

大地震中长期危险区和地震 大形势预测关键技术研究

江在森 闻学泽 张 晶 蒋长胜 著
邵志刚 王武星 武艳强 苏有锦

地震出版社

国家科技支撑计划重点课题 (2012BAK19B01) 资助

大地震中长期危险区和地震 大形势预测关键技术研究

江在森 闻学泽 张 晶 蒋长胜 著
邵志刚 王武星 武艳强 苏有锦



地震出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

大地震中长期危险区和地震大形势预测关键技术研究/江在森等著.
—北京:地震出版社,2017.12

ISBN 978-7-5028-4887-3

I. ①大… II. ①江… III. ①大地震-地震预测-研究 IV. ①P315.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 291446 号

地震版 XM3604

大地震中长期危险区和地震大形势预测关键技术研究

江在森 闻学泽 张晶 蒋长胜 著
邵志刚 王武星 武艳强 苏有锦

责任编辑:刘晶海

责任校对:凌樱

出版发行:地震出版社

北京市海淀区民族大学南路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:68455221

专业图书事业部:68467982 68721991

<http://www.dzpress.com.cn>

经销:全国各地新华书店

印刷:北京地大彩印有限公司

版(印)次:2017年12月第一版 2017年12月第一次印刷

开本:787×1092 1/16

字数:568千字

印张:22.75

书号:ISBN 978-7-5028-4887-3/P(5588)

定价:100.00元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题,本社负责调换)

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 研究背景和意义	(1)
一、研究背景	(2)
二、前期研究基础	(4)
三、研究意义	(7)
第二节 研究内容和专题设置	(7)
一、总体目标、主要研究内容	(7)
二、专题设置	(8)
第三节 课题完成情况、主要进展与成果简介	(11)
一、课题完成情况	(11)
二、主要进展与成果简介	(12)
三、本书内容安排	(14)
第二章 基于地震构造分析、综合多学科信息的大地震危险性分析方法研究	(19)
第一节 研究背景、目标与内容	(19)
一、研究背景与思路	(20)
二、研究目标	(20)
三、研究内容	(20)
第二节 基于地震构造分析、综合其他学科信息评估大地震危险背景的方法与实例研究	(21)
一、云南昭通断裂带大地震危险背景研究	(21)
二、红河断裂带中段及邻区强地震危险背景研究	(29)
三、综合多学科信息分析判定发震构造的方法与实例	(34)
四、本节研究思路与技术方法小结	(38)
第三节 基于地震活动性参数的断裂带大地震中-长期危险性分析方法与实例研究	(39)
一、地震活动性参数与断裂类型的关系研究	(39)

二、考虑背景地震活动水平的强震危险段落识别回顾性研究·····	(39)
三、断裂段落强震危险状态评估技术研究·····	(44)
四、本节研究思路与技术方法小结·····	(52)
第四节 基于多种资料评估断裂带分段时间相依发震概率的方法与实例·····	(53)
一、川滇块体东边界分段发震概率计算实例·····	(53)
二、使用时间-震级可预报模式评估川滇块体边界的分段强震危险性·····	(65)
三、本节研究思路与技术方法小结·····	(72)
第五节 结论与讨论·····	(74)
第三章 基于大地形变测量的十年尺度强震危险性判定方法研究·····	(81)
第一节 概 述·····	(81)
一、研究基础·····	(82)
二、研究目标·····	(82)
三、研究内容·····	(82)
第二节 基于 GPS 测量的十年尺度孕震形变场分析技术及应用研究·····	(83)
一、区域运动场与应变场的计算方法·····	(83)
二、重点区域构造运动场及其动态变化·····	(89)
三、大震震前孕震过程的某些形变场特征性指标·····	(101)
第三节 基于重力场变化的十年尺度大地震危险性判定方法与应用研究·····	(104)
一、研究方法·····	(105)
二、重力场动态演化与中长期阶段的孕震特征·····	(116)
三、重力异常中长期孕震指标的提炼·····	(120)
第四节 活动断裂带震间运动与变形状态的十年尺度强震危险程度判定方法研究·····	(122)
一、有限元数值模拟边界带应变场特征·····	(122)
二、川滇地区典型构造闭锁程度分析·····	(127)
第四章 大地震中长期活动断裂危险段落判定方法研究·····	(142)
第一节 研究背景、目标与内容·····	(142)
一、研究背景·····	(142)
二、研究目标与内容·····	(143)
第二节 南北地震带和新疆地区历史地震重新定位·····	(144)
一、南北地震带和新疆地区历史地震观测资料的收集整理·····	(144)
二、地壳速度模型的选取·····	(146)
三、地震重定位方法·····	(150)
四、地震重新定位结果·····	(150)

