

“解剖地震”计划“十四五”实施方案

■ 地震预测研究所

地震数值预测研究和传统方法评估试点项目
地震监测站网评估试点项目
人工智能地震监测分析系统完善与应用
地震危险区精细调查和地震现场综合科学考察试点项目
预报员访学试点项目
地震信息专题图试点
地震重点监视防御区公共服务试点

中国地震局地震预测研究所

“解剖地震”计划“十四五”实施方案*

■ 地震预测研究所

概况

中国是世界上地震灾害最为严重的国家之一，中国大陆成为全球板内地震最为活跃的地区。大地震样本少、入地观测困难和孕震机理复杂是制约地震预测研究的主要科学瓶颈。对典型震例进行深入解剖是揭示大震孕育发生机理最重要的科学途径。随着地震预测技术能力的提升和观测资料的丰富，解剖地震逐渐成为可能。通过深入解剖典型大地震并在此指导下开展实验观测研究，可为大震预测预报取得突破提供重要的科学基础。

为进一步提升我国地震科技水平和防震减灾能力，保障“两个一百年”奋斗目标地震安全，《国家地震科技创新工程》(以下简称《创新工程》)在2017年全国地震科技创新大会上正式推出，作为未来十年国家地震科技行动计划。“解剖地震”计划将深入详细解剖大地震典型震例，探索断层亚失稳机理、研究活动地块边界带成组地震的孕育演化规律、开展地震概率预测、利用新技术新方法建立强震孕育的数值模型、有目的地针对解剖地震科学研究发展地震监测技术，丰富和发展大陆强震理论，逐步深化对地震孕育发生规律的认识。

为全面贯彻落实十四五期间“解剖地震”工作，以中国地震科学实验场为主要平台，基于2017年11

月形成的解剖地震计划、2018-2020年解剖地震的工作成果、中国地震科学实验场2019年形成的1.0版速度模型、断层模型、形变模型、流变模型、重新定位地震目录、震源机制解目录、“去丛”地震目录、30年尺度强地面运动概率预测模型等8大科技产品和实验场科学设计、实验场区1.0版公共速度模型构建、实验场区运动学模型与重点构造部位动力学模型、实验场区公共断层模型、实验场3维密度结构、基于地球物理剖面的实验场精细地壳结构、四川长宁窗注水影响与机理研究、鲜水河-小江断裂带的闭锁状态、小江断裂带的深部构造活动行为与地震危险性估计、AI技术与地震监测系统的现场实验、新型地球化学传感器现场实验、实验场区遥感图像与主要构造视频等12项重要科技进展，特制定本实施方案。

一、指导思想

习近平总书记在唐山地震40周年之际发表重要讲话强调，同自然灾害抗争是人类生存发展的永恒课题。要更加自觉地处理好人和自然的关系，正确处理防灾减灾救灾和经济社会发展的关系，不断从抵御各种自然灾害的实践中总结经验。做好新时期防灾减灾救灾工作，要“两个坚持”、“三个转变”。这为做好防震减灾工作指明了方向和基本遵循，创新工程要紧紧围绕提高大震巨灾综合防范能力，坚持面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求，夯实

* 支撑新时代防震减灾事业现代化建设试点任务之五“预报员访学试点项目”成果，本文出自《关于印发国家地震科技创新工程“解剖地震”计划“十四五”实施方案的函》(震预函〔2020〕123号)。

科技基础、强化战略导向、加强科技供给，全力服务经济社会发展。

二、工作目标

以中国地震科学实验场为平台，完成选定地震的解剖，开展大震孕育发生机理研究；基于实验场区的大地测量学、地震学、地震地质学和地球化学等观测和探测资料，构建实验场区统一结构模型 1.0；重点围绕川滇菱形块体东边界，构建地震动力学概率预测模型 2.0，开展流体地球化学前兆机理研究，给出川滇活动地块东边界成组强震发生的演化规律；针对典型城市，基于浅层精细介质结构、设定地震破裂过程和地表承灾体数据，给出地震风险评估结果；基于断层亚失稳理论开展观测并研究前兆机理；针对川滇地区水库诱发地震、页岩气开采诱发地震等开展研究；探索人工智能在地震预测中的应用。

三、主要任务

(一) 典型地震解剖与大震孕育发生机理研究

研究任务：对汶川地震等典型震例进行深入解剖是揭示大震孕育发生机理最重要的科学途径。目前地震监测、探测技术与以往相比有了突破性的进展，时间和空间分辨率得到了大幅度的提高，为大地震解剖研究奠定了坚实的基础。

