

西北地区水氡震后调整性异常与 新地震异常的识别方法研究^{*}

张 慧

(国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

摘要 通过对甘肃及周围地区近几年来发生的 6 级以上地震前后水氡异常特征和时空演变分析,提出了西北地区水氡震后调整性异常与新地震异常之间的区别及三项判别指标,为地震发生后新的异常的判断提供依据

关键词: 甘肃 水氡 异常识别 震后异常

1 引言

当一次地震发生后相当长一段时间内,地震区及周围地区会出现许多异常现象,如何判断这些异常是属于震后调整性异常,还是新的一次地震的异常,如果是新的异常,那么未来地震震源区在哪里,这显然是地震预报的重要任务和研究课题。本文试图通过对甘肃及周围地区几年来的几次 6 级以上地震前后水氡异常特征和时空演变分析,提出西北地区水氡震后异常与新的地震异常之间的区别及判别指标。

2 甘肃及邻近地区水氡异常实例及异常形态

(1) 湟源水氡: 1983 年底至 1984 年初该测点氡含量变化处于低值,月均值为 66.2~68.8 Bq/L。1984 年 5 月,其氡含量有所上升,从 67.3 Bq/L 上升到 72.2 Bq/L。从 1985 年 9 月开始,氡值开始偏离背景值上升,1986 年 2 月达到最高值,即 81.1 Bq/L,1986 年 3 月开始下降,5 月降至 74.7 Bq/L,8 月 26 日发生了门源 M_s 6.4 地震 ($\Delta=120$ km),震后氡值恢复到正常水平(图 1)。

(2) 乐都水氡: 该测点自 1985 年 8 月开始观测,其氡含量月均值为 560~580 Bq/L。1986 年 2 月以后该测点氡值出现下降趋势,门源 M_s 6.4 地震前氡值降至 500 Bq/L,地震后,除 1987 年 4 月和 5 月呈现短期上升异常外,一直处于 500 Bq/L 左右的较低水平。1988 年 9 月以后氡值逐步上升,1989 年 4 月上升到极大值,此后持续下降,于 1990 年 4 月 26 日发生了共和 M_s 7.0 地震。共和地震后,氡值继续下降,到 1990 年 8 月氡值达到极小值 360 Bq/L 左右,9 月氡值大幅度上升至 420 Bq/L 左右,10 月出现小幅度的下降后,于 10 月 20 日发生了景泰 M_s 6.2 地震,地震后氡值缓慢上升并恢复至正常水平(图 1)。

(3) 互助水氡: 该测点在 1985 年初氡月均值为 29 Bq/L 左右,从 1985 年 11 月起氡值上升,1986 年 2 月达 32.5 Bq/L,以后开始下降,门源 M_s 6.4 地震前下降到 30 Bq/L,地震后氡

^{*} 本文属于国家地震局“八五”攻关重点课题之一。
本文 1995 年 11 月 2 日收到。
作者简介: 张慧,女,1966 年 3 月生,助理研究员,从事地球化学预报地震研究工作。

值继续在 30 Bq/L 左右波动 (图 1)。

(4) 西宁水氡: 1983 年底和 1984 年初, 该测点氡含量月均值在 16 Bq/L 左右, 1984 年 7 月至 1986 年 3 月氡值一直处在均值线 (18 Bq/L) 附近。从 1986 年 4 月开始氡值上升, 门源地震前上升到极大值 (20 Bq/L), 地震后缓慢下降, 恢复到正常水平。从 1989 年 3 月份开始氡值又大幅度上升, 到 1989 年 6 月达 23.5 Bq/L, 此后氡值大幅度下降, 在共和地震前下降到 12 Bq/L, 地震后氡值又开始大幅度上升, 至 1990 年 7 月再一次达极大值 22 Bq/L, 7 月以后下降至 18 Bq/L, 10 月 20 日发生了景泰地震 (图 1)。

