

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2022.05.11

引用格式: 蒙永辉, 于得芹, 王庆兵, 等. 对山东省第四纪史家沟组划分的再认识[J]. 中国地质调查, 2022, 9(5): 97-103.  
(Meng Y H, Yu D Q, Wang Q B, et al. Classification of Shijiagou Formation in Quaternary in Shandong Province[J]. Geological Survey of China, 2022, 9(5): 97-103.)

# 对山东省第四纪史家沟组划分的再认识

蒙永辉<sup>1</sup>, 于得芹<sup>2</sup>, 王庆兵<sup>1</sup>, 王振涛<sup>1</sup>, 杨晓娟<sup>1</sup>

(1. 山东省国土空间生态修复中心, 山东 济南 250014; 2. 山东省地质调查院, 山东 济南 250014)

**摘要:** 史家沟组的时代归属一直存在争议。在系统梳理山东省史家沟组地层划分沿革的基础上, 对蓬莱、长岛和无棣3个地区的11个史家沟组露头剖面进行系统采样, 获取了14个K-Ar年龄和2个ESR年龄, 通过与前人测年数据对比分析, 发现在山东境内仅在无棣碣石山(0.87 Ma)和蓬莱市北沟镇迎口山(1.51 Ma)出露有第四纪更新世玄武岩, 其他测试年龄均为新近纪(9.24~5.02 Ma)。蓬莱和长岛地区的玄武岩地层多属中新世晚期(蓬莱北沟镇迎口山除外)尧山组, 仅有少量属第四纪史家沟组。建议将无棣大山、蓬莱北林院迎口山区域玄武岩划为第四纪, 其他区域出露的第四纪史家沟组划为新近纪。

**关键词:** 史家沟组; 玄武岩; 地层特征; K-Ar测年

**中图分类号:** P **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-8706(2022)05-0097-07

## 0 引言

第四纪史家沟组是全国地层清理工作中厘定的第四纪火山岩层, 以蓬莱城西史家沟村命名<sup>[1-2]</sup>。从20世纪80年代开始, 许多专家学者针对“第四纪玄武岩”的形成年代开展了大量的研究工作, 形成了系列成果<sup>[3-5]</sup>, 但玄武岩的形成时代仍存在一定争议。1984年, 丁梦麟等<sup>[6]</sup>对蓬莱红石山剖面2个玄武岩喷发旋回之间的“黄土烘烤层”进行了热发光年代测定, 其年龄在1.14~0.83 Ma之间, 故将其确定为早更新世末至中更新世; 1985年, 陈道公等<sup>[7]</sup>对蓬莱地区的玄武岩进行了K-Ar测年, 得到的年龄范围为5.70~4.39 Ma, 并将蓬莱火山活动划分为2个旋回及若干个韵律, 在时代上分别为上新世和更新世; 2003年, 宋明春等<sup>[8]</sup>将山东省新生代火山岩分为古近纪沙河街旋回和新近纪牛山旋回、尧山旋回及第四纪史家沟旋回, 其中牛山旋回火山岩的K-Ar年龄为19~16 Ma, 尧山旋回火山岩的K-Ar年龄为12~4 Ma, 史家沟旋回火山岩的年龄为1.03~0.73 Ma。总的

来看, 由于测年方法的差异和采样位置的不同, 蓬莱玄武岩年龄存在明显差异, 需要进一步深入研究。

为系统梳理史家沟组的各项研究成果, 重新厘定地层时代, 有效保护典型地质剖面, 在山东省史家沟组地层出露区系统采集了前人所划史家沟组的样品, 对其进行了K-Ar和ESR测年, 为史家沟组的合理划分提供了同位素年龄依据。

