

内蒙锡林浩特鸽子山火山地质研究^{*}

杨若昕¹ 白志达^{1**} 谭庆伟² 吴之理² 王妍¹

YANG RuoXin¹, BAI ZhiDa^{1**}, TAN QingWei², WU ZhiLi² and WANG Yan¹

1. 中国地质大学,北京 100083

2. 内蒙古国土资源厅,呼和浩特 010011

1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. Department of Land and Resources of Inner Mongolia, Hohhot 010011, China

2011-12-12 收稿, 2012-02-27 改回.

Yang RX, Bai ZD, Tan QW, Wu ZL and Wang Y. 2012. Study on the geology of Gezi Shan volcano in Xilinhot, Inner Mongolia. *Acta Petrologica Sinica*, 28(4):1181–1188

Abstract Gezi Shan volcano is located in the southeastern Xilinhot of XilinGol League in Inner Mongolia Autonomous Region and tectonically belongs to the central part of Daxing'anling-Datong volcanic belt. It is the most intact basaltic volcano in the Xilinhot-Abaga volcanic cluster. The distribution area of the volcanic products is about 55km². The main products of Gezi Shan volcano are landed scoria, splashdown welded pyroclastic rock and lava flows. They are main basanites, with minor late-stage olivine tholeiites. The basanites contain abundant lherzolite xenoliths, pyroxene and anorthoclase megacrysts. Gezi Shan volcano comprises volcano cone, lava flows and volcano clastic seats. The volcano cone is the composite of early landed cone and later splashdown cone. The crater was changed into a typically broken crater due to multiple collapses. Two lava overflow ports, which still keep their original forms, are observed in the west and the northeast sides of the cone. The type of the lava flows is encrustant lava, composed of several lava flow units. There are lots of well-kept fumarolic cones of different kinds in some parts of the lava flows. Clastic seats in the volcano are mainly distributed in the east side of the cone. The further from the volcano cone, the thinner the volcano clastic seats are. The volcanic activity of Gezi Shan can be divided into two stages. The volcanic activity during early stage was explosive eruption and produced the landed scoria cones and the clastic seats. The eruption belongs to week-brinley type. Late-stage volcanic activity was overflow eruption and produced the splashdown cones and massive lava flows. The eruption era of the Gezi Shan volcano is the end of Late Pleistocene to Holocene.

Key words Gezi Shan; Basanite; Week-brinley type volcano; Holocene; Xilinhot

摘 要 鸽子山火山位于内蒙古自治区锡林浩特市东南,处于大兴安岭-大同新生代火山喷发带中段,是锡林浩特-阿巴嘎火山群中保存最为完好的一座玄武质火山。火山喷发物的分布面积约 55km²,主要为降落火山渣、溅落熔结火山碎屑岩和熔岩流,成分主要为碧玄岩,晚期有少量的橄榄拉斑玄武岩,碧玄岩中含有较多二辉橄榄岩包体和辉石及歪长石巨晶。火山由锥体、熔岩流和火山碎屑席组成,锥体由早期的降落锥和晚期溅落锥复合而成。火山口经历多次塌陷而成为破火口。锥体西侧及北东侧出露两个仍保留了原始形态的熔岩溢出口,熔岩流类型为结壳熔岩,由多个岩流单元组成,局部地区的熔岩流中发育较多保存完好的喷气锥、喷气碟或喷气塔。火山碎屑席主要分布在锥体的东侧,厚度由锥体向外逐渐减薄。火山活动可分为早、晚两个阶段,早期为爆破式喷发,形成火山渣锥和碎屑席,属亚布里尼型喷发,晚期主要为溢流式喷发,形成溅落锥和大规模熔岩流,其活动时代为晚更新世末-全新世。

关键词 鸽子山火山;碧玄岩;亚布里尼型;全新世;锡林浩特

中图法分类号 P588.145

* 本文受国家地震局公益性科研专项(20007-8-27-13)和内蒙古国土资源厅地质遗迹保护专项(2010-1030)联合资助。

第一作者简介:杨若昕,女,1988年生,硕士生,矿物学、岩石学、矿床学专业,E-mail:shmilymm88318@126.com

** 通讯作者:白志达,男,1956年生,教授,主要从事岩石学和火山地质学的教学与研究,E-mail:baizd@cugb.edu.cn

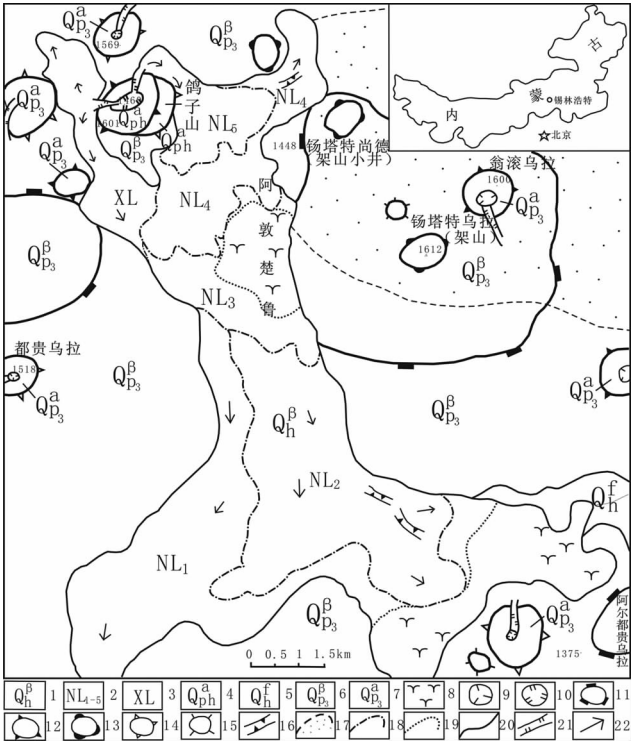


图1 鸽子山火山地质简图

1-全新世碱性玄武岩;2-北溢出口熔岩流(1-5 岩流单元);3-西溢出口熔岩流;4-晚更新世末-全新世火山渣;5-全新世沼积物;6-晚更新世玄武岩;7-晚更新世火山渣;8-喷气锥;9-喷火口;10-破火口;11-盾形熔岩锥;12-溅落锥;13-熔岩穹丘(锥);14-降落渣锥;15-寄生火山锥;16-熔岩流塌陷沟;17-火山碎屑席大致范围(厚度>5cm);18-岩流单元界线;19-喷气锥分布范围;20-地质界线;21-岩浆溢出口;22-岩流流向

