

国家攀登计划项目

现代地壳运动与 地球动力学研究

青藏高原岩石圈 现今变动与动力学

STUDY ON THE RECENT DEFORMATION
AND DYNAMICS OF THE LITHOSPHERE
OF QINGHAI-XIZANG PLATEAU

3

地震出版社

P548.27-53

国家攀登计划项目

现代地壳运动与地球动力学研究

总编 叶叔华 院士

青藏高原岩石圈现今变动与动力学

马宗晋 汪一鹏 张燕平 主编

地震出版社

图书在版编目(CIP)数据

青藏高原岩石圈现今变动与动力学研究/马宗晋等主编. 北京:地震出版社,2001.8

ISBN 7-5028-1938-X/P. 1086

I. 青... II. 马... III. ①青藏高原—岩石圈—变化—研究②青藏高原—岩石圈—动力学—研究 IV. P548.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 051184 号

青藏高原岩石圈现今变动与动力学研究

马宗晋 汪一鹏 张燕平 主编

责任编辑:李 玲

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:68423031

门市部:68467991

传真:68467972

总编室:68462709 68423029

传真:68467972

Email: seis@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:2001年8月第一版 2001年8月第一次印刷

开本:787×1092 1/16

字数:493千字

印张:19.25 彩插:4

印数:001~900

书号:ISBN 7-5028-1938-X/P·1086(2488)

定价:50.00元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题,本社负责调换)

National Major Research Project

Investigation on Present – day
Crustal Motion and Geodynamics

Chief Editor: Prof. Ye Shu-Hua

**Study on the Recent Deformation and Dynamics of the
Lithosphere of Qinghai-Xizang Plateau**

Editor: Ma Zongjin Wang Yipeng Zhang Yanping

Seismological Press

总 序

近年来,由于空间测量技术的发展,地面定位精度已达厘米,甚至毫米级,使监测当时或近乎实时的地壳运动成为可能。中国大陆是全球地壳运动最复杂的地区之一,由此引发的自然灾害十分频繁。研究中国地壳运动,对于灾害预测和地球科学的研究都是很重要的。

由中国科学院、国家地震局、国家测绘局和总参测绘局有关单位共同发起和承担的国家重大基础研究(攀登)项目“现代地壳运动和地球动力学研究”于1991年立项,历时十载,于2001年结题。

本项目基于空间测量技术来测定和研究我国大陆的地壳运动及其动力学,对全球背景和重要地区分别加以研究,并以重力场和水准面的研究为补充,测量技术与数据处理方法的研究为支持,共分为六个子课题:

- (1)中国地壳运动全球背景研究;
- (2)中国大陆主要活动带现今地壳运动及动力学研究;
- (3)青藏高原岩石圈现今变动与动力学研究;
- (4)中国沿海地区陆地与海平面垂直运动研究;
- (5)中国地区重力场与大地水准面研究;
- (6)现代地壳运动的空间测量技术和数据处理方法研究

十年以来,在有关单位研究人员的共同努力下,本项目已取得许多成果,给出了中国大陆地壳运动的初步图像。本项目是大地测量、地球物理、地质、地震及天文的多学科交叉,是百人联合共同奋斗的结果,它不仅促进了国家重大科学工程“中国地壳运动监测网”(CMONC)的建立,也推动了“亚太空间地球动力学”(APSG)国际合作计划的建立。

作为本项目的首席科学家,我衷心感谢国家科技部的鼎力支持,衷心感谢各位研究人员和管理人员的通力合作。本论文集六个子课题分别编为六个分册,刊载本项目的重要成果和论文,谨供同行参阅。

叶叔华
2001年7月

Preface

Recently, owing to the development of space measurement techniques, the precision of the positioning on the earth surface has reached cm or even mm level, and thus, real time or quasi - real time monitoring of crustal motion become possible. China mainland is one of the most complex and strong crustal motion areas in the world, as the consequence, natural disaster happened very frequently. Investigation on the crustal motion in China is very important for disaster predication as well as for geosciences study.

