

齐玉妍、孙丽娜、邱玉荣等, 2015, 河北及邻区地震时空概率增益综合预测研究, 中国地震, 31(1), 78 ~ 88。

河北及邻区地震时空概率增益 综合预测研究

齐玉妍¹⁾ 孙丽娜¹⁾ 邱玉荣²⁾ 李姜¹⁾ 金学申¹⁾

1) 河北省地震局, 石家庄市槐中路 262 号 050021

2) 陕西省地震局, 西安 710068

摘要 结合地震空间分布非均匀性指标 K_{ev} 值预测方法和图像信息学算法对河北及邻区 2013 ~ 2017 年 $M_L \geq 5.0$ 地震发生概率增益进行预测。根据河北及邻区 40 多年的地震观测资料, 对地震空间分布非均匀性指标 K_{ev} 值进行了空间扫描和震例统计, 得到了此方法应用于河北地区的预测效能, 并对河北及邻区 2013 ~ 2017 年 $M_L \geq 5.0$ 地震发生概率增益进行了预测; 对图像信息学算法在研究区进行了地震危险性概率预测的回溯性检验, 得到了此方法应用于研究区的预测效能 R 值及概率增益 K 值, 并进行了 5 年尺度的地震危险性预测。在上述 2 个单项预测方法的基础上, 基于概率增益综合预测模型, 得到了 5 年尺度河北及邻区 $M_L \geq 5.0$ 地震发生概率增益的综合预测结果。

关键词: K_{ev} 值 概率增益 图像信息学 地震预测

[文章编号] 1001-4683(2015)01-0078-11 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

概率增益模型最早是为了综合各种地震前兆异常提出来的。国内外学者采用概率增益法对某些地区进行了地震危险性预测 (Maeda et al, 1990; 金学申等, 1996), 王晓青等 (2000) 在时间概率增益和空间概率增益的基础上, 发展了时空综合概率增益模型, 并且研究了时空综合概率增益预测模型的预测效能评价方法 (王晓青等, 2002)。

河北地处华北地区, 毗邻京津, 是我国大陆板内地震的多发区, 20 世纪 60 年代以来发生的邢台地震、唐山地震等均造成巨大的人员和财产损失。许多地震工作者在地震活动性、地震构造特点、地震危险性等方面对该地区进行了长期的研究, 并且取得了令人瞩目的成果 (吴开统等, 1981; 徐杰等, 1996; 王辉等, 2011)。

王晓青等^①在 C_v 值研究的基础上于 2009 年首次提出了 K_{ev} 值单项预测方法, 并由此研究了地震事件的空间分布不均匀性与较强地震的关系。由于对 C_v 值进行了标准化处理, 因

[收稿日期] 2014-06-25; [修定日期] 2014-08-07

[项目类别] 河北省地震科技星火计划重点课题“基于单项预测效能的综合概率增益预测模型研究——以华北地区为例”资助

[作者简介] 齐玉妍, 女, 1981 年生, 硕士, 主要从事地震中长期预测等研究。E-mail: 15383018383@163.com

① 王晓青等, 2009, 中国大陆地震活动非均匀性及其地震预测研究, 见: 中国地震局地震预测研究所, 中国大陆强震趋势预测研究 (2010 年度)

此,对同样本数的 K_{cv} 值所反映的事件空间分布非均匀性程度可直接做比较,这为进行地震事件空间分布特征的统计及预测奠定了重要的基础。邱玉荣等(2011)对该方法进行了完善,将地震分布非均匀性指标 K_{cv} 值应用于亚洲大地震的预测研究中,通过回溯性检验证明了该方法应用于地震预测的实际效果。

图像信息学(Pattern Informatics, PI)算法综合考虑了地震活动“增强”与“平静”两种可能的震兆现象,同时扣除了背景地震活动来识别地震活动异常,并通过对地震活动“涨落”的分析,在中长期时间尺度上估计未来地震发生的相对概率。Holliday 等(2006)尝试将其用于全球 7 级以上强震的预测。蒋长胜等(2008)将其应用于川滇地区。孙丽娜等(2012)将地震活动性网格点密集值引入到 PI 算法中,得到了华北地区 3 年尺度的 $M_L \geq 5$ 地震危险性概率预测。

本文以河北及邻区为研究对象($35^\circ \sim 42^\circ N, 112^\circ \sim 120^\circ E$),以 $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ 的空间网格为基本统计单元,在单项 K_{cv} 预测方法和 PI 算法的地震发生回溯性检验、预测效能评价和预测研究等的基础上,通过概率增益综合预测方法进行概率增益综合计算,得到了研究区 5 年尺度的地震危险性概率预测,以期为该地区中-长期地震危险性预测提供有益的参考依据。

1 地震空间分布非均匀性指标 K_{cv} 值单项预测方法

1.1 地震资料的选择

分析所用的地震目录数据来源于中国地震台网中心,所用资料时间范围为 1970 年 1 月 1 日~2012 年 12 月 31 日。研究区范围为 $35^\circ \sim 42^\circ N, 112^\circ \sim 120^\circ E$,以 $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ 的空间网格作为基本统计单元。时间窗长取为 1 年。

