

河套带、汾渭带中等地震活动平静对中强地震的指示意义

高立新, 曹孟娜, 张 晖

(内蒙古自治区地震局, 内蒙古自治区 呼和浩特市 010010)

摘 要:以相邻2次地震的时间间隔作为统计量,对河套带、汾渭带1976年以来的地震活动平静异常进行了统计检验。结果表明河套带、特别是汾渭带中强地震之前大范围内中等地震活动的异常平静现象是明显的,河套带、张渤带发生的5次6级以上强震有4次发生在平静异常结束或在平静过程中。目前该区域中等地震平静时间已远远超过历史统计的最长时间间隔,未来一段时间河套带、张渤带及邻区存在发生强震的可能性。

关键词:河套带; 汾渭带; 地震平静; 地震时间间隔

中图分类号: P315.75

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2009)04-0358-05

The Meaning of Moderate Seismic Activity Quiet to Strong Earthquakes in Hetao Belt and Fenwei Belt

GAO Li-xin, CAO Meng-na, ZHANG Hui

(Earthquakes Administration of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010010, China)

Abstract: The interval days between two earthquakes in the Hetao and Fenwei seismic belts are statistical analyzed. The result shows that there were obvious moderate seismic activity quiet phenomena before strong earthquakes in large range in two belts, especially in Fenwei belt. Among 5 $M_s \geq 6.0$ earthquakes since 1976, 4 events occurred at the end of the seismicity abnormal quiet period or in the quiet course. Now the moderate seismicity quiet time has surpassed the biggest time interval in history record, so there is possibility of strong earthquake in Hetao belt and Zhangbo belt in future.

Key words: Hetao belt; Fenwei belt; Seismic quiet; Seismic interval

0 引言

强震前靠近未来主震断层附近区域出现中等地震增强之后的平静,可能蕴含着地震孕育阶段性的信息,引起了国内外地震学家的关注。有关中强震前地震平静前兆的观测已有很多作者进行报道,如1978年墨西哥瓦哈卡7.8级地震^[1]、1988年亚美尼亚7级地震^[2]、1990年日本伊豆大岛M6.5地震^[3]、1994年千岛群岛 M_w 8.3地震^[4]、1995年1月Kobe M7.2地震^[5]、1999年土耳其Izmit M_w 7.4

地震^[6]、2002年意大利Palermo M5.8地震^[7]等。最近一个典型的例子是2001年昆仑山口西8.1级地震,震前区域地震平静长达1年,而且在震前几个月平静区还有明显的扩展现象。由于其普遍性,地震平静现象被认为是具有物理意义的地震前兆,并被作为地震预测的重要依据^[8-9]。

本文分析鄂尔多斯块体周边的河套带、汾渭带自1976年以来的中等地震平静现象及其特征,并对大震前平静现象的物理机制进行探讨。

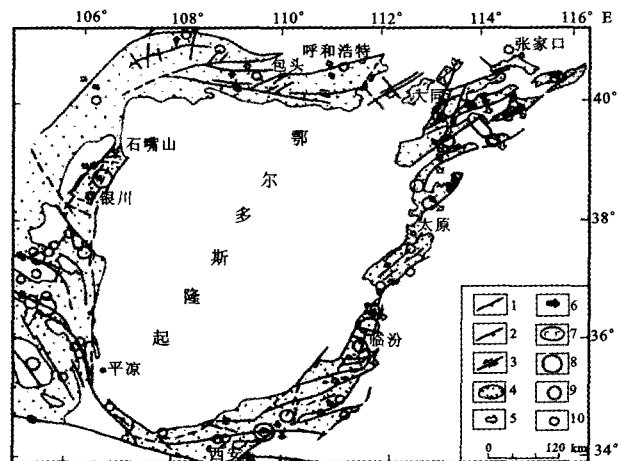
收稿日期:2008-12-25

基金项目:2009年度中国地震局震情跟踪合同制定向工作任务(2009010108)

作者简介:高立新((1965-),男,内蒙古丰镇人,高级工程师,主要从事地震预报及相关研究工作。

1 研究区地质构造环境

鄂尔多斯块体四周被断裂和断陷盆地所包围,其西南边界为NW-NWW向挤压边界,其他边界为4条断陷盆地组成的剪切拉张带。本文研究的汾渭带、河套带分别位于鄂尔多斯块体的东缘、南缘和北缘(图1)。



