

# 天山地震带中强地震前 地下流体的异常变化

蔡仲琼 徐士中 王道 高德媛

(新疆维吾尔自治区地震局)

## 前 言

本文主要列举我国天山地震带一些中强地震发生前地下流体的水位、流量、氦含量等的异常变化。进一步分析了孕震不同阶段特别是短临异常阶段地下流体变化的时空特征。这些现象和事实再次表明观测地下流体的变化对于预报浅源地震以及了解震源区临震前的物理过程是十分有益的。

地壳中水分布的区域深达20—30公里。在这一范围内发生了大量的浅源地震。在地下水位以下，岩石的孔隙或裂隙里都充满着水（有时为气体或石油）。在地震的孕育、发生和发展过程中，这些流体作为地壳介质的一个组成部份参与其活动。显然它们和岩石的固体介质一起，共同承受着地壳构造应力的作用，并通过水位、油压和气体流出量等的变化表现出来。

一般认为，地壳破裂过程中的弹性形变、扩容、断层蠕滑及弹性波等，都可以引起地下水（气、油）的动态发生变化。这一点已经为我国多次大震所证实。本文着重对由扩容发展为塑性蠕变的阶段进行讨论。这个阶段的特点是产生了断层的蠕滑及小断裂的串通，使岩石的孔隙压力发生急速的改变，出现水压变化、气量增加、油井自喷等短期异常和临震突变现象。

## 一、天山地震带中强地震发生前地下水位的异常变化

我国开展地下水与地震关系的研究已经有十多年的历史，获得了大量可贵的震例资料。1977年以来，我们利用乌鲁木齐地区的三口钻井，进行地下水位的长期观测。但其中只有11号观测井获得了连续完整的观测资料，并对本区300—400公里范围内的中强地震，有较好的地震前兆反映，短临异常尤为突出。11号观测井位于北天山东西向构造带内，在乌鲁木齐妖魔山活动断裂的上盘。井深160米。主要揭穿了二叠系的硅质砂页岩层。在80米以下裂隙较发育，并与本区温泉含水体系相勾通，水温达20—28℃。具有封闭条件较好，含水层压力较高的承压裂隙水特征。在潮汐应力作用下，11号井水位能准确灵敏地记录到地壳固体潮的变

化(图1)。因此,利用钻井—含水层体系作为监视地下应力(应变)变化的“液压计”,显然具有特殊的优点。

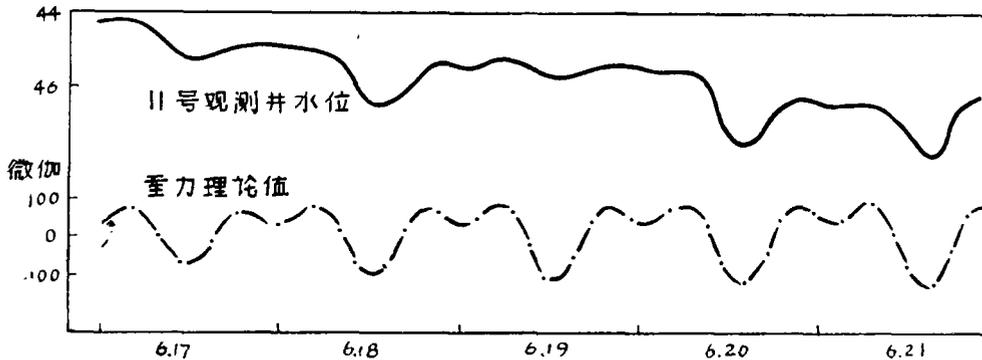


图1 水位与固体潮对比图

(一)在震源区及其附近深井水位的变化 由于岩体受力出现扩容现象,岩石的孔隙率增大,孔隙压力减小,地下水位发生下降。在主破裂前,由于扩容过程迅速的发展为塑性蠕滑过程,岩石的微裂隙重新闭合,岩石的孔隙压力增大,地下水位由下降急速地转为上升。

**震例1** 1979年元月26日和29日,距11号观测井80公里的呼图壁地区,分别发生4.5级和4.1级地震。平时观测井水位十分稳定,水位变幅多在1.0公分左右。从1978年12月25日起,观测到井水位的明显下降,持续约一个月,下降幅度达9.0公分。元月22日后水位突然回升,当水位处于高值的25日发生了4.5级地震。29日当水位复又下降时发生了4.1级地震。震后水位大致恢复正常(图2)。

