

# 滇中禄劝地区下寒武统筇竹寺组化石的发现及其意义

刘军平<sup>1,2,3,4</sup>, 姚卫华<sup>5</sup>, 宛胜<sup>6</sup>, 李维科<sup>1,3,4</sup>, 何世军<sup>7</sup>, 赵江泰<sup>1,3,4</sup>,  
陈棵<sup>1,3,4</sup>, 魏思礼<sup>1,3,4</sup>

1. 云南省地质调查院, 昆明 650216
2. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083
3. 自然资源部三江成矿作用及资源勘查利用重点实验室, 昆明 650051
4. 云南省三江成矿作用及资源勘查利用重点实验室, 昆明 650051
5. 中山大学地球科学与工程学院, 广州 510275
6. 江西省地质调查院基础地质调查所, 南昌 330030
7. 中国冶金地质总局第二地质调查院, 福州 350108

**摘要** 【目的】为发现下寒武统筇竹寺组可与澄江生物群对比的化石产地, 区域地层对比和进一步揭示早寒武世生物的生命演化提供重要的古生物化石依据。【方法】以下寒武统筇竹寺组石岩头段下黑层深灰色粉砂质页岩发育的宏体生物化石为研究对象, 开展了精细剖面调查、化石鉴定、电子探针、扫描电镜、XRF 测试等分析, 以此探讨新发现的宏体生物化石的地质意义。【结果】大新山化石类型主要有朵氏小昆明虫(*Kunmingella douvillei*)、虫迹(未定种)、锥管螺(*Conotheca* sp.)、帽天山虫(*Maotianshania* sp.)、澄江顾脱贝(*Kutorgina chengjiangensis*)、鳃虾(*Branchiocaris* sp.)、古虫(*Vetulicola* sp.)、始莱德利基虫(*Eoredlichia* sp.)及豆牙类化石(未知种)。但在普德一带同一层位发现了疑似骨骼生物的化石。通过 XRF 扫描显示, 化石含较高浓度的 Ca、Cr、P, 与围岩成分明显不同(Fe、S、Ti), Ca、P 是骨骼化石主要组成元素。【结论与展望】大新山—普德一带化石不仅保存完整、较为丰富, 个体较大、种类多样, 赋存层位露头好, 交通便利, 且化石层位相对“澄江生物群”赋存层位要低, 具有较好的研究意义和科普价值, 也有望在云南禄劝地区建立第二个早寒武世生物群: 大新山—普德生物群。为研究早寒武世生物活动规律、范围、复苏、古环境演化及地层区域对比提供了重要的古生物化石研究素材。

**关键词** 澄江生物群; 骨骼化石; 下寒武统; 筇竹寺组; 禄劝地区

**第一作者简介** 刘军平, 男, 1983 年出生, 博士研究生, 正高级工程师, 早期生命演化及前寒武纪地层, E-mail: 271090834@qq.com

**通信作者** 宛胜, 男, 高级工程师, 区域地质与矿产地质调查, E-mail: 214879248@qq.com

中图分类号 文献标志码 A

## 0 引言

收稿日期: 2023-11-16; 收修改稿日期: 2024-03-03

基金项目: 云南省科学技术厅项目(202305AD160031, 202401AT070012); 云南省自然资源厅项目(D201905, D202207); 云南省古生物化石开发保护调查项目(53000021000000021416) [Foundation: Yunnan Provincial Department of Science and Technology Project, No. 202305AD160031, 202401AT070012; Yunnan Provincial Department of Natural Resources Project, No. D201905, D202207; Yunnan Province Paleontological Fossil Development and Protection Survey Project, No. 53000021000000021416]

众所周知,澄江生物群产于云南下寒武统筇竹寺组玉案山段粉砂质页岩,是距今 5.3 亿年前古生物化石群,目前发现了 40 多个门类的 80 余种动物,是地球早期生物复苏重要的研究对象<sup>[1-8]</sup>,目前仅澄江一带下寒武统筇竹寺组化石研究较为系统详细,研究成果较为丰富,但澄江外围研究程度较低,甚至没有发现与澄江生物群可对比的产地。由此,新发现或发掘下寒武统筇竹寺组化石产地对进一步研究地球早期生物演化、古环境有重要意义。

2019 年以来,笔者等对云南禄劝大新山—普德地区下寒武统筇竹寺组黑色岩系中化石、关键战略性矿产进行了调查评价<sup>①②</sup>。精细剖面显示,禄劝大新山地区下寒武统筇竹寺组石岩头段下黑层深灰色粉砂质页岩发现大量似“澄江生物群”的宏体生物化石,但相对“澄江生物群”赋存层位要低。本次的发现有助于:(1)了解早寒武世生物活动的规律、范围及复苏;(2)充实早寒武世生物化石库;(3)有望在云南禄劝地区建立第二个寒武纪化石群:大新山—普德生物群,具有较好科普及地层学意义。

## 1 区域背景

研究区大地构造位置位于扬子陆块区(VI)之上扬子古陆块(VI-2)的楚雄陆内盆地(VI-2-12)和康滇基底断隆带(VI-2-11)两个三级构造单元的接壤地段,地层区划隶属华南地层大区扬子地层区(VI<sub>4</sub>)的康滇地层分区(VI<sub>4</sub><sup>2</sup>)之昆明地层小区(VI<sub>4</sub><sup>2-2</sup>) (图1a)<sup>[9-10]</sup>。

