

震前地下水中硫化氢气体的 短临前兆特征*

蔡仲琼 高德媛 紫丽曼

(新疆维吾尔自治区地震局)

摘 要

本文以实际震例为依据,叙述了天山地震带中强地震前地下水中硫化氢气体的短临异常特征。以硫化氢气体为例,对地下气体的地震前兆机理进行了粗浅的讨论。指出中强地震前,硫化氢气体普遍出现短期异常变化,临震突变现象也比较清楚。硫化氢气体在短临异常阶段的特征具有动力过程(应力应变能的预释放)的突发性、气量增长的突变性和异常时间的短促性。文中还对前兆近场和前兆远场在不同孕震阶段中的受力状态和异常特征进行了分析。认为主破裂前的加速蠕滑和微破裂以及由此而产生的超声振动和低频形变波的传播是临震前地下水中硫化氢气、氦气和其他气体浓度普遍增高的主要原因。

一、硫化氢观测点的地质及地球化学背景

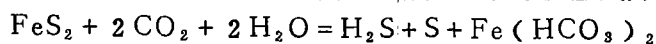
在地震的孕育、发生和发展过程中,地下流体介质和岩石团体介质一起承受着地壳构造应力的作用,并通过水压、油压和气体流出量等的变化表现出来。在不同的地震活动带内,地质构造、水文地质结构和地球化学背景各不相同。因此各地震带赋存的地下气体成分及其分布特征各不相同,大地震前出现的地球化学异常组分可能也是不同的。

天山地震带内,油气矿藏和含煤地层十分丰富,它们是在还原或半还原的地球化学环境、封闭或半封闭的地质构造背景中形成的。在地震活动期间,往往伴随有甲烷、硫化氢、二氧化碳等气体的异常运移。据此,我们在乌鲁木齐地区设立了三个硫化氢气体观测点。这三个点位于北天山褶皱隆起带的边缘及其山前坳陷地带。出露于二迭纪的砂泥岩、灰岩夹少量油页岩层以及侏罗纪的砂砾岩、砂页岩和煤系地层中。这三个点还处于本区的活动断裂带附近或断裂带的交汇与转折部位(图1)。

硫化氢是化学活泼性气体。天山地区含硫化氢的矿物水多出露于地壳中的巨大构造破坏

* 参加实验室工作的还有王道、何先全、徐士中、陈玲、刘敏、王书金等。

地区及尚未被堵塞的裂缝地区,如温泉集中的活动断裂带部位。硫化氢是由于沥青粘土、泥煤,煤及石油与含有硫酸化合物的水相互作用而形成的。化学反应式为:



含有硫化氢的地下水在向地表运移的过程中,与浅层地下水混合,使它的化学成分和地球化学环境参数发生了变化。表1列出各观测点的地下水地球化学环境参数。

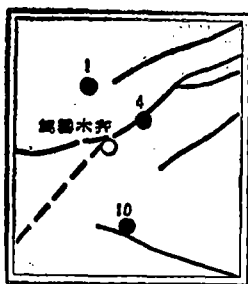


图1 乌鲁木齐地区
硫化氢观测点分布图

二、硫化氢震前异常的震例

地震前观测到地下水中硫化氢气体含量有明显的变化,主要表现为短期异常十分明显,还经常出现临震突变现象。近几年来,新疆地区地下水中的硫化氢组份与水氢一样,已经成为预报地震的主要指标之一。

自1973年以来,距乌鲁木齐观测点520公里范围内发生4.3—7.1级地震14次。其中地下水中硫化氢含量有短期异常反应的12次,有临震突变反应的8次。有的是三个点同时出现异常,有的是个别点有异常。由表1可知,三个硫化氢观测点的

