

东北地区地震大形势预测回溯性检验^①

曹凤娟¹, 王亮¹, 李君², 殷轶娜¹, 杨牧萍¹

(1. 辽宁省地震局, 辽宁 沈阳 110031; 2. 沈阳地震台, 辽宁 沈阳 110161)

摘要:对1998~2010年度地震大形势东北地区预测效果和预测依据进行了总结和评估分析。结果显示1998年以来东北地震大形势预测的5~6级地震危险区主要集中在环渤海、辽蒙交界和黑吉蒙交界地区。地质构造背景和地震活动实况也表明上述三个地区及邻区为东北中强震的主体活动地区,历年报告对东北危险区的把握较好,东北地震大形势第一年度趋势预测准确率为57%,1~2年度预测准确率为71%。东北地震大形势预测判据主要有8项,其中中小地震活动增强、空区和条带以及地震活动性参数扫描等3项地震学指标可靠性较高, R 值评分均大于0.22。统计结果显示,预测报告中每年给出的异常指标数量与次年最大震级没有明显的关联,但中强震前中小地震活动增强是东北地区地震活动的主要特征之一。活跃—平静期、构造背景以及历史地震活动等,在预测时,虚报的概率较大,二者或许对长趋势的预测起一定的借鉴作用。正确判断东北地区地震活动目前所处的状态(活跃状态还是平静状态)以及活跃—平静期转换的界定指标,可适当提高危险区预测的准确性,减少虚报率。回顾和总结的过程中也发现,目前1~3年地震形势的预测分析以统计性、定性判定依据为主,主要基于震例资料的统计和定性对比分析,反映大地震孕育和发生物理过程的资料非常有限,今后应在努力提高统计分析严谨性的同时,尽可能多地获得并采用多学科观测资料,从地球物理场动态变化的角度来分析地震趋势的发展。

关键词:东北地区; 预测判据; 预报效能; R 值; 评估

中图分类号: P315.75

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2014)02-0301-08

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2014.02.0301

The Retrospective Test of The Earthquake Great Situation in Northeast China

CAO Feng-juan¹, WANG Liang¹, LI Jun², YIN Yi-na¹, YANG Mu-ping¹

(1. Earthquake Administration of Liaoning Province, Shenyang, Liaoning 110034, China;

2. Shenyang Seismic Station, Shenyang, Liaoning 110161, China)

Abstract: According to the objective summary and assessment analysis of the prediction effects and criteria of the seismic situation in northeast China in 1998—2010, the risk regions of M 5~6 earthquakes have been concentrated mostly in the area near the Bohai Sea-Liao-Meng juncture and the juncture of the Heilongjiang, Jilin, and Inner Mongolia provinces since 1998. Geological tectonic backgrounds and live seismic activities also show that the three regions and its adjacent regions are the main areas of moderate and strong seismic activity in northeast China. Reports during recent years offer a better understanding of the northeast risk regions. The prediction accuracy of a great northeastern earthquake situation is 57% for the first year and 71% for the second to third years. Eight main prediction criteria are used for seismic situations, including the enhancement of

① 收稿日期: 2013-04-17

基金项目: 辽宁省地震局重点实验室项目(No.: LNDZ2014003)

作者简介: 曹凤娟(1970), 女, 高工, 主要从事地震学分析与研究工作。E-mail: cao99@sina.com

small and moderate earthquakes; gaps and belts; and seismic activity parameter scanning, which are three seismological indicators of higher reliability. In addition, the R value evaluation is more than 0.22. Statistics show that the number of abnormal indicators given in the annual prediction report and the maximum magnitude predicted for the subsequent year are not clearly connected. However, the enhancement of small and moderate seismic activities before moderate and strong earthquakes is one of the important features of northeastern regional seismic activities. Although the active-calm periods, tectonic backgrounds, and historical earthquake activities easily give false prediction rates, they may be used to draw lessons, particularly in long-term tendency forecasting. Correct judgment of the present seismic state in northeast China, whether active or calm, and definite indices of active-calm period conversion can appropriately increase the accuracy of prediction in risk regions and reduce the rate false results. It has also been determined during the process of reviewing and summarizing that current forecast analysis of 1~3 years focuses mostly on statistical and qualitative judgment basis, and is mainly based on comparison and analysis of earthquake case statistics and qualitative analysis. Information reflecting great earthquake gestation and physical processes is very limited. In the future, we will attempt to improve the statistical analysis, obtain and utilize multidisciplinary observation data as much as possible, and analyze the development of earthquake trends from the perspective of geophysical field dynamic change.

