

陈婷婷,张玲,蒋其峰,等. 2025. 2022年5月山东青州地震序列自动处理结果分析与研究[J]. 地震研究,48(2):326-333,doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2025.0034.

Chen T T, Zhang L, Jiang Q F, et al. 2025. Analysis of the automatically processed results of the Qingzhou earthquake sequence in Shandong in May 2022[J]. *Journal of Seismological Research*, 48(2):326-333, doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2025.0034.

## 2022年5月山东青州地震序列自动处理结果 分析与研究\*

陈婷婷<sup>1</sup>, 张玲<sup>1\*</sup>, 蒋其峰<sup>1,2</sup>, 王宇<sup>1</sup>, 张正帅<sup>1</sup>, 管贻亮<sup>1</sup>

(1. 山东省地震局, 山东 济南 250014; 2. 山东省震灾风险防治中心, 山东 济南 250021)

**摘要:** 采用基于深度学习的实时智能地震处理系统(RISP)检测2022年5月1—14日山东青州地震序列,构建自动检测目录,评估RISP系统在山东的适用性。RISP系统检测的地震数量多于人工编目的地震数量,匹配率达90.14%;其中系统多检测的地震事件都含有地震信号,漏检测的事件由于不满足系统自动检测的触发条件,没有自动处理结果。此系统的定位精度也与人工处理结果相当,在发震时刻、震中位置、震源深度等方面具有较好的一致性;但自动检测目录的地震震级的人工目录测量震级略大。根据自动检测的地震序列分布和震源机制反演推测此次地震的发震断层为张店—仁河断裂。检测结果表明:RISP系统检测的微震、小震多,定位精度准确,分析速度快,且不依赖于个人经验,可提供更加完整的地震目录。

**关键词:** 青州地震;深度学习;自动检测;RISP

**中图分类号:** P315.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0666(2025)02-0326-08

**doi:** 10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2025.0034

### 0 引言

地震目录作为地震活动性分析和地震危险性判断的关键资料,其完备性、完整性至关重要。丰富的微震、小震目录及准确的震源参数可为地震序列的活动性、发震构造及孕震机理等研究提供基础资料(李皎等,2020;张演等,2024)。随着地震台网密度的不断增大,尤其是国家预警工程山东子项目建设完成后,山东省将拥有1539个观测台站,届时地震台网观测数据将大幅度增加。目前山东省地震编目工作主要由人工完成,所需人力多且时效性差,急需引进和发展人工智能地震识别检测技术。

国内外关于自动地震编目的研究有很多。日本自动地震编目系统采用贝叶斯估计的震相组合

正向搜索方法(Tamaribuchi,2018),使用分级处理实现检测事件的翻倍,提高了对同时发生的地震的分辨能力。意大利地震自动处理系统(CASP)针对连续的归档数据,能够生成完整地震数据集(P波、S波到达时间、位置和强震参数等),且程序内部参数可根据地震台网位置分布、地震波形特征等进行动态调整(Scafidi et al,2019;Spallarossa et al,2020);Ross等(2018)利用卷积神经网络CNN模型提取震相到时、震相类型等处理全球多来源的震相数据,结果显示75%的样本到时提取相比人工拾取的误差在0.028s以内,初动判断正确率达到95%;美国斯坦福大学则利用PhaseNet和GaMMA在云平台进行处理(Zhu,Be-roza,2019),其检测灵敏度和到时拾取精度较高;Yeck等(2019)使用2100个实时地震监测站的地震数据独立配置了一套地震相位关联系统即

\* 收稿日期:2024-05-06.

基金项目:山东省地震局一般项目——实时智能地震处理系统在青州地震序列中的应用(YB2304).

第一作者简介:陈婷婷(1995-),助理工程师,主要从事地震预测预报分析工作.E-mail:tingtingchen1995@163.com.

通信作者简介:张玲(1971-),高级工程师,主要从事地球物理分析预报工作.E-mail:zhanglingeq@163.com.

CLASS3, 实现了含计算效率、瞬时提取和可配置功能于一体的地震数据实时监测。

随着我国地震监测台站的迅速增加, 监测数据量也以指数形式激增, 人工分析已跟不上数据产出速度。在此背景下, 廖诗荣等 (2021) 研发了一套实时智能地震处理系统 (RISP), 此系统已应用于 2021 年云南漾濞  $M_s6.4$  地震 (廖诗荣等, 2021)、四川马尔康  $M_s6.0$  地震 (颜利君等, 2022)、青海门源  $M_s6.9$  地震 (王祖东等, 2022) 等的实时处理工作中。该系统产出目录时效性强, 精度高, 震级处理下限最低可到  $M_L0.0$ 。山东省微震、小震多、震群活动较为明显, 本文应用 RISP 系统对 2022 年青州  $M3.4$  地震进行检测, 结合观测报告结果, 从震中分布、震级测定、定位精度等维度评估此套系统在山东微震的适应性和可靠性, 为 RISP 系统的完整评价提供依据。

