

中国活动火山研究新进展

隋建立, 樊祺诚, 赵勇伟, 李霓, 孙谦

中国地震局地质研究所, 北京 100029

摘要:我国从 20 世纪 90 年代起开展了活动火山的监测与研究, 21 世纪初以来开展了中国几个第四纪火山区的活动火山调查工作。本文简要概述了最近几年我国在活动火山地质学、年代学和岩石地球化学研究方面的新进展。

关键词:研究进展; 活动火山; 中国

中图分类号: P511.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2802(2011)04-0361-04

Review on Monitoring and Exploring the Active Volcanoes in China

SUI Jian-li, FAN Qi-cheng, ZHAO Yong-wei, LI Ni, SUN Qian

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

Abstract: Framework of the two major tectonic plates, collision and upwelling of Qingzang Plateau and subduction of Pacific Plate under eastern China control the volcanic activities in China. From the 1990's, programs started to monitor and to explore the three most dangerous active volcanoes in China. The active volcanoes in China attract more and more programs and researches. During the first decade of 21st century, we have done many explorations on several Quaternary active volcanoes in China. This paper reviews the main progress in geology, chronology, petrology and geochemistry on these Quaternary active volcanoes.

Key words: progresses; active volcano; China

中国活动火山的监测与研究,始于上世纪 90 年代。当时,国际上活动火山研究正处于一个重要的发展时期,一些活火山活动频繁国家和地区,如美国、日本、意大利、冰岛、非洲等,已开展了系统的火山监测和研究,而国内对活动火山的认识还非常浅显,大部分人认为中国没有活动火山。我国直到“九五”期间才正式开始了活动火山监测和研究,研究之初主要限于三个重点活动火山:长白山天池火山、五大连池火山和腾冲火山。经过将近 20 年的发展,重点对长白山天池火山千年大喷发开展了火山地质学、年代学、岩石地球化学和地球物理深部探测等诸多方面的研究,天池火山作为中国最具喷发危险性的火山已成为共识,五大连池火山和腾冲火山的研究也取得了重要进展,并在上述三个火山区相继建成了火山监测站。进入 21 世纪,除了在上述三个活动火山区进一步监测与研究的同时,还开展了中国

其他第四纪火山区的活动火山调查工作,以下简要报告这方面工作的新进展。

1 长白山天池火山岩浆混合作用与喷发机制

根据火山地质、岩浆演化和地球物理深部探测,天池火山之下存在地壳和地幔双层岩浆房^[1~3]。由于地幔粗面玄武质岩浆持续向地壳岩浆房补给,保持了天池火山逾百万年持续不断的喷发活动。天池火山千年大喷发的碱流质浮岩中发现的铁橄榄石与石英非平衡共生和大量熔蚀状矿物等岩相学特征,以及对碱流质浮岩中包裹的玄武质粗安岩-粗安岩角砾和条带状浆屑的岩相学、矿物学和岩石化学研究,提出地幔的粗面玄武质岩浆向地壳岩浆房的注入,发生粗面玄武质岩浆与碱流质岩浆强烈混合作用,并触发千年大喷发,探讨了天池火山千年大喷发

的岩浆混合作用与喷发机制。由于地幔粗面玄武岩浆注入地壳岩浆房,高温(1100~1200 °C)玄武质岩浆进入相对低温(850~900 °C)的碱流质岩浆而淬火和混合作用,淬火形成大小不一的角砾。随着玄武质岩浆的大量注入,地壳岩浆房的温度升高,局部出现玄武质岩浆与碱流质岩浆呈条带状混合。天池火山地壳岩浆房的熔体具有分层结构特点,由于地幔粗面玄武质岩浆注入导致不同层位岩浆的扰动和混合作用,成为触发天池火山的喷发机制^[2,4,5]。

根据火山岩 U-Th 矿物等时线新模型^[6],即不同种类的矿物具有相同的结晶历史(包括火山岩喷发年龄和矿物结晶分异的时间尺度),估算天池火山千年大喷发岩浆房滞留时间为 100 ka 左右。这与 Dunlap^[7] 所估计的时间(60~100 ka)的上限一致。

根据天池火山野外地质和火山岩年代学研究^[5],在天池火山来自地壳岩浆房粗面岩岩浆造锥阶段(大约 1~0.04 Ma),直接来自地幔的钾质粗面玄武岩浆的喷发活动也没有停止过(0.87~0.06 Ma),在天池火山锥体内形成诸多小火山渣锥。所以,天池火山之下地壳和地幔双层岩浆房具有互动式喷发特点,西太平洋板块俯冲-东北亚大陆弧后引张,可能是长白山天池火山喷发的动力学机制。

