中国科学: 地球科学 2013 年 第 43 卷 第 9 期: 1464 ~ 1473
www.scichina.com earth.scichina.com
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

论 文

大兴安岭诺敏河-奎勒河地区第四纪火山活动研究

赵勇伟[①*], 樊祺诚[①], 白志达[②], 隋建立[①]

① 中国地震局地质研究所活动构造与火山重点实验室, 北京 100029;
② 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083
* E-mail: zilongzhao1981@yahoo.com.cn

收稿日期: 2012-09-16; 接受日期: 2012-11-18; 网络版发表日期: 2013-08-08
国家自然科学基金(批准号: 41172305, 40972047)和中国地震局地质研究所中央级公益性科研院所基本科研业务专项(编号: IGCEA1102)资助

摘要 大兴安岭北部的诺敏河及其支流毕拉河和甘河支流奎勒河地区分布有数十座第四纪火山, 火山岩面积约 600 km^2. 通过野外地质调查详细研究了其中 24 座火山, 其产物主要为爆破式喷发成因的火山碎屑和溢流式喷发成因的熔岩流. 火山碎屑构成渣锥和远源空降堆积, 熔岩流中发育结壳熔岩、渣状熔岩、块状熔岩等产物. 研究区火山类型主要有火山渣锥、溅落锥和盾形火山三类, 火山渣锥中单火口的圆形锥和马蹄形锥居多, 多火口的火山渣锥及小规模的盾形火山是本区火山地质特色. 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, 研究区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个时期. 早更新世火山活动强度不大, 熔岩流分布在少数河谷中. 中更新世火山活动趋强, 无论是火山数量还是熔岩产量都占第四纪以来火山产物总量的 1/2 以上, 产物遍布研究区, 构成了整个火山区的雏形. 晚更新世和全新世的火山活动局限于毕拉河流域, 爆破式喷发造就数座规模较大的火山碎屑锥.

关键词
大兴安岭
第四纪火山活动
诺敏河
奎勒河

中国东部中-新生代以来火山活动频繁, 造就了绵延 5000 km 宽达数百公里的陆相火山岩带. 20 世纪 80 年代以来, 中国东部火山岩年代学和岩石地球化学研究方面取得丰硕成果, 但很长一段时间以来, 大兴安岭地区因森林覆盖, 交通不便, 其中隐藏的新生代火山(主要是第四纪火山)鲜为人知. 本世纪以来, 位于大兴安岭中段的哈拉哈河-绰尔河火山区在建设地质公园的背景下得到较多关注[1~3]. 然而, 大兴安岭之中是否存在其它第四纪火山成为人们关注的问题.

根据前人研究, 在大兴安岭北部的诺敏河-奎勒河地区存在一处火山群. 黑龙江省地质科学研究所于 1980 年印制的 1:100 万《黑龙江省及其邻区地质图》中对此处火山有所记载. 前人曾根据航片和卫片对其进行过初步认定和划分[4], 并开展火山岩年代学的初步研究[5~7], 总体上认为该处火山群形成于第四纪时期. 然而迄今为止对这一处隐藏于密林中的火山群还缺乏系统的火山学研究, 对火山地质的了解还相当匮乏. 本文在野外考察基础上, 以火山学理论为指导, 对诺敏河-奎勒河地区第四纪火山的数量、分布、产物、火山类型等火山地质基本特征进行总结和归纳, 初步划分火山活动期次.

中文引用格式: 赵勇伟, 樊祺诚, 白志达, 等. 大兴安岭诺敏河-奎勒河地区第四纪火山活动研究. 中国科学: 地球科学, 2013, 43: 1464–1473
英文引用格式: Zhao Y W, Fan Q C, Bai Z D, et al. Quaternary volcanism in the Nuomin River and Kuile River area of the Greater Hinggan Mountains. Science China: Earth Sciences, 2013, 56: 173–181, doi: 10.1007/s11430-012-4544-7

1　区域地质概况

东北地区处于中亚造山带东段, 夹于西伯利亚板块与中朝板块之间, 东缘为西太平洋沟弧盆系. 这是一个在古生代-中生代由多块体拼合而形成的构造堆叠区. 这一地区由 3 个微陆块组成联合板块, 分别是东南部的佳木斯地块, 中间的松辽地块和西北部的兴安地块[8]. 自约 190 Ma 以来由于太平洋板块向北西方向俯冲, 伴随板块俯冲作用发展起来的燕山运动使已经稳定了的东北大陆重新活动起来, 打破原来的构造格局, 开始滨太平洋构造域的发展阶段[9]. 在晚白垩世由于库拉-太平洋板块中脊的扩张作用, 及随后的板块运动和弧后扩张的进一步发展, 在东北地区形成大陆裂谷系. 新生代以来沿着裂谷及其邻近断裂带有规模较大的基性岩浆喷发[5](图 1).

大兴安岭横跨在晚古生代晚期就逐渐稳定的兴蒙造山带之上. 中生代时期, 该地区发育大规模中酸性火山-侵入岩, 构成大兴安岭的雏形, 是中国东部中生代大火成岩带的组成部分[11]. 新生代时期, 在中国东-西梯度带形成的背景下, 大兴安岭山体发生强烈的隆升, 并伴随着大范围的玄武质岩浆活动[12], 自此大兴安岭地区成为我国重要的新生代火山岩分布区之一.

进入 21 世纪以来, 在大兴安岭中段的哈拉哈河-绰尔河地区确认存有近 30 座第四纪火山, 并覆盖有约 400 km^2 的火山岩, 构成哈拉哈河-绰尔河第四纪火山区[2].