Fig. 1 Geological sketch of the Gezi Shan volcano

1-Holocene alkali basalt; 2-lava flow from the north overflow port (the first to the fifth lava flow unit); 3-lava flow from the west overflow port; 4-Late Pleistocene-Holocene scoria; 5-Holocene swamp deposits; 6-basalt of Late Pleistocene; 7-scoria of the early stage of Late Pleistocene; 8-spatter cone; 9-crater; 10-broken crater; 11-shield shaped lava cone; 12-splashdown cone; 13-lava dome or cone; 14-landed scoria cone; 15-parasitic cone; 16-lava flow collapse ditch; 17-approximate range of volcaniclastic seats (thickness > 5cm); 18-boundary of lava flow units; 19-distribution range of spatter cone; 20-geological boundary; 21-magma overflow port; 22-the direction of lava flow

1 引言

鸽子山火山位于内蒙古自治区锡林浩特市东南,地处内蒙古高原中部,是锡林浩特-阿巴嘎火山群中一座保存完好的火山。锡林浩特-阿巴嘎火山群处于大兴安岭-大同新生代火山喷发带的中段,上世纪50年代以来内蒙古地质局先后进行过1:100万和1:20万区域地质调查(内蒙古自治区

地质矿产局,1991),确定了火山群的范围及大致喷发时代,为后续的研究奠定了基础。20世纪80年代以来许多学者对火山地质和火山岩岩石进行了较为系统的研究(杨建军,1988;罗修泉和陈启桐,1990;张臣等,2004,2006;刘俊杰等,2008),取得了一系列重要成果,但缺乏具体火山的解剖研究。本文对鸽子山火山进行了较为系统的研究,确定火山类型为亚布里尼型,喷发时代为晚更新世末-全新世,这对了解该区深部及新构造活动特征和火山灾害预警研究具有重要意义。保存完好的火山遗迹资源,具有很高的观赏价值,科学保护,合理开发利用,对当地经济可持续发展也有积极意义。

2 火山地质特征

鸽子山火山位于锡林浩特-阿巴嘎火山群东南隅,为中心式玄武质火山。火山由锥体、熔岩流和火山碎屑席组成(图1)。火山锥体形态完整,雄伟壮观,熔岩流受地形控制,总体由北向南流淌,火山碎屑席主要分布在锥体东侧。火山产物主体叠置在晚更新世玄武岩台地之上,局部熔岩流覆盖在全新世沼积物之上。火山岩分布面积约55km²。

2.1 火山锥体结构

鸽子山火山锥体保存完好,遭受风化剥蚀程度很低,基本保留了原始面貌。由降落堆积和溅落堆积物构成(图2),溅落堆积的熔结碎屑岩叠置在降落火山渣之上。锥体平面上呈椭圆形,长轴呈北东向,直径约为1.5km,短轴直径约为1.2km,高度约121m,体积约0.106km³,锥体中心为多次塌陷形成的破火口(图2、图3),火口内壁陡直,破火口深度约141m。

2.1.1 降落堆积

降落堆积是锥体的主体部分(图2、图3),由降落的火山渣、少量熔岩饼和火山弹等组成,构成早期的降落锥。锥体坡度约20°~25°,西南坡较陡,东北坡相对低缓(图3)。松散火山渣为碧玄质,呈黑色或钢灰色,垂向上粒度变化较大,平均在1~2cm,大者可达5~10cm,总体锥脚部位粒度最粗。火山渣多为浮岩状渣块,气孔含量较高,多呈圆形,孔壁光滑新鲜。堆积物层理较发育,但层系的厚度变化较大,反映喷发强度的韵律性变化频繁(Costantini *et al.*, 2011)。少量熔岩饼多呈不规则状或扁豆状,长轴30~60cm,大者约120cm,塑变强烈。少量火山弹主要堆积在锥脚部位,多呈椭圆形,部分由于喷发过程中沿弹道轨迹运移旋转而呈纺锤形或麻花状,火山弹直径一般在15~30cm,大者可达85cm。

2.1.2 溅落堆积

溅落堆积叠置在降落火山渣之上(图2),构成晚期的溅落锥,直径约800m,地貌上相对陡峻,坡度25°~30°,由黑色或褐红色熔结集块岩构成。火山弹、熔岩饼和塑性熔岩团块

