

评介 Smith 等的热河群⁴⁰Ar-³⁹Ar 同位素测年结果¹⁾

金 帆

(中国科学院古脊椎动物与古人类研究所 北京 100044)

摘要 对 Smith 等 1995 年热河群⁴⁰Ar-³⁹Ar 同位素测年工作的背景以及各样品的采样地点、层位与测年目的等作了补充介绍。由于 Smith 等的论文中将 3 组后期火山岩的测年结果分别误解为义县组下部与上部地层的同位素年龄,因而整体上混淆了义县组不同层位的测年结果。Smith 等 1995 年发表的 6 组样品的测年数据实际上至少代表了 4 个与热河群义县组相关层位的⁴⁰Ar-³⁹Ar 同位素年龄: 122.9 ± 0.3Ma(凌源大新房子沉积层下伏火山岩)、122.1 ± 0.2~122.5 ± 0.3Ma(凌源二十里堡沉积层)、121.5 ± 0.9~121.6 ± 0.5Ma(义县金刚山沉积层上覆火山角砾岩)、120.8 ± 0.4~121.4 ± 0.7Ma(后期火山岩)。

关键词 辽宁西部,热河群,⁴⁰Ar-³⁹Ar 同位素测年

中图法分类号 P533

Smith 等于 1995 年在“Canadian Journal of Earth Sciences”上发表了我国东北地区热河群的同位素测年结果,这是首批正式报道的有关热河群年代的激光⁴⁰Ar-³⁹Ar 法测年数据,对确定热河生物群的生存时代具有重要的意义。然而,由于 Smith 等的论文中对当时研究工作的背景、采样地点和层位、以及各样品的测年目的等未能交代清楚,甚至误将一些后期火山岩的测年数据作为义县组上下岩段的年龄,从而造成了不少的误解和混乱。为了这批测年数据的准确引用,笔者认为仍有必要对 Smith 等的测年结果作一补充介绍和评述。

1 研究背景

自 1990 年开始,中国科学院古脊椎动物与古人类研究所辽西队在辽宁西部地区展开了以热河脊椎动物群及其地层为主的综合研究工作。当年秋季即在朝阳波罗赤发现了丰富的中生代鸟类化石(Zhou et al., 1992);但是,辽西地区广泛分布的火山岩却对地层的划分和对比造成了极大的困难。为了准确地建立各盆地的地层发育序列和不同盆地之间的地层对比关系,首先必须了解各期火山活动的时间及空间分布情况。

大致在同一时期,加拿大自然博物馆的 D. Russell 等完成了蒙古晚中生代脊椎动物

1) 中国科学院资源与生态环境研究“九五”重大项目(编号:KZ951-B1-410)和中国科学院创新工程重大项目(编号:KZCX3-J-03)资助。

收稿日期:2000-11-28

化石的系统调查研究 (Jerzykiewicz and Russell, 1991)。结果发现蒙古最早与欧洲和北美相关类群具有明显亲缘关系的蜥蜴、恐龙和哺乳动物等化石记录恰与阿普第阶的开始相吻合 (大约 125Ma 以前; 以 Harland et al., 1989 的地质年表为依据), 而较老地层中发现的鱼类、鸚鵡嘴龙类和蜥脚类恐龙则未见于亚洲以外的地区。据此, Russell (1991) 认为中亚的陆生动物群从生物地理上曾与其他地区隔绝了大约 50Ma。然而, 由于蒙古晚中生代已知的脊椎动物化石相对稀少且通常很不完整, Russell 等为了验证并进一步完善其新认识, 提出希望与我国科学家共同研究化石极为丰富的热河动物群。

基于相近的目标, 古脊椎所与加拿大自然博物馆于 1992 年签署了合作研究热河动物群的协议。双方期望利用同位素测年、古地磁和孢粉资料, 确立热河群中脊椎动物化石演变序列的年代框架。Smith 等的论文即为该项合作研究中有关同位素测年的部分成果。

2 采样地点、层位及测年目的

1992 年秋季, 中加双方的科研人员考察了辽宁凌源、朝阳、喀左、建昌、北票、义县、阜新、黑山 8 个市县 31 个地点的中生代地层, 同时系统采集了同位素测年和孢粉分析样品。当时有关热河群各岩组的火山岩测年样品共采集了 10 组; Smith 等的论文中发表了其中 5 组与义县组有关的火山岩样品的测年结果, 并包括了 1 组义县组湖相沉积层海绿石粒的测年数据 (Smith et al., 1995: Table 1), 以期首先确立热河群的时代下限。

