

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

1183734

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, 陈颢, 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)



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定量化。



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；

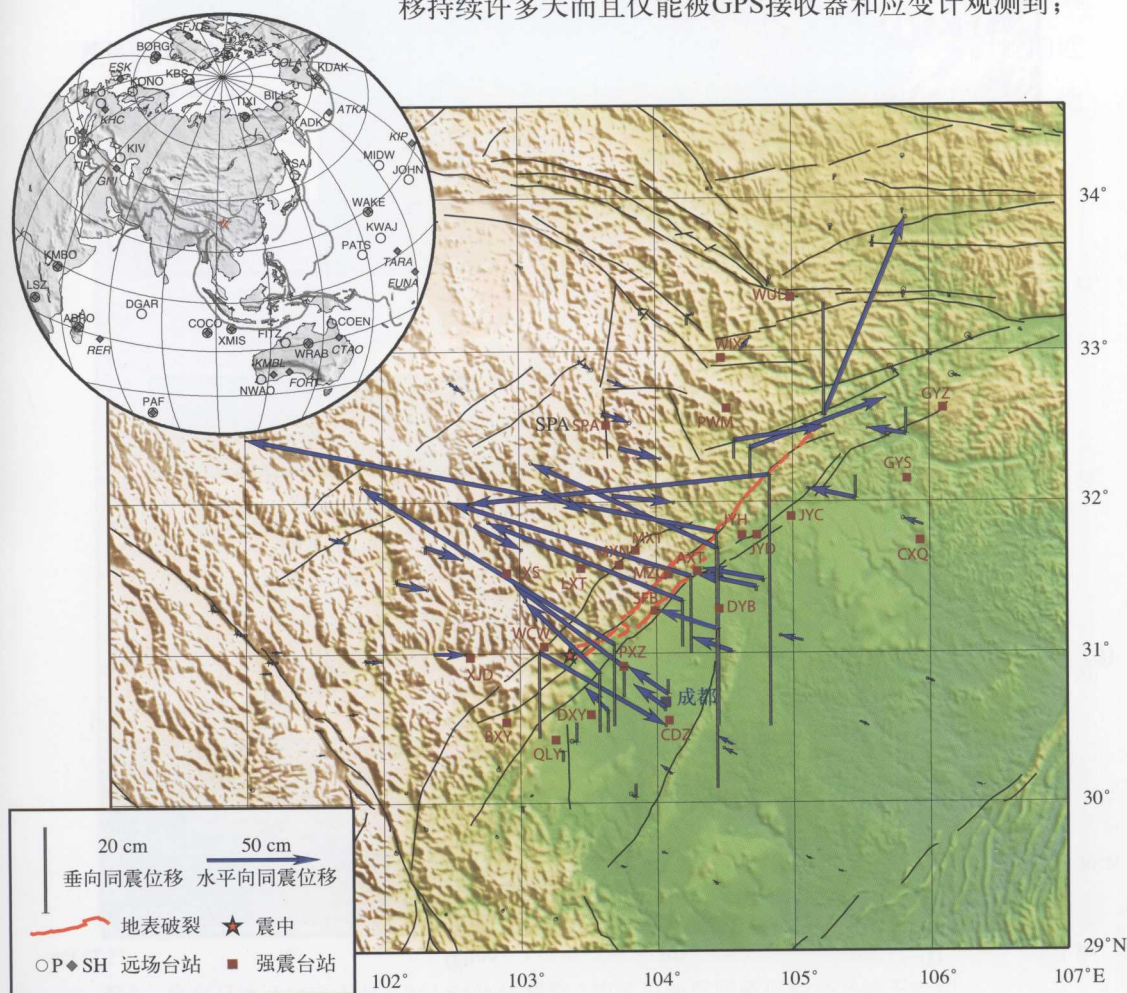


图1 2008年5月12日汶川地震中记录到地震波的远场地震台站、近场强震台站、GPS台站（箭头和竖线的起点）及其同震位移分布。（供图/王卫民）

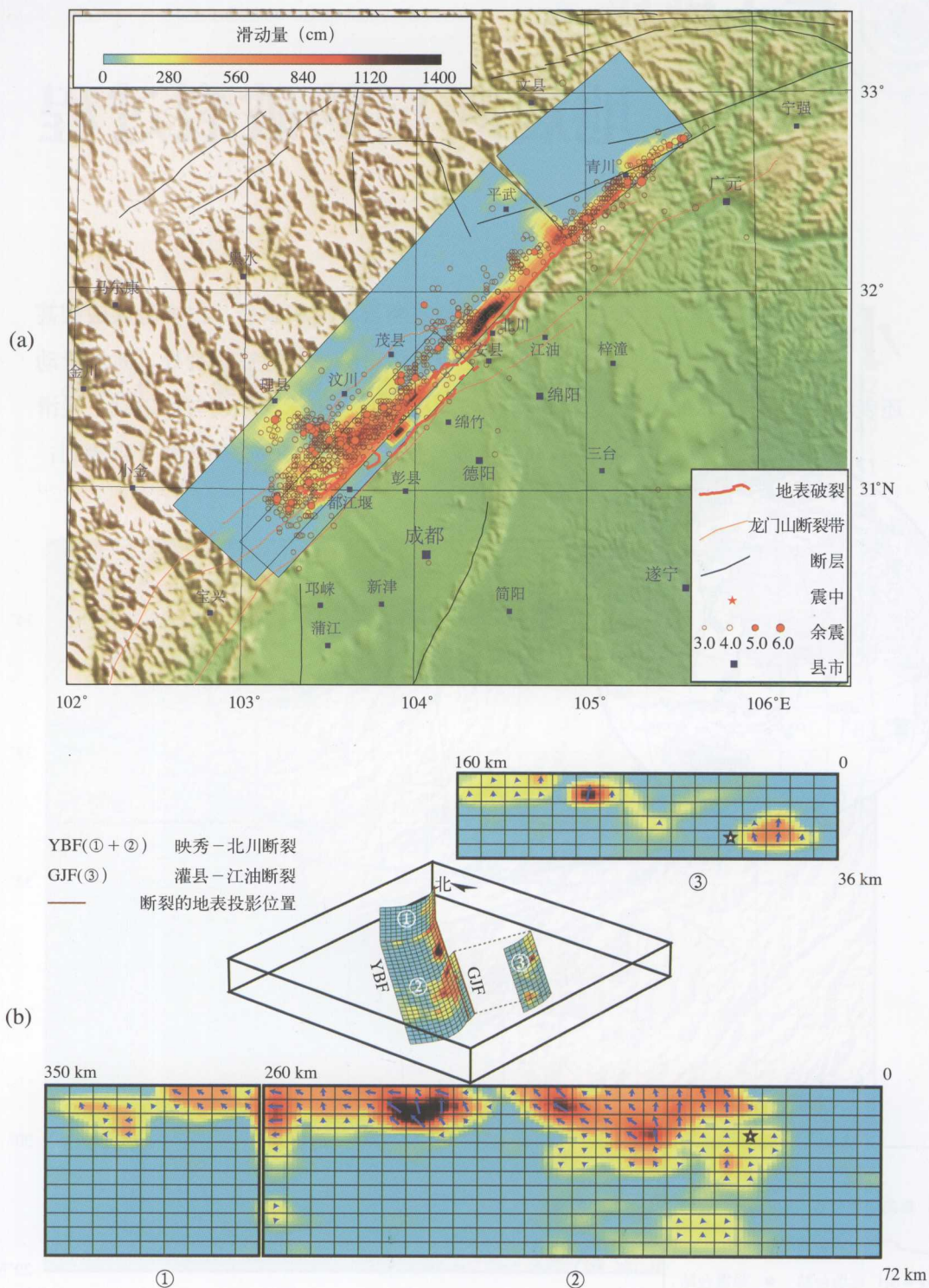


图2 (a) 自图1地震和GPS资料反演获得的汶川地震的主震滑动区域位错分布的地面投影以及余震分布;(b) 映秀-北川断裂和灌县-江油断裂两个主断层上的位错分布。(供图/王卫民)