1.2 K_{cv} 值单项预测方法的预测效能

关于河北及邻区地震分布的 K_{cv} 值单项预测方法的预测效能,本文作者(齐玉妍等, 2015)已做过专门研究,在此将与本文研究有关的结果简述如下:我们比较了 $M_L \geq 3.0$ 地震与 K_{cv} 值网格中心点之间距离 $\leq 25\text{km}$ 的空间区域,在滞后地震发生时间 T_{lag} 为 2、5、10 年的情况下, K_{cv} 值与其预测地震发生的效能 R 值的关系如图 1 所示。该图与常见的“频谱图”相似,因此我们将其称为 K_{cv} 值的预测效能(即 R 值)谱。图 1 表明 K_{cv} 值在 $-1 \sim 1$ 之间有较高的预测效能值,这正是地震空间分布图像接近于二维随机均匀分布的区间;当 $T_{lag} = 5$ 年时(滞后 5 年发生的地震),其周围相对小地震分布图像的 K_{cv} 值更接近于在 $-1 \sim 1$ 之间,具有较高的预测效能,这也是本文选择 5 年时间尺度作为综合预测时间的依据。

在 $M_L \geq 3.0$ 地震与 K_{cv} 值网格中心点之间的距离 D 不同的条件下, K_{cv} 值预测地震发生的总体效能 R 值与滞后时间 T_{lag} 的关系见图 2。结果表明,总体预测效能 R 值在滞后时间 T_{lag} 为 1~20 年时, R 值较集中; T_{lag} 大于 20 年时,总体效能 R 值出现离散。按照不同的距离 D ,统计了 R 值对应不同 T_{lag} 的平均结果: $0 \leq D \leq 25\text{km}$ 时, R 平均值为 0.29; $25 < D \leq 50\text{km}$ 时, R 平均值为 0.30; $50 < D \leq 75\text{km}$ 时, R 平均值为 0.31; $75 < D \leq 100\text{km}$ 时, R 平均值为 0.27; $100 < D \leq 125\text{km}$ 时, R 平均值为 0.33; R 值再对距离求平均,得到 R 的平均值为 0.30。

1.3 河北及邻区 2008~2012 年 K_{cv} 值预测方法的回溯性检验

本文采用概率增益预测方法及预测效能评估模型对地震发生的概率增益进行预测(邱玉荣等, 2011)。以不同滞后时间 T_{lag} 以及不同距离 D 处的 K_{cv} 值作为计算数据,对未来 M_L

