

郝美仙,王鑫,张珂,等,2021. 基于地震预警参数阈值评估内蒙古地区地震潜在破坏区. 中国地震,37(1):239~248.

基于地震预警参数阈值 评估内蒙古地区地震潜在破坏区

郝美仙¹⁾ 王鑫¹⁾ 张珂¹⁾ 刘颖¹⁾ 尹战军¹⁾ 张建中¹⁾ 郑钰²⁾

1) 内蒙古自治区地震局,呼和浩特 010010

2) 中国地震局地球物理研究所,北京 100081

摘要 利用内蒙古地区测震台网记录到的地震波形数据,基于地震预警参数阈值(特征周期 τ_c 和位移幅值 P_d)开展评估内蒙古地区中强地震潜在破坏区范围的研究。按照一定的筛选条件进行筛选后,拟合出适合内蒙古地区的 τ_c 与震级 M_L 、 P_d 与 τ_c 和震源距 R 的统计关系式;根据现有地震事件的最大震级,得到仪器烈度为 IV 度、震级 $M_L = 5.0$ 时对应的参数阈值为 $P_d = 0.1075\text{cm}$ 和 $\tau_c = 0.686\text{s}$ 。最后对近年来内蒙古境内 2 次中强地震开展线下模拟,结果表明该方法需要台网具有一定密度,如能均匀分布,效果更好,否则会出现结果仅由经验关系式决定、而实际观测值没有发挥作用的问题。

关键词: 地震预警参数 潜在破坏区 P_d 分布图 τ_c 值

[文章编号] 1001-4683(2021)01-0239-10 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

地震是地球上主要的自然灾害之一,其突发性极强,破坏性巨大,一旦在城市或人口稠密地区附近发生破坏性地震,将会对重大基础设施、生命线工程以及人民的生命财产造成严重危害。因此,科学有效地做好地震监测和灾害防御工作,可以最大限度地减轻地震灾害所造成的损失(蒋长胜等,2016)。

地震预警是有效减轻地震灾害损失的有效手段之一,其原理是在地震发生后,抢在破坏性地震波到达之前,向可能遭受地震影响的目标区发出警报(Zhang et al,2016;马强,2008),为相关行业紧急处置和人们逃生避险预留时间。地震预警信息发布的核心之一就是在破坏性地震发生过程中,能够快速准确地测定出潜在破坏区的范围(张红才等,2013)。

关于破坏性地震发生后如何快速估算预警目标区的潜在破坏区,国内外多名学者已基于地震动参数展开了相关研究(Teng et al,1997;马强,2008;马东,2013;宋晋东等,2017;王玉石等,2010;陈鲲等,2012)。地震动参数主要包括峰值加速度 PGA、峰值位移 PGD 和峰值

[收稿日期] 2020-08-05 [修定日期] 2020-10-27

[项目类别] 中国地震局三结合课题(3JH-202002005)、北京市自然科学基金(8202051)共同资助

[作者简介] 郝美仙,女,1980年生,高级工程师,主要从事地震监测及预警项目建设等工作。E-mail:1153404095@qq.com
王鑫,通讯作者,男,1982年生,高级工程师,主要从事台站维护和预警项目建设等工作。
E-mail:Wangxin0111@163.com

速度 PGV 等,由这些参数产出的潜在破坏区空间分布图依赖于地震基本参数和地震事件持续时间,过程耗时几分钟到十几分钟,时效性不强,因此有必要采用一种时效性强的方法来快速获取破坏性地震的潜在破坏区范围,以便更好地服务于社会公众及城市重要设施。

目前我国多地已建立了地震预警示范区,这些示范区依托于现有的地震观测台网,采用将实时数据流传输到台网中心进行统一处理的方式,对于地震预警算法的研究主要集中在震级估算与目标区的破坏情况研究 2 个方面。对于震级估算,目前主要使用 2 种预警参数(位移幅值 P_d 和特征周期 τ_c),国内外众多学者对此展开了研究,并获取到了适应于特定地区的经验关系式。对于目标区的破坏情况研究,Zollo 等(2010)曾提出一种综合的地震预警方法,该方法实时联合测量 P 波到达后 3s 窗内的 P_d 与 τ_c 值,通过与预设的阈值相比较,达到快速区分是否为破坏性地震的目的;彭朝勇等(2019)利用该方法对四川庐山和云南鲁甸 2 次地震的潜在破坏区范围进行计算,计算结果与实际烈度调查结果基本吻合。地震预警参数的经验关系式具有区域相依性,与内蒙古地区地壳速度结构、断裂带分布及发震地区附近的台站分布情况等因素有关。至今适合内蒙古地区的地震潜在破坏区预警参数的经验关系式的相关研究工作还未开展。