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

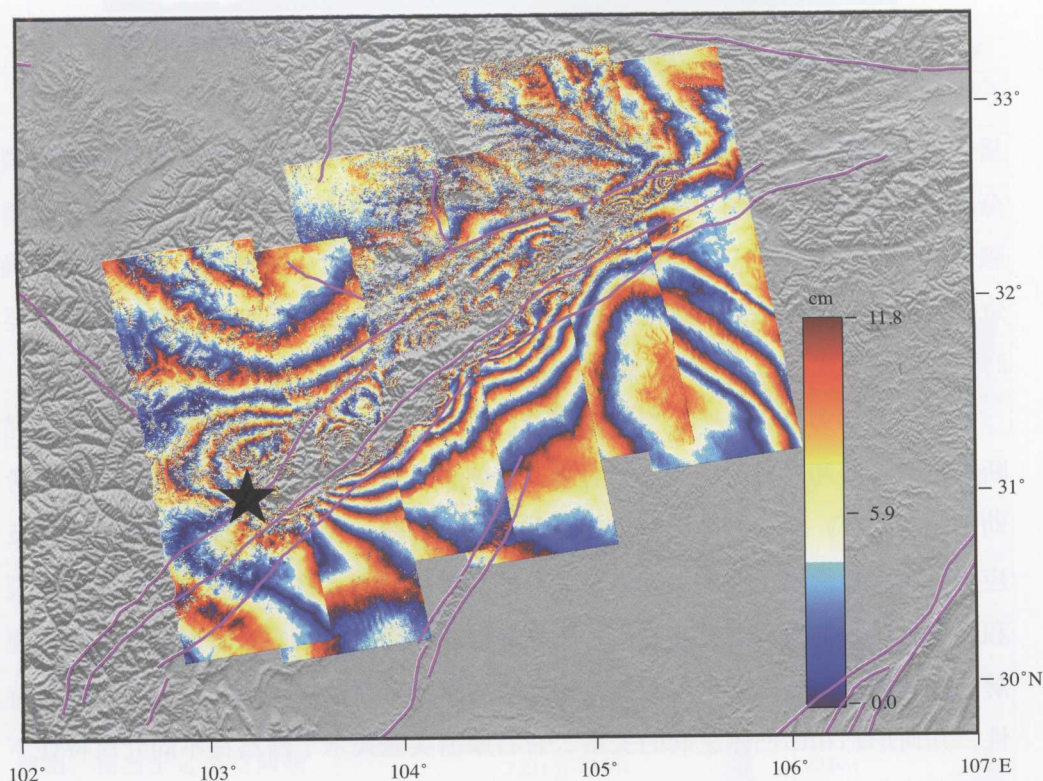


图3 来自日本ALOS卫星(PALSAR传感器)的汶川地震同震形变场升轨干涉图。
(供图/许才军)

