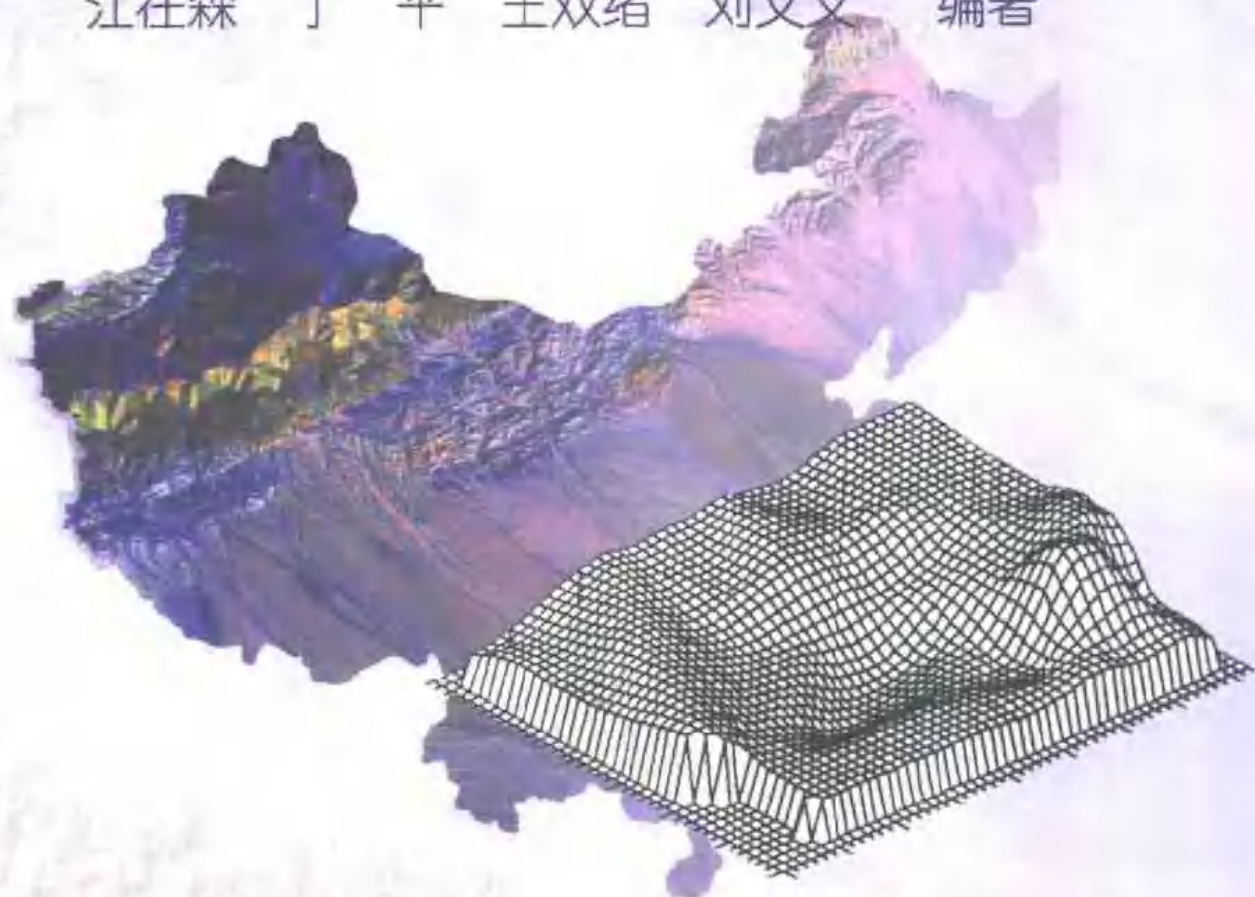


中国西部 大地形变监测与 地震预测

江在森 丁 平 王双绪 刘文义 编著



地震出版社

中国地震局 95—09 项目资助

中国西部大地形变监测 与地震预测

江在森 丁 平 编 著
王双绪 刘文义

地 震 出 版 社

2001

图书在版编目(CIP)数据

中国西部大地形变监测与地震预测/江在森等编著.
北京:地震出版社,2001.3
ISBN 7-5028-1854-5

I. 中... II. 江... III. ①地壳形变—关系—地震预
报—研究—西北地区 ②地壳形变—关系—地震预报—
研究—西南地区 IV. P315.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 10119 号

中国西部大地形变监测与地震预测

江在森 丁 平 编 著
王双绪 刘文义
责任编辑:马 兰
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
E-mail: 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 3 月第一版 2001 年 3 月第一次印刷

开本:787×1092 1/16

字数:314 千字

印张:12.25

印数:0001~800

书号:ISBN 7-5028-1854-5/P·1068 (2397)

定价:20.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题,本社负责解决)