诺敏河-奎勒河火山群位于大兴安岭北段东麓, 行政区划上属于内蒙古呼伦贝尔市东部鄂伦春自治旗境内诺敏镇附近(图 2), 地理坐标为 123°00′~124°15′E, 49°10′~50°00′N. 该地区火山岩主要为早白垩世火山岩, 侵入岩主要是二叠纪花岗岩, 第四纪地层以河流冲积洪积层为主.

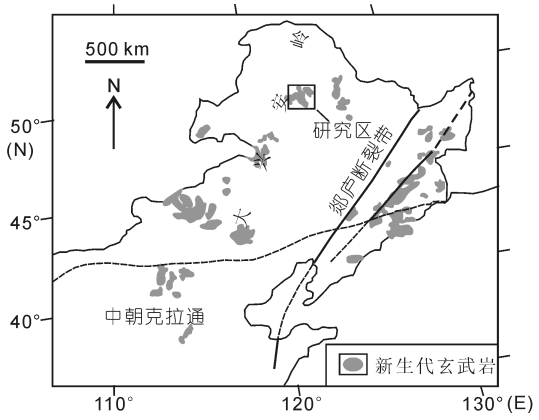

图 1　中国东北部新生代玄武岩分布图

修改自文献[10]

2　火山地质

诺敏河-奎勒河地区火山产物包括熔岩流和火山锥, 反映出研究区内火山喷发形式有溢流式喷发和爆破式喷发(explosive eruption)两种, 并分别有着不同的特征产物. 溢流式喷发产物有渣状熔岩, 结壳熔岩, 块状熔岩等, 空间上构成分片出露于诺敏河和奎勒河流域的分布面积较广的熔岩流, 大体上可分为以下几部分: 小土葫芦山周边熔岩流、博克图大山附近熔岩流、小四方山熔岩流、马鞍山附近熔岩流、达来滨湖通熔岩流, 四方山熔岩流、布宫奇汗熔岩流、宜里熔岩流、红花尔基熔岩流、果楞奇附近熔岩流和诺敏河河谷熔岩流, 分布面积共计约 600 km^2 (图 2). 爆破式喷发形成火山碎屑如火山渣、熔岩饼、火山弹等, 常在喷火口周围构成碎屑锥. 这些形式各样的火山锥是熔岩流的源头. 根据野外调查到目前为止确认诺敏河-奎勒河地区火山 24 座, 基本参数列于表 1.

3　喷发特征及产物

如上所述, 研究区内火山喷发形式有爆破式喷发和溢流式喷发两种, 对应着不同的火山喷发类型, 并分别有着不同的特征产物.

3.1　爆破式喷发产物

炽热的岩浆在上升减压过程中, 挥发份出溶或遭遇地下水, 使岩浆通道上方压力急剧升高, 最终冲破岩石盖层引发爆破式喷发. 爆破式喷发(explosive eruption)的典型产物是火山碎屑, 常堆积成为碎屑锥, 又称火山渣锥. 区内分布有数十座火山渣锥, 如四方山、小四方山、果楞奇、马鞍山、半拉山、小土葫芦山等. 火山渣锥高度由数十米到近三百米不等, 锥体的直径也由数百米到两三公里. 碎屑锥按照喷发物组成特征可分为火山渣锥和溅落锥(图 3, 4). 火山渣锥主要由弹道降落的空降火山渣组成, 溅落锥则由

