

曹玲玲, 高安泰. 2014. 气温气压与断层气氡浓度短期变化的相关性分析. 地震学报, 36(4): 719-729. doi:10.3969/j.issn.0253-3782.2014.04.017.

Cao L L, Gao A T. 2014. Correlativity between short-term change of fault gas radon concentration and air temperature & atmospheric pressure. *Acta Seismologica Sinica*, 36(4): 719-729. doi:10.3969/j.issn.0253-3782.2014.04.017.

气温气压与断层气氡浓度短期变化的相关性分析^{*}

曹玲玲[†] 高安泰

(中国兰州 730000 甘肃省地震局)

摘要 以嘉峪关断层气氡为研究对象, 利用气氡和气温、气压的日值, 通过计算气温气压与气氡浓度的相关系数, 分析了气温和气压对断层气氡浓度短期变化的影响。结果显示, 气温对气氡浓度的影响显著, 其表现为既具有相似性特征, 又存在明显的差别: ①在对气氡浓度的影响程度上, 气压明显大于气温。②气温和气压对气氡浓度的影响均具有明显的滞后效应, 如离取样时间最近的0—8时, 它们对气氡浓度的影响均逐渐减弱, 但气温对气氡浓度的影响于7时达到最低, 8时仍在低位变化; 而气压对气氡浓度的影响则在8时达到最低值。9时气温和气压的影响都出现快速上升, 之后气压对气氡浓度的影响表现为波动缓慢上升变化, 18—19时达到最高值; 9时之后气温对气氡浓度的影响则表现为波动缓慢下降变化。③不同月份气压和气温对气氡浓度的影响也存在明显的差异。气压的影响具有很好的规律性, 1—4月为高影响状态, 5月份开始出现快速下降变化, 8月份达到最低值, 9月份略有回返, 10—12月又达到了全年的最高值; 而气温对气氡浓度的影响除3月份和4月份比较高之外, 其它月份都在低值变化, 并且差别不大。④对震例的分析结果表明, 嘉峪关气氡浓度大幅正突跳变化不具备预报地震的能力。

关键词 断层气氡浓度 气温 气压 短期变化 相关性

doi:10.3969/j.issn.0253-3782.2014.04.017 中图分类号: P315.72⁺8 文献标志码: A

Correlativity between short-term change of fault gas radon concentration and air temperature & atmospheric pressure

Cao Lingling[†] Gao Antai

(Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Using daily values of gas radon concentration from Jiayuguan fault as well as daily values of air temperature and atmospheric pressure in Jiayuguan, this paper studied the influence of air temperature and atmospheric pressure on short-term change of gas radon concentration by calculating the correlation coefficient between air temperature & atmospheric pressure and gas radon concen-

* 基金项目 甘肃省地震局地震科技发展基金(2013M04)资助。

收稿日期 2013-07-29 收到初稿, 2014-01-07 决定采用修改稿。

† 通讯作者 e-mail: caoll@gssb.gov.cn

tration. The results showed that both air temperature and atmospheric pressure had obvious influence on short-term change of gas radon concentration. ① The influence from atmospheric pressure is more remarkable than that from air temperature. ② The influences of air temperature and atmospheric pressure both had time-lag characteristic. At 0—8 o'clock, their influences on radon concentration were gradually weakened. The influence of air temperature was the weakest at 7 and 8 o'clock in a day, but the influence of atmospheric pressure was the weakest only at 8 o'clock in a day. At 9 o'clock, their influences were rapidly increasing. Since then, the influence of atmospheric pressure became slower growth and it was up to the strongest at 18 o'clock in a day, but the influence of air temperature became slow down. ③ There were significant differences in influences of air temperature and atmospheric pressure in different months. The influence of atmospheric pressure had good laws such as it was on high level state from January to April and started to decline from May and reached the lowest in August, and then, it rose and reached highest level in October, and it was at a high level. The influence of air temperature had no obvious laws and their monthly frequency values were all low. ④ The analyses on related earthquakes indicated that the short-term sharp changes of gas radon concentration had no ability to forecast earthquake.

