

# 长白山火山活动状态分析

刘国明<sup>1</sup>, 杨景奎<sup>2</sup>, 王丽娟<sup>2</sup>, 孙纪财<sup>1</sup>

1. 吉林省长白山天池火山监测站, 吉林安图 133613; 2. 吉林省地震局, 长春 130022

**摘要:**长白山天池火山自1985年起每年6~9月开展季节性地震观测。1985~1994年平均每年记录到的火山地震在40次以内。从2002年7月开始,长白山天池火山地震数量明显增加,2003年发生1293次地震,2004年虽然地震数量略有下降,但是能量释放持续增强。近年来,长白山周边地区地震活动也明显增强,2004年12月和2005年4月在距离长白山天池30多公里的抚松县发生了4.4级和4.0级构造地震。长白山附近发生了多次地震和火山震,天池口附近有强烈震感,可听到地声,并造成轻微震害。2005年8月以后火山地震渐趋平静,逐渐恢复到2002年以前的地震活动水平。本文对长白山火山地震监测的现状和监测能力进行了讨论,并从基本的观测事实出发分析研究了长白山天池火山近年来的活动水平,对长白山天池火山目前的活动现状态进行了初步分析。

**关键词:**火山;水准;火山地震;地震定位

**中图分类号:**P588.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2802(2011)04-0393-07

## Active Level Analysis of the Tianchi Volcano in Changbaishan, China

LIU Guo-ming<sup>1</sup>, YANG Jing-kui<sup>2</sup>, WANG Li-juan<sup>2</sup>, SUN Ji-cai<sup>1</sup>

1. Changbaishan Tianchi Volcano Observatory, Antu 133613, China;

2. Jilin province earthquake administration, Changchun 130022, China

**Abstract:** Seismic monitoring has been conducted in the area of the Tianchi active volcano during the period of every June to September since 1985. The volcanic seismic events were recorded about 40 times each year from 1985 to 1994. According to our observation data, it was found that the volcanic seismic events increased obviously since July, 2002. The times of recorded seismic events increased to 1293 for the year 2002, the seismic events decreased in year 2004, but the released seismic energy remained increasing. This paper evaluated the ability of Changbaishan volcanic seismic monitoring, discussed the current volcano active level of Changbaishan, and presented our predictions for future active level of the Tianchi active volcano, Changbai Mountain.

**Key words:** volcano; level line; volcanic event; earthquake location

## 1 火山地震监测

### 1.1 地震监测台网概况

长白山火山监测站测震台网自1999年7月开始运行。最初的台网采取一个中心台长年观测和5个测震子台季节性观测的方式,测震子台包括气象站台、双目峰台、维东台、东大坡台、西大坡台等,每年7~9月观测,采取硬盘存储数据,定期由工作人员现场取数。

为了加强对火山区微震的监控,“十五”期间对台网进行了改造和扩充。在二道白河新建了台网中心,增建了5个测震子台,中心台、山门台、双目峰台为井下短周期地震计,其他子台使用宽频带地震计,所胡子台均建设了摆房。

目前长白山站台采用CTS-1E型甚宽频带地震计;山门台、中心台、双目峰台采用FSS-3DBH型短周期地震计;东大坡台、西大坡台、维东台采用CMG-3ESP型宽频带地震计;横山台、气象站台、长

白台、漫江台均采用 BBVS-60 型宽频带地震计。长白山站采用 EDAS24-L6 型数据采集器,其它台站均使用 EDAS-24IP 型数据采集器。

建台的原则是根据长白山特殊的地理条件尽可能合理布局,为了保证火山喷发或其他火山灾害来临时观测台网中心的安全运行,新的长白山火山中心台设在火山口北 40 多公里外的二道白河镇的一个相对高地上,历史上未曾遭受过火山碎屑流或火山泥石流灾害。

5 个子台分布在距火山口 1~15 km 范围内:长白山台(CBS)、维东台(WDT)、气象站(QXZ)、东大坡台(DDP)、西大坡台(XDP)。

2 个子台布设在距火山口 15~25 km 范围内:山门台(SMT)、双目峰台(SMF)。

4 个子台分而在距火山口 25~50 km 范围内:横山台(HST)、中心台二道白河火山观测中心,ZXT、漫江台(MJT)、长白台(CBT)。

各台站建设成无人值守数字台站,通过监测获得连续的天池火山地震波形资料,分别采取有线传输、无线传输和硬盘存储的方式将观测数据汇集到长白山火山站测震台网中心,实现快速地震定位并进行资料分析研究。有线传输目前已经实现的是山门台(SMT)、长白山站(CBS)、中心台(CBS)、长白台(CBT)、漫江台(MJT),其它台站目前仍为本地存储型台站。

