

汉中天坑群发现的东方剑齿象化石及其地质时代

李兴文^{1,2}, 胡义¹, 唐力¹, 郭岐明¹

(1. 陕西省地质调查院, 陕西 西安 710068; 2. 国际地貌学家协会延安、西安科学考察与研究基地, 陕西 西安 710054)

[摘要] 本文对汉中天坑群天星岩竖井中发现的剑齿象化石进行了初步研究, 通过形态特征对比认为其可归为东方剑齿象 (*Stegodon orientalis*), 化石是由地表流水将剑齿象遗骸分解后的骨骼带入竖井中而形成的。综合对东方剑齿象的生存时代、化石赋存层位的岩性特征和时代以及天星岩竖井的形成时代等方面的分析结果, 认为天星岩竖井中东方剑齿象化石的地质时代为晚更新世, 可能为晚更新世晚期。天星岩竖井中东方剑齿象化石的发现对于研究汉中天坑群地区岩溶地貌的形成时代、第四纪时期古气候环境具有重要意义。

[关键词] 汉中天坑群; 天星岩竖井; 东方剑齿象; 地质时代; 晚更新世

[中图分类号] P534.63; Q911.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-5943(2021)-01-0029-06

汉中天坑群位于我国北纬 32°~33°湿润热带—亚热带岩溶地貌区的最北界, 是世界上迄今为止发育数量最多、规模最大的天坑群, 被中国国家地理杂志誉为“二十一世纪世界地理大发现”, 具有极其重要的科学价值和景观价值(苟润祥等, 2018; 洪增林等, 2018)。从 2016 年开始, 陕西省地质调查院广泛开展国内、国际合作, 对汉中天坑群的天星岩地下洞穴系统进行了调查。中外科考团队通过地下潜水、橡皮艇漂流、洞穴单绳等方法共进行了 6 次详细探测, 实际探测洞穴系统总长度达到 9 300 m, 成为汉中天坑群目前已探明的长度最长、面积最大的洞穴系统。2018 年 11 月, 在对汉中天坑群进行的第五次中国-捷克联合科考活动中, 中外科考人员在天星岩竖井中发现了剑齿象等化石材料。2019 年 3 月, 在同一地点又发现了一批化石。这是继 20 世纪 60 年代和 80 年代之后(薛祥煦, 1960; 李有恒, 1962; 汤英俊等, 1987), 在汉中市再次发现剑齿象类化石, 也是首次在汉中天坑群的竖井中发现该类动物化石。

本文对 2019 年在汉中天坑群天星岩竖井发

现的剑齿象化石进行了描述, 根据形态特征和测量数据确定了其分类位置, 并分析了化石来源。通过综合分析东方剑齿象的生存时代、化石赋存的地层时代以及天星岩竖井的形成时代, 对剑齿象化石的地质时代进行了初步推断。通过对天星岩竖井中剑齿象化石的研究, 能够为探讨汉中天坑群地区岩溶地貌形成的地质时代、古气候环境背景提供古生物学方面的资料。

1 天星岩竖井的剑齿象化石

1.1 地质概况

汉中市位于陕西省西南部, 地理坐标介于东经 105°30'30"~108°24'37", 北纬 32°15'15"~33°56'37", 总面积 27 246 km²。汉中天坑群集中分布在汉中市南部的镇巴县、西乡县、南郑区、宁强县, 其在地质构造上处于华南板块—扬子陆块北缘, 地层区划上属于华南地层大区—扬子地层区, 位于我国重要的地质、地理和气候分界线(带)——秦岭

[收稿日期] 2020-06-24 **[修回日期]** 2020-11-15

[基金项目] 中国地质调查局全国重要古生物化石调查与保护监测示范项目(DD20190601); 陕西省重点研发计划项目(2017ZDXM-SF-27-1)。

[作者简介] 李兴文(1987—), 男, 河南焦作人, 工程师, 理学博士, 主要从事地质遗迹调查评价及古生物学与地层学研究。E-mail: didalixingwen@163.com。