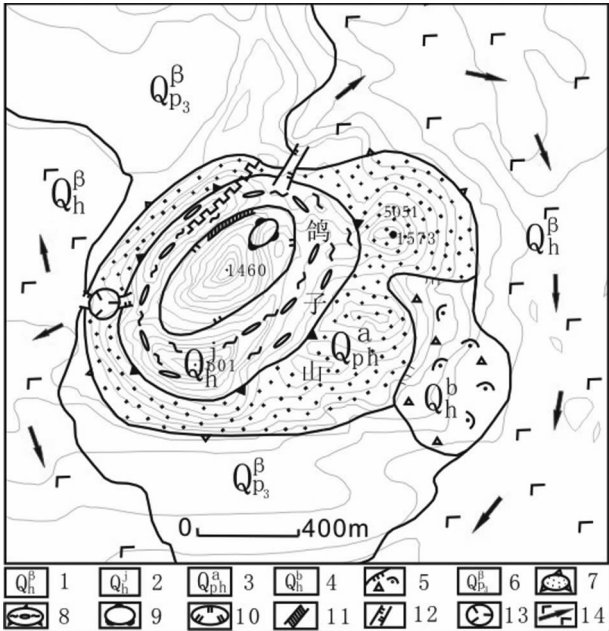


图2 鸽子山火山锥体结构图
1-全新世玄武岩;2-全新世熔结集块岩;3-晚更新世末-全新世降落火山渣;4-全新世崩落堆积;5-崩落堆积;6-晚更新世玄武岩;7-降落锥;8-溅落锥;9-熔岩穹丘;10-破火口;11-岩墙;12-岩浆溢出口;13-陷落坑;14-岩流流向
Fig.2 Structure diagram of Gezi Shan volcanic cone
1-Holocene basalt; 2-Holocene agglutinate; 3-landed scoria of the end of Late Pleistocene to Holocene; 4-Holocene caved pile; 5-caved deposits; 6-Late Pleistocene basalt; 7-landed cone; 8-splashdown cone; 9-lava dome; 10-broken crater; 11-dyke; 12-magma overflow port; 13-collapse pit; 14-rock flow direction

溅落在火口沿上,相互焊接形成特征的熔结结构。熔结集块岩局部具清晰的流动特征,上部还发育有较大的空洞,洞壁上见有熔岩“钟乳”,表明溅落碎屑物堆砌的速度较快,堆积后温度仍然很高。局部熔结集块岩中见有硫磺矿化,反映火山喷发晚期有喷气(H_2S)作用发生。

锥体西侧和北东侧形成两个岩浆溢出口,西侧溢出口已塌陷,使锥体西垣堆积物整体陷落,形成直径约50m,深约30m的漏斗状深坑。北东溢出口在岩浆溢出过程中裂解破坏了锥体,使锥体呈缺口状(图3a),裂解后的锥体堆积物被熔岩流拖曳到1km以外。

火山锥体东南发育一系列波状或不规则状分布的火山碎屑堆积物(主要为火山渣、少量火山弹),是崩落堆积的产物。崩落堆积物呈扇状展布,扇轴长约500m。崩落堆积物是由于晚期火山喷发时,使早期火山锥体横向爆棚的结果(陈洪洲等,2009)。

2.1.3 破火口

鸽子山火山由于火山喷发强度较大,喷发历史较长,活动的阶段性明显,岩浆溢出率较高,深部岩浆房被多次抽空,使火口发生了多次塌陷作用,形成了破火口(图2、图3),破

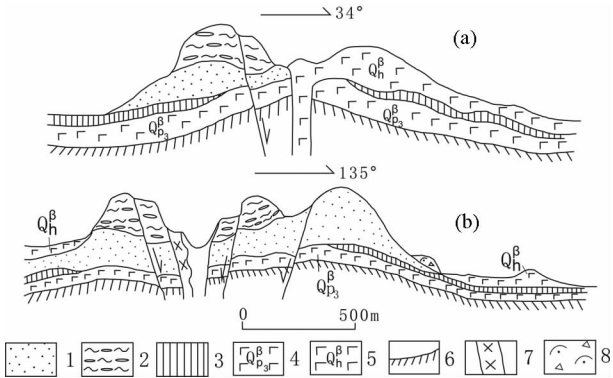


图3 鸽子山火山锥体剖面图
1-晚更新世末-全新世降落火山渣;2-全新世溅落熔结集块岩;3-晚更新世黄土;4-晚更新世玄武岩;5-全新世玄武岩;6-基底岩石;7-辉绿岩墙;8-崩落堆积
Fig.3 Section plane diagram of Gezi Shan volcanic cone
1-landed scoria of the end of Late Pleistocene to Holocene; 2-Holocene spattered agglutinate; 3-the Late Pleistocene loess; 4-the Late Pleistocene basalt; 5-Holocene basalt; 6-basement rock; 7-diabase dyke; 8-caved deposits



图4 火口内薄层熔岩流
Fig.4 Laminar-layer lava flow in the crater

火口内壁陡直,直径约为450m。破火口内堆积物主要为溅落及降落碎屑物,局部发育厚度很小的熔岩流,熔岩流由韵律性岩流单元组成,岩流单元单层厚度小,仅3~5cm,有些叠置呈孤立的熔岩小穹丘(图4),反映火山活动晚期岩浆的喷溢频率较高,但溢出率极低,粘度较大。此外还见有火山活动末期侵出的小熔岩穹丘,这些穹丘的发育,标志着鸽子山火山活动的结束。破火口内环状断裂发育(图3),不同断裂差异运动使火口呈阶梯状,沿断裂有碧玄武岩岩墙侵入于熔结集块岩中(图5),岩墙宽约2~5m,致密坚硬,产状近直立,发育水平柱状节理。

2.2 熔岩流

溅落堆积之后,由于火山通道打开,岩浆溢出率增大,火



图5 火口内碧玄岩岩墙

Fig. 5 Basanites dike in the crater

山活动方式转入大规模岩浆溢流阶段(白志达等,2008)。熔岩流由西侧和北东侧两个溢出口溢出,受地形影响,总体向南流淌,充填于沟谷和低洼地带,覆盖面积约 48km^2 ,体积约 0.62km^3 。西侧溢出口溢出的熔岩较少,熔岩流先向北流动,然后转向南流淌,流动距离短。北东侧溢出口岩浆溢出率较高,溢出的熔岩流绕过鸽子山火山锥体先向北东流动,后转为向南流淌,并覆盖在西侧溢出口溢出的熔岩流之上(图1)。北东侧溢出口溢出的熔岩形成五个岩流单元,早期岩流单元流动距离远,长约 18km ,宽一般 $3\sim4\text{km}$,前缘由于受高地阻挡,又分向东、西两侧流淌,东侧岩流直接覆盖在全新世沼积物之上。熔岩流厚度在近缘及中部较大,一般为 $8\sim12\text{m}$,前缘厚度较小,多为 $1\sim2\text{m}$ 。晚期熔岩流规模明显减小(图1),流动距离短,但岩流前缘厚度较大,第5岩流单元仅分布在近火口地带,反映从早到晚岩浆的溢出率逐渐减小,粘度在增大(Mark and Claude, 1997)。