建成后的火山台网中心将可以检测到 ML0.1 级火山地震并能对 ML1.0 级以上火山地震进行快速定位,从而实现火山口周围 50 km 范围之内火山地震进行有效监控。

### 1.2 长白山火山地震的时间分布特征

自 1999 年火山地震台网建立以来,到 2002 年年中,年均频次几十次,从 2002 年 6 月开始,火山地震频次急剧上升,2002 年火山地震总次数为 470 次,2003 年达 1293 次,2004 年为 728 次,2005 年为 567 次,2006 年为 118 次,2007 年为 101 次,2008 年共记录到 80 次,2009 年共记录到 87 次,2010 年到 6 月末共记录到 52 次。从 2001 年至 2010 年,最大火山地震的震级分别为 ML2.2、3.0、3.7、4.4、4.0、2.8、1.8、1.6、1.5、1.1 级(其中 ML4.4 级和 ML4.0 级地震为火山区内发生的构造地震)。图 1 为火山地震  $M-t$  图及年频度图,从图中可见长白山天池火山地震活动自 2002 年 7 月起逐渐趋于活跃,地震频次每月由几十次增至上百次,至 2003 年达到顶峰,为 1293 次。之后开始缓慢衰减,到 2005 年底,基本恢复到 1999~2001 年间的活动水平。

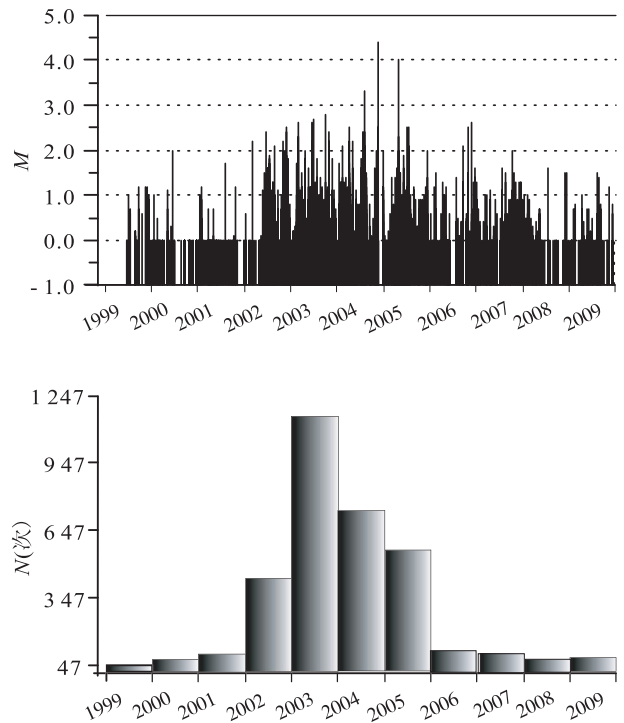


图 1 1999~2010 年火山地震  $M-t$  图及年频度图

Fig. 1  $M-t$  distribution of volcanic events from 1999-2010

长白山站地震观测台(CBS)距天池火山口较近(1.5 km),观测资料连续,目前讨论的地震频度和震级均以该台资料为准。在 2002 年共监测到 1 级以上火山震 83 次,2 级以上火山震 17 次,3 级以上火山震 1 次。2003 年全年共发生震群活动 15 次。2004 年 9 月 8 日在天池火山发生了自有测震记录以来最大的一次火山地震震群活动。震群活动持续了近 4 小时,共发生地震 51 次,其中 1 级以上地震 12 次,2 级以上地震 3 次,最大震级为 ML3.7 级。3 个 2 级以上地震均听到了明显的地声,ML3.7 级地震发生时地声非常大。当时在长白山北坡、西坡的人均有明显的震感,北坡长白山大峡谷内个别房屋还产生了轻微裂纹。对于天池火山 2004 年 9 月 8 日发生的 ML3.7 级地震,CBS 台获取了理想的波形资料。

