

大震前水氡同步异常变化及其预测意义探讨^{*}

张 昱, 刘小凤, 常千军, 陈 瑶, 刘宝勤

(甘肃省地震局, 兰州 730000)

摘要: 分析了 1990 年 4 月 26 日青海共和 7.0 级地震、2000 年 9 月 12 日青海兴海 6.6 级地震、2001 年 11 月 14 日昆仑山口西 8.0 级地震和 2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级地震前青海、甘肃以及四川北部地区部分水氡观测点的资料变化情况, 发现这些测点的观测资料存在同步或准同步的变化, 而且变化时间早, 持续时间长。共和地震前, 距震中越近的测点, 出现的趋势性异常所占的比例越高, 异常时间越早。昆仑山口西地震的异常持续时间更长, 多数异常点距震中更远。随着时间的推移, 异常点从西北向东南迁移。兴海地震个别测点出现异常。汶川地震的异常的同步性更好, 而且多数测点的同震效应非常明显。这些地震的异常的恢复时间均无明显的规律, 有些是在地震前恢复, 有些是在地震后恢复。

关键词: 水氡异常; 同步变化; 大震前后; 地震预测

中图分类号: P315.72⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0666(2010)03-0253-06

0 引言

地震地下流体是指与地震孕育、发生和构造活动有直接联系的、赋存于地壳岩体空隙中的水、气、油等物质。大陆地下流体前兆的物理力学机制, 主要是基于强震孕育的动力学原理, 即在区域应力作用下, 当地壳介质受到力的作用而发生变形破坏时, 赋存于介质中的流体在动力作用、热力作用和化学作用下发生的动态变化。刘耀炜等 (1999-2000) 认为, 强震流体前兆主要表现在异常时间发展的阶段性、加速性和群体性等特征上。

氡是一种放射性气体, 是镭衰变的中间产物。氡在岩石的孔隙和裂隙中以自由氡、吸附氡和封闭氡的形式存在。实验证明, 氡反应灵敏, 当受到外界的压力、振动等作用时, 氡容易从其赋存的介质中逃逸出来, 因此, 当地下应力发生变化时, 地下水中的氡浓度会出现不同程度的变化, 这就是水氡观测的依据 (阴朝明等, 2001; 孟晓春, 2005)。氡作为地下流体学科的敏感组分, 是地震科学研究中观测时间最长、研究最广泛的地下流体项目之一。对于氡的观测研究在我国的地

震分析预报工作中起着十分重要的作用。

根据以往震例 (马宗晋等, 1982), 一次 7 级以上地震的前兆异常分布的范围较大, 而且不均匀。地震预报工作者总希望从复杂的异常图像中找出与孕震有关的前兆信息, 从而提取强震的前兆标志。本文分析了青藏高原东北部地区的几次强震前甘肃、青海和四川北部地区的一些水氡观测资料, 发现多数测点的资料在 1990 年 4 月 26 日青海共和地震前、2001 年 11 月 14 日昆仑山口西地震前和 2008 年 5 月 12 日四川汶川地震前存在比较同步的趋势异常, 这些异常持续时间均较长, 最短的也有一年半以上。有些异常点距震中较远, 例如, 2001 年 11 月 14 日昆仑山口西 8.1 级地震的震中外围约 300 km 范围内没有地震前兆观测点, 但地震之前, 在远离震中的地区, 记录到了十分典型的地下流体异常。这些异常多数是在远离震中几百甚至上千千米的测点记录的, 这些测点的正常动态规律清楚, 异常幅度很大, 持续时间较长, 异常与地震的对应关系很明确。所以在远震、大震前记录到的地下流体前兆异常是可信的, 是值得重视与深入研究的 (车用太等, 2002)。因此, 本文所做的研究能在今后的地震监测预报工作中发挥一定作用。

^{*} 收稿日期: 2009-10-12.

基金项目: 中国地震局震情跟踪合同制定向工作任务 (2009010103) 和甘肃地震重点危险区震情深入跟踪项目 (2010010105) 联合资助.