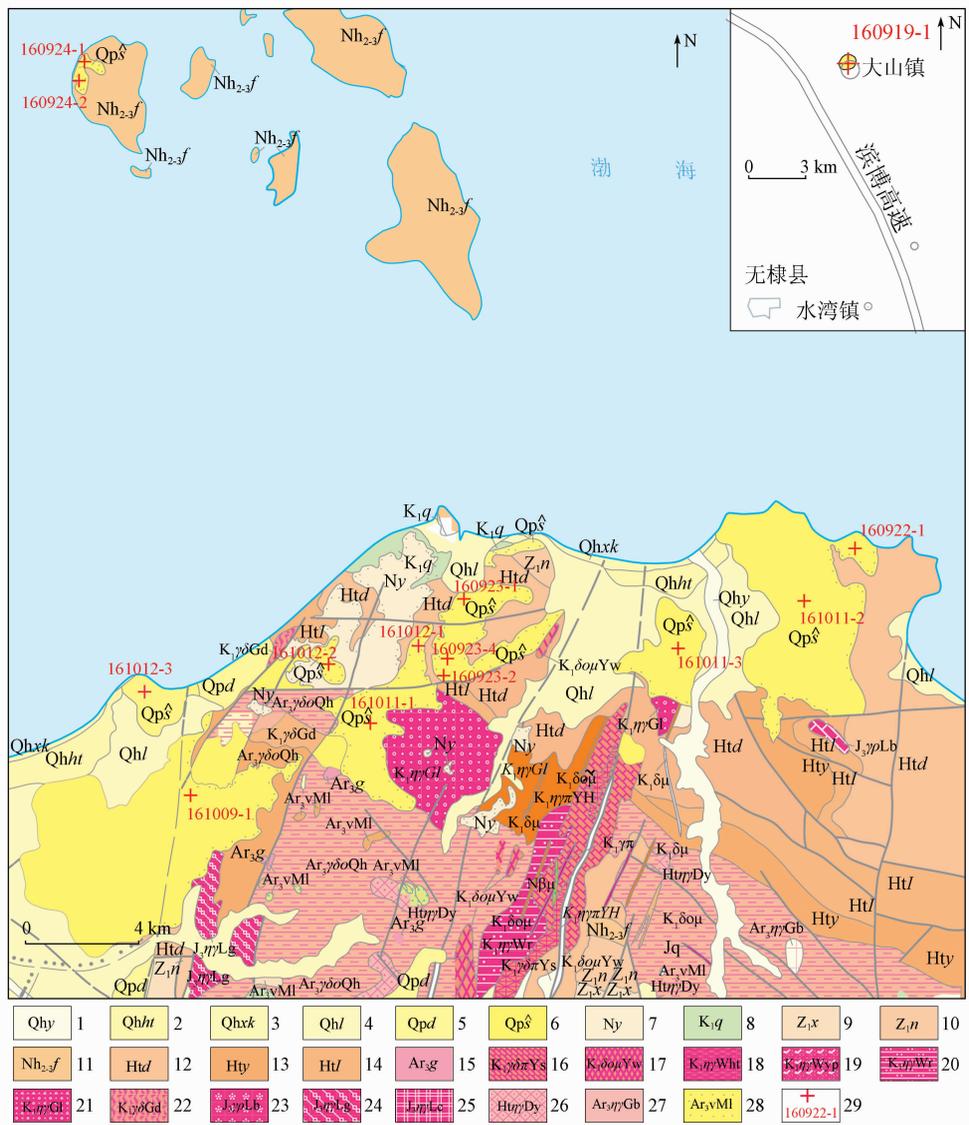
## 1 史家沟组地层及其特征

史家沟组主要分布于山东蓬莱市沿海的北沟镇、史家沟、刘家沟及黄城羊岚一带, 少量分布于长岛的黑山岛、无棣县大山等地(图1)。1958年, 长春地质学院将该组划分为第三系; 1976年, 山东省地质局805队将其划分为新近系, 其后有研究者将该组中的玄武岩归为第四系<sup>[9]</sup>; 1991年, 山东省地质矿产局区域地质调查队在1:20万蓬莱、烟台、砣矶岛幅区域地质调查报告中, 将蓬莱一带的玄武岩称第四纪赤山组<sup>[10]</sup>; 1995年, 在山东省地层清理研究中, 将该组确定为第四纪史家沟组, 创名地点为蓬莱市城西史家沟村<sup>[11]</sup>。

收稿日期: 2021-06-28; 修订日期: 2022-01-26。

基金项目: 中国地质调查局“华北地区重要地质遗迹调查(山东)(编号: DD2017078)”和山东省国土资源厅“山东省重要地质遗迹调查(编号: 鲁财建指[2012]110号)”项目联合资助。

第一作者简介: 蒙永辉(1980—), 男, 正高级工程师, 主要从事地质遗迹保护研究工作。Email: mengyonghui122@126.com。



1. 第四系沂河组; 2. 第四系寒亭组; 3. 第四系旭口组; 4. 第四系临沂组; 5. 第四系大站组; 6. 第四系史家沟组; 7. 新近系尧山组; 8. 白垩系曲格庄组; 9. 震旦系香介组; 10. 震旦系南庄组; 11. 南沙系铺子乔组; 12. 滹沱系陡崖组; 13. 滹沱系野头组; 14. 滹沱系禄格庄组; 15. 新太古界郭家庄岩组; 16. 白垩系花岗闪长斑岩; 17. 白垩系石英闪长玢岩; 18. 白垩系细粒二长花岗岩; 19. 白垩系含斑中细粒二长花岗岩; 20. 白垩系斑状中粗粒二长花岗岩; 21. 白垩系斑状中细粒含黑云二长花岗岩; 22. 白垩系斑状粗中粒含黑云花岗闪长岩; 23. 侏罗系伟晶不等粒花岗岩; 24. 侏罗系中粗粒二长花岗岩; 25. 侏罗系中粒含黑云二长花岗岩; 26. 古元古界细粒含黑云二长花岗岩; 27. 新太古界细粒二长花岗岩; 28. 新太古界中细粒变辉长岩; 29. 采样位置及编号。

