

黎明晓,刘珠妹,蒋海昆,等. 2024. 震后趋势判定技术系统 CAAFs 震后余震预测效果评价. 中国地震, 40(1):121~131.

震后趋势判定技术系统 CAAFs 震后余震预测效果评价

黎明晓¹⁾ 刘珠妹²⁾ 蒋海昆¹⁾ 李盛乐²⁾

1) 中国地震台网中心, 北京 100045

2) 湖北省地震局, 地震预警湖北省重点实验室, 武汉 430071

摘要 自2019年正式运行以来,震后趋势判定技术系统 CAAFs 为震后应急与趋势研判及时提供数据和技术支撑。本文梳理总结 CAAFs 系统持续4.5年产生的数据,从全国和不同地区两个方面评价系统产生的震后余震预测结果,得到以下三点认识:①震级上限预测(发生某震级以上地震的可能性不大)的正确率大多为90%及以上,显著优于震级区间预测(存在发生同等大小地震的可能或存在发生某震级左右地震的可能),各分区预测情况差异不大;②震级区间预测震级普遍比地震实况偏高,实际7日内发生的最大余震震级与预测震级的差值(震级偏差)落入 $[-0.5, 0.5]$ 区间的比例约为44%,落入 $[-1, 1]$ 区间的比例约为69%,越靠近 $[-0.5, 0.5]$ 区间,地震的比例越高;③震级区间预测中,各分区有一定差异,西南地区优于西北、华南和华北东北三个地区,总的来看4~5级地震预测情况不如其他震级区间,可能与该震级区间内地震的最大余震震级变化范围较大有关。

关键词: 震后趋势判定 技术系统 余震预测 震级上限预测 震级区间预测

[文章编号] 1001-4683(2024)01-0121-11 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

震后趋势判定的时效性、准确性和科学性至关重要,尤其是震后数日至1周内的最大余震强度的预测与判定,对震后应急、救援等部署决策有重要意义。基于一定区域或地震活动序列等的技术研判系统(庄昆元等,2001;董曼,2008;许昭平,2012;张华等,2014;黄金刚等,2017)在序列统计分析与震后地震活动的趋势研判中发挥了作用。2017年,为满足政府及社会需求,运用先进信息技术不断优化震后紧急会商工作机制,中国地震局监测预报司以“监测预报能力建设项目”的形式组织研发震后趋势判定技术系统 CAAFs(CENC Automatic Aftershock Forecasting System,简称 CAAFs)。2018年10月,项目初步完成 CAAFs 系统的研制,并开始试运行,12月通过验收并于2019年1月1日正式上线,至2023年12月31日系统运行已5年。目前,CAAFs 系统已累积推送2000余次地震的震后产出结果,不但为震后

[收稿日期] 2023-12-31 [修定日期] 2024-02-08

[项目类别] 中国地震局震情跟踪项目(2024020502)资助

[作者简介] 黎明晓,女,1978年生,副研究员,主要从事地震活动性和地震综合预测研究。E-mail:lmx@seis.ac.cn

蒋海昆,通讯作者,男,1964年生,研究员,主要从事余震机理及余震预测研究。E-mail:jianghaikun@sohu.com

快速应急与震情研判提供了技术支撑,而且也积累了丰富的震例数据。

本文以 CAAFs 技术系统运行积累的震例资料为基础,研究震后快速研判意见的预测实况,对系统全国和不同地区的预测情况给予客观评价,总结优缺点,为系统优化与提升提供参考。

1 系统概述

CAAFs 系统实现了基础数据云端化自动更新、序列类型快速判定及预会商意见智能产出、自动生成及推送内容的定制服务,同时产出相关产品(包括数据和图像),为用户的后续研究提供数据和震后趋势研判提供技术支撑,实现快速、有效应急(刘珠妹等,2019; Liu et al,2023)。

该系统主要由震后会商基础知识库和震后趋势判定技术系统两部分组成。震后会商基础知识库包括全国地震序列知识库^①、4级以上历史地震震源机制知识库^②(张诚等,1990;许忠淮,2001)、地震分区知识库^③、1:250万地震构造基础信息知识库(徐锡伟等,2016)等。CAAFs 产出震后趋势快速研判意见与震情会商分析数据,包含社会地理、地质构造、历史地震活动等丰富的资料。最终结果以“震情专报”、“震后趋势辅助会商 PPT”的形式发布,实现产品的用户固定共享服务器和微信端动态发布。

