

2012

# 科学发展报告

Science Development Report

中国科学院



科学出版社

Health (NIH) of the US, put forward the concept of translational medicine formally in NIH roadmap in 2003. Both US and Europe have made translational research a priority, with 60 NIH-funded academic centers established in the US and with European Commission's €6 billion budget for health-related research focused on translational research. Translational research has become the primary way to develop modern medical care.

## 1.2 我国地震减灾中地震学面临的巨大挑战

温联星<sup>1</sup> 陈 颛<sup>2</sup> 于 晟<sup>3</sup>

(1 中国科学技术大学、美国纽约州立大学石溪分校；2 中国地震局；  
3 国家自然科学基金委员会地球科学部)

2008年5月12日汶川大地震导致了近8万同胞罹难、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今后的地震减灾工作，2010~2011年，中国科学院、国家自然科学基金委员会和中国地震局成立专项工作组，针对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完成了《我国地震减灾中地震学面临的巨大挑战》咨询研究报告，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。

### 一、巨大挑战——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。慢滑移持续许多天且仅能被GPS接收器和应变计观测到；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：大震滑动发生在什么区域？断层以什么方式滑动？为什么？控制不同类型断层滑动的参数和物理定律是什么？断裂带的精细结构是什么？潜在大震可能如何滑动？

为确保此挑战计划取得重要进展，国家必须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，确保资料高质量且能为科学界实时获取；建立正式的通信渠道，实时给相关机构和公众发布最新科学结果；支持在地震震源反演、地

## 1.2 我国地震减灾中地震学面临巨大挑战

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。

### 1. 关键问题

- (1) 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？
- (2) 地震发生时，如何快速传递科学结果给相关机构和公众？
- (3) 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？
- (4) 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，这些多样断层错动特性之间地震中有何相互关系？
- (5) 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？
- (6) 什么摩擦本构定律控制着断层错动的多样性？
- (7) 什么物理机制控制各种断层错动特性的相互转换？
- (8) 如何针对潜在地震改进国家地震台网和大地测量网以及提供高性能的计算需求？

### 2. 主要建议

- (1) 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。
- (2) 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。
- (3) 建立正式渠道实时向相关机构和公众发布最新科学结果。
- (4) 增加地震危险区内地震台网和大地测量网的覆盖率。
- (5) 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。
- (6) 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。

## 二、巨大挑战二——近地表环境对地震灾害的影响

地震波从断层辐射穿越地球内部到达地表产生地面振动。沿地震波传播路径的地质结构都会影响地震波的振幅和特性。近地表环境特别是盆地和起伏的地形对地表强地面振动起着尤其重要的影响。定量研究近地表结构对强地面运动的影响是了解我国地震灾害的一个巨大挑战。

为了在这个巨大挑战上取得突破，我们必须探索我国盆地的近地表结构以及研究复杂和非线性介质中地震波传播模拟的理论与方法。为达到实时预测地面运动，也需要加强地面运动评估和震源反演研究的密切合作。现代遥感技术已能够提供高分辨

率的地表地形数据，但探索全国主要盆地内部的精细结构则是一个里程碑式的工作。事实上，每一个盆地的成像都是一个令人望而却步的任务，但这也是一个我们不能而且也不应该回避的问题。另外，勘探盆地结构对寻找地球内部自然资源也有着重要意义，也是国家利益所在。在这个方面，应该促进工业界和学术界的合作。在基础研究方面，除鼓励发展模拟复杂和非线性介质中地震波传播的新理论和高效计算程序外，我们还须加强对土壤非线性物理的研究以及促进地面运动和滑坡研究的耦合。

### 1. 关键问题

- (1) 如何更好地综合使用各种不同的方法和资料来研究盆地的地下结构和介质属性？全国主要盆地的地下几何形状和介质结构是什么？
- (2) 如何更好地促进工业界和学术界的合作以共同探索盆地的地下结构？
- (3) 土壤在强地面运动中表现怎样的非线性行为，为什么应力应变本构关系可以解释土壤的非线性行为，如何更好地校正土壤的非线性效应？
- (4) 如何评估和监测地震引发的滑坡？

