

张珂、王鑫、郝美仙等,2019,地震速报区域的自动确认——以内蒙古测震台网为例,中国地震,35(4),753~761.

# 地震速报区域的自动确认 ——以内蒙古测震台网为例

张珂<sup>1)</sup> 王鑫<sup>1)</sup> 郝美仙<sup>1)</sup> 苏柱金<sup>2)</sup> 刘芳<sup>1)</sup>

1) 内蒙古自治区地震局,呼和浩特 010080

2) 广东省地震局,广州 510070

**摘要** 针对当前省级区域测震台网在判别边界地震是否需要速报的问题,基于内蒙古自治区行政区域的边界数据,利用几何学中包络线原理,在 Matlab 中将内蒙古地震速报范围以包络线的形式呈现,解译 Msdp 地震分析软件的数据接口,实现内蒙古地震速报区域在 Msdp 软件中的自动确认;对比分析地震速报区域自动确认功能的结果与现阶段手动量取方式判别地震事件是否需要速报的结果,表明地震速报区域的自动确认可提高速报业务软件系统的自动化程度,简化地震速报工作的操作流程,减少速报用时,提高速报工作的准确度。

**关键词:** 内蒙古边界 包络线 Matlab Msdp 地震速报区域的自动确认

[文章编号] 1001-4683(2019)04-0753-09 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

地震速报是省级区域测震台网的一项基本产出,它直接体现了地震部门防震减灾工作成效,而衡量地震速报工作质量最重要的因素是速报人员能否快速准确地测定地震事件的三要素并完成初报(郑黎辉等,2009;张帆等,2017;郁建芳等,2014;刘平仁等,2017;刘军等,2013;刘方斌等,2018)。在地震速报分析处理过程中,要求速报人员必须了解本省地震速报范围并于第一时间判识出已发生地震是否属于本省地震速报范围。地震速报范围是中国地震局对我国各省级测震台网中心进行地震速报工作的区域划分(刘胜国等,2012)。

现阶段,各省级区域测震台网中心普遍通过 JOPENS 地震业务系统的 Msdp 地震分析与处理模块和全国速报数据交换平台 EQIM 软件进行地震事件分析和初报。判识省界附近及省界外地震是否属于本台网中心速报范围仍利用上述已有的技术系统,即是对已发生地震进行震相识别并采用外挂定位程序给出定位结果,然后通过 EQIM 软件调取定位计算结果,在软件的矢量化震中地图中手动量取震中位置距本省边界的距离,根据震级大小和速报规定,人工判断是否需要速报,完成初报流程。上述判断速报范围的方法严重影响了地震速报

[收稿日期] 2019-08-06; [修定日期] 2019-11-01

[项目类别] 内蒙古自治区地震局局长基金(2019JC23)、中国地震局监测、预测、科研三结合课题(3JH-201901067)共同资助

[作者简介] 张珂,女,1993年生,硕士,助理工程师,主要从事地震速报与编目等工作。E-mail:zkee0928@163.com

刘芳,通讯作者,女,1962年生,高级工程师,主要从事地震监测、地震学的研究工作。E-mail:lfm88@163.com

的时效性。尤其对于内蒙古测震台网,其行政区域边界极不规则,速报责任区较大,内邻8个省份,外接蒙古、俄罗斯,且速报范围内的地震震相特征也较为复杂(郝美仙等,2015、2016;宋晓燕等,2018),速报人员需要花费较多时间去完成地震事件的分析处理。目前人工判识省界附近及省界外地震是否属于本台网中心速报范围的方式大大降低了内蒙古台网地震速报的效率和质量,与地震速报要求的“快”与“准”相违背(吴国瑞等,2015)。

当前关于地震速报区域自动确认的研究相对较少,且只有广东省地震局在 JOPENS 系统内的 Msdp6.0 模块外挂了关于速报范围的程序。其原理是利用谷歌地球(Google Earth)软件自定义生成 KML 策略文件,该文件中包含多个速报范围,并且针对每一个速报范围可设置速报方式和震级阈值(苏柱金等,2014;刘军等,2011),从而在 Msdp 中对地震速报范围实现可视化。该方法基于谷歌地球软件缓冲区功能实现,只能在 Msdp6.0 中应用,而当前全国各省台网中心应用 Msdp5.2 仍较多,无法实现地震速报范围可视化的功能。

