

K-Ar
U-Pb

7883



56.732

中国新生代火山岩 年代学与地球化学

刘若新 主编

Sm-Nd
K-Ar



Rb-Sr
K-Ar



地震出版社



中国新生代火山岩年代学与地球化学

刘若新 主 编

地 震 出 版 社

1 9 9 2

(京)新登字095号

内 容 提 要

本文集反映了我国新生代火山岩年代学、同位素和微量元素地球化学方面系统的最新研究成果。既有像下辽河盆地玄武岩、汉诺坝玄武岩、五大连池等地超钾质玄武岩、海南岛和南海盆地玄武岩和青藏高原等典型地区新生代火山岩的系统K-Ar年代和地球化学研究资料,也有整个中国东部乃至全国范围新生代火山岩的时空分布和构造环境及地幔化学分区等方面的论述。文集为研究我国新生代时期的诸多重要的地质作用,如东部的裂谷作用和盆地的形成演化,青藏高原的隆升,南海盆地的扩张以及南北大陆的拼接,提供了许多新的深部信息,具有重要的参考价值。

中国新生代火山岩年代学与地球化学

刘若新 主 编

责任编辑:宋炳忠

版式设计:孔景宽

*

地质出版社出版

北京民族学院南路9号

北京印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

*

787×1092 1/16 27.25印张 691千字

1992年8月第一版 1992年8月第一次印刷

印数 0001—1200

ISBN 7-5028-0624-5/P·423

(1015)定价:15.00元

序 言

在中国东部, 新生代时期最重要的地质事件莫过于一系列含油气盆地的形成。而新生代玄武岩浆活动和这些含油气盆地, 实际上都是由深部物质运动所导致的裂谷或地堑过程的产物。不言而喻, 对新生代火山岩的年代学、岩石学和地球化学研究将为研究整个中国东部新生代时期的地质构造、成矿作用和深部动力学过程提供多方面的重要约束。如果说青藏高原的隆起是新生代时期地球上最壮观的地质作用, 那么, 作为这一最壮观的造山—隆升过程重要组成部分的火山作用, 也必定是独具特色的。基于上述认识, 近 10 余年来, 许多岩石学家和地球化学家对中国东部及青藏高原及周边地区, 相继开展了大量卓有成效的研究工作, 并在国内外刊物上发表了数以百计的论文。由鄂莫岚、赵大升(1987)主编的《中国东部新生代玄武岩及深源岩石包体》和由池际尚(1988)主编的《中国东部新生代玄武岩及上地幔研究》, 是我国东部新生代火山岩岩石学研究方面系统的代表性著作。

自周新华等(1982)和朱炳泉等(1983)相继发表我国东部新生代玄武岩和腾冲火山岩的 Sr、Nd 同位素和微量元素地球化学研究成果以来, 有关我国新生代火山岩的 Sr-Nd-Pb 同位素组成和微量元素地球化学研究资料、K-Ar 年代学资料也逐渐丰富起来, 据不完全统计, 本文集论文中发表或引用的有关我国新生代火山岩的 K-Ar 年龄数据有 500 余个, Sr-Nd-Pb 同位素组成的数据约 300 余个。这就有可能不仅从个别典型产地, 也能从区域角度讨论新生代火山岩的时空分布、构造环境、地幔岩浆源区的性质和演化, 并进而讨论地幔化学分区和某些深部构造动力学问题, 这就是组织出版本文集的基本出发点。

我们原打算以专著的形式出版, 后来发现不同作者提供的稿件, 在学术观点上难于一致, 为了尊重作者的意见, 决定仍以文集的形式出版。但在内容安排上仍保持一定的系统性。文集中的论文按华北、东北、东南(包括台湾及南海盆地)及青藏地区的次序排列。有关全国范围新生代火山岩的 K-Ar 年代及构造环境的论文, 作为总的地质背景放在前面, 而有关中国东部及青藏等大区域性火山岩的地球化学研究总结性论文则置于各地区性论文之后。

以往对我国西部新生代火山岩的主要分布地区——青藏高原及其周边地区新生代火山岩的研究资料比较少见, 但近年来邓万明(1989, 1991 a, 1991 b, 1991 c, 1992), 刘嘉麒(1990), 王培生等(1990), 刘从强等(1990), 朱炳泉等(1992), 赵崇贺等(1992)所发表的或即将发表的论文, 为撰写有关青藏高原及周边地区新生代火山岩的论文奠定了基础。由于多年的隔离, 使我们对台湾的新生代火山岩缺乏系统了解。钟孙霖博士赠送的由台湾大学地质学系陈正宏教授编著(1990)的《台湾之火成岩》一书, 使我们有可能向大陆同行介绍台湾新生代火山岩的研究成果。但愿本文集的出版能为台湾与大陆之间在地质领域的学术交流起促进作用, 并最终导致海峡两岸同行的互访和共聚一堂, 我们期待这一天早日到来。

陈文寄副研究员和解广轰研究员, 是本文集最初的倡导者和组织者, 他们组织和亲自撰写了多篇重要论文, 没有他们二位的热忱支持, 本文集的出版是不可能的。地震出版社宋炳忠编审负责本文集的编辑, 并从文集的形式和内容上提出了许多宝贵的意见, 特致谢忱。吴裕文、邓忠丽为本文集的出版, 作了许多工作。赵芹、张淑年、董兆匀清绘了本文集的全部图件, 均在此一并志谢。

目 录

中国新生代火山岩的K-Ar年代与构造环境	刘若新 陈文寄 孙建中 李大明 (1)
下辽河裂谷盆地玄武岩的年代学与地球化学	陈文寄 李大明 李 齐 申绍文 梁鸿德 (44) 周新华 刘若新 王 昕 刘香婷 郑纪伟
大同第四纪玄武岩的K-Ar年龄及过剩氩	陈文寄 李大明 戴潼谟 蒲志平 刘若新 李 齐 孙建中 (81) 王 昕 E. Jäger A. J. Hurford H. R. Pfeifer
大同玄武岩主要元素和微量元素化学	樊祺诚 陈文寄 A. J. Hurford J. G. Hunziker (93)
辽宁宽甸黄椅山新生代火山岩的地球化学研究	解广袁 王俊文 韦克俭 刘丛强 (101)
汉诺坝玄武岩的地球化学	支震臣 冯家麟 (114)
汉诺坝玄武岩及其超镁铁岩捕虏体的地球化学	解广袁 王俊文 (149)
郯庐断裂带中南段新生代玄武岩地球化学	陈道公 (171)
长白山地区新生代火山岩的地球化学研究	解广袁 王俊文 (210)
五大连池钾质熔岩的地球化学	王俊文 解广袁 (213)
中国东北地区新生代玄武岩地幔源区的地球化学特征——微量元素地球化学证据	刘丛强 解广袁 增田彰正 (228)
雷琼地区新生代玄武岩的K-Ar—磁性地层年代学	陈文寄 葛同明 李大明 徐 行 李 齐 樊利民 王 昕 文思郁 (239)
海南岛新生代玄武岩微量元素和同位素地球化学	张 明 涂 勤 解广袁 Martin F. J. Flower Richard W. Carlson (246)
南海海盆新生代玄武岩的地球化学特征与Dupal型同位素异常区的成因讨论	涂 勤 解广袁 Martin F. J. Flower Richard W. Carlson (269)
上海地区中新世代隐伏玄武岩类过渡系列的发现及地球化学和成因研究	周新华 吴惠兰 鄂莫岚 张剑波 程 海 (285)
福建省龙海和明溪地区玄武岩地球化学	张剑波 陈道公 (298)
张裂环境火山作用的岩石圈地幔组分：雷琼地区新生代玄武质火山岩的地球化学证据	范蔚茗 M. A. Menzies (320)
中国东部新生代玄武岩的Sr、Nd、Pb同位素组成——一次大陆岩石圈的同位素证据	涂 勤 解广袁 张 明 王俊文 M. F. J. Flower R. W. Carlson (330)
中国东部新生代玄武岩稀土元素地球化学	樊祺诚 刘若新 (339)
中国东部新生代玄武岩同位素体系和地幔化学区划	周新华 朱炳泉 (366)
地幔流体包裹体——地幔部分熔融和化学非均一性的新证据	刘若新 樊祺诚 彭礼贵 林卓然 (392)
青藏高原周边地区新生代火山岩的地球化学特征——古老富集地幔存在的证据	解广袁 刘丛强 增田彰正 清水洋 (400)

