

# 长白山火山区温泉温室气体排放通量研究\*

张茂亮<sup>1</sup> 郭正府<sup>1\*\*</sup> 成智慧<sup>1</sup> 张丽红<sup>1</sup> 郭文峰<sup>1</sup> 杨灿尧<sup>2</sup> 付庆州<sup>2</sup> 温心怡<sup>2</sup>

ZHANG MaoLiang<sup>1</sup>, GUO ZhengFu<sup>1\*\*</sup>, CHENG ZhiHui<sup>1</sup>, ZHANG LiHong<sup>1</sup>, GUO WenFeng<sup>1</sup>, YANG CanYao<sup>2</sup>, FU QingZhou<sup>2</sup> and WEN XinYi<sup>2</sup>

1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 新生代地质与环境重点实验室, 北京 100029

2. 台湾大学地质科学系, 台北

1. Key Laboratory of Cenozoic Geology and Environment, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

2. Department of Geosciences, Taiwan University, Taipei, China

2011-07-01 收稿, 2011-09-01 改回.

Zhang ML, Guo ZF, Cheng ZH, Zhang LH, Guo WF, Yang CY, Fu QZ and Wen XY. 2011. Greenhouse gases flux estimation of hot springs in Changbaishan volcanic field, NE China. *Acta Petrologica Sinica*, 27(10):2898–2904

**Abstract** Hot springs, which belong to the direct manifestations of deep-derived magma activities, are ample and intensive in Changbaishan volcanic field, NE China. Greenhouse gases emitting from hot springs take up an important part of the total flux contributed by the whole volcanic field. However, there remains no research on greenhouse gases flux estimation of hot springs in volcanic fields of China. A new apparatus named GL-103B digital bubble/liquid flowmeter is used to measure the gas fluxes of the Lake shoreline hot spring belt, Julong hot spring area, Jinjiang hot springs and 18daogou hot springs in changbaishan volcanic field. Combining with the previous studies on gas compositions, the total flux of greenhouse gases emitting from hot springs in Changbaishan volcanic field has been estimated. The results of greenhouse gases flux in this area,  $6.9 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$  for  $\text{CO}_2$  and  $428.44 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$  for  $\text{CH}_4$ , could be compared to that of Pantelleria Island volcano in Sicily, Italy. As is revealed by this study, the digital bubble/liquid flowmeter could be considered as a suitable choice for greenhouse gases flux estimation of hot springs in volcanic fields.

**Key words** Hot springs gases; Greenhouse gases; Flux; Changbaishan volcanic field; NE China

**摘要** 温泉是深部岩浆活动在地表的直接表现, 并且向大气圈排放大量的温室气体。然而, 国内尚无火山区温泉排放的温室气体通量研究报告。我国长白山火山区水热活动强烈, 主要有湖滨温泉带、聚龙温泉群、锦江温泉以及火山口外围的十八道沟温泉。本文利用数字皂膜流量计测量温泉气体排放通量, 并结合前人对长白山火山区温泉气体成分的研究成果, 估算了研究区温泉所排放的温室气体通量。结果表明, 长白山火山区温泉排放的  $\text{CO}_2$  通量为  $6.9 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ ,  $\text{CH}_4$  排放通量为  $428.44 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ , 与意大利 Pantelleria Island 火山区温泉排放的温室气体通量规模相当。本文的测试结果表明: 数字皂膜流量计在火山区温室气体排放通量估算研究中的应用是可行的。

**关键词** 温泉气体; 温室气体; 通量; 长白山火山区; 中国东北

**中图法分类号** P314.1

## 1 引言

火山是地球脱气作用的重要通道和全球碳循环研究中的关键环节。在火山间歇期, 由于地下深部滞留的高温岩浆

房不断地加热与烘烤围岩, 形成高温干热岩系统, 导致在火山区出现高地热流、温泉和大规模喷气孔, 向大气圈排放大量的温室气体(郭正府等, 2010)。然而, 我国火山区温泉每年向大气圈排放温室气体的规模如何? 目前国内尚无相关研究报告。因此, 火山区温室气体排放通量的估算研究意义