图1 研究区地质图

Fig.1 Geological map of research area

史家沟组层型位于蓬莱市上魏家一五里桥剖面。该组的上覆地层为第四系山前组残坡积含砾砂质黏土,下伏地层为新近系临胸群尧山组玄武岩层,该组与上覆和下伏地层均呈角度不整合接触。史家沟组厚 152.7 m,自上而下分为 12 层,主要岩性为橄榄玄武岩、玄武质角砾熔岩夹数层红色风化壳。共有 6 个火山喷溢韵律,厚者达 55 m,薄者仅

1 m,说明火山喷发强度具有差异性。不同地区史家沟组的岩性、岩相、厚度略有差异。在前人的研究中,蓬莱红石山海边剖面红石山玄武岩 K - Ar 年龄为 5.17 ~ 4.39 Ma,蓬莱栾家口玄武岩 K - Ar 年龄为 5.02 ~ 4.25 Ma<sup>[12]</sup>。

在无棣大山一带,史家沟组厚 50 ~ 150 m,向北玄武岩很快变薄至 30 m 左右。在大山剖面的史家

沟组可分为4 大层: 第一层为致密状、粒状霞石质玄武岩,以黑灰色为主,次为紫红、褐灰色; 第二层为灰绿、紫红色气孔状玄武岩; 第三层为暗绿、绿灰色致密块状玄武岩; 第四层为灰绿、紫红色砾状及气孔状玄武岩,由火山弹、火山豆、火山灰组成<sup>[13]</sup>。玄武岩的 K - Ar 同位素年龄为 0.86 ~ 0.84 Ma,处于古地磁松山负极性带中,贾拉米亚时之上,时代为早更新世晚期<sup>[13]</sup>。

## 2 采样及分析方法

### 2.1 样品采集

在蓬莱、长岛和无棣等前人所划史家沟组分布区的 11 个剖面露头系统采集了样品(图 1),重点对出露典型的蓬莱铜井海岸玄武岩剖面(红石山海边玄武岩剖面)进行了详细研究,在该剖面上采集了 2 件砂样和 1 件玄武岩样品(图 2)。该剖面自

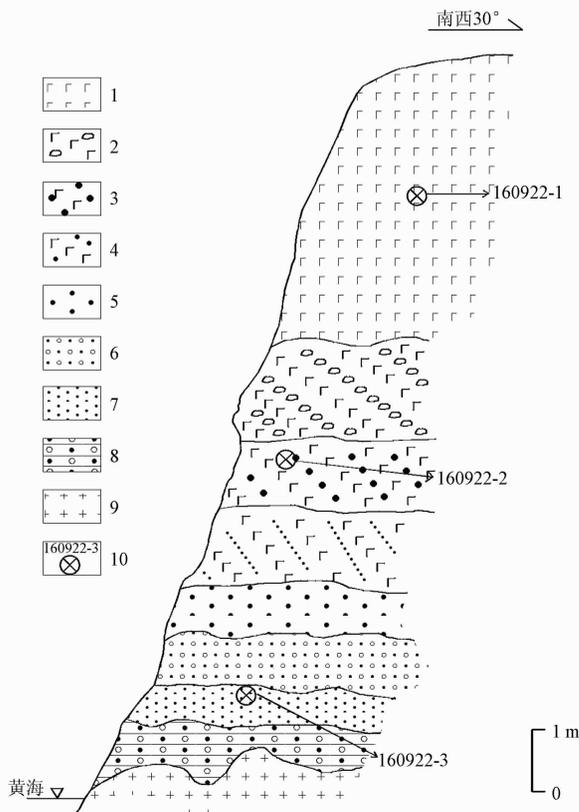
下而上出露有 9 个岩性层,基底为花岗岩,其上依次为砂砾石层、棕黄色细砂夹小砾石层、棕黄色细砂层、土黄色砂层、黄色火山碎屑岩风化壳、肉红色火山碎屑岩风化壳、红 - 棕红色火山碎屑岩风化壳以及玄武岩,其中棕黄色细砂层与上覆的细砂夹小砾石层和下部的砂砾石层分别呈整合接触,为一套完整的山前河流冲洪积 - 湖泊沉积体系。砂砾石层为近源的河流冲洪积物,而后过渡到细砂湖相沉积物,其间所夹砾石层透镜体反映了山前冲洪积物的存在,表明在铜井剖面火山喷发之前处于山前地带,地势相对低洼,发育山区河流和湖泊。

