

# 大兴安岭—太行山重力梯度带以西的第四纪火山活动

樊祺诚<sup>1</sup>, 赵勇伟<sup>1</sup>, 陈生生<sup>2</sup>, 李霓<sup>1</sup>, 隋建立<sup>1</sup>

1. 活动构造与火山中国地震局重点实验室, 中国地震局地质研究所, 北京 100029;

2. 中国科学院青藏高原研究所, 北京 100085

**摘要:** 大兴安岭—太行山重力梯度带以西的第四纪火山活动自北往南贯穿兴蒙造山带和华北克拉通 2 个大地构造单元, 可以分为北、中、南三部分, 展现规模不等的火山群: 北部诺敏河火山群和绰尔河—哈拉哈河火山群, 中部阿巴嘎火山群和达里诺尔火山群, 南部大同火山群和乌兰哈达火山群。这些火山群主要由单成因火山组成, 少则几十座, 多则 200 余座, 如阿巴嘎火山群向北延入蒙古达里干加, 构成亚洲东部面积最大的新生代火山区。因此, 大兴安岭—太行山重力梯度带以西的第四纪火山成为探讨大陆内部火山活动构造背景与成因机制的重要场所, 也是获取大兴安岭—太行山重力梯度带东西两侧和兴蒙造山带与华北克拉通 2 个大地构造单元岩石圈差异演化信息的重要窗口。本文介绍了这些火山的分布、构造背景和成因机制。

**关键词:** 大兴安岭—太行山重力梯度带以西; 第四纪火山活动; 成因与构造意义

**中图分类号:** P317 **文章编号:** 1007-2802(2015)04-0674-08 **doi:** 10.3969/j.issn.1007-2802.2015.04.001

## Quaternary Volcanic Activities in the West of the Daxing'anling-Taihangshan Gravity Lineament

FAN Qi-cheng<sup>1</sup>, ZHAO Yong-wei<sup>1</sup>, CHEN Sheng-sheng<sup>2</sup>, LI Ni<sup>1</sup>, SUI Jian-li<sup>1</sup>

1. Key Laboratory of Active Tectonics and Volcano, Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China;

2. Institute of Tibet Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

**Abstract:** Quaternary volcanic activities in the west of the Daxing'anling-Taihangshan gravity lineament stretch, from north to south, across two different geotectonic setting, the Xing'an Mongolian orogenic belt and the North China Craton. The volcanic activities generated three volcanic clusters with various sizes: Nuominhe volcanic cluster and Chaoerhe-Halahahe volcanic cluster in the north, Abaga volcanic cluster and Dalinuoe volcanic cluster in the middle, and Datong volcanic cluster and Wulanhada volcanic cluster in the south. These volcanic clusters consist mainly of monogenetic volcanos with the cone number from dozens to more than 200. For example, the Abaga-Dalinuo volcanic field in Inner Mongolia extends northwestward into the adjacent Dariganga lava plateau of Mongolia, forming the largest Cenozoic volcanic fields in eastern Asia. Thus, the west of Daxing'anling-Taihangshan gravity lineament is a key place to (1) discuss origin and tectonic setting of intra-continent volcanic activity, and (2) study differential evolutions between the east and west sides of the Daxing'anling-Taihangshan gravity lineament and between the Xing'an Mongolian orogenic belt and the North China Craton.

**Key words:** the west of the Daxing'anling-Taihangshan gravity lineament; Quaternary volcanic activities; origin and tectonic significance

## 1 中国东北部的火山活动

中国东北部(包括东北三省和内蒙东部)是中国第四纪火山最主要的分布区(图 1), 火山活动主

要沿松辽盆地东西两侧分布: 其东侧沿郯庐断裂带及其以东到中朝边境, 自北往南有镜泊湖(小北湖)火山群、长白山火山群、龙岗火山群、宽甸火山群; 其西侧主要沿大兴安岭—太行山重力梯度带以西

收稿日期: 2015-04-14 收到, 2015-04-23 改回

基金项目: 国家自然科学基金项目(41272088, 41172305)

第一作者简介: 樊祺诚(1948-), 男, 研究员, 研究方向: 火山与地球内部化学. E-mail: fq@ies.ac.cn.

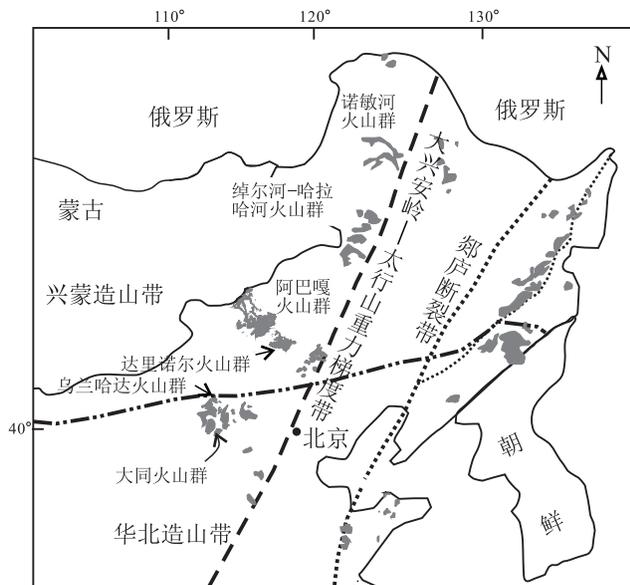


图1 大兴安岭—太行山重力梯度带以西的第四纪火山岩分布图

Fig.1 Distribution of Quaternary volcanic rocks in the west of the Daxing'anling-Taihangshan gravity lineament

