

吉林龙岗第四纪火山活动分期*

樊祺诚 隋建立 刘若新 魏海泉 李大明 孙谦 李霓

FAN QiCheng, SUI JianLi, LIU RuoXin, WEI HaiQuan, LI DaMing, SUN Qian and LI Ni

中国地震局地质研究所, 北京 100029

Institute of Geology, China Seismological Bureau, Beijing 100029, China

2002-07-12 收稿, 2002-09-23 改回.

Fan QC, Sui JL, Liu RX, Wei HQ, Li DM, Sun Q and Li N. 2002. Periods of Quaternary volcanic activity in Longgang area, Jilin province. *Acta Petrologica Sinica*, 18(4):495—500

Abstract Over one hundred volcanic cones with explosive eruption genesis and many maars with phreatomagmatic eruption genesis distribute in about 1700km² of Longgang volcano (LGV) area, Jilin Province. The late eruption of Longgang volcano was in 1500~1600 years ago. On the basis of volcanological study, here we present thirty one K-Ar ages of basaltic rocks collected from lava plateau, cinder cones, maars and pyroclastic sheet and two ¹⁴C ages of coke and peat. The history of LGV Quaternary activities can be divided into three main periods, namely Xiaoyishan Period (Early Pleistocene; 2.15~0.75Ma), Longgang Period (Middle-Late Pleistocene; 0.68~0.05Ma) and Jinglongdingzi Period (Holocene; 1600~1500a. BP).

Key words Longgang volcano, Volcanic geology, Chronology, Period

摘要 在约 1700km² 的龙岗火山区内分布 100 多个玄武质岩浆爆破成因的火山渣锥和射气岩浆成因的低平火山口-龙湾, 最新喷发距今约 1500~1600 年。本文在火山地质研究基础上, 测定了龙岗第四纪火山活动形成的熔岩台地、火山渣锥、低平火山口、火山碎屑席等不同火山地质体的 31 个火山岩 K-Ar 年龄和 2 个炭化木与泥炭层的 ¹⁴C 年龄, 厘定了龙岗第四纪 3 期火山活动的时间: 小椅山期(早更新世; 2.15~0.75Ma)、龙岗期(中-晚更新世; 0.68~0.05Ma)和金龙顶子期(全新世; 1600~1500a. BP)。

关键词 龙岗火山; 火山地质; 年代学; 分期

中图法分类号 P317

1 引言

许多研究者先后开展了龙岗火山的火山地质、年代学、火山碎屑堆积物等方面研究(欧祥喜, 1984; 罗照华, 1984; 刘嘉麒, 1987; 刘祥等, 1987, 1989), 刘若新等还对龙岗火山区开展了火山灾害评估工作^①。近些年我们对火山区内的火山渣锥、火山碎屑席、龙湾和熔岩流地质调查的同时, 开展了火山岩岩石学与地球化学方面的初步研究, 发现龙岗火山岩

属于化学成分比较单一的粗面玄武岩, 与天池火山、望天鹅火山造盾阶段粗面玄武岩相似, 它们可能都来自在地幔条件下经历了高压分异的岩浆, 属于广义长白山火山岩浆系统的不同发展阶段和岩浆演化的产物(隋建立等, 1999; 魏海泉等, 1999; Fan *et al.*, 2000; 樊祺诚等, 2001)。长白山火山区是我国规模最大的第四纪火山区, 也是最具潜在喷发危险的近代活动火山区。本文旨在火山地质和岩浆化学研究基础上, 对龙岗一百余座火山渣锥、龙湾、和广布的熔岩流系统采样和年代学研究, 进行龙岗第四纪火山活动分期。

* 国家自然科学基金(40072026)和国家科技攻关计划项目(2001BA601B06)资助。

第一作者简介: 樊祺诚, 男, 1948 年生, 研究员, 岩石学专业。

① 刘若新等. 1997. 吉林省靖宇平岗-赤松核电站厂址区火山安全性评价报告

2 火山地质

长白山西麓的龙岗火山位于北北东向的龙岗山脉中段,地处华北克拉通东北边缘,构造上位于NE向的敦化-密山断裂与图们江-鸭绿江断裂之间。第四纪火山主要分布在龙岗山脉以东到头道松花江之间东西长约70km、南北宽约20km的盆地内,火山岩不整合覆盖在各期地层之上,分布面