\* 本文受国家自然科学基金委重大国际合作研究项目(41020124002)资助。

第一作者简介: 张茂亮, 1987年生, 硕士生, 岩石学、矿床学、矿物学专业, E-mail: zhangmaoliang@mail.iggcas.ac.cn

\*\* 通讯作者: 郭正府, 男, 1963年生, 研究员, 博士生导师, 火山学专业, E-mail: zfguo@mail.iggcas.ac.cn

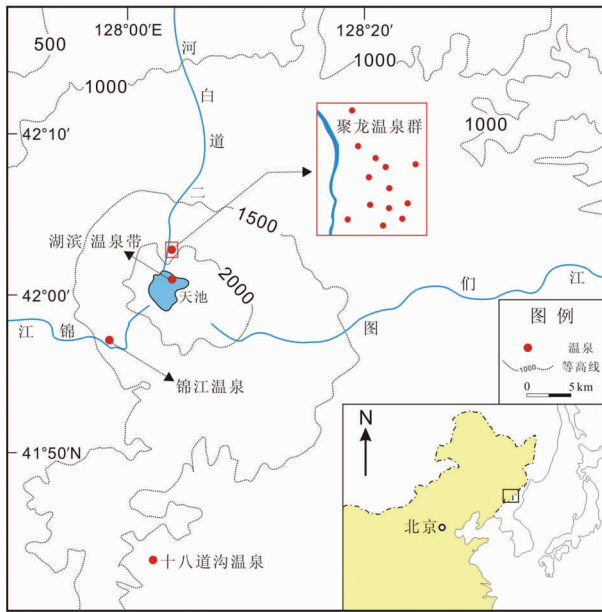


图1 长白山火山区温泉分布示意图(据 Hahm *et al.*, 2008 修改)

Fig. 1 Sketch map of distribution of hot springs in Changbaishan volcanic field (modified after Hahm *et al.*, 2008)

重大。本文报道了长白山火山区湖滨温泉带、聚龙温泉群、锦江温泉以及十八道沟温泉的气体排放通量测量结果,并结合前人对温泉气体成分的研究成果,估算了长白山火山区温泉所排放的温室气体通量。

## 2 地质背景及测点分布

长白山火山位于欧亚板块东南边缘的中朝边界(图1),是一座巨大的锥形复合式火山。在立体结构上,长白山火山自下而上由造盾粗面玄武岩、造锥粗面岩以及碱流岩组成。其中,造盾阶段始于早更新世早期(2Ma);早更新世晚期(约1Ma)粗面玄武岩向粗安岩、粗面岩演化;中更新世,天池火山进入粗面岩造锥阶段;晚更新世(约0.1Ma),粗面岩向碱流岩演化(樊祺诚等,2006)。

刘若新等(1996)根据大地电磁测深结果认为,长白山火山地下深约12~25km范围内存在地壳岩浆房。郭履灿等(1996)利用全球数字地震台网资料所做的S波CT结果显示,长白山火山地下40~65km的上地幔顶部,可能存在岩浆房。深部岩浆房的加热与烘烤作用导致区内地表水热活动强烈。研究区主要的水热活动区有湖滨温泉带、聚龙温泉群、锦江温泉以及火山口外围的十八道沟温泉等。

湖滨温泉带位于长白山天文峰坡下的天池湖滨,沿东西方向绵延约500m,宽约50m,温泉呈散状分布,平均每平方米范围内可见温泉2~3个。高玲等(2010)将其称为湖滨

强气体释放带,温泉所在水域冬季不结冰,可见湖滨温泉气体释放之强烈。由于与湖水混合,测得的水温最高值为10.2℃,但明显高于天池湖水的温度5.4℃。此外,朝鲜境内的将军峰下的天池湖滨也有一温泉带,长约900m(金东淳,2003)。

聚龙温泉群位于长白瀑布以北,海拔1900m左右,在面积约3500m<sup>2</sup>的范围内分布着约103处温泉(金东淳,2003),水温70℃左右,其中9号泉的最高温度达76.8℃。

锦江温泉位于长白山火山西坡的锦江峡谷内,出露面积约40m<sup>2</sup>,温泉密集分布(约20个泉眼),气体释放强烈,呈翻花状持续逸出,最高水温达59.4℃。

十八道沟温泉位于长白山火山外围的一处农宅内,规模较小,面积约20m<sup>2</sup>,可见6个间歇性排气的温泉,实测水温为35.5℃。

2010年7月以及2011年7月,作者先后2次对长白山火山区湖滨温泉带、聚龙温泉群、锦江温泉、十八道沟温泉(图1)的气体排放通量进行了测量。

## 3 火山气体的组成与含量

20世纪90年代起,国内外学者陆续开始对长白山火山区温泉气体成分进行研究(上官志冠等,1996,1997;高清武,2004;高玲等,2006,2010;Hahm *et al.*,2008)。除了十八道沟温泉以外,湖滨温泉带、聚龙温泉群和锦江温泉的气体成分均以CO<sub>2</sub>为主,其变化范围为68.8%~97.52%,其他气体成分还包括CH<sub>4</sub>、O<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>以及稀有气体Ar等。表1为前人对长白山火山区温泉气体成分的研究成果,表2为1994年至2004年期间,长白山聚龙温泉群和锦江温泉CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>含量的动态变化(高玲等,2010)。

