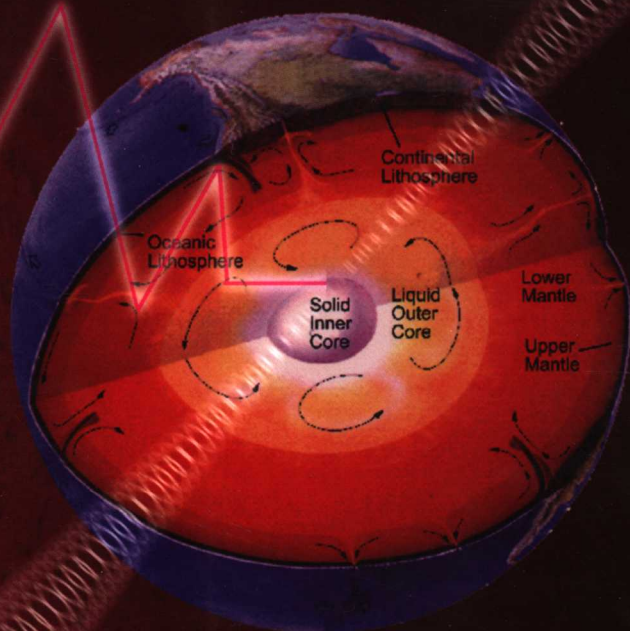




“十五”中国地震预报科技攻关成果系列丛书

GPS、卫星遥感及地球变化磁场 地震短期预测方法研究

中国地震局监测预报司



地震出版社

GPS、卫星遥感及地球变化磁场 地震短期预测方法研究

中国地震局监测预报司

地震出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

GPS、卫星遥感及地球变化磁场地震短期预测方法研究/中国地震局监测预报司.
—北京:地震出版社,2006.12
(“十五”中国地震预报科技攻关成果系列丛书)
ISBN7-5028-3052-9
I. G... II. 中... III. 地震短期预报—研究 IV. P315.75
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 146931 号

地震版 XT200600219

GPS、卫星遥感及地球变化磁场地震短期预测方法研究

中国地震局监测预报司

责任编辑:薛广盈

责任校对:庞娅萍

出版发行:地震出版社

北京民族学院南路9号

邮编:100081

发行部:68423031 68467993

传真:88421706

门市部:68467991

传真:68467991

总编室:68462709 68423029

传真:68467972

E-mail: seism@ht.rol.cn.net

经销:全国各地新华书店

印刷:北京地大彩印厂

版(印)次:2006年12月第一版 2006年12月第一次印刷

开本:787×1092 1/32

字数:301千字

印张:11.75

印数:001~600

书号:ISBN 7-5028-3052-9/P·1309 (3652)

定价:35.00元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题,本社负责调换)

丛书编委会

主 任：岳明生

副主任：李 克 车 时

委 员：张晓东 江在森 刘 杰 蒋海昆
刘耀炜 刘桂萍 李永林 黄蔚北

本书编著者

江在森 邓志辉 丁鉴海
杨国华 张 晶 余素荣 张元生

序 言

地震预报，尤其短时间尺度的预报作为当代自然科学领域里一个难度很大而富有魅力的前沿课题吸引着一代又一代的地震科技工作者为之奋斗不息。其魅力不仅在于地震孕育、发生的许多奥秘有待我们去揭示，更重要的是在于成功的预报可以使许多国人免遭罹难。自从1966年我国正式开展地震预报研究与实践以来，我们既有过不少预报成功的欣慰，也经历了许多遭受挫折的悲痛与沉思。但成功与挫折都给我们以有益的启示，说明地震预报决不是“占星术士”的卜算。在现阶段对某些大地震在震前作出一定程度、乃至较成功的科学预报是有可能的，但要对多数大震作出准确的预报，还需要我们长期坚持不懈、坚韧不拔的努力。在人类历史的长河中，人们对任何复杂事物的认识都有一个从不怎么全面、不怎么深入、不怎么准确到逐渐全面些、深入些的过程。毫无疑问，对认识地震孕育发生过程来说，也是如此。只要认真查阅一下近几个五年计划地震预报攻关研究的成果，必然会得出这样的结论，只要认真研读一下国家“十五”科技攻关项目“强地震短期预测及救灾技术研究”成果，就可以看出，我们的认识又有了新的提升。