1 测点（井）概况

本文使用了 17 个水氡测点的资料，各测点的基本情况见表 1。下面先对有较详细资料的甘肃境内的通渭、武山 1 号泉、武山 22 号井、天水花牛、平凉附件厂、武都、张掖西武当测点，青海境内的共和、湟源、乐都、循化、民和测点，四川姑咱测点略作介绍。

通渭台地处通渭县城西汤池河边，泉水出露于花岗岩与片麻岩的接触带上，主要含水层为花岗岩。武山 1 号泉出露于近南北向的聂河断裂与北西向的蔡家河—马长庄断裂交汇部位，主要含水层为花岗岩。武山 22 号井也处在聂河断裂附近，为热水自流深井，水温 56℃，井深 154 m。天水台地处西秦岭北缘断裂，泉水出露于永川河洪积堆边缘，主要含水层为砂砾岩和泥岩。平凉附件厂水氡台地处六盘山断裂东侧，井水出露于泾河级阶地上，为自流井，主要含水层为砂砾岩。武都地震台地处南北地震带中段、秦岭构造带西端，小

的构造部位为光盖山—迭山南断裂，该泉为上升泉，泉水出露于北东东向的断层破碎带上。断层破碎带的北盘为上志留系厚层状灰岩，南盘为板岩和千枚岩。该地区历史上曾发生过武都 8.0 级大地震。西武当泉出露于民乐盆地西南缘，位于祁连山中段北缘断裂带上。泉点所在断层位于奥陶系硅质岩、凝灰岩与第三系砂质岩之间。泉的类型为断裂泉，成因类型为溶滤水（张昱等，2008）。

共和地震台位于共和县恰卜恰镇。境内地质条件复杂，断裂带纵横交错。观测井深 174.35 m，属第三系承压水层中的自流水，水流稳定，不受外界干扰。该区地震活动频繁，发生过 7.0 级地震。湟源水氡泉点地处日月山构造带，为断裂上升泉，主要含水层为片麻岩。乐都台地处达坂山与拉脊山交汇处的小断裂带上，水点属断层裂隙上升泉。循化泉点北部是拉脊山构造带，泉点出露于第四纪松散堆积物中，岩性为第四纪泥质砂砾石，属下降泉。民和泉点位于达坂山—拉脊山构造带，水点类型为下降泉，含水层岩性为第四纪粘质砂土夹砾石层（张昱等，2008；陈铁流等，2005）。

表 1 观测台站、水点类型与测点的构造部位等参数表

测点名	所在断裂	水点类型	地层岩性
甘肃通渭	通渭—会宁	温泉水	花岗岩
甘肃清水	西秦岭北缘断裂	温泉水	花岗岩
甘肃天水	西秦岭北缘断裂	上升泉	砂砾岩、泥岩
甘肃武山 22 号井	蔡家河—马长庄	热水井	花岗岩
甘肃武山 1 号泉	蔡家河—马长庄	上升泉裂隙水	花岗岩
甘肃平凉柳湖	六盘山断裂	自流井	砂砾岩
甘肃平凉附件厂	六盘山断裂	自流井	砂砾岩
甘肃武都	光盖山—迭山南	上升泉	板岩灰岩
甘肃张掖西武当	祁连山北缘	泉	凝灰岩
青海西宁	拉脊山构造	上升泉	第三纪砂砾岩
青海湟源	日月山构造带	上升泉	片麻岩
青海民和	达坂山—拉脊山	下降泉	第四纪粘质砂土夹砾石层
青海循化	拉脊山构造	下降泉	第四纪泥质砂砾石
青海乐都	达坂山—拉脊山	上升泉	花岗闪长岩
青海共和	青海南山构造	自流井	第三纪砂砾石
青海大武	西秦岭—积石山		砂砾岩及泥质岩
四川姑咱	鲜水河—龙门山—安宁河	上升泉	花岗岩，闪长岩

姑咱台位于康定县姑咱镇，构造上处在鲜水河断裂带、龙门山断裂带、安宁河断裂带交汇部位附近。该地区属隆起与沉降的交界地区，构造复杂，断裂纵横交错。地下水类型属上升冷泉。