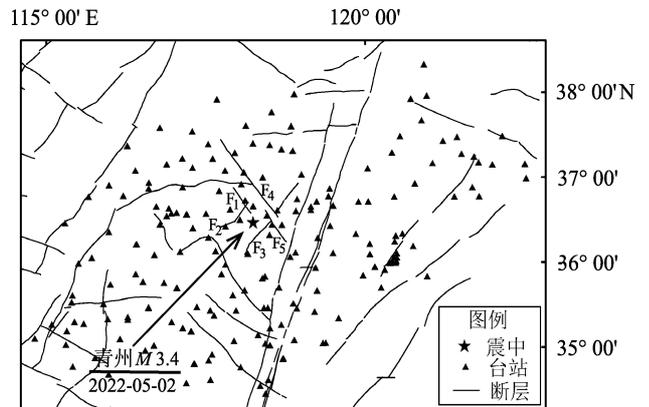
## 1 数据和方法

据山东地震台网测定, 2022 年 5 月 2 日 7 时 53 分 27 秒, 山东潍坊市青州市发生  $M3.4$  地震, 震源深度 7 km, 震中位置 ( $36.55^\circ\text{N}$ ,  $118.27^\circ\text{E}$ )。2022 年 5 月 1—14 日, 山东台网正式地震目录共记录青州地震 71 次, 其中  $M_L < 1.0$  地震 31 次,  $M_L 1.0 \sim 1.9$  地震 30 次,  $M_L \geq 2.0 \sim 2.9$  地震 7 次,  $M_L 3.0$  以上地震 3 次。此次青州地震震中区发育有多条断裂, 其中距离较近且规模较大的断裂有上五井断裂、双山—李家庄断裂、张店—仁河断裂和临淄断裂。公元前 70 年安丘 7 级地震、1829 年青州、临朐 6 ¼ 级地震与上五井断裂和双山—李家庄断裂构成的“X”型共轭构造密切相关 (王纪强等, 2020)。

廖诗荣等 (2021) 研发的实时智能地震系统 (RISP) 可实时产出地震目录、地震参数、震相报告等信息, 可为地震精定位、地震活动性分析提供更加丰富的地震资料。该系统首先对连续波形进行去均值、去倾斜、滤波等预处理, 然后采用 PhaseNet 对波形进行检测, 基于组触发 (Tamari-buchi, 2018) 和等时差八叉树 (Lomax *et al.*, 2012) 搜索法结合的方法进行震相组合, 使用一维或三维速度模型, 调用 NLLoc 定位; 最后仿真

为 DD-1 地震仪的位移记录 (刘媛等, 2022), 自动量取振幅并计算震级。其采用的地震自动检测算法处理效率比传统算法高, 不仅可以检测大地震, 对于小地震的检测同样适用, 目录完备, 产出丰富。该系统利用共享内存, AMQ 消息中间件技术, 实现模块化设计、多模式协同、分布式部署; 拥有在线和离线两种处理模式, 可自动产出完整的地震观测报告。

本文使用 RISP 系统的离线处理模式对 2022 年 5 月青州地震震后 14 天的连续波形进行处理, 研究区域和观测台站分布如图 1 所示, RISP 系统使用的台站与人工编目一致。本文同一地震匹配规则与廖诗荣等 (2021) 规则一致: 发震时刻偏差小于 5 s, 震中位置偏差小于 20 km。若人工目录中的地震事件无法从自动目录中找到, 则认为是漏检测事件, 若自动目录中的地震事件无法从人工目录中找到, 则认为是多检测事件。



F<sub>1</sub>: 张店—仁河断裂; F<sub>2</sub>: 临淄断裂; F<sub>3</sub>: 上五井断裂;  
F<sub>4</sub>: 无棣—益都断裂; F<sub>5</sub>: 双山—李家庄断裂

图 1 山东省地震台站分布图

Fig. 1 Distribution of the seismic stations in Shandong

## 2 结果与讨论

### 2.1 自动检测目录与人工目录对比

青州地震震后 14 天, 人工编目共产出 71 个地震事件, RISP 系统共产出 78 个地震事件, 匹配成功 64 条, 匹配率达 90.14% (64/71); 漏检测 7 个事件, 漏检测率为 9.86% (7/71), 其平均震级  $M_L$  为 0.44; RISP 系统多检测 14 个事件, 平均震级  $M_L$  为 0.87。对多检测的 14 个事件, 确认每个事件都含有地震信号; 漏检测的 7 个地震, 最大震

级为  $M_L 1.2$ ，最小震级为  $M_L 0.0$ ；其中 5 个地震为人工编目单台定位，只使用了 1~2 个震相，另外 2 个地震最多只使用 3 个震相进行定位，而 RISP 系统定位的最小定位需求则为 5 个震相，不满足地震事件触发条件，所以没有自动处理结果。从漏检检测结果来说，除去没有满足触发条件的地震事件，其余地震全部自动检测出。