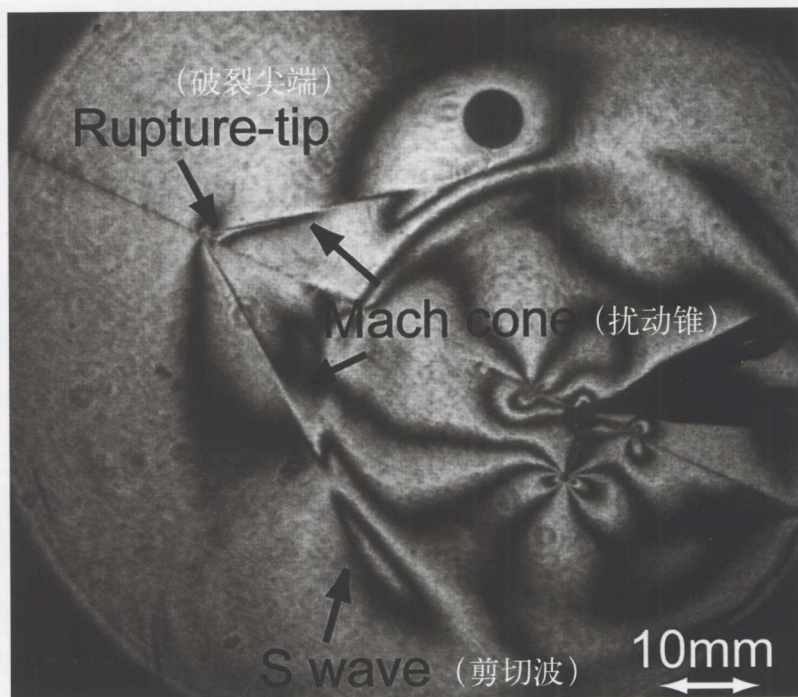


图4 在岩石破裂实验中观察到的在岩石破裂触发后出现的纯超剪切破裂现象（破裂速度大于剪切波速度）。（Xia et al., 2004）

质数据包括基于野外观察的断层线、地震发生时的断层深部几何形态和地表破裂分布。在大地震来临时，快速确定地震的破裂过程是尤其关键的首要问题。在增强计算能力的前提下，现有的震源反演程序可确保实时得到结果。所以，目前确定破裂过程的速度主要取决于研究人员获取数据的速度。虽然震后野外观察需要时间，但是现代通信技术完全能够保证地震和GPS数据的实时传递。

在震源动力学研究中，当今地震学已经能够运用自洽的物理摩擦定律来研究断层错动过程和各种断层参数的关系。最新研究显示以下几个参数在控制大震滑动中尤其重要：断层的几何形态、断层内的凹凸体、断层间的介质特性变化以及应力分布。地震学已经能够定量研究这些参数在控制大震断层滑动的开始、破裂和终止中所起的作用。三个方向的研究前沿在不断提高我们对断层滑动机制的理解：大震的运动学模型揭示了越来越细致的断层破裂过程以及它们与断层介质特性、几何形态和凹凸体之间的关系；岩石摩擦实验揭示了断层在不同介质特性下以及非均匀剪应力和正应力分布下的高精度破裂图像；理论研究已能够构建各种动态破裂模型来检测不同断层参数对破裂过程的影响。最新发现的多种新的断层