研究区出露地层有震旦系灯影组(Zdy),寒武系渔户村组(Є<sub>1y</sub>)、筇竹寺组(Є<sub>1q</sub>)、沧浪铺组(Є<sub>1c</sub>)、龙王庙组(Є<sub>1l</sub>),二叠系阳新组(P<sub>2y</sub>)、峨眉山组(Pe),三叠系舍资组(T<sub>3s</sub>)及侏罗系地层(J<sub>1-2</sub>);震旦系与寒武系之间均为整合接触,阳新组(P<sub>2y</sub>)与峨眉山组(Pe)呈喷发不整合接触,舍资组(T<sub>3s</sub>)角度不整合覆盖于筇竹寺组(Є<sub>1q</sub>)之上,舍资组(T<sub>3s</sub>)与侏罗系地层(J<sub>1-2</sub>)为整合接触(图1b)。在普德一带发育第四系(Q)<sup>[11-12]</sup>。本次研究的下寒武统筇竹寺组根据岩石组合特征,可划分为两个岩性段(图1c):石岩头段岩性主要为深灰色炭质粉砂质页岩、粉砂岩(图1f),夹灰黑色厚层块状含炭质细砂岩、岩屑砂岩(图1e),可见椭圆形铁胆石,呈层状产出;玉案山段岩性主要为土黄色薄层状粉砂岩、灰绿色薄层状粉砂质泥岩、深灰色粉砂质页岩(图1d),偶夹黄绿色细砂岩,为“澄江生物群”赋存层位<sup>[13-20]</sup>。研究区内底部与渔户村组白云岩(图1g)为整合接触,顶部与沧浪铺组整合接触。

①云南省地质调查院. 云南省 1:5 万撒马基幅、因民幅、贵城幅、舒姑幅成果报告. 2021.

②云南省地质调查院. 云南省古生物化石开发保护调查成果报告. 2022.

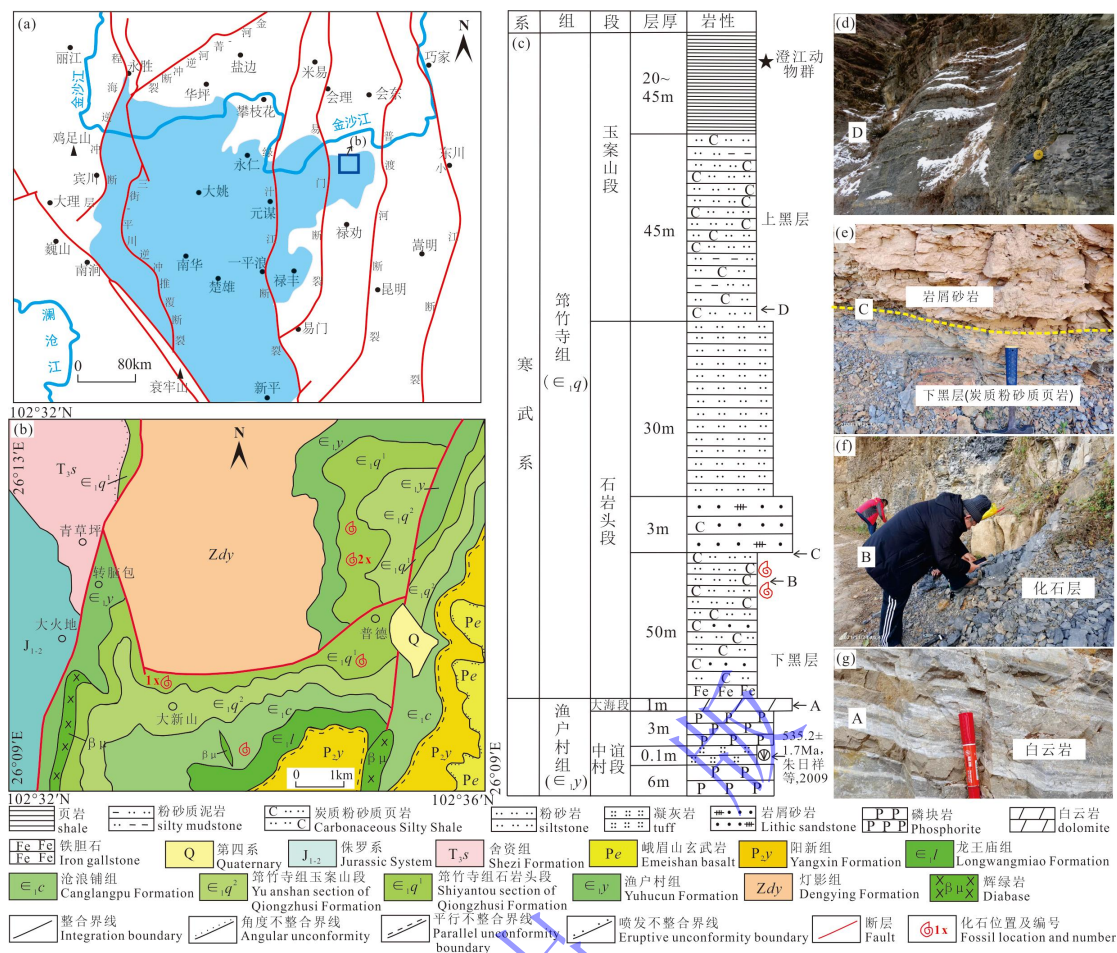


图 1 研究区的大地构造位置图 (a) 及地质简图 (b)  
Fig.1 Geotectonic location (a) and simplified geological maps (b) of the study area

## 2 研究方法

本次采用 1:1000 地质剖面测量、薄片和化石鉴定、电子探针、XRF 分析及能谱分析等方法对化石层位野外宏观地质特征、微观特征进行了详细研究。薄片鉴定在国土资源部昆明矿产资源监督检测中心实验室完成；电子探针、扫描电镜及能谱分析在武汉上谱分析科技有限公司；XRF 分析在北京桔灯地球物理勘探股份有限公司完成；化石鉴定由昆明理工大学古生物化石鉴定研究中心完成。

