

# 中国科学院学部 科学与技术前沿论坛简报 第 71 次

学部工作局学术与文化处 编报  
《中国科学》杂志社

2018 年 4 月 日

---

## “地球深部结构与强震孕育过程”论坛综述

### 一、论坛概况

发生在地球深部的强震给人类社会造成重大威胁，研究地球的深部结构和动力作用，是认识强震孕育机理和减轻地震灾害的重要基础。习近平总书记在 2016 年“科技三会”上指出，向地球深部进军是我们必须解决的战略科技问题。中国科学院学部响应国家号召，倡议国家立项实施“深部地球探测”研究，得到国家领导人的批示。正在立项的国家重大科技专项“深部地球探测”的重大任务之一，就是探测和研究中国大陆主要地震带深部构造与孕震机理。

2017 年 12 月 2~3 日，“地球深部结构与强震孕育过程”论坛在中山大学珠海校区举办。论坛由中国地质大学（北京）地球科学与资源学院王成善院士、中国科学院地质与地球物理研究所朱日祥院士和中山大学地球科学与工程学院张培震院士共同担任执行主席，邀请了 24 位不同研究方向的专家就相关科学问题做主题报告。来自中国科学院、中国地震局相关研究单位以及北京大学、中国科学技术大学、南方科技大学、中国科学院大学、香港中文大学、中山大学、吉林大学、中

国地质大学、长江大学等单位的百余位专家学者参加了交流和研讨，会场讨论气氛热烈。论坛系统总结了地球深部结构与孕震机理领域的研究进展和科学问题，为国家重大专项相关任务的实施提供了理论和技术指导。

中山大学地球科学与工程学院、海洋科学学院和地理规划学院的100多名研究生全程参加论坛，聆听了地震科学领域最高水平的报告，与来自科研一线的专家们进行了面对面的交流，开阔了视野，增长了知识，感受到学术争论的氛围，也体会到科学研究的魅力。这种向学生全面开放并鼓励学生参与的做法使论坛的社会效益达到最大化。

## 二、国内外研究现状

在地震灾害严重的国家中，发达国家的抗震防灾能力较强，而发展中国家受经济发展水平和技术条件等的限制，大震往往造成惨重的人员伤亡。据国际地质灾害组织统计，20世纪前50年，每次大地震导致发展中国家和发达国家平均死亡人数均超过1.2万人；后50年，发达国家已降为0.2万人，而发展中国家仍维持原水平。如2003年伊朗6.3级地震导致死亡人数超过4.5万人，2005年巴基斯坦7.6级地震至少7.3万人死亡，2010年海地7.3级地震则造成超过22万人死亡。2014年8月，中美两国各发生一次震级、震源深度相当的地震，分别是云南鲁甸  $M_w6.1$  地震和加州纳帕  $M_w6.0$  地震，发震断层均为走滑断裂，震区人口密度相当，但云南鲁甸地震造成600余人死亡，而加州纳帕地震却无一人死亡。造成不同国家震害程度严重不同的根本原因就是人们对地壳运动导致的地震危险性、建筑物安全性等缺乏相应的有效应对措施。

近年来，地震学的发展为地震带深部结构研究提供了成像分辨率更高的新技术。如2003年法国科学家 Shapiro 和 Campillo 提出的背景噪声成像方法，利用台站之间的波形互相关形成虚拟震源和接收点，通过提取台站之间的格林函数响应，使得不依赖天然或人工地震信号

探测研究地球结构成为可能。另一方面，由于地球物理联合反演的非唯一性问题，多种地球物理资料的联合反演一直是地球物理资料的发展方向。近 10 年来不断发展完善的地球物理联合反演方法有重力-磁法数据联合反演、重力-地震联合反演、地震-大地电磁联合反演、多种地震数据联合反演、地震-地热-重力联合反演等。联合反演比单一地球物理数据反演具有更高的分辨率，并且在一定程度上抑制了问题的多解性，从而可以更好地刻画地球深部结构。

综上所述，针对强震频发的地震带，开展以~10 km 尺度的宽频带流动台阵控制性观测和~1 km 尺度的短周期密集流动台阵观测，揭示地震带的孕震环境三维精细结构；针对典型强震，开展以深地震反射探测为主导的综合地球物理勘探和地质调查，揭示发震断层的精细构造；针对典型强震和发震断层，开展高密度的 GPS 地壳形变台阵观测和深井观测，揭示地震断层带的应力-应变状态；针对地震断裂带和强震，开展深浅构造探测，揭示深浅构造关系；综合地质、地球物理和空间对地观测资料，构建地震孕震模型，研究强震的孕育机理和发震机制，是目前国际地震科学的发展趋势。

中国是世界上地震灾害最严重的国家之一。自有记载以来，我国境内共发生 21 次 8 级以上的特大地震。统计表明，1900 至今，中国大陆地区已经发生 7.0~7.9 级地震 70 余次，8.0 级及以上地震 7 次，这些地震造成的灾害涉及 28 个省份，死亡 59 万人，伤残 76 万人，受灾达数亿人次。因而，积极开展防震减灾，最大限度地减轻地震灾害应该是中国的基本国策之一。我国大陆地区 6 级以上地震的空间分布与活动地块边界带紧密相关，而且震级越高，强震与活动边界的相关程度越高，绝大多数 7 级以上大地震发生在活动地块边界上。由此可见，中国大陆活动地块对强震具有控制作用。综合理解强震孕育和发生的物理过程，是从根本上提高地震预测水平的关键，也是更加科学地进行地震烈度区划、合理提出抗震设防要求的基础。

经过近 50 年的发展,当前我国地震带深部探测和强震孕育机制研究逐步由单一手段向综合地球物理观测发展,从地质和地球物理的独立勘查向地质和地球物理的联合调查发展,从剖面勘探向三维精细探测发展,从深部背景探测到精细构造成像发展,从地球物理图像解译向孕震力学模型构建和机理研究方向发展。

随着我国经济快速增长和城市化进程加快,给防震减灾工作提出了新的、更高的要求。作为地震灾害最严重的发展中国家,尤其是我国的广大农村地区地震灾害仍非常严重,探测主要地震带孕震环境的三维精细结构、解剖典型强震的发震构造、解译强震区深浅构造关系、建立发震断层的应力-应变模型,进而构建强震孕育模型、研究大陆强震孕育和发生机理,是我国地震科学发展的必由之路,也是保障国家地震安全的科学途径。