至中蒙边境,自北往南有北部诺敏河火山群和绰尔河—哈拉哈河火山群,中部阿巴嘎火山群和达里诺尔火山群,南部大同火山群和乌兰哈达火山群,整个火山带延伸上千千米,占中国东北部第四纪火山活动的半壁江山。除了东部中朝边境的长白山天池火山是一座长寿命的巨型层状火山,其他都是由几座三五成群或几十座(大兴安岭诺敏河火山群、绰尔河—哈拉哈河火山群、大同火山群、乌兰哈达火山群)乃至上百座(如龙岗火山群、阿巴嘎火山群、达里诺尔火山群)短寿命的斯通博利型单成因火山为主组成的火山群,只有极少数火山喷发规模可及亚布里尼型爆炸喷发。昙花一现和打一枪换一个地方可以形容上述单成因火山之喷发特点,由于年代新和未遭后期的改造和破坏(人为破坏除外),它们大多保留了较好的火山锥体和火山地貌特征,也是第四纪火山之重要地质标志。以上大多数第四纪火山区的火山活动延续到全新世,保存了最为完好的火山地质地貌特征,是开展活动火山监测与研究的理想场所。上世纪90年代以来大量的工作主要集中在松辽盆地东部的长白山、龙岗、五大连池、镜泊湖等活动火山的研究(刘嘉麒,1987,1999;刘祥等,1989;邱家骧等,1991;刘若新等,1992,1998;樊祺诚等,1998,1999a,1999b,2002,2006,2007;Fan *et al.*,2006;张招崇等,1999,2000)。进入21世纪,随着改革开放,火山地质公园建设和旅游

事业的发展,隐秘于大兴安岭密林中和散布于辽阔的锡林郭勒草原上的第四纪火山被逐步揭开了神秘的面纱,沿大兴安岭—太行山重力梯度带以西的诺敏河、绰尔河—哈拉哈河、阿巴嘎、达里诺尔、乌兰哈达等第四纪火山区的火山地质调查和研究工作也随之展开,并陆续发现可能存在的全新世火山(白志达等,2005,2008;樊祺诚等,2011,2012;赵勇伟等,2008;赵勇伟和樊祺诚,2012),改变了这里火山研究滞后的局面。本文主要介绍中国东北部大兴安岭—太行山重力梯度带以西的第四纪火山活动。

## 2 大兴安岭火山区

大兴安岭火山区位于大兴安岭—太行山重力梯度带北段的西侧,其构造位置属于兴蒙造山带北部,包括诺敏河和绰尔河—哈拉哈河北、南两个第四纪火山群。

### 2.1 诺敏河火山群

诺敏河第四纪火山地处大兴安岭北段,位于内蒙古东部鄂伦春旗的诺敏河及其支流毕拉河和甘河支流奎勒河流域,火山锥和熔岩流主要沿诺敏河及其东(奎勒河)西(毕拉河)两侧分布。早先根据航、卫片(徐亚勤等,1995)和火山地质与年代学初步结果认为该区火山属于第四纪火山(刘若新,1992,1995;刘嘉麒,1999;马保起等,2006),并推测存在全新世火山活动。近些年,我们通过实地考察发现,诺敏河第四纪火山产物覆盖在白垩纪火山岩及中生代侵入岩之上,初步认定第四纪火山24座,熔岩流分布面积约600 km<sup>2</sup>。根据火山地质特征、野外地层的新老覆盖关系和岩石风化程度等地质特征,结合地质测年数据对研究区的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(樊祺诚等,2012)。

早更新世火山锥体已不复存在,残留的熔岩流主要沿诺敏河中下游和奎勒河与其支流根河汇合处的宜里分布,常构成河流的二级阶地。中更新世火山是第四纪火山的主体,保存大量火山碎屑锥及部分火山口,由于火山锥风化程度相对较强,火山锥体相对低矮,火口或锥体多残缺不全,典型者如诺敏河半拉子山、黑桦梁子小四方山。中更新世火山熔岩流的分布面积最大,如沿诺敏河流域分布的小土葫芦山火山、果楞奇火山、布宫奇汗火山熔岩流和沿奎勒河流域分布的红花尔基火山熔岩流、博克图大山火山熔岩流。晚更新世火山活动趋弱,火山虽少,但火山锥体保存较为完好,火口完整且较

深、内壁较陡,锥体顶部仍保存较完整的溅落锥(如四方山)。全新世马鞍山火山和达来滨湖通火山位于毕拉河上游,其熔岩流汇合后沿毕拉河直抵下游与诺敏河的汇合处,沿途熔岩流侵占阻塞河道,形成众多火山堰塞湖(如达来滨湖和达来毕诺湖)。典型的马鞍山火山锥体相对高度~200 m,由早期降落锥和晚期溅落锥叠置构成,保存完好。马鞍山火山有东、西两个溢出口,熔岩流多次溢出,向南东方向注入毕拉河,晚期熔岩流沿锥体周边分布,形成大规模裸露的石塘。

诺敏河火山岩均属于钾质系列火山岩( $K_2O$ 含量2%~4%,且 $K_2O > Na_2O - 2$ ),类似于邻区五大连池-科洛钾质火山岩( $K_2O = 4\% \sim 6\%$ ),不同于大兴安岭南部长城哈拉哈河-绰尔河火山岩及中国东部绝大多数新生代钠质系列火山岩(樊祺诚等,2012)。诺敏河第四纪火山岩中同时存在尖晶石橄榄岩和石榴石橄榄岩(有的含金云母),以及辉石岩地幔捕虏体(隋建立等,2012,2014)。

## 2.2 绰尔河—哈拉哈河火山群

绰尔河—哈拉哈河第四纪火山位于大兴安岭中段,横跨内蒙古自治区东部兴安盟阿尔山市和呼伦贝尔盟扎兰屯市柴河镇交界处。绰尔河—哈拉哈河第四纪火山岩覆盖在中生代侏罗纪火山-侵入岩之上,总体呈北东向展布,分布于绰尔河、哈拉哈河及其支流的河谷中,不同规模的大小火山约40座,熔岩流分布面积约400 km<sup>2</sup>(白志达等,2005;赵勇伟等,2008;赵勇伟和樊祺诚,2012)。根据火山岩K-Ar测年结果,结合火山地质地貌、野外地层的新老覆盖关系和岩石风化程度等地质特征,将绰尔河—哈拉哈河第四纪火山活动划分为早、中、晚更新世和全新世四期(樊祺诚等,2011)。

早更新世火山已找不到明显的火山源头—火山口或火山锥,熔岩流被河流切割和深度侵蚀,沟谷深达数十米,如驼峰岭东北的玄武岩峡谷、德勒河玄武岩峡谷和哈拉河的不冻河段的玄武岩峡谷。中更新世是哈拉哈河—绰尔河火山主要活动期,保存了大量火山碎屑锥及部分火山口,火山锥风化程度相对较强,其顶部溅落锥已被不同程度剥蚀,火山口缺乏陡峭的漏斗状特征。一些火山锥顶部火山口蓄水成火山口湖,成为国内火山口湖(天池)最多的火山区,如阿尔山天池、驼峰岭天池、基尔果山天池等。在不冻河段下游的中更新世玄武岩(0.59 Ma)覆盖在射汽喷发的基浪堆积物质上。晚更新世以射汽岩浆喷发为主,形成卧牛泡子、乌苏浪子湖2个典型的低平火山口湖(玛珥湖)及其周边松散的基浪

