

长白山天池火山口内湖滨温泉地球化学

高 玲¹, 上官志冠², 魏海泉²

1. 北京市地震局, 北京 100080; 2. 中国地震局 地质研究所, 北京 100029

摘 要: 本文报道了湖滨温泉强气体释放带地球化学特征。湖滨温泉强气体释放带位于天文峰下长白山天池火山口 北岸, 是一处大规模热水强烈释放区域。天文峰顶部的极新的喷发物年代尚有争议, 它们应当是近代某次中小规模喷发或千年大喷发的残留物。湖滨温泉区域逸出气体的地球化学研究对揭示区域火山活动有现实意义。本文通过对长白山天池火山口 湖内湖滨气体强释放带的考察采样, 全面分析了湖滨温泉区域逸出气体的地球化学特征。结果显示, 这些气体中富含 CO₂、He、CH₄、Ar 等深源气体。He 同位素比值为 4.81~ 5.95, 依据 ⁴He/²⁰Ne 同位素值和 He 含量计算的幔源气体含量平均为 67.1%, 显示湖滨区域是一处大规模、高强度深源气体释放的特殊区域。He 同位素空间分布呈凹形特征可能与区域火山机构有关, 深部幔源气体的大规模释放很可能是最新火山喷发的残留气体。本文提供了天池湖滨温泉地球化学初步的直接证据。

关 键 词: 天池火山; 湖滨强气体释放带; 地球化学; 火山机构; 残留气体

中图分类号: P593 文献标识码: A 文章编号: 1007-2802(2010)03-0244-06

Geochemistry Features of the Hubin Springs in the Northern Caldera Lake of the Tianchi Volcano, Changbaishan

GAO Ling¹, SHANGGUAN Zhi-guan², WEI Hai-quan²

1. Beijing Earthquake Administration, Beijing 100080, China;

2. Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China

Abstract: This paper reported the geochemical features of gas emitted from the Hubin Springs. The Hubin Springs zone, a strong thermal emission zone, locates at the north edge of the Tianchi caldera lake. Very young deposits with uncertain eruption dating data are found on the top area of the Tianwenfeng, they might be formed in one of the recent eruptions or the millennium eruption. It is significant to study geochemistry features of the emitting gas from the Hubin Springs to understand the activities of the Tianchi Volcano. This paper systematically sampled and analyzed the emitting gases from the Hubin Springs, and discussed their geochemistry features. The results showed that there are high contents of the deep derived gases, such as CO₂, He, CH₄ and Ar in Hubin Springs zone. The isotopic ratio of He lies between 4.18 and 5.95 Ra. An averaged mantle-derived gas content calculated from ⁴He/²⁰Ne ratio and He content reached to 67.1%. All of these showed that the Hubin Springs located on a special belt of deep gases releasing in high intensity and big scale. The spatial distribution of Helium isotope is characterized by concave, showing that this special area may be related to the volcanic edifice. It is highly possible that the released gases represent the resident gas samples of the latest eruption from the Tianchi Volcano. However, more detailed studies are demanded.

Key words: Tianchi Volcano; Hubin strong gas release zone; geochemistry; crater; residence gas

长白山天池火山是我国最具喷发危险和危害的活动火山^[1]。区内开展了一系列逸出气体(地下流体)释放研究和动态监测,特别是对火山区深部流体

及其同位素研究,为揭示火山区气体物质来源、地下岩浆活动变化、判断火山地震活动性及和火山活动之间的关系提供了重要的信息^[2~5]。但由于条件限

制,对火山口湖内的地下流体(逸出气体)研究几乎未有过报道。

中国境内与天池火山活动有关的现代水热流体释放活动集中在二道白河上游长白聚龙泉群、锦江大峡谷上游温泉群和天池火山口湖内湖滨强气体释放带^[6]。本研究较完整地测试了湖滨区代表性泉点的水、气样品的化学组成和 He 同位素,初步研究表明,逸出气体释放特别是稀有气体同位素特征显示该区域可能与火山机构有关,大规模、高强度深部幔源气体很可能是最新火山喷发的残留气体;研究和掌握天池湖滨深部物质的动态变化对监测天池火山有现实意义。

1 地质背景

长白山天池火山是多次喷发形成的破火山口积水而成的中国最大的火山口湖^[7]。天池火山千年大喷发后,1668~1702 年又发生过中小规模的喷发,最近一次发生在 1903 年^[1,8~11]。