“强地震短期预测及救灾技术研究”坚持“研、用”结合的原则，既及时地把研究所得到的新认识应用于地震预报实践，又把预报实践中遇到的新问题、发现的新现象作为攻关研究的重要内容；坚持把普遍性寓于特殊性之中的思想方法，在华北、西南、西北、东南等地区强地震短期前兆特征研究的基础上进行归纳和综合分析，既重视强地震短期前兆的共性表现，又注意不同地质构造之间的差异；坚持在继承基础上的创新，既重视已有研究成果预报经验的应用和常规方法的完善，又立足于创新，通过数值模拟、岩石力学实验和数字化观测资料的应用等，加强强震孕育物理过程和前兆机理及相应的预报新理论、新

方法的探索。从而取得了一批既在科学认识上富有新意，又有重要实用价值的研究成果。所编印、出版的这套丛书正是“十五”攻关的这些阶段性成果的集中体现。它既是广大地震科技工作者集体智慧的结晶，又可将为广大地震科技工作者深入的地震预报研究与实践提供新的借鉴与思考。

这套丛书为“十五”期间地震预报攻关研究阶段性成果的总结，既为我们提供了许多新的认识，也为我们留下和提出许多新的问题。这意味着“十五”预报攻关研究的总结是新的深入研究的开始。面对地震灾害的威胁，广大同行一定会继续以严谨的科学态度，扎扎实实的工作作风，坚韧不拔的精神，立志地震预报理论、技术、方法的创新，在未来地震预报实践中谱写新的篇章，铸造成功预报的新的辉煌，更好地服务于国家、造福于人民。

陈章立

2004年9月1日

目 录

绪 论	(1)
第一章 GPS 观测技术在地震短期预报中的应用研究	(3)
1.1 GPS 观测数据前期处理简述	(3)
1.2 GPS 时序数据中干扰因素的识别与物理分离研究	(7)
1.3 GPS 时序数据中干扰影响的数学分离研究	(14)
1.4 GPS 观测位移时间序列基准选取及分析	(20)
1.5 GPS 基线向量时序数据处理与分析	(28)
1.6 区域相对运动变形参数时序变化初步分析	(33)
1.7 GPS 观测时序数据滤波及异常信息分离初步研究结果	(41)
1.8 区域 GPS 流动观测资料短期异常信息提取	(57)
参考文献	(71)
第二章 遥感观测技术在地震短期预报中的应用研究	(73)
2.1 地震前后断裂带内外的卫星红外温度差异动态过程分析	(73)
2.2 地震前后潜热通量异常研究	(81)
2.3 地面温度的反演与震例分析	(82)
2.4 长波辐射信息的短期地震指征研究	(92)
2.5 地震前地面温度的异常分布与思考	(96)
2.6 用 MODIS 卫星遥感资料分析印度尼西亚苏门答腊 8.7 级地震的 热红外信息	(101)
参考文献	(104)
第三章 地球变化磁场观测资料在强地震短期预报中的应用	(107)
3.1 地球变化磁场与地震	(107)
3.2 地磁日变异常场与强震关系	(114)

3.3 地磁低点位移预报方法强震震例	(123)
3.4 大震前磁场与电离层异常特征	(133)
3.5 地磁低点位移预报地震物理基础	(137)
参考文献	(143)
 第四章 几次强震例综合研究	 (145)
4.1 强震预测思路和可能的技术途径	(145)
4.2 昆仑山口西 8.1 级地震	(146)
4.3 巴楚-伽师 6.8 级地震	(158)
4.4 印度尼西亚苏门答腊 8.7 级地震	(164)
4.5 讨论和认识	(174)
参考文献	(177)

绪 论

从科学技术上完全实现地震预测预报成功,需要对地震机理、地震孕育发生的物理过程有全面的、完整的认识,要能够有效地监视地震的孕育、发生过程,以便根据孕震过程的发展阶段进行地震预测。这一领域的研究进展直接依赖于与孕震过程有关的观测技术的提高和观测资料积累及研究工作的不断深入。近年来地球科学的观测技术有了较大发展,特别是空间观测技术的发展,扩大了人类观察地球运动、变化的视野。科学家认为 20 世纪地球科学进步的一个突出标志是人类开始从太空观测地球,并将得到的数据和信息在计算机网络以地理信息系统形式存储、管理、分发、流通和应用。随着我国空间观测技术的应用发展,探索空间观测技术在地震预测中应用已成为地震预测研究领域的重要课题之一。由于强震过程涉及更大时空尺度的动态变化,应用空间观测技术可逐步从较大时空尺度、多种观测量的全方位立体动态变化来获取与强震孕育过程相关联的信息,这可能是探索强震短期预测的重要途径。