Key words: fault gas radon concentration; air temperature; atmospheric pressure; short-term change; correlativity

引言

相对于震源深度，前兆的观测深度非常有限，地面因素对其造成了不可避免的干扰，因此前兆资料记录到的信息包含了大量的非地震信息，断层气氡浓度观测也不例外。这些干扰信息包括随机干扰和固定干扰。对于断层气氡浓度，固定干扰主要是气象因素，如断层气氡浓度出现的年变变化，即与气象因素密切相关。对于气象因素对气氡浓度的影响，很多地震学者都进行过研究。例如，常秋君等(1993)分析了甘肃断层气氡浓度的几个影响因素，得出气温对断层气氡浓度的影响最为明显，并且气温的变化导致气氡浓度出现明显的年变；杜建国等(1998)分析了八宝山断裂逸出氡浓度变化的影响因素，发现温度和土壤湿度是控制气氡浓度年变的主要因素；王博等(2010)分析了嘉峪关气氡浓度的主要影响因素，认为嘉峪关气氡浓度的年变化主要受气温控制。可以看出，上述研究着力于年尺度上的气象因素对断层气氡浓度的影响，并且得出了几近相同的结论，即气温是气氡浓度出现年变的主要控制因素。除此之外，湿度对土壤气氡浓度的影响前人也进行过大量的研究，如侯彦珍等(1994)用试验方法研究了土壤含水量对气氡浓度的影响，得出气氡浓度的变化与土壤中水的饱和度有关；朱自强等(1991)分析了八宝山断层气氡浓度与降雨的关系，发现降雨后气氡浓度会降低。

但断层气氡浓度，在几天至几十天的时间尺度上，多呈现锯齿状起伏变化(车用太等，1995)。嘉峪关气氡浓度也不例外，特别是它在祁连山或更远距离的大多中强及以上地震前一个月内出现了明显的正突跳变化，这种变化似乎可以作为地震短临异常的判据。但纵观整个观测资料，这种突跳变化频繁出现导致其与地震的对应关系又不明确。那么这种短

时间内气氡浓度的快速变化究竟是我们日常地震跟踪或震例总结中认为的短临异常还是其它原因引起的干扰变化呢？是否与气象因素有关呢？以前由于观测资料的限制，这方面的定量研究并不多。而数字化高频采样数据的产出为进行气象与气氡浓度短期变化的定量分析提供了条件。本文选用嘉峪关断层气氡浓度为研究对象，定量研究气象因素与气氡浓度短期变化之间的相关性，进而为地震的短临预报提供参考依据。

1 资料选取及数据处理方法

1.1 资料选取

嘉峪关气氡为断层气氡，测点位于嘉峪关断层上，该断层为倾角 80° — 90° 的逆冲断层。气氡样品取自同一断层的两个不同深度，浅孔深度为1.4 m，深孔深度为2.4 m（曹喜等，2008）。在两个不同取样深度处安装集气装置，并从集气装置上引出不封口的橡胶管作为取样端口。每日分别在深孔取两个气样、浅孔取一个气样，然后带回实验室测定。用于日常地震跟踪的是深孔主样测值，即为本文的分析对象。在气样取样的同时还需测量气温和1.8 m深度的地温，观测时再进行观测室气压测量，同时还要进行降雨量测量。这些数据均始测于1989年，至今已有20多年的观测历史。

如果地温对气氡浓度的影响最大且直接受气温的影响，则1.8 m深度的地温应该是最理想的研究对象。初步分析显示地温有资料记录以来日测值曲线非常光滑，几乎没有波动出现，多年的年变都非常完整且幅度几乎没有变化，每年最低值均出现在4月份，说明地温并不是气温的简单滞后反映。气氡浓度观测值的一个取样深度为1.4 m，另一个取样深度为2.4 m，即一个在地温测点之上，另一个在地温测点之下。如果气氡浓度的变化主要受取样深度地温的影响，那么两个不同深度的氡浓度值应该相对稳定，且2.4 m深度的年变最低值应该出现在1.8 m地温年变最低值的后面。但事实并非如此，无论1.4 m还是2.4 m深度的气氡浓度，其年变的最低值都很同步，并且均出现在1月份左右，即在1.8 m深度的地温最低值之前。这说明1.8 m深度的地温对2.4 m深度的气氡浓度并没有直接影响，这与杜建国等（1998）的研究结果是一致的，表明研究1.8 m深度的地温变化与气氡浓度的关系是没有意义的。

本文分析的是气象因素对气氡浓度短期变化的影响，而降雨短期内不具备连续性，因此这里只进行气温气压与气氡浓度的相关性分析。考虑到气温和气压对气氡浓度影响可能具有滞后效应，气压和气温选用数字化测值。

嘉峪关数字化气温和气压虽然2001年就有数据产出，但由于仪器的不稳定导致2001年—2005年2月的数据波动太大，无法使用。因此这里所有测项的选取时段均为2005年3月—2013年2月。