2 镜泊湖全新世火山

镜泊湖全新世火山群位于东北黑龙江省宁安县小北湖林场内,在距今 5200~5500 年的 300 年间相继喷发形成十余座火山锥,火山岩面积近 500 km²^[8,9]。镜泊湖全新世火山岩属于一套钾质系列火山岩,包括钾质粗面玄武岩、碧玄岩和响岩质碱玄岩三种不同的火山岩类型^[10]。岩浆来自不同程度富钾地幔源区熔融的产物,彼此不存在分离结晶演化关系。镜泊湖全新世火山西区粗面玄武岩和碧玄岩,来自钾质交代程度较低的地幔源区,较高级的部分熔融产生粗面玄武岩浆,较低程度的部分熔融产生碧玄岩浆。东区火山岩含石榴石,金云母、角闪石巨晶及地幔橄辉岩捕虏体,其岩浆源区为强烈钾质交代的地幔。根据火山岩中普通辉石巨晶形成压力(1.57~1.63 GPa)估计响岩质碱玄岩岩浆在约 52~54 km 发生高压分离结晶作用,岩浆在上升过程中捕获了岩石圈地幔橄辉岩。

镜泊湖地处太平洋板块俯冲的东亚大陆弧后扩张区,来自地幔楔或消减的深俯冲板片脱水形成的富钾流体对岩浆源区地幔的不同程度交代作用和部分熔融,导致镜泊湖火山区内相距不到 15 km 的东西两区地幔化学非均一性和岩浆的多样性。

3 大兴安岭第四纪火山

中国东北大兴安岭中部第四纪哈拉哈河-绰尔河火山及熔岩流呈北东向带状沿河谷分布,第四纪火山 35 座,熔岩流分布面积约 400 km²;北部诺敏河-奎勒河火山区第四纪火山 24 座,熔岩流分布面积约 600 km²。根据火山地质特征、地层覆盖关系、岩石风化程度和年代学研究,火山活动初步划分为早更新世、中更新世、晚更新世和全新世四期^[11,12],哈拉哈河-绰尔河的高山火山和焰山火山、诺敏河-奎勒河的马鞍山火山为全新世火山。根据火山地质和喷发特征研究^[12,13],大兴安岭第四纪火山分属四种喷发类型:斯通博利型、高山-焰山型、夏威夷型和射汽岩浆型,高山-焰山型为新提出的发生于中国大陆内部的一种新的喷发型式。哈拉哈河-绰尔河玄武岩为钠质系列碱性玄武岩,主要类型为碱性橄辉玄武岩;诺敏河-奎勒河玄武岩属于钾质系列碱性玄武岩,主要类型为碱玄岩和碧玄岩。

大兴安岭中部哈拉哈河-绰尔河和北部诺敏河-奎勒河火山岩中均含有丰富的尖晶石橄辉岩和石榴石橄辉岩捕虏体。根据绰尔河新鲜石榴二辉橄辉岩 *p-t* 平衡条件估计(1164 °C, 2.36 GPa),其形成深度约 76 km。这与中国东部其它地方四相共存的石榴二辉橄辉岩类似,区别于五相共存的尖晶石/石榴二辉橄辉岩形成条件(<70 km),证实它们是来自尖晶石二辉橄辉岩与石榴二辉橄辉岩相转变带之下深度(>70 km)的石榴石橄辉岩稳定区^[14]。

4 乌兰哈达全新世火山

内蒙古乌兰哈达全新世火山位于大兴安岭一大同新生代火山活动带南段,火山群坐落在太古宙乌拉山岩群和新近纪汉诺坝玄武岩之上,火山群面积约 280 km²,分布着不同类型、不同规模的火山约 30 余座。乌兰哈达火山群中火山锥保存尚好,结构完整,但明显可分为两期。早期火山锥规模小,已遭受一定剥蚀,但火口形态仍清晰可辨。晚期火山结构完整,火山锥、火山口、喷火口均完好,甚至火山喷发晚期形成的火口锥(火口内小的侵入穹丘)也完好无损,未遭受剥蚀。熔岩流单元的结构、流淌范围清晰可辨,熔岩流表面构造、胀裂谷、塌陷谷及熔岩塚均保存完好,这是判断新近火山喷发的直接证据。根据火山岩与沉积地层的叠置关系、火山结构组成、地貌特征以及火山产物的风化程度等,结合第四纪地貌学和热释光年龄(30.56±2.59 ka B. P.; 21.05±1.79 ka B. P.),乌兰哈达第四纪火山群主要由 3 万