堆积。岩浆喷发的火山数量锐减,如子宫山火山,火山口较深,火山口内只有少量湿地。根据火山地质地貌特征,认为保存最好的高山火山和焰山火山属于全新世火山。火山锥体高大陡峻,火山口具漏斗状,内壁陡峭易垮塌,锥体顶部仍保持火山喷发结束时的溅落堆积特征。熔岩流受现代地形制约沿沟谷流动,裸露的结壳熔岩(如龟背石)、怪石嶙峋的渣状熔岩和石塘均保存了熔岩流刚冷却时的形貌和流动构造特征。熔岩流途经沼泽水体形成特有的熔岩冢、喷气碟都保存完好,这在其他时代的火山喷发中所未见。此外,该区的熔岩流的塌陷构造也很典型,如塌陷熔岩隧道和熔岩塌陷湖(地池)。熔岩流侵占阻塞哈拉哈河及其支流河道,形成一系列火山堰塞湖,如杜鹃湖、仙鹤湖、眼镜湖、鹿鸣湖等。

绰尔河—哈拉哈河火山区汇聚了各种火山地貌(火山锥、熔岩隧道、结壳熔岩、渣状熔岩、熔岩冢、喷气锥、火山碎屑席等),以及与火山成因有关的各种湖泊(如明珠般的火山口湖、火山堰塞湖、低平火山口湖、火山熔岩塌陷湖等)和众多温泉,在绰尔河—哈拉哈河两河流域火山岩浆与水的相互作用演绎着水火相容的火山地质奇观,可与五大连池火山媲美,是中国又一处不可多得的火山博物馆。

绰尔河—哈拉哈河火山岩以钠质系列碱性橄榄玄武岩为主,该区多处第四纪火山岩中同时发现尖晶石相橄榄岩和石榴石相橄榄岩地幔捕虏体共存现象(樊祺诚等,2008,2011;赵勇伟和樊祺诚,2011)。

## 3 锡林郭勒火山区

锡林郭勒火山区位于大兴安岭—太行山重力梯度带中段之西,其构造位置属于兴蒙造山带南部。这里的火山岩面积达10 000 km<sup>2</sup>,往西北方向延入蒙古与达里干加火山相接,构成亚洲东部面积最大的新生代火山区(Ho *et al.*, 2008)。由于既往对该区火山划分与命名上的不一致(内蒙古自治区地质矿产局,1991;林儒耕,1979;罗修泉等,1990;刘嘉麒,1999;张臣等,2004),我们将锡林郭勒地区从西北往东南方向依次分为:阿巴嘎火山区、贝力克火山区和达里诺尔火山区。介于阿巴嘎火山区和达里诺尔火山区之间的贝力克火山区面积最小(约400 km<sup>2</sup>),上新世-更新世发育四级熔岩台地,以平顶山为代表的熔岩台地高程越高其年龄越老。贝力克火山区没有火山锥体、岩性较为单一(主要为拉斑玄武岩)及不含地幔包体等特征,明显区别于以碱性玄武岩为主的阿巴嘎火山区和达里诺尔火

山区(陈生生等,2011,2013)。以下主要介绍锡林郭勒阿巴嘎和达里诺尔2个熔岩台地之上的第四纪火山群。

### 3.1 阿巴嘎火山群

阿巴嘎火山区为内蒙古草原上最大的一片玄武岩分布区,南北长160~200 km,东西宽为50~140 km,面积达6300多平方千米,熔岩台地之上分布200余座火山。火山活动兼有爆破式喷发和溢流式喷发,形成众多火山口(锥)及大规模的熔岩台地。熔岩台地海拔高度在1000~1300 m范围内,成阶梯状地形。罗修泉和陈启桐(1990)报道了在阿巴嘎旗以北和以西共发育3层玄武岩,玄武岩的年代主要集中在中新世-上新世晚期(14.57~2.55 Ma)。张臣等(2004)则把整个岩区划分为4层玄武岩层,第一层玄武岩假整合于上新统砖红色泥岩之上,且4层玄武岩中均有厚度不等的更新统沙泥质沉积夹层,认为其时代应属第四纪更新统。根据笔者近些年对阿巴嘎、达里诺尔火山区的考察和初步研究后认为,上述地区的火山活动可以追溯到中-上新世(主要隐伏于熔岩台地之下),但熔岩台地之上的众多火山群,无疑为第四纪火山活动产物。特别指出,在阿巴嘎火山区还发现罕见的规模巨大的射汽岩浆喷发,如阿巴嘎旗东南部的浩特乌拉、西北部的车勒乌拉和额斯格乌拉3个射汽岩浆喷发形成的火山口直径可达3~6 km,仍保留较完整的火山结构和地貌景观,早期猛烈的射汽-岩浆爆发,由基浪堆积物和火山碎屑物构成低平火山锥,晚期喷发的含地幔橄榄岩的碱性玄武质熔岩流覆盖于基浪堆积物之上。

阿巴嘎玄武岩属于钠质系列玄武岩,岩性主体为碱性玄武岩,但也有少量的拉斑玄武岩(Ho *et al.*,2008;Chen *et al.*,2015),碱性玄武岩中富含各种橄榄岩和辉石岩地幔捕虏体(张臣等,2004;张敏等,2010;陈生生等,2012)。

### 3.2 达里诺尔火山群

达里诺尔火山区位于阿巴嘎火山区南东方向、内蒙古高原东南部的锡盟与赤峰之间,与赤峰玄武岩毗邻。达里诺尔熔岩台地海拔1200 m以上,东西长约90 km,南北宽约40 km,熔岩台地面积约3000 km<sup>2</sup>,其上分布上百座火山,大部分锥体形态完好,如大敖包火山、鸽子山火山、大黑山火山、马蹄山火山、木盖扫勒乌拉火山、都贵乌拉火山等。以往研究认为达里诺尔火山活动贯穿了整个第四纪,鼎盛时期是晚更新世(杨建军,1988;刘俊杰等,2008),但也发现钻孔火山岩年龄为中新世(罗修泉