### 2. 主要建议

- (1) 设立区域中心研究全国主要盆地地下精细结构，同时促进工业界和学术界的合作。
- (2) 建立一个中心，在大地震来临时协调地震震源反演强地面运动评估和灾害救援。
- (3) 鼓励在模拟复杂和非线性介质中地震波传播和土壤非线性物理方面的基础研究和高效计算程序的开发。
- (4) 鼓励研究强地面运动和滑坡的耦合。

## 三、巨大挑战三——中国区域构造块体的相互作用与地震的关系

板块构造学是一个描述地表运动的理论。该理论假设，地球表面是由多个刚性构造板块组成，每个运动板块可以描述为一个旋转单元。板块构造理论为解释地震分布和地震类型提供了一个重要的框架。根据该理论，地震通常发生在板块边界，而地震的类型则取决于构造板块之间的相对运动。如1906年美国旧金山地震、2006年苏门答腊地震、2010年海地和智利地震，以及2011年日本地震就是板块构造学框架中的典型例子。它们均发生在主要板块边界上，且它们的类型和相关板块之间的相对运动相符。

尽管板块构造理论很好地解释了全球及中国周边的地震分布与成因，但却与在中国境内发生的大震相悖。中国大陆位于欧亚板块内部，其内部发生的地震并不位于任

何主要板块边界上。但是，就中国区域范围而言，中国大陆由多个古老的中小型块体组合而成。中国大陆内的主要地震发生在青藏高原内部不同构造块体的边界上，青藏高原与周边构造块体的边界上，和我国境内其他块体之间。也就是说，如果我们把中国区域地质构造视为欧亚板块内的一个局域性的块体构造系统，那么板块构造理论就可以直接应用到中国区域内来解释我国境内的地震分布与成因。因此，如何建立中国区域内的块体构造理论，定义和划分中国区域构造块体，以及理解这些区域构造块体的相互作用是了解我国境内大地震的关键，也是研究我国地震灾害的巨大挑战之一。

建立中国区域块体构造理论需要以下两个方面的努力：一是建立构造块体的现今运动学模型以及其演化历史；二是将不同块体驱动力定量化。要建立中国构造块体的运动学模型，我们需要识别不同块体，描绘块体边界及定量化研究块体间的相对运动。以下有多种方法可以用来识别中国区域构造块体和描绘块体边界：地表地质调查可以识别大地缝合线；大地测量数据、断层历史滑移测量和地震震源机制解可以用于识别中国主要区域构造块体以及定量研究主要块体之间的相对位移；高分辨率地震层析成像和高精度的小震定位也可以用于描绘块体的地表和不同深度的边界。

为了在这个挑战中取得突破，我们需要在主要构造块体边界增加地震台网和大地观测台网的覆盖率，以更好地检测和定位边界上的小震，更好地对不同深度的地球内部结构进行成像，更好地描绘构造块体边界和定量研究块体间的相对运动；同时也需要建立交叉学科研究项目，综合地表地质调查、大地测量数据、断层历史滑移数据、地震震源机制解和地震学关于地球内部的研究结果，发展中国区域块体构造的运动学和动力学模型。

### 1. 关键问题

- (1) 如何识别和定义中国内部的构造块体？
- (2) 如何将主要构造块体之间的相对运动定量化？
- (3) 如何对主要构造块体在不同深度的边界进行成像？
- (4) 如何检测和精确定位小震？
- (5) 如何利用小震定位识别块体地表和不同深度的边界？
- (6) 如何利用地表地质调查、重力和地表地形资料、块体内部应力和应变的分布和量级、大地测量观测资料、地震震源机制解以及地球内部的精细结构，综合研究中国主要构造块体的驱动力及其相互作用？

### 2. 主要建议

- (1) 在主要构造块体边界增加地震台网的覆盖率，以更好地检测和定位边界上的小震，并更好地对不同深度的地球内部结构进行成像。

(2) 在主要构造块体边界增加大地观测台网的覆盖率, 以更好地描绘构造块体边界和定量研究块体间的相对运动。

(3) 建立交叉学科研究项目, 综合地表地质调查结果、大地测量数据、断层历史滑移数据、地震震源机制解和地震学关于地球内部的研究结果, 发展中国主要构造块体的运动学模型。

