

# 中国大陆火山活动对气候与环境影响的研究进展

郭正府, 陈晓雨, 刘嘉麒

中国科学院 地质与地球物理研究所, 北京 100029

**摘要:** 本文简要回顾了我国中、新生代典型中酸性火山活动的气候环境效应的研究进展, 重点讨论了新生代长白山天池火山喷发和中生代辽西火山活动对气候环境造成的影响。天池火山气体含量呈现两个相同趋势的旋回式变化, 从早到晚, 卤化物和  $H_2O$  呈降低趋势, 而硫化物气体呈增加趋势。火山旋回早期富含 HF 气体导致动物窒息、甚至大批集群死亡; 晚期喷出的大量硫化物气体可以形成大规模酸雨和剧毒火山灰云幕, 对周围的动植物生长有严重影响。辽西火山气体可分为三种组合, 形成酸雨, 导致地表温度下降, 加速臭氧浓度降低, 甚至破坏臭氧层, 从而对生物的生存环境造成严重危害。

**关键词:** 火山气体; 火山灾害; 臭氧层; 酸雨; 辽西; 长白山

中图分类号: P317 文献标识码: A 文章编号: 1007-2802(2007)04-0319-04

## Advances of the Research on Environmental and Climate Impact by the Volcanism in China

GUO Zheng-fu, CHEN Xiao-yu, LIU Jia-qi

*Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China*

**Abstract:** This paper has briefly reviewed advances of the research on environmental and climate impact caused by the Mesozoic and Cenozoic volcanism in China, especially has discussed the environmental and climate impact in the Changbaishan and western Liaoning areas caused by the Cenozoic volcanic eruption of the Tianchi volcano in the Changbaishan area and the Mesozoic volcanism in the western Liaoning area as the volcanic eruption could emit huge amounts of volatiles and resultant aerosols into atmosphere and could change the environment and climate. There are two cycles for the variation of volcanic volatiles of the Tianchi volcano. From the early stage to late stage of a volcanic cycle, the halogenide and  $H_2O$  contents are decreased, whereas the sulfuric gas is increased. High content of HF is contained in the volatiles emitted out in the early stage of the volcanic cycle. It could cause animal suffocation or death in large scale. A large amount of sulfuric gases contained in the late stage volatiles could form acid rain and poisonous volcanic clouds in large scale and severely influence the growth of animals and vegetations in the surrounding area. The acid rain formed with 3 groups of volcanic volatiles of the western Liaoning area, resulted in the decrease of surface temperature, the decrease of ozone content or the broken of ozonosphere, and further severely damage the living environment of organisms.

**Key words:** volcanic volatiles and aerosols; volcanic hazard; ozonosphere; acid rain; the western Liaoning area; Changbaishan

近年来,我国学者研究了中国中新生代火山喷出气体及其形成气溶胶的气候/环境效应,所涉及的火山区主要包括辽西、张家口、长白山、五大连池、山旺、峨眉山和青藏高原;长白山和辽西两火山区研究较多。下面简要介绍长白山新生代火山区和辽西地区中生代火山区的主要研究进展。

## 1 样品选择及其测试方法

首先按照火山气候/环境学的野外工作规范进行系统取样,随后在实验室挑选理想的待测样品。理想样品是指火山岩斑晶矿物中原生的、没有遭到后期破坏的、经快速冷凝的岩浆包裹体及其共生的

收稿日期: 2007-05-26 收到, 07-03 改回

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40473023, 40372045, 40773023)

第一作者简介: 郭正府 (1963—), 男, 博士, 副研究员, 专业方向: 火山活动的气候/环境效应. E-mail: zhengfuguo@hotmail.com

新鲜基质玻璃<sup>[1]</sup>。挑选样品的主要方法有:显微镜观察、岩相学分析和用超声波、稀草酸与蒸馏水清洗样品表面并观察矿物内包裹体的分布、形态和含量,以确定岩浆演化过程中主要斑晶矿物的结晶顺序和岩浆包裹体的特征。利用电子探针、离子探针、红外光谱和喇曼光谱等方法测试岩浆包裹体和新鲜基质玻璃的火山挥发分成分和含量<sup>[2~4]</sup>。