和陈启桐,1990)。所以笔者认为,与阿巴嘎火山区一样,达里诺尔火山活动同样可以追溯到中-上新世,但熔岩台地之上为第四纪火山群。近些年的研究发现,这里的鸽子山火山可能是全新世火山(杨若昕等,2012)。鸽子山火山锥体保存完好,经历了早期的爆破式喷发和晚期的溢流式喷发2个阶段。早期由爆破式喷发的降落堆积和溅落堆积物构成,火口内壁陡峻,发生过多塌陷作用形成深度约140 m的破火口。晚期主要为溢流式喷发,其北东侧溢出口仍保留完好的熔岩流动构造,绕过锥体向南流淌的熔岩流面积达50 km<sup>2</sup>,沿途可见保存完好的结壳熔岩、喷气锥、喷气碟等生动的熔岩流动构造,与五大连池老黑山火山熔岩流有异曲同工之美。

达里诺尔第四纪火山岩类似于阿巴嘎玄武岩,以钠质系列碱性玄武岩为主,次为拉斑玄武岩。在鸽子山火山、大敖包火山、木盖扫勒乌拉火山等碱性玄武岩中含多种地幔橄榄岩捕虏体,前者还含有丰富的单斜辉石巨晶(研究中)。

## 4 晋蒙交界火山区

晋蒙交界的大同和乌兰哈达第四纪火山位于大兴安岭—太行山重力梯度带南段以西,其构造位置属于华北克拉通西部北缘及其与兴蒙造山带交界处。

### 4.1 大同火山群

大同火山群位于山西省北部,大同盆地东部,距大同市约30 km,是中国重要的第四纪火山群之一,也是华北地区保存最好最为壮观的第四纪火山群,30余座火山大部分由熔岩和火山碎屑物组成的火山锥,主要沿桑干河河谷两侧分布于大同盆地,火山区面积近百平方千米,是难得的重要火山地质遗迹。根据玄武岩火山地质和喷发时代,大同火山分为东、西2个区,东区时代较老(早-中更新世),西区时代较新(晚更新世)。其中位于大同县城东北部的西区火山最为壮观,至少有13个火山锥,海拔高度大多在1100~1400 m,这些突兀于桑干河谷的火山锥,宏伟而壮观,如金山、黑山、狼窝山、阁老山、双山、马蹄山、老虎山和昊天寺山等,外形可分为穹窿状、盾状、半圆状和马蹄状等。狼窝山呈正圆形,火山口直径最大,达500 m左右,深度达30~50 m,是大同火山群中火山口最为深邃的一座。金山火山则为最高大的一座火山,海拔1369 m。大片分布于桑干河两岸的玄武岩厚度一般2~10 m,个别地段可达25 m(吴雅颂和王兴武,1978)。

大同火山群是华北,也是本文大兴安岭—太行

山重力梯度带以西,最早开始研究的第四纪火山,关于它的喷发时代历经了逾半个世纪才基本上趋于共识。1929年,自从杨钟健发现了大同火山群,1931年,美国科学家巴尔博对大同火山群做了进一步调查,基本上一致认为,火山群源于第四纪初期,终止于距今10万年前左右。1956年,北京地质学院的地质学家和苏联地质学家列别金斯基又对大同火山群进行了考察研究,自列别金斯基(1958)在《大同火山群》一书中断言:大同火山也许不是死火山,而是休眠火山。曾引起学术界关于大同火山是活火山还是死火山的争论。直到1976年尹赞勋先生的考察工作后,得出科学结论:大同火山活动始于早更新世,结束于距今约15万年的晚更新世早期(尹赞勋,1976)。Li和Sun(1985)根据热释光(TL)年代学测定结果,大同火山活动时代为中-晚更新世(0.40~10万年)。而根据大同地区古地磁数据与K-Ar年龄对照,该区玄武岩和黄土形成时间应属布容正极期的中更新世(0.73~0.45 Ma),玄武岩主喷发期约0.45 Ma左右(转引自陈文寄等,1992)。陈文寄等(1992)对本区玄武岩进行了较系统的K-Ar年代学研究,认为大同第四纪火山活动介于中更新世(0.74~0.20 Ma),中更新世中期(0.40 Ma)为火山主要活动期。以上工作基本印证了早期的认识,至此有关大同火山是活火山还是死火山的争论得以平息。

大同火山分为东、西区早晚2期,其岩浆性质亦显差异:东区以拉斑玄武岩为主,西区以碱性玄武岩为主(邓晋福等,1987;樊祺诚等,1992;马金龙和徐义刚,2004)。

#### 4.2 乌兰哈达火山群

乌兰哈达火山群位于内蒙古中部的蒙古高原南缘的察哈尔右翼后旗乌兰哈达一带,地处华北克拉通西部北缘紧邻兴蒙造山带。乌兰哈达火山群位于集宁新生代玄武岩区的北端,以往的研究把乌兰哈达火山群归入集宁玄武岩(Zhang *et al.*, 2012; Ho *et al.*, 2011),与汉诺坝玄武岩同期,属于广义汉诺坝玄武岩。乌兰哈达火山群由约30座属斯通博利式火山组成,火山岩面积约300 km<sup>2</sup>。根据火山地质特征,乌兰哈达火山群属于晚更新世—全新世火山,初步划分为早晚2期喷发活动(白志达等, 2008)。因此,乌兰哈达火山是距北京最近(约300 km)、最新的活动火山区。早期火山位于乌兰哈达东南方向,由红山火山—火烧山火山5座串珠状小火山渣锥组成,熔岩流很少。介于晚期北炼丹炉火山和中炼丹炉火山之间的黑脑包火山也属早

期火山之列,火山锥规模较大,下部由早期火山渣、集块岩、角砾岩和火山弹等组成近火口相熔结-强熔结的降落堆积,锥体顶部被溅落堆积熔岩团块披覆。黑脑包火山晚期熔岩流沿北西向沟谷流淌,途径沼泽水体发育典型的喷气锥。