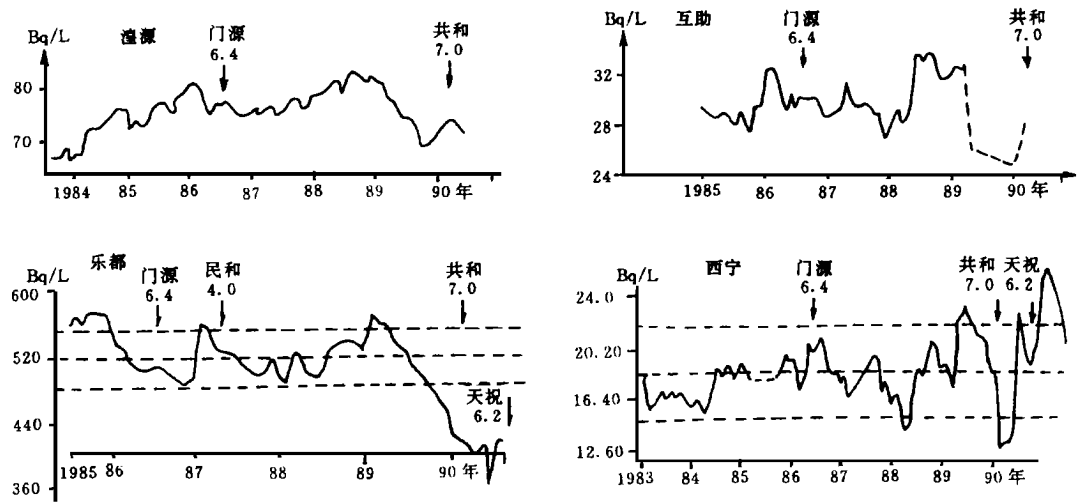


图 1 湟源、乐都、互助、西宁水氡月均值曲线

Fig. 1 The monthly mean value curve of radon in Huangyuan, Ledu, Huzhu and Xining.

(5) 大通水氡: 该测点从 1988 年开始观测。从 1990 年 3 月开始其氡值出现持续上升趋势, 超出 1988 年观测以来的最高值, 4 月 26 日发生了共和 M_s 7.0 地震, 地震后氡值一直未恢复, 而是继续呈上升趋势, 6 月达到极大值 22 Bq/L, 7 月转平, 9 月开始下降, 10 月 20 日发生了景泰 M_s 6.2 地震 (图 2)。

(6) 五泉山水氡: 该测点水氡月均值从 1990 年 1 月开始下降, 3 月下降到最低点, 下降幅度达 4%, 以后又呈上升趋势, 4 月 26 日发生了共和 M_s 7.0 地震。地震后氡值继续加速上升, 8 月达到极大值, 8 月以后转平, 10 月 20 日发生了景泰地震 (图 2)。

(7) 扎子沟水氡: 该测点水氡月均值开始上升时间为 1985 年 12 月, 1986 年 1 月达到极大值 156 Bq/L, 以后迅速下降, 6 月达到极小值 137 Bq/L, 从 7 月开始氡值再次升高, 8 月再次达到极大值 146 Bq/L 左右, 8 月 26 日发生了门源 M_s 6.4 地震 (图 2)。

按照异常形态, 可以将单点水氡地震异常分为单一型和复合型两大基本类型。单一型主要指具有一个极值点的单体异常形态; 复合型则主要指水氡异常段具有两个以上极值点的组合形式。

(1) 单一型

单一型又可以分为两种形态, 即正弓型和反弓型。

正弓型: 异常开始时氡值持续上升, 到达极大值后开始下降, 并恢复到正常变化, 表现为上升→到达极大点→下降→恢复的发展进程。

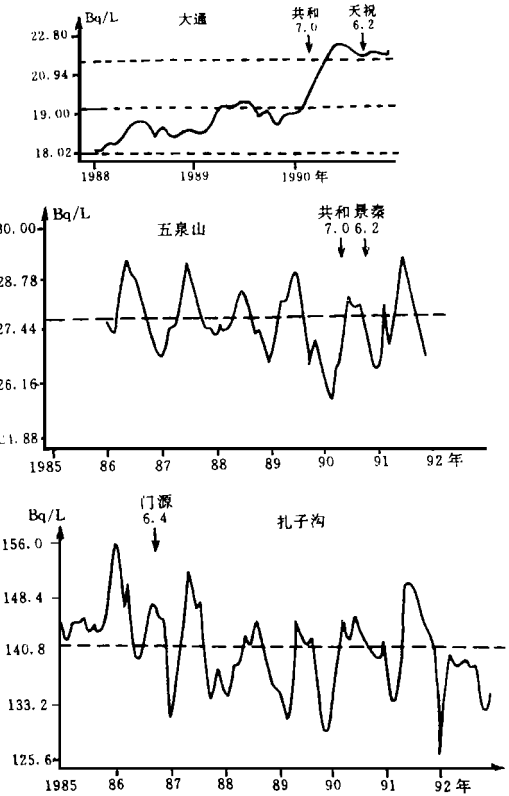


图 2 大通、五泉山、扎子沟水氡月均值曲线
Fig. 2 The monthly mean value curve of Radon
in Datong, Wuquanshan and Zhaizhou.

反弓型:异常开始表现为氡值的趋势下降,到达极小点后反转上升,然后恢复到正常变化.其发展过程为下降→到达极小点→上升→恢复.

(2)复合型

复合型可以分为以下 4 种形态:

“S”型:这种水氡异常形态可以看作一次反弓形和一次正弓形的组合形式.氡值异常首先从偏离正常值的趋势下降开始,下降至极小值后反转上升,上升至正常水平后不恢复而是继续上升(或加速上升)直至极大点,之后,氡值下降,然后恢复.总的过程为下降→到达极小点→上升→到达极大点→下降→恢复.