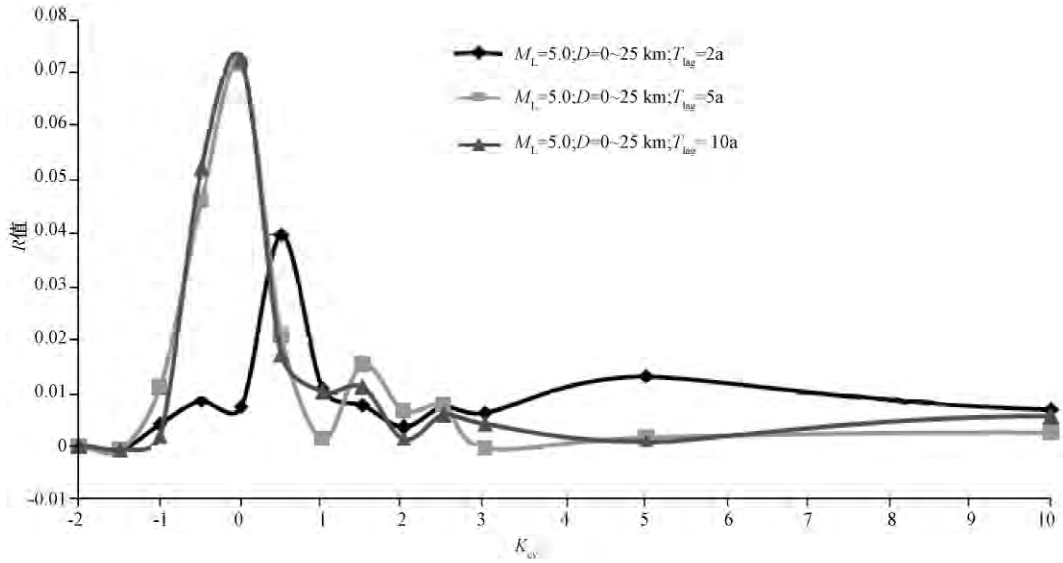


图1 K_{ev} 值预测效能 (R 值) 谱图

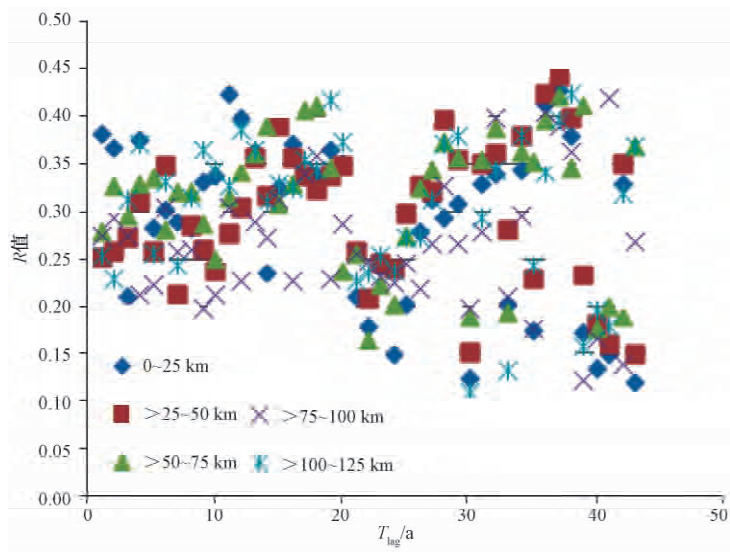


图2 K_{ev} 值在不同空间距离 D 时的滞后时间 T_{lag} 与 R 值的关系

≥ 5.0 地震发生概率增益进行预测。空间上某一网格区域未来 T 年发生中强震的概率 $P(M, T)$, 可以采用下式进行计算

$$\begin{aligned}
 \hat{K}(M, T) &= \sum_{T_{\text{lag}}=T}^{T_0} \hat{K}(M, T_{\text{lag}}) P(T_{\text{lag}}) \\
 &= \sum_{T_{\text{lag}}=T}^{T_0} \left[\sum_{j=1}^5 \hat{K}(M, T_{\text{lag}}, D_j) P(D_j) \right] P(T_{\text{lag}}) \\
 &= \sum_{T_{\text{lag}}=T}^{T_0} \left\{ \sum_{j=1}^5 \left[\sum_{i=0}^N \hat{K}(M, T_{\text{lag}}, D_j, K_{\text{cv}}^i) P(K_{\text{cv}}^i, T_{\text{lag}}, D_j) \right] P(D_j) \right\} P(T_{\text{lag}})
 \end{aligned} \quad (1)$$

式中, $\hat{K}(M, T)$ 为未来 T 年时发生 M 级地震的概率增益; $\hat{K}(M, T_{\text{lag}})$ 为滞后 T_{lag} 年的情况下发生 M 级地震的概率增益; $P(T_{\text{lag}})$ 为考量时间域内滞后 T_{lag} 年出现的概率, $\hat{K}(M, T_{\text{lag}}, D_j)$ 为滞后 T_{lag} 年时在距离未来 M 级地震震中的距离为 D_j 的概率增益; $P(D_j)$ 为距离为 (D_j) ($j = 1, 2, \dots, 5$) 的区域(环带)出现的概率; $\hat{K}(M, T_{\text{lag}}, D_j, K_{\text{cv}}^i)$ 为滞后 T_{lag} 年时在距离未来 M 级地震震中的距离为 D_j 的第 i ($i = 0, 1, 2, \dots, n$) 档 K_{cv} 值对应的经验概率增益; $P(K_{\text{cv}}^i, T_{\text{lag}}, D_j)$ 为滞后 T_{lag} 年时在距离未来地震震中的距离为 D_j 的第 i 档 K_{cv} 值出现的概率。

