

长白山天池火山双岩浆房岩浆作用与互动式喷发

樊祺诚¹, 隋建立¹, 李 霓¹, 孙 谦¹, 徐义刚²

1. 中国地震局 地质研究所, 北京 100029; 2. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广州 510640

摘要: 广义的长白山火山在我国境内包括天池火山、望天鹅火山、图们江火山和龙岗火山, 是我国最大的第四纪火山岩分布区。长白山各个火山区的火山活动具有此起彼伏的穿时性特征, 天池火山之下地壳和地幔两个岩浆房具有上下呼应、互动式喷发之特点。一方面来自地幔的钾质粗面玄武岩岩浆直接喷出地表, 在天池火山锥体内外形成诸多小火山渣锥; 另一方面钾质粗面玄武岩岩浆持续补给地壳岩浆房, 发生岩浆分离结晶作用和混合作用, 形成双峰式火山岩特征并触发千年大喷发。西太平洋板块俯冲-东北亚大陆弧后引张是长白山天池火山喷发的动力学机制。

关键词: 长白山天池火山; 双岩浆房; 岩浆作用; 互动式喷发

中图分类号: P317. 4; P541 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2802(2007)04-0315-04

The Magmatism and Interactive Eruption of the Two Magma Chambers in The Tianchi Volcano, Changbaishan

FAN Qi-cheng¹, SUI Jian-li¹, LI Ni¹, SUN Qian¹, XU Yi-gang²

1. Institute of Geology, Chinese Earthquake Bureau, Beijing 100029, China

2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

Abstract: Generally, the Changbaishan volcanic province (CBVP) includes the Tianchi volcano, the Wangtian 'e volcano, the Tumen volcano and the Longgang volcano. It is the biggest Quaternary volcanic province in China. The volcanism in the various volcanic areas in the CBVP is characterized with various chronological intervals. It is believed that two magma chambers, one in mantle and one in crust, were occurred beneath the Tianchi volcano. Magmatism of the two magma chambers is characterized with temporal inter-correlation and interactive magma eruption. In one hand, a part of the potassic trachybasalt magma, which was derived from the chamber in mantle, erupted directly on the surface to form many small cinder cones in the outer zone of the Tianchi Volcano cone. In the other hand, another part of the potassic trachybasalt magma had filled consistently into the magma chamber in crust from the chamber in mantle. Then the evolved magmas through the fractional crystallization in the magma chamber in crust had erupted on the surface lasting over one thousand years with the characteristics of the distribution of bimodal volcanic rocks. The geodynamic interpretation indicates that the volcanism of the Tianchi volcano in the CBVP was caused by the subduction of the western Pacific Plate and the subsequent back-arc extension of the north-east Asia subcontinent.

Key words: Changbaishan Tianchi volcano; two magma chambers; magmatism; interactive eruption

长白山天池火山是我国最具潜在喷发危险的火山, 近十年来我国在天池火山的研究与监测方面取得了重要进展, 本文简要探讨了天池火山地壳与地幔双岩浆房岩浆作用与互动式喷发。

1 长白山火山区概况

广义的长白山火山在我国境内包括天池火山、望天鹅火山、图们江火山和龙岗火山, 是我国最大的第四纪火山岩分布区(图 1)。除图们江火山岩为拉

收稿日期: 2007-05-26 收到, 06-29 改回

基金项目: 地震行业科研专项(08-27); 中国科学院同位素年代学和地球化学重点实验室项目(GIGIso-06-01)

第一作者简介: 樊祺诚(1948—), 男, 研究员, 从事火山与地球内部物质研究。E-mail: fqc@ies.ac.cn.

