

中国物理火山学研究进展评述

刘永顺, 聂保锋, 彭 年

首都师范大学 资源环境与旅游学院, 北京 100048

摘要:应用物理原理研究不同规模和时间尺度火山活动的动力过程, 近年来不断受到中国火山学者的关注。过去几年, 中国第四纪火山区内火山活动的物理过程研究取得了一些有价值的进展。本文重点总结和评述了岩浆房的固结、岩浆房的分离结晶和活动稳定性、火山通道和喷发柱的动力学、火山碎屑流与熔岩流运移与就位的物理过程。对火山碎屑物与熔岩流的分形特征以及岩浆房的动力系统中存在的非线性过程进行了特别的评价和展望。

关键词:岩浆房; 火山通道; 火山喷发柱; 就位过程; 物理机制; 非线性过程

中图分类号: P588.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2802(2011)04-0375-07

Physical Volcanology Progresses in China: An Overview

LIU Yong-shun, NIE Bao-feng, PENG Nian

College of Resources, Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China

Abstract: Many significant progresses were obtained on the physical processes of volcanic activities in the Quaternary volcanic area in China during the past few years. The physical processes of solidification, fractional crystallization and stability of magma chambers, the dynamics of volcanic conduits and eruption columns, and the transport and emplacement of pyroclasts and lava flows are addressed and reviewed. The fractal characteristics of pyroclasts and lava flows and the nonlinear processes existing in the dynamic system of magma chambers are commented, especially.

Key words: magma chamber; volcanic conduit; eruption column; emplacement processes; physical mechanism; nonlinear processes

物理火山学是一门交叉学科, 它把物理学(特别是热动力学)、流体力学、流变学和地球物理学的基本原理应用到火山学和火山地质学的研究, 尤其是应用到岩浆房的岩浆演化、火山通道的岩浆运移、喷发柱的形成和演化、火山碎屑流的运移和堆积的物理过程研究中^[1~6]。它以火山活动过程的物理变量(如温度、压力、粘度、密度、屈服强度等)及其随时间的动力变化为基础, 探讨火山不同活动过程的动力机制、时空结构及其联系。

20 世纪 80 年代末到 90 年代初期, 岩浆运移和火山喷发过程中的物理问题开始为国内地质学家和

火山学家关注^[7~10]。至 1990 年代末, 对中国全新世潜在喷发火山的物理火山学的研究逐渐开展起来, 中国火山学家、岩石学家、地球物理学家在注重地质、地球物理方法研究火山活动性的同时, 开始探索从物理学角度研究火山活动机制^[11~14]。近年来, 随着研究的不断深入, 在岩浆房固化过程、岩浆房分离结晶、岩浆房稳定性、火山通道和火山喷发柱的动力过程以及火山碎屑流与熔岩流的运移和就位机制等方面受到了重视, 对火山活动现象的物理解释取得了新的进展。这些工作极大地促进了物理火山学这一交叉学科的发展, 并引起了更多学者的关注。