硫化氢观测点地下水地球化学环境参数

表1

观测点号	出露地层	地下水化学类型	硫化氢含量 (毫克/升)	矿化度 (克/升)	酸度 (PH)	水温 (T℃)
1	上部为第四系砂砾石含水层,下部为侏罗系砂砾岩、煤系地层。	$\text{HCO}_3^{50}\text{Cl}_{28}\cdot\text{SO}_4^{18}\cdot\text{CO}_3^9$ $\text{Ca}_{54}\text{Na}_{34}\cdot\text{Mg}_{12}$	5~15	0.87	8.4	11~15
		$\text{HCO}_3^{45}\text{SO}_4^{29}\cdot\text{Cl}_{21}\text{CO}_3^6$ $\text{Ca}_{74}\text{Mg}_{14}\text{Na}_{12}$	45~60	0.88	8.0	7~11
4	盘为二叠系砂泥岩、灰岩夹油页岩南层,北盘为侏罗系煤系地层。	$\text{SO}_4^{32}\cdot\text{Cl}_{30}\cdot\text{CO}_3^{19}\cdot\text{HCO}_3^{19}$ $\text{Na}_{99.8}$	45~65	7.87	9.7	19.6~20.0
10	二叠系砂泥岩、砾岩、灰岩夹少量油页岩层	$\text{SO}_4^{39}\cdot\text{HCO}_3^{35}\cdot\text{Cl}_{25}\cdot\text{CO}_3^6$ $\text{Na}_{74}\cdot\text{Mg}_{15}\cdot\text{Ca}_{11}$	2~4	1.33	8.6	11.3

地质构造条件和地球化学环境不同,硫化氢的背景含量相差较大。因此它们在地震前的异常反应是不一样的。4号温泉主要表现为短期异常十分明显,很少出现临震突跳。10号裂隙泉主要表现为临震突跳,基本上不出现短期异常。就是在同一个观测点上,由于在不同的季节里水文地质动力条件的改变,地震前的反应也不一样。1号井在冬半年水源是以深层地下水补给为主,地震前主要表现为短期异常;夏半年以表层潜水补给为主,地震前主要表现为临震突变异常。在某些地震前,4号温泉与1号井往往同步出现短期异常。临震前,10号泉与1号井又可能出现突跳现象。但某些地震前又可能只有某一个观测点出现异常的情况。例如库车6.0级地震前三个观测点先后出现同步异常。1978年底,我们曾根据硫化氢与水氢的趋势异常背景,提出1979年内,在距乌鲁木齐200—400公里范围内可能发生大于5.5级的地震。12月以后,1号和4号温泉的硫化氢组份相继出现明显的短期加速异常,1979年2月至3月初短期异常转平。据此又提出短临预报意见。此后约二十天硫化氢含量平稳。但在3月

28日, 10号泉的硫化氢含量突然从多年平均值 3.31 毫克/升猛增至 7.96 毫克/升。在距乌鲁木齐 360 公里的库车地区发生了 6.0 级地震(图 2)。

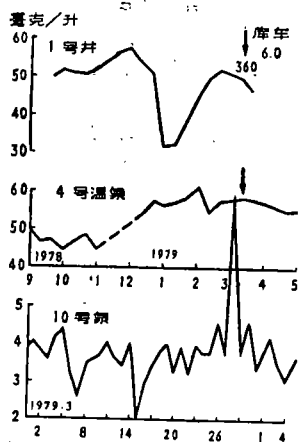


图2 库车地震前硫化氢的短期异常与临震突变

短期异常反应较好的是 4 号温泉和 1 号井。4 号温泉观测点位于乌鲁木齐地区主要活动断裂——妖魔山断裂带上, 水的温度较高, 矿化度较大, 循环较深, 能比较灵敏地反应地下应力应变的变化。例如在 14 次中强地震前, 有短期异常反应的 11 次。图 3 是 1973 年以来的硫化氢旬均值连续曲线。曲线表明, 在每次地震前硫化氢气体的含量明显增加, 并且是在数值下降或下降以后发生地震, 异常延续时间 43—120 天不等, 异常上升幅度达 10—44%。

1 号井水是基岩承压裂隙水与第四系表层潜水的混合水。硫化氢气体是溶解于基岩裂隙水中的。在冬季, 表层潜水位下降, 下复承压裂隙水位相对上升, 它主要接受深层基岩水的补给。这时, 水中硫化氢的含量增大, 对地下应力应变的反映也相对灵敏。如在 14 次中强地震前, 有短期异常反映的共 9 次。地震前, 往往出现 1—3 个月的短期异常变化, 异常变化幅度可达 78—150%, 但它往往显示负异常,

