

中国地震科学实验场

2019 年度数据年报

China Seismic Experimental Site
Annual Report of Data and Data Products

编辑委员会

(按姓氏笔画排序)

于贵华 王 龙 王伟君 王伟涛 太龄雪 申重阳 吕庆田 刘成恕 刘耀炜 江在森
汤 毅 孙汉荣 牟磊育 杜学斌 李 丽 李 茜 李正媛 李闵峰 李建文 杨冬梅
吴忠良 宋兆山 张 锐 张 鹏 张晓东 张景发 陈现军 陈俊平 周克昌 赵齐乐
胡朝忠 祝意青 党亚民 黄志斌

秘书组

王 龙 太龄雪 李 茜 胡朝忠

目 录

引 言	1
第一章 实验场科学问题	3
前沿科学方向	3
近期聚焦的科学问题	3
主要技术途径	4
第二章 实验场数据和数据中心	7
实验场GNSS数据中心	7
实验场地震学科数据中心	11
实验场活断层数据中心	14
实验场深部探测数据中心	19
第三章 实验场科技产品	23
实验场科技产品——基础数据（之一）重新定位数据目录*	23
实验场科技产品——基础数据（之二）震源机制解目录*	27
实验场科技产品——基础数据（之三）“去丛”地震目录*	35
实验场科技产品——公共模型（之一）1.0版速度模型*	41
实验场科技产品——公共模型（之二）断层模型*	67
实验场科技产品——公共模型（之三）流变模型*	72
实验场科技产品——公共模型（之四）形变模型*	75
实验场科技产品——预测模型（之一）30年尺度强地面运动概率预测模型*	80
第四章 中国地震科学实验场执行技术标准清单	89
研究的思路	89
研究的技术路线	90
标准体系框架和标准明细表	91
标准执行清单	92

第五章 应用实例	99
长宁地震	99
为年度会商服务的科技产品	113
第六章 未来项目与数据产出	139
地震研究对外开放基金	139
研究所基本科研业务费联合专项2020年申报指南	141
实验场能力建设项目（2019-2021）计划台站布局	146
附录1 GNSS数据中心共享资源目录	147
附录2 地震学科数据中心共享资源目录	159
附录3 深部探测数据中心共享资源目录	189

引言

2018年5月12日，在汶川地震十周年国际研讨会暨第四届大陆地震国际研讨会会上，中国政府宣布建设集野外观测、数值模拟、科学验证及科技成果转化应用为一体，具有中国特色、世界一流的地震科学实验场。

◆实验场区地震构造背景

实验场位于 97.5° - 105.5° E, 21° - 32° N之间的国境内区域，总面积约78万平方千米。该区域包括青藏高原东构造结附近的川滇菱形块体及其周边，构造环境复杂，具有挤压、剪切、拉张等各类断裂系统，既有板间地震，也有板内地震。过去50年中，每10年平均发生14次6.0级以上地震，3次7.0级以上地震，其中2008年5月12日汶川8.0级地震，2013年4月20日芦山7.0级地震和2014年8月3日鲁甸6.5级地震均造成了严重的人员伤亡和财产损失。

◆地震科学实验向野外实验进军

几十年来，地震科学在地震孕育、发生和致灾机理方面取得了重要认识。但由于缺乏精准的测量和对实验过程的控制，地震科学野外现场“实验”仍然具有很大的局限性。近年来，密集台阵和超密集台阵以及新型观测技术(如LiDAR)的应用获得了高精度的地下介质结构和运动状态。地震孕育发生过程的部分控制(如气体或流体注入)，基于非爆炸源成像和波形互相关技术的可重复连续测量，以及基于超算的地震动力学过程模拟等新技术广泛应用，地震学、大地测量学和地质学研究正在被重塑。现场实验也开始越来越近的具备我们所熟悉的“物理实验”的要素。

◆实验场科学目标

2017年，中国地震局联合科学技术部、中国科学院、中国工程院和国家自然科学基金委员会启动了《国家地震科技创新工程》，实施“透明地壳”、“解剖地震”、“韧性城乡”、“智慧服务”等4项科学计划。作为4项科学计划的重要平台，实验场将广纳国内外和行业专业人才，合力推进地震科技创新发展，借助高分、综合、多维观测和超算模拟技术，着力破解大陆地震构造动力环境、孕育发生过程和地震致灾机理等主要科学问题。

实验场“透明地壳”研究将建立统一断层模型、统一结构模型、统一变形模型和统一地热模型。作为面向地球内部的“望远镜”，实验场的科技产品不仅服务于地震科学，而且服务于地球科学其他领域，进而推动国家科技创新，满足资源开发、环境保护和防灾减灾的社会需求。

实验场“解剖地震”研究将深化对地震孕育和破裂物理机制的认识，建立物理基础更加坚实的地震孕育和发生的预测模型。通过应变率场、地震活动和强地面运动统一预测、相互比较，应用于最大限度减轻地震灾害风险。

实验场“韧性城乡”研究覆盖地震震源破裂、地震波传播和地震灾害情景模拟，通过建构建筑物工程结构响应和社会响应研究，为公众提供减少地震灾害风险的应用示范。

实验场“智慧服务”研究将建立从基础研究到开发研究到应用研究的技术科技成果转化链条，以现代化技术推进地震科技成果转化，并形成服务于教育和公众理解的的科学产品。

◆ 实验场规划与愿景

实验场秉承继承发展、开放合作的理念，突出机制创新，学习借鉴美国南加州地震中心 (SCEC)，日本东海地震预测实验场，堪察加地震预报实验场，土耳其 TDP 项目，冰岛 PRENLAB 项目，中国台湾 iSTEP 项目等的经验。协调分布式实验 (CDEs) 的理念使得与国外，特别是与“一带一路”沿线地区国家不同野外实验场的比较研究成为可能。实验场也欢迎与 ACES, GEM, PRE-EARTHQUAKS 和 SISMA 等国际项目的合作。

第一章 实验场科学问题

◆ 前沿科学方向

中国地震科学实验场前沿科学方向主要有三个方面：

大陆型强震孕育环境：针对印度板块动力边界加载、活动地块运动调整、断层运动状态、构造带变形机制等，开展地质构造演化、活动地块划分、壳幔介质结构、区域变形特征、壳幔介质流变结构、热力学结构、高原隆升作用等研究，系统分析大陆型强震的孕育发生动力学环境，关注时间、空间上不同尺度的地震现象的相互关系与转化。**地震发生过程：**针对大陆动力学框架的活动地块、主要断裂带、孕震断层段应力应变分配过程，开展级联破裂、断层运动闭锁程度、断层应力状态、断层摩擦力学性质等震源物理模型研究，科学认知大陆型强震孕育发生的动力学全过程。

致灾机理：选择典型场地和城市，开展场地地震效应、地震地质灾害形成机理、工程结构破坏机理、地震灾害风险监控、地震动预测与灾害情景模拟等研究，为地震灾害风险评估和韧性城乡建设提供技术支撑。

◆ 近期聚焦的科学问题

中国地震科学实验场近期聚焦的科学问题主要有 18 个：

- ◎ 如何构建川滇地区统一的大尺度岩石圈结构模型？如何认识强震孕震环境与岩石圈结构的关系？
- ◎ 地下介质性质变化（如波速、各向异性等）在多大程度上反映了地壳应力状态变化？如何影响地震孕育发生过程？是否可观测？
- ◎ 川滇地区主要断裂存在断层分段和级联破裂，其主要控制因素是什么？
- ◎ 如何利用激光雷达扫描技术（LiDAR）、GNSS、超密集台阵等新观测技术构建高分辨率断层精细结构模型？
- ◎ 如何精准获知川滇地区主要断裂现今运动状态？是否存在断层“蠕滑”行为？
- ◎ 川滇地区主要活动断裂的晚更新世活动速率、古地震活动历史、最后一次强震的离逝时间是什么？
- ◎ 缅甸弧俯冲作用如何影响川滇主要断裂应力应变累积过程？如何构建应力应变动态变化数值模型？
- ◎ 在板块边界带已观测到很多低频地震事件，这种现象在大陆地区是否存在？
- ◎ 强震前是否存在亚失稳现象？如何在野外观测验证？
- ◎ 地下应力状态是怎样的？地震引起的库仑破裂应力变化是否能够直接触发地震？能否通过观测验证？

- ◎地震学方法、大地测量方法以及其他方法测量得到的应力、地震应力降等，相互之间是什么关系？
- ◎川滇地区经常观测到地震前有地下流体异常变化，如何认识其内在物理机制？可否进行数值建模？
- ◎现有数值地震预测模型在多大程度上反映了真实情况？关键构成要素有哪些？
- ◎如何基于现有观测数据构建强地面运动情境？怎样在减轻地震灾害风险中发挥作用？
- ◎川滇地区地震造成的农居和城市民居的破坏特征是什么？各种工程抗震措施的效果如何？
- ◎梯级水电站等重要工程设施和生命线工程如何有效防范重大地震及次生灾害风险？
- ◎影响现代城市韧性的主要因素有哪些？如何通过工程措施和非工程措施提高现代城市韧性？
- ◎人类活动对地震活动的影响有哪些？如何安全地开展生产活动而不诱发地震？

◆主要技术途径

中国地震科学实验场的主要技术途径主要体现在两个方面：

突出科学观测

基本考虑：基于明确科学目标的高水平科学观测是实验场成功的基础。一是开展深部环境探测，获取地下真实精细结构信息；二是在主要断裂开展多手段密集综合观测，获取孕震过程动态信息；三是在盆地和城市开展强震动和结构响应观测，深化破坏机理认识，指导工程抗震。

在实验场科学观测中，要充分利用现有观测资料，整合国家重大科技项目及直属单位业务和科研观测资源，有计划地开展补充性基础观测。

(1) 充分利用现有资源

1) 充分利用固定监测台网和中国地震科学探测台阵等已有的测震学观测，构建川滇及附近地区岩石圈波速、各向异性、衰减性质等介质结构高精度三维模型，并发展全面评估介质模型准确性的评价方法和壳幔结构介质推荐数值模型；给出实验场区现今中小地震重新定位结果、震源机制解、近期 6 级以上地震同震破裂模型等，为断层模型、区域应力应变模型、强震概率预测等研究提供测震学研究基础。

2) 充分利用实验场区温泉地球化学观测现有数据，在川滇重要断裂带构建壳幔温度数值模型，探索震前地下流体温度变化物理机制。

3) 开展高新观测技术和已有观测数据的融合及综合利用研究，开展张衡系列卫星和合成孔径雷达干涉测量 (InSAR)、电磁、热红外、高光谱、重力等卫星观测资料综合应用。

(2) 针对问题强化观测

1) 沿主要断层利用机载 LiDAR 开展地形地貌高精度扫描，结合已有活动断层探测结果，挖掘古地震同震信息，构建川滇主要断裂几何模型和变形模型。

2) 针对川滇主要断裂的各断层段，在其两侧数十千米范围内布设 2km ~ 5 km 台间距的密集连续 GNSS 台网，探索大地测量模型的共建、共管、共享的观测模式，结合 InSAR 观测数据，构建现今断层运动模型、断层摩擦物理性质、块体运动模型、壳幔粘滞结构、火山区变形模型等。

3) 选择重点构造部位，在断层两侧数千米范围内布设 300m ~ 500 m 台间距的超密集地震台阵，构建浅层介质模型、断层深部运动模型，开展主动源地下介质时变观测。

4) 选择川滇地区若干典型城市，建设地震动和工程结构响应密集观测网络，建设地表与地下地震动的高密度立体观测网络；选择川滇地区若干重要基础设施和生命线工程，建设结构地震响应的多手段观测网络。

5) 在科学研究过程中，针对诸如城市韧性、人类活动诱发地震等，以及科学家团队针对具体问题提出增加的观测。

重视超算模拟

基本考虑：在科学观测的基础上，对海量数据进行分析处理、科学建模和模拟仿真是当前国际地震科学主流方向。一是建设实验场超算平台，与国家超算能力发展同步；

二是发展地震全过程数值模拟并逐步实用化，彻底改变地震预测长期依赖经验统计的局面。

(1) 建设数据共享和科学计算平台

建立现代化的数据汇集、管理、服务的开放共享平台，提供友好的科学数据共享接口，充实高性能计算人才队伍，整合升级地震系统现有超算资源，充分利用“太湖之光”等国家级超算平台，形成基于网络协同的卓越计算科学环境。

(2) 开展全过程地震数值模拟

利用大数据、人工智能、高性能计算开展地震孕育、发生、成灾全过程的数值模拟，实现从单个地震秒级破裂过程到横跨多个断层、跨越千年尺度的地震模拟，实现从地震破裂到工程结构响应的全链条数值仿真，积累实践案例，发展验证方法。采用模块化设计，形成系列的科学研究和技术开发的软件工具包。

第二章 实验场数据和数据中心

数据共享是中国地震科学实验场开放合作的重要体现。目前，实验场已试点成立 GNSS 数据中心、地震学科数据中心、活断层数据中心、深部探测数据中心，作为分布式数据中心的示范，对外提供数据共享服务。



实验场数据中心授牌

◆ 实验场 GNSS 数据中心

1. 概况

中国地震科学实验场 GNSS 数据中心（前身为地壳运动观测网络数据中心）依托中国地震局地震预测研究所建设，于 2018 年 12 月启动组建，2019 年 3 月合并预测所原计算与网络中心后正式成立，由新设立的预测所实验场数据部负责运维。该中心是中国地震科学实验场第一个示范性分布式数据中心，其目标是以工程化的数据管理、推进规范化的数据处理和数据共享为己任，支撑中国地震科学实验场实验观测、科学研究、开放合作等工作。



GNSS 数据中心

目前，实验场 GNSS 数据中心的业务包括：

- 实时汇集陆态网络 GNSS 基站站和预测所实验场区 GNSS 连续站 1Hz 观测数据、汇集 GNSS 站 30s 采样间隔日观测数据；并对 GNSS 连续站日观测数据进行数据质量评价。
- 汇集 IGS 约 325 个 GNSS 连续站 30s 日观测数据及相关数据，并对观测数据进行数据质量评价。
- 对 GNSS 观测数据进行实时数据处理，获取连续观测站的 1Hz 实时位移。
- 对 GNSS 观测数据进行事后精密定位，获取站点运动时间序列。
- 实验场 GNSS 数据共享服务。

实验场 GNSS 数据中心以开放合作为宗旨，遵守保密政策，以服务科学研究和震情跟踪的原则，提供地震科学实验场数据与数据产品的全数据共享服务。中心具备良好的软硬件基础环境与设施条件，包括网络、服务器、存储等软硬件基础设备。在技术系统维护、数据管理、数据处理与产出、数据共享服务等方面，具有丰富的数据系统日常管理经验与工作基础，工作人员具备较高的专业技术水平。

为保障数据安全，数据中心采用数据授权使用的方式，与特定用户签署保密协议，设立数据共享专用帐户，为满足在线共享条件的用户提供数据和数据下载，对其他用户提供离线数据服务。随着地震科学实验场工作的推进，中心的数据系统未来将满足实验场 800 个 GNSS 连续站、陆态网络 260 基准站、IGS 300 个 CORS 站的共计 1500 个 GNSS 连续观测站实时处理能力和数据共享服务需求。

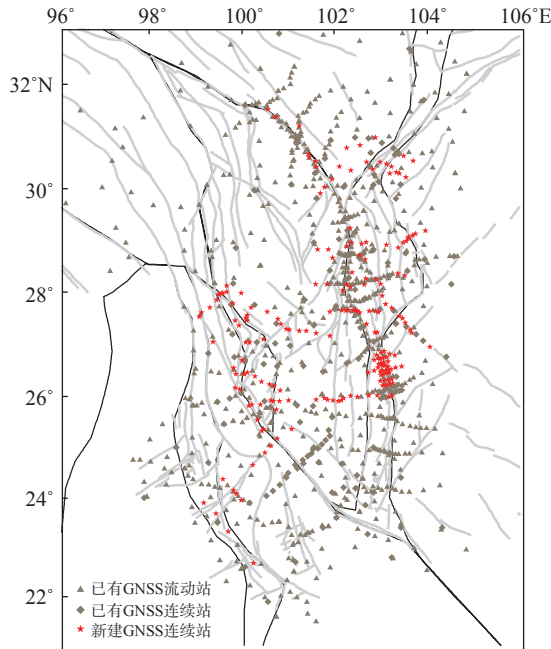


实验场 GNSS 数据中心 (<http://www.cses.ac.cn/?cat=108>)

2. 数据资源

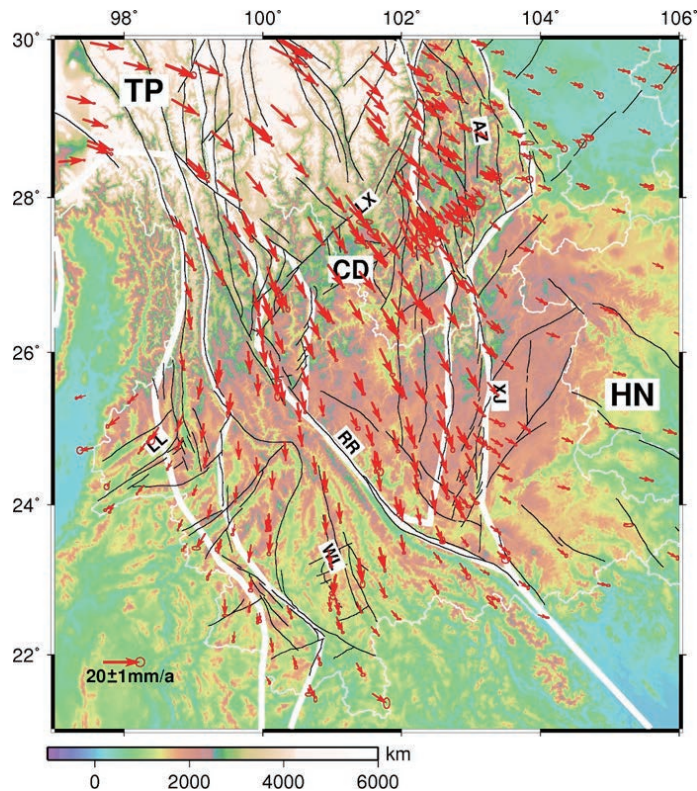
实验场 GNSS 数据中心数据资源主要包括中国大陆构造环境监测网络（简称“陆态网络”）52 个连续观测基准站和 198 流动观测区域站，以及地震预测研究所建设和运行的 GNSS 连续观测站 110 个（川滇 89 个站、陕甘宁 21 个站）。实验场区 2019-2020 年新建的 200 个 GNSS 连续观测站在运行后也将逐步实现观测数据的动态回传。

共享数据清单见附录 1。



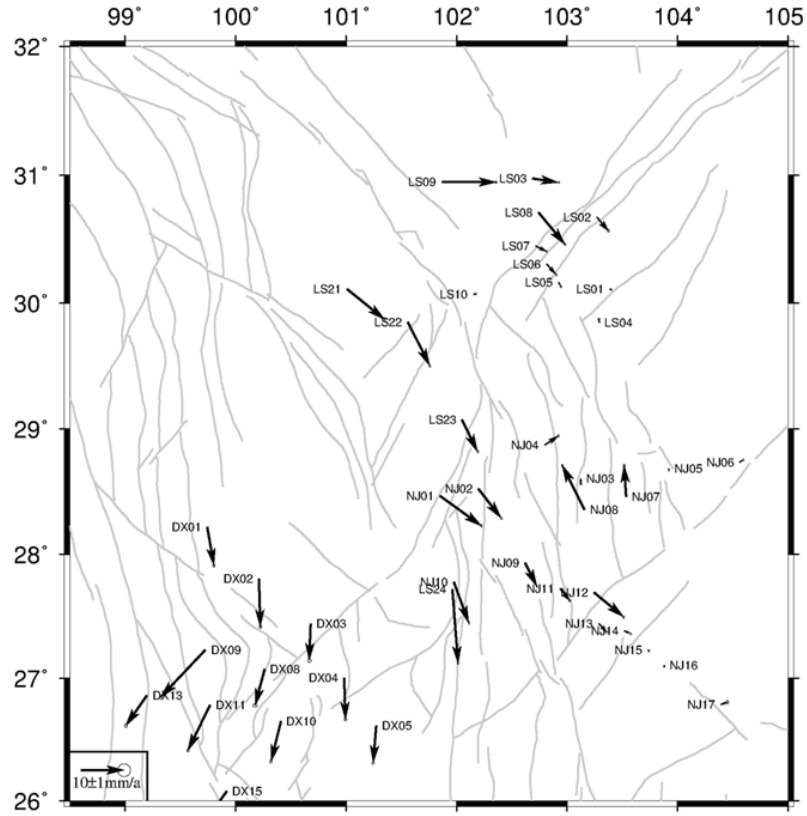
数据中心 GNSS 连续站资源分布图

3. 数据产品



川滇部分地区形变速度场（1999-2018）

采用 3 年以上连续观测数据和 4 年以上（至少 3 期）流动观测数据制作



地震预测研究所临时连续观测速度场 (2013-2019)

4. 数据共享

GNSS 数据中心按照实验场数据共享规章制度对原始数据进行实时共享，为不同需求的研究学者提供不同类型的数据产品，体现实验场开放共享的平台价值。

未来，中心将不断丰富数据资源，加强流动观测数据的统一管理，统一处理，对已有的正在运行的临时连续站进行升级改造，最终实现实时传输，更好的为震情跟踪服务。

◆ 实验场地震学科数据中心

1. 概况

中国地震科学实验场地震学科数据中心依托中国地震局地球物理研究所建设，基于中国地震学科数据中心国家测震台网数据备份中心向实验场提供地震学科数据共享服务。

国家测震台网数据备份中心是“十五”期间建设完成的国家发改委“中国数字地震观测网络”重大工程项目的重要组成部分。承担着对实时传输的地震波形数据进行在线备份，保障国家测震数据安全的任务，同时坚持地震观测服务于科学研究，着力推进国家测震台网地震波形数据面向地震预测预报、地震科学研究，成效显著。为四川汶川、青海玉树、四川芦山和云南鲁甸等特大地震及其它科研工作的快速开展、科研成果的快速产出做出了重要贡献。目前国家测震台网数据备份中心已成为提升我国地震科研水平的重要基础平台，从最初的数据“备份”中心逐步发展成为中国地震局地震波形数据管理与数据共享服务中心。近年来，通过不懈的努力，国家测震台网数据备份中心软、硬件技术系统建设已初具规模，大数据在线存储、管理、处理与共享服务能力得到显著提升。

依托中国地震局监测预报司重点专项研发的基于 WebGIS 和数据库技术的数据管理与共享服务软件技术系统，实现全国测震台网地震台站元数据和地震波形数据的科学、规范管理；建立地震事件波形数据在线服务 wilber 系统，提供全球 $M 5.5$ 级以上地震事件全国地震台站波形数据在线服务，以及国内 $M 4.0$ 级以上地震事件区域地震台站波形数据在线服务，满足不同用户需求；建立用户定制数据请求在线提交系统，实现在线定制数据；实现用户分级管理权限认证。通过 2014 年度财政部修缮购置专项支持的“国家测震台网数据备份中心设备升级改造项目”，完成大容量磁盘阵列、高性能服务器等核心硬件设备，以及机房配电、空调、消防、环境监测等配套设备和机房升级改造的集成建设。磁盘阵列和网络附加存储组成的大数据在线存储能力超过 1PBytes，近 20 台高性能服务器承担地震波形数据实时接收、校验、地震事件波形数据截取、连续地震波形数据重采样、数据在线共享服务等。



实验场地震学科数据中心 (<http://www.seisdmc.ac.cn>)

2. 数据资源

为对地震进行监测研究，防范地震灾害风险，在云南、四川及其周边区域建立有中国较为密集的固定监测台网，多数固定台站自 2008 年以来持续运行。在实验场区域内含有固定台站 159 个，运行时间自 2008 年至今。

同时为了对该地区的深浅部结构和变化开展研究，中国地震局地质研究所于 2006 年 9 月至 2009 年 7 月在川西地区布设了 309 个宽频带台站，开展流动台阵观测研究。中国地震局地球物理研究所牵头的中国地震科学探测台阵“喜马拉雅计划”一期于 2011 年 1 月至 2014 年 6 月在云南地区布设 350 套宽频带地震台进行观测。中国地震局地球物理研究所还和云南省地震局在滇西宾川地区建设了第一个气枪信号发射台，在气枪周边布设了 35 个短周期流动台，开展连续观测。以上为该地区测震数据的基本情况。

表1.1 主要流动台站项目归属和观测情况

台网代码	项目名称	项目负责人	台站数	观测时间	观测地址
T1	三维地壳上地幔速度结构的宽频带流动地震台阵探测研究	刘启元	309	2006.09-2009.07	川西
X1	中国地震科学台阵探测-南北地震带南段（喜马拉雅一期台阵地球所）	丁志峰、吴忠良	350	2011.01-2014.06	四川、云南、广西、贵州
G1	气枪震源观测台站	杨微/杨军	35	2011.10-	大理宾川

由于云南地区地处青藏东南缘，众多国际合作项目也在该地区开展过短期流动观测，相关数据可在 IRIS 查阅。其中在实验场区域内有 2003 年 MIT 布设得 YA 台阵，共计 25 个短周期台站。

地震学科数据中心的共享数据包括固定台站观测、川西地区流动观测、中国地震科学探测台阵一期流动观测、气枪附近流动台站观测表等。共享数据清单及已开展的共享服务见附录 2。

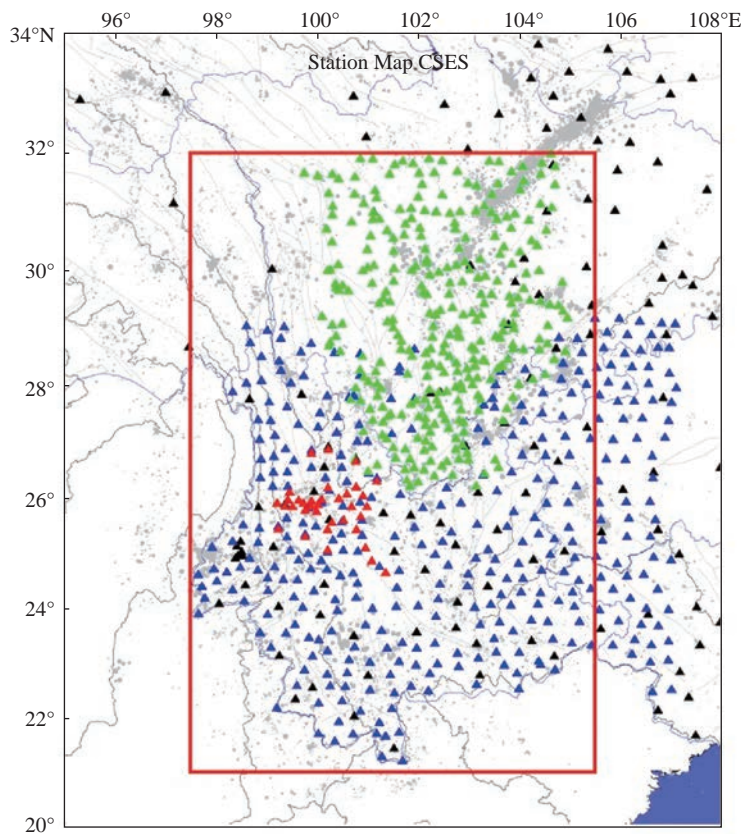


图 2.3 中国地震科学实验场（红框内区域）及其周边地区测震台站分布

其中黑色三角为固定台站，蓝色三角为中国地震科学探测台阵一期台站，绿色三角为川西地区流动观测台站，红色三角为气枪附近流动观测台站。灰色为 2008-2018 年该地区发生的 1 级以上地震事件位置

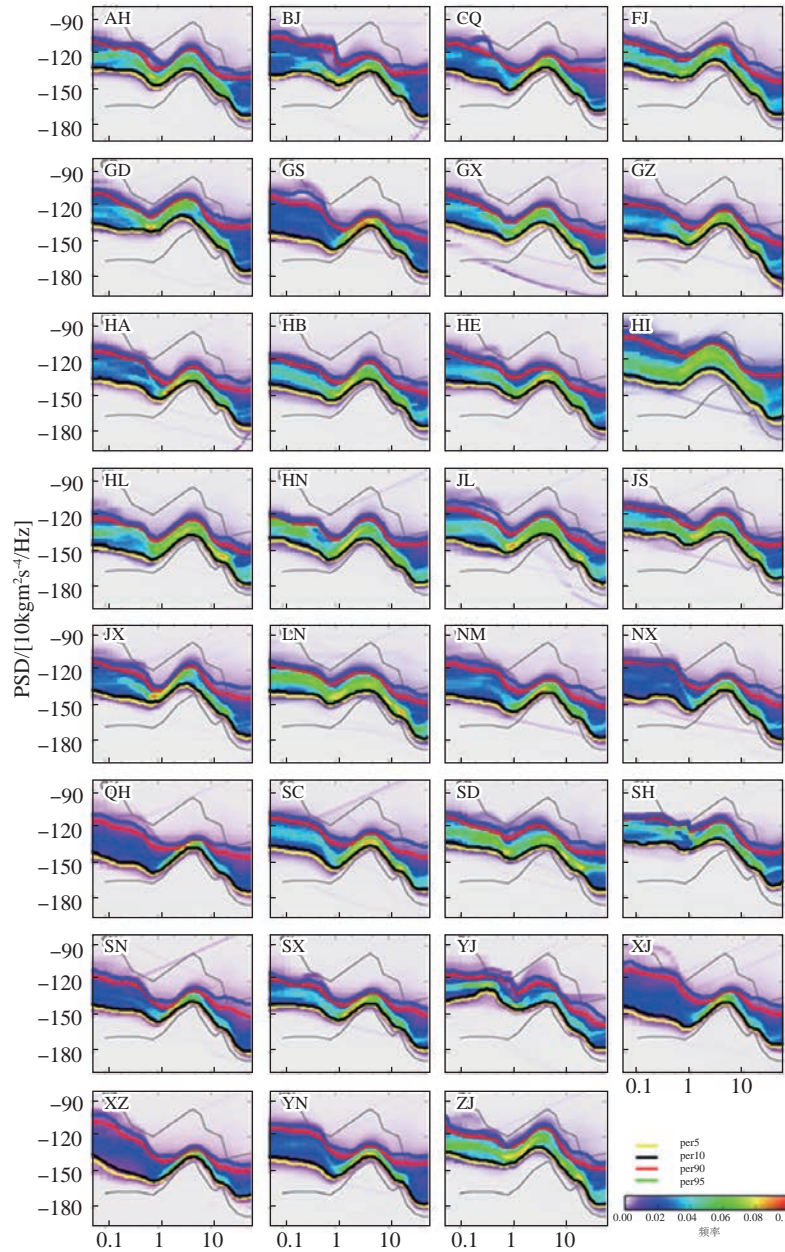


图 2.4 由 205-2017 全国固定台站计算到的各个台网噪声 PDF 模型
(王芳等, 地震学报, 2019, inpress)

3. 数据产品

依托研究区域大量观测和科学研究, 产出了研究区域内的速度结构、深部构造等数据产品。中国地震局地球物理研究所数据备份中心王芳博士利用固定台站的 PDF 功率谱数据, 构建了全国各个台网的较为精细化的最高和最低噪声模型。数据备份中心建立了台站观测质量监控系统, 可对外以数据产品方式提供各个台站的准实时数据质量监控信息。

4. 数据共享

地震学科数据中心提供固定台站和流动台站的测震数据, 本着遵守保密政策, 服务科学研究的原则, 相关数据均实现了共享。其中, 固定台站数据可由中国地震局地球物理研究所数据备份中心获取, 相关数据共享规定和共享方法可查阅 www.seisdmc.ac.cn; 流动台站数据可由中国科学台阵数据中心获取, 相关数据共享规定和共享方法可查阅 www.chinarraydmc.cn。气枪主动源数据共享可与相关项目负责人联系, 实现开放共享。

◆ 实验场活断层数据中心

1. 概况

中国地震科学实验场活断层数据中心依托中国地震局地质研究所建设，基于国家地震活动断层研究中心（National Center for Active Fault Studies）向实验场提供地震学科数据共享服务。



实验场活断层数据中心（<http://www.activetectonics.cn/>）

国家地震活动断层研究中心是“十五”期间国家发展与改革委员会资助建设的《中国地震活动断层探测技术系统》的重要组成部分，旨在通过活动断层探测、鉴定及其地震危险性和危害性评价等科研活动，为国土资源开发利用、重大工程选址、抗震设防和地震应急措施等提供重要的基础资料和科学依据，明显提高政府部门的施政能力；使国家新建的重要设施、生命线工程、居民小区等尽可能地避开活动断层，使已建在活动断层上的重要建筑设施尽早采取防范措施，有效地减轻具有发生破坏性地震能力的活动断层相关地震地质灾害，保障人民生命财产和经济社会的可持续发展，提高我国地震灾害预防能力和地震监测预报水平；为深入研究我国大陆地壳变形特征、地震孕育机理及其动力学过程提供重要基础，推动地球科学发展，实现《国家防震减灾规划》提出的减灾目标“到2020年，我国基本具备综合抗御6级左右、相当于各地区地震基本烈度的地震的能力，大中城市、经

济发达地区的防震减灾能力力争达到中等发达国家水平”。

国家活动断层研究中心由活动断层探测与准确定位所需的地球物理探测技术系统、活动断层鉴定所需的多手段配套的新构造年代测试技术系统、活动断层发震危险性定量研究所需的构造地貌测量技术系统以及用于基础数据集成、处理与服务应用的国家活动断层数据分析与管理系统等组合而成。其中,国家地震活动断层研究中心本部、构造地貌测量技术系统和国家活动断层数据分析与管理系统及活动断层鉴定技术系统分别由中国地震局地质研究所活动构造研究室和新构造年代实验室负责运行,中国地震局地壳应力研究所参与年代实验室运行;活动断层探测技术系统主要有中国地震局地球物理勘探中心负责运行,地球物理研究所地球内部物理学与深部孕震环境研究室、地质研究所活动构造研究室、江苏省地震局、辽宁省地震局、甘肃省地震局和云南省地震局等单位参与运行。

继“十五”期间在国家发展与改革委员会资助下完成了包括北京、天津、上海等 20 余个省会城市/计划单列市的活动断层探测与地震危险性评价工作以来,目前在国家财政部和科技部的资助下国家活动断层研究中心会同相关省地震局、北京大学地科院等单位科技人员一起正在开展《我国地震重点监视防御区活动断层地震危险性评价》和《中国地震活断层探察—华北构造区》等项目,通过活动断层鉴定与大比例尺条带状填图,确定未来发生地表破裂型地震的潜在震源位置、震级上限和发震危险性,为我国经济建设保驾护航,同时扩大和提升我国地震构造研究在国际上的地位和影响。

国家活动断层研究中心主任徐锡伟研究员,副主任冉勇康研究员和何宏林研究员,秘书于贵华副研究员。

国家活动断层研究中心学术委员会荣誉主任丁国瑜院士、马宗晋院士,主任邓起东院士,副主任钟大赉院士、滕吉文院士,秘书于贵华研究员。

2. 数据资源

根据中国地震局《川滇国家地震预报实验场工作方案》(中震测发〔2014〕68号)总体安排部署,以及《川滇国家地震预报实验场 2015-2017 年科学发展规划》中的主要任务,编制了 1:50 万川滇地区活动构造图、1:50 万活动构造纲要图、1:50 万川滇地区地震震中和地表破裂型地震分布图。

收集、整理现有成都市、昆明市雅安市等城市活动断层探测、国家科技部公益性行业重大专项《中国地震活动断层探察—南北地震带中南段》25 条活动断层填图、我国重点监视防御区活断层地震危险性评价项目龙蟠-乔后等断裂 1/5 万地质地貌填图、2008 年汶川地震和 2014 年鲁甸地震等科学考察和研究成果,结合高分辨率航卫片解译和 1:50 万地形地理信息资料,编制了活动构造分布图、活动块体纲要图,收集了吕悦军等编制的《中国与邻近地区破坏性地震震中分布图》(2015 年)的地震资料统计(公元前 23 世纪-2010 年底),2011 年-2016 年底地震台网中心的公布的地震目录和程佳编制的地震目录。以上地震目录相互补充,形成川滇试验场区破坏性地震目录,得到可能产出地表破裂的地震 87 次,整理地表破裂带 22 条,形成一套川滇地区现代强震大地震破裂带分布图。

上述数据于 2017 年完成。按照地震科学实验场设计,数据范围存在一定的差距,将在后续数据处理中加以完善,并加入 2017 年后活动的活动断层相关数据。

1:50 万活动构造分布图

图面内容包括:活动断层性质与活动时代;断层活动时代区分全新世断层、晚更新世断层、早中更新世断层、前第四纪断层;活动断层地表迹线或隐伏上断点在地表的垂直投影;新生代沉积或断陷盆地;第四系分布范围、第四系等厚线;第四系、前第四系等地层单元;破坏性地震震级和震中位置以及 4 级以上地震震中分布等。

1:50 万活动构造纲要图

编图地层单元为全系统、更新世、第四系、新近系、古近系、中生代-古生代沉积岩、中生代-古生代喷出岩、中生代-古生代变质岩、前寒武地层。

将川滇试验场地区划分为华南(I)、青藏 2 个 I 级地震构造,青藏一级块体又可划分为巴颜喀拉(II)、川滇(III)、羌塘(IV)和密支那-西盟(V)等 4 个 II 级活动地块;巴颜喀拉 II 级活动地块又可划分为马尔康(III1)、龙门山(III2) 2 个 III 级活动块体,川滇 II 级活动地块又可划分为川西(III1)、滇中(III2)等 2 个 III 级活动块体,密支那-西

盟 II 级活动地块又可划分为保山 (V1)、景谷 (V2) 等 2 个 III 级活动块体；川西 III 级活动块体又可划分为川西南 (III1-1)、川西北 (III1-2) 2 个 IV 级次活动块体。

川滇地区地震地表破裂带分布图

比例尺：1:2,000,000

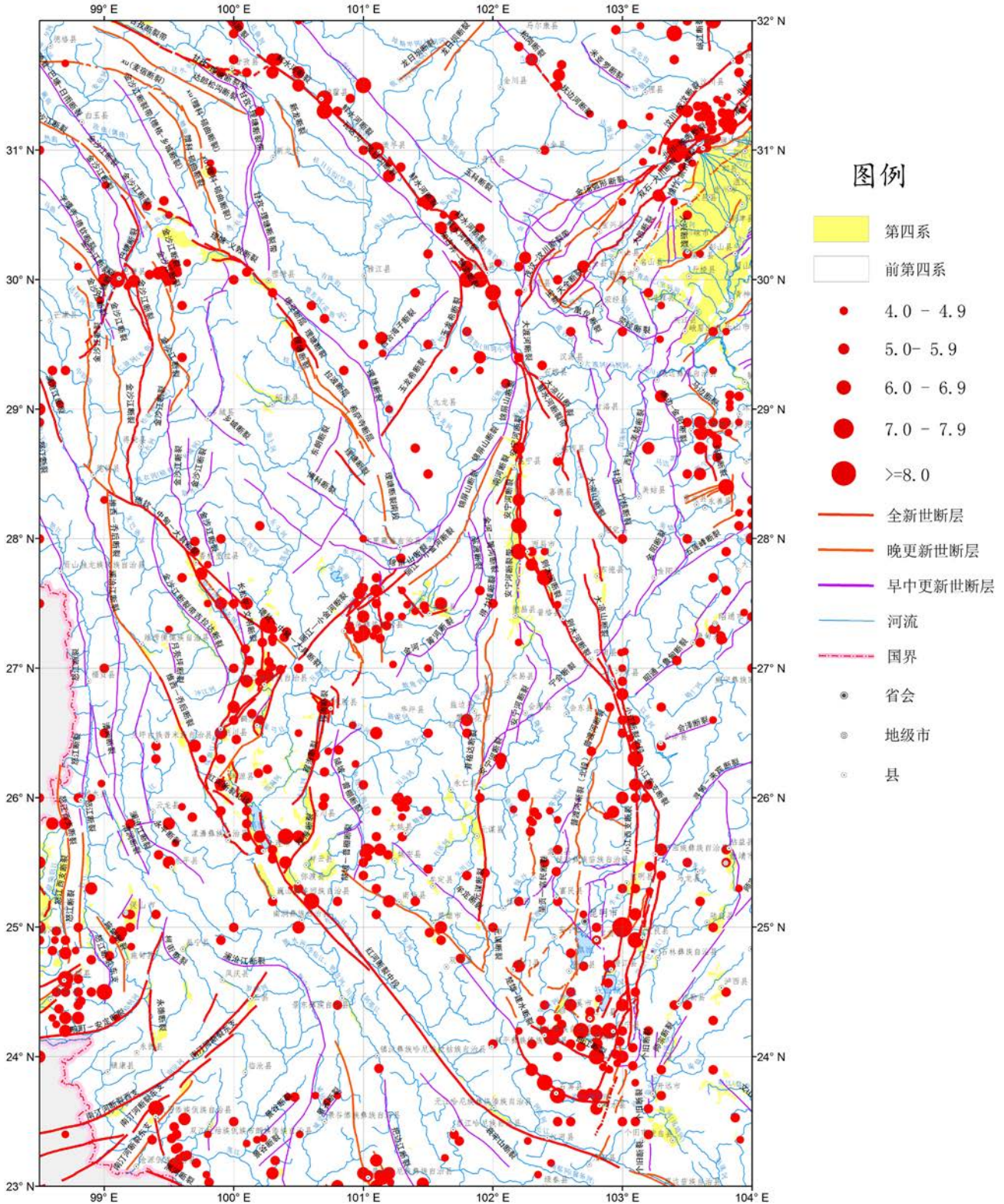


图 2.5 活动构造分布图 (1:50 万)

比例尺： 1:2,000,000

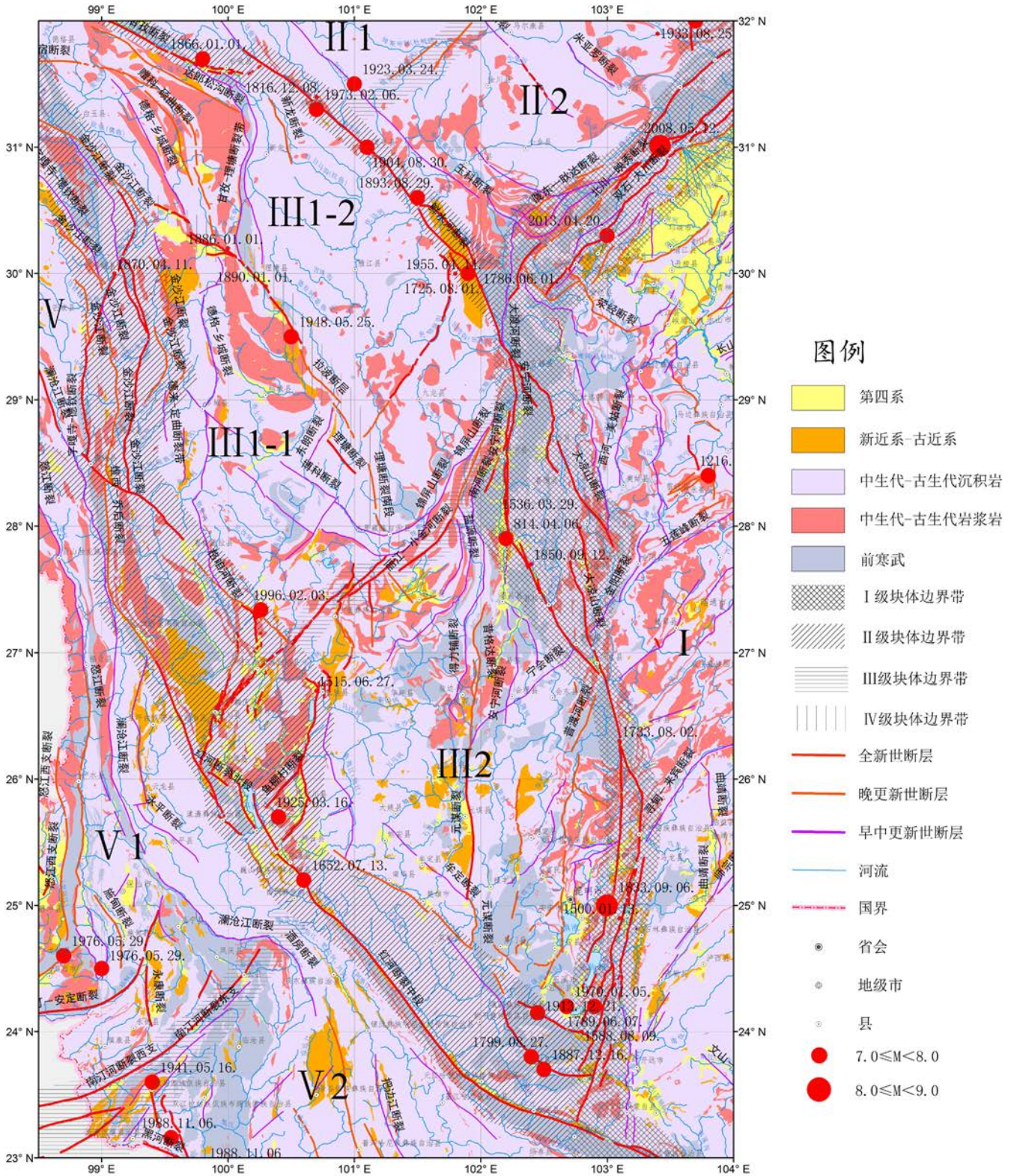


图 2.6 活动构造纲要图 (1 : 50 万)

3. 数据产品

活动构造图 (1 : 200 万 1 幅, 1 : 50 万 8 幅)

构造纲要图 (1 : 200 万 1 幅, 1 : 50 万 8 幅)

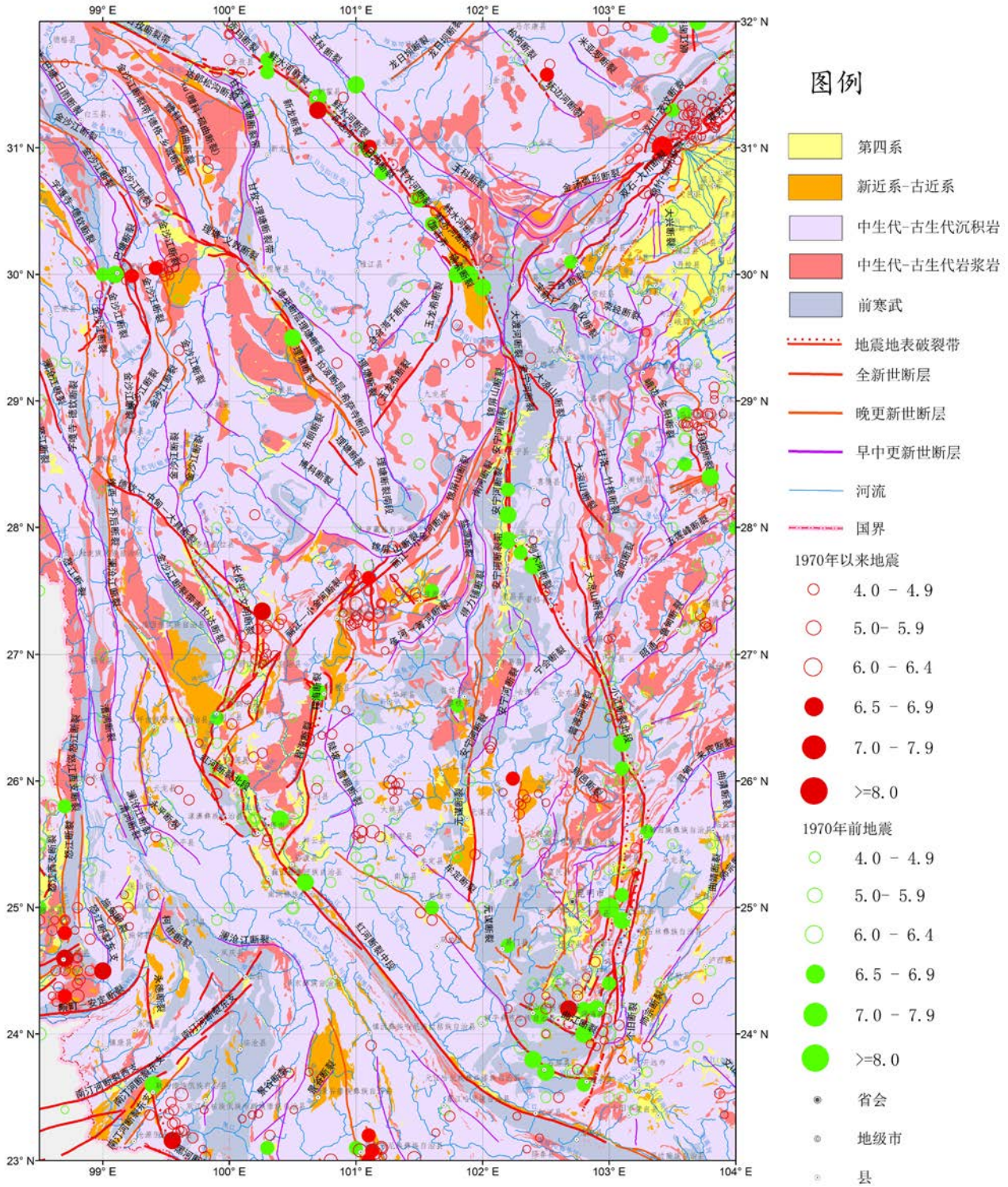


图 2.7 川滇地区地震地表破裂带分布图

大地震破裂带分布图 (1 : 200 万 1 幅, 1 : 50 万 8 幅)

数据库 1 套

主要要素 5 类: 块体划分 (Block)、断裂 (Fault)、地层 (D50r_region_ChuanDian)、川滇试验场破坏性地震 ($M \geq 6.5$, 截止到 2016 年 12 月 31 日) (TwoCombineStroEarthquake)、地震破裂带 (FractureBelt)

4. 数据共享

实验场活断层数据中心所有数据产品均提供共享, 可登陆地质所官网填写数据申请表申请使用。

◆ 实验场深部探测数据中心

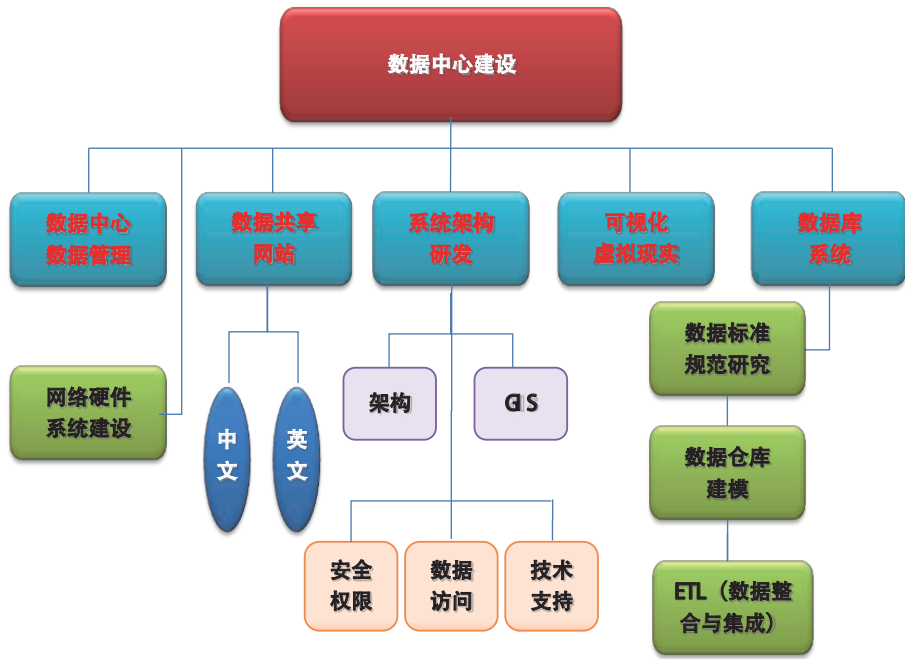
中国地震科学实验场深部探测数据中心依托中国地质科学院深部中心建设。我国自 20 世纪 80 年代以来系统开展了《深部探测技术与实验研究专项》(SinoProbe) 以及深部岩石圈调查研究 (岩石圈三维结构调查专项) 等工作, 国土资源部、原地质矿产部、中国科学院、国家地震局和有关大学, 通过实施一系列国家及部门的攻关、攀登、重点基础研究等计划以及与国际合作研究, 取得了一批有影响的成果, 积累了丰富的深部探测数据。尤其近年来的由国土部牵头领导的深部探测研究专项全方位地开展了深部探测技术集成与实验、地壳全元素探测技术与试验示范、深部矿产资源立体探测技术、中国大陆科学钻探工程选址与技术试验、地应力测量与监测技术研发、大陆地壳与上地幔地球物理场建模技术集成及试验研究和地球动力学数值模拟研究、深部探测关键仪器装备研制与实验研究工作, 建立先进的深部探测数据中心和技术支撑基地。专项实施以来为发展现代深部探测技术方法体系, 有效推动我国地壳探测技术准备和立项进程, 为解决国家资源环境重大问题提供了强大的科技支撑, 在国际地学界产生了极大的影响, 引起国际上的关注。同时也为矿产资源的勘查与开发、地质灾害预测预报、环境治理和保护, 奠定了知识创新宝库。



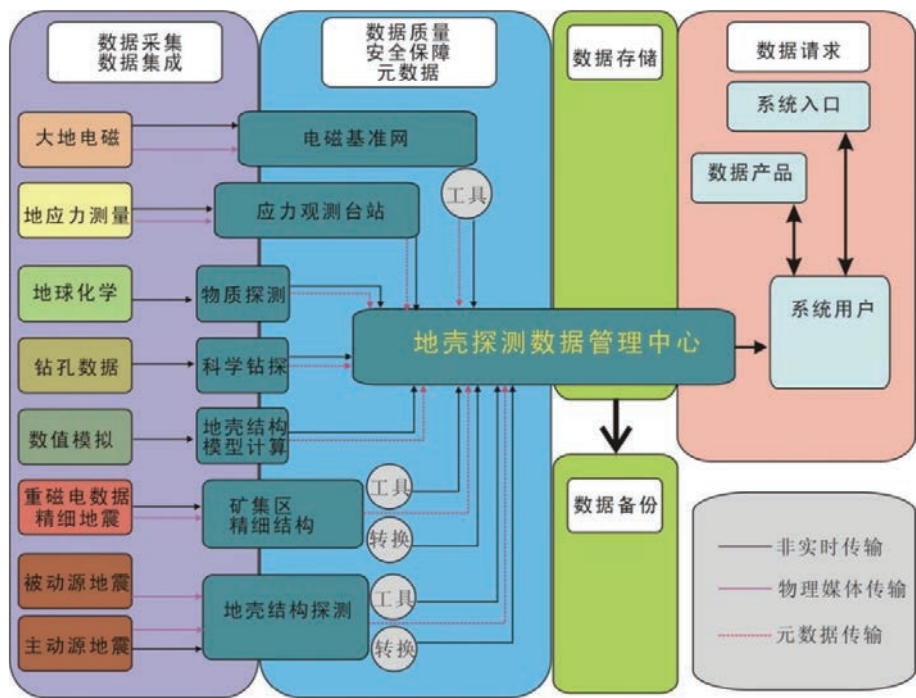
实验场深部探测数据中心

(<http://www.sinoprobe.org/shuju.aspx?page=gongxiang>)

“深部探测数据中心”包括 100 平米标准机房（UPS 系统、精密空调系统、气体防火系统、机房监控系统），服务器集群，高速网络接入，数据库安全审计系统，大屏幕显示系统，可以针对深部探测数据管理、可视化显示与数据共享资源等地学研究需求提供软硬件技术支撑；2）拥有 96 节点的并行计算大规模节点机群和大型存储阵列设备（200TB），可以提供海量数据存储与高速并行计算等硬件资源环境；配置多台服务器、小型存储阵列和高速网络接入，可提供数据可视化显示与网络共享环境。中心在充分调研的基础上，广泛征求意见，制定了深部探测数据汇交规范及流程，遵循 DD-2006 标准的元数据编辑器（输出格式为 XML），可指导研究项目的数据汇交及数据入库工作。



深部探测数据中心架构



深部探测专项数据流

截至到 2016 年 6 月，深部探测研究专项汇交及入库数据量达到 10 TB。数据中心上线运行了专项数据共享系统（www.sinoprobe.org www.sinoprobe.cags.ac.cn），面向不同用户开展数据共享服务。目前，深部探测技术与实

验研究数据包括：

- ◆ 在青藏高原、华南、东北和华北北缘等区域，实施的 6160 公里深地震反射剖面采集和处理数据；平行反射地震剖面观测长度达 1300km 的 585 个宽频地震台站的数据。
- ◆ 在上述地区进行的宽角反射与折射地震测深剖面 5080km 的采集数据。在上述地区进行的剖面大地电磁测深点 1229 个，长度 3300km 的电性数据。
- ◆ 中国大陆 $4^{\circ} \times 4^{\circ}$ 电磁参数“标准网”Ⅰ级观测精度点，共 834 个物理点的 MT 网格数据。华北地区 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 电磁参数“标准网”，共 1386 个物理点的 MT 网格数据。青藏地区 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 电磁“标准网”大地电磁测深点，共 874 个物理点的 MT 网格数据。
- ◆ 在全国范围内采集了 18454 个的地球化学基准值样品，分析了 12000 多个样品 81 项指标（含 78 种元素），获得约 960000 条的地球化学基础数据。
- ◆ 在长江中下游成矿带和华南于都赣县矿集区进行的深部矿产资源立体探测所获得的多方法探测数据。
- ◆ 在重要矿集区和板块边界及火山断裂带上实施了 9 口大陆科学钻探和异常验证孔，累计深度超 13400 米的多方法探测数据。
- ◆ 在重要区域部署的 15 个深孔地应力测量和监测数据。
- ◆ 开展数值模拟计算所获得的成果数据。
- ◆ 深部探测专项实施以来所发表的各类文献，各课题的年度报告及结题报告，项目实施过程中的部分成果数据。深部数据中心共享数据清单见附录 3。

第三章 实验场科技产品

◆实验场科技产品——基础数据（之一）重新定位数据目录*

我国从 1966 年起开展地震监测预报工作，在实践中形成了长中短临渐进式地震预报的科学思路和工作机制。在确定未来危险区位置、强度和紧迫程度的方法上，地震活动性定量分析是获取区域和局部地震活动性的量化特征、分析地震活动与区域和局部应力场变化、进而分析与强震 / 大地震相关前兆信息的重要途径之一。该方向可从以下几个方面提供了判据：(1) 基于沿断裂带的 b 值等地震活动性参数空间扫描识别大地震危险断裂段的地震活动性定量特征；(2) 基于小震精定位结果识别大断裂上的小震稀疏段，为地震重点危险区的地点判定提供依据；(3) 基于时 - 空 ETAS 模型开展背景地震和丛集地震分析分离，为强震时间和地点预测提供支持；(4) 小震震源机制一致性参数为地震重点危险区的地点和发震时间预测提供支持。

1. 数据集内容

通过震相观测报告→统一观测报告→分区多阶段定位→各区定位结果拼合的技术方法，重新定位数据目录包括南北地震带 M_L 1.5 级以上重新定位目录、各危险区重点段落震源和 b 值剖面。

2. 数据来源

震相观测资料来自于南北地震带各省区地震台网。为确保观测质量，在地震定位开展之前先对各区观测资料进行和达曲线绘制，并去除超过 2.5 倍均方差的 P、S 震相数据对，使得在尽可能删除离群观测点的同时，保留更多的射线三维走时信息（图 3.1）。

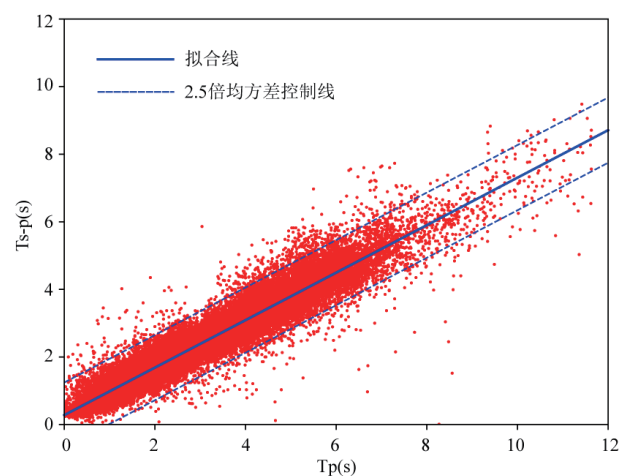


图 3.1 利用和达曲线挑选震相观测资料示意图

* 来自四川省地震局龙锋研究员的研究成果。数据格式：.txt 等。

3. 关键技术方法

(1) 南北地震带各省区观测范围重叠严重, 部分事件被反复记录 (图 3.2), 需要事先合并观测报告。采用联合概率密度分布来合并了不同台网记录到的同一事件, 并区分了独立事件。其公式为 (龙锋等, 2018):

$$P(T, S, M) = P(T|S, M) P(S|M) P(M)$$

其中 T、S、M 分别表示不同台网间不同事件在时空强三维空间上的差异分布。以鲁甸地震序列为例的计算结果显示合并效果显著 (图 3.3)。

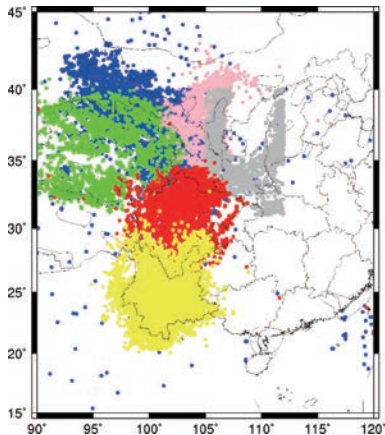


图 3.2 南北地震带各台网记录事件的震中分布图 (不同颜色代表不同台网记录到的事件)

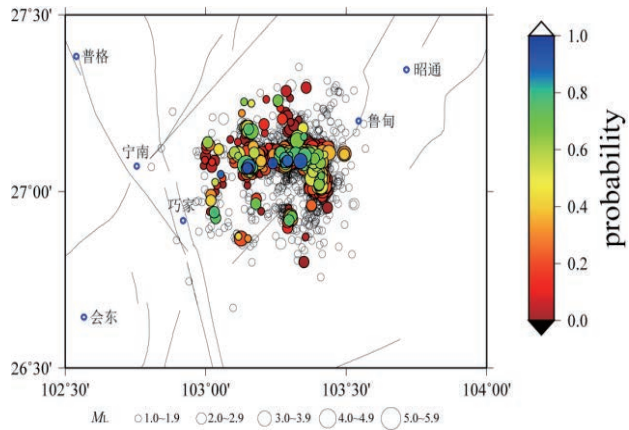


图 3.3 利用川滇两省台网合并后的鲁甸地震序列

(2) 分割研究区, 将南北地震带划分为 $3^\circ \times 3^\circ$ 的子区, 对每个子区采取绝对定位 + 相对定位 / 联合反演的多阶段方式获取它们最终的定位结果。

4. 数据集研制成果

完成 2009 年 1 月至 2019 年 3 月南北地震带 $M_L 1.5$ 级以上 127009 条地震的重新定位 (图 3.4, 3.5), 其结果已在各类研究中得以应用。

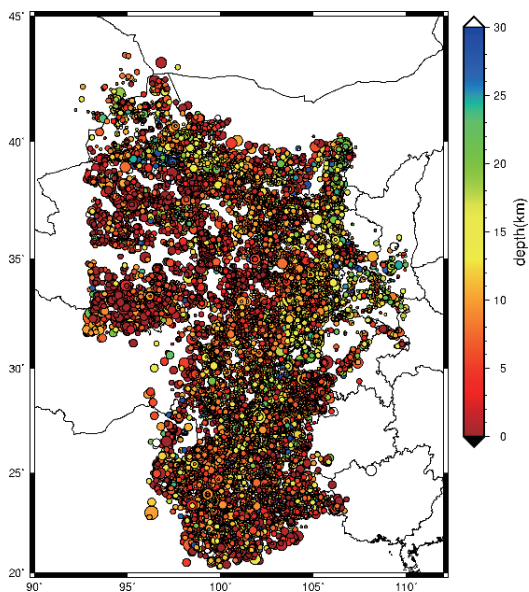


图 3.4 南北地震带重新定位后的震中分布图

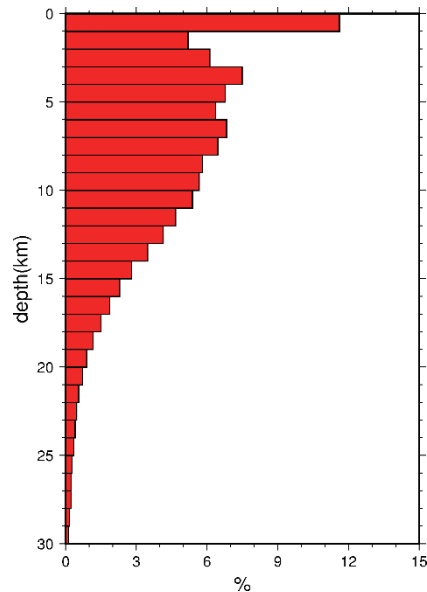


图 3.5 重新定位后地震的深度统计柱状图

(1) 小震稀疏段判断 (图 3.6)

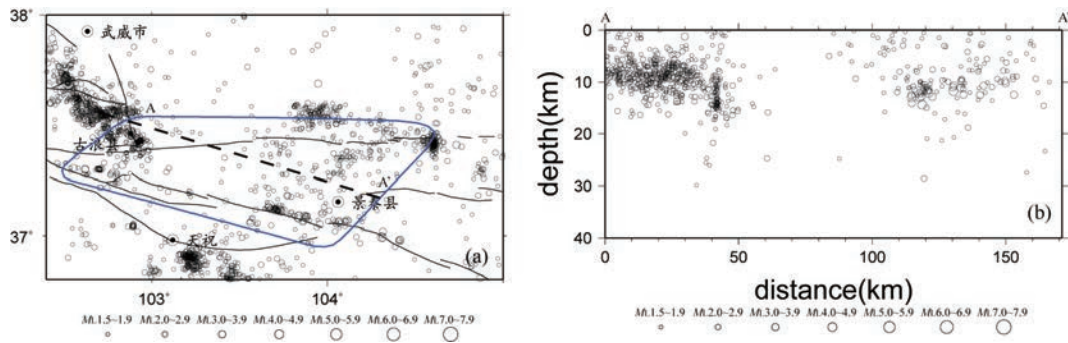


图 3.6 祁连断裂带中西段附近地区地震重新定位结果
(a) 空间分布 ; (b) 深度剖面

(2) 闭锁段判定 (图 3.7)

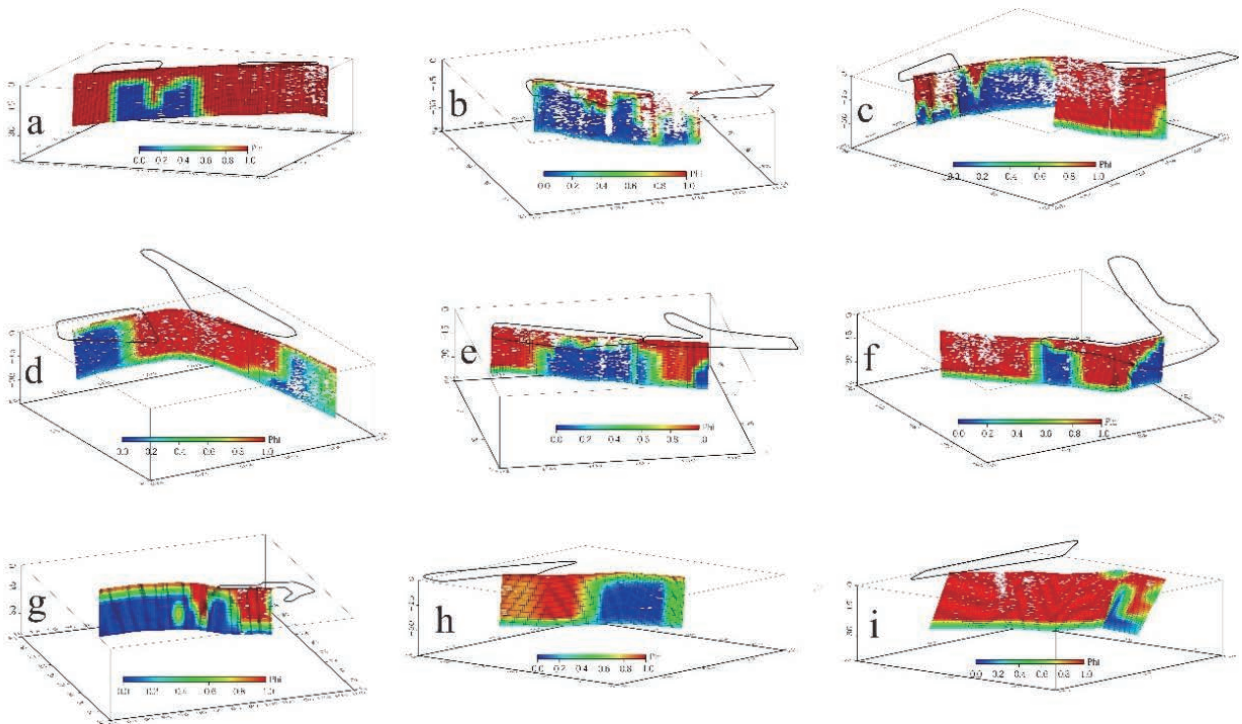


图 3.7 南北地震带北段主要断层闭锁程度反演结果
(a) 阿尔金断裂中北段 ; b 祁连断裂带中西段 ; c 祁连断裂带 - 六盘山 ; d 香山 - 天景山断裂带 ;
e 西秦岭北缘断裂带 ; f 龙日坝断裂带 ; g 东昆仑断裂带 ; h 拉脊山 - 日月山断裂 ; i 庄浪河断裂

5. 数据集检验

以汶川序列为例, 从序列中南部划分一垂直于长轴的剖面 (图 3.8), 从震源剖面可以看出, 余震集中在 20km 深度内, 属于脆性上地壳。有两丛地震发生在剖面距离 40 ~ 60km 处, 其中东侧一丛粗壮, 浅部直立, 深部倾向 NW, 在深度 20km 处与同样倾向 NW 的西侧一丛相交 (图 3.9)。这一分布形态与已知的龙门山断裂带中央断裂和后山断裂的几何接触关系一致。

地震事件定位精度是时空强的函数, 一般而言台网密集地区误差较小; 随时间推移, 监测能力提高, 误差越小; 震级较大的地震记录到的台站较多, 误差越小。用绝对定位结果统计了数据集的误差分布状态, 结果显示 80% 事件的走时 RMS 限定在 0.3s 以内, 80% 的事件的水平误差在 2km 以内, 震源深度控制较差, 但 80% 的样本的垂直误差在 4km 以内 (图 3.10)。

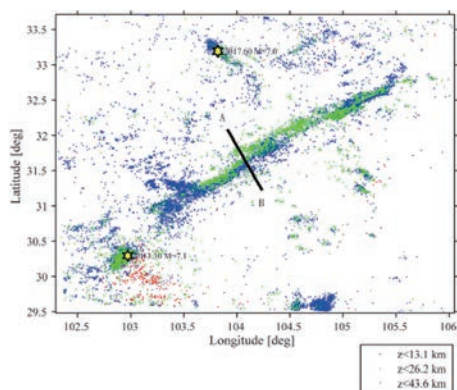


图 3.8 重新定位后汶川序列及其周边地区震中分布图以及剖面位置

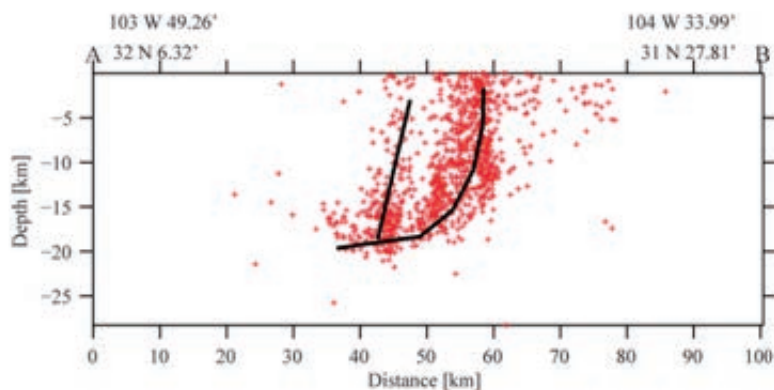


图 3.9 过 AB 线的震源剖面

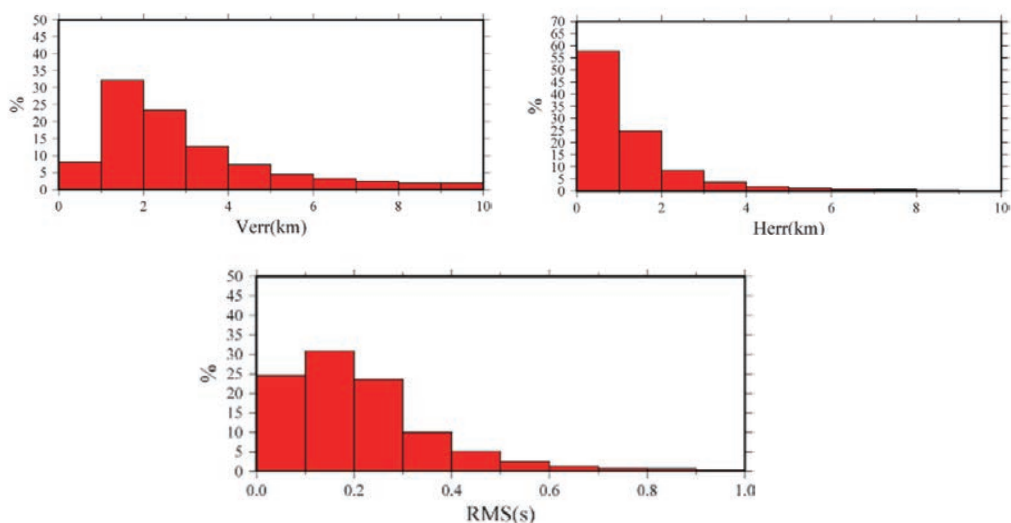


图 3.10 绝对定位误差统计柱状图



龙 锋

1981 年生人,四川省地震局高级工程师。

个人信息

研究领域

地震预测

联系方式

E-mai: icy1111@163.com

Phone: 13709017460

◆实验场科技产品——基础数据（之二）震源机制解目录*

川滇地区由于其独特的构造背景，中小地震频发，有着丰富的中小地震的观测资料。而地震的震源参数是研究地震和认识地震的重要组成部分，通过研究地震的震源参数，可以深入的了解地震性质、发震机理、构造应力场等，能够为区域构造、岩石流变特性、应力状态等地震学研究提供关键信息。此外，研究中小地震的震源参数可以认识区域应力场小尺度的时空变化，可以在更广的范围更加全面的认识区域应力状态以及介质的流变性质（罗艳，2010a）；强震余震的中小地震震源参数可以为主震发震机理研究提供重要的信息（Wu and Takeo,2004; 郑勇等，2009）；可以为建立统一的川滇实验场模型提供关键性的支撑。

1. 数据集内容

震源机制解目录以 ASCII 文件的形式和统一的格式，给出可查看和方便读取的川滇地区 2009 年以来 4.0 级以上地震震源机制解和矩震级。

研制工作收集了 2009-2017 年间川滇实验场区的地震的波形数据，对级的地震，采用波形反演方法及序列发展方法计算其震源机制解、震源深度和矩震级；对于速度模型比较好的情况，采用矩张量反演，确定双偶源和非双偶源的成分。对一些显著地震，结合精细的速度结构，利用 CAP、gCAP 等方法 and 深度震相波形对比方法对震源深度进行精确确定，将这些地震作为参考震例，进一步提高地震定位的精度。

为了保证结果的可靠性，数据集分别由三个独立的研究组同时开展研究，采用同样的数据，分别采用不同的方法或者技术，对震源机制、矩心深度等信息进行研究，并确定其不确定度，对比分析结果的可靠性。

2. 数据来源

(1) 分析数据和台站分布

地震目录来自中国地震台网中心，收集了川滇地区 2009-2017 年地震事件共 2468 个，其中可用地震事件共 634 个，地震事件共 1663 个。地震分布如图 3.11 所示，其中红色点表示地震事件。台站采用国家固定台网，分布

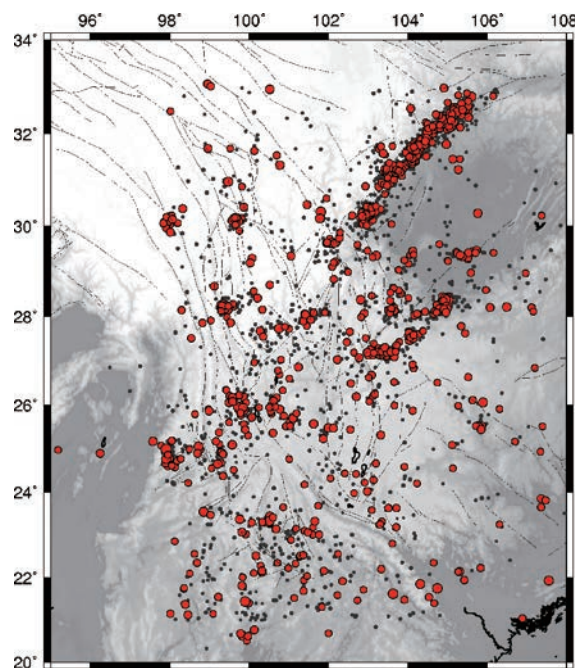


图 3.11 地震事件分布图

* 来自中国地质大学（武汉）郑勇教授承担的实验场项目《鲜水何—小江断裂带的闭锁状态研究》。数据格式：.txt;.xlsx 等。

如下图 3.12，实际计算每个事件时，选择地震事件 350km 以内的台站。

为了更好的保证数据质量，除了采用地震目录之外，利用 AIC-autopick 方法自动拾取初至，然后利用人工检测初至拾取的好坏。最终选取信噪比较高，初至清晰的地震事件的波形数据进行反演，共计选出了 400 多个地震事件进行了震源机制反演。

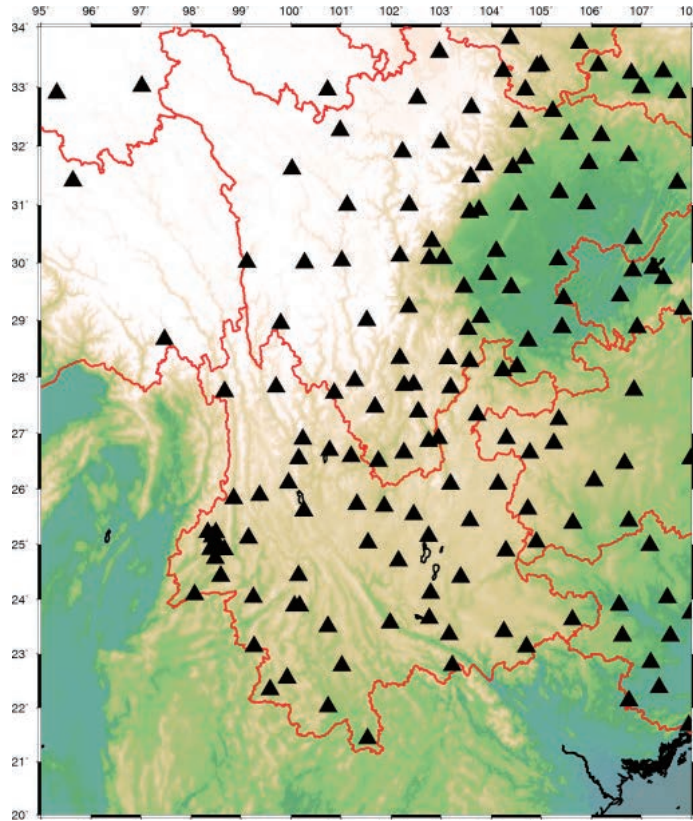


图 3.12 台站分布图

(2) 速度结构模型

由于川滇地区地下结构复杂，因此采用了三种速度模型计算格林函数：云南 - 贵州地区速度模型来自云南地震局；四川盆地速度模型以及青藏高原东南缘速度模型来自郑勇等（2013）的噪声成像结果，具体如下图 3.13 所示。

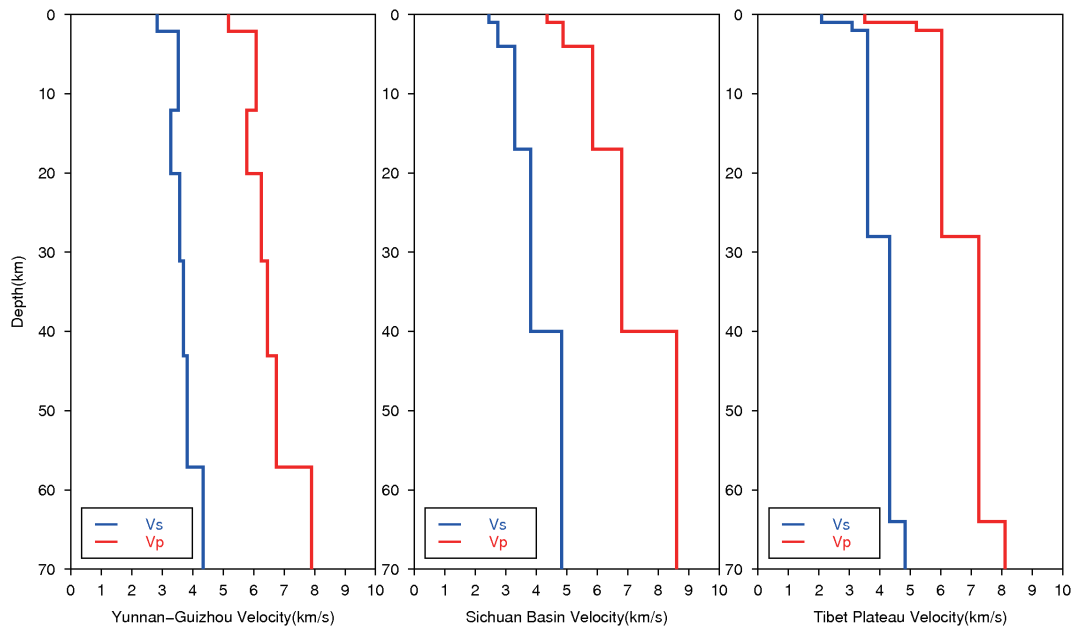


图 3.13 反演采用的三种速度模型

(3) 数据和结果的质量分析：

1) 对原始数据：①检视地震波形，去除无地震和低质量数据；②查看震源深度和发震时刻，去除错误信息。

2) 对震级机制解反演结果：①检视理论波形和观测波形的拟合程度，确保两者方向一致，振幅接近，相关系数足够大；②参与反演的台站分布尽可能的均匀，数量至少为 6 个。

按以上原则对原始数据和反演结果进行筛选，确保震级机制解的可靠性。

3. 关键技术方法

对于 $M_L \geq 4$ 级的中强地震，分别采用 gCAP、CAP 同步源全矩张量反演方法对其震源机制解和矩震级、震源深度进行反演。

(1) CAP 方法

将近震宽频带数字波形记录分为体波 (Pn1) 和面波部分，在双力偶源的震源假设下，分别计算它们的理论地震图和实际观测波形之差的目标函数，在给定参数空间范围内进行网格搜索，同时反演震源机制解、矩震级和震源深度。对 $M_L \geq 5.5$ 的较强地震，在远震记录上也有较高信噪比的记录，采用 CAP 的发展方法 CAPjoint 方法对地震的震源参数进行反演，得到更可靠的震源参数。

(2) gCAP 方法

由于川滇区域的地壳速度结构比较复杂，震源机制解可能不仅限于双力偶源，CLVD 分量也可能存在。因此采用 gCAP (Zhu & Helmberger 1996; Zhu & Ben-Zion 2013) 方法对震源机制进行反演。

(3) 同步源全矩张量反演算法

CAP 和 gCAP 方法属于比较常规的反演方法，对于中小地震比较合适。对于地震震级偏大的中强地震，在一些情况下存在一定的偏差。为了进一步分析较大地震的震源性质，并确定震源机制解的可靠性，数据集研制团队发展了同步源全矩张量反演方法，对实验场的地震震源性质进行研究。

1) 同步源全矩张量反演算法的技术思路

根据表示定理和点源近似，在台站记录到的位移可以写成震源矩张量时间序列 $M_{pq}(t)$ 和格林函数时间序列 $G_{ip,q}(t)$ 的卷积。

$$u_i^n = M_{pq}(t) \times G_{ip,q}(t) \quad (1)$$

理论上可以直接求解公式 (1) 获得矩张量时间序列，但这个反演过程极不稳定。在传统的震源机制反演过程中，一般假设各个矩张量独立分量的时间序列相同，即假设：

$$M_{pq}(t) = m_{pq} \cdot s(t) \quad (2)$$

且在反演前一般事先给定震源时间函数 $s(t)$ 。这样就只需要反演地震矩张量 m_{pq} 或者断层的走向、倾角和滑动角。采用三角函数或梯形函数是比较常用的近似震源时间函数。这样就可以写成线性方程组的形式，直接求解地震矩张量。然而，这里需要注意 $s(t)$ 的设定人为性较强，给的不合适就会影响反演结果的合理性。

同步源全矩张量反演方法将同时反演全地震矩张量 (包含有 ISO, CLVD 和 DC) 和震源时间函数。反演步骤如下：

① 给定第 k 步震源时间函数 $s^{(k)}(t)$ ，然后利用以下公式 (3) 反演出

$$u_i^n = m_{pq}^{(k)} \cdot [s^{(k)}(t) \cdot G_{ip,q}^n(t)] \quad (3)$$

② 利用第 k 步的 $m_{pq}^{(k)}$ ，使用以下公式 (4) 反演出第 $k+1$ 步的 $s^{(k+1)}(t)$

$$u_i^n = s^{(k+1)}(t) \times [m_{pq}^{(k)} \cdot G_{ip,q}^n(t)] \quad (4)$$

③ 重复第 1 步和第 2 步，直到波形残差足够小或超过预设的迭代次数。最终反演得到 m_{pq} 和 $s(t)$ 。

④ 利用矩张量和断层面解 (走向、倾角、滑动角) 的关系求得断层面解。

4. 数据集研制成果

三个工作组分别独立对实验场的震源机制进行了反演，完成实验场区 2009-2017 年来 $M_L \geq 4$ 级的中强地震的震源机制解目录。

(1) 郑勇工作组研究结果

郑勇工作组利用 gCAP 方法总共得到了 634 个地震事件的震源机制解，但考虑台站的方位角分布以及台站数量不少于 8 个，最终得到 592 个结果比较好的震源机制解结果。采用马文涛等 (2004,2008) 震源机制解分类方法，结果展示如图 3.14 所示，其中走滑断层地震 223 个，正断层地震 112 个，逆断层地震 257 个。

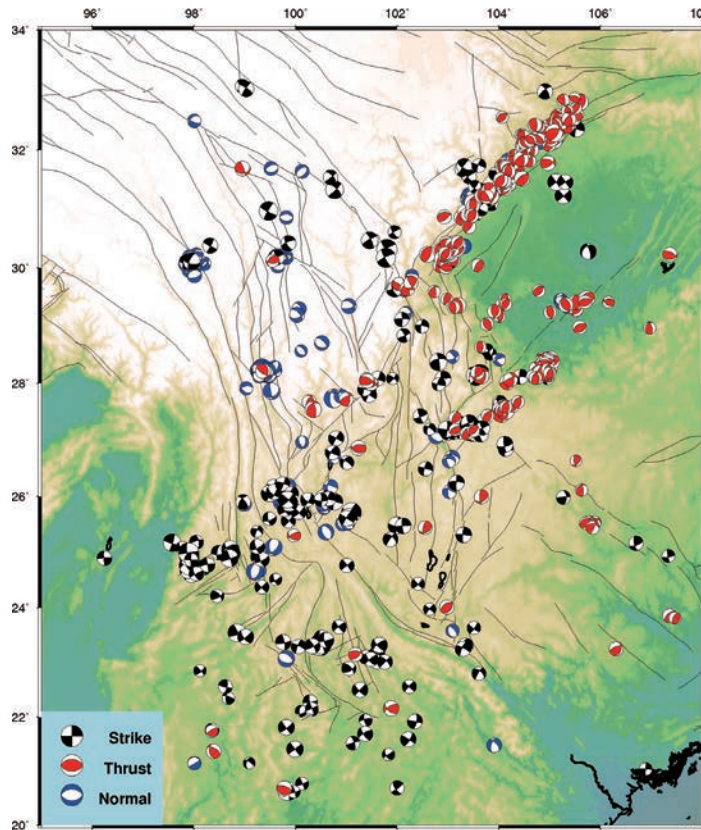


图 3.14 2009-2017 震源机制解 gCAP 反演结果
黑色为走滑地震，蓝色为拉张地震，红色为逆冲地震

为了更好的了解川滇地区近几十年的震源机制解的时空变化，收集了 1970-2008 年 Harvard CMT 的震源机制解；谢祖军等 (2013)，吕坚等 (2012b) 的结果，得到了 1970-2017 年川滇地区震源机制解分布图，如图 3.15。

为了展示拟合的情况和结果的可靠性，图 3.16、图 3.17 具体展示了 201606161512267、200901021100104 两个地震事件的计算结果，图中左边是波形拟合结果，右边两个图是台站分布以及由残差随深度变化确定的震源深度。可以看到，波形拟合度很高，绝大多数波形的拟合相关性系数在 0.9 以上。同时，深度的拟合情况也很好，满足单一极小，可以将矩心深度误差控制在 1km 左右。

(2) 文健工作组结果

根据数据的信噪比和初至的清晰程度，文健工作组对 446 个地震事件进行了震源机制反演。图 3.18 给出了事件 200901021100104 的反演结果。图 3.19 给出了所有 446 个地震事件的震源沙滩球。

(3) 储日升工作组结果

储日升工作组利用 CAP 方法，收集 2009-2017 年 $M_L \geq 4.0$ 地震数据进行反演，共获得 536 个地震的震源机制解、矩震级和深度。

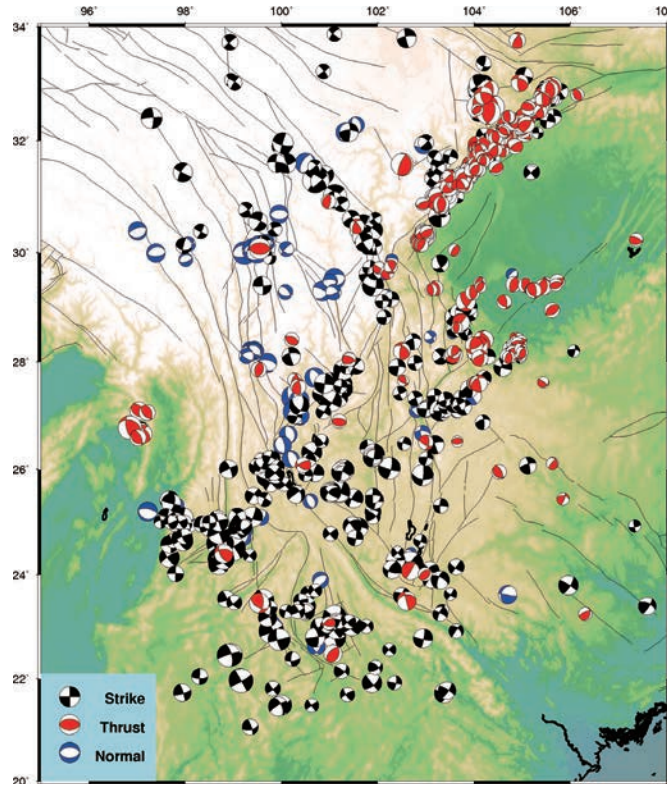


图 3.15 1970-2017 震源机制解结果
2009 年以前的结果摘自 Harvard GCMT 结果

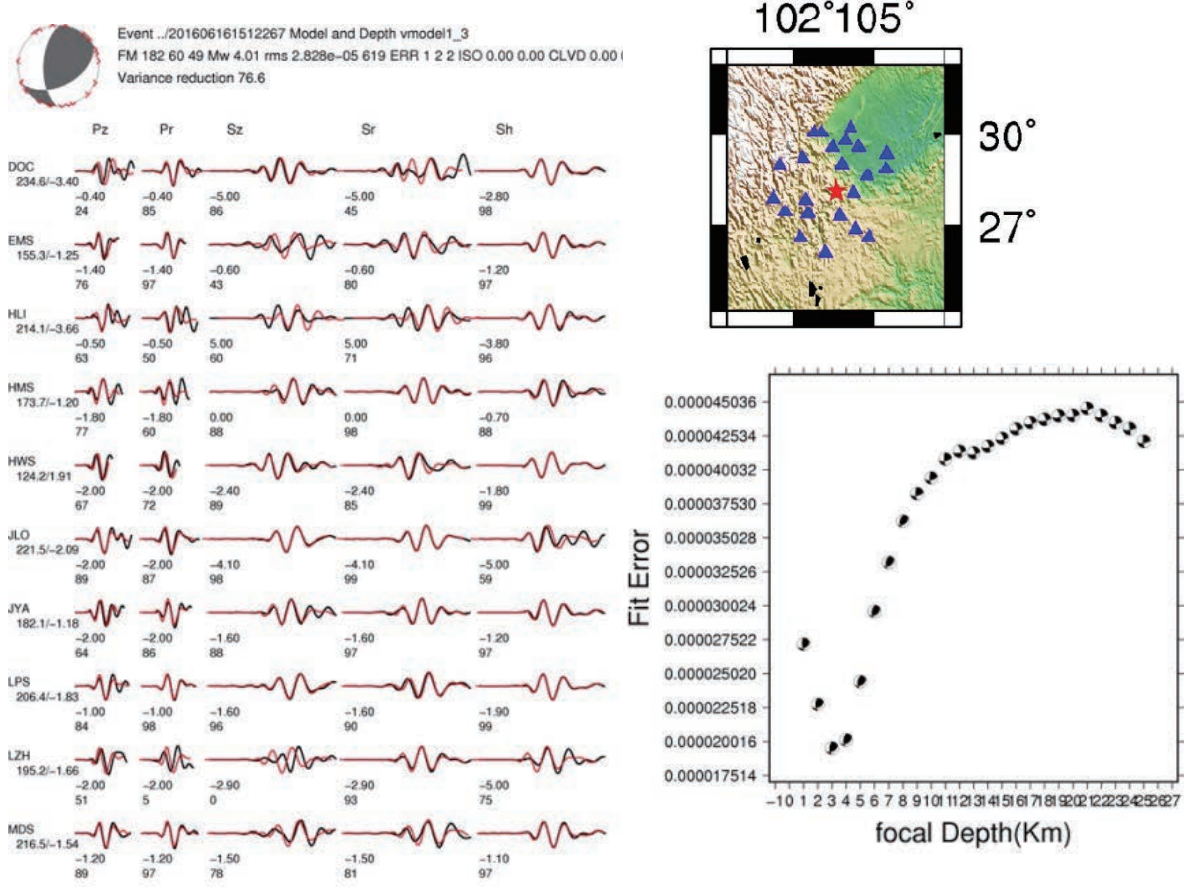


图 3.16 201606161512267 地震事件的波形拟合情况
左边为波形拟合情况，黑色为观测波形，红色为拟合波形。右上图为台阵分布图和地震位置，
右下为拟合误差随深度变化情况，可以看到地震的最佳拟合深度为 3km 左右

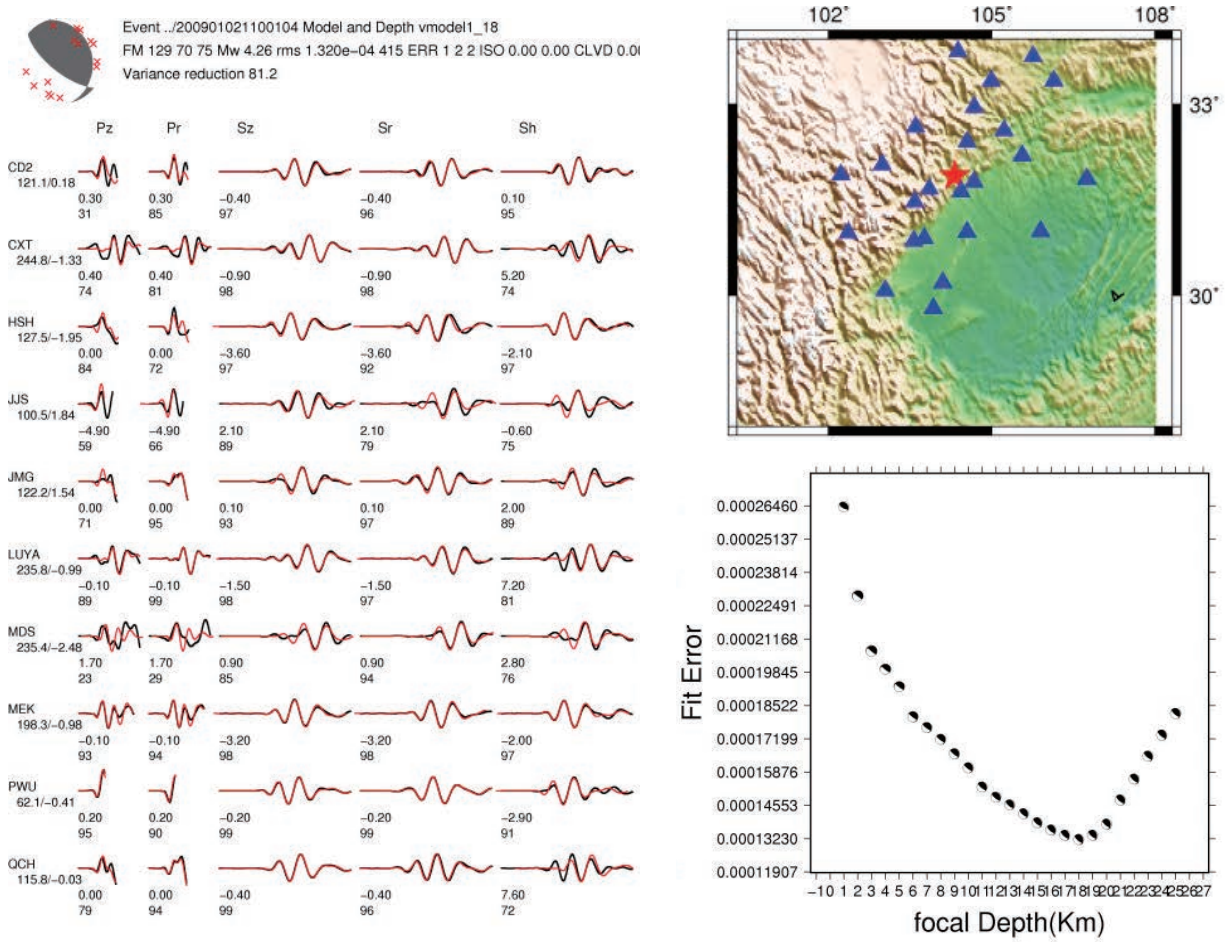


图 3.17 200901021100104 地震事件的波形拟合情况

左边为波形拟合情况，黑色为观测波形，红色为拟合波形。右上图为台阵分布图和地震位置，右下为拟合误差随深度变化情况，可以看到地震的最佳拟合深度为 18km 左右

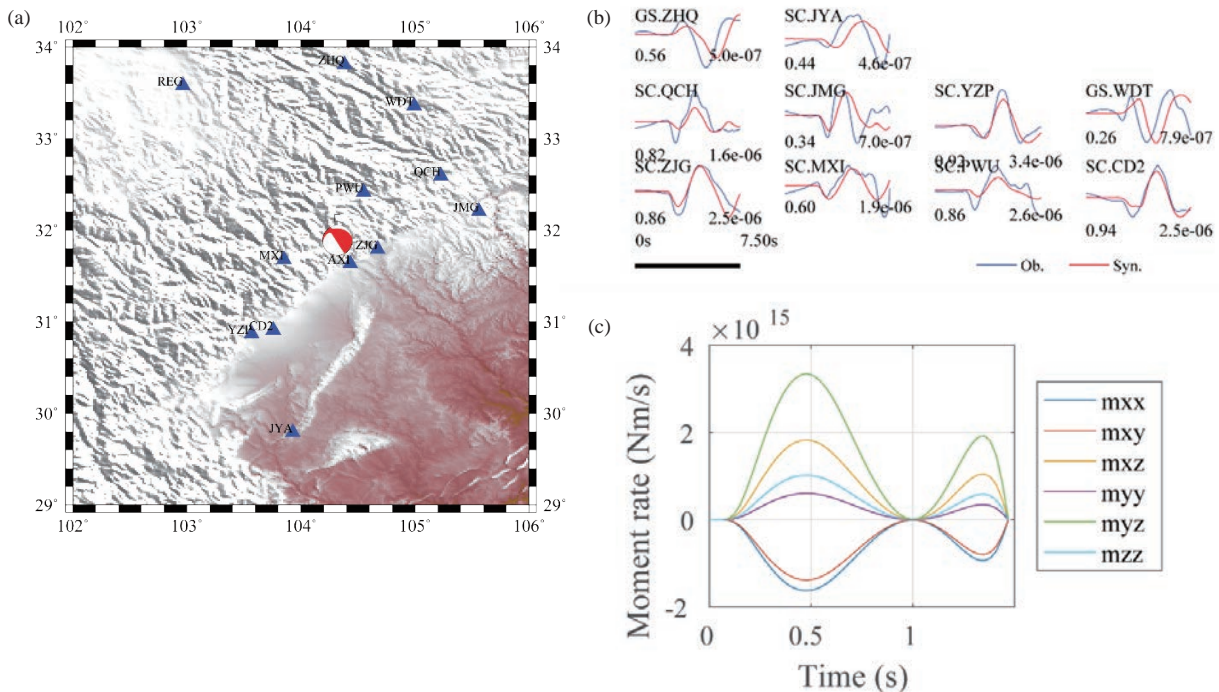


图 3.18 事件 200901021100104 的反演结果

(a) 台站分布和震源沙滩球；(b) 为波形对比；(c) 各分量的震源速率函数

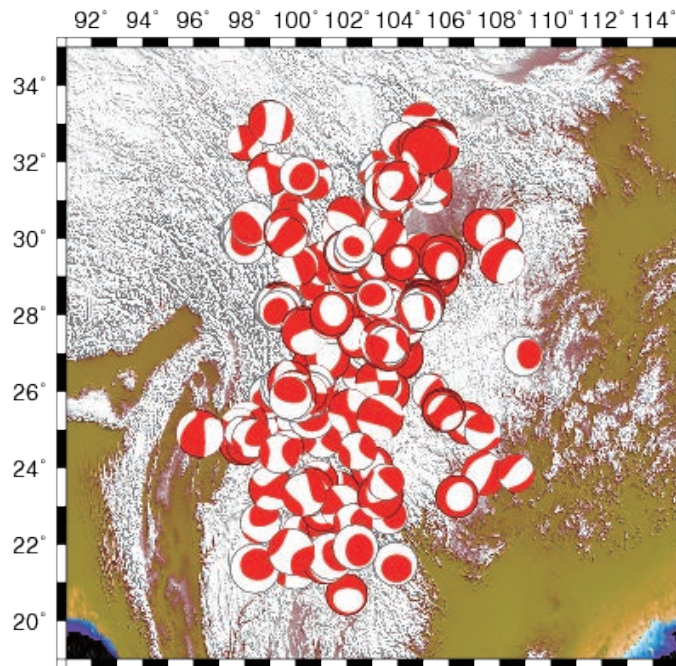


图 3.19 文健学科组 446 个地震事件反演得到的震源机制沙滩球

5. 数据集检验

对于三个独立工作组完成的结果，首先将 $M_w \geq 5$ 级的地震的震源机制解与 Global CMT 的结果进行了对比，两者的震级、走向、倾角和滑动角都非常接近。Global CMT 给出了更大的震级和震源深度。这是由于震级主要由振幅决定，越深的事件需要越大的震级才能在地表产生相同的观测振幅。随机挑选了一些地震，选用不同速度模型对其进行可测试，得到的结果仅有微小的变化，表明震源机制解释可靠的。

针对小于 5 级地震，我们以 T 轴夹角作为评判两组结果的差异的标准，假定 T 轴夹角 $< 40^\circ$ 两组震源机制基本接近，表 3.1 给出了三个学科组两两对比结果接近的事件数目。

表3.1 三个小组的震源机制反演结果对比

储日升结果vs.郑勇结果	郑勇结果vs.文健结果	储日升结果vs.文健结果
118	67	90

通过分析，造成三个小组的震源机制反演结果差异的原因可能有：

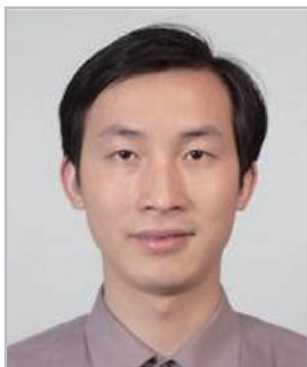
(1) 速度模型不一致，储日升工作组和文健工作组均采用相同的水平层状模型，而郑勇工作组采用的是不同事件不同水平层状模型；

(2) 震源深度不一致，郑勇工作组和储日升工作组反演时对深度进行了搜索，而文健工作组未做深度搜索；

(3) 反演方法不同，储日升工作组和郑勇工作组均基于双力偶源假设，直接搜索断层走向、倾角和滑动角，而文健未要求地震事件是双力偶源，采用的是全矩张量反演获得地震矩张量然后获得走向、倾角和滑动角。

总体而言，三个工作组的反演结果在较大地震 ($M_L > 4.5$ 级) 上一致性很好，4.0-4.5 级地震总体上比较一致。表明本课题的震源机制解及其矩心深度比较可靠。需要指出，震源机制解为双力偶解，其深度为震源的矩心深度，与日常基于震相到时定位得到的震源深度的含义不同，不宜混用。

经过对比，川滇地区震源矩心深度的分布模式与南加州地区的震源矩心深度的分布模式存在差异，川滇地区具有更多的浅源地震，表明川滇地区脆性-韧性过渡带较南加州地区浅，这种表现可能与新生断层的存在有关。



