



中国地震局工程力学研究所  
Institute of Engineering Mechanics, CEA

密级：公开

国家重点研发计划项目  
融合美国 NGA 模型的中国大陆西部地区  
地震动预测方程研究

系列研究报告（五）

2007-2020 年强震动记录对应地震的  
震源数据库建设

中国地震局工程力学研究所

2023 年 6 月

0002YF 2019YFE0115700 2020-11-21 21:23:07



# 说 明

本报告是由中国地震局工程力学研究所牵头的国家重点研发计划项目《融合美国 NGA 模型的中国大陆西部地区地震动预测方程研究》（编号：2019YFE0115700）产出的成果，报告中所涉及的一切内容和观点仅代表此项目研究结果，而非任何个人和集体。

本报告编写人员：王宏伟、李虹锐、任叶飞、温瑞智

**中文引用格式：**王宏伟, 李虹锐, 任叶飞, 温瑞智. 2023. 2007-2020 年强震动记录对应地震的震源数据库建设[R]. 国家重点研发计划项目融合美国 NGA 模型的中国大陆西部地区地震动预测方程研究系列研究报告（五）.

**英文引用格式：**Wang HW, Li HR, Ren YF, and Wen RZ. 2023. Explanation on the source database for earthquakes corresponding to the strong-motion recordings from 2007 to 2020 [R]. Report No. (5) of National Key R&D Program of China Entitled Ground Motion Prediction Equations in Western China with US NGA Models Incorporated.

# 申 明

本报告著作权归属作者本人及国家重点研发计划项目《融合美国 NGA 模型的中国大陆西部地区地震动预测方程研究》（编号：2019YFE0115700）项目组，任何人未经允许不得转载、不得在各种网络平台转发、不得用于任何商业行为，否则将追究其法律责任。

## 致 谢

感谢北京大学赵里教授、四川省地震局易桂喜研究员、陕西省地震局杨宜海研究员提供的地震震源机制解。感谢北京大学张勇教授、中国科学院青藏高原研究所王卫民研究员、中国地震局地球物理研究所张旭研究员、中国科学院地质与地球物理研究所郝金来副研究员、中国地震局地震研究所刘刚副研究员、南方科技大学地球与空间科学系郑傲提供的地震破裂模型反演结果。感谢北京大学张勇教授、防灾科技学院万永革教授、四川省地震局易桂喜研究员、中国地震台网中心代光辉教高对地震基本信息、震源机制解、大震破裂面收集整理中存在问题的解答。

感谢中国地震局地球物理研究所俞言祥研究员对震源数据库的架构设计提出的宝贵建议；感谢本项目美方合作团队负责人 Yousef Bozorgnia 教授对本项工作提出的宝贵意见和建议。

本项工作受国家重点研发计划项目（编号：2019YFE0115700）、国家自然科学基金项目（编号：51878632）、黑龙江省自然科学基金杰出青年项目（JQ2023E002）、黑龙江省自然科学基金优秀青年基金项目（YQ2019E036）和黑龙江省头雁行动计划共同资助完成。

# 目 录

1 震源基本信息及震源机制.....	1
2 大震破裂面.....	4
参考文献.....	8

# 1 震源基本信息及震源机制

针对《2007-2020 年强震动记录波形质量核查》报告中 11078 组强震动观测记录所涉及的 1942 次地震，本报告从中国地震台网地震目录中逐一查找这些地震的基本信息，确定了 1897 次地震的基本信息，包括发震时刻（北京时间，格式为：yyyy-mm-dd hh:mm:ss）、地震名称（省+县/市/区，例如四川泸定）、震中位置（如图 1 所示）、震源深度、震级、震级类型（ $M_L$  或  $M_S$ ），其中有 45 次地震在中国地震台网地震目录并未查找到，因此本报告不包含这 45 次地震，同时这些地震所对应的 543 组强震动观测记录也不再予以考虑。2009 年 1 月 1 日之后发生的地震的基本信息来源于中国地震台网正式地震目录

（[https://data.earthquake.cn/datashare/report.shtml?PAGEID=earthquake\\_zhengshi](https://data.earthquake.cn/datashare/report.shtml?PAGEID=earthquake_zhengshi)），但 2009 年后的个别地震（包括：2009-02-20 18:02:29 新疆柯坪 5.2 级地震、2010-06-22 15:24:25 新疆乌恰 3.8 级地震、2016-03-05 19:20:22 云南勐腊 4.6 级地震、2018-09-15 09:13:13 吉林松原 4.5 级地震、2020-01-18 00:09:21 新疆伽师 3.9 级地震）的基本信息来源于中国地震台网速报目录（[https://data.earthquake.cn/datashare/report.shtml?PAGEID=earthquake\\_subao](https://data.earthquake.cn/datashare/report.shtml?PAGEID=earthquake_subao)），2007-2008 年发生的地震的基本信息均来源于区域子网地震目录（包括南北地震带子网、天山地震带子网、青藏高原子网）。