The National (Climbing) key project on basic research Investigation on Present - day Crustal Motion and Geodynamics was initiated in early 1992 and jointly responded by the relevant institutes under the Chinese Academy of Sciences, undertaken the China Seismological Bureau, the State Bureau of Surveying and Mapping, and the Military Bureau of Surveying and Mapping. After ten - year efforts, it now comes to the conclusion phrase.

The main objective of the project is to measure, monitor and study, using space techniques, the crustal motion of China continent and its dynamics. Investigations have been made on the global background and some important areas separately, complemented with the study on gravity field and the geoid, supported by the study on the measuring technique and the method of data processing. The project divided into six subtitles:

1. Study on the global background of the crustal motion of China continent;
2. Study on the China mainland main active zones present - day crustal motion and geodynamics;
3. Study on the recent deformation and dynamics of the lithosphere of Qinghai - Xizang Plateau;
4. Study on the vertical movement of continent and sea level in Chinese coastal area;
5. Study on the gravity field and geoid in China;
6. Study on space geodetic techniques monitoring crustal motion and data process

Under joint efforts of the researches in the related institutes for the ten years, many scientific results have been gained, the preliminary pattern of the crustal motion in China continent has been established. Being multi - disciplinary of Geodesy, Geophysics, Geology, Seismology, and Astronomy, and as the result of joint efforts of more than one hundred people, the project has promoted the establishment of the national key scientific engineering project Crustal Movement Observation Network of China (CMONC) as well as pushed on the international cooperative project of Asia - Pacific Space Geodynamics (APSG).

As the chief scientist, I herewith express my hearty thanks to the State Department of Science and Technology for its strong support, and is also extremely grateful to the Chinese Academy of Sciences, the China of Seismological Bureau, the State Bureau of Surveying and Mapping, and the Military Bureau of Surveying and Mapping for their sincere assistance and support, and express my heartfelt gratitude to all the researchers and administrating persons for their joint efforts.

The selected works of our project divided into six volumes according to the six subtitles. The books published the important results and papers of this project, we sincerely hope that it may benefit our colleagues as a reference.

Ye Shu - Hua

July 2001

前 言

青藏高原是全球岩石圈变形最强烈的地区之一,因而过去的一个世纪吸引了全世界的地球科学家前来调查与研究,尤其是上个世纪70年代中期以来,关于青藏高原形成、演化、运动学与动力学成因机制的讨论非常热烈,在诸如青藏高原隆起的年代学进程、青藏高原侧向挤出量的估计及高原隆起的动力学机制等重大问题上仍然存在着严重的分歧与认识上的差异。

科学问题上的不同见解是正常不过的事。从某种意义上说,自然科学中不同意见的讨论与争论是推动科学发展的一种积极因素。更何况涉及到空间尺度上极宽极深的青藏高原岩石圈变形与动力学问题,尽管看起来全世界的研究文献浩如烟海,但从回顾板块学说提出至大陆岩石圈计划实施将近半个世纪的地球科学发展历史来看,人们对青藏高原的认识可能还只停留在近似于“瞎子摸象”,“分科论道”的初步阶段。

究其原因,一方面青藏高原岩石圈变形与动力学是一个牵扯到整个地球科学许多分支学科的高度综合性和理论性的问题,要揭开其中的科学之谜,要远远超出青藏高原的广度,远远超出岩石圈的深度,并要突破现有地球科学一些基本理论的概念框架,其科学上的难度远超出人们原先的设想。另一方面,在以往对青藏高原的研究中,存在着一些学科之间不甚平衡的现象,在实际材料与认识方面存在着一些重要的缺漏与薄弱环节。其中,地质学家们热烈争论的青藏高原运动学模型,由于缺少高原及其邻区现今地壳运动的观测资料而失去了实证的检验参考系,也使地质学家赖以确立的“将今论古”现实主义原理在青藏高原研究中不能完善地体现。其次,关于青藏高原乃至更广大区域深部地球物理与地球化学材料的缺乏使得关于青藏高原动力学问题的讨论多少有点勉为其难,“巧妇难为无米之炊”。

