

水氡临震突变及其机理探讨

张 文 冕

(兰州地震研究所)

在地震预报中,短临预报是极为重要的。在这方面人们已从许多途径去寻找预报的指标。其中氡含量在临震前的突变就是人们寄予很大希望的指标之一。因为它突变的异常形态易被人们觉察。目前国内外对震前的氡气异常已积累了不少宝贵的震例,但是对其异常特点的讨论还较少,且对异常形成的原因还有争论。本文试图在总结国内外氡气突变事实的基础上,对异常的形态特征、时空分布特点和判别方法等方面进行一些讨论,并对突变异常形成的原因和高氡水来源提出一些新的看法。

一、水氡突变的震例列举

我国自1968年在邢台地区开展氡气等多种手段探索地震预报的工作以来,经过十年来的实践,已观测到大量震前氡气突变的现象,尤其是辽宁省地震局在预报1975年海城地震、四川省地震局在预报1976年松潘、盐源等地震的实践中,都充分注意了氡气突变这一临震指标。国家地震局和各省局(队)先后总结了渤海、炉霍、昭通、海城、龙陵、唐山、松潘、盐源、马边、巴音木仁等六级以上破坏性地震水氡突变现象,这里仅列出部分代表性泉点水氡突变的图例(图一至图六)。

1975 №1—2

[11] J. H. Dieterich Geological survey research 1976. P227

[12] 郭增建、秦保燕、徐文耀、汤泉 震源孕育模式的初步讨论 地球物理学报 16卷 1973年

