利用地下流体异常预测强震危险区的标志与方法

邵永新，李一兵，田 山，李君英
（天津市地震局，天津 300201）

摘要：在系统地研究了华北北部 5 次中强以上地震前地下流体异常空间演化过程的基础上，分析了地下流体动态异常的迁移特征．根据迁移特征和异常时间与震中距的关系提出了预测强震危险区的 5 个标志和 3 个步骤，并用几个震例进行了检验．结果表明，运用地下流体异常的空间演化特征能够对未来强震危险区作出有一定可信度的预测．

关键词：地下流体；强震；地震危险区；预报指标
中图分类号：P315.75 文献标识码：A 文章编号：1000－0844(2001)02－0125－06

1 地下流体异常的动态迁移特征

作者研究了唐山、大同、包头西和张北 5 次中强以上地震前地下流体异常的动态演化特征，结果见表 1．由表 1 可以看出，在所研究的 5 次地震中，除大同 2 次地震外，其余 3 次地震前均出现异常向震中区迁移的现象，而且 7 级以上大震比 6 级以上强震表现得更为明显．由于在一次强震孕育的过程中能量供给和积累来源于大区域的构造形变运动，因此异常出现的范围较大．唐山地震前距震中 640 km 的江苏清江水氡出现异常，包头西地震前距离震中 700 km 的王 4 井水氡出现异常，张北地震前距离震中 450 km 的昌黎水氡出现异常，这些事实说明一次强震的孕育不只是某一条发震构造活动的结果，而是大区域范围内若干条巨大的地震构造带共同活动的结果，这也是异常呈现多点集中现象的内在原因．但是这种构造运动又是不均衡的，随着应力的进一步积累和增强必将在众多的活断层中，在应力最强的地段造成断层的错动而发生地震，因此异常集中区呈波浪式发展并伴随应力的传递而向震中区迁移．

唐山地震前水化学异常大体上经历了由邢台西南→邢台东北→京、津、唐→唐山的迁移过程[1]．而水动态异常迁移经历了扩展（向西到 116°E 以西，向南到胜利油田）、收缩（津西南，津东北）和向唐山地区集中的过程[2]，总体上呈现了 NE 和 NWW 2 个优势方向．这可能与唐山地震处于 NE 向河北平原地震构造带和 NWW 向张-渤地震带交汇部位有关．

由表 1 可知，1996 年包头地震前异常沿张-渤地震带和阴山地震带向震中方向迁移；1998 年张北地震前异常沿阴山地震带由西向东，和沿张-渤地震带由东向西迁移，这也说明异常迁移方向是受地震构造带控制的．2 次地震前地下流体异常距发震的时间和震中距 Δ 的关系见

收稿日期：2000-06-05

作者简介：邵永新（1966－），男（汉族），天津市人，高级工程师，主要从事地震综合预报及地下流体研究工作．

图 1.

表 1 华北北部 5 次中强以上地震前地下流体动态演化特征

地震	异常出现时间(距发震时间)	异常多点集中时段	异常向震中迁移时段	迁移特征(时间、距离)	备注
唐山 M_S 7.8 1976-07-28	1974 年上半年水化(2 年多)	1974 ~ 1975	1976 年上半年	震前半年多 400 ~ 500 km	沿地震带由西南向东北迁移
	1973 年下半年水动态(近 3 年)	1973 年下半年 ~ 1975	1976 年上半年	震前半年多 300 km	
大同 M_S 6.1 1989-10-19	1988 年上半年水化(1 年多)	1988 年下半年 ~ 1989 年上半年	不明显	特点不突出	—
	1988 年下半年水动态(1 年多)	1989 年上半年	不明显	特点不突出	
大同 M_S 5.8 1990-03-26	1990 年上半年水化(1 年多)	不明显	不明显	—	—
	1990 年下半年水动态(半年多)	1991 年上半年	1991 年上半年	迁移约 200 km	
包头 M_S 6.4 1996-05-03	1995 年上半年水化(1 年左右)	1995 年上半年	1996 年上半年	震前几个月 700 多 公里	沿 NWW 向张-渤地震带和阴山地震带迁移
	1994 年上半年水动态(约 2 年)	1995 年上半年	1995 年下半年	震前 1 年 约 300 km	
张北 M_S 6.2 1998-01-10	1996 年下半年水化(1 年多)	1997 年下半年	1998 年上半年	包头西→张家口 北京西→张家口	迁移约 300 km
	1997 年上半年水动态(约 1 年)	1997 年上半年	1998 年上半年	约 100 km	

2 利用地下流体异常迁移特征对未来强震危险区的预测检验

由于强震前地下流体异常的空间演化存在着由外围向震中区迁移的趋势, 而且, 迁移的方向受地震构造带制约, 因此, 根据 t-Δ 关系就可以对强震危险区作出预测. 表 2 列出了对华北北部发生的 5 次强震的预测情况.