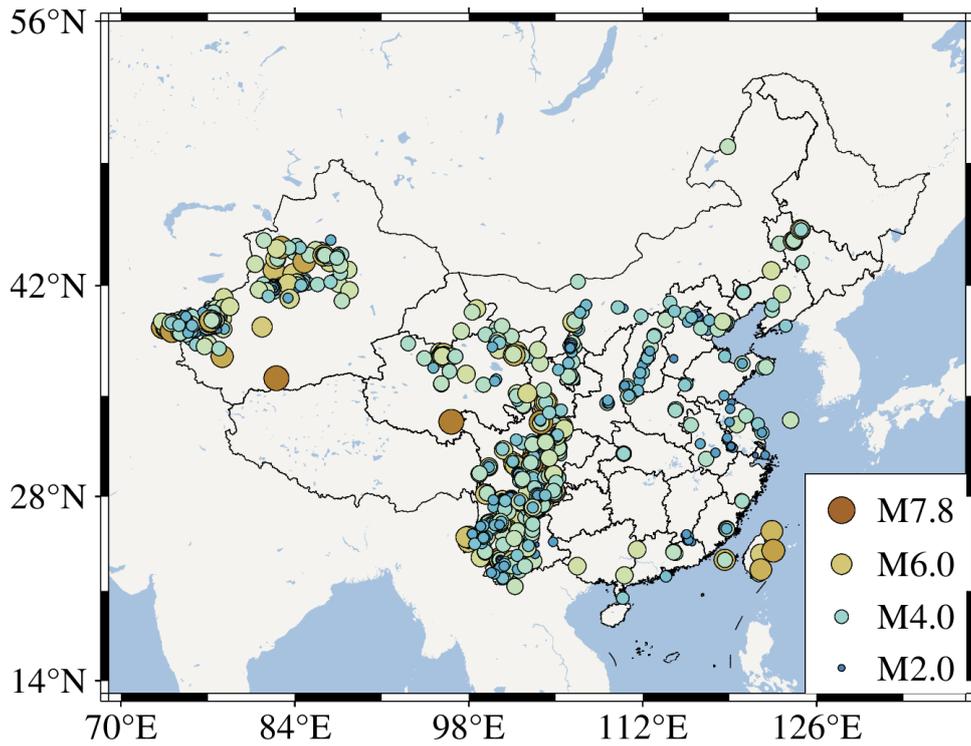


图 1 地震震中位置

地震震源机制包括矩震级 ( $M_w$ )、两个节面的走向角 ( $\theta$ )、倾角 ( $\delta$ ) 和滑动角 ( $\lambda$ )、张应力轴倾角 (T-Plunge)、压应力轴倾角 (P-Plunge)、零轴倾角 (B-Plunge)、断层类型 (TOF)，震源机制解来源于专业机构及大量文献提供的结果，主要包括 2000-2014 年云南省地震统一矩张量解 (Xu 等, 2020)、2009-2017 年中国西南地区地震矩张量解 (Wang 和 Chu, 2020)、1976-2016 年云南省地震矩张量解 (Tian 等, 2019)、2008-2018 年龙门山断裂带地震的震源机制解 (杨宜海等, 2021)、四川汶川/芦山/九寨沟/长宁地震序列的震源机制解 (易桂喜等, 2012, 2016, 2017, 2019)、2008 年新疆乌恰地震序列的震源机制解 (唐兰兰等, 2012)、2014 年云南景谷地震序列的震源机制解 (谢张迪和韩竹军, 2019)、2016 年新疆呼图壁地震序列的震源机制解 (刘建明等, 2018) 等 70 余篇国内外公开发表的学术论文以及中国地震

局公开发布的中国大陆及邻区震源机制数据集（2009-2021 年）（<https://data.earthquake.cn/datashare/report.shtml?PAGEID=datasource1ist&dt=ff8080827e4d6cf5017f1f5b440d0019>） 、 Global CMT（<https://www.globalcmt.org/>）等机构。对于单次地震由多个文献或机构均给出震源机制解的情况，根据计算震源机制解所采用的数据，按照区域台网数据优先于全球台网数据的原则，推荐了震源机制解，数据集中 flag\_focal\_mech 为 1 表示为推荐值，0 表示为不推荐值。地震断层类型根据 Zoback（1992）世界应力图的 T/B/P 轴倾角进行分类，分为正断（NF）、正断走滑（NS）、走滑（SS）、逆冲走滑（TS）、逆冲（TF）、不确定（U）六类。

本数据集最终汇编了 1043 次地震的震源机制解，854 次地震未获得震源机制解，获取到震源机制解的地震的震中位置如图 2 所示，主要分布在南北地震带和天山地震带上，获得和未获得震源机制解的地震的震级分布直方图如图 3 所示，大多数 4 级以上地震获得了震源机制解，多数 3 级以下地震未获得震源机制解，图 4 给出了不同断层类型的地震的占比情况，已获得震源机制解的地震中，逆冲（TF）最多，走滑（SS）次之，不确定（U）再次之，而正断走滑（NS）最少；其中 UA 表示未获得震源机制解的地震。