### 三、论坛的目的、意义和重点关注的科学问题

举办本次论坛的目的,是为了系统总结地球深部探测与强震孕育过程领域的研究进展,聚焦制约发展的关键技术瓶颈,前瞻性地分析中长期发展趋势,凝练前沿的重大科学问题,推进该领域的发展。论坛将面向国家战略需求和学科前沿,结合我国岩石圈深部结构复杂、地震灾害分布广和频度高的实际,提炼出符合我国发展需求、具有我国地域特色的重大战略研究方向,明确地球深部探测与强震孕育过程研究领域的发展方向,提出优先开展研究的若干科学问题,带动我国地球深部探测与地震科学的发展,为国家重大专项相关任务的实施提供理论和技术指导,服务于国家防震减灾事业。

论坛重点关注的科学问题有以下几方面:

(1) 如何利用多学科探测方法和技术,获得主要地震带地壳/上地幔的三维精细结构,认识主要发震构造的深部特征。

(2) 如何针对历史上曾发生的强震,开展地震深部构造高分辨率综合探测与研究,解剖典型历史强震的发展构造,探索不同区域、不

同构造类型的强震孕震模型，进一步深化对地震发生机理的认识；

(3)如何开展主要地震带详细观测和关键构造部位深浅构造精细探测，建立不同区域三维地震构造模型，探讨主要地震带长期活动习性和深浅构造关系，综合区域变形、断层运动、应力演化与强震孕育发生和后效间的关系，结合岩石物理力学实验结果，构建符合实际的地震孕震模型，研究地震孕育发生机理。

## 四、论坛报告及讨论情况

(一) 吴庆举(中国地震局地球物理研究所): “大陆主要地震带深部探测与孕震机理”项目简介: 目标与任务

为了应对强震风险和潜在震害，需要深入研究强震孕育机理和发震过程，具体地，需要得到地震带的三维孕震结构、典型强震的发震构造、典型强震的深浅构造关系、地震带和强震区的深部变形方式。根据这四点，针对中国大陆 12 条主要地震带和典型 8 级强震区，系统开展综合地球物理探测、GPS 观测、地震地质调查。项目计划分三个阶段持续至 2030 年。项目完成后，计划达成以下目标: (1) 为我国防震减灾和地学基础研究提供基础观测数据: 完成中国大陆主要地震带和典型强震区综合地球物理探测与活动构造调查，并系统集成，共享中国大陆主要地震带和典型强震区的地球物理观测数据。(2) 为我国防震减灾事业提供标准参考模型: 构建主要地震带地壳三维速度、密度、电性、磁性结构模型，典型强震区发震构造模型，典型强震区地壳运动三维速度场和应变率场模型，主要地震带和典型强震区活动构造参数和深浅构造模型以及主要地震带逆冲型、正断型、走滑型强震动力演化孕震模型。(3) 服务国家防震减灾事业: 预测未来中国大陆主要地震带强震发生的地点、震级及其造成的强地面运动，并为我国经济社会发展提供抗震设防提供科学数据。(4) 推动国家地震科技创新: 发展地震带三维孕震结构、典型强震区发震构造、以及地壳形变的综合地球物理探测与成像技术，在地震带深部结构与地壳运动探测领域

跻身国际一流行列，通过构建孕震动力学综合模型创新大陆强震孕震理论，并奠定我国在大陆孕震机理研究的领跑地位。（5）促进国家地震科技队伍建设：建设具有国际视野和世界一流水平的地震科技人才队伍。

## （二）陈晓非（南方科技大学）：计算地震学及其在防震减灾中的应用

对于数值地震预报，同时预测地震时空强三要素非常困难，但是对于地震预报的亚问题，即同时预测三要素中的两个，难度大大降低，现实可行，有助于防震减灾。报告主要探讨了亚问题之一“基于地震过程情景模拟的震害预测”，对于地点已知的设定地震，尽可能精确地预测强度及所造成的震害分布。该问题的关键科学基础包括震源破裂过程的近实时成像、（真）三维复杂地球介质中地震波传播的模拟方法及地震波速度结构。对于复杂介质的地震波模拟，需要考虑地形变化、近地表低速沉积层、三维非均匀、非弹性介质等，还同时需要高效的计算效率以近实时的进行地震动模拟与震害评估。基于弹性动力学方程和破裂判据，Zhang et al. (2014)发展了非平面断层自发破裂动力学过程模拟方法，并验证了该方法对于平面断层、非平面断层、粗糙断层等模型的有效性。将这些方法应用于2008年汶川地震强地面运动模拟，与观测数据有很好的一致性；还应用于1679年三河平谷8级大地震和1976年唐山大地震的地面震动重现、山西裂谷地震带的震害预测，发现场地效应对强地面运动改造明显，第四纪沉积盆地对地震波有显著放大作用。

## （三）高锐/郭晓玉（中山大学）：地壳几何结构东西向差异对青藏高原构造垮塌的构造指示

青藏高原于中-中新世发生的构造垮塌事件的构造成因目前还存在很大争议，主要分为以下三种观点：（1）重力崩塌：由山根和上涌的软流圈产生的浮力所引起的重力势能；（2）深部对流：由对流引起

的青藏高原岩石圈地幔下部物质缺失可能会提供的重力势能；(3) 局部边界条件：比如西藏印度高原俯冲作用下的斜向会聚或基底剪切。本次研究在青藏高原中南部布设了两条深地震反射剖面（喜马拉雅造山带西段普兰剖面以及喜马拉雅造山带中段日喀则剖面），分析了喜马拉雅造山带西段 Yungbwa 蛇绿岩的构造属性，并从莫霍面结构、双重构造程度、水平位移三方面对喜马拉雅造山带中段日喀则剖面及喜马拉雅造山带西段普兰剖面进行分析。随后，综合前人在该区进行的接收函数、层析成像、地球化学/岩石学/年代学研究，来探讨印度板块俯冲前缘的几何结构，研究造山带尺度上的印度板块俯冲前缘地壳结构、岩石圈结构由西向东变化情况，探寻俯冲板块前缘的几何结构是否存在变化，最终从壳幔解耦、俯冲前缘撕裂以及高原坍塌三方面分析认为俯冲板块前缘几何结构的变化与青藏高原构造垮塌事件存在关联。