## 2 火山气体总量估算

火成岩岩石学研究<sup>[1,5,6]</sup>表明,火山岩斑晶矿物中原生岩浆包裹体属于斑晶结晶过程中捕获的熔浆,其原始成分代表矿物结晶时与斑晶平衡的熔浆组成;火山喷发物中与斑晶共存的新鲜基质玻璃的成分代表经过火山喷发脱气之后的熔浆成分,基质玻璃的挥发分组成代表喷发后熔浆中残存的火山气体成分和含量。模拟实验和热力学计算结果显示,火山喷出气体含量的最小值等于喷发前演化至最晚期的岩浆(即晚期斑晶中岩浆包裹体)中挥发分的含量减去喷发后与斑晶共存熔浆(现为基质玻璃)中残留火山气体的含量。火山喷出气体总量可利用岩石学方法<sup>[1,2]</sup>获得。

## 3 长白山天池火山大喷发对气候与环境的影响

长白山天池火山约一千年前发生过一次大规模的喷发活动,我国火山学界通常将其称为长白山天池火山历史时期大喷发<sup>[5]</sup>。这次喷发规模很大,火山灰飘落到 1000 km 以外的日本<sup>[7]</sup>,对大气环境造成过明显的影响:火山气体导致当时大气圈中  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度显著增加,这在格陵兰冰芯(GISP2)研究中已经得到证实<sup>[8]</sup>;表明其火山灾害和对环境的影响很严重。

与世界上其他大规模爆发性活火山喷发相比<sup>[5]</sup>,天池火山该次大喷发的 S、F 和 Cl 含量相对较高;从早期到晚期,火山气体含量呈两个趋势相同的旋回式变化:卤化物气体和  $\text{H}_2\text{O}$  呈降低趋势,而硫化物气体呈增加趋势;岩浆包裹体  $\text{SiO}_2$  含量和 Cl/S 值也呈降低趋势。这种变化被认为是由于玄武质熔浆在岩浆房底部周期性注入所致。

岩浆包裹体的 Cl/S 值被认为是指示火山喷发强度与能量的重要参数之一<sup>[5]</sup>。Cl/S 值高表明喷发强度和能量高;Cl/S 值低说明喷发强度和能量低。天池火山喷发物斑晶内岩浆包裹体 Cl/S 值的旋回式变化表明,每个喷发旋回开始,喷发强度和能量较高,随后,喷发强度和能量逐渐减小。这种类型

的火山喷发对周围地区造成灾害较严重<sup>[5]</sup>,破坏的范围较大,因为喷发伊始形成的碎屑流和熔岩流流速快、能量高,能摧毁火口周围的设施和建筑物,使后来能量较小的火山碎屑流和熔岩流能够沿着先前岩浆流动的轨道和方向到达较远处。因此认为,天池火山对周围环境的影响和火山灾害均较严重,灾害空间范围也较大。

天池火山喷出气体以卤化物为主,但旋回晚期硫化物气体有增加趋势<sup>[5]</sup>。以卤化物气体为主的喷发对周围环境的影响主要体现在两个方面<sup>[9,10]</sup>:一是 HF 气体吸附在火山灰(尘)表面,形成迅速扩散的剧毒 HF 气体云,沉降后污染植被和水质,使动物窒息、死亡。二是火山 HCl 气体破坏大气圈臭氧层,甚至形成“臭氧空洞”,严重破坏环境和生态平衡,使动植物因接受过量紫外线辐射而损坏和死亡。此外,火山硫化物气体导致地表温度下降,形成酸雨和剧毒的火山灰云幕,损坏动物的皮肤、眼睛和呼吸系统、水循环、植被及土地肥力。上述表明天池火山气体曾严重影响周围环境<sup>[5]</sup>。喷发旋回早期 HF 含量较高的大量火山气体造成周围地区动物窒息,甚至集群死亡;晚期喷出的硫化物气体形成大规模酸雨和剧毒的火山灰云幕,严重影响动植物的生长。火山 HCl 气体则导致大气圈臭氧层减薄,破坏臭氧层。