地震的震源基本信息及震源机制解数据详见 CN\_Flatfile\_EQ\_Focal\_Mechanism\_Database.xlsx。

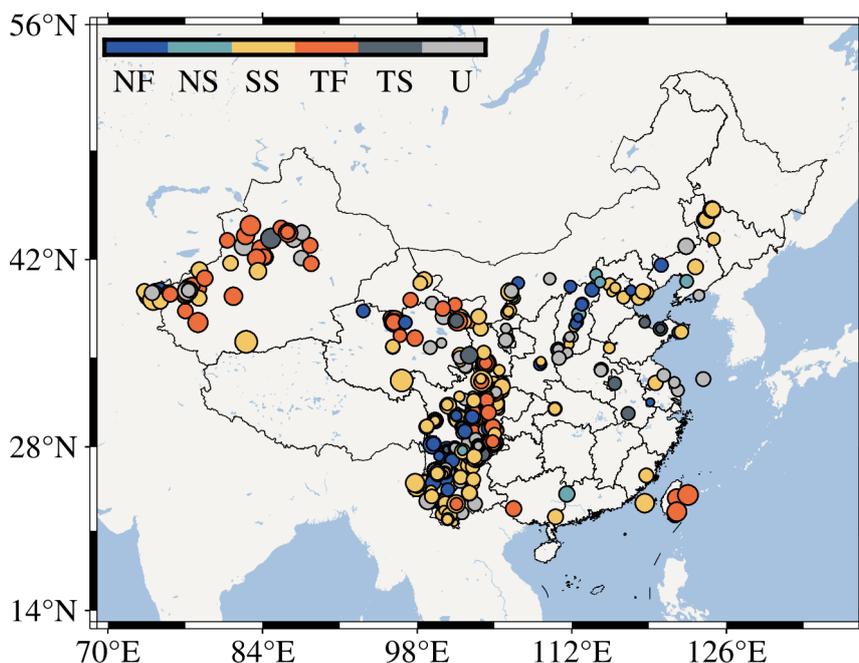


图 2 获得震源机制解的地震的震中位置

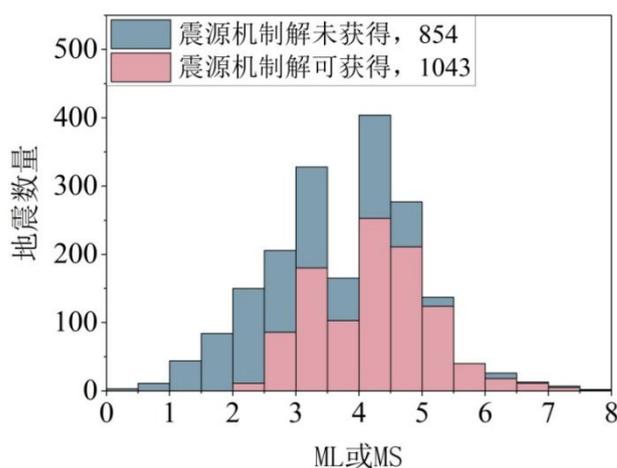


图 3 震级分布直方图

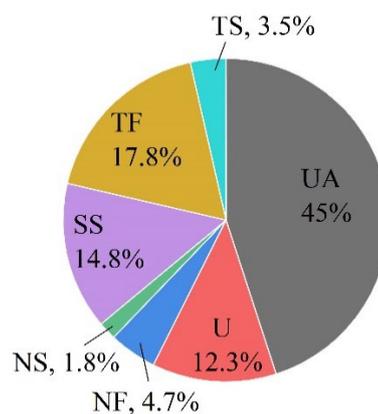


图 4 不同断层类型地震占比

## 2 大震破裂面

针对 2007-2020 年我国强震动观测台网记录所对应的  $M \geq 6.0$  地震，查阅相关文献确定了 18 次地震的震源破裂面信息，包括沿走向的破裂面长度 ( $L$ )、沿倾向的破裂面宽度 ( $W$ )、破裂面积 ( $A$ )、破裂面顶端深度 ( $Z_{TOR}$ )、破裂面走向角 ( $\theta$ )、破裂面倾角 ( $\delta$ ) 及破裂滑动角 ( $\lambda$ )，破裂面示意如图 5 所示。

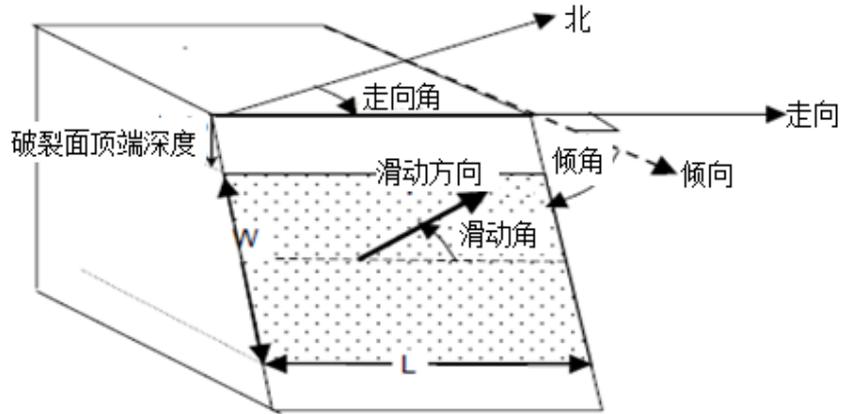


图 5 震源破裂面示意图（引自徐培彬(2019)）

地震学家基于各类地震观测数据（远震资料、大地测量数据、近场强震动数据等）发展了多种有效的震源破裂过程的反演方法，给出大地震的震源运动学破裂模型。单一类型观测资料难以保证对震源区的有效覆盖，且包含的震源信息具有局限性，基于近震动态数据、远场测震数据及大地测量等观测资料的震源破裂过程联合反演，可以利用不同类型观测数据敏感性上的优势，更好地约束震源破裂过程，更精细地刻画震源破裂细节，显著提高反演的可靠性。本数据集收集了不同研究给出的 17 次地震的 26 个震源破裂模型，包括 2007 年 6 月 3 日云南宁洱  $M_s6.6$  地震（张勇等, 2008）、2008 年 5 月 12 日四川汶川  $M_s7.8$  地震（Fielding 等, 2013; Hayes 等, 2017）、2008 年 10 月 5 日新疆乌恰  $M_s7.1$  地震（苏金荣和郭志, 2013）、2012 年 6 月 30 日新疆新源  $M_s6.6$  地震（王琼等, 2015）、2013 年 4 月 20 日四川芦山  $M_s7.0$  地震（Hao 等, 2013; Zhang 等, 2014; 王卫民等 2013）、2013 年 7 月 22 日  $M_s6.7$  甘肃岷县地震（孙蒙等, 2015）、2014 年 8 月 30 日云南鲁甸  $M_s6.6$  地震（张勇等, 2015）、2014 年 10 月 7 日云南景谷  $M_s6.9$  地震（张勇等, 2014）、2014 年 11 月 22 日四川康定  $M_s6.4$  地震（Zhang