自 1999 年长白山天池火山站地震开始观测以来,地震活动的时间分布大致可分为三个时间段:即 1999 年夏~2002 年 6 月、2002 年 7 月~2005 年 7 月、2005 年 8 月到现在。在第一个时间段,地震活动较弱,月频次为十几次~几十次,最大地震为 1.5 级。第二时间段自 2002 年 7 月起,地震活动频次明显增多,并发生一系列火山震群事件,日频次可达上百次。在此期间,发生的最大震级是 2004 年 9 月 8 日的天池火山 ML 3.7 级地震。2004 年末天池火山西南侧火山外围区望天鹅火山的 4.4、4.0 级地震

之后,天池火山地震频次明显趋减。至2005年底已基本与2002年7月份之前地震频次持平,即天池火山地震频次又恢复到了背景水平<sup>[1]</sup>。

与世界上其他火山区地震活动相类似,天池火山地震活动也常以震群形式出现。如在2002~2003年间,天池火山多次出现震群活动,有时在一天内可以记录到上百次地震活动。

### 1.3 长白山天池火山地震的空间分布特征

2001年前,因长白山火山区地震活动性较低,加之季节性监测台网相对薄弱,未能对周边发生的地震进行精确定位。但CBS台的地震记录分析表明,其S波与P波走时相差多为0.8s左右,说明震中基本位于距台站5km的天池火山口附近。自2002年中国地震局地球物理所在天池口附近布设流动地震台网后,由于台网密度的增加而使定位能力得到了改善。

地震定位结果表明,地震主要集中分布在天池破火口之内及附近,地震与天池边缘的距离一般小于3km,震源深度大多小于5km。2002年夏季以来长白山天池火山区发生了多次有感地震,这些地震震级大多是ML2~3级地震,产生明显的有感地震与这些地震的震源深度较浅有关。

### 1.4 天池火山地震类型

按照火山地震的成因或频谱特征,火山地震可以分为4大类:构造型火山地震(Tectonic event)、混合型火山地震(Hybrid event)、长周期火山地震(Long period event)、火山颤动(Tremor)。

构造型火山地震的发震机制类似于普通的构造地震,是发生在火山区的因地壳构造活动引发的地震,其P、S波清晰,波形以短周期成分为主。这种类型火山地震也被称为A类火山地震。

长周期火山地震是在地下应力或者温度梯度作用下,岩浆活动或者其它流体活动引发的一种地震波形,其特点是P波明显,无S波,而且其波形周期明显比构造型火山地震长,一般周期为1~5Hz<sup>[2]</sup>。这种火山地震也称为B类火山地震。

混合型火山地震属于二次触发的地震,第一次构造地震产生的地震波先到达地面被接收到(短周期成分),向下传播的地震波又触发了下面的岩浆,引发了热液活动,产生的地震波后到达地表被接收到(长周期成分),这种地震波形较少见。

火山颤动纯粹是由于岩浆运动引发的,其特点是波形持续时间长,可长达数小时乃至数个月。火山颤动波形以长周期成分为主,也夹杂着一些小的类似构造震的波形。通常认为火山颤动是火山喷发

前的一个重要信息,越临近喷发,火山颤动持续时间越长,但并不是每出现一次火山颤动都会对应一次火山喷发。

从以上国际上流行的对火山地震的分类上可以看出,研究火山地震的类型对判断一座火山的活动状态具有十分重要的意义。一般认为长周期(LP)的低频地震和火山颤动,是与火山区的岩浆或热液活动有关的地震,这些地震的主频在1~5Hz。

我们选取了自2002年至2005年一些典型的火山地震进行频谱特征研究。发现这些火山地震的主频基本上都在5~8Hz之间,按照上述对火山地震类型的定义,这些火山地震应该基本上都属于构造型火山地震。这些地震主要是由于火山深部活动诱发浅部的局部断裂引起的。

## 2 形变监测

长白山天池火山监测站的形变监测工作分为山洞定点形变监测、水准测量监测及GPS观测等。目前山洞定点形变监测仪有DSQ水管仪、SSY-III型伸缩仪、PET潮汐重力仪等。东西向基线长10.5m,南北向基线长12m。天池火山水准观测自2002年开始,首先是在火山北坡进行,全线距离为24.8km,每公里偶然误差为0.13mm,符合一等水准测量标准。这条水准路线2002及2003年观测结果有比较大的异常变化,全线24.8km的相对高差上升了38.6mm。GPS形变监测网由15个点构成,控制网覆盖范围为1200km<sup>2</sup>。仪器选用瑞士徕卡公司350型双频GPS接收机,每年进行一次测量。

