

学术引领系列

学科发展战略研究丛书

我国地震减灾中地震学 面临的巨大挑战

温联星 陈颀 于晟 / 编著



科学出版社

学术引领系列

学科发展战略研究丛书

我国地震减灾中地震学 面临的巨大挑战

温联星 陈 颢 于 晟 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书结合地震学与社会需求,以科学问题为核心,前瞻性地提出了我国在地震减灾中地震学所面临的七个巨大挑战和两个重大工程。对于每个巨大挑战,首先回顾了当前的科学前沿,针对性地指出了地震减灾中面临的关键科学问题,并提出主要建议。对于重大工程,提出了在迎接巨大挑战中,我国所必需的全国性基础设施建设和教育拓展工程。

本书言简意赅、图文并茂、通俗易懂,可供从事地震学研究的科研工作者、研究生以及本科生,政策制定者及社会公众参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

我国地震减灾中地震学面临的巨大挑战 / 温联星, 陈颀, 于晟编著. —北京: 科学出版社, 2011

ISBN 978-7-03-032200-5

I. ①我… II. ①温… ②陈… ③于… III. ①地震学—研究—中国
IV. ①P315

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第174585号

责任编辑: 张 尉 杨帅英 / 责任校对: 何艳萍

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 黄华斌

内文设计: 北京美光制版有限公司

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京佳信达欣艺术印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年9月第 一 版

开本: 787×1092 1/16

2011年9月第一次印刷

印张: 5 1/4

印数: 1—2 000

字数: 100 000

定价: 58.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

总序

九层之台，起于累土

近代科学诞生以来，科学的光辉引领和促进了人类文明的进步，在人类不断深化对自然和社会认识的过程中，形成了以学科为重要标志的、丰富的科学知识体系。学科不但是科学知识的基本的单元，同时也是科学活动的基本单元：每一学科都有其特定的问题域、研究方法、学术传统乃至学术共同体，都有其独特的历史发展轨迹；学科内和学科间的思想互动，为科学创新提供了原动力。因此，发展科技，必须研究并把握学科内部运作及其与社会相互作用的机制及规律。

中国科学院学部作为我国自然科学的最高学术机构和国家在科学技术方面的最高咨询机构，历来十分重视研究学科发展战略。2009年4月与国家自然科学基金委员会联合启动了“2011—2020年我国学科发展战略研究”19个专题咨询研究，并组建了总体报告研究组。在此工作基础上，为持续深入开展有关研究，学部于2010年底，在一些特定的领域和方向上重点部署了学科发展战略研究项目，研究报告现以“学科发展战略研究丛书”方式系列出版，供大家交流讨论，希望起到引导之效。

根据学科发展战略研究总体研究工作成果，我们特别注意到学科发展的以下几方面的特征和趋势。

一是学科发展已越出单一学科的范围，呈现出集群化发展的态势，呈现出多学科互动共同导致学科分化整合的机制。学科间交叉和融合、重点突破和“整体统一”，成为许多相关学科得以实现集群式发展的重要方式，一些学科边界更加模糊。

二是学科发展体现了一定的周期性，一般要经历源头创新期、创新密集区、完善与扩散期。并在科学革命性突破的基础上螺旋上升式发展，进入新一轮发展周期。根据不同阶段的学科发展特点，实现学科均衡与协调发展成为了学科整体

发展的必然要求。

三是学科发展的驱动因素、研究方式和表征方式发生了相应的变化。学科的发展以好奇心牵引下的问题驱动为主，逐渐向社会需求牵引下的问题驱动转变；计算成为了理论、实验之外的第三种研究方式；基于动态模拟和图像显示等信息技术，为各学科纯粹的抽象数学语言提供了更加生动、直观的辅助表征手段。

四是科学方法和工具的突破与学科发展互相促进作用更加显著。技术科学的进步为激发新现象并揭示物质多尺度、极端条件下的本质和规律提供了积极有效手段。同时，学科的进步也为技术科学的发展和催生战略新兴产业奠定了重要基础。

五是文化、制度成为了促进学科发展的重要前提。崇尚科学精神的文化环境、避免过多行政干预和利益博弈的制度建设、追求可持续发展的目标和思想，将不仅极大促进传统学科和当代新兴学科的快速发展，而且也为人 才成长并进而促进学科创新提供了必要条件。