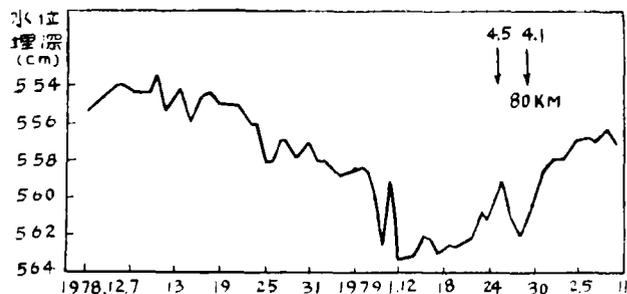


图2 呼图壁地震前地下水位变化曲线

**震例2** 1979年7月9日,乌鲁木齐以东发生4.3级地震。11号观测井距震中约40公里。自6月14日起观测井水位开始下降。6月底下降到最低值,下降幅度为5.0公分。以后水位明显回升,当水位回复到正常值以后发生地震(图3)。

**震例3** 1977年6月26日,吐鲁番艾丁湖东南发生5.0级地震。临震前位于震中西北约70公里的奇格布拉克机井,水位上升约90公分。震后稍有下降,但仍处于高值状态。

(二)在近场区深井水位的变化 临震前,与震源区及其附近发生地下水位急速回升的同时,它的外围地区—近场区的岩石处于受拉状态,使岩石的孔隙率增大,地下水位以急速的下降为主。

**震例4** 1978年4月22日,距11号观测井260公里的库尔勒地区发生了5.8级地震。震中与观测井处于不同的构造带内。地震前15小时,地下水位发生下降,下降幅度为2.0公分。

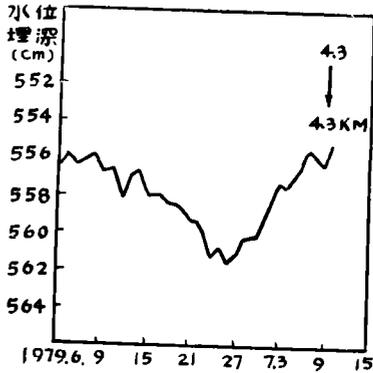


图3 乌鲁木齐东地震前  
地下水位变化曲线

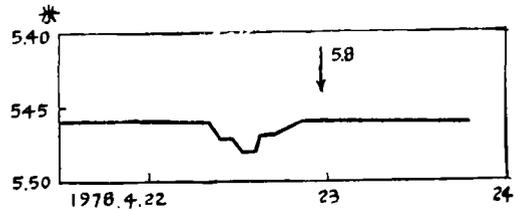


图4 库尔勒地震前地下水位变化曲线

临震前3小时水位恢复正常，並发生地震（图4）。

**震例5** 1973年6月3日精河东南发生6.0级地震。距震中120公里的奎屯市，6月2日井水位普遍下降4—5公分。

（三）在远场区 临震前的断裂快速蠕滑，导致形变波的产生和传播，引起远震区含水层的液压扰动，使地下水位发生波动变化。

**震例6** 1979年3月29日，距11号观测井370公里的库车地区发生6.0级地震。地震前5天井水位发生明显下降与上下波动，波动幅度达5.0公分。在水位低值时发生地震（图5）。

**震例7** 1979年2月13日，距11号观测井400余公里的中蒙边境发生4.8级地震。震前4天观测井水位呈现上下波动，波动幅度为3.5公分，並在波动低值时发生地震（图5）。

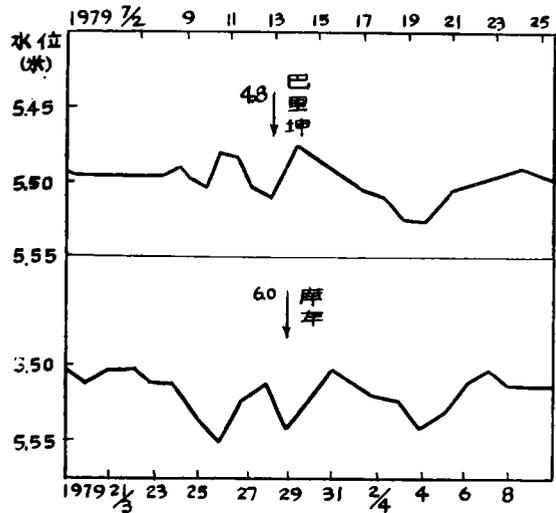


图5 巴里坤、库车地震前后地下水位的变化

## 二、油井出油量的变化

埋藏于地下的储油构造，处于高压封闭状态。在孕震过程中，它与深层含水体系的受力状态基本相似。由于油藏的封闭、高压和质地轻的特点，使它能更灵敏地反映地下的应力和应变。下面列举一个液压“观测井”位于震源区的典型短临前兆震例。