郑 勇

1978 年生人，博士，中国地质大学 / (武汉) 教授、博士生导师

个人信息

获奖信息

国家自然科学基金委优秀青年基金、中国科学院“卢嘉锡青年科学家奖”、湖北省杰出青年基金获得者。

研究领域

地震学层析成像、地震震源参数及破裂过程研究、地震及其动力学响应、地震性质和地震危险性分析等

工作经历

2017-02—至今，中国地质大学（武汉）地球物理与空间信息学院，教授

2013—2017，中国科学院测量与地球物理研究所，研究员

2008—2013，中国科学院测量与地球物理研究所，副研究员

2005—2008，中国地震局地球物理研究所，博士后

联系方式

电子邮箱：zhengyong@cug.edu.cn

◆实验场科技产品——基础数据（之三）“去丛”地震目录*

表示“正常”地震活动的“背景地震”（background seismic）是研究地震活动异常以及工程地震学中估算长期地震危险性的基本素材，而混杂在地震目录中的余震序列、前震序列、震群等地震丛集事件，一是由于遵循自身的活动规律（例如余震活动衰减的 Omri-Utsu 定律给出不同于背景地震的 b -value 和衰减活动的 p -value 等），与背景地震活动规律存在明显差异，这种混杂将对以背景地震为主要研究对象的科学研究带来较大的干扰；二是，余震序列、震群等具有剩余能量释放、反映流体等参与下的特殊的地震活动演化物理含义，混杂在地震目录中难以满足特定的与地震活动物理规律有关的研究工作需要。因此除丛，既是符合地震物理本身规律的需要，也是特定地震活动研究的技术处理的需要。

传统上的前震、主震和余震在物理本质和统计属性上难以区分（Helmstetter and Sornette, 2003），而将描述“正常”地震活动的“背景地震”从地震活动中分离出来同样是统计地震学的难点，也更是识别真正的地震活动异常的关键。上世纪 80 年代逐渐发展起来的“传染型余震序列”（ETAS）模型，由于利用概率的形式来描述某一地震事件是背景地震，还是包括前震、余震或震群在内的丛集地震的做法得到了普遍接受，尤其是可从时 - 空间同时分离背景地震和丛集地震的基于时 - 空 ETAS 模型的随机除丛法（Zhuang et al., 2002），为获得相对科学可靠的除丛地震目录提供了技术可能。

利用“除丛”（decluster）的统计地震学方法技术方法，获得川滇国家地震科学实验场区内的背景地震目录，共享并提供实验场区内开展地震预测建模、地震活动分析和工程地震学研究等使用。

1. 数据集内容

拟对川滇国家地震科学实验场区内（ $25.0^{\circ} \sim 35.0^{\circ}N$ ； $97.0^{\circ} \sim 110.0^{\circ}E$ ），有现代地震记录以来的微震目录，在数据质量分析、地震丛集事件完备性筛查等基础上，采用时 - 空 ETAS 模型的随机除丛法进行地震目录的除丛处理，获得相对可靠的背景地震目录。

2. 数据来源

微震目录为中国地震台网中心提供的 1970 年 1 月 1 日至 2008 年 5 月 12 日的《中国地震月报目录》。该目录根据国家台网和各区域台网测定资料汇编而成，震级单位统一为地方震震级 M_L 。值得注意的是，本文在资料预处理中发现，《中国地震月报目录》中 1996 年 2 月 3 日云南丽江 $M_S7.0$ 地震的余震大部分缺失，因此计算中补充使用了由云南省地震局提供的丽江 $M_S7.0$ 地震余震序列目录。对于川滇地区，苏有锦等（2003）利用 1970 ~ 2001 年四川、云南两省区域地震目录讨论了分区、分时段的整体完整性震级，结果表明，即使在地震观测水平相对较低的早期，川滇地区的完整性震级也不高于 $M_L3.0$ 。为保证时 - 空 ETAS 模型参数估算结果的可靠性，这里将截止震级 M_c 设定为 $M_L3.0$ 。

由于 ETAS 模型假定任何一个地震都可能触发其后发生的任何大小的地震， M_c 的设定可能切断了 $M < M_c$ 的地震与其它地震的触发关系，从而造成“链接缺失”（missing link）现象（Wang et al., 2010）。在本项任务中，2008 年汶川 8.0 级地震序列包括大量的余震事件，但由于震区的监测能力和震后数据的可处理程度有限，造成序列目录的大量缺失，给进一步计算汶川 8.0 级地震发生的 2008 年 5 月 12 日以后的川滇地区背景地震目录造成较大困难，因此本任务中仅给出 1970/01/01 ~ 2008/05/11 期间的除丛地震目录。

3. 关键技术方法

3.1 时 - 空 ETAS 模型

目前已有多种分支过程（branching processes）模型用于描述地震活动的时 - 空丛集特征（Ogata, 1988; Kagan

* 来自中国地震局地球物理研究所所长胜研究员的研究成果。数据格式：.txt;.bat 等。

1991; Musmeri and Vere-Jones, 1992; Console and Murru, 2001)。这些模型一般用条件强度函数形式表示地震发生率, 即

$$\lambda(t,x,y,m | H_t) = \frac{\Pr[N(dt \times dx \times dy \times dm) = 1|H_t]}{dt \times dx \times dy \times dm} \quad (1)$$

其中 $\Pr[N(dt \times dx \times dy \times dm) = 1|H_t]$ 是给定历史地震活动情况下在 $dt dx dy dm$ 内的发震概率, H_t 为截止到时刻 t 之前的与时、空和震级相关的地震发生历史。值得注意的是, H_t 涉及的有效时、空范围可以大于研究的时空范围。

Zhuang 等(2002)与 Zhuang 和 Ogata(2006)的随机除丛法中使用的是 Ogata(1998)给出的时 - 空 ETAS 模型, 该模型将地震发生率 λ 进一步细化为下述表达式

$$\lambda(t,x,y,m | H_t) = J(m) \left[\mu(x,y) + \sum_{i:t_i < t} \kappa(m_i) g(t-t_i) f(x-x_i, y-y_i; m_i) \right] \quad (2)$$

这里的 $\mu(x,y)$ 为背景地震活动强度, 也叫做背景地震发生率, 它是空间位置的函数, 但与时间无关; $\kappa(m)$ 表示的是震级为 m 的事件触发“子震”数目的期望; $g(t)$ 和 $f(x,y|m)$ 分别为“子震”的时间与空间概率密度函数。本文采用

$$\kappa(m) = A e^{\alpha(m-m_c)} \quad (3)$$

$$g(t) = \frac{p-1}{c} \left(1 + \frac{t}{c} \right)^{-p} \quad (4)$$

式中 A 、 α 、 p 和 c 为常数, m_c 为震级阈值; 公式(2)中的空间密度函数 $f(x,y,m)$ 采用下述表达式(Zhuang 和 Ogata, 2006)

$$f(x,y,m) = \frac{q-1}{\pi D e^{\gamma(m-m_c)}} \left(1 + \frac{x^2 + y^2}{D e^{\gamma(m-m_c)}} \right)^{-q} \quad (5)$$

其中 q 、 D 和 γ 为常数; 震级的概率密度函数为

$$J(m) = \beta \exp[-\beta(m-m_c)], m > m_c \quad (6)$$

这里的 β 与 Gutenberg-Richter 定律中的 b 值关系为 $\beta = b \log 10$ 。对于实际的地震目录 $\{(t_i, x_i, y_i, m_i) : i=1, 2, \dots, N\}$, 如果给定强度函数 $u(x,y)$, 背景地震活动强度可表示为 $\mu(x,y) = \nu u(x,y)$, 其中 ν 为大于 0 的待估参数, 可利用最大似然法来估计地震发生率表达式中的各项参数。似然函数的形式为

$$\log L(\theta) = \sum_{j:(t_j, x_j, y_j) \in S \times [T_1, T_2]} \log \lambda(t_j, x_j, y_j) - \iint_S \int_{T_1}^{T_2} \lambda(t, x, y) dt dx dy \quad (7)$$

这里的待估计参数为 $\theta = (\nu, A, \alpha, c, p, D, q, \gamma)$, S 表示研究区域, $[T_1, T_2]$ 表示研究时段。

3.2 随机除丛法

随机除丛法的技术关键就是对点过程的“瘦化”运算(thinning operation), 地震 i 对其后发生的地震 j 处 (t_j, x_j, y_j) 的地震发生率的相对贡献可表示为

$$\rho_{ij} = \zeta_i(t_j, x_j, y_j) / \lambda(t_j, x_j, y_j), j > i \quad (8)$$

这里的 $\zeta_i(t, x, y) = \kappa(m_i) g(t-t_i) f(x-x_i, y-y_i | m_i)$, 即地震 i 的“子震”过程的发生率。因此可以将 ρ_{ij} 看作地震 j 被地震 i 触发的概率, 即地震 j 作为地震 i “子震”的概率。同理, 地震 j 作为背景地震的概率为

$$\phi_j = \frac{\mu(x_j, y_j)}{\lambda(t_j, x_j, y_j)} \quad (9)$$

而地震 j 被之前地震触发的概率, 即丛集地震概率可表示为

$$\rho_j = 1 - \phi_j = \sum_i \rho_{ij} \quad (10)$$

有了背景地震概率后，可用核函数法来估算地震背景活动强度 $\mu(x, y)$ ：

$$\hat{\mu}(x, y) = \frac{1}{T} \sum_i \phi_i Z_{h_i}(x - x_i, y - y_i) \quad (11)$$

其中 T 为研究时段长度， Z_{h_j} 是带宽为 h_j 的高斯核函数。带宽变量 h_j 由

$$h_j = \max\{\varepsilon, \inf(r : N[B(x_j, y_j; r)] > n_p)\} \quad (12)$$

决定，其中 ε 为一个小正数， $B(x_j, y_j, r)$ 为以 (x_j, y_j) 为中心、 r 为半径的圆盘， n_p 为正整数。即， h_j 是地震 j 到第 n_p 个最近地震的距离。如果在 (10) 中去掉权重 ϕ ，得到是对地震整体发生率的传统和函数估计

$$\hat{m}(x, y) = \frac{1}{T} \sum_i Z_{h_i}(x - x_i, y - y_i)$$

同理，如果在 (10) 中用 ρ_j 来代替 ϕ_j 就是从集地震发生率的估计

$$\hat{C}(x, y) = \frac{1}{T} \sum_i \rho_i Z_{h_i}(x - x_i, y - y_i)$$

Zhuang 等 (2002) 的算法分为同时求取背景地震活动强度和模型参数的迭代算法，以及随机除丛法两部分，计算步骤简述如下：

(1) 同时求取背景地震活动强度和模型参数的迭代算法

先设背景地震活动 $\mu(x, y)$ 的初始值为常数，令模型条件强度为

$$\lambda(t, x, y) = \nu u(x, y) + \sum_{i:t_i < t} \kappa(m_i) g(t - t_i) f(x - x_i, y - y_i; m_i) \quad (13)$$

其中 ν 为待定系数。利用最大似然法求得模型参数后，根据 (9) 式求得每个地震作为背景地震的概率 ϕ ，再利用 (11) 式重新计算背景地震活动强度并替换 (13) 式中的 $\nu u(x, y)$ ，反复迭代直至结果收敛。

(2) 随机除丛法

根据背景地震活动强度和模型参数的计算结果，对每一个地震 j ，利用 (9) 和 (8) 式分别计算 ϕ_j 和 ρ_{ij} ， $i=1, 2, \dots, j-1$ 。然后生成一个在单位区间上服从均匀分布的随机数 U_j ，如果 $U_j < \phi_j$ ，则地震 j 为背景地震；否则，将满足

$$\phi_j + \sum_{k=1}^{I_j} \rho_{kj} \leq U_j < \sum_{k=1}^{I_j+1} \rho_{kj} \quad (14)$$

的地震 I_j 作为地震 j 的“母震”，地震 j 也就成为了丛集地震。由此，利用随机除丛法可将地震目录分离为背景地震和丛集地震。

不同于传统的删除余震算法 (例如，Gardner *et al.*, 1974; Reasenber, 1985)，随机除丛法考虑了全部历史地震的综合触发效应，地震丛集不仅包括余震，还包括传统意义上的前震和震群。此外，随机除丛法还用“家谱”形式描述丛集地震，即每个“子震”根据相关概率，随机地找到自己的“母震”。

4. 数据集研制成果

在川滇实验场区 ($25.0^\circ \sim 35.0^\circ \text{N}$; $97.0^\circ \sim 110.0^\circ \text{E}$) 范围内，对 1970/01/01 ~ 2008/05/11 期间的 $M_c \geq M_L 3.0$ 的 15559 次地震事件，进行了时空 ETAS 模型的拟合，获得了相应的背景地震概率。作为最终结果的表示，图 3.20 给出了计算所用的 15559 次事件的背景地震概率的空间分布，图中不同的颜色表示每个地震的背景地震概率的数值。

在具体应用中，数据集可用于 (1) 利用背景地震概率，以 ≥ 0.5 或其他数值作为判断背景地震的阈值，进行地震事件的筛选，满足该阈值的为背景地震，不满足相应阈值的则为丛集事件 (clustering events)；(2) 将背景地震概率作为背景地震事件的权重，直接带入相应的地震活动分析中。

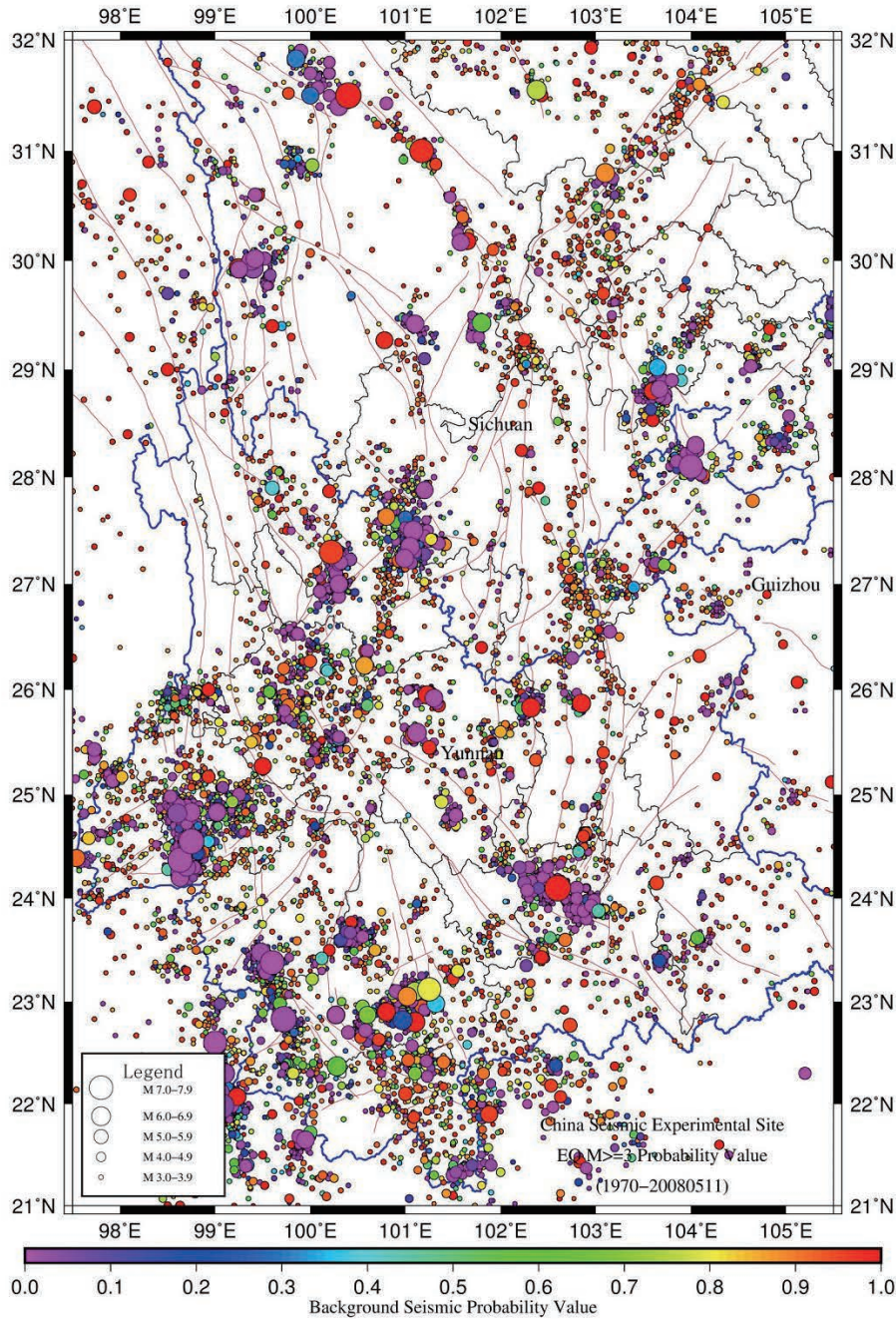


图 3.20 川滇地区背景地震概率的空间分布
图中每个地震的颜色背景地震概率的具体数值

5. 数据集检验

作为除丛地震目录的可靠性验证，主要用抽查地震序列震例和比较研究的方式。

作为验证的示例，图 3.21 (a) ~ (d) 分别给出了 1996 年 2 月 3 日云南丽江 $M_5.7.0$ 地震前，川滇地区 $M_1.3.0$ 以上地震的总体地震活动率 $\hat{m}(x, y)$ 、背景地震活动率 $\hat{\mu}(x, y)$ 、丛集地震活动率 $\hat{C}(x, y)$ 和地震丛集率 $\Omega(x, y)$ 的空间分布，其中， $\hat{m}(x, y)$ 、 $\hat{\mu}(x, y)$ 和 $\hat{C}(x, y)$ 为单位时间 (/ 天) 单位面积 (/ 平方度) 的相应事件数目， $\Omega(x, y)$ 为 $\hat{C}(x, y)$ 与 $\hat{m}(x, y)$ 的比值。有上述 4 种地震活动分布图，可进行除丛合理性的验证。

类似的验证，图 3.22 给出了 2008 年 5 月 12 日四川汶川 $M_5.8.0$ 地震前，川滇地区 $M_1.3.0$ 以上地震的总体地震活动率 $\hat{m}(x, y)$ 、背景地震活动率 $\hat{\mu}(x, y)$ 、丛集地震活动率 $\hat{C}(x, y)$ 和地震丛集率 $\Omega(x, y)$ 的空间分布。

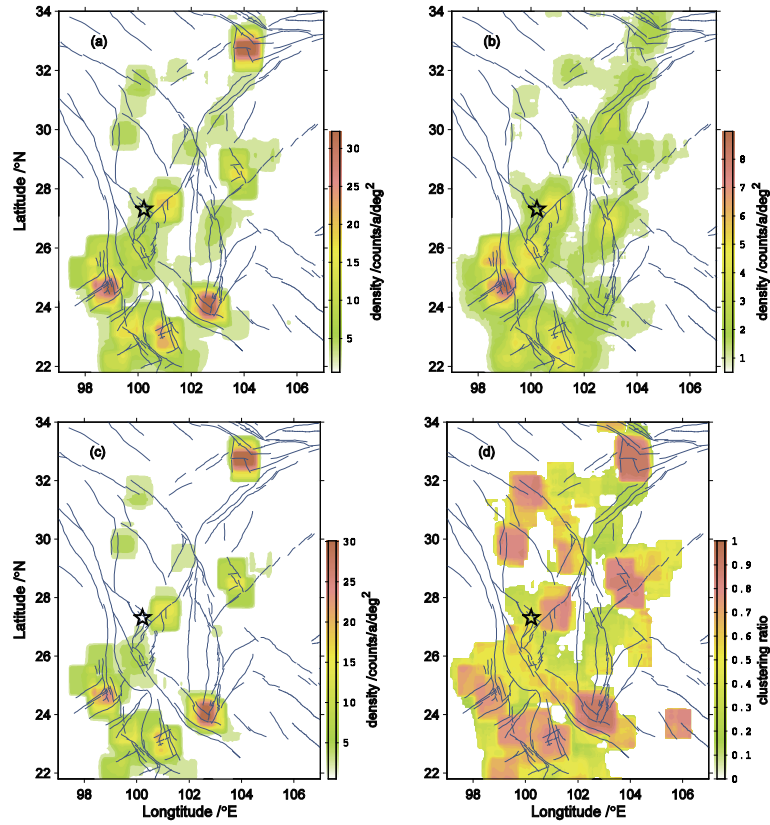


图 3.21 1996 年 2 月 3 日云南丽江 $M_s7.0$ 地震前的川滇地区地震活动率空间分布

(a) 总地震活动率 $\hat{m}(x, y)$; (b) 背景地震活动率 $\hat{\mu}(x, y)$; (c) 丛集地震活动率 $\hat{C}(x, y)$; (d) 地震丛集率 $\Omega(x, y)$ 。各图中用空心五角星标出了 1996 年丽江 $M_s7.0$ 地震震中

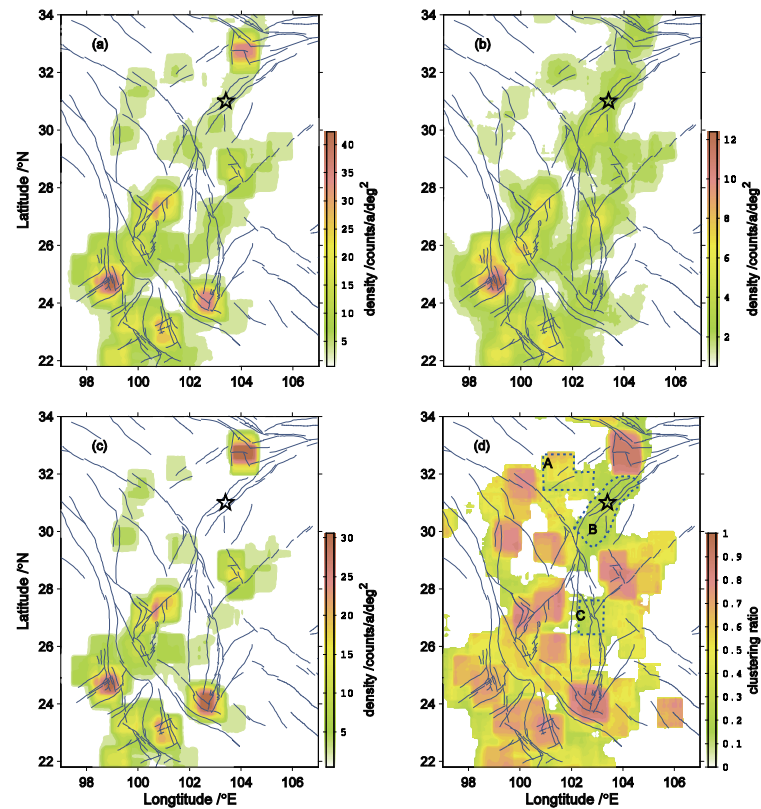


图 3.22 2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 地震前川滇地区地震活动率空间分布

(a) 总地震活动率 $\hat{m}(x, y)$; (b) 背景地震活动率 $\hat{\mu}(x, y)$; (c) 丛集地震活动率 $\hat{C}(x, y)$; (d) 地震丛集率 $\Omega(x, y)$ 。各图中用空心五角星标出了 2008 年汶川 8.0 地震震中



蒋长胜

蒋长胜, 1979 年生人, 博士, 中国地震局地球物理研究所研究员, 非天然地震研究室主任。

个人信息

研究领域

固体地球物理专业, 地震监测技术和地震预测理论等

学术兼职

国际地震学与地球内部物理学协会 (IASPEI) 教育和推广委员会 (Commission on Education and Outreach) 委员 (2017 年至今), 中国地震学会地震学专业委员会副主任 (第九届, 2015-2020), 担任学术期刊《国际地震动态》、《内陆地震》、《华北地震科学》、《中国地震》、《ERC》、《地震》编委会编委。

中华全国青年联合会委员 (第十二届, 中央和国家机关代表团, 科学技术界别)

中央国家机关青年联合会委员 (第五届, 创新创业界别, 2015-2019 年)

工作经历

2014 年 12 月 - 今 中国地震局地球物理研究所研究员

2012 年 5 月 21 日 - 6 月 21 日 日本统计数理研究所 “访问副教授” (Visiting Associate Professor of the Institute of Statistical Mathematics)

2010 年 5 月 21 日 - 6 月 20 日 日本东京大学 “短期访问学者” (Short-term visiting position at ERI)

2010 年 7 月 - 2014 年 11 月 中国地震局地球物理研究所副研究员

2007 年 7 月 - 2010 年 6 月 中国地震局地球物理研究所助理研究员

2004 年 7 月 - 2007 年 6 月 中国地震局地球物理研究所研究实习员

联系方式

电话 / 传真 : 010-68729092

E-mail: jiangcs@cea-igp.ac.cn

◆ 实验场科技产品——公共模型（之一）1.0 版速度模型 *

由于印度板块与欧亚大陆的俯冲碰撞，导致青藏高原及其临近区域地壳上地幔物质发生大规模的变形，物质从青藏高原中部向东部运移，并主要通过青藏高原东南缘（川滇地区）向东南亚地区逃逸，在川滇地区形成了以鲜水河—小江断裂带、龙门山断裂带、丽江—小金河断裂带、中甸大理断裂带等为代表的一系列活动断裂带和地震带。

川滇地区（包括四川省和云南省）总面积约 87 万平方公里，人口接近 1.4 亿，四川省首府成都市和云南省首府昆明市是我国西部地区最重要的两个经济和文化中心。自 2000 年来，川滇地区多次发生 6 级以上地震，其中 7 级以上地震两次（2008 年的 8.0 级汶川地震和 2013 年的 7.0 级芦山地震）。2008 年 5 月 12 日发生的 8.0 级汶川大地震造成了巨大的人员伤亡（死亡和失踪人数近 10 万人）和财产损失（超过 8000 多亿），是继 1976 年唐山大地震后我国造成损失最大的地震，2013 年的 7.0 级四川芦山地震和 2015 年 6.5 级鲁甸地震又分别造成了较大的人员伤亡和财产损失，因此地震监测预报及防震减灾工作一直是川滇地区的最为重要的工作之一。

目前，研究地震活动性的分布特征、震源物理性质、地震孕育的结构和构造背景等问题是我国地震科学研究的基础性工作，为地震危险性评估、灾害预测、地震预警及地震预报等重要工作提供必需的基础信息。三维结构参考模型的构建是地震学研究最为核心的内容之一，区域高精度三维速度结构参考模型的建立为认识孕震发震区的结构物性特征、地震精定位、震源机制反演、地震破裂过程的快速可靠反演、地表强地面运动的可靠计算及震害评估等提供基础支撑。

我国川滇地区虽然近些年来与地震监测和结构研究相关的台网布设密度和质量有了本质的提高，但研究成果还比较零散，已经发表的速度结构模型复杂多样，采用的数据和反演方法也是多种多样，到目前为止并未形成公认的川滇地区统一速度结构模型（例如三维公共各向同性和各向异性的速度结构模型、间断面结构模型等）。目前不同数据获得的结构模型仍然存在明显的差异，甚至同一类型的模型由于其反演方法、模型参数化及正则化方式的不同，也导致反演得到的模型存在差异。到底这些结构模型的可靠性和精确性如何，目前还都没有认真系统的验证和评价。且构建速度结构模型所使用的地震目录信息（例如位置、震源机制等）的精度还有待于进一步提高，例如可以采用更为可靠的三维速度模型和更精确的震源参数反演方法来确定震源信息。这些基础性工作的滞后将很大程度上制约着川滇地区其他工作的深入开展，例如公共断层模型的构建、强地面运动计算及地震灾害预测、震源动力学模拟、地球动力学模拟等相关研究工作。

本任务的主要目的是在中国地震科学实验场的支持下，通过收集固定及流动地震台网的多种数据（包括地震数据、背景噪声数据、主动震源数据），系统地开展川滇地区公共速度结构模型 1.0 版本的构建工作，该工作将为川滇地区其他核心研究工作提供重要的支撑，例如区域地震震源参数（位置，机制解，破裂过程等）、区域构造特征（例如块体分布、构造变形模式等）、强震孕育发生的结构和构造背景、地震危险性评估和灾害预测、地震预警及地震监测预报提供更为可靠一致的三维速度结构模型。

* 来自中国科学技术大学姚华建教授承担的实验场项目《川滇地区公共速度模型 V1.0 的构建》。数据格式：.txt;.dat;.DS_Store。

1. 模型预期指标和技术路线

(1) 公共速度模型 1.0 版本的预期指标构建

- 1) 构建川滇地区三维各向同性公共速度模型 1.0 版本, 大部分区域的横向分辨率达 30 ~ 50 公里。
- 2) 构建川滇地区 Moho 界面模型 1.0 版本, 大部分区域的横向分辨率达 30 ~ 50 公里。

(2) 公共速度模型 1.0 版本构建的技术路线

研究团队在 2018 年已经采用川滇 114 个固定台站高质量的背景噪声面波相速度频散、瑞利面波 ZH 振幅比及 P 波接收函数资料联合反演的方法 (Zhang & Yao, 2017), 获得了的台站下方的地壳上地幔顶部 (0-70km 深度) 的一维层状 S 波速度结构模型, 再将所有台站的一维层状模型拼合在一起获得了川滇地区三维地壳上地幔顶部横波速度结构模型 SWChinaVs_2018 [Yao, H. J., Yang, Y., Wu, H. X., Zhang, P. and Wang, M. M. Crustal shear velocity model in Southwest China from joint seismological inversion. CSES Scientific Products., 2019, doi:10.12093/02md.02.2018.01.v1; Yang et al., 2020], 该模型已经于 2018 年 12 月正式提交给中国地震科学实验场, 本任务拟以该模型 (经过空间平滑) 为基础, 进一步构建川滇地区公共速度模型 1.0 版本 (SWChinaCVM-1.0)。

本任务采取的主要技术路线如下: (1) 提取川滇地区固定和流动台阵的噪声面波频散曲线以及地震面波双台频散曲线, 收集和整理固定和流动台阵的体波走时数据, 以川滇地区三维地壳上地幔顶部横波速度结构模型 SWChinaVs_2018 (经过空间平滑) 为初始反演模型, 并以已经发表的密集台阵接收函数得到的 Moho 界面为约束, 采用本研究组联系研发的体波面波走时联合反演 V_p , V_s 和 V_p/V_s 算法 (Fang et al., 2016; Fang et al., 2019), 反演获得川滇地区地壳上地幔顶部三维公共速度模型 1.0 版本, 并采用与其他模型对比及检测版模型测试等方法评估模型的可靠性及模型的分辨率; (2) 以川滇地区地壳上地幔顶部三维速度模型为基础, 基于三维速度模型结构为约束, 采用 H-k 方法获得川滇地区 1000 多个台站下方更可靠的地壳厚度和 V_p/V_s ; 采用基于三维模型走时矫正的 CCP 叠加方法, 进一步获得整个川滇地区 Moho 界面模型 1.0 版本。

2. 模型数据来源和质量分析

(1) 三维速度模型构建的体波与面波走时数据

1) 体波数据

我们收集了川滇地区 (97°E-108°E, 21°N-34°N) 230 个固定台站和部分流动台站在 2008-2016 年期间记录到的约 20 多万个地震事件的 P 波走时 (938822 个) 和 S 波走时 (918280 个) 数据, 利用走时时距曲线进行筛选, 剔除偏离时距曲线的不可靠走时数据, 共获得 745731 个初至 P 波走时和 717989 个初至 S 波走时 (图 3.23 左图)。

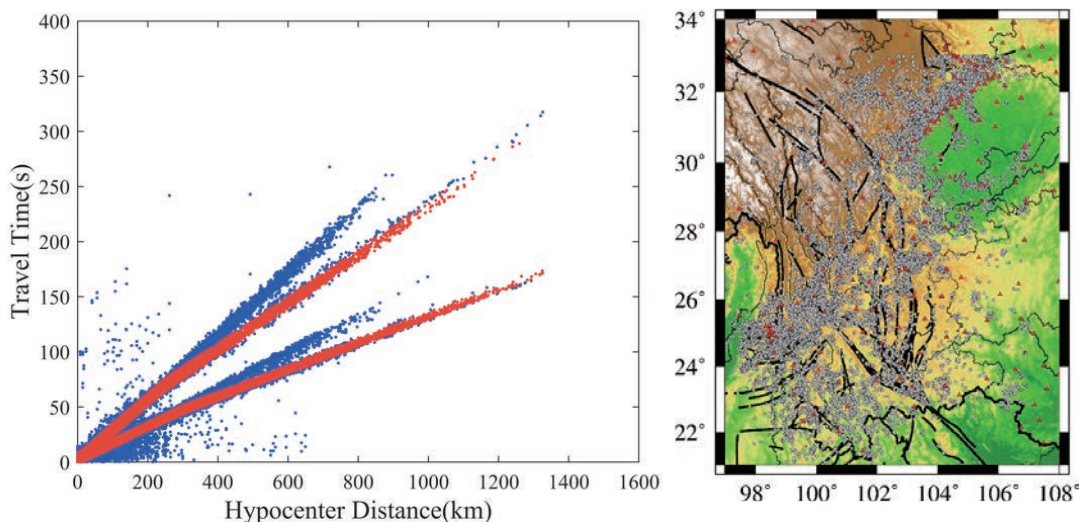


图 3.23 左图为体波走时时距曲线, 其中蓝色为原始体波时距曲线, 红色为利用时距曲线筛选后的体波时距曲线, 右图为最终筛选的地震事件及台站分布图

由于数据量过大，且汶川地震余震过多，为了减少计算量和地震事件分布不均所导致的反演不稳定性，我们将研究区域划分为精细网格（网格大小为 $3 \times 3 \times 1 \text{ km}$ ），在每个网格中随机选取 1 个地震事件，以此构建实际用于反演的地震目录。最终选取了 33357 个地震事件，地震位置分布如图 3.23（右图）所示，共计 320394 个 P 波到时、301479 个 S 波到时，并构建了 1381763 个事件对相对到时差。

2) 面波数据

我们使用了 Yao et al. (2019) 利用 124 个研究区域的固定宽频带台站在 2008.9-2009.12 所记录的连续波形，进行背景噪声互相关，然后提取所有台站对的瑞利面波相速度频散曲线。此外，为了提升该区域面波路径的覆盖程度，我们还包含了前期研究已经测量的该区域及周缘的流动台站（包括 MIT 台阵、Lehigh 台阵及越南北部台阵）的噪声面波相速度频散曲线（Yao et al., 2010; Qiao et al., 2018）。最后，我们使用了将近 7000 条瑞利面波相速度频散曲线，周期范围为 5-50s，研究区域路径覆盖较为均匀（图 3.24）。

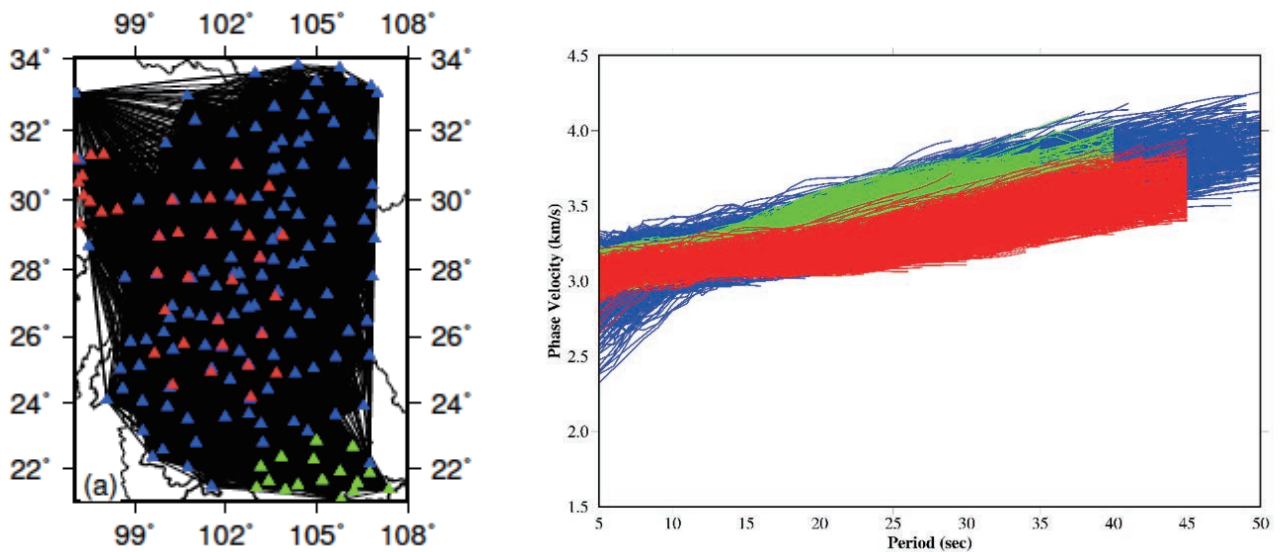


图 3.24 左图为背景噪声面波频散数据的台阵（三角形）及路径分布，右图为使用的周期 5-50s 的瑞利面波相速度频散曲线

(2) 三维地壳厚度模型构建的接收函数数据

为获取中国西南地区的地壳上地幔精细结构和地震活动构造特征等，探究区域地震构造背景、孕震动力过程和发震成因机理，中国地震局地球物理研究所作为牵头单位，于 2011 年 5 月份开始南北地震带南段地区开展了大规模流动地震台阵观测（ChinArray-Himalaya Phase I, 2011 年 5 月 -2013 年 12 月），在该区域布设了 350 套宽频带地震仪，台间距约 35 km。此外，中国地震局地质研究所在川西地区布设了 298 个流动地震台站（2006 年 10 月 ~ 2009 年 7 月），中国地震局地球物理研究所吴建平、许力生课题组在小江地震带、安宁河则木河区域、巧家地区、芦山震区先后布设布设了 50 个流动地震台站（2008 年 11 月 ~ 2010 年 12 月）、34 个流动台站（2012 年至今）、29 个流动台站（2013 年 1 月至今）、35 个流动台站（2013 年 5 月至 2016 年 12 月），以及其他该区域的流动地震观测，已经积累了丰富的观测资料。我们收集了上述台阵的 924 个位于研究区内流动台站的资料，同时收集了周边 180 个固定台站期间的远震波形的数据（2007 年 07 月 ~ 2017 年 11 月），台站分布如图 3.25（左图）所示。我们选择了上述 925 个台站运行期间记录的 $M_s > 5.8$ 和震中距 $30^\circ - 90^\circ$ 的远震地震事件，利用高信噪比的波形进行接收函数分析。在本研究中每个台站实际使用的事件数从 8 到 628 不等，这取决于台站运行的时间长度和背景噪音水平。

在这项研究中，远震接收函数的提取采用最大熵反褶积方法 [吴庆举等, 2003]，提取过程中采用的高斯滤波系数为 2.5，水准量系数为 0.001。为了获得较可靠的接收函数，对观测波形进行了严格的筛选，挑选信噪比较高的波形记录提取的接收函数（图 3.25，中图）。对计算的接收函数进行审查，选取具有清晰的 P 波初至震相以作进一步的研究。

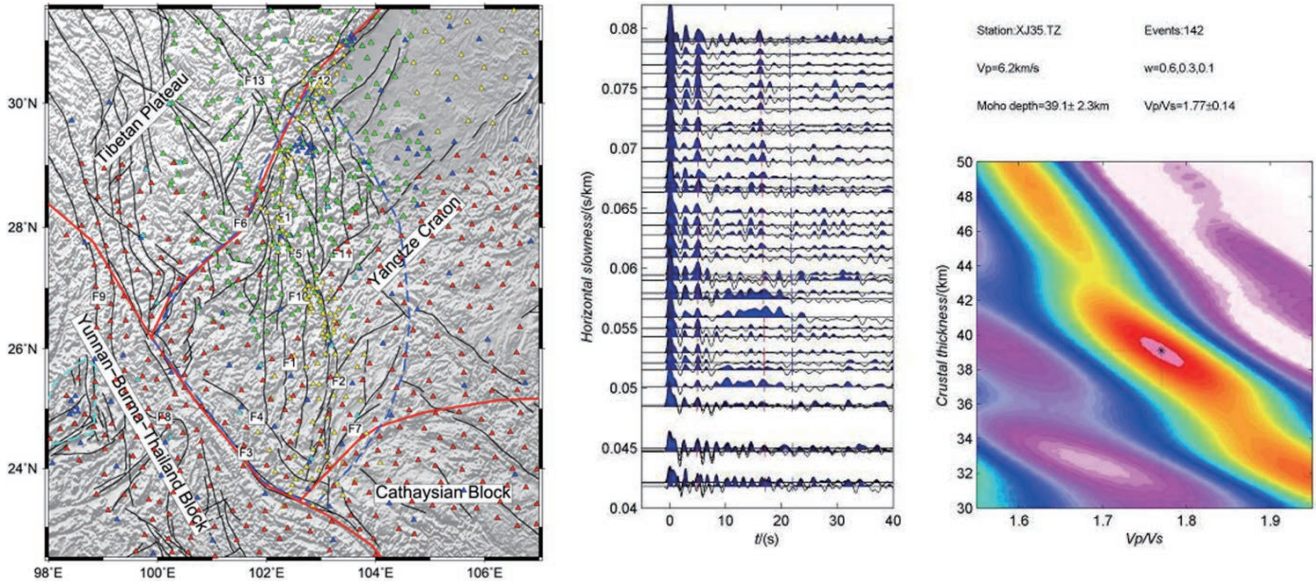


图 3.25 左图为接收函数方法所使用的台站分布图，中图为 XJ36 台站提取得到的不同地震事件的接收函数数据，右图为采用 $H-\kappa$ 叠加方法得到的 XJ36 台站的地壳厚度及地壳平均 V_p/V_s 比值图

3. 模型研制关键技术方法

(1) 三维速度模型构建的体波与面波走时联合反演方法

我们采用了 Fang et al. (2016) 所发展的联合体波及面波成像方法进行联合反演获得川滇地区三维地壳上地幔顶部 V_p 和 V_s 三维速度结构模型。该方法将地震体波走时双差层析成像方法 (Zhang and Thurber, 2003) 和面波一步法反演方法 (Fang et al., 2015) 相结合，同时利用体波走时和面波频散走时数据约束 V_p 和 V_s 结构来进行联合反演。该反演方法对体波走时及不同频率的面波走时分别进行三维和二维射线追踪，从而构建更为可靠的模型分辨核 (敏感度矩阵)，反演中分别对 V_p 及 V_s 加平滑约束 (基于一阶 Tikhonov 模型正则化)，并同时加入 V_p/V_s 比值的约束，避免 V_p/V_s 比值过大或者过小等不稳定情况的出现。基于三维初始模型进行模型参数的反演和更新，模型更新后再进行走时数据的射线追踪，重新更新数据的敏感度矩阵，然后再反演得到新的模型，如此多次迭代直到数据残差基本收敛。具体方法请参见 Fang et al. (2016)，这里不再赘述。

此外，我们还发展了基于体波走时和面波频散走时联合反演三维 V_p 及 V_p/V_s 的新方法 (Fang et al., 2019)，可以更为可靠的得到研究区域三维 V_p/V_s 比结构，结合速度结构可以更好的约束地下物质的岩性及物理状态 (例如部分熔融等)。在后续模型构建中，我们将使用这种新方法获得更为可靠的川滇地区三维 V_p/V_s 模型。

(2) 三维地壳厚度模型构建的接收函数方法

我们采用了接收函数 $H-\kappa$ 叠加方法 (Zhu & Kanamori, 2000) 来估计地壳厚度 H 和波速比 κ ，该方法需要莫霍面的初次转换震相 P_s 和多次震相 ($PpPs$ 和 $PpSs+PsPs$) 等波形资料。为得到稳定可靠的结果，需要将同一台站得到的具有不同震中距和方位的大量记录单独处理后再叠加，以减小横向结构变化的影响，得到反映平均地壳模型的结果。在计算各组震相到时一般采用射线参数，而射线参数除了与震中距有关，还受震源深度的影响。为了压制台站不同方位的结构差异，将地震事件的震中距和深度转换到射线参数 (水平层慢度)，以 0.001 的慢度步长对接收函数进行叠加，得到各慢度范围内的平均接收函数。对该台站所得到的多道平均接收函数做 $H-\kappa$ 叠加搜索，即可得到此台站下方的地壳厚度及波速比 κ (如图 3 右图所示)，同时可以给出结果的标准方差。泊松比 σ 与地壳波速比值 κ 的关系式为 $\sigma = 0.5 \times [1 - 1/(\kappa^2 - 1)]$ 。

此外，我们还采用了 P 波接收函数共转换点叠加 (CCP) 成像方法 (Zhu, 2000) 来获得地壳厚度，目前采用的速度模型为修改了地壳厚度和泊松比的 ak135 速度结构的三维模型，在接下来的研究中，我们将采用本任务获得的三维公共速度结构模型来获得更为准确的 Moho 面深度。P 波接收函数主要包含台站下方速度界面所产生的转换波，转换波 S 波和原生 P 波以不同的路径、不同的时间到达同一台站，因此时间轴上反映了转换波与原生 P

波在台站的到时差。在给定慢度和速度模型的情况下，在相应的射线路径上完全可以依据到时差找到该转换点。一般情况下地层速度模型为水平分层，将地层进行细分，可假定转换波 S 波是在各层速度界面上产生的，依据慢度由浅至深逐点计算出每层转换点的转换波和直达波的到时差和相对台站的三维坐标，将接收函数中该时差所对应的接收函数值置于相应的转换点三维坐标；将研究区经纬度进行球面展开到直角坐标下，计算不同台站的不同慢度的接收函数在所有深度上的转换点坐标，然后在直角坐标的各个网格点上对转换波振幅进行叠加，最后再将直角坐标转换到经纬度和深度，形成了接收函数的成像图像。

4. 模型完成情况与成果

(1) 三维速度模型结果

由于一个较好的初始模型可以使得地震层析成像反演更加可靠和稳定，在此，我们对本研究组 2018 年已经获得的川滇地区地壳上地幔顶部三维速度模型 SWChinaVs_2018 模型 (Yao et al., 2019; Yang et al., 2020) 进行高斯平滑，以此作为体波及面波联合反演的初始模型 (图 3.26-3.29)，平滑后的模型可以避免该模型中小尺度的异常体对后续反演的影响。

我们选择了横向间隔 0.5 度 (在后续的反演结果对比中，我们也采用了 0.25 度网格)，纵向间隔 5-10km (在深度 50 km 以上为 5 km，50 km 以下为 10 km) 的网格划分，通过多次反演，选择适当的反演参数，获得了较为精细、可靠的川滇地区 (97°E-108°E，21°N-34°N) 70 km 深度以上的岩石圈 Vp 和 Vs 三维结构模型 (图 3.30-3.33) (SWChinaVpVs_2019 模型，即 1.0 版本的公共速度结构模型 SWChinaCVM-1.0)。我们的模型显示：中下地壳存在明显的低速层，低速异常的空间分布比较复杂，和区域内主要断层的位置存在明显相关性；峨眉山大火成岩省内带地壳呈现高速异常，地震分布在高速异常体的边缘，说明该区域地壳强度较大。

结合其他地球物理模型以及区域地质构造特征，我们认为青藏高原的地壳变形机制和物质运移模式不能用单一的横向均匀地壳流模型或沿着断裂带的刚性块体挤出模型来解释，而可能是两种模型共同作用的结果。中下地壳低速层是地壳形变甚至地质时间尺度上物质流动的通道，但其空间分布及低速异常的强度存在很强的非均匀性，峨眉山大火成岩省内带的高速刚性块体阻挡了塑性地壳流，一些大型断裂带也约束了低速异常体的分布边界。

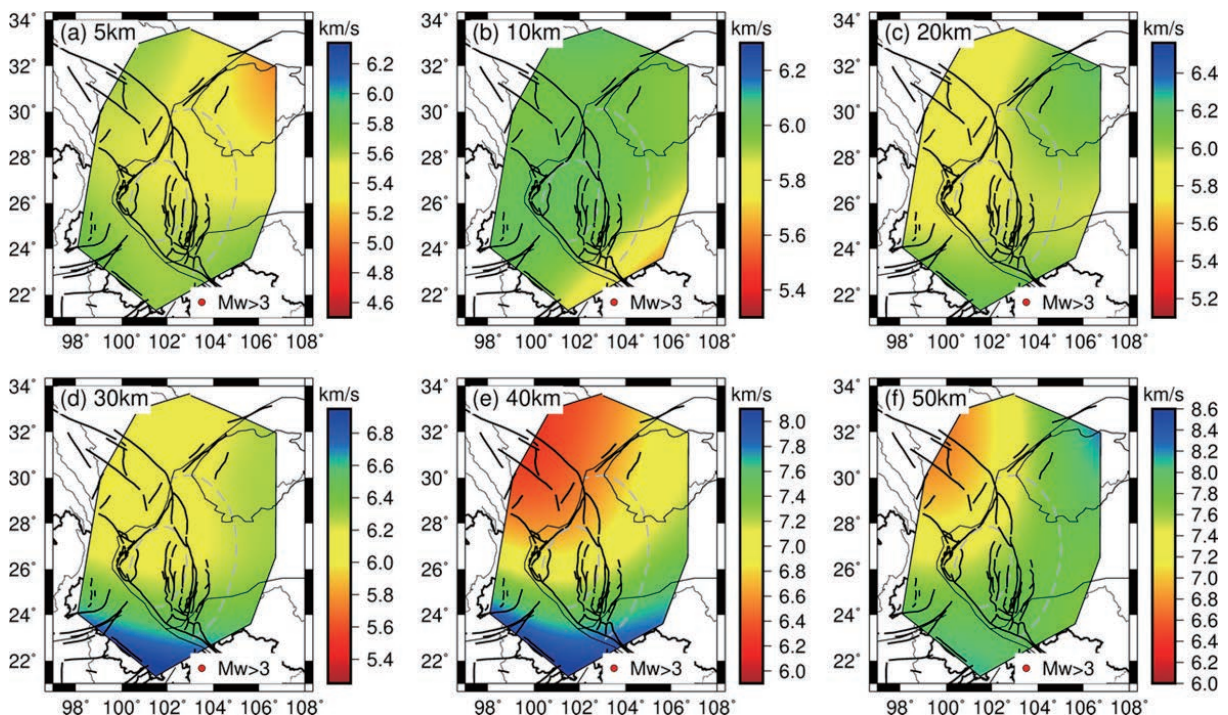


图 3.26 水平剖面上 (深度 5, 10, 20, 30, 40, 50 km) 的 Vp 初始模型
(SWChinaVs_2018 平滑之后的模型)

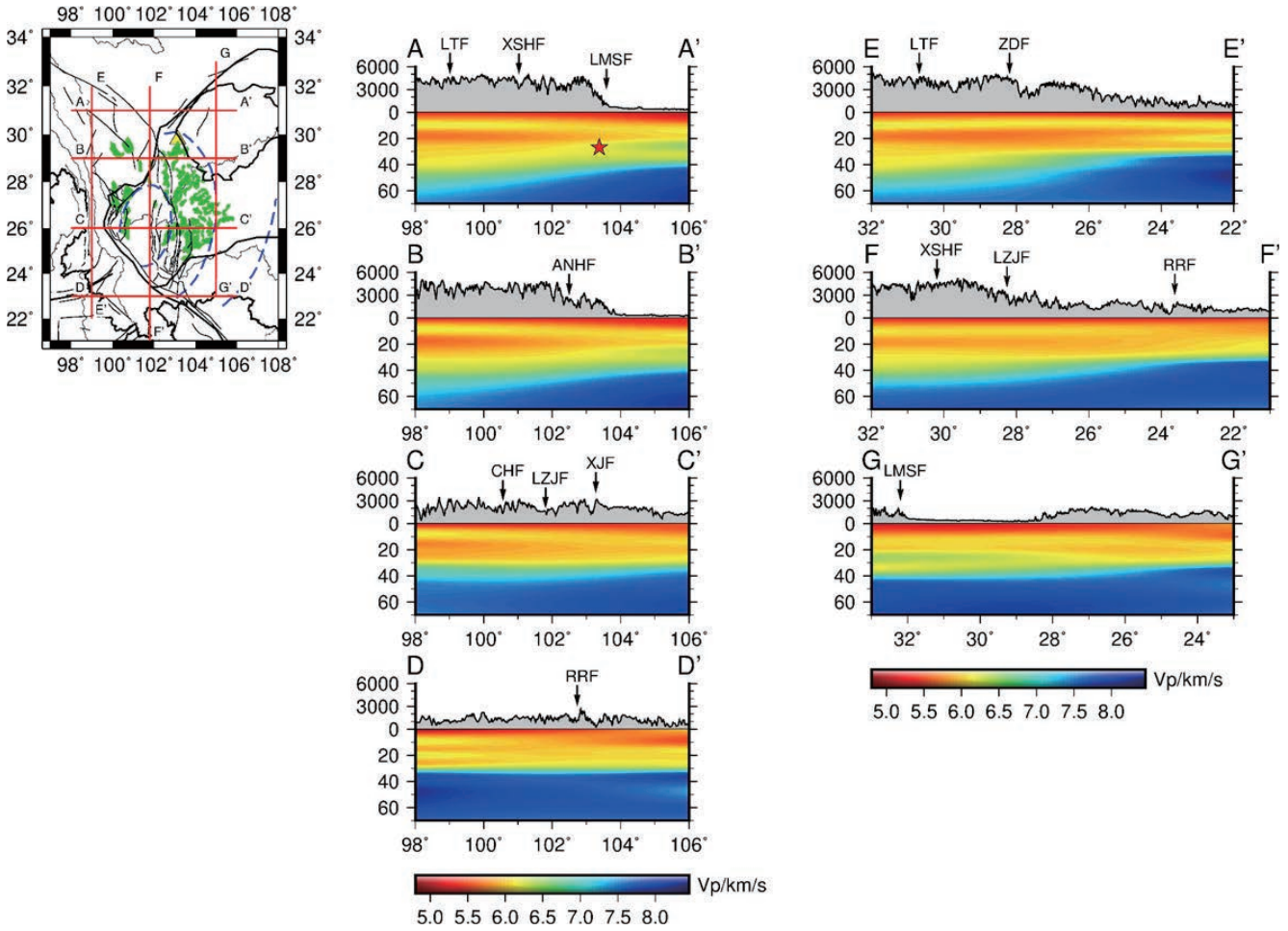


图 3.27 垂直剖面上 (AA', BB', CC', DD', EE', FF', GG') 的 V_p 初始模型
(SWChinaVs_2018 平滑之后的模型)

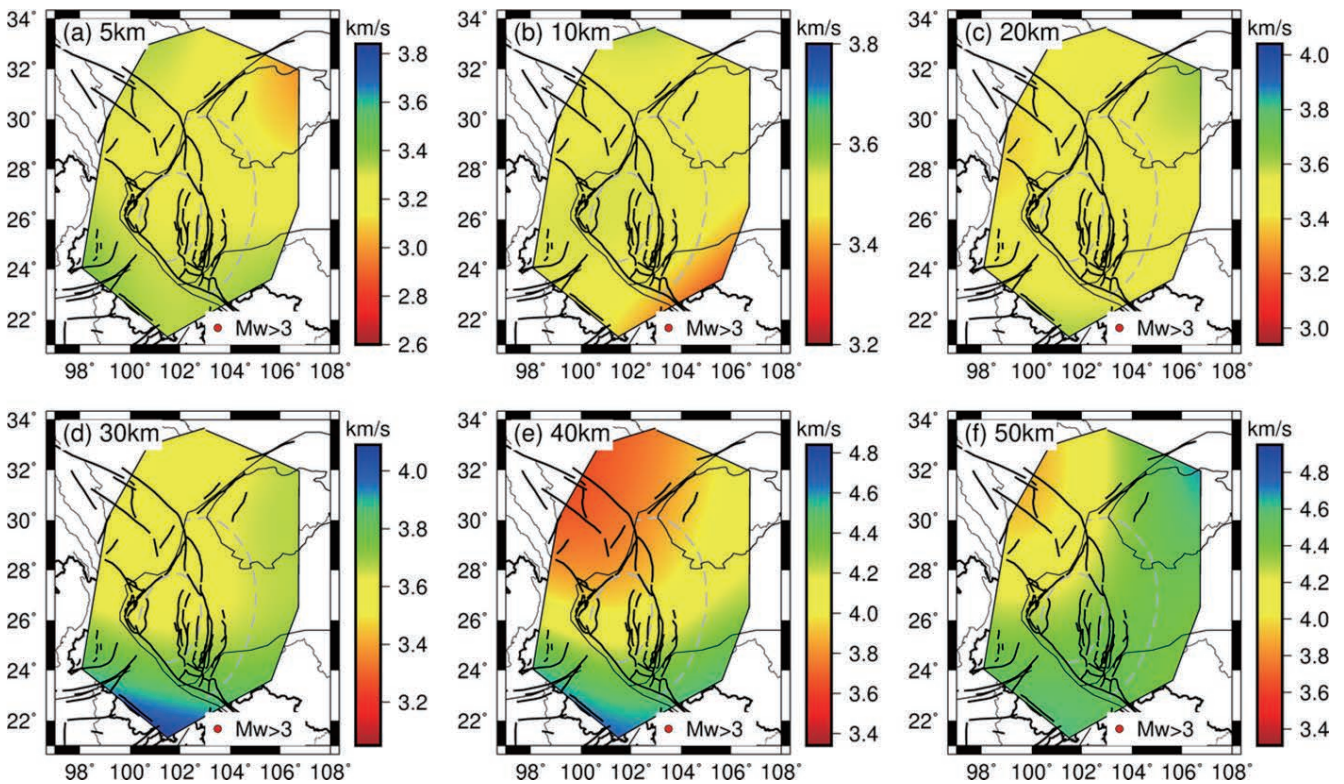


图 3.28 水平剖面上 (深度 5, 10, 20, 30, 40, 50 km) 的 V_s 初始模型
(SWChinaVs_2018 平滑之后的模型)

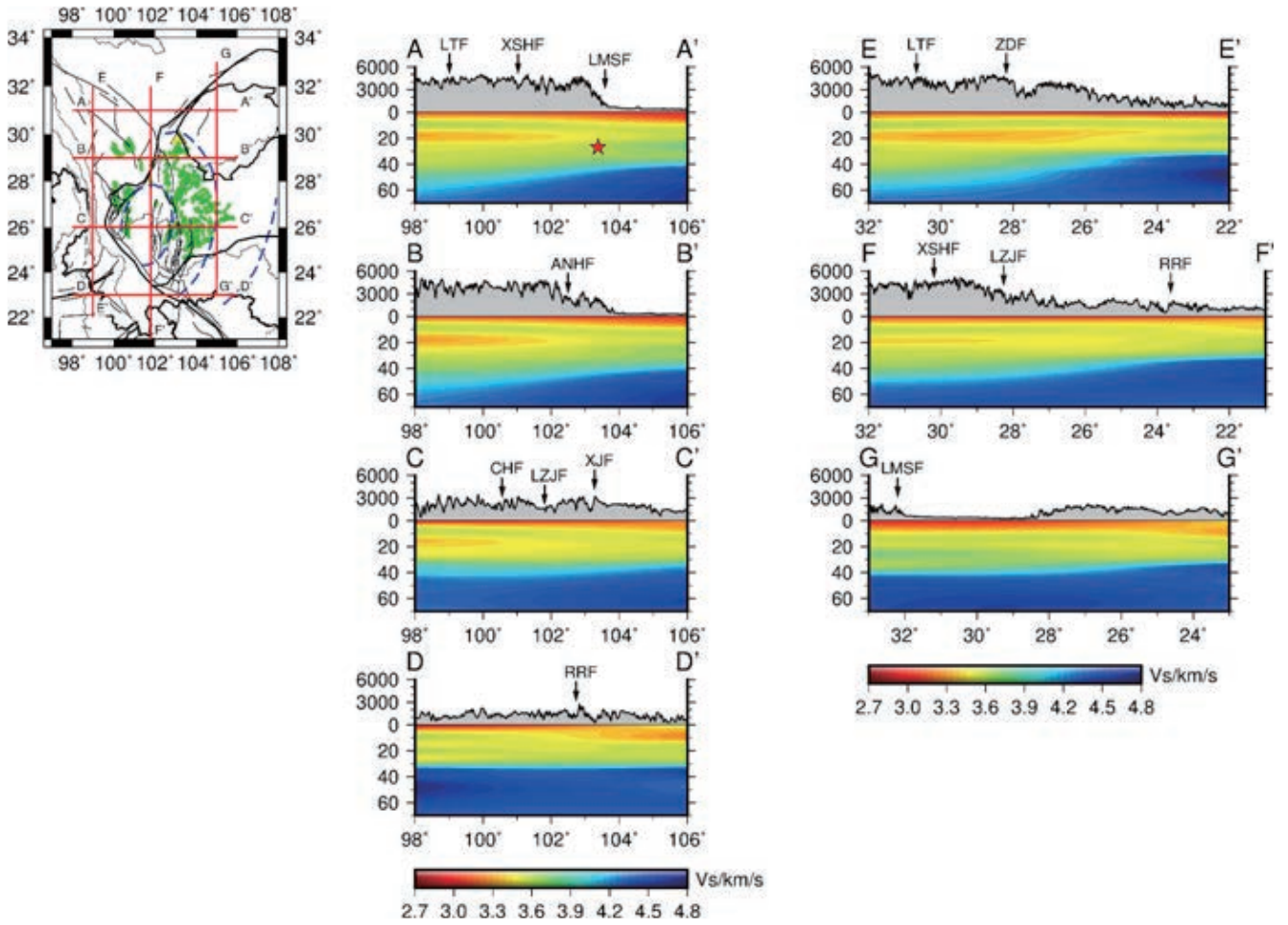


图 3.29 垂直剖面上 (AA', BB', CC', DD', EE', FF', GG') 的 Vs 初始模型
(SWChinaVs_2018 平滑之后的模型)

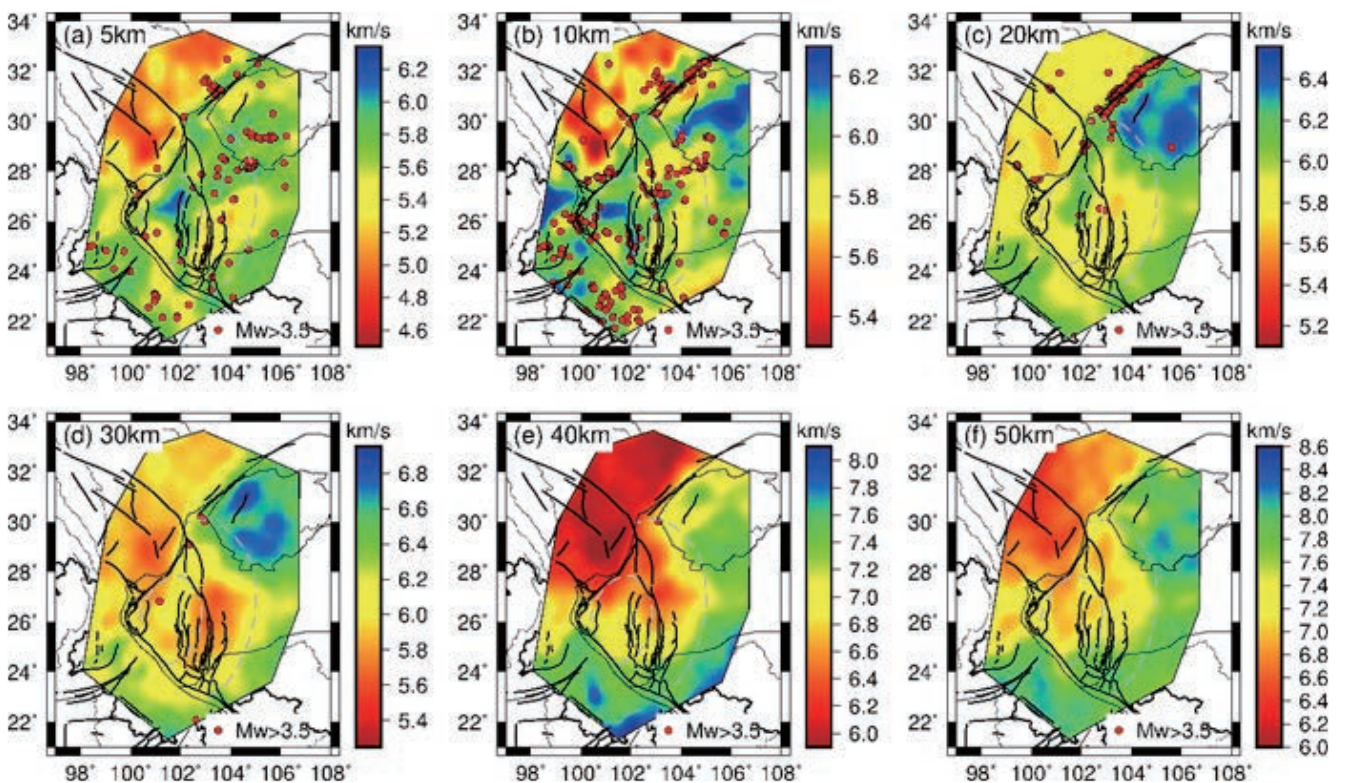


图 3.30 水平剖面上 (深度 5, 10, 20, 30, 40, 50 km) 的联合反演 V_p 模型

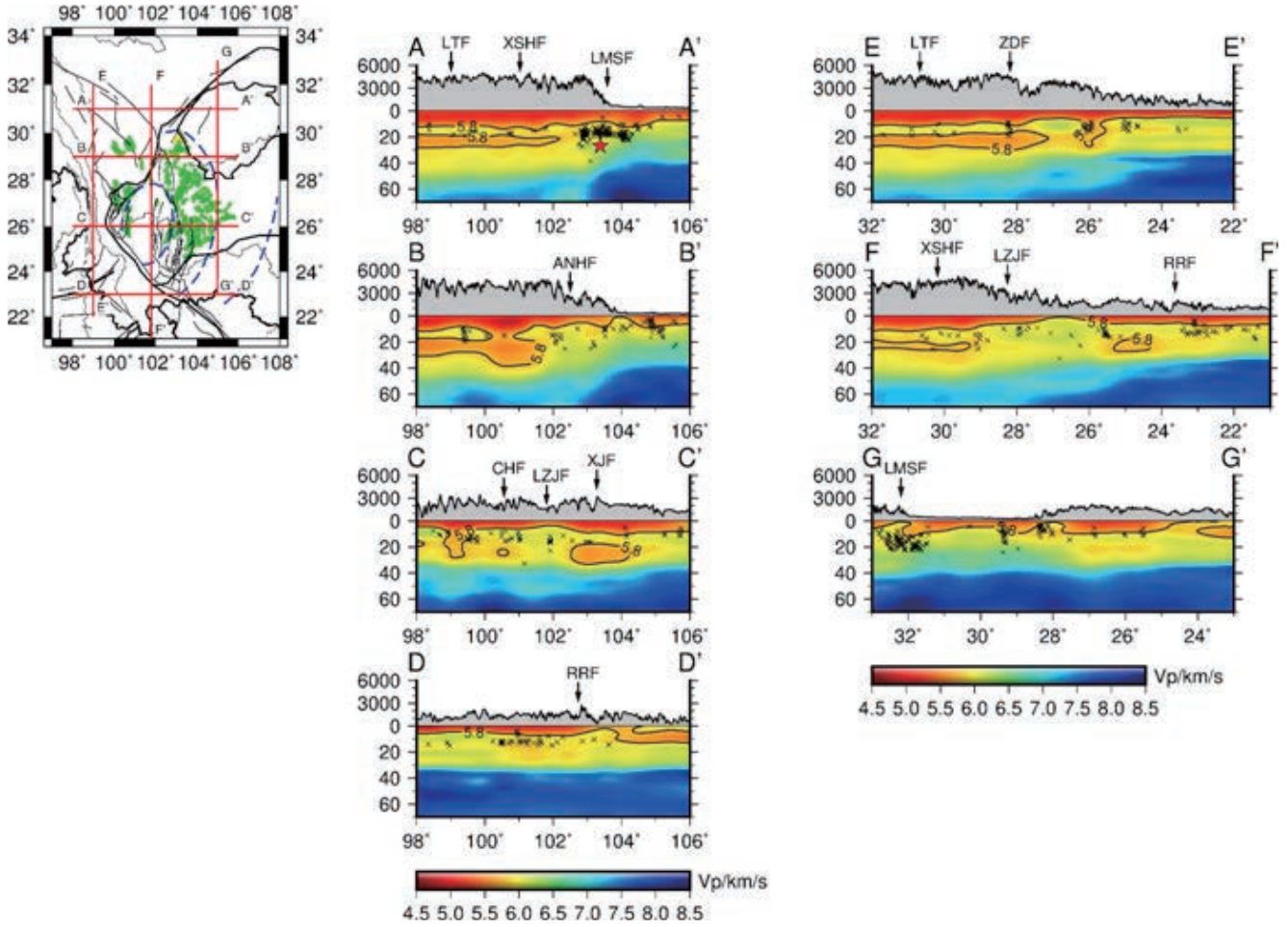


图 3.31 垂直剖面上 (AA', BB', CC', DD', EE', FF', GG') 的联合反演 Vp 模型

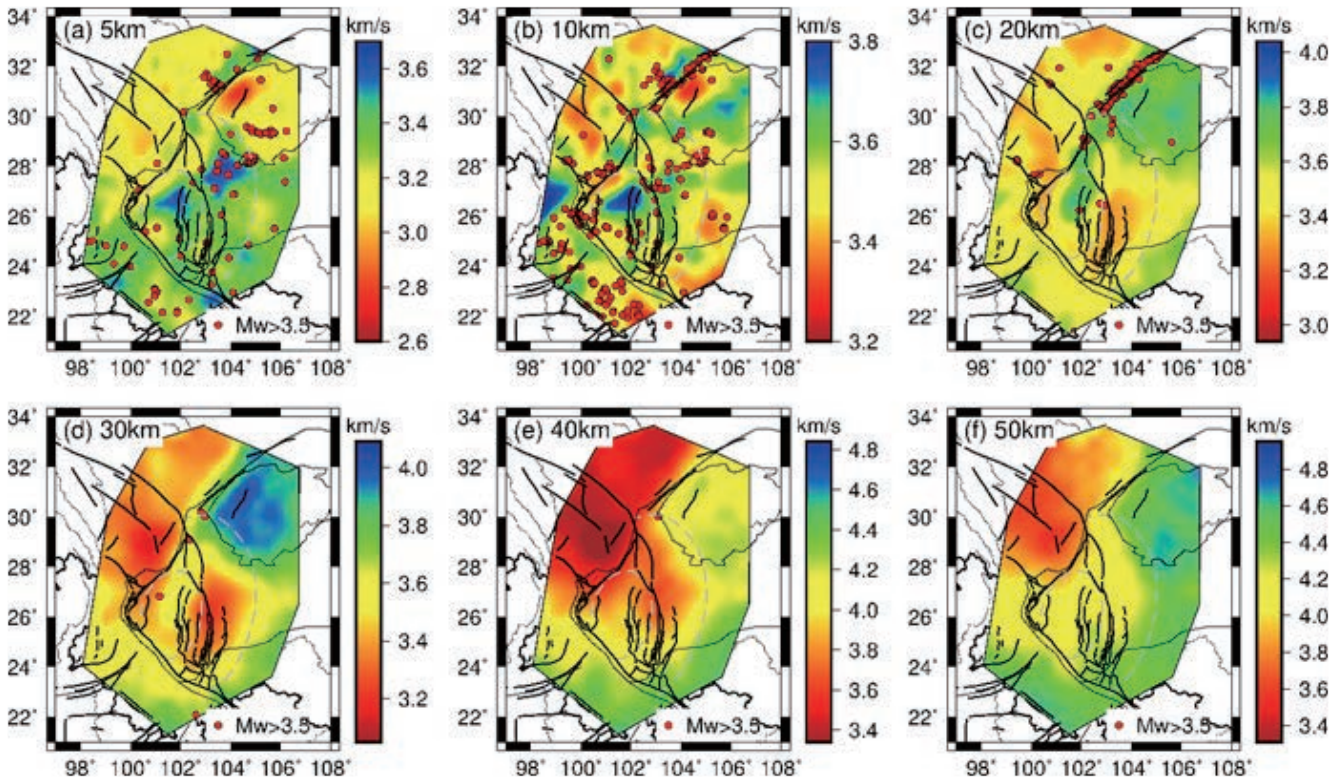


图 3.32 水平剖面上 (深度 5, 10, 20, 30, 40, 50 km) 的联合反演 Vs 模型

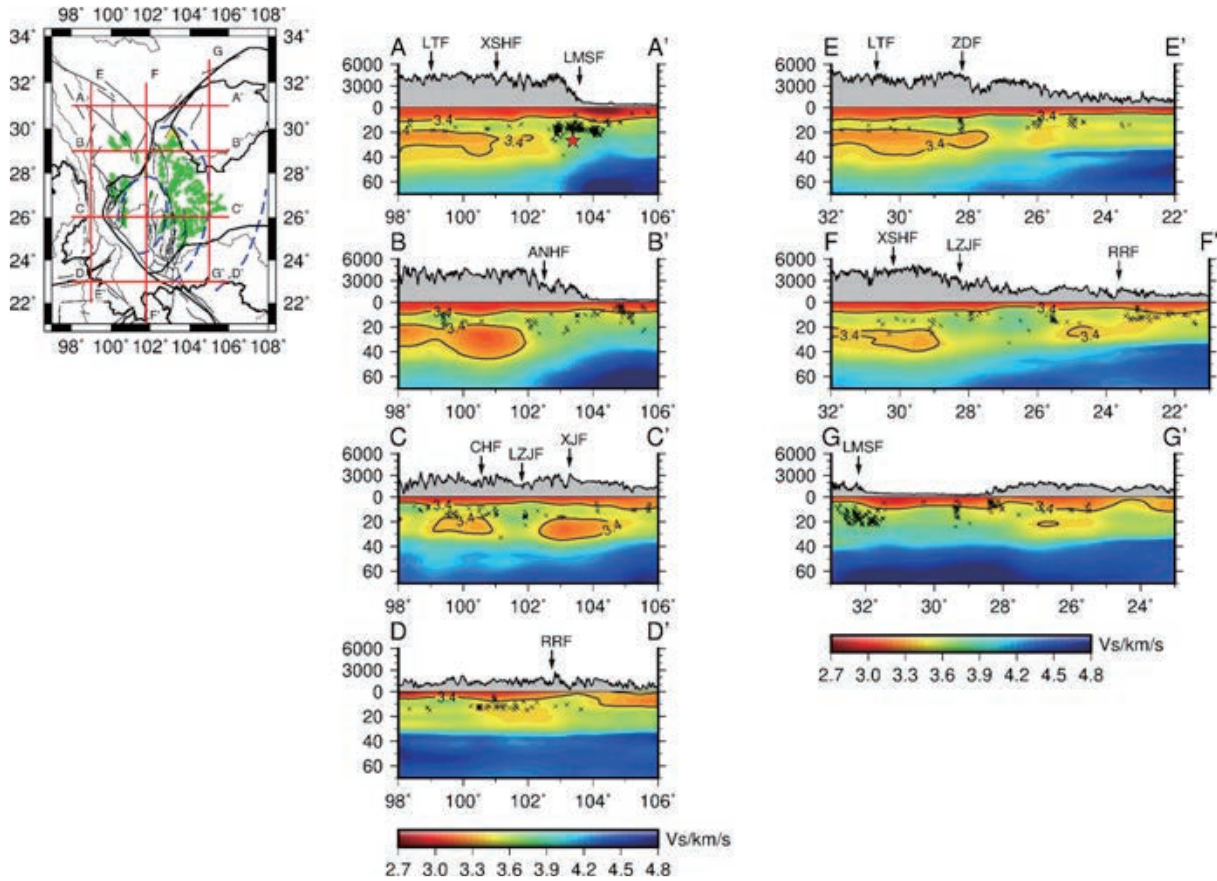


图 3.33 垂直剖面上 (AA', BB', CC', DD', EE', FF', GG') 的联合反演 Vs 模型

图 3.34 展示了体波和面波数据的均方根残差随迭代次数的拟合情况。其中，体波数据的初始均方根残差为 0.9285s，迭代后的最终均方根残差为 0.4051s，下降了约 56.4%。面波数据的初始均方根残差为 4.1620s，迭代后的最终均方根残差为 2.0624s，下降了约 50.5%。

图 3.35 展示了体波和面波数据初始及最终残差的统计直方分布图。其中，体波走时残差的初始中位数为 -27.358ms，迭代后为 8.639ms。面波走时残差的初始中位数为 -46.181ms，迭代后为 40.542ms。

我们的三维 P 波和 S 波速度结构模型能够较好的同时拟合 P 波和 S 波走时数据，以及瑞利面波频散走时数据，说明联合反演获得的模型从数据拟合角度来说具有较好的可信度。

(2) 三维地壳厚度模型结果

图 3.36 展示了采用 2 个固定台站的接收函数及其 $H-\kappa$ 叠加处理结果，接收函数的数据质量很高，Ps 波、PpPs 和 PpSs+PsPs 波震相比较清晰，叠加效果很好，可以得到可靠的地壳厚度及地壳平均 V_p/V_s 比结果。

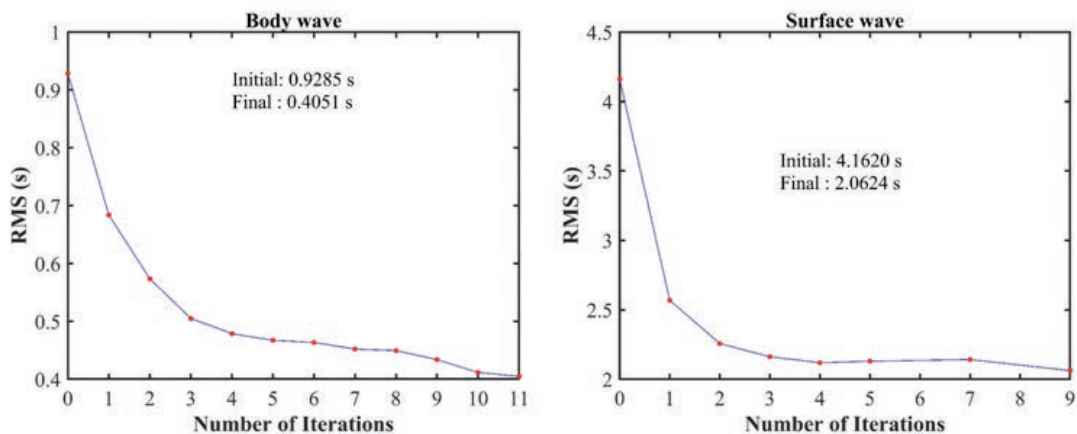


图 3.34 垂直剖面上 (AA', BB', CC', DD', EE', FF', GG') 的联合反演 Vs 模型

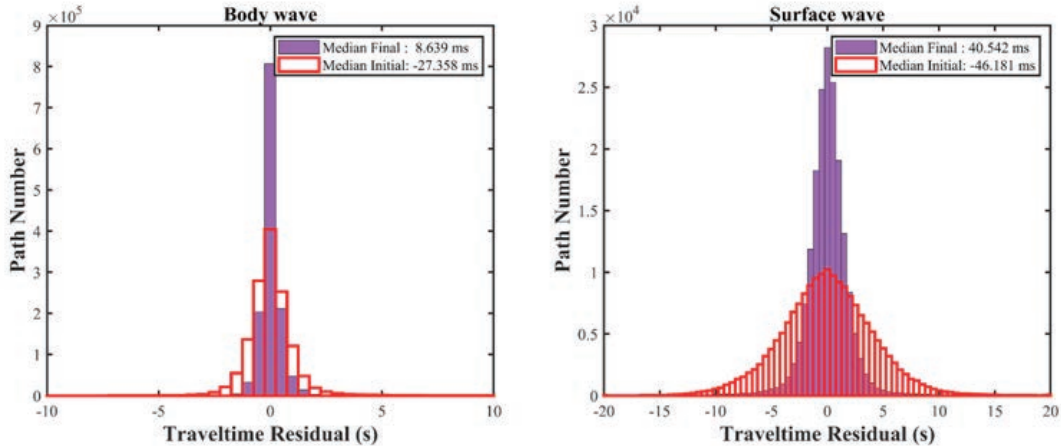


图 3.35 体波（左）及面波（右）走时数据均方根残差随迭代次数的分布

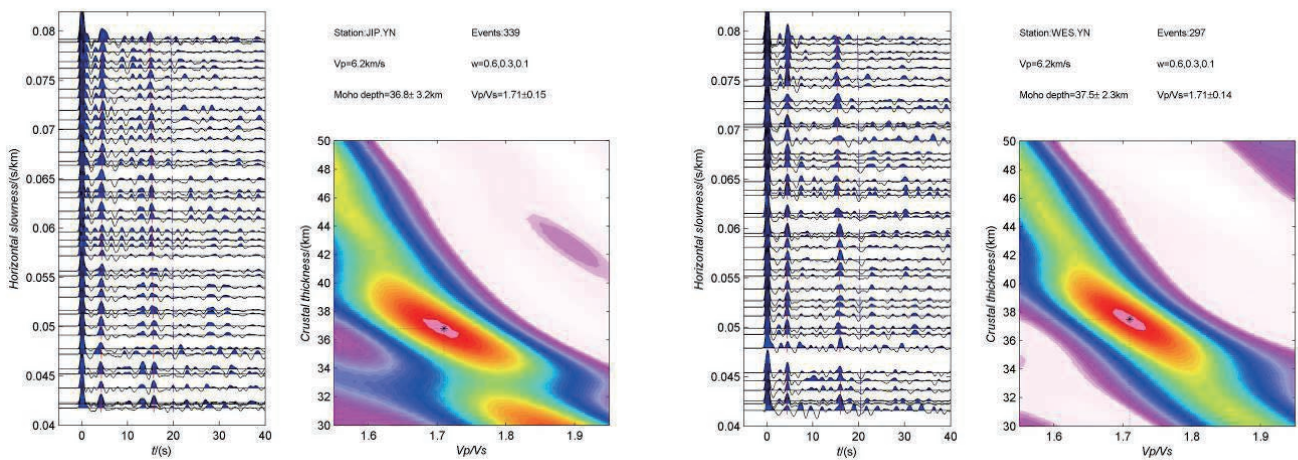


图 3.36 体波（左）及面波（右）走时残差统计直方分布图

图 3.37 展示了图 16 右图中两条不同剖面下方 P 波接收函数共转换点 (CCP) 叠加图像, 两条剖面都展示了较为清晰的 Moho 界面(约 40-60km 深度之间), 其中沿 BB' 剖面穿过了峨眉山大火成岩省内带(经度 102 度附近), 该区域转换波叠加能量相对偏弱, 有可能指示该区域壳幔过渡带存在一定的宽度, 转换波的能量偏弱。

图 3.38 给出了川滇地区基于 $H-\kappa$ 叠加方法得到的地壳厚度(左图)及采用 CCP 叠加方法得到的地壳厚度(右图), 两者展现出高度的相似性, 整体而言 CCP 叠加方法得到的结果较单台 $H-\kappa$ 叠加方法的结构更为平滑些。从结果上看, 川西高原地区的地壳厚度达到 60-65km, 四川盆地的地壳厚度约为 40-45km, 川滇交界地区地壳厚度在 50-55km 附近, 云南中部地区地壳厚度约为 45-50km, 南部地区地壳厚度约为 30-40km。

图 3.39 给出了川滇地区台站下方 V_p/V_s 比值的分布图, 四川盆地、四川西部及川滇交界东部地区展示出较高的波速比, 但在云南东部地区波速比普遍较低, 显示出由于岩性或物质物理状态的差异而导致的地壳平均波速比的横向变化。

5. 模型验证（测试）与精度评价

(1) 模型验证

我们将通过联合体波及面波走时成像所获得的川滇地区地壳和上地幔顶部的三维 V_p 及 V_s 结构与前人的研究结果进行对比, 以评价验证该模型的可靠性。

1) Xin et al. (2019) 通过地震双差成像方法获得了中国大陆岩石圈 V_p 及 V_s 结构, 我们从该结果中截取了川滇地区的 V_p 及 V_s 结构(图 3.40、图 3.41) 进行对比, 发现大尺度结构没有明显差异。但 Xin et al. (2019) 的模型在川滇地区分辨率不高, 其结果无法提供精细的川滇地区岩石圈 V_p 及 V_s 结构。

2) Shen et al. (2016) 通过面波成像方法获得了中国大陆岩石圈的 V_s 结构, 我们也从该结果中截取了川滇地区

的 V_s 结构 (图 3.42) 进行对比, 同样发现大尺度结构没有明显差异。但其模型较为平滑, 也无法提供精细的川滇地区岩石圈 V_s 结构。

3) Bao et al. (2015) 通过密集台阵 (包括喜马拉雅 I 期台站) 的面波和接收函数联合反演获得了青藏高原东南缘的 V_s 结构 (图 3.43), 揭示了中地壳的两个低速异常带 (LVZs)。

4) Yao et al. (2019) 通过面波、接收函数及 ZH 比的联合反演获得了川滇地区岩石圈较为精细可靠的 V_s 模型 (SWChinaVs_2018, 图 3.44)。

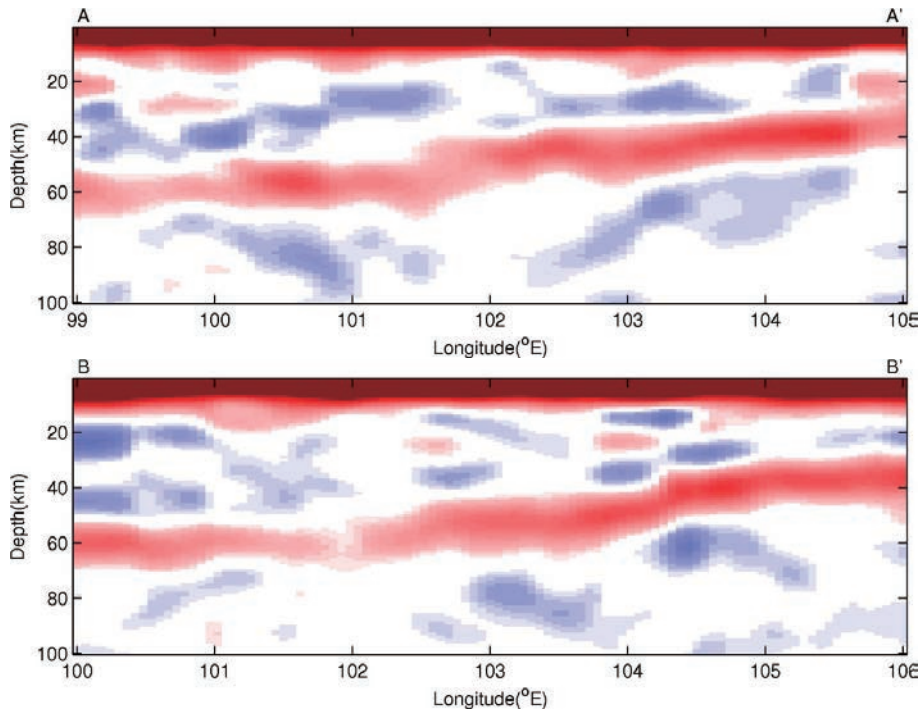


图 3.37 两个固定台站的 $H-k$ 叠加处理过程。在左侧给出各水平慢度上的平均接收函数, 红色和蓝色竖线分别表示震相 Pms、PpPs、PpSs/PsPs 的理论走时; 在右侧给出 $H-k$ 扫描获得的地壳厚度和波速比

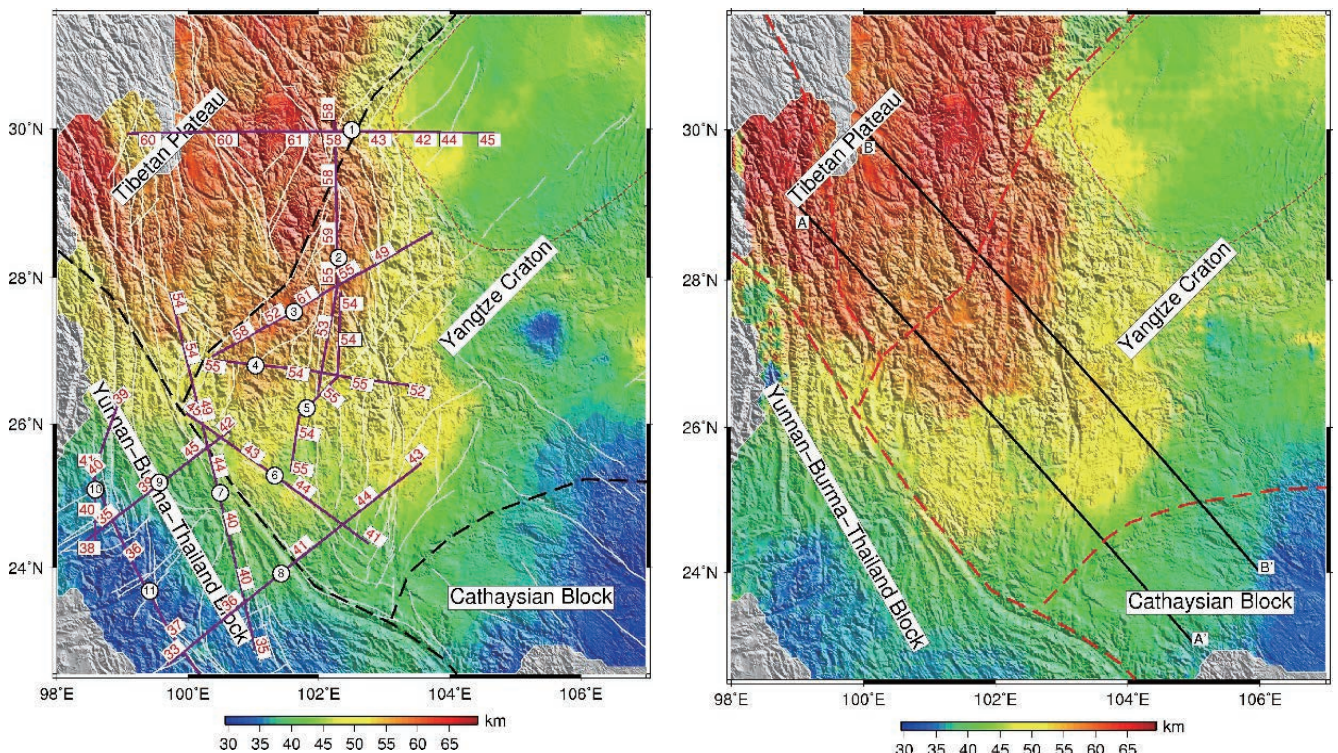


图 3.38 AA' 和 BB' 剖面下方 P 波接收函数共转换点叠加图像

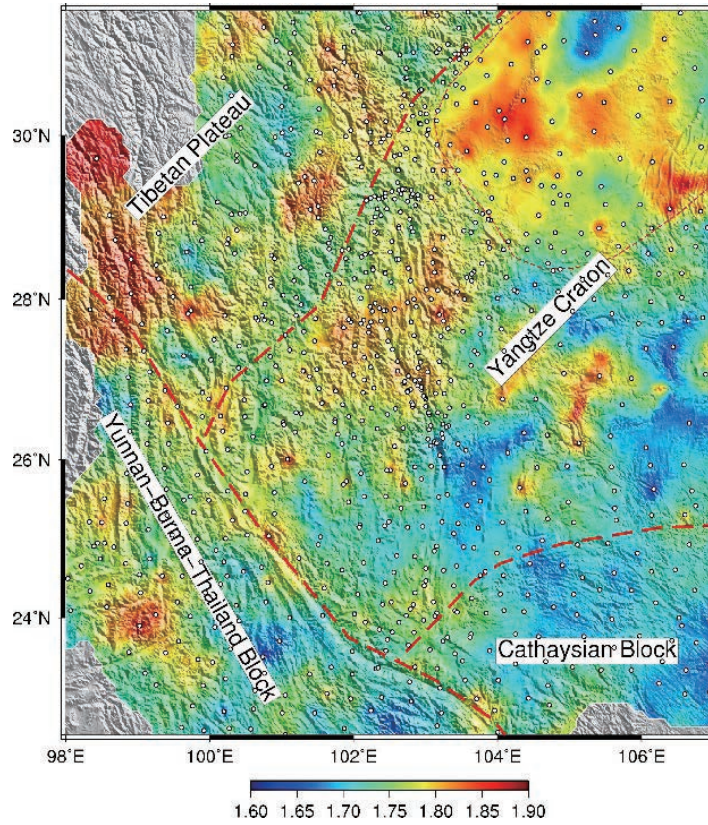


图 3.39 利用接收函数 $H-\kappa$ 叠加 (左, Wang et al., 2017) 和接收函数 CCP 成像 (右) 获得的川滇地区地壳厚度分布情况

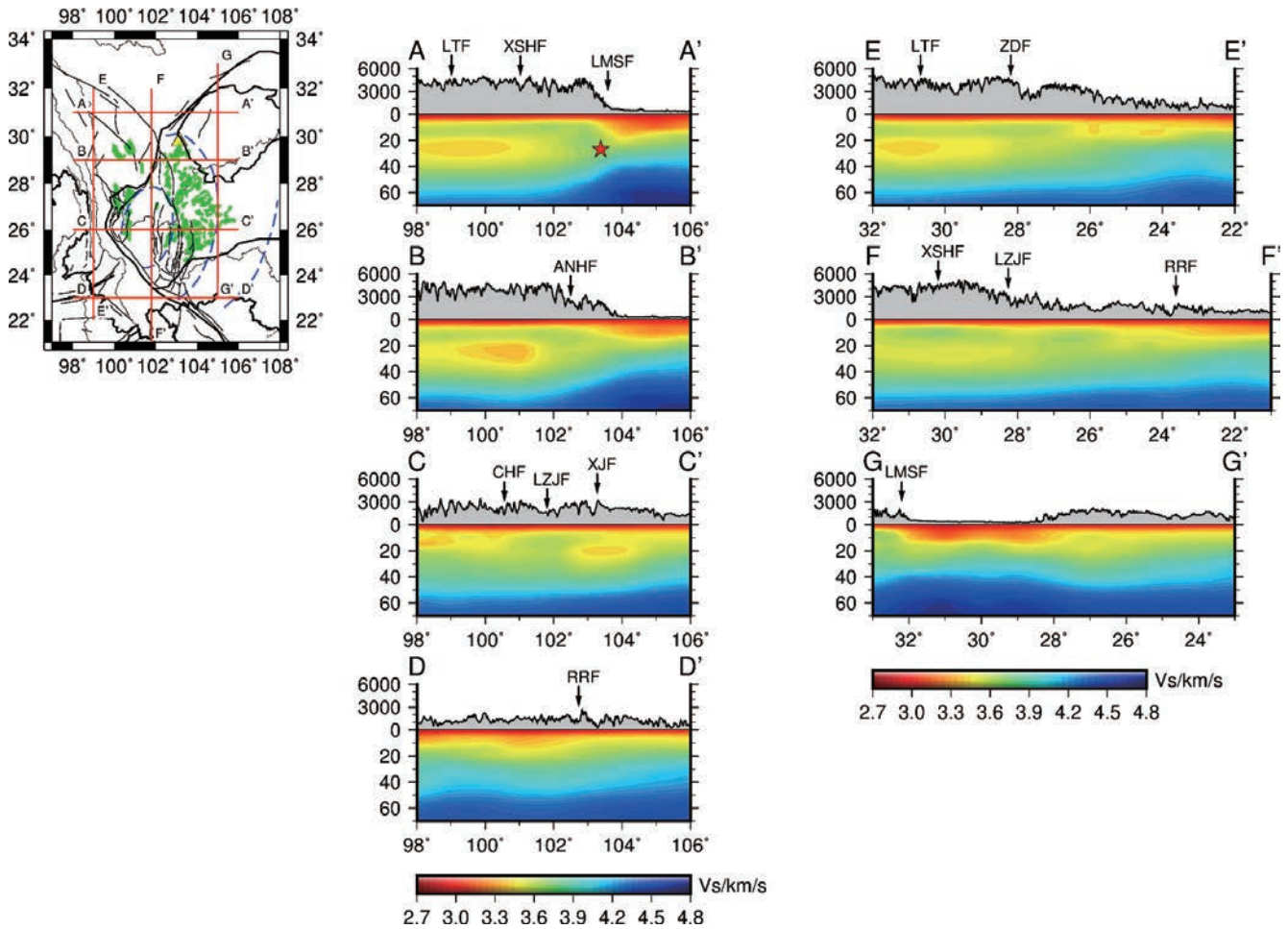


图 3.40 Xin et al. (2019) 通过体波双差成像获得的 V_p 模型

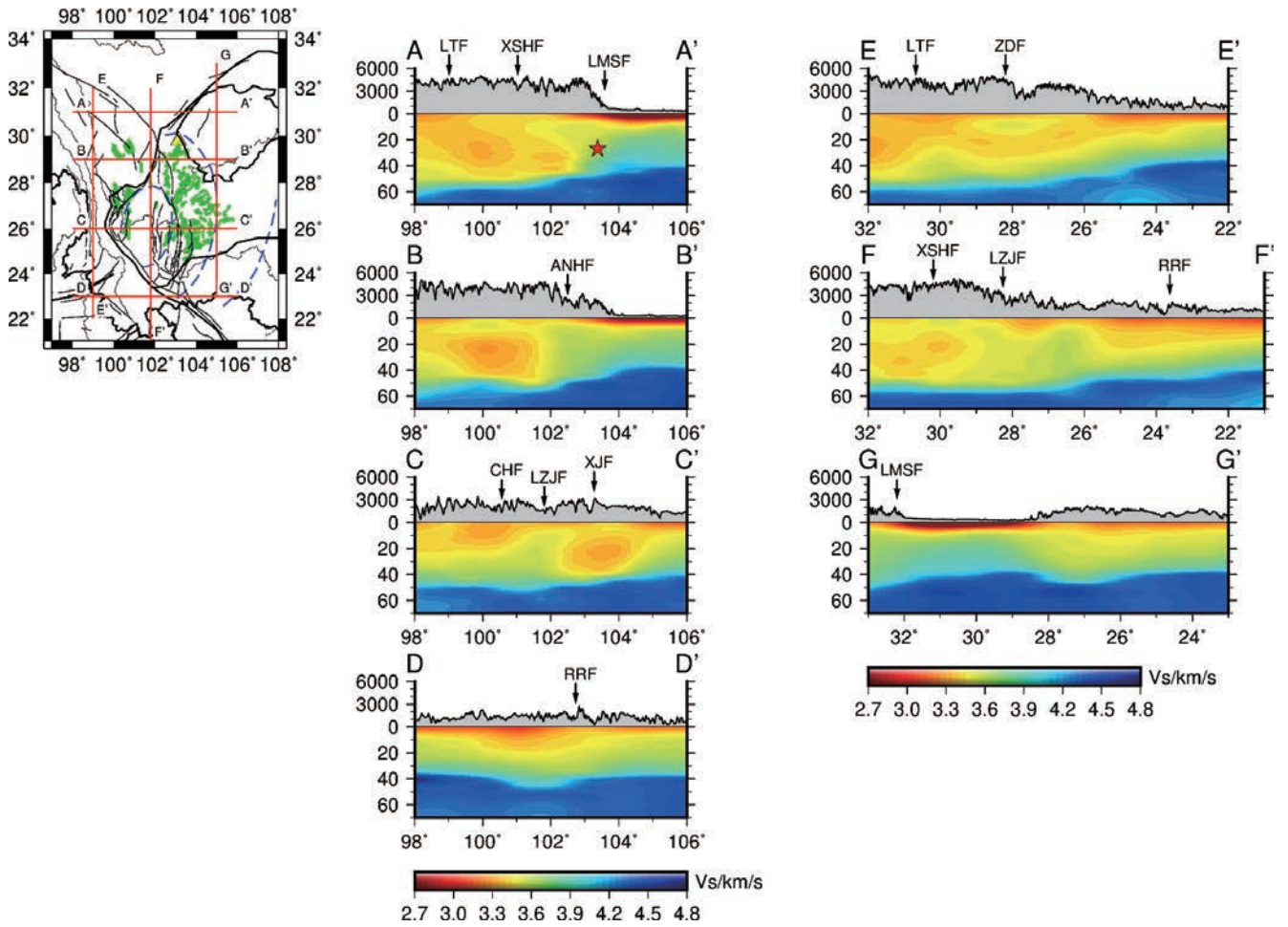


图 3.41 Xin et al. (2019) 通过体波双差成像获得的 Vs 模型

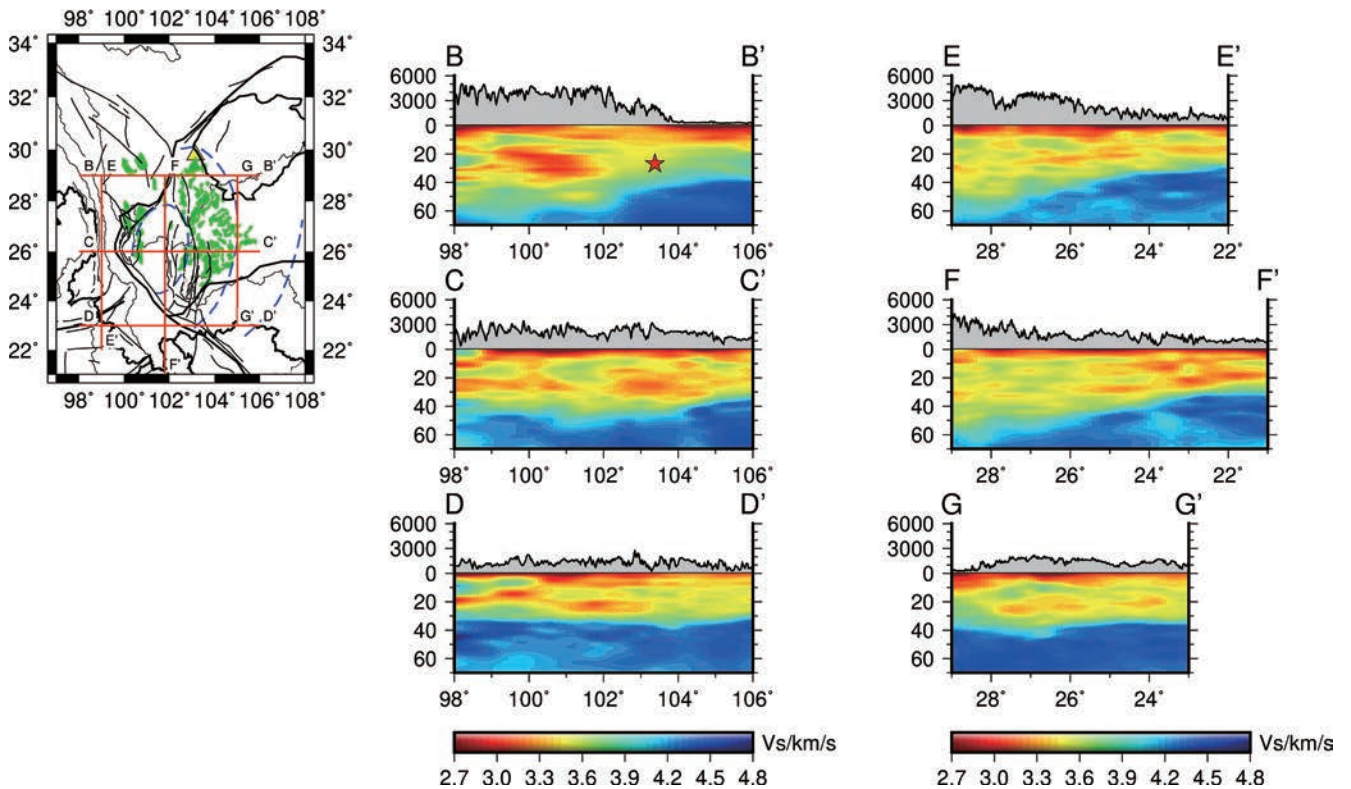


图 3.42 Shen et al. (2016) 通过面波成像获得的 Vs 模型

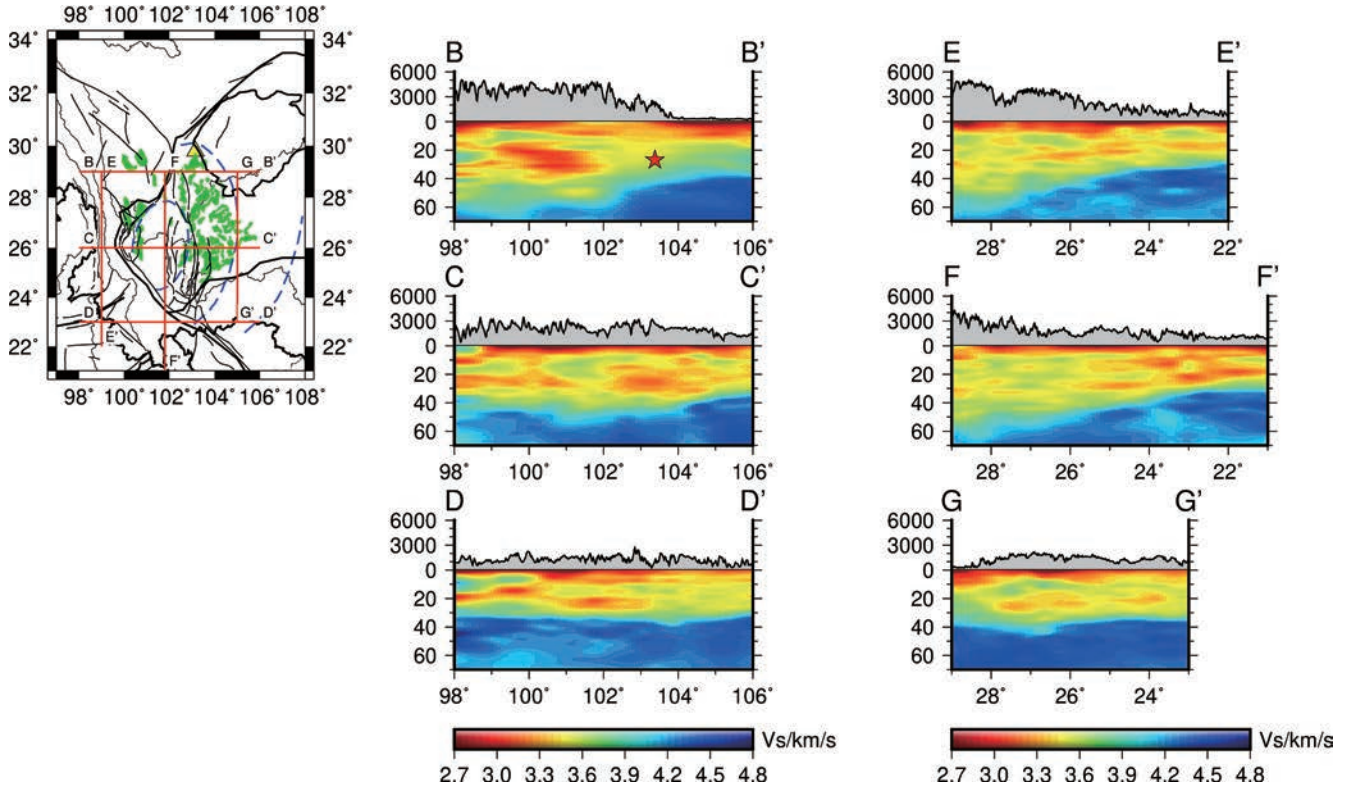


图 3.43 Bao et al. (2015) 通过面波和接收函数联合反演获得的 Vs 模型

(由于反演区域差别, 该模型展示的剖面与其他模型略有不同)

