

新疆天山地震带的地震流体地质效应

蔡仲琼

(新疆维吾尔自治区地震局)

摘 要

天山地区的高压自流水、高压油气藏及地热异常区的出露与天山地震带分布的一致性表明,孔隙水压异常高的动力条件可能成为触发浅源地震的重要机制。本文以丰富的震例为依据,认为天山地震带中强地震前地下流体出现两类异常:一类是应力应变能积累阶段的趋势性异常;一类是应力应变能预释放阶段的临震突发性异常。两类异常在形态上和时空分布上有完全不同的特征,它们显示出地震孕育过程中的两个完全不同的物理、化学过程。

地下流体分布与地震活动的关系

从第三纪末到现代,天山地区新构造运动十分强烈,新构造运动的最显著标志是地震活动频繁。自1900年以来的80多年中,在天山地区共发生大于六级的地震近40次,其中七级以上的地震12次,大于八级的地震两次,平均每两年约有一次六级以上的地震发生。

天山地区的强震活动主要分布在山前拗陷带及其邻近地区,并与本区的高矿化承压水、高压油气藏、热流异常及泥火山的出露与分布大体一致(图1)。

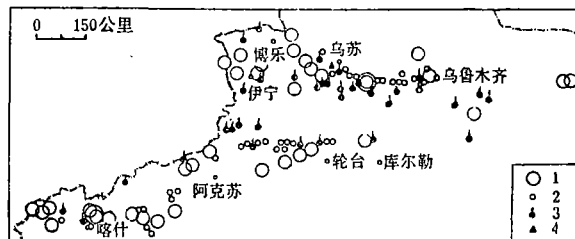


图1 天山地震带地下流体的出露及地震震中分布图

1. $M \geq 6$ 2. 高压油、气、水出露点 3. 温泉 4. 泥火山

Fig. 1 Outcrop of underground fluid and epicentral distribution for the Tianshan earthquake belt

天山地震带的地下流体分布具有以下特点:

(1) 天山山前拗陷带分布着巨厚的中新代岩层,其中易透水的砂岩、砾岩和弱透水

的泥岩交替沉积, 给高压自流水的形成提供了有利的埋藏条件。天山融雪水通过岩层的裂隙和断裂带直接补给中新世地层, 使山前拗陷带中形成了水头高、储量大的高压自流水。同时, 中新世的砂砾岩和泥岩互层厚度大, 有机质丰度高, 转换条件良好, 并有相应的生储盖油气组合, 因此形成了天山山前拗陷带丰富的高压油气矿藏及与之相伴生的油田水和其它高压自流水。天山山前拗陷带是地下流体生成、储存与运移的主要场所, 地下流体(水、气、石油)的压力高, 流量大, 有硼、碘、环烷酸、二氧化碳、甲烷、硫化氢、铵、氟等化学组份的富集。

(2) 在规模较大的活动断裂带及其交汇部位, 在不同构造体系的交汇复合部位以及某些火成岩体分布处, 是温泉集中出露的地方。据不完全统计, 约有温泉30余处, 主要集中分布于天山中段和西段, 其水温较高, 溢出气较丰富, 水热活动强烈。

(3) 地下流体出露点的展布方向与天山主要构造带的方向大体一致, 为东西向、北西向和北东向三组。

(4) 天山地区地下流体出露点的密度、流体活动强度和水热活动程度有自东向西逐渐增强的趋势, 构成本区地下流体展布的基本格局。

自1900年以来在天山地震带发生的40次六级以上地震中, 约有35次(90%)分布在地下流体密集出露的天山中段和西段。如库车地区高压自流水众多, 油气矿藏广布, 仅天然油气苗和硫化氢泉的地表露头就有近80处之多, 自1906年以来, 在这里共发生六级以上地震5次, 5—6级中强地震多达30余次。又如玛纳斯—精河—尼勒克—温泉县一带, 高压油气藏与高压自流水十分丰富, 显示地热异常的温泉点呈带出露, 并有泥火山和气泉多处, 构成了较典型的地下流体异常带。本带历史地震的频度大、强度高, 在北天山地区发生的16次六级以上地震中, 有13次(80%以上)发生在本带内。1906年玛纳斯8.4级大震就发生在本带清水河子断裂带附近。