晚期火山(全新世)沿乌兰哈达西南方向展布,从北东到南西依次为北炼丹炉火山、中炼丹炉火山和南炼丹炉火山,呈北东向排列,在南炼丹炉和北炼丹炉火山周边还有10余座小型火山渣锥。3座炼丹炉火山锥体陡峻,结构更为完好(可惜南炼丹炉遭人为开采火山渣破坏),早期以火山渣为主的降落堆积和晚期以浆屑和熔岩团块为主的溅落堆积构筑成陡峻的锥体(如北炼丹炉火山和中炼丹炉火山锥体高分别为91 m和81 m)。炼丹炉火山活动都经历了早期较强爆发和晚期大规模岩浆溢出过程,如北炼丹炉火山晚期溢出的熔岩流向东南方向奔流逾10 km,形成高低起伏的熔岩台地。中炼丹炉火山南东方向熔岩流超过15 km,沿途见典型的结壳熔岩和众多熔岩塚及喷气锥,熔岩流堰塞河道形成莫石盖淖、小海子和乌兰胡少海等火山堰塞湖。

乌兰哈达火山岩类型以碱性系列的碱玄武岩为主(OI<10%),少量粗面玄武岩,属于一套贫硅富霞石标准矿物(平均6.7)的钠质强碱性系列火山岩(Fan *et al.*, 2014)。

## 5 问题和思考

大兴安岭—太行山重力梯度带是划分中国东西部的最重要的地质构造带,该带及其以西的第四纪火山活动自北往南贯穿兴蒙造山带和华北克拉通2个大地构造单元,北起诺敏河,南至大同第四纪火山群可分为北、中、南3部分。北部诺敏河火山和绰尔河—哈拉哈河火山与中部的阿巴嘎火山和达里诺尔火山均位于兴蒙造山带内部,而大同火山和乌兰哈达火山位于华北克拉通西部北缘,成为探讨火山活动构造背景、喷发机制和成因机理的重要场所,它们所带来的深部信息(火山岩及其尖晶石橄榄岩和石榴石橄榄岩捕虏体),还是透视重力梯度带以西及其东西两侧、华北克拉通与兴蒙造山带岩石圈差异演化的重要窗口。

已有研究表明,大兴安岭—太行山重力梯度带两侧和华北克拉通东西部的岩石圈性质存在明显差异:西部为古老地幔残余,东部为古老地幔与新增生地幔的混合(Xu *et al.*, 2004; Rudnick *et al.*, 2004; 马金龙和徐义刚, 2004, 2006; Zhang, 2005;

Zhang *et al.*, 2009; 徐义刚等, 2006; Zheng *et al.*, 2007; Tang *et al.*, 2008), 实际情况可能更为复杂。那么重力梯度带南北方向上的情况又是怎样呢? 根据作者近些年的研究发现, 沿大兴安岭重力梯度带的南北方向上也同样存在岩石圈地幔特征与岩浆成因演化方面的差异。位于大兴安岭北端的诺敏河第四纪火山为钾质系列火山岩 ( $K_2O = 2\% \sim 4\%$ ), 具有与五大连池钾质火山岩 ( $K_2O = 4\% \sim 6\%$ ) 的亲缘性, 而大兴安岭中部的绰尔河—哈拉哈河(阿尔山—柴河地区)第四纪火山岩则为钠质系列火山岩 ( $K_2O < 2\%$ ) (樊祺诚等, 2011, 2012)。火山岩的 REE、微量元素元素和 Sr-Nd-Pb 同位素地球化学特征表明, 大兴安岭南区绰尔河—哈拉哈河岩浆源区具有软流圈与岩石圈地幔的混合特征, 北区诺敏河—奎勒河岩浆起源或与富钾质岩石圈地幔的拆沉作用有关(赵勇伟和樊祺诚, 2012; Zhao *et al.*, 2014)。

上述大兴安岭第四纪火山岩中均发现石榴石相和尖晶石相 2 种地幔橄榄岩捕虏体, 捕虏体岩石学与矿物学研究表明, 大兴安岭地区仍保留有相当数量的古老岩石圈地幔残余, 区别于遭受强烈改造和破坏的华北克拉通的岩石圈地幔(樊祺诚等, 2008; 赵勇伟和樊祺诚, 2011; 隋建立等, 2012)。沿着大兴安岭继续南下, 与大兴安岭同属兴蒙造山带的阿巴嘎和达里诺尔第四纪火山岩均以钠质系列碱性玄武岩为主, 少量拉斑玄武岩(Ho *et al.*, 2008; 张臣等, 2004; Chen *et al.*, 2015)。碱性玄武岩和拉斑玄武岩可能由不同程度和深度的软流圈地幔的石榴石橄榄岩的部分熔融形成(Ho *et al.*, 2008; Chen *et al.*, 2015)。这与其邻区华北克拉通西部的汉诺坝玄武岩、集宁玄武岩、大同玄武岩有相似之处(Fan and Hooper, 1991; 支霞臣和冯家麟, 1992; 樊祺诚等, 1992; 张文慧等, 2005)。Xu 等(2005)认为大同拉斑和碱性 2 种系列玄武岩的成因归结为软流圈与岩石圈的相互作用。例外的是, 在集宁玄武岩区最北端的乌兰哈达火山群(位于华北克拉通西部北缘与兴蒙造山带南缘交界处)则出现高钠质系列的碱玄武岩(Fan *et al.*, 2014)。阿巴嘎地幔橄榄岩捕虏体揭示出不同于大兴安岭的地幔特征(二者同属兴蒙造山带), 而与华北克拉通西部北缘具有相似的热状态及饱满型-过渡型的岩石圈地幔性质(张敏等, 2010; 陈生生等, 2012)。以上表明, 火山岩及地幔岩石捕虏体所揭示的重力梯度带的东西两侧及其跨越的兴蒙造山带与华北克拉通的南北方向上, 乃至同一构造单元内部, 也同样存在岩石圈地幔演化

与火山岩成因演化的差异。上述差异可能与该区从古生代到新生代, 不同块体的碰撞、拼接(李双林和欧阳自远, 1998; Wu *et al.*, 2001; 葛文春等, 2007)和中-新生代时期大兴安岭山脉强烈隆升(邵济安等, 2006)等多重构造-岩浆活动有关, 导致火山源区地幔化学不均一性、岩浆起源演化的差异和地表火山岩成分的多样性, 但都离不开中新生代以来整个中国东部大陆处于西太平洋板块俯冲的大背景(樊祺诚等, 2012)。