等, 2021)、2015 年 7 月 3 日新疆皮山  $M_s6.5$  地震 (王洵等, 2019; Ainscoe 等, 2017)、2015 年 1 月 21 日青海门源  $M_s6.4$  地震 (郑绪君等, 2018)、2016 年 11 月 25 日新疆阿克陶  $M_s6.8$  地震 (张旭等, 2017; Li 等, 2018)、2016 年 12 月 8 日新疆呼图壁  $M_s6.2$  地震 (Liu 等, 2017)、2017 年 8 月 8 日四川九寨沟  $M_s7.0$  地震 (Zhang 等, 2021a; Zhang 等, 2021b; Zheng 等, 2021; 申文豪等, 2019)、2017 年 8 月 9 日新疆精河  $M_s6.6$  地震 (Zhang 等, 2020; 王平川等, 2021)、2019 年 6 月 17 日四川长宁  $M_s6.0$  地震 (Wang 等, 2020)、2020 年 1 月 19 日新疆伽师  $M_s6.5$  地震 (Yao 等, 2021)。根据震源破裂模型反演所采用的地震观测数据的不同, 将反演破裂模型的方法分为 M1 (利用远震、大地测量、近场强震动联合反演)、M2 (利用大地测量、近场强震动联合反演)、M3 (利用远震、大地测量联合反演)、M4 (利用远震、近场强震动联合反演)、M5 (利用远震反演)、M6 (利用近场强震反演)、M7 (利用大地测量反演), 对于一个地震有多个破裂模型反演结果的情况, 优先选用多种数据联合反演的结构, 优先级  $M1 > M2/M3/M4 > M5/M6/M7$ 。在进行震源破裂过程反演时, 一般会给定一个足够大的初始破裂面, 确保地震足以在这个设定的破裂面上完成破裂过程, 实际破裂面可能要远小于这个设定初始的破裂面, 根据 Somerville 等 (1999) 给出的方法对破裂面反演结果进行裁剪, 以获取更可靠的破裂面。

根据大地震的余震序列的震源精定位结果、震源机制解、发震构造等, 也可以大概估计地震破裂面几何参数, 这种估计震源破裂面的方法定为 M8, 对于未获得震源破裂模型的大地震, 可根据 M8 大概

估计地震的破裂面几何 ( $L$ 、 $W$ 、 $A$ 、 $Z_{TOR}$ ) 参数,  $\theta$ 、 $\delta$ 、 $\lambda$  则直接采用震源机制解, 本数据集提供了根据 M8 估计给出的几次地震的破裂面, 包括 2014 年 5 月 30 日云南盈江  $M_S6.1$  地震 (杨婷等, 2016; Xu 等, 2020)、2014 年 10 月 7 日云南景谷  $M_S6.9$  地震 (李丹宁等, 2017)、2016 年 1 月 20 日青海门源  $M_S6.4$  地震 (梁姗姗等, 2017)。

本数据集汇总的大地震破裂面数据详见 CN\_Flatfile\_EQ\_Finite\_Fault\_Info\_Database.xlsx。

## 参考文献

- [1] Ainscoe E. A., Elliott J. R., Copley A., et al. 2017. Blind thrusting, surface folding, and the development of geological structure in the  $M_w$  6.3 2015 Pishan (China) earthquake, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 122, 9359–9382.
- [2] Fielding E. J., Sladen A., Li Z., et al. 2013. Kinematic fault slip evolution source models of the 2008 M 7.9 Wenchuan earthquake in China from SAR interferometry, GPS, and teleseismic analysis and implications for Longmen Shan tectonics, *Geophysical Journal International*, 194, 1138-1166.
- [3] Han L. B., Zeng X. F., Jiang C. S., Ni S., Zhang H. J., Long F. 2014. Focal Mechanisms of the 2013 Mw 6.6 Lushan, China Earthquake and High - Resolution Aftershock Relocations, *Seismological Research Letters*, 85(1), 8-14.
- [4] Hao J., Ji C., Wang W, et al. 2013. Rupture history of the 2013  $M_w$  6.6 Lushan earthquake constrained with local strong motion and teleseismic body and surface waves, *Geophysical Research Letters*, 40, 5371-5376.
- [5] Hayes G. P. 2017. The finite, kinematic rupture properties of great-sized earthquakes since 1990, *Earth and Planetary Science Letters*, 468, 94-100.
- [6] Li J., Liu G., Qiao X. et al. 2018. Rupture characteristics of the 25 November 2016 Aketao earthquake ( $M_w$  6.6) in eastern Pamir revealed by GPS and teleseismic data, *Pure and Applied Geophysics*, 175, 573–585.
- [7] Liu G., Qiao X., Xiong W., et al. 2017. Source models for the 2016  $M_w$  6.0 Hutubi earthquake, Xinjiang China: a possible reverse event, *Geodesy and Geodynamics*, 8, 311-318.
- [8] Somerville P., Irikura K., Graves R., Sawada S., Wald D., Abrahamson N., Iwasaki Y., Kagawa T., Smith N., and Kowada A. 1999. Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, *Seismological Research Letters*, 70(1), 59–70.
- [9] Tian J. H., Luo Y., and Zhao L. 2019. Regional stress field in Yunnan revealed by the focal mechanisms of moderate and small earthquakes, *Earth and Planetary Physics*, 3, 243-252.
- [10] Wang S., Jiang G., Weingarten M., et al. 2020. InSAR evidence indicates a link between fluid injection for salt mining and the 2019 Changning (China) earthquake sequence, *Geophysical Research Letters*, 46, e2020GL087603.
- [11] Wang Q. D., and Chu R. S. 2020. Earthquake source parameters in southwestern China and their rheological implications, *Seismological Research Letters*, 91(2A),936-947.
- [12] Xie Z. J., Zheng Y., Liu C. L., Xiong X., Li Y. D., Zheng X. F. 2015. Source Parameters of the 2014 Ms 6.5 Ludian Earthquake Sequence and Their Implications on the Seismogenic Structure, *Seismological Research Letters*, 86(6), 1614-1621.
- [13] Xu Y., Koper K. D., Burlacu R., Herrmann B., and Li D.-N. 2020. A new uniform moment tensor catalog for Yunnan, China, from January through December 2014, *Seismological Research Letters*, 91, 891-900.

