

地震科学基金成果汇编

地震科学基金会办公室 编



九五

地震出版社

地震科学基金成果汇编

(“九五”分册)

地震科学基金会办公室 编

地震出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

地震科学基金成果汇编/地震科学基金会编. —北京:地震出版社, 2007. 6

ISBN 978 - 7 - 5028 - 3078 - 6

I. 地… II. 地… III. 地震学—科技成果—汇编—中国 IV. P315

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 057796 号

地震版 XT200700028

地震科学基金成果汇编 (“九五” 分册)

地震科学基金会办公室 编

责任编辑: 彭娅玲

责任校对: 郭京平

出版发行: 地震出版社

北京民族学院南路 9 号

发行部: 68423031 68467993

门市部: 68467991

总编室: 68462709 68423029

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

邮编: 100081

传真: 88421706

传真: 68467991

传真: 68467972

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京地大彩印厂

版 (印) 次: 2007 年 6 月第 1 版 2007 年 6 月第 1 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

字数: 896 千字

印张: 35

印数: 001 ~ 300

书号: ISBN 978 - 7 - 5028 - 3078 - 6/P · 1319 (3741)

全套定价: 90.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

编者说明

在中国地震局大力支持下，地震科学联合基金以“鼓励探索和创新，发现和培养地震科学人才，为防震减灾工作进行必要的理论技术储备”为指导思想，以支持地震预测和减轻地震灾害的基础研究和应用基础研究为主要任务开展工作。尤其需要说明的是，“九五”期间，根据中国地震局事业发展计划，为了集中力量解决地震科学所面临的一些比较重要的并对以后的发展有推动作用的基础性科学问题，投入近半数的经费专门设立了地震科学联合基金重点项目。为将“九五”基金课题的科研成果充分应用于防震减灾工作中，地震科学基金会办公室将“九五”基金最终成果进行梳理，收录了 1996~2000 年度立项、并按时结题的全部地震基金课题成果，编制出“地震科学基金会‘九五’资助课题成果汇编”。

根据地震科学基金项目资助类型，汇编将资助成果分成重点基金课题、面上基金课题 2 类。其中，重点基金课题 13 项，面上基金课题 107 项。

收入本辑的基金成果，主要摘选了科研课题的主要科学思路和最终取得的核心成果，并附成果目录、文献发表索引和主要参考文献，便于读者全面了解课题的情况。

本专辑由地震科学基金会办公室李明、田柳、刘豫翔等负责组织编审。

由于编者水平与时间有限，难免出现错误与不当之处，敬请读者批评指正。

目 录

一、重点基金课题

活动断裂的破裂分段理论与地震危险性的定量预测方法研究·····	(1)
中国大陆岩石圈结构的研究·····	(6)
强地震动参数衰减特性的研究·····	(10)
震源过程的数字地震成像和震源参数的精确测定·····	(11)
新疆北天山强震危险精细结构探测研究·····	(15)
地下流体在孕震过程与构造活动中的作用·····	(17)
地震短临前兆可靠性及物理判据和方法的研究·····	(20)
青藏高原东北隅弧束区新构造运动的阶段划分、强度与演化过程的精细定量研究·····	(25)
地震短临阶段突发性前兆机理研究·····	(29)
青藏高原东南侧地壳应力环境及其强震活动关系的研究·····	(33)
利用区域数字台网资料研究震源区介质物性和应力场短临变化特征·····	(36)
地壳深部断层的三维成像·····	(38)
高层建筑非线性地震反应和可靠性分析·····	(41)

二、面上基金课题

小波分析在数字地震信号实时处理方面的应用研究·····	(44)
地震中长期预报的物元分析理论方法·····	(46)
华北地区下地壳结构、流变特征及其地震地质意义·····	(48)
华北地区新生地震构造带和区域地震构造格局研究·····	(50)
滇西南龙陵-澜沧新生断裂带地震破裂分段与地震预测·····	(53)
水位固体潮畸变与地震关系的构造物理基础探讨·····	(55)
河套北缘断裂活动习性的定量研究·····	(56)
褶皱构造力学解析与控震过程研究·····	(58)
1989年四川地区系列中强地震的震源破裂与构造背景·····	(60)
首都圈GPS监测网地壳形变场研究·····	(62)
根据震后形变观测研究地球粘度和震源破裂特征·····	(64)
晋冀蒙交界地区深部异常特征与强化量测区·····	(66)
南北地震带固体潮观测结果及其地震前兆的探索研究·····	(67)
黄土地震灾害区划的指标与方法研究·····	(69)
高层建筑非线性地震反应分析的新方法研究·····	(72)
准噶尔块体南、北两侧孕震地球动力学过程的对比研究·····	(74)