的南侧(图1)。汉中市境内广泛出露的、巨厚的二叠纪、三叠纪海相碳酸盐岩沉积地层,为汉中天坑群的天坑、竖井、漏斗、溶洞等岩溶地貌发育提供了物质基础。汉中天坑群的岩溶地貌主要分布于汉中市下辖的宁强县禅家岩镇、南郑区小南海镇、西乡县骆家坝镇、镇巴县三元镇等四个区域。二叠系是汉中天坑群最为重要的岩溶地貌成景地层,目前汉中地区所发现的天坑、大多数溶洞和其它岩溶地质遗迹均发育在该层位,由早到晚有下二叠统梁山组(P_{1l})、中二叠统阳新组(P_{2y})和上二叠统吴家坪组(P_{3w})、大隆组(P_{3dl})。本区二叠系是华南板块-扬子陆块北缘晚古生代以来最早的沉积地层。

天星岩竖井在行政区划上位于汉中市南郑区小南海镇干河沟村,为本区规模较大、形态较为完整的竖井,在自然地貌单元上处于汉江南岸大巴山西段的米仓山地区,中心点坐标为:107°00'11.78"E,32°49'01.68"N,井口海拔为932 m(图1,图2)。天星岩竖井发育在上二叠统吴家坪组(P_{3w})

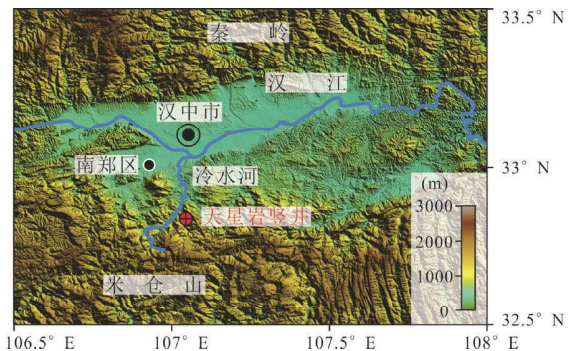


图1 汉中南郑小南海天星岩竖井的地理位置

Fig. 1 Geographical location of Tianxingyan cenote in Nanzheng, Hanzhong

灰黑色中层状灰岩中,在剖面上呈直桶状,四周岩壁陡峭呈绝壁状,完好无缺。井口形态呈近正圆状,深82 m,开口面积1 891 m²,开口规模50 m×46 m,坑底面积近似等于开口面积(图2)。竖井除西侧为一小块平地,其余部分植被茂盛不易向下观察。天星岩竖井南西约30 m处,发育于小型落水洞,干河沟地表河流由此转入地下伏流。