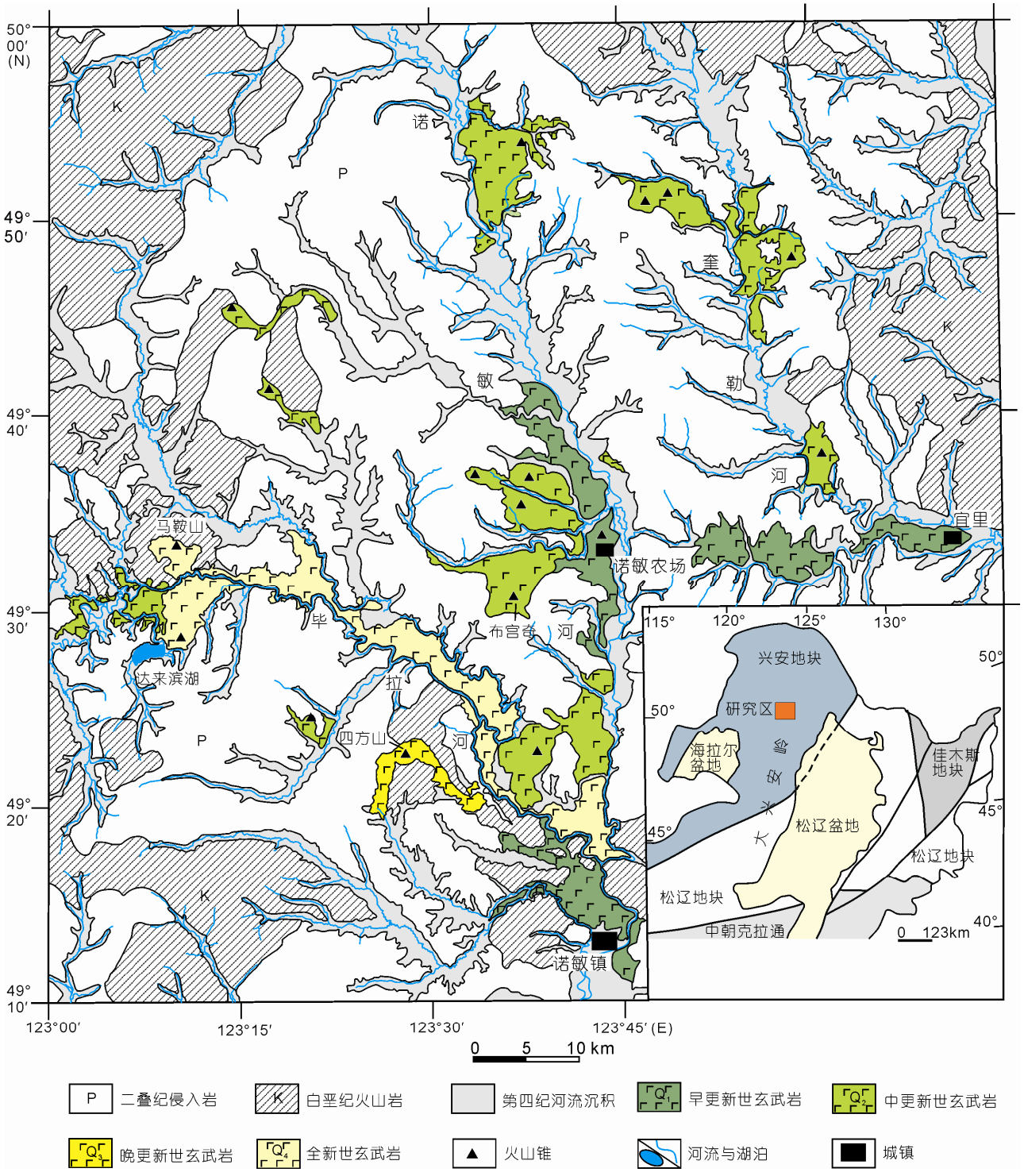

图 2　大兴安岭诺敏河-奎勒河第四纪火山地质图

中生代地层参考自 1:25 万诺敏幅地质图 [1]. 右下图修改自文献[8]

1) 诺敏幅 1:25 万地质图. 黑龙江省地质调查研究总院印制. 2005

表 1 诺敏河-奎勒河第四纪火山参数 [a)]

火山名称	形成时代	坐标	形状	长直径 (m)	短直径 (m)	火口直径 (m)	标高 (m)	锥体类型
马鞍山	全新世	123°10′00″E, 49°33′16″N	圆马蹄形	1260		590	210	渣锥+溅落锥
马鞍山东	全新世	123°14′28″E, 49°31′44″N	圆马蹄形	130			–10	塌陷坑
达来滨湖通	全新世	123°11′00″E, 49°28′50″N	圆马蹄形	1500		580	166	渣锥
达来滨湖 573	全新世	123°11′44″E, 49°30′46″N	圆马蹄形	980	650	470	70	渣锥
四方山	晚更新世	123°28′00″E, 49°22′30″N	圆形	1900	1500	400	283	渣锥
布宫奇汗	中更新世	123°38′00″E, 49°22′50″N	马蹄形锥体+盾形基座	750		300	109	盾形火山+渣锥
小土葫芦山	中更新世	123°37′20″E, 49°54′00″N	圆马蹄形	1000		490	118	渣锥
小土葫芦山东 568 高地	中更新世	123°36′50″E, 49°53′50″N	盾形	300			20	盾形火山
布宫奇	中更新世	123°36′30″E, 49°30′30″N	盾形	2500		640	109	盾形火山+渣锥
诺敏河农场	中更新世	123°44′00″E, 49°33′30″N	盾形	1000			30	盾形火山
果楞奇	中更新世	123°37′00″E, 49°37′00″N	马蹄形锥体+盾形基座	1600		440	170	渣锥
597 高地(四方山西)	中更新世	123°21′13″E, 49°23′55″N	圆马蹄形	1150	600	250	60	渣锥
821 高地(研究区西北)	中更新世	123°14′00″E, 49°45′30″N	圆马蹄形	800		450	70	渣锥
半拉山(502)	中更新世	123°37′47″E, 49°34′40″N	圆马蹄形	700		500	50	渣锥
706 高地(果楞奇西)	中更新世	123°33′27″E, 49°36′54″N	圆马蹄形	1460		860	150	渣锥
398 高地(龙头西)	中更新世	123°34′50″E, 49°26′12″N	圆马蹄形	450		180	40	渣锥
小四方山	中更新世	124°01′00″E, 49°37′54″N	圆马蹄形	900		600	65	渣锥+溅落锥
红花尔基	中更新世	123°47′00″E, 49°50′40″N	盾形	1600	1050	850	80	盾形火山
红花尔基东	中更新世	123°49′00″E, 49°51′00″N	盾形	1800	1350		70	盾形火山
博克图大山	中更新世	123°58′54″E, 49°47′59″N	圆马蹄形	1130	730	590	110	渣锥+溅落锥
371 高地	中更新世	123°34′30″E, 49°23′30″N	盾形	800			10~20	盾形火山
达来滨湖 560 高地北	中更新世	123°11′00″E, 49°28′50″N	圆形	500			30	渣锥
达来滨湖 542	中更新世	123°09′30″E, 49°30′00″N	盾形	660	420		10~20	盾形火山
达来滨湖 563	中更新世	123°11′00″E, 49°30′30″N	盾形	1100			10~20	盾形火山

a) 火山参数在野外考察的基础上利用 1:5 万地形图和卫星遥感影像测得

熔结集块岩构成.