上一世纪的最后20年,一些高新技术的出现为地球科学发展带来了新的机遇与动力。其中,空间大地测量技术、宽频带数字地震技术与计算机技术的迅猛发展为了解地球现今地壳运动及地球深部状态开拓了新路,展示了人们获取大范围、准同时、高精度的地壳变形材料的良好前景。叶叔华先生非常适时地提出了“现代地壳运动与动力学研究”的项目构想,团结了天文学、大地测量学、地球物理学与地质学等各个学科的人员,为发展空间大地测量技术在我国现今地壳运动与动力学研究中的应用开了先河,在获得国家科技部的支持与批准后,正式成为国家攀登项目。

十分庆幸的是,叶叔华先生对青藏高原岩石圈现今变动与动力学研究给予特

别的关注与支持,因而使这一问题成为“现代地壳运动与动力学研究”攀登项目之下的6个课题之一。从而,实现了从1991~2000年持续10年的研究。

青藏高原岩石圈现今变动与动力学研究,实在是一个包容内容很广、很深也很难的题目。之所以仍然以这样的一个标题作为我们课题的名称,与其说是课题组要在有限的期限内或多或少地在这一研究方向上向前走出一步。还不如说,课题组里年长的和年青的研究人员表达了一种接力跑似的将这一领域的探索不断进行下去的决心与愿望。中国的地球科学家要抓住时代的契机,将空间大地测量等高新技术应用于青藏高原现今地壳运动的观测与研究,再结合地球科学其他学科的成果,从而能够在扎实的观测事实的基础上提出青藏高原岩石圈现今变动的合理模型,并力求对其动力学机制展开一些讨论。

在本项目开展的过程中,国内空间大地测量的工作有了长足的发展。其中,国家重大科学工程“中国地壳运动观测网络”的实施是一件值得庆幸的大事。此外,各部门乃至一些大学都进行了局部地域的空间大地测量观测与研究,有些还是与国外有关机构合作进行的,所有这些观测与研究对本项目与本课题的工作都起到了推动与借鉴的作用,其中有些观测资料与成果也被吸收到了本书的内容之中。

本课题的实施分为两个阶段,1991~1995年为第一阶段,马宗晋院士作为当时的课题负责人为本课题科学思路、技术方案的制定作出了重要贡献,参加第一阶段本课题工作的主要成员有:王启樑(中国地震局地震研究所)、张赤军(中国科学院测量与地球物理研究所)、郑斯华(中国地震局分析预报中心)、汪一鹏、邓起东、刘国栋、高名修、郑剑东、卢演涛、洪汉净和陈文寄(中国地震局地质研究所)。1996~2000年为执行本课题的第二阶段,汪一鹏和张燕平(国家基础地理信息中心)被任命为课题负责人,课题组主要成员有:王琪(中国地震局地震研究所)、王泽民(武汉大学测绘科学与技术学院)、张全德(国家基础地理信息中心)、郑斯华、汪汉胜(中国科学院测量与地球物理研究所)、张家声和沈军(中国地震局地质研究所)。

本书主要反映了1996~2000年期间课题研究工作的部分成果。其中第一部分现今地壳运动的观测与分析勾绘出了青藏高原及其周邻地区地壳垂直与水平运动的总貌,无论是数十年期间大地水准测量的结果,还是近年来GPS观测资料的综合,都是本地区一份非常宝贵的观测与分析成果。第二部分关于青藏高原活动构造的研究,从新的视角提出了高原活动构造东西部的差异,尤其对于青藏高原东南部右旋走滑边界的调查与研究对于讨论高原运动学模型提供了新的认识。第三部分一组论文涉及高原深部地球物理场与动力学作用,它们从不同角度探讨了青藏高原岩石圈强烈变形、隆起及侧向挤出的成因机制,其中不乏有价值的见解与思想。最后一组论文是本课题实施第一阶段中已发表过的文章,之所以放入

本书,因为青藏高原的问题不应该只着眼于青藏高原本身,青藏高原是所谓的地中海—喜马拉雅全球性构造带的一部分,将青藏高原放入全球构造框架中认识也许会产生新鲜的思想。马宗晋等的两篇论文正给人以这样的启迪。