斑玄武岩外,其余火山的母岩浆都是钾质粗面玄武岩岩浆,但却经历了不同的演化。根据对各火山典型剖面的系统采样和 K-Ar 年龄测定,并综合以往资料,初步厘定了各火山区的活动历史。图们江火山和望天鹅火山活动始于上新世,喷发活动分别为上新世 - 中更新世 (5.5 ~ 0.19 Ma) 和上新世 - 早

更新世 (4.77 ~ 2.12 Ma)。天池火山和龙岗火山属第四纪火山,喷发活动从早更新世 (约 2 Ma) 持续到全新世^[1,2]。长白山各个火山区的火山活动时代有先后,但相互间又具有此起彼伏的穿时性特征。就天池火山而言,地壳和地幔上、下两个岩浆房的喷发活动还具有上下呼应、互动式喷发之特点。

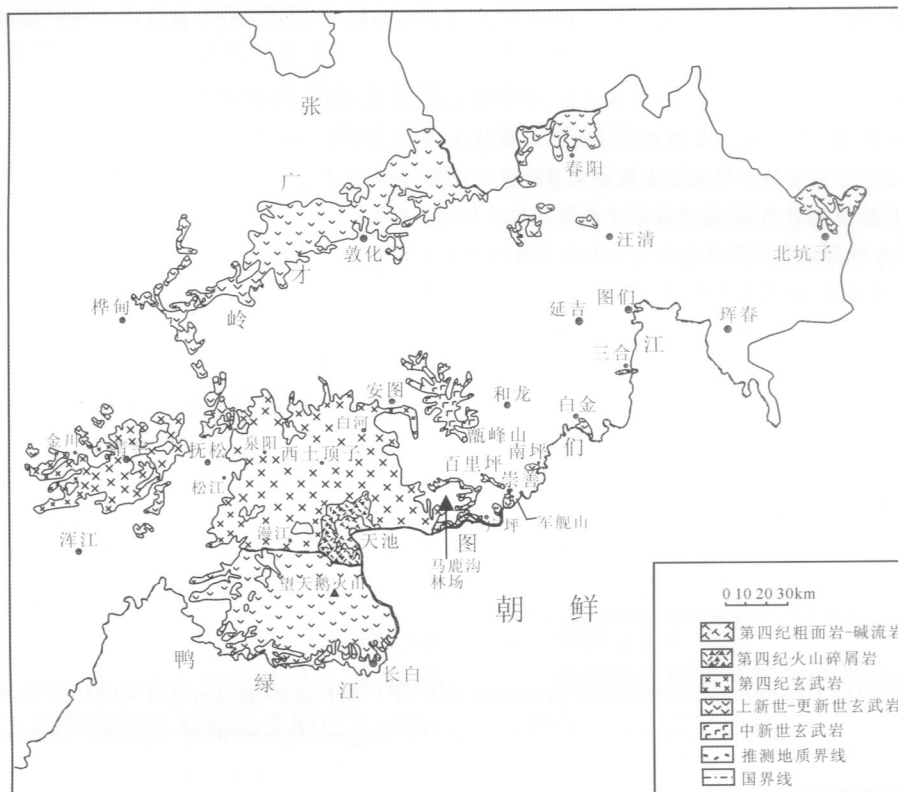


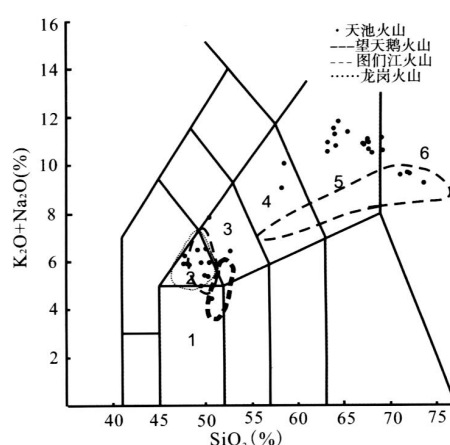
图 1 长白山及邻区新生代火山岩分布图

Fig. 1 Distribution of Cenozoic volcanic rocks in the Changbaishan and adjacent areas