#### **（四）王椿镛（中国地震局地球物理研究所）：华北强烈地震深部构造环境的研究**

自 1966 年邢台地震以来，我国地球科学领域加强了华北地区的深部构造探测，尤其是在地震孕育、发生及其与深部构造关系方面的研究。报告回顾了自邢台  $M_s7.2$  地震以来我国在华北地区实施的一批关于地壳上地幔结构探测和地震构造研究的重点项目，讨论了华北大地震孕育环境和构造模式并提出了一些仍需要思考的问题。近期地震资料显示的地震活动图像总体上反映了华北地区现今地壳构造的活动状态；除郯庐断裂带外，华北地区现今地震与历史地震的活动图像具有一致性。几乎所有的地震层析成像研究获得的结果都表明，强烈地震大多发生在高速与低速区的过渡带上。报告详细讨论了邢台地震和唐山地震的发生机制。震区实施的深地震反射探测显示了地壳精细结构，为华北大震孕育环境和构造模式提供了关键的证据。根据多种深部地球物理资料推测，地壳内高速层和低速层的镶嵌分布以及地壳深断裂



的存在可能形成多个应力相对集中区，震源下方的低速异常、高角度超壳深断裂、中地壳的滑脱面以及地壳深-浅构造的协调、莫霍界面局部隆起等，是华北强震区深部孕震环境的共同特征。当前认为大陆地壳低速层的成因主要有低速岩性层，高地温梯度，石英的  $\alpha$ — $\beta$  相变和孔隙流体。但是由于对低速层内部结构的信息了解甚少，目前地球物理探测资料对于进一步理解壳内低速层的性状和成因便显得很不够。已有的高温高压下岩石实验研究很有限，而所依赖的地球物理证据有时具有较大的不确定性，从而大多数结论存在较多的推测成分。地壳低速层的存在与构造运动（包括强烈地震发生）密切相关。因此，在中国大陆地壳上地幔结构的研究中，地壳低速层的分布、性状及成因对于地震构造是一项至关重要的课题。

#### **（五）刘启元（中国地震局地质所）：流动宽频带地震台阵：大陆强震区孕震构造环境研究**

为了给大陆强震的地点预测（确定潜在震源）提供观测证据和理论依据，需要从以下四个方向进行研究：（1）探测大陆强震形成的深部构造环境；（2）揭示大陆强震深部构造环境的共性特征；（3）研究强震孕育形成的力学及物理环境；（4）建立大陆强震的地壳动力学模型。研究大陆强震区孕震构造环境需在探测大陆强震形成的深部构造环境的基础上，揭示大陆强震深部构造环境的共性特征，强震孕育形成的力学及物理环境，建立大陆强震的地壳动力学模型，为大陆强震的地点预测（确定潜在震源）提供观测证据和理论支撑。在不同构造域，包括延怀盆地，唐山，天山及龙门山等地区开展的强震区深部结构和物理环境流动宽频带地震台阵研究表明，宽频带地震台阵探测不但可以提供强震区深部结构，而且可以给出震源区多参数物理环境，对于三维地震构造研究具有不可替代的作用和优势。研究表明，岩石圈结构和物理环境是强震的孕育和形成的重要依据，强震的形成及其破裂过程均受所处深部构造环境的控制。其中，壳内低速层是上



下地壳变形解耦的结果和重要标志，壳内低速体与强震的形成关系密切，地震大多发生在高、低速交界区的高速介质一侧。另外，上地幔热物质的运移和底侵是地壳变形的重要能量来源。在关注地壳水平变形的同时，必须充分重视地壳的垂直变形运动。根据以往研究结果的分析，进一步提高密集流动台阵空间分辨率和发展相应的三维地震波场的解释技术是今后能否取得重大突破的关键，天然地震、环境噪声及人工地震反射数据的综合解释是大陆强震区孕震构造环境探测研究的基本方向。

#### **（六）王夫运/田晓峰（中国地震局地球物理勘探中心）：人工地震探测地震带深部结构的典型应用、进展及思考**

我国深部探测始于 20 世纪 50 年代，自 70 年代以来，我国的主要地震带和强震区逐步开展了以宽角反射/折射地震探测为主的壳幔结构探测，90 年代初在邢台震区开展了深地震反射探测对强震发震构造进行高分辨成像，90 年代后期到进入 21 世纪以来，随着探测技术和探测能力的提升，我国在新疆伽师强震区、华北强震区、南北地震带等区域结合强震构造环境和强震构造特征，开展了深地震反射、高分辨地震折射/反射和三维地震透射等多种探测，特别是 2008 年以来，环松潘-甘孜地块发生了 3 次 7 级以上强震，环松潘甘孜地块及汶川、玉树、芦山强震区的深部探测为我国地震带的深部探测和强震机理研究提供了较为典型的探测案例。我国大陆地震带和强震区的深部探测逐渐经历了从稀疏到密集、从二维解析到三维解剖、从单一手段到多种手段综合解释的历程，逐步形成了对地震带深部环境、发震构造和深浅构造关系进行高分辨成像的探测技术体系，对若干强震的深部特点、主要地震带重点部位的深浅耦合关系形成了较为清晰的认识，为大陆强震带活动地块理论提供了深部结构支撑。以科学问题为导向，从浅表地质调查到深部地球物理勘查、从单一地球物理手段到综合地球物理探测、从多尺度结构勘探到精细结构探测、从单一学科调查到

多学科联合研究、从定性到定量、从地球物理结构图像到断层应力状态、从浅表到深部再到深浅结合研究是建立强震孕震模型、研究强震孕育机理、预防和减轻地震灾害的必由之路。大陆强震的孕育和发震机理是地震科学面临的重大科学问题，也是我国减轻地震灾害急需破解的核心难题。以这一核心难题为导向，在我国主要地震带开展高分辨率综合地球物理探测和地质勘查，能够深化对中国大陆深部孕震环境与地震灾害机理的认知，大大提升我国的防震减灾能力，有效减轻地震灾害风险。

### **（七）赵国泽（中国地震局地质研究所）：大陆活动构造边界带深部电性结构特征**

大地电磁法不受高阻层屏蔽、信号能量大、勘探深度大并且其环境友好、成本低，是探测深部构造的重要方法。19世纪末到20世纪初，用地磁测深法（GDS）研究地球深部。但是因资料周期长，敏感层位集中在中地幔过渡带(400- 610km)及其以下。20世纪中期Rikitake(1948), Tihonov(1950), Cagniard(1953)提出同时观测电场和磁场，基于天然交变电磁场的电磁感应原理，探测研究这一巨大间隙的全新的大地电磁法（MT），从而使地球电磁学获得革命性的发展。根据大地电磁探测结果可知：（1）大陆稳定或轻变形地块，地壳为成层性结构，高阻脆性上地壳，下伏导电韧性中下地壳。（2）大陆地震频发的活动构造边界带，地壳电性结构具有高、低阻体交错发育的复杂特征。（3）在边界带，相对导电的流体或其它低阻物质沿断层或局部区域分布，较低的黏滞度，易于变形，仅发生一些较小的地震。较强地震发生在高、低阻体接触带附近靠近高阻体一侧。根据现阶段大陆活动构造边界带深部电性结构特征，提出以下建议：（1）针对目标地震构造带，MT探测整体了解构造带地壳岩石圈特征，研究高、低阻分布，及其与断裂、地震密集区等关系，研究不同区、区内不同时间的异同；（2）典型强震区或潜在强震区，研究、解剖地震源区电阻

