

内蒙古察哈尔右翼后旗乌兰哈达第四纪火山群^{*}

白志达¹ 王剑民² 许桂玲¹ 刘磊¹ 徐德斌¹

BAI ZhiDa¹, WANG JianMin², XU GuiLing¹, LIU Lei¹ and XU DeBin¹

1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083

2. 内蒙古国土资源厅, 呼和浩特 010010

1. School of Earth Science and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. Department of Land and Resources Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010010, China

2008-09-11 收稿, 2008-11-01 改回.

Bai ZD, Wang JM, Xu GL, Liu L and Xu DB. 2008. Quaternary Volcano Cluster of Wulanhada, Right-back-banner, Chahaer, Inner Mongolia. Acta Petrologica Sinica, 24(11):2585-2594

Abstract Quaternary Volcano Cluster of Wulanhada, 300km away from Beijing, is located around the Right-back-banner, Chahaer, Inner Mongolia, situated in the southern border of the Mongolian Plateau. The volcano cluster overlies the Archean Wulashan Rock Group and Neogene basalt, with an area about 280km². Volcanic activity can be divided into both the Late Pleistocene and the Holocene epoches (30.56 + 2.59ka BP; 21.05 + 1.79ka BP). On the whole, volcanoes are fissure eruptions or fissure-central eruptions. Spatter cones and levees are formed along the NE and NW faults in the late Pleistocene. Most of cones built by basaltic agglutinate and clastogenic lava have been denuded to some extent though most of vents still remain the basic form. The Holocene comprises three cupola volcanoes built by alkali-basaltic scoria cones and lavas produced by central eruptions. Holocene volcanoes are controlled by the same NE basement fault as the late Pleistocene and are Strombolian type. The dimensions of the volcanoes are large and the volcanic structures are complete. The body of the cones consists of the earlier fallen pumice cones and the later spattered agglutinates. The movements of the lava flow are constrained by the landscape, and flow from northwest to southeast. The longest flow is about 18 km. The lava flows cover over the gravels of valley, eolian sand and swamp deposits of the Holocene, indicating their formation age. The primary type of lava is pahoehoe which develops inflation cracks and depressions. The flow-fronts developing pressure ridges, spiracles and characteristic large groups of tumuli reached around Baiyinnao, and obstructed the drainage, and then formed volcanic dammed lakes such as Moshigainao and Wulanhushaohai. Quaternary Volcano Cluster of Wulanhada is the only one which once erupted in Holocene in the southern border of the Mongolian Plateau, is a natural "Volcano Museum", and is a window to research the deeper structure and activity of the modern crust in this area.

Key words Quaternary volcano cluster; Cupola volcanoes; Wulanhada; Southern border of the Mongolian Plateau

摘要 乌兰哈达火山群位于内蒙古中部察哈尔右翼后旗乌兰哈达一带, 地处蒙古高原南缘, 距北京约 300km。火山群坐落在太古宙乌拉山岩群和新近纪汉诺坝玄武岩之上, 面积约 280km²。火山活动可分为晚更新世 (30.56 + 2.59ka BP; 21.05 + 1.79ka BP) 和全新世两期, 火山喷发总体为裂隙式或裂隙—中心式。晚更新世形成一系列呈北东和北西向线形展布的溅落锥, 其中黑脑包为熔壳状火山锥。大部分锥体主要由玄武质熔结集块岩及碎成熔岩组成, 已遭受一定剥蚀, 但多数火口形态仍清晰可辨。全新世与晚更新世火山受同一北东向基底断裂控制。主要包括 3 座中心式喷发的炼丹炉火山, 火山均由碱玄质火山渣锥和熔岩流组成, 属斯通博利式火山。火山规模较大, 结构完整, 基本未遭受剥蚀。锥体由早期降落浮岩渣和晚期溅落熔结集块岩组成。熔岩流分布受地形制约, 总体由北西向南东流淌, 最长熔岩流约 18km。熔岩流覆盖在全新世河谷砂砾石、风成沙和沼泽沉积物之上, 表明火山喷发的时代应为全新世。熔岩流类型主要为结壳熔岩, 其中胀裂谷和塌陷谷发育。熔岩流前部发育挤压脊、喷气锥和特征的熔岩塚群。熔岩流前缘抵达白音淖一带, 堰塞水形形成莫石盖淖和乌兰胡少海等火

* 国家地震局公益性科研专项——中国主要活动火山喷发序列研究与灾害预测 (2007-8-27-13)、内蒙古国土资源厅地质遗迹保护专项 (2007-1250) 资助。

第一作者简介: 白志达, 男, 1956 年生, 教授, 主要从事岩石学、火山地质学及区域地质的教学与研究, E-mail: baizd@cugb.edu.cn

山堰塞湖。乌兰哈达火山群是蒙古高原南缘目前发现的唯一全新世有过喷发的火山群,是一处天然火山“博物馆”,是研究蒙古高原南缘现代地壳深部结构及其活动性的天然“窗口”。

关键词 第四纪火山群; 炼丹炉火山; 乌兰哈达; 蒙古高原南缘

中图法分类号 P588.145

乌兰哈达第四纪火山群位于内蒙古中部乌兰察布市察哈尔右翼后旗,距北京直线距离约 300km。地理坐标为:东经 113°01′~113°32′,北纬 41°26′~41°38′,处于蒙古高原南缘。火山区以往研究程度较低,1964 年河北师范大学地理系对其进行过较详细考察(许辑五和肖乾泰,1979),指出发育 9 座火山。上世纪 70 年代初,内蒙古自治区地质局区域地质测量队进行了系统的 1:20 万区域地质调查^①,并将其归属为中统汉诺坝组玄武岩。因而使后续地质工作者多误认为乌兰哈达火山与汉诺坝组玄武岩同期,是古火山活动区,尚未载入中国火山名录(刘嘉麒,1999;刘若新,2000)。本次研究从基础火山地质入手,研究火山喷发时代和喷发序列,调查具体火山类型、喷发规模及空间展布特征,研究不同类型火山的结构、火山喷发物成因相序及不同火山之间的相互关系,进而研究整个火山群的火山地质特征,恢复火山喷发的物理过程。乌兰哈达第四纪火山群为蒙古高原南缘至今发现的唯一全新世有过火山喷发的地区,火山保存完好,基本未遭受剥蚀,是一处天然火山“博物馆”,是研究蒙古高原南缘第四纪晚期地壳深部结构及其活动性的天然“窗口”。同时对揭示新构造活动特征以及火山灾害预警研究具有重要意义。