当负异常恢复后即发生地震。震例数据统计见表 2。

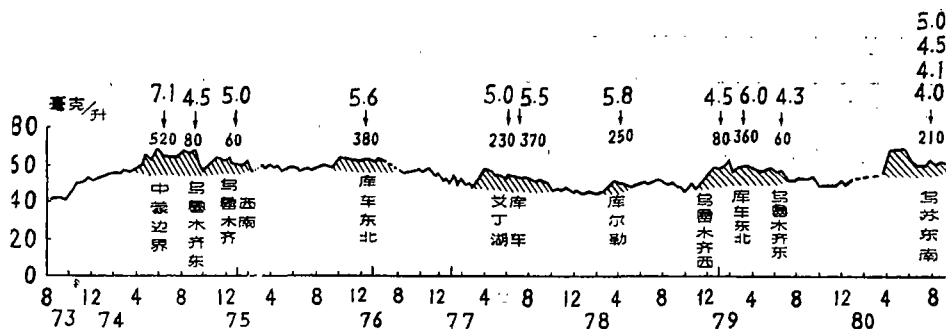


图3 4号温泉硫化氢气体旬均值连续曲线

10号承压裂隙泉及 1 号井(5月—10月)硫化氢含量的临震异常反应较好。

在 10 号泉水中, 硫化氢含量较小, 多年平均含量仅 3.31 毫克/升。地震前几小时至十几天, 往往出现大量值的临震突跳正异常。突跳幅度达 50% 以上, 最大可达 140%。从 1973 年对 10 号泉进行观测以来, 硫化氢气体含量大于 5.0 毫克/升的共出现过十次。其中两次突跳以后没有对应地震, 两次对应了近处的小震群, 六次对应了控制区以内的 4.0 级以上中强地震。也就是说, 当 10 号泉硫化氢含量大于 5.0 毫克/升(大于 50%)时, 发生中强地震的可能性为 60%。但并不是说有地震就有突跳。例如本区 1973 年以来的 14 次中强地震中, 只有五次地震前出现过临震突跳现象。10 号泉的突跳异常图式见图 4。

1 号井(5—10月)的井水补给来源主要是表层潜水和灌渗水。它受外界干扰比较严重, 硫化氢含量从冬季的 45—60 毫克/升, 下降到 5—15 毫克/升。但地震前也经常观测到几天至十几天的临震突升现象(表 3)。

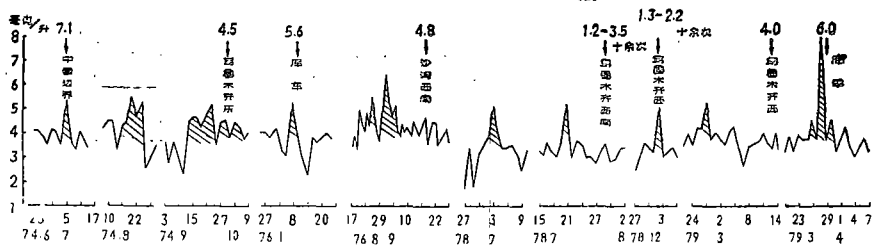


图4 10号泉硫化氢的临震突变震例图式

1号井硫化氢短期异常震例

统计表(1~5月) 表2

发震时间	地 点	震级	震中距 (公里)	异常 时间 (天)	异常 幅度 (%)
1974.7.5	中蒙边界	7.1	520	220	96
1975.1.14.	乌鲁木齐西南	5.0	60	45	78
1975.3.31	青 河	6.0	420	60	32
1976.1.10	库车东北	5.6	380	35	117
1977.6.23.	艾丁湖	5.0	230	140	33
1977.7.23.	库 车	5.5	370	170	
1978.4.22.	库 尔 勒	5.8	250	77	124
1979.3.29	库车东北	6.0	360	76	150
1980.8.19 ~28	乌苏东南	4.0~ 4.9五 次5.0 一次	210	150	92

