

PI 算法用于青海地区中强震危险性预测的 回溯性检验研究^{*}

袁伏全, 孙世瑞, 王小玲

(青海省地震局, 青海 西宁 810001)

摘要: 利用 PI 算法对青海地区 $M \geq 5.0$ “目标震级”的地震进行显著危险区分析。采用 10 年尺度的地震“变化学习”时间段和 3 年尺度“预测”时间段分别统计 1970~2015 年中国地震台网中心和青海省地震台网目录, 计算显著地震事件的发生概率, 检测高概率发震区域(地震热点)。回溯性检验结果表明, 2016 年门源 $M_s 6.4$ 地震震中附近存在 PI 图像“热点”; 未来 3 年(2016~2018 年), 门源—祁连、德令哈、兴海、玉树和唐古拉地区的热点值 $\lg(\Delta P/\Delta P_{\max})$ 偏高; PI 算法适用于青海地区中强地震的中长期预测。

关键词: 门源 6.4 级地震; PI 算法; 地震预测

中图分类号: P315.75

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2016)增刊 1-0076-07

0 引言

使用现代统计物理的理论和方法来研究地震预测问题, 已成为物理学与地震学之间最为活跃的一个交叉领域(吴忠良, 陈运泰, 2002)。

美国加州大学 Rundle 等(2000b)利用图像信息学(Pattern Informatics, 简称 PI)算法, 对加州地震活动性进行分析(Rundle *et al.*, 2000a, b; Tiampo *et al.*, 2002a)。PI 算法着眼于地震活动的“增强”与“平静”特点, 去除背景地震活动, 从而检测地震发生高概率区域(即地震热点)。国内外学者均进行过强震危险性预测的回溯性检验和中长期地震预测, 如针对于全球 $M \geq 7.0$ 强震(Holliday *et al.*, 2005a, b)、日本中部(Nanjo *et al.*, 2005)、中国台湾(Chen *et al.*, 2005)、川滇地区(蒋长胜, 吴忠良, 2008)、华北地区(孙丽娜等, 2012)多方法组合模式的回溯性检验等(Yu *et al.*, 2013, 2015)。

青藏高原是我国现代最新构造活动与地震活动最强烈的地区(邓起东, 2002)。喜马拉雅现代构造活动带以北, 即印度板块强烈碰撞形成广阔

的高原, 直达祁连山以北及河西走廊地区。研究表明, 这个辽阔的高原由多个板内次级断块组成, 形成一幅复杂的变形图像, 并与喜马拉雅构造带一起组成了一幅复杂的地震活动图像(邓起东等, 2014; 张培震等, 2002; 尹安, 2006)。

青海地区位于青藏高原东北部, 属于地震频发地带。这一区域的 $M \geq 6.0$ 强震表现出明显的丛集特征, 地震学家对于祁连地震带 $M \geq 6.0$ 强震的预测十分关注。本文利用 PI 算法对青海地区 3 年时间尺度 $M \geq 5.0$ 地震进行回溯性检验, 对于地震前可能的地震活动“前兆性”异常进行再认识。

1 PI 算法

PI 算法通过对地震活动性时空活动图像偏离“背景地震活动”情况进行分析, 在中长期时间尺度上估计未来地震的概率(Rundle *et al.*, 2000b, 2013)。该算法的基本原理(Tiampo *et al.*, 2002a; Nanjo *et al.*, 2005; 蒋长胜, 吴忠良, 2008)是对研究区域网格化处理, 通过对每一个网格地震活动强度多时间尺度变化的归一化处理, 检测发震显著事件概率高的网格, 除去地震背景概率, 得

^{*} 收稿日期: 2016-08-23.

基金项目: 地震科技星火计划——利用显著强震研究巴颜喀拉地块边界的孕震机理(XH16039)和青海省地震科学基金——PI 算法用于青海地区中强地震回溯性检验和危险性预测(2017A)联合资助。

到地震危险区,即地震热点。

将整个地震区划分为网格,记为 X_i 。每一网格地震活动的时间序列 $N_i(t)$,地震须大于序列的截止震级 M_c ,定义的时间范围见图 1。地震目录起始时刻为 t_0 , t_b 以 Δt 为步长从 t_0 时刻向 t_1 时刻滑动, $t_1 \sim t_2$ 为地震活动“异常学习”的变化时段, $t_2 \sim t_3$ 为地震“预测时段”。