望天鹅火山、天池火山和龙岗火山母岩浆都是钾质粗面玄武岩,但它们却经历了不同的演化过程。望天鹅火山和天池火山经历了钾质粗面玄武岩造盾、粗面岩造锥和晚期碱性酸性岩浆(碱流岩和碱性流纹岩)的喷发,形成双峰式火山岩分布特征;龙岗火山来自地幔的钾质粗面玄武岩岩浆则未经演化和混染而直接喷出地表,形成单一的钾质粗面玄武岩区。图们江火山岩以溢流式喷发的拉斑玄武岩为主,含有少量玄武质粗安岩和玄武质安山岩等(图 2)。火山岩微量元素和 Sr-Nd-Pb 同位素示踪揭示,长白山东(图们江火山、望天鹅火山和天池火山)、西(龙岗火山)两区显示地幔非均一性,东区岩浆源区具有软流圈地幔与富集岩石圈地幔混合特征,西区岩浆源区具有相对亏损的较原始地幔特征^[2]。

2 天池火山的地质与历史

天池火山的发展经历了粗面玄武岩造盾、粗面



1. 玄武岩; 2. 钾质粗面玄武岩; 3. 玄武质粗安岩; 4. 粗安岩; 5. 粗面岩; 6. 流纹岩

1. basalt; 2. potassic trachybasalt; 3. basaltic trachyandesite; 4. trachyandesite; 5. trachyte; 6. rhyolite

图 2 长白山火山岩 TAS 分类图

Fig. 2 TAS diagram of volcanic rocks from the Changbaishan volcanic province

岩、碱流岩造锥和全新世碱流质岩浆的爆破喷发。其锥体外围的东、北、西三个方向均可见呈“裙状”分布的熔岩盾,溢流式玄武质熔岩不整合覆盖在中生代花岗岩风化壳或其上覆砾石层之上,北沿松花江上游的头道白河和二道白河河谷钾质粗面玄武岩绵延几十公里以上,时代为 2.0 ~ 1.2 Ma 的早更新世^[1]。从早更新世晚期到晚更新世(约 1 ~ 0.023 Ma),天池火山溢出大量的粗面质、碱流质熔岩,兼有猛烈的爆发,构筑了高约1500 m 巨大的复式火山锥体^[1,3~5]。在天池南、北坡残存有天池火山全新世喷发原始剖面,灰白色千年大喷发的碱流质浮岩被覆于锥体粗面岩上,而最晚期喷发的黑色粗面质熔结凝灰岩又覆盖在千年大喷发的碱流质浮岩上,表明天池火山最终又以粗面质岩浆喷发告终。尽管迄今已积累了千年大喷发的数以百计的碳化木¹⁴C 年龄数据,天池火山千年大喷发已有共识,但确切的年代尚存争议^[6~8]。在千年大喷发之后,相继还有 1668 年、1702 年和 1903 年等多期中小规模喷发活动。

以往都将天池火山以东图们江流域的广坪、军舰山玄武岩作为天池火山锥体底盘或造盾玄武岩,最近对图们江流域火山岩的年代学和岩石学研究表明,这是一套上新世晚期 - 中更新世(5.5 ~ 0.191 Ma)喷发的溢流式拉斑玄武岩,而不同于天池火山造盾钾质粗面玄武岩,故不属于天池火山造盾玄武岩范围^[12]。

3 天池火山的岩浆演化

3.1 岩浆结晶分异作用

天池火山不同阶段火山岩相似的同位素组成说明它们是同源的玄武质岩浆演化的产物^[1,2,4,9,10]。钾质粗面玄武岩是其母岩浆,在天池火山造盾后,岩浆经历了地壳岩浆房的滞留和结晶分异作用。根据岩浆结晶演化规律,天池火山粗面岩和碱流岩属钾质粗面玄武岩岩浆演化的晚阶段或最终端员,如此巨量的酸性粗面质-碱流质岩浆不可能由岩浆混合形成,只能是岩浆结晶分异的产物,这与岩浆周期性补充、抽出和分离结晶作用模型(RTF)^[11,12]相一致。天池火山岩的矿物学、岩石主微量元素和同位素地球化学都支持岩浆结晶分异作用主导了天池火山岩浆的演化过程、形成双峰式火山岩特征的说法。

3.2 岩浆混合作用

天池火山千年大喷发的碱流质灰色浮岩中含有大量玄武质粗安岩、粗安岩角砾,且碱流质灰色浮岩与黑色玄武质粗安岩-粗安岩-粗面质过渡成分的浮岩呈条带状包裹关系,这提供了两种岩浆混合的证