本文基于快速判断确定速报责任区,在 Msdp5.2 系统中开发部署精准快速的地震速报区域的自动确认功能,省去人工处理的环节,提高速报业务软件系统的自动化程度。

## 1 速报区域自动化的原理与步骤

根据《地震速报技术管理规定(2015年修订版)》<sup>①</sup>对内蒙古测震台网中心地震速报范围的规定:10min内完成呼和浩特市 $M \geq 2.5$ 地震、15min内完成本行政区内(呼和浩特市除外) $M \geq 2.7$ 地震、本行政区边线外50km范围内(不含本行政区) $M \geq 3.0$ 地震、100km范围内(不含本行政区) $M \geq 4.0$ 地震、200km范围内(不含本行政区) $M \geq 5.0$ 地震、300km范围内(不含本行政区) $M \geq 6.0$ 地震的初报(闻军等,2007),利用几何学中的包络线原理,基于 Matlab 在 Msdp 软件中实现内蒙古地震速报区域的自动确认。

### 1.1 原理

内蒙古地震速报区域在 Msdp 中的自动确认是基于带有内蒙古速报范围的 jpg 格式地图,在 Msdp 中完成对速报范围的呈现。当速报人员拾取地震事件的震相特征并进行定位后,即可在 Msdp 的定位信息中清晰地看到震中位置所属的速报范围,并结合相应的速报震级立刻判断该事件是否需要速报。因此,地震速报区域自动确认的关键在于:①自动生成具有内蒙古地震速报范围的地图;②地震定位后在 Msdp 软件中实现将震中位置显示于带有地震速报范围的地图中。

(1) 自动生成具有内蒙古地震速报范围的地图是基于美国 Mathwork 公司研发的商业数字软件 Matlab,利用几何学中的包络线原理实现的。在几何学中,包络线是指与某一曲线族的每条线都有至少1个相切点的1条曲线。即1个曲线族的每条曲线表示为 $C_s: t \rightarrow (x(s, t), y(s, t))$ ( $s$ 为曲线族的参数, $t$ 为特定曲线的参数)。设 $(x(s, h(s)), y(s, h(s)))$ 表示 $C_s$ 和包络线相切的点, $C_s$ 的切向量为 $\left(\frac{\partial x}{\partial t}, \frac{\partial y}{\partial t}\right)$ ,包络线的切向量为 $\left(\frac{\partial x}{\partial s}, \frac{\partial y}{\partial s}\right)$ , $\lambda$ 为系数,则局部求导有

$$\frac{dx}{ds} = \frac{\partial x}{\partial h} \frac{dh}{ds} + \frac{\partial x}{\partial s} \frac{ds}{ds} = \frac{\partial x}{\partial h} h'(s) + \frac{\partial x}{\partial s} \quad (1)$$

<sup>①</sup> 中国地震局震害防御司,2015,《地震速报技术管理规定(2015年修订版)》,内部资料(中震测发[2015]51号)。

$$\frac{dy}{ds} = \frac{\partial y}{\partial h} h'(s) + \frac{\partial y}{\partial s} \tag{2}$$

因包络线和  $C_s$  在切点处的切向量互相平行,有

$$\frac{\partial x}{\partial t} = \lambda \left( \frac{\partial x}{\partial h} h'(s) + \frac{\partial x}{\partial s} \right) \tag{3}$$

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \lambda \left( \frac{\partial y}{\partial h} h'(s) + \frac{\partial y}{\partial s} \right) \tag{4}$$

由式(3)、式(4)消去  $h'(s)$ ,得

$$\frac{\partial y}{\partial h} \frac{\partial x}{\partial s} = \frac{\partial y}{\partial s} \frac{\partial x}{\partial h} \tag{5}$$

由式(5)可求得  $h(s)$ ,从而求得包络线方程。

根据上述原理,可在 Matlab 中利用一维插值函数 interp1 进行 3 次样条插值运算(苏金明等,2004;陈宝柱等,2011),并编写相应算法将距离内蒙古边界外一定距离的包络线绘出,取其作为相应的速报范围圈。