[13] 郭增建、秦保燕、冯学才 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

[14] И. Г. Киссин Советская Геология 1972 №2

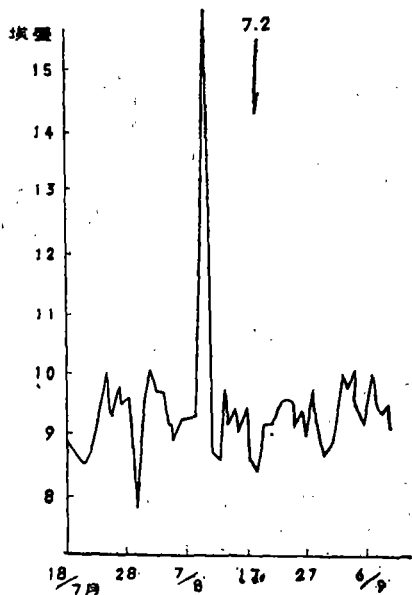
[15] 张伯声 镶嵌的地壳 地质学报 3.1962年

[16] 坪川家恒、小川幸夫、林哲郎 新泻地震前后的地壳变化 国外地震 1970年2期

[17] 云南省地震局 龙陵潞西地震的前兆异常 地震战线 1977年第2期

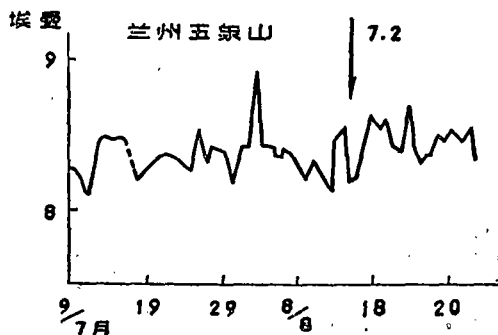
[18] 房臻 临震宏观前兆一百四十七例 地震出版社 1976年10月

[19] 蒋凡 海城地震 地震出版社 1978年

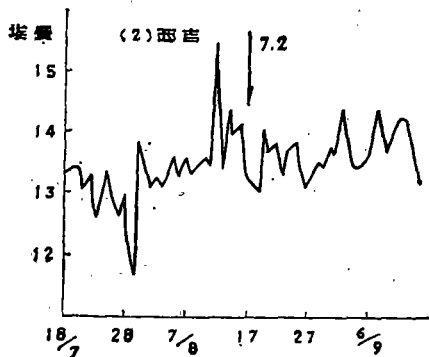


一九七六年

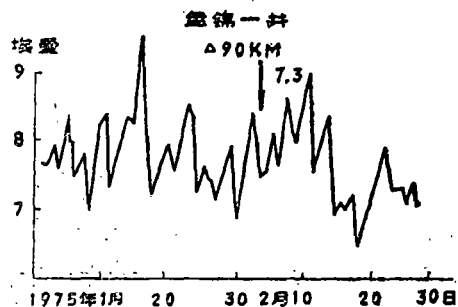
图一 松潘 7.2 级地震前四川姑咱泉水氣突变〔据四川省地震局資料〕



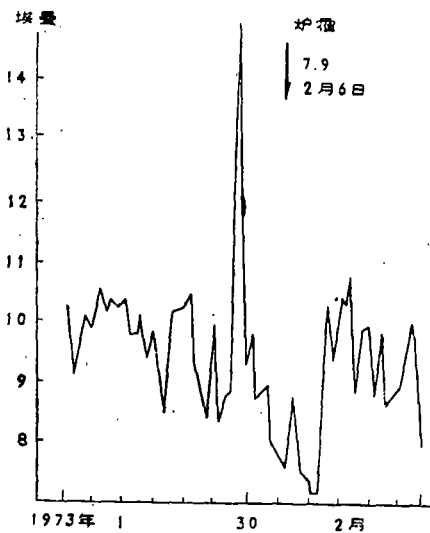
一九七六年



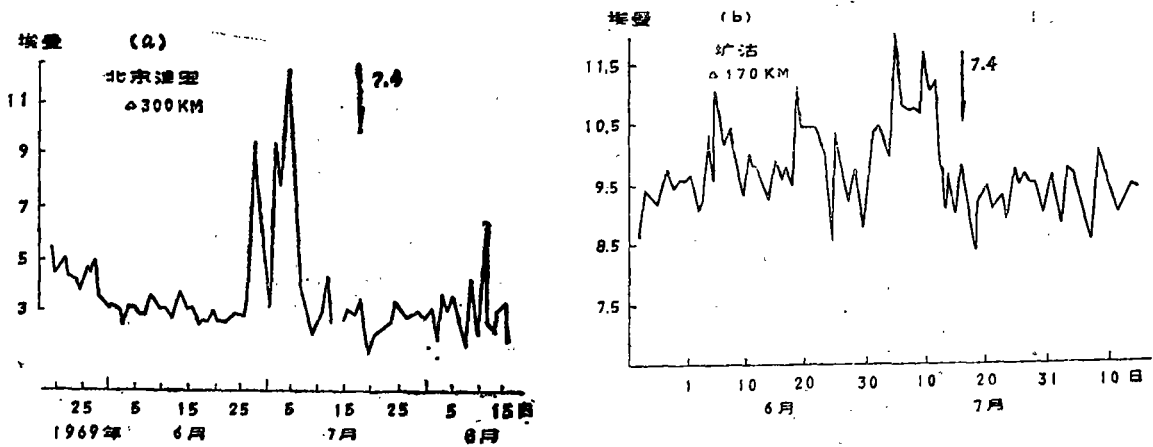
图二 (1、2): 松潘 7.2 级地震前北部地区某些泉点水氣突变〔据兰州地震研究所水化组資料〕



