

文章编号: 1006-6616 (2003) 01-0031-06

山西奇村井水汞动态的映震能力与特征分析

肖建华¹, 张瑞丰²

(1. 山西忻州地震局, 山西 忻州 034000; 2. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

摘要: 山西奇村水汞动态受忻定盆地区域水化学特征控制, 水汞映震灵敏, 对山西境内 $M_L \geq 4.0$ 级地震有很好的前兆异常反应。水汞异常多为短临异常, 对地震的时间预测有较好的参考价值。水汞异常反应与地震活动水平、震源深度等相关。

关键词: 水汞; 异常特征; 地震

中图分类号: P631.4⁺1

文献标识码: A

我国从 1984 年开展水汞地震监测试验性研究, 1988 年推广, 至今已有 10 多年的时间。研究表明, 这是一项有前途的水化学前兆观测项目。首都圈 7 个测汞点在 1989 年大同一阳高 6.1 级地震前, 6 个点有显著的趋势性异常和临震前兆异常, 只有一个点临震异常不明显, 高于其他地下流体测项的映震效果^[1]。山西奇村位于忻定断陷盆地内, 1993 年 3 月起开展水汞地震前兆观测, 至今已近 10 年。实测资料表明: 奇村区域内各井孔水汞含量相同, 动态一致。甚至整个忻定断陷盆地内的水汞动态具有很好的相关性, 对地震监测十分有利。奇村水汞映震灵敏, 1993 年 3 月至 2001 年 12 月间山西历次 $M_L \geq 4.0$ 级地震前, 奇村水汞都有不同程度的异常反应。

1 水汞动态基本特征

奇村地热田位于忻定盆地内, 忻州市西北 19km 处。奇村水化站热水井设在奇村地热田内, 属地震水化学监测专用井孔, 井深 51m, 水温 65℃, 水化学类型为 Cl-SO₄-Na 型, 含水层为中细砂。

奇村水汞含量不受水位、降水、气压、气象等因素干扰, 没有明显的年变规律, 常表现为稳定背景下的大幅突跳变化。正常状态下, 水汞含量较低, 背景值稳定 (10 ~ 20ng/L), 当异常出现时, 水汞变化幅度增大, 常为背景值的几倍到几十倍, 其异常图像清晰、易于识别, 且常与山西境内地震活动相关。观测表明: 奇村热田内各井孔水汞含量相同, 动态一致^[2]。在奇村热田外约 960km² 的区域内进行抽样测试 (包括冷、热水井 21 眼), 水汞仍呈现含量相近、动态一致的特点^[3]。说明奇村水汞动态受忻定盆地区域水化学条件控制, 观测井水汞动态反映的不是该井孔的个性, 而是具有区域代表性。因此对获取可靠的地震前兆信息十分有利。对 1998 年 5 月至 2001 年 12 月的水汞值进行统计, 其均值为 26ng/L (图 1)。

收稿日期: 2002-11-04

作者简介: 肖建华 (1971-), 男, 1993 年毕业于杭州大学地理系, 工程师, 从事地震分析工作。

据此我们将水汞值高于均值 (26ng/L) 的视为异常, 把高于均值 2 倍, 且比前 10 天测值明显偏高的视为高异常。

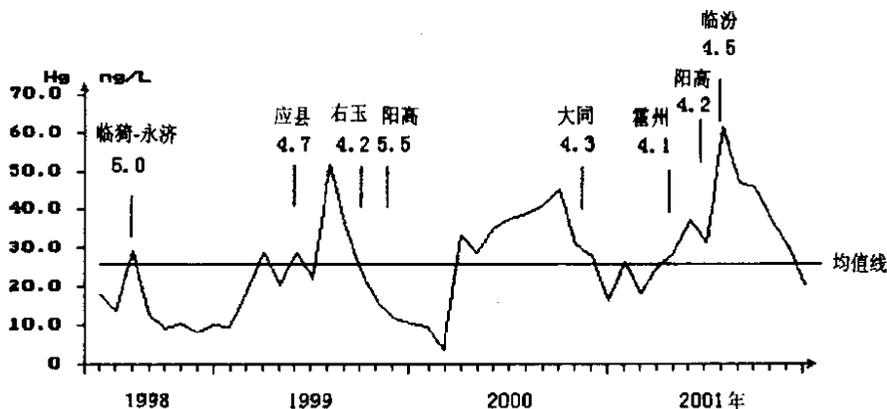


图 1 奇村水汞月均值图 (1998.5 ~ 2001.12)