(2)生成具有地震速报范围的地图后,还需将其应用在 Msdp 软件中。Msdp 软件是一种地震交互分析处理软件,由广东省地震局在“九五”、“十五”数字测震台网建成后开发(孙业君,2015)。该软件兼有地震速报、地震编目和数据服务等功能(苏莉华等,2012;翁少林,2007;戚浩等,2011)。为了能够在 Msdp 定位系统中实现内蒙古地震速报区域的自动确认,需修改与完善 Msdp 的 map 与 Main.cfg 文件。

### 1.2 步骤

基于上述原理,在 Matlab 软件中实现内蒙古速报区域的自动确认主要分为 3 个步骤(图 1):

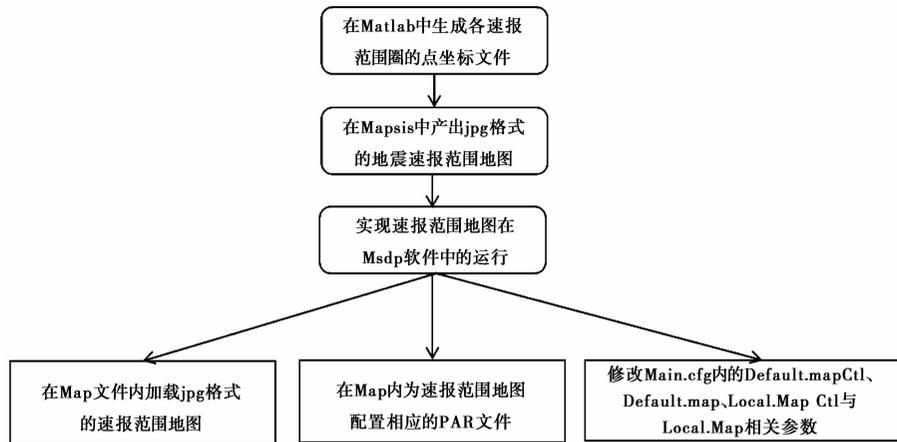


图 1 地震速报区域自动确认流程

(1)以内蒙古行政区域边界数据为基础,基于 Matlab 软件,应用包络线原理,编写相应算法依次将省边界外 50km、100km、200km、300km 的边界绘出,并生成相应的离散坐标点文件;

(2)将 Matlab 产出的坐标点文件做相关处理,在 Mopsis 中绘出具有本区地震速报范围的地图,该图的分辨率为(3770×2724)px,经度90°~135°E,纬度 33°~56°N;

(3)在生成速报范围地图的基础上,解译 Msdp 地震分析软件的数据接口,编写接口程序,将地图外挂到 Msdp 程序内的 map 文件内,编写地图的 PAR 文件(图 2),并设置 msdp 中 main.cfg 文件的 Default.map、Default.map Ctl、Local. Map 与 Local. Map Ctl 参数,从而可在 Msdp中运行该地图,实现内蒙古地震速报范围在 msdp 软件中的自动生成。

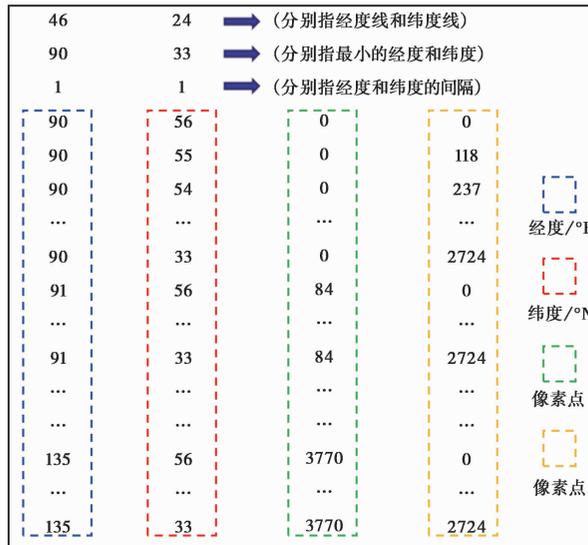


图 2 地震速报区域地图的 PAR 文件结构示意图

## 2 应用与分析

为检验地震速报区域自动确认的应用效果,从内蒙古台网记录到的地震事件中挑选出与内蒙古接壤的 2 个国家的地震和 7 个邻省地震(表 1)。在 Msdp 中对挑选地震进行重新定位,利用地震速报区域的自动确认功能,判定地震事件是否属于本台网的地震速报范围。同时,利用原有手动量取震中位置与本省边界间距离的方式,再次判断是否需要对本台网进行速报,对比分析二者的一致性。