由于不同学科使用习惯的不同,与“Lithosphere”相对应的中文术语在地质学界多使用岩石圈一词,而在其他一些学科也有使用岩石层一词,但其代表的内涵是相同的,在本书中尊重不同学科作者的使用习惯,并未硬性统一,这是需要向读者说明的。另外,在本书中 Qinghai - Xizang Plateau, Tibetan Plateau 或 Tibet Plateau,在没有特别说明所指范围的情况下,含义也是相同的。在本课题执行过程中与本书组织过程中,以上诸位课题组同仁的全力支持与精诚合作是本书得以成功的关键。除上述同仁外,特别要提到积极参与本课题工作并为本书撰写论文中还有:高原(中国地震局分析预报中心)、熊熊和方剑(中国科学院测量与地球物理研究所)。

在本书面世之时,对项目首席科学家叶叔华院士及专家委员会全体专家数年来的指导与关心表示特别的感谢。对上海天文台林清先生事无巨细的关照深表谢意。沈军博士在处理文稿中投入了大量时间与精力,在此一并表示谢意。

马宗晋 汪一鹏 张燕平
2001年7月

目 录

现今地壳运动观测与分析

中国大陆现今地壳运动和构造变形

——GPS 观测与速度场 杜瑞林 王琪 张培震(1)

中国大陆现今地壳运动和构造变形

——速度场与活动地块 张培震 王琪(21)

珠峰地区及青藏高原地壳垂直运动特征研究 王泽民 陈俊勇 庞尚盖等(36)

青藏高原亚板块近期垂直形变运动的状态 张全德 张燕平 李国智等(44)

利用地震矩张量和 GPS 速度反演喜马拉雅块体现今运动学特征

..... 王泽民 许才军 陈俊勇(54)

新疆地区板内块体近期运动初探 张全德 张燕平 张鹏等(63)

活动构造研究

青藏高原地壳结构和新构造运动的东西差异

——论青藏高原构造变动的非均一性 马宗晋 张家声 汪一鹏(75)

青藏高原三维变形运动随时间的变化

——论青藏高原构造变动的非平稳性 马宗晋 张家声 汪一鹏(88)

西藏南部嘉黎断裂带第四纪右旋走滑运动研究 沈军 任金卫 汪一鹏等(106)

中国云南德钦-中甸-大具断裂带第四纪右旋走滑运动 沈军 汪一鹏 任金卫(123)

滇西北玉龙-哈巴雪山的递进变形、FT 年代和区域构造联系 张家声 韩竹军(136)

青藏高原隆升的深部和远程效应

——我国中、西部 6 大盆地航磁异常的构造解释 张家声 李燕 张剑玺(148)

深部状态、地球物理场与动力学问题

青藏高原岩石层强度的弱化 熊熊(172)

青藏高原物质东流与岩石层强度的关系 熊熊(177)

增厚大陆岩石层热边界层对流剥离的数值模拟 熊熊(185)

中国及邻区岩石层密度三维结构 方剑 许厚泽(193)

青藏高原及邻区大地水准面异常场源结构分析 方剑(199)

山区重力点值的推估及其理论依据

——以珠穆朗玛峰为例 张赤军(205)

青藏高原隆升的地幔动力学机制研究进展 熊熊(214)

青藏高原的地震学研究(综述) 郑斯华 高原(223)

使用振型叠加方法研究 1997 年 11 月 8 日西藏玛尼 $M_s7.9$ 地震震源机制

..... 高原 郑斯华(240)

青藏高原与全球构造

青藏高原活动构造基本特征	汪一鹏(251)
我国大陆地壳块体运动的平均图像及其动力学意义	洪汉净 汪一鹏 沈军等(263)
全球构造的反对称性及其动力学意义	马宗晋 高祥林(277)
现今全球构造特征及其动力学解释	马宗晋 高祥林(281)

Study on the recent deformation and dynamics of the lithosphere of Qinghai – Xizang Plateau

