

大地形变监测预报在中国西部防震 减灾事业中的基础作用

丁平, 王双绪

(中国地震局第二监测中心, 陕西 西安 710054)

摘要:本文以巩固和发挥大地形变地震监测预报基础地位和作用、积极推进中国西部防震减灾事业可持续性和协调性发展为主旨,回顾了西部地区20世纪70年代初至“九五”前期大地形变监测与地震预测研究工作基础,介绍了“九五”后期至今大地形变监测与地震预测研究的主要进展,并对该领域发展中所面临的一些问题进行了初步探讨。

关键词:中国西部; 大地形变; 监测预报

中图分类号: P315.9; P315.72⁺5

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2005)04-0333-04

The Foundational Action of Geodetic Deformation Monitoring and Prediction on the Cause of Precautions Against Earthquake and Decreasing Disaster in West China

DING Ping, WANG Shuang-xu

(Second Crust Monitoring and Application Center, CEA, Xi'an 710054, China)

Abstract: In this paper, as the main idea that confirming and bring geodetic deformation monitoring and prediction into play the foundational action, advancing the cause of precautions against earthquake and decreasing disaster continuancely and assort with development in west China, the works of geodetic deformation monitoring and prediction for the earthquake since 1970's to "nine-five" prophase in west China are reviewed simply, and the main advances of it from "nine-five" anaphase to today are introduced. Some problems for the field development are primarily discussed.

Key words: West China; Geodetic deformation; Monitoring and prediction

0 引言

中国西部地区构造复杂,地壳运动强烈,地震频度高、强度大。地震孕育的能量来源于地壳运动过程中产生的应变能积累,从大地形变监测得到现今地壳运动和区域构造应力场演化信息对地震预测研究是十分重要的,大地形变监测是地震监测预报最直接和有效的手段之一。30多年来中国西部大地形变监测经历了从无到有,从起初的小范围、低精度的传统测量到目前依托空间高新技术的大范围、高精度、多分辨的点、线、面相结合的综合观测系统这样一个发展过程。与之相应,我们利用中国西部大地形变监

测资料进行地震预测研究工作也经历了由浅入深、由片面到逐步完善的过程,并不断取得新的进展。近些年来,随着国家西部大开发战略的实施和防震减灾三大工作体系的整体推进,政府和社会公众对地震预测预报能力的期望愈来愈高。地震监测预报、震灾预防和紧急救援三个方面,地震监测预报的基础地位和社会显示度也愈来愈重要。因而,在目前国家防震减灾事业蓬勃发展的大环境下,认真总结和研究我国西部大地形变监测与地震预测研究进展和面临的问题,巩固和发挥大地形变地震监测预报的基

收稿日期: 2005-07-25

作者简介: 丁平(1949—),男(汉族),浙江杭州人,研究员,主要从事大地形变监测预报和地球动力学研究以及地震科技管理工作。

础地位和作用,对推进西部防震减灾事业持续、协调发展具有重要意义。

1 走进西部多震区,建立大地形变监测预报工作基础

20世纪70年代初,正值我国大陆上世纪“第4地震活跃幕”南北地震带等西部强震区强震多发时期。根据大地形变监测直接为地震预报服务的目的,中国地震局第二监测中心等单位,在主要地震带和历史强震区内,对国家大地控制网进行必要的补充改造;在陕、甘、宁、青、新、川、滇各省(区)块体交接带上建成了总长数万公里的区域性水准监测网和流动重力网,以及控制主干断裂带(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。初步形成了由垂直形变、水平形变和重力监测网以及跨断层形变场地构成的大地形变监测网络。其中由于西部地区野外观测环境恶劣以及其它因素的限制,区域水平形变网监测到20世纪80年代中期逐步停测;而定期复测的区域性水准网(周期一般为5年左右)、跨断层流动形变观测(每月或数月一期),已有多期资料积累。随着空间技术的发展,中国地震局和其它相关单位于20世纪90年代初期分别在甘宁青交界、川滇块体和新疆天山建立了区域性GPS监测网,并进行了首期观测。这些早期开展的基础性监测工作所获得的宝贵资料,对西部大地形变地震预测研究是很有价值的。