震后趋势判定技术系统为实现震后半小时内智能化资料准备、参数计算、趋势判定以及多平台发布要求,采用稳定性强的 C/S 架构(图 1),系统部署在中国地震台网中心云管理平台,分为数据资源层、核心计算层、业务模型层、接口服务层以及表现层五部分。数据资源层是震后趋势判定相关背景知识库,包括全国统一地震编目数据库、震源机制解数据库、构造断层数据库等,以文件数据集的形式列装在服务器或通过 Oracle 数据库接口调用;核心计算层包括震情基础资料、会商辅助信息以及震后快速判定意见判定过程中涉及到的数据清洗、资料时空统计以及模型运算,如行政人口统计、发震断层判断、强震余震区计算等;业务模型层中预先设置了绘图模板和 Word/PPT 产品模板,核心计算的结果将在该层生成对应的图件;接口服务层通过 Office API 接口生成《震情专报》简报/详报以及会商辅助信息 PPT 产品,产品分别推送到本地服务器以及“地震信息播报机器人”企业公众号的震后会商应用程序中;表现层是系统的用户使用终端,在本地服务器或者微信的“震后会商”应用中查看震后信息。

系统运行分为自动流程和手动流程两部分(图 2):自动流程由符合最低震级下限的震情触发后,自动产出文字版《震情专报》(简/详版),并自动绘图,生成辅助首次会商的 PPT,并分别通过服务器和微信推送,供值班员审阅后打印上报;手动流程则是在震级较低,未达到启动条件的震级下限时,可通过客户端界面手工输入地震参数(或在地震列表中选择地震基本信息),调用本地存储资料进行手工动流程触发,产出相应的震后产品。产出的《震情专报》(简版)是供地震预报人员撰写震后快速研判意见的基本素材,也可为其他震后应急人

① 《中国大陆地震序列目录整理》课题组算法自动计算。

② Global CMT(<https://www.globalcmt.org/>)。

③ 《中小地震及区域特征》课题组。

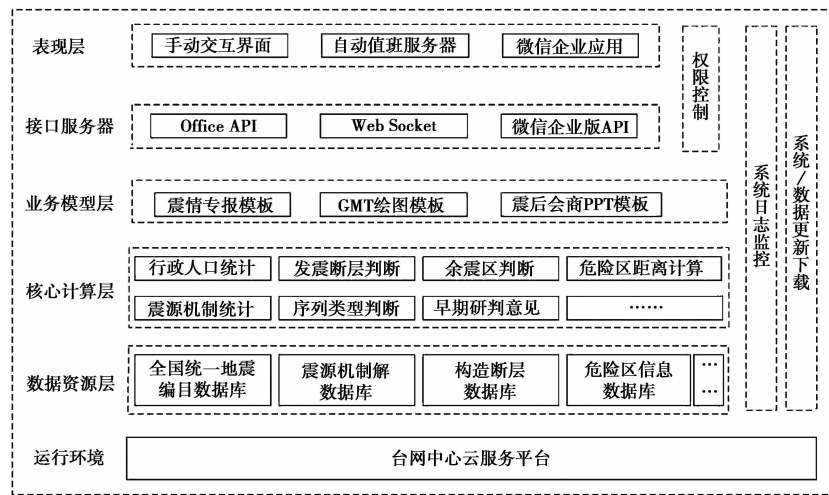


图 1 震后趋势判定技术系统架构(据刘珠妹等(2019))

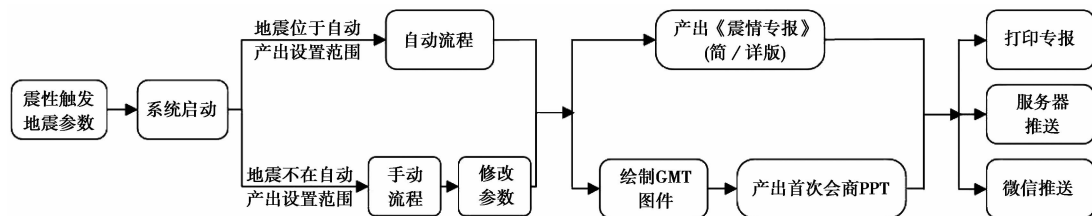


图 2 系统总体运行流程

员提供震后趋势的参考数据；产出的《震情专报》(详版)为震后趋势会商人员撰写后续会商意见提供更为详实的数据资料；产出的会商 PPT 资料为首次会商人员提供基本素材。在震后半小时内提交首次会商意见和首次震后应急会商中,该系统及时为地震分析预报人员提供较为丰富的数据和意见。2020 年、2021 年和 2022 年完成自动推送震后信息的平均时间分别为 7.70min、7.24min 和 9.30min,尽管推送时间与程序自身、硬件配置高低以及网络有关,但从系统运行产出时间来说,可以保障震后半小时内快速研判和首次应急会商使用。