表 1 内蒙古测震台网记录到的 9 个边界地震事件

地震事件	发震时刻(年-月-日 T时:分:秒)	东经/(°)	北纬/(°)	震级 <i>M</i>
蒙古地震	2019-01-02 T11:12:59.0	104.24	42.27	4.8
俄罗斯地震	2017-01-22 T00:43:35.0	119.81	51.99	3.1
甘肃景泰地震	2018-05-26 T14:52:35.3	103.83	37.07	3.7
宁夏灵武地震	2019-05-18 T23:43:38.2	106.38	38.03	2.7
陕西榆林塌陷	2018-09-06 T21:56:11.1	109.83	38.43	2.2
山西大同地震	2019-06-12 T10:44:52.0	113.19	40.19	1.1
河北张北地震	2019-01-17 T15:25:22.5	114.38	41.16	1.7
吉林宁江地震	2018-05-28 T01:50:52.7	124.71	45.25	5.3
黑龙江呼玛地震	2016-03-18 T00:53:48.6	122.91	51.46	3.9

### 2.1 速报区域自动确认的应用

在 Msdp 中分别对挑选的 9 个地震进行震相分析与定位,定位结果见图 3~7,定位后可在点阵地图中生成可视化的地震速报范围。各地震的定位结果如表 2 所示,可清晰看出:①蒙古地震距离内蒙边界 100km,位于  $M \geq 4.0$  的速报范围圈内(图 3),其震级  $M$  为 4.8,需要快速初报;②吉林地震距离内蒙边界 200km,位于  $M \geq 5.0$  的速报范围圈内(图 4),其震级  $M$  为 5.3,需要快速初报;③俄罗斯地震、甘肃景泰地震、宁夏灵武地震、陕西榆林塌陷、山西大同地震、河北张北地震、黑龙江呼玛地震均距离内蒙边界 50km,位于  $M \geq 3.0$  的速报范围圈内(图 5~7),其中俄罗斯地震、甘肃景泰地震、黑龙江呼玛地震的震级  $M$  分别为 3.1、3.7、3.9,需要快速初报,而宁夏灵武地震、陕西榆林塌陷、山西大同地震、河北张北地震的震级  $M$  分别为 2.7、2.2、1.1、1.7,不需要快速初报。