本书是“十五”国家科技攻关延续项目“强地震短期预测与救灾技术研究”所属“空间观测技术在地震短期预测中应用”专题(2004BA601B01-02)研究成果(专题负责人为江在森,主要成员有邓志辉、丁鉴海等)。专题的总体目标为,通过研究与蕴震过程有关的 GPS 连续观测站相对运动、卫星观测热动态信息、地面电磁场与电离层的动态变化,提取强震孕育短期阶段的异常变化特征,建立相应的异常识别方法和判据,应用于强震短期预测。

本专题研究分为三个子专题展开。

第一子专题为“GPS 技术在地震短期预测中的应用研究”,负责人为江在森、杨国华,主要成员有张晶、王敏、张晓亮、王晓强、方颖、侯贺晟。取得的主要进展有:①研究了 GPS 时序观测数据干扰影响的物理分离方法,给出了中国地壳运动观测网络 25 个基准站位置时间序列已知干扰源影响的量级和分布特点等;②研究了 GPS 时序观测数据中干扰影响的数学分离方法,并分析估计了各种周期性干扰影响的量级和分离方法;③研究了 GPS 时序观测的相对基准问题,基于全球 ITRF 参考架的 GPS 站位置时间序列中维护基准稳定性的问题,并研究了建立相对稳定的区域性基准的技术途径;④探索了区域稳定基准的站点位移、多站组合提取变形参数的时间序列,以及数字滤波、小波分析等方法提取地壳运动微动态异常信息方法技术;⑤对强震震例研究表明,从 GPS 连续观测资料中确有可能获取强震前的构造变形微动态异常信息。同时也认识到 GPS 连续观测获得的地壳运动微动态信息是比较复杂的,目前的研究还是初步探索阶段,还有许多问题需要不断深入研究。

第二子专题为“遥感观测技术在地震短期预测中的应用”,负责人为邓志辉、张元生,主要成员有陈梅花、刘德富、刘放、杨竹转、马晓静、陶京玲、郭晓、钟美娇、沈文荣等。取得的主要进展有:①对地震红外异常研究思路的创新,采用断裂带内外红外温度差值变化

来诊断异常,可以在一定程度上排除气象变化等影响因素;②在国内首先引入潜热通量进行地震预测研究,发现了2004年12月26日印度尼西亚苏门答腊8.7级大地震前的潜热通量异常,并对其演化过程进行了分析;③地面实际观测温度与遥感反演温度的对比分析结果表明卫星热红外遥感地表温度与地表实测温度存在一致性的年变关系;④地震前长波辐射异常的研究取得了更多的震例,并在应用中取得了一定的实效;⑤研究发现新疆和青藏高原许多强地震前震中区附近地面温度比多年平均值高 5°C 以上;成组地震活动前,增温异常区范围较广,在短期内将要发生地震的若干断裂带或震中区附近都可能出现异常;孤立型地震前增温异常区的分布比较局限,主要出现在震中附近区域。

第三子专题为“地球变化磁场观测资料在强地震短期预报中的应用”,负责人为丁鉴海,主要成员有余素荣、索云成、肖武军、张天益等。取得的主要进展有:①应用地磁低点位移方法在总结百余次中强以上地震震例的基础上,探索了地磁低点位移“探测—感应—触发”机理;②进一步研究了跨越式发震时间预报方法的物理基础,并应用5种缩小地区的方法,提高预报准确率;③建立统计与物理相结合的地磁低点位移预报方法,特别是跨越式发震时间预报具有明显原始创新和重要实用价值;④将高空电离层资料与地面磁场观测资料相结合,加强电磁四维立体监测系统,深化变化磁场预报地震的物理基础;⑤总结单台、区域及全球地磁日变背景场的变化,为识别异常、减少虚报打下基础。

本书前三章的内容是按三个子专题分别对GPS、卫星遥感热信息以及地球变化磁场与电离层等三种观测资料在地震短期预测应用中要解决的异常信息提取的技术方法进行论述,第四章是在前三章的基础上,对2001年昆仑山口西8.1级地震等三个典型震例进行综合研究,以期从几种观测资料的动态变化来认识了解强地震的孕育发生过程,探索基于空间技术从大—中—小多时空尺度动态观测资料进行强震预测的思路和途径。本书第一章由江在森、杨国华、张晶负责编写,第二章由邓志辉、张元生和陈梅花等负责编写;第三章由丁鉴海负责编写;第四章由江在森、丁鉴海、邓志辉负责编写;在编写过程中,余素荣负责了编排、校稿和图形等工作。

地震预测是世界性的科学难题,新观测技术资料的应用是推动地震预测研究的一个重要方面。虽然通过两年来的研究工作取得一些进展,但无论是从目前资料(如GPS观测目前中国大陆仅有1999年以来开始观测的25个基准站资料),还是对实际问题的研究和认识等方面都存在很大局限性,有许多问题还有待以后不断深入研究。