本次研究的震后余震预测意见数据来自 CAAF_s 系统自动产出的《震情专报》(详版),主要包括地震概况和震后趋势研判两部分内容。地震概况主要为发生地震的时间、地点、震级及震源深度信息;震后趋势研判主要为震后初步研判意见以及构造、历史地震活动、历史地震序列类型等地震活动方面的主要判定依据信息。震中附近历史地震序列类型特征是震后研判意见产出的重要依据之一,根据蒋海昆等(2006)地震序列研究结果,CAAF_s 系统对地震序列类型判定采用多震型、主余型和孤立型三种分类,按最大主震与最大余震震级差(ΔM)划分序列类型,划分标准如下:多震型, $\Delta M \leq 0.5$;主余型, $0.6 \leq \Delta M \leq 2.4$;孤立型, $\Delta M \geq 2.5$ 。对于 $M \geq 4.0$ 的地震(M 为主震震级、最大余震震级中最大值)序列类型判定时序列时间窗长 ΔT (单位:天)的选取,依据 Lolli 等(2003)的研究结果,即 $\Delta T = 60 + 60 \times (M - 4)$;对于 $3.0 \leq M \leq 3.9$ 地震, $\Delta T = 30$;对于 $M \leq 2.9$ 的地震, $\Delta T = 15$ 。对于地震序列空间窗长的选取,5 级以上地震依据主震震级与断层破裂尺度的经验关系(Wells et al, 1994),4.0~4.9

级地震以 15km 半径范围、4.0 级以下地震以 10km 半径范围内的地震视为同一地震序列的余震。依据以上规则可判定以往地震序列类型,中国大陆中强地震序列类型具有一定的区域特征(蒋海昆等,2006),统计地震震中半径 R (单位: km, $M \geq 6.0$ 地震, $R = 200\text{km}$; $5.0 \leq M < 6.0$ 地震, $R = 100\text{km}$; $4.0 \leq M < 5.0$ 地震, $R = 50\text{km}$; $M < 4.0$ 地震, $R = 20\text{km}$) 范围内的地震序列类型比例,利用专家规则建立震后趋势早期判定模型,根据主余型和孤立性地震序列的比例 P ,产出相应的结论(图 3)。系统 CAAFs 的框架设计、关键技术、知识库等内容已在相关研究中(刘珠妹等,2019; Liu et al,2023)有详细论述。

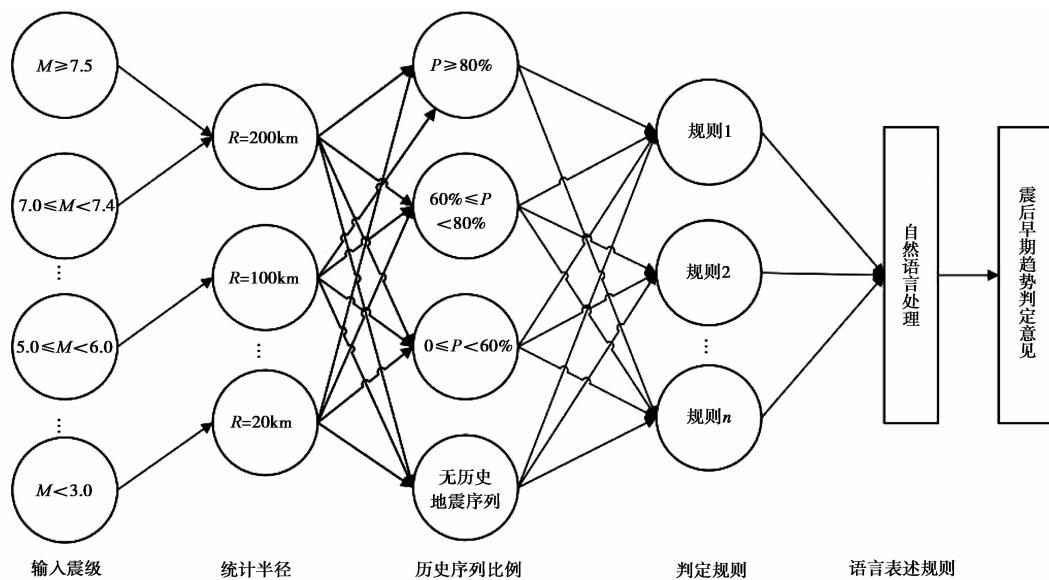


图 3 震后趋势判定模型(据刘珠妹等(2019))

2 系统震后余震预测效果评价

2.1 研究区及数据

系统启动阈值因不同地区而定,与中国地震局震后趋势会商业务要求^①相一致,系统启动震级一般比要求低 0.5 级。自动推送震后信息,京津冀地区启动条件为 $M \geq 2.0$,新疆地区为 $M \geq 3.8$,中国台湾为 $M \geq 5.0$ 。以 2019 年 1 月 1 日至 2023 年 6 月 30 日震后趋势判定技术系统产出的震情专报判定意见为研究对象(不含中国台湾),本次研究的地震样本共计 1278 次地震,其中 $M < 3.0$ 地震 132 次,3.0~3.9 级地震 731 次,4.0~4.9 级地震 329 次,5.0~5.9 级地震 70 次,6.0~6.9 级地震 15 次, $M \geq 7.0$ 地震 1 次,为 2021 年青海玛多 $M_s 7.4$ 地震,按地域分为华北东北、华南(不含台湾)、西北(含新疆)和西南(含西藏)地区,西部分区含边境附近的地震,东部分区含相邻海域的地震,分区情况详见图 4。