2 1990年青海共和 7.0级地震

1990年青海共和 7.0 级地震与祁连山地震带

密切相关。共和地震震中位于祁连山与昆仑山两大构造带之间的共和盆地南缘的隐伏断裂带上, 最大烈度达 9 度, 极震区的塘格木农场场部、共和县铁盖乡政府、兴海县河卡乡的红旗村被夷为平地, 西宁市震感强烈, 地震波及青海全省和甘肃兰州及张掖等地区。

共和地震震中周围水氡测点相对比较密集, 地震时震中周围 520 km 范围内共有 25 个测点, 其中 300 km 范围内有 13 个测点, 400 ~ 500 km 范围内有 8 个测点, 500 ~ 520 km 范围内有 4 个测点。

2.1 水氡趋势异常的时间分布特征

25 个水氡测点中有 8 个点出现趋势异常。共和 7 号钻孔水氡异常始于 1988 年 2 月, 湟源水氡异常始于 1988 年 2 月, 大通县长宁水氡异常始于 1988 年 5 月, 西宁水氡异常始于 1988 年 5 月, 张掖西武当水氡异常出现于 1988 年 8 月, 乐都水氡异常始于 1988 年 10 月, 民和水氡异常始于 1989 年 2 月, 循化水氡异常起始时间为 1989 年 2 月。第一批 4 个测点共和、湟源、长宁、西宁水氡出现异常的时间为 1988 年 2 月至 5 月, 第二批 2 个测点西武当、乐都出现异常的时间为 1988 年 8 月至 10 月, 第三批 2 个测点民和、循化出现异常的时间为 1989 年 2 月。其中共和、湟源、长宁、西宁水氡异常出现时间较早, 异常显著, 临震前水氡测值均有下降, 且同步性较好; 而民和、循化水氡异常出现时间较晚, 地震发生在水氡测值上升过程中。长宁、民和的异常属破年变异常(刘耀炜, 张元生, 1998; 王长岭等, 1999)。另外, 所有异常均有成组性, 同步性较好。

2.2 水氡趋势异常的空间分布特征

异常测点的震中距分别为: 共和 7 号, $\Delta = 50$ km; 湟源, $\Delta = 125$ km; 西宁, $\Delta = 160$ km; 长宁, $\Delta = 172$ km; 乐都, $\Delta = 205$ km; 循化, $\Delta = 220$ km; 民和, $\Delta = 240$ km; 西武当, $\Delta = 298$ km(刘耀炜, 张元生, 1998)。震中距在 300 km 以外的测点均未出现异常。

2.3 不同空间位置趋势异常起始时间的差异性

可以看出, 共和 7.0 级地震前, 水氡趋势性异常的空间分布特点为距震中越近的测点, 出现趋势性异常的测点越多, 越远的测点, 出现趋势性异常的测点越少。距震中越近的测点, 趋势性异常出现的时间越早, 异常出现的平均时间间隔越长。随着震中距的增大, 趋势性异常出现的时间逐渐推迟, 异常出现的平均时间间隔越长。

共和地震前在距震中 520 km 范围内的 25 个测点中, 出现异常的测点均在 300 km 范围内。在震源区及其附近, 出现水化学趋势性异常的测点最多, 随着距震源区距离的增大, 出现水化学趋势性异常的测点逐渐减小, 直至 300 km 以外, 没有水点出现趋势性异常。趋势性异常以高值异常为主, 位于震源区的水点, 水化学趋势性异常的出现时间早, 随着距震源区距离的增大, 趋势性异常出现的时间变晚。多数水氡测值在震前出现下降, 在个别测点的测值上升过程中发震。异常持续时间多数为两年左右。

3 2000 年青海兴海 6.6 级地震和 2001 年昆仑山口西 8.1 级地震

2000 年青海兴海地震发生在共和盆地西部边界的鄂拉山断裂带。兴海地震是 1990 年青海共和 7.0 级地震以来在共和盆地及其周边地区发生的又一次强烈地震。

昆仑山口西 8.1 级地震处在青藏高原北部的昆仑山构造带上。地震时青海、四川、甘肃、新疆的部分地区有强烈震感, 青海震区部分房屋倒塌, 青藏公路 109 国道多处断裂, 青藏铁路格尔木—拉萨段受到不同程度破坏, 昆仑山震区形成一条 350 ~ 400 km 长的地震断裂带(陈文彬等, 2001; 沈军等, 2002)。这次地震引起国内外地震学家的关注, 对于其震中位置、震级、震源深度、震源机制解等的分析有不同结果, 说明该地震的类型与震源破裂特征的复杂性(车用太等, 2002)。这次地震发生在“无人区”, 震中外围约 300 km 范围内没有地震前兆观测台站, 因此关于地震前兆异常的报道较少, 但在远离震中的地区记录到了十分典型的地下流体震前异常。

