

综述与展望

水化预报地震的现状和发展

王长岭 唐丰年 龙 明 姚庆春

(国家地震局 兰州地震研究所)

利用地下水中的气体、化学成分的变化探索地震预报的研究,虽然只有十多年的历史,但越来越受到国内外地震工作者的重视。1966年4月26日苏联塔什干5.3级地震后,乌莫洛夫等人首先总结了震中区深钻孔水中的氦气与该次地震的对应关系,指出震前水氦具有长达10年之久的趋势升高异常。在其后的余震系列研究中,又发现震前水氦有明显的短期异常。1966年3月22日,我国邢台7.2级地震发生后,贵阳地化所、河北、天津、兰州、成都等地震队相继开展了水化学预报地震的研究工作,目前水化方法已成为地震预报的重要手段之一。

在国外,利用水化学预报地震的研究工作开展较多的是苏联,其次是日本和美国。他们当前以野外实践、积累资料、探索与地震的对应关系为主集中在几个试验场开展工作。其特点是组织机构小、活动范围窄,中强震例不多,但数据精度高、泉(孔)条件要求严格、布局合理、科学性强。目前偏重研究不着重于报,仍处于初期探索阶段。我国水化预报地震研究工作发展快、规模大、实践性强。特别是经历了渤海、海城、龙陵、唐山、松潘等数次大地震的考验,取得了极为宝贵的震例资料,为世界各国地震工作者所重视。

一、水化学预报地震的研究内容及取得的初步成果

水化学预报地震的研究工作大体经历了广泛探索、突出重点、理论深入等几个阶段。先后开展的项目包括地下水中气体组分、化学组分、物理性质、放射性测量等20多项,其重点是地下水中的氦气。当前称为以水氦为主的水化学。

除氦以外,其它项目虽都开展不广泛,时间也短,但也取得一些较好的震例资料。1978年1月14日日本伊豆大岛7.0级地震前在震中区观测到了二氧化碳的异常变化^[1](图1A);1976年11月15日宁河6.9级地震前十几天,北京光华井的氦升高5—10倍;1974年12月23日苏联萨拉达乌5.5级地震前^[2],距震中18公里的

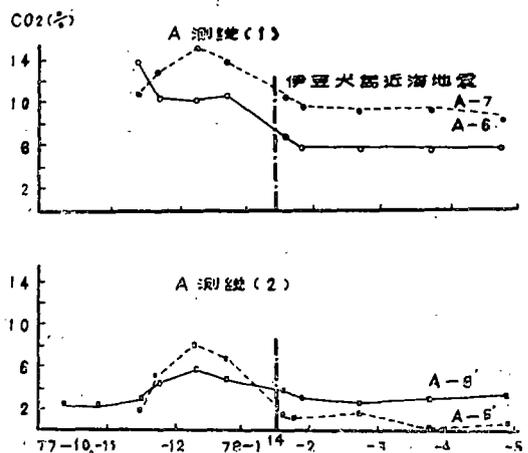


图1A 1978年1月14日日本伊豆大岛7.0级地震前CO₂的异常变化

祖拉玛肯特温泉和距震中35公里的伊斯基——苏自流钻孔水中化学成分出现了异常(图1 B); 1977年9月30日日本山崎断层发生4级地震, 距震中5公里的富安台观测到了 α 射线强度和氯离子的变化(图1 C); 1975年—1977年美国在圣安德烈斯断层进行土氡测量[8], 观测到了震前土氡的变化(图1 D)。海城、松潘大震前, 水化成分异常的例子也很多, 不一例举。但上述异常与地震关系的探讨, 只是初步的, 有待进一步深入。

除此之外, 几年来还围绕着水氡开展了测试条件、干扰因素的识别和排除、现场爆破实验、室内模拟实验、仪器研制等方面的研究工作。室内模拟实验的结果指出, 岩石破裂和超声振动引起水氡大幅度升高(图2)。