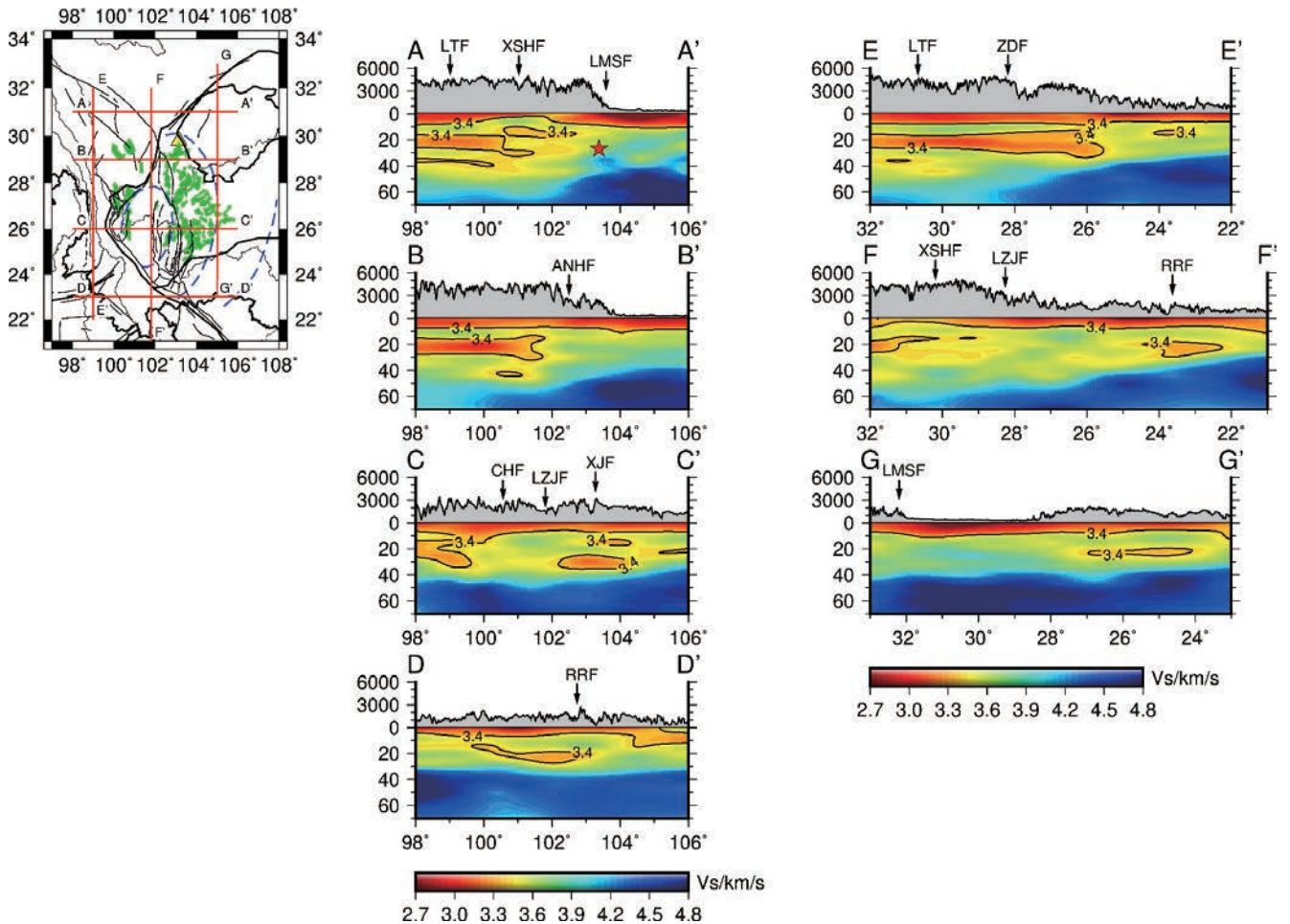


图 3.44 Yao et al. (2019) 通过面波、接收函数及 ZH 比联合反演获得的 Vs 模型

(SWChinaVs_2018)

与 SWChinaVs_2018 模型对比发现，我们的 Vs 模型结构异常与该模型基本一致，包括中地壳的两个低速异常带、与峨眉山大火成岩省位置相关的高速异常等。

(2) 精度评价

我们采用棋盘测试来对模型精度进行评价。我们设置了如图 3.43 (水平剖面)、图 3.46 (垂直剖面) 所示的棋盘模型 (速度异常为 5%，水平方向异常尺度为 0.5 度，垂直方向的异常尺度为 10km)，利用棋盘模型进行正演获得地震体波走时和面波频散数据，并加以 2% 的随机噪声，然后进行反演来恢复棋盘模型。图 3.44 和图 3.45 分别展示了水平深度剖面上 P 波速度和 S 波速度的恢复情况，图 3.47 和图 3.48 分别展示了不同东西和南北方向的垂直剖面的 P 波速度和 S 波速度的恢复情况。从分辨率测试结果来看，我们基本可以分辨大部分研究区域内 40km 之上的横向分辨率为 0.5 度、垂向分辨率为 10km 的速度结构异常。由于 40km 之下几乎没有体波路径的覆盖，仅有

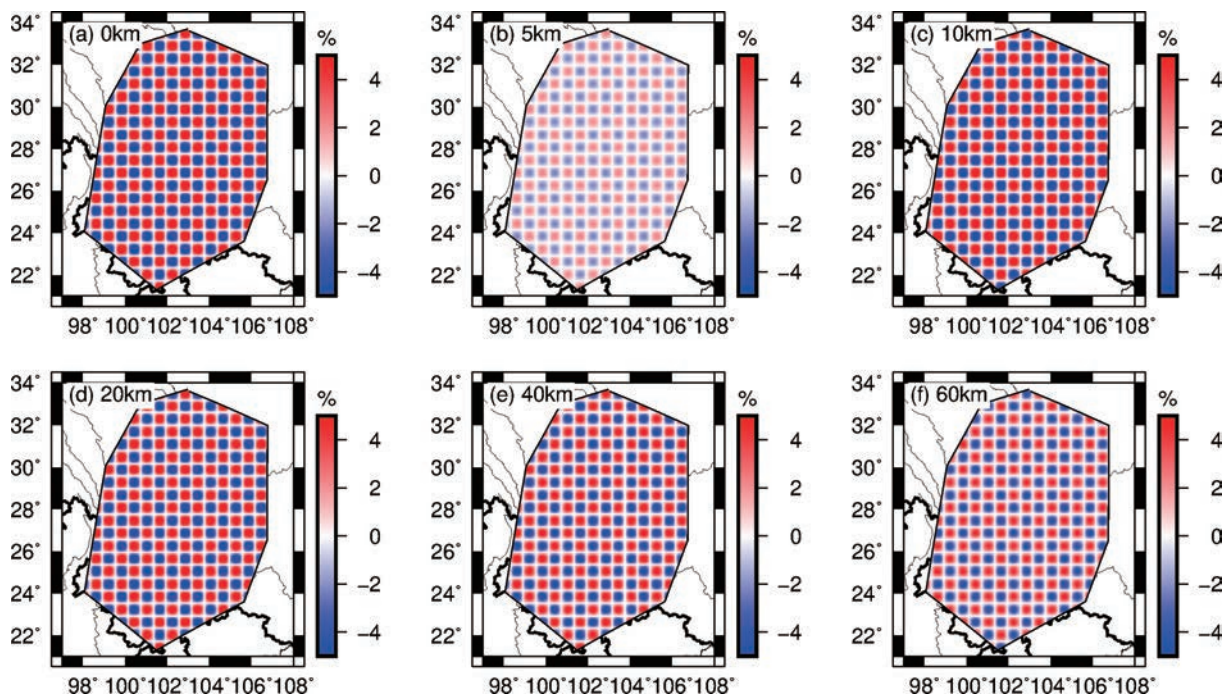


图 3.45 50 x 0.50 真实棋盘模型 (水平剖面)

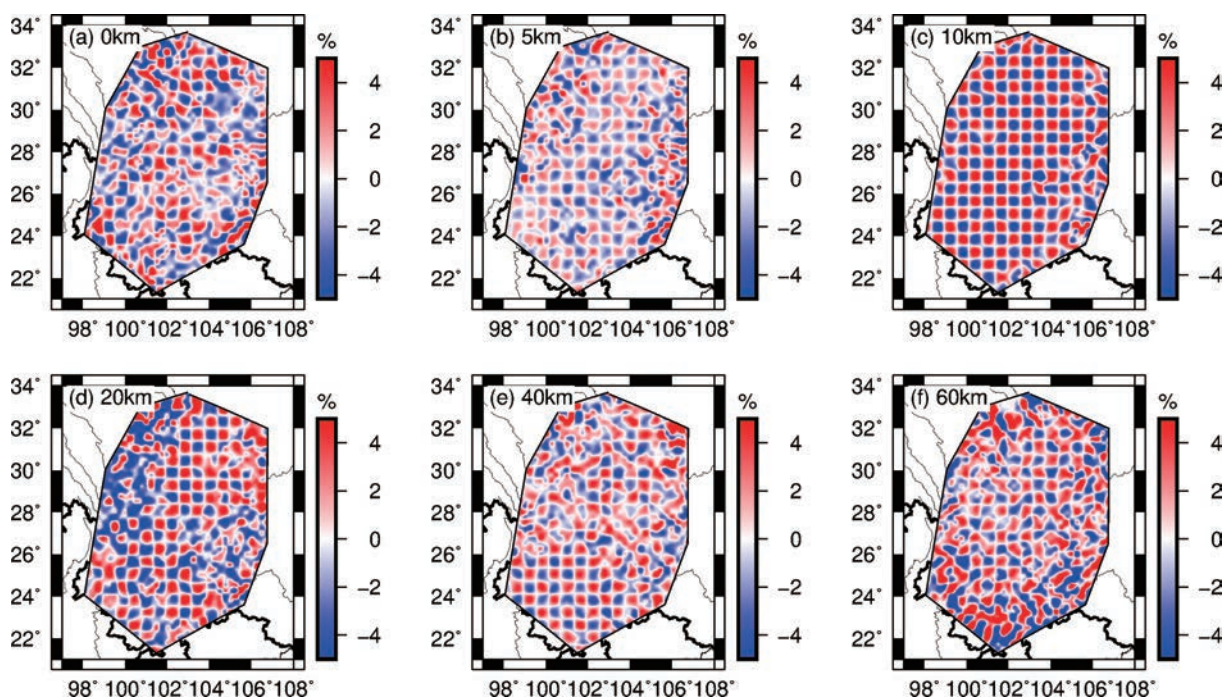


图 3.46 恢复的棋盘模型 (V_p , 水平剖面)

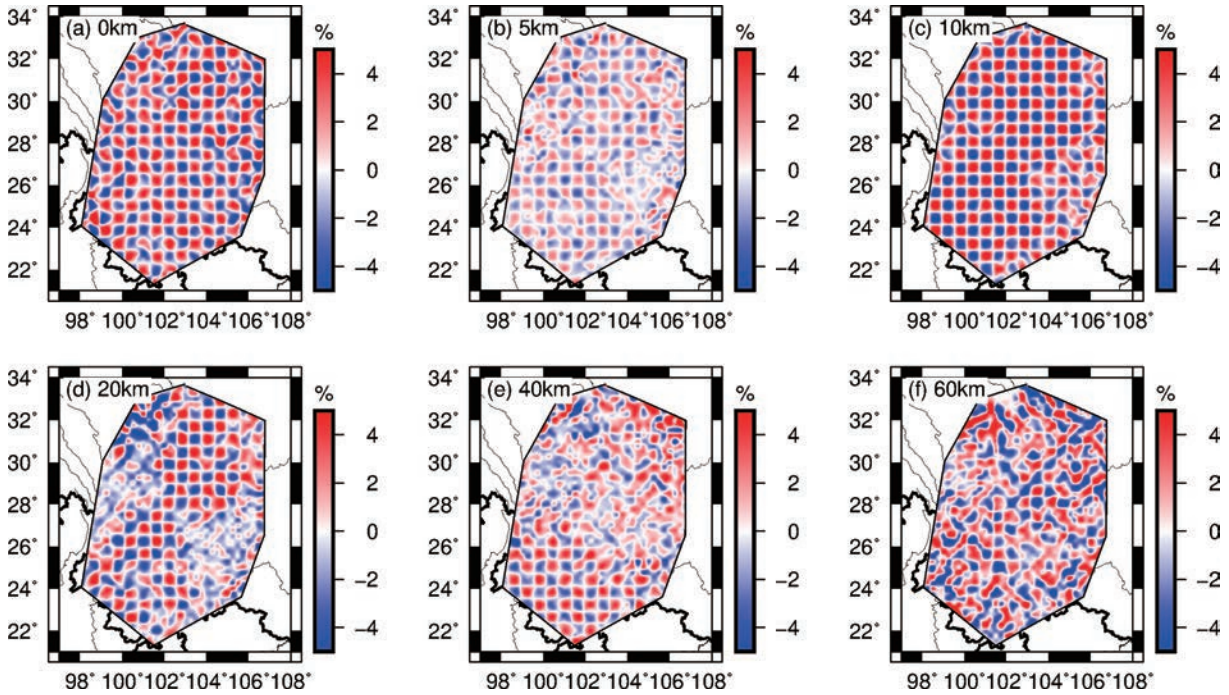


图 3.47 恢复的棋盘模型 (V_s , 水平剖面)

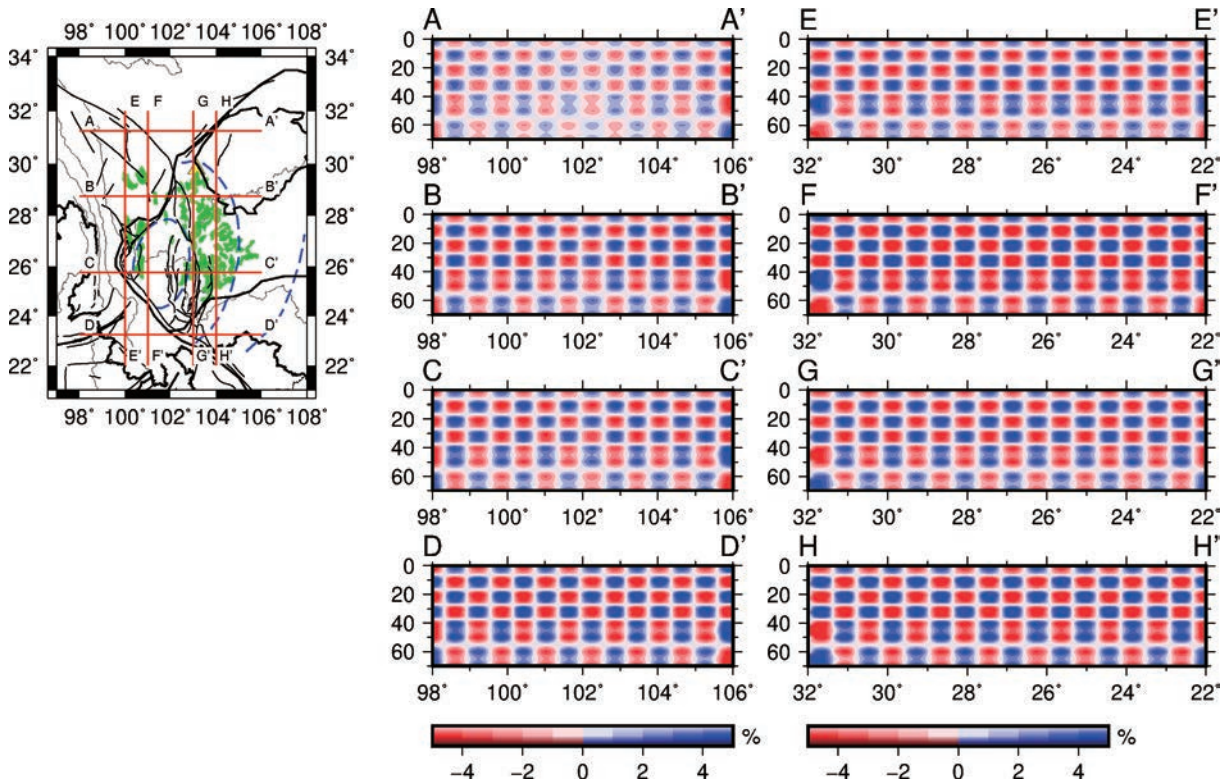


图 3.48 真实检测版模型 (垂直剖面)

25 秒周期之上的瑞利面波数据的约束，但由于其波长较长（基本在 100km 及以上），路径覆盖率也较 10-20 秒周期的面波路径显著减少，所以难以分辨上的横向尺度为 0.5 度、垂向尺度为 10km 的速度结构异常。

为了进一步测试分辨率，我们设置了如图 3.49（水平剖面）、图 3.52（垂直剖面）所示的棋盘模型（速度异常仍为 5%，30km 以上为水平方向异常尺度为 0.5 度、以下为 0.5 度，40km 以上垂直方向异常尺度为 10km、以下为 20km）。通过分辨率测试分析，我们的数据基本可以分辨 40km 之下横向尺度为 0.75 度（图 3.50、3.51）、垂向尺度为 20km（图 3.53、3.54）的速度结构异常体。

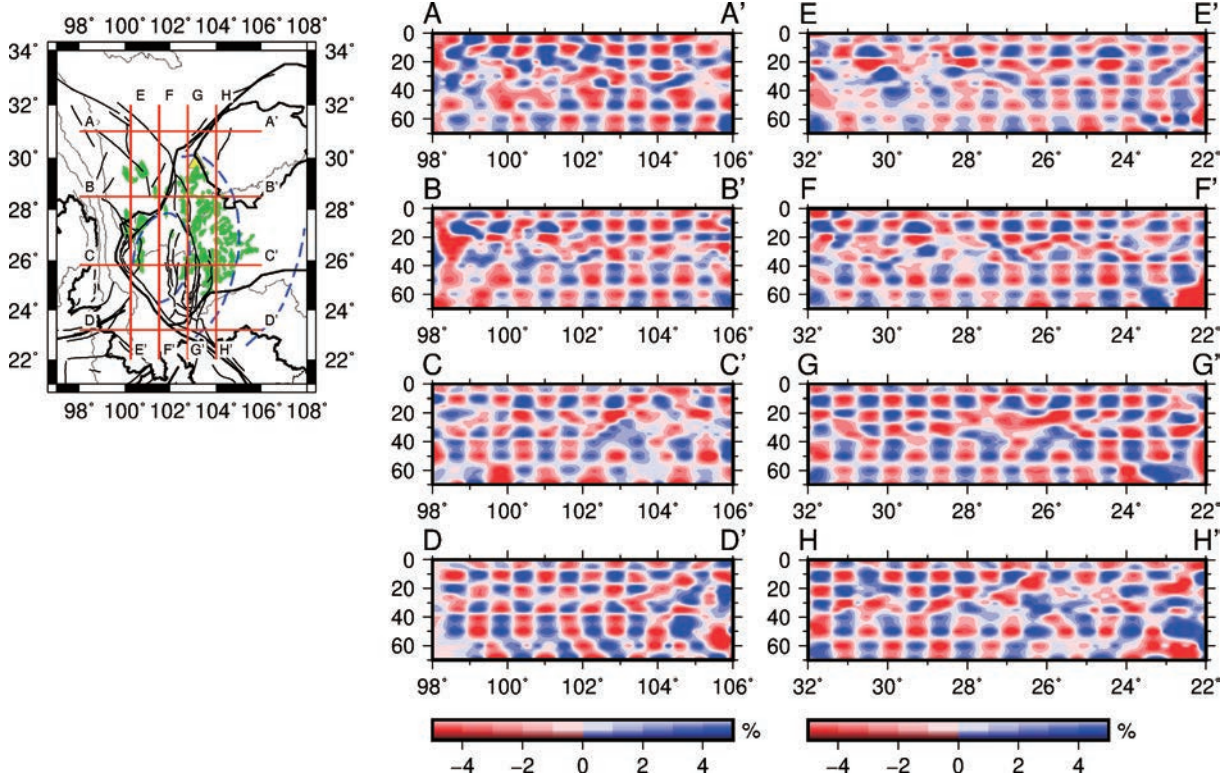


图 3.49 恢复的棋盘模型 (V_p , 垂直剖面)

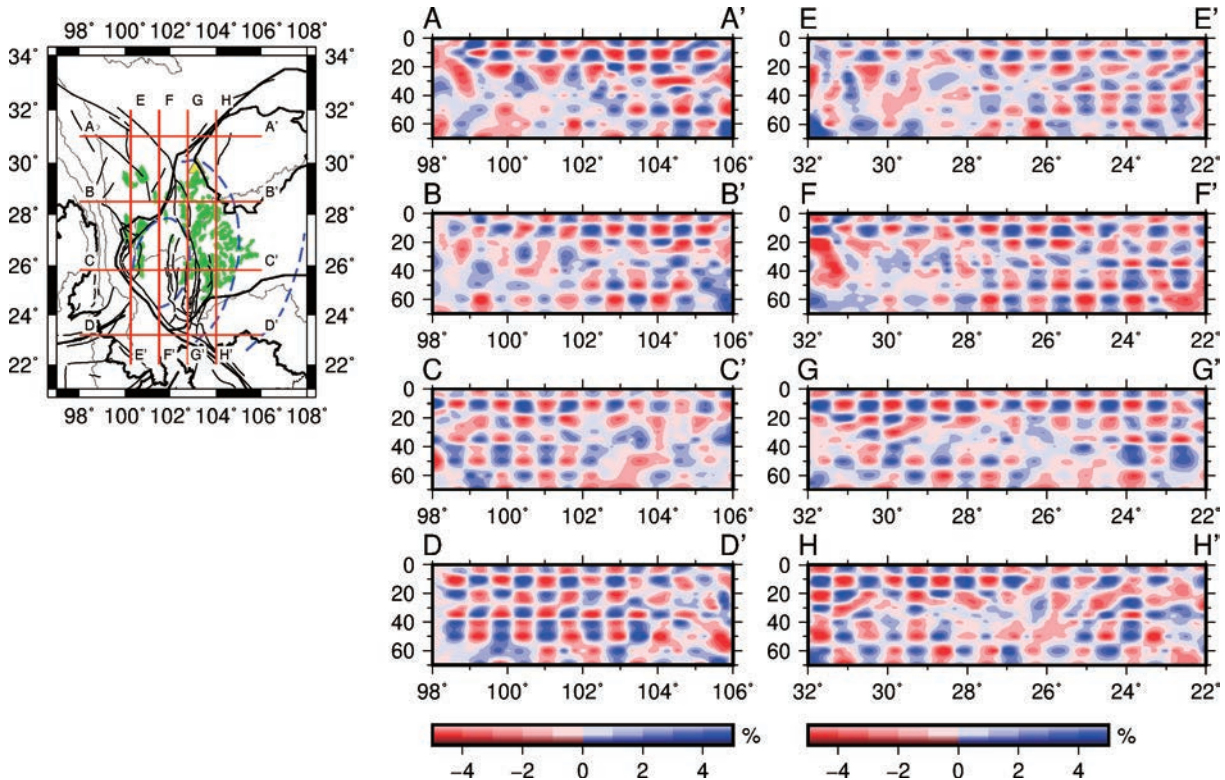


图 3.50 恢复的棋盘模型 (V_s , 垂直剖面)

此外，我们还对比了不同间距的水平网格点的反演结果。我们将原先 0.5 度水平网格点的模型加密至 0.25 度，然后进行联合反演，反演得到的模型如图 3.55-3.60 所示。对比水平剖面（图 3.55, 3.56 与图 8, 10），我们发现二者结果非常类似，采用 0.25 度网格点的反演结果在部分区域会存在一些更小的异常。对比垂直剖面（图 3.57-3.60），0.25 度和 0.5 度的水平网格点的反演结果也极为相似。这说明我们反演结果比较稳定，基本不受反演网格点变化的影响。

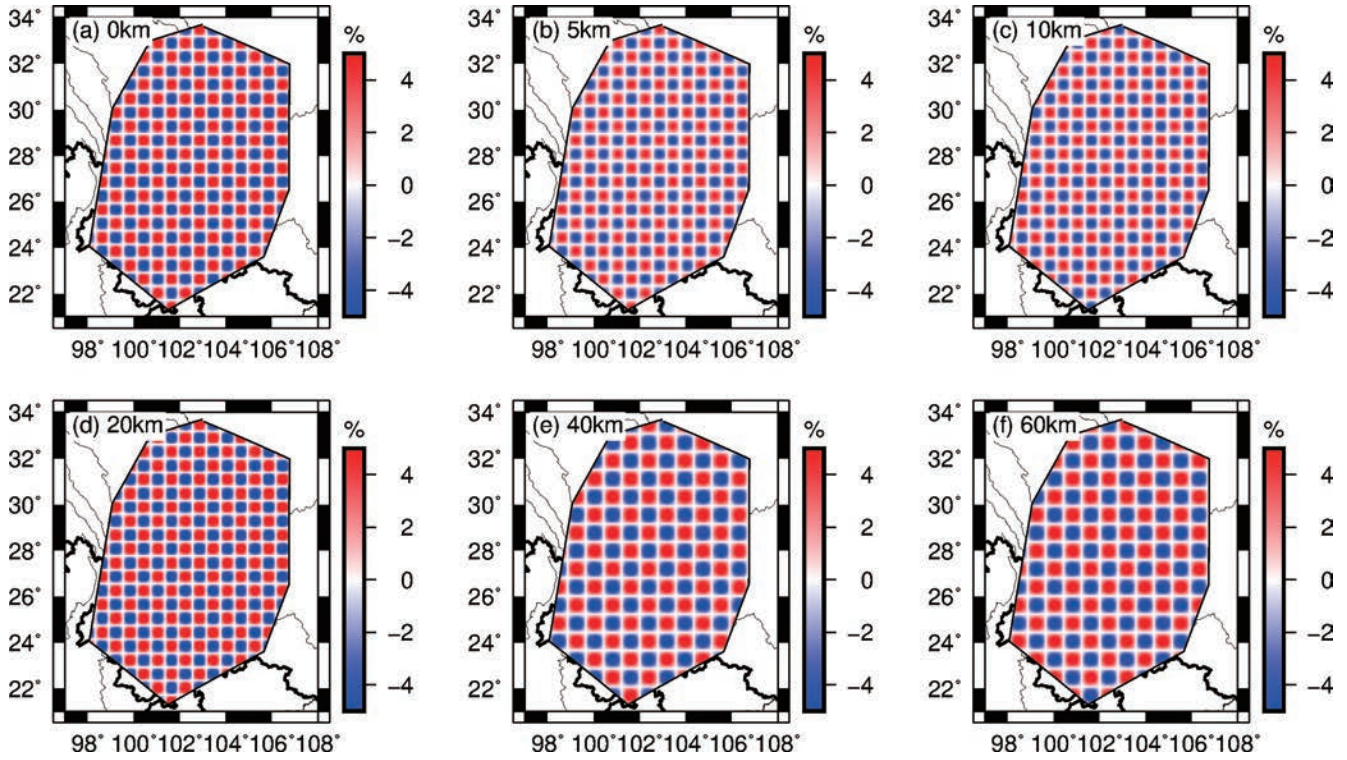


图 3.51 40km 之上为 0.5o x 0.5o、40km 及之下为 0.75o x 0.75o 的真实棋盘模型（水平剖面）

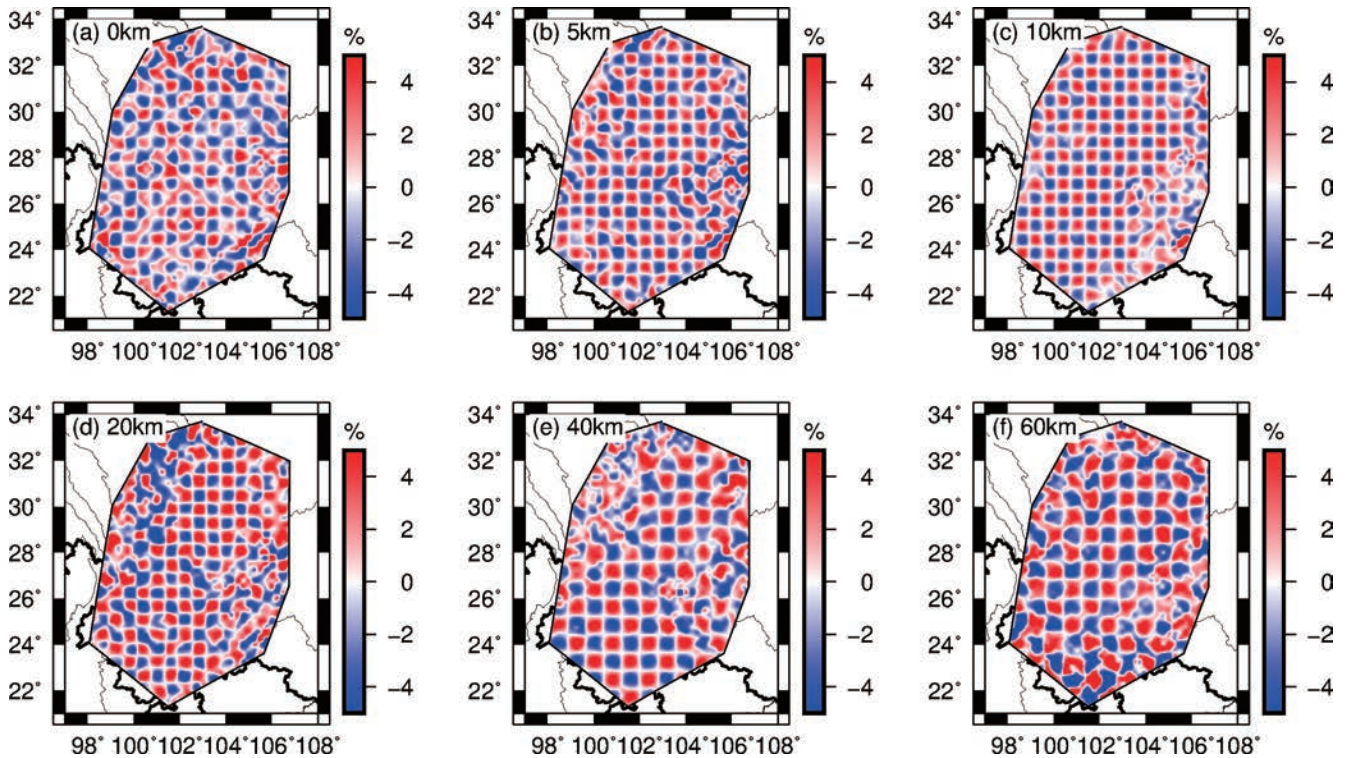


图 3.52 恢复的棋盘模型（ V_p ，水平剖面）

6. 模型使用说明

(1) 我们所获得的川滇地区三维地壳上地幔顶部的速度结构模型的数据文件为 SWChinaCVM1.0.txt，模型数据格式说明文档为 SWChinaCVM1.0_README.txt。

(2) 我们采用单台接收函数 $H-\kappa$ 叠加方法得到的川滇地区地壳厚度及波速比数据文件为 hk_result_h.all.CD.1，采用 CCP 叠加方法得到的川滇地区地壳厚度数据文件为 prfCCP-tomo.dat，数据格式说明文档为 Moho_readme2019.docx。

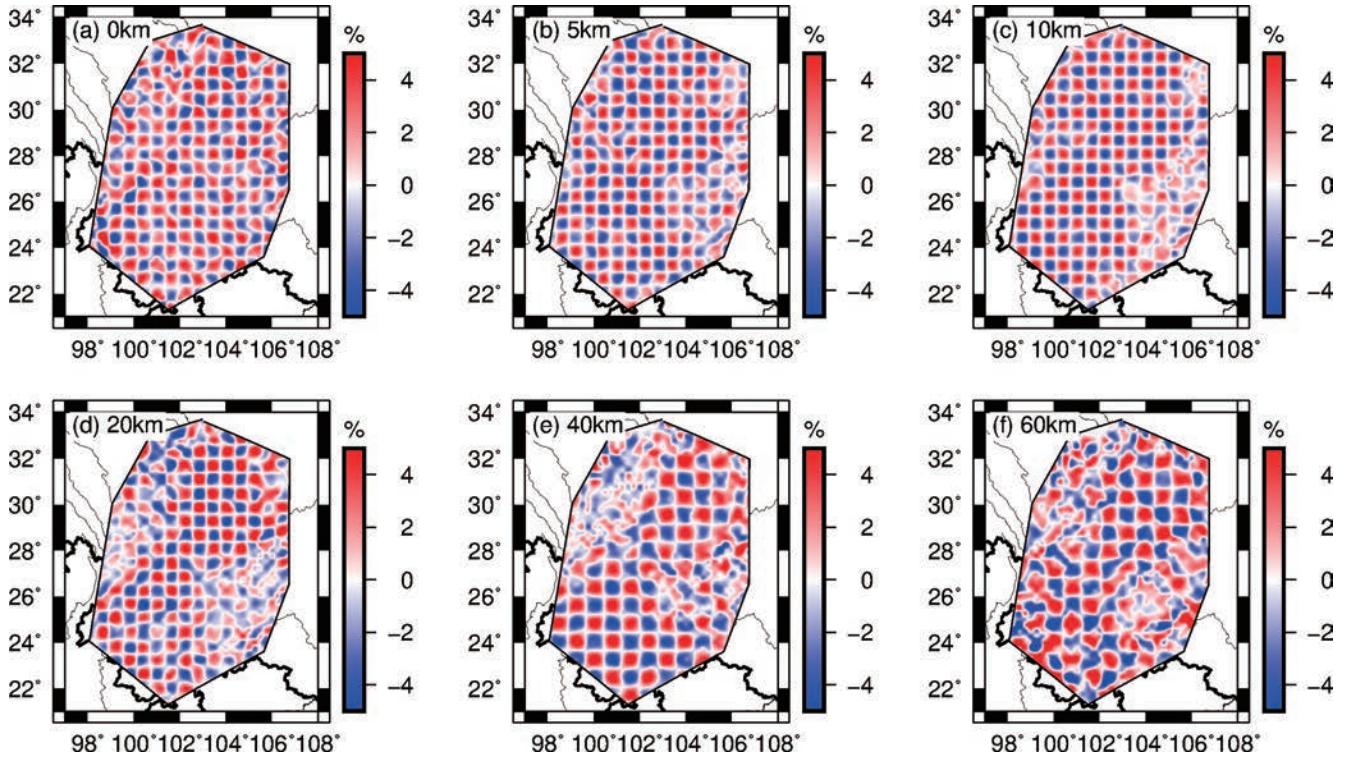


图 3.52 恢复的棋盘模型 (V_s , 水平剖面)

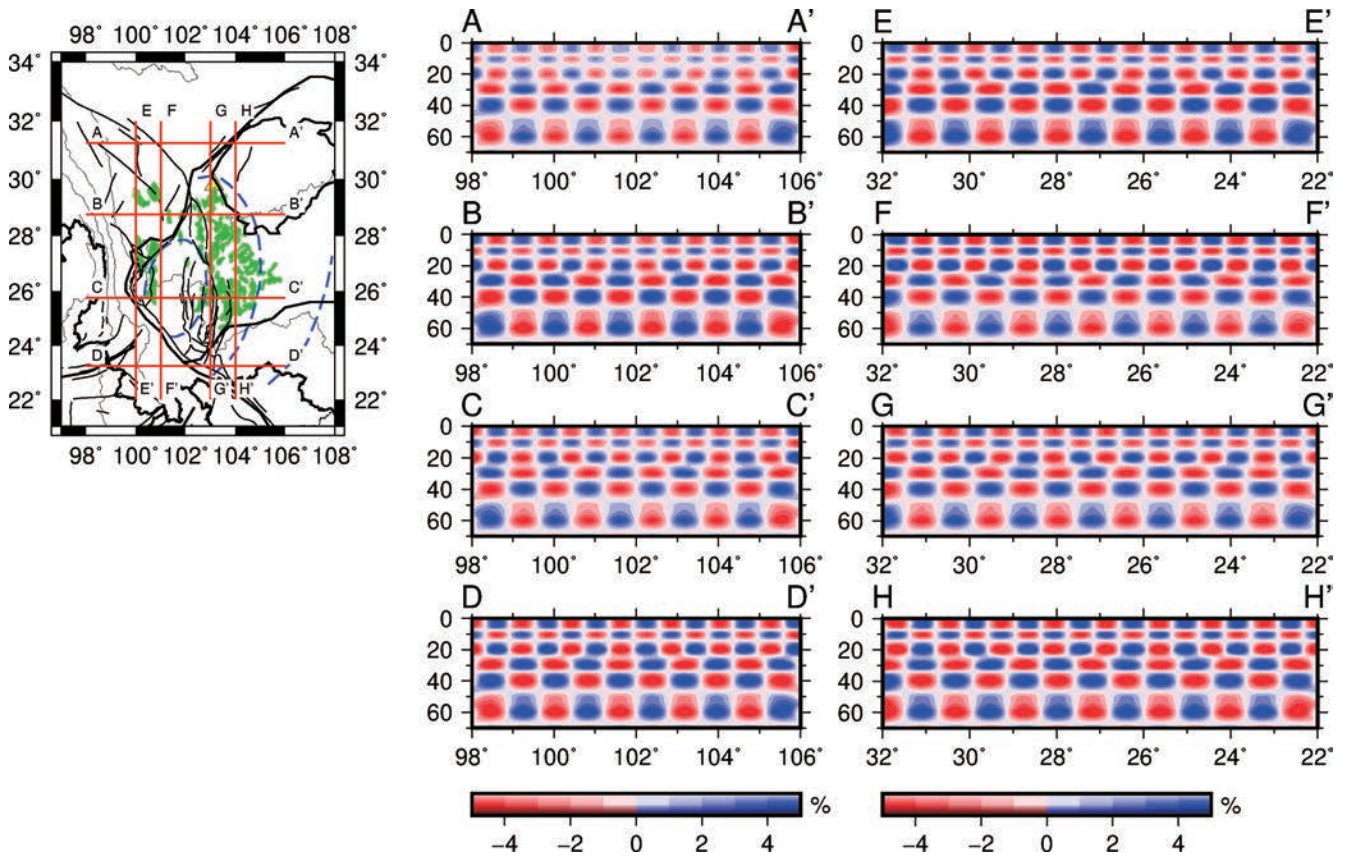


图 3.53 真实棋盘模型 (垂直剖面)

7. 应用案例

我们拟将获得的三维公共速度模型 1.0 版本 (SWChinaCVM-1.0) 应用于如下研究：

(1) 采用获得的三维速度模型 1.0 版本开展接收函数成像研究，以更好地矫正三维地壳速度结构对 Moho 界

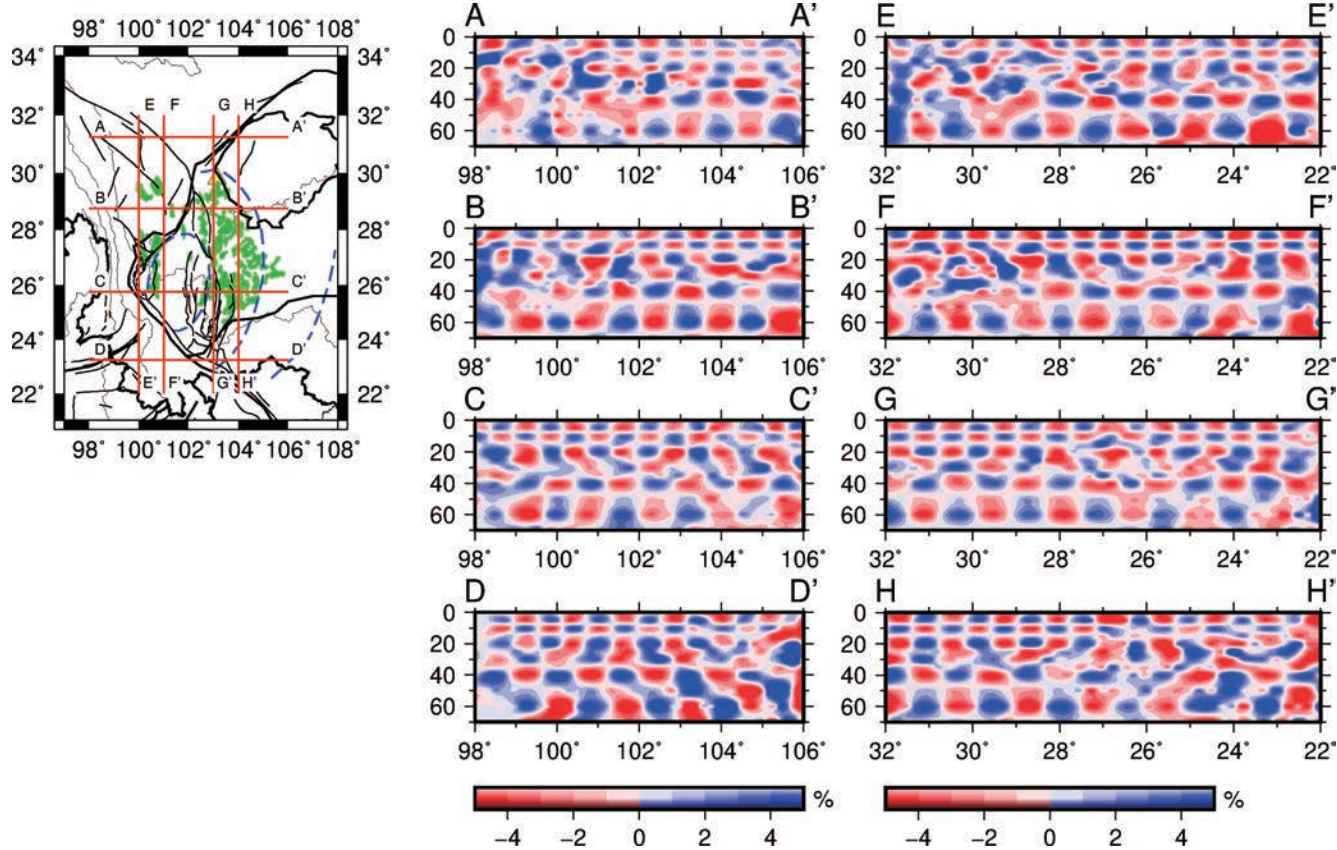


图 3.54 恢复的棋盘模型 (V_p , 垂直剖面)

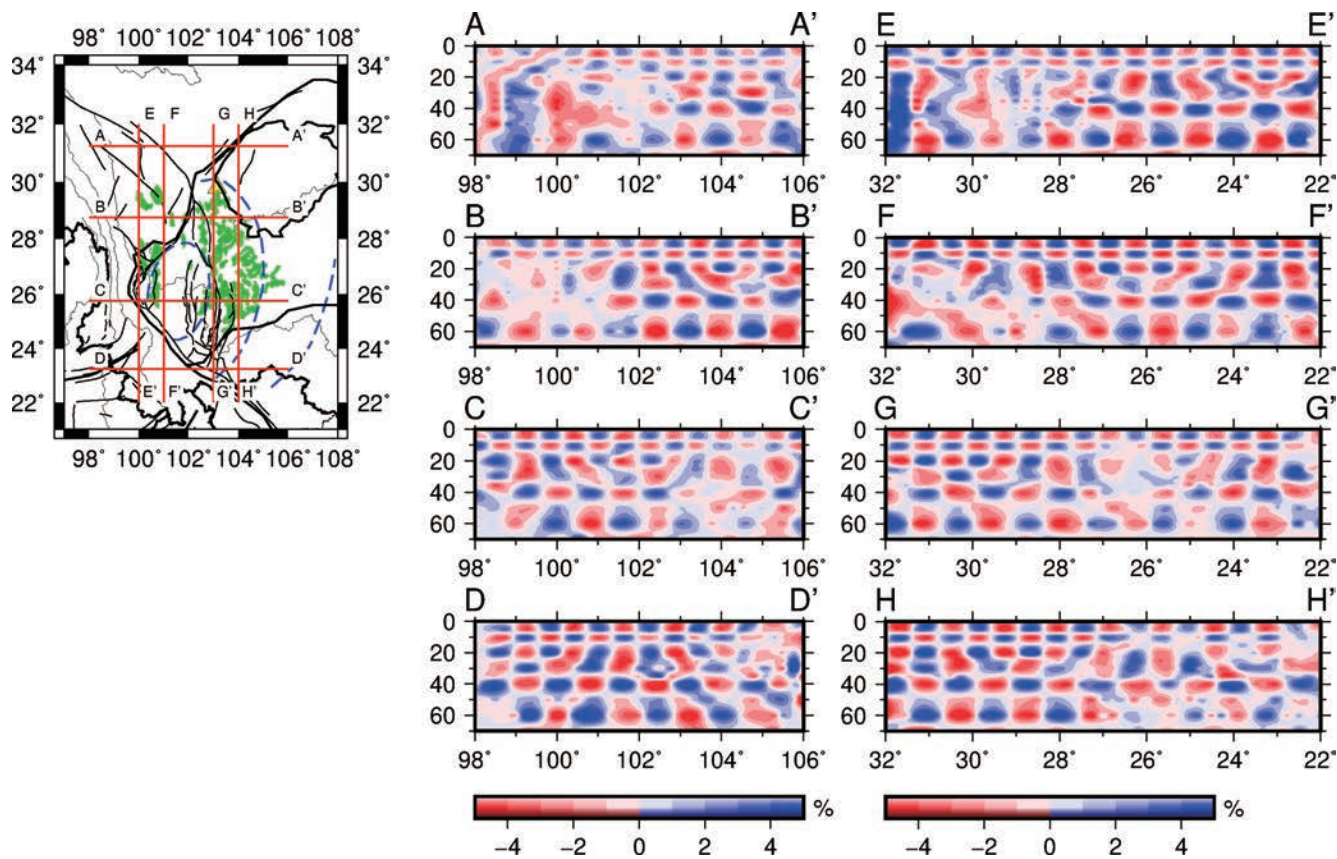


图 3.55 恢复的棋盘模型 (V_s , 垂直剖面)

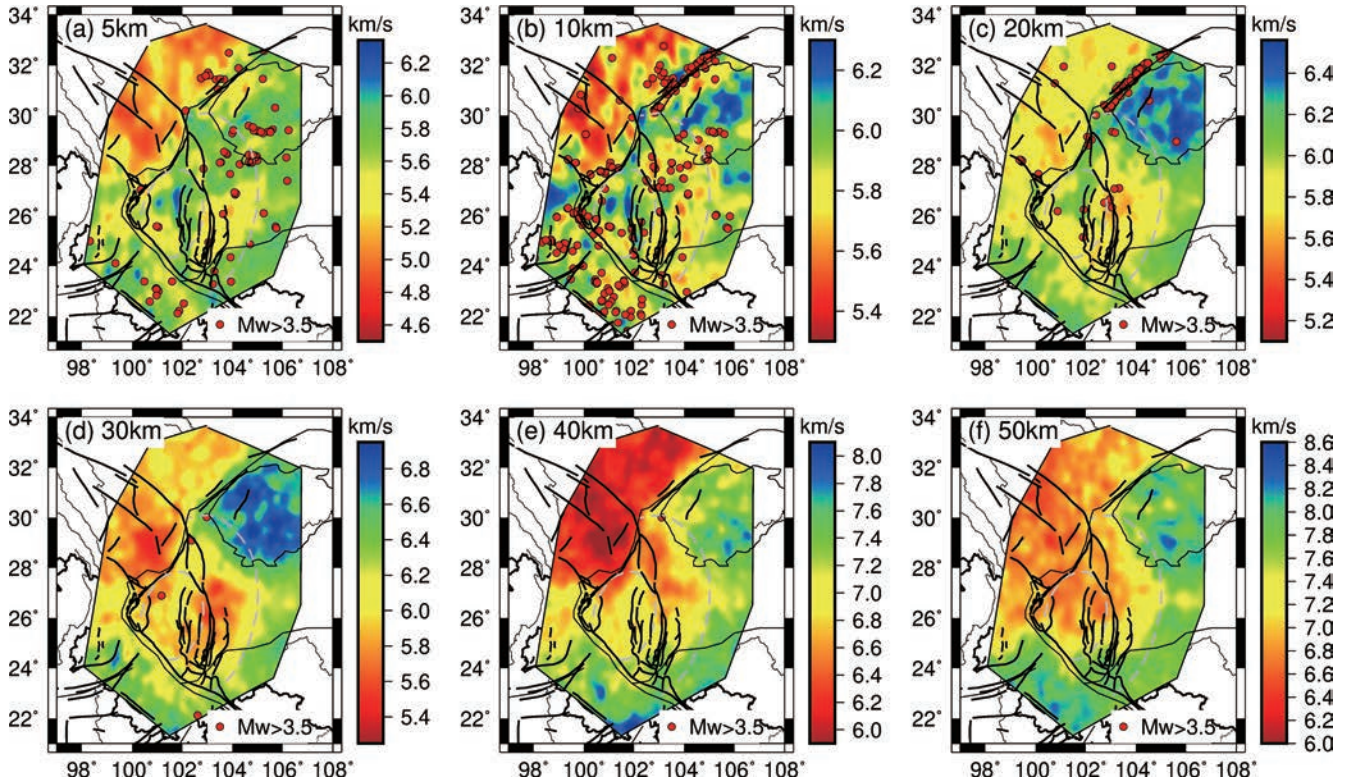


图 3.56 采用 0.25 度的水平方向网格反演得到的 V_p 速度结构模型

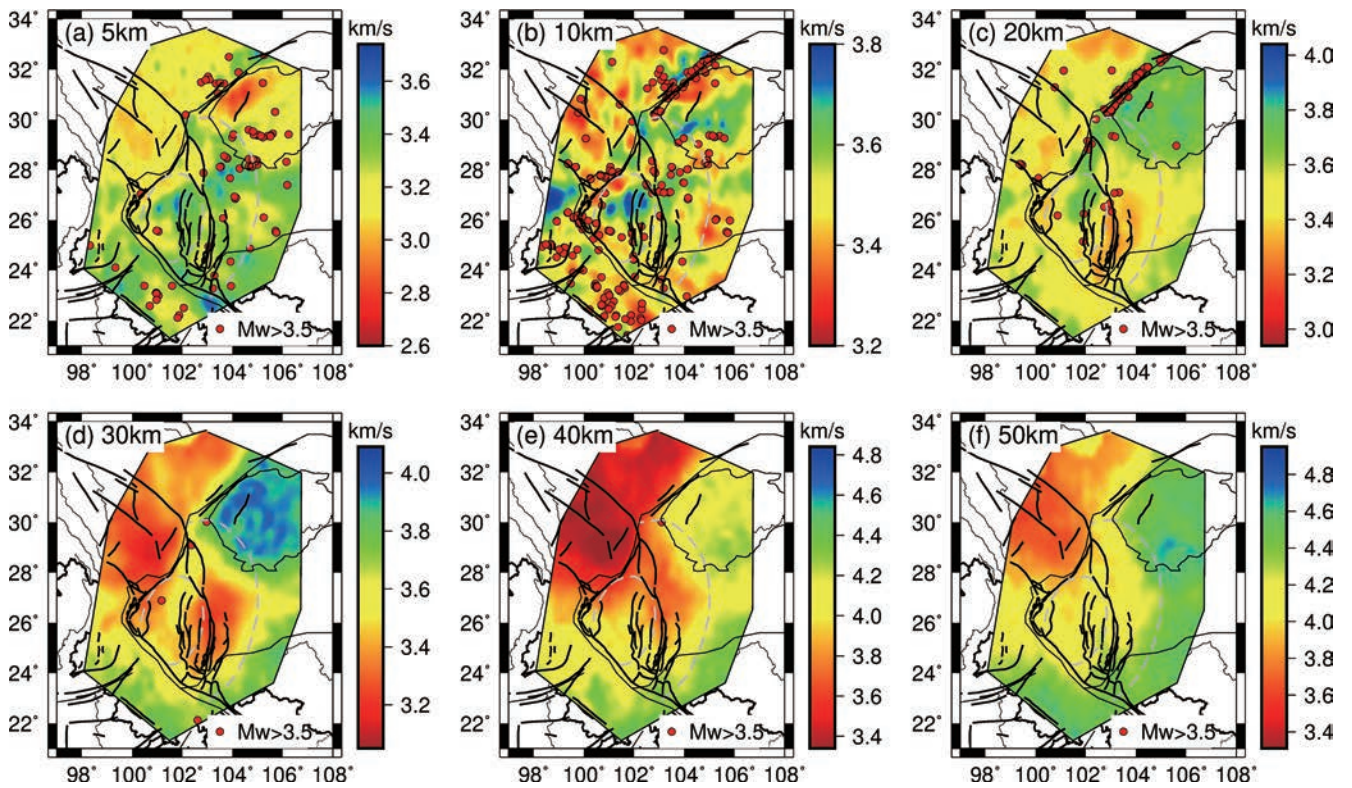


图 3.57 采用 0.25 度的水平方向网格反演得到的 V_s 速度结构模型

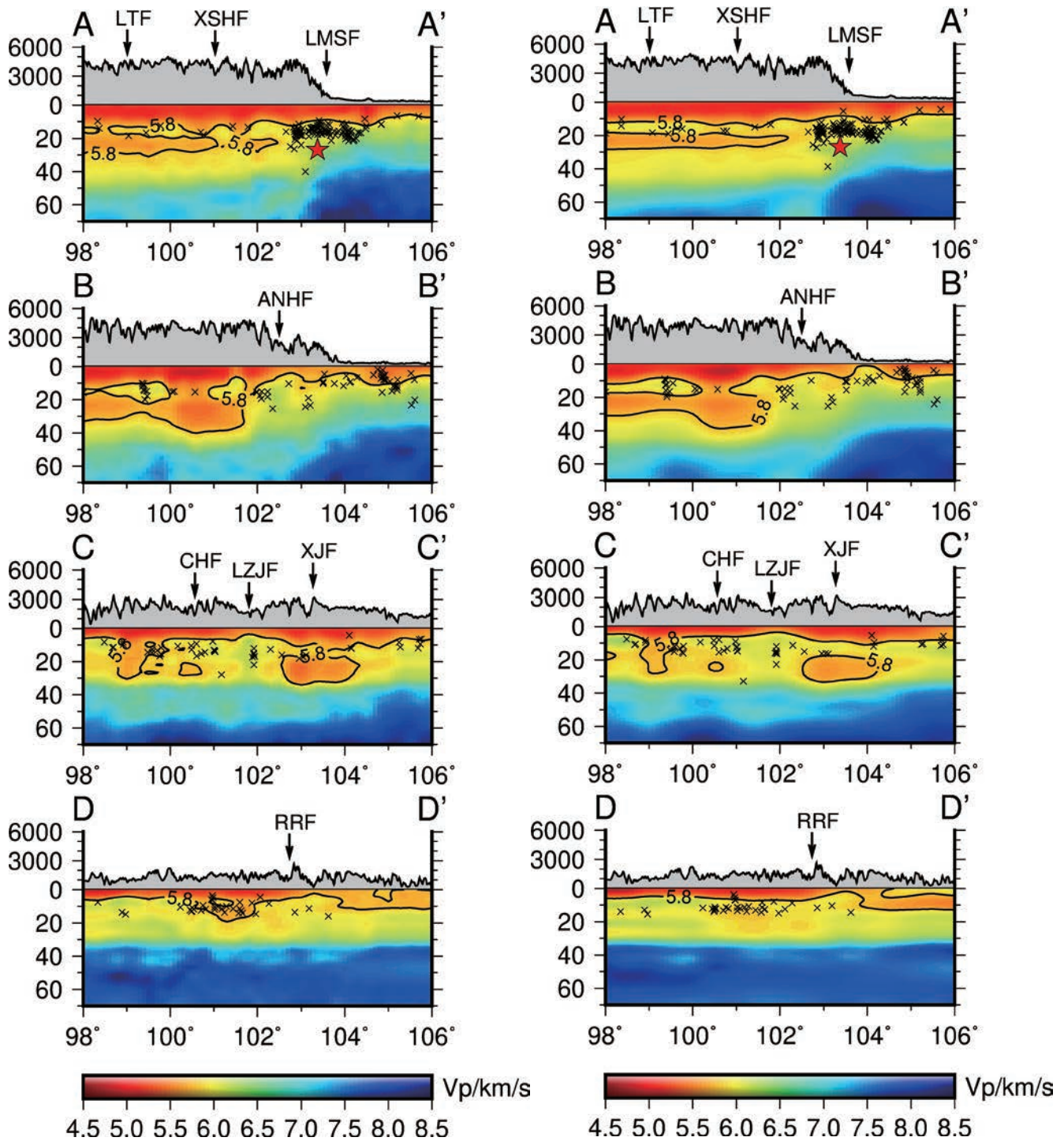


图 3.58 采用不同水平网格反演得到不同东西向剖面（如图 9 所示）的 V_p 速度结构模型的对比（左：0.25 度网格，右：0.5 度网格）

面成像的影响，最终获得川滇地区公共地壳厚度模型 1.0 版本；

(2) 采用获得的三维速度模型为初始模型，为后续联合该地区密集流动地震台站的体波走时和噪声面波频散走时，以及中长周期地震面波频散和远震体波走时反演获得更为可靠及分辨率更高的三维地壳上地幔速度结构模型提供模型基础，同时也为该区域三维各向异性模型的反演提供基础的各向同性速度模型；

(3) 采用获得的三维速度模型对区域地震进行精定位，并为基于三维速度模型的震源机制反演以及地震破裂过程反演提供三维参考模型；

(4) 为三维速度模型的评价和验证提供另一个参考模型；

(5) 为川滇地区的强地面运动模拟提供较为可靠的区域三维参考模型。

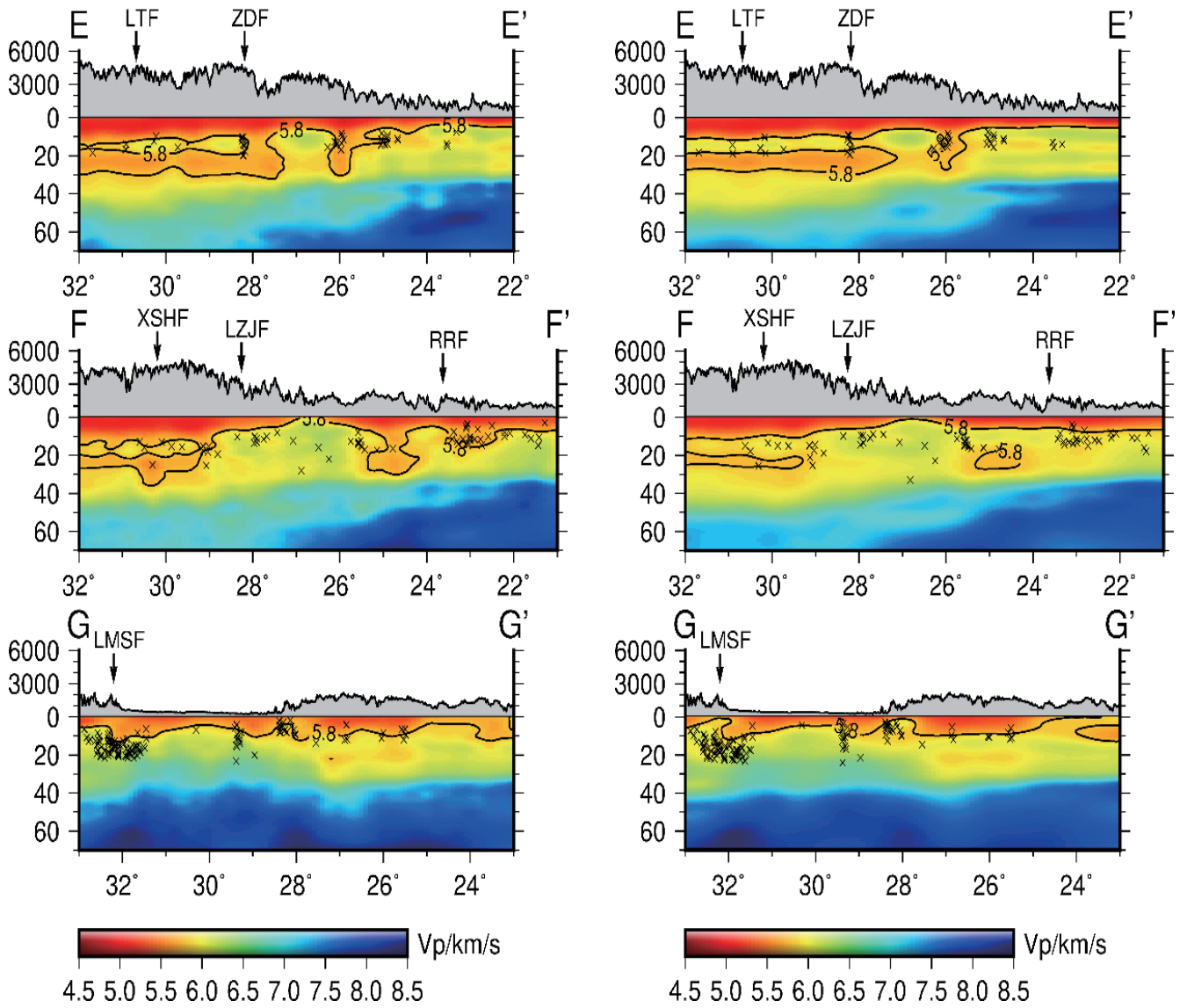
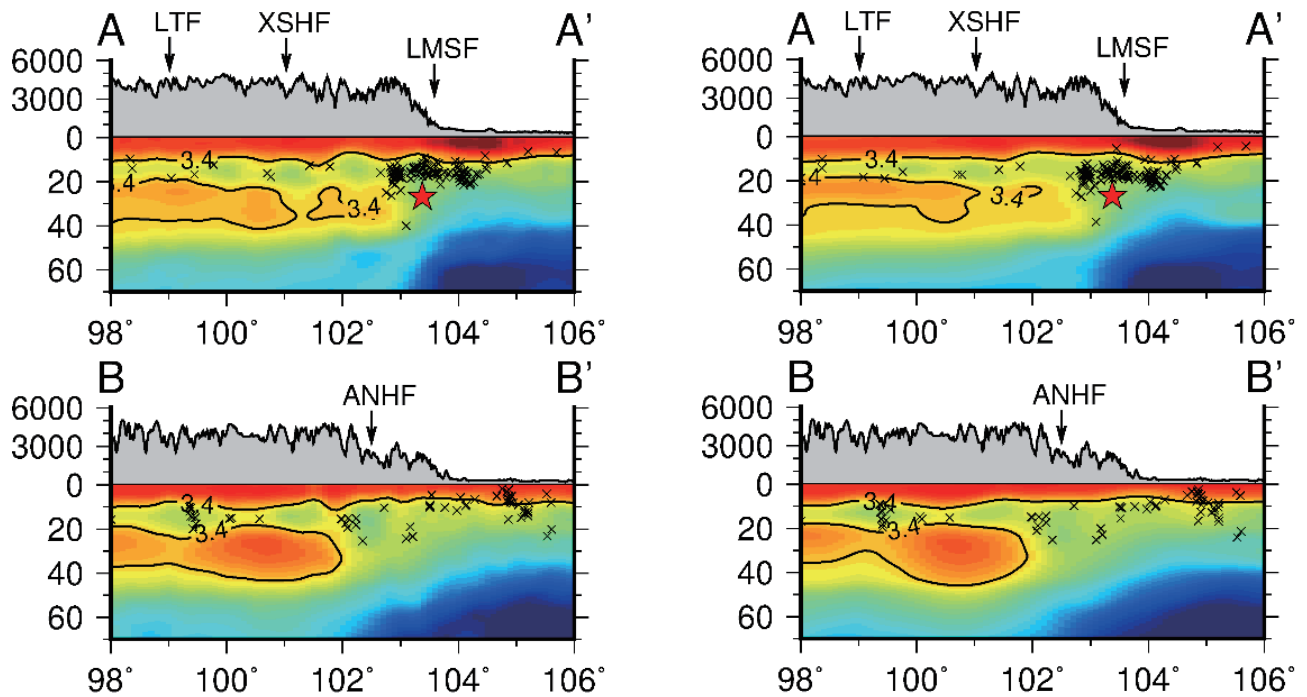


图 3.59 采用不同水平网格反演得到的不同南北向剖面（如图 9 所示）的 V_p 速度结构模型的对比（左：0.25 度网格，右：0.5 度网格）



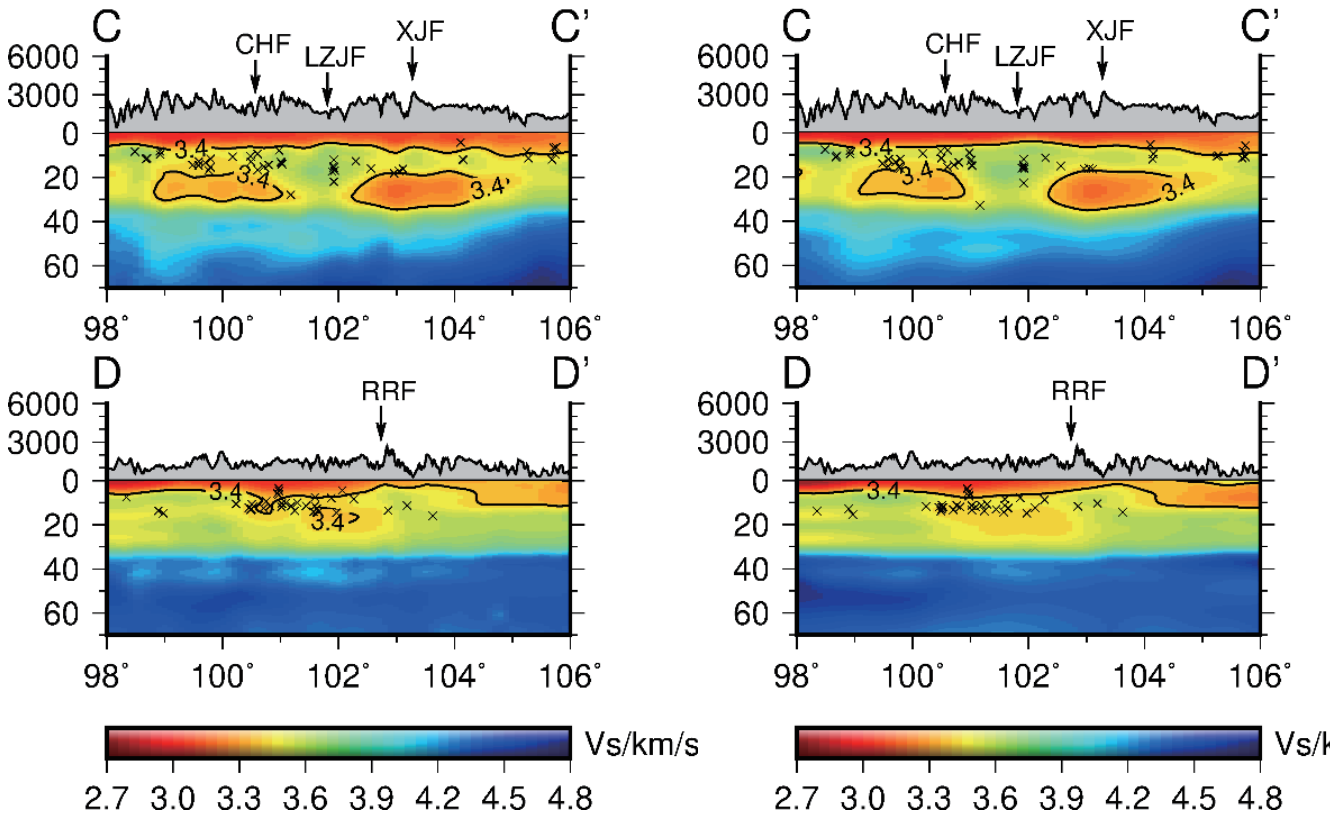


图 3.60 采用不同水平网格反演得到不同东西向剖面（如图 9 所示）的 Vs 速度结构模型的对比（左：0.25 度网格，右：0.5 度网格）

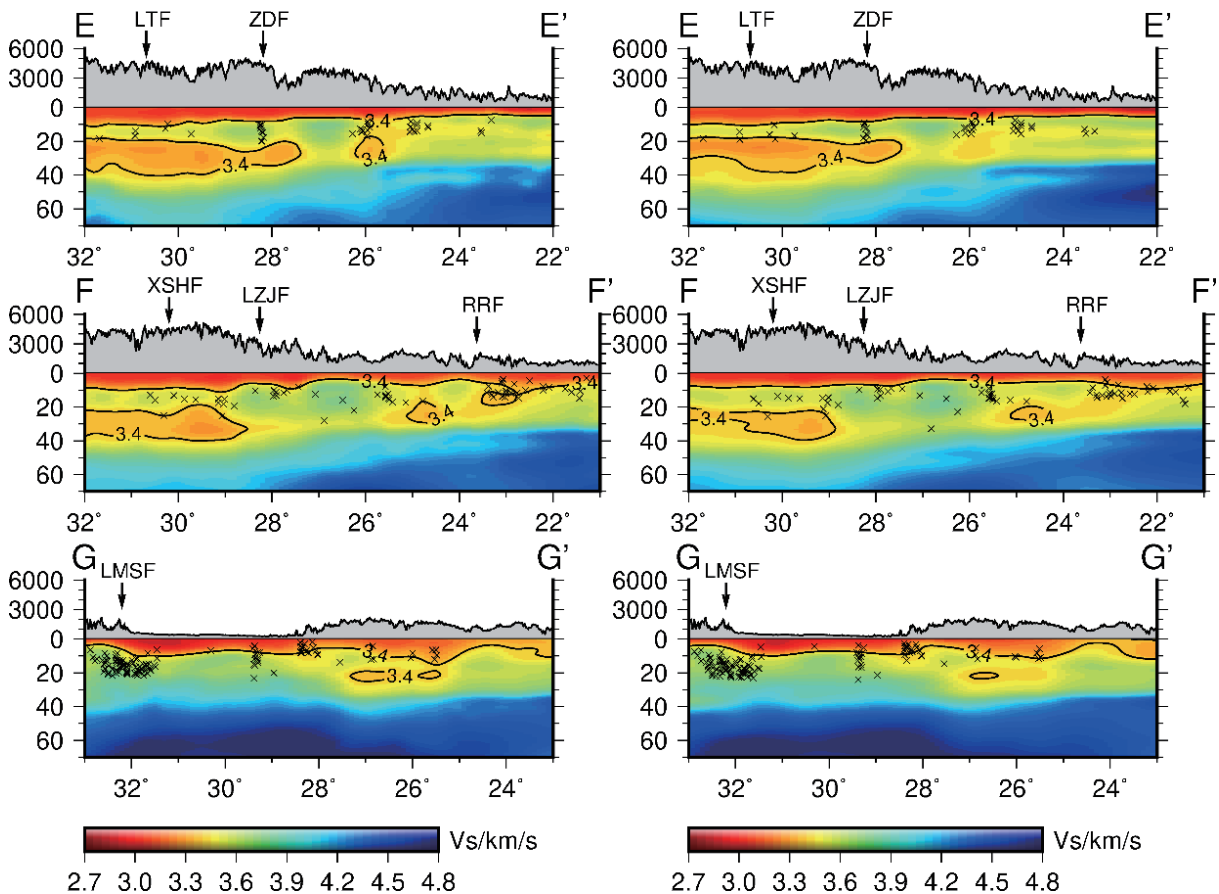
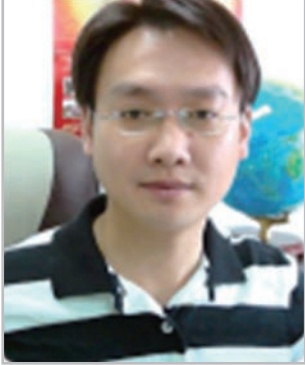


图 3.61 采用不同水平网格反演得到的不同南北向剖面（如图 9 所示）的 Vs 速度结构模型的对比（左：0.25 度网格，右：0.5 度网格）

8. 模型更新计划

由于目前得到的三维速度模型仅使用了固定台站和部分流动台站的体波和噪声面波频散走时数据，40km 深度之上的地壳部分的水平分辨率基本可以达到 50km，垂直分辨率约 10km 左右。下一步，我们拟加入正在处理的川滇地区密集流动台阵（喜马拉雅台阵，川西台阵，小江台阵等）的体波及面波走时资料，采用多尺度体波面波走时联合反演方法，获得川滇地区更高分辨率的三维公共速度结构模型，在密集台阵区域的横向分辨率达到 20 ~ 30km，在其他区域的分辨率达到 40 ~ 50km。

此外，我们拟融合一些小区域密集台阵的地壳浅层成像结果，例如滇西宾川盆地、安宁河断裂带等区域，采用新的建模和模型插值方式，得到不同尺度的速度结构模型，为局部区域的高精度震源参数研究及强地面运动模拟提供更为精细的三维速度结构模型。



姚华建

1979 年生人, 博士, 中国科学技术大学地球和空间科学学院教授、博士生导师, 中国科学技术大学研究生院副院长兼校学位办公室主任, 国家自然科学基金优秀青年基金获得者。

个人信息

研究领域

地震波成像、岩石圈结构与变形、大地震破裂过程、地震台阵技术、地球物理联合反演等。

学术兼职

2014-2018 年担任《Seismological Research Letters》副主编, 2018 年起担任《Geophysical Journal International》editor, 并担任《中国科学: 地球科学》《地震学报》和《Earth and Planet Physics》期刊的编委; 担任 Science, Nature Geoscience 等 20 多个学术期刊以及中国、美国自然科学基金委的项目评审人。

2013-2017 年被教育部聘为高等学校地球物理学类专业教学指导委员会秘书长, 2018 年起担任地球物理教指委委员, 2017 年起担任中国地震局第八届科技委委员。目前担任中国地震学会理事、青年科技专业委员会副主任委员和地震专业委员会委员, 中国地球物理学会固体地球物理专业委员会委员, 安徽省地震学会常务理事, 中国地震局地球物理研究所及地震预测研究所客座研究员。

工作经历

2019/07—至今, 中国科学技术大学研究生院副院长兼校学位办公室主任

2014/10—2019/06, 中国科学技术大学, 地球和空间科学学院, 副院长

2012/07—至今, 中国科学技术大学, 地球和空间科学学院, 教授

2010/08—2012/06, 美国加州大学圣地亚哥分校, Scripps 海洋研究所, Green Scholar 博士后

2009/06—2010/07, 美国麻省理工学院, 地球、大气与行星科学系, 博士后

联系方式

办公电话: 0551-63607201

邮箱: hjyao@ustc.edu.cn

个人主页: <http://yaolab.ustc.edu.cn>

◆ 实验场科技产品——公共模型（之二）断层模型 *

三维断层建模是深入研究活动断层地下几何结构的重要基础；建立三维公共断层模型 CFM，是实现地震物理预测技术的关键环节之一。目前国内针对活动断层三维建模的技术和方法还处于起步和发展阶段，有大量的关键技术和方法正在探索；同时对科研、安评、科普等方面都具有非常大的需求。建立川滇地区包括地形地貌、主要活动断裂地表迹线、地震目录、活动断裂地下三维结构的统一断层模型数据库，可以初步揭示实验场区主要活动断裂在三维空间的展布和几何结构，对促进三维建模技术发展和地震安全保障方面有重要作用。

1. 模型指标和研制思路

建立川滇地区三维可视化、主要活动断裂三维模型 V1+。研制思路基于 SKUA-GOCAD 三维建模平台，参考复杂构造三维建模方法和流程，进行活动断层的三维建模和验证分析。

2. 数据来源

- (1) 地表活动断层数据(本项目)；
- (2) 震源机制解 (CGMT, 邵志刚, 龙锋, 王晓山等提供)；
- (3) 小震精定位 (朱艾澜等, 2005; 黄媛等, 2008; 房立华等, 2013)；
- (4) 地壳速度模型 (刘启元等, 2014; 张海江等, 2018; 姚华建等, 2018)；
- (5) 人工地震反射剖面 (中国石油, 中国石化, 中国地质大学(北京), 中国地科院地质所, 中国地震局地球物理勘探中心)；
- (6) 大地电磁数据和剖面 (中国地震局地质所詹艳, 陈小斌等提供)。

3. 关键技术方法

- (1) 正、逆断层相关褶皱理论；
- (2) 构造剖面平衡恢复与检验；
- (3) 多源数据融合与属性分析；
- (4) 多元约束活动断层三维建模技术 (表 3.2)。

表3.2 多元约束活动断层三维建模技术和方法

序号	资料来源	技术特点	研究内容	约束深度
1	浅表活动断层调查	露头、探槽、钻探、年代学等	地表断层分布迹线、断层活动性参数	地表
2	长周期与同震形变观测 (GPS、InSAR、水准)	拟合、反演等	块体运动状态、边界条件、模拟活动断层几何学、运动学	浅表
3	区域地质与构造形变 (高程、浅层地质构造)	构造定量解析方法 (倾角分析、轴面制图)	断层几何学、长周期运动学构造变形量、变形期次等	0-500m
4	震源机制解析	CMT、波形拟合等	发震断层的空间位置、活动断层产状参数、性质	5-20km
5	小震精定位与余震序号	双差定位等	判别发展断层空间展布特征、断层三维几何结构	10-20km
6	人工地震反射剖面 (深、浅地震探测)	叠前/叠后、偏移 (断层相关褶皱原理)	断层识别分辨率较高; 断层几何学、运动学; 区分断裂之间的级联、交切的关系	0-60km

* 来自中国地震局地质研究所鲁人齐研究员、天津大学刘静教授承担的实验场项目《统一断层模型数据库》。数据格式：.dat 等。

续表

序号	资料来源	技术特点	研究内容	约束深度
7	高密度流动台站观测	噪音成像等	断裂带的大致结构与成像	0-60km
8	地震学台站观测	高精度层析成像	地壳尺度三维速度结构	0-100km+
9	高密度电、磁等物探	联合反演、AMF法	深部构造特征与物性参数	0-100km+

4. 模型研制成果

(1) 建立川滇地区主要活动断裂地表迹线

研制工作收集和整理了川滇地区涉及鲜水河 - 龙门山断裂带、安宁河 - 则木河 - 小江断裂带、红河断裂带等断裂带的地质与地球物理文献资料，包括：20 万地质图、第四纪和活动断层填图、钻孔数据、地震等地球物理剖面、科学探测台阵数据、精定位地震数据、地震震源机制解等。同时，开展川滇实验场主要断裂带 LiDAR 数据采集工作，并获得了沿主要断裂带的高精度地形数据。基于这些基础数据，结合野外地质考察，开展了实验场区断裂地貌的填图，对已有的川滇地区活动断裂图进行了检测更新，在 Google Earth 平台中对之前坐标投影转换时造成的位置偏移进行了纠正，对不同版本的断裂分布图进行评价和取舍判断，初步建立了川滇地区主要断裂带的地表迹线重新评估，提供以 KMZ 和 ArcGIS Shape 文件等形式的产品共享，并对主要断裂的产状和运动学参数进行数据汇总，以 Excel 文件的形式为后续工作参考。为活动断裂地下三维结构的统一断层模型数据库的建立提供了地表位置等数据支撑。

(2) 初步建立了川滇地区三维建模综合数据库和平台（图 3.57）；

(3) 完成川滇地区主要活动断裂三维断层初始模型 V1.1 版（图 3.58）；

5. 模型验证情况

不同地区资料覆盖程度不一，研究程度和进展也有所区别。在断裂地表位置和运动学参数方面，基于各断裂带分布地理位置的差异性、第四纪年代学方法的局限性，以及相关科研项目的部署和分配等方面的制约，目前川滇实验场主要活动断裂带的研究程度依然存在较大差异。

目前三维断层模型还是测试 V1.1 版，三维断层模型在龙门山地区精度较高；鲜水河断裂带、安宁河 - 则木河断裂带次之，其它地区断层约束程度还比较低。

6. 应用推广

2019 年 6 月 17 日在四川宜宾地区发生了长宁 M6.0 级地震。为进一步刻画同震破裂断层精细的几何结构，

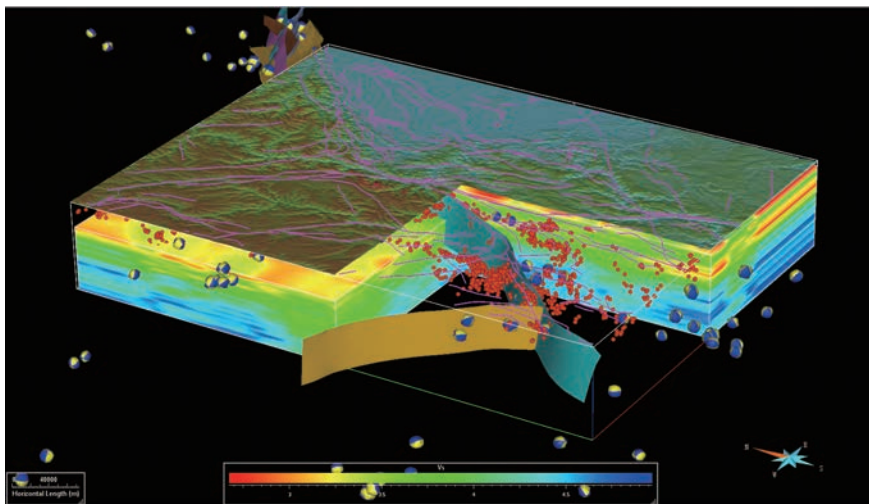


图 3.57 川滇地区三维建模平台和综合数据库

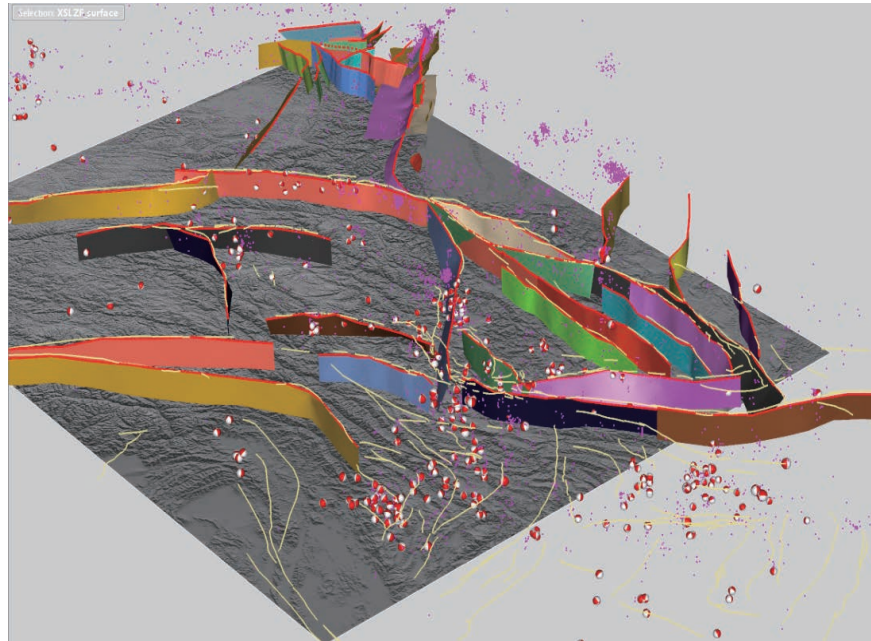


图 3.58 川滇地区主要活动断裂三维断层模型 V1.1

基于长宁地震余震重定位结果和主震震源机制等数据（房立华等，2019），研究在川滇实验场三维建模平台基础上，根据三维建模平台和相关模拟技术，初步建立了长宁地震破裂断层的三维模型。

三维模拟结果表明长宁地震破裂断层具有复杂的几何结构（图 3.59），并触发了其它分支断层的活动。断层主破裂面（F2）在空间上呈复杂的几何形态，主要包括西北段沿长宁背斜轴向的 SW 倾向断层面和东南段 NE 倾向断层面。F2 断层主体沿北西方向延伸，倾角范围在 60° - 90° 之间，平均值在 80° 左右，具有高角度倾滑特征。此外，还存在近垂直背斜轴向的两支分支断层（F1 和 F3）。震区的地表断层交错复杂，但与同震破裂断层并不直接关联。

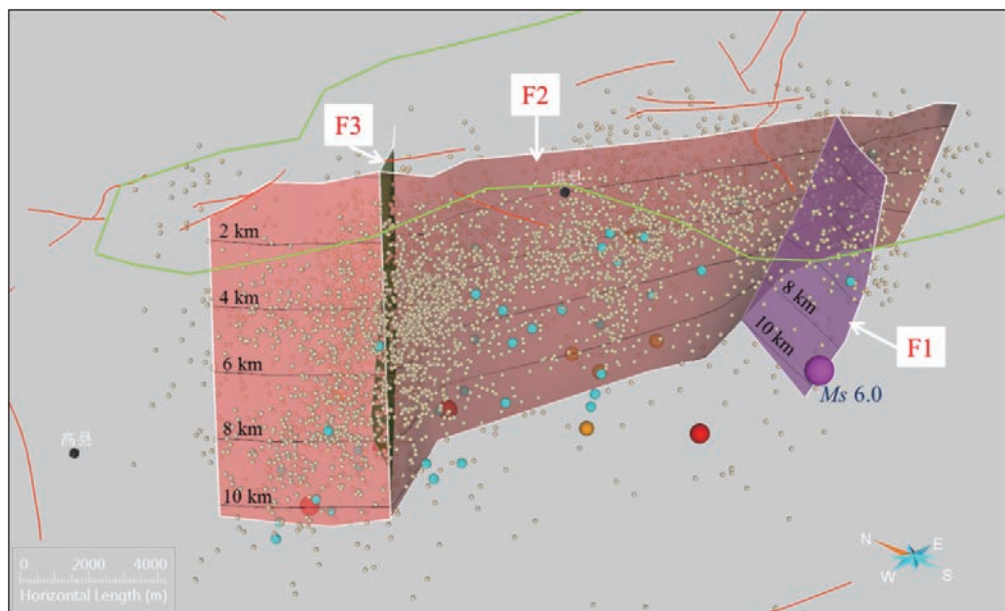


图 3.59 长宁 M_s 6.0 地震破裂断层三维模型图

（紫色圆球为长宁 $M_6.0$ 主震位置，红色圆球为 $5.0 \leq M < 6.0$ 级地震，黄色圆球为 $4.0 \leq M < 5.0$ 级地震，蓝色圆球为 $3.0 \leq M < 4.0$ 级地震，其它小圆球为 $-1.0 \leq M < 3.0$ 小震；红色实线为地表断层分布，绿色实线为长宁背斜西北端）



鲁人齐

1983 年生人，博士，中国地震局地质研究所研究员

个人信息

研究领域

构造解析与 3D 构造建模、正、逆断层相关褶皱理论、活动断层探测与定量研究等

工作经历

2019 年 01 月至今，中国地震局地质研究所，活动构造研究室，研究员

2015 年 01 月至 2018 年 12 月，中国地震局地质研究所，活动构造研究室，副研究员

2014 年 07 月至 2014 年 12 月，中国地震局地质研究所，活动构造研究室，助理研究员

联系方式

电话：010-62009033

Email：lurenqi@163.com



刘 静

1969 年生人，博士，天津大学教授

个人信息

获奖信息

中共中央组织部“万人计划”领军人才，科技部“中青年科技创新领军人才”，国家百千万人才工程“有突出贡献中青年专家”荣誉称号、青藏高原青年科技奖、中国科学院“巾帼建功”先进个人、国家杰出青年科学基金获得者。

研究领域

活动构造、地震地质和古地震、构造地貌学

学术兼职

2017 年以来任中国地震学会构造地貌专业委员会主任，中国第四纪研究学会构造与气候专业委员会副主任，中国地质学会构造地质专业委员会委员，中国青藏高原研究会理事及中国地震局科技委委员。目前兼任《科学通报》《Tectonophysics》《中国科学》《地震地质》和《中国地震》等刊物编委。

工作经历

2019.07—至今，天津大学表层地球科学系统研究院，教授
2011.11~2019.06，中国地震局地质研究所，研究员。
2006.08~2011.11，中国科学院青藏高原研究所，研究员。
2005.08~2006.08，中国科学院青藏高原研究所，副研究员。
2003.07~2005.07，法国 Institut de Physique du Globe de Paris，博士后。

联系方式

邮箱：liu-zeng@tju.edu.cn

◆ 实验场科技产品——公共模型（之三）流变模型*

震后形变因其包含有地球介质的流变信息，在地球动力学数值模拟研究中，壳幔粘滞结构的数值量级将极大地影响定量模拟的结果，对等效粘滞系数合理的估计是取得可靠科学结果的基础（张晁军等，2008；石耀霖和曹建玲，2008），已成为研究地球介质粘性特征的重要手段。以往粘滞系数的研究通常是在某次大地震或特大地震发生之后，该区域的粘滞系数可以通过震后形变得以确定（沈正康等，2003；邵志刚等，2008；张晁军等，2008；Copley et al., 2012）。然而大地震发生后粘滞系数计算存在一定局限性，在更多的没有大地震震后形变观测而又重要的块体或断裂带，粘滞结构的确定仍然具有重要的意义。采用岩石实验室资料、壳幔温度状态以及震间期 GPS 观测资料求得的应变速率来估算粘滞结构，从而进一步分析川滇地区地下流变特征并应用于地球动力学模拟中。建立中国地震科学实验场所在的川滇地区的壳幔粘滞结构模型，可为川滇地区运动学模型和动力学模型的构建提供重要参考。

1. 模型指标和研制思路

采用岩石实验室资料、壳幔温度状态以及震间期 GPS 观测资料求得的应变速率来估算粘滞结构，获得剖面流变结构。技术思路主要参考石耀霖和曹建玲（2008）的方法，利用中国大陆岩石圈温度估计成果和 GPS 计算的应变速率结果，计算了川滇地区地壳和上地幔的等效粘滞系数。经典地估计岩石流变结构的一种方法是：利用一维稳态热传导方程计算的温度，再利用库仑摩擦强度和流变强度公式计算不同深度的岩石强度，得到强度随深度变化的包络线，由包络线可以确定岩石处于脆性域还是柔性域。对于处于柔性变形的岩石，在温度和应变速率确定时，可以计算其等效粘滞系数：

$$\eta_{\text{eff}} = \frac{\tau_{\text{creep}}}{\dot{\epsilon}} = \frac{\epsilon \frac{1-n}{n}}{2A \frac{1}{n}} \exp\left(\frac{E}{nRT}\right) \quad (1)$$

其中， τ_{creep} 是柔性域内一定温度和应变速率下的强度， $\dot{\epsilon}$ 是应变率， T 是绝对温度， R 是普适气体常数， A 、 n 、 E 是可以由岩石实验得到的特定岩石的流变常数。

2. 数据来源

(1) 温度场数据：Sun Y J, Dong S W, Fan T Y, et al. 3D rheological structure of the continental lithosphere beneath China and adjacent regions. Chinese Journal of Geophysics, 2013, 56 (5) , 546-558.

(2) 速度场数据：Zheng, G., Wang, H., Wright, T. J., Lou, Y., Zhang, R., Zhang, W., ... Wei, N. (2017) . Crustal deformation in the India-Eurasia collision zone from 25 years of GPS measurements. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 122. <https://doi.org/10.1002/2017JB014465>

(3) 地壳厚度：采用 crust1.0 的地壳厚度数据

(4) 岩石流变常数：石耀霖，曹建玲. 中国大陆岩石圈等效粘滞系数的计算和讨论. 地学前缘, 2008, 15 (3) : 82~95.

Sun Y J, Dong S W, Fan T Y, et al. 3D rheological structure of the continental lithosphere beneath China and adjacent regions. Chinese Journal of Geophysics, 2013, 56 (5) , 546-558.