1.2 数据预处理及计算方法

嘉峪关气氡浓度为日观测值，每天8—9时在测点取气体样品，然后带回实验室进行气氡浓度的测量。众所周知，氡是铀及其子体的放射性产物，它从产生到迁移至地表需要经历一定的过程和时间，那么究竟哪个时段的气温和气压对最终从取样孔取出的气体中气氡浓度影响最大呢？在这个时段无法确定的前提下，显然不能简单地仅选取每日取样或测样时所测的气温和气压来分析其对气氡浓度的影响，而是要选取一个气氡取样周期内各个时段的气温和气压逐段分析。

1.2.1 数据预处理

嘉峪关气氡浓度为日观测值，分析时采用原始观测值，对于明确由干扰造成的数据非正常变化作缺数处理。数字化观测的气温和气压以1分钟为间隔进行采样。但本文的研究中，整点值就能满足研究条件，因此需对其进行预处理。其具体过程为：先从气温和气压分钟值中提取出整点值，再从整点值文件中将0—24时各个整点分割开从而形成24个整点值文件，且对各个整点资料中明显由干扰造成的数据非正常变化同样作缺数处理。

1.2.2 数字化气温和气压测值的可靠性分析

从数字化气温和气压的观测曲线来看，虽然气温和气压观测值从2005年开始达到稳定状态，但产出的数字化数值是否合理可靠，尚需对其可靠性进行检验。

鉴于嘉峪关气氡浓度在每天取样和观测时都人工进行了温度和气压的即时测量，这个测值用常用的温度计和气压计测量，是真实可信的。因此，利用人工测得的每天气温和气压数值与整点(或接近)数字化测值(由于人工测值都不在整点)进行相关性计算。其计算结果为：每天8时的数字化气温与人工所测气温的相关系数为0.983，9时的相关系数为0.971，它们的相关系数都很高；人工所测气压与数字化气压10时的相关系数为0.962，11时的相关系数为0.963。由此可以看出气压的相关系数没有气温的高，这主要是由于人工测量与数字化测量的精度不同所致。但其相关程度都非常高，这表明数字化气温和气压的测值是真实可信的。

1.2.3 数据计算方法

由于进行的是气温和气压与气氡浓度的相关性分析，因此需要计算出它们之间的相关系数。本文采用SPSS软件进行双侧检验的相关系数计算。虽然需要分析气温和气压对气氡浓度的短期影响，但考虑到相关系数计算时样本量的需求以及本文重点分析的内容，这里以日值为单位进行月相关系数的计算。

最终计算值是否表明两者具有相关性，则以软件计算时给出的结果为判断依据。由于相关系数是以月为单位进行计算的，因此会出现在相同置信水平下不同月份相关性判断的临界值出现差异的情况，这个差异值虽然很微小，但在月份间比较时会因标准的不同而出现分析结果的差异或不准确。因此本文选择所有月份的相关系数绝对值0.50为下限判断标准，即当两者的相关系数绝对值达到0.50时，两者之间才具有相关性。

2 计算结果分析

2.1 气温与气压对气氡浓度的影响

本文总共计算了96个月的气温与气氡浓度的相关系数，结果显示，共有37个月两者达到相关，占总月数的38.5%。其中相关系数达到0.70及其以上的有13个月，达到0.60—0.69的有11个月，剩余的13个月相关系数为0.50—0.59。由此可以看出，气温对气氡浓度的短期影响存在且显著，且二者成正相关关系。

同样也计算了96个月的气压与气氡浓度的相关系数，结果显示，共有62个月两者达到相关，占总月份的65%，并且相关系数最高达0.90。其中相关系数达到0.80以上的有9个月，达到0.70—0.79的有18个月，达到0.60—0.69的有16个月，达到0.50—0.59的有19个月。由此可以看出，气压对气氡浓度的短期影响非常明显，它们成负相关关系。

对比上述两个测项与气氡浓度的相关系数可以清楚地看到，气压对气氡浓度的影响明

显强于气温对气氡浓度的影响, 这不仅表现在两者达到相关的月数百分比上, 还表现在相关程度上, 即气压与气氡浓度的相关系数值较气温与气氡浓度的相关系数值更高。

2.2 不同月份气温和气压对气氡浓度影响的差异

计算中总共使用了 8 年的资料, 因此每个气象测项(气温和气压)共有 $8 \times 12 \times 24$ 个数据产出, 每月的 24 个相关系数值中只要有一个达到相关标准, 则认为该月该气象测项与气氡浓度之间具有相关性, 具体结果见图 1。