基于此,本文采用内蒙古地区测震台站记录到的地震事件数据,拟合出适应于内蒙古地区的预警参数关系式,包括特征周期 τ_c 与震级 M_L 、位移幅值 P_d 与 τ_c 和震源距 R 的统计关系;根据评估内蒙古地区地震潜在破坏区范围时定义的相应预警参数阈值,利用 2 次已有地震开展线下模拟,对拟合关系式进行验证。

1 数据选取与预处理

本研究选取 2016—2019 年内蒙古及周边地区 $M_L \geq 2.0$ 地震,共计 251 次,所选地震事件参数信息直接采用全国统一地震编目^①结果,波形数据来源于内蒙古测震台网波形数据库,文中所用震级标度均为 M_L ,所选事件和记录台站如图 1 所示。

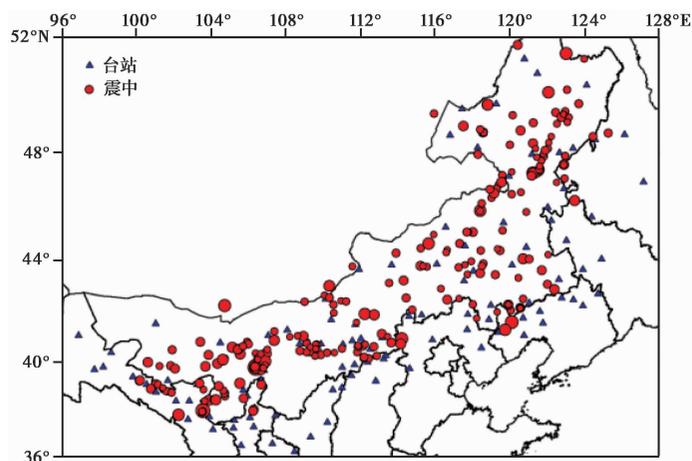


图 1 本文选取的地震事件与台站分布

① 中国地震台网中心地震编目系统. 内部资料.

由于所选该时间段内发生的中强震事件较少,仅有 1 次 M_L 5.4 地震和 1 次 M_L 6.1 地震,因此在对获取到的内蒙古地区的测震波形数据进行筛选处理时,采用了与彭朝勇等(2019)不同的规则,限制了震级下限、记录台站个数和震源距范围。具体筛选条件为:①所选地震事件震级 $M_L \geq 2.0$;②有 3 个以上台站可以清晰记录到该事件;③震源距在 200km 范围内。通过以上条件共筛选出 251 个地震事件和 3075 条台站记录,本文所用震例分布情况见图 2。

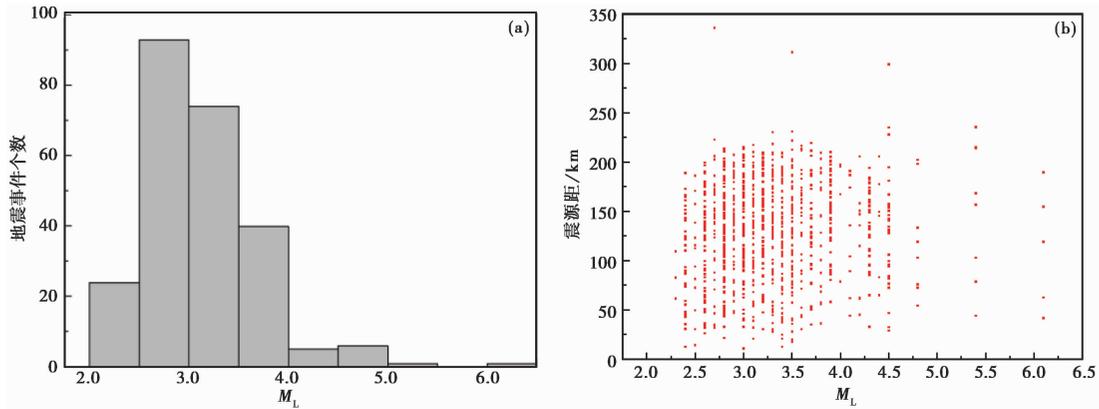


图 2 本文所用震例分布情况统计
(a) 研究所用事件的震级-频度分布; (b) 研究所用记录的震级-震源距分布

对于筛选后的台站记录数据,首先使用 Matlab 逐一打开各条记录并手动选取 P 波和 S 波到时,保存至文本文件中,然后对各台站垂直向速度记录进行积分后得到位移值,再利用 Butterworth 高通滤波器对位移值进行连续滤波处理,最后分别根据 P 波触发后 3s 窗段和全 P 波段垂直向位移时程和速度时程计算得出 τ_c 和 P_d 值,以进行对比分析。另外,在处理过程中分别使用了 2 阶和 4 阶 Butterworth 高通滤波器进行滤波处理,以便于考量不同阶数滤波器对结果的影响。

