

# 基于 2000 国家大地坐标系的中国大陆 速度场获取

谢 方,程传录,王 斌,马新莹,王文利,丁 黎,刘 璐,李春晓

(国家测绘地理信息局大地测量数据处理中心,陕西 西安 710054)

**摘 要:**2000 国家大地坐标系(CGCS2000)不具备速度场信息,不能完整表述中国地心坐标参考框架的动态性和现势性,因此,有必要基于 CGCS2000 建立中国大陆速度场模型。介绍了基于 CGCS2000 中国大陆速度场获取的方法;利用 2000~2010 年国家 GPS 连续运行站及国际 IGS 站的大量重复观测数据,获得了高精度 GPS 连续运行站点位成果及速度场成果,发现点位水平方向的精度优于 $\pm 2$  mm,垂直方向的精度优于 $\pm 3$  mm;速度场南北方向精度优于每年 $\pm 1.6$  mm,东西方向精度优于每年 $\pm 1.8$  mm;研究了 11 年来国家 GPS 连续运行站的变化趋势及变化量,获得了各个站点的运动趋势,并与中国地壳运动观测网络重合点进行分析比较,发现其差异较小,证明了计算结果的可靠性和可行性,说明 CGCS2000 为速度场模型的建立可提供高精度数据。

**关键词:**2000 国家大地坐标系;速度场;GPS 连续运行站;基线解算;网平差;时间序列

中图分类号:P228

文献标志码:A

## Velocity Field Acquisition in China Continent Based on CGCS2000

XIE Fang, CHENG Chuan-lu, WANG Bin, MA Xin-ying, WANG Wen-li,

DING Li, LIU Lu, LI Chun-xiao

(Center for Geodetic Data Processing, National Administration of Surveying, Mapping and Geoinformation,  
Xi'an 710054, Shaanxi, China)

**Abstract:** China Geodetic Coordinate System 2000 (CGCS2000) has no velocity, and can not show the dynamic and verisimilitude of China geocentric coordinate reference frame in whole. Therefore, it is necessary to build the velocity field model based on CGCS2000. The acquisition method of velocity field in China continent based on CGCS2000 was introduced; a large number of duplicate observed data at China GPS continuous operation stations in the international IGS stations from 2000 to 2010 were used to obtain the point results of high-precision GPS continuous operation stations and velocity field. It is found that the horizontal precision of point is better than  $\pm 2$  mm, and the vertical precision of point are better than  $\pm 3$  mm; the precision of velocity field in the north-south direction is better than  $\pm 1.6$  mm per year, and that in the east-west direction is better than  $\pm 1.8$  mm per year. The variation and trend of China GPS continuous operation stations in 11 years were studied, and the motion trend of each station was obtained. The coincident points from CGCS2000 and China Crustal Movement Observation Network were compared. The small difference proves that the calculating result is reliable and feasible, and CGCS2000 can provide high-precision data for building velocity field model.

收稿日期:2013-10-27

基金项目:国家高技术研究发展计划(“八六三”计划)项目(2009AA121402-5)

作者简介:谢 方(1979-),女,河南安阳人,高级工程师,E-mail:755809182@qq.com。

**Key words:** CGCS2000; velocity field; GPS continuous operation station; baseline solution; network adjustment; time series

0 引 言

2000 国家大地坐标系(CGCS2000)于 2008 年 7 月 1 日正式启用,其参考框架为 ITRF97,历元为 2000.0<sup>[1-5]</sup>。已建成的 2000 国家 GPS 大地控制网是 CGCS2000<sup>[6]</sup>的成果,不具备速度场信息,无法反映中国地壳水平运动年变化量,不能完全表述中国地心坐标参考框架的动态性和现势性,也不能满足广大用户高精度定位的需要<sup>[7]</sup>。中国高精度、实用性强的大陆速度场是维持 CGCS2000 稳定性、动态性和精确性的保障,为大地测量、地球动力学、地学研究等提供基础信息,是适应社会经济发展而亟待解决的一项重大课题。大量速度场数据的获取处理势在必行。国际 IGS 站在中国及周边地区已经建立了很多,可以作为实测数据的起算点。目前,GPS 技术已经成为最为快捷的速度场数据获取方法。