## 3 化石组合

### 3.1 大新山地区化石特征

本次在禄劝大新山地区 (图 1b-x) 下寒武统筇竹寺组石岩头段下黑层深灰色粉砂质页岩中采获化石共计 134 件, 其中朵氏小昆虫 (*Kunmingella douvillei*) 50 件、虫迹 (未定种) 2 件、锥管螺 (*Conotheca* sp.) 8 件、帽天山虫 (*Maotianshania* sp.) 10 件、澄江顾脱贝 (*Kutorgina chengjiangensis*) 6 件、鳃虾 (*Branchiocaris* sp.) 15 件、古虫 (*Vetulichia* sp.) 10 件、始莱德利基虫 (*Eoredlichia* sp.) 30 件及豆牙类化石 (未知种) 2 件; 大新山地区生

物化石群以朵氏小昆明虫、始莱德利基虫、鳃虾为主，次为古虫、帽天山虫、锥管螺、澄江顾脱贝，虫迹及豆牙类化石较为稀少。化石具体数量占比图见图 2。化石特征描述如下。

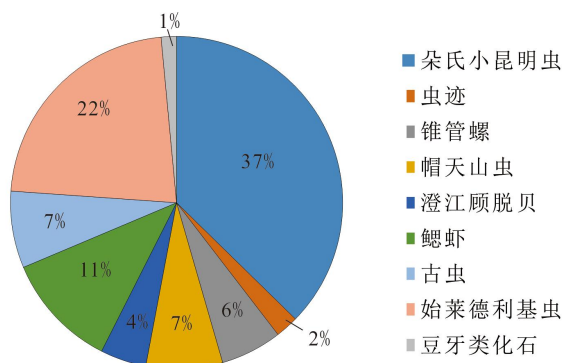


图 2 禄劝大新山一带筇竹寺组化石数量占比统计图

Fig.2 Proportion of fossils from the Qiongzhusi Formation in the Daxinshan area of Luquan

#### 1) 朵氏小昆明虫 (*Kunmingella douvillei*)

形态描述：双瓣壳由等称左右两瓣构成（图 3b）。壳的边缘具折边，前端具圆的脊状突起，后端为一倾斜的脊状突起；其他软躯体特征未保存。根据该标本壳边缘具折边、前端具圆的脊状突起，后端为一斜走的脊状突起等典型特征，可判断为朵氏小昆明虫。

生态分析：通常表底栖生活，具有强的游泳能力，可以在寒武纪海洋中自由自在地生活。

#### 2) 虫迹（未定种）

形态描述：类似曲形迹，表面光滑、中间可见中槽，两侧对称（图 3c）。

生态分析：应为内生底栖生物的爬行迹，分布于浅水环境，有待于进一步分析鉴定。

#### 3) 锥管螺 (*Conotheca* sp.)

形态描述：化石为实体化石，壳体为直锥形，保存的壳长为 18 mm，壳体细长，壳面光滑，横截面圆形，壳口平，壳表具有微弱横向纹饰，其生长角度在 5°左右。该壳体属于锥管螺属的典型特征，但口盖等特征不详，故定为锥管螺未定种（图 3d）。

生态分析：所有的软舌螺都为海相化石，除了超盐性的、白云质的和生物礁相的沉积岩以外其他任何寒武纪至二叠纪的海相地层都有可能存在。

#### 4) 帽天山虫 (*Maotianshan* sp.)

形态描述：化石手标本为一块黄绿色泥岩，可见一管状化石，两边具有铁锰化的树枝石（假化石）。化石呈圆柱状，保存不完整，可见部分长约 16 mm，宽约 1 mm，身体明显分为吻和躯干两部分。但因保存欠佳，肠道、吻刺和体表纹饰等特征不清楚。体表具有微弱的环纹和黑色的肠道贯穿身体中部（图 3e）。依据身体结构及纹饰等特征初步判断为帽天山虫 *Maotianshan* sp.。

生态分析：生活在 5.3 亿年前寒武纪早期的浅海中，是澄江生物群中常见的代表之一。

#### 5) 澄江顾脱贝 (*Kutorgina chengjiangensis*)

形态描述：化石可见壳体及特异保存的肉茎结构，可见为典型的腕足动物。壳体较大，最大宽度位于壳体中央，壳宽约 2.5 cm，壳长约 2.2 cm，近圆形，前缘直边，壳面表面纹饰