Content

Observation and Analysis on Present – day Crustal Movement

Present – day Crustal Movement and Tectonic Deformation in Continental China GPS Surveys and velocity field	Du Reiling Wang Qi Zhang Peizhen(1)
Present – day Crustal Movement and Tectonic Deformation in Continental China GPS velocity field and Active tectonic Blocks	Zhang Peizhen Wang Qi(21)
On Crustal Vertical Movement in Mt. Everest and Tibet Plateau Area	
.....	Zemin Wang Junyong Chen Shangyi Pang(36)
The motion state of recent vertical deformation in the Tibet plateau plat	
.....	Zhang Quan – de Zhang Yan – ping Li Guo – zhi et al.(44)
Analyze Crustal Deformation in Himalayan Area by Inverting Seismic Moment Tensors and GPS Velocity	Zemin Wang Caijun Xun Junyong Chen et al.(54)
The Preliminary Study on the Recent Blocks Movement in Xinjiang plate	
.....	Zhang Quan – de Zhang Yan – ping Zhang Peng et al.(63)

Studies on the Active Tectonics

Differences of the Structure and Neotectonic Movement in the west and the east part of the Qinghai – Xizang Plateau – Review on Inhomogeneous Deformation in the Qinghai – Xizang Plateau	Ma Zongjin Zhang Jiashen Wang Yipeng(75)
Changes of the 3 – d Movement Sense Along with Time in the Qinghai – Xizang Plateau – Review on Non – smooth Deformation in the Qinghai – Xizang plateau	
.....	Ma Zongjin J.S. Zhang Y.P. Wang(88)
The Quaternary right lateral strike slipping of the Jiali fault zone in south Tibet	
.....	Shen Jun Ren Jinwei Wang Yipeng et al.(106)
The Quaternary right – lateral atrikey – slipping Deqin – Zhongdian – Daju fault in Yunnan, China	Shen Jun Wang Yipeng Ren Jinwei(123)
Progressive Deformation, age data and Regional Tectonic Relationship of the Yulong – Haba Mountain Range, Northwest Yunnan	J.S. Zhang and Z.J. Han(136)
Deep and Long Distance Deformation Response to the Tectonic Processes of the Qinghai – Xizang Plateau Raising – Tectonic explanations of Aeromagnetic Anomalies in 6 Large Basins in Mid – and Western China	J.S. Zhang and Z.J. Han(148)

Deep Structure, Geophysical Field and Dynamics

Weakening of Lithospheric Strength in Tibetan Plateau	Xiong Xiong(172)
Relationship Between Eastward Mass Flow of Tibetan Plateau and Lithospheric Strength Structure	Xiong Xiong(177)
Numerical Simulation of the Convective Removal of the Thickened Thermal Boundary Layer of Continental Lithosphere	Xiong Xiong(185)
Three Dimensional Distribution of Lithospheric Density Beneath the China and its Adjacent Region	Fang Jian Xu Hou - ze(193)
The Study of Geoid Anomalies Sources Beneath Qinghai - Tibet Plateau and Its Adjacent Regions	Fang Jian(199)
Estimation of the Gravity in the Mountain area and the Theoretical Basis: the Result at Mt. Qomolangma	Zhang Chi - Jun(205)
Progress of Study on mantle dynamic mechanism for uplift of Tibetan Plateau ...	Xiong Xiong(214)
Seismological Studies on the Qinghai - Xizang Plateau(Review).....	Zheng Sihua Gao Yuan(223)
Studies on Source Mechanism of Large Mani Earthquake of 8 November 1997 in China Xizang (Tibet) by Mode Summation	Gao Yuan Zheng Si - Hua et al.(240)

Tectonics of Qinghai - Xizang Plateau and the Globe

Principal Features of the Active Tectonics in Qinghai - Xizang Plateau	Wang Yipeng(251)
Mean Velocity Field and The Dynamic Implication of Continental Crust - Block's Motion in China	Hong Hanjing Wang Yipeng Shen Jun et al.(263)
Asymmetry of the Global Tectonics and its Dynamic Implications	Ma Zongjin Gao Xianglin(277)
The Features of Contemporary Global Tectonics and its Dynamic Explanation	Ma Zongjin Gao Xianglin Ren Jinwei(281)

现今地壳运动观测与分析

中国大陆现今地壳运动和构造变形^①

——GPS 观测与速度场

桂瑞林 王 琪

(中国地震局地震研究所 武汉 430071)

张培震

(中国地震局地质研究所 北京 100029)