3. 关键技术方法

利用库仑摩擦强度和流变强度公式计算不同深度的岩石强度，得到强度随深度变化的包络线，由包络线可

* 来自中国地震局地震预测研究所邵志刚研究员、徐晶硕士的研究成果。数据格式：.txt;.bat;.m;.ps;.pdf 等。

以确定岩石处于脆性域还是柔性域。对于处于柔性变形的岩石，在温度和应变速率确定时，可以计算其等效粘滞系数。

4. 模型研制成果

川滇地区壳幔粘滞结构给出不同深度粘滞系数的分布（图 3.60），以及端点为（96.5，24.5）和（105，30.5）的剖面上粘滞系数随深度的变化（图 3.61）和东经 105°、北纬 30° 处的粘滞系数随深度的分布（图 3.62）。

模型所给出的川滇地区壳幔粘滞系数估值，已经应用于川滇地区运动学模型分析、川滇地区断层应力演化计算以及动力学模型构建等工作。

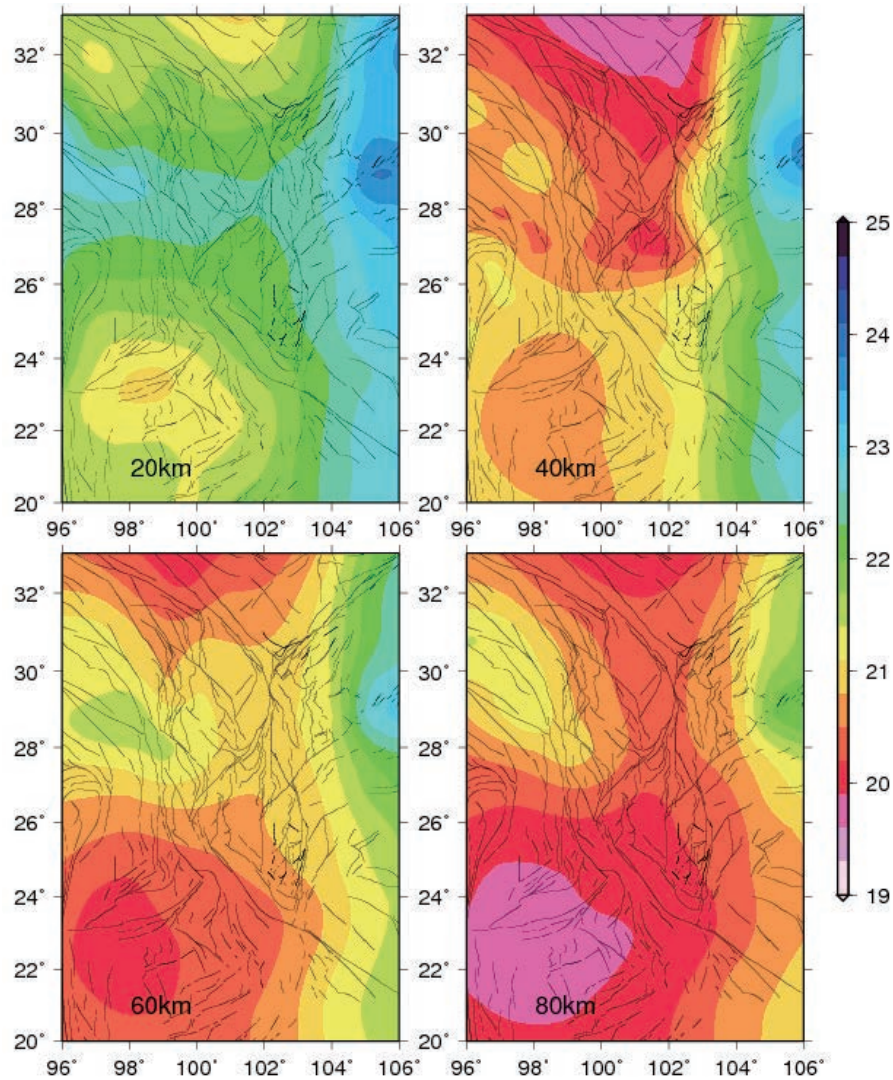


图 3.60 川滇地区不同深度粘滞系数分布（20km，40km，60km，80km）

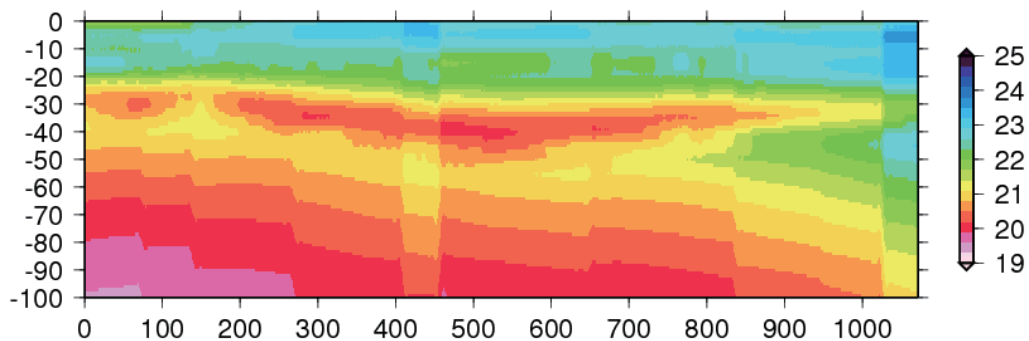


图 3.61 川滇地区剖面粘滞结构（lon1: 96.5, lat1: 24.5, lon2: 105, lat2: 30.5）

5. 模型验证情况

流变模型精度与所用温度场、应变率、地壳厚度等多种数据有关，目前获得的川滇流变模型为参考现有数据的初级版本，结果精度和分辨率与输入数据密度和质量相关，观测密集的区域精度较高，缺乏观测的区域（例如模型西南）精度较差。

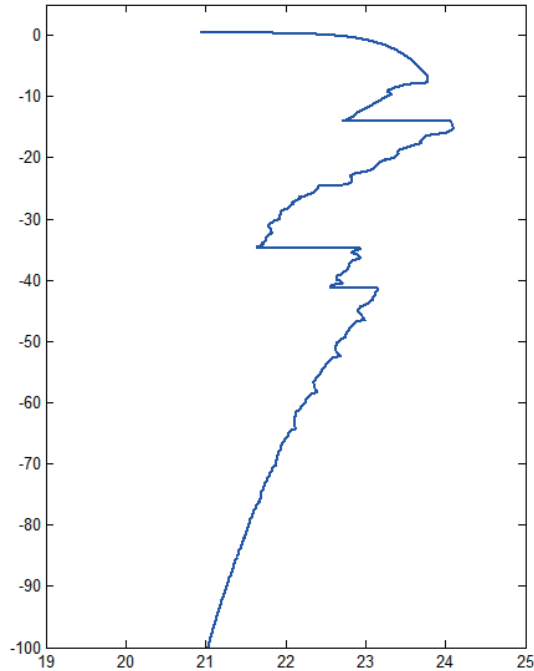


图 3.62 东经 105°、北纬 30° 处的粘滞系数随深度的变化



邵志刚

1977 年生人，博士，中国地震局地震预测研究所研究员，地球动力学与地震系统科学研究室主任

个人信息

研究领域

地球动力学与地震活动性

工作经历

2007 年 7 月至今，中国地震局地震预测研究所，历任助理研究员、副研究员、研究员

联系方式

电话：010-88015694

E-mail：shaozg@seis.ac.cn

◆ 实验场科技产品——公共模型（之四）形变模型*

地震孕育时间尺度可达数百年甚至上千年，无法为地震仪器观测到，但孕震过程中断层缓慢积累弹性应变，并造成地表变形，反过来，以震间地表形变为约束就可以研究孕震过程中断层的闭锁状态和能量积累速率。因此，以大地测量资料为基础的形变模型是进行地震孕育机理研究和地震预测的重要手段。

形变模型是地震科学实验场的基础模型之一，能够为其他地震科学问题研究提供必要的支撑。在地震科学实验场 15 个主要科学问题中，与形变模型强相关的有 6 个，主要表现在：

- 1) 为研究实验场中主要活动断裂应力应变累积过程、地震引起的库仑应力变化提供必要的变形数据约束（科学问题 2、9）；
- 2) 为断层结构模型、块体划分、断层分段和级联破裂提供形变依据（科学问题 3、4、6）；
- 3) 为地震预测模型提供必需的输入数据（科学问题 11）。

1. 模型指标和研制思路

实验场形变模型提供地震科学实验场区域高精度的大地测量观测速度场，精度达到 1mm/yr；提供地震科学实验场区域速度场模型，精度达到 1-2mm/yr；提供地震科学实验场区域应变率场模型，精度达到 $5 \times 10^{-9} \text{yr}^{-1}$ 。

模型研制主要包括大地测量数据的收集与处理、GPS 速度场解算、速度场模型建立、应变率场模型建立、结果验证等过程，其技术路线流程图如图 3.63 所示。

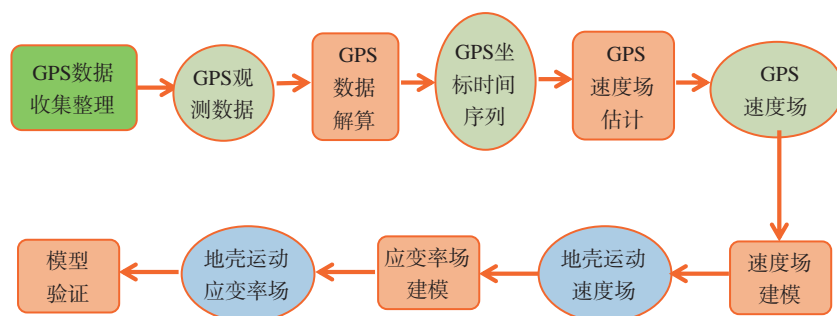


图 3.63 形变模型技术路线图

2. 数据来源

(1) GPS 数据来源（合计 517 个测站）

1) “中国地壳运动观测网络”和“中国大陆构造环境监测网络”（简称“陆态网络”一期/二期）1998-2018 年间观测的 350 个区域站和 53 个连续站，其中部分区域站包括“中国综合地球物理场观测”专项于 2010、2012、2014 和 2016 年复测的数据；

2) 973 项目“活动地块边界带动力过程与强震预测”布设的 30 个测站，这些测站受 973 项目资助观测时间为 2005-2007 年，并于 2015 和 2017 年受国家自然科学基金项目“鲜水河断裂震间形变时空分布特征及地震危险性分析”资助进行了两期复测；

3) 中国地震局地震预测研究所布设的龙门山连续观测网络，合计 14 个站，采用数据的观测时间约为 2008-2018 年；

4) 中国地震局地震预测研究所在鲜水河断裂布设的 4 个跨断层连续观测站，观测时间为 2013-2018 年；

5) Kreemer 等人于 2014 年在 G-cubed 杂志发表的论文中提供的 66 个 GPS 测站速度场（Kreemer et al., 2014）。

* 来自广东工业大学王华教授的研究成果。数据格式：.dat;.grd;.DS_Store 等。

最终采用的 GPS 区域站至少观测 3 期, 连续站至少观测 2 年, 均按照中国地壳运动观测网络的相关技术标准进行观测, 所有原始观测数据均能满足地壳运动研究需求。

3. 关键技术方法

(1) GPS 速度场解算方法

使用武汉大学研发的 PANDA 软件 (Shi et al., 2015) 和精密单点定位模式, 对上述 GPS 原始观测资料进行统一的高精度数据处理, 获得了 IGS08 参考框架下的单日解坐标时间序列。由于中国地震科学实验场及周边地区地震频发, 在速度场计算中, 考虑周边 2004/2012 年苏门答腊地震、2001 年可可西里地震、2008 年汶川地震、2011 年日本地震、2015 年尼泊尔地震等大震以及实验场区所有 $M_w 5.5$ 级以上地震的影响。地震目录来源于 GCMT 数据库, 地震影响的初始范围采用 Herring et al. (2016) 提供的经验公式。

在处理中, 根据地震发生的时间分别计算震前和震后的速度。若震前、震后速度相差小于 2mm/yr , 则采用所有时段的坐标序列估计同震偏移和震间速度; 若震前震后速度差异大于 2mm/yr , 则直接采用震前速度。由于部分测站只有震后观测, 难于判断震后影响的大小, 对于这些测站直接采用震后速度, 并给予标记。对于区域站, 采用线性模型估计速度和同震变形; 对于连续站, 同时估计线性速度、同震变形和年周期及半年周期的季节性形变。在所有解算中, 均采用自适应的稳健估计方法探测观测值的粗差, 并进行速度和同震变形模型的检验。最后采用欧拉矢量将所有 GPS 速度转换到欧亚参考框架。

Kreemer et al. (2014) 对全球范围内可以获得的 GPS 原始观测资料进行统一数据处理, 同时融合了 233 项研究工作的 GPS 测站速度, 形成了一个较全面的全球 GPS 速度场。为了丰富中国地震科学实验场的 GPS 资料, 利用“陆态网络”与 Kreemer 等人发布的公共站点计算欧拉矢量, 然后利用该欧拉矢量将 Kreemer 等人发布的速度场转换到模型采用的参考框架下, 从而形成统一参考框架的速度场。

(2) 速度场和应变率场模型计算方法

将实验场区域划分为精细的三角形网格 (网格大小约为 15-30 公里), 通过球面函数建立网格节点速度与三角形内观测点速度的函数模型, 依据最小二乘法则反演节点的速度。通过解算得到的网格节点的速度值, 代入球面函数模型中能够获得研究区域任一点的速度值, 从而建立起空间连续分布的速度场。在速度场的基础上, 采用 Savage et al. (2001) 球面应变率计算方法, 建立实验场区域的应变率场模型。详细方法介绍见 Wang and Wright (2012)。

4. 模型研制成果

(1) GPS 速度场

目前共获得了中国地震科学实验场 517 个测站的 GPS 速度场, 如图 3.64 所示, 具体数据见附件。

(2) 形变模型

依据上述 GPS 观测速度, 计算得到实验场区域的速度场模型 (图 3.65A-3.65B) 和应变率模型 (图 3.65C), 具体数据见附件。

5. 模型验证情况

在 Zheng et al. (2017) 基础上, 一方面增加了 973、龙门山、鲜水河等项目的站点, 提高了测站密度; 另一方面, “陆态网络” 站点新增了 2017 和 2018 年观测, 部分站点增加了 “中国综合地球物理场观测” 专项于 2010、2012、2014、2016 的观测, 提高了观测结果的精度和可靠性 (图 3.66)。站点的观测期数如图 2B 所示。为了保证结果的可靠性, 最终的 GPS 速度场中所有站点至少观测 3 期。比较发现, Zheng et al. (2017) 有 38 个站点与本结果差异达到 3mm/yr 以上, 这些站点的可靠性得到显著改善。最终结果中, 连续站的中误差约为 0.4mm/yr , 流动站的中误差约为 1mm/yr 。

在建立速度场模型中, 格网节点的东向和北向速度中误差均为 1.4mm/yr , 应变率场的中误差平均值为, 约为应变率平均值的 15%。速度场和应变率场模型的精度如图 3.67 所示。GPS 东向和北向速度残差 (RMS) 分别为 1.7mm/yr 和 1.0mm/yr 。

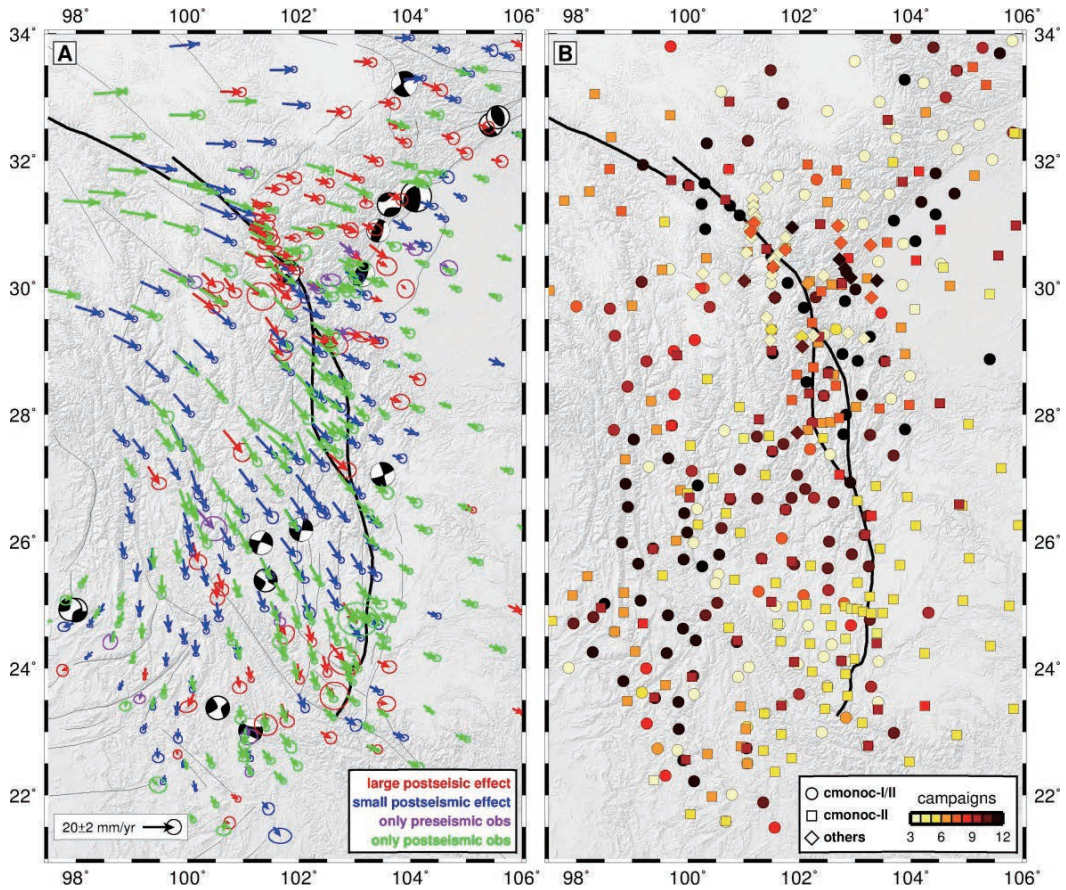


图 3.64 (A) GPS 速度场及其受地震影响的程度。其中红色箭头表示震前与震后速度差异较大，采用震前速度；蓝色箭头表示震前与震后速度差异较小，采用所有数据估计的速度；绿色箭头表示只有震后观测；紫色箭头表示只有震前观测 (B) GPS 速度场观测值的期数 (区域站) 或年数 (连续站)

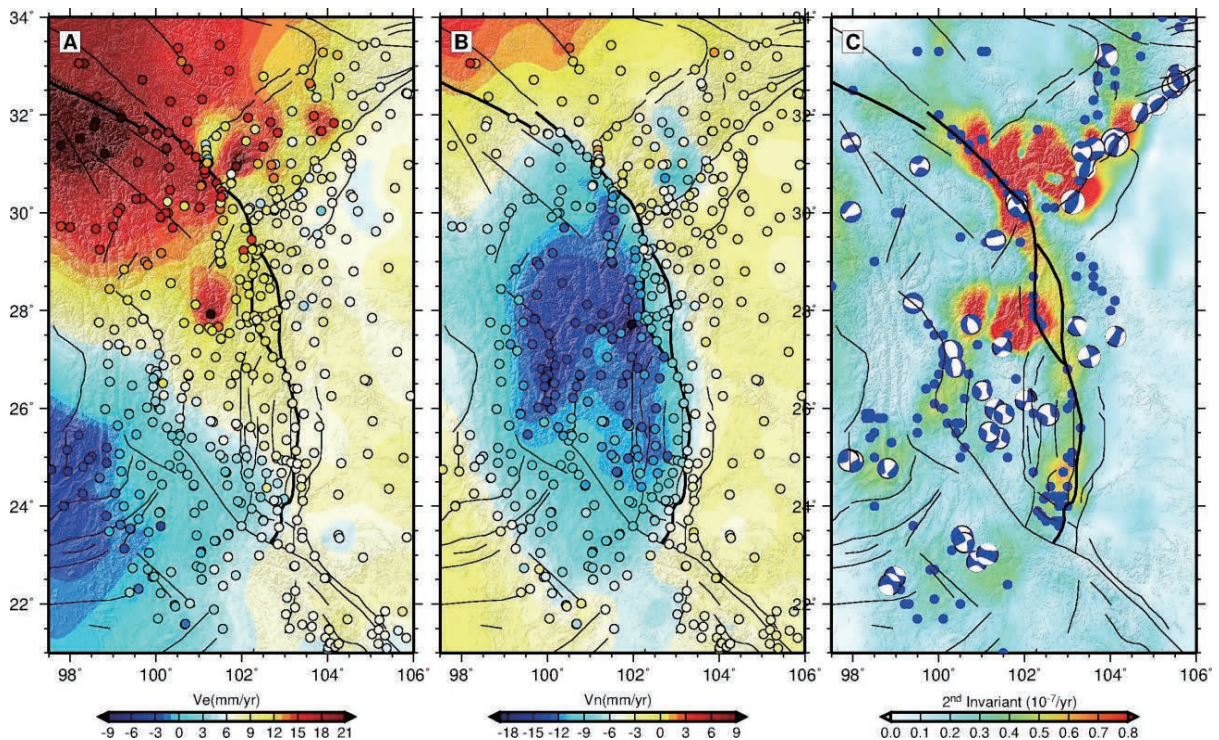


图 3.65 (A-B) 速度场模型的东向和北向分量，其中圆圈里的颜色代表 GPS 观测速度的相应分量值。(C) 应变率张量的第二不变量，其中蓝点为历史地震

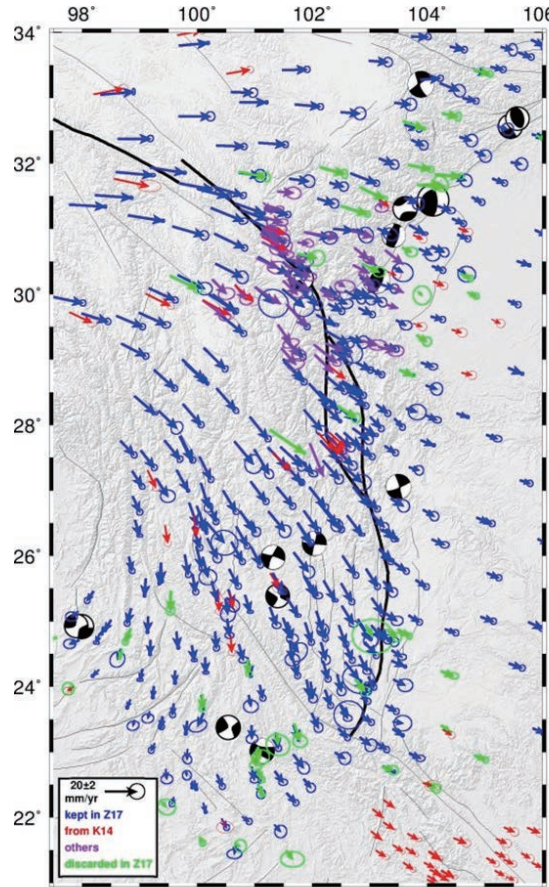


图 3.66 GPS 速度场与 Zheng et al. (2017) 的比较

其中蓝色箭头表示 Zheng et al. (2017) 采用的“陆态网络”点，绿色箭头表示该论文中删除的“陆态网络”点，红色箭头表示 Kreemer et al. (2014) 发布的点，紫色箭头表示其他项目观测的点

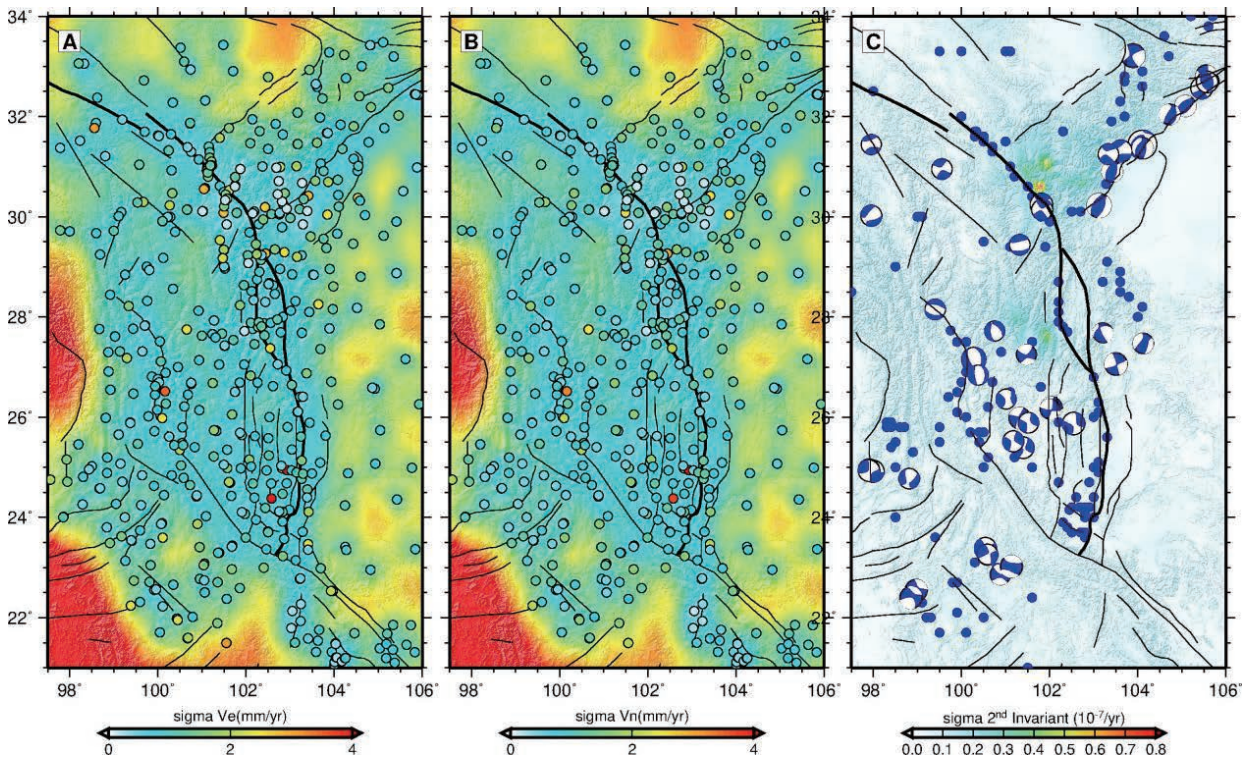


图 3.67 (A-B) 速度场模型的东向和北向分量中误差，其中圆圈里的颜色代表 GPS 观测速度的相应分量的中误差。(C) 应变率张量的第二不变量的中误差

为了进一步验证速度场模型的精度，从观测值中随机抽取 50 个测站作为交叉检验，而用剩余的测站建立速度场模型。结果显示，这 50 个测站的东向和北向速度观测值与模型预测值之差分别为 $-0.3 \pm 1.8\text{mm/yr}$ 和 $0.2 \pm 1.0\text{mm/yr}$ (图 3.68)。

研究团队 2017 年在 JGR 杂志上发表的 GPS 速度场 (Zheng et al., 2017) 两年共被论文引用 37 次。

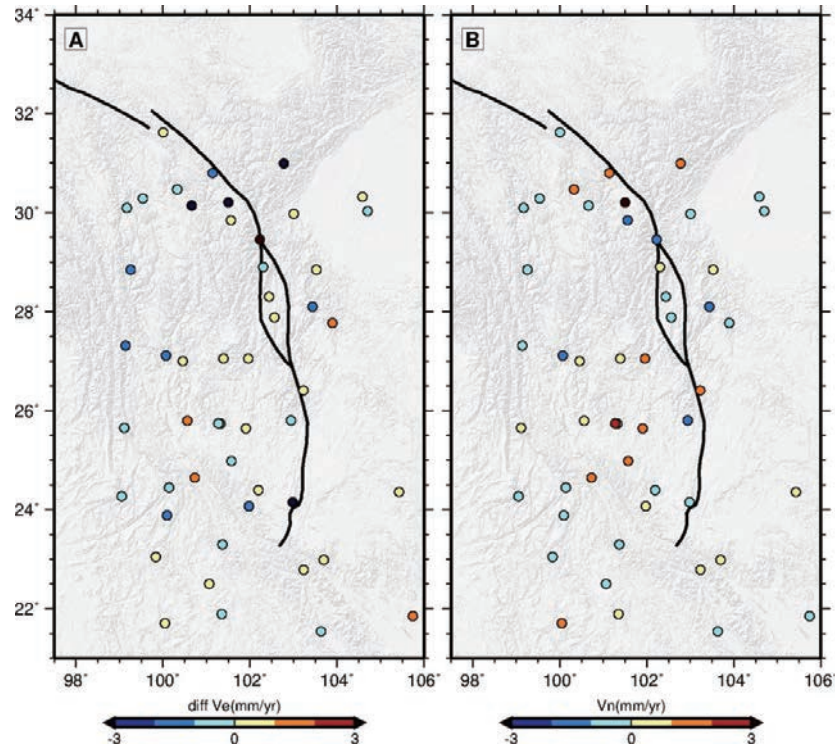


图 3.68 随机抽取的 50 个测站空间分布及其 (A) 东向和 (B) 北向速度预测残差



王 华

1978 年生人，博士，广东工业大学教授

个人信息

研究方向

空间大地测量 (InSAR/GNSS) 理论及其应用、大陆变形与地震周期等

工作经历

2007 年 7 月至今，广东工业大学测绘工程系，历任讲师、副教授、教授

联系方式

Email : ehwang@163.com

◆实验场科技产品——预测模型（之一）30 年尺度强地面运动概率预测模型*

川滇地区人口众多、地震活跃，是我国地震灾害最为严重的地区之一，合理的地震灾害评估对川滇地区的防震减灾具有重要意义。Cornell（1968）提出的概率地震危险性分析（Probabilistic Seismic Hazard Analysis）可以给出某地区在一定时间范围内地表震动超过给定阈值的概率，是量化地震危险性的有效手段，在建筑规划、抗震设防、安全教育等方面有着广泛的应用。

概率地震危险性分析所需要的数据是对研究区平均地震活动水平的估计（Cornell, 1968），即研究区地震长期发生概率。早期获得的地震长期发生率主要依靠单一学科资料，以对地震目录的分析为主。

Ward（1994）通过综合当时加州地区地震地质、大地测量和测震学等资料，对加州地区进行了震源区划分，综合各学科资料计算了南加州各震源区 M_w5 以上地震的长期发生率，并计算了其在未来 30 年中可能产生的峰值地表加速度，通过绘制各类峰值地表加速度概率分布图为南加州地区地震危险性提供了量化结果。随着各类观测资料的丰富，美国南加州地震中心（SCEC）建立了统一加州地震破裂预测模型（Uniform California Earthquake Rupture Forecast, UCERF），综合了加州地区大量地震地质、大地测量、古地震资料，基于弹性回跳理论建立，目前已更新到第三版（UCERF3）。

借鉴综合地震概率预测方法，通过对中国地震科学实验场所在的川滇地区地震地质、大地测量和测震学等资料的分析，发现尽管其数量和质量与开展 UCERF3 方法研究的要求还有一定距离，但已达到或超过 Ward（1994）研究中使用资料的水平。因此，在收集川滇地区现有各学科资料的基础上，参考 Ward（1994）的方法，计算了川滇菱形块体及周边地区未来 30 年的地震概率，并给出未来川滇菱形块体及周边地区地震引起峰值地表加速度的概率分布（图 3.69）。

1. 模型指标和研制思路

Ward（1994）的工作可以分为两部分，涉及地震地质、大地测量和测震学三方面资料，首先根据上述资料计算研究区各震源区地震长期发生率，然后根据地震长期发生率给出预测时段的发震概率，最后计算峰值地表加速度分布以获得量化的地震灾害结果（图 3.70）。其中计算研究区长期地震发生率包含四个步骤：（1）根据地震活动特征和主要断层分布将研究区分为主要震源区和次要震源区；（2）根据断层滑动速率和大地测量结果计算各震源区年均地震矩累积量；（3）根据地震目录计算各震源区地震活动参数，获得各震源区的震级频度分布；（4）根据年均地震矩累积量和震级频度分布计算各震源区地震长期发生率。计算峰值地表加速度分布分为两个步骤：（1）在研究区设置潜在震源，由震源区地震长期发生率给出潜在震源在预测时段内的发震概率；（2）计算潜在震源引起峰值地表加速度的分布。

2. 数据来源

通过公开发表的文章收集了川滇地区地震地质、大地测量和测震学等资料。

* 来自中国地震局地震预测王芄副研究员承担的实验场项目《实验场综合概率预测模型的初步模型构建》。数据格式：.txt 等。

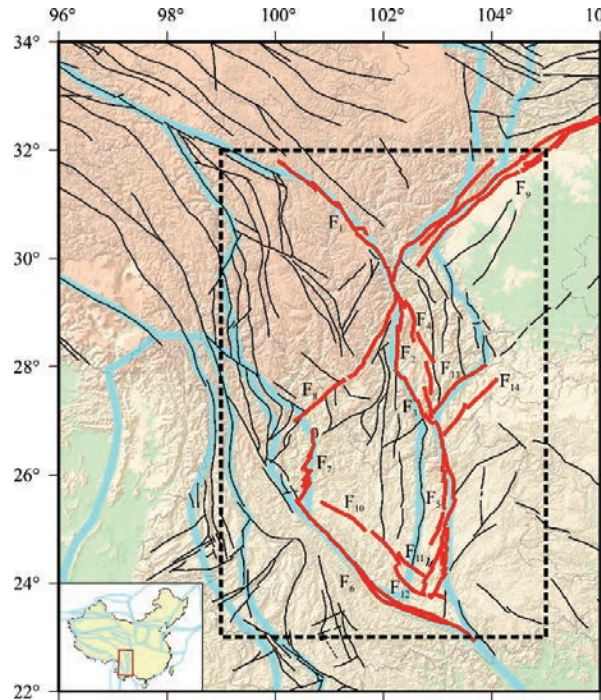


图 3.69 研究区范围与主要活动构造

虚线框为研究区域；浅蓝色线为活动块体边界；黑色线为川滇地区活动断层；红色线为研究涉及的主要活动断层：F1, 鲜水河断裂带；F2, 安宁河断裂带；F3, 则木河断裂带；F4, 大凉山断裂带；F5, 小江断裂带；F6, 红河断裂带；F7, 程海断裂；F8, 小金河断裂带；F9, 龙门山断裂带；F10, 楚雄断裂带；F11, 曲江断裂；F12, 石屏断裂；F13, 莲峰断裂带；F14, 昭通断裂带

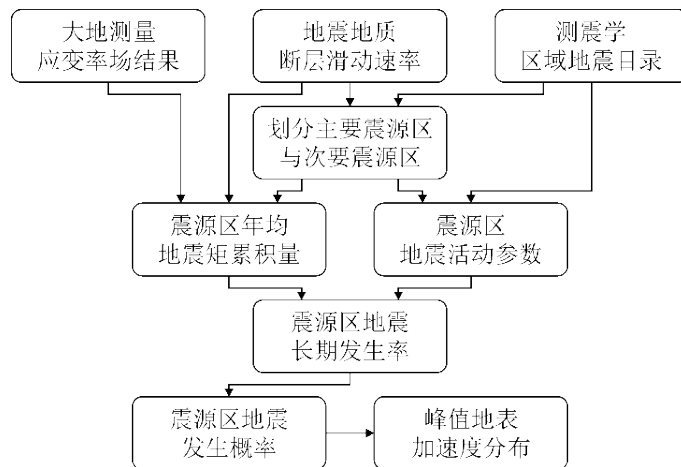


图 3.70 基于多学科物理观测的地震概率预测流程

3. 关键技术方法

(1) 主要震源区与次要震源区划分

现代概率地震危险性分析一般可通过编写程序进行计算，需要将研究区划分为不同的震源区，震源区由多边形表示，代表在构造和地震活动水平上较为相近的区域 (Meletti et al., 2008)。前人研究表明，活动地块边界是我国强震发生的主要区域，研究区包含了川滇菱形块体等四个二级地块，其中一些地块又可以进一步划分出次级地块 (张培震等, 2003; 徐锡伟等, 2003)，这些块体由研究区的主要断层分隔，包括鲜水河断裂带、安宁河断裂带、则木河断裂带、小江断裂带、红河断裂带、楚雄断裂带、龙门山断裂带和小金河断裂带等，这些断裂带具有地震地质研究获得的滑动速率结果，且 1900 年以来 5 级以上地震震中在上述区域较为集中 (图 3.71A, B)。根据 Ward (1994) 划分震源区的原则，即将研究区中主要断层所在的地震活跃部分作为主要震源区，剩余地震活动较弱的部分作为次要震源区；最终将研究区划分为 26 个主要震源区和 31 个次要震源区，结果如图 3.71C 所示。

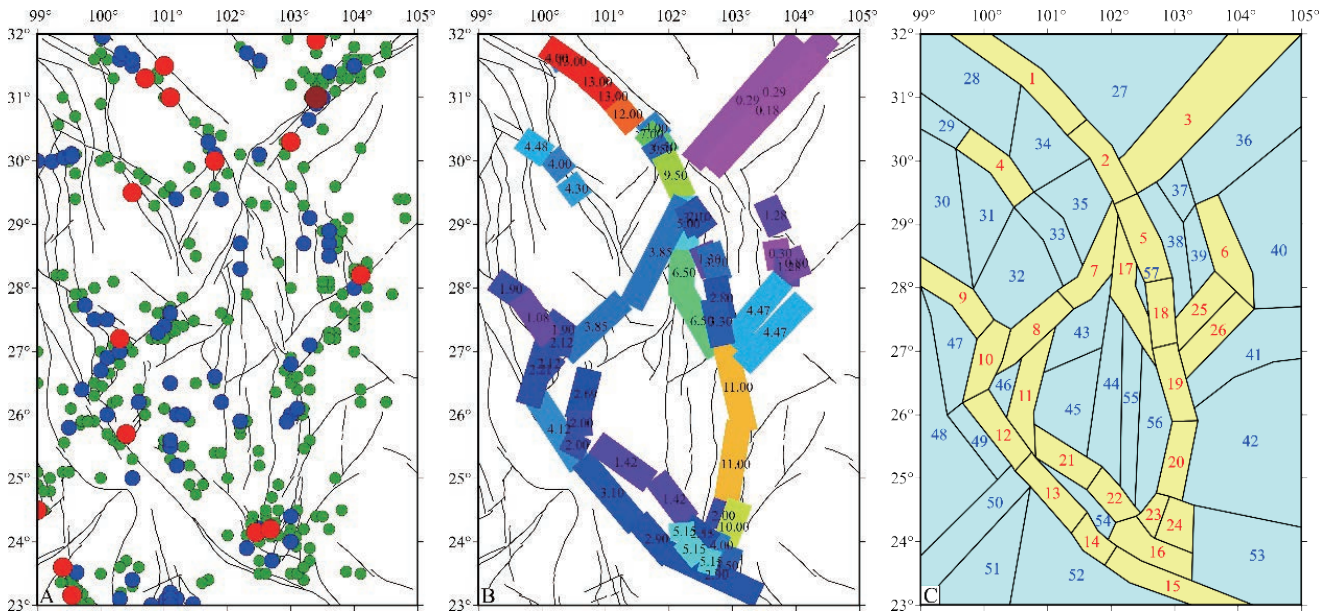


图 3.71 研究区主要震源区和次要震源区划分

(A) 研究区断层及 1900 年以来 5.0 级以上地震震中分布 ; (B) 前人研究获得的断层运动速率 (mm/yr) (据徐锡伟等, 2003; Papadimitriou et al. 2004; 何宏林等, 2008; 韩竹军等, 2009; 闻学泽等, 2011; 魏占玉等, 2012) ; (C) 划分结果 (黄色为主要震源区, 蓝色为次要震源区, 数字为震源区序号)

主要震源区和次要震源区划分可对研究区不同部分的地震活动性作出定性估计, 然而为了计算各震源区地震长期发生率, 还需要对各震源区的地震活动性进行定量研究, 这主要涉及到两部分内容, 一部分是某一震源区年均应变累积量, 代表了该震源区平均每年地震释放的能量, 另一部分是这些能量的分配方式, 即某一区域的最大震级和震级 - 频度分布。由于主要震源区和次要震源区的地震活动性不同, 因此针对这两部分内容的计算也有所区别。

(2) 利用断层运动速率和区域应变率计算震源区年均地震矩累积量

弹性回跳理论认为, 地震是构造运动积累能量的突然释放, Aki (1966) 提出了地震矩的概念来表示地震的大小。在较长时间尺度中, 可以认为某一地区地震矩的年均释放量与年均累积量相等, 因此计算某一地区年均地震矩累积量可对其每年发生地震的总规模进行限制。

根据 Kostrov 公式 (Kostrov, 1974), 某区域的年均地震矩累积量 \dot{M}_s 与区域应变率 $\dot{\epsilon}$ 的关系如下:

$$\dot{M}_s = 2\mu AH_s \dot{\epsilon} \quad (1)$$

其中 μ 为刚度 ($3 \times 10^{10} \text{N/m}^2$), A 为区域面积, H_s 为发震层厚度, 计算时认为研究区各震源区的发震层厚度相同。由于观测资料的限制, 对研究区整体地震长期活动水平影响较大的地质应变率难以获得, 可假设地质应变率和大地测量资料可给出某一时段的区域应变率的均值相同 (Ward, 1994); 通过研究区地震目录计算研究区年均地震矩释放量, 再结合研究区面积求出研究区的发震层厚度 H_s , 即可据此计算各震源区的年均地震矩累积量。

次要震源区由于断层不发育或缺乏地质学方法确定的断层滑动速率信息, 需要通过大地测量资料求解其应变率, 进而获得年均地震矩累积量。在瞬时应变率与地质应变率均值相同的前提下, 可以对次要震源区的应变率做如下两方面限制: 一方面, 所有主要震源区与次要震源区应变率之和代表了研究区地质应变率的均值, 应与大地测量资料获得的瞬时应变率均值相等, 并尽可能选择较长观测周期的均值; 另一方面, 次要震源区的地质应变率应与大地测量资料给出的研究区应变率场一致 (图 3.72)。根据上述限制条件建立方程, 求出最优解作为次要震源区的应变率, 进而获得次要震源区的年均地震矩累积量。

(3) 震源区地震活动参数和震级频度分布

震源区年均应变累积量确定了震源区每年发生地震的规模, 但为了获得不同震级地震所占的比例, 还需要计算各震源区的震级 - 频度分布。参考 Ward (1994) 的方法, 使用截断的古登堡 - 里克特关系来表示震级 - 频度分布, 即假设某震源区每年 M 级 ($M \leq M_{\max}$, M_{\max} 为震源区最大震级) 地震的频次为 N , 则 N 与 M 遵循如下规律:

$$\log N = a + bM, M \leq M_{\max} \quad (2)$$

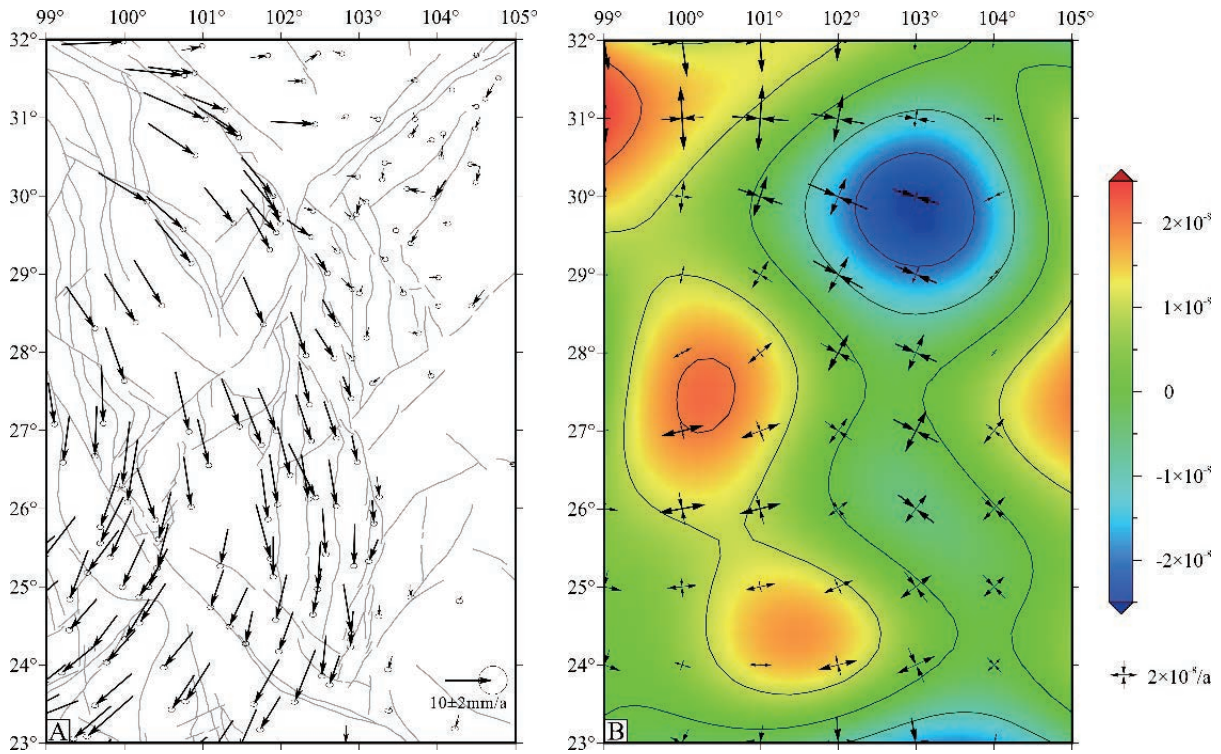


图 3.72 1999-2007 年川滇菱形块体及周边地区 GPS 形变场

(A) GPS 速度场 ; (B) GPS 主应变率和面应变率分布

Fig. 4 GPS deformation field in Sichuan-Yunnan diamond zone from 1997 to 2007

(A) GPS velocity field; (B) Distribution of main strain rate and area strain rate

由于震源区年均地震矩累积量限制了震源区地震总规模，因此某震源区中 a 、 b 、 M_{\max} 和震源区年均地震矩累积量 \dot{M}_s 有如下关系：

$$10a = \frac{\ln 10^{(1.5+b)} \dot{M}_s}{10^{(1.5+b)} M_{\max} + 9.05} \quad (3)$$

因此，通过确定震源区 b 和 M_{\max} 的值，即可获得震源区的震级 - 频度分布，由于主要震源区和次要震源区的地震活动水平不同，因此其确定方法也不同。确定 b 值的区别主要在于所使用的地震目录，主要震源区地震频发，可以直接根据震源区内地震目录计算 b 值；次要震源区内地震稀少，认为其更接近研究区的背景地震活动，因此使用区域目录计算。前人研究表明，研究区内 1900 年以来的 5 级以上地震是完整的（黄玮琼等，1994），从中国地震台网目录中选择研究区 1900 年以来的 5 级以上地震，分别统计不同震级的频次，通过线性拟合（2）式，获得 b 值。确定 M_{\max} 的区别在于使用了不同方法，主要震源区包含了研究区的主要断层，学者对其发震能力也有较多的研究，因此主要震源区的最大震级可通过查阅相关文献确定；次要震源区内部无断层或断层研究程度较低，通过经验公式确定其最大震级（Peterson and Wesnousky, 1993），计算公式为：

$$M_{\max} = \frac{2}{3} (16.997 - 9.05 + 1.5648 \log L_{\max}) \quad (4)$$

其中 L_{\max} 为次要震源区最大线性维度，即其内部可容纳最长线段的长度。

(4) 震源区地震平均发震间隔

在研究区积累的地震矩均通过地震形式释放和由地震目录获得的震级频度分布在未来一段时间内不发生明显变化的前提下，根据上述方法获得的震源区年均地震矩累积量、 b 值和最大震级即可计算其不同震级地震的复发周期，对于第 j 震源区，其 M 级 ($M \leq M_{\max}^j$) 以上地震的复发周期为：

$$T_{>}^j(M) = \left[\frac{b_j}{1.5+b_j} \right] \frac{10^{(1.5+b_j)} M_{\max}^j + 9.05}{M_s^j [10^{b_j M_{\max}^j} - 10^{b_j M}]} \quad (5)$$

其中、和分别为第 j 震源区的年均应变累积量、 b 值和最大震级， $T_{>}^j(M)$ 的倒数即为 j 震源区 M 级 ($M \leq M_{max}^j$) 以上地震的年均频次。

(5) 潜在震源的发震概率

观测点的峰值地表加速度与震级和震中距离均有关系，为更好的表示距离的影响，在研究区等间距分布潜在震源，对于某一潜在震源，其震级频度分布与所在震源区相同，该震源区的年均地震矩累积量在震源区内所有震源中平均分配，因此，潜在震源地震平均发生率为其所在震源区相应震级地震平均发生率与震源区内潜在震源数量之比。

对于某一潜在震源来说，其在预测时段内发生 M 级地震的概率为 P_c 为：

$$P_c(M, t_1, t_2) = \frac{W(T_n, v, t_2) - W(T_n, v, t_1)}{1 - W(T_n, v, t_1)} \quad (6)$$

其中 W 为韦布尔累积概率， t_1 和 t_2 分别为预测时段开始时刻与结束时刻据上次 M 级地震的时间， T_n 为 M 级地震的平静复发周期， v 代表了非周期性，即复发周期的离散程度：当 $v=0$ 时，地震的发生具有严格的周期性，所有地震间隔相同；当 v 在 0 和 1 之间时，地震发生率随上次地震离逝时间的增加而增大，地震发生具有准周期性，表现为地震平静时段；当 $v=1$ 时，地震发生率与上次地震离逝时间无关，各时间段地震发生率相同，地震呈现泊松分布的特征；当 $v>1$ 时，地震发生率随上次地震离逝时间的增加而减小，地震具有丛集分布的特征。

(6) 峰值地表加速度计算

前人研究表明 (Joyner and Boore, 1981)，震级为 M 的地震在最近断层距离 D_c 处引起的峰值地表加速度 A_p 呈期望为 $A_p(M, D_c)$ ，标准差为 0.22 的正态分布。 A_p 由 M 与 D_c 共同决定：

$$\log[A_p(M, D_c)] = 0.249M - \log\left(\sqrt{D_c^2 + 53.3}\right) - 0.00225\sqrt{D_c^2 + 53.3} - 1.02 \quad (7)$$

其中 A_p 以重力加速度 g ($9.8m/s^2$) 的倍数表示。

由于峰值地表加速度呈正态分布，因此较小地震也有引起较大峰值地表加速度的可能，在 t_1 到 t_2 时间内，观测点 r 处峰值地表加速度超过 A_p 的概率与研究区内全部 N 个潜在震源的发震概率有关：

$$P(r, A_p, t_1, t_2) = 1 - \prod_{n=1}^N [1 - P_c(D_n, A_p, t_1, t_2)] \quad (8)$$

其中 P_c 为第 n 个潜在震源在 t_1 到 t_2 时间内发生可在观测点 r 处产生超过 A_p 的峰值地表加速度的地震的概率，根据 A_p 和 D_c 计算出相应震级 M 后使用式 (6) 计算。

4. 模型研制成果

通过收集川滇地区地震目录、地震地质研究结果 (虢顺民等, 2001; 徐锡伟等, 2003; Papadimitriou et al., 2004; 何宏林等, 2008; 闻学泽等, 2011, 2013; M7 专项工作组, 2012; Wang et al., 2015) 和区域应变率场结果 (江在森, 2012)，对研究区进行了主要震源区和次要震源区的划分 (图 3.72C)，并给出了各震源区的年均地震矩累积量、最大震级和 b 值等参数，根据公式 (5) 计算了各震源区不同震级地震的复发周期，结果见表 3.3。

表 3.3 川滇菱形块体及周边各震源区的相关参数

震源区 序号	面积 (km^2)	最大长度 (km)	滑动速率 (mm/yr)	应变率 ($10^{-8}/yr$)	年均地震矩 ($10^{15}Nm$)	b 值	最大 震级	M 级以上地震复发周期 (年)			
								6.0	6.5	7.0	7.5
1	9759	261	13.00	16.25	2569	0.42	7.75	48.94	56.92	77.41	185.93
2	5970	152	9.00	11.25	1088.00	0.45	7.57	67.06	80.42	120.83	770.44
3	25989	380	0.25	0.31	132.00	0.89	7.99	3113.10	3213.10	3527.38	4840.62
4	5990	153	4.30	5.38	522.00	0.55	7.58	156.30	181.42	260.02	1404.94
5	7019	153	3.00	3.75	426.00	0.69	7.58	211.74	237.18	323.11	1629.85

续表

震源区 序号	面积 (km ²)	最大长度 (km)	滑动速率 (mm/yr)	应变率 (10 ⁻⁸ /yr)	年均地震矩 (10 ¹⁵ Nm)	b值	最大 震级	M级以上地震复发周期(年)			
								6.0	6.5	7.0	7.5
6	8172	193	1.00	1.25	165.00	0.65	7.68	736.55	817.25	1062.19	2876.94
7	6739	183	3.85	4.81	525.00	0.70	7.66	225.52	248.26	320.66	923.76
8	6067	172	3.85	4.81	473.00	0.71	7.63	228.50	252.29	330.32	1108.34
9	6207	162	1.50	1.88	189.00	0.51	7.60	447.93	523.20	750.11	3422.35
10	5413	143	2.10	2.63	230.00	0.72	8.00	1636.07	1720.55	1950.32	2805.08
11	6846	207	2.60	3.25	360.00	1.03	7.71	473.86	493.61	571.67	1186.37
12	5742	144	4.10	5.13	477.00	0.64	7.55	165.46	188.85	267.83	2095.56
13	5576	144	3.10	3.88	350.00	0.70	7.55	234.87	264.19	366.66	2783.97
14	3012	88	2.90	3.63	177.00	0.70	7.33	226.02	270.51	483.68	-
15	7830	267	2.90	3.63	460.00	1.20	7.83	606.13	618.01	670.17	1007.92
16	6602	161	4.80	6.00	642.00	0.66	7.60	146.63	164.88	224.20	953.50
17	6938	246	6.50	8.13	913.00	0.37	7.79	151.02	176.97	240.53	537.24
18	4728	116	3.20	4.00	306.00	0.70	7.50	227.49	258.87	374.50	-
19	5497	138	11.00	13.75	1207.00	0.70	7.60	80.39	89.49	119.87	499.09
20	5503	134	11.00	13.75	1217.00	0.33	7.60	59.36	73.72	114.06	570.74
21	5318	137	1.40	1.75	151.00	0.57	7.53	465.73	544.49	806.27	10485.21
22	3814	102	1.40	1.75	108.00	0.70	7.39	449.37	527.13	860.47	-
23	2006	70	2.00	2.50	81.00	0.81	7.60	1285.07	1398.79	1807.55	7137.85
24	4089	97	10.00	12.50	828.00	0.56	7.60	105.83	121.97	171.73	765.42
25	5390	140	4.47	5.59	488.00	1.34	7.54	223.32	230.75	273.11	1909.23
26	6118	162	4.47	5.59	554.00	0.82	7.60	188.82	205.44	265.27	1046.29
27	37694	416	-	3.95	2415.00	0.69	8.03	169.72	178.57	202.02	285.40
28	19655	246	-	4.73	1505.00	0.69	7.79	121.14	130.85	159.24	307.81
29	3841	107	-	3.44	214.00	0.69	7.42	249.66	290.63	457.72	-
30	15423	266	-	1.20	299.00	0.69	7.83	697.58	749.56	898.47	1610.05
31	10574	221	-	1.39	238.00	0.69	7.74	648.16	705.12	876.46	1907.73
32	16283	190	-	2.34	618.00	0.69	7.68	204.14	224.21	286.97	760.58
33	6947	156	-	2.61	294.00	0.69	7.59	318.23	355.39	480.08	2187.32
34	11656	168	-	3.44	649.00	0.69	7.62	159.15	176.68	234.06	843.12
35	10328	167	-	3.31	553.00	0.69	7.62	186.83	207.42	274.78	989.79
36	24353	325	-	0.93	368.00	0.69	7.92	766.71	815.30	949.09	1494.76
37	3314	100	-	3.37	181.00	0.69	7.38	258.73	304.91	505.64	-
38	7657	215	-	3.56	441.00	0.69	7.73	338.07	368.33	459.93	1029.44
39	4176	145	-	2.60	176.00	0.69	7.55	465.63	524.41	729.17	5551.27
40	26519	296	-	1.01	434.00	0.69	7.88	568.32	607.00	715.33	1186.26
41	15053	246	-	2.57	626.00	0.69	7.79	291.39	314.74	383.03	740.39
42	42118	305	-	3.04	2075.00	0.69	7.89	123.05	131.28	154.22	252.27
43	7976	195	-	2.89	373.00	0.69	7.69	349.74	383.48	488.28	1245.32
44	11342	297	-	2.28	419.00	0.69	7.88	588.51	628.57	740.75	1228.41

续表

震源区 序号	面积 (km ²)	最大长度 (km)	滑动速率 (mm/yr)	应变率 (10 ⁻⁸ /yr)	年均地震矩 (10 ¹⁵ Nm)	b值	最大 震级	M级以上地震复发周期(年)			
								6.0	6.5	7.0	7.5
45	12478	172	-	3.37	681.00	0.69	7.63	156.96	173.92	228.99	774.49
46	2316	97	-	3.40	128.00	0.69	7.37	355.44	420.23	706.88	-
47	9127	206	-	1.65	244.00	0.69	7.71	572.21	625.38	788.35	1875.75
48	22483	420	-	2.37	864.00	0.69	8.03	474.36	499.11	564.65	797.66
49	4339	137	-	2.74	193.00	0.69	7.53	397.68	449.90	635.57	7754.84
50	12257	269	-	1.86	370.00	0.69	7.83	563.23	605.20	725.43	1299.97
51	14370	266	-	2.47	575.00	0.69	7.83	362.53	389.54	466.93	836.73
52	22609	336	-	2.87	1050.00	0.69	7.93	278.32	295.64	343.16	534.17
53	24353	244	-	1.42	562.00	0.69	7.79	324.52	350.53	426.58	824.56
54	3295	180	-	2.70	144.00	0.69	7.65	793.41	875.97	1139.81	3454.36
55	8094	300	-	2.36	310.00	0.69	7.88	796.22	850.42	1002.18	1661.96
56	9507	259	-	2.82	455.00	0.69	7.82	441.76	475.66	572.93	1046.92
57	724	84	-	3.48	41.00	0.69	7.31	914.77	1104.65	2052.25	-

以 10km 为间距，在研究区分布了 5963 个点状潜在震源，根据表 6.1 的参数，使用公式 (5) 计算了各潜在震源不同震级范围地震的年均频次，结果见图 3.73。以同样的间距设置了 5963 个观测点，在假设地震分别为泊松和非泊松分布情况下计算了 2018~2048 年间上述潜在震源在这些观测点引起峰值地表加速度的概率分布。图 3.74、3.75 给出了未来 30 年川滇地区泊松和非泊松分布地震引起峰值地表加速度的概率分布。

在未来 30 年中，川滇菱形块体内部大部分地区峰值地表加速度超过 0.10g 的概率在 50% 以上，主要边界断层的超越概率在 60% 以上，其中部分地区超过 80%；当目标为 0.15g 时，块体内部和主要边界带的超越概率以约 40% 为界，主要边界带上部分地区的超越概率可达 60% 以上；当目标为 0.20g 时，研究区大部分区域的超越概率在 40% 以下，只有主要边界带上部分地区可超过 40%，最大超越概率可达 70% 以上。由于只考虑研究区内地震

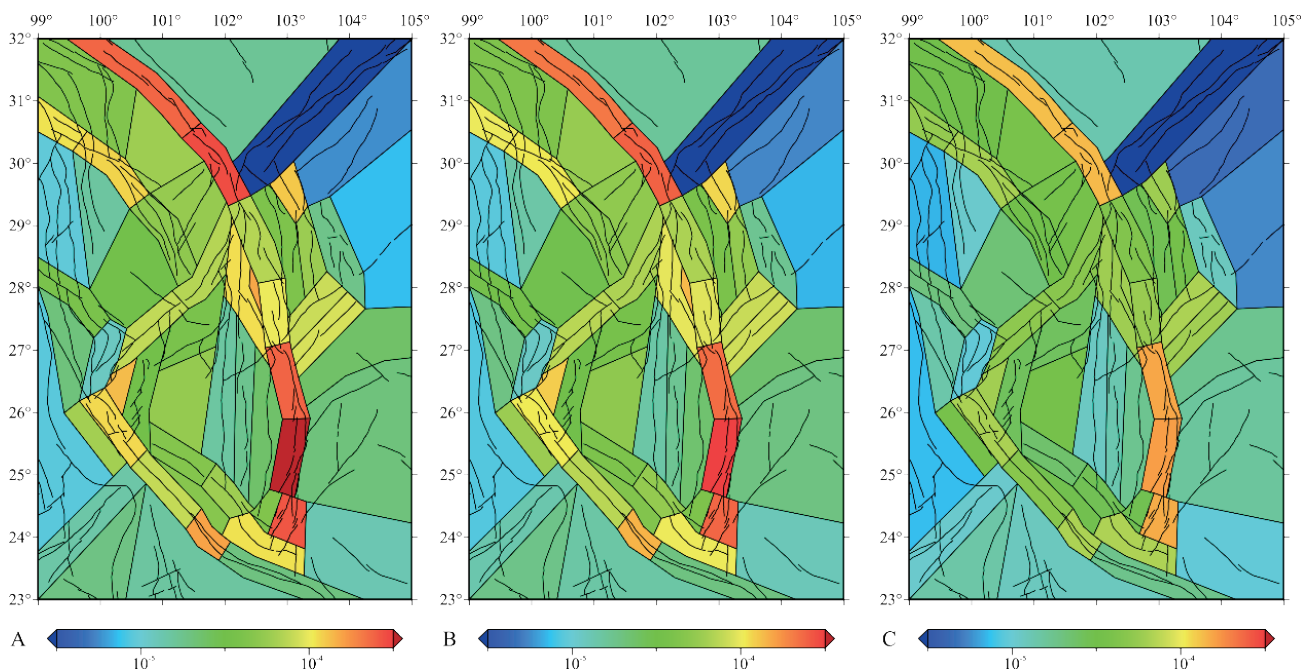


图 3.73 各震源区潜在震源地震年均频次
(A) 5.0 级以上地震；(B) 6.0 级以上地震；(C) 7.0 级以上地震

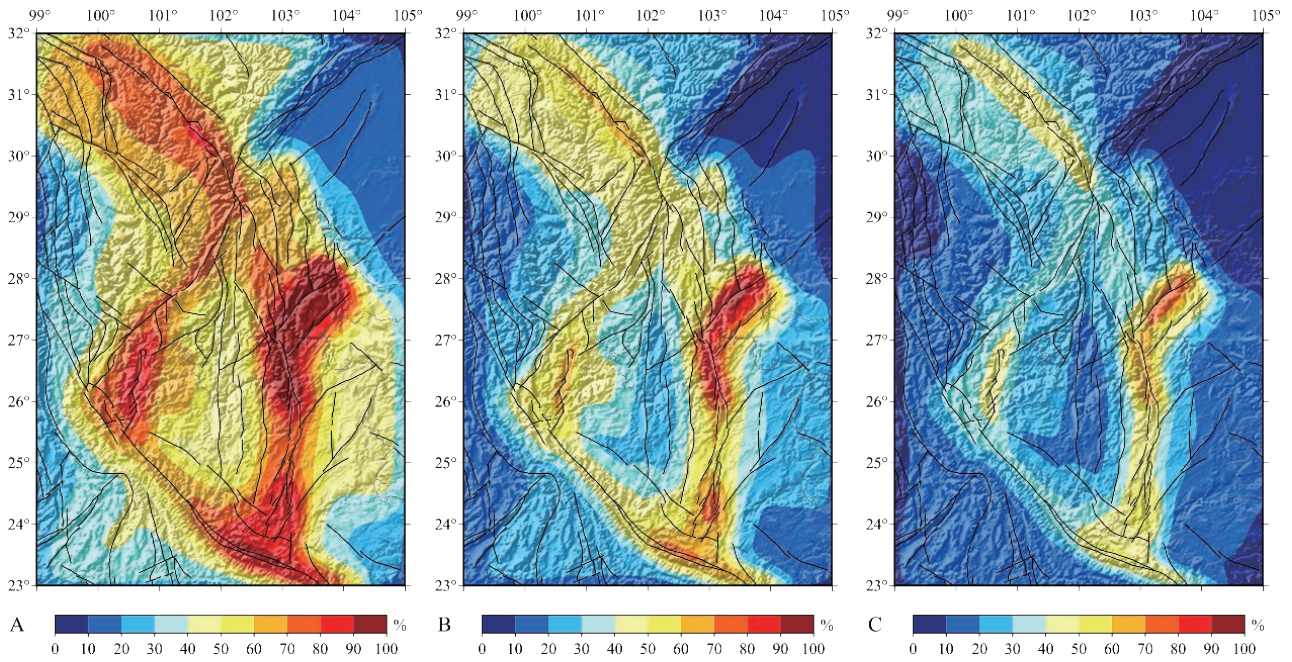


图 3.74 研究区未来 30 年峰值地表加速度超过不同阈值的概率（地震为泊松分布）

(A) 超过 0.10g ; (B) 超过 0.15g ; (C) 超过 0.20g

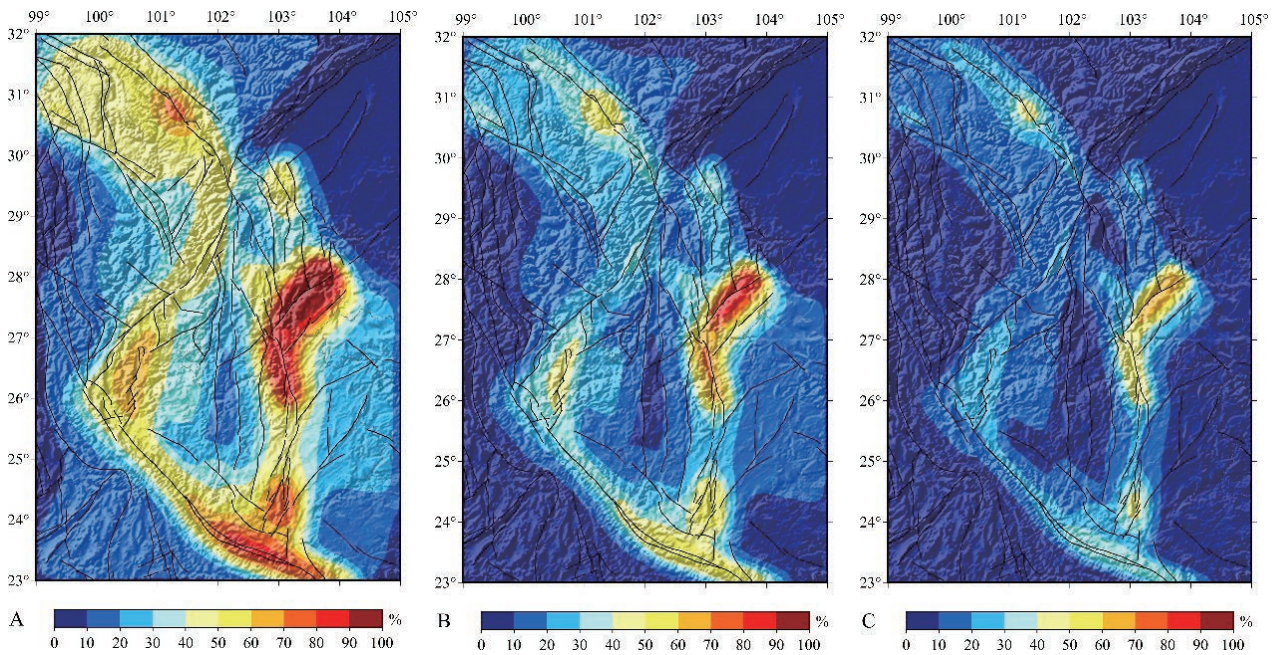


图 3.75 研究区未来 30 年峰值地表加速度超过不同阈值的概率（非泊松分布， $\nu=0.8$ ）

(A) 超过 0.10g ; (B) 超过 0.15g ; (C) 超过 0.20g

的影响，研究区边缘的峰值地表加速度可能被低估，但与其他边缘地区相比，四川盆地内部未来 30 年的峰值地表加速度更低，超过 0.10g 的概率不足 20%，而超越 0.15g 和 0.20g 的概率均在 10% 以下。随着目标峰值地表加速度的提高，高概率区域范围也逐渐清晰，主要包括：鲜水河断裂带、莲峰-昭通断裂带、小江断裂带北段、小江断裂带南段、红河断裂带东段和程海断裂带中-南段等。结合峰值地表加速度结果和川滇地区震中分布、断层滑动速率以及区域划分结果（图 3.71）可以发现，高峰值地表加速度区域都位于主要震源区，具有较强的历史地震活动水平或者较高的断层滑动速率。

对比地震为泊松与非泊松分布下川滇菱形块体及周边地区未来 30 年峰值地表加速度超过不同阈值的概率结果（图 3.74 和图 3.75）可以发现，在目标峰值地表加速度相同的情况下，二者超越概率的概率分布方式基本一致，但非泊松分布下概率较低（图 3.76），这与大部分地区地震离逝时间较短而复发周期较长，导致地震发生的条件概

率较低有关。

结合图 3.74 与图 3.75 的结果可以发现，未来 30 年，鲜水河断裂带、小江断裂带、红河断裂带和小金河断裂带等川滇菱形块体的主要边界带出现峰值地表加速度的概率较高，尤其是块体东部边界的鲜水河断裂带、小江断裂带北段、小江断裂带南段和莲峰-昭通断裂带，但安宁河断裂带、则木河断裂带和小江断裂带中段概率相对较低。

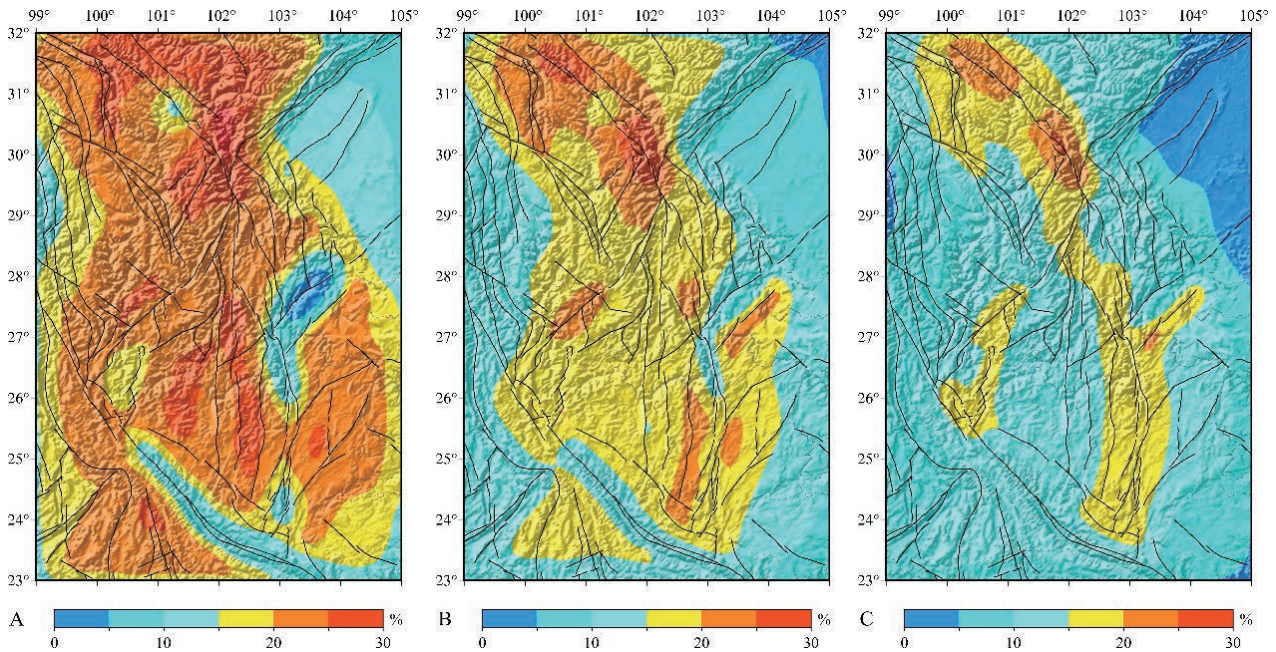


图 3.76 地震为泊松分布与准周期分布情况下研究区未来 30 年峰值地表加速度超过不同阈值概率的差
(泊松分布减去准周期分布, $\nu=0.8$)
(A) 超过 0.10g ; (B) 超过 0.15g ; (C) 超过 0.20g

5. 模型验证情况

概率预测模型需要通过实际发生的地震进行验证。模型结果与数据已应用于南北地震带中南段地震趋势会商。



王 芑

1985 年生人，博士，中国地震局地震预测所助理研究员

个人信息

研究领域

地震综合概率预测研究

工作经历

2014 年—至今：中国地震局地震预测研究所，助理研究员

第四章 中国地震科学实验场执行技术标准清单

◆研究的思路

中国地震科学实验场以“从地震破裂过程到工程结构响应”全链条研究为目标进行设计，着眼于三个前沿科学方向，即：大陆型强震孕育环境、地震发生过程和地震致灾机理。通过建设基础设施，投入观测手段，开展现场调查和实验室测试，汇集数据并进行处理分析解释，建成集野外观测、数值模拟、科学验证及科技成果转化应用为一体，具有中国特色、世界一流的地震科学实验场，探索地震科学的新突破。藉此，中国地震科学实验场一方面是对既有技术和观测方法进行集成创新，投入更多的仪器设备，最大限度地获得高质量多学科多参数的观测数据，进而在此基础上开展一系列的地震科学理论研究；另一方面，也将针对特定对象和场地，研发新的观测技术和仪器设备，为获得新型观测数据，或者更高精度的观测数据创造条件，同时也为能够更便利地获得观测数据创造条件。

此外，通过总结实验场建设和运行的经验，也将回答关于“什么是地震科学实验场”的问题，即：地震科学实验场需要什么样的区域构造环境和地震活动性特征？实验场需要哪些基础设施和投入哪些观测手段？实验场需要建立什么样的资源共享和成果积累机制；实验场需要形成什么样的开放合作管理模式和社会服务机制。

地震科学是以观测和试验获得数据为基础的科学，数据流是贯穿整个实验场建设和运行的灵魂。秉持开放合作的原则，参与实验场建设和科学研究的机构与人员众多，投入的技术方法、观测手段、仪器设备多样，因此产出的观测数据和试验数据量将极其巨大，实现数据的高效有序管理和快速便捷共享的难度也将成倍增加。

一次地震发生之后，其影响范围小的几十千米，大的几百甚至上千千米。为全面系统地捕捉地震发生时或者地震发生前后各类影响的变化，需要在较长的时间跨度上和较大的空间区域里，投入大量人力，布设众多的观测设备，采集种类繁多并数量庞大的数据。为能够顺利地把这些数据汇集在一起，进行综合分析和系统研究，对统一的科学概念、统一的技术指标、统一的数据格式、统一的传输协议都提出了严格要求。

实验场的资源积累主要体现在数据上，数据的价值则是建立在科学、准确、全面的基础上，高价值的地震数据才有可能支撑起有效的地震科学新理论和地震观测新技术的探索。追求数据更全面、更精细化，尽力清除数据采集和处理过程的信息污染，最大限度地减少垃圾数据，是实验场数据流管控的关键，这靠的是规范化的数据管理流程及其技术规则，这有待于实验场运行过程中构建一套科学有序管理机制和技术要求。

分工协作、规范统一、准确协调，都对标准化提出了迫切的需求。因此，地震科学实验场的标准化工作将是构建统一的科学语境为目标，通过建设中国地震科学实验场标准体系，以标准为支撑建立良好的协作与共享的技术环境。为此，构建实验场标准体系的目标已然非常具体而明确，也就是梳理出实验场的标准体系框架和标准明细，并在此基础上建立起一套科学有效的实验场标准系统的实体，以标准支撑实验场基础建设和各项观测作业的生产实践，并作为实验场开放合作和可持续创新发展的技术支撑。通过标准化工作，为研究成果的继承发展，数据再开发利用，提供基础保障，使后人可以站在前人的肩膀上，看得更高、更远，持续推进地震科学新探索。而标准体系研究，则是中国地震科学实验场标准体系建设的基础环节。后续的批量研制标准、标准实施以及在管理过程中对标准实施情况进行监督，都将以中国地震科学实验场标准体系框架及标准明细表为参照。

◆ 研究的技术路线

依据“从地震破裂过程到工程结构响应”的全链条研究目标，中国地震科学实验场开展的研究涉及地球物理观测、地球化学观测、基础探测、现场调查、工程结构调查及易损性和地震危害性分析等几乎地震科学领域所有业务环节，涵盖学科手段面广，业务流程复杂，潜在的标准化对象及其内容非常丰富。

以实验场科学设计为基本依据，参照《地震监测预报业务体制改革顶层设计方案》和《地震灾害风险防治体制改革顶层设计方案》，运用标准化原理和方法系统梳理并分解实验场建设的所有技术业务内容，建立中国地震科学实验场技术体系框架。在此基础上，从技术系统的生命周期、基础要素和业务内容三个维度对实验场所涉及的仪器设备、软硬件系统、业务活动以及成果产出进行描述，构建实验场系统的架构。图 4.1 给出了中国地震科学实验场技术体系框架，图 4.2 给出了实验场系统的架构。

在对实验场系统三维空间内容全面分解描述的基础上，梳理实验场建设及运行的标准需求，提取标准对象及其内容，并按照纵向分层、横向分序列的逻辑形式，建立中国地震科学实验场标准体系框架，提出实验场标准明细表。

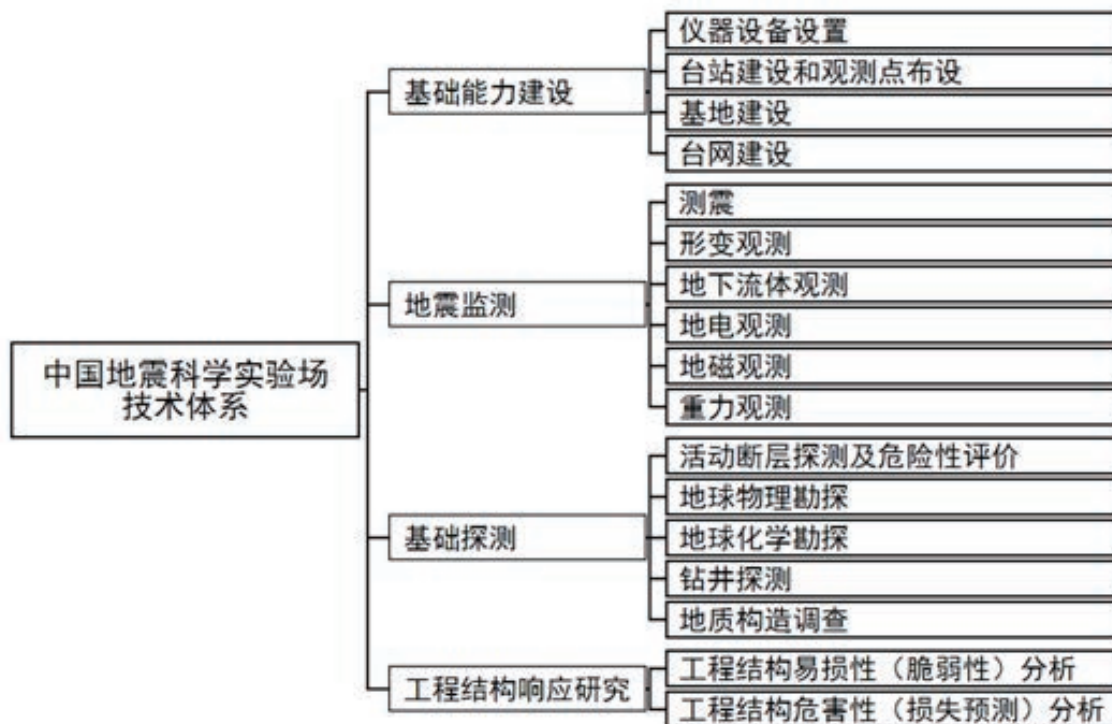


图 4.1 中国地震科学实验场技术体系框架

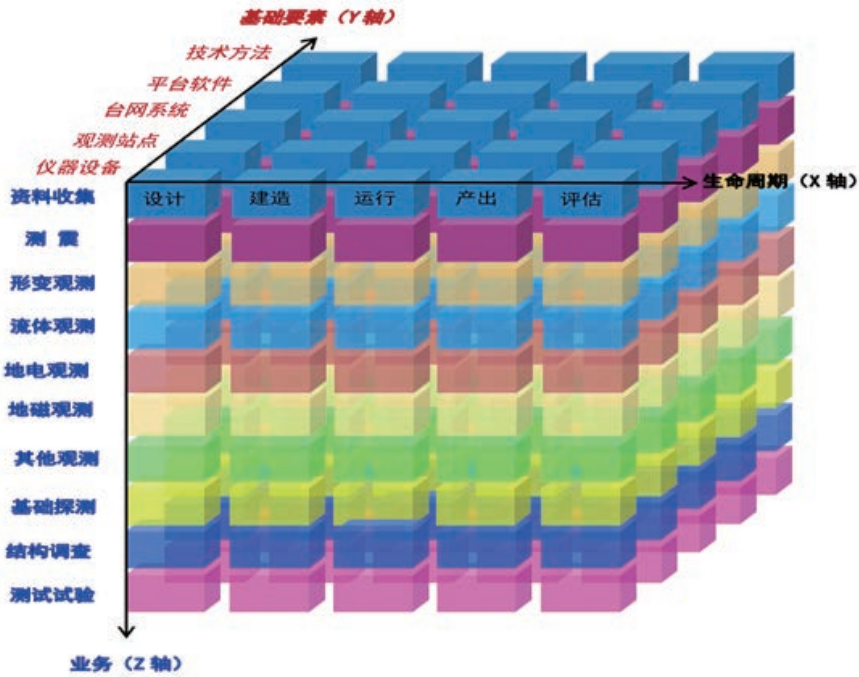


图 4.2 中国地震科学实验场系统架构

◆ 标准体系框架和标准明细表

标准体系是一个标准集合系统，是运用系统论的方法，把一定范围内的标准按其内在联系组合形成的科学有机整体。作为标准系统，标准体系内的所有标准用于支撑一个或者一组特定的目标，所有标准之间互相关联形成一个整体，并在组织结构上纵向分层次、横向成序列。

中国地震科学实验场标准体系的构建目标是为实验场建设和维护提供技术规则，为产出数据及相关成果的科学性、准确性、有效性提供技术支撑。地震科学实验场标准体系框架是按照实验场建设和运行维护的目标，遵循整体性、相关性、协调性、适应性的原则，通过对实验场系统内容进行全面分解描述，提取标准对象而建立的。图 4.3 给出了中国地震科学实验场标准体系框架。

虽然实验场标准自成体系，但是实验场标准体系不宜成为封闭的系统。因此，实验场优先采用现行国家标准、地震行业标准，而且现在与将来的实验场标准指标体系还应与现行国家标准、地震行业标准以及其他相关行业标准相协调。在本项目的研究过程中，根据实验场标准体系框架界定的范围，首先系统收集了现行地震系统的技术规范 and 各类评比要求文件、地震国家标准、地震行业标准、地质行业标准、测绘相关标准、石油天然气行业标准、信息化领域重要国家标准、标准化工作导则国家标准等资料。

按照实验场标准体系框架，把技术体系内容碎片化、颗粒化的结果进行聚类 and 关联分析，结合对现行国家标准和行业标准分析梳理结果，提出了实验场标准明细。以标准体系框架的纵向层次和横向序列逻辑为依据，初步整理形成 52 个实验场标准明细表。最终这些标准明细表将详细列举出各领域涉及的标准名称（或者标准对象）及其对应的主要技术内容，界定其所属的标准类型（地震国家标准、地震行业标准、相关国家标准、相关行业标准、实验场标准），并给出现行国家标准和行业标准的编号。所有这些列举出的标准，是实验场现在和将来一定时间内所需的。

信息化标准是实验场标准体系中最重要的重要组成部分，是实验场数据收集、处理、存储、共享、应用等环节组成的数据流顺畅的技术支撑，信息化标准的内容与实验场建设和运转的各环节密切相关，因此相关标准对象的梳理以及信息化标准子系统的构建有赖于实验场信息系统设计方案。为此，信息化标准明细的梳理相对滞后，需在相关领域研究工作基本定型之后才能确定。



图 4.3 中国地震科学实验场标准体系框架

◆ 标准执行清单

实验场标准体系框架及标准明细表，是实验场标准需求分析的结果，汇总了现在和将来所需标准的完整目录，为标准研制提供规划依据，为实验场建设、运维和管理执行标准提供信息引导。实验场标准体系框架及标准明细表是实验场标准体系的虚体。

通过收集现行标准以及组织力量研制并发布新的标准，把标准明细表中规划的现在和将来所需的标准变成实际的文件。把所有的标准文件汇编成册，不论是以纸质还是以电子形式进行汇编，标准体系才能落地成为实体，才能为实验场建设、运维和管理提供依据，才能真正实现标准的技术规则作用。实验场标准汇编是实验场标准体

系的实体。

现有的可用于实验场建设、运维和管理的标准，或者说可以作为实验场标准汇编对象的标准，是当下实验场各项业务活动可资遵循的技术规则的来源，它们构成了当前一段时间内实验场的标准执行清单。表1给出了可供实验场执行使用的现行标准，是基于现行国家标准、地震行业标准以及其他相关行业标准收集整理结果。其中标准类型分类如下：

- SESS：实验场标准；
- DBNS：地震国家标准；
- DBSS：地震行业标准；
- GBNS：相关国家标准；
- OTSS：相关行业标准。

表1 首批中国地震科学实验场标准执行清单（现行国家标准和行业标准）

序号	编号	标准名称	主要技术内容	标准类型	备注
1		防震减灾术语 第1部分：基本术语	规定防震减灾领域中常用的基础术语及其定义。	DBNS	GB/T 18207.1-2008
2		防震减灾术语 第2部分：专业术语	规定防震减灾各专业技术领域使用的术语及其定义。	DBNS	GB/T 18207.2-2005
3		地震震级的规定	规定地震震级的测定方法和使用规定。	DBNS	GB 17740-2017
4		中国地震烈度表	规定地震烈度的评定指标，包括人的感觉、房屋震害程度、其他震害现象、水平向地震动参数。	DBNS	GB/T 17742-2008
5		地震观测量和单位	规定地震测量和单位使用的规定，给出测震、强震动观测、地震电磁观测、地震地壳形变观测和地震地下流体观测中使用的量名称、量符号、单位名称和单位符号。	DBSS	DB/T 25-2008
6		地震名称确定规则	给出地震名称确定的规则，适用于中国陆地及海域发生的地震。	DBSS	DB/T 58-2014
7		地震编目规范	规定地震编目的内容、工作流程和技术要求及地震目录和地震观测报告的产出格式。	DBSS	DB/T 66-2016
8		地震公共信息图形符号与标志	规定与防震减灾有关的公共信息图形符号与标志。	DBNS	GB/T 24362-2009
9		活动断层探察图形符号	规定编制活动断层探察图件所使用的图形符号的使用原则、扩展原则和样式列表。	DBSS	DB/T 72-2018
10		区域地质图图例	规定区域地质图图例的代号、符号与花纹及其表示方法与原则。	GBNS	GB/T 958-2015
11		地震观测仪器分类与代码	规定地震观测仪器的分类原则与方法、编码方法。	DBSS	DB/T 26-2008
12		地震观测仪器进网技术要求 常用技术参数表述与测试方法	规定地震观测仪器常用技术参数的定义、表述及测试方法。	DBSS	DB/T 21-2007
13		地震观测仪器质量检验规则	规定地震观测仪器质量的检验规则，包括检验分类、检验项目、检验方法和判定规则。	DBSS	DB/T 27-2008
14		地震前兆观测仪器第1部分：传感器接口与控制	规定前兆传感器外部物理接口、控制功能定义以及控制协议，适用于前兆传感器与前兆数据采集器的联接。	DBSS	DB/T 12.1-2000
15		地震前兆观测仪器第2部分：通信与控制	规定前兆仪器通信与控制命令及约定，适用于前兆传感器与前兆数据采集器的联接。	DBSS	DB/T 12.2-2003
16		地面震动观测仪器接口	规定台站安装使用的各类地震计、加速度计及数据采集器外部物理接口及信号定义，规定传感器与数据采集器信息交互协议。	DBSS	DB/T 13-2000

续表

序号	编号	标准名称	主要技术内容	标准类型	备注
17		数字强震动加速度仪	测量地面运动加速度的仪器，包括加速度计和数据记录器。规定加速度计及数据记录器的功能、主要技术指标、测试方法和自检测方法。加速度计将地面运动加速度转换为电信号输出；数据记录器将电信号转换为数字信号，将数字信号按固定的数据格式打包形成测量数据，实现数据存储、实时发送，并嵌入地震触发算法、烈度计算算法实时计算检测并输出计算结果。	DBSS	DB/T 10-2016
18		地震观测仪器进网技术要求 地震仪	测量地面运动速度的仪器，包括地震计和数据记录器。规定地震计及数据记录器的功能、主要技术指标、测试方法。地震计将地面运动速度转换为电信号输出；数据记录器将电信号转换为数字信号，将数字信号按固定的数据格式打包形成测量数据，实现数据存储、实时发送。	DBSS	DB/T 22-2007
19		地震观测仪器进网技术要求 地壳形变观测仪 第1部分：倾斜仪	倾斜仪主要测量地平面法线与铅垂线夹角或者测量地平面法线与垂直方向的变化，主要包括钻孔类倾斜仪、水管倾斜仪及摆式倾斜仪，规定倾斜仪的应用场景、主要技术指标、功能、数据格式、安装方法及主要技术指标测试方法。	DBSS	DB/T 31.1-2008
20		地震观测仪器进网技术要求 地壳形变观测仪 第2部分：应变仪	规定应变仪使用的应用场景、主要技术指标、功能、数据格式、安装方法及主要技术指标测试方法。	DBSS	DB/T 31.2-2008
21		地震观测仪器进网技术要求 重力仪	规定重力仪使用的应用场景、主要技术指标、功能、数据格式、安装方法及主要技术指标测试方法。	DBSS	DB/T 23-2007
22		地震观测仪器进网技术要求 地下流体观测仪 第1部分：压力式水位仪	规定压力式水位仪使用的应用场景、主要技术指标、功能、数据格式、安装方法及主要技术指标测试方法。	DBSS	DB/T 32.1-2008
23		地震观测仪器进网技术要求 地下流体观测仪 第2部分：测温仪	规定测温仪使用的应用场景、主要技术指标、功能、数据格式、安装方法及主要技术指标测试方法。	DBSS	DB/T 32.2-2008
24		地震观测仪器进网技术要求 地下流体观测仪 第3部分：闪烁测氦仪	规定闪烁测氦仪使用的应用场景、主要技术指标、功能、数据格式、安装方法及主要技术指标测试方法。	DBSS	DB/T 32.3-2008
25		地震观测仪器进网技术要求 地电观测仪 第1部分：直流地电阻率仪	规定直流地电阻率仪使用的应用场景、主要技术指标、功能、数据格式、安装方法及主要技术指标测试方法。	DBSS	DB/T 29.1-2008
26		地震观测仪器进网技术要求 地电观测仪 第2部分：地电场仪	规定地电场仪使用的应用场景、主要技术指标、功能、数据格式、安装方法及主要技术指标测试方法。	DBSS	DB/T 29.2-2008
27		地震观测仪器进网技术要求 地磁观测仪 第1部分：磁通门磁力仪	规定磁通门磁力仪使用的应用场景、主要技术指标、功能、数据格式、安装方法及主要技术指标测试方法。	DBSS	DB/T 30.1-2008
28		地震观测仪器进网技术要求 地磁观测仪 第2部分：质子矢量磁力仪	规定质子总场磁力仪、质子分量磁力仪使用的应用场景、主要技术指标、功能、数据格式、安装方法及主要技术指标测试方法。	DBSS	DB/T 30.2-2008
29		地震台站综合防雷	规定地震台站综合防雷中的直击雷防护、配电系统的防护、信号线路的防护、屏蔽措施和布线的防护、接地与等电位链接、雷电预警，以及防雷装置的维护与管理等方面的基本要求和方法。	DBSS	DB/T 68-2017

续表

序号	编号	标准名称	主要技术内容	标准类型	备注
30		地震台站观测环境技术要求 第1部分: 测震	规定地震台站测震观测环境的技术指标、地震计安装位置与主要干扰源之间的最小距离要求和相应的测试与计算方法。	DBNS	GB/T 19531.1-2004
31		地震台站观测环境技术要求 第2部分: 电磁观测	规定地震台站电磁观测环境的技术要求、不同电磁骚扰源距地震台站电磁观测设施的最小距离和相应的测试与计算方法。	DBNS	GB/T 19531.2-2004
32		地震台站观测环境技术要求 第3部分: 地壳形变观测	规定地震台站地壳形变(地倾斜、地应变、重力、跨断层形变)观测环境的技术指标、干扰源距地震台站地壳形变观测仪器的最小距离和相应的测试与计算方法。	DBNS	GB/T 19531.3-2004
33		地震台站观测环境技术要求 第4部分: 地下流体观测	规定地震台站地下流体观测环境的技术指标、各类干扰源距观测井(泉)的最小距离及其相关的测试与计算方法。	DBNS	GB/T 19531.4-2004
34		地震台站建设规范 测震台站	规定测震台站观测场地勘选、观测墩(井)和观测室的建设、观测设备配置和资料归档的技术要求。	DBSS	DB/T 16-2006
35		地震台站建设规范 强震动台站	规定数字强震动观测台站的选址和场地测试、仪器墩和观测室的建造、观测设备配置和资料归档等的技术要求。	DBSS	DB/T 17-2018
36		地震台站建设规范 地形变台站 第1部分: 洞室地倾斜和地应变台站	规定洞室地倾斜和地应变台站建设中观测场地勘选、仪器墩和观测室的建设、设备设置的技术要求。	DBSS	DB/T 8.1-2003
37		地震台站建设规范 地形变台站 第2部分: 钻孔地倾斜和地应变台站	规定钻孔地倾斜和地应变台站建设中观测场地勘选、仪器墩和观测室的建设、设备配置的技术要求。	DBSS	DB/T 8.2-2003
38		地震台站建设规范 地形变台站 第3部分: 断层形变台站	规定断层形变台站建设中观测场地勘选、仪器墩和观测室的建设、设备配置的技术要求。	DBSS	DB/T 8.3-2003
39		地震台站建设规范 重力台站	规定重力台站建设中观测场地勘选、仪器墩和观测室建设、设备配置的技术要求。	DBSS	DB/T 7-2003
40		地震台站建设规范 全球定位系统连续观测台站	规定全球定位系统连续观测台站的场地勘选、观测墩、观测室和工作室建设、设备配置及资料归档的技术要求。	DBSS	DB/T 19-2006
41		地震台站建设规范 地下流体台站 第1部分: 水位和水温台站	规定地下流体台站中水位和水温观测台站的场地勘选、观测井与观测室建设、观测设备配置和资料归档要求。	DBSS	DB/T 20.1-2006
42		地震台站建设规范 地下流体台站 第2部分: 气氦和气汞台站	规定地下流体台站中气氦和气汞观测台站的场地勘选、观测井与观测室建设、观测设备配置和资料归档要求。	DBSS	DB/T 20.2-2006
43		地震台站建设规范 地电台站 第1部分: 地电阻率台站	规定地电阻率台站观测场地、观测装置、观测室和设备配置的技术要求以及建台资料的归档要求。	DBSS	DB/T 18.1-2006
44		地震台站建设规范 地电台站 第2部分: 地电场台站	规定地电场台站观测场地、观测装置、观测室和设备配置的技术要求以及建台资料的归档要求。	DBSS	DB/T 18.2-2006
45		地震台站建设规范 地磁台站	规定地磁台站观测场地勘选、观测设施和观测室建设、建筑物磁性跟踪控制和观测设备配置的技术要求。	DBSS	DB/T 9-2004
46		地震台站代码	规定地震台站的编码规则和方法, 给出各省、自治区、直辖市辖区内的地震台站代码。	DBSS	DB/T 4-2003

续表

序号	编号	标准名称	主要技术内容	标准类型	备注
47		地震台网设计技术要求 地壳形变观测网 第1部分：固定站形变观测网	规定固定站形变观测网的设计原则、结构和观测项目，地倾斜观测站网、地应变观测网、全球导航卫星系统基准网及固定站形变观测网的结构、功能和技术要求。	DBSS	DB/T 40.1-2010
48		地震台网设计技术要求 地壳形变观测网 第2部分：流动形变观测网	规定流动形变观测网的设计原则、结构和观测项目，全球导航卫星系统区域网、精密水准观测网、断层形变观测网及流动形变观测网中心的结构、功能和技术要求。	DBSS	DB/T 40.2-2010
49		地震台网设计技术要求 重力观测网	规定重力观测网的分类、观测项目、功能、布局原则、技术指标和技术装备的设计要求。	DBSS	DB/T 39-2010
50		地震台网设计技术要求 地下流体观测网	规定地下流体观测网的分类、功能、布局、技术指标和观测站技术指标的设计要求。	DBSS	DB/T 38-2010
51		地震台网设计技术要求 地电观测网	规定地电观测网结构、技术要求、功能、数据中心和观测站的技术要求。	DBSS	DB/T 36-2010
52		地震台网设计技术要求 地磁观测网	规定地磁观测网分类、功能、布局、技术指标和观测站技术指标的设计要求。	DBSS	DB/T 37-2010
53		强震动观测技术规程	规定强震动观测的台站要求、观测专用设备技术要求、观测系统设备安装要求、观测数据处理管理、观测台网运行维护和管理等。	DBSS	DB/T 64-2016
54		地震地壳形变观测方法 地倾斜观测	规定地倾斜观测的基本方法手段。规定实现该方法的指标的场地要求、环境要求；规定获得该量值的仪器设备配套指标；规定测试各项指标的方法系统，包括实验室测试和观测台站实际检测；规定连续观测动态指标传递函数测试方法的相关内容等。	DBSS	DB/T 45-2012
55		地震地壳形变观测方法 洞体应变观测	规定洞体应变观测的基本方法手段。规定实现该方法的指标的场地要求、环境要求；规定获得该量值的仪器设备配套指标；规定测试各项指标的方法系统，包括实验室测试和观测台站实际检测；规定连续观测动态指标传递函数测试方法的相关内容等。	DBSS	DB/T 46-2012
56		地震地壳形变观测方法 钻孔应变观测	规定钻孔应变观测的基本方法手段。规定实现该方法的指标的场地要求、环境要求；规定获得该量值的仪器设备配套指标；规定测试各项指标的方法系统，包括实验室测试和观测台站实际检测；规定连续观测动态指标传递函数测试方法的相关内容等。	DBSS	DB/T 54-2013
57		地震地壳形变观测方法 跨断层位移测量	规定跨断层观测的基本方法手段。规定实现该方法的指标的场地要求、环境要求；规定获得该量值的仪器设备配套指标；规定测试各项指标的方法系统，包括实验室测试和观测台站实际检测。	DBSS	DB/T 47-2012
58		地震水准测量规范	规定水准的观测内容、观测方式、观测指标、观测仪器检测、观测记录与处理、观测标志、观测归档等要求	DBSS	DB/T 5-2015
59		地震地电观测方法 地电阻率观测 第1部分：单极距观测	规定地电阻率观测方法中单极距观测方法的观测对象、观测原理、台站观测、观测环境、组网形式、数据分析处理和管理等技术要求。	DBSS	DB/T 33.1-2009
60		地震地电观测方法 地电阻率观测 第2部分：多极距观测	规定地电阻率观测方法中多极距观测方法的观测对象、观测原理、台站观测、观测环境、组网形式、数据分析处理和管理等技术要求。	DBSS	DB/T 33.2-2009
61		地震地电观测方法 地电阻率观测 第3部分：大地电磁重复测量	规定地电阻率观测方法中大地电磁重复测量方法的观测对象、观测原理、台站观测、观测环境、组网形式、数据分析处理和管理等技术要求。	DBSS	DB/T 33.3-2009
62		地震地电观测方法 地电场观测	规定地电场观测方法的观测对象、观测原理、台站观测、组网形式、数据分析处理和管理等技术要求。	DBSS	DB/T 34-2009

续表

序号	编号	标准名称	主要技术内容	标准类型	备注
63		地震地电观测方法 电磁扰动观测	规定电磁扰动观测方法的观测对象、观测原理、台站观测、组网形式、数据分析处理和管理等技术要求。	DBSS	DB/T 35-2009
64		原地应力测量 水压 致裂法和套芯解除 法 技术规范	规定水压致裂法和套芯解除法进行原地应力测量的技术方法及其指标要求。	DBSS	DB/T 14-2018
65		活动断层探测	规定活动断层探测的主要工作内容、工作流程、关键探测方法、获得数据的管理、产出成果的种类及其表述等方面的基本技术要求。	DBNS	GB/T 36072-2018
66		活动断层探察 遥感 调查	规定遥感影像数据收集、影像预处理、影像信息处理、遥感解译、结果验证、成果产出等的流程、内容和方法。	DBSS	DB/T 69-2017
67		活动断层探察 断错 地貌测量	规定对象选择、技术准备、野外测量、数据处理、制图、成果产出等技术要求和 workflows。	DBSS	DB/T 71-2018
68		1:50 000活动断层 填图	规定填图的范围、方法选择、填图单元确定、填图要素定位、断层遥感解译、断错地貌测量、古地震槽探、测年样品采集、活动断层定量数据确定、活动断层分布图及说明书编制、成果产出等技术要求和 workflows。	DBSS	DB/T 53-2013
69		活动断层探察 1:250 000地震构造 图编制	规定资料搜集、整理、地震构造图及说明书的编制、成果产出等技术要求和 workflows。	DBSS	DB/T 73-2018
70		物化探工程测量规范	规定物化探工程测量的基本要求、技术设计、控制测量、规则与非规则测网点布设、观测资料整理、质量检查与验收及技术总结报告的编写。	OTSS	DZ/T 0153-1995
71		浅层地震勘查技术 规范	规定浅层地震勘探的设计、施工、记录质量评价和资料处理解释以及成果报告的编写、审查与评价等要求。	OTSS	DZ/T 0170-1997
72		垂直地震剖面法勘 探技术标准	规定垂直地震剖面法勘探设计、数据采集、数据处理、综合解释的作业内容及技术要求。	OTSS	DZ/T 0172-1997
73		大地电磁测深法技 术规程	规定大地电磁测深法的应用条件及解决的地质任务，给出技术设计、野外施工、室内资料处理与图件编制、成果报告的技术要求。	OTSS	DZ/T 0173-1997
74		区域地质调查规范 (1:250 000)	规定1:25万区域地质调查工作的范围、目的任务、资料收集、野外踏勘、设计书编写、工作内容、技术方法、工作程度与精度、综合整理、图件编制、报告编写、质量监控、成果验收与出版等技术要求。	OTSS	DZ/T 0257-2014
75		地震测项分类与代码	规定地震测项的分类与代码，给出分类原则与方法、编码方法、分类与代码表等内容。	DBSS	DB/T 3-2011
76		地震卫星电磁观测 测项分类与代码	规定地震卫星电磁观测测项的分类原则、分类办法和编码方法，给出地震卫星电磁观测测项的分类与代码表。	DBSS	DB/T 67-2017
77		地震数据分类与代 码 第1部分：基本 类别	规定地震数据的分类与编码方法以及地震数据基本类别及其代码。	DBSS	DB/T 11.1-2007
78		地震数据分类与代 码 第2部分：观测 数据	规定地震数据中观测数据的分类与代码，给出分类原则和方法、编码规则、分类与代码表。	DBSS	DB/T 11.2-2007
79		地震数据分类与代 码 第3部分：探测 数据	规定地震数据中探测数据的分类与代码，给出分类原则和方法、编码规则、分类与代码表。	DBSS	DB/T 11.3-2012
80		地震数据 元数据	规定元数据描述方法，描述地震数据收集时所涉及的主要数据项字典，给出地震数据集的描述、地震数据集的编目、地震数据集信息的发布和网络交换、以及元数据的建库和管理等定义或描述。	DBSS	DB/T 41-2011
81		信息技术 元数据 注册系统 (MDR) 第1部分：框架	规定描述数据所需元数据的种类和质量，以及一个MDR (元数据注册系统) 中元数据的管理和使用。适用于对数据的表示、概念、含义以及他们之间的关系进行形式化表达，使人人和机器都能理解，而与产生数据的机构无关。	GBNS	GB/T 18391.1-2009

续表

序号	编号	标准名称	主要技术内容	标准类型	备注
82		信息技术 元数据注册系统 (MDR) 第2部分: 分类	详细阐述在MDR (元数据注册系统) 中注册系统元模型与基本属性对分类方案进行注册以及对管理项进行分类的程序和技术。所有类型的管理项, 包括对象类、特性、表示、值域、数据元概念以及数据元自身, 都可以被分类。	GBNS	GB/T 18391.2-2009
83		信息技术 元数据注册系统 (MDR) 第3部分: 注册系统元模型与基本属性	规定元数据注册系统的结构, 同时规定描述元数据项所需的基本属性, 这些属性可用于完整元数据注册系统不适用的场合。	GBNS	GB/T 18391.3-2009
84		信息技术 元数据注册系统 (MDR) 第4部分: 数据定义的形成	规定构建数据和元数据定义的要求与建议, 描述定义的语义方面, 而不考虑定义的格式。尤其当用于MDR (元数据注册系统) 中注册系统元模型与基本属性的元数据注册系统的内容时, 可广泛用于确定数据和元数据的定义。	GBNS	GB/T 18391.4-2009
85		信息技术 元数据注册系统 (MDR) 第5部分: 命名和标识原则	规定对数据元概念、概念域、数据元和值域等管理项的命名和标识的说明。给出标识的组成部分和结构、MDR (元数据注册系统) 中的命名, 给出形成命名约定的原则和规则, 并给出命名约定的示例。	GBNS	GB/T 18391.5-2009
86		信息技术 元数据注册系统 (MDR) 第6部分: 注册	规定对应不同应用领域的管理项进行注册和赋予国家唯一标识符的规程。对于要注册的管理项, 定义需规定的信息类型, 应满足的条件以及应遵循的规程。	GBNS	GB/T 18391.6-2009
87		地震形变观测数据交换格式	规定地震形变观测数据包中形变数据文件、参数文件、格式文件等各要素的具体构成。	DBSS	DB/T 2-2003
88		地理空间数据交换格式基本信息	规定空间数据的概念和对象模型, 常用参考椭球和投影类型及其参数, 矢量空间数据和栅格空间数据的交换格式。	GBNS	GB/T 17798-2007

第五章 应用实例

◆长宁地震

中国地震台网正式测定：2019年06月17日22时55分四川省宜宾市长宁县发生6.0级地震，震中坐标北纬28.34度、东经104.9度，震源深度16千米。截至2019年06月21日07时00分共记录到5.0-5.9级余震2次，4.0-4.9

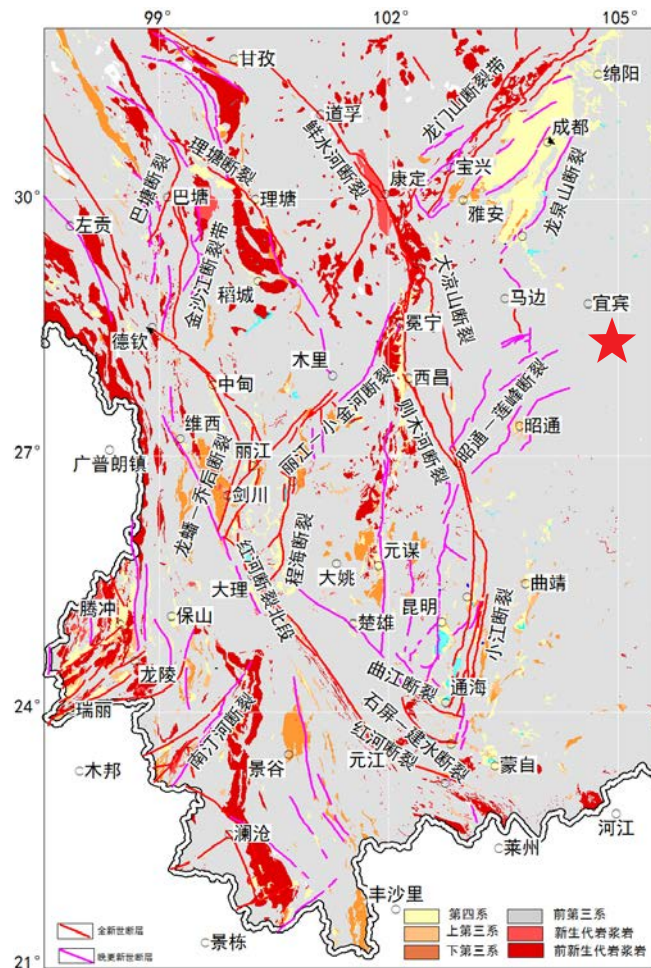


图 5.1

级余震 3 次，3.0-3.9 级余震 27 次。地震已造成 13 人死亡、158 人受伤、14 万余人受灾，部分水电、交通、通信等基础设施受损。

地震发生后，习近平总书记高度重视并作出重要指示，要求全力组织抗震救灾，把搜救人员、抢救伤员放在首位，最大限度减少伤亡。他强调，要注意科学施救，加强震情监测，防范发生次生灾害。国务院总理李克强作出批示，要求抓紧核实地震灾情，全力组织抢险救援和救治伤员。国务院、应急管理部、中国地震局等有关领导就贯彻落实习近平总书记重要指示精神提出具体要求。

这次地震发生在中国地震科学实验场内，根据实验场地震应急预案，立即启动应急响应工作，依托实验场科技积累和新型实验系统，陆续产出一批基于观测数据的初步成果，突出实验场科技信息增益和基础研究特色，支撑地震会商和震情研判；同时，按照实验场地震应急响应机制，第一时间联系参与实验场研究的地震系统内外科研团队启动应急科技产品的制作程序。

截至目前，实验场针对地震特点，在震源机制、发震构造、余震序列等方面完成了初步数据分析，形成了阶段性的认识。这些成果对进一步认识研究该次地震有帮助，是解剖地震的重要积累；而产出成果的过程也对未来做好实验场地震应急响应工作具有重要的促进作用。

● 余震重定位 *

对该次地震的余震重新定位结果显示，此次北西走向的地震活动贯穿了东西两侧不同走向的小震活动区域，破裂尺度达 20km，大于震级相当的地震规模。目前的地震活动没有超出 17 日长宁 6 级地震同震破裂范围，但存在北西段地震明显较为发育的特征。

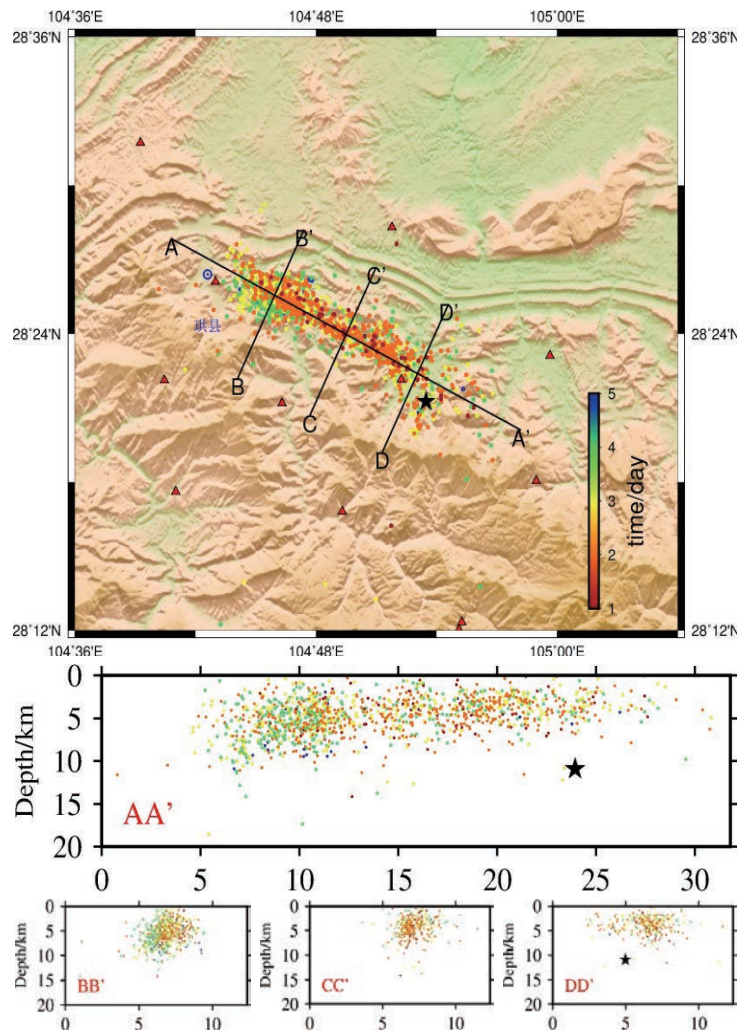


图 5.2 序列震源深度在 15km 以上，主震震源深度 = 10km，震源区余震深度小于 10km 震源深度呈现由南东向北西加深的趋势。发震构造倾角约为 45。左右，倾向南西

* 本部分由中国地震局地震预测研究所赵翠挥、左可植提供。

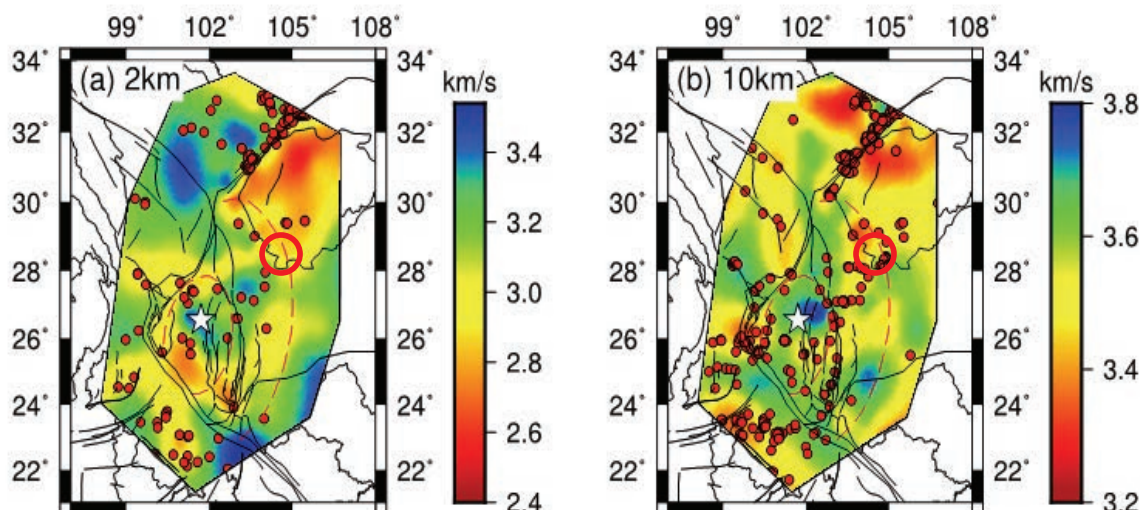


图 5.3 实验场区地壳剪切波速模型 (姚华建, 2019, CSES Scientific Products doi:10.12093/02md.02.2018.01.v1)
○ 长宁 M6.0 级地震震源区

● 基于人工智能的自动化地震监测分析系统试验 *

基于人工智能的自动化地震监测分析系统采用地震搜索引擎技术 (earthquake search engine, ESE), 根据波形相关 (waveform correlation) 方法能够在接收到四个台站的 P 波形信号后, 通过人工智能自动识别 P 波震级, 开始定位, 并在识别第一个地震 P 波后数秒即可给出第一个定位位置, 然后随着接收台站数量增加不断更新校正位置。自动到时拾取的平均误差约在 0.5 秒之内, 发震时刻的误差在 1 秒以内, 3 级以上地震定位位置平均误差 5 公里左右。震级平均误差 0.25 级左右。该技术通过 AI 无需人工干预, 随着模型不断完善和数据学习的积累, 可在震后短时间内完成地震相对位置的高精度定位, 对确定发震断层及其破裂面, 分析地震破裂过程、余震序列等具有重大价值。



图 5.4 ESE 系统工作流程图

方法与原理

ESE 系统的工作流程图如下:

研究方法与工作原理有:

1. 利用人工智能技术自动检测地震

ESE 系统利用人工智能技术自动检测地震, 以一天的连续波形数据为例, 与台网地震目录相比, 通过 AI 的自动探测, 可以检测出 10 倍的地震事件。

2. 利用人工智能技术拾取到时

通过使用 40000 个训练数据, 进行机器学习, 并使用 10000 个新的测试数据对震相拾取进行测试。数据召回率达到 96.95%, 震相拾取精度达到 90.20%。

3. 利用人工智能技术自动估计震级

基于人工智能技术可以对波形进行分类来决定地震震级, AI 技术可以提高震级估计的准确性。

* 本部分由中国地震局地震预测研究所周连庆、中科大况文欢等提供。

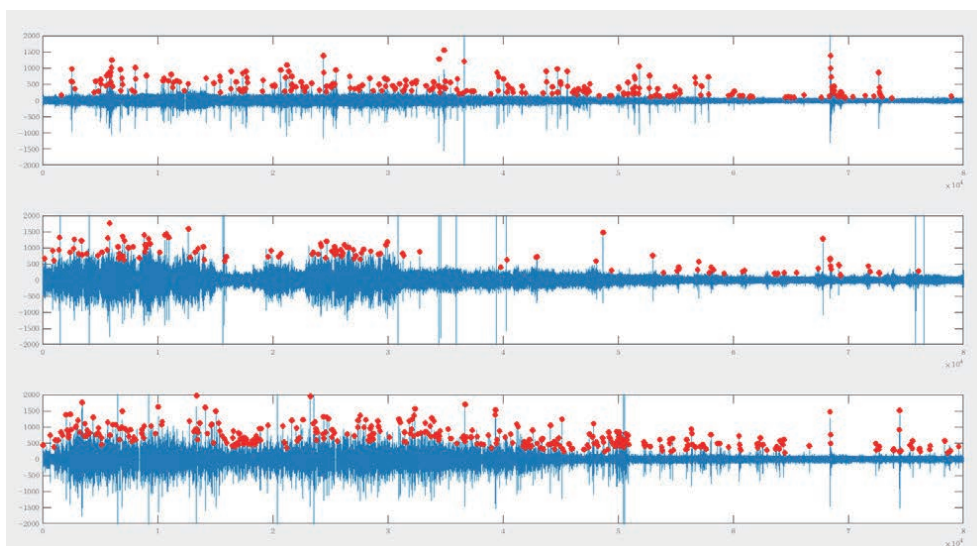


图 5.5 从一天的连续波形中自动检测地震 (红点为自动检测的地震)

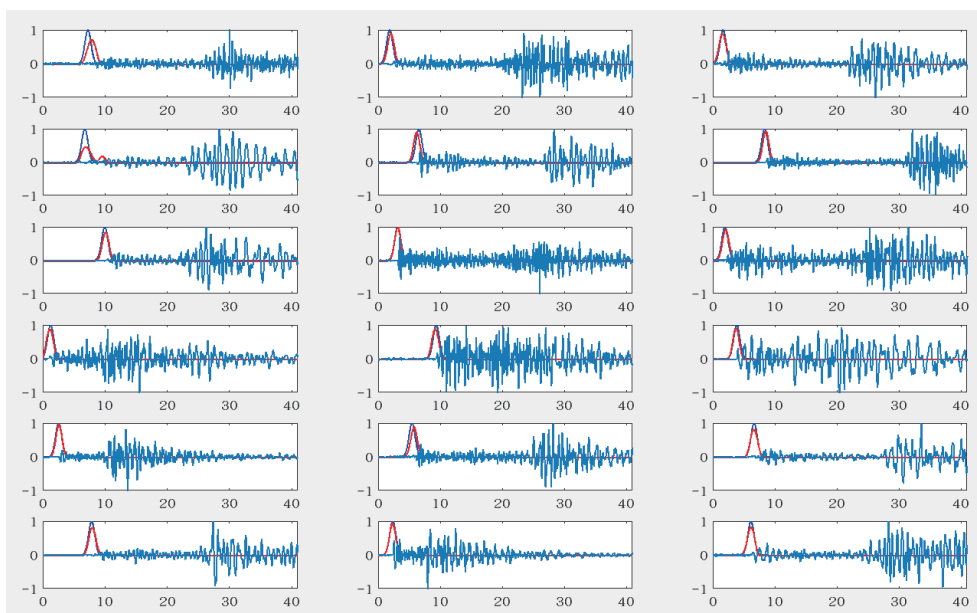


图 5.6 通过人工智能自动措取的震相 (红色) 与人工措取的震相 (蓝色) 匹配的结果对比

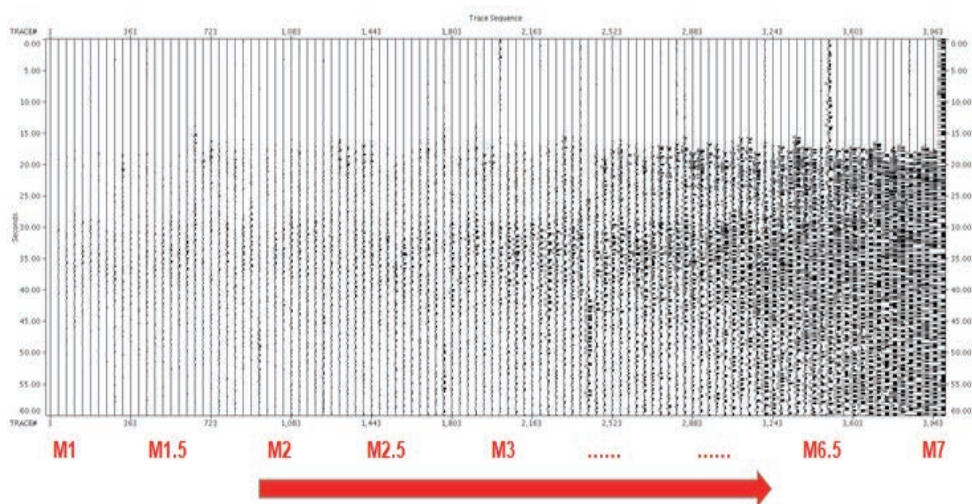


图 5.7 通过人工智能自动估算震级 (使用了 175 个训练数据和 350 个测试数据)