收稿日期: 2011-01-23 收到, 03-25 改回

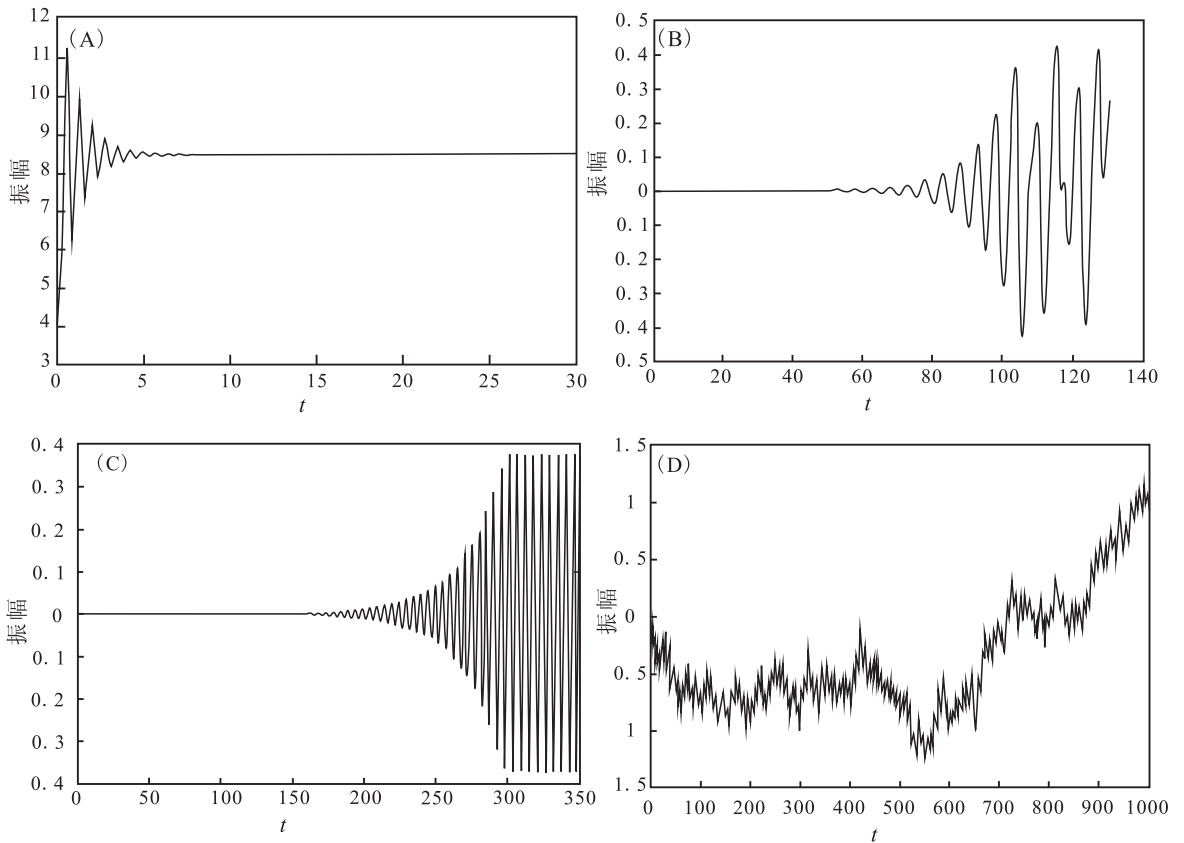
基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40472039, 40872062); 北京市自然科学基金资助项目 (1082006); 北京市教委科技计划资助项目 (08530568199)

第一作者简介: 刘永顺(1966—), 副教授, 火山学、岩石学专业. E-mail: cnu901@126.com.

1 岩浆房演化的物理过程

岩浆房系统的稳定性取决于岩浆房本身的冷却和内部运动,以及岩浆房周围岩体的挤压和振动等外界因素。一定条件下,外部因素可能起到更为重要的作用。应用岩浆房和围岩之间耦合作用的多自由度耗散系统的杜芬方程,彭年等^[15,16]研究了中国东北地区五大连池新期火山老黑山岩浆房的稳定

性。岩浆房活动的动力过程的复杂性展示出 4 种类型:耗散型(不动点)、崩溃型、稳定型(极限环)和混沌型(奇怪吸引子)(图 1)。运用非线性科学中的同步化理论进一步研究了岩浆房的演化特征,结果表明,当岩浆房演化逼近其各自吸引子的临界状态时,岩浆房振子的相位被严格锁定。这个结果对于通过地震数据预测火山活动有重要意义。



(A)耗散型(不动点);(B)崩溃型(崩溃前的微弱振荡);(C)稳定型(极限环);(D)混沌型(奇怪吸引子)

(A)dissipation(fixed point attractor);(B)collapse(faint vibration before collapse);(C)stabilization (limit cycle attractor);(D)chaos(strange attractor)

图 1 岩浆房的四种振荡类型^[15]

Fig. 1 Four types of vibration in a magma chamber^[15]

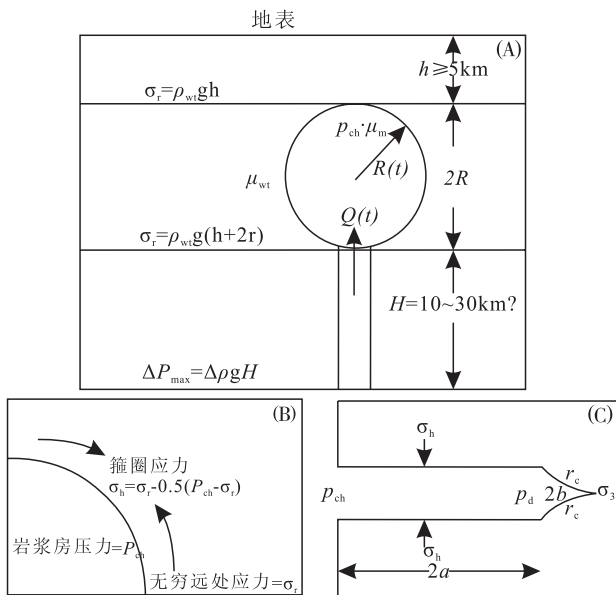
基于岩浆房的热传导方程,探索了岩浆房的固结状态,计算结果表明五大连池老黑山火山岩浆房固结与否与岩浆房的围岩的受热历史存在密切关系^[15],而且 1720~1721 年喷发的老黑山火山的地壳浅部岩浆房内的岩浆已接近完全固结。