用数字化资料研究云南武定地震序列的环境应力场和矩震级	(76)
前兆资料的 PP 时序分析及 PP 地震综合预报系统研究	(78)
多重破裂(爆破)记录分离方法研究	(79)
灵武断裂晚第四纪活动习性及其地震危险性研究	(81)
西北干旱-半干旱地区土壤发育特性及其随时间(年代)的定量演变关系	(83)
1954 年山丹地震断裂带研究	(85)
华北地区隐伏构造研究及地震危险性预测——应用 GIS 技术和统计地貌学的方法	(87)
缩小地震危险区预测范围和发震时段的预报方法研究	(89)
强地震孕育与应力变化关系的模拟研究	(91)
江淮地区地壳现代破裂网络与潜在震源区的关系研究	(93)
地震中短期前兆的力学特征与综合检测新技术	(95)
利用全球与区域 GPS 资料分析中国大陆现今地壳运动状态	(97)
利用地壳内部密度时变提析地震前兆信息的物理方法研究	(99)
饱和土层的地震反应分析	(101)
重力仪区域适定法标定研究	(103)
基于地震易损性分析的结构优化方法研究	(105)
破坏性地震应急救援的系统工程研究	(107)
土层液化对房屋地基震害的评价方法和应用	(110)
辽宁海城北西向构造全新世活动特征及古地震研究	(111)
南海北部构造应力场的实验研究	(113)
滇中块体的旋转作用与中强地震活动	(115)
震前海平面异常变化的成因和前兆意义	(116)
地震电监测中电阻率变化的数学物理模式及应用基础研究	(117)
地震孕育过程的复杂性研究	(119)
嘉黎断裂的活动强度及其与滇西北活动构造的关系	(121)
1996 年 2 月 3 日云南丽江 7.0 级地震发生的构造环境	(124)
张北-尚义地震对北京等地地震趋势影响的数值模拟研究	(126)
雁行断裂及其极限应力随地壳深度变化的定量研究	(128)
大青山山前断裂活动速率的精确研究	(130)
张公渡—庄幕和奉贤—灵壁剖面基底结构性状及其构造意义	(133)
震害遥感影像的模式识别及信息提取技术的研究	(135)
地震危险性分析中空间分布函数的研究	(137)
地下水位潮汐现象的物理机制和统一数学方程及潮汐响应特征	(140)
基于小波包变换的弱震相识别和滤波方法研究	(141)
三维有限差分走时层析成像方法研究	(143)
青海省共和盆地地壳结构的层析成像与强震的震源分布	(145)
地壳岩石破裂性质及地震预报指标研究	(147)
张北、大同、包头地震的前兆特征及连发机制研究	(148)
地震作用下工程结构层间位移测试研究	(150)

在确定设计反应谱时考虑场地土层组合特征的研究·····	(151)
图们江流域震害预测研究·····	(152)
综合性天灾预测研究·····	(154)
大陆强震危险区可拓方法综合预测应用研究·····	(156)
典型断层组合变形过程中微破裂时空演化及破裂机制特征·····	(158)
应力—热耗散地温前兆机理研究·····	(160)
东北地区典型地段壳幔过渡带细结构及其与构造活动相关性研究·····	(161)
内蒙古巴林左旗 $M_S5.9$ 地震流动观测资料的分析与研究·····	(163)
考虑土壤参数不确定性的场地动力特性分析·····	(165)
由震源机制解和断层摩擦参数估算华北地区构造应力场强度·····	(167)
原地应力测量 AE 法试验研究·····	(169)
地下流体中汞的赋存形式及其孕震机理研究·····	(171)
黄土震陷变形特征的细观分析·····	(173)
适合于不同土质条件下的系列不极化电极研究·····	(175)
中国近海海域大地震发生的构造背景研究·····	(176)
渤海海域大震区主要断裂晚第四纪活动性探测和古地震研究·····	(178)
不同有机组分的小样品和加速器质谱计 ^{14}C 测年可靠性研究·····	(181)
弹性块体及边界带系统现今运动变形模型理论方法研究·····	(183)
用宽频带数字记录研究长周期地震动特性·····	(185)
潜在震源体模型及其在地震危险性概率分析中的应用研究·····	(187)
腾冲火山区人工地震测深工程与上部地壳三维细结构研究·····	(189)
软土地基上建筑物不均匀震陷评价方法研究·····	(191)
单元几何形状畸变对动力有限元计算精度的影响·····	(193)
钢管混凝土柱隔震支座抗震性能研究·····	(195)
地震科学联合基金会信息管理系统·····	(196)
数字化地震前兆观测资料的高频信息开发与数据处理·····	(198)
连续梁桥地震反应和破损数值模拟·····	(199)
基于 GIS 的城市土地工程能力评价方法研究·····	(201)
结构动力反应分析中的一种阻尼修正方法·····	(203)
供电生命线工程地震功能失效仿真分析·····	(204)
井-含水层系统与构造应力场相互作用的数值模拟研究·····	(205)
神经网络在地震大形势预报中的应用·····	(206)
地震数据叠前偏移成像·····	(209)
山西原平凹陷晚第四纪地层变形与古地震关系研究·····	(211)
东秦岭内部铁炉子断裂晚更新世以来的活动及其与秦岭北缘断裂带的关系·····	(212)
台湾地震活动非线性特征与地震趋势分析预测·····	(213)
显著地震发生时引潮力方向及大小与大震关系的探索·····	(215)
分频地震波震初始振幅前兆信息研究·····	(216)
小药量爆炸震源时间函数与地震波频谱特性的精细研究·····	(218)

