

基于会商资料的北京地区中等地震预测回溯研究^{*}

朱红彬, 李红, 岳晓媛, 李菊珍, 王丽红, 武敏捷, 钟世军

(北京市地震局, 北京 100080)

摘要: 依据北京市地震局 1996 年以来的原始会商资料, 以北京及周边地区 1996 年以来发生的 8 次中等地震为例, 针对震前异常的产生和发展过程进行回溯性研究, 追溯相关异常指标的形成过程和预测实效。通过震例研究和预测效能评估, 提取近南北向小震条带等多项适用于北京地区的异常指标, 为建立北京地区中等地震预测指标体系提供参考。中等地震异常指标和预测指标的形成过程为: 在日常震情跟踪中发现异常——经过初步震例研究提出异常指标——通过预测实践验证且预测评分较高的指标, 就确定为预测指标。中等地震预测指标的确定至少需要一次预测实践验证。

关键词: 北京地区; 中等地震; 预测回溯; 异常指标; 预测指标

中图分类号: P315.7

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2021)04-0583-11

0 引言

北京地处汾渭地震带、河北平原地震带和张家口—渤海地震带的交汇地区, 活动构造发育, 有史以来记载 5 级以上地震 11 次, 其中 6 级以上强烈地震 7 次, 最大为 1679 年三河—平谷 8 级地震。北京地区现代以中小地震活动为主, 多次发生中等有感地震, 虽然破坏和损失很小, 但社会影响巨大。如 1990 年 9 月 22 日北京亚运会开幕式前发生的昌平小汤山 4.0 级地震、1996 年 12 月 16 日顺义 4.0 级震群等, 北京广大地区强烈有感, 导致老百姓恐震情绪增加, 造成很大社会影响。2019 年 4 月 7 日和 14 日, 北京海淀和怀柔相继发生 2.9 级和 3.0 级地震, 后者打破北京地区持续 18 年的 3 级地震平静。2020 年 1 月 9 日和 5 月 26 日又相继发生房山 3.2 级和门头沟 3.6 级地震, 3 级以上地震活动增强的迹象明显。

中国地震局“八五”(国家地震局预测预防司, 1997)、“九五”(陆远忠等, 2001; 中国地震局监测预报司, 2002)、“十五”(中国地震局监测预报司, 2005a, 2005b) 攻关项目, 针对中国大陆地区和华北地区中强地震前的中等地震活动特征和前兆异常开展了大量研究, 并总结出一系列

适用于中国大陆(包括华北地区)的强震前地震活动性中短期、短期预测方法, 为此后的相关研究奠定了基础。研究人员针对中国大陆(华北地区)地震条带和空区(刘蒲雄, 陈章立, 1989; 曹井泉等, 1997)、地震活动性参数(王伟等, 1998; 王林瑛等, 2006; 王海涛, 王琼, 2008), 以及北京顺义地震(张永仙等, 1998; 王慧敏等, 1998)等开展研究, 取得了一定成果。由于北京地区研究范围小且现代地震相对稀少, 难以进行震例总结并提出具有一定预报效能的预测指标, 已有研究中涉及北京地区的地震预测指标较少。

本文整理分析了北京地区 20 多年来的大量会商资料, 对年度会商中提出的年度或半年异常以及日常震情跟踪会商中提出的短期异常进行预测回溯, 评价各项异常指标的实际预测效能, 为建立适用于北京地区的中等地震预测指标体系提供相关震例和异常指标, 为该地区未来震情跟踪预测以及 2022 年北京冬奥会震情保障工作提供参考。

1 数据及方法

1996 年以来北京地区 ($39.3^{\circ} \sim 41.1^{\circ} \text{N}$, $115.3^{\circ} \sim 117.6^{\circ} \text{E}$), 包括北京周边的怀来、逐鹿、

^{*} 收稿日期: 2019-12-02.

基金项目: 北京市自然科学基金(8212041)资助.

第一作者简介: 朱红彬(1965-), 高级工程师, 主要从事强震背景和地震趋势研究以及震情跟踪预测工作.

E-mail: zhb@bjseis.cn.

廊坊、宝坻等地区)先后发生 8 次 4 级以上地震,首都圈地区($38.5^{\circ} \sim 41^{\circ} \text{N}$, $113^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{E}$, 包括东部唐山老震区、中部北京—文安地区以及西部晋冀蒙交界及附近地区)先后发生 23 次 4 级以上地震。北京市地震局自 1996 年 10 月成立以来,积累了大量的周、月会商(包括周会商、月会商、紧急会商和加密会商等)和年度地震趋势会商(包括年度地震趋势会商和年中地震趋势跟踪会商)资料。会商资料显示,北京地区 4 级左右地震(如 1996 年顺义 4.0 级、2014 年涿鹿 4.3 级地震等)和首都圈地区 4 级以上地震(如 2006 年文安 5.1 级、2012 年唐山 4.8 级和 2020 年 7 月古冶 5.1 级地震等)前,小震活动和前兆测项出现异常,通过跟踪这些异常,总结出一系列异常指标,应用于此后的地震预测实践中,取得了较好的预测效果。

近 20 多年来,针对北京及邻区地震预测指标,有两次比较系统的研究。其一,2003—2009 年,北京市地震局负责实施的北京市科技重点项目“北京及邻区地震预测预报与近期地震危险性的综合判定研究”^①,针对北京及邻区中等以上地震,通过跟踪研究或借鉴前人成果,对多种适用于中强地震且预测效能较好的指标,通过降低研究起始震级、缩小扫描窗口和步长,开展震例研究,总结出北京地区中等以上地震空间和时间预测的首都圈中部近南北向小震条带(朱红彬等, 2010)、北京地区小震丛(群)等异常指标,可应用于首都圈中等以上地震时间预测的首都圈 $M_L 1.8$ 月频度低值、平谷地磁加卸载响应比高值等异常指标,以及一些前兆测项异常指标,随后还补充了北京地区地震活动性总体参量 R_t 值(岳晓媛等, 2019)、北京地区多参数地震对应概率谱(李红等, 2017)等异常指标,初步形成北京及邻区中等以上地震年度和短期预测指标,对首都圈地区,尤其是北京地区的中等地震如 2006 年文安 5.1 级、2012 年唐山 4.8 级、2014 年涿鹿 4.3 级、2018 年永清 4.3 级等地震的跟踪预测起到一定作用。其二,2008 年北京奥运会

前,在中国地震局监测预报司主持下,中国地震台网中心和京、津、冀等省(市)地震局相关专家,共同研究制定了《首都圈地区地震信息手册》^②,总结出首都圈地区一些中强和中等地震预测指标,其中有关北京地区的预测指标也采用了北京市地震局的研究内容。