第三节 地震丛集率计算和 5~10 年尺度中长期地震危险性	(154)
一、时-空 ETAS 模型和地震丛集率	(154)
二、地震丛集率的计算	(155)
三、地震丛集率计算和适用条件分析结果	(156)
四、地震丛集率给出的 5~10 年中长期地震危险性预测结果	(159)
第四节 利用重复地震估算断层深部滑动速率和识别断层蠕滑段落	(160)
一、基于信号处理方法研发波形互相关技术识别重复地震	(160)
二、发展聚类分析技术对重复地震进行组对	(161)
三、研发单台定位技术利用三分量地震波形记录优势改善结果 可靠程度	(162)
四、小江断裂带重复地震和断层滑动速率估计	(163)
第五节 板内活动断裂带凹凸体综合圈定技术	(167)
一、板内活动断裂带凹凸体综合圈定技术的组成	(167)
二、板内活动断裂带凹凸体综合圈定结果	(168)
第五章 中国大陆周缘动力环境及其对大陆内部强震孕育的影响	(173)
第一节 研究背景、目标和内容	(173)
一、研究背景和意义	(173)
二、前期研究基础	(174)
三、研究范围和目标	(174)
四、研究思路和总体方案	(174)
第二节 日本海沟地区断层模型建立及其强震对中国大陆的影响	(175)
一、断层模型及位错反演结果	(175)
二、日本海沟断层动力学模型	(179)
三、日本 9.0 级地震远场同震和震后效应	(181)
四、日本 9.0 级地震震后余滑和黏滞松弛效应	(183)
五、日本 9.0 级地震震后远场地壳位移	(183)
六、日本 9.0 级地震对中国大陆东部的影响	(186)
七、太平洋板块西北边界其他地区强震对中国大陆东部可能的影响	(187)
第三节 缅甸弧断层模型建立及其对川滇地区的影响	(191)
一、缅甸弧断层几何模型的建立	(191)
二、缅甸弧板块动力加载及其强震活动对川滇地区可能的影响	(194)
第四节 兴都库什-帕米尔地区断层模型建立及其对天山地震带的影响	(198)
一、兴都库什-帕米尔地区断层几何模型建立	(198)
二、兴都库什-帕米尔地区板块动力加载对天山地震带的影响	(200)

三、兴都库什-帕米尔地区及天山地震带中段地壳形变分析	(201)
第五节 台湾地区断层几何模型建立及其对中国大陆东南沿海的影响	(203)
一、台湾地区板块俯冲断层几何模型建立	(203)
二、台湾地区板块作用对中国大陆东南沿海地区的影响分析	(205)
第六节 本章结论和主要认识	(206)
第六章 中国大陆地球物理场动态特征与强震预测方法研究	(210)
第一节 研究背景、目标与内容	(210)
一、研究背景	(210)
二、研究目标与内容	(211)
第二节 GPS 观测的大区域变形信息提取方法研究	(211)
一、中国大陆周边板块相对运动的动态特征研究方法探索	(211)
二、中国大陆大尺度地壳形变与应变场动态特征的获取方法研究	(215)
第三节 GRACE 观测的区域重力变化信息提取方法研究	(218)
一、GRACE 观测的中国大陆及周边重力场变化	(218)
二、水储量改变对重力变化的影响分析	(220)
三、卫星重力变化与 GPS 地表形变的对比分析	(223)
四、中国大陆及周边大地震区域卫星重力变化特征分析	(225)
第四节 区域重力场时变特征的强震危险性概率预测	(232)
一、研究数据基础和数据处理情况	(232)
二、研究的主要处理方法	(234)
三、实际震例研究结果	(243)
四、实际震例的预报效能检验	(255)
第五节 区域岩石圈磁场特征信息提取方法	(258)
一、研究方案	(258)
二、研究方法	(259)
三、研究过程	(261)
四、研究结果	(262)
第七章 活动地块边界带变形过程与地震大形势判定方法研究	(270)
第一节 概 述	(270)
一、研究背景	(271)
二、研究目标	(271)
三、研究内容	(271)
第二节 南北地震带地区地壳变形动态特征研究	(271)
一、南北地震带速度场动态演化特征分析	(272)

二、中国大陆西部地区地壳变形特征分析·····	(278)
三、南北地震带地区应变率场动态演化特征分析·····	(281)
第三节 南北地震带地区重点断裂带深浅部变形特征研究·····	(283)
一、南北地震带重点断裂带滑动速率结果·····	(283)
二、南北地震带重点断裂带 GPS 剖面分析·····	(285)
三、鲜水河断裂带跨断层资料分析·····	(286)
四、Defnode 负位错反演断裂闭锁程度研究·····	(290)
第四节 典型强震孕育过程的变形模式研究·····	(297)
一、汶川地震前地壳变形模式分析·····	(297)
二、芦山地震震前及同震过程地表变形模式研究·····	(305)
第五节 初步认识·····	(311)
第八章 南北地震带强震综合预测与跟踪方法研究·····	(316)
第一节 研究背景、目标与内容·····	(316)
一、研究背景·····	(316)
二、研究目标与内容·····	(317)
第二节 动力学环境及强震孕育模式研究·····	(317)
一、地震构造及动力学环境·····	(317)
二、上地幔各向异性特征·····	(320)
三、震源机制特征·····	(322)
四、汶川 8.0 级与芦山 7.0 级地震孕育发生模式讨论·····	(324)
第三节 主要断裂带变形特征与强震活动关系研究·····	(326)
一、主要断裂带变形特征分析·····	(326)
二、跨断层形变参量·····	(333)
三、断层活动参量综合指标·····	(335)
第四节 震源机制时空变化特征与强震活动关系研究·····	(336)
一、震源机制类型变化特征·····	(336)
二、P 轴仰角随时间变化特征·····	(339)
第五节 强震预测指标与跟踪方法研究·····	(340)
一、不同统计空间尺度地震活动状态差异对比·····	(340)
二、不同震级段的地震活动状态·····	(343)
三、不同时段的地震活动状态·····	(345)
四、强震活跃期主体地区特征·····	(350)
五、强震趋势判定指标·····	(352)