1 火山群基本特征

乌兰哈达第四纪火山群位于华北地台北缘,处于华北地台北缘二级构造单元白乃庙—温都尔庙古陆块和新元古代陆缘增生带交接处,坐落在前寒武纪乌拉山岩群、中上元古界白云鄂博群、海西期花岗岩长岩和中新世汉诺坝玄武岩之上。火山构造单元上属大同一大兴安岭新生代火山活动带(黄镇国等,1993)南段。火山群面积约 280km²,分布着不同类型、不同规模的火山约 30 余座。火山活动严格受 NE 和 NW 向基底断裂控制,火山锥沿断裂呈串珠状展布,构成特征的裂隙式或裂隙—中心式火山机构(图 1)。火山活动具多期性,可分为晚更新世和全新世两期。晚更新世主体为裂隙式喷发,沿东北向长约 12km 的基底断裂上分布着一系列小型低缓的溅落锥、溅落堤及侵入熔岩脊,溅落锥之间距离很近,部分锥体相互连接,单个锥体多呈圆形和长矩形。这些溅落锥的规律性分布,表明已属相对成熟期的裂隙式火山机构;向下可能连成墙状通道,这可由线状磁异常得到佐证;与冰岛拉基火山相似,但岩浆溢出率却很低,这又有别于冰岛拉基火山。北西向断裂上分布着 5 座溅落火山锥。全新世为裂隙—中心式和中心式喷发,且主要为中心式火山,火山均由火山锥和熔岩流组成,规模大,形态完整,是乌兰哈达

火山群的主体;与晚更新世火山受同一北东向基底断裂控制。火山锥分布在火山群的西北部,熔岩流受地形控制,自北西向南东流淌,形成规模宏大的熔岩流,面积约 180km²。熔岩流类型主为结壳熔岩,次为渣状熔岩。熔岩流前缘堰塞河谷水系形成一系列湖泊,最大湖水面积约 7.5km²。堰塞湖的发育是该火山群的又一特色。组成火山的岩性为碱玄岩,岩石类型包括熔岩、熔结火山碎屑岩类和松散火山渣,以熔岩为主。

2 火山喷发期次及时代

火山喷发期次的划分是研究火山喷发历史的有效手段,喷发时代的确定是开展火山监测、预测未来火山喷发危险性的基础,中国东部新生代火山活动具有多期性(刘嘉麒,1987,1999)。乌兰哈达处于中国东部新生代火山活动带中,火山活动同样具多期性特点,自中新世汉诺坝期到全新世均有活动。1964 年河北师范大学地理系考察后推测划分为中更新世和晚更新世两期(许辑五和肖乾泰,1979),但 1:20 万商都幅(1970)以后一直划归中新世汉诺坝期。本次研究从火山地质入手,着重调查火山岩与沉积地层的叠置关系、火山结构组成、形貌特征以及火山产物的风化程度等,结合第四纪地貌学和热释光测年资料,将区内第四纪火山活动划分为晚更新世和全新世两期(图 1)。主要依据为:

(1) 火山地形地貌:乌兰哈达第四纪火山地形地貌与汉诺坝玄武岩截然不同,尤其是全新世火山,火山地貌保存完好,火山产物无论是松散的降落锥体,还是熔岩流几乎均未受风化剥蚀作用影响,单个火山渣锥高可达约 80m。而汉诺坝玄武岩是公认的新近纪产物,为典型的熔岩台地,火山锥体已荡然无存,有些地方甚至已剥蚀出火山通道,玄武岩地形切割强烈,有些沟谷深达百余米。因此乌兰哈达火山岩不应归属汉诺坝期玄武岩。

(2) 火山结构:汉诺坝玄武岩中火山锥、火山口已剥蚀殆尽,火山机构及其范围几乎难以恢复。而乌兰哈达火山群中火山锥保存完好,结构完整,但明显可分为两期。早期火山锥规模小,已遭受一定剥蚀,但火口形态仍清晰可辨。晚期火山结构完整,火山锥、火山口、喷火口均完好,甚至火山喷发晚期形成的火口锥(火口内小的侵入穹丘)(Cas and Wright,1987)也完好无损,未遭受剥蚀。熔岩流单元的结构、流淌范围清晰明了,熔岩流表面构造、胀裂谷、塌陷谷及熔岩

^① 内蒙古自治区地质局区域地质测量队. 1970. 1:20 万区域地质调查(商都幅)



图2 黑脑包火山熔岩流与晚更新世沙土接触关系
Fig. 2 Contact relationship between lava flow and sand-soil of the Heinaobao

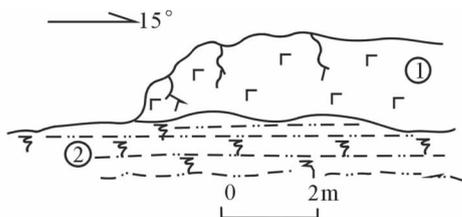


图3 白音淖玄武岩与沼积物接触关系剖面图
1-中炼丹炉碱性玄武岩;2-全新统沼泽淤泥
Fig. 3 Sketch map of contact between basalt and swamp deposits, Baiyinnao
1-alkali-basaltic of the North Cupola; 2-Holocene swamp deposits

塚均保存完好,这是判断新近有火山喷发的直接证据。

(3) 地层关系:地层叠置关系是确定相对时限的直接依据,乌兰哈达火山群中黑脑包、火烧山火山的玄武岩,覆盖在晚更新世黄色风成亚砂土之上(图2)。北、中炼丹炉火山的玄武岩覆盖在全新世河谷砂砾石和风成沙之上,在白音淖一带直接覆盖在全新世沼积物之上(图3)。共同表明乌兰哈达火山喷发时代不早于晚更新世,而炼丹炉火山喷发属全新世无疑。

(4) 年代学证据:本次研究,尚未找到有效的测年载体—碳化木,故采用热释光法对其中两处玄武岩之下被烘烤的砂土进行了年龄测定。虽然由于样品和方法本身原因,存在一定误差,但仍能反映乌兰哈达玄武岩的时代特征。地质上确认为晚更新世的黑脑包火山西部熔岩流,直接覆盖在黄色亚砂土之上,测得被烘烤砂土的热释光年龄为 $30.56 + 2.59\text{ka BP}$;在阿力乌苏晚更新世玄武岩覆盖在风成黄色亚砂土之上,轻微烘烤砂土的热释光年龄 $21.05 + 1.79\text{ka BP}$ (数据由中国地震局地壳应力研究所测定),表明乌兰哈达火山的喷发时代不会早于晚更新世晚期。

