

五大连池第四纪火山岩层序划分及其构造与生态意义

曾普胜¹⁾, 丘顺帆^{2)*}, 李睿哲^{1,3)}, 刘斯文¹⁾, 王十安^{1,3)}, 赵九江¹⁾

1) 自然资源部生态地球化学重点实验室, 国家地质实验测试中心, 北京 100037;

2) 黑龙江省地质调查研究总院, 黑龙江哈尔滨 150036; 3) 中国地质大学(北京), 北京 100083

摘要: 大量前人成果和 1:5 万区调钻孔资料证实, 五大连池第四纪火山地层属于水平岩层。因此, 该地区第四纪火山地层的划分, 是在地表岩石层序与钻孔岩石层序充分划分与对比的基础上进行的。从沉积角度看, 五大连池火山地层属于松嫩盆地连续沉积过程中的第四纪短暂幕式火山喷发所形成的水平岩层。本文结合 K-Ar 同位素测年新资料, 将该区第四纪岩石地层重新划分为 11 个组级地层单位。其中的火山岩石地层可以自下而上划分为: 下更新统焦得布玄武岩(1.214—1.113 Ma); 中更新统尾山玄武岩(0.62—0.285 Ma); 中更新统笔架山玄武岩(0.24—0.132 Ma)和全新统老黑山玄武岩(距今 290~288 a), 对夹于其间的正常沉积地层也进行了相应的划分。对层状火山岩层序的层位划分和空间分布研究对于理解五大连池火山群的构造背景和生态环境具有特别重要的意义, 五大连池火山群处于中国大陆内部的大同一大兴安岭火山岩带的最北东端, 是地幔流体向东北方向流动的最前缘; 这类富钾的碱性玄武岩的火山喷发活动对东北富饶的黑土地的形成具有重要贡献, 火山岩在嫩江平原上塑造的台地和火山锥地形地貌对生态多样性和优质地下水的生态要素具有重要影响。

关键词: 五大连池火山群; 第四纪火山; 火山岩层序; 构造意义; 生态意义

中图分类号: P588.1; P535 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2021.112601

Sequences Division of Quaternary Volcanic Rocks in Wudalianchi and Its Tectonic and Ecological Significances

ZENG Pu-sheng¹⁾, QIU Shun-fan^{2)*}, LI Rui-zhe^{1,3)}, LIU Si-wen¹⁾,
WANG Shi-an^{1,3)}, ZHAO Jiu-jiang¹⁾

1) Key Laboratory of Eco-geochemistry, Ministry of Natural Resources, National Research Center for Geoanalysis, Beijing 100037;

2) Heilongjiang Institute of Geological Survey, Harbin, Heilongjiang 150036;

3) China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083

Abstract: A large number of data from predecessors and 1: 50 000 regional survey drilling confirm that the Quaternary volcanic strata in Wudalianchi belong to horizontal strata. Therefore, the division of quaternary volcanic strata in this area is based on the full division and correlation between surface and borehole sequences. From the sedimentary point of view, the Wudalianchi volcanic strata belong to the horizontal strata formed by the Quaternary episodic volcanic eruption in the continuous accumulating process of Song-Nen Basin. Based on the new data of K-Ar isotope dating, the Quaternary volcanic sequences in this area are divided into 11 formations, from bottom to top, corresponding fall into the Lower Pleistocene Jiaodebu basalt (1.214–1.113 Ma); Middle Pleistocene Weishan basalt (0.62–0.285 Ma); The Middle Pleistocene Bijiashan basalt (0.24–0.132 Ma) and the Holocene Laoheishan basalt (290–288 a BP) interlayered with two normal sedimentary strata. Study on volcanic

本文由中国地质科学院基本科研业务费项目(编号: JYYWF20180101)、中国地质调查局地质调查项目(编号: 0100123057; DD20190589; DD20160220; DD20190703)和国家自然科学基金项目(编号: 41072073)联合资助。

收稿日期: 2021-11-15; 改回日期: 2021-11-19; 网络首发日期: 2021-11-29。责任编辑: 魏乐军。

第一作者简介: 曾普胜, 男, 1964年生, 博士, 教授。主要从事岩石、矿床、地球化学和生态环境研究。E-mail: zengpusheng@qq.com。

*通讯作者: 丘顺帆, 男, 1950年生。高级工程师。主要从事区域地质调查和基础地质研究。E-mail: 2776159532@qq.com。

rock sequences and spatial distribution of the stratovolcanoes is of great significances to understand the Wudalianchi volcanoes tectonic background and the ecological environment: Wudalianchi Volcano Group, located at most northeast end of the Datong–Daxinganling volcanic rock belt within the hinterland of NE China, is the most front of the mantle fluid flowing northeastward; The volcanic eruptions of these potassium-rich alkaline basalts contributed significantly to the formation of the rich black land in northeast China, and the platform and volcanic cone topography shaped by volcanic rocks on the Nenjiang Plain had an important impact on ecological diversity and the ecological elements of high-quality groundwater.

Key words: Wudalianchi Volcanic Group; Quaternary volcanoes; sequences of volcanic rocks; tectonic significance; ecological significance

五大连池火山群是我国著名的第四纪火山群。多年来,不少研究单位和个人先后对其进行了研究,积累了大量资料,取得了丰硕的成果(Li et al., 2016; Rasskazov et al., 2016; Li et al., 2020)。但是,至今在第四系岩石地层划分和命名及其时代归属等方面,仍未取得较统一的认识。近年来,作者在 20 世纪末五大连池火山群 1:5 万区调四幅联测工作基础上,对该火山群的岩石地层进行了较为深入的研究,认识到第四系火山地层也属于水平岩层,它的划分与对比必须是在查明每座火山喷发过程基础上,辅以同位素年龄资料佐证,再依据火山岩层间的沉积夹层对比,确定各火山的喷发时代。

最早对五大连池火山岩研究的是 20 世纪 30 年代的日本人小仓勉(1936),将其两分为新期(晚全新世)石龙熔岩和旧期(晚更新世)玄武岩。以后各家划分基本参照此进行。20 世纪黑龙江省区测一队(1978)在开展 1:20 万龙镇公社幅区测时,主要依据火山岩层间的沉积夹层对比,将五大连池火山岩自下而上划分为焦得布山(中更新世早期)、笔架山(中更新世晚期)和老黑山(晚全新世)等 3 个玄武岩组(佟志芳, 1978),徐衍强和刘振环(1979)也进行了类似的划分。胡世玲(1984)只划分为五大连池玄武岩组和老黑山玄武岩组。王承祺(1987)对科洛—五大连池火山岩带进行专题研究时,主要依据 K-Ar 同位素年龄资料,将其自下而上分为双泉(1.0—0.9 Ma)、焦得布山(0.90—0.80 Ma)、龙门山(0.65—0.50 Ma)、卧虎山(0.45—0.40 Ma)、影背山(0.40—0.30 Ma)、笔架山(0.30—0.25 Ma)、老黑山(距今 265 a)等 7 个喷发亚期;在 30 届国际地质大会五大连池火山地质旅行路线指南中,也主要依据 K-Ar 同位素年龄资料,将其自下而上分为格拉球山(2.076 Ma)、卧虎山(1.053—1.416 Ma)、焦得布山(0.88—0.70 Ma)、尾山(0.57—0.4 Ma)、笔架山(0.34—0.28 Ma)、西龙门山(0.19—0.17 Ma)和老黑山(1721—1719 a)等 7 期火山熔岩(Wang, 1996)。李齐等(1999)在“五大连池地区火山岩年代学研究”一文中,利用新采集 K-Ar 的同位素年龄资料,将其自下而上划分为 1.3 Ma、0.9—0.8 Ma、

0.6—0.45 Ma、0.38—0.24 Ma、0.16 Ma、0.09 Ma 和距今 270 a 等 7 个时段玄武岩。丘顺帆等(2003)在 1:5 万五大连池农场四幅连测报告中,主要依据火山岩层间的沉积夹层对比,辅以同位素年龄资料佐证手段,将其自下而上分为格拉球山(2.706—2.101 Ma)、焦得布(1.33—0.80 Ma)、尾山(0.57—0.317 Ma)、笔架山(0.25—0.145 Ma)和老黑山(距今 284—228 a)等 5 期玄武岩。

毋庸置疑,前人的每一次研究都使得五大连池火山岩石地层的划分在向着正确的方向迈进,特别是李齐等(1999)、Wang(1996)的划分。然而,这种划分主要是依据同位素年龄资料进行的,缺少岩石地层方面的佐证资料。本文从野外调查的岩石学资料,结合年代学数据,探讨中国最新的火山岩的喷发层序及其生态环境意义,为后续研究提供基础地质数据。

1 地质背景

五大连池火山岩带位于汾渭地堑—大兴安岭新生代火山岩裂谷带的北东端,与镜泊湖—科洛火山岩带交汇处(图 1a)(白志达等, 2012),属于北东向火山岩带最年轻的火山岩。

五大连池火山群位于黑龙江省中部,属德都县所辖。地理坐标为东经 126°00′—126°20′,北纬 38°34′—38°48′。区内丘陵起伏,丘陵之上耸立着十四座火山(图 1b),即:尾山、莫拉布山、东龙门山、西龙门山、影背山(小孤山)、东焦得布山、西焦得布山、南格拉球山、北格拉球山、卧虎山、笔架山、药泉山、老黑山和火烧山,分布面积达八百余 km²。自中更新世以来,火山多次爆发,最新的火山喷发发生在公元 1719 年(清康熙五十八年)和公元 1720—1721 年(清康熙五十九年—六十年)间,清朝大臣吴振臣 1721 年所著的《宁古塔纪略》记载了火山的喷发景观:“离城(都德)五十里有水荡,周围三十里,于康熙五十九年六、七月间,忽烟火朝天,其声如雷,昼夜不绝,声闻五、六十里,其飞出者,皆黑石硫磺之类,经年不断,竟成一山,兼像城廓,热气逼人三十余里,只可登而远望”,这就形成了老黑

山、火烧山两座火山。这种早期的记录对于理解火山爆发的过程和确切的喷发时间, 意义重大。

老黑山和火烧山喷发熔岩流从北往南流并占据白河故道及其附近低洼沼泽, 形成五个相互串通的火山堰塞湖, 这便是“五大连池”——相互连通的一池、二池、三池、四池和五池(图 1b)。

长期以来, 五大连池第四系岩石地层, 尤其是五大连池火山岩石地层的划分, 前人众说纷纭。他们主要采用两种划分方法, 一种主要依据 K-Ar 同位素年龄资料, 一种主要依据火山岩层间的沉积夹层对比。现就五大连池火山岩石地层的划分情况概

括如表 1 和表 2。

2 五大连池第四纪火山岩层序划分

2.1 岩石地层划分原则

火山岩区地层比较复杂, 有的以火山岩为主, 有的以沉积岩为主, 可统称为火山-沉积岩系。在以火山岩为主的火山岩区, 岩石地层的划分应以火山活动及其喷发层序本身的特点作为重要依据。在火山岩和沉积岩均较发育的地区, 还应将火山作用和沉积作用结合起来考虑岩石地层的划分(巫建华, 1999)。