2.2 评价标准

在对技术系统产出的预测意见进行检验时,产出的预测意见表述“近几日”,设定为主震

^① 中震测函(2019)7号,关于进一步规范震后紧急会商工作的通知。

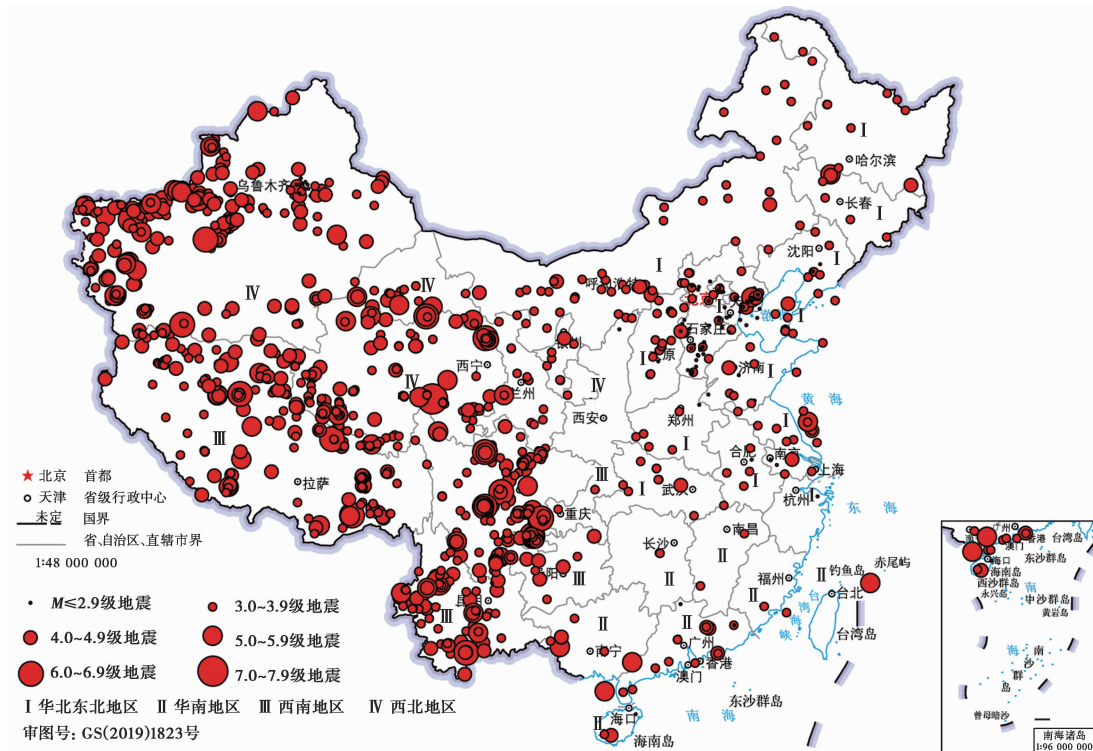


图 4 参与统计分析的系统 CAAF_s 推送震后信息的地震空间分布及分区情况

后 7 天内的余震活动,序列地震目录数据来源于中国地震台网中心的统一编目目录。本研究中 5 级以上地震的余震序列空间范围的选取考虑构造、余震空间分布以及主震震级与断层破裂尺度的经验关系 (Wells et al, 1994) 等; 5 级以下地震的余震序列空间范围按震级设定, 4.0~4.9 级地震以 15km 半径范围内的地震、 $M < 4.0$ 地震以 10km 半径范围内的地震, 视为其余震活动。

地震预测意见大致归为三类: 一是发生某震级 (含该震级) 以上地震的可能性不大, 简称为“震级上限预测”; 二是存在发生同等或具体某震级左右地震的可能, “左右”视为 0.5 级上下浮动, 简称为“震级区间预测”; 三是前两类均有。评价分析时按震级上限预测和区间预测两类情况分析, 其中属于震级上限预测的预测意见 1158 次, 震级区间预测的预测意见 547 次, 既包含震级上限预测又包含区间预测的地震预测意见 427 次。考虑地震监测能力, 震级区间预测最大余震考虑 $M \geq 2.0$ 以上的地震样本, 符合这个条件的地震区间预测意见 330 次。震级上限预测意见实况检验时, 主震发生后 7 日内的最大余震未达到预测的上限某震级及以上地震可视为“上限预测正确”, 反之为不正确。震级区间预测实况检验时以“震级偏差”的大小评价预测情况的优劣, “震级偏差”定义为 7 日内发生的最大余震震级与预测震级区间的中值的差值, 震级偏差越接近于 0 的比例越高, 表明预测结果越好, 震级偏差为负数, 表明预测震级高于实际情况。

2.3 全国预测结果评价

在上限预测的意见中, 余震序列 7 天内发生的最大余震震级在预测上限震级以下的为

1073次,正确率约93%;在区间预测的意见中,震级偏差位于 $[-0.5,0.5]$ 的地震为144次,比例约为44%,震级偏差位于 $[-1,1]$ 区间内的地震为229次,约占总数的69%。