1.正断层;2.逆断层;3.走滑断层;4.盆地及边界;5.山地倾斜方向;6.盆地倾斜方向;
7.新生代火山岩;8. $M \geq 8$; 9. $M = 7 \sim 7.9$; 10. $M = 6 \sim 6.9$

图1 鄂尔多斯块体及周缘地区构造略图

(据文献[10])

Fig. 1 Structure sketch of Ordos block and the peripheral region (According to reference[10])

块体北缘的河套断陷盆地为一东西向剪切拉张带,由呼一包、白彦花和临河等3个次级盆地右阶斜列组成。它们均为北深南浅的不对称盆地,分别受北侧山前正断裂所控制形成多级晚更新世和全新世断层崖。南缘受鄂尔多斯北缘断裂控制,在地表形成断层崖,并左旋错断水系,显示了左旋正走滑断裂的活动特征^[10]。

块体东边界的山西断陷盆地是一条不连续右旋剪切拉张带。其中段的NNE向断裂和盆地作左阶排列,均为右旋正走滑断裂及地堑型盆地,断陷盆地之间的不连续阶区形成推挤型隆起。在此右旋剪切拉张带南北两端各发育了一个剪切带尾端张性构造区,其中晋北张性构造区发育于剪切带东侧,由多排半地堑盆地组成一个典型的盆岭构造区;晋南张性区亦由一系列NEE向正断裂和地堑盆地组成,分布于剪切带西侧,也构成了一个盆地构造区^[10]。

鄂尔多斯块体南界为渭河断陷盆地,主断裂为盆地南侧的秦岭北缘断裂和华山山前断裂。盆地向南倾斜,沉降中心靠近南侧主断裂,断裂在山前切断冲沟阶地和山前冲洪积扇,形成断层崖^[10]。

2 中等地震平静特征分析

为了研究河套地震带和汾渭地震带 $M_L \geq 4.0$ 地震的平静现象,以华北地区($109^\circ \sim 124^\circ$, $33^\circ \sim 43^\circ$)作为统计区域,分析区内 $M_L \geq 4.0$ 地震平静与1976年以来6.0以上地震对应关系。1976年以来统计区内共计发生5次6级以上地震,分别是1976年4月6日和林格尔6.3、1976年7月28日唐山7.8、1983年11月7日菏泽6.0、1996年5月3日包头6.4、1998年1月10日张北6.2级地震。除1983年菏泽6.0级外,其余4次地震前汾渭地震带、河套地震带均不同程度出现 $M_L \geq 4.0$ 地震长时间平静异常现象(图2)。

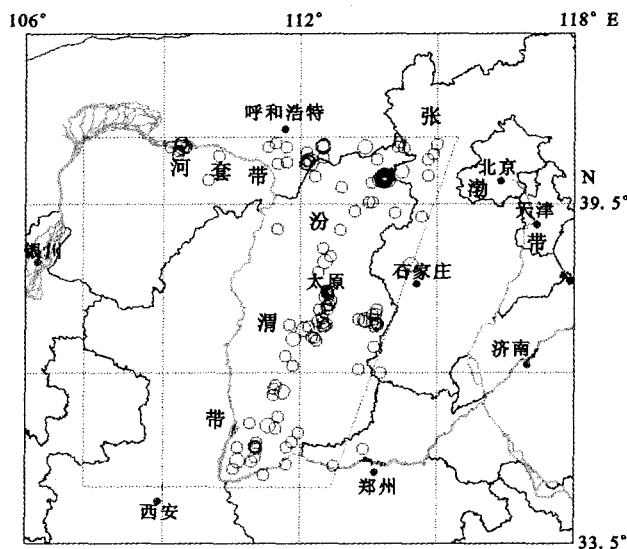


图2 河套带、汾渭带中等地震分布图

Fig. 2 Distribution of moderate earthquakes in Hetao belt and Fenwei belt.