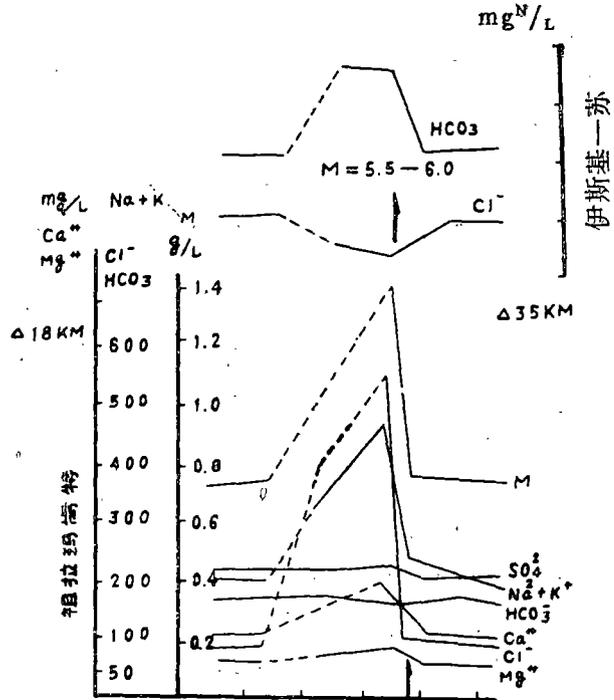


图1 B 1974年12月23日苏联萨拉达乌5.5级地震前, 祖拉玛肯特温泉和伊斯基——苏自流孔地下水化学成分变化

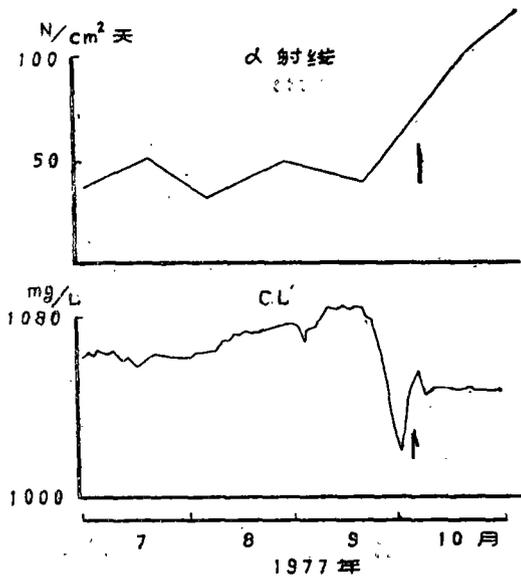


图1 C 日本山崎断层发生4级地震前, 富安 α 射线强度和氯离子的变化

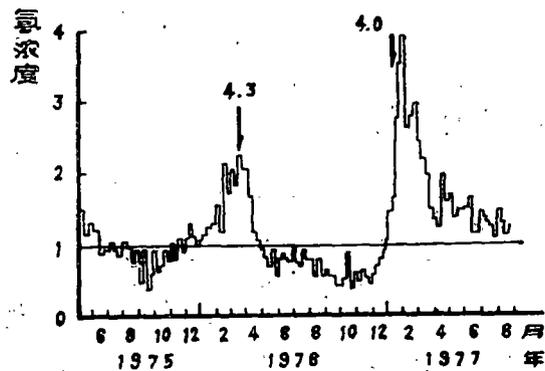


图1 D 美国圣安德烈斯断层附近4.3级, 4级地震前, 土氡异常变化

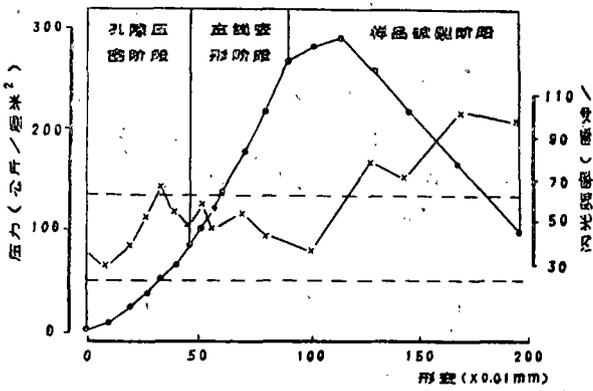


图 2 A 岩石在单向压力下的应力—应变及气测量值曲线

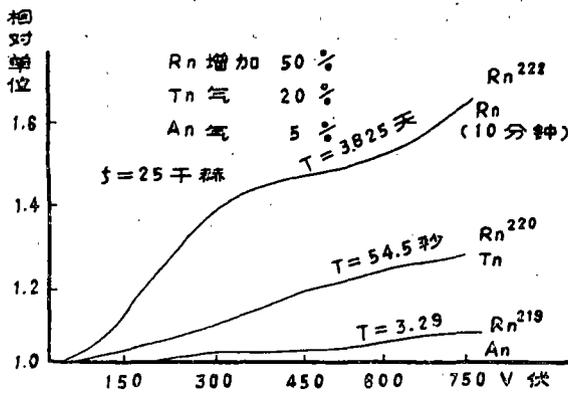


图 2 B 超声振动下氡钍铀射气含量变化曲线

二、水氡预报地震的经验

I. 大震前水氡异常时空分布特征
大震前，水氡异常的时空特征，目前比较倾向的认识是：

1. 异常形态。震前水氡具有长、中、短、临四种异常形态，并有震后效应。长趋势异常表现为缓慢上升，中期异常表现为加速升高，短期为异常转向——转负、变平或二次升高等，临震异常为突跳（突升或突降）。水氡异常的形态可概括为一个典型的曲线表示（图 3）。值得注意的是，水氡的这四种异常形态并不是每个异常的泉（孔）都同时具备，往往是只具有其中一、二个，一个泉（孔）同时具有四种异常形态的是少数。

2. 异常时间。七级以上大震长趋势异常可达数年，现已观测到的少至 1 年，多至 5 年。中期异常多为 3 至 6 个月，短期异常 1 至 3 个月，临震突跳多出现在震前几天到廿几天。异常时间的长短与震级有关，趋势异常的时间越长震级

