2004 年 6 月
25 卷 3 期 :345-350

地 球 学 报
ACTA GEOSCIENTICA SINICA

Jun. 2004
25(3) :345-350

长白山天池火山水热活动及气体释放特征

高清武

中国地震局地质研究所,北京,100029

摘 要 长白山天池火山属于新生代大型多成因复式火山,位于吉林省东部中-朝边境上。天池火山周围水热活动比较强烈,主要的水热活动区有天池北部的长白温泉群、天池湖滨温泉和天池西南的锦江泉群。长白聚龙泉群水温较高,一般为 70～83 ℃,湖滨温泉水温 20～40 ℃,锦江泉群水温为 58 ℃左右。长白聚龙泉群水热活动相对更为强烈。在水热活动区,地下气体活动也相当强烈,地下释放气体的主要成分是 CO_2,同时含有稀少气体 He、Ar 和微量气体 H_2、CH_4 及少量 O_2 和 N_2。长白和锦江两处泉群的地下释放气体中,其气体同位素地球化学特征表明,两处地下逸出气体均来源于地球深部,具有慢源气体特征。但是,长白聚龙泉地下逸出气体和地壳岩浆房有关,而锦江地下释放的气体则和地幔岩浆库及深大断裂有关。

关键词 长白山火山 水热活动 气体地球化学 幔源

Volcanic Hydrothermal Activities and Gas-releasing Characteristics of the Tianchi Lake Region, Changbai Mountains

GAO Qingwu

Institute of Geology, China Seismological Bureau, Beijing, 100029

Abstract Located in China-Korea border area, eastern Jilin Province, the volcano in Tianchi Lake region of Changbai Mountains is of Cenozoic large-size multi-genetic complex type. There exist rather strong hydrothermal activities around the Tianchi volcano, and the main hydrothermal areas include Changbai Julong hot spring group (70～83 ℃) and Tianchi Lakeshore hot spring (20～40 ℃) in northern Tianchi district as well as Jinjiang hot spring group (58 ℃ or so) in southwestern Tianchi district. Of these hot springs, the Changbai Julong hot spring group seem to display the strongest hydrothermal activities. Underground gaseous activities are also quite intense in these hydrothermal areas, and the gases released underground are mainly CO_2 together with rare gases He and Ar, minor gases H_2 and CH_4 and small amounts of O_2 and N_2. Isotopic geochemical studies of underground gases released from Changbai and Jinjiang show that these gases are all derived from the depth of the earth and have features of mantle-derived gases. Nevertheless, underground gases released from Changbai Julong hot spring group are related to the crustal magma chamber, whereas underground gases released from Jinjiang are associated with mantle magma chamber and deep faults.

Key words volcano in Changbai Mountains hydrothermal activity gas geochemistry mantle source

长白山天池火山是一座近代喷发的大型复式火山。它活动于早更新世至现今,并以火山口湖——天池而闻名世界。此火山位于中-朝边界,在朝鲜一侧最高峰 2 749.5m;在中国一侧的最高峰——白云峰海拔 2 691 m。长白山天池火山早期喷发主要为中心式溢流,所形成的岩石为碱性粗面岩和碱流岩。晚期喷发主要为中心式爆发(王瑜等,1999),火山喷出物主要为白浮岩。长白山天池火山最近的两次喷发分别发生在 1668 年和 1702 年,可见长白山天池火山是座活动性很强的近代活火山,周围有强烈的水热活动。本文在野外勘查、对水、气取样分析测试的基础上,对天池火山水热活动及气体释放特征进行了比较详细深入的研究,并且取得了初步研究成果。

1 水热活动及水化学特征

1.1 水热活动特征

长白山天池周围水热活动比较强烈,天池湖周

本文为中国地震局"九五"重点资助项目(编号 :95-11-02)"长白山天池火山区和五大连池火山区流体和气体地球化学研究"资助。
改回日期 :2002-8-9 ;责任编辑 :宫月萱。
作者 :高清武,男,1963 年生,副研究员,主要从事地震及流体地球化学研究。