第一章 绪 论^{*}

我国是全球大陆强震活动最频繁的国家之一，开展地震监测预报是防震减灾的一项重要基础性工作。根据我国特殊的大陆孕震构造环境和动力背景，强震活动空间分布广、复发周期长等特点，开展地震预测的一个基本科学思路是“长—中—短—临渐进式”预测，主要从三个工作环节来实现对强震危险性时空逼近的预测。

(1) 地震长期或中长期危险区预测：重点是通过研究构造孕震背景与较长期动态观测资料来确定未来 10 年尺度（或稍长）可能发生强震的地点和强度。

(2) 地震大形势与中期预测：重点是从大尺度至局部地震构造区域观测资料的动态变化来研究判定中国大陆未来 1~3 年至数年地震活动趋势和强震活动主体区（通常是数年至十年尺度）及 1~3 年强震危险地点。

(3) 地震短期、临震预测：重点是发震时间预测，主要针对长期—中期地震危险区加强地震短临动态跟踪分析，研究获取孕震过程进入短临阶段的异常变化，以最终实现更准确的强震发生时间预测。

强震长期危险区预测和中期预测是最终实现地震短临预测的基础和先导。“十二五”国家科技支撑计划重点课题“大地震中长期危险性判定及地震大形势预测关键技术研究”，主要针对中长期强震危险区预测、地震大形势与中期预测，研究发展基于多学科的大地震十年尺度（或稍长）危险区综合预测和基于动力学过程的地震大形势预测关键技术。本书对该课题所取得的主要研究成果进行简要阐述，以供地震分析预报技术人员和相关科研人员参考。

第一节 研究背景和意义

为加强我国地震长期和中期预测能力，推进我国地震监测预报科技能力和科学水平的提高，以逐步加强我国防震减灾的基础科技支撑，在中国地震局组织下，由中国地震局地震预测研究所牵头，中国地震局地球物理研究所、四川省地震局、云南省地震局等单位为主要参加单位，承担完成了“十二五”期间国家科技支撑计划“强震预测若干实用技术研究”重点项目中的“大地震中长期危险性判定及地震大形势预测关键技术研究”重点

^{*} 本章由江在森执笔。

课题,其中大地震中长期危险区预测研究加强了孕震构造背景-发震断层段与较长时间尺度动态观测资料的结合、几个主要学科的综合研究;地震大形势预测与中期预测主要开展了大中尺度区域动态场与活动地块边界带应力应变动态结合、基于构造动力动态过程的地震大形势预测思路和方法研究。

一、研究背景

我国地震多、强度大、分布广、历史地震灾害十分严重(张国民等,2005a),在20世纪全球因地震灾害死亡人数中我国就占了将近一半(全球120万,中国59万。马宗晋等,1993)。新中国成立以后,1966年河北邢台发生7.3级地震造成严重灾害,在党和政府高度重视下就开启了以地震减灾为目标的大规模地震监测预报工作,并取得过对1975年辽宁海城7.3级地震、1995年云南孟连7.3级地震等强震的成功预报获得了显著减灾实效,但能够较有效预测预报的强破坏性地震只是极少数。进入21世纪以来,全球灾难性大地震频发,仅十多年来重大地震灾害就夺去了超过60万人的生命,人类遭受地震灾害袭击的形势严峻。2008年5月12日我国四川汶川发生8.0级地震是继1976年河北唐山7.8级地震后的又一次造成惨重灾难的大地震,造成69227人遇难,17923人失踪,是新中国建立以来造成直接经济损失最重的地震。防震减灾和地震监测预报工作进一步受到社会公众的高度关注,进一步突显出防震抗震对强震预测预报的急切需求与当前地震预测预报能力不足的矛盾。而提高强地震预测预报能力要靠科技进步,需要科学研究攻关计划的持续支持。《国家中长期科学和技术发展规划纲要》把地震灾害监测与防御列为“公共安全”重点领域中“重大自然灾害监测与防御”优先主题的主要内容。根据《中华人民共和国防震减灾法》、《国家防震减灾规划(2006~2020年)》、《国家地震科学技术发展纲要(2006~2020年)》,地震预测是防震减灾工作的重要任务和关键环节。做好地震预测工作,必须坚持多学科、多途径探索;必须坚持防御和减轻地震灾害宗旨,进一步加强中国大陆中强地震,特别是7级以上地震中长期危险性预测与研究,不断提高对强震孕育发生机理的认识,研究开发应用于地震中长期危险区和1~3年尺度大形势预测的关键技术。