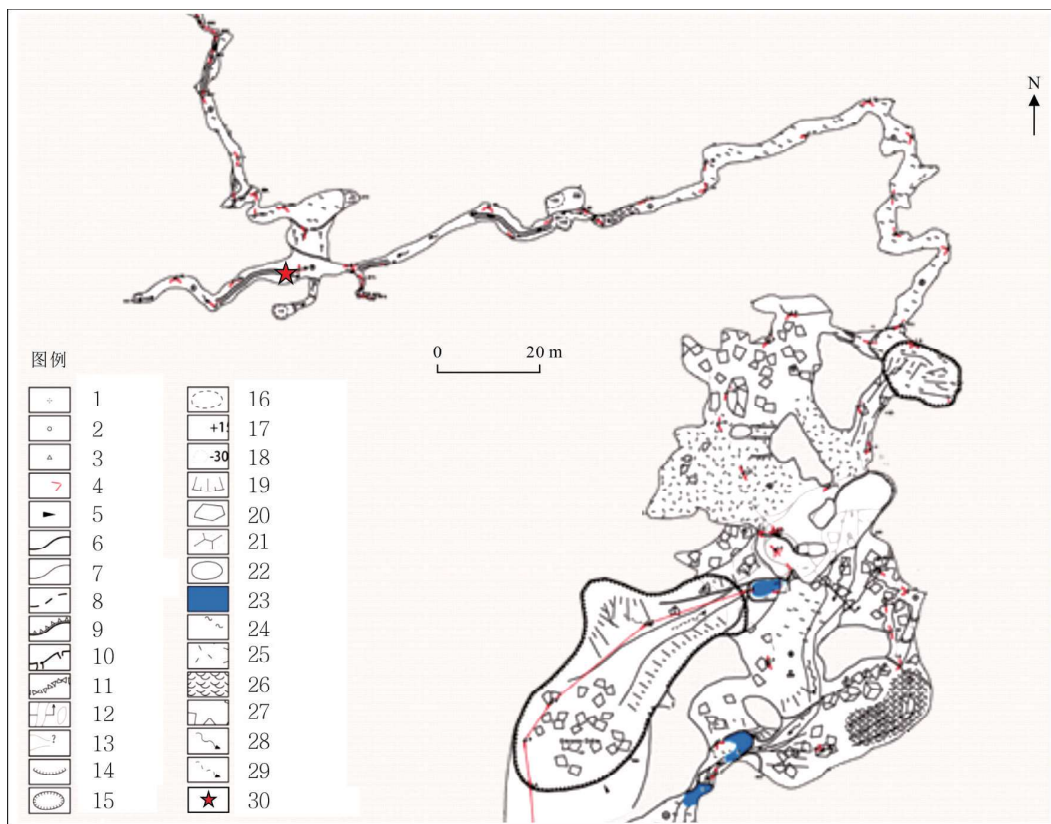


图2 天星岩竖井地下洞穴系统的平剖面图以及化石发现位置

Fig. 2 The horizontal section of the underground cave system of Tianxingyan cenote and location of fossils

1—临时测点;2—自然测点;3—固定测点;4—测线;5—洞口;6—洞壁;7—未测量洞壁;8—推测洞壁;9—洞口陡壁;10—块石;11—碎石;12—断面;13—可能延伸;14—陡坎;15—竖井;16—天井;17—天井高度;18—竖井深度;19—斜坡;20—块石边;21—块石棱;22—边界;23—水体;24—粘土;25—碎屑;26—流石;27—块石;28—流水;29—间歇性流水;30—化石发现位置

天星岩竖井的地下河系统起源于九重台瀑布上游,从上游段至中游段的地表径流长度约 1.6 km,在迷水洞入水口转为地下潜流,继续向北西方向流经约 1.8 km 后由白水洞(海拔 607 m)流出,汇入地表的冷水河。冷水河是汉江南岸的一条重要支流,自南向北流经南郑区的小南海镇、牟家坝镇、胡家营镇,最后在大河坎镇新岳坝附近汇入汉江。

1.2 化石记述

天星岩竖井中发现的化石材料,数量和种类不多,较为破碎,但具有重要的意义。经过对这批化石材料的初步整理和观察,总体情况如下:

(1)化石材料中以剑齿象类的牙齿数量居多,保存状况也较好。根据化石的保存状况、形态及

齿冠面磨蚀程度等特征推断 2018 年和 2019 年发现的材料应属于同一个体。其余化石材料均为动物肢骨的断块,保存不完整,难于鉴定;

(2)在一部分化石上,粘结有黄色钙质板粗砂和细砾,代表了该地点化石保存层位的岩性特征。标本均以已石化,比重较大,灰黑色,可能因为长期受到地下水冲刷,与其中铁锰质成分的附着有关,其特征与第四纪(更新世)以后的现代的、尚未石化的动物骨骼截然不同。

以下是对 2019 年在天星岩竖井中采集到的剑齿象化石的记述:

剑齿象科 *Stegodontidae* Young-Hopwood, 1935
 剑齿象属 *Stegodon* Falconer & Cautley, 1847
 东方剑齿象 *Stegodon orientalis* Owen, 1870

(图 3)