湖滨强气体释放带位于天池火山口湖北侧,天文峰下方,海拔 2193 m(图 1)。大致沿湖岸展布,由湖边向湖中延伸,长 500 余 m,可见宽度超过 50 m。从拍摄到的湖滨强气体释放带冬季不结冰的水域看,其实际的宽度要远远超过 50 m(图 2)。《长白汇征录》中曾有“热如汤泉”之说^[7]。这次考察测得最高水温约 40℃,平均 20℃左右。湖滨区热水释放上升过程中,尽管受到湖水的强烈混合,但大量深部气体源源不断的释放(图 3),其规模之大、强度之高及所处的特殊位置已超出一一般意义的温泉群,因此作者认为此处称湖滨强气体释放带较湖滨温泉群更为恰当,并以此来讨论。

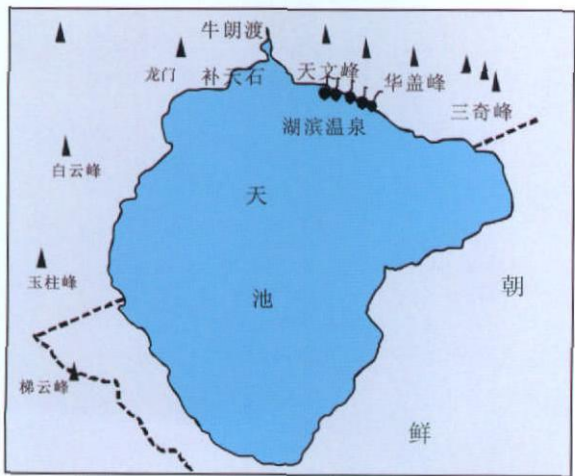


图 1 天池湖滨强气体释放带位置示意图

Fig. 1 Location of the Tianchi Hubin strong-gas release zone



图 2 箭头所指天文峰下湖滨强气体释放带冬季不结冰区域(比例尺:1:2600)

Fig. 2 The arrow ;Tianchi Hubin strong gas-release zone; ano-frozen area in the water(scale: 1:2600)

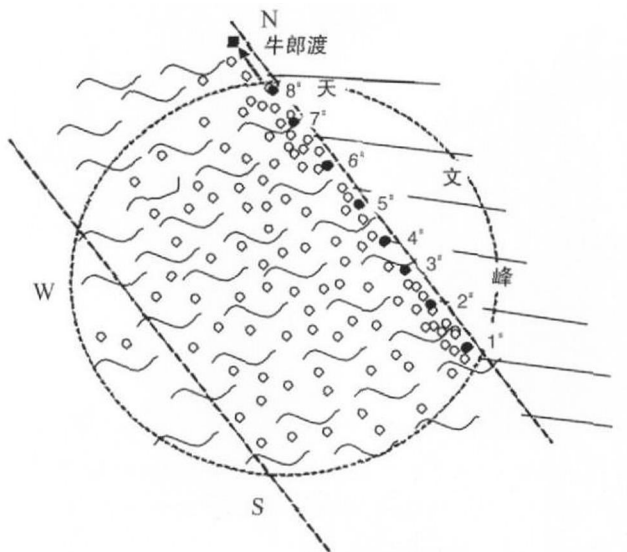


图 3 湖滨强气体释放带逸出气体(比例尺:1:27)

Fig. 3 Gas bubbling in the Tianchi Hubin strong gas-release zone(scale: 1:27)

2 气体、水化学样品的采集和分析

图 4 所示,我们沿湖岸展布方向选择了有代表性的泉点采集了 8 个气样和 7 个水样,泉点的间距大约 60 m。用排水取气法采集气体。选择气体释放比较强烈的泉点区域收集气体,存放在预先抽好真空的不锈钢瓶、玻璃质盐水瓶和铝塑质气袋中,其中不锈钢瓶和玻璃质气瓶中的气体用于测试 He 同位素,铝塑质气袋中的气体用来测试气体化学组分;在逸出气体释放点旁采集水样,存放在特制玻璃瓶中,用来分析水化学成分。气体化学组分由中国地震局地质研究所 MAT-251 色谱计测试,其中常规气体 CO₂、N₂、Ar 和 O₂ 误差 ≤±2.0%,微量气体 He、H₂ 和 CH₄ 误差 ≤±5%;氦同位素分析由中国科学院地质与地球物理研究所兰州分部 VG-5400