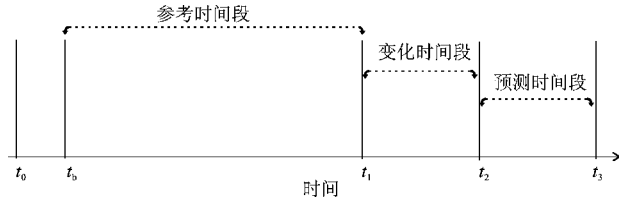


图 1 时间范围示意图 (据蒋长胜, 吴忠良(2008)修改)

Fig. 1 Schematic diagram of time range
(revised from Jiang, Wu, 2008)

格点 i 的“地震活动强度”函数 $I_i(t_b, t)$ 定义为平均地震数:

$$I_i(t_b, t) = \frac{1}{(t - t_b)} \sum_{t'=t_b}^t N_i(t'). \quad (1)$$

为对不同时间段的地震活动强度函数进行比较,将地震活动强度函数进行标准化处理,格点 i 处在时间间隔 $t_b - t$ 的归一化统计法为

$$\overline{I_i(t_b, t)} = \frac{I_i(t_b, t) - \langle I_i(t_b, t) \rangle}{\sigma(t - t_b)}. \quad (2)$$

计算强度函数的平均变化量为

$$\overline{\Delta I_i(t_b, t)} = \frac{1}{(t_0 - t_1)} \sum_{t_b=t_0}^{t_1} \Delta I_i(t_b, t_1, t_2). \quad (3)$$

未来强震发生的概率 $P_i(t_0, t_1, t_2)$ 设为强度函数平均变化量的平方,强震发生在第 i 个网格内的概率为该网格的概率值减去所有网格概率的平均值:

$$\Delta P_i(t_0, t_1, t_2) = P_i(t_0, t_1, t_2) - \langle P_i(t_0, t_1, t_2) \rangle. \quad (4)$$

其中, $\langle P_i(t_0, t_1, t_2) \rangle$ 为所有网格发生地震概率的平均值。将 $\Delta P_i(t_0, t_1, t_2) > 0$ 的网格(地区)定义为地震热点。回溯性研究的 PI 预测图像中,地震发生的空间危险性概率值用对数形式 $\text{Lg}(\Delta P / \Delta P_{\max})$ 表示。

采用 ROC 方法 (Swets, 1973; Molchan,

1996) 进行 PI 算法预测效果的检验。ROC 曲线每点表示设定的危险性概率阈值下预测结果的“命中率”和“虚报率”,ROC 曲线包含的面积越大,预测效果越好(蒋长胜等, 2009)。

2 资料选取

本文研究区为青海省及其邻区 ($32^\circ \sim 41^\circ \text{N}$, $88^\circ \sim 103^\circ \text{E}$),该区域自北至南依次为祁连断块、东昆仑—柴达木断块、巴颜喀拉断块和羌塘断块,是中国大陆地震活动强烈的地区之一。使用 1970 ~ 2015 年中国地震台网中心和青海省地震局提供的地震目录。根据 G-R 统计,将选取地震资料的截止震级 (M_c) 设定为 $M_L 3.0$,预测的目标地震震级 (M_F) 设定为 $M \geq 5.0$,这符合截止震级至少小于预测目标震级 2 个震级单位的条件 (Holliday *et al*, 2005a, b)。

2006 ~ 2015 年青海地区共发生 $M \geq 5.0$ 地震 45 次(表 1, 图 2),其中 $M \geq 7.0$ 地震 1 次(2010 年 4 月 14 日玉树 $M_S 7.1$ 地震), $M \geq 6.0$ 地震 6 次, $M \geq 5.0$ 地震 38 次。 $M \geq 5.0$ 地震震中位置主要分布在青海南部的唐古拉、玉树地区和北部的祁连、德令哈、茫崖地区(图 2)。

基于青海地震台网发展的不同阶段划分,采用 G-R 关系的交互式分析方法,进行 1980 ~ 2015 年青海地区地震目录完整性最小震级的拟合分析(图 3),计算得到震级为 $M_L 3.0$ 时 G-R 拟合相关系数较高。青海地区不同时间段、不同区域地震目录的最小完整性震级存在明显差异(王培玲, 胡玉, 2014; 屠泓为等, 2010)。2007 年青海数字地震台网运行以来,全省地震台网密度逐步增大,2008 年唐古拉地区架设地震监测台站 5 个,很大程度提高了该区域地震监测能力,青海地区地震目录完整性最小震级达到 2.0。考虑到青海地区不同时间段、不同区域地震监测能力的较大差异,研究区域内 $M_L \geq 3.0$ 地震具有较好的完备性,因此将截止震级 (M_c) 设定为 $M_L 3.0$ 。