年以来的火山喷发形成,可划分为晚更新世和全新世两期^[15]。全新世火山包括炼丹炉火山(南、北炼丹炉火山活动相对较早,中炼丹炉较晚)和尖山西火山(最晚喷发)。全新世火山活动强度大,熔岩流形成规模宏大的“石河、石湖”,并堰塞水系形成火山堰塞湖。乌兰哈达全新世火山是研究蒙古高原南缘现代岩石圈深部结构及其活动性的天然“窗口”。

5 雷琼全新世火山

雷琼地区火山是中国南方分布面积最大的一片跨域海域的第四纪火山岩,包括上百座火山锥和约7000 km²的火山岩,火山活动从始新世持续到全新世,具有多期喷发活动的特点。海口市西南的石山—永兴一带就集中分布着多座保存完好的全新世火山锥。根据火山地质与地貌特征,结合火山岩中石英砂岩捕虏体的热释光年龄(10.27~9.91 ka),确定雷虎岭火山和马鞍岭火山为全新世喷发火山,后者为最新喷发的火山^[16]。雷虎岭橄榄拉斑玄武岩代表相对原始的玄武质岩浆,而马鞍岭石英拉斑玄武岩是相对演化的岩浆。根据实验岩石学结果^[17],橄榄拉斑玄武岩岩浆在低压下(0~0.5 GPa),相当于小于15 km深度,在较高温度下结晶以橄榄石为主,稍低温度下(<1200 °C)出现单斜辉石和斜长石,残余液相为石英拉斑玄武岩成分。据此,由MgO、Ni含量变化估计,橄榄拉斑玄武岩浆经约10%橄榄石结晶分异可形成石英拉斑玄武岩浆。

研究表明,北部湾内位于北海市正南约20海里的涠洲岛,面积约25 km²,其东南方向9海里还有一座面积仅约2 km²的斜阳岛,它们都是早更新世火山喷发形成的火山岛^[18,19],晚更新世又发生猛烈的射气岩浆喷发,塑造了涠洲岛和斜阳岛现代火山地貌。根据从晚更新世射气岩浆喷发的火山碎屑岩中捕获烘烤的灰白色粗砂岩和砖红色细砂岩两个样品的光释光(OSL)测年结果相当一致,分别为33.7±1.8 ka和33.7±0.4 ka。另外,在斜阳岛射气岩浆喷发的基浪堆积层中采到由火山喷发带来的贝壳碎片,经北京大学加速器质谱(AMS)¹⁴C测试结果,贝壳¹⁴C年龄为36.135 a B. P.,这一结果与砂岩捕虏体光释光(OSL)测年结果基本一致。因此,初步认定涠洲岛和斜阳岛最新火山喷发距今约3万年左右的晚更新世末期(36~33 ka)。

6 腾冲火山

腾冲火山区位于印度板块与欧亚板块碰撞带的北东侧,在腾(冲)—梁(河)断陷的北部,数十座火山

以腾冲盆地为中心展布,火山岩面积约9000 km²,主要是第四纪火山活动的产物。马鞍山、打鹰山、黑空山三座火山在腾冲火山群中火山锥和火山口保存最完整,熔岩流无风化层,保持了最新喷发火山之地貌特征,属于全新世活动火山^[20]。最近对马鞍山、打鹰山、黑空山火山岩主微量和Sr、Nd、Pd同位素地球化学研究认为^[21],腾冲火山岩浆源区具有MORB与富集地幔混合之特征,推测为新特提斯俯冲洋壳重新熔融,导致腾冲地区的高钾钙碱性岩浆的火山活动,解释了腾冲在新生代大陆板内构造环境背景下出现岛弧或活动大陆边缘火山岩地球化学特征的现象。马鞍山、打鹰山和黑空山火山高钾钙碱性岩浆经历了岩浆房阶段辉石、钛铁矿的结晶分离作用和岩浆上升过程中斜长石的结晶分离作用,导致岩浆成分从中基性向中酸性演化,火山岩从玄武质粗安岩→粗安岩→粗面质英安岩演化。

参考文献 (References):