本文在此前北京地区和部分首都圈地区中等地震异常指标研究和应用的基础上,通过查阅、分析北京市地震局 20 多年来的会商资料(相关资料截至 2020 年底,下同),包括年度地震趋势会商资料和周、月会商资料,研究对北京地区影响较大的 1996 年顺义 4.0 级等 8 个显著地震前 3 个月内,北京地区(部分指标预测范围为首都圈地区)出现的地震活动性和前兆异常,进行预测回溯。除顺义地震采用《中国震例(1995—1996)》(陈棋福等, 2002)资料外,其余震例采用北京局年度(年中)趋势会商^③和周月会商^④的相关原始资料。文中震级标度除已标明者外,其它使用 M_s 震级。3 种地震目录主要采用国家测震台网中心地震编目系统(<http://10.5.160.18/>)全国统一正式目录和速报目录。

2 北京地区中等地震预测回溯

1996 年以来,北京地区先后发生 1996 年 12 月顺义 4.0 级(不包括 3.4 级余震)、2002 年 8 月沙城 4.0 级、2012 年 6 月宝坻 4.0 级、2012 年 8 月宝坻 3.4 级、2014 年涿鹿 4.3 级、2018 年永清 4.3 级和 2020 年门头沟 3.6 级共 7 个 4 级左右显著地震(图 1);位于首都圈中部的 2006 年 7 月文安 5.1 级地震,对北京地区也产生较大影响。针对上述 8 次地震,除顺义地震外,本文的预测回溯主要采用震前年度(年中)会商资料和震前 3 个月周(月)会商资料,并着重介绍震前最后一次周(月)会商资料。

2.1 1996 年 12 月 16 日顺义 4.0 级地震

据《中国震例(1995—1996)》(陈棋福等, 2002),顺义地震前中期异常主要表现为京津地区

① 徐平,邢成起,朱红彬,等. 2009. 北京及邻区地震预测预报与近期地震危险性的综合判定研究结题报告.

② 陆远忠,车时,刘桂萍,等. 2008. 首都圈地区地震信息手册.

③ 北京市地震局. 1997—2019. 北京市 1998—2020 年度地震趋势研究报告.

④ 北京市地震局. 2001—2020. 北京市 2001—2020 年周月会商资料.

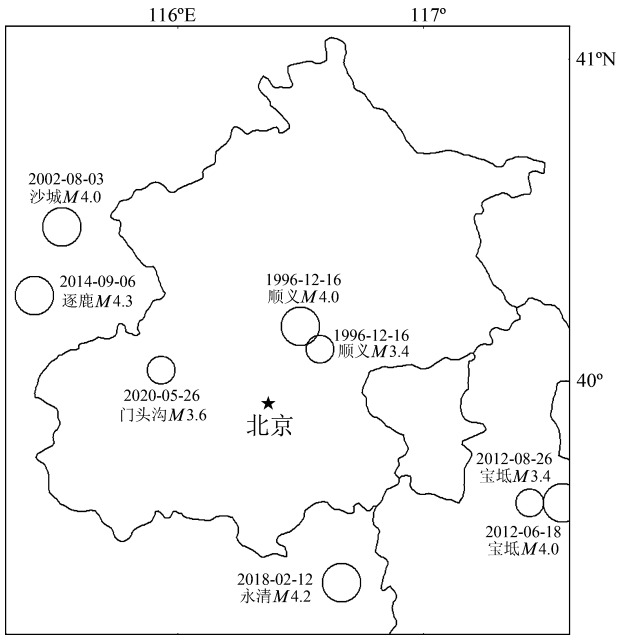


图 1 1996 年以来北京地区 4.0 级左右地震分布
Fig. 1 Distribution of $M_{4.0}$ earthquakes
in Beijing area since 1996

$M_{4.5}$ 以上地震 73 个月长期平静, 在此基础上出现 $M_{3.0}$ 频度高值; 短期异常主要为近南北向小震条带形成、板桥水位破年变、松山水汞一组高值, 以及平谷地磁空间相关低值、昌平气氦、朝

阳六院应力、顺义和昌平体应变 8 项。由于顺义地震发生时北京市地震局刚刚经批准成立, 缺少相关的会商资料。《1996 年 12 月 16 日北京市顺义 $M_{4.5}$ 地震》一文中所做的震例总结 (兰从欣等, 2002) 是北京局中等地震预测预报尝试的开端。

异常回溯及评价: ①顺义地震前最重要的一项地震活动性短期异常是近南北向 (或北北西向) 小震条带的形成, 经后续多次跟踪研究, 目前已经成为该地区 $M_{4.0}$ 以上中等地震重要短期预测指标; ②板桥水位破年变是震前最明显的短期前兆异常; ③除板桥水位、松山水汞外, 其它短期前兆异常由于环境干扰和仪器停测等原因, 不再作为异常指标跟踪; ④后续研究还发现, 顺义地震前首都圈地区曾出现 $M_{1.8}$ 地震月频度显著低值异常。

2.2 2002 年 8 月 3 日沙城 4.0 级地震

年度 (年中) 会商: 北京局于 2002 年 6 月 20 日召开 2002 年度年中会商会。在汇总报告中提出: 首都圈中部地区自顺义地震后出现长达 66 个月的 4 级地震平静; 首都圈西部形成北东向的应县—怀柔、北西向的张北—霸州两个小震条带, 两条带相交于河北省怀来附近; 北京及邻近地区下半年具有发生 4~5 级地震的危险。

表 1 北京及周边地区 8 次中等地震预测回溯
Tab. 1 Review of the prediction of 8 moderate earthquakes in Beijing and its surrounding areas

序号	地震名称	中短期异常 (年度或半年)	短期异常 (3 月内)
1	1996-12-16 顺义 $M_{4.0}$	中国震例: 京津地区 $M_{4.5}$ 地震 平静背景下 $M_{3.0}$ 频度高值	中国震例: 近南北向小震条带, 板桥水位破年变、松山水汞一组高值等
2	2002-08-03 沙城 $M_{4.0}$	年中会商: 首都圈中部 4 级地震 平静	周 (月) 会商: 首都圈 $M_{1.8}$ 月频度低值, 北西向和北东向小震条带, 平谷地磁加卸载响应比高值, 王都庄水温低值回升、松山水氦一组高值等
3	2006-07-04 文安 $M_{5.1}$	—	周 (月) 会商: 首都圈 $M_{1.8}$ 月频度低值, 近南北向小震条带, 平谷地磁加卸载响应比高值
4	2012-06-18 宝坻 $M_{4.0}$	年度 (年中) 会商: 昌平—怀柔 交界持续小震群	—
5	2012-08-26 宝坻 $M_{3.4}$	—	周 (月) 会商: 近东西向小震条带, 顺义—昌平交界小震丛、长陵中学电磁波一组高值
6	2014-09-03 逐鹿 $M_{4.3}$	年度 (年中) 会商: R_t 值低值, 地震对应概率谱高值	周 (月) 会商: 近南北向小震条带, 首都圈 $M_{1.8}$ 月频度低值, 延庆电阻率破年变, 房山水准破年变
7	2018-02-12 永清 $M_{4.3}$	年度会商: R_t 值低值, 地震对应 概率谱高值, 河北平原 $M_{3.0}$ 条带	周 (月) 会商: 平谷地磁加卸载响应比高值, 通州西集水位破年变
8	2020-05-26 门头沟 $M_{3.6}$	—	周 (月) 会商: 平谷地磁加卸载响应比高值