上个世纪 80 年代以来, 对中国东部新生代玄武岩的主微量元素和同位素研究表明, 岩浆主要来源于软流圈地幔, 而在岩浆上升过程中没有发生明显的地壳物质的混染作用(Zhou and Armstrong, 1982; Song *et al.*, 1990; Zhi *et al.*, 1990; Fan and Hooper, 1991; Basu *et al.*, 1991; Liu *et al.*, 1994; Han *et al.*, 1999; Zou *et al.*, 2000; Xu *et al.*, 2005), 说明岩浆形成后上升喷出地表过程仍保持其“纯洁性”。本世纪以来, 对大兴安岭—太行山重力梯度带以西的蒙古 Tariat 玄武岩(Barry *et al.*, 2003)、集宁玄武岩(张文慧等, 2005)和哈拉哈河-绰尔河玄武岩(赵勇伟和樊祺诚, 2012)等研究也同样表明, 岩浆上升过程中极少受到地壳混染, 其化学成分基本上反映了源区特征, 即可以通过对玄武岩的研究反演软流圈地幔和岩石圈地幔特征。地球物理探测资料研究表明, 中国东部华北和东北地区地壳厚度约为 40 km(马杏垣, 1989)、岩石圈厚度为 80~90 km(方盛明等, 2001), 该地区软流圈的上涌可能触发于太平洋板块的西向俯冲, 并且部分岩浆可能起源于处在地幔过渡带(~600 km)的停滞板块(Zhang *et al.*, 2012), 横向上已经到达重力梯度带附近(Zhao *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2013)。新近从位居华北克拉通西部北缘与兴蒙造山带南缘接壤的乌兰哈达玄武岩的元素和同位素示踪, 均显示其岩浆源区橄榄岩具有碳酸盐化的趋势, 表明乌兰哈达玄武岩源区不能排除碳酸盐化熔体的贡献, 是否与太平洋板块向西俯冲所携带的沉积物或流体有关只是大胆的设想而已(Fan *et al.*, 2014)。毫无疑问, 太平洋俯冲板块向西俯冲对中国大陆之下软流圈与岩石圈的影响, 势必在中国东部中生代火山岩中留下印记, 需要地质、地球物理与地球化学的协同探索。

#### 参考文献 (References):

- Barry T L, Saunders A D, Kempton P D, Windley B F, Pringle M S, Dorjnamjaa D, Saandar A. 2003. Petrogenesis of cenozoic basalts from Mongolia: Evidence for the role of asthenospheric versus meta-

- somatized lithospheric mantle sources. *Journal of Petrology*, 44(1): 55–91
- Basu A R, Wang J W, Huang W K, Xie G H, Tatsumoto M. 1991. 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. *Earth and Planetary Science Letters*, 105: 149–169
- Chen S S, Fan Q C, Zou H B, Zhao Y W, Shi R D. 2015. Magma source and cause of late Cenozoic basaltic magma in Inner Mongolia, eastern China: Combined geochemical and isotope constrains. *Lithos* (in press)
- Fan Q C, Hooper P R. 1991. The Cenozoic basaltic rocks of eastern China: Petrology and chemical composition. *Journal of Petrology*, 32: 765–810
- Fan Q C, Sun Q, Li N, Wang T H. 2006. Holocene volcanic rocks in Jingbo Lake region-Diversity of magmatism. *Progress in Natural Science*, 16(1): 65–71
- Fan Q C, Chen S S, Zhao Y W, Zou H B, Li N, Sui J L. 2014. Petrogenesis and evolution of Quaternary basaltic rocks from the Wulanhada area, North China. *Lithos*, 206–207: 289–302
- Han B F, Wang S G, Kagami H. 1999. Trace element and Nd-Sr isotope constraints on origin of the Chifeng flood basalts, North China. *Chemical Geology*, 155: 187–199
- Ho K S, Liu Y, Chen J C, Yang H J. 2008. Elemental and Sr-Nd-Pb isotopic compositions of late Cenozoic Abaga basalts, Inner Mongolia: Implications for petrogenesis and mantle process. *Geochemical Journal*, 42: 339–357
- Ho K S, Liu Y, Chen J C, You C F, Yang H J. 2011. Geochemical characteristics of Cenozoic Jining basalts of the western North China Craton: Evidence for the role of the lower crust, lithosphere, and asthenosphere in petrogenesis. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 22: 15–40
- Li H H, Sun J Z. 1985. Study on Eras of Datong volcanic activation by thermoluminescence dating. *Science Sinica (Series B)*, 10: 1069–1080
- Li J, Wang X, Wang X, Yuen D A. 2013. P and SH velocity structure in the upper mantle beneath Northeast China: Evidence for a stagnant slab in hydrous mantle transition zone. *Earth and Planetary Science Letters*, 367: 71–81
- Liu C Q, Masuda A, Xie G H. 1994. Major-and trace-element compositions of Cenozoic basalts in eastern China: Petrogenesis and mantle source. *Chemical Geology*, 114: 19–42
- Rudnick R L, Gao S, Ling W L, Liu Y S, McDonough W F. 2004. Petrology and geochemistry of spinel peridotite xenoliths from Hannuoba and Qixia, North China Craton. *Lithos*, 77: 609–637