(4) 建立交叉学科研究项目, 利用地表地质调查结果、重力和地表地形资料、块体内部应力和应变的分布和量级、大地测量观测资料、地震震源机制解以及地球内部的精细结构, 定量研究主要构造块体的驱动力及其相互作用, 建立中国区域块体的动力学模型。

## 四、巨大挑战四——中国地表应变和应力的分布与地震的关系

应变描述地表上不同点之间的相对位置的变化, 它反映了地球表面是否处于挤压、拉张或剪切的状态。应变对显示地球表面弹性能的积累以及未来地震可能释放的能量具有重要的意义。应力是作用于地球表面上每个点的压力, 其预示了可能发生的地震的类型、触发地震的构造作用力以及地震可能释放的能量。应变率和应力同时还是研究不同构造块体的驱动力、岩石圈黏性结构和深部地幔对流的重要约束条件。如何定量研究中国区域应变和应力的分布, 是了解我国地震灾害的巨大挑战之一。

为了在这个挑战中取得突破, 我们需要在以下几个方面做出努力: 在局部形变非常大的主要断裂带和应变范围很广的发散形变区, 建设更多的GPS观测台站; 建设全国应变计台网; 增加我国区域内的应力测量的覆盖率; 发展关于研究应变率定量分布的新方法, 整合不同类型的资料和处理不均匀分布的大地测量数据; 加强对我国区域基础研究项目, 定量研究构造驱动力和地球介质黏性结构, 探索它们对地震灾害的指示意义。

### 1. 关键问题

(1) 中国区域内应变率如何分布? 如何改进GPS台网, 更好地定量研究中国区域应变率分布?

(2) 多少地表应变率局限在断层带? 多少应变率被地震释放? 断层带的应变率和地震的发生及其重复周期的关系是什么?

(3) 我国应力如何分布?

(4) 如何理解应变和应力的观测对地震灾害的指示意义?

(5) 什么样的构造驱动力和地表上观察的应力和应变相符?

(6) 我国岩石圈和地幔的流变黏性结构是怎样的?

## 2. 主要建议

(1) 增加中国区域内主要断裂带和主要发散形变区域的测地GPS台网覆盖率。建设全国钻孔应变计台网和数据中心。

(2) 增加我国应力测量的覆盖率。

(3) 发展新方法，通过利用GPS测量、第四纪断层滑移速率和地震震源机制解，进一步完善中国应变率分布图。

(4) 增强基础研究项目，探索断层带的应变率和地震的发生及其重复周期的关系；定量研究构造驱动力和地球介质黏性结构。

## 五、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

青藏高原的形成源于5000万年前印度板块与欧亚板块的碰撞。高原的演化过程同时还受到了随后其他构造事件的影响。在碰撞初期，西藏的西部和中部的地壳开始缩短，而岩石圈的大量物质从碰撞区域向西太平洋和印度尼西亚的海沟俯冲回转区迁移。太平洋海沟的快速迁移大约在15~20 Ma(百万年)前终止，很可能减慢了岩石圈物质的迁移，导致了西藏东部的地表抬升和地壳增厚。

印度板块和欧亚板块的碰撞形成了喜马拉雅弧俯冲带，激活了青藏高原和邻近地区的主要断裂，使得高原与邻区成为地震灾害频繁的地区。该地区的大部分的活动断层都足够长，具有发生大震的可能。因此，如何理解青藏高原的内部结构、形变和隆升机制，是理解我国地震灾害的巨大挑战之一。

为了在这个巨大挑战上取得进展，我们需要更好地定量研究高原的形变场和隆升速率，更好地对地壳和岩石圈的地震结构成像，更好地理解作用在高原及其地质演化过程的各种驱动力。这些工作都基于在该地区建立密集的大地测量和地震台网，以及建立综合分析地震学、大地测量和地质学的研究结果的地球动力学模型。

### 1. 关键问题

(1) 青藏高原的缩短和隆升速率在空间上如何分布？如何把青藏高原的缩短、隆升运动和地震活动联系起来？

(2) 青藏高原的形变和隆升有哪几个主要驱动力？这几个驱动力的相互作用是怎样的？

- (3)为什么青藏高原的一些大震的破裂是超剪切破裂?
- (4)青藏高原地幔的精细介质结构是怎样的?它对理解印度-欧亚板块碰撞过程和高原的历史有什么指示意义?
- (5)青藏高原地壳里的精细介质结构是怎样的?它对地壳通道流假说有什么指示意义?
- (6)青藏高原地区的流变结构是怎样的?