摘 要

利用中国大陆及周边地区 1991~2000 年间一系列观测资料,我们得到了青藏及周缘地区(天山,川滇,华北等)340 多个 GPS 站点的位移速率,形成该地区统一的现今地壳运动位移场。该速度中固定测站速率测定精度优于 1 mm/a,大部分流动测站速率测定精度优于 3 mm/a,速率场点位分布和测定精度水平基本能满足青藏及周缘地区大尺度地壳运动与主要活动带构造变形和地球动力学研究。

1 引 言

中国大陆地壳是一个由多层次板内地块组成的动力学大系统。受周缘板块的挤压、板内地幔对流和各块体间的相互作用影响,大陆地壳在广阔的时空域内不间断地进行着不同层次的构造变动(Molnar, 1988)。迄今为止,对此运动、动力过程的认识基本来自第四纪以来主要活动断层大量观测调查及百余年来地震矩张量反演。一般而言,地质学、地震学对地壳整体运动研究仍是一种间接推算(England 和 Molnar, 1997),受资料来源及分析方法上的制约,其准确性与可靠性在短期内难有根本提高,对现今地壳运动形态的精细观测更难有作为。

① 国家攀登项目“现今地壳运动与地球动力学研究”和地震联合基金(197068)资助。

大地测量是精确量测现今地壳变动最行之有效的办法。原则上,任何地壳变动都应表现为地表上两点间的几何变化(移动和旋转),只要在一定时空域内开展充分观测,完全能够以必要的精度和时空分辨率直接测定现今地壳运动的位移场。但传统测量技术受地形条件的限制,观测精度低,付出巨大,结果却难以令人满意。在空间测定技术出现前,除与精密水准有关的中国大陆垂直形变外,大尺度水平运动监测基本上是空白,已有观测成果仅限于局部范围。上世纪 80 年代以来,以全球定位系统(GPS)为代表的空间测地技术从根本上突破了传统测量的局限性,迅速成为地壳运动监测最基本、最适用的技术(Dixon, 1991),监测包括青藏高原在内的中国大陆现今地壳运动才真正有了坚实基础。

在过去的近十年里,国内外众多学者采用 GPS 技术,在包括中国大陆在内的亚洲地区进行了大量观测工作,取得了不少积极进展。但所能见到的基本仍是局部地区观测结果,关注区域特定问题(朱文耀等,1997;Shen et al., 2000; Bilham et al, 1997; 蔡宏翔等, 1997, King et al., 1997, Abdrakhmatov et al., 1996, Larson et al, 1999, 党亚民等, 1998, 王琪等; 2000, Bendick et al., 2000, Chen et al., 2000, Zhu et al., 2000),少有用现有观测资料对中国大陆进行系统性综合研究。更重要的是:由于资料处理时所选用软件(包括版本)、物理模型、处理算法、轨道、坐标基准等差异,如果仅仅将局部结果简单地拼合,难以保证结果的一致性,有损研究的可靠性、科学性。

我们以十年来中国大陆以及周边地区 GPS 观测为基础,从研究大陆内部现今地壳运动特征出发,通过结合全球与中国大陆及周边地区 GPS 资料,用成熟软件及标准模型、统一基准等最佳方式,系统性地分析已有资料,初步给出了包括青藏高原、主要活动构造带在内的大尺度现今地壳运动图像,为分析青藏高原内部各构造活动区相互运动关系,把握青藏及周缘地区现今地壳水平运动的整体特征提供了迄今最全面的大地测量证据。本文重点介绍 GPS 监测进展以及数据分析方面的情况。

2 GPS 观测

GPS 是由美国军方发展起来的卫星导航系统,主要由 24 颗均匀分布的高轨道卫星及地面监控网站组成,提供全球、实时、全天候、三维定位与时间服务。GPS 大地测量基于两个以上地面接收机连续同步地跟踪同一组 GPS 卫星,通过对记录到的 GPS 卫星 L 波段载波相位进行相关处理,来精密测定地面上各测站间相对位置,无需测站间几何通视。由于 GPS 接收机轻便价廉、野外作业基本不受地形限制,非常适用于地形条件复杂地区(如我国西部广大多山地区)的观测作业。