图 2 为自动检测和人工目录给出的地震分布图，自动检测目录与人工目录在震中位置方面一

致性较好，但自动检测目录产出地震数量多，分布更聚集。山东地震台网在此时间段内分析震相 1 090 个，RISP 系统拾取震相 2 974 个，可见 RISP 系统在拾取震相方面更具优势。图 3 为自动拾取的震相的走时分布，P 波震相拾取数量为 1 568 个，S 波震相拾取数量为 1 406 个，P 波和 S 波的震相走时与震中距基本成线性关系，尤其是 150 km 以内的震相离散程度较低，自动拾取的震相到时精确、可信度高。

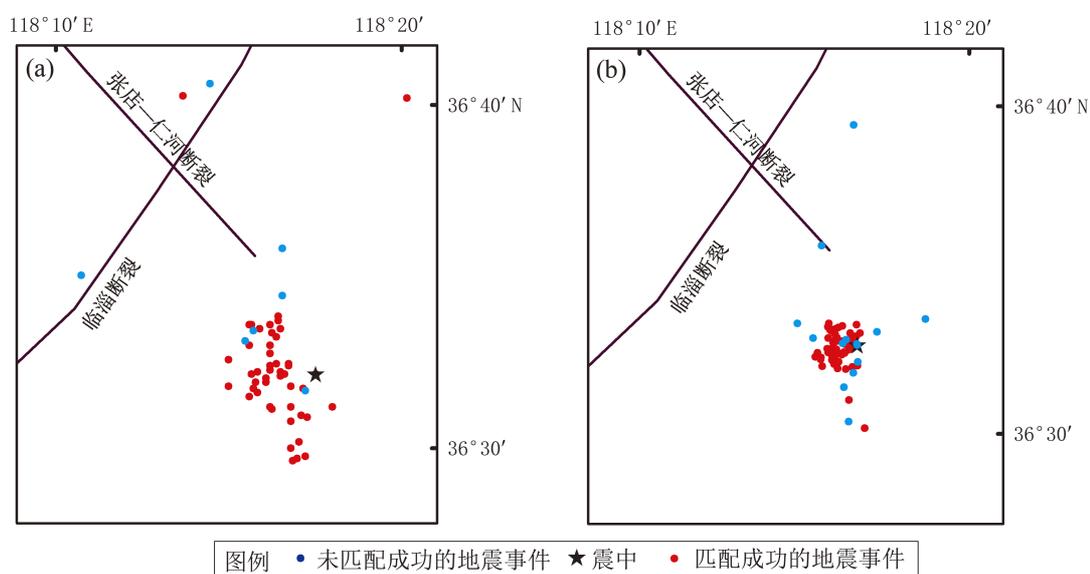


图 2 自动目录 (a) 与人工目录 (b) 地震分布图

Fig. 2 Distribution of the earthquakes identified by RISP (a) and by manual analysis (b)

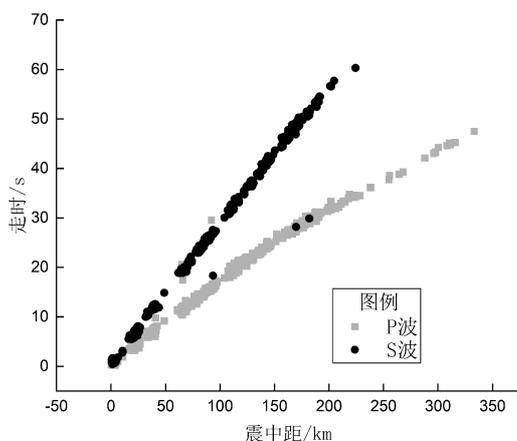


图 3 自动拾取震相的走时分布

Fig. 3 Distribution of the travel time of the automatically picked phases by RISP

图 4 为匹配成功的地震的发震时刻、震中位置、震源深度、震级偏差的数量统计图 (自动目

录与人工目录)。从图中可以看出，人工目录与自动目录发震时刻偏差为  $-1 \sim 2$  s，有 62 次地震的发震时刻偏差小于  $\pm 1.0$  s，占比 96.88%，多数地震的发震时刻偏差都在零轴左侧，说明 RISP 系统在震相拾取方面略早于人工。震中位置误差都在 15 km 以内，有 2 次地震的震中位置偏差为 10~14 km，图 5 为震中距相差较大的事件波形图，图中用短竖线标注了自动检测的震相到时，震中距相差较大的主要原因在于 AI 算法适用于震中距小于 150 km 的震相，在两个震中位置偏差较大的地震事件中自动编目将大于 150 km 远台的模糊震相参与了定位，远台信号信噪比低导致 RISP 系统在震相到时的拾取方面可靠性降低；震源深度偏差小于 10 km 的地震有 64 次，占比为 100%。震级偏差全部在 1 级以内，其中 12 个地震事件震级偏差大于 0.4，占比约为 18%；震级偏差大于 0.5 级