特别需要指明,本文中删除地震目录中的余震序列。依据前人的统计检验结果,PI 算法中余震没有从地震目录中去除掉,是认为主震后的余震发生,反映了附近区域的高应力状态 (Tiampo *et al*, 2002b)。

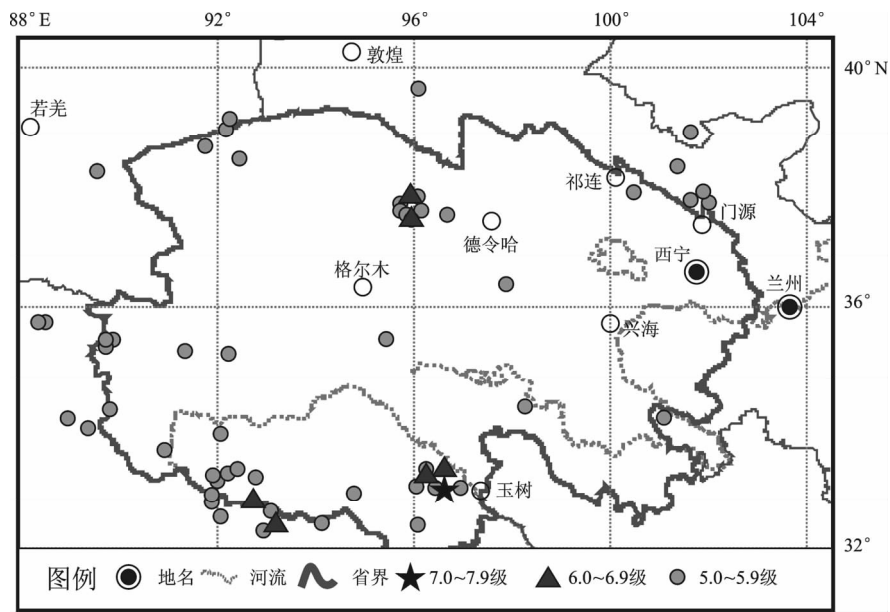


图 2 2006 ~ 2015 年青海地区 $M \geq 5.0$ 地震震中分布图
Fig. 2 The epicenter distribution of $M \geq 5.0$ earthquakes in Qinghai Region from 2006 to 2015

表 1 2006 ~ 2016 年青海地区 $M \geq 5.0$ 地震参数

Tab. 1 The parameters of $M \geq 5.0$ earthquakes in Qinghai Region from 2006 to 2016

序号	日期/年-月-日	$\varphi_N/(^{\circ})$	$\lambda_E/(^{\circ})$	震级(M_S)	序号	日期/年-月-日	$\varphi_N/(^{\circ})$	$\lambda_E/(^{\circ})$	震级(M_S)
1	2006-07-19	33.0	96.3	5.6	25	2009-08-28	37.6	95.8	5.3
2	2006-07-18	33.0	96.5	5.0	26	2009-08-28	37.6	95.8	6.4
3	2006-04-14	35.4	89.7	5.6	27	2010-06-03	33.3	96.3	5.3
4	2006-03-30	35.5	95.4	5.2	28	2010-05-29	33.3	96.3	5.7
5	2006-02-26	35.5	89.8	5.5	29	2010-04-17	32.5	92.8	5.2
6	2007-02-25	33.3	90.7	5.3	30	2010-04-14	33.2	96.6	6.3
7	2007-02-03	38.0	91.8	5.5	31	2010-04-14	33.2	96.6	7.1
8	2008-11-12	37.6	95.9	5.1	32	2010-03-24	32.5	92.8	5.5
9	2008-11-10	37.6	95.9	6.3	33	2010-03-24	32.4	93.0	5.7
10	2008-07-17	33.2	92.1	5.3	34	2011-06-26	32.4	95.9	5.2
11	2008-07-03	35.8	88.3	5.1	35	2012-05-03	40.6	98.6	5.4
12	2008-06-29	35.7	88.3	5.5	36	2012-11-26	40.4	90.5	5.5
13	2008-06-18	33.3	92.1	5.0	37	2012-12-07	38.7	88.0	5.1
14	2008-06-18	35.3	91.2	5.4	38	2013-01-30	32.9	94.7	5.1
15	2008-06-10	33.2	92.0	5.4	39	2013-02-12	38.5	92.4	5.1
16	2008-06-10	33.3	91.9	5.1	40	2013-06-05	37.6	95.9	5.0
17	2008-06-10	33.2	91.9	5.5	41	2013-09-20	37.7	101.5	5.1
18	2008-06-09	33.2	92.2	5.0	42	2014-02-11	33.8	89.2	5.1
19	2008-03-30	38.0	102	5.0	43	2014-10-02	36.4	97.8	5.1
20	2009-12-21	37.5	96.7	5.0	44	2015-10-12	34.4	98.2	5.2
21	2009-11-05	37.6	95.8	5.1	45	2015-11-23	38.0	100.4	5.2
22	2009-08-31	37.7	95.9	5.9	46	2016-01-14	32.6	91.7	5.3
23	2009-08-31	37.7	95.7	5.0	47	2016-01-21	37.7	101.6	6.4
24	2009-08-29	37.7	95.8	5.0	48	2016-10-17	32.8	94.9	6.2