积约1700km²(图1)。第三纪火山分布于盆地外围的Ⅳ、Ⅴ级台地之上,如龙岗火山东北侧的四方顶子附近,分布面积不广,地貌上呈桌状熔岩台地,出露标高约1000m左右,最大厚度大于600m。

龙岗第四纪火山活动造就了龙岗火山现代地貌和丰富多彩的火山景观,包括熔岩台地、河谷熔岩、火山渣锥、火山碎屑席和开发成为旅游景点的低平火山口-龙湾等典型的火山地质体。

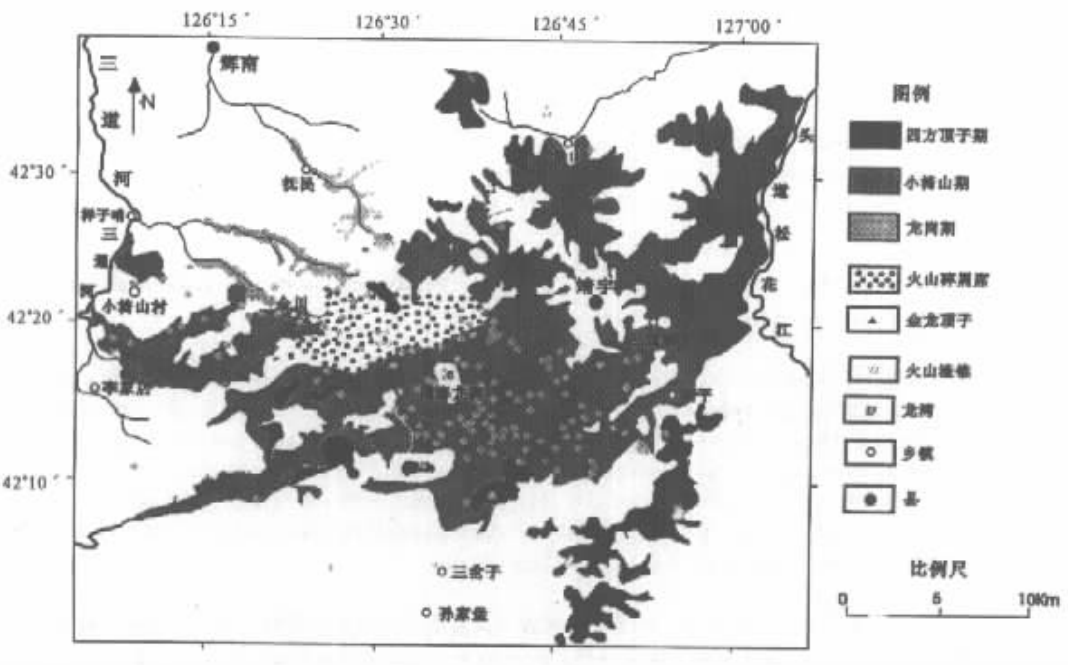


图1 龙岗火山地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of Longgang volcano

2.1 熔岩台地

龙岗第四纪火山,主要分布在龙岗山脉以东到头道松花江之间的盆地内,西起辉南县三道河畔,东达靖宇县头道松花江边,北至靖宇县景山镇,南抵浑江市三岔子乡,早更新世小椅山期溢流式火山喷发形成相对平缓的波状熔岩台地,分布面积约有1000km²,海拔高度在330~660m之间。熔岩台地南东高,北西低,据钻孔资料熔岩厚度在几米到上百米之间变化。小椅山期溢流式玄武岩不整合覆盖在振兴堡冰期冰水沉积砂砾层之上,时代为早更新世(吉林省地质局,1979)。在振兴堡、铺板石、靖宇-白山公路(立新村)和靖宇-花园公路(下巴厘村)等都有极好的小椅山期玄武岩剖面出露,并见有发育很好的玄武岩柱状节理。对小椅山期玄武岩之下砾石层剖面中孢粉研究结果,代表了一次冰期气候,证实了振兴堡冰期的存在,时代上可能相当于我国的鄱阳冰期和秦岭地区的洛南冰期(谢宇平等,1993)。小椅山期火山岩覆盖在上述

