

DOI: 10.12401/j.nwg.2022005

新疆乌鲁木齐地区上石炭统祁家沟 组四射珊瑚古生态学研究

王训练, 岑武轩, 周洪瑞, 方少伯, 周洁

(中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要: 在准噶尔盆地南缘上石炭统祁家沟组识别出 2 种生态类型的四射珊瑚动物群。一种是以小型单体无鳞板类型为主的 *Cyathoxonia* 动物群; 另一种则是以发育鳞板类型为主的 Caniniid-Clisiophyllid 动物群。认为祁家沟组四射珊瑚动物群生活于中-高纬度地区温带气候条件下火山口周围类似于环礁的环境中。*Cyathoxonia* 动物群生活于相对闭塞但与外海有连通的低能浅水礁湖(潟湖)环境中并且原地保存, Caniniid-Clisiophyllid 动物群则生活于环礁向海一侧适于珊瑚生长的礁坪中-高能环境中。后者不断遭波浪侵蚀, 在风暴和重力的作用下, 沿着环礁陡峭的前缘斜坡以重力流的形式下滑, 在正常浪基面之下的低能环境中保存下来。

关键词: 四射珊瑚; 古生态学; 环礁; 晚石炭世; 准噶尔盆地

中图分类号: P52

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2023)01-0194-09

Research on Paleoecology of the Upper Carboniferous (the Qijiagou Formation) Rugose Corals in Urumqi, Xinjiang Uygur Autonomous Region

WANG Xunlian, CEN Wuxuan, ZHOU Hongrui, FANG Shaobo, ZHOU Jie

(School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: Two ecological types of rugose coral fauna may be recognized in the Qijiagou Formation of the Upper Carboniferous in the southern margin of Junggar Basin. One is the *Cyathoxonia* fauna dominated by small solitary forms without dissepiments. The other is the Caniniid-Clisiophyllid fauna dominated by large forms with dissepiments. It is considered that the rugose coral fauna from the Qijiagou Formation lived in an atoll-like environment around the crater in a temperate climate of mid to high latitudes. The *Cyathoxonia* fauna lived in relatively isolated, low-energy and shallow-water lagoons connected to the open sea and was preserved in situ; while the Caniniid-Clisiophyllid fauna lived in mid to high energy reef flat environments, which was favorable for coral growth, on the seaward side of the atoll. The latter was constantly eroded by waves, under the influence of storms and gravity, slid down along the steep foreslopes of the atoll in the form of gravity flows, and preserved in low-energy environments below the normal wave base.

Keywords: rugose corals; paleoecology; atoll; late Carboniferous; Junggar basin

收稿日期: 2022-05-25; 修回日期: 2022-06-30; 责任编辑: 曹佰迪

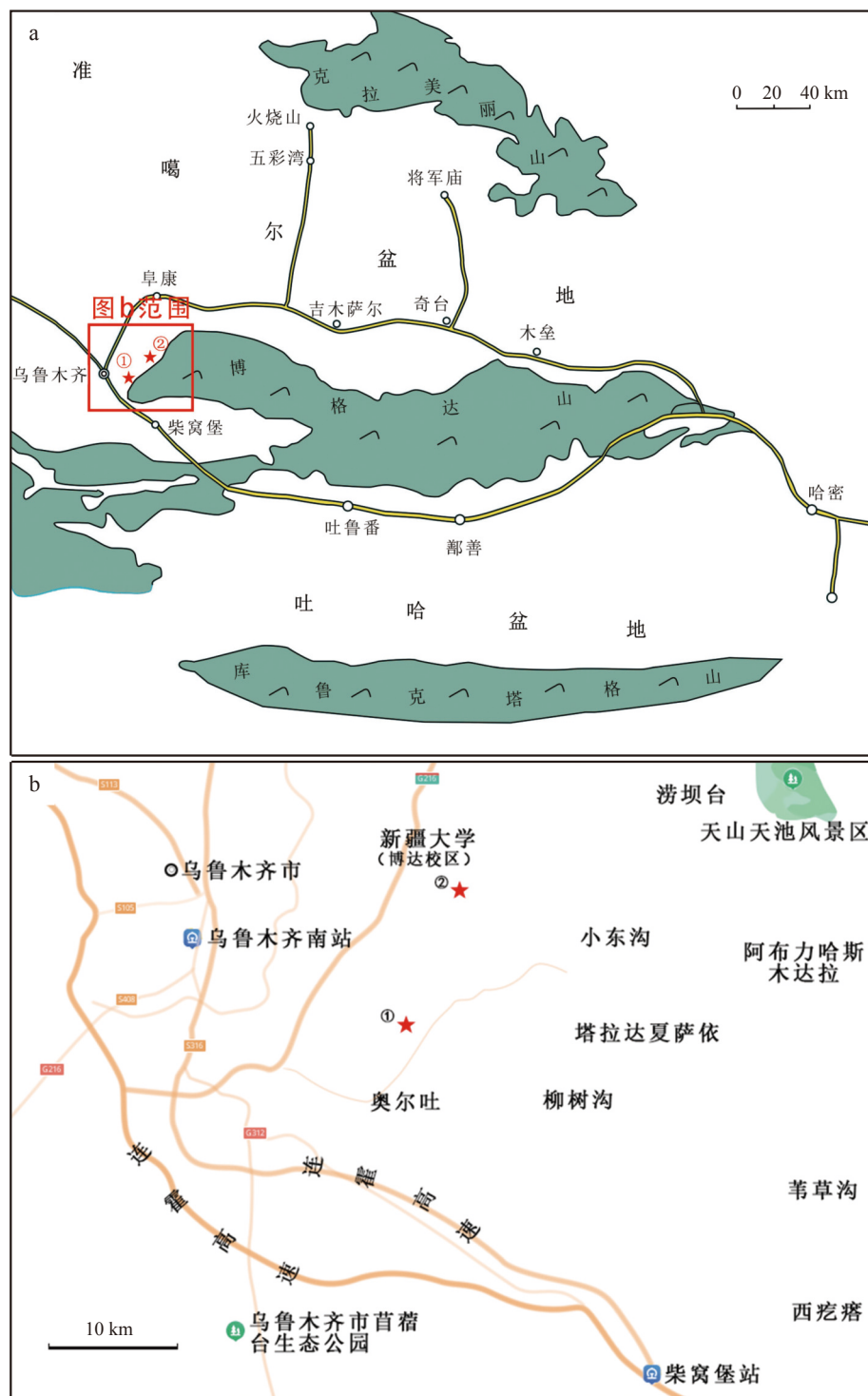
基金项目: 中国地质调查局项目“北方石炭纪—二叠纪关键地质问题专题调查”(DD20189612)和国家自然科学基金项目“华南石炭系杜内阶—维宪阶高精度有孔虫生物地层序列及有孔虫动物群多样性演变”(41702023)联合资助。