熔体结构对岩浆的物理和热力学性质起着重要的制约作用。用镜泊湖全新世火山岩浆的主要元素和挥发分含量,计算出了其岩石的熔体结构的 NBO/T 值^[17](每个四次配位阳离子所含有的非桥氧数)。NBO/T 值越高的岩浆,喷发时溢流出的熔岩比例越高,熔岩流动的距离越长,越有利于熔岩

隧道的形成,而 H_2O^+ 和 F 相对也更富集。

最近,长白山天池火山下岩浆柱中岩浆上升的动力学过程的研究有了新的进展。基于岩浆房压力、岩墙尖端压力与箍圈应力关系的物理模型(图 2),长白山区天池火山岩浆房加压作用与岩墙上升传导过程的火山动力学得到了研究^[18]。千年大喷发时,天池火山碱流质喷发期的岩浆房的岩浆超压的极大值可达 6.25 MPa,层状岩浆房半径 3.5 km,喷出岩浆层厚 700 m,喷出岩浆体积 30 km³。粗面质喷发期的岩浆房的岩浆超压极大值超过 15 MPa。千年大喷发时临界喷发的熔体粘度超过 2.7×10^{10}

Pa/s。气象站寄生火山喷发前临界喷发熔体粘度达 1.2×10^{11} Pa/s,这与岩浆中晶体和气泡的含量较高相一致。通过研究,作者认为千年大喷发级别的火山大喷发周期达上万年,远大于喷发周期几百年的小规模寄生喷发。地壳深部演化形成的残余熔体带一旦形成,将抑制玄武质岩浆的喷发,导致岩浆房系统热效率增强,增大了残余熔体的产生率。大量演化的碱流质残余熔体在全新世形成,随后不稳定地侵入到上地壳,形成可以导致破火山口大喷发的岩浆房。



(A) 岩浆房深度、尺寸、围岩性质与下部岩浆补给量限定的岩浆房压力; (B) 岩浆房周边箍圈应力制约着岩墙的形成; (C) 岩墙尺寸、尖端曲率半径与初始岩浆压力决定了岩墙内部压力,图 2c 的岩浆上升方向相当于图 2a 顺时针旋转 90°
 (A) The chamber pressure is limited by its depth, scale and wall-rock properties as well as the flux recharged from below;
 (B) The hoop stress around the chamber controls the formation of dyke;
 (C) The dyke scale, tip radius of curvature and initial magma pressure decides the internal pressure of dyke;
 The uprising direction of magma in Fig. 2c is identical to 90° clockwise rotation of Fig. 2a

图 2 岩浆房压力、岩墙尖端压力与箍圈应力关系示意图^[18]
 Fig. 2 Schematic diagrams of relationships of chamber pressure, dyke pressure and hoop stress^[18]

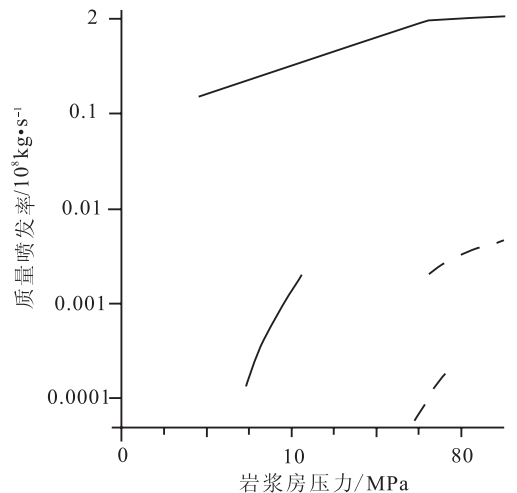
2 火山通道和火山喷发柱动力学

火山喷发柱的活动机制可以通过射流理论方面进行讨论^[19]。在火山通道的下部,岩浆的上升速率和岩浆的粘度、密度和压力密切相关。魏海泉等^[20]应用粘性流体模型模拟了岩浆上升的流体动力学过程。在火山通道的中部,含气泡的岩浆上升时,液相

和气相的相态转换遵守质量守恒方程,整体混合物遵守动量方程,而气泡的成核和生长过程遵守达西定律。在火山通道上部的碎屑化带内,气体组分(包括自由气体和大碎屑中的气体)遵守质量守恒方程,混合相遵守动量守恒方程。

天池火山千年大喷发时,岩浆通道的直径约为 62 m,岩浆房中的岩浆含有约 3% 体积百分数的气泡;当气泡体积达到 65% 时,岩浆发生破碎化,碎屑颗粒以 145 m/s 的速度喷出火山出口,气体喷出通道时的速度为 170 m/s。气体-颗粒混合相喷出时的压力约 12.2 MPa。在破火山口塌陷之前,岩浆房中气泡体积可高达 30%~40%,从而导致碎屑化发生时岩浆的孔隙度也增加到 70%~75% 左右,气体喷出速度达 180 m/s,喷出压力降低至 7~8 MPa。