: 采样点; ■: 牛郎渡 (距离湖滨区域外围, 作为对比, 在此处采集水样); ↗ : 指示牛郎渡距离湖滨区域超过 200 m

: refers to gas release sample collected location; ■: refers to Niulangdu (as compared, the water sample collected at the peripheral of Hubin strong gas release zone 200 m)

图 4 湖滨强气体释放带采样示意图

Fig. 4 Sample collectd loction

质谱测定, 以大气氦为标准, 分析误差 $< \pm 0.3 \times 10^{-6}$, 水化学组分由中国科学院地质与地球物理研究所化学分析室测试。

3 气体地球化学组成

各气体样品的成分及 He 同位素组成见表 1。

表 1 显示湖滨强气体释放带各点的 $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ 值变化较大 (14.1~137.8), 由于空气的 $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ 值为 0.318, 同时 N_2 、 O_2 含量均低于空气值, 显示样品可信度高。

天池湖滨强气体释放带各点富含 CO_2 、He、 CH_4 、Ar 等微量气体 (表 1)。各点逸出气体主要组分是 CO_2 , 含量为 68.8%~96.4%, 平均 86.8%。其次是 N_2 , 含量为 3.1%~19.0%。表 1 显示 $\text{N}_2/\text{Ar} + \text{O}_2$ 值为 3.66~24.79, 除了 4#、5#、8# 外, 其他点的 $\text{N}_2/\text{Ar} + \text{O}_2$ 值都大于空气值 (3.57), 2# 点最高 (24.79), 比空气值高出 86%, 而 6# 点只比空气值高 2.5%。显示深部气体在上升过程中, 由于通道随机分布, 通畅程度不同, 滞留时间各异, 致使上升气体受壳源混染程度不同。

表 1 天池火山口湖滨强气体释放带逸出气体化学和氦同位素组成

Table 1 Chemical contents of gases fromthe Tianchi Hubin strong gas release zone gas and helium isotope composition

温泉点	$t/^\circ\text{C}$	常规气体(%)					N_2/Ar	微量气体($\times 10^{-6}$)		$^3\text{He}/^4\text{He}$	R/Ra	$^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$
		CO_2	N_2	Ar	CH_4	O_2	+ O_2	H_2	He	($\times 10^{-6}$)		
1 [#]	18	84.74	12.13	0.40	1.64	1.75	5.64		188	8.33	5.95	45.2
2 [#]	40	86.65	14.13	0.20	0.17	0.37	24.79	34	33	7.13	5.09	14.1
3 [#]	16	89.46	9.92	0.13	0.52	2.28	4.12		61	7.04	5.03	25.9
4 [#]	39	68.80	19.04	0.26	1.50	7.25	2.54		179	7.38	5.27	44.5
5 [#]	23	95.65	3.68	0.07	0.17	0.99	3.47		56	6.79	4.85	22.8
6 [#]	13	90.75	8.83	0.13	1.69	2.28	3.66		207	7.22	5.16	45.2
7 [#]	13	81.78	14.13	0.26	1.93	1.44	8.31		338	7.46	5.33	137.8
8 [#]	16	96.42	3.07	0.07	0.24	1.65	1.78		24	7.70	5.50	31.6
对流层空气		0.037	78.08	0.93	1.40	20.95	3.57		5	1.4	1	0.318

注: # 指采样点, 空白表示未检出。除 4# 点在泉水出口处采集气体外, 其余点均在泉水出口旁逸出气体充足处采集样品; $\text{Ra} = 1.4 \times 10^{-6}$, R 为样品 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值。分析者: 中国科学院兰州地质研究所气体地球化学实验室

湖滨强气体释放带各采样点均检测到 He 和 CH_4 (表 1), He 是大气中最丰富的惰性元素, 具较强挥发性。湖滨各点的 He 浓度均大于大气标准值 (5.24×10^{-6}), 平均为 136×10^{-6} , 是大气含量的 26 倍。其 He 同位素比值是目前公认的认识气体来源最有力的指示剂。幔源 He 的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值基本上为 3~30 $\text{Ra}^{[16]}$ 。地球表面 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值高于空气的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值 (Ra 代表空气值 1.4×10^{-6}) 即可显示幔源 He 的加入。湖滨强气体释放带的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值为 4.85~5.95。按照三种端元计算^[13]结果 (表