云南地区中小地震震源机制及其与强震关系的研究·····	(220)
地磁方法的短临预测与机理研究·····	(222)
地震活动性参数不确定性对地震安全性评价产生的影响·····	(225)
地震电监测中电阻率变化的灵敏度理论及其应用基础研究·····	(227)
渭河盆地构造响应研究·····	(229)
地震活动增强与时间破裂模型研究·····	(231)
钻孔潮汐形变响应函数稳定性及其监测效能评价·····	(233)
地震荷载作用下冻土动力特性的试验研究·····	(235)
突发性动力前兆的统计规律及在地震短期预报中的应用·····	(237)
地面电阻率成像理论和方法研究·····	(239)
成组震源过程中卫星热红外异常特征及其力学机理·····	(241)
五大连池近代火山喷发史料的发掘考察与研究·····	(243)
我国大陆东部地区浅震、深震与西太平洋板块俯冲·····	(246)

一、重点基金课题

活动断裂的破裂分段理论与地震危险性的 定量预测方法研究

课题批准号: 297011

执行年限: 1997~2002 年

总经费: 30 万元

负责人: 闻学泽

工作单位: 四川省地震局 中国地震局地壳应力研究所 江苏省地震局

参加人员: 闻学泽 江娃利 易桂喜 侯康明 谢新生 王焕贞 范 军
肖振敏 杜 方 龙德雄 黄毓珍 杜平山 吴 江 龚复华
李丽梅

结题时间: 2002 年 10 月 20 日

成果简介

1. 立论背景

活动断裂的地震地质学研究在评价长期地震危险性方面起到越来越重要的作用。我国在 20 世纪 80 年代后期开始涉及这一领域, 除了获得部分活动断裂的定量研究资料外, 还开展了活动断裂的破裂分段、长期地震危险性概率评估等方面的研究。然而, 已获得的活动断裂地震危险性定量评价结果仍然很有限, 结果的可靠性也有待检验。这些问题均与相关基础理论、模型和方法的不完善有关。例如, 以往的活动断裂分段研究对于相同断裂部位在不同轮回的破裂尺度可变性考虑不足, 对地震复发行为的假定仅以准周期行为为基础, 忽略了可能存在的复发行为的多样性; 并不清楚活动断裂带整体与单段的地震复发行为的关系, 缺少适用于中国大陆板内活动断裂的强震复发间隔概率模型, 等等。

本课题针对以上在活动断裂破裂分段与地震危险性概率评估技术、理论和模型中存在的一些前沿问题, 企图通过揭示活动断裂的地震发生行为、破裂的自然分段性、地震复发间隔在统计上的普适性等, 将研究引向深入。

2. 主要研究内容

- (1) 活动断裂的破裂分段特征与分段地震强度估计;
- (2) 时间相依的活动断裂分段地震潜势定量评估模型的发展与完善;
- (3) 断裂分段地震危险性定量评估输入参数及其不确定性估计方法;

(4) 基于地震活动资料的断裂带整体与分段地震危险定量分析方法。

3. 主要研究目标

由实际资料分析揭示中国大陆活动断裂的地震破裂分段行为、复发行为的特点与复杂性,探讨与活动断裂破裂分段有关的理论,发展定量评估活动断裂分段地震的潜势与强度的方法与模型,包括对有关定量分析方法的引入与完善。发展综合利用活动断裂地质、地球物理、地形变、历史及现今地震活动等资料进行活动断裂分段的方法。选择重点研究对象,给出活动断裂带破裂分段和危险性评估研究的实例。