笔者详细介绍了中国大陆速度场数据的获取与处理过程。其原则为:采用美国麻省理工学院研制的高精度 GPS 数据处理软件 GAMIT/GLOBK 进行数据处理<sup>[8]</sup>,并利用地学绘图软件 GMT 绘制速度场矢量图<sup>[9]</sup>;考虑到数据处理工作量及计算空间,收集 2000 年年积日为 001~060、2005 年年积日为 001~060、2010 年年积日为 001~060 的国内 GPS 连续运行站及国际 IGS 站的相关数据;基于 CGCS2000,需将起算点转换至与 CGCS2000 相一致的国际参考框架与历元<sup>[10-12]</sup>;利用 GAMIT 软件进行基线解算,分析基线质量;利用 GLOBK 软件进行三维约束平差,获取点位坐标及速度场值;进行点位成果质量评定,绘制时间序列图与速度场矢量图,获取点位 11 年变化趋势。获取的高精度速度场成果可用于建立中国大陆速度场模型<sup>[13-22]</sup>。

1 GPS 连续运行站数据的收集

为了进行试算分析,收集用于起算的 GPS 连续运行站点 21 个和待解算 GPS 连续运行站点 28 个(表 1、2)。这些站点是由国际 IGS 站及国内 GPS 连续运行站所组成的(图 1)。

2 数据处理

2.1 数据处理流程

数据处理流程为:(1)数据整理;(2)数据预处

表 1 使用的起算点

Tab.1 Used Starting Point

序号	站点名	备注	序号	站点名	备注
1	BJFS	北京房山	12	SHAO	上海
2	DAEJ	国际 IGS	13	SUWN	国际 IGS
3	GUAM	国际 IGS	14	TWTF	台湾桃园
4	HISC	国际 IGS	15	ULAB	国际 IGS
5	IRKT	国际 IGS	16	URUM	乌鲁木齐
6	KIT3	国际 IGS	17	USUD	国际 IGS
7	LHAS	拉萨	18	WUHN	武汉
8	NTUS	国际 IGS	19	YSSK	国际 IGS
9	NVSK	国际 IGS	20	KUNM	昆明
10	PIMO	国际 IGS	21	LHAZ	拉萨
11	SELE	国际 IGS			

表 2 GPS 连续运行站待解算点

Tab.2 Calculating Points of GPS Continuous Operation Stations

序号	站点名	备注	序号	站点名	备注
1	CHUN	长春	15	DLHA	德令哈
2	KC01		16	HLAR	海拉尔
3	SUIY	绥阳	17	HRBN	哈尔滨
4	WHJF		18	JIXN	蓟县
5	YANC	盐池	19	LALB	
6	ZHNZ	郑州	20	LALX	
7	DXIN	鼎新	21	LUZH	泸州
8	GUAN	广州	22	MMMZ	
9	KMIN	昆明	23	MMNS	
10	TASH	塔什	24	QION	琼中
11	XIAA	西安	25	TAIN	泰安
12	XNIN	西宁	26	WUSH	乌什
13	YONG	永兴岛	27	XIAG	下关
14	BJSH	北京十三陵	28	XIAM	厦门

理;(3)利用 GAMIT 软件获得站点之间的基线解算结果;(4)利用 GLRED 命令及连续运行站的单日松弛解进行网平差,获得单日平差解坐标,便于时间序列的分析;(5)给予起算点 2 倍中误差的约束(起算点所采用的为 CGCS2000 成果),利用 GLOBK 软件及单日解的基线结果进行网平差,获取整网连续运行站 CGCS2000 的成果及速度场值。

