

马哈瑞, 盛俭, 杨清福. 深部构造对吉林省东部火山与深震活动影响[J]. 灾害学, 2018, 33(1): 44-48. [MA Hanrui, SHENG Jian and YANG Qingfu. Influence of the Deep Geological Tectonics on the Volcano and Deep Earthquakes in the East Area of Jilin Province[J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(1): 44-48. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2018.01.009.]

深部构造对吉林省东部火山与深震活动影响^{*}

马哈瑞¹, 盛 俭², 杨清福³

(1. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081; 2. 南京工业大学 交通运输工程学院, 江苏 南京 210009;
3. 吉林省地震局, 吉林 长春 130117)

摘 要: 通过岩石化学分析手段及地球物理数值模拟方法, 分析深部构造对长白山火山岩浆起源和深源地震发震机制的影响, 认为长白山火山岩浆起源于地幔源区, 并与太平洋板块深部俯冲有关; 西太平洋板块深部脱水, 产生陆内火山岩浆; 俯冲板块的深部脱水产生的裂隙(断裂)可能是长白山区深源地震发震原因, 且深源地震与火山作用有一定关联性。

关键词: 吉林省东部; 火山; 深源地震; 深部构造

中图分类号: X43; P315 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2018)01-0044-05

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2018.01.009

吉林省东部位于西太平洋板块俯冲带前缘, 华北克拉通的东北缘。特殊的构造位置造就了该地区地球构造上的鲜明特点, 主要表现为两方面, 一是发育有远离海沟(约1 000 km)的陆内火山(如长白山等), 另一个是存在着深源地震区(珲春深震区)(图1)。火山造成的灾害众所周知, 可对人类赖以生存的环境造成不可估量的破坏和影响, 是危害严重的自然灾害之一。吉林省东部火山以长白山火山为代表, 是一个陆内层状复式活火山群, 全新世以来, 经历过多次爆炸式喷发, 其中喷发规模最大的千年大喷发(938-946 AD)产生的火山灰、浮岩、灰尘覆盖了中朝边界约33 000 km²地区^[1-2], 此外火山喷发柱坍塌产生的火山碎屑流、火山泥石流覆盖半径50 km的区域, 其内原始森林及生物尽毁, 造成了巨大的地质灾害。长白山火山现今处于千年大喷发和世纪小喷发循环的节点, 具有很强的喷发危险和潜在爆发灾害性^[3-6]。深源地震由于其震源深度很深(>300 km)往往不被人们所感知, 且一般不会造成严重灾害, 但很多学者对吉林省东部深源地震进行了研究, 认为NNW向的东北深震区与长白山火山带分布大致平行对应, 且其活动可能与长白山火山活动^[7-8]、火山地震活动^[9-10]等存在着某种联系。观测资料也证实了这一现象, 例如: 高山泰等^[11]认为1597年10月6日中国东部7省记载的地震事件, 是一次深、强震事件, 其后3 d内长白山附近发生两次火山喷发, 并伴有强烈地震, 且火山喷

发和地震位置在深震有感范围内。1902年7月3日在吉林汪清发生6.6级地震, 1903年5月天池火山喷发。2002年6月29日珲春发生7.3级深震后, 长白山火山出现火山型地震活跃期, 发生有地震记录以来最强烈的火山地震活动, 相继记录到震群活动38次, 最高震级达M_L4.4级, 火山地震活动一直持续到2005年下半年才逐渐开始减弱。