第一章 GPS 观测技术在地震短期预报中的应用研究^①

国家重大科学工程“中国地壳运动观测网络 (CMONOC)”1998 年开始建设以来,不断产出了大量观测数据,使 GPS 等空间技术在中国大陆地壳运动观测及研究方面有了很大发展。“中国地壳运动观测网络”是以服务于地震预报为主要目的的,怎样从 GPS 观测资料中提取对地震预测有用的信息,是需要不断深入研究的问题。在“十五”国家科技攻关项目中支持了“GPS 技术在地震短期预测中的应用”研究。地震短期预测研究更强调提取地壳运动时间域动态变化,中国地壳运动观测网络建设有 25 个连续观测的基准站,本章分析研究的资料主要来源于这 25 个基准站的观测资料。本章的主要内容包括:

- (1) GPS 观测数据前期处理简述;
- (2) GPS 站位置时序数据中干扰因素的识别,包括从物理模型和数学方法分离干扰影响;
- (3) GPS 观测位移时间序列参考基准选取;
- (4) GPS 基线向量时序数据处理与分析;
- (5) 区域相对运动变形参数时序变化初步分析;
- (6) GPS 观测时间序列数据滤波及异常信息分离初步研究;
- (7) GPS 短期流动观测资料与连续观测资料结合提取短期异常信息。

1.1 GPS 观测数据前期处理简述

GPS 数据前期处理是观测结果进行后续处理和应用分析的基础。近些年的实际状况表明,即使用同样的计算软件,同样的观测数据,不同的人所给出的计算结果不尽相同。为此人们进行了有益的探讨,有些方面达成了共识,使计算结果的偏差有所减小。但到目前为止尚未得到彻底解决,这是因为涉及到的问题比较复杂,另外人们根据自己的理解对有关问题的认识也并非完全一致等。

上述问题仅是在处理流动观测资料中所遇到的。由于以前我国尚无 GPS 连续观测资料,所以,以提取地壳线性运动为目标的常规处理方法的微细缺陷,在进行较大时间跨距的资料处理时难以发现或可以忽略,但若以提取时序观测资料中的异常信息(因为量级较小)为目标时就完全有可能纳伪或失真,所以框架点的选取、框架点的数量、框架点的位置、框架点位坐标的质量、对框架点的约束、计算模式的选取、以及基准的转移等等,对计算结果或信息的提取都将是至关重要的,也就是说资料的前期处理合适与否直接影响资料后期处理中提取异常信息的真伪与结论的曲直。到目前为止由不同的计算者(王敏等)所给出的结果仍存在差别,应该说这方面的问题尚未完全解决。由于本子课题所使用的 GPS 前期处理数据是

^① 参加本章研究工作的有江在森、杨国华、张晶、王敏、张晓亮、王晓强、方颖、侯贺晨。

来自于 GAMIT/GLOBK 软件的计算结果，所以我们以此软件为基础，提出在计算过程中有关参数的选用模式和计算步骤。

理论分析表明，影响 GPS 定位的主要误差为：①系统误差，包括卫星轨道误差、卫星和接收机的钟差、卫星和接收机天线的中心相位偏差、大气折射误差（对流层与电离层折射等）；②偶然误差，包括信号的多路径效应引起的误差及观测误差等；③各种地球物理效应（固体潮、极潮、海潮、大气负荷等）。除此之外，还要结合连续站和仪器相对固定的特点，地震短临信息主要体现在差异变化的特点，参考框架的框动与尺度变化问题等，来决定计算模式选择与有关参数的确定。

在 GAMIT 软件中，由人来控制的参数和文件较多。所以对于时序资料的处理在一般情况下应该有相同的计算模式，这样处理的结果才具有可比性。但是，若计算模式选取不当，就可能会包含较大误差或放大误差及非构造运动信息等，甚至难以有效地提取构造运动信息。所以计算模式的选择是很重要的。然而计算模式选用的合适与否并没有确定的准则，具体问题具体分析。此外，它还受计算者认知与经验的制约。

1.1.1 前期数据处理的计算模式

根据需求，并综合上述有关分析、GAMIT 软件的说明及实际试算，我们最后选择的计算模式为（利用 GAMIT 计算时所用的主要控制文件，以下字符有关含义，均可查有关文献和软件使用说明，这里就不再具体论述和解释了）：

```
Station Constraint = Y
Satellite Constraint = Y
All a e i node arg per M rad1 rad2 rad3 rad4 rad5 rad6 rad7 rad8 rad9
0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
Type of Analysis=0-ITER
Data Status=RAW
Choice of Observable=LC-HELP
Choice of Experiment=RELAX.
Ionospheric Constraints=0.0 mm + 8.00 ppm
Zenith Delay Estimation=YES
Number Zen=13
Zenith Constraints=0.50
Zenith Model=PWL
Zenith Variation=0.02 100.
Elevation cutoff=10.
Atmospheric gradients=YES
Gradient Constraints=0.01
Station Constraint=Y
Ambiguity resolution WL=0.15 0.15 1000. 99. 1000.
Ambiguity resolution NL=0.15 0.15 1000. 99. 1000.
Geodetic Datum=GEOCENTRIC
Reference System for ARC=IGS92
Initial ARC=YES
```