根据前人对长白山火山区温泉气体成分的研究结果,湖滨温泉带、聚龙温泉群、锦江温泉以及十八道沟温泉气体的CO<sub>2</sub>平均含量分别为87.68%、93.74%、89.94%、7.96%,CH<sub>4</sub>平均含量为1.5%、0.28%、1.63%、0.32%。从表2可以看出,长白山火山区聚龙温泉群、锦江温泉气体的CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>含量比较稳定。

## 4 火山气体通量测量方法、原理及测量结果

间歇期火山气体的排放形式有3种,即土壤脱气、喷气孔脱气和温泉脱气。除了喷气孔脱气之外,其余2种火山气体排放形式均存在于长白山火山区。本文对长白山火山区温泉气体的排放通量进行了测量,并结合前人的温泉气体成分研究成果,估算了长白山火山区温泉所排放的温室气体的总量。

温泉气体排放通量测量所用的仪器为北京捷思达仪分仪器研发中心生产的GL-103B型数字皂膜流量计,高约30cm,量程5~5000mL·min<sup>-1</sup>,测量精度小于±1%。该仪器

表1 长白山火山区温泉气体的主要成分 (vol%)

Table 1 The main composition (vol%) of hot spring gases from Changbaishan volcanic field

泉点名称	采样时间	H <sub>2</sub>	Ar	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	资料来源		
湖滨温泉带	2003年8月		0.2	9.3	0.99	5.71	81.11	高玲等,2006		
	2003年8月		0.07	3.85	0.48	2.69	92.7			
	2005年8月		0.07	3.07	1.65	0.24	96.42			
				0.4	12.13	1.75	1.64	84.74	高玲等,2010	
				0.2	14.13	0.37	0.17	86.65		
				0.13	9.92	2.28	0.52	89.46		
				0.26	19.04	7.25	1.5	68.8		
				0.07	3.68	0.99	0.17	95.65		
				0.13	8.83	2.28	1.69	90.75		
				0.26	14.13	1.44	1.93	81.78		
			0.07	3.07	1.65	0.24	96.42			
聚龙温泉群	2003年8月		0.04	2.12	0.27	0.63	96.8	高玲等,2006		
	2004年9月	0.2	0.02	5.9	0.44	0.75	93.97			
	2003年8月		0.01	0.54	0.17	0.41	97.52			
	2004年9月		0.03	5.9	0.56	0.07	93.23			
	2003年8月	0.001	0.07	4.4	1.03	0.47	95.19			
	2004年9月		0.01	4.25	0.29	0.23	94.49			
	2003年8月	0.01	0.01	0.54	0.17	0.05	97.41			
	2004年9月	0.002	0.01	5.06	0.27	0.12	92.74			
			0.03		4.95	1.23	0.25	93.15	高清武,2004	
			0.74		1.59	0.39	0.07	96.05		
			0.014		3.44	1.02	0.09	93.99		
			0.015		8.83	2.21	0.46	88.79		
			0.012		2.41	0.51	0.16	96.58		
			0.005		5.05	1.14	0.33	93.47		
			0.003		4.63	1.22	0.07	92.74		
			0.692		3.58	0.5		93.86		
			0.004		4.96	1.47	0.08	90.74		
		1994年7月		0.2	11.15			85.68		上官志冠等,1996
		1994年7月	0.049	0.04	2.14			93.27		
		1994年7月	0.037	0.05	5.14			94.52		
	1995年	0.501	0.045	2.25			95.43	上官志冠等,1997		
	1995年	0.379	0.075	4.2		0.23	94.86			
	1995年	0.348	0.12	6.5		0.34	93.4			
	1995年	1.685	0.03	6.55		0.28	81.68			
	1995年	0.149	0.14	10.6			89.35			
锦江温泉	2003年8月		0.22	4.56	0.17	1.98	90.31	高玲等,2006		
	2004年9月		0.07	7.16	0.08	2.99	90.8			
	2003年8月		0.11	1.83	0.25	0.52	97.05			
		1994年7月	0.017		5.76	0.35	1.61	92.92	高清武,2004	
		1995年	0.291		4.55	0.1	1.53	93.72		
		1995年	0.02	0.09	3.86		1.25	94.28	上官志冠等,1996	
		1995年	1.503	0.13	8.18		1.61	82.17	上官志冠等,1997	
		1995年	0.02	0.09	3.86		1.25	84.28		
	1995年	0.025	0.12	9.04		1.57	79.02			
十八道沟温泉		0.004		84.81	2.39	0.19	8.01	高清武,2004		
	1994年7月	0.065	1.33	87.52		0.44	7.9	上官志冠,1996		