表1 Smith等1995年论文中热河群6组同位素测年样品的采样地点和层位

Table 1 Localities and horizons of the radiometric samples of the Jehol Group in the paper of Smith et al. (1995)

样品编号 Mumber	测年样品 Sample	采样地点 Locality	采样层位 Horizon	测年结果 Preferred age	
Sample 5	辉绿岩 Diabase	义县金刚山 Jingangshan of Yixian	侵入义县组金刚山含化石沉积层下伏火山岩中的次生岩体 Epigenetic intrusives 100m below the Jingangshan Bed of Yixian Formation	121.0±0.3Ma 120.9±0.4Ma 120.8±0.4Ma	
	Sample 10	玄武岩 Basalt	义县邹家沟 Zoujiagou of Yixian	覆于义县组含化石沉积层顶部的火山岩 Basalt overlying the fossil-bearing beds of Yixian Formation	121.3±2.3Ma 121.4±0.7Ma
		Sample 4	玄武岩 Basalt	北票尖山沟 Jianshangou of Beipiao	覆于义县组尖山沟含化石沉积层顶部的火山岩 Basalt overlying the Jianshangou Bed of Yixian Formation
Sample 6	火山角砾岩 Volcanic breccia	义县金刚山 Jingangshan of Yixian	义县组金刚山含化石沉积层上覆的火山角砾岩 Volcanic breccias of the Yixian Formation 10 m above the Jingangshan Bed	121.5±0.9Ma 121.6±0.5Ma	
	海绿石粒 Glaucony	凌源二十里堡 Ershilipu of Lingyuan	义县组二十里堡含化石沉积层 Ershilipu Bed of the Yixian Formation	122.1±0.2Ma 122.5±0.3Ma	
	Sample 2	安山岩 Andesite	凌源大新房子 Daxinfangzi of Lingyuan	义县组大新房子含化石沉积层下伏的火山岩 Volcanics underlying the Daxinfangzi Bed of Yixian Formation	122.9±0.3Ma

本文表 1 所示的即为 Smith 等已发表的 6 组样品的采样地点、层位及测年结果。这 6 组样品的测年数据实际上至少代表了 4 个与义县组有关层位的同位素年龄。由于 Smith 等对其中 3 组样品所代表的层位以及测年目的的理解有误,因而整体上混淆了义县组不同层位的测年结果。

Smith 等的论文中解释有误的 3 组岩样是样品 4、10、5。这 3 组样品的测年结果被分别误解为义县组下部和上部层位的同位素年龄 (Smith et al., 1995: 1427~1428 页)。

样品 4 和 10 分别采自北票市上园镇炒米甸子村尖山沟和义县头台乡河夹心村邹家沟。前者的具体层位是义县组尖山沟含化石沉积层顶部的黑色致密火山岩 (剖面参见陈丕基等, 1980: 图 3A; 汪筱林等, 1998: 图 3); 后者的层位是覆于义县组另一含化石沉积层顶部的火山岩, 这一沉积层可能相当于义县组“大康堡层”或“砖城子层” (参见陈丕基等, 1980: 图 1; 王五力等, 1989: 图 14)。笔者在中加合作课题开展以前, 已在辽西多个地点观察到由义县组沉积层或九佛堂组地层构成的山坡高地顶部常覆有致密块状的黑色熔岩 (如北票尖山沟、义县团山子), 且这些呈帽状分布于山顶的基性火山岩与其上覆地层的接触关系均难以追索。对此笔者怀疑有两种可能: 一是在义县组和九佛堂组沉积期间或沉积之后, 曾有另一期或多期以基性岩为特征的火山活动; 二是帽状火山岩下伏的地层为大致同期的沉积。为了澄清疑虑, 笔者建议采集了 3 组帽状熔岩的测年样品 (样品 4 和 10 以及未发表的样品 7)。遗憾的是采自义县团山子覆于九佛堂组地层之上的熔岩样品 7 有氩丢失的迹象, 其测年结果并不理想, 因而整体上仍难以判定这些帽状熔岩的先后关系, 进而也影响到对下伏正常沉积层之间对比关系的判断。Smith 等发表的样品 4 和 10 的同位素年龄几乎相同 (表 1), 这至少表明北票尖山沟和义县邹家沟两地义县组含化石沉积层顶部的火山岩很可能是相近时期甚至为同期火山活动的产物。但是, 这两个样品的测年结果显然不能作为义县组下部和上部地层的年龄。