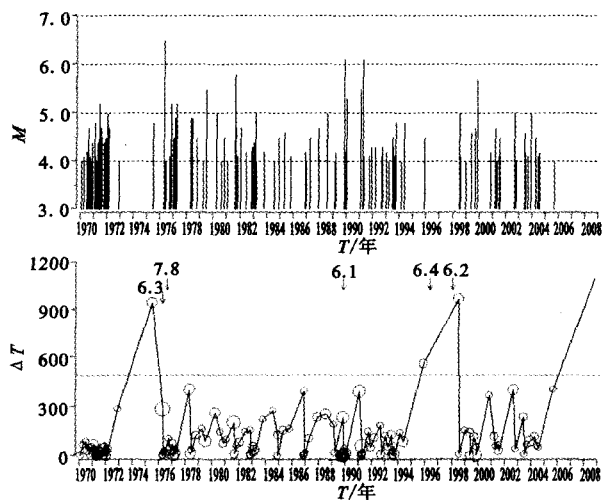


图3 河套带、汾渭带中等地震 $M-t$ 、时间间隔图

Fig. 3 Interval and $M-t$ diagrams of moderate earthquakes in Hetao belt and Fenwei belt.

以相邻2次 $M_L \geq 4.0$ 地震的时间间隔作为统计量,对河套带、汾渭带的地震活动平静异常进行统计检验。结果表明,河套带、特别是汾渭带中强地震之前大范围 $M_L \geq 4.0$ 地震活动的异常平静现象是明显的,河套带、汾渭带发生的5次6.0级以上强震有4次发生在平静异常结束或在平静过程中,占该区域1976年以来全部6.0级以上地震的80%。目前该区域中等地震平静时间已远远超过历史统计的

最长时间间隔。

以500天时长作为平静间隔的统计域值,1970年以来研究区超过平静时间间隔500天的异常现象共计出现过4次,前3次最短平静时间566天,最长平静时间971天,平均平静时间为828天。平静结束后距离主震的时间最短172天、最长400天,平均286天;或平静过程直接被主震打破(表1)。

表1 河套带、汾渭带 $M_L \geq 4.0$ 地震500天以上平静时段与中强地震统计

序号	平静时段 年-月-日~ 年-月-日	平静时 长/天	平静开始标志地震			平静结束标志地震			平静结束 距发震时 间间隔/天	发生的中强地震		
			时间	地点	震级/M	时间	地点	震级/M		时间	地点	震级/M
1	1972-11-18~ 1975-06-23	949	1972-11-17	山西垣曲	4.0	1975-06-24	内蒙古和林格尔	4.8	287 400	1976-04-06 1976-07-28	和林格尔 唐山	6.3 7.6
2	1994-04-27~ 1995-11-12	566	1994-04-26	山西灵石	4.8	1995-11-13	山西应县	4.5	172	1996-05-03	包头	6.4
3	1995-11-14~ 1998-07-10	971	1995-11-13	山西应县	4.5	1998-07-11	山西永济	5.0	平静中发震	1996-05-03 1998-01-10	包头 张北	6.4 6.2
4	2005-09-01~ 2008-10-31	1156	2005-08-31	河北蔚县	4.0	?	?	?	?	?	?	?

(1) 1976年4月6日和林格尔6.3和1976年7月28日唐山7.8级地震

以1972年11月17日山西垣曲 $M_L 4.0$ 地震为标志,河套带、汾渭带进入地震平静时段,949天后被1975年6月24日内蒙古和林格尔 $M_L 4.8$ 地震打破。之后287天发生1976年4月6日和林格尔6.3级地震;平静打破400天后发生1976年7月28日唐山7.8级地震(图4、图5)。

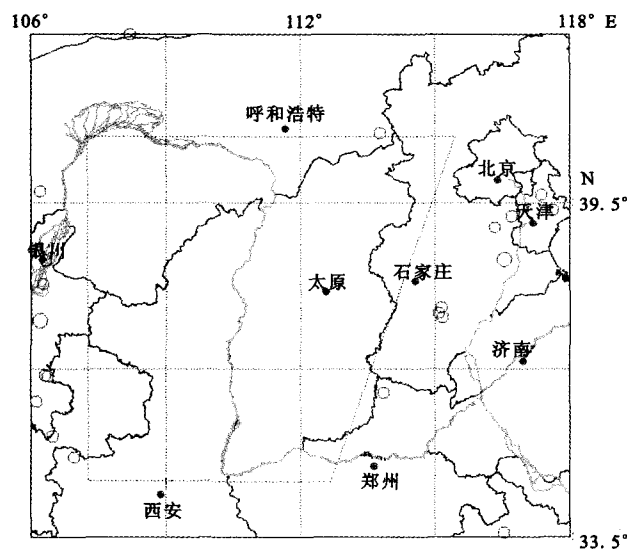


图4 1976年和林格尔6.3级地震前中等地震活动图像

Fig. 4 Seismic activity image of moderate earthquakes before Helingger $M_s 6.3$ earthquake in 1976.