由表 2 可以看到, 在 5 次强震前根据地下流体异常共圈定了 24 个危险区, 其中有 12 个与地震相对应, 对应率为 50 %. 作者认为这可能与异常演化的复杂性有关. 异常演化的复杂性主要表现在以下 3 个方面:

(1) 迁移方向、速率和距离不确定. 例如, 唐山地震前异常在总体上由西南向东北迁移, 包头地震前异常由东向西迁移, 而张北地震前异常既有从西向东, 又有从东向西的迁移. 迁移的速率和距离相差很大. 唐山地震前半年异常迁移距离为 300 ~400 km, 而包头地震前水化学异常在几个月内竟迁移了 700 km, 张北地震前水化学异常迁移约 300 km, 而水动态仅 100 km. 由此可见, 对不同的地震而言, 异常迁移的方向、速率和距离都不相同, 而且与震级也没有确定的关系.

(2) 异常集中区和强震震源区关系不确定. 异常最早出现

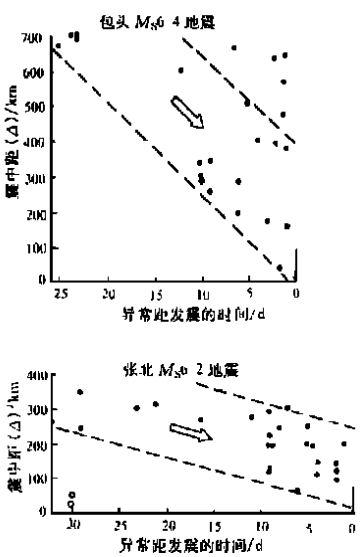

图 1 1996 年包头 M_S6.4 和 1998 年张北 M_S6.2 地震前地下流体异常的 t-Δ 关系①

Fig. 1 The relationship between t and Δ of ground fluid anomalies before the 1996 Baotou M_S6.4 and the 1998 Zhangbei M_S6.2 earthquakes.

① 车用太. 张北-尚义地震科学总结与反思报告(地下流体学科). 1999.

的地区不一定是未来强震震源区, 而异常迁移后的高值异常区也不一定是强震震源区. 但一般异常集中区距未来震中 100 ~300 km. 表 3 给出了震前异常集中区和震中距的统计结果. 由表 3 可以看出, 震前异常集中区有的和未来强震震源区大体一致(如唐山地震), 有的相差 300 ~ 600 km(如张北地震). 另外, 由表 1 可知, 在大同 2 次地震前, 无论是水化学还是水动态, 震前异常集中区都在大同以东, 距大同 300 ~ 550 km 的北京和唐山地区, 造成这种现象的原因除了观测点分布不均匀, 东部密, 西部稀之外, 可能还与地壳结构等有关.

表 2　华北 5 次中强以上地震前 1 年至半年尺度的地震危险区预测结果

项目	地震	时间	危险区个数	与地震的关系
水化学	1976-07-28 唐山 M_S 7.8	1975 年下半年 1976 年上半年	1 1	危险区内 危险区内
	1989-10-19 大同 M_S 6.1	1988 年下半年 1989 年上半年	不能确定 1	以危险区外计 危险区之外
	1991-03-26 大同 M_S 5.8	1990 年上半年 1990 年下半年	1 1	危险区之外 危险区之外
	1996-05-03 包头 M_S 6.4	1995 年上半年 1995 年下半年	2 2	危险区其中之一内 危险区其中之一内
	1998-01-10 张北 M_S 6.2	1997 年上半年 1997 年下半年	2 2	危险区其中之一内 危险区其中之一内
水动态	1978-07-28 唐山 M_S 7.8	1975 年下半年 1976 年上半年	1 1	危险区内 危险区内
	1989-10-19 大同 M_S 6.1	1988 年下半年 1989 年上半年	1 1	危险区内 危险区外
	1991-03-26 大同 M_S 5.8	1990 年上半年 1990 年下半年	异常较弱 1	— 危险区外
	1996-05-03 包头 M_S 6.4	1995 年上半年 1995 年下半年	2 2	危险区其中之一内 危险区其中之一内
	1998-01-10 张北 M_S 6.2	1997 年上半年 1997 年下半年	1 1	危险区外 危险区内