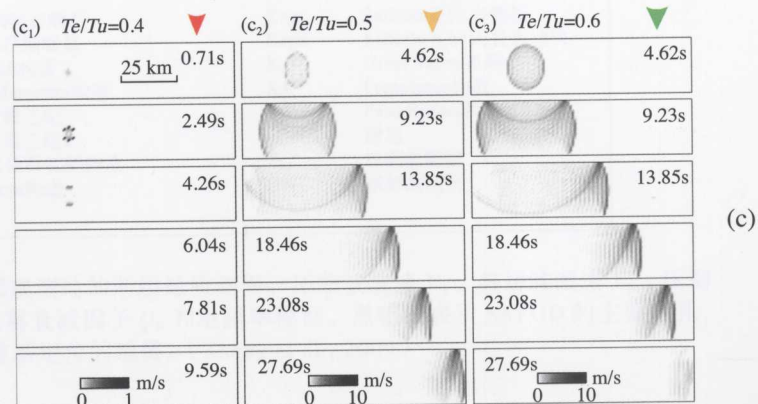
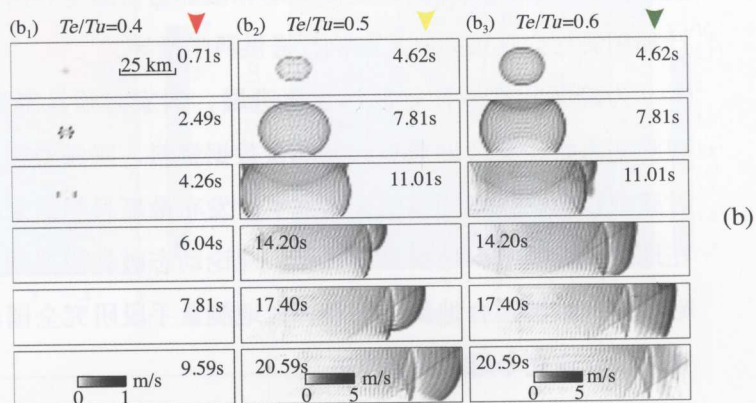
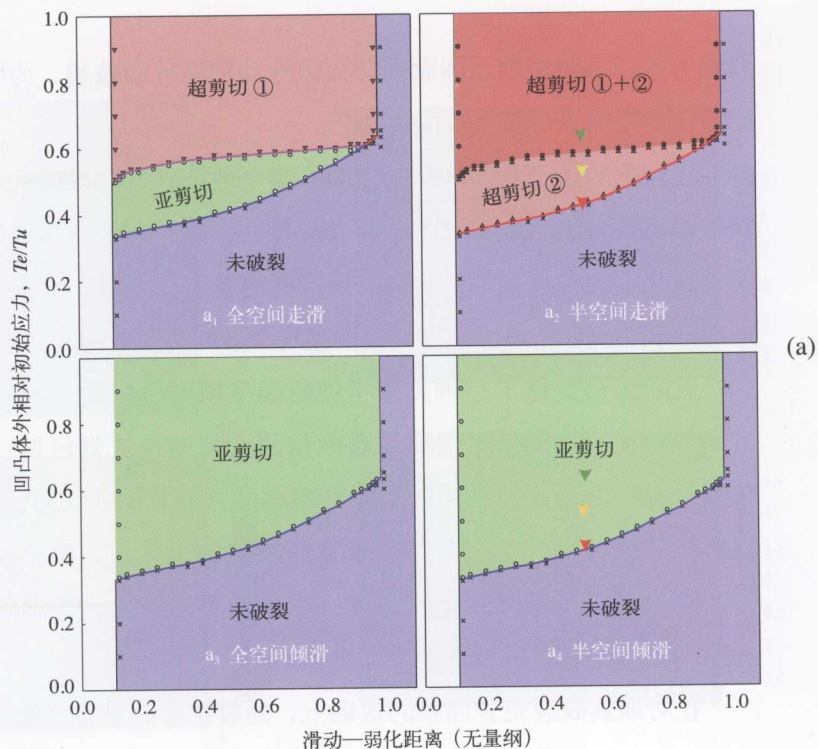


图5 地震震源动态破裂模拟。(a) 断层破裂在四种情况下的“相变图”;(b) 破裂过程快照图, 相当于 a_2 半空间走滑情况。其中, b_1 – b_3 相当于在 a_2 中同颜色点的状态;(c) 破裂过程快照图, 相当于 a_4 半空间倾滑情况。其中, c_1 – c_3 相当于 a_4 中同颜色点的状态。(供稿 / 陈晓非)