Fig.1 Monthly mean value of water-mercury of Qicun

2 水汞动态与地震

我们系统分析了 1993 年 3 月至 2001 年 12 月山西境内历次 $M_L \geq 4.0$ 级地震 (15 次, 其中 1 次为震群) 前观测井水汞动态。为了避免随意性, 约定震前 3 个月内出现的异常为映震异常。统计结果表明, 山西多次 $M_L \geq 4.0$ 级地震前, 奇村水汞都出现了明显的异常, 说明奇村水汞映震异常重现性好, 水汞异常与区域地震活动有较好的相关性 (表 1)。这些震例散布在整个山西境内, 说明奇村水汞映震灵敏, 对山西区域地震活动有重要的前兆监测意义。下面仅就一些典型震例进行分析。

2.1 1993 年太原 4.5 级, 曲沃 4.3 级, 大同 4.1 级, 五寨 4.8 级地震

1993 年 3 月起, 奇村水汞含量低且稳定 (10 ~ 20ng/L), 6 月 25 日汞值从前 2 天的 7ng/L 突跳到 32ng/L, 26 日为 27ng/L, 同日发生太原 4.5 级地震, 震中距 90km。27 日奇村水汞下降为 22ng/L, 但紧接着出现明显的扰动上升, 7 月 1 日达到 75ng/L, 此后渐降, 7 月 4 日发生曲沃 4.3 级地震。其后水汞呈扰动性下降, 7 月底恢复到基值。但后来又出现波动上升, 8 月中旬上升幅度增大, 8 月 29 日达到最大值 203ng/L, 为背景值的 10 倍, 30 日大同发生 4.1 级、4.0 级震群。大同震后 4 天汞值回落到背景水平, 但随即水汞又出现上升突跳变化, 9 月 10 日达到最大值, 为 245ng/L, 为背景值的 12 倍, 11 日发生五寨 4.8 级地震, 震后汞值逐渐回落到背景水平。这 4 次地震, 大同、五寨地震前兆异常显著, 太原、曲沃地震异常幅度较小, 但水汞含量是在极低和极平静的情况下出现扰动上升的, 故应视为异常。其幅度较小可能是因为震源深度较大 (>20km)。从水汞日值图上可以看出, 这 4 次地震, 水汞异常有逐步增强的趋势, 这可能表明地震连续发生, 区域应力场逐渐增强, 致使水汞异常越来越显著 (图 2.a)。

表 1 山西省 $M_L \geq 4.0$ 级地震 (1993 年 3 月 ~ 2001 年 12 月) 与水汞异常形态对照表Table 1 Compare table of the $M_L \geq 4.0$ earthquake in Shanxi and the picture of water-mercury of Qicun

