

# 陕南川北志留系兰多维列统 特列奇阶宁强组的生物礁<sup>①</sup>

李 越 陈 旭

(中国科学院南京地质古生物研究所 南京 210008)

**提 要** 志留纪兰多维列世 (Llandovery) 扬子地台持续上升。特列奇期 (Telychian) *griestoniensis* 笔石带上部至 *spiralis-grandis* 带代表的时限内, 地处扬子地台西北缘的宁强湾, 在温暖浅海的环境中沉积了宁强组巨厚的泥页岩, 其中夹含 8 套碳酸盐岩。在与之对应的 8 期小型局限碳酸盐岩台地的不同部位建造了生物礁和生物滩。生物礁的类型包括骨架礁、生物层和灰泥丘。生物礁群落由底栖固着的造礁珊瑚、苔藓虫、海百合、藻类、层孔虫, 以及非固着的附礁生物腕足类、鹦鹉螺、三叶虫等组成。通过宁强广元地区不同地点和层位的生物礁组合分析, 论述它们在生态组合、生长形状和发育过程中的多样性。

**关键词** 生物礁 碳酸盐岩局限台地 宁强组 特列奇期 志留系 陕南川北地区

**第一作者简介** 李越 男 30 岁 博士 古生物学和地层学

奥陶纪末南极冰盖凝聚导致全球海平面下降和生物的集群绝灭。扬子地台晚奥陶世末的生物礁较各门类生物绝灭早, 在阿什极晚期 (late Ashgill) 就开始绝灭, 直到兰多维列世晚期, 即特列奇期才开始复苏。广西运动最终导致扬子地台的整体上升, 仅在局部地区残留海湾, 扬子地台西北缘陕南宁强和川北广元一带的宁强湾就是其中之一<sup>[2]</sup>。宁强湾基底的快速沉降和来自周缘抬升区的大量陆源碎屑补偿性充填保持基本均衡, 因此宁强湾在沉积 2 000 多米厚的宁强组泥页岩夹碳酸盐岩的过程中, 水深得以基本维持在 BA2-BA3 的深度范围之内 (即水深不超过 60 m 的深度), 这正是当时陆表浅海底栖生态群落最繁盛、最适宜的深度。在陆源碎屑影响较小的短暂时间间隔中, 在少数地点形成了小型局限碳酸盐岩台地, 前后一共有 8 次主要形成期。碳酸盐岩台地可分为生物礁、生物滩等基本单元, 生物礁包括骨架礁、生物层、灰泥丘等类型。本文通过生物礁典型实例分析, 探讨礁组合的构成方式、成礁过程和生态群落特点。

## 1 研究地区特列奇期生物礁的分布

中国科学院南京地质古生物研究所<sup>[7]</sup>以宁强大竹坝为标准剖面建立了宁强组, 为一套泥页岩夹灰岩、生物礁灰岩地层。1988 年俞昌民等<sup>[9]</sup>再次指出宁强组下部以发育珊瑚、层孔虫、海百合、腕足动物、苔藓虫等典型的底栖固着型生物组合为特征, 并指出它们代表了一种温暖浅海接近造礁的环境。陈祥荣等<sup>[4]</sup>实测了宁强景家沟剖面, 记述了该地宁强组生物灰岩、礁灰岩的发育层位和部分化石。丘金玉<sup>[1]</sup>首次对

宁强组的几套礁相地层作了专门研究, 指出广元宁强间发育一系列兰多维列世特列奇期的生物岩礁 (Bioherm), 夹含于厚层页岩和常呈透镜状的薄层灰岩中。这些生物岩礁沿现今的南西—北东方向发育, 即沿扬子地台的西北缘排列, 指示了地台边缘特定的沉积相, 并着重分析了宁强城郊玉石滩、小石咀子沟、广元宣河花石砣的生物岩礁, 识别出礁体各个部位的生物和岩性特征。陈旭、戎嘉余等<sup>[2]</sup>发表的广元宣河及陕南宁强两条实测剖面, 在广元宣河的花石砣—付家湾剖面上识别出 L1- L5 的五套灰岩, 其中每套灰岩横相延伸均发育有生物岩礁, 他们把宁强组分为上部神宣驿段和下部杨坡湾段, 其时限相当于 *griestoniensis* 带上部至 *spiralis-grandis* 带。金淳泰等<sup>[7]</sup>也指出过生物礁灰岩的层位。张廷山等<sup>[6]</sup>认为该地区志留纪风暴潮形成了钙质生物骨骼硬底, 通过埋藏反馈作用 (feedback) 改变了底质环境, 导致了底栖群落更替, 而造礁生物的先驱分子在硬底上完成生物礁的奠基。陈旭、戎嘉余等<sup>[3]</sup>系统总结了扬子区各种典型岩相, 再次阐明了该地区特列奇期的碳酸盐岩和礁相地层是恢复扬子地台岩相古地理的重要部分。李越、陈旭等<sup>[5]</sup>对宁强组杨坡湾段和神宣驿段八期碳酸盐岩台地的划分对比、时空演变和宁强湾的封闭过程作了研究。该地区宁强组碳酸盐岩及生物礁分布如李越、陈旭等 1998 年的论文中所示。