万方数据

边地区分布有很多温泉。其中重要的有长白聚龙温泉、天池湖滨温泉和锦江温泉(图 1)。长白温泉分布在天池北侧,在天池瀑布的北面,主要泉群集中在二道白河上游东岸。著名的聚龙泉出露于松源桥长廊东面山麓前岗地上,含水岩层为火山粗面岩,出露面积约 3 500 m^2,大小温泉约有 30 个。在二道白河上游东河漫滩上还有 3 个高温泉,和聚龙泉一起构成天池瀑布长白温泉群。泉水温度大多在 70 ℃以上,最高可达 83 ℃。泉水流量为 1.1~27.8 t/h,大多为 2~10 t/h,其中 10 号泉流量最大,是聚龙泉群中最显赫的热泉,泉水流量可达 28 t/h 左右(表 1)。长白泉群绝大多数都是上升泉,泉水具有一定的水头压力,水柱高度一般为 3~10 cm。二道白河东河滩 19 号泉水头最高,相对高度约 1 m,高出河面约 1.5 m。天池湖滨温泉群位于天文峰南侧天池湖边,宽 20 余米,近 SN 向展布,由于泉水与天池湖水混合,水温仅 20~40 ℃。锦江温泉群位于天池西南维东县长白山第一哨所附近,出露于锦江上游河床两侧,其中锦江北岸温泉水热活动较强烈,泉水出露面积约 40~50 m^2,泉水和锦江河水相混,水温 58 ℃,泉水翻花冒泡,气体不断逸出。与其隔河相对在锦江南岸山根下也有温泉出露,此泉离开河床,无河水混入,泉水流量为 8.6 t/h,泉水自地下涌出,为上升泉。

此外,在天池火山外围地区的抚松、长白县等地也有温泉出露,在二道白河一带还出露有低温冷泉,

表 1 天池火山区及外围区域泉水温度与流量一览表

Table 1 The temprature and discharge of spring water in the Tianchi volcanic region and its surrounding area

地点	编号	泉水类型	水温度/℃	流量/t·h^{-1}
锦江	2	上升泉	55	—
	3	上升泉	58	8.64
长白泉群	7	上升泉	81	2.2
	8	上升泉	77.5	1.62
	9	上升泉	78	
	10	上升泉	82	27.8
	12	下降泉	56.6	9.6
	13	下降泉	42.2	3.6
	14	上升泉	72.5	—
	15	上升泉	72.4	—
	16	上升泉	72.5	—
	17	上升泉	73.0	—
	18	上升泉	78.1	—
	19	上升泉	83.2	1.1
	11	冷泉	19.0	—
药水泉	5	冷泉	11.4	—
二道白河	6	冷泉	5.2	0.76
十八道沟	4	上升泉	34.9	11.0
抚松大营子		上升泉	53.5	39.0

万方数据

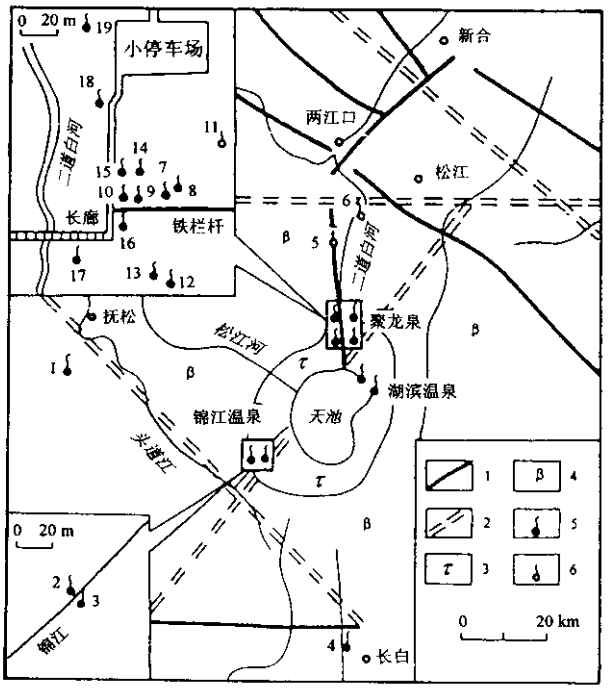

图 1 天池火山区及其外围地区取样点分布图

Fig. 1 Distribution of sampling sites in the Tianchi volcanic region and its surrounding area