## 2. 主要建议

- (1)在青藏高原和邻近地区增加地震和大地测量台网覆盖率。
- (2)制定青藏高原地区高分辨率的应力、应变和隆升速率区域分布图。
- (3)探索青藏高原地区地壳和岩石圈内部精细介质结构。
- (4)建立青藏高原地区地球动力学模型,综合分析地震学、大地测量和地质学的研究结果。

## 六、巨大挑战六——地球近地表随时间的变化与地震的关系

地球是一个每时每刻都在变化的星球。地球内部结构也在几秒钟至数十年的时间尺度上发生变化。最近发现的随时间变化的现象发生在地球内部不同深处。在地球深部,地震学发现内核在约10年内局部半径增大。在近地表,已经观测到的变化包括同震以及震后在断层区域的地震波的波速变化,震后黏性弛豫效应造成的GPS速度的变化,以及由于水热循环、火山岩浆流动、石油开采、二氧化碳注入地壳储存以及应力变化引起的地震波介质特性的变化。另外,地表对地震应力的弹性响应也会引起断层邻区的同震应力变化(即库仑应力)。近地表随时间的变化对于我们理解地震的孕育过程、断层活动、震后还原、断层愈合过程、地震重复性以及地表流变结构都尤为重要。因此,研究地球近地表如何随时间变化是了解我国地震灾害的巨大挑战之一。

为了在这个巨大挑战上取得进展,我们需要一批专门备用的地震和大地测量的设备用于地震后快速部署;需要在断裂带增加地震台的覆盖率,并保证区域和全国台网的数据高质量,使之用于环境噪声的研究;需要加强监测地球介质随时间的变化的理论和方法的开拓、库仑应力的模拟工作以及对地震后的弛豫过程等基础理论研究的支持。

## 1. 关键问题

- (1)在地震前后以及其发生过程中,断层区域的介质特性随时间发生了怎么样的变化?
- (2)如何发展监测地球介质随时间变化的新理论和新方法?

(3)某个特定地震如何改变邻近区域的应力分布？应力变化对该地区的地震灾害预测有什么指示意义？

(4)什么样的物理过程和流变特性控制了震后弛豫？

## 2. 主要建议

(1)准备一批专门备用的地震和大地测量设备用于大震后快速部署。

(2)增加在断裂带地震台的覆盖率，并保证区域和全国台网的地震数据高质量，使之用于环境噪声的研究。

(3)加强监测地球介质随时间变化的理论和方法的开拓、库仑应力的模拟工作以及对地震后的弛豫过程等基础理论研究的支持。

# 七、巨大挑战七——地球内部结构和动力过程与地震的关系

为了研究地震驱动力这个根本性问题，我们需要了解作用于中国区域构造块体上各种力的定量分布。这些力包括太平洋板块的边界作用力、印度板块和欧亚板块碰撞的边界作用力、岩石圈内重力势能变化引起的体力和深部地幔对流造成的底部拖拽力。这些各种板块边界作用力和底部拖拽力都是地球内部动力过程的表现。因此，定量研究地球内部结构和动力过程是了解地震驱动力和我国地震减灾面临巨大挑战之一。在此研究中，对地球内部温度和成分进行约束是关键所在，因为它们是研究地球内部动力过程中建立地球内部密度和流变模型的重要依据。

为了在这个巨大挑战取得进展，我们需要在全国范围内提高地震台站的覆盖率；发展创新型波形模拟、波速反演和成像技术的研究；开展新型的实验和计算矿物物理学的研究；鼓励开展研究地球内部结构、温度和成分，以及地球深部动力过程的交叉合作项目。

## 1. 关键问题

(1)中国深部的地震波速度和衰减因子的精细结构是怎样的？

(2)中国深部结构对于理解印度板块和欧亚板块的碰撞过程和演化历史、太平洋板块俯冲，以及华北克拉通的演化历史有什么指示意义？

(3)中国底部上地幔主要间断面的特点及其横向变化是什么？这些特性和太平洋板块俯冲有何联系？

(4)中国区域内地球深部的温度和成分是怎样的？

(5)中国深部核幔边界的地震波速度精细结构是什么？这些精细结构对于太平洋板块俯冲的历史和核幔边界热能传递有什么指示意义？

(6)作用在中国区域块体上的板块边界作用力和底部拖拽力是怎样的?