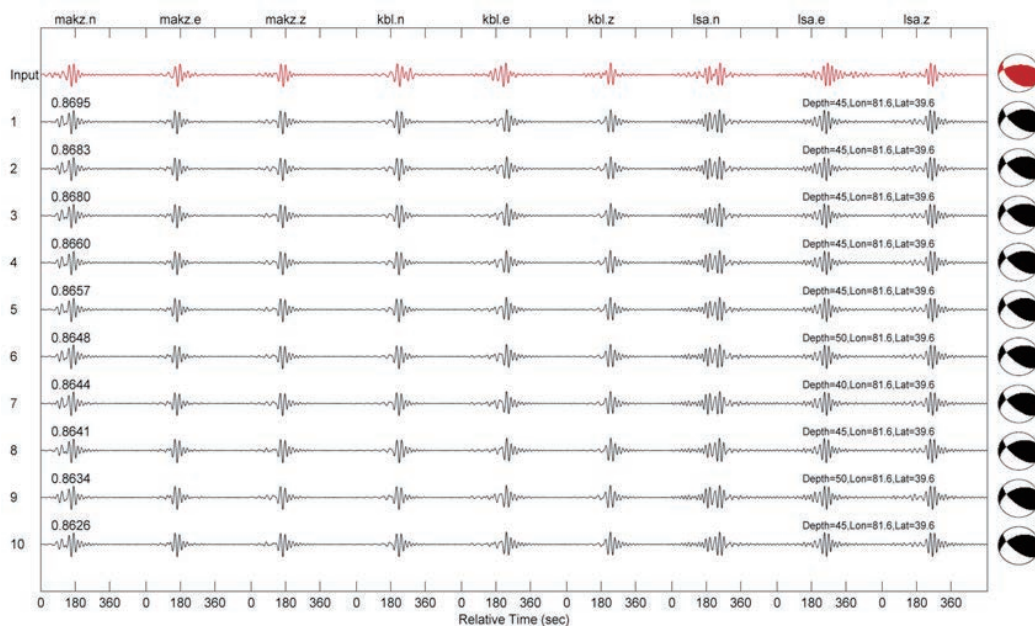


图 5.8 利用地震搜索引擎快速求解地震震源机制解

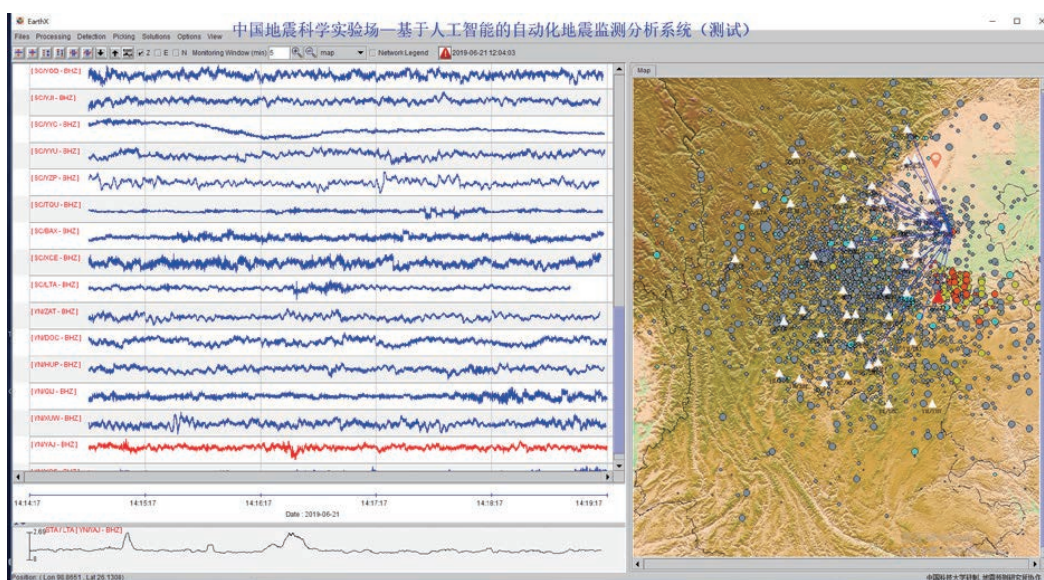


图 5.9 ESE 系统主界面

4. 利用人工智能技术快速估算震源机制解

利用多个 K 维随机树搜索方法从历史数据库中找到最相似的波形，从而快速确定震源机制解。

长宁 M6.0 地震测试情况

2019 年 6 月 17 日，四川长宁发生了 6.0 级地震，后续发生了大量的余震。“中国地震科学实验场—基于人工智能的自动化地震监测分析系统”（以下简称 ESE 系统）记录了此次地震及后续余震。

以 6.0 级地震为例，国家台网自动定位的震级为 $M5.8$ ，经纬度（104.94，28.39），没有产出地震深度，正式定位震级 $M6.0$ ，经纬度（104.9，28.34），震源深度 16 公里。ESE 系统自动产出的地震震级为 $M6.1$ ，经纬度（104.566，28.465），震源深度为 9km。震级定位误差为 0.1 级，震中位置偏差为 33km，震源深度误差 7km。目前，受所用台站数量的限制，有些地震的定位结果与台网中心的自动定位结果相比经度稍差。台网中心的速报目录大约在地震后几分钟到 10 分钟左右产生，本系统可以更快的给出定位结果。同时，不依赖于人工地震拾取，可以更快速的给出较为准确的地震定位结果。而且，本系统还可以给出大致的震源深度（台网中 I LJ 的速报目录不提供震源深度）。

自 2019 年 6 月 17 日长宁 6.0 级地震发生后，截止到 2019 年 6 月 21 日 07:00，ESE 系统共定位地震 108 个，其中震级下限为 2.6 级。我们将 ESE 系统目录与四川省地震局速报目录进行了对比，匹配了 95 个地震。以速报目录为准，震中平均定位偏差为 39.23km，地震深度平均偏差为 4.83km，发震时刻平均偏差为 7.08s，震级平均偏差为 0.6 级。

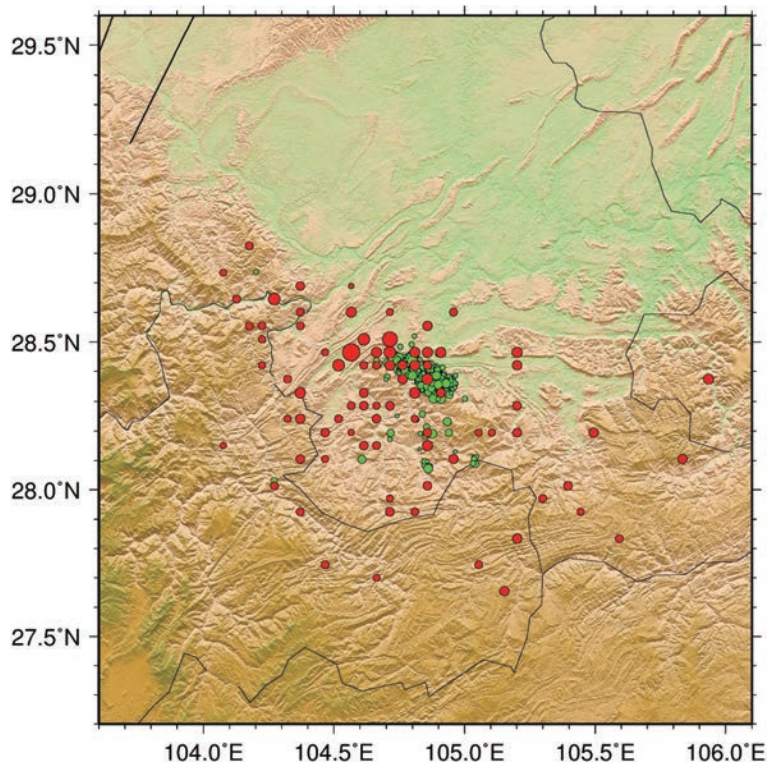


图 5.12 ESE 系统得到的长宁地震序列震中分布图红色为 ESE 系统定位的震中，绿色为四川台同速度目录的震中

分析与讨论

与速报目录相比，目前 ESE 系统定位偏差过大，主要的原因可能有 EAI 技术属于新兴科技，目前在地震监测上的应用还处于探索测试阶段，方法尚待进一步优化。与国家台网和四川台网相对密集的台站分布相比，ESE 系统只使用了四川和云南的 40 个台站数据，且全部台站几乎都位于整个地震序列的西侧，较差的台站覆盖给定位结果的精度带来了很大影响。目前系统使用的速度模型为简单的平层模型，而本次地震序列发生在四川盆地与青藏高原东南缘的交界处，地形起伏较大，速度结构复杂，简单的平层模型对定位精度必然有显著影响。目前正在考虑使用精细三维速度模型来减小定位误差。

速报目录非正式目录，其定位结果本身可能也存在误差，例如本次长宁地震的 $M6.0$ 地震的速报目录定位震级为 $M6.7$ ，与正式目录存在较大偏差。与速报目录的对比可能会放大结果的真实偏差。

系统目前监测地震的震级下限为 2.6 级左右，序列分析和震源机制解功能尚没有实现。

● 发震构造分析*

长宁 $M6.0$ 级地震及其余震主要沿于滩—长宁背斜展布，重新定位的地震震源机制解认为此次地震为一次逆中型兼少量走滑分量的地震，发震构造走向北西、倾向西南，倾角约为 45° 左右。于滩长宁背斜为一大型基底断层转折褶皱背斜，基底断层呈台阶状向四川盆地内部抬升，形成背斜的断层位移量向北侧传递；由于下伏“老”基底断层下盘断坡段复活，地震沿基底断层下盘断坡及其上、下发生，如 2018 年 12 月 16 日兴文 $M5.7$ 级地震和 2019 年 1 月 3 日琪县 $M5.3$ 级地震”表现为断层的剪切破坏，背斜与向斜转折端也出现地震集中区，但沿膝折带

* 本部分由中国地震局地震预测研究所李文巧、杨攀新和田勤俭提供。

向上地震震级减小。根据地质构造特征、重新定位的震源机制解结果、余震的展布等，认为这次长宁 M6.0 级地震亦可能发生在南侧的下盘断坡部位。

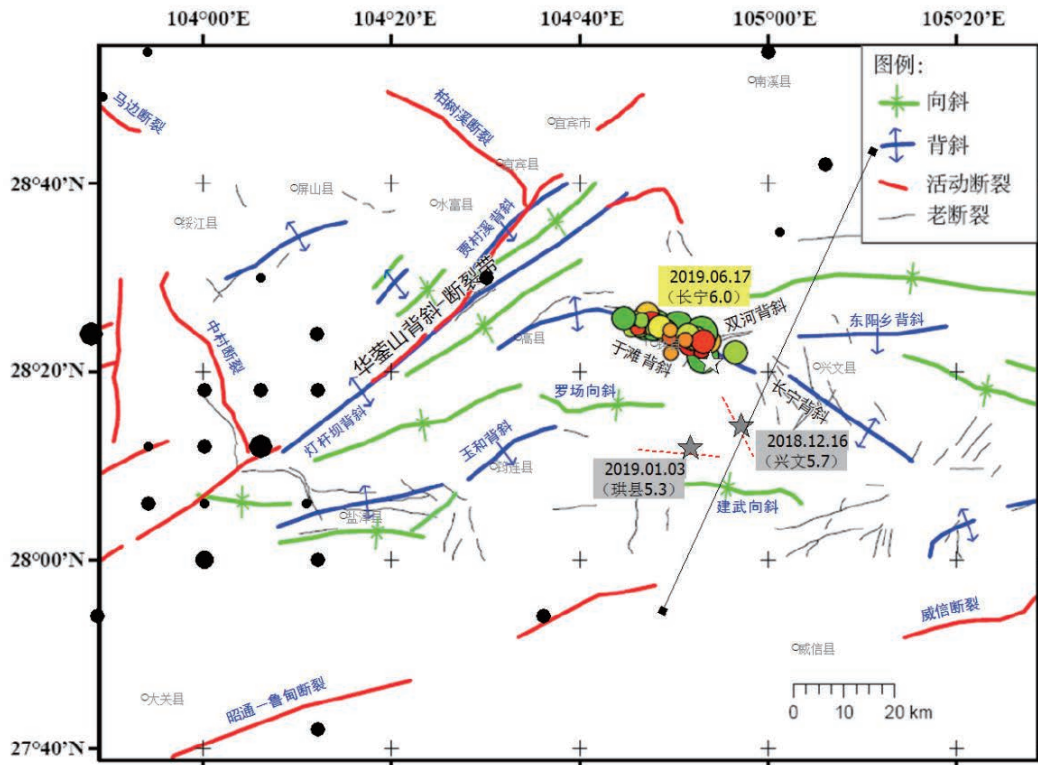


图 5.13 于滩—长宁背斜及邻区地震构造图
(据地质所刘静, 杜方图件修改)

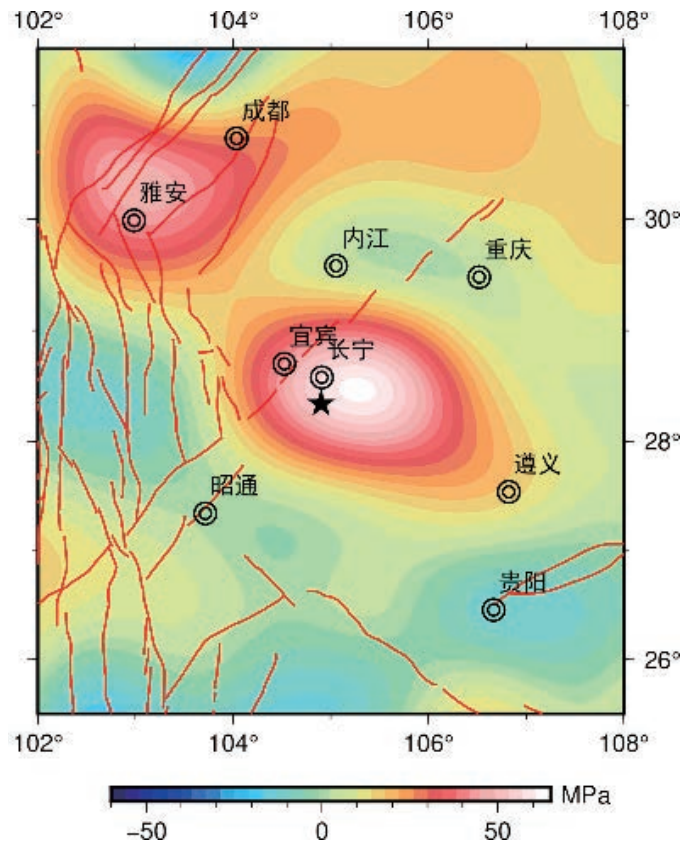


图 5.14 地震区域岩石圈垂向构造应力场本结果由地震预测研究所付广裕提供

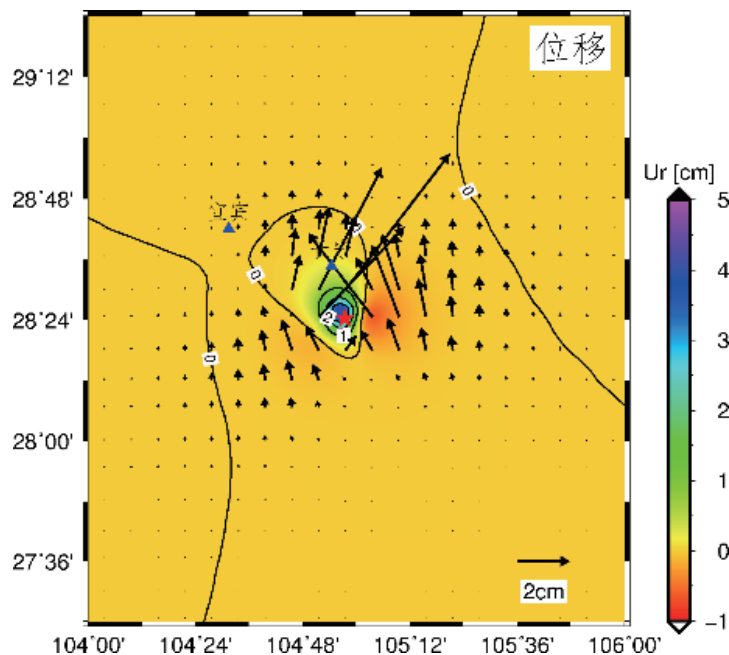


图 5.15 同震位移(理论分析结果)

余震系列分析

1. 余震序列

本部分由地震预测研究所王勤影提供由完备目录统计结果来看，长宁 $M6.0$ 级地震序列虽然 20 日的地震能量和频度稍有起伏，但目前来看，序列处于正常衰减状态。

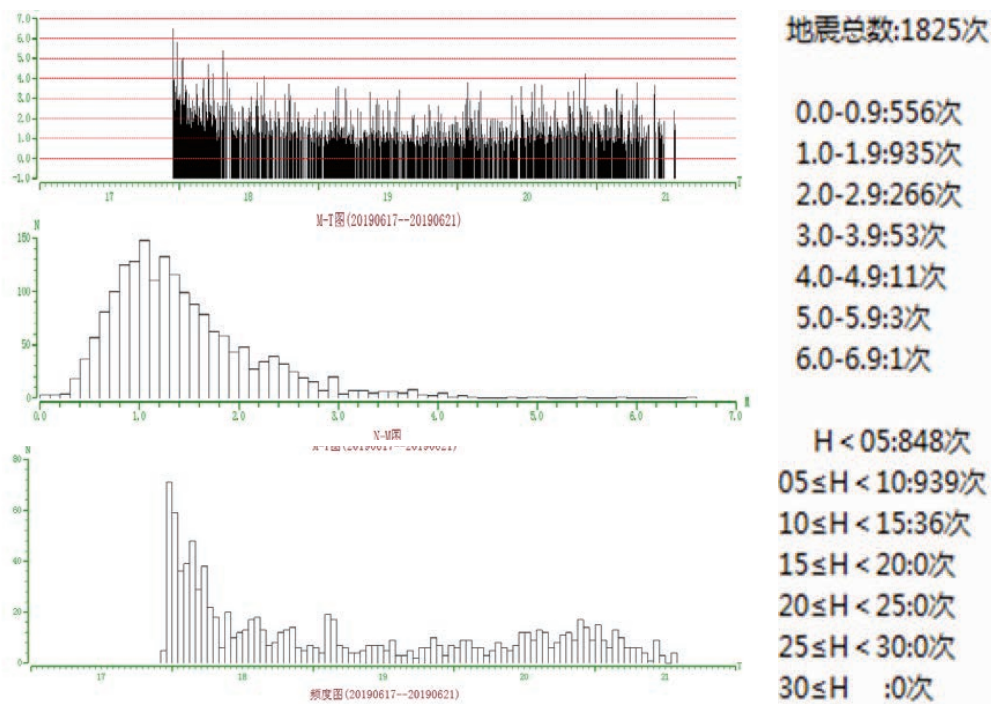


图 5.16 长宁 6.0 级地震序列 $M1.2$ 级(最小完备震级)地震 M-T 图、N-M 图和 N-T 图

2. b 值

本部分由地震预测研究所赵翠祥、赵策提供目前余震区 b 值为 0.62，较低。且时间进程出现下降趋势，表明应力有所增强，注意后期 5 级左右余震的发生。

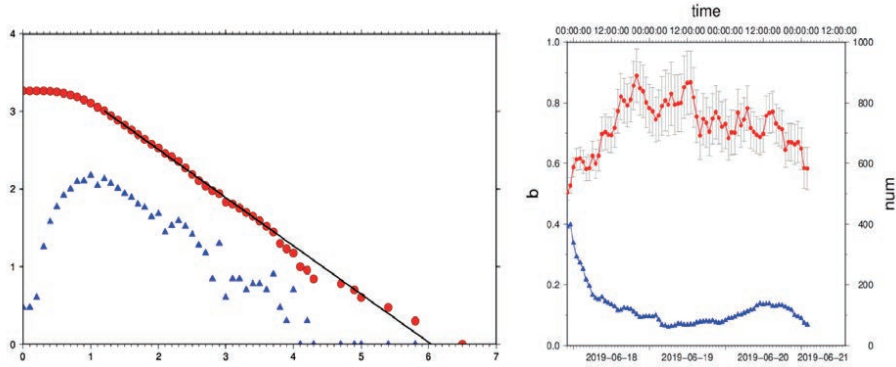


图 5.17 b 值统计 ; b 值时间进程
窗长为 12 小时，滑动时间 1 小时，蓝色为窗内地震数

3. 余震序列分析

本部分由地球物理研究所蒋长胜提供

截止到 2019 年 6 月 21 日 17 时，利用 Omi-R-J 方法对四川长宁 6.0 级余震序列的分析结果表明：

- (1) 余震序列的完备震级的时间演化图显示，当前余震序列的完备震级约为 1.0 级。
- (2) 目前余震序列的 b 值约为 0.71，仍较低、显示震源区较高的应力累积水平。
- (3) 描述序列衰减快慢的 p 值，已从震后数小时内的 0.99 下降为 0.62，表明序列衰减逐渐放缓，余震活动的高频率活动仍将持续。

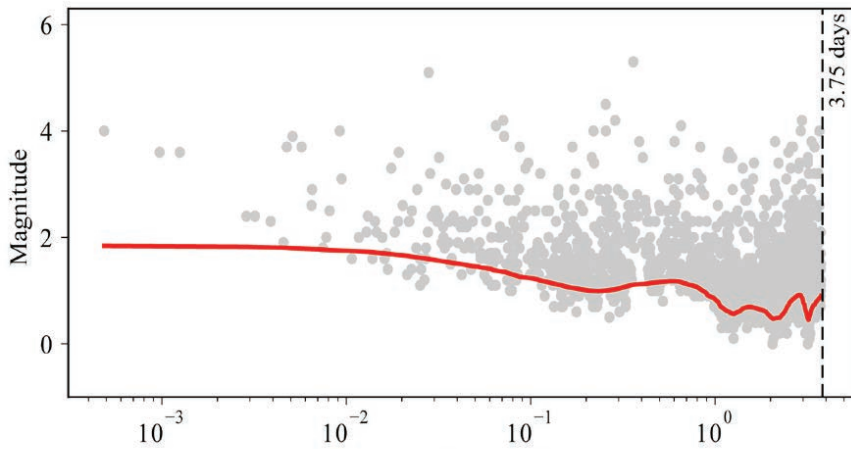


图 5.18 Time after the main shock (截止到 6 月 21 日 17 时)

表 5.1 对余震发生率的预测结果如下

	未来 1 day 2019/06/21 17:00:00-06/22 17:00:00	3 days 2019/06/21 17:00:00-06/24 17:00:00	7 days 2019/06/21 17:00:00-06/28 17:00:00
$M \geq 3$	6.474	17.256	40.013
$M \geq 4$	1.262	3.365	6.625
$M \geq 5$	0.246	0.656	1.292

4. 应力降

本部分由地震预测研究所郑现、四川省地震局提供

序列北西段地震的应力降高于南东段，表明北西段为应力较高部位，易于出现强余震活动。余震区总体应力释放水平较低。

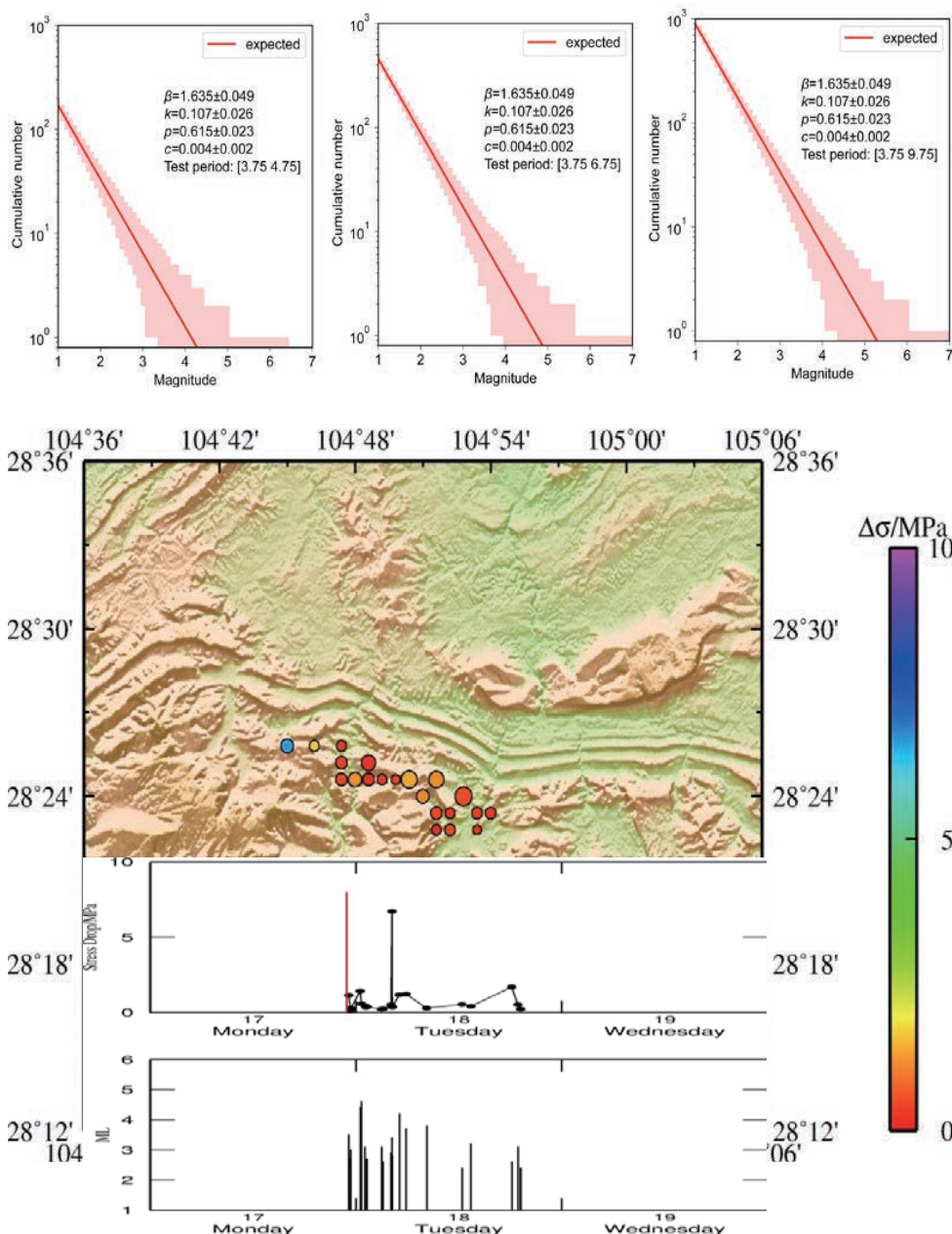


图 5.19

● 实验场地震科技应急成果

中国地震科学实验场与 15 个科学团队签署了应急响应协议，可在实验场发生地震后提供区域地震构造图、地震活动性、三维精密结构、地震活动演化图像、区域应力变化与余震活动概率预测图、地震同震变形、库伦应力变化、InSAR 变形、GPS 数据分析结果、Lg 波震级测定、区域 Rayleigh 波震级测定、震源性质（4 级以上地震）、破裂方向（5.5 级以上地震）、大地震破裂过程、变形结构、断层滑动分布、烈度快速分析、时空震害分布、断层与地震滑坡活动性地球化学评价、基于滑坡地球化学研究的边坡稳定性与地震滑坡形成的机理与滑动趋势综合评价以及氢异常信息等产品，未来随着研究进展期望提供情景地震地面振动数据产品，展示地震破坏情况、地表振动速度位移等。

四川长宁 M6.0 级地震发生后，实验场通知相关团队启动科技应急产品制作程序。在获取数据前提下，目前已得到部分产品。通过成果的改进和积累，有助于进一步研究地震发生机理和过程，以及研判该区域下一次显著地震事件。地质研究所刘静团队提供的构造分析结果已用于对发震构造的判断。一测中心武艳强团队进行了 GPS 震后分析，时序结果显示近震源区西侧主张应变自 2015 年 1 月以来存在转折现象，结合其他应变变量时序揭示了研究区域剪切变形的增强特征。

北京大学周仕勇团队的贾科等采用 FETAS 预测了 3 天 (6 月 1 月 21 日) 的余震分布, 完成了地震库仑应力改变量的初步分析结果。

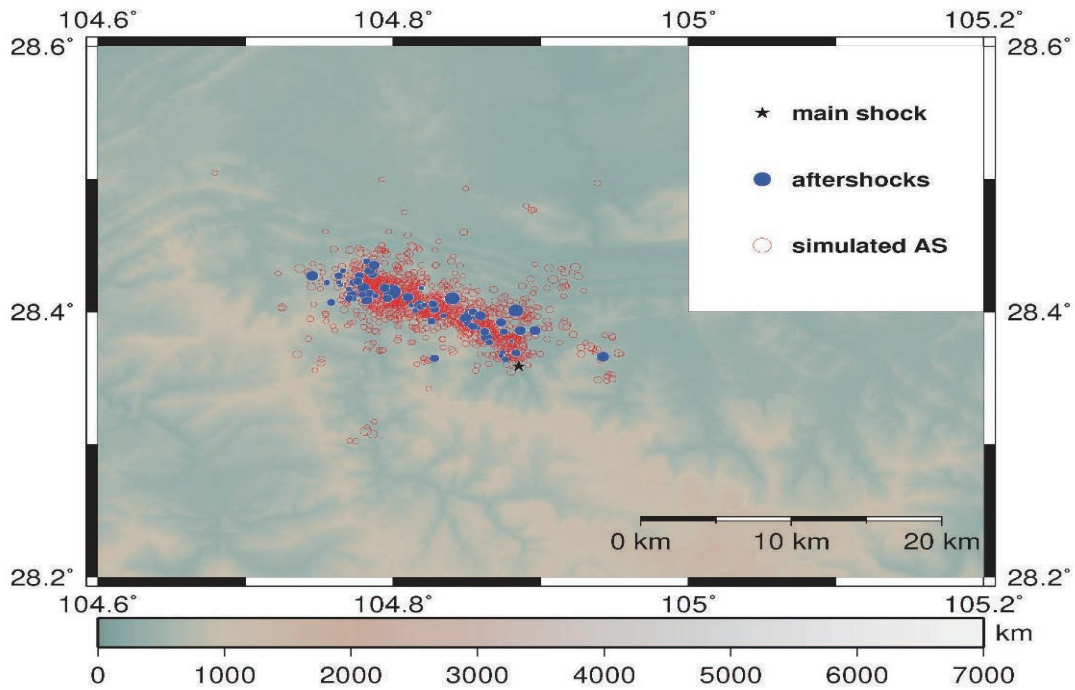
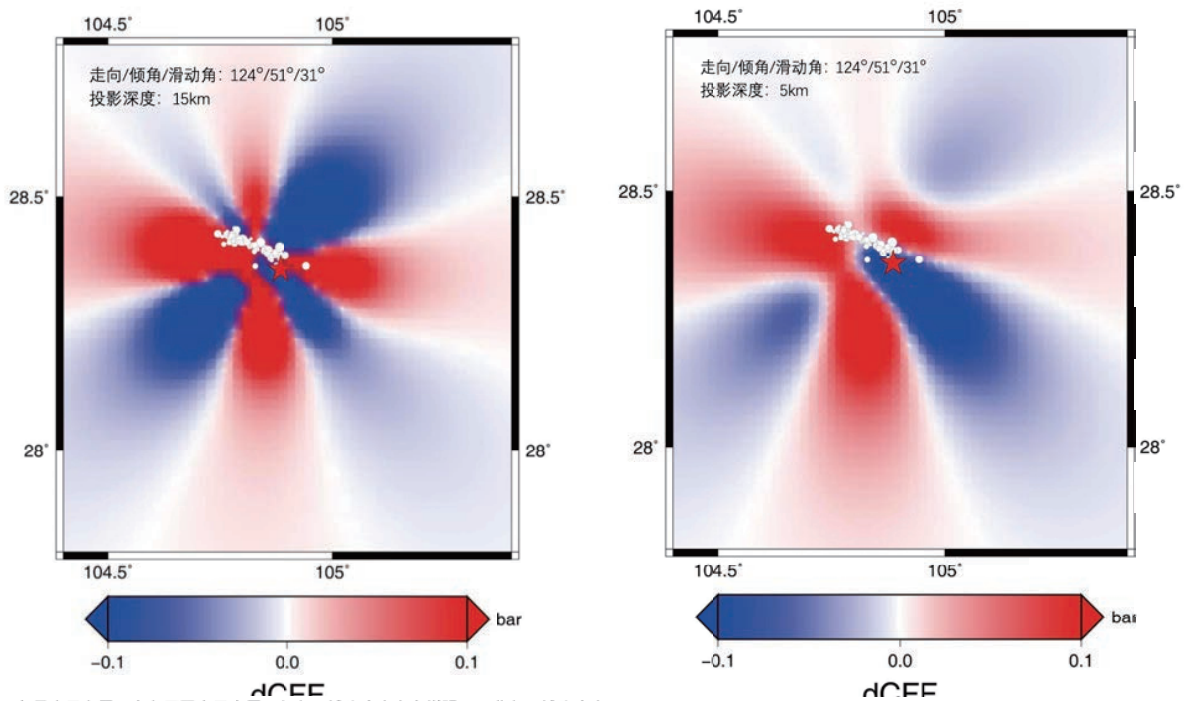


图 5.20 余震 FETAS 预测结果



红色五角星表示主震, 白色圆圈表示余震。红色区域为库仑应力增强区, 蓝色区域为库仑应力减小区。根据矩震级和经验关系确定断层破裂长度、宽度, 再推算断层面的滑移量, 以震源机制信息构建单一平面破裂断层, 计算库仑应力改变量。后续会再根据更新的震源机制、断层滑移分布等信息更新库仑应力计算结果。

图 5.21

广东工业大学王华团队提供了 1 月珙县和 6 月长宁两个地震的同震变形场。其中长宁 $M6.0$ 级地震震中位置有部分信号缺失, 可能是由于卫星升轨双河镇地区山峰遮挡造成影响。

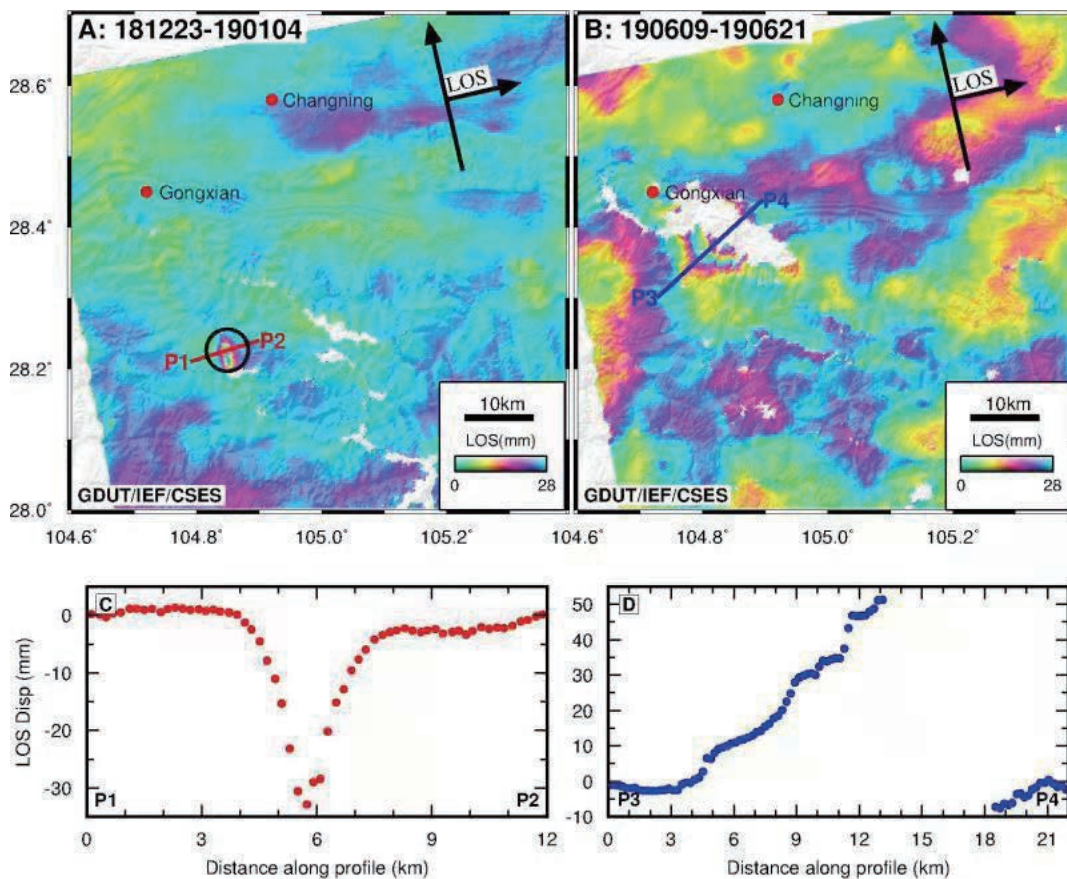


图 5.22

区域历史地震活动和构造地质背景

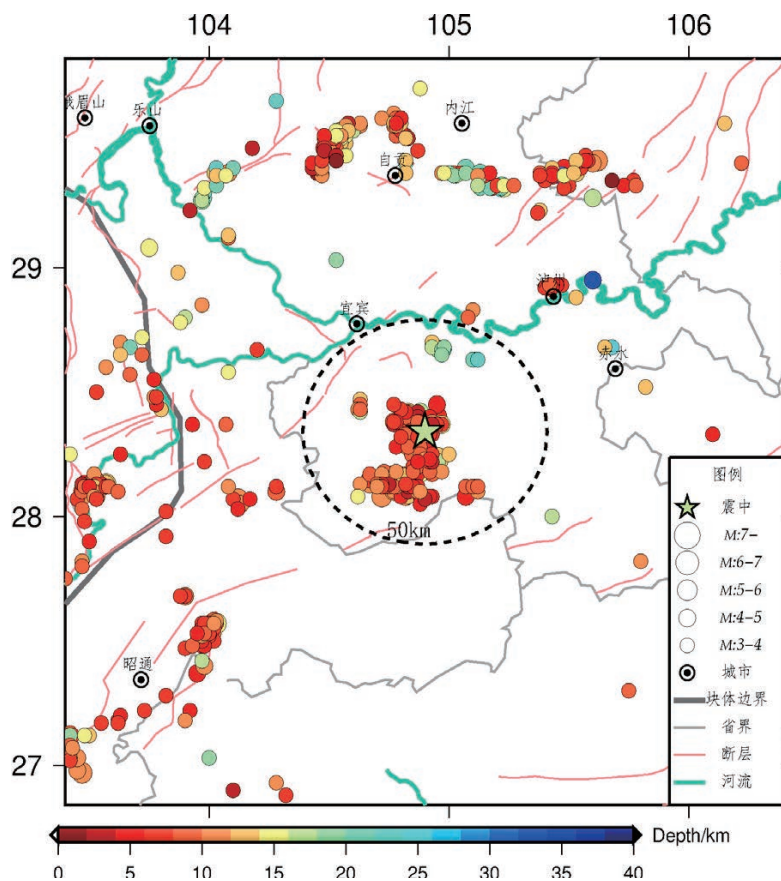


图 5.23 历史地震空间分布图

表5.2 近 10年50km范围3级I批历史地震时表（时间倒序前10）

日期	纬度	经度	震级	地点	距离
2019/02/24	28.13	104.82	3.4	四川琪县	24
2019/02/21	28.45	104.77	3.1	四川长宁	17
2019, 2/20	28.22	104.87	3.2	四川联县	13
2019/02/07	28.18	104.85	3	四川联县	18
2019/01/27	28.23	104.92	3.3	四川兴文	12
2019/01/20	28.25	104.85	4	四川联县	11
2019/01/19	28.1	104.88	3.5	四川联县	26
2019/01/15	28.08	105.07	4.1	云南威信	33
2019/01/11	28.37	104.93	3.2	四川长宁	4
2019/01/04	28.37	104.93	3.8	四川长宁	4

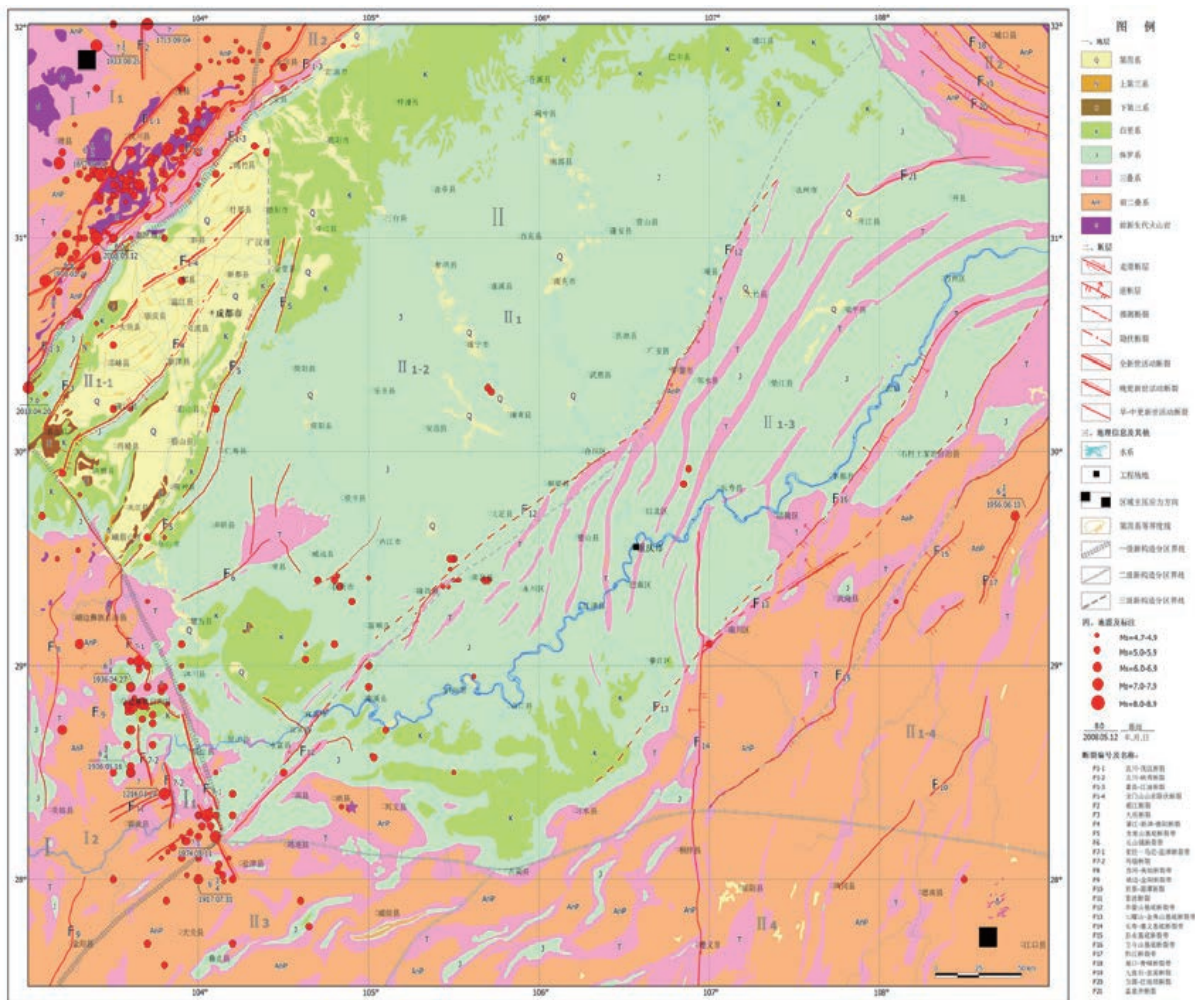


图 5.24 区域地质构造图

◆为年度会商服务的科技产品

中国地震科学实验场（含前川滇国家地震监测预报实验场）自 2015 年开始支持在实验场区开展科学研究、基础图件编制、观测运维、新技术实验等工作。目前，一批截至 2017 年结束的项目成果经过发酵，逐步在地震趋势研判和震情分析跟踪中发挥作用，实验场的科技积累开始显现支撑和带动地震业务发展的价值。

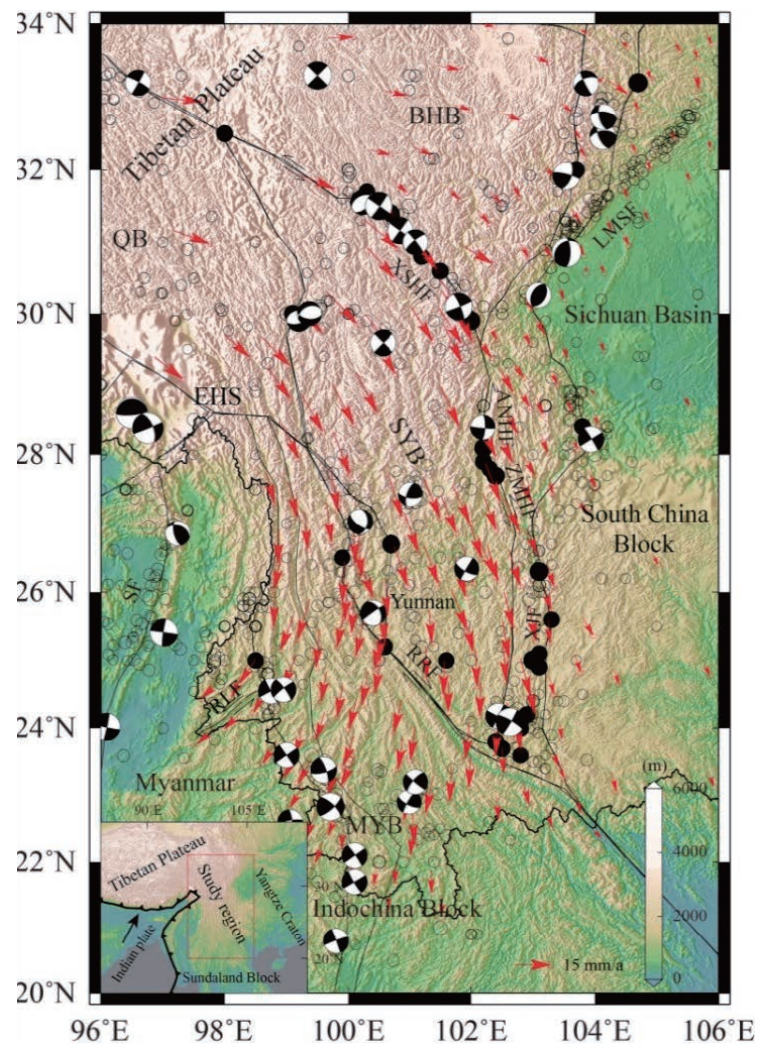


图 5.25 青藏高原东南缘地质构造、GPS 速度场与历史强震活动*

其中，黑色圆圈及沙滩球分别为 1900 以来 $M \geq 5.0$ 地震与 $M \geq 6.7$ 历史地震震源机制；黑色实心圆为有记录以来 $M \geq 6.7$ 地震；GPS 为相对欧亚框架的 1999-2007 观测数据；BHB- 巴颜喀拉块体；EHS- 喜马拉雅东构造结；MYB- 滇缅块体；QB- 羌塘块体；SYB- 川滇块体；XSHF- 鲜水河断裂；ANHF- 安宁河断裂；ZMHF- 则木河断裂；XJF- 小江断裂；RRF- 红河断裂；LMSF- 龙门山断裂；RLF- 瑞丽- 龙陵断裂

* 来自地壳所李玉江副研究员承担的实验场项目《川滇地区运动学模型和重点构造部位动力学模型构建》，邮箱：toleeyj@126.com

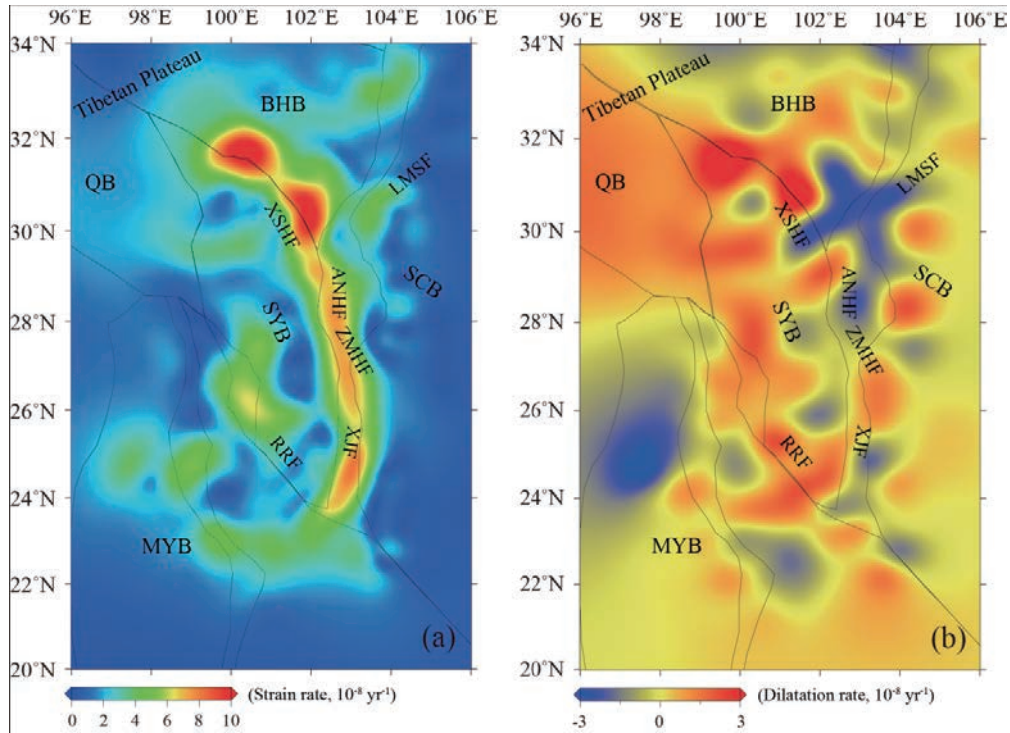


图 5.26 青藏高原东南缘应变率分布特征*
(a)最大剪应变率；(b)面应变率，压性为负。

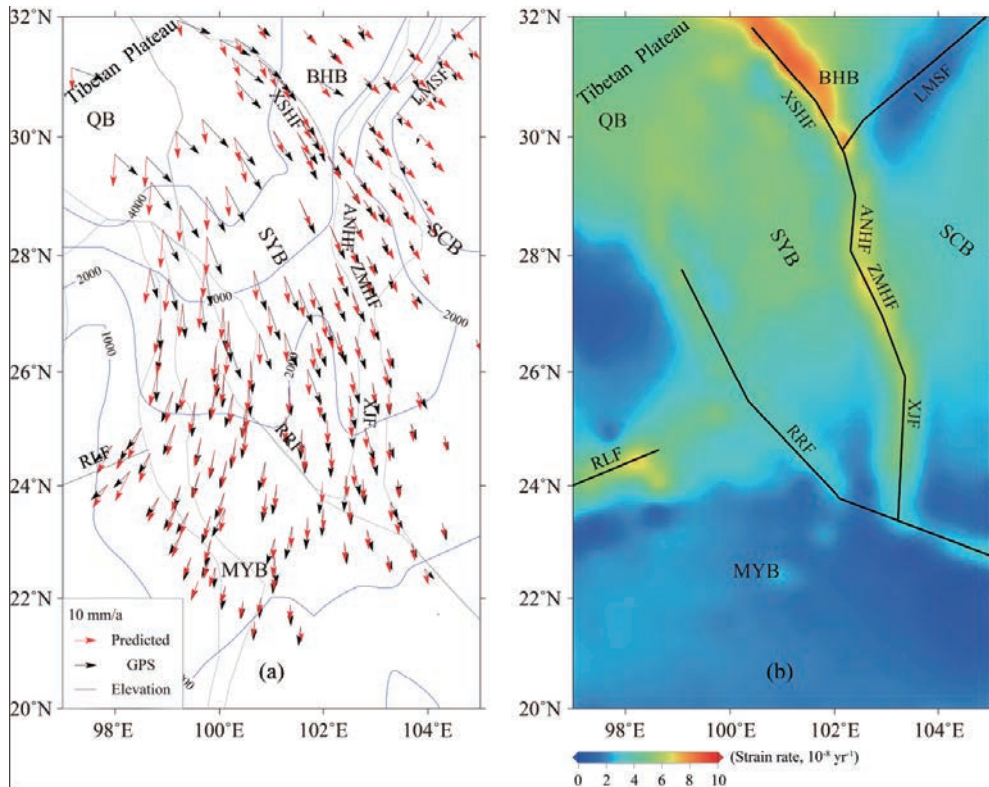


图 5.27 重力势能梯度下的速度场及应变率场特征*

(a)重力势能梯度下的速度场模拟值与实测值对比；(b)最大剪应变率模拟值，黑线为模型中主要块体边界断裂
青藏高原东南缘岩石圈变形的动力学机制一直是国际研究和争论的热点问题之一。构造逃逸模型等端元模型的提出，对认识青藏高原岩石圈演化的动力学机制起到积极的推动作用。应变场解算及动力学数值模拟实验，给出青藏高原东南缘高剪应变率主要分布于块体边界断裂带及重力势能梯度是产生现今地壳应变特征的主控因素。

* 来自地壳所李玉江副研究员承担的实验场项目《川滇地区运动学模型和重点构造部位动力学模型构建》，邮箱：toleeyj@126.com

川滇地区主要活动断裂与强震分布图 *

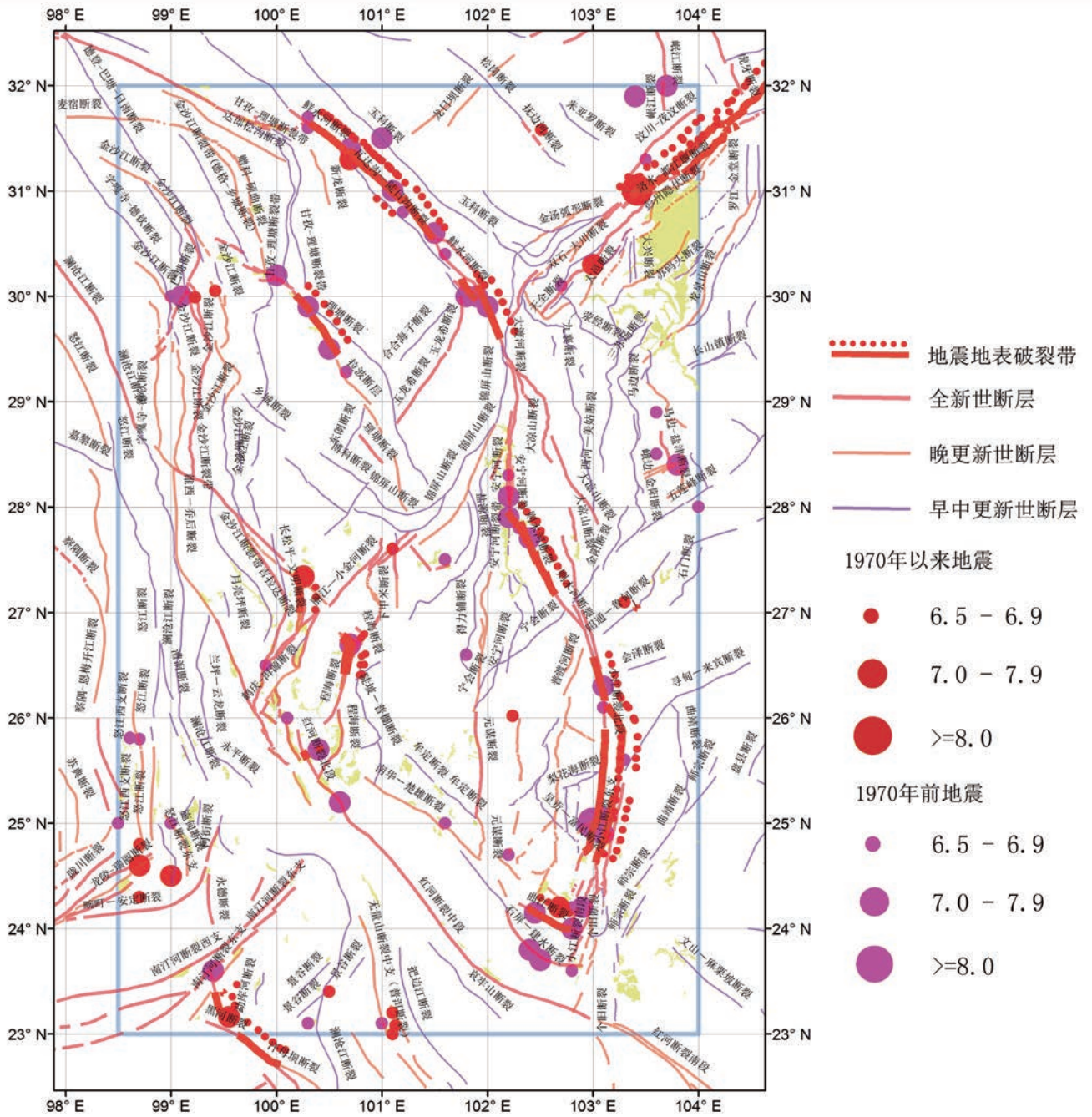


图 5.28 川滇地区主要活动断裂与强震分布图 *

* 来自地质所吴熙彦副研究员承担的实验场项目《编制《川滇地区历史和现代强震、大地震破裂区分布图》(1:50万)》，邮箱：xywu@ies.ac.cn

InSAR 平均形变速率场 *

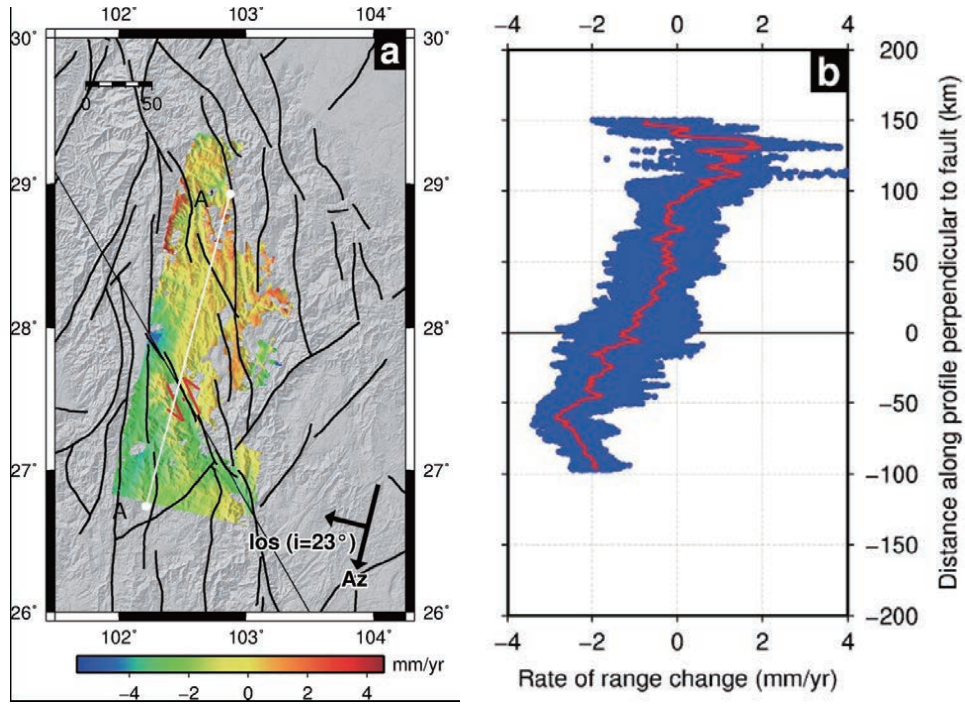


图 5.29 通过对可利用的四幅干涉图进行大气、轨道改正后，再进行 stacking5 处理，得到了卫星视线向 (LOS) 的平均形变速率场，如 a 图。图中可见，则木河断裂的活动在形变速率场上体现明显，南盘整体向着卫星方向运动，北盘背离卫星方向，总体呈左旋走滑趋势。从横跨则木闭的剖面图 (b 图) 可以看出，两盘的相对运动，在卫星视线向可达 2mm 价，如果假谢彭变全部由平行于断层的走滑运动引起，那么转换成平行断层的走滑形变量为 3.1mm/yr，与王闰昭的 GPS 结果 (2-3mm/yr) 致。另外其他断裂的运动量在 InSAR 形变速率场上没有体现，不是因为这些断裂不活动，而是这些断裂太部分是南北走向的意滑断裂，与卫星视线向近乎垂直，InSAR 对这些南北向的形变非常不敏感，所以无法观测到。

水平速率场 *

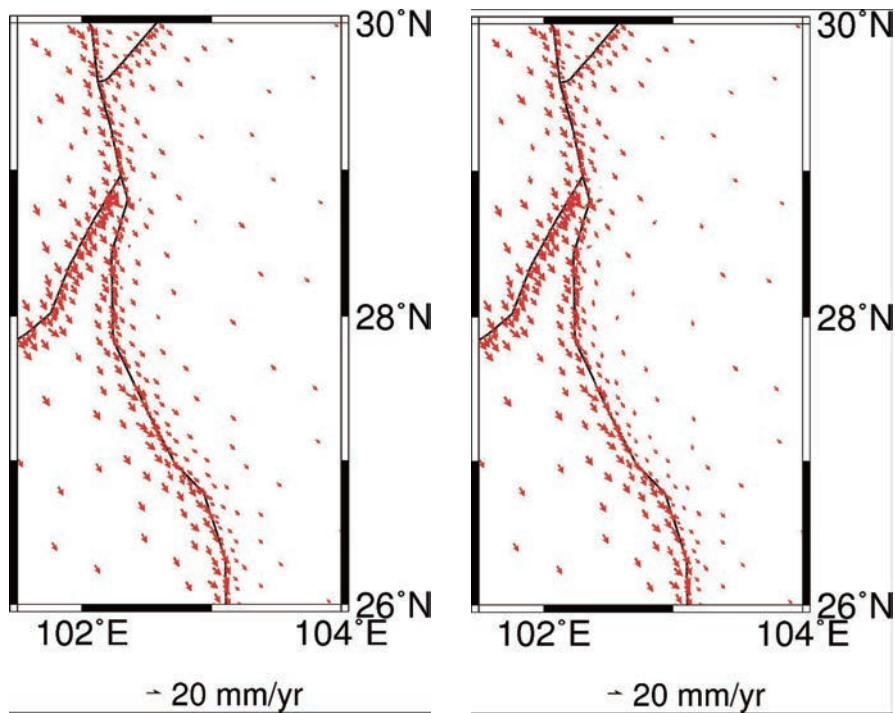


图 5.30

* 来自地质所单新建研究员承担的实验场项目《基于 InSAR 数据的川滇地区断层应力状态分析》，邮箱：xjshan@163.com

垂直速率场 *

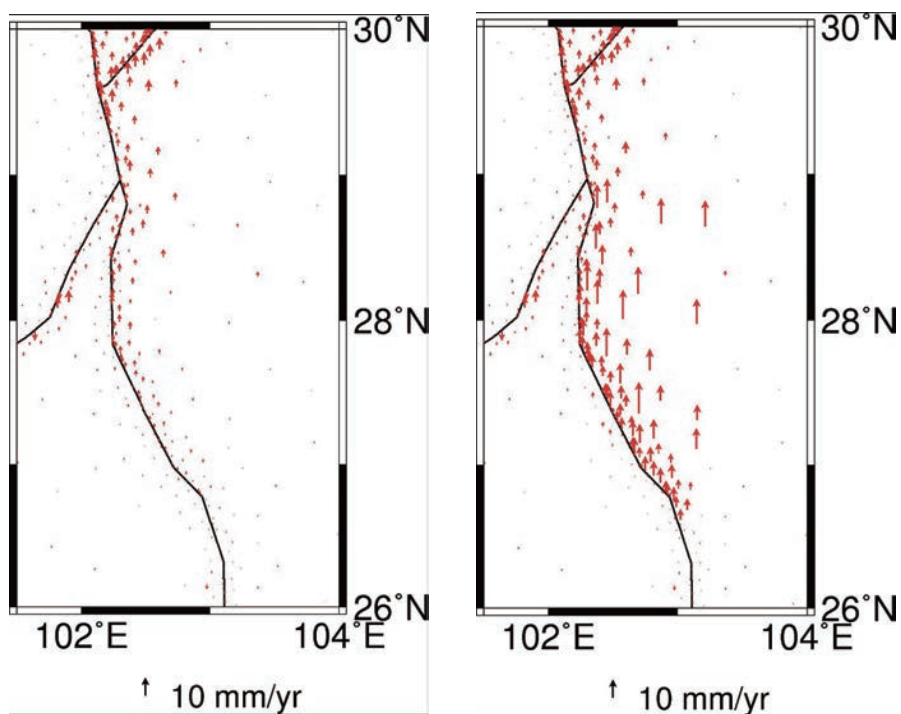


图 5.31

应变率场 *

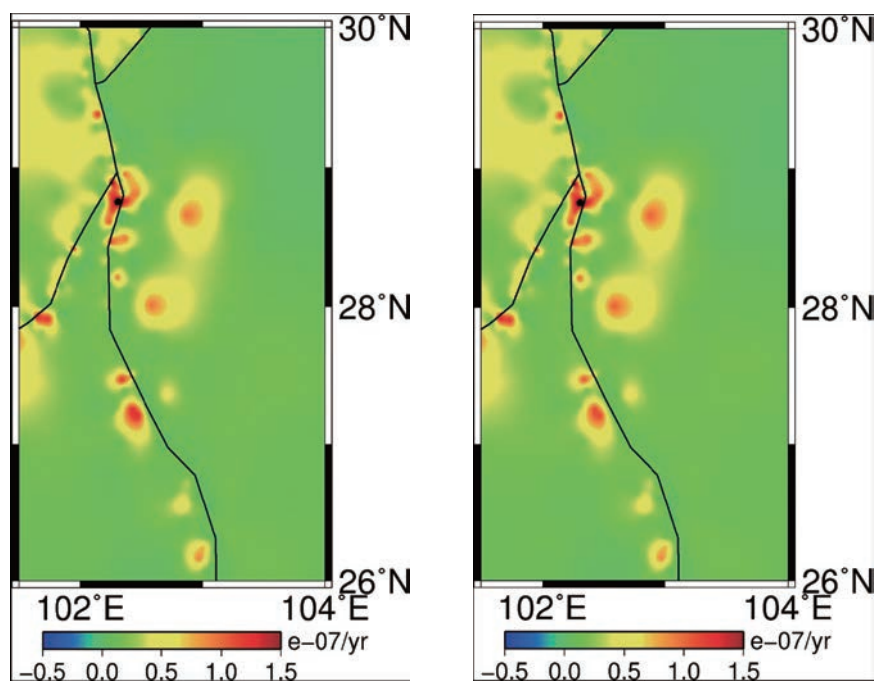


图 5.32 InSAR 获取的则木河断裂的活动在形变速率场上体现明显，总体呈左旋走滑趋势。
从横跨则木河的剖面图可以看出，两盘的相对运动，在卫星视线向可达 2mm/yr

* 来自地质所单新建研究员承担的实验场项目《基于 InSAR 数据的川滇地区断层应力状态分析》，邮箱：xjshan@163.com

川滇地区地震定位结果 *

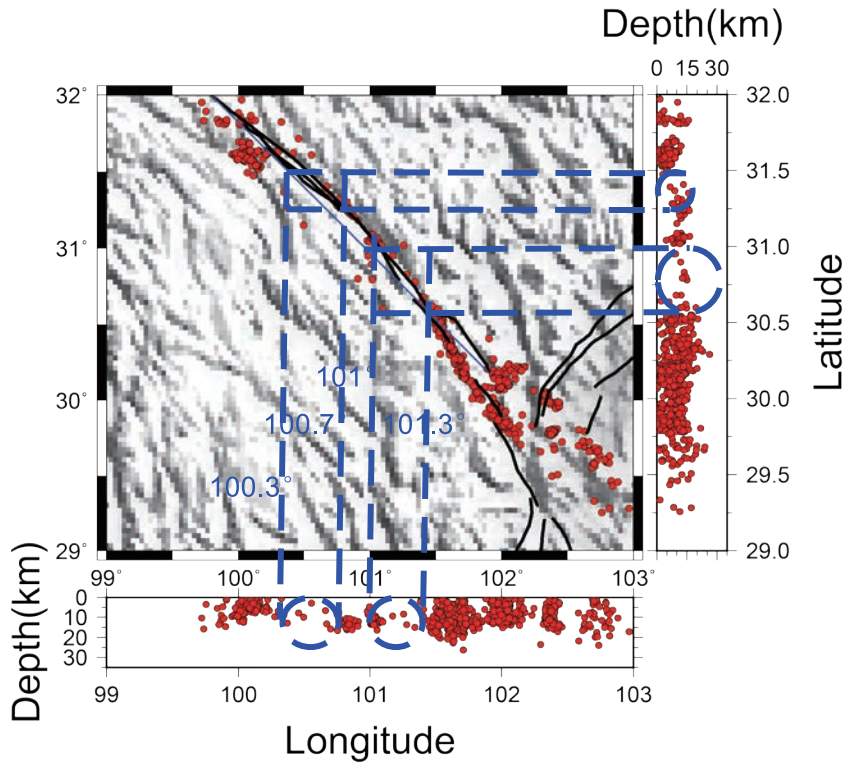


图 5.33

川滇速度模型 *

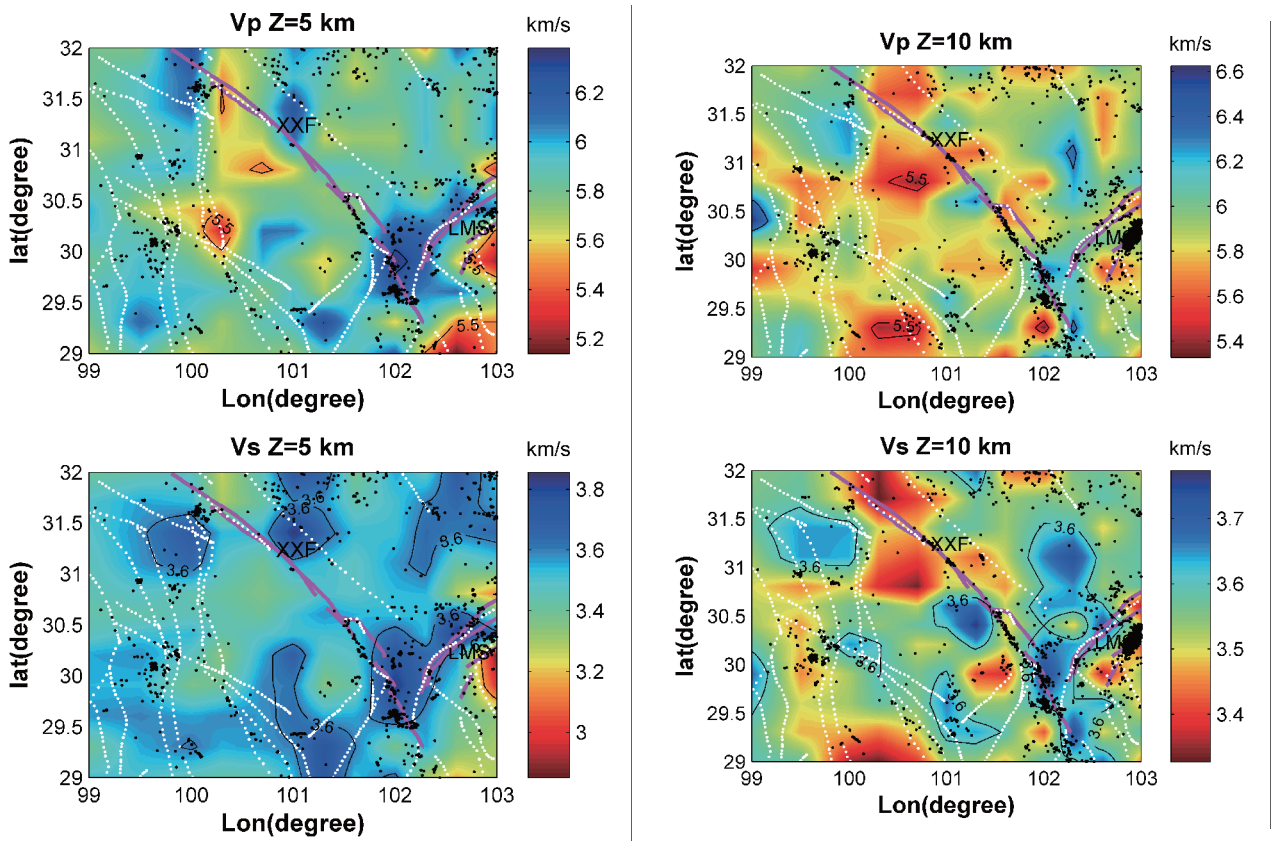
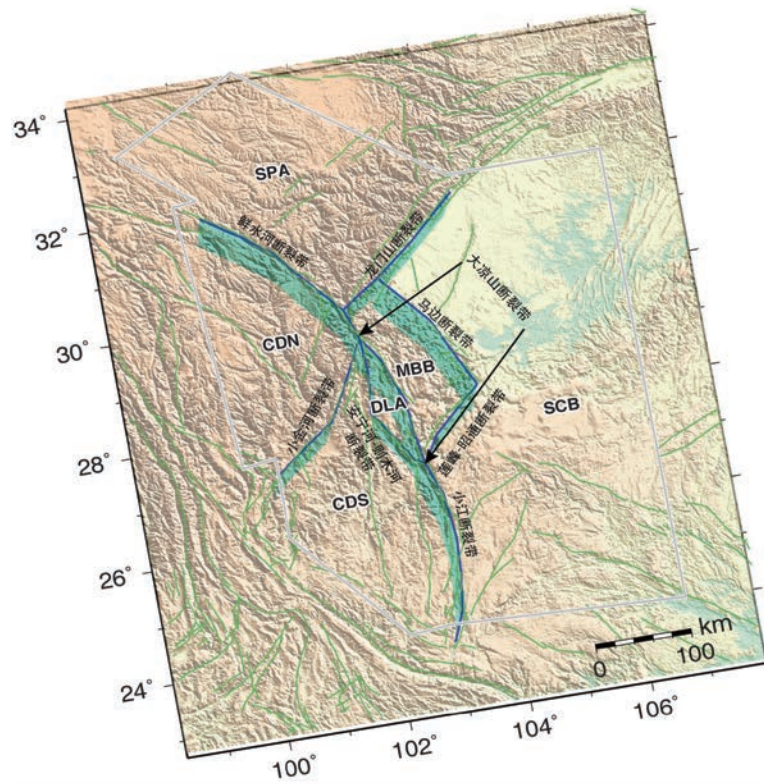


图 5.34

* 来自中国地质大学郑勇教授承担的实验场项目《鲜水河 - 小江断裂带的闭锁状态研究》，邮箱：zhengyong@whigg.ac.cn

地块模型 *



SPA - 松潘地块 DLA 太凉山地块 绿线 断层
 CDN - Ji 西北地块 MBB 马边地块 蓝线绿面 主要边界断层面
 CDS 滇中地块 SCB 华南地块

图 5.35

GPS 速度图像 (1999-2007) *

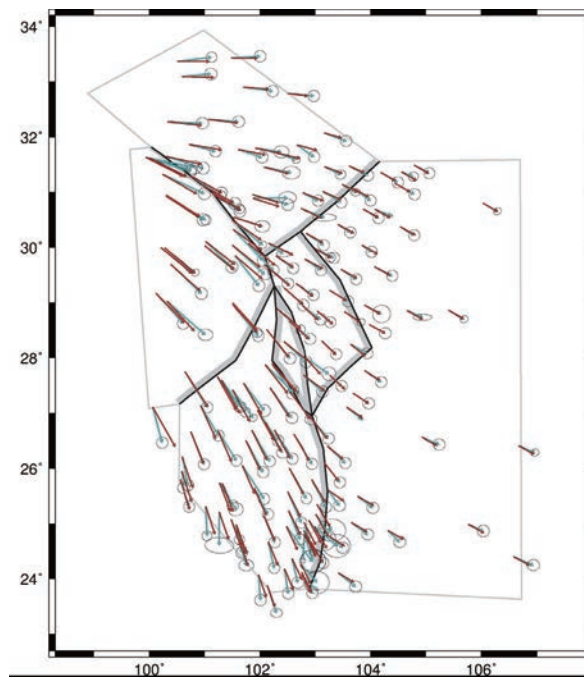


图 5.36 蓝色箭头：观测 红色箭头：模拟

* 来自地质所张竹琪研究员承担的实验场项目《川滇地块东边界时间相依的强震发生概率评价》，邮箱：zhangzq@ies.ac.cn

地块中心运动速度 *

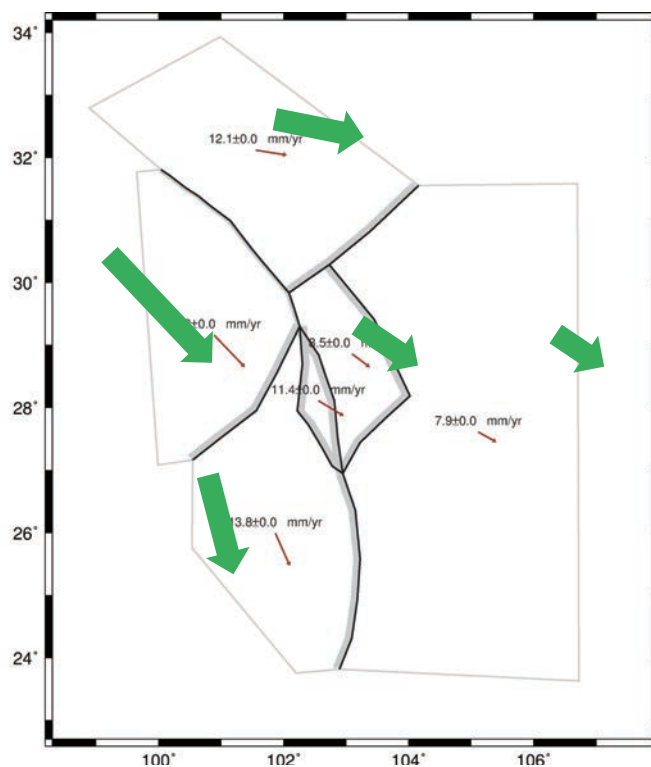


图 5.37

断层闭锁系数 *

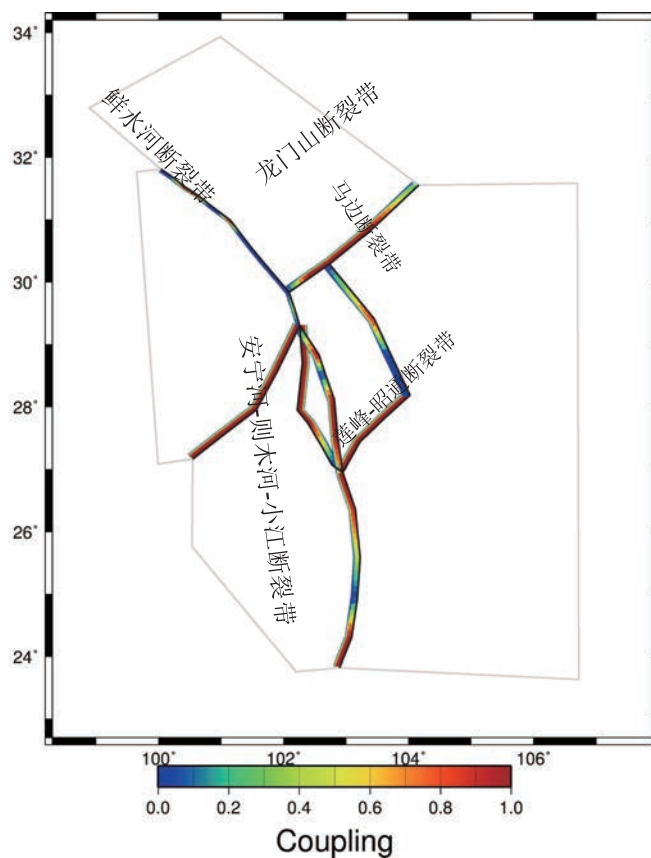


图 5.38 模型反映了地块运动学主基本特征，龙门山闭锁区与后续强震有一定对应关系，鲜水河断裂、马边断裂低闭锁区对应 1970s 震源位置

* 来自地质所张竹琪研究员承担的实验场项目《川滇地块东边界时间相依的强震发生概率评价》，邮箱：zhangzq@ies.ac.cn

长宁地区近年来的地震分布 *

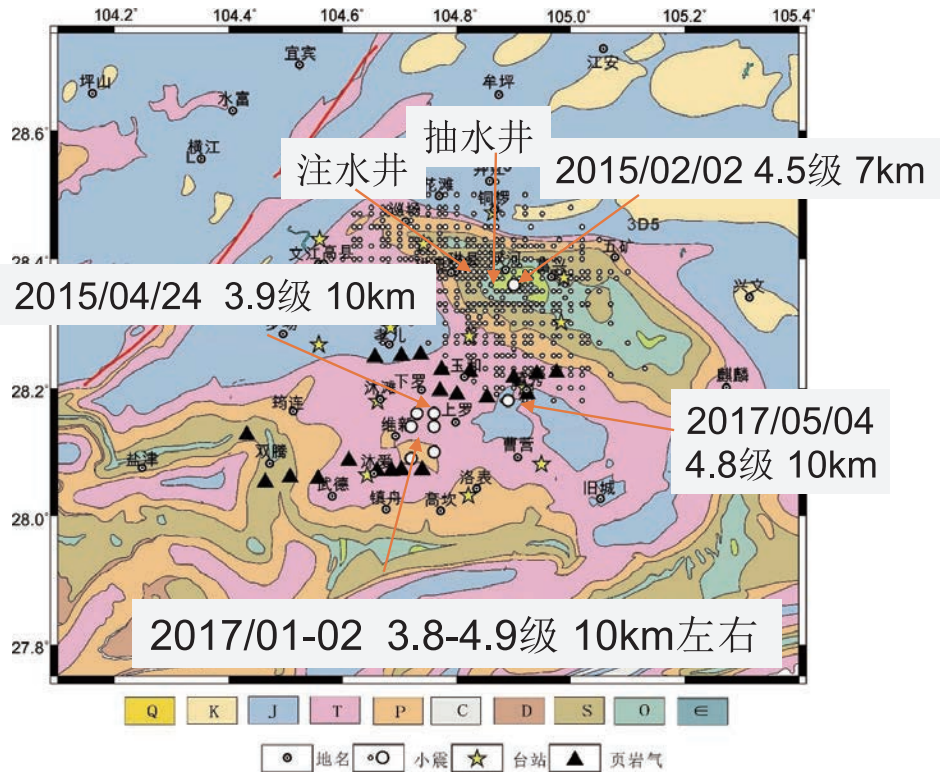


图 5.39 (地震数据下载自中国地震台网) 近期 3 级以上地震密集发生在上罗镇附近

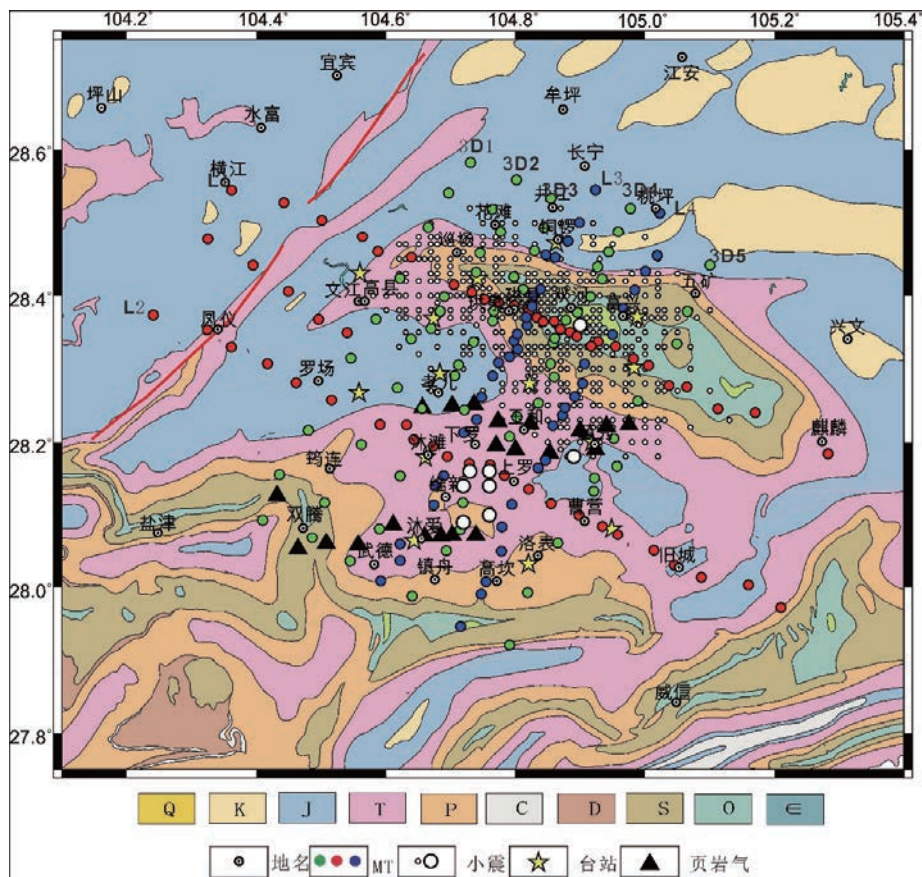


图 5.40 共获得有效测点 170 个, 测点有效周期在 $\bullet 320\text{Hz}-2700\text{s}$

* 来自地质所詹艳研究员承担的实验场项目《四川长宁地震窗深部结构大地电磁探测》，邮箱：zhanyan66@vip.sina.com

兰维电磁反演和深部电性结构特征 *

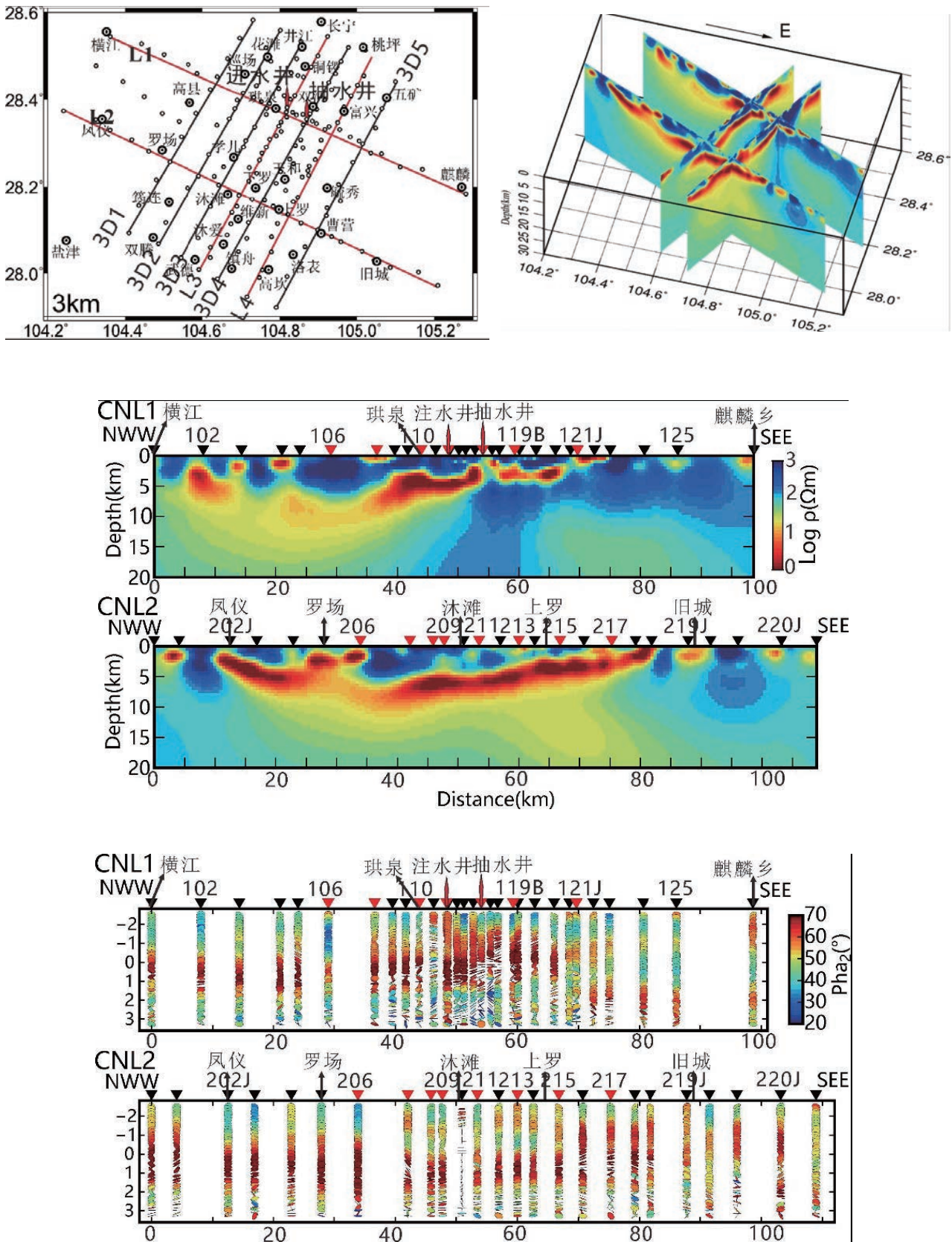


图 5.41

* 来自地质所詹艳研究员承担的实验场项目《四川长宁地震窗深部结构大地电磁探测》，邮箱：zhanyan66@vip.sina.com

电阻率结构、小震分布和注水关系讨论 *

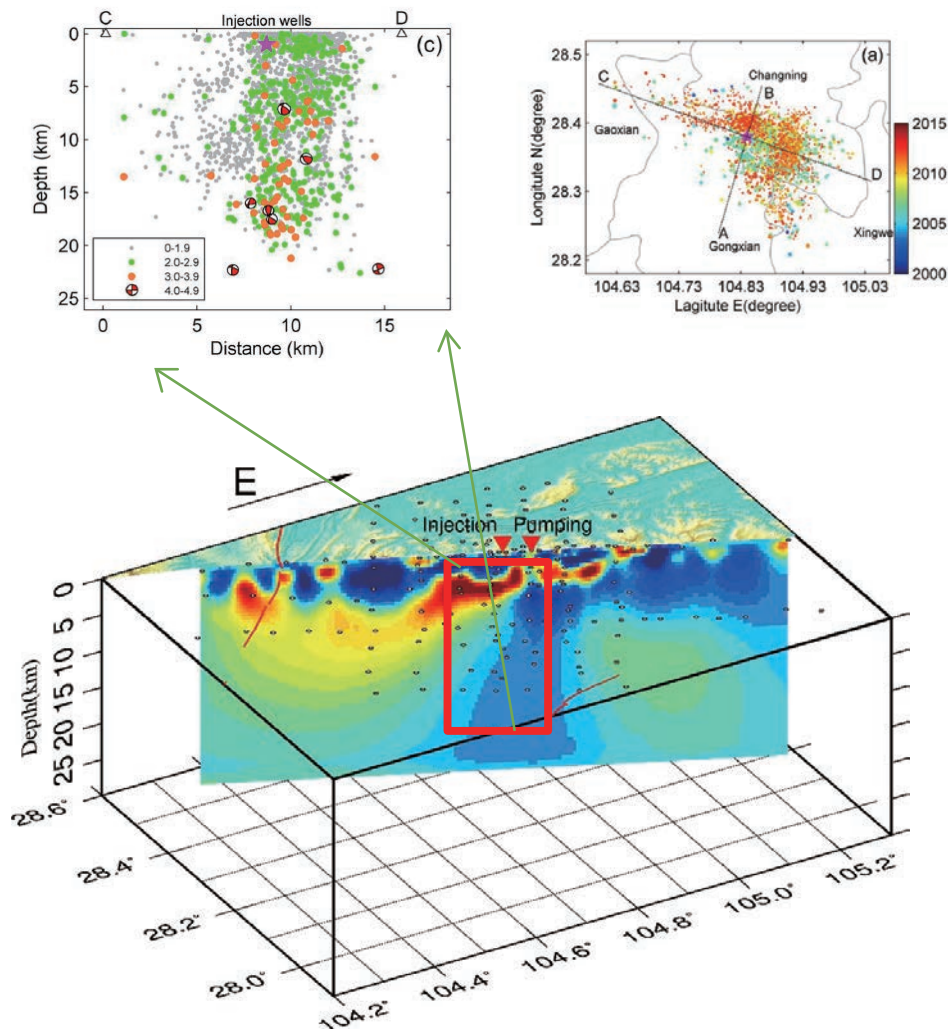


图 5.42 Sun Xiaolong 等人对长宁地区的研究结果表明小地震广泛发生在注水井的下方。

电性结构图像指示注水井下方存在一条倾斜的电性边界带

小震密集发生在注水井下方 0-20km 内的范围内 (sun xiaolong 等, 2017)

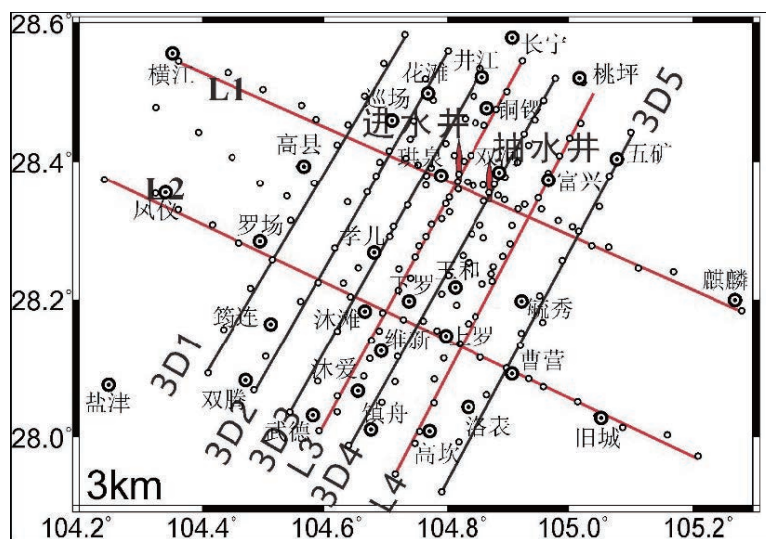
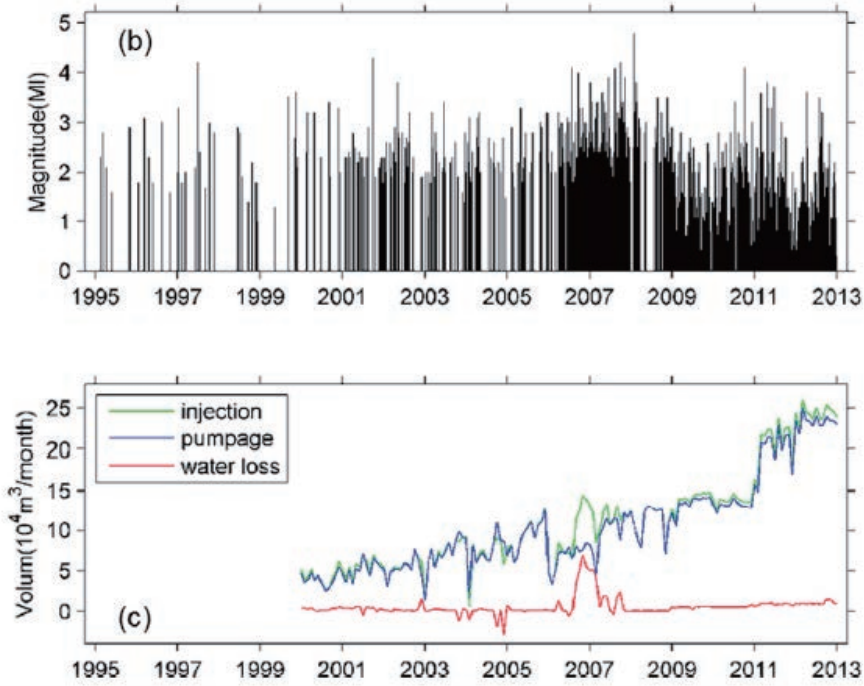


图 5.43

* 来自地质所詹艳研究员承担的实验场项目《四川长宁地震窗深部结构大地电磁探测》，邮箱：zhanyan66@vip.sina.com



sun xiaolong 等, 2017

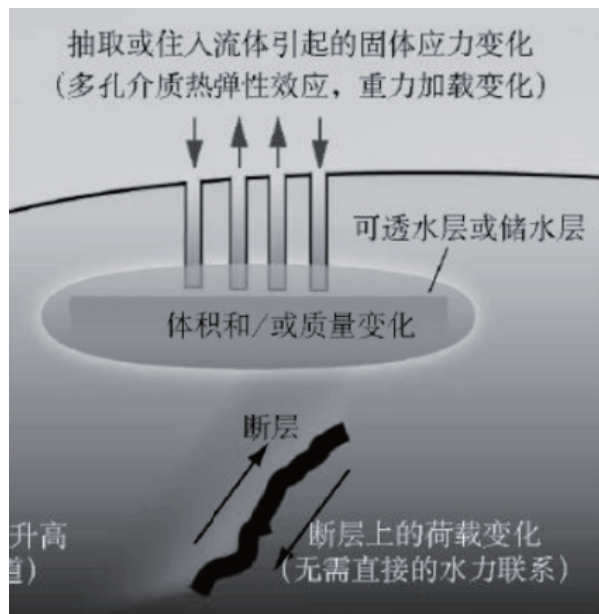
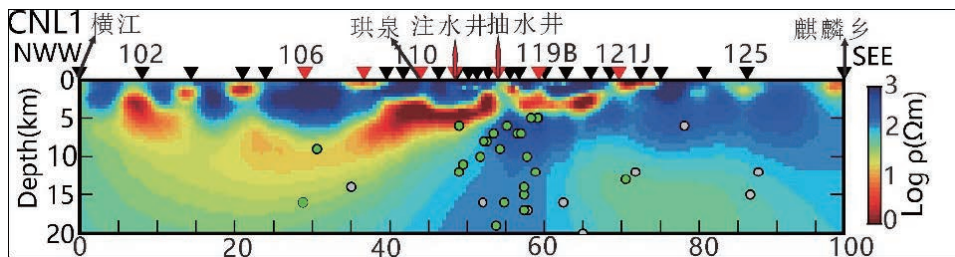


图 5.44 (王志伟, 2017)

比较地震位置与电性结构图, 并结合 Sun xiaolong (2017) 注水出水量恢复正常后地震依然丛集的研究结果, 可推断双河盐矿周边地震的成因可能是重力加载变化

低速物质通道 *

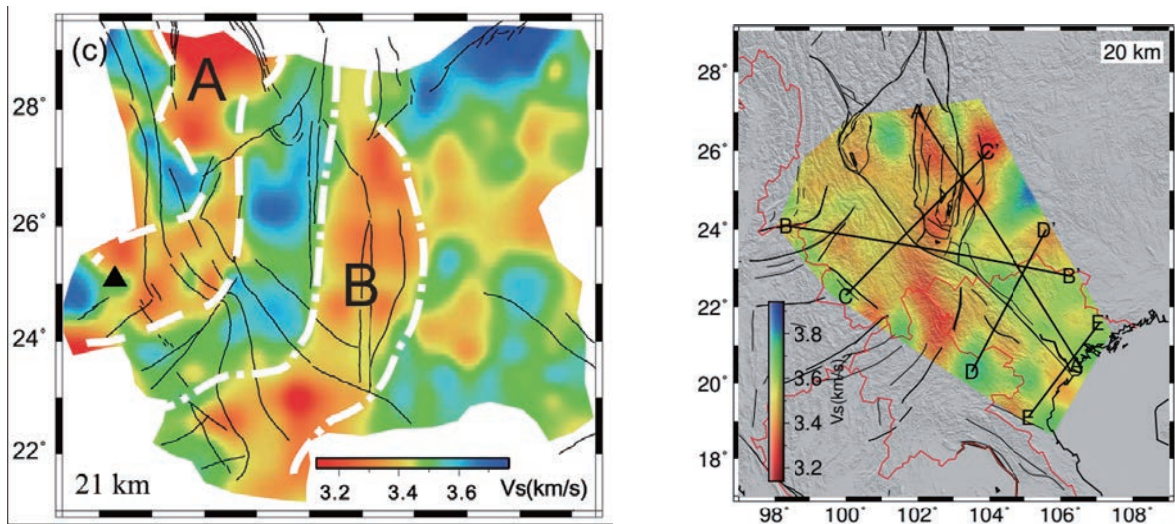


图 5.45 Bao et al. (2015)

1. 断裂带为界(绿汁江, 小江, 奠边府)
2. 东向延伸

古陆核 *

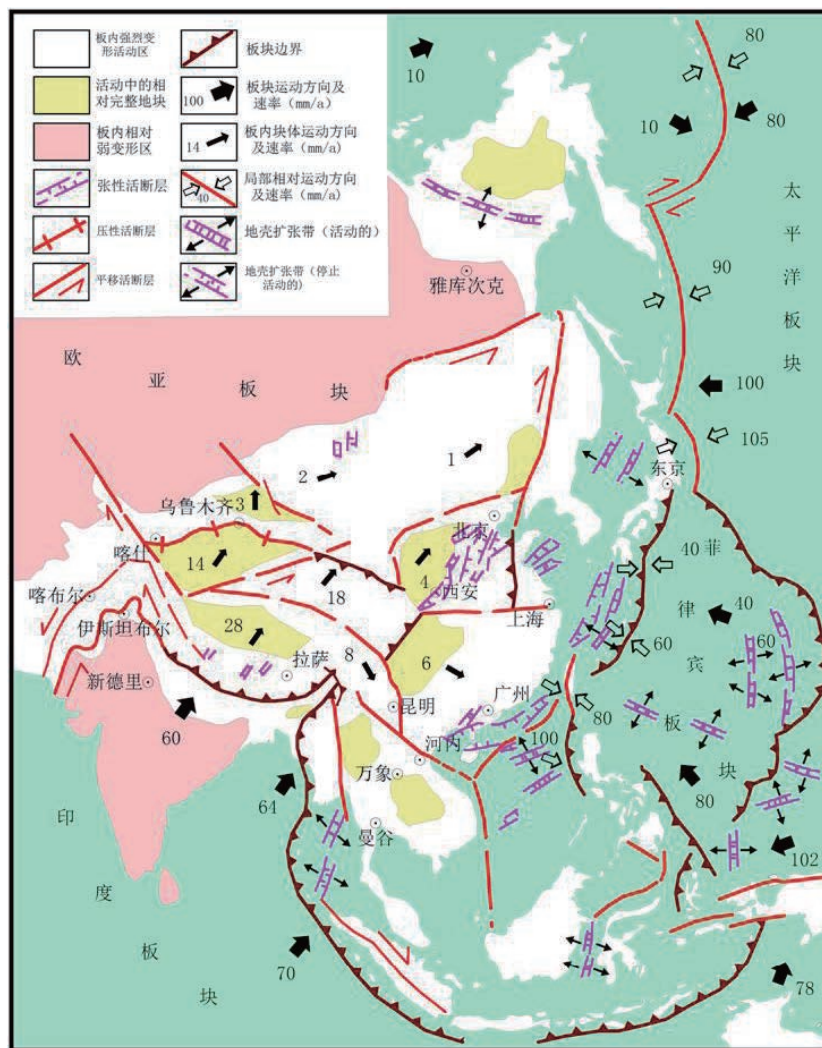


图 5.46

* 来自中国科学技术大学姚华建教授承担的实验场项目《云南及越南北部地壳结构及方位各向异性特征研究》，邮箱：hjyao@ustc.edu.cn

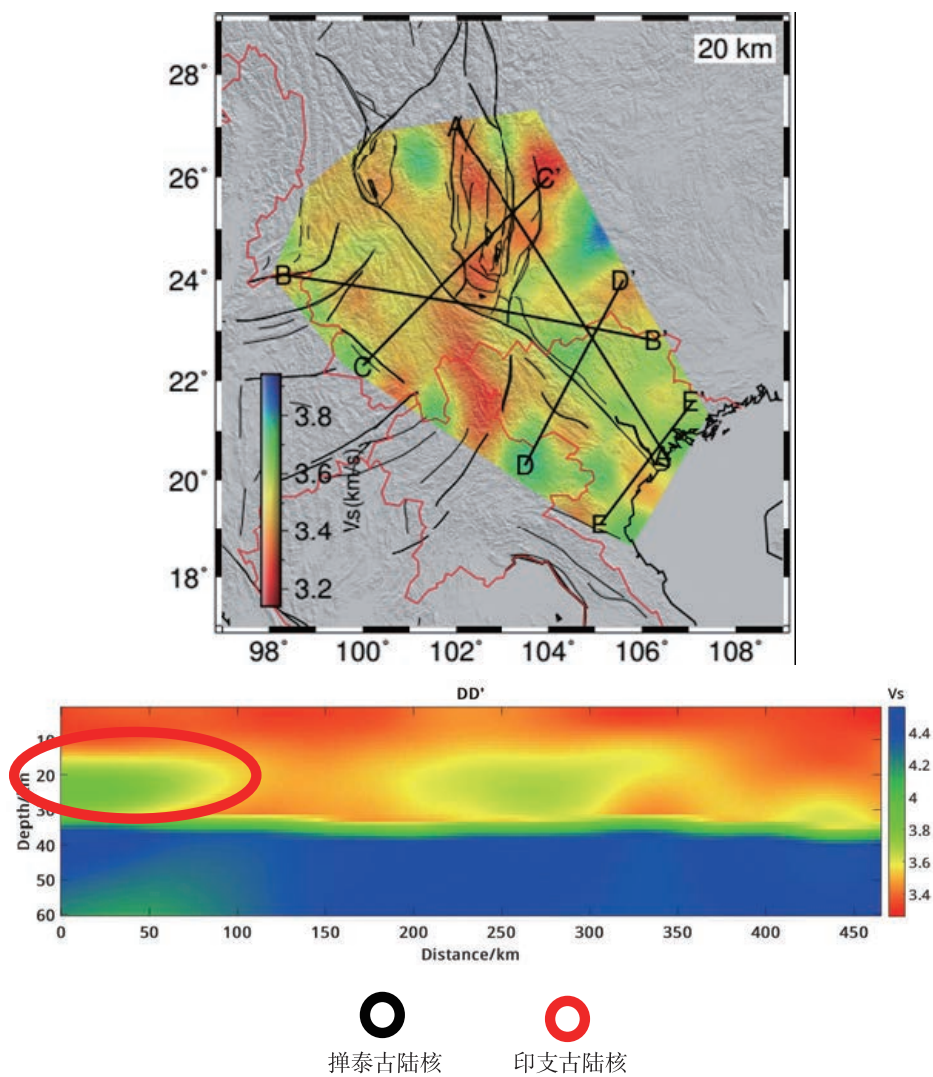


图 5.47

大地电磁

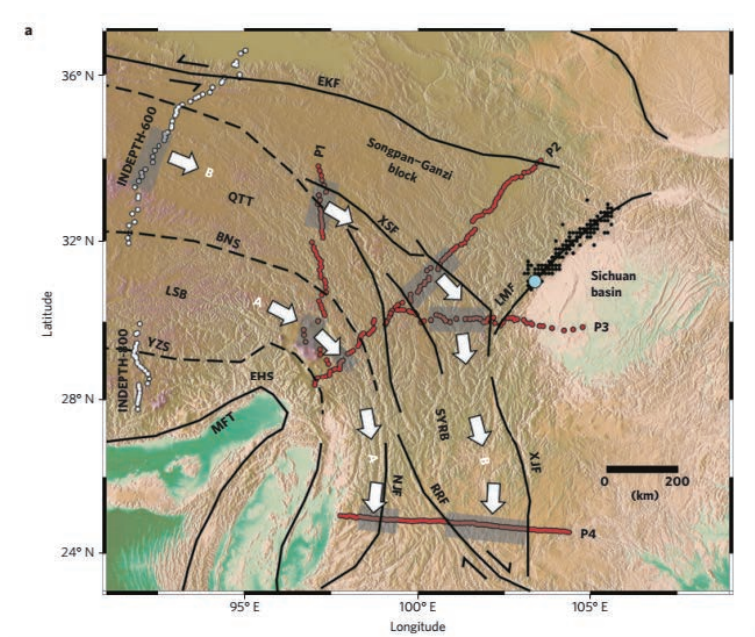


图 5.48 (Bai Denghai et al.,2010)