以马鞍山火山为例, 其火山锥由底部的火山渣锥和顶部的溅落锥叠置构成(图 3, 图 4(a)). 晚期形成的溅落锥叠置在早期的降落成因的火山渣锥之上, 在地貌上前者相对陡峻, 后者平缓. 火山渣锥是马鞍山火山锥的主体, 占到总体积的约 80%以上, 锥体高近 150 m, 主要由松散火山碎屑构成, 锥体坡角 30°~35°. 火山碎屑主要为褐红色, 少量灰黑色, 气孔构造非常发育, 呈棱角状. 碎屑包括火山灰、火山砾和火山弹, 而其中又以火山砾含量最高, 粒径在 2~50 mm 的火山砾占到总体积的 80%以上. 溅落锥覆盖在火山渣锥之上, 坡体陡峭, 大多大于 70°, 有的地方近直立. 溅落锥厚度变化较大, 部分位置厚达近 60 m, 在火口沿分布最多, 火山锥斜坡上也呈断

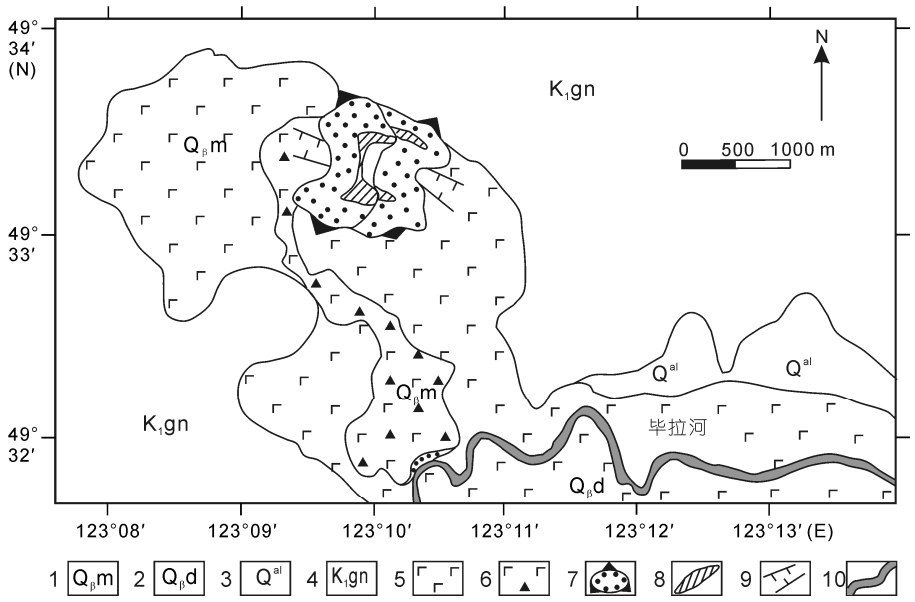

图 3　马鞍山火山地质图

1. 马鞍山熔岩流; 2. 达来滨湖火山熔岩流; 3. 沼泽沉积物; 4. 早白垩世火山岩; 5. 结壳熔岩; 6. 块状玄武岩; 7. 降落渣锥; 8. 溅落锥; 9. 熔岩溢出通道; 10. 河流



图 4　马鞍山火山喷发产物

(a) 火山锥及块状熔岩; (b) 熔结集块岩; (c) 空降火山碎屑; (d) 结壳熔岩剖面

续分布, 组成物质是褐红色、砖红色巨厚层熔结集块岩, 其中焊结着大量的火山弹、熔岩饼及塑性熔浆团块, 较为致密(图 3, 图 4(b)). 马鞍山火山爆破式喷发产物除锥体外还在远源形成火山碎屑空降堆积(tephra fallout deposits)(图 3, 图 4(c)), 预示着火山喷发最强时形成过持续的喷发柱[3].

3.2 溢流式喷发产物

熔岩从火山口平静地溢流是火山喷发最常见的活动方式之一. 研究区内火山溢流形成的熔岩流占据着火山产物总量的绝大部分, 这些熔岩流大部分展布于地势较低的河谷地带, 如宜里、果楞奇、诺敏河河谷. 形成时代较早的熔岩流分布面积最广, 但常被厚层腐殖土覆盖成为农田或被森林占据, 总体上露头稀少. 形成时代较晚的熔岩流虽分布相对局限, 但由于没有上覆连续的盖层, 本身的风化程度也弱, 比较典型地反映出区内火山喷发时的熔岩类型. 通过野外地质调查发现在研究区马鞍山和达来毕诺两地出露的熔岩流最为新鲜, 形成时代最晚, 见于毕拉河流域的马鞍山、达来滨湖、达来毕诺、布宫奇汗西等地, 岩性以结壳熔岩(pahoehoe lava)、块状熔岩(block lava)和渣状熔岩(aa lava)为主.

结壳熔岩见于神指峡(图 4(d)), 该处可以辨认出至少 5 个熔岩流单元, 厚 2~10 m 不等, 每个熔岩流单元表层是相对松散的表壳, 厚度 10~30 cm, 气孔含量较多, 表壳之下是致密的厚层熔岩, 气孔含量很少. 另外这个剖面中一些地方还显示熔岩塌陷堆积, 推测结壳熔岩之下曾有熔岩隧道通过.

渣状熔岩在达来毕诺附近分布最为广泛. 其表面由破碎松散的渣状的玄武岩角砾或集块构成. 其中包含大量结壳熔岩及绳状熔岩碎块, 显示出渣状熔岩是结壳熔岩的过渡产物, 是流动后期冷却过程中内部结晶增多粘度增大形成的.

块状熔岩也在马鞍山熔岩流中出现(图 3, 图 4(a)). 块状熔岩在熔岩流叠置关系上位于最上层, 其表面几乎无任何植被, 只发育少量苔藓, 形成裸露的石塘, 是诺敏河-奎勒河火山群中最为新鲜的熔岩流之一. 块状熔岩主要由直径 0.5~3 m 不等的大块玄武岩构成, 其中气孔含量很少. 比较三种熔岩流的风化程度和叠置关系, 可以推测出马鞍山火山溢流阶段早期产物为结壳熔岩, 分多次熔岩流溢出, 而晚期火山岩浆中挥发份含量已经大量减少, 熔岩类型转变为渣状熔岩或块状熔岩.