率分布特征，区分逆冲挤压、走滑、拉张等不同机制（与孕震过程、前兆异常等可能有关）。

#### **（八）张海江（中国科学技术大学）：中国大陆岩石圈高分辨率成像**

在过去的数十年中，中国大陆区域速度成像已经在中上地幔成像、岩石圈成像、大陆地区厚度分布等多方面取得了许多进展。然而还需要从下三个方面进行提高：（1）利用更多的地震数据；（2）不同类型数据的联合利用；（3）模型的验证。如今，重力数据和面波频散数据对结构都能约束并且二者之间存在互补，因此可以使用基于物性经验关系的地震和重力数据进行联合反演，即找到密度和速度之间的经验关系，就可以直接用重力数据和地震数据共同反演速度。为此对中国大陆岩石圈使用面波和重力同时约束横波速度模型来进行成像，确定了中国大陆岩石圈  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  分辨率的  $V_s$  模型，并由最终结果画出了海南地幔柱的长条形轨迹，可能与地壳厚度变薄、高速异常、高热流、高地形、年龄从年轻到老有关，最后确定了海南地幔柱的移动轨迹。同时，基于体波到时数据，确定了中国大陆岩石圈  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  分辨率的  $V_p$  和  $V_s$  模型，所使用数据为 2013 年 1 月到 2015 年 1 月 1294 个台站的 11953 个地震事件，反演策略为：（1）构建初始速度模型（面波和重力联合反演模型，最终反演模型体现了体波、面波和重力数据的综合）；（2）多网格反演（水平方向：从  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  到  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ ）；（3）双差地震成像（同时定位和成像）。在下一步工作中，需要提高地震体波到时精度；确定中国大陆岩石圈三维  $V_p/V_s$  分布；综合利用地震体波走时 + 面波群速度/相速度 + 重力 + 接收函数，提高岩石圈成像分辨率；地震和 MT 联合反演。

#### **（九）郑勇（中国地质大学（武汉））：2016 年意大利 Norcia 地震的破裂特征与发震构造**

2016 年意大利 Norcia 及周边地区发了 3 次 6 级以上的强震，震中

烈度高达 8 度，造成了约 300 人死亡以及大量房屋倒塌。其中 8 月 24 日  $M_w6.2$  地震，虽地震震级并不大，但震动造成的破坏非常严重，因此，基于地震学、GPS 以及部分 InSAR 资料系统研究了 Norcia 地震及后来另一个地震的震源破裂模型，以及地震应力场，以分析其震源特征、确定地震危险性及未来可能的地震空区。研究发现本次地震为正断型地震，质心深度 4 km，发震断层走向约  $155^\circ$ ，倾向  $46^\circ$ 。联合地震学及大地测量学数据反演本次地震的有限断层模型。反演结果显示，地震主要向西北侧破裂，破裂长度约 20 km，地震波释放的主要能量集中在前 10 s。该模型与地震动预测图（shake map）有很好的—致性，均显示出西北地区有更剧烈的地面运动。同时还计算了地震在断层周边造成的库伦应力变化，发现大多数余震都分布在库伦应力增加地区，深度 6-12 km。通过反演研究区另一个  $M6.6$  地震的破裂模型，发现两个地震的空间位置存在明显空区。在此基础上，收集了发震区域周边多年来的地震资料，通过 tomoDD 方法反演了该区域精细地壳三维速度结构。发现大多数余震分布在高速异常地区（高  $V_p$ 、高  $V_s$ ），并主要集中在高  $V_p/V_s$  地区。2016 年这几次地震的断层带（Norcia 断层）分布在低速异常区，与其东部的高速异常断层带有显著不同，表现出不同的发震构造特征。地震破裂过程反演及精细地壳三维速度结构研究对该区域的发震构造，以及地震孕震机制提供了关键性的约束。

#### （十）宁杰远（北京大学）：鄂尔多斯地块的壳幔结构：已有的结果和面临的问题

世界范围内的中强地震主要发生在板块边界带，但部分也发生在次级板块边界带或稳定板块内部，传统的板块构造理论无法解释发生在板块边界带外的地震，需要新的观测数据和新的理论模型来探讨这些地震的机制问题。以鄂尔多斯地块为例，它属于稳定的华北克拉通的一部分，但也发生过多 8 级强震。为探讨这些地震的发生机理，开展了一系列的地球物理学观测：地壳结构的主动源探测揭示鄂尔多

斯地块有典型的太古代克拉通地壳结构；地壳结构的接收函数结果同样证实鄂尔多斯地块有典型的太古代克拉通地壳结构，局部存在镁铁质下地壳；面波层析成像揭示深部岩石圈的连续性；热流值观测和对比发现同样的连续地壳的发育；三维电阻率模型证明岩石圈地幔蘑菇状上涌的特征；大地地磁结果揭示鄂尔多斯地块连续高阻层的发育。这些观测的结果证实鄂尔多斯地块较稳定，如何解释周缘强震活动性的问题？基于华北三维动力学模拟，发现鄂尔多斯地块岩石圈地幔内部可能存在软弱层，有可能发生层间解耦。对比华南的岩石圈结构，发现华北克拉通厚的岩石圈也可能正在发生拆沉，这一结构也被中国东北的 S 波速度结构所证实。进一步指出环鄂尔多斯裂谷的深部结构和观测研究可能是解释稳定板块内部发生强震的关键

#### **（十一）姚华建（中国科学技术大学）：基于密集台阵的断裂带三维精细结构和变形特征研究：几种新方法、应用及挑战**

强震带主要分布于块体边界的活动断裂带上，断裂带是研究地震孕育发生机理的关键区域，认识不同横向和垂向尺度的断裂带三维速度结构及其变形特征是研究强震孕育发生的结构和构造背景的核心研究工作之一。报告介绍了不同尺度断裂带结构和变形研究的密集台阵背景噪声成像方法及体波和面波联合成像方法，展示不同区域断裂带三维结构成像结果，并探讨断裂带结构和构造特征与地震活动性分布之间的关系。将该方法应用于郯庐断裂带庐江地区、肥东地区，及台湾地区，获取了上地壳的横波速度结构。介绍了体波面波走时联合反演三维速度和  $V_p/V_s$  比结构的直接成像方法及其在美国南加州地区的成功应用。还介绍了面波频散走时直接反演三维介质  $V_s$  方位各向异性结构的成像方法。该方法应用于云南地区，获取了三维各向同性及方位各向异性横波速度结构，与远震横波方位各向异性结果相对，分辨率更高。介绍了基于线性密集台阵的伴随波形成像方法，该方法可以有效降低计算量，并成功应用于华北克拉通地区。最后，探讨了断