熔岩流类型主体为结壳熔岩,熔岩流表面光滑,局部绳状、木排状构造清晰。岩流的面积与厚度比很大,反映岩浆粘度较小。晚期局部发育渣状熔岩。在阿敦楚鲁一带以及阿尔都贵乌拉晚更新世火山的西北侧熔岩流中发育较多保

存完好的喷气锥、喷气碟或喷气塔(图6)。喷气锥高度一般在 $40\sim90\text{cm}$ 之间,最大的可达 170cm ,直径大多在 $3\sim4\text{m}$ 之间,小者约 1m ,大者可达 $7\sim8\text{m}$ 。喷气碟高度很低,一般为 $40\sim60\text{cm}$,直径 $2\sim3\text{m}$,形如碟子,故称喷气碟。少量呈塔状,中心喷气口几乎封闭,仅有很小的喷气孔,可称喷气塔。喷气锥由瓦片状熔岩构成,不同薄熔岩片呈叠瓦状堆砌,单层厚度变化不大,一般为 $1\sim2\text{cm}$,反映发生喷气作用的能量每次大小相近。大多数喷气锥由 $20\sim30$ 个岩片堆砌构成,锥体内壁多发育熔岩刺或熔岩钟乳,部分喷气锥中心堆积有类似溅落堆积的塑性熔岩渣块。喷气锥的形成与熔岩流的流速、厚度、体积、粘度以及熔岩流流经的地理条件等因素有关(靳晋瑜等,2006;赵勇伟等,2008),野外考察表明,鸽子山喷气锥主要分布在地形相对平缓、熔岩流厚度不大的区域,且熔岩流堆积在沼积物之上,反映熔岩流曾流经沼泽洼地。当高温熔岩流流经沼泽等富水湿地时,熔岩流下部的水体将被气化,水蒸气局部富集,压力不断增大,此时如果熔岩流流动速度足够缓慢,甚至停滞时,当压力达到一定限度,就会冲破上覆熔岩流表面而形成喷气孔,周期性的喷气作用,将冲破的熔浆碎片喷到岩流表面,堆砌形成喷气锥。由于厚度一定的熔岩流,所需冲破熔岩流的底部压力大致相似,故每次喷出的熔浆碎片的厚度和大小也相似。当岩流底部水体耗尽或熔浆的粘度增大时,就会抑制喷气造锥作用的进行。喷气锥这种特殊的熔岩流表面构造反映了熔岩流的流速、粘度、温度及堆积定位环境。在岩流的中远端,还常发育有“翻花石”构造,表明结壳熔岩的壳壳形成后,后续岩流的推挤或拖曳作用仍很强。

2.3 火山碎屑席

鸽子山火山早期爆发强度较大,在火口之上已形成了以浮力为主要上升营力的喷发柱(Matthew, 2007)。粒径较粗的火山碎屑物受重力的影响降落在火口周围形成降落锥。相对细粒火山碎屑物被喷发柱携带到高空,并在定向风力的影响下(白志达等,2006),飘散降落在锥体东侧,形成向东南



图6 鸽子山熔岩流中的喷气锥

Fig. 6 Gezi Shan fumarolic cones in lava flow



撒开的扇状火山碎屑席(图1)。火山碎屑席主要由火山渣和火山灰组成,呈黑色或灰黑色,尖角状或不规则状。覆盖在晚更新世黄土或玄武岩之上,其上为全新世深褐色含火山渣的腐殖土。由火山锥向外厚度逐渐减薄,碎屑物粒度逐渐减小,部分地段由于受雨水冲刷和风蚀作用的影响,厚度变化较大,甚至断续分布。在距锥体约5.5km处火山渣厚约20cm,中值粒度 $Md\phi$ 为5mm左右。火山碎屑物与黄土接触面附近还发育厚约1cm的烘烤层,反映离锥体较近的火山渣降落后仍有较高的温度。

3 火山喷发物特征

鸽子山是一座亚布里尼式玄武质火山,火山喷发物主要为熔岩流、熔结火山碎屑岩和松散的火山碎屑物,火山喷发末期有碧玄武岩墙侵入。熔岩流以结壳熔岩为主,少量为渣状熔岩,岩性主体为碧玄武岩,火山活动末期在火口内出露少量橄榄拉斑玄武岩。碧玄武岩呈灰黑色,气孔或块状构造,气孔含量变化较大,5%~30%不等,斑状结构,基质为间隐间粒和隐晶质结构,熔岩流表面以玻璃质结构为主。斑晶主要为橄榄石和单斜辉石,橄榄石斑晶新鲜,粒状,大小约为0.1~0.3mm,含量约10%,单斜辉石呈短柱状,偶见穿插双晶,为含钛的普通辉石,粒径平均在0.5~0.8mm左右,含量约5%。基质主要由微晶斜长石、钛铁氧化物、少量辉石和碱性长石及火山玻璃组成。橄榄拉斑玄武岩仅出露在火口内,是火山活动末期的产物,岩石呈深灰色,气孔状构造,气孔含量较高,气孔间连通性好,呈薄层状。斑状结构,基质为间隐或玻璃质结构。斑晶主要为单斜辉石和斜长石,粒径约1mm左右,含量约15%,橄榄石斑晶少量,约为0.1~0.4mm,基质主要由微晶斜长石、少量辉石和钛铁氧化物及火山玻璃组成。松散火山渣呈黑色或褐红色,气孔十分发育,气孔多不规则,内壁新鲜,很少有附着物。比重小,形状复杂,大小不一,几乎全由玻璃质组成,为浮岩渣。熔结集块岩仅分布在溅落锥上,呈砖红色,由塑性、半塑性的火山弹、熔岩饼和浆屑组成,碎屑物大小不一,大者可达1.5m,一般5~30cm,塑变强烈,彼此平行排列,紧密焊接,形成特征的熔结结构和假流纹构造,是溅落碎屑物快速堆积的产物。部分溅落碎屑物堆积在锥体上仍保持高温状态,碎屑之间相互焊接弥合成为整体,在重力的作用下,又可发生流动,形成碎成熔岩流。西南侧火口沿上发育熔结程度低的粘结集块岩。碧玄武岩和锥体火山渣中含有较多辉石、歪长石巨晶和二辉橄榄岩包体。空间上巨晶和包体主要分布在锥体及其附近,远离锥体的熔岩中仅偶见。辉石巨晶长一般在3~5cm左右,大者可达7~8cm,色泽黑亮,边缘多发育浅色角闪石和铁质的反应边(图7),局部含量可以达到5%~10%,反映玄武质岩浆在深部岩浆房曾发生过分异作用。沿环状断裂侵入的碧玄武岩墙呈灰黑色,致密块状,主要由长条状斜长石和他形辉石及钛磁铁矿组成,结晶较好,为间粒结构,局部具辉绿结构