以汶川地震所在的龙门山断裂带强震孕育规律为解剖对象，探索巴颜喀拉地块东南边界的孕震模式，在已有各种地表观测资料、深部地壳结构、介质物性、现今地壳运动和构造变形等综合分析基础上，补充布设部分地球物理探测和地震地质工作，并结合岩石物理力学实验结果，提出龙门山构造带的地震孕育发生机理，并对观测到的地震前兆给出成因解释。

预期成果：充分收集已布设的各类高密度地震台阵、地震反射/折射、重磁电剖面和地球化学观测等资料，补充部分观测内容，构建沿龙门山断裂带的应力分布结构；通过重点收集 2008 年以来沿龙门山断裂带的活动断层精细调查研究结果，补充部分几何结构及活动性调查结果，构建精细的龙门山断裂带三维发震构造模型；结合 GNSS、InSAR 等跨断层连续观测数据，建立龙门山断裂带三维地壳运动学模型，并根据新数据增加，更新版本；给出龙门山断裂带的动力学模型，提出大陆板内推覆型逆冲走滑断裂的强震孕育动力学模型。

牵头单位：预测所

参与单位：中山大学、地质所、四川局等

项目执行期：2021-2025 年

项目负责人：邵志刚

工作安排：第一年度完成收集，整理已有工作成果的资料数据并转换入库，并构建沿龙门山断裂带的

应力分布结构；第二年度补充部分几何结构及活动性调查结果，构建精细的龙门山断裂带三维发震构造模型；第三年度建立龙门山断裂带三维地壳运动学模型，并根据新数据增加，更新版本；第四年度给出龙门山断裂带的动力学模型；第五年度提出大陆板内推覆型逆冲走滑断裂的强震孕育动力学模型。

(二) 中国地震科学实验场区统一结构模型 1.0

实验场的统一结构模型是综合介质模型、大地测量模型、流变模型、热力模型、广义地震目录，给出包含地震活动与断层运动在内的岩石圈结构，为区域强震孕育发生的相关研究提供深浅结构模型。

(1) 介质模型 2.0

研究任务：速度结构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、地震精确定位、震源机制、地震破裂过程的精确快速反演、地表强地面运动的可靠计算及震害评估等提供核心支撑。

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。目前为止已构建了川滇地区第一版的区域公共速度模型 SWChinaCVM-1.0。

在现有模型基础上，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），加入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，采用三维速度模型构建的体波与面波走时联合反演方法、三维地壳厚度模型构建的接收函数方法、多震相的体波走时联合反演方法及多尺度体波面波走时联合反演方法，获得中国地震科学实验场地区的速度结构模型 2.0。在重点断裂带区域的横向分辨率小于 5km，在密集台阵区域达到 20-30km，在其他区域的分辨率达到 40-50km。

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、大理断陷盆地、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。

圈定地壳内构造活动性强、高温异常和韧性流体分布的区域，推测中国地震科学实验场地区地壳物质流动的分布状态，为高原物质逃逸的动力学机制提供证据需要开展 Q 值层析成像研究，获取 Q 值成像模型。Q 值成像模型基于川滇地区的固定台站和临时布设的区域宽频带流动地震台阵、中国地震科学台阵探测 - 喜马拉雅 I 期、II 期的临时台站的观测资料，挑

选中等强度地壳内地震事件的高信噪比波形记录，建立川滇地区 Q 值衰减模型。

地壳介质的地震各向异性特性与地壳结构、应力状态、断裂性质等密切相关，下地壳的各向异性还可能与矿物晶体的定向排列或物质流动有关。虽然地震学家对造成地壳介质的地震各向异性有多种解释，岩石的节理或特定结构的排列方式、水平分层结构、应力的作用等都会造成各向异性，但地壳中存在的广泛扩容各向异性是地壳各向异性的主要原因。基于近场小震、远震和背景噪声资料计算结果，结合中国地震科学实验场地区的最新观测资料，构建地壳各向异性模型 1.0。

预期成果：中国地震科学实验场地区的三维速度模型 2.0、重点区域地壳浅层成像结果、中国地震科学实验场地区 Q 值成像模型 1.0、中国地震科学实验场地区地壳介质各向异性模型 1.0 版等。