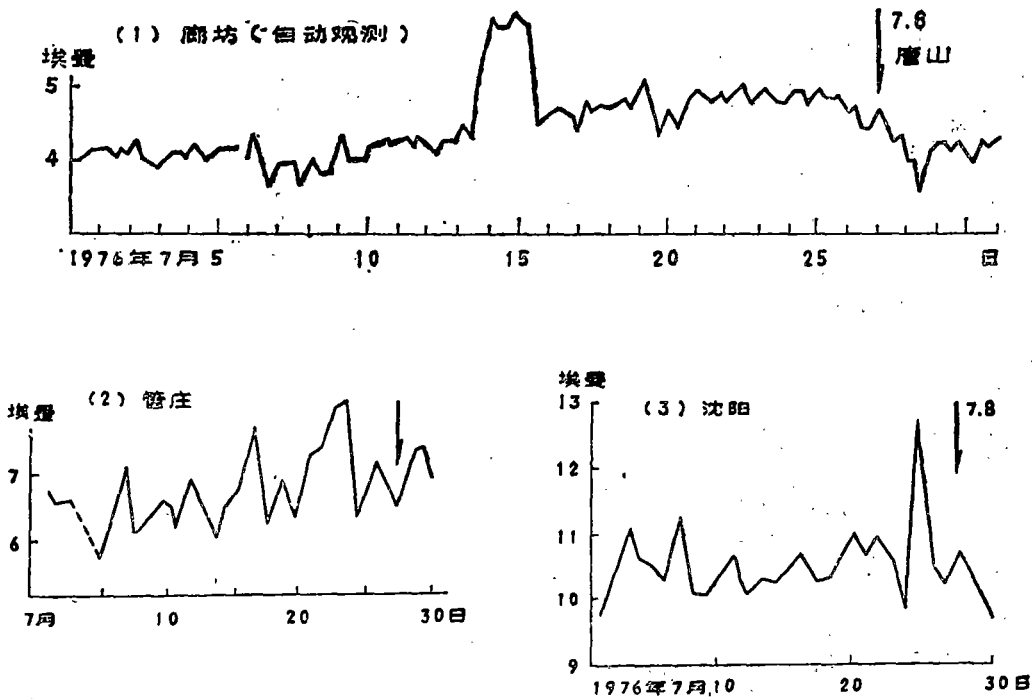
图三 海城 7.3 级地震前水氣突变〔据国家地震局資料〕



图四 炉霍 7.9 级地震前姑咱泉水氣突变〔据四川省地震局資料〕



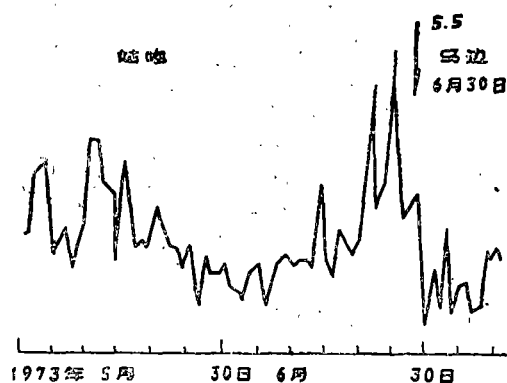
图五 (a、b): 渤海 7.4 级地震前水气突变〔据国家地震局资料〕



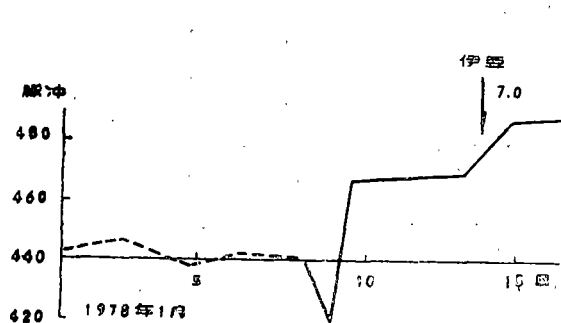
图六: (1)、(2)、(3) 唐山 7.8 级地震前水气突变〔据国家地震局资料〕

不仅大地震如此, 而且中小地震也是如此, 只是突变泉点是有限的。我们仅举 1973 年马边 5.5 级地震前姑咱泉突变的情况, 见图七。还有 1976 年 12 月松—平 4.2 级地震前武山温泉水气突变, 等等。

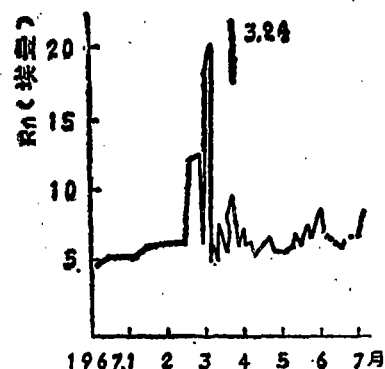
上述列举的突变是国内的, 国外也注意水气突变的观测研究。特别是苏联、日本、美国。下面仅介绍日本 1978 年伊豆 7.0 级地震和苏联 1967 年塔什干 7 度地震前的突变情况, 见图八至图九。



