

南宁盆地Ⅲ级阶地变形及其成因分析^{* 1}

李细光¹⁾ 严小敏²⁾ 黄 谦³⁾ 陈 艳⁴⁾

(1)广西壮族自治区地震局,南宁 530022
(2)广西机电工业学校,南宁 530022
(3)柳州市地震局,柳州 545000
(4)广西第四地质队,南宁 530022

摘 要 运用 Sufur 软件对南宁盆地及周边邕江Ⅲ级河流阶地的有关数据进行分析,并根据其变形特点,划分出Ⅲ级阶地的沉降区、隆起区和山地隆起剥蚀区。在此基础上探讨了Ⅲ级阶地变形的机制,认为南宁盆地及周边Ⅲ级阶地的变形主要是由于南宁新生代地幔热柱热流上隆导致中上地壳变薄,同时热流不断向东南方向流动,南宁盆地底部物质向东南方向缓慢蠕变拉伸,最终使得南宁盆地Ⅲ级阶地产生“挠曲”变形。

关键词 Ⅲ级阶地;变形;成因;动力学;南宁盆地

中图分类号:P542

文献标识码:A

ANALYSIS OF DEFORMATION AND ITS FORMATION MECHANISM OF THIRD TERRACE IN NANNING BASIN

Li Xiguang¹⁾, Yan Xiaomin²⁾, Huang Qian³⁾ and Chen Yan⁴⁾

(1) Earthquake Administration of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530022
(2) Guangxi Mech. & Elec. Industry School, Nanning 530022
(3) Earthquake Administration of Liuzhou City, Liuzhou 545000
(4) Guangxi Fourth Geological Team, Nanning 530022

Abstract The elevation of the Ⅲ terrace(T3) surface of the Yongjiang river around the Nanning basin was analyzed with the Sufur software. According to deformation characteristics, the terraces can be divided into subsidence terraces and erosion terraces. Based on this, a conclusion can be drawn that the deformation of the terrace is because of activation of mantle plume thermal fluid. In the Cenozoic Time, the mantle plume thermal fluid under the Brain upwells and flows eastward, which lead to upper crust getting thinner and creeping eastward with extension, both cause the terrace deforming as an anticline.

Key words: Ⅲ terrace; deformation; formation; dynamics; Nanning basin

1 引言

阶地变形反映了地壳活动的不均匀性或断裂活动性的差异性,通过研究阶地变形的时间、期次、性

质和强弱,有助于研究地壳或断层的活动性质、活动强度和活动期次以及第四纪活动构造的研究。

本文拟在地质调查的基础上,从大量的工程地震钻孔统计入手,运用 Sufur 软件对统计数据进行分析

* 收稿日期:2013-05-31

基金项目:广西地震科学基础研究项目(桂科攻 12426001-4);广西科学研究与技术开发计划项目(桂科攻 1298005-1)

作者简介:李细光,男,1966年生,博士,研究方向:地震地质与新构造. E-mail:hnouyang@163.com

处理,分析南宁盆地及周边邕江Ⅲ级河流阶地(以下简称“Ⅲ级阶地”)变形特点,研究其成因,在此基础上,探讨其深层地球动力学机制。

2 地质综述

南宁盆地是在燕山运动之后在古生界褶皱基底之上发育起来的受断裂控制的新生代断陷盆地^[1](图1),位于右江再生地槽东端、北西向的右江断裂带与北东向桂林-南宁断裂带的交接部位,早第三纪末结束湖盆历史,为完成性第三纪盆地^[2]。

南宁盆地及周边地层大致可分为前第三系、第三系和第四系。前第三系地层主要有寒武系、泥盆系和石炭系,主要分布于盆地北部和南部,是组成南宁盆地基底构造的主要地层;第三系地层主要为古-

始新统和渐新统的河湖相砂岩、泥岩或互层,主要分布于盆地东部和西南部;第四系地层主要由粘土或亚粘土、砂土或亚砂土以及砾石等组成,集中分布在盆地内^[3]。

南宁盆地整体形态呈现似菱形构造,主要受心圩-韦村断裂(F_1)和屯里断裂(F_2)的控制。心圩-韦村断裂是前第四纪最主要的控盆断裂,它控制了南宁第三纪盆地的形成和演化,可分为三段:六间至苏村段(F_1^I)、苏村至峙村段(F_1^{II})和峙村至老口段(F_1^{III}),其中峙村至老口段断裂位于心圩-韦村断裂最西面,走向北东,倾向南东,大部分隐伏于第四系望高组砂粘土层,从倾角来看该断裂为北陡南缓的铲式正断层。屯里断裂位于屯里村附近,可分南、北两支,总体走向南西西-北东东,为倾向北西的正断层^①。