### 2.1 天池火山GPS水平形变

长白山天池火山GPS观测网是由15个点构成的中点多边形。中心点设在原天池火山监测站附近,其它点位大体均匀散布其周边。该网的平均边长为约15km,最短边为8.65km,最长边为23.99km,控制网覆盖范围约1200km<sup>2</sup>。该观测网于2006年夏建设完成(2006年前的GPS观测网为由8个点构成的中点多边形),并先后于2000~2009年进行了10期流动观测。

2002年夏季以前,长白山天池火山水平变形很弱,其变形基本上都在水平误差以内。1993~1998年期间的InSAR检测结果,也反映出1998年以前长白山天池火山的地表垂直变形很弱。长白山天池火山2002年夏季以前的较弱地表变形,是与2002年夏季以前天池火山相对较弱的地震活动性(年频次几十次)相一致的。综合分析认定,天池火山2002年夏季以前基本上处于相对平静状态。

天池火山 2002 年夏季以来的形变扰动过程与 2002 年夏~2004 年底地震活动性的突然增强和逐渐衰减相类似<sup>[3]</sup>, 长白山天池火山地表形变也出现了较大幅度的异常扰动变化, 且这种形变扰动也表现出较明显的衰减特征。

其中 2002~2003 年的水平位移最大, 在 P0 和 P4 号点的水平方向最大相对膨胀近 4 cm。2003 年以后, 长白山天池火山水平变形速率呈逐年衰减趋势, 2005~2006 年以及 2006~2007 年的水平位移速率已基本恢复到 2000~2002 年相对平静状态时的水平。

2008 年开始 GPS 观测点位由原来的 8 个点增加到 15 个点。根据 GPS 解算结果, 得到了 2009 年相对 2008 年各点位的位移矢量速率变化。

删除个别观测质量差的点位后, 各点误差分布较为均匀, 平均点位误差在 5 mm 之内。相对于 2008 年, 本年度各点位矢量运动方向较为一致, 大体为西南方向, 最大不超过 9 mm。

## 2.2 天池火山垂直形变

吉林省地震局在天池火山的北坡和西坡分别布置了两条精密水准路线监测。北坡水准路线位于长白瀑布之下至黄松浦之间, 全长约 24.8 km, 相对高差约 901 m。西坡水准路线位于天池至西山门之间, 全长约 30 km, 相对高差 1084 m。

自 2002 年以来, 天池北坡水准路线已观测了 8 期, 取得了 8 期相对变化资料(图 2), 从图中可以看出, 自 2002~2005 年, 北坡火山锥体在 3 年的时间内累计抬升了 68.12 mm, 尤其是 2002~2003 年的抬升幅度最大。而 2003 年以后垂直形变幅度逐年降低, 但总体上仍处于抬升阶段。另外, 天池火山 2005 年 9 月~2006 年 9 月初测得近 3 cm 的上升变化, 这与地震活动性及水平形变的继续衰减背景不协调。其原因应该是由于水准仪更换(由光学水准仪改换为电子水准仪)系统误差造成的一种“假位移”。

2006 年开始, 长白山北坡和西坡水准测量同时启用了新的光学水准仪, 因更换仪器产生的系统误差, 造成 2006 年以后的高差产生了“假位移”, 我们对更换仪器后的测量数据进行了重新分析。

表 1 及图 3、图 4 给出 2006~2009 年长白山天池北坡和西坡水准高程变化及各点位和总体变化, 经对比分析, 北坡和西坡 2009 水准高差相对 2008 年变化较小, 分别为 2.44 mm 和 -5.44 mm, 均在误差范围之内。其中西坡水准 2007 年相对于 2006

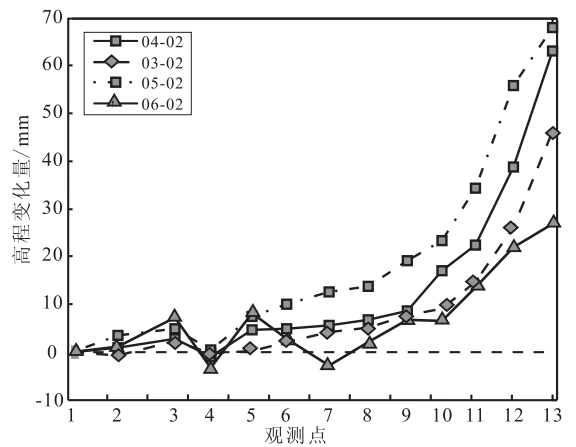


图 2 长白山天池火山锥体垂直位移变化  
Fig. 2 Vertical uplift of the Tianchi volcano

年变化较大, 可能是因观测墩建成时间短, 有轻微沉降变化造成的。

表 1 长白山北坡、西坡 2006~2009 水准高程及变化量  
Table 1 Elevation and its difference of the northern slope and the western slope from 2006 to 2009 mm