地震监测研究与预报任务相结合,是我国地震预报的特色。虽然大地形变监测能力有限,我们对大地形变与地震机理的认识还很局限,但面对国家赋予的地震预报工作任务和20世纪“第5个地震活跃幕”的到来,截止到“九五”前期,我们已取得了重要进展。首先,积极探索了具有本学科特色的“边监测、边研究、边预报”的基本思路和适合于中国西部大地形变地震预测的“分层次、重过程”和“从动力机理联系进行定性综合分析”等行之有效的工作思路;其次,初步总结了南北地震带等西部地区现今垂直运动、断层活动空间基本格局和整体演化过程及其与强震活动的关系,以及与强震孕育有关的大地形变异常特征;第三,初步形成了本学科进行地震大形势和中短期预测研究的一些基本方法途径^[1-3]。并根据西部大地形变异常和其它相关资料对1976年四川松潘7.2级、1995年甘肃永登5.8级、1996年新疆阿图什6.9级等强震做出了较好的预报^[4-5]。

这些监测预报工作成果和资料积累,初步建立了在中国西部多震区进一步开展大地形变监测预报工作的基础。

2 与时俱进求发展,提高西部大地形变监测预报能力和水平

2.1 我国西部大地形变监测的近期进展

“九五”后期以来,由于GPS等空间测地技术的发展和日臻完善、国家重大科学工程“中国地壳运动观测网络”建成和运行、以及国家重点基础研究“973”项目“大陆强震机理与预测”加密观测等的实施,使西部大地形变监测发生了革命性变化^[6]。在中国境内上千个GPS观测站(包括监测大型亚板块运动的28个连续观测基准站、控制构造块体运动的56个基本站)中,半数以上分布在中国西部地区,并已获得1999、2001、2004年3期高精度($10^{-8} \sim 10^{-9}$)GPS观测资料。而重点地区GPS资料积累期数更多(如华北、川滇、甘宁青、新疆天山等)。与此同时,全国GPS基本站的重力联测、国家重力2000网的建立与观测也获得了1998、2000、2002年等数期全国范围整体性、高精度(10^{-8} ms^{-2})的重力观测资料。2001年昆仑山口西8.1级大震发生后,为了精细测定和研究这次巨大地震能量释放和构造应力传递对外围相关块体边界构造和地震活动的影响,中国地震局第二监测中心于2002年对南北地震带北段和青藏块体东北部及附近跨主要块体边界活动断裂的20余个水准大剖面、测线总长1700余公里水准进行了适时观测,这对提高常规大地测量的有效监控能力是一个有益的尝试。2004年中国地震局实施南北地震带紧急强化震情跟踪专项又在南北地震带增加了100多个GPS站、近500个流动重力点和近100个跨断层形变场地的加密强化观测。近年来“十五”“中国数字地震观测网络”流动形变监测区域网(GPS、精密水准和重力网)和跨断层综合观测场地(跨主要地震构造带的GPS、精密水准和重力测量综合剖面)全面建成并开始观测。所有这些初步构成了中国西部依托空间高新技术的大范围、整体性、高精度、多分辨的点、线、面相结合的大地形变综合监测系统,积累着不同时空尺度、类型的大地形变监测资料。