我国学科体系系由西方移植而来，学科制度的跨文化移植及其在中国文化中的本土化进程，延续已达百年之久，至今仍未结束。

鸦片战争之后，代数学、微积分、三角学、概率论、解析几何、力学、声学、光学、电学、化学、生物学和工程科学等的近代科学知识被介绍到中国，其中有些知识成为一些学堂和书院的教学内容。1904年清政府颁布“癸卯学制”，该学制将科学技术分为格致科（自然科学）、农业科、工艺科和医术科，各科又分为诸多学科。1905年清朝废除科举，此后中国传统学科体系逐步被来自西方的新学科体系取代。

民国时期现代教育发展较快，科学社团与科研机构纷纷创建，现代学科体系的框架基础成型，一些重要学科实现了制度化。大学引进欧美的通才教育模式，培育各学科的人才。1912年詹天佑发起成立中华工程师会，该会后来与类似团体

合为中国工程师学会。1914年留学美国的学者创办中国科学社。1922年中国地质学会成立，此后，生理、地理、气象、天文、植物、动物、物理、化学、机械、水利、统计、航空、药学、医学、农学、数学等学科的学会相继创建。这些学会及其创办的《科学》、《工程》等期刊加速了现代学科体系在中国的构建和本土化。1928年国民政府创建中央研究院，这标志着现代科学技术研究在中国的制度化。中央研究院主要开展数学、天文学与气象学、物理学、化学、地质与地理学、生物科学、人类学与考古学、社会科学、工程科学、农林学、医学等学科的研究，将现代学科在中国的建设提升到了研究层次。

中华人民共和国建立之后，学科建设进入了一个新阶段，逐步形成了比较完整的体系。1949年11月新中国组建了中国科学院，建设以学科为基础的各类研究所。1952年，教育部对全国高等学校进行院系调整，推行苏联式的专业教育模式，学科体系不断细化。1956年，国家制定出《十二年科学技术发展远景规划纲要》，该规划包括57项任务和12个重点项目。规划制定过程中形成的“以任务带学科”的理念主导了以后全国科技发展的模式。1978年召开全国科学大会之后，科学技术事业从国防动力向经济动力的转变，推进了科学技术转化为生产力的进程。

科技规划和“任务带学科”模式都加速了我国科研的尖端研究，有力带动了核技术、航天技术、电子学、半导体、计算技术、自动化等前沿学科建设与新方向的开辟，填补了学科和领域的空白，不断奠定工业化建设与国防建设的科学技术基础。不过，这种模式在某些时期或多或少地弱化了学科的基础建设、前瞻发展与创新活力。比如，发展尖端技术的任务直接带动了计算机技术的兴起与计算机的研制，但科研力量长期跟着任务走，而对学科建设着力不够，已成为制约我国计算机科学技术发展的“短板”。面对建设创新型国家的历史使命，我国亟待

夯实学科基础，为科学技术的持续发展与创新能力的提升而开辟知识源泉。

反思现代科学学科制度在我国移植与本土化的进程，应该看到，20世纪上半叶，由于西方列强和日本入侵，再加上频繁的内战，科学与救亡结下了不解之缘，新中国建立以来，更是长期面临着经济建设和国家安全的紧迫任务。中国科学家、政治家、思想家乃至一般民众均不得不以实用的心态考虑科学及学科发展问题，我国科学体制缺乏应有的学科独立发展空间和学术自主意识。改革开放以来，中国取得了卓越的经济建设成就，今天我们可以也应该静下心来思考“任务”与学科的相互关系，重审学科发展战略。

现代科学不仅表现为其最终成果的科学知识，还包括这些知识背后的科学方法、科学思想和科学精神，以及让科学得以运行的科学体制，科学家的行为规范和科学价值观。相对于我国的传统文化，现代科学是一个“陌生的”、“移植的”东西。尽管西方科学传入我们已有一百多年的历史，但我们更多地还是关注器物层面，强调科学之实用价值，而较少触及科学的文化层面，未能有效而普遍地触及到整个科学文化的移植和本土化问题。中国传统文化以及当今的社会文化仍在深刻地影响着中国科学的灵魂。可以说，迄20世纪结束，我国移植了现代科学及其学科体制，却在很大程度上拒斥与之相关的科学文化及相应制度安排。