冰期沉积物之上,可能代表了间冰期火山喷发的产物。

跨过松花江往东,漫江、广坪一带玄武岩也都不整合覆盖在砂砾层之上,表明早更新世冰期以后东北境内有一次较大规模的间冰期火山喷发活动。

2.2 火山渣锥

构成龙岗火山现代地貌的一百余座爆破式喷发成因的火山口(锥)如雨后春笋在小椅山期熔岩台地上星罗棋布,构成蔚为壮观的高密度分布的龙岗火山群。火山渣锥相对高度为几十米到百余米,主要由玄武质火山渣、火山角砾、火山弹和熔岩饼等组成。西部的大椅子山火山渣锥海拔约600m,相对高度约150m,主要由玄武质火山渣、火山弹和各种岩屑组成,以及地幔橄榄岩捕虏体。大椅子山火山溢出的岩流,形成三个时期的扇形台阶,导致三道河断流。

在辉南县金川乡东南的金龙顶子火山高耸于龙湾环绕的地区,成为这一带最高的一座近代火山,其火口垣东北侧

锥体海拔 999.4m, 锥体西南侧被后期熔岩冲出西南朝向的豁口, 熔岩流向西流入大龙湾。金龙顶子火山座落在早期喷发的灰黑色熔岩之上, 锥体主要由火山渣、火山弹、火山砾、各种麻花状或绳状熔岩, 以及超镁铁质捕虏体堆积组成。

2.3 低平火山口-龙湾

以蓄水龙湾为代表的低平火山口(maar)成为龙岗火山群的一大景观, 如大龙湾、二龙湾、小龙湾、三角龙湾、东龙湾、南龙湾、龙泉龙湾、四海龙湾等八个龙湾, 还有三角龙湾附近的旱龙湾及西大甸子旱龙湾为不积水的旱龙湾, 均为射气岩浆喷发形成的低平火山口, 主要集中于龙岗火山的西区。龙湾的水面之上一般由火山碎屑和基浪堆积构成低矮的火口垣, 火口垣基浪堆积物似沙丘状构造, 发育了非常典型的射气岩浆成因的波状层理、斜层理等(刘祥等, 1987)。在大龙湾、东龙湾的水面附近都见到熔岩和熔接凝灰岩或熔接角砾岩, 在东龙湾的火口垣北侧水面之上还发育了多层熔岩, 四海龙湾的基浪堆积之上又被晚期熔岩流覆盖, 龙泉龙湾火口垣的基浪堆积中夹有厚层火山渣层(约 3m 厚), 说明龙湾不是一次喷发形成, 而是由岩浆喷发与射气岩浆喷发交替形成的多期火山喷发活动的产物。

2.4 河谷熔岩

河谷熔岩是龙岗火山另一类广泛分布的溢流式火山活动产物。龙岗山脉是区域分水岭, 山脉以西的河流汇入三通河, 以东河流汇入头道松花江。河谷熔岩就分布在分水岭两侧的河谷和洼地中, 并且沿着河谷蜿蜒而下, 直接覆盖在河床上, 因此称为河谷熔岩。河谷熔岩通常很长, 可以达到十几公里, 但是宽度相对较窄。河谷熔岩具有巨大的落差和很高的长/宽比, 与熔岩台地的平面展布特征有明显的区别。河谷熔岩的分布范围远远超出了熔岩台地(小椅山期)的范围, 延伸到龙岗山脉以西。在龙岗山脉以西, 河谷熔岩的下伏地层是陆壳基底(各期老地层), 山脉以东, 河谷熔岩覆盖在小椅山期熔岩之上。河谷熔岩具有明显的多期性, 晚期的熔岩流覆盖在早期熔岩流之上, 在熔岩流前缘形成特征的阶梯状产状。河谷熔岩是从火山渣锥和龙湾溢出, 在溢出口也可以看到多期熔岩喷发的特征, 熔岩流锋面可以见到大量的块状熔岩。