保存欠佳，边缘依稀可见同心状纹饰。肉茎较粗壮且向外拉长延伸（图 3f）。其余内部特征不详。

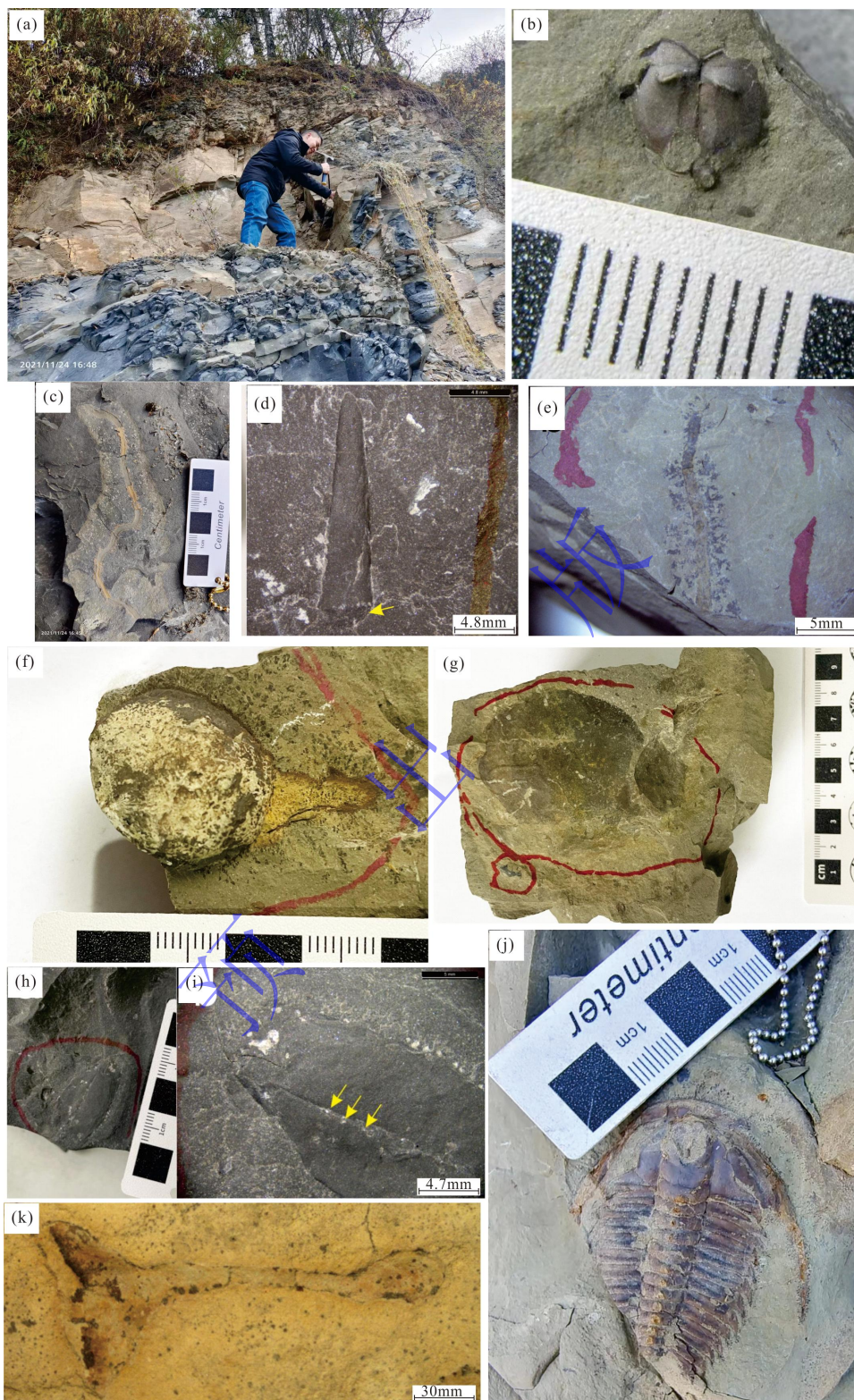


图 3 禄劝大新山一带筇竹寺组化石特征

(a) 野外露头；(b) 朵氏昆明虫；(c, d) 锥管螺；(e) 帽天山虫；(f) 澄江顾脱贝；(g) 鳃虾；(h, i) 古虫；(j) 始莱德利基虫；(k) 未定种

Fig.3 Fossil characteristics of the Qiongzhusi Formation in the Daxinshan area of Luquan  
 (a) outcrop; (b) kunming worm of Dolphinia; (c, d) conical tube screw; (e) maotian Mountain worm; (f) gill shrimp; (h, i) archaean; (j) schleiderichia; (k) undecided species

对比分析：该标本虽然未能保存典型的同层状纹饰，但近圆形的壳体形态、同心状纹饰和肉茎等特征可判断为澄江顾脱贝。

生态分析：生活在 5.3 亿年前寒武纪早期的浅海中，是澄江生物群的代表之一。

#### 6) 鳃虾 (*Branchiocaris* sp.)

形态描述：化石手标本为灰黑色的粉砂岩，化石长约为 7 cm，近椭圆形的甲壳(图 3g)，直的背较合线，壳表面光滑，边缘有狭窄的边缘。该标本是典型具双壳的甲壳类化石的甲壳，覆盖了头部的大部分和身体的前部，部分延伸到动物的侧面。其余软体特征不详，但是壳体表面具有明显的虫迹。经对比，该标本的甲壳大小、光滑的外表面及形态等特征可以判断鳃虾类的甲壳，但其余软躯体及附肢特征不详，尽可判断为鳃虾未定种。

生态分析：海生底栖生物，在海底上方游泳，可能食泥沙或碎屑。

#### 7) 古虫 (*Vetulicola* sp.)

形态描述：化石手标本为灰黑色的粉砂岩，化石长为 3 cm，宽为 1.5 cm。化石前体两侧对称，为闭合的双壳，外形为亚长方形，前面较尖，后面方钝，后体未保存，仅可见三对鳃囊，不分节(图 3h, i)。黄色箭头指示鳃囊。

对比分析：古虫属不同于圆口虫属在于后者的前体呈次椭圆形，前端具同心线纹和放射纹交叉组成的网格状构造，后体呈圆柱状；不同于俞元虫属(在于后者个体较大，前体呈长椭圆形背边缘后端不具