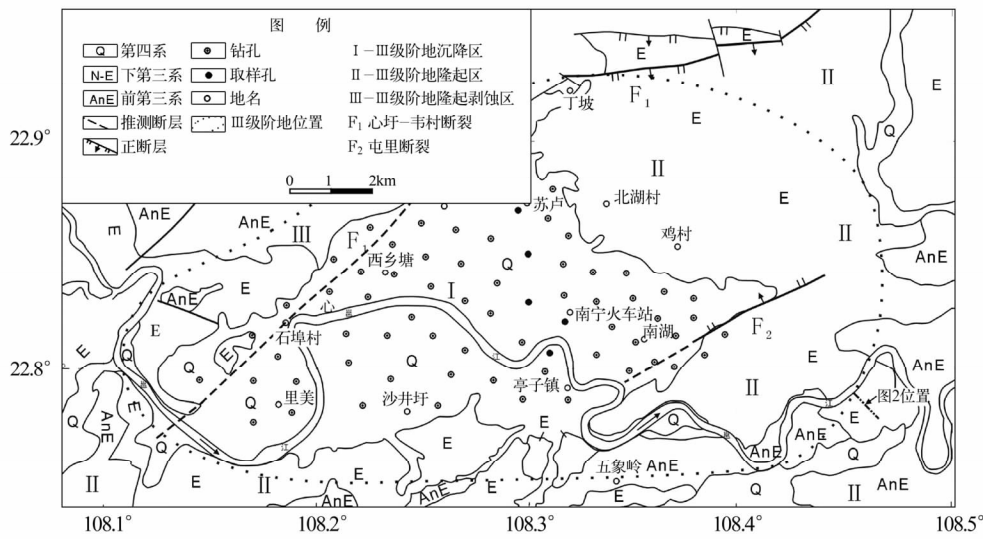


图1 南宁盆地地质略图
Fig. 1 Simplified tectonic map of Nanning basin

3 邕江6级河流阶地

南宁盆地第四纪以来经历了6次较大的抬升运动,在邕江两岸形成6级河流阶地(图2),时间分别为更新世涪江期、白沙早期、白沙晚期、望高早期、望高晚期与全新世。其中Ⅰ级和Ⅱ级阶地主要局限于邕江两岸边200~300米区域,Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ级阶地大部分被剥蚀,只在南部的五象岭等少部分地区可见其阶地的残余物质,在南宁盆地及周边普遍发育的是Ⅲ级阶地。

研究表明,南宁盆地在总体抬升的背景下局部存在沉降运动^[4]。近年来工程地震研究成果也证实,南宁盆地中普遍埋藏有邕江Ⅲ级河流阶地,时代为中更新世(表1),南宁市城区火车站至邕江大桥

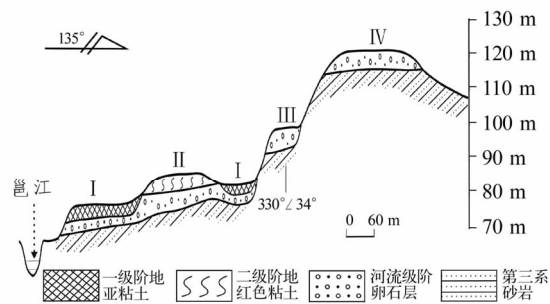


图2 仙葫大桥段河流阶地横剖面图
Fig. 2 Cross-section of terraces in the Xianhu bridge

等地段Ⅲ级阶地的海拔高度在70米以下,低于邕江年平均水位,说明南宁盆地存在沉降运动。而南宁盆地东部和南部的Ⅲ级阶地,时代也属中更新世

① 广西工程防震研究院. 南宁市城市轨道交通1号线工程场地地震安全性评价报告[R]. 2008.