裂带精细结构成像面临的一些挑战，包括三维/二维平滑速度与界面模型同时成像、基于复杂地形起伏和强速度异常情况下的高精度结构成像、联合补贴地震波数据更好约束三维各向异性结构、获取更为可靠的物性结构模型、多尺度结构-震源参数-结构与震源参数评估体系等。

## **（十二）李清河（江苏省地震局）：聚力创新，提高深地震测深的分辨和精度**

在过去的几十年中，全国完成了几万千米的深地震测深剖面观测，目前获得的主要共性认识是震源区中地壳存在低速层，莫霍面深度变化，有的震区下地壳韧性滑脱，震源体下部有深部断裂。石油部门、地质矿产部门、中国科学院、有关高校等布设了多条深地震测深剖面，获得了地表下几千米内的详细结构等很多有意义的研究成果。但还存在以下3个主要问题：（1）人工地震测深使用的人工源能量小，成本高，环境要求苛刻，难以达到震源深度。天然地震发生随机，位置确定不准，不能随心所欲，波源的可控性差；（2）地球内部介质对地震波的吸收、地震波的几何扩散、地震波和热量的能量转换等原因，到达目的层及以下的地震波信号弱；（3）地震波属于低频，波长相对长，很精细的结构难以发现。提高深地震测深精度和分辨的可分为三步走：近期目标是学习借鉴和改进石油物探方法，争取达到石油物探的水平；中期目标应是逐渐接近和达到医学成像水平；远期目标应能满足地震预报和地震科学研究需要。可以通过以下途径来提高地震深部探测的分辨和精度：（1）提高波源激发效能（采取延迟叠加的办法提高能量效率，适当加大药量，采用可控震源、虚拟源方法）；（2）改进数据采集方式（用分布式(DAS)采集方法，可高效采集；压缩感知和稀疏采样技术；双波源同时激发方法采集—适于宽方位角的剖面）；（3）完善观测系统；（4）使用多种地震波和全波反演；（5）发展波形反演方法；（6）高度重视绕射波；（7）深部介质非均匀性和各向异性探测；（8）加强资料揭示；（9）研究获得结果的检验方法；（10）期待高新科技带

动深部探测技术革命。

### **（十三）高原（中国地震局地震预测研究所）：深部速度结构、地震各向异性与地震活动**

大地震活动与地壳深部地震学结构有密切关联，地震各向异性与深部介质变形有关，通过对中国大陆典型地区地震各向异性特征的研究，发现上地壳各向异性与主压应力方向平行，并且受到构造/断裂的强烈影响，在区域上海原断裂带两侧（上）地壳各向异性不同，通过青藏高原东北缘地壳各向异性的分布，分析海原断裂带可能是青藏块体东北缘的边界。同时，青藏东北缘、青藏东南缘、华北盆山构造都发现各向异性的分区特征。通过对中国大陆典型地区的地壳深部速度结构的研究，发现 5 km 深度速度分布与沉积层厚度对应较好，不同地块的地壳速度结构差异明显；结合地震发生位置可以发现地震主要发生在地壳结构横向变化明显区域，有可能在低泊松比区域更容易发生。在青藏高原东北缘处，祁连地块可能是该区域地壳缩短最强烈区域，而海原断裂两侧结构有明显的横向速度结构差异。报告最后根据地震活动分布，结合已知的深部速度结构及构造信息，尝试对 6 级以上强震发震位置与速度分布之间的关系进行初步分析，为寻找大地震的深部发震构造提供参考。

### **（十四）倪四道（中国科学院测量与地球物理研究所）：中小地震的震源深度、震源破裂性方向性测定方法研究进展**

强震孕育机理探讨需要了解断层结构及深度应力流变结构。中小地震数量多、分布广，其空间位置、震源深度及发震段层面参数是揭示断层展布、地壳应力与流变状态的重要资料。报告探讨了基于深度震相、面波振幅谱等多种测定震源深度的方法及基于波形的破裂方向性测定方法。首先介绍了广泛使用的 CAP 方法，该方法将地震波形分段截为 Pn1 和面波，可以有效降低速度结构对震源深度反演的影响。介绍了远震深度震相（sP、pP）、近震深度震相（sPL、sPg、sPmP、



sPn 等), 这些深度震相与其主震相到时差对震源深度敏感。还介绍了短周期面波、面波与 SV 波振幅比、面波振幅谱等方法。应用这些方法, 发现了罕见极浅地震 (1-2 km 深), 包括汶川震源区东北端浅震、遂宁地震等, 还发现偶尔存在下地壳地震。发展了适用于既无密集台站, 也无准确 3D 速度结构地区, 分别针对沿走向破裂和沿倾向破裂的破裂方向性测定方法, 可从震源机制解的两个节面中区分出实际发震面。对于过去的中小地震 (含强震的余震), 可利用已有的台网波形数据, 充分挖掘波形信息, 获取较准确震源深度及断层参数。同时, 布设密集台阵进行深入研究。结合更准确的空间位置及发震面信息, 将促进断层、地壳应力与流变结构研究。

#### (十五) 吴建平 (中国地震局地球物理研究所): 川滇地区的深部结构与强震机理研究

川滇地区是中国大陆内部地震活动最强的地区之一, 且近期的强震活动仍十分频繁。据有历史记载以来, 在该地区发生 6 级以上的强震多达百余次。在过去工作的基础上, 采用现代地震学和地球物理学的解释方法, 取得川滇地区较详细的岩石圈结构模型, 进一步研究川滇地区活动地块的深部结构特征, 地块之间以及地块内部深浅层之间的耦合关系, 及其深部分层结构和动力作用过程对活动地块新构造运动方式、运动强度等的影响。本次研究用人工地震测深剖面作约束, 对川滇地区天然地震观测资料, 特别是宽频带数字地震记录, 采用上地幔体波波形反演, 远震接收函数反演, 介质各向异性研究以及体波和面波层析成像方法, 详细研究川滇地区的岩石圈速度结构。研究发现:

(1) 川滇活动块体从北西至南东方向, 先后发生了大规模的岩石圈拆层, 这一过程导致地幔和地壳速度的下降、力学强度降低, 加快了地壳变形速度; (2) 印度板块东边界的动向俯冲, 在局部地区可能存在断离现象, 腾冲火山的形成可能与之密切相关; (3) 青藏高原东南缘的下地壳流在川滇活动块体东部地区相对较弱; (4) 深部介质结构及

变形过程对强震的发生具有重要的控制作用。

#### **（十六）田小波（中国科学院地质与地球物理研究所）：青藏高原东北缘短周期密集台阵壳幔结构研究进展**

青藏高原东北缘分布大量逆断层和走滑断层，晚新生代构造活跃、抬升明显，是侧向生长最为活跃的地区，也是研究高原侧向生长的最佳区域，而大型走滑断裂控制了青藏高原东北缘的侧向生长。随着地球物理深部探测结果中壳内地震波低速区（层）和电磁低阻区（层）的不断出现，研究者更趋向于采用地壳流模型解释高原的侧向生长。本研究团队近两年在东北缘的岷山和六盘山分别进行了短周期密集台阵观测天然地震观测和接收函数成像。其中若尔盖-岷山短周期密集台阵天然地震观测位于若尔盖、塔藏断裂与岷江断裂交汇点岷山，使用短周期地震仪 400 台，台间距 500 m，剖面长度 170 km。六盘山短周期密集台阵天然地震剖面位于东北缘与鄂尔多斯的过渡区域，投入短周期地震仪 400 台，台间距 500 m，剖面长度 170 km。短周期密集天然台阵具有以下特点：（1）台间距小，可显著提高壳内横向分辨率高；（2）地震仪数量多，只要观测很少的地震，便可获得壳内结构图像，需要观测的时间短；（3）壳内射线密集，适合于地壳结构探测。从成像结果可以得到以下结论：基于浅部断层特点，推测青藏高原东北缘的中、上地壳在海原断裂和青铜峡-固原断裂之间向东推覆于鄂尔多斯之上；东北缘下地壳缩短增厚；鄂尔多斯中、下地壳在海原断裂东侧向下弯曲参与地壳的缩短增厚；高原的扩展主要依靠逆冲推覆和外侧克拉通地壳的变形，没有地壳流的参与。

#### **（十七）沈旭章（中山大学）：青藏高原东北缘地壳岩石圈深部结构特征与地震机理探讨**

青藏高原存在以下重要现象：（1）高原内部发育一系列正断层；（2）高原中部在 40Ma 以前就已经达到现今高度；（3）青藏高原东北缘的地质活动如西秦岭断裂的活动时间和印度-欧亚板块碰撞时间基

本相同。对这些现象的理解与青藏高原的形成是以刚性变形还是黏塑性变形为主密切相关，而地壳岩石圈速度结构是讨论该问题的关键。通过台网观测获得的青藏高原东北缘岩石圈速度结构表明，在青藏高原和欧亚块体边界区域，地幔岩石圈存在向高原内部的倾斜，但该倾斜止于边界区域，并没有向高原下方进一步俯冲；青藏高原下方模糊的岩石圈可能是来源于地幔热物质侵蚀的结果。因此在东北缘，欧亚块体的岩石圈变形可能只是对高原横向生长的一种有限的、被动的响应。岩石圈的结构控制了强震的发生。在北祁连地区，上地壳向深部的俯冲控制了门源地震的发生。在河西走廊，青藏高原的横向扩展导致了上地壳的显著变形和祁连山向两侧前陆盆地的双向逆冲，是该地区强地震活动的重要原因。在西秦岭和鄂尔多斯西缘，地幔物质上涌导致西秦岭北缘断裂两侧 Moho 面强度减弱，导致了该地区的强震活动。在龙门山地区，地壳存在显著变形，表现为龙门山断裂带下方地壳的断错和褶皱变形；除中、下地壳物质在龙门山断裂带下方堆积外，岩石圈中的物质由于四川盆地的阻挡，也可能出现了类似于地壳的堆积和变形。龙门山断裂带附近深部结构的差别是 2008 年汶川地震发生的深部原因。在对地壳岩石圈深部结构的研究中还存在以下主要问题：（1）分析方法的改进滞后于观测资料的海量增长，（2）复杂结构模型对成像结果的影响，（3）S 波接收函数在确定岩石圈底界时存在困难。

#### （十八）裴顺平（中国科学院青藏高原研究所）：从速度结构探讨汶川地震与芦山地震及九寨沟地震的关系的研究

震源区的背景结构与大地震的孕震之间具有非常密切的关系，同时大地震的发生对动力学环境的改变也会影响后续地震的发生。2008 年 5 月 12 日于龙门山断裂带发生 Ms8.0 级汶川大地震，5 年之后在龙门山断裂带南段的芦山于 4 月 20 日又发生 Ms7.0 级强震，龙门山断裂带再次成为各方关注的焦点。汶川地震与芦山地震及九寨沟地震同处青藏高原东缘的大型挤压构造边界，均是由于巴彦喀拉块体向东运

动所致。通过总结前人利用地震层析成像方法获得的震源区三维精细速度结构，并探讨结构与地震的发生、破裂以及余震位置之间的关系。然后利用最新的二维 Pg 波走时层析成像方法，研究汶川地震发震层的速度横向变化和各向异性分布，该方法将上地壳脆性层近似一次厚度很薄的薄层，忽略速度随深度的变化，同时引入台站项和事件项来弥补二维假设的误差和震源深度的误差。震源区的精细结构表明，芦山地震及九寨沟地震的发生也是汶川地震发生后，背景构造应力环境调整，下地壳应力黏性松弛作用的结果。

### **(十九) 岳汉 (北京大学): 2017 年九寨沟地震震源破裂过程及发震构造背景**

2017 年 8 月 8 日发生在青藏高原东缘松潘-甘孜块体东边界的九寨沟 Mw6.5 级地震是继 2008 年汶川地震之后发生在该块体边界的又一次强破坏性地震。此次地震造成了 25 人死亡，数百人受伤，并使九寨沟旅游区遭受严重破坏。此次地震发生在东昆仑断裂末端马尾状分支断层-虎牙断层上。地震之前，断层南段曾发生逆冲兼走滑的 1976 年松潘地震系列和 1973 年具有走滑性质的黄龙地震。通过对远震体波和 INSAR 观测数据的联合反演，发现此次地震是多条断层同时破裂(多个双力偶的叠加)造成的。主断裂以走滑为主，呈双向破裂，以 NNW 向传播为主；分支断层以逆冲为主，存在 1-2 m 的位移。所有位错集中在 2 km 以下，没有形成显著的地表破裂。主断层的破裂方向与分支断层呈钝角交角，与虎牙断层为一正在发育的年轻的断层系统相符。在 2016 年熊本地震系列中，两次 6 级强震发生在马尾状结构的分支断层上，并触发了主震在主断层上的发生。九寨沟地震是否会引起主断层-东昆仑断层大地震的发生是需要进一步研究的问题。Kirby et al. (2000, 2003)研究表明，此次地震所在的区域地壳缩短速率远小于热年代学限定的构造抬升速率；大地电磁数据显示区域深部为高导区域，可能存在部分熔融的下地壳。这些均表明深部存在下地壳流体的注入。