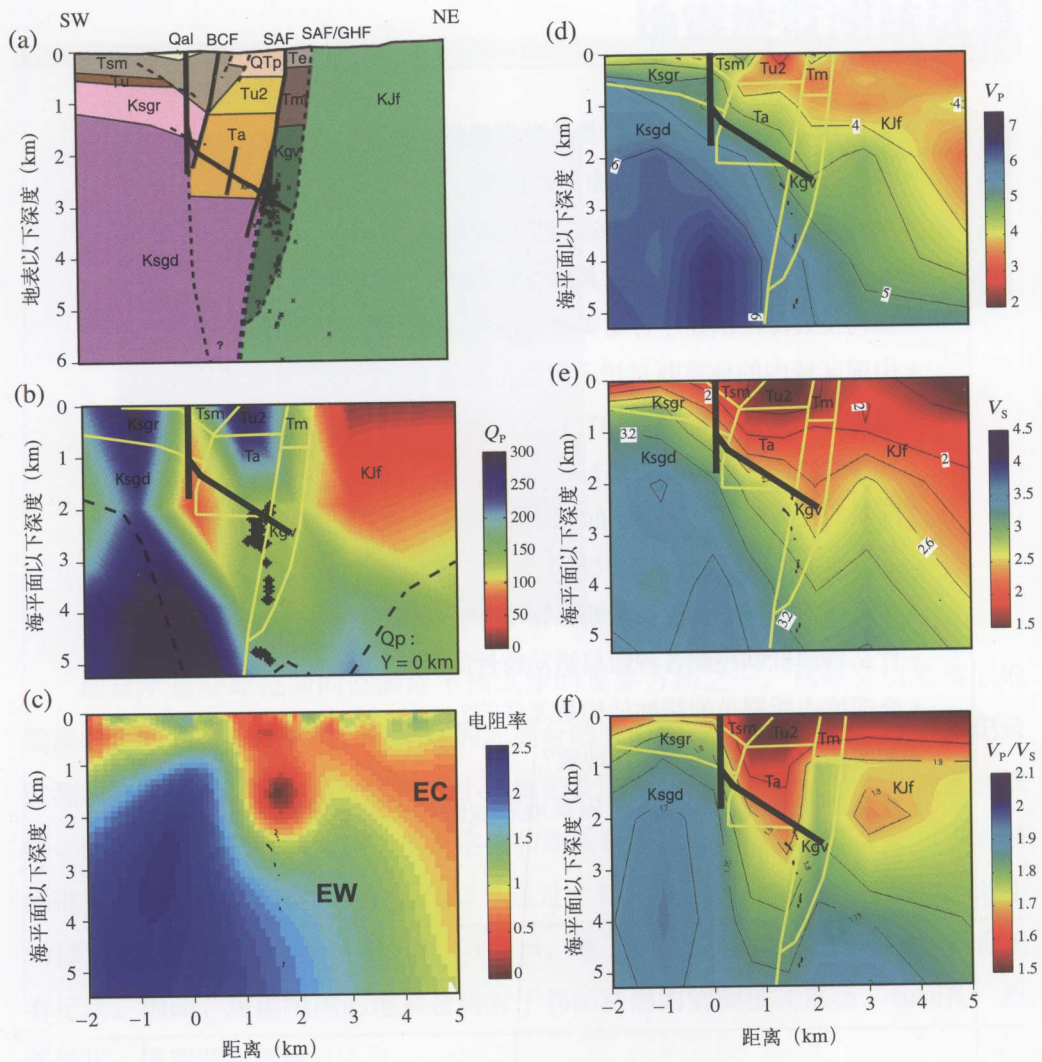
活动方式,如慢滑移、间歇性非火山脉动和超剪切破裂,为研究断层破裂和物理摩擦定律提供了可能突破性的机会。

在研究断裂带的精细结构方面,当今地震学也取得很大进展。地震学利用断裂带围陷波来决定断裂带宽度及介质特性。最近发展的双差地震层析成像方法在研究断裂带的精细结构中达到前所未有的精度。同时,地震学家还通过综合利用地震学方法、电法和地质资料来推测断裂带的精细结构。

大陆深钻提供了一种直接了解断裂带精细结构及其物理、化学过程的重要方法。现在已有的针对研究地震断层的大陆钻探计划包括:日本的野岛断裂带探测、美国的圣安德烈斯断层深部观测站(简称SAFOD)、中国大陆的汶川断层科学钻探计划和中国台湾的车笼埔断层钻探计划。探钻中提供的原位样品包含了断裂带以及毗邻地区的物理、化学性质的信息,为理解断层破裂和地震的物理、化学机制提供最基本的信息。

在对地震破裂充分理解的基础上,地震学家将具备构建某地震带潜在大震的破裂模型、预测大震的强地面运动和破坏力。对这种潜在地震的研究将为建筑设计和相关社会政策的制定和执行提供科学指导。

为确保此挑战计划取得重要进展,国家必须投资建设一个现代化的地球物理观测系统;整合地震和大地测量数据资料,确保资料高质量并且能为科学界实时获取;建立正式的通信渠道,实时发布最新科学结果给相关机构和公众;支持在地震震源反演、地震层析成像,理论动态破裂模拟和岩石力学试验等方面的基础研究;鼓励综合地质、地震和大地测量手段研究全国范围内潜在地震的合作研究;以及建立专用的计算设施。