科学是一项探索真理的事业，学科发展也有其内在的目标，探求真理的目标。在科技政策制定过程中，以外在的目标替代学科发展的内在目标，或是只看到外在目标而未能看到内在目标，均是不适当的。现代科学制度化进程的含义就在于：探索真理对于人类发展来说是必要的和有至上价值的，因而现代社会和国家须为探索真理的事业和人们提供制度性的支持和保护，须为之提供稳定的经费支持，更须为之提供基本的学术自由。

20世纪以来，科学与国家的目的不可分割地联系在一起，科学事业的发展不可避免地要接受来自政府的直接或间接的支持、监督或干预，但这并不意味着，从此便不再谈科学自主和自由。事实上，在现当代条件下，在制定国家科技政策时充分考虑“任务”和学科的平衡，不但是最大限度实现学术自由、提升科学创造活力的有效路径，同时也是让科学服务于国家和社会需要的最有效的做法。这里存在着这样一种辩证法：科学技术系统只有在具有高度创造活力的情形下，才能在创新型国家建设过程中发挥最大作用。

在全社会范围内创造一种允许失败、自由探讨的科研氛围；尊重学科发展的内在规律，让科研人员充分发挥自己的创造潜能；充分尊重科学家的个人自由，不以“任务”作为学科发展的目标，让科学共同体自主地来决定学科的发展方向。这样做的结果往往比事先规划要更加激动人心。比如，19世纪末德国化学学科的发展史就充分说明了这一点。从内部条件上讲，首先是由于洪堡兄弟所创办的新型大学模式，主张教与学的自由、教学与研究相结合，使得自由创新成为德国的主流学术生态。从外部环境来看，德国是一个后发国家，不像英、法等国拥有大量的海外殖民地，只有依赖技术创新弥补资源的稀缺。在强大爱国热情的感召下，德国化学家的创新激情迸发，与市场开发相结合，在染料工业、化学制药工业方面进步神速，十余年间便领先于世界。

中国科学院作为国家科技事业“火车头”，有责任提升我国原始创新能力，有责任解决关系国家全局和长远发展的基础性、前瞻性、战略性重大科技问题，有责任引领中国科学走自主创新之路。中国科学院学部汇聚了我国优秀科学家的代表，更要责无旁贷地承担起引领中国科技进步和创新的重任，系统、深入地对自然科学各学科进行前瞻性战略研究。这一研究工作，旨在系统梳理世界自然科

学各学科的发展历程，总结各学科的发展规律和内在逻辑，前瞻各学科中长期发展趋势，从而提炼出学科前沿的重大科学问题，提出学科发展的新概念和新思路。开展学科发展战略研究，也要面向我国现代化建设的长远战略需求，系统分析科技创新对人类社会发展和我国现代化进程的影响，注重新技术、新方法和新手段研究，提炼出符合中国发展需求的新问题和重大战略方向。开展学科发展战略研究，还要从支撑学科发展的软、硬件环境和建设国家创新体系的整体要求出发，重点关注学科政策、重点领域、人才培养、经费投入、基础平台、管理体制等核心要素，为学科的均衡、持续、健康发展出谋划策。

2010年，在中国科学院各学部常委会的领导下，各学部依托国内高水平科研教育等单位，积极酝酿和组建了以院士为主体、众多专家参与的学科发展战略研究组。经过各研究组的深入调查和广泛研讨，形成了学科发展战略系列研究报告，将以“国家科学思想库—学术引领系列”陆续出版。学部诚挚感谢为学科发展战略研究付出心血的院士、专家们！

按照学部“十二五”工作规划部署，学科发展战略研究将持续开展，希望学科发展战略系列研究报告持续关注前沿，不断推陈出新，引导广大科学家与中国科学院学部一起，把握世界科学发展动态，夯实中国科学发展的基础，共同推动中国科学早日实现创新跨越！

白立忱

2011年8月24日

前言

2008年5月12日汶川大地震导致了近八万同胞罹难、4500万人受灾和8451亿元的直接损失。这是自1976年唐山大地震以来，我国死亡人数最多的一次地震灾害。为了更有效地了解我国地震灾害以及加强我国将来地震减灾工作，2010年夏，中国科学院、国家自然科学基金委员会和中国地震局成立一个专项工作组。该工作组对于如何改进我国地震减灾工作中地震学面临的巨大挑战和重大工程提交了一份报告，本书就是该工作组的咨询研究报告。