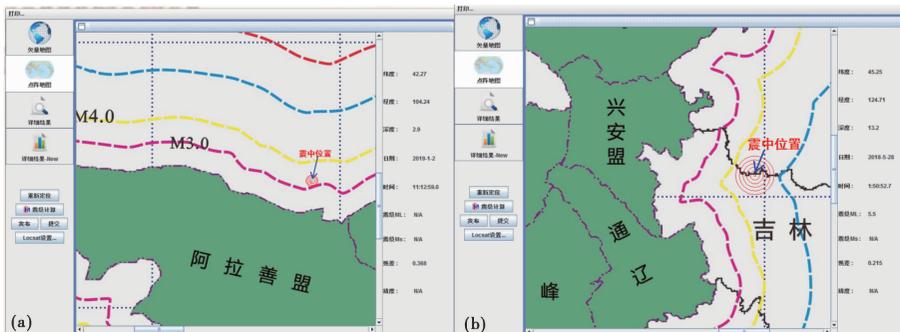


图 3 Msdp 软件中蒙古地震(a)与吉林宁江地震(b)的定位结果

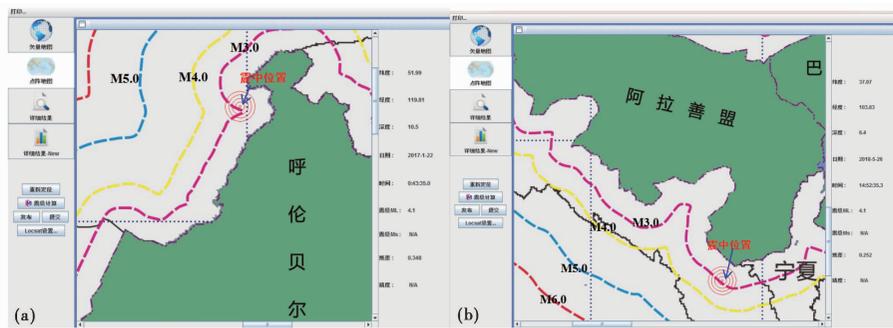


图 4 Msdp 软件中俄罗斯地震(a)与甘肃景泰地震(b)的定位结果

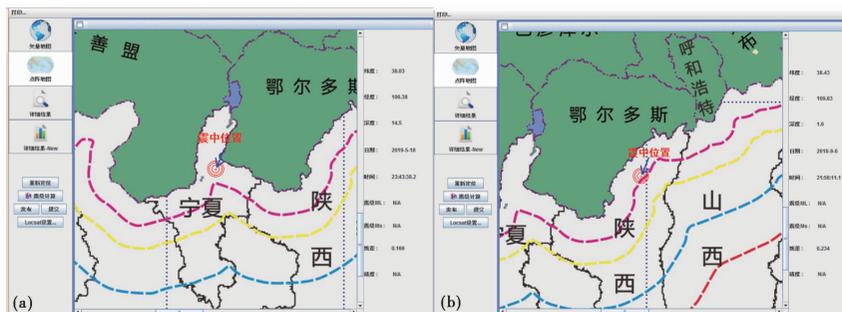


图 5 Msdp 软件中宁夏灵武地震(a)与陕西榆林塌陷(b)的定位结果

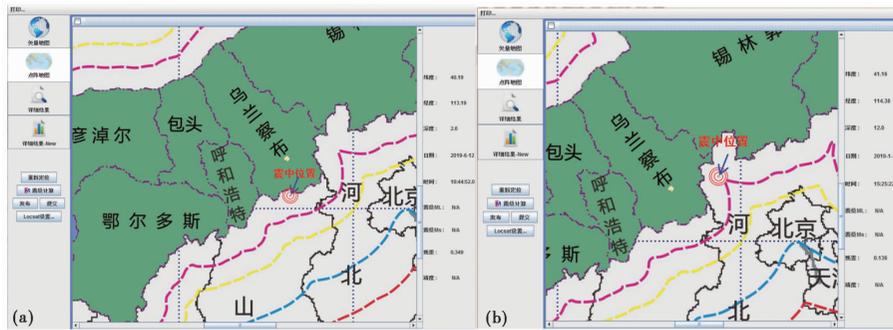


图6 Msdp软件中山西大同地震(a)与河北张北地震(b)的定位结果

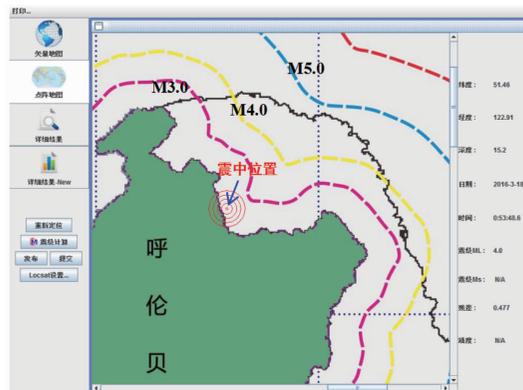


图7 Msdp软件中黑龙江呼玛地震的定位结果

表2 地震速报区域自动确认方式与手动量取方式判断结果

地震事件	M	速报区域自动确认 (外部速报范围圈)	手动量取 (距内蒙边界的距离)	是否速报	
				速报区域自动确认	手动量取
蒙古地震	4.8	100km, $M \geq 4.0$	64.1km	是	是
俄罗斯地震	3.1	50km, $M \geq 3.0$	59.9km	是	是
甘肃景泰地震	3.7	50km, $M \geq 3.0$	47.4km	是	是
宁夏灵武地震	2.7	50km, $M \geq 3.0$	27.2km	否	否
陕西榆林塌陷	2.2	50km, $M \geq 3.0$	44.9km	否	否
山西大同地震	1.1	50km, $M \geq 3.0$	13.6km	否	否
河北张北地震	1.7	50km, $M \geq 3.0$	34.9km	否	否
吉林宁江地震	5.3	200km, $M \geq 5.0$	160.0km	是	是
黑龙江呼玛地震	3.9	50km, $M \geq 3.0$	5.8km	是	是