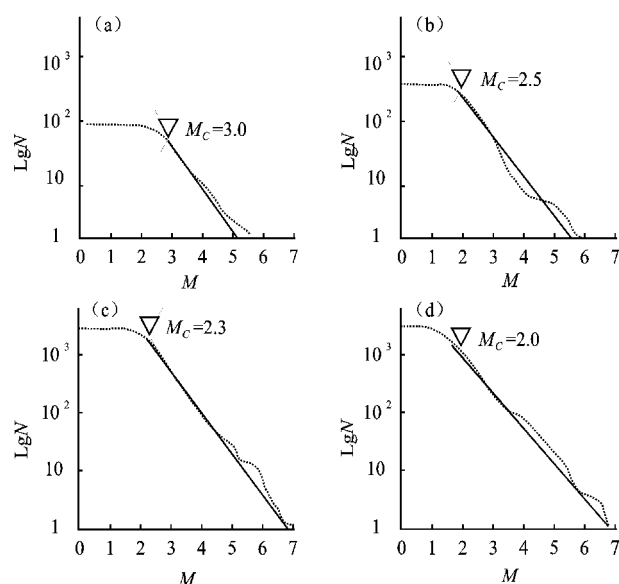


图3 1980~2015年青海 $M \geq 1.0$ 地震 G-R 关系图
(a) 1980~1989年; (b) 1990~1999年; (c) 2000~2008年; (d) 2008~2015年

Fig. 3 G-R relation of $M \geq 1.0$ earthquakes
in Qinghai Region from 1980 to 2015

3 地震危险性 PI 算法回溯性研究和预测

空间上,地震相对显著危险区域,即“热点”,热点值为 $\Delta P_i(t_0, t_1, t_2)$,强度函数经归一化处理,用对数 $\text{Lg}(\Delta P/\Delta P_{\max})$ 值表示,值越大,表示地震危险程度越高。

青海地区是中强地震频发区域,本文对该地区 2006~2015 年 $M \geq 5.0$ 地震进行系统的回溯性检验研究,总结震前 PI 图像异常变化特征。对 2006~2015 年 $M \geq 5.0$ 地震的命中率情况进行回溯性检验(图 4),选定 t_0 为 1970-01-01, t_1 为 1996-01-01, t_2 为 2006-01-01, t_3 为 2016-01-01,选取滑动窗长为 30 天,网格划分为 $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ 和 $0.4^\circ \times 0.4^\circ$,截止震级 (M_c) 为 3.0,目标震级 (M_F) 为 5.0。从图 5a 可以看出,2008 年和 2009 年青海德令哈 6.3 级、6.4 级地震,2008 年青海唐古拉地区 5.1 级地震,2008 年甘肃肃南 5.0 级地震,2010 年西藏那曲地区聂荣县 5.7 级地震均位于 PI 预测图像的“地震热点”区域。

通过改变网格划分尺度 ($\Delta X = 0.2^\circ, 0.4^\circ$) 来分析不同空间尺度下,未来 10 年时间的预测效能(图 5a)。从回溯性检验结果看,相同条件下网