关于深部构造对长白山火山影响, 有学者认为是与东北亚大陆裂谷作用有紧密联系^[12], 以松辽-冀中为中心的裂谷扩张作用和日本海盆为中心的弧后扩张(另一种形式的裂谷扩张作用)作用控制着长白山火山活动和地质的发展^[13], 板块后撤, 在陆内形成弧后扩展, 地幔热物质上涌, 在陆内扩展区引发减压熔融, 进而产生岩浆作用; 有学者认为, 在深部地幔热对流过程中, 上升的热地幔物质从软流圈或下地幔上涌并穿透岩石圈, 在地表或洋底出露, 形成火山作用^[14]; 另外由于长白山天池火山位于华北克拉通东北缘, 也有学者认为华北克拉通拆沉可能导致了区域内的板内火山作用^[15]; 除此之外, 越来越多学者认为与西太平洋板块向欧亚大陆俯冲有关, 深部俯冲板块于相变界面平卧滞留, 并发生深部脱水, 水分以及含水地幔物质向岩石圈底部聚集, 在岩石圈底部发生部分熔融, 产生陆内火山作用^[16-17]。

关于东北深震与太平洋板块的关系存在如下争议: 深源地震与西太平洋板块不一定直接相关, 是西太平洋板块俯冲到东北下方, 前端裂解多个

* 收稿日期: 2017-05-17 修回日期: 2017-07-25

基金项目: 国家自然科学基金(41404071); 中央级公益性科研院所基本科研业务专项(DQJB17B01)

第一作者简介: 马哈瑞(1987-)女, 汉族, 河南商丘人, 博士后, 主要从事岩石化学及地球物理等方面的研究。

E-mail: mahanrui111@163.com

通讯作者: 盛俭(1979-), 男, 汉族, 江苏吴江人, 博士, 副教授, 主要从事地球动力学、地震地质等方面研究。

E-mail: sj2984@sina.com

表 1 数值模拟模型设置参数表

| 参数名称 | 设置条件 | 参数名称 | 设置条件 | 参数名称 | 设置条件 | 参数名称 | 设置条件 |
|--------|----------|--------|----------|-------|---------|--------|---|
| 横向长度 | 4 000 km | 纵向深度 | 800 km | 洋壳组成 | 玄武岩、辉长石 | 温度条件 | $T = T_1 + (T_0 - T_1) \operatorname{erfc}[y/(\kappa t)^{1/2}]$ |
| 横向分辨率 | 1 ~ 5 km | 纵向分辨率 | 1 ~ 5 km | 陆壳组成 | 花岗岩 | 汇聚速率 | 40 mm/年 |
| 横向边界条件 | 自由边界 | 纵向边界条件 | 自由边界 | 岩石圈组成 | 橄榄岩 | 总计算网格点 | 2041 × 481 |

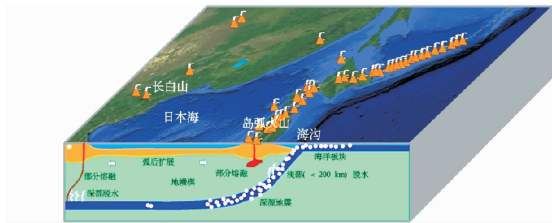


图 1 研究区域地球构造示意图

断块, 并与欧亚大陆地幔物质相互碰撞摩擦生热, 发生塑性剪切, 使冷的断块发生破裂产生地震^[18]; 由地震层析资料可知, 西太平洋板块确已俯冲至大陆地幔中^[19], 东北深震震源深度南北向上分布与其大致相同, 东西向上逐渐加深, 震源等深线几乎与海沟轴平行, 深源地震的震中位置分布与西太平洋板块俯冲角度相似^[20], 同时震源机制解显示, 西太平洋板块俯冲方向与深源地震主要应力轴优势方向相似^[21], 所以深源地震是西太平洋俯冲板块直接与地幔间的相互作用所致; 另外还有观点认为欧亚板块下方炽热的高温环境会使西太平洋板块熔融, 使其不能俯冲到远离海沟 1 200 km, 深大于 600 km 的位置引发地震, 推测深源地震可能与锡霍特阿林大断裂处的俯冲带有关^[22]。除此之外, 对于深源地震的发震机理研究也存在分歧: 包括脱水致裂^[23]、剪切不稳定性^[24]以及亚稳态的橄榄石相变致裂^[25-26]。