通过对蓬莱地区其他剖面的调查,发现在老的基底上面普遍发育河湖相沉积物。

### 2.2 K - Ar 同位素测年方法

所有样品的 Ar 同位素比值测试均由中国地震局地质研究所实验中心完成。对于原始样品,首先去除玄武岩表皮的风化层,将内部新鲜的岩石样品粉碎至 60 目; 用 1 mol/L 稀硝酸浸泡 1 h,对于气量较大的样品用超声波震荡 5 min,用清水冲洗 3 次,加入 1.7 mol/L 的氢氟酸,在室温条件下侵蚀 5 min,再用清水冲洗 5 次,并浸泡过夜,换水并用超声波震荡 5 min,以除去可能残存的硝酸和氢氟酸,再用去离子水洗净并低温烘干; 最后,将烘干得到的样品用磁选法和镜下挑选法除去早期形成的橄榄石以及辉石斑晶和捕虏晶,以避免过剩氩和继承氩的影响。在 MM1200 质谱仪上采用同位素稀释法测定氩的同位素,<sup>38</sup>Ar 稀释剂纯度优于 99.9%。利用 HG - 5 型火焰光度计或原子吸收光谱测定钾。MM1200 质谱仪与全金属萃取系统及纯化系统连接。萃取系统为内外双真空系统,采用电子轰击炉方式加热,包括圣诞树的内真空系统与纯化系统和质谱仪相连通,外真空系统用于电子轰击加热,利用补偿法精确控制温度,误差为 ±5 °C。

将处理后的样品装入圣诞树形的样品管中,在 250 °C 温度条件下加热去气 12 h 以上。每个样品分别投入装有钨钼锅内衬的钨钼锅中,样品在外真空系统的电子轰击下加热。释放出的气体先通过冷阱除去水与 CO<sub>2</sub>,然后通过钛海绵体去掉其他活性气体,最后通过 Zr - Al 吸气剂做第三级纯化。提纯的惰性气体被导入到 MM1200 质谱仪测量 Ar 同位素,在静态下分别记录<sup>40</sup>Ar、<sup>38</sup>Ar 和<sup>36</sup>Ar 信号,经线性回归计算其初始值,并根据 K - Ar 年龄公式计算出样品年龄。年龄计算中用到的衰变常数及其



1. 玄武岩; 2. 红 - 棕红色火山碎屑岩风化壳; 3. 肉红色火山碎屑岩风化壳; 4. 黄色火山碎屑岩风化壳; 5. 土黄色砂层; 6. 棕黄色细砂夹小砾石层; 7. 棕黄色细砂层; 8. 砂砾石层; 9. 基岩; 10. 采样点位置及编号。

图 2 蓬莱铜井玄武岩剖面

Fig. 2 Basalt section of Penglai Tongjing

他系数为： $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar} = 295.5$ ， $\lambda = 5.543 \times 10^{-10}$ ， $\lambda_{\beta} = 4.962 \times 10^{-10}$ ， $\lambda_e = 0.581 \times 10^{-10}$ ， $^{40}\text{K}/\text{K} = 1.167 \times 10^{-10}$ 。

### 2.3 石英热活化 ESR 测年方法

石英 ESR 测年方法是一种微波吸收技术，用来检测和研究含有未成对电子的顺磁性物质；它也是一种物理现象，是电子自旋能级在外磁场的作用下发生塞曼分裂，同时在外加微波能量的激发下电子从低能级向高能级跃迁的共振现象。首先将样品低温烘干，利用化学方法提纯石英颗粒<sup>[14-15]</sup>，筛取粒径为 105 ~ 200  $\mu\text{m}$  的样品颗粒；分别用 30% 的  $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液浸泡 24 h 去除有机质，用 40% 的 HCl 溶液浸泡 24 h 去除碳酸盐类物质，用 40% 的 HF 溶液浸泡 40 min 去除长石矿物和石英颗粒外部  $\alpha$  辐射贡献的表层部分；蒸馏水洗至中性后低温烘干，用磁选仪去除磁性矿物；然后用多钨酸钠进行重液分离，分选出石英颗粒样品，低温烘干。为了考察此次采集样品的 Ti - Li 心和 Al 心 ESR 信号晒退情况，设计了日晒退实验。