关于此次地震还存在以下几方面的问题：(1) 余震分布是否符合年轻断层的特征，(2) 断层面几何形态需要通过其它手段进行约束，(3) 区域的精细地壳速度结构与下地壳流形态是否一致。

#### (二十) 陈小斌(中国地震局地质研究所): 鲁甸地震的发震构造与动力学过程: 来自三维电性结构的推断

2014年8月3日鲁甸发生6.5级地震, 该地震发生在北西向的苞谷垭-小河断裂上, 其余震呈反 $\Gamma$ 型分布, 震源深度十几公里, 且存在一定争议, 从野外地质调查中发现该地震存在张性破裂。依据鲁甸地震区三维电性结构和其他资料, 使用并行的非线性共轭梯度(ModEM)三维反演方法对数据进行反演。在得到反演结果后, 通过对比拟合, 发现该地区电性结构复杂, 不均匀性严重, 浅部为高阻层、深部为高导层。通过与发震构造对比, 发现高导区存在局部高阻体, 中浅部存在显著的北东向高导区, 其中苞谷垭-小河断裂带处存在北西向局部的高阻体, 深部则存在连续的高导层。通过余震分布与电性结构对比, 发现余震主要分布在高导体之中。高导体的形状制约了余震的分布形状: 周围高强度的高阻体结构阻碍了地震的破裂趋势。由此研究认为高导区中局部高阻体的存在构成中强地震的发震构造: 莲峰断裂和昭通-鲁甸断裂之间存在显著的北东向高导区, 其间沿苞谷垭-小河断裂存在局部的高阻体, 易于应力集中, 进而发生鲁甸地震; 鲁甸地震主震存在于发震构造之中, 其深度应界于7-16 km之间; 地震的破裂过程受限于岩石强度的分布, 且有可能从电性结构上加以识别: 高强度的玄武岩高阻体阻碍了鲁甸地震的破裂过程, 使得余震主要局限于浅部局部的高导体范围内, 形成反 $\Gamma$ 型分布; 老构造带中的高导韧性物质的运动可能迭加产生局部的变形分量: 沿小江断裂带运动的中地壳高导物质, 挤入到原存的五莲峰-昭通构造带中, 形成北东向显著高导层, 同时在老构造强围岩物质的约束下, 向上、向下运动, 产生浅部的局部高导体和深部的局部熔融, 并在原有左旋变形之上迭加产生张

性变形分量。

### **(二十一) 马胜利 (中国地震局地质研究所): 断层带物理力学性质与地震发生机制——以龙门山断裂带为例**

断层带物理力学性质的力学实验为理解地震断层作用的物理过程并通过数理方程进行描述提供了可能,同时可获取地下介质在相应条件下的物理力学性质。2008年发震于龙门山断裂带的汶川地震是21世纪我国震害最严重的大地震。在该断裂带上,分布大量的断层露头和钻孔,为龙门山断裂带的物理力学实验研究提供了基础数据,也为理解断层带结构、成分分析;岩石物理性质测试;断层带低速摩擦性质;断层带高速摩擦性质和深蚀断层带变形机制等研究提供了可能。通过对龙门山断裂带断层物理力学实验,发现地震成核部位具有低强度(高孔隙压力造成)、速度弱化的特征,断层带高压流体的存在可能对地震成核起着重要作用;高速滑动下的稳态摩擦系数在整个断层带上具有较好的一致性,显著的滑动弱化在地震过程中会极大地促进破裂的扩展;纳米颗粒的滚动润滑机制并非高速滑动弱化的主要机制,温度依然是断层弱化的必要条件;断层岩的渗透率和热压作用在一定程度上对同震地表滑移具有控制作用。从断层破裂准则来看,不易滑动的高强度断层破裂的条件主要是降低正应力和增加孔隙压。断层物理力学实验和数值模拟均表明:铲型断裂滑动有效地降低了断层面正应力,有利于滑动破裂;间震期剪切带中流体压力逐步增加,导致高孔隙压的存在,从而使断层的破裂强度大大降低;同震滑动中滑动带上凹凸体急剧加热和热压作用导致的显著滑动弱化在地震过程中极大地促进了破裂的扩展,而地震破裂很可能以自愈合滑动脉冲模式传播,也有利于破裂在铲形高角度逆冲断层上扩展。总之,汶川地震的发生可能是铲形断裂错动导致断层面正应力下降,断裂带高压流体导致孔隙压增加和高速摩擦及热压作用导致断层弱化等共同作用的结果。

### **(二十二) 杨宏峰 (香港中文大学): 利用运动学与动力学强震**

## 震源过程约束断层摩擦属性

断层的摩擦属性对地震的产生及破裂的传播至关重要，而目前对其认识大多来自于实验室的摩擦实验。报告以 2015 年尼泊尔 7.8 级地震为例，利用运动学震源模型作为约束，开展了动力学破裂数值模拟。结果表明，以单一震源参数（如滑移分布、破裂速度等）约束断层摩擦参数都有明显的不确定性，但不同震源参数的 trade-off 曲线走向不同，将其结合起来则可以有效确定唯一的断层摩擦参数。利用我们的新方法确定的 2015 年尼泊尔地震发震断层的滑动弱化距离约 0.6 米，远低于利用运动学模型得到的 5 米。而我们的动力学模型的地表速度与位移与实测数据高度吻合，印证了模型的可靠性。这种新的地震学手段可帮助我们确定众多强震的发震断层摩擦属性，从而系统评估不同发震构造下的源区特性，并准确预测地表强震动。