防震减灾牵涉科学、工程和政策等各个方面，其中包括地震预报、地震灾害分析、地表强地面运动和破坏的快速评估、震后快速救援，以及抗震建筑法规的制定和施行。

地震预报在本书中指的是精确预报地震发生的时间、地点和震级。它仍是地震学界的重要目标和世界性难题，也是个极有争论性的科学问题。无论如何，目前科学界的共识是，现在还没有一种证明可行的方法可预报地震。本书将不讨论地震预报的科学问题，我们认为这个问题更适合在同行评议的研究中讨论。

在我国制定和施行防震建筑法规是地震减灾的一个极其重要的部分，实现这个目标需要地震学界、工程界和国家政策制定者的紧密合作。本书仅涉及这个目标的有关于地震学部分，我们建议有关部门同时讨论、制定和施行抗震建筑法规及相关政策。

本书提出了在改进我国地震减灾中所面临的七个巨大挑战和两个重大工程。巨大挑战针对地震减灾中面临的重大科学问题，而重大工程则提出了在迎接巨大挑战中我国必需的基础设施建设和教育拓展工程。对于每个巨大挑战，首先回顾了当前科学前沿，指出关键科学问题，并提出主要建议。

巨大挑战围绕着我国地震减灾中面临的如下科学问题：为什么会发生地震以及地震怎么发生？地震产生的地表强地面运动是什么样的？地震在我国是怎么分布的？地震与地球表面的形变和应力分布的关系是什么？地震与印度—欧亚板块碰撞之间的关系是什么？地震与近地表介质及应力随时间变化的关系是什么？产生地震的驱动力是什么？

地震学是一个以观察为主的学科，并在广阔科学和社会领域发挥着纽带作用。在地震学的历史里，所有主要发现和进展都是由于科学设备的创新和观测台网的改进。地震学的发展同时需要公众和政府的支持，以及年轻优秀人才的加盟。因此，每个巨大挑战的成功取决于一个现代化的地球物理观测系统来提供科学数据，和一个有效的教育拓展计划来提高全民对地震科学的认知、兴趣和了解。两个重大工程即针对以上目标。

巨大挑战一讨论了和“为什么会发生地震和地震如何发生”相关的五个根本性问题：①大震滑动发生在什么区域？②断层以什么方式滑动？为什么？③控制不同类型断层滑动的参数和物理定律是什么？④断裂带的精细结构是什么？⑤潜在大震可能如何滑动？

巨大挑战二讨论了地震导致怎样的强地面震动的问题，其中包括盆地的复杂地质结构，地震波在复杂地质及介质结构中的传播理论和方法，以及土壤在大地震中的非线性效应。

巨大挑战三讨论了我国的地震如何分布的相关问题，其中包括建立中国区域的块体构造理论，用于理解我国区内的大震。挑战包括如何识别我国区域内不同构造块体，以及建立其运动学模型并对块体驱动力进行量化。

巨大挑战四讨论了地表的应力和应变分布与地震的关系的相关问题，包括定量测量和研究我国的应变和应力分布，探索应力、应变与地震、构造驱动力及地球流变结构之间的关系。

巨大挑战五讨论了我国地震与印度—欧亚板块碰撞的关系的相关问题，包括探索青藏高原的内部结构、地表形变和隆升机制，以及它们对地震灾害的指示意义。

巨大挑战六讨论了地震与近地表介质及应力随时间变化的关系的相关问题，包括研究近地表随时间变化，以及它对地震灾害、地震孕育过程、断层活动、震后还原、断层愈合过程、地震重复性和地表流变结构的指示意义。

巨大挑战七讨论了导致地震的驱动力的问题，包括理解地球的内部结构、成分与温度，定量研究区域构造的驱动力。

重大工程一回顾了我国地球物理观测系统的现状，指出了面临的挑战，提出了需要在我国建设现代化观测台网的要求。

重大工程二指出了我国需要开展的地震学教育拓展项目，以此向公众提供实时地震信息，提高公众的防震意识和对地震科学的认知、兴趣和了解，以及敦促国家有关机构和国内大学对地震学重视。