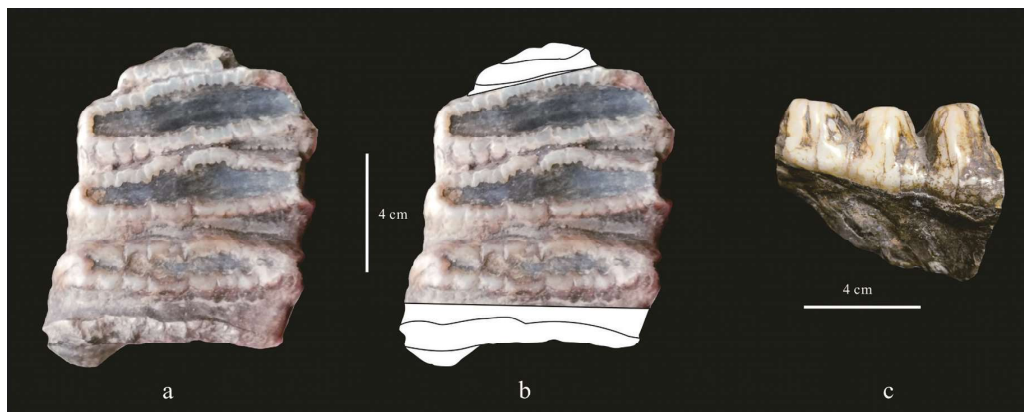


图 3 2019 年汉中南郑天星岩竖井中发现的剑齿象化石

Fig. 3 *Stegodon* tooth from Tianxingyan cenote in Nanzheng, Hanzhong in 2019

图 a、图 b 分别为取样前、后的左下第二臼齿(m²),冠面;图 c 为取样后的左下第二臼齿(m²),颊侧

材料 一枚残缺不全的左下第二臼齿(m²),仅保留有 5 个齿脊(为了绝对年代测试,取样后剩 3 个齿脊,前端可能有 1-2 个齿脊未能保存)。

描述 臼齿上可辨认出的齿脊数有 5 个,第 1 齿脊的前半段和后半段大部、第 2、第 3 齿脊的舌侧边缘缺损,第 4 齿脊保存基本完整,第 5 齿脊仅保留有前半段的根部。冠面轮廓呈弯曲的矩形,舌侧凸出,颊侧内凹。齿脊冠面的磨蚀程度较深,冠面舌侧的齿脊相比颊侧的磨蚀程度深。齿脊的颊—舌径较为稳定。齿冠保存长度约 80 mm,最大宽约为 85 mm,高度约为 40 mm,齿脊频率约为 3.7。齿脊釉质层较薄,厚度约为 3 mm(齿脊磨蚀面上测得),表面几乎无白垩质覆盖,有较强的褶皱。第 1 齿脊仅保留有后半段的中部,与第 2 齿脊之间几乎无白垩质充填;第 2、3 齿脊的磨蚀程

度接近,齿质全部暴露,大釉质环已形成,釉质环前后边基本平行,两个齿脊之间有白垩质充填;第 4 齿脊的齿质呈串珠状暴露,但齿脊中段的齿质暴露较多,整个齿冠尚未形成打通的釉质环,齿脊前后都有白垩质充填;第 5 齿脊仅保留有前半段的根部,没有釉质层保存。从颊侧看,齿冠低,冠面微凹,齿脊之间的齿谷呈“V”字形,谷底白垩质发育,越靠后,齿脊谷的白垩质充填量越多。颊侧齿带较为发育。

比较与讨论 依据臼齿齿冠低、齿脊频率低、齿脊釉质层薄等特征,天星岩竖井发现的化石材料应归入剑齿象属。中国发现的剑齿象化石材料可并归为三个形态种:师氏剑齿象(*Stegodon zdanskyi* Hopwood, 1935),类象剑齿象(*Stegodon elephantoides* Clift, 1828)和东方剑齿象(*Stegodon ori-*

entalis Owen, 1870), 三者在个体大小、齿脊数目、齿脊乳突数目、齿脊频率、齿脊宽度、釉质层厚度及其褶皱、中沟、白垩质等方面都有显著区别(表1)(宗冠福, 1995)。由于保存原因, 天星岩竖井中发现的剑齿象臼齿破损较为严重, 但仍保留了

可供鉴定的重要特征。本次发现的剑齿象臼齿可辨别出如下特征: 齿脊频率为 3.7、齿脊釉质层厚度为 3 mm、齿脊釉质层褶皱强烈、齿脊谷白垩质充填量丰富等, 上述特征和测量数据完全符合东方剑齿象的鉴定特征, 因此可归入该种。

表 1 中国常见三种剑齿象的臼齿形态区别(引自宗冠福, 1995)

Table 1 Comparative morphological characteristics of three species of *Stegodon* in China

	师氏剑齿象	类象剑齿象	东方剑齿象
个体大小	大	中等	中-小
齿脊数目	M2:5, M3:7-8	M2:6, M3:9-10	M2:8, M3:10-13
齿脊乳突数目	≤9	10	≥10
齿脊频率	2-3	3-3.5	3.5-4
齿脊宽度	宽>高	宽~高	宽<高
釉质层厚度	6~5 mm	4~3 mm	3 mm
釉质层褶皱	弱	强	很强
中沟	存在在前面脊上	存在第一脊上	存在第一脊上
白垩质	少	多	很多