### 2.2 传统手动量取的应用

将上述地震数据加载到 Msdp 中,分别进行震相分析与定位,在确定地震三要素后,利用外挂定位程序产出定位计算结果,通过 EQIM 软件调取定位计算结果文件,然后在软件的矢量化震中地图界面中手动量取震中位置距本省边界的距离(图8)。根据速报规定,并结合每次地震震级,从而判断各边界地震是否需要快速初报。由表2可知,蒙古地震、俄罗斯地

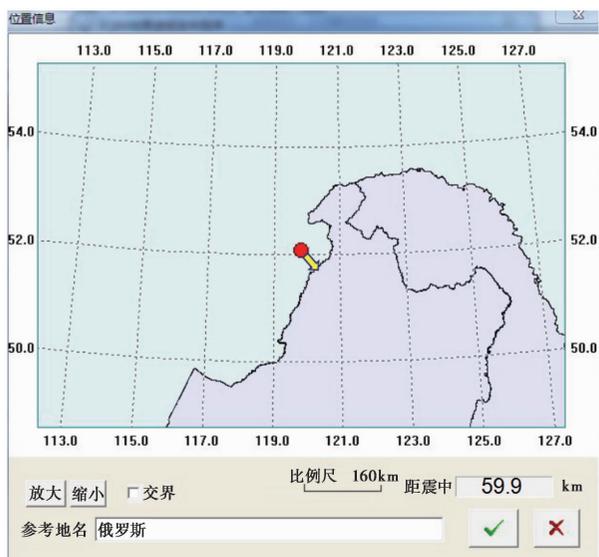


图 8 手动测量震中位置与内蒙边界间距离

震、甘肃景泰地震、黑龙江呼玛地震、吉林地震需要速报，而宁夏灵武地震、陕西榆林塌陷、山西大同地震、河北张北地震则无需速报。

通过速报区域自动确认功能与手动量取方式的应用对比，可以看出，速报区域的自动确认功能在地震三要素确定后，便可直观清晰地看到地震所属的速报范围，无需调用其它程序，相较于手动量取方法更加方便有效。同时，通过分析二者结果的一致性，进一步验证了地震速报区域自动确认的可靠性。因此，实现速报范围的智能化不仅能为速报人员减少速报用时，还可提高速报准确度。

### 3 结论

通过对内蒙古测震台网地震速报区域自动确认功能的应用，得到以下结论：

(1) 对比分析地震速报区域的自动确认功能与目前普遍采用的手动量取方式的应用效果，发现速报区域的自动确认功能在判断地震是否需要速报方面更加直观与省时，且判别结果也较为可靠。因此，在 Msdp 软件中实现内蒙古测震台网的地震速报区域自动确认，解决了速报人员需人工手动量取来判断地震是否在本台网速报责任区的实际问题，可提高测震台网速报业务软件系统的自动化程度。

(2) 在 Msdp 中实现内蒙古地震速报区域的自动确认功能，缩短了速报人员对本台网的地震速报时间，同时也可改善地震速报后相关图件的产出质量，提高内蒙古测震台网地震速报工作的效率与质量。

(3) 速报范围圈的精度会影响地震速报区域自动确认的应用效果，本文地震速报区域的自动确认功能在判断区外地震是否属于本区速报范围方面仍存在一定的误差。今后将进一步优化算法，以期给出较为精确的地震速报范围，使地震速报范围的智能化在 Msdp 软件中达到更佳的应用效果。