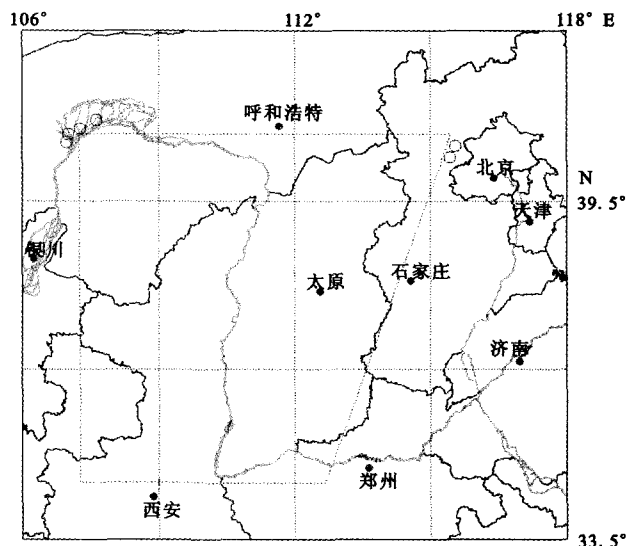


图5 1976年唐山7.8级地震前中等地震活动图像

Fig. 5 Seismic activity image of moderate earthquakes before Tangshan $M_s 7.8$ earthquake in 1976.

(2) 1996年5月3日包头6.4和1998年1月10日张北6.2级地震

以1994年4月27日山西灵石 $M_L 4.8$ 地震为标志,河套带、汾渭带进入地震平静时段,566天后被1995年11月13日山西应县 $M_L 4.5$ 地震打破。平静打破172天后发生1996年5月3日包头6.4级地震。从1995年11月13日山西应县 $M_L 4.5$ 地震后,研究区再次进入平静,直到1998年7月10日被山西永济 $M_L 5.0$ 地震打破,持续平静971天,在平静

过程中分别发生 1996 年包头 6.4 和 1998 年 1 月 10 日张北 6.2 级地震,其中 1996 年包头 6.4 级地震是在上次平静被打破 172 天后进入下一个平静过程中发生的(图 6)。

(3) 2005 年 9 月 1 日以来的平静异常

以 2005 年 8 月 31 日河北蔚县 $M_L 4.0$ 地震为标志,研究区再次进入超长平静时段,到 2008 年 10 月 31 日研究区 $M_L \geq 4.0$ 地震已平静 1 156 天,超过历史上最长统计时段(图 7)。

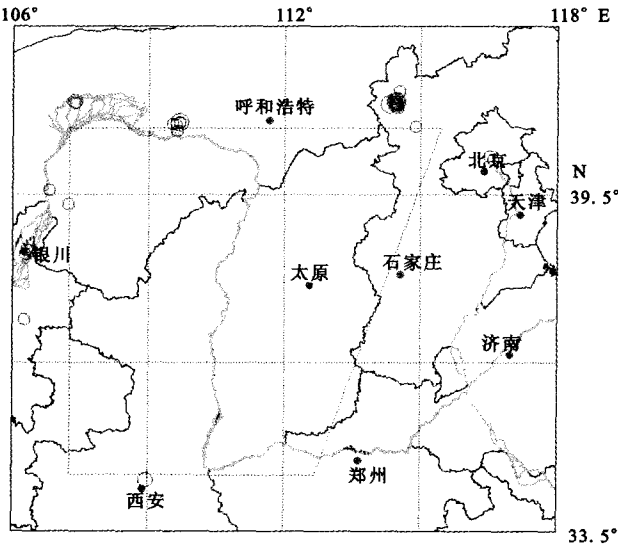


图 6 1996 年包头 6.4、1998 年张北 6.2 级地震前中等地震活动图像

Fig. 6 Seismic activity image of moderate earthquakes before Baotou $M_s 6.4$ earthquake in 1996 and Zhangbei $M_s 6.2$ earthquake in 1998.