1-活动断裂;2-航磁异常带;3-第四系粗面岩;4-玄武岩;5-温泉;6-冷泉

1-active fault; 2-aeromagnetic anomaly belt; 3-Quaternary trachyte; 4-basalt; 5-hot spring; 6-cold spring

工作中对其中的一些泉水也进行了重点勘查。

1.2 长白泉群水温场特征

长白泉群大致呈 NW 向椭圆形展布于二道白河的右岸。野外实测温泉水温表明,70℃以上热泉主要集中于松源桥长廊东侧,从 70~80 ℃水温等值线图(图 2)可以大致看出,温泉水温场基本呈 NE 向展布。很明显泉水温度向东和东南大大降低,在东南山麓的泉水温度只有 40~56 ℃。长白温泉群最高水温出露在二道白河河漫滩上,在东河漫滩上的两个温泉水温分别为 82 ℃和 83 ℃。综观长白泉群水温场可以看出,在聚龙泉核心部位水温较高,水温等值线为椭圆形,其长轴呈 NE 向。此外,在图 2 西北可见一个水温 80 ℃以上的高值小区,因此,长白泉群共有 2 个 80 ℃以上的高温泉区。

1.3 天池火山温泉水化学特征

天池火山区温泉的 pH 值为 6.4~7.7,其中长白泉群水温 70 ℃以上温泉 pH 值全部在 7.7~7.5 之间,属中性水。锦江温泉为 6.5 左右,属弱酸性水;而低温冷泉的 pH 值却都很低,pH 为 5.6~6.1,属偏酸性泉水。

天池火山区热水的水化学类型为 HCO_3-Cl-Na

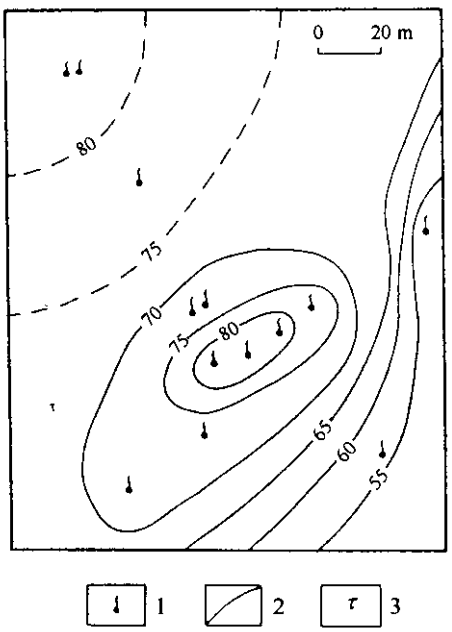

图 2　长白泉群水温等值线图

Fig. 2　Map of water temperature isoline on Chanbai spring group

1-温泉 2-水温等值线 3-粗面岩

1-hot spring 2-Isoline of water temperature 3-trachyte

型，HCO_3 含量为 700 ~ 970 mg/L（林元武等，1999）。温泉中 SO_4 含量变化较大，聚龙泉一带温泉 SO_4 为 1 mg/L 左右，而锦江温泉中 SO_4 含量却高达 17.5 mg/L，显然锦江温泉中 SO_4 含量大大高于长白温泉群。但总的来说，天池火山区温泉 SO_4 含量都比较低。此外，火山区温泉中 Cl、Na、Fe、Mn、B 等成分也都高于同地区的冷水和外围区的非火山成因的热水，显示出和火山喷发活动有关的水热活动特征（表 2）。

2　气体释放特征

2.1　气体释放强度

关于气体释放强度目前尚没有定量标准，文中根据野外勘查及观测定性或半定量进行评价。其主要根据是地下逸出气多少、释气面积、气泡大小、连续程度，以及气泡声音等来判断划分。从气体释放面积来看，天池北长白聚龙泉地下气体释放面积较大，可见释气点范围至少有 1 800 m^2 左右（图 3），释气点 30 个以上，其中主强释放区在 10 号泉附近约 200 m^2 范围内。这里气泡连续不断，激起小水花和水柱，犹如开水沸腾状。从气泡大小和连续度来看，锦江泉群气势较强，这里温泉中气泡多、气泡大，呈大小串珠状不断向上冲出，而且有咚咚喷气声，反映出地下气体所受压力较大。但是，这里释气面积不大，仅有 40 m^2 左右。综合分析，可以得出长白泉群区气体释放面积大，锦江泉群区气体释放强度大。前者主要反映的是气体释放场域，后者主要反映的是气体来源深度及所受压力。

