

# 深井水位的矿震效应<sup>\*</sup>

车用太<sup>1)</sup> 马志峰<sup>2)</sup> 王尤培<sup>3)</sup>  
鱼金子<sup>1)</sup> 黄积刚<sup>2)</sup> 王 锜<sup>3)</sup>

1) 中国北京 100029 国家地震局地质研究所

2) 中国枣庄 277152 山东省枣庄地震办公室

3) 中国济南 250021 山东省地震局

## 摘 要

在系统收集与整理了 1980 年以来陶庄煤矿的矿震对鲁 15 井水位动态影响的资料基础上,研究了深井水位同震效应的特征,发现了深井水位的矿震前兆现象,讨论了深井水位矿震效应的物理机制.

主题词 矿震; 深层地下水; 水位变化; 地震前兆

## 前 言

矿震是地下采矿引起的地震现象. 由于其形成过程与天然地震有某些相似之处,国内外有些学者提出,应该利用矿震监测来探索天然地震预报(别图霍夫、斯米尔诺夫, 1983; 张少泉, 1990). 为了验证这一设想的可能性,笔者系统收集、整理与分析了山东省陶庄煤矿的矿震及其可能的前兆异常资料,发现确有形变、应力、地音等多种前兆, (车用太等, 1993), 尤其是远离震源体的鲁 15 井水位, 不仅有大量的同震效应, 而且可信的前兆现象.

## 1 矿区地质与观测井概况

陶庄煤矿位于山东省枣庄市邹坞镇之北, 为有一百多年采矿历史的老矿. 该矿为我国矿震灾害最为严重的煤矿之一, 自 1980 年以来已记录到矿震 5 591 次, 其中破坏性矿震 95 次, 最大震级可达  $M_L 3.6$ .

矿区发育有华北型地层, 主要采层为石炭系太原群的第 14 层煤与二迭系山西组的第 2 层煤. 煤层顶、底板为坚硬的石英砂岩, 利于应力集中而孕育矿震.

<sup>\*</sup> 国家地震局“八五”短临预报攻关项目研究成果之一.

1993 年 11 月 13 日收到初稿, 1994 年 4 月 27 日收到修改稿并决定采用.