图 1 中方形连线表示气压与气氡浓度相关的月频次变化。可以看出气压与气氡浓度的相关性呈现很好的规律性, 每年的 1—4 月和 10—12 月, 两者通常都具有很好的相关性, 特别是 1 月、4 月、10 月、11 月和 12 月, 在参与分析的 8 年中气压与气氡浓度的变化具有相关性的时间长达 7 年, 这充分说明这些月份中气压对气氡浓度的日值变化影响很大。而 5—8 月的变化则呈现明显的快速下降趋势, 8 月份达到最低值, 仅有 1 年具有相关性, 表明 8 月份是气压对气氡浓度日值影响最小的月份, 9 月份相对 8 月份影响略有增加。

图 1 中实心圆曲线表示气温与气氡浓度相关的月频次变化。从整条曲线的变化来看, 3 月和 4 月两者达到相关的月频次最高, 其它月份虽然有波动, 但都比较低, 总体在 4 次以下, 并且没有明显的规律和显著的差异。由此可以看出气温对气氡浓度的影响没有明显的优势分布月份。

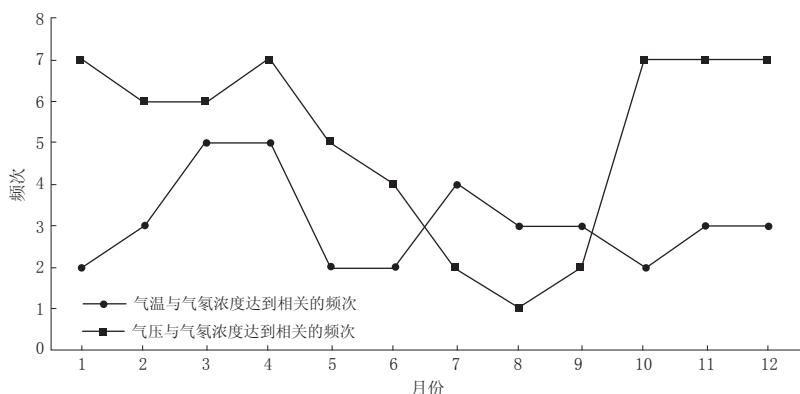


图 1 气温气压与气氡浓度达到相关的月频次图

Fig. 1 The monthly frequencies of air temperature and pressure correlating with gas radon concentration where the curve with dots denote the frequency of air temperature correlating with gas radon concentration, and the curve with squares denotes the frequency of atmospheric pressure correlating with gas radon concentration

2.3 气温和气压对气氡浓度影响的滞后性

由于本文仅分析气温和气压对气氡浓度日测值的影响, 因此只考虑气氡一个取样周期内的滞后性关系, 为此只需分别计算气氡浓度的日测值与之前 24 个不同整点的气温和气压的月相关系数即可, 结果如图 2 所示。图中横坐标为 24 个整点, 纵坐标为各个整点气温(气压)与气氡浓度达到相关的月频次。

图 2 中方形连线代表气氡浓度与各个整点气压达到相关的月频次, 可以看出, 0—23 时气压对气氡浓度的影响呈现很好的规律性, 0—8 时是逐步减弱的, 8 时达到最低, 9 时出现快速的上升, 之后呈缓慢波动上升状态, 18 时和 19 时达到最高。这表明气压对气氡

浓度的影响具有明显的滞后性，并且距离气氡取样时间最近的8时影响最小。

图2中实心圆连线代表气氡浓度与各个整点气温达到相关的月频次，可以看出，其变化规律性也是很明显的。0—8时为明显的趋势下降变化，7时达到最低值，8时仍然处在与7时相同的低位，9时出现了明显的上升变化，之后呈波动变化，但总体趋势呈微小下降的变化。这表明气温对气氡浓度的影响同样具有滞后效应，同样距离气氡取样时间最近的8时影响最小。

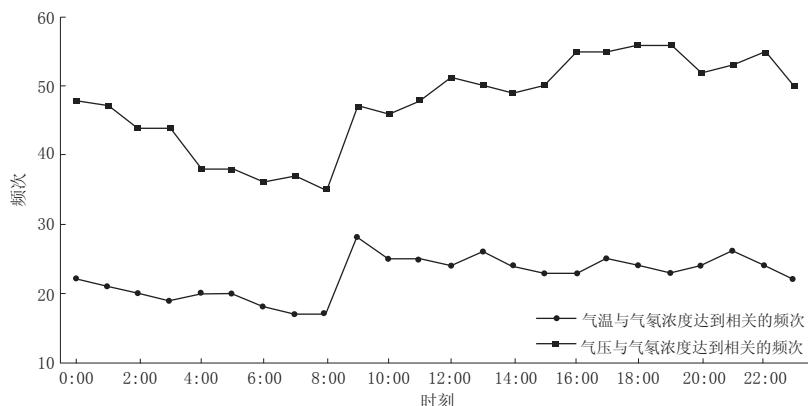


图2 一个气氡取样周期中气温气压与气氡浓度的相关频次图

Fig. 2 The frequencies of air temperature (denoted by dots) and atmospheric pressure (denoted by squares) correlating with gas radon concentration