石英 ESR 法测年的前处理和测试均在成都理工大学应用核技术研究所电子自旋共振测年实验室完成。顺磁测定使用德国 ER - 200D - SRC 型电子自旋共振谱仪，测试参数：微波功率 5 mW，微波频率 9.46 GHz，调制频率 100 kHz，调制幅度 0.16 mT；石英 Al 心 ESR 信号的测量位置为其超精细线结构的第 1 个峰的峰顶至第 16 个峰的峰底；石英 Ti - Li 心 ESR 信号的测量位置为  $g = 1.979$  的峰顶至  $g = 1.913$  的峰底。天然放射性

核素含量用 CIT - 3000F 数字化全自动铀钍钾能谱仪测定，微机  $\alpha$  数据采集系统，通过测量样品中的 U、Th、K 含量获得环境剂量率。

张有瑜等<sup>[16]</sup>报道了 K - Ar 同位素测年的可靠性。尽管 ESR 测年受到多种不确定因素的影响，目前的研究表明，该方法测定中生代以来的年龄仍然具有一定的可信度<sup>[17-18]</sup>。

## 3 测试结果

K - Ar 测年结果显示，研究区玄武岩的同位素年龄介于 9.24 ~ 0.87 Ma (表 1)，落入中新世—更新世范围，时间跨度较大。其中，长岛黑山岛地区的玄武岩年龄为 9.24 ~ 7.98 Ma，属中新世托尔托纳期；蓬莱五里桥一带的玄武岩年龄为 6.12 ~ 5.59 Ma，属中新世墨西哥期；蓬莱铜井—史家庄一带的玄武岩年龄为 5.29 ~ 5.05 Ma，属上新世赞克尔期，为新近纪最大规模的玄武岩喷发活动。五里桥一带的玄武岩年龄表明，该区域存在 2 个喷发旋回。第四纪的火山活动较为微弱，无棣大山和蓬莱北林院 2 个样品获得了 0.87 Ma 和 1.51 Ma 的年龄数据，这个结果和前人在该地区的测年数据基本一致，属更新世卡拉布里雅期；但这 2 个年轻岩石样品中  $^{40}\text{Ar}$  所占比例并不高，分别只占 16% 和 12.72%，对测得的年龄可能存在一些影响，本次测试结果还无法准确约束这种年轻岩石的年龄。本次测试结果仅做参考，今后工作中将采用 Rb - Sr 同位素测年，以获取其准确年龄。

表 1 山东省第四纪史家庄组分布区玄武岩 K - Ar 法同位素年龄

Tab.1 K - Ar isotope dating of basalt distributed in Shijiagou Formation of Quaternary in Shandong

样品编号	采样地点	样品名称	$w(\text{K})/\%$	$^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}/(\text{mol} \cdot \text{g}^{-1})$	$^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}/\%$	表面年龄及误差 ( $\pm 1\sigma$ )/Ma
160919 - 1	无棣大山	橄榄玄武岩	2.01	$3.0368 \times 10^{-12}$	16.01	$0.87 \pm 0.04$
160922 - 1	蓬莱铜井	伊丁石化橄榄玄武岩	1.01	$9.2838 \times 10^{-12}$	60.80	$5.29 \pm 0.17$
160923 - 1	蓬莱五里桥	伊丁石化橄榄玄武岩	1.21	$1.0620 \times 10^{-11}$	66.46	$5.05 \pm 0.14$
160923 - 2	蓬莱五里桥	伊丁石化橄榄玄武岩	0.94	$9.9895 \times 10^{-12}$	62.05	$6.12 \pm 0.19$
160923 - 4	蓬莱五里桥	伊丁石化橄榄玄武岩	0.78	$6.7930 \times 10^{-12}$	46.01	$5.08 \pm 0.14$
160924 - 1	黑山岛	橄榄玄武岩	2.11	$3.3914 \times 10^{-11}$	75.05	$9.24 \pm 0.22$
160924 - 2	黑山岛	伊丁石化橄榄玄武岩	0.93	$1.3586 \times 10^{-11}$	57.35	$7.98 \pm 0.28$
161009 - 1	蓬莱北林院	橄榄玄武岩	1.31	$3.4369 \times 10^{-12}$	12.72	$1.51 \pm 0.10$
161011 - 1	蓬莱物流公司	伊丁石化橄榄玄武岩	0.95	$9.8312 \times 10^{-12}$	47.11	$5.96 \pm 0.13$
161011 - 2	蓬莱官庄子	伊丁石化橄榄玄武岩	1.29	$1.0402 \times 10^{-12}$	57.41	$5.59 \pm 0.17$
161011 - 3	蓬莱安香从家	伊丁石化橄榄玄武岩	1.11	$9.1132 \times 10^{-12}$	45.92	$5.70 \pm 0.19$
161012 - 1	蓬莱赤山	伊丁石化橄榄玄武岩	2.73	$2.0361 \times 10^{-11}$	65.13	$5.17 \pm 0.14$
161012 - 2	蓬莱史家庄	伊丁石化橄榄玄武岩	0.96	$6.0943 \times 10^{-12}$	33.36	$5.11 \pm 0.15$
161012 - 3	蓬莱栾家口	伊丁石化橄榄玄武岩	1.63	$8.8319 \times 10^{-12}$	50.08	$5.02 \pm 0.16$