注:高清武(2004)与高玲等(2010)中未给出样品采集时间

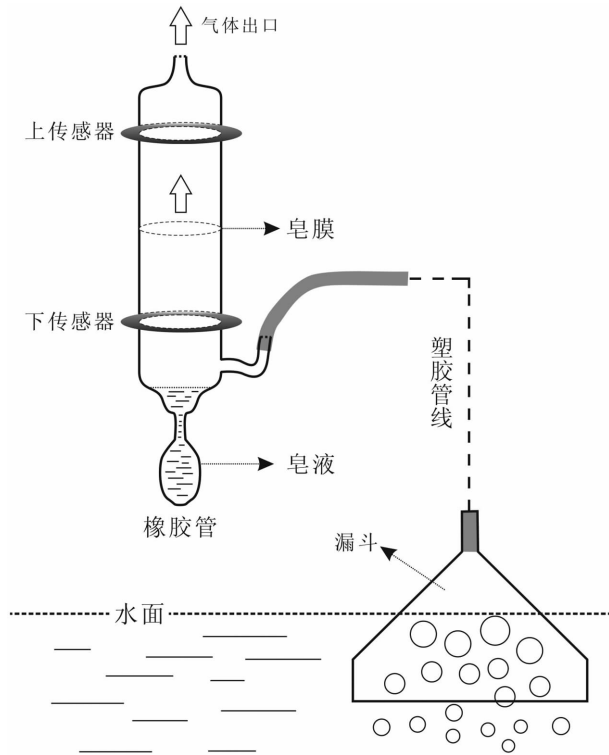


图2 数字皂膜流量计工作原理示意图

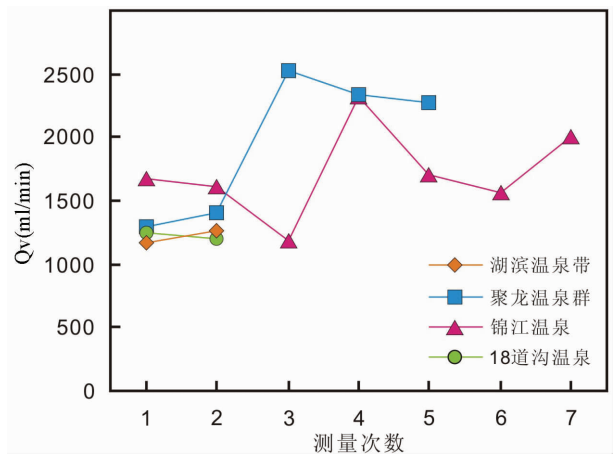
Fig.2 The working principle diagram of GL-103B digital bubble/liquid flowmeter

表2 1994~2004年聚龙温泉群与锦江温泉气体CO<sub>2</sub>与CH<sub>4</sub>含量(vol%)的动态变化(高玲等,2006)Table 2 The variation of concentration(vol%) of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> from Julong hot spring area and Jinjiang hot springs between 1994~2004(Gao *et al.*, 2006)

时间	聚龙温泉群 CO <sub>2</sub>	聚龙温泉群 CH <sub>4</sub>	锦江温泉 CO <sub>2</sub>	锦江温泉 CH <sub>4</sub>
1994~1995	94.14	0.34	85.82	1.61
1997~1998	93.57	0.26	92.62	1.57
2002	95.21	0.11	91.97	1.14
2003	95.96	0.5	93.68	1.25
2004	93.61	0.29	90.8	2.99

可完整显示气压、温度、溶剂、时间、流量等信息,并对测量结果进行统计计算。图2为数字皂膜流量计的工作原理。

测量前,将漏斗、塑胶管线及流量计相连接,置漏斗于水面下,保持固定以捕获气泡。橡胶球内装有预先配制好的皂液(采用普通洗涤剂,加水稀释至10%即可)。测量时,将流量计垂直放正,挤压橡胶球使之产生气泡。在气体的持续推动下,皂液气泡转变为皂膜,并上升至测量区域。测量区域由上、下2个传感器和中间的玻璃管组成,传感器的作用是感应皂膜并记录测量的起止时间。皂膜通过测量区域时,流量计内部的蜂鸣器均发出“嘟”的短促声,表明测量开始和结束。流量计的测量结果默认为标准状态下的测量结果,即标