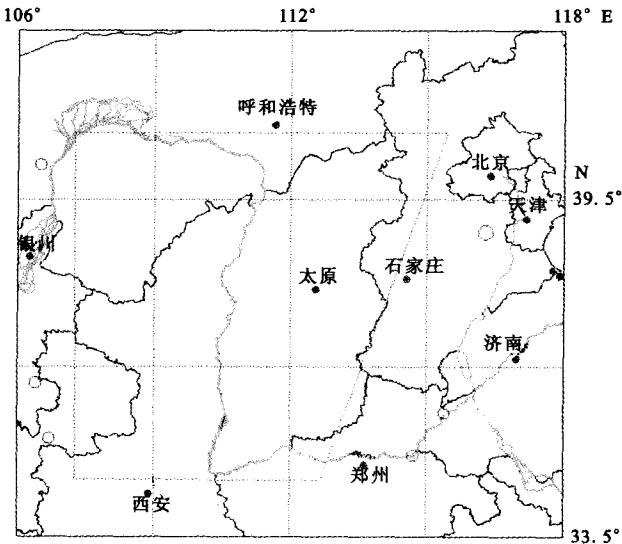


图 7 2005 年 9 月 1 日以来的平静图像

Fig. 7 The calm image since September 1, 2005.

3 大震前平静现象的物理机制探讨

关于大震前地震平静现象的物理机制,国内外学者从不同角度进行了研究。例如破裂强度的双峰式分布、扩容硬化、非均匀坚固体孕震、震源硬化等等模型来解释强震前地震活动的平静现象^[11]。但是这些模型主要依据于观测资料的分析、力学理论的应用和数值模拟结果,尽管一些模型中把岩石力学实验结果作为证据之一,但来自与地震活动最相似的岩石变形声发射的实验证据并不多。蒋海昆等试图从声发射实验结果出发,讨论大震前地震平静的物理机制问题。以往大量的实验结果表明,在恒定的加载条件下(等位移速率、等应力速率等),岩石破坏失稳前声发射活动多表现为加速特征,尽管一些岩石破坏前的声发射活动加速现象不明显,但也难以观测到平静现象。虽然最近的一些高质量的实验观测到了断层破裂过程中声发射活动加速和平静的交替出现,并认为与断层面上凹凸体的相继破坏有关,但这种现象出现在动态破裂成核阶段很短的时间内。然而,在一系列断层结构和介质不同的中尺度标本的声发射实验中,一些标本破坏失稳前声发射活动表现出明显的相对平静现象,从而为分析大震前地震活动平静现象的物理机制提供了依据^[12-13]。

假设大地震是大尺度断层(或断层段)发生整体滑动、引发断层周围介质中弹性应变能释放的结果。当断层带上含有强度较大的宏观凹凸体或非连续部位时,滑动失稳前首先需要克服其造成的阻碍作用,与这一过程相对应,会出现地震活动的加速现象,其中可能包括一系列中强地震的发生;由于凹凸体或非连续部位破坏形成的,新生断层往往凹凸不平,尚需一定的滑动才能达到断层发生整体失稳所需的相对均匀条件;而断层在滑动失稳前的这一“蠕滑—匀阻化”过程会导致地震活动的相对平静,大地震前断层的“蠕滑—匀阻化”过程是地震活动平静现象的可能机制^[12-13]。

4 结论与讨论

日本 15 次 7 级以上地震中,13 次地震前出现几百天乃至上千天的异常平静,大范围内没有 5 级以上地震发生。实际上,大范围内“场”的平静同样可能具有深刻的物理含义,利用它判断主震的时间更为有利。

北到新疆天山地震带、南到昆仑山地震带及邻

近区域($N32.5^{\circ}\sim44^{\circ}, E87^{\circ}\sim94^{\circ}$)中等地震时间活动规律显示,从1996年8月22日青海唐古拉山 M_L 5.1地震开始,曾出现过443天5级以上地震的平静,平静现象被1997年11月8日西藏玛尼7.5级地震直接打破,地震发生在平静区的西南边缘;从2000年11月26日昆仑山口西 M_L 5.1地震开始,上述区域曾出现过长达353天的地震平静现象,而且在震前几个月平静区还有明显向北扩展的现象,平静现象直接被2001年11月14日昆仑山口西8.1级地震打破,地震发生在平静区的南部边缘(图8)。另外,全国大陆地区5级地震平静是昆仑山口西8.1级地震之后地震活动性最为显著的异常,其特殊性引起了预测专家的普遍关注^[14]。