作者简介: 王训练(1958-), 男, 理学博士, 教授, 博士生导师, 主要从事古生物学与地层学教学与研究。E-mail: wxl@cugb.edu.cn。

石炭系是准噶尔盆地周缘出露最广的古生代地层。乌鲁木齐市东南约 20 km 处的石人子沟和祁家沟地区(图 1)是准噶尔盆地南缘石炭系发育最为典型的地区。该区缺失下石炭统, 上石炭统主要出露柳树沟

组(C_2l)、祁家沟组(C_2q)和奥尔吐组(C_2ae)(新疆维吾尔自治区地质矿产局, 1999)。祁家沟组和奥尔吐组富含海相化石, 其中四射珊瑚最为常见。

柳树沟组为一套浅海相喷出岩, 火山岩中有少量



①祁家沟剖面; ②石人子沟剖面

图 1 研究区交通及剖面位置图

Fig. 1 Location of the study area and the sections

砂岩、粉砂岩和灰岩透镜体,含海相化石,与上覆祁家沟组为整合或不整合接触,未见下伏地层。祁家沟组为一套浅海相陆源碎屑岩和碳酸盐岩,夹少量的安山玢岩、凝灰质砂岩-粉砂岩,含大量珊瑚、腕足和蛭类化石,与上覆奥尔吐组整合接触。奥尔吐组为一套浅海相外陆架陆源细碎屑岩,夹少量薄层砂质灰岩、透镜状灰岩,含丰富的珊瑚、菊石及腕足类化石,与上覆石人沟组整合接触(新疆维吾尔自治区地质矿产局, 1999)。

1 祁家沟组四射珊瑚的主要类别

研究区柳树沟组为一套火山碎屑岩沉积,化石稀少。晚石炭世四射珊瑚主要集中在祁家沟组和奥尔吐组。其中祁家沟组四射珊瑚最为丰富。王增吉(1989)对乌鲁木齐祁家沟剖面的四射珊瑚做过详细研究,描述四射珊瑚 12 属, 24 种和亚种。其中,祁家沟组 9 属, 16 种和亚种,分别是 *Amplexus qijiagouensis*, *A. xinjiangensis*, *A. qijaigouensis convexotabulatus*, *Rotiphyllum monophylloides triangulatum*, *Metriophyllum qijiagouense*, *M. minor*, *Bradyphyllum xinjiangense*, *Zaphrentites urumqiensis*, *Lophophyllidium pendulum qijiagouense*, *L. irregulare*, *L. urumuqiense*, *Caninophyllum urumuqiense*, *C. domheri*, *C. tamugangense*, *Bothrophyllum ellipticum*, *Cystilophophyllum minor*。曾彩林等(1983)描述祁家沟地区四射珊瑚 5 属, 4 种和 1 相似种。其中祁家沟组 3 属, 2 种和 1 相似种。分别是 *Cyathocarinia tuberculata*, *Lophocarinophyllum major* 和 *Sochkineophyllum cf. artiense*。

笔者依托中国地质调查局西安地质调查中心“北方石炭纪—二叠纪关键地质问题专题调查”工作项目下设专题“天山—兴蒙构造带石炭纪—二叠纪地层对比研究”,于 2018 年对乌鲁木齐祁家沟和石人子沟地区祁家沟组和奥尔吐组珊瑚化石进行系统采集,鉴定四射珊瑚 12 属 11 种、1 亚种。其中祁家沟组 11 属 10 种 1 亚种,分别为 *Cyathocarinia tuberculata* Soshkina, *Rotiphyllum cuneatum* Wu, *Metriophyllum minor* Wang, *Zaphrentites urumqiensis* Wang, *Lophophyllidium pendulum qijiagouense* Wang, *Fomichevella hoeli* (Holtedahl), *Arctophyllum intermedium* Toulal, *Caninia cornucopiae* Michelin in Gervais, *Gshelia minor* Zeng, *Caninella magma* Zeng 和 *Pseudozaphrentoides mapin-*