气象站寄生火山喷发是一次较弱的爆炸性喷发和侵出式喷发,火山通道直径约为 40 m,喷发时气体喷出速度为 15~25 m/s。浮岩的孔隙度为 48%~61%,比千年大喷发的浮岩孔隙度低,浮岩密度相比较较高,为 1.01~1.35 g/cm³。侵出相喷发时,最高释放率可以达到 42 m³/s(致密岩石当量),孔隙度变化范围是 70%~80%(图 3)。这些物理参数的获得为进一步认识天池火山及其寄生火山的喷发过程、碎屑化机制、脱气过程提供了基础。



实线为千年大喷发曲线,虚线为碱流质寄生火山活动曲线;上部曲线为爆炸性喷发曲线,下部为侵出式喷发曲线
 The real line shows Millennium eruption, and the dash line is the curve of the activity from comenditic parasitic volcano; The upper two lines describe the explosive eruption, and the lower two lines are extrusive eruption
 图 3 天池火山岩浆房压力与喷发速率图解^[20]
 Fig. 3 Relationship between magma chamber pressure and eruption rate of the Tianchi volcano^[20]

射气岩浆喷发是一种特殊类型的火山活动,水在这类火山活动中起到至关重要的作用。对射气岩浆喷发作用及其产物进行详细的野外观测研究,是揭示其成因机制的基础。中国东北和华南地区广泛存在着基浪堆积和玛尔湖相堆积,针对中国广西北部湾周边第四纪火山区大量存在的射气岩浆喷发成因的低平火山口和基浪堆积物,孙谦等讨论并总结了基浪堆积物的地质特征、射气岩浆喷发形成的基本条件、喷发过程的动力学机制以及基浪流的搬运和沉积模式,以及这类火山活动特有的属性^[21]。

从岩浆的传输、富集、上升到喷发,火山活动不同阶段蕴含着不同的动力学过程,这些因素的耦合决定了火山不同发展阶段。火山活动从岩浆补给到岩浆喷发的物理状态可分为三个阶段:岩浆补给阶段、通道形成阶段和岩浆运移与失稳喷发阶段^[22]。根据这些阶段的作用机制的研究,以及火山活动状态与火山喷发危险性等级关系的探索,提出中国火山危险性可分成7个等级,即休眠、平静、扰动、动荡、临界、活动、灾变。

3 火山碎屑物的运移和就位过程

3.1 空降堆积动力过程和模拟

爆炸性火山喷发可产生火山喷发柱,它们运移大量的碎屑颗粒和气体进入对流层和平流层。火山碎屑颗粒一旦离开运移系统,在重力作用下,依其颗粒大小和密度的不同,遵循不同的路径落回地面^[3]。火山碎屑物动力过程的研究,对火山活动区的灾害评估和减灾防灾有积极的意义。

赵谊等^[23]采用 Suzuki^[24]提出的火山灰扩散数值模拟的数学模型,研制出了可用于单个火山一次性喷发事件的碎屑物空降沉积分布的实用程序。结合长白山天池火山前人研究所获得的动力学参数,对长白山天池火山喷发空降碎屑厚度的分布进行了模拟应用。张程远等^[25]进一步改进了 Suzuki 二维扩散模型,并以此来模拟火山喷发碎屑物的分布,获得了沉降沉积物的多峰结构以及第二沉降峰的分布特征,讨论了风速效应和扩散参数。天池火山的火山碎屑物的最新模拟工作表明多数火山灰是聚集在火山喷发柱的顶部,而且不同粒径的颗粒降落速率和扩散浓度不同^[26](图4)。

刘永顺等最近探讨了火山弹和火山岩块的动力过程。火山弹和火山岩块的动力过程可以划分为三个阶段:在火山口中的形成、从火山喷口到落地点的弹道飞行以及与地面碰撞的落地变形。对每个阶段,都分析了主控因素,提炼了各阶段的基本运动与

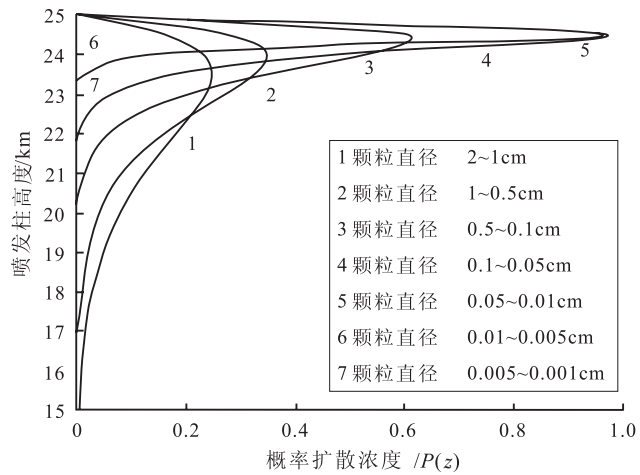


图4 不同颗粒尺寸对应的概率扩散浓度^[26]