Key words: Northeast China; prediction criterion; prediction efficiency; R value; assessment

0 引言

通过长期的地震预报实践与研究,我国逐步形成了中国特色的长、中、短、临渐进式地震预报科学思路。地震孕育具有阶段性发展的特点,不同阶段显示不同特征的异常,因而有可能依据观测到的具有阶段性特征的前兆异常进行阶段性预报^[1]。其中应用最广、工作最系统、积累资料最完善的是年度中期预测^[2]。地震大形势预测是我国地震工作者开创的地震预测研究中的一个重要环节,成为年度地震趋势会商的重要组成。所谓地震大形势,就是以大的背景概况来预测未来强震发展趋势,即选用全区域、全国、或者全球的地震和大板块之间的相互影响、大构造的相互作用、GPS 资料等方面信息对研究区域或周边区域进行未来 1~3 年的强震预测分析,为各省的年度趋势预测提供背景依据和参考^[3]。东北地震大形势研究基于东北深浅震相关和浅震大约 11 年的活跃—平静期,为东北三省的中短期地震预报提供了积极的指导作用^[4-6]。然而东北地震大形势判定也面临许多的困难和问题,如震级估计偏高、虚报率较大等等。为了推进东北地震大形势预测的科技进步和提高预测水平,对东北地震大形势预测工作进行全面系统的科学总结十分必要。

本文通过回顾 1998 年以来东北地震大形势研究工作的科学思路和主要内容,对支撑地震大形势预测的方法、技术,地震大形势预测效果和预测依据

进行客观的总结和评估分析,从而提炼有一定映震效能的判据,作为今后东北地震大形势研究工作的参考和依据。

1 预测情况回顾

1998 年以来地震大形势预测报告在东北地区共圈定地震重点危险区 8 个,地震应注意地区 10 个(表 1)。1998—2003 年圈定的地震重点危险区主要集中在渤海海峡及邻近地区;2004—2005 年主要集中在辽蒙交界及其以西地区(巴林左旗—彰武);2007—2008 年主要集中在黑吉蒙交界地区;2009 年以来未划地震重点危险区,只提及了一些地震应注意地区,预测震级强度大部分在 $M_5 \sim 6$ 左右。预测的主要依据有地震条带和空区、中等地震活动增强、东北浅源地震活跃期,深浅震相关、地质构造背景、地震活动性参数扫描和前兆异常等。

2 预测结果分析

2.1 预测结果

由表 1 可见,在 1998 年以来的 14 份东北地震大形势预测报告中,有 8 个年份(1998、1999、2000、2001、2004、2005、2007 和 2008 年)圈定了地震危险区,其余年份未圈定危险区。预测年度中第一年度的地震实况检验结果显示:预测结果正确的年度报告有 8 份(1999、2000、2002、2004、2008、2009、2010 和 2011 年);不正确的有 6 份。其中虚报的有 1998

年、2001 年、2005 年和 2007 年 4 份,尽管这 4 份报告中预测的第一年度没有发生 5 级以上中强震,但在接下来的一年,其中的 2 个年度(1999 和 2008 年)在预测危险区附近发生了 $M \geq 5.0$ 地震,即在 1998 年报告中预测渤海海峡地区有发生 5~6 级地震的危险,而 1998 年该地区没有发生 5 级以上地

震,但第二年在渤海海峡地震危险区附近发生了 1999 年 11 月 29 日岫岩 5.4 级地震;2007 年报告中预测黑吉蒙交界地区有 5~6 级地震的危险,但预期的地震并没有在 2007 年发生,而是在 2008 年 6 月 10 日即预测年度的第二年发生了阿荣旗北 5.2 级地震。具体情况见表 2。

表 1 1998 年以来东北地震大形势预测报告主要结论及依据

Table 1 The main conclusion and the bases on the large scale earthquake situation forecast reports since 1998 in the northeast China