的地震事件有6个，占比9.4%，最大的震级偏差达到  $M_L$ 0.8。表1为这6个事件的详细信息，从表

可见自动编目量取的 SME、SMN 震相数远远高于人工编目。

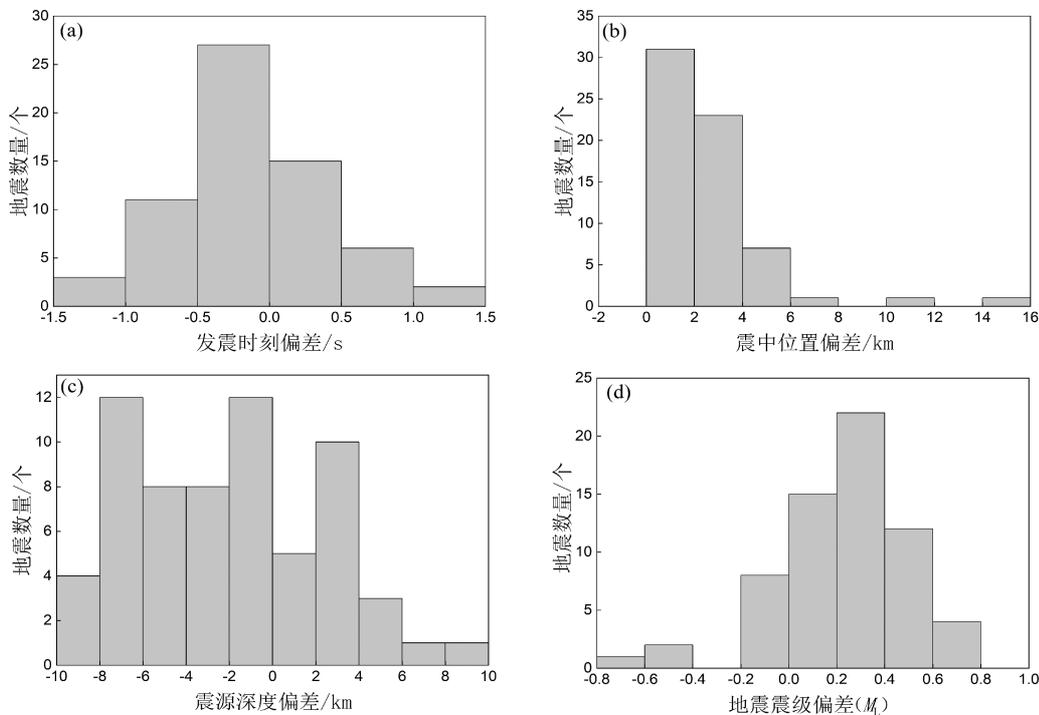


图4 自动目录与人工目录地震参数对比

Fig. 4 Comparison between the original time, epicentral location, focal - depth deviation, and magnitude deviation determined by RISP and by manual analysis

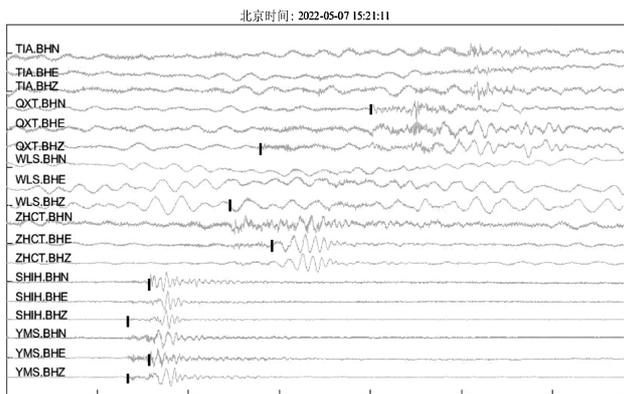


图5 震中位置偏差较大的事件波形

Fig. 5 Waveforms with significant deviation in the earthquake epicenter

图6为匹配成功的地震的震级偏差，由图可见，相同台站单台震级相差不大，在  $\pm 0.16$  级以内，偏差  $\pm 0.1$  级以内的居多，占比90%，相同台站单台震级几乎一致但最终震级有所偏差，可能有两个原因：一是自动检测目录识别的振幅更多，尤其对于远台震相，其地震波背景噪声大导致自

表1 震级偏差大于0.5级的地震事件  
Tab. 1 The magnitudes (deviation larger than 0.5) of the same earthquakes from the automatic catalogue and the manual catalogue

发震时间	人工目录		自动目录	
	$M_L$	振幅数	$M_L$	振幅数
2022-05-03 01:00:16	1.1	8	1.66	58
2022-05-03 05:37:45	1.1	10	1.90	48
2022-05-03 05:37:51	1.1	6	1.76	34
2022-05-03 18:22:16	1.1	3	0.46	11
2022-05-13 07:03:42	0.4	4	1	28
2022-05-14 11:31:52	1.5	6	0.85	24

动编目拾取的 SME、SMN 震相不准确。二是自动检测目录事件震级和人工编目事件震级的计算方法不同，前者使用了日本地震学公报中测量震级的 JMA 方法，计算所有台站震级的初始平均值和标准偏差，将差值大于 0.5 的剔除，直至标准差小于 0.35；后者则在位移记录中量取水平分量的最大振幅值并使用式 (1) 进行计算。此外，在匹配