牵头单位：预测所、中国科学技术大学

参与单位：四川局、云南局等

项目执行期：2021-2025 年

项目负责人：姚华建、高原

工作安排：第一年度完成收集整理已有工作成果的资料数据，并构建实验场地区的三维速度模型 2.0；第二年度获取重点区域地壳浅层成像结果；第三年度建立实验场地区 Q 值成像模型 1.0；第四年度给出实验场地区地壳介质各向异性模型 1.0 版等；第五年度提出综合介质模型 2.0。

(2) 大地测量模型 2.0

研究任务：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。以大地测量资料为基础的形变模型是进行地震解剖研究和地震预测的重要手段。

预期成果：近年来实验场区新增近 200 个连续 GPS 观测和各类项目流动 GPS 观测，基于中国地震科学实验场区大地测量观测结果，提供川滇地区空间可比、时间相关的大地测量数据产品。基于大地测量数据产品，给出川滇地区大地测量模型 2.0。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；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；为地震预测模型提供必需的输入数据。

牵头单位：预测所、广东工业大学

参与单位：武汉大学、一测中心等

项目执行期：2021-2025 年

项目负责人：王华、孟国杰

工作安排：第一到三年度开展 GNSS 站点的加密观测和 GNSS 数据的精细处理，为地块运动模型、断层运动模型等提供输入数据；完成川滇地区统一参考基准的构建，开展 GNSS 水准与水准资料联合平差方法研究，给出川滇地区三维地壳运动场；结合 GNSS 形变时间分辨率高和 InSAR 资料空间分辨率高的优势，发展高精度的融合策略，给出川滇地区鲜水河断裂带和龙日坝断裂带周边高精度、高分辨率连续形变场；第三到四年度基于川滇地区三维地壳形变场，结合区域活动断裂空间分布特征，研究基于数据驱动的活动块体划分策略，作为川滇地区活动块体精细划分提供重要参考依据；第四到五年度系统评价多种应变率解算方法的可靠性和结果的准确性，并结合区域活动块体划分和断层空间分布特征，给出川滇地区应变率场模型；基于川滇地区地壳形变场的时空分布特征，利用最优的应变率解算策略，给出川滇地区应变率场的时空分布特征；基于川滇地区密集的 GNSS 观测，研究断层活动反演方法，给出川滇东边界甘孜-玉树-鲜水河断裂、安宁河断裂、则木河断裂和小江断裂不同段落的分段活动滑动速率和闭锁深度；基于鲜水河断裂和龙日坝断裂 GNSS 与 InSAR 的联合震间形变场产品，研究 GNSS 与 InSAR 联合反演方法，给出鲜水河断裂和龙日坝断裂部分段落 2 维断层面的震间滑动分布；第五年度基于川滇东边界和滇西地区密集的 GNSS 观测，建立区域主要走滑和正断层的大地测量变形模型和不同孕震阶段的断层变形模型，定量分析未来地震危险性。

(3) 热力学模型 1.0

研究任务：在中国地震科学实验场开展更广泛更深入的温泉流体地球化学流动监测，建立温泉流体地球化学数据库；在川滇地区深部流体上涌强烈区域，架设温泉气体地球化学多组分监测站；为流体地球化学前兆机理研究提供模型和数据支撑。

预期成果：基于地球化学观测构建区域动力学模型；基于温泉点的观测数据，构建川滇地区更精细的热力学模型 1.0。

牵头单位：预测所

参与单位：国家自然灾害防治研究院、台网中心等

完成时间：2025 年

项目负责人：周晓成、陈志

工作安排：第一年度完成基于地球化学观测构建区域动力学模型的方法调研研究；第二年度开展更广泛更深入的温泉流体地球化学流动监测，建立温泉流体地球化学数据库；第三年度在川滇地区深部流体上涌强烈区域，架设温泉气体地球化学多组分监测站；

第四 - 五年度给出构建川滇地区更精细的热力学模型 1.0。

(4) 流变模型 2.0

研究任务：流变结构对岩石圈变形的影响非常大。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。震后形变因其包含有地球介质的流变信息，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。

预期成果：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。故可采用岩石实验室资料、温泉流体实测获得的热力学模型揭示的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，从而进一步分析中国地震科学实验场地区流变模型 2.0 并应用于地球动力学模拟中。