年度	危险区名称	预测震级/ M	主要依据	地震注意地区名称
1998—2000	渤海海峡及邻区	5~6	①地震条带 ②中等地震活动持续集中增强 ③震群集中活动 ④ GL 、 M_f 、 b 、 R_m 等异常 ⑤前兆异常 2 项辽蒙交界 5~6	辽蒙交界 5~6
1999—2001	渤海海峡及邻区	5~6	①地震条带 ②中等地震活动持续集中增强 ③前兆异常 4 项	
2000—2002	环渤海地区	6±	依据同上一年,增加: ①东北深震 ②琉球群岛	
2001—2003	渤海海峡地区(辽南 鲁北)	5~6	①构造背景(两地震带交汇区) ②地震空区 ③3 级地震集中活动 ④地震序列自相似从属函数 ⑤地震活动性参数扫描 ⑥地壳形变和重力 ⑦专家系统 ESSPER ⑧前兆异常 6 项 ⑨危险区物元综合评判模型	黑龙江依兰—步北 5~6 辽蒙交界 5~6
2002—2004	无	5.5±		晋冀蒙交界至呼和浩特一带
2003—2005	无	6±		华北北部地区
2004—2006	辽蒙交界及其以西地区 (巴林左旗—彰武)	5~6	①东北浅源地震活跃期 ②东北 5 级深浅震相关性 ③松辽盆地 5 级地震成对特征 ④ C 、 E 、 R_m 及等效震级 M 等	
2005—2007	辽蒙交界及其以西地区 (巴林左旗—彰武)	5~6	①东北浅源地震活跃期 ②东北 5 级深浅震相关性 ③最大震级拟合 ④松辽盆地 5 级地震成对特征 ⑤第五活跃期主体活动地区	
2006—2008	无		华北地区	
2007—2009	黑吉蒙交界	5~6	①构造背景及历史地震活动 ②中强震活动集中增强 ③条带和空区 ④各活跃期关门地震特征 ⑤博克图地区地震准周期规律 ⑥前兆异常集中 7 项	辽蒙交界 5 左右
2008—2010	黑吉蒙交界	5~6	维持上年度判定意见,增加: ①中强震补空 ②中小地震平静	
2009—2011	无	5±	东北处于第五活跃期末期	东北处于第五活跃期末期,存在发生个别 5 级地震的可能。
2010—2012	无	6±		华北地区存在发生 6 级左右地震的可能。

表 2 1998 年以来东北地震大形势预测结果检验

Table 2 The inspection results of the large scale earthquake situation since 1998 in the northeast China

年度	危险区 名称	预测 震级	预测第一年				预测第二年			
			检验 结果	危险区内及附近发生的地震			检验 结果	危险区及附近发生的地震		
				时间	地点	震级/M		时间	地点	震级/M
1998	渤海海峡地区	5~6	×				√	1999-11-29	岫岩	5.4
1999	渤海海峡地区	5~6	√	1999-11-29	岫岩	5.4				
2000	环渤海地区	6±	√	2000-01-12	岫岩	5.1				
2001	辽南—台北地区	5~6	×				○	2002-07-23	北黄海	M _L 5.1
2002			√							
2003 *			×	2003-08-16	巴林左	5.9				
2004	辽蒙交界地区	5~6	√	2004-03-24	东乌珠	5.9				
2005	辽蒙交界地区	5~6	×	2005-07-25	林甸	5.1	○	2006-03-31	前郭	5.0
2006 *			×	2006-03-31	前郭	5.0				
2007	黑吉蒙交界	5~6	×				√	2008-06-10	阿荣旗	5.2
2008	黑吉蒙交界	5~6	√	2008-06-10	阿荣旗	5.2				
2009			√							
2010			√							
2011			√							

注:√代表检验结果正确;×代表不正确;○代表基本正确,但震级或地点有些偏差。

2.2 结果分析

由表 2 可以看出,若考虑东北地震大形势对未来 1~2 年的预测结果,则 14 个年度报告中正确的有 10 个,正确率为 $10/14 \approx 71\%$ 。漏报的年份有 2003 年、2005 年和 2006 年,占预测年份的 21%,漏报的地震为 2003 年 8 月 16 日巴林左 5.9 级、2005 年 7 月 25 日黑龙江林甸 5.1 级和 2006 年 3 月 31 日前郭 5.0 级三次地震。虚报的年度有 1998 年、2001 年、2005 年和 2007 年,占预测年份的 29%。2001 年度报告预测的震级为 5~6 级,但预测的 1~2 年度内实际发生的最大震级为 $M_L 5.1$ (2002 年 7 月 23 日北黄海 $M_L 5.1$)。2005 年地震大形势预测辽蒙交界地区未来 1~3 年有发生 5~6 级地震的危险,预测年度内辽蒙交界地区并没有发生 5 级以上地震,而 2006 年 3 月 31 日在吉林前郭发生 5.0 级地震,与预测地点偏差较大。综观 14 年的东北地震大形势研究报告,预测结果准确、虚报和漏报时的主要依据如下:

(1) 预测正确时的主要判据

- 东北浅源地震活跃—平静期(地震活动周期)
- 东北地区深浅震相关性
- 中等地震活动集中增强
- 中小地震活动图像(空区和条带)