图7 鸽子山玄武岩辉石巨晶

Fig. 7 Pyroxene megacrysts in the basalts of Gezi Shan

特征。

碧玄武岩 SiO_2 介于43.42%~45.04%,平均为43.99%, MgO 介于8.44%~10.49%,平均为9.25%, $Mg^\#$ 较高,暗示岩浆来源较深。 Al_2O_3 平均含量在10%左右。 K_2O 含量变化于2.19%~2.51%, Na_2O 含量变化在3.61%~4.31%之间, Na_2O+K_2O 为4.85%~6.91%, $K_2O/Na_2O<1$,为0.56~0.63之间,属于钠质碱性玄武岩。 Fe_2O_3 、 FeO 变化较大,大部分熔岩 $FeO>Fe_2O_3$,而火口沿上的溅落堆积 $FeO<<Fe_2O_3$,反映岩石的 FeO 、 Fe_2O_3 含量与氧化环境密切相关。标准矿物 $Ne>5\%$ 、 $5\%<Ol<25\%$, Ab 、 Or 、钛铁矿(II)、磁铁矿(Mt)含量较高。橄榄拉斑玄武岩的 SiO_2 (51.52%)和 Al_2O_3 (14.39%)偏高,而 FeO 、 CaO 、 K_2O 、 MgO 等含量均偏低, K_2O+Na_2O 的值变低,岩石碱度较碧玄武岩明显减弱(表1)。

碧玄武岩稀土 ΣREE 变化小,为 $202.8\times 10^{-6}\sim 259.5\times 10^{-6}$, $LREE/HREE$ 为8.50~10.31, $(La/Yb)_N$ 比14.43~22.27,稀土配分曲线如图8,曲线右倾,属轻稀土富集型,轻、重稀土分馏明显,不具铈异常,为典型的大陆裂谷型玄武岩配分模式。末期橄榄拉斑玄武岩(X8)稀土配分曲线为一近水平的直线,稀土总量 ΣREE 、 $LREE/HREE$ 与 $(La/Yb)_N$ 的值均很低,与原始地幔配分形式相似,可能是富集地幔熔融出较多碧玄武岩浆后的残余地幔再熔融的产物,即是残余地幔再次部分熔融的结果(夏林圻等,1994)。

碧玄武岩微量元素蛛网图如图9,曲线右倾,强不相容元素富集, Ba 、 Nb 、 Ta 和 Pb 具有正异常, Rb 、 Th 、 Hf 具弱的负异常,无明显的 Sr 异常,说明岩浆在上升过程中未遭受地壳物质混染。大离子亲石元素 Rb 、 Sr 、 Ba 等的丰度较高,反映岩浆可能来源于富集地幔。橄榄拉斑玄武岩(X8)蛛网图与碧玄武岩差异很大,与原始地幔曲线总体相似,是残余地幔部分熔融的结果。

大量辉石、歪长石巨晶及二辉橄榄岩包体的出现和岩石化学、地球化学特征表明,碧玄武岩岩浆直接来源于深部地幔高压岩浆房(杨建军,1988),基本为原生岩浆,但在深部岩浆

表1 鸽子山玄武岩常量元素 (wt%)、稀土和微量元素 (×10⁻⁶) 组成

Table 1 Major (wt%) and trace element (×10⁻⁶) compositions of basalts in Gezi Shan