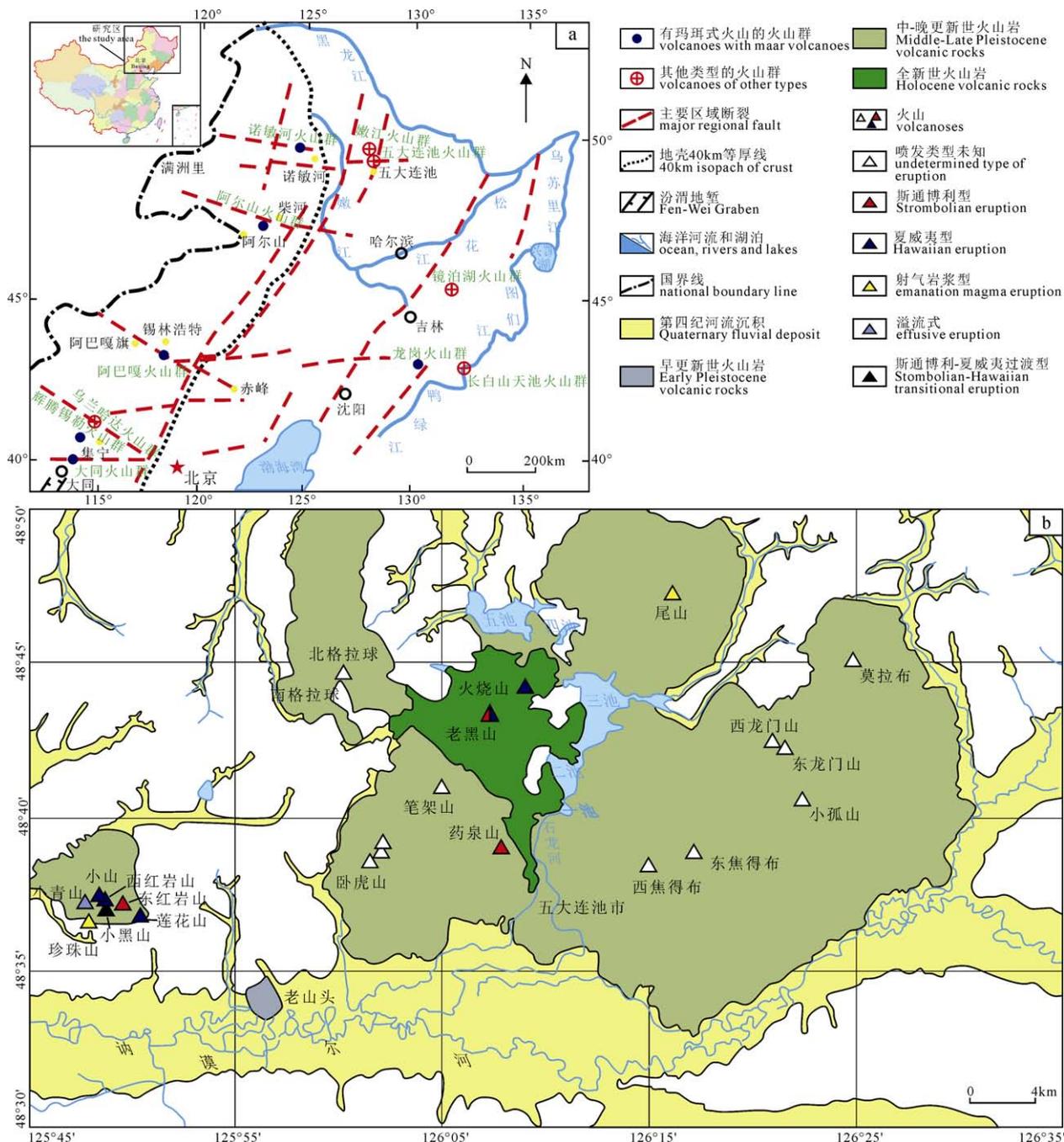


图 1 东北五大连池区域构造(a, 据白志达等, 2012 修改)和火山群地质图(b, 据 Liu et al., 2001 和 Zhao et al., 2014 修改)
 Fig. 1 Regional geological map of Wudalianchi (a, modified from BAI et al., 2012), and distribution diagram of Quaternary volcanoes in northeast China (b, data from Liu et al., 2001 and Zhao et al., 2014)

表 2 五大连池火山岩 K-Ar 同位素年龄一览表
Table 2 K-Ar dating data of the Wudalianchi volcanic rocks

样品编号	岩石名称	取样位置	经纬度	K /%	⁴⁰ Ar (mol/g)	⁴⁰ Ar /%	年龄值 /Ma	资料来源	测试单位
LH9801	玄武岩基质	永丰农场采石场 (石龙头熔岩)	E126°08'20" N48°37'03"	4.39	7.361×10 ⁻³	9.4111	0.097±0.008	李齐等, 1999	国家地震局地质 研究所
ZK1-54-16	玄武岩	老黑山南钻孔 下层玄武岩	E126°07'00" N48°42'22"	3.64	5.712×10 ⁻¹³	10.06	0.090±0.007	丘顺帆等, 2003	国家地震局地质 研究所
BJ9802	橄榄石(基质)	笔架山火山锥	E126°05'02" N48°41'10"	0.76	4.101×10 ⁻¹²	6.337	3.177±0.425	李齐等, 1999	国家地震局地质 研究所
	全岩			3.84	1.364×10 ⁻¹²	6.230	0.205±0.027		
	基质			4.1	1.034×10 ⁻¹²	8.238	0.145±0.015		
BJ9704	橄榄石(斑晶) 基质	笔盾 2	E126°03'00" N48°40'26"	0.27 4.98	1.117×10 ⁻¹² 1.939×10 ⁻¹²	19.310 29.340	2.513±0.075 0.162±0.004	李齐等, 1999	国家地震局地质 研究所
P2-3	玄武岩	笔盾 3	E126°03'56" N48°42'22"	3.95	1.374×10 ⁻¹²	9.808	0.201±0.016	丘顺帆等, 2003	国家地震局地质 研究所
JDK-16	玄武岩	翻花泉西南村边 台地(药泉山)	E126°08'00" N48°42'09"	3.64	1.5674×10 ⁻¹²	8.57	0.25±0.02	李齐等, 1999	中国科学院地质与 地球物理研究所
ZK2-10-2	玄武岩	小孤山南钻孔 上层玄武岩	E126°21'25" N48°40'17"	4.81	1.676×10 ⁻¹²	17.58	0.201±0.008	丘顺帆等, 2003	国家地震局地质 研究所
ZK2-43-1	玄武岩	小孤山南钻孔 下层玄武岩	E126°21'25" N48°40'17"	4.05	2.003×10 ⁻¹²	15.11	0.285±0.015	丘顺帆等, 2003	国家地震局地质 研究所
XG-9801	橄榄石 基质	小孤山西南锥脚	E126°12'17" N48°40'01"	0.48 4.37	1.074×10 ⁻¹² 1.819×10 ⁻¹²	25.620 24.760	1.074±0.039 0.24±0.007	李齐等, 1998	国家地震局地质 研究所
LM9801	玄武岩基质	西龙门山西锥脚	E126°20'34" N48°42'28"	4.71	1.309×10 ⁻¹²	9.4111	0.16±0.007	李齐等, 1998	国家地震局地质 研究所
1366A	玄武岩	龙盾台地东缘 (焦得布林场采 石场)	E126°30'06" N48°42'11"	4.01	9.145×10 ⁻¹³	15.72	0.132±0.006	丘顺帆等, 2003	国家地震局地质 研究所
ZK24-25-9	玄武岩	永丰农场五队北 (焦盾岩流)	E126°20'57" N48°36'17"	4.06	1.473×10 ⁻¹²	15.83	0.209±0.010	丘顺帆等, 2003	国家地震局地质 研究所
W-163	玄武质浮岩 砾块	东焦得布山北锥坡	E126°17'05" N48°39'21"	3.98	0.2181×10 ⁻¹²	8.70	0.317±0.014	刘嘉麒, 1987	中国科学院地质与 地球物理研究所
ZK17-12	玄武岩	三池东岸边(东 焦得布山台地)	E126°12'56" N48°43'12"	4.44	2.446×10 ⁻¹²	27.60	0.318±0.008	丘顺帆等, 2003	国家地震局地质 研究所
JDK-13	玄武岩	西焦得布山双泉 屯台地	E126°11'39" N48°36'52"	3.76	2.4448×10 ⁻¹²	40.81	0.37±0.01	巩杰生, 1997	中国科学院地质与 地球物理研究所
3514A	玄武岩	北格拉球山北台 地(格拉球山农 场四连旧址)	E126°02'40" N48°50'55"	4.36	3.146×10 ⁻¹²	20.26	0.398±0.015	丘顺帆等, 2003	国家地震局地质 研究所
3515	玄武岩	北格拉球山北台地	E126°00'25" N48°46'25"	4.10	3.358×10 ⁻¹²	17.10	0.472±0.021	丘顺帆等, 2003	国家地震局地质 研究所
W161	玄武质浮岩 砾块	南格拉球山	E125°59'46" N48°44'06"	4.39	3.515×10 ⁻¹²	11.9	0.462±0.033	巩杰生, 1997	中国科学院地质与 地球物理研究所
GLQ9801	玄武岩基质	北格拉球山西南坡	E126°00'02" N48°44'39"	4.27	4.595×10 ⁻¹²	35.920	0.62±0.013	李齐等, 1998	国家地震局地质 研究所
P8-1	玄武质浮岩 砾块	小孤山火山口内壁	E126°22'32" N48°40'38"	4.74	3.867×10 ⁻¹²	13.85	0.470±0.026	丘顺帆等, 2003	国家地震局地质 研究所
W501	玄武岩	卧虎山北 W1 孔 上层玄武岩(卧 盾 1 岩流)	E126°02'49" N48°39'39"	4.14 4.16	2.984×10 ⁻¹²	9.00	0.415±0.048	刘嘉麒, 1987	中国科学院地质与 地球物理研究所
Wy-13	玄武质浮岩 砾块	尾山南西锥脚 3 号采场	E126°15'47" N48°47'15"	4.24	6.920×10 ⁻⁹		0.52±0.14	计凤桔和 李齐, 1998	核工业北京地质研 究院同位素室
C 年 14	玄武岩	莫拉布山西坡 325°台地	E126°23'41" N48°46'01"	4.25	0.759×10 ⁻¹⁰		0.57±0.05	计凤桔和 李齐, 1998	核工业北京地质研 究院同位素室
LHS9801	橄榄石 基质	莲花山	E126°01'56" N48°38'00"	0.95 5.02	1.834×10 ⁻¹² 1.057×10 ⁻¹¹	39.690 56.370	1.113±0.027 1.214±0.040	计凤桔和 李齐, 1998	国家地震局地质 研究所

(5) 五大连池各期火山从老至新, 喷发量由少到多、再由多到少的规律, 反映了本区火山活动由弱到强、再由强到弱的演化特点。

(6) 五大连池地表各期火山均存在复式锥, 经 1:5 万区调工作后表明各期火山复式锥中的单锥均为同时喷发, 但喷发结束是有先后的, 从而证实各期火山复式锥中的单锥均为同期喷发产物。

2.2 岩石地层划分方案

按上述划分原则, 结合 2003 年获得的 10 个玄武岩 K-Ar 同位素年龄值, 使五大连池第四纪岩石地层划分对比的依据更为充分。方案需要考虑以下几点:

(1) 经 1:5 万区调后期研究, 区内及外围钻孔资料显示无有下更新统猓猓组和东深井组沉积。原在尾山农场六队一带垅岗地貌的低洼处和岗坡处沉积的一套花岗岩原地风化残坡积砂砾石划归的“猓猓组”具铁质胶结成岩沉积特征(丘顺帆等, 2003), 可与五大连池火山北侧大面积下一中更新统下荒山组对比。

(2) 1:5 万区调在火山岩组间划分的沉积岩组大致与前人的划分相同, 考虑到五大连池火山-沉积盆地内幕式火山短暂喷发, 并为正常沉积岩组所夹特点, 本文将 1:5 万区调报告中的夹早更新世晚期“焦得布玄武岩”(1.33 Ma)的下荒山组下、上段(丘顺帆等, 2003), 分别修改为下荒山组和上荒山组。西邻 1:20 万区调嫩江县幅荒山组沉积中心在荣军农场五队一双山农场呈北北东向带状连续沉积资料也证实这一点(丘顺帆等, 2003)。前人所划分的“下荒山组”(1.2—0.6 Ma, 郑庆道, 1991)和“上荒山组”(0.5—0.24 Ma, 郑庆道, 1991)虽不符合地层命名原则, 在未有新的命名之前, 仍予沿用。

(3) 格球山农场四连点处(旧址)的格拉球山北台地玄武岩 K-Ar 同位素年龄值(2.101±0.063) Ma、(2.076±0.054) Ma(丘顺帆等, 2003), 经新获得的 K-Ar 同位素年龄值(0.472±0.021) Ma(丘顺帆等, 2003)、(0.398±0.015) Ma(丘顺帆等, 2003), 另南格拉球山锥体与莫拉布山复式锥西锥体内均有积水沼泽, 又南、北格拉球山熔岩顺古地形北流 26 km 达东风水库(丘顺帆等, 2003), 与尾山期锥体剥蚀程度和岩流喷发规模大的特点相同看, 应为中更新世早期尾山期(0.62—0.285 Ma)产物。因此, 1:5 万区调划分的早更新世早期“格拉球山玄武岩”理应废弃。而原位于格球山农场四连点处(旧址)玄武岩之下的“猓猓组”(N26 孔)(丘顺帆等, 2003)应改为下一中更新统下荒山组。原位于讷漠尔河谷岸上白垩统嫩江组之上、中—上更新统哈尔滨组之下(ZK7、ZK5 孔)和位于讷漠尔河谷北岸焦盾台地之

下的下更新统“猓猓组”、“东深井组”(De16、De18 孔)(丘顺帆等, 2003), 应分别改为下一中更新统下荒山组和上荒山组, 即构成隐伏的讷漠尔河谷 II 级阶地。

(4) 东焦得布山东南 W17 孔中被下一中更新统下荒山组和上荒山组所夹的下层玄武岩, 与在卧虎山西北 W1 孔中覆盖在上白垩统嫩江组砂泥岩之上的下层玄武岩为同一层位。五大连池钻孔资料表明, 该下层玄武岩分布零星, 与五大连池火山西侧莲花山玄武岩分布特点大致相同。莲花山玄武岩 K-Ar 同位素年龄值 1.214~1.113 Ma(李齐等, 1999), 表明早更新世中期“焦得布玄武岩”的存在, 符合该初始期火山喷发规模小的特征。