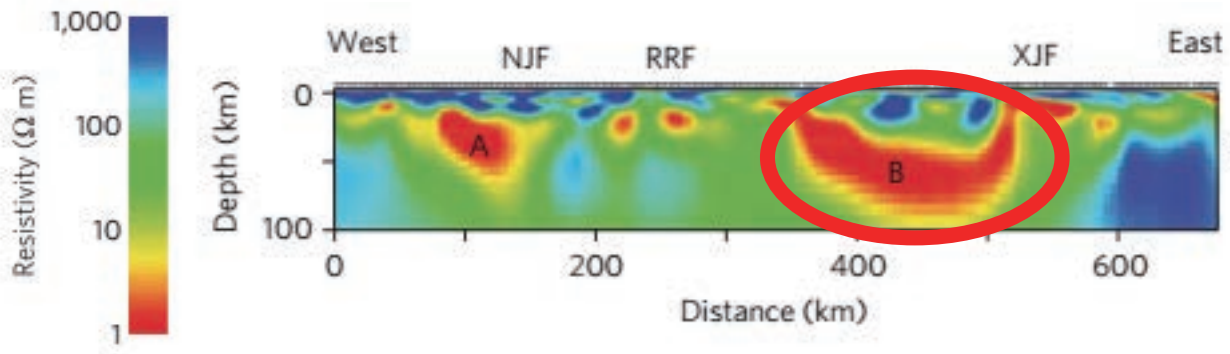


图 5.49 1. 红色区域，低速和高导区域相对应；2. 黑色区域，怒江断裂下方*

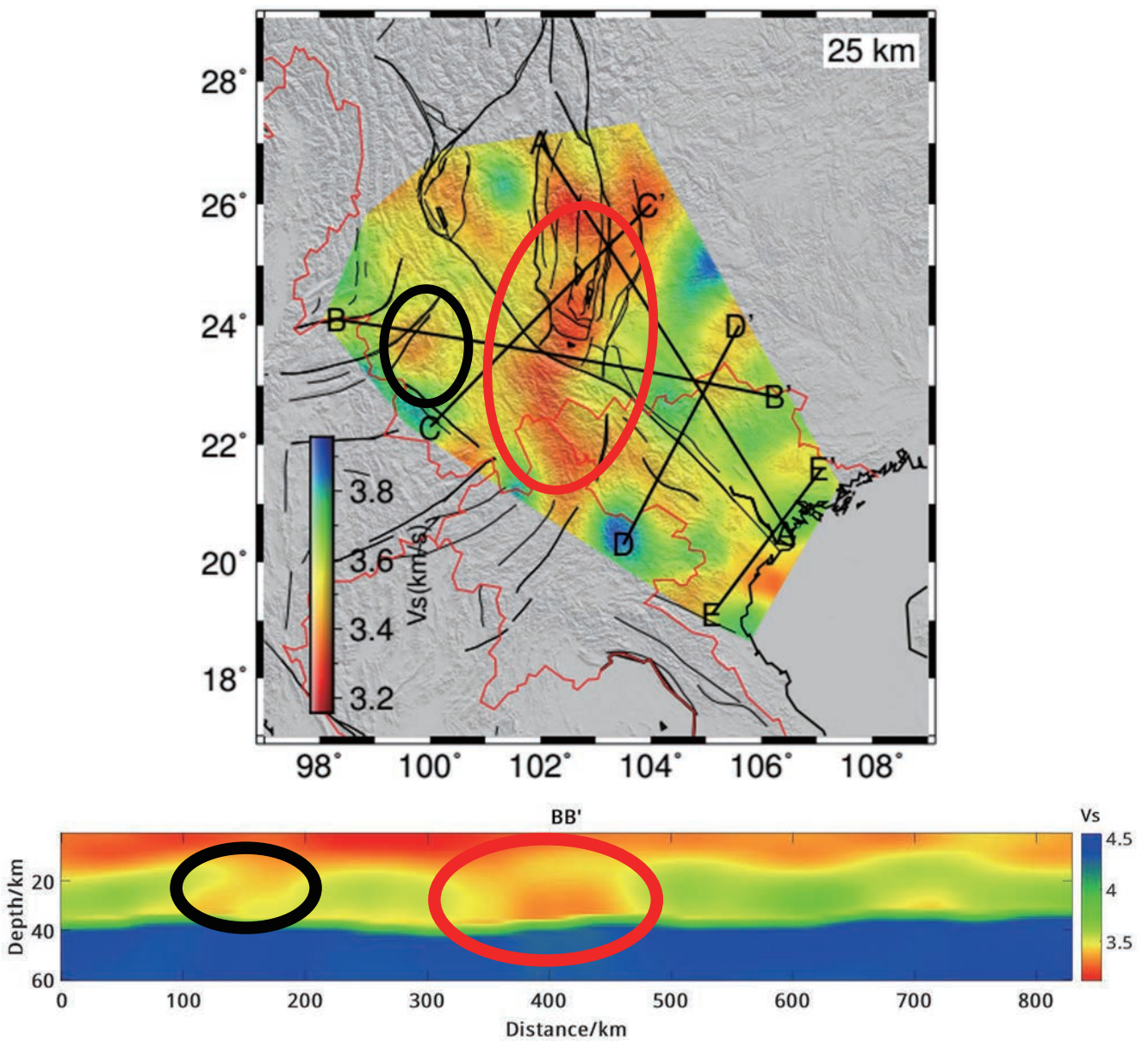


图 5.50 1. 红色区域，低速和高导区域相对应；2. 黑色区域，怒江断裂下方*

* 来自中国科学技术大学姚华建教授承担的实验场项目《云南及越南北部地壳结构及方位各向异性特征研究》，邮箱：hjyao@ustc.edu.cn

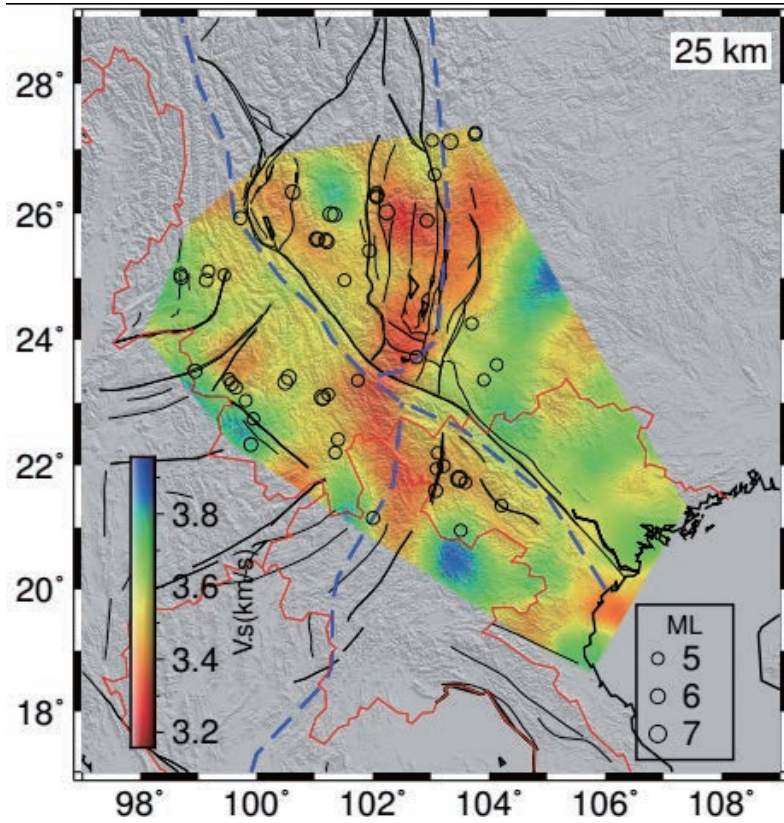


图 5.51 1. 地震活动性以小江断裂带为界，西侧活动性强，相对低速
2. 五级及以上地震基本分布在高低速过渡区 *

兰维反演结果 *

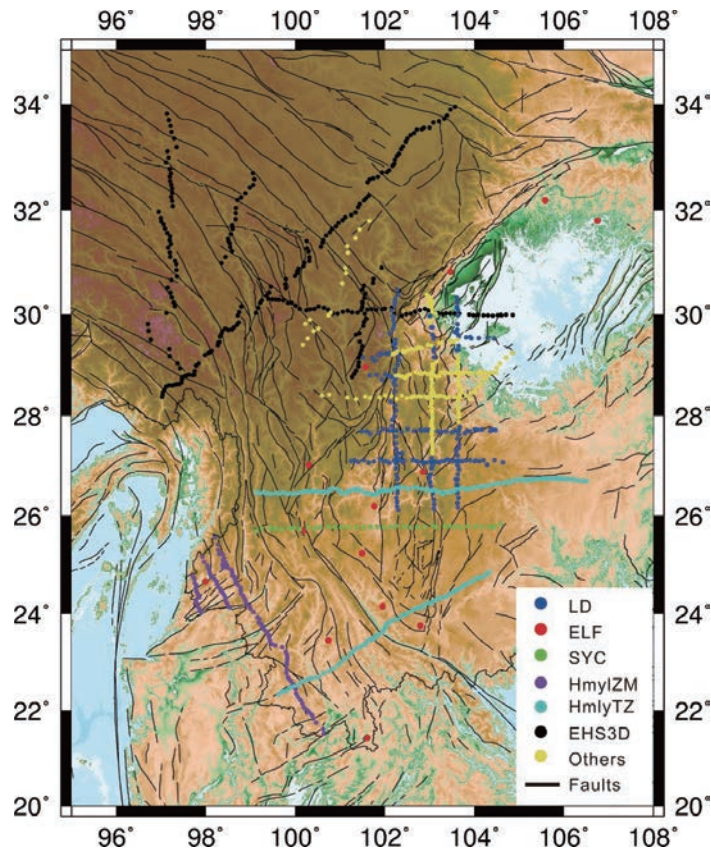


图 5.52

* 来自中国科学技术大学姚华建教授承担的实验场项目《云南及越南北部地壳结构及方位各向异性特征研究》，邮箱：hjyao@ustc.edu.cn

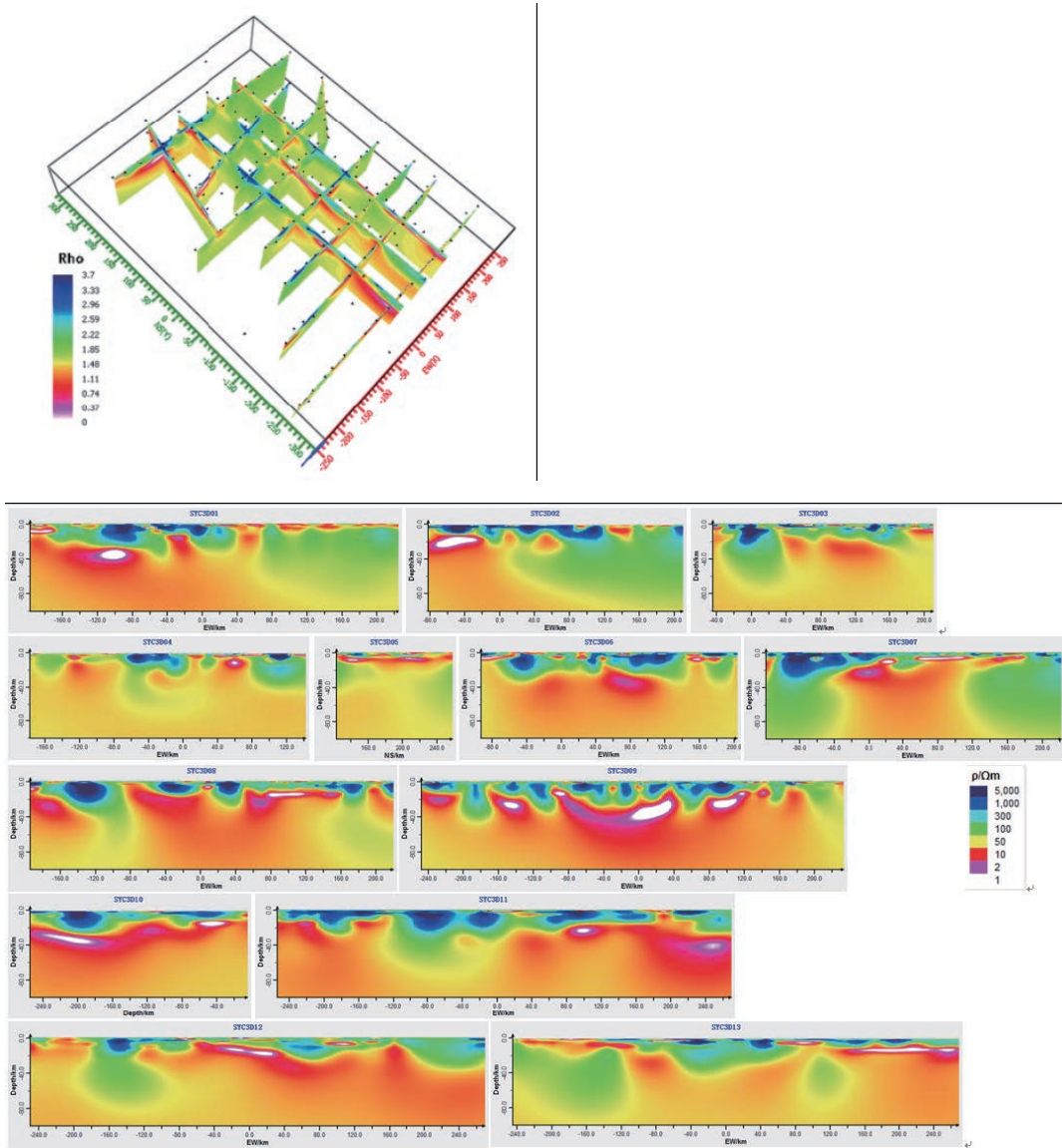


图 5.53

兰维反演结果 :地壳间断面上的电性结构分布 *

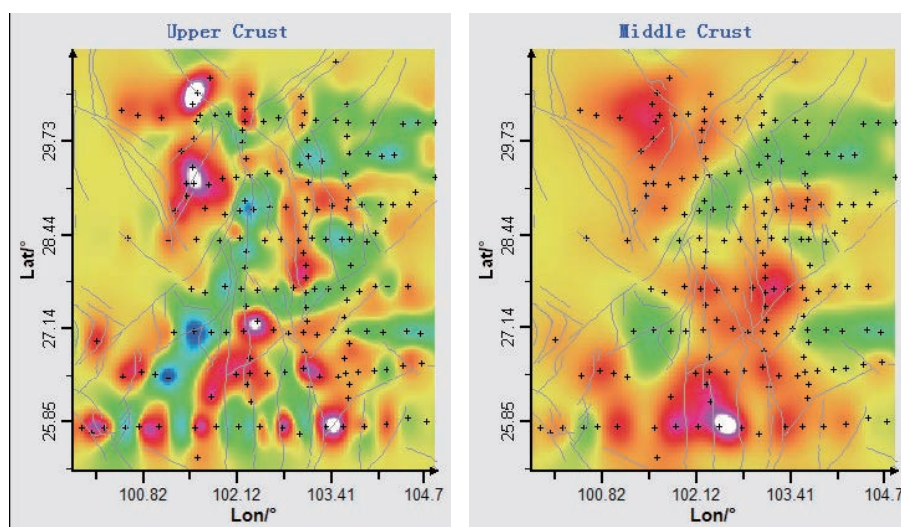


图 5.54

* 来自地壳所陈小斌研究员承担的实验场项目《鲜水河 - 小江断裂带及其邻区地壳电性结构分布图集编制》，邮箱：cxb@ies.ac.cn

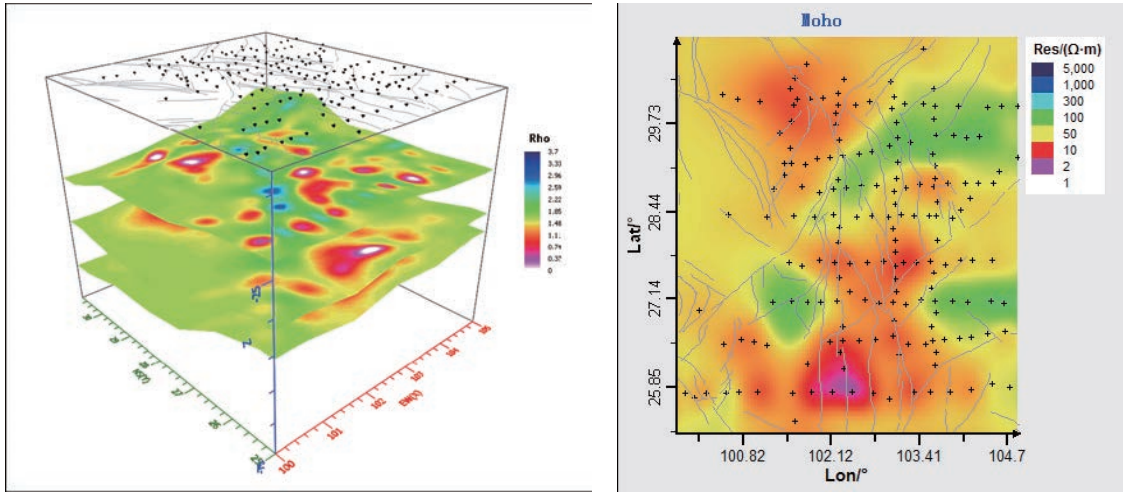


图 5.55 莫霍面

兰维反演结果 :沿断裂带的电性结构分布 *

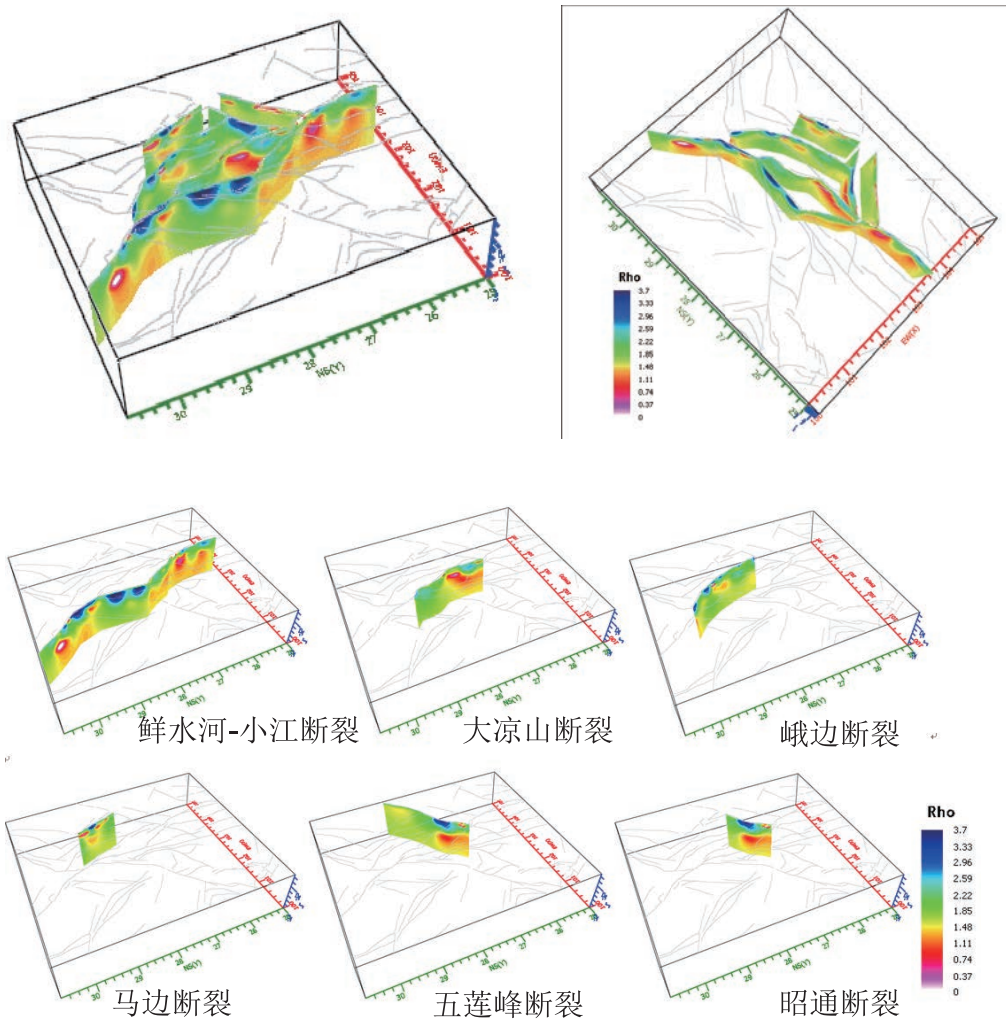


图 5.56 以当前最先进的三维反演技术为主、二维反演技术为辅，首次有针对性地多侧面展示了鲜水河小江断裂带及其邻区地壳电性的空间分布图像

成像结果为研究川滇地区主要活动断裂带（鲜水河-小江断裂带、大凉山-马边断裂带、昭通-军峰断裂带等）几何结构与地壳电阻率结构分布的关系、地震活动性与壳内高导层分布的关系等提供了基础性资料，为研究川滇地区现今动力学模型提供了深部电性结构方面的参考依据。

* 来自地壳所陈小斌研究员承担的实验场项目《鲜水河-小江断裂带及其邻区地壳电性结构分布图集编制》，邮箱：cxb@ies.ac.cn

玉溪盆地测点分布 *

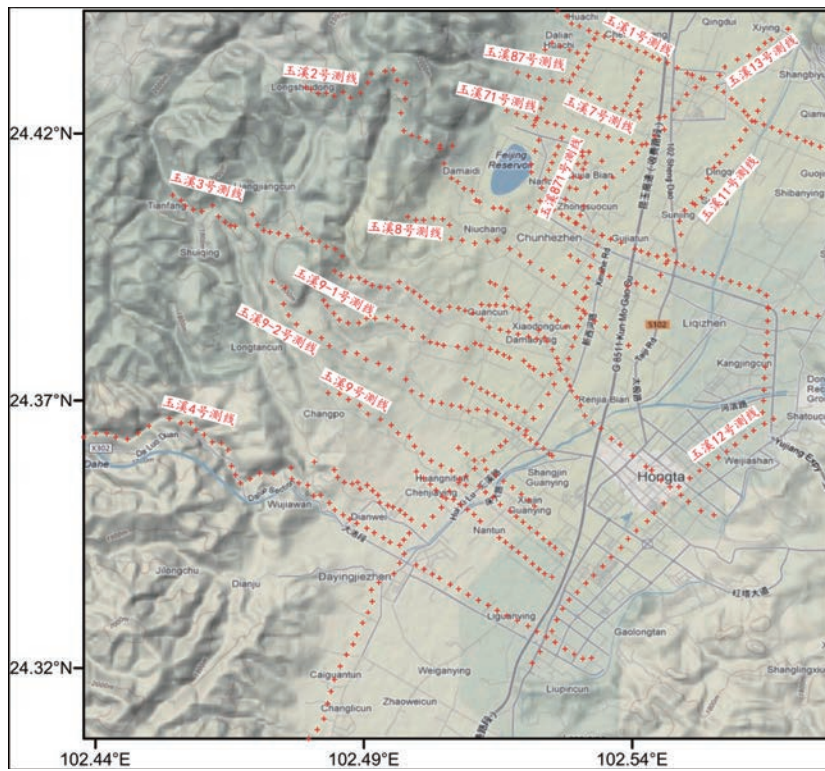


图 5.57 完成剖面 15 条 测点总计 600 个

布格重力异常 *

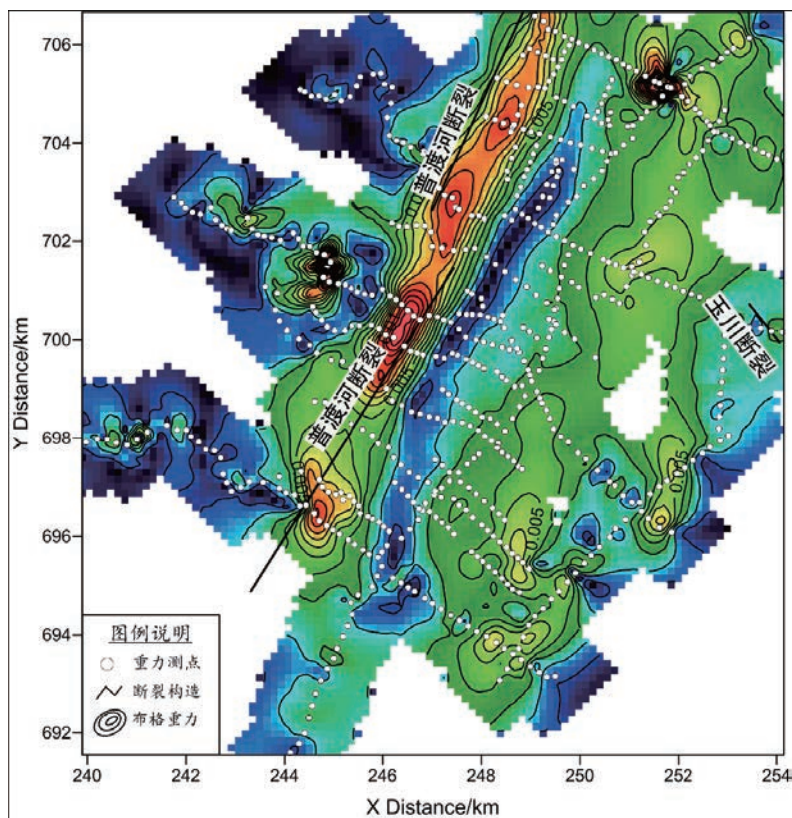


图 5.58 剩余布格率力异常水平总棉皮图

* 来自地球所陈石研究员承担的实验场项目《川滇地区三维密度结构模型和强震孕育构造环境研究》，邮箱：chenshi80@gmail.com

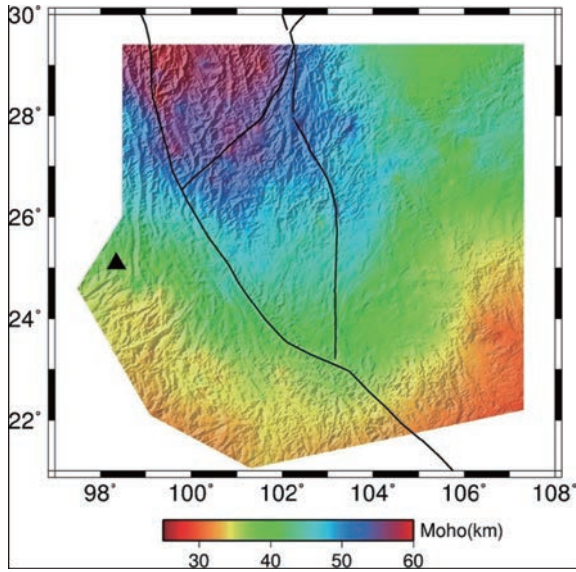


图 5.61 H-K 获得的地壳厚度分布图 *

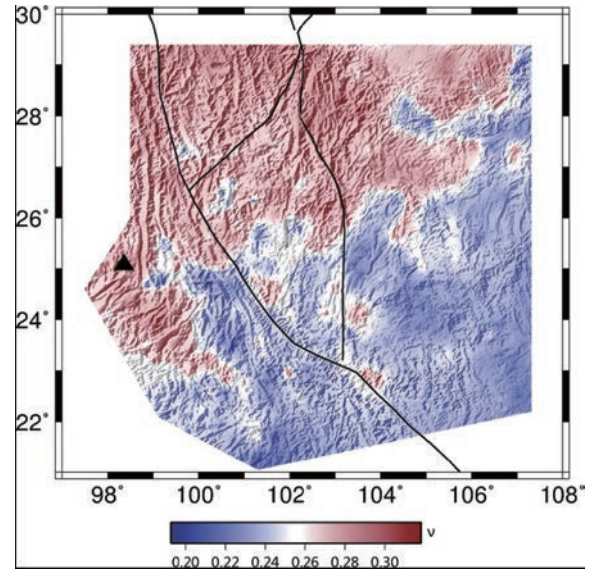


图 5.62 H-K 获得的泊松比分布图 *

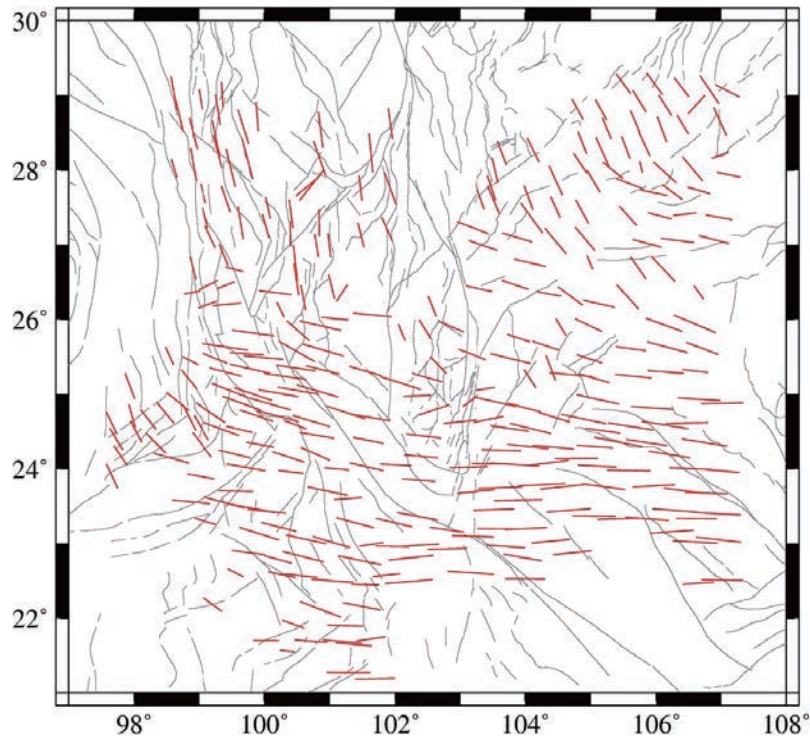


图 5.63 XPS 波分裂测量结果 *

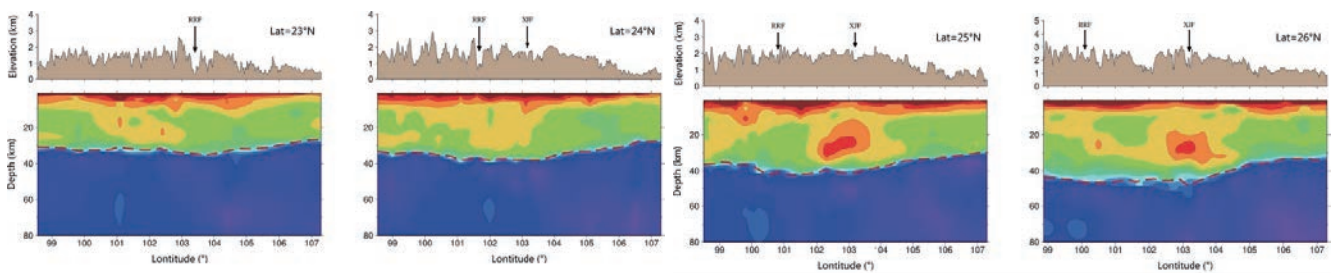


图 5.64 不同纬度 S 波速度模型 *

* 来自地球所丁志峰研究员承担的实验场项目《编制川滇地区深部结构、地球物理场图集》，邮箱：ding@cdsn.org.cn

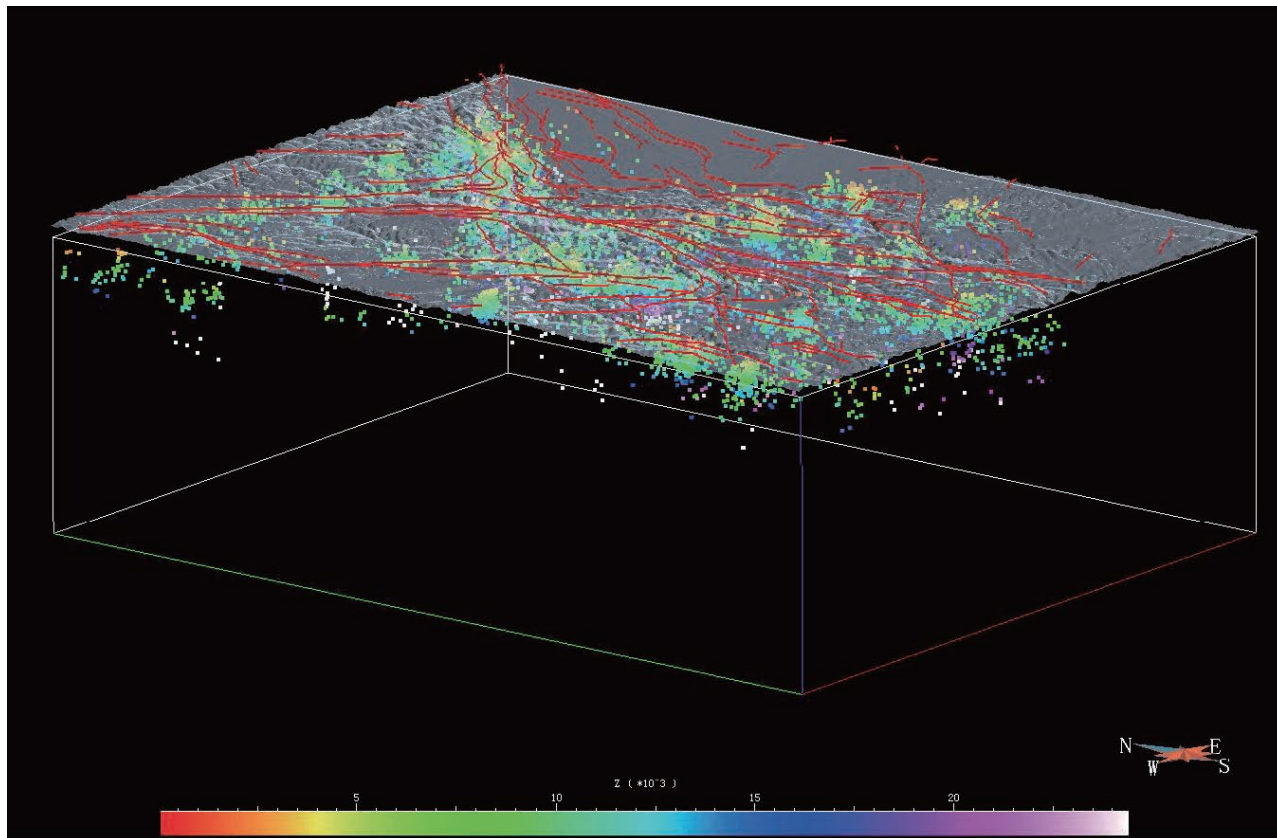
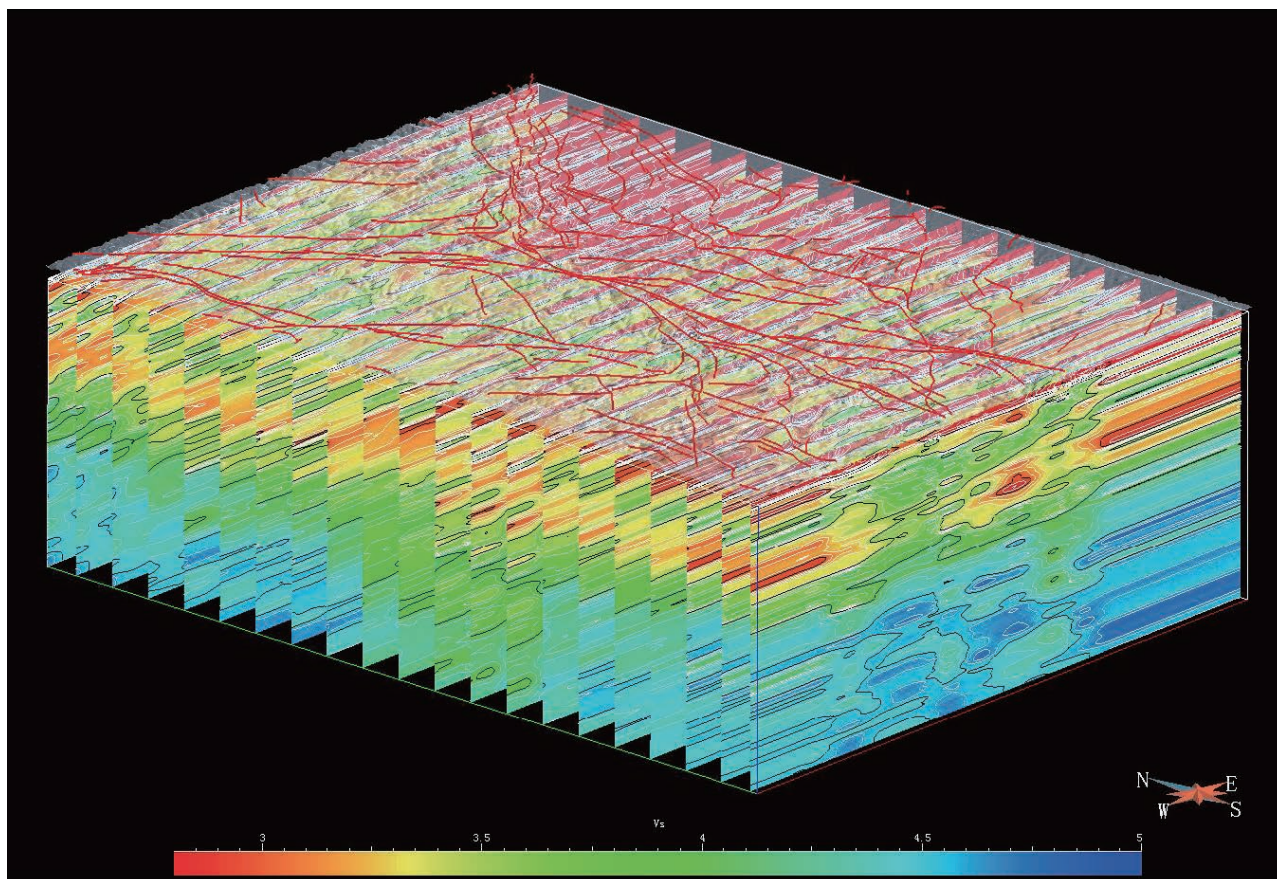


图 5.65*

* 来自地质所鲁仁齐研究员承担的实验场项目《统一断层模型数据库》，邮箱：lurenqi@163.com

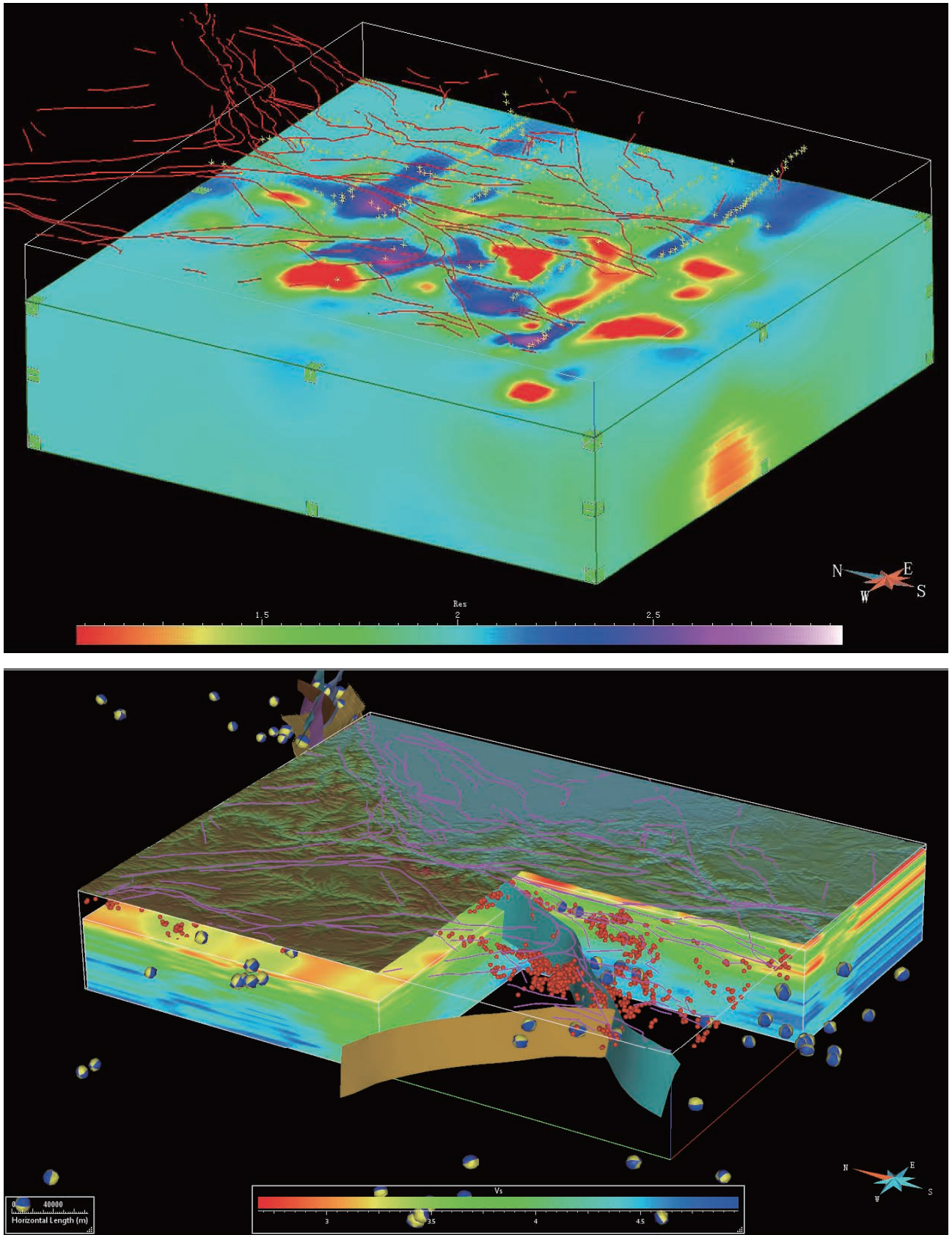


图 5.66*

* 来自地质所鲁仁齐研究员承担的实验场项目《从板块边界到断裂的动力加载：统一断层模型数据库》，邮箱：lurenqi@163.com

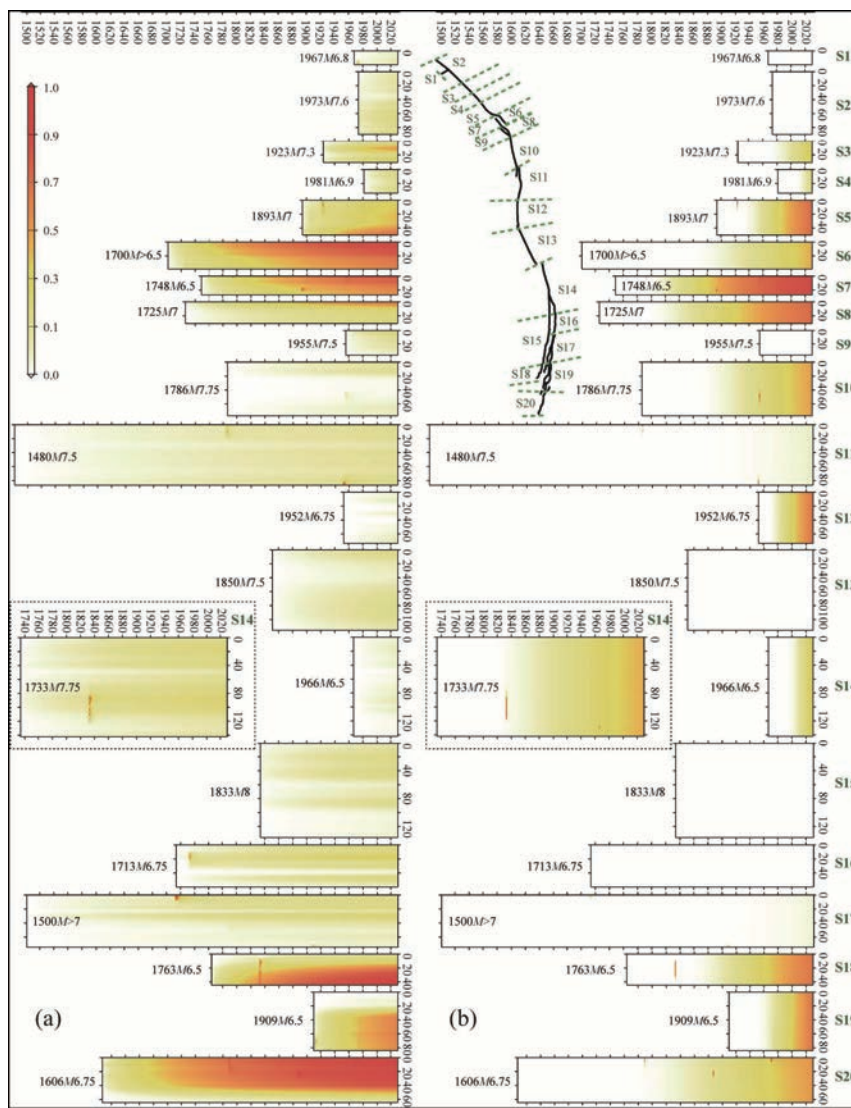
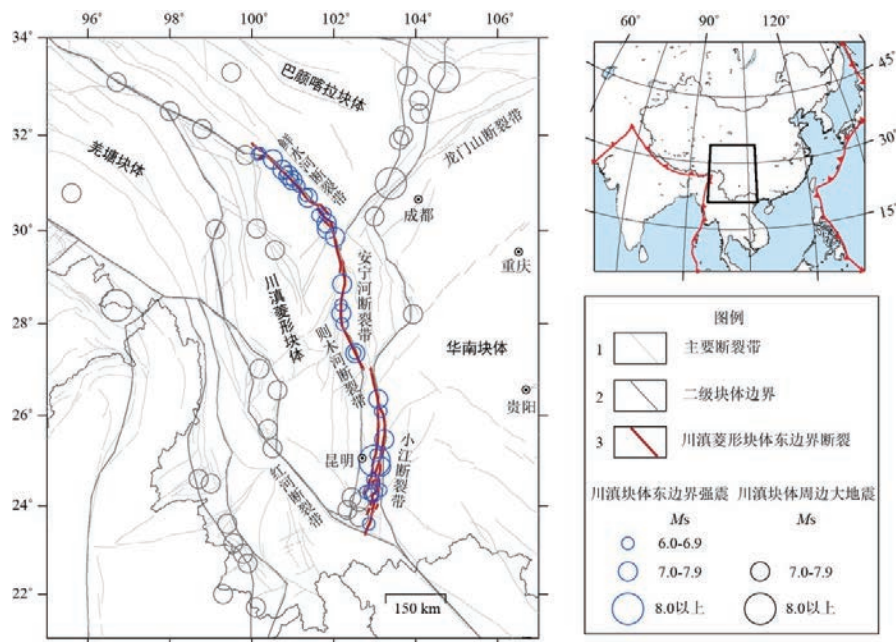


图 5.67*

* 来自预测所邵志刚研究员承担的实验场项目《实验场综合概率预测模型的初步模型构建》，邮箱：shaozg0911@126.com

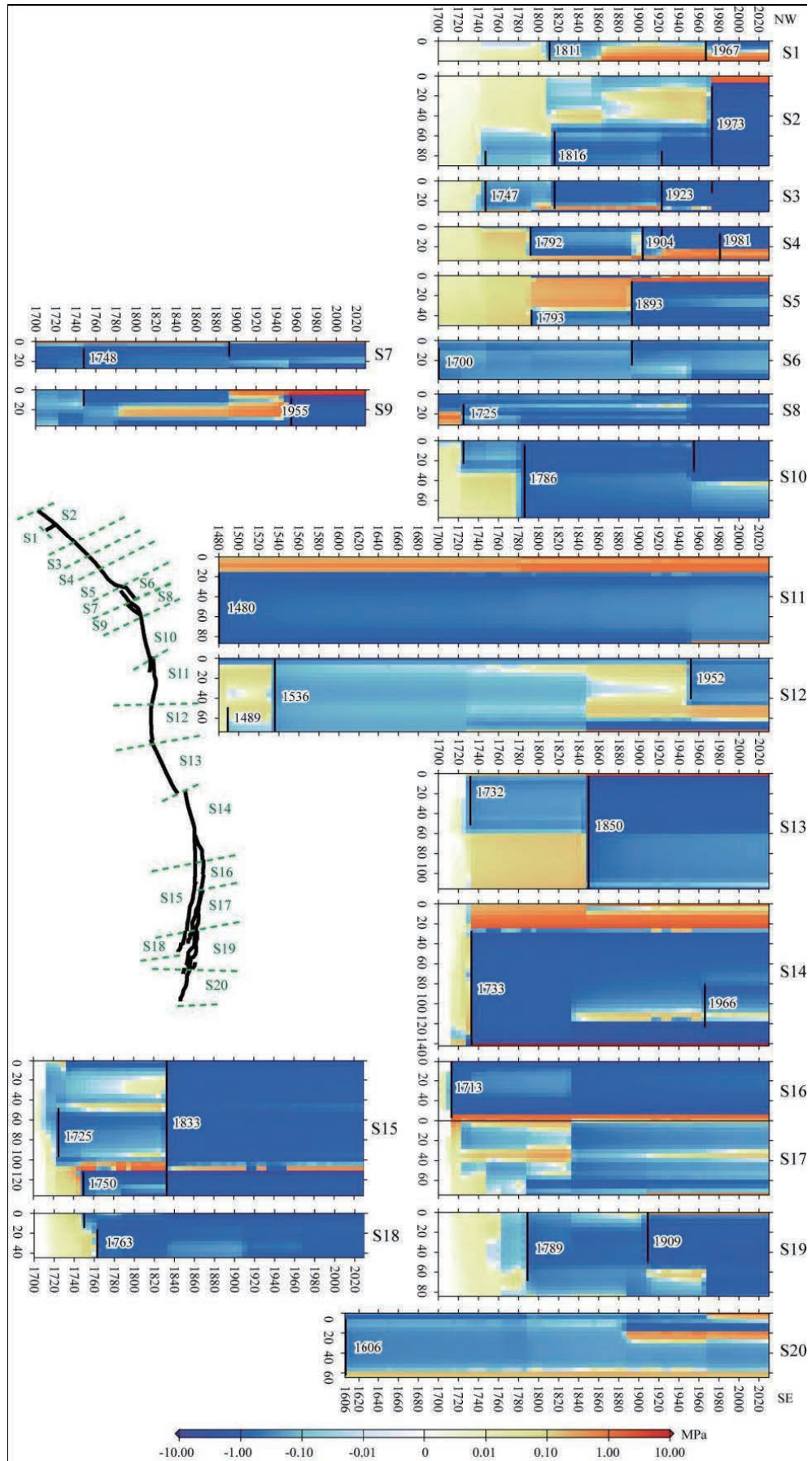


图 5.68*

* 来自预测所邵志刚研究员承担的实验场项目《实验场综合概率预测模型的初步模型构建》，邮箱：shaozg0911@126.com

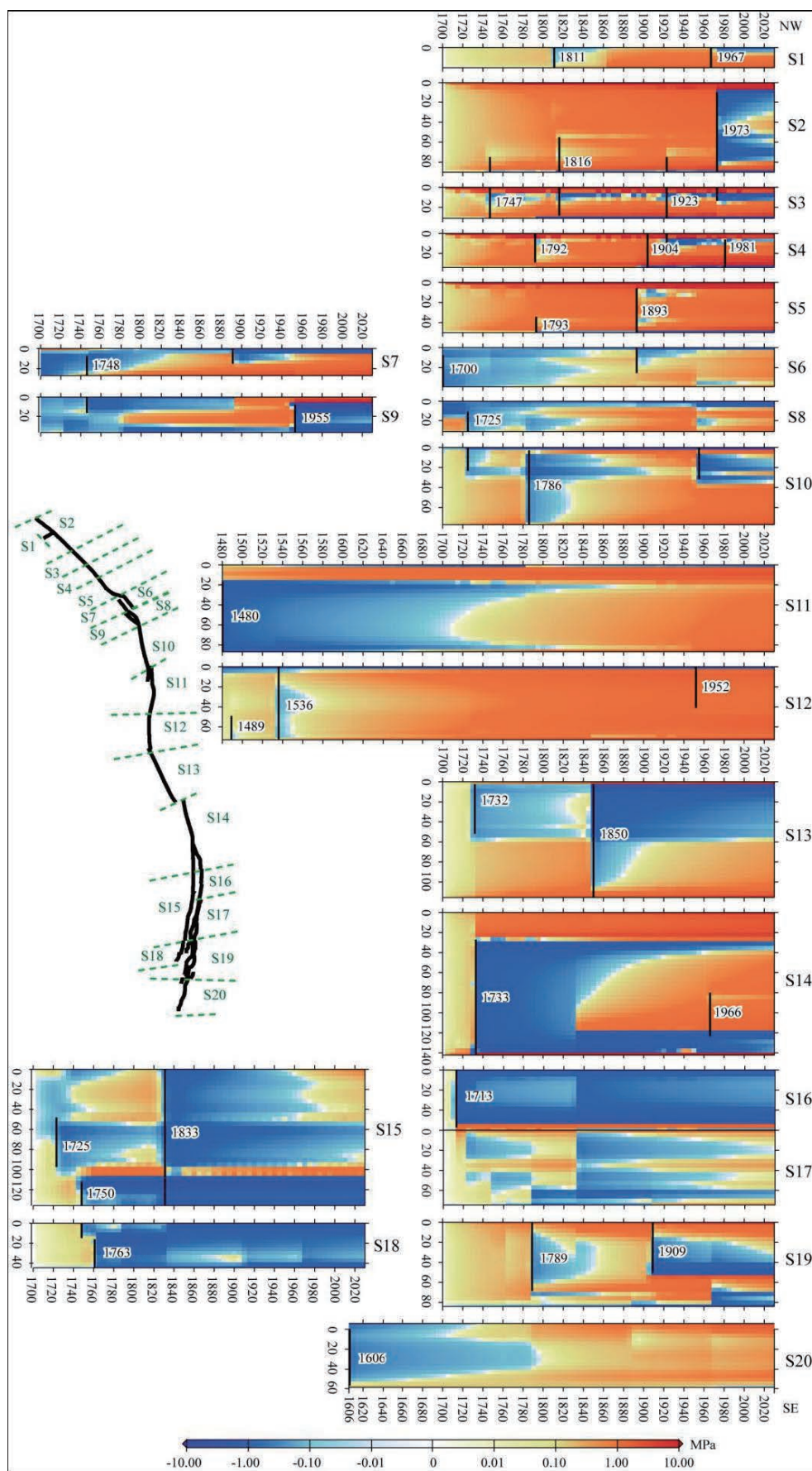


图 5.68*

* 来自预测所邵志刚研究员承担的实验场项目《实验场综合概率预测模型的初步模型构建》，邮箱：shaozg0911@126.com

第六章 未来项目与数据产出

◆ 地震研究对外开放基金

2019年,中国地震科学实验场的对外开放基金(牵头单位中国地震局地震预测研究所基本科研业务费专项800万元),支持17个研究项目,其中12个是与地震系统外及国外单位合作项目,作为实验场科研开放合作的试点。合作单位包括:意大利的里雅斯特大学、俄罗斯科学院、日本国立统计数理研究所、香港中文大学,中国科学院地质与地球物理研究所、中国科学院大学、北京大学、天津大学、广东工业大学、中国地质大学(武汉)、中国地质大学(北京)。这些项目的实施将为实验场产出科技成果和科技产品提供重要保障。

序号	项目编号	项目名称	承担单位	负责人
1	2019CSES0101	新型确定性地震危险评估方法在中国地震科学实验场的应用研究	中国地震局地震预测研究所	高尚华
2	2019CSES0102	红河断裂带北段地壳精细结构和性质差异对比及其孕震机理研究	中国地震局地震预测研究所	石玉涛
3	2019CSES0103	川滇地区高分辨率地壳Pg和Lg波衰减模型及构造意义	中国科学院地质与地球物理研究所	赵连锋
4	2019CSES0104	安宁河-小江断裂带地下流体地球化学特征及其成因机制	天津大学	徐胜
5	2019CSES0105	地球物理场数据同化技术方法与模型研发	中国地震局地震预测研究所	庄建仓
6	2019CSES0106	地震活动动态分析预测前沿方法实用化研究	中国地震局地球物理研究所	蒋长胜
7	2019CSES0107	利用宾川气枪研究程海断裂带南段时变特征	香港中文大学	杨宏峰
8	2019CSES0108	基于数字地震观测的“强震临震微波动现象”深入研究及跟踪检验	甘肃省地震局	王建军
9	2019CSES0109	鲜水河断裂带康定-道孚段精细发震构造及地震危险性研究	中国地质大学(武汉)	郑勇
10	2019CSES0110	鲜水河-安宁河-则木河断裂带三维地壳运动速度场和应变率场模型	广东工业大学	王华
11	2019CSES0111	川滇交界东部地区断层精细结构	北京大学	宁杰远
12	2019CSES0112	中国地震科学实验场中北部地区地震活动机制探索与地震复发特征分析	中国科学院大学	罗纲

续表

序号	项目编号	项目名称	承担单位	负责人
13	2019CSES0113	龙门山断裂带中南段精细结构成像及活动构造特性研究	中国地质大学(北京)	李红谊
14	2019CSES0114	地震科学实验场标准体系研究	中国地震灾害防御中心	黎益仕
15	2019CSES0115	中国地震科学实验场标准化与标准体系	中国地震局地震预测研究所	席继楼
16	2019CSES0116	中国地震科学实验场野外观测技术系统发展规划研究	中国地震局地震预测研究所	薛兵
17	2019CSES0117	GNSS连续站接入地震科学实验场与GNSS数据共享	中国地震局地震预测研究所	任雳

◆ 研究所基本科研业务费联合专项 2020 年申报指南

2019 年，中国地震局地球物理研究所、地质研究所、地壳应力研究所、地震预测研究所、工程力学研究所等 5 个研究所协商设立基本科研业务费专项实验场联合专项，由中国地震科学实验场编制申报指南，促进实验场基础研究和基础应用研究发展。

在中国地震科学实验场继续获取高质量观测数据，构建统一的速度结构模型、介质模型等各类模型，获取重点断裂带等变形过程，开展地震发生破裂及传播全过程数值模拟技术研究，探索工业活动区地震活动机理，为科学认知大陆型中强震孕育发生的动力学过程提供重要依据，进一步深化地震孕育发生规律和成灾机理的科学认识

重点科学问题包括：

川滇地区介质模型和产品研究

研究内容：利用川滇地区密集台阵观测数据，研究川滇地区介质衰减特性，在滇西等典型地区开展小孔径密集台阵观测，通过三维建模和数据同化手段，研发高分辨率地壳三维公共模型产品，建立川滇地区上地壳高分辨率的地壳 P 波衰减模型，给出滇西地区三维地下电性结构，实现支撑地震科学实验的高分辨标准地壳模型和时变重磁场建模。依托实验场区域的主动震源观测和固定台站连续观测，开展介质动态变化研究，构建实用化的介质变化监测软件系统。

断裂带地球物理成像与变形过程研究

研究内容：利用近断层地震和连续 GPS 密集台阵，对川滇地区川滇菱形块体东边界安宁河—小江断裂带、滇西北等进行高密度的监测，发展基于宽频带和密集台阵观测数据的高分辨率成像技术，构建深浅变形相互作用的关键技术，对断裂带进行高精度成像，揭示断裂带的地震活动与运动特征，研究断裂带的应力与变形时空特征。

基于新型传感技术的断层活动研究

研究内容：选取实验场区子区域，部署经过原理验证、实验室测试和部分野外测试的光纤传感原理的应变仪、正交三分量地震仪、旋转地震仪，开展光纤传感原理的新型地震观测实验，并通过三 / 六 / 九分量的测量，探索捕获震源运动学和动力学特征的新观测方法和新算法。

非天然地震事件识别技术及工业活动相关地震机理研究

研究内容：开展实验场化学爆炸和次声等研究，发展基于 AI 和模板匹配等混合识别技术。开展川南地区密集地震台阵长期观测，提供开放性的数据共享服务，开展工业开采区地震活动特征、地震活动和危险性模型研发，通过在工业开采区进行大地电磁测深探测，建立浅层高精度电性结构，联合探讨工业开采活动地区地震的发生条件和可能机理。

川东南地区发震机理与孕震环境研究

研究内容：针对深部孕震研究中不同数据和不同方法分辨能力的差异性问题的，发展区域尺度的多种资料联合

成像反演方法,为川东南地区精细深部构造模型提供基础理论与方法。在此基础上综合剖析研究区的地壳深部结构、介质分布差异以及地震活动之间的关系,为科学研判川东南震区(如长宁 M6.0 地震、威远 M5.4 地震)未来地震活动趋势、减轻地震灾害风险提供指导和依据。

四川长宁地震窗注水影响和机理研究观测实验

研究内容:运维原川滇国家地震监测预报实验场在长宁地区建设的专用地震监测台阵,针对四川长宁地震窗注水影响和机理开展观测实验,为川南地区地震孕育、发展及发生机理、发震构造研究及地震灾害风险研究提供观测数据,并将观测数据共享至中国地震科学实验场。

地震发生破裂及传播全过程数值模拟技术研究

研究内容:综合采用空间观测、地表观测及地震调查资料,发展反演发震断裂带空间产状、震源特征技术;发展同时考虑同震、震间变形、介质变化以及构造加载效应的地壳变形和地震应力数值模拟技术;建立符合实验场区域地震地质环境的断层自发破裂动力学模型,加强对管道工程的破坏机理规律认识。

中国地震科学实验场监测数据的人工智能处理和数据服务

研究内容:利用人工智能技术开展地震波形自动处理、震相自动识别、自动定位研究,研发相应的 AI 处理系统进行示范应用。校核历史大地震地震参数,研发地震科学实验场地震活动基本模型,推出地震序列参数目录等数据产品。实现数据的实时汇集和质量评估,调研和制定数据共享和使用权限策略,开展相应的数据产品加工和数据共享服务,实现支撑实验场区地震监测数据自动标注产品和技术的公开和共享。

基于云平台管理的一体化高精度强震动记录仪的研制

研究内容:研制一体化高精度强震动记录仪,支持与云平台交互的通讯协议。云平台可自由接入强震动记录仪,支持海量数据管理,支持强震动参数实时计算,实现与强震动记录仪进行各种数据的交互,为川滇地区的中国地震科学探测台阵补充加密流动布设的强震动观测网络。

针对四川、云南、新疆等多震省份开展构造变形样式、断层破裂精细化及地形、地貌等地表过程对强震响应的一系列研究工作,为推进强震机理认识和模型构建提供基础数据,构建应用于灾害链发生发展的预研判综合分析平台

重点科学问题包括:

川滇活动地块晚新生代构造变形与地貌演化

研究内容:选择川滇活动地块边界带及其内部构造单元为研究对象,以地质学、地貌学以及年代学为研究手段,获取川滇地块晚新生代构造变形样式、幅度和时代,揭示孕震构造背景及其地貌演化特征,为建立实验场构造场模型,认识强震机理等提供基础资料。

青藏高原东南缘挤压隆升区深浅构造变形、大地震发生机制及其灾害效应研究

研究内容:开展川滇地区晚第四纪构造变形动力学过程、主要活动断裂带运动学特征及其地震破裂特性精细研究,探讨大地震形成机制及时空作用特征,构建大地震危险性评估四维模型,分析活动断裂及大地震灾害效应。

川滇、新疆等构造活跃地区地表过程对强震的响应

研究内容:针对川滇、新疆等构造活跃地区地震致灾过程中的系统环境响应,对以湖相沉积为主的晚更新世事件沉积层开展细致分析,探讨包括沉积指标、软沉积物变形、树轮和植被在内的各种变化与震级的关系,发展湖沼地震学理论,为构造活跃地区提供连续地震事件记录,获取构造活跃地区地震引起环境变化的系统环境响应信息,从而构建应用于灾害链发展预判的综合分析平台。

在中国地震科学实验场构建统一的应力应变模型，为科学认知大陆型中强震孕育发生的动力学过程提供基础模型和约束条件，为各种观测数据和中国地震科学实验场的地震物理与灾害模型之间搭建力学机理的解释桥梁

重点科学问题包括：

川滇地区钻孔应变与 GNSS 一体化观测及融合研究与示范

研究内容：在实验场内四川道孚至川滇交界东部地区，沿鲜水河断裂和安宁河断裂区域布设 4-6 个钻孔应变测点，通过地球物理方法科学选址、规范钻孔、完整取芯、对测量段进行岩石力学试验和场地的地应力测量等基础工作获取测点的背景性和基础性资料，与现有姑咱台、金河台、小庙台组成一个相对比较密集的观测网；实现多频带观测，同时产出分钟值、秒值、20Hz、50Hz 或 100Hz 等多种采样率的观测数据，解决钻孔应变与断层加载率关系、应变率解算等问题，解决钻孔应变观测与 GNSS 观测的融合分析问题。为未来科学建设钻孔应变台站提供示范，为实验场的大地测量模型和公共应力应变模型提供基础资料和技术支撑。

GNSS 数据解算、成果产出标准化运算平台构建及发布

研究内容：以四川 GNSS 观测网络为示范，开展 GNSS 数据并行运算平台的开发和布设，实现 GNSS 连续观测站数据的模块化、自动化、高精度、高时效性解算。解算策略及平台产出的 GNSS 相关产品（如坐标时间序列、基线序列、误差统计等）通过实验场公共平台进行公开。结合区域内其它连续、流动（如科研项目站点）观测资料，通过不同的内插、处理策略，获取该区域可靠的震间 GNSS 速度场、应变率场及基于应变率场得到的地震危险性评估结果。关键参数及产品通过实验场公共平台进行发布。

基于地应力资料构建解析模型耦合分析川滇区域地应力场时空分布特征并建立统一的应力剖面

研究内容：利用震源机制解反演川滇区域应力场方向，得到不同地壳深度上的应力场分布特征云图，同时对主应力迹线进行平滑处理，得到应力场图像分布。依托该区域积累的原地应力测量数据库，对原地应力数据进行综合分析研究，分析应力量值和方向随深度和空间的变化规律。分区域归类整理浅部地应力测量资料与深部震源机制解资料，对比每个区域内深部、浅部地应力方向变化规律，得出深浅部应力状态的耦合与解耦特征。对区域内不同深度的应力量值进行限定并构建由浅及深的应力深度剖面，进而得到不同区域应力场的空间分布特征。

利用公共应力应变模型和数值模拟手段，分析断层库仑应力加载、断层变形与闭锁，识别川滇区域内中强震潜在的发生地点

研究内容：基于区域公共数值应力应变模型，采用考虑初始应力的库仑应力计算方法，计算绝对与相对库仑应力变化，对比分析与传统的库仑应力计算方法得到的川滇区域内典型地震造成的断层库仑应力变化加载差异。综合考虑地震造成的库仑应力变化和震间长期构造加载引起的库仑应力积累，分析与强震孕育的关系。基于应力应变模型，以川滇地区汶川、芦山、鲁甸、景谷等地震为例，系统对比分析地震前后地壳应力、应变场演化特征；基于断层应力积累、应变加载率以及基于公共应力应变模型得到的库仑应力加卸载特征等指标开展在这 4 个典型地震前后的时空变化规律，探索总结一套指标和方法体系来刻画这一演变过程。

实验场观测系统建设项目

流体观测自动化

研究内容：在中国地震科学实验场，选择地震重点危险区域，开展温泉流体地球化学定点观测研究，建设 10 个温泉流体地球化学监测站，研究地震科学实验场主要断裂带的中强地震前后深部流体幔源贡献率时空变化和断裂不同段深浅部流体耦合程度变化；时间上给出活动断裂带深部流体的地震前兆信息特征，建立更全面的地震活动性与深部流体运移的关系模型，为认识地震的成因机理和提高地震预测水平提供支持。

蠕变模型证伪

研究内容：针对安宁河 - 则木河断裂带可能存在的慢地震和断层蠕变行为，开展证伪性观测与模型研究。

基于人工智能的地震活动性研究

研究内容：提出或发展基于人工智能的地震活动性研究方法或模型，针对实验场区开展地震活动规律的研究。

实验场断层精细结构研究

研究内容：在实验场区针对典型断裂，应用天然地震余震或者人工震源等方式，利用断层波导原理刻画强震断层的结构、位置、地下深层岩石的破碎程度、破碎范围及位置，建立三维的地震断层图像。

地震科学实验场二维热结构模型构建与补充观测

研究内容：岩石圈热结构是现今地温场研究的重要延伸和扩展，是了解大陆岩石圈构造变形及演化等大陆动力学问题的重要窗口，大地热流是岩石圈热结构模型的重要数据源。虽然我国已经开展四次大陆地区的大地热流数据汇编，但是实验场区域大地热流数据仍然有限，分辨率偏低。通过本项目收集已有的分散在不同部门的实验场区域大地热流数据，同时利用实验场深井补充观测，获取温度梯度、热传导率等数据，构建实验场区高分辨率二维热结构模型，为进一步三维热结构模型奠定基础。

围绕中国地震科学实验场区域，开展“韧性城乡”科学计划和自然灾害防治工程中的关键科学问题，资助具有较高科学价值和应用前景的基础研究和应用基础研究项目

重点科学问题包括：

地震灾害风险调查与风险预评估研究

针对实验场区不同区域工程结构地震灾害风险水平及抗震能力存在较大差异的现状，开展城市和区域地震灾害风险调查与隐患排查工程，在实验场区域选择 2-3 个典型城市（地级市以上）开展地震灾害风险调查和隐患排查基础数据库建设工作，开展工程结构地震风险调查及灾害风险预评估理论研究，为我国城市和区域工程结构地震灾害风险识别和防范提供理论支撑。

土壤液化问题关键技术研究

针对我国和国际上近 30 年来出现的液化震害新现象和新问题，以及我国工程建设需求和我国主要规范中液化判别方法存在的缺欠和问题，研究适于我国国情和工程使用的场地液化的判别方法和防治技术措施以及试验技术，研究不同加固措施下液化地基的可恢复性机理，发展可液化地基加固方法，为我国规范修订和液化问题深入研究提供技术储备。

考虑场地效应的地震区划方法研究

对比国内外地震动参数区划图的形成方法与及技术、地震动区划各类参数、取值以及参数取值等技术；结合专孔资料、地质资料等，开展场地评价指标研究，建设实验场区场地分类方法；基于我国西部强震数据，考虑近场效，建立精度高、简洁、方便应用的实验场区新一代衰减关系；选取实验场典型区域，开展考虑场地特征的地震动区划以及地震地质灾害区划方法，服务我国新一代区划图的编制。

地震易发区房屋设施抗震加固新技术研究

通过梳理分析对比不同设防水平地震易发区房屋设施传统抗震鉴定与加固技术，以及基于隔震、减震、新材料的新型加固技术理论方法，研发房屋设施抗震鉴定新方法以及抗震加固新技术，加快完善适用于地震易发区老旧房屋以及桥梁、隧道等重要交通工程抗震鉴定与加固的技术标准体系，为落实地震易发区房屋设施加固工程提供技术支撑。

工程结构韧性提升关键技术与评价体系研究

以房屋建筑和桥梁为研究对象，揭示典型单体工程的地震损失机理和面向抗震韧性的设防目标，研发能够满

足抗震韧性要求的新型结构体系和震后快速恢复技术，研究其恢复机制及性能指标，形成工程结构抗震韧性评价体系，助力提升工程结构的抗震韧性，切实减小地震灾害损失。

建筑群及城市系统的抗震韧性评估方法研究

多次地震表明城市系统的抗震能力薄弱，城市系统极其复杂，针对目前缺乏城市抗震韧性评估理论和方法的现状，研究城市复杂环境地震动场的特征及其确定方法，开展建筑群三维信息构建与地震破坏模拟方法研究，建立建筑群多尺度地震易损性与韧性评估模型，探讨基于多元信息的城市韧性评估理论及方法，支撑我国韧性城乡体系的理论建设。

区域与城市地震灾害立体监测与在线模拟技术

实时监测数据与在线模拟技术的结合，将大大提高地震灾害分析的准确性与时效性，推动应急评估、灾害报警与公共服务的发展。研究强震动监测与结构监测传感器网络空间布置方法与数据搜集传输技术，建立数据实时传输与处理方法与技术，发展基于实时地震动与结构振动数据的地震灾害在线模拟与模型更新方法。

◆ 实验场能力建设项目（2019-2021）计划台站布局

中国地震科学实验场获得财政部专项支持，2019-2021 年在实验场主要断裂带和地震危险区建设和开展深井综合观测、GNSS 观测、地球物理综合观测、地球化学观测、工程结构响应观测和地震构造探查。到 2021 年，实验场将新增深井观测站 14 个（1000 米深钻 2 个）、GNSS 观测站 200 个、地球化学观测点 138 个（固定观测点 8 个）、强震动观测台阵 5 个，开展 825 km 断裂带 LiDAR/SAR 探测、120000km² 形变场 InSAR 观测，形成自主无人机 LiDAR/SAR 观测能力。

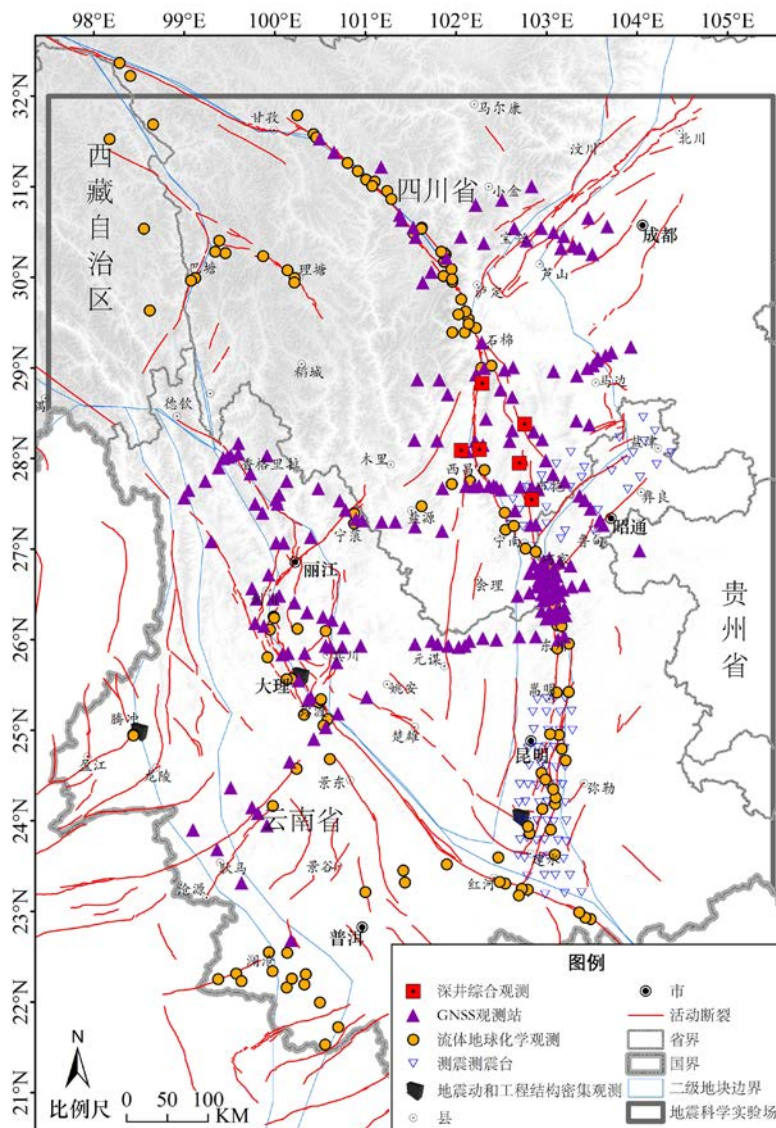


图 6.1 2019 年实验场新建观测能力

附录1 GNSS数据中心共享资源目录

附表1 GNSS连续观测站列表

序号	编号	经度	纬度	站类型	观测起始时间	站名	省	市
1	GZSC	104.86	26.59	基岩	2011	水城	贵州省	六盘水市
2	KMIN	102.80	25.03	基岩	1999	昆明	云南省	昆明市
3	LUZH	105.41	28.87	基岩	1999	泸州	四川省	泸州市
4	SCDF	101.12	30.98	土层	2011	道孚	四川省	甘孜藏族自治州
5	SCGZ	100.02	31.61	基岩	2011	甘孜	四川省	甘孜藏族自治州
6	SCJL	101.50	29.01	基岩	2011	九龙	四川省	甘孜藏族自治州
7	SCJU	104.52	28.18	基岩	2011	筠连	四川省	宜宾市
8	SCLH	100.67	31.39	基岩	2011	炉霍	四川省	甘孜藏族自治州
9	SCLT	100.22	29.99	基岩	2011	理塘	四川省	甘孜藏族自治州
10	SCMB	103.53	28.84	基岩	2011	马边	四川省	乐山市
11	SCML	101.28	27.93	基岩	2011	木里	四川省	凉山彝族自治州
12	SCMN	102.17	28.33	基岩	2011	冕宁	四川省	凉山彝族自治州
13	SCMX	103.85	31.67	基岩	2011	茂县	四川省	阿坝藏族羌族自治州
14	SCNN	102.72	27.06	基岩	2011	宁南	四川省	凉山彝族自治州
15	SCPZ	101.74	26.50	基岩	2011	攀枝花	四川省	攀枝花市
16	SCSM	102.35	29.23	基岩	2011	石棉	四川省	雅安市
17	SCTQ	102.77	30.07	基岩	2011	天全	四川省	雅安市
18	SCXC	99.80	28.94	土层	2011	乡城	四川省	甘孜藏族自治州
19	SCXD	102.44	28.30	基岩	2011	喜德		
20	SCXJ	102.37	31.00	基岩	2011	小金	四川省	阿坝藏族羌族自治州
21	SCYX	102.51	28.65	土层	2011	越西	四川省	凉山彝族自治州

附表1 GNSS连续观测站列表

序号	编号	经度	纬度	站类型	观测起始时间	站名	省	市
22	SCYY	101.51	27.43	土层	2011	盐源	四川省	凉山彝族自治州
23	XIAG	100.26	25.61	基岩	1999	下关	云南省	大理白族自治州
24	YNCX	101.49	25.05	基岩	2011	楚雄	云南省	楚雄彝族自治州
25	YNDC	103.18	26.11	基岩	2011	东川	云南省	昆明市
26	YNGM	99.39	23.55	基岩	2011	耿马	云南省	临沧市
27	YNHZ	103.29	26.41	土层	2011	会泽		
28	YNJD	100.88	24.44	基岩	2011	景东	云南省	普洱市
29	YNJP	103.23	22.79	土层	2011	金平	云南省	红河哈尼族彝族自治州
30	YNLA	99.95	22.56	基岩	2011	澜沧	云南省	昆明市
31	YNLC	100.08	23.87	基岩	2011	临沧	云南省	临沧市
32	YNLJ	100.03	26.70	基岩	2011	丽江	云南省	丽江市
33	YNMH	100.45	21.95	土层	2011	勐海	云南省	西双版纳傣族自治州
34	YNMJ	101.68	23.42	基岩	2011	墨江	云南省	普洱市
35	YNML	103.38	24.40	基岩	2011	弥勒	云南省	红河哈尼族彝族自治州
36	YNMZ	103.40	23.36	土层	2011	蒙自		
37	YNRL	97.85	24.00	土层	2011	瑞丽	云南省	德宏傣族景颇族自治州
38	YNSD	99.19	24.71	基岩	2011	施甸	云南省	保山市
39	YNSM	101.05	22.74	基岩	2011	思茅	云南省	普洱市
40	YNTC	98.44	24.96	基岩	2011	腾冲	云南省	保山市
41	YNTH	102.75	24.12	基岩	2011	通海	云南省	玉溪市
42	YNWS	104.25	23.41	基岩	2011	文山	云南省	文山壮族苗族自治州
43	YNXP	101.91	24.10	基岩	2011	新平	云南省	玉溪市
44	YNYA	101.33	25.72	土层	2011	大姚		
45	YNYL	99.37	25.89	基岩	2011	云龙	云南省	大理白族自治州
46	YNYM	101.86	25.69	基岩	2011	元谋	云南省	楚雄彝族自治州
47	YNYS	100.75	26.68	基岩	2011	永胜	云南省	丽江市
48	YNZD	99.70	27.82	基岩	2011	中甸	云南省	迪庆藏族自治州
49	SY01	103.12	30.98	基岩	2015			
50	SY02	103.53	30.82	基岩	2015			
51	LS01	103.39	30.11	基岩		蒲江	四川	成都
52	LS02	103.27	30.67	土层		大邑	四川	成都
53	LS03	102.69	30.98	基岩		达维	四川	阿坝州
54	LS04	103.29	29.84	基岩		洪雅	四川	眉山
55	LS05	102.92	30.16	土层		芦山	四川	雅安
56	LS06	102.82	30.30	土层		灵关	四川	雅安
57	LS07	102.72	30.45	砂岩		陇东	四川	雅安
58	LS08	102.74	30.71	基岩		硃磬	四川	雅安
59	LS09	101.87	30.95	基岩		小金	四川	阿坝州

附表1 GNSS连续观测站列表

序号	编号	经度	纬度	站类型	观测起始时间	站名	省	市
60	LS10	102.15	30.07	基岩		达杠	四川	甘孜州
61	LS21	101.01	30.11	基岩		雅江	四川	甘孜州
62	LS22	101.56	29.85	基岩		甲根坝	四川	甘孜州
63	LS23	102.05	29.07	基岩		湾坝	四川	甘孜州
64	LS24	101.96	27.72	基岩		金河	四川	凉山州
65	NJ01	101.85	28.47	基岩		锦屏	四川	凉山州
66	NJ02	102.20	28.52	基岩		冕宁	四川	凉山州
67	NJ03	103.12	28.61	基岩		依果觉	四川	凉山州
68	NJ04	102.80	28.87	基岩		甘洛	四川	凉山州
69	NJ05	103.92	28.68	砂岩		新市	四川	凉山州
70	NJ06	104.56	28.74	基岩		宜宾	四川	宜宾
71	NJ07	103.54	28.46	砂岩		罗山溪	四川	凉山州
72	NJ08	103.16	28.36	基岩		美姑	四川	凉山州
73	NJ09	102.62	27.93	砂岩		洒拉地坡	四川	凉山州
74	NJ10	101.98	27.78	砂岩		马鞍山	四川	凉山州
75	NJ11	102.94	27.72	基岩		火烈乡	四川	凉山州
76	NJ12	103.24	27.69	基岩		金阳	四川	凉山州
77	NJ13	103.29	27.44	土层		大山包	云南	昭通
78	NJ14	103.52	27.38	土层		乐居	云南	昭通
79	NJ15	103.73	27.23	土层		花鹿坪	云南	昭通
80	NJ16	103.88	27.10	基岩		迤那	贵州	毕节
81	NJ17	104.39	26.79	土层		冒水	贵州	毕节
82	XJ01	102.22	26.67	基岩		会理	四川	凉山州
83	XJ02	102.48	26.75	基岩		太平乡	四川	凉山州
84	TAGO	101.53	30.33	基岩		塔公	四川	甘孜州
85	MNIU	101.75	30.60	基岩		牦牛	四川	甘孜州
86	WARI	101.13	30.88	基岩		瓦日	四川	甘孜州
87	QIME	101.19	31.02	基岩		七美	四川	甘孜州
88	DX01	99.74	28.22	土层		格咱	云南	香格里拉
89	DX02	100.21	27.80	土层		洛吉	云南	香格里拉
90	DX03	100.68	27.44	土层		翠玉	云南	丽江
91	DX04	100.98	27.00	土层		跑马坪	云南	丽江
92	DX05	101.27	26.61	土层		华坪	云南	丽江
93	DX06	101.48	25.82	基岩		赵家店	云南	楚雄
94	DX07	100.66	27.05	土层		西川	云南	丽江
95	DX08	100.26	27.07	基岩		雪山	云南	丽江
96	DX09	99.73	27.23	土层		武侯	云南	丽江
97	DX10	100.41	26.65	基岩		金江村	云南	丽江

附表1 GNSS连续观测站列表

序号	编号	经度	纬度	站类型	观测起始时间	站名	省	市
98	DX11	99.77	26.78	土层		石头	云南	丽江
99	DX12	101.14	25.84	土层		石羊	云南	楚雄
100	DX13	99.20	26.86	基岩		中排	云南	怒江州
101	DX14	100.43	25.92	土层		鸡足山	云南	大理
102	DX15	99.92	26.08	土层		松鹤	云南	大理
103	DX16	99.67	25.97	土层		西山	云南	大理
104	DC01	102.92	26.11	基岩		老炭房	云南	昆明
105	DC02	103.03	26.12	土层		新桥村	云南	昆明
106	DC03	103.05	26.14	基岩		下梨树坪	云南	昆明
107	DC04	103.13	26.17	基岩		四方地	云南	昆明
108	DC05	103.19	26.19	基岩		炭棚	云南	曲靖
109	DC07	103.32	26.23	基岩		大陷塘	云南	曲靖
110	DC08	102.97	25.97	基岩		火麻场	云南	昆明
111	DC09	103.02	26.01	基岩		炉墩	云南	昆明
112	DC10	103.07	25.99	基岩		老座处	云南	昆明
113	DC11	103.23	26.07	土层		大坪子	云南	昆明
114	DC12	103.29	26.11	基岩		新村	云南	昆明
115	DC13	103.36	26.12	基岩		马家仓房	云南	曲靖
116	DC14	103.42	26.14	基岩		沙坝头	云南	曲靖
117	HH01	101.83	25.34	基岩		高峰乡	云南	楚雄
118	HH02	101.85	25.23	土层		一平浪	云南	楚雄
119	HH03	101.76	25.15	基岩		广通镇	云南	楚雄
120	HH04	101.68	25.07	基岩		苍岭镇	云南	楚雄
121	HH05	101.59	24.98	基岩		黑邑仓	云南	楚雄
122	HH06	101.48	24.97	基岩		梅花村	云南	楚雄
123	HH07	101.45	24.88	基岩		芹菜坝下村	云南	楚雄
124	HH08	101.37	24.83	基岩		此务小村	云南	楚雄
125	HH09	101.26	24.75	基岩		大地基	云南	楚雄
126	HH10	101.27	24.68	土层		新村	云南	楚雄
127	HH11	101.09	24.66	土层		西舍路	云南	楚雄
128	HH12	101.14	24.58	土层		龙岗	云南	楚雄
129	HH13	100.95	24.50			大水井	云南	普洱
130	HH14	100.76	24.26	土层		对门梁子	云南	普洱
131	HH15	100.61	24.13	土层		大朝山东镇	云南	普洱
132	HH16	100.46	24.04	土层		文玉	云南	普洱

附表2 GNSS流动观测站列表

序号	编号	经度	纬度	站类型	各期观测时间
1	F076	104.31	24.73	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
2	F080	104.92	26.41	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
3	F356	103.93	26.55	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
4	F357	104.09	26.10	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
5	F358	104.25	24.10	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
6	F359	104.53	30.75	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
7	F360	104.63	28.58	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
8	F361	104.82	22.81	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
9	F362	104.93	24.93	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
10	F363	105.05	25.59	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
11	F364	105.03	27.69	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
12	F365	105.14	31.59	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
13	F366	105.21	23.61	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
14	F367	105.41	29.73	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
15	F368	105.43	24.21	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
16	H012	105.46	31.85	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
17	H035	104.44	31.63	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
18	H037	103.17	31.90	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
19	H040	101.61	31.60	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
20	H043	104.78	31.32	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
21	H044	104.19	31.18	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
22	H045	103.61	31.30	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
23	H046	102.67	31.68	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
24	H047	102.10	31.30	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
25	H048	104.44	30.99	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
26	H049	103.69	30.89	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
27	H050	103.14	30.84	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
28	H051	102.78	30.82	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
29	H052	101.87	30.78	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
30	H053	101.16	30.79	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
31	H054	100.75	31.13	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
32	H056	100.30	31.48	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
33	H057	100.24	31.15	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
34	H058	104.08	30.56	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
35	H060	103.41	30.25	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
36	H061	102.84	30.09	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
37	H062	100.93	30.97	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
38	H063	100.31	30.75	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019

附表2 GNSS流动观测站列表

序号	编号	经度	纬度	站类型	各期观测时间
39	H064	103.84	29.88	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
40	H065	103.00	29.81	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
41	H066	101.79	29.91	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
42	H067	101.49	29.91	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
43	H068	101.02	29.94	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
44	H069	99.17	29.93	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
45	H072	102.82	29.62	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
46	H073	102.29	29.68	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
47	H074	101.56	29.68	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
48	H075	100.39	29.53	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
49	H076	103.47	29.44	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
50	H078	102.08	29.52	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
51	H079	101.52	30.16	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
52	H080	100.12	29.01	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
53	H081	103.26	29.06	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
54	H082	102.44	29.10	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
55	H083	101.52	28.80	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
56	H086	103.04	28.68	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
57	H087	102.77	28.79	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
58	H088	103.98	28.44	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
59	H089	103.12	28.15	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
60	H090	102.53	28.51	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
61	H091	102.44	28.14	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
62	H092	102.13	28.35	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
63	H094	102.83	27.84	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
64	H095	102.23	27.72	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
65	H096	101.24	27.50	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
66	H097	100.65	27.59	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
67	H098	103.89	27.61	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
68	H099	103.27	27.53	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
69	H100	102.79	27.54	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
70	H101	103.69	27.20	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
71	H102	102.55	27.21	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
72	H103	102.19	27.30	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
73	H104	101.71	27.38	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
74	H106	100.93	26.98	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
75	H107	100.06	26.95	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
76	H108	102.91	26.78	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019

附表2 GNSS流动观测站列表

序号	编号	经度	纬度	站类型	各期观测时间
77	H109	102.61	26.47	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
78	H110	102.26	26.54	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
79	H111	102.10	26.67	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
80	H112	101.96	26.89	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
81	H113	101.86	26.54	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
82	H114	101.25	26.52	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
83	H116	101.75	26.35	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
84	H117	100.76	26.51	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
85	H119	103.23	26.25	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
86	H120	103.17	25.95	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
87	H121	102.53	25.85	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
88	H122	101.68	25.90	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
89	H123	100.60	26.06	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
90	H124	100.09	25.83	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
91	H125	103.80	25.48	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
92	H126	103.24	25.46	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
93	H127	102.94	25.65	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
94	H128	102.50	25.43	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
95	H129	101.90	25.49	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
96	H130	101.32	25.58	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
97	H131	100.56	25.65	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
98	H132	103.68	24.94	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
99	H134	102.52	25.09	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
100	H135	102.07	25.01	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
101	H137	101.27	25.07	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
102	H138	100.55	25.33	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
103	H140	100.50	25.19	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
104	H141	100.52	24.89	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
105	H142	100.31	25.11	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
106	H143	103.26	24.62	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
107	H144	102.92	24.53	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
108	H145	102.15	24.53	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
109	H147	100.31	24.69	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
110	H148	100.14	24.30	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
111	H150	102.44	24.04	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
112	H151	101.97	23.93	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
113	H152	101.09	23.88	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
114	H153	100.88	24.27	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019

附表2 GNSS流动观测站列表

序号	编号	经度	纬度	站类型	各期观测时间
115	H154	103.42	23.96	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
116	H157	101.99	23.46	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
117	H158	101.69	23.29	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
118	H160	100.89	23.73	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
119	H161	100.73	23.37	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
120	H162	100.09	23.74	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
121	H163	100.11	23.46	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
122	H164	103.40	23.33	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
123	H165	103.28	23.57	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
124	H166	102.84	23.09	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
125	H167	102.40	22.86	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
126	H170	103.69	22.84	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
127	H176	101.35	21.75	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
128	H177	100.79	21.88	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
129	H178	100.11	22.09	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
130	H182	100.01	31.45	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
131	H186	98.60	29.51	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
132	H187	98.69	29.08	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
133	H188	99.25	28.68	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
134	H189	99.75	28.84	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
135	H190	99.76	28.16	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
136	H191	98.92	28.28	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
137	H192	99.71	27.67	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
138	H193	99.03	27.45	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
139	H194	98.67	27.60	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
140	H195	99.64	27.16	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
141	H196	99.29	27.02	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
142	H197	98.88	26.75	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
143	H198	99.93	26.30	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
144	H200	98.92	26.39	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
145	H201	99.99	25.99	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
146	H202	99.37	25.74	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
147	H203	98.81	25.84	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
148	H204	99.92	25.57	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
149	H206	99.11	25.50	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
150	H207	99.15	24.92	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
151	H208	98.50	24.87	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
152	H209	99.91	24.48	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019

附表2 GNSS流动观测站列表

序号	编号	经度	纬度	站类型	各期观测时间
153	H210	99.64	24.69	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
154	H212	98.30	24.66	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
155	H213	97.94	24.57	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
156	H214	99.62	24.10	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
157	H215	99.25	23.86	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
158	H216	98.84	23.66	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
159	H217	98.29	24.11	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
160	H219	99.83	23.33	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
161	H220	99.40	23.40	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
162	H223	99.26	23.00	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
163	H224	99.81	22.57	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
164	H227	99.59	22.18	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
165	H306	97.56	24.61	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
166	H307	97.80	24.17	土层	2011 2013 2015 2017 2018 2019
167	H308	97.93	25.00	土层	2011 2013 2015 2017 2018 2019
168	H309	98.20	25.30	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
169	H310	98.67	28.68	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
170	H311	98.81	31.04	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
171	H312	98.85	24.74	土层	2011 2013 2015 2017 2018 2019
172	H313	98.85	25.05	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
173	H314	98.87	27.14	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
174	H315	98.91	23.35	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
175	H316	99.00	29.55	土层	2011 2013 2015 2017 2018 2019
176	H317	99.05	24.12	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
177	H318	99.34	28.06	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
178	H319	99.43	27.61	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
179	H320	99.59	23.60	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
180	H321	99.58	30.87	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
181	H322	99.76	23.81	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
182	H323	99.79	25.86	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
183	H324	99.86	26.65	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
184	H325	100.00	26.60	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
185	H326	100.05	21.57	土层	2011 2013 2015 2017 2018 2019
186	H327	100.05	27.35	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
187	H328	100.18	26.12	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
188	H329	100.32	30.30	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
189	H330	100.34	28.40	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
190	H331	100.35	22.52	土层	2011 2013 2015 2017 2018 2019

附表2 GNSS流动观测站列表

序号	编号	经度	纬度	站类型	各期观测时间
191	H332	100.40	23.30	土层	2011 2013 2015 2017 2018 2019
192	H333	100.45	26.84	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
193	H334	100.68	26.30	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
194	H335	100.73	24.50	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
195	H336	100.83	25.25	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
196	H337	100.92	27.97	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
197	H338	101.09	29.60	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
198	H339	100.95	22.64	土层	2011 2013 2015 2017 2018 2019
199	H340	100.94	25.99	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
200	H341	100.95	23.27	土层	2011 2013 2015 2017 2018 2019
201	H342	101.00	27.46	土层	2011 2013 2015 2017 2018 2019
202	H343	101.06	30.40	土层	2011 2013 2015 2017 2018 2019
203	H344	101.35	22.57	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
204	H345	101.40	30.44	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
205	H346	101.39	26.89	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
206	H347	101.50	29.17	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
207	H349	101.45	27.51	土层	2011 2013 2015 2017 2018 2019
208	H350	101.56	22.24	土层	2011 2013 2015 2017 2018 2019
209	H351	101.57	25.20	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
210	H352	101.66	24.28	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
211	H353	102.19	24.25	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
212	H354	101.67	22.83	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
213	H355	101.75	30.45	土层	2011 2013 2015 2017 2018 2019
214	H356	101.88	24.83	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
215	H357	101.86	28.07	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
216	H358	101.95	28.47	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
217	H359	102.15	27.60	土层	2011 2013 2015 2017 2018 2019
218	H360	102.11	24.87	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
219	H361	102.19	29.93	土层	2011 2013 2015 2017 2018 2019
220	H362	102.20	25.47	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
221	H363	102.23	29.29	土层	2011 2013 2015 2017 2018 2019
222	H364	102.22	23.80	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
223	H365	102.25	28.58	土层	2011 2013 2015 2017 2018 2019
224	H366	102.34	28.97	土层	2011 2013 2015 2017 2018 2019
225	H367	102.42	27.71	土层	2011 2013 2015 2017 2018 2019
226	H368	102.39	29.77	土层	2011 2013 2015 2017 2018 2019
227	H369	102.42	27.47	土层	2011 2013 2015 2017 2018 2019
228	H370	102.46	23.23	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019

附表2 GNSS流动观测站列表

序号	编号	经度	纬度	站类型	各期观测时间
229	H371	102.46	24.79	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
230	H372	102.58	29.88	土层	2011 2013 2015 2017 2018 2019
231	H373	102.56	27.72	土层	2011 2013 2015 2017 2018 2019
232	H374	102.57	24.53	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
233	H375	102.61	28.46	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
234	H376	102.71	27.79	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
235	H377	102.75	29.88	土层	2011 2013 2015 2017 2018 2019
236	H378	102.66	28.30	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
237	H379	102.81	24.83	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
238	H380	102.83	24.32	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
239	H381	102.83	23.77	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
240	H382	102.86	23.43	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
241	H384	102.88	30.30	土层	2011 2013 2015 2017 2018 2019
242	H385	102.98	24.01	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
243	H386	103.02	27.96	土层	2011 2013 2015 2017 2018 2019
244	H387	103.04	26.49	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
245	H388	103.04	25.20	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
246	H389	103.03	24.79	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
247	H390	103.14	24.75	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
248	H391	103.22	29.98	土层	2011 2013 2015 2017 2018 2019
249	H392	103.26	24.98	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
250	H393	103.29	24.72	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
251	H394	103.44	27.94	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
252	H395	103.35	29.76	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
253	H396	103.37	26.72	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
254	H397	103.39	24.41	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
255	H398	103.44	25.74	土层	2011 2013 2015 2017 2018 2019
256	H399	103.49	24.73	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
257	H400	103.82	29.21	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
258	H401	103.97	28.00	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
259	H402	104.09	30.26	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
260	HB02	100.73	31.70	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
261	HB03	103.57	30.55	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
262	HB04	103.90	28.79	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
263	HB05	101.61	24.56	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
264	HB06	102.83	23.96	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
265	HB07	102.50	23.56	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
266	HB08	101.37	23.15	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019

附表2 GNSS流动观测站列表

序号	编号	经度	纬度	站类型	各期观测时间
267	HB09	101.04	22.91	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
268	HB10	103.13	23.00	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
269	HB11	103.97	22.40	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
270	HB12	101.86	22.45	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
271	HB13	101.06	22.36	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
272	HB14	100.43	21.85	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
273	HB15	100.68	21.46	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
274	HB16	99.70	31.52	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
275	HB17	99.54	30.12	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
276	HB18	99.54	25.32	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
277	HB19	98.69	24.44	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
278	HB20	97.86	23.88	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
279	J009	99.19	31.77	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
280	J012	98.00	29.54	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
281	J402	98.23	31.34	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
282	J410	101.17	31.14	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
283	J411	102.14	31.77	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
284	J412	102.50	31.18	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
285	J413	102.83	31.47	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
286	J414	104.70	29.86	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
287	J415	103.68	31.80	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
288	J417	104.14	31.66	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
289	J421	98.59	31.70	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
290	J423	97.51	29.79	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
291	J426	97.78	31.20	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
292	JB34	102.31	31.53	基岩	2011 2013 2015 2017 2018 2019
293	JB35	101.50	30.33	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
294	JB36	103.53	28.68	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
295	JB37	101.51	27.26	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019
296	JB38	100.17	26.73	基岩	1999 2001 2004 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017 2018 2019

附录2 地震学科数据中心共享资源目录

附表3 测震固定观测站列表

台站名称	台网代码	台站代码	经度 (°)	纬度 (°)	高程 (m)
重庆	CQ	CQT	106.57	29.42	255
长寿	CQ	CHS	107.23	29.91	350
涪陵	CQ	FUL	107.44	29.73	695
荣昌	CQ	ROC	105.44	29.38	430
万盛	CQ	WAS	106.92	28.88	488
武隆	CQ	WUL	107.83	29.19	330
渝北	CQ	YUB	106.83	29.86	230
成县	GS	CXT	105.76	33.73	980
武都	GS	WDT	104.91	33.34	1150
文县	GS	WXT	104.68	32.95	980
舟曲	GS	ZHQ	104.38	33.81	1460
德保	GX	DBX	106.62	23.33	652
凭祥	GX	PXS	106.75	22.13	186
百色	GX	BSS	106.64	23.95	197
崇左	GX	CZS	107.35	22.37	99
大化	GX	DHX	107.99	23.75	185
东兴	GX	DXS	107.95	21.67	90
大新	GX	DXX	107.19	22.84	252
平果	GX	PGX	107.58	23.33	101
天峨	GX	TE	107.17	24.98	313
岩滩	GX	YTT	107.54	24.03	291
六盘水	GZ	LPS	104.77	26.65	2142
兴义	GZ	XYT	104.9	25.04	1191
安顺	GZ	AST	106.06	26.15	1307
毕节	GZ	BJT	105.35	27.24	1464.5

附表3 测震固定观测站列表

台站名称	台网代码	台站代码	经度 (°)	纬度 (°)	高程 (m)
凯里	GZ	KLT	107.99	26.54	980.4
罗甸	GZ	LDT	106.75	25.42	431.1
盘县台	GZ	PXT	104.73	25.64	1737
晴隆台	GZ	QLT	105.25	26.82	1499
桐梓	GZ	TZT	106.98	28.2	1355.09
威宁	GZ	WNT	104.3	26.91	2324.3
贞丰	GZ	ZFT	105.63	25.39	1049
遵义	GZ	ZYT	106.85	27.77	896.4
玉树	QH	YUS	97.02	33.01	3767
班玛	QH	BAM	100.73	32.95	3570
达日	QH	DAR	99.65	33.73	4025
久治	QH	JIZ	101.47	33.43	3683
囊谦	QH	NAQ	96.45	32.2	3748
清水河	QH	QSH	97.12	33.83	4444
杂多	QH	ZAD	95.32	32.89	4076
巴塘	SC	BTA	99.12	30.01	2639
成都	SC	CD2	103.76	30.91	653
姑咱	SC	GZA	102.17	30.12	1410
泸州	SC	LZH	105.41	28.87	330
攀枝花	SC	PZH	101.74	26.5	1190
松潘	SC	SPA	103.6	32.65	2905
乡城	SC	XCE	99.79	28.94	3000
安县	SC	AXI	104.43	31.64	587
安岳	SC	AYU	105.34	30.05	365
宝兴	SC	BAX	102.81	30.37	1010
丙乙底	SC	BYD	103.19	27.81	3160
巴中	SC	BZH	106.74	31.84	442
苍溪	SC	CXI	105.95	31.71	456
道孚	SC	DFU	101.12	30.99	3035
峨眉山	SC	EMS	103.45	29.58	467
甘孜	SC	GZI	100.02	31.61	3360
会理	SC	HLI	102.25	26.65	1836
荣县(花马石)	SC	HMS	104.4	29.57	839
黑水	SC	HSH	102.99	32.06	2344
高县(汉王山)	SC	HWS	104.74	28.64	860
华蓥山	SC	HYS	106.84	30.42	473
红原	SC	HYU	102.52	32.81	3506
中江(金鸡寺)	SC	JJS	104.55	31	908
筠连	SC	JLI	104.52	28.18	480
九龙	SC	JLO	101.51	29	2915
剑门关	SC	JMG	105.56	32.21	801
井研	SC	JYA	103.93	29.79	570
九寨沟	SC	JZG	104.24	33.26	1441
雷波	SC	LBO	103.57	28.27	1310
泸沽湖	SC	LGH	100.86	27.71	2669