- [1] Liu R X, F Q C, Zheng X S, Zhang M, Li N. The magma evolution of Tianchi volcano, Changbaishan[J]. Science in China, 1998, 382—389.
- [2] 樊祺诚, 隋建立, 王团华, 孙谦, 李霓. 长白山天池火山粗面玄武岩的喷发历史与演化[J]. 岩石学报, 2006, 22(6): 1449—1457.
Fan Qicheng, Sui Jianli, Wang Tuanhua, Sun Qian, Li Ni. Eruption history and magma evolution of the trachybasalt in the Tianchi Volcano, Changbaishan[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(6): 1449—1457. (in Chinese with English abstract)
- [3] 汤吉, 赵国泽, 王继军, 詹艳, 邓前辉, 陈小斌. 基于地下电性结构探讨中国东北活动火山形成机制[J]. 岩石学报, 2006, 22(6): 1503—1510.
Tang Ji, Zhao Guoze, Wang Jijun, Zhan Yan, Deng Qianhui, Chen Xiaobin. A study of the formation mechanism for volcanism in Northeast China based on deep electric structure[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(6): 1503—1510. (in Chinese with English abstract)
- [4] 樊祺诚, 隋建立, 孙谦, 李霓, 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, Li Ni, 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)
- [5] 樊祺诚, 隋建立, 李霓, 孙谦, 徐义刚. 长白山天池火山双岩浆房岩浆作用与互动式喷发[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2007, 26(4): 315—318.
Fan Qicheng, Sui Jianli, Li Ni, Sun Qian, Xu Yigang. Magma reaction and interacted eruptions of the two magma chambers in Tianchi Volcano, Changbaishan[J]. Bulletin of Mineralo-