牵头单位：预测所

参与单位：二测中心等

项目执行期：2021-2025 年

项目负责人：徐晶

工作安排：第一到二年度获取岩石实验室资料、温泉流体实测数据等基础资料；第三年度壳幔温度状态以及震间期 GPS 观测资料获取；利用基础资料获取流变参数的方法研究；第四到五年度在川滇地区深部流体上涌强烈区域，架设温泉气体地球化学多组分监测站；第四 - 五年度获取实验场地区流变模型 2.0 并应用于地球动力学模拟中。

(5) 广义地震目录 2.0

研究任务：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。因此需要获取广义地震目录。

预期成果：获得中国地震科学实验场地区已有的地震目录包括震源参数 (空间位置、发震时刻、震级、震源机制解等)、重定位地震目录和强震动力学过程参数 (破裂过程、同震滑移分布、余震分布等)。

牵头单位：预测所、四川局、云南局等

项目执行期：2021-2025 年

项目负责人：龙峰

工作安排：第一到二年度获取实验场区域地震波形等基础资料；第三年度获取实验场地区的地震目录

包括震源参数 (空间位置、发震时刻、震级、震源机制解等)；第四年度获取重定位地震目录和强震动力学过程参数 (破裂过程、同震滑移分布、余震分布等)；第五年度广义地震目录 2.0。

(6) 地震概率预测模型 2.0

研究任务：基于统一结构模型，以大地测量模型为约束，通过数值模拟和反演等方法分析区域地震活动，探索实验场区内主要断裂带孕震过程中断层运动、断层应力、复发过程等基本特征，探索可能的中国大陆强震物理预报方法；基于地震地质研究结果、大地测量观测、强震活动等关于强震物理过程的研究结果，综合相关强震预测结果给出长期强震综合概率预测模型。

预期成果：获得中国地震科学实验场地区的地震概率预测模型 2.0。

牵头单位：预测所

参与单位：台网中心等

项目执行期：2021-2025 年

项目负责人：王芃

工作安排：第一到二年度通过数值模拟和反演等方法分析区域地震活动特征；第三年度获取实验场区内主要断裂带孕震过程中断层运动、断层应力、复发过程等基本特征；第三年度获取重定位地震目录；第四年度获取基于地震地质研究结果、大地测量观测、强震活动等基础数据；第五年度综合相关强震预测结果给出长期强震综合概率预测模型。

(三) 断层亚失稳观测与前兆机理研究

研究任务：断层亚失稳阶段位于峰值应力和失稳时刻之间，是地震发生前的最后阶段。构造物理实验表明应力加速释放和断层加速协同化是此阶段的重要特征。有必要在实验室进一步研究影响亚失稳态断层演化的各种因素，建立野外实验台网，开展断层亚失稳状态的监测研究。抓住不同构造部位相互作用以及多物理场的演化特征，完善断层亚失稳理论，使之成为认识地震前兆机理的理论基础。相关结果对于了解地震机理，判断失稳的临近十分重要，也可使抽象的理论研究逐步接近实际，更有效地为地震预测服务。

预期成果：基于构造物理实验获取断层亚失稳阶段多种物理场与微破裂的时空演化特征；断层亚失稳观测方案；进入亚失稳阶段的判据与方法；适合描述断层亚失稳过程的物理模型与数值模型；强震发生的前兆特征及其物理机理；完善的断层亚失稳模型。

牵头单位：地质所

参与单位：预测所等

项目执行期：2021-2025 年

项目负责人：陈顺云

工作安排：第一到二年度通过构造物理实验研究断层亚失稳理论；第三年度建立野外实验台网，开展断层亚失稳状态的监测研究、获取重定位地震目录；第四年度完善断层亚失稳理论，使之成为认识地震前兆机理的理论基础；第五年度给出综合实验室和野外观测完善的断层亚失稳模型。

(四) 川滇菱形块体东边界强震成组演化规律研究

川滇菱形块体东边界是我国西部强震频发区域，是中国大陆典型大型走滑断裂带。自公元 1300 年以来，该边界的强震活动已经历了多个活跃期，而且多个断层段为强震原地复发区。针对典型地震和典型异常开展“解剖”工作，系统梳理强震过程的已有各类观测、考察和研究资料，综合边界带三维精细介质和断层构造模型，分析相关时空变化，推进构建区域震源物理模型和三维运动学模式等，进行大震孕育发生机理研究。