## 4 辽西火山喷发对气候与环境的影响

辽西地区出露完好的中生代火山岩与湖相沉积物互层剖面,其中含有多层脊椎动物化石层,包括著名的热河生物群。研究表明,它们是脊椎动物非正常集群死亡的记录<sup>[11]</sup>。湖相沉积物中含有多层中酸性火山凝灰岩和沉凝灰岩夹层,与脊椎动物化石层互层产出;火山凝灰岩、沉凝灰岩或凝灰质页岩(或泥岩、粉砂岩)中也含有化石层;表明火山活动与脊椎动物化石层所代表的集群死亡事件之间有成因联系<sup>[12,13]</sup>。

辽西中生代火山喷出气体分为 3 种组合<sup>[13]</sup>,对应着三类气候环境效应明显不同的火山喷发。

(1) 以  $\text{F} > \text{Cl}$  的卤族气体为主的火山喷发对气候与环境的影响:这类火山喷发形成炽热的火山灰云迅速横向扩散,呈蘑菇状快速上升,导致被火山灰云笼罩的鸟类突然死亡,并污染和毁灭地面的动植物<sup>[13]</sup>。辽西对应于富含孔子鸟化石的火山气体成分以卤化物为主,且 F 含量大于 Cl,构成以 HF 为主体的卤化物火山气体组合,说明两者有内在联系<sup>[13]</sup>。

(2) 以  $\text{Cl} > \text{F}$  的卤族气体为主的火山喷发对气候与环境的影响: 这类火山喷发的气体特征是卤族含量较高, 且  $\text{Cl} > \text{F}$ <sup>[9,13]</sup>。它们破坏臭氧层, 形成臭氧空洞, 破坏生态平衡, 使动植物因过量紫外线辐射而大规模死亡。HCl 气体还会形成酸雨, 造成陆地(含湖泊)动植物因酸雨侵袭而死亡。辽西地区最大规模的脊椎动物集群死亡事件(包括满洲龟、翼手龙和鹦鹉嘴龙等)见于富含火山灰(尘)的灰黑色页岩, 化石层被火山凝灰岩覆盖。火山凝灰岩及其下伏含化石层的凝灰质页岩分布范围较广, 层位稳定, 厚度较大, 代表了一次规模较大的火山喷发。这种火山气体以卤族气体为主<sup>[13]</sup>, 且  $\text{Cl} > \text{F}$ 。大规模火山喷发的 HCl 和  $\text{Cl}_2$  破坏了臭氧层, 以 HCl 为主的火山气体形成酸雨, 严重影响生态环境<sup>[13]</sup>。上述各种影响的综合效应造成了本区脊椎动物大规模集群死亡, 火山喷发形成的大量火山灰沉积物, 使脊椎动物尸体快速埋藏, 形成脊椎动物化石层。

(3) 以硫化物气体为主的火山喷发对气候与环境的影响: 主要体现在如下几方面<sup>[9,12,13]</sup>: 火山成因硫化物气体 ( $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{SO}_2$  和  $\text{SO}_3$  等) 使地表温度降低, 促使某些生物不适应气候环境变化而死亡; 火山成因  $\text{H}_2\text{SO}_4$  气溶胶加速了臭氧浓度的降低, 甚至彻底破坏臭氧层; 硫化物气体进入大气圈形成酸雨, 危害生物生存环境。辽西富含带羽毛小型兽脚类恐龙化石层代表的集群死亡事件对应于这种成分的火山活动喷出<sup>[13]</sup>。可以认为这些以陆地爬行动物化石为主的化石层是由于同期富硫火山喷发造成了地表温度快速降低、酸雨甚至可能破坏臭氧层, 骤然改变古气候、古环境, 损坏脊椎动物的皮肤和肌体, 最终造成大规模集群死亡。

此外, 西藏林子宗火山活动<sup>[14]</sup>、山旺火山活动<sup>[15]</sup>、张家口火山活动<sup>[16]</sup>和峨眉山火山活动<sup>[17~19]</sup>等也是造成气候变化和环境破坏的“罪魁祸首”。

**致谢:** 野外工作曾得到刘祥教授的帮助; 成文过程中曾与樊祺诚研究员、汉景泰研究员进行过有益的讨论; 包裹体研究曾得到狄永军博士的帮助; 实验室的测试工作及数据解释曾得到 Wilson 教授的指导, 在此一并表示感谢。

## 参考文献 (References):

[1] Guo Z F, Liu J Q, Sui S Z, Liu Q, He H Y, Ni Y Y. The mass estimation of volatile emission during 1199 - 1200 AD eruption of Baitoushan volcano and its significance[J]. Science in China (series D), 2002, 45(6): 530 - 539.