样品 5 和 6 采自著名的义县金刚山含化石沉积层标准剖面上下的火山岩 (剖面参见陈丕基等, 1980: 图 2; 王五力等, 1989: 图 14)。采集这两个样品的目的首先是为了确定义县组金刚山沉积层的时代; 同时也希望结合样品 3 (采自喀左九佛堂组标准剖面下伏义县组火山岩的顶部) 和样品 8 (采自义县张老公屯覆盖于义县杨柳屯含煤地层之上的火山岩) 的测年数据, 从年代地层方面有助于解决辽西东西部盆地之间义县组和九佛堂组地层对比以及义县杨柳屯含煤地层归属等问题。热河群的义县组和九佛堂组分别命名于辽西东部的义县和西部的喀左, 两者的关系一般认为是上下关系。然而, 通常划归于这两个岩组的地层在东西部盆地中明显错位不协调, 从岩石和生物地层对比而言, 辽西东部义县组的金刚山层与上覆的黄花山层应相当于西部九佛堂组的下部地层 (参见金帆, 1996)。此外, 辽西有关义县组之后火山岩的层位以及相当于义县杨柳屯含煤地层的归属长期以来一直存在不同的认识 (参见常征路等, 1999), 确定义县组上部火山岩和层位无疑的义县张老公屯火山岩的年龄, 进而依据两者之间的年代间隔, 将有助于统一对这两个问题的不同认识。可惜因采样问题, 样品 3 和 8 的测年结果均不理想, 只能有待今后进一步工作。

样品 5 的测年结果出乎最初的意料, 其同位素年龄反而小于金刚山含化石沉积层上覆火山角砾岩样品 6 的年龄, 而与前述的样品 4 和 10 的测年结果更为接近。为此, 笔者于 1997 年随同“中国北方侏罗系划分对比研究”课题组再次考察了样品 5 的采样地点和层位, 发现该样品实际上采自义县金刚山和枣茨山一带极为发育的次生侵入岩体。因此, 样

品 5 与样品 4 和 10 的测年结果均反映了后期火山岩的年龄,而不能作为确定金刚山沉积层时代的依据。

Smith 等 1995 年论文中的其余 2 组样品分别采自凌源市小城子乡大新房子和宋杖子乡二十里堡。样品 2 的采样层位是义县组大新房子含化石沉积层下伏的火山岩,具体位于大新房子鱼化石保护碑北北东方向 960m 处(剖面参见陈丕基等, 1980: 52~53 页);海绿石粒的样品采自义县组二十里堡含戴氏狼鳍鱼和刘氏原白鲟等化石的沉积层(剖面参见任东等, 1995: 图 2-2)。这两组样品与样品 6 的测年结果较为准确地反映了义县组大新房子沉积层下伏火山岩、二十里堡沉积层及金刚山沉积层上覆火山角砾岩三个层位的同位素年龄(表 1)。

3 Smith 等测年结果的评述

Smith 等的测年结果首次提供了至少 4 个与热河群义县组相关层位的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄: $122.9 \pm 0.3\text{Ma}$ (凌源大新房子沉积层下伏火山岩)、 $122.1 \pm 0.2 \sim 122.5 \pm 0.3\text{Ma}$ (凌源二十里堡沉积层)、 $121.5 \pm 0.9 \sim 121.6 \pm 0.5\text{Ma}$ (义县金刚山沉积层上覆火山角砾岩,即黄花山层)、 $120.8 \pm 0.4 \sim 121.4 \pm 0.7\text{Ma}$ (后期火山岩)。这批测年数据对热河群的地层划分、对比与时代确定,确立热河生物群部分组合序列的年代框架,以及准确理解近年来发现的许多重要古生物化石的意义等均有一定的参考价值。此外,Smith 等的论文中还探索性地测定了湖相沉积海绿石粒的年龄,为缺乏火山物质的陆相地层的直接测年和米兰柯维奇旋回的标定,进而展开高分辨率旋回地层学与事件地层学等的研究提供了可能,也为我们今后的工作提供了有益的启示。

然而,由于三个方面的原因,影响了 Smith 等测年结果的精度和准确度。首先,采样时虽然极力避免采集受到后期热事件影响的样品,但对已有风化迹象的样品注意不够。第二方面的原因可能是 Smith 等测年时用于计年的标准问题(参见 Swisher et al., 1999)。最后一个影响测年结果的原因是论文地质方面内容主要撰写人的主观意识,当从中国有关学者处得知义县组尖山沟沉积层中已发现被子植物化石,原始测年结果中一些较老的数据均被认为偏老(如样品 2 的原始数据是 $125.4 \pm 0.2\text{Ma}$),从而客观上影响了 Smith 等测年专家对初步结果的最后校正。

致谢 张弥曼院士、王元青和周忠和研究员、汪筱林博士审阅了本文初稿,并提出了宝贵的修改意见,诚致谢意。

REVIEW OF THE ^{40}Ar - ^{39}Ar DATES OF THE JEHOLO GROUP BY SMITH ET AL.