上述特征表明:乌兰哈达火山群是第四纪晚期火山作用的产物,火山活动可分为晚更新世晚期和全新世两期。晚更新世晚期火山,喷发规模小,由溅落锥和少量熔岩流组成,火

山剥蚀程度较大,锥体完整性相对较差,但火山口形态仍清晰可辨。全新世包括三座炼丹炉火山和尖山西部小火山锥,总体呈北东向串珠状展布(图1)。火山锥体基本未遭受剥蚀破坏,保存完好,火山结构完整,构成了乌兰哈达第四纪火山群主体。

3 晚更新世火山

乌兰哈达火山群中晚更新世火山的分布受 NE 和 NW 两个方向基底断裂的控制,为裂隙式喷发,喷发物为岩浆低度碎屑化的溅落熔结火山碎屑物,堆积构成溅落锥,锥体呈串珠状展布(图1)。北东向断裂 NE 端截止于乌兰哈达—高勿素隐伏大断裂,WS 端受奎素村北西向断裂限制,长约 12km,分布着 10 余座物质组成相似,但规模不一的溅落锥或溅落堤。近等轴状溅落堆积称为溅落锥,呈长带状或堤坝状者称为溅落堤。锥体低缓,高度一般为 5m ~ 15m,锥体直径 10m ~ 100m,部分溅落堤长约 100m ~ 150m,宽仅十余米,沿基底断裂局部发育侵出玄武岩岩垅,仅黑脑包火山为熔壳状火山锥,且规模较大。呈北西向发育的火山分布于乌兰哈达东南,共有东、中、西火烧山和大、小红山五座火山锥(图1),整体受乌兰哈达—高勿素隐伏大断裂控制。火山已遭受较强剥蚀,火山口沿很低,但火山口轮廓清晰。火山喷发总体规模小,具相似的物质组成,主要造锥过程是溅落堆积,大量岩浆碎屑和熔岩团块等溅射在火山口沿上,形成溅落锥,锥体主要由砖红色和灰黑色熔结集块岩组成,表明火山爆破作用弱,岩浆碎屑化程度很低(魏海泉等,1999)。部分火山活动末期在锥脚溢出少量熔岩流,并裂解火山锥,形成特征的马蹄形火山口。熔岩流动距离短,仅限于火山口周围,长度不足 2km。该期火山以火烧山为代表,而黑脑包是晚更新世独具特色的一座火山。

3.1 火烧山火山

火烧山火山位于乌兰哈达东南红山村一带,从 NW 至 SE 依次为西火烧山、中火烧山和东火烧山,整体呈北西向排列,形态相似,但规模不一,由西火烧山到东火烧山逐渐变小,其中形态较完整的是中火烧山火山。该火山锥底直径约 150m,相对高度约 25m,锥体外坡平均坡度约 14° ,东侧相对较陡。火山锥遭受较强剥蚀,呈截顶圆锥状,残余火山口呈碟状,深约 2m。锥体主要由溅落熔结集块岩组成,下部发育少量松散火山渣(图4),反映最初火山通道内岩浆压力较大,挥发份含量较高,发生过小规模爆发,形成少量降落堆积的火山渣。火山活动中后期,火山口主要溅射出大小不一的岩浆团块及熔岩饼,堆积形成溅落锥。熔浆碎屑堆积后发生强烈塑变,定向拉长,呈透镜状、长条状,长者约 2m,并发生强烈焊接,形成玄武质熔结火山碎屑岩。焊接最强者成为特征的碎成熔岩(魏海泉等,1999;白志达等,2005;Nemeth *et al.*, 2003),该岩石宏观上与熔岩相似,整体呈致密块状,但均由

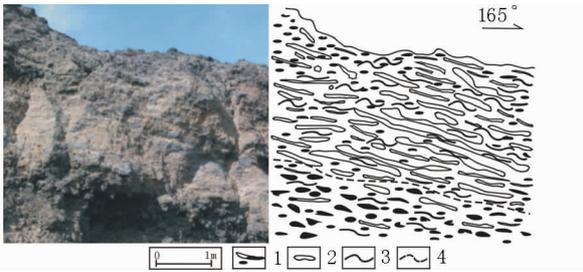


图4 火烧山溅落火山锥碎成熔岩剖面
1-火山弹;2-熔岩饼;3-塑性玄武质浆屑;4-降落与溅落堆积物界线
Fig. 4 Clastogenic lava profile of spatter cone, Huoshaoshan
1-volcanic bomb; 2-magma pie; 3-chips of plastic-basaltic magma;
4-boundary between deposits of descent and Spatter

高温塑变的岩浆碎屑相互焊接组成(图4)。火山喷发晚期,锥体西北角形成岩浆溢出口,溢出少量呈扇状展布熔岩流,覆于晚更新世黄土之上,面积不足1km²。从早期弱爆发、中期溅落堆积到晚期熔岩溢流,反映火山喷发能量逐渐减小。

3.2 黑脑包火山

黑脑包火山位于乌兰哈达西南6km处(东经113°08',北纬41°36'),坐落于华力西期花岗闪长岩之上。海拔为1581m,锥体相对高度约45m,锥底直径约300m,整体成圆锥状,火口不明显。锥体东侧已开挖,剖面良好(图5),其堆积序列如下:

- 14. 风成沙土 20cm
- 13. 褐色碱玄岩 80~150cm
- 12. 红色强熔结集块岩,以塑变熔岩饼为主 60cm
- 11. 黑色熔结集块岩 50cm
- 10. 黑色火山渣 50cm
- 9. 黄色风成砂土,砂以石英为主 2cm~5cm
 喷发间歇
- 8. 黑色火山渣 100cm
- 7. 灰褐色火山渣,含花岗岩角砾 20cm
- 6. 黑色火山渣 15cm

- 5. 红色熔接集块岩 130cm
- 4. 红褐色熔结集块岩,熔结程度下强上弱 500cm
- 3. 黑色火山渣,粒径平均3cm,大者8cm 120cm
 ~::~::~::~::~ 不整合 ~::~::~::~::~
- 2. 黄色粉砂质粘土 9cm
- 1. 花岗闪长岩