越大。美国学者肖尔茨统计了各种前兆异常持续时间与震级的关系得出 $\text{Log } T = 0.685 M -$

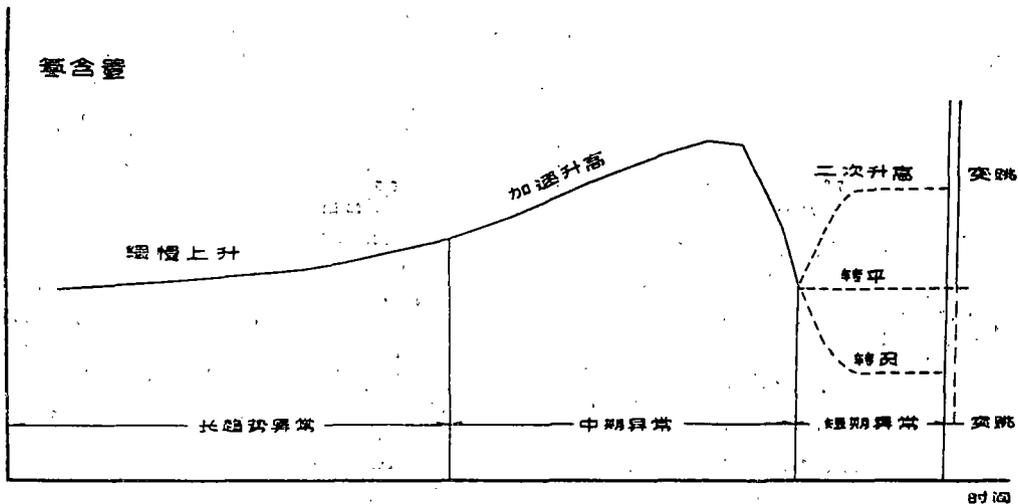


图 3. 大震前水氡异常综合典型曲线

1.5. 日本学者力武常茨把水氡划为 A_2 型前兆, 认为异常时间与震级的关系, 可用 $\text{Log } T = 0.60M - 1.01$ 表达。

3. 异常范围。一个七级以上大震, 水氡异常的范围很大, 但不均匀。也就是说在这个大范围内不是每个泉(孔)都能观测到水氡异常。一般是距震中200~300公里范围内, 多数泉(孔)的水氡都有长、中、短完整的异常形态, 300~500公里范围内约30%左右的泉(孔)有异常, 其中具有长趋势异常的更是少数, 多数只具有短期异常和临震突跳。异常范围的大小和震级也是相关的, 异常范围越大, 震级也大。

4. 异常幅度。多次中强地震的实例, 使大家感觉到水氡异常的幅度与震级大小无明显的相关性。

5. 临震突跳。从渤海、海城、唐山、松潘等几次大震所取得的临震资料分析: (1) 七级以上大震水氡临震突跳空间分布范围很大, 可达500公里左右。但在这个范围内不是所有泉(孔)都测到了突跳。出现突跳的泉(孔)百分数与震中距似乎没有什么关系, 如下表。

1976年唐山7.8级地震和松潘7.2级地震前水氡突跳统计表

震中		震中距	100km	100~300km	300~500km
唐山	泉井数		14	36	56
	突跳数		6	13	19
	百分比		42.8%	36.1%	33.9%
	最大异常幅度		20%	30~40%	50%
松潘	泉井数		3	9	6
	突跳数		2	5	4
	百分比		67%	56%	66%
	最大异常幅度		65%	56%	70%