图七 马边 5.5 级地震前姑咱泉水氡突变
〔据四川地震局资料〕



图八 日本伊豆 7.0 级地震前中伊翠
光圆水氡突变
〔地震战线 1978.6〕



图九 苏联塔什干 7 度地震前的
水氡突变 〔国外地震 1978.5〕

但上述列举的突变图形是有限的,还不能较广泛地看到水氡突变的时空分布、形态特征、重现性等规律性,为此特列出表一与表二。

水氡突变的时空强分布及形态特征〔据河北省地震局的资料〕

表一

地 震		水 氡 突 变 情 况											
时 间	地点	震级 M	台站 数	单点 突变	多点 突变	无突 变	异常幅度		突 变 范 围		突 变 时 间		
							最大	最小	最 大	最 小	最长	最 短	一 般
1969.7.18	渤海	7.4	13	2	7	4	535%	17.2%	355KM	175KM	18天	4天	9天
1975.2.4	海城	7.3	18	8	3	7	92%	10.5%	540KM	30KM	19天	0.5小时	5~10天
1976.7.28	唐山	7.8	50	25	10	15	110%	11%	640KM	0 KM	16天	1天	6~12天

水氡突变时间分布的“倍九”韵律性及其重现性〔据文献(2)等综合〕 表二

地 震			水 氡 突 变 形 态 、 时 间					
时 间	地 点	M	泉名	异幅	震中距	突 变 形 态	突变时间(天)	符 合 倍 九
1973.2.6	炉霍	7.9	姑咱	120%	220 (KM)	单 点 突 变	9 天	✓
1973.6.28	马边	5.5	“ ”	97%		双点(间隔4天)	7 天	✓
1976.8.16	松潘	7.2	“ ”	70%		单 点 突 变	6 天	
1976.8.16	“ ”	7.2	平武	-22%	30KM		18 天	✓
1976.7.28	唐山	7.8	管庄			高低峰峪	几天左右	
1976.11.15	宁河	6.9	“ ”			“ ” “ ”	“ ” “ ”	
1976.8.24	宝坻	5.1	“ ”			“ ” “ ”	“ ” “ ”	
1976.7.28	唐山	7.8	廊坊	20%	100KM		18 天	✓
1974.5.11	昭通	7.1	西昌	-50%	170KM		9 天	✓
1976.11.7	盐源	6.9	“ ”	25.4%	120KM		6 天	
1976.12.13	“ ”	6.8	西昌	16.5%	“ ”		7 天	✓
1976.11.7	盐源	6.9	太和			双点(隔8天)	9 天	✓
1976.12.13	“ ”	6.8	“ ”			双点(隔10天)	14 天	
1969.7.18	渤海	7.4	沙河	160%	300KM		9 天	✓
1969.7.18	“ ”	7.4	洼里	200%	300KM		9 天	✓
1975.2.4	海城	7.3	盘锦	17%	90KM		19 天	✓
1978.7.13	黑水	5.4	松潘	-50%	90KM		18 天	✓

二、水氡突变的时空强分布及形态特征

由前节图表、文献〔1, 2〕以及大量的实践资料, 我们对水氡突变可以得到下列十点启示。

(1) 水氡突变的时间分布 水氡突变到地震发生的时间间隔一般为几天至十几天左右。渤海、海城、唐山等几次大震总结中(大震前水化水氡的震兆特征)归纳了水氡高频度突变多集中在震前6~12天, 在文献〔1〕中又论述了水氡突变时间的“倍九”优势, 看来, 在寻求突变时间的分布上是大体一致的。

(2) 水氡突变的重现性 同一泉孔对多次地震(包括同一震源体的多次地震)、同一地震对不同泉孔, 其水氡突变大多表现为重现的特点, 这就否定水氡突变是偶然的说法, 而肯定了水氡突变的客观规律性。