成功的64个地震事件中,大部分地震事件的自动编目震级大于人工编目震级,从图6中也可看出单台自动编目震级同样略大于人工编目震级,这与王祖东等(2022)对青海门源 $M_s6.9$ 地震余震序列的自动处理结果一致,这归因于RISP系统未使用校正过的量规函数计算震级。

$$M_L = \lg A_\mu + R(\Delta) \quad (1)$$

式中: $A_\mu$ 为量取的最大振幅; $R(\Delta)$ 为量规函数。

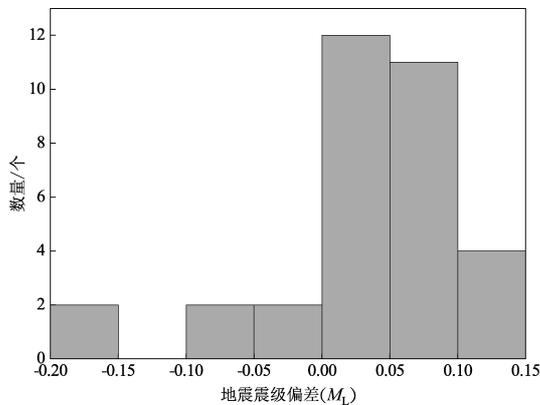


图6 单台震级的偏差(匹配成功的振幅)

Fig. 6 Magnitude deviation at the same station (amplitudes successfully matched)

图7为自动检测目录与人工目录在不同震级段的地震数量对比,本文仅对比 $M_L$ 。由图可知,人工目录与自动目录震级分布范围基本一致,为 $M_L 0 \sim 4.1$ 。相对人工编目,自动编目产生的地震事件主要集中在 $M_L 0.3 \sim 2.6$ ,这是由于RISP系统采用了灵敏度更高的AI震相拾取算法辅助与三分量波形判断(廖诗荣等,2021),能够更好地拾取信噪比低的地震事件。自动目录填补了部分正式目录的震级空白,丰富了研究区内微震和小震,拾取的微震和小震越多,震级资料越丰富,完备性震级越低, $b$ 值结果越准确。由最小二乘法得到的 $b$ 值结果,人工目录为0.60,自动目录为0.64。漏检测的地震事件多集中在0.3级以下,其主要原因在于同一地震事件自动编目震级结果比人工编目震级结果要大,且人工目录中含有单台定位的微震和小震(如 $M_L 0.0$ )。从产出地震事件的数量看,RISP系统在微小地震的检测方面更有优势。图8为RISP系统自动检测的双震叠加的震相到时,

用短竖线标出,由图可见RISP系统能够准确识别出山东省内多震叠加的事件波形,从而弥补人工识别此类地震事件的缺陷,对提升地震序列的完整性与实用性具有较大的意义。

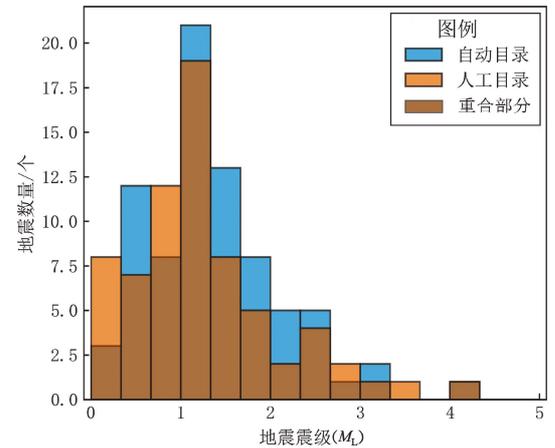


图7 自动检测目录与人工目录在不同震级段的地震数量对比

Fig. 7 Number of the earthquakes in different magnitude ranges from the automatic catalogue and the manual catalogue

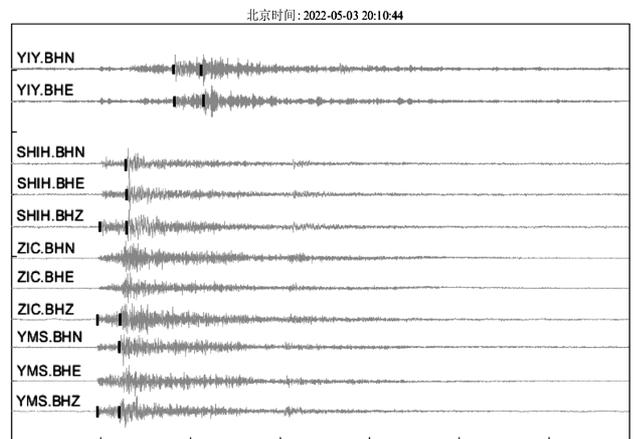


图8 RISP系统自动识别双震叠加事件波形的震相

Fig. 8 Superposition of the waveforms of the double earthquakes

## 2.2 震源机制解反演

本文选取方位角覆盖震中位置较好的16个台站的宽频带波形(戴宗辉等,2022),使用CAP方法,以RISP系统获得发震时刻和精确位置进行震源机制解算。由最佳震源深度图可见,不同深度的两个节面参数结果基本稳定,当震源深度在3.0 km时,观测波形和理论波形的拟合值达到最小,