4 火山类型

由于火山喷发在不同的大地构造背景下, 在不同喷发环境影响因素下, 其表现形式与最终产物有着千差万别的变化, 尽管前人根据火山锥体的大小、形态、物质组成和火山活动持续时间将陆上的火山分为四个主要类型: 火山渣锥(cinder cone), 复合火山(composite volcano), 盾火山(shield volcano)和熔岩丘(lava dome)[2], 然而这些火山类型仍不能囊括所有的陆地火山. 研究区内的火山从物质组成上与火山渣锥和盾火山相似, 然而又与上述典型的火山渣锥和盾火山明显不同, 具有区域性特点. 如区内火山锥中除火山渣锥外还常发育溅落锥, 熔岩构成盾形的火山, 但又与经典意义上的盾火山完全不同规模.

4.1 火山锥

诺敏河-奎勒河地区有 14 座火山锥, 这些火山锥按照物质组成和成因分为火山渣锥和溅落锥两类(表 1). 根据 Williams 和 McBirney[13]的定义, 火山渣锥是小型的, 截顶的锥形的火山成因小山, 由碎屑化的基性喷出物经斯通博利式喷发堆积而成. 而溅落锥是由熔融的熔岩像沸腾的粥一样由火口向周围泼洒, 熔岩中膨胀的气体将熔岩喷泉撕裂成不规则的塑性团块, 这些高温的塑性团块跌落在火口周围形成坡度陡峭的锥体. 在诺敏河-奎勒河地区, 溅落锥通常是叠置于火山渣锥之上. 典型的火山渣锥和溅落锥在山顶有盆形火山口, 很少高于 300 m, 由单个火口喷出的火山砾和火山弹构成, 最终只形成一个火山口, 是单次喷发成因. 研究区大多火山锥都具有一个火山口, 但以马鞍山和达来滨湖通火山为代表的火山有一个以上的火山口, 与上述典型火山锥形成鲜明对比. 根据火口的多寡可将研究区火山渣锥分为单火口锥和多火口锥.

2) Tilling R I. Volcanoes. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey. 1997. http://pubs.usgs.gov/gip/volc/types.html

4.1.1 单火口锥

Wood[14]发现 95%的火山渣锥喷发持续 1 年或更短的时间. 根据国外现代活火山喷发记录, 单火口火山渣锥一般由一次火山喷发就可形成. 研究区内的火山锥按照火口形状分为圆形锥和马蹄形锥.

圆形锥体的典型代表是四方山火山, 它在平面投影上呈近圆状(图 5(a)), 在火山口周围, 锥体没有被熔岩溢出口破坏, 完整的保留下来, 形成盆状负地形, 积水成湖形成天池. 根据这些圆形锥体的形态可以推想, 火山喷发时火口为点状, 又或者喷发沿裂隙发生, 但喷发快速集中于一个中心式火口, 因此岩浆碎屑以火口为中心按照弹道轨迹均匀地降落于火口周围, 逐渐堆积成为圆形锥体, 后期的熔岩溢出口多在火山锥的斜坡上或锥体之外, 没有破坏锥体的完整性, 从而形成盆状负地形.

马蹄形火山锥是世界各地玄武质火山中最常见的外貌形态, 在我国大陆板内环境中马蹄形几乎成为辨别火山的标志性形态. 诺敏河-奎勒河火山群内有小土葫芦山, 小四方山等 7 个马蹄形火山锥(图 5(b)), 约占总数 1/4. 马蹄形锥体之所以在火山中如此常见, 这与火山喷发规律有着直接的关系. 目前最常用的成因解释为: 在玄武质火山喷发过程中, 岩浆通道打开后一般是密度最小的富含挥发份的岩浆首先引起爆破式喷发, 形成近圆状或次圆状碎屑锥, 后期溢流式喷发阶段, 岩浆房的压力减小, 因此熔岩倾向于沿位于碎屑锥的底部中浮面溢流, 这个过程中会破坏松散的碎屑锥, 从而形成马蹄形锥体. 本文提出另外一种可能成因, 即裂隙状岩浆通道导致马蹄形缺口. 根据国外活火山的研究, 岩浆通道在地表常呈裂隙状, 并且随着火山活动, 裂隙常常会纵向扩展, 延伸距离远超过火山锥本身. 因此可以推测, 这种扩展的裂隙及其中的岩浆可能会在其延伸方向破坏已经形成的碎屑锥, 在该方向上形成马蹄形缺口.

第一种熔岩流破坏锥体的解释似乎在所有火山喷发中都存在. 熔岩流的密度和粘性使它很容易破坏本就松散的碎屑堆积物. 如果单纯是第一种成因, 马蹄形缺口朝向应当是随机分布. 然而研究区火山大量马蹄形缺口朝向不具有随机分布特点, 而是大部分朝东西向, 这说明第二种成因机制在研究区火山中可能起着主导作用, 在研究区两种作用有可能叠加, 加速马蹄形缺口的形成.

4.1.2 多火口锥

尽管研究区内大多火山都是单火口, 仍然有马鞍山、达来滨湖通等火山具有不止一个火口. 单火口火山锥一般一次喷发就可形成, 但多火口火山锥要求火山在一定时间间隔内数次喷发才可形成.