按主震不同震级,以0.5级分震级统计上限预测、区间预测情况,其中低震级与高震级的地震数量偏少,因此,统一归为 $M \leq 2.9$ 和 $M \geq 6.0$,中间按0.5级分段。研究结果显示,震级上限预测中,预测正确率普遍在90%及以上, $M \geq 6.0$ 地震预测正确率为100%, $M \leq 2.9$ 地震的预测正确率次之,为97%,5.5~5.9级地震预测正确率最低,为89%;中间震级段的地震数量相对较大,3.0~4.9级地震的数量较多,达到100次以上,最多为3.0~3.4级,为341次,这一震级段地震的预测准确率达到90%以上(图5(a),图6)。总体来看,上限预测各震级区间的地震余震预测较好。震级区间预测中,不同震级段震级偏差落入 $[-0.5,0.5]$ 区间的地震比例约在30%~60%,震级偏差落入 $[-1,1]$ 区间的地震比例约为60%~80%,3.5~5.4级地震震级偏差相对较大,向两侧3.0~3.4级、5.5级以上的预测震级偏差显著减小(图5(b),图6)。统计330次区间预测的地震7日内发生的最大余震震级与主震震级的差和主震震级的关系,结果显示大约3.7~5.4级地震的余震变化幅度相对较大,4.0~4.4级、4.5~4.9级和5.0~5.4级地震的最大余震震级与主震震级的差值浮动区间分别为 $[-2,2.4]$ 、 $[-2.6,3.4]$ 和 $[-3.2,2.4]$,向两侧低震级和高震级的地震最大余震震级与主震震级差值逐渐减小至 $[-0.5,0.5]$ 浮动(图7)。因此,4~5级地震最大余震震级较其他震级的地震变化范围较大,导致了该震级段的地震余震序列的震级水平估计难度增大。

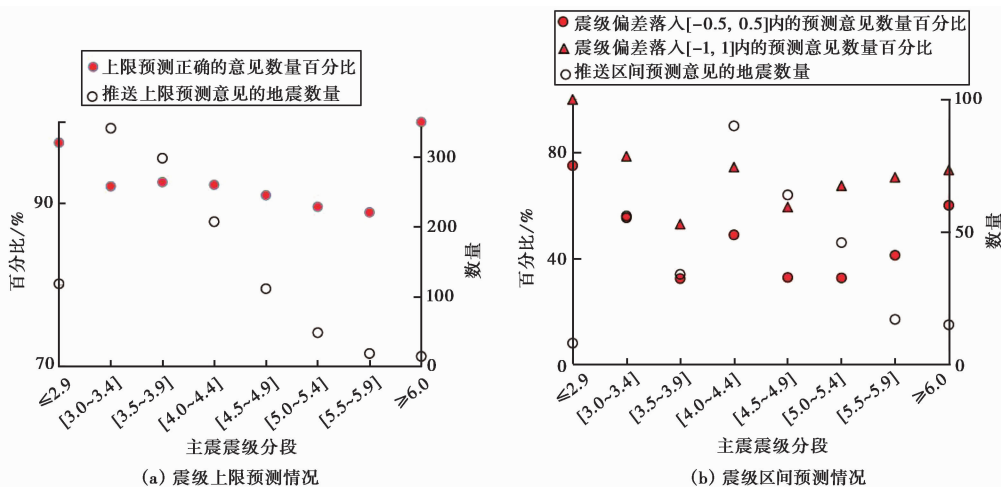


图5 震级上限预测、区间预测意见数量、预测情况散点图

进一步分析震级区间预测与实际发生地震的震级偏差情况,按预测余震与实际发生地震的震级差以 $[-0.5,0.5]$ 区间为中心向两侧以0.5逐步递减或累加,研究在不同震级偏差段的地震数量的分布情况(图8)。其中 $[-0.5,0.5]$ 区间的地震占多数,占比接近44%,其次为 $[-1.0,-0.6]$ 区间的地震,约占20%, $[-1.5,-1.1]$ 区间的地震约占12%,其他震级偏差段的地震占比均在10%以下。此外,在 $[-0.5,0.5]$ 区间中,偏差小于0的约占64%,其他震级偏差段小于0的地震比例显著高于正值,总体上震级偏差小于0的地震约是大于0的地震数量的2倍,可见预测震级普遍高于地震实际震级。总体来看,偏差越小的地震数量占比越