THE AGE AND GEOCHEMISTRY OF CENOZOIC VOLCANIC ROCK IN CHINA

- The K-Ar age and tectonic environment of Cenozoic volcanic rock in China
.....Liu Ruoxin, Chen Wenji, Sun Jianzhong, Li Daming (1)
- The age and geochemistry of basin basalt at Xialiaohe rift
.....Chen Wenji, Li Daming, Li Qi, Shen Shaowen, Liang Hongde, Zhun
Xinhua, Liu Ruoxin, Wang Xin, Liu Xiangting, Zheng Jiwei (44)
- The K-Ar age and excess Ar of Quaternary basalt in Datong
.....Chen Wenji, Li Daming, Dai Tongmo, Pu Zhiping, Liu Ruoxin,
Li Qi, Shun Jing Zhong, Wang Xin, E. Jager, A. J. Hurford, H. R. Pfeifer (81)
- The major and trace element chemistry of Quaternary basalt in Datong
.....Fan Qicheng, Chen Wenji, A. J. Hurford, J. C. Hunziker (93)
- The study on geochemistry of Cenozoic volcanic rock in Huangyishan, Kuandian,
Liaolin Province
..... Xie Guanghong, Wan Junwen, Wei Kejian, Lui Congqiang (101)
- The geochemistry of basalt in Hannuoba.....Zhi Xiachen, Feng Jialin (114)
- The geochemistry of basalt and ultramafic inclusion in Hannuoba
.....Xie Guanghong, Wan Junwen (149)
- The geochemistry of Cenozoic basalt at the middle-south segment of
Tonglu fault zone.....Chen Daogong (171)
- The geochemistry of Cenozoic volcanic rock in the Changbaishan area
.....Xie Guanghong, Wan Junwen (210)
- The geochemistry of Quaternary potassic lava in Wudalianci
.....Wan Junwen, Xie Guanghong (213)
- The geochemical characteristics of mantle source area of Cenozoic volcanic
rock in North-east China.....Liu Congqiang, Xie Guanghong, A. Masuda (228)
- The K-Ar-magnetostratigraphic chronology of Cenozoic basalt in Hainan
Island and Leizhou Peninsula.....Chen Wenji, Ge
Tongming, Li Daming, Xu Xing, Li Qi, Fan Limin, Wang Xin, Wen Siyu (239)
- The trace element and isotope geochemistry of Cenozoic basalt in Hainan
Island.....Zhang Ming, Tu Kan, Xie Guanghong, Martin F. J. Flower,
Richard W. Carlson (246)
- The geochemical characteristics of Cenozoic basalt in the South China Sea
basin and the exploration of genesis of Dupal type isotopic anomaly
.....Tu Kan, Xie Guanghong, Martin F.J. Flower, Richard W. Carlson (269)

- The discovery of continuous transition series of Mesozoic-Cenozoic hidden basalt in the Shanghai area and its geochemical genesis study
Zhou Xinhua, Zhou Huilan, E Molan, Zhang Jianbo, Cheng Hai (285)
- The geochemistry of basalt in the two areas from of Longhai and Mingxi in Fujian Province.....Zhang Jianbo, Chen Daogong (298)
- Contribution of the lithosphere mantle for extension-related volcanism; Geochemical evidences from Cenozoic basaltic rocks in Hainan Island and Leizhou Peninsula, Southern China.....Fan Weiming, M. A. Menzies (320)
- The Sr, Nd, Pb isotopic constitution of Cenozoic basalt in Eastern China
Tu Kan, Xie Guanghong, Zhang Ming, Wan Junwen, M. F. J. Flower, R. W. Carls (330)
- The REE geochemistry of Cenozoic basaltic rocks in Eastern China
Fan Qicheng, Liu Ruoxin (339)
- Study on the isotopic system and mantle chemical zonation of Cenozoic basalt in Eastern China.....Zhou Xinhua, Zhu Bingquan (366)
- Mantle fluid inclusions—evidence of partial melting and chemical heterogeneity of the mantle
Liu Ruoxin, Fan Qicheng, Peng Ligui and Lin Zhuoran (392)
- The geochemical characteristics of Cenozoic volcanic rocks in the area of Qinghai-Tibet Plateau.....Xie Guanghong, Liu Congqiang, A. Masuda (400)

中国新生代火山岩的 K-Ar 年代与构造环境*

刘若新 陈文寄 孙建中 李大明

近些年来, 相继发表了一系列有关中国新生代火山岩的年龄数据 (王慧芬等, 1981, 1985, 1988; 胡世玲等, 1983; 王松山等, 1983; 刘嘉麒, 1983, 1987, 1988, 1990; 陈文寄等, 1985, 1986; 陈道公等, 1985, 1988; 刘若新等, 1986; 罗修泉等, 1990; 陈正宏, 1990; 穆治国等, 1987; 张玉泉等, 1987)^[1-18], 这对研究中国新生代岩浆活动和地质-构造发展历史, 对研究深部过程提供了十分重要的基础资料。本文在前人工作的基础上, 并利用自 1982 年以来国家地震局地质研究所 K-Ar 年代学实验室及有关项目积累的、大部分尚未发表的 200 余个新生代火山岩的 K-Ar 年龄数据, 讨论中国新生代火山岩总的时空分布及其构造环境。

本文采用 Odin 等(1981)^[19]和 Harland (1982)^[20]的新生代地质年表。第三纪与第四纪的界限年龄为 1.8—2.0 Ma; 上新世与中新世界限年龄为 5.5 Ma; 渐—始新世为 36—38 Ma; 始—古新世为 55 Ma; 第三纪与白垩纪的界限年龄为 65 Ma。