反“S”型:氡值异常以趋势性上升开始,到达极大值后反转下降,下降至正常水平后并不恢复而是继续下降(或加速下降)到达极小点,此后氡值再次上升然后恢复到正常水平.总的表现为:上升→到达极大点→下降→到达极小点→上升→恢复.

“M”型:这种水氡异常形态可以看作两次正弓型单一异常形态的组合.异常一开始为趋势性上升阶段,上升至第一个极大值后反转下降至极小值,之后氡值再次呈现趋势性上升至第二个极大点,然后下降直至异常恢复.总的异常进程为:上升→到达第一个极大点→下降→到达极小点→上升→到达第二个极大点→下降→恢复.

“W”型:水氡异常以趋势性下降开始,下降至第一个极小值后氡值反转上升至极大值,之后,氡值再次下降至第二个极小值,最后氡值上升直至异常完全恢复.异常的发展过程为:下降→到达第一个极小点→上升→到达极大点→下降→到达第二个极小点→上升→异常恢复.

3 单点水氡震后调整性异常与新地震异常判别指标

3.1 震后调整性异常判别指标

本文以 1986 年门源 M_s 6.4 地震为例,对震中附近各测点水氡单点异常特征进行剖析.分析结果见表 1 由表 1 可见:

(1)从形态上看,无后继地震的单点水氡异常以单一型异常形态为主,对于门源地震,5 个泉水水氡异常中,4 个泉水点为单一型,仅有 1 个泉水点为复合型.具有单一型异常形态的水氡变化是以“正弓”为主,说明单台的单个地震异常以正异常为主.

(2)如果是单一型的水氡异常形态,则地震一般发生在极值点之后(或极值点处);如果是复合型异常形态,地震一般发生在第二个极值点之后.也就是说,对于一个完整的水氡异常,一般在异常后期发震.地震之后异常逐渐恢复.总的时间进程表现为:异常→发展→发震→缓慢

恢复。

表 1 门源 M_s 6.4地震水氡异常泉点情况

泉点	位置	震中距	异常形态	异常开始时间	震前异常持续时间	震后异常恢复时间
扎子沟	北纬 $38^{\circ}14'$ 东经 $102^{\circ}48'$	125 km	反 S型	1985年 12月	10月	立刻恢复
乐都	北纬 $36^{\circ}30'$ 东经 $102^{\circ}25'$	150 km	正弓	1985年 8月	13月	立刻恢复
湟源	北纬 $36^{\circ}40'$ 东经 $101^{\circ}20'$	128 km	正弓	1985年 9月	12月	立刻恢复
互助	北纬 $36^{\circ}51'$ 东经 $101^{\circ}58'$	100 km	正弓	1985年 11月	10月	震后 3个月
西宁	北纬 $36^{\circ}35'$ 东经 $101^{\circ}40'$	120 km	正弓	1986年 4月	5月	震后 3个月

根据以上两点可以看出,水氡震后调整性异常的幅度一般小于震前异常幅度。
单点水氡震后异常恢复的时间段与震前异常持续时间、异常幅度无明确关系,这可能与泉点的构造位置及震中距有关。一旦异常恢复,则水氡异常结束,后面再无新的地震异常。

3.2 新地震异常判别指标

(1)具有后继地震的单点水氡异常形态以复合型为主,以共和及景泰地震为例(表 2),4个水氡异常泉点中有 3个属于复合型,仅有一个属于单一型。

表 2 共和 7.0及景泰 6.2级地震水氡异常泉点情况

泉点	位置	共和地震震中距	景泰地震震中距	异常形态	异常开始时间	第一次地震前异常持续时间	第一次地震后异常恢复时间	第二次地震后异常恢复时间
五泉山	北纬 $36^{\circ}00'$ 东经 $103^{\circ}30'$	330 km	120 km	S型	1990年 1月	4月	未恢复	立刻恢复
乐都	北纬 $36^{\circ}30'$ 东经 $102^{\circ}25'$	210 km	130 km	M型	1988年 9月	20月	未恢复	震后 5个月
西宁	北纬 $36^{\circ}35'$ 东经 $101^{\circ}40'$	160 km	160 km	M型	1989年 3月	14月	未恢复	震后 5个月
大通	北纬 $36^{\circ}55'$ 东经 $101^{\circ}40'$	140 km	170 km	正弓	1990年 3月	2月	未恢复	

(2)具有后继地震的单点水氡异常形态如果为单一型,那么第一个地震一般发生在极值点之前,第二个地震发生在极值点之后(或极值点处);如果具有复合型中“S”(或反“S”)形态,则第一个地震一般发生在极小点(或极大点)之后,第二个地震发生在极大点(或极小点)之后;如果异常形态为“M”“W”,则第一个地震一般发生在第一个极大点(或极小点)之后,第二个