- [14] Yao Y., Wen S., Li T., et al. 2020. The 2020  $M_w$  6.0 Jiashi earthquake: a fold earthquake event in the southern Tian Shan, northwest China, *Seismological Research Letters*, 92, 859–869.
- [15] Zhang X., Fu Z., Xu L. S., Li C. L., and Fu H. 2019. The 2018  $M_S$  5.9 Mojiang earthquake: source model and intensity based on near-field seismic recordings, *Earth and Planetary Physics*, 3, 268-281.
- [16] Zhang X., Xu L., Luo J., et al. 2020. Source characteristics of the 2017  $M_S$  6.6 ( $M_w$  6.3) Jinghe earthquake in the northeastern Tien Shan, *Seismological Research Letters*, 91(2A), 745–757.
- [17] Zhang X. Feng W., Li D., et al. 2021. Diverse rupture process of the 2014 Kangding, China, earthquake doublet ( $M_w$  6.0 and 5.7) and driving mechanisms of aftershocks, *Tectonophysics*, 820, 229118.
- [18] Zhang X., Xu L., Yi L., et al. 2021. Confirmation and characterization of the rupture model of the 2017  $M_S$  7.0 Jiuzhaigou, China, earthquake, *Seismological Research Letters*, 92, 2927–2942.
- [19] Zhang Y., Wang R., Chen Y.-T., et al. 2014. Kinematic rupture model and hypocenter relocation of the 2013  $M_w$  6.6 Lushan earthquake constrained by strong-motion and teleseismic data, *Seismological Research Letters*, 85(1), 15–22.
- [20] Zhang Y., Feng W., Li X., et al. 2021. Joint inversion of rupture across a fault stepover during the 8 August 2017  $M_w$  6.5 Jiuzhaigou, China, earthquake, *Seismological Research Letters*, 92(6), 3386–3397.
- [21] Zhao L., Luo Y., Liu T. Y., and Luo Y. J. 2013. Earthquake focal mechanisms in Yunnan and their inference on the regional stress field, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 103, 2498-2507.
- [22] Zheng A., Yu X., Xu W., et al. 2020. A hybrid source mechanism of the 2017  $M_w$  6.5 Jiuzhaigou earthquake revealed by the joint inversion of strong-motion, teleseismic and InSAR data, *Tectonophysics*, 789, 228538.
- [23] Zoback, M. L. 1992. First- and second-order patterns of stress in the lithosphere: The World Stress Map Project, *J. Geophys. Res.*, 97(B8), 11703–11728.
- [24] 崔仁胜, 赵翠萍, 周连庆, 陈阳. 2021. 2020年1月19日新疆伽师  $M_S$  6.4地震序列的活动特征和发震构造, *地震地质* 43(2), 329-344.
- [25] 冯静, 孔军, 康宏, 张炜, 赵昱. 2018. 2016年3月泸定地震序列重定位和震源机制研究, *地球物理学进展*.
- [26] 郭志, 高星, 路珍. 2020. 2019年6月17日四川长宁地震重定位及震源机制研究, *地震学报* 42(3), 245–255.
- [27] 郭志, 高星, 路珍. 2021. 2020年1月19日新疆伽师  $M6.4$ 地震的重定位及震源机制, *地震地质* 43(2), 345—356.
- [28] 郝美仙, 张珂, 徐岩, 倪铭, 王勇. 2021. 内蒙古和林格尔  $M4.0$ 地震的震源机制与震源深度, *华北地震科学* 39(1), 84-88.
- [29] 何骁慧, 李涛, 吴传勇, 郑文俊, 张培震. 2020. 基于区域地震波形的2017年新疆精