1号井硫化氢临震突变

震例统计(5—10月) 表3

发震时间	地 点	震级	震中距 (公里)	异常 时间 (天)	异常 幅度 %	突跳至 地震天数
1976.9.18	沙湾西南	4.8	193	9	55	5
1977.7.23	库 车	5.5	370	18	340	8
1978.4.22	库 尔 勒	5.8	250	13	30	6
1979.7.9	乌鲁木齐东	4.3	40	4	90	5

三、硫化氢气体的短临异常特征

从前面列举的震例不难看出，硫化氢气体的短临异常具有以下特征：

- 1. 硫化氢气体短临异常的出现往往是突发性的。
- 2. 硫化氢气体的短临异常形态主要是正异常。只是在水文地质多层结构或不同含水层被勾通等特殊条件下，才有出现负异常（如1号井）的可能。
- 3. 硫化氢短临异常形态的重复性较好。它的简化图式如图5所示。
- 4. 硫化氢短临异常的简化图式与水氧的趋势异常图式（图6）在形态上正好相反。这是由于气体趋势异常图式是应力应变能在逐渐积累阶段的异常形态反映，气体短临异常图式是应力应变能在突发性预释放阶段的异常形态反映。它们显示了地震孕育过程中的两个完全不同的物理过程。因此，根据不同异常形态来识别趋势异常和短临异常，抓好短临预报以捕捉临震信息是很有必要的。
- 5. 硫化氢的临震突变异常量值大、时间短。在近场区，往往突跳后几天到十几天发震；在远场区，往往突跳后几小时至两天发震。因此根据硫化氢的突发性异常判断发震时刻，缩

小预报发震的范围是有可能的。

6. 地震强度大或两个以上地震异常相互叠加时, 异常持续时间长; 地震强度小时异常持

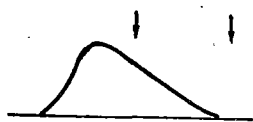


图5 硫化氢气体
短期异常示意图

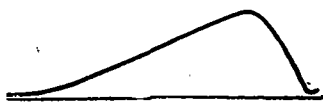


图6 水氦趋势异常示意图

续时间短。因此可根据异常持续时间来判断地震的强度。

7. 硫化氢短临异常与水氦短临异常比较, 形态上基本相似, 异常控制范围大体相仿。这种现象可能揭示出各地下气体在孕震过程中具有某种共同的物理基础。另外, 氦水是在积极循环带中形成的, 硫化氢水是在缓慢交替带中形成的。因此, 当水中硫化氢含量较高时, 氦的含量可能较低。这时应该把硫化氢气作为监视预报地震的主要化学指标。

8. 硫化氢的短期异常时段与水氦的短期异常时段、波速比的回返阶段及 b 值的回升阶段同步相关性良好。说明这些前兆手段之间可能具有统一的前兆物理场。因此在进行预报时要因地制宜地进行多手段综合分析。

9. 不能忽视外因的调制或触发作用。例如十号泉的硫化氢气体有八次突跳异常对应了地震。其中4次突跳距发震时刻为几小时至两天, 其余三次为倍九日期的正负两天。只有一次例外。

四、关于硫化氢前兆机理的讨论

与地下液体比较, 地下气体的比重小, 活动性大, 能溶解于水和石油中, 并具有填充整个地质构造岩石孔隙的能力。在构造应力作用下, 震源区及其外围将产生弹性形变、扩容、断层蠕滑及弹性—塑性波的传播等。它们都可以引起地下气体的动态发生变化。在地震孕育的不同阶段地下气体的动态变化特征将是不同的。在同一孕震阶段, 距震中远近不同, 受力状态也不同, 但地下气体含量增长的特点却大体相同。

在扩容阶段, 震源区及其附近(近场区), 由于地下应变的作用产生了微裂隙和矿物晶格的破裂, 聚集在岩石中的气体被释放出来, 使地下气体的含量增加。在远场区, 地下应力产生的应变十分微弱。但由于地下应力的作用, 对压力、温度反应极灵敏的岩圈气体仍可通过地下已经存在的裂隙被挤出, 使气量增加。可见无论是在前兆近场区或远场区, 在扩容阶段都显示出动力过程(应力、应变能的积累过程)的缓慢性、气量增长的渐变性和异常时间的持续性等特点。只是由于受力状态不同, 近场区比远场区的气量增长幅度大, 异常持续时间也较长。