表 3　震前异常集中区和震中距的关系

地震	观测项目	时间	异常集中区距震中的距离 Δ
唐山地震	水化学	1976 年上半年	唐山(Δ= 0 km) 北京西南(Δ= 300 km)
	水动态	1976 年上半年	宝坻 — 唐山(Δ= 0 ~ 50 km) 天津南(Δ= 200 km)
大同地震 (1989)	水化学 水动态	1989 年上半年 1989 年上半年	北京(Δ= 300 km) 北京、天津和唐山之间(Δ= 350 km)
大同地震 (1991)	水化学 水动态	1990 年下半年 1990 年下半年	北京(Δ= 300 km) 唐山以东(Δ= 550 km)
包头地震	水化学 水动态	1995 年下半年 1995 年下半年	包头 — 张家口(Δ= 200 km) 呼和浩特 — 张家口(Δ= 300 km)
张北地震	水化学	1997 年下半年	北京 — 张家口(Δ= 100 km) 包头西(Δ= 600 km)
	水动态	1997 年下半年	北京南(Δ= 300 km)

3　利用地下流体动态演化图像预测强震危险区的标志与方法

根据华北北部 5 次中强以上地震前后地下流体异常动态演化特征, 以及运用此特征进行危险区预测检验的结果, 可以将利用地下流体动态演化图像预测强震危险区的标志和方法归纳如下:

3.1 预测危险区的5个标志

(1) 若 K[1] $\leqslant 0.6$(水化学测项), $|K| \leqslant 20$(水动态、油井动态测项), 则预示着研究区未来半年到1年内不会发生6级以上地震; 若 $K \geqslant 0.6$(水化学测项), $|K| \geqslant 20$(水动态、油井动态测项) 且异常区面积在4平方度以上时, 则要加强异常动态演化的跟踪监测.

(2) 当出现异常区后, 在高值异常区及其周围300 km范围内发震的可能性较大. 由表3可见, 在5次地震前出现的13个异常区中有10个异常区距未来震中区在300 km以内, 占77%, 而且有水动态异常区距震中的距离小于水化学异常区的特点, 唐山和张北地震表现得尤为明显.

(3) 在异常迁移的方向上发震的危险性较大. 由图1可知, 在水化学异常动态沿地震构造带迁移的指向上和水动态异常演化过程中收缩的指向上发震的危险性较大.

(4) 如果异常区在几个地震构造带上同时出现, 那么在构造带的交汇部位发震的危险性较大. 例如唐山地震前地下流体异常在河北平原地震带和燕山地震带同时出现, 地震发生在2个地震构造带交汇的唐山地区.

(5) 水动态负异常区的边界或正异常区边界附近地区发震的危险性较大, 前者如唐山地震和张北地震, 后者如1989年大同地震和1996年包头地震.

3.2 危险区预测的3个步骤

(1) 选择观测资料和确定异常区. 以内在质量为主(连续性、可靠性和映震能力)兼顾井孔分布均匀的原则选择观测资料, 计算 K 值及编绘 K 值动态演化图, 进而判定异常区.

(2) 判定地下流体单项危险区. 在高值异常区及其周围300 km范围内, 或100~300 km范围内寻找水动态正负异常边界, 地下流体异常动态演化的迁移方向或地震构造带的交汇部位.

(3) 以地下流体为主进行危险区综合判定. 为提高预测结果的可信度并缩小危险区的预测范围, 要以地下流体预测结果为主, 结合地震学指标以及其它前兆进行综合判定, 进而给出危险区预测结果.

3.3 震例检验

3.3.1 唐山7.8级地震

图2展示了唐山7.8级地震前华北北部地区水化学异常空间演化图像. 由图可见, 1976年上半年水化学异常区域位于唐山地区. 唐山地区位于河北平原地震带上, 同时NW向构造带也通过该区. 异常的迁移方向也指向该区.

1975年下半年华北北部地区水动态异常演化图像显示, 胜利油田存在一个异常集中区, 在北京、唐山以北地区存在一个异常区(图3a), 以胜利油田异常集中区为中心点, 分别以300 km和100 km为半径画圆. 2个圆与区域内的河北平原地震带、NW向构造带及北京—唐山以北的异常区交会于唐山地区.