Fig. 4 The probability density of diffusions of the different dimension particles^[26]

成因模式,并以爆炸力学与流体力学为基础建立了主控因素和过程的函数联系。对火山爆炸产生的火山弹和火山岩块的(特别是斯通博利型和夏威夷型火山喷出的)速度分布以及与初射角的关系的研究表明:火山弹和火山岩块的最大水平抛射距离的最佳角度范围是 $55^{\circ}\sim 75^{\circ}$,而 65° 可以作为除要求极其精确外的多数情况的理论和应用的最佳数值(尚未发表资料)。

3.2 熔岩流的就位机制

熔岩流的流动速度和距离,对火山区火山未来喷发的灾害影响有重要参考价值。结合熔岩流温度与密度等物理参数,计算了海南岛琼北全新世火山区熔岩流流动速度等参数^[27]。其速度众值在0.5 m/s左右,底部剪切力约为5000 Pa。虽然喷发持续的时间可达数月或数年,但8 m厚的熔岩流可以在一天时间到达它的最远处。熔岩流以1~10 m/s的速度从源区开始最远可运移到8 km。靳晋瑜等^[28]通过野外研究获得了地表坡度和熔岩流厚度,基于计算的温度、密度与粘度等物理参数,得到了天池火山东北侧玄武质熔岩流的流动速度以及熔岩流到达它最远处的时间。作者指出具有5%晶体含量的0.5 m厚的玄武质熔岩流的速度小于1 m/s,而熔岩流厚度增加到2 m时速度可达到10 m/s。如果厚度为0.5 m的玄武质熔岩流的晶体含量增加到30%,则流动速度就急剧减小到0.12 m/s以下。虽然天池火山东北部的2 m厚的碱性玄武质熔岩流可能在不到一天的时间内到达它的最远距离,但0.5 m厚的同样的熔岩流却需要10天到达它的最远距离。

老黑山结壳熔岩、渣状熔岩边界的分形维数以及熔岩流剖面中气孔分布的分形维数的计算结果表明熔岩流边界和气孔分布在统计上具分形特征^[29]。熔岩流边界的分形特征揭示出熔岩流就位过程受非线性行为控制。

3.3 火山碎屑颗粒形成机制

爆炸性火山喷发形成的火山碎屑颗粒的粒度、分选性、表面结构和内部结构等特征同火山喷发的机制、岩浆和火山碎屑的运移过程、挥发分含量及其与岩浆作用的程度有着密切的联系。

野外研究显示,吉林龙岗火山有三种火山喷发类型,即射气喷发、射气岩浆喷发和岩浆喷发。不同类型的喷发形成的火山碎屑具有不同的粒度和形貌。运用分形理论分析了吉林龙岗火山不同碎屑物的粒度的分形特征结果显示,射气岩浆喷发碎屑物分维值小于射气喷发碎屑物分维值,却大于岩浆喷发碎屑物分维值^[30](图5)。分维值可作为区分火山不同喷发类型的定量参数。对于龙岗金龙顶子火山,在隔水层之上,剖面中的火山碎屑分维值大于2,而小金龙顶子的下部剖面中的火山碎屑的分维值小于2。火山碎屑物的分维值可作为区分不同喷发源和划分火山喷发地层序列的一种指标,分维值小于2的火山碎屑拥有不同含量的非等轴颗粒,而且分维值与非等轴颗粒的含量呈负相关。

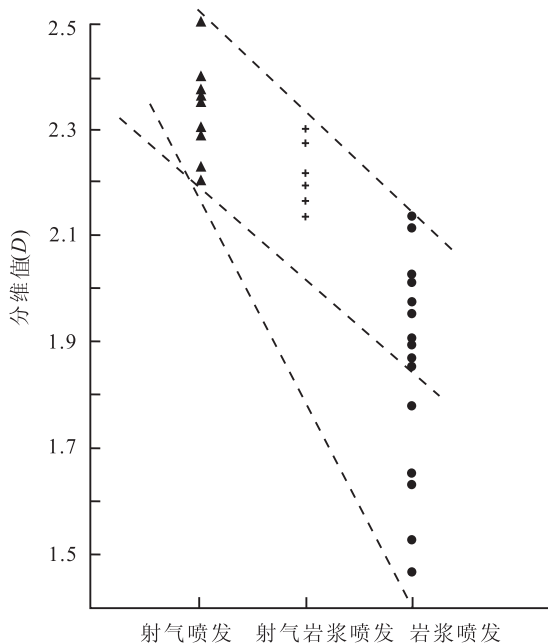


图5 不同喷发类型火山碎屑分维值^[30]
Fig. 5 The fractal dimension of pyroclasts of the different eruption types ^[30]