### （二十三）黄清华（北京大学）：同震电磁机理与数值模拟

震电效应虽然客观存在，可以用于解释地震的电磁信号，并且监测油气储层的抽取，但是研究震电现象的难点不仅在于对场数据源、路径以及信噪比的研究，还在于对理论和数值模拟的研究，由于对其机理的了解仍然远远不够，这制约了地震电磁学的发展，突破这一瓶颈的关键就在于地震过程同震电磁响应。具体来说需要回答 3 个问题，天然地震的同震电磁信号有什么特征？同震电磁信号是否对介质敏感？以及是否存在定量的证据证明地震与电磁信号的耦合？虽然岩石的压电效应已得到室内实验的检验，自然界地震作用条件下的岩石压电效应是否存在，以及能否被观测到仍然有争议。报告建立了结合位错理论和压电效应的断层物理模型，提出了有限断层面源震电模型，该震电波场数值算法由动电效应和理论地震图算法结合而来。报告模拟了不同结构模型和震源模型产生的地震波与电磁信号的基本特征及介质响应，在研究介质结构影响时发现电子信号中存在一个早于 P 波的同破裂信号，这有望应用于未来地震早期预警中。最后构建了地震



和电磁信号耦合的定量关系，为地震多物理过程研究提供了新途径。

#### (二十四) 孙文科(中国科学院大学): 利用重力和 GPS 数据研究青藏高原的动力学变化

如何确定地球内部的物质运动一直是一个难题，GPS 观测虽然能精确得到地表形变但是没法直接观测到内部的质量变化，地震学方法得到的往往是地球内部的静态结构，难以得到内部物质的时空变化，而重力测量是唯一能研究地球质量迁移和重分布的方式。青藏高原板块受印度板块的挤压，从而产生大规模的质量迁移，要观测到这种内部物质运动产生的重力变化，首先需要确定地壳形变，而地壳形变主要受到两种因素影响，分别是垂直运动和剥蚀作用。拉萨、昆明和大理绝对重力观察站 10~20 年的数据显示重力持续下降，同时垂直方向上在抬升。同时根据沉积学资料推算青藏高原每年被剥蚀掉的物质质量约  $1.7 \text{ km}^3$ ，高原的平均剥蚀速率约为  $2.3 \text{ mm/yr}$ ，产生的等效重力变化为  $-0.25 \text{ } \mu\text{gal/yr}$ 。由此可以推测出青藏高原的地壳增厚模型，即青藏高原在印度板块的挤压之下同时产生  $1.2 \text{ mm/yr}$  的地表抬升以及  $2.3 \pm 1.3 \text{ cm/yr}$  的莫霍面下沉。由于采用的重力数据较少，使得上述结论存在不确定性，而 GRACE 重力卫星能够得到大范围内的整体重力变化，所以是解决这一问题的重要工具。为了尽量减少由于冰川或地表水变化产生的影响，选择青藏高原东缘作为研究对象。对于该区域的隆升和变形主要有两种机制解释，分别是下地壳流和岩石圈底部拆沉，其中下地壳流模型中地壳在增厚，而岩石圈底部拆沉模型中地壳整体抬升。报告研究了两种模型，分别是下地壳流模型和下地壳流+岩石圈底部拆沉混合模型，利用 GPS 和 GRACE 数据分别计算了两种模型中地表和莫霍面的变化速率以及下地壳流的速率。这些研究工作加深了对高原内部构造和动力学特征的理解，并开创了利用大地测量研究青藏高原动力学变化的新方向。

## 五、共识和建议

本次论坛的宗旨是，推动“地球深部结构与强震孕育过程”研究领域前沿科学理论和技术探索，促进地球深部探测技术在防震减灾领域的应用，服务于国家的防震减灾事业，促进相关学科交叉融合及学术交流，倡导科学民主，鼓励学术争鸣，充分发挥学部对我国“地球深部结构与强震孕育过程”研究领域创新发展的引领作用。

会议期间，与会专家介绍了天然地震、人工地震、大地电磁、重力等地球深部探测技术的最新进展及其在强震机理研究中的具体应用，系统总结了华北、川滇、鄂尔多斯、天山等我国主要地震带在深部结构探测方面的研究现状，并对唐山地震、汶川地震、玉树地震、芦山地震、鲁甸地震、九寨沟地震等重要地震事件的发震机理和孕震环境进行了解析。

针对正在立项的国家重大科技专项“深部地球探测”的重大任务之一“中国大陆主要地震带深部构造与孕震机理”，与会专家在报告交流的基础上，对该领域的研究方向和发展趋势、存在的主要问题进行了讨论，达成的共识包括：（1）在以探测和普查为主的基础工作基础上，要充分酝酿形成新的理论和方法引领该领域的发展；（2）针对我国性质差异明显的众多地震带，探测和综合研究要突出特色，突出不同地震带（区）特色，形成有针对性的研究方法和理论体系；（3）加强强震机理研究中的物理模拟、数值模拟的工作，融入流体力学等多学科的交叉研究；（4）建立完善的数据共享机制。

## 六、与国外研究相比的优势和差距

揭示大陆强震孕震机理是我国也是全球防震减灾领域面临的重大挑战。较之于全球其他大陆绝大多数强震发生在现今基本不再活动的古生代大陆裂谷内部的基本事实，中国大陆强震的特殊性在于，绝大部分7级以上地震都发生在活动地块边界，活动地块的差异运动和相互作用是中国大陆地震孕育并进而造成地震灾害的主要原因，活动块体边界构成我国全球独树一帜的、强震频发的地震带。

中国大陆强震区别于全球强震的另一特点是，中国大陆强震多属于板内地震的范畴，而世界上绝对多数的强震发生在板块边界，也就是所谓的板间地震。与板间地震相比，板内地震的成因一直是困扰地震地震学家的世界难题。中国比世界上任何国家都有揭示板内强震机理的迫切需求，中国大陆强震机理研究一旦取得突破，必将奠定我国在大陆强震理论和防震减灾领域的国际领先地位。

与引领地震科学研究和防震减灾工作世界潮流的美国相比，我国虽然针对邢台、唐山、三河-平谷等强震开展了深部结构的探测与研究，但受制于经费和技术的限制，明显缺乏对地震带和强震区深部结构、变形状态、强震区发震构造等决定强震如何孕育、发生和成灾的关键要素的系统、深入的工作，具体表现在：（1）以点带面，探测工作只是围绕少数大震震源区局部展开，缺乏对主要地震带和典型 8 级大震深部结构的系统认识；（2）手段单一，探测工作以地震折射和反射剖面为主，缺乏对强震区三维精细结构的综合认识；（3）关联不紧，探测工作要么注重浅表构造、要么强调深部结构，缺乏对强震发震构造深浅关联的准确认识；（4）动静脱节，探测工作片面强调深部结构，缺乏对地震带和强震区地壳变形状态的深刻认识。

（作者：张培震，中国科学院院士，中山大学教授；郑文俊，中山大学教授；何骁慧，中山大学博士后；胡立天，中山大学，博士后；龚正，中山大学博士后；李涛，中山大学特聘研究员；李志刚，中山大学特聘副研究员）