2 相关参数的拟合关系式

2.1 τ_c 与 M_L 的统计关系式拟合

利用选取的所有地震事件记录,采用下式进行线性拟合

$$\lg(\tau_c) = A \times M_L + B \tag{1}$$

式中, A 和 B 为待拟合系数, τ_c 的单位为 s。

在 τ_c 与 M_L 的关系式拟合过程中,根据震级范围和选取的 P 波不同窗长分别使用 2 阶和 4 阶 Butterworth 高通滤波器进行数据拟合计算。对比结果显示, M_L 2.0~6.1、 M_L 2.5~6.1 和 M_L 3.0~6.1 的记录数据拟合获得的结果,无论使用的滤波器阶数和 P 波窗长为多少,标准偏差相对较大,相关性微弱,甚至出现了负相关的情况。通过对 $M_L < 3.5$ 的地震事件记录进行分析发现,部分记录在 P 波到达前存在较大的波形扰动情况,从而对计算获得的 τ_c 值造成了极大的影响,由个别记录算得的 τ_c 值超过了 5s。这说明在利用 τ_c 参数开展震级估算时,记录的数据需要具有较高的质量。

震级选取在 M_L 3.5~6.1 和 M_L 4.0~6.1 的记录数据,无论使用的滤波器阶数和 P 波窗长

为多少,均具备较好的相关性,尤其是对于震级范围在 $M_L 4.0 \sim 6.1$ 的记录,其相关系数均在 0.9 以上。此外,使用 4 阶 Butterworth 高通滤波器处理的结果要优于使用 2 阶滤波器,这主要归因于高通滤波器的过滤带更窄,可以更好地滤除滤波频带范围外的能量。图 3 为震级范围为 $M_L 4.0 \sim 6.1$ 时,不同窗长的 P 波段经 4 阶滤波器处理后所对应的拟合曲线。

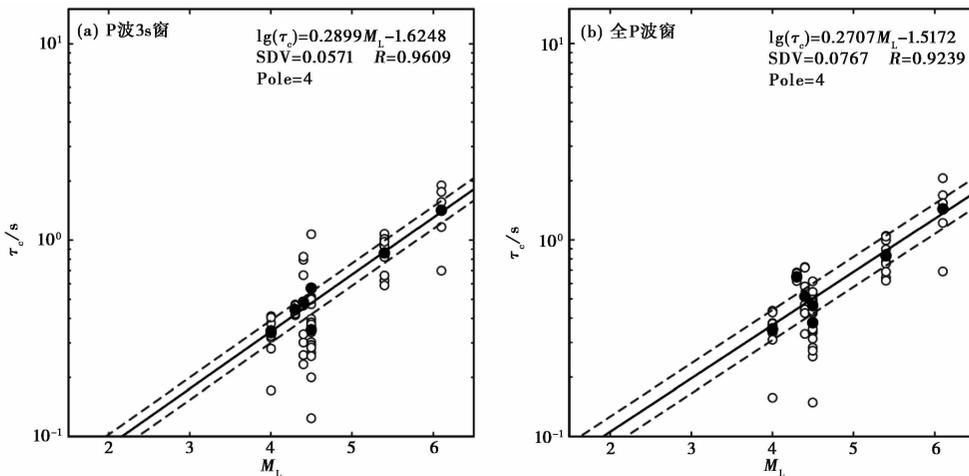


图 3 特征周期 τ_c 与震级 M_L 的拟合曲线

实心圆为每次事件所对应各个台站 τ_c 的平均值,空心圆为每次事件中各记录台站计算得出的 τ_c 值;黑色实线为 τ_c 与 M_L 拟合曲线;黑色虚线为 1 倍标准方差;SDV 为标准差; R 为相关系数;Pole 为所用的滤波器阶数

2.2 P_d 与 τ_c 和震源距 R 的统计关系

由于较小的地震不会引起破坏,一般不需要对其进行预警处理,因此本文只分析 $M_L 4.0 \sim 6.1$ 地震事件波形。对于所选用的震级范围 $M_L 4.0 \sim 6.1$ 的记录数据,采用不同的垂直向 P 波窗长和 4 阶 Butterworth 高通滤波器进行处理后,经过多变量线性拟合,所获得的 P_d 与 τ_c 和震源距 R 的相关性分别为

$$\lg(P_d) = 1.5122 + 2.4665 \times \lg(\tau_c) - 2.0336 \times \lg(R) \quad (2)$$

$$\lg(P_d) = 0.3338 + 2.2531 \times \lg(\tau_c) - 1.4228 \times \lg(R) \quad (3)$$