三角形鳍状物，后体为圆柱状；不同于异形虫属在于后者的前体呈锥形，三角形鳍状物位于背后端后体呈圆柱形分节较多。

生态分析：海生动物，游泳。

#### 8) 始莱德利基虫 (*Eoredlichia* sp.)

形态描述：为三叶虫的化石，可见清晰的眼叶，眼叶后端远离头鞍，面线前支与中轴夹角小于  $45^\circ$ ，因此可以判定为始莱德利基虫(图 3j)。

生态分析：通常与珊瑚、海百合、腕足动物和头足动物共生，到目前为止仅仅在海相地层中发现，因此三叶虫基本上是属于浅海底栖生物，具备一定的游泳功能。

#### 9) 豆牙类化石(未知种)

形态描述：该标本具有明显的茎部和前端伞状结构(图 3k)，茎部始部具有明显的膨大，似豆牙状，值得进一步研究。属种未知，待定种。

### 3.2 普德地区化石特征

本次在普德地区(图 1b)下寒武统筇竹寺组石岩头段下黑层深灰色粉砂质页岩(图 4a)新发现疑似骨骼生物化石(图 4b)，化石呈似骨骼状，长约 1 cm，宽约 0.5 cm，两头较大，中间相对小，呈椭圆柱状。通过 XRF 扫描分析显示(图 4c~n)，化石含较高浓度的 Ca、Cr、P，与围岩成分明显不同(Fe、S、Ti)，Ca、P 是骨骼化石主要组成元素，如果证实为



生物骨骼化石，对早期生物演化有着重要意义，值得发掘及研究。

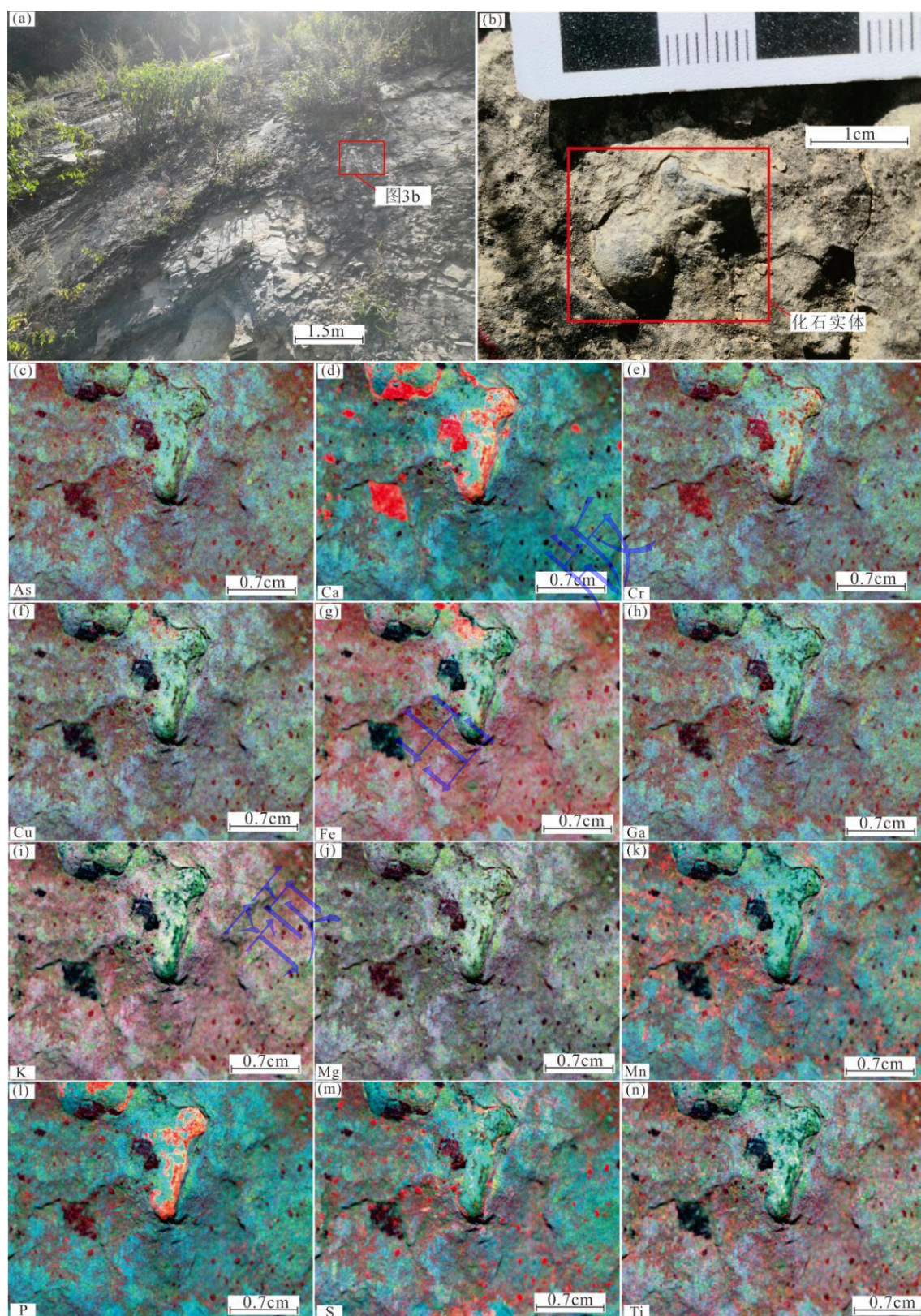


图 4 禄劝普德一带筇竹寺组疑似骨骼化石特征

(a) 野外露头； (b) 疑似骨骼化石标本； (c-n) 化石 XRF 扫描各元素含量

Fig.4 Suspected skeletal fossil features from the Qiongzhusi Formation in the Luquan Pude area  
(a) outcrop; (b) suspected skeletal fossil specimens; (c-n) fossil X-ray fluorescence (XRF) scanning for element content