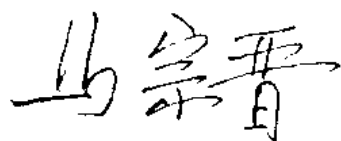
序

从 1966 年邢台地震之后,我国有计划的地震预测预报研究已经进行了 30 多年。美、日等国有计划的地震预测研究大约也搞了 30 多年,但看来地震预测研究的进展比人们在 20 世纪 60、70 年代时估计的要慢些,至今国内外的研究还处在探索阶段,地震预测仍然是世界性科学难题。这一领域的研究进展直接依赖于与孕震过程有关的观测资料积累与研究工作的不断深入。中国西部现今构造运动强烈、强震频发,大地形变监测网络主要布设在重要地震带上,尤其是著名的南北地震带上,是研究大陆强震孕育与预测问题的有利场所。

地球物理学和地质学在各自的研究领域对强震的机理与预测研究都做出了积极的贡献,但是,目前这两个工作领域所积累的资料和所能监测的时间尺度,一个偏于太短,一个偏于太长;而大地测量所积累的资料和研究方法可能弥补其间的不足。用重复大地测量结果来研究地壳运动,进而研究地震预测问题而发展起来的大地形变方法(学科),可望获得强震孕育过程中短期时空尺度的观测资料,在进行强震预测研究方面有着好的前景。实践表明,精确定量的大地形变监测结果只有与地质构造、地壳结构相联系,并与地震活动分析相结合,才可能对观测结果进行更深入地研究和认识。江在森等同志近些年来工作正是朝这个方向上努力。他们合著的《中国西部大地形变监测与地震预测》一书,反映了这方面工作的初步进展。该书介绍了中国西部大地形变监测布局;大地形变数据处理及形变信息分离方法;中国西部监测区域 20 多年来大地形变监测结果所反映的大地形变场演变及其所揭示的地壳运动的特征;在大量资料的基础上研究了大地形变与强震活动的关系,以及进行地震预测的研究思路、途径和方法的探索,并以实例探索了中长期强震危险区判定、地震大形势分析、中短期预测的方法途径,以及作者对推进地震预测研究的设想和发展战略的思考。

针对大陆内部很大的一个强震活动区域,从台网布局到 20 多年的监测结果及其分析研究方法的提出与改进、预测经验的总结等,密切结合实际,力求把地壳形变与地质构造的变动结合起来的 research 思想,这种几十年如一日地系统监测、系统研究、系统总结的工作方式和精神是值得推崇的。20 世纪 80 年代以来,GPS 等

新的观测技术的应用,已显著地提高了对地壳水平运动的观测能力。GPS等观测资料的积累将为揭示地壳运动和地震孕育机理的研究提供重要的依据。我相信,以本书作者们所代表的大地形变监测与研究的工作者,一定会取得更新、更多的成果,为推进地壳形变与地壳构造变动的交叉研究,为地震预报作出重要贡献。

Handwritten signature of Ma Zongji in black ink.

2000年7月7日

绪 言

最近几十年来,随着现代科学技术的发展和人类生存与进步的需求,地球科学各分支都取得了长足进展,其中作为一门新兴的交叉边缘学科——地壳形变测量学,也呈现出旺盛的生命力。地壳形变测量学以大地变形观测为基础,研究现今地壳构造运动和地震孕育过程的形变特征及其机理,直接为强震预测及其它形变灾害研究服务。本学科具有其它学科没有的独特的观测仪器和对象,在比较广阔的时间域里能够获得各种尺度的高精度的地壳运动数据,已成为研究地壳运动、地球动力学、地震预测以及其它形变灾害等方面不可缺少的组成部分。目前已是地学领域中十分活跃且深受关注的一个分支。

地壳形变测量学与地学领域里的其它学科一样,以观测为基础。它应用当代最新技术、设备,以地壳变形为研究对象,提供大陆地壳各构造单元的垂直形变、水平形变、倾斜、重力场变化及固体潮汐的动态演变,从而有可能建立现今地壳运动模型,进而预测地壳渐变过程与突变事件(地震、火山、滑坡等),探索地壳运动的动力源。地形变观测按时间分为连续观测和以数日、数月、数年为周期的离散观测;从空间域可分为定点形变(倾斜、固体潮)观测,数十米至数百米以及上千米范围的断层位移观测、几千米至几百千米大范围的区域形变场观测,以及上千至数十千米的构造块体和全球板块运动监测;按观测手段有空间技术(GPS、VLBI、SLR、人卫重力、INSAR等)、常规大地测量技术(精密水准测量、电磁波测距、精密重力测量、基线测量、三角测量)等,以及洞体钻孔应变、倾斜、各类固体潮汐因子等观测。各类观测方式构成地壳形变学科特有的,由数秒到百年的宽频带时间尺度;由定点到数千千米的空间尺度,有物理量、有几何量,有离散值,有连续值,构成较为完备互补的观测体系,为学科的深入研究与发展奠定了坚实的基础。