1976年上半年, 在天津以南和以北形成了2个水动态异常集中区(图3b), 此时, 胜利油田的异常集中区消失, 华北北部水动态异常出现了明显的由南向北迁移的趋势. 因此, 根据该特征所圈定的危险区也在唐山地区.

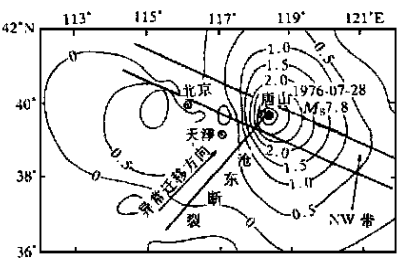

图2 利用1976年上半年水化学异常动态演化图像对唐山 M_S7.8地震危险区的预测

Fig. 2 The dangerous area of the Tangshan M_S7.8 earthquake predicted by using dynamic evolution patterns of hydrochemical anomalies in first half of 1976.

3.3.2　张北 6.2 级地震

1997 年上半年华北北部包头附近和呼和浩特附近存在 2 个水化学异常区, 据此, 可得到如图 4a 所示的 2 个地震危险区, 即包头地区和张家口西北地区.

到 1997 年下半年, 北京地区出现异常集中区, 由此可得到如图 4b 所示的 3 个地震危险区.

图 5a 为 1997 年上半年水动态异常图像, 图中存在 2 个异常集中区, 由此可得到一个地震危险区. 到 1997 年下半年则出现了 2 个危险区(图 5b), 其中包括了张北地区.

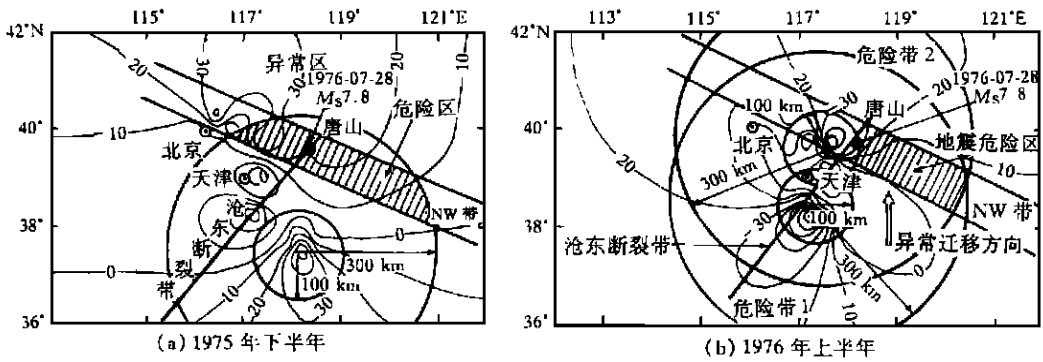

图 3　利用水动态异常演化图像对唐山 M_S7.8 地震危险区的预测

Fig. 3　The dangerous area of the Tangshan M_S7.8 earthquake predicted by using dynamic evolution patterns of groundwater anomalies.

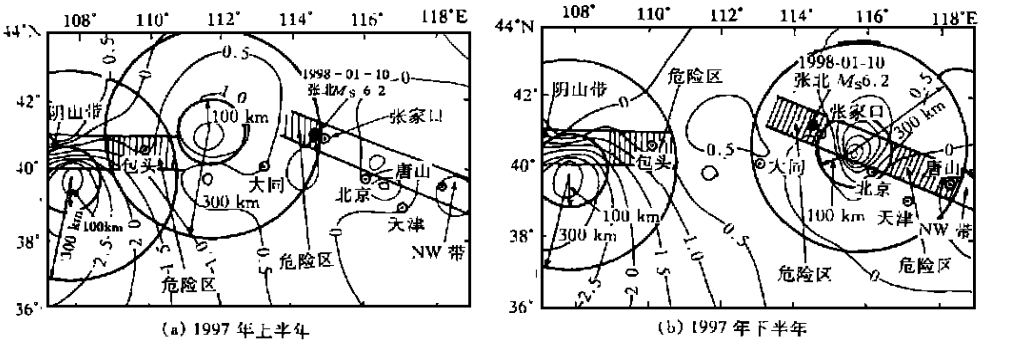

图 4　利用 1997 年水化学异常对张北地震危险区的预测

Fig. 4　The dangerous area of the Zhangbei earthquake predicted by using hydrochemical anomalies of 1997.