## 2 生物礁和生物滩

### 2.1 生物礁

生物礁代表了海洋生物圈中生物类型最丰富的一种生

① 中国科学院古生物和古人类学科基础研究特别支持项目 No. 9601-3 成果之二  
收稿日期: 1997-09-24 收修改稿日期: 1998-01-20

态域,高丰度和高分异度的造礁生物和附礁生物构成了最佳的生态组合。礁体生物碳酸钙的生产量和堆积速度超过了周缘沉积体,因此一个生长过程较长的生物礁具有明显正向地貌隆起和纵向、横向上的界限。单个礁体生长过程中礁平台和礁前、礁后是生物礁组合的主体部分。礁核相代表了礁体在礁平台上的全部生长过程。

研究地区的生物礁主要有以下三种类型。

### 2.1.1 骨架礁 (skeletal reef)

本地区的骨架礁即是丘金玉<sup>[1]</sup>所定名的生物岩礁 (bioherm) 是由珊瑚、苔藓虫和层孔虫等底栖固着动物的骨架、障积和盖覆生物骨屑、灰泥、或藻类粘结骨屑和灰泥而形成的骨架礁。有的骨架礁中藻席特别发育,而造架的后生动物在丰度和分异度上并不高。本研究地区大都是规模在百米左右的中小型点礁,只是在不同地点和层位上或同一礁体的不同生长阶段上生物群落组成才有一定的变化。礁灰岩外表皆呈红褐色,易于识别。骨架礁群落是由底栖固着的造礁珊瑚、苔藓虫、海百合、藻类、层孔虫以及非造架的附礁生物腕足类、鸚鵡螺、三叶虫等组成。宁强湾向西面的广海开口,礁平台的西侧就是礁前。有水流作用时,礁前通常是能量最高、易于垮塌的部位。由于出露、保存等原因某些礁前塌积岩 (talus) 可能无法识别,也可能因为造礁生物本身坚固的抗浪格架或平缓的外形已足以抵御或缓解高能水流的冲蚀,或者因为礁生长过程中始终都处于非高能水流作用带等原因,而并不发育塌积相。有的礁核虽已被盖覆,但通过塌积相仍可推知其礁核的存在,并能据此间接分析礁核相。强水流既能摧毁部分礁群落,同时也能保持利于礁生长的贫营养清洁环境。本文采用 Cooper 等<sup>[11]</sup>对志留纪礁的几何形态划分来描述骨架礁,它们都具有地貌上的明显正向隆起。

### 2.1.2 生物层 (biostrome)

Cumings<sup>[12]</sup>将生物层 (biostrome) 和生物岩礁 (bioherm) 作为相对立的两个术语同时提出来的。通常认为生物层缺乏地形上的丘状或透镜状隆起,只是一种生物形成的碳酸盐岩层状地层,包括海百合屑层、贝壳层、珊瑚层,或浮游微生物如有孔虫等沉积层。有的作者将生物层作为层理发育、地貌上不具明显正向隆起的一种生物礁类型,并将原地生长的造架生物骨骼形成的生物层与异地堆积的生物骨骼形成的生物滩 (bank) 相区别。Kershaw<sup>[16]</sup>将生物层定义为生物丰富的碳酸盐岩地层,成因多样,根据原地或和异地生物组合的比例、层理厚度再细分为原地生物层 (autobiostrome)、拟原地生物层 (autoparabiostrome) 和异地生物层 (allobiostrome)。生物层包括了原地造架生物形成的层状礁和经过搬运作用形成的生物滩,实际上就是具有相当丰度并可识别的生物骨骼构成的碳酸盐岩地层。因此,并不是所有碳酸盐岩地层都可归入 Kershaw<sup>[16]</sup>所谓的生物层,否则生物层也就失去了它的特定含义,完全成为碳酸盐岩地层的同物异名。本研究地区的大部分台地相碳酸盐岩都含丰富的化石,构成了小型局限台地的主体,除浮游相生物层在本区暂未能识别出之

外, Kershaw<sup>[16]</sup>划分的各种生物层大都能加以识别。但本文沿用目前习惯对生物层的定义,将生物层作为生物礁的一种类型,即以底栖原地保存的造架生物为主形成的层状礁。