- 河  $M_s$  6.6 地震破裂方向性及发震构造研究, 地球物理学报 63(4), 1459-1471.
- [30] 胡幸平, 俞春泉, 陶开, 崔效锋, 宁杰远, 王艳华. 利用 P 波初动资料求解汶川地震及其强余震震源机制解, 地球物理学报 51(6), 1711-1718.
- [31] 金花, 冉慧敏, 赵石柱, 闫新义. 2021. 2018 年新疆伽师  $M_s$  5.5 地震的发震构造初探, 地震工程学报 43(2), 316-321.
- [32] 李丹宁, 高洋, 朱慧宇, 秦敏, 张会苑, 徐彦. 2017. 2014 年云南景谷  $M_s$  6.6 地震序列双差定位及震源机制解特征研究, 地震研究 40(3), 465-473.
- [33] 李姣, 姜金钟, 王光明, 付虹. 2021. 2018 云南通海 2 次  $M_s$  5.0 地震震源机制解及深度测定, 地震研究 44(2), 133-144.
- [34] 李金, 蒋海昆, 魏芸芸, 孙昭杰. 2021. 2020 年 1 月 19 日伽师 6.4 级地震发震构造的初步研究, 地震地质 43(2), 357—376.
- [35] 李君, 王勤彩, 郑国栋, 刘庚, 周辉, 周聪. 2019. 2018 年 5 月松原  $M_s$  5.7 地震序列发震断层及应力场特征, 地震学报 41(2), 207-218.
- [36] 李启雷, 李玉丽, 刘文邦. 2019. 2017 年 12 月 15 日青海泽库  $M_s$  4.9 地震序列分析, 防灾减灾学报 35(2).
- [37] 李艳永, 王成虎, 乌尼尔. 2020. 2018 年 9 月 4 日伽师 5.5 级地震序列震源机制解及震源处应力场特征, 震灾防御技术 15(1), 132-142.
- [38] 李永生, 赵谊, 李继业, 高峰, 石伟. 2020. 2018 年 5 月 28 日吉林松原  $M_s$  5.7 地震发震构造分析, 地震学报 42(1), 12-23.
- [39] 梁姗姗, 雷建设, 徐志国, 邹立晔, 刘敬光. 2017. 2016 年 1 月 21 日青海门源  $M_s$  6.4 余震序列重定位和主震震源机制解, 地球物理学报 60(6), 2091-2103.
- [40] 梁姗姗, 雷建设, 徐志国, 徐锡伟, 邹立晔, 刘敬光, 陈宏峰. 2018. 2017 年四川九寨沟  $M_s$  7.0 强震的余震重定位及主震震源机制反演, 地球物理学报 61(5), 2163-2175.
- [41] 梁姗姗, 徐志国, 盛书中, 张广伟, 赵博, 邹立晔. 2020. 2019 年四川长宁 6.0 级地震主震及中强余震 ( $M_s \geq 4.0$ ) 的震源机制及其应力场, 地震地质 42(3), 547-561.
- [42] 林向东. 2014. 汶川地震以来龙门山断裂带地震矩张量时空演化特征, 中国地震局地球物理研究所. 博士学位论文.
- [43] 刘爱华, 张伟, 龚飞, 姜锦华, 张雁翔, 李俊秋, 相传芳. 2018. 利用 CAP 方法分析吉林松原 4.9 级地震震源机制, 地震地磁观测与研究 39(6), 78-85.
- [44] 刘建明, 王琼, 李金, 吴传勇, 赵彬彬, 孔祥燕. 2018. 2016 年 12 月 8 日呼图壁  $M_s$  6.2 地震序列重定位与发震构造, 地震地质 40(3), 566-578.
- [45] 刘旭宙, 沈旭章, 何骁慧, 蒲举. 2021. 2019 年夏河  $M_s$  5.7 地震的余震序列重定位及发震构造. 地震地质 43(1), 197—208.
- [46] 龙锋, 张永久, 闻学泽, 倪四道, 张致伟. 2008 年 8 月 30 日攀枝花一会理 6.1 级地震序

- 列  $M_L \geq 4.0$  事件的震源机制解, 地球物理学报 53(12), 2852-2860.
- [47] 罗艳, 赵里, 田建慧. 2020. 2008年8月30日攀枝花  $M_S$  6.1地震序列深度及震源区应力特征, 中国科学: 地球科学 50(3), 404-417.
- [48] 吕坚, 王晓山, 苏金蓉, 潘林山, 李正, 尹利文, 曾新福, 邓辉. 2013. 芦山 7.0级地震序列的震源位置与震源机制解特征, 地球物理学报 56(5), 1753-1763.
- [49] 潘睿, 姜金钟, 付虹, 李姣. 2019. 2017年云南漾濞  $M_S$  5.1及  $M_S$  4.8地震震源机制解和震源深度测定, 地震研究 42(3), 338-348.
- [50] 秦双龙, 张建国, 廖丽霞. 2012. 2009年云南姚安 6.0级地震震源机制与发震构造的分析研究, 内陆地震 26(1), 52-61.
- [51] 冉慧敏, 张志斌, 赵庆. 2014. 2012年6月30日新疆新源-和静  $M_S$  6.6地震序列震源机制解, 中国地震 30(3), 432-441.
- [52] 阮庆丰, 刘财, 刘俊清, 张宇, 郑国栋. 2020. 2019年5月18日松原  $M_S$  5.1地震构造机制分析, 吉林大学学报(地球科学版) 50(6), 1897-1904.
- [53] 申文豪, 李永生, 焦其松, 等. 2019. 联合强震记录和 InSAR/GPS 结果的四川九寨沟 7.0级地震震源滑动分布反演及其地震学应用, 地球物理学报, 62(1), 115-129.
- [54] 宋春燕, 高荣, 刘建明, 刘萍, 郭寅, 温少妍. 2019. 2018年9月4日新疆伽师  $M_S$  5.5地震序列及发震构造讨论, 中国地震 35(2), 256-268.
- [55] 苏金蓉, 郭志. 2013. 西南天山—帕米尔 2008年10月5日  $M_S$  6.7级地震震源机制研究, 地球物理学报 56(2), 504-512.
- [56] 孙蒙, 王卫民, 王洵, 等. 2015. 2013年7月22日甘肃岷县—漳县  $M_S$  6.6地震震源破裂过程. 地球物理学报, 58(6), 1909-1918.
- [57] 唐兰兰, 赵翠萍, 王海涛. 2008. 新疆乌恰 6.8级地震序列震源特征及帕米尔东北缘应力场研究, 地球物理学报 55(4), 1228-1239.
- [58] 王光明, 刘自凤, 赵小艳, 樊文杰, 李永莉, 彭关灵, 孙楠. 2018. 2018年云南通海  $M_S$  5.0地震序列重定位及发震构造讨论, 地震研究 41(4), 503-510.
- [59] 王平川, 张勇, 冯万鹏. 2021. 2017年精河  $M_S$  6.6地震的断层参数和破裂过程, 地震学报, 43(2), 137-151.
- [60] 王琼, 冀占波, 赵翠萍, 等. 2015. 2012年6月30日新疆新源、和静交界  $M_S$  6.6地震的破裂过程, 地震地质, 37(1), 33-43.
- [61] 王卫民, 郝金来, 姚振兴. 2013. 2013年4月20日四川芦山地震震源破裂过程反演初步结果, 地球物理学报, 56(4), 1412-1417.
- [62] 王小娜, 叶秀薇, 黄元敏, 王立伟. 2019. 2018年11月26日台湾海峡  $M_S$  6.2地震发震构造研究, 地球物理学报 62(12), 4673-4683.
- [63] 王洵, 王卫民, 赵俊猛, 等. 2019. InSAR、波形资料和 GPS 联合反演 2015年皮山地震震