此时矩震级为  $M_w$  3.8 (图9)。图10为CAP方法反演地震波形拟合,参与反演的共有16个台站,在65个震相中理论地震图与观测地震图相关系数大于80%的有41个,占比63%;相关系数大于60%的占比为90.77%,结果较为可靠。

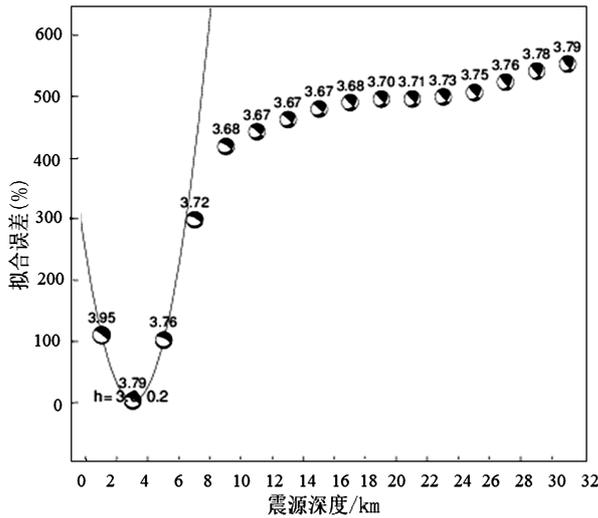


图9 拟合残差和震源机制解随震源深度的变化  
Fig. 9 Fitted errors and focal mechanisms at different focal depths

### 2.3 发震构造讨论

为验证 RISP 系统自动处理的青州地震序列分布是否可用于辅助判定发震断层,采用 CAP 方法反演主震的震源机制解:节面 I 走向  $301^\circ$ 、倾角  $67^\circ$ 、滑动角  $-81^\circ$ ,节面 II 走向  $98.9^\circ$ 、倾角  $24.6^\circ$ 、滑动角  $-110.2^\circ$ 。青州  $M3.4$  地震发生在张店—仁河断裂、临淄断裂、上武井断裂的交会处(图11),距上武井断裂、双山—李家庄断裂和临淄断裂较远,在震中附近没有其它的已知断层(洪德全等,2011)。位于沂沭断裂带以西的张店—仁河庄断裂(王纪强等,2020),是鲁中隆起东北部的一条活动性较强的NW向断裂(晁洪太等,1997),沿此断裂及其延伸方向(王纪强等,2020)发生过较大震,如公元前安丘7级地震,1829年青州、临朐6¼级地震。本文用CAP方法获得的震源机制解的节面I与张店—仁河断裂大致平行,表现为正断型地震,断层走向为NW—SE方向,但距离双山—李家庄断裂相对较远,推测其发震断层可能位于双山—李家庄西南侧的张店—仁河断裂。

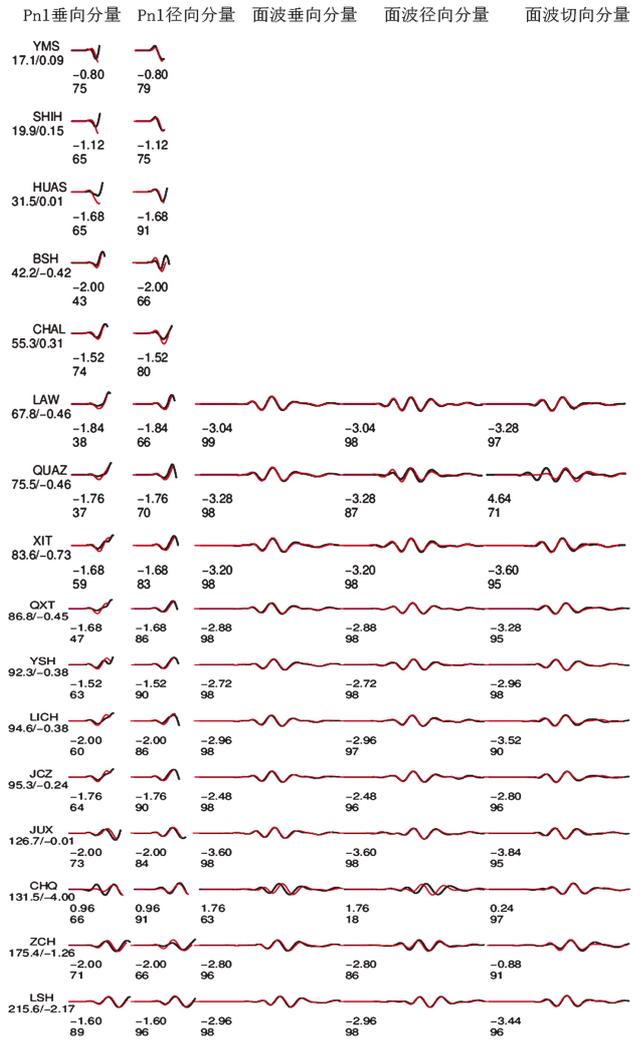


图10 CAP方法反演地震波形拟合  
Fig. 10 Waveform – fitting inversion with cut – and – paste method