## 2. 主要建议

- (1)增加全国范围内台站覆盖率。
- (2)发展创新型波形模拟、波速反演和成像技术的研究。
- (3)开展新型的实验和计算矿物物理学的研究。
- (4)鼓励开展研究地球内部结构、温度和成分,以及地球深部动力过程的交叉合作项目。

## 八、重大工程——建设一个现代化的地球物理观测系统

地震学是一门观测型学科。现代地震学使用的数据涉及传统地震仪记录的地震波数据、应变计记录的形变数据、GPS和InSAR大地测量数据,以及地质调查的结果。在地震学的发展历史中,所有的重要发现和重大进展都基于地震学和大地测量学仪器的创新和观测台网的改进。同样,我国地震减灾中地震学面临的每个巨大挑战的成功都依赖于一个先进、有效和现代化的地球物理观测系统。我国地震减灾中地震学的重大工程之一就是建立一个现代化的地球物理观测系统。

建设一个高效的现代化地球物理观测系统,需要建设现代化的覆盖全国的地震和大地测量台网,创建一个先进的数据中心和采用一个科学的管理系统。

为了实现这些目标,我国需要建立一个由国内高校和中国科学院联合的组织,团聚我国所有研究队伍,支持建设一个现代化地球物理观测系统。该组织将发挥类似于美国地震学联合研究会在地震减灾中和美国地质调查局相辅相成和紧密合作的关系,和中国地震局共同做好我国的防震减灾工作。

## 九、重大工程二——建立和实施地震学教育拓展计划

地震减灾需要综合地质、物理、土木工程、计算机、电子仪器、遥感和公共政策等领域的知识。地震学是一门联系科学和广泛社会领域的定量学科。除了应用于评估和减轻地震灾害外,地震学在火山监测、滑坡和核试验监测等具有重大社会和政治影响的科学前沿中也扮演着举足轻重的角色。同时,地震学为我们打开了探索地球内部的窗户,使我们了解不断演化的地球,让我们开发和利用自然资源。推进地震学各个科学前沿的突破和人才的培养及引进是国家发展的需求。

提高我国地震学研究水平并使其持续发展需要公众和政府的支持,以及年轻优秀人才的加盟。为此,地震学需要一个强有力的教育拓展计划来加强公众和国家相关部门

人们对地震科学的认知、兴趣和了解。大震来临时，地震学界也有责任向公众提供地震本身全面信息和地震学的前沿研究成果。因此，我国地震减灾工作中的重大工程之二就是建立和实施国家地震学教育拓展计划。

教育拓展计划之一建议建立一个权威机构和平台在地震来临时向公众提供地震发生的信息、地震相关现象的科学解释和目前地震科学的前沿研究成果；教育拓展计划之二建议成立一个专门的组织来制定和实施一个对社会公众、中学生、大学生和一般科学团体进行长期地震科学教育和宣传的计划；教育拓展计划之三应针对国内大学，这也是计划中尤其重要的一部分。跟美国相比，我国只有少数大学开设地震学或者固体地球物理学的本科专业，国内高校如此缺乏地震学教育的现状，跟学科本身的重要性、国家对资源和环境的关注，以及核试验监测的国家安全方面的需求极不相配，我们特别呼吁教育部和全国高校领导对地震学加以重视和关注。

### The Grand Challenges for Seismology in Earthquake Risk Reduction in China

*Wen Lianxing, Chen Yong, Yu Sheng*

During 2010-2011, the Chinese Academy of Sciences, the National Natural Science Foundation of China and the China Earthquake Administration jointly established a special working group for better understanding and preparing for the risks posed by earthquake disasters. A consultation report by this working group, named The Grand Challenges for Seismology in Earthquake Risk Reduction in China, was accomplished, which put forward seven grand challenges and proposed launching two major projects. The present article is a brief overview of this report.