大地形变监测源于静态大地测量,是地壳形变学科领域中主要的组成部分,特别是空间技术的迅猛发展,为大地形变监测开辟了广阔的前景。国内外大量观测、研究表明,板内构造形变一般达每年数毫米的量级,板缘的形变量更大,中国西部活动断裂的滑移速率每年也有数毫米,在一般情况下,水平形变量较垂直形变量要大。除利用近年来迅速发展的空间测量技术外,大地形变监测主要的常规技术手段有精密水准测量、电磁波测距、精密重力测量及基线丈量等。在监测方式上,一般分为控制较大面积的区域监测网和跨断层小图形位移测量。在目前的

装备与技术条件下,垂直形变测量和常规水平形变测量精度可达 10^{-6} ,空间技术(GPS)可达 10^{-9} 量级,流动重力测量精度为 $10 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。因此,采用合理的观测纲要,完全可以精确地测定数年间的构造形变累积量。如1975年中国海城地震前,在震区不到 100 km^2 的范围内,十几年间隆起量达40mm;1990年青海共和地震,在震中区二三十公里范围内,包含同震形变在内的垂直隆起量达300多毫米;西安市地面沉降严重的地区,每年可达数十毫米量级的下沉,沉降严重的漏斗区年沉降量达一二百毫米。由不均匀沉降所导致地裂缝水平位移量也有与此相当量级。此外,布设在活动断裂带上特殊部位的地形变监测场地,不少强震前也都观测到了可信的断层位移信息。由大地形变监测所获取的这些资料,推动了地震形变分析与强震预测,震源机制反演,地形变灾害防治等项科研工作的进展。同时,这些相关研究工作的进展,也促进了大地形变监测技术与理论研究的进一步深化。

我国自1962年广东新丰江水库地震后,开展了库区形变监测。1966年邢台地震后,组建了专业地形变监测队伍,在全国主要地震带开展了地形变监测工作。30多年来,积累了较为丰富翔实的地形变资料,并获得了一些极其宝贵的地震形变数据;经过“六五”清理攻关,“七五”实用化攻关,“八五”以短临预报为主的深入攻关,“九五”又以强地震的中短期(1年为尺度)预报为重点深入攻关,显示出大地形变监测在地震预测研究领域中的地位日趋重要。以最初数据采集、积累、纯测量精度分析,定性描述形变场演化,发展到今天能运用多种处理技术,定量化分离,提取孕震信息,研究形变场动态演化与强震活动关系,建立起地壳应力-应变场图像,进而判断地震大形势,圈定强震危险区。大地形变监测与分析,在地震预测研究中占有了重要的一席之地。

地震预报是被公认的世界性科学难题,国内外的研究目前均处于探索阶段。地震预测预报研究的突破,从根本上依赖于人类对地震孕育发生规律的认识和掌握;地震预测研究过程又属于观察自然的“被动实验”过程,只能在有地震活动的地域内孕育地震时进行。这一领域的研究进步直接依赖于与孕震过程有关的观测资料与研究工作的不断深入。地震是地壳构造运动过程中的事件,而地壳形变是地震孕育发生过程中最直接的伴生现象。中国西部现今构造运动强烈,也是强震活动特别频繁的地区,因而是进行地震研究工作的最佳场所。尤其是布设有大量大地形变监测网的、著名的南北地震带,是研究大陆强震孕育与预测问题的理想场所。中国地震局第二地形变监测中心等单位在中国西部的一些重要的块体

交接地带,包括青藏块体东北缘的祁连山—河西地区、青藏块体与鄂尔多斯块体交接的西(吉)海(原)固(原)与兰(州)天(水)武(都)地区、华南与华北亚板块交接地带的关中地区、川滇菱形块体地区、北天山地区等,建立了区域水准、跨断层流动观测、流动重力等观测网、点,并相互连接构成规模较大的中国西部监测系统。在西部地区,区域网已进行了 20~30 年的大地形变监测,积累了大量观测资料,并把这些观测资料用于地震分析预测实践和现今地壳运动的研究工作,已取得了一定的成绩。本书是作者多年来从事大地形变监测和地震分析预报工作实践经验与体会、认识的积累,并参考了其它人的研究成果。写作目的有三点:第一,介绍中国西部监测区域 20 多年来大地形变监测结果,研究它们所反映的大地形变场演变特征及其所揭示的地壳运动状态和特征;第二,初步研究大地形变与强震活动的关系,在有关研究成果基础上,初步归纳提出在现有条件下利用大地形变资料进行地震预测的研究思路、途径和方法,并分析大地形变与地震预测研究方面的现状和问题,探讨推进地震预测研究的战略问题等;第三,为今后地震预报研究的突破性进展积累资料与经验,并把大量的大地形变监测结果获得的生动直观的地壳运动图像集中展示出来,提供给对地壳形变与地震预测研究领域有兴趣的科研人员,希望对推进地震预测研究有积极意义。