2), 考察区逸出气体中幔源组分为 61.6%~75.8%, 平均为 67.1%, 均显示幔源 He 的显著贡献。与天池火山其他两个泉群幔源气体释放比例相比, 湖滨区最高^[3], 也是目前中国境内幔源气体释放比例最高的^[14,15]。湖滨各点 CH_4 含量为 0.17%~1.93%, 平均为 0.98%。如 6# 点和 7# 点分别达到 1.69% 和 1.93%。共生气体 CH_4 与 CO_2 由于热水中的 CH_4 在释放过程中会被迅速氧化, 生成大量的 CO_2 , 因此世界火山区 CH_4 含量普遍很低, 很少超过 1%^[12], 高含量 He、 CH_4 显示湖滨区下方可能有

深部断裂通道,且通道与深部气体释放源区相通。

表 2 湖滨强气体释放带逸出气体释放点端元组成

Table 2 The Tianchi Hubin strong gas release zone three end member components of hot springs

温泉点	空气(%)	幔源(%)	壳源(%)
1号	0.71	75.75	23.55
2号	2.25	64.63	33.12
3号	1.23	63.93	34.84
4号	0.71	67.08	32.20
5号	1.39	61.64	36.97
6号	0.7	65.64	33.66
7号	0.23	67.88	31.89
8号	1.01	69.97	29.02

4 He 同位素空间分布特征

天池火山口湖是天池火山百万年来连续不断喷发活动的固定通道,表明该区下部通道与地幔相连^[11]。图 5 显示,区内除 4[#] 泉点外,湖滨强气体释放带各逸出气体释放点 He 同位素空间分布呈中央弱边缘强特征。这种空间分布特征可能与火山机构有关^[17,18]。火山喷发时,质量重、体积大的喷发碎屑物通常堆积在火山口的周围,而质量轻、体积小的碎屑物通常在原地堆积,相对于中央部位,火山喷发边缘部分的碎屑堆积物裂隙大,密度、厚实度低,深部气体更易从这些通道释放出来。现场考察显示,湖滨强气体释放带气体释放强度也呈现凹形特征即中央强边缘弱,相应的所携带的深源气体含量也应有所不同(表 2)。如表 1、图 5 所示,距离湖滨中心部位最远的 1[#] 点和 8[#] 点³He/⁴He 值相对较高,其中 1[#] 点 He 同位素比值是所有测点中最高的,为 5.95 Ra,逸出氦为 188×10^{-6} ,其中幔源氦占 75.7%,该点气量充足,深层气体 CH₄ 含量高达

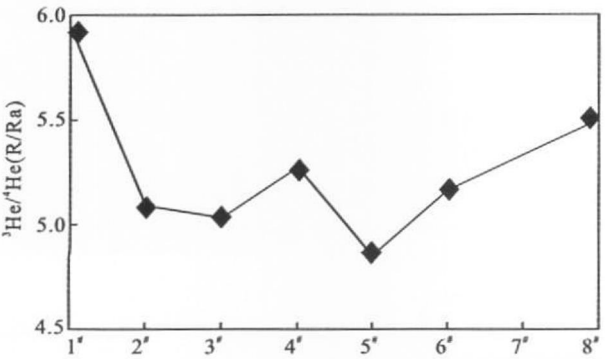


图 5 湖滨强气体释放带 He 同位素空间分布

Fig. 5 Tianchi Hubin strong gas release zone helium space distribution

1.64%,较轻阳离子的浓度远高于其他点(图 6)。8[#] 点的³He/⁴He 值为 5.50 Ra,CO₂ 含量高达 96.4%,逸出氦中幔源氦占 70.0%。湖滨 2[#] 和 3[#]