(5) 小孤山火山锥体覆盖程度较厚, 与尾山、西焦得布山与东焦得布山的火山锥体覆盖程度相似, 完全不同于西龙门山与东龙门山锥体覆盖程度。航片解译资料证实西龙门山与东龙门山岩流绕过小孤山火山锥体南下而去。小孤山火山口内壁玄武质浮岩砾块 K-Ar 同位素年龄值((0.470±0.026) Ma, 丘顺帆等, 2003)比西龙门山与东龙门山熔岩 K-Ar 同位素年龄值((0.132±0.006) Ma, 丘顺帆等, 2003)也说明了这一点。

(6) 西龙门山与东龙门山盾状熔岩台地东缘玄武岩 K-Ar 同位素年龄值(0.132±0.006) Ma, 表明与该两座火山同为中更新世晚期笔架山玄武岩(0.25—0.132 Ma)。该期玄武岩以盾丘和复式锥发育、锥体与熔岩台地剥蚀程度较低为特征, 明显区别于其它各期玄武岩。笔架山同样具有这个特征。东焦得布山东南 ZK24 孔玄武岩 K-Ar 同位素年龄值(0.209±0.010) Ma 显示为西龙门山与东龙门山盾状熔岩向南围绕西焦得布山与东焦得布山台地南缘, 沿讷漠尔河谷北侧流淌。

(7) 三池东岸边(东焦得布山台地)ZK17 证实尾山玄武岩之上的中—上更新统哈尔滨组的热释光年龄值为(0.01775±0.0014) Ma(丘顺帆等, 2003)(表 3)。

本次补充完成的 K-Ar 同位素测年由国家地震局地质研究所李大明完成, 使用仪器: MM5400 静态真空质谱计; 测试条件: 样品在 1500℃左右熔化的同时, 加入准确定量的 ^{38}Ar 稀释剂, 测定混合稀释剂后的同位素比值($^{40}\text{Ar}/^{38}\text{Ar}$)_m 和($^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$)_m, 求出样品的放射性成因 ^{40}Ar , 再根据样品的钾含量计算年龄。常数: $\lambda_e=0.581\times 10^{-10}/\text{年}$; $\lambda_\beta=4.962\times 10^{-10}/\text{年}$; $^{40}\text{K}/\text{K}=1.167\times 10^{-4}$ 。参见李齐等(1999)。

炭质黏土 ^{14}C 测年由中科院长春分院地理所王超英、李崇玲完成。方法参见仇世华和蔡莲珍(1997)。

表 3 ¹⁴C 测年结果表
Table 3 ¹⁴C dating results

时代	序号	样品号	测定对象	取样位置	取样深度 /m	经纬度	Total CouEts	Time /min	年龄/a
顾乡屯组	1	HZ ₁ ZK4	亚黏土	二龙山农场一队南温查尔河北岸	5.9~6.0	E: 126°24'14" N: 48°30'59"	3517	990	19 151 ± 460
	2	HZ ₁ ZK13	泥炭	双泉南排水渠桥东	3.2	E: 126°11'00" N: 48°35'33"	3134	1000	21 854 ± 637

注: 中国科学院长春地理研究所分析测试中心测试(2001)。

(8)老黑山南 ZK1 孔证实老黑山玄武岩之下为上更新统顾乡屯组(0.0601—0.0144 Ma)黄褐色砂砾石(丘顺帆等, 2003)。其砂的热释光年龄值为(0.0601±0.004) Ma(丘顺帆等, 2003)。这个现象表明此处原为隐伏的“乌德邻河”(陈洪洲等, 1999) I 级阶地。1:5 万区调还证实老黑山新、旧锥喷发物间没有沉积间断(丘顺帆等, 2003)。满文史料记载老黑山玄武岩于 1720—1721 年(陈洪洲等, 1999)和 1776 年(陈洪洲等, 2004)两次喷发。老黑山旧北锥体火口缘相的砖红色火山集块岩中砂泥岩捕房体热释光结果为距今(273±19) a B.P(计凤桔和李齐, 1998), 即 1721 年前后喷发时限。另从该期锥体与熔岩台地绝大部分裸露, 地貌景观保存完好看, 也不应存在 0.09 Ma 喷发活动(图 2a)。

2.3 五大连池火山岩地层层序

五大连池地表火山岩的面积为 851.15 km²(去掉盾状台地表皮上的沉积覆盖层后), 其岩石地层单位由下而上划分为 8 个岩石地层单位, 即: (1)下一中更新统下荒山组(Q_{1-2x})、(2)下更新统焦得布玄武岩(βQ_{1j})、(3)下一中更新统上荒山组(Q_{1-2s})、(4)中更新统尾山玄武岩(βQ_{2w})、(5)中—上更新统哈尔滨组(Q_{2-3h})、(6)中—上更新统笔架山玄武岩(βQ_{2-3b})、(7)上更新统顾乡屯组(Q_{3g})、(8)全新统老黑山玄武岩(βQ_h)。具体如下:

(1)下一中更新统下荒山组(Q_{1-2x})

该组为调查区最早的第四系沉积物, 地表未出露, 主要隐伏于讷谟尔河北岸熔岩台地之下, 其次隐伏于讷谟尔河南 II 级阶地之下, 东焦得布山东南 W17 钻孔剖面可以代表前者层序, 厚度 10.08 m(图 2b)。

- 中—上更新统哈尔滨组(Q_{2-3h}) 5.40 m
- 35. 灰黄色亚黏土夹玄武岩漂砾 5.40 m

----- 平行不整合 -----

- 中更新统尾山玄武岩(βQ_{2w}) 23.50 m
- 34. 上部相: 灰黑色多气孔状玻基辉橄玄武岩 3.30 m
- 下部相: 灰黑色气孔状辉橄玄武岩 6.13 m
- 33. 上部相: 黑色气孔状玻基辉橄玄武岩夹 1.2 m 灰黑色火山砂 3.70 m

- 下部相: 灰黑色致密状辉橄玄武岩 2.98 m
- 32. 上部相: 黑色气孔状玻基辉橄玄武岩 4.35 m
- 中部相: 灰黑色致密状辉橄玄武岩 0.40 m
- 下部相: 灰黑色致密状辉橄玄武岩 2.64 m
- 喷发不整合 -----
- 下一中更新统上荒山组(Q_{1-2s}) 3.23 m
- 31. 下部灰黑色淤泥质亚黏土夹玄武岩碎块, 上部黄褐色亚黏土 3.23 m
- 平行不整合 -----
- 下更新统焦得布玄武岩(βQ_{1j}) 36.93 m
- 30. 灰黑色多气孔状玻基辉橄玄武岩 0.80 m
- 29. 上部相: 黑褐色气孔状辉橄玄武岩 0.30 m
- 下部相: 黑褐色致密状辉橄玄武岩 1.47 m
- 28. 表皮相: 黑褐色气孔状辉橄玄武岩 0.60 m
- 上部过渡相: 黑褐色气孔状辉橄玄武岩 10.60 m
- 下部过渡相: 黑褐色气孔状辉橄玄武岩 1.40 m
- 底部相: 黑褐色气孔状辉橄玄武岩 2.47 m
- 27. 紫红色气孔状玻基辉橄玄武岩 8.00 m
- 26. 黑褐色气孔状辉橄玄武岩 4.68 m
- 25. 黑褐色气孔状辉橄玄武岩 4.18 m
- 24. 上部相: 黑褐色气孔状辉橄玄武岩 0.57 m
- 中部相: 黑褐色致密状辉橄玄武岩 1.70 m
- 下部相: 黑褐色气孔状辉橄玄武岩 0.16 m
- 喷发不整合 -----
- 下-中更新统下荒山组(Q_{1-2x}) 6.85 m
- 22-2. 灰黄绿色亚黏土, 稍有腥臭味 0.67 m
- 22-1. 灰黄色砂砾石 5.18 m

----- 不整合 -----

下伏: 上白垩统嫩江组(K_{2n})灰绿色泥岩

据其下伏地层为上白垩统嫩江组、上覆地层为下一中更新统上荒山组, 中间夹有下更新统焦得布玄武岩, 下段为河流相沉积、上段为湖相沉积, 含铁锰质结核或条带和具钙质淋滤斑点, 顶部古土壤表层发育冻融褶皱特征与比较偏冷湿与偏冷干的气候环境下的桦林-草原植被景观, 大致与构成松嫩盆缘山前部位的下一中更新统下荒山组(Q_{1-2x})层位基本相当, 形成时限应置于早更新世晚期—中更新

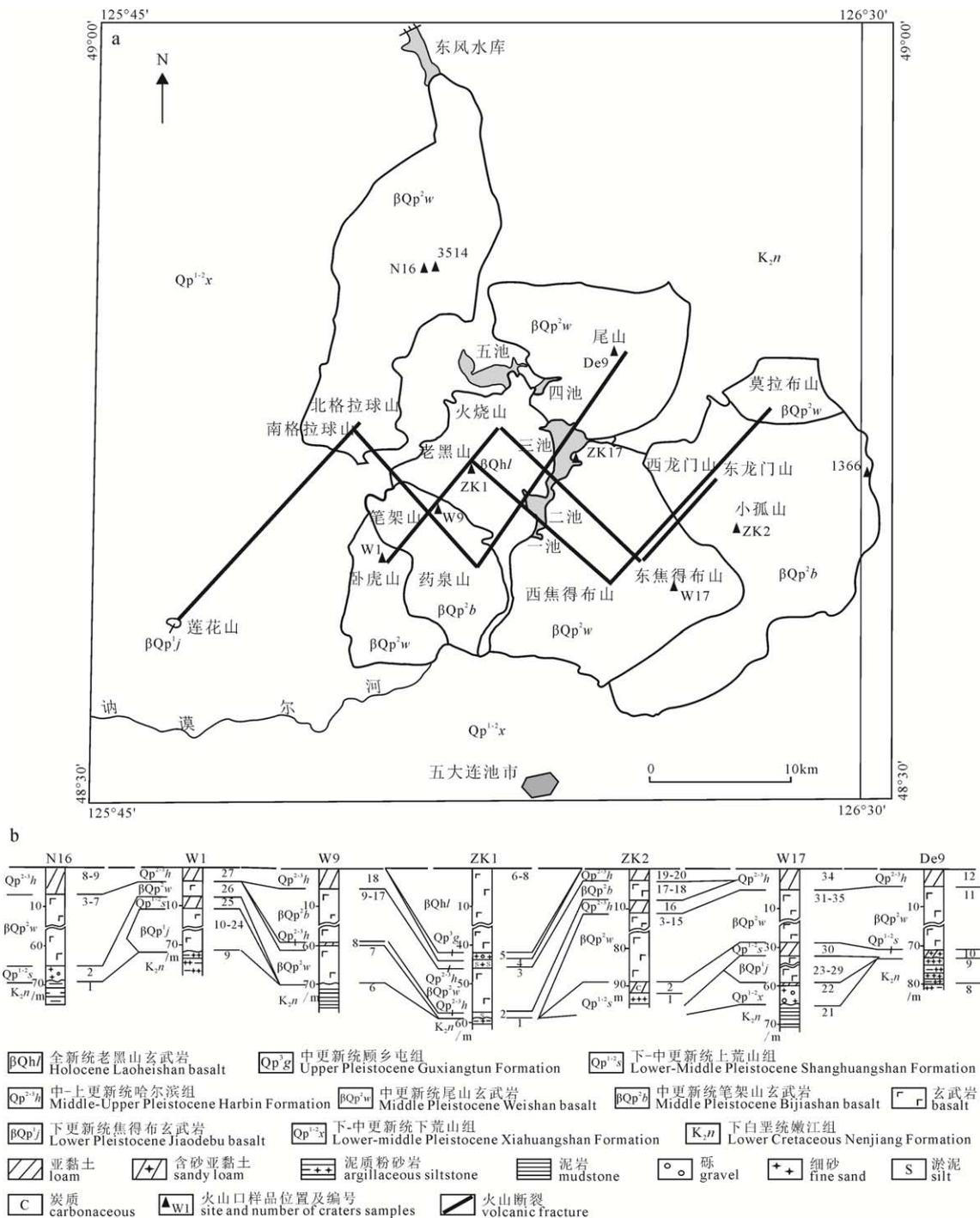


图2 五大连池火山的构造格架(a)及钻孔柱状对比图(b)
 Fig. 2 Structural framework (a) and borehole column comparison (b) of Wudalianchi Volcanoes

世早期, 即 > 1.2~0.4 Ma 或 1.2~0.6 Ma。五大连池钻孔资料中反映出的下荒山组在卧虎山一带缺失现象, 证实卧虎山一带为古隆起。

(2) 下更新统焦得布玄武岩(βQ_{1j})

该玄武岩仅零星出露于五大连池西侧的莲花山。在五大连池, 则零散见于卧虎山、东焦得布山和西焦得布山下几个钻孔内的下层玄武岩中。卧虎山北侧 W1 钻孔剖面可以代表该层序, 厚度 61.00 m(图 2b):