gensis (Lee et Yü)。

2 古气候意义

祁家沟组四射珊瑚按照形态可以分为 3 类。小型单体无鳞板珊瑚 9 属 15 种(包括亚种和相似种): *Amplexus qijiagouensis*, *A. xinjiangensis*, *A. qijaigouensis convexotabulatus*, *Rotiphyllum cuneatum*, *R. monophylloides triangulatum*, *Metriophyllum qijiagouense*, *M. minor*, *Bradyphyllum xinjiangense*, *Zaphrentites urumqiensis*, *Lophophyllidium pendulum qijiagouense*, *L. irregulare*, *L. urumuqiense*, *Lophocarinophyllum major*, *Cyathocarinia tuberculata*, *Sochkineophyllum cf. artiense*。发育鳞板的单体珊瑚 8 属 10 种和亚种,分别是 *Caninophyllum urumuqiense*, *C. domheri*, *C. tamugangense*, *Bothrophyllum ellipticum*, *Cystilophophyllum minor*, *Arctophyllum intermedium*, *Caninia cornucopiae*, *Gshelia minor*, *Caninella magma*, *Pseudozaphrentoides mapingensis*。丛状复体珊瑚 1 属 1 种 *Fomichevella hoeli*。在已知的 18 个四射珊瑚属中,小型单体无鳞板珊瑚 9 属,占 50%;单体有鳞板珊瑚 8 属,约占 44%;丛状复体珊瑚仅 1 属,约占 6%。在已知的 26 个种中,小型单体无鳞板珊瑚 15 种,约占 58%;单体有鳞板珊瑚 10 种,约占 38%;丛状复体珊瑚约占 5%。从属和种两级分类单元来看,小型单体无鳞板珊瑚都是祁家沟组四射珊瑚动物群的主体,显示较凉水体珊瑚组合特征。这可能与研究区晚石炭世所处的中、高纬度古地理位置有关。研究区晚石炭世位于安加拉植物群的分布范围,植物区系特征显示中纬度温带气候区。研究区祁家沟组(特别是下部)四射珊瑚个体极为丰富,常密集成层保存,数量以发育鳞板的单体珊瑚为主,表明这个珊瑚群生活在适于其生长的正常浅海环境中。这个珊瑚群中几乎不含复体四射珊瑚,可疑的丛状复体珊瑚仅 1 属 1 种 *Fomichevella hoeli*,表明其生活在不适宜于复体珊瑚繁盛的环境中。另外,这个珊瑚群分异度低,几乎不含土著分子。丰富而分异度低且缺乏地方性分子是温带生物群的主要特征(殷鸿福, 1989)。因此推断祁家沟组四射珊瑚群生活于温带气候条件下。

3 生活环境

Hill(1938~1941)最早对各类型珊瑚的古生态特

征进行了研究,划分出了3个主要的生态群类型:

①*Cyathoxonia* 动物群,主要包含一些小型单体无鳞板珊瑚,结构简单,分异度较低。②Caniniid-Clisiophyllid 动物群,主要包含大型双带型或三带型鳞板珊瑚,分异度相对较高,结构也更为复杂。③复体造礁类珊瑚,主要包含块状复体类型,能容忍较高水动能环境。这3种类群代表的水动能由低到高。Sando(1980)在美国西部落基山脉和大盆地地区密西西比纪(早石炭世)地层中划分出8种岩相带类型,从深水盆地到河流入海口岩相带依次为A~H;除A和G外,珊瑚可在其他的6个相带中产出,其中B、D、E等3个岩相带中珊瑚丰度最高;小型单体无鳞板珊瑚多出现在较深水的B相带,而D和E相带则更多产出大型单体或复体类珊瑚。Somerville等(2007)根据爱尔兰、大不列颠及西班牙西南部早石炭世维宪晚期珊瑚群的组成、保存状况和保存方向、沉积之上相、沉积微相、薄片下的组分及含量等特征综合研究提出了四射珊瑚组合的概念,即RCA(rugose coral associations),并识别出8个四射珊瑚组合(RCA1~RCA8)。其中RCA2位于正常浪基面之上的浅水陆架区,属中-高能的动荡环境,其中发育颗粒灰岩,珊瑚主要是中等丰度和分异度的单体珊瑚及不占优的丛状复体,与Hill(1938~1941)的Caniniid-Clisiophyllid 动物群大致相当,珊瑚破损较严重,单体珊瑚鳞板带保存较差。RCA4位于正常浪基面上下的中等水动能浅水陆架区,水体偶尔变浅遭受暴露侵蚀,发育古喀斯特面,富含原地丛状和块状复体珊瑚以及具有较宽鳞板带的大型单体,丰度和分异度非常高,与Hill(1938~1941)的复体造礁珊瑚群(coral-reef)相当,其中复体珊瑚保存相对较好,而单体珊瑚存在磨损现象。RCA8位于正常浪基面下的低能中深斜坡环境,发育泥晶灰岩,光照弱,水体浑浊,珊瑚主要是一些小型单体无鳞板类型,分异度低,偶尔也可见一些具鳞板个体,相当于Hill(1938~1941)的*Cyathoxonia* 动物群。Somerville等(2007)认为RCA8是典型的深水斜坡-盆地分子,但也可以生活在鳞板珊瑚难以生存的水流不畅的浅水浑浊环境中。