2.2 起算点的框架历元转换

CGCS2000 参考框架为 1997.0,参考历元为

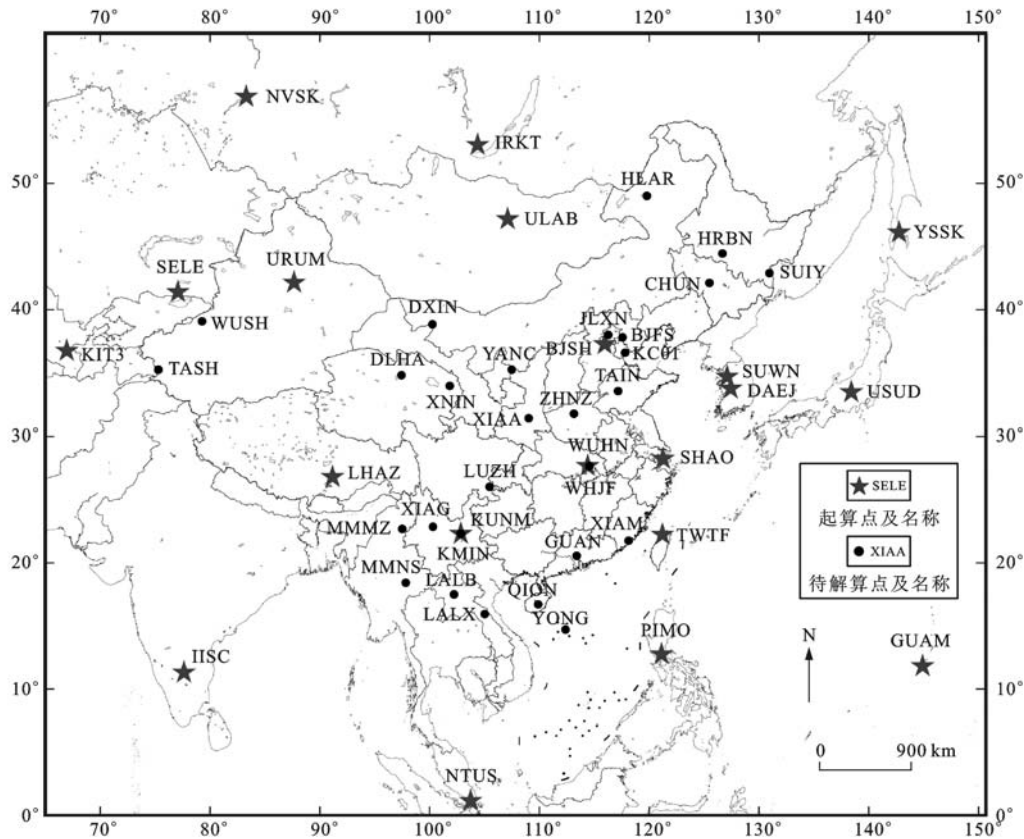


图 1 收集的 GPS 连续运行站点分布

Fig. 1 Distribution of Collected GPS Continuous Operation Stations

2000.0,需将起算点的成果转换至相应的框架历元<sup>[23]</sup>。

### 2.3 数据的预处理

下载 SUWN、IISC、ULAB、SELE 等全球 IGS 站的数据,并将其与国内 GPS 连续运行站数据进行整理。依据 RINEX 格式的观测数据,将同一天的数据放在一起,并进行数据正确性的检验,包括接收机与天线型号的正确性、天线高的正确性、年积日的正确性。

准备 IGS 精密星历文件、卫星和接收机天线相位中心改正信息文件、IGS 站坐标和速度场文件、地球极移文件、章动表信息文件、太阳与月亮表信息文件、跳秒文件、地球定向参数等文件。

编制起算点坐标文件,将国际 IGS 站的坐标转换到 ITRF97 框架 2000.0 历元下,与 CGCS2000 保持一致。国内起算站利用 CGCS2000 成果。

### 2.4 基线解算的参数设置

(1)海潮负荷改正执行 IERS2003 标准;(2)卫星轨道为 IGS 精密星历,且固定;(3)卫星截至高度角为  $10^\circ$ ;(4)数据采样间隔为 30 s;(5)起算点水平方向给予 0.1 m、垂直方向给予 0.1 m 的坐标约束,其他 GPS 连续运行站给予 10 m 的坐标约束;(6)对

流层改正模型采用 Saastamoinen 模型进行标准气象改正;(7)一天 24 h 的观测时段估计一个东西向梯度,并且有一个南北向梯度(对流层延迟参数为 13);(8)观测值采用消除电离层后的组合观测值;(9)数据解算模式采用周跳自动修复技术;(10)采用 BERNE 太阳光压模型进行太阳辐射压改正。

### 2.5 网平差

给予起算点坐标(CGCS2000)2 倍中误差的坐标约束,编制平差控制文件 GLOBK.CMD 及 GLO-REG.CMD,对整网进行三维约束平差,求出 GPS 连续运行站点位的 CGCS2000 成果及速度值。计算得到的连续运行站坐标水平方向的精度优于  $\pm 2$  mm,垂直方向的精度优于  $\pm 3$  mm。连续运行站速度场南北方向精度优于每年  $\pm 1.6$  mm,东西方向精度优于每年  $\pm 1.8$  mm。