我国自1966年以来开展有计划地大规模的地震监测预报工作,至1972年后明确了“长、中、短、临”的阶段性的渐进式地震预报的科学思路和工作程序(马宗晋等,1980,1982;韩渭滨等,1990;张国民等,1997;朱令人,2002)。地震预测作为地震部门的一项日常工作任务,不仅有较大规模的全国年度地震趋势会商会给出年度地震趋势和年度地震危险区预测结果,以及针对年度地震危险区的短临跟踪预测,还包括更长时间尺度的中期(1~3年及数年)地震形势预测和长期(10年及稍长尺度)危险区预测。中国地震局于1996年初给出了1996~2005年全国地震重点监视防御区,2006年初又给出了2006~2020年全国地震重点监视防御区和地震重点危险区(《2006~2020年中国大陆地震危险区与地震灾害损失预测研究》项目组,2007)。由于地震预测社会需求的紧迫性和科学上的不成熟性,40年来中国地震局一直重视研究探索地震预测方法及理论。从“六五”期间开始国家地震局组织地震预报攻关研究计划(修济刚,1988),“八五”期间地震预报攻关研究的重点科研课题开始纳入到国家科技攻关及科技支撑计划之中。由于能否获得显著减灾效果最终取决于能否做出成功的强震短临预报,因此从“八五”至“十五”都是把较短时间尺度(短临、中短期、短期)地震预测作为重点目标列入国家科技攻关计划,而

地震中期(1~3年)、长期(10年及更长)预测研究或是中国地震局组织的科研计划中支持。较早期的地震预测方法研究,由于观测基础相对薄弱,主要观测资料更多的是以相对稀疏的台点观测为主,不能构成网的资料,地震预测方法也主要是开展地震活动统计和地震活动图像方面的地震活动性预测方法研究,以及以离散分布的地形变、地电地磁、地下水等台点观测资料出现的时序过程“异常”与发生地震的统计对应关系总结的经验性预报方法研究。虽然对于地震孕育理论及地震预测物理基础方面做了大量研究探索(郭增建等,1973,1991;梅世蓉,1995,1996;张国民,1995,1997),这方面的研究为实际地震预测预报提供了有益的理论指导和认识上的启示,但由于实际观测资料支撑程度不足(如时空频域覆盖性及能够获取与孕震物理过程直接关联有效信息总体不足)等原因,理论和物理模型方面的研究探索难以与实际观测资料结合,而不能具体用于实际资料的处理和具体地震预测的依据。

随着观测技术的发展,如宽频带数字地震观测技术、GPS等卫星大地测量技术的地震监测应用,在地震预测方法研究中才逐步重视物理基础和新技术应用研究,如“十五”期间中国地震局设立了“强地震中期预测新技术、物理基础及其应用研究”重点科研项目(中国地震局监测预报司,2008);在2003年完成的国家重点基础研究发展规划“大陆强震机理与预测”项目中开展了十年尺度强震危险区预测研究;在2006~2007年又开展了我国2006~2020年地震重点监视防御区确定研究。根据观测技术发展和观测网络发展及大量新技术观测资料的产出情况变化,并关注到国际上地震预测研究的发展动向,为推进我国地震预测科学进步,在组织“十一五”国家科技支撑计划重点项目中明确提出了推动我国地震预测技术从以经验性预测为主向物理预测拓展的定位,在“十一五”重点项目中设立了“强震动力动态图像预测技术研究”重点课题,初步建立了包括总体科学思路主线和地震、地壳形变、地下流体、地震电磁等学科动力动态图像提取技术和预测方法的“强震动力动态图像预测技术”(江在森等,2013),为进一步探索基于动力学过程的地震大形势预测研究提供了重要基础。

在遭受2008年汶川8.0级地震灾难后,中国地震局在进行科学总结与反思中认识到在地震监测预报工作布局中存在“对地震短临预报倚重偏高,而长期预报效益发挥不足”的问题。虽然汶川8.0级地震发生在2006~2020年重点地震危险区(西部 ≥ 7 级危险区)内,却是在中短期预报“无觉察”的情况下发生的,这不仅反映了我国目前对大地震短临预测能力很低,也暴露了我国大地震长、中、短临不同阶段预测预报相结合的科技能力明显不足:长期预测与地震构造研究的不足,使得在汶川地震前没能鉴别出龙门山断裂带具有发生7.5级及更大地震的能力,也没能指导监测台网的布设,而中期地震预测的不足,则使得在汶川地震前没能针对发生地震的区域开展有效的强化监测与跟踪研究,导致没能为汶川地震的短临预报提供良好的工作基础。为加强大地震预测所必需的中长期预测的基础支撑,2008年8月中国地震局监测预报司启动了“中国大陆7、8级地震危险性中-长期预测研究”工作专项(简称M7专项,成立了专项工作组),在我国现有的对地震的科学认识以及地震科技能力基础上,进一步探索研究我国大陆未来十年及稍长时间的大地震危险性,为我国“长-中-短-临渐进式”强震预测提供基础性支撑。经过3年多的专项工作,给出了我国大陆中-长期(十年及更长时间)重点强震危险区(段)预测及其总体科学思路和技术途径,取得了相关研究成果(M7专项工作组,2012),为进一步开展强震中