在主破裂前, 地下应力由积累阶段迅速地发展为应变能的预释放阶段。在震源区及其附近, 应力应变能的预释放是通过微破裂和蠕滑进行的。这种能量的局部释放导致扩容裂隙的闭合和宏观裂缝的串通^[1]。裂隙闭合造成孔隙压力增高, 溶解于地下水中的气体含量增大。

同时宏观裂缝的串通给深部气体上涌提供了通道,还可使不同含水层间相互勾通,造成化学成份和气体含量的大幅度变化。

当震源区及其附近产生众多微小裂缝和微小错动的同时,还将发射出频率极高的超声振动波。这种超声振动使岩石的射气系数增加,吸附系数减小并可导致有机矿物质的机械化学分解速度增大数十倍〔2〕,使层间水中溶解气体和自由气体的含量增加并使气体中出现新组份。与产生超声振动的同时,由于震前蠕滑速度的增大,还将激发出超长周期的波动——低频形变波的幅射与传播,它同样将引起震前气体含量的增高。

由此可见,主破裂前的加速蠕滑和微破裂以及由此而产生的超声振动和低频形变波的传播,是临震前震源地方的两个主要动力过程,它们是造成临震前地下水中的硫化氢气、氦气和其他气体浓度增加的主要原因。在前兆近场区以加速蠕滑、微破裂及超声振动作用为主。在前兆远场区以低频形变波的传播作用为主。无论是在近场区和远场区,都显示出动力过程(应力应变能的预释放)的突发性、气量增长的突变性和异常时间的短促性等特点。由于受力状态与背景条件的差异,异常持续时间往往随震级的增大而增加,随震中距的增大而减少。

以上讨论是从我们的实际工作中得出的某些概念与设想。谨望引起争议,以推动利用地下水预报地震的方法及理论的提高。

(本文1981年4月13日收到)

参 考 文 献

- 〔1〕朱令人,震源模式、断层蠕滑和形变波的传播——源和场的初步探讨,西北地震学报, Vol. 1, №. 2, 1979.
- 〔2〕В.П.Царев, О.Л.Кузнецов, Экспериментальное Изучение Физико-химических Процессов В Горных Породах при Не-Больших Упругих Деформациях, Физика Земли, №. 6, 1978.
- 〔3〕郭增建、秦保燕,震源物理,地震出版社,1979.
- 〔4〕А.В.Шербаков, Сероводород В Подземных Водах, Природа, №. 2, 1980.

PRECURSORY CHARACTERISTICS OF HYDROGEN SULFIDE IN GROUND WATER IMMEDIATELY BEFORE EARTHQUAKES

Cai Zhong-qiong Gao De-yuan Zi Li-man

(*Seismological Bureau of Xinjiang Uighur Autonomous Region*)

Abstract

In this paper, based on the abundant seismic facts, the abnormal features of hydrogen sulfide in ground water immediately before the occurrence of moderate and strong earthquakes in the Tianshan seismic zone are described. A preliminary discussion on the seismic precursory mechanism of underground gases is made. It is noted that, before moderate and strong earthquakes, as a general rule, abnormal changes with hydrogen sulfide for a short period of time take place. Mutation phenomena immediately before earthquakes are also obviously observed. Characteristics of hydrogen sulfide during the period immediately before earthquakes are as follows: the suddenness of dynamic process (pre-release of stress strain energy), the mutation characteristics of gas amount increase and the short duration of the abnormal stage. Besides, here also an analysis for the state of subjection to forces and the abnormal characteristics of the precursory near fields and far from fields in various stages of earthquake pregnancy is made. It is considered that the accelerated creep slipping and the appearance of microcracks prior to that of main cracks and the propagation of supersonic vibrations and low frequency deformation waves produced therefrom is the main reason for the universal increase in the concentration of hydrogen sulfide, radon and other gases in ground water shortly before earthquakes.

In recent years, hydrogen sulfide has become one of the main indices used for predicting earthquakes, and good results have been obtained.