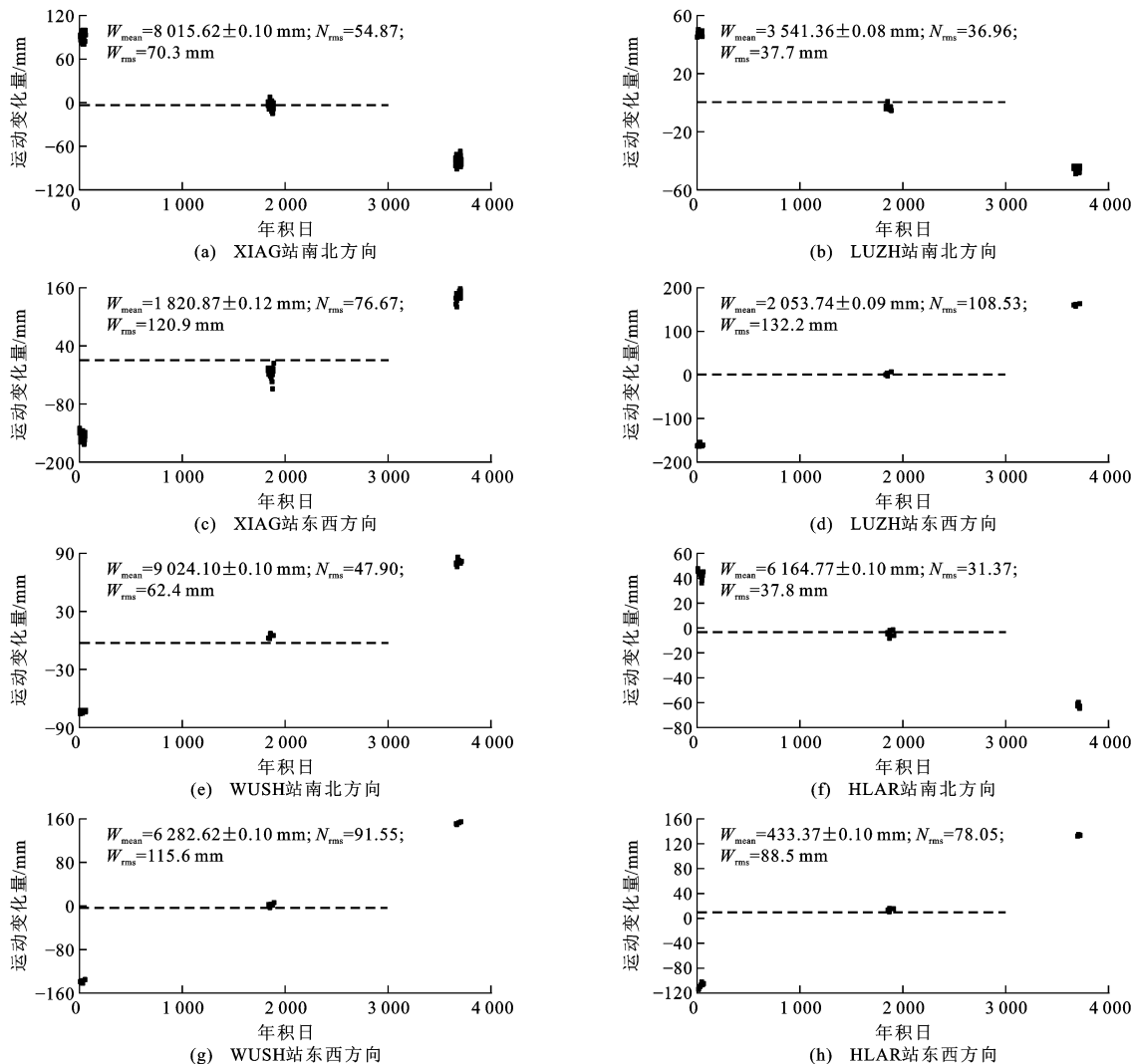
通过 GPS 连续运行站和周边国际 IGS 站的整体平差处理,最终获取了中国大陆一些连续运行站点实测坐标和速度场值。上述成果都达到了较高的精度,满足研究分析的需要<sup>[24]</sup>。

### 2.6 时间序列分析

通过单日平差结果文件及 GLRED 命令,对点

位进行时间序列分析,分析点位在11年间的变化,有利于了解点位变化的情况。笔者分析了BJSH(北京十三陵)、HLAR(海拉尔)、JIXN(蓟县)、LUZH(泸州)、QION(琼中)、TAIN(泰安)、WUSH(乌什)、XIAG(下关)、XIAM(厦门)、YANC(盐池)共计10个国内GPS连续运行站11年内平面位置南北方向及东西方向的变化趋势。在2000年到