序号	时间	震中		震级 / M_L	深度 /km	地点	震中距 /km	水汞异常形态
		北纬	东径					
1	1993.06.26	37°42'	112°38'	4.5	22	太原	90	小幅高值突跳
2	1993.07.04	35°44'	111°31'	4.3	24	曲沃	300	高值突跳
3	1993.08.30	39°54'	113°50'	4.1 4.0	13	大同	183	明显的趋势性高值
4	1993.09.11	39°03'	111°30'	4.8	10	五寨	130	明显的趋势性高值
5	1994.04.26	36°51'	111°44'	4.8	6	灵石	190	高值突跳
6	1995.11.13	39°12'	112°44'	4.5	12	朔州	67	明显的趋势性高值
7	1998.07.11	35°02'	110°42'	5.0	15	临猗—永济	399	明显的趋势性高值
8	1998.12.23	37°21'	111°46'	4.0	6	汾阳	146	小幅扰动, 不显著
9	1999.05.15	39°32'	113°25'	4.7 4.4	8 8	浑源—应县	128	高值突跳
10	1999.09.12	40°13'	112°22'	4.2		右玉	170	明显的趋势性高值
11	1999.11.01	39°57'	113°53'	4.4	10	阳高	190	明显的趋势性 高值后降低
	1999.11.02	39°56'	113°54'	5.2	8	阳高	190	
12	2000.11.05	39°56'	113°48'	4.3	8	大同县	183	高值突跳
13	2001.04.27	36°42'	111°54'	4.1	5	霍州	197	趋势性高值
14	2001.06.28	40°17'	113°41'	4.2	11	阳高	198	趋势性高值
15	2001.07.25	36°16'	111°28'	4.5	12	临汾	254	明显的趋势性高值

2.2 1998 年临猗—永济 5.0 级地震

1998 年 7 月 2 日奇村水汞出现明显的突跳升高, 此后总体上呈波动性升高趋势, 7 月 11 日达到最大值 68ng/L, 为背景值的 4 倍, 同日发生临猗—永济 5.0 级地震, 震后汞值迅速回落, 逐渐稳定到背景水平 (图 2.b)。

2.3 1999 年浑源 4.7 级, 右玉 4.2 级, 阳高 5.5 级地震

1999 年 5 月 15 日浑源 4.7 级、4.4 级地震前连续 10 天奇村水汞呈相对高值状态, 最大值为 58ng/L, 为背景值的 3 倍, 震后 3 天汞值回落到背景水平。奇村水汞在平静一段时间后, 7 月 7 日又出现高值突跳, 7 月 26 日后有所下降, 从 8 月 9 日起又出现突跳升高, 17 日达到最大, 为 94ng/L, 其后逐渐下降, 9 月 12 日发生右玉 4.2 级地震。右玉地震后, 水汞又出现升高, 10 月中旬起渐降, 11 月 1 日达到最低值 6ng/L, 同日发生阳高 5.5 级地震。此次震前异常幅度虽较小, 但从日值图上可以清楚地看到一个明显的起伏过程。其幅度小, 可能是右玉地震的发生使区域应力场产生应力降所致 (图 2.c)。

2.4 2001 年霍州 4.1 级, 阳高 4.2 级, 临汾 4.5 级地震

2001 年 2 月起奇村水汞呈趋势性升高态势, 上升过程中 4 月 27 日发生霍州 4.1 级地震。其后汞值继续上升, 5 月 12 日达到最大值为 60ng/L, 其后逐渐下降, 下降过程中 6 月 28 日

发生阳高 4.2 级地震。紧接着水汞又出现大幅突跳上升, 7 月 15 日达最大值为 105ng/L, 并连续几天维持高值, 后又突降, 7 月 25 日发生临汾 4.5 级地震, 震后水汞渐降到背景水平 (图 2. d)。这 3 次地震水汞异常也呈逐次增强的状态, 与 1993 年的情形相类似, 表现出水汞异常幅度与地震活动水平相关的特点。