日期	2009	2008	2007	2006
北 高 程	901151.70	901149.26	901148.20	901140.05
坡 变化量	2.44	1.06	8.15	0
西 高 程	1084653.77	1084659.21	1084661.54	1084636.2
坡 变化量	17.57	23.01	25.34	0

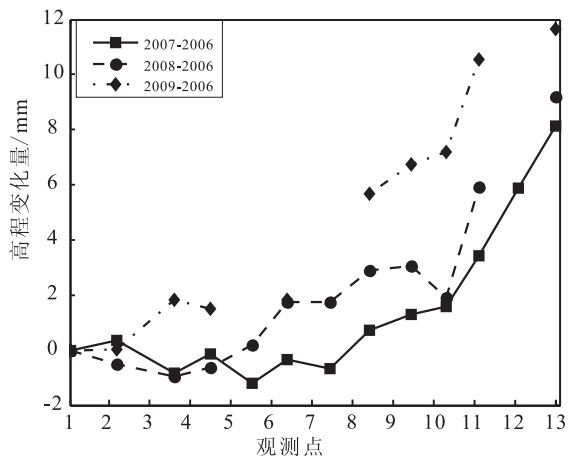


图 3 长白山北坡 2006~2009 各点水准高程变量图  
Fig. 3 Elevation variation of the northern slope from 2006 to 2009

值得注意的是, 长白山西坡水准高差近两年呈下降趋势, 是否预示该处地壳为收缩变化, 尚需更多资料验证; 此外, 尽管 2009 年 GPS 矢量变化较小, 但运动方向呈一致性变化, 需进一步加强监测研究。

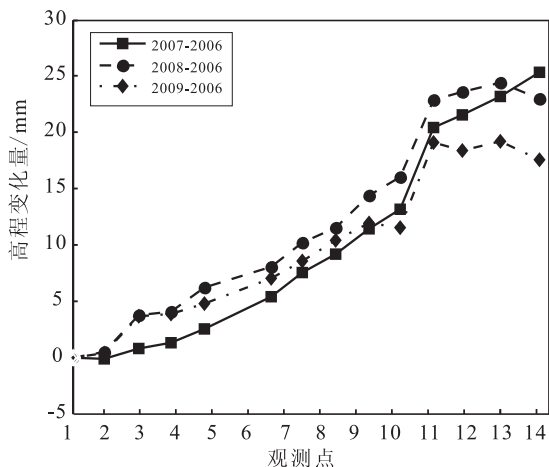


图4 长白山西坡 2006~2009 各点水准高程变量图  
Fig.4 Elevation variation of the western slope from 2006 to 2009

### 3 流体地球化学监测

长白山火山流体监测与研究始于 1985 年,主要由安图地办从事季节性水氦、水温及流量观测,后由延边州及吉林省地震局每年观测一次,直到 1998 年,已积累了非常有意义的第一手资料。1999 年长白山火山监测站建成并投入观测,开始进行全年定期温泉逸出气体气体观测,观测泉点选择长白山北坡的 8<sup>#</sup>、9<sup>#</sup>、15<sup>#</sup> 泉及西坡的锦江 1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup> 泉,选取 CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、He、H<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 等 6 种逸出气体组分进行观测,同时测定泉水温度做为辅助观测手段。2005 年因当地温泉水系统改造,8<sup>#</sup> 泉遭到了破坏,8<sup>#</sup> 泉和 9<sup>#</sup> 泉距离非常近,所测得气体含量变化基本同步,所以其后单独测量 9<sup>#</sup> 泉,8<sup>#</sup> 泉停测。观测仪器为北京分析仪器厂生产的 SQ-206 型气相色谱仪。2006 年监测站对观测仪器进行了更新换代,开始采取 SP-3420 型气相色谱仪进行观测。近年来,中国地震局地质所的有关专家先后到长白山,对火山区温泉的地热、气体和同位素进行了取样与测试,获取了非常有研究价值的观测结果,开展了 <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比值测定研究,为深入开展天池火山区的地热及地球化学监测与研究提供了重要的科学依据。