中—上更新统哈尔滨组(Q_{2-3h}) 3.30 m

27. 黄褐色亚黏土 3.30 m

----- 平行不整合 -----

中更新统尾山玄武岩(βQ_{2w}) 4.16 m

26. 上部相: 灰黑色气孔状玻基辉橄玄武岩 3.40 m

内部相: 灰黑色致密状辉橄玄武岩 0.46 m

底部相: 灰黑色气孔状辉橄玄武岩 0.30 m

~~~~~ 喷发不整合 ~~~~~

下—中更新统上荒山组( $Q_{1-2s}$ ) 2.99 m

25. 黑褐色亚黏土夹玄武岩碎块 2.99 m

## ----- 平行不整合 -----

|                                  |         |
|----------------------------------|---------|
| 下更新统焦得布玄武岩( $\beta Q_{1j}$ )     | 61.00 m |
| 24-2. 表皮相: 紫红色多气孔玻基辉橄玄武岩         | 0.30 m  |
| 内部相: 黑褐色致密状辉橄玄武岩                 | 0.60 m  |
| 底部相: 黑褐色多气孔辉橄玄武岩                 | 0.30 m  |
| 24-1. 表皮相: 灰黑色多气孔玻基辉橄玄武岩         | 0.30 m  |
| 内部相: 灰黑色致密状辉橄玄武岩                 | 1.15 m  |
| 底部相: 黑紫色多气孔辉橄玄武岩                 | 0.50 m  |
| 23. 紫红色火山砂夹 1~5 cm 大小的玄武岩碎块      | 2.08 m  |
| 22. 灰紫、灰黑色多气孔玄武岩夹 0.7 m 厚紫红色火山砂  | 1.70 m  |
| 21. 紫红色火山砂夹两薄层玄武岩(0.17 m、0.27 m) | 1.37 m  |
| 20. 紫褐、灰紫色气孔玄武岩夹 0.3 m 紫红色火山砂    | 2.90 m  |
| 19. 紫红色火山砂夹玄武岩薄层(0.21 m)         | 0.94 m  |
| 18. 表皮相: 灰紫色多气孔玻基辉橄玄武岩           | 1.70 m  |
| 内部相: 黑色致密状辉橄玄武岩                  | 2.94 m  |
| 下部过渡相: 暗紫色玻基辉橄玄武岩                | 3.36 m  |
| 底部相: 灰色辉橄玄武岩                     | 2.31 m  |
| 17. 表皮相: 暗紫色多气孔状玻基辉橄玄武岩          | 1.65 m  |
| 下部相: 灰黑色气孔状辉橄玄武岩                 | 1.96 m  |
| 16. 表皮相: 暗紫色多气孔状玻基辉橄玄武岩          | 2.51 m  |
| 下部相: 灰黑色气孔辉橄玄武岩                  | 1.62 m  |
| 15. 紫红色火山砂夹 1~3 mm 玄武岩碎块砂粒       | 0.86 m  |
| 14. 表皮相: 暗紫色多气孔玻基辉橄玄武岩           | 1.45 m  |
| 内部相: 灰色气孔辉橄玄武岩                   | 3.42 m  |
| 底部相: 灰紫色多气孔辉橄玄武岩                 | 1.50 m  |
| 13. 表皮相: 紫红色与黑色互层多气孔辉橄玄武岩        | 4.42 m  |
| 内部相: 灰黑色致密状辉橄玄武岩                 | 1.00 m  |
| 12-3. 灰紫色多气孔玻基辉橄玄武岩              | 2.71 m  |
| 12-2. 紫红色火山砂                     | 3.71 m  |
| 12-1. 灰紫色气孔状辉橄玄武岩                | 1.75 m  |
| 11. 表皮相: 紫红色多气孔玻基辉橄玄武岩           | 1.08 m  |
| 下部相: 暗灰色致密状辉橄玄武岩                 | 3.57 m  |
| 10. 表皮相: 紫红色气孔玻基辉橄玄武岩            | 0.90 m  |
| 下部相: 黑紫色致密状辉橄玄武岩                 | 4.44 m  |

## ~~~~~ 喷发不整合 ~~~~~

下伏: 上白垩统嫩江组( $K_2n$ )灰黑色泥质粉砂细砂岩

该孔玄武岩当中夹有 6 层火山砂, 最厚一层火山砂厚度 3.71 m, 表明距离当时喷发的火山口不远。在东焦得布山东南侧 W17 钻孔剖面上, 该玄武岩厚度为 26.87 m。

该下层玄武岩, 前人未有 K-Ar 同位素地质年龄值资料控制。但是从 W1 孔上层玄武岩 K-Ar 同位素地质年龄值为(0.415±0.048) Ma, 和从与 W17 孔上层玄武岩同层位的东焦得布山和西焦得布山流至三池子东岸玄武岩台地边缘 ZK17 孔 K-Ar 同位素地质年龄值为(0.318±0.008) Ma(表 1)看, 均显示为中更新统尾山玄武岩。又从该玄武岩零星出露于五大连池和莲花山, 不具有面状喷发特点, 符合五大连池火山初始喷发能量少和弱的规律。所以, 依据莲花山玄武岩 K-Ar 同位素地质年龄值为 1.214~1.113 Ma(表 1), 该两孔的下层玄武岩沿用 1:20 万龙镇公社幅区调命名在先原则, 确定为下更新统焦得布玄武岩。

(3) 下—中更新统上荒山组( $Q_{1-2s}$ )

该组在五大连池火山群内为隐伏地层, 位于东焦得布山东南侧 W17 钻孔下更新统焦得布玄武岩之上(图 2b)。据位于讷谟尔河南 II 级阶地表层的建设乡东溢洪道 2995 点剖面 and 二龙山农场一分场 ZK7 号钻孔剖面孢粉资料显示, 该组第 6 层仍以草本花粉占优势, 但较下荒山组有所减少, 木本植物花粉较下荒山组有所增加。草本植物花粉以蒿属占绝对优势, 芦苇属、苔属花粉很少, 显示比较干旱的气候环境。木本植物花粉以桦属、鹅耳枥属为主, 说明气温偏冷。第 7 层草本植物花粉稍多于木本植物花粉, 草本植物花粉以蒿属花粉为主, 苔属和芦苇属较少, 仍是较干的气候环境。木本植物花粉以阔叶桦、鹅耳枥属花粉为主, 显示比较偏冷干的气候环境。这种差别可能仍然反映为区东南侧森林较多, 而区西南侧草原较多的缘故。

据其下伏地层为下—中更新统下荒山组、上覆地层为中更新统尾山玄武岩、湖相沉积, 含铁锰质结核或条带、具钙质淋滤斑点和冻融褶皱不发育特征与比较偏温凉的气候环境下的桦林-草原植被景观, 该组与构成松嫩平原盆缘山前部位的下—中更新统上荒山组层位相当, 时代为中更新世中期, 即 0.80—0.60 Ma。

(4) 中更新统尾山玄武岩( $\beta Q_{2w}$ )

该玄武岩出露于北格拉球山、南格拉球山、卧虎山、西焦得布山、东焦得布山、小孤山、莫拉布山和尾山。其次作为笔架山、西龙门山、东龙门山

熔岩台地下隐伏的下层玄武岩,地表出露面积为 530 km<sup>2</sup>,是五大连池火山爆发最强烈、溢流范围和堆积厚度最大一期的玄武岩。小孤山南 ZK2 孔下层玄武岩剖面可以代表该层序,厚度为 77.77 m (图 2b):

|                                                                                                                                                                                                         |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 全新统黑色腐殖土层(Qh)                                                                                                                                                                                           | 0.40 m  |
| 21. 黑色腐殖土                                                                                                                                                                                               | 0.40 m  |
| ----- 平行不整合 -----                                                                                                                                                                                       |         |
| 中—上更新统哈尔滨组(Q <sub>2-3</sub> h)                                                                                                                                                                          | 2.60 m  |
| 20. 黄色亚黏土                                                                                                                                                                                               | 1.00 m  |
| 19. 下部深灰色玻基辉橄玄武岩和火山灰砾石,上部深灰色玻基辉橄玄武岩夹少量黄色亚黏土                                                                                                                                                             | 1.60 m  |
| ----- 平行不整合 -----                                                                                                                                                                                       |         |
| 中—上更新统笔架山玄武岩( $\beta$ Q <sub>2-3</sub> b)                                                                                                                                                               | 4.70 m  |
| 18. 深灰色火山灰                                                                                                                                                                                              | 0.70 m  |
| 17. 上部过渡相: 深灰色玻基含白榴辉橄歪长玄武岩                                                                                                                                                                              | 1.30 m  |
| 内部相: 深灰色玻基含白榴辉橄歪长玄武岩                                                                                                                                                                                    | 0.78 m  |
| 下部过渡相: 深灰色玻基辉橄玄武岩                                                                                                                                                                                       | 0.34 m  |
| 底部相: 灰黑色少气孔状玻基白榴辉橄玄武岩                                                                                                                                                                                   | 1.58 m  |
| ~~~~~ 喷发不整合 ~~~~~                                                                                                                                                                                       |         |
| 中—上更新统哈尔滨组(Q <sub>2-3</sub> h)                                                                                                                                                                          | 3.20 m  |
| 16. 褐黄色亚黏土, 所含孢粉中木本植物占 37.76%, 以 <i>Betula</i> 为主, 此为 <i>Corelus</i> ; 草本植物占 57.48%, 以 <i>Phragmites</i> 、 <i>Acorus</i> 、 <i>Artemisia</i> 、 <i>Agriophyllum</i> 为主, <i>Carex</i> 、 <i>Capsella</i> 少量 | 3.20 m  |
| ----- 平行不整合 -----                                                                                                                                                                                       |         |
| 中更新统尾山玄武岩( $\beta$ Q <sub>2</sub> w)                                                                                                                                                                    | 77.77 m |
| 15. 表皮相+内部相+底部相: 灰黑色气孔状辉橄玄武岩                                                                                                                                                                            | 4.10 m  |
| 14. 表皮相: 紫褐色气孔状含玻辉橄歪长玄武岩                                                                                                                                                                                | 2.00 m  |
| 内部相: 灰黑色气孔状含玻辉橄玄武岩                                                                                                                                                                                      | 0.40 m  |
| 底部相: 紫褐色气孔状含包体富玻辉橄玄武岩                                                                                                                                                                                   | 1.15 m  |
| 13. 表皮相: 紫褐色气孔状玻基辉橄玄武岩                                                                                                                                                                                  | 0.65 m  |
| 上部过渡相: 深灰色气孔状辉橄玄武岩                                                                                                                                                                                      | 0.55 m  |
| 下部过渡相: 灰紫色气孔状辉橄玄武岩                                                                                                                                                                                      | 0.30 m  |
| 底部相: 灰紫色少气孔辉橄歪长玄武岩                                                                                                                                                                                      | 2.18 m  |

|                                |        |
|--------------------------------|--------|
| 12. 上部相: 褐紫色气孔状玻基辉橄玄武岩         | 1.02 m |
| 下部相: 褐紫色少气孔辉橄玄武岩               | 0.45 m |
| 11. 表皮相: 褐紫色气孔状玻基辉橄玄武岩         | 1.20 m |
| 内部相: 褐紫色气孔状辉橄玄武岩               | 0.60 m |
| 底部相: 黑紫色气孔状玻基辉橄玄武岩             | 0.70 m |
| 10. 表皮相: 褐紫-黑紫色气孔状玻基辉橄玄武岩      | 1.80 m |
| 上部过渡相: 褐紫-褐红色气孔状辉橄歪长玄武岩        | 4.00 m |
| 内部相: 红褐色少气孔富玻辉橄玄武岩             | 0.48 m |
| 下部过渡相: 红褐色气孔状含捕虏晶辉橄歪长玄武岩       | 2.99 m |
| 底部相: 深灰色少气孔辉橄玄武岩               | 0.40 m |
| 9. 表皮相: 紫红色气孔状富玻辉橄玄武岩          | 1.33 m |
| 内部相: 紫黑色少气孔富玻辉橄玄武岩             | 0.50 m |
| 底部相: 紫褐色气孔状富玻辉橄玄武岩             | 0.80 m |
| 8. 表皮相: 紫黑色气孔状玻基辉橄玄武岩          | 0.39 m |
| 上部过渡相: 紫褐色气孔状辉橄歪长玄武岩           | 0.95 m |
| 下部过渡相: 紫黑色少气孔状辉橄歪长玄武岩          | 1.17 m |
| 底部相: 紫黑-褐红-紫黑色少气孔状辉橄歪长玄武岩      | 0.59 m |
| 7. 表皮相: 褐红色多气孔富玻辉橄玄武岩          | 0.73 m |
| 上部过渡相: 黑褐色气孔状富玻辉橄玄武岩           | 0.57 m |
| 内部相: 紫黑色少气孔辉橄歪长玄武岩             | 3.26 m |
| 下部过渡相: 褐灰色少气孔辉橄歪长玄武岩           | 0.10 m |
| 底部相: 紫褐-紫灰色气孔状辉橄歪长玄武岩          | 2.14 m |
| 6. 表皮相: 砖红-灰褐色气孔状玻基辉橄玄武岩       | 1.50 m |
| 过渡相: 砖红-浅紫红色气孔状含捕虏晶含白榴石玻基辉橄玄武岩 | 1.90 m |
| 内部相: 紫灰色少气孔含捕虏晶辉橄歪长玄武岩         | 1.23 m |
| 底部相: 褐紫色气孔状含白榴石富玻辉橄玄武岩         | 0.62 m |
| 5. 表皮相: 紫灰色气孔状富玻辉橄玄武岩          | 0.38 m |

过渡相: 浅灰紫色气孔状辉橄玄武岩 0.22 m  
 内部相: 灰色气孔状含白榴石富玻辉橄玄武岩 2.85 m  
 底部相: 紫红色气孔状辉橄玄武岩 1.10 m  
 4. 表皮相: 紫红色气孔状辉橄玄武岩 1.10 m  
 过渡相: 褐紫色气孔状辉橄玄武岩 0.65 m  
 内部相: 紫灰色少气孔状含角砾辉橄歪长玄武岩 1.34 m  
 底部相: 紫红色少气孔状含白榴石辉橄歪长玄武岩 1.51 m  
 3. 表皮相: 褐紫色气孔状白榴石辉橄玄武岩 0.80 m  
 过渡相: 灰紫色少气孔状辉橄玄武岩 5.00 m  
 内部相: 灰绿色少气孔状白榴石辉橄玄武岩 19.55 m  
 底部相: 灰绿色少气孔白榴石辉橄玄武岩 0.52 m  
 ~~~~~~ 喷发不整合 ~~~~~~  
 下—中更新统上荒山组(Q_{1-2s}) 5.58 m
 2. 下部灰黑色亚黏土、上部黑色亚黏土 2.88 m
 1. 灰色细砂 2.70 m
 第7层玄武岩K-Ar同位素年龄值为(0.285±0.015) Ma, 与卧虎山西北 W1 孔上层玄武岩 K-Ar 同位素年龄值(0.415±0.048) Ma 相当, 也与东焦得布山和西焦得布山流至三池子玄武岩台地边缘 ZK17 孔 K-Ar 同位素地质年龄值为(0.318±0.0008) Ma(表 1)相当。其次, 尾山锥体的 K-Ar 全岩同位素地质年龄值(0.51±0.02) Ma 和(0.52±0.14) Ma, 莫拉布山北西熔