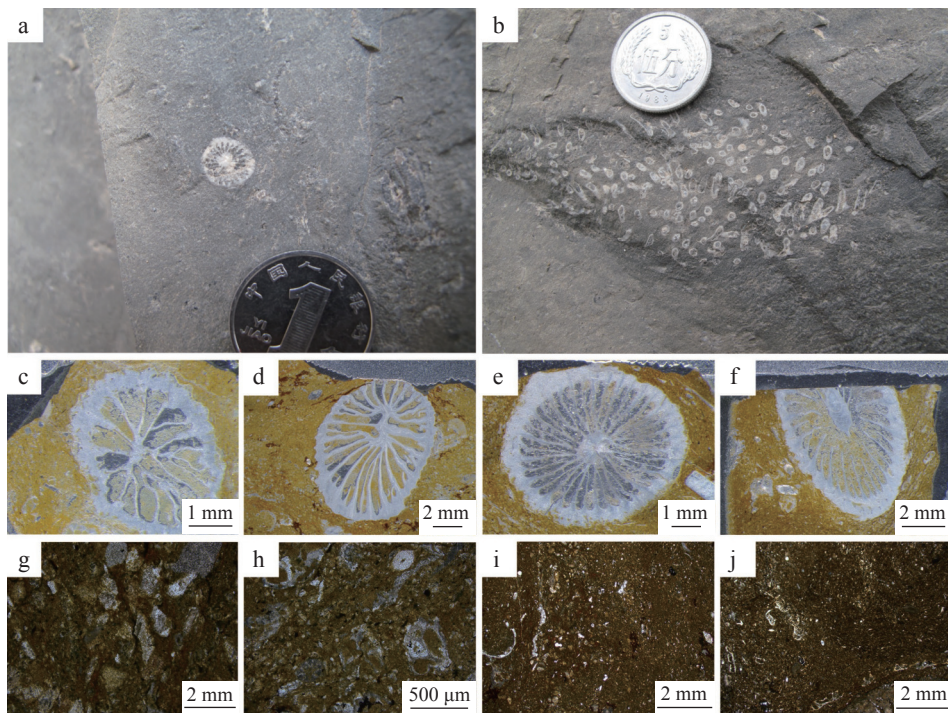
在祁家沟组可以识别出2种生态类型的四射珊瑚动物群,一种是*Cyathoxonia* 动物群,以小型单体无鳞板类型为主,几乎不含或者很少含发育鳞板的珊瑚;另一种是Caniniid-Clisiophyllid 动物群,以发育鳞板类型为主,偶含丛状复体珊瑚和小型单体无鳞板

珊瑚。

Cyathoxonia 动物群产于祁家沟剖面祁家沟组中上部,以D18003观察点为代表,四射珊瑚全为单体无鳞板类型,包括*Metriophyllum*, *Lophophyllidium* 和 *Cyathocarinia* 等,还有*Multithecopora* 和 *Syngopora* 等少量横板珊瑚。Hill(1938~1941)认为*Cyathoxonia* 动物群代表了深水、多泥、浑浊、安静的环境。Sando(1980)认为小型单体无鳞板珊瑚多出现在水深超过100 m的深水盆地。Somerville等(2007)认为小型单体无鳞板类型珊瑚是典型的深水斜坡-盆地分子,但也可以生活在有鳞板珊瑚难以生存的水流不畅的浑浊浅水环境中。小型单体无鳞板四射珊瑚为主的群落总体上来说生活在不利于四射珊瑚生存的环境中,既可以是深水环境,也可以是浅水环境。王训练等(1996)认为古生代小型单体无鳞板四射珊瑚为主的群落至少可以出现在下列5种不同的环境中:①正常温暖无障壁海岸的大陆斜坡下部深水环境。②大陆边缘断陷盆地中的深水环境。③浅海冷水环境。④有大量碎屑沉积物涌入的温暖正常浅海环境。⑤生物危机阶段的正常浅海环境。

祁家沟剖面祁家沟组中上部(D18003观察点)*Cyathoxonia* 动物群中四射珊瑚保存完整(图2a~图2f),表明这些珊瑚生活在低能环境中。产出四射珊瑚的围岩为生物碎屑泥晶灰岩(图2a、图2b、图2g~图2j)。颗粒都为生物碎屑,含量约30%,主要是海百合碎屑(图2g~图2j),其次还有少量腕足壳体和介形虫。颗粒主要呈条状,次棱角状居多,少量次圆状,部分出现微弱重结晶,大小100 μm到2 mm不等,分选较差。基质主要是灰泥,含量70%左右。这种岩性特征相当于威尔逊(1981)碳酸盐岩标准微相类型中的SMF9,主要发育在正常浪基面之下的深水陆棚(FZ2)或外缓坡环境(Flügel, 2006)。笔者认为,这种微相类型代表一种低能环境,不仅可以出现在正常浪基面或其下的深水陆棚(FZ2)或外缓坡环境,还可以出现在局限环境下的低能浅水环境中。祁家沟组与这个小型单体无鳞板珊瑚共生的还有横板珊瑚*Syngopora* 和 *Multithecopora*。这2个属通常仅出现在极浅海水环境中。因此认为该组合生活在不利于四射珊瑚生存的障壁海低能浅水环境中。

Caniniid-Clisiophyllid 动物群主要产于祁家沟组近底部,在祁家沟剖面 and 石人子沟剖面上均有产出。在祁家沟剖面上以D18002观察点为代表。四射珊瑚



a. 产小型单体无鳞板四射珊瑚的生物碎屑泥晶灰岩; b. 产丛状复体横版珊瑚(*Syringopora* sp.)的生物碎屑泥晶灰岩; c~f. 保存完好的小型单体无鳞板四射珊瑚(c~d. *Metriophyllum* sp.; e. *Cyathocarinia tuberculata*; f. *Lophophyllidium* sp.); g~j. 生物碎屑泥晶灰岩

图2 祁家沟剖面祁家沟组 D18003 观察点珊瑚化石与岩性特征图

Fig. 2 The coral fossils and lithologic characteristics of the observation site D18003 of the Qijiagou Formation in the Qijiagou section

均为单体珊瑚,除3个小型单体无鳞板个体 *Metriophyllum minor*, *Zaphrentes urumqiensis* 和 *Rotiphyllum cuneatum* 的少量个体外,其余均为具鳞板类珊瑚,以 *Gshelia* 和 *Caninia* 为代表,均属于 *Cyathopsidae* 和 *Bothrophyllidae* 两科(图3)。已知的珊瑚属种分异度比较低,仅5属5种,但丰度很大,以发育鳞板带的中大型单体为主,单体珊瑚直径多在20~25 mm,鳞板带都比较窄,轴部构造不发育,缺少复体类型,特别是缺少造礁的块状复体珊瑚。表明这个珊瑚群生活在正常浪基面之上适于珊瑚生存的中-高能正常浅海环境中。