周(月)会商:2002年5月29日周会商提出平谷台地磁加卸载响应比高值异常,6月5日周会商提出霸州—张北、应县—怀柔小震条带;2002年7月24日月会商意见中提出,北京地区存在小震条带交汇、 $M_L1.8$ 地震月频度低值、王都庄水温低值回升、松山水氡一组高值、平谷地磁加卸载响应比高值,以及徐辛庄水温高值、沿河城水氡低值、平谷地电阻率北西向下降和小水峪、德胜口、张山营及施庄村斜交基线突跳变化12项短期异常。

异常回溯与评价:①沙城地震前出现小震条带交汇,其中张北—霸州的北西向(近南北向)小震条带,在顺义地震后再次出现;②震前首都圈 $M_L1.8$ 地震月频度出现显著的低值异常;③前兆测项中除平谷地磁加卸载响应比、松山水氡和徐辛庄水温外,其它短期前兆异常由于环境干扰和仪器停测等原因,已不再作为异常指标跟踪,但王都庄水温(已停测)在震前出现低值回升现象。

2.3 2006年7月4日文安5.1级地震

年度(年中)会商:北京局2006年度会商报告中指出,北京地区未发现显著异常,仅依据首都圈5级以上地震10a左右准周期性等,预测其2006年地震活动水平为5级左右。

周(月)会商:2006年5月30日周会商提出平谷地磁加卸载响应比高值异常,6月7日周会商提出首都圈地区 $M_L1.8$ 地震月频度低值异常,6月21日周会商提出北北西向小震条带。北京市地震局在2006年6月28日月会商意见中,依据上述3项短期异常,预测首都圈地区下月(7月)有发生中等地震可能。

异常回溯与评价:①文安地震前首都圈中部出现非常显著的近南北向小震条带,结合顺义地震、沙城地震前的相似小震条带异常,将其作为首都圈中部重要的中等地震短期预测指标;②震后研究发现文安等地震前,首都圈地区曾出现大于30的小震月频度高值异常,于是将其作为首都圈地区 $M_L5.0$ 左右地震异常指标跟踪;③相对于5级以上地震,文安地震前无论是地震活动性异常还是前兆异常都不显著。

2.4 2012年6月18日宝坻4.0级地震

年度(年中)会商:北京局2012年度会商会

(2011年10月19日召开)汇总报告和2012年年中会商会(2012年5月14日召开)汇总报告中,参考张北地震前怀来—涿鹿和顺义都曾出现持续数月的震群活动的事实,结合顺义地震前沙城附近曾持续出现小震群活动的情况,将持续数月的小震群活动作为北京地区4级以上地震半年—年度异常指标进行跟踪,认为“2010年12月至2011年5月昌平、怀柔交界 $M_L2.8$ 小震群持续数月,预测震群周围150km范围内2012年有发生4~5级地震可能”,该震群距宝坻4.0级地震130km。

周(月)会商:该地震发生在2012年5月28日唐山4.8级地震后仅21d,两次地震间并未发现新的短期异常;北京局2012年4月11日周会商中提出,首都圈地区4月6日起出现显著的 $M_L1.8$ 月频度大于30的高值异常,4月14日最高达40次,北京局2012年6月13日周会商意见中,仅提到6月11日海淀区一公园池塘内有成群的鱼跃出水面,未提出有震预测意见。

异常回溯与评价:①该地震与年度(半年)预测相符,但无短期预测意见;②震前未出现近南北向小震条带,为漏报;③据震例研究,地震前北京地区综合地震学参数 R_t 值出现低值异常,多参数地震对应概率谱曾出现高值异常,开始将二者作为北京地区中等地震半年(年度)异常指标进行跟踪;④震例研究还发现,首都圈地区继2012年5月28日唐山4.8级地震前出现 $M_L1.8$ 月频度和 $M_L3.0$ 月频度高值异常后,宝坻4.0级地震前也曾出现 $M_L1.8$ 月频度和 $M_L3.0$ 月频度高值异常。因此,将 $M_L1.8$ 月频度高值异常作为首都圈 $M_L5.0$ 左右地震预测指标进行跟踪,将 $M_L3.0$ 月频度高值异常作为辅助异常指标进行跟踪。

2.5 2012年8月26日宝坻3.4级地震

周(月)会商:2012年7月4日周会商提出6月28—29日顺义、昌平交界处出现小震丛(记录小震共26次,其中 $M_L \geq 1.0$ 地震4次),7月18日周会商提出8月14日起昌平长陵中学电磁波出现一组高值波动(截至8月20日),7月25日周会商提出6月28日—7月31日出现近东西向小震条带。直至北京局2012年8月22日周会商会时,上述3种短期异常继续存在,但会上未提出有震预测意见。

异常回溯与评价:①震例研究和预测实践显示

北京地区发生 $M_L 1.0$ 小震丛后 3 个月内, 150 km 范围内有可能发生 $M_L \geq 4.0$ 地震, 小震丛可以作为北京地区短期异常指标; ②震前未出现近南北向小震条带, 为漏报; ③近东西向小震条带经震例研究虚报较多, 未作为异常指标继续跟踪; ④昌平长陵中学电磁波在 2012 年 5 月 28 日唐山 4.8 级地震和 8 月 26 日宝坻 3.4 级地震前都出现了显著的高值波动变化, 但目前仪器已经停测。

2.6 2014 年 9 月 6 日逐鹿 4.3 级地震

年度(年中)会商: 北京局于 2013 年 10 月 14 日召开 2014 年度会商会, 汇总报告中认为北京地区多参数地震对应概率谱于 2012 年宝坻 4.0 级地震后继续上升, 但综合地震学参数 R_t 值未发现异常; 2014 年中会商会(2014 年 5 月 15 日召开)汇总报告中, 提出北京地区出现 R_t 值低值异常, 多参数地震对应概率谱仍处于高值, 预测北京地区下半年有发生 4 级左右地震可能。