3.1 趋势异常的时空演化特征

1996 年底, 青海东北部地区和甘肃东南部地区出现了以水氡迁移为主的大面积趋势性异常。整个异常过程可分为 3 个阶段。第一批异常始于 1996 年, 分别为通渭台、西宁台、湟源台、长宁台的低值趋势性异常; 第二批异常为 1997 年开始的民和台、循化台、海南台和武都水氡的破年变低值趋势性异常(张敏, 荣艳, 2001); 第三批异常为 1999 年出现的平凉柳湖、平凉附件厂、清水、武山 1 号泉、武山 22 号井、天水花牛等测点以破年变为主和

低值为主的水氡趋势性异常，这些异常的起始时间和结束时间具有较好的同步性，如平凉柳湖水氡和平凉附件厂水氡异常在 2001 年结束，随后昆仑山口西地震发生；天水水氡、清水水氡、武山 1 号泉水氡、武山 22 号井水氡、武都水氡、湟源水氡在昆仑山口西地震发生后低值开始上升或转折，多数测点的异常在 2002 年至 2003 年结束。异常点在空间上也基本具有从西北向东南迁移的特征。图 1 和图 2 为部分测点水氡观测值的典型变化曲线。

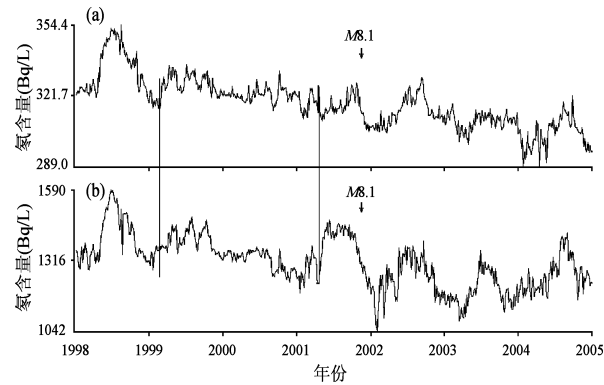


图 1 昆仑山口西 8.1 级地震前后平凉柳湖 (a)、平凉附件厂 (b) 水氡五日均值变化曲线
Fig 1 Curves of five day mean value of water radon before and after Kunlun Mountains M8.1 earthquake
(a) Liuhu Pingliang; (b) Fujiangchang Pingliang

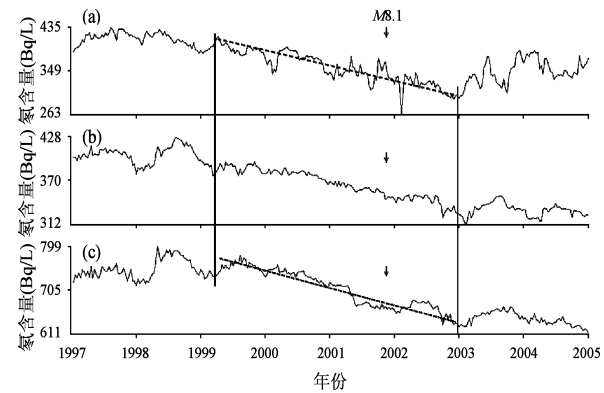


图 2 昆仑山口西 8.1 级地震前后武山 22 号井 (a)、武山 1 号泉 (b)、清水水氡 (c) 旬均值曲线
Fig 2 Curves of ten day mean value of water radon before and after Kunlun Mountains M8.1 earthquake
(a) No. 22 well Wushan; (b) No. 1 Spring Wushan; (c) Qingshui Station