图3 长白山火山区温泉气体排放通量测量结果对比图  
Fig.3 The comparison of the fluxes of hot springs in Changbaishan volcanic field

准大气压101.3kPa和室温25℃下的结果。实际测量时,可根据实际情况,更改测量结果的给出状态。

2010年7月以及2011年7月,作者先后2次对长白山火山区聚龙温泉、锦江温泉、湖滨温泉带、十八道沟温泉等的温泉气体排放通量进行了测量,仪器测量参数为标准状态(表3、表4)。

长白山火山区2010年与2011年温泉气体排放通量的测量对比结果(表3、表4、图3)表明,聚龙15号泉的气体排放通量比较稳定,保持在2300mL·min<sup>-1</sup>左右。而聚龙9号泉的气体排放通量变化较大,由2010年的2529mL·min<sup>-1</sup>降至2011年的1350mL·min<sup>-1</sup>左右。以聚龙温泉9号泉和15号泉温泉气体排放通量的平均值2120mL·min<sup>-1</sup>代表整个聚龙温泉群的平均排放通量。锦江温泉的平均气体排放通量为1727mL·min<sup>-1</sup>;十八道沟温泉的平均气体排放通量为1226mL·min<sup>-1</sup>;湖滨温泉带单个泉眼的平均气体排放通量约为1216mL·min<sup>-1</sup>。总体来说,聚龙温泉群与锦江温泉的气体排放通量略大,湖滨温泉带与十八道沟温泉气体排放通量相当。

值得注意的是,由于空间位置的特殊性,风浪等天气因素会影响湖滨温泉带气体排放通量的测量结果。具体来说,风浪会将温泉气体形成的串珠状气泡吹离漏斗所在的集气区域,导致通量测量值偏低;或者受风浪的冲击,通量测量值会急剧升高。因此,计算时需剔除明显的异常值。此外,测量时应选取合适量程的流量计,减小气体排放速率不稳定带来的误差。

## 5 长白山火山区温室气体排放通量的计算

本文以长白山火山区温泉气体前人研究结果以及温泉气体排放通量的测量结果为基础,对区内温泉CO<sub>2</sub>排放量进

表3 长白山火山区温泉气体排放通量测量结果(2010年7月)

Table 3 Gas flux of hot springs in Changbaishan volcanic field (July, 2010)

测量点	项目	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	气温(°C)	水温(°C)
聚龙9号泉	$t$ (s)	1.1	1.0	1.1	0.9	1.0	29.0	76.8
	$Q_v$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )	2367.0	2523.0	2388.0	2845.0	2523.0		
	$Q_v\text{-bar}$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )		2445.0	2436.0	2531.0	2529.0		
聚龙15号泉	$t$ (s)	1.2	1.3	1.6	0.8	1.1	29.0	73.2
	$Q_v$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )	2210.0	2057.0	1603.0	3005.0	2431.0		
	$Q_v\text{-bar}$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )		2134.0	1966.0	2226.0	2267.0		
锦江温泉	$t$ (s)	1.8	1.7	1.2	1.5	1.7	28.0	59.4
	$Q_v$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )	1461.0	1494.0	2122.0	1736.0	1573.0		
	$Q_v\text{-bar}$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )		1477.0	1692.0	1703.0	1677.0		
	$t$ (s)	1.5	1.7	1.3	1.8	2.1	28.0	59.4
	$Q_v$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )	1759.0	1555.0	2057.0	1445.0	1261.0		
	$Q_v\text{-bar}$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )		1657.0	1790.0	1704.0	1615.0		
	$t$ (s)	2.3	1.7	2.0	2.5	2.9	28.0	59.4
	$Q_v$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )	1128.0	1573.0	1279.0	1069.0	909.7		
	$Q_v\text{-bar}$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )		1351.0	1327.0	1262.0	1192.0		
	$t$ (s)	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	28.0	59.4
	$Q_v$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )	2476.0	2409.0	2346.0	2247.0	2157.0		
	$Q_v\text{-bar}$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )		2443.0	2410.0	2370.0	2327.0		
$t$ (s)	1.3	2.0	1.3	1.5	1.7	28.0	59.4	
$Q_v$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )	1952.0	1330.0	1952.0	1725.0	1573.0			
$Q_v\text{-bar}$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )		1461.0	1745.0	1740.0	1706.0			
$t$ (s)	1.5	1.8	2.0	1.6	1.5	28.0	59.4	
$Q_v$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )	1703.0	1486.0	1292.0	1611.0	1759.0			
$Q_v\text{-bar}$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )		1594.0	1493.0	1523.0	1570.0			
$t$ (s)	1.5	1.1	1.2	1.1	1.6	28.0	59.4	
$Q_v$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )	1692.0	2346.0	2089.0	2247.0	1630.0			
$Q_v\text{-bar}$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )		2019.0	2042.0	2094.0	2001.0			
十八道沟温泉	$t$ (s)	10.9	3.2	1.9	1.8	2.5	28.0	35.5
	$Q_v$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )	243.6	817.9	1393.0	1430.0	1369.0		
	$Q_v\text{-bar}$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )		530.7	818.2	917.2	990.9		
	$t$ (s)	2.8	2.0	1.9	2.0	2.5	28.0	35.5
	$Q_v$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )	948.5	1298.0	1371.0	1337.0	1040.0		
$Q_v\text{-bar}$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )		1123.0	1206.0	1238.0	1199.0			