2.5 火山碎屑席

金龙顶子火山锥之东红旗林场至四海一带为分布面积最大的一片火山碎屑席, 称为四海火山渣层, 分布面积约有 100km², 主要由黑色的火山渣组成, 火山渣粒径一般几 mm~2cm, 分选好, 是典型的空降堆积。火山渣层中含少量角砾状火山弹、火山砾和地幔橄辉岩捕虏体, 大小与火山渣相当。由于在碎屑席内及其附近有众多火山渣锥, 故吉林省地质局(1979)认为四海火山渣层是多中心喷发的产物。刘祥等(1997)和刘若新等(1997)根据火山渣层的粒度和厚度分布

特征, 提出四海火山渣层完全是由金龙顶子火山喷发形成的, 并根据火山碎屑席下的炭化木和泥炭层年龄确定其喷发时间为 1500~1600a. BP(刘祥等, 1997; 刘若新等, 1997), 遗憾的是尚无金龙顶子火山岩的直接年龄证据。

3 火山岩 K-Ar 年代学研究

本文在上述龙岗火山地质研究基础上, 采集具代表性的熔岩台地、火山渣锥、龙湾和河谷熔岩等不同火山地质体样品, 开展火山岩 K-Ar 年代学研究。

3.1 实验方法和技术

自从发现并报导矿物中存在有过剩氩(Aldrich *et al.*, 1948), 前人发现在大洋和大陆火山岩中的橄榄石斑晶和火山玻璃中可能含有过剩氩, 并认为过剩氩的存在会对 K-Ar 真实年龄产生影响, 主要导致样品的实际年龄偏老。我国学者在对新生代火山岩的 K-Ar 年代学研究中, 对过剩氩问题进行了大量的理论探讨和应用研究, 使我国年轻火山岩的年代学研究取得重要进展(陈文寄等, 1991, 1999; 穆治国等, 1998; 李大明等, 1999)。对年轻火山岩样品, 在进行 K-Ar 测年之前, 必须利用常规的磁选或重液分选法, 除去样品中橄榄石、辉石或斜长石等斑晶, 才能保证测年的准确性。

年轻火山岩 K-Ar 年龄测试的关键是避免外来因素对年龄结果的干扰和取得尽可能高的放射成因氩含量, 即考虑过剩 Ar 的问题和样品风化引起的 Ar 丢失, 以及降低大气氩含量。本文挑选了 32 个新鲜的熔岩样品, 由于火山渣中的气泡成分复杂, 也会干扰放射性 Ar 的准确测定, 因此测试样品采用熔岩流、熔岩饼和火山弹等不含或少含斑晶的致密块状样品。经薄片鉴定后, 样品粉碎成 40~60 目(粒径约 0.45~0.3 mm), 用磁选法除去橄榄石斑晶。利用磁选对样品处理后, 样品中主要斑晶含量 < 1%, 保证测得的年代数据接近于真实年龄。由于所测对象时代较年轻, 为了尽量去除大气 Ar 的影响, 提高放射成因 Ar 的相对含量, 实验前作了 250℃ 低温烘烤去气, 并且选择 8 对样品进行平行样分析。K-Ar 法的测量分为两部分, 钾的测量和氩的测量。K 的测量使用原子吸收分光光度计, Ar 的测量采用同位素稀释法, 在 MM-1200 质谱计与之连接的金属萃取系统上完成。质谱仪的 ⁴⁰Ar 本底值为 $n \times 10^{-15}$ mol, 全系统热本底为 $n \times 10^{-14}$ mol, 样品用量为 300mg 左右, 稀释剂用量为 $n \times 10^{-13}$ mol。在静态下记录 ⁴⁰Ar、³⁸Ar、³⁶Ar 三个同位素的量, 经过线性回归, 计算出其初始值, 并根据 K-Ar 年龄公式计算出样品的表面年龄。

3.2 实验结果

火山岩 K-Ar 年龄(包括 2 个 ¹⁴C 年龄)列于表 1。从表中可以看出, 8 对平行样测试结果, 其中 6 对样品(表面年龄 8~58 万年)的误差范围在 1~2 万年, 2 对样品(表面年龄 44