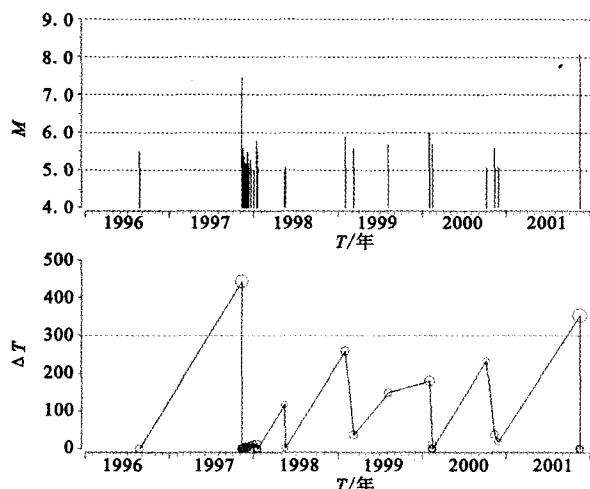


图8 1997年玛尼7.5、2001年昆仑山口西8.1级地震前 $M-t$ 、时间间隔图

Fig. 8 Interval and $M-t$ diagrams before Mani M_S 7.5 earthquake in 1997 and Kunlunshan M_S 8.1 earthquake in 2001.

大多数强震前并未象河套带和汾渭带一样出现长时间中等地震平静现象。对于鄂尔多斯块体北缘、东缘、南缘所在的河套地震带和汾渭地震带强震前出现长时间的中等地震平静现象笔者仅进行了一些表象的粗浅探讨,尽管基于声发射实验结果对其可能的物理力学机制进行了一些解释,但其直接的物理力学机制还有待于进一步深入研究。

鄂尔多斯块体本身是一个稳定的地质构造体,而其西缘是中强地震较为频繁的南北地震带,西南缘一侧则为青藏高原构造块体。由于鄂尔多斯块体及其地震构造的差异,华北地震区与青藏高原地震区的动力背景和中强地震活动特征均具有明显的差异性。河套地震带和汾渭地震带的中等地震和强震活动是否受制于青藏块体对鄂尔多斯块体的作用及

其作用特征还有待于进一步研究。

河套地震带和汾渭地震带可能既是应力调整窗口又是应力集中窗口,利用该区域中等地震长时间平静现象可预测未来一定时间段内附近区域发生强震的可能性。已有的震例表明,1976年以来研究区5次6.0级以上地震有4次震前出现长时间中等地震平静现象,其时间平静特征可作为区域范围强震的预测指标^[15-17]。

[参考文献]

- [1] Ohtake M, et al.. Seismicity gap near Oaxaca, southern Mexico, as a probable precursor to large earthquake [R]. 1981, 115: 375-385.
- [2] Wyss M, Habermann R E. Precursory seismic quiescence [J]. *Pageoph*, 1998, 126(2): 319-332.
- [3] Wyss M, Shirnazaki K, Urabe T. Quantitative mapping of a precursory seismic quiescence to the Izu-Oshima 1990 ($M_6.5$) earthquake, Japan [J]. *Geophys. J. Int.*, 1996, 127: 735-743.
- [4] Katsumata K, Kasahara. Precursory seismic quiescence before the 1994 Kurile earthquake ($M_w=8.3$) revealed by three independent seismic catalogs [J]. *Pure and Applied Geophysics*, 1999, 155(2-4): 443-470.
- [5] Huang Q, Oncel A O, Sobolev G A. Precursory seismicity changes associated with the $M_w=7.4$ 1999 August, 2002. 17 Izmit (Turkey) earthquake [J]. *Geophysical Journal International*, 2002, 151: 235-242.
- [6] Huang Q, Sobolev G A, Nagao T. Characteristics of the seismic quiescence and activation patterns before the $M=7.2$ Kobe earthquake, January 17, 1995 [J]. *Tectonophysics*, 2001, 337, 99-116.
- [7] Di Giovambattista R, Tyupkin Y. Seismicity patterns before the $M=5.8$ 2002, Alamo (Italy) earthquake: seismic quiescence and accelerating seismicity [J]. *Tectonophysics*, 2004, 384(1-4): 243-255.
- [8] Mogi. *Earthquake Prediction* [M]. Tokyo: Academic Press, 1985.
- [9] Scholz C H. Mechanisms of seismic quiescences [J]. *Pure Appl. Geophys.*, 1988, 126: 701-718.
- [10] 邓起东, 程绍平, 闵伟, 等. 鄂尔多斯块体新生代构造活动和动力学的讨论 [J]. *地质力学学报*, 1999, 5(3): 13-21.
- [11] 陈立德. 丽江7.0级地震短临异常特征及震源硬化模型 [J]. *地震*, 1998, 18(1): 7-13.
- [12] 马胜利, 蒋海昆, 庖小燕, 等. 基于声发射实验结果讨论大震前地震活动平静现象的机制 [J]. *地震地质*, 2004, 29(4): 426-435.
- [13] 蒋海昆, 马胜利, 张流, 等. 雁列式断层组合变形过程中的声发射特征 [J]. 2002, *地震学报*, 24(4): 385-396.

