

# CORS 在江苏省应急测绘中的应用研究\*

胡雪松<sup>1</sup>, 安艳辉<sup>1,2</sup>, 王 勇<sup>1,2</sup>

(1. 江苏省测绘工程院, 江苏 南京 210013; 2. 江苏省测绘工程院 JSCORS 中心, 江苏 南京 210013)

**摘 要** 应急测绘是新时期我国为应对重大灾害、制定国家防灾减灾战略、发展防灾减灾工程技术而提出的新概念,它对测绘工程学科和行业提出了新要求,是测绘学科领域面对的新课题,其“准和快”的特点是整个测绘工程学科追求的目标。在综合分析江苏区域应急测绘需求的基础上,结合 JSCORS 现有资源,从应急测绘基准服务和应急测绘应用两方面进行研究、实验,证明了在应急测绘工作中,JSCORS 不仅能实现大地坐标和高程基准的应急基准服务,还能对灾区大范围基准稳定性进行监测,同时能实现高精度电离层和可降水量的精确预报。本研究对全国 CORS 系统中应急测绘工作的推广应用有一定参考价值。

**关键词** JSCORS; 应急测绘; 基准服务; 电离层预报; 可降水量

中图分类号:P228.49

文献标识码:B

文章编号:1672-4097(2017)04-0042-04

## 0 引 言

当前我国各类突发事件发生概率不断增大,应急管理面临形式十分严峻,党中央国务院对应急保障工作提出了更高要求。科学救灾,测绘先行,充分发挥测绘地理信息在突发事件应急处置和防灾减灾中的重要作用,能够有效降低损失,保障人民生命和财产安全。

目前,我国已建立了应急测绘体系<sup>[1]</sup>,我省也通过引进无人机、测绘数据采集车等多种应急保障装备开展了相应工作。但目前前人对应急测绘的探讨多关注于应急测绘体系建设、4D 产品获取等方向<sup>[2-3]</sup>,对应急测绘基准的建设和应用尚未开展深入研究。随着我国北斗系统建设、新测绘理论和技术装备的发展,测绘基准建设和服务手段不断提高,基于北斗的 CORS 等相关技术已在与测绘相关的各领域中得到广泛和深入的应用,如何在应急测绘领域发挥其应有作用成为大家关注的热点。

## 1 我省应急测绘需求及现有资源

自然灾害和突发事件是江苏应急测绘工作的主要来源。

由于江苏独特的地理位置及地质状况,决定了其自然灾害主要来源于气象和地质灾害。其中,气象灾害有暴雨、洪涝、高温、干旱、台风、强对流(包括大风、冰雹、龙卷风等)、雷电、寒潮、雪灾、大雾、连阴雨等,且四季均有发生,如 2016 年 6 月 23 日阜宁特大龙卷风灾害。江苏位于我国东部沿海,地处

国家“T”型主轴线的结合带,地质环境具有地形地貌差异悬殊、基岩起伏大、岩性复杂、风化作用普遍并赋存有丰富的岩溶地下水等特点,在一定外力作用下,易发生滑坡、崩塌、地面塌陷等灾害。在江苏境内,经常发生的地质灾害主要有地面沉降、地裂缝、滑坡、崩塌、地面塌陷以及江、海岸坍塌等。

作为经济大省,江苏的突发事件很多,与应急测绘相关的主要集中在交通事故、危险源爆炸等。如 2015 年 4 月 21 日早晨,南京大厂区扬子石化烯烃厂乙烯储罐爆炸事故:由于厂内建筑物密集、地形复杂,救援和指挥工作均受到严重影响。获知消息后,江苏省测绘地理信息局立即启动应急机制,及时为应急处置提供地图、影像等资料,保障了应急工作的有序进展,受到各级领导充分肯定。此外,每年国家法定小长假期间,尤其是节假日高速公路免费通行期间,是交通事故高发频段,南京第二长江大桥、江阴长江大桥、苏通大桥等咽喉要道是堵塞的重灾区。2016 年,江苏省交通部门利用无人机技术完成了应急车道的监控管理,对非法占用应急车道的车辆进行处罚,对驾驶人的行为规范进行约束。