4. 技术思路

瞄准与活动断裂地震破裂分段、复发行为、地震潜势与强度的定量评估的理论、方法有关的前沿科学问题,充分考虑了中国大陆活动断裂地震破裂与复发行为的一般特点与复杂性,将探讨活动断裂地震破裂分段理论与揭示地震复发行为、发展地震危险性定量评估方法、模型等有机地相结合,力争在活动断裂的破裂分段、地震行为、时间相依的地震危险性 & 震级评估模型、方法等方面的研究中有较明显的进展和创新。

在活动断裂的破裂分段研究方面,选择了重点研究对象(走滑断裂选择川西鲜水河-安宁河-则木河断裂带,正断层选择内蒙古大青山山前断裂带,逆断层选择甘肃皇城-双塔断裂带)进行有限范围的较深入的研究。

5. 课题的主要进展

(1) “活动断裂的破裂分段特征与分段地震强度估计”的研究。

活动断裂的破裂分段特征方面:

针对选择的重点研究对象,研究了不同类型活动断裂(带)地震破裂的实际分段行为特点及其复杂性;总结活动断裂地震破裂尺度的不均匀性或可变性特征;引入和完善“级联”破裂模式,发展相应的地震强度概率评估方法并初步应用;探讨由断裂的几何、地质与地球物理特征、活动习性,历史破裂时空分布,现今小震活动及地形变等资料对断裂带进行破裂分段的方法;发展和完善活动断裂带分段地震强度定量估计的方法。给出重点研究的断裂带的破裂分段结果。

活动断裂的分段地震强度估计方面:

由历史及现代地震资料揭示出中国大陆地区活动断裂单段上的地震破裂尺度(或地震强度)随轮回(时间)的可变行为及其统计规律。初步建立起由前一轮回的破裂规模对后一轮回的破裂规模进行概率估计的方法与模型。引入并完善了“级联破裂模式”,用于描述同一断裂部分破裂尺度的可变性,提出活动断裂带级联破裂分段的原则。对川西安宁河断裂带进行了级联破裂分段及未来地震强度的概率评估。

(2) “时间相依的活动断裂分段地震潜势定量评估模型的发展与完善”的研究。

①分析了有关时间相依的活动断裂分段地震危险性概率评估的基础理论及前沿问题;②探讨并揭示中国大陆板内活动断裂的分段地震复发行为的多样性和普适性;③应用历史地震资料建立中国大陆板内活动断裂单段的强地震复发时间间隔的经验概率分布模型;④初步揭示活动断裂上一个段落的大地震破裂对相邻段落强震复发过程的实际影响与效应的现象。

(3) “断裂分段地震危险性定量评估时输入参数及其不确定性估计方法”的研究。

①发展和完善由野外活断层的地质定量观测资料、历史地震资料进行地震潜势及地震震

级定量评估时有关输入参数以及不确定性的估算方法，特别是发展由实测的叠加位移估计每次地震的同震位移及其不确定性的计算方法等；②发展了根据历史强地震资料估计走滑断裂（带）地表平均滑动速率，并进一步估算地震复发间隔的方法。

(4) “基于地震活动资料的断裂带整体与分段地震危险性定量分析方法”的研究。

①系统引入时间—震级可预测模式，补充、完善建模的有关算法，特别是补充考虑统计模型参数不确定性的、时间相依的发震概率算法，提出用于定量判定地震危险性的综合危险因子；②将时间—震级可预测模式应用于南北地震带的分段长期地震危险性概率预测；③研究揭示中国大陆活动断裂带整体的地震复发行为、地震复发时间进程的复杂性、断裂带整体与单段的地震复发行为的相互关系等，同时分析断裂带整体的强地震“丛集”与沿断裂带的破裂“传染”（触发）作用的可能关系。

6. 成果的主要特点

由实际资料分析揭示中国大陆活动断裂的地震破裂分段、复发行为的特点与复杂性，探讨与活动断裂破裂分段有关的理论，发展考虑破裂行为复杂性的活动断裂分段方法，以及定量评估地震的潜势与强度的方法与模型。

7. 主要发现及创新点

(1) 揭示出活动断裂破裂尺度的可变行为，提出级联破裂分段的原则，建立起三条重点研究断裂带的破裂分段方案。同时，在正、逆断层的破裂尺度与震级的关系方面也有新认识。

(2) 发展了应用级联破裂模式评估未来地震强度的概率方法，以及考虑不确定性的活动断裂单段地震震级的综合定量评估方法。

(3) 揭示出中国大陆活动断裂单段强地震复发的两类主导行为，时间可预测复发行为和准周期复发行为，建立起相应的复发时间间隔概率分布。

(4) 初步分析大地震破裂对于相邻断裂段地震复发过程的影响，揭示出由断裂段与段相互作用效应的复杂性。揭示了中国大陆活动断裂带整体与单段的地震复发行为及其相互关系，论证了断裂带整体的地震“丛集”与破裂“传染”作用有关。