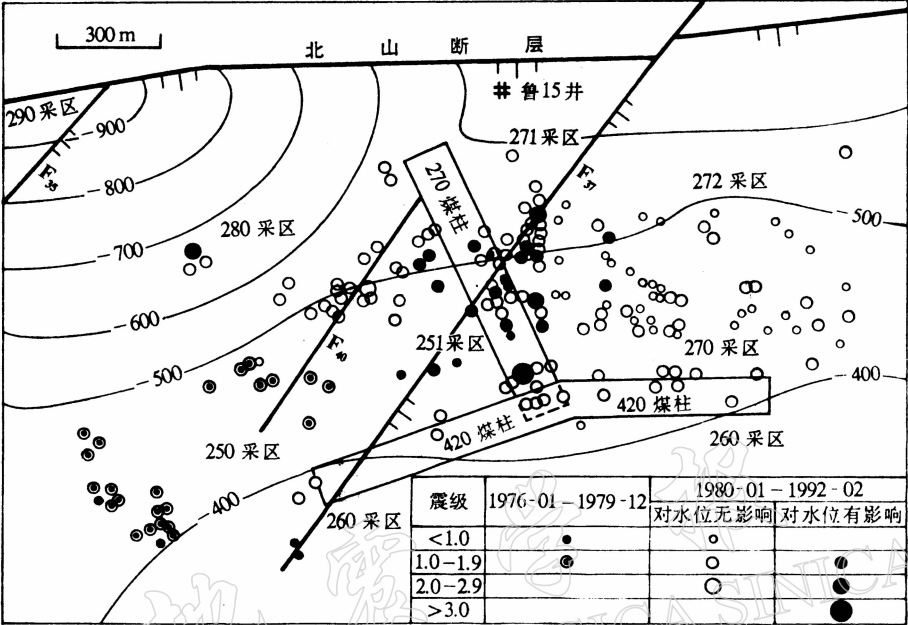


图 1 研究区地质构造与矿震分布图

矿区位于著名的郯庐深大断裂西侧的构造隆起区，存在现今构造应力场作用，区内断裂构造发育，多为高角度正断层，对矿震的分布起一定的控制作用(图 1)。

鲁 15 井位于研究区的北部，北距北山主干断裂约 200 m，东距 F<sub>37</sub> 断裂约 350 m。井深 501.61 m，揭穿侏罗系与二迭系碎屑岩层。井水位动态观测层为石盒子组砂岩孔隙裂隙承压含水层，顶板埋深为 237.57 m。

井水位埋深为 44 m 上下，年变幅为 1.0—1.5 m。现已查明，该井水位有较强的反映地壳应力应变的能力，水位固体潮日潮差可达 170 mm，由此换算出的反映灵敏度高达  $2 \times 10^{-10}$  体应变/mm。水位气压效率为 3.1 mm/hPa。井水位可记录远大地震的地震波。

1980 年以来，该井水位陆续记录到与矿震有关的大量“特异”动态。分析结果表明，主要是同震效应，95 次“特异”动态与矿震发生时间同步；还有一部分是超前于矿震发生时间的，可认为是前兆性异常。

2 深井水位的同震效应

鲁 15 井水位的同震效应，早在 1982 年就发现<sup>①</sup>，随后开始研究(张昭栋等，1991)，但因资料有限，只限于某些典型现象的分析。本研究以全部矿震资料与井水位“特异”动态资料为基础，全面分析了井水位同震效应的形态特征，以及与震级、震中距的关系等。

2.1 井水位同震效应的形态特征

井水位同震效应的基本形态是下降型的，这与矿震发生后震源体应力释放导致矿区

① 靖继才，1983，私人谈话。

应力松弛的机制是相符的。然而，具体形态是多种多样的，大体上可归纳为 V 字形、U 字形、L 字形、一字形、脉冲形与单斜形等 6 种(图 2)。其中，U 字形与一字形最为多见，L 字形、单斜形与 V 字形也较多见，但脉冲形只见 1 次(表 1)。