目 录

总 序	/ i
前 言	/ vii
巨大挑战一 地震断层的破裂过程	/ 1
地震波监测核试验	/ 9
巨大挑战二 近地表环境对地震灾害的影响	/ 11
地震预警系统	/ 17
巨大挑战三 中国区域构造块体的相互作用与地震的关系	/ 18
巨大挑战四 中国地表应变和应力的分布与地震的关系	/ 22
巨大挑战五 青藏高原的内部结构、形变和隆升对地震灾害的影响	/ 29
巨大挑战六 地球近地表随时间的变化与地震的关系	/ 33
巨大挑战七 地球内部结构和动力过程与地震的关系	/ 37

重大工程一	建设一个现代化的地球物理观测系统	/ 42
	美国地震学联合研究会 (IRIS)	/ 47
	地球探测计划 (EarthScope)	/ 51
	日本高灵敏度地震台网 (Hi-net)	/ 54
重大工程二	建立和实施地震学教育拓展计划	/ 55
总 结		/ 59
参考文献		/ 63
致 谢		/ 65

巨大挑战一

地震断层的破裂过程

小震使断层局部发生破裂，而大震则会使断层大面积破裂，很多时候破裂甚至贯穿数个断层。地震学的最新发现显示，除一般地震破裂外，断层滑动还表现出诸多类型和特性，包括慢滑移、间歇性非火山脉动和超剪切破裂。慢滑移持续许多天而且仅能被GPS接收器和应变计观测到；