1977年7月23日，库车以北发生5.5级地震。根据我局南疆队的资料，在震中附近的某石油矿区，地震前数月，产油量出现明显增大的短期异常显示（图6）。临震前数天，距震中约40公里的几口抽油井，又出现突发性的油井自喷现象。

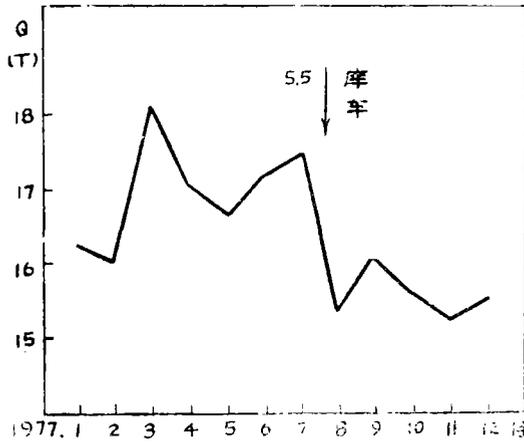


图6 地震前某矿区月平均日产量变化曲线

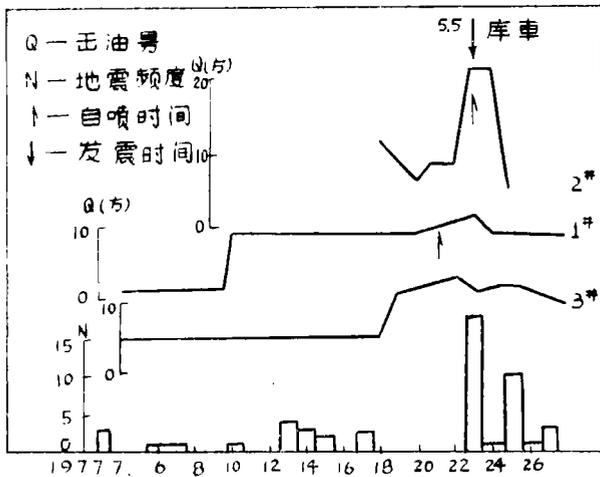


图7 地震前油井出油量变化曲线

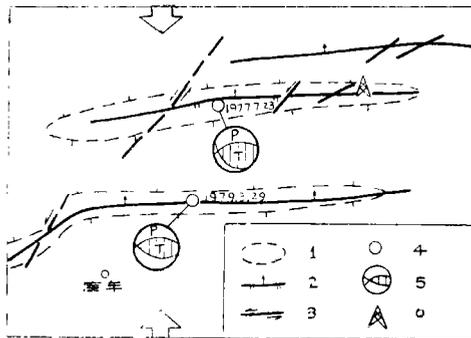


图8 库车地区构造应力分布示意图  
1.背斜构造 2.压性纵断裂 3.压扭性断裂 4.宏观震中  
5.震源机制解(阴影为张区) 6.石油井区

第一口井深 862 米。1977 年 7 月 10 日前，机械抽油量不足两方。7 月 10 日突然增至 9.52 方。7 月 21 日凌晨 2 时开始自喷，液量为 10.29 方。地震当天（23 日）自喷量达 12.46 方。震后出油量减少，24 日停喷，但液面仍在井口附近。

第二口井深约 600 米。地震前无自喷能力。7 月 17 日抽液量为 19.72 方，含油率为 9.5%，18、19、20 日抽液量分别下降为 11.98、9.05、6.40 方。21 日和 22 日液量分别回升到 8.67 和 8.24 方。22 日下午 8 时开始自喷。地震当天自喷量达 21.59 方，含油率增至 27.7%。25 日喷油量下降，26 日停喷。

第三口井深 427 米。7 月 18 日前每日抽油 5—6 方，19 日增至 11.32 方，22 日增至 13.94 方，并一直维持在高值。震后的 26 日抽油量才逐日下降，到 8 月初恢复到 5—6 方的正常水平（图 7）。