## 4 研究结果及讨论

### 4.1 对早期生命复苏的指示意义

依托云南省古生物化石开发保护调查项目,在云南禄劝大新山—普德一带下寒武统筇竹寺组石岩头段下黑层深灰色粉砂质页岩发现两处研究价值较高的化石产地,化石保存较完整,个体较大,且较为丰富,化石赋存层位距下伏渔户村组大海段白云岩约 45 m,说明滇中禄劝一带早期生命复苏比澄江一带要早,这一结果与本次在筇竹寺组石岩头段下黑层发现宏体化石较为一致,而澄江一带筇竹寺组玉案山段才出现宏体化石,也就是举世闻名的“澄江生物群”。本次发现的化石大部分与“澄江生物群”极为相似,禄劝大新山化石类型主要有朵氏小昆明虫(*Kunmingella douvillei*)、虫迹(未定种)、锥管螺(*Conotheca* sp.)、帽天山虫(*Maotianshania* sp.)、澄江顾脱贝(*Kutorgina chengjiangensis*)、鳃虾(*Branchiocaris* sp.)、古虫(*Vetulicola* sp.)、始莱德利基虫(*Eoredlichia* sp.)及豆牙类化石(未知种);但在普德一带同一层位新发现疑似骨骼?生物化石,通过 XRF 扫描显示,化石含较高浓度的 Ca、Cr、P,与围岩成分明显不同(Fe、S、Ti),Ca、P 是骨骼化石主要组成元素。大新山—普德一带化石不仅保存完整、较为丰富,个体较大、种类多样,赋存层位露头好,交通便利,且化石层位相对“澄江生物群”赋存层位要低,具有较好的研究意义,也有望在云南禄劝地区建立第二个早寒武世生物群:大新山—普德生物群。本次发现为研究早寒武世生物活动规律、范围、复苏、古环境演化及地层区域对比提供了重要的古生物化石研究素材。

早寒武世澄江生物群的物种非常丰富,现已发现 250 多个物种,涵盖近十几个动物门,不仅包括最早的软体动物、藻类,还包括最早的鱼、脊椎动物等,如海口鱼、奇虾<sup>[21-28]</sup>。本次在禄劝普德下寒武统筇竹寺组石岩头段深灰色粉砂质页岩发现疑似骨骼化石碎片,是否与澄江生物群奇虾等门类有同源性,值得进一步研究。但本次的发现为进一步研究早期生命起源和发现早寒武世新的化石产地,新化石种类提供了重要的研究材料及线索,不仅展现了动物多样性起源的突发性,更为重要的是展示了寒武纪时期地球生命的多姿多彩。

### 4.2 对当地旅游开发及科普教学的意义

科普工作是指将科学知识传递给大众,提高公众科学素质的工作<sup>[27-28]</sup>。它的重要意义不仅在于促进科技进步,也在于推动社会和谐发展,是我们地质工作者的初心所在。本次发现的 2 处化石点,距离禄劝县 60 km,不仅交通方便,化石肉眼可见、种类多样,且距离著名的马鹿塘杜鹃花景区仅 10 km(每年 4—5 月,当地野生杜鹃花海进入盛花期,是一年一度昆明周边欣赏大规模野生杜鹃花的最佳地点),为禄劝地区旅游开发提供了重要场地,也为



当地科普教学提供了宝贵材料。

## 5 结论

(1) 在云南禄劝大新山一带下寒武统筇竹寺组石岩头段下黑层深灰色粉砂质页岩发现丰富宏体生物化石，层位相对“澄江生物群”赋存层位要低，大新山化石类型主要有朵氏小昆明虫 (*Kunmingella douvillei*)、虫迹 (未定种)、锥管螺 (*Conotheca* sp.)、帽天山虫 (*Maotianshania* sp.)、澄江顾脱贝 (*Kutorgina chengjiangensis*)、鳃虾 (*Branchiocaris* sp.)、古虫 (*Vetulicola* sp.)、始莱德利基虫 (*Eoredlichia* sp.) 及豆牙类化石 (未知种)。

(2) 在云南禄劝普德一带同一层位新发现疑似骨骼生物化石，通过 XRF 扫描显示，化石含较高浓度的 Ca、Cr、P，与围岩成分明显不同 (Fe、S、Ti)，值得发掘及研究。

(3) 云南禄劝大新山—普德一带化石不仅保存完整，赋存层位露头好，交通便利，具有较好的研究意义和科普价值，有望在云南禄劝地区建立第二个寒武纪化石群：大新山—普德生物群。

致谢 特别感谢吉林大学客座教授黄大一老师提供的 XRF 扫描照片，野外得到了云南省地质调查局李静正高级工程师、孙载波正高级工程师的帮助，审稿人提出了宝贵的修改意见。在此一并表示衷心感谢。