对比图2中的两条曲线可以看出，0—8时其变化规律非常相似，但9时以后二者存在显著的差异，气压对气氡浓度的影响增强，18—19时达到峰值，而气温对气氡的影响呈下降趋势。两种气象因素对气氡浓度的最小影响均出现在8时，这也进一步表明用8时气象测值来分析其对气氡浓度的影响是不合适的，会导致假异常的出现。

3 计算结果的可靠性分析

从以上分析可以看出，气温和气压对嘉峪关气氡浓度日值变化均具有显著的影响，特别是气压。下面通过震例对这一结果的可靠性进行检验。

嘉峪关气氡取样点位于祁连山西段，2005年3月—2013年2月共8年的时间内，祁连山及其周边共发生了3次5级以上地震，在较远距离(震中距1000 km左右)发生2次7级以上地震，具体地震参数见表1。从表1可以看出，除2009年8月31日海西 $M_s 6.4$ 地震

表1 地震参数及相应气氡浓度突变时间表

Table 1 Parameters of the earthquakes occurred in Qilianshan in 2005—2013 and corresponding sudden change times of gas radon concentration before the earthquakes

年-月-日	震中	M_s	震中距/km	气氡浓度突变异常日期
2008-03-30	肃南	5.0	384	2008-03-17
2008-05-12	汶川	8.0	1450	2008-04-29
2008-11-10	海西	6.3	320	2008-10-21
2009-08-31	海西	6.4	325	未出现
2010-04-14	玉树	7.1	759	2008-04-04, 2008-04-09

外，其余4次地震前一个月内气氡浓度都出现了显著的正突跳变化。就此利用这些地震前气温和气压与气氡浓度的相关系数变化来判断这种突跳变化究竟是地震短临异常还是由气温和气压的变化引起的。根据短临异常时间范围的界定，这里仅分析震前一个月气氡浓度的突跳变化。

图3为发震年份气温和气压与气氡浓度的相关系数变化曲线。从表1来看，2008年3月30日肃南 $M_{S}5.0$ 地震前3月17日出现了气氡浓度突跳变化。3月份气压与气氡浓度的相关系数高达0.82，表明气压与气氡浓度相关性非常高。5月12日汶川 $M_{S}8.0$ 地震前的4月29日气氡浓度突跳很明显，4月份气压与气氡浓度的相关系数为0.58，达到了显著相关。11月海西 $M_{S}6.4$ 地震前气氡浓度同样出现了突跳，气压与气氡浓度的相关系数为0.57，同样达到了显著相关。同时这几次地震发生的当月，气压与气氡浓度的相关系数均达到0.7以上(见图3a)。2010年4月14日的玉树 $M_{S}7.1$ 地震前，4月上旬气氡浓度出现了两次突跳变化，该月气压与气氡的相关系数达到了0.69，为显著相关。

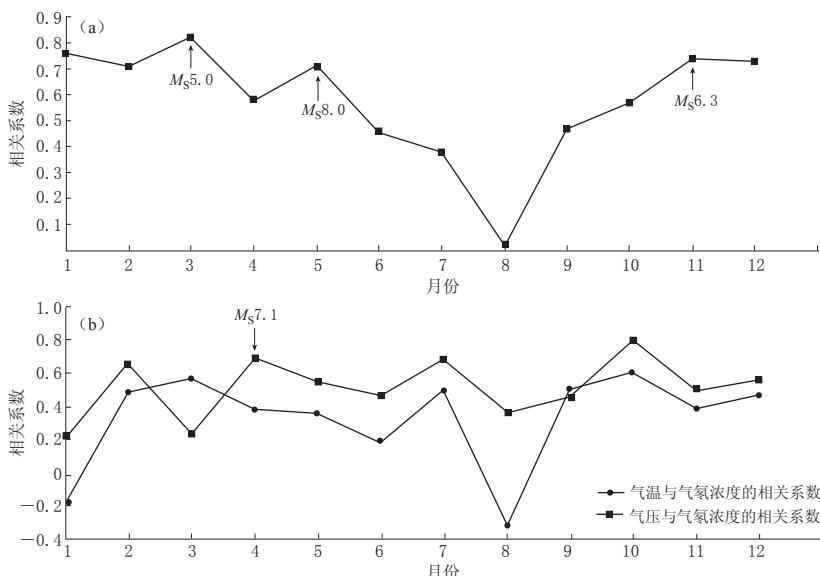


图3 (a) 2008年气压与气氡浓度的相关系数；(b) 2010年气温和气压与气氡浓度的相关系数

Fig. 3 (a) The correlation coefficient between air pressure and gas radon concentration in 2008; (b) The correlation coefficient between air temperature & pressure and gas radon concentration in 2010 where the curve with dots denote the correlation coefficient between air temperature and gas radon concentration, and the curve with squares denotes that between pressure and gas radon concentration