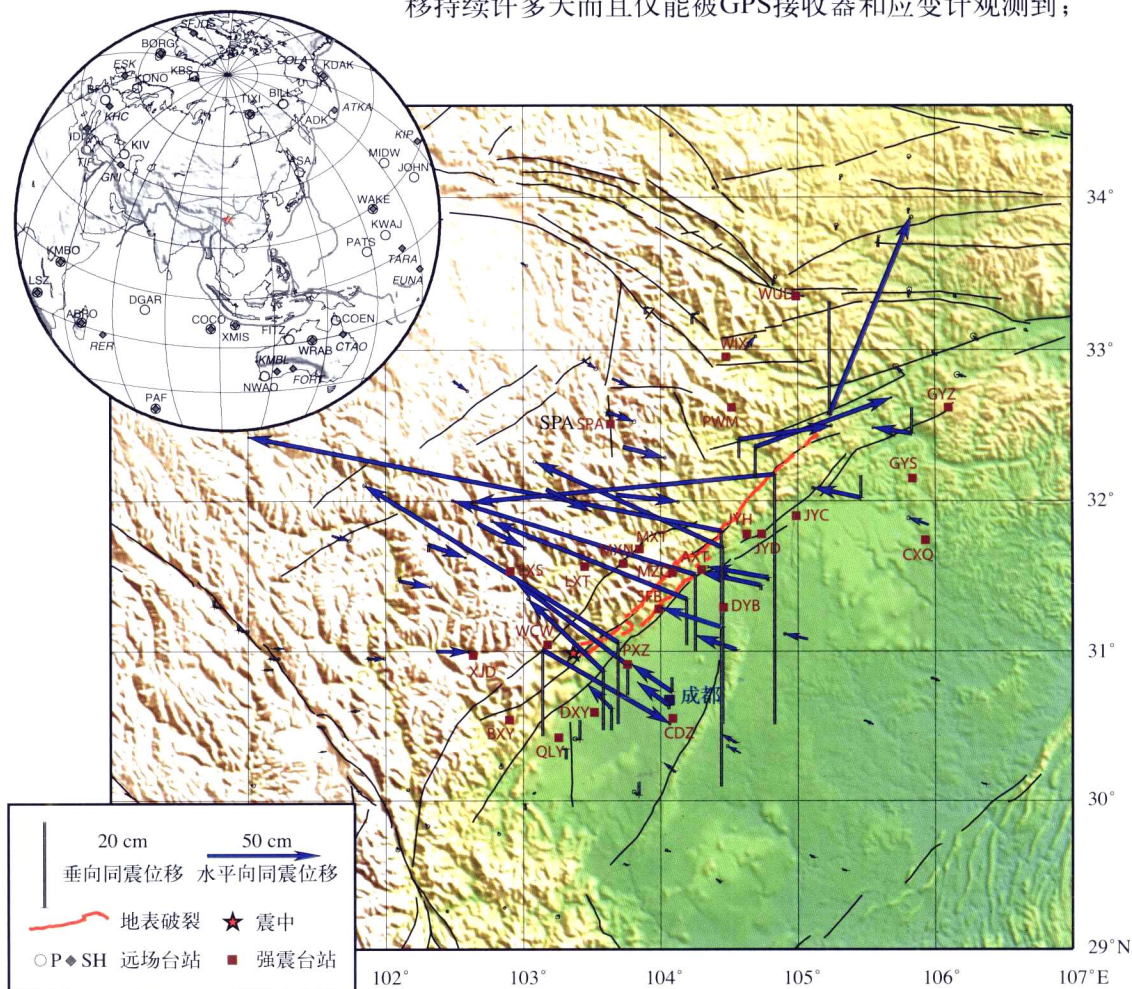


图1 2008年5月12日汶川地震中记录到地震波的远场地震台站、近场强震台站、GPS台站（箭头和竖线的起点）及其同震位移分布。（供图/王卫民）

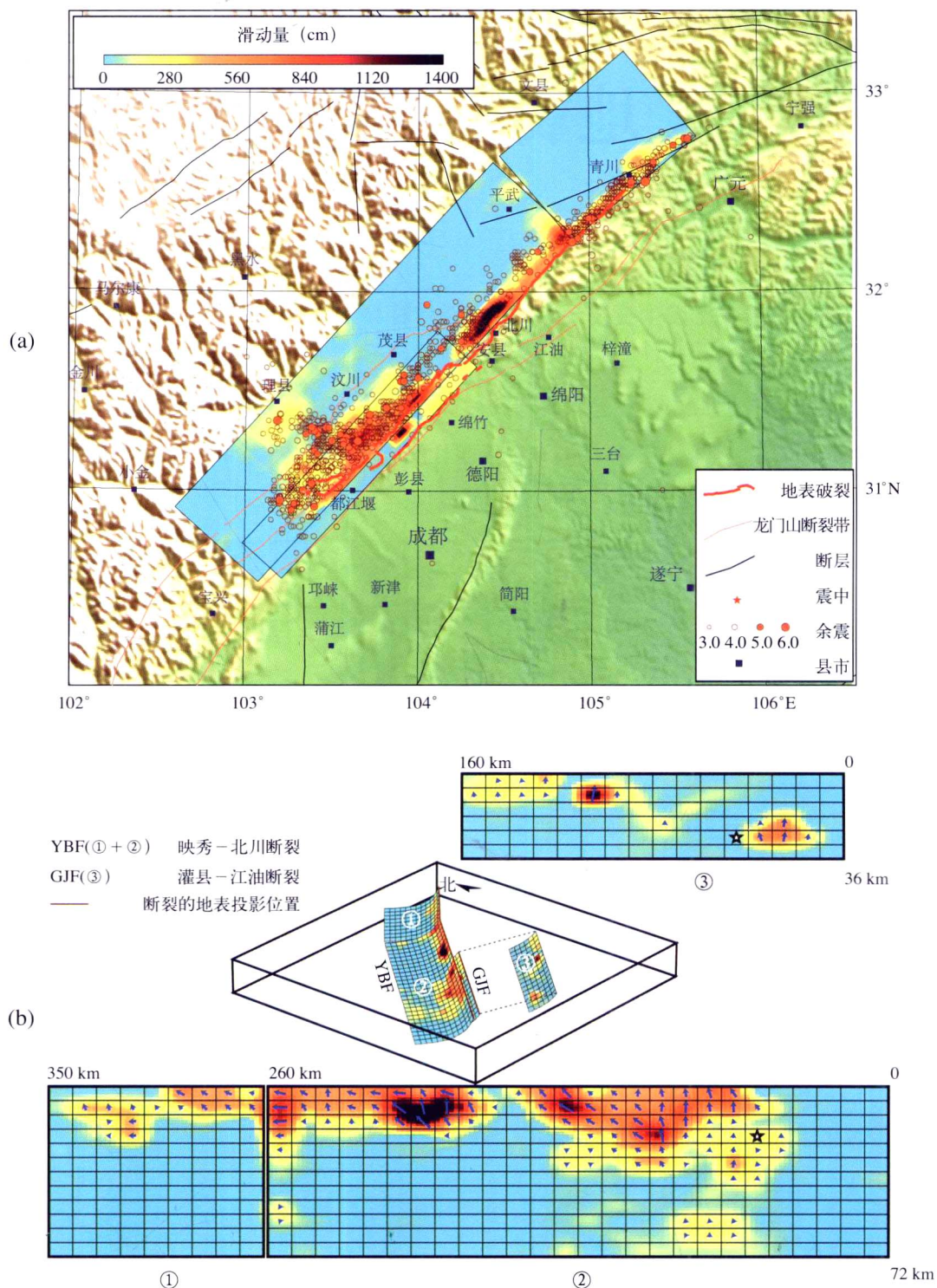


图2 (a) 自图1地震和GPS资料反演获得的汶川地震的主震滑动区域位错分布的地面投影以及余震分布;(b) 映秀-北川断裂和灌县-江油断裂两个主断层上的位错分布。(供图/王卫民)