火山区地下逸出气体的成因和来源可借助气体同位素地球化学特征来分析与判别。首先,可由 <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 来分析火山区的气体成因。<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 值是目前世界公认的气体成因判别最有效的指标,在大气圈、地壳层和地幔中均有固定的比值范围。一般认为,大气层中 <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 值为 1.4 × 10<sup>-6</sup>[4],地壳源气体值为 2.0 × 10<sup>-8</sup>;地幔源气体值为 1.1 ×

10<sup>-5</sup> ~ 1.4 × 10<sup>-5</sup>。根据上官志冠同位素资料,长白泉群核心部位的温泉和锦江泉群其 <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 值十分接近,变化范围为 7.51 × 10<sup>-6</sup> ~ 8.24 × 10<sup>-6</sup>,平均值是空气的 5.61 倍(5.61 Ra) [5]。通常认为样品中 <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 值(R)超过大气的 <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 值(Ra)时,即可认定有幔源 He 的加入。显然,天池火山区主要温泉气体中 R 值已经大大超过了 Ra,可见天池火山区地下气体来自地幔是勿容置疑的,至少也是幔源气体为主。根据稳定同位素分馏原理,通过测定长白山 3 个泉群 CH<sub>4</sub> 的碳同位素 δ<sup>13</sup>C 比值,确定了长白山 3 个泉群不同的岩浆气体释放方式。

锦江泉群的 δ<sup>13</sup>C 比值约为 -25.6‰,与世界大多数地热区 CH<sub>4</sub> 的 δ<sup>13</sup>C 值相近,岩浆气体直接来自壳内岩浆囊,岩浆气体从岩浆囊顶部附近沿深大断裂逐渐向地表迁移释放;

聚龙泉群的 δ<sup>13</sup>C 为 -36.0‰,明显低于锦江泉群,气体初始源区也是壳内岩浆囊,但岩浆来源气体可能是先转移至浅部地热储中,并经过较长时间的滞留后,再与地热水一起沿较浅的活动断裂向地表迁移释放;湖滨泉群的 CH<sub>4</sub> 的 δ<sup>13</sup>C 值非常低,平均值约为 -47.9‰,大大低于区内其他泉群 CH<sub>4</sub> 的 δ<sup>13</sup>C 值,这类岩浆气体很可能直接来自上地幔,是火山喷发活动的产物[6]。

地下逸出气体是反应地下信息最好的载体,能反应地球深部的信息。火山区气体的释放与地下地质构造、物质构成等火山地质条件密切相关,为研究火山活动状态提供了良好的条件。天池火山区释放出的气体中,其气体化学组分主要是:He、H<sub>2</sub>、Ar、O<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub>,其中以 CO<sub>2</sub> 为主。此外,有些气体出露点还显示有 H<sub>2</sub>S 和 SO<sub>2</sub>,但含量都很低[7]。

长白山火山监测站根据各类泉点的气体释放数量及各类气体对岩浆活动的灵敏程度,选定其中 He、H<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub> 开展定期连续观测。1999~2006 年采用 SQ-206 型气相色谱仪进行观测,2007 年 6 月开始采用 SP-3420 型气相色谱仪进行观测。取样间隔一般为 3~7 天。

CO<sub>2</sub> 是长白山天池火山区地下最重要的气体成分,其浓度一般可达 90% 以上,且相对稳定。温泉逸出气体中的 CO<sub>2</sub> 可能来自两个方面,一方面是地下自由气体直接向上逸出,另一方面可能是深部热水近地表减压脱气形成。2006 年以来,两个泉点的 CO<sub>2</sub> 含量均有趋势性下降的趋势,这一现象值得关注。

He 是惰性稀有气体,质量轻,运移快,穿透力

也极强,其最大的特点是在运移过程中没有化学干扰,是一种可靠的地质环境标志性气体。因而 He 是近代火山和现代构造活动区地下逸出气体中最重要的、最值得重视的微量气体成分。天池火山区温泉逸出气体中大多含有微量的 He。

H<sub>2</sub> 是一种强还原性气体,通常认为 H<sub>2</sub> 属高温气体,通常和温度有关。天池火山区地下逸出气体中 H<sub>2</sub> 属于微量组份,其中 9<sup>#</sup> 泉属高温温泉,其热水温度比 15<sup>#</sup> 泉高出大约 4℃,9<sup>#</sup> 泉 He、H<sub>2</sub> 含量相对较高,而 15<sup>#</sup> 泉 He、H<sub>2</sub> 含量相对较低,有时候检测不到这两种气体成分。