- 源破裂过程, 中国科学: 地球科学, 49(2), 383-397.
- [64] 魏芸芸, 李金, 王琼, 孙昭杰. 2020. 2016年11月25日新疆阿克陶 6.7级地震序列震源机制特征分析, 中国地震 36(1), 34-45.
- [65] 魏芸芸, 刘萍, 聂晓红, 高荣, 王琼. 2021. 2020年1月16日新疆库车  $M_s$  5.6地震序列特征及地震学异常, 内陆地震 35(4), 326-336.
- [66] 吴昊昱, 李丽, 王霞. 2018. 2016年4月7日山西平原  $M4.2$ 地震震源机制解与发震构造探讨, 科技通报 34(3), 40-44.
- [67] 吴鹏, 张小涛, 张磊. 2016. 用CAP方法研究2016年6月23日河北尚义  $M_s$  4.0地震震源机制, 华北地震科学 34(3), 48-52.
- [68] 谢张迪, 韩竹军. 2019. 2014年云南景谷  $M_s$  6.6地震发震断层及其动力学参数, 地震地质 41(4), 887-912.
- [69] 徐芳, 鲁人齐, 王帅, 江国焰, 龙锋, 王晓山, 苏鹏, 刘冠伸. 2022. 基于多元约束方法的2020年四川青白江  $M_s$  5.1地震构造研究, 地震地质 44(1), 220-237.
- [70] 徐培彬. 2019. 基于我国强震动数据 Flatfile 的地震动不确定性研究. 中国地震局工程力学研究所, 博士论文.
- [71] 徐晓枫, 王惠琳, 胡久常, 吴佳林. 2017. 采用CAP方法反演2016广西苍梧  $M_s$  5.4地震震源机制解, 地震地磁观测与研究 38(3).
- [72] 徐志国, 梁姗姗, 盛书中, 张广伟, 邹立晔, 周元泽. 2020. 2019年四川长宁  $M_s$  6.0地震序列重定位和震源特征分析, 地震学报 42(4), 377-391.
- [73] 许力生, 严川, 张旭, 付虹, 李春来, 郭祥云. 2014. 2014年盈江双震的破裂历史, 地球物理学报 57(10), 3270-3284.
- [74] 杨婷, 吴建平, 房立华, 王未来. 2020. 2014年云南盈江  $M_s$ 5.6和  $M_s$ 6.1地震余震序列重定位, 地震地质 38(4), 1047-1057.
- [75] 杨宜海, 梁春涛, 苏金蓉. 2015. 用接收函数建立区域模型的震源机制反演及其在芦山地震序列研究中的应用, 地球物理学报 58(10), 3583-3600.
- [76] 杨宜海, 范军, 花茜, 高见, 王朝亮, 周鲁, 赵韬. 2017. 近震全波形反演2017年九寨沟  $M7.0$ 地震序列震源机制解, 地球物理学报 60(10), 4098-4104.
- [77] 杨宜海, 张雪梅, 花茜, 苏丽娜, 丰成君, 邱玉荣, 梁春涛, 苏金蓉, 古云鹤, 金昭娣, 张媛媛, 关昕. 2021. 龙门山断裂带的分段性特征—来自密集震源机制解的约束, 地球物理学报 64(4), 1181-1205.
- [78] 易桂喜, 龙锋, 张致伟. 2012. 汶川  $M_s$  8.0地震余震震源机制时空分布特征, 地球物理学报 55(4), 1213-1227.
- [79] 易桂喜, 龙锋, Amaury Vallage, Yann Klinger, 梁明剑, 王思维. 2016. 2013年芦山地震序列震源机制与震源区构造变形特征分析, 地球物理学报 59(10), 3711-3731.