(3) 水氡突变的大范围性 如唐山7.8级大地震距震中640公里的清江、海城7.3级大地震距震中540公里的廊坊、渤海7.4级大震距震中355公里的沙河都发生较大幅度的突变。不过, 中小地震突变范围小。因此, 多泉孔的大范围突变即是判断大震的依据之一。

(4) 水氡突变的大幅度性 如渤海7.4级大震前洼里泉点的最大异变幅度为535%，海城7.3级大震前盘锦突变幅度最小为17%，大多数为百分之几十。这个易于觉察的征兆对地震预报更为重要。

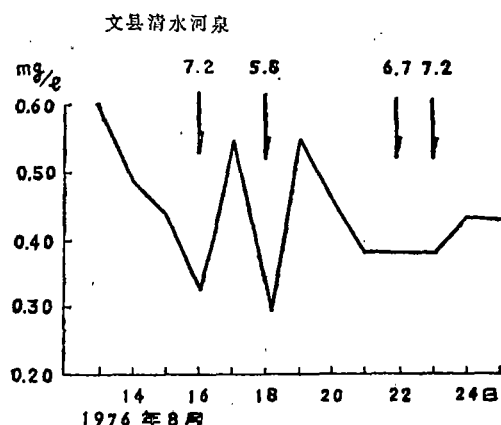
(5) 水氡突变形态的多样性 有单峰、双峰、多峰、高低峰峪型，也有短暂的连续性。不同的泉孔所呈现的形态不一样。如太和井孔对多次地震表现为双峰型突变，管庄井孔对多次地震表现为高低峰峪型突变，姑咱泉孔对多次地震表现为单峰型突变。掌握一些泉孔的特殊性短临变化使临震信息更加可靠，有利于地震预报，

(6) 水氡突变的相对独立性 水氡突变是特殊的异常形式，不受中短期异常的制约。中短期异常明显的井孔而不一定有临震突变，有临震突变的又不一定有趋势异常。例如唐山大震在50个泉孔中有15个无突变，但大多数表现为显著的趋势异常，而趋势异常不明显的30个泉孔中却大多呈现突变异常。把握突变这个显而易见的特征，作为临震预报显然比中长期异常更为重要。

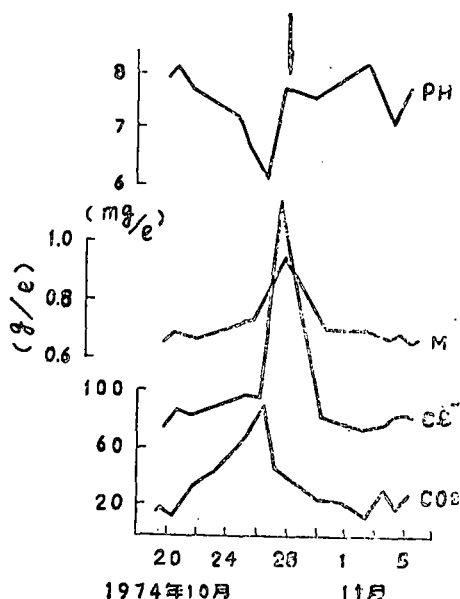
(7) 水氡突变幅度和时间与距震中远近无明显关系 一是近震中的井孔不一定比远离震中的井孔突变幅度大，如唐山大震位于震中的自来水厂井孔毫无临震反应，而远离震中640公里的清江临震突变却十分明显，最大异变幅度达40%以上；二是近震中的井孔不一定先突变，如渤海7.4级大震距震中175公里的塘沽于震前11天突变，而洼里距震中335公里则于震前18天突变。由此可知，考虑到地质构造、水文地质条件、地球化学环境的制约是十分必要的。

(8) 突变的同步性 在文献〔1〕中已经论述过地球物理场、地球化学场与水氡突变具有同步性特点。本文仅介绍我国松潘大震所引起氟离子等化学因子的突变(图十)，还有苏联1974年10月28日在距朱拉马特热水5公里处发生5.4级地震前二氧化碳、氯离子等地球化学因子突变情况(图十一)。多种前兆手段的同步性突变对综合分析临震预报提供了可靠性。