表1 龙岗火山的年龄测定结果

Table 1 The ages of Longgang volcano

期次	采样地点	样品名称	¹⁴ C 年龄(aBP)				
(全新世)	金 龙 顶 子 期	红旗林场	炭化木	1500±70			
		红旗林场	泥炭	1740±75			
		红旗林场	炭化木	1580±70			
		红旗林场	炭化木	1690±85			
样品号	采样点	样品名称	K (%)	⁴⁰ Ar _{rad} (mol/g)	⁴⁰ Ar _{rad} (%)	表面年龄 (±1σ, Ma)	
PH139-2	四海龙湾(晚期)	玄武岩	2.00	1.796E-12	3.57	0.05±0.01	
LG9931	东龙湾(晚期)	玄武岩	1.59	2.304E-12	5.02	0.08±0.01	
PH145-1**	李家店	玄武岩	1.87	2.800E-13	6.38	0.08±0.01	
PH145-1**	李家店	玄武岩	1.87	2.699E-13	5.52	0.09±0.01	
PH142-1**	三岔子太阳坡采石场	玄武岩	1.85	3.198E-13	8.29	0.10±0.01	
PH142-1**	三岔子太阳坡采石场	玄武岩	1.85	3.554E-13	10.93	0.11±0.01	
PH141-2**	元宝顶子	玄武岩	1.71	3.400E-13	8.39	0.11±0.01	
PH141-2**	元宝顶子	玄武岩	1.71	3.358E-13	16.54	0.11±0.01	
PH117-2	三道沟煤矿珠子河	玄武岩	0.80	1.765E-13	7.77	0.13±0.01	
LG9934	东龙湾(早期)	玄武岩	1.69	3.962E-12	8.64	0.14±0.01	
龙	LG98012-3	四海龙湾(早期)	玄武岩	2.06	7.635E-13	8.62	0.21±0.02
	LG98024	大椅子山	玄武岩	2.19	2.595E-12	31.39	0.23±0.02
(中晚更新世)	PH138-1	四海村北	玄武岩	1.64	6.746E-13	14.51	0.24±0.01
	PH118-1**	白江河	玄武岩	1.87	9.148E-13	12.51	0.26±0.01
岗	PH118-1**	白江河	玄武岩	1.87	8.312E-13	23.23	0.28±0.02
	PH140-1	龙湾林场南-小龙岗西	玄武岩	1.54	7.769E-13	14.64	0.29±0.02
期	PH115-1	四方顶子-宝安林场之间	玄武岩	1.76	1.137E-13	13.20	0.37±0.02
	PH111-1	道水	玄武岩	0.53	3.652E-13	13.25	0.40±0.03
期	LG98007-2**	小牛沟(晚期)	玄武岩	1.72	1.269E-12	16.25	0.43±0.02
	LG98007-2**	小牛沟(晚期)	玄武岩	1.72	1.294E-12	16.28	0.43±0.02
期	PH113-1**	靖宇—集宁公路	玄武岩	1.08	8.279E-13	5.61	0.44±0.07
	PH113-1**	靖宇—集宁公路	玄武岩	1.08	8.961E-13	24.30	0.48±0.02
期	LG9913	靖宇西采石场	玄武岩	1.49	1.303E-12	34.65	0.50±0.01
	LG98021-2b	大龙湾	玄武岩	1.72	1.645E-12	2.11	0.55±0.22
期	LG98003-1	靖白公路 30km	玄武岩	1.89	1.804E-12	24.38	0.55±0.02
	LG98007-1a**	小牛沟(早期)	玄武岩	0.97	9.810E-13	2.69	0.58±0.18
期	LG98007-1a**	小牛沟(早期)	玄武岩	0.97	9.763E-13	2.56	0.58±0.18
	PH143-1	龙泉龙湾	玄武岩	2.28	2.383E-12	19.48	0.60±0.03
期	PH114-1**	复兴双山	玄武岩	1.89	2.113E-12	15.24	0.59±0.04
	PH114-1**	复兴双山	玄武岩	1.89	1.947E-12	13.56	0.64±0.03
期	LG98023	小椅子山	玄武岩	2.19	2.595E-12	31.39	0.68±0.02
	D-1	吊水湖	玄武岩	2.37	3.089E-12	1.55	0.75±0.42
(早更新世)	PH117-1	三道沟煤矿珠子河	玄武岩	0.48	6.597E-13	14.77	0.79±0.05
	LG9920	铺板石	玄武岩	1.94	2.708E-12	40.46	0.80±0.02
期	PH112-1	欢喜屯	玄武岩	2.10	3.231E-12	33.31	0.89±0.03
	LG98009-1	南天门	玄武岩	1.89	6.243E-12	51.20	1.90±0.08
期	景山	景山	玄武岩	2.01	6.814E-12	44.47	1.95±0.04
	PH144-1	吊水湖	玄武岩	1.95	7.270E-12	52.26	2.15±0.09