式(2)、(3)分别为采用垂直向 P 波 3s 窗和全 P 波窗得出的拟合关系式,式中 P_d 的单位为 cm; τ_c 的单位为 s; R 为震源距。关系式对应的拟合曲线如图 4,从图中可以看出, P_d 值明显呈现出随 τ_c 值增加而稳步增加的趋势,且利用垂直向全 P 波段数据得到的 P_d 值变化范围更为稳定。

3 台站地震预警阈值设定

在开展潜在破坏区范围估算时,需要定义相应的预警参数阈值,以便实时跟踪每个触发台站的变化情况。按照 Wu 等(2008)、Zollo 等(2010)、彭朝勇等(2019)的阈值定义模式,需要同时获取 P_d 和 τ_c 的阈值。对于 P_d 阈值,一般根据 P_d 与 PGV 的相关性以及 PGV 与仪器地震烈度的对应关系来获得。采用震级范围 $M_L 4.0 \sim 6.1$ 的记录数据,同时采用 4 阶 Butterworth 滤波器,针对不同的垂直向 P 波窗长拟合得到的相关性分别为:

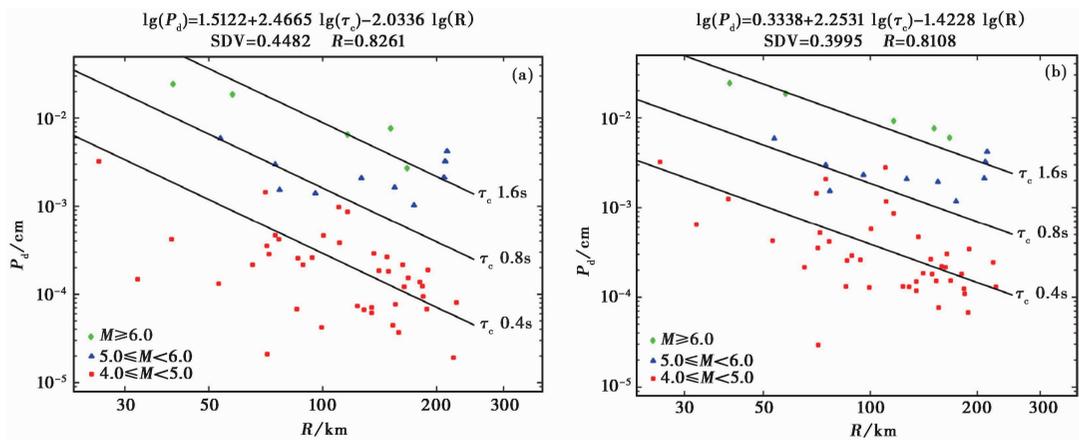


图 4 P_d 与 τ_c 和震源距 R 的相关性拟合曲线

(a) P 波 3s 窗; (b) 全 P 波窗

垂直向 P 波 3s 窗

$$\lg(\text{PGV}) = 0.5977 \times \lg(P_d) + 0.6000 \pm 0.3717 \quad (4)$$

垂直向全 P 波窗

$$\lg(\text{PGV}) = 0.7491 \times \lg(P_d) + 0.9736 \pm 0.3137 \quad (5)$$

其中, PGV 表示台站三分向合成的地震动速度峰值, 其单位为 cm/s 。

图 5 为 P_d 与 PGV 的相关性拟合曲线, 由图可以看出, 无论是在标准偏差还是相关系数方面, 利用垂直向全 P 波窗获得的 P_d 与 PGV 的相关性要明显优于 P 波 3s 窗。因此, 在后续的数据处理与分析中, 所有的拟合参数关系式均选取震级范围 $M_L 4.0 \sim 6.1$, 且采用 4 阶 Butterworth 高通滤波器对垂直向全 P 波窗进行分析。