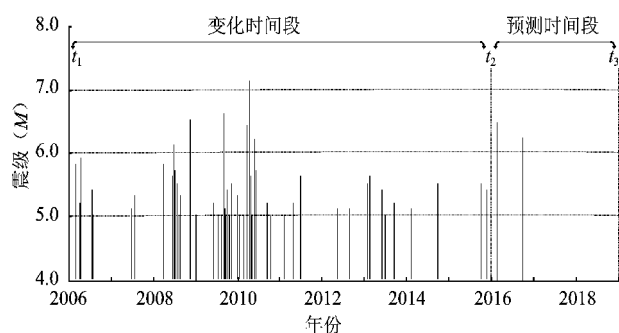


图4 2006~2018年 $M \geq 5.0$ 地震时间序列图

Fig. 4 Time-series graph of $M \geq 5.0$ earthquakes
from 2006 to 2018

格尺度 $\Delta X = 0.2^\circ$ 的回溯性检验结果较好,虚报率 (F) 为 0.115 时,命中率 (H) 为 0.535 7。

考虑到 PI 预测结果与青海地区年度会商时间尺度相一致,本文尝试使用 10 年时间尺度的地震活动异常“变化学习”时间段和 3 年时间尺度的“预测”时间段分别进行统计。选取滑动窗长为 30 天,网格划分为 $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ 。选定 t_0 为 1970-01-01,分别选取 t_2 时刻为 2006-01-01、2009-01-01 和 2012-01-01 共 3 个回溯性“预测时间段”,以及 t_2 为 2016-01-01 的 1 个“向前”预测时间段。每个预测时间段为 3 年时间尺度,不同回溯性时间段 PI 预测图像分别为见图 5b、c、d。由图可见,“预测时间段”内的强震与 PI 图像的地震热点有较好的对应关系。采用 ROC 方法计算预测效果,如图 5e 所示,2006~2008 年和 2009~2011 年 2 个回溯性“预测时间段”评价效果较好。但 2012~2014 年预测时间段“命中率 H ”低于 0.5,呈现热点多、虚报率高的特点。分析其原因,2012~2014 年 $M \geq 5.0$ 地震多发生于青海地区周边,PI 预测图像可能与选择研究区域有密切关系。

为研究青海地区未来 3 年地震可能发生地点,“向前”预测 3 年(2016~2018 年)时间段 $M \geq 5.0$ 地震,选定 t_0 为 1970-01-01, t_1 为 2006-01-01, t_2 为 2016-01-01, t_3 为 2019-01-01,选取滑动窗长为 30 天,研究区空间网格划分为 $0.2^\circ \times 0.2^\circ$,截止震级 (M_c) 为 3.0,目标震级 (M_F) 为 5.0。“异常学习”时间段为 10 年(2006~2015 年),青海及邻区 3 年尺度预测时间段(2016~2018 年)的 PI 图像如图 6a 所示,结果显示,未来 3 年内热点值相对较高区域为门源—祁连、德令哈、兴海、玉树、唐古拉等地区。