上述堆积序列表明,火山锥由玄武质火山渣、熔结集块岩和碱玄岩等构成。造锥喷发方式发生过多次变化,而且具有韵律性和阶段性。中上部黄色风成砂土沉积,表明火山喷发曾发生过短暂的间断。早期降落与溅落交替进行,但以溅落为主,堆积了巨厚的红色熔结火山碎屑岩。晚期从降落堆积的松散火山渣到溅落堆积的熔结集块岩构成喷发韵律。最后岩浆从火口中缓慢涌出,占据并充满整个火口,然后溢出蔓延,披盖整个碎屑锥体,形成特征的熔壳状火山锥,锥体上发育冷却收缩形成的环状张裂谷,这种结构的火山锥国内罕见。后期岩浆溢出率较高,除披盖碎屑锥体外,熔岩流受地形制约,沿北西沟谷流淌,长约2km,熔岩流中发育特征的喷气锥,有些喷气锥高达1.5m。

4 全新世火山

乌兰哈达全新世火山包括3座炼丹炉火山和尖山西部小型溅落火山锥(图1)。火山分布仍受NE向基底断裂控制,总体呈北东向串珠状展布;由碱玄质火山渣锥和熔岩流组成,规模较大,锥体及火口保存完好,岩浆溢出率高,流动距离长,可达18km左右,展布面积约180km²,是乌兰哈达第四纪火山群的主体。火山喷发方式总体为裂隙—中心式,就单一火山而言主要为中心式单成因火山(魏海全等,1999)。三座炼丹炉火山是全新世火山的典型代表,锥体及火口保存完好,锥体形如炼丹,当地习称“炼丹炉”;火口浑圆深大,火口沿上为溅落堆积的砖红色熔结集块岩。从北东到南西依次称北炼丹炉、中炼丹炉和南炼丹炉火山。北炼丹炉距中炼丹炉约5km,中炼丹炉与南炼丹炉相间约800m。三座火山的主要几何参数见表1。三座火山的形状、组成和活动方式

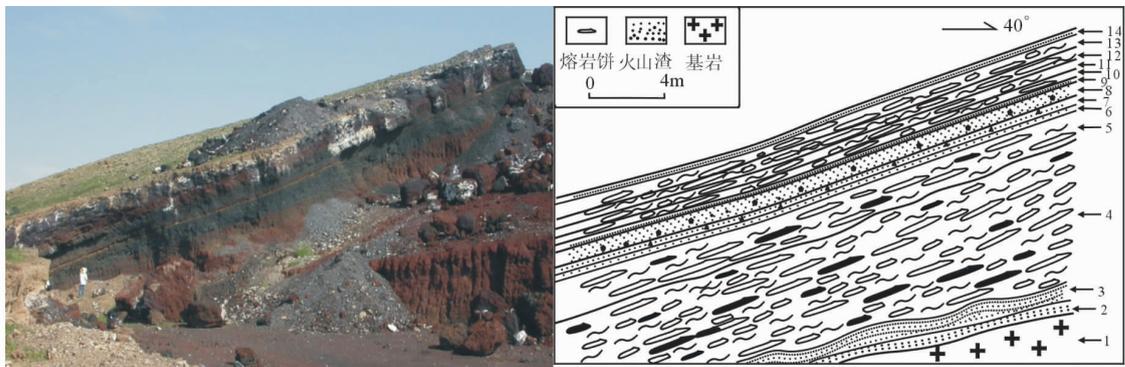


图5 黑脑包南侧火山锥体结构剖面图
Fig. 5 Structural profile of cone, south flank of Heinaobao

表1 三个炼丹炉火山锥体参数

Table 1 Structural parameters of three cupolas

参数	火山名		北炼丹炉(3号)		中炼丹炉(5号)		南炼丹炉(6号)	
测量方位	160°	20°	150°	30°	150°	30°	150°	30°
锥体底直径(m)	700	600	780	620	600	500	600	500
火口直径(m)	180	150	190	150	200	160	200	160
喷火口直径(m)	80	65	100	70	80	50	80	50
锥体高度(m)	80	65	85	60	65	45	65	45
火口深度(m)	30	25	26	15	29	23	29	23
内沿坡度(m)	14°	16°	15°	14°	29°	18°	29°	18°
锥体坡度(m)	31°	14°	21°	13°	29°	20°	29°	20°

大体一致,仅规模和喷发先后时序不一。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:早期降落锥主要由火山渣和少量火山弹组成;火山渣以黑色为主,韵律层理发育,反映火山爆发强度变化频繁。晚期溅落堆积的熔结集块岩叠加其上。爆发作用后有大规模熔岩流溢出,因受地形制约,熔岩流主要向东南方向流动,充填沟谷和低洼地带,不同期次熔岩流单元叠置分布,形成NW高、SE低的阶梯式熔岩台地地貌;在南部和东部,堰塞三股水等水系,形成一系列(约7个,个别天旱时可消失)堰塞湖,这在多波谱遥感影像图上尤为清楚(图略)。在白音淖一带熔岩流流经浅水湿地或沼泽地带时,形成较多喷气锥和熔岩塚,喷气锥多遭受人为破坏,形态不完整,但熔岩塚完好,规模大,数量多,在国内新生代火山群中少有。

熔岩流类型主要为结壳熔岩,次为渣状熔岩,以前者为主。结壳熔岩流规模大,一般长约10km~18km,宽500m~1000m,岩流前缘多呈扇形展布。岩流边缘和前缘多见分支岩流,部分岩流形如大河奔流,当地习称“石河”,有些注入相对低洼地带,形如湖水,又称“石湖”。熔岩流表面形态复杂,有绳状、木排状、面包状等。熔岩流厚度变化大,同一熔岩流单元厚度一般可达3m以上,但在近源及中部厚度较大,前缘厚度小,多1m~2m。从横剖面来看,熔岩流中间一般较厚,向两侧变薄,尤其在近源这种特征更明显。不同熔岩流单元在地貌上存在明显差别,通常晚期岩流单元的前缘较早期岩流单元高出0.8m~1.5m,形成特征的陡坎。结壳熔岩的面积与厚度比很大,反映岩浆粘度小。渣状熔岩规模小,大都分布于近火口,为晚期岩流单元。熔岩台地的总厚度受原始地形、岩浆溢出率等因素的影响较大,从蒙古大营人工水井中得知,厚度大于30m。不同火山熔岩流相互叠置关系表明,北炼丹炉和南炼丹炉火山喷发相对较早,中炼丹炉火山岩浆溢出相对较晚,而尖山西喷发最晚(图1)。中炼丹炉不同单元熔岩流在后营子东侧覆盖在北炼丹炉熔岩流之上,在南炼丹炉西侧覆盖在南炼丹炉熔岩流之上。而尖山西火山的熔岩流又覆盖在中和南炼丹炉熔岩流之上。熔岩流表面