(5) 完善了利用历史地震资料估计断裂滑动速率、进而估计地震复发间隔的“均一滑动法”。引入时间—震级可预测模式，补充了考虑模型参数不确定性的、时间相依的发震概率算法，并应用于南北地震带的长期预测。

(6) 综合确定了安宁河断裂带小相岭段的大地震复发间隔及最晚事件的可能年代及震级。

8. 研究成果及其效益

本课题研究成果共公开发表论文 20 篇，其中 SCI 期刊 1 篇，核心期刊 14 篇。成果已通过验收，并获得“优秀”（即取得创新性进展）的评价。

2002 年度，本课题研究成果获得四川省地震局防震减灾优秀成果奖一等奖、中国地震局防震减灾优秀成果奖二等奖。

本课题研究成果对我国活动断裂的地震行为及其长期地震危险性评价研究具有较重要的参考意义，部分论文已得到较多的引用和应用。

发表论文及论著目录

1. 闻学泽（四川省地震局），时间相依的活动断裂分段地震危险性评估及其问题，科学通报，43（14）：1457～1466，1998。

2. Wen Xueze (Seismological Bureau of Sichuan Province), Assessment of time-dependent seismic hazards on segments of active fault, and its problems, *Chinese Science Bulletin*, 43 (23): 1937~1950, 1998.
3. Wen Xueze (Seismological Bureau of Sichuan Province), The uniform-slip method for estimating mean slip-rate of strike-slip fault, *Journal of Earthquake Prediction Research*, 7 (4): 1937~1950, 1998.
4. 闻学泽 (四川省地震局), 中国大陆活动断裂的段破裂地震复发行为, *地震学报*, 21 (4): 411~418, 1999.
5. Wen Xueze (Seismological Bureau of Sichuan Province), Recurrence behaviors of segment-rupturing earthquakes on active faults of the Chinese mainland, *Acta Seismologica Sinica*, 12 (4): 457~465, 1999.
6. 闻学泽 (四川省地震局), 中国大陆活动断裂的段破裂地震复发间隔经验分布, *地震学报*, 21 (6): 616~622, 1999.
7. Wen Xueze (Seismological Bureau of Sichuan Province), Distribution of empirical recurrence intervals for segment-rupturing earthquakes on active faults of the Chinese mainland, *Acta Seismologica Sinica*, 12 (6): 667~675, 1999.
8. 易桂喜、闻学泽 (四川省地震局), 时间—震级可预报模式在南北地震带分段危险性评估中的应用, *地震*, 20 (1): 71~79, 2000.
9. 闻学泽 (四川省地震局), 山西 1303 年大地震破裂对相邻断裂段地震复发行为的影响, *中国地震*, 16 (1): 22~27, 2000.
10. 闻学泽、杜平山、龙德雄 (四川省地震局), 安宁河断裂带小相岭段古地震的新证据及最晚事件的年代, *地震地质*, 22 (1): 1~8, 2000.
11. 闻学泽 (四川省地震局), 四川西部鲜水河—安宁河—则木河断裂带的地震破裂分段特征, *地震地质*, 22 (3): 239~249, 2000.
12. 易桂喜、闻学泽 (四川省地震局), 活动断裂带的整体地震复发行为及其与分段地震复发行为的关系, *地震学报*, 22 (5): 527~537, 2000.
13. Yi Guixi, Wen Xueze (Seismological Bureau of Sichuan Province), Earthquake recurrence on whole active fault zones and its relation to that on individual fault-segments, *Acta Seismologica Sinica*, 13 (5), 563~574, 2000.
14. 江娃利、肖振敏、谢新生 (中国地震局地壳应力研究所), 鄂尔多斯块体周边正倾滑活动断裂历史强震地表破裂分段, *地震学报*, 22 (5): 517~526, 2000.
15. Jiang Wali, Xiao Zhenmin, Xie Xinsheng (Institute of Crustal Dynamics, China Seismological Bureau), Segmentation of active normal dip-slip faults around Ordos block according to their surface ruptures in historical strong earthquakes, *Acta Seismologica Sinica*, 13 (5): 552~562, 2000.
16. 江娃利、肖振敏、王焕贞 (中国地震局地壳应力研究所), 内蒙大青山山前活动断裂带西端左旋走滑现象, *中国地震*, 16 (3): 203~212, 2000.
17. Jiang Wali, Xiao Zhenming, Wang Huanzhen (Institute of Crustal Dynamics, China Seismological Bureau), Sinistral Strike-slip along Western End of the Piedmont Active Fault of Dagingqshan Mountain, Inner Mongolia, China, *Earthquake Research in China*, 15: 15~24, 2001.
18. 江娃利、肖振敏、王焕贞等 (中国地震局地壳应力研究所), 内蒙大青山山前活动断裂带全新世活动及地震破裂分段特征, *地震地质*, 23 (1): 24~34, 2001.
19. 闻学泽 (四川省地震局), 活动断裂的可变破裂尺度地震行为与级联破裂模式的应用, *地震学报*, 23 (4): 380~390, 2001.
20. Wen Xueze (Seismological Bureau of Sichuan Province), Earthquake behavior of variable rupture-scale on