岩台地 K-Ar 全岩同位素地质年龄值(0.57±0.05) Ma。再者, 北格拉球山北台地 K-Ar 同位素年龄值分别为(0.472±0.021) Ma、(0.398±0.015) Ma(表 3, 表 4)也属于该层位。所以依据该层玄武岩的下伏地层为下—中更新统上荒山组(Q_{1-2x})黄褐色亚黏土, 上覆地层为中—上更新统哈尔滨组(Q_{2-3h})黄褐色亚黏土, 分布又最为广泛, 有必要将其划分出来, 又该玄武岩以尾山最为典型, 将其归为中更新世中期 0.57—0.285 Ma。位于尾山西侧的 De9 孔, 和东焦得布山东侧的 W17 孔也很具代表性(图 2a)。

(5)中—上更新统哈尔滨组(Q_{2-3h})

该组主要出露于五大连池旧期火山的熔岩台地上, 为黄色亚黏土, 厚度一般为 < 3~5 m。其次, 在沟谷低洼地段充填湖沼相沉积的淤泥质亚黏土, 最大厚度为 14 m。小孤山南 ZK2 孔可以作为代表性剖面, 厚度 5.10 m(图 2b)。其中所夹的 17-18 层为中更新统笔架山玄武岩(βQ_{2b})。在药泉山东翻花泉附近 W38 孔西约 200 m 处的该层位 2.5 m 深处, 采到蒙古原始野马牙齿化石(经魏正一初步鉴定)。三池子东岸玄武岩台地边缘 ZK17 钻孔剖面可以代表后者层序(图 2b):

- 中—上更新统哈尔滨组(Q_{2-3h}) 14.0 m
- 11. 黑、黑灰色亚黏土 1.1 m
- 10. 黄灰色亚黏土, 所含孢粉中草本植物占 47.44%, 主要有 *Acorus*、*Phragmites*、*Artemisia*、*Cruciferac*、*Ranunculaceae* 少量; 木本植物占 51.88%, 以 *Carpinus* 为主, *Corylus*、*Betula*、*Alix* 少量 0.9 m

表 4 热释光测年结果表
 Table 4 Thermoluminescence dating results

| 时代 | 序号 | 样品号 | 测定对象 | 取样位置 | 取样深度 /m | 经纬度 | 等效剂量 /GY | 年剂量率 /(GY/a) | 年龄 /10 ⁴ a |
|------|----|------------------------|------|----------------|---------|-------------------------------|----------|--------------|-----------------------|
| 顾乡屯组 | 1 | ZK ₁ TL4.8 | 砂 | 老黑山南 0.575km | 4.8 | E: 126°07'02"
N: 48°42'21" | 272.31 | 0.00453 | 6.01±0.46 |
| | 2 | ZK ₄ TL7.0 | 砂黏土 | 二龙山农场一队南温查尔河北岸 | 7.0 | E: 126°24'14"
N: 48°30'59" | 154.79 | 0.00477 | 3.25±0.26 |
| | 3 | ZK ₈ TL6.0 | 砂 | 长河东 | 6.0 | E: 126°32'42"
N: 48°33'59" | 55.04 | 0.00307 | 1.79±0.15 |
| | 4 | ZK ₁₃ TL2.9 | 亚黏土 | 双泉南排水渠桥东 | 2.9 | E: 126°11'00"
N: 48°35'33" | 74.53 | 0.00484 | 1.54±0.12 |
| | 5 | ZK ₁₃ TL4.7 | 亚黏土 | 双泉南排水渠桥东 | 4.7 | E: 126°11'00"
N: 48°35'33" | 51.60 | 0.00358 | 1.44±0.12 |
| | 6 | ZK ₁₃ TL5.2 | 亚黏土 | 双泉南排水渠桥东 | 5.2 | E: 126°11'00"
N: 48°35'33" | 166.25 | 0.00475 | 3.50±0.28 |
| | 7 | ZK ₁₃ TL7.5 | 亚黏土 | 双泉南排水渠桥东 | 7.5 | E: 126°11'00"
N: 48°35'33" | 124.69 | 0.00275 | 4.53±0.38 |
| 哈尔滨组 | 8 | ZK ₁₇ TL2.2 | 亚黏土 | 三池子东岸 | 2.2 | E: 126°12'56"
N: 48°43'12" | 401.30 | 0.00407 | 9.86±0.76 |
| | 9 | ZK ₁₇ TL6.0 | 亚黏土 | 三池子东岸 | 6.0 | E: 126°12'56"
N: 48°43'12" | 530.30 | 0.00369 | 14.37±1.12 |
| | 10 | ZK ₁₇ TL1.2 | 亚黏土 | 三池子东岸 | 1.2 | E: 126°12'56"
N: 48°43'12" | 647.82 | 0.00365 | 17.75±1.40 |

注: 国家地震局地质研究所测试(2001)。

9. 黑色古土壤层, 所含孢粉中草本植物占 61.34%, 主要有 *Phragmites*、*Acorus*、*Artemisia*, 次有 *Carex*; 木本植物占 37.92%, 以 *Carpinus* 为主, *Corylus*、*Betula* 少量 0.3 m

8. 黄褐色亚黏土, 所含孢粉中草本植物占 53.19%, 以 *Artemisia* 为主, *Chenopodium*、*Gramineae*、*Phragmites*、*Ranunculaceae* 为主; 木本植物占 51.88%, 主要有 *Carpinus*、*Corylus*、*Betula* 少量 1.2 m

7. 灰黄色含铁锰质结核淤泥质亚黏土, 所含孢粉中草本植物占 35.39%, 主要有 *Phragmites*、*Artemisia*、*Potamogeton*; 木本植物占 63.46%, 主要有 *Carpinus*、*Pinus* 2.0 m

6. 灰褐色淤泥质亚黏土, 所含孢粉中草本植物占 40.26%, 以 *Artemisia* 为主, *Gramineae* 少量; 木本植物占 54.95%, 主要有 *Pinus*, 次有 *Betula*、*Carpinus* 1.9 m

5. 灰黄色淤泥质亚黏土、淤泥, 所含孢粉中草本植物占 42.26%, 以 *Artemisia* 为主, *Gramineae*、*Compositae* 少量; 木本植物占 55.09%, 主要有 *Carpinus*、*Betula* 0.6 m

4. 灰、灰褐色含铁质结核淤泥质亚黏土 1.0 m

3. 下部为灰绿、灰色淤泥质亚黏土, 所含孢粉中草本植物占 36.48%, 主要有 *Carex*、*Gramineae*、*Artemisia* 少量, 木本植物占 53.02%, 以 *Betula* 为主, 次有 *Carpinus*、*Corylus*; 中部为灰绿、灰色淤泥质亚黏土, 所含孢粉中草本植物占 31.37%, 主要有 *Artemisia*, 次有 *Rosa*、*Phragmites*、*Chenopodium*; 木本植物占 59.62%, 主要有 *Betula*, 次有 *Carpinus*、*Corylus*; 上部为灰绿、灰色淤泥质亚黏土, 所含孢粉中草本植物占 50.00%, 主要有 *Artemisia*, 次有 *Chenopodium*、*Gramineae*; 木本植物占 42.09%, 主要有 *Carpinus*、*Betula* 5.0 m