(2) 预测不正确(虚报)时的主要判据

- 地质构造背景和历史地震活动
- 地震活动性参数扫描
- 前兆异常集中

(3) 预测不正确(漏报)时的主要判据

- 东北浅源地震活跃—平静期(地震活动周期)

- 中小地震平静

可见,通过以上的总结和提炼,历年东北地震大形势报告中经常采用的分析方法和指标主要有东北浅源地震活跃—平静期(地震活动周期)、东北地区深浅震相关性、中等地震活动集中增强、中小地震活动图像(空区和条带)、地震活动性参数扫描、地质构造背景和历史地震活动、前兆异常集中及中小地震平静等 8 项。统计发现,预测报告中每年给出的异常指标数量与次年最大震级没有明显的关联(图 1)。分析其原因可能是:(1)不同的人分析前兆异常的方法和提取的指标不同,造成异常的使用没有可比性^[7];(2)每年报告里给出的异常并不是全年出现过的异常仅仅是年底写报告时存在的依然有预报时效的异常,因此这些异常刻画的不是全时空的,而是局限在某个时段的异常特征。因此地震大形势季度跟踪研究报告在很大程度上可充分体现前兆异常的动态时空演化,这项工作更有应用价值。此外各项指标的映震能力也不尽相同(表 3)。

中小震增强与平静由 1990 年以来东北地区 $M_L \geq 2.0$ 地震年频次的均值线界定,上下浮动范围 ≤ 20 次/年(图 2)。

从表 3 中可直观地看出,东北浅震活跃—平静期和深浅震相关(即东北浅源地震活跃—平静周期约为 11 年、深浅震有一定的相关性,通常浅震滞后深震 1~12 个月(图 3)、构造背景与历史地震、空区和条带以及地震活动性参数扫描在历次 $M \geq 5.0$ 地震前都有很好的异常显示,直观看映震能力都超

表 3 东北地区 5 级地震前各指标的映震情况

Table 3 The reflect earthquake situation of each indicator before $M>5$ earthquakes in northeast China

年份	活跃—平静期	深浅震相关	中小震增强	空区和条带	构造背景历史地震	地震活动参数扫描	中小震平静	前兆异常
有震年份								
1999	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓
2000	✓	×	○	○	✓	✓	○	○
2003	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓
2004	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	○
2005	✓	×	×	○	✓	○	✓	○
2006	✓	×	×	○	✓	○	✓	○
2008	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓
无震年份								
1998	✓	×	×	○	✓	○	○	○
2001	✓	×	○	○	✓	○	○	○
2002	✓	×	○	○	✓	○	○	○
2007	✓	×	×	○	✓	○	✓	○
2009	✓	✓	✓	○	✓	✓	×	✓
2010	✓	✓	○	✓	✓	✓	○	✓
2011	×	✓	×	✓	✓	✓	✓	✓

注：✓代表震前有异常显示；×代表震前无异常显示；○代表异常显示不明显。

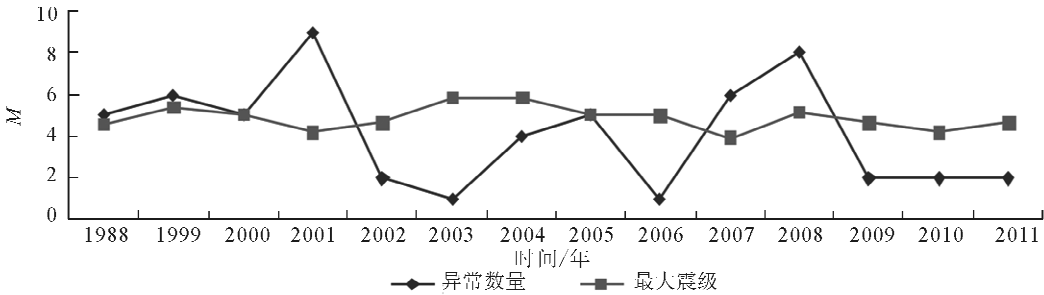


图 1 年度报告异常指标数量与次年最大震级

Fig. 1 The abnormal numbers of annual reports and maximum magnitudes in next year