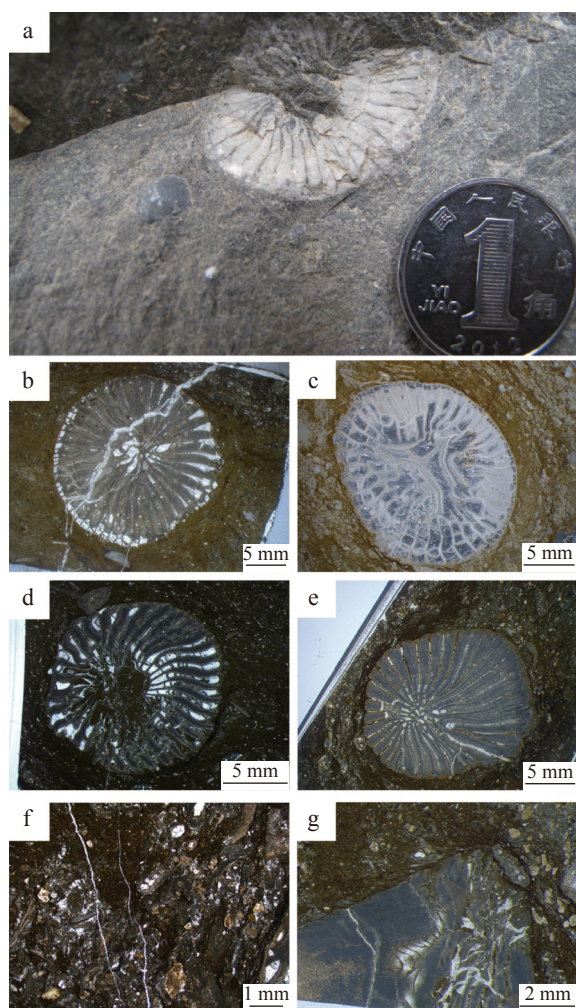
Caniniid-Clisiophyllid 动物群在石人子沟剖面以 D18030 观察点为代表。珊瑚以大型具鳞板类为主,分异度较低,仅计5属5种,包括 *Caninia cornucopiae*, *Arctophyllum intermedium*, *Pseudozaphrentoides mapingensis* 和 *Caninella magma*, 含丛状复体珊瑚1属1种 *Fomichevella hoeli*, 均属于 *Cyathopsidae* 和 *Bothrophyllidae* 两科,未见小型无鳞板单体珊瑚。珊瑚外壁相对较薄,隔壁未加厚或加厚不明显,或仅在主部有较明显加厚,均无轴部构造。石人子沟剖面祁家沟组近底部四射珊瑚群面貌与祁家沟剖面总体上相同。它们

均生活在正常浪基面之上适于珊瑚生存但不适合造礁的正常浅海环境中。石人子沟剖面祁家沟组近底部四射珊瑚群全由发育鳞板的类型组成,包括1属1种丛状复体珊瑚,四射珊瑚的个体稍大,鳞板带相对较宽,鳞板也更大。这些特征表明石人子沟剖面祁家沟组底部珊瑚群当时生活在海水更加动荡的正常浅海环境中。

综上所述,研究区祁家沟组四射珊瑚组合均生活于正常浪基面之上的浅水环境中。其中祁家沟组上部 *Cyathoxonia* 动物群生活在不利于四射珊瑚生存的较局限的低能浅水环境中,祁家沟组近底部 Caniniid-Clisiophyllid 动物群生活在正常浪基面之上适于珊瑚繁盛的中-高能正常浅海环境中。

4 埋藏环境

祁家沟组2个生态类型的四射珊瑚组合埋藏环境完全不同。如前所述,祁家沟组上部 *Cyathoxonia* 动物群生活在障壁后的浅水低能环境中。除个别小型单体无鳞板珊瑚个体破损外,大部分珊瑚个体无明显磨损,保存完整(图2)。其他生物碎屑如海百合茎、



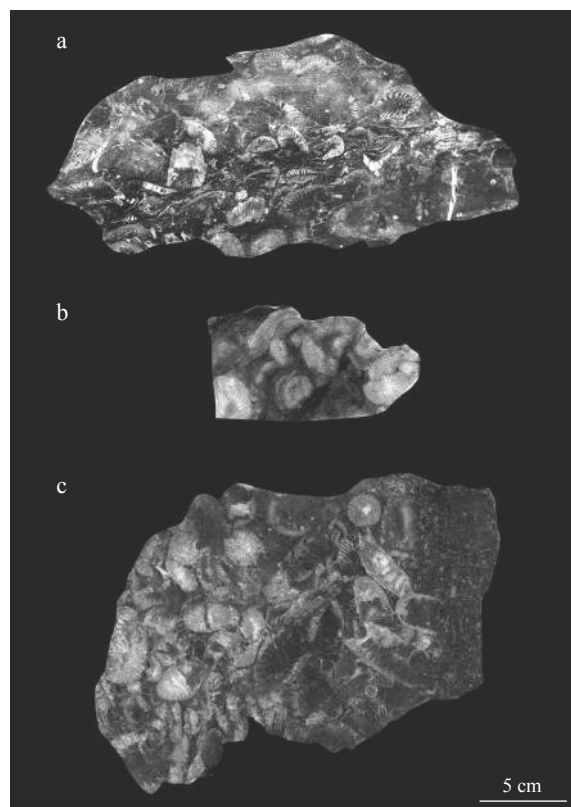
a. 含单体四射珊瑚的砂屑灰岩; b. 磨损严重的 *Gshelia* sp.;
c. 外壁轻微磨损的 *Caninia cornucopiae*; d. 外壁轻微磨损的
Caninia?; e. 外部鳞板带已完全磨损的 *Gshelia* sp.;
f、g. 泥晶生物碎屑灰岩