就应急测绘基准服务来讲,CORS 主要以提供基准控制成果和服务为主,偶尔有少量的实地监测工作。就阜宁 6.23 特大龙卷风灾害来说,CORS 不仅要为灾区及周边提供现有的测绘基准服务,还要在灾区及周边建立应急基准站,弥补因通讯基站损毁对测绘基准服务造成的不利影响。此外,还要利用应急基准站网快速修复原有的控制点成果,以确

\* 项目来源:江苏省测绘地理信息科研项目(JSCHKY201518)

保灾后重建的顺利进行。

全省现代测绘基准体系由 140 个江苏省全球导航卫星连续运行参考站综合服务系统(JSCORS)站点、107 个 B 级 GPS 点, 185 个 C 级 GPS 点构建而成, 可以为全省提供高精度、地心、动态、统一的测绘基准服务。其中, JSCORS 的 RTK 平面定位精度优于  $\pm 3$  cm, 高程定位精度优于  $\pm 5$  cm。同时, JSCORS 站点成果可作为其他控制网的起算成果, 其平面精度优于  $\pm 3$  mm, 高程精度优于  $\pm 5$  mm。此外, 江苏拥有覆盖全省的分辨率为  $2' \times 2'$ 、精度优于 3 cm 的高精度省级似大地水准面模型, 可实现大地、高程、重力控制网的三网结合, 建成了新一代测绘基准体系, 可为应急测绘基准服务提供基础保障。

## 2 JSCORS 应急测绘基准服务

### 2.1 地方测绘基准服务发布

目前我省常用的坐标系有 CGCS2000、WGS84、1980 西安坐标系、1954 年北京坐标系以及部分地方坐标系。2016 年 9 月 3 日起, JSCORS 正式启用 CGCS2000, 也就是说使用 JSCORS RTK 功能的用户可以直接得到的坐标成果为 CGCS2000。为满足应急测绘期间测绘基准服务与原有地方成果的匹配问题, 我们深入研究了不同坐标系间的相互转换关系, 并结合相关保密规定, 引用伪七参数方式<sup>[4]</sup>, 在不违反保密规定的前提下, 完成了地方测绘基准服务的无缝对接。该伪七参数是利用虚拟的参考站坐标计算获得的, 不具有真实物理意义, 因此无需保密。将得到的伪七参数输入接收机手簿, 并连接 JSCORS 发布的地方测绘基准服务后, 用户便可获取地方测绘基准成果。此外, 伪七参数可实现定期更换, 从而确保测绘保密工作更加合理、细致。

### 2.2 小区域高精度似大地水准面数字模型建立

一般情况下, 似大地水准面精化的计算方法是选择 GPS 大地高减去水准高程得到的高程异常作为拟合量进行拟合或者结合重力资料应用移去-恢复法进行计算<sup>[5-6]</sup>。但由于某些测区高程异常变化不平缓或者重力资料、地形资料欠缺, 会导致拟合精度较差, 且计算时间过长。考虑到江苏目前似大地水准面发展的状况, 我们充分利用已有似大地水准面成果资料, 结合小区域高精度 GPS/水准测量的成果进一步精化似大地水准面成果, 既提高了精度, 同时使得高精度似大地水准面成果的获取周期变短。

本实验以江苏省张家港测区为例, 选用测区内均匀分布的 48 个点, 其中将分布均线的 18 个点作

为检核点, 剩下的 30 个点作为待检核点来分析江苏区域的似大地水准面(精度为 7.8 cm)精化方法的可行性(表 1)。

表 1 江苏省似大地水准面内插得到的高程异常和实测高程异常差值统计表

最大值/cm	最小值/cm	中误差/cm
8.3	1.6	4

利用二次多项式和多面函数拟合试验区 GPS 水准点获得的高程异常值, 结果如下(表 2)。

表 2 直接拟合高程异常方法得到拟合精度统计表

	最大值/cm	最小值/cm	内符合精度/cm	外符合精度/cm
二次多项式	4.5	0.0	2.3	3.1
多面函数	4.9	0.1	1.8	2.9

由表 1 和表 2 可以看出, 拟合前似大地水准面内符合精度为 4 cm, 拟合后, 内符合精度达到 2.3 cm 和 1.8 cm。

## 3 JSCORS 在应急测绘中的应用探索

### 3.1 应急基准稳定性的实时监控

地震发生前后, 利用高频 GNSS 观测数据进行基准站稳定实时性监测是灾害区域稳定性监测的主要手段; 通过监测不仅能有效分析地震发生的机理, 同时能反映灾害区域测绘基准的破坏程度并预报灾害区域的后续余震。