(2) 水氡出现突跳的泉(孔)与该泉(孔)所处的构造部位、水文地质条件密切相关。例如: 位于构造交汇部位的康定姑咱泉, 周围几次中强震前均有明显的突跳(图4)。(3) 能否

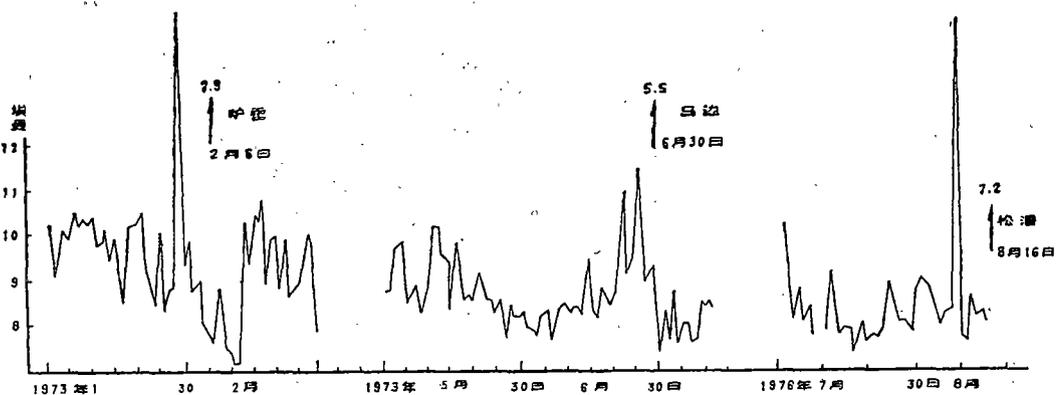


图4 康定姑咱泉水氡临震突跳

观测到水氦突跳与使用的观测仪器有一定关系。水氦的突跳是个短暂的现象，每天取一次样测定不一定正好测到。采用连续自记测氦，突跳不能漏掉。图5是河北省廊坊台连续自记测氦所记到的海城、唐山几次大地震异常。