为了验证基于 K_{cv} 值预测地震的效果,我们对研究区 2008 ~ 2012 年发生的地震进行了

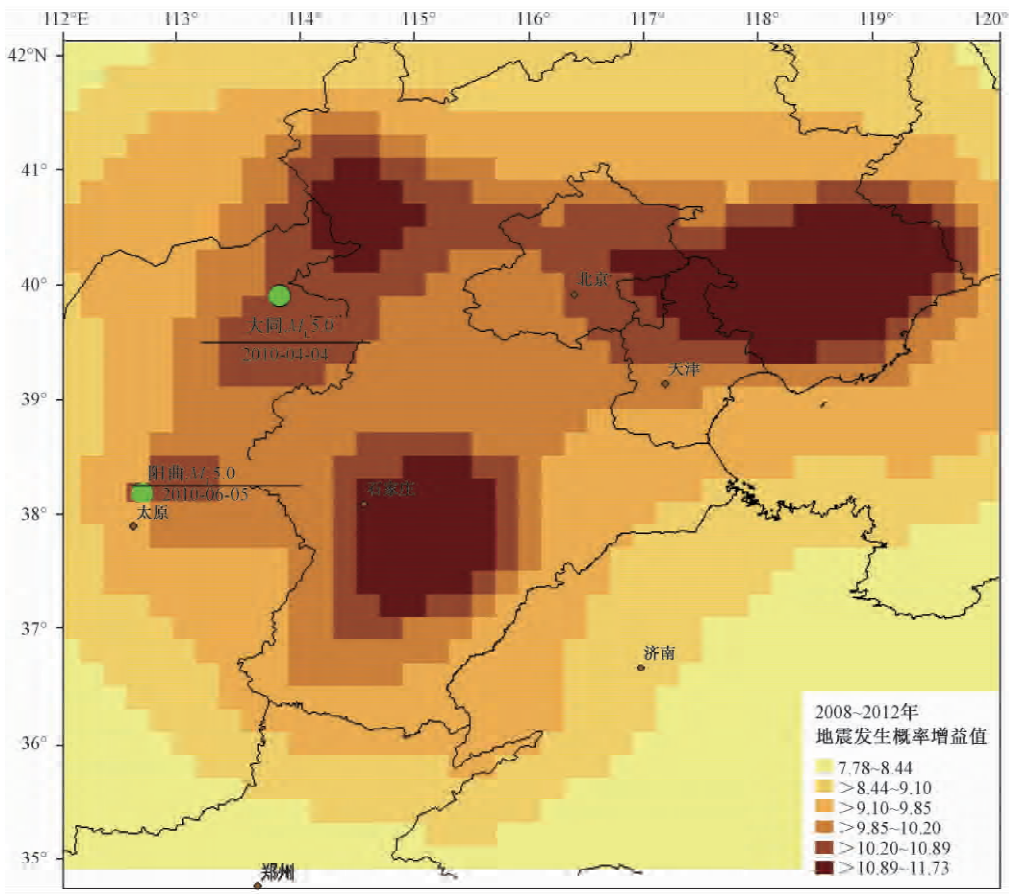


图3 K_{cv} 值单项预测方法回溯性检验图

回溯性检验,结果如图 3 所示。图 3 中概率增益值越大,相应网格的颜色越深。2008~2012 年河北及邻近地区的 2 次 $M_L \geq 5.0$ 地震,即山西大同 5.0 级地震和山西阳曲 5.0 级地震均发生在较高概率增益区域中。

1.4 河北及邻区 2013~2017 年 $M_L \geq 5.0$ 地震发生概率 K_{ev} 值算法预测

根据上述研究结果,采用 K_{ev} 值单项预测法对 2013~2017 年河北及邻近地区发生 $M_L \geq 5.0$ 地震的概率增益进行了预测,结果如图 4 所示。由图 4 可见,2013~2017 年唐山地区、河北南部地区及晋冀蒙交界地区的地震概率增益值较高,具有较高的地震危险性。

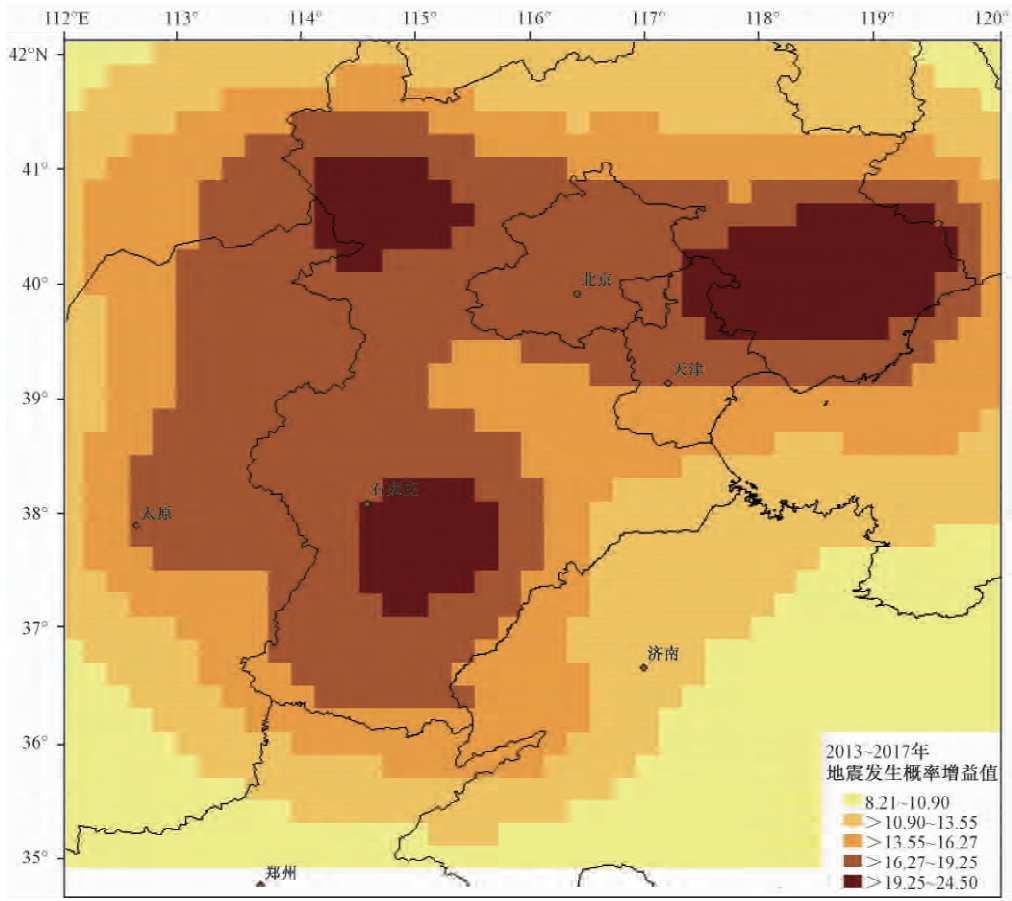


图 4 K_{ev} 值单项预测方法预测图

2 PI 单项预测方法

PI 算法是基于复杂系统统计力学的地震预测模型。本文将其作为综合概率增益预测的一个单项预测方法,应用于河北及邻区地震预测研究。通过回溯性检验 2008 年 1 月 1 日~2012 年 12 月 31 日时段的地震危险性,对该方法与实际发生地震的关系进行了分析,并讨论了其预测效能。在此基础上,对研究区 2013 年 1 月 1 日~2017 年 12 月 31 日时段的中长期地震危险性进行了预测。