基本未遭受风化,黑色、钢灰色玄武岩裸露,有些平如流水,有些波状起伏,形成独特的熔岩地貌景观。

4.1 北炼丹炉火山

北炼丹炉火山紧邻乌兰哈达乡,火山由锥体和熔岩流两部分组成(图1)。火山锥坐落于太古宙乌拉山岩群和华力西期花岗闪长岩之上。地理坐标为东经113°10′,北纬41°37′。锥体及火口保存完好,形如钟状,平面上呈圆形(图6),锥底直径东西长约700m,南北约600m。火口沿西北侧最高,海拔1571m,东北垣最低,锥体相对高度约80m。火口直径约180m,深度约30m。锥体外坡度约28~30°,东北坡相对更陡。火口沿较窄,约3m~5m。火口内发育有火口锥(图7),直径约30m,相对高度约1.5m。穹丘上部发育具水平层理的沙土,反映火口曾一度积水。穹丘由溅落堆积的熔结碎屑岩和碱玄武岩组成,这是火山活动末期岩浆沿通道上侵,最终堵塞火山通道的产物。

火山锥由降落和溅落火山碎屑物组成(图6、7)。早期较强爆发形成降落渣锥,降落碎屑物为碱玄武质黑色火山渣,含有少量火山弹和熔岩饼。其后由于岩浆中挥发份减少,喷发能量减弱,岩浆碎屑化程度降低,火山活动转为喷泉式喷发,火山弹、熔岩饼和塑性岩浆团块溅落在火口沿上,形成陡峻溅落锥,降落堆积是火山锥的主体。锥体东南侧剖面为造锥喷发的上部堆积序列(图8),层序如下:

6. 风成沙土(背风处),厚约10cm

5. 紫红色熔结集块岩,由塑变熔岩碎屑组成,厚1m~5m

4. 黑色火山渣,平均粒径2cm~3cm,含较大熔岩饼(长20cm~50cm),厚1.9m

3. 钢灰色火山渣,含火山弹,厚1.6m

2. 黑色火山渣,由黑色粗粒渐变为钢灰色中细粒火山渣,含火山弹,共包含5个韵律,厚度约18m

1. 黑色火山渣,粒径2cm~6cm,无分选,含有较大火山弹和熔岩饼(长约100cm),未见底,厚度大于11m

以上虽是锥体的部分堆积序列,但也反映了造锥喷发的

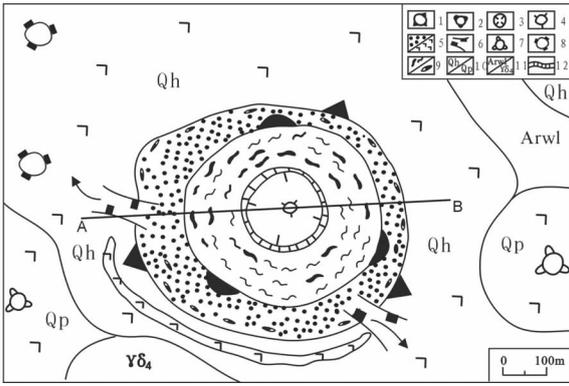


图6 北炼丹炉火山锥体地质图

1-全新世降落火山锥; 2-溅落火山锥; 3-火口; 4-火口锥; 5-火山渣/玄武岩; 6-岩浆溢出口; 7-晚更新世火山锥; 8-侵出穹丘; 9-熔岩饼/火山弹; 10-全新世/晚更新世玄武岩; 11-乌拉山岩群/华力西期花岗岩闪长岩; 12-火口垣

Fig. 6 Geological map of cone, North Cupola

1- Holocene fallen cinder cone; 2- spatter cones; 3-crater; 4-crater cone; 5-cinder/basalt; 6-magma overflow exit; 7-late- Pleistocene crater cone; 8- Volcanic dome; 9-lava pie/ volcanic bomb; 10-Holocene/late- Pleistocene basalt; 11-Wulashan rock group/ Variscan granodiorite; 12-crater edge

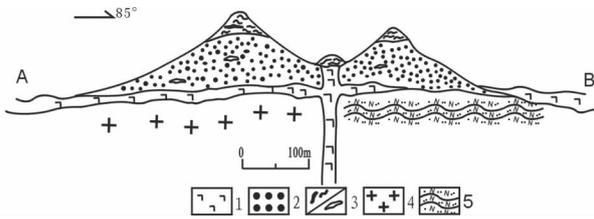


图7 北炼丹炉火山锥体剖面图

1-玄武岩; 2-火山渣; 3-熔岩饼/火山弹; 4-华力西期花岗岩闪长岩; 5-乌拉山岩群

Fig. 7 Section of cone, North Cupola

1-basalt; 2-scoria; 3-magma pie/ volcanic bomb; 4-Variscan granodiorite; 5-Wulashan rock group