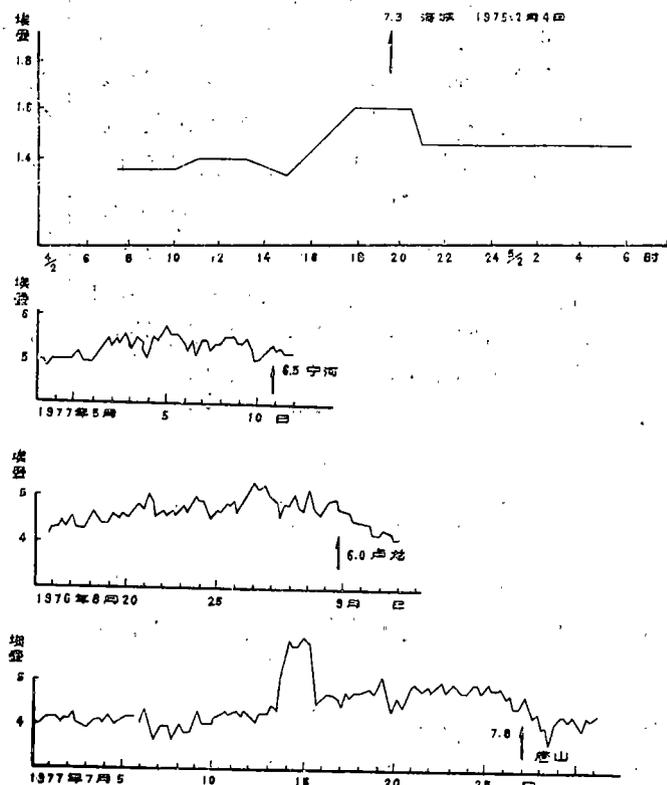


图5 水氦自记临震变化

系数，使氦进入水中，伴随岩体破裂而产生的超声振动，使吸附在岩体表面上的氦气解吸而进入水中。有关的模拟实验结果（图2B）支持了上述论点。当地下水动力条件改变时，使原来处于“封存”状态的高氦水“启封”，流入含水层，以及由于裂缝串通，不同含水层相混合等都能引起水氦含量的变化。对于震源区，上述解释是容易理解的，但对于远离震中几百公里的泉（孔），水氦震前出现的异常如何解释？为此提出：大范围构造活动，多节点应力积累、释放是引起水氦大范围、不均匀异常的原因。该说法认为，在大范围构造应力的作用下，可同时在一条或相邻的几条断裂带上的许多节点释放和积累应力，这些节点就是资料〔4〕中所说的积累单元和调整单元（如断裂带的转折部位、交而不汇处及其端点；断裂破碎带、地热异常区等地段）。就调整单元而言，虽然其岩石强度较软弱，但除流体如塑性介质外，其介质总有一定的强度。所以在开始阶段，它总能积累一定大小的（数量级不高）应力，一旦当应力增加到超过其岩石的强度极限时，便发生破裂（能量足够大时便成为小地震）产生断块间的相对运动，把积累的应变能释放给相邻近的积累单元。由于各个调整单元的受力状态，介质强度不会完全相同，总有一些差别，介质强度低的受力大的先破裂（或相对滑动），介质强度较高的受力小的后破裂，因而在时间进程上某一时间段内，破裂总是不停的

当然水氦预报地震的教训也是不少的，有异常没有地震发生，有地震、没有观测到水氦异常等等，应当认真总结、深入研究。

II、水氦异常机理的讨论

大地震前水氦为什么会 出现异常，水氦的异常变化和大地震的孕育发生有什么内在联系？这是一个极为重要的理论问题。但目前研究的很少，认识尚不一致，还得出不满意的 结果，当前比较流行的说法有：应力——应变引起水氦异常说；超声振动引起水氦异常说；氦团混入说等。其主要论点是说孕震区在构造应力作用下，岩体产生破裂，增大了岩体的表面积，提高了氦的射气

间断发生, 能量间断阶梯状的传递给积累单元。由于岩石破裂是水氡异常的机制, 所以在范围内位于调整单元的泉(孔)则不断的出现水氡异常。同时对积累单元而言, 各个积累单元的受力状态和介质强度也不会相同, 强度低的受力大的先破裂发震(前震, 包括远距离的早期前震), 强度相差不大的可同时发震, 强度特别大的后发震(主震)。每发生一次地震, 伴随一次应变能的重新调整。因此一次大的构造地震的孕育就是大范围的构造应力在各个节点处积累、释放、调整的结果, 首先是调整单元将积累的应力释放给积累单元, 弱的积累单元将应力调整给强的积累单元, 最后产生积累特大应变能的地段, 发生大地震。这种演变将是大规模的, 可发生在一个块体内部, 也可发生在相互影响的几个块体之间, 因而水氡的前兆反映将是大规模的, 且有阶段性变化的特点。但反映明显的水氡点是那些位于调整单元(最易破裂)或积累单元(能发生前震或主震)上的泉(孔)。那些既不位于调整单元, 又不位于积累单元上的泉(孔), 水氡的反映将不明显, 因为这些地段只产生弹性形变, 不发生破裂和断块的相对移动, 因而水氡不会有大的变化, 所以水氡的异常又是不均匀的。大震前, 小震围空过程的特征是: 先是小震分散, 逐渐由远而近具有方向性, 最后围在未来大震的周围, 同时伴随强度, 频度的增高, 可作为多节点应力积累释放的旁证。

三、水化学予报地震今后的发展

当前水化学予报地震研究工作中迫切需要解决以下问题:

1. 水氡和其他水化因子在震前出现的变化是否地震的异常? 有什么判据证明它是地震的讯息?

2. 水氡和其他水化因子的前兆信息和地震的孕育发生有什么内在联系?

3. 如何利用震前的水化信息予报地震三要素?

为解决这三个问题提出以下研究课题:

1. 开展水化正常场的研究。在湖南、广西、江西、皖南、浙江等无震区和少震区布设台网, 进行水氡及其它气体、水质、放射性同位素参数的观测研究, 以了解水化各因子的正常变化。

2. 继续开展气温、气压、流量、抽水、固体潮、磁爆等干扰条件的观测研究和岩石压裂、超声振动等模拟实验研究。

3. 开展断裂水的研究。在断裂带上布设井孔或选取泉点揭露断裂水, 并不准有地表水和潜水混合。同时对断裂带上同一地区的地表水和潜水进行对比观测研究, 以了解在正常和异常状态下, 三种水的变化规律及其相互影响。同时探索在地震(或构造)活动过程中, 地下深部物质(氦、氢、二氧化碳、硼等)上升运移的情况, 捕捉地下深部讯息, 或取得下伏地层特征元素沿断裂带上升运移的资料。