利用 GNSS 进行监测的方法主要有精密单点定位技术和双差定位技术两种<sup>[7]</sup>, 其中精密单点定位技术是基于非载波相位观测值, 采用实时精密卫星轨道和钟差来获取厘米级精度的绝对定位结果; 而双差定位技术是基于双差观测值, 采用实时卫星轨道星历进行定位的, 其相对定位精度可达到厘米级。

TrackRT 模块采用相对定位技术逐历元进行实时解算。该算法除了延续相对定位的优点外, 其解算用时短, 可满足 1 Hz 以上(包括 1 Hz)的 GPS 数据<sup>[8]</sup>。利用 TrackRT 模块进行实时数据处理的流程为: ① 选取稳定的 GNSS 站点作为参考站; ② 将采集到的实时数据流进行解码, 组成双差观测值, 提出粗差观测值; ③ 用卡尔曼滤波搜索整周模糊度; ④ 利用确定的整周模糊度求解基线向量, 根据解得的基线向量和参考站坐标确定待定点坐标。

选取 2011 年 3 月 10 日—3 月 12 日(年积日 069~071)日本地震发生前后的数据作为实验对象, 利用 TrackRT 模块进行分析(图 1)。

由图 1 可以发现, 日本地震使得我国东部沿海

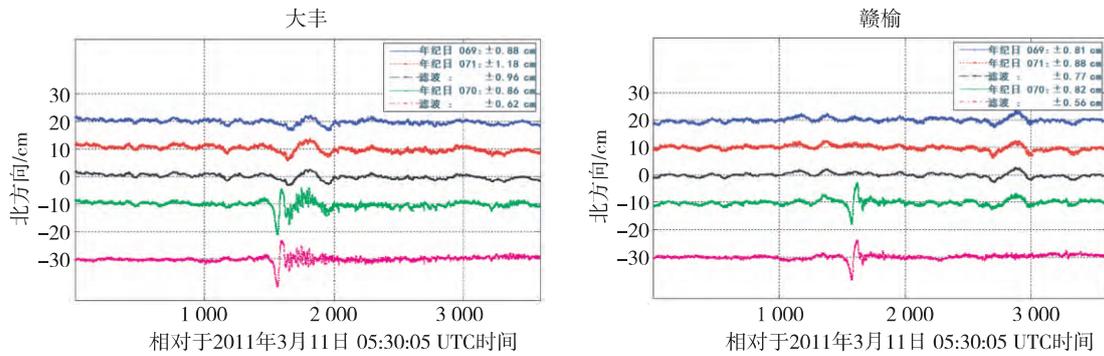


图 1 日本地震对江苏境内基准站影响分析

的 GPS 基准站点在水平方向产生了约 0.1 m 幅度的瞬时位移,上下震动幅度也达 0.1 m,震后基本恢复到震前位置,未产生大于 0.01 m 的永久性位移,大部分属于可恢复的弹性形变。

### 3.2 高精度电离层实时预报

灾害,特别是自然灾害发生后,经常伴随电离层的异常变化。为确保灾害通讯救援的顺利开展,应加强电离层实时监测预报工作。我省均匀分布全省的 JSCORS 站点为全省电离层实时监测提供了数据支撑。

常用的电离层 VTEC 预报模型有 Klobuchar、IRI 等经验模型,这类模型需要长期的观测资料或采用特定的数学方法进行建模,不能反映电离层不规则变化,且预报精度不高;目前许多学者将神经网络、时间序列等数学模型进行改进和变换后应用到电离层 VTEC 短期预报中,提高了预报精度<sup>[9]</sup>。