----- 平行不整合 -----

中更新统尾山玄武岩(βQ_{2w}) 7.80 m

2. 灰黑色气孔状辉橄玄武岩 7.80 m

~~~~~ 喷发不整合 ~~~~~

下—中更新统上荒山组( $Q_{1-2s}$ ) 1.70 m

1. 灰、灰绿色淤泥质亚黏土, 所含孢粉中木本植物占 64.15%, 以 *Betula* 为主, 次为 *Carpinus*、*Securinega*、*Aalix*; 草本植物占 33.69%, 以 *Artemisia* 为主, 次为 *Gramineae*、*Carex* 1.70 m

----- 平行不整合 -----

下伏: 上白垩统嫩江组( $K_{2n}$ )灰黑色泥岩

该剖面孢粉组合中第 3 层下、中部为 I 带, 木本花粉含量稍高, 以阔叶树种桦属、鹅耳枥属为主,

针叶树种花粉极少。草本植物以蒿属、禾本科、苔属为主。蕨类植物孢子很少, 是冷偏湿的气候环境。第 3 层上部、5、6、7、8 层为 II 带, 木本花粉含量稍多, 以针叶树种占绝对优势, 阔叶树种花粉较 I 带显著减少; 草本植物以蒿属花粉为主。其次是禾本科、毛茛科、十字花科、蔷薇科。在第 7 层中, 水生植物香蒲属、眼子菜属花粉含量稍多, 说明局部地段处于水下, 但大环境还是冷偏干的气候环境。第 9、10 层为 III 带, 草本植物比木本植物含量高, 草本植物以禾本科、菖蒲属、蒿属花粉为主, 其次还有一些毛茛科、十字花科、蔷薇科。木本植物以阔叶植物鹅耳枥属为主, 针叶树种花粉很少, 是一种偏暖湿的气候环境。

东焦得布山东南 W17 孔剖面可以代表前者层序, 厚度 5.40 m(图 2b)。

ZK17 第 4、7、10 层热释光测年值分别为:  $(17.75 \pm 1.4) \times 10^4$  a、 $(14.37 \pm 1.12) \times 10^4$  a、 $(9.86 \pm 0.76) \times 10^4$  a(表 4)说明该堆积层序形成时限为中更新世晚期—晚更新世早期。据其覆盖在中更新统尾山玄武岩( $\beta Q_{2w}$ )之上, 其中又夹有中更新统笔架山玄武岩( $\beta Q_{2b}$ ), 并以普遍以含铁锰质结核和小砾往上岩相稳定为洪水漫覆相细碎屑沉积为特征, 与构成松嫩盆地 II 级阶地和各类台地上部表层的中—上更新统哈尔滨组( $Q_{2-3h}$ )相当, 即形成时限为 0.24—0.07 Ma。

(6)中—上更新统笔架山玄武岩( $\beta Q_{2-3b}$ )

该玄武岩主要出露于笔架山、西龙门山、东龙门山、药泉山, 面积 253 km<sup>2</sup>。其次, 作为老黑山熔岩台地下隐伏的下层玄武岩。笔架山北 W9 孔剖面可以代表前者层序, 厚度为 53.65 m, 层序如下(图 2b):

中—上更新统哈尔滨组( $Q_{2-3h}$ ) 5.56 m

19. 下部为含铁锰质结核黄褐色亚黏土, 上部为黑色亚黏土 5.56 m

----- 平行不整合 -----

中—上更新统笔架山玄武岩( $\beta Q_{2-3b}$ ) 53.65 m

18. 表皮相: 灰黑色多气孔状辉橄玄武岩 4.75 m

内部相: 灰黑色致密状辉橄玄武岩 2.37 m

底部相: 灰黑色多气孔辉橄玄武岩 1.00 m

17. 灰黑色火山灰夹辉橄玄武质浮岩砾块 1.00 m

16. 灰黑色气孔状辉橄玄武岩 3.16 m

15. 黑色、紫色辉橄玄武质浮岩砾块 2.24 m

14. 火山灰夹辉橄玄武质浮岩砾块 4.92 m

13. 黑紫色辉橄玄武质浮岩砾块 18.57 m

12. 黑色、紫色、紫红色火山砂夹辉橄玄武质浮岩砾块 3.68 m

|                                             |        |
|---------------------------------------------|--------|
| 11. 黑色、紫色辉橄玄武质浮岩砾块                          | 3.70 m |
| 10. 黑紫色气孔状辉橄玄武岩                             | 8.26 m |
| ~~~~~ 喷发不整合 ~~~~~                           |        |
| 中—上更新统哈尔滨组(Q <sub>2-3h</sub> )              | 0.81 m |
| 9. 黄褐色含砂及铁质结核亚黏土                            | 0.81 m |
| ----- 平行不整合 -----                           |        |
| 中更新统尾山玄武岩(βQ <sub>2w</sub> )                | 8.26 m |
| 8. 灰黑色致密状辉橄玄武岩                              | 8.26 m |
| ~~~~~ 喷发不整合 ~~~~~                           |        |
| 下伏: 上白垩统嫩江组(K <sub>2n</sub> )灰黑色泥岩          |        |
| 老黑山南 ZK1 孔下层玄武岩剖面可以代表后者层序, 厚度 5.71 m(图 2b)。 |        |

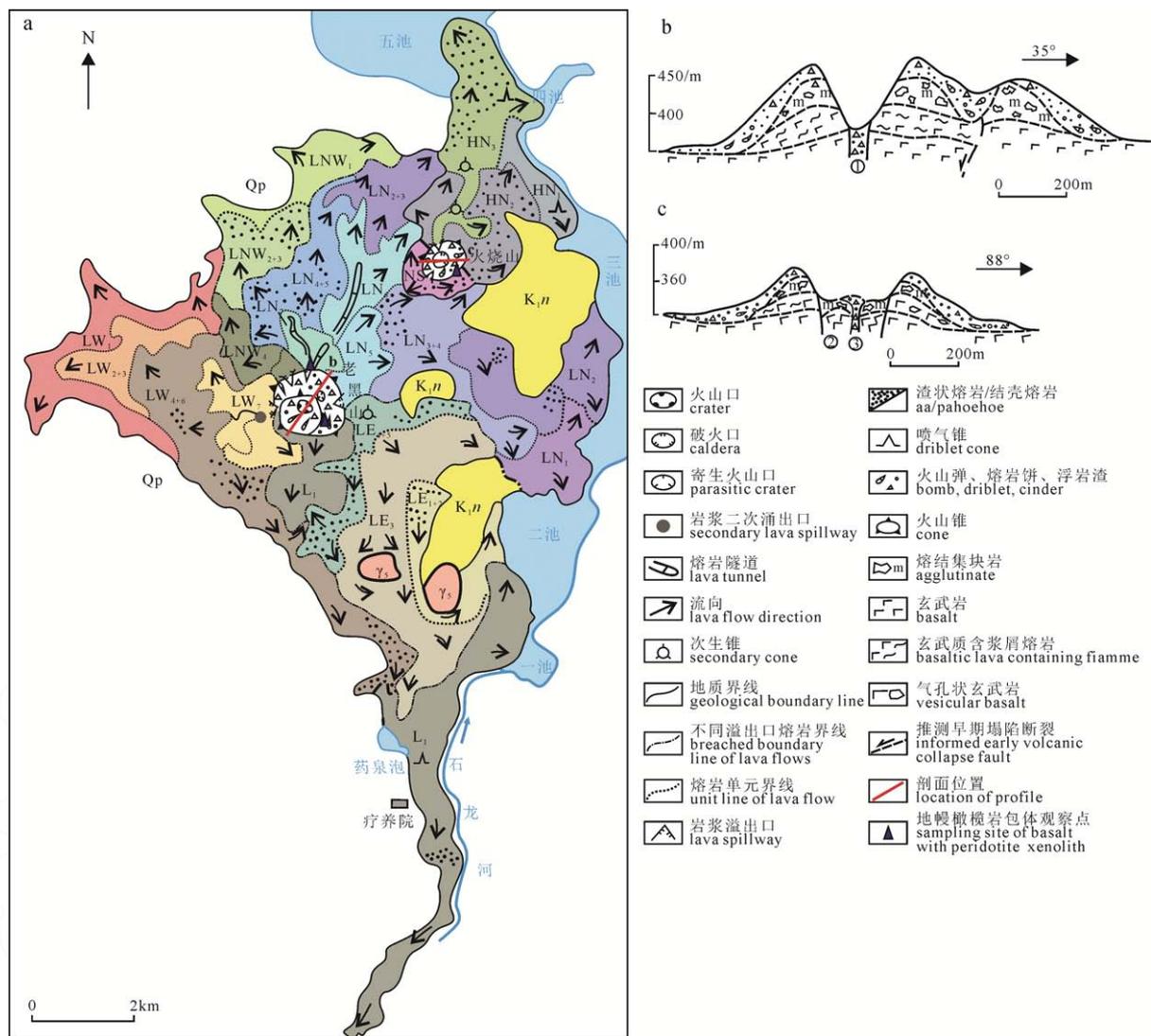
从该层玄武岩被夹于中—上更新统哈尔滨组(Q<sub>2-3h</sub>)中的现像, 说明了其喷发期较为短暂, 依据笔架山盾状台地 K-Ar 全岩同位素地质年龄值分别为(0.145±0.015) Ma、(0.162±0.004) Ma, 西龙门山西锥脚熔岩 K-Ar 全岩同位素地质年龄值为(0.16±0.007) Ma、(0.132±0.006) Ma, 药泉山翻花泉处与小孤山熔岩 K-Ar 全岩同位素地质年龄值分别为(0.25±0.002) Ma、(0.24±0.07) Ma, 老黑山南 ZK1 孔下层玄武岩 K-Ar 全岩同位素地质年龄值为(0.090±0.007) Ma(表 1)。因此, 将该玄武岩确定为中更新世晚期和晚更新世早期, 即形成时限在 0.24—0.09 Ma。

(7)上更新统顾乡屯组(Q<sub>3g</sub>)

该组主要断续分布于本区南部的讷谟尔河两岸, 构成河谷残留 I 级阶地。其次, 作为石龙河的前身—隐伏的古“乌德邻河”河谷残留 I 级阶地。老黑山南 ZK1 孔剖面可以代表后者该层序, 厚度 1.74 m(图 2b), 层序如下:

|                              |         |
|------------------------------|---------|
| 全新统老黑山玄武岩(βQ <sub>hl</sub> ) | 41.78 m |
| 8. 表皮相: 蓝黑色气孔状玻基辉橄玄武岩        | 0.59 m  |
| 过渡相: 灰紫色气孔状玻基辉橄玄武岩           | 2.59 m  |
| 内部相: 深灰紫色少气孔辉橄歪长玄武岩          | 5.06 m  |
| 底部相: 紫红色气孔状辉橄歪长玄武岩           | 1.61 m  |
| 7. 过渡相: 紫红色气孔状辉橄歪长玄武岩        | 1.37 m  |
| 内部相: 深灰紫色少气孔辉橄玄武岩            | 1.71 m  |
| 6. 过渡相: 紫红色多气孔含白榴辉橄歪长玄武岩     | 5.42 m  |
| 内部相: 灰紫色少气孔白榴辉橄歪长玄武岩         | 22.60 m |
| 底部相: 灰黑色气孔状白榴辉橄玄武岩           | 0.83 m  |

|                                                                                                                                                                                                                |        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| ~~~~~ 喷发不整合 ~~~~~                                                                                                                                                                                              |        |
| 上更新统顾乡屯组(Q <sub>3g</sub> )                                                                                                                                                                                     | 1.74 m |
| 5. 黄褐色砂砾石                                                                                                                                                                                                      | 1.74 m |
| ----- 平行不整合 -----                                                                                                                                                                                              |        |
| 中—上更新统哈尔滨组(Q <sub>2-3h</sub> )                                                                                                                                                                                 | 2.04 m |
| 4. 黑色砂质淤泥                                                                                                                                                                                                      | 2.04 m |
| ----- 平行不整合 -----                                                                                                                                                                                              |        |
| 中—上更新统笔架山玄武岩(βQ <sub>2-3b</sub> )                                                                                                                                                                              | 5.71 m |
| 3. 上部相及表皮相: 黑色气孔状辉橄玄武岩, 含有长石和花岗岩虏体                                                                                                                                                                             | 2.34 m |
| 内部相: 灰黑色致密状辉橄玄武岩                                                                                                                                                                                               | 2.37 m |
| 底部相: 灰黑色气孔状辉橄玄武岩                                                                                                                                                                                               | 1.00 m |
| ~~~~~ 喷发不整合 ~~~~~                                                                                                                                                                                              |        |
| 中—上更新统哈尔滨组(Q <sub>2-3h</sub> )                                                                                                                                                                                 | 2.88 m |
| 2. 黑色淤泥                                                                                                                                                                                                        | 2.88 m |
| ----- 平行不整合 -----                                                                                                                                                                                              |        |
| 下伏: 上白垩统嫩江组(K <sub>2n</sub> )灰黑色泥岩                                                                                                                                                                             |        |
| 双泉乡政府南路边 ZK13 钻孔剖面层序可以代表前者层序(图 2b), 厚度 11.50 m:                                                                                                                                                                |        |
| 9. 灰黄色亚黏土, 含铁锰质小粒状结核及黑色条带                                                                                                                                                                                      | 2.10 m |
| 8. 黑色炭质亚黏土, 所含孢粉中草本植物占 67.18%, 主要有 <i>Artemisia</i> 、 <i>Acorus</i> 、 <i>Cruciferac</i> 、 <i>Phragmites</i> 少量; 木本植物占 28.57%, 主要有 <i>Carpinus</i> , 次有 <i>Betula</i> 、 <i>Corylus</i>                          | 0.40 m |
| 7. 黄褐色亚黏土, 所含孢粉中草本植物占 56.62%, 主要有 <i>Phragmites</i> , 次有 <i>Artemisia</i> 、 <i>Acorus</i> ; 木本植物占 42.65%, 以 <i>Carpinus</i> 占优势, <i>Betula</i> 、 <i>Corylus</i> 少量                                             | 0.50 m |