CH<sub>4</sub> 属烃类气体,一般情况下,其来源主要是有机形成,火山区热活动区中的 CH<sub>4</sub> 显然不是有机形成。火山区周围的岩石均为玄武岩、粗面岩等火山岩,因此变质作用形成 CH<sub>4</sub> 的可能性也不大,唯一的可能是 CH<sub>4</sub> 来自地球深部,跟岩浆活动有关。

从有关参数看,CH<sub>4</sub> 含量多少跟水温关系不大。

2003~2004 年 He、H<sub>2</sub>、含量同步出现大幅度上升异常,He 升高  $600 \times 10^{-6}$ , H<sub>2</sub> 升高  $2700 \times 10^{-6}$ ,此间火山地震活动频繁,并于 2004 年 12 月 17 日发生 ML4.4 级构造地震,之后于 2005 年 4 月 15 日发生了 ML4.0 级构造地震。因而这次气体含量的显著变化可视为地下岩浆活动的一个反映。

2006 年 10~11 月 He、H<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 等稀有气体浓度同步大幅度上升,上升幅度近两个数量级,同期发生了以 11 月 11 日 ML2.6 级构造型火山地震为代表的火山地震震群。这再一次证明了温泉逸出气体浓度的变化对岩浆和地震活动的敏感性。

另外,9<sup>#</sup> 泉和 15<sup>#</sup> 泉的泉水温度在 2003 年之后上升了大约 1℃,之后一直保持相对稳定,这一个特点也正好与当时的火山活动性相对应(图 5)。

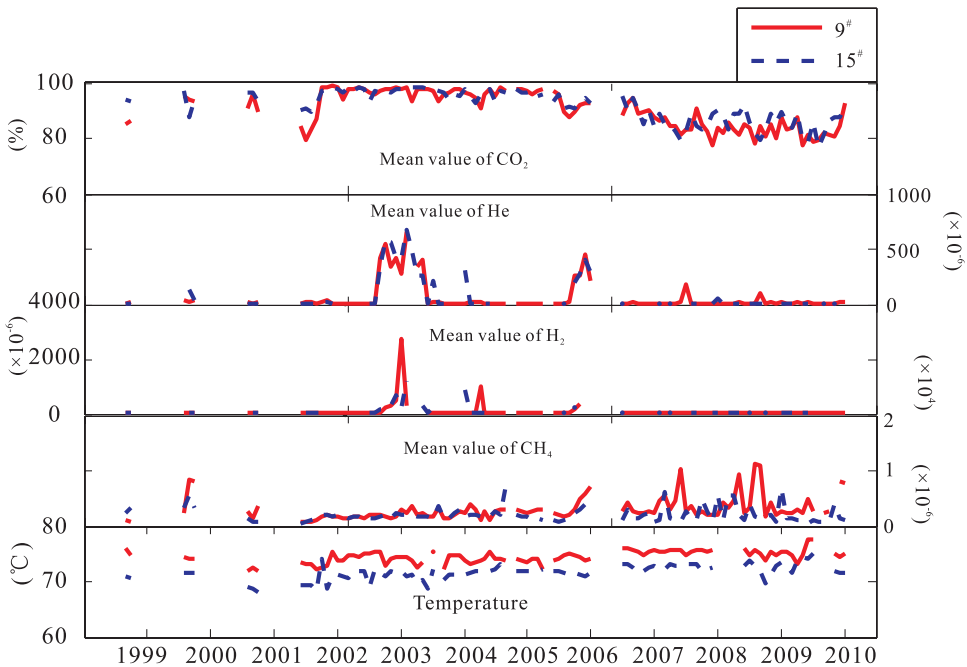


图 5 聚龙泉区几种主要气体浓度及泉水温度月均值图

Fig. 5 Monthly average value of several mainly gas consistence variation and the water temperature

值得注意的一个问题是,2010 年 5 月份以后,两个泉点的水温同步上升了大约 2℃,此期间泉点观测环境并未发生变化,因各观测气体元素的浓度并未发生明显变化,水温上升这一现象是否属于地热活动异常尚有待观察。

流体化学观测方法是判别地下岩浆活动,进行火山活动性预测最有效的方法之一。国内外的火山学家已经对流体化学组分与岩浆活动的关系进行了深入的研究并取得了卓有成效的成果。在 2002~

2005 年发生的岩浆初级扰动和 2006 年发生的火山地震震群事件中<sup>[8]</sup>,同位素地球化学观测和常规气体组分连续观测已经捕捉到了相应的异常现象,进一步证明流体地球化学观测方法对火山活动观测的重要性。长白山火山是我国最具潜在喷发危险性的活火山,因观测条件的限制,不可能开展同位素地球化学连续观测,可采取每年定期取样的方法,利用同位素地球化学的方法对岩浆活动的总体趋势进行判断,同时借助于常规气体组分的定期连续观测资料