- [80] 易桂喜, 龙 锋, 梁明剑, 张会平, 赵敏, 叶有清, 张致伟, 祁玉萍, 王思维, 宫悦, 乔慧珍, 汪智, 邱桂兰, 苏金蓉. 2017. 2017年8月8日九寨沟  $M7.0$  地震及余震震源机制解与发震构造分析, 地球物理学报 60(10), 4083-4097.
- [81] 易桂喜, 龙锋, 梁明剑, 张致伟, 赵敏, 祁玉萍, 宫悦, 乔慧珍, 汪智, 王思维, 帅莉蓉. 2017. 2016年9月23日四川理塘  $M4.9$  和  $M5.1$  地震发震构造分析, 地震地质 39(5), 949-963.
- [82] 易桂喜, 龙锋, 梁明剑, 赵敏, 王思维, 宫悦, 乔慧珍, 苏金蓉. 2019. 2019年6月17日四川长宁  $M_s$  6.0 地震序列震源机制解与发震构造分析, 地球物理学报 62(9), 3432-3447.
- [83] 易桂喜, 龙锋, 梁明剑, 赵敏, 王思维. 2020. 四川盆地荣县—威远—资中地区发震构造几何结构与构造变形特征: 基于震源机制解的认识和启示, 地球物理学报 63(9), 3275-3291.
- [84] 余娜. 2014. 2009年青海大柴旦  $M_s$  6.4 地震前中小地震震源机制前兆特征分析, 地震研究 37(Supp.), 22-27.
- [85] 袁伏全, 黄浩, 蔡丽雯, 李启雷, 赵燕杰, 刘兴盛. 2021. 2019年甘肃夏河  $M_s$  5.7 地震震源机制解和震源深度确定, 地震研究 44(4), 521-528.
- [86] 苑争一, 宋治平, 姜祥华, 马亚伟, 姚琪, 解孟雨, 于晨, 韩颜颜. 2021. 2020年3月23日新疆拜城 5.0 级和7月13日霍城 5.0 级地震总结, 地震地磁观测与研究 42(2), 17-31.
- [87] 翟亮, 张晓东, 王伟君. 2019. 2017年8月9日精河  $M_s$  6.6 地震余震序列精定位及发震构造分析, 地震学报 41(3), 314-328.
- [88] 张帆, 韩晓明, 郝美仙, 李娟. 2017. 2016年5月22日辽宁朝阳 4.6 级地震震源机制和震源深度研究, 中国地震 33(1), 141-153.
- [89] 张广伟, 雷建设, 梁姗姗, 孙长青. 2014. 2014年8月3日云南鲁甸级地震序列重定位与震源机制研究, 地球物理学报 57(9), 3018-3027.
- [90] 张广伟, 张洪艳, 孙长青. 2016. 2015年新疆皮山  $M_s$  6.5 地震震源机制及余震序列定位, 地震地质 38(3), 711-720.
- [91] 张晖, 谭毅培, 马婷, 翟浩, 张珂, 李娟. 2021. 2020年和林格尔  $M_L$  4.5 地震微震匹配定位及发震构造探讨, 中国地震 37(2), 430-441.
- [92] 张辉, 张浪平, 冯建刚. 2014. 2013年7月22日岷县漳县 6.6 级地震序列震源机制解及其特征分析, 地震 34(4), 110-117.
- [93] 张丽娜, 韩立波, 罗艳. 2016. 2014年5月云南盈江两次中强地震震源参数研究, 地震 36(1), 59-68.
- [94] 张旭, 严川, 许力生, 等. 2017. 2016年阿克陶  $M_s$  6.7 地震震源复杂性与烈度, 地球物理学报, 60(4), 1411-1422.
- [95] 张勇, 许力生, 陈运泰, 等. 2008. 2007年云南宁洱  $M_s$  6.4 地震震源过程, 中国科学 D 辑:

地球科学, 38(6), 683-692.

- [96] 张勇, 许力生, 陈运泰. 2014. 2014年10月7日云南省普洱市景谷傣族彝族自治县  $M_s6.6$  地震 (2.0版), 中国地震局地球物理研究所 ([www.ccea-igp.ac.cn/kydt/index.html](http://www.ccea-igp.ac.cn/kydt/index.html)).
- [97] 张勇, 陈运泰, 许力生, 等. 2015. 2014年云南鲁甸  $M_w6.1$  地震: 一次共轭破裂地震, 地球物理学报, 58(1), 153-162.
- [98] 张勇, 陈运泰, 宋金. 2018. 2018年  $M_w4.3$  河北永清地震的震源机制与破裂特征, 科学通报 63(22), 2296-2301.
- [99] 赵博, 高原, 刘杰, 梁姗姗, 徐志国, 杜广宝. 2019. 2010年以来四川地区中强地震震源机制反演及深度确定, 地球物理学报 62(1), 130-142.
- [100] 赵天霞, 陈光荣. 2017. 2016年安县  $M_s 4.3$  和北川  $M_s 4.6$  地震震源机制解, 四川地震(3).
- [101] 赵小艳, 韩立波, 龙锋. 2012. 2011年盈江  $M_s \geq 4.0$  地震序列震源机制解与发震构造研究, 地震研究 35(4), 477-484.
- [102] 赵旭, 黄志斌, 房立华. 2014. 2014年云南盈江  $M_s 6.1$  地震震源机制研究, 中国地震 30(3), 462-473.
- [103] 郑绪君, 张勇, 马强, 等. 2018. 基于强震动资料的破裂过程快速反演及其自动化的可行性, 地球物理学报, 61(10), 4021-4036.
- [104] 周依, 阎春恒, 向巍, 周斌, 文翔. 2019. 2016年7月31日广西苍梧  $M_s 5.4$  地震震源参数, 地震地质 41(1), 150-161.
- [105] 朱音杰, 刘檀, 赵英萍, 刘新, 李冬圣, 丁成. 2017. CAP方法反演2016年唐山  $M_L4.3$  地震震源机制解, 华北地震科学 35(2), 50-55.
- [106] 曾宪伟, 闻学泽, 龙锋. 2019. 由初至P震相重新定位2017年九寨沟地震序列的主震与  $M_L \geq 3.0$  余震并分析发震构造, 地球物理学报 62(12), 4604-4619.