天山地区地下流体异常带与地震活动带分布的一致性给本区开展地震流体地质工作提供了有利的观测试验场所。同时表明, 地下流体参与了地壳的各种运动, 特别是在构造地震的孕育和发生中, 孔隙水压异常高的动力条件可能成为触发浅源地震的重要机制。

二、地震活动期地下流体的异常运移

1. 地下流体在应力应变能积累阶段的异常运移

(1) 孔隙水压变化

1980年11月6日玛纳斯南5.8级地震前, 距震中120公里的乌鲁木齐11号井观测到持续4个月的水位下降异常, 下降幅度达40多厘米。

1977年6月26日吐鲁番艾丁湖东南5.0级地震前, 位于震中西北70公里的奇格布拉克机井水位上升约90厘米, 震后水位稍有下降, 但仍处于高值状态。

(2) 油量增加

1977年7月23日, 库车北5.5级地震前, 位于震中附近的依奇克里克油矿产油量明显增加, 持续时间达5个月, 于高值期发生地震, 震后产油量恢复正常。

(3) 地下水中溶解气体含量变化

1978年4月22日库尔勒5.8级地震前, 距震中250公里的乌鲁木齐观测点观测到2个半月

的水氢异常, 1979年乌鲁木齐4.5、4.3级与库车6.0级地震前后, 乌鲁木齐温泉水中硫化氢含量出现异常变化。

(4) 其它化学组分的变化

地震前曾多次观测到地下水变色、变味、发浑等宏观现象, 这是水中离子组分和有机质PH值等变化引起的(图2)。

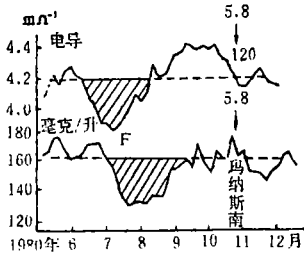


图2 电导、 F^- 短趋势异常变化

Fig. 2 Abnormal variation of short tendency for conductance and fluoride

2. 地下流体在应力应变能预释放阶段的异常运移

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断层蠕滑进行的。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。裂隙闭合造成孔隙压力增高, 地下水位上升, 石油井自喷, 并使溶解于地下水中的气体含量增大。宏观裂缝的串通给深部流体上涌提供了

通道, 而且可使不同含水层相互沟通, 造成化学成份和气体含量的大幅度变化。

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^[2], 它们是造成地下流体和其它前兆临震突变的主要原因。在近场区以加速蠕滑、微破裂和超声振动为主, 在远场区以低频形变波的传播为主。但无论是近场区或远场区, 都显示出动力过程(应力应变能的预释放)的突发性, 流体运移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, 突变异常至发震时间往往随震中距的增加而减少。

在天山地震带一些中强地震前, 观测到了临震突变现象。

(1) 临震前地下水位的反向运动

1980年11月6日玛纳斯5.8级地震前, 距震中120公里的乌鲁木齐11号井水位一直处于下降状态。11月1—6日地震前水位变化平稳, 6日09时34分地震前后, 水位突然反向急速回升, 回升速度由快至慢, 11日后渐趋稳定。

(2) 油井自喷

1979年7月9日乌鲁木齐东4.3级地震前廿余天, 距震中约25公里的魏家泉石油井突然自喷, 喷高达10米以上, 自喷时间较短, 喷后水位大幅度下降。当水位恢复正常时发生地震。