表 2　天池火山区及外围地区地下水水化学组成表

Table 2　Chemical contents of groundwater in Tianchi volcanic region and its surrounding area

mg/L

地点	编号	pH	HCO_3	Cl	SO_4	F	Na	K	Ca	Mg	Si	Fe	Mn	Sr	BLi
锦江	2	898.6	57.7	16.87	5.24	267.2	38.9	24.60	12.90	78.94	7.01	0.213	0.134	0.778	0.383
	3	921.9	61.1	17.50	5.27	284.0	36.7	24.69	11.59	84.88	1.87	0.137	0.105	0.097	0.435
长白聚龙泉	7	793.6	103.8	1.63	6.02	285.6	28.8	45.25	2.71	77.79	6.10	0.246	0.050	1.210	0.428
	8	875.3	96.7	1.50	6.04	316.8	28.7	35.99	2.52	73.17	2.38	0.112	0.051	1.110	0.402
	9	921.9	109.5	1.87	6.20	391.2	32.5	38.05	2.51	74.48	2.52	0.115	0.061	1.190	0.441
	10	898.6	110.6	2.25	6.10	284.0	29.1	37.09	2.47	71.24	1.71	0.107	0.070	1.230	0.436
	12	770.2	64.6	1.25	6.03	206.4	24.9	32.05	2.48	65.89	0.23	0.196	0.045	0.662	0.323
	13	641.9	53.0	1.12	3.42	176.8	20.9	27.56	2.33	58.13	0.33	0.045	0.028	0.546	0.267
	14	898.6	106.1	2.50	6.12	292.2	28.2	33.00	2.31	67.41	0.74	0.080	0.066	1.020	0.317
	15	851.9	96.9	1.25	6.14	290.4	28.3	32.96	2.31	65.09	2.39	0.165	0.035	0.914	0.398
	16	816.9	100.3	2.19	3.56	313.6	30.8	33.44	2.58	66.21	2.69	0.285	0.039	0.879	0.390
	17	828.6	108.4	2.81	6.01	285.6	27.7	34.24	2.46	58.36	1.08	0.297	0.037	0.856	0.435
	18	886.9	102.6	1.25	6.01	296.8	28.2	31.10	2.33	61.46	0.88	0.064	0.041	0.853	0.407
	19	968.6	117.6	2.81	6.14	295.8	29.1	30.46	2.20	61.10	0.52	0.044	0.036	0.973	0.447
	11	338.4	12.7	2.25	3.75	59.2	9.3	33.89	2.35	33.62	21.03	2.230	0.021	0.076	0.060
药水泉	5	1365.4	18.5	—	0.36	116.8	17.1	87.97	143.9	38.26	4.55	0.173	0.448	0.243	0.157
二道白河	6	1493.8	18.5	—	0.35	127.2	17.7	100.70	166.8	39.61	9.12	0.221	0.542	0.196	0.173
十八道沟	4	508.4	121.1	87.50	8.45	385.6	21.4	33.97	10.87	23.66	0.46	0.022	0.856	0.960	0.612
抚松	1	507.7	133.8	581.3	8.45	404.0	21.6	32.03	2.27	34.90	0.46	0.048	3.119	0.840	0.625