1988 年中德合作滇西地震预报实验场整体大地测量实验,揭开了中国大陆地区现今地壳运动 GPS 监测研究的序幕。之后的十多年里,根据地震科学研究和监测的需求,地震部门陆续在青藏高原内部、喜马拉雅及周缘地区(如川滇、河西走廊、新疆、华南、华北等)选埋大量流动 GPS 网点(图 1),并与国内有关单位合作布设国家 GPS 大地控制点或形变监测点。从 1991 年初到 2000 年夏,基于这些站点,各有关单位系统地开展监测工作,陆续完成了不同地区 GPS 网点的复测,积累了大量可用于地壳运动研究的观测资料(参见表 1)。此外,国外学术机构在中国及周边国家选建过一定规模 GPS 监测网站,尤其是永久性固定台站,有力地支持了本地区现今地壳运动监测与研究活动。有关各区历年 GPS 观测的简介见附录。

在这十年里,参与野外观测的单位众多,每次 GPS 观测的目的也不近一致,其间 GPS 接收

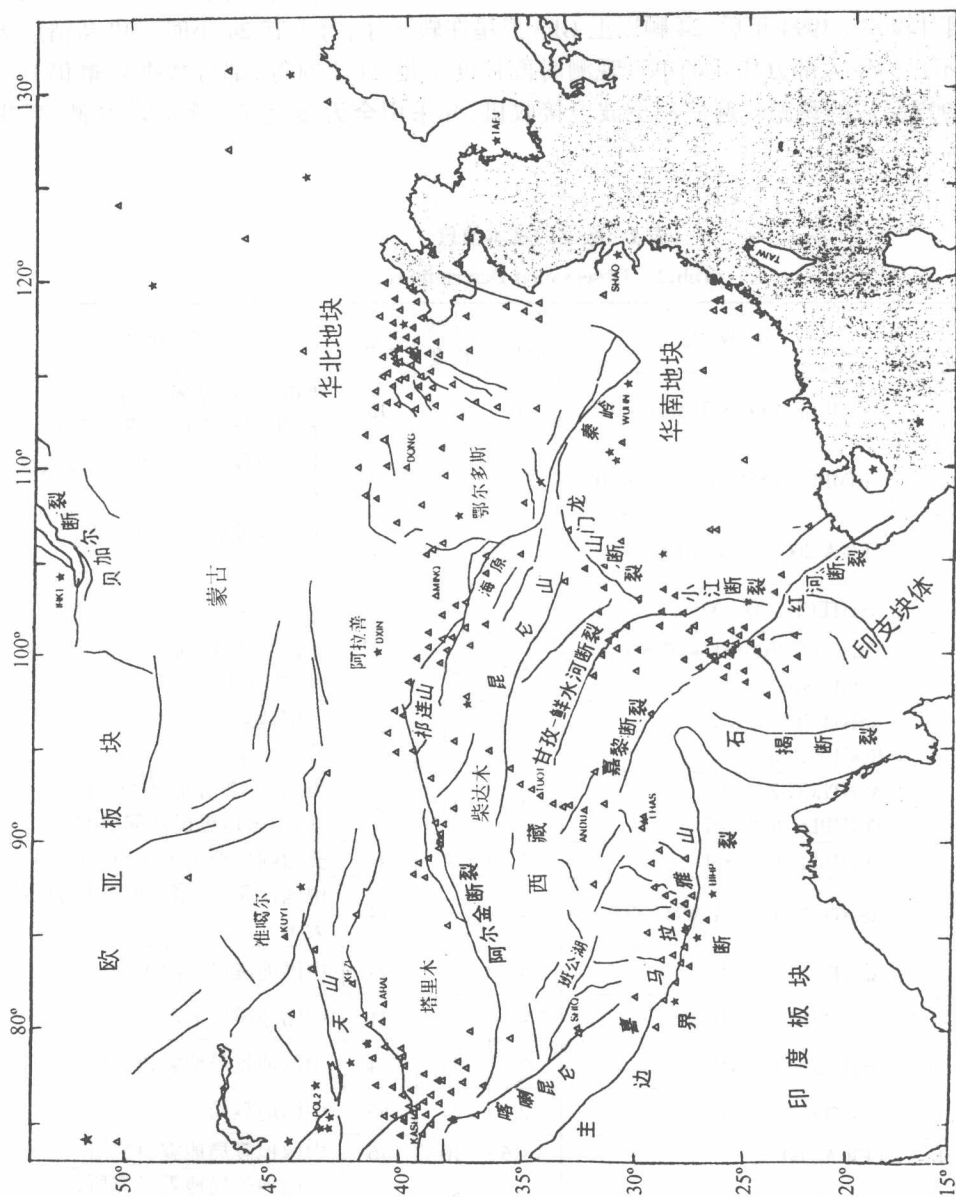


图 1 1991 ~ 2000 年间中国大陆及周边地区具有连续或重复观测的 GPS 点位分布
Fig. 1 GPS site distribution in China and neighboring areas (1991 ~ 2000)

机不断更新换代,90年代初期 GPS 星座尚在建设中,因此十年里每次野外施测的观测纲要——联网模式、单站观测时段数、日时段长度、GPS 接收机、数据采样率等,均不完全一样,因此 GPS 资料质量不近相同。

1991~1993年间,每天仅有部分时间(大约8~16小时)满足观测要求,接收机可同时跟踪出现在测站地平线15°以上天空的4颗以上卫星。当时大部分接收机通道较少(6~8个)、并大多采用平方跟踪技术记录L2载波的半波相位。因此就10年总体观测质量而言,早期观测资料的质量相对较差。1994年后,24颗以上GPS卫星在轨工作,每天有24小时可供高精度大地测量观测,不过由于大部分作业的单日观测时段长度不足24小时等,部分数据质量仍有一定缺陷。而1995年后的观测普遍使用全波段接收机、并采用全天24小时、多时段观测,数据质量一般很好。

表 1 数据的基本信息
Tab.1 Observation Descriptions