火山活动是深部构造岩浆活动的反映, 深源地震也可以传递地球深部构造的活动状况和物质信息, 由于吉林省东部地区既是陆内火山活动区, 又位于我国唯一的深源地震区内, 故其是一处难得的深部地质和地球物理场研究的天然窗口。本文旨在通过岩石地球化学分析及地球物理数值模拟结果, 讨论吉林省东部地区深部构造对陆内火山及深源地震活动的影响, 进而探讨两者之间可能存在的联系。

1 研究方法

本文对研究区火山岩进行岩石地球化学分析, 以判断火山岩浆来源位置及性质, 开展了野外地质调查, 分析研究区岩性分布及沉积序列, 选取 7 个代表性地质点, 采集 12 个新鲜、未风化、未受后期改造和充填影响的岩石样品进行详细的岩相分析, 并将样品在中国科学院地质与地球物理所进行系统的岩石化学分析。同时, 本文应用 I2ELVIS^[27] 计算程序来模拟西太平洋板块俯冲过程, 以观察深部构造对长白山地区火山岩浆及深

源地震动力源起因影响。模型设置主要参数见表 1。

2 研究结果

在剖面上, 样品自下而上分别为粗面玄武岩、玄武质粗面安山岩、粗面玄武岩和玄武岩。样品主量元素含量见表 2。对于熔岩微量元素含量, 三类岩石均为右倾的 REE 配分模式, 且含量上玄武岩低于粗面玄武岩和玄武质粗面安山岩(表 3)。同位素含量在总体上自玄武岩至粗面玄武岩再至玄武质粗面安山岩,⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 值和¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 相近(表 4), Sm/Nd 全部低于原始地幔的 Sm/Nd 值(0.325)^[28]。

通过数值模拟结果, 我们看到西太平洋板块俯冲全过程(图 2)。俯冲早期大洋板块在海沟处水化, 逐渐俯冲到地幔深处并开始平卧, 平卧板块将水分传送到远离海沟的地幔深处, 深部脱水产生, 使地幔物质湿润发生部分熔融, 冷的平卧板块被地幔逐渐加热, 使更多水分脱出, 更多周边地幔被水化和部分熔融, 部分熔融产物上升, 在远离海沟的陆内板块下方形成了岩浆房。

3 分析与讨论

将研究区火山岩与中国东部已知新生代原始岩浆相比较(含超镁铁质包体, $Mg^{\#} = 60 \sim 68$, $Ni = 200 \sim 300 \mu g/g$ 和 $MgO = 10\% \sim 13\%$)^[28], 得出研究区玄武质熔岩 $Mg^{\#}$ 偏低, 且相容元素的金属过渡元素 Ni、Cr、Cu、V 对 MgO 表现出了正相关性, 认为研究区玄武质熔岩虽在演化过程中发生了橄榄石、辉石和基性斜长石结晶分离作用, 但其是起源于地幔条件的原始岩浆。

根据火山岩可以反映火山源区特征和构造环境的 Sr/Nd、Sm/Nd 比值, 及 Sr、Nd 同位素比值的投点位置(图 3), 判断火山岩源区的物质成分来源于同一地幔源区, 具有似原始地幔的特征, 且地幔岩浆源区具有一定程度的“富集化”。另外图 4 中 Pb 同位素投点落在 MORB 与 EM1 之间, 与中国东北新生代玄武岩的同位素组成主要由 MORB 源区组分和 EM1 组分混合的假说^[29-31]相一致。

根据特定的前沿化模式, 可以计算得到铅增长线^[32], 将样品²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb 投影在图中, 投点落地幔和上地壳两曲线中间, 也说明岩浆可能受到上地壳物质的混染, 但来源于地幔(图 5)。

Nb/Ta 比值能反应原始岩浆特征。研究区岩石 Nb/Ta 之比为 14.8 ~ 15.8, 将其与一些典型环境的 Nb/Ta 比值相比较(球粒陨石为 18, 大陆壳为