2.2 我国西部大地形变地震预测研究近期进展

随着国家经济建设飞速发展和社会文明程度的提高,尤其是《中华人民共和国防震减灾法》的颁布实施,政府和社会公众对地震预报的期望和要求愈

来愈高。中国地震局根据国家防震减灾总体目标和近些年的震情形势,提出了“以震情为中心”、立足“抓大震、抓短临”和“努力实现有减灾实效的地震预报”等工作方针。这对西部多震区大地形变监测预报发展提供了机遇与挑战。我们根据中国西部大地形变监测资料积累状况,以及承担的国家“九五”、“十五”地震预报攻关和“973”“大陆强震机理与预测”等大型项目子课题与日常预报工作实际,分析研究了加强大地形变地震预测的物理基础,推进利用大地形变进行强震动态跟踪的可能性和有利条件。认为:随着大范围、整体性、高精度、多时空尺度(类型)的大地形变监测资料日渐丰富,以及与地震预报有关的科研项目课题研究不断取得进展,能够通过对块体活动蕴震和区域构造形变与地震机理的定性定量研究,进而对强震过程实行动态跟踪。这也正是落实“抓大震、抓短临”工作要求,与时俱进求发展的具体体现。为此我们对已有的利用大地形变进行地震预测研究的若干思路方法结合新的资料积累和震情形势进行了必要补充,以使西部大地形变地震预测研究能够适应国家对地震预报工作的要求。在此基础上,研究和完善了基于区域形变时空特征和数值模拟的,定性定量相结合的构造形变时空分析方法;较系统研究了应用最小二乘配置法建立应变场方法;利用区域水准、GPS观测资料,通过相对运动、应变参数计算,分析活动地块边界带变形性质与强度及其空间差异性;研究了以GPS、区域水准观测位移为地表约束,对非震负位错模型、不连续变形DDA模型、有限元模型、弹性介质的单一力源模型等数值模拟方法应用和改进^[7-11]。如:增加块体倾斜、应变等参量,考虑块体边界侵入,以柔软条带(主要是不同的弹性模量)代替活动断裂,以及改善反演算法等等。将地表观测位移与地壳下部介质构造活动相联系,增强物理基础,以获取定量指标,强化动态跟踪预测的能力。

在上述利用大地形变进行地震预测预报的思路和研究结果的指导下,近些年来我们在以西部大地形变为主、结合其它相关资料实施的地震分析预报实践中,对地震大形势、年度强震危险区判定、昆仑山口西8.1级大震动力作用影响以及未来发震有利部位的研究方面取得了好的效果,在中国地震局地震预测意见汇总时被作为重要的引用和参考依据。同时,我们根据近些年来南北地震带和西部地震重点监视区复杂、严峻的震情形势,严格遵照中国地震局震情跟踪工作方针和要求,认真实施了对2000年

6月甘肃景泰5.9级、2002年12月甘肃玉门5.9级、2003年4月四川西昌4.8级震群、2003年4月17日青海德令哈6.6级、9月新疆阿克陶5.9级和10月甘肃民乐-山丹6.1级地震等的GPS、区域水准、流动重力及断层形变的跟踪监测和分析预报工作,并及时地将形变跟踪监测资料和分析结果提交给中国地震局分析预报中心和甘、宁、青等相关省局,积极主动推进前兆信息共享和区域震情联防^①。尤其是我们根据2003年下半年祁连山构造带断层形变异常发展于9月份及时进行的跟踪加密观测,对10月25日民乐-山丹6.1和5.8级地震的准确预报发挥了重要作用。所有这些对西部大地形变地震预报进步具有重要推动作用。

3 加强监测预报基础,促进西部防震减灾持续发展

在党和政府大力推进全面建设小康社会的伟大进程中,认真践行“三个代表”重要思想,树立全面、协调、可持续发展的科学发展观,成为社会生活的全新理念。认真贯彻落实“预防为主、防御与救助相结合”的防震减灾工作方针,全面推进防震减灾“三大工作体系”建设,正确理解和处理“监测预报”、“震害防御”、“紧急救援”三者的关系,巩固和加强地震监测预报的基础地位,切实有效地跟踪监测和分析预测震情是地震工作部门的第一要务。而大范围、高精度、多尺度、机动灵活的大地形变流动监测与相关学科的综合分析研究,是西部特有的震情、灾情、社情背景下有效开展地震监测预报,推进防震减灾协调发展不可取代的一个方面。

如前所述,虽然从“九五”至今我们在中国西部大地形变监测与地震预测研究上取得了一定的进展,但要进一步推进地震监测预报进步,逐步解决地震预测研究中的一些带根本性的问题,还需要从认识局限、促进融合、求实创新三个方面做坚持不懈的努力和探索。

(1) 认识局限。一是表现在观测信息的局限,不仅大地形变本身的观测信息量仍然不足,缺乏真正意义上的具有一定密度和控制能力的三维立体连续变形观测资料,而且在更加科学有效地监测,获得足够信息方面,尤其是反映孕震物理过程较直接的信息量还远远不够。二是认识水平的局限,表现在理论

① 中国地震局第二监测中心. 2002~2005年度地震趋势研究报告.