样品号	X1	X5	X6	X7	10X1W	X18	X8
岩性	碧玄岩	碧玄岩	碧玄岩	碧玄岩*	碧玄岩*	碧玄岩	橄榄拉斑玄武岩
SiO ₂	43.42	45.04	44.40	43.58	43.64	43.9	51.52
Al ₂ O ₃	10.81	11.81	11.35	11.35	12.17	10.97	14.39
TiO ₂	3.41	2.76	3.49	3.48	2.87	3.4	1.47
Fe ₂ O ₃	4.23	3.33	5.50	3.72	3.76	13.41	3.38
FeO	9.12	9.80	8.29	9.75	9.65	0.46	7.42
CaO	10.00	9.46	9.23	9.46	9.19	9.16	8.70
MgO	10.43	9.03	8.44	9.99	10.49	10.08	6.29
K ₂ O	2.44	2.19	2.51	2.37	2.38	2.19	0.77
Na ₂ O	3.84	3.61	4.31	3.92	3.94	3.92	4.00
MnO	0.181	0.181	0.187	0.186	0.176	0.18	0.213
P ₂ O ₅	0.91	0.76	1.04	0.91	1.06	0.8	0.17
H ₂ O ⁺	0.37	0.22	0.54	0.36	0.09	0.39	0.99
H ₂ O ⁻	0.27	0.16	0.34	0.16	0.06	0.29	0.24
烧失量	0.96	1.58	0.98	0.76	0.46	0.95	1.63
总量	99.76	99.55	99.73	99.48	99.79	99.42	99.96
Cr	-	-	-	-	183.1	-	-
Co	65.7	65.78	62.9	66.92	67.7	61.6	47.94
Ni	211.5	234	142.3	217.5	229	216.6	104.6
V	262	256	246	260	253.6	252	264
Cu	55	74.4	58	75	55.4	39.7	62.1
Pb	4.3	3.62	4.84	3.82	6	4.18	1.2
Rb	48.1	41.8	54.8	44.6	45.9	41.8	19.6
Sr	883	737	987	850	899.5	755	117
Nb	94.7	76.8	105.3	89.2	90.2	76.8	2.3
Ta	6.3	5.14	7	6.01	4.97	5.31	0.16
Th	8.08	6.66	9.19	7.67	6.61	6.58	0.53
U	2.25	1.88	2.71	2.13	1.85	1.79	0.15
Zr	248	217	274	243	222	223	137
Hf	5.17	4.74	5.6	5.2	6.37	4.91	5.17
Ba	642	557	722	638	664	606	204
Ti	18198	17349	18952	18271	-	17515	9141
La	52.14	42.29	59.53	49.45	41.66	42.41	5.87
Ce	102.5	82.77	114.4	95.51	79.14	83.34	16.21
Pr	13.03	10.76	14.35	12.37	10.05	10.74	2.75
Nd	53.63	44.84	58.35	50.82	41.52	44.22	14.04
Sm	11.02	9.48	11.7	10.34	8.56	9.31	4.11
Eu	3.52	2.99	3.71	3.37	2.76	2.99	1.53
Gd	9.59	8.31	9.94	9.15	7.26	8.1	4.82
Tb	1.43	1.31	1.54	1.43	1.43	1.3	1.03
Dy	6.8	6.46	7.22	6.93	5.19	6.36	6.92
Ho	1.07	1.08	1.17	1.13	0.87	1.05	1.52
Er	2.56	2.8	2.98	2.88	1.97	2.77	4.76
Tm	0.31	0.37	0.37	0.35	0.28	0.35	0.73
Yb	1.68	2.1	1.94	1.99	1.61	1.97	4.67
Lu	0.22	0.3	0.26	0.28	0.28	0.28	0.72
Y	27.59	28.52	30.66	29.38	21.5	27.87	40.83

注:河北省地质矿产局廊坊实验室分析; * 为岩墙, - 未分析该项

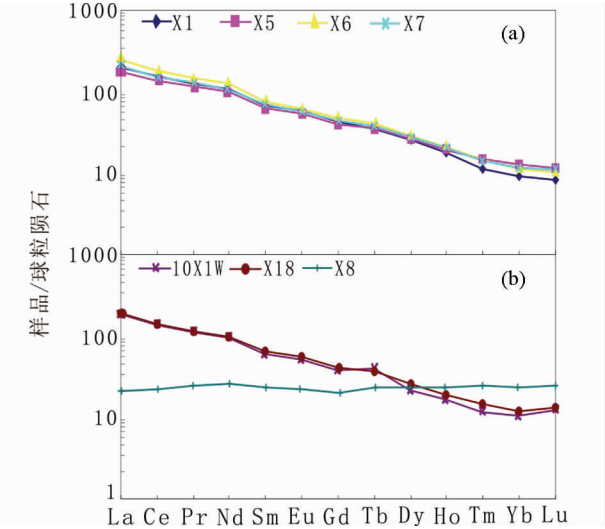


图8 鸽子山玄武岩稀土元素球粒陨石标准化配分曲线
Fig. 8 Chondrite-normalized abundances of REE patterns for basalts in Gezi Shan

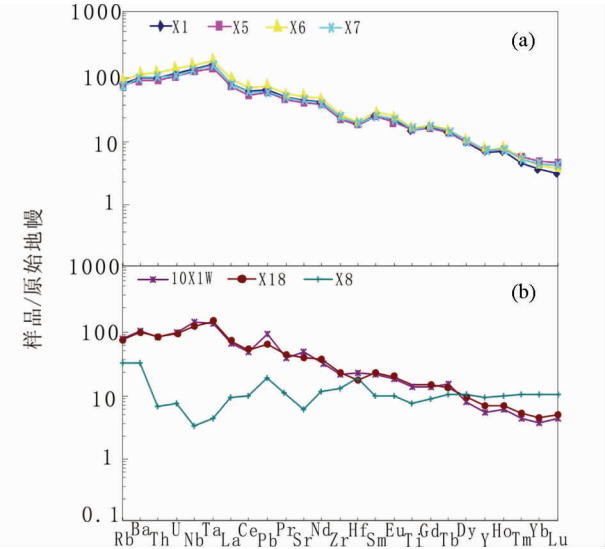


图9 鸽子山玄武岩微量元素原始地幔标准化蛛网曲线
Fig. 9 Primitive-mantle normalized trace element spider diagram for basalts in Gezi Shan

房经历了一定结晶分异作用。岩浆上升过程中未经过地壳岩浆房阶段(刘若新等,1999)。橄榄拉斑玄武岩是火山喷发末期产物,仅分布在火口内,呈侵入小穹丘产出,岩石化学、地球化学与碧玄岩差异很大,与原始地幔特征相似,可能是融出碧玄岩岩浆后的残余地幔再部分熔融的结果。