(9) 水氡突变时间的短暂性 多者几天，少者几小时、数分钟。因而，只有实现水氡连续自记才能可靠地捕捉临震突变，避免单点取样的遗漏。有些泉孔临震前未发现水氡突变，很可能是极短暂的突变被单点取样所丢失。如唐山大震前廊坊水氡自记临震曲线、宝坻5.1级地震建材院水氡自记临震曲线，还有日本伊



图十 松潘地震F⁻(氟离子)临震突变
〔地震战线 1977.2〕



图十一 朱拉马特热水中CO₂、Cl⁻、M、PH的临震突变图形〔文献〕

豆7.0级大震翠光圆水氡自记曲线都获得极短暂的完整的突变形态,这就避免了取样与观测中的偶然性干扰,有效地捉住临震信息。见图六(1)、图八。

(10)对多次地震均有显著突变的泉孔(如表二中的姑咱、管庄、西昌、太和等)大多处在构造带上,实践与理论都证明了在断裂的端点、断裂的交汇处其应力变化最大,所以突变既显著又容易重现。对此可指导我们如何选择泉孔和布局水氡观测点。

三、水氡突变的机理初探

水氡为什么会发生突变?又为什么大多在临震前几天至十几天短暂的、间歇式的呈现?它与大震发生有什么内在联系?这类问题国内外至今未有专论。至于应力—应变引起水氡异常学说、高频振动引起水氡异常学说、多节点理论—水氡大范围不均匀异常学说、水氡突变—氡团混入模型学说,尽管从不同角度不同程度来解释水氡异变的成因问题,但都存在的问题。例如应力—应变引起水氡异常学说,它不能解释临震前氡气短暂的突变现象;高频振动学说虽可引起氡气异变,但无法解释震前的短暂过程,况且高频振动易被吸收,因之只能解释震源区局部地方的情况;多节点理论虽能说明大范围氡气异变的分散分布,但不能说明各点氡气突变形成的原因即无法与震源区挂勾;至于氡团混入模型学说,我们认为不能解释引起氡气突变的前因,只能解释后果,而在解释后果上还有不妥之处(对此问题我们后面还要专门谈到)。由此可见,进一步讨论临震前氡气突变的机理还是必要的。

为了解释临震前震源区及其大范围的、不均匀、不同一、短暂的水氡突变,势必有一种与震源应力相关的、各自差异的、大范围的、短暂的触发力,这种力很可能来源于多点暴沸,“多点暴沸引起浅层水氡突变”的推论有可能成为水氡突变的机制,本文试图从以下几个方面论述。

(1)多点暴沸条件存在的可能性 在文献[3]中已有论及,地壳浅层几公里处,大致为震源体的顶部和沉积层的底部,这里具有储存流体的构造、裂隙。这些流体有的可能渗流泄走,有的可能封闭圈内,在此环境下的流体有较高的温度和孔隙压力,这是可以理解的。钻井时每下100米深其温度平均升高3℃左右,一个深1662米的钻孔水温达61℃,某些温泉水流到泉口还能保持近沸腾状态。有些大震前个别泉孔冒出沸腾的水气。另外,沉积岩的传热性能差,从深部而来的热流有可能在沉积基底聚热,尤其在孕震力场作用下,更有利于升温升压而导致更多封闭体系成为过热状态。过热状态的液体储有欲放之能,因而是极不稳定的。一遇外力即刻暴沸。我们在实验室看到过液体蒸馏实验。一旦水滴堵塞,压力升高,沸点升高,呈现瞬间过热状态,此时微碰蒸馏烧瓶或堵塞液滴下落(减压)或突然升温,都能产生暴发性的沸腾,发出响声,冲垮装置。为此,实验者放些沸石(如瓷片)于蒸馏瓶内或控制均匀加热,以防暴沸。室内实验可以大致模拟多点暴沸的形成过程,一个正在孕育、发展大震的震源体及其附近应力逐步积累,某些应力突出的部位,特别是压缩区,促使封闭液体呈现过热状态。临震前震源断层面上予滑或断层两端外的调整单元予滑,即相当于震源向外围施加力量,引起应力应变急剧加速发展和扩伸,触发多点暴沸。除此,热流上涌而升温,裂隙相通而减压,地球化学因子的反应等都能触发多点过热液体的暴沸——水氡突变的客观可能性和普遍性。