大地形变监测是进行地震监测的重要方法之一。围绕大地形变与地震预测主题本书分为五章进行论述:第一章,中国西部大地形变监测布局。介绍大地形变监测的科学思路,多种监测网、点空间分布特征,以及复测情况等。第二章,大地形变数据处理。介绍了一些基本方法以及近年来新研究应用的有关方法,也介绍了“九五”预报攻关研究的一些新的内容。数据处理中强调了提取对地震分析预报有意义的信息。第三章,中国西部大地形变场演变与地壳运动。通过大量观测结果构成的形变场图像的展示,研究了大地形变场演化及其所揭示的地壳运动特征,包括分监测区形变场的研究和多个区域形变场的综合研究。这一章所展示的资料信息不仅对地震预测研究有用,对研究相关地学问题亦有参考价值。第四章,大地形变与地震预测研究。包括研究思路的探索、大地形变时空分布与地震活动的关系、中长期地震危险区判定、地震大形势分析,以及年度与中短期预报几方面的实践探索,这一章更具有探索性。第五章,问题与展望。包括大地形变方法进行地震预测研究方面的问题讨论,推进地震预测研究工作取得进展的设想和战略问题,以及对大地形变学科的展望。

本书由江在森同志主编,主要参加撰稿工作的有丁平、王双绪、刘文义等同

志,第二章第一至第四节、第四章、第五章由江在森执笔;绪言、第一章由丁平同志执笔;王双绪同志执笔撰写了第三章;刘文义同志撰写了第二章第五节及第三章中有关数值分类学应用的研究。由于本书书稿主要是在两年之前完成的,现在回过头来看还有许多不成熟的东西,加上作者的学识水平有限,经验不足,书中难免有讹误之处,恳请读者斧正。

本书的撰稿工作还得到地震出版社马兰同志的热情帮助;中国地震局第二地形变监测中心巩守文研究员审阅了本书全稿,并提出了大量的修改意见和建议。在此作者表示衷心感谢!还要特别感谢马宗晋院士在百忙之中给本书写序!

编 著 者

2000.5.20

目 录

第一章 中国西部大地形变监测网布局	(1)
第一节 大地形变监测网布局思路	(1)
1.1 直接为地震预报服务	(1)
1.2 监测现今板内活动地块的运动	(2)
1.3 建立高精度全面监测网	(2)
1.4 采用整体监测模式	(2)
1.5 形成相对独立的区域监测网	(2)
1.6 “点-线-面”相结合的布网监测思路	(2)
1.7 复测周期问题	(3)
第二节 中国西部大地形变监测布局概况	(3)
2.1 垂直形变网	(3)
2.2 流动重力网	(5)
2.3 水平形变网	(5)
2.4 跨断层场地	(5)
第二章 大地形变数据处理	(7)
第一节 大地形变数据处理目的及内容	(7)
1.1 大地形变数据处理的目的	(7)
1.2 大地形变数据处理的主要内容	(7)
第二节 区域监测网大地形变基本信息的获取	(8)
2.1 动态平差原理	(8)
2.2 水准监测网的分段速率整体平差	(9)
2.3 曲面拟合法进行地壳运动空间连续分布的解算	(17)
2.4 应用最小二乘配置求解地壳运动的空间分布	(20)
第三节 大地形变场的信息分离	(27)
3.1 空间域垂直形变信息分离方法	(27)
3.2 按时间域进行垂直形变场信息的分离	(39)
第四节 断层形变信息分离与合成	(40)
4.1 断层形变观测信息处理方法概述	(40)
4.2 断层形变信息的分离与合成(基本处理方法)	(41)

第五节 盲检技术在地震预报中的应用研究	(47)
5.1 盲检技术在断层形变地震分析预报中的应用	(47)
5.2 应用盲检技术进行震例研究的结果	(50)
第三章 中国西部大地形变演化与现今地壳运动	(54)
第一节 中国西部大地形变场演化特征	(54)
1.1 中国西部大地形变监测资料积累简况	(54)
1.2 各监测区大地形变场动态演化过程	(54)
1.3 中国西部大地形变场演化特征	(86)
第二节 南北地震带断层形变综合分析	(87)
2.1 甘宁青部分地区现今构造形变分析	(89)
2.2 川滇菱形块体现今构造形变分析	(93)
2.3 南北地震带形变信息的南北差异性分析	(105)
第三节 大地形变与现今地壳运动研究	(110)
3.1 大地形变时空分布特征	(110)
3.2 大地形变与现今地壳运动特征	(113)
第四章 大地形变与地震预测研究	(116)
第一节 研究思路与方法途径	(116)
1.1 对孕震过程的认识	(116)
1.2 研究思路与方法	(119)
第二节 大地形变的时空分布与强震活动的关系	(121)
2.1 大地形变时空分布	(121)
2.2 大地形变的时空分布与地震活动	(122)
第三节 利用大地形变资料判定强震危险区	(123)
3.1 祁连山-河西走廊地区大地形变场演变与地震	(123)
3.2 唐山 7.8 级、丽江 7.0 级、门源 6.4 级地震前的形变场演变对比	(131)
3.3 利用大地形变资料判定强震危险区	(135)
第四节 大地形变时空特征与地震大形势分析	(138)
4.1 关于地震大形势与大地形变	(138)
4.2 进行地震大形势分析的基本思路	(139)
4.3 中国西部近期地震大形势分析	(139)
第五节 利用大地形变资料进行中短期预报实践探索	(153)
5.1 对甘肃永登 5.8 级地震的中短期预报试验	(153)
5.2 对新疆阿图什 6.9 级、乌苏南 5.8 级地震的中短期预报实践	(158)