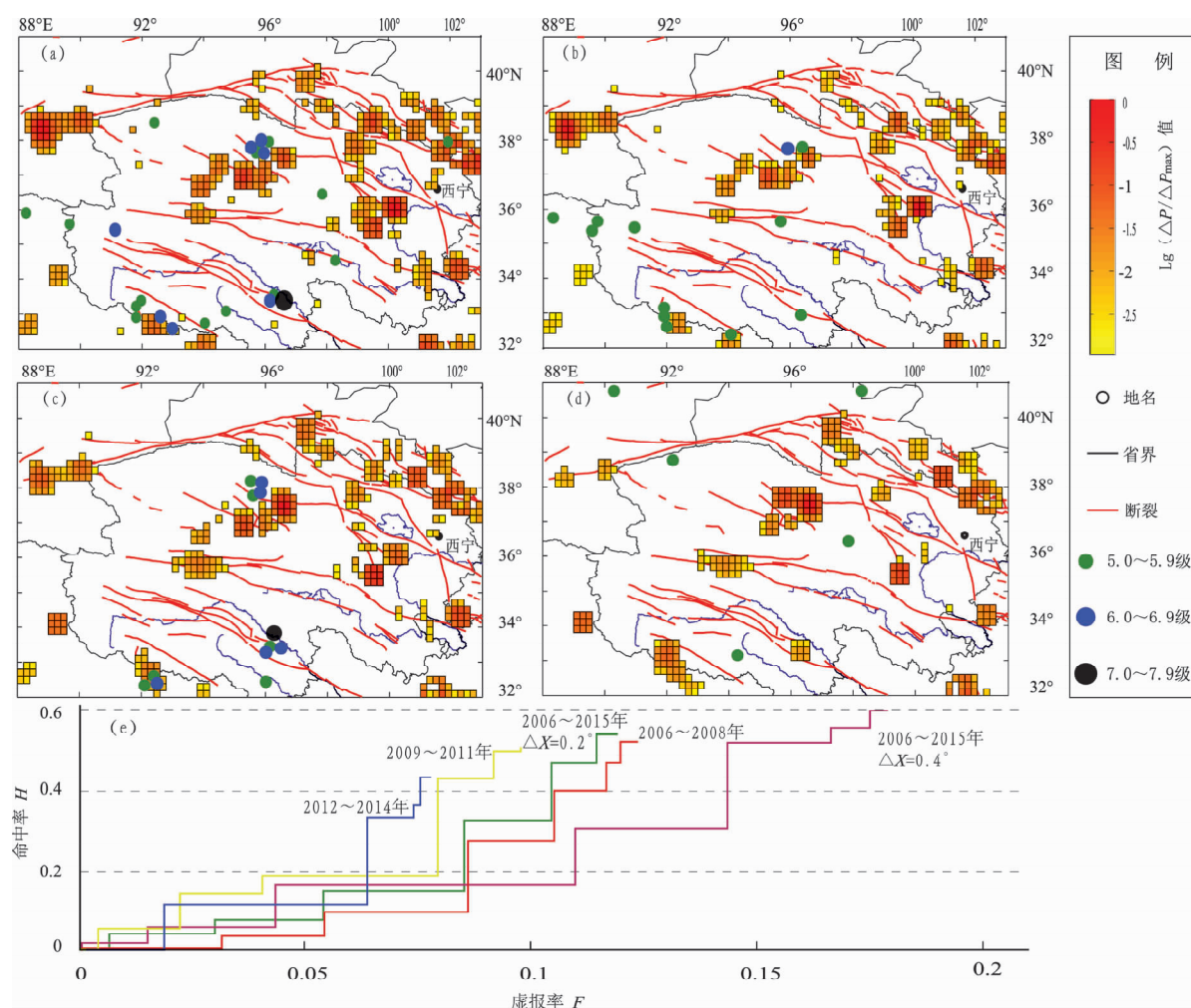


图5 青海地区 PI 回溯性检验预测图像

(a) 2006-01-01~2016-01-01; (b) 2006-01-01~2009-01-01; (c) 2009-01-01~2012-01-01; (d) 2012-01-01~2015-01-01; (e) 不同时间段 ROC 检验

Fig. 5 PI retrospective forest test map for Qinghai region

(a) from 2006-01-01 to 2016-01-01; (b) from 2006-01-01 to 2009-01-01; (c) from 2009-01-01 to 2012-01-01; (d) from 2012-01-01 to 2015-01-01; (e) ROC test for Qinghai Region during different time frames

从图 6a 可以看出,地震热点多集中在地震多发区域,如祁连、德令哈、唐古拉等地区,这反映了历史地震对于 PI 算法的变化时间段和预测时间段有重要影响,历史上均有大地震发生,并且现阶段是中、小地震频发区域。

3 年预测时间段(2016~2018 年)内,截至 2016 年 10 月 28 日,青海省及邻区共发生 $M \geq 5.0$ 地震 3 次,图 6a 中黑色五角星为 3 次地震震中位置。其中,最大为 2016 年 1 月 21 日门源 $M_s 6.4$ 地震。青海门源 $M_s 6.4$ 、西藏安多 $M_s 5.3$ 地震位于 PI 图像的地震热点丛集附近,反映了“PI 图像热点”具有较好的地点预测能力。

因预测时间尚未结束,3 年预测时间段(2016

~2018 年)内,ROC 检验只计算到 2016 年 10 月 28 日,显示较好的 ROC 评价结果(命中率达到 0.75,如图 6b 所示)。

4 结论与讨论

本文选取 10 年尺度的地震活动“变化学习”时间段,3 年尺度的“预测”时间段, $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ 空间网格及截至震级 $M_L 3.0$ 进行统计计算。通过对 3 个回溯性“预测时间段”和 1 个“向前”预测时间段分析,结果表明,PI 算法适用于青海及邻区中强地震的中长期预测。2016 年青海门源 $M_s 6.4$ 和西藏安多 $M_s 5.3$ 地震与附近较大范围显著