除*资料引自刘祥(1997),其它均为本文资料; **平行样。

分析者:中国地震局地质研究所 K-Ar 年代实验室和¹⁴C 实验室。

采用常数: $\lambda = 5.543 \times 10^{-10}/a^{-1}$, $\lambda_c = 0.581 \times 10^{-10}/a^{-1}$, $\lambda_g = 4.962 \times 10^{-10}/a^{-1}$, $^{40}\text{K}/\text{K} = 1.167 \times 10^{-4}/\text{mol}/\text{g}$

~64 万年)的误差范围 4~5 万年,说明测试精度高,年龄结果是可信的。

4 第四纪火山活动分期

吉林地质局(1979)和刘嘉麒(1987)根据当时的研究,都曾对龙岗火山进行过分期。龙岗火山最早一期火山岩称为船底山玄武岩,时代属于第三纪上新世,主要分布于龙岗火山区的四方顶子等外围,呈桌状孤山分布,标高约为 1000m 左右,座落在 V 级阶地以上。刘嘉麒(1987)测得四方顶子玄武岩的 K-Ar 年龄 $27.3 \pm 1.03\text{Ma}$,时代为渐新世,并定名四方顶子期。龙岗第四纪火山主要分布在龙岗山脉以东到头道松花江之间的盆地内,以往主要根据地层对比划分为早更新世小椅子山期、中更新世大椅子山期和全新世金龙顶子期(吉林省地质局,1979)。如前述,小椅子山期玄武岩不整合覆盖在振兴堡冰水沉积砂砾层之上,刘嘉麒(1987)提供的小椅子山期玄武岩 K-Ar 年龄为 $1.49 \pm 0.50\text{Ma}$,形成时代为早更新世。吉林地质局(1979)和刘祥等(1989)根据小椅子山期玄武岩和大椅子山期火山渣之间有较厚的粘土层和黄土层,将大椅子山期时代定为中更新世,龙湾也划为该期火山活动的产物(吉林省地质局,1979;刘祥等,1989)。而据刘嘉麒(1987)和刘嘉麒等(2000)对龙湾的火山岩 K-Ar 年龄测定结果(1~1.30Ma)则属早更新世。

由于龙岗火山活动持续时间长、喷发类型多(兼有溢流式和爆破式、射气岩浆喷发与岩浆喷发)、规模大,在以往的研究中尚缺乏系统的年代学研究,特别是缺乏 100 多座火山渣锥和龙湾的年代学研究,因此对各期火山活动缺乏年代约束。本文应用火山学研究方法,结合 K-Ar 法和 ^{14}C 法定年结果(表 1),重新将龙岗第四纪火山活动分为 3 期并给出年龄范围如下:

- (1)小椅子山期(早更新世:2.15~0.75Ma)
- (2)龙岗期(中-晚更新世:0.68~0.05Ma)
- (3)金龙顶子期(全新世:1600~1500a.BP)

在这三期火山活动中,小椅子山期火山活动以裂隙式溢流为特征,几乎持续了整个早更新世,形成广阔的熔岩台地。以往划分的大椅子山期时代仅限于中更新世,由于缺乏足够的火山岩年龄数据,不能囊括 100 多座火山渣锥的形成时代,所以本文不再沿用大椅子山期而新起名龙岗期。龙岗期火山活动以爆破式喷发为特征,持续了整个中、晚更新世,造就了 100 多座高密度的火山渣锥和低平火山口(龙湾),这一时期是形成现代龙岗火山地貌最重要的时期,故命名为龙岗期。金龙顶子期年龄根据四海火山渣层之下炭化木和泥炭的 ^{14}C 年龄,喷发活动约在 1500~1600a.BP。