(2)多点暴沸有相对独立性 因各处封存过热液体的封闭体积大小、过热程度以及所处地质构造的各向异性,使多点暴沸发生的时间、空间和力量大小也有一定的差异性,即不一定由震源区向外由近及远、由大及小地规律性分布—水氡突变时空强分布的差异性。

(3) 多点暴沸有一定的链锁性 一处暴沸有可能触发另一处(或多处)暴沸, 由此及彼, 成链锁反应, 这个作用能加剧大区域的、不均匀的应力应变—水氡突变的大范围不均匀性。

(4) 多点暴沸的短暂突发性 在未暴沸前的体系仍处“内紧外静”一旦暴沸发生, 就能使高温高压下的气液剧烈膨胀而产生不可低估的作用力, 可以想像为一个小型的人工爆破的冲击震动力, 暴沸点周围岩石压裂、缝隙伸张、水层串通是完全可能的。虽然暴沸后液体内的内能很快解除, 但毕竟在一定范围内引起温度和压力的变化, 首先反映水动力学的状态改变。因此与水氡突变的同时, 还有水温、水压、流量、水位等大幅度变化。由于受到地质构造、地球化学环境、水动力学、越流渗透和浅层水交换等条件的制约, 使一些泉孔水氡突变既有短暂的连续性, 又有短暂的间歇性, 既有重现性又有非重现性, 既有同步性又有非同步性。鉴于多点暴沸是相对独立的突发性作用, 所以引起水氡突变的临震异常不受中长期异常的制约—水氡突变的短暂性、形态多样性和相对独立性。

(5) 高氡水的来源问题 综上所述, 引起泉孔水氡突变还必须考虑到有一股短暂的高氡水来源, 来自何方? 是浅层还是深层? 迄今未有专论。本文提出高氡水来源于浅层的见解, 这可从四个方面来说明。

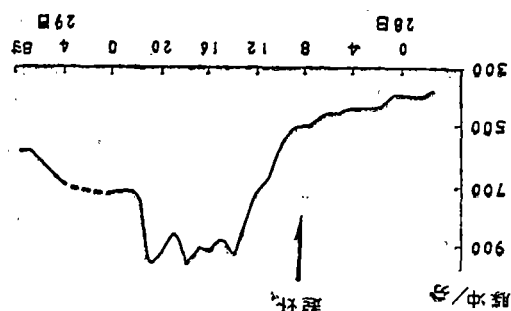
第一、在地壳深部岩石愈致密, 气压愈大, 则岩石射气系数愈小; 地下水温度越高, 氡气从水中脱出越多, 则氡的溶解系数越小。加之深层地下水循环极其缓慢, 这些水不可能富集短寿命的氡, 最多是与溶于水中之镭处于放射性平衡的量级或更小。这就否定了深层水氡团存在的可能性。

第二、多点暴沸所引起高温高压的气液上推作用, 首先使浅层水作用于泉孔。当然这里也不排除越流渗透或水平渗透的作用, 可是深部水迂回曲折反映到地表泉孔, 要经过很长时间, 而氡的半衰期又极短(3.825)天, 这也难以设想由深部而来的高氡水会产生大幅度突变。