表 1 南宁盆地内Ⅲ级阶地部分样品的热释光 (TL) 年龄
Tab.1 TL ages of soil specimens of the Ⅲ terrace in the Nanning basin

| 编号 (室内/野外) | 地点 | 放射性元素含量 | | | 年剂量率 $\text{Gy/a} \times 10^{-3}$ | 等效剂量 (Gy) | 年龄 (ka) |
|--------------------|--------|-----------------------|------------------------|----------------------|--------------------------------------|--------------|--------------------|
| | | U ($\mu\text{g/g}$) | Tu ($\mu\text{g/g}$) | K ₂ O (%) | | | |
| 996762/H CZ - N | 火车站 | 2.14 | 8.08 | 1.35 | 1.50 | 220.0 | 186.32 \pm 12.44 |
| 996763/HYDL - N | 衡阳东路 | 3.53 | 14.8 | 2.15 | 2.58 | 480.0 | 185.99 \pm 15.81 |
| 996765/MXYALJC - N | 明秀友爱路口 | 2.86 | 13.9 | 1.20 | 2.13 | 448.0 | 210.27 \pm 17.87 |
| 996766/YA - N | 友爱站 | 2.9 | 13.4 | 1.82 | 2.23 | 520.0 | 233.27 \pm 19.83 |

注: 热释光 (TL) 年龄由中国地震局地壳应力研究所热释光实验室测定, 放射性元素含量由核工业地质分析测试中心检测。下同。

表 2 南宁盆地周边Ⅲ级河流阶地热释光 (TL) 年龄表
Tab.2 TL ages of the Ⅲ terrace around the Nanning basin

| 编号 (室内/野外) | 地点 | 放射性元素含量 | | | 年剂量率 $\text{Gy/a} \times 10^{-3}$ | 等效剂量 (Gy) | 年龄 (ka) |
|----------------------|-------|-----------------------|------------------------|----------------------|--------------------------------------|--------------|--------------------|
| | | U ($\mu\text{g/g}$) | Tu ($\mu\text{g/g}$) | K ₂ O (%) | | | |
| 996767/NN - TL - 01 | 南宁二中 | 2.76 | 15.2 | 1.40 | 2.23 | 280.0 | 195.40 \pm 10.67 |
| 996779/NN - TYG - 03 | 广西体育馆 | 3.45 | 24.7 | 0.59 | 3.02 | 340.0 | 172.54 \pm 8.57 |

(表 2), 其阶地面的海拔高程多在 100 米以上, 最大海拔高程达 140 米, 南宁盆地中心与盆地东部和南部Ⅲ级阶地的海拔高程存在明显差异, Ⅲ级阶地发生了变形。

4 Ⅲ级阶地变形特点分析

为了全面研究Ⅲ级阶地变形特征, 笔者收集了广西工程防震研究院 2004 年至 2010 年南宁市区地震安全性评价报告中所有钻孔资料, 按一定的间隔比例挑选其中有代表性的 83 个钻孔, 同时结合野外实际调查数据和前人研究成果, 补充了 77 个数据, 确保研究区内数据具有代表性和统计意义。再运用 Surfer 软件对这些数据进行处理, 得到Ⅲ级阶地阶面等高线图 (图 3) 及Ⅲ级阶地等厚线图 (图 4)。

从图 3 可以看出, 南宁盆地及周边Ⅲ级阶地面高程存在从南宁盆地往东和往南增大的趋势, 其中往南增高的趋势更快, 往东增高的趋势相对缓和。根据南宁盆地及周边Ⅲ级阶地面高程分布情况, 大致可以分出 3 个大区: 沉降区、隆起区和山地隆起剥蚀区, 其中山地隆起剥蚀区没发现Ⅲ级阶地。Ⅲ级阶地沉降区主要分布在南宁市主城区的西乡塘、火车站、石埠以及江南的农屋、亭子等地, 阶面海拔高度大多在 74 ~ 78 米, 最低在南宁火车站和邕江大桥附近, 海拔高度 72 米左右。Ⅲ级阶地隆起区主要分布在南宁盆地东部和南部, 阶面高程 76 ~ 140 米。

从图 4 可以看出, Ⅲ级阶地厚度 20 米以上的区域主要分布在Ⅲ级阶地沉降区内, Ⅲ级阶地的厚度变化不大, 没有明显的区域分布特征, 保存较为完整。而在南宁盆地东部、东北部和南部, 由于在抬升过程中遭受严重风化剥蚀, Ⅲ级阶地的厚度在 1 ~ 6 米之间, 与沉降区Ⅲ级阶地的厚度形成明显反差。

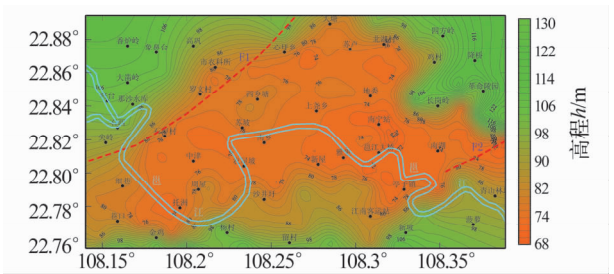


图 3 南宁盆地及周边Ⅲ级阶地面高程等值线图
Fig.3 Elevation contour map of the Ⅲ terrace in and around the Nanning basin