表 2 玄武质熔岩部分主量元素结果

| 样品号 | SI2D02 | SI2D02-1 | SI2D06-2 | SI2D07-2 | SI2D07-8 | SI2D07-11 | SI2D08-1 | SI2D08-6 | SI2D17 | SI4D14-1 | SI4D14-2 | SI4D34-1 | wt. % |
|-------------------|--------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|-------|
| SiO ₂ | 50.16 | 51.36 | 50.02 | 50.28 | 50.90 | 50.32 | 52.15 | 50.05 | 52.43 | 49.22 | 49.12 | 51.45 | |
| MgO | 9.22 | 7.46 | 5.34 | 8.58 | 4.10 | 3.82 | 4.61 | 5.58 | 4.51 | 6.26 | 5.87 | 4.59 | |
| Na ₂ O | 2.45 | 2.98 | 3.39 | 2.57 | 3.93 | 3.82 | 3.81 | 3.41 | 3.31 | 3.1 | 3.04 | 3.72 | |
| K ₂ O | 0.47 | 0.50 | 2.02 | 0.49 | 2.43 | 2.39 | 2.47 | 1.95 | 2.18 | 1.85 | 1.67 | 2.2 | |
| TFeO | 14.09 | 11.82 | 11.27 | 13.94 | 10.42 | 11.40 | 8.72 | 9.79 | 12.00 | 10.96 | 10.89 | 9.39 | |
| Mg [#] | 58.4 | 57.5 | 36.01 | 42.90 | 40.31 | 41.8 | 53.1 | 55 | 40.35 | 50.7 | 49.2 | 46.8 | |
| DI | 43.8 | 53.7 | 50.4 | 56.9 | 45.8 | 41.8 | 67 | 63.7 | 45.8 | 37.1 | 41.7 | 51.2 | |

表 3 玄武质熔岩部分微量元素和 REE 分析结果

| 样品号 | SI2D02 | SI2D02-1 | SI2D06-2 | SI2D07-2 | SI2D07-8 | SI2D07-11 | SI2D08-1 | SI2D08-6 | SI2D17 | SI4D14-1 | SI4D14-2 | SI4D34-1 | 原始地幔 |
|-----|--------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|--------|
| V | 179.01 | 154.75 | 232.68 | 188.63 | 121.92 | 155.78 | 96.54 | 159.02 | 178.54 | 194.51 | 198.61 | 156.25 | 128 |
| Cr | 209.05 | 178.08 | 86.91 | 187.86 | 4.84 | 4.92 | 36.50 | 134.55 | 36.88 | 185.33 | 181.58 | 62.31 | 3000 |
| Ni | 200.61 | 156.56 | 47.97 | 175.13 | 27.76 | 27.81 | 37.44 | 67.01 | 61.31 | 93.05 | 236.11 | 42.23 | |
| Cu | 53.47 | 40.98 | 44.32 | 40.02 | 15.22 | 12.49 | 30.31 | 54.76 | 38.40 | 57.06 | 91.82 | 33.99 | |
| Sr | 371.43 | 451.82 | 689.50 | 381.81 | 679.51 | 663.92 | 660.19 | 704.02 | 431.65 | 661.33 | 660.06 | 753.57 | 17.8 |
| Nb | 9.76 | 10.20 | 39.25 | 12.80 | 38.93 | 39.72 | 27.74 | 28.06 | 25.32 | 35.14 | 33.65 | 38.76 | 0.56 |
| Ta | 0.64 | 0.65 | 2.56 | 0.81 | 2.59 | 2.62 | 1.85 | 1.85 | 1.67 | 2.33 | 2.19 | 2.55 | 0.04 |
| Pb | 1.95 | 2.12 | 5.66 | 2.09 | 9.68 | 6.52 | 6.44 | 4.87 | 7.06 | 4.42 | 4.46 | 5.31 | 120 * |
| Nd | 12.61 | 13.16 | 35.30 | 13.82 | 45.84 | 45.63 | 47.70 | 38.84 | 37.70 | 35.82 | 32.49 | 40.63 | 1067 * |
| Sm | 3.84 | 3.88 | 7.41 | 4.12 | 8.98 | 8.97 | 9.03 | 7.31 | 8.40 | 6.82 | 6.20 | 8.21 | 347 * |