3.2 短临异常分析

2000 年后，一些测点的水氡值出现了短期和突变异常。2000 年 6 月和 7 月大武气氡和乐都气氡值分别出现了较大幅度的下降，2000 年 7 月 16 日，乐都气氡值下降幅度为 120 Bq/L 大约下降到正常值的 50%，25 日降到全年最低值 77 Bq/L 28 日又回返到均值。西宁水氡观测值于 9 月 6 日发生高值突跳，高出正常值 4 倍左右，高值异常持续了 3 天。这些异常的出现标志着强震的发生可能进入短期甚至短临阶段 (张敏, 荣艳, 2001)。我们认为这些异常应该与 2000 年 9 月 12 日兴海 6.6 级地震有关。

兴海地震与昆仑山口西地震在时间上相距较短，在空间上相距较近 (就同一地区的大震而言)，所以笔者认为长时间的趋势性异常与昆仑山口西地震有关，而短期的突变异常与兴海地震有关。

2001 年昆仑山口西地震发生时，在远离震中几百甚至上千千米的甘肃和青海东南部地区，记录到了十分典型的地下流体异常。甘肃东南部地区的异常点距震中 1 400 ~ 1 500 km 左右，主要以低值异常或破年变低值异常为主。异常最早出现于 1996 年，持续时间较长。

4 2008 年四川汶川 8.0 级地震

汶川地震发生在人口密集地区，造成了巨大的人员伤亡和经济损失。极震区烈度为 XI 度，余震非常发育，最大强余震为 5 月 25 日 16 时 21 分的青川县 6.4 级地震^①。这些余震主要分布在从映秀镇到青川县的龙门山断裂带的中北段，形成长达 300 km 的余震带。

4.1 汶川地震的趋势异常

我们对收集到的观测资料进行了分析，发现汶川地震前武山 22 号井、武山 1 号泉、武都、天水花牛、四川姑咱、青海湟源等测点的水氡资料存在趋势性异常，而且有明显的同步或准同步变化。武山 22 号井和武都测点水氡均为低值异常 (图 3)，异常开始时间分别为 2006 年 7 月和 2006 年 9 月；姑咱测点水氡和湟源测点水氡均为缓慢上升的高值异常 (图 4)，异常开始于 2006 年 5 月左右；武山 1 号泉和天水测点水氡为破年变异常。

^① 中国地震台网中心. 2008. 中国地震台网中心大震目录. 1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