- gy, Petrology and Geochemistry, 2007, 26(4): 315—318. (in Chinese with English abstract)
- [6] 隋建立, 樊祺诚, 刘嘉麒, Sparks R S J. 火山岩 U-Th 矿物等时线年龄的新模型及其意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(6): 1511—1516.
Sui Jianli, Fan Qicheng, Liu Jiaqi, Sparks R S J. New model for the U-Th isochron systematics on volcanic rocks and its significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(6): 1511—1516. (in Chinese with English abstract)
- [7] Dunlap C E. Physical, chemical, and temporal relations among products of the 11th century eruption of Baitoushan, China/North Korea[D]. Santa Cruz: University of California, 1996.
- [8] 张招崇, 李兆鼎, 李树才, 辛影, 李兆木, 王先政. 黑龙江镜泊湖地区全新世火山岩的¹⁴C 测年及其源区特点探讨[J]. 地质学报, 2000, 74(3): 279—286.
Zhang Zhaochong, Li Zhaonai, Li Shucai, Xin Ying, Li Zhao mu, Wang Xianzheng. ¹⁴C dating of Holocene volcanic rocks in Jingbo Lake region, Helongjiang province and investigation of its source character[J]. Geologica Sinica, 2000, 74(3): 279—286. (in Chinese with English abstract)
- [9] 樊祺诚, 孙谦, 李霓, 尹金辉, 陈洪洲, 高峰, 张锡杰. 镜泊湖全新世火山空降碎屑剖面和喷发历史[J]. 地震地质, 2003, 25(增刊): 3—11.
Fan Qicheng, Sun Qian, Li Ni, Yin Jinhui, Chen Hongzhou, Gao Feng, Zhang Xijie. The section of airfall clastic rock and ¹⁴C Dating of Holocene Volcano in Jingpohu Regions and discussion on its eruptive history[J]. Seismology and Geology, 2003, 25(supp.): 3—11. (in Chinese with English abstract)
- [10] Fan Q C, Sun Q, Li N, Wang T H. Holocene volcanic rocks in Jingbo Lake region—Diversity of magmatism[J]. Progress in Natural Science, 2006, 16(1): 65—71.
- [11] 白志达, 田明中, 武法东, 徐德兵, 李团结. 焰山、高山—内蒙古阿尔山火山群中的两座活火山[J]. 中国地震, 2005, 21(1): 113—117.
Bai Zhida, Tian Mingzhong, Wu Fadong, Xu Debin, Li Tuanjie. Yanshan and Gaoshan—Two active volcanoes of the volcanic cluster of Arshan, Inner Mongolian[J]. Earthquake Research in China, 2005, 21(1): 113—117. (in Chinese with English abstract)
- [12] 赵勇伟, 樊祺诚, 白志达, 孙谦, 李霓, 隋建立, 杜星星. 大兴安岭哈拉哈河—尔河地区第四纪火山活动初步研究[J]. 岩石学报, 2008, 24(11): 2569—2575.
Zhao Yongwei, Fan Qicheng, Bai Zhida, Sun Qian, Li Ni, Sui Jianli, Du Xingxing. Preliminary study on Quaternary volcanoes in the Halaha River and Chaoer River area in Daxingan Mountain range[J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(11): 2569—2575. (in Chinese with English abstract)
- [13] 赵勇伟, 樊祺诚. 大兴安岭焰山、高山火山——一种新的火山喷发型式[J]. 地震地质, 2010, 32(1): 28—37
Zhao Yongwei, Fan Qicheng. Yanshan and Gaoshan volcanoes in the Daxingan Mountain range—A new eruption style[J]. 2010, 32(1): 28—37. (in Chinese with English abstract)
- [14] 樊祺诚, 隋建立, 赵勇伟, 孙谦, 李霓, 杜星星. 大兴安岭中部第四纪火山岩中石榴石橄榄岩捕虏体的初步研究[J]. 岩石学报, 2008, 24(11): 2563—2568.
Fan Qicheng, Sui Jianli, Zhao Yongwei, Sun Qian, Li Ni, Du Xingxing. Preliminary study on garnet peridotite xenolith of Quaternary volcanic rocks in middle Daxing'an Mountain range[J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(11): 2563—2568. (in Chinese with English abstract)
- [15] 白志达, 王剑民, 许桂玲, 刘磊, 徐德斌. 内蒙古察哈尔右翼后旗乌兰哈达第四纪火山群[J]. 岩石学报, 2008, 24(11): 2585—2594.
Bai Zhida, Wang Jianmin, Xu Guiling, Liu Lei, Xu Debin. Quaternary volcano cluster of Wulanada, right-back-banner, Chahaer, Inner Mongolia[J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(11): 2585—2594. (in Chinese with English abstract)
- [16] 樊祺诚, 孙谦, 李霓, 隋建立. 琼北火山活动分期与全新世岩浆演化[J]. 岩石学报, 2004, 20(3): 533—544.
Fan Qicheng, Sun Qian, Li Ni, Sui Jianli. Periods of volcanic activity and magma evolution of Holocene in North Hainan Island[J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20(3): 533—544. (in Chinese with English abstract)
- [17] Green D H, Ringwood A E. The genesis of basaltic magmas[J]. Contrib. Miner. Petrol., 1967, 15(2): 103—190.
- [18] 樊祺诚, 孙谦, 王旭龙, 尹功明, 龙安明, 尹克坚. 北部湾涠洲岛南湾火山砂岩捕虏体光释光(OSL)测年结果[J]. 地震地质, 2006, 28(1): 139—141.
Fan Qicheng, Sun Qian, Wang Xulong, Yin Gongming, Long Anming, Yin Kejian. OSL dating of a sandstone xenolith in the volcanic rocks of the Nanwan volcano, Weizhou Island (northern Gulf)[J]. Seismology and Geology, 2006, 28(1): 139—141. (in Chinese with English abstract)
- [19] 樊祺诚, 孙谦, 龙安明, 尹克坚, 隋建立, 李霓, 王团华. 北部湾涠洲岛及斜阳岛火山地质与喷发历史研究[J]. 岩石学报, 2006, 22(6): 1529—1537.
Fan Qicheng, Sun Qian, Long Anming, Yin Kejian, Sui Jianli, Li Ni, Wang Tuanhua. Geology and eruption history of volcanoes in Weizhou Island and Xieyang Island, Northern Bay[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(6): 1529—1537. (in Chinese with English abstract)
- [20] 樊祺诚, 刘若新, 魏海泉, 史兰斌. 腾冲活火山的岩浆演化[J]. 地质评论, 1999, 45: 895—904
Fan Qicheng, Liu Ruoxin, Wei Haiquan, Shi Lanbin. The magmatic evolution of the active volcano in the Tengchong Area[J]. Geol. Rev., 1999, 45: 895—904. (in Chinese with English abstract)
- [21] 赵勇伟, 樊祺诚. 腾冲马鞍山、打鹰山、黑空山火山岩浆来源与演化[J]. 岩石学报, 2009, 26(4): 1133—1140.
Zhao Yongwei, Fan Qicheng. Magma origin and evolution of Maanshan volcano, Dayingshan volcano and Heikongshan volcano in Tengchong area[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 26(4): 1133—1140. (in Chinese with English abstract)