从2008年地震前气氡浓度突跳出现的月份里气压与气氡浓度的相关系数在全年的变化(图3a)来看：2008年3次地震前气氡浓度突跳的月份是3月、4月和10月，其中3月份气压与气氡浓度的相关系数为全年最高，4月份和10月份也达到显著相关。反观2008年全年气压与气氡浓度的相关系数变化情况，8月份最低，其次为7月份，但这两个月并没有地震发生。2010年4月14日玉树 $M_{S}7.1$ 地震前，4月上旬气氡浓度出现了两次突跳变化，从气压与气氡浓度相关系数的变化曲线(图3b)来看，4月份的相关系数达到了0.69，

为本年度的第二高值；气温与气氡浓度相关系数虽然4月份没有达到相关，但相关系数最低值出现在1月份和8月份。

综合上述分析可知，在地震前气氡浓度出现突跳的月份，气压与气氡浓度的相关系数相对于全年均处于高值状态。

虽然仅从相关系数来看，地震前气氡浓度突跳的月份内，气压与气氡浓度的相关系数不仅达到相关，并且在全年中处于高值。但气氡浓度突跳点的出现是否导致了相关系数的降低呢？就此问题本文计算了突跳点存在和进行缺数处理后气温气压与气氡浓度的相关系数数值，并将其进行了对比，结果见表2。从表2可以清楚地看到，去掉气氡浓度突跳点后气压与气氡浓度的相关系数都低于突跳点去掉之前的。气温与气氡浓度在去掉突跳点前存在相关的两个月份（2008年3月和4月）后，其中一个相关系数显著减小，另一个相关性消失；而不存在相关性的两个月份去掉气氡浓度突跳点后相关性依然不具备。

表2 中强及以上地震前去掉气氡浓度突跳点前后气温气压与气氡浓度相关系数变化表

Table 2 The correlation coefficient between air temperature & pressure and radon concentration before $M_s \geq 5.0$ earthquakes before and after deleting the sudden change points of gas radon concentration

年-月-日	震中	M_s	未去掉气氡浓度突跳的相关系数		去掉气氡浓度突跳的相关系数	
			气压	气温	气压	气温
2008-03-30	肃南	5.0	0.820	0.683	0.787	0.609
2008-05-12	汶川	8.0	0.580	0.537	0.550	不相关
2008-11-10	海西	6.3	0.570	不相关	不相关	不相关
2010-04-14	玉树	7.1	0.690	不相关	0.664	不相关

综合以上震例分析可以看出，嘉峪关气氡浓度出现的突跳变化，主要是气温和气压的变化引起的，并且起显著作用的是气压，与地震没有明显的关系。因此本文关于气温和气压对气氡浓度影响的分析结果是可靠的。本文结果也从另一方面说明了嘉峪关气氡浓度在震前的突跳变化可能只是时间上的一种巧合，并不具备预报地震的能力。

4 分析与讨论

从相关系数计算结果可以清楚地看到，气压对气氡浓度的短期影响明显强于气温对气氡浓度的短期影响，这与以往认为断层气氡浓度主要受气温影响的研究结果截然相反（常秋君等，1993；杜建国等，1998；王博等，2010）。出现这种结果的原因可能与所选的数据和分析的时段有关系。因为本文是采用日值计算月相关系数进行分析的，并且充分考虑了气温和气压对气氡浓度影响的滞后性。而认为气氡主要受气温影响的研究人员采用的是月均值，进行的是年相关系数的计算；再者，断层气氡浓度虽然在几天至几十天的时间尺度上多呈锯齿状起伏变化（车用太等，1995），但这种变化与年变幅相比仍然比较小，并且它们经过月均值处理后大部分已经被平滑掉。正是上述原因导致了不同研究尺度造成结果不同的现象。

气温和气压对气氡浓度在一天之内不同时段影响的差异性是否与气温气压的变化周期有关呢？气温每天都有最高值和最低值，嘉峪关气温每天的最低值出现于6—7时，最高值则出现于16—18时。由此可以看出：在一天之内，气温最低的时段，气温与气氡的相关性