### 2.1.3 灰泥丘 (lime-mud mound)

灰泥丘这一术语由 Wilson<sup>[18]</sup>提出,具有一定的正向隆起地貌,缺乏象生物礁那样的大型后生动物原地生长格架,而主要是由微生物生产、粘结、固着的灰泥或少量的后生动物骨屑而形成的丘。本研究地区灰泥丘规模小,一般在横向上都只延伸数米,且数量也少,出现于礁平台或台地斜坡下部。

### 2.2 生物滩

一般认为生物滩是生物骨骼或生物碎屑经过一定程度的水流搬运异地堆积埋葬形成的碳酸盐岩地层,形成的深度范围和生物类型组合方式有较大的变化幅度。本文所识别的生物滩与 Kershaw<sup>[16]</sup>划分的异地生物层 (allobiostrome) 是同义的。

生物滩堆积的环境并不排斥所有的底栖生物生存,被水流搬运的生物骨骼也不都是尸集群落,所以在生物滩堆积体中也不能完全排除有原地生长的生物骨骼的存在。同样,各种类型的生物礁形成方式虽然以原地生长保存为主,但少量非原地形成的生物骨骼或碎屑也可以被带入礁体建造的相带内堆积。所以本文根据不同群落特点、沉积方式定义的生物礁和生物滩以及生物礁类型是定性的而非定量的。它们之间并不存在截然的界限,有时会遇到难以界定的中间类型,所以在具体的划分方法上多少还取决于各研究地区的特点和研究者的经验。

## 3 生物礁组合的实例分析

### 3.1 大坪顶生物礁组合

该礁位于宁强湾东北神宣驿段第一期碳酸盐岩台地的斜坡边缘,系由生物层发展而成的骨架礁 (图 1)。生物层由东北 (厚 17.4 m) 向西南方向变薄,为中厚层生物灰岩和生物泥灰岩。生物层之下是黄绿色泥岩夹薄层棘屑灰岩透镜体,说明碳酸盐台地形成之前有大量泥质物倾入,短期局部的海百合群落还不能形成稳定的生物层,而只能形成棘屑生物滩。当泥质物影响较小时,造礁群落才开始占据该生态域。早期生物层较薄,厚约 8 m,主要由腕足类 *Atrypoides lentiformis* 和单体四射珊瑚组成, *Atrypoides* 在局部地点特别富集,原地叠置堆积成透镜状,单体四射珊瑚呈原地生长状保存,还有少量的造架珊瑚。在珊瑚和腕足类较少的局部层位中海百合则相对丰富,萼部有时均能较完整的保存。晚期生物层厚度增加,厚 9.4 m 造礁群落的分异度和丰度明显增大,水流作用增强,泥质减少。开始出现大型造架珊瑚 *Subalveolites* sp., *Mesosolenia* sp. 等,单体四射珊瑚和腕足类也进一步繁盛,有的造架珊瑚因为水流的定向作用而呈不对称生长。晚期生物层中生物群落分异度和丰度的增高为发育于大坪顶台地斜坡生物层向骨架礁过渡创造了条件。

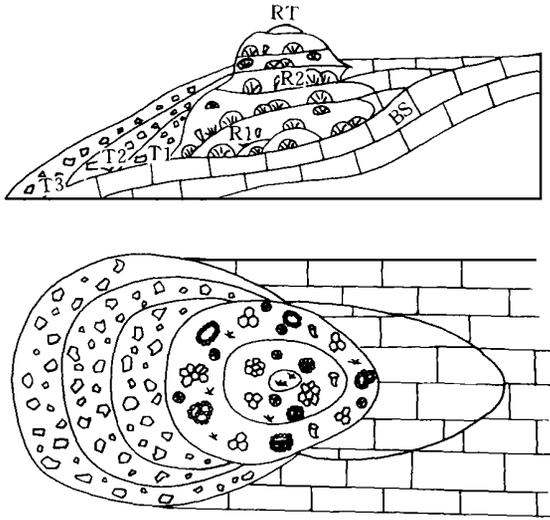


图 1 大坪顶生物礁组合示意图(上图为例视,下图为顶视)  
BS. 生物层; R1. 下部平台状礁; R2. 上部圆柱状礁;  
RT. 礁顶; T1- T3. 礁前三期塌积岩