2.1 PI 算法回溯性预测检验和预测效能研究

地震目录和研究区范围同前文的 K_{ev} 值单项预测方法,以 $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ 的空间网格作为基本统计单元。采用 5 年尺度的地震活动“异常学习”时段和“预测时间窗”,“异常学习”时段:2003 年 1 月 1 日~2007 年 12 月 31 日;回溯性研究的“预测时间窗”:2008 年 1 月 1 日~2012 年 12 月 31 日。截止震级 M_c 为 $M_L 3.0$,目标地震设定为 $M_L \geq 5.0$ 地震,且符合截止震级 M_c 至少小于预测“目标震级”两个震级单位的条件。考虑到各种删除余震的方法均会改变实际地震事件空间分布图像的特征,因此,本文分析中所用地震目录保留全部余震。

采用上述各种参数取值,对研究区 2008 年 1 月 1 日~2012 年 12 月 31 日 $M_L \geq 5.0$ 地震发生概率的相对变化 ΔP 进行了计算,并将各计算单元的 ΔP 值除以全部单元中的最大值 ΔP_{max} 作为计算结果,得到了反映研究区域在预测时段内空间上的相对危险程度的 PI 图像(图 5)。由图 5 可见,2010 年 4 月 4 日山西大同 5.0 级地震在 PI 算法计算的危险性区域范围内;2010 年 6 月 5 日山西阳曲 5.0 级地震虽然没有在该范围内,但是其附近也是危险性较高的地区。

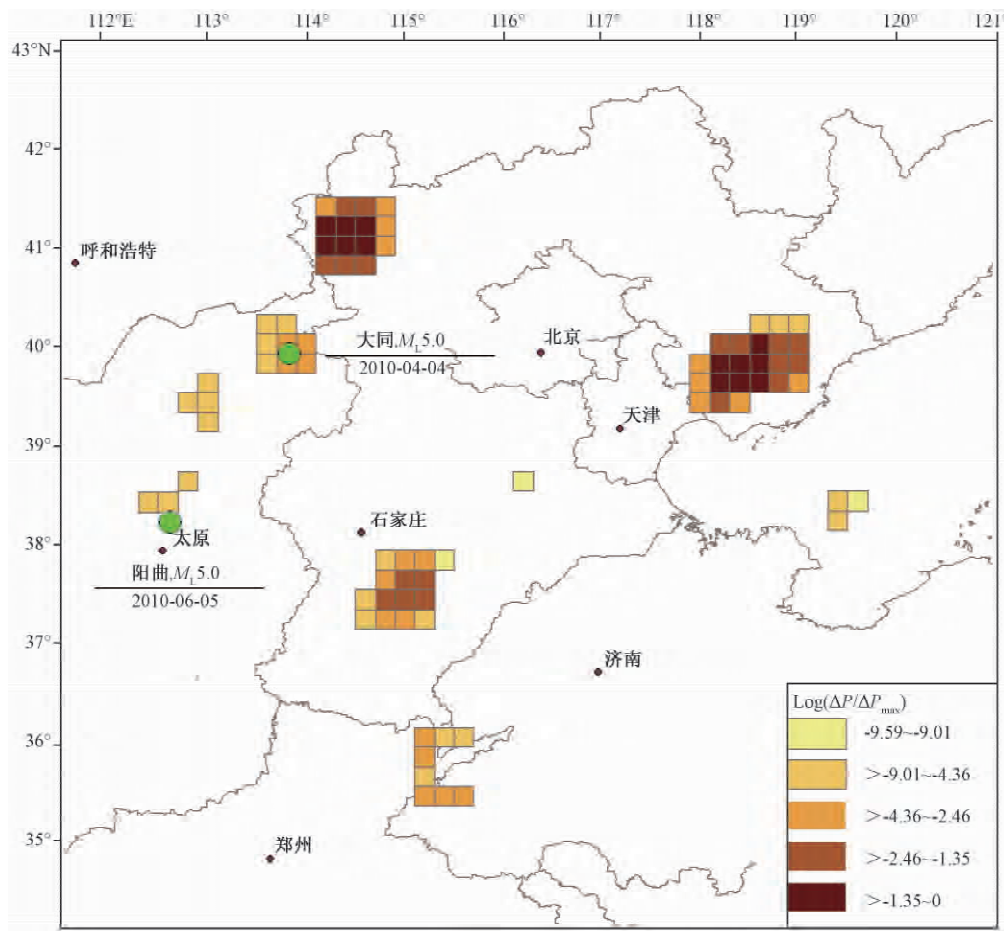


图 5 PI 算法回溯性预测检验图

通过震例发生的时、空分布与 PI 计算结果的关系,可研究 PI 算法预测地震发生的效能。本文的震例统计采用了王晓青等(2002)基于“两态”前兆模式与方法预测效能评价的方法。蒋长胜等(2008)将地震活动性较强(即地震频次较高)的 30% 格点值作为异常,则异常发生率为 0.3;而本研究 2 个震例中的 1 个落在划定异常的区域网格内,则报准比例为 50% (只有落在中心网格的震例才进行统计,不考虑落入中心网格周边 8 个网格的震例)。而按照预测效能的定义,PI 算法在研究区对 5 年尺度的 $M_L \geq 5.0$ 地震的预测效能为 0.2。同时,根据王晓青等(2002)关于概率增益与预测效能的关系,可得到本文对于异常发生预测效能为 0.2 时的概率增益 K 为 1.67。

2.2 PI 算法预测

在上述回溯性研究和预测效能研究的基础上,采用 PI 算法对 2013 ~ 2017 年河北及邻区发生 $M_L \geq 5.0$ 地震的危险性进行了预测(图 6)。结果表明,2013 ~ 2017 年河北的唐山地