图 3 祁家沟剖面祁家沟组 D18002 观察点
珊瑚化石与岩性特征图

Fig. 3 The coral fossils and lithologic characteristics of the
observation site D18002 of the Qijiagou Formation
in the Qijiagou section

腕足类和介形虫主要呈条状和次棱角状, 分选和磨圆都比较差。这些特征都显示出这个组合为原地埋藏。

与此相反, 祁家沟组近底部 *Caniniid*-*Clisiophyllid* 动物群中化石磨损和破损都十分明显(图 4、图 5), 丛状复体珊瑚 *Fomichevella* 呈片断保存。一些层位化石分布十分密集, 成层保存(图 4、图 6)。大部分珊瑚外壁几乎完全磨损, 鳞板带被不同程度地损坏, 一些个体整个鳞板带几乎完全被破坏, 仅有加厚的隔壁内端的横板带被保存下来, 绝大部分个体已经无法鉴定。鳞板的方向表明珊瑚个体保存方向杂乱无章, 有些个



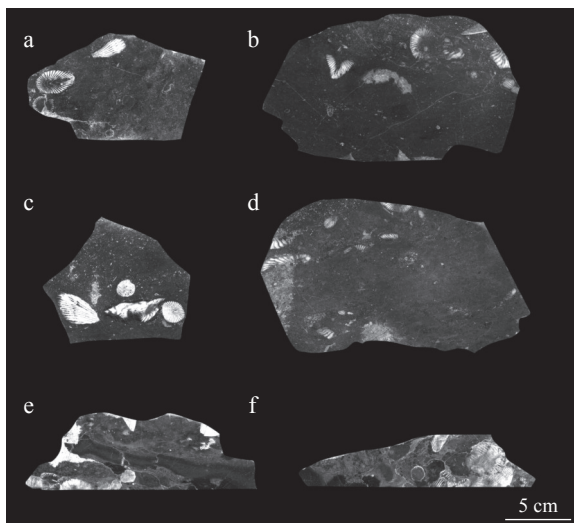
a. 标本 SRZG-18030-1-20; b. 标本 SRZG-18030-1-08;
c. 标本 SRZG-18030-1-21

图 4 石人子沟剖面祁家沟组下部四射珊瑚保存状态图
Fig. 4 The preservation status of rugose corals in the lower part
of the Qijiagou Formation in the Shirenzigou section

体保存方向甚至完全相反, 与四射珊瑚的原始生活状态完全不同。说明这些珊瑚化石经过一定距离的搬运, 而且在搬运过程中发生过颗粒之间的碰撞和相互摩擦。

图 5 显示的祁家沟剖面 and 石人子沟剖面祁家沟组下部含 *Caniniid*-*Clisiophyllid* 动物群的(含)生物碎屑砂(粉)屑灰岩中没有被完全磨碎的珊瑚化石残骸, 清楚表明在四射珊瑚化石搬运过程中大部分化石被完全粉碎, 仅极少数珊瑚的横板带由于隔壁加厚而得以保存。粉屑灰岩应为正常浪基面以下的静水低能环境沉积, 与珊瑚群的生存环境截然不同。

图 4 展示的是石人子沟剖面祁家沟组下部富含四射珊瑚化石的生物颗粒灰岩。生物颗粒主要为发育鳞板带的四射珊瑚。珊瑚破损严重, 大小不等, 形态不规则, 无磨圆。鳞板带显示珊瑚排列方向杂乱无章, 显示出快速堆积的特征。基质一般都很细, 灰泥质, 含量少。各种大小的沉积颗粒沉积于同一环境中, 显示出快速沉积、分选差的重力流沉积的特征(图 6)。



a. 标本 QJG-18002-1-33; b. 标本 QJG-18002-1-34-2; c. 标本 QJG-18002-1-32; d. 标本 QJG-18002-1-34-1; e. 标本 SRZG-18030-1-19-1; f. 标本 SRZG-18030-1-19-2

图 5 祁家沟组下部四射珊瑚保存状态及其围岩特征图
Fig. 5 The preservation status and surrounding rock characteristics of rugose corals in the lower part of the Qijiagou Formation

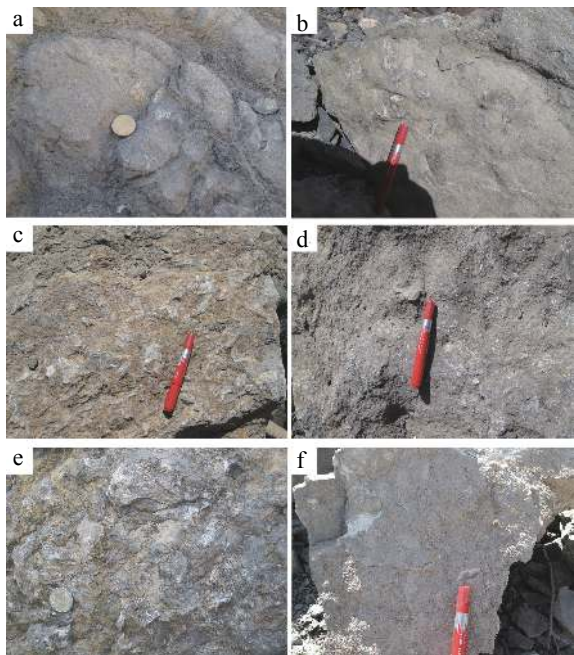


图 6 石人子沟剖面祁家沟组下部(D18030 观察点)生物碎屑灰岩和砾屑灰岩图

Fig. 6 The bioclastic limestones and calcirudytes of the observation site D18030 in the lower part of the Qijiagou Formation in the Shirenzigou section