2010年间,BJSH、HLAR、JIXN、LUZH、QION、TAIN、XIAG、XIAM、YANC等9个站点均向东南方向移动,在南北方向的变化量最大的为XIAG站,达到17 cm,在东西方向上的变化量最大的为LUZH站,达到23 cm;WUSH站向东北方向移动,在南北方向的变化量为15 cm,在东西方向的变化量为29 cm。图2为具有代表性的点位运动趋势。



$W_{\text{mean}}$  为对流层延迟改正;  $N_{\text{rms}}$  为标准化均方根误差;  $W_{\text{rms}}$  为时间序列验后残差

图2 典型点位的时间序列

Fig. 2 Time Series of Typical Points

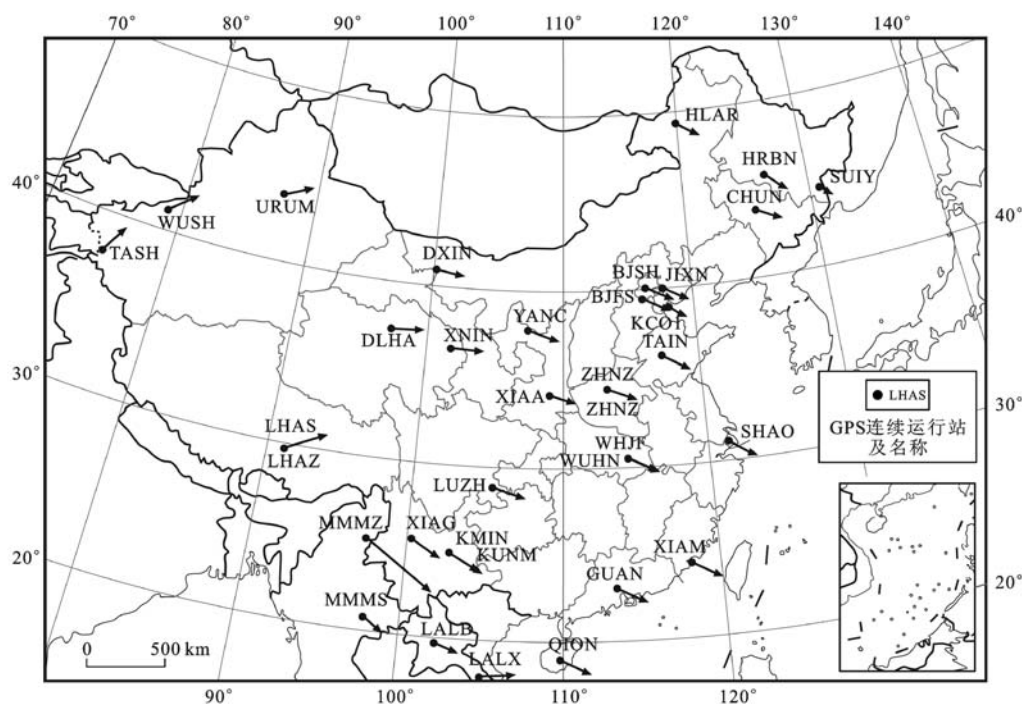
### 3 速度场成果

通过2000~2010年实测数据解算,获取了基于CGCS2000的GPS连续运行站点的成果及速度场值(图3)。从图3可以看出,点位运动的方向与板块运动是一致的,其中变化的方向与量级和数据处理中时间序列分析的结果是一致的。HLAR、HRBN、CHUN、SUIY站运动趋势是向东南方向运动。URUM、

WUSH、TASH站运动趋势为向东北方向运动, BJSH、JIXN、WUHN、SHAO等站向东南方向运动。LHAS、DLHA等站呈顺时针螺旋状运动。

经过以上试算,通过GPS定期复测获得国内点位的速度场值是可行的、可靠的。但目前GPS点位的数量还不是特别充足,随着近几年现代测绘基准建设等项目的完成,将可以获取大量国内GPS连续运行站点的实测数据,为中国速度场计算研究提