根据实验测量获得的石英 Ti - Li 心 ESR 信号强度,利用指数拟合得到的等效剂量响应曲线,结合样品的环境剂量率,计算出样品年龄。通过 ESR 测年获得了  $(3.50 \pm 0.35)$  Ma 和  $(2.97 \pm 0.25)$  Ma 两个蓬莱地区的湖相沉积物形成年龄(表 2),大致形成时代为新近纪上新世皮亚琴察期。

表 2 石英热活化 ESR 测年实验数据

Tab. 2 Thermal activation and ESR dating of quartz experimental data

样品编号	顺磁中心浓度/ ( $10^{15}$ 自旋 $\cdot$ g $^{-1}$ )	铀当量含量/ ( $\mu$ g $\cdot$ g $^{-1}$ )	$w(\text{U})/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	$w(\text{Th})/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	$w(\text{K})/\%$	年龄/Ma
160922-2	1.147	7.810	$(3.74 \pm 0.35)$	$(12.54 \pm 1.20)$	$(2.56 \pm 0.10)$	$(3.50 \pm 0.35)$
160922-3	2.760	7.230	$(3.46 \pm 0.30)$	$(11.43 \pm 1.40)$	$(2.55 \pm 0.10)$	$(2.97 \pm 0.25)$

## 4 讨论

通过 K - Ar 和 ESR 测年,史家沟组绝大部分的玄武岩形成于新近纪中新世—上新世而非第四纪,期间主要发生了 3 次喷发旋回,年龄分别为 9.24 ~ 7.98 Ma、6.12 ~ 5.59 Ma 和 5.29 ~ 5.05 Ma,形成了较大规模的玄武岩台地,直接覆盖在花岗岩基底之上。进入第四纪更新世,蓬莱地区发生了一定规模的火山活动,但相比于中新世—上新世,喷发规模较小,局限于北林院地区。

在对玄武岩及下伏地层的研究中,应该清楚地认识到野外地质现象,不要把研究第四纪黄土的方法套用到新近纪研究上,这会导致最终研究结果出现偏差。另外,本次研究仅对铜井海边玄武岩剖面下部的湖相沉积物做了 ESR 测年,未做磁化率测试,其形成年龄可能存在一定误差,但不影响上部玄武岩的年龄,建议今后加强该方面的研究工作。

研究成果具有“以点论面”的缺陷。本文的玄武岩测年结果显示,前人对山东的玄武岩做了大量的研究工作,测年结果大多真实可靠,蓬莱地区史家沟组玄武岩的测年结果大多数早于 2.6 Ma,充分说明了蓬莱地区的玄武岩大部分形成于第四纪之前的新近纪,第四纪以来蓬莱地区仅在北林院迎口山附近存在火山喷发活动。根据 K - Ar 测年结果,研究区大面积玄武岩属中新世—更新世,建议将长岛黑山岛、蓬莱五里桥一带和铜井—史家庄一带的玄武岩划为新近纪中新世晚期,将无棣大山、蓬莱北林院迎口山区域玄武岩划为第四纪,并修改蓬莱地区玄武岩下的“烘烤层”的说法<sup>[19]</sup>。

2 种测年结果所得到的玄武岩同位素年龄和湖相沉积物年龄与研究区地层年龄存在明显差异,部分地层年龄产生了倒置,主要原因是由于 ESR 测年受制于样品制备、测试条件、残留信号、累积剂量确定技术等多方面的影响存在误差。因此,本文以 K - Ar 测年结果为准。

## 5 结论

(1) 山东新生代火山岩的主要喷发活动发生在新近纪的中新世和上新世的早、中期(9.24 ~ 5.05 Ma),属陆相喷发性质;新近纪上新世的晚期和第四纪更新世的活动较弱,第四纪更新世火山活动仅发生于无棣大山(0.87 Ma)和蓬莱北林院迎口山(1.51 Ma),因此,山东省新生代火山岩属于典型的中新世喷发。