(3) 水氢临震突变

1982年10月8日乌鲁木齐4.1级地震前12天, 距震中6公里的水氢值发生突跳, 突跳幅度达24%。

(4) 硫化氢含量突升

1979年3月29日库车6.0级地震前一天(28日), 距震中360公里的乌鲁木齐温泉点的硫化氢含量发生大量值突升, 突升幅度达127%。

3. 地下流体在大震应变能释放与调整阶段的异常运移

强震发生时对地下流体的影响在震中区及其附近有大量显示。1902年8月22日阿图什

8 级大震时，从地震烈度Ⅴ度区到Ⅶ度区内普遍出现喷沙冒水现象。1906年12月23日玛纳斯西南8.0级大震时沿地裂缝喷沙冒水，震后，震中区井水量明显增加，震中以北20公里处泉水量显著减少。1961年4月14日巴楚6.8级地震后，也特克里牧场50余口井水涌出地面，一个月后又出现干涸现象。

以上现象与大震发生后震源区及其附近继续发生的变化——震后效应有关。震后的地层调整和余震活动会引起地层新的变形和运动，因此地震后地下水位、气体含量往往发生更大幅度的变化或产生“过头”现象。这些现象在主震后将随着时间的延长而消失。

4.应用地下流体异常预报地震的实例

1983年以来，乌鲁木齐地区地震活动频繁，继3月3日乌鲁木齐西发生5.4级地震和5月17日乌鲁木齐南发生4.8级地震以后，6月1日在乌鲁木齐东70公里的博格达地区又发生了5.3级地震。地震前曾观测到地下水位、水化学和水气动态等多种异常变化。

(1) 水位：自1983年4月起，乌鲁木齐2号、10号、11号及360号井水位相继出现下降异常，下降幅度分别为30、4、15和40公分。

(2) 水氡：乌鲁木齐9号与10号泉水氡含量从5月初开始增大，异常幅度分别为15%和20%。

(3) 电导：在地震平静期电导值变化十分平稳，但1983年初以来，乌鲁木齐3、9、10、15号观测点的水电导值均出现大幅度的变化。由于多次地震的异常叠加，无法判明异常形态。

(4) 水气：乌鲁木齐4号温泉的硫化氢和甲烷气体、10号泉的二氧化碳气体从4月以后相继增大。另外，4月以前10号泉水中检测不出溶解氧的存在。但4月初以后溶解氧含量突增，最大达4%以上。

在上述短趋势异常背景上，5月中旬以后各指标相继出现转折性突变。5月下旬开始，各点水位由下降转平並稍有回升。15号泉水氡值从5月24日起突然增大，由平均23个埃曼增至27个埃曼。5月26日前后，各水点的电导值陆续出现转折性大幅度下降。这些现象预示着地震已经临近。因此，在5月27日作出了“在5月底—6月初，在乌鲁木齐地区（东部的可能性更大）有可能发生5.5级左右地震”的临震预报。地震前3天又发现魏家泉石油井（距震中60公里）的水位突然下降40公分，水位恢复正常后立即发震（图3）。

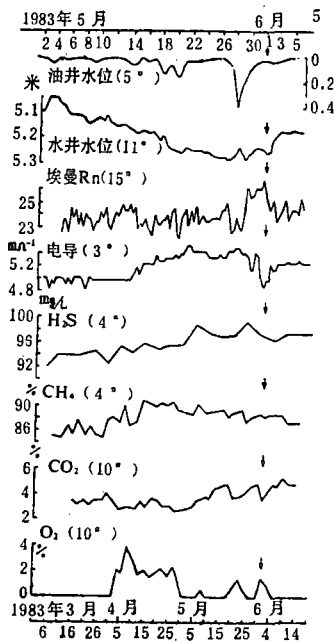


图3 博格达5.3级地震前的地下流体异常
Fig.3 Anomaly of underground fluid before the Bogada earthquake (5.3) on June 1, 1983