(1) 复杂构造部位构造变形模型

研究任务：利用活动地块边界带断层活动性、历史强震破裂、古地震、震害和野外调查资料，对研究区断裂进行破裂分段，给出研究区强震时空分布特征，探讨强震成组活动期地震活动特征与地震平静期地震活动特征的差异性。

系统梳理川滇菱形块体东边界（包括毗邻的龙门山断裂带）已有断裂的几何学、运动学和活动特征、梳理断裂带历史强震（1900 年仪器记录地震之前）记录及应用现代科学震级评定办法重新评估其震源参数；根据已有的地震地质研究结果，结合区域构造变形、形变测量和地球物理资料，建立目标地块及其周缘构造带变形模式和区域地震构造模型；重点开展小江断裂带北端与莲峰 - 昭通断裂带交汇区的活动断层精细调查研究，探讨交汇区走滑断裂与逆冲断裂在空间上的转换模式，通过详尽的遥感解译和变形地貌分析，建立交汇区内强震复发模式；重点开展石棉附近鲜水河断裂、则木河断裂、大凉山断裂及龙门山断裂西南段交汇区内的活动断层调查研究，讨论走滑断裂与逆冲断裂的转换关系，讨论四条主要构造带的历史强震规模及地震成组规律。

预期成果：建立川滇菱形块体东边界（包含毗邻的龙门山断裂带）的构造变形模式和区域地震构造模型，提出东边界成组地震的孕育演化规律，提出东边界的未来强震危险区段及发震能力。

牵头单位：预测所

参与单位：地质所、四川局、云南局等

项目执行期：2021-2025 年

项目负责人：徐岳仁

工作安排：第一到二年度建立川滇菱形块体东边界（包含毗邻的龙门山断裂带）的构造变形模式；第三年度建立区域地震构造模型；第四年度提出东边界成组地震的孕育演化规律；第五年度提出东边界的未来强震危险区段及发震能力。

(2) 断裂温泉水文地球化学循环模型

研究任务：在川滇菱形块体东边界开展广泛深入的温泉流体地球化学流动监测，建立温泉流体地球化学数据库；不断遴选出反映深部流体运移和地震预测效能好的流体地球化学敏感点。在主要断裂带温泉敏感点，布设温泉水化定点监测采样点，建立主要断裂温泉水文地球化学循环模型，给出断裂带内水文地球化学循环，对断裂的闭锁程度和裂隙变化作出判断，分析地震前兆机理。

预期成果：提取地震短临前兆异常，对比空间应力场变化，结合断裂带岩石处于亚失稳态时引发流体变化的特征，给出温泉气体地震短临前兆特征。

牵头单位：预测所

参与单位：国家自然灾害防治研究院、台网中心、天津大学等

项目执行期：2021-2025 年

项目负责人：周晓成

工作安排：第一到三年度开展广泛深入的温泉流体地球化学流动监测，建立温泉流体地球化学数据库；第四年度在主要断裂带温泉敏感点，布设温泉水化定点监测采样点，开展持续观测；第五年度建立主要断裂温泉水文地球化学循环模型，分析地震前兆机理。

(3) 断层运动模型

研究任务：基于川滇菱形块体东边界各断层段的 GPS 观测剖面，通过反演确定各断层段的现今断层运动特征，针对处于不同孕震阶段的断层运动特征，构建大陆走滑断层强震孕育的断层运动模型。

预期成果：基于断层运动模型，判定川滇菱形块体东边界各断层段的孕震阶段。

牵头单位：预测所、中国地质大学（武汉）

参与单位：河海大学、地质所、天津大学等

项目执行期：2021-2025 年

项目负责人：郑勇

工作安排：第一到三年度对川滇菱形块体东边界各断层段的 GPS 观测剖面进行系统梳理，研究基础数据；第四年度反演确定各断层段的现今断层运动特征；第五年度构建大陆走滑断层强震孕育的断层运动模型。

(4) 利用重复地震分析断层运动

研究任务：利用地震的精确定位和重复性等研究，对断裂带进行几何和活动性分段，分析断层的不同孕震阶段、现今运动特征和深部作用。进一步提炼川滇菱形块体东边界重点断层段的断层运动、断层应力等震源物理特征。综合活动地块历史构造演化过程、活动地块对边界带主要断裂变形控制作用、变形机制及现今运动特征等相关研究结果，应用波形反演技术，为构建川滇菱形块体东边界区域震源物理模型打下基础。