5.3 关于中短期预报问题的讨论和认识	(161)
第五章 问题与展望	(164)
第一节 地震预测研究	(164)
1.1 大地形变监测现状与问题	(164)
1.2 大地形变与地震预测中的实际问题	(165)
第二节 推进地震预测研究的战略问题	(173)
2.1 地震预测的科学难度	(173)
2.2 推进地震预测研究的战略对策	(173)
第三节 地壳形变测量学科展望	(176)
3.1 地壳形变测量学科及其基本任务	(176)
3.2 地壳形变学科展望	(177)
参考文献	(181)

第一章 中国西部大地形变监测网布局

中国及其邻近地区处于印度洋板块、太平洋板块和菲律宾板块的联合作用下。印度洋板块的活动对中国西部大陆的影响最大，在其直接碰撞推挤下，地壳运动水平高，强震活动的强度大，频度高，是研究地壳运动和强震的有利场所。但是，西部地区的自然条件恶劣，经济发展落后，交通不便，又给大地形变监测带来诸多不利因素。在这样一个地区，如何贯彻地震工作方针，如何布设新形变监测网，是西部大地形变测量布局应当深思的问题。

第一节 大地形变监测网布局思路

大地形变监测网是进行大地形变测量的基础。形变监测网的建立与观测等都采用了大地测量的技术和方法。例如，垂直形变监测网与水平形变监测网分开建立，采用不同的坐标系统。流动重力监测网自成体系。大地形变、流动重力监测网精度估计方法与大地测量网完全一样，选、造、埋、观工作没有什么显著不同。但是，两者建网的目的迥然不同。国家大地测量是为了在全国范围内建立统一的水平位置和高程的基本控制网，主要为国民经济建设和国防建设服务，是静态测量。大地形变监测网是为了获得地壳形变场演化过程，直接为地震服务，是动态测量。由于建网目的不同，两者在布局思路上有显著的差异。具体实施中，在对测点的分布密度和地形条件要求方面更为灵活。由于大地形变测量是动态测量，故要研究复测周期等问题。地壳的几何变形和物质运移是由形变监测网中测点观测值的变化反映出来的。所以，监测网布设在哪里，如何布设十分重要，这将直接影响到对地震的分析工作。

中国西部大地形变监测网是1966年邢台地震以后陆续布设的。最初，利用改造了国家水准网的一部分测线，国家地震局自己选埋了一些新测线组成了垂直形变监测网。从70年代开始在控震构造带上布设了一些规模较小的三角网和测距网。与此同时，还在陕甘宁青新川滇各省（区），在一些主要活动断裂带上布设了一些固定形变观测台和一大批跨断层流动观测站。1990年在国家地震局科技监测司的指示下，地形变专业委员会对全国地形变监测网络进行了调整优化，并确立了地壳形变整体的思路。至于GPS测量网的布设较晚，滇西网始建于80年代中期，其它大约是90年代才开始布设的，直到“中国地壳运动观测网络”启动以后GPS网才逐渐完善起来。

中国西部大地形变监测网建立完善的过程，在监测网布局上有些值得借鉴的思路。

1.1 直接为地震预报服务

大地形变监测网是直接为地震预报服务的，必须布设在主要地震带上。根据历史地震资料，地震学家在中国大陆西部划出了十几条地震带，涉及地域极广。在这些地震带上都布设监测网是不切合实际的，不仅自然条件和经济能力不允许，实际上也是不必要的。因此，按照地震工作方针，只在有一定的经济建设规模，人口比较稠密，社会影响显著的主要地震带地区布设大地形变监测网。如著名的南北地震带上，祁连山-河西走廊、南北天山等地震带上。大地形变监测网的布设始终坚持服务于中强以上地震预测，尤其是大震预测这一主题。

1.2 监测现今板内活动地块的运动

中国大陆是由大小不同的许多活动地块组成。监测地块活动方式是研究中国大陆地壳运动的一个方面,也是研究大陆强震机理与地震预测中更深层次问题的主要内容。位于活动地块交接带上的褶皱隆起与断陷盆地构造带是反映地块活动的敏感部位,这里的地壳物质最易变形、流动,是构造差异运动特别显著的地区。也是易于孕育强震的地区,大地形变监测网应尽可能地覆盖这些地区,甚至布设较为密集的测点,并进行加密观测。这对探索重要活动地块的相互作用方式,动力学机制等问题都有重要作用。全国 GPS 网的建成对研究活动地块十分重要。