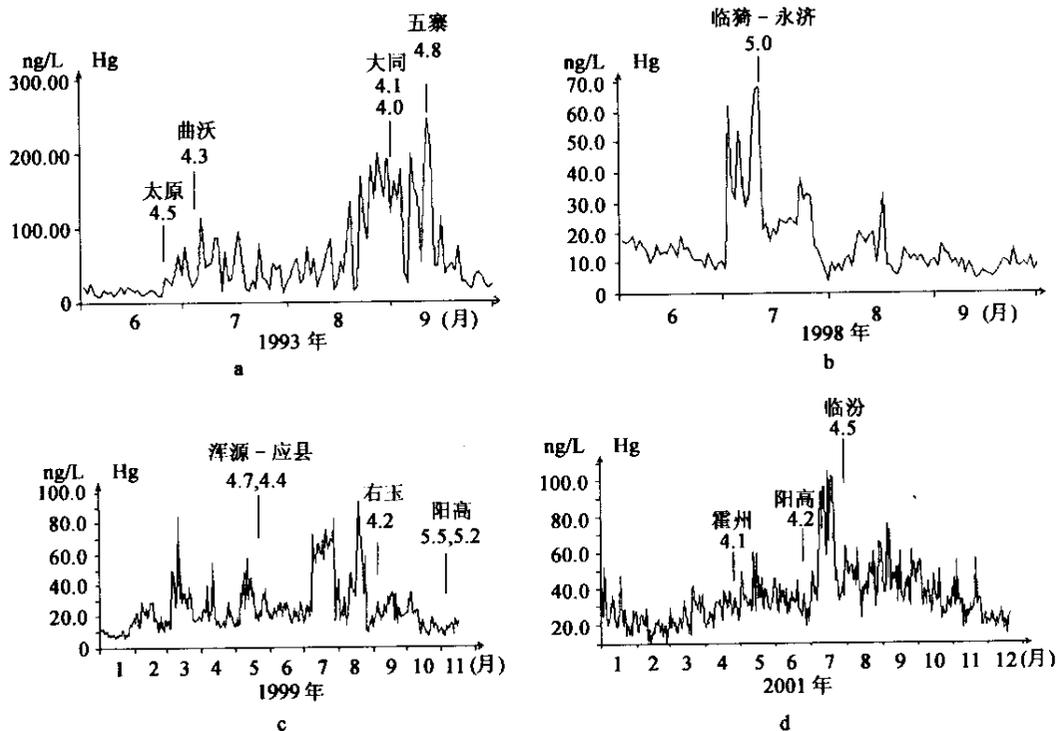


图 2 奇村水汞日值图

Fig.2 Daily value of water-mercury of Qicun

3 水汞异常特征

奇村水汞异常形态常表现为稳定背景下的成丛高值突跳变化或单点突跳。这种突跳往往幅度很大, 常为背景值的几倍到几十倍, 其信噪比较高, 易于识别。突跳变化多与地震活动相关 (图 2), 经分析发现奇村水汞映震异常有如下特征。

3.1 水汞异常为短临异常

奇村水汞映震异常出现于震前 3 个月内, 为短临异常, 对地震时间预测有较好的参考价值。据以上特点, 当水汞出现异常时可提出 3 月内, 特别是近日将有 4 级以上地震的预测意见。

3.2 水汞异常与震级和震中距

从图 2 可以看出, 一般而言, 震级越大异常越明显。如 1993 年五寨 4.8 级地震异常幅度大于大同 4.1 级地震 (图 2. a), 2001 年临汾 4.5 级地震异常幅度大于阳高 4.2 级地震, 霍州 4.1 级地震异常幅度最小 (图 2. d)。但异常幅度与震级关系复杂, 不存在确定的关系;

异常幅度与震中距也无明显确定形式的关系。显示了水汞映震前兆的复杂性。实际上，地震研究实践中前兆的复杂性也引起了人们的注意，有文献^[4]指出前兆异常幅度与震级、震中距无明显确定形式的关系，这与奇村水汞映震前兆的特点是一致的。

3.3 水汞异常与震源深度

水汞异常反应受震源深度影响，震源深度大时，水汞异常反应明显降低。如 1993 年太原 4.5 级，曲沃 4.3 级地震，震源深度分别为 22km、24km，明显大于其他地震的深度，其水汞异常、形态都明显弱于同期其他地震，说明震源深度是影响水汞异常反应的一个重要因素。前兆变化是在区域应力场作用下，由于浅部岩层，尤其是含水砂岩层和含油层受挤压出现的一些与地震有关的异常现象^[5]。故当震级较小、深度较大时，浅部岩层所受影响较小，异常幅度随之减小。