[2] Horn S, Schmincke H U. Volatile emission during the eruption of Baitoushan Volcano ca. (China/ North Korea) 969 AD [J]. Bull. Volcanol., 2000, 61: 537 - 555.

[3] 李霓, M érich N, 樊祺诚. 长白山天池火山千年大喷发岩浆含水量研究-熔融包裹体含水量的红外光谱测试[J]. 岩石学报, 2006, 22(6): 1465 - 1472.

Li Ni, M érich N, Fan Qicheng. FTIR study on water content of the melt inclusions in phenocrysts from Changbaishan Tianchi volcano 's great eruption in Holocene[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(6): 1465 - 1472. (in Chinese with English abstract)

[4] 李霓, 吴树青. 熔融包裹体及其挥发分研究概况及其分析方法简析[J]. 地球与环境, 2004, 32(3 - 4): 14 - 20.

Li Ni, Wu Shuqing. Progress in the study of melt inclusions and their volatiles and analysis methods[J]. Earth and Environment, 2004, 32(3 - 4): 14 - 20. (in Chinese with English abstract)

[5] Guo Z F, Liu J Q, Han J T, He H Y, Dai G L, You H T. Effect of gas emissions from Tianchi volcano (NE China) on environment and its potential volcanic hazards[J]. Science in China (series D), 2006, 49(3): 304 - 310.

[6] 郭正府, 刘嘉麒, 贺怀宇, 隋淑珍, 孙会国, 代国良, 陈贺海. 火山喷出气体的环境、灾害效应对火山未来喷发的指示意义[J]. 地震地质, 2003, 25(增刊): 88 - 98.

Guo Zhengfu, Liu Jiaqi, He Huaiyu, Sui Shuzhen, Sun Hui-guo, Dai Guoliang, Chen Hehai. Environmental and climatic effects of volcanic volatiles and the use of volatiles as potential indicators of future eruptions[J]. Seismology and Geology, 2003, 25 (suppl.): 88 - 98. (in Chinese with English abstract)

[7] Machida H, Moriwaki H, Zhao D C. The recent major eruption of Changbai volcano and its environmental effects[J]. Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University, 1990, 25: 1 - 20.

[8] Zielinski G A, Mayewski P A, Meeker L D, Whitlow S, Twickler M S, Morrison M, Meese D A, Cow A J, Alley R B. Record of volcanism since 7000B. C. from the GISP2 Greenland ice core and implications for the volcano-climate system[J]. Science, 1994, 264: 948 - 952.

[9] Sigurdsson H. Encyclopedia of volcanoes[M]. New York: Academic Press, 2000: 1 - 1384.

[10] Firth C R, McGuire W J. Volcanoes in the quaternary[M]. London: Geological Society of London, 1999: 1 - 232.

[11] 汪筱林, 王元青, 徐星, 王原, 张江永, 张福成, 金帆. 辽西四合屯脊椎动物集群死亡事件: 火山爆发的灾变记录[J]. 地质论评, 1999, 45(增刊): 458 - 467.

Wang Xiaolin, Wang Yuanqing, Xu Xing, Wang Yuan, Zhang Jiangyong, Zhang Fucheng, Jin Fan. Record of the Sihetun vertebrate mass mortality events, Western Liaoning, China: caused by volcanic eruptions[J]. Geological Review, 1999, 45(suppl.): 458 - 467. (in Chinese with English abstract)

[12] 郭正府, 汪筱林. 火山活动与辽西四合屯脊椎动物集群死亡关系的初步研究[J]. 岩石学报, 2002, 18(1): 117 - 125.