1.3 建立高精度全面监测网

大地形变监测网不分等级,均要由高精度全面网组成。构造运动十分缓慢,就以几何形变来说,每年的变化量大约是 10^{-6} 量级(形变量与测程之比);就是在地震孕育过程中也是在 $10^{-5} \sim 10^{-4}$ 量级之间。为了监测到如此微小的变化量,必须采用目前最先进的高精度观测技术。为了获得比较均匀的点位观测量精度,不能像大地测量控制网那样采用分级控制原理,而必须布设成同精度的全面监测网。

1.4 采用整体监测模式

大地形变监测网由垂直形变监测网、水平形变监测网、重力监测网以及由断层形变监测站构成的网络四部分组成。各类监测网必须相互配套,组成大地形变整体监测系统。地壳构造运动是一个极其复杂的物理过程,不仅有几何量的变形,还伴随着物质的运移;不仅有连续的变化过程,还存在不连续的突变的现象。因此,必须利用各种监测手段,把各种监测网有机的结合起来。即把几何形变监测和重力变化监测结合起来,把常规大地测量和空间大地测量技术结合起来,把块体运动的监测和深大断裂的监测结合起来,形成一个综合的地壳形变整体监测系统。使大地形变测量不仅能够研究构造活动的运动学特征,还可以探讨其动力学特征,而且能由地表观测量反演地壳深部的应力应变和物质分布状态。

1.5 形成相对独立的区域监测网

大地形变监测网应由一些相对独立的区域网组成。大地形变测量是一个动态测量过程。中国西部的测网布设面积广阔,人力物力条件有限,不可能在同一时段内进行观测,势必要分区域、分时段分别进行观测。一般应按地质构造单元划分成一定大小的监测区域。每个区域网是一个相对独立的子系统,并按一定的周期进行观测。这不仅便于观测工作的组织实施,而且每个区域网的资料统一、完整,有利于该区的地壳运动研究和强震分析。各测区之间又相互连结,构成规模较大的中国西部大地形变整体监测系统。大系统有利于地震大形势分析和地震活动前兆的探讨。

1.6 “点-线-面”相结合的布网监测思路

所谓“点”是指布设在活动断层上的形变观测台和流动观测站,它的观测频度高。所谓“线”是指横跨区域构造线的长测线,或横截一组断裂带或几组断裂带的测线。所谓“面”是指区域网或更大范围内的网。它是大面积监测网的简称,复测周期最长。“点-线-面”相结合的思路不仅是一个形变网的布局思路,而且是一个地震预报过程中的监测预报思路。

在总结西部地区强震震例的基础上指出,“一个 6 级以上强震的孕育,从大地形变场演化的角度来看,要有一定规模的形变隆起区和伴生的高梯度带,而且还要有可信的断层前兆,地震就发生在形变高梯度带上,断层形变前兆具有中短期地震预报的意义”。实际上,

“面”监测，是对大范围内地壳运动的扫描，通过形变场动态演化分析，圈定形变量较大或变化剧烈的地区，判断应力集中区和可能的潜在震源区。这对中长期地震预报和地震大形势分析十分重要。“线”的监测，是对点、面衔接补充的监测，是对活动构造带和危险区的强化观测。“点”的观测是年度地震预测和短临地震预报的重要手段，具有追索震源的作用。这种“点-线-面”相结合的监测预报思路，我们曾在祁连山-河西走廊地区、滇西地区等处做出过极为有意义的震情判断（见第四、五章）。

1.7 复测周期问题

“点-线-面”复测周期的长短取决于构造活动的速率和它们的观测精度。网监测精度不仅取决于观测仪器的精度，还与网形强度有关。因此，在布网时要顾及复测周期问题。所有的监测都要考虑复测周期问题。周期过长会丢失形变过程中具有预报意义的特征，过短，观测噪声将淹没形变量，造成人力物力的浪费。形变台、站的复测周期主要用观测值的数理统计方法确定（巩守文，1986）。面上网的观测周期一般用网的平均迹 Q 的方法。具体方法就不再多谈。

以上几个问题是我们在中国西部大地形变监测网布局时遇到或考虑过的问题。

第二节 中国西部大地形变监测布局概况

岩石圈动力学研究给出的中国大陆构造格架（马杏垣，1987），是由一些深大断裂带分割形成青藏亚板块、新疆亚板块、华南亚板块、华北亚板块等四大亚板块组成。亚板块内又由不同规模的断裂带再划分为次级块体，块体之间存在着相互作用与相对运动。印度板块向北推挤是我国大陆特别是西部的主要动力来源，在其与欧亚板块强烈挤压和碰撞作用下，我国西部构造运动显著，地震频繁发生，本世纪以来发生了数十次强烈地震。区内青藏亚板块、新疆亚板块及次一级的甘青块体、川滇菱形块体、天山块体都是现今活动着的构造单元。其中：南北地震带、祁连-秦岭构造带、天山地震带、贺兰山断裂带、南西华山-六盘山构造带构造形变与垂直差异运动都很强烈，是大地形变监测的主体地区（图 1-1）。