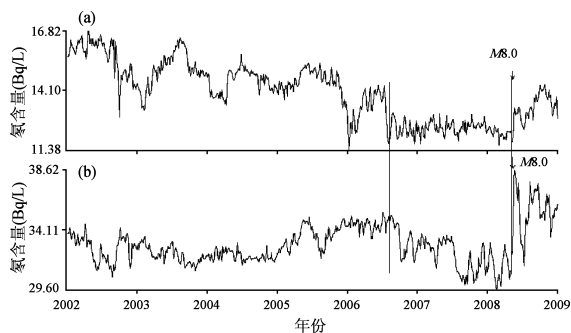


图 3 汶川 8.0 级地震前后武山 22 号井 (a) 和武都水氡 (b) 变化曲线

Fig 3 Curves of water radon before and after Wenchuan M_{8.0} earthquake

(a) No 22 well Wushen (b) Wudu Station

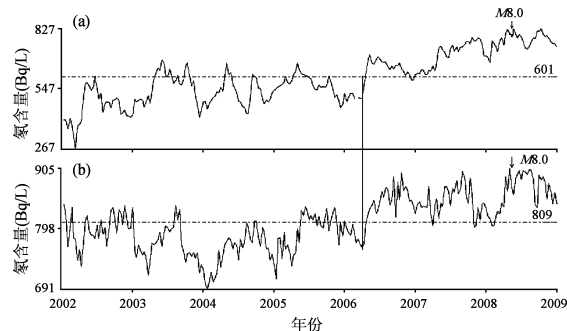


图 4 汶川 8.0 级地震前后湟源水氡 (a) 和姑咱水氡 (b) 变化曲线

Fig 4 Curves of water radon before and after Wenchuan M_{8.0} earthquake

(a) Huangyuan Station (b) Guzan Station

4.2 趋势异常特征

从上一节中可以看出, 汶川地震前有 6 个测点的水氡存在明显的异常, 其中 4 个为趋势性异常, 两个为破年变异常, 趋势异常开始于 2006 年 5 月至 9 月间, 时间上比较同步, 异常持续时间比 2001 年昆仑山口西地震的异常持续时间短, 而与 1990 年青海共和地震的异常持续时间相近, 均为两年左右; 两个测点破年变异常均在异常恢复后 5 个月左右发震。这些异常点的空间分布规律不明显, 不像共和地震那样, 在震中附近异常由多到少, 异常出现时间由早到晚; 也不像昆仑山口西地震那样, 异常呈有序迁移; 汶川地震前出现异常的测点均距震中较近, 最远的点也未超过 700 km。与共和地震和昆仑山口西地震异常最大的区别是, 多数测点对于汶川地震的震后效应明显,

即使是那些震前异常不明显的测点, 震后效应也非常明显。

5 认识与讨论

从上文的分析可以看出, 1990 年共和 7.0 级地震前存在一个水化学前兆场, 这个场的场源范围较小, 只有 300 km。位于震源区的测点, 趋势性异常出现的时间较早, 随着距震源区距离的增大, 异常出现的时间逐渐推迟。趋势性异常的形态以高值异常为主, 多数测值在震前开始下降, 在个别测值上升过程中发生地震。异常持续时间多在两年左右。

在远离昆仑山口西地震震中几百甚至上千千米的甘肃和青海东南部地区, 记录到了十分典型的地下流体异常。这些异常以低值异常或破年变异常为主。异常最早出现在 1996 年, 异常持续 4 年多时间, 短的也有 2 年多时间。异常恢复时间不完全相同, 但有成组性, 最早的通渭、平凉附件厂、平凉柳湖等水氡测值在地震之前即 2001 年三四月就发生转折或恢复, 多数测点的水氡测值直到地震发生后的 2002 年甚至 2003 年才发生转折和恢复, 所以异常持续时间更长。

对于 2008 年汶川地震, 在我们所研究的地区, 记录到异常的台站没有昆仑山口西 8.1 级地震中记录到异常的台站数量多、距离远。出现异常的测点均距震中较近, 最远的点也未超过 700 km。水氡既有高值异常, 也有低值异常。多数水氡测点的震后效应非常明显, 有些是震前异常明显的点, 有些测点的震前异常不明显。

传统的地震前兆理论认为, 地震前兆是地震孕育过程中的产物, 是震源体孕育与发展过程中产生的信息。然而实际观测中, 每次地震前不一定都能观测到比较相似的前兆异常。昆仑山口西地震和汶川地震同为 8 级大震, 但震前出现的异常有明显差异。一个是在远离震中上千千米的地区能够记录到大范围、长时间、低值为主的趋势性异常, 而另一个是在震中附近几百千米的地区才能记录到趋势性异常, 异常无论持续时间还是数量都有明显差异。这可能是由于观测资料有限, 并且观测台站无法覆盖到每个地震的孕育范围, 也可能与震中相对于各测点的位置、测点与构造所处的位置不同等因素有关。

另外, 即使是在某些地震前发现一些前兆异

常,我们往往只考虑出现异常的地区或附近地区,一般不会考虑太远的地区,甚至有些异常持续时间很长却没对应地震,这正是地震预报的难点所在。比如在上千千米以外的甘青地区能够记录到明显的昆仑山口西 8.1 级地震震前异常,仅仅依据震级的大小与前兆异常距离的远近来作预测预报是不够的。依据《中国震例》(张肇诚等, 1988), 5 级、6 级、7 级地震的前兆异常统计范围分别在 200 km、300 km 和 500 km 区域,那么 8 级地震的异常范围按 7 级地震的异常范围增加一倍也只有 1 000 km,而昆仑山口西 8.1 级地震距甘肃最远的异常测点为 1 500 km,距河北的异常测点达到 2 000 km(车用太等, 2002),这与我们常规的、传统的地震预报思路完全不符,远远突破了人们对地震的狭义前兆异常分布范围的传统认识(杜方,吴江, 2008)。这进一步说明了地震前兆异常的复杂性。尽管前兆异常很难捕捉,但从以上几次震例看,似乎还是有一定的共性,这几次地震前异常的同步性和成组性非常好,主要为趋势异常,而且异常持续时间较长。若出现大范围、长时间的成组变化异常,在异常地区或周缘地区就存在发生大震或特大地震的可能。