- Guo Zhenfu, Wang Xiaolin. A study on the relationship between volcanic activities and mass mortalities of the Jehol vertebrate Fauna from Sihetun, western Liaoning, NE China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18 (1): 117 - 125. (in Chinese with English abstract)
- [13] Guo, Z F, Liu J Q, Wang X L. Effect of Mesozoic volcanic eruptions in the western Liaoning Province, China on paleoclimate and paleoenvironment [J]. *Science in China (series D)*, 2003, 46 (12): 1261 - 1272.
- [14] 郭正府. 火山喷发对地表温度影响的研究—以冈底斯新生代火山喷发为例[J]. *地学工程进展*, 1997, 14 (3): 48 - 52.  
Guo Zhenfu. Impact of the volcanic eruptions on the Earth's surface temperature—An example from Gangdisi (Tibetan Plateau) Cenozoic volcanic eruptions[J]. *Advance in Earth Science Engineering*, 1997, 14 (3): 48 - 52. (in Chinese with English abstract)
- [15] 郭正府, 刘嘉麒, 刘强, 隋建立, 倪云燕. 山东山旺地区中新世火山喷出气体的成分及其对古气候、古环境的影响[A]. 全国第四届火山学术研讨会——火山作用与地球层圈演化(摘要)[C]. 2005年10月23-26日, 广西北海. 2005: 24 - 25.  
Guo Zhenfu, Liu Jiaqi, Liu Qiang, Sui Jianli, Ni Yunyan. Composition of volatiles erupted from Miocene basaltic volcanism in Sanwang area (Shandong province, China) and its effect on paleo-environment and climate[A]. Abstract of the fourth assembly of volcanology in China[C]. Beihai, Guangxi province, China. 2005: 24 - 25. (in Chinese)
- [16] 郭正府, 刘嘉麒. 张家口中生代火山盆地火山喷发对古气候的影响[J]. *岩石学报*, 1998, 14 (3): 318 - 331.  
Guo Zhenfu, Liu Jiaqi. The effect of volcanic eruption on the Paleoclimate in the Zhangjiakou Mesozoic volcanic basin, North China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1998, 14(3): 318 - 331. (in Chinese with English abstract)
- [17] Lo C H, Chung S L, Lee T Y, Wu G Y. Age of the Emeishan flood magmatism and relations to Permian - Triassic boundary events[J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2002, 198: 449 - 458.
- [18] 徐义刚. 地幔柱构造、大火成岩省及其地质效应[J]. *地学前缘*, 2002, 9(4): 341 - 353.  
Xu Yigang. Mantle plumes, large igneous provinces and their geologic consequences[J]. *Earth Science Frontiers*, 2002, 9 (4): 341 - 353. (in Chinese with English abstract)
- [19] Zhou M F, Malpas J, Song X Y, Robinson P T, Sun M, Kennedy A K, Leshner C M, Keays R R. A temporal link between the Emeishan large igneous province (SW China) and the end-Guadalupian mass extinction[J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2002, 196: 113 - 122.

·学会之声·

## 关于举办第12届侯德封矿物岩石 地球化学青年科学家奖的通知

由我会主办的侯德封奖经国家科技部科技奖励办审批、登记,已正名为“侯德封矿物岩石地球化学青年科学家奖”(以下简称侯德封奖)。

我会将于2008年举办第12届侯德封奖,评选将按照2005年修订的“实施办法”执行。本届侯德封奖将从2007年11月1日起开始受理,至2008年3月31日截止(以邮戳为准)。全国包括港、澳、台在内的从事矿物学、岩石学和地球化学工作的青年科技工作者,均可通过“办法”规定的三条渠道申报本奖。这三条渠道是:(1)各地学单位学术组织的推荐;(2)本会所属专业委员会的推荐;(3)三名具有高级专业技术职称的专家联名推荐。凡在2008年元月1日前未满40周岁(1968年元月1日后出生),通过上述三条渠道之一者均可成为正式请奖人。请全国各地学单位、本会所属专业委员会及具有高级专业技术职称的专家、教授予以大力支持,为扶植年青力量作贡献。

“侯德封奖实施办法”和推荐书可向学会秘书处函索,也可到网上查阅或下载:<http://www.gyig.ac.cn>, <http://www.csmgp.org.cn/> 学会评奖。

有关未尽事宜请与学会秘书处联系。秘书处地址:贵州省贵阳市观水路46号,中国科学院地球化学研究所内,邮编:550002;电话:0851-5895823,5895599;电子邮件:csmgp@vip.skleg.cn;联系人:刘莉。

中国矿物岩石地球化学学会  
2007年10月