与此同时，还观测到另外一种情况。1979 年 3 月 29 日，在离以上采油区约 56 公里处发生了 6.0 级地震。地震前除个别油井产量的下降速率稍有增加外，几乎没有观测到其它异常显示。有关同志认为，这是由于 1977 年 5.5 级地震时，出现自喷的石油井位于该地震的发震构造上，从震源机制解来看，处于南北向挤压区；但 1979 年 6.0 级地震时，这几口油井的位置不在该地震的发震构造上，油井处于断层活动的拉伸区（图 8）。

### 三、地下气体的异常变化

地下气体与地下液体的产状基

本相似。但它还具有特殊性，即活动性大、比重小，能溶于水和石油中，并具有填充整个地质构造的岩石孔隙的能力。因此它对温度和压力变化的反映，比液态介质更为灵敏。同时也更容易受其它因素的干扰。

氮含量的变化与地震活动之间有着密切的联系。油气藏和含煤地层十分丰富的地区，地震期间往往伴随有甲烷、硫化氢、二氧化碳等气体的异常运移活动。这里仅综述一下地下气体震前变化的主要特征：

(1) 在近场区（包括震源区）。地下气体的短期异常显示清楚，但较少出现临震突跳。短期异常的形态基本相似，以正异常为主（图9、图10）。

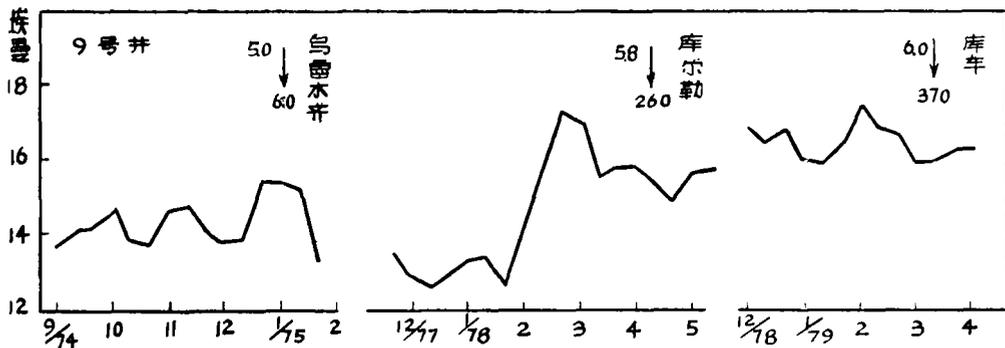


图9 水汽短期异常曲线

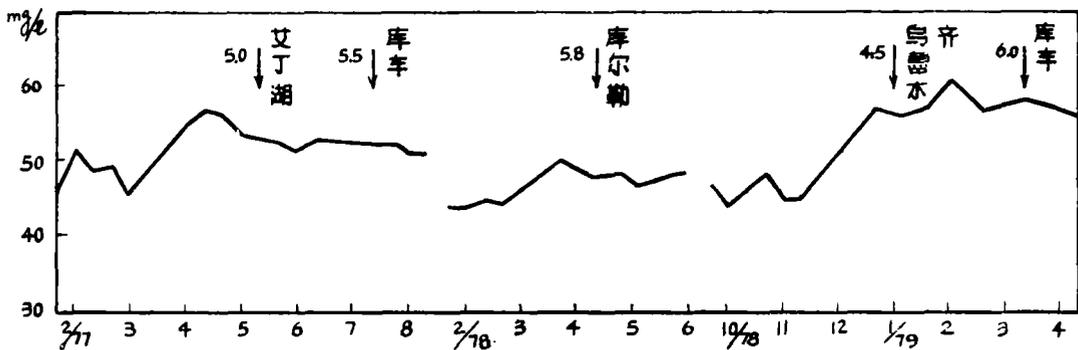


图10 硫化氢气体短期异常曲线

(2) 在远场区。与地震有构造联系的观测井孔，地下气体的短期异常也很明显（如图9、图10的库车地震）。但往往出现大量值的临震突跳现象（图11）。

(3) 地震后，异常往往不能恢复到初始状态。有的甚至出现更大的变幅。有的在新的基础上达到新的平衡。

(4) 气体含量的异常时间往往比水位（水压）的异常时间出现得早，因而水位的临震突跳就更为突出。