- Song Y, Frey F A, Zhi X C. 1990. Isotopic characteristics of Hannuoba basalts, eastern China: Implications for their petrogenesis and the composition of subcontinental mantle. *Chemical Geology*, 88: 35–62
- Wu F Y, Sun D Y, Li H M, Wang X L. 2001. The nature of basement beneath the Songliao Basin in NE China: Geochemical and isotopic constraints. *Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy*, 26: 793–803
- Tang Y J, Zhang H F, Ying J F, Zhang J, Liu X M. 2008. Refertilization of ancient lithospheric mantle beneath the central North China Craton: Evidence from petrology and geochemistry of peridotite xenoliths. *Lithos*, 101: 435–452
- Xu Y G, Chung S L, Ma J L, Shi L. 2004. Contrasting Cenozoic lithospheric evolution and architecture in the western and eastern Sino-Korean Craton: Constraints from geochemistry of basalts and mantle xenoliths. *The Journal of Geology*, 112(5): 593–605
- Xu Y G, Ma J L, Frey F A, Feigenson M D, Liu J F. 2005. Role of lithosphere-asthenosphere interaction in the genesis of Quaternary alkali and tholeiitic basalts from Datong, western North China Craton. *Chemical Geology*, 244: 247–271
- Zhang H F. 2005. Transformation of lithospheric mantle through peridotite-melt reaction: A case of Sino-Korean craton. *Earth and Planetary Science Letters*, 237: 768–780
- Zhang H F, Goldstein S L, Zhou X H, Sun M, Cai Y. 2009. Comprehensive refertilization of lithospheric mantle beneath the North China Craton: Further Os-Sr-Nd isotopic constraints. *Journal of the Geological Society, London*, 166: 249–259
- Zhang W H, Zhang H F, Fan W M, Han B F, Zhou M F. 2012. The genesis of Cenozoic basalts from the Jining area, northern China: Sr-Nd-Pb-Hf isotope evidence. *Journal of Asian Earth Sciences*, 61: 128–142
- Zhao D, Yu S, Ohtani E. 2011. East Asia: Seismotectonics, magmatism and mantle dynamics. *Journal of Asian Earth Sciences*, 40: 689–709
- Zhao Y W, Fan Q C, Zou H B, Li N. 2014. Geochemistry of Quaternary basaltic lavas from the Nuomin volcanic field, Inner Mongolia: Implications for the origin of potassic volcanic rocks in Northeastern China. *Lithos*, 196–197: 169–180
- Zheng J P, Griffin W L, O'Reilly S Y, Yu C M, Zhang H F, Pearson N, Zhang M. 2007. Mechanism and timing of lithospheric modification and replacement beneath the eastern North China Craton: Peridotite xenoliths from the 100 Ma Fuxin basalts and a regional synthesis. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 71: 5203–5225
- Zhi X C, Song Y, Frey F A, Feng J L, Zhai M Z. 1990. Geochemistry of Hannuoba basalts, eastern China: Constraints on the origin of continental alkalic and tholeiitic basalt. *Chemical Geology*, 88: 1–33
- Zhou X H, Armstrong R L. 1982. Cenozoic volcanic rocks of eastern China: Secular and geographic trends in chemistry and strontium isotopic composition. *Earth and Planetary Science Letters*, 59: 301–329
- Zou H B, Zindler A, Xu X, Qi Q. 2000. Major, trace element, and Nd, Sr and Pb isotope studies of Cenozoic basalts in SE China: Mantle sources, regional variations, and tectonic significance. *Chemical Geology*, 171: 33–47
- 白志达, 田明中, 武法东, 徐德兵, 李团结. 2005. 焰山、高山—内蒙古阿尔山火山群中的两座活火山. *中国地震*, 21(1): 113–117
- 白志达, 王剑民, 许桂玲, 刘磊, 徐德斌. 2008. 内蒙古察哈尔右翼后旗乌兰哈达第四纪火山群. *岩石学报*, 24(11): 2585–2594
- 陈生生, 樊祺诚, 赵勇伟, 隋建立. 2011. 内蒙古贝力克玄武岩台地火山地质及成因探讨. *地震地质*, 33(02): 430–439
- 陈生生, 樊祺诚, 赵勇伟, 隋建立, 杜星星. 2012. 内蒙古阿巴嘎地幔岩捕掳体与岩石圈地幔性质探讨. *岩石学报*, 28(4): 1108–1118
- 陈生生, 樊祺诚, 赵勇伟, 史仁灯. 2013. 内蒙古贝力克玄武岩地球化学特征及地质意义. *岩石学报*, 29(8): 2695–2708
- 陈文奇, 李大明, 戴潼漠, 蒲志平, 刘若新, 李齐, 孙建中, 王昕, Jager E, Hurford A J, Hunziker J G. 1992. 大同第四纪玄武岩的 K-Ar