1.3 化石来源

哺乳动物化石出现在洞穴中, 主要是有 4 条途径: (1) 动物在寻食, 奔跑中不慎跌落洞中; (2) 动物在地表死后遗骸分解, 流水将各种动物遗体带入洞中; (3) 动物(主要为食肉类的鬣狗和啮齿类的豪猪的聚骨作用) 将动物骨骼携带入洞; (4) 古人类将动物作为猎获物带入洞中。对于天星岩竖井中化石的来源, 可以试做如下分析:

首先, 从天星岩竖井的自然状况来说, 化石发现于天星岩竖井底部侧壁上发育的洞穴深处的地下河两岸。从天星岩竖井外部进入到化石发现地点, 需要由井口位置顺岩壁借助 SRT (Single Rope Technique, 单绳技术) 下降 80 余米至底部, 进入底部岩壁上发育的既窄且深、蜿蜒曲折的洞穴中, 最终才能抵达至发现化石的地点。为了搜寻更多的化石和查明化石的来源, 我们在洞内沿地下河往上游行进, 但是由于洞穴坍塌而无法前行, 由此可知化石是发现在远离地表的一个封闭空间中。如此之深的洞穴绝不适合古人类和各种动物生活, 因此可以排除化石通过第(3)、(4)条途径进入天星岩竖井的可能。

其次, 天星岩竖井发现的化石包括了零散的牙齿和碎骨。其中的牙齿仅限于剑齿象, 通过对牙齿大小、形态特征、保存状况和齿冠面的磨蚀程度分析, 推断其应属于同一个体。其余的化石全为动物的肢骨, 而且其大小和保存的身体部位均

不匹配, 几乎每块化石都代表了不同的动物个体。如果是动物不慎落入洞中的话, 其身体各个部位的化石都会有保存, 特别是对于剑齿象这类个体很大的动物, 但是目前发现的剑齿象化石除了牙齿之外并没其他部位骨骼的保存。此外, 化石标本断口处的棱角不突出, 磨圆度较高, 而且所有化石标本的长度、大小基本一致, 表面有冲磨的痕迹, 这说明了这批化石经过了流水长距离搬运和长时间冲刷, 流水在将动物遗体带入洞中的过程中进行了分选, 往往会把动物骨骼冲散, 使得动物体的各部位只有少量能保存下来, 属于异地埋藏。因此也可以排除化石通过第(1)条途径进入洞穴中的可能。

因此, 通过排除法我们可知第(1)、(3)、(4)条途径均无法解释该动物群化石保存的一些特征, 只有第(2)条途径能够很好地解释天星岩竖井中化石的来源。

2 天星岩竖井东方剑齿象化石的地质时代

对于天星岩竖井中东方剑齿象化石地质时代的推断, 可以尝试从东方剑齿象的生存时代、化石赋存地层的时代以及天星岩竖井的形成时代等方面来加以分析。

2.1 东方剑齿象的生存时代

东方剑齿象是我国华南地区大熊猫-剑齿象动

物群的主要成员(黄万波,1979)。已有的研究表明,东方剑齿象最早出现于早更新世,但那时发现数量少;中-晚更新世是它们的极盛时期,在此期间广泛分布于我国南方;更新世晚期及全新世,由于气候环境的急剧变化,东方剑齿象退缩到长江以南及南亚岛屿,为了适应环境,其个体变得更小(宗冠福,1995),直到全新世早中期在我国南方的洞穴堆积物中还有发现(马安成,1992)。如前所述,东方剑齿象只是存在于中-晚更新世的广布种,而非“标准化石”,在地层划分和时代确定上不具有指示意义。因此,对于天星岩竖井中发现的东方剑齿象化石,只能初步确定其时代不早于中更新世。