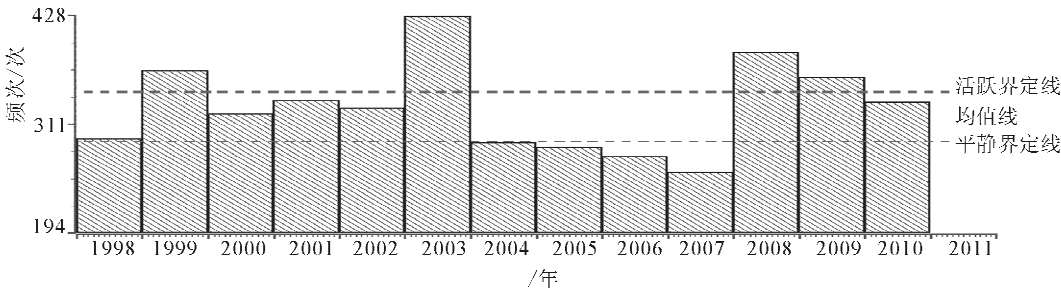


图 2 1998 年以来东北地区 $M_L \geq 2.0$ 地震频次

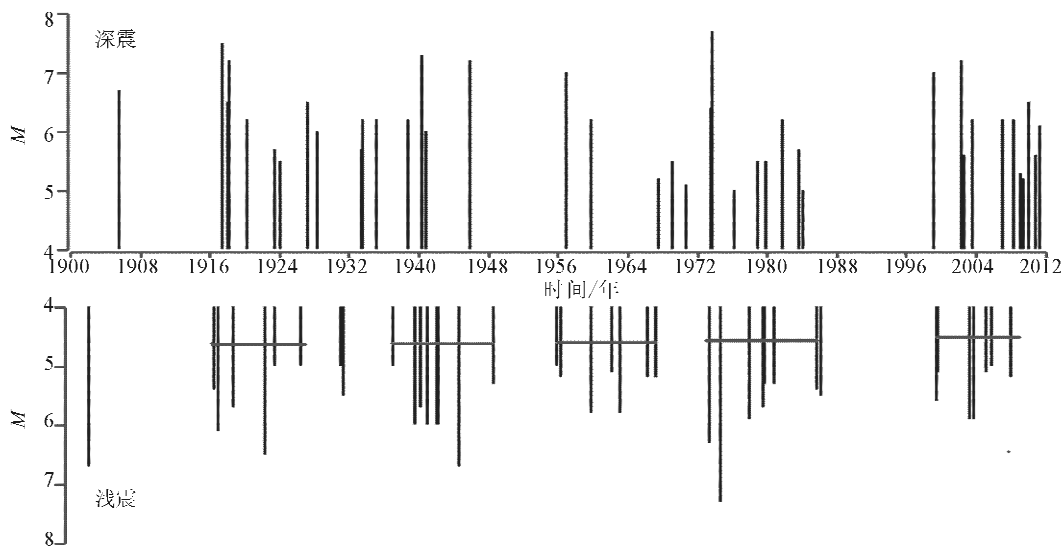
Fig. 2 The seismic frequency ($M_L \geq 2.0$) in northeast China since 1998

过 50%，但虚报率和漏报率体现不出来。尤其是东北浅震活跃—平静期以及构造背景和历史地震，这种背景性的长趋势的异常在无震年份也依然存在，虚报率很高。另一方面，尽管中小震活动增强在 7 次地震中只有 3 次震前有异常显示（1999 年岫岩 5.4 级、2003 年巴林左 5.9 级和 2008 年阿荣旗北 5.2 级），但在无震年份该项指标都很少出现异常显示，也就是虚报率小。可见，地震预报方法的有效性显然不能单纯以一次预报的成功与否来评价，需要

应用统计学理论进行检验和评分。当前地震系统使用较多的是许绍燮 1989 年提出的 R 值评分，其后又经许多地震学者完善^[8-14]，现已成为常规的地震效能评价方法。

3 预报效能评价

为了更好地评估各指标的映震效能，本文采用地震系统常用的地震预报效能评估方法— R 值评分和概率数理统计中的贝叶斯点估计方法^[15-16]，进一

图3 东北地区深震和浅震 $M-T$ 图Fig. 3 The $M-T$ diagrams of deep and shallow earthquakes in northeast China

步给出了各指标的报准率、虚报率和漏报率,见表4。

表4 东北地震大形势报告中各指标预测能力评估

Table 4 Prediction capability assessment for each index in the large scale earthquake situation in northeast China

指标名称	报准率 p	虚报率 q	漏报率 r	R 值 $(p-q)^{[6]}$
活跃—平静期	0.89	0.78	0.11	0.11
深浅震相关	0.56	0.44	0.44	0.12
中小震增强	0.44	0.22	0.56	0.22
空区和条带	0.56	0.33	0.44	0.23
构造和历史地震	0.89	0.89	0.11	0
地震活动参数	0.67	0.44	0.33	0.23
中小震平静	0.44	0.33	0.56	0.11
前兆异常	0.44	0.44	0.56	0