研究与实际脱节,反映出经验性、统计性和多解性问题,难于建立用于实践并经受住检验的物理预测模型。

(2) 促进融合。包括不同学科的融合:大地形变与地震构造、数字地震及其它地球物理科学相互融合;不同方法的融合:实验、理论和数值模拟相结合;不同单位的融合:地震系统各单位之间协作联防、优势互补;不同行业的融合:政府、社会、地震部门之间共建信任,博采众长,协调发展。

(3) 求实创新。一方面,限于目前国情,还不可能在西部广大地区实现密集型 GPS 连续站观测。但可在最新地质构造研究结果确定的,现今构造变形差异显著的活动块体边界构造断裂带上布设一定间距的、跨过断裂破碎带(数十公里长)的 GPS、水准、重力综合观测剖面(剖面上断裂两侧要有 GPS 连续站控制),进行定期(水准、重力)和连续(GPS)观测;结合断裂构造活动背景和数值模拟反演,定性定量研究和探索构造块体边界运动变形的微动态变化、协调性与差异性与强震群体活动的关系,跟踪地震活动发展趋势。另一方面,由于地震的孕育和发生,势必引起一定范围的地球物理场的变化,从地表到地壳深部程度不同的存在前兆响应。因而将大地形变与数字地震学及其它地球物理量协同观测,趋近震源,探测震源所在的地壳内部一定深度处的介质结构和变化,才可能探寻到震源“成核”过程自身的信息。在未被历史强震破例贯通的断裂构造地段,尤其是已初步查明的断裂相对运动闭锁区段,用 GPS、固体潮、钻孔应变测量、微重力测量、慢地震观测等方法长期连续地监测地壳深部的变形过程;用高分辨率地震层析成像技术,解析断层深部的非均匀结构;用 Q 值、地震各向异性分析推测下地壳和上

地幔的塑性流动变形,进而研究它对中、上地壳的影响。结合实验、理论和数值模拟探测震源破裂前的物理、力学、化学等状态的异常变化。从多方面实行对强震孕育过程及发震地点的动态追踪,实现有减灾实效的地震预报。

[参考文献]

- [1] 江在森,丁平,王双绪,等.中国西部大地形变监测与地震预测[M].北京:地震出版社,2001.
- [2] 江在森,丁平.地震预报的基础问题与大地形变监测预报战略初探[J].地震科技情报,1996,(1):1-3.
- [3] 江在森,王双绪,赵振才.南北地震带和青藏块体东部近期大地形变与地震特征[J].中国地震,1997,13(2):139-150.
- [4] 江在森,祝意青,王庆良,等.永登5.8级地震孕育发生过程中断层形变与重力场动态图像特征[J].地震学报,1998,20(3):264-271.
- [5] 江在森,赵振才,王海涛,等.对新疆阿图什6.9级、乌苏南5.8级地震的中短期预报研究[J].中国地震,1998,14(2):184-189.
- [6] 牛之俊,马宗晋,陈鑫连,等.中国地壳运动观测网络[J].大地测量与地球动力学,2002,22(3):88-93.
- [7] 江在森,张希,王双绪,等.利用地形变观测量求解地壳水平应变场的方法[J].地震,1999,19(1):41-48.
- [8] 江在森,张希,崔笃信,等.青藏块体东北缘近期水平运动与变形[J].地球物理学报,2001,44(5):636-644.
- [9] 张希,江在森,张晓亮,等.华北地区近期地壳水平运动的非震负位错反演[J].大地测量与地球动力学,2002,22(3):40-45.
- [10] 张晓亮,江在森,王双绪,等.非连续变形正分析中的块体相互侵入问题研究[J].大地测量与地球动力学,2003,23(1):58-63.
- [11] 张希,江在森,王双绪,等.青藏块体及周缘潜在震源与强震关系研究[J].大地测量与地球动力学,2003,23(1):35-41.