可靠的年龄数据, 对正确认识新生代时期的岩浆活动, 以及利用这些数据来确定地层时代或讨论构造演化都是至关重要的基础。为此陈文寄等 (本文集) 在研究大同火山岩的 K-Ar 年代时, 对玄武岩中的橄榄石和玻璃质中过剩氩对年龄测定的影响进行了深入研究, 并与瑞士伯尔尼大学 Jäger 教授合作建立了一个第四纪玄武岩的 K-Ar 年龄标准样 (E. Jäger, Chen Wenji et al., 1985)^[21]。研究表明, 玄武岩中的橄榄石、辉石斑晶及玻璃质中过剩氩含量范围可由 6×10^{-13} mol/g (大同地区) 至 2×10^{-11} mol/g (内蒙古克什克腾)。玄武岩中还可能含有橄榄石捕虏晶, 它们是继承氩的主要来源。过剩氩和继承氩均可造成玄武岩全岩样品 K-Ar 年龄测定值偏高。对大同第四纪玄武岩的研究表明, 它们可以造成年龄值偏高 15% 至 100%。因此, 我们强烈建议, 在利用 K-Ar 法测定年轻玄武岩特别是第四纪玄武岩年龄时, 应选取那些新鲜的、全晶质、橄榄石含量较少的玄武岩样品, 并利用常规的磁选或重液分选方法, 除去早期结晶的橄榄石或辉石斑晶。虽然, 这种影响对第三纪玄武岩样品一般就会降至测定误差以内, 以致可以忽略不计。

一、中国东部新生代火山岩的 K-Ar 年代与构造环境

主要为玄武质的火山岩在中国东部有广泛分布。如以南起海南岛的北部, 北至黑龙江的逊克估算, 新生代火山岩断续分布长达 8000 余 km。分布面积估计在 150000 km² 以上 (包括隐伏于中、新生代盆地中的玄武岩)。从地质构造上讲, 它们主要分布于东北—华北中、新生代裂谷系及其两侧地带, 中国东南部大陆边缘的断陷带, 台湾、澎湖地区和南海盆地等。按其

* 国家自然科学基金资助项目。

产出的构造环境和深部构造背景的不同,可以将中国东部新生代火山岩分为以下几类:一、大陆裂谷玄武岩,包括盆地型裂谷、地堑型裂谷及溢流玄武岩三个亚类;二、大陆边缘张裂-断陷带玄武岩;三、主要产于台湾及南海盆地的岛弧火山岩及海洋型玄武岩。前两类均属大陆板内玄武岩并都与引张体制有关。

1. 东北—华北大陆裂谷玄武岩

大陆裂谷玄武岩是中国东部新生代玄武岩中一个最主要的类型。按其时代又可分为早第三纪盆地裂谷和晚第三纪地堑型裂谷玄武岩,以及与裂谷作用有关的大陆溢流玄武岩三类。前者包括抚顺盆地、下辽河—渤海盆地、苏北—南黄海盆地、华北的黄骅拗陷、冀中拗陷、济阳拗陷以及江汉盆地等裂陷盆地。它们都是自晚白垩世至早第三纪时期由地幔底辟所导致的伸展裂陷作用的构造背景上发育起来的含油含煤沉积盆地。现今华北地区深地震测深和大地电磁测深及地热资料,仍然能够看到上述一些沉积盆地下面的地幔上隆构造(国家地震局“深部物探成果”编写组,1986, p.77, 101插图)^[22],华北地区地壳厚度和上地幔高导层的分布以及大地热流值增大(见马杏垣主编岩石圈动力学图集,1987)^[23],也同样可以证明这一点。因此可以认为,华北早第三纪盆地裂谷可归因于地幔上隆而使大陆地壳伸展裂陷而形成的主动裂谷。来源于地幔不同深度源区不同部分熔融程度的玄武岩浆,就是沿着这些地幔上隆区地壳裂开的通道而多次喷溢,并在强烈的伸展期伴有辉绿岩墙群的侵入。这一类型的玄武岩及辉绿岩墙群往往局限于裂谷盆地范围内。

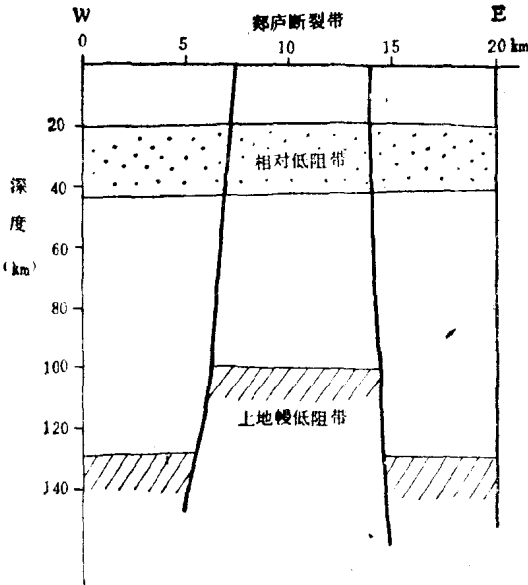


图1 郯庐断裂带南段电性结构示意图
(据赵国泽,1992)

华北的郯庐断裂带及其北延至东北的伊兰—伊通地堑和抚顺—密山断裂带,是一条巨大的中、新生代地堑裂谷。在狭长的地堑中充填了厚度不等的中、新生代沉积(如伊兰—伊通地堑),或者一些较小的中、新生代盆地沿着断裂带分布(如郯庐带中南段及抚顺—密山断裂带)。于丕休等(1963)^[24]、徐嘉炜(1964)^[25]、地质部地质科学研究院(1978)^[26]、高维明等(1980)^[27]、许志琴(1980)^[28]等都论述过郯庐断裂带各段的地堑和裂谷性质。于丕休等(1963)还指出郯庐断裂带越过渤海后,一支经辽东半岛直达老爷岭(即抚顺—密山断裂带),另一支沿鸭绿江西岸,经图们江西岸进入苏联远东地区(这相当于鸭绿江—珲春地堑裂谷)。新近的深部探测资料表明,郯庐断裂带可以下延至莫霍面以下,并表现出沿断裂带的地幔上隆(图1,与赵国泽的私人讨论,1992)。这种

深达地壳以下狭长凹陷的地堑裂谷与前述的盆地裂谷不同,它多半是上涌的地幔沿着先存的地堑构造软弱带,使大陆地壳这一部分重新张开。玄武岩浆也是以地堑及其附近的分支断裂为通道而喷溢的。

这里所说的与裂谷作用有关的大陆溢流玄武岩,是指上述两类玄武岩以外,伴生于东北—华北裂谷系西侧,分布于张家口、张北、集宁、左云、围场、赤峰一带大面积的中新世玄武

岩。

(1) 早第三纪盆地裂谷玄武岩(图 2)