5 小结

本文在火山地质和以往研究工作基础上,结合火山岩

K-Ar 年龄和炭化木 ^{14}C 年龄,将龙岗第四纪火山活动分为小椅子山期、龙岗期和金龙顶子期三期。龙岗火山 100 多座火山渣锥中可能还有类似金龙顶子火山的全新世时期喷发活动,这需要进行进一步的地质调查和年代学研究。笔者认为,龙岗火山和天池火山、望天鹅火山有着相似的发展过程,早期都形成广阔的熔岩台地,不同的是龙岗火山在熔岩台地上造就了 100 多座火山渣锥和射气岩浆喷发成因的低平火山口-龙湾,而后者分别形成两座巍峨的复式火山锥。龙岗火山和天池火山造锥阶段主要限于中-晚更新世(1 百万年~几万年),全新世仍有喷发活动,而望天鹅火山在红头山期(2.12Ma)碱性流纹岩倾出之后,于早更新世便停止了喷发活动,这有助于进一步探知长白山地区火山活动迁移规律和岩浆演化过程。

References

- Aldrich L T, Nier A O. 1948. Argon 40 in potassium minerals, *Phys. Rev.*, 74: 876-877
- Chen Wenji, Peng Gui. 1991. Age dating of young geological system. Beijing: Seismological Press
- Chen Wenji, Ji Fengju, Wang Fei. 1999. Age dating of young geological system (continue) — New method and new evolve. Beijing: Seismological Press
- Fan Qicheng, Sui Jianli, Liu Ruoxin, Wei Haiqun, Li Ni. 2000. Petrology and geochemistry of Jinlongdingzi active volcano — the last basaltic explosive volcano at Longgang volcano. *Chinese Journal of Geochemistry*, 19(4): 312-317
- Fan Qicheng, Liu Ruoxin, Sui Jianli. 2001. Volcanic activities and magma evolution in Changbaishan area. In: Lu YC *et al* (eds.). *New tectonics and environment*. Beijing: Seismological Press, 366-371
- Geology Bureau of Jilin Province. 1979. Jinyu area(1:200000) report of regional geological survey
- Li Daming, Chen Wenji, Li Qi. 2000. K-Ar age of young volcanic rocks and excess argon? Binary mixing model and quantitative study of excess argon essect. *Chinese Science Bulletin*, 45(7): 659-663
- Li Daming, Li Qi, Chen Wenji. 2000. Volcanic activities in the Tengchong volcano area since the Pliocene. *Acta Petrologica Sinica*, 16(3): 362-370(in Chinese with English abstract)
- Liu Jiaqi. 1987. Study on geochronology of the Cenozoic volcanic rocks in Northeast China. *Acta Petrologica Sinica*, 3(4): 21-31 (in Chinese with English abstract)
- Liu Jiaqi, Negendank JFW, Wang Wenyuan, Chu Guoqiang, J Mingram, Guo Zhengfu, Luo Xiangjun, Chen Rui, Liu Dongsheng. 2000. The distribution and geological characteristics of maar-lakes in China. *Quaternary Sciences*, 20(1): 78-86 (in Chinese with English abstract)
- Liu Xiang, Wang Xikui. 1987. Discovery of the volcanic base-surge deposits in Dalongwan, Huinan County, Jilin province. *Geological Review*, 33(6): 577-582(in Chinese with English abstract)
- Liu Xiang and Xiang Tianyuan. 1997. Cenozoic volcano and pyroclastic accumulation resources and disaster in Northeast of China. Changchun: Jilin University Publishing House
- Liu Xiang, Xiang Tianyuan, Wang Xikui. 1989. Episodes of Cenozoic volcanism in the Changbai Mountains area. *Jilin Geology*, (1): 30-41(in Chinese with English abstract)
- Liu Xiang, Zhang Chengliang. 1997. Sihai scoria deposits in the Longgang volcanic swanrmbelong to the Sub-Plinian eruption of