Fig. 1 An illustration of the Dapingding reef complex

骨架礁为一点礁,礁前发育塌积相。礁核厚度为 18.6 m,礁体下部宽度为 20 m,上部为 15 m 左右,发育于生物层之上。骨架礁开始是圆台形,坡度缓,层理薄,约 10- 20 cm,无塌积相。而后长成圆柱形礁体,层理增厚,约 20- 40 cm,近于直立生长,块状珊瑚丰富,礁前受强烈水流冲击形成塌积相。礁平台由大型块状珊瑚组成,主要造架生物是 *Halysites* sp., *Heliolites* sp., *Favosites* sp., *Subalveolites* sp. 等横板珊瑚及少量的单体四射珊瑚。早期圆台形点礁除造礁珊瑚、层孔虫、苔藓虫外,盖覆生物主要是层状藻席,附礁生物为少量腕足类、腹足类和双壳类。圆柱形礁体中大型速生块状珊瑚密集叠复,几乎占据了整个礁体的空间,抑制了附礁生物在礁体中的生态位,对生物骨屑起重要固结作用的藻席纹层也不发育。礁顶厚度为 0.5 m,泥质成分逐渐增加,造架珊瑚几乎消失,岩性由红褐色变为黑褐色,是藻席纹层发育形成的瘤灰岩。这种环境不适于珊瑚生长,反映了水流强度的减弱,泥质成分增高的变化。这种在骨架礁后期藻类及微生物的作用致使生物礁退化现象与 Leinfelder 等<sup>[12]</sup>研究的西班牙侏罗纪的生物礁实例很相似。瘤灰岩形成之后,陆源碎屑物大量漫入这一碳酸盐台地,从而结束了大坪顶生物礁的生长。

骨架礁礁前受强水流冲蚀呈陡崖状,陡崖前端堆积了三期塌积相,中间被两层 5- 10 cm 的薄层灰绿色泥灰岩分隔。三期塌积相由破碎的珊瑚角砾块和少量棘屑组成,在礁体根部最厚,向礁前远端变薄,环抱礁体呈丘状半圆台形,塌积岩中未见原地生长的完整珊瑚,无层理,是杂乱无章的堆积。这些来自骨架礁平台上的塌积岩和灰泥迅速被藻类粘附和盖覆。骨架礁礁顶形成时不发育塌积相,所以礁前塌积相之顶

未发现与骨架礁礁顶组成类似的瘤灰岩塌积块体。

生物礁相变为瘤灰岩很重要的原因之一是水动能的减弱,导致了泥质的增加、氧化条件的降低和造礁生物群落的消亡。造成水动能减低的原因虽有可能是因为碳酸盐台地迅速下沉到浪基面以下,作者却倾向于另一种解释,即可能是另一个后来建造的骨架礁,即位于西侧礁前的玉石滩骨架礁阻挡了前方的波浪,造成礁后低水动能环境,波浪作用无法波及到大坪顶,陆源碎屑因无水流的冲刷而漫过礁顶沉降下来,致使骨架礁珊瑚群落窒息。

3.2 玉石滩—安沟生物礁组合

玉石滩骨架礁本身仅出露礁平台的前端和塌积相,对此丘金玉<sup>[1]</sup>曾作过详细地研究。塌积岩自玉石滩向西南方向减薄,所以必然有一个更大的骨架礁礁体被掩埋在其东北侧的页岩中。礁体北侧的安沟出露礁后泻湖相,为薄层骨屑泥灰岩夹少量灰色、黄绿色页岩,含小型单、复体珊瑚、棘屑和少量腕足类碎片。玉石滩塌积岩底部是数层以棘屑为主的生物碎屑灰岩并与灰绿色页岩互层,缺少象大坪顶骨架礁之下的生物层灰岩,由此可推测台地到此已处于最边缘。泥质供给物间断性地变化影响着低能环境下的棘屑生物滩发育,一旦泥质供给物有较长时间地减弱,造架生物群落则迅速占领并形成大型骨架礁。玉石滩的塌积砾块中灰泥质成分明显少于大坪顶,也不见藻类附着生长,大型造架珊瑚也更丰富,说明玉石滩生物礁生长于高能环境,阻挡了由西南外海进入的波浪,使之不能到达已生长完好的大坪顶生物礁,并在玉石滩礁后的东北方形成了安沟泻湖(图 2)。

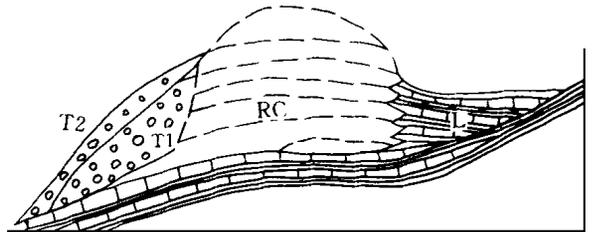


图 2 玉石滩—安沟生物礁组合示意图

RC. 隐覆于页岩中的礁核;