周(月)会商: 2014 年 6 月 11 日周会商提出延庆电阻率东西向破年变异常, 8 月 13 日周会商提出房山台东西向水准破年变异常, 8 月 27 日周会商提出首都圈 $M_L 1.8$ 月频度 8 月 3 日以来出现低值异常, 9 月 3 日周会商提出首都圈中部 7 月 11 日至 8 月 28 日形成近南北向 $M_L \geq 1.0$ 小震条带。北京局 2014 年 9 月 3 日周会商意见中提出, 由于上述 4 项短期异常继续存在, 因此预测近期有发生中等地震可能。

异常回溯与评价: ①后续震例研究显示 1996 年 12 月顺义 4.0 级、2012 年 6 月宝坻 4.0 级和 2014 年 9 月逐鹿 4.3 级地震前, 北京地区综合地震学参数 R_t 值多出现低值异常, 多参数地震对应概率谱出现高值异常, 因此将二者作为北京地区中等地震半年(年度)预测指标进行跟踪; ②前述 1996 年顺义 4.0 级、2002 年沙城 4.0 级、2006 年文安 5.1 级和 2014 年逐鹿 4.3 级等中等地震前, 首都圈中部都出现近南北向小震条带, 小震条带是首都圈中部预测效能最好的中等地震短期预测指标之一; ③震例研究显示, 震前首都圈地区未出现 $M_L 1.8$ 月频度高值异常, 但出现了 $M_L 3.0$ 月频度高值异常。

2.7 2018 年 2 月 12 日永清 4.3 级地震

年度(年中)会商: 北京局 2018 年度会商会(2017 年 10 月 13 日召开)汇总报告中提出, 北京

地区出现综合地震学参数 R_t 值低值异常和多参数地震对应概率谱高值异常, 因此预测北京地区 2018 年度存在发生 4 级以上地震可能; 河北平原带出现 $M_L 3.0$ 地震条带, 因此预测 2018 年上半年有发生 5 级左右地震可能。

周(月)会商: 北京局 2017 年 11 月 15 日周会商继续提及通州西集水位 9 月 30 日—10 月 1 日出现的破年变异常(先快速上升, 后缓慢上升, 20 d 左右恢复正常), 2018 年 1 月 17 日周会商因异常持续超过 3 个月撤销; 北京局于 2018 年 2 月 7 日周会商意见中, 提出平谷地磁加卸载响应比 1 月 18 日出现高值异常, 但因短期异常不显著未提出预测意见; 震前曾发现首都圈 $M_L 1.8$ 月频度从 2017 年 12 月 19 日至 2018 年 1 月 4 日出现低值异常, 但因此前多次发生虚报, 未作为异常上报。

异常回溯与评价: ①经对宝坻 4.0 级和逐鹿 4.3 级地震的跟踪预测和震例研究, 北京地区综合地震学参数 R_t 值低值异常和多参数地震对应概率谱高值异常, 已经成为少震的北京地区重要的半年—年度中等地震预测指标, 并据此在 2018 年度趋势会商中, 明确提出北京地区 2018 年度存在发生 4 级以上地震可能; ②后续研究发现永清地震前遗漏了近南北向小震条带、通州徐辛庄水温 and 左家庄水温低值回升等短期异常, 而西集水位破年变虽然超过 3 个月仍有预测意义; ③震例研究显示, 震前首都圈地区未出现 $M_L 1.8$ 月频度高值异常, 但出现 $M_L 3.0$ 月频度高值异常, 因此将首都圈地区 $M_L 3.0$ 月频度高值异常作为 $M_L 5.0$ 左右地震的联合预测指标; ④首都圈 $M_L 1.8$ 月频度曾经在首都圈多次中等地震前出现显著低值异常, 但由于该异常指标在 2017 年至 2019 年导致大量虚报, 所以仅作为参考指标进行跟踪研究。

2.8 2020 年 5 月 26 日门头沟 3.6 级地震

周(月)会商: 北京局 2020 年 1 月 22 日周会商提出, 首都圈地区 $M_L 1.8$ 月频度和 $M_L 3.0$ 月频度分别于 2020 年 1 月 14 日和 1 月 15 日出现高值异常; 5 月 6 日周会商意见提出平谷台地磁加卸载响应比于 2020 年 5 月 4 日出现高值异常; 5 月 20 日周会商意见提出, 除上述异常外, 还存在房山水准破年变等多项前兆异常, 因此预测首都圈地区有可能发生中等地震, 但未针对北京地区提出有震预测意见。

异常回溯与评价：①首都圈地区 $M_L1.8$ 月频度和 $M_L3.0$ 月频度高值异常主要对应首都圈地区 $M_L5.0$ 左右地震，该异常与 2020 年 7 月 12 日古冶 5.1 级地震有关，除平谷台地磁加卸载响应比高值异常外，北京地区出现的多项前兆异常，主要与古冶 5.1 级地震有关；②震前未出现近南北向小震条带，为漏报；③2020 年 3 月 29 日至 4 月 9 日北京顺义出现小震丛活动 $M_L1.0$ 以上地震 4 次，其中 $M_L2.0$ 以上 3 次，最大 $M_L2.5$ ，首日频次 2 次，最大与次大震级差 0.2，活动地点与门头沟 3.6 级地震相距 60 km，但考虑到首日频次未达到 3 次不能满足震群定义（国家地震局科技监测司，1990），未作为正式异常提出，但震例研究认为该异常指标仍有预测意义；④首都圈 $M_L1.8$ 地震月频度震前出现低值异常，震例研究认为 2020 年后依据该日常指标作出的虚报明显减少，预测效能有所上升，但目前仍只作为参考指标进行跟踪研究。

3 预测实效评价和相关异常指标评价

3.1 预测实效评价

1996 年 12 月顺义 4 级地震后，北京地区发生 $M_L \geq 4.0$ 地震 6 次，首都圈中部文安地区发生 1 次 5.1 级地震。

预测实效最好的是 2002 年 8 月 3 日沙城 4 级地震。北京局在 2002 年 7 月 24 日的月会商会后，形成“关于北京及邻近地区近期震情预测的报告”上报中国地震局，预测“未来 10 天或稍长时间，首都圈地区特别是延庆—矾山盆地一带和唐山地区，有可能发生 4~5 级中等地震”，这是一次比较成功的中等地震短期预报尝试，得到了中国地震局的表彰。