参考文献:

车用太,谷元珠,鱼金子,等. 2002 昆仑山口西 $M_{s8.1}$ 地震前地下

流体的远场异常及其意义[J]. 地震, 22(4): 106—113.
陈铁流,任铁生,黄泽荣,等. 2005. 青海省地震监测志[M]. 北京:地震出版社.
陈文彬,徐锡伟,张志坚,等. 2001. 2001 年 11 月 14 日青新交界 $M_{s8.1}$ 地震地表破裂带的初步调查[J]. 西北地震学报, 23(4): 313—317.
杜方,吴江. 2008. 昆仑山口西 8.1 级地震引起的地下流体远场响应研究[J]. 地震研究, 31(3): 197—202.
刘耀炜,范世宏,曹玲玲. 1999. 地下流体中短期异常与地震活动性指标[J]. 地震, 19(1): 19—25.
刘耀炜,施锦. 2000. 强震地下流体前兆信息特征[J]. 地震学报, 22(1): 102—107.
刘耀炜,张元生. 1998. 共和 7.0 级地震前地下流体前兆的动态演化特征[J]. 西北地震学报, 20(3): 59—64.
马宗晋,付征祥,张郅珍,等. 1982. 中国九大地震[M]. 北京:地震出版社, 172.
孟晓春. 2005. 地震信息分析技术[M]. 北京:地震出版社.
沈军,尹光华,赵瑞斌. 2002. 2001 年 11 月 14 日新疆青海交界东昆仑 8.1 级地震构造背景初探[J]. 内陆地震, 16(1): 1—6.
王长岭,张慧,张佩山. 1999. 1990 年共和 7.0 级地震水化学前兆场特[J]. 西北地震学报, 21(3): 1—6.
阴朝明,高荣胜,付子忠,等. 2001. 地震前兆台网观测技术[M]. 北京:地震出版社.
张敏,荣艳. 2001. 兴海 6.6 级地震前地震活动的演化过程及地下流体异常的分析[J]. 高原地震, 13(1): 26—30.
张昱,李英,李永强,等. 2008. 甘肃及邻区数字化气氛观测及其地震前兆监测效能评估[J]. 地震研究, 31(3): 228—232.
张肇诚,罗兰格,李海华,等. 1988. 中国震例(1966—1975)[M]. 北京:地震出版社.

Analysis of Pre- and Post earthquake Water radon Anomaly

ZHANG Yu, LIU Xiao-feng, CHANG Qian-jun, CHEN Yao, LU Bao-qin
(Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract

The data of water radon from several seismic stations in Qinghai, Gansu and northern Sichuan is analyzed before $M_{s7.0}$ Gonghe, Qinghai earthquake, $M_{s6.6}$ Xinghai, Qinghai earthquake, west Kunlun Mountains $M_{s8.0}$ earthquake and $M_{s8.0}$ Wenchuan, Sichuan earthquake. The synchronous and quasi-synchronous anomalies of water radon appeared early in the seismogenic process of these earthquakes. The nearer the stations are to the Gonghe earthquake, the higher the ratio of the trend anomaly is, and the earlier the anomaly appears. For the $M_{s8.0}$ Kunlun Mountains earthquake, most of the anomalous points are distant and the anomalies last very long. The anomalous points migrate from the Northwest to the Southeast. For Xinghai earthquake, a few anomalies appear before the earthquake. For Wenchuan earthquake, the anomalies have a good synchrony and most of the anomalies have a good coseismic effect. For all the earthquakes, the time the anomalies disappear is not definite, some of the anomalies disappear before the earthquake, some of the anomalies disappear after the earthquake.

Key words: water radon anomaly; synchronous change; before and after strong earthquakes; earthquake prediction