运用光学显微形貌观测、粒度分析和扫描电镜形貌观测,研究龙岗火山群南龙湾火山的一个剖面不同层位火山碎屑颗粒^[31],结果表明,射气爆发、射气岩浆爆发和岩浆喷发的火山碎屑颗粒,具有不同的成分和形貌特征,火山碎屑颗粒大小分布特征与喷发类型之间存在很好的对应关系,不同爆发类型具有不同分维值范围。选取天池火山白浮岩气孔的大小、数密度和形貌特征,并与黄浮岩、黑浮岩进行了比较,通常,白浮岩的气孔的数密度大于黄浮岩、黑浮岩,这些现象和规律是酸性浮岩气孔形成物理机制的反映^[32]。

4 结 语

应用物理学原理研究不同规模和时间尺度火山活动的动力过程,近年来不断受到中国火山学者的关注。从物理火山学的角度,本文总结和评述了近年来中国火山学者对各种火山动力过程的研究成果和新进展。这些进展大多是基于野外观察、实验研究和理论计算获得的,研究结果与真实的火山活动动力学的总体行为比较吻合。为了促进物理火山学的发展,未来需要更加细致地研究火山活动过程中所展现的各种物理现象和过程,增强实验和数值模拟方面的研究,以便能更精确地认识火山活动的规律,进而为灾害评估和预防灾害服务。更重要的是,火山活动所涉及的各种领域和过程具有系统及其演化的行为和特征,火山系统中蕴含着丰富的复杂性和非线性行为。为认识火山活动的规律,发展物理火山学,探求火山灾害的评价和预测理论,开展火山系统的复杂性和非线性动力学方面的探索是十分必要的,而且前景广阔。

参考文献 (References):

[1] Sparks R S J, Bursik M I, Carey S N, Gilbert J S, Glaze L S, Siggurdsson H, Woods A W. Volcanic plumes [M]. New York: John Wiley and Sons, 1997: 1-574.

[2] Gilbert J S, Sparks R S J. The physics of explosive volcanic eruptions[M]. Special Publication of the Geological Society of London, 1998:1-186.

[3] Freundt A, Rosi M. From magma to tephra: Modelling physical processes of explosive volcanic eruptions[M]. New York: Elsevier, 1998: 1-318.

[4] Dobran L. Volcanic processes: mechanisms in material transport[M]. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2001: 1-535.

[5] Sigurdsson H, Houghton B, McNutt S R, Rymer H, Stix J. Encyclopedia of volcanology [M]. New York: Academic Press, 2000:1-1417.