4 火山喷发过程

鸽子山火山喷发方式较为复杂,早期阶段属于亚布列尼式喷发,由于深部岩浆上升减压,原来溶解在岩浆中的挥发

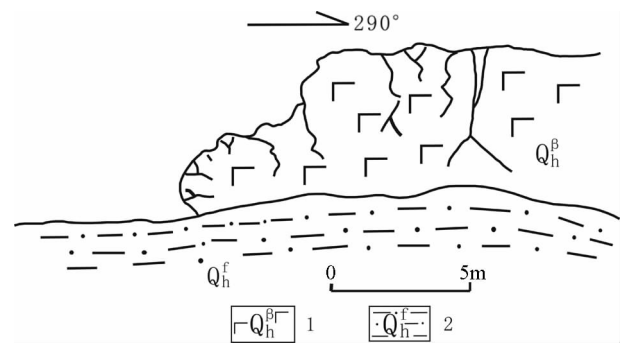


图 10 鸽子山玄武岩接触关系剖面

1-鸽子山玄武岩; 2-全新世沼泽堆积物

Fig. 10 Basalt-deposit contact section plane in Gezi Shan

1-Gezi Shan basalt; 2-Holocene swamp deposits

份逐渐出溶,使得岩浆通道内的压力增大,岩浆喷出地表时表现为强烈的爆破式喷发(白志达等,2008),碎屑化程度较高的岩浆碎屑物被抛向高空,并在火口之上形成了以浮力为主要上升营力的喷发柱。喷发柱中粗粒级碎屑物由于受自身重力及空气阻力等的影响,直接降落在以火口周围,形成降落渣锥。由喷发柱携带到高空的细粒级火山碎屑物在定向风的影响下,飘散至锥体东南,形成面积较大的火山碎屑席。降落堆积后,火山活动暂时停息。晚期阶段在早期降落锥东南侧发生横向爆崩作用,形成崩落堆积。随后由于岩浆通道打开,处于相对开放环境,火山活动转为熔岩喷泉式喷发,形成溅落堆积,碎屑化程度很低的高温塑性熔浆团块、熔岩饼和火山弹溅落在火口沿上,相互焊接形成溅落锥。溅落锥形成之后,岩浆中的挥发份急剧减少,岩浆上升速率加快,火山作用方式转变为熔浆的溢流,熔浆首先从西溢出口溢出,然后从北东溢出口溢出。溢出的结壳熔岩是熔岩流主体,晚期形成少量渣状熔岩,渣状熔岩的出现暗示火山溢流活动已接近尾声(白志达等,2008)。大量熔岩流溢出后,火口发生塌陷,形成了典型的破火口,由于塌陷,残余岩浆沿环状断裂侵入,形成辉绿岩墙。火口塌陷后,火山活动进入调整期,复活活动期仅在破火口内形成小型熔岩穹丘,橄榄拉斑玄武岩侵入穹丘的出现最终堵塞了火山通道,标志着鸽子山火山活动结束。

5 火山喷发时代

锡林浩特火山群火山活动时代以往多认为主要是晚更新世(杨建军,1988;罗修泉和陈启桐,1990;刘俊杰等,2008),实际上大规模火山活动从上新世开始,贯穿了整个第四纪。晚更新世是活动的鼎盛时期,全新世已属尾声。鸽子山火山活动可分为早、晚两个阶段,早期为爆破式喷发,形成火山渣锥和碎屑席,晚期主要为溢流式喷发,形成溅落锥和大规模熔岩流。据火山形貌特征、锥体风化降解程度、堆积物接触关系,结合热释光测年,初步确定鸽子山火山活动时

代为晚更新世末期到全新世。其主要依据是:(1)火山形貌与结构特征:鸽子山火山地形地貌保存完整,火山锥、火山口和熔岩流基本未遭受风化剥蚀的改造。火山锥由降落锥与溅落锥叠置而成,雄伟陡峻,火口为一塌陷的破火口,火口缘窄小,破火口内侧崎岖陡直,锥体风化降解程度很低。锥脚处熔岩溢出口清晰,仍保留了原始形态。熔岩流的展布受近代地形控制,顺势流淌分布在沟谷和低洼地带。熔岩流表面流动构造清晰完好,如绳状和木排状构造基本未遭受风化改造。部分地段熔岩流中的喷气锥除个别被人为破坏外,均保存完好。熔岩流之上仅有少量风成砂,基本无风化土壤,植被很少。火山的形貌特征表明鸽子山火山喷发的时代较新。(2)地层接触关系:地层的叠覆关系是确定相对时代的直接依据。鸽子山熔岩流在阿尔都贵乌拉西侧和第一岩流单元的东南缘覆盖在全新世的沼泽淤泥之上(图10),表明鸽子山火山的熔岩流无疑属全新世。(3)同位素年龄:鸽子山东侧约5.5km处的一塌陷坑剖面良好,火山碎屑席覆盖在晚更新世黄土之上,厚度约为20~30cm,其上又被厚约30cm的全新世含火山渣的深褐色腐殖土覆盖。火山渣底部发育厚约1~2cm砖红色烘烤层,取烘烤层样品进行热释光测年,测试结果为 $22.41 \pm 1.90\text{ka}$ (中国地震局地壳应力研究所测试),距今约2万年。鸽子山火山活动可分早、晚两期,早期是较强的爆发,晚期主要是溅落堆积和大规模熔岩溢出,晚期喷火口明显向西迁移,表明早、晚期喷发之间有一定间隔,热释光年龄可能代表鸽子山早期爆发的大致时限。

火山形貌特征、锥体风化降解程度、完好的喷气锥以及地层和堆积物的相互关系表明,鸽子山火山喷发大致时代为晚更新世末期到全新世,至少晚期喷发属全新世。

6 结论

(1)鸽子山火山是锡林浩特-阿巴嘎火山群内结构完整的一座中心式玄武质火山,由火山渣锥、碎屑席和熔岩流构成。火山遭受风化剥蚀作用弱,火山地貌清晰,结构完整。碧玄岩、熔结火山碎屑岩和松散火山渣是主要火山喷发物,碧玄岩中含较多辉石、歪长石巨晶和二辉橄榄岩包体。鸽子山火山以结构完整、活动时代新、爆发强度高、发育破火口以及含较多辉石巨晶区别于火山群内其它火山;