active faults and application of the cascade-rupturing model, *Acta Seismologica Sinica*, 14 (4), 404~416, 2001.

21. 江娃利、谢新生 (中国地震局地壳应力研究所), 正倾滑活动断裂垂直位移定量研究的有关讨论, *地震地质*, 24 (2): 177~187, 2002.
22. 侯康明、闻学泽 (江苏省地震局、四川省地震局), 板内逆断层地震破裂的基本特征及分段标志研究, *西北地震学报*, 21 (3): 302~309, 1999.
23. 易桂喜 (四川省地震局), 时间—震级可预测模式及其应用研究进展, *国际地震动态*, 1998 (11): 1~8, 1998.
24. 闻学泽 (四川省地震局), 活动断裂的分段地震震级评估, 见: *活动断裂研究—理论与应用*, (8) 32~40, 北京: 地震出版社, 2000.
25. 江娃利 (中国地震局地壳应力研究所), 平原区隐伏活动断裂强震地表破裂参数相关因素探讨, 见: *新构造与环境论文集* (卢演传等主编), 326~336, 北京: 地震出版社, 2001.
26. 江娃利 (中国地震局地壳应力研究所), 华北地块 8 级历史强震活动构造特征及未来强震危险地点预测, 见: *中国 8 级大震研究及防震减灾学术研讨会论文集* (李克主编), 56~65, 北京: 地震出版社, 2001.
27. 肖振敏 (中国地震局地壳应力研究所), 山西断陷带历史强震及全新世古地震地表破裂特征. *地壳构造与地壳应力文集* (11), 1~12, 北京: 地震出版社, 1998.

中国大陆岩石圈结构的研究

课题批准号: 297015

执行年限: 1997 年 6 月至 2000 年 6 月

总经费: 30 万元

负责人: 丁志峰

工作单位: 中国地震局地球物理研究所

参加人员: 李清河 何正勤 吴建平 吴庆举 孙为国 张元生 范 兵 盛国英

结题时间: 2000 年 6 月 30 日

成果简介

“中国大陆岩石圈结构的研究”课题是地震科学联合基金“九五”期间的一个重点课题项目。其主要任务是根据分布在中国大陆及其邻区地震记录台站所得到的丰富的地震数据,特别是近年来取得的宽频带数字地震资料,采用多种地震学的方法,研究中国大陆岩石圈的三维速度结构,深化对中国大陆岩石圈动力学问题的认识。

课题的目标是对一些地区进行更高分辨的区域地震层析成像,得到中国大陆岩石圈的三维速度结构图像,并取得中国大陆台站下介质各向异性的结果,研究大陆地震发生的深部动力问题。

课题任务的完成情况

收集了分布于中国大陆及邻区地区的大量宽频带数字地震记录资料,以对中国大陆以及临近地区进行三维速度结构的反演计算。所用的地震台站包括中国数字地震台网(CDSN)的 11 个地震台站,以及中国周边地区的 12 个属于全球数字地震台网(IRIS/GSN)的地震台站,以及我们在青藏高原布设的 11 个宽频带 PASSCAL 流动地震台站,这些台站都是采用数字化大动态宽频带的地震仪器,记录状况良好,数据质量高。

为取得高质量的反演结果,所用资料必须有很好的覆盖率。为此,我们除了利用已有的在青藏高原所记录的资料外,还从 IRIS 地震资料中心索取了大量的地震记录,共挑选出 1000 余条优质数字地震记录图,对这些记录图中的瑞利面波进行频散分析,求得 750 条不同路径上的频散曲线。其周期范围为 10~92s。在研究区域(东经 70° ~ 140° , 北纬 18° ~ 54°)中反演出不同周期(25 个中心周期)的群速度分布图像。

根据上述瑞利面波群速度频散分布的结果,引入了光滑约束的遗传算法,反演得到了中国大陆的 S 波三维速度分布图像。这是国内首次利用宽频带数字地震资料取得的中国大陆三维 S 波速度结构的反演结果。它给出了中国大陆深达 200km 的岩石圈结构的图像,揭示了地壳结构、上地幔顶部结构和上地幔低速层的许多特性,以及他们和大地构造、重力异常分布等的关系。这些结果将会对我们研究中国大陆整体的动力学问题提供重要的依据。