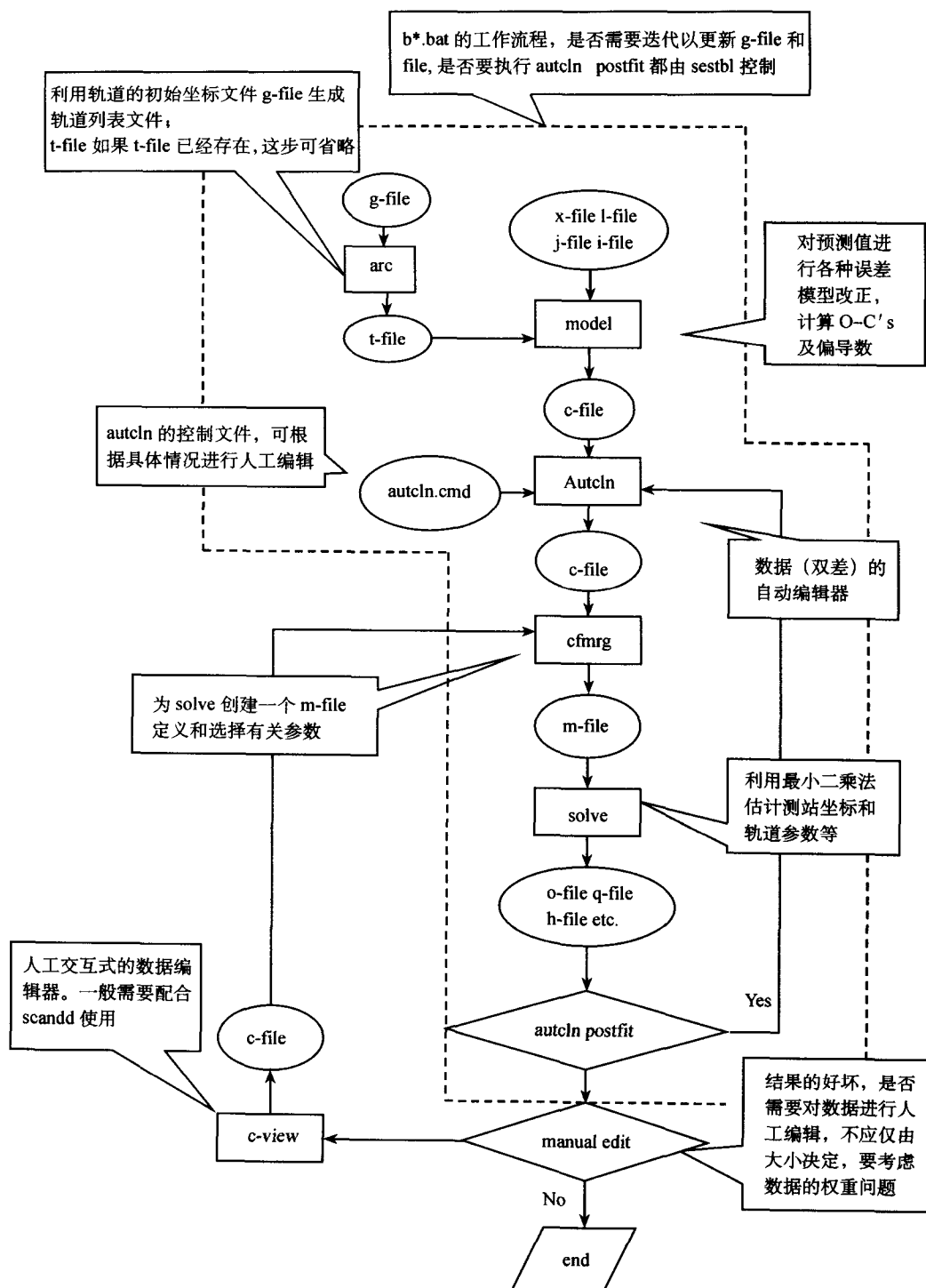
```

Update T/L files=L _ ONLY
Update tolerance=0.1
Final ARC=NO
Yaw Model=YES
Delete eclipse data=NO
AUTCLN Command File=autcln.cmd
AUTCLN Postfit=R
Use N-file=Y
Delete AUTCLN input C-files=YES
Earth Rotation=7
Estimate EOP=15
Wobble Con=0.01 0.01
UT1 Con=0.00001 0.01
Tide Model=3
Antenna Model=ELEV
Radiation Model for ARC=BERNE
Inertial frame=J2000
SCANDD control=NONE
Decimation Factor=4
Quick-pre observable=LC _ ONLY
Quick-pre decimation factor = 10
Station Error = ELEVATION 7.0 4.3