王慧芬等(1988)^[3]测定的 4 个抚顺含煤盆地拉斑玄武岩的 K-Ar 年龄由 72.02—52.09 Ma(表 1), 我们采自抚顺西露天煤矿一个拉斑玄武岩的年龄为 53.3 Ma, 即抚顺盆地玄武岩浆活动为晚白垩世至始新世早期。

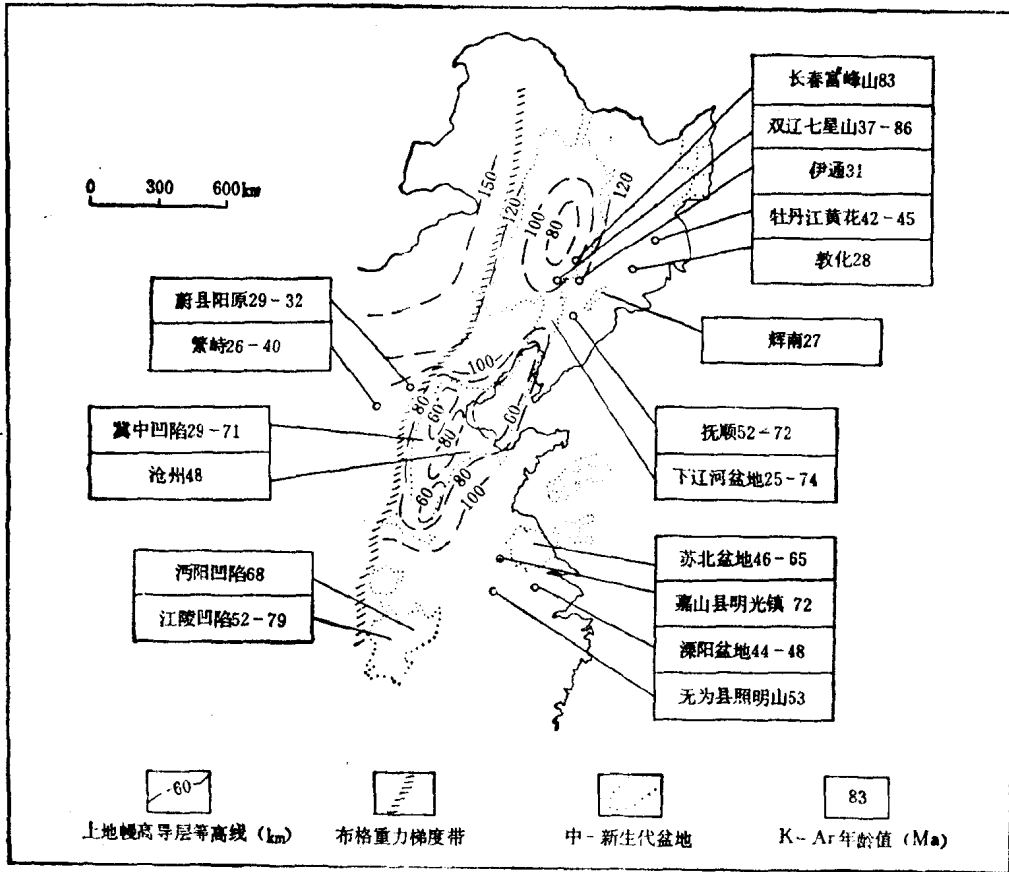


图 2 早第三纪盆地裂谷玄武岩的分布及 K-Ar 年龄

下辽河—渤海盆地早第三纪玄武岩, 除少量拉斑玄武岩和粗安岩外, 主体部分为碱性玄武岩系, 既有 Ne 标准矿物的、也有 Hy 标准矿物的碱性玄武岩。钻孔岩心玄武岩样品的系统年代学研究表明, 玄武岩浆活动的年龄范围为 74.4 Ma 至 25.6 Ma(详细的年代学研究结果见本文集陈文寄等的文章)。即始于晚白垩世直至渐新世末都有玄武岩浆活动, 但高潮期是在古新世至始新世中期。在盆地的西部拗陷, 此时期的玄武岩总厚度可达 1000 m 以上。而在东部拗陷则较晚较弱, 其高潮期为始新世中期。似乎岩浆活动中心有从西向东迁移的趋势。这与盆地的沉积-拗陷自西向东迁移是一致的(郑福灯 1988)。¹⁾

黄骅拗陷的玄武岩与下辽河—渤海盆地相似, 也以碱性—弱碱性玄武岩为主(Liu et al., 1983)^[29], 并也始于晚白垩世, 而以始新世为高潮期。两个始新世—古新世玄武岩的 K-Ar