注 :十八道沟和抚松为天池火山区的外围地区。

万方数据

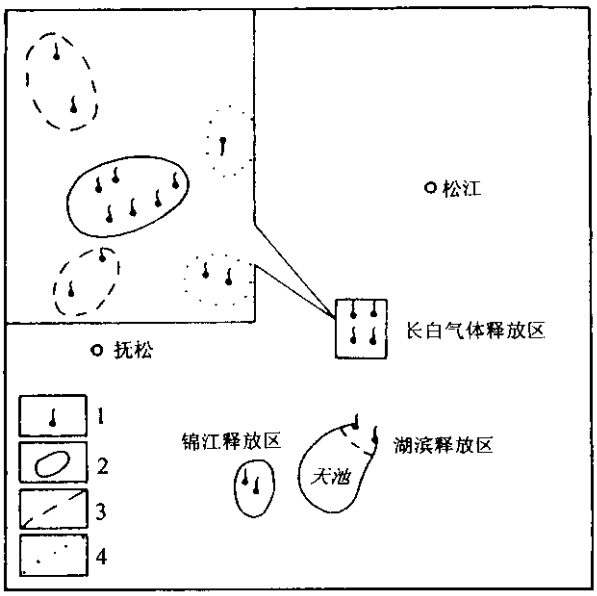

图 3 天池火山区气体释放强度分区示意图

Fig. 3 Sketch map for intensity of gas release division in the Tianchi volcanic region

1-温泉;2-强释放区;3-中强释放区;4-弱释放区

1-hot spring;2-strong release area;3-moderately strong release area;4-weak release area

2.2 气体化学组成特征

地下逸出气体无疑是地下信息的最好载体,能很好地反映地球深部的信息。火山区气体的释放和地下地质构造、物质成分等火山地质条件密切相关。有些气体成分能很好地反映所处地质环境,为研究地球深部物质状态及结构特征等提供良好条件。天池火山区释放出的气体中,其气体化学组分主要是:He、H_2、Ar、O_2、N_2、CH_4、CO_2,其中以 CO_2 为主。此外,有些气体出露点还显示有 H_2S 和 SO_2,但含量都很低,H_2S 大多为 $5\times10^{-6}\sim120\times10^{-6}$,$SO_2$ 小于 0.5×10^{-6}。

He 氦是惰性稀有气体,质量轻、运移快,穿透力也极强,最大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。天池火山区释放气体中大多都含有一定量的 He,其百分含量为 0.0015~0.0105。其中锦江温泉逸出气 He 含量最高,He 为 0.0098%~0.0105%;其次是长白聚龙泉 15 号温泉附近的逸出游离气体,He 含量为 0.0030%。从表 3 可以看出,锦江泉群逸出气体 He 比长白泉群逸出气体 He 大约要高 10 倍,这主要和气体来源有关。

H_2 氢是一种强还原性气体,大气中 H_2 含量很低,属于微量气体。长白山天池火山区地下逸出气体中 H_2 含量为 0.0030%~0.74%,所有释气点均含有 H_2,但各温泉气中 H_2 的逸出量各有不同。其中长白聚龙泉的 9 号泉 H_2 含量最高,H_2 可达 $7\,400\times10^{-6}$;其次是二道白河东河漫滩上的 18 号温泉,逸出气中 H_2 为 $6\,923\times10^{-6}$。高含量的 H_2 通常认为和温度有关,被看作是高温气体。天池火山区,两处 H_2 相对高值释气点也都在水温高值小区内。

O_2 氧是大气的主要成分,空气中 O_2 含量一般为 20% 左右,天池火山区地下逸出气体中 O_2 含量却很低,绝大多数温泉自由游离气中 O_2 只有 0.5%~2%。O_2 是氧化活性气体,能充分反映气体所处的地质环境。天池火山区各气体释放点低含量 O_2 说明火山气体处于相对封闭的还原环境中,而且贮气层也埋藏较深。气体只有通过有益通道向上运移,在漫长的运移途中,在接近地壳表层时,可能有少量的大气 O_2 混合加入。但是,不能排除这部分低含量的 O_2 也可能完全来源于地球深部。

N_2 氮是空气中的主要成分,大气中 N_2 占 78% 左右,可见 N_2 是普遍存在的常量高含量气体。然而,天池火山区地下气体中 N_2 含量却相当低,一般只有 5% 左右,最低者只有 1.6%。显然天池火山区逸出气体已经远远离开了大气圈层和地壳浅部气体对流层。这里地下释放气体中的少量 N_2 也同样和地球深部有关。