```

一般情况，利用 GAMIT 软件可直接解算站点的位置（坐标），在工程上这样做是可以的（GAMIT 说明书也是这样讲的）。事实上，我们发现有的计算者也这样做来获得站点位置的时序结果。但我们认为这样做还不是最理想的。这是因为：①这样做参考框架的“框动”相对大一些，由于 GAMIT 软件最多只能解算 50 个点（实际上很少用到极限，这是因为计算时间将被大大的延长），所以参考点数量与地域的选择受到了限制，只能在中国大陆周边选用国际 GPS 站，由于 GPS 计算对参考站一般都是施加约束，而不是固定，所以这些站点越少，“框动误差”相对就越大；②网形强度相对低，正因为如此，其计算的精度与准度也随之相对降低；③由于参考站主要位于中国大陆周边，故距我国的连续站较近，所以可能有相同或相近的微动态变化信息被忽略掉了；④难以进行由于框架的尺度变化所带来的改正；⑤无法更多地利用 ISG 所提供的资源与信息为我们服务等。所以我们选择了 GAMIT+GLOBK 的计算模式（这样做上述问题都得到了较好的解决）。运行 GAMIT 软件获得无基准解即可（这时对参考站约束的要求相对不是那么严谨），然后通过地面的全球基准或区域基准作进一步的约束或转换（利用 GLOBK 软件），这样在根本上就统一了坐标基准。

此外，对于 GAMIT 所生成的结果及有关中间结果要进行逐个逐站地阅读，不能只看其解算精度。这是因为数据筛选和编辑是由自动编辑模块 AUTCLN 完成的，有时会出现由于某种问题使某站的观测数据被大量的删除（只保留它认为内符合比较好小部分数据），所以精度指标无法反映此类问题。出现此类问题，要查找原因（必要时采用手工编辑），重新计算。必须要有一定数量的观测值，以确保解算成果（h 文件，单日解，它是 GLOBK 的输入文件）的准度。图 1.1.1 为 GAMIT 运行的流程图。



— 6 —

GLOBK 实际上是一个卡尔曼滤波器, 虽然它有若干种作用, 但对于我们来说只要它输出每天 (或每个时间段) 测站坐标的最佳估值即可 (这时计算量也就相对减小了)。然而最佳估值的获得, 在这个处理过程中参考站的选用与约束是至关重要的。为此, 我们首先利用 IGS (International GPS Service) 国际站的观测结果所给出 h 文件 (可以下载) 和我们计算所获得的区域性 h 文件 (利用国内连续站和周边国际站的观测结果) 进行捆绑 (由 GLOBK 中的一个程序完成), 生成每天的 H 文件。由于新的 H 文件所包含的国际站较多, 这样就为我们进行参考站的筛选提供了良好的基础。首先对可能作为参考站的时序结果进行处理, 然后观察它们及其变化特征 (质量、线性度、连续性等)、它们的地域分布、它们的距研究区距离等, 最后根据这些确定参考站和对参考站的约束程度 (不一定都给相同的约束)。

1.1.2 对理论分析与实际试算的基本认识

综合上述分析与实算, 我们认为获得较好计算结果所具备的基本条件是:

(1) 要保证参考框架点具有一定的数量, 若参考框架点过少会降低网形的强度和待定点的精度;

(2) 要保证参考框架点分布的均匀性, 这有助于提高网形强度和质量, 确保待定点的解算精度;

(3) 要保证参考框架点坐标的质量, 点位移动的线性度越高越好, 这可使参考框架点误差传递相对较小;

(4) 要尽量保证参考框架点选用的稳定性, 以减少由于频繁调整参考框架点而带来的扰动;

(5) 对点位的约束不可过紧, 也不可过松, 紧了容易造成网的畸变, 松了容易导致网的晃动, 约束量可以不一致 (因为要考虑参考站分布的均匀性与网形强度等);

(6) 处理过程中模式的选择与参数的确定要保持相对恰当与稳定, 也应具有普适性的特点, 除非存在明显高空物理场的变化而导致计算结果的偏差等;