这个珊瑚化石群的保存状态和岩相特征表明其形成于静水环境中。其中的珊瑚和其它粗颗粒在经过短

距离搬运后便迅速沉积。推测产出这个珊瑚群埋藏的层位岩性为重力流沉积,形成环境为正常浪基面甚至风暴浪基面之下的静水低能环境。

祁家沟剖面祁家沟组 Caniniid-Clisiophyllid 动物群(D18002 观察点)的围岩主要为颗粒灰岩(图 3a),包括砾屑灰岩和砂屑灰岩等,镜下可见泥晶生物碎屑灰岩。泥晶生物碎屑灰岩(图 3f、图 3g)中生物碎屑杂乱分布,含粗枝藻类、管孔藻类、棘皮类及苔藓虫类,破碎严重,分选磨圆差。个别棘皮类出现泥晶包边现象,颗粒含量占 40%~60%,颗粒围绕珊瑚呈现出明显的定向排列特征。此微相相当于威尔逊(1981)标准微相中的 SMF5,形成于台缘斜坡下部的低能静水环境。珊瑚的埋藏环境与生活环境差别明显,说明珊瑚是经过搬运后埋藏在台缘斜坡下部的低能静水环境。

祁家沟剖面祁家沟组 Caniniid-Clisiophyllid 动物群(D18030 观察点)保存于海百合碎屑密集分布的泥晶生物碎屑灰岩(图 7)中,碎屑普遍较大,最大可达 3 mm,散乱排布,无分选,磨圆较差,主要呈棱角状-次棱角状。另外还可见少量藻类碎片,颗粒含量可达 80% 以上,海百合碎屑占比 40%~80%,基质为灰泥,含量较少。相当于威尔逊标准微相中的 SMF12-CRIN。此标准微相中海百合碎屑的聚集存在 2 种形式。一种是原地形成的,出现在开阔陆棚海(FZ2)、前陡坡(FZ4)和丘(FZ5);另一种是异地形成的,出现在深水陆棚边缘(FZ3)和前陡坡(FZ4)。异地聚集常

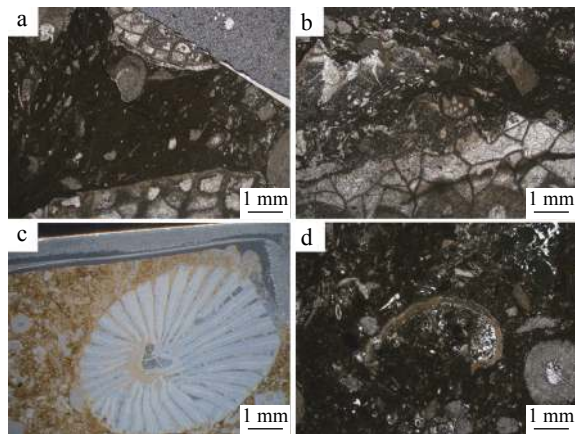


图 7 石人子沟剖面祁家沟组下部(D18030 观察点)富含海百合碎屑的泥晶生物碎屑灰岩图

Fig. 7 The micritic bioclastic limestones with abundant crinoids fragments of the observation site D18030 in the lower part of the Qijiagou Formation in the Shirenzigou section

为碎屑流和浊流作用所致。这与珊瑚埋藏特征反映出来的情况一致。因此,推测该点珊瑚经短距离搬运埋藏在台缘斜坡下的低能静水环境。

综上所述,祁家沟剖面祁家沟组下部 Caniniid-Clisiophyllid 动物群可能生活在温带气候条件下的与深水盆地相邻的碳酸盐台地边缘的高能浅水环境中,死后经过短距离搬运,迅速沉积在大陆斜坡中部的静水环境中。

翟晓先(1987)、李育慈等(1993)和曹小兵等(2010)曾报道祁家沟剖面祁家沟组广泛发育近源风暴岩,认为祁家沟组一些层段形成于正常浪击面之下、风暴浪基面之上的环境中。这个部位既可沉积风暴流产生的高能沉积,也可以在风暴间歇期形成近乎静水的低能沉积。

5 形成过程

准噶尔地区在晚石炭世早期火山活动频繁,包括准噶尔盆地东北部的巴塔玛依内山组和准噶尔南缘柳树沟组发育火山沉积。祁家沟组下部也发育凝灰

质砂岩、粉砂岩,说明在祁家沟组沉积早期,该区还伴随有微弱的火山作用。浅海火山喷发在研究区形成了上石炭统柳树沟组,并形成了一系列火山口,构成了环礁的火山岩基座(图8)。随着祁家沟组沉积开始,原来的火山口被海水几乎完全淹没。火山(口)岛周围适合珊瑚生长,于是大批珊瑚附着并迅速生长,逐渐发展成环礁。环礁外围面对海洋,海水能量较高,水体交换活跃,养料丰富,珊瑚生长速度快,珊瑚生长状况明显优于珊瑚礁内侧,形成了以发育具有鳞板带的单体珊瑚或者复体珊瑚为主的 Caniniid-Clisiophyllid 动物群,以祁家沟组近底部的珊瑚群为代表。环礁中间的洼地由于周围环礁的保护,受到海洋的作用不明显,海水能量较低,形成半封闭的礁湖(如果全封闭则形成潟湖)。礁湖内发育 *Cyathoxonia* 动物群,以祁家沟组近中上部的珊瑚群为代表。与祁家沟组中上部 *Cyathoxonia* 动物群共生的还有其他海相生物,说明这个环礁的潟湖没有完全封闭,是一个与外海保持比较充分沟通的低能浅水礁湖。这个 *Cyathoxonia* 动物群原地保存于礁湖沉积中(图8)。