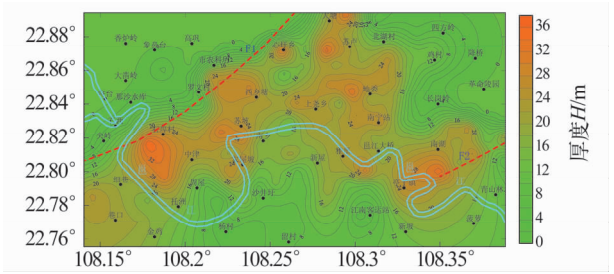


图 4 南宁盆地及周边Ⅲ级阶地等厚线图
Fig.4 Isopach map of the Ⅲ terrace around the Nanning basin

5 Ⅲ级阶地变形成因分析

从Ⅲ级阶地的结构上看, 在阶地前缘、中段和后缘, 横向上均未见冲积物与其他沉积物犬牙交错的现象, 可以排除阶地形成过程中谷坡片流作用和重力作用成因。

从图 3 上看, Ⅲ级阶地高程最低区域并不是沿 F₁ 展布的。从图 4 上看, Ⅲ级阶地最大厚度分布区域也不是沿 F₁ 展布的, 明显不受 F₁ 的控制, 可以排除为断层活动的同沉积形成的。从断裂活动性^①上看, F₁ 在峙村至老口圩段和苏村至峙村段均未延入

上覆 Q_3 黄色粘土层,断层泥样年龄分别为 44.4 ± 3 万年和 95.1 ± 8.5 万年,六间至苏村段铁质及砂、泥质胶结,构造岩已固结,未断入上覆 Q_3 黄色粘土层,总的看来, F_1 的最新活动时代为中更新世早期和中期,活动性质为正断层,中更新世晚期以来不活动。所以,Ⅲ级阶地变形不是由南宁盆地的控盆断裂,即心圩-韦村断裂中更新世晚期以来活动引起的。

同时,笔者认为Ⅲ级阶地变形也不是由屯里断裂活动引起的。 F_2 规模不大,长约 20 km,不是基底断裂,在新杨屋和新华西南等地断错第三系地层,局部地段断错Ⅲ级阶地,但未延入上覆 Q_3 覆盖土层,断层泥热释光年龄分别为 69.5 ± 3.4 万年和 86.1 ± 9.8 万年^①,说明 F_2 最新主要活动时代为中更新世早中期,活动性质为正断层,全新世以来不活动。需要特别说明的是,在研究区东南部亭子镇东,Ⅲ级阶地落差明显(图 3),根据工程地震研究成果, F_2 未延伸至亭子镇东附近,也未发现有第四纪活动断裂,不是由第四纪断层活动引起的。

另外,从南宁盆地Ⅲ级阶地形成时间(约 20 万年)和最大高差(约 70 米)推算,构造变形的速率达 $0.2 \sim 0.3 \text{ mm/a}$,如果是由断层活动引起的,其活动强度不亚于川滇断块内部活动断裂^[5],对位于华南块体内的南宁盆地而言显然是无法想象的。

笔者认为,Ⅲ级阶地的变形主要是由于南宁盆地深部物质不断上隆同时向南东流动引起的。在地壳上隆过程中发生背斜状变形,在邕江北部的南宁市中心城区、西乡塘、石埠和邕江南部的沙井圩、亭子镇等地形成Ⅲ级阶地沉降区,在邕江北部的北湖、鸡村和邕江南部的五象岭等地形成隆起区(图 5),对于第四纪盆地而言,这是一种重要的局部新构造运动上升的地貌标志^[6]。同时,由于深部物质不断向南东流动,引起浅表层物质缓慢向南东拉伸蠕变,使得邕江Ⅲ级河流阶地进一步“挠曲”变形,研究区东部和南部隆起区被不断抬高,中部和西部不