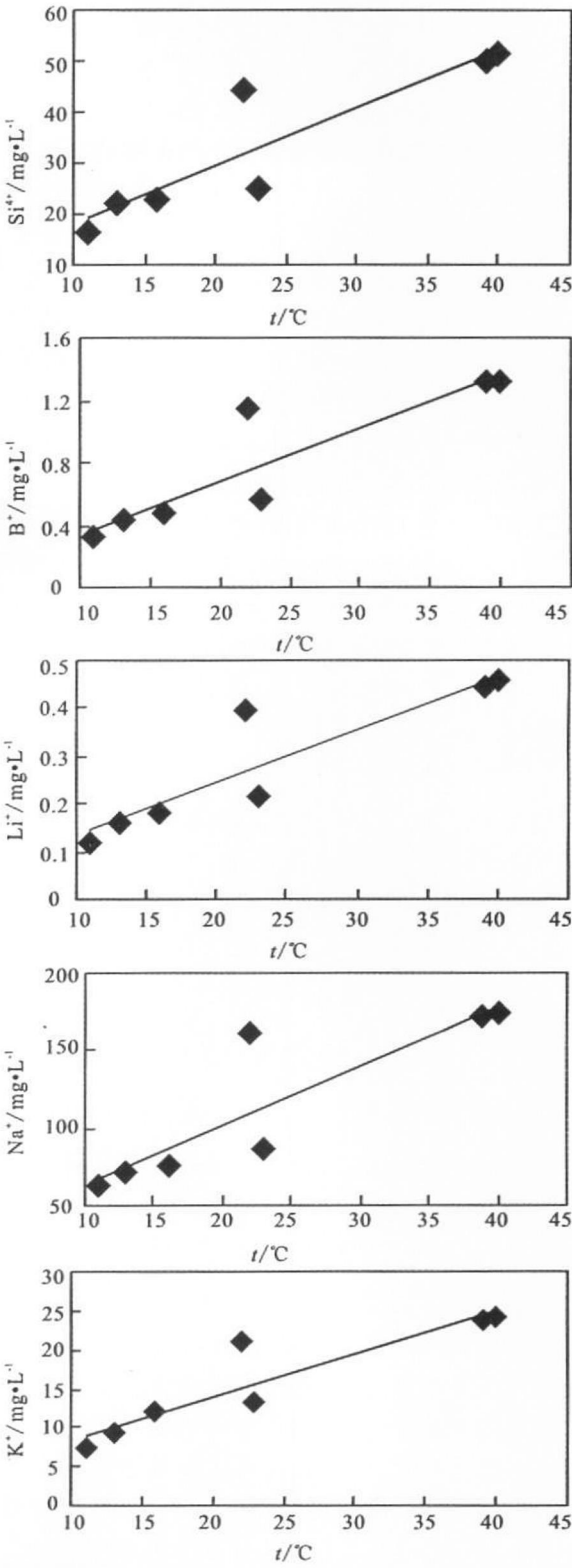


图 6 湖滨强气体释放带轻离子与温度关系

Fig. 6 Relationship between light cations and temperature in strong gas release zone

点³He/⁴He 值分别为 5.09 Ra、5.03 Ra, 幔源氦的贡献量分别达 64.6% 和 64.0%。^{6#} 和 ^{7#} 点的³He/⁴He 值分别为 5.16 Ra、5.33 Ra; CH₄ 含量分别达 1.69%、1.93%, 显示它们的深部气体释放通道顺畅, 这从边缘部位高 He 同位素值得到印证。位于湖滨中心部位 ^{5#} 点周围细砂广布, 气体释放微弱, 其³He/⁴He 值最低, 为 4.85 Ra, CO₂ 含量高达 95.7%。湖滨强气体释放带深源气体释特征也应与区内湖中火山沉积物有关, 火山喷发碎屑物不断受到湖水的强烈溶蚀, 堆积于火山机构内部。与火山机构边缘部位相比, 中央部位火山沉积物厚度大、粒度小、密度低(图 7), 深源气体上升过程中受到浅层气体较大的干扰, 这也是造成 He 同位素空间分布呈现中间低两边高的原因之一。湖滨中心部位 ^{4#} 点的³He/⁴He 值为 5.27 Ra, 高于最底部 ^{5#} 点的 He 同位素值 4.85 Ra。需要指出的是 ^{4#} 点是唯一一个在泉水出口处采集的样品。该点水温很高(39℃), 气体释放微弱(CO₂ 含量仅 68.8%, N₂ 含量 19.0%), 而 CH₄ 含量高达 1.5%; 锦江大峡谷断裂带的锦江温泉群也具同样特征, 笔者认为 ^{4#} 点不是一处逸出气体释放点, 可能是一处断裂型温泉点^[19]。