收集了华北地区地震遥测台网的 18000 余条近震 P 波和 Pn 波到时资料,对该地区的地壳上地幔结构进行层析成像,得到了大华北地区分辨为 0.5° 的地壳上地幔三维 P 波速度结构。

收集了青藏高原东部及其邻区的 14000 余条 P 波和 Pn 波到时资料,对该地区的岩石圈三维速度结构进行层析成像,得到了青藏高原东部及其邻区的地震 P 波速度结构图像。

在分析研究了各种反演方法及各自的优缺点之后,发展了多震相走时的遗传算法的最优化反演方法,分别对朝鲜半岛、祁连山中东段、四川等地区进行了三维速度结构反演,获得了不同深度的横切面和若干条深度剖面。

发展了一种有效的利用宽频带体波波反演研究上地幔速度结构的方法。利用 CDSN 和布设在青藏高原的 PASSCAL 临时台站的宽频带体波波资料,对中国青藏高原和中国北部及蒙古地区 1000km 以上深度的上地幔速度结构进行了反演。

根据新建的北京区域数字地震遥测台网的短周期瑞利波资料,用两台法计算了位于北京地堑与河北平原地震带北部 5 条路径上瑞利波周期为 2~18s 的相速度频散曲线,反演得到了北京地堑北段和河北平原北部区域的地壳中上部 S 波速度结构。

利用中国数字地震台网 (CDSN) 记录到的宽频带体波数据,求得了台站下方介质的接收函数,并反演得到了台站下方的 S 波速度结构。

根据中国数字地震台网 (CDSN) 记录的远震 SKS 波波形,得到了中国大陆上地幔介质各向异性分布的特征。

取得的科技成果

在对中国大陆岩石圈的研究中,利用地震体波和面波资料,进行速度结构层析成像的研究,得到了中国大陆整体和一些重要构造区域 P 波和 S 波速度的三维分布图像,使我们能从深部的、立体的角度,分析和研究中国大陆的动力学问题。

对瑞利面波群速度的反演结果表明:在 10~21s 周期范围内,群速度分布存在着明显横向不均匀性。从 25~36s 逐渐显现出中国深部构造块体的格局,在 40s 周期的群速度分布图像中十分明显地反映出中国大陆岩石圈结构的分区特征,南北地震带、青藏高原、华北、华南块体的边界十分清晰,52~92s 仍保持着这些特点,这说明岩石圈下部的横向变化已趋于稳定。

在国内首次利用宽频带数字地震记录中的面波波形资料反演了中国大陆及其邻区的三维 S 波速度结构,取得了整个中国大陆水平分辨为 2° 的成像结果。在利用面波研究整个中国大陆 S 波三维速度结构的过程中,选用面波资料的平均震中距为 2800km 左右,使得中短周期的波形比较发育,有利于提高对岩石圈深度部分反演结果的分辨。反演时引入了光滑约束的遗传算法,对解进行全局搜索,减少了许多人为的因素,提高了结果的可靠性和稳定性。

对华北地区层析成像的结果表明,该地区的地壳中存在几个明显的低速异常区,分别位于唐山—北京地区、石家庄以东地区和山西地堑系等地区。地壳下部的速度异常在华北平原地区、太行山地区和山西地堑系呈明显的北北东向分布,与区域地表的构造走向十分吻合。

华北地区地壳中低速异常区的分布与强震的发生有明显的相关性,该地区的强震 ($M_s > 7.0$) 均发生于下地壳有低速异常区的地区。结合多种地球物理观测和计算的结果认为,华北地区强震的发生与深部构造有密切的关系。在区域构造应力背景下,上地幔热物质的上涌导致了地壳中应力的不均匀分布,它是该地区强震发生的深部动力来源。

首次利用近震资料研究青藏高原的岩石圈三维速度结构。对青藏高原进行层析成像的结果显示,在藏南地区拉萨块体的上地壳中(30km 的深度)存在明显的低速异常区,该结果和我们面波层析成像的结果非常吻合,它可能是在印度板块和欧亚板块的碰撞挤压下,印度地壳向青藏地壳的多次俯冲造成的摩擦热的效应;在藏北地区的下地壳和上地幔顶部的羌塘块体和松潘-甘孜块体中,有一显著的低速异常区,该低速异常和早期观测到的 Sn 波不发育的区域吻合,更和对青藏高原所做的 Pn 波速度反演的低速区相对应。联系到利用远震资料沿青藏公路的反演所得到的在约 250km 深存在低速异常体的结果,我们认为藏北地区地壳下部到上地幔顶部的低速异常是由于地幔深部热物质的上升,并且和地壳下部物质交互作用的影响。