- [6] Parfitt E A, Wilson L. Fundamentals of physical volcanology [M]. Oxford: Wiley-Blackwell Publisher, 2008:1-256.
- [7] 马昌前. 岩浆活动中某些动力学参数的估算方法——流体力学原理的应用[J]. 地质科技情报, 1986, 5(3): 47-54.
Ma Changqian. The estimative methods of some dynamic parameters in the magmatic activities-Application of fluid dynamics[J]. Geological Science and Technology Information, 1986, 5(3): 47-54. (in Chinese)
- [8] 邓晋福. 岩浆的密度、结构及流体力学[J]. 地质科技情报, 1989, 8(3): 11-17.
Deng Jinfu. Magma density, structure and fluid dynamics[J]. Geological Science and Technology Information, 1989, 8(3): 11-17. (in Chinese)
- [9] 魏海泉, 孙善平, 李家振. 火山喷发物理作用——火山地质学前沿课题[J]. 地质科技情报, 1991, 10(1): 24-31.
Wei Haiquan, Sun Shanping, Li Jiazhen. Physical process of volcanic eruption-frontier subject of volcanology[J]. Geological Science and Technology Information, 1991, 10(1): 24-31. (in Chinese with English abstract)
- [10] 赵海玲. 岩浆物理性质和流体力学[M]. 北京: 地震出版社, 1995:1-172.
Zhao Hailing. Physical properties and fluid dynamics of magma[M]. Beijing: Seismological Press, 1995: 1-172. (in Chinese)
- [11] 刘若新. 长白山天池火山近代喷发[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 1-165.
Liu Ruoxin. The modern eruption of Changbaishan Volcano [M]. Beijing: Science Press, 1998: 1-165. (in Chinese)
- [12] 吴才来, 李兆鼎, 尚如相. 长白山地区新生代火山岩浆作用动力学及环境效应[J]. 中国区域地质, 1998, 17(3): 291-299.
Wu Cailai, Li Zhaonai, Shang Ruxiang. Dynamics of Cenozoic volcanism and its environmental effect in the Changbai Mountain area, Northeast China[J]. Regional Geology of China, 1998, 17(3): 291-299. (in Chinese with English abstract)
- [13] 郭正府, 刘嘉麒, 邓晋福. Plinian式火山喷发柱最大高度定量计算模式探讨[J]. 地质科技情报, 1998, 17(1): 103-107.
Guo Zhengfu, Liu Jiaqi, Deng Jinfu. Quantitative calculation model of the maximum height of Plinian volcanic eruption columns[J]. Geological Science and Technology Information, 1998, 17(1):103-107. (in Chinese with English abstract)
- [14] 杨清福, 李继泰, 刘若新, 孙国军. 长白山天池火山公元750-960年浮岩流搬运与堆积的物理机制[J]. 地震地磁观测与研究, 1996, 17(6): 11-19.
Yang Qingfu, Li Jitai, Liu Ruoxin, Sun Guojun. Physical mechanism of 750-960AD pumice-flow transport and deposit of Tianchi volcano, Changbaishan[J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 1996, 17(6): 11-19. (in Chinese with English abstract)
- [15] 彭年, 刘永顺, 韦玉凤. 五大连池新时期火山岩浆房动力稳定性探讨[J]. 岩石矿物学杂志, 2005, 24(3): 197-204.
Peng Nian, Liu Yongshun, Wei Yufeng. The stability of the magma chamber under Wudalianchi modern volcanoes[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2005, 24(3): 197-204. (in Chinese with English abstract)
- [16] Peng N, Liu Y S, Nie B F. Synchronization analysis of stability of magma chamber[A]. The 12th Conference of the International Association for Mathematical Geology, IAMG[C]. 2007: 231-234.
- [17] 王福生, 张招崇, 李树才. 镜泊湖地区全新世火山岩熔体结构及其与某些岩浆动力学过程关系探讨[J]. 岩石矿物学杂志, 2004, 23(4): 313-317.
Wang Fusheng, Zhang Zhaochong, Li Shucai. Melt structure of Jingpohu Holocene volcanic rocks and its relation to some magmatic dynamics [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2004, 23(4): 313-317. (in Chinese with English abstract)
- [18] 魏海泉. 长白山火山岩浆柱岩浆上升作用过程[J]. 地学前缘, 2010, 17(1): 11-23.
Wei Haiquan. Magma up moving process within the magma prism beneath the Changbaishan volcanoes[J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17(1): 11-23. (in Chinese with English abstract)
- [19] 穆大卫, 刘永顺, 彭年. 火山喷发柱物理机制的理论探讨[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2006, 27(4): 87-90.
Mu Dawei, Liu Yongshun, Peng Nian. Theoretic discussion of physical mechanism of volcanic plume[J]. Journal of Capital Normal University (Natural Science Edition), 2006, 27(4): 87-90. (in Chinese with English abstract)
- [20] 魏海泉, Melnik O, 刘永顺, Barmin A, Sparks R S J. 火山通道岩浆流动动力学模型在天池火山喷发过程中的应用[J]. 岩石学报, 2006, 22(12): 3007-3013.
Wei Haiquan, Melnik O, Liu Yongshun, Barmin A, Sparks R S J. Conduit modeling of magma flow dynamics: A case study on the eruption process at the Tianchi volcano[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(12): 3007-3013. (in Chinese with English abstract)
- [21] 孙谦, 樊祺诚. 火山射气岩浆喷发作用研究进展[J]. 岩石学报, 2005, 21(6): 1709-1718.
Sun Qian, Fan Qicheng. Study progress on volcanic phreatomagmatic eruption [J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21(6): 1709-1718. (in Chinese with English abstract)
- [22] 洪汉净, 刘辉. 火山活动状态及其机理的初步探讨[J]. 地震地质, 2007, 29(3): 502-512.
Hong Hanjing, Liu Hui. Preliminary study on active states of volcano and their mechanisms[J]. Seismology and Geology, 2007, 29(3): 502-512. (in Chinese with English abstract)
- [23] 赵谊, 张程远, 席道瑛. 火山碎屑空降沉积的二维数值模拟[J]. 地震地质, 2002, 24(3): 377-386.
Zhao Yi, Zhang Chengyuan, Xi Daoying. 2D-numerical simulation of dispersion of tephra fallout[J]. Seismology and Geology, 2002, 24(3):377-386. (in Chinese with English abstract)