3.4 水汞异常与区域地震活动水平

区域地震活动水平对水汞异常幅度有影响，当地震接连发生时，水汞异常幅度有逐步增强的趋势，这可能表明地震连续发生，区域应力场逐渐增强，致使水汞异常越来越显著。有文献指出地震前兆异常幅度在地震平静期和活跃期有明显的不同，活跃期的异常幅度大于平静期^[5]。

4 分析和讨论

从上述可以看出，奇村水汞变化与区域地震活动明显相关。根据汞的地球化学特性，它有可能来源于地球较深处，其渗透性、迁移性强，并且对温度、压力的变化敏感。研究表明，岩石瞬时受压和持续受压状态下每次加压过程都可在附近的井孔中出现水汞异常^[6]。说明汞动态受应力、应变场变化的制约。地震活动是区域构造活动、应力-应变积累的结果。当地震孕育、发展、发生时，区域应力-应变场将相应增强、变化，在有利的构造条件下，作为与应力-应变场变化相呼应的水汞异常就可能出现，表现为地震的前兆反应。由于水汞动态受区域应力场控制，其前兆显示程度就会受到区域地震活动水平的影响，表现出地震平静时段和活跃时段前兆异常幅度的差异性。地震频发时，水汞前兆异常有逐次增强的趋势，孤立地震时异常幅度较小。另一方面，随着震源深度的增加，异常幅度随之减小。

奇村热田及周边大范围区域内水汞含量相同、动态一致，这一特性决定了水汞观测具有抗干扰性强、反映区域地球物理场的变化信息可靠的优点，同时这也是水汞映震灵敏的主要原因之一。此外，奇村水汞虽对区域地震活动反应灵敏，但并不是所有的异常都有地震活动与之对应，即存在有异常无地震的情况。这也可能与无震构造活动有关，需作进一步的研究。

综上所述，水汞变化是与应力-应变状况、构造条件、区域地震活动密切相关的地球化学信息，对区域地震，特别是浅源地震监测有重要的意义。

参 考 文 献

- [1] 申春生, 纪辉, 朱自强. 测汞技术在地震监测及减灾领域的应用 [J]. 国际地震动态, 1994 (7): 10~12.
- [2] 肖建华, 张瑞丰. 奇村地震水汞动态图像分析 [J]. 地球学报, 1997 (4): 407~412.
- [3] 封德俭, 田书平, 张俊民, 等. 山西奇村水汞相关性分析与区域分布特征的研究 [J]. 山西地震, 2001 (4): 26

~ 29.

- [4] 焦明若, 张国民. 地震前兆复杂性成因机理研究的讨论 (一) — 地震前兆复杂性的表现形式 [J]. 地震, 1998, (1): 14 ~ 19.
- [5] 王贵宣, 张肇诚, 郑大林, 桂燮泰. 华北北部场源前兆观测资料分析 (一) — 场源前兆特征与机制 [J]. 地震, 1997, (4): 371 ~ 379.
- [6] 国家地震局科技监测司. 水文地球化学地震前兆观测与预报 [M]. 北京: 地震出版社, 1992. 35 ~ 55.

THE DYNAMIC ABILITY TO PRECURSOR EFFECT TO EARTHQUAKES AND ANALYSIS OF ITS CHARACTERISTICS IN QICUN , SHANXI

XIAO Jian-hua¹ , ZHANG Rui-feng²

(1. Xinzhou Bureau of Seismology , Shanxi 034000 ; 2. Institute of Geomechanics , CAGS , Beijing 100081 , China)

Abstract : The parameters of mercuric gas in water at the Qicun area in Shanxi Province are mainly controlled by the regional hydrochemical characteristics of Qiding basin ; they have sensitive precursory effect to earthquakes especially to that with larger than 4.0 magnitude in Shanxi Province. The abnormal effects of mercuric gas in water are short and temporary ; But , it can provide useful information of predicting the time of earthquake , which is one of the three elements of earthquake (time , location , and scale). The abnormal effects of mercuric gas in water are also concerned with the activity level of earthquake as well as depth of earthquake and so on.

Key words : mercuric gas in water ; abnormal characteristics ; earthquake