| 6. 黑、黑褐色泥炭, 所含孢粉中草本植物占 43.25%, 主要有 <i>Acorus</i> 、 <i>Artemisia</i> , 次有 <i>Phragmite</i> 、 <i>Cruciferac</i> 、 <i>Capsella</i> ; 木本植物占 54.60%, 以 <i>Carpinus</i> 为主, <i>Betula</i> 少量                         | 0.20 m |
| 5. 灰、灰黄色亚黏土, 所含孢粉中草本植物占 88.07%, 主要有 <i>Artemisia</i> 、 <i>Acorus</i> , 次有 <i>Phragmites</i> ; 木本植物占 11.58%, 主要有 <i>Carpinus</i> 、 <i>Alalix</i>                                                                | 1.30 m |
| 4. 灰色淤泥质亚黏土                                                                                                                                                                                                    | 0.70 m |
| 3. 灰黑色泥砾、粘泥, 所含孢粉中草本植物占 84.67%, 主要有 <i>Acorus</i> 、 <i>Artemisia</i> , 次有 <i>Phragmites</i> 、 <i>Compositae</i> 、 <i>Cruciferac</i> 、 <i>Chenopodium</i> 少量; 木本植物占 13.14%, 主要有 <i>Carpinus</i> 、 <i>Betula</i> | 0.10 m |
| 2. 黄褐色粗砂、含砾粗砂                                                                                                                                                                                                  | 0.95 m |
| 1. 灰褐、灰白色砂砾石夹厚薄层深灰色淤泥质亚黏土                                                                                                                                                                                      | 5.25 m |
| ~~~~~ 不整合 ~~~~~                                                                                                                                                                                                |        |



HN<sub>1-3</sub>—火烧山北溢出口熔岩流(1—3单元); NS—火烧山南溢出口熔岩流; LN<sub>1-7</sub>—老黑山北溢出口熔岩流(1—7单元); LNW<sub>1-4</sub>—老黑山北西溢出口熔岩流(1—4单元); LE<sub>1-6</sub>—老黑山东溢出口熔岩流(1~6单元); LW<sub>1-7</sub>—老黑山西溢出口熔岩流(1—7单元); L<sub>1</sub>—老黑山早期熔岩流; Qp—更新统; K<sub>1n</sub>—白垩纪嫩江组; γ<sub>5</sub>—燕山期花岗岩; ①火山通道; ②破火山口断裂; ③复活期小火口。HN<sub>1-3</sub>—lava flow from the Huoshaoshan northern breached crater(units 1-3); NS—lava flow from the Huoshaoshan southern breached crater; LN<sub>1-7</sub>—lava flow from the Laoheishan northern breached crater(units 1-7); LNW<sub>1-4</sub>—lava flow from the Laoheishan north-western breached crater(units 1-7); LE<sub>1-6</sub>—lava flow from the Laoheishan eastern breached crater(units 1-6); LW<sub>1-7</sub>—lava flow from the Laoheishan western breached crater(units 1-7); L<sub>1</sub>—Laoheishan lava flow formed in the early episode; Qp—Pleistocene series; K<sub>1n</sub>—Cretaceous Nenjiang Formation; γ<sub>5</sub>—Yanshan stage granite; ①volcanic conduit; ②caldera fault; ③small fire mouth in resurrection period.

图3 五大连池老黑山、火烧山火山地质图与地幔橄榄岩包体观察点分布图(a)及老黑山(b)与火烧山(c)剖面图 (地质图和剖面图据白志达等, 1999 修改)

Fig. 3 Map showing volcanic eruption types and sampling sites of peridotite xenoliths of Laoheishan and Huoshaoshan in Wudalianchi (a) and cross-sections of the volcanic cones of Laoheishan (b) and Huoshaoshan (c) (modified after BAI et al., 1999)

下伏: 上白垩统嫩江组(K<sub>2n</sub>)灰绿色泥岩

可明显地分为下、上两部分, 1—3层为粗碎屑堆积, 厚度 6.30 m, 4—9层为细碎屑堆积, 厚度 5.20 m, 表现出一个完整的正旋回韵律沉积。下部为河床相兼夹有牛轭湖相沉积, 上部为冲洪积边滩沉积。孢粉组合中第 3、5层为 I 带, 以草本花粉占绝对优势为特征(> 80%); 木本植物花粉较少, 蕨类植物孢子更少。草本植物花粉以蒿属高含量为特征, 其次是菖蒲属、芦苇属, 其它如毛茛科、蔷薇科、十字花科花粉也有一定含量。显示凉偏干的气候环境。

第 6、7层为 II 带, 和 I 带相比, 草本植物花粉显著减少, 相应的木本植物花粉明显增多。木本植物花粉比草本植物花粉百分含量稍多。草本植物花粉以芦苇属、蒿属花粉为主; 木本植物花粉以阔叶鹅耳枥为主, 针叶树种花粉极少, 显示暖湿的气候环境。第 8 层为 III 带, 和 II 带相比, 草本植物花粉又有所增加, 百分含量超过木本植物花粉。木本植物花粉主要由阔叶树种花粉组成, 未见针叶树种花粉。草本植物花粉以蒿属花粉含量最多, 其次是菖蒲属、芦苇属花粉。指示一种冷偏干的气候环境。

剖面自下而上木本植物花粉和草本植物花粉由少(多)—多(少)—少(多)的变化,反映这种古气候向凉干—暖湿—冷干交替的方向发展,是以榛、菖蒲、嵩为主的疏林草原湖沼植被类型。其中第 1、3、7 层热释光测年值分别为  $(4.53 \pm 0.38) \times 10^4$  a、 $(3.50 \pm 0.28) \times 10^4$  a、 $(1.54 \pm 0.12) \times 10^4$  a, 第 6 层  $^{14}\text{C}$  测年为  $(21\ 854 \pm 637)$  a(表 3)。ZK1 孔第 5 层中砂的热释光测年值为  $(60\ 100 \pm 4600)$  a(表 4), 以及被晚全新世老黑山玄武岩( $\beta\text{Qh}$ )喷发覆盖关系(图 2b—ZK1), 说明该堆积层序形成时限为晚更新世晚期, 并与松嫩盆地顾乡屯组相当, 即形成时限在 0.07—0.011 Ma。

#### (8) 全新统老黑山玄武岩( $\beta\text{Qh}$ )

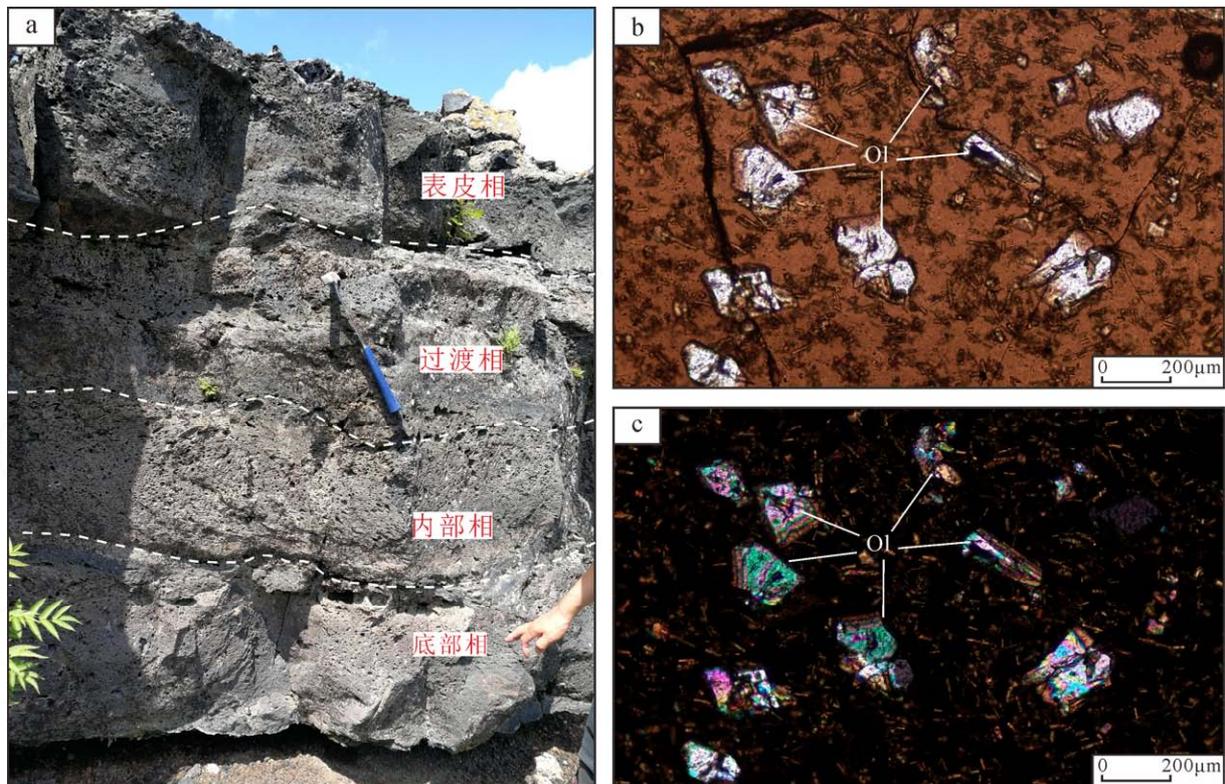
该玄武岩出露于老黑山、火烧山, 面积约为  $68.15\ \text{km}^2$ , 可以老黑山南 ZK1 孔剖面为代表, 厚度  $41.78\ \text{m}$ (图 2b)。据满文史料记载(陈洪洲等, 1999), 该玄武岩于 1720—1721 年形成, 因此将其时代确定为全新世。具东、南、西、北不同方向溢出口及多次复合(图 3)。其中保留了至今仍属相对新鲜的天然火山岩样品。

### 3 火山岩层序的构造与生态环境意义

#### 3.1 地质构造意义

火山喷发受 NW 向和 NNE 向两组断裂控制, 形成由南西逐渐向北东迁移的火山群(图 2a), 与区域上的大同—大兴安岭裂谷带和松辽地堑的火山活动趋势(图 1a)一致(Basu et al., 1991; 白志达等, 2012; 刘广等, 2021), 并且位于大兴安岭地区与松辽地堑西北部的交汇部位, 展示出五大连池火山群是汾渭地堑—大兴安岭幔源火山活动带的最新前锋的趋势, 这对于理解华北板内火山裂谷的深部运移情况和地震预测具有极为重要的意义。

同时, 该带上岩石圈伸展减薄, 是富含挥发分的岩浆携带大量的地幔橄榄岩包体(图 4), 是研究中国东部深部地幔的直接窗口(曾普胜等, 2021), 与西南部的汉诺坝一带的玄武岩中的地幔包体开展对比研究, 可以准确了解从古近纪到现代“汾渭—大兴安岭地幔流体”流动的性状和岩石圈地幔的变化趋势, 这是中国东部深部探测的宝贵的天然实验室和理想场所。



a 中可见明显的旋回分带: 表皮相——褐紫色-灰色气孔状白榴石辉橄玄武岩; 过渡相——灰紫色少气孔状辉橄玄武岩; 内部相——灰绿色少气孔状白榴石辉橄玄武岩; 底部相——灰绿色少气孔状白榴石辉橄玄武岩不整合于早期玄武岩之上;

b(单偏光)和 c(正交偏光)显示内部相中可见较多的地幔捕虏晶的橄榄石(Ol), 基质为隐晶质玄武岩。

a-obvious cyclic zonings: epidermal facies—brownish to purple grey vesicular pyroxene olivine basalt; transitional facies—gray-purple vesicular pyroxene olivine basalt; interior facies—gray-green and less vesicular pyroxene olivine basalt; bottom facies—gray-green and less vesicular olivine basalts with an unconformity on the earlier basalts; b—polarized and c—orthogonal polarized light, show basalts with ubiquitous olivine (Ol) mantle xenocrysts scattered in the groundmass, cryptocrystalline basalt, from the interior facies.

图 4 五大连池老黑山北溢出口火山岩的喷发层序(a)及其携带橄榄石巨晶(b 和 c)

Fig. 4 Eruptive sequences(a) of volcanic rock at the northern breached crater of the Laoheishan in Wudalianchi and the olivine megacrysts carried by the lava (b and c)

表 5 五大连池富钾碱性玄武岩主量成分  
Table 5 Composition of major elements of the potassium-rich alkaline basalts in Wudalianchi

| 样号      | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | TiO <sub>2</sub> | TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | MgO  | MnO  | Na <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SUM    |
|---------|------------------|--------------------------------|------|------------------|---------------------------------|------------------|------|------|-------------------|-------------------------------|--------|
| WDL7-1  | 51.15            | 13.39                          | 5.94 | 2.33             | 8.66                            | 5.25             | 6.93 | 0.11 | 3.95              | 1.09                          | 99.96  |
| WDL12-1 | 52.11            | 13.72                          | 6.57 | 2.36             | 9.00                            | 5.43             | 7.49 | 0.12 | 4.16              | 1.04                          | 102.22 |
| WDL13-1 | 54.55            | 14.22                          | 5.26 | 2.40             | 8.22                            | 5.97             | 5.86 | 0.11 | 4.18              | 1.05                          | 102.29 |

### 3.2 生态环境意义

#### 3.2.1 土壤及优质农产品意义

从长白山、镜泊湖、科洛等火山群的爆发,再到五大连池火山群的喷发堆积,形成的一系列的新生代富钾的碱性玄武岩堆积区,由于其含有丰富的微量元素( $\Sigma$ REE)和钾、磷等作物生长的必要元素(表 4),其中钾(5.25%~5.97%,平均 5.55%)是中国玄武岩的(1.18%,迟清华和鄢明才,2007)的 4.7 倍、磷(1.04%~1.09%,平均 1.06%)是中国玄武岩的(0.343%,迟清华和鄢明才,2007)的 3.1 倍,其他微量元素也都显著富集(表 5);这些显著富集的钾、磷、微量元素是天然植被和农作物生长的最重要营养物质(王承祺,1979; Basu et al., 1991)。其实,从镜泊湖—长白山—龙岗—千山—线的新生代富钾磷火山岩,与五大连池火山岩一样,对东北肥沃黑土地的形成皆有重要贡献,是该区得以种植出优质农产品的一个重要因素。深入研究火山岩中的主微量元素与土壤之间的营养元素丰缺的关系对于农业基础资料有支撑。

#### 3.2.2 生态多样性

嫩江平原经中—新生代的的风化剥蚀和夷平作用,已形成平坦的地形,其植被和生态多样性相对简单,然而,经过五大连池新生代的火山群的喷发活动,使平地上升起的若干火山锥,并伴有优质的地下水从火山口和相关裂隙中不断涌出,如火山群南部的药泉山等地,使得本区的植物-动物群落丰富多样,参见前述岩石地层单位(1)~(8)的描述,生态多样性显著增加且与非火山群地区的生物组合显著差异,成为天然生物基因宝库。

## 4 结论

根据野外填图与观测,结合岩石矿物成分及其化学成分的测试,可得出以下结论。

(1)五大连池火山岩的地层层序可划分为 8 个岩石地层单位,由上到下(新到老)依次是:

⑧全新统老黑山玄武岩( $\beta$ Qh),玄武岩年龄为 270 a BP;

⑦上更新统顾乡屯组( $Q_3g$ )河湖相沉积和冲洪积边滩沉积,形成时限为 0.07—0.011 Ma;

⑥中—上更新统笔架山玄武岩( $\beta$ Q<sub>2-3b</sub>),形成时限为 0.16—0.07 Ma;

⑤中—上更新统哈尔滨组( $Q_{2-3h}$ ):为熔岩台地上的黄色亚黏土和湖沼相沉积的淤泥质亚黏土,形成时限为 0.17—0.09 Ma;

④中更新统尾山玄武岩( $\beta$ Q<sub>2w</sub>):是五大连池火山爆发最强烈、溢流范围和堆积厚度最大一期的玄武岩,形成时限为 0.57—0.38 Ma;

③下—中更新统上荒山组( $Q_{1-2s}$ ):亚黏土,时代为 0.80—0.60 Ma;

②下更新统焦得布玄武岩( $\beta$ Q<sub>1j</sub>):玄武岩形成时代为 1.214—1.113 Ma;