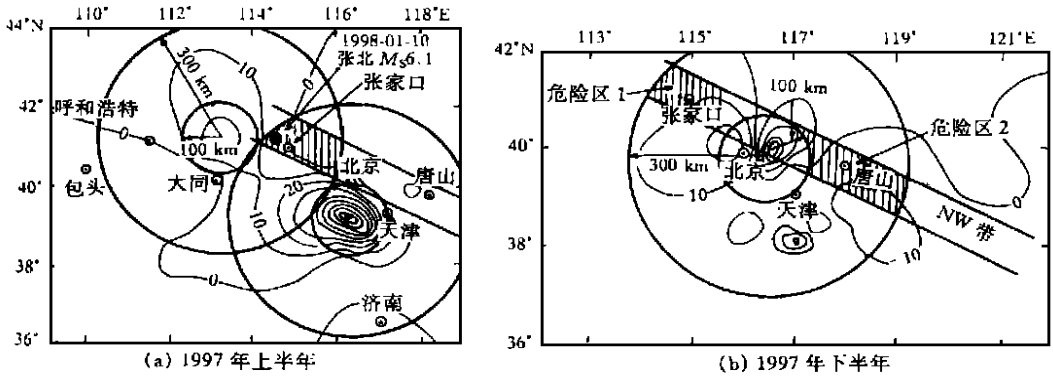

图 5　利用 1997 年水动态异常对张北地震危险区的预测

Fig. 5　The dangerous area of the Zhangbei earthquake predicted by using groundwater dynamic anomalies of 1997.

3.3.3 对 1999 年 3 月 11 日张北 M_S 5.6 地震的预测

1998 年下半年在北京地区出现了水动态异常集中区. 根据上述方法, 可以得到如图 6 所示的 2 个地震危险区, 即张北地区和唐山地区. 由于张北地区 1998 年 1 月 10 日发生了一次 M_S 6.2 地震, 由此判断在这 2 个地震危险区中张北地区发生强余震的可能性较大, 结果于 1999 年 3 月 11 日在该危险区发生了 M_S 5.6 地震.

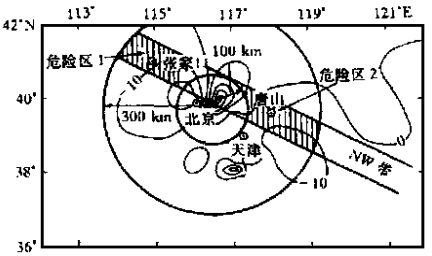

图 6 利用 1998 年下半年水动态异常对 1999 年 3 月 11 日张北 M_S 5.6 地震危险区的预测

Fig.6 The dangerous area of the Zhangbei M_S 5.6 earthquake on Mar. 11, 1999 predicted by using groundwater dynamic anomalies of the latter half of 1998.

4 结语

本文的研究结果表明, 运用地下流体动态异常空间演化图像能够对未来强震危险区做出初步的预测. 但是, 运用该方法时, 必须清楚区内断裂的活动性. 所预测的危险区可能有多个, 有时预测的危险区面积较大, 这就需要结合其它方法对多个危险区进行综合判定, 缩小危险区的面积和减少危险区个数, 进而对危险区做出较为准确的预测.

[参考文献]

[1] 邵永新, 李君英, 李一兵, 等. 唐山 7.8 级地震前后水氡动态异常演化特征[J]. 西北地震学报, 2000, 22(3): 249—252.

[2] 邵永新, 李君英, 田山, 等. 唐山 7.8 级地震前后地下流体动态异常演化特征[J]. 西北地震学报, 2001, 23(1): 26—29.

THE SIGNS AND METHODS FOR PREDICTING RISK AREA OF STRONG EARTHQUAKE BY USING GROUND FLUID ANOMALIES

SHAO Yong-xin, LI Yi-bing, TIAN Shan, LI Jun-ying

(*Seismological Bureau of Tianjin City, Tianjin* 300201, *China*)

Abstract: The space evolution process of ground fluid anomalies before five medium-strong earthquakes of northern part of North China is systematically studied. The anomalous migration feature is analyzed. On the basis of the migration feature as well as relation between anomalous time and epicentral distance, five signs and three steps for predicting risk region of strong earthquake are given, which are tested by three earthquakes. The results show it is possible to predict risk region of coming strong earthquake to a certain extent by using space evolution features of ground fluid anomalies.

Key words: **Ground fluid; Strong earthquake; Seismic risk zone; Prediction index**