该类火山锥火口之间距离很近, 以马鞍山火山为例(图 3), 马鞍山火山锥底直径约 1300 m, 面积约 1.2 km^2, 锥体高度约 206 m. 其锥体由东西两个马蹄形火山锥背向相依而成, 一段火口沿为两火山锥共有. 根据火山产物相互叠置关系推断东侧火山锥形成较早, 而西侧火山锥形成相对较晚. 在锥体的南北

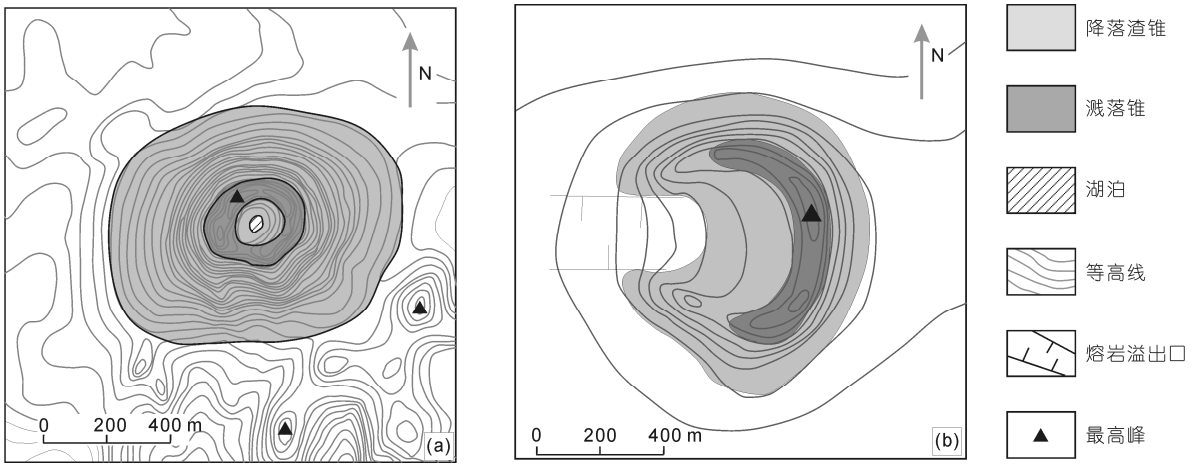

图 5 圆形锥与马蹄形锥对比图

等高线间距为 10 m. (a) 四方山圆形火山锥, (b) 小土葫芦山马蹄形火山锥

两翼早晚两期喷发产物叠加, 造成南北两端地势高, 中部地势低, 使整座火山成马鞍形. 马鞍山火山东西两个火口距离只有约 200 m, 早期和晚期喷发产物没有物质组成和风化程度上的区别, 因此可以合理推测一个多火口锥的几次喷发沿用同一个岩浆通道, 这个岩浆通道很可能是裂隙状, 一次喷发之后熔岩冷却, 将火口之下浅部岩浆通道堵塞, 因此下一次喷发只能在深部裂隙通道的基础上, 在地表开辟新的火口. 这类火山与上述单火口锥火山的区别在于岩浆在短时间内补给频率较高, 前期喷发形成的岩浆通道短时间内没有完全固结, 因此火山数次喷发于小范围区域内.

4.2　盾形火山

诺敏河-奎勒河火山区内火山锥除了火山渣锥之外还有一种特殊的锥体类型, 这类锥体有时会包含少量碎屑锥组份, 但总体上以熔岩流构成的盾形火山占锥体物质组成的绝大部分, 这些火山锥的形态特征与碎屑锥明显不同.

典型的夏威夷型喷发常常造就巨大的熔岩盾(lava shield), 例如夏威夷的 Kilauea 火山, 这种盾火山是多成因结构, 体积常超过 1000 km^3. 区别于夏威夷巨型的熔岩盾, 本文所研究的小型的单喷发成因火山称为盾形火山(scutulum type)[15]. 这类火山体积一般 0.1~15 km^3, 火山坡度低缓, 一般小于 5°, 在平面上形状为圆形或椭圆形, 整体上形成盾形, 组成物质主要是多期熔岩流. 研究区的果楞奇、布宫奇、布宫奇汗、571 高地火山、龙头等火山都属这种盾形火山.

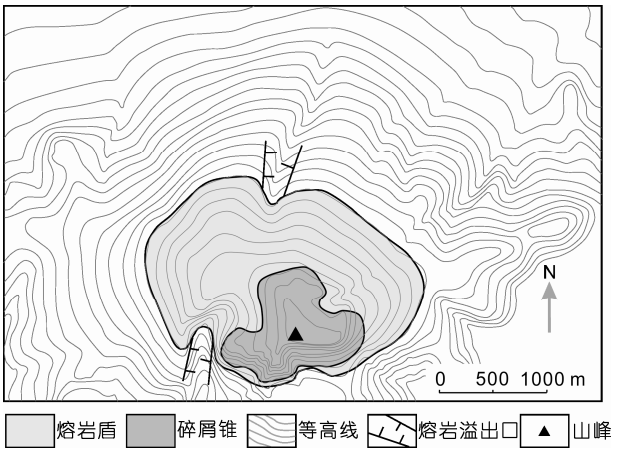

图 6　布宫奇盾形火山示意图

等高线间距为 10 m

以布宫奇火山为例(图 6), 其平面上呈近圆形, 空间上呈盾状, 火山锥体坡度低缓, 在 3°~5°之间, 锥体的南部出露有部分碎屑锥, 周围是大片熔岩流构成的盾形火山, 锥体顶部形成较平坦的熔岩被, 没有研究区内大部分碎屑锥顶部所特有的盆状负地形, 只有小型下陷坑存在. 布宫奇火山的组成物质主要是多期熔岩流. 由锥体物质组成可以推断布宫奇火山喷发早期阶段是斯通博利式喷发, 形成碎屑锥, 然而在后期以大规模夏威夷式熔岩喷溢为主, 大量熔岩流对早期形成的碎屑锥进行强烈破坏和改造, 多期熔岩在火山斜坡上互相叠置堆积, 逐渐形成盾形锥体.