- [24] Suzuki T. A theoretical model for dispersion of tephra[A]. Shimozuru D, Yokoyama I. Arc Volcanism: Physics and Tectonics[M]. Tokyo: Terra Scientific Publishing Company, 1983, 1—263.
- [25] 张程远, 席道瑛, 刘小燕, 高尔根, 赵谊. 火山喷发沉降物扩散理论模型[J]. 自然灾害学报, 2003, 12(1): 109—115. Zhang Chengyuan, Xi Daoying, Liu Xiaoyan, Gao Ergen, Zhao Yi. A theoretical model for diffusion of volcanic eruptive sediment[J]. Journal of Natural Disasters, 2003, 12(1): 109—115. (in Chinese with English abstract)
- [26] 于红梅, 许建东, 赵谊. 长白山天池火山千年大喷发空降碎屑物的数值模拟[J]. 地震地质, 2007, 29(3): 522—534. Yu Hongmei, Xu Jiandong, Zhao Yi. A numerical simulation of tephra transport and deposition for Millennium eruption of Changbaishan Tianchi volcano[J]. Seismology and Geology, 2007, 29(3): 522—534. (in Chinese with English abstract)
- [27] 魏海泉, 白志达, 李战勇, 孙谦, 樊祺诚, 史兰斌, 张秉良, 徐德斌, 胡久常, 肖劲平, 卢永健. 琼北全新世火山区熔岩流流动速度的恢复与火山灾害性讨论[J]. 地质论评, 2005, 52(1): 27—35. Wei Haiquan, Bai Zhida, Li Zhanyong, Sun Qian, Fan Qicheng, Shi Lanbin, Zhang Bingliang, Xu Debin, Hu Jichang, Xiao Jinping, Lu Yongjian. Flow velocity and hazard assessment of the Holocene lava flows in the northern Hainan Island[J]. Geol. Rev., 2005, 52(1): 27—35. (in Chinese with English abstract)
- [28] 靳晋瑜, 魏海泉, 盘晓东. 长白山天池火山造盾熔岩流流动速度的恢复与溢流性灾害讨论[J]. 地震地质, 2006, 28(3): 381—390. Jin Jinyu, Wei Haiquan, Pan Xiaodong. A physical simulation on the lava flow age parameters and hazards prediction of Changbaishan Tianchi volcano[J]. Seismology and Geology, 2006, 28(3): 381—390. (in Chinese with English abstract)
- [29] 李永生. 五大连池老黑山熔岩流分形特征及其成因研究[D]. 北京: 首都师范大学资源环境与旅游学院, 2009. Li Yongsheng. Fractal properties and their geneses of lava flows of Laoheishan Volcano, Wudalianchi[D]. Beijing: College of Resources, Environment and Tourism, Capital Normal University, 2009. (in Chinese with English abstract)
- [30] 张秉良, 白志达, 洪汗净, 徐德斌, 盘晓东. 吉林龙岗火山碎屑分形研究[J]. 地震地质, 2005, 27(3): 462—469. Zhang Bingliang, Bai Zhida, Hong Hanjing, Xu Debin, Pan Xiaodong. A fractal study on the pyroclasts from the Longgang volcano, Jilin Province[J]. Seismology and Geology, 2005, 27(3): 462—469. (in Chinese with English abstract)
- [31] 于红梅, 许建东, 林传勇, 赵波. 吉林省龙岗火山群南龙湾第四纪火山碎屑颗粒特征研究[J]. 岩石学报, 2008, 24(11): 2621—2630. Yu Hongmei, Xu Jiandong, Lin Chuanyong, Zhao Bo. Study on the characteristics of Quaternary volcanic pyroclasts from Nanlongwan volcano, Longgang volcanic cluster, Jilin Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(11): 2621—2630. (in Chinese with English abstract)
- [32] 缪瑞彬. 长白山天池火山千年大喷发浮岩的气孔分布和形成机制研究[D]. 北京: 首都师范大学资源环境与旅游学院, 2008. Miao Ruibin. Vesicles distribution and their genetic mechanism of the pumices from the Millennium eruption in Tianchi Volcano, Changbaishan area [D]. Beijing: College of Resources, Environment and Tourism, Capital Normal University, 2008. (in Chinese with English abstract)

· 学会之声 ·

关于举办第 14 届侯德封矿物岩石地球化学青年科学家奖的通知

我会将在 2012 年举办第 14 届侯德封矿物岩石地球化学青年科学家奖, 评选将按照 2005 年年修订的“实施办法”执行。本届侯德封奖将从 2011 年 11 月 1 日起开始受理, 至 2012 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 2012 年元月 1 日前未满 40 周岁(1972 年元月 1 日后出生), 无论是否系我会会员, 只要通过上述三条渠道之一者均可成为正式申请人。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.csmpg.org.cn>.

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: csmpg@vip.skleg.cn; 联系人: 刘莉。

中国矿物岩石地球化学学会

2011 年 10 月