其次是 2014 年 9 月 3 日逐鹿 4.3 级地震。震前 4 个月的年中地震趋势跟踪会商意见中，依据相关异常指标，预测北京地区下半年有发生 4 级左右地震的可能。震前 3 个月内北京局又陆续提出 4 项短期异常指标，并预测近期有发生中等地震可能，但并未依据近南北向异常小震条带提出明确的地点预测。

2006 年 7 月 4 日文安 5.1 级地震前的年度地震趋势会商会，仅依据首都圈 5 级以上地震 10 a 左右准周期性提出背景异常。震前 3 个月，

北京局又陆续提出 3 项短期异常，并预测有发生中等地震的可能，但预测震级偏小。相对于 5 级以上地震，无论地震活动性异常还是前兆异常都不显著。

2012 年 6 月 18 日宝坻 4.0 级地震和 2018 年 2 月 12 日永清 4.3 级地震，震前的年度和年中会商会，都依据相关异常提出 4 级以上地震中短期预测意见。由于宝坻 4.0 级地震距离 2012 年 5 月 28 日唐山 4.8 级地震仅 21 d，属于首都圈地区成组中等地震，所以未提出短期预测意见；永清 4.3 级地震由于震前未发现显著的短期异常，尤其是未发现首都圈中部近南北向小震条带，也未提出短期预测意见。

此外，2012 年 8 月 26 日宝坻 3.4 级地震和 2020 年 5 月 26 日门头沟 3.6 级地震，未有中短期预测，震前虽发现并上报单个异常，由于整体异常不显著等原因未提出短期预测意见。

3.2 异常指标评价

从以上北京及周边地区中等地震的预测回溯（表 1）中可以看出，北京地区 7 次 4 级左右地震以及周边地区 1 次 5 级左右地震前，出现频次较高的异常指标依次是：近南北向小震条带（4 次）、平谷地磁加卸载响应比高值（4 次）、前兆测项破年变（4 次）、前兆测项高值突跳或波动（3 次）、首都圈 $M_L1.8$ 月频度低值（3 次）、异常小震丛（群）（2 次）、 R_t 值低值（2 次）、地震对应概率谱高值（2 次）、前兆测项低值回升（1 次），此外还有一些未再跟踪的异常。

部分异常震前未能及时发现，但震后通过震例研究，发现对研究区中等地震有预测意义，表 2 列出震前出现频次较高的异常指标（包括震前提出的异常指标和震后研究发现的异常指标），依次为：首都圈 $M_L1.8$ 地震月频度低值（6 次）、平谷地磁加卸载响应比高值（5 次）、近南北向小震条带（5 次）、首都圈 $M_L1.8$ 或 $M_L3.0$ 月频度高值（4 次）、前兆测项破年变（4 次）、地震对应概率谱高值（3 次）、前兆测项高值突跳或波动（3 次）、 R_t 值低值（3 次）、异常小震丛（群）（3 次）、前兆测项低值回升（3 次），表中未包括单次出现的异常指标。由于平谷地磁加卸载响应比高值主要用于预测首都圈中等地震，不预测地点，在此不作为单项前兆测项高值看待。

表 2 北京及周边地区 8 次中等地震前出现的异常指标

Tab. 2 Anomaly indexes of 8 moderate earthquakes in Beijing and its surrounding areas

序号	地震名称	中短期异常（年度或半年）	短期异常（3 月内）
1	1996-12-16 顺义 M4.0	—	近南北向小震条带，首都圈 $M_L1.8$ 月频度低值，前兆测项破年变 1 项，前兆测项高值 1 项
2	2002-08-03 沙城 M4.0	—	近南北向小震条带，首都圈 $M_L1.8$ 月频度低值，平谷地磁加卸载响应比高值，前兆测项低值回升 1 项，前兆测项高值 1 项
3	2006-07-04 文安 M5.1	首都圈 $M_L1.8$ 月频度高值	近南北向小震条带，首都圈 $M_L1.8$ 月频度低值，平谷地磁加卸载响应比高值
4	2012-06-18 宝坻 M4.0	R_t 值低值，地震对应概率谱高值，小震群，首都圈 $M_L1.8$ 月频度和 $M_L3.0$ 月频度高值	—
5	2012-08-26 宝坻 M3.4	—	小震丛，前兆测项高值 1 项
6	2014-09-03 逐鹿 M4.3	R_t 值低值，地震对应概率谱高值，首都圈 $M_L3.0$ 月频度高值	近南北向小震条带，首都圈 $M_L1.8$ 月频度低值，平谷地磁加卸载响应比高值，前兆测项破年变 2 项
7	2018-02-12 永清 M4.3	R_t 值低值，地震对应概率谱高值，首都圈 $M_L3.0$ 月频度高值	近南北向小震条带，首都圈 $M_L1.8$ 月频度低值，平谷地磁加卸载响应比高值，前兆测项低值回升 2 项，前兆测项破年变 1 项
8	2020-05-26 门头沟 M3.6	—	小震丛，首都圈 $M_L1.8$ 月频度低值，平谷地磁加卸载响应比高值

北京地区 R_t 值低值和地震对应概率谱高值、首都圈中部近南北向小震条带和北京地区异常小震丛（群），以及北京地区前兆测项破年变、高值突跳和低值回升，对北京地区中等以上地震的时间、地点和强度有预测意义；首都圈 $M_L1.8$ 月频度（低值和高值）和 $M_L3.0$ 地震月频度（高值），以及平谷地磁加卸载响应比高值可以为北京地区中等以上地震预测提供时间和强度预测。

下文将对上述北京地区主要异常指标进行介绍和预测效能评估。异常指标的预测效能评估主要利用 R 值预报效能评估系统^①，采用 R 值评分方法（许绍燮，1989；张国民等，2001）。 R = 报对地震次数/应预报地震总次数 - 预报占用时间/预报研究的总时间。 R_0 为具有 97.5% 置信度的 R 值。当 $R > R_0$ 时，通过预测效能评分。

3.2.1 首都圈中部近南北向小震条带异常

首都圈中部出现 $M_L \geq 1.0$ 地震个数 6 个以上、长度超过 200 km、形成时间小于 2 个月、小震间隔比较均匀且周围比较“干净”、呈近南北向带状分布的小震活动区域，就称为近南北向异常小震条带，条带周围发生小震活动或条带活动平静 20

天以上视为条带活动结束（朱红彬等，2010）。

首都圈中部 1995 年以来共发生 $M_L \geq 4.0$ 地震 8 次，震前出现典型近南北向小震条带 6 次，对应地震 6 次，起始震级 $M_L1.0$ 且方向为北北西—北西向的小震条带目前没有虚报，但有 3 次漏报。计算 R 值评分： $R = 0.61$ ， $R_0 = 0.37$ ， $R > R_0$ 。此外，起始震级 $M_L > 1.0$ 或形成时间超过 2 个月虚报较多；小震条带方向为北北东向或近东西向，因与该地区断裂走向大体一致，虚报较多；2 次宝坻地震皆漏报，该异常指标对北京东部中等地震的预测效能较差。