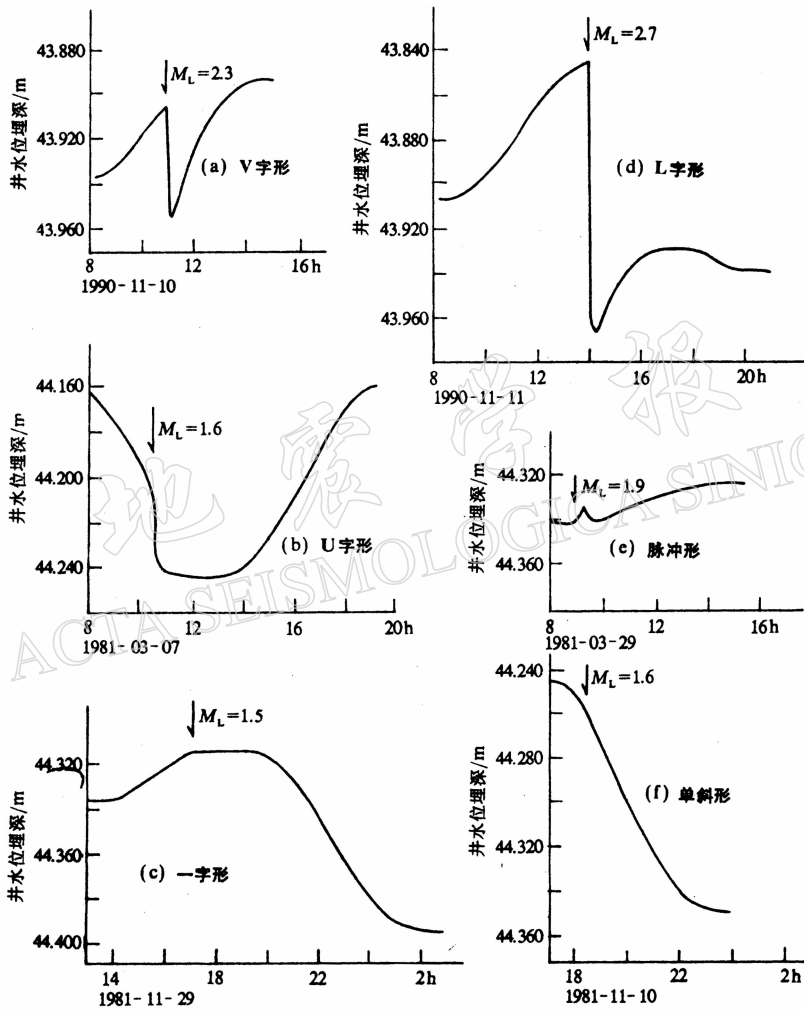


图 2 井水位同震效应的典型形态

井水位同震效应形态的多样性，与矿震的震级、井水位背景等多种因素有关(表 1)。V 字形与脉冲形动态多见于震级较高时，这与室内岩石力学实验中高应力(应力积累高)突然破裂引起孔隙压力大幅度快速下降的现象非常吻合；一字形动态多见于震级较低时。V 字形与 U 字形动态多见于矿震时井水位正处在上升或谷底的背景时，而一字形多见于水位背景为上升或顶峰时，单斜形多见于井水位下降背景时。这样的形态特征，说明了井水位对力学作用的反映特征，不仅取决于力学作用的强度，而且还与井水位背景动态有关。

表 1 井水位同震效应的形态特征及其影响因素

形态类型	出现次数	矿震的震级( $M_L$ )			矿震前的水位动态背景			
		最高	最低	平均	上升	下降	峰顶	谷底
V 字形	8	3.2	1.5	2.15	4	1	0	3
U 字形	29	1.9	1.0	1.47	8	2	2	17
L 字形	17	2.7	1.0	1.58	0	4	9	4
一字形	25	1.6	1.0	1.29	15	2	7	1
脉冲形	1	1.9	1.9	1.90	0	0	1	0
单斜形	10	1.9	1.0	1.47	0	6	3	1
小 计	90	3.2	1.0	1.51	27	15	22	26

2.2 井水位同震效应的显示特征

井水位的同震效应并不是对每个矿震都有显示,而只显示一部分矿震(图 1).井水位的这种有选择性的显示能力,暂可定义为显震能力,可用井水位显示矿震的次数与发生矿震的总次数的百分比表示.

分析结果表明,井水位的显震能力主要与矿震的震级、井震距等多种因素有关,与震级的关系列于表 2 中,表现出随震级的增大显震百分比也有规律地提高,与井震距的关系列于表 3 中,表现出随井震距的增大显震百分比有规律地下降.井水位的显震能力还与采区的位置、深度及月相等有一定关系,一般说来,井水位对发生在 270 采区与 272 采区的矿震显示好,对 400—600 m 深度上发生的矿震显示好,对朔望日发生的矿震显示好.这样的特征说明了,井水位对地壳应力作用的反映是有规律的,基本上取决于应力作用的强度、作用点与观测层间的距离与观测层的应力状态.