CO_2 地球内部的 CO_2 可通过多种途径向大气排放(Welhan,1988),火山喷发活动有大量的 CO_2 被排入大气中。通过天池火山区地下气体的测试分析表明,至今为止,CO_2 仍然是长白山天池火山区地下气体中的主要成分。极个别点除外,各释气点 CO_2 含量普遍都在 90% 以上,最高可达 96.6%,可见 CO_2 是长白山天池火山区地下气体最重要的气体成分(表 3)。在天池北长白泉群区,CO_2 最高值点出露于聚龙泉的核心部位,即位于地下气体强释放小区内。这些 CO_2 气可能来自两方面,一方面直接由地下自由气体向上逸出,另一部分可能由深部热水近地表减压脱气形成,即一部分 CO_2 是由热水中析出的。出露于地表的热水在排泄区,由于减压作用,溶解于热水中的 CO_2 从水溶态变为气态释放进入大气圈。但是,在地下释放的气体中,排入大气的 CO_2 可能还是以地下深部向上运移的游离自由 CO_2 为主。

CH_4 天池火山区泉群逸出气体中,绝大多数都含有一定量的甲烷,其含量为 0.07%~1.61% 之间,其中锦江两岸温泉气体中 CH_4 含量最高,分别

万方数据

表 3　天池火山区温泉逸出气化学成分一览表

Table 3　The chemical composition of escaped gas from springs in the Tianchi volcanic region　%

温泉名称	编号	He	H_2	O_2	N_2	CH_4	CO_2
锦江温泉	2	0.0105	0.0165	0.35	5.76	1.61	92.92
	3	0.0098	0.2908	0.10	4.55	1.53	93.72
长白温泉	7	—	0.0065	11.89	48.45	0.07	39.24
	8	0.0015	0.0295	1.23	4.95	0.25	93.15
	9	0.0015	0.74	0.39	1.59	0.07	96.05
	10	—	0.0135	1.02	3.44	0.09	93.99
	14	0.0030	0.0145	2.21	8.83	0.46	88.79
	15	0.0030	0.0120	0.51	2.41	0.16	96.58
	16	0.0015	0.0050	1.14	5.05	0.33	93.47
	17	0.0008	0.0030	1.22	4.63	0.07	92.74
	18	—	0.6923	0.50	3.58	—	93.86
	19	—	0.0040	1.47	4.96	0.08	90.74
十八道沟	4	1.24	0.0036	2.39	84.81	0.19	8.01

注:中国地震局地质研究所范树全分析;仪器 SP-2305 气相色谱仪。

为 1.53%和 1.61%。众所周知,甲烷是烃类气体,一般情况下,其来源主要是有机形成。火山水热活动区气体中的甲烷,显然不可能是有机成因。火山区周围的岩石均为玄武岩、粗面岩等火山岩,因此,变质作用形成甲烷的可能性也很小。唯一可能,CH_4 还是来自地球深部,与岩浆活动有关,和其他气体一样也是地下岩浆挥发组分的一部分(侯增谦等,1999)。从有关参数看,天池火山区 CH_4 和水温关系不大,水温高的泉 CH_4 甚至还相对较低。但大致可以看出,地下逸出气体中 CH_4 含量和 He 及 H_4 有一定关系。

3　火山区气体成因

天池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 $^3He/^4He$ 来分析火山区的气体成因。$^3He/^4He$ 值是世界目前公认的气体成因判别可靠指标,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 $^3He/^4He$ 值为 1.4×10^{-6}(王先彬,1989);地壳源气体中 $^3He/^4He$ 值为 2.0×10^{-8};地幔源气体中 $^3He/^4He$ 值为 $1.1\times10^{-5}\sim1.4\times10^{-5}$。根据上官志冠(1998)同位素资料,长白泉群核心部位的温泉和锦江泉群其 $^3He/^4He$ 值十分接近,变化范围为 $7.51\times10^{-6}\sim8.24\times10^{-6}$,平均值是空气的 5.61 倍(5.61 Ra)。通常认为,$^3He/^4He$ 值(R)超过大气的 $^3He/^4He$ 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 $^3He/^4He$ 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。