首都圈中部近南北向小震条带形成后 3 个月内条带附近地区发生 $M_L \geq 4.0$ 地震的可能性较大。该异常指标预测效能较高，且至少经受了 2006 年文安 5.1、2014 年逐鹿 4.3 两次中等地震的预测实践检验，可以作为本地区重要的中等地震预测指标。

3.2.2 首都圈 $M_L1.8$ 和 $M_L3.0$ 月频度高值异常

表 2 中首都圈 $M_L1.8$ 或 $M_L3.0$ 月频度高值异常出现频次较高，有 4 次。笔者研究首都圈地区 $M_L \geq 1.8$ 月频度和 $M_L \geq 3.0$ 月频度高值异常与

① <http://10.5.72.222:1234>

$M_L 5.0$ 左右 ($M_L 4.5 \sim 5.5$) 地震的关系, 取时间窗 30 d, 步长 1 d, 首都圈 $M_L \geq 1.8$ 月频度 $N \geq 30$ 视为出现异常, $M_L \geq 3.0$ 月频度 $N \geq 4$ 视为出现异常。

2008 年以来, 首都圈 $M_L 1.8$ 月频度高值异常出现 10 次, 对应地震 8 次, 虚报 2 次, 漏报 2 次 (R 值评分: $R = 0.41$, $R_0 = 0.36$, $R > R_0$); $M_L 3.0$ 月频度高值异常出现 11 次, 对应地震 9 次, 虚报 2 次, 漏报 1 次 (R 值评分: $R = 0.27$, $R_0 = 0.35$, $R < R_0$); $M_L 1.8$ 和 $M_L 3.0$ 月频度都出现高值异常 8 次, 对应 7 次, 虚报 1 次, 漏报 3 次 (R 值评分: $R = 0.38$, $R_0 = 0.35$, $R > R_0$); $M_L 1.8$ 或 $M_L 3.0$ 月频度出现高值异常 13 次, 对应地震 10 次, 虚报 3 次, 暂时没有漏报 (R 值评分: $R = 0.38$, $R_0 = 0.35$, $R > R_0$)。 $M_L 3.0$ 月频度高值异常单独作为异常指标未通过预测效能评分, 但以 $M_L 1.8$ 或 $M_L 3.0$ 月频度高值异常作为异常指标可以通过预测效能评分且漏报较少。

研究认为, 首都圈地区出现 $M_L 1.8$ 或 $M_L 3.0$ 月频度高值异常后半年内 (最长 210 d 左右), 发生 $M_L 5.0$ 左右地震的可能性较大。该异常指标至少经历 2012 年唐山 4.8 级和 2020 年古冶 5.1 级地震两次预测实践检验, 可以作为首都圈地区 $M_L 5.0$ 左右地震中短期预测指标。

3.2.3 北京地区 R_t 低值和地震对应概率谱高值异常

1996 年以来北京地区发生 5 次 $M_s \geq 4.0$ 地震, 震前都曾多次出现 R_t 值低值异常和地震对应概率谱高值异常 (表 2)。

笔者研究北京地区 1970 年以来地震活动总体参量 R_t (包括地震时间熵、 b 值、最大平均震级、地震累积能量、地震调制比) 与地震的关系, 以 $R_t \leq 0.84$ 作为地震活动处于非稳定状态的判别标志, 预测北京地区 $M_L \geq 4.4$ 地震 (岳晓媛等, 2019)。1970 年以来北京地区 R_t 值出现异常 12 次, 对应 9 次, 虚报 3 次, 漏报 2 次。计算 R 值评分: $R = 0.57$, $R_0 = 0.35$, $R > R_0$ 。

笔者提取北京地区 1970 年以来多参数 (b 值、 η 值、地震危险度、缺震、地震强度因子、频度、地震调制比等) 地震对应概率谱前兆异常信息, 以 12 个月为考察时段, 高于均值 0.5 倍标准差作为异常阈值 (1970—2011 年为学习阶段, 2012 年

以来为外推预测阶段), 预测北京地区 $M_s \geq 4.0$ 地震 (李红等, 2017)。1970 年以来北京地区多参数地震对应概率谱出现异常 11 次, 对应 8 次, 虚报 3 次, 漏报 1 次。计算 R 值评分: $R = 0.51$, $R_0 = 0.37$, $R > R_0$ 。

上述两个指标都经受了 2014 年逐鹿 4.3 和 2018 年永清 4.3 两次 $M_s \geq 4.0$ 地震预测实践的检验, 且预测效能较高, 可以作为北京地区 $M_s \geq 4.0$ 地震前中短期预测指标。

3.2.4 北京地区小震丛和小震群异常

表 2 中北京地区小震丛异常出现 2 次。参照《地震学分析预报方法与程式指南》(国家地震局科技监测司, 1990) 有关震群定义, 笔者将小震丛定义为: 震中 10 km 范围内首日频次 ≥ 2 次, $M_L \geq 1.0$ 地震总次数大于 4 次, 最大、次大震级差 ≤ 1.1 , 与外围地震有明显界限, 小震多集中发生在 1~2 天内, 最长 10 d 内。如果北京地区发生 $M_L \geq 1.0$ 小震丛活动, 就可以预测 3 个月内小震丛周围 150 km 范围内可能发生 $M_L \geq 4.0$ 地震。北京地区 2001 年以来发生 8 次 $M_L \geq 1.0$ 小震丛活动, 对应 $M_L \geq 4.0$ 地震 5 次, 虚报 3 次, 漏报 4 次, 计算 R 值评分: $R = 0.46$, $R_0 = 0.35$, $R > R_0$ 。北京地区小震丛通过预测效能评分, 也经过预测实践检验, 可以作为北京地区 $M_L \geq 4.0$ 地震短期异常指标。

北京地区 1970 年以来仅发现 3 个持续 5~9 个月的小震群活动, 除 2010 年 12 月昌平、怀柔交界 $M_L 2.8$ 震群与 2012 年 6 月宝坻 4.0 级地震有关外, 1995 年 7 月逐鹿 $M_L 4.1$ 震群和 1996 年 12 月顺义 $M_L 4.5$ 震群可能与 1998 年 1 月张北 6.2 级地震有关。由于震例很少且漏报较多, 仅作为 $M_s \geq 4.0$ 地震的中短期参考指标跟踪研究。