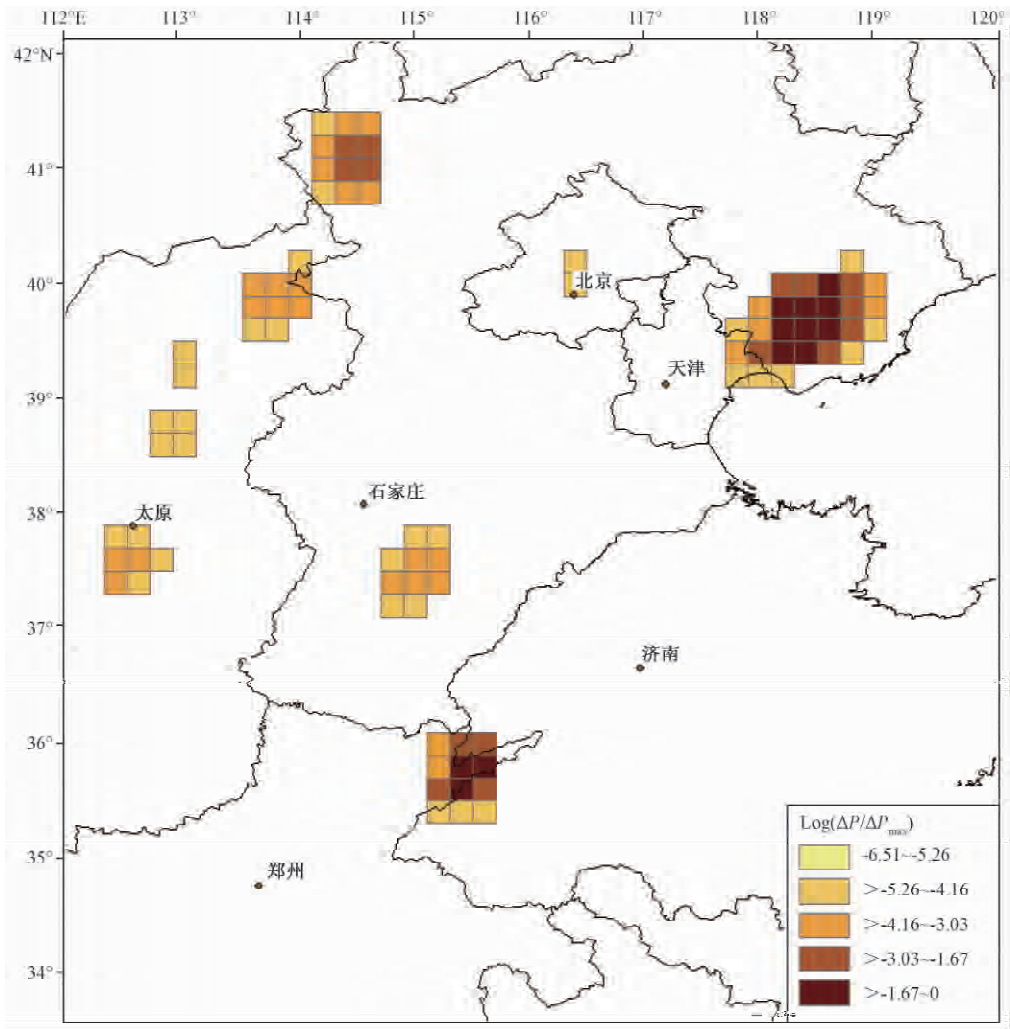


图 6 PI 算法预测图

区、张家口地区及冀鲁豫交界地区 $M_L \geq 5.0$ 地震的活动度预测值相对较高。

3 基于两种单项预测方法的综合概率增益预测

根据 PI 算法对地震发生概率的定义以及地震相对危险性的确定方法可知,其计算结果是一个相对的概念,我们可以采用 PI 图像判定未来地震相对危险的区域,但不能简单地将该计算结果作为概率值与其他方法进行概率综合运算。然而,通过预测效能和概率增益作为桥梁和纽带,PI 算法的结果便可以很容易地与其他方法的结果联合起来进行综合概率增益预测。

地震空间分布非均匀性指标 K_{ev} 值单项预测方法给出了各个网格的概率增益值,再结合 PI 算法的概率增益预测结果,本文得到了基于两种单项预测方法的综合回溯性预测结果(图 7)。根据王晓青等(2002)给出的方法 A 预测效能 $R(M|A)$ 的概率定义

$$R(M|A) = P(A|M) - P(A)$$

其中, $P(A|M)$ 相当于有震报准确率; $P(A)$ 相当于异常时空占有率。因在本文综合回溯性检验中,2 个震例均落在了预测范围内,故 $P(A|M)$ 为 1,异常时空占有率 $P(A)$ 为 0.3,综合后的预测效能 R 值达到了 0.7,均高于单项预测方法。这表明综合后预测的效能提高了,同时