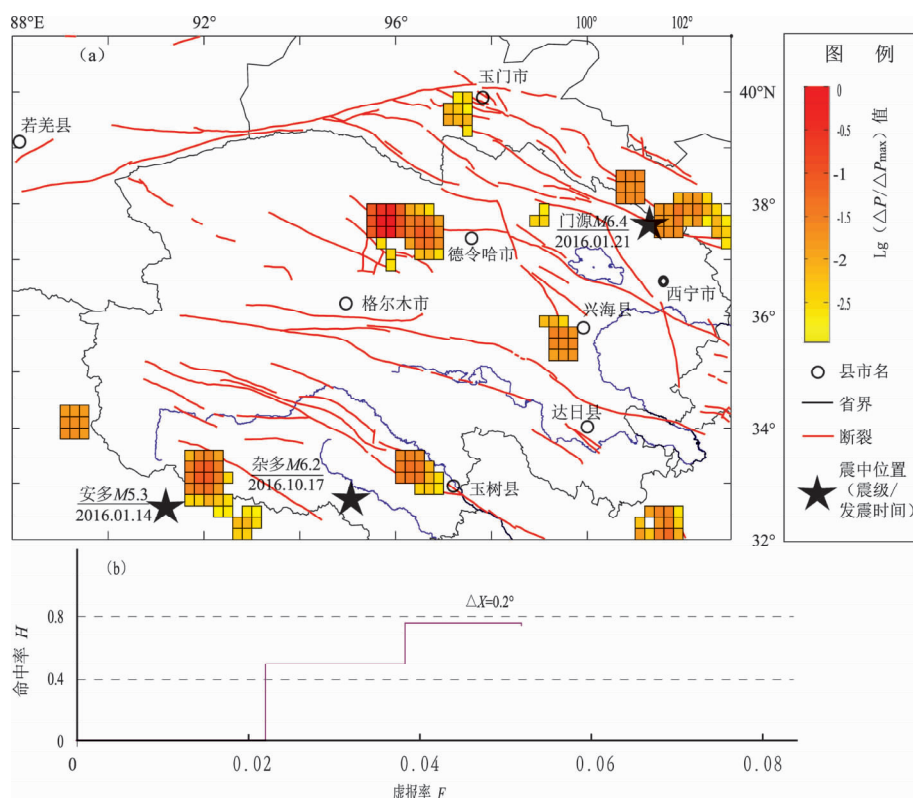


图 6 2016-01-01 ~ 2019-01-01 时段青海及邻区 PI 预测图像 (a) 和 ROC 检验 (b)

Fig. 6 PI forecast map (a) and ROC test (b) of earthquakes in Qinghai and its adjacent area from Jan. 1, 2016 to Jan. 1, 2019

的高概率危险“热点”相对应, ROC 评价效果较好。

PI 图像预测结果显示, 未来 3 年 (2016 ~ 2018 年) 门源—祁连、德令哈、兴海、玉树、唐古拉地区地震热点值偏高。

对青海地区南部的高概率“热点”性质进行讨论, 青海南部地区与北部地区相比较, 具有“热点”分散、漏报率高的特点。如漏报的 2016 年 10 月 17 日杂多 $M_s 6.2$ 地震, 位于 2 个地震“热点”危险区之间, 漏报地震还包括 2010 年 4 月 14 日玉树 $M_s 7.1$ 地震。分析地震漏报的现象, 可能受到以下 2 方面的影响: 一是历史上青海南部的唐古拉地区本身地震监测能力较弱, 2008 年之后地震监测点密度加大, 监测能力才有了逐步提升。用 ROC 检验来评估预测效能, 该检验为不全面的“单向性”检验过程, 仅验证新发生的地震是否在 PI 图像的地震“热点”区域附近。对于历史上发生较多“目标地震”的区域, ROC 检验才具有较好的评估效能。二是考虑青藏高原应力应变场影响因素, 应力场的分布对运动场起着极为重要的

作用, 运动速度大致由南向北逐渐减小 (郑勇等, 2007)。青海南部地区地震存在较多“漏报”的 PI 图像“热点”, 从 PI 算法本身很难解释出具体原因, 一种可能的解释是青藏高原南部区域的运动速率较大, PI 算法在运动速率较大的板块边缘地区比较难得到“目标地震”的图像“热点”, 可能需要在 PI 图像“热点”的计算过程中, 把应力应变场作为一个影响因素考虑在内。

参考文献:

- 邓起东, 程绍平, 马冀等. 2014. 青藏高原地震活动特征及当前地震活动形势[J]. 地球物理学报, 57(7): 2025–2042.
- 邓起东, 张培震, 冉勇康等. 2002. 中国活动构造基本特征[J]. 中国科学: 地球科学, 32(12): 1020–1030, 1057.
- 蒋长胜, 吴忠良, 马宏生等. 2009. PI 算法用于川滇—安曼—苏门答腊地区 7.0 级以上强震危险性预测的回溯性检验[J]. 地震学报, 31(3): 307–318.
- 蒋长胜, 吴忠良. 2008. 对地震预测的一个统计物理算法在川滇地区的回溯性预测检验[J]. 中国科学: 地球科学, 38(7): 852–861.
- 孙丽娜, 齐玉妍, 温超等. 2012. 中长期地震预测中的 PI 算法改进研究及应用[J]. 地震, 32(4): 44–52.
- 屠泓为, 李智敏, 李文巧等. 2010. 青海省及邻近区域历史地震目录