我国大地形变监测起始于 1966 年邢台地震之后，稍晚，随着我国地震预测预报队伍的组建、发展，西部于 70 年代初开始进行大地形变监测。最初，在西部主要地震带和历史强震区内，利用国家测绘部门、水利部门的水准路线及一、二等三角点，进行精密水准测量、三角测量。与此同时，由中国地震局第二地形变监测中心等专业大地形变地震监测队伍在国家大地控制网的基础上，在块体交接带上又布设了总长数万公里的区域性精密水准监测网和流动重力网，控制主干断裂带（区）的数十个小型区域水平形变网，沿深大活动断裂构造布设了 200 多处跨断层小图形（水平与垂直）观测场地。这些网点的建立与监测为监控中国西部的大地形变和地震预测，发挥了重要的作用。其中，由于西部地区野外观测环境恶劣及其它因素的限制，区域水平形变监测到 80 年代中期逐步停测，积累资料较少，而区域性精密水准监测资料和跨断层流动观察资料却十分丰富。90 年代以来，空间对地观测技术迅猛发展，建立了 GPS 区域形变网，特别是中国地壳运动观测网络的建设，为大地形变监测注入新的活力。

2.1 垂直形变网

精密水准复测是目前研究地壳垂直运动的主要手段。中国西部垂直形变网主要监控整个南北地震带，由北向南分别由宁夏的宁北网、西（吉）海（源）固（原）网、甘青河西祁

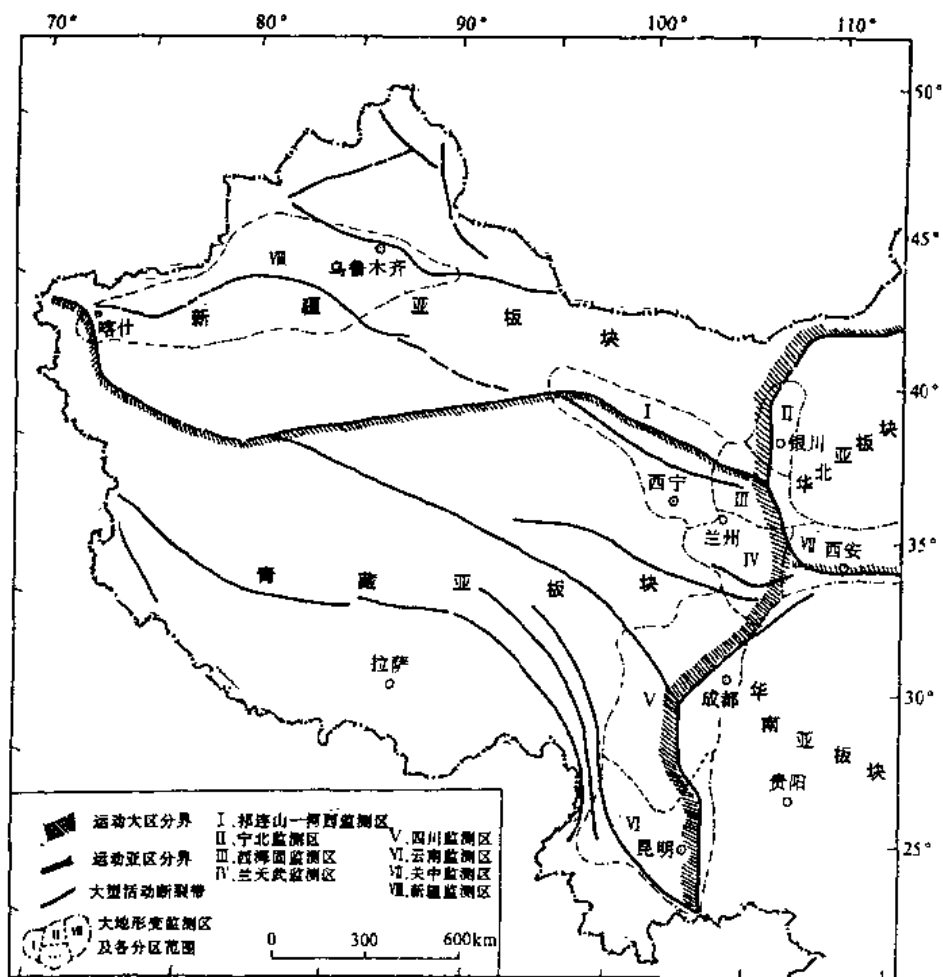


图 1-1 中国西部主要构造与大地形变监测网分布图

连网、甘东南兰（州）天（水）武（都）网、陕西关中网、四川龙门山-鲜水河-安宁河-则木河网、云南滇西、滇东网组成（图 1-1 中点划线所围限部分，更详细情况参看后面章节）。这些网覆盖了中国西部青藏、新疆、阿拉善、鄂尔多斯、华南等几大块体（活动地块）的交接部位，各网互相连接，既可独立观测，亦可联测，控制了西起甘肃玉门镇、东止河南灵宝、北起宁夏石嘴山、南到云南思茅整个南北地震带及其毗邻区域。此外，在新疆天山地震带还布设了天山垂直形变网。这些区域网大多在 60 年代后期布设，从 70 年代初开始全面监测至今，一般均经过数期复测，复测周期大多在 5 年左右，有的区域更长一些。80 年代初以前，所用仪器主要为 N3、Ni004 符合水准器水准仪，80 年代后逐步由 Ni007、Ni002 所取代。监测区域内近年来发生的较强地震有青海门源地震（1986，6.4 级），甘肃景泰地震（1990，6.2 级）、永登地震（1995，5.8 级）、云南丽江地震（1996，7.0 级）等，这些地震均有一定程度的形变场前兆显示。30 年以来的垂直形变监测，经历了中国大陆第四、第五个地震活跃期和其间十几年的平静期，为动态研究地壳垂直运动与变形积累了丰富、翔实的资料。

垂直形变网基本上沿着公路布设，在需要监测的特殊构造部位，若没有公路通过，则就

无能为力了，要靠别的方法予以弥补。

2.2 流动重力网