Qal	冲击层	Tm	Monterey构造
BCF	Buzzard峡谷断层	Ksgr	Salinian花岗岩地板
SAF	圣安德烈斯断层	Ksgd	Salinian花岗岩闪长岩地块
CHF	Gold Hill构造	Kgv	Great Valley系列
Tsm	Santa Margarita构造	KJf	Franciscan构造
Tu	未区分第三纪	QTP	Paso Robles构造
Tu2	未区分第三纪2		断层
Ta	第三纪长石沉积构造	EC	东部低阻抗
Te	Etchegoin构造	EW	东部高阻抗

图6 圣安德烈斯断层深部观测站的断层地质剖面、压缩波波速 V_p 、剪切波波速 V_s 、压缩波剪切波波速比 V_p/V_s 、地震衰减因子 Q_p 和电阻率模型。黑粗线表示 SAFOD 的主要导孔，黄线表示断层，黑点表示重新定位的地震。(Zhang et al., 2009)

关键问题

- 如何保证我国地震和大地测量数据资料高质量?
- 如何有效地归档和实时发布国内地震、大地测量和地质数据?
- 地震发生时, 如何快速传递科学结果给相关机构和公众?
- 如何改进震源反演方法使其综合利用不同类型的数据资料?
- 如何使震源反演程序自动实时运行?
- 中国区域内的地震断层错动特性是否具有慢滑移、间歇式脉动和超剪切破裂的多样性? 在这些地震中, 这些多样断层错动特性之间有何相互关系?
- 断层的几何形态、凹凸分布、断层间的相互组织, 以及断裂带的介质特性、应力分布和化学过程如何影响断层的滑动特性?
- 什么摩擦本构定律控制着断层错动的多样性?
- 什么物理机制控制各种断层错动特性的相互转换?
- 全国境内断裂带的精细结构是怎样的?
- 如何构建全国境内的潜在地震?
- 针对潜在地震, 如何改进国家地震台网和大地测量网? 如何提供高性能的计算需求?

主要建议

- 对全国地震和大地测量数据资料采用有效的质量控制程序。
- 建立一个现代化的数据中心保存地震、大地测量和地质数据资料并实时发布数据。
- 建立正式渠道实时向相关机构和公众发布最新科学结果。
- 增加地震危险区内地震台网和大地测量网的覆盖率。
- 支持在地震震源反演、地震层析成像、理论动态破裂模拟和岩石力学实验等方面的基础研究。
- 设立综合地震、大地测量、地质、大陆深钻和岩石力学的多学科交叉研究项目, 以研究潜在地震。

地震波监测核试验



图7 1957年9月14日美国内华达 Fizeau 1 核试验。(图自 <http://www.cddc.vt.edu/host/atomic/images/fizeau1b.jpg>)

地震学是全球范围内监测地下核试验的重要方法之一。核爆会引发类似地震波的震动并向四周扩散，被全球的地震台站所记录。地震学家通过地震波记录监测和定位核爆，并且估计它的大小。地震波的波形特性用于区分天然地震和核爆，而地震波的到时和振幅则用于定位和测量核爆当量。现代地震学已可以对核爆进行相当精确的定位。例如，地震学通过中韩日三国内的地震波记录对2009年5月25日朝鲜核爆定位的精度达到了140 m。地下核爆一般只会在近距离地震台上有记录。因此，中国境内的地震台将对于邻国核爆的监测极其重要，如印度、巴基斯坦、俄罗斯和朝鲜。

1996年9月，联合国大会通过全面禁止核试验条约。该条约禁止缔约国以任何方式进行军用或民用核试验。至2010年5月，总共有153个国家签署并批准了全面禁止核试验条约；29个国家，其中包括美国和中国，签署但尚未在国内正式批准。全面禁止核试验条约将在所有签署国批准之后正式生效。目前，全面禁止核试验条约国际组织筹委会已经组成，并为执行条约做筹备工作。筹委会工作包括建立并尝试运行国际监测系统台网，建立一个国际数据中心对台站数据进行归总、分析和处理，以及制定现场检查的相关程序。国际监测系统台网现包括全球337个监测站。这些台的数据都传送到维也纳的数据中心，再由数据中心发布给条约签署国。