预期成果：基于重复地震研究成果，分析典型活动地块运动和变形对强震迁移和触发的控制作用，推进构建边界带强震发生的动力学模式。

牵头单位：预测所

参与单位：中国科学院地质与地球物理研究所等

项目执行期：2021-2025 年

项目负责人：李乐

工作安排：第一到二年度对断裂带进行几何和活动性分段；第三年度分析断层的不同孕震阶段、现今运动特征和深部作用；第四年度分析典型活动地块运动和变形对强震迁移和触发的控制作用；第五年度构建边界带强震发生的动力学模式。

(5) 概率预测模型

研究任务：与时间无关的震级、地点概率预测：结合大地测量模型给出的断层运动时空变化与地震学观测，给出基于观测的推算震级；根据断层级联破裂研究结果，利用断层阶跃距离、走向变化、倾角变化和孕震层深度变化等给出可能的断层破裂方式，并结合断层面上库仑应力的时空演化研究结果给出震级理论约束；根据历史地震信息给出历史震级的约束，结合三者给出各断层段破裂组合的概率。

与时间有关的概率预测：结合大地测量模型与不同孕震阶段的断层运动特征，使用大地测量方法给出断层的孕震阶段；根据历史强震时序特征给出各断层段的离逝率，综合给出各断层段长期发震概率。

预期成果：各断层段破裂组合的概率预测模型。

牵头单位：预测所

参与单位：台网中心等

项目执行期：2021-2025 年

项目负责人：王芃

工作安排：第一到二年度开展与时间无关的震级、地点概率预测；第三年度分析断层的不同孕震阶段、现今运动特征和深部作用；第四年度开展与时间有关的概率预测；第五年度给出各断层段破裂组合的概率预测模型。

(6) 强震成组活动动力学机制

研究任务：基于断层运动、强震复发模型、统一结构模型，确定川滇菱形块体东边界凹凸体空间分布及相关物理性质，基于摩擦本构律，分析断层几何性质、摩擦性质等对级联破裂的影响，探索边界带成组强震发生的机制和演化规律。

预期成果：给出川滇菱形块体东边界强震成组活动的动力学机制。

牵头单位：预测所

参与单位：中国科学院大学、地质所等

项目执行期：2021-2025 年

项目负责人：刘月

工作安排：第一到三年度确定川滇菱形块体东边界凹凸体空间分布及相关物理性质；第四年度分析断层几何性质、摩擦性质等对级联破裂的影响；第五年度探索边界带成组强震发生的机制和演化规律。

(五) 地震监测新技术实验及其在风险评估中的应用

研究任务：增强“解剖地震”研究在防震减灾应用方面的示范效应。让城市地下透明，是为了更好地了解城市地下安全基石和可能存在的灾害风险，更好地规划和应用城市发展空间，建设韧性城市。大理市是典型的高原山地城市，建立在地震断裂带之上，地下构造复杂，地表和地下水系发育，强震风险高，地面沉积、滑坡和泥石流等地质灾害频繁。

以大理市为试点，将城市地下密布的通信光缆和专用光缆建设为城市地下振动和形变智慧感知系统，结合主被动源监测手段，实现城市地下透明、动态监测的观测网络。

预期成果：城市地下浅层三维精细速度与衰减结构和场地响应特征；结合断层破裂的运动学及动力学过程模拟，利用高性能计算平台进行地震波在复杂介质中的传播过程计算，获得大理地区地表地震动时程图和峰值分布图，服务于大理工程抗震设计、地震灾害预测、断层破裂模型验证等。

牵头单位：预测所

参与单位：中国科学技术大学、南方科技大学等

项目执行期：2021-2025 年

项目负责人：王伟君

工作安排：第一到三年度获得大理地区浅层结构、场地响应特征、地表地震动时程图和峰值分布图；第四到五年度将研究成果服务于大理工程抗震设计、地震灾害预测、断层破裂模型验证等。