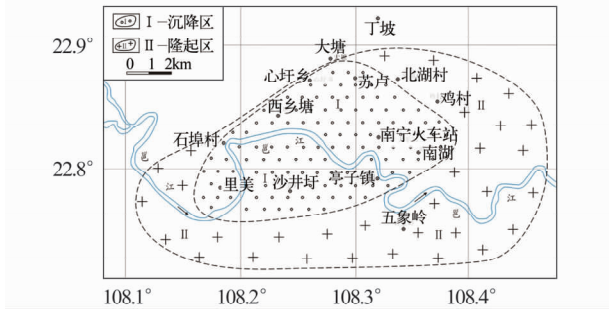


图 5 南宁盆地邕江Ⅲ级河流阶地变形图

Fig. 5 Deformation diagram of the Ⅲ terrace of the Yongjiang river in the Nanning basin

断下沉,形成不规则梯形沉降区,最终导致隆起区和沉降区Ⅲ级阶地阶面的高差最大达 70 米左右。

6 Ⅲ级阶地变形的深层动力学分析

根据文献[7]的研究,南宁盆地底部存在新生代地幔热柱,其埋深约 30 km。地幔热柱上涌的同时,还向东南方向流动,并与广州-海南地幔热流在深部进行了沟通。

在中更新世中晚期前后,南宁新生代地幔热柱进入新一轮的活动,热流持续上涌,南宁盆地因受到向上拱托力而向上隆起(图 6),导致中上地壳变薄,Ⅲ级阶地开始变形。同时,热流不断向东南方向流动,拉动浅表层物质缓慢向东蠕变变形,使得Ⅲ级阶地进一步变形,Ⅲ级阶地的沉降区形状成不规则梯形,并导致隆起区与沉降区的Ⅲ级阶地阶面的高差越来越大,最大高差达 70 米左右。在南宁新生代地幔热柱向南东流动的过程中,南宁盆地东南边缘的屯里断裂在中更新世重新活动,在新杨屋和凤岭等地错断了Ⅲ级阶地,在南宁新二中西侧,断裂两盘Ⅲ级阶地的高程相差近 20 米^①。

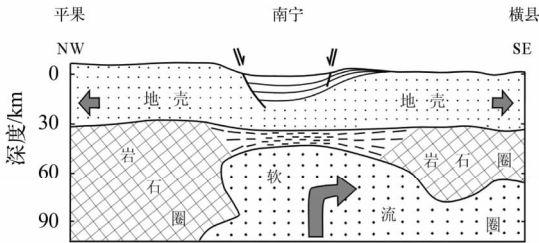


图 6 南宁盆地Ⅲ级阶地变形的动力学模型

Fig. 6 Dynamic model of deformation of the Ⅲ terrace in the Nanning basin

7 结论与认识

1) 南宁盆地及周边Ⅲ级阶地阶面高程存在从南宁盆地往东、往北和往南增大的趋势,大致可以分出Ⅲ级阶地沉降区、隆起区和山地隆起剥蚀区,其中Ⅲ级阶地沉降区主要分布在南宁市主城区。

2) 从Ⅲ级阶地等厚线图和阶面高程等值线图以及断裂活动性上看,南宁盆地及周边Ⅲ级阶地的变形与心圩-韦村断裂和屯里断裂的活动关系不大。

3) 南宁盆地及周边邕江Ⅲ级河流阶地的变形主要是由于南宁新生代地幔热柱热流上隆导致中上地壳变薄,同时热流不断向东南方向流动,南宁盆地底部物质向东南方向缓慢蠕变拉伸,最终使得南宁盆地Ⅲ级阶地产生“挠曲”变形。

① 广西工程防震研究院. 南宁市城市轨道交通 1#、2#线工程场地及附近活动断裂专题研究成果报告[R]. 2009.

参 考 文 献

1 肖义越,陈辉.广西南宁盆地第三系地震年代地层学研究[J].地质科学,1993,28(2):127-134. (Xiao Yiyue and Chen Hui. Study on lower tertiary seismic chronostratigraphy in Nanning basin, guangxi[J]. Scientia Geologica Sinica,1993,28(2):127-134)

2 吴少斌,孔繁业,南宁市地热田成因分析[J].广西地质,2002,15(1):43-47. (Wu Shaobin and Kong Fanye. Genetic analysis of Nanning geothermal field[J]. Guangxi Geology,2002,15(1):43-47)

3 广西壮族自治区地质矿产局.广西壮族自治区区域地质志[M].北京:地质出版社,1985. (Guangxi Bureau of Geology & Mineral Prospecting & Exploitation. Regional geology of the Guangxi Province[M]. Beijing:Geology Press,1985)

4 潘顺安.南宁市新构造运动特征及其意义[J].广西地质,2000,13(1):11-15. (Pan Shunan. The Characteristics and significance of neotectonics in Nanning city[J]. Guangxi

Geology,2000,13(1):11-15)