所谓贝叶斯点估计方法,就是在给定分布参数 θ 的先验分布 $\zeta(\theta)$ 的条件下的最大风险最小估计,实际上就是数理统计学中由小样本抽样母体分布参数的估计问题。本文只引用以下简单公式:

$$P = \frac{m+1}{n+2} \quad q = \frac{s+1}{y+2} \quad r = \frac{t+1}{n+2}$$

其中, p 为该指标有异常显示后续有 $M \geq 5.0$ 地震发生的概率(报准率); q 为该指标有异常显示但后续无 $M \geq 5.0$ 地震发生的概率(虚报率); r 为该指标无异常显示,但后续有 5 级以上地震发生的概率(漏报率)。 n 为有震年份, m 为震前有异常显示的年份, s 为有异常显示但后续没有地震发生的年份, t 为震前无异常显示的年份, y 为无震年份。

由表4可以看出,在历年的东北地震大形势预测依据中,中小地震活动增强、空区和条带以及地震活动扫描等对危险区预测结果贡献较大,特别

是中等地震活动的增强是东北地区 $M \geq 5.0$ 地震前的主要震兆之一^[17-18]。进一步研究发现,这几项指标所代表的都是与地点有关的信息。事实上,在 1~3 年尺度的地震大形势预测中,时间是确定的,需要回答的问题只是地点和强度,由东北地区地震地质和历史地震可知,东北地区的地震强度大部分在 $M5 \sim 6$ 的水平,可见在地震预测三要素中,地点预测是最困难的^[19]。而对地点预测有某种指示意义的上述三项指标恰恰映震能力较好, R 值评分均超过 0.22。

活跃—平静期、前兆异常、构造背景以及历史地震活动等,在预测时,虚报的概率较大,二者或许对长趋势的预测起一定的借鉴作用。分析原因主要有:(1)东北地区活跃期与平静期二者转换期没有明显的界定指标,由图3可知东北 5 级以上浅震活跃期平均是 11 年,见表5。但 1999 年岫岩 5.4 级地震开始的第五活跃期,若按 11 年计算,应该到 2010 年结束,其实从 2008 年 6 月 10 日阿荣旗北 5.2 级地震后,东北地区再未发生 5 级以上地震。因此正确判断某一地区地震活动目前所处的状态(活跃状态还是平静状态)以及活动的水平,可适当提高危险区预测的准确性,减少虚报率。比较容易的是不要将某一地区已经进入平静状态误认为还是活跃状态,此时不划或尽可能少划地震危险区,对应率就能提高,如 2009 年以来东北地区开始没划危险区,地震实况表明近三年东北地震大形势无震的预测结果是正确的。(2)有些前兆异常对应的不是危险区而是

邻区或外区的地震,如辽西地区的前兆异常(朝阳倾斜等)在华北一些5级以上地震前也可能有部分异常显示^[20]。(3)不同的人分析前兆异常的方法和提取的指标不同。

表5 东北 $M \geq 5.0$ 地震平静—活跃期

Table 5 The quiet periods and active periods of $M \geq 5.0$ earthquakes in northeast China

地震活动阶段	时段	持续时间/年	周期/年
第一活跃期	1916~1926	10	
平静期	1926~1937	11	21
第二活跃期	1937~1948	11	
平静期	1948~1956	8	19
第三活跃期	1956~1967	11	
平静期	1967~1975	8	19
第四活跃期	1975~1986	11	
平静期	1986~1999	13	24
第五活跃期	1999~2008	9	
平静期	2008~?	?	?

4 认识与讨论

(1) 1998年以来东北地震大形势所划的8个地震危险区主要集中在渤海海峡及邻近地区(4次)、辽蒙交界地区(2次)、黑吉林蒙交界地区(2次)。地质构造背景和地震活动实况也表明上述三个地区及邻区为东北中强震的主体活动地区,历年报告对东北危险区的把握较好,东北地震大形势第一年度趋势预测准确率为57%,1~2年度预测准确率为71%。