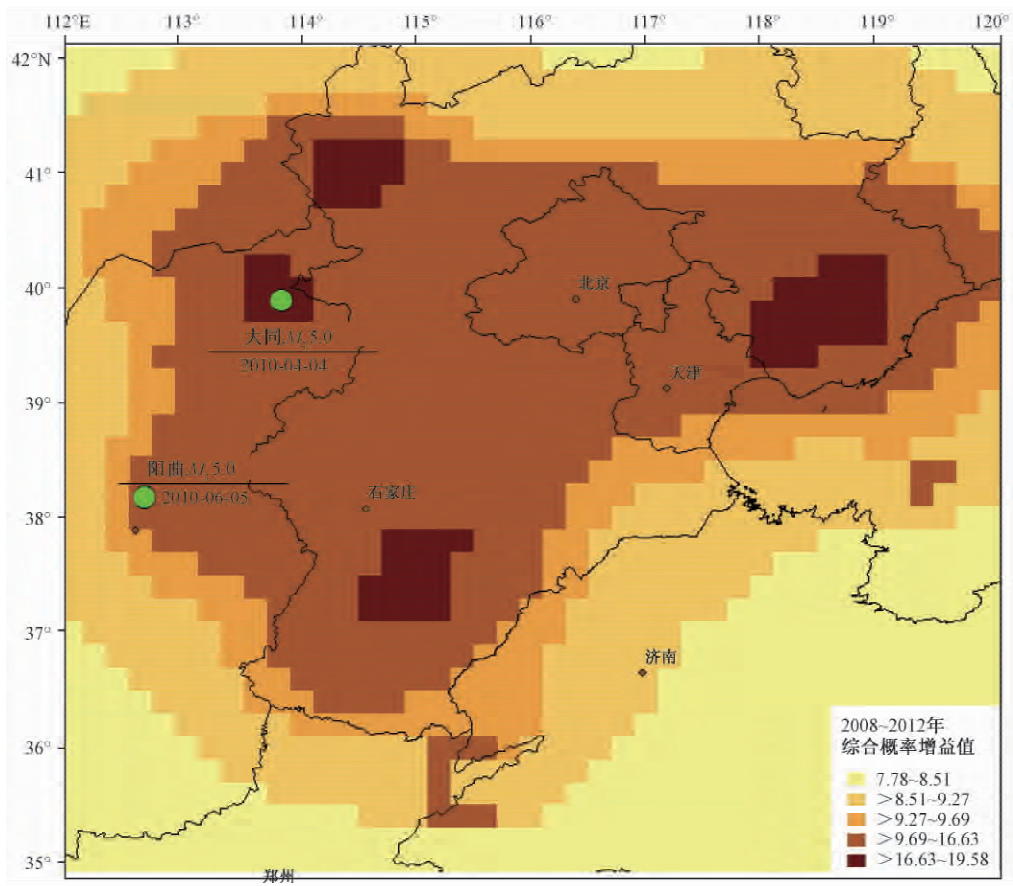


图 7 综合概率增益回溯性检验图

也表明基于概率增益模型进行地震综合预测的方法是可行的、有效的。

在上述回溯性研究和预测效能研究的基础上,对河北及邻区 5 年尺度(2013 年 1 月 1 日~2017 年 12 月 31 日)发生 $M_L \geq 5.0$ 地震的危险性进行了综合概率增益预测(图 8)。图 8 的预测结果表明,唐山地区、张家口地区和河北南部地区 $M_L \geq 5.0$ 地震的综合概率值较大。