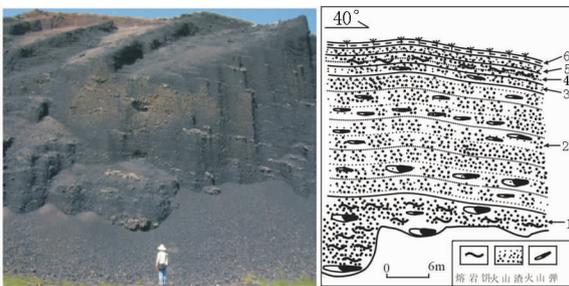


图8 乌兰哈达北炼丹炉锥体东南剖面

Fig. 8 Profile of the North Cupola, Wulanhada

过程。早期爆破式火山作用的爆发过程及强度具有周期性变化,晚期为弱爆发的溅落堆积。

造锥喷发期后,火山进入宁静式溢流阶段。在锥脚东南和西侧,出现岩浆溢出口(图6)。岩浆自溢出口流出后,受地形制约,总体沿低洼地带流淌。西侧溢出口溢出的熔岩较少,面积约3km²,由3个岩流单元组成,熔岩流最长约2.5km,短者约700m。东南溢出口岩浆的溢出率高,形成大量碱玄岩,总体向东南流淌,前缘抵达乌兰胡少海,分布面积约70km²。从早到晚可分为四个岩流单元,Ⅰ、Ⅱ熔岩流单元沿沟谷向南东低洼处流动,前缘直接覆于全新世冲积砂砾石和沼积物之上,并堰塞山区水系形成乌兰胡少海堰塞湖。熔岩流最长约18km,宽1.5km~2.8km。Ⅰ、Ⅱ熔岩流单元将低洼沟谷基本填平,地形增高,使Ⅲ熔岩流单元有一支转向北西流淌,但主体仍向东南流动,覆于Ⅰ、Ⅱ岩流单元上。第Ⅳ单元长仅600m左右,呈扇状展布。每一岩流单元无论是前缘还是侧缘,都出现高约1m~2.5m的陡坎,这是划分岩流单元的良好标志。从早到晚,熔岩流规模减小,反映岩浆溢出量迅速减小。Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ熔岩流为结壳熔岩,岩流表面近源较平整,中远端起伏不平。熔岩流中胀裂谷和塌陷沟(坑)多见,前缘发育挤压脊和熔岩塚(Williams and McBirney, 1979)。第Ⅳ岩流单元为渣状熔岩,岩流规模小,表明岩浆溢出率降低,粘度增大。渣状熔岩流的溢出,标志着北炼丹炉火山活动接近尾声。大量熔岩流溢出后,火山锥曾发生过一定下沉,形成环状、半环状断裂,残余岩浆沿环状断裂侵出,形成半环状侵出岩垅及侵出穹丘,穹丘产状围斜外倾,并发育特征的放射状张裂隙。

4.2 中、南炼丹炉火山

中炼丹炉火山位于乌兰哈达西南7.5km,其形状与北炼丹炉火山相似,仅规模有一定区别。中炼丹炉火口地理坐标为:北纬41°36',东经113°07',为乌兰哈达火山群中保存最好、规模最大的一座火山。火山由玄武质渣锥和熔岩流组成(图1)。火山锥坐落于华力西期花岗岩闪长岩之上,平面上呈近等轴状,锥体高约85m,锥底直径约780m~620m。为一复式锥(图9),由早期降落锥和晚期溅落锥叠置构成,早期降落的岩渣锥(Cas and Wright, 1987)相对低缓,下部为黑色刚性玄武质浮岩渣块,粒度较大,大多为4cm~6cm,上部为灰黑色浮岩渣,粒度一般小于3cm。晚期溅落锥叠加在降落锥之上,锥体陡峻,由褐红、紫红色熔结集块岩组成。火口深度约26m,火口沿西高东低,北高南低,宽度约3m~10m。喷火口东西宽100m,南北长约70m。火口内发育火山喷发晚期形成的火口锥(图10),直径20m~30m,相对高约1.5m,由熔结火山碎屑岩和碱玄岩构成。

中炼丹炉火山熔岩流规模大,流动距离远。熔岩流从锥体南部和东部岩浆溢出口流出(图9),前缘覆于全新世河流冲积和沼积物之上,分布面积约100km²。据熔岩流之间的叠置关系,大致可分为五个岩流单元,Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ熔岩流单

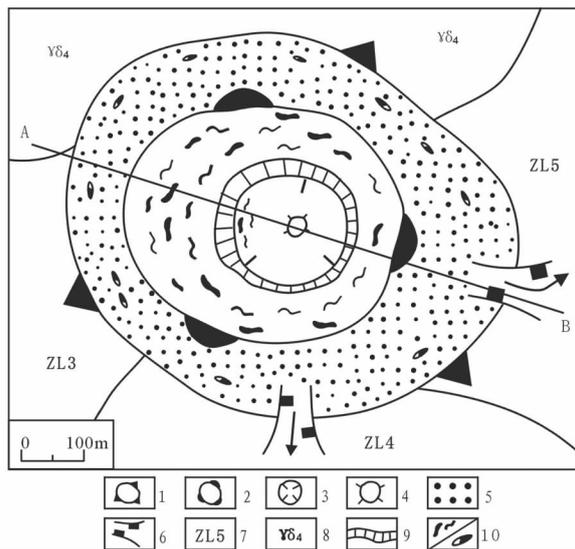


图9 中炼丹炉火山锥体地质图

1-降落火山锥; 2-溅落火山锥; 3-火口; 4-火口锥; 5-火山渣; 6-熔岩流溢出口; 7-中炼丹炉熔岩流; 8-华力西期花岗岩闪长岩; 9-火口垣; 10-熔岩饼/火山弹

Fig. 9 Geological map of cone, Middle Cupola

1-fallen cinder cone; 2-spatter cones; 3-crater; 4-crater cone; 5-cinder; 6-magma overflow exit; 7- lava flow of the Middle Cupola; 8- Variscan granodiorite; 9-crater edge; 10-lava pie/ volcanic bomb

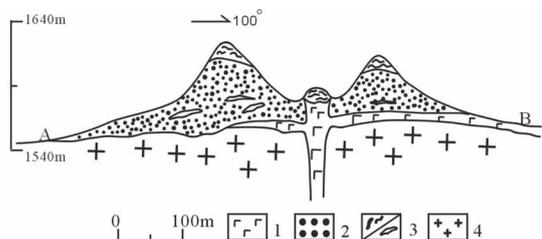


图10 中炼丹炉火山剖面图

1-玄武岩; 2-火山渣; 3-熔岩饼/火山弹; 4-华力西期花岗岩闪长岩

Fig. 10 Profile of the Middle Cupola

1-basalt; 2-cinder; 3-lava pie/ volcanic bomb; 4-Variscan granodiorite

元主要向南东低洼处流淌,前缘抵达白音淖一带,并堰塞三股水等水系形成莫石盖淖和小海子等堰塞湖。熔岩流长约19km,宽度一般1km~3km,最窄的熔岩流约300m,厚度一般为3m~10m。熔岩流类型主要为结壳熔岩,岩流前缘白音淖一带发育熔岩堰及喷气锥,喷气锥大多被人为破坏。熔岩堰完好,数量多,总体呈馒头状,高度3m~10m不等,直径一般为10m~30m,个别达50m,其上发育特征的辐射状张裂隙,裂隙宽0.5m~1m。第V熔岩流单元,主要向北部和东部流淌,岩流规模小,近源为渣状熔岩,为火山活动晚期的岩流。