据^[13]。碱流质浮岩中橄榄石与石英呈非平衡共生,长石、石英和橄榄石矿物普遍遭强烈熔蚀,常见筛状骸晶,也提供了两种岩浆混合的证据。天池火山千年大喷发的岩浆混合作用符合喷泉式岩浆混合机理^[14],来自地幔密度大的高温(1100 ~ 1200 °C)钾质粗面玄武质岩浆快速注入地壳相对低温(850 ~ 900 °C)的碱流质酸性岩浆房发生岩浆淬灭和混合作用,触发了天池火山布里尼式千年大喷发。随着玄武质岩浆的大量注入,地壳岩浆房温度升高,局部出现玄武质岩浆与碱流质岩浆的条带状混合。碱流质浮岩中发现的铁橄榄石与石英呈非平衡共生,大量熔蚀状矿物等岩相学特征,也为玄武质岩浆与碱流质岩浆发生强烈混合作用导致碱流质岩浆与玄武质粗安岩-粗安岩共喷发提供了证据。

3.3 千年大喷发的岩浆在地壳岩浆房的滞留时间

隋建立等^[15]根据 U-Th 矿物等时线年龄模型,指出天池火山千年大喷发的碱流质岩浆在岩浆房滞留时间在 100 ka 左右。这与我们对天池火山几个顶峰的造锥晚期粗面岩、碱流岩的年代学研究得出的粗面岩向碱流岩转型的时间基本一致,即晚更新世(约 100 ka)粗面质岩浆开始向更富挥发分的碱流质岩浆演化,碱流质熔岩的喷发活动持续到晚更新世^[1]。进入全新世碱流质岩浆向更富硅、碱和挥发分演化,最终酿成猛烈爆炸式喷发。

4 天池火山双层岩浆房互动式喷发

许多研究者根据天池火山岩浆演化、火山岩分布特征和地球物理深部探测证实,天池火山之下存在双层岩浆房^[1,4,13,16]。最近几年我们对天池火山锥体内

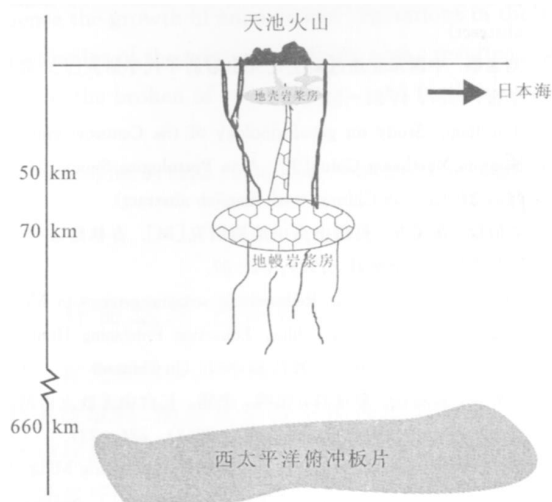


图3 天池火山双层岩浆房互动式喷发

Fig. 3 Magmatism and interactive eruptions of the two magma chambers beneath the Tianchi Volcano

外以往称之为老虎洞期玄武岩的野外地质考察发现,老虎洞、天池火山上山公路、老房子小山、赤峰等处都是钾质粗面玄武岩浆小规模喷发形成的火山渣锥,喷发年代贯穿了早更新世 - 晚更新世 (0.87 ~ 0.06 Ma),与造锥粗面岩持续的年代(约 1 Ma)相当^[1]。

这说明在天池火山来自地壳岩浆房粗面岩浆喷发造锥过程中,直接来自地幔的钾质粗面玄武岩浆的喷发活动没有间断过。一方面,来自地幔的钾质粗面玄武岩浆上升滞留在地壳岩浆房发生岩浆分离结晶作用和混合作用,形成双峰式火山岩分布特征和触发地壳岩浆房的喷发(如天池火山千年大喷发);另一方面,钾质粗面玄武岩浆直接喷出地表,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是长白山天池火山喷发的动力学机制(图 3)。

参考文献 (References):