①下—中更新统下荒山组( $Q_{1-2x}$ ):河湖相沉积并含铁锰质结核或条带,顶部古土壤层,形成时限为大于 1.2 Ma。

(2)大连池火山群是汾渭地堑—大兴安岭幔源火山活动带的最新前锋,碱性玄武岩中携带大量的地幔橄榄岩等巨晶或包体,是研究深部地幔流体活动的理想场所。

(3)岩石地层单位划分中观察到的复杂的动物-植物组合表明,五大连池火山群铸就的火山岩台地、火山锥等平原隆起地形增加的本区动物-植物群落的多样性。

(4)五大连池富钾磷等多种元素的碱性玄武岩对嫩江平原肥沃的黑土地形成有重要贡献。

致谢:野外工作得到五大连池风景区自然资源局的大力支持,特别是贺亮先生给予细致入微的帮助;国家地质实验测试中心研究生张婕参与了野外取样工作,在此表示感谢。特别感谢两位审稿专家对论文提出的建设性的修改意见。

### Acknowledgements:

This study was supported by Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund (No. JYYWF20180101), China Geological Survey (Nos. 0100123057; DD20190589; DD20160220; DD20190703), and National Natural Science Foundation of China (No. 41072073).

### 参考文献:

- 白志达,孙善平,李家振,刘永顺. 1999. 五大连池新时期火山锥体结构及喷发过程[J]. 地质论评, 45(S1): 369-377.
- 白志达,谭庆伟,许桂玲,徐德斌,王妍. 2012. 内蒙东部晚第四纪火山活动与新构造[J]. 岩石学报, 28(4): 1099-1107.

- 陈洪洲, 刘永顺, 高峰. 2004. 五大连池老黑山火山的两次喷发活动[J]. 自然灾害学报, 13(1): 94-99.
- 陈洪洲, 任锦章, 吴雪娟. 1999. 从新发现的满文史料看五大连池新时期火山喷发过程与特征[J]. 地质论评, 45(S1): 409-413.
- 迟清华, 鄢明才. 2007. 应用地球化学元素丰度数据手册[M]. 北京: 地质出版社.
- 仇士华, 蔡连珍. 1997. <sup>14</sup>C 测年技术新进展[J]. 第四纪研究, (3): 222-229.
- 巩杰生. 1997. 五大连池火山的构造环境、时代和类型[J]. 黑龙江地质, 8(4): 19-28.
- 胡世玲. 1984. 五大连池新生代玄武岩的 K-Ar 年龄和锶、氧同位素特征[J]. 岩石学报, (2): 22-31.
- 计凤桔, 李齐. 1998. 五大连池火山群最新喷发时间的热释光(TL)年代学证据[J]. 地震地质, 20(4): 302-304.
- 李齐, 陈文寄, 李大明, 计凤桔, 任锦章, 杨森林. 1999. 五大连池地区火山岩年代学研究[J]. 地质论评, 45(S1): 393-399.
- 刘广, 李俊录, 程海峰, 段先乐, 薛鹏远, 赵麒寓, 曾普胜. 2021. 张家口坝缘一带晚更新世冰川遗迹与深部地质作用的关系及其古气候意义[J]. 地球学报, 42(6): 803-813.
- 刘嘉麒. 1987. 中国东北地区新生代火山岩的年代学研究[J]. 岩石学报, (4): 21-31.
- 丘顺帆, 宋亚琴, 李福田, 吕长禄, 于跃江, 郭亚军, 胡君生, 隋连成. 2003. 1: 5 万五大连池农场、引龙河农场十队、德都县、二龙山农场一分场幅区域地质调查报告[R]. 哈尔滨: 黑龙江省地质调查院: 20-57.
- 佟志芳. 1978. 1: 20 万龙镇公社幅区域地质调查报告[R]. 哈尔滨: 黑龙江省地质资料馆.
- 王承祺. 1979. 黑龙江省五大连池火山地质特征[J]. 哈尔滨科学技术大学学报, (00): 1-29, 140.
- 王承祺. 1987. 科洛—五大连池钾质火山岩带地质特征和成岩温度成岩时代规律的探讨[M]. 抚州: 华东地质学院: 120-134.
- 巫建华. 1999. 陆相火山岩区岩石地层划分的探讨[J]. 地质论评, 45(S1): 93-100.
- 小仓勉. 1936. 东北五大连池火山概报[R]. 大连: 旅顺工科大学.
- 徐衍强, 刘振环. 1979. 黑龙江省五大连池火山地质简介[J]. 黑龙江地质, 34(2): 6-7.
- 曾普胜, 李睿哲, 刘斯文, 温利刚, 赵九江, 王十安. 2021. 中国东部燕山期大火成岩省: 岩浆-构造-资源-环境效应[J]. 地球学报, 42(6): 721-748.
- 郑庆道. 1991. 1:20 万嫩江县幅区域地质调查报告[R]. 哈尔滨: 黑龙江地质矿产局: 38-52.
- Cone structure and eruption process of modern volcanoes in Wudalianchi area, Heilongjiang Province [J]. Geological review, 45(S1): 369-377 (in Chinese with English abstract).
- BAI Zhi-Da, TAN Qing-Wei, XU Gui-Ling, XU De-Bin, WANG Yan. 2012. Late Quaternary volcanic activity and neotectonics in the eastern Inner Mongolia[J]. Acta Petrologica Sinica, 28(4): 1099-1007(in Chinese with English abstract).
- 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[J]. Earth and Planetary Sciences Letters, 105(1-3): 149-169.
- CHEN Hong-Zhou, LIU Yong-Shun, GAO Feng. 2004. Two-stage eruptions of Laoheishan volcano in Wudalianchi[J]. Journal of Natural Disasters, 13(1): 94-99(in Chinese with English abstract).
- CHEN Hong-Zhou, REN Jin-Zhang, WU Xue-Juan. 1999. Volcanic eruptive process and characteristics of the current volcanoes in the Wudalianchi volcano clusters known from Manchurian-Language historical archives discovered at present[J]. Geological Review, 45(S1): 409-413(in Chinese with English abstract).
- CHI Qing-hua, YAN Ming-Cai. 2007. Applied Geochemical element abundance Data Manual[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- GONG Jie-Sheng. 1997. Tectonic setting, age and type of Wudalianchi volcanoes[J]. Heilongjiang Geology, 8(4): 19-28(in Chinese with English abstract).
- HU Shi-ling. 1984. K-Ar age and Sr-O isotope characteristics of Cenozoic basalts in Wudalianchi [J]. Acta Petrologica Sinica, (2): 22-31(in Chinese).
- JI Feng-ju, LI Qi. 1998. The TL chronological evidence of the recent eruption in Wudalianchi Volcanic Group[J]. Seismology and Geology, 20(4): 302-304(in Chinese with English abstract).
- LI Bin, ZHANG Li, GUO Xuan, LI Wan-Cai, NI Huai-wei. 2020. Electrical conductivity of shoshonitic melts with application to magma reservoir beneath the Wudalianchi volcanic field, northeast China[J]. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 306: 106545.
- LI Qi, CHEN Wen-Ji, LI Da-Ming, JI Feng-ju, REN Jin-zhang, YNAG Sen-lin. 1999. A chronological research on volcanic rocks from the Wudalianchi area[J]. Geological Review, 45(S1): 393-399(in Chinese with English abstract).
- LI Z W, NI S D, ZHANG B L, BAO F, ZHANG S Q, DENG Y, YUEN D A. 2016. Shallow magma chamber under the Wuda-

## References:

BAI Zhi-da, SUN Shan-ping, LI Jia-zhen, LIU Yong-shun. 1999.

- lianchi Volcanic Field unveiled by seismic imaging with dense array[J]. *Geophysical Research Letters*, 43(10): 4954-4961.
- LIU Guang, LI Jun-lu, CHENG Hai-feng, DUAN Xian-le, XUE Peng-yuan, ZHAO Qi-yu, ZENG Pu-sheng. 2021. Relationship between Late Pleistocene Glacial Remnants and Deep Geological Processes in Bayuan Area, Zhangjiakou and Its Paleoclimatic Significance[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 42(6): 803-813(in Chinese with English abstract).
- LIU J Q, HAN J T, FYFE W S. 2001. Cenozoic episodic volcanism and continental rifting in northeast China and possible link to Japan Sea development as revealed from K-Ar geochronology[J]. *Tectonophysics*, 339(3-4): 385-401.
- LIU Jia-Qi. 1987. Study on geochronology of the Cenozoic volcanic rocks in Northeast China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, (4): 21-31(in Chinese with English abstract).
- OGURA M. 1936. Summary of Wudalianchi Volcano in northeast China[R]. Dalian: Lüshun University of Engineering.
- QIU Shi-hua, CAI Lian-zhen. 1997. Recent advancement in radiocarbon dating[J]. *Quaternary Sciences*, (3): 222-229(in Chinese with English abstract).
- QIU Shun-Fan, SONG Ya-qin, LI Fu-tian, LU Chang-lu, YU Yue-jiang, GUO Ya-jun, HU Jun-sheng, SUI Lian-cheng. 2003. 1: 50000 regional geological survey report of the Sheets Wudalianchi Nongchang, the 10th Teams of Yinlonghe Nongchang, Dedu County and Erlongshan Nongchang[R]. Harbin: Heilongjiang Institute of Geological Survey: 20-57(in Chinese).
- RASSKAZOV S V, CHUVASHOVA I S, SUN Y M, YANG C, FANG Z X. 2016. Sources of quaternary potassic volcanic rocks from Wudalianchi, China: control by transtension at the lithosphere-asthenosphere boundary layer[J]. *Geodynamics & Tectonophysics*, 7(4): 555-592.
- TONG Zhi-Fang. 1978. 1:200000 regional geological survey report of Longzhen Commune Sheet[R]. Harbin: Heilongjiang Geological Archive(in Chinese).
- WANG Cheng-Qi. 1979. Some particularity of volcanic geology of Wudalianchi Volcanic Groups, Dedu County, Heilongjiang Province[J]. *Journal of Harbin University of Science and Technology*, (00): 1-29, 140(in Chinese with English abstract).
- WANG Cheng-qi. 1987. Geological characteristics and diagenetic temperature of the Keluo-Wudalianchi potassic volcanic belt[M]. Fuzhou: East China Institute of Geology: 120-134(in Chinese).
- WANG Yun-peng. 1996. 30th geological conference field trip guide (T. 101, Hei Long Jiang)[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- WU Jian-Hua. 1999. A discussion on the lithostratigraphical division of continental volcanic terrain[J]. *Geological Review*, 45(S1): 93-100(in Chinese with English abstract).
- XU Yan-qiang, LIU Zhen-huan. 1979. The brief introduction of volcanic geology in Heilongjiang province Wudalianchi[J]. *Heilongjiang Geology*, 34(2): 6-7(in Chinese).
- ZENG Pu-sheng, LI Rui-zhe, LI Si-wen, WEN Li-gang, ZHAO Jiu-jiang, WANG Shi-an. 2021a. Yanshanian Large Igneous Provinces in Eastern China: Magmatism-Tectonics-Resources-Environment Effects[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 42(6): 721-748(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Yong-Wei, LI Ni, FAN Qi-Cheng, ZOU Hai-bo, XU Yi-Gang. 2014. Two episodes of volcanism in the Wudalianchi volcanic belt, NE China: Evidence for tectonic controls on volcanic activities[J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 285(15): 170-179.
- ZHENG Qing-dao. 1991. Regional geological survey report of 1:200,000 Nenjiang County Sheet[R]. Harbin: Heilongjiang Bureau of Geology and Mineral Resources: 38-52(in Chinese).