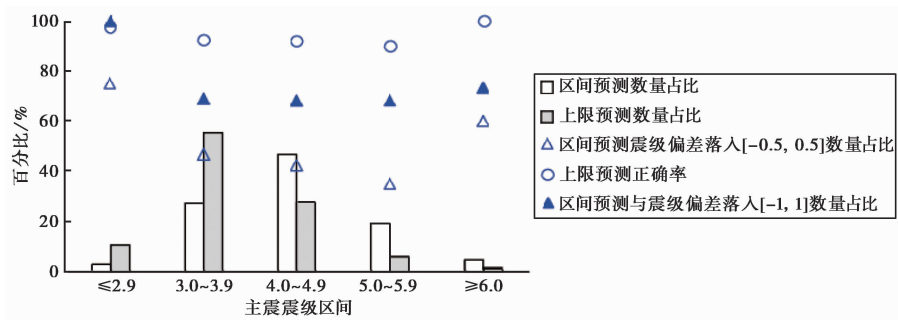


图 6 震级上限预测和区间在主震震级区间的预测情况

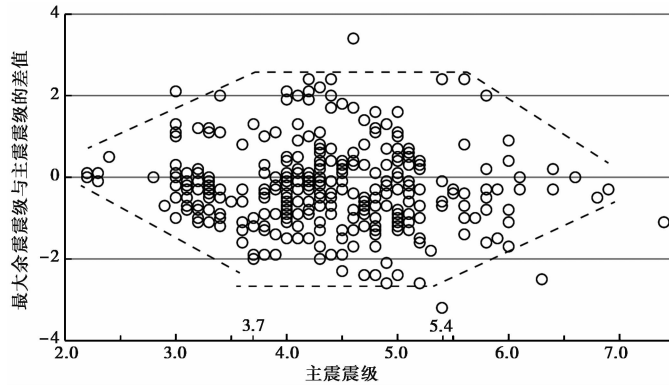


图 7 震级区间预测最大余震震级与主震震级的差值和主震震级的关系

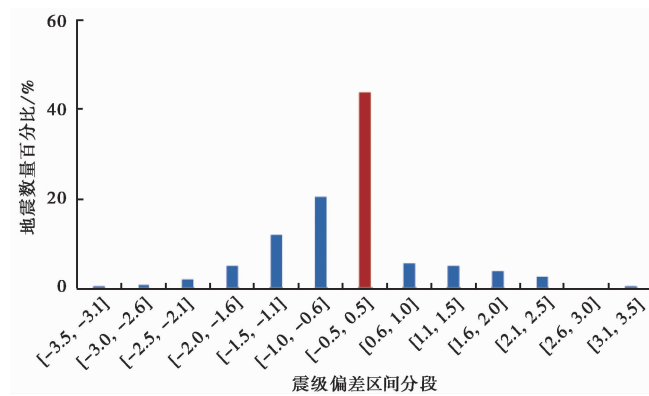


图 8 震级区间预测不同震级偏差段的地震数量占比

大,说明预测情况尚可。

2.4 分区预测结果评价

震级上限预测意见和震级区间预测意见在西南、西北、华北东北和华南地区的预测情况见表 1。其中,西藏包含在西南地区,新疆包含在西北地区,因其样本量大,也单独统计了结果。在上限预测意见中,西南、西北、华北东北、新疆、华南预测意见正确率达到了 90% 以上,

最低为西藏地区,其预测意见正确率约 87.6%;在震级区间预测意见中,西南、西藏、华北东北和华南地区预测震级偏差落入 $[-0.5,0.5]$ 区间比例相对较高,达到 50%以上,各区预测震级偏差落入 $[-1,1]$ 区间的比例增加明显,增加 20%左右,西藏、西北和华北东北地区的比例达到 70%以上,其他地区达到 60%以上。

表 1 震级上限预测意见、区间预测意见分区预测情况统计结果

区域	震级上限预测意见			参与统计的信息总数	震级区间预测意见			
	推送信息总数	预测意见正确数量	预测意见正确率		预测意见震级偏差 $[-0.5,0.5]$ 内数量	预测意见震级偏差 $[-1,1]$ 数量	预测意见震级偏差 $[-0.5,0.5]$ 内的比例	预测意见震级偏差 $[-1,1]$ 内的比例
西南	471	426	90.4%	171	79	114	46.2%	66.7%
西藏	201	176	87.6%	53	28	38	52.8%	71.7%
西北	386	358	92.7%	127	48	91	37.8%	71.7%
新疆	235	217	92.3%	73	27	151	37.0%	69.9%
华北、东北	270	250	92.6%	24	13	19	54.2%	79.2%
华南	41	39	95.1%	8	4	5	50.0%	62.5%

震级上限预测、区间预测在西南、西北、华北东北和华南地区不同震级档地震数量占比和预测情况见图 9。在上限预测中,各分区均以 3.0~3.9 级地震居多, $M \leq 2.9$ 地震与 4.0~4.9 级地震居其次,略微差异是西部西南、西北以 4.0~4.9 级地震较多,东部华北东北、华南以 $M \leq 2.9$ 地震较多,相对应的预测正确率均较高,维持在 90%以上,西南 $M \geq 5.0$ 地震的预测正确率相对较低,约为 89%(图 9(a))。在区间预测中,西南地区样本数量最多的 4.0~4.9 级地震预测预测情况最好,数量较多的 3.0~3.9 级和 $M \geq 5.0$ 地震的预测预测情况次之;西北各震级档的预测情况差距不大, $M \geq 5.0$ 地震预测情况相对较好,数量最多的 4.0~4.9 级地震预测正确率低,总体上震级偏差落入 $[-1,1]$ 区间的比例显著高于 $[-0.5,0.5]$ 区间;华南以 4.0~4.9 级地震数量居多,其预测偏差落入 $[-1,1]$ 区间的比例较高;华北以 $M \leq 3.9$ 地震居多, $M \leq 2.9$ 、4.0~4.9 级地震次之,4.0~4.9 级地震预测情况较好。由于东部两个地区统计样本相对偏少,结果仅供参考(图 9(b))。