注:原始地幔数据 Taylor and Mccormick,1985;加 * 者为 $\times 10^{-9}$

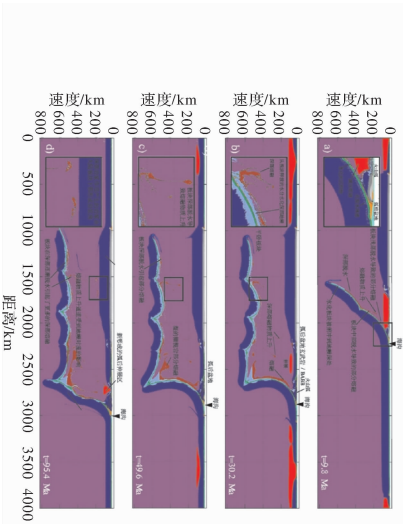


图 2 板块俯冲动力学过程示意图

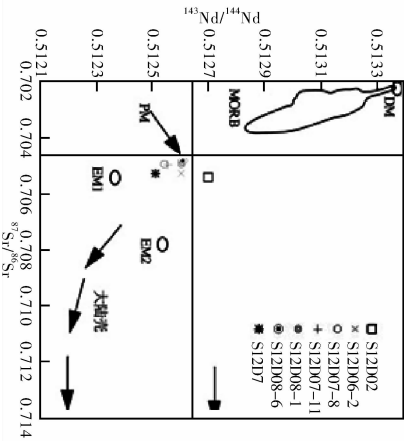


图 3 研究区玄武质熔岩 Sr-Nd 同位素比值图

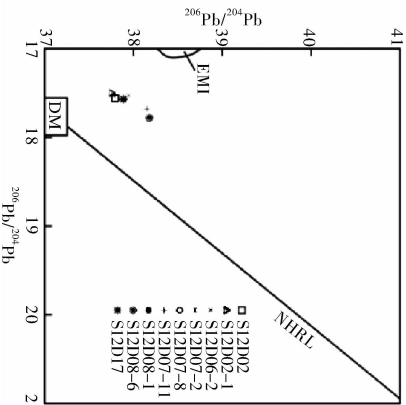
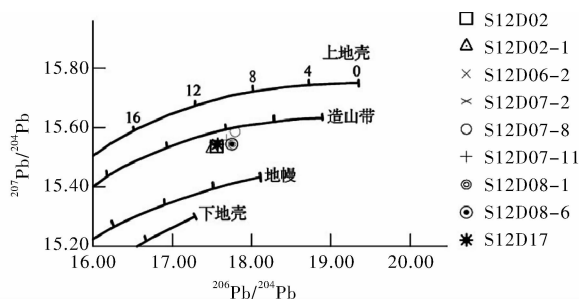


图 4 研究区玄武质熔岩 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图

表 4 玄武质熔岩 Sr、Nd、Pb 同位素分析结果

| 样品号 | $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ | $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ | $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ |
|-----------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| S12D02 | 0.512691 | 0.704957 | 17.561 | 15.536 | 37.801 |
| S12D02-1 | nd | 0.704769 | 17.501 | 15.528 | 37.746 |
| S12D06-2 | 0.512603 | 0.704959 | 17.532 | 15.545 | 37.956 |
| S12D07-2 | nd | 0.704719 | 17.526 | 15.541 | 37.789 |
| S12D07-8 | 0.512538 | 0.705425 | 17.792 | 15.586 | 38.178 |
| S12D07-11 | 0.512550 | 0.705417 | 17.683 | 15.558 | 38.125 |
| S12D08-1 | 0.512599 | 0.704942 | 17.770 | 15.543 | 38.182 |
| S12D08-6 | 0.512600 | 0.704931 | 17.751 | 15.544 | 38.183 |
| S12D17 | 0.512509 | 0.705275 | 17.570 | 15.543 | 37.886 |