南炼丹炉火山与中炼丹炉火山在形态、组成及结构上相似,由锥体和熔岩流两部分组成。但锥体相对较小,人为破

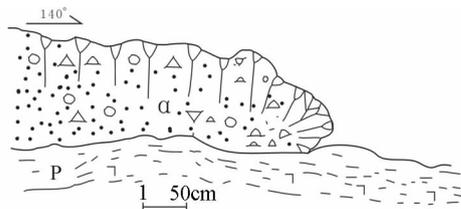


图11 尖山西熔岩流与中炼丹炉结壳熔岩接触关系剖面图

p-中炼丹炉结壳熔岩; α -尖山西渣状熔岩

Fig. 11 Sketch map of lava flow of west of Jianshan and pahoehoe of the Middle Cupola

P- pahoehoe of the Middle Cupola; α -aa of Jianshan

坏严重。熔岩流呈扇状展布,分布范围远小于中炼丹炉火山,熔岩流类型为结壳熔岩。

三座炼丹炉火山均由碎屑锥和熔岩流组成,具有相似性,火山结构特征和活动方式表明,属特征的斯通博利式火山(Anderson *et al.*, 1999)。

4.3 尖山西火山

尖山 NW 分布着 8 个小型火山锥(图 1),总体仍分布在北东向基底断裂上。锥体直径 20m~150m,高度 5m~30m 不等。锥体形态多不规则,平面上呈近等轴状或长垣状。由暗灰色、褐红色火山渣块、熔岩饼及火山弹组成,火山弹形态多样,有麻花状,纺锤状等。部分碎屑相互焊接,形成熔结集块岩,构成溅落锥或溅落堤。相对东侧锥体火口不明显,也无熔岩流溢出,其中第 2 锥体由熔结集块岩和熔岩组成,熔岩在花岗岩闪长岩基底中呈北东向侵入岩垅出露,宽度约 3m~5m,产状近直立,地貌上突起,长约 120m,构成特征的熔岩脊,熔岩脊是岩浆沿裂隙活动的直接证据。相对西侧锥体火口呈马蹄形或不规则形,并有熔岩流溢出,但不同火口溢出的熔岩量相差很大。尖山西南锥体溢出的熔岩流为渣状熔岩流,熔岩流顺坡向西南流动,呈扇状展布,流动距离约 2km,并覆盖在中炼丹炉早期熔岩流之上(图 11)。中炼丹炉与尖山西火山熔岩流之间的叠覆关系表明,尖山西小规模火山喷发是乌兰哈达火山群中活动相对最晚的火山。

火山锥的分布、结构组成及火山喷发特征表明,尖山西火山是北东向裂隙控制下的多点式熔浆喷泉式喷发的产物。

5 火山喷发过程

乌兰哈达火山群位于汉诺坝玄武岩台地北部,新近纪汉诺坝时期曾有过强烈活动。晚更新世晚期以来,随着蒙古高原南缘构造活动加强,基底断裂复活,导致玄武质岩浆沿北东向和北西向断裂发生裂隙式喷发,形成一系列沿断裂带状排列的溅落锥、溅落堤和复合火山锥。火山爆发作用弱,开始仅局部发生爆破式喷发,形成降落堆积。沿基底断裂大

部分地段为熔岩喷泉式活动(白志达等,2006),形成一系列规模不一的溅落锥。晚期熔岩流自火口缓慢溢出,有些岩浆从火口中漫溢形成熔壳状锥体。熔岩流规模小,分布范围局限。晚更新世总体虽为裂隙式喷发,但岩浆溢出率很低,溢出的熔岩流体积很小,这是本区裂隙式火山的重要特征之一。晚更新世火山喷发后,本区火山活动暂时停息,遭受了一定剥蚀,使锥体高度剥蚀降解约 1/3(樊祺诚等,2003),残余火口仅保留其轮廓,深度不足 2m。

进入全新世,由于晚更新世末期火山活动一度停息,裂隙式通道大部分已被凝固的熔岩堵塞,故火山活动转变为总体受断裂控制的中心式喷发。在长约 12km 的断裂上,北、中、南三座炼丹炉火山相继喷发。由于岩浆上升减压,岩浆中挥发份出溶,使岩浆通道内压力增大,火山活动首先发生强烈爆发,高度碎屑化的岩浆碎屑物被喷向高空,然后在重力作用下降落,形成规模较大的降落火山渣锥(Cas and Wright,1987)。岩浆上升通道打开后,随着岩浆中挥发份的减少,岩浆上升速度加快以及火口开放所造成压力的骤减,火山活动转为熔岩喷泉式喷发,发生溅落堆积,碎屑化程度很低的高温塑性熔浆碎屑溅落在火口沿上,堆积并相互焊接,形成熔结集块岩或碎成熔岩,使火口垣不断加高,形成陡峭的溅落火山锥,溅落堆积的出现标志着爆破式火山作用已经进入晚期。溅落堆积后,由于挥发份急剧减少,岩浆溢出率快速提高,火山作用方式转为溢流式;岩浆沿着碎屑锥体底部与基底接触面处的中性浮力界面形成岩浆溢出口,溢出大量熔岩,形成多股熔岩流,组成熔岩台地。熔岩流早期为结壳熔岩,晚期常为渣状熔岩。由早而晚熔岩流规模减小,小规模渣状熔岩流的溢出,暗示火山溢流活动已接近尾声。火口锥的出现,标志着炼丹炉火山活动基本结束。炼丹炉火山从早期的较强爆发降落堆积、溅落堆积,到大量熔岩流的溢出,反映岩浆中挥发份逐渐减少,火山活动强度逐渐降低,属于斯通博利式火山。炼丹炉火山活动晚期或结束后,断裂活动向西南扩展,火山喷发活动也相应向西南迁移。在尖山西形成一系列呈北东向排列的溅落锥和溅落堤,同时溢出少量熔岩流,熔岩流覆盖在中和南炼丹炉熔岩流之上。侵入熔岩脊的出现,标志着乌兰哈达火山群火山活动进入休眠期。