- Jinlongdingzi volcano. *Jilin Geology*, 16(3):1-26(in Chinese with English abstract)
- Luo Zaohua. 1984. The study of ultramafic nodules in Dayishan basalt, Huinan county, Jilin province. *Erth Sciences - Journal of Wuhan College of Geology*, 24(1):81-86 (in Chinese with English abstract)
- Mu Zhiguo, Liu Yulin, Huang Baoling. 1998. Effect of fine-grained olivine on K-Ar dating of late Cenozoic olivine basalts in China. *Chinese Science Bulletin*, 43(7):764-766
- Ou Xiangxi. 1984. The formation of Longgang volcanic group and its relation with tectonic. *Jilin Geology*, (1):76-81 (in Chinese)
- Sui Jianli, Fan Qicheng, Chao Jie. 1999. A preliminary study of eruption features and petrochemistry of volcanic rocks from the Longgang volcanoes. *Geological Review*, 45(Sup):319-324 (in Chinese with English abstract)
- Wei Haiquan, Liu Ruoxin, Fan Qicheng, Jin Bolu, Liu Xiang, Zhang Chengliang. 1999. Petrological characteristics of Holocene eruption of the Tianchi volcano, Changbai mountains. *Geological Review*, 45(Sup):325-331(in Chinese with English abstract)
- Xie Yuping, Liu Xiang, Xiang Tianyuan. 1993. Study on volcano and volcanic rocks in central section of northeastern China. Changchun: Publishing House of Northeast Normal University, 102-103
- 附中文参考文献**
- 陈文寄, 彭贵. 1991. 年轻地质体系的年龄测定. 北京: 地震出版社
- 陈文寄, 计凤桔, 王非. 1999. 年轻地质体系年代测定(续)—新方法、新进展. 北京: 地震出版社
- 樊祺诚, 刘若新, 隋建立. 2001. 长白山地区火山活动与岩浆演化. 新构造与环境(卢演侑等主编), 北京: 地震出版社, 366-371
- 吉林省地质局. 1979. 靖宇县幅(1:20万)区域地质调查报告
- 李大明, 陈文寄, 李齐. 1999. 年轻火山岩的 K-Ar 年龄与过剩氩——二元混合模式及过剩氩影响的定量研究. *科学通报*, 44(21):2341-2345
- 李大明, 李齐, 陈文寄. 2000. 腾冲火山区上新世以来的火山活动. *岩石学报*, 16(3):362-370
- 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, Negendank JFW, 王文远等. 2000. 中国玛珥湖的时空分布与地质特征. *第四纪研究*, 20(1):78-86
- 刘祥, 王锡魁. 1987. 吉林省辉南县大龙湾火山基浪堆积物的发现. *地质论评*, 33(6):577-582
- 刘祥, 向天元. 1997. 中国东北中部地区新生代火山和火山碎屑堆积物资源与灾害. 长春: 吉林大学出版社, 83-105
- 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*, (1):30-41
- 刘祥, 张成梁. 1997. 龙岗火山群四海火山渣层——来自金龙顶子火山亚普林尼式火山爆发. *吉林地质*, 16(3):1-26
- 罗照华. 1984. 吉林辉南大椅山碱性玄武岩及其成因. *地球科学——武汉地质学院学报*, 24(1):81-86
- 穆治国, 刘玉林, 黄宝玲. 1998. 细粒橄榄石对中国晚新生代橄榄玄武岩 K-Ar 定年的影响. *科学通报*, 43(7):764-766
- 欧祥喜. 1984. 龙岗火山群的形成与构造的关系. *吉林地质*, (1):76-81
- 隋建立, 樊祺诚, 曹杰. 1999. 龙岗火山喷发特征与火山岩化学初步研究. *地质论评*, 45(增刊):319-324
- 魏海泉, 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
- 谢宇平, 刘祥, 向天元. 1993. 中国东北中部地区新生代火山及火山岩研究. 长春: 东北师范大学出版社, 102-103