2.2 化石赋存地层的时代

天星岩竖井内的洞穴堆积物有两种类型:一类是已固结的石灰华和角砾石灰岩;另一类是由泥沙和细砾组成的松散堆积物,在其上胶结有厚度不足1 cm的钙板。前者分布于洞壁附近和砂砾层的底部;后者则分布于地下河周围和围岩裂隙中。天星岩竖井中发现的化石主要产自洞内地下河两侧阶地上未胶结的灰黄色泥沙层之上的钙板中,少部分在地下河中发现的化石,推测也是因流水冲刷致使保存有化石的钙板层坍塌后落入水中的。黄万波(2000)对中国第四纪洞穴与裂隙堆积地层的时序和岩性特征进行了归纳总结,其中对于上更新统的岩性特征描述为:堆积物灰黄,土质松软,“钙板”多出现在堆积物的顶部。天星岩竖井中的化石发现在灰黄色松散砂砾堆积物之上胶结的钙板层,其岩性特征与上述黄万波(2000)对中国洞穴上更新统的总结描述完全相符,故其时代为晚更新世。化石既然是发现于上更新统顶部,其时代也应为晚更新世晚期。

2.3 天星岩竖井的形成时代

对南郑小南海地区大佛洞和罗汉洞的地下河冲积层中的石英砾石进行宇宙成因核素 $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ 埋藏年龄测定,获得其埋藏年龄分别为 $1.07\pm 0.71\text{ Ma}$ 和 $1.51\pm 0.88\text{ Ma}$,表明南郑小南海一带岩溶区在早更新世已发育岩溶洞穴(陈清敏等,2018a,b)。根据对这两个洞穴的岩层走向和沉积物特征的研究,位于冷水河上游大佛洞内的沉积物来源来自于冷水河下游地区,这说明直到早更新世晚期冷水河尚未形成。同时,结合大佛洞和罗汉洞 $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ 埋藏年龄的测试结果,表明冷水河是中

更新世以后形成的。天星岩竖井内的地下河作为冷水河地下支流,其形成时代必然要晚于冷水河的形成时代,这也说明了天星岩竖井的形成时代要在中更新世之后。

天星岩竖井是由地面的外源水在可溶性岩层的包气带中,从地表沿岩层的裂隙向地下深处经逐步冲蚀、溶蚀而成。地表水的物理冲蚀作用(凿井效应)与地下水的溶蚀与输出功能相辅相成,共同促进了天星岩竖井的形成和发展。野外试验研究表明,外源水对灰岩的溶蚀速率为 $1\ 000\text{ mm/ka}$ (刘再华,2000)。天星岩竖井发育在二叠系吴家坪组(P_3w)灰黑色中层状灰岩中,深度为82 m。按“将今论古”的方法,计算可知天星岩竖井早在82 ka前就开始形成,考虑到本地区湿热多雨的气候环境、重力崩塌作用和构造运动的影响,天星岩竖井实际开始形成的时代要晚于82 ka。

朱学稳和陈伟海(2006)通过研究认为中国南方天坑发育的地质年代均是自晚更新世以来,其最早不超过12.6万年。竖井作为与天坑形态近似的岩溶负地形,其开口规模远小于天坑,可视为天坑最终形成之前的一种过渡类型,故其形成时代要晚于天坑形成的地质年代。据此,我们认为天星岩竖井的形成时代为晚更新世。

综合以上三个方面的分析,我们可以初步认为汉中天星岩竖井中东方剑齿象化石的地质时代为晚更新世,极可能为晚更新世晚期。当然,此结果尚有待于对洞穴堆积物、化石本身及其表面碳酸盐岩包裹物进行绝对年龄的测定来加以验证。

3 讨论

(1)天星岩竖井发现的象类牙齿化石依据其齿冠低、齿脊频率低、齿脊釉质层薄等特征,与东方剑齿象的鉴定特征是符合的,可归入该种。结合洞穴的自然条件和化石的保存状况,推断是地表流水将动物死后散落的遗骸带入竖井中并保存下来的。通过综合分析,初步认为在天星岩竖井中发现的东方剑齿象可能生活在晚更新世晚期,此结论有待绝对测年结果的验证。

(2)东方剑齿象属于典型的热带—亚热带森林型动物,其齿冠较低,以嫩叶和嫩枝为食,适合生活在树林茂密、水体较多的自然环境下(同号文,2007),这反映了当时汉中地区是以森林为主,