注: nd 表示未分析

图 5 研究区玄武质岩石 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图

图注: 图中曲线上的数值为距今的时间 (100 Ma)。

12~14, 大洋中脊玄武岩为 16.88, 圣海伦斯火山 (地幔柱火山) 为 17.3 ± 2.4 , 堪察加半岛火山 (深俯冲带火山) 14.7~18.9 和 15.4~18.4^[33-36], 认为长白山火山类似于勘察加半岛深俯冲带火山, 起源可能与太平洋板块的深俯冲有关。

动力学的数值模拟结果显示 (图 2), 俯冲的早期板块在海沟附近弯曲形成张性断裂或裂缝, 海水淋滤或渗透使其水化; 俯冲板块继续往下到达地幔深处 660 km 相变面附近并开始弯曲, 形成了平卧板块继续向前移动, 将水分传送到远离海沟 (约 1 000 km) 的深处, 平卧板块开始释放水分, 产生了深部部分熔融, 熔融物质由于密度小于周边地幔物质而开始上升, 在远离海沟的大陆板块下方形成了岩浆房。因此从模拟结果来看, 在远离海沟约 1 000 km, 深 660 km 位置俯冲板块是有能力释放水分, 产生部分熔融, 形成陆内火山作用。

另外, 从模型模拟结果可以观察到, 俯冲板块在地幔转换带深度有裂隙或断裂存在, 我们认为, 以结构水形式存在于无水矿物 (NAMs) 中的水, 在俯冲到达一定深度时矿物中水不稳定脱出, 使板块脱水致裂 (断层), 能量释放产生深源地震, 同时脱出的水降低了岩石熔融温度, 增加熔融的程度, 逐渐产生岩浆作用和陆内火山, 这可能也是研究区内深源地震与火山活动表现出相关性的原因。

4 结论

本文通过岩石化学分析手段及地球物理数值模拟方法, 分析了吉林省东部地区长白山火山岩

浆起源和深源地震发震机制, 得到以下观点。

(1) 长白山火山岩浆在演化过程中可能发生矿物的结晶分异, 但起源于地幔源区, 并与太平洋板块深部俯冲有关。

(2) 在远离海沟约 1 000 km, 深 600 km 位置俯冲的西太平洋板块有能力发生深部脱水, 产生部分熔融, 进而形成陆内火山岩浆。

(3) 俯冲板块深部脱水产生的裂隙 (断裂) 可能是长白山区深源地震发震原因, 且深源地震与火山作用有一定关联性。

参考文献:

- [1] 魏海泉. 长白山天池火山 [M]. 北京: 地震出版社, 2014: 1-22.
- [2] SUN Chunqing, Plunkett Gill, LIU Jiaqi, et al. Ash from Changbaishan Millennium eruption recorded in Greenland ice: Implications for determining the eruption's timing and impact [J]. Geophysical Research Letters, 2014; 692-701, 10.1002/2013GL058642.
- [3] CHU K S, Tsuji Y, Baag C E, et al. Volcanic eruptions of Mt. Baekdu (Changbai) occurring in historical times [J]. Bull Earthq Res Inst Univ Tokyo, 2011, 861: 1-27.
- [4] Stone R. Vigil at North Korea's Mount Doom [J]. Science, 2011, 334: 584-588.
- [5] XU J, PAN B, LIU T, et al. Climatic impact of the Millennium eruption of Changbaishan volcano in China: New insights from high-precision radio carbon wiggle-match dating [J]. Geophysical Research Letters, 2013, 40: 54-59.
- [6] WEI H Q, LIU G, Gill J. Review of eruptive activity at Tianchi volcano, Changbaishan, northeast China: Implications for possible future eruptions [J]. Bulletin of Volcanology, 2013, 75(4): 1-14.
- [7] 吴建平, 明跃红, 苏伟, 等. 长白山火山区壳幔 S 波速度结构研究 [J]. 地震地质, 2009, 31(4): 584-597.
- [8] 刘国明, 张恒荣, 孔庆军. 长白山天池火山区的地震活动特征分析 [J]. 地震地质, 2006, 28(3): 503-508.
- [9] 杨景奎. 深源地震与火山活动关系初探 [J]. 科技资讯, 2011, 5: 219-220.
- [10] 田有, 赵大鹏, 刘财, 等. 长白山火山深部结构特征及其意义 [J]. 北京: 中国地球科学联合学术年会, 2014: 1740.
- [11] 高山泰, 于岫媚, 朱大庆, 等. 1597 年 10 月 6 日中国东部的震动事件是一次深源强震 [J]. 地震学报, 2003, 25(3): 324-330.
- [12] ZHANG J H, GAO S, Ge W C, et al. Geochronology of the Mesozoic volcanic rocks in the Great Xing'an Range, northeastern China: Implications for subduction-induced delamination [J]. Chemical Geology, 2010, 276: 144-165.
- [13] 刘嘉麒. 中国火山 [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 13-111.

