伏较大，水准控制网采用常规测量方法与基于测量机器人的精密三角高程测量方法相结合的作业模式，并配套自主研发的数据后处理系统，实现了复杂地形的水准测量，有效提升了水准测量的工作效率。



图1 水准控制网布设

本文研制了基于测量机器人的精密三角高程数据处理软件和常规水准数据处理软件（图2），经应用验证，数据处理效率可提高5倍，检查效率可提高10倍，并大大降低了出错概率，只需控制几个关键参数便可实现“一键式”操作。

2.2 起算点选择

园区首级高程控制网选取位于汤塘镇附近的二等

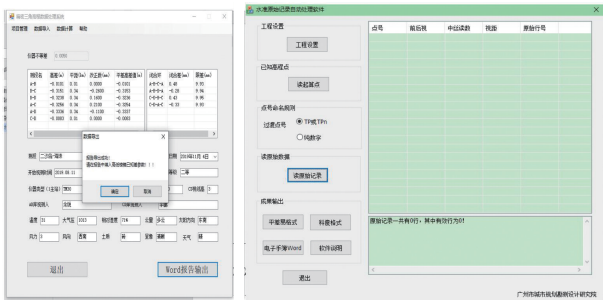


图2　数据处理软件界面

水准点Ⅱ736、Ⅱ737、Ⅱ740、Ⅱ742–1的1985国家高程值作为水准起算点。二等水准点于2012年重新建设完成，经现场踏勘核查，点位埋设稳固，可作为水准联测起算点。园区提供的GQ3控制点具有1985国家高程值，可进行水准联测检核[3]。

2.3　平差计算

数据经过测段高差改正、水准标尺温度改正和正常水准面不平行改正（由于水准网规模较小，并未纳入国家水准网计算，按相关规定不进行重力异常改正、固体潮改正）后导入南方平差易进行平差计算，得到每公里高差中误差为1.38 mm（规范允许为6 mm），最大高程中误差（GQ3）为1.81 mm，最小高程中误差（G7）为0.62 mm，平均高程中误差为1.45 mm，规范允许高程中误差为20 mm。有针对性地对水准网进行简单随机抽样检测，共检测7.29 km，占总路线长度的17%，检测较差最大为–3.2 mm，最小为0.6 mm，检测结果符合规范要求。检测测段分布位置和检测情况见表3。

表3　测段检测统计情况

测段	测段距离/km	检测高差/m	原高差/m	较差/mm	限差/±mm
III5–G7	2.66	5.649 4	5.648 8	–0.60	32.62
II736–Z2	1.05	0.615 8	0.618 5	2.7	20.49
Z2–III6	0.93	–3.153 2	–3.154 5	–1.3	19.29
II740–III14	2.65	5.764 5	5.767 7	3.2	32.56

3　基于CGCS2000的基准转换模型

通过整体平差获得的是各控制点基于CGCS2000的三维地心坐标成果，而工作中常用的是各控制点的1980西安坐标[4]，因此必须通过坐标转换获得各点的平面坐标。坐标转换将园区首级控制网的17个点作为重合点，计算CGCS2000向1980西安坐标系转换的参数[5]，选用平面四参数模型（图3）进行基准转换[6]。四参数转换的精度通过求取转换参数重合点的残差中误差体现[7]，CGCS2000向1980西安坐标系转换的残差中误差为4 mm。

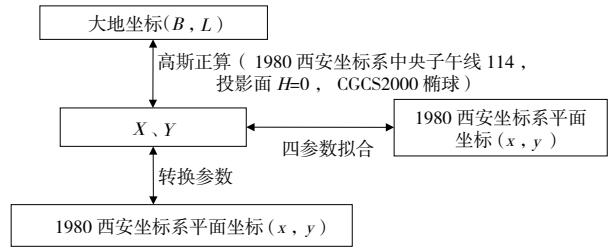


图3　坐标系转换技术方案

4　园区高程模型的建立

采集园区的重力资料和DEM资料，首先由GPS数据、水准数据计算大地水准面，再利用GPS水准资料纠正重力大地水准面，基于GPS水准点上的实测大地水准面ζgps与内插的重力大地水准面ζg的差值Δζ，采用多项式对园区重力大地水准面进行拟合纠正[8]。利用拟合点确定的最终大地水准面模型，采用线性内插的方法计算15个外部检核点的大地水准面拟合值，并与检核点实测大地水准面进行比较。结果表明，最大差值为3.12 cm，最小差值为–0.12 cm，中误差为±1.37 cm。

5　结　语

广佛产业园现代测绘基准体系建立了覆盖整个园区的统一的与CGCS2000一致的高精度GNSS控制网、二等水准网、基于CGCS2000的基准转换模型和区域高程模型等，其成果已为园区各项测绘工作提供了精确的测绘基准，助力了园区高质量发展，对其他园区建立测绘基准具有很好的参考价值。

参考文献

[1]　郑建敏. 合肥市现代测绘基准体系的建立[J]. 工程勘察，2012,40(11):71-74

[2]　张子林. 坐标系统任意框架和历元转换研究[J]. 地理空间信息,2021,19(8):115-117

[3]　涂纯二,江翠云,陈国恒. 江门市高精度GNSS控制网数据处理技术研究[J]. 地理空间信息,2021,19(4):37-40

[4]　王文利,程传录,陈俊英. 常用坐标转换模型及其实用性研究[J]. 测绘信息与工程,2010,35(5):37-39

[5]　余锐,秦亮军,欧海平,等. 广州2000坐标与1980西安坐标高精度转换关系的建立[J]. 地理空间信息,2019,17(7):121-123

[6]　孔祥元. 大地测量学基础[M]. 武汉: 武汉大学出版社,2010

[7]　刘旭. 基于CGCS2000建立独立坐标系[J]. 地理空间信息，2021,19(8):48-51

[8]　章传银,郭春喜,陈俊勇,等. EGM2008地球重力场模型在中国大陆适用性分析[J]. 测绘学报,2009,38(4):283-289