对于西南、西北、华北东北和华南地区震级区间预测,将预测震级偏差以 $[-0.5,0.5]$ 区间为中心,以 0.5 级分别向两侧递减或递增进行分段,研究地震数量各分区预测情况。 $[-0.5,0.5]$ 区间震级偏差段地震数量越多,预测情况越好,其他越靠近该区间预测情况越好。由图 10 可见,各分区的震级偏差以 $[-0.5,0.5]$ 区间最高,总体而言震级偏差为负值的地震数量高于震级偏差为正值的地震数量,说明对主震 7 日内的余震震级水平估计比实际偏高,西南地区的区间预测情况优于其他三个地区。华南震级偏差在 $[-1.5,-1.1]$ 区间的地震数量比例相对较高,因华南样本量较少,结果不具有统计特征。

3 结语

在对 2019 年 1 月至 2023 年 6 月震后趋势技术系统产生的余震预测意见进行梳理总结的基础上,分析地震发生后的 7 日内余震强度预测情况,全国和分区结果均表明:

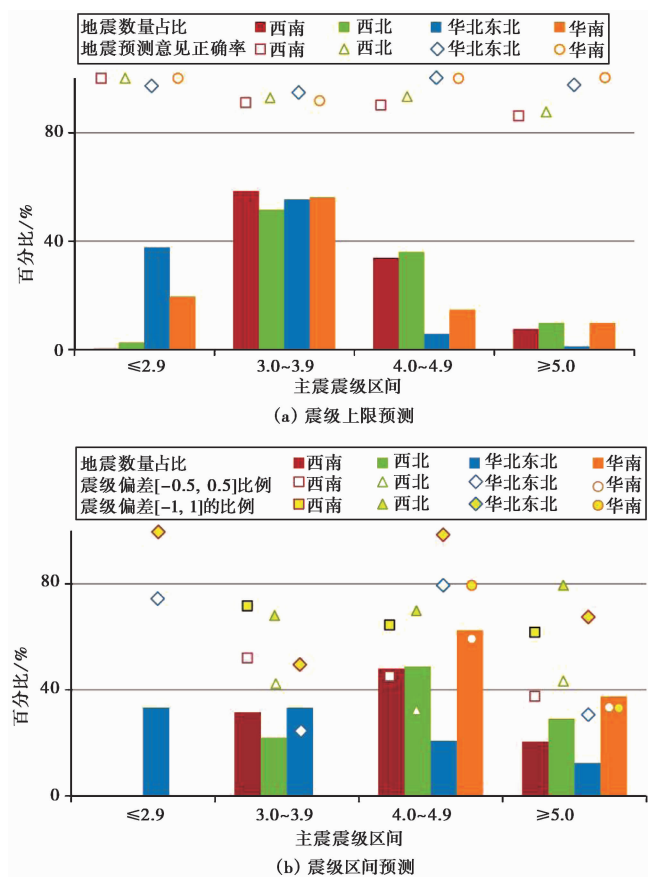


图 9 震级上限预测、区间预测各分区不同震级段的地震数量、预测意见预测情况

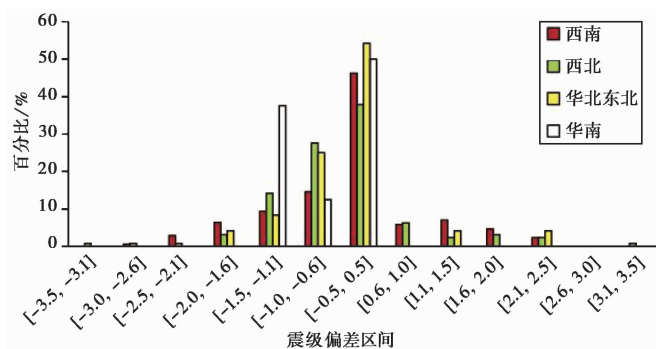


图 10 震级区间预测各分区在不同地震震级偏差中的地震数量占比分布

(1) 震级上限预测的正确率大多达到 90% 以上, 显著高于区间预测结果, 各分区差异性不显著, 上限预测对震后趋势研判和地震应急发挥了重要作用;

(2) 震级区间预测震级普遍高于实际发生的最大余震震级, 震级偏差落入 $[-0.5, 0.5]$ 、 $[-1.0, 1.0]$ 区间的比例分别约为 44%、69%, 越靠近 $[-0.5, 0.5]$ 区间的比例越高, 该结果与 2019—2021 年系统 CAAF_s 产生的预测意见的评价结果基本一致 (Liu et al, 2023);