- 完整性分析探讨[J]. 高原地震, 22(3): 7-15.
- 王培玲, 胡玉. 2014. 青海地区地震目录最小完整性震级研究[J]. 地震研究, 37(增刊1): 40-44.
- 吴忠良, 陈运泰. 2002. 地震预测与统计物理[J]. 物理, 31(6): 365-371.
- 尹安. 2006. 喜马拉雅造山带新生代构造演化: 沿走向变化的构造几何形态、剥露历史和前陆沉积的约束[J]. 地学前缘, (5): 416-515.
- 张培震, 王琪, 马宗晋. 2002. 青藏高原现今构造变形特征与 GPS 速度场[J]. 地学前缘, 9(2): 442-450.
- 郑勇, 陈颢, 傅容珊等. 2007. 应用非连续性模型模拟断层活动对青藏高原原应力应变场的影响[J]. 地球物理学报, 50(5): 1398-1408.
- Chen C C, Rundle J B, Holliday J R, *et al.* 2005. The 1999 Chi - Chi, Taiwan, earthquakes a typical example of seismic activation and quiescence[J]. GeophysResLett, 32(22): 117-137.
- Holliday J R, Nanjo K Z, Tiampo K F, *et al.* 2005a. Earthquake forecasting and its verification[J]. Nonlinear Processes in Geophysics, 12(6): 965-977.
- Holliday J R, Rundle J B, Tiampo K F, *et al.* 2005b. Modification of the pattern informatics method for forecasting large earthquake events using complex eigenfactors[J]. Tectonophysics, 413(1-2): 87-91.
- Molchan G M. 1996. Earthquake prediction as a decision - making problem[J]. Pure Appl Geophys, 149(1): 233-247.
- Nanjo K Z, Rundle J B, Holliday J R, *et al.* 2005. Pattern informatics and its application for optimal forecasting of large earthquakes in Japan [J]. Pure ApplGeophys, 163(11-12): 2417-2432.
- Rundle J B, Turcotte D L, Klein W, *et al.* 2000a. Geocomplexity and the physics of earthquakes[C]. Geophys Monog Se, 120, AGU, Washington D. C.
- Rundle J B, Klein W, Gross S J, *et al.* 2013. Dynamics of seismicity patterns in systems of earthquake faults, in Geo - complexity and the Physics of Earthquakes[J]. Geocomplexity & the Physics of Earthquakes, 120: 127-146.
- Rundle J B, Klein W, Tiampo K, *et al.* 2000b. Linear Pattern Dynamics in Nonlinear Threshold Systems[J]. Phys Rev E, 61(3): 2418-2432.
- Swets J A. 1973. The relative operating characteristic in psychology[J]. Science, 182: 990-1000.
- Tiampo K F, Rundle J B, Ginnis S A, *et al.* 2002a. Pattern dynamics and forecast methods in seismically active regions[J]. Pure and Applied Geophysics, 159(10): 2429-2467.
- Tiampo K F, Rundle J B, McGinnis S, *et al.* 2002b. Mean - field threshold systems and phase dynamics; An application to earthquake fault systems[J]. EurophysLett, 60(3): 481-487.
- Yu H Z, Cheng J, Zhang X T, *et al.* 2013. Multi - Methods Combined Analysis of Future Earthquake Potential[J]. Pure and Applied Geophysics, 170(1-2): 173-183.
- Yu H Z, Zhou F R, Zhu Q Y, *et al.* 2015. Development of a Combination Approach for Seismic Hazard Evaluation[J]. Pure and Applied Geophysics, 173(1): 221-233.

Retrospective Forecast Test Study on Seismic Risk Prediction of Medium - strong Earthquakes in Qinghai Region by PI Algorithm

YUAN Fuquan, SUN Shirui, WANG Xiaoling

(Earthquake Administration of Qinghai Province, Xining 810001, Qinghai, China)

Abstract

The Pattern Informatics (PI) algorithm was applied to analyze $M \geq 5.0$ earthquakes in the Qinghai region. Using the catalogues of $M \geq 5.0$ earthquakes in Qinghai region provided by NEIC and Qinghai seismic network from 1970 to 2015, we made statistic by using “variation leaning” period in 10 years scale and the “prediction” period in 3 years scale respectively. The retrospective forecast test results show that there exit the “hotspot” around the epicenter of Menyuan $M_s 6.4$ earthquake in 2016 in PI diagram. In the next three years (2016 ~ 2018), the “hot spot” values $\lg(\Delta P / \Delta P_{\max})$ are higher in the Menyuan - Qilian, Delingha, Xinghai, Yushu and Tanggula areas. It is shown that the PI method could be applied in the middle and long term prediction of the moderately strong earthquake in Qinghai area.

Key words: Menyuan $M_s 6.4$ earthquake in 2016; PI algorithm; earthquake forecast