区内盾形火山的体积普遍大于火山渣锥, 是后者的 5~10 倍之间. 盾形火山火口众多, 熔岩流数量和总体积上也明显多于火山渣锥. 这些证据表明盾形火山的岩浆补给速率和频率上可能大大高出碎屑锥火山, 与之相比有质的区别.

5　火山活动历史

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推断新老关系, 结合最新的 K-Ar 测年结果, 将研究区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.

(1) 早更新世. 火山产物主要分布于北区的诺敏河果楞奇附近以及奎勒河宜里, 分布面积约 150 km^2, 火山产物主要是熔岩流, 具有以下特点: 熔岩流找不到明显的火山源头; 熔岩流构成河流的二级阶地, 表面已经被厚层的河流冲积物覆盖, 多被开垦为农田; 熔岩流不但被大的河流分割, 也被更多的小型河流深度侵蚀切割为小的块体; 玄武岩风化较严重, 具球状风化特点. 该期熔岩流风化程度强于区内其他第四纪火山产物, 其形成时代最早, 其 K-Ar 测年结果介于 2.3~0.76 Ma[7], 属早更新世.

(2) 中更新世. 火山产物在诺敏河、奎勒河流域均有大量分布, 占据着第四纪以来火山产物的主体. 该期火山占区内火山总数的 2/3 (表 1), 熔岩流分布面积达 300 km^2. 火山产物具有以下特点: 保存大量火山碎屑锥及部分火山口, 火山锥风化程度相对较强, 其顶部溅落锥已受不同程度剥蚀, 火山口被后期

崩塌物质及厚层腐质土所充填; 熔岩流被大的河流切割, 岩石风化程度较强, 多被林地覆盖. 本期火山产物明显较上述早更新世火山产物风化程度弱, K-Ar 测年结果在 0.71~0.58 Ma 之间[7], 火山活动时代大体上对应于中更新世.

(3) 晚更新世. 火山主要是四方山. 与中更新世火山相比, 四方山锥体风化程度较弱, 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. 其熔岩流并没受河流侵蚀切割, 但之上多被林地覆盖, 少见裸露熔岩. 四方山火山岩的 K-Ar 测年结果为 (0.128±0.01) Ma[7], 尽管年龄结果低于晚更新世下限 (0.126 Ma, 据国际地层委员会《国际地层表》, 2010), 但根据火山口保存的形态和其它地质地貌特征判断, 其形成时代应在晚更新世.

(4) 全新世. 火山包括毕拉河上游的马鞍山、达来滨湖通等 4 座火山, 其熔岩流主要分布在毕拉河河谷, 分布面积约 130 km^2. 该期产物具有以下特点: 火山锥风化程度最弱, 形态保存最为完好, 锥体高大陡峻, 火口具漏斗状, 内壁陡峭易垮塌; 锥体顶部溅落堆积的熔结集块岩较新鲜, 仍保持火山喷发结束时的溅落堆积特征; 熔岩流保持了刚冷却时的形貌和流动构造, 表面很少有覆盖层, 树木难以扎根, 只在岩块隙间有稀疏林木, 形成裸露的石塘; 火山产物尤其是大片的熔岩流对现代地形地貌进行了明显改造, 熔岩流侵占阻塞河道, 形成众多火山堰塞湖或堰塞塘(如达来滨湖, 达来毕诺湖). 这些地质特征与哈拉哈河-绰尔河火山群中的焰山和高山火山, 以及五大连池火山中的老黑山和火烧山火山相似. 前述四个火山均是全新世喷发形成[1,16], 因此这一期火山活动的时代很可能对应于晚更新世至全新世.

根据以上对火山产物形成早晚的判断, 结合上述火山产物空间分布的认识, 大体可以推断研究区火山产物时空分布规律(图 2), 并由此恢复研究区火山活动历史如下: 诺敏河和奎勒河流域最先开始火山活动(约早更新世), 这一时期火山活动强度不大, 熔岩产出量不高, 熔岩流分布在少数河谷中. 火山活动进入到中期(约中更新世)逐渐趋强, 无论是火山数量还是熔岩产量都占第四纪以来火山产物总量的 1/2 以上, 火山产物既有火山锥又有熔岩流, 这一时期的熔岩流分布范围广泛, 产物遍布大的河流流域, 构成了整个火山区的雏形. 最晚期的火山活动(晚更新世至全新世)局限于毕拉河流域, 爆破式喷发造就数座规模较大的火山碎屑锥, 熔岩流分布于局部地区.

6 讨论与结论

诺敏河-奎勒河地区第四纪火山已经确定的有 24 座, 熔岩流分布于诺敏河, 奎勒河及其支流毕拉河河谷附近, 分布面积约 600 km^2. 火山产物主要为爆破式喷发成因的火山碎屑和溢流式喷发成因的熔岩流, 熔岩流中发育结壳熔岩、渣状熔岩、块状熔岩等产物. 火山类型主要有火山渣锥、溅落锥和盾形火山三类, 多火口的火山渣锥及小规模的盾形火山是本区火山地质特色, 裂隙式岩浆通道在马蹄形火山渣锥的形成过程中可能起主导作用. 早更新世火山活动强度不大, 熔岩流分布在少数河谷中. 中更新世火山活动趋强, 无论是火山数量还是熔岩产量都占第四纪以来火山产物总量的 1/2 以上, 构成了整个火山区的雏形. 晚更新世以来的火山活动局限于毕拉河流域, 爆破式喷发造就数座规模较大的火山碎屑锥.