捕捉火山活动的短临异常现象。如果火山活动形势紧张,应该加大同位素地球化学观测和常量组分观测的取样密度。 $H_2S$  和  $SO_2$  组分是岩浆活动的直接产物,在火山活动之前及活动期间,这两种气体的释放量将大大升高。目前长白山火山区  $H_2S$  和  $SO_2$  含量很低,在这种低值背景条件下,深部含硫物质释放量的少量增加,就能使逸出气体的含硫物质的动态发生明显的变化。所以  $H_2S$  和  $SO_2$  可能成为火山临近喷发阶段的灵敏组分。

## 4 结 语

火山地震监测资料、火山区形变监测资料、火山区流体地球化学监测资料均表明 2002~2005 年长白山天池火山区存在明显的异常情况,洪汗净根据这些异常现象把长白山火山当前的活动阶段定义为“初始扰动”阶段<sup>[8]</sup>。

目前,长白山火山尚处于休眠期,属于一座休眠的活火山,2006 年以后火山活动有所减弱,为开展各方面工作赢得了宝贵的时间。因此我们要倍感珍惜,把握住机会,努力探索,勇于开拓,为火山监测和防震减灾做出应有的贡献!

## 参考文献 (References):

[1] 刘国明,张恒荣,孔庆军. 长白山天池火山区的地震活动特征分析[J]. 地震地质, 2006, 28(3): 503—508.  
Liu Guoming, Zhang Hengrong, Kong Qingjun. Analysis of the seismic activity at the Changbaishan Tianchi volcano[J]. Seismology and Geology, 2006, 28(3): 503—508. (in Chinese with English abstract)

[2] 吴健平,明跃红,张恒荣,苏伟,刘一鸣. 2002 年夏季长白山天池火山区的地震活动研究[J]. 地球物理学报, 2005, 48(3): 621—628.  
Wu Jianping, Ming Yuehong, Zhang Hengrong, Su Wei, Liu Yiming. Seismic activity at the Changbaishan Tianchi volcano

in the summer of 2002[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2005, 48(3): 621—628. (in Chinese with English abstract)

[3] 胡亚轩,王庆良,崔笃信,李克,郑传芳. 长白山火山区几何形变的联合反演[J]. 大地测量与地球动力学, 2004, 24(4): 90—94.  
Hu Yaxuan, Wang Qingliang, Cui Duxin, Li Ke, Zheng Chuanfang. Joint inversion of geometric deformation in Changbaishan volcanic area[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2004, 24(4): 90—94. (in Chinese with English abstract)

[4] 王先彬. 稀有气体同位素地球化学和宇宙化学[M]. 北京: 科学出版社, 1989: 15—21.  
Wang Xianbin. Noble gas isotopic geochemistry and cosmochemistry[M]. Beijing: Science Press, 1989: 15—21. (in Chinese)

[5] 刘若新,魏海泉,李继泰. 长白山天池火山近代喷发[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 58—66.  
Liu Ruoxin, Wei Haiquan, Li Jitai. The recent eruption of Changbaishan Tianchi volcano[M]. Beijing: Science Press, 1998: 58—66. (in Chinese)

[6] 上官志冠,赵慈平,高玲. 中国活动火山区甲烷的碳同位素研究[J]. 岩石学报, 2006, 22(6): 1458—1464.  
Shangguan Zhiguan, Zhao Ciping, Gao Lin. Carbon isotopic compositions of the methane derived from magma at the active volcanic region[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(6): 1458—1464. (in Chinese with English abstract)

[7] 高清武. 长白山天池火山水热活动及气体释放特征[J]. 地球学报, 2004, 25(3): 345—350.  
Gao Qingwu. Volcanic hydrothermal activities and gas-releasing characteristics of the Tianchi lake region, Changbai mountains[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2004, 25(3): 345—350. (in Chinese with English abstract)

[8] 洪汉净,吴建平,王庆良. 中国火山危险性等级与活动性分类[J]. 地震地质, 2006, 29(3): 447—458.  
Hong Hangjing, Wu Jianping, Wang Qingliang. Volcanic threat levels and classification of volcanic activity in China[J]. Seismology and Geology, 2007, 29(3): 447—458. (in Chinese with English abstract)