(5) 气体含量的短期异常时段，往往与波速比的回返阶段，或“b”值的回升阶段大体

相符(图12)。

(6)在某些大地震前,氦及硫化氢气体含量有中趋势异常显示。但目前就肯定它的存在为时还太早。

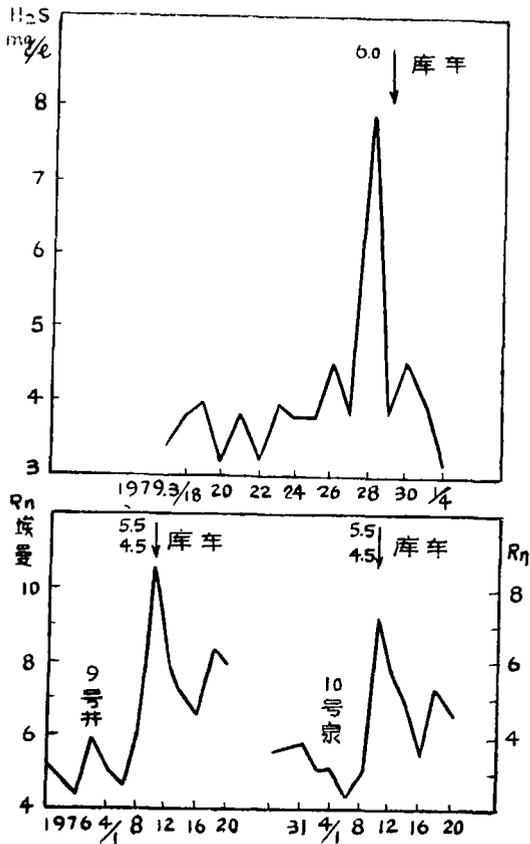


图11 水氦、硫化氢气体的临震突跳异常

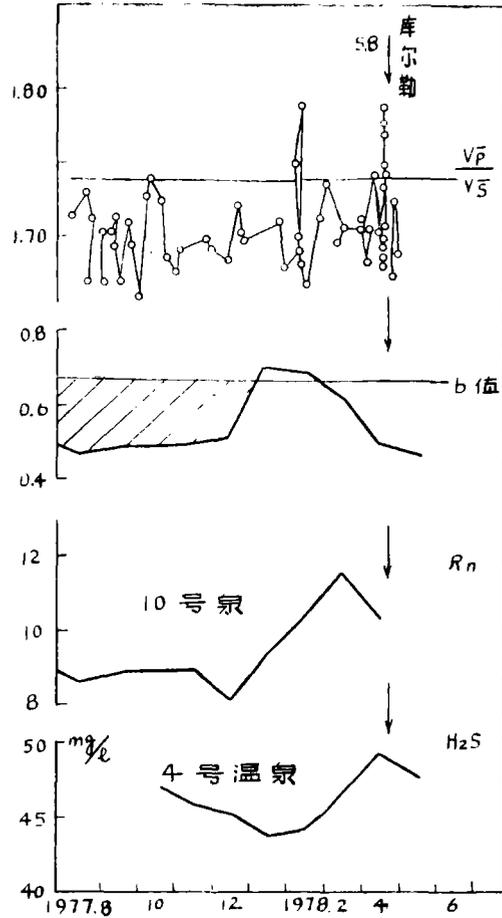


图12 地震前短期异常综合对比图

#### 四、地震引起的地下流体动力学效应

地震的水文地质效应早为人们所共知。地震时从震源发出了地震波——纵波和横波。纵波导致周期性的容变—地壳的压缩和拉伸。当压缩波通过饱水岩石时,孔隙度缩小,孔隙水压增大,钻井水位上升;当拉伸波通过时,孔隙容积增大,孔隙水压降低,井水位下降(图13),因此,钻井—含水层体系又象一个“水震仪”,它能记录到所通过的地震波。如1977年8月19日,印尼南部发生8.0级大震。距震中6500公里的我区11号观测井,观测到变幅约3公分的水位脉冲状变化,延续时间约半小时(图14)。

发生强震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,阿图什北发生了8¼级大震。地震时从地震烈度的Ⅹ度区到Ⅶ度区范围内,普遍出现喷砂冒水现

象，有的老泉干涸，新泉长流不息。1906年12月23日，玛纳斯西南发生8.0级大震。地震时沿地裂缝喷砂冒水。震后，震中以北20公里的泉水量显著减少。震中区牛圈子的井水量明显地增加。更为罕见的是，震后玛纳斯河水暴涨，这可能与地下水大量向地表水排泄有关。同时出现莫河渠水变黑发浑，并有浓烈的硫化氢味等现象。1961年4月14日，巴楚西发生6.8级地震，震后也特克里牧场50余口水井的水涌出地面。一个月后又出现干涸现象。