注: $t$ 为测量时间,单位为s; $Q_v$ 为单次测量得到的气体排放通量,单位为 $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $Q_v\text{-bar}$ 为多次气体排放通量测量结果的平均值,单位为 $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$

表4 长白山火山区温泉气体排放通量测量结果(2011年7月)

Table 4 Gas flux of hot springs in Changbaishan volcanic field (July, 2011)

测量点	项目	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	气温(°C)	水温(°C)
湖滨温泉	$t$ (s)	1.6	2.6	3.0	5.4	0.9	14.2	10.2
	$Q_v$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )	1621.0	1024.0	868.4	493.5	2972.0		
	$Q_v\text{-bar}$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )		1322.0	1171.0	1001.0	1395.0		
聚龙9号泉	$t$ (s)	6.0	1.9	0.5	2.4	7.3	14.2	10.2
	$Q_v$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )	439.9	1407.0	4692.0	1114.0	266.4		
	$Q_v\text{-bar}$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )		923.8	2180.0	1913.0	1604.0		
聚龙15号泉	$t$ (s)	2.6	2.0	1.6	1.8	2.6	17.5	71.3
	$Q_v$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )	1024.0	1330.0	1611.0	1453.0	1024.0		
	$Q_v\text{-bar}$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )		1177.0	1322.0	1355.0	1289.0		
	$t$ (s)	2.0	1.7	1.9	1.9	1.9	17.5	71.3
$Q_v$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )	1304.0	1564.0	1385.0	1378.0	1378.0			
$Q_v\text{-bar}$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )		1434.0	1418.0	1408.0	1402.0			
聚龙15号泉	$t$ (s)	1.1	1.0	1.2	1.1	1.1	17.5	71.3
	$Q_v$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )	2325.0	2523.0	2229.0	2305.0	2305.0		
	$Q_v\text{-bar}$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )		2424.0	2359.0	2346.0	2337.0		

注: $t$ 为测量时间,单位为s; $Q_v$ 为单次测量得到的气体排放通量,单位为 $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $Q_v\text{-bar}$ 为多次气体排放通量测量结果的平均值,单位为 $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$

行了估算。标准状态下, 火山区温泉每年所排放的  $\text{CO}_2$  和  $\text{CH}_4$  总量可用如下公式估算:

$$E = \frac{Qv \cdot T \cdot c}{1000 \cdot 22.4} \cdot M \cdot N$$

其中,  $E$  表示  $\text{CO}_2$  或者  $\text{CH}_4$  的排放通量, 单位为  $\text{g} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $T$  表示时间, 单位为  $\text{min}$ ;  $Qv$  为测得的温泉气体排放通量, 单位为  $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $c$  为温泉气体中  $\text{CO}_2$  或者  $\text{CH}_4$  的浓度;  $N$  为温泉数量; 22.4 为标准状态下的气体摩尔体积, 单位为  $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$ ;  $M$  为  $\text{CO}_2$  的摩尔质量, 单位为  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。计算时, 假定温泉气体的排放通量是恒定的。

根据上述估算公式, 聚龙温泉群所排放的  $\text{CO}_2$  通量为  $211.33 \text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ ,  $\text{CH}_4$  排放通量为  $0.23 \text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ 。锦江温泉所排放的  $\text{CO}_2$  通量为  $31.27 \text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ ,  $\text{CH}_4$  排放通量为  $0.21 \text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ 。十八道沟温泉所排放的  $\text{CO}_2$  通量为  $0.6 \text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ ,  $\text{CH}_4$  排放通量为  $0.01 \text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ 。湖滨温泉为一强烈的气体释放带, 总面积约  $25000 \text{m}^2$ , 每平方米面积内温泉气体排放通量约为  $3750 \text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 。因此, 湖滨温泉带所排放的  $\text{CO}_2$  通量为  $6.88 \times 10^4 \text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ ,  $\text{CH}_4$  排放通量为  $427.99 \text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