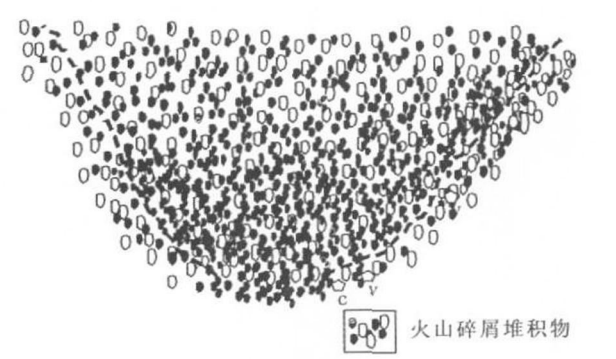


图 7 湖滨强气体释放带火山喷发物堆积示意
Fig. 7 Tianchi Hubin strong gas-release zone
outcropping products accumulated

天文峰顶部覆盖有极新的喷发物, 其年代尚有争议, 应当是近代某次中小规模喷发或千年大喷发的残留物^[1, 10, 11, 20]。区内各气体释放点深部幔源气体的释放并没有呈现“中间高两边弱”的特点, 可能与火山机构有关, 也表明区内迄今可能未再发生新的喷发活动。以此推断天文峰下方的大规模幔源气体释放很可能是近代最新火山喷发的残留气体。

5 结 论

天池湖滨强气体释放带逸出气体富含 CO₂、

He、CH₄、Ar 等深源气体。He 同位素比值为 4.81 ~ 5.95 Ra, ⁴He/²⁰Ne 同位素值和 He 含量计算的幔源含量平均为 67.1%, 显示该区是一处大规模、高强度深源气体不断释放的特殊区域。

He 同位素逸出气体释放强度均呈凹形, 即中央弱边缘强, 可能与火山机构、湖内火山沉积物有关, 也表明是最新的喷发活动残留物, 来自深部幔源气体大规模释放很可能是最新火山喷发的残留气体。

今后加强监测与研究将会有现实意义。

致 谢: 野外工作期间得到了赵慈平博士和长白山火山监测站的帮助, 在此表示衷心感谢。

参考文献 (References):

[1] 刘若新. 火山作用与人类环境[M]. 北京: 地震出版社, 1995: 1—13.
Liu Ruoxin. Volcanism and human environment[M]. Beijing: Earthquake Press, 1995: 1—13. (in Chinese)

[2] 上官志冠, 孔令昌, 孙凤民, 高松升. 长白山天池火山区深部流体成分及其稳定同位素组成[J]. 地质科学, 1996, 31(1): 54—64.
Shangguan Zhiguan, Kong Lingchang, Sun Fengmin. Gao Songsheng. The deep fluid components and stable isotopic composition in volcanic area, Changbai Tianchi [J]. Geology Science, 1996: 31(1): 54—64. (in Chinese with English abstract)

[3] 上官志冠, 郑雅琴, 董继川. 长白山天池火山地热区逸出气体的物质来源[J]. 中国科学(D辑), 1997, 27(4): 318—324
Shangguan Zhiguan, Zhen Yaqin, Dong Jichuan. The origin of gas release in volcanic area, Changbai Tianchi Mountain[J]. Science in China(series D), 1997, 27(4): 318—324. (in Chinese with English abstract)

[4] 上官志冠, 赵磁平, 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): 1456—1464.
Shangguan Zhiguan, Zhao Ciping, Gao Ling. Carbon isotopic compositions of the methane derived from magma at the active volcanic regions in China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, (22): 1456—1464. (in Chinese with English abstract)

[5] 林元武, 高清武, 于清桐. 长白山天池火山区地下热流体化学特征研究[J]. 地质论评, 1999, 45: 241—247
Lin Yuanwu, Gao Qingwu, Yu Qingtong. Under fluid geochemical characteristics in Changbaishan volcanic area[J]. Geology Review, 1999, (45): 241—247. (in Chinese with English abstract)

[6] 上官志冠, 李春园. 长白山天池火山近代喷发[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 124—139
Shangguan Zhiguan, Li Chunyuan. Recent eruptions of the Changbai Tianchi volcano[M]. Beijing: Science Press, 1998: 19—27. (in Chinese)