1) 郑福灯, 1988, 硕士论文(未刊)。

表 1 东北—华北裂谷系早第三纪火山岩 K-Ar 年龄

样品号	岩石名称	采样地点	K ⁹⁰	⁴⁰ Ar _g , mol/l ²	⁴⁰ Ar _g , %	表面年龄	资料来源
82-LF4-1803	TH	辽宁抚顺	0.35	0.4372×10^{-11}	50.88	72.02 ± 2.60	王慧芬等, 1988 ^[31]
82-LF5-1799	TH	辽宁抚顺	0.69	0.62536×10^{-11}	38.27	63.02 ± 1.99	王慧芬等, 1988 ^[32]
82-LF1-1802	TH	辽宁抚顺	0.25	0.2587×10^{-11}	33.41	55.61 ± 2.08	王慧芬等, 1988 ^[32]
82-LF2-1800	TH	辽宁抚顺	0.22	0.2330×10^{-11}	19.22	52.09 ± 0.46	王慧芬等, 1988 ^[32]
J-017	TH	抚顺西露天矿	0.50	4.6901×10^{-11}	29.83	53.3 ± 1.8	国家地震局地质研究所 K-Ar 年代实验室
冀104	AOB	盘锦油田	0.95	5.2169×10^{-11}	29.07	31.4 ± 1.0	国家地震局地质研究所 K-Ar 年代实验室
热104	AOB	盘锦油田	1.15	4.9840×10^{-11}	73.76	24.8 ± 0.7	国家地震局地质研究所 K-Ar 年代实验室
豫48-21	AOB	盘锦油田	1.30	1.3127×10^{-10}	98.96	57.3 ± 0.5	国家地震局地质研究所 K-Ar 年代实验室
YT-2	AOB	伊通城头山	1.51	8.1775×10^{-11}	64.06	31.0 ± 1.3	国家地震局地质研究所 K-Ar 年代实验室
81-3-1884	AOB	长春富峰山	1.28	16.8168×10^{-11}	74.67	83.5 ± 1.55	王慧芬等, 1988 ^[32]
Y-16	TH	长春富峰山	0.79	1.1564×10^{-11}	79.6	82.5 ± 2.3	刘嘉麒, 1987 ^[33]
LS-112	AOB	辉南四方顶子	1.90	8.5744×10^{-11}	54.8	27.3 ± 1.0	刘嘉麒, 1987 ^[33]
J-007	AOB	敦化马鹿沟	1.25	6.1018×10^{-11}	55.9	27.9 ± 1.1	国家地震局地质研究所 K-Ar 年代实验室
M65	TH	牡丹江黄花	0.35	2.7613×10^{-11}	24.6	44.9 ± 1.7	刘嘉麒, 1987 ^[33]
M67	TH	牡丹江黄花	0.57	7.1638×10^{-11}	57.2	42.1 ± 1.7	刘嘉麒, 1987 ^[33]
京热14-1	TH	北京钻孔岩心	0.30	1.5293×10^{-11}	12.41	29.2 ± 2.0	国家地震局地质研究所 K-Ar 年代实验室
顺6-5	TH	北京钻孔岩心	0.32	2.6531×10^{-11}	48.77	36.1 ± 0.5	国家地震局地质研究所 K-Ar 年代实验室
顺6-1	TH	北京钻孔岩心	0.79	6.0279×10^{-11}	78.59	43.5 ± 0.6	国家地震局地质研究所 K-Ar 年代实验室
南-14井	OB	北京钻孔岩心	1.14	6.0329×10^{-11}	64.33	30.3 ± 1.0	国家地震局地质研究所 K-Ar 年代实验室
京-21	TH	北京钻孔岩心	0.32	3.57×10^{-11}	54.75	63.2 ± 4.1	国家地震局地质研究所 K-Ar 年代实验室
京-49	TH	北京钻孔岩心	0.82	6.881×10^{-11}	67.54	47.8 ± 1.5	国家地震局地质研究所 K-Ar 年代实验室
京-50	TH	北京钻孔岩心	0.82	6.029×10^{-11}	63.81	41.9 ± 1.4	国家地震局地质研究所 K-Ar 年代实验室
塘-15	AOB	塘沽BZ28-2-1井	1.34	1.0605×10^{-11}	85.74	45.1 ± 2.8	国家地震局地质研究所 K-Ar 年代实验室
塘-17	OB	BZ34-5-2井	1.07	4.5887×10^{-11}	44.28	24.5 ± 1.3	国家地震局地质研究所 K-Ar 年代实验室
港-10	OB	沧州枣2井	1.29	1.086×10^{-10}	70.81	47.9 ± 3.2	国家地震局地质研究所 K-Ar 年代实验室
SF-4	TH	繁寺	0.92	5.778×10^{-11}	56.43	35.9 ± 1.2	国家地震局地质研究所 K-Ar 年代实验室
SF-15	OB	繁寺	1.00	4.591×10^{-11}	52.57	25.8 ± 0.7	国家地震局地质研究所 K-Ar 年代实验室
SF-29	AOB	繁寺	1.49	7.884×10^{-11}	93.37	30.3 ± 0.3	国家地震局地质研究所 K-Ar 年代实验室
YB-2	AOB	藁县北水泉镇	2.34	1.198×10^{-10}	88.43	29.3 ± 0.8	国家地震局地质研究所 K-Ar 年代实验室
苏-24	OB	苏北油田曹5井	0.62	5.628×10^{-11}	65.80	51.6 ± 2.6	国家地震局地质研究所 K-Ar 年代实验室
苏-27	OB	苏北油田安9井	0.60	4.797×10^{-11}	34.70	45.5 ± 0.2	国家地震局地质研究所 K-Ar 年代实验室

样品号	岩石名称	采样地点	K%	$^{40}\text{Ar}_{\text{总}}/\text{mol/g}$	$^{40}\text{Ar}_{\text{总}}/\%$	表面年龄	资料来源
苏-28	OB	苏北油田安5井	0.53	5.748×10^{-11}	61.65	65.1 ± 0.7	国家地震局地质研究所K-Ar年代实验室
阜-3井	TH	苏北油田阜3井	0.17	1.5566×10^{-11}	37.57	53.3 ± 1.0	国家地震局地质研究所K-Ar年代实验室
都-3井	OB	苏北油田都3井	0.72	7.191×10^{-11}	69.47	56.6 ± 1.1	国家地震局地质研究所K-Ar年代实验室
A-4	AOB	苏北油田苏102井	0.91	1.0227×10^{-10}	64.55	61.7 ± 1.5	国家地震局地质研究所K-Ar年代实验室
B-2	AOB	苏北油田苏161井	0.39	7.7266×10^{-11}	46.65	49.4 ± 0.7	国家地震局地质研究所K-Ar年代实验室
A-15	OB	苏北油田曹5井	0.71	7.3597×10^{-11}	63.28	58.8 ± 2.0	国家地震局地质研究所K-Ar年代实验室
A-5	AOB	苏北油田苏205井	1.22	1.1182×10^{-10}	63.67	52.1 ± 1.3	国家地震局地质研究所K-Ar年代实验室
绝m-2	AOB	溧阳花山	1.38	1.0615×10^{-10}	70.50	43.8 ± 0.8	国家地震局地质研究所K-Ar年代实验室
绝m-1	AOB	溧阳上沛老虎山	1.95	1.6445×10^{-10}	81.25	48.0 ± 1.0	国家地震局地质研究所K-Ar年代实验室
SJD-7	OB	上海南汇县	0.85	3.9633×10^{-11}	88.20	26.7 ± 0.6	国家地震局地质研究所K-Ar年代实验室
东54-Ⅱ	AOB	江苏高邮盐池	1.30	0.0043×10^{-11}	66.00	46.3	王慧芬等, 1988 ^[3]
绝-1	OB	嘉山明光镇	1.05	1.3422×10^{-10}	89.88	72.2 ± 1.2	国家地震局地质研究所K-Ar年代实验室
皖-35	TH	天潜6-12井	0.57	6.051×10^{-11}	59.33	60.2 ± 1.5	国家地震局地质研究所K-Ar年代实验室
皖-42	TH	无为照明山	0.81	7.583×10^{-11}	68.68	53.2 ± 2.8	国家地震局地质研究所K-Ar年代实验室
江1-1	TH	江陵八岭山	0.73	6.676×10^{-11}	72.4	52.0 ± 3.6	国家地震局地质研究所K-Ar年代实验室
江1-2	TH	江陵柳隘金7井	0.71	7.121×10^{-11}	76.1	56.9 ± 1.5	国家地震局地质研究所K-Ar年代实验室
江1-3	TH	沔阳柳隘海6井	0.42	5.033×10^{-11}	15.4	67.8 ± 2.0	国家地震局地质研究所K-Ar年代实验室
江1-4	TH	江陵柳隘苏1井	0.93	1.305×10^{-10}	79.0	79.1 ± 5.9	国家地震局地质研究所K-Ar年代实验室

注1. 采用常数: $\lambda = 5.543 \times 10^{-10}/\text{a}$ $\lambda_1 = 0.581 \times 10^{-10}/\text{a}$ $\lambda_2 = 4.962 \times 10^{-10}/\text{a}$ $^{40}\text{K}/\text{K} = 1.167 \times 10^{-4} \text{ mol/mol}$