## 参考文献 (References)

- [1] 董致中, 王伟. 云南牙形类动物群—相关生物地层及生物地理区研究[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2006: 1-347. [Dong Zhizhong, Wang Wei. The Cambrian-Triassic Conodont faunas in Yunnan, China—correlative biostratigraphy and the study of palaeobiogeographic province of conodont[M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Publishing House, 2006: 1-347.]
- [2] 蒋志文. 云南晋宁梅树村阶及梅树村动物群[J]. 中国地质科学院院报, 1980, 2(1): 75-92. [Jiang Zhiwen. The Meishucun stage and fauna of the Jinning county, Yunnan[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 1980, 2(1): 75-92.]
- [3] 李日辉. 遗迹化石与梅树村剖面震旦系-寒武系界线及其与小壳化石的关系[J]. 地质论评, 1991, 37(3): 214-220. [Li Rihui. Trace fossils and the Sinian-Cambrian boundary in the Meishucun section, eastern Yunnan, China, and their relations to small shelly fossils[J]. Geological Review, 1991, 37(3): 214-220.]
- [4] 袁训来, 庞科, 唐卿, 等. 复杂生物的起源和早期演化[J]. 科学通报, 2022, 68(2/3): 169-187. [Yuan Xunlai, Pang Ke, Tang Qing, et al. The origin and early evolution of complex organisms[J]. Chinese Science Bulletin, 2022, 68(2/3): 169-187.]
- [5] 刘军平, 李静, 孙柏东, 等. 滇中易门地区发现化石新物种[J]. 沉积与特提斯地质, 2018, 38(1): 37-40. [Liu Junping, Li Jing, Sun Baidong, et al. The discovery of new fossil species in the Yimen region, central Yunnan[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2018, 38(1): 37-40.]
- [6] 刘军平, 李静, 王伟, 等. 滇中易门地区早前寒武纪地层化石的发现及其意义[J]. 沉积与特提斯地质, 2019, 39(4): 57-64, 70. [Liu Junping, Li Jing, Wang Wei, et al. The discovery and significance of the fossils from the Early Precambrian strata in the Yimen region, central Yunnan[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2019, 39(4): 57-64, 70.]
- [7] 刘军平, 赵江泰, 孙载波, 等. 扬子西南缘古元古界亮山组圆盘状化石的发现及其环境意义[J]. 地质论评, 2022, 68(1): 281-286. [Liu Junping, Zhao Jiangtai, Sun Zaibo, et al. Discovery and environmental significance of the discoid fossil from the Paleoproterozoic Liangshan Formation in southwestern Margin of Yangtze[J]. Geological Review, 2022, 68(1): 281-286.]

- [8] 刘军平, 刘卫东, 李维科, 等. 扬子西缘中元古界黑山组 MISS 构造的发现及其古环境意义[J]. 地质论评, 2023, 69 (2): 461-468. [Liu Junping, Liu Weidong, Li Weike, et al. Discovery and Paleoenvironment significance of the MISS from the Mesoproterozoic Heishan Formation in the western margin of the Yangtze[J]. Geological Review, 2023, 69(2): 461-468.]
- [9] Liu J P, Song S C, Wang W, et al. Protoconodont fossils for refining the Cambrian bottom and the contribution to shale gas Formation along the southwest margin of Yangtze Block[J]. China Geology, 2020, 3(4): 558-566.
- [10] Liu J P, Tian S M, Zhu X Z, et al. Discovery of rhyolitic tuffaceous slate in the southwestern margin of Yangtze Craton: Zircon U-Pb ages (2491 Ma) and tectonic-thermal events[J]. China Geology, 2021, 4(4): 616-629.
- [11] Liu J P, Yin W, Yang S P, et al. Response to the Lomagundi—Jatuli Event in the southwestern margin of the Yangtze Plate: Evidence from the carbon and oxygen isotopes of the Paleoproterozoic Yongjingshao Formation[J]. China Geology, 2023, 6(1): 50-60.
- [12] 朱日祥, 李献华, 侯先光, 等. 梅树村剖面离子探针锆石 U-Pb 年代学: 对前寒武纪-寒武纪界线的年代制约[J]. 中国科学 (D 辑): 地球科学, 2009, 39 (8): 1105-1111. [Zhu Rixiang, Li Xianhua, Hou Xianguang, et al. SIMS U-Pb zircon age of a tuff layer in the Meishucun section, Yunnan, southwest China: Constraint on the age of the Precambrian-Cambrian boundary[J]. Science China (Seri. D): Earth Sciences, 2009, 39(8): 1105-1111.]
- [13] Knoll A H, Carroll S B. Early animal evolution: Emerging views from comparative biology and geology[J]. Science, 1999, 284(5423): 2129-2137.
- [14] 解楠, 宋嘉琦, 白栋, 等. 川中蓬莱地区震旦系灯影组流体包裹体特征及成藏期次[J]. 非常规油气, 2023, 10 (3): 55-63. [Xie Nan, Song Jiaqi, Bai Dong, et al. Characteristics of fluid inclusions and accumulation stages of Sinian Dengying Formation in Penglai area, central Sichuan[J]. Unconventional Oil & Gas, 2023, 10(3): 55-63.]
- [15] 何梅朋. 武隆地区五峰组—龙马溪组优质浅层常压页岩储层发育特征及含气性影响因素[J]. 非常规油气, 2023, 10 (3): 64-73. [He Meipeng. Development characteristics and gas-bearing factors of high-quality shallow ordinary-pressure shale reservoirs in Wufeng-Longmaxi Formation in Wulong area[J]. Unconventional Oil & Gas, 2023, 10(3): 64-73.]
- [16] 罗惠麟, 蒋志文, 徐重九, 等. 云南晋宁梅树村、王家湾震旦系-寒武系界线研究[J]. 地质学报, 1980, 54 (2): 95-111. [Luo Huilin, Jiang Zhiwen, Xu Zhongjiu, et al. On the Sinian-Cambrian boundary of Meishucun and Wangjiawan, Jinning County, Yunnan[J]. Acta Geologica Sinica, 1980, 54(2): 95-111.]
- [17] 陈良忠, 罗惠麟, 胡世学, 等. 云南东部早寒武世澄江动物群[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2022. [Chen Liangzhong, Luo Huilin, Hu Shixue, et al. Early Cambrian Chengjiang fauna in eastern Yunnan China[M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2022.]
- [18] Antcliffe J B, Callow R H T, Brasier M D. Giving the early fossil record of sponges a squeeze[J]. Biological Reviews, 2014, 89(4): 972-1004.
- [19] Luo C, Zhao F C, Zeng H. The first report of a vauxiid sponge from the Cambrian Chengjiang Biota[J]. Journal of Paleontology, 2020, 94(1): 28-33.
- [20] 王香增, 张建锋, 郝世彦. 延安地区陆相页岩气勘探开发关键技术[J]. 非常规油气, 2023, 10 (1): 1-10. [Wang Xiangzeng, Zhang Jianfeng, Hao Shiyan. Key technologies of continental shale gas exploration and development in Yan'an area[J]. Unconventional Oil & Gas, 2023, 10(1): 1-10.]
- [21] 朱茂炎, 赵方臣, 殷宗军, 等. 中国的寒武纪大爆发研究: 进展与展望[J]. 中国科学 (D 辑): 地球科学, 2019, 49 (10): 1455-1490. [Zhu Maoyan, Zhao Fangchen, Yin Zongjun, et al. The Cambrian explosion: Advances and perspectives from China[J]. Science China (Seri. D): Earth Sciences, 2019, 49(10): 1455-1490.]
- [22] Tang Q, Pang K, Li G J, et al. One-billion-year-old epibionts highlight symbiotic ecological interactions in early eukaryote evolution[J]. Gondwana Research, 2021, 97: 22-33.
- [23] Hu S X, Erdtmann B D, Steiner M, et al. *Malongitubus*: A possible pterobranch hemichordate from the early Cambrian of South China[J]. Journal of Paleontology, 2018, 92(Special 1): 26-32.
- [24] Maletz J. Tracing the evolutionary origins of the Hemichordata (Enteropneusta and Pterobranchia)[J]. Palaeoworld, 2019, 28(1/2): 58-72.
- [25] Ou Q, Han J, Zhang Z F, et al. Three Cambrian fossils assembled into an extinct body plan of cnidarian affinity[J]. Proceedings of