最低;气温上升时段两者的相关性增大;气温平稳变化阶段,两者的相关性变化不大;气温下降阶段两者的相关性逐步减小。

综合上述分析可以看出,在一天之内,气温与气氡相关性的高低与气温的高低密切相关,低温对其影响不大,而温度上升及高温段对其影响明显。

对气压而言,嘉峪关气压每天存在两个高值和两个低值,整体形状成“W”型,两个低值时间为7时和18时左右,高值时间为12时和23时左右。由此可以看出:在气压的第一次下降阶段,气压对气氡浓度的影响逐步减弱,之后转为上升阶段,气压对气氡浓度的影响增加;在气压的第二次下降阶段,气压对气氡浓度的影响也是缓慢增加的,当气压第二次下降到最低值时,气压对气氡浓度的影响也达到最强,之后气压转为上升阶段,气压对气氡浓度的影响也相应减弱。由此可以看出,气压对气氡浓度的影响与气压的两次低值关系更为密切。

气氡浓度日值短期内的变化主要受气压控制而非气温所控,究其原因,主要是气氡浓度从取样到产出数据主要受取样点和观测室的影响,观测室主要是扩散瓶和闪烁室真空度及室内空气中氡浓度的影响。就观测部分而言,首先,气氡样品为负压取样,如果真空度低,则进入扩散瓶的断层气氡就少,但扩散瓶每天都进行相同的抽真空操作,真空度差别不会很大,闪烁室抽真空处理后需进行本底测量,并须达到规范要求才能进行测样,因此扩散瓶和闪烁室对气氡浓度测值的影响是存在的,但不显著,这一点从相同取样和观测装置产出的水氡浓度测值比较稳定也可以进一步证明。其次,气氡在观测前须注入一定量的干净气体,具体到嘉峪关就是室内空气,空气中氡浓度的高低直接影响氡浓度测值的高低。已有研究(李利红等,2007)表明,空气中的氡浓度存在着明显的日变,但气氡浓度的测量每天都在几乎相同的时间,并且从浅孔和深孔的气氡浓度测值对比也可以看出,两者的突跳值并不完全同步,因此室内空气中氡浓度的变化不是造成气氡浓度波动加剧的主要原因。至于具体的影响程度尚需以后进一步的试验测量来确定。因此以上分析表明,气象因素对气氡浓度变化的影响主要来自观测点。

断层土壤气中的氡主要由断层气氡和土壤气氡组成,断层中的气氡迁移至地表是一个非常复杂的过程,包括对流、扩散、接力传递作用、地应力作用、孔隙流体作用、应力应变作用以及元素自身作用等;浅层土壤气中的氡的主要迁移方式为对流和扩散(刘菁华等,2007),而气温对其影响最明显的是扩散。嘉峪关气氡取自地下2.4 m,同时在1.8 m深度还进行地温观测,地温日值曲线的形态非常光滑,与同期观测的气温日值曲线存在着很大的差异。这表明短时间内气温的变化对1.8 m深度的温度尚不能造成直接的影响,那么对2.4 m深度气氡浓度的直接影响就更小了。但气压不仅对浅层或土壤的孔隙压力有明显的影响,对断层较深部位的影响也是很明显的。众所周知,断层是孔隙和裂隙大量发育的部位,这些孔隙裂隙中也充斥着大量的气体,当大气压力发生改变时,上下压力的差异可以在地下形成压力梯度,大气压力的纵深效应可以改变断层中气体的迁移,进而造成氡浓度的大幅变化。由此可以看出,气温主要影响的是浅层土壤气中氡浓度的变化,而气压不仅影响浅层土壤气中氡浓度的变化,且对断层深部的气氡浓度也有显著的影响,因此气压对气氡浓度的影响大于气温对气氡浓度的影响。

5 结论

本文计算了一个气氡取样周期内各个整点气氡浓度与气温气压的相关系数，通过详细分析不同时间点和不同月份两者相关系数的变化特征，得到了以下主要结论：

1) 无论气温还是气压，均对气氡浓度的日值变化有显著的影响。气温与气氡浓度成正相关关系，气压与气氡浓度成负相关关系，并且气压对气氡浓度的短期影响明显大于气温。而年尺度上气温对气氡浓度的影响则大于气压对气氡浓度的影响，其结果正好相反。

2) 不同月份气温和气压与气氡浓度达到相关的月频次存在着明显的差异。气压对气氡浓度的影响具有明显的规律性，而气温的影响则规律性不明显；气压对气氡浓度的影响5—8月逐步减弱，8月份达到最低值，9月份略有回返，但仍然很低，其它月份影响明显。而气温影响相对显著的月份为3月和4月，其它月份不太明显并且相差不大，但总体都不高。