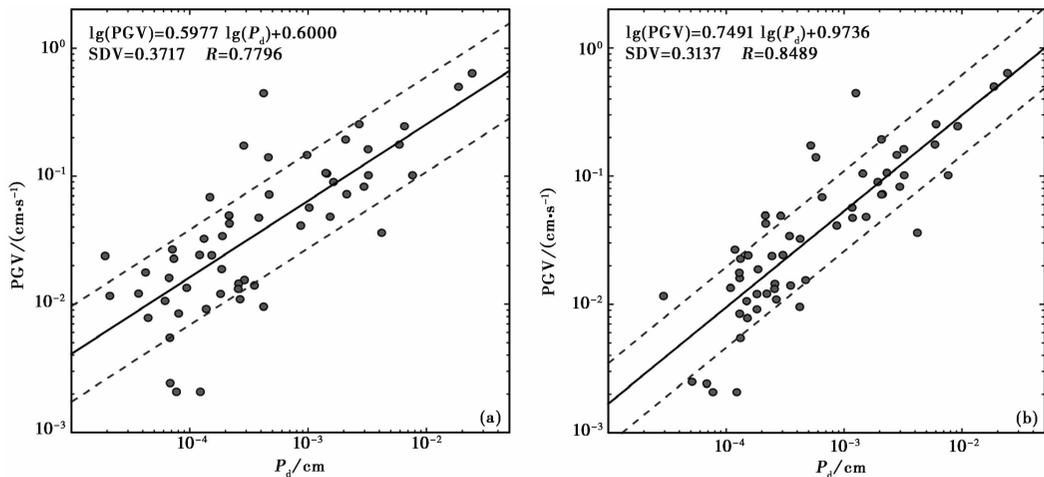


图 5 P_d 与 PGV 的相关性曲线

(a) P 波 3s 窗; (b) 全 P 波窗

根据《仪器地震烈度计算暂行规程》^②,同时考虑到现有地震事件对应的最大震级较低($M_L 6.1$),因此设定IV度对应的三分向合成PGV下限值(1.77cm/s)作为对应的阈值。根据式(5)可得到相对应的 P_d 阈值为0.1075cm。当设定 $M_L=5$ 时,得出相应的 τ_c 值为0.686s。依据 P_d 和 τ_c 的阈值,可定义4类台站地震预警级别:①3级: $P_d \geq 0.1075\text{cm}$ 且 $\tau_c \geq 0.686\text{s}$,说明正在发生的地震震级可能很大,并且发生在记录台站附近,预计会对记录台站附近和较远地区造成较大破坏,此为最高警报级别;②2级: $P_d \geq 0.1075\text{cm}$ 且 $\tau_c < 0.686\text{s}$,说明地震发生在记录台站附近且震级较小,只可能对台站周边地区造成影响;③1级: $P_d < 0.1075\text{cm}$ 且 $\tau_c \geq 0.686\text{s}$,说明地震震级大但震中远离记录台站,仅在震中附近区域会引起破坏;④0级: $P_d < 0.1075\text{cm}$ 且 $\tau_c < 0.686\text{s}$,地震不会造成破坏。

在地震发生过程中,获取到多个触发台站所对应的 P_d 和 τ_c 实际测量值后,就可以采用与彭朝勇等(2013、2019)一致的方法,通过对各个台站的 τ_c 值取平均值,同时将 P_d 值设定在阈值0.1075cm,根据式(3)可以计算出潜在破坏区的半径。

在实际应用时,首先对台站覆盖区进行固定大小的单元网格划分,单元格内如果有触发台站,则直接利用记录台站 P_d 和 τ_c 的实测值;如果没有触发台站,则使用式(3)和各台站 τ_c 测量平均值来推算 P_d 值,对震中区域进行内插,以填补没有记录台站的区域。生成的等值线 $P_d=0.1075\text{cm}$ 即为评估破坏程度大小的临界线。在中强地震发生时,利用该方法可以根据一定的时间间隔来实时估算破坏区范围,并可随着记录台站的增多逐步更新。

在使用式(3)对 P_d 值进行计算时,需要先根据P波信息确定地震震中位置与震源深度,以此来计算震源距 R 值。目前国际和国内用于地震预警的实时地震定位技术已有多种,如“着未着”定位方法(Horiuchi et al, 2005)、RTLloc定位方法(Satriano et al, 2008)、前三/四台P波到时信息实时定位方法(张红才等, 2011)及四台连续定位方法(李军等, 2014)等。由于地震定位方法不是本文主要的研究内容,因此在进行线下模拟时,将直接采用地震目录中的震中信息和震源深度,以3台触发的1s时间点作为起始时间。

4 线下模拟与结果分析

利用内蒙古测震台网记录到的阿拉善左旗2015年4月15日 $M_L 6.1$ 和2017年6月3日 $M_L 5.4$ 地震开展线下模拟(表1)。对记录台站覆盖区域按照 0.25° 大小划分为均匀的单元网格,每条事件记录数据从P波触发后开始,每隔1s计算一次 P_d 和 τ_c 值,直到S波到达后停止计算,线下模拟的2次地震事件相应的潜在破坏区估算结果如图6所示,每个事件对应的4张图分别为发震后不同时刻计算得出的 P_d 分布图。

表1 线下模拟的阿拉善左旗2次中强地震事件参数

发震时刻(年-月-日 T时:分:秒)	东经/($^\circ$)	北纬/($^\circ$)	震源深度/km	M_L
2015-04-15 T15:39:27.9	106.40	39.80	10	6.1
2017-06-03 T18:11:11.2	103.55	38.00	15	5.4

②《仪器地震烈度计算暂行规程》(中震测发[2015]18号).内部资料.