- the National Academy of Sciences of the United States of America, 2017, 114(33): 8835-8840.
- [26] Chen Z, Zhou C M, Meyer M, et al. Trace fossil evidence for Ediacaran bilaterian animals with complex behaviors[J]. *Precambrian Research*, 2013, 224: 690-701.
- [27] 龚月, 高和群, 李小越, 等. 四川盆地及周缘页岩气赋存方式展布特征研究[J]. *非常规油气*, 2023, 10 (2) : 49-56. [Gong Yue, Gao Hequn, Li Xiaoyue, et al. Study on the distribution characteristics of occurrence modes of shale gas in the Sichuan Basin and its periphery[J]. *Unconventional Oil & Gas*, 2023, 10(2): 49-56.]
- [28] Liu J P, Li M, Tang F, et al. New benthic fossils from the Late Ediacaran strata of southwestern China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2024, doi: 10.1111/1755-6724.15153.

## Discovery and Significance of Fossils from the Lower Cambrian Qiongzhusi Formation in the Luquan Area of Central Yunnan

LIU JunPing<sup>1,2,3,4</sup>, YAO WeiHua<sup>5</sup>, WAN Sheng<sup>6</sup>, LI WeiKe<sup>1,3,4</sup>, HE ShiJun<sup>7</sup>, ZHAO JiangTai<sup>1,3,4</sup>, CHEN Ke<sup>1,3,4</sup>, WEI SiLi<sup>1,3,4</sup>

1. Yunnan Institute of Geological Survey, Kunming 650216, China

2. School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China

3. Key Laboratory of Sanjiang Metallogeny and Resources Exploration and Utilization, MNR, Kunming, 650051, China

4. Yunnan Key Laboratory of Sanjiang Metallogeny and Resources Exploration and Utilization, Kunming, Yunnan 650051, China

5. School of Earth Science and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

6. Institute of Basic Geological Survey, Jiangxi Geological Survey and Exploration Institute, Nanchang 330030, China

7. The Second Geological Exploration Institute of China Metallurgical Geology Bureau, Fuzhou 350108, China

**Abstract:** [Objective] To discover fossil habitats that can be compared with the Chengjiang biota in the Lower Cambrian Qiongzhusi Formation, regional stratigraphic correlation, and further reveal the life evolution of Early Cambrian organisms, important paleontological fossil evidence is provided. [Methods] The study focuses on the macrobiotic fossils developed in the dark gray sandy shale of the Lower Cambrian Qiongzhusi Formation. Fine profile surveys, fossil identification, electron probes, scanning electron microscopy, X-ray fluorescence (XRF) testing, and other analyses were conducted to explore the geological significance of the newly discovered macrobiotic fossils. [Results and Discussions] The main types of fossils in Daxinshan include *Kunmingella douvillei*, *pest ichtology*, *Conotheca* sp., *Maotianshania* sp., *Kutorgina chengjiangensis*, *Branchiocaris* sp., *Vetulicola* sp., *Eoredlichia* sp., and fossil leguminosae (unknown species). In addition, suspected skeletal fossils have been discovered at the same level in the Pude area. X-ray fluorescence (XRF) scanning shows that the fossils contain relatively high concentrations of Ca, Cr, and P and are significantly different from the composition of the surrounding rock (Fe, S, Ti). Ca and P are the main constituent elements of skeletal fossils. The fossils in the Daxinshan Pude area are not only well preserved and relatively abundant, but also have a large number of individual and diverse species. [Conclusions and Prospects] Transportation to the fossil site is convenient. Moreover, the occurrence of the fossils is relatively low compared to the "Chengjiang biota," which has research significance and scientific popularization value. Thus, it is possible to establish a second Early Cambrian Biota in the Luquan area of central Yunnan: the Daxinshan Pude biota. This discovery provides important paleontological fossil research materials for studying the patterns, scope, recovery, paleoenvironmental evolution, and stratigraphic regional correlation of Early Cambrian biological activities.

**Key words:** Chengjiang biota; bone fossils; Lower Cambrian; Qiongzhusi Formation; Luquan area