注2. 本篇表1、表2的代号 TH——拉斑玄武岩; OB——碱流玄武岩; AOB——碱性碱流玄武岩; BN——碧玄岩; PBN——钾质玄武岩; ON——橄辉霞石岩。

年龄为 53.4 Ma 及 56.3 Ma(高知云, 1986)^[30]。

冀中拗陷的玄武岩则以石英拉斑玄武岩为主, 但也有少量碱性玄武岩。郑学正(1980)^[31]报道的冀中拗陷玄武岩的 K-Ar 年龄范围为 71.08—28.5 Ma。我们测定的 8 个玄武岩的年龄也在上述范围内(见表 1)。可见玄武岩浆活动同样始于晚白垩世而结束于渐新世晚期。钻孔岩心记录玄武岩出现的层数和厚度对比表明, 冀中拗陷玄武岩浆活动也同样有从西向东迁移的趋势。

苏北盆地隐伏玄武岩也与下辽河—渤海盆地相似, 以碱性玄武岩为主, 夹一定数量橄榄拉斑玄武岩(Liu et al., 1983)^[32], 它们主要发育于盆地东部地区。目前所获得的 10 个苏北盆地玄武岩的 K-Ar 年龄范围为 45.5—65.1 Ma(见表 1)。但在盆地边部一些地方(如嘉山地区)获得过晚白垩世年龄的玄武岩(72.2 Ma, 见表 1)。陈道公(1985)^[12]在嘉山附近, 还获得三个古新世至始新世和两个渐新世的玄武岩年龄。此外在苏北盆地南西侧还有一系列较小的沉积拗陷如金坛拗陷、溧阳拗陷等地, 也有 43.8—48.0 Ma 的始新世玄武岩出露。在安徽当涂釜山和无为照明山有 53.2 Ma 的玄武岩出露。

虽然松辽盆地主要是中生代的沉积盆地, 但在其边部一些露头区如长春富峰山拉斑玄武岩(82.5 Ma), 碱性玄武岩(83.5 Ma), 黑龙江乌伊岭玄武岩(94.20—96.5 Ma) 及海参 6 井中的玄武岩(90.2 Ma)等均可归入晚白垩世时期的岩浆活动。

此外, 在松辽盆地南缘双辽的七星山地区, 有一系列早第三纪的玄武质熔岩锥及碱性玄武质熔岩流, 并含有超镁铁质岩包体。这也是除繁寺、阳原玄武岩以外, 在早第三纪玄武岩中含有超镁铁质岩包体的另一个产地。刘嘉麒(1987)^[7]给出的七星山 5 个玄武岩的年龄为 39.9—61.0 Ma。余扬^[32](1989)给出富橄碧玄武岩的 K-Ar 年龄为 37.01 Ma(勃勃图山、敖宝山、玻璃山三个火山熔岩锥), 大小哈拉巴山的碱性橄橄玄武岩的年龄为 47.6 Ma, 大吐尔基山高铝碱性辉绿岩为 86.2 Ma。其岩浆活动时间与抚顺盆地、下辽河—渤海盆地中岩浆活动时间同步。

和松辽盆地、下辽河盆地、冀中拗陷等同样位于纵贯中国大陆中部的重力梯度带东侧的还有南阳盆地和江汉盆地。在江汉盆地钻孔中, 也见有晚白垩至早第三纪的玄武岩, 如江陵凹陷和沔阳凹陷的钻孔中见到的玄武岩, 其 K-Ar 年龄分别为 79.1、67.8 和 56.9 Ma, 江陵八岭山玄武岩为 51.97 Ma, 它们都是拉斑玄武岩。

除早第三纪玄武岩外, 在上述盆地或拗陷中, 也见有 24.8 Ma(下辽河盆地)、22.1 Ma(冀中拗陷)、15.9 Ma(黄骅拗陷)、9.0 Ma(苏北盆地)的中新世玄武岩。但是, 不论是活动的强度或频度, 上述地区中新世的岩浆活动, 已远不能和早第三纪时期的岩浆活动相比。此外, 在上述盆地或拗陷中, 伴随玄武岩浆喷出, 有不同规模的辉绿岩墙群的侵入。

上述裂谷盆地经历了从发生、发展到衰亡的演化过程。在不同演化阶段, 又以发育不同类型与展布规律的沉积相和火山活动为特征。自晚白垩世至始新世初期, 地幔底辟伴随强烈的基性火山活动, 大量喷溢的玄武岩与干燥气候环境下形成的红色陆相碎屑堆积, 形成了典型的大陆裂谷岩石组合。李继亮(1980)^[33]曾论证了渤海区经历了地幔隆起、大陆裂谷、强烈张陷、初始收缩和漫覆衰亡五个演化发展阶段。始新世中期, 在下辽河—渤海盆地和冀中拗陷, 火山活动中心和沉积中心都明显地向东迁移。在黄骅拗陷, 此时期形成了早第三纪时期最大范围的水域。随着强烈的基性火山活动和辉绿岩墙群的侵入, 裂谷进一步伸展裂陷, 进而开始了始新世中期至渐新世盆地大面积扩张沉降, 而火山活动却逐渐减弱。渤海的形成标

标志着上述裂谷盆地强烈伸展阶段的结束。晚第三纪时期,华北地区整体沉陷或局部隆升断陷代替了伸展裂陷作用,广布了晚第三纪陆相砂泥岩沉积,裂谷岩浆活动向东西两侧扩展,并导致其东西两侧中新世时期的地堑型裂谷岩浆活动和大陆溢流玄武岩的喷溢。

除上述典型的裂谷盆地型玄武岩外(它们几乎都是隐伏的,仅能在钻孔中见到),在山西的繁寺盆地北西侧,大同、阳原盆地西南侧的黄花岭,阳原北山和蔚县等地也有早第三纪玄武岩的出露。与前述的早第三纪的隐伏玄武岩不同,这些玄武岩均位于盆地边缘的高山上,直接覆盖于前寒武变质岩系之上,与邻接的晚第三纪沉积盆地形成强烈对比。表明这些地区于早一晚第三纪之间,曾发生过强烈的垂直差异运动。

繁寺玄武岩最厚可达800m,由碱性玄武岩(可含超铁质岩包体)与橄辉拉斑玄武岩组成,呈厚层状岩流并有多层砂砾岩、泥岩及褐煤的薄夹层。我们测定了褐煤夹层之上三个玄武岩的K-Ar年龄范围为25.8—35.2Ma,25.8Ma的样品采自玄武岩剖面的最上部。显然褐煤层之下的玄武岩年龄应早于渐新世。以后王慧芬等(1988)^[3]获得繁寺玄武岩的年龄为38.6—39.9Ma,黄花岭玄武岩为37.1—40.4Ma。阳原北山和蔚县北水泉镇玄武岩分别为29.3Ma和32.2Ma。我们将山西地堑系北部繁寺、阳原、蔚县一带的玄武岩,统称为繁寺玄武岩,其时代为始新世末期至渐新世末期。