-长期预测研究形成了新的重要的工作基础。

尽管在“十一五”国家科技支撑项目开展了“强震动力动态图像预测技术研究”，研究了有别于经验性地震预测的、基于构造动力过程的强震预测思路和以动态场图像分析为主来研究强震孕育过程时空逼近的相关方法，以及汶川大地震后开展的 M7 专项工作给出了未来十年及更长时间可能发生 7、8 级地震的重点危险区（段）并也取得了相关的研究成果，但从长、中、短、临阶段性渐进式预测来实现强震预测的科技能力来看，怎样使得长期、中期预测真正能够起到先导作用，并能够对中-长期强震危险区（段）10 年及更长时间发震危险性向几年至 1~3 年更短时间尺度危险性逼近程度做出动态评估，从而为锁定地震短临预测预报跟踪强化的重点目标区提供依据，所需的支撑技术和具体预测方法的实现仍存在诸多薄弱环节。因此，需要全面加强长中短临各个阶段强震预测能力，并努力加强不同阶段预测预报的有机结合，以提升我国地震预测预报总体科学技术水平。在“十二五”国家科技支撑计划“强震预测若干实用技术研究”重点项目中，充分考虑到提高我国地震预测预报水平与能力的技术需求，遵循汶川地震科学总结与反思，在对长、中、短、临不同时间尺度地震预测预报思路和存在问题进行清理的基础上，针对“十五”“中国数字地震观测网络”、“中国大陆构造环境监测网络”等大型项目建成后、我国地震观测系统的新发展和新产出的观测数据特点，研究解决强震长、中、短临预测各环节的若干关键技术问题，设立“大地震中长期危险性判定及地震大形势预测关键技术研究”重点课题（课题承担单位：中国地震局地震预测研究所，课题负责人：江在森），作为该项目的 01 课题予以支持，为提高我国地震预测预报科技水平和服务能力提供科技支撑。

二、前期研究基础

1. 关于十年及更长时间尺度地震危险性判定技术研究

在过去三十多年里，国际上十年及更长时间尺度（或中-长期）地震预测研究最突出的进展是依据“弹性回跳”与“地震空区”理论在环太平洋地震带取得的，该带几乎所有的特大地震、巨大地震都发生在事先判定的地震空区内（Fedotov, 1965; Sykes, et al., 1971, 1984; Mogi, 1979; McCann et al., 1979; Nishenko, 1991）。越来越多的例子表明我国的许多大地震也发生在活动地块边界或活动断裂带上的地震空区中（Wen et al., 2007; 闻学泽等, 2009）。

最近二十年来，国际上基于地震空区理论、采用不同学科观测资料与方法的中-长期地震预测研究从未间断。例如，将活动断裂定量研究、古地震与历史地震研究结果与时间相依的危险性模型相结合、应用于 10~30 年尺度活动断裂带分段发震概率评估的研究（Working Group on California Earthquake Probabilities, 1990, 1995, 2003）；利用地震平静理论以及环绕断层区域的地震活动图像演化、沿断裂带小震活动性及其参数的时空变化进行数年及更长时间尺度强震/大地震预测的研究（Mogi, 1979; Habermann, 1981; Wyss and Habermann, 2005; Wiemer and Wyss, 1997; Wen et al., 2007）；基于区域地震活动性统计分析的国际“地震可预测性合作研究”计划（CSEP）的相关研究（Holliday et al., 2007; Garavaglia et al., 2007）；利用区域、跨断层地壳形变场/重力场时-空变化以及断层及其周边应变与位移场动态变化的相关研究（Hirose and Obara, 2005; Aguiar et al., 2009; Dixon, 2009; Caltech, 2003）；以及地震引起的应力转移及其影响的研究（Stein,

1999; Pollitz and Sacks, 2002; Papadimitriou et al., 2004)。

我国开展了多年的中、长期地震预测研究探索,逐步发展了以预测大地震潜在危险地点、强度为目标的地震地质预测方法(丁国瑜等,1993;张培震等,2003;张国民等,2004;闻学泽,1995,1998),以预测强震和大地震潜在危险地点、大体时间和强度为目标的地震活动性经验方法与定量方法(陆远忠等,1985;闻学泽,1986;梅世蓉等,1996;张国民等,2001;易桂喜等,2002;蒋长胜等,2008),以及以预测强震和大地震潜在危险地点、大体时间为目标的大地形变/重力测量方法(江在森等,2001,2003;祝意青等,2009),等等;并已在不同学科地震中、长期预测研究的基础上,初步开展了多学科的地震中、长期危险性综合判定研究,成果已应用于15年时间尺度的国家与地方地震重点监视防御区的判定等工作中(2006~2020年中国大陆地震危险区与地震灾害损失预测研究项目组,2007)。