附表3 测震固定观测站列表

台站名称	台网代码	台站代码	经度 (°)	纬度 (°)	高程 (m)
理塘	SC	LTA	100.27	30	3951
马边	SC	MBI	103.53	28.84	640
雅安 (蒙顶山)	SC	MDS	103.04	30.07	1210
马尔康	SC	MEK	102.22	31.9	2765
美姑	SC	MGU	103.13	28.33	2056
木里	SC	MLI	101.27	27.93	2437
冕宁	SC	MNI	102.17	28.33	1657
茂县	SC	MXI	103.85	31.68	1584
普格	SC	PGE	102.54	27.38	1427
平武	SC	PWU	104.55	32.42	882
青川	SC	QCH	105.23	32.59	800
若尔盖	SC	REG	102.96	33.58	3470
壤塘	SC	RTA	100.98	32.27	3317
石棉	SC	SMI	102.35	29.23	860
石门坎	SC	SMK	102.75	26.86	2360
天全	SC	TQU	102.76	30.07	756
旺苍	SC	WCA	106.2	32.18	617
汶川	SC	WCH	103.59	31.48	1315
西充	SC	XCO	105.9	31.02	336
宣汉	SC	XHA	107.72	31.37	390
小金	SC	XJI	102.36	31	2427
玄生坝	SC	XSB	102.45	27.86	2800
仁寿 (油罐顶)	SC	YGD	104.1	30.2	800
雅江	SC	YJI	101.01	30.03	2670
盐亭	SC	YTI	105.36	31.21	373
园艺场	SC	YYC	102.26	27.85	1608
盐源	SC	YYU	101.68	27.47	2596
都江堰 (油榨坪)	SC	YZP	103.57	30.87	766
江油 (仲家沟)	SC	ZJG	104.67	31.79	612
汉中 (国)	SN	HZHG	107.43	33.25	497
汉中	SN	HZHT	106.99	32.99	553
略阳	SN	LUYA	106.14	33.36	676
勉县	SN	MIAX	106.8	33.23	1151
西乡	SN	XIXI	107.72	32.91	561
昌都	XZ	CAD	97.17	31.14	3338
察隅	XZ	CHY	97.47	28.66	2297.1
丁青	XZ	DQI	95.64	31.41	3826.6
八宿	XZ	BAS	96.88	30.05	3387.7
波密	XZ	BOM	95.77	29.87	2763
江达	XZ	JDA	98.14	31.44	3717.9
洱源	YN	EYA	99.95	26.11	2072
富宁	YN	FUN	105.62	23.62	684
个旧	YN	GEJ	103.16	23.36	1840
贵阳	YN	GYA	106.66	26.46	1160
昆明	YN	KMI	102.75	25.15	1892

附表3 测震固定观测站列表

台站名称	台网代码	台站代码	经度 (°)	纬度 (°)	高程 (m)
孟连	YN	MEL	99.59	22.34	934
勐腊	YN	MLA	101.53	21.43	647
腾冲	YN	TNC	98.54	24.95	1682
昭通	YN	ZAT	103.66	27.45	1929
镇沅	YN	ZHY	101.11	24	1191
中甸	YN	ZOD	99.7	27.82	3248
保山	YN	BAS	99.15	25.12	1675
沧源	YN	CAY	99.26	23.13	1390
楚雄	YN	CUX	101.54	25.03	1840
大姚	YN	DAY	101.32	25.73	1860
东川	YN	DOC	103.2	26.11	1228
贡山	YN	GOS	98.68	27.84	1816
鹤庆	YN	HEQ	100.15	26.55	2210
黑龙潭	YN	HLT	102.75	25.15	1892
华坪	YN	HUP	101.2	26.59	1286
景谷	YN	JIG	100.74	23.5	1030
景洪	YN	JIH	100.74	22.02	570
金平	YN	JIP	103.22	22.78	1305
建水	YN	JIS	102.76	23.65	1380
澜沧	YN	LAC	99.92	22.55	1222
临沧	YN	LIC	100.17	23.88	2377
丽江	YN	LJJ	100.23	26.9	2480
罗平	YN	LOP	104.29	24.89	1478
禄劝	YN	LUQ	102.45	25.54	1777
泸水	YN	LUS	98.85	25.83	845
马龙	YN	MAL	103.58	25.43	2010
芒市	YN	MAS	98.59	24.42	920
弥勒	YN	MIL	103.39	24.41	1550
麻栗坡	YN	MLP	104.7	23.13	1054
巧家	YN	QJJ	102.94	26.91	1112
思茅	YN	SIM	101.01	22.78	1360
通海	YN	TOH	102.79	24.11	1870
团山	YN	TUS	100.25	25.61	1967
畹町	YN	WAD	98.07	24.09	920
文山	YN	WES	104.25	23.41	1480
宣威	YN	XUW	104.14	26.09	2073
盐津	YN	YAJ	104.23	28.11	575
易门	YN	YIM	102.2	24.72	1630
永德	YN	YOD	99.25	24.04	1690
永胜	YN	YOS	100.77	26.69	2200
元江	YN	YUJ	101.98	23.57	529
云龙	YN	YUL	99.37	25.89	1700
元谋	YN	YUM	101.86	25.69	1085
云县	YN	YUX	100.14	24.44	1110

附表4 测震流动观测站列表

台网代码	台站代码	经度(°)	纬度(°)	高程(m)	开始时间
G1	53256	100.22	26.12	1515	2011/01/20
G1	53257	100.59	26.01	1562	2011/02/25
G1	53257	100.60	26.01	1575	2015/07/28
G1	53258	100.35	25.73	1916	2011/01/21
G1	53259	100.78	25.47	1965	2011/01/18
G1	53260	100.55	25.82	1466	2011/08/28
G1	53260	100.55	25.82	1466	2015/10/16
G1	53261	100.54	25.86	1510	2011/05/22
G1	53261	100.54	25.86	1500	2015/11/10
G1	53262	100.49	25.85	1568	2011/05/21
G1	53263	100.47	25.90	1631	2011/05/23
G1	53263	100.47	25.90	1631	2015/11/16
G1	53264	100.45	25.76	1747	2011/07/29
G1	53265	100.50	25.77	1702	2011/07/29
G1	53266	100.44	26.02	1576	2011/05/25
G1	53267	100.52	25.72	1555	2011/05/28
G1	53268	100.54	25.77	1598	2011/05/29
G1	53269	100.77	26.05	1774	2012/06/11
G1	53269	100.77	26.05	1768	2015/08/21
G1	53270	101.20	26.33	1296	2012/06/13
G1	53271	100.21	25.47	1886	2011/07/16
G1	53272	100.46	25.83	1854	2011/08/01
G1	53273	100.47	25.79	1662	2012/05/10
G1	53274	100.41	25.81	1759	2011/08/02
G1	53275	100.62	25.80	1621	2011/08/03
G1	53276	100.57	25.89	1447	2012/05/11
G1	53276	100.57	25.89	1478	2015/08/19
G1	53277	100.50	25.82	1645	2012/05/11
G1	53278	100.52	25.82	1517	2012/05/10
G1	53279	100.25	25.84	2028	2012/05/07
G1	53280	100.54	25.64	1649	2011/08/19
G1	53281	100.69	25.88	2717	2012/06/11
G1	53282	100.34	25.60	2027	2012/05/24
G1	53283	100.78	26.13	1716	2012/06/12
G1	53284	101.00	25.88	1430	2011/08/20
G1	53285	99.93	25.80	1678	2012/05/22
G1	CKT0	100.50	25.81	1550	2011/04/14
G1	CKT1	100.50	25.81	1550	2011/05/27
G1	CKT2	100.50	25.81	1551	2012/10/27
G1	CKT	100.50	25.81	1549	2015/05/09

附表5 川西地区测震流动观测站列表 (2006-2009)

台网代码	台站代码	经度 (°)	纬度 (°)	高程 (m)
T1	KKD01	101.89	29.99	3228
T1	KKD02	101.52	30.32	2817
T1	KKD03	102.17	30.12	1447
T1	KKD04	101.96	30.06	2514
T1	KKD05	101.53	30.03	3104
T1	KKD06	101.53	29.80	3200
T1	KKD07	101.37	29.62	3163
T1	KKD08	101.32	29.50	2995
T1	KKD09	101.23	29.42	2713
T1	KKD10	101.45	29.45	3151
T1	KKD11	102.06	30.58	1747
T1	KKD12	102.14	30.36	1571
T1	KKD13	102.18	30.17	1449
T1	KLD01	102.07	29.72	2027
T1	KLD02	102.11	29.62	1643
T1	KLD03	102.23	29.91	1370
T1	KLD04	102.18	29.58	1098
T1	KJL01	101.51	29.14	3204
T1	KJL02	101.40	29.10	3121
T1	KJL03	101.51	29.00	2923
T1	KJL04	101.61	28.86	2525
T1	KJL05	101.67	28.76	2299
T1	KJL06	101.66	28.62	1942
T1	KJL07	101.84	28.60	1504
T1	KDB01	102.04	30.72	1828
T1	KDB02	102.13	31.02	2172
T1	KDB03	101.87	31.06	2001
T1	KDB04	101.88	30.88	1899
T1	KDB05	101.64	31.04	2502
T1	KDB06	101.75	30.79	2249
T1	KDB07	101.73	30.60	2826
T1	KDF01	101.52	30.55	3007
T1	KDF02	101.39	30.67	2851
T1	KDF03	101.24	30.88	3152
T1	KDF04	101.12	30.99	2989
T1	KDF05	101.11	30.87	2982
T1	KDF06	100.93	31.14	3086
T1	KDF07	101.16	31.36	2988

附表5 川西地区测震流动观测站列表(2006-2009)

台网代码	台站代码	经度(°)	纬度(°)	高程(m)
T1	KDF08	101.18	31.23	2741
T1	KDF09	101.06	30.58	2753
T1	KLH01	100.75	31.30	3146
T1	KLH02	100.43	31.56	3223
T1	KLH03	100.31	31.64	3136
T1	KLH04	100.76	31.59	3091
T1	KGZ01	100.02	31.61	3184
T1	KGZ02	99.75	1.66	3056
T1	KXL01	100.24	31.31	3217
T1	KXL02	100.32	31.09	3102
T1	KXL03	100.31	30.95	3088
T1	KXL04	100.69	30.82	2857
T1	KXL05	100.19	30.70	3048
T1	KXJ01	101.01	30.03	2694
T1	KYJ02	101.14	30.08	2928
T1	KYJ03	101.00	30.35	2752
T1	KYJ04	100.43	30.09	2458
T1	KYJ05	100.91	29.98	2953
T1	KYJ06	101.09	29.77	2540
T1	KLT01	100.30	30.48	3053
T1	KLT02	100.38	29.69	2864
T1	KLT03	100.38	29.76	2871
T1	KLT04	100.27	30.00	2568
T1	KLT05	100.22	29.99	2600
T1	KLT06	100.63	29.64	3024
T1	KLT07	100.51	29.73	2950
T1	KLT08	100.44	29.65	2815
T1	KDC01	100.24	28.68	3034
T1	KDC02	100.26	28.74	2685
T1	KDC03	100.46	28.58	2752
T1	KDC04	100.38	28.85	3000
T1	KDC05	100.31	29.04	2813
T1	KDC06	100.50	29.06	2999
T1	KDC07	100.11	29.19	2603
T1	KSD01	100.87	31.91	3208
T1	KWC01	103.46	30.98	918
T1	KWC02	103.46	31.29	1160
T1	KWC03	103.59	31.48	1346

附表5 川西地区测震流动观测站列表 (2006-2009)

台网代码	台站代码	经度 (°)	纬度 (°)	高程 (m)
T1	KHS01	103.42	31.86	1816
T1	KMX01	103.60	31.85	1704
T1	KLX01	103.16	31.44	1874
T1	KLX02	102.99	31.48	2198
T1	KLX03	102.78	31.69	2898
T1	KMR01	102.48	31.87	2909
T1	KMR02	102.22	31.90	2643
T1	KMR03	101.91	31.82	2343
T1	KMR04	101.70	31.86	3063
T1	KXT01	101.11	31.90	2989
T1	KJC01	101.44	31.64	2914
T1	KJC02	101.54	31.80	2586
T1	KJC03	102.03	31.66	2209
T1	KJC04	102.08	31.47	2162
T1	KJC05	102.00	31.25	2131
T1	KXJ01	102.32	31.66	2932
T1	KXJ02	102.48	31.29	2738
T1	KXJ03	102.37	30.99	2326
T1	KXJ04	102.64	30.97	2721
T1	KXJ05	102.83	31.00	3214
T1	KMX02	103.85	31.68	1590
T1	KMX03	104.07	31.77	1112
T1	KWC04	103.15	31.00	2026
T1	KWC05	103.31	31.10	1687
T1	KCD01	103.92	30.96	593
T1	KCD02	103.76	30.91	631
T1	KCD03	103.85	30.72	540
T1	KCD04	103.52	30.57	531
T1	KCD05	103.57	30.87	768
T1	KCD06	103.70	30.40	468
T1	KCD07	104.02	30.30	436
T1	KCD08	104.54	30.68	418
T1	KCD09	104.19	30.86	482
T1	KCD10	103.62	30.27	476
T1	KCD11	104.25	30.50	525
T1	KMY01	104.71	31.46	480
T1	KMY02	104.43	31.64	565
T1	KMY03	104.71	31.77	533

附表5 川西地区测震流动观测站列表(2006-2009)

台网代码	台站代码	经度(°)	纬度(°)	高程(m)
T1	KMY04	104.64	31.98	645
T1	KMY05	104.45	31.82	670
T1	KMY06	104.10	31.52	910
T1	KMY07	104.65	31.07	436
T1	KMY08	104.42	31.13	516
T1	KMY09	104.02	31.37	900
T1	KMS01	104.14	29.94	420
T1	KMS02	104.40	29.98	360
T1	KMS03	103.25	29.58	1262
T1	KMS04	103.19	29.86	506
T1	KMS05	103.34	29.89	465
T1	KMS06	103.86	30.10	408
T1	KYA01	102.30	29.01	1616
T1	KYA02	102.44	29.30	1354
T1	KYA03	102.35	29.23	889
T1	KYA04	102.24	29.24	1204
T1	KYA05	103.02	30.01	605
T1	KYA06	102.73	30.81	2439
T1	KYA07	102.74	30.70	2160
T1	KYA08	102.81	30.37	1036
T1	KYA09	102.94	30.55	1645
T1	KYA10	102.93	30.14	680
T1	KYA11	103.23	30.19	725
T1	KYA12	102.62	29.58	1659
T1	KYA13	102.68	29.35	810
T1	KYA14	102.90	29.23	718
T1	KYA15	102.41	29.96	1353
T1	KYA16	102.58	30.04	974
T1	KYA17	102.76	30.07	779
T1	KYA18	102.88	29.79	811
T1	KYA19	102.64	29.77	1070
T1	KLS01	103.16	29.13	786
T1	KLS02	103.26	29.23	617
T1	KLS03	103.57	29.81	448
T1	KLS04	103.63	28.82	1005
T1	KLS05	103.54	28.84	545
T1	KLS07	103.71	29.08	476
T1	KSL08	103.69	28.94	507

附表5 川西地区测震流动观测站列表 (2006-2009)

台网代码	台站代码	经度 (°)	纬度 (°)	高程 (m)
T1	KLS09	103.88	29.07	468
T1	KLS10	103.90	28.97	365
T1	KLS11	103.81	29.54	367
T1	KLS12	103.84	29.42	340
T1	KLS13	103.08	29.25	586
T1	KLS14	103.32	29.42	845
T1	KLS15	103.45	29.58	464
T1	KLS16	103.92	29.24	359
T1	KLS17	103.98	29.52	358
T1	KLS18	104.09	29.68	385
T1	KZG01	104.22	29.48	436
T1	KZG02	104.43	29.46	361
T1	KZG03	104.61	29.39	323
T1	KZG04	104.87	29.28	266
T1	KZG05	104.78	29.38	428
T1	KZG06	104.96	29.16	287
T1	KYB01	104.52	28.18	470
T1	KYB02	104.70	28.44	408
T1	KYB03	104.92	28.58	266
T1	KYB04	104.57	29.03	328
T1	KYB05	104.56	28.71	283
T1	KYB06	104.40	28.80	323
T1	KZY01	104.86	29.78	326
T1	KJY01	104.36	30.42	427
T1	PZH01	101.84	26.20	1834
T1	PZH02	101.78	26.32	1551
T1	PZH03	101.74	26.50	1174
T1	PZH04	101.56	26.71	1344
T1	PZH05	101.52	26.89	1249
T1	PZH06	101.39	27.04	1333
T1	PZH07	101.30	27.11	2302
T1	PZH08	101.85	26.69	1093
T1	PZH09	101.93	26.54	1233
T1	PZH10	101.75	26.86	1935
T1	PZH11	102.00	27.06	2640
T1	PZH12	102.13	26.84	1492
T1	PZH13	102.15	27.00	1189
T1	PZH14	101.20	26.59	1212

附表5 川西地区测震流动观测站列表(2006-2009)

台网代码	台站代码	经度(°)	纬度(°)	高程(m)
T1	PZH15	101.02	26.47	1389
T1	PZH16	100.75	26.68	2165
T1	PZH17	100.92	27.17	2620
T1	XYX01	102.76	28.38	2497
T1	XYX02	102.63	28.49	1966
T1	XYX03	102.50	28.58	1720
T1	XYX04	102.53	28.71	1672
T1	XML01	100.77	27.94	2758
T1	XML02	101.20	27.80	2387
T1	XML03	101.26	28.39	2427
T1	XML04	101.17	28.23	3221
T1	XML05	101.20	28.02	2536
T1	XML06	100.93	28.14	2287
T1	XML07	101.02	28.05	2559
T1	XML08	101.27	27.93	2467
T1	XML09	100.90	28.50	2362
T1	XML10	100.86	28.25	2140
T1	XMG01	103.14	28.33	2085
T1	XMG02	102.98	28.27	1599
T1	XMG03	103.12	28.61	2276
T1	XMG04	103.10	28.45	1973
T1	XMG05	103.24	28.76	1678
T1	XMG5A	103.07	28.66	2598
T1	XMG06	103.01	28.12	1450
T1	XXD01	102.27	28.36	1827
T1	XXD02	102.52	28.21	2073
T1	XXD03	102.44	28.32	1967
T1	XZJ01	102.79	28.23	2245
T1	XZJ02	103.17	28.11	1124
T1	XZJ03	102.87	27.91	2308
T1	XZJ08	102.75	27.96	2190
T1	XZJ04	102.57	27.88	2887
T1	XZJ05	103.08	28.00	2529
T1	XZJ06	102.84	28.00	2053
T1	XZJ07	102.42	27.86	2560
T1	XMN01	101.89	28.50	1486
T1	XMN02	101.80	28.19	1714
T1	XMN03	102.17	28.33	1655

附表5 川西地区测震流动观测站列表 (2006-2009)

台网代码	台站代码	经度 (°)	纬度 (°)	高程 (m)
T1	XMN04	102.29	28.83	2256
T1	XMN05	102.25	28.63	2033
T1	XMN06	102.16	28.55	1800
T1	XYY01	100.86	27.71	2699
T1	XYY02	101.05	27.56	1999
T1	XYY03	101.68	27.47	2630
T1	XYY04	101.41	27.44	2364
T1	XYY05	101.86	27.65	1665
T1	XYY06	101.31	27.34	2396
T1	XYY07	101.96	27.72	1503
T1	XYY7A	101.96	27.72	1485
T1	XYY08	101.46	27.48	2351
T1	XYY09	101.11	27.37	2182
T1	XYY10	101.31	27.60	2641
T1	XXC01	102.19	28.15	1643
T1	XXC02	102.14	27.74	1538
T1	XXC03	102.38	27.73	2616
T1	XXC04	102.21	27.59	1649
T1	XXC05	102.23	27.91	1596
T1	XXC06	102.23	27.91	1591
T1	XLB01	103.78	28.44	1029
T1	XLB02	103.67	28.34	1644
T1	XLB2A	103.64	28.31	1212
T1	XLB03	103.44	28.09	566
T1	XLB04	103.29	28.43	2450
T1	XLB06	103.32	28.41	2028
T1	XLB05	103.57	28.27	1297
T1	XPG01	102.54	27.38	1450
T1	XPG02	102.48	27.48	1427
T1	XPG03	102.41	27.64	2149
T1	XHL01	102.25	26.65	1793
T1	XHL02	102.28	26.90	1991
T1	XHL03	102.12	26.49	1933
T1	XHL04	102.01	26.28	1780
T1	XHL05	102.33	26.39	1800
T1	XHD01	102.47	26.57	1765
T1	XHD02	102.58	26.64	1692
T1	XHD03	102.69	26.40	2382

附表5 川西地区测震流动观测站列表(2006-2009)

台网代码	台站代码	经度(°)	纬度(°)	高程(m)
T1	XHD04	103.00	26.67	788
T1	XHD05	102.97	26.80	729
T1	XHD06	102.75	26.85	2411
T1	XHD07	102.82	26.69	1809
T1	XNN01	102.89	26.93	695
T1	XNN02	102.91	27.15	728
T1	XNN03	102.61	27.23	998
T1	XNN04	102.75	27.05	1066
T1	XBT01	102.82	27.37	1273
T1	XBT1A	102.90	27.34	693
T1	XBT02	102.85	27.55	2409
T1	XBT03	102.80	27.72	2394
T1	XDC01	102.24	27.16	1184
T1	XDC02	102.15	27.28	1507
T1	XDC03	102.15	27.40	1568
T1	XDC04	102.02	27.43	2060
T1	XDC05	102.33	27.30	1391
T1	XGL01	102.63	28.87	1472
T1	XGL02	102.78	28.98	1032
T1	XGL03	102.82	28.83	1493
T1	XGL3A	102.80	28.88	1511
T1	XJY01	103.19	27.81	3172
T1	XJY02	103.21	27.54	578
T1	XJY03	103.25	27.73	1568
T1	XPS01	103.87	28.70	361
T1	XPS1A	103.89	28.63	358
T1	XPS02	104.08	28.61	353
T1	XYN01	104.41	28.61	429
T1	XYN02	103.89	27.77	932
T1	XYN03	104.00	28.01	536
T1	XYN04	103.59	26.54	2034
T1	XYN05	103.53	26.68	1835
T1	XYN06	103.32	26.43	2116
T1	XYN07	103.16	26.21	2007
T1	XYN08	103.76	27.57	1880
T1	XYN09	103.68	27.36	1924
T1	XYN10	104.27	28.09	517
T1	XYN11	100.67	27.74	2649

附表6 中国地震科学探测台阵一期测震流动观测站列表 (2011-2014)

台网代码	台站代码	经度 (°)	纬度 (°)	高程 (m)
X1	45001	104.90	24.67	951
X1	45002	105.11	24.93	850
X1	45003	105.62	24.57	1157
X1	45004	105.42	24.36	511
X1	45005	105.18	24.51	952
X1	45006	105.86	24.35	347
X1	45007	106.14	24.59	635
X1	45008	106.20	24.19	481
X1	45009	106.66	24.93	1193
X1	45010	106.74	24.35	761
X1	45011	106.47	24.61	1066
X1	45012	106.52	24.00	441
X1	45013	106.96	23.98	221
X1	45014	106.42	23.71	489
X1	45015	106.76	23.68	356
X1	45016	106.96	23.40	245
X1	45017	105.86	23.33	883
X1	45018	106.62	23.33	644
X1	45019	106.29	23.44	892
X1	45020	106.24	23.16	874
X1	45021	106.60	23.02	648
X1	45022	106.95	23.05	606
X1	45023	106.64	22.47	168
X1	45024	107.02	22.51	171
X1	45025	107.01	24.88	973
X1	51001	105.50	29.16	398
X1	51002	105.98	29.16	248
X1	51003	106.39	29.11	169
X1	51004	106.82	29.08	588
X1	51005	107.09	29.06	747
X1	51006	104.80	28.82	312
X1	51007	105.16	28.81	292
X1	51008	105.75	28.92	293
X1	51009	106.14	28.87	337
X1	51010	106.62	28.88	589
X1	51011	105.25	28.56	338
X1	51012	105.68	28.65	543
X1	51013	106.09	28.55	403
X1	51014	106.41	28.61	1352

附表6 中国地震科学探测台阵一期测震流动观测站列表 (2011-2014)

台网代码	台站代码	经度 (°)	纬度 (°)	高程 (m)
X1	51015	106.75	28.65	563
X1	51016	106.98	28.65	541
X1	51017	104.87	28.37	353
X1	51018	105.18	28.24	454
X1	51019	105.54	28.30	340
X1	51020	105.82	28.35	1118
X1	51021	106.24	28.31	1299
X1	51022	106.56	28.32	1352
X1	51023	106.98	28.20	1316
X1	51024	104.84	28.09	506
X1	51025	105.34	28.00	711
X1	51026	105.77	28.04	651
X1	51027	106.13	27.97	1116
X1	51028	106.56	28.02	1016
X1	51029	107.11	27.94	866
X1	51030	105.59	27.82	1262
X1	51031	105.96	27.70	871
X1	51032	106.28	27.71	884
X1	51033	106.65	27.73	1075
X1	51034	107.02	27.69	866
X1	51035	105.57	27.39	1560
X1	51036	106.06	27.39	1577
X1	51037	106.44	27.41	1008
X1	51038	106.96	27.37	814
X1	51039	103.88	27.10	2245
X1	51040	104.46	27.05	2062
X1	51041	104.91	27.08	1717
X1	51042	105.42	27.05	1957
X1	51043	105.86	27.02	1420
X1	51044	106.33	27.06	1200
X1	51045	106.89	27.07	1319
X1	51046	99.29	28.81	2536
X1	51047	99.89	28.72	3182
X1	51048	100.30	29.04	3754
X1	51049	100.35	28.56	2958
X1	51050	101.93	28.62	1297
X1	51051	101.63	28.23	2006
X1	51052	99.25	28.42	2126
X1	51053	100.86	28.54	2665

附表6 中国地震科学探测台阵一期测震流动观测站列表 (2011-2014)

台网代码	台站代码	经度 (°)	纬度 (°)	高程 (m)
X1	51054	100.73	27.80	2642
X1	51055	100.85	28.16	2500
X1	51056	101.93	27.75	1384
X1	51057	101.47	27.76	2872
X1	51058	101.48	27.13	1730
X1	51059	101.88	27.21	1210
X1	51060	99.36	29.01	3148
X1	52026	104.07	26.76	2485
X1	52027	104.53	26.76	2373
X1	52028	104.99	26.76	1824
X1	52029	105.73	26.69	1560
X1	52030	106.11	26.68	1455
X1	52031	106.63	26.74	1268
X1	52032	104.69	26.31	1216
X1	52033	105.13	26.21	1319
X1	52034	105.57	26.30	1362
X1	52035	106.65	26.36	1160
X1	52036	104.55	25.90	1925
X1	52037	104.97	25.91	1626
X1	52038	105.58	25.91	1044
X1	52039	106.12	25.93	1125
X1	52040	106.59	25.94	954
X1	52041	104.98	25.47	1560
X1	52042	105.62	25.61	1214
X1	52043	106.17	25.63	855
X1	52044	106.70	25.61	927
X1	52045	106.60	25.31	606
X1	52046	106.14	25.30	851
X1	52047	105.65	25.24	1038
X1	52048	105.06	25.21	1403
X1	52049	105.53	24.95	1070
X1	52050	105.94	24.82	724
X1	53001	98.61	29.03	2658
X1	53002	99.02	28.95	2913
X1	53003	98.69	28.73	2252
X1	53004	98.91	28.49	3318
X1	53005	98.91	28.07	2105
X1	53006	99.29	28.25	2155
X1	53007	99.68	28.58	2458

附表6 中国地震科学探测台阵一期测震流动观测站列表 (2011-2014)

台网代码	台站代码	经度 (°)	纬度 (°)	高程 (m)
X1	53008	99.49	28.03	2743
X1	53009	99.74	28.15	2980
X1	53010	100.21	27.80	2102
X1	53011	100.06	27.50	2314
X1	53012	100.02	27.25	2258
X1	53013	99.06	27.69	1920
X1	53014	99.09	27.36	1727
X1	53015	99.17	27.10	1732
X1	53016	99.41	27.61	2032
X1	53017	98.61	28.02	1837
X1	53018	98.34	27.87	1481
X1	53019	98.84	27.38	1391
X1	53020	98.87	27.03	1297
X1	53021	98.90	26.69	1198
X1	53022	99.38	26.87	2108
X1	53023	99.15	26.74	2006
X1	53024	99.55	26.67	2503
X1	53025	99.42	26.46	2443
X1	53026	99.14	26.46	1623
X1	53027	98.89	26.36	1000
X1	53028	99.13	26.20	1495
X1	53029	99.90	26.54	2242
X1	53030	100.17	26.36	2093
X1	53031	100.25	26.13	1583
X1	53032	99.43	26.20	2136
X1	53033	99.40	25.63	1702
X1	53034	100.52	25.85	1507
X1	53035	100.86	25.92	1989
X1	53036	99.83	25.81	2208
X1	53037	99.73	25.54	1780
X1	53038	99.41	25.30	1448
X1	53039	99.78	25.34	1835
X1	53040	100.49	25.35	1692
X1	53041	100.22	25.01	2085
X1	53042	99.99	25.49	1435
X1	53043	100.32	25.24	1888
X1	53044	100.52	25.05	1386
X1	53045	100.90	25.59	1938
X1	53046	100.50	25.57	2089

附表6 中国地震科学探测台阵一期测震流动观测站列表 (2011-2014)

台网代码	台站代码	经度 (°)	纬度 (°)	高程 (m)
X1	53047	100.90	25.32	2154
X1	53048	100.10	25.91	2001
X1	53049	99.64	27.30	1901
X1	53050	99.90	26.84	1876
X1	53051	100.41	27.42	2173
X1	53052	100.40	27.15	1887
X1	53053	100.64	27.77	1791
X1	53054	100.80	26.99	2208
X1	53055	100.84	27.29	2285
X1	53056	101.00	26.99	2794
X1	53057	100.48	26.75	2605
X1	53058	100.49	26.54	1808
X1	53059	100.60	26.29	1450
X1	53060	101.03	26.44	1336
X1	53061	98.54	25.51	1866
X1	53062	98.33	25.22	1846
X1	53063	98.67	24.90	1343
X1	53064	98.48	24.75	1225
X1	53065	99.24	25.48	1833
X1	53066	98.84	25.20	852
X1	53067	98.86	25.45	835
X1	53068	98.83	24.69	1856
X1	53069	99.03	24.55	761
X1	53070	99.04	24.32	792
X1	53071	99.48	25.05	1457
X1	53072	99.65	24.88	1738
X1	53073	99.83	25.00	1894
X1	53074	99.34	24.53	723
X1	53075	99.62	24.53	1117
X1	53076	99.17	24.75	1517
X1	53077	97.94	25.11	1753
X1	53078	97.97	24.71	894
X1	53079	97.66	24.61	1333
X1	53080	98.22	24.66	1095
X1	53081	98.03	24.50	1101
X1	53082	97.73	24.40	1517
X1	53083	97.79	24.18	946
X1	53084	97.66	23.90	759
X1	53085	98.34	24.34	1213

附表6 中国地震科学探测台阵一期测震流动观测站列表 (2011-2014)

台网代码	台站代码	经度 (°)	纬度 (°)	高程 (m)
X1	53086	98.57	24.14	1078
X1	53087	100.09	24.86	2489
X1	53088	99.88	24.71	1825
X1	53089	100.20	24.71	2011
X1	53090	99.94	24.32	1706
X1	53091	100.47	24.59	1051
X1	53092	100.37	24.16	2024
X1	53093	99.55	24.20	1703
X1	53094	99.03	23.90	878
X1	53095	99.72	24.02	800
X1	53096	99.57	23.70	1475
X1	53097	99.39	23.55	1139
X1	53098	98.88	23.56	1327
X1	53099	99.84	23.47	1128
X1	53100	100.04	23.43	1906
X1	53101	99.10	23.29	1118
X1	53102	100.72	24.64	1364
X1	53103	100.81	24.45	1374
X1	53104	100.41	23.96	887
X1	53105	100.78	24.20	1459
X1	53106	101.11	24.00	1290
X1	53107	100.97	23.70	1537
X1	53108	100.29	23.59	952
X1	53109	100.75	23.30	0
X1	53110	100.64	23.06	1291
X1	53111	100.22	23.22	1753
X1	53112	101.05	23.01	1357
X1	53113	101.46	22.78	1189
X1	53114	104.90	23.28	1419
X1	53115	105.11	23.60	1469
X1	53116	105.62	23.03	1789
X1	53117	105.42	23.37	1428
X1	53118	105.18	22.57	765
X1	53119	105.86	22.82	1503
X1	53120	106.14	23.13	1805
X1	53121	106.20	22.88	1440
X1	53122	106.66	22.79	1388
X1	53123	106.74	22.58	1197
X1	53124	106.47	22.27	1230

附表6 中国地震科学探测台阵一期测震流动观测站列表 (2011-2014)

台网代码	台站代码	经度 (°)	纬度 (°)	高程 (m)
X1	53125	106.52	22.58	1139
X1	53126	106.96	22.45	933
X1	53127	106.42	22.49	671
X1	53128	106.76	22.58	1444
X1	53129	106.96	22.18	676
X1	53130	105.86	22.50	879
X1	53131	106.62	22.12	788
X1	53132	106.29	21.69	622
X1	53133	106.24	22.31	1033
X1	53134	106.60	21.92	1204
X1	53135	106.95	21.70	640
X1	53136	106.64	21.56	1168
X1	53137	107.02	22.16	863
X1	53138	107.01	21.90	681
X1	53139	105.50	21.69	701
X1	53140	105.98	21.65	690
X1	53141	106.39	21.72	745
X1	53142	106.82	21.27	646
X1	53143	107.09	21.19	890
X1	53144	104.80	26.35	1130
X1	53145	105.16	26.01	1974
X1	53146	105.75	26.06	1543
X1	53147	106.14	25.47	1921
X1	53148	106.62	25.83	2256
X1	53149	105.25	25.31	1778
X1	53150	105.68	25.15	1565
X1	53151	106.09	25.04	1436
X1	53152	106.41	24.76	1963
X1	53153	106.75	24.69	1966
X1	53154	106.98	24.38	1663
X1	53155	104.87	26.17	2684
X1	53156	105.18	25.87	2126
X1	53157	105.54	25.91	2009
X1	53158	105.82	25.39	1874
X1	53159	106.24	25.21	1721
X1	53160	106.56	24.98	1839
X1	53161	106.98	24.91	1556
X1	53162	104.84	25.07	1875
X1	53163	105.34	24.79	1941

附表6 中国地震科学探测台阵一期测震流动观测站列表 (2011-2014)

台网代码	台站代码	经度 (°)	纬度 (°)	高程 (m)
X1	53164	105.77	24.66	1930
X1	53165	106.13	24.63	1942
X1	53166	106.56	24.41	1711
X1	53167	107.11	24.44	2004
X1	53168	105.59	24.17	1547
X1	53169	105.96	24.05	2146
X1	53170	106.28	24.03	783
X1	53171	106.65	24.54	1765
X1	53172	107.02	24.25	2040
X1	53173	105.57	24.07	1302
X1	53174	106.06	24.02	1163
X1	53175	106.44	23.85	1207
X1	53176	106.96	23.70	1124
X1	53177	103.88	23.20	1523
X1	53178	104.46	23.45	1904
X1	53179	104.91	23.28	1546
X1	53180	105.42	23.36	993
X1	53181	105.86	22.96	1569
X1	53182	106.33	22.98	1693
X1	53183	106.89	22.81	798
X1	53184	99.29	23.18	1126
X1	53185	99.89	22.93	537
X1	53186	100.30	22.61	312
X1	53187	100.35	23.10	337
X1	53188	101.93	22.96	1611
X1	53189	101.63	22.81	1459
X1	53190	99.25	22.53	107
X1	53191	100.86	24.30	1327
X1	53192	100.73	24.29	1509
X1	53193	100.85	24.06	2117
X1	53194	101.93	24.08	1387
X1	53195	101.47	23.75	1488
X1	53196	101.48	23.79	1502
X1	53197	101.88	23.76	1492
X1	53198	99.36	23.58	1420
X1	53199	104.07	23.20	1750
X1	53200	104.53	24.14	1463
X1	53201	104.99	23.03	1321
X1	53202	105.73	23.37	1476

附表6 中国地震科学探测台阵一期测震流动观测站列表 (2011-2014)

台网代码	台站代码	经度 (°)	纬度 (°)	高程 (m)
X1	53203	106.11	23.98	699
X1	53204	106.63	22.88	1074
X1	53205	104.69	23.33	1474
X1	53206	105.13	23.77	415
X1	53207	105.57	24.30	871
X1	53208	106.65	24.04	1454
X1	53209	104.55	23.76	1260
X1	53210	104.97	23.44	1534
X1	53211	105.58	24.82	1963
X1	53212	106.12	24.54	1625
X1	53213	106.59	24.69	1149
X1	53214	104.98	25.35	1761
X1	53215	105.62	24.98	1602
X1	53216	106.17	24.90	1880
X1	53217	106.70	25.21	1934
X1	53218	106.60	25.48	2129
X1	53219	106.14	25.75	2015
X1	53220	105.65	25.65	2120
X1	53221	105.06	25.26	1316
X1	53222	105.53	26.34	2139
X1	53223	105.94	26.41	2290
X1	53224	98.61	26.12	1739
X1	53225	99.02	26.46	2046
X1	53226	98.69	25.53	2046
X1	53227	98.91	27.00	1632
X1	53228	98.91	27.23	994
X1	53229	99.29	27.60	2344
X1	53230	99.68	28.23	653
X1	53231	99.49	28.00	1237
X1	53232	99.74	27.76	1693
X1	53233	100.21	27.64	1549
X1	53234	100.06	28.27	606
X1	53235	100.02	27.63	852
X1	53236	99.06	27.36	1850
X1	53237	99.09	27.86	591
X1	53238	99.17	27.85	1190
X1	53239	99.41	27.50	2025
X1	53240	98.61	27.44	1625

附表7 地震学科数据中心部分数据共享服务

数据申请人	申请人所属单位	地震事件波形数据				连续波形数据		
		地震事件条目数	涉及台网	单个事件截取长度(sec)	震中距约束(km)	重采样率(Hz)	涉及台网	天数
李红谊	中国地质大学(北京)	17413	E93-123,N20-36	-100—7200	0—19999		E93-123,N20-36	0
李娟	中国科学院地质与地球物理研究所	0		—	—	10		1
姜明明	中国科学院地质与地球物理研究所/地球深部结构与过程研究室	159	E91-105,N15-29	0—7200	0—19999		E91-105,N15-29	0
皮誉洋	中国地震局地震研究所/观测室	1	E73-135,N3-53	-259200—0	0—1000		E73-135,N3-53	0
王志伟	中国地震局地质研究所/构造物理实验室	27		-200—1800	0—400			0
吴珊珊	上海市地震局佘山地震台	0	HB,HA,NM,NX,GS,SX,SN,	—	—	1	HB,HA,NM,NX,GS,SX,SN,	1095
鲁成东	中国地质大学(武汉)/地球科学学院	48	E98-109,N26-35	-360—600	0—7778		E98-109,N26-35	0
万乐	中国地质大学(武汉)/地球科学学院	35	E98-109,N26-35	-360—600	0—6667		E98-109,N26-35	0
杨屿	中国地质大学(武汉)/地球科学学院	44	E98-109,N26-35	-200—900	0—6667		E98-109,N26-35	0
鲁成东	中国地质大学(武汉)/地球科学学院	82	E98-109,N26-35	-200—800	0—7778		E98-109,N26-35	0
杨屿	中国地质大学(武汉)/地球科学学院	71	E98-109,N26-35	-200—800	0—7778		E98-109,N26-35	0
鲁成东	中国地质大学(武汉)/地球科学学院	72	E98-109,N26-35	-200—800	0—7778		E98-109,N26-35	0
双晓	中国地质大学(武汉)/地球科学学院	91	E98-109,N26-35	-200—800	0—7778		E98-109,N26-35	0
鲁成东	中国地质大学(武汉)/地球科学学院	72	E98-109,N26-35	-200—800	0—7778		E98-109,N26-35	0
双晓	中国地质大学(武汉)/地球科学学院	82	E98-109,N26-35	-200—800	0—7778		E98-109,N26-35	0
唐启家	中国地质大学(武汉)/地球物理与空间信息学院	0	E96-112,N20-35	—	—	10	E96-112,N20-35	364
韩颜颜	中国地震台网中心	1		-200—1500	0—3500			0
刘志坤	中国地质大学(北京)/地球物理与信息技术学院	0	E99.5-107.2,N30.15-33.5	—	—	10	E99.5-107.2,N30.15-33.5	183
鲁成东	中国地质大学(武汉)/地球科学学院	41	E98-109,N26-35	-120—600	0—7778		E98-109,N26-35	0
鲁成东	中国地质大学(武汉)/地球科学学院	24	E98-109,N26-35	-120—600	0—7778		E98-109,N26-35	0
鲁成东	中国地质大学(武汉)/地球科学学院	33	E98-109,N26-35	-200—900	0—7778		E98-109,N26-35	0
双晓	中国地质大学(武汉)/地球科学学院	44	E98-109,N26-35	-200—900	0—7778		E98-109,N26-35	0
万乐	中国地质大学(武汉)/地球科学学院	47	E98-109,N26-35	-200—900	0—7778		E98-109,N26-35	0

附表7 地震学科数据中心部分数据共享服务

数据申请人	申请人所属单位	地震事件波形数据				连续波形数据		
		地震事件条目数	涉及台网	单个事件截取长度 (sec)	震中距约束 (km)	重采样率 (Hz)	涉及台网	天数
胡家富	云南大学资源环境与地球科学学院/地球物理系	135	SC,YN,CQ,	-100—4000	5555—16666		SC,YN,CQ,	0
张双喜	武汉大学测绘学院	0	E107-117,N28-34	—	—	10	E107-117,N28-34	3468
李丽	中国地震局地球物理研究所	1		-240—3600	0—19999			0
鲁成东	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	29	E98-109,N26-35	-180—750	0—7778		E98-109,N26-35	0
唐启家	中国地质大学 (武汉) / 地球物理与空间信息学院	0	E95-112,N20-35	—	—	10	E95-112,N20-35	364
房立华	中国地震局地球物理研究所/四室	28		0—1000	0—11111			0
赵娟	中国地质大学 (武汉)	1		0—1560	1000—5000			0
李艳娥	中国地震局地球物理研究所/第四研究室	189	E24-38,N95-108	-30—300	0—500		E24-38,N95-108	0
张风雪	中国地震局地球物理研究所	5297	E105-135,N15-55	-200—1800	0—19999		E105-135,N15-55	0
范莉苹	中国地震局地球物理研究所	0	E95-115,N20-45	—	—	1	E95-115,N20-45	853
赵明	中国地震局地球物理研究所/第一研究室	0	E31-34,N101-107	—	—	10	E31-34,N101-107	14
叶庆东	中国地震局第一监测中心	23685		-2—60	0—200			0
赵明	中国地震局地球物理研究所/第一研究室	3177	E70-130,N20-50	-200—1800	0—60		E70-130,N20-50	0
马士振	北京市地震局	0	E95-108,N20-30	—	—	1	E95-108,N20-30	1096
赵明	中国地震局地球物理研究所/第一研究室	6438	E101-107,N30-34	-200—1800	0—6667		E101-107,N30-34	0
鲁成东	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	47	E98-109,N26-35	-360—600	0—6667		E98-109,N26-35	0
双晓	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	54	E98-109,N26-35	-360—600	0—6667		E98-109,N26-35	0
朱艾斓	上海市地震局	0	E115-118,N23-24	—	—	10	E115-118,N23-24	364
双晓	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	31	E98-109,N26-35	-200—800	0—7778		E98-109,N26-35	0
杨屿	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	80	E98-109,N26-35	-200—800	0—7778		E98-109,N26-35	0
王晓山	河北省地震局/预测研究中心	593		-30—150	0—500			0
张风雪	中国地震局地球物理研究所	69		-100—200	555—4445			0
李艳娥	中国地震局地球物理研究所/第四研究室	11641	E97-110,N23-40	-30—300	0—500		E97-110,N23-40	0
王晓山	河北省地震局/预测研究中心	10		-30—150	0—500			0
李红谊	中国地质大学 (北京)	3600		-100—7200	30—150			0
房立华	中国地震局地球物理研究所/四室	44112	E96-107,N21-34	-30—600	0—600		E96-107,N21-34	0

附表7 地震学科数据中心部分数据共享服务

数据申请人	申请人所属单位	地震事件波形数据				连续波形数据		
		地震事件条目数	涉及台网	单个事件截取长度 (sec)	震中距约束 (km)	重采样率 (Hz)	涉及台网	天数
赵明	中国地震局地球物理研究所/第一研究室	319431		-200—1800	0—6667			0
张艳	中国科学院地质与地球物理研究所	16	E116-117,N39-41	-300—3600	0—10000		E116-117,N39-41	0
赵明	中国地震局地球物理研究所/第一研究室	6396		-200—1800	0—60			0
韩立波	中国地震局地球物理研究所/实时地震学与地震监测预报技术研究室	2		-60—100	0—250			0
王亮	桂林理工大学	2		-60—300	0—556			0
房立华	中国地震局地球物理研究所/四室	0	E96-107,N21-34	—	—	5	E96-107,N21-34	1095
梁春涛	成都理工大学/地球物理学院	1	SC,	-200—3600	0—19999		SC,	0
徐晓	中国地质科学院/深部探测与能源研究室	1345	E106-124,N20-36	0—3600	2777—17777		E106-124,N20-36	0
刘志坤	中国地质大学(北京)/地球物理与信息技术学院	0	E100.25-105,N26.4-30.15	—	—	10	E100.25-105,N26.4-30.15	183
杨屿	中国地质大学(武汉)/地球科学学院	28	E98-109,N26-35	-200—900	0—7778		E98-109,N26-35	0
杨屿	中国地质大学(武汉)/地球科学学院	88	E98-109,N26-35	-200—800	0—7778		E98-109,N26-35	0
廖诗荣	福建省地震局/监测中心	18		-60—600	0—1000			0
陈婷	河北省地震局	1336		-60—300	0—300			0
马士振	北京市地震局	0	E95-108,N20-30	—	—	1	E95-108,N20-30	3653
房立华	中国地震局地球物理研究所/四室	2		0—5400	0—334			0
张旭	中国地震局地球物理研究所	1		-60—600	3333—10000			0
房立华	中国地震局地球物理研究所/四室	2		0—1200	0—300			0
李红谊	中国地质大学(北京)	17413	E93-123,N20-36	-100—7200	0—19999		E93-123,N20-36	0
李娟	中国科学院地质与地球物理研究所	0		—	—	10		1
姜明明	中国科学院地质与地球物理研究所/地球深部结构与过程研究室	159	E91-105,N15-29	0—7200	0—19999		E91-105,N15-29	0
皮誉洋	中国地震局地震研究所/观测室	1	E73-135,N3-53	-259200—0	0—1000		E73-135,N3-53	0
王志伟	中国地震局地质研究所/构造物理实验室	27		-200—1800	0—400			0
吴珊珊	上海市地震局佘山地震台	0	HB,HA,NM,NX,GS,SX,SN,	—	—	1	HB,HA,NM,NX,GS,SX,SN,	1095
邱玉荣	陕西省地震局/预报中心	8		-100—300	0—300			0

附表7 地震学科数据中心部分数据共享服务

数据申请人	申请人所属单位	地震事件波形数据				连续波形数据		
		地震事件条目数	涉及台网	单个事件截取长度 (sec)	震中距约束 (km)	重采样率 (Hz)	涉及台网	天数
鲁成东	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	48	E98-109,N26-35	-360—600	0—7778		E98-109,N26-35	0
万乐	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	35	E98-109,N26-35	-360—600	0—6667		E98-109,N26-35	0
杨屿	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	44	E98-109,N26-35	-200—900	0—6667		E98-109,N26-35	0
鲁成东	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	82	E98-109,N26-35	-200—800	0—7778		E98-109,N26-35	0
杨屿	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	71	E98-109,N26-35	-200—800	0—7778		E98-109,N26-35	0
鲁成东	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	72	E98-109,N26-35	-200—800	0—7778		E98-109,N26-35	0
双晓	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	91	E98-109,N26-35	-200—800	0—7778		E98-109,N26-35	0
鲁成东	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	72	E98-109,N26-35	-200—800	0—7778		E98-109,N26-35	0
双晓	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	82	E98-109,N26-35	-200—800	0—7778		E98-109,N26-35	0
赵旭	中国地震台网中心	2		-300—1800	0—600			0
唐启家	中国地质大学 (武汉) / 地球物理与空间信息学院	0	E96-112,N20-35	—	—	10	E96-112,N20-35	364
韩颜颜	中国地震台网中心	1		-200—1500	0—3500			0
刘志坤	中国地质大学 (北京) / 地球物理与信息技术学院	0	E99.5-107.2,N30.15-33.5	—	—	10	E99.5-107.2,N30.15-33.5	183
鲁成东	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	41	E98-109,N26-35	-120—600	0—7778		E98-109,N26-35	0
鲁成东	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	24	E98-109,N26-35	-120—600	0—7778		E98-109,N26-35	0
鲁成东	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	33	E98-109,N26-35	-200—900	0—7778		E98-109,N26-35	0
双晓	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	44	E98-109,N26-35	-200—900	0—7778		E98-109,N26-35	0
万乐	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	47	E98-109,N26-35	-200—900	0—7778		E98-109,N26-35	0
胡家富	云南大学资源环境与地球科学学院/地球物理系	135	SC,YN,CQ,	-100—4000	5555—16666		SC,YN,CQ,	0
张双喜	武汉大学测绘学院	0	E107-117,N28-34	—	—	10	E107-117,N28-34	3468
李丽	中国地震局地球物理研究所	1		-240—3600	0—19999			0
鲁成东	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	29	E98-109,N26-35	-180—750	0—7778		E98-109,N26-35	0
唐启家	中国地质大学 (武汉) / 地球物理与空间信息学院	0	E95-112,N20-35	—	—	10	E95-112,N20-35	364
房立华	中国地震局地球物理研究所/四室	28		0—1000	0—11111			0
赵娟	中国地质大学 (武汉)	1		0—1560	1000—5000			0

附表7 地震学科数据中心部分数据共享服务

数据申请人	申请人所属单位	地震事件波形数据				连续波形数据		
		地震事件条目数	涉及台网	单个事件截取长度 (sec)	震中距约束 (km)	重采样率 (Hz)	涉及台网	天数
张风雪	中国地震局地球物理研究所	5297	E105-135,N15-55	-200—1800	0—19999		E105-135,N15-55	0
范莉苹	中国地震局地球物理研究所	0	E95-115,N20-45	—	—	1	E95-115,N20-45	853
叶庆东	中国地震局第一监测中心	23685		-2—60	0—200			0
赵明	中国地震局地球物理研究所/第一研究室	3177	E70-130,N20-50	-200—1800	0—60		E70-130,N20-50	0
马士振	北京市地震局	0	E95-108,N20-30	—	—	1	E95-108,N20-30	1096
赵明	中国地震局地球物理研究所/第一研究室	6438	E101-107,N30-34	-200—1800	0—6667		E101-107,N30-34	0
鲁成东	中国地质大学(武汉)/地球科学学院	47	E98-109,N26-35	-360—600	0—6667		E98-109,N26-35	0
双晓	中国地质大学(武汉)/地球科学学院	54	E98-109,N26-35	-360—600	0—6667		E98-109,N26-35	0
朱艾斓	上海市地震局	0	E115-118,N23-24	—	—	10	E115-118,N23-24	364
双晓	中国地质大学(武汉)/地球科学学院	31	E98-109,N26-35	-200—800	0—7778		E98-109,N26-35	0
杨屿	中国地质大学(武汉)/地球科学学院	80	E98-109,N26-35	-200—800	0—7778		E98-109,N26-35	0
王晓山	河北省地震局/预测研究中心	593		-30—150	0—500			0
张风雪	中国地震局地球物理研究所	69		-100—200	555—4445			0
李艳娥	中国地震局地球物理研究所/第四研究室	11641	E97-110,N23-40	-30—300	0—500		E97-110,N23-40	0
王晓山	河北省地震局/预测研究中心	10		-30—150	0—500			0
李红谊	中国地质大学(北京)	3600		-100—7200	30—150			0
房立华	中国地震局地球物理研究所/四室	44112	E96-107,N21-34	-30—600	0—600		E96-107,N21-34	0
赵明	中国地震局地球物理研究所/第一研究室	319431		-200—1800	0—6667			0
赵明	中国地震局地球物理研究所/第一研究室	6396		-200—1800	0—60			0
韩立波	中国地震局地球物理研究所/实时地震学与地震监测预报技术研究室	2		-60—100	0—250			0
王亮	桂林理工大学	2		-60—300	0—556			0
房立华	中国地震局地球物理研究所/四室	0	E96-107,N21-34	—	—	5	E96-107,N21-34	1095
梁春涛	成都理工大学/地球物理学院	1	SC,	-200—3600	0—19999		SC,	0
徐晓	中国地质科学院/深部探测与能源研究室	1345	E106-124,N20-36	0—3600	2777—17777		E106-124,N20-36	0
刘志坤	中国地质大学(北京)/地球物理与信息技术学院	0	E100.25-105,N26.4-30.15	—	—	10	E100.25-105,N26.4-30.15	183

附表7 地震学科数据中心部分数据共享服务

数据申请人	申请人所属单位	地震事件波形数据				连续波形数据		
		地震事件条目数	涉及台网	单个事件截取长度 (sec)	震中距约束 (km)	重采样率 (Hz)	涉及台网	天数
杨屿	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	88	E98-109,N26-35	-200—800	0—7778		E98-109,N26-35	0
廖诗荣	福建省地震局/监测中心	18		-60—600	0—1000			0
陈婷	河北省地震局	1336		-60—300	0—300			0
房立华	中国地震局地球物理研究所/四室	2		0—5400	0—334			0
张旭	中国地震局地球物理研究所	1		-60—600	3333—10000			0
房立华	中国地震局地球物理研究所/四室	2		0—1200	0—300			0
张旭	中国地震局地球物理研究所	0	E102-107,N30-34	—	—	10	E102-107,N30-34	6
李红谊	中国地质大学 (北京)	17413	E93-123,N20-36	-100—7200	0—19999		E93-123,N20-36	0
李娟	中国科学院地质与地球物理研究所	0		—	—	10		1
姜明明	中国科学院地质与地球物理研究所/地球深部结构与过程研究室	159	E91-105,N15-29	0—7200	0—19999		E91-105,N15-29	0
皮誉洋	中国地震局地震研究所/观测室	1	E73-135,N3-53	-259200—0	0—1000		E73-135,N3-53	0
王志伟	中国地震局地质研究所/构造物理实验室	27		-200—1800	0—400			0
吴珊珊	上海市地震局佘山地震台	0	HB,HA,NM,NX,GS,SX,SN,	—	—	1	HB,HA,NM,NX,GS,SX,SN,	1095
邱玉荣	陕西省地震局/预报中心	8		-100—300	0—300			0
鲁成东	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	48	E98-109,N26-35	-360—600	0—7778		E98-109,N26-35	0
万乐	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	35	E98-109,N26-35	-360—600	0—6667		E98-109,N26-35	0
杨屿	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	44	E98-109,N26-35	-200—900	0—6667		E98-109,N26-35	0
鲁成东	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	82	E98-109,N26-35	-200—800	0—7778		E98-109,N26-35	0
杨屿	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	71	E98-109,N26-35	-200—800	0—7778		E98-109,N26-35	0
鲁成东	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	72	E98-109,N26-35	-200—800	0—7778		E98-109,N26-35	0
双晓	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	91	E98-109,N26-35	-200—800	0—7778		E98-109,N26-35	0
鲁成东	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	72	E98-109,N26-35	-200—800	0—7778		E98-109,N26-35	0
双晓	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	82	E98-109,N26-35	-200—800	0—7778		E98-109,N26-35	0
赵旭	中国地震台网中心	2		-300—1800	0—600			0
唐启家	中国地质大学 (武汉) / 地球物理与空间信息学院	0	E96-112,N20-35	—	—	10	E96-112,N20-35	364
韩颜颜	中国地震台网中心	1		-200—1500	0—3500			0

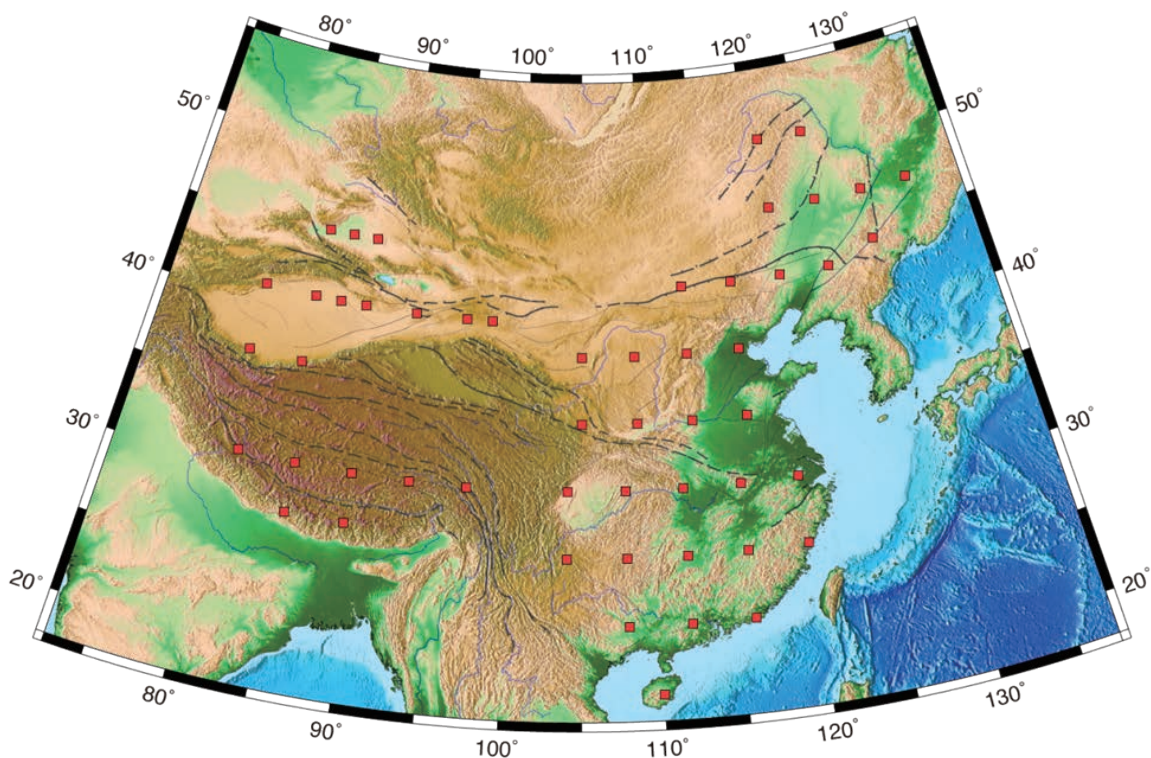
附表 7 地震学科数据中心部分数据共享服务

数据申请人	申请人所属单位	地震事件波形数据				连续波形数据		
		地震事件条目数	涉及台网	单个事件截取长度 (sec)	震中距约束 (km)	重采样率 (Hz)	涉及台网	天数
刘志坤	中国地质大学 (北京) / 地球物理与信息技术学院	0	E99.5-107.2,N30.15-33.5	—	—	10	E99.5-107.2,N30.15-33.5	183
鲁成东	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	41	E98-109,N26-35	-120—600	0—7778		E98-109,N26-35	0
鲁成东	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	24	E98-109,N26-35	-120—600	0—7778		E98-109,N26-35	0
鲁成东	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	33	E98-109,N26-35	-200—900	0—7778		E98-109,N26-35	0
双晓	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	44	E98-109,N26-35	-200—900	0—7778		E98-109,N26-35	0
万乐	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	47	E98-109,N26-35	-200—900	0—7778		E98-109,N26-35	0
胡家富	云南大学资源环境与地球科学学院/地球物理系	135	SC,YN,CQ,	-100—4000	5555—16666		SC,YN,CQ,	0
张双喜	武汉大学测绘学院	0	E107-117,N28-34	—	—	10	E107-117,N28-34	3468
李丽	中国地震局地球物理研究所	1		-240—3600	0—19999			0
鲁成东	中国地质大学 (武汉) / 地球科学学院	29	E98-109,N26-35	-180—750	0—7778		E98-109,N26-35	0
唐启家	中国地质大学 (武汉) / 地球物理与空间信息学院	0	E95-112,N20-35	—	—	10	E95-112,N20-35	364
房立华	中国地震局地球物理研究所/四室	28		0—1000	0—11111			0
赵娟	中国地质大学 (武汉)	1		0—1560	1000—5000			0

附录3 深部探测数据中心共享资源目录

SinoProbe-0 : 深部探测阵列式区域大地电磁场 $4^{\circ} \times 4^{\circ}$ 标准网与 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 标准网数据

深部探测专项在采集、处理高信噪比的超宽频带和宽频带大地电磁场“标准点”及其辅助测点数据的基础上，采用多种大地电磁反演方法，得到全国实验区岩石圈不同深度电阻率数据体及三维电磁参数模型。此次公布的全国大陆阵列式区域大地电磁 $4^{\circ} \times 4^{\circ}$ 标准点共计 52 个。其中，长周期测站 52 个 (0.1Hz—1/10000Hz)，宽频测站 468 个 (300Hz—1/2000Hz)。I 级精度“标准点”点位图如图所示。



青藏与华北实验区 $4^{\circ} \times 4^{\circ}$ I 级精度“标准点”重复观测 — 15 个 (包括:长周期测站 15 个 (0.1Hz—1/10000Hz), 宽频测站 135 个 (300Hz—1/2000Hz))。

西北实验区 $4^{\circ} \times 4^{\circ}$ I 级精度“标准点” — 12 个 (包括:长周期测站 12 个 (0.1Hz—1/10000Hz), 宽频测站 108 个 (300Hz—1/2000Hz))。

华南实验区 $4^{\circ} \times 4^{\circ}$ I 级精度“标准点” — 14 个 (包括:长周期测站 14 个 (0.1Hz—1/10000Hz), 宽频测站 126 个 (300Hz—1/2000Hz))。

东北实验区 $4^{\circ} \times 4^{\circ}$ I 级精度“标准点” — 11 个 (包括:长周期测站 11 个 (0.1Hz—1/10000Hz), 宽频测站 99 个 (300Hz—1/2000Hz))。

项目同时在青藏与华北实验区进行了 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ “标准点”的观测实验。布设 232 个大地电磁网格测站 (包括:中心测站 232 个, 辅助测站 2237 个), 完成物理点 2469 个。

一、观测数据质量评价：

观测数据质量按物理点统计, 根据《大地电磁测深法技术规程》(DZ/T0173—1997) 及项目拟定的“大地电磁测深“标准网”技术规定”, 数据质量标准划分为三级, 其中 I 级点为质量优秀, II 级点为质量良好, III 级点为质量合格。

华北实验区, 总物理点数 1380 个, 其中: I 级点 923 个, 占总点数的 66.88%; II 级点 372 个, 占总点数的 26.96%; III 级点 85 个, 占总点数的 6.16%。

西藏实验区, 总测深点数 1089 个, 其中: I 级点 949 个, 占总点数的 87.14%; II 级点 140 个, 占总点数的 12.76%。

西北实验区, 总物理点数 182 个, 其中: I 级点 158 个, 占总物理点数 86.81%; II 级点 19 个, 占总物理点数 10.44%; III 级点 5 个, 占总物理点数 2.75%。

华南实验区, 总测深点数 229 个, 其中: I 级点 134 个, 占总物理点数 59.82%; II 级点 71 个, 占总物理点数 31.7%; III 级点 24 个, 占总物理点数 5.91%。

东北实验区, 总物理点 198 个。I 级点 173 个, 占总物理点数 87.37%; II 级点 19 个, 占总物理点数 9.60%; III 级点 6 个, 占总物理点数 3.03%。

观测数据的质量及各项技术标准符合相关规定, 数据质量总体评价为优。

二、提交验收的资料完整齐全, 内容包括：

点位信息 (包括测点名称、设计经纬度坐标、实际经纬度坐标、采集时间、仪器设备型号及采集器序列号);

野外记录 (包括测点经纬度坐标、测站布设信息、采集参数、采集时间及仪器操作员等);

曲线质量 (分别对 2 条视电阻率和 2 条相位曲线进行质量评定, 填写质量评定表);

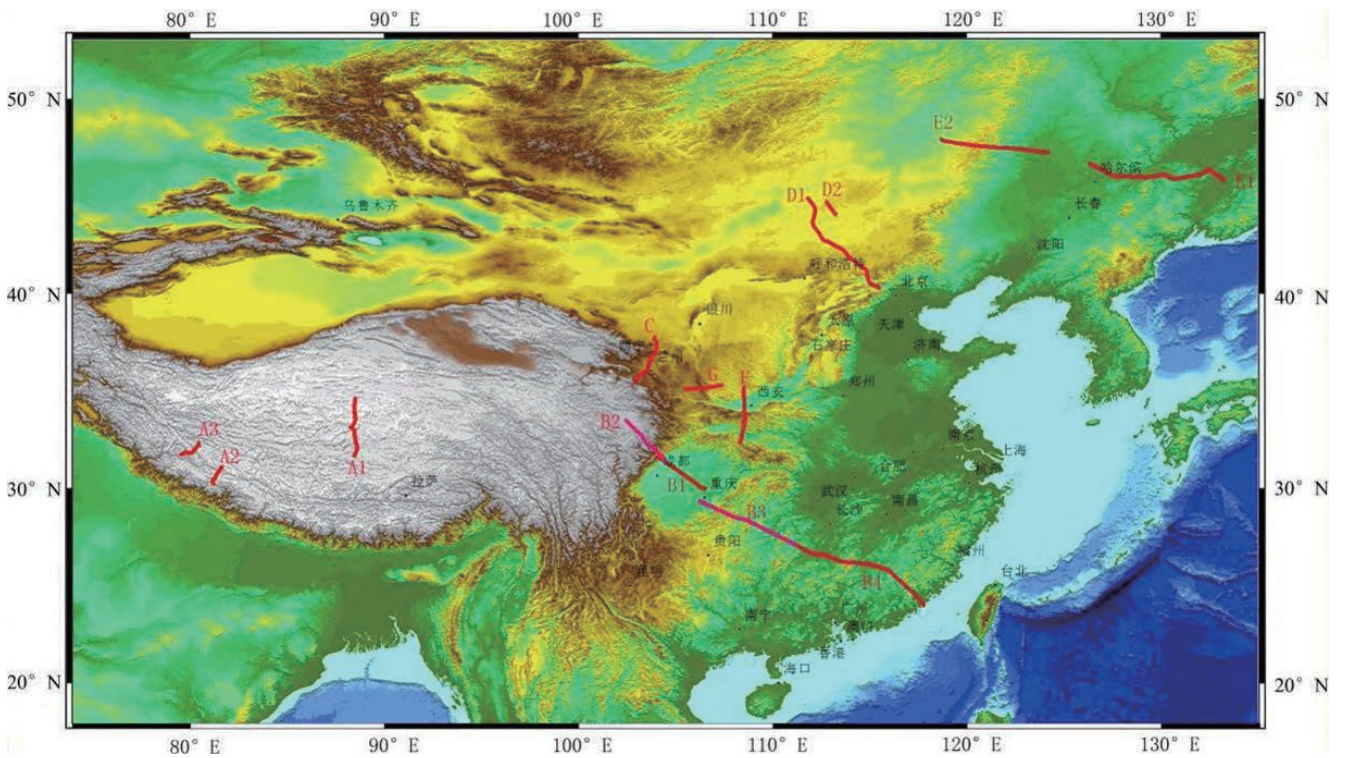
原始时间序列 (按照测点提供原始时间序列, 及与之相对应的参数文件和标定文件等);

EDI 文件 (包括张量阻抗 EDI 文件和 / 或功率谱 EDI 文件);

成果文件 (所有标准点测站的测深曲线)。

SinoProbe-02：深部探测技术与实验专项深反射地震剖面数据

深部探测技术与实验研究专项在中国典型区域完成了一系列深地震反射测深实验工程，获得超过4552km的深地震反射剖面原始数据和4952km深地震反射剖面成果数据。反射剖面包括有东北地区1000km、华南地区2102km、华北地区630km、秦岭造山带300km及青藏高原地区的520km。为深入研究中国大陆典型构造区的壳幔结构、构造演化及深部成矿机理积累了丰富的深地震反射资料。



深地震反射剖面位置图

深地震反射剖面情况（具体位置见上图）

剖面名称	序号	研究区域	实施时间	长度(km)
青藏高原剖面	Sinoprobe-A1	青藏高原腹地剖面(跨越怒江缝合带和羌塘中央隆起)	2009	300
	Sinoprobe-A2, Sinoprobe-A3	青藏高原喜马拉雅-雅鲁藏布江剖面	2011	210
	Sinoprobe-C	青藏高原东北缘剖面(临夏-阿拉善地块南缘)	2009	300
华南剖面	Sinoprobe-B1	四川盆地剖面(潼南-龙门山前)	2009	200
	Sinoprobe-B2	松潘-龙门山剖面(唐克-绵阳)	2011	300
	Sinoprobe-B3	四川盆地-雪峰山剖面(重庆-邵阳)	2010	572
	Sinoprobe-B4	华南南段剖面(邵阳-漳浦)	2012	730

续表

剖面名称	序号	研究区域	实施时间	长度(km)
东北剖面	Sinoprobe-E	松辽盆地剖面(望奎县-巴彦县-通河县-虎林县)	2009	600
华北剖面	Sinoprobe-D1	华北地区(怀来-张北-二连浩特)	2009	630 (其中80km为地调项目资助)
秦岭剖面	Sinoprobe-F	秦岭剖面(跨越大巴山、秦岭、渭河地堑和鄂尔多斯盆地)	2013	300 (其中100km为地调项目资助)

一、数据内容

(一) 青藏高原深地震反射剖面数据

青藏高原深地震反射剖面包括 2 条：① 2009 年采集的青藏腹地 310km 剖面；② 2011 年在阿里地区采集的 210km 剖面。成果数据包括：原始数据经过处理后获得叠加成果数据、偏移成果数据、CDP 位置坐标 (txt 或 prn)、处理成果报告 (word 文档)。

(二) 秦岭深地震反射剖面数据

Sinoprobe-F 2009 采集的 300 km 青藏高原东北缘深地震反射剖面。成果数据包括：数据处理后获得的叠加成果数据、偏移成果数据、CDP 位置坐标 (txt 或 prn)、处理成果报告 (word 文档)。

(三) 华南深地震反射剖面数据

华南深地震反射剖面包括 5 条：① 2009 采集的 300 km 青藏高原东北缘深地震反射剖面；② 2009 年采集的 200km 华南四川盆地深地震反射剖面；③ 2010 年采集的 572 km 的四川盆地 - 雪峰山深地震反射剖面；④ 2011 年采集的 300km 龙门山深地震反射剖面；⑤ 2012 年采集的 730km 华南南段 (邵阳 - 漳浦) 剖面。成果数据包括：原始数据经过处理后获得叠加成果数据、偏移成果数据、CDP 位置坐标 (txt 或 prn)、处理成果报告 (word 文档)。

(四) 华北地区的深地震反射剖面

Sinoprobe-D1 华北深地震反射剖面包括：2009 年采集的华北东段 480km 的剖面 and 2010 年采集的 150km 深反射剖面。成果数据包括：数据处理后获得叠加成果数据、偏移成果数据、CDP 位置坐标 (txt 或 prn)、处理成果报告 (word 文档)。

(五) 东北地区的深地震反射剖面

东北剖面包括 2 条：2009 年绥化 - 虎林 600km 的剖面 and 2011 年大兴安岭 400km 的深地震反射剖面。成果数据包括：数据处理后获得的叠加成果数据、偏移成果数据、CDP 位置坐标 (txt 或 prn)、处理成果报告 (word 文档)。

二、数据说明

(一) 2009 年绥化 - 虎林 600km 剖面

测线位于黑龙江省，测线西起绥化市的望奎县，经巴彦县、木兰县、通河县、方正县、依兰县、勃利县、七台河市、密山市、宝清县、虎林市，测线最东端距离俄罗斯约 25.5km。在区域构造位置上，工区横跨松辽盆地、方正断陷、勃利盆地、虎林盆地等四个构造单元。共采集数据 2398 炮，测其中大炮 12 炮，中炮 596 炮，小炮 1790 炮。

(二) 2011 年大兴安岭深地震反射剖面 (400 km)

测线位于东经 118° ~ 124°、北纬 47° ~ 48° 的范围内，东起黑龙江省齐齐哈尔市市区嫩江东侧，经龙江县、碾子山区进入内蒙古自治区扎兰屯市蘑菇气镇 (长度约 150km)，向西经柴河横穿大兴安岭至诺门罕 (长度约 260km)，共完成共放样物理点 10464 个，检波点 8800 个，炮点 1664 个。

(三) 2009 采集的华北东段 480km 深地震反射剖面

中亚剖面华北东段深地震反射剖面跨越内蒙古自治区、河北省，范围：东经 111° 00' -117° 00'，北纬 39° 00' -44° 00'。剖面南起河北省怀来县官厅水库，沿涿鹿县、宣化县、张家口市、张北县进入内蒙古自治区，经化德县、镶黄旗、苏尼特右旗北止内蒙古二连浩特市，生产物理点 1969 个其中大炮 19 个，中炮 482 个，小炮 192

1468 个。

(四) 2009 年中亚剖面华北东段(二连 - 扎拉乌拉) 150km 深地震反射剖面

地理位置: 测线位于东经 $110.3^{\circ} \sim 111.9^{\circ}$ 、北纬 $42^{\circ} \sim 43.6^{\circ}$ 的范围内, 行政区划隶属内蒙古自治区锡林郭勒盟二连浩特市、苏尼特左旗管辖; 构造位置: 剖面跨越二连盆地乌察布坳陷与巴音宝力格隆起区。共获得小炮 577 个, 中炮 83 个, 超级大炮 5 个。

(五) 2009 年青藏东北缘 300km 剖面

测线位于东经 $103^{\circ} - 104^{\circ} 30'$, 北纬 $35^{\circ} 30' - 38^{\circ} 30'$ 。测线南起临夏县城、过红台(北 2km) 至铺川乡、银川乡, 在小社附近过刘家峡水库, 往北沿刘家峡水库西岸至永靖县, 经永靖、永登、皋兰、景泰县向北进入阿拉善地块南缘。

(六) 2009 年松潘 - 龙门山 300km 剖面

剖面位于四川省阿坝藏族羌族自治州和绵阳市境内, 呈北西 - 南东走向, 西北端始于四川省阿坝州若尔盖县唐克乡, 与唐克 - 合作 - 西秦岭深地震反射剖面衔接, 向东南延伸至四川省德阳市罗江县文星镇, 与四川盆地深地震反射剖面衔接。剖面横跨邛崃山、龙门山, 满覆盖长度为 300km, 通过该项目的实施揭示这一地区深部结构对于研究汶川大地震的深部背景至关重要。

(七) 2010 年龙门山 - 四川盆地 200km 剖面

测线位于四川省、重庆市境内, 东南起重庆市合川区燕窝镇, 西北抵四川省安县雒水镇一带(汶川地震重灾区)。测线长度 216.98km, 满覆盖剖面长度 200.18km, 中炮 776 炮、大炮 41 炮, 试验炮 8 炮, 完成总炮次 825 炮。

(八) 2011 年四川盆地 - 雪峰山(重庆 - 邵阳) 572km 剖面

测线位于东经 $106^{\circ} - 111^{\circ}$, 北纬 $28^{\circ} - 30^{\circ}$ 。拟实施的深地震反射剖面呈北西 - 南东走向, 分 A、B 两段施工, A 段北西端与 2009 年完成的四川盆地深地震反射剖面相接, 向东南延伸 22km, 止于华蓥山前带; B 段北西起长江东岸, 跨越川东 - 武陵山 - 雪峰山, 止于湖南邵阳, 累计长度约为 572km。

(九) 2012 年华南南段(邵阳 - 漳浦) 730km 剖面

深地震反射剖面位于湖南省、江西省、福建省境内, 呈北西 - 南东走向, 西北端始于湖南省邵阳市, 其满覆盖点与 2011 年完成的四川盆地 - 雪峰山深地震反射剖面东南端满覆盖点重合, 向东南跨越井冈山和武夷山, 止于漳州市, 范围: 东经 $111^{\circ} - 118^{\circ} 30'$, 北纬 $23^{\circ} - 29^{\circ}$ 。西北端始于湖南省邵阳市, 向东南跨越井冈山、江西赣州和武夷山, 止于漳州市, 测线全长 813.7km, 满覆盖长度约为 730km, 生产物理点 3851 个。

(十) 2009 年青藏腹地 310km 剖面

2009 年在青藏高原腹地完成 300km 深地震反射剖面, 测线分 100km(测线 A) 和 200km(测线 B) 两段。工区处于羌塘坳陷内, 行政区划属那曲地区班戈和尼玛两县。工区范围: 东经 $87^{\circ} 30' - 90^{\circ} 00'$ 北纬 $31^{\circ} 00' - 34^{\circ} 00'$ 。位于西藏那曲地区南羌塘坳陷内。其中 A 线南端跨越班公怒江缝合带, B 线穿越中央隆起带向南延伸。满叠总长度约 300 公里。100km 测线 A 位于南羌塘坳陷内, 南端跨越班公怒江缝合带。200km 测线 B 穿过中央隆起带, 向北延伸。

(十一) 2011 年阿里 210km 剖面

2011 年 7-10 月在青藏高原阿里地区完成满叠 210.1km 深地震反射剖面, 测线分 122.84km(测线 A) 和 87.26km(测线 B) 两段。工区主要位于西藏阿里地区噶尔县、扎达县和普兰县。其中 A 线南部跨越喀喇昆仑断裂带, B 线穿越雅鲁藏布江缝合带向南延伸。满叠总长度约 210.1 公里, 测线 A 穿过喀喇昆仑大断裂带, 跨过阿依拉日居山向南延伸至香孜乡。测线 B 穿过雅鲁藏布江缝合带, 向北延伸穿过冈底斯山。

(十二) 2009 年秦岭 300km 剖面

测线位于东经 $108^{\circ} - 109^{\circ}$, 北纬 $32^{\circ} - 36^{\circ}$ 范围内。反射测线自南向北依次经过陕西省安康市(紫阳县、汉阴县、宁陕县), 西安市户县, 咸阳市(兴平市、礼泉县、淳化县、旬邑县), 共涉及 1 省 3 市 8 县区。采集共完成小炮 1622 个, 中炮 346 个, 反射大炮 14 个。

SinoProbe-02-01 : 深地震测深数据目录

一、数据内容

Sinoprobe 项目在 2008 年 -2013 年期间,以壳幔结构探测为目标在中国典型构造区组织实施了一系列人工源宽角反射 / 深地震测深实验工程,获得超过 3000 多公里的人工源宽角剖面地震记录,包括青藏高原东北缘 990 公里 (合作 - 景泰纵测线 + 非纵测线)、华南地区跨雪峰山造山带 1400 公里 (南充 - 常宁纵测线 + 非纵测线)及青藏高原西部 740 公里 (扎达 - 泉水沟纵测线 + 非纵测线)。合计完成纵测线地震观测剖面 2000 多公里,非纵地震观测剖面 1000 多公里,为深入研究中国大陆典型构造区的壳幔结构、构造演化及深部成矿机理积累了丰富地震资料。

按工作地区划分,数据内容包含以下部分:

华南地区跨雪峰山造山带“南充 - 常宁”剖面

分为纵测线和非纵测线,包括原始数据、剖面基本情况概述(剖面长度、施工日期、仪器型号等)、剖面位置示意图、震源参数等。

青藏高原东北缘“合作 - 景泰”剖面

分为纵测线和非纵测线,包括原始数据、剖面基本情况概述(剖面长度、施工日期、仪器型号等)、剖面位置示意图、震源参数等。

青藏高原西部“扎达 - 泉水沟”剖面

分为纵测线和非纵测线,包括原始数据、剖面基本情况概述(剖面长度、施工日期、仪器型号等)、剖面位置示意图、震源参数等。

二、数据说明

(一) 华南地区跨雪峰山造山带“南充 - 常宁”剖面

深地震宽角反射 / 折射探测剖面涉及湖南、贵州、重庆、四川等四省(市)。纵测线基本沿常宁、邵阳、怀化、吉首、彭水、涪陵、邻水及南充一线,非纵测线沿近似平行于雪峰山走向。广角反射 / 折射深部地震探测剖面约 1460 km (纵测线剖面 860km,非纵剖面 600km);实施了 12 个大炮,多深井组合激发(总数达 27.236 吨 TNT),炮点间距 60-90km;道间距 1.5-2.0km,实现 692 台(纵测线 492 台,非纵测线 200 台)三分量数字地震仪高密度观测。

(二) 青藏高原东北缘“合作 - 景泰”剖面

2008、2009 年度年分别实施的合作 - 临夏 - 永靖 - 永登和永登 - 景泰两期次宽角反射、深地震测深实验工程,探测总长度约 954 公里,采集获得 11 炮宝贵观测数据。其中 2008 年度实施 5 次爆破,炮点平均井深 25 米,每炮爆破当量约 1 吨 TNT,在 314km 观测剖面上使用 115 台 PDS-1 型地震仪接收地震信号。2009 年度实施的永登 - 景泰宽角地震探测作为整个合作 - 景泰宽角地震探测工程的一部分共实施 6 次爆破(分别对应整个剖面上的第 4, 6, 8,9,10 和 11 炮,见表 1.3),每个炮点药量 1.5-2 吨,井深 40-50 米。其中:(1)纵剖面长度 350km,使用 PDS-1 Portable Seismograph 地震仪 168 台;(2)非纵剖面长度 326km,使用 PDS-1 Portable Seismograph 地震仪 120 台, DAS-1 Portable Digitl Recorder 地震仪 16 台。野外采集获得纵剖面 / 非纵剖面宝贵观测地震记录(图 1.2)。对该剖面宽角地震数据处理、解释,构建合理速度结构模型,可以为深入研究青藏高原东北缘构造演化及高原生长机制提供重要约束和依据。

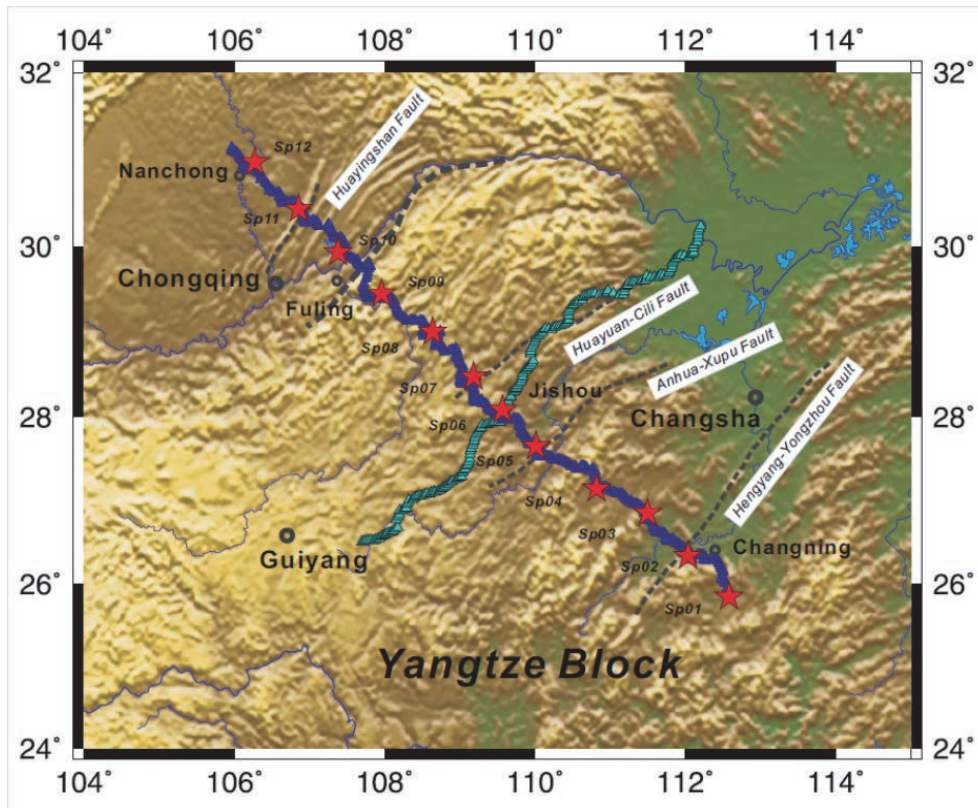


图 1.1 华南地区“南充 - 常宁”人工源深地震探测观测系统；

★为炮点, ▲为纵测线接收器, ▲为非纵测线接收器

原始数据存储格式: PDS-1 型地震仪, 具体参数见 \SinoProbe_02_02\DOC\数据说明报告.doc

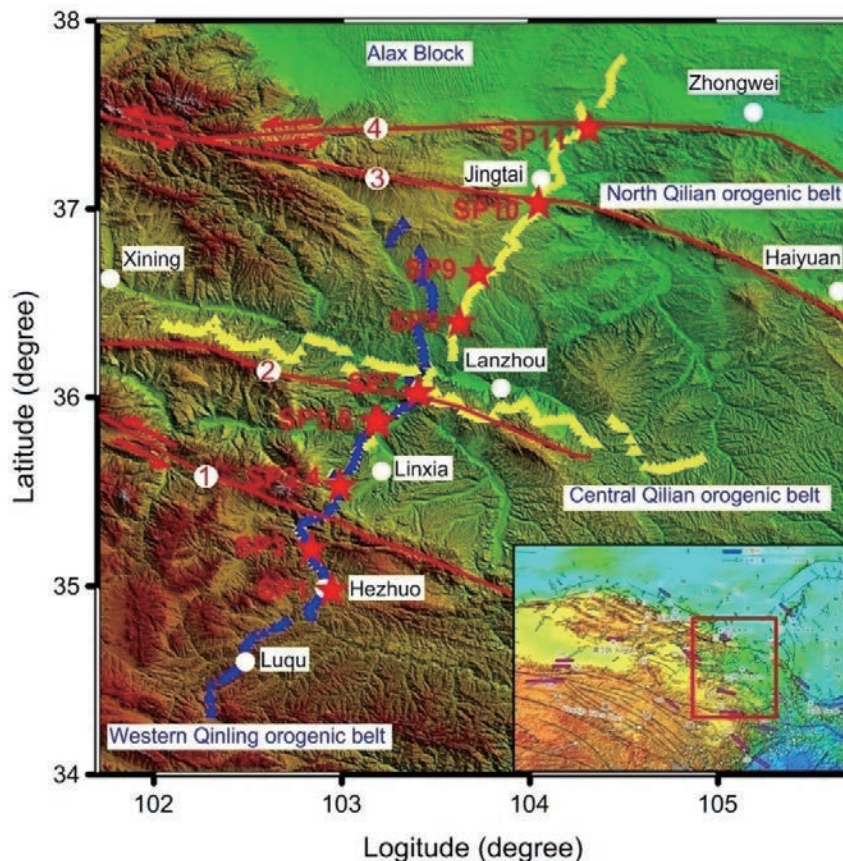


图 1.2 青藏高原东北缘合作 - 景泰宽角地震探测工程纵剖面位置示意图

★为炮点, ▲为纵测线接收器

原始数据存储格式: PDS-1 型地震仪以及 DAS-1 型地震仪, 具体参数见 \SinoProbe_02_02\DOC\数据说明报告.doc

(三) 青藏高原西部“札达 - 泉水沟”剖面

中国科学院地质与地球物理研究所在绵阳佳发勘探技术服务有限公司、西藏高争爆破工程有限公司及吉林大学的大力支持下，于 2011 年 9-11 月利用 252 台人工源数字震仪成功实施了西藏西部札达 - 泉水沟 380km 长剖面 7 次大炮（3 吨）激发的人工源宽角地震探测工程。在主剖面爆破探测工程正式启动的同时，我们还兼顾组织观测了中国地质科学院地质研究所为执行项目《深部探测技术实验与集成》在阿里地区开展的 6 次大炮（1 吨）激发深地震反射探测中的 5 次爆破。在此期间共获得约 380km 长纵剖面地震记录和 300km 长非纵剖面观测记录。

整个工程分两阶段展开。第一阶段在 9 月 23 日 -10 月 11 日期间，我们主剖面探测工程由于炸药尚未到位及其它原因，组织观测了中国地质科学院地质研究所委托中石化第五物探大队在阿里地区开展 6 次大炮（1 吨）激发深地震反射探测中的 2 次爆破（A 线），及那木如炮和香孜炮（图 1.3）。在第二阶段，即主剖面（札达—泉水沟剖面）探测工程于 10 月 12 日正式启动后，我们在全力保障主剖面观测的同时兼顾组织观测了中国地质科学院地质研究所委托中石化第五物探大队在阿里地区普兰县开展 3 次大炮（1 吨）激发（B 线）。地震观测所使用地震仪器明细为：重庆地质仪器厂 DZS-1 深层数字地震仪 185 台（主要用于主剖面地震观测）、中国地震局地球物理勘探 PDS-1 数字地震仪 35 台，（主要用于非纵剖面地震探测）及吉林大学 GEIST-I 型地震仪中心 32 台（全部用于非纵剖面地震探测）。

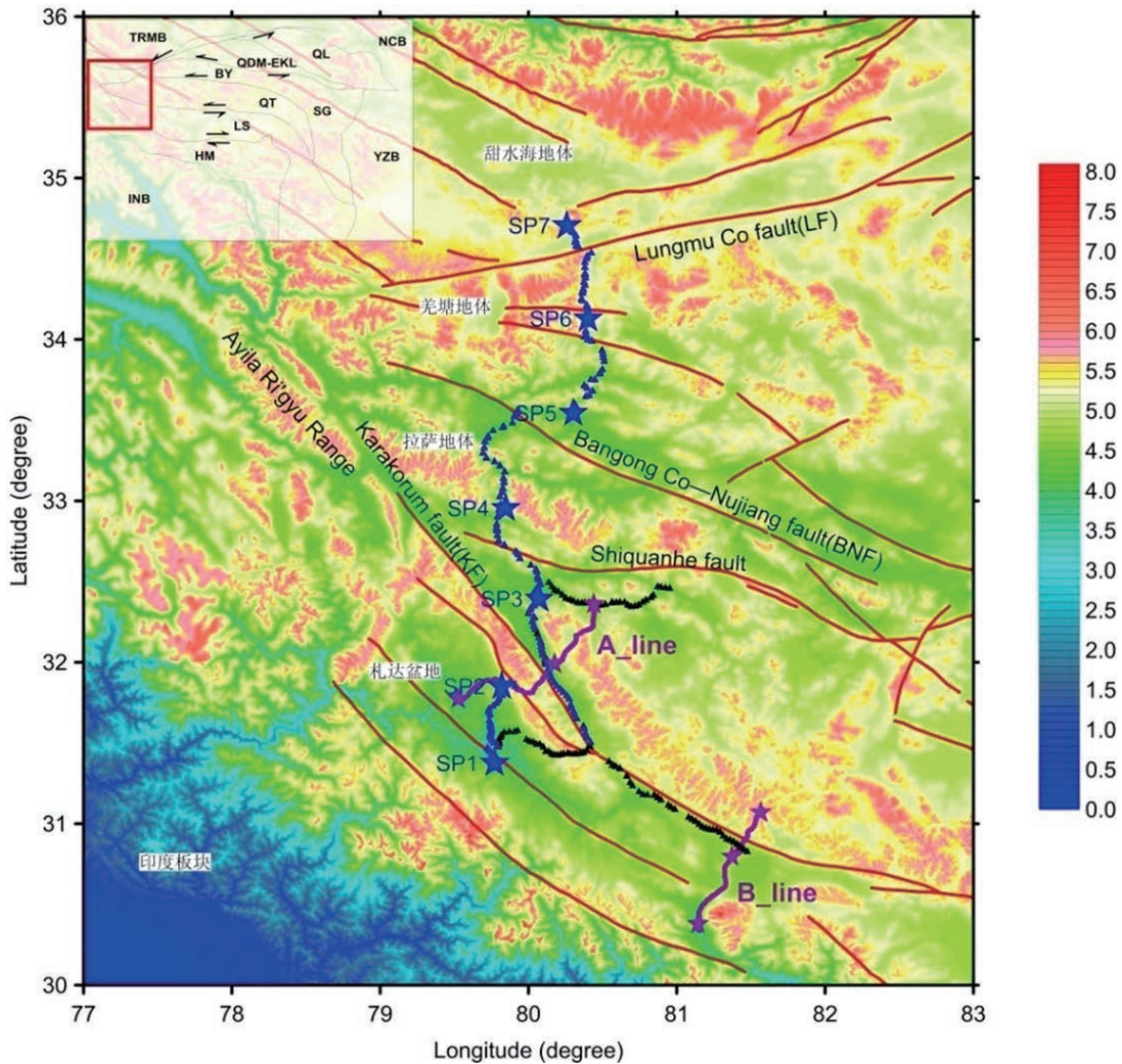


图 1.3 青藏高原西缘札达 - 泉水沟地震剖面位置示意图

(★：中科院炮点；★：地科院炮点；▲：纵剖面观测地震仪；
▲：吉林大学非纵剖面观测地震仪；▲：地科院深反射观测地震仪；)

原始数据存储格式：PDS-1 型地震仪以及 DZS-1 型地震仪，具体参数见 \SinoProbe_02_02\DOC\数据说明报告.doc。

三、数据目录

南充-常宁纵测线

剖面名称	数据内容	炮点号	数据名称	文件位置	备注
南充-常宁纵测线	原始地震记录数据	1	1801000_.001 ...1801000_.694	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG_CHANGNING_Raw_Line\PDS-1\sp1\	每一个.00x文件中均包含三个通道的数据，通道1对应东西分量，通道2对应南北分量，通道3对应垂直分量。
		2	1801100_.001 ...1801100_.692	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG_CHANGNING_Raw_Line\PDS-1\sp2\	
		3	2301000_.001 ...2301000_.689	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG_CHANGNING_Raw_Line\PDS-1\sp3\	
		4	2301100_.001 ...2301100_.689	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG_CHANGNING_Raw_Line\PDS-1\sp4\	
		5	0201000_.001 ...0201000_.499	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG_CHANGNING_Raw_Line\PDS-1\sp5\	
		6	0201100_.001 ...0201100_.690	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG_CHANGNING_Raw_Line\PDS-1\sp6\	
		7	2801000_.001 ...2801000_.477	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG_CHANGNING_Raw_Line\PDS-1\sp7\	
		8	0201200_.001 ...0201200_.691	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG_CHANGNING_Raw_Line\PDS-1\sp8\	
		9	2801100_.001 ...2801100_.692	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG_CHANGNING_Raw_Line\PDS-1\sp9\	
		10	2801200_.001 ...2801200_.693	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG_CHANGNING_Raw_Line\PDS-1\sp10\	
		11	2301200_.001 ...2301200_.690	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG_CHANGNING_Raw_Line\PDS-1\sp11\	
		12	1801200_.001 ...1801200_.692	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG_CHANGNING_Raw_Line\PDS-1\sp12\	
【注】由于未必所有的检波点均能接收到地震信号，所以每一炮中均存在着地震道的缺失。					
震相识别、射线路径和理论地震图			Sp01.jpeg ... Sp12.jpeg	\\Sinoprobe_02_02\IMG\NANCHONG_CHANGNING_Line\震相识别、射线路径和理论地震图\	
12炮震相走时拟合结果和射线覆盖图			12炮震相走时拟合结果和射线覆盖图.jpeg	\\Sinoprobe_02_02\IMG\NANCHONG_CHANGNING_Line\震相识别、射线路径和理论地震图\	
炮点坐标			NANCHONG_CHANGNING_shot_location.txt	\\Sinoprobe_02_02\GIS\NANCHONG_CHANGNING\	
检波点起止坐标			NANCHONG_CHANGNING_receiver_coordinates.txt	\\Sinoprobe_02_02\GIS\NANCHONG_CHANGNING\	
剖面图			华南南充-常宁剖面.jpeg	\\Sinoprobe_02_02\GIS\NANCHONG_CHANGNING\	

南充-常宁非纵测线

剖面名称	数据内容	仪器型号	炮点号	数据名称	文件位置	备注	
南充-常宁 非纵测线	原始地震记录 数据	PDS-1	1	1801000_.501 ...1801000_.600	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG _CHANGNING_Raw_Offline\PDS-1\sp1\		
			2	1801100_.501 ...1801100_.600	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG _CHANGNING_Raw_Offline\PDS-1\sp2\		
			3	2301000_.501 ...2301000_.600	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG _CHANGNING_Raw_Offline\PDS-1\sp3\		
			4	2301100_.501 ...2301100_.600	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG _CHANGNING_Raw_Offline\PDS-1\sp4\		
			5	0201000_.501 ...0201000_.600	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG _CHANGNING_Raw_Offline\PDS-1\sp5\		
			6	0201100_.501 ...0201100_.600	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG _CHANGNING_Raw_Offline\PDS-1\sp6\		
			7	2801000_.501 ...2801000_.600	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG _CHANGNING_Raw_Offline\PDS-1\sp7\		
			8	0201200_.501 ...0201200_.600	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG _CHANGNING_Raw_Offline\PDS-1\sp8\		
			9	2801100_.501 ...2801100_.600	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG _CHANGNING_Raw_Offline\PDS-1\sp9\		
			10	2801200_.501 ...2801200_.600	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG _CHANGNING_Raw_Offline\PDS-1\sp10\		
			11	2301200_.501 ...2301200_.600	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG _CHANGNING_Raw_Offline\PDS-1\sp11\		
			12	1801200_.501 ...1801200_.600	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG _CHANGNING_Raw_Offline\PDS-1\sp12\		
			DZS-1	1	T00000101.CQD ...T51148801.CQD	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG _CHANGNING_Raw_Offline\DZS-1\sp1\	
				2	T00000102.CQD ...T51148802.CQD	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG _CHANGNING_Raw_Offline\DZS-1\sp2\	
				3	T00510107.CQD ...T00520007.CQD	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG _CHANGNING_Raw_Offline\DZS-1\sp3\	
				4	T00510108.CQD ...T00520008.CQD	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG _CHANGNING_Raw_Offline\DZS-1\sp4\	
				5	T00000101.CQD ...T00520007.CQD	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG _CHANGNING_Raw_Offline\DZS-1\sp5\	
				6	T00000107.CQD ...T00520008.CQD	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG _CHANGNING_Raw_Offline\DZS-1\sp6\	
				7	T00508201.CQD ...T00520001.CQD	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG _CHANGNING_Raw_Offline\DZS-1\sp7\	
				8	T00000109.CQD ...T00520009.CQD	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG _CHANGNING_Raw_Offline\DZS-1\sp8\	
				9	T00508202.CQD ...T00520002.CQD	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG _CHANGNING_Raw_Offline\DZS-1\sp9\	
				10	T00508203.CQD ...T00520003.CQD	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG _CHANGNING_Raw_Offline\DZS-1\sp10\	
				11	T00510109.CQD ...T00520009.CQD	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG _CHANGNING_Raw_Offline\DZS-1\sp11\	
				12	T00000103.CQD ...T51148803.CQD	\\Sinoprobe_02_02\DATA\NANCHONG _CHANGNING_Raw_Offline\DZS-1\sp12\	
	非纵剖面地震 记录图			Sp01.jpeg ... Sp12.jpeg	\\Sinoprobe_02_02\IMG\NANCHONG _CHANGNING_Offline\非纵剖面地震记录\		

合作-景泰纵测线

剖面名称	数据内容	炮点号	数据名称	文件位置	备注	
合作 景泰纵测线	原始地震记录数据第一期（2008年）	1	sp1_raw1.dat sp1_raw2.dat sp1_raw3.dat sp1_jwd_h.dat	\\Sinoprobe_02_02\DATA\HEZUO_JINGTAI_Raw_P1_Line\		
		2	sp2_raw1.dat sp2_raw2.dat sp2_raw3.dat sp2_jwd_h.dat	\\Sinoprobe_02_02\DATA\HEZUO_JINGTAI_Raw_P1_Line\		
		3	sp3_raw1.dat sp3_raw2.dat sp3_raw3.dat sp3_jwd_h.dat	\\Sinoprobe_02_02\DATA\HEZUO_JINGTAI_Raw_P1_Line\		
		4	sp4_raw1.dat sp4_raw2.dat sp4_raw3.dat sp4_jwd_h.dat	\\Sinoprobe_02_02\DATA\HEZUO_JINGTAI_Raw_P1_Line\		
		5	sp5_raw1.dat sp5_raw2.dat sp5_raw3.dat sp5_jwd_h.dat	\\Sinoprobe_02_02\DATA\HEZUO_JINGTAI_Raw_P1_Line\		
	原始地震记录数据第二期（2009年）	1	sp1_raw1.dat sp1_raw2.dat sp1_raw3.dat sp1_jwd_h.dat	\\Sinoprobe_02_02\DATA\HEZUO_JINGTAI_Raw_P2_Line\		
		2	sp2_raw1.dat sp2_raw2.dat sp2_raw3.dat sp2_jwd_h.dat	\\Sinoprobe_02_02\DATA\HEZUO_JINGTAI_Raw_P2_Line\		
		3	sp3_raw1.dat sp3_raw2.dat sp3_raw3.dat sp3_jwd_h.dat	\\Sinoprobe_02_02\DATA\HEZUO_JINGTAI_Raw_P2_Line\		
		4	sp4_raw1.dat sp4_raw2.dat sp4_raw3.dat sp4_jwd_h.dat	\\Sinoprobe_02_02\DATA\HEZUO_JINGTAI_Raw_P2_Line\		
		5	sp5_raw1.dat sp5_raw2.dat sp5_raw3.dat sp5_jwd_h.dat	\\Sinoprobe_02_02\DATA\HEZUO_JINGTAI_Raw_P2_Line\		
		6	sp6_raw1.dat sp6_raw2.dat sp6_raw3.dat sp6_jwd_h.dat	\\Sinoprobe_02_02\DATA\HEZUO_JINGTAI_Raw_P2_Line\		
	记录剖面、合成地震图和射线路径图			SP1.jpeg ... SP11.jpeg	\\Sinoprobe_02_02\IMG\HEZUO_JINGTAI_Line\记录剖面、合成地震图和射线路径图\	
				青藏高原东北缘合作-景泰剖面反射、折射震相走时拟合效果（a）及地壳射线覆盖（b）.jpeg	\\Sinoprobe_02_02\IMG\HEZUO_JINGTAI_Line\记录剖面、合成地震图和射线路径图\	
	处理结果及解释图			青藏高原东北缘测深剖面位置及不同构造分区下方地壳P波速度-深度曲线.jpeg	\\Sinoprobe_02_02\IMG\HEZUO_JINGTAI_Line\结果及解释图\	
				青藏高原东北缘合作-景泰剖面地壳速度结构模型.jpeg		
				青藏高原东北缘合作-景泰剖面上部地壳速度结构（a）及射线覆盖（b）.jpeg		
				青藏高原东北缘莫霍面形态等值线图.jpeg		
	炮点坐标			HEZUO_JINGTAI_shot_location.txt	\\Sinoprobe_02_02\GIS\HEZUO_JINGTAI\	
	检波点起止坐标			HEZUO_JINGTAI_receiver_coordinates.txt	\\Sinoprobe_02_02\GIS\ HEZUO_JINGTAI \	
剖面图			青藏高原东北缘合作-景泰剖面.jpeg	\\Sinoprobe_02_02\GIS\ HEZUO_JINGTAI \		

合作-景泰非纵测线

剖面名称	数据内容	仪器型号	炮点号		数据名称	文件位置	备注	
合作 景泰非纵 测线	原始地震 记录数据	DAS 1	1	P 波	amp1.dat amp2.dat amp3. dat jwd_h.dat	\\Sinoprobe_02_02\DATA\HEZUO_ JINGTAI_Raw_P2_Offline\sp1\DAS-1\p\		
				S 波	amp1_ss.dat amp2_ss.dat amp3_ss.dat jwd_h_ss.dat	\\Sinoprobe_02_02\DATA\HEZUO_ JINGTAI_Raw_P2_Offline\sp1\DAS-1\s\		
			2	P 波	amp1.dat amp2.dat amp3. dat jwd_h.dat	\\Sinoprobe_02_02\DATA\HEZUO_ JINGTAI_Raw_P2_Offline\sp2\DAS-1\p\		
				S 波	amp1_ss.dat amp2_ss.dat amp3_ss.dat jwd_h_ss.dat	\\Sinoprobe_02_02\DATA\HEZUO_ JINGTAI_Raw_P2_Offline\sp2\DAS-1\s\		
			3	P 波	amp1.dat amp2.dat amp3. dat jwd_h.dat	\\Sinoprobe_02_02\DATA\HEZUO_ JINGTAI_Raw_P2_Offline\sp3\DAS-1\p\		
				S 波	amp1_ss.dat amp2_ss.dat amp3_ss.dat jwd_h_ss.dat	\\Sinoprobe_02_02\DATA\HEZUO_ JINGTAI_Raw_P2_Offline\sp3\DAS-1\s\		
			4	P 波	amp1.dat amp2.dat amp3. dat jwd_h.dat	\\Sinoprobe_02_02\DATA\HEZUO_ JINGTAI_Raw_P2_Offline\sp4\DAS-1\p\		
				S 波	amp1_ss.dat amp2_ss.dat amp3_ss.dat jwd_h_ss.dat	\\Sinoprobe_02_02\DATA\HEZUO_ JINGTAI_Raw_P2_Offline\sp4\DAS-1\s\		
			5	P 波	amp1.dat amp2.dat amp3. dat jwd_h.dat	\\Sinoprobe_02_02\DATA\HEZUO_ JINGTAI_Raw_P2_Offline\sp5\DAS-1\p\		
				S 波	amp1_ss.dat amp2_ss.dat amp3_ss.dat jwd_h_ss.dat	\\Sinoprobe_02_02\DATA\HEZUO_ JINGTAI_Raw_P2_Offline\sp5\DAS-1\s\		
			6	P 波	amp1.dat amp2.dat amp3. dat jwd_h.dat	\\Sinoprobe_02_02\DATA\HEZUO_ JINGTAI_Raw_P2_Offline\sp6\DAS-1\p\		
				S 波	amp1_ss.dat amp2_ss.dat amp3_ss.dat jwd_h_ss.dat	\\Sinoprobe_02_02\DATA\HEZUO_ JINGTAI_Raw_P2_Offline\sp6\DAS-1\s\		
			PDS 1	1		raw1.dat raw2.dat raw3.dat jwd_h.dat	\\Sinoprobe_02_02\DATA\HEZUO_ JINGTAI_Raw_P2_Offline\sp1\PDS-1\	
				2		raw1.dat raw2.dat raw3.dat jwd_h.dat	\\Sinoprobe_02_02\DATA\HEZUO_ JINGTAI_Raw_P2_Offline\sp2\PDS-1\	
				3		raw1.dat raw2.dat raw3.dat jwd_h.dat	\\Sinoprobe_02_02\DATA\HEZUO_ JINGTAI_Raw_P2_Offline\sp3\PDS-1\	
				4		raw1.dat raw2.dat raw3.dat jwd_h.dat	\\Sinoprobe_02_02\DATA\HEZUO_ JINGTAI_Raw_P2_Offline\sp4\PDS-1\	
				5		raw1.dat raw2.dat raw3.dat jwd_h.dat	\\Sinoprobe_02_02\DATA\HEZUO_ JINGTAI_Raw_P2_Offline\sp5\PDS-1\	
				6		raw1.dat raw2.dat raw3.dat jwd_h.dat	\\Sinoprobe_02_02\DATA\HEZUO_ JINGTAI_Raw_P2_Offline\sp6\PDS-1\	
		非纵剖面 地震记录			Sp01.jpeg ... Sp06.jpeg	\\Sinoprobe_02_02\IMG\HEZUO_JINGTAI_ Offline\非纵剖面地震记录\		