由于高精度重力仪比较娇贵，地壳形变流动重力监测网更需要沿着高等级公路布设，才能获得可靠的合限资料。在南北地震带的宁夏、甘东南天水武者、四川甘孜、石棉、西昌、滇西与昆明，以及河西·祁连、陕西关中、新疆乌鲁木齐市周围，均布设有流动重力测网（图 1-1 中点划线所围限的范围以内）总计有 1000 多测点，1000 多测段，平均点距为十几到 20 几公里，构成上万公里的重力网。特别是引进 LCR 重力仪以后，监测工作得到了加强，各网至少每年进行一次复测，效率较水准测量高得多。主要形变重力网点已与测有绝对重力的中国地壳运动观测网络基准站相联测，并将与 2000 国家重力基本网相联测，获取更大范围重力变化图像，有助于地壳形变机制研究。

2.3 水平形变网

在布设上述南北地震带垂直形变网的同时，还布设了以三角测量为主，有一定数量的物理测距边、基线丈量边的水平形变网。主要有河西走廊的梧桐泉、红寺湖、龙首山、宁北石嘴山、甘东南河口、天水、武都、关中口镇、宝鸡、川北川主寺、川西理塘、西昌、滇西下关巍山、龙陵、滇东永善、东川、通海等 30 余处水平形变网，将近 400 多个三角图形（图 1-1 中点划线所围限的范围以内）。其中含有国家一、二等三角点，一等锁，二等补网，部分三角边也进行了电磁波测距或基线丈量。边长一般为数公里，个别网有十几公里。测角仪器用 WILD T3，测距仪器用 RM-III、JCY-II 等，基线丈量用线状因瓦基线尺，由不同单位施测，复测周期有数月、一年、数年不等。从 70 年代初到 80 年代中期，观测将近 15 年，由于测角精度低，测距仪稳定性欠佳，加常数、乘常数测定精度不高，基线丈量效率低，对场地要求高等诸方面技术和设备的原因，从 80 年代中期开始，各区的水平形变网先后停止观测。研究认为地壳水平运动量大于垂直运动量，由于上述原因，用常规的大地测量办法难以对区域水平形变网进行监测。GPS 空间技术的发展，给区域水平形变监测带来了深刻的变化，目前正在进行 GPS 技术用于大地形变的应用研究，区域水平形变网的概念将有新的含义。

2.4 跨断层场地

除区域大地形变监测外，跨断层场地监测是大地形变监测的一个重要方法，它主要监测现代活动断裂构造的运动特征，断裂两侧的位移分布。近 30 年来，在中国西部有监测能力的地区大约布设了 200 处跨断层场地。这些监测场地主要分布在祁连山、西秦岭、贺兰山、六盘山、秦岭山前、龙门山、鲜水河、澜沧江、红河以及新疆天山等活动断裂构造带（图 1-1 中点划线所围限的范围以内）。主要观测手段为跨越断层两侧的精密水准测量，测线长度为几十米到数百米；24m 线状因瓦基线丈量、MF-300 测距，以及小三角图形。后三者获取的是断层两侧位移，场地图形多为大地四边形，也有中点多边形或三角形，图形边长一般数百米，与断裂正交、斜交、平行的观测边都有，视断裂规模及场地布设条件而定。有些是综合场地，观测条件较好，既有水准测量，又有测边，能同时获取垂直、水平三维数据。但大多数场地只有垂直形变观测，少数场地设有固定形变台站，观测周期为一天至数天，绝大多数场地为流动观测，周期一般为 1 月到数月，等间隔观测。有的场地由于自然条件困难等原因，也有 1 年一次或数年一次复测。近 30 年来，由于场地位置遴选不当，人为破坏，道路变迁，部分场地监测了一段时间后，有的放弃观测，有的则无法继续作业而废弃。随着