(下转 366 页)

表 3 支持向量机预测结果与实测值对比

样本序号	标贯击数 $N/\text{次}$	密实度 $D_r/\%$	土层厚度 d_s/m	震级 M	地震历时 t/s	最大加速度 $a_{\max}/\text{g}$	震中距 d/km	现场状况	SVM 输出 结果	对比 情况
1	6	53	6.0	6.6	20	0.12	39	未液化	1	正确
2	4	40	4.0	8.3	70	0.08	161	液化	-1	正确
3	4	65	5.0	8.4	75	0.35	32	液化	-1	正确
4	19	75	7.5	8.4	75	0.35	32	未液化	1	正确
5	9	58	4.5	7.0	30	0.25	8	液化	-1	正确

思路。由于砂土地震液化预测的影响因素较多,预测结果的准确性和可靠性在很大程度上取决于所选用训练样本的典型性和代表性,因此要做到对砂土液化更加完美的评价需要进一步开展研究。

[参考文献]

[1] IWASAKI T. Soil liquefaction studies in Japan: state-of-the-art[J]. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 1986, 5 (1): 62-68.

[2] 薛新华, 张我华, 刘红军. 基于遗传神经网络的地震砂土液化判别研究[J]. 西北地震学报, 2006, 28(1): 42-45.

[3] 陈奎, 刘兴昌. 砂土地震液化的神经网络预测[J]. 西北地震学报, 2000, 22(2): 167-1171.

[4] 王士杰, 基于 BP 神经网络的砂土地震液化分析[J]. 四川建筑科学研究, 2003, 29(2): 92-94.

[5] 刘红军, 薛新华. 砂土地震液化预测的人工神经网络模型[J]. 岩土力学, 2004, 25(12): 1942-1950.

[6] 罗战友, 龚晓南. 基于经验的砂土液化灰色关联系统分析与评价[J]. 工业建筑, 2002, 32(11): 36-39.

[7] 翁焕学. 砂土地震液化模糊综合评判实用方法[J]. 岩土工程学报, 1993, 15(2): 74-79.

[8] 金志仁. 距离判别分析方法的砂土液化预测模型及应用[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(5): 776-780.

[9] 夏建中, 罗战友, 龚晓南, 等. 基于支持向量机的砂土液化预测模型[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(22): 4139-4144.

[10] 李志雄. 基于最小二乘支持向量机的砂土液化预测方法[J]. 西北地震学报, 2007, 29(2): 133-136.

[11] 师旭超, 范量, 韩阳. 基于支持向量机方法的砂土地震液化分析[J]. 河南科技大学学报(自然科学版), 2004, 25(3): 74-76.

[12] Vapnik V 著. 张学工译. 统计学习理论的本质[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.

[13] Burge C J C. A tutorial on support vector machines for pattern recognition[J]. Data Mining and Knowledge Discovery, 1998, (2): 121-167.

(上接 362 页)

[14] 王林瑛, 陈佩燕, 林碧苍. 昆仑山口西 8.1 级地震前的地震活动异常及预测意义的讨论[J]. 西北地震学报, 2003, 25(1): 22-27.

[15] 高立新, 刘芳, 赵蒙生, 等. 用 sPn 震相计算震源深度的初步分析与应用[J]. 西北地震学报, 2007, 29(3): 213-217.

[16] 高立新, 郑斯华, 丁风和. 内蒙古中西部地区震源参数和场地响应反演[J]. 西北地震学报, 2005, 27(2): 109-114.

[17] 高立新, 曹井泉. 强震前震中区附近地震学参数中期震兆标志研究[J]. 西北地震学报, 2004, 26(4): 347-352.