评估一个火山群的喷发危险性最大的难点在于区分火山的类型, 因为不同种类的火山具有迥然不同的灾害类型和灾害预期. 对一个火山群进行火山灾害预测和区划的前提就是系统分析现存火山的地质特征, 确定火山类型. 尽管前人已经积累了很多判别火山类型的方法, 然而随着研究的深入, 人们发现有些情况下难以判明火山类型, 例如有些火山渣锥具有长期的活动, 而一些年轻的复合火山在形态和组成上与火山渣锥没有明显区别[17]. 研究区也存在类似的难题: 马鞍山火山、达来滨湖通火山等多火口火山渣锥, 是复合火山的初级阶段并在未来再次喷发, 还是与典型火山渣锥一样就此停止活动? 这需要在整个研究区的尺度上考虑岩浆系统的特性.

不同类型的火山其本质差异在于不同性质的岩浆输送系统. Walker[18]提出岩浆输送速率和岩浆补给的频率这两个控制因素决定了岩浆源区到高位岩浆房的热通道是否能维持, 喷发活动是否集中在中央火口系统, 并在这基础上提出火山系统的概念. 在多成因火山系统(polygenetic volcano system)中, 岩浆频繁地沿岩浆通道上升, 使通道围岩持续高温, 为岩浆提供了动力机制上更容易到达地表的通道. 而在单成因系统(monogenetic volcano system)中, 批式岩浆上升的间隔时间很长, 以致岩浆在下批岩浆到来之前已冷却固结堵塞通道. 典型的火山渣锥因形成时

间短, 体积小, 属于单次喷发成因系统. 然而就诺敏河－奎勒河火山群而言, 构造断裂也是岩浆输送系统中不可忽视的重要因素. 在构造应力持续薄弱的位置, 即使前期岩浆通道固结, 后期岩浆仍有可能沿此位置上升引发再次喷发, 这可能是最晚期火山集中出露于毕拉河地区以及形成多火口火山的成因之一. 而在整个区域上, 研究区火山受构造断裂控制, 由于该构造目前仍处于活动期(马鞍山等最晚喷发的火山就是明证), 因此火山群内仍具有潜在的火山喷发危险性.

研究区未来的火山学研究需要进一步加强野外地质调查工作, 密林中仍隐藏有为数不少的火山等待人们去发现. 火山岩测年工作也需在此基础上进一步加强, 以便进行更加精确的火山期次划分. 鉴于这一地区存在非常年轻的火山, 有必要在该地开展火山监测研究, 以保护人民生命财产安全.

致谢 感谢审稿专家提出的宝贵意见.

参考文献

1 白志达, 田明中, 武法东, 等. 焰山、高山——内蒙古阿尔山火山群中的两座活火山. 中国地震, 2005, 21: 113–117
2 赵勇伟, 樊祺诚, 白志达, 等. 大兴安岭哈拉哈河-淖尔河地区第四纪火山活动初步研究. 岩石学报, 2008, 24: 2569–2575
3 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. 地震地质, 2010, 32: 28–37
4 徐亚勤, 仲伟成, 陈洪洲. 对大兴安岭“甘奎”火山群的新认识. 见: 刘若新, 编. 火山作用与人类环境. 北京: 地震出版社, 1995. 71–80
5 刘嘉麒. 中国火山. 北京: 科学出版社, 1999. 13–28
6 马保起, 卢海峰, 旺小东, 等. 大兴安岭诺敏河火山喷发时代的初步研究. 第四纪研究, 2006, 26: 295–296
7 樊祺诚, 赵勇伟, 隋建立, 等. 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, 2012, 28: 1092–1098
8 Wu F Y, Sun D Y, Li H M, et al. The nature of basement beneath the Songliao Basin in NE China: Geochemical and isotopic constraints. Phys Chem Earth (A), 2001, 26: 793–803
9 黄汲清, 任纪舜, 姜春发, 等. 中国大地构造基本轮廓. 地质学报, 1977, 51: 117–135
10 Xu Y G, Martin A M, Matthew F T, et al. “Reactive” harzburgites from Huinan, NE China: Products of the lithosphereasthenosphere interaction during lithospheric thinning? Geochim Cosmochim Acta, 2003, 67: 487–505
11 Zhang J H, Ge W C, Wu F Y, et al. Large-scale Early Cretaceous volcanic events in the northern Great Xing’an Range, Northeastern China. Lithos, 2008, 102: 138–157
12 邵济安, 张履桥, 牟保磊, 等. 大兴安岭的隆起与地球动力学背景. 北京: 地质出版社, 2006. 7–43
13 Williams H, McBirney A R. Volcanology. San Francisco: Freeman, Cooper and Co, 1979. 1–391
14 Wood C A. Morphometric evolution of cinder cones. J Volcanol Geotherm Res, 1980, 7: 387–413
15 Noe-Nygaard A. On extrusion forms in plateau basalts: Shield volcanoes of “Scutulum” type. Science in Iceland Anniversary, 1968. 10–13
16 邱家骧, 吴志勤, 杜向荣. 黑龙江省富钾火山岩带的板块构造环境及火山喷发特征. 地质论评, 1989, 35: 211–220
17 McKnight S B, Williams S N. Old cinder cone or young composite volcano: The nature of Cerro Negro, Nicaragua. Geology, 1997, 25: 339–342
18 Walker G P L. Basaltic-volcano systems. London Geol Soc Spec Publ, 1993, 76: 3–38