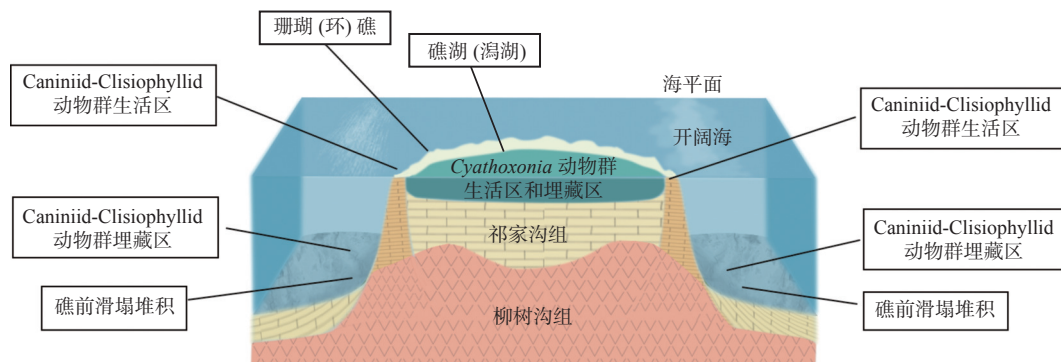


图8 环礁与祁家沟组四射珊瑚生态分异示意图

Fig. 8 The diagram of an atoll and the ecological differentiation of rugose corals in the Qijiagou Formation

环礁礁坪上的 Caniniid-Clisiophyllid 动物群位于较陡的礁前斜坡边缘,受到海浪冲击破坏而破碎垮塌。在海浪和重力共同作用下,破碎的珊瑚沿着礁前斜坡以重力流方式下滑。在下滑过程中珊瑚个体之间及珊瑚个体与其他碎屑之间发生碰撞摩擦,使珊瑚骨骼进一步遭受破坏,外壁几乎被全部破坏,鳞板带被不同程度地破坏或者全部破坏。以重力流方式下滑的珊瑚个体在礁前斜坡角以重力流方式沉积下来,个体破碎严重,大小混杂,排列方向杂乱无章。一些被严重磨蚀的个体保存在深水沉积的灰泥中。

参考文献(References):

- 曹小兵, 吕古贤, 刘晓疆. 祁家沟风暴岩沉积特征[A]. 中国地质学会地质力学专业委员会、中国地质学会构造地质学与地球动力学专业委员会. 第三届全国矿田构造与地质找矿理论方法研讨会论文集[C]. 中国地质学会地质力学专业委员会、中国地质学会构造地质学与地球动力学专业委员会:《地球科学与环境学报》编辑部, 2010: 174-175.
- 弗吕格尔 E. 碳酸盐岩微相——分析、解释及应用[M]. 马永生主译. 北京: 地质出版社, 2006: 1-882.
- FLÜGEL E. Microfacies of Carbonate Rocks Analysis, Interpreta-

- tion and Application[M]. Translated by Ma Yongsheng. Beijing: Geological Publishing House, 2006:1-695.
- 李育慈, 晋慧娟. 新疆博格达山晚古生代风暴岩及其古地理意义[J]. 沉积学报, 1993, 11(01): 23-31.
- LI Yuci, JIN Huijuan. Late Paleozoic Tempestites and Their Palaeogeographical Significance in Bogda Mountain, Xinjiang[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1993, 11(01): 23-31.
- 王训练, 加藤诚, 王鸿祯. 中国维宪早期四射珊瑚群落[J]. 现代地质, 1996, 10: 1-11.
- WANG Xunlian, MAKOTO Kato, WANG Hongzhen. Early Viséan Rugose Coral Communities in China[J]. Journal of Graduate School, China University of Geosciences, 1996, 10: 1-11.
- 王增吉, 俞学光. 新疆乌鲁木齐祁家沟晚石炭世四射珊瑚[J]. 中国地质科学院院报, 1989, 19: 157-171, 图版 I - III.
- WANG Zengji, YU Xueguang. Late Carboniferous Rugose Corals from the Qijiagou in Urmqi, Xinjiang[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 1989, 19: 157-171, Plates I - III.
- 威尔逊 J L. 地质历史中的碳酸盐相[M]. 北京: 地质出版社, 1981:1-365.
- WILSON J L. Carbonate Facies in Geologic History[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1981:1-471.
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 新疆维吾尔自治区岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1999.
- 殷鸿福. 论地史上温带生物区系的识别方法[J]. 古生物学报, 1989, 28(2): 162-170.
- YIN Hongfu. Criteria toward Recognizing Mesothermal Biota in Geological History[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 1989, 28(2): 162-170.
- 曾彩林, 蔡士赐. 皱纹珊瑚目[M]. 见: 新疆地质局区域地质调查大队, 新疆地质局地质科学研究所, 新疆石油局地质调查处. 西北地区古生物图册新疆维吾尔自治区分册(二). 北京: 地质出版社, 1983:1-456.
- 翟晓先. 乌鲁木齐祁家沟剖面中上石炭统风暴岩沉积特征[J]. 成都地质学院学报, 1987, 14(01): 45-54.
- ZHAI Xiaoxian. Sedimentary Features of Carboniferous Tempestites, Qijiagou Section, Urumqi[J]. Journal of Chengdu College of Geology, 1987, 14(01): 45-54.
- Hill D. A Monograph on the Carboniferous rugose corals of Scotland[J]. Monographs of the Palaeontographical Society, 1938-1941: 1-213.
- Sando W J. The Paleocology of Mississippian Corals in the Western Conterminous United States[J]. Acta Palaeontologica Polonica, 1980, 25(3-4): 619-631.
- Somerville I D, Rodriguez S. Rugose Coral Associations from the Late Viséan (Carboniferous) of Ireland, Britain SW Spain[J]. Verlag der Terreichischen Akademie der Wissenschaften, 2007, 17: 383-406.