JIN Fan

(*Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences Beijing 100044*)

Key words Western Liaoning, Jehol Group, ^{40}Ar - ^{39}Ar isotopic dating

Abstract

The dates reported by Smith et al. in 1995 are the first ^{40}Ar - ^{39}Ar ages for the Jehol Group in western Liaoning, Northeast China, which provide a considerably improved age calibration of the lowermost Yixian Formation of the Jehol Group, and indicate that the whole group was deposited entirely within the Early Cretaceous time. However, because Smith et al.'s report mistook the dates of three epigenetic igneous rock samples as the ages of the upper and lower parts of the Yixian Formation, respectively (samples 5, 10, 4), the isotopic dating results, as a whole, are perplexing and have been greatly misunderstood since they were published in 1995. In fact, those dates for the Jehol Group by Smith et al. represent the ^{40}Ar - ^{39}Ar ages of at least four horizons: $122.9 \pm 0.3\text{Ma}$ (volcanics underlying the Daxinfangzi Bed of the Yixian Formation), $122.1 \pm 0.2 \sim 122.5 \pm 0.3\text{Ma}$ (Ershilipu Bed of the Yixian Formation), $121.5 \pm 0.9 \sim 121.6 \pm 0.5\text{Ma}$ (volcanic breccias above the Jingangshan Bed of the Yixian Formation), $120.8 \pm 0.4 \sim 121.4 \pm 0.7\text{Ma}$ (epigenetic igneous rocks overlying or intruding into the Yixian Formation).

References

- Chang Z L (常征路), Wang Y Q (王元青), Wang X L (王筱林), 1999. Stratigraphic sequence of the Late Mesozoic in Fuxin Basin, western Liaoning. In: Wang Y Q (王元青), Deng T (邓涛) eds. Proceedings of the Seventh Annual Meeting of the Chinese Society of Vertebrate Paleontology. Beijing: China Ocean Press. 13~26(in Chinese with English abstract)
- Chen P J (陈丕基), Wen S X (文世宣), Zhou Z Y (周志炎) et al., 1980. Studies on the Late Mesozoic continental formations of western Liaoning. Bull Nanjing Inst Geol Paleontol, Acad Sin(中国科学院南京地质古生物研究所丛刊), 1: 22~55(in Chinese)
- Harland W B, Armstrong R L, Cox A V et al., 1989. A geological time scale 1989. Cambridge: Cambridge University Press.
- Jerzykiewicz T, Russell D A, 1991. Late Mesozoic stratigraphy and vertebrates of the Gobi Basin. Cret Res, 12: 345~377
- Jin F (金帆), 1996. New advances in the Late Mesozoic stratigraphic research of western Liaoning, China. Vert Palasiat (古脊椎动物学报), 34(2): 102~122(in Chinese with English abstract)
- Ren D (任东), Lu L W (卢立伍), Guo Z G (郭子光) et al., 1995. Faunae and stratigraphy of Jurassic-Cretaceous

- in Beijing and the adjacent areas. Beijing: Seismological Press. 1~222 (in Chinese with English summary)
- Russell D A, 1991. The biogeographic affinities of North American dinosaurs. *Contr Paleontol Mus, Univ Oslo*, **364**:57~58
- Smith P E, Evensen N M, York D et al., 1995. Dates and rates in ancient lakes: ^{40}Ar - ^{39}Ar evidence for an Early Cretaceous age for the Jehol Group, northeast China. *Can J Earth Sci*, **32**:1426~1431
- Swisher III C C, Wang Y Q, Wang X L et al., 1999. Cretaceous age for the feathered dinosaurs of Liaoning, China. *Nature*, **400**:58~61
- Wang W L(王五力), Zheng S L(郑少林), Zhang L J(张立君) et al., 1989. Mesozoic stratigraphy and palaeontology of western Liaoning, China, part 1. Beijing: Geological Publishing House. 1~168 (in Chinese with English abstract)
- Wang X L(王筱林), Wang Y Q(王元青), Wang Y(王原) et al., 1998. Stratigraphic sequence and vertebrate-bearing beds of the lower part of the Yixian Formation in Sihetun and neighboring area, western Liaoning, China. *Vert Palasiat(古脊椎动物学报)*, **36**(2):81~101 (in Chinese with English summary)
- Zhou Z H, Jin F, Zhang J Y, 1992. Preliminary report on a Mesozoic bird from Liaoning, China. *Chin Sci Bull*, **37**:1365~1368