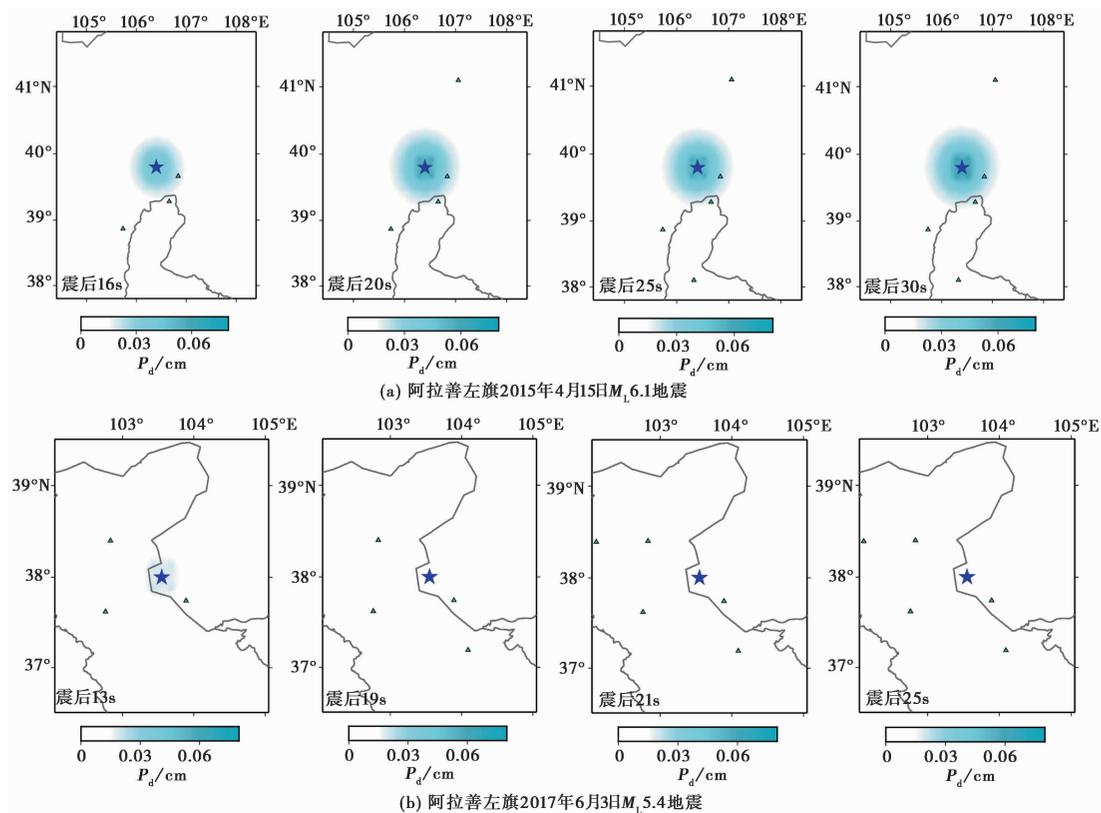


图 6 2 次地震在 P 波触发后不同时间段的潜在破坏区实验结果
五角星为震中位置；三角形为触发台站

从模拟结果可以看出,由于该地区测震台站分布非常稀疏,无法获取到地震发生后完整的潜在破坏区范围。因此,在地震发生过程中采用该方法实时估算潜在破坏区时,需要台网具有一定密度,如能均匀分布,效果更好,否则就会出现结果仅由经验关系式决定、而实际观测值没有发挥作用的问题。

5 讨论与结论

本文利用内蒙古测震台网记录到的 2016—2019 年地震事件,按照筛选条件选取波形记录,人工拾取 P 波和 S 波到时后,基于 P 波参数阈值开展评估内蒙古地区地震潜在破坏区的研究。该方法所拾取的预警参数包括特征周期 τ_c 和位移幅值 P_d ,首先利用 P 波 3s 段和全 P 波段垂直向位移时程和速度时程计算 τ_c 和 P_d 值,研究中选用不同震级范围、不同垂直向 P 波窗长和不同阶数 Butterworth 高通滤波器分别得到内蒙古地区 τ_c 与震级 M_L 、 P_d 与 τ_c 和震源距 R 的统计关系式。

结果表明,在特征周期 τ_c 与震级 M_L 的相应关系拟合过程中,震级选取范围在 M_L 4.0~6.1 的事件记录,对其 P 波 3s 窗和全 P 波窗波形数据进行拟合, τ_c 与 M_L 均体现出了较好的相关性,且采用 4 阶 Butterworth 高通滤波器处理的结果要优于 2 阶滤波器;而采用小于 M_L 3.5 的地震事件记录拟合结果标准偏差均较大,相关性微弱,说明在采用 τ_c 参数开展