表 2 井水位显震能力与震级关系统计表

震 级	≥1.0	≥1.1	≥1.2	≥1.3	≥1.4	≥1.5	≥1.6	≥1.7	≥1.8	≥1.9	≥2.0
发震次数	2 688	1 870	1 318	887	548	209	85	21	18	12	7
显震次数	90	81	75	72	65	50	39	13	12	11	7
显震率(%)	3.3	4.3	5.7	8.1	11.9	23.9	45.9	61.9	66.7	91.7	100

表 3 井水位显震能力与井震距关系的统计表

井震距/ m	≤500	≤600	≤800	≤1 000	≤1 200	1 500	≤2 000
发震次数	1	10	40	68	86	93	95
显震次数	1	6	23	31	34	35	35
显震率(%)	100	60	57.5	45.6	39.5	37.6	36.8

对于 V 字形、U 字形与 L 字形等同震变化的幅度( $H$ )与震级( $M$ )间关系的定量分析结果为

$$\lg H = 0.999(M - 1.3) + 1$$

与井震距的关系尚难建立定量关系.

3 井水位的矿震前兆

系统分析矿震发生时间与井水位同震下降起始时间差时发现,部分同震效应的水位

下降起始时间超前于矿震发生时间，而且超前的时间可达数分至数十分钟。例如，29 次 U 字形同震水位下降起始时间中，5 次超前 5—9 min；25 次一字形下降中，6 次超前 2—30 min。这样的超前现象中，可能隐含有矿震的前兆异常。

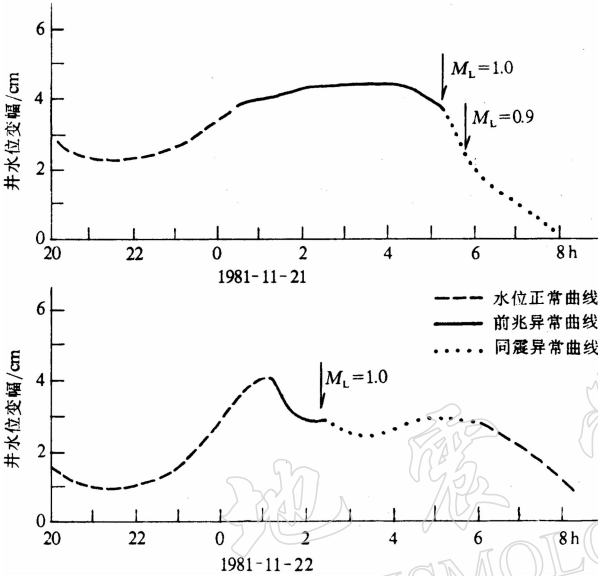


图 3 矿震前井水位的前兆异常实例

更加明显的前兆现象是出现在同震效应之前(如图 3 所示)。1981 年 11 月 22 日 02 时发生  $M_L 1.0$  矿震前的 01 时，井水位由上升转入下降，正常水位固体潮曲线发生畸变。这一异常持续了约 1.5 h 后发生矿震，震后有同震下降。

为了进一步寻找矿震的前兆并分析其特征，进行了数据处理。处理的主要方法是根据矿震发生前一日的水位与重力理论固体潮间的比值关系(Bg)，预测矿震发生当日的水位固体潮理论曲线，并与实测水位曲线进行比较。处理 43 次矿震前后的水位资料结果，38 次矿震前都显示出一定的异常。但异常的表现形式并不一样(图 4)，58% 的矿震前水位异常是下降型的，但 21% 的异常是上升型的，还有 21% 是升降起伏型的。对部分异常资料，还进行了水位时值数列的时变滤波处理，其结果异常信息显得更加明显(图 5)。矿震前数小时至十几小时前确有井水位的突变前兆异常信息。

值得注意的是，发生在  $M_L \geq 2.0$  的矿震前出现的井水位较长时间的异常变化(图 6)。在 7 次较大矿震前发现了为期 1—3 个月、以下降为主、降幅为 500—1 000 mm 的异常现象。