4. 开展水氡研究工作。氦在地壳中的含量随地壳深度的增加而增大。有人提出氦可作为地球深部的地球化学讯息, 已有震例资料^[5]表明作为地震的前兆指标, 氦比氡优越, 图6是苏联吉尔吉斯地区阔契阔尔地震前观测到的氦和氡的变化。

5. 开展地下水中氚(H^3)和碳 14 (C^{14})的研究。氚和碳 14 在地下水中的含量随埋藏深度而降低。因而根据地下水中氚和碳 14 含量的变化, 可以鉴别地下水的移动、混合和下层水的上升等。同时测定地下水中碳 14 的浓度, 还可估算出地下水的年令。

上述研究课题的开展，无疑将使水化学预报地震的研究工作向前发展一步。但研究课题的实施需要严密的组织、科学的管理。因此需要建立与之相适应的研究机构——地震地球化学研究室。

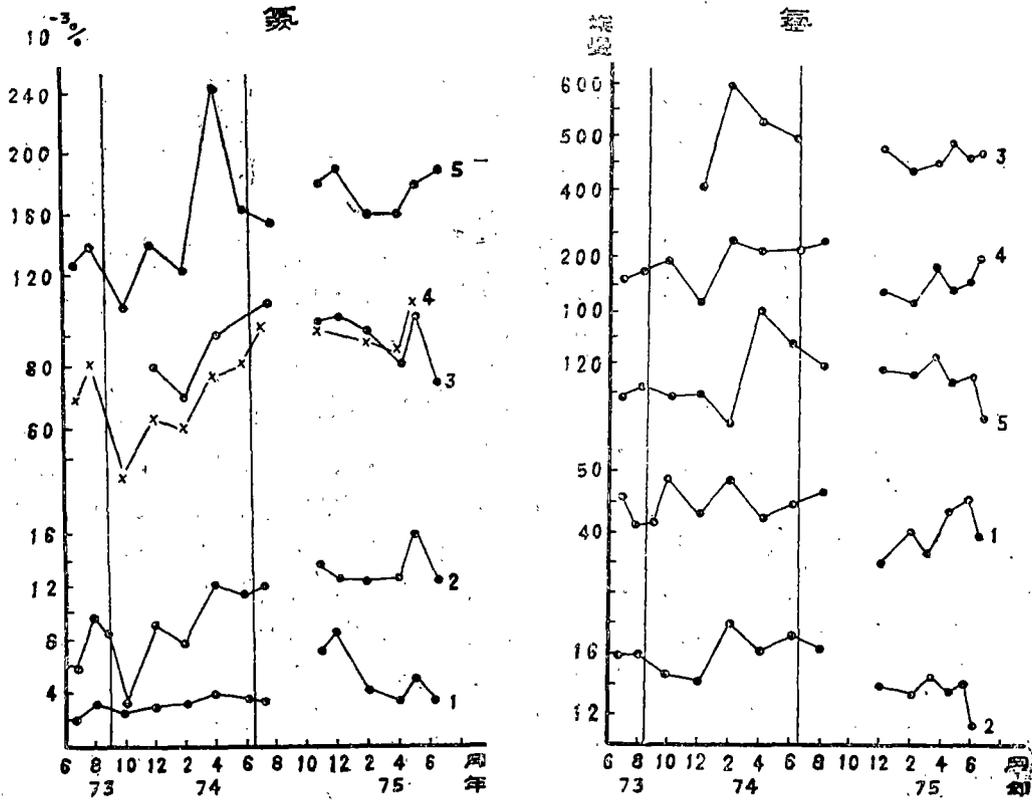


图6 断裂水中H₂、Rn含量随时间的变化

参 考 文 献

- (1) 永田松三: 活断层周道の土壤ガス組成上その变化にフレエ 地震予知連絡会会报 第20卷 昭和53年8月
- (2) Д. Г. Осика: Гидрогеоохинеские аномалии, предшествующие тектоническим землетрясениям, отражение условий формирования их очаговых зон. ДАН СССР, том 233, №1, 1977.
- (3) Chi-Yu King: Radon emanation on San Andreas Fault Nature Vol 271, 9, Feb. 1978.
- (4) 郭增建等: 震源孕育模式的初步讨论 地球物理学报 1973年9月第16卷
- (5) П. Н. Чалов: Вариации радиоизотопных параметров вои разломов земной коры за длительные промежутки времени и прогноз землетрясений. Физика Земли №9 1977.