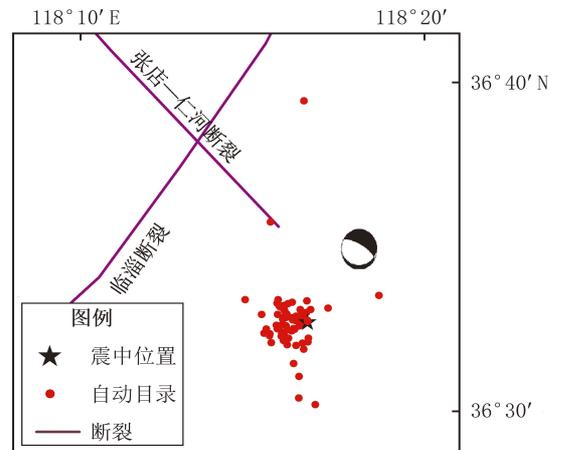


图11 自动目录地震分布及主震震源机制解图  
Fig. 11 Distribution of the aftershocks given by the automatic catalogue and the focal mechanism of the main shock

### 3 结论

本文以2022年5月青州地震序列为例,评估了RISP系统对山东省微震、小震处理结果的可靠性。本次序列的人工目录较为详细,RISP系统能够多检测14个地震事件,且能够精确识别多震叠加的事件波形,可见该系统在密集地震序列处理上具有优势,自动检测目录与人工目录在发震时刻、震源深度、震中位置具有较好的一致性。但两者震级略有不同,自动检测目录的震级略大,一方面原因是RISP系统选取了更多的震相参与震级计算,另一方面该系统采用了更为精确的JMA震级测量方法。将自动检测目录的地震分布用于判断发震断层,推测青州地震发震断层可能为张店—仁河断裂。

RISP系统可应用于微震区的日常编目工作,可以在时间域和空间域均匀提升地震的检测能力,其高效率、高灵敏度以及很强的泛化能力,具有非常好的发展前景。但该系统也存在对远台震相误识别及计算震级偏大情况,需与人工识别的优势结合,提升地震目录的完整性,为应急救援、地震预报等研究提供准确完整的数据支撑。

本文研究数据由山东地震台提供,福建省地震局廖诗荣研究员提供了RISP系统,山东省地震局董腾超在实时智能地震处理系统安装方面大力支持,在此一并表示感谢。

#### 参考文献:

晁洪太,王琦,李家灵,等.1997.山东省地震构造图、山东省新构造图及其说明书[M].济南:山东省地图出版社.

Chao H T,Wang Q,Li J L,*et al.* 1997. Earthquake tectonic map of Shandong Province,new tectonic map of Shandong Province and manual [M]. Jinan:Shandong Province Cartographic Publishing House. (in Chinese)

戴宗辉,李冬梅,王鹏,等.2022.2020年2月18日长清 $M_s4.1$ 地震发震构造研究[J].地震,42(1):111-121.

Dai Z H,Li D M,Wang P,*et al.* 2022. Study on the seismotectonics of the  $M_s4.1$  Changqing earthquake on 18 February, 2022 [J]. Earthquake,42(1):111-121. (in Chinese)

洪德全,王行舟,韩立波,等.2011.用CAP方法研究安庆 $M_s4.8$ 级地震震源机制[J].中国地震,27(2):207-214.

Hong D Q,Wang X Z,Han L B,*et al.* 2011. Source mechanism of the 2011  $M_s4.8$  Anqing earthquake determined from CAP method[J].

Earthquake Research in China,27(2):207-214. (in Chinese)

李姣,姜金钟,杨晶琼.2020.2017年漾濞 $M_s4.8$ 和 $M_s5.1$ 地震序列的微震检测及重定位[J].地震学报,42(5):527-542.

Li J,Jiang J Z,Yang J Q. 2020. Microseismic detection and relocation of the 2017 Yangbi  $M_s4.8$  and  $M_s5.1$  earthquake sequences, Yunnan [J]. Acta Seismologica Sinica,42(5):527-542. (in Chinese)

廖诗荣,张红才,范莉苹,等.2021.实时智能地震处理系统研发及其在2021年云南漾濞地震 $M_s6.4$ 地震中的应用[J].地球物理学报,64(10):3632-3645.

Liao S R,Zhang H C,Fan L P,*et al.* 2021. Development of real-time intelligent seismic processing system and its application in the 2021 Yunnan Yangbi  $M_s6.4$  earthquake [J]. Chinese Journal of Geophysics,64(10):3632-3645 (in Chinese).

刘媛,颜利君,廖诗荣,等.2022.实时智能地震处理系统在2020年四川石渠 $M5.6$ 地震序列中的应用[J].地质论评,68(4):1375-1381.