作业地区	时 间 (年·月)	接 收 机	基本 时段	时段 长度	测站 ^①	观 测 单 位
青 藏 及 喜 马 拉 雅	1991.3~4	TRIMBLE 4000 SST, WM-102	5	6~8	15	美国科罗拉多大学, 长安大学, 中国地震局地震研究所
	1992.10	TRIMBLE 4000 SST, LEICA 200	3,5	8	13	中国地震局地震研究所, 武汉大学
	1993.6~7	LEICA 200, ROGUE8100	2~4	8~12	16	中国地震局地震研究所, 武汉大学
	1994.4~5	ASHTECH MD-XII	2	9	6	长安大学
	1995.6~11	TRIMBLE 4000SST/4000 SSE, ROGUE8100	1~3	24	30	美国阿拉斯加大学, 长安大学, 武汉大学
	1997.4~7	ASHTECH Z-XII, ROGUE8100	1~4	24	24	中国地震局一测中心, 武汉大学
	1998.8~9	ASHTECH Z-XII, TRIMBLE 4000 SSI	3	24	10	美国阿拉斯加大学, 长安大学, 中国地震局地震研究所
	2000.6	TRIMBLE 4000 SSI	3	24	6	美国阿拉斯加大学, 长安大学
川 滇	1991.10~11	ASHTECH P-XII, WM-102	1~5	5	14	中国地震局地震研究所, 武汉大学
	1997.4~5	ASHTECH Z-XII	4	24	28	中国地震局一测中心
	1999.10~12	ASHTECH Z-XII	2~3	24	31	中国地震局地震研究所
	2000.5~6	ASHTECH Z-XII	3	24	34	中国地震局地震研究所
	2001.01	ASHTECH Z-XII	2	24	56	中国地震局
天 山	1994.9	LEICA 200	3~6	10	16	中国地震局地震研究所
	1998.8~9	TRIMBLE 4000 SST/4000 SSE	3	24	45	中国地震局地震研究所, 新疆维吾尔自治区地震局
	1999.7~8	ASHTECH Z-XII	2	24	16	中国地震局地震研究所, 新疆维吾尔自治区地震局
	2000.5	ASHTECH Z-XII	2	24	36	中国地震局地震研究所, 新疆维吾尔自治区地震局