(2) 东北地震大形势预测判据主要有8项,其中中小地震活动增强、空区和条带以及地震活动性参数扫描等3项地震学指标可靠性较高, R 值评分均大于0.22。统计结果显示预测报告中每年给出的异常指标数量与次年最大震级没有明显关联,但中强震前中小地震活动增强是东北地区地震活动的主要特征之一。活跃—平静期、构造背景以及历史地震活动等,在预测时,虚报的概率较大,二者或许对长趋势的预测起一定的借鉴作用。正确判断东北地区地震活动目前所处的状态(活跃状态还是平静状态)以及活跃—平静期转换的界定指标,可适当提高危险区预测的准确性,减少虚报率。

(3) 报告中缺乏基于地球物理场动态观测资料的大震中期预测判据,历年来判定地震趋势的判据仍然主要是对地震活动统计分析和类比,归纳的多,演绎的少。少量地球物理动态观测资料例如GPS等资料积累时间较短,时空分辨率、覆盖面都不足。

(4) 通过对1998年以来东北地震大形势的回

顾与总结,从中发现目前1~3年地震形势的预测分析以统计性、定性判定依据为主,主要基于震例资料的统计和定性对比分析,反映大地震孕育和发生物理过程的资料非常有限。地震大形势的分析与研究是地震短临预测的基础,它主要依靠地震本身,也就是在一定地域范围内地震活动在时间进程上所处的状态—平静或活跃,因此预测意见主要针对处于平均地震活动水平的趋势的判定,对偏离平均水平情况时的把握很低。

总之,基于现有资料基础和认识水平,难以根本改变目前地震大形势预测的分析方法和水平,今后应在努力提高统计分析严谨性的同时,尽可能多地获得并采用多学科观测资料,在不断总结经验的基础上,加强基础观测的研究,从地球物理场动态变化的角度来分析地震趋势的发展。

参考文献(References)

- [1] 王海涛. 年度地震危险区预测问题的几点初步思考[J]. 国际地震动态, 2005, (5): 103-105.
WANG Hai-tao. Some Preliminary Think on Prediction of Annual Seismic Risk Regin[J]. Recent Developments in World Seismology, 2005, (5): 103-105. (in Chinese)
- [2] 张国民, 刘杰, 石耀霖. 年度地震预报能力的科学评价[J]. 地震学报, 2002, 24(5): 525-532.
ZHANG Guo-min, LIU Jie, SHI Yao-lin. An Scientific Evaluation of Annual Earthquake Prediction Ability[J]. Acta Seismologica Sinica, 2002, 24(5): 525-532. (in Chinese)
- [3] 屠泓为, 李智敏, 万秀红. 青海省1990年以来地震大形势预测成果分析和探讨[J]. 高原地震, 2008, 20(4): 21-26.
TU Hong-wei, LI Zhi-min, WAN Xiu-hong. Analysis and Discussion on the Forecast Achievement of Strong Earthquake Tendency in Qinghai Province Since 1990[J]. Plateau Earthquake Research, 2008, 20(4): 21-26. (in Chinese)
- [4] 孙文福, 李海林, 曹凤娟, 等. 东北地震大形势跟踪研究[J]. 东北地震研究, 2008, 24(3): 9-16.
SUN Wen-fu, LI Hai-lin, CAO Feng-juan, et al. Track on Great Situation of Earthquake in Northeast China Area[J]. Seismological Research of Northeast China, 2008, 24(3): 9-16. (in Chinese)
- [5] 孙文福, 张颖, 张丙生. 东北第五地震活跃期结束时间及最大地震强度预测[J]. 东北地震研究, 2007, 23(1): 16-26.
SUN Wen-fu, ZHANG Ying, ZHANG Guo-sheng. Estimate on Ending Time of 5th Seismic Active Period of Northeast China and Its Maximal Earthquake Intensity[J]. Seismological Research of Northeast China, 2007, 23(1): 16-26. (in Chinese)
- [6] 孙文福, 焦明若, 李芳, 等. 2008年前东北地震大形势研究[J]. 华南地震, 2005, 25(3): 25-34.
SUN Wen fu, JIAO Ming ruo, LI Fang, et al. A Study on the Great Situation of Earthquake in Northeast China Till the Year