(2) 地堑型裂谷玄武岩

纵贯中国东部的郯庐断裂带及其两侧,是一条强烈的中新世碱性玄武岩岩浆活动带。虽然郯庐断裂带—地堑裂谷带及其北延的抚顺—密山和伊兰—伊通地堑的部分地段,也出现一些早第三纪的沉积盆地和小规模的主要是拉斑质的玄武岩岩浆活动,如牡丹江黄花一个小的早第三纪盆地中的拉斑玄武岩(42.1—44.9Ma)^[3];抚顺含煤盆地中的拉斑玄武岩夹层(52.09—72.02Ma);伊通横头山拉斑玄武岩(40.0Ma);辉南四方顶子玄武岩(27.3Ma);敦化马鹿沟玄武岩(27.9Ma),以及前已述及的安徽嘉山早第三纪玄武岩等。但是最令人瞩目的是沿着地堑裂谷带分布的、贯穿于整个中新世时期的碱性—强碱性玄武岩岩浆活动(见图3)。

在山东江苏安徽境内的郯庐带,包括此带东侧的一些玄武岩在内,除山东东北部的蓬莱存在中新末期至上新世时期的碱性玄武岩(8.09—4.21Ma),和蓬莱、无棣、安徽女山等个别第四纪玄武岩外,中新世碱性—强碱性玄武岩岩浆活动占主导地位。潍坊、临朐、昌乐、沂水一带是一个典型的中新世碱性玄武岩岩浆活动区。可以分为21.7—15.8Ma及14.3—10.6Ma两个主要活动时期(陈道公等,1985;王慧芬等,1988;金隆裕,1989)^[7,15,24],主要由碱性橄辉玄武岩和碧玄岩组成。临朐山旺的中新世玄武岩,化学成分稳定,mg'值大于0.66,⁸⁷Sr/⁸⁶Sr=0.70370,并含超镁铁质岩包体,显示了原始玄武岩岩浆的性质。昌乐地区的碱性玄武岩中,以含各种高压巨晶其中包括宝石级兰刚玉而闻名。栖霞方山和唐山棚的橄辉霞石岩和碱性玄武岩的K-Ar年龄为8.1—6.2Ma,蓬莱北大黑山岛玄武岩为8.1Ma,均属晚中新世,可相当于临朐、昌乐地区的尧山组玄武岩。江苏东海安峰山、平明山一带的橄辉霞石岩、碧玄岩、碱性橄辉玄武岩(7.6—6.1Ma),也相当于此时期(见表2)。

在安徽嘉山以南的郯庐带上,及以东的盱眙、天长、六合、仪征、句容以及更东的金坛、溧阳一带有大片或零星的中新世玄武岩出露。其中嘉山至汉涧有面积上千平方公里的玄武岩(肖增岳、王慧芬,1987),早期为碱性玄武岩,厚40—50m,晚期以橄辉拉斑玄武岩为主,厚100—80m。陈道公等(1988)^[13]报道嘉山清明镇的碱性玄武岩年龄为16.5—15.4Ma。江苏六合方山、瓜埠山、江宁方山的碱性玄武岩(8.6—10.9Ma),句容赤山、浮山的碱性

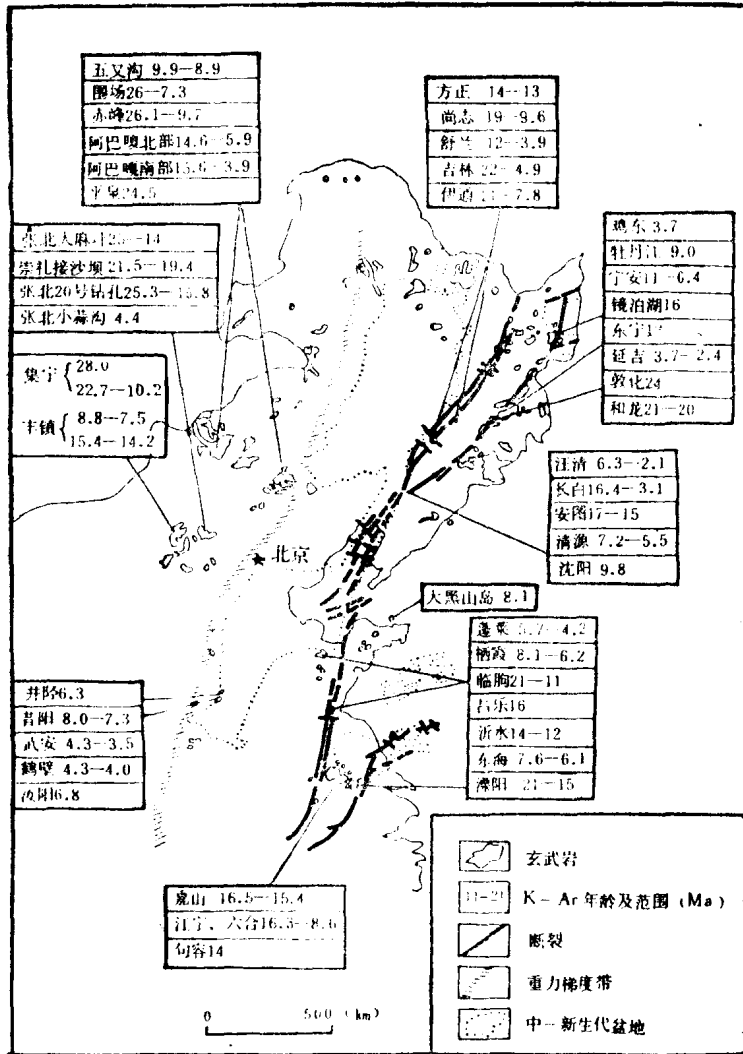


图3 东北—华北裂谷系晚第三纪玄武岩分布及 K-Ar 年龄

玄武岩 (13.9 Ma)，六合塔山的碱性玄武岩 (16.3 Ma)，以及金坛拗陷中的上沛、竹簧等地出露的碱性玄武岩 (15.0—20.7Ma) 均属中新世。肖增岳、王慧芬 (1987)^[35]认为，这一带的新生代玄武岩，除受控于郟庐断裂带外，还与平行于郟庐带的次级断裂和与郟庐带近于垂直的 NW 向断裂 (例如嘉山—六合间的施官集断裂) 密切相关。

郟庐断裂带越过渤海进入东北后，中新世玄武岩沿抚顺—密山断裂及伊兰—伊通断裂带及其两侧分布 (图3)。抚顺—密山断裂及其两侧大面积中新世玄武岩总面积在 20000 km²以上。鄂莫岚 (1987)^[36]指出，这些玄武岩常座落在中新世早期湖相沉积层或时代与之相当的山区夷平面上，地貌上多为熔岩台地，构成海拔高达 1000 m 以上的老爷岭和张广才岭。在安图安岗山脉，刘嘉麒 (1987, 1988)^[7,8]将这一时期玄武岩称之为甌峰山期 (24—19Ma) 和奶头山期 (16.7—12.0 Ma)。在敦化江东有年龄为 23.9 Ma (刘嘉麒, 1987)^[7]和吉林奶牛山有 21.24 Ma (王慧芬等, 1988)^[3]的早中新世玄武岩，也可归于甌峰山期。我们测定的镜泊湖北湖头含包体的碱性玄武岩 (15.8 Ma)，和刘嘉麒报道 (1987)^[7]的鹿道扬旗沟含包