(六) 水库诱发地震研究

研究任务：金沙江下游自南向北穿过川滇菱形块体中部，在高山峡谷处依次兴建了金沙江下游的乌东德、白鹤滩、溪洛渡、向家坝4座世界级梯级电站，这些大型电站所在河段多属区域地质构造不稳定地区，区域地质条件复杂，不仅存在强震危险的背景，还存在强烈的潜在水库地震危险性。库容高达205.1亿 m^3 的白鹤滩水库位于川滇块体中部、NE与NNW、NW向大型断裂交汇部位，并计划于2021年7月蓄水，在十四五期间该水库要经历水位大幅度上升~保持高水位年变的过程，对库区的应力场进行加载和调整，水库诱发地震危险性评价结果存在6级诱发地震危险，是开展解剖地震研究的最佳试验场。在十四五期间，计划在金沙江下游布设密集地震观测台阵，基于人工智能监测技术和地震学、数值模拟等，开展与蓄水过程和流体作用相关的库区孕震环境、断层应力响应、地震活动时空特征、震源动力学特征等多个方面的监测和研究，关注对水库区 M_5 以上较大地震以及水库地震丛集（序列）特征的解剖和认识，为“解剖地震”理论的建设提供水库诱发地震的内容。主要研究任务：

将人工智能地震监测技术应用于水库地震台网，实现地震定位和机制解的实时产出，为震情监测和解剖地震提供基础信息。

采用模板识别技术及结合波形互相关等方法，分析地震监测数据，获取研究区高精度的地震目录，精细分析蓄水过程与地震发生时、空图像的关系。跟踪川滇1号强震危险区和金沙江下游水库区的地震活动时空演化过程，尤其是全面监测白鹤滩水电站在蓄水先、后的地震活动过程。

开展库区蓄水前后高精度三维波速、波速比结构、衰减结构成像等研究，推断地下流体的分布状态，分析库区地震尤其是较大地震发生的深部环境特征，讨论蓄水前后地下流体在库区的渗透和扩散及其对地震活动的影响。结合断层带首波等方法，探测东边界地区主要断裂带和水库区可能的孕震环境。

开展库区 $M_{2.5}$ 以上地震震源机制解反演和应力降等震源参数计算，跟踪应力场动态过程，分析震源参数的变化及其与构造地震的差异性，深入分析水库地震的震源动力学特征。

预期成果：构建精细的水库数值模型和库区构造模型，定量计算白鹤滩水库蓄水后周围主要断层上的动态应力响应，分析断层面上库伦应力变化、库水变化和地震活动三者之间的动态响应关系，探讨地震发生机理。

牵头单位：预测所

参与单位：四川局、云南局、物探中心等

项目执行期：2021-2025年

项目负责人：赵翠萍

工作安排：第一到三年度构建精细的水库数值模型和库区构造模型；第四年度定量计算白鹤滩水库蓄水后周围主要断层上的动态应力响应；第五年度分析断层面上库伦应力变化、库水变化和地震活动三者之间的动态响应关系，探讨地震发生机理。

(七) 页岩气开采诱发地震研究

研究任务：未来二十年中国将成为仅次于北美的全球第二大页岩气产区。我国的大部分页岩气资源埋藏较深（1500到4500米不等），大量注水压入地下深处，存在较大的潜在注水诱发地震风险。计划跟随全国页岩气开采进程，在全国几大主要开采区开展加密观测和调研（如新疆、四川盆地等），全面收集深部废水注射数据和开采区微震数据；以我国页岩气国家级先行开采区（昭通勘探开发区、富顺-永川勘探开发区）为重点研究示范区，实施加密观测和井下地震监控。运用前沿的地震学方法和技术，开展微震识别、地震活动时空迁移、震源机制、地震活动统计特征等研究。

预期成果：定量计算和分析页岩气开采注水引起开采区的应力变化及其与地震的关系，探讨诱发地震发生机制、发生条件及预测方法。

牵头单位：地球所

参与单位：预测所、中国科学技术大学等

项目执行期：2021-2025年

项目负责人：吴庆举、赵翠萍

工作安排：第一到三年度定量计算和分析页岩气开采注水引起开采区的应力变化；第四年度探讨诱发地震发生机制；第五年度探讨诱发地震发生机制、发生条件及预测方法。

(八) 人工智能在地震预测中的应用

研究任务：依据大震前地震活动增强现象，我国成功地预报了海城地震、孟连地震、共和地震强余震、伽师地震及岫岩地震等。未来5年，以川滇地区近年来 $M_{6.0}$ 以上地震事件作为震例，应用人工智能与大数据挖掘技术，分析这些地震发生前震源区的连续地震记录，研发自动识别微小地震事件的技术，分析异常地震活动频次、波形特征及其时间变化过程等，分析异常波形的成因及其所揭示的孕震环境和动力学信息，探索和提取强震前连续地震波形记录中的前兆信息。