3.2.5 首都圈 $M_L 1.8$ 月频度低值异常和平谷地磁加卸载响应比高值异常

这两个异常指标是表 2 中出现频次最高的, 主要用来预测首都圈地区 $M_L \geq 4.0$ 地震, 也可以为北京地区 $M_L \geq 4.0$ 地震发震时间预测提供参考。这两个指标总体来说漏报不多 (表 2) 但虚报较多。

首都圈 $M_L 1.8$ 月频度低值异常, 取时间窗 30 d, 步长 1 d, 将月频度 $N < 12$ 视为出现低值异常, 预测最低值回升后 3 个月内尤其是 1 个月内有可能发生 $M_L \geq 4.0$ 地震。首都圈 2015 年以来 $M_L 1.8$ 月

频度曲线出现 16 次低值异常，对应 9 次，虚报 7 次，漏报 1 次。计算 R 值评分： $R = 0.45$ ， $R_0 = 0.35$ ， $R > R_0$ ，通过预测效能评分。该异常指标预测效能具有阶段性，如 2015—2016 年出现 5 次异常，对应 5 次地震，未出现虚报；但 2017—2019 年的 10 次异常只对应 3 次地震，出现 7 次虚报；2020 年出现 1 次异常，对应 1 次地震，没有虚报。由于此前虚报较多，所以仍只能作为参考异常指标进行跟踪研究，可以考虑恢复为异常指标。相对于首都圈 $M_L 1.8$ 月频度高值异常主要揭示首都圈 $M_L 5.0$ 左右地震前数月出现的小震异常活跃现象，首都圈 $M_L 1.8$ 月频度低值异常主要体现首都圈 $M_L \geq 4.0$ 地震前的小震活动从平静趋于活跃的短期异常。

把平谷地磁加卸载响应比以大于 3.0 作为短期高值异常，用来预测首都圈未来 3 个月发生 $M_L \geq 4.0$ 地震，漏报不多但虚报较多。笔者结合平谷及周边多台加卸载响应比异常的空间分布，以首都圈地区发生 $M_S \geq 4.0$ 地震作为预测目标进行回溯研究，2017 年以来平谷地磁加卸载响应比出现 7 次（6 组）高值异常（排除重大磁暴影响），出现异常后 3 个月内（最长 6 个月）首都圈发生 5 次 4 级以上地震，虚报 1 次，计算 R 值评分： $R = 0.65$ ， $R_0 = 0.52$ ， $R > R_0$ ，可以作为首都圈地区 $M_S \geq 4.0$ 地震异常指标继续跟踪研究。

3.2.6 北京地区前兆测项高值突跳、破年变和低值回升

表 2 中顺义、沙城、逐鹿、永清 4 次 $M_S \geq 4.0$ 地震前，北京地区都出现 2 个以上前兆测项的短期异常，异常持续数日至数月多数小于 3 个月，异常形态包括高值突跳或波动、破年变和低值回升。其中前兆测项高值突跳或波动往往会出现一组高值，如松山水汞、松山水氡和长陵中学电磁波等，目前主要为水化和电磁波异常，并在高值异常结束后或高值异常发生过程中发震；前兆测项破年变，如板桥水位、西集水位、延庆电阻率和房山水准等，目前既有水位异常，也有电阻率和水准异常，多在正常年变背景下出现突降或突升变化，在恢复过程中或恢复后发震，既有向下破年变也有向上破年变；前兆测项低值回升，如王都庄水温、徐辛庄水温和左家庄水温，目前主要为水温异常，多在长期平稳背景下出现下降—低值—回

升，在低值回升过程中或恢复后发震，震后又恢复平稳背景。此外，北京地区前兆测项的短期异常目前不包括长期下降或长期上升背景下的趋势转折，前兆测项的长趋势转折可能与中强地震孕育、构造应力场改变，甚至环境因素改变如南水北调工程等多种因素有关。

北京地区单个前兆短期异常的出现，往往具有阶段性，有些指标在某个阶段对应地震很好，其它阶段对应又很差。比如顺义板桥水位在 1996 年 12 月顺义地震前出现显著破年变异常，但此后再未出现相似的破年变异常形态；徐辛庄水温在 2016 年 9 月唐山开平 4.0 级、2018 年 2 月永清 4.3 级地震前都出现显著的低值异常回升，但在 2019 年 12 月唐山丰南 4.5 级和 2020 年唐山古冶 5.1 级地震前没有任何异常反映。一些前兆测项异常和地震预测仍然只是统计意义上的关系，因此只依靠某个单项前兆异常出现漏报的可能性很大。表 2 中所列单项前兆异常虽然都很典型，目前都作为北京地区重要异常指标开展跟踪，但在更长时段较难通过 R 值评分；是否可以考虑以前兆异常出现的数量作为预测指标，还需要继续研究。

3.3 讨论

（1）震情跟踪工作中如果发现地震活动异常或前兆异常，首先需要开展震例研究，若预测效能较好就可作为异常指标纳入日常跟踪和预测，在预测实践中至少对应一次地震后，再开展详细震例研究，若预测效能较高可提升为预测指标，若出现两次以上虚报就需要再作评价是否降低预测权重。本文将地震活动性和前兆指标区分为异常指标、预测指标和参考指标。异常指标是普通异常指标，是根据震例研究得到并通过 R 值评分的指标；预测指标为重点异常指标，是在异常指标的基础上至少经过一次预测实践验证且 R 值评分较高的指标；参考指标为参考异常指标，是原来的异常指标或预测指标因虚报或漏报较多而下调预测权重，可以暂时用于内部跟踪但不作为上报异常。

（2）地震活动性异常指标和前兆异常指标都有一定的阶段性和时效性。例如单项前兆测项可能只在某个地震前出现异常，在其他地震前并无反应；首都圈 $M_L 1.8$ 月频度低值异常也在某些时段对应好、虚报少，但在其他时段对应差、虚报

多。一方面,因为城市环境干扰加剧、仪器老化等因素,导致许多曾经有较好震例的前兆测项(如王都庄水温、长陵中学电磁波等)停测;另一方面,由于地震预测指标主要来自对经验性预测的总结,很可能只适用于某一特定时段的地震发生规律。因此,在震情跟踪预测过程中,需要经常对预测指标进行评价,对于预测效能显著下降的指标,可以降低其预测权重,比如从预测指标到异常指标再到参考指标,甚至取消;对预测效能显著提高的指标就提高其预测权重,可以从参考指标到异常指标再到预测指标。同时也需要不断跟踪研究并提出新的异常指标,北京局近两年又总结出一些新的异常指标,尚需通过更多的预测实践来验证。