20世纪90年代末期启动、由我国地震系统牵头的国家重点基础研究发展规划项目“大陆强震机理与预测”(973项目)的成果揭示:中国大陆由不同级别活动断裂所分隔的相对独立的活动块体所组成,我国80%以上的 $M \geq 7$ 地震、所有的 $M \geq 8$ 地震均发生在I、II级活动地块边界带(张培震等,2003;张国民等,2004,2005b)。这项多学科交叉的研究已为我国的大地震中-长期预测研究工作提供了很好的思路,即:应以I、II级活动地块边界带为研究重点地带,以多学科分工-合作与综合的方法判定未来10年及更长时间可能发生7~8级大地震的潜在危险地点。这样有利于突出重点、集中有限的人力物力开展潜在大地震、特大地震危险性的中-长期预测研究,并使成果能有效应用于我国的防震减灾。

2008年四川汶川8.0级地震发生后,中国地震局进一步加强了中-长期地震预测研究,启动了“中国大陆7~8级地震危险性中-长期预测研究”(M7)工作专项。研究组在开展系统调研、吸收国际上普遍认同的中-长期地震预测理论、方法的基础上,紧密结合我国的大地震地域分布以及可用资料的积累状况,开展地震地质与历史地震、大地形变测量、地震活动性等多学科相结合的、针对10年及稍长时间尺度7~8级地震危险地点判定的中-长期预测研究,并已取得初步成果,也为申请本项目拟开展的、十年及更长时间尺度地震危险性判定技术研究打下一定的基础、提出需要进一步解决的科学技术问题(M7专项工作组,2012)。

2. 关于地震大形势预测关键技术研究

在20世纪70年代我国明确“长、中、短、临”的阶段性渐进式地震预报的科学思路和工作程序的同时,就开展了地震大形势研究和评估用以指导年度和短期地震监测预报(马宗晋等,1982)。地震大形势预测主要给出未来1~3年或数年中国大陆地震活动发展趋势(趋高、趋低或持平)、活动水平(强震频发或少发、最大强度)的预测结果。这是针对我国大陆复杂的构造动力背景和孕震环境下强震分布范围相当广(如认识到多应力集中点场,马宗晋,1980),开展强震预测从长中短临时间尺度逼近的渐进式预测,还需要有一个从大时空动态向局部区域危险性逼近的分析判定过程。地震大形势预测研究的特点和目的是:动态监视与跟踪中国大陆动力环境变化,多角度探索强震活动特征的机理,对未来数年地震活动趋势做出相对宏观的分析判定。目前用于地震大形势预测的方法包括地震统计预测和地球物理动态观测分析两个方面。地震统计预测包括大区域和地震带地震活

动时间过程活跃与平静的统计(期幕划分)分析(马宗晋等, 1982; 傅征祥等, 1986; 张国民, 1987), 周边强震活动对内部地震活动影响的统计分析(张国民等, 1994), 地震活动或数字地震学参数预测等。地球物理观测分析包括地壳形变应变场、重力场、地磁场等在中期(数年以内)强震危险地点预测中的应用等。近年来, 国际上在中期强震预测研究更多的是针对具体的区域(断层)开展工作, 目前主要有两类研究思路, 其一是综合不同地球物理场观测资料, 建立强震孕育力学模型(Scholz, 1998, 2002; Marone, 1998), 给出具体区域中期尺度的强震预测(Toda et al., 2011; Ali et al., 2008); 其二是结合区域地质构造、地震活动、区域地震动参数等资料, 建立中强地震统计物理模型(Hergert et al., 2010; Hubert-Ferrari et al., 2000), 对区域地震危险性进行中期预测(WGCEP, 1995; 2004)。

“九五”以来国家对地震监测投入开始加大, “中国数字地震观测网络”、“中国地壳运动观测网络”、“中国大陆构造环境监测网络”等大型建设工程项目逐步产出大量的多种地球物理场观测数据, 使得我国大中尺度地球物理场观测资料逐渐丰富。这些科学观测数据在地震预测中的应用研究需要及时跟上, 以使大量科学观测数据资源产生实际应用价值。这些观测数据在地震大形势预测中可为推动地震大形势预测向物理预测拓展提供有效支持。

中国地震局组织开展的 973 项目“大陆强震机理与预测”(1998~2003)给出了中国大陆地区强震孕育发生的活动地块动力构造背景(张培震等, 2003; 张国民等, 2004)。板块构造、板缘构造、板内构造与块体边界的地球物理场效应和陆内俯冲在地震孕育过程中占有重要地位(滕吉文等, 2007; 许志琴等, 2008)。自国家自然科学基金委员会设立“华北克拉通破坏”计划以来, 通过不同学科间的有效交叉融合, 对华北克拉通破坏的时间、范围和机制的科学研究取得了重要进展(朱日祥等, 2011), 这些为开展强震预测包括地震大形势预测中结合大陆构造地质环境特征提供了支持。“十五”中国地震局科研项目“强地震中期预测新技术、物理基础及其应用研究”开始把 GPS 和数字地震等区域动态观测资料用于强震中期危险地点预测研究, 提出了从区域动态场演化偏离长趋势非均匀背景场的性质和程度以识别异常区的思路和方法, 利用多时空多学科资料研究提取数年尺度强震成组活动趋势综合判据指标等(中国地震局监测预报司, 2008)取得了阶段性的初步成果。中国地震局组织开展的“十一五”国家科技支撑计划重点项目“强震动力动态图像预测技术研究”课题, 针对在周边板块作用下中国大陆内陆强震孕育过程, 基于上述已有基础科学研究和现有的观测资料, 吸取“以场求源”、“活动地块动力学假设”等相关理论、方法研究成果, 给出了地震、形变、流体、电磁等学科提取各种物理参量时空动态信息和多种动态图像提取方法技术, 初步提出了从“周边板块动力作用→大中尺度动态场→应力应变增强、集中区→孕震构造带危险段”时空逼近的强震预测思路主线, 初步形成了有别于经验性预测的强震动力动态图像预测技术(江在森等, 2013), 有助于推动地震大形势预测率先向物理预测拓展。该研究中也指出了在反映强震孕育动力动态过程的动态图像、动态参数的提取方面, 以及数字地震学、GNSS 等新技术资料积累时间短、研究震例尚少等存在不足, 尚需加强多个环节的科学技术基础, 有待进一步开展更系统深入研究。