扎达-泉水沟纵测线

剖面名称	数据内容	炮点号	数据名称	文件位置	备注
泉水沟纵 测线	原始地震记录 数据	1	T00000201.CQD ...T00018401.CQD	\\Sinoprobe_02_02\DATA\ZATTA_ QUANSHUIGOU_Raw_Line\DZS-1/sp1/	
		2	T00000211.CQD ...T00018411.CQD	\\Sinoprobe_02_02\DATA\ZATTA_ QUANSHUIGOU_Raw_Line\DZS-1/sp2/	
		3	T00000218.CQD ...T00018518.CQD	\\Sinoprobe_02_02\DATA\ZATTA_ QUANSHUIGOU_Raw_Line\DZS-1/sp3/	

续表

剖面名称	数据内容	炮点号	数据名称	文件位置	备注	
泉水沟纵测线	原始地震记录数据	4	T00000216.CQD ...T00018516.CQD	\\Sinoprobe_02_02\DATA\ZATTA_QUANSHUIGOU_Raw_Line\DZS-1/sp4/		
		5	T00000203.CQD ...T00018503.CQD	\\Sinoprobe_02_02\DATA\ZATTA_QUANSHUIGOU_Raw_Line\DZS-1/sp5/		
		6	T00000201.CQD ...T00018501.CQD	\\Sinoprobe_02_02\DATA\ZATTA_QUANSHUIGOU_Raw_Line\DZS-1/sp6/		
		7	T00000001.CQD ...T00018501.CQD	\\Sinoprobe_02_02\DATA\ZATTA_QUANSHUIGOU_Raw_Line\DZS-1/sp7/		
	记录剖面、合成地震图和射线路径图			Sp01.jpeg ... Sp07.jpeg	\\Sinoprobe_02_02\IMG\ZATTA_QUANSHUIGOU_Line\记录剖面、合成地震图和射线路径图\	
				青藏高原西缘札达-泉水沟剖面走时匹配效果 (a) 及射线路径 (b) .jpeg	\\Sinoprobe_02_02\IMG\ZATTA_QUANSHUIGOU_Line\记录剖面、合成地震图和射线路径图\	
	炮点坐标			ZATTA_QUANSHUIGOU_receiver_cordinates.txt	\\Sinoprobe_02_02\GIS\ZATTA_QUANSHUIGOU\	
检波点起止坐标			ZATTA_QUANSHUIGOU_shot_location.txt	\\Sinoprobe_02_02\GIS\ZATTA_QUANSHUIGOU\		
剖面图			青藏高原西缘札达-泉水沟剖面	\\Sinoprobe_02_02\GIS\ZATTA_QUANSHUIGOU\		

扎达-泉水沟非纵测线

剖面名称	数据内容	炮点号	数据名称	文件位置	备注
扎达-泉水沟非纵测线	原始地震记录数据	1	2223580_501 ...2223580_532	\\Sinoprobe_02_02\DATA\ZATTA_QUANSHUIGOU_Raw_Offline\PDS-1/sp1/	
		2	2423580_501 ...2423580_532	\\Sinoprobe_02_02\DATA\ZATTA_QUANSHUIGOU_Raw_Offline\PDS-1/sp2/	
		3	1903580_501 ...1903580_532	\\Sinoprobe_02_02\DATA\ZATTA_QUANSHUIGOU_Raw_Offline\PDS-1/sp3/	
		4	1823580_501 ...1823580_532	\\Sinoprobe_02_02\DATA\ZATTA_QUANSHUIGOU_Raw_Offline\PDS-1/sp4/	
		5	1603580_501 ...1603580_532	\\Sinoprobe_02_02\DATA\ZATTA_QUANSHUIGOU_Raw_Offline\PDS-1/sp5/	
		6	1523580_501 ...1523580_532	\\Sinoprobe_02_02\DATA\ZATTA_QUANSHUIGOU_Raw_Offline\PDS-1/sp6/	
		7	1123580_501 ...1123580_532	\\Sinoprobe_02_02\DATA\ZATTA_QUANSHUIGOU_Raw_Offline\PDS-1/sp7/	

报告及文章

名称	序号	数据名称	文件位置	备注
其他	1	文章列表.doc	\\Sinoprobe_02_02\DOC\	发表的文章以及数据格式说明文件
	2	数据说明报告.doc	\\Sinoprobe_02_02\DOC\	
	3	PDS-1数字地震仪的数据格式.doc	\\Sinoprobe_02_02\DOC\	
	4	16个Pdf文件	\\Sinoprobe_02_02\DOC\	

Sinoprobe宽频地震观测数据概况一览表

编号	剖面名称	承担单位	工作量	年度	负责人	台站运行(月)	数据量(GB)
001	1. 华南(泉州-阿坝松潘)剖面 2. 江西-浙江-安徽剖面	中科院地球所	201	2009	陈凌	25(2009.1-12, 成都-泉州, 12月; 2010.11-2011.12, 松潘-泉州, 13月)	1207.7
002	2. 青藏高原拉萨地块EW向剖面	中科院地球所	58	2010	张中杰	13(2009.9-2010.10)	280.0
003	3. 东南沿海NW剖面(厦门-宜丰) 4. 东南沿海NW剖面(台州-阜阳)	南京大学	26 28	2008 2010	王良书	16(2007.8-2008.12); 28(2008.12-2011.4)	245.6
004	5. 东北额尔古纳-虎林剖面	地震局地球所	60	2010	吴庆举	39(2010.6-2011.9, 15, 2009.7-2011.7, 24)	1088.8
005	6. 青藏高原可可西里剖面 7. 青藏高原腹地EW剖面	中科院青藏所	35 33	2011 2009	赵俊猛 刘宏兵	25(2012.8-2013.8, 12, 2011.6-2012.7, 13); 25(2008.11-2009.12, 13, 2009.12-2010.12, 12月)	327.4
006	8. 东南沿海南岭赣州-萍乡剖面	地科院资源所	30	2011	史大年	9(2012.7-2013.4)	131.6
007	9. 青藏高原NS剖面(羌塘盆地) 10. 青藏高原腹地NS剖面(藏北)	地科院地质所	30 30	2010 2008	贺日政	25(2008.10-2009.11, 18台, 13月; 2009.7-2010.5, 19台, 12月) 24(2010.11-2011.11, 12台, 12月; 2011.9-2012.10, 29台, 12月);	191.4
008	11. 东南沿海NE剖面(东山-霞浦) 12. 东南沿海NE剖面(安溪-屏南) 13. 青藏高原东北缘红原-景泰剖面	地科院地质所	20 20 40	2008 2010 2011	李秋生	22(2008.8-2010.6) 12(2011.5-2012.1) 14(2011.10-2012.12)	1060.1
		合计	611			277	4532.6

共实施了13条宽频地震流动观测剖面, 获得超过8000公里, 总计611个台站的天然地震观测记录。

基于宽频地震观测方法技术的特点和地震行业惯例, 数据集以原始连续记录为主, 总数据量约4532.6 GB。其中南岭剖面30个台站使用加拿大 Nanometric 公司 Trillium 120P 地震计和 Taurus 便携式地震数据采集系统, 其他大多数剖面的采集仪器以使用美国 REFTEK 130-1 为主, 部分 REFTEK72A, 数据格式为 RefTek CO 压缩格式; 青藏高原东北缘剖面使用了4台美国 Kinometrics 公司的 Q330 仪器, 数据格式为 MiniSeed; 南岭剖面30个台站用加拿大 Nonometrics

公司仪器采集的数据的格式为 MiniSeed。

数据说明

编号 Sinoprobe_02_03_001: 存放“华南剖面宽频带流动地震台阵探测实验”专题采集的原始观测数据1207.7Gb, 包括福建泉州-阿坝松潘宽频带地震剖面(146台)和安徽-浙江-江西宽频带地震剖面(55台), 剖面长度分别为2000 km和560 km, 共使用了201台 Guralp CMG-3ESP(50Hz-30s/60s)或 CMG-3T(50Hz-120s)地震计, 配备 Reftek 130 数字采集器或 DAS24-3D 数字采集器; 专题负责人: 陈凌、艾印双。

编号 Sinoprobe_02_03_002: 存放“青藏高原拉萨地块宽频地震观测实验研究”专题采集的原始观测数据280 Gb, 该专题横跨拉萨地块主要南北向裂谷系布置了58台宽频带地震仪, 包括旁多乡-纳木错剖面 and 措勤-纳木错剖面, 剖面总长850 km, 共使用了51台 Guralp CMG-3ESP(40Hz-30s)和6台 CMG-3ESP(40Hz-60s)地震计, 配备 Reftek 72A 数字采集器27套和 Reftek 130 数字采集器31套; 专题负责人: 张中杰、陈。

编号 Sinoprobe_02_03_003: 存放“华南岩浆岩带宽频带地震观测实验”专题采集的原始观测数据245.6Gb, 包

括福建厦门 - 江西宜丰剖面 (26 台) 和浙江台州 - 建德剖面 (14 台), 两剖面合计长度 950 km, 使用了 Guralp CMG-40T 地震计, 配备 Reftek 130 数字采集器, 个别为 Reftek 72A 数字采集器; 专题负责人: 王良书。

编号 Sinoprobe_02_03_004: 存放“东北跨松辽盆地宽频 - 甚宽频地震地震观测实验”专题采集的原始数据 1088.8 Gb, 该专题用 60 台宽频带地震仪布设成额尔古纳 - 虎林剖面, 总长 1200 km, 使用了 Guralp CMG-3ESPC (50Hz-60s) 地震计, 配备 Reftek 130A 数字采集器; 专题负责人: 吴庆举。

编号 Sinoprobe_02_03_005: 存放“青藏高原腹地和北部天然地震观测实验与壳幔速度结构研究”专题采集的原始数据 327.4 Gb, 包括两条剖面: 其一, 跨青藏高原腹地尼玛 - 定日和申扎 - 定结裂谷系布设的 EW 向剖面 (33 台), 剖面长 320 km; 其二, 青藏高原北缘可可西里剖面 (共 35 台), 剖面长 740 km; 使用了 Guralp CMG-3ESP 或 STS2 地震计, 配备 Reftek 130 数字采集器; 专题负责人: 赵俊猛、刘宏兵。

编号 Sinoprobe_02_03_006: 存放“南岭成矿带的深部结构与成矿背景宽频带剖面探测实验”专题采集的原始数据 131.6 Gb。寻乌 - 赣州 - 吉安 - 萍乡宽频带地震观测剖面长 400 km, 使用了 30 台 (套) 加拿大 Nonometrics 公司生产的 Trillium 120P 地震计和 Taurus 便携式地震数据采集器; 专题负责人: 史大年、彭聪。

编号 Sinoprobe_02_03_007: 存放课题承担单位中国地质科学院地质研究所“青藏高原腹地 NS 宽频带地震观测实验”采集的原始数据 191.4 Gb。此 NS 向剖面穿越藏北核心区, 测线总长 ~1000 km, 总共 54 个物理点, 使用了 CMG-3ESP (50Hz-60s)、CMG-3T (50Hz-120s) 地震计, 配备 Reftek 130-1 数字采集器, 采样率 40 sps。专题负责人: 贺日政。

编号 Sinoprobe_02_03_008: 存放课题承担单位中国地质科学院地质研究所 (不包括贺日政专题) 采集的原始数据 1060.1Gb。包括三条剖面: (1) 中国大陆东南沿海福建东山 - 霞浦剖面 (20 台); (2) 福建安溪 - 屏南剖面带地震观测剖面 (20 台); (3) 青藏高原东北缘红原 - 景泰剖面 (40 台), 剖面长度分别为 450 km, 280 km 和 550 km, 使用了 CMG-3ESP (50Hz-60s)、CMG-3T (50Hz-120s) 地震计, 配备 Reftek 130-1 数字采集器, 采样率 50 sps。在青藏高原东北缘的 40 个台站有 4 个台使用了 Kinometrics Q330S 数字采集器, 配 STS2.5 地震计; 专题负责人: 李秋生。

SinoProbe-03 : 长江中下游成矿带地壳结构与深部过程探测实验数据说明

一、数据主要内容

本次提交数据为 SinoProbe 资助的自 2008 年至 2013 年期间采集的原始地球物理数据和经处理或反演后的成果数据。原始数据都包含数据和空间坐标, 专业人员皆可通过本原始数据从头开始整个数据处理流程。

按工作类型或专业内容分, 本次提交数据主要包含以下内容:

(一) 长江中下游成矿带东部廊带天然地震

共 3 条 2D 测线, 包括采集设计、原始地震记录数据、层析成像研究成果、接收函数研究成果、解释结果。

(二) 长江中下游成矿带东部廊带深反射地震

共 1 条 2D 测线, 包括采集设计、采集施工总结、原始地震数据、SPS 电子班报、处理叠加成果、处理偏移成果、处理报告、解释结果。

(三) 长江中下游成矿带东部廊带广角地震

共 2 条测线 (1 条纵测线和 1 条非纵测线), 原始数据、剖面基本情况概述 (空间坐标、剖面长度、施工日期、仪器型号等)、剖面位置示意图、震源参数、处理成果图等。

(四) 长江中下游成矿带东部廊带大地电磁

共 1 条测线, 包括原始数据、测量坐标文件、反演结果。

(五) 长江中下游成矿带庐枞矿集区深钻采样分析测试

包括采样单、常量元素分析结果、微量和稀土元素分析结果、电子探针分析结果、锆石 U-Pb 测年结果、锆石 Hf 同位素分析结果。

(六) 长江中下游成矿带地表样品地球化学分析测试

包括采样常量元素分析结果、微量和稀土元素分析结果、电子探针分析结果、锆石 U-Pb 测年结果、锆石 Hf 同位素分析结果。

二、数据说明

(一) 长江中下游成矿带东部廊带天然地震

工区名称: 长江中下游成矿带东部廊带天然地震

工区位置: 数据采集工区跨越安徽、江苏两省。西北端起至安徽省淮南市, 向南东方向经过怀远、马鞍山, 并终止于江苏省境内的湖州市。范围: 东经 $116^{\circ} 50'$ - $119^{\circ} 40'$, 北纬 $30^{\circ} 30'$ - $32^{\circ} 45'$, 测线位置部署图见图 1。

采集仪器: Guralp 3ESPCD 三分量地震仪

采集时间: 2009 年 11 月 15 日至 2011 年 8 月 16 日

采集单位: 中国地质科学院矿产资源研究所, 负责人: 史大年

原始数据：SAC 格式，可用天然地震数据处理常用的专业软件打开。

采集目的：通过实施一条跨越长江中下游成矿带关键地段（宁芜矿集区）的地质廊带的天然地震探测剖面，采用层析成像、接收函数和各向异性分析技术获得岩石圈速度结构、主要速度界面深度和形态，以及上地幔地震各向异性参数，揭示廊带内部地壳及岩石圈的结构和物质变化特征，为研究矿集区构造形成和演化动力学过程及其与邻区构造的关系提供依据；开展矿集区天然地震探测技术试验研究，重点提高天然地震成像结果的分辨率，形成矿集区结构探测的技术解决方案。

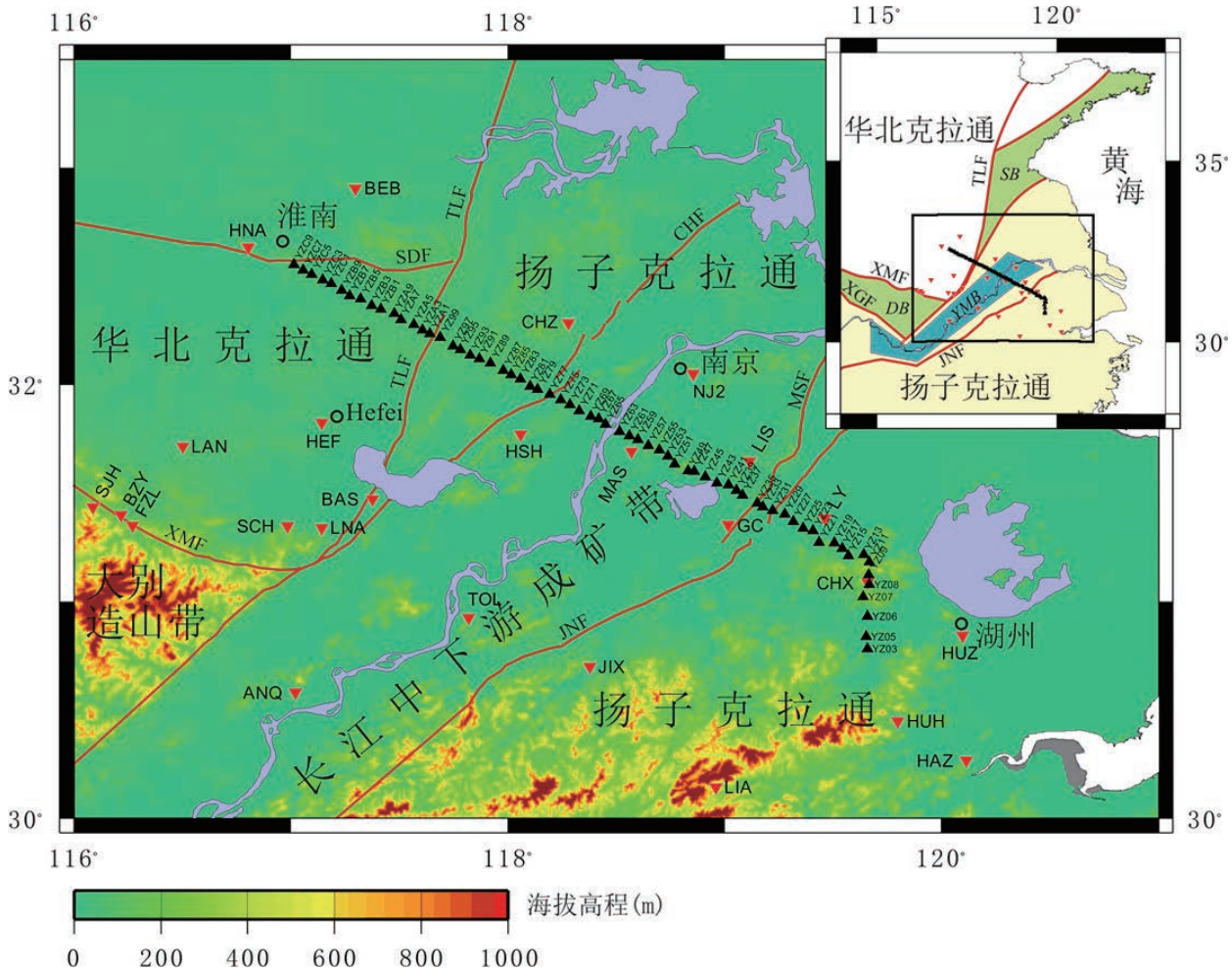


图 1 天然地震观测台站部署图

(二) 长江中下游成矿带东部廊带深反射地震

工区名称：长江中下游成矿带东部廊带深反射地震

工区位置：北西起自安徽省利辛县境内，经马鞍山，南东到达浙江湖州境内。测线跨越江苏省南京市（江宁区、溧水县、高淳县等区县）、常州市（溧阳市）、无锡市（宜兴市）和安徽省芜湖市。三条测线具体部署位置见图 1。范围：东经 $117^{\circ} 30'$ - $119^{\circ} 53'$ ，北纬 $30^{\circ} 55'$ - $32^{\circ} 21'$ ，测线部署位置图见图 2。

施工时间：2010 年 12 月至 2011 年 6 月

施工单位：中国石化集团西南石油局云南物探公司。

采集仪器：采集使用 Sercel 428XL 系统，采用 20DX-10Hz 检波器接收。

原始数据：标准 SEG Y 格式盘文件和标准 SEG D 格式 3592 磁带。打开这些 SEG Y 文件需要专业地震数据处理软件或专业软件，如 CGG、Focus、Grisys、Omega、Promax 等。

电子班报：标准 SPS 文件。文本文件。用专业地震数据处理软件打开。

地震采集参数：见表 1。

表1 地震采集参数一览表

参数	NW11-1	NW11-2,NW11-3
接收道数	720	720
最大偏移距	14440m	7200m
炮距	240 m	80 m
道距	40 m	20 m
覆盖次数	60	90
记录道长	24s	16s
采样间隔	2ms	2ms
检波器	20DX-10hz	20DX-10hz
检波器组合方式	12只组合,组内距1m	12只组合,组内距1m
震源类型	炸药	炸药
激发井深	24~30m	8~18 m
药量	20~30kg	8~14kg

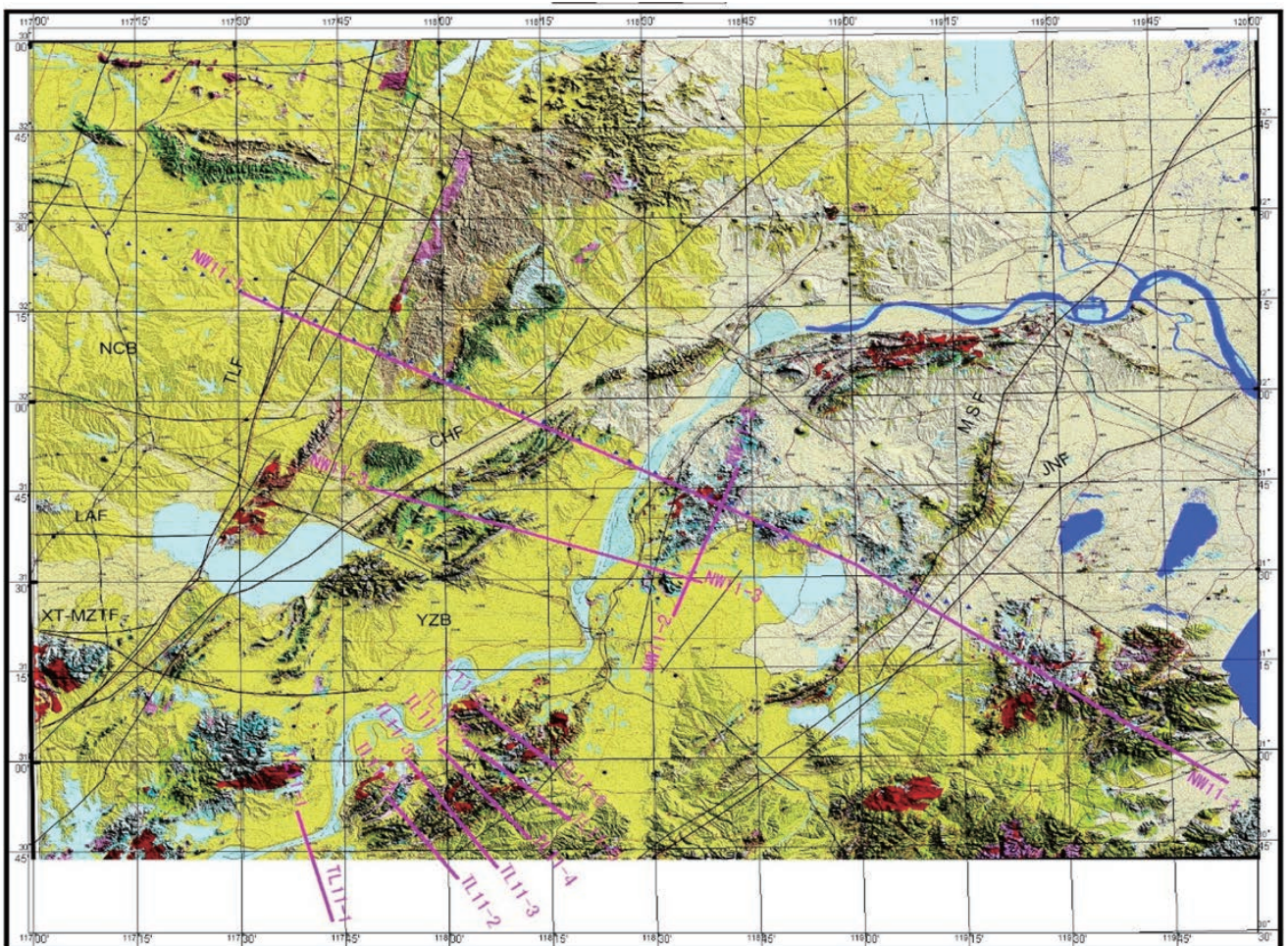


图2 长江中下游地区地质地形叠合图及廊带深反射地震剖面部署示意图

(三) 长江中下游成矿带东部廊带广角地震探测

工区名称：长江中下游成矿带东部廊带广角地震探测

工区位置：工区涉及江苏、安徽两省，穿过的主要地区有宜兴、溧水、溧阳、全椒、定远、淮南、利辛等地，

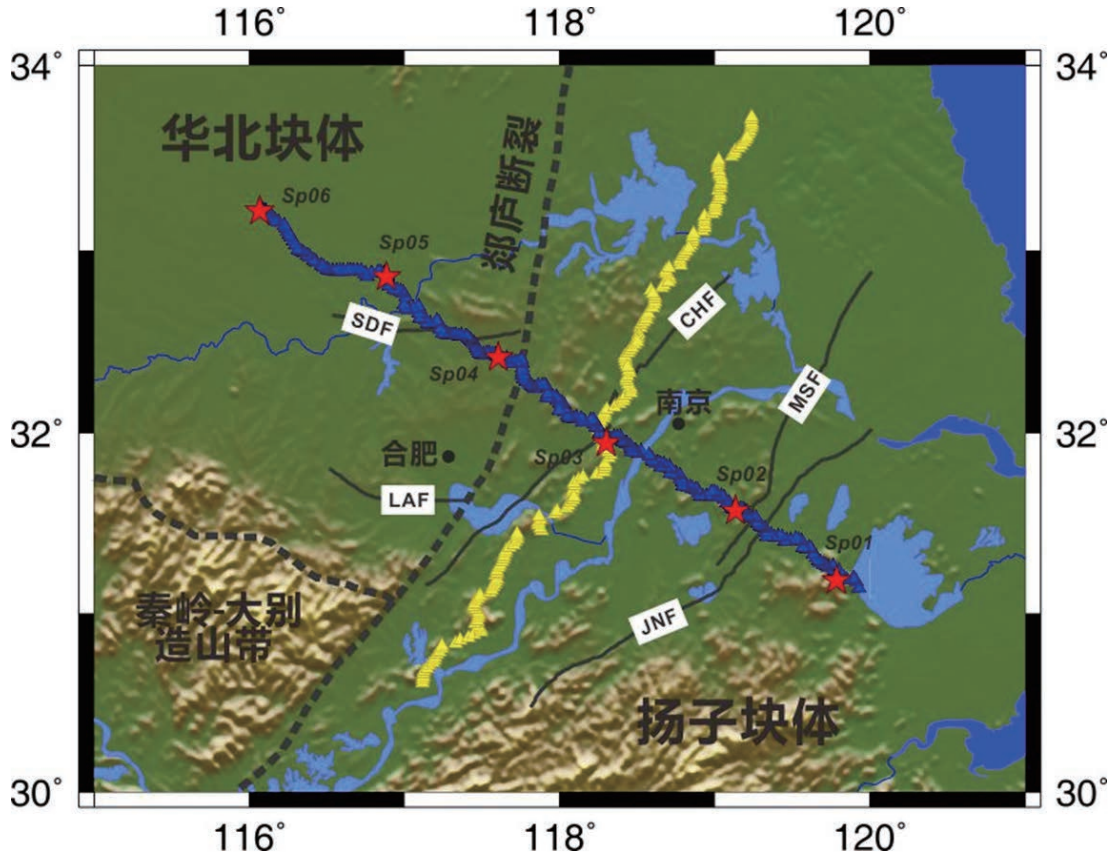


图 3 长江中下游地区廊带宽角反射 / 折射地震剖面部署示意图

探测剖面总长 440km 左右。范围：东经 116.06848° -119.78390°，北纬 30.61075° -33.72336°，共 2 条线（1 条纵测线和 1 条非纵测线）。

施工日期：2011 年 9 月至 2011 年 10 月

采集单位：中国科学院地质与地球物理研究所，负责人：张忠杰、徐涛

原始数据：PDS-1 数据格式，可按照所提供的格式说明用程序打开。

详细内容见项目研究报告。

（四）长江中下游成矿带东部廊带大地电磁测量

工区名称：长江中下游成矿带东部廊带大地电磁测量。

工区位置：工区跨越江苏、安徽两省，穿过的主要地区有宜兴、溧水、溧阳、全椒、定远、淮南、利辛等地，与本廊带内的宽频带天然地震观测剖面 and 广角反射地震剖面基本重合。范围：东经 117.013° -119.854°，北纬 30.703° -32.555°，共 1 条线。测线部署位置图见图 4。

采集仪器：V5-2000 系统，LEMI 长周期大地电磁仪，观测时间大于 24 个小时。

采集时间：2011 年 2 月至 2011 年 5 月

采集单位：中南大学，负责人：强建科。

原始数据：标准 EDI 格式。采用 MT 处理和反演软件可打开数据文件。

详细内容见项目研究报告。

（五）长江中下游成矿带庐枞矿集区深钻采样分析测试

工区名称：庐枞矿集区砖桥科学深钻 ZK01。

工区位置：钻孔开孔于砖桥组（ K_1z ）火山岩，东距黄梅尖岩体约 15Km，孔位坐标：117° 28' 45.47" E，31° 0' 4.09" N，孔深 2011.95m。

施工单位：中国地质科学院勘探技术研究所

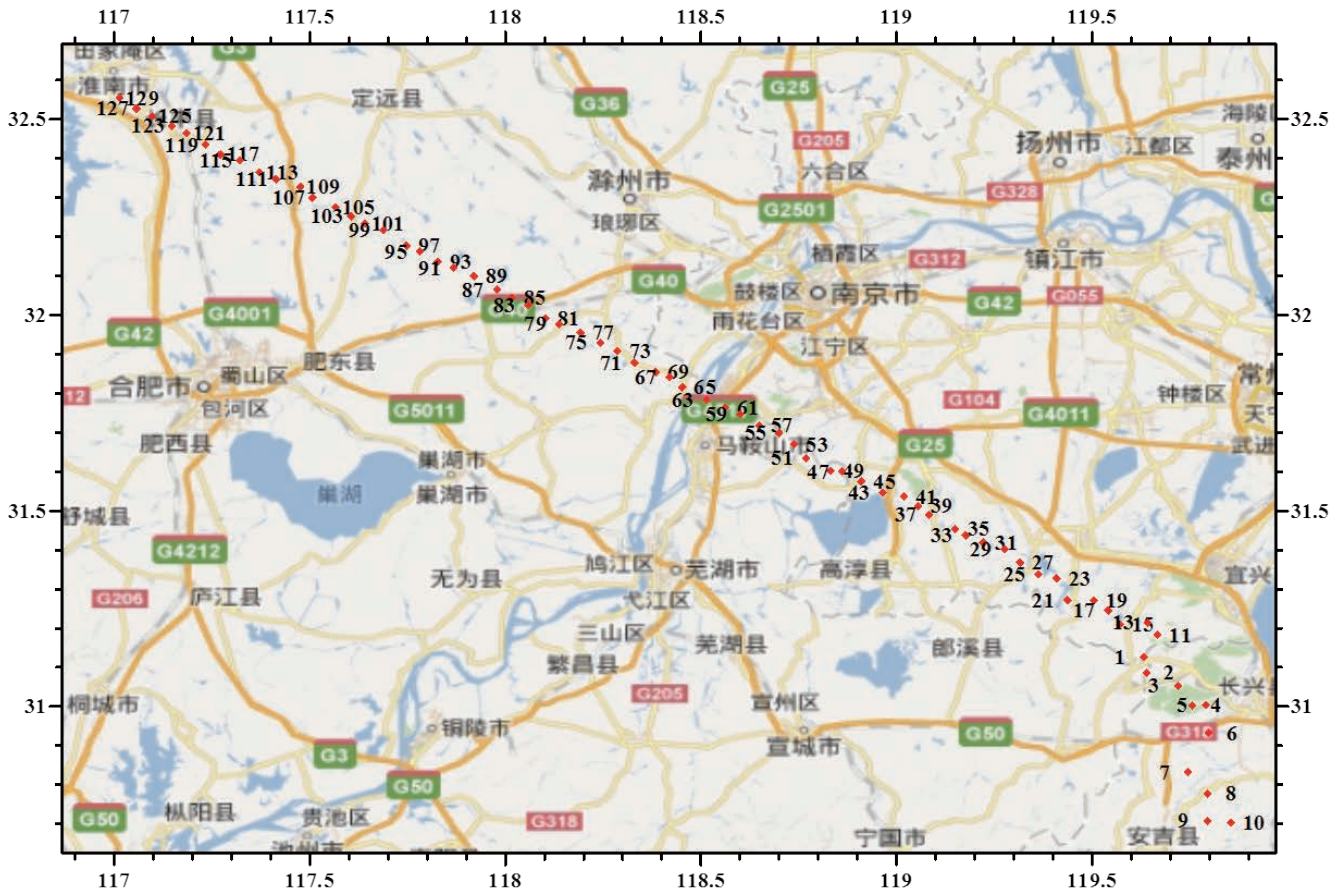


图4 长江中下游成矿带东部廊带大地电磁探测测线布置图

采集日期：2011年10月至2012年4月

采集单位：中国地质科学院矿产资源研究所，负责人杨竹森、徐文艺。

原始数据：包括采样单、常量元素分析结果、微量和稀土元素分析结果、电了探针分析结果、锆石 U-Pb 测年结果、锆石 Hf 同位素分析结果。

详细内容见项目研究报告。

(六) 地表样品地球化学分析测试

1. 庐枞盆地火山岩和侵入岩分析测试结果

工区名称：庐枞盆地。

工区位置：庐枞盆地。

施工单位：合肥工业大学

采集日期：2011.10-2012.4

采集单位：合肥工业大学，负责人周涛发、范裕。

原始数据：常量元素分析结果、微量和稀土元素分析结果、电了探针分析结果、锆石定年分析结果，稳定同位素分析结果。

详细内容见项目研究报告。

2. 宁芜盆地火山岩和侵入岩分析测试结果

工区名称：宁芜盆地。

工区位置：宁芜盆地。

施工单位：合肥工业大学

采集日期：2011.10-2012.4

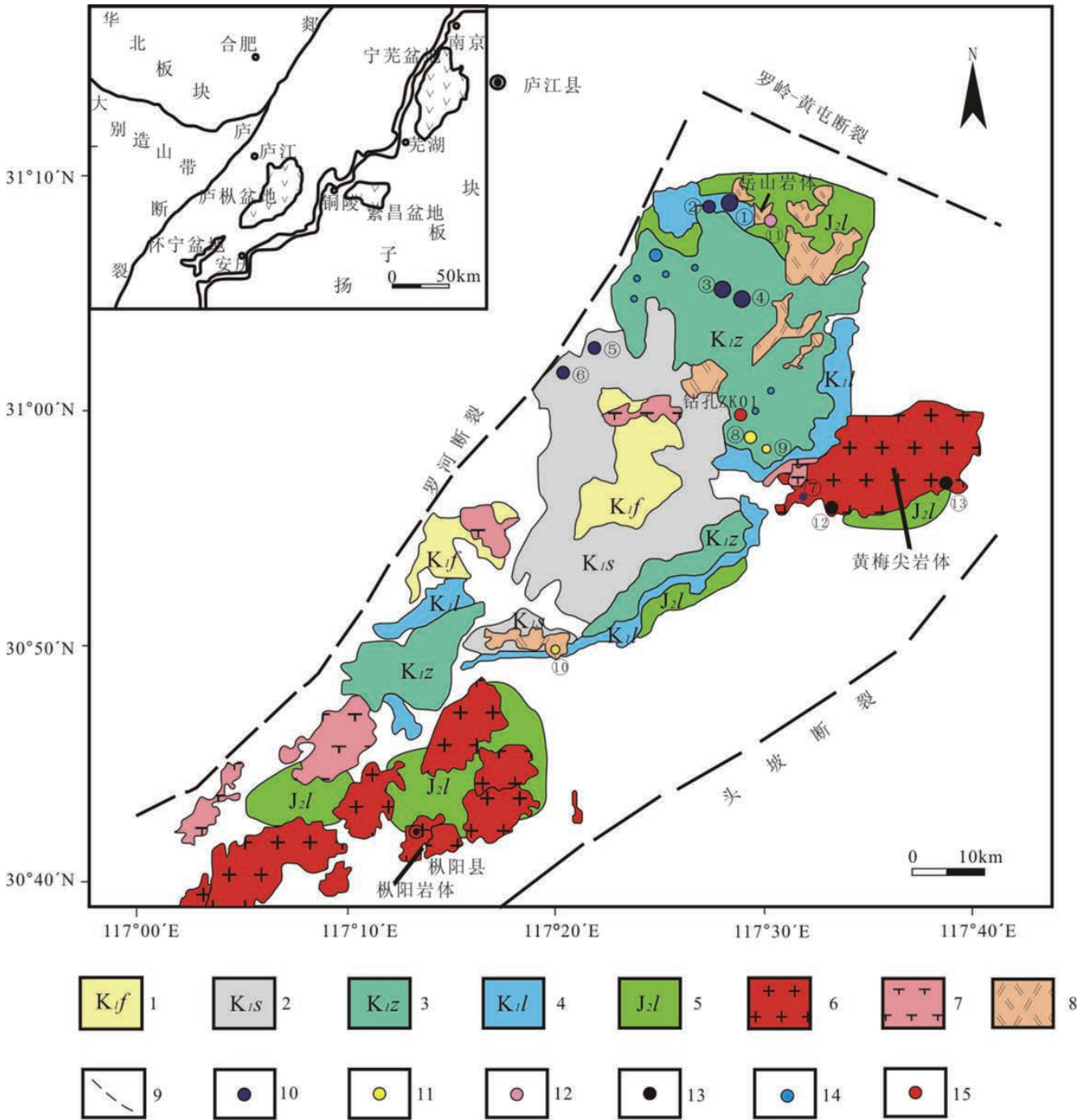


图 5 庐枞盆地地质与铀矿床略图

采集单位：合肥工业大学，负责人周涛发、范裕。

原始数据：常量元素分析结果、微量和稀土元素分析结果、电子探针分析结果、锆石定年分析结果，稳定同位素分析结果。

详细内容见项目研究报告。

数据清单

主要数据文件名称、位置及内容见附表。

每个文件参见各个文件夹下的 readme.xls 文件，内有详细说明。

附表：提交数据清单

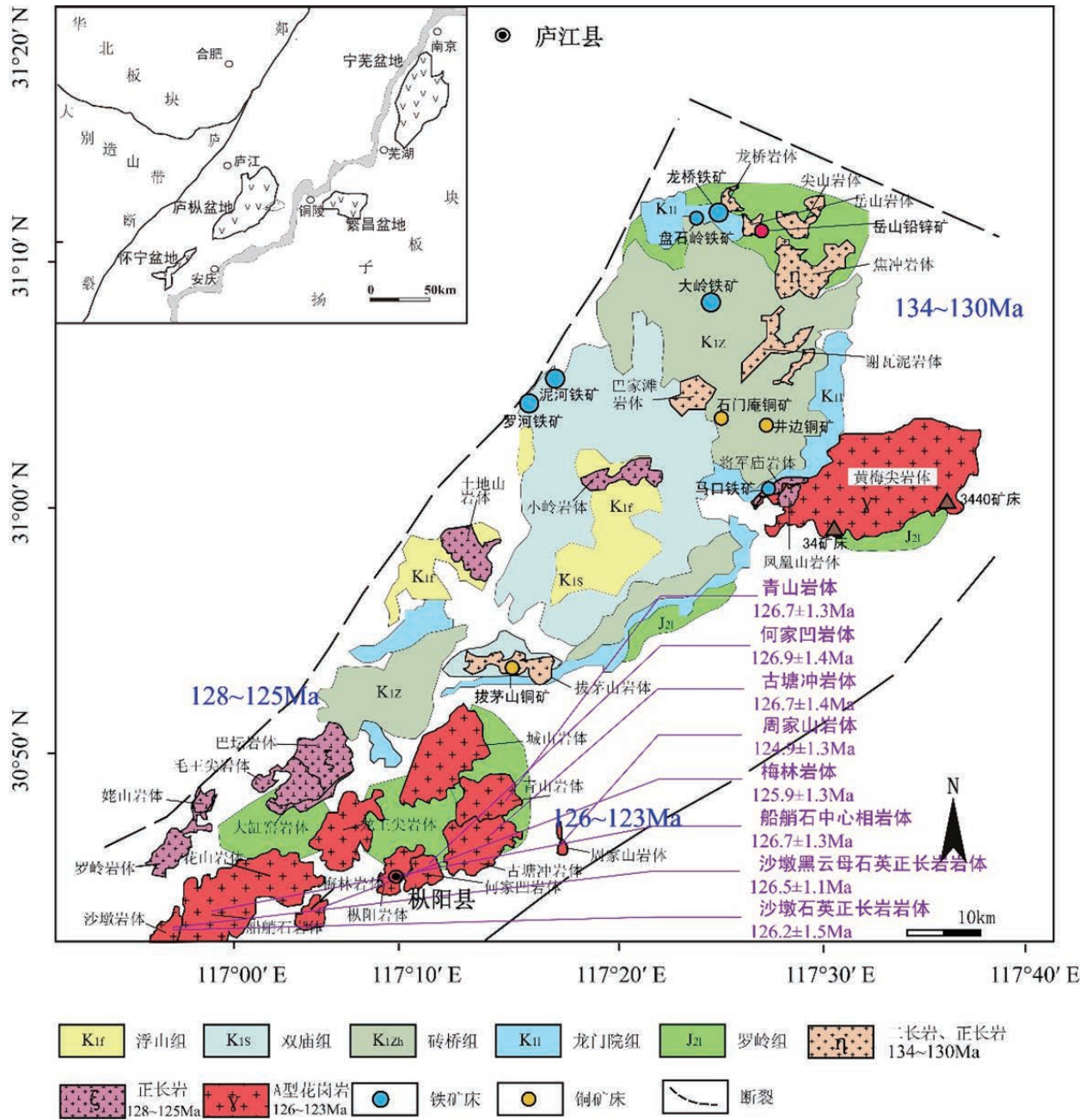


图6 庐枞盆地地质与采样点位置略图

长江中下游成矿带数据目录

工作类型	序号	数据名称	文件位置	文件内容	备注
天然地震	1	####e2	\\SinoProbe03-02\\DATA\\天然地震\\原始数据\\YZ**	第*台站所记录地震的东分量数据	
	2	####n2	\\SinoProbe03-02\\DATA\\天然地震\\原始数据\\YZ**	第*台站所记录地震的北分量数据	
	3	####z2	\\SinoProbe03-02\\DATA\\天然地震\\原始数据\\YZ**	第*台站所记录地震的垂直分量数据	
	4	####ib	\\SinoProbe03-02\\DATA\\天然地震\\原始数据\\YZ**	第*台站信息	
	5	####ma	\\SinoProbe03-02\\DATA\\天然地震\\原始数据\\YZ**	第*台站所记录地震数据的质量中心	

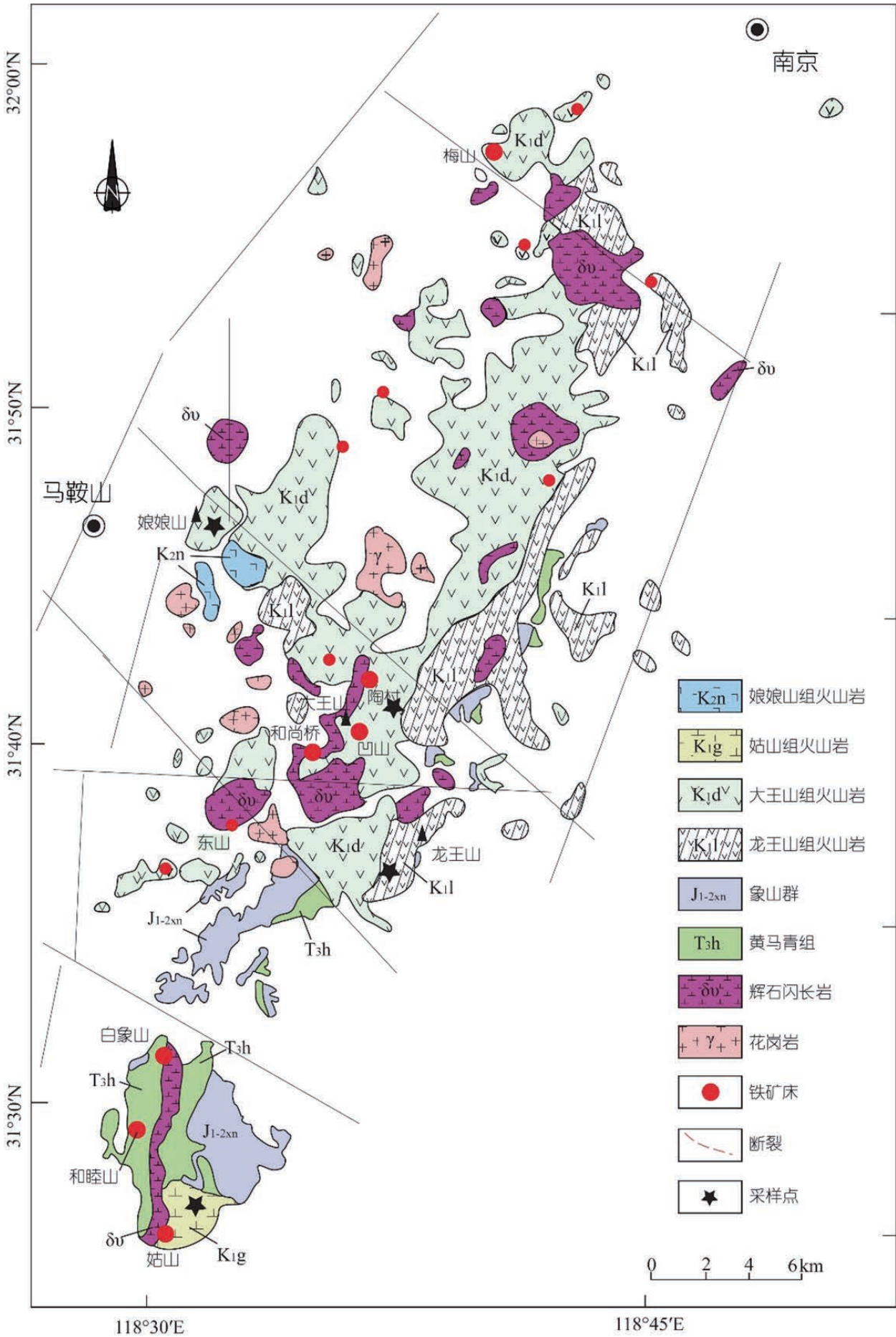


图 7 宁芜盆地地质与采样点位置略图

续表

工作类型	序号	数据名称	文件位置	文件内容	备注	
天然地震	6	####m8	\\SinoProbe03-02\DATA\天然地震\原始数据\YZ**	第*台站所记录地震数据的质量中心		
	7	####m9	\\SinoProbe03-02\DATA\天然地震\原始数据\YZ**	第*台站所记录地震数据的质量中心		
	8	####00	\\SinoProbe03-02\DATA\天然地震\原始数据\YZ**	第*台站记录的GPS等状态信息		
	9	####.log	\\SinoProbe03-02\DATA\天然地震\原始数据\YZ**	第*台站数据的导出日志		
	10	天然地震台站位置图.jpg	\\SinoProbe03-02\GIS\天然地震	天然地震台站位置图		
	11	天然地震台站位置表.doc	\\SinoProbe03-02\GIS\天然地震	天然地震台站位置信息表		
	12	地壳和上地幔主要间断面接收函数成像图.jpg	\\SinoProbe03-02\IMG\天然地震	主要间断面接收函数成像图		
	13	地壳接收函数成像图.jpg	\\SinoProbe03-02\IMG\天然地震	地壳接收函数成像图		
	14	Moho深度变化平面图.jpg	\\SinoProbe03-02\IMG\天然地震	Moho深度变化平面图		
	15	横波分裂测量结果.jpg	\\SinoProbe03-02\IMG\天然地震	横波分裂测量结果		
	折射地震	1	Sp01.zip	\\SinoProbe03-02\DATA\折射地震\原始数据\纵测线	纵测线第1炮原始地震数据	
		2	Sp02.zip	\\SinoProbe03-02\DATA\折射地震\原始数据\纵测线	纵测线第2炮原始地震数据	
		3	Sp03.zip	\\SinoProbe03-02\DATA\折射地震\原始数据\纵测线	纵测线第3炮原始地震数据	
		4	Sp04.zip	\\SinoProbe03-02\DATA\折射地震\原始数据\纵测线	纵测线第4炮原始地震数据	
		5	Sp05.zip	\\SinoProbe03-02\DATA\折射地震\原始数据\纵测线	纵测线第5炮原始地震数据	
6		Sp06.zip	\\SinoProbe03-02\DATA\折射地震\原始数据\纵测线	纵测线第6炮原始地震数据		
7		Sp01.zip	\\SinoProbe03-02\DATA\折射地震\原始数据\非纵测线	非纵测线第1炮原始地震数据		
9		Sp02.zip	\\SinoProbe03-02\DATA\折射地震\原始数据\非纵测线	非纵测线第2炮原始地震数据		
10		Sp03.zip	\\SinoProbe03-02\DATA\折射地震\原始数据\非纵测线	非纵测线第3炮原始地震数据		
11		Sp04.zip	\\SinoProbe03-02\DATA\折射地震\原始数据\非纵测线	非纵测线第4炮原始地震数据		
12		Sp05.zip	\\SinoProbe03-02\DATA\折射地震\原始数据\非纵测线	非纵测线第5炮原始地震数据		
13		Sp06.zip	\\SinoProbe03-02\DATA\折射地震\原始数据\非纵测线	非纵测线第6炮原始地震数据		
14		PDS-1数字地震仪的数据格式.doc	\\SinoProbe03-02\DOC\折射地震	PDS-1数字地震仪的数据格式		
15		数据说明报告.doc	\\SinoProbe03-02\DOC\折射地震	对折射地震探测数据的说明		
16		长江中下游成矿带东部廊带广角地震探测与技术研究提交数据说明.docx	\\SinoProbe03-02\DOC\折射地震	折射地震探测提交数据说明		
17		LIXIN_QUANJIAO_YIXING_Line_receiver_coordinates.txt	\\SinoProbe03-02\GIS\折射地震	纵测线检波器位置		
18		LIXIN_QUANJIAO_YIXING_Offline_receiver_coordinates.txt	\\SinoProbe03-02\GIS\折射地震	非纵测线检波器位置		
19		LIXIN_QUANJIAO_YIXING_shot_location.txt	\\SinoProbe03-02\GIS\折射地震	激发炮点位置		

续表

工作类型	序号	数据名称	文件位置	文件内容	备注
折射地震	20	长江中下游成矿带人工源深地震探测观测系统.jpg	SinoProbe03-02\GIS\折射地震	观测系统示意图	
	21	非纵剖面动校正结果及拾取的Moho面深度.zip	\SinoProbe03-02\IMG\折射地震\LIXIN_QUANJIAO_YIXING_Offline	非纵剖面速度校正结果和Moho面深度	
	22	非纵剖面折合地震记录.zip	\SinoProbe03-02\IMG\折射地震\LIXIN_QUANJIAO_YIXING_Offline	非纵剖面折合走时地震记录截面	
	23	处理结果及解释图.zip	\SinoProbe03-02\IMG\折射地震\LIXIN_QUANJIAO_YIXING_Line	折射地震数据处理结果与解释图件	
	24	震相识别、射线路径和理论地震图.zip	\SinoProbe03-02\IMG\折射地震\LIXIN_QUANJIAO_YIXING_Line	震相、射线分布与理论地震图	
大地电磁	1	NWMT-EDI.zip	\SinoProbe03-02\DATA\大地电磁\原始数据\EDI	MT原始数据压缩包	
	2	NWMT-EXCEL.zip	\SinoProbe03-02\DATA\大地电磁\原始数据\EXCEL	MT原始数据excel格式压缩包	
	3	淮南—溧阳大剖面大地电磁资料处理与连续介质反演研究.doc	\SinoProbe03-02\DOC\大地电磁	资料处理与反演研究	
	4	深部探测技术与实验研究项目课题专题-宁芜一线MT2011年度报告.doc	\SinoProbe03-02\DOC\大地电磁	2011年度报告	
	5	NWMT10Km综合解释图.srf	\SinoProbe03-02\GIS\大地电磁	MT数据10公里反演结果解释图	
	6	NWMT50Km综合解释图.srf	\SinoProbe03-02\GIS\大地电磁	MT数据50公里反演结果解释图	
	7	NWMT测线布置图.srf	\SinoProbe03-02\GIS\大地电磁	测线布置实际材料图	
	8	中南大学-宁芜大剖面MT测量、处理与初步反演.ppt	\SinoProbe03-02\PPT	MT数据采集与处理报告	
深钻岩化分析	1	庐枞矿集区砖桥科学深钻主量元素测试数据集.xlsx	\SinoProbe03-02\DATA\深钻岩化\原始数据\庐枞矿集区砖桥科学深钻常量元素分析结果	深钻样品主元素测试数据	
	2	数据文档_庐枞矿集区砖桥科学深钻主量元素测试数据集.doc	\SinoProbe03-02\DATA\深钻岩化\原始数据\庐枞矿集区砖桥科学深钻常量元素分析结果	主元素测试数据说明	
	3	庐枞矿集区砖桥科学深钻电子探针分析测试数据集.xls	\SinoProbe03-02\DATA\深钻岩化\原始数据\庐枞矿集区砖桥科学深钻电子探针分析测试结果	深钻样品电子探针分析数据	
	4	数据文档_庐枞矿集区砖桥科学深钻电子探针分析测试数据集.doc	\SinoProbe03-02\DATA\深钻岩化\原始数据\庐枞矿集区砖桥科学深钻电子探针分析测试结果	电子探针分析数据说明	
	5	庐枞矿集区砖桥科学深钻Hf同位素测试数据集.xlsx	\SinoProbe03-02\DATA\深钻岩化\原始数据\庐枞矿集区砖桥科学深钻钻石Hf同位素分析结果	深钻样品Hf同位素测试数据	
	6	数据文档_庐枞矿集区砖桥科学深钻Hf同位素测试数据集.doc	\SinoProbe03-02\DATA\深钻岩化\原始数据\庐枞矿集区砖桥科学深钻钻石Hf同位素分析结果	Hf同位素测试数据说明	
	7	庐枞矿集区砖桥科学深钻U-Pb测试数据集.xlsx	\SinoProbe03-02\DATA\深钻岩化\原始数据\庐枞矿集区砖桥科学深钻锆石U-Pb测年结果	深钻样品U-Pb测试数据	
	8	数据文档_庐枞矿集区砖桥科学深钻U-Pb测试数据集.doc	\SinoProbe03-02\DATA\深钻岩化\原始数据\庐枞矿集区砖桥科学深钻锆石U-Pb测年结果	U-Pb测试数据说明	

续表

工作类型	序号	数据名称	文件位置	文件内容	备注
深钻岩化分析	9	庐枞矿集区砖桥科学深钻微量和稀土元素分析测试数据集.xlsx	\\SinoProbe03-02\DATA\深钻岩化\原始数据\庐枞矿集区砖桥科学深钻微量和稀土元素分析结果	深钻样品微量和稀土元素分析测试数据	
	10	数据文档_庐枞矿集区砖桥科学深钻微量和稀土元素分析测试数据集.doc	\\SinoProbe03-02\DATA\深钻岩化\原始数据\庐枞矿集区砖桥科学深钻微量和稀土元素分析结果	微量和稀土元素分析测试数据说明	
	11	ZK01井孔位置.xlsx	\\SinoProbe03-02\GIS\深钻岩化	砖桥ZK01井孔位置	
	12	庐江采样表.xls	\\SinoProbe03-02\IMG\深钻岩化\野外及显微照片集	庐江矿集区深钻样品采样表	
	13	砖桥科学深钻ZK01岩芯及显微镜下照片.jpg	\\SinoProbe03-02\IMG\深钻岩化\野外及显微照片集\庐枞矿集区丁桥科学深钻显微镜下照片	ZK01岩芯及显微镜下照片	
	14	深部钻孔内手标本照片.jpg	\\SinoProbe03-02\IMG\深钻岩化\野外及显微照片集\庐枞矿集区丁桥科学深钻野外照片	丁桥科学深钻野外照片	
地球化学	1	庐枞盆地矿床氢氧同位素.zip	\\SinoProbe03-02\DATA\地球化学\原始数据	庐枞盆地矿床氢氧同位素数据	
	2	岩浆岩定年样品锆石阴极发光照片.zip	\\SinoProbe03-02\DATA\地球化学\原始数据	岩浆岩定年样品锆石阴极发光照片	
	3	庐枞盆地火山岩主量微量元素数据.xls	\\SinoProbe03-02\DATA\地球化学\原始数据	庐枞盆地火山岩主量微量元素数据	
	4	庐枞盆地矿床成矿时代数据.doc	\\SinoProbe03-02\DATA\地球化学\原始数据	庐枞盆地矿床成矿时代数据	
	5	庐枞盆地矿床硫同位素数据.doc	\\SinoProbe03-02\DATA\地球化学\原始数据	庐枞盆地矿床硫同位素数据	
	6	庐枞盆地稳定同位素数据.xls	\\SinoProbe03-02\DATA\地球化学\原始数据	庐枞盆地稳定同位素数据	
	7	宁芜盆地火山岩主量微量元素数据.xls	\\SinoProbe03-02\DATA\地球化学\原始数据	宁芜盆地火山岩主量微量元素数据	
	8	宁芜盆地侵入岩主量微量元素数据.xls	\\SinoProbe03-02\DATA\地球化学\原始数据	宁芜盆地侵入岩主量微量元素数据	
	9	宁芜盆地稳定同位素数据.xls	\\SinoProbe03-02\DATA\地球化学\原始数据	宁芜盆地稳定同位素数据	
	10	深部探测2008-2013年论文、专著等成果统计表.zip	\\SinoProbe03-02\DOC\地球化学	论文与专利统计信息	
	11	深部探测技术与实验研究专项年度执行情况报告-宁芜与庐枞盆地深部岩浆过程与成矿作用对比研究.doc	\\SinoProbe03-02\DOC\地球化学	宁芜与庐枞盆地深部岩浆过程与成矿作用对比汇报PPT	
	12	庐枞盆地地质矿产略图及采样点位置图.jpg	\\SinoProbe03-02\GIS\地球化学	庐枞盆地地质矿产略图及采样点位置	
	13	宁芜盆地地质矿产略图及采样点位置图.jpg	\\SinoProbe03-02\GIS\地球化学	宁芜盆地地质矿产略图及采样点位置	
	14	采样坐标信息.doc	\\SinoProbe03-02\GIS\地球化学	各样品采集点的坐标信息	
	15	宁芜-庐枞盆地成矿模式图.jpg	\\SinoProbe03-02\IMG\地球化学	宁芜-庐枞盆地成矿模式图	
	16	宁芜盆地代表性矿石样品图版.doc	\\SinoProbe03-02\IMG\地球化学	宁芜盆地代表性矿石样品图版	
	17	宁芜盆地代表性岩浆岩样品图版.doc	\\SinoProbe03-02\IMG\地球化学	宁芜盆地代表性岩浆岩样品图版	

续表

工作类型	序号	数据名称	文件位置	文件内容	备注
反射地震	1	NW11-1_raw.sgy	\\SinoProbe03-02\DATA\反射地震\原始数据\SEGY\	NW11-1线原始地震数据	
	2	NW11-2_raw.sgy	\\SinoProbe03-02\DATA\反射地震\原始数据\SEGY\	NW11-2线原始地震数据	
	3	NW11-3_raw.sgy	\\SinoProbe03-02\DATA\反射地震\原始数据\SEGY\	NW11-3线原始地震数据	
	4	NW11-1.rar	\\SinoProbe03-04\DATA\反射地震\原始数据\SPS电子班报\	NW11-1线SPS电子班报	
	5	NW11-2.rar	\\SinoProbe03-04\DATA\反射地震\原始数据\SPS电子班报\	NW11-2线SPS电子班报	
	6	NW11-3.rar	\\SinoProbe03-04\DATA\反射地震\原始数据\SPS电子班报\	NW11-3线SPS电子班报	
	7	MIG_NW11-1_24S.sgy	\\SinoProbe03-02\DATA\反射地震\成果数据\SEGY\	NW11-1线偏移剖面	
	8	MIG_NW11-2_16S.sgy	\\SinoProbe03-02\DATA\反射地震\成果数据\SEGY\	NW11-2线偏移剖面	
	9	MIG_NW11-3_16S.sgy	\\SinoProbe03-02\DATA\反射地震\成果数据\SEGY\	NW11-3线偏移剖面	
	10	STK_CB_NW11-1_24s.sgy	\\SinoProbe03-02\DATA\反射地震\成果数据\SEGY\	NW11-1线24s叠加纯波剖面	
	11	STK_CB_NW11-2_16s.sgy	\\SinoProbe03-02\DATA\反射地震\成果数据\SEGY\	NW11-2线16s叠加纯波剖面	
	12	STK_CB_NW11-3_16s.sgy	\\SinoProbe03-02\DATA\反射地震\成果数据\SEGY\	NW11-3线16s叠加纯波剖面	
	13	STK_CG_NW11-1_24s.sgy	\\SinoProbe03-02\DATA\反射地震\成果数据\SEGY\	NW11-1线24s叠加成果剖面	
	14	STK_CG_NW11-2_16s.sgy	\\SinoProbe03-02\DATA\反射地震\成果数据\SEGY\	NW11-2线16s叠加成果剖面	
	15	STK_CG_NW11-3_16s.sgy	\\SinoProbe03-02\DATA\反射地震\成果数据\SEGY\	NW11-3线16s叠加成果剖面	
	16	nw11-1.xy	\\SinoProbe03-02\DATA\反射地震\成果数据\CDP坐标	NW11-1线CDP坐标	
	17	nw11-2.xy	\\SinoProbe03-02\DATA\反射地震\成果数据\CDP坐标	NW11-2线CDP坐标	
	18	nw11-3.xy	\\SinoProbe03-02\DATA\反射地震\成果数据\CDP坐标	NW11-3线CDP坐标	
	19	铜陵宁芜地震处理报告-派特森	\\SinoProbe03-02\DOC\反射地震\	地震数据处理报告	
	20	Ningwu地质图.jpg	\\SinoProbe03-02\GIS\反射地震\	宁芜地区地质图	
	21	铜陵宁芜地质CDP炮点位置图	\\SinoProbe03-02\GIS\反射地震\	3条测线炮点检波点位置图	
	22	NW11-1_偏移剖面.tif	\\SinoProbe03-02\IMG\反射地震\解释结果\	NW11-1线偏移叠加剖面	
	23	NW11-2_偏移剖面.tif	\\SinoProbe03-02\IMG\反射地震\解释结果\	NW11-2线偏移叠加剖面	
	24	NW11-3_偏移剖面.tif	\\SinoProbe03-02\IMG\反射地震\解释结果\	NW11-3线偏移叠加剖面	
汇报报告	1	SinoProbe-03-02-01&02-史大年.ppt	\\SinoProbe03-02\PPT	天然地震和反射地震汇报PPT	
	2	SinoProbe-03-02-03-徐涛.ppt	\\SinoProbe03-02\PPT	折射地震汇报PPT	
	3	SinoProbe-03-02-04-强建科.ppt	\\SinoProbe03-02\PPT	大地电磁汇报PPT	
	4	SinoProbe-03-02-05-周涛发.ppt	\\SinoProbe03-02\PPT	地球化学汇报PPT	
	5	SinoProbe-03-02-06-熊欣.ppt	\\SinoProbe03-02\PPT	深钻岩化汇报PPT	
文章	1	SinoProbe0302课题论文集及文章-c.doc	\\SinoProbe03-02\DOC\发表文章	已经发表的文章目录	
	2	44个Pdf文件	\\SinoProbe03-02\DOC\发表文章	已经发表的部分主要文章	

SinoProbe-04 : 全国地球化学基准值建立与综合研究首批数据清单

一、项目概况

《全国地球化学基准值建立与综合研究》课题为《地壳全元素探测技术与实验示范》项目第一课题 (SinoProbe-04-01), 实施单位为中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 河南岩石矿物测试中心、河南省地质调查院、石家庄经济学院、河北省区域地质矿产调查研究所四家单位参加, 工作性质属技术研制与应用基础研究。

课题来源 : 国土资源部公益性行业科研专项经费项目任务书

课题下达单位 : 国土资源部公益性行业科研专项经费

课题名称 : 全国地球化学基准值建立与综合研究

课题编号 : SinoProbe-04-01 (公益性行业科研专项, 编号 201011053)

课题起止时间 : 2008—2012 年

课题承担单位 : 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所

二、数据主要内容

地球化学基准建立采用如下的技术路线 : 基准网布设—代表性样品采集—样品加工与分析—基准地球化学图制作—时空分布与演化综合研究。

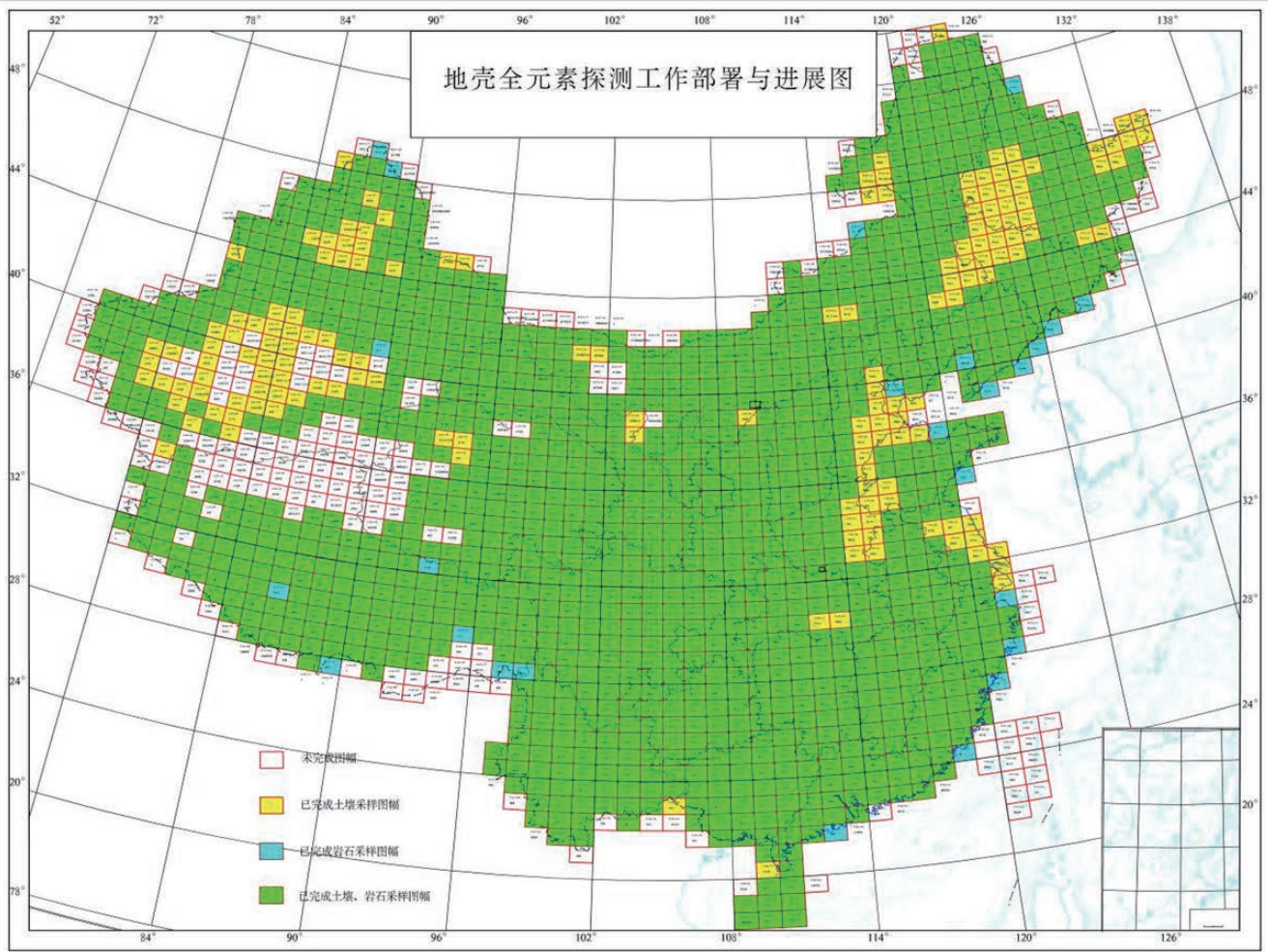
(一) 地球化学基准网的布设

“全球地球化学基准计划”(Global Geochemical Baselines) 部署 5000 个基准网格覆盖整个地球陆地面积。全球基准参考网网格的划分, 纬向是以赤道 0° 为起点, 经向以格林威治 0° 经线为起点, 每个格子大小为 160km × 160km。中国国家地球化学基准的建立将遵循国家基准值、数据密度应高于全球数据密度的原则, 将每个全球地球化学基准网格划分成 4 个子网格作为中国基准网格, 每个网格大小相当于 1 个 1:20 万图幅, 因此根据中国的实际和便于岩石样品的采集以及地质解释需要, 采用 1:20 万图幅作为中国的地球化学基准网格。中国大约有 1400 个 1:20 万图幅, 也就是布设 1400 个基准网格。

(二) 代表性样品的采集

原生岩石地球化学基准的建立按照 1:20 万图幅基准网格, 在每个 1:20 万图幅内, 地层以系为单元, 侵入岩以时代为单元采样。总计采集代表性的岩石样品约 12371 件, 平均每个图幅约 10 件样品。精确测定 81 个地球化学指标 (含 76 种元素), 建立中国大陆出露地壳 76 种元素地球化学基准。

次生疏松沉积物地球化学基准的建立按照 1:20 万图幅基准网格, 在每个基准网格内部署至少 2 个采样点, 每个采样点同时采集表层和深层疏松沉积物。在山区和丘陵地带采集河漫滩或泛滥平原沉积物, 在平原区采集土壤或三角洲沉积物, 在沙漠戈壁区采集山间盆地或汇水域沉积物。全国共采集大约 6617 件样品。准确分析 81 个指标 (含 76 种元素), 建立中国大陆次生沉积物地球化学基准。



全国地球化学基准网

三、数据清单

全球地球化学基准项目可提供的第一批数据元素清单

		元素
第一批提供的元素		29个元素：SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 、TFe ₂ O ₃ 、KO ₂ 、CaO、MgO、Na ₂ O、Ba、Be、Li、Mn、Sr、Br、Cl、Co、Ga、Ni、Rb、Ti、V、Zn、Zr、Bi、Cs、Hf、In、Sc、Ta、W
分析方法	FU-XRF 或XRF	15个元素：SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 、TFe ₂ O ₃ 、KO ₂ 、Ba、Br、Cl、Co、Ga、Ni、Rb、Ti、V、Zn、Zr
	FU-ICP-OES或ICP-AES	7个元素：CaO、MgO、Na ₂ O、Be、Li、Mn、Sr
	ICP-MS	7个元素：Bi、Cs、Hf、In、Sc、Ta、W

SinoProbe-05 : 大陆科学钻探选址与钻探实验

一、实验目标

围绕《大陆科学钻探选址与科学钻探实验》项目设置的7个科学钻探选址和科学技术示范实验课题提出的重大关键问题：板块汇聚边界的深部动力学、重要的矿产资源集聚区的成矿背景、成矿条件和成矿前景以及火山地质灾害预防等方面，进行综合、对比、集成、高层次研究总结，提高相关科学问题的研究水平。

围绕选址进行的地球物理探测，在相关预选址地区完成地震、电磁法为主的综合地球物理探测，为科学钻探选址和探测深部矿体提供深部构造的地球物理依据。有组织地安排钻探的实施，在《大陆科学钻探选址与科学钻探实验》中起核心的作用。

实施5-7口选区2000-3000m科学钻探。开发具有我国独立知识产权和创新性、高效、实用的地震物探爆破孔高效、可靠钻进成孔钻探新技术，研制出快速行走和强力钻进的多功能钻机和配套的钻具及工艺，为我国地震物探地质探测提供全新、高效、实用的钻探技术。

二、数据说明

(一) 金川铜镍硫化物矿集区科学钻探课题数据集；

金川铜镍硫化物矿集区科学钻探选址预研究是围绕中国大陆动力学基础地质研究的重大关键问题之一，重要的矿产资源集聚区的成矿背景、成矿条件和成矿前景等方面开展地质、地球物理的预研究、大比例尺地质调查填图和科学钻孔选址；在此基础上，选择确定合适地质地理位置，布置和实施一口预导孔的科学钻探。开展“科学超深井钻探技术方案预研究”，为今后开展12000-15000m超深井钻探技术方案进行设计和研究奠定基础。课题目标是建立具有我国理论知识体系和创新性的镁铁-超镁铁岩浆铜、镍硫化物矿床的成矿机制与成矿过程以及成矿模式；探讨该区壳幔物质演化、大陆动力地质演化对成矿物质的聚集与分异的控制作用。

(二) 西藏罗布莎铬铁矿科学钻探选址预研究课题数据集；

西藏罗布莎铬铁矿床是我国目前最大的铬铁矿床，是进一步开展深部找矿和解决我国铬铁矿资源匮乏和找矿突破的首选靶区，也是研究铬铁矿成因的关键地区。本课题拟通过地表地质调查、地球物理探测和一口深度2000-2500m的先导孔科学钻探实验，探测西藏罗布莎超镁铁岩铬铁矿床的成矿深度和深部资源潜力；查明铬铁矿在该超镁铁岩体中分布特征和赋存规律；探讨铬铁矿的成矿条件和成矿机制；查明铬铁矿赋矿岩体超镁铁岩的岩体特征、成因和构造背景，探讨铬铁矿与超镁铁岩的成因关系；评价罗布莎超镁铁岩体的资源潜力和潜在勘探靶区；为开展西藏雅鲁藏布江缝合带中超镁铁岩体的深井钻探(>5000m)和资源评价奠定基础。

(三) 云南腾冲火山-地热-构造带科学钻探选址预研究课题数据集；

通过对腾冲地块东、西两侧的怒江和那帮韧性走滑剪切带及地块内部主要走滑剪切带的变形特征、性质、变形序次的几何学、运动学的研究、同构造花岗岩的微构造要素、形成时限的确定，阐明大型韧性走滑剪切带走滑过程及其对青藏高原物质向东南的流动和逃逸所起的响应，以及对地块内新生代火山岩盆地的制约；通过深部地质地球物理探测、高分辨率定量热红外遥感技术和先导孔实验查明盆地内火山岩区的三维地质结构和中、新生代花岗岩的空间分布、岩石地球化学特征及锡多金属成矿作用机制；通过腾冲地区代表性火山岩、侵入岩及其相关

典型矿床的研究建立区域岩浆 - 成矿过程的时间事件序列，进而阐明中生代不同时期岩石圈 - 软流圈系统的结构点，结合地球物理测深成果再造区域岩石圈结构演化，为科学深钻选址提供深部约束；查明地热异常区的分布及其与构造运动和岩浆活动的关系；通过构造地质学、岩石学、矿床学、同位素地质学和地球化学对比，查明腾冲地块与冈底斯岩浆岩带中岩浆活动的构造背景联系，确定腾冲地块在青藏高原隆升过程中的动力学响应；通过实施 1 - 2 口钻探实验，查明火山喷发旋回、岩浆演化序列及其与大规模走滑作用的内在联系，为高热异常区实施钻探工程提供各种地质地球物理参数，论证该区进行深孔科学钻探的必要性和可行性，为在腾冲地区及类似地热异常区开展科学深钻做可行性技术准备。

（四）山东莱阳盆地南 / 北板块边界科学钻探选址预研究课题数据集；

通过基础地质调查、深部地球物理探测、浅孔科学钻探和综合地学研究，重塑莱阳盆地的形成与巨量超高压变质岩石裸露的耦合关系，揭示莱阳盆地变质基底的成因与构造属性，南 / 北中国板块会聚边界的位置与结合时限，研究大陆碰撞造山带的深部物质组成、结构与动力学，探索莱阳盆地及胶东地区的成矿作用与资源前景。在此基础上，对在莱阳盆地及南 / 北中国块边界进行（超）深孔科学钻探的必要性和可行性进行科学论证，提出合适的科学钻探选区与选址。

（五）东部矿集区科学钻探选址预研究课题数据集

围绕矿产资源集聚区成矿地质背景及深部找矿前景，分别在铜陵矿集区和庐枞矿集区开展科学钻探预研究。通过对矿集区侵入岩、火山地质、地球化学、蚀变矿化的热液系统等的预研究，配合地球物理的研究成果和局部地区大比例尺的地质填图，确定深部找矿最有利的靶区，实施 3000 米的科学钻井。通过钻孔岩芯的物性研究，直接验证综合地球物理异常，建立异常解释的“标尺”，同时研究矿集区金属矿床的垂向分布规律，建立区内成矿模式，进行深部成矿预测。

SinoProbe-06 : 地应力测量与监测数据目录

一、项目概况

《构造应力分析方法研究与应力探测数据集成》的研究工作和任务可以分为2个方面,一是建立规范的、具有专业特色的和开放的“地壳探测工程地应力专题数据库”,对“应力测量与监测技术实验研究”项目获取的各类应力数据和其他基础数据进行整理归档,实现第六项目科学数据的集成和保存。二是针对震源机制解、断层滑动资料、形变观测数据等多种不同类型的数据,开展相应的构造应力分析方法研究,发展完善利用多种数据分析构造分析应力的方法,并完成相应计算软件的编制工作。从构造应力分析方法和地应力探测科学数据保存共享2个方面,为深入研究中国大陆地壳应力环境提供技术储备。

研究目标:发展利用地震数据和资料推断地壳深部构造应力方向和应力量值的估算方法,建立一套基于断层滑动方向拟合法,利用断层滑动数据、跨断层定点形变观测资料等多种数据反演构造应力张量的计算方法;研制地应力测量数据分析计算软件;建立规范的、具有专业特色的、开放的和易于使用的“地壳探测工程地应力专题数据库”。

二、数据说明

数据包括“地壳探测工程地应力专题数据库”中集成的各类应力数据、数据库管理查询软件系统、原地应力测量数据自动计算分析软件系统、应力张量反演计算软件。

数值数据是核心数据,即“地壳探测工程地应力专题数据库”中集成的各类应力数据。“地壳探测工程地应力专题数据库”中集成的各类应力数据包括2部分,一是第六项目“地应力测量与监测技术实验研究”产出的5类应力数据,二是本课题收集整理的研究目标区(北京地区和青藏高原东南缘)的4类应力数据。

第六项目“地应力测量与监测技术实验研究”研究过程中,共产出5类应力数据,其中包括,19个钻孔的水压致裂分测段数据208条,3个钻孔的应力解除数据3条,10个钻孔的连续应力应变观测数据,震源机制解数据146条,断层滑动应力数据69条。这些数据存储在6个xlsx数据文件中,汇交的数据文件见下节附表中的编号1-6。项目产出的5类应力数据(专题数据)分布情况见图1。

以往前人产出的应力数据是项目研究过程中需要的基础数据,因此,该课题对研究目标区(北京地区和青藏高原东南缘)以往历史产出的4类应力数据也进行了收集整理,并集成到“地壳探测工程地应力专题数据库”中,其中包括:146个钻孔的水压致裂分测段数据644条,126个钻孔的应力解除数据126条,549个地震的震源机制解数据771条(含一震多解数据222条),断层滑动应力数据185条。这些数据存储在6个xlsx数据文件中,汇交的数据文件见下节附表中的编号7-12。青藏高原东南缘地区4类历史应力数据分布的经纬度范围为东经99-107°,北纬22.5-34°;北京地区4类历史应力数据分布的经纬度范围为东经114-118°,北纬39-42°,历史应力数据分布情况见图2。

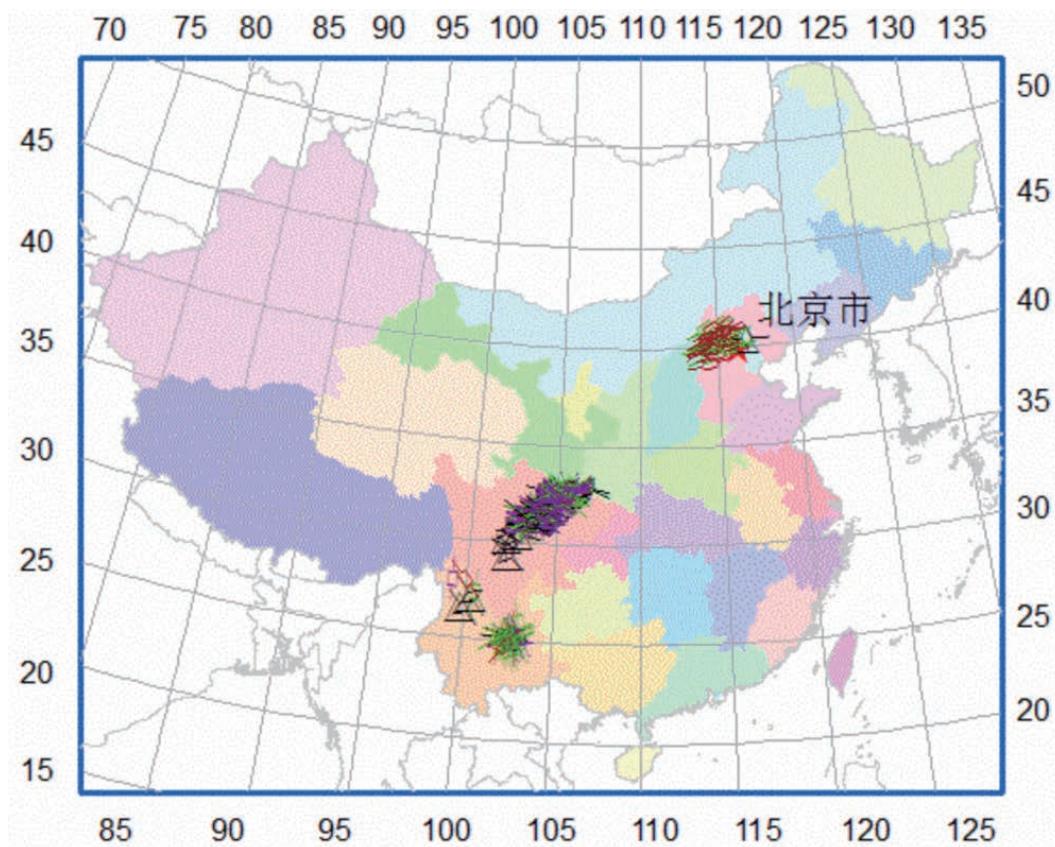


图 1 项目产出的 5 类应力数据 (专题数据) 分布情况

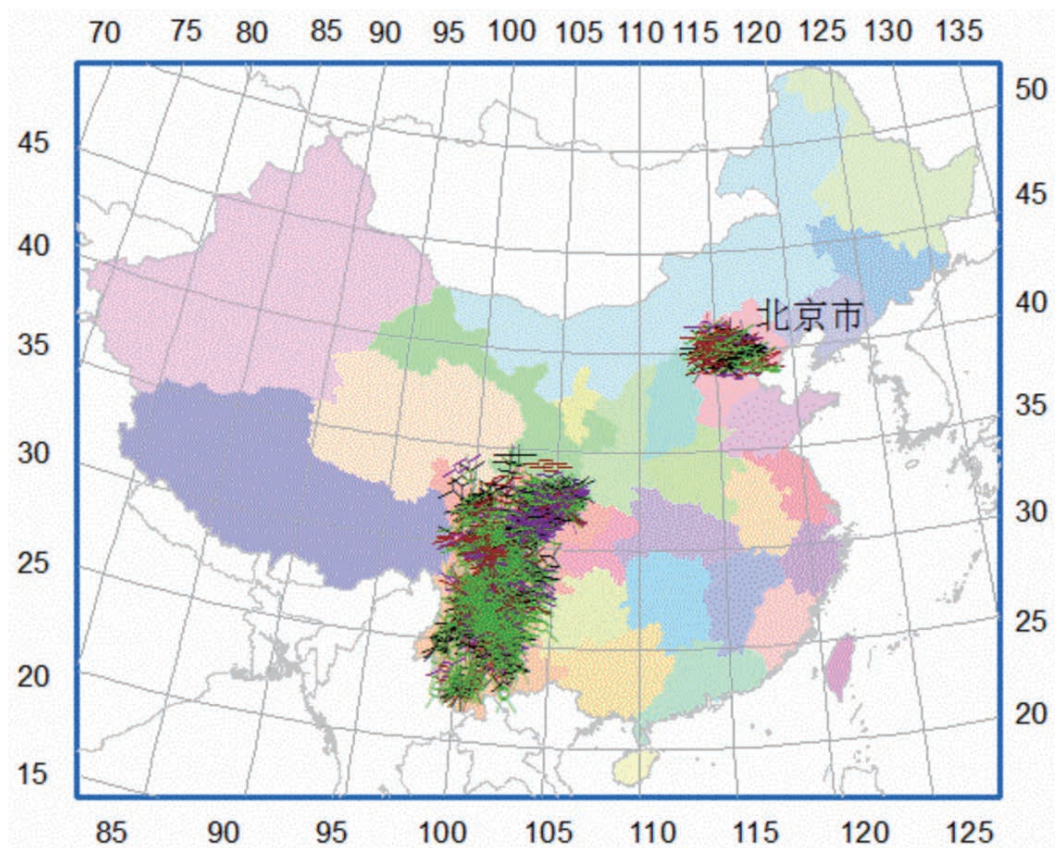


图 2.4 类历史应力数据分布情况

三、数据目录

文件夹			数据文件	编号
名称	数据文件个数	元数据文件个数		
Data	12	25	IRS_水压致裂主数据_专题数据.xlsx	1
			IRS_水压致裂分测段_专题数据.xlsx	2
			IRS_应力解除_专题数据.xlsx	3
			IRS_连续应力应变_专题数据.xlsx	4
			IRS_震源机制解主数据_专题数据.xlsx	5
			IRS_断层滑动_专题数据.xlsx	6
			IRS_水压致裂主数据_历史数据.xlsx	7
			IRS_水压致裂分测段_历史数据.xlsx	8
			IRS_应力解除_历史数据.xlsx	9
			IRS_震源机制解主数据_历史数据.xlsx	10
			IRS_震源机制解_历史数据.xlsx	11
			IRS_断层滑动_历史数据.xlsx	12
Gis	54	19	IRS_水压致裂主数据_专题数据.shp等6个	13
			IRS_应力解除_专题数据.shp等6个	14
			IRS_连续应力应变_专题数据.shp等6个	15
			IRS_震源机制解主数据_专题数据.shp等6个	16
			IRS_断层滑动_专题数据.shp等6个	17
			IRS_水压致裂主数据_历史数据.shp等6个	18
			IRS_应力解除_历史数据.shp等6个	19
			IRS_震源机制解主数据_历史数据.shp等6个	20
			IRS_断层滑动_历史数据.shp等6个	21
Doc	10	1	2008-2009年度总结报告-Sinoprbe-06-04.doc	22
			2010年度执行情况报告-SinoProbe-06-04.doc	23
			2010年度总结报告-SinoProbe-06-04.doc	24
			2011年度执行情况报告-SinoProbe-06-04.doc	25
			2011年度总结报告-SinoProbe-06-04.doc	26
			2011年上半年报告-SinoProbe-06-04.doc	27
			2012年报统计-SinoProbe-06-04.doc	28
			2012年度执行情况报告-SinoProbe-06-04.doc	29
			2012年上半年报告-SinoProbe-06-04.doc	30
			科普报告-SinoProbe-06-04.doc	31
Img	9	1	2009年AGU会议展板-Sinoprobe-06-04.jpg	32
			2009年中英国际学术会议展板-Sinoprobe-06-04.jpg	33
			2010年AGU会议展板-SinoProbe-06-04.jpg	34
			2010年度进展汇报-展板-SinoProb-06-04.jpg	35
			2011年度进展汇报-展板1-SinoProb-06-04.jpg	36
			2011年度进展汇报-展板2-SinoProb-06-04.jpg	37
			2011年国际会议展板-SinoProbe-06-04.jpg	38
			2012年度进展汇报-展板1-SinoProb-06-04.jpg	39
			2012年度进展汇报-展板2-SinoProb-06-04.jpg	40

续表

文件夹			数据文件	编号
名称	数据文件个数	元数据文件个数		
Ppt	4	1	2008-2009年度进展汇报-SinoProbe-06-04.ppt	41
			2010年度进展汇报-SinoProbe-06-04.ppt	42
			2011年度进展汇报-SinoProb-06-04.ppt	43
			2012年度进展汇报-SinoProb-06-04.pptx	44
软件	8	1	地壳探测工程地应力专题数据库系统包（包含系统用到的基础数据）	45
			地壳探测工程地应力专题数据库系统安装说明.docx	46
			震源机制解反演应力张量可执行程序包	47
			震源机制解反演应力张量程序使用说明.docx	48
			断层滑动矢量反演应力张量可执行程序包	49
			断层滑动矢量反演应力张量程序使用说明.docx	50
			原地应力测量数据自动计算分析软件可执行程序包	51
			原地应力测量数据自动计算分析软件使用说明.docx	52

SinoProbe-07 : 地壳深部探测高性能数值模拟平台数据

一、项目概况

中国地质学家通过深部地壳探测项目,不但需要对探测结果提出定性的解释,还需要提出定量的模型。本项目就是要为地质学家提供一个功能强大、界面友好、便于使用的计算平台,并对如何使用平台做出示范。本项目包括五个课题:课题一、数值模拟平台建设;课题二、岩石物理性质测试与试验研究;课题三、中国大陆主要岩石物性参数测试与数据库构建;课题四、中国大陆岩石圈热状态和流变性质研究;课题五、基于高性能数值模拟的华北克拉通及青藏高原隆动力学研究。

二、研究目标

根据专项总体规划,总体目标在于建立能够利用中国大陆岩石圈热结构和三维流变结构来模拟中国大陆地球动力学过程,特别是重点研究区域(华北和青藏高原)的三维流变结构的大规模并行计算平台系统及可视化系统,同时建设数值计算模型将专门针对中国大陆深部地幔对流与岩石圈耦合关系的精细数值模拟实验问题的壳-岩石圈地幔-软流圈地幔和上地幔演化所涉及到的牛顿流体(地幔)与非牛顿流体(地壳)方程、温度场(能量方程)、壳幔热化学演化方程、质量守恒方程等强耦合等系列地球动力学过程重要问题。

三、主要研究内容

数值模拟平台建设:主要包括数值模拟相关的三维有限元并行计算程序库,同时建设数值计算模型将专门针对中国大陆深部地幔对流与岩石圈耦合关系的精细数值模拟实验问题的壳-岩石圈地幔-软流圈地幔和上地幔演化所涉及到的牛顿流体(地幔)与非牛顿流体(地壳)方程、温度场(能量方程)、壳幔热化学演化方程、质量守恒方程等强耦合等系列地球动力学过程重要问题;将 ANSYS 平台的部分功能结合到本项目的数值模拟平台中;

三维大规模可视化平台建设:主要用于显示数值模拟结果,便于分析和展示海量地学观测数据和数值模拟结果。研究任务进一步可分解为:

(一)根据我们现有的研究全球性大规模地幔对流、区域性地幔对流和区域性强震演化物理和数值试验模拟的工作成果和科研经验,建立一个专门针对数值模拟研究华北克拉通破坏问题的壳-地幔岩石圈-地幔耦合大规模并行有限元分析计算平台系统:这个系统中主要以大规模和超大规模数值模拟为核心,辅以能够生成百万量级三维非结构化网格前处理系统和对这些大规模模拟数据进行有效可视化与数据挖掘分析的后处理系统。

与一般的系统平台不同的是,我们的系统强调专用性,针对性与实用性。即除了我们可以使用其可以作为数值模拟试验平台以外,还能够将中国大陆的最新科研成果和资料及时纳入到模型的考虑之内,可以服务于参与到“华北克拉通破坏”重大项目的相关研究项目。如提供大规模三维体绘制并行可视化系统,地质学家就可以用来显示物理探测的最新结果,对科学结果进行重现,检验其可行性等(将在后面的实施方案中具体讨论)。从而共同完善实际的物理模型,加深对该地区科学问题的认识。

(二)根据以往的研究结果,研究青藏高原隆升一级华北克拉通破坏这样的典型的壳-地幔岩石圈-地幔耦合的地球动力学演化模式,需要我们的数值模拟试验平台有能够对局部小的对流环的动力学和热化学进行三维建

模模拟。特别需要说明的是，根据多年的研究经验，我们的数值计算模型绝对不能强调同一数值试验模型的大而全，而是恰恰相反，对这些关键性参数尽量分别处理、分别讨论。即在讨论一个关键参数（如控制对流的瑞雷数 Rayleigh number）时，尽量对其它关键参数进行分离处理；对于强耦合性的一个或几个关键参数（温度场分布与对流速度耦合问题），也尽量做到用最简单的物理模型来进行建模和分析。这样才能保证科研过程和方法的可行性的同时，力图对最本质的科学问题进行刻画和研究。

（三）数值模拟及可视化与具体科学问题相结合：依据已有关于青藏高原隆升以及华北克拉通破坏的地质学、岩石学、地球化学、地球物理学和地球动力学等多学科综合研究结果，在原有我们承担“区域强震活动演化的物理模型和预测模型试验”973 研究项目成果的基础上，利用三维有限元壳幔耦合数值模型，试图解开这一地区的深层克拉通破坏与浅层地震活动性之间本质性物理联系，即探讨当前控制该地区强烈地震发生的主要因素及其与克拉通破坏导致的岩石圈减薄之间的关系，为板内强地震孕育环境的动力学研究提供合理的物理解释。数值模型系统中尽量全面地考虑实际地学问题中涉及到的各种物理学参数，如地表高程、沉积层厚度分布、断层信息、地震剖面速度结构、区域岩石自然分布与岩石物性参数值、MOHO 面深度分布等。

四、研究成果

项目基于其他项目的提供大规模并行有限元数值模拟及可视化平台系统。数值模拟平台将可以针对数百万乃至千万网格的模型问题进行计算并进行可视化，满足中国大陆深部动力学过程模拟的需要。该平台可以通过网络提供专项相关的科研单位共享使用。因此本项目主要是向专项提交大规模并行有限元数值模拟及可视化平台系统。

五、数据目录

DATA	与项目相关的各种数据资料
GM_Codes	课题组写的线弹性模型、粘弹性模型的有限元数值模拟源代码包
GM_coupler	课题组写的耦合器源代码包
GM_Greenland	课题组写的格陵兰岛海冰模式数值模拟源代码包和格陵兰岛的相关数据以及数值模拟结果数据
GM_Parmure1.0	课题组研发的可视化软件Parmure1.0源代码包
GM_Parmure1.0用户手册	课题组研发的可视化软件Parmure1.0用户手册
GM_visade3.0_source.tar	课题组研发的可视化软件visade源代码包
GM_visade3.0软件用户手册	课题组研发的可视化软件visade用户手册
GM_visade3_0_0.linux-x86_64.tar	课题组研发的可视化软件visade在linux64位的二进制安装包
GM_技术报告-并行软件平台	并行软件平台的技术报告包括各种例子及使用说明
GM_技术报告-可视化平台	可视化平台的技术报告

SinoProbe-08 : 深部探测综合研究

本项目围绕专项总体目标,制定项目目标和任务,进行专项研究工作的整体部署和规划,综合集成各层次地壳和深部结构探测与不同尺度物质探测、岩石圈动力学模拟的成果,初步建立我国大陆地壳、岩石圈结构,中、新生代以来大地构造格局、演化与动力学过程,探讨东亚大陆发展历史。引进先进探测技术和仪器设备,构建世界一流的深部探测科学数据中心,建设一流的深部探测技术与实验研究基地和实验室。开展系统工程研究,实现深部探测数据和专项工作的科学管理。完善《地壳探测工程》计划实施方案设计,推动国家立项。

设置4个课题,分别为:(1)课题一、大陆地壳的结构框架与演化探讨;(2)课题二、深部探测数据综合集成与共享管理;(3)课题三、探测技术支撑与实验基地建设;(4)课题四、地壳探测系统工程研究。

一、综合分析、处理和集成现有的和新获取的深部探测与实验研究所取得的各类地球物理、地质构造和地球化学数据和研究成果,选择关键造山带、重点含油气盆地、大型矿集区和地震活动带的深部探测数据进行再处理、重新解释,综合以往研究积累,建立我国大陆地壳结构框架。

拟再处理的关键剖面有:

中国南北板块三叠纪碰撞造山带地壳结构

——大别山超高压造山带反射地质剖面(300 km)

——西秦岭造山带反射地震剖面(300 km)

——大巴山侏罗纪陆内造山带反射地震剖面(500 km)

二、综合集成深部探测技术与实验研究专项成果,重点研究我国大陆晚侏罗世以来构造演化与地质响应,为深部探测数据和成果提供解释依据和制约,建立时间深度(deep-time)的岩石圈四维结构概念模型,以重塑大陆地壳演化与动力学过程,实现依托深部探测数据的地球科学、大地构造理论的新一轮创新。

侏罗纪陆内造山与变形

东亚晚侏罗世板块汇聚及其资源环境响应

侏罗纪以来中国大陆构造演化与动力学过程

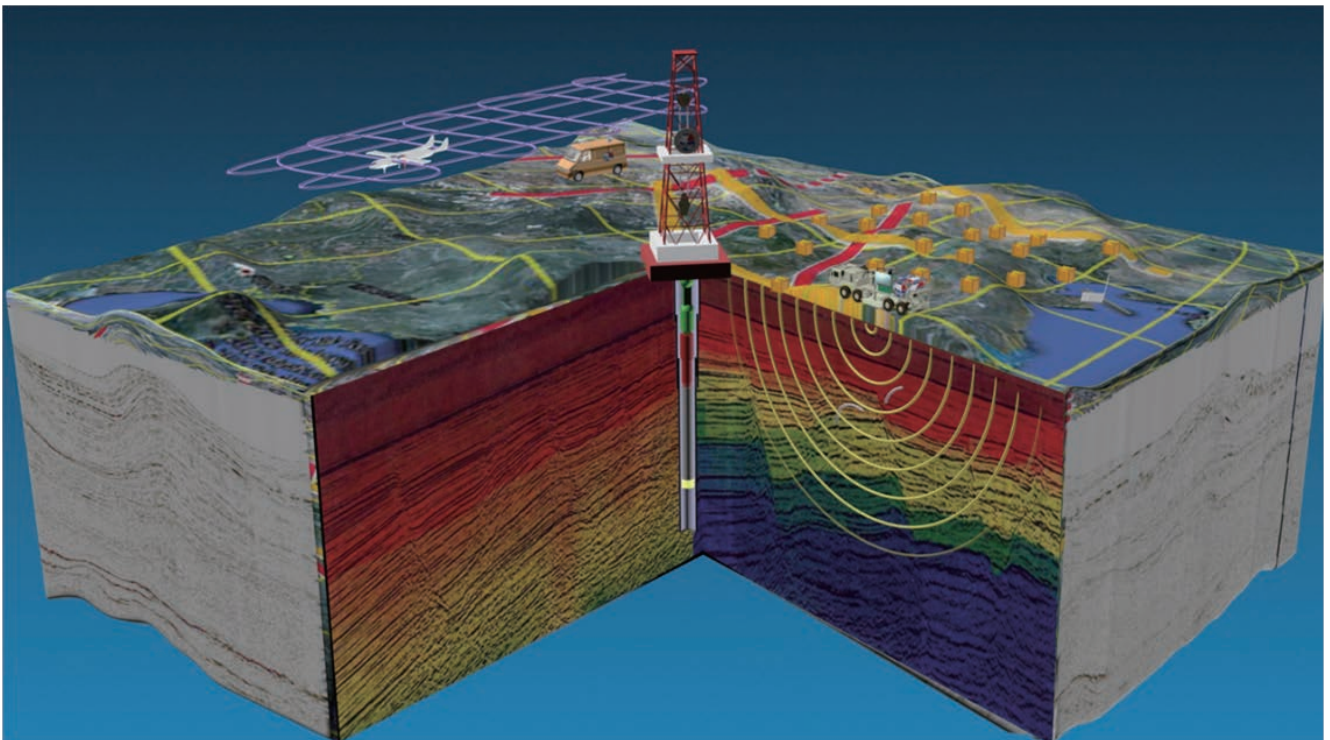
三、建立我国深部探测数据中心。数据中心是由数据库平台、服务平台、技术支持和管理平台组成的多层综合系统。通过数据层的多源信息数据库建设技术,进行主体数据库建设和分布式数据管理,实现数据的集成和存储。在此基础上实现地壳探测所采集的地球物理、地球化学、地应力及地质勘查等多源数据的空间管理、服务功能以及目录服务、数据共享服务。

四、引进与购置一定数量的国际先进高新技术探测仪器设备,筹备构建世界一流的深部探测实验室,形成多学科目标、层次分明、浅深结合、组合合理的地壳探测技术方法体系,为地球科学研究及实施地壳探测工程计划建立数据资源、技术支撑与实验基地。

五、追踪国际地球探测计划发展动态、科学与技术体系、研究进展和最新探测成果,构建地壳探测系统工程框架,形成既有地球探测理论基础、技术科学体系和专家系统支撑,又有一定规模的地球探测实践与应用的地壳探测系统工程体系,指导我国深部探测技术与实验研究。

SinoProbe-09 : 深部探测关键仪器装备研制与实验数据目录

针对国家《地壳探测计划》和矿产资源的勘探开发计划，发挥国家重点高校和重点科研机构的优势，汇集我国高层次技术优势力量，研发具有自主知识产权的重型“深部探测关键仪器装备”。研发具有大功率和大深度探测能力的深部地球物理探测仪器、大面积和高效率航空无人机探测系统，高集成工艺和超大深度钻探装备，以及针对海量多类型数据的移动平台综合地球物理资料处理和解释软件系统。为地球深部探测、复杂地表条件和深部的矿产资源勘探开发，提供必要的仪器设备和技术支持。通过建设深部探测实验示范基地，规范“重型装备技术”研发程序和过程，规范仪器装备研发的检测指标，规范研发所需的相关技术配备，规范专业人才的培养过程和过程，规范高端工程项目的管理程序，以稳健务实的科学态度，提升我国重型装备在深部探测和深部找矿中的技术水平。



数据目录：

AVM：空文件夹

DOC：

SinoProbe-09-02-01-DOC：01 专题的进展报告及专题报告

SinoProbe-09-02-02-DOC：02 专题的进展报告及专题报告

SinoProbe-09-02-03-DOC：03 专题的进展报告及专题报告

SinoProbe-09-02-04-DOC：04 专题的进展报告及专题报告

SinoProbe-09-02-05-DOC : 05 专题的进展报告及专题报告

SinoProbe-09-02-06-DOC : 06 专题的进展报告及专题报告

SinoProbe-09-02-07-DOC : 07 专题的进展报告及专题报告

SinoProbe-09-02 成果统计 : 所有专题的成果统计

GIS :

辽宁杨家杖子 : 辽宁杨家杖子地区野外试验测点的位置文件

甘肃金昌 : 甘肃金昌地区野外试验测点的位置文件

内蒙曹四夭 : 内蒙曹四夭地区野外试验测点的位置文件

IMG :

辽宁杨家杖子 : 辽宁杨家杖子地区野外试验数据处理对比结果

甘肃金昌 : 甘肃金昌地区野外试验数据处理对比结果

内蒙曹四夭 : 内蒙曹四夭地区野外试验数据处理对比结果

PPT :

SinoProbe-09-02-01-PPT : 01 专题的汇报 PPT

SinoProbe-09-02-02-PPT : 02 专题的汇报 PPT

SinoProbe-09-02-03-PPT : 03 专题的汇报 PPT

SinoProbe-09-02-04-PPT : 04 专题的汇报 PPT

SinoProbe-09-02-05-PPT : 05 专题的汇报 PPT

SinoProbe-09-02-06-PPT : 06 专题的汇报 PPT

SinoProbe-09-02-07-PPT : 07 专题的汇报 PPT

DATA :

辽宁杨家杖子 : SEP 系统在辽宁兴城杨家杖子地区开展的 SEP 系统与加拿大凤凰公司 V8 系统的对比试验数据

甘肃金昌 : SEP 系统在甘肃金昌镍矿区开展的 SEP 系统与加拿大凤凰公司的 V8 系统的对比试验数据, 试验地点包括二矿区与东湾矿区两个区域

内蒙曹四夭 : SEP 系统在内蒙曹四夭地区开展的 SEP 系统与加拿大凤凰公司的 V8 系统以及美国 GDP32 系统的对比试验数据