(或极小点)之后。

(3)具有后继地震的单点水氡异常,两次地震前的异常幅度可能与两次地震的震级大小有关,在 4个泉点的水氡异常中,共和地震前异常幅度都大于景泰地震前的异常幅度。

(4)具有后继地震的单点水氡异常在第一次地震发生后,一种情况是异常不恢复,而是呈继承性发展(或加速发展);另一种情况则表现为第一次异常恢复(或不完全恢复)后立即接着第二次异常。

4

只能反映台站,而不能代表场。总体说来,单台、,则可能在某种程度上反映出该地区的应力场的变化特征。

水氡突跳现象主要是地下应变脉冲引起间隙水压的突升突降,导致岩层中水气异常运移所造成,单台单点氡值的每一次突跳现象就代表了其地下介质的一次应变突变。

提取氡值突跳异常,然后将各泉点半年的突跳次数相加,作出区域半年异常频次图和半年异常频次累加图

从而提出多台判断水氡震后异常及新地震异常的特征性指标。

图 3为半年异常频次累计图,图中清楚地显示,门源 M_s 6.4地震前后氡值异常频次呈现平稳-加速-恢复的发展过程

,这可能主要是由于肃南 M_s 5.7和临泽 M_s 5.1地震的影响所致。

共和地震后曲线并不恢复,而是继续加速变化,10月 20日发生了景泰 M_s 6.2地震,景泰地震后曲线逐渐平缓,异常逐渐恢复

,可以提出如下水氡多台综合判断震前异常、

:

(1)单个地震的水氡异常在异常频次累计曲线上具有完整的平稳-加速-恢复三个阶段。

(2)震后调整性异常阶段对应异常频次累计曲线上的恢复段,即处于发震后的异常频次高值,但异常频次累计曲线发展平稳不具加速的特点。

(3)一次地震发生后,异常频次累计曲线不恢复而是继续加速,即曲线缺乏恢复阶段或者恢复段不明显,这一新的加速异常对应着新的地震孕育和发生。

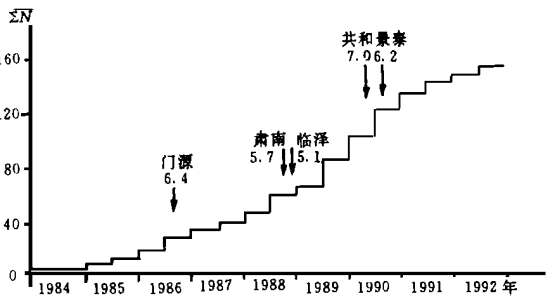


图 3 门源、共和、景泰地震前后水氡泉点半年异常频次累加图

Fig. 3 Anomaly frequency accumulation of Radon value before and after the Menyuan, Gonghe and Jingtai earthquakes.

,得出了以下结论:

(1)无后继地震的单点水氡异常以单一型异常形态为主,具有后继地震的单点水氡异常形态以复合型为主。

(2)无后继地震的单点水氡异常,若异常形态为单一型,则地震一般发生在极值点之后(或极值点处);如果是复合型异常,则地震一般发生在第二个极值点之后;具有后继地震的单点水氡异常形态如为单一型,则第一个地震一般发生在极值点之前,若为复合型则第一个地震一般发生在第一个极值点之后。

(3)水氡震后调整性异常的幅度一般小于震前异常幅度,若异常不恢复而是继续发展,则预示着新的地震孕育和发生。

(4)在异常频次累计曲线上,震后调整性异常属恢复段,曲线不具加速特点,而新地震异常则表现为震后加速,该新的加速异常预示着一次新的地震孕育和发生。

1 刘蒲雄,陈修启.高潮期中成串强震间的相互关系及其机理探讨.地震,1991,(3): 1~ 11.

2 张国民,梁鸿光.地下水同震.地震监测与预报方法清理成果汇编——北京:地震出版社,1988.

3 青海东部水氡异常与共和 6.9 级地震.高原地震,1990,2(3): 47~ 50.

THE INDICES FOR DISTINGUISHING THE ADJUSTMENT RADON ANOMALIES
AFTER AN EARTHQUAKE AND THE RADON ANOMALIES OF
A FUTURE EARTHQUAKE IN NORTHWESTERN CHINA

ZHANG Hui
(Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Lanzhou 730000)

Abstract

By analyzing the anomaly characters of radon before and after earthquakes ($M_s \geq 6.0$) in Gansu Province and around it and their space-time evolution, the distinguishing and judging indices of radon anomalies before and after an earthquake. This is very important to earthquake prediction.

Key words Gansu, Radon in groundwater, Anomaly recognition, Post-earthquake anomaly