总体来说, 长白山火山区温泉所排放的  $\text{CO}_2$  通量约为  $6.9 \times 10^4 \text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ ,  $\text{CH}_4$  排放通量为  $428.44 \text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ , 其中, 由于湖滨温泉位于火山口湖内, 距离火山气体上升与释放的中心最近, 其气体释放最强烈。这一规模与意大利 Pantelleria Island 火山区温泉所排放的  $\text{CO}_2$  规模 ( $4.74 \times 10^4 \text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ ) 相当 (Favara *et al.*, 2001)。此外, 朝鲜境内将军峰下的天池湖滨也有一温泉带, 本文并没有将其计算在内。因此, 实际上长白山火山区的温室气体排放规模还应更大。

## 6 结论

(1) 利用数字皂膜流量计测量长白山火山区温泉气体的排放通量, 并结合前人对温泉气体成分的研究成果, 估算得到长白山火山区温泉所排放的  $\text{CO}_2$  与  $\text{CH}_4$  通量分别为  $6.9 \times 10^4 \text{t} \cdot \text{a}^{-1}$  和  $428.44 \text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ , 总量上接近  $10^5 \text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ 。这与意大利西西里岛 Pantelleria Island 火山区温泉温室气体的排放规模相当。

(2) 长白山火山区温室气体通量估算结果显示, 湖滨温泉带的温室气体排放通量规模最大, 其次为聚龙温泉、锦江温泉, 十八道沟温泉温室气体排放规模最小。显示了火山温室气体释放通量以及气体释放强度与喷发中心距离之间的相关关系, 即越靠近火山口, 火山气体排放越强烈。

(3) 本文仅为长白山火山区温室气体排放规模的初步估算, 更精确的结果则需要对整个长白山火山区 (包括朝鲜一侧) 的温泉进行长期监测与全面的调查。实践证明, 利用数字皂膜流量计测量火山区温泉气体排放通量是可行的, 可被应用到腾冲、羊八井等火山地热区的温室气体排放通量估算研究中。

**致谢** 野外考察期间曾得到吉林省地震局长白山天池火山监测站刘国明、孔庆军的帮助; 三位匿名审稿人对文稿进行了详尽的审阅, 提出了许多建设性修改建议。作者在此表示感谢。

## References

- Fan QC, Sui JL, Wang TH *et al.* 2006. Eruption history and magma evolution of the trachybasalt in the Tianchi volcano, Changbaishan. *Acta Petrologica Sinica*, 22(6): 1449 - 1457 (in Chinese with English abstract)
- Favara R, Giamanico S, Inguaggiato S and Pecoraino G. 2001. Preliminary estimate of  $\text{CO}_2$  output from Pantelleria Island volcano (Sicily, Italy) evidence of active mantle degassing. *Applied Geochemistry*, 16: 883 - 894
- Gao L, Shangguan ZG, Wei HQ *et al.* 2006. Recent geochemical changes of hot-spring gases from Tianchi volcano area, Changbai Mountains, Northeast China. *Seismology and Geology*, 28(3): 358 - 366 (in Chinese with English abstract)
- Gao L, Shangguan ZG and Wei HQ. 2010. Geochemistry features of the Hubin springs in the northern Caldera Lake of the Tianchi volcano, Changbaishan. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 29(3): 244 - 249 (in Chinese with English abstract)
- Gao QW. 2004. Volcanic hydrothermal activities and gas-releasing characteristics of the Tianchi lake region, Changbai Mountains. *Acta Geoscientia Sinica*, 25(3): 345 - 350 (in Chinese with English abstract)
- Guo LC, Ma SZ and Zhang YS. 1996. Research on magma chamber of Changbai mountain volcanoes by means of seismic tomography. *Computerized Tomography Theory and Applications*, 5(1): 47 - 52 (in Chinese with English abstract)
- Guo ZF, Li XH and Zhang ML. 2010. Volcanic activities and deep carbon cycle. *Quaternary Sciences*, 30(3): 497 - 505 (in Chinese with English abstract)
- Hahn D, Hilton DR, Cho M, Wei H and Kim KR. 2008. Geothermal He and  $\text{CO}_2$  variations at Changbaishan intra-plate volcano (NE China) and the nature of the sub-continental lithospheric mantle. *Geophysical Research Letters*, 35(22): 1 - 5
- Jin DC, Cui TR and Jin ML. 2003. Observation and research on hot and warm springs in Changbaishan Tianchi volcano. *Seismology and Geology*, 25 (Suppl.): 121 - 127 (in Chinese with English abstract)
- Liu RX, Wei HQ, Tang J *et al.* 1996. Progress of the Study on Tianchi volcano, Changbaishan, China. *Seismological and Geomagnetic Observation and Research*, 17(4): 3 - 11 (in Chinese with English abstract)
- Shangguan ZG, Sun LC, Sun FM *et al.* 1996. Deep-seated fluid components and stable isotopic compositions in Tianchi volcanic area, Changbaishan Mountains. *Scientia Geologica Sinica*, 31(1): 54 - 64 (in Chinese with English abstract)
- Shangguan ZG, Zheng YQ and Dong JC. 1997. Material sources of escaped gases from Tianchi volcanic geothermal area, Changbai Mountains. *Science in China (Series D)*, 40(4): 390 - 397