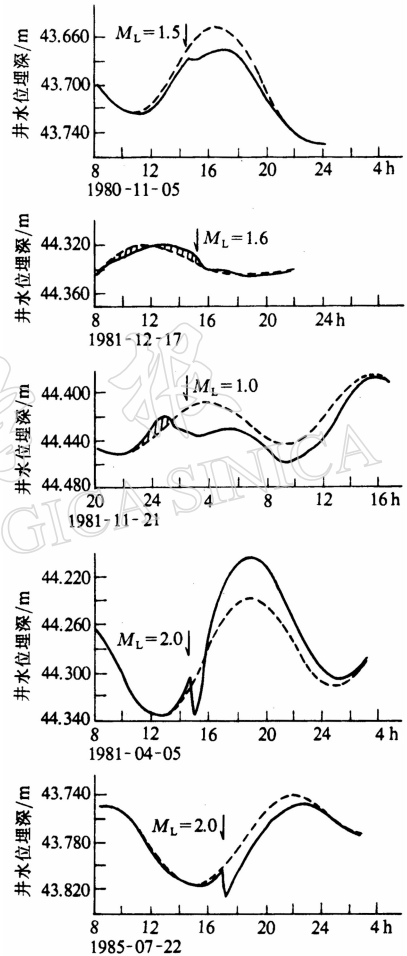


图 4 矿震前井水位固体潮异常的部分实例

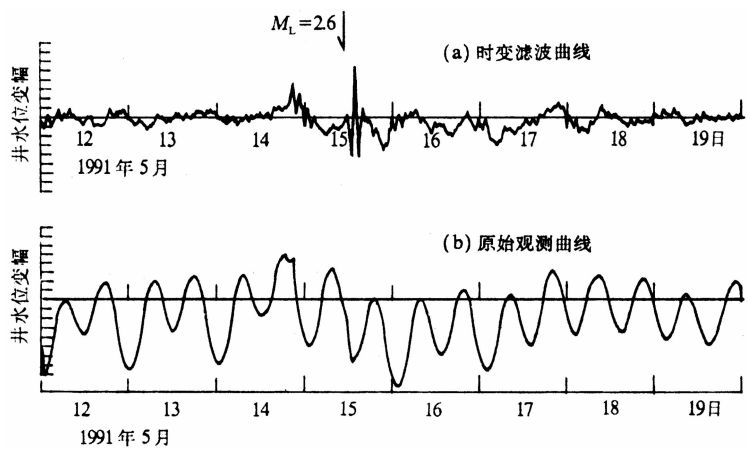


图 5 矿震前后井水位的时变曲线(据郑治真等, 1994)