三、研究意义

在组织“十二五”国家科技支撑计划重点项目中,重视了全面考虑在坚实科学技术基础上的强震预测三个工作环节(即强震中长期危险区预测、地震大形势预测和地震短临预测)的科学研究工作,注重中长期预报的先导作用,强化短临跟踪研究,以全面加强我国强震预测的科学基础支撑。在强震中长期危险区预测研究方面,重点是综合应用地震地质、地震活动和地壳形变技术,研究中国大陆主要地震构造带十年及稍长时间尺度7级以上大地震危险区及其危险级别/程度的多学科评估方法。在地震大形势预测研究方面,重点以地震活动和地壳形变观测为主,建立基于大时空构造动力过程分析的地震大形势动态预测的思路、技术途径与方法。通过加强这两方面的研究,并把侧重于大区域、大动态分析的地震大形势预测与以具体孕震构造带-段为研究重点的中长期危险区预测结合起来开展研究,解决从强震、大震的十年及更长时间危险性向数年至1~3年危险性逼近预测的一些关键技术,可为强震短临预测提供更有利的基础支持,且更准确的中长期强震危险性预测本身也对防震减灾工作部署、地震灾害防御等有指导意义。针对有关关键科学技术问题组织攻关研究,这对推进我国地震预测科技进步和水平提升有重要意义。

第二节 研究内容和专题设置

开展本研究的目的在于研究解决大地震中长期危险区(段)预测、地震大形势预测涉及的若干关键科学问题和具体预测方法的实现,研究解决强震(重点是大震)预测从十年及更长时间危险区向数年至1~3年危险性逼近预测的一些关键问题。由于主要是讨论强震、大震的长期(十年及更长)和中期(1~3年至数年)尺度的预测问题,并考虑有限目标,从学科技术方面重点选择地震地质、地震活动和地壳形变技术,这些对强震、大震中长期危险区预测和地震大形势预测能够起到主要支撑作用的学科。基于这样的基本考虑确定了研究目标、主要研究内容、课题研究整体方案和专题设置等。

一、总体目标、主要研究内容

1. 总体目标

综合应用地震地质、地震活动和地壳形变技术,研究中国大陆主要地震构造带十年及稍长时间尺度7级以上大地震危险区及其危险级别/程度的多学科评估方法;以地震活动和地壳形变观测为主,建立基于大时空构造动力过程分析的地震大形势动态预测的思路、技术途径与方法。

2. 主要研究内容

研究运用地震构造综合分析方法、大地形变测量与反演方法、以及地震学与地震活动性方法判定十年及更长时间尺度大地震中-长期危险性的关键技术,并开展相应的应用研究。研究建立基于大时空尺度构造动力过程的中国大陆地震大形势动态预测方法。利用多

学科观测资料, 从中国大陆周边板块动力作用, 大、中尺度多种地球物理动态场, 主要活动地块边界带-段应变积累及介质物性状态等多时空尺度动态特征, 研究强震孕育的构造动力动态过程, 提取判定中国大陆地震大形势的多重判据和综合判定方法。

3. 主要考核指标

(1) 给出综合地震构造、地震活动与地形变信息的强震危险背景分析方法, 基于地震活动及其参数的断裂带危险性分析方法, 基于多种资料评估断裂带分段时间相依发震概率的方法。

(2) 给出利用形变、重力资料获取区域应变积累状态和局域地球物理场特征、活动断裂带震间运动与变形状态的十年尺度强震危险程度判定方法。

(3) 给出南北地震带 1980~2012 年的重新绝对定位的地震目录及定位误差, 基于地震活动和数字地震学技术精确圈定活动断裂凹凸体、估计断层深部滑动速率及判定十年尺度强震危险段的方法。

(4) 利用震源参数等给出中国大陆周边板块动力边界带动力触角(帕米尔构造结、阿萨姆构造结、台湾地区、东北深震区)三维几何接触模式、动态演化过程和动力学模式。

(5) 给出 GPS 和 GRACE 重力卫星资料的大区域变形信息提取方法, 区域重力场时变特征的强震危险性概率预测方法, 中国大陆及周边地区地磁场的变化和局部异常分析方法。