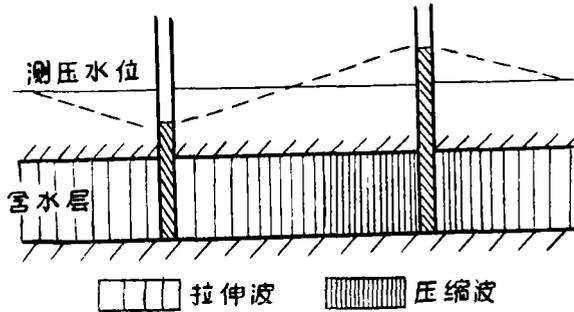


图13 地震波对钻井—含水层体系的影响

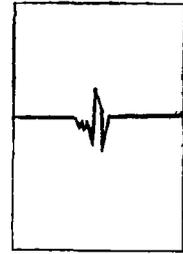


图14 1977. 8. 19.  
印尼南部地震后的地  
下水位变化

以上现象，往往与大地震发生时，地表出现不可恢复的形变—剩余形变有关。这种形变是震源地区的断裂错动所引起的。它使含水层的动态遭到剧烈破坏，并且迅速的改变了地下流体的补给迳流排泄条件。使震后的地下水位、出油量和气体流量等，发生更大幅度的变化，或产生不可逆效应。

但在距震中较远的地方。地震变动引起了岩石的弹性形变。在弹性形变条件下，地震波通过以后，地下水位就回复到了原来的状态。

## 五、讨 论

分析新疆天山地震带的部份资料表明，在研究浅源地震的物理机制时，不能局限于固态的岩石，还应充分考虑充满岩石孔隙和裂隙的地下流体介质。

地下水能灵敏地反映固体潮的变化，自然也就能直接地反映地震过程中构造应力的变化。因此利用钻井—含水（油、气）层体系观测地质构造活动所引起的孔隙液体压力变化，是最直接而有效的方法，将为地震预报提供可靠的前兆信息。

在地震孕育的不同阶段，地下流体的动态变化将是不同的，主要与地下孔隙裂隙流体介质的受力状态—孔隙流体压力状态有关。在地震孕育的同一阶段，距震中远近不同受力状态也不同。这种变化与岩石介质、水动力状态和井筒周围的条件密切相关。因此，地下流体的地震前兆异常，是复杂多样的。

在弹性应变阶段，受压区岩体的孔隙度减小，孔隙压力增大，地下水位上升；相反拉伸区的地下水位下降。由于这个阶段是缓慢的、长时间的，变化量值较小，一般不容易观测到。

在扩容阶段，由于扩容作用引起孔隙压力的降低，地下水位往往出现负异常。

在塑性蠕变阶段，主要破裂区由扩容过程迅速地转化为塑性蠕变过程。地震前的短期异常和临震突发性异常十分明显。在震源区及其附近，地下水位迅速由下降转为上升，水压增大、气量增加、油井自喷；近场区的地下水位相应迅速下降；在远场区，临震前地下水位显示出上下波动变化，气体成份发生大量值的异常突跳。这个统一的临震异常过程，往往集中的发生在地震前的1—5天。因此，以上几点可以帮助我们较准确的识别临震讯息和对发震地点的判断。

但无论是震源区或外围区，地震前的气体流量，都呈现明显的加速正异常。这一点说明，各地下流体介质除具有共性外，气体成份还具有特殊性。当震源带破裂时某些元素的大量携出，高应力集中时导致岩石（特别是有机岩石）的机械化学分解，在声和超声频率作用下，气体含量也将明显增加。以上这些作用都是导致气体含量的正异常。由于气体分子比液体分子的运动速度大很多，所以地下气体的异常时间往往比地下水位来得早。因此，地下气体的含量变化，是表征震源破裂的最早信息。

封闭条件较好的深井—含水层体系，象“水震仪”一样，可以记录到所通过的地震波。地震时震源区的断裂错动，迅速的改变了地下流体的运动状态，使含水层的动态遭到剧烈破坏。因此，地震以后地下流体往往发生更大幅度的变化，或产生不可逆效应，观测地下流体的震后效应，可以查明岩体的剩余形变。

(1980年3月8日收到)

#### 参 考 文 献

- [ 1 ] 郭增建、秦保燕等，从震源孕育模式讨论大震前地下水的变化，地球物理学报，17卷1973年。
- [ 2 ] 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，第一卷第一期 1979年。
- [ 4 ] И.Г.Киссин, Вода земель, Глава 9 “Подземные воды И землетрясения” .