气候温热、潮湿多雨的亚热带气候环境。亚洲象 (*Elephas maximus*) 在中更新世晚期开始繁盛, 与东方剑齿象在我国南方地区长期共存(同号文等, 2018; Ma et al, 2019)。现在中国的亚洲象在自然环境下仅分布在北回归线(23°26' N)以南的云南省西双版纳地区, 地处热带北部边缘, 属热带季雨林气候。据此, 可以推断汉中地区东方剑齿象在晚更新世的出现, 可能指示了当时的气候比现在更加湿热。

(3) 现有的研究资料表明, 在喀斯特岩溶地貌发育的我国南方地区, 在洞穴堆积物中发现了数量众多的旧石器时代遗址, 其时代跨度从早更新世延伸至晚更新世, 出土有丰富的古人类、巨猿、各种动物化石和古人类文化遗物等(黄万波, 1979, 1986, 2000)。汉中市气候温暖湿润, 降水丰富, 生态系统复杂, 二叠纪石灰岩地层广泛出露, 洞穴、裂隙等喀斯特岩溶地貌十分发育, 这些优越的自然条件有利于古人类和各种动物的生存(王社江和鹿化煜, 2014)。洞穴不仅为古人类和各种动物提供了遮风避雨、抵御侵扰的场所, 也具备了保存古人类遗址和动物化石的绝佳条件。对汉中天坑群岩溶洞穴的调查尚处在起步阶段, 其在古生物学研究方面的巨大潜力有待进一步发掘。

致谢: 野外工作过程中, 得到汉中市天汉救援队(杪智勇、李辉、余欣、唐利军)及陕西曙光救援队(单勇、刘强、李瑞子)的大力支持和帮助, 作者在此一并表示衷心的感谢。

[参 考 文 献]

陈清敏, 王喆, 张丽, 等. 2018a. 汉中罗汉洞宇宙成因核素 ²⁶Al/¹⁰Be埋藏年龄 [J]. 第四纪研究, 38(3): 688-694.
 陈清敏, 张丽, 王喆, 等. 2018b. 汉中大佛洞宇宙成因核素

²⁶Al/¹⁰Be埋藏年龄 [J]. 地球环境学报, 9(1): 38-44.
 苟润祥, 罗乾周, 张俊良, 等. 2018. 汉中天坑群的发现及价值 [J]. 地质通报, 37(1): 165.
 洪增林, 薛旭平, 李新林. 2018. 陕西汉中天坑群研究的系统方法思考 [J]. 地球科学与环境学报, 40(6): 787-793.
 黄万波. 1979. 华南洞穴动物群的性质和时代 [J]. 古脊椎动物与古人类, 17(4): 327-343.
 黄万波. 1986. 三峡地区喀斯特洞穴及动物群 [J]. 地理研究, 5(4): 78-85.
 黄万波. 2000. 中国的洞穴与裂隙堆积 [J]. 第四纪研究, 20(2): 155-164.
 李有恒. 1962. 汉水上游哺乳类化石的新线索 [J]. 古脊椎动物与古人类, 6(3): 280-290.
 刘再华. 2000. 外源水对灰岩和白云岩的侵蚀速率野外试验研究——以桂林尧山为例 [J]. 中国岩溶, 19(1): 1-4.
 马安成, 汤虎良. 1992. 浙江金华全新世大熊猫—剑齿象动物群的发现及其意义 [J]. 古脊椎动物学报, 30(4): 295-312.
 汤英俊, 宗冠福, 雷遇鲁, 等. 1987. 陕西汉中上新世哺乳类化石发现及其地层意义 [J]. 古脊椎动物学报, 25(3): 222-235.
 同号文. 2007. 第四纪以来中国北方出现过的喜暖动物及其古环境意义 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 37(7): 922-933.
 同号文, 邓里, 陈曦, 等. 2018. 江西萍乡上栗杨家湾洞晚更新世长鼻类化石: 兼论东方剑齿象—亚洲象组合 [J]. 古脊椎动物学报, 56(4): 306-326.
 王社江, 鹿化煜. 2014. 秦岭南麓汉水上游旧石器考古研究现状与契机 [J]. 人类学学报, 33(3): 315-328.
 薛祥煦. 1960. 陕西省几个第四纪哺乳动物化石新产地 [J]. 古脊椎动物与古人类, 2(2): 179-182.
 朱学稳, 陈伟海. 2006. 中国的喀斯特天坑 [J]. 中国岩溶, 25(增刊): 7-24.
 宗冠福. 1995. 中国的剑齿象化石新材料及剑齿象系统分类的回顾 [J]. 古脊椎动物学报, 33(3): 216-230.
 MA Jiao, WANG Yuan, JIN Changzhu, et al. 2019. Ecological Flexibility and Differential Survival of Pleistocene *Stegodon orientalis* and *Elephas maximus* in Mainland Southeast Asia Revealed by Stable Isotope (C, O) Analysis [J]. Quaternary Science Reviews, 212: 33-44.