(3)震级区间预测在各分区有一定差异,西南地区优于西北、华南、华北三个地区,震级区间预测中4~5级地震预测情况不如其他震级区间,可能与该震级区间的地震最大余震震级变化范围较大有关。

目前该系统未单独列出前主余型地震序列,此类型地震后续升级的余震可能造成较大的危害,还有多震型地震序列在实际跟踪中序列演化较复杂,因此,今后可吸收前主余型、多震型地震序列判定方法、最大余震活动水平估计等方面较为成熟的研究成果,对系统进行适当的优化与完善。

致谢: 本文撰写得到晏锐研究员、闫伟研究员的指导与帮助,中国地震台网中心国家地震科学数据中心提供数据支撑,审稿专家为本文提供了建设性的修改意见,在此表示感谢。

参考文献

- 董曼. 2008. 华东南、首都圈震后趋势快速分析系统研制. 硕士学位论文. 武汉:湖北省地震局(中国地震局地震研究所).
- 黄金刚,薛艳,宋美琴,等. 2017. 基于震例的测震学异常辅助判定系统. 中国地震, **33**(1):154~165.
- 蒋海昆,曲延军,李永莉,等. 2006. 中国大陆中强地震余震序列的部分统计特征. 地球物理学报, **49**(4):1110~1117.
- 刘珠妹,蒋海昆,李盛乐,等. 2019. 基于震例类比的震后趋势早期判定技术系统建设. 中国地震, **35**(4):602~615.
- 徐锡伟,韩竹军,杨晓平,等. 2016. 中国及邻近地区地震构造图. 北京:地震出版社.
- 许昭平. 2012. 震后快速判定系统的设计与实现. 硕士学位论文. 成都:电子科技大学.
- 许忠淮. 2001. 东亚地区现今构造应力图的编制. 地震学报, **23**(5):492~501.
- 张诚,曹新玲,曲克信,等. 1990. 中国地震震源机制. 北京:学术书刊出版社.
- 张华,周斌,文翔,等. 2014. 广西震后趋势快速研判系统及其应用. 华南地震, **34**(2):73~77.
- 庄昆元,黄冰树,王伟,等. 2001. 震后趋势决策支持系统 PTDSS. 西北地震学报, **23**(4):404~409,411.
- Liu Z M, Jiang H K, Li S L, et al. 2023. Implementation and verification of a real-time system for automatic aftershock forecasting in China. *Earth Sci Inf*, **16**(2):1891~1907.
- Lolli B, Gasperini P. 2003. Aftershocks hazard in Italy Part I: estimation of time-magnitude distribution model parameters and computation of probabilities of occurrence. *J Seismol*, **7**(2):235257.
- Wells D L, Coppersmith K J. 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bull Seismol Soc Am*, **84**(4):974~1002.

Evaluation on the Aftershocks Prediction Effect of CENC Automatic Aftershock Forecasting System (CAAFs)

Li Mingxiao¹⁾, Liu Zhumei²⁾, Jiang Haikun¹⁾, Li Shengle²⁾

1) China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China

2) Hubei Key Laboratory of Earthquake Early Warning, Hubei Earthquake Agency, Wuhan 430071, China

Abstract Since official operation in 2019, CENC Automatic Aftershock Forecasting System (abbr. CAAFs) has provided both timely data and technical support for post-earthquake emergency responses and post-earthquake trend analysis. This article summarizes the data output of the CAAFs for 4.5-year operation, and evaluates the aftershock prediction results produced by the system from both national and regional areas. Our results show that: ① the accuracy of upper-limit earthquake magnitude prediction (i.e. the happening probability of earthquakes with a certain magnitude or above is not high) is mostly $\geq 90\%$, which is significantly better than the interval earthquake magnitude prediction (i.e. the happening possibility of earthquakes with the same magnitude or a certain magnitude occurring with an error of ± 0.5). There is not much difference in the predicted results in different seismic zones; ② The predicted magnitudes in the interval are generally higher than the actual earthquake magnitude values. The proportion of earthquakes with magnitude deviation (actual maximum aftershock magnitude within 7 days minus predicted magnitude) falling into $[-0.5, 0.5]$ is about 44%, falling into $[-1, 1]$ is about 69%. The closer the magnitude deviation is to the $[-0.5, 0.5]$ interval, the higher the proportion of earthquakes are; ③ The result of interval prediction in southwestern China is better than that in the northwestern, southern, and north-northeastern China. The predicted results of $M4.0 \sim 5.0$ earthquakes are not as good as those of other magnitude ranges, which may be related to the large range of changes in the maximum aftershock magnitude of earthquakes in this magnitude range.

Keywords: Post-earthquake trend decision; Technical system; Aftershock prediction; Earthquake upper-limit prediction; Interval earthquake magnitude prediction