- of 2008[J]. South China Journal of Seismology, 2005, 25(3): 25-34. (in Chinese)
- [7] 付虹, 刘丽芳, 赵小艳, 等. 云南年度危险区预测能力的统计分析[J]. 地震, 2008, 28(4): 68-79.
FU Hong, LIU Li-fang, ZHAO Xiao-yan, et al. Statistical Analysis on Forecasting Ability of Annual Key Regions with a Certain Seismic Risk in Yunnan Region[J]. Earthquake, 2008, 28(4): 68-79. (in Chinese)
- [8] 朱令人, 朱成焘, 洪时中, 等. 地震预报效能评价的研究[J]. 内陆地震, 1990, 4(1): 1-12.
ZHU Ling-ren, ZHU Cheng-xi, HONG Shi-zhong, et al. The Evaluation of Earthquake Prediction Efficacy[J]. Inland Earthquake, 1990, 4(1): 1-12. (in Chinese)
- [9] 罗兰格, 胡新亮, 李俊菊, 等. 评价地震预报效能的 K 指数[J]. 地震, 1992, (4): 12-16.
LUO Lan-ge, HU Xin-liang, LI Jun-ju, et al. On Index K to Evaluate the Effect of Earthquake Prediction[J]. Earthquake, 1992, (4): 12-16. (in Chinese)
- [10] 朱令人, 洪时中, 陈棋福, 等. 地震中短期预报效能的统计检验和统计评分——中短期前兆及预报效能评价之三[J]. 地震, 2004, 24(4): 97-105.
ZHU Ling-ren, HONG Shi-zhong, CHEN Qi-fu, et al. Statistic Test and Evaluation of Middle-short Term Earthquake Prediction Efficiency Part 3 of Mid and Short Term Precursor and Prediction Efficiency Evaluation[J]. Earthquake, 2004, 24(4): 97-105. (in Chinese)
- [11] 朱令人, 洪时中, 陈棋福, 等. 地震学方法预报效能的统计与分析——中短期前兆及预报效能评价之四[J]. 地震, 2005, 25(4): 33-38.
ZHU Ling-ren, HONG Shi-zhong, CHEN Qi-fu, et al. Statistic and Analysis of Prediction Efficiency of Seismological Methods Part 4 of Mid-short Term Precursor and Prediction Efficiency Evaluation[J]. Earthquake, 2005, 25(4): 33-38. (in Chinese)
- [12] 朱令人, 王琼. 新疆地震年度趋势预报效能的统计评价[J]. 内陆地震, 2004, 18(4): 289-299.
ZHU Ling-ren, WANG Qiong. Statistical Estimation of Annual Earthquake Trend Prediction Efficacy in Xinjiang[J]. Inland Earthquake, 2004, 18(4): 289-299. (in Chinese)
- [13] 马宏生, 刘杰, 吴昊, 等. 基于 R 值评分的年度地震预报能力评价[J]. 地震, 2004, 24(2): 31-37.
MA Hong-sheng, LIU Jie, WU Hao, et al. Scientific Evaluation of Annual Earthquake Prediction Efficiency Based on R -value[J]. Earthquake, 2004, 24(2): 31-37. (in Chinese)
- [14] 罗兰格. R 值评分方法的再研究[J]. 华北地震科学, 2004, 22(2): 1-5.
LUO Lan-ge. Restudy on the Method of Scoring with R -value[J]. North China Earthquake Sciences, 2004, 22(2): 1-5. (in Chinese)
- [15] 赵兴兰, 华爱军, 刘希强. 山东和邻区前兆震群综合判定指标的研究及其预报效能的评估[J]. 地震, 1995, (2): 182-186.
ZHAO Xing-lan, HUA Ai-jun, LIU Xi-qiang. Study on Comprehensive Discriminant Indexes of the Precursory Clusters in Shandong Province and Its Neighboring Area[J]. Earthquake, 1995, (2): 182-186. (in Chinese)
- [16] 复旦大学. 概率论(第二册). 数理统计[M]. 北京: 人民教育出版社, 1979.
Fudan University. Probability Theory (vol. 2). Mathematical Statistics[M]. Beijing: People's Education Press, 1979. (in Chinese)
- [17] 石特临. 一年尺度地震预测效果与问题的研究——以甘肃年度地震重点危险区预测为例[J]. 西北地震学报, 2001, 33(4): 370-376.
SHI Te-lin. A Study on Effect and Questions of Earthquake Prediction in One-Year-Scale—an Example of Earthquake Prediction on Emphatic Danger Zone in Gansu[J]. Northwestern Seismological Journal, 2001, 33(4): 370-376. (in Chinese)
- [18] 王玉莹, 王爱东, 赵永志, 等. 中强地震前朝阳地震台地倾斜异常特征分析[J]. 东北地震研究, 2008, 24(1): 1-7.
WANG Yu-ying, WANG Ai-dong, ZHAO Yong-zhi, et al. Analysis on the Anomalous Characters of Ground Tilt Before Moderate-Strong Earthquake at the Chaoyang Seismic Station[J]. Seismological Research of Northeast China, 2008, 24(1): 1-7. (in Chinese)