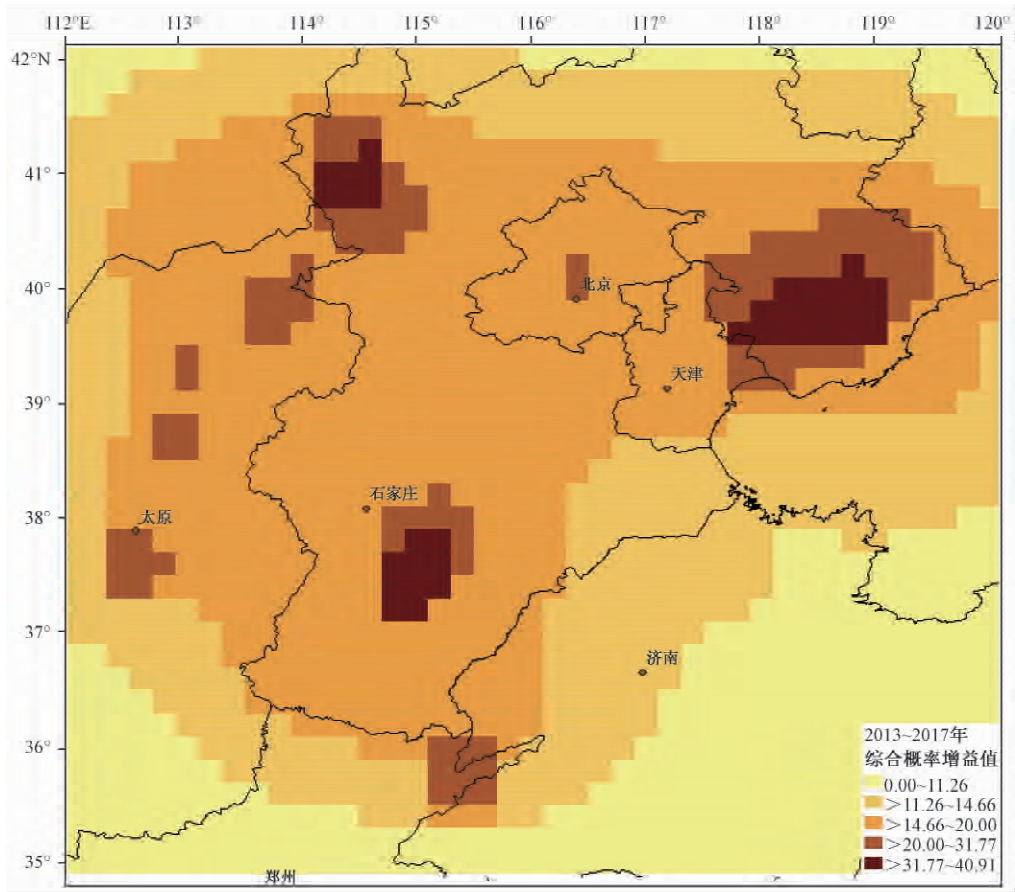


图 8 综合概率增益预测图

对比回溯性检验的 2008~2012 年综合概率增益值和预测的 2013~2017 年综合概率增益值不难发现,2013~2017 年综合概率增益值普遍较大,表明 2013~2017 年较之 2008~2012 年地震活动性水平更高。

4 结论

本文分别采用地震空间分布非均匀性指标 K_{α} 值预测方法和 PI 算法对河北及邻区进行了地震发生概率预测。2 种方法的预测结果与实际发生地震的情况进行对比的回溯性检验表明,二者均适合在本研究区进行地震发生概率预测。分别研究了 2 种方法的预测效能 R 值和概率增益 K 值,并进行了各单项方法的地震危险性预测。以概率增益为纽带,基于概

率增益综合预测模型,将2种方法进行同时间、同空间网格的综合计算,综合后的预测效能比单项预测方法的预测效能显著提高,最后得到了5年尺度研究区 $M_L \geq 5.0$ 地震发生概率增益的综合预测结果。预测结果表明,唐山地区、张家口地区和河北南部地区 $M_L \geq 5.0$ 地震活动的综合概率值较大。另外,对比回溯性检验的2008~2012年综合概率增益值和预测的2013~2017年综合概率增益值发现,2013~2017年综合概率增益值普遍较大,表明2013~2017年较之2008~2012年地震活动性水平更高。

参考文献

- 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,中国科学D辑:地球科学,38(7),852~861。
- 金学申、戴英华、马桂花等,1996,一种应用于地震长期预报中的概率增益模型,地震地质,18(1),45~49。
- 齐玉妍、孙丽娜、邱玉荣等,2015, K_{ev} 值在河北及邻近地区地震预测中的应用研究,地震,待刊。
- 邱玉荣、王晓青、郑友华等,2011,地震分布非均匀性指标 K_{ev} 值及其在亚洲大地震预测中的应用研究,地震,31(3),27~36。
- 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,地震,32(4),44~52。
- 王辉、曹建玲、申旭辉,2011,华北地区的背景地震活动及区域未来强震危险性,地震,31(2),11~23。
- 王晓青、傅征祥、张立人等,2000,中长期时空增益综合预测模型及其初步应用,地震学报,22(1),45~53。
- 王晓青、吕金霞、丁香,2002,强震时空综合概率增益模型与中长期预测方法效能研究,中国地震,18(4),346~355。
- 吴开统、李自强、金学申等,1981,唐山大地震及其前后的地震活动,地震地质,3(1),1~9。
- 徐杰、牛雯芳、王春华等,1996,唐山-河间-磁县新生地震构造带,地震地质,18(3),193~198。
- Maeda K, Yoshida A, 1990, A probabilistic estimation of earthquake occurrence on the basis of the appearance times of multiple precursory phenomena, J Phys Earth, 38, 431~444.
- Holliday J R, Rundle J B, Tiampo K F, et al, 2006, Modification of the pattern informatics method for forecasting large earthquake events using complex eigenfactors, Tectonophysics, 413(1-2), 87~91.

The synthetical prediction research on earthquake spatial and temporal probability gain in Hebei Province and its adjacent areas

Qi Yuyan¹⁾ Sun Lina¹⁾ Qiu Yurong²⁾ Li Jiang¹⁾ Jin Xueshen¹⁾

1) Earthquake Administration of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China

2) Earthquake Administration of Shaanxi Province, Xi'an 710068, China

Abstract In this paper, the probability gain is synthesized by the forecasting method of heterogeneity parameter K_{ev} of spatial distribution of earthquake and Pattern Informatics algorithm, which provides a way of predicting the $M_L \geq 5.0$ earthquake probability gain from 2013 to 2017 in Hebei Province and its adjacent areas. According to earthquake observation data of more than 40 years in Hebei Province and its adjacent areas, the efficiency of earthquake prediction for the seismic spatial heterogeneity index method is researched by spatial scanning K_{ev} -value and earthquake cases statistics, and then the $M_L \geq 5.0$ earthquake probability gain forecasting from 2013 to 2017 in Hebei Province and its adjacent areas is provided. The retrospective test of Pattern Informatics algorithm for seismic hazard probability prediction in the study area is carried out, the prediction R -value and probability gain K value of the method is obtained, and the forward prediction for five years is given. Finally, synthetical prediction results of the $M_L \geq 5.0$ earthquake probability gain are obtained for the next 5 years in Hebei Province and its adjacent areas by the prediction of comprehensive probability gain of the above two single prediction methods.

Key words: K_{ev} -value Probability gain Pattern informatics Earthquake prediction