(3) 北京地区 R_t 值低值、地震对应概率谱高值、首都圈中部近南北向小震条带、首都圈 $M_L 1.8$ 或 $M_L 3.0$ 月频度高值,虚报和漏报都较少;北京地区前兆测项短期异常和小震丛,漏报虽多但虚报较少;首都圈 $M_L 1.8$ 月频度低值异常,漏报虽少但此前虚报仍较多。一般来说,虚报和漏报都少的指标出现异常就可以预测有地震,未出现异常可以报无震;虚报少但漏报多的指标出现异常就可以做出有震预测,但未出现异常不能报无震;虚报多的指标出现异常在预测实践中难以单独使用,只能起到参考作用,配合其他指标开展预测。

4 结论

(1) 北京地区发生中等地震前可能会出现一些地震活动和前兆异常,提取并研究这些异常指标,对北京地区震情跟踪工作有重要意义。地震分析预报部门在日常震情跟踪和年度趋势会商研究中积累了大量的会商资料,真实反映了震前异常的发展过程和预测过程,在此基础上开展震例研究,比单纯的震后震例总结更有参考价值。

(2) 通过对北京地区中等地震的预测回溯和研究,认为提取预测指标至少需要 1 次预测实践验证,具体过程可以为:日常震情跟踪中发现异常——经初步震例研究提取异常指标——经预测实践验证、进一步震例研究且预测效能较高可以成为预测指标。

(3) 北京地区的 R_t 值低值和地震对应概率谱

高值异常作为中短期预测指标;首都圈中部的近南北向小震条带作为短期预测指标,北京地区异常小震丛和前兆测项高值突跳、破年变、低值回升作为短期异常指标,对北京地区中等以上地震的时间、地点和强度有预测意义;首都圈 $M_L 1.8$ 或 $M_L 3.0$ 月频度高值作为中短期预测指标,平谷地磁加卸载响应比高值和首都圈 $M_L 1.8$ 月频度低值作为短期异常指标,主要用于首都圈中等以上地震预测,同时可以在北京地区出现相关异常的前提下,用来预测北京地区中等以上地震的发震时间和强度。

参考文献:

- 曹井泉,孙加林,杨毅. 1997. 进入短期阶段的空间识别及判据指标研究[J]. 地震学报,19(1):36-44.
- 陈棋福,郑大林,刘桂萍,等. 2002. 中国震例(1995—1996)[M]. 北京:地震出版社.
- 国家地震局科技监测司. 1990. 地震学分析预报方法与程式指南[M]. 北京:地震出版社.
- 国家地震局预测预防司. 1997. 地震短临预报的理论与方法[M]. 北京:地震出版社.
- 兰从欣,徐平,张洪魁,等. 2002. 1996 年 12 月 16 日北京市顺义 $M_L 4.5$ 级地震[M]//陈棋福. 中国震例(1995—1996). 北京:地震出版社.
- 李红,邓志辉,邢成起,等. 2017. 地震异常 ECRS 分析方法在北京地区的应用和检验[J]. 华南地震,37(2):1-9.
- 刘蒲雄,陈章立. 1989. 地震条带及其在地震预报中的作用[J]. 中国地震,5(1):23-32.
- 陆远忠,吴云,王炜,等. 2001. 地震中短期预报的动态图像方法[M]. 北京:地震出版社.
- 王海涛,王琼. 2008. 基于地震对应概率谱分析的前兆异常识别研究[J]. 地震研究,31(4):330-334.
- 王慧敏,吕梅梅,吕培苓. 1998. 1996 年 12 月 16 日北京顺义地震时序特征及其与邻区地震活动的关系[J]. 地震,18(1):41-48.
- 王林瑛,陈学忠,朱传镇,等. 2006. 地震活动性总体参量 R_t 及其在地震预测中应用的研究[J]. 地震,26(2):54-60.
- 王炜,宋先月,刘峥. 1998. 地震活动性的量化及其在地震中短期预报中的应用[J]. 地震学刊,(4):1-9.
- 许绍燮. 1989. 地震预报能力评分[M]//国家地震局科技监测司. 地震预报方法实用化研究文集地震学专集. 北京:地震出版社.
- 岳晓媛,武安绪,马梁. 2019. 地震活动性总体参量 R_t 在北京及邻区地震预测中的应用[J]. 地震地磁观测与研究,40(6):28-34.
- 张国民,傅征祥,桂燮泰. 2001. 地震预报引论[M]. 北京:科学出版社.
- 张永仙,刘桂萍,陈棋福,等. 1998. 顺义 $M_3 4.0$ 地震前兆演化特点及利用响应比进行的震前和震后趋势判断[J]. 地震,18(1):49-56.
- 中国地震局监测预报司. 2002. 地震中短期预报物理基础研究[M].

- 北京:地震出版社.
- 中国地震局监测预报司. 2005a. 中国大陆地震短期异常特征和综合预测方法研究[M]. 北京:地震出版社.
- 中国地震局监测预报司. 2005b. 华北地区强地震短期前兆特征与预测方法研究[M]. 北京:地震出版社.
- 朱红彬, 岳晓媛, 武敏捷. 2010. 北京及邻区中等地震前的近南北向异常小震条带[J]. 地震地磁观测与研究, 31(5): 1-6.

Retrospective Study of Moderate-earthquake Prediction in Beijing Based on Earthquake Consultation Information

ZHU Hongbin, LI Hong, YUE Xiaoyuan, LI Juzhen, WANG Lihong,
WU Minjie, ZHONG Shijun
(Beijing Earthquake Agency, Beijing 100080, China)

Abstract

By analyzing the original consultation data of earthquake prediction from Beijing Earthquake Agency since 1996, we take 8 historical moderate earthquake events in this period in Beijing and its vicinity to carry out retrospective studies on occurrence and evolution of anomalies before these earthquakes, and review the determination of relevant indicators for the anomalies and their effectiveness for earthquake prediction. Then by study of earthquake cases and evaluation of the indicators' effectiveness, we obtain several indicators for earthquake anomalies in Beijing such as north-south trending stripe of small earthquakes. These indicators can help establish a system of predictive indicators in Beijing. The procedure of determining anomalous indicators and forecasting indicators of moderate earthquakes is: ① finding anomalies by daily earthquake-tracking analysis, ② putting forward indicators of earthquake anomalies after a case study, and ③ choosing those which have been tested with high scores as forecasting indicators. The forecasting indicators of medium earthquakes need testing at least once by earthquake-prediction practice before they are determined.

Keywords: Beijing and its vicinity; moderate earthquakes; backtracking of earthquake prediction; indicators of earthquake anomalies; indicators of earthquake prediction