乌兰哈达第四纪火山活动总体有自北东向南西迁移的特点,不同火山熔岩流的相互叠置关系表明,全新世火山活动北、南炼丹火山较早,中炼丹炉相对较晚,尖山西火山喷发最晚。

6 讨论

乌兰哈达第四纪火山,尤其是全新世火山的确定,对研究蒙古高原南缘新构造活动、环境演化及火山灾害预警具有重要意义。因为众所周知,火山是地球内部构造运动和物理化学变化的最直接产物,是了解地下深处物质物理化学性质及构造动力学的天然窗口。乌兰哈达火山群近 30 座火山,

绝大多数呈 NE 向串珠状展布,严格受 NE 向基底断裂控制。火烧山等五座火山总体呈北西向排列,显示受乌兰哈达—高勿素隐伏大断裂控制。反之也反映乌兰哈达—高勿素区域大断裂是一多期活动的长寿断裂,晚更新世以来活动性加强,这也由控制新生代沉积盆地的形成与发展以及现代水系的分布得到佐证。亦即火山的空间分布,反映了该区晚更新世以来地壳的活动性及新构造活动的基本特征。

火山地质特征表明,乌兰哈达火山群全新世时期有过喷发,但具体活动时期缺乏直接证据,是死火山还是处于休眠期的活火山,未来有无喷发的危险性,值得深入研究。因为火山区居民点较多,又位于北京的西北部,距北京直线距离约 300km,应开展火山灾害预警研究。另外,对于火山活动的控制因素、岩浆浅部运移方式以及喷出地表后的堆积定位过程等都是值得研究的问题。

乌兰哈达第四纪火山分布奇特,喷发规模较大,喷发方式多样,火山保存完好,火山堰塞湖发育,不仅具有重要的科学研究和科普价值,同时具有很好的美学价值和极高的旅游价值,应进行有效的保护和合理开发利用。

7 结论

(1)火山地质特征和热释光测年表明,乌兰哈达属第四纪火山群,主要由 3 万年以来的火山喷发产物构筑。据火山形貌特征、火山产物与沉积物之间相互关系,可进一步分为晚更新世晚期和全新世两期。全新世火山活动北和南炼丹火山较早,中炼丹炉相对较晚,尖山西火山喷发最晚。

(2)乌兰哈达火山由碱玄质松散火山渣、熔结集块岩和碱玄岩组成。火山分布严格受基底断裂控制,总体为裂隙式或裂隙—中心式火山。晚更新世主体为裂隙式喷发,全新世主要为裂隙控制下的中心式喷发,炼丹炉属斯通博利式火山。

(3)晚更新世火山活动强度低,表现为小规模的小规模溅落锥和分布局限的熔岩流,仅黑脑包为规模较大的熔壳状火山锥。该期火山已遭受一定程度的剥蚀。全新世火山活动强度高,火山规模大,火山结构完整,基本未遭受风化剥蚀。完好的火山锥、火山口,典型的结壳状、渣状熔岩流,规模宏大的“石河、石湖”、特征的熔岩塚以及松散火山渣和熔结火山碎屑岩等,是一天然火山“博物馆”。

致谢 野外工作中得到乌兰察布市和察哈尔右翼后旗国土局的大力支持和帮助,特致谢忱。

References

- Anderson SW, Stofan ER, Smrekar SE *et al.* 1999. Pulsed inflation of pahoehoe lava flows: Implications for flood basalt emplacement. *Earth and Planetary Science Letter*, 168: 7–18
- Bai ZD, Xu DB, Zhang BL *et al.* 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, Tian MZ, Wu FD *et al.* 2005. Yanshan, Gaoshan: Two active volcanoes of the volcanic cluster in Arshan, Inner Mongolia. *Earthquake Research in China*, 21(1): 113 – 117 (in Chinese with English abstract)
- Cas RAF and Wright JV. 1987. Volcanic and successions-modern and ancient. London: ALLEN & UNWIN, 363 – 409
- Fan QC, Sun Q, Xu DB *et al.* 2003. Nomenclature of the Holocene volcanic systems and research on the textural parameters of the scoria cones in northern Hainan Island. *Seismology and Geology*, 25 (Sup.): 21 – 32 (in Chinese with English abstract)
- Huang ZG, Cai FX, Han ZY *et al.* 1993. Quaternary Volcanoes of Lei and Qiong Peninsulas. Beijing: Science Press, 1 – 20 (in Chinese)
- Liu JQ. 1987. Studies on the chronology of the Cenozoic volcanic rocks in Northeastern China. *Acta Petrologica Sinica*, (4): 21 – 31 (in Chinese with English abstract)
- Liu JQ. 1999. Volcanoes in China. Beijing: Science Press, 1 – 125 (in Chinese)
- Liu RX. 2000. Active Volcanoes in China. Beijing: Seismological Publishing House, 67 – 74 (in Chinese)
- Nemeth K, Suwesi SK, Peregi Z *et al.* 2003. Plio/Pleistocene flood basalt related scoria and spatter cones, rootless lava flows, and pit craters, Al Haruj Al Abiyad, Libya. *GeoLines*, 15: 107 – 112
- Wei HQ, Liu RX, Fan QC *et al.* 1999. Monogenetic volcanism in Longgang Volcano Clusters. *Geological Review*. 45 (sup): 325 – 331 (in Chinese with English abstract)
- Williams H and McBirney AR. 1979. *Volcanology*. San Francisco: Freeman, Cooper, 103 – 110
- Xu JW and Xiao QT. 1979. Quaternary Volcano of Wulanhada. *Journal of Hebei Normal University (Natural Science)*, Z1: 17 – 129 (in Chinese)

附中文参考文献

- 白志达, 田明中, 武法东等. 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, 徐德斌, 张秉良等. 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
- 樊祺诚, 孙谦, 徐德斌等. 2003. 琼北全新世火山区火山系统的划分与锥体结构参数研究. *地震地质*, 25(增刊): 21 – 32
- 黄镇国, 蔡福祥, 韩中元等. 1993. 雷琼第四纪火山. 北京: 科学出版社, 1 – 20
- 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*, (4): 21 – 31
- 刘嘉麒. 1999. 中国火山. 北京: 科学出版社, 1 – 125
- 刘若新. 2000. 中国的活火山. 北京: 地震出版社, 67 – 74
- 魏海全, 刘若新, 樊祺诚等. 1999. 龙岗火山群单成因火山作用. *地质论评*, 45(增刊): 325 – 331
- 许辑五, 肖乾泰. 1979. 内蒙乌兰哈达的第四纪火山. *河北师范大学学报(自然科学版)*, Z1: 17 – 129