CO_2 的稳定同位素组成特征也是研究气体成因的主要依据。地热流体中释放的 CO_2 气体,其 $\delta^{13}C$ 值主要由气体来源决定。戴金星等(1993)将中国有机成因的 $\delta^{13}C$ 值确定为 $-8‰\sim-39‰$,主频率为 $-12‰\sim-17‰$;无机成因的 $\delta^{13}C$ 区间值为 $+7‰\sim-16‰$,主频率为 $-3‰\sim-6‰$;有机成因的 $\delta^{13}C$ 比无机成因的 $\delta^{13}C$ 轻。上官志冠等认为现代构造活动区深源和变质的 CO_2 其 $\delta^{13}C$ 值的界线大约为 $-4.0‰$,深源和浅部的 CO_2 其 $\delta^{13}C$ 值界线为 $-9.0‰$。来自地球深部的 CO_2 有幔源和变质碳两种,目前比较公认的幔源的 $\delta^{13}C$ 值变化范围在 $-4.7‰\sim-8‰$ 之间,平均约为 $-5‰$(杨立铮,1999)。天池火山主要气体释放区 CO_2 的 $\delta^{13}C$ 值变化范围为 $-4.2‰\sim-7.5‰$之间(上官志冠,1998),平均约为 $-5.64‰$。可见天池火山区释放气体的 $\delta^{13}C$ 值具有深源和幔源碳特征,据此也可进一步证明天池火山区所释放的气体主要来自地幔。

4　讨论

(1)前已述及,天池火山区周围有两处比较强烈的水热活动区,一个是长白聚龙泉群,分布在天池的北部;一个是锦江泉群,位于天池的西南。两处泉群气体释放特征大体相同,但水热活动却有很大差别,尤其是水温相差甚大。锦江温泉水温为 58 ℃,水温大大低于长白泉群,但是,其释放逸出的气体中 He、H_2、CH_4 及有关气体同位素比值却都相对较高,且明显具有深部幔源气体特征。其解释有两种:①锦江温泉和所处地质构造条件有关,即和锦江大峡谷成因有关,这里的温泉出露面积较小,很可能是 NE 与 NW 向两组断裂的交汇地带,断裂切割深、规模大,气体来源于断裂下切交汇处,使气体沿断裂通道自下而上垂向迁移,而热水却是大气降水浅循环形成,因此,形成低温水幔源气的特点(高清武等,1999);②由于两处泉群所处火山地质环境不同,长白聚龙泉群可能位于地壳岩浆房的上方,这里的地壳岩浆房距地表较浅,地壳岩浆房的岩浆不但提供热源,而且岩浆中的挥发分不断向上迁移,挥发分中的各种气体在地壳薄弱区扩散和释放,所以,长白聚龙泉水温高并具有岩浆气的特点;而锦江温泉所处的地下环境和长白泉却有根本的区别,锦江温泉附近地下根本就没有地壳岩浆房的存在,所以,这里的温泉失去了良好的热源,形成中温泉群。这一观点可由地球物理的地震活动特点所证实。汤吉等(1992)研究长白山火山地震活动时,提出小震活动和浅部岩浆及地热流体有关,火山区浅部熔岩使上

万方数据

覆岩层发生破裂而产生小地震,这些小地震活动具有区域局限性。而且明确指出池西和维东两个台没有记录到地震。这说明维东一带地下无地壳岩浆房存在,而锦江泉群就在维东附近,进而说明锦江温泉及释放的气体和地壳岩浆房无关。当然,笔者不排除锦江泉群在更深部有地幔岩浆库存在的可能。经更进一步的分析,结论为:长白聚龙泉群位于地幔岩浆库和地壳岩浆房双重岩浆房的上方,其水热活动及气体释放主要和地壳岩浆房密切相关。而锦江泉群只和地幔岩浆库及深大断裂有关,且深部地幔岩浆库处在强脱气状态(Allard,1997),岩浆气体沿深大断裂交汇通道垂向迁移,源源不断地释放于大气层中。

(2)据气体化学场推测,长白泉群区地壳岩浆房的岩浆不像天池水那样是一个平面,岩浆房的岩浆湖面是起伏不平的,甚至呈齿、楔起伏状。由于地壳构造的各向异性,受岩浆房围岩结构、构造条件的影响,岩浆可沿各种构造裂隙乃至某些结构面上涌并活动。因此,形成了火山区释放气体中 He、H_2、CH_4 等一些特征性气体的高低不同变化。