箭头方向表示运动方向;箭头长度表示运动相对速率

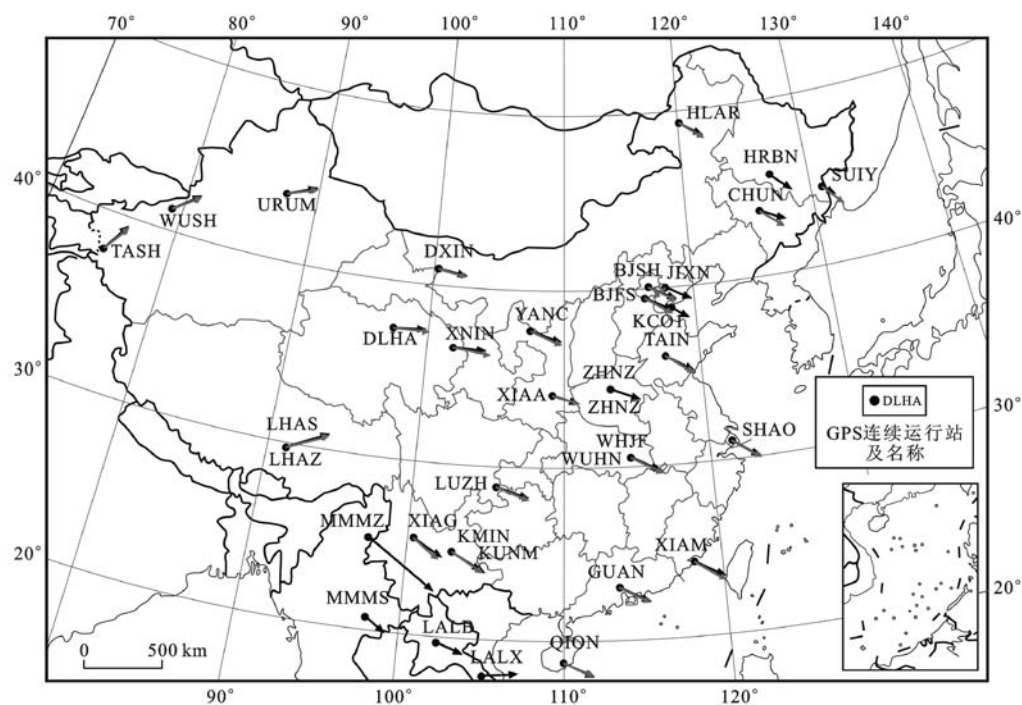
图 3 GPS 连续运行站速度场

Fig. 3 Velocity Field of GPS Continuous Operation Stations

供丰富的数据源,为高精度速度场的建立打下良好基础。

本文将解算的 GPS 连续运行站的速度值与中

国地壳运动观测网络 GPS 点的重合点进行分析比较<sup>[25]</sup>,来确定本次解算结果是否可靠。图 4 和表 3 展示了重合点的速度场叠加与差值。



箭头方向表示运动方向,箭头长度表示运动相对速率;黑色箭头代表实测点速度,灰色箭头代表中国地壳运动观测网络点速度

图 4 实测点与中国地壳运动观测网络点的速度场叠加

Fig. 4 Superposition of Velocity Fields from Measured Points and China Crustal Movement Observation Network Points

表3 速度场差值

Tab.3 Difference Values of Velocity Field

序号	站点名	$\Delta N/m$	$\Delta E/m$	序号	站点名	$\Delta N/m$	$\Delta E/m$
1	CHUN	0.008	0.003	11	YANC	0.002	0.001
2	HLAR	-0.001	0.007	12	LUZH	0.001	0.001
3	XIAM	0.002	0.000	13	KMIN	-0.001	0.003
4	JIXN	0.002	0.000	14	XNIN	0.002	-0.004
5	TAIN	0.002	0.002	15	XIAG	0.002	0.003
6	BJSH	0.001	0.001	16	DXIN	0.002	0.001
7	GUAN	0.000	0.002	17	DLHA	0.001	-0.001
8	YONG	0.002	0.001	18	WUSH	0.002	0.001
9	QION	-0.002	0.002	19	TASH	0.002	-0.001
10	XIAA	0.001	0.002	20	SUIY	0.008	-0.007

注: $\Delta N$ 为南北方向速度场差值; $\Delta E$ 为东西方向速度场差值;南北方向和东西方向差值中误差都为0.003 m。

## 4 结 语

基于2000国家大地坐标系,以高精度GPS数据处理软件GAMIT/GLOBK为计算平台,GMT软件为绘图平台,利用2000~2010年国家GPS连续运行站及国际IGS站的大量重复观测数据,详细介绍了中国大陆速度场数据的获取与处理方法,获得的高精度点位成果及速度场数据(点位水平方向精度优于 $\pm 2$  mm,垂直方向的精度优于 $\pm 3$  mm;速度场值南北方向精度优于每年 $\pm 1.6$  mm,东西方向精度优于每年 $\pm 1.8$  mm);研究了11年来中国GPS连续运行站的变化趋势及变化量,获得了各个站点的运动趋势;与中国地壳运动观测网络重合点进行分析比较,结果差异很小,证明了计算结果的可靠性。获取的高精度速度场,可采用最小二乘配置法、局域欧拉矢量法、多面函数等方法建立中国大陆速度场模型。