## 附中文参考文献

- 樊棋诚, 隋建立, 王团华等. 2006. 长白山天池火山粗面玄武岩的喷发历史与演化. *岩石学报*, 22(6): 1449 - 1457
- 高玲, 上官志冠, 魏海泉等. 2006. 长白山天池火山近期气体地球化学的异常变化. *地震地质*, 28(3): 358 - 366

高玲,上官志冠,魏海泉. 2010. 长白山天池火山口内湖滨温泉地球化学. 矿物岩石地球化学通报, 29(3): 244-249

高清武. 2004. 长白山天池火山水热活动及气体释放特征. 地球学报, 25(3): 345-350

郭履灿,马石庄,张禹慎. 1996. 应用地震 CT 技术研究长白山火山的岩浆囊. CT 理论与应用研究, 5(1): 47-52

郭正府,李晓惠,张茂亮. 2010. 火山活动与深部碳循环的关系. 第四纪研究, 30(3): 497-505

金东淳,崔天日,金美兰. 2003. 长白山天池火山热(温)泉观测与研究. 地震地质, 25(增刊): 121-127

刘若新,魏海泉,汤吉等. 1996. 长白山天池火山研究进展. 地震地磁观测与研究, 17(4): 3-11

上官志冠,孙令昌,孙凤民等. 1996. 长白山天池火山区深部流体成分及其稳定同位素组成. 地质科学, 31(1): 54-64

上官志冠,郑雅琴,董继川. 1997. 长白山天池火山地热区逸出气体的物质来源. 中国科学(D 辑), 27(4): 318-324

---

## 全国第六次火山学术研讨会纪要

2011年8月27日~30日,全国第六次火山学术研讨会在内蒙古自治区锡林浩特市顺利召开。会议由中国灾害防御协会火山专业委员会、中国矿物岩石地球化学学会火山与地球内部化学专业委员会、内蒙古自治区国土资源厅、内蒙古自治区地质学会、IAVCEI中国委员会、同位素地球化学国家重点实验室共同主办,锡林郭勒盟行政公署办公厅,锡林浩特市人民政府,锡林郭勒盟国土资源局,锡林浩特市国土资源局,内蒙古第九地质矿产勘察开发院、阿巴嘎旗政府等单位承办。中国灾害防御协会火山专业委员会主任、中国矿物岩石地球化学学会火山与地球内部化学专业委员会主任樊祺诚研究员致开幕词,中国科学院院士刘嘉麒、内蒙古自治区国土资源厅、地质学会和锡林郭勒盟行署领导到会致贺。45个相关单位的近150名代表参会,会议共收到论文摘要70篇。代表们围绕我国活动火山监测和成因机理、第四纪火山地质、大火成岩省、大陆火山作用的资源保护与开发、火山作用与环境效应等进行了热烈的交流与讨论。与会研究生反响热烈,积极提问,一些同学的精彩报告,受到与会专家、学者的赞许,从中看到了我国火山学科发展的希望。

内蒙古地域辽阔,是我国新生代火山活动的重要地区,锡林郭勒盟就有近300座火山和上万平方千米的火山岩,这一得天独厚的自然资源为我们开展火山学研究,也为内蒙古和锡林郭勒盟的资源开发利用和经济发展提供了大舞台。会后考察代表们目睹了无垠草原上一座座规模宏大的火山,亲历了锡林郭勒草原上的天然火山“博物馆”之壮观,鸽子山全新世火山完好的火山机构及喷气锥构造的数量和完整性均属国内外罕见,给代表们留下了深刻印象。与会专家考察后一致呼吁,要尽快建立火山地质遗迹保护区或火山地质公园,使其成为永久性科学研究和科普的基地,为当地经济建设服务。

会议在热烈气氛中闭幕,达到预期成果,取得圆满成功。

(赵勇伟 供稿)