三、结 论

1.地震前兆是复杂多样的，並且因时因地而异。前面所列举的震例只能说是可能的地震

前兆,它们是否与地震的发生有必然的联系还不能完全确定。目前我们占有的资料和震例还不够多,情况又如此复杂,例如,在有些地震前前兆现象很多,又很明显;在有些地震前前兆现象少而弱;有些地震前几乎没有什么前兆反应。另外,上述诸震例是在众多观测点上取得的。事实上,某次地震的趋势性异常和临震突发性异常,很难在同一条曲线上观测到,这更增加了地震预报的复杂性。若能用不同的方法在同一观测点上(同一种介质中)观测到不同物理量与化学组份的变化,将有助于对前兆机制的认识。

2.天山地震带中强地震前,地下水气有两类异常,一类是应力应变能积累阶段的趋势性异常,主要表现为动力过程的缓慢性,流体异常的渐变性和异常时间的持续性等特点;另一类是应力应变能预释放阶段的临震突发性异常,主要表现为动力过程的突发性,流体异常的突变性和异常时间的短促性等特点。

3.在不同地震活动带内,地质构造条件、水文地质结构和地球化学背景不同,赋存其间的地下流体性质和流体化学组份也各异。因此,在地震活动期内,流体前兆组份具有地区性特征。天山地震带内油气矿藏丰富,含煤地层广布,在地震活动期内往往伴随有甲烷、二氧化碳、硫化氢等气体的异常溢出。今后应加强地下水流量、地下气体压力、气体成份、微量组份和其它特征性组份的综合研究。1983年6月1日博格达地震的试报成功,给予我们一个重要启示,在地震预报处于探索阶段的今天,必需对地下流体进行多项目、多组份的综合观测。在此基础上,有可能寻找到预报地震的新指标。

4.用地下流体预报地震的方法是建立在地壳固体物理状态变化引起地下流体变化基础上的。随着地下应力的增加将会出现众多物理性质的变化,如博格达5.3级地震前,地应力、地倾斜、地电、地磁等手段也先后出现异常。这种现象可能指示出在孕震过程中各前兆手段之间存在某种共同的物理基础。

5.目前的条件只能利用较深井、温泉及天然泉眼作为观测点,观测深度有限。间接观测必然带来大量干扰。目前只能采取避开干扰源,开展辅助观测和用数学方法来排除部分干扰。因此,现阶段地震预报首先是对干扰的识别和排除问题。

(本文1985年11月15日收到)

THE EFFECT OF SEISMIC HYDROGEOLOGY OF THE TIANSHAN EARTHQUAKE ZONE, XINJIANG

Cai Zhongqun

(*The Seismological Bureau of Xinjiang Uighur Autonomous Region*)

Abstract

In the Tianshan region, the high pressure artesian water, high pressure oil-gas deposits and exposure of terrestrial heat anomalous area which are consistent with the distribution of the Tianshan earthquake zone indicate that the dynamic condition of pore water pressure with high anomaly is likely to be an important mechanism for triggering shallow focus earthquake. Based on many events, it can be considered that underground fluid has two kinds of anomalies before moderate and strong earthquakes in the Tianshan earthquake zone. The first is the tendency anomaly during accumulated stage of stress-strain energy, The second is the abrupt anomaly of impending earthquake during pre-released stage of stress-strain energy. These two anomalies are entirely different in shape and time-space distribution, and show two quite different physical and chemical processes during earthquake pregnant process. The seismic precursor components of fluid have own characteristics in different active zones. During the seismicity of the Tianshan earthquake zone, the water level, petroleum amount, radon, conductance, and its gaseous components such as H_2S , CH_4 and CO_2 always appear anomalous.

We predicted the Bogeda earthquake ($M_s=5.3$) on June 1, 1983 by means of these two anomalies characteristics of the fluid components. This prediction was based on the synthetic observation and study of synthetics with many terms and components, it's perhaps important way to raise the research level of earthquake prediction for underground fluid.