震级估算时,需要波形记录具有较高的数据质量,且利用垂直向全P波窗数据获取到的 P_d 值变化范围更为稳定。

震源距的计算受到震源深度不确定的影响,进而会影响经验关系的可靠性。利用已拟合得到的 τ_c 与震级 M_L 、 P_d 与 τ_c 和震源距 R 的统计关系式,同时考虑到内蒙古地区现有地震事件最大震级为 $M_L 6.1$,按照震级 $M_L=5.0$,烈度为IV度定义了4类台站地震预警级别,利用式(3)获得了计算内蒙古地区潜在破坏区的半径范围的关系式。需要注意的是,这里仅以IV度对应的单水平方向PGV下限值计算 P_d 阈值,主要还是由内蒙古地区现有地震记录对应的震级较小导致。今后在实际使用时,如果发生了震级较高的地震,则应将PGV下限值提高,这样会与实际计算获得的潜在破坏区范围更加吻合。

在地震发生过程中,依据地震预警的实时定位算法获得震中位置、震级和震源深度,并通过获取到多个触发台站所对应的 P_d 和 τ_c 平均值后,计算潜在破坏区的半径范围。在计算时如只选取少量震中附近触发台站信息,则误差较大,但时效性强;而选取更远、更多的触发台站信息,估算结果会更为准确,但预警时间也会增加。

本文利用P波全波段的计算结果和经验关系仅限于理论研究及线下模拟,效果较好,但在预警阶段的实际作用有限,可主要用于在烈度速报阶段配合实际仪器估算烈度的应用,便于提高预警参数估算结果的准确性。

本文研究获得的内蒙古地区预警参数经验关系、阈值,由于区域台站分布稀疏和选取地震事件的震级分布范围不均匀且缺少大地震事件记录数据,计算结果与其他地区存在差异。

随着“国家地震烈度速报与预警工程”内蒙古子项目的建设,在未来2~3年内,台网密度将会得到较程度的提高,内蒙古地震预警项目新建或改造共计61个基准站、133个基本站和265个一般站。项目建成后将在呼和浩特、包头、鄂尔多斯和乌兰察布地区形成台间距为14km的预警监测网,在其他一般预警区形成台站间距为60~70km的监测网(图7)。

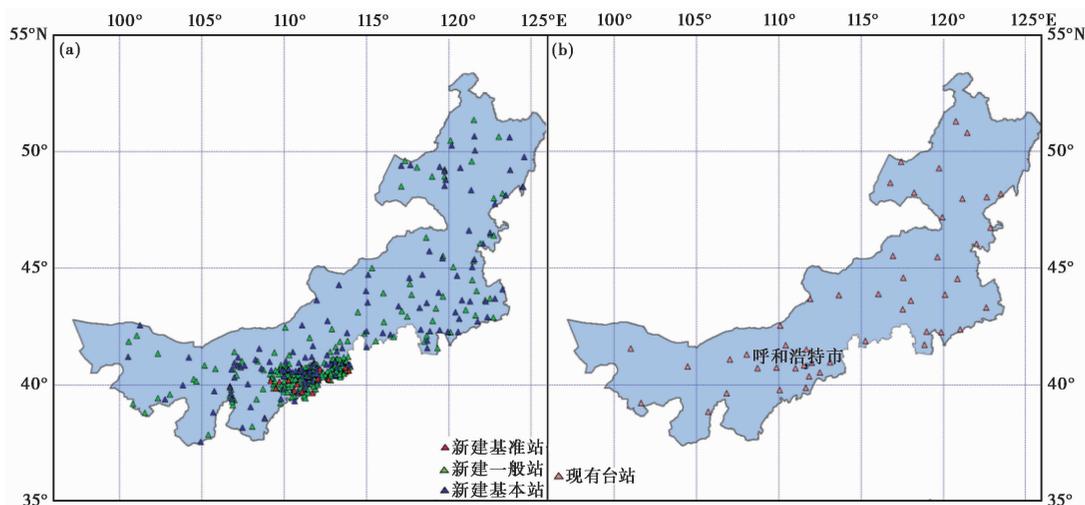


图7 “国家地震烈度速报与预警工程”内蒙古子项目建成后台网(a)和现有台站分布(b)对比

将该方法应用到内蒙古近年来发生的阿拉善左旗 2015 年 4 月 15 日 M_L 6.1 和 2017 年 6 月 3 日 M_L 5.4 地震, 结果显示, 由于该地区台站分布稀疏, 未得到潜在破坏区估算范围, 结果仅由经验关系式决定, 而实际观测值没有发挥作用。随着“国家地震烈度速报与预警工程”内蒙古子项目的建设, 利用该方法实时开展潜在破坏区范围估算所能取得的效果将会大大提高, 精度将会得到明显的改善。