- [1] 樊祺诚, 隋建立, 王团华, 李霓, 孙谦. 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, Li Ni, Sun Qian. 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)
- [2] 樊祺诚, 隋建立, 王团华, 李霓, 孙谦. 长白山火山活动历史、岩浆演化与喷发机制探讨[J]. 高校地质学报, 2007(出版中).
Fan Qicheng, Sui Jianli, Wang Tuanhua, Li Ni, Sun Qian. History of volcanic activity, magma evolution and eruptive mechanisms of the Changbai Volcanic Province[J]. Geological J. China Univer., 2007. in Press. (in Chinese with English abstract)
- [3] 刘嘉麒. 中国东北地区新生代火山岩的年代学研究[J]. 岩石学报, 1987, 4: 21 - 31.
Liu Jiaqi. Study on geochronology of the Cenozoic volcanic rocks in Northeast China[J]. Acta Petrologica Sinica, 1987, (4): 21 - 31. (in Chinese with English abstract)
- [4] 金伯禄, 张希友. 长白山火山地质研究[M]. 吉林延边: 东北朝鲜民族教育出版社, 1994: 34 - 37.
Jin Bolu, Zhang Xiyu. Redearching volcanic geology in Mount Changbai[M]. Yanbian, Jilin: Education Publishing House of Northeast Korea Nation, 1994: 34 - 37. (in Chinese)
- [5] 刘若新, 樊祺诚, 郑祥身, 张明, 李霓. 长白山天池火山的岩浆演化[J]. 中国科学(D 辑), 1998, 28(3): 226 - 231.
Liu Ruoxin, Fan Qicheng, Zheng Xiangshen, Zhang Ming, Li Ni. The magma evolution of Tianchi Volcano[J]. Science in China (series D), 1998, 28(3): 226 - 231. (in Chinese)
- [6] Gill G, Dunlap C, Mccurry M. Volcanism and global change [C]. 1992, March 23 - 27, Hill, Hawaii.
- [7] 刘若新, 仇士华, 蔡莲珍, 魏海泉, 杨清福. 长白山天池火山最近一次大喷发年代研究及其意义[J]. 中国科学(D 辑), 1997, 27(5): 437 - 441.
Liu Ruoxin, Chou Shihua, Cai Lianzhen, Wei Haiquan, Yang Qingfu. The date of last large eruption of Changbaishan-Tianchi volcano and its siglifacance[J]. Science in China (series D), 1997, 27(5): 437 - 441. (in Chinese)
- [8] Horn H, Schmincke H-S. Volatile emission during the eruption of Baitoushan Volcano (China/ North Korea) ca. 969 AD [J]. Bull. Volcano., 2000, 61: 537 - 555.
- [9] 解广轰, 王俊文. 长白山地区新生代火山岩的岩石化学及 Sr、Nd、Pb 同位素地球化学研究[J]. 岩石学报, 1998, 4: 1 - 12.
Xie Guanghong, Wang Junwen. Petrochemistry and Sr, Nd, Pb-isotopic geochemistry of Cenozoic volcanic rocks, Changbaishan area, Northeast China [J]. Acta Petrologica Sinica, 1998, 4: 1 - 12. (in Chinese with English abstract)
- [10] Basu A R, Wang J W, Huang W K. Major element, REE, and Pb, Nd and Sr isotopic geochemistry of Cenozoic volcanic rocks of their origin from suboceanic-type mantle reservoirs [J]. Earth Planet. Sci. Lett., 1991, 105: 149 - 169.
- [11] O'Hara M J. Geochemical evolution during fractional crystallization of a periodically refilled magma chamber[J]. Nature, 1977, 266: 503 - 507.
- [12] O'Hara M J, Mathews R E. Geochemical evolution in an advancing, periodically replenished, periodically tapped, continuously fractionated magma chamber[J]. J. Geol. Soc., 1981, 138: 237 - 277.
- [13] 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)
- [14] Campbell IH, Turner JS. Fountain in magma chambers[J]. J. Petrol., 1989, 30: 885 - 923.
- [15] 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. A 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)
- [16] 汤吉, 赵国泽, 王继军, 詹燕, 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)