## 参考文献

- 陈宝柱、吕琳、张洪华, 2011, 一种提取数据包络的方法, 船电技术, **31**(5), 37~39.
- 郝美仙、韩晓明、张帆等, 2015, 阿拉善左旗 5.8 级地震数字化波形记录特征和震源机制解, 高原地震, **27**(4), 6~10.
- 郝美仙、周银兴、刘颖等, 2016, 内蒙古测震台网新震级标度试用, 地震地磁观测与研究, **37**(5), 10~14.
- 李东平、沈晓健、胡秀芳, 2004, GIS 技术在浙江地震速报中的应用, 防灾减灾工程学报, **24**(3), 320~322.
- 刘方斌、曲均浩、苗庆杰等, 2018, 基于 Java 的地震速报信息服务系统设计, 电子科技, **31**(12), 22~24, 29.
- 刘军、陈贵美, 2011, Google 地图应用之广东省地区 JOPENS 地震速报系统, 华南地震, **31**(3), 41~49.
- 刘军、苏柱金, 2013, 地震速报自动传真技术, 华南地震, **33**(4), 70~76.
- 刘平仁、陈向军、孔祥艳, 2017, 新疆地震速报与质量提升方法, 华北地震科学, **35**(3), 84~88.
- 刘胜国、高景春, 2012, EQIMProcess2.3 版技术原理与实现方法, 华北地震科学, **30**(4), 53~56.
- 威浩、凌学书、汪贵章等, 2011, 安徽省地震速报平台的开发, 地震地磁观测与研究, **32**(2), 116~118.
- 宋晓燕、郝美仙、张晖等, 2018, 内蒙古数字化记录近震震相特征, 地震地磁观测与研究, **39**(1), 73~77.
- 苏金明、张莲花、刘波, 2004, MATLAB 工具箱应用, 433~487, 北京: 电子工业出版社.
- 苏莉华、赵晖、李源等, 2012, MSDP 软件提高地震速报质量, 地震地磁观测与研究, **33**(5~6), 351~355.
- 苏柱金、黄文辉, 2014, 基于 JOPENS 系统的地震速报信息聚合与发布系统的设计与实现, 华南地震, **34**(4), 35~40.
- 孙业君, 2015, 地震台网记录数据质量评估的方法研究与实现, 硕士学位论文, 南京: 东南大学.
- 闻军, 2007, 利用全球虚拟地震台网进行快速地震参数测定的研究, 硕士学位论文, 北京: 中国地震局地震预测研究所.
- 翁少林, 2007, 地震交互分析软件 MSDP-DM 和 EDSP-IAS 的对比分析, 中国西部科技, (9), 87~90.
- 吴国瑞、胡文灼, 2015, 关于提高广东测震台网地震速报质量的几点思考, 华南地震, **35**(3), 77~81.
- 郁建芳、王瑛琛、戚浩等, 2014, 地震速报演练系统的开发及应用, 国际地震动态, (5), 19~23.
- 张帆、王鑫、郝美仙等, 2017, 浅析内蒙古测震台网速报能力, 高原地震, **29**(1), 60~65.
- 郑黎辉、叶应树、洪星, 2009, 基于 WEB 的地震速报信息自动发布系统的设计与实现, 内陆地震, **23**(3), 368~376.

## Automatic Confirmation of Earthquake Rapid Reporting Range —Taking Inner Mongolia Digital Seismic Network as an Example

*Zhang Ke*<sup>1)</sup> *Wang Xin*<sup>1)</sup> *Hao Meixian*<sup>1)</sup> *Su Zhujin*<sup>2)</sup> *Liu Fang*<sup>1)</sup>

1) Earthquake Agency of Inner Mongolia Automatic Region, Hohhot 010080, China

2) Guangdong Earthquake Agency, Guangzhou 510070, China

**Abstract** Aiming at the problem that the current method is used by provincial digital seismic network to judge whether the boundary earthquakes need rapid report or not, based on the boundary data of the administrative region of Inner Mongolia Autonomous Region, the envelop line principle in geometry is used to present the Inner Mongolia earthquake rapid reporting range in the form of envelop line in Matlab. By interpreting the data interface of Msdp seismic analysis software, the earthquake rapid reporting range of Inner Mongolia is confirmed automatically in Msdp. The results of the application of judging whether boundary earthquakes need rapid report by using intelligent earthquake rapid reporting range and the present way of manual measurement respectively shows that the automatic confirmation of earthquake rapid reporting range can improve the degree of automation of the rapid reporting business software system, simplify the operation process of earthquake rapid reporting work, reduce the time of rapid reporting work and improve the accuracy of rapid reporting work.

**Key words:** Inner Mongolia boundary; Envelop; Matlab; Msdp; Automatic confirmation of earthquake rapid reporting range