间歇性非火山脉动以脉冲形式释放能量；而超剪切破裂以大于瑞利波速度错动。了解断层如何滑动是研究震源物理和地震灾害的一个巨大挑战。挑战包括以下几个基本科学问题：①大震滑动发生在什么区域？②断层以什么方式滑动？为什么？③控制不同类型断层滑动的参数和物理定律是什么？④断裂带的精细结构是什么？⑤潜在大震可能如何滑动？

大震时断层如何滑动或断层的运动学过程是研究震源物理的基本信息。运动学模型对理解断层破裂过程和各种震源参数和物理定律之间的关系起了决定性的作用。运动学模型同时也是用于评估大震毗邻区域强地面运动、科学指导救援行动的主要依据。

现今，地震、大地测量和地质数据的综合利用使地震学具备了描绘大震破裂过程的能力。其中利用的地震数据包括离震中几千千米外的远场和震中附近的近场记录；大地测量数据包括近场GPS观测和InSAR（合成孔径雷达干涉）成像；地

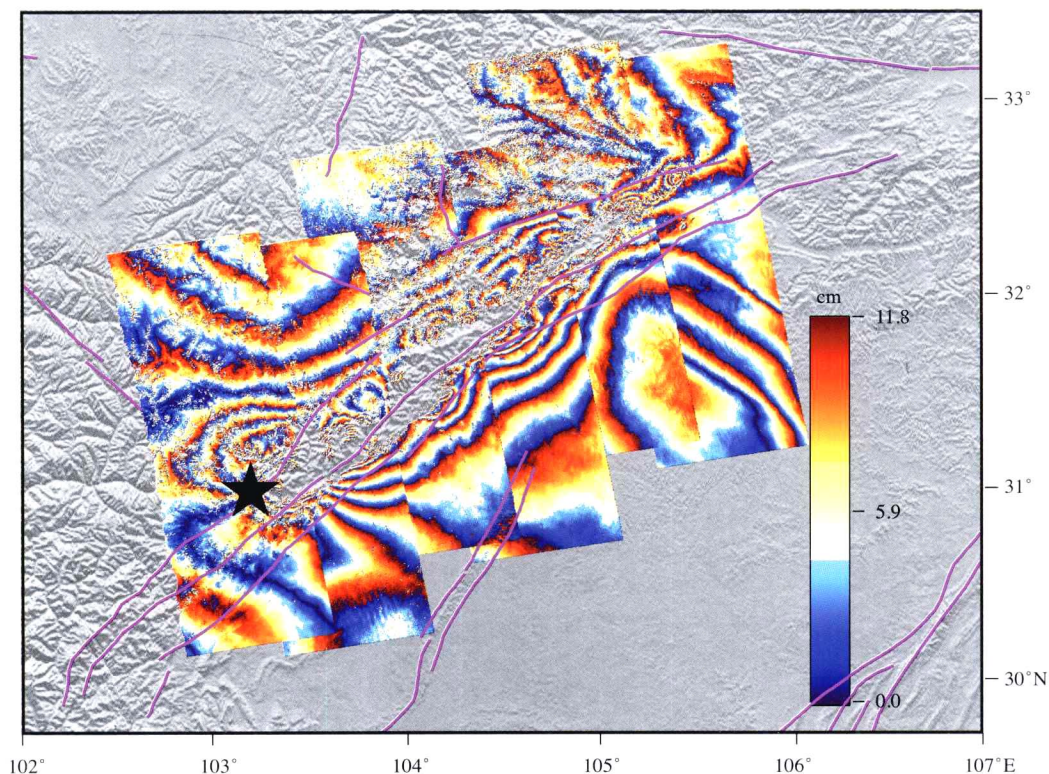


图3 来自日本ALOS卫星(PALSAR传感器)的汶川地震同震形变场升轨干涉图。
(供图/许才军)