Liu Y,Yan L J,Liao S R,*et al.* 2022. Application of real-time intelligent seismic processing system in the 2020  $M5.6$  earthquake in Shiqu, Sichuan [J]. Geological Review,68(4):1375-1381. (in Chinese)

王纪强,王冬雷,鹿子林,等.2020.双山—李家庄断裂地表破裂特征与最新活动性研究[J].地震,40(4):115-128.

Wang J Q,Wang D L,Lu Z L,*et al.* 2020. The surface rupture characteristics and latest activities of the Shuangshan-Lijiazhuang Fault [J]. Earthquake,40(4):115-128. (in Chinese)

王祖东,杨晓鹏,尹欣欣,等.2022.2022年1月8日青海门源 $M_s6.9$ 地震余震序列自动处理结果探讨[J].地震工程学报,44(2):408-414.

Wang Z D,Yang X P,Yin X X,*et al.* 2022. Discussion on the automatic processing results of aftershock sequence of Menyuan, Qinghai  $M_s6.9$  earthquake on 8 January,2022 [J]. China Earthquake Engineering Journal,44(2):408-414. (in Chinese)

颜利君,刘媛,廖诗荣,等.2022.2022年6月10日四川马尔康地震序列实时智能检测结果分析与研究[J].地震工程学报,44(6):1450-1458.

Yan L J,Liu Y,Liao S R,*et al.* 2022. Real time automatic detection results of the Maerkang, Sichuan earthquake sequence on June 10, 2022 [J]. China Earthquake Engineering Journal,44(6):1450-1458. (in Chinese)

张演,姜金钟,王光明,等.2024.云南盐津地区两种地震序列的地震活动性分析[J].地震研究,47(2):178-190.

Zhang Y,Jiang J Z,Wang G M,*et al.* 2024. Analysis of the seismicity of two types of earthquake sequences in Yanjin, Yunnan [J]. Journal of Seismological Research,47(2):178-190. (in Chinese)

Lomax A,Satriano C,Vassallo M. 2012. Automatic picker developments and optimization: filter Picker - a robust, broadband picker for real-time seismic monitoring and earthquake early warning [J]. Seismological Research Letters,83(3):531-540.

Ross Z E,Meier M A,Hauksson E,*et al.* 2018. Generalized seismic phase detection with deep learning [J]. Bulletin of the Seismological Socie-

- ty of America, 108(5A):2894–2901.
- Scafidi D, Spallarossa D, Ferretti G, *et al.* 2019. A complete automatic procedure to compile reliable seismic catalogs and travel–time and strong–motion parameters datasets[J]. *Seismological Research Letters*, 90(3):1308–1317.
- Spallarossa D, Cattaneo M, Scafidi D, *et al.* 2020. An automatically generated high–resolution earthquake catalogue for the 2016–2017 Central Italy seismic sequence, including P and S phase arrival times [J]. *Geophysical Journal International*, 225:555–571.
- Tamaribuchi K. 2018. Evaluation of automatic hypocenter determination in the JMA unified catalog [J]. *Earth Planets and Space*, 70(1):1–13.
- Yeck W L, Patton J M, Johnson C E, *et al.* 2019. GLASS3: A standalone multiscale seismic detection associator [J]. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 109(4):1–10.
- Zhu W Q, Beroza G C. 2019. PhaseNet: a deep neural network based seismic arrival time picking method [J]. *Geophysical Journal International*, 216(1):261–273.

## Analysis of the Automatically Processed Results of the Qingzhou Earthquake Sequence in Shandong in May 2022

CHEN Tingting<sup>1</sup>, ZHANG Ling<sup>1</sup>, JIANG Qifeng<sup>1,2</sup>, WANG Yu<sup>1</sup>, ZHANG Zhengshuai<sup>1</sup>, GUAN Yiliang<sup>1</sup>

(1. *Shandong Earthquake Agency, Jinan 250014, Shandong, China*)

(2. *Shandong Earthquake Disaster Prevention Center, Jinan 250021, Shandong, China*)

### Abstract

The real-time intelligent seismic processing system (RISP) based on deep learning monitored the May 1–14, 2022, earthquake sequence in Qingzhou, Shandong Province, and identified more earthquakes than manual identification, boasting a 90.14% accuracy rate. The exceeding earthquakes identified by RISP system do have seismic signals. The undetected events do not meet the trigger conditions of RISP system and have no automatic processing results. The positioning accuracy of RISP system is equal to that of the manual results, and other seismic parameters like original time, epicenter position, focal depth, etc. are in consistent with the manual results. However, the magnitude given by RISP system is slightly larger than that of the manual results. Based on the distribution and the inverted source mechanisms of the Qingzhou earthquake sequence, the Zhangdian–Renhe fault is supposed to be the seismogenic fault of the Qingzhou earthquake sequence. RISP system is proved to be capable of detecting more micro- and small-earthquakes. It has high accuracy for earthquake location, it does rapid analysis of seismic phases, but it does not depend on manual experience.

**Keywords:** the Qingzhou earthquake; deep learning; automatic detection; RISP