预期成果：基于人工智能方法，提取出强震前连续地震波形记录中的前兆信息等，探索人工智能在地震预测中的应用。

牵头单位：中国科学技术大学、预测所等

项目执行期：2021-2025 年

项目负责人：张捷、赵翠萍

工作安排：第一到二年度人工智能方法研究；第三年度提取出强震前连续地震波形记录中的前兆信息等；第四到五年度探索人工智能在地震预测中的应用。

四、预期成果

到 2025 年以中国地震科学实验场为平台，完成汶川地震的解剖和大震孕育发生机理研究；基于实验场区的大地测量学、地震学、地震地质学和地球化学等观测和探测资料，完成实验场区统一结构模型 1.0 的构建，其中包括介质模型 2.0、地壳各向模型 1.0、流变模型 2.0、广义地震目录 2.0、Q 值衰减模型 1.0、热力模型 1.0 等；围绕川滇菱形块体东边界强震成组演化规律研究，完成地震动力学概率预测模型 2.0 的构建，复杂构造部位构造变形模型、利用重复地震分析断层运动、断裂温泉水文地球化学循环模型、概率预测模型等，最终给出川滇活动地块东边界成组强震发生的演化规律；针对大理等典型城市，基于浅层精细介质结构、设定地震破裂过程和地表承灾体数据，给出地震风险评估结果；在重点区域，完成地震大数据建模等研究；针对川滇地区重要水库，完成诱发地震研究；探索人工智能在地震预测中的应用。

五、保障措施

(一) 组织管理

“解剖地震”计划研究在中国地震局统一领导下，由中国地震局地震预测研究所牵头组织，地震系统内外多家科研院所、高校、中心、省局和企业等联合参与。本计划下设领导小组、专家委员会、协调组和项目管理办公室，负责计划的顶层设计，广泛动员社会力量，开展协同攻关，发挥导向作用，为国家地震科技创新工程的顺利实施打下坚实的基础。

领导小组负责落实中国地震局关于国家地震科技创新工程实施工作的统筹、协调、决策和部署，围绕本计划确定的目标和任务认真谋划工作格局，保障计划的任务实施条件，审定计划实施中的重大事项，解

决计划实施中的重大问题。

专家委员会负责指导本计划实施的科技创新任务，指导编制实施计划，对计划实施的重大科技和经费问题进行咨询和审议。

协调组主要负责计划的组织协调，完善管理方式，加强政策协调，发挥好计划的协调单位作用。围绕本计划的实施，协调创新团队建设和人才队伍建设，促进科研资源的有效配置。负责联合各大部委、国内外高校和科研院所，获得智力支持，为计划的顺利实施提供人才保障。同政府、高校、企业、以及其他科研院所的科学技术管理部门、资助机构和学术组织建立联系并开展交流合作。配合支持国家地震科技创新工程的其他计划。

项目管理办公室以 S2I3 (Systematic 系统的, Strategic 战略的; Interactive 交互的, Inclusive 包容的, Innovative 创新的) 模式，围绕计划开展立项与实施。落实中央财政科研项目资金管理相关政策措施。完成本计划相关的年度地震科技创新和进展成果汇集工作；参考发达国家同期地震科技进展，分析、对比、展示本计划的关键性指标，提交阶段性成果进展报告。围绕本计划产出，面向公众推出可直观展示的科普产品，推动科技成果示范及应用转化工作。

(二) 工作机制

每季度对“解剖地震”工作进行一次进展总结，形成简报。

每年组织对“解剖地震”工作进展和绩效进行考核。

每年针对“解剖地震”的科技产品，按科技期刊文章的规范流程开展评审、给与正式的 DOI 编号，公开共享。

在中国地球科学联合会、美国地震学会年会等大型会议中，组织“解剖地震”专题，针对工程的科学问题及进展开展研讨。

逐步形成解剖地震的技术清单。

加强科技创新支撑新时代防震减灾事业现代化建设
全国地震重点监视防御区公共服务

试点 工作通讯目录

预报员访问学者导师聘任管理办法
“解剖地震”计划“十四五”实施方案

2021年第1期(总第22期)
2021年第2期(总第23期)

编委会

王武星 王琳琳 田勤俭 汤毅 孙汉荣 吴忠良 李营 杨林章 张永仙 张晓东 邵志刚
赵翠萍 黄伟

编辑部:

中国地震局地震预测研究所科研管理部
E-mail:sycglb@ief.ac.cn