(2) 建议将山东境内的第四纪史家沟组地层划入新近纪中新世晚期(无棣大山、蓬莱北沟镇迎口山除外),重新分组,并修改蓬莱地区玄武岩下的“烘烤层”的说法。

(3) 本研究尚有不足,表现在第四纪黄土研究方法的讨论、测年误差及“以点论面”的缺陷。

**致谢:** 十分感谢中国地质科学院地质力学研究所赵希涛研究员对该项目野外工作及成文的指导和帮助,同时感谢中国地震局地质研究所和成都理工大学应用核技术研究所对样品分析测试所付出的大量心血。

## 参考文献(References):

- [1] 张守信. 中国岩石地层对比研究——清理中国岩石地层单位[J]. 中国区域地质, 1992, 11(3): 193 - 202.  
Zhang S X. Lithostratigraphic correlation research in China: Clearing Chinese lithostratigraphic units[J]. Reg Geol China, 1992, 11(3): 193 - 202.
- [2] 全国地层委员会. 中国地层指南及中国地层指南说明书(2016年版)[M]. 北京:地质出版社, 2016: 3 - 15.

- All China Commission of Stratigraphy. Stratigraphic Guide of China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2016: 3-15.
- [3] 国际地层委员会. 国际年代地层表(2020 中文版)[M]. 张宁, 译. 武汉: 武汉地铁集团, 2020: 5-7.
- International Commission on Stratigraphy. International Chronostratigraphic Chart (2020 Chinese)[M]. Zhang N, trans. Wuhan: Wuhan Metro Group, 2020: 5-7.
- [4] 山东省区域地层表编写组. 华东地区区域地层表·山东省分册[M]. 北京: 地质出版社, 1978: 62-64.
- Regional Stratigraphic Writing Group in Shandong Province. East China Regional Stratigraphic Table: Shandong Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1978: 62-64.
- [5] 陈晋龛, 武铁山, 张鹏远, 等. 华北区区域地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997: 65-80.
- Chen J L, Wu T S, Zhang P Y, et al. North China Regional Stratigraphy[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997: 65-80.
- [6] 丁梦麟, 裴静娴. 山东蓬莱等地第四纪玄武岩的热发光年龄[J]. 地质科学, 1984(1): 103-107.
- Ding M L, Pei J X. Age dating by thermoluminescence for quaternary basalts in Penglai and other place, Shandong[J]. Sci Geol Sin, 1984(1): 103-107.
- [7] 陈道公, 彭子成. 山东新生代火山岩 K-Ar 年龄和 Pb-Sr 同位素特征[J]. 地球化学, 1985, 12(4): 293-303.
- Chen D G, Peng Z C. K-Ar ages and Pb, Sr isotopic characteristics of Cenozoic volcanic rocks in Shandong, China[J]. Geochimica, 1985, 12(4): 293-303.
- [8] 宋明春, 王沛, 梁邦启, 等. 山东省区域地质[M]. 济南: 山东地图出版社, 2003: 111-127.
- Song M C, Wang P, Liang B Q, et al. Regional Geology of Shandong Province[M]. Jinan: Shandong Map Publishing House, 2003: 111-127.
- [9] 张增奇, 刘明渭, 宋志勇, 等. 山东省岩石地层[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1996: 180-187.
- Zhang Z Q, Liu M W, Song Z Y, et al. Stratigraphy (Lithostratigraphic) of Shandong Province[M]. Beijing: China University of Geosciences Press, 1996: 180-187.
- [10] 山东省地质矿产局. 山东省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991: 142-145.
- Geology and Mineral Resources Bureau of Shandong Province. Regional Geology of Shandong Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991: 142-145.
- [11] 张增奇, 刘书才, 杜圣贤, 等. 山东省地层划分对比厘定意见[J]. 山东国土资源, 2011, 27(9): 1-9.
- Zhang Z Q, Liu S C, Du S X, et al. Determination opinions on stratigraphic division and correlation in Shandong Province[J]. Shandong Land Resour, 2011, 27(9): 1-9.
- [12] 金隆裕. 郯庐断裂带中段新生代火山岩的 K-Ar 年龄值和分期[J]. 地质论评, 1985, 31(4): 309-315.
- Jin L Y. K-Ar ages of cenozoic volcanic rocks in the middle segment of the Tancheng-Lujiang fault zone and stages of related volcanic activity[J]. Geol Rev, 1985, 31(4): 309-315.
- [13] 罗丹, 陈立辉, 曾罡. 陆内强碱性火山岩的成因: 以山东无棣大山霞石岩为例[J]. 岩石学报, 2009, 25(2): 311-319.
- Luo D, Chen L H, Zeng G. Genesis of intra-continental strongly alkaline volcanic rocks: A case study of Dashan nephelinites in Wudi, Shandong Province, North China[J]. Acta Petrol Sin, 2009, 25(2): 311-319.
- [14] Carboni F, Viola G, Aldega L, et al. K-Ar fault gouge dating of Neogene thrusting: The case of the siliciclastic deposits of the Trasimeno Tectonic Wedge (Northern Apennines, Italy)[J]. Ital J Geosci, 2020, 139(2): 300-308.
- [15] Meng J, Lhuillier F, Wang C S, et al. Paleomagnetism of paleocene-maastrichtian (60~70 Ma) lava flows from Tian Shan (Central Asia): Directional analysis and paleointensities[J]. J Geophys Res Solid Earth, 2020, 125(9): e2019JB018631.
- [16] 张有瑜, 陶士振, 刘可禹, 等. 四川盆地须家河组致密砂岩气自生伊利石年龄分布与成藏时代[J]. 石油学报, 2015, 36(11): 1367-1379.
- Zhang Y Y, Tao S Z, Liu K Y, et al. Authigenic illite age and hydrocarbon accumulation time in Xujiahe formation sandstone reservoirs (Upper Triassic), Sichuan Basin[J]. Acta Petrol Sin, 2015, 36(11): 1367-1379.
- [17] 杨坤光, 梁兴中, 谢建磊, 等. ESR 定年: 一种确定脆性断层活动年龄的方法原理与应用[J]. 地球科学进展, 2006, 21(4): 430-435.
- Yang K G, Liang X Z, Xie J L, et al. ESR dating, the principle and application of a method to determine active ages of brittle faults[J]. Adv Earth Sci, 2006, 21(4): 430-435.
- [18] 王集宁, 蒙永辉, 颜堂, 等. 山东蓬莱史家庄西山火山碎屑岩风化壳元素地球化学特征[J]. 地球学报, 2018, 39(4): 498-512.
- Wang J N, Meng Y H, Yan T, et al. The geochemical characteristics of the weathering crust originating from volcanoclastic rock in Xishan of Shijiazou, Penglai, Shandong Province[J]. Acta Geosci Sin, 2018, 39(4): 498-512.
- [19] 李文朋, 刘春茹, 尹功明, 等. 高温烘烤作用对石英电子自旋共振信号特征的影响——以大同火山烘烤层为例[J]. 地球环境学报, 2018, 9(6): 599-606.
- Li W P, Liu C R, Yin G M, et al. Effect of high temperature baking on characteristics of quartz electron spin resonance (ESR) signal: Taking Datong volcanic baking layer as an example[J]. J Earth Environ, 2018, 9(6): 599-606.