## 参考文献:

## References:

- [1] 国家测绘局. 国家测绘局2008年第2号公告[N]. 中国测绘报, 2008-06-27(1).  
National Administration of Surveying and Mapping. No.2 Bulletin of National Administration of Surveying and Mapping in 2008[N]. China Surveying and Mapping News, 2008-06-27(1).
- [2] 陈俊勇. 中国现代大地基准——中国大地坐标系2000(CGCS2000)及其框架[J]. 测绘学报, 2008, 37(3):269-271.  
CHEN Jun-yong. Chinese Modern Geodetic Datum—Chinese Geodetic Coordinate System 2000 (CGCS2000)

and Its Frame[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2008, 37(3):269-271.

- [3] 陈俊勇, 杨元喜, 王敏, 等. 2000国家大地控制网的构建和它的技术进步[J]. 测绘学报, 2007, 36(1):1-8.  
CHEN Jun-yong, YANG Yuan-xi, WANG Min, et al. Establishment of 2000 National Geodetic Control Network of China and Its Technological Progress[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2007, 36(1):1-8.
- [4] 杨元喜. 2000中国大地坐标系[J]. 科学通报, 2009, 54(16):2271-2276.  
YANG Yuan-xi. Chinese Geodetic Coordinate System 2000[J]. Chinese Science Bulletin, 2009, 54(16):2271-2276.
- [5] 魏子卿. 2000中国大地坐标系[J]. 大地测量与地球动力学, 2008, 28(6):1-5.  
WEI Zi-qing. China Geodetic Coordinate System 2000[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2008, 28(6):1-5.
- [6] 程传录, 王文利, 郭春喜, 等. 2000国家大地坐标系下三角网平差技术研究[J]. 地球科学与环境学报, 2009, 31(4):432-436.  
CHENG Chuan-lu, WANG Wen-li, GUO Chun-xi, et al. Adjustment of Triangulation Technique in China Geodetic Coordinate System 2000[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2009, 31(4):432-436.
- [7] 蒋志浩, 张鹏, 秘金钟, 等. 基于CGCS2000的中国地壳水平运动速度场模型研究[J]. 测绘学报, 2009, 38(6):471-476.  
JIANG Zhi-hao, ZHANG Peng, BI Jin-zhong, et al. The Model of Crustal Horizontal Movement Based on CGCS2000 Frame[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2009, 38(6):471-476.
- [8] KING R, BOCK Y. Documentation for the GAMIT GPS Analysis Software[R]. San Diego: University of California, 2000.
- [9] 占伟, 孟宪刚, 刘志广. GMT绘制GPS速度场的应用[J]. 华北地震科学, 2010, 28(3):61-64.  
ZHAN Wei, MENG Xian-gang, LIU Zhi-guang. Application of GMT on the Plotting of GPS Velocity Field[J]. North China Earthquake Sciences, 2010, 28(3):61-64.
- [10] 林晓静, 张小红, 郭斐. ITRF2005与CGCS2000坐标转换方法与精度分析[J]. 大地测量与地球动力学, 2010, 30(2):117-119, 124.  
LIN Xiao-jing, ZHANG Xiao-hong, GUO Fei. Transformation Methods and Accuracy Analysis Between ITRF2005 and CGCS2000 Coordinate[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2010, 30(2):117-119, 124.