(6) 给出利用 GPS 和跨断层等测量资料、结合构造背景分析应变集中区的判定方法, 综合利用多种形变资料分析断层滑动亏损、闭锁强度的方法。

(7) 发展南北地震带强震综合预测与跟踪分析判定方法, 给出南北地震带主要活动断裂带中长期强震危险性判定结果。

(8) 课题研究成果应用于全国地震重点监视防御区确定、地震大形势判定以及大地震预测工作。

(9) 培养研究生: 硕士生 10 名, 博士生 3 名。

(10) 发表论文 20 篇, 其中 SCI 或 EI 检索 6 篇, 出版专著 1 部。

二、专题设置

按课题总体目标, 从长中短临渐进式地震预测预报对长-中期预测的需求, 要有统一的科学思路来加强对大地震中长期危险区预测和地震大形势预测研究, 并把长期预测到中期预测有机地结合起来, 充分考虑当前阶段的观测基础及相关地球科学基础、已有的科学认识积累和新认识来确定阶段研究重点, 通过设置若干研究专题来分解落实研究任务。

1. 总体研究思路

我国大陆地震多、分布广, 除华南地块内部、塔里木盆地内部等稳定地区外在广阔地域存在上千个处于不同孕震阶段的潜在强震源, 再加上大陆内部孕震环境复杂、大震复发周期长等不同于板块边缘地震的特点, 开展地震预测中怎样有效进行强震危险性时空动态逼近预测就显得十分重要。在我国开展地震预测预报长期探索中, 不少专家对地震预测的科学思路进行了深入研究探索, 形成了一些重要的科学思想。如在“长—中—短—临渐进

式预测”思路提出后,还提出了“块、带、源、场、兆、触、震逼近”和“‘场’‘源’结合、以‘场’求‘源’”的科学思路(西北地震学报编辑部,1979;张国民等,1991;朱令人,2002;郭增建等,2006),以及活动地块动力学假设(张培震等,2003,张国民等,2004)等。在上述大陆强震预测科学思路和认识基础上,“十一五”国家科技支撑重点计划项目“强震动力动态图像预测技术研究”课题研究提出了多尺度、多学科动态观测资料与构造背景结合,从边界动力到大中尺度动态场的分析,判定应力应变积累增强—集中区,与中长期强震危险区(预测结果)结合,逐步锁定孕震带上强震高危险段,再依据与锁定危险段强震孕育关联的短期动态信息预测发震时间的强震预测时空逼近,作为强震动力动态图像预测技术对强震危险性时空域逼近的技术思路(江在森等,2013)。

本课题主要针对从长、中、短—临渐进式地震预测预报中地震中长期危险区预测、地震大形势预测涉及的关键科学问题开展研究。地震中长期危险区预测的任务在于从中国大陆广阔地域分布的上千个处于不同孕震阶段的潜在强震源的一般认识基础上,通过多学科方法技术、背景与长期动态资料的结合,从以构造孕震能力、具有长期或超长期地震危险性的众多潜在强震源中甄别出可能逼近十年尺度强震危险的具体构造部位,解决可能逼近十年或稍长时间强震危险地点判定的关键技术问题。把地震地质学现今活动构造研究结合地震学和大地测量学方法,使强震背景危险性向十年及稍长时间尺度逼近;基于大地测量学方法研究活动断裂带应变积累状态和局域地球物理场特征,综合评估活动断裂带—段十年尺度强震危险性;基于地震学方法识别活动断裂带凹凸体的关键技术,以及从地震活动判定逼近十年强震危险区段的方法等。对地震大形势预测主要是逐步研究解决从边界动力到大中尺度动态场的分析,判定应力应变积累增强—集中区的关键技术问题和实现途径,以及与中长期强震危险区(预测结果)结合,逐步锁定孕震带上未来数年尺度强震高危险段。这涉及多个环节有许多需要研究解决的科学技术问题,本课题则重点研究中国大陆周缘板块动力环境及其对大陆内部强震孕育的影响、中国大陆地球物理场动态特征与强震孕育关联性,从地形变动观测资料认识活动地块边界带动力过程来获取强震危险性逼近信息和判据等,以及在强震频度高的南北地震带开展强震中长期和地震形势综合预测实际应用研究。

2. 专题设置

根据上述总体研究思路,课题设置7个专题开展研究工作,专题与课题任务关系见图1.2.1。

课题所涉的7个专题的负责人、承担单位如下:

(1) 基于地震构造分析、综合多学科信息的大地震危险性分析方法研究,负责人:闻学泽、杜方、易桂喜;承担单位:四川省地震局

(2) 基于大地形变测量的十年尺度强震危险性判定技术研究,负责人:张晶、杨国华、祝意青;承担单位:中国地震局地震预测研究所

(3) 大地震中长期活动断裂危险段落判定技术研究,负责人:蒋长胜、房立华、韩立波;承担单位:中国地震局地球物理研究所

(4) 中国大陆周缘动力环境及其对大陆内部强震孕育的影响,负责人:邵志刚、张浪平、王行舟;承担单位:中国地震局地震预测研究所

(5) 中国大陆地球物理场动态特征与强震预测关键技术研究,负责人:王武星、陈石、陈斌;承担单位:中国地震局地震预测研究所、中国地震局地球物理研究所