(7) 在全球框架或准全球框架下, 坐标转换应选用 7 参数模式 (保证基准的一致性)。

由于测站的分布非常稀疏, 肯定存在我们尚未认识的问题与信息, 考虑到中国地壳运动观测网络二期工程将使 GPS 基准站增至 260 个左右, 所以我们的数据前期处理方法也兼顾了以后的需求。尽管目前还不太完善, 但为今后的研究及地震预测的应用奠定了较好的基础;

(8) 每站结果都要保证一定的观测值, 否则慎用。

这是我们在资料的处理时所获得的基本认识。

1.2 GPS 时序数据中干扰因素的识别与物理分离研究

GPS 观测得到的地壳形变场通常包含有构造形变与非构造形变两类信息 (Mao *et al.*, 1999; Dong *et al.*, 2002; 张飞鹏等, 2002)。对连续观测站而言, 非构造形变周期性成分的存在对提取大尺度的构造运动并不会产生根本性的影响, 但其影响会通过构建参考框架而使参考框架存在周期性的变化 (Blewitt and Lavallee, 2002; Dong *et al.*, 2003); 对大量的流动观测而言, 捕捉到的非构造形变信息是无法通过统计分析的方法从地壳运动信息中直接分

离出来的。去除非构造形变信息对于有效运用 GPS 数据研究构造形变场至关重要。

非构造形变是地球对作用力的一种弹性响应。固体潮、极潮都属于非构造形变，基于较精确的理论模型，其改正通常是在 GPS 载波相位数据的处理阶段完成（GAMIT、GIPSY 和 Bernese 软件包都具有此功能）。但更多的地球物理效应所引发的非构造形变，因其量级相对较小且需要依赖于空间对地观测数据而常常被忽略，比如大气和各态水的质量迁移所导致的地表形变等。我们运用国际卫星对地观测资料及各类地球物理模型，定量计算海潮、大气、积雪和土壤水、海洋非潮汐 4 项负荷效应造成的地表形变，并以此研究和修正这些非构造形变对中国地壳运动观测网络 GPS 基准站位置时间序列的影响。

1.2.1 基准站的数据处理

中国地壳运动观测网络基准站的数据处理采用 GAMIT/GLOBK 软件（King and Bock, 2000; Herring, 2000）完成。数据处理的策略是首先利用 GAMIT 获得 25 个基准站（表 1.2.1）及周边 IGS（International GPS Service）站的区域单日松弛解，然后利用 GLOBK 将区域单日松弛解与 SOPAC（Scripps Orbital and Permanent Array Center）产出的全球单日松弛解结合起来，并通过 IGS 核心站求解相对于全球参考框架 ITRF2000（International Terrestrial Reference Frame 2000）的相似变换 7 参数，从而获得 ITRF2000 下的单日解。

表 1.2.1 中国地壳运动观测网络基准站站名对照表

点名	代码	点名	代码	点名	代码	点名	代码
十三陵	BJSH	武汉	WUHN	琼中	QION	乌鲁木齐	URUM
房山	BJFS	德令哈	DLHA	盐池	YANC	塔什库尔干	TASH
蓟县	JIXN	乌什	WUSH	厦门	XIAM	永兴岛	YONG
绥阳	SUIY	泸州	LUZH	广州	GUAN	西宁	XNIN
海拉尔	HLAR	昆明	KMIN	拉萨	LHAS	西安	XIAA
长春	CHUN	下关	XIAG	上海	SHAO	鼎新	DXIN
泰安	TAIN						

我们处理了 1999 年 3 月 1 日至 2004 年 2 月 7 日近 5 年的数据，获得了 25 个基准站在 ITRF2000 下的位置时间序列。其中，删除了 TAIN 站 1999 年 7 月 8 日至 2000 年 9 月 3 日由于天线进水所产生的无效观测；去除了 CHUN 站 2000 年 7 月前在稳定性存在问题的旧测站墩的观测；对 DLHA 站 2001 年 11 月 14 日昆仑山口西 $M_s8.1$ 地震的同震位移、WUHN 站 2002 年 1 月 26 日改造观测墩产生的位置突变、以及 BJSH 站 2000.1434 时刻、XIAA 站 2000.1790 时刻和 XNIN 站 2001.2620 时刻尚未查明原因的位置突变进行了拟合改正。为了突出时间序列显现的非构造形变，我们还滤去了其线性成分，最终结果显示为测站位置的时间序列图（图 1.2.1）中的 L1 曲线。由于篇幅所限，这里只给出了具有区域代表性的房山（BJFS）、拉萨（LHAS）站的时间序列图。