- 年龄及过剩氩. 1992. 刘若新主编: 中国新生代火山岩年代学与地球化学. 北京: 地震出版社, 81-92
- 邓晋福, 莫宣学, 林培英. 1987. 大同火山群地质及岩石学特征. 地球科学-中国地质大学学报, 12(3): 233-239
- 樊祺诚, 陈文寄, Hurford A J, Hunziker J G. 1992. 大同玄武岩主要元素和微量元素化学. 刘若新主编: 中国新生代火山岩年代学与地球化学. 北京: 地震出版社, 93-100
- 樊祺诚, 刘若新, 张国辉, 隋建立. 1998. 长白山望天鹅火山双峰式火山岩的成因演化. 岩石学报, 14(3): 305-317
- 樊祺诚, 刘若新, 魏海泉, 隋建立, 李霓. 1999a. 长白山天池火山全新世喷发与岩石地球化学特征. 地质论评, 45(S1): 263-271
- 樊祺诚, 刘若新, 隋建立. 1999b. 五大连池裂谷型富钾火山岩带的岩石学与地球化学. 地质论评, 45(S1): 358-368
- 樊祺诚, 刘若新, 魏海泉, 隋建立, 李霓. 2002. 吉林龙岗第四纪火山活动分期. 岩石学报, 18(4): 495-500
- 樊祺诚, 隋建立, 王团华, 孙谦, 李霓. 2006. 长白山天池火山粗面玄武岩的喷发历史与演化. 岩石学报, 22(6): 1449-1457
- 樊祺诚, 隋建立, 王团华, 李霓, 孙谦. 2007. 长白山火山活动历史、岩浆演化与喷发机制探讨. 高校地质学报, 13(2): 175-190
- 樊祺诚, 隋建立, 赵勇伟, 孙谦, 李霓, 杜星星. 2008. 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. 岩石学报, 24(11): 2563-2568
- 樊祺诚, 赵勇伟, 李大明, 武颖, 隋建立, 郑德文. 2011. 大兴安岭哈拉哈河-绰尔河第四纪火山分期: K-Ar 年代学与火山地质特征. 岩石学报, 27(10): 2827-2832
- 樊祺诚, 赵勇伟, 隋建立, 李大明, 武颖. 2012. 大兴安岭诺敏河第四纪火山岩分期: 岩石学、年代学与火山地质特征. 岩石学报, 28(4): 1092-1098
- 方盛明, 余钦范, 张先康. 2001. 中国东部及其邻域岩石圈底界面特征及地震活动性. 地球物理学报, 44(4): 48-53
- 葛文春, 吴福元, 周长勇, 张吉衡. 2007. 兴蒙造山带东段斑岩型 Cu, Mo 矿床成矿时代及其地球动力学意义. 科学通报, 52(20): 2047-2417
- 李双林, 欧阳自远. 1998. 兴蒙造山带及邻区的构造格局与构造演化. 海洋地质与第四纪地质, 18(3): 45-54
- 列别金斯基 B. И. 1958. 大同火山群. 北京: 科学出版社
- 刘嘉麒. 1987. 中国东北地区新生代火山岩的年代学研究. 岩石学报, 3(4): 21-31
- 刘嘉麒. 1999. 中国火山. 北京: 科学出版社
- 刘俊杰, 张玉清, 赵九峰. 2008. 内蒙古锡盟新生代玄武岩特征及构造环境. 西部资源理论研讨, 5(5): 56-58
- 刘若新. 1992. 中国新生代火山岩年代学与地球化学. 北京: 地震出版社
- 刘若新. 1995. 火山作用与人类环境. 北京: 地震出版社, 71-80
- 刘若新, 樊祺诚, 郑祥身, 张明, 李霓. 1998. 长白山天池火山的岩浆演化. 中国科学(D辑), 28(3): 226-231
- 刘祥, 向天元, 王锡魁. 1989. 长白山地区新生代火山活动分期. 吉林地质, 8(1): 30-41
- 林儒耕. 1979. 内蒙古火山熔岩地貌. 内蒙古师范学院学报(自然科学版), 20(1): 95-119
- 罗修泉, 陈启桐. 1990. 内蒙古新生代玄武岩年代学初步研究. 岩石矿物学杂志, 9(1): 37-46
- 内蒙古自治区地质矿产局. 1991. 内蒙古自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 1-6
- 马保起, 卢海峰, 旺小东, 郭文生. 2006. 大兴安岭诺敏河火山喷发时代的初步研究. 第四纪研究, 26(2): 295-296
- 马金龙, 徐义刚. 2004. 河北阳原和山西大同新生代玄武岩的岩石地球化学特征: 华北克拉通西部深部地质过程初探. 地球化学, 33(1): 75-88
- 马金龙, 徐义刚. 2006. 河北阳原幔源包体的 Sr-Nd 同位素特征指示华北克拉通中部存在 EM1 型古老富集地幔. 科学通报, 51(10): 1190-1196
- 马杏垣. 1989. 中国岩石圈动力学图集. 武汉: 中国地图出版社
- 邱家骧. 1991. 五大连池-科洛-二克山富钾火山岩. 北京: 中国地质大学出版社
- 邵济安, 张履桥, 牟保磊, 韩庆军. 2006. 大兴安岭的隆起与地球动力学背景. 北京: 地质出版社, 7-43
- 隋建立, 樊祺诚, 徐义刚. 2012. 大兴安岭诺敏河第四纪火山地幔岩捕虏体研究. 岩石学报, 28(4): 1130-1138
- 隋建立, 李霓, 樊祺诚, 徐义刚. 2014. 大兴安岭北部诺敏河地幔金云母及钾质地幔熔体研究. 岩石学报, 30(12): 3587-3594
- 吴雅颂, 王兴武. 1978. 山西的近期玄武岩. 太原: 山西出版社
- 解广轰, 王俊文, Tatsumoto M, Basu A R. 1988. 汉诺坝玄武岩及大同火山群的岩石学和同位素地球化学. 地球化学, 17(4): 277-286
- 徐义刚. 2006. 太行山重力梯度带的形成与华北岩石圈减薄的时空差异性有关. 地球科学-中国地质大学学报, 31(1): 14-21
- 徐亚勤, 仲伟成, 陈洪中. 1995. 对大兴安岭“甘奎”火山群的新认识. 见: 刘若新主编: 火山作用与人类环境. 北京: 地震出版社, 71-80
- 杨建军. 1988. 内蒙锡盟新生代玄武岩的岩石学研究. 岩石学报, 5(2): 13-43
- 杨若昕, 白志达, 谭庆伟, 吴之理, 王妍. 2012. 内蒙锡林浩特鸽子山(阿尔更其格)火山地质研究. 岩石学报, 28(4): 1181-1188
- 尹赞勋. 1976. 大同火山的活动时代. 文物, 27(2): 51-56
- 张臣, 韩宝福, 童英, 李德春. 2004. 内蒙古阿巴嘎旗地区新生代玄武岩基本特征及成因. 吉林大学学报(地球科学版), 34(1): 21-26
- 张敏, 杨进辉, 孙金凤, 邵济安. 2010. 内蒙古阿巴嘎地区新生代岩石圈地幔的性质. 见: 2010年全国岩石学与地球动力学研讨会论文集摘要(北京). 29
- 张文慧, 韩宝福, 杜蔚, 刘志强. 2005. 内蒙古集宁新生代玄武岩的地幔源区特征: 元素及 Sr-Nd-Pb 同位素地球化学证据. 岩石学报, 21(6): 1569-1582
- 张招崇, 李兆鼎, 李树才, 辛影, 李兆木, 王先政. 1999. 黑龙江镜泊湖地区第四纪玄武岩的 Sr、Nd、Pb 同位素组成及其地幔源区特征. 地质论评, 45(增刊): 349-357
- 张招崇, 李兆鼎, 李树才, 辛影, 李兆木, 王先政, 尹金辉. 2000. 黑龙江镜泊湖地区全新世火山岩的<sup>14</sup>C 测年及其源区特点探讨. 地质学报, 74(3): 279-286
- 赵勇伟, 樊祺诚, 白志达, 孙谦, 李霓, 隋建立, 杜星星. 2008. 大兴安岭哈拉哈河—绰尔河地区第四纪火山活动初步研究. 岩石学报, 24(11): 2569-2575
- 赵勇伟, 樊祺诚. 2011. 大兴安岭岩石圈地幔特征—哈拉哈河—绰尔河橄榄岩捕虏体的证据. 岩石学报, 27(10): 2833-2841
- 赵勇伟, 樊祺诚. 2012. 大兴安岭哈拉哈河-绰尔河第四纪火山岩地幔源区与岩浆成因. 岩石学报, 28(4): 1119-1129
- 支霞臣, 冯家麟. 1992. 汉诺坝玄武岩的地球化学. 见: 刘若新主编: 中国新生代火山岩年代学与地球化学. 北京: 地震出版社