- [7] 刘嘉麒. 中国火山[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 178–193.
Liu Jiaqi. The volcanoes in China[M]. Beijing: Science Press, 1999: 187–193. (in Chinese)
- [8] 刘若新, 魏海泉, 李季泰. 长白山天池火山近代喷发[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 19–27.
Liu Ruoxin, Wei Haiquan, Li Jitai. Recent eruptions of the Changbai Tianchi Volcano[M]. Beijing: Science Press, 1998: 19–27. (in Chinese)
- [9] 崔钟燮, 魏海泉, 刘若新. 长白山天池火山喷发历史记载资料的考证[A]. 刘若新. 火山作用与人类环境[M]. 北京: 地震出版社, 1995: 19–27.
Cui Zhongxie, Wei Haiquan, Liu Ruoxin. The textual research of historical record of Changbaishan Tianchi volcano eruption[A]. Volcanism and human environment[M]. Beijing: Earthquake Press, 1995: 19–27. (in Chinese)
- [10] 魏海泉, 刘若新, 樊祺诚. 长白山天池火山多成因中央式火山[J]. 地质论评, 1999, 45: 257–262.
Wei Haiquan, Liu Ruoxin, Fan Qicheng. Changbaishan: Tianchi volcano many cause formation central volcano[J]. Geology Review, 1999, (45): 203–209. (in Chinese with English abstract)
- [11] 樊祺诚, 隋建立, 孙谦, 王团华. 天池火山千年大喷发的岩浆混合作用与喷发机制初步探讨[J]. 岩石学报, 2005, 21(6): 1703–1708.
Fan Qicheng, Sui Jianli, Sun Qian Wang Tuanhua. preliminary research of magma mixing and explosive mechanism of the millennium eruption of Tianchi volcano[J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21(6): 1703–1708. (in Chinese with English abstract)
- [12] Tassi F, Vaselli O, Capaccioni B, Macias J I, Nencetti A. Chemical composition of fumarolic gases and spring discharges from El Chichon volcano, Mexico: Causes and implications of the changes detected over the period 1998–2000[J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2003, (123): 105–121.
- [13] Sano Y, Nakamura Y, Notsu K, Wakita H. Influence of volcanic eruptions on Helium isotope ratios in hydrothermal systems[J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 1988, 52: 1305–1308.
- [14] 杜建国, 李圣强, 刘连柱. 五大连池火山区气体地球化学特征[J]. 地球化学, 1999, 28(2): 171–175.
Du Jianguo, Li Shengqiang, Liulianzhu. Wudalianchi volcanic area gas geochemistry[J]. Geochimica, 1999, 28(2): 171–175. (in Chinese with English abstract)
- [15] Jianguo Du, Congqiang Liu, Bihong Fu. Variations of geothermometry and chemical isotopic composition of hot spring fluids in the Rehai geothermal field, southwestern China[J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2005, (125): 243–261.
- [16] Farley K A, Neroda. Noble gases in the earth's mantle[J]. Annu. Rev. Earth Planet. Sci., 1998, (26): 189–218.
- [17] Y, Wakita H, Williams N. Helium isotope systematics at Nevado del Ruiz volcano, Colombia: Implications for the volcanic hydrothermal system[J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 1990, (42): 41–52.
- [18] Notsu K, Nakai S, Igarashi G. Spatial distribution and temporal variation of $^3\text{He}/^4\text{He}$ in hot spring gas released from Urzen volcano area, Japan[J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2001, (121): 89–98.
- [19] 高玲, 上官志冠, 魏海泉, 武成智. 长白山天池火山近期气体地球化学的异常变化[J]. 地震地质, 2007, 21(2): 179–188.
Gaoling, Shanguan Zhiguan, Wei Haiquan, Wu Chengzhi. Recent geochemical variation of the hot spring gases from the Tianchi volcano, Changbai Mountains, Northeast China[J]. Earthquake Research in China, 2007, 21(2): 179–188. (in Chinese with English abstract)
- [20] 樊祺诚, 刘若新, 魏海泉. 长白山天池火山全新世喷发与岩石地球化学特征[J]. 地质论评, 1999(45): 253–271.
Fan Qicheng, Liu Ruoxin, Wei Haiquan. Changbaishan Tianchi volcano the recent epoch eruption and rock geochemistry[J]. Geology Review, 1999, (45): 253–271. (in Chinese with English abstract)