3) 一个气氡样品取样周期内，气温和气压对气氡浓度的影响存在滞后性。气压对气氡浓度的影响在0—8时逐步下降，8时达到最低值，9时快速上升，接着缓慢上升变化，18时和19时达到最高值，之后略有下降；而气温对气氡浓度的影响在0—9时与气压对气氡浓度的影响没有显著的差别，但之后变为平稳背景上呈微小的下降变化。

通过研究时段震例的分析发现，气氡浓度的短期突跳变化通常是气温和气压的变化所致，与中强及以上地震的发生没有明显的关系，因此气氡浓度这种短期的突跳变化不具有预报地震的能力。

参 考 文 献

- 曹喜, 张占斌, 张彩艳. 2008. 嘉峪关断层气氡对祁连山西段中强地震的异常特征分析[J]. 地震地磁观测与研究, **29**(1): 50–53.
- Cao X, Zhang Z B, Zhang C Y. 2008. Analysis on the anomalous characteristics of Jiayuguan gas radon to the strong earthquakes in western segment of Qilian Mountain[J]. *Seismological and Geomagnetic Observation and Research*, **29**(1): 50–53 (in Chinese).
- 常秋君, 何跟巧, 郭玉英, 宋玉兰, 程天德. 1993. 断层气定点观测主要影响因素的研究[J]. 西北地震学报, **15**(4): 82–89.
- Chang Q J, He G Q, Guo Y Y, Song Y L, Cheng T D. 1993. Study on main influences on fixed-point observation of fault gases[J]. *Northwestern Seismological Journal*, **15**(4): 82–89 (in Chinese).
- 车用太, 张大维, 鱼金子, 王基华. 1995. 断层带土壤气的映震效能与地震短期预报[J]. 中国地震, **11**(4): 374–380.
- Che Y T, Zhang D W, Yu J Z, Wang J H. 1995. Reflective capacity of soil gas in fault zone to earthquake and short-term prediction[J]. *Earthquake Research in China*, **11**(4): 374–380 (in Chinese).
- 杜建国, 宇文欣, 李圣强, 简春林, 朱自强, 陈华静, 康春丽. 1998. 八宝山断裂带逸出气的地球化学特征及其映震效能[J]. 地震, **18**(2): 155–162.
- Du J G, Yuwen X, Li S Q, Jian C L, Zhu Z Q, Chen H J, Kang C L. 1998. The geochemical characteristics of escaped radon from the Babaoshan fault zone and its earthquake reflecting effect[J]. *Earthquake*, **18**(2): 155–162 (in Chinese).
- 侯彦珍, 王永才, 张根深. 1994. 土壤气氡测量影响因素的初步研究[J]. 华北地震科学, **12**(2): 55–59.
- Hou Y Z, Wang Y C, Zhang G S. 1994. A preliminary study of the influence factor on soil gas radon measurement[J]. *North China Earthquake Sciences*, **12**(2): 55–59 (in Chinese).

- 李利红, 葛良全, 程锋, 田丽霞, 敬伯科. 2007. 空空气中氡浓度时间变化规律探讨[J]. 辐射防护, 27(1): 13–18.
- Li L H, Ge L Q, Cheng F, Tian L X, Jing B K. 2007. Study on the temporal change of radon concentration[J]. *Radiation Protection*, 27(1): 13–18 (in Chinese).
- 刘菁华, 王祝文, 田钢, 王晓丽. 2007. 均匀覆盖层中氡迁移的数值模拟[J]. 地球物理学报, 50(3): 921–925.
- Liu J H, Wang Z W, Tian G, Wang X L. 2007. Numerical simulation for radon migration in the homogeneous overburden[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 50(3): 921–925 (in Chinese).
- 王博, 黄辅琼, 简春林. 2010. 嘉峪关断层带土壤气氡的影响因素及映震效能分析[J]. 中国地震, 26(4): 407–417.
- Wang B, Huang F Q, Jian C L. 2010. The influencing factors of escaped radon from Jiayuguan station and its earthquake reflecting effect[J]. *Earthquake Research in China*, 26(4): 407–417 (in Chinese).
- 朱自强, 简春林, 宇文欣. 1991. 土氡测量影响因素的初步探讨[G]//断层气测量在地震科学中的应用. 北京: 地震出版社: 222–226.
- Zhu Z Q, Jian C L, Yuwen X. 1991. The preliminary study of the influence factor on soil gas radon measurement[G]// *Applications of Fracture Gases Measurement in Seismology*. Beijing: Seismological Press: 222–226 (in Chinese).