(2)火山活动可分为两个阶段,早期阶段爆发强度较大,在火口之上形成了以浮力为主要上升营力的喷发柱,属亚布里尼式喷发。晚期喷发主要表现为溅落堆积和大规模熔浆溢出。整个火山的喷发时代为晚更新世末-全新世,其中晚期喷发属全新世;

(3)鸽子山是锡林浩特-阿巴嘎火山群内目前确定的唯一最新火山,这对该区深部构造岩浆活动和新构造以及火山灾害预警研究具有重要意义。也是难得的火山遗迹资源,具有很高的观赏价值,合理开发利用,对当地经济可持续发展有积极意义。

References

- Bai ZD, Xu DB, Zhang BL, Zhang T and Bu J. 2006. Study on type and phase of Quaternary explosive volcanism in Longgang volcanic cluster. *Acta Petrologica Sinica*, 22(6): 1473–1480 (in Chinese with English abstract)
- Bai ZD, Wang JM, Xu GL, Liu L and Xu DB. 2008. Quater volcano cluster of Wulanhada, Right-back-banner, Chahaer, Inner Mongolia. *Acta Petrologica Sinica*, 24(11): 585–2594 (in Chinese with English abstract)
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Inner Mongolia Autonomous Region. 1991. Regional Geology of Inner Mongolia Autonomous Region. Beijing: Geological Publish House, 1–6 (in Chinese)
- Chen HZ, Yang JS, Li TX, Zhao B, Ouyang ZG, Cheng Y and Wang LM. 2009. Volcaniclastic accumulation of Laoheishan volcano and Huoshaoshan volcano in Wudalianchi. *Earthquake Research in China*, 25(1): 81–86 (in Chinese with English abstract)
- Costantini L, Pioli L, Bonadonna C, Clavero J and Longchamp C. 2011. A Late Holocene explosive mafic eruption of Villarrica volcano, Southern Andes; The Chaimilla deposit. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 200: 143–158
- Jin JY, Wei HQ, Pan XD and Liu Q. 2006. Assessment on Lava flow velocity recovery and lava flow hazard of Changbaishan Tianchi volcano. *Seismology and Geology*, 28(3): 381–389 (in Chinese with English abstract)
- Liu JJ, Zhang YQ and Zhao JF. 2008. Characteristics and tectonic environment of the Cenozoic basalts from Simen, Inner Mongolia. *The Theory Deliberated*, 5: 56–58 (in Chinese with English abstract)
- Liu RX, Fan QC, Wei HQ and Li N. 1994. Study on active volcanoes of China. *Geological Review*, 45(Suppl.): 3–16 (in Chinese with English abstract)
- Luo XQ and Chen QT. 1990. Preliminary study on geochronology for Cenozoic basalts from Inner Mongolia. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 9(1): 37–46 (in Chinese with English abstract)
- Mark VS and Claude J. 1997. Lava flow shapes and dimensions as reflections of magma system conditions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 78:31–50
- Matthew P. 2007. The gas content and buoyancy of strombolian ash plumes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Volgeo-03707: 0–6
- Xia LQ, Xia ZC and Xu XY. 1994. Origin and evolution of Middle-Pleistocene basanitic magmas from Nvshan, China. *Acta Petrologica Sinica*, 10(3): 223–235 (in Chinese with English abstract)
- Yang JJ. 1988. Petrology of Cenozoic basalts from Simen, Inner Mongolia. *Acta Petrologica Sinica*, 4(2): 13–32 (in Chinese with English abstract)
- Zhang C, Han BF, Tong Y and Li DC. 2004. General characteristics and origin of Cenozoic basalt from Abagaqi region, Inner Mongolia. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 34(1): 21–26 (in Chinese with English abstract)
- Zhang C, Liu SW, Han BF and Li DC. 2006. Characteristics of ultramafic xenoliths from Cenozoic basalts in Abagaqi area, Inner Mongolia. *Acta Petrologica Sinica*, 22(11): 2801–2807 (in Chinese with English abstract)
- Zhao YW, Fan QC, Bai ZD, Sun Q, Li N, Sui JL and Du XX. 2008. Preliminary study on Quaternary volcanoes in the Halaha River and Chaoer River in Daxing'an Mountain range. *Acta Petrologica Sinica*, 24(11): 2567–2575 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

- 白志达, 徐德斌, 张秉良, 张焘, 卜景. 2006. 龙岗火山群第四纪爆破式火山作用类型与期次研究. *岩石学报*, 22(6): 1473–1480
- 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
- 陈洪洲, 杨金山, 李天翔, 赵斌, 欧阳兆国, 程宇, 王丽梅. 2009. 五大连池火山崩落堆积物研究. *中国地震*, 25(1): 81–86
- 靳晋瑜, 魏海泉, 盘晓东, 刘强. 2006. 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. *地震地质*, 28(3): 381–389
- 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: 56–58
- 刘若新, 樊祺诚, 魏海泉, 李霓. 1999. 中国活火山研究. *地质评论*, 45(增刊): 3–16
- 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
- 夏林圻, 夏祖春, 徐学义. 1994. 女山中更新世碧玄岩岩浆的起源和演化. *岩石学报*, 10(3): 223–235
- 杨建军. 1988. 内蒙锡盟新生代玄武岩的岩石学研究. *岩石学报*, 4(2): 13–32
- 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
- 张臣, 刘树文, 韩宝福, 李德春. 2006. 内蒙古阿巴嘎旗新生代玄武岩中超镁铁岩包体的特征. *岩石学报*, 22(11): 2801–2807
- 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-淖尔河地区第四纪火山活动初步研究. *岩石学报*, 24(11): 2567–2575