利用 2016 年 11 月 1 日—18 日的 JSCORS 站点数据进行数据分析,用前 15 d 数据作为初始化时间,并对后 3 d 进行电离层预测,同时利用后 3 d 观测数据进行计算,将两者结果进行比较(图 2)。

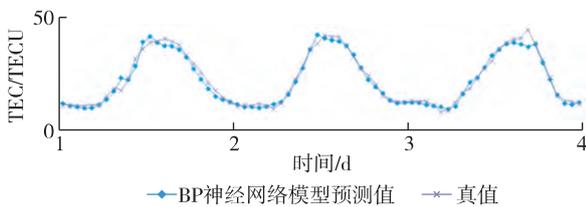


图 2 两种不同电离层模型精度比较分析

从图 2 中可以看出,利用 JSCORS 数据能够实现高精度区域电离层预报工作。

### 3.3 高精度可降水量实时预报

相对于传统的探测手段,地基 GPS 探测水汽有精度高、时间分辨率高、全天候、低成本、自动化程度高等明显优势。

利用 CORS 反演可降水量实验的主要步骤<sup>[10-11]</sup>为:① 根据 CORS 观测数据,利用 GMAIT 软件解算测站天顶方向的总延迟 ZTD;② 根据地面气象数据和对流层延迟模型解算天顶经历延迟 ZHD,再相减得到天顶湿延迟 ZWD;③ 根据地面气象数据和甲醛平均温度模型,求出水汽转换系数  $\Pi$ ,并且求得可降水量 PWV;④ 与探空数据进行对比。该方法可完成某个站点测站天顶方向的可降水量计算。后来,有学者发现,GPS 斜路径信号上的大气可降水量 SWV 含有水汽垂直剖面信息,运用内插技术,可以重建区域可降水量分布情况,并用于天气现象的分析和预报<sup>[12]</sup>。

2016 年 3 月 17 日,江苏全省域内气候为小雨转中雨到暴雨,为验证利用 CORS 进行对流层实时预报技术的可行性,本实验选取江苏省境内分布均匀的 10 个 CORS 站点原始观测数据(分别是 AHDS、SDNS、BTFN、BBHY、JSTS、BFYZ、NJHX、BBQD、GDWS、GTCH)为实验数据,并利用斜路径方向可降水量分析的方法进行实验,采样间隔为 10 min,计算完成后利用格网内插方法,对结果进行格网化(图 3)。

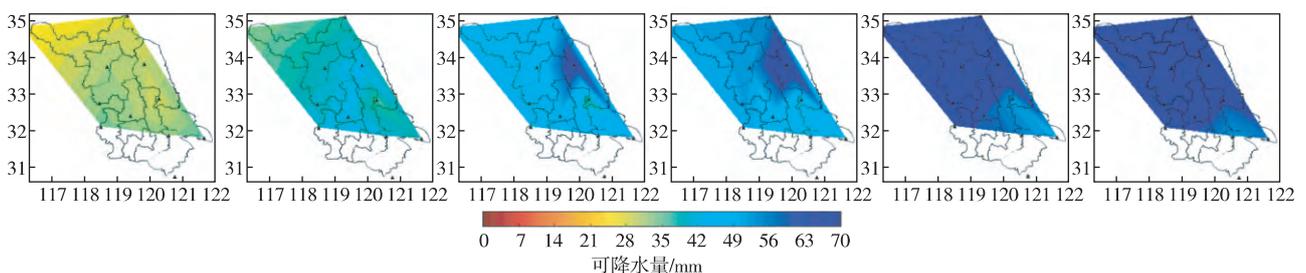


图 3 2016 年 3 月 17 日的江苏全省可降水量分布图

从图3可以看出,2016年3月17日22:50前,全省苏中地区有小雨;23:00—23:20降雨范围扩大,且雨量有所增加,沿海区域进入中雨模式;23:30中雨范围再次扩大,覆盖整个苏北、苏中区域;23:40苏北、苏中进入暴雨模式,可降水量达到60~70 mm。