东北—华北裂谷系晚第三纪、第四纪火山岩K-Ar年龄*

样品号	岩石名称	采样地点	K%	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ mol/g	$^{137}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	年龄(Ma)	资料来源
样1	AOB	沈阳辉山上二洼	1.23	2.0875×10^{-11}	73.03	9.76 ± 0.53	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
J-001	AOR	清源县马莲山	1.70	2.0717×10^{-11}	30.57	7.01 ± 0.17	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
J-016	AOB	清源县马莲山	1.76	1.6713×10^{-11}	38.40	5.47 ± 0.10	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
J-005	AOB	敦化县江东	1.00	4.1660×10^{-11}	50.39	23.9 ± 1.1	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
J-011	BN	宁安县兴隆石缝沟	2.57	2.8360×10^{-11}	65.47	6.35 ± 0.21	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
J-013	AOB	宁安县方岩	1.15	1.5175×10^{-11}	54.92	7.59 ± 0.32	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
D-43	BN	伊通大孤山	2.43	5.4177×10^{-11}	56.52	12.8 ± 0.5	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
YT-31	BN	伊通小孤山	2.22	3.9971×10^{-11}	50.18	10.4 ± 0.4	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
YT-79	BN	伊通东尖山	1.63	2.7615×10^{-11}	53.13	9.74 ± 0.56	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
D-92	AOB	舒兰县大石顶子	1.76	3.7977×10^{-11}	73.80	12.4 ± 0.3	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
8496	AOB	吉林丰满水库坝下	1.21	1.0331×10^{-11}	30.21	4.92 ± 0.17	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
8499	AOB	吉林丰满水库坝下	1.29	1.1783×10^{-11}	25.57	5.26 ± 0.19	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
8493	BN	吉林市后团山	3.82	8.7849×10^{-11}	73.05	13.2 ± 0.4	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
8494	AOB	吉林市后团山	1.91	7.4314×10^{-11}	62.19	22.3 ± 0.8	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
WQ-96	BN	吉林江清	2.18	8.0645×10^{-11}	26.53	2.13 ± 0.06	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
JDK-4	AOB	嫩江林河屯西	1.91	8.2868×10^{-11}	41.03	2.50 ± 0.07	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
X-5	AOB	阿巴嘎巴彦湖南	1.63	1.5412×10^{-11}	48.76	5.44 ± 0.15	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
NF-2	TH	丰镇官屯堡	0.93	1.4288×10^{-11}	61.27	8.84 ± 0.28	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
NF-6	TH	丰镇县城西4km	1.15	1.5414×10^{-11}	75.55	7.71 ± 0.22	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
NF-8	TH	丰镇大庄山采石场	0.80	1.0393×10^{-11}	54.78	7.48 ± 0.31	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
HC-7	TH	张北十字街火山	0.72	1.7211×10^{-11}	47.64	13.7 ± 0.4	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
HC-1	TH	张北20号钻孔岩心(2-3m)	0.90	2.4629×10^{-11}	26.16	15.8 ± 0.6	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
HC-5	TH	张北20号钻孔岩心(167m)	0.86	2.7984×10^{-11}	44.34	18.7 ± 0.5	国家地震局地质所K-Ar年代实验室

样品号	岩石名称	采样地点	K%	$^{40}\text{Ar}_{19.0}\text{mol/g}$	$^{40}\text{Ar}_{19.0}\%$	年龄(Ma)	资料来源
HC-6	AOB	张北城关元泉厂村	1.45	4.5076×10^{-11}	48.63	17.8 ± 0.5	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
HC-32	BN	万全县大麻坪	2.32	8.5037×10^{-11}	48.94	21.0 ± 0.6	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
Wg-1	AOB	围场五罗贡山	1.29	5.8632×10^{-11}	70.45	26.0 ± 0.5	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
Wg-5	AOB	围场棋盘山	1.15	1.4503×10^{-11}	37.14	7.26 ± 0.14	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
H-14	TH	张北周坝下部	0.57	2.2429×10^{-11}	60.80	22.8 ± 0.8	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
T-05	TH	河北尚义小蒜沟	0.72	5.4797×10^{-12}	52.73	4.38 ± 0.29	陈文奇**
P-1-1	TH	平泉骆驼峰	0.47	1.9899×10^{-11}	54.77	24.3 ± 0.8	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
南12井	TH	北京栢各庄钻孔岩心1660-1710m	0.92	2.5425×10^{-11}	24.02	15.9 ± 0.5	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
HW-4	OB	武安百草坪(上部)	1.71	1.0437×10^{-11}	45.17	3.52 ± 0.11	陈文奇**
HW-1	AOB	武安百草坪(下部)	1.98	1.4594×10^{-11}	18.06	4.25 ± 0.18	陈文奇**
HJ-3	AOB	井陘雪花山	1.29	1.4147×10^{-11}	20.47	6.31 ± 0.23	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
港-7	OB	大港高尚堡高8井	1.01	3.8970×10^{-11}	42.10	22.1 ± 1.1	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
S-5	AOB	临朐角岩山	0.78	1.9371×10^{-11}	68.47	14.3 ± 0.7	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
S-3	AOB	临朐小山旺	1.20	2.9643×10^{-11}	55.24	14.2 ± 0.2	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
S-4	AOB	临朐小山旺	1.10	2.5533×10^{-11}	62.95	13.2 ± 0.6	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
Ch-7	AOB	临朐角岩山	0.82	2.9542×10^{-11}	39.81	20.7 ± 0.6	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
Ch-8	AOB	临朐角岩山	1.08	3.6221×10^{-11}	23.48	19.2 ± 0.8	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
LXB-7	AOB	临朐鹤鹑山	0.61	1.3313×10^{-11}	45.61	12.5 ± 0.2	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
SQ-4	CN	栖霞大方山采石场	1.67	2.3606×10^{-11}	51.83	8.13 ± 0.37	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
SM-3	AOB	蓬莱大黑山岛	1.14	1.6002×10^{-11}	45.88	8.08 ± 0.16	陈文奇**
SSH-18	BN	平定县浮山	2.25	3.125×10^{-11}	9.84	7.99 ± 0.68	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
SSH-8	AOB	昔阳凤凰山	1.60	2.016×10^{-11}	63.27	7.25 ± 0.25	国家地震局地质所K-Ar年代实验室
HH-2	AOB	鹤壁尧村东南	1.70	1.2752×10^{-11}	55.66	4.32 ± 0.48	国家地震局地质所K-Ar年代实验室