- [14] Turcotte D L, Schubert G. Geodynamics [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
- [15] CHEN Y, ZHANG Y, Graham D, et al. Geochemistry of Cenozoic basalts and mantle xenoliths in Northeast China [J]. Lithos, 2007, 96(1-2): 108-126.
- [16] SHENG J, LIAO J, Gerya J. Numerical modeling of deep oceanic slab dehydration: implications for the possible origin of far field intra-continental volcanoes in northeastern China [J]. Journal of Asian Earth Science, 2016, 117: 328-336.
- [17] MA Hanrui, SHENG Jian, YANG Qingfu. A Study on the Magma Origin of the Changbai Mountain Volcano Based on Lithological Analysis [J]. International Journal of Simulation Systems, Science & Technology, 2016, 17(45): 261-264.
- [18] 段永红, 张先康, 刘志, 等. 长白山-镜泊湖火山区地壳结构接收函数研究[J]. 地球物理学报, 2005, 48(2): 352-358.
- [19] HUANG J L, ZHAO D P. High-resolution mantle tomography of China and surrounding regions [J]. J. Geophys. Res., 2006, 111: B09305.
- [20] 张凤鸣, 张亚江, 许晓艳, 等. 日本海西部-中国东北深震区俯冲运动对东北地区浅源地震的动力作用[J]. 东北地震研究, 2007, 23(1): 33-39.
- [21] 马铭志, 刘铁男, 李雪梅, 等. 吉林深震的构造背景和区域地震能量的异常讨论[J]. 大地震地磁与观测, 2006, 27(S1): 11-16.
- [22] SHEN X Z and ZHOU H L. The low-velocity layer at the depth of 620km beneath Northeast China [J]. Chinese Science Bulletin, 2009, 54(17): 3067-3075.
- [23] Raleigh C B, Paterson M S. Experimental deformation of serpentinite and its tectonic implications [J]. J Geophys Res, 1965, 70: 3965-3985.
- [24] Karato S I, Riedel M R, Yuen D A. Rheological structure and deformation of subducted slabs in the mantle transition zone: Implications for mantle circulation and deep earthquakes [J]. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 2001, 127: 83-108.
- [25] Green H W. Tiny triggers deep down [J]. Nature, 2003, 424(6951): 893-894.
- [26] 赵素涛, 金振民, 干薇. 中国东北深源地震机理[J]. 地学前缘, 2012, 19(5): 301-311.
- [27] Gerya T V, Yuen D A. Robust characteristics method for modelling multiphase visco-elasto-plastic thermo-mechanical problems [J]. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 2007, 163(114), 83-105.
- [28] FAN Q C, Hooper PR. The Cenozoic basaltic rocks of eastern China: Petrology and Chemical composition [J]. Petrology, 1991, 32: 765-810.
- [29] Basu A R, Junwen W, Wankang H, et al. Major element, REE, and Pb, Nd and Sr isotopic geochemistry of Cenozoic volcanic rocks of eastern China: implications for their origin from suboceanic-type mantle reservoirs [J]. Earth and Planetary Science Letters 105, 1991: 149-169.
- [30] ZOU H, Zindler A, XU X, et al. Major, trace element, and Nd, Sr and Pb isotope studies of Cenozoic basalt in SE China: mantle source, regional variations, and tectonic significance [J]. Chemical Geology, 2000, 171: 33-47.
- [31] Choi S H, Mukasa S B, ZHOU X H, et al. Mantle Dynamics beneath East Asia Constrained by Sr, Nd, Pb and Hf Isotopic Systematics of Ultramafic Xenoliths and Their Host Basalts from Hanguo, North China [J]. Chem. Geol., 2008, 248: 40-61.
- [32] Zartman R E, Doe B R. Plumbotectonics - the model [J]. Tectonophysics, 1981, 75: 135-162.
- [33] Munker C. Nb/Ta fractionation in a Cambrian arc back arc system. New Zealand: source constraints and application of refined ICPMS techniques [J]. Chemical Geology, 1998, 144(112): 23-45.
- [34] Rudnick R L, Barth M, Horn I, et al. Rutile bearing refractory eclogites: missing link between continents and depleted mantle [J]. Science, 2000, 287: 278-281.
- [35] Kamber B S, Ewart A, Collerson K D, et al. Fluid-mobile trace element constraints on the role of slab melting and implications for Archaean crustal growth models [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 2002, 144(1): 38-56.
- [36] Duggen S, Portnyagin M, Baker J. Drastic shift in lava geochemistry in the volcanic-front to rear-arc region of the Southern Kamchatkansubduction zone: Evidence for the transition from slab surface dehydration to sediment melting [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2007, 71: 452-480.
- [37] Stolz A J, Joehum K P, Spettel B., et al. Fluid- and melt-related enrichment in the subarc mantle: evidence from Nb/Ta variations in island arc basalts [J]. Geology, 1996, 24(7): 587-590.
- [38] Munker, C. Nb/Ta fractionation in a Cambrian arc back arc system. New Zealand: source constraints and application of refined ICPMS techniques [J]. Chemical Geology, 1998, 144(1): 23-45.

Influence of the Deep Geological Tectonics on the Volcano and Deep Earthquakes in the East Area of Jilin Province

MA Hanrui¹, SHENG Jian² and YANG Qingfu³

(1. Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China; 2. College of Transportation Science & Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing 180009, China; 3. Earthquake Administration of Jilin Province, Changchun 130117, China)

Abstract: The east area of Jilin Province has a special tectonic position, in which there are Changbai Mountain volcano and deep-focus earthquakes. The Changbai Mountain volcanoes with a high potential eruption possibility, are one of the most dangerous volcano in China, and the deep earthquake region is one and only in China. So, we investigate the influence of deep geological tectonics on the volcano and deep earthquakes, which has important scientific and practical significances of disaster prevention and reduction. The rock lithological analysis and geodynamics numerical simulation were combined to discuss the origin and formation mechanism of volcano and deep earthquakes. The results show that the magma source is mostly close to primitive mantle and the volcanism is related to the slab deep subduction. The Pacific slab deep dehydration is proposed to be the dynamic source of the intra-plate volcanoes. Dehydration faulting formed during the subduction are considered as the feasible formation mechanisms of the deep earthquakes. Besides, we infer that there is a correlation between volcanism and deep earthquakes in the region.

Key words: east area of Jilin province; volcano; deep earthquake; deep geological tectonics