致谢: 感谢中国地震局地球物理研究所彭朝勇研究员为本文提供计算程序。

参考文献

- 陈鲲, 俞言祥, 高孟潭, 等, 2012. 用有限强地震动记录校正等震线的估计研究. 地震学报, **34**(5): 633~645.
- 蒋长胜, 刘瑞丰, 2016. 国家地震烈度速报与预警工程——测震台网的机遇与挑战. 工程研究-跨学科视野中的工程, **8**(3): 250~257.
- 李军, 金星, 张红才, 等, 2014. 两种地震预警定位方法的比较. 中国地震, **30**(1): 111~117.
- 马东, 2013. 基于福建区域地震台网的高速铁路预警能力评估及烈度预测方法探讨. 硕士学位论文. 哈尔滨: 中国地震局工程力学研究所.
- 马强, 2008. 地震预警技术研究及应用. 博士学位论文. 哈尔滨: 中国地震局工程力学研究所.
- 彭朝勇, 杨建思, 2019. 利用 P 波参数阈值实时估算地震预警潜在破坏区范围. 地震学报, **41**(3): 354~365.
- 彭朝勇, 杨建思, 薛兵, 等, 2013. 基于汶川主震及余震的预警参数与震级相关性研究. 地球物理学报, **56**(10): 3404~3415.
- 宋晋东, 李山有, 汪源, 等, 2017. 基于阈值的地震预警方法在 2016 年 8 月 24 日意大利 M_w 6.2 地震中的应用. 地震工程与工程振动, **37**(6): 15~22.
- 王玉石, 周正华, 兰日清, 2010. 利用修正谱烈度确定我国西部地区仪器烈度的建议方法. 应用基础与工程科学学报, **18**(增刊 I): 119~129.
- 张红才, 金星, 李军, 等, 2011. 地震预警定位方法研究. 地震工程与工程振动, **31**(3): 168~176.
- 张红才, 金星, 李军, 等, 2013. 地震预警系统研究及应用进展. 地球物理学进展, **28**(2): 706~719.
- Horiuchi S, Negishi H, Abe K, et al, 2005. An automatic processing system for broadcasting earthquake alarms. Bull Seismol Soc Am, **95**(2): 708~718.
- Satriano C, Lomax A, Zollo A, 2008. Real-time evolutionary earthquake location for seismic early warning. Bull Seismol Soc Am, **98**(3): 1482~1494.
- Teng T L, Wu L D, Shin T C, et al, 1997. One minute after: Strong-motion map, effective epicenter, and effective magnitude. Bull Seismol Soc Am, **87**(5): 1209~1219.
- Wu Y M, Kanamori H, 2008. Exploring the feasibility of on-site earthquake early warning using close-in records of the 2007 Noto Hanto earthquake. Earth Planets Space, **60**(2): 155~160.
- Zhang H, C, Jin X, Wei Y X, Li J, Kang L C, Wang S C, Huang L Z, Yu P Q. 2016. An earthquake early warning system in Fujian, China. Bull Seismol Sol Am, **106**(2): 755~765.
- Zollo A, Amoroso O, Lancieri M, et al, 2010. A threshold-based earthquake early warning using dense accelerometer networks. Geophys J Int, **183**(2): 963~974.

Evaluation of Seismic Potential Damage Area in Inner Mongolia Based on Threshold Value of Earthquake Warning Parameters

Hao Meixian¹⁾ Wang Xin¹⁾ Zhang Ke¹⁾ Liu Ying¹⁾ Yin Zhanjun¹⁾
Zhang Jianzhong¹⁾ Zheng Yu²⁾

1) Earthquake Agency of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010010, China

2) Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China

Abstract Based on the threshold value of earthquake warning parameters (characteristic period τ_c and displacement amplitude P_d), we use the seismic waveform data recorded by Inner Mongolia seismic network to study the estimation method of potential damage area of moderate strong earthquake in Inner Mongolia in this paper. According to certain screening conditions, the statistical relations between τ_c and M_L , P_d and τ_c and epicentral distance R are fitted out. Then according to the maximum magnitude corresponding to the existing earthquake events, when the instrument intensity is set as IV and $M_L = 5.0$, the corresponding parameter thresholds are $P_d = 0.1075\text{cm}$ and $\tau_c = 0.686\text{s}$. Finally, two moderate strong earthquakes in Inner Mongolia in recent years are simulated. The results show that the relatively higher network density is required in application of this method. If the network can be evenly distributed, the effect will be better. Otherwise, the result is only determined by the empirical relationship, but the actual observations do not come into play.

Keywords: Earthquake warning parameters; Potential damage area; Distribution map of P_d ; τ_c value