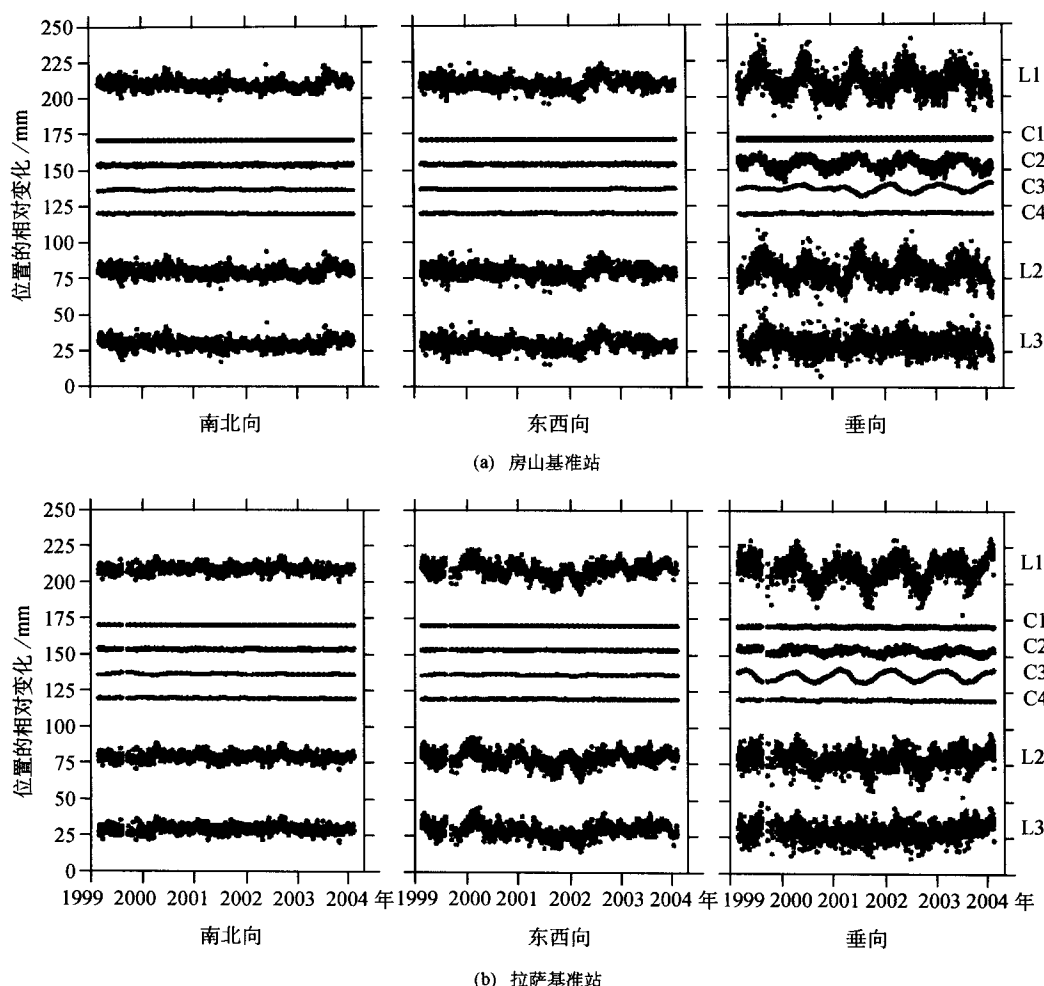


图 1.2.1 测站位置的时间序列

曲线 C1、C2、C3 和 C4 分别表示海潮、大气、积雪和土壤水、海洋非潮汐负荷变化引起的测站位置的变化；曲线 L1、L2 和 L3 分别表示 GPS 数据处理得到的原始位置、负荷改正后的位置和负荷改正加周年、半年波拟合改正后的位置；L2 上的深黑色实曲线为谐波拟合的改正值曲线

1.2.2 非构造形变的定量计算

(1) 海潮。

海潮是地壳对海水质量在日、月引力的作用下重新分布所产生的弹性响应。海潮改正是分潮波进行的，由全球海潮模型计算测站对应的每个潮波径向、东西向和南北向的幅度和相对于格林尼治子午线的相位滞后，最后改正为各潮波的叠加 (Dennis and Gérard, 2004)。目前有多个全球海潮模型可用。这些模型除所依赖的数据源略有不同外，有些模型因未顾及一些浅海的海潮效应会对其临近区域产生不正确的预报值。相比之下，采用 TOPEX/Poseidon 卫星数据建立的 GOT00.2 模型对中国区域是比较适宜的 (<http://www.oso.chalmers>).