## Classification of Shijiagou Formation in Quaternary in Shandong Province

MENG Yonghui<sup>1</sup>, YU Deqin<sup>2</sup>, WANG Qingbing<sup>1</sup>, WANG Zhentao<sup>1</sup>, YANG Xiaojuan<sup>1</sup>

(1. *Shandong National Land Space Ecological Restoration Center, Shandong Jinan 250014, China;*

2. *Shandong Institute of Geological Survey, Shandong Jinan 250014, China*)

**Abstract:** The chronological age of Shijiagou Formation is always controversial. On the basis of systematical summary of the stratigraphic division of Shijiagou Formation in Shandong Province, the authors in this paper have systematically sampled 11 profile outcrops of Shijiagou Formation in Penglai, Changdao and Wudi, and obtained 14 K - Ar ages and 2 ESR ages. Through the comparative analysis with previous dating data, it is found that Quaternary Pleistocene basalt is only exposed in Jieshi Mountain (0.87 Ma) in Wudi and Yingkou Mountain (1.51 Ma) in Beigou Town, Penglai City in Shandong, while other test ages are Neogene (9.24 ~ 5.02 Ma). The basalt strata in Penglai and Changdao areas mostly belong to the Yaoshan Formation in the Late Miocene (except for Yingkou Mountain in Beigou Town of Penglai City), while only a few belong to the Quaternary Shijiagou Formation. It is suggested that the basalt in Wudi Mountain and Yingkou Mountain of Beilinyuan in Penglai should be classified as Quaternary, and the Quaternary Shijiagou Formation exposed in other areas should be classified as Neogene.

**Keywords:** Shijiagou Formation; basalt; stratigraphic characteristics; K - Ar age

(责任编辑: 沈效群)