- [11] 成英燕. ITRF2008 框架简介[J]. 大地测量与地球动力学, 2012, 32(1): 47-50, 75.  
CHENG Ying-yan. Brief Introduction of ITRF2008 Frame[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2012, 32(1): 47-50, 75.
- [12] 蒋光伟, 程传录, 郭春喜, 等. 地球参考框架 ITRF2008 在中国大地基准中的应用[J]. 大地测量与地球动力学, 2012, 32(2): 86-90.  
JIANG Guang-wei, CHENG Chuan-lu, GUO Chun-xi, et al. Application of ITRF2008 in China Geoid Datum[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2012, 32(2): 86-90.
- [13] 李冲, 李建成, 瞿伟. 基于移动原理的拟合推估模型建立区域地壳运动速率场[J]. 大地测量与地球动力学, 2012, 32(5): 33-36.  
LI Chong, LI Jian-cheng, QU Wei. Establishing Regional Crustal Movement Velocity Field with Collocation Model Based on Displacement Principle[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2012, 32(5): 33-36.
- [14] 吴富梅, 刘光明, 魏子卿. 利用局域欧拉矢量法建立 CGCS2000 速度场模型[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2012, 37(4): 432-435.  
WU Fu-mei, LIU Guang-ming, WEI Zi-qing. Velocity Field Model of CGCS2000 Based on Euler Vector of Local Area[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2012, 37(4): 432-435.
- [15] 曾安敏, 秦显平, 刘光明, 等. 中国大陆水平运动速度场的多面函数模型[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2013, 38(4): 394-398.  
ZENG An-min, QIN Xian-ping, LIU Guang-ming, et al. Hardy Multi-quadric Fitting Model of Chinese Mainland Horizontal Crustal Movement[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2013, 38(4): 394-398.
- [16] 程鹏飞, 成英燕, 秘金钟, 等. CGCS2000 板块模型构建[J]. 测绘学报, 2013, 42(2): 159-167.  
CHENG Peng-fei, CHENG Ying-yan, BI Jin-zhong, et al. CGCS2000 Plate Motion Model[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2013, 42(2): 159-167.
- [17] 谢方. 基于 2000 国家大地坐标系的中国大陆速度场模型建立方法研究[D]. 西安: 长安大学, 2013.  
XIE Fang. Research on the Modeling Approach of Velocity Field in China Continent Based on China Geodetic Coordinate System 2000[D]. Xi'an: Chang'an University, 2013.
- [18] 李强, 游新兆, 杨少敏, 等. 中国大陆构造变形高精度大密度 GPS 监测——现今速度场[J]. 中国科学: 地球科学, 2012, 42(5): 629-632.  
LI Qiang, YOU Xin-zhao, YANG Shao-min, et al. A Precise Velocity Field of Tectonic Deformation in China as Inferred from Intensive GPS Observations[J]. Science China: Earth Sciences, 2012, 42(5): 629-632.
- [19] 郝明, 朱良玉. 不同 ITRF 参考框架 NEU 坐标系统下的速度场转换[J]. 大地测量与地球动力学, 2013, 33(6): 130-132.  
HAO Ming, ZHU Liang-yu. Transformation of Velocity Field Within NEU Coordinate System Between Various ITRFS[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2013, 33(6): 130-132.
- [20] 王伟, 杨少敏, 赵斌, 等. 中国大陆现今地壳运动速度场[J]. 大地测量与地球动力学, 2012, 32(6): 29-32.  
WANG Wei, YANG Shao-min, ZHAO Bin, et al. Present-day Crustal Movement Velocity Field in Chinese Mainland[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2012, 32(6): 29-32.
- [21] 魏子卿, 刘光明, 吴富梅. 2000 中国大地坐标系: 中国大陆速度场[J]. 测绘学报, 2011, 40(4): 403-410.  
WEI Zi-qing, LIU Guang-ming, WU Fu-mei. China Geodetic Coordinate System 2000: Velocity Field in Mainland China[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2011, 40(4): 403-410.
- [22] 陈醒, 程鹏飞, 成英燕, 等. 基于河北 CORS 网的地壳垂直运动速度场模型研究[J]. 大地测量与地球动力学, 2013, 33(4): 48-51.  
CHEN Xing, CHENG Peng-fei, CHENG Ying-yan, et al. Model of Crustal Vertical Movement Velocity Field Based on Hebei CORS Network[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2013, 33(4): 48-51.
- [23] 程传录, 谢方, 王小瑞, 等. 2000 国家大地坐标系数据处理的若干技术研究[J]. 地球科学与环境学报, 2012, 34(3): 106-110.  
CHENG Chuan-lu, XIE Fang, WANG Xiao-rui, et al. Study on Some Technologies of Data Processing for China Geodetic Coordinate System 2000[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2012, 34(3): 106-110.
- [24] GB/T 18314—2009, 全球定位系统(GPS)测量规范[S].  
GB/T 18314—2009, Specifications for Global Positioning System(GPS) Surveys[S].
- [25] 中国地震局地壳运动监测工程研究中心. 中国地壳运动观测网络[DB/OL]. (2000-03-12) [2013-05-10].  
http://www.igs.org.cn:8080/.  
National Earthquake Infrastructure Service, China Earthquake Administration. Crustal Movement Observation Network of China[DB/OL]. (2000-03-12) [2013-05-10]. http://www.igs.org.cn:8080/.