***Stegodon orientalis* Fossil Discovered in Hanzhong Tiankeng Group and Its Geological Age**

LI Xing-wen^{1, 2}, HU Yi¹, TANG Li¹, GUO Qi-ming¹

(1. Shaanxi Institute of Geological Survey, Xi'an 710068, China; 2. Yan'an & Xi'an Scientific Investigation and Research Base of IAG, Xi'an 710054, China)

[Abstract] The *Stegodon* fossil found in Tianxingyan cenote of Hanzhong Tiankeng group is described in this paper. Based on morphological comparison and measured data, it can be attributed to *Stegodon orientalis*.

(下 转 第 70 页)

大的矿产可进一步研究其综合利用的经济性及可行性。

[参考文献]

邓毅, 郭晓芳, 龙建喜. 2013. 贵州出露的基性火山岩地球化学基本特征及其岩浆源区地幔类型[J]. 中华民居(下旬刊), No. 68(01):233-234.

陆国章. 2012. 贵州威宁县黄泥坡峨眉山玄武岩铜矿产出特征及

成矿规律浅析[J]. 化工矿产地质, v. 34(02):77-84.

刘胜召. 2018. 贵州西北部铌钽矿的赋存特征及潜力分析研究[D]. 贵州大学.

贵州省国土资源勘测规划研究院. 2018. 贵州省玄武岩分布特征与开发利用方向研究报告[R].

孙军. 2018. 黔西南晴隆沙子独立钽矿床成矿过程研究[D]. 贵州大学.

肖宪国. 2005. 贵州威宁铜厂河铜矿地质特征及成矿预测研究[D]. 中南大学.

Geochemical Characteristics and Relative Mineralization Analysis of Basalt in Western Guizhou

RAN Wen-rui¹, RONG Da-juan², YE Chun³, HUANG Yi³

(1. Institute of land resources survey and planning of Guizhou province, Guiyang, 550001, Guizhou, China;
2. Lante Fanglue Quality and Safety Technical Consulting Service Co. LTD of Guizhou Guiyang
550001, Guizhou, China; 3. Bureau of land and mineral resources reserves of
Guizhou Province, Guiyang 550001, Guizhou, China)

[Abstract] The basalt in Guizhou is the product of craton chasmic stage-Permian orogenic period, with Marine eruption and continental eruption is given priority to, through the sample analysis, it is concluded that the geochemical characteristics of basalt in Guizhou, chemical composition is given priority to with SiO₂, chemical composition because of different levels have different sampling area, most of the samples drawing experiment is successful. The analysis data of rare earth elements indicate that the basalt of the sample belongs to the enrichment type of light rare earth, and the experiment of trace elements shows the abnormality of compatible elements Cr, Co, Ni and incompatible elements V, Mn and Ti, as well as the reason for the occurrence of extra high value of Cu. The metallogenic process is analyzed by enrichment of metallogenic elements in the samples, and it provides a means to search for mineral resources in the next step.

[Key Words] Western Guizhou; Basalt; Geochemical characteristics; Mineralization.

(上接第 34 页)

Moreover, the fossil source is preliminary studied and analyzed. Based on the analysis of the survival age of *Stegodon orientalis*, the lithological characteristics of fossil-bearing beds and the formation age of Tianxingyan cenote, the geological age of *Stegodon orientalis* found in Tianxingyan cenote is inferred and it is preliminarily believed that it may have lived in the late Late Pleistocene. The discovery of *Stegodon* fossils in Tianxingyan cenote will provide important paleontological data for the study of the formation age of karst landform and Quaternary paleoclimate, paleoenvironment in Hanzhong Tiankeng group area.

[Key Words] Hanzhong Tiankeng group; Tianxingyan cenote; *Stegodon orientalis*; geological age; Late Pleistocene