综上所述,长白山天池火山区释放的气体为含有稀少气体 He、Ar、微量气体 H_2、CH_4 和少量 O_2、N_2 等以含 CO_2 为主的火山气体,部分释气点还含有低含量的 H_2S 和 SO_2。其中,长白聚龙泉核心部位为相对高 H_2 高 CO_2 火山气体,锦江温泉为相对高 He 高 H_2 高 CH_4 高 CO_2 气体。在聚龙泉 10 号泉附近约 200 m^2 气体强释放小区内,He、H_2、CH_4、CO_2 都相对较高。这些气体来自火山喷发活动遗留的幔源岩浆体。地下岩浆活动促进了水热活动,同时由岩浆体的脱气、排气导致了热水流体极度富气,在岩浆减压脱气过程中,析出以 CO_2 为主和少量 He、H_2、Ar、O_2、N_2、CH_4、CO_2 及 H_2S、SO_2 等火山气体。这些气体不但和幔源岩浆体有关,而且和地质构造及地质环境有关。

参 考 文 献

戴金星. 1993. 天然气碳氢同位素特征和各类天然气鉴别. 天然气地球科学,4(2~3):1~40.

高清武,李霓. 1999. 腾冲和五大连池火山区流体地球化学特征及成因探讨. 地质论评,45(4):345~351.

侯增谦,艾永德,曲晓明等. 1999. 岩浆流体对冲绳海槽海底成矿热水系统的可能贡献. 地质学报,73(1):57~65.

林元武,高清武. 1999. 长白山天池火山区地下热流体化学特征研究. 地质论评,45(增刊):241~247.

上官志冠,李春园. 1998. 长白山天池火山区地下水气地球化学. 见:刘若新等主编. 长白山天池火山近代喷发. 北京:科学出版社,132~137.

王先彬. 1989. 稀有气体同位素地球化学和宇宙化学. 北京:科学出版社,83~86.

王愉,李春凤. 1999. 中国东北地区新生代火山活动构造背景. 地质论评,45(增刊):180~189.

杨立铮,卫迦,孙晋玉. 1999. 四川康定温泉系统深源 CO_2 释放研究. 地质学报,73(3):278~285.

References

Allard P, Jean-Baptiste P, D-lessandro W et al. 1997. Mantle-delrived heium and carbon in groundwater and gases of mount Etna, Italy. Earth Planet Sci Iett, 148(3~4):501~516.

Dai Jinxing. 1993. The carbon and hydrogen-isotope character of the gas and distinguish of all kinds nature gas. Geoscience of the Nature Gas, 4(2~3):1~40 (in Chinese).

Gao Qingwu, Li Ni. 1999. A character of fluid geochemistry and discussion on origin of the Tengchong and Wudalianchi volcanic areas. Geological Review, 45(4):345~351 (in Chinese with English abstract).

Hou Zengqian, Ai Yongde, Qu Xiaoming et al. 1999. Possible contribution of magmatic fluids to seafloor ore-forming hydrothermal system in the Okinawa Trough. Acta Geological Sinica, 73(1):57~64 (in Chinese with English abstract).

Lin Yuanwu, Gao Qingwu, Yu Qingtong. 1999. A study of chemical characteristics of geothermal fiuid in Tianchi volcanic region, Changbei mountains. Geological Review, 45(Sup.):241~247 (in Chinese with English abstract).

Shangguan Zhiguan, Li Chunyuan. 1998. Tne geochemistry of groundwater and gas in the Tianchi volcanic region, Changbai mountains. In: Liu Ruoxin et al. eds. The modern eruption of Tianchi volcano, Changbai mountains, Beijing, Science Press:132~137 (in Chinese with English abstract).

Wang Yu, Li Chunfeng, Chen Hongzhou. 1999. Tectonic settings of cenozoic volcanism in Northeastern China. Geologixal Review, 45 (Sup.):180~189 (in Chinese with English abstract).

Wang Xianbin. 1989. Isotope geochemisry of rare gas and space chemistry. Beijing: Science Press, 83~86 (in Chinese).

Welhan JA, Poreda R, Rison W et al. 1988. He isotopes in geothermel and volcanic gases of the Western United States: II. Long valley caldera. J Volc Geothem Res, 34:201~209.

Yang Lizheng, Wei Jia, Sun Jinyu. 1999. A study of the deep-source CO_2 release of the hot springs system in Kangding, Sichuan province. Acta Geologica Sinica, 73(3):278~285 (in Chinese with English abstract).

万方数据