#### 4 结 语

(1)随着社会发展和科技进步,人们对应急测绘提出了越来越高的要求。在分析江苏境内应急测绘对测绘基准需求的基础上,研究了地方测绘基准实施服务的新方法;研究了利用现有小区域似大地水准面及GPS水准点成果获取高精度似大地水准面成果的可行性;最后,结合JSCORS现有资源研究了电离层和可降水量精密预报的方法,为应急测绘基准服务提供参考。

(2)在基于JSCORS可降水量研究中,PWV值和可降水量转换系数的精确获取还需进一步研究,下一步将充分收集江苏历年的资料进行深入分析,以获取准确的转换系数,提高预报的精确度。

#### 参考文献

[1] 国家测绘地理信息局测绘成果管理司. 江苏省测绘应急保障预案[EB/OL]. (2011-07-01)[2011-07-01]. <http://www.sbsm.gov.cn/article/zxbs/xxcx/>

- chyjbzya/201107/20110700085497.shtml.
- [2] 汤建国,胡传文,王玲,等.省级应急测绘保障服务体系研究[J].北京:测绘通报,2012(7):94-96.
- [3] 周兴霞,廖小露,刘嘉.无人机航摄技术在四川省应急测绘保障中的应用研究[J].测绘与空间地理信息,2014,37(10):240-242.
- [4] 许超铃,姚宜斌,张豹,等.现代测绘基准综合管理服务系统的研究与构建[J].测绘地理信息,2014,39(6):62-65.
- [5] 陈俊勇,李建成,宁津生,等.中国似大地水准面[J].测绘学报,2002,31(S1):1-6.
- [6] 宁津生,罗志才,李建成.我国省市级大地水准面精化的现状及技术模式[J].大地测量与地球动力学,2004,24(1):4-8.
- [7] 黄俊华,陈文森.连续运行卫星定位综合服务系统建设与应用[M].北京:科学出版社,2009.
- [8] 牛犇.高频GPS实时动态定位技术应用研究[D].北京:中国地震局地震研究所,2013.
- [9] 王军.区域电离层TEC监测及应用[D].北京:中国测绘科学研究院,2014.
- [10] 沈飞.采用非差模型的区域连续运行参考站网地学应用方法研究[D].武汉:武汉大学,2012.
- [11] 汤中山.地基GPS翻译大气可降水量及三维层析的应用研究[D].武汉:华东理工大学,2016.
- [12] 张双成,刘经南,叶世榕,等.顾及双差残差反演GPS信号方向的斜路径水汽含量[J].武汉大学学报:信息科学版,2009,34(1):100-104.

### Research in Emergency of Surveying and Mapping in Jiangsu Province Based on CORS

HU xue-song<sup>1</sup>, AN Yan-hui<sup>1,2</sup>, WANG yong<sup>1,2</sup>

(1. Jiangsu Province Surveying and Mapping Engineering Institute, Nanjing Jiangsu 210013, China;

2. JSCORS Center, Jiangsu Province Surveying and Mapping Engineering

Institute, Nanjing Jiangsu 210013, China)

**Abstract** To cope with major disasters, develop national disaster prevention and mitigation strategies and developing disaster prevention and mitigation engineering technology, emergency of surveying and mapping is put forward by our country in the new period, which gives a new requirement for surveying and mapping engineering disciplines and industry, and is a new topic for surveying and mapping disciplines faced. The characteristics of "accurate and fast" of it is the pursuit target for surveying and mapping engineering discipline. On the basis of comprehensive analysis of Jiangsu regional emergency demand of surveying and mapping, combining of JSCORS existing resources, study the emergency in surveying and mapping services and emergency application of surveying and mapping, which proved that in emergency of surveying and mapping, JSCORS can not only realize the coordinates and elevation datum benchmark of emergency services, but also could monitoring a wide range of benchmark stability, and even could realize accurate forecasting precision of the ionosphere and the rainfall at the same time. This research could give a certain reference value for emergency application of surveying and mapping in national CORS system.

**Key words** JSCORS; emergency of surveying and mapping; reference service; ionosphere prediction; PWV