5 向宏发,等.丽江-小金河断裂第四纪以来的左旋逆推运动及其构造意义:陆内活动地块横向构造的屏蔽作用[J].地震地质,2002,24(2):188-198. (Xiang Hongfa, et al. Sinistral thrusting along the Lijiang-Xiaojinhe fault since quaternary and its geologic-tectonic significance-shielding effect of transverse structure of intracontinental active block [J]. Seismology and Geology,2002,24(2):188-198)

6 曹伯勋.地貌学及第四纪地质学[M].武汉:中国地质大学出版社,1995. (Cao Boxun. Geomorphology and Quaternary geology[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press,1995)

7 李细光,等.南宁新生代软流圈上涌柱构造及其对浅表构造的影响[J].地学前缘,2009,16(4):261-268. (Li Xiguang, et al. Nanning Cenozoic asthenosphere upwelling plume and its influence on the shallow surface structure[J]. Earth Science Frontiers,2009,16(4):261-268)

(上接第56页)

表3 HBCORS 观测数据质量统计(单位:%)

Tab.3 The data quality statistics of HBCORS(unit:%)

| | 时间段 | | | | |
|------------------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| $MP_1 \leq 0.5$ | 97.4 | 98.7 | 98.7 | 98.7 | 100 |
| $MP_2 \leq 0.75$ | 98.7 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| $CSR \leq 10$ | 98.7 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 有效率 $\leq 80\%$ | 98.7 | 97.4 | 97.4 | 98.7 | 98.7 |

4 结 语

1)湖北 CORS 台站站址稳定,CORS 网络整体运行状况较好;

2)选用的 GPS 接收机性能较好,观测数据信噪比高、质量稳定可靠;

3) MP_1 、 MP_2 值较大的台站,经分析主要与水塘、湖泊、高压线等干扰有关。

参 考 文 献

1 陈俊勇,张鹏.在中国构建全球导航卫星连续运行站网及其服务系统[J].测绘科学,2009,34(3):5-6. (Chen Junyong and Zhang Peng. On the continuous operating reference station of GNSS in China[J]. Science of Surveying and Mapping,2009,34(3):5-6)

2 UNAVCO Facility. TEQC tutorial[EB/OL]. <http://facility.unavco.org/software/teqc/tutorial.1.html>,2009-7-16.

3 李军,王继业,熊熊.东北亚地区 GPS 观测数据质量检测和分析[J].武汉大学学报(信息科学版),2006,31(3):209-212. (Li Jun, Wang Jiye and Xiong Xiong. Quality evolution and analysis on GPS data in Northeast Asia[J]. Geo-

matics and Information Science of Wuhan University,2006,31(3):209-212)

4 范世杰,郭际明,彭秀英. TEQC 在 GPS 数据预处理中的应用与分析[J].测绘信息与工程,2004,29(2):33-35. (Fan Shijie, Guo Jiming and Peng Xiuying. Applications of TEQC to GPS data pre-processing[J]. Engineering of Surveying and Mapping,2004,29(2):33-35)

5 聂桂根,王院. TEQC 软件对 GPS 数据质量的评定及软件界面的开发[J].全球定位系统,2003,(4):32-38. (Nie Guigen and WangYuan. GPS data assessment by TEQC program and software interfacedevelopment[J]. GNSS World of China,2003,(4):32-38)

6 李征航,等. GPS 测量与数据处理[M].武汉:武汉大学出版社,2005. (Li Zhenghang, et al. GPS surveying & data processing [M]. Wuhan:WuhanUniversity Press,2005)

7 赵国强,孙汉荣.连续基准网 GPS 数据质量检测与分析[J].城市勘测,2009,(3):73-75. (Zhao Guoqiang and Sun Hanrong. Quality evolution and analysis for crustal movement observation network of China[J]. Urban Geotechnical Investigation & Surveying,2009,(3):73-75)

8 地壳运动监测工程研究中心.中国地壳运动观测技术规范[M].北京:中国环境科学出版社,2005. (Engineering Research Center of Crustal Movement Observation. Technical regulation for crustal movement observation in China [M]. Beijing: China Environmental Science press,2005)

9 丁锐.利用 TEQC 软件对 GNSS 连续参考站选址的数据分析[J].城市勘测,2009,(1):56-59. (Ding Rui. TEQC software to make reference to the data analysis about GNSS continuously operating reference stations choice Data analysis for selection of GNSS stations using TEQC software [J]. Urban Geotechnical Investigation & Surveying,2009,(1):56-59)