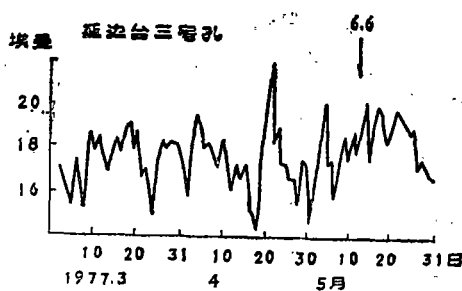
第三、由放射系衰变图可知, 我们观测的水氡是由镭(母体)经 α 衰变而产生的子体元素, 没有高镭之源就没有高氡之流。在文献〔4〕中提到镭很容易以卤化物、硝酸盐、氢氧化物等化合物形式从岩石中浸提出来, 并较广泛地转移到水中。随着地下水的循环而产生溶解、混合、吸附、沉淀、解吸附等作用, 破坏了岩石及水中的放射性平衡与分布, 其结果在地壳浅部既存在着镭贫化的岩水体系(低氡水区), 也存在着次生富集镭的岩石或吸附作用而形成的镭射气聚集体(高氡水区)。其中一大部分可溶性镭的化合物在泉孔出露地表的地方被吸附在导水裂隙的壁上或酸性侵入岩、粘土质及铁锰沉积中。上述作用过程为局部地区高氡水和低氡水的形成找到了依据, 当高氡水逸出泉口而突升, 低氡水逸出泉口而突降。

第四、实验证明浅层水氡突变的机制 〔I〕国内多次爆破的水氡观测结果都在起爆后较短时间内呈现短暂的突变。例如1974年安徽×矿爆破, 起爆后5小时~19小时一号抽水井水氡突变, 由爆破前23.9埃曼升高到32.0埃曼(图十二)。这个事实很有力地证明高氡水并非来自深部而是浅层地表。〔II〕国内外曾进行土氡观测试验, 对5米左右孔层也发现氡气临震突变。例如1977年5月12日宁河6.6级地震前, 我国延边地震台3号孔土氡4月21日突升幅度达27.6%(图十三)。根据文献〔5〕提出氡在土体内远距离运移的一种假说—地下流体对流。即使这种假设是真实的话, 氡在土体内也只能运移100米左右。毫无疑问, 土氡突变同样说明在地表却有高氡水存在(或土壤里高含量氡气)。(II)我所于1978年11月曾对武山

温泉水及其附近冷家沟的冷泉水进行氦值测量, 结果是深循环的武山温泉水氦值约100埃曼, 而浅循环冷泉水氦值约300埃曼, 这也说明浅层高氦水存在的事实。



图十二 ×矿爆破水气自记曲线
〔据国家地震局资料〕



图十三 宁河 6.6 级地震前土气突变曲线
〔地震战线 1978.2〕

最后还必须强调指出, “多点暴沸引起浅层水氦突变”的推论, 并未否定孕震区及其附近应力场的作用, 特别是临震前予位移对过热液体暴沸的触发作用。因而, 只能在一个大地震的临震前才有可能引起多点暴沸, 使水氦在大范围内呈现突变异常。非破坏性小震仅能在有限范围内引起个别泉孔的水氦突变。这是我们利用水氦突变预报大震的基础。至于个别泉孔在无震时也偶尔出现突变现象, 那可能是地壳局部地区存在极不稳定的过热液体, 一旦迁到某种触发性因素(如气压降低、固体潮上升、远大震震波的扰动、深部热液上涌等)就暴沸而引起的。然而, 这是我们在综合预报中必须注意的, 也是完全可以判断的。

*姚庆春、王振亚等同志对查询某些图纸时曾给予热情支持, 本人甚为感谢。

参 考 文 献

- 〔1〕郭增建等: 地震活动倍九日期, 地震战线, 1978.4.
- 〔2〕兰州地震研究所: 用氦气突跳预报地震发生时间的讨论, 西北地震学报, 1979, 1.
- 〔3〕郭增建等: 临震前兆的一种可能机制—暴沸, 西北地震学报, 1979, 1.
- 〔4〕К.В. Филатов, Основные Закономерности Формирования Химического Составы подземных вод и поисковые признаки нефтегазоносности, Москва «недра» 1976.
- 〔5〕A. Mogro-campero, R.L. Fleischer, Earth and planetary Science Letters, 1977, 34, 2, P321—325.
- 〔6〕Д.Г. Осика等, Гидрогеохимические аномалии, предшествующие Тектоническим Землетрясениям, —отражение условий формирования их ачаговых Зон. ДАН СССР, 1977, 233, 1, P74~77.