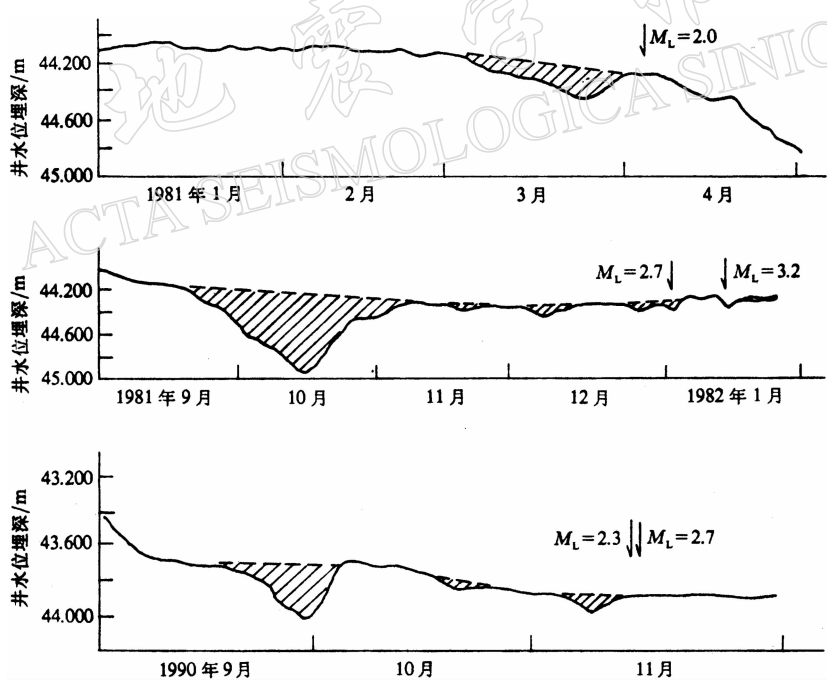


图 6 矿震前较长时段内出现的井水位异常变化

综上所述, 矿震前井水位有前兆异常, 不仅有震前数分钟至数十小时时段内出现的“短临”异常, 而且还有数天至数十天时段内出现的“中短期”异常. 其形态以下降为主, 但也有部分上升与升降起伏. 其幅度主要与震级呈线性正比关系, 随井震距的增大而变小.

## 4 认识与讨论

通过上述研究,可以得到如下基本认识,并就此作简要讨论:

(1) 通过矿震及其前兆的观测研究,可以得到很多大尺度的地震预报实验场与小尺度的室内岩石力学实验无法得到的、有关地震孕育与发生及其前兆表现的真实可靠的信息. 因此,利用矿震等工程场地开展中尺度的观测研究,无疑对天然地震前兆场物理机制和有物理基础的预报方法研究有着积极的意义.

(2) 深井水位对矿震的反映是相当灵敏的,不仅有很好的同震效应,而且有可靠的前兆异常. 前兆异常的特点与天然地震的震前异常有某些相似,如形态的多样性与下降型为主,震级高的地震前出现的异常时间长等. 但另一方面,矿震的前兆异常的规律性更加明显,如震级与异常幅度成正比,异常幅度随井震距的加大而变小的趋势等. 这些相似性与差异性的进一步研究,会有助于更加科学地理解天然地震的前兆特征.

(3) 深井水位的矿震效应特征,从多方面说明了,无论是震前异常还是震时效应,都是矿震孕育与发生的力学过程的反应,其内在联系是勿容置疑的. 这为进一步推进地下水位动态预报地震的理论与方法的探索提供了扎实的科学基础.

(4) 目前一般认为,震源直接派生出的前兆场尺度是震源体尺度的 2—3 倍. 据震后实地考察结果,矿震的震源体大小,1.0 级为几至十几米,3.0 级以上为不足百米. 然而,深井水位的“映震距”可达一、二千米,远远超出上述的范围. 这种事实,可能说明了矿震震源体的尺度不等于孕震体的尺度,后者的尺度可能远远大于前者. 因此,一个强大的天然地震孕育的空间尺度可能是相当大的. 相应的前兆异常显示的区域范围也不会小,绝不限于震中及其邻近区. 如果是这样,当今国内外试图把地震预报的方法单纯地建立在震源发展的模式之上的想法与做法是值得商榷的.

本项研究过程中,得到了国家地震局地球物理研究所张少泉与郑治真二位研究员的热情指导和陶庄煤矿宁挺文与枣庄矿务局丁培成二位工程师的积极协助,在此致以谢意.

## 参 考 文 献

- 别图霍夫, N. M.、斯米尔诺夫, B. A. (著), 1983. 李树菁(译), 1989. 对矿山冲击地压的预测与预防. 苏联地震预报译文集, 292—297. 地震出版社, 北京.
- 车用太、王□、黄积刚、宁挺文、丁培成、王安滨、王尤培、马志峰、鱼金子, 1993. 矿震及其前兆初探. 中国地震, **9**, 4, 334—340.
- 汪成民、车用太、万迪□、董守玉, 1988. 地下水微动态研究, p. 47. 地震出版社, 北京.
- 张少泉, 1990. 自然破裂与地震的整体观. 地震, **6**: 41—52.
- 张昭栋、郑金涵、靖继才、张广城, 1991. 陶庄矿山诱发地震对承压井水位的影响. 华南地震, **11**, 4, 75—82.
- 郑治真、马志峰、沈萍, 1994. 煤矿井水位观测资料中微弱孕震信息的提取. 中国地震, **10**, 4, 36—41.