体波和面波层析成像沿青藏高原南北向的垂直剖面都显示,青藏高原的地壳中存在北倾的低速层,它可能是印度-欧亚板块的碰撞所造成的壳内俯冲的结果。

对朝鲜半岛中部的三维速度结构反演可以发现不同地质单元,如平南盆地、京畿山地、欧克冲褶皱带、永南山地和琼桑盆地间的明显的速度差异,海区和陆地的地壳结构有明显差别,还发现了楚加永断层的深部标识。

在对祁连山东段三维速度研究结果中,发现在几个主要地震发生的地区都有一相似的构造特征。1927 年古浪 8.0 级地震、1990 年天祝-景泰 6.2 级地震、1954 年山丹 7.25 级地震、1986 年门源 6.4 级地震等在地壳构造上都具有在中地壳顶部高速区隆起、下地壳存在高速体以及高速体下又存在一低速层的构造特性。

发展了一种有效的利用宽频带体波波反演研究上地幔速度结构的方法。利用宽频带体波波形资料,对中国青藏高原和中国北部及蒙古地区 1000km 以上深度的上地幔速度结构进行了反演。结果表明,青藏高原上地幔盖层的平均厚度约为 30~40km,速度约为 8.1km/s。位于拉萨块体北部的羌塘地块地壳和上地幔的 S 波速度都较低,分别比拉萨地块低 1%和 2%以上。青藏高原较薄的上地幔盖层表明印度板块的下插可能只发展到雅鲁藏布江附近,青藏高原北部上地幔 P 波的低速区可能与上地幔热物质上涌有关。在中国北部及蒙古地区,上地幔的平均 P 波速度较低(7.8~8.0km/s),上地幔盖层的平均厚度约 60km,在贝加尔湖附近的盖层厚度约 30km。

利用中国数字台网记录到的发生在 1998 年下半年的 11 个震级大于 6 级的远震事件的宽频带体波数据,求得了台站下方介质的接收函数,并反演得到了台站下方的 S 波速度结构。接收函数反演结果中最可靠的是莫霍界面的信息,本课题给出了所有 11 个台站下的莫霍界面的深度,以及地壳和上地幔 S 波速度的分布特征。

发表论文及论著目录

1. 丁志峰, 1999, 近震层析成像的理论及应用(中国地震局地球物理研究所博士学位论文), 北京。
2. 丁志峰、何正勤、孙为国、孙宏川, 1999, 青藏高原东部及其边缘地区的地壳上地幔三维速度结构, 地球物理学报, 42(2): 197~205。
3. 丁志峰、何正勤、孙为国、孙宏川, 1999, 青藏高原东部及其邻区地壳上地幔三维速度结构的研究, CT 理论与应用研究, 8(3): 30。
4. 丁志峰, 1999, 对青藏高原深部构造及动力学问题研究的回顾与展望, 见: 面向 21 世纪的地震科学技术, 北京。

5. Li Qinghe, et al., 1998, 3-D crustal velocity tomography in the central Korea Peninsula, *Econ. Environ. Geol.*, 31 (3): 231~247. (SCI 收录)
6. 李清河、金昭九、张元生, 1999, 多震相走时和波形三维地震成像方法及在祁连山地壳结构研究中的应用, *CT 理论与应用研究*, 8 (3): 26.
7. 吴建平、曾融生, 1998, 体波波形反演青藏高原上地幔速度结构的研究, *地球物理学报*, 41 (增刊): 15~25.
8. 吴建平、曾融生、明跃红, 1998, 中国北部及蒙古地区上地幔速度结构研究, *地震学报*, 20: 590~597.
9. 何正勤、丁志峰、孙为国, 2000, 中国大陆及其邻域的瑞利波群速度与地壳上地幔速度结构, *中国地球物理学会年刊*, 254.
10. 何正勤、张天中、叶太兰、丁志峰, 2000, 河北平原北部的短周期面波频散与地壳中上部速度结构, *地震学报*, 22 (1): 82~86.
11. 何正勤、丁志峰、叶太兰、孙为国、张乃玲, 2001, 中国大陆及其邻域地壳上地幔速度结构的面波层析成像研究, *地震学报*, 23 (6): 596~603.
12. 何正勤、丁志峰、叶太兰、孙为国、张乃玲, 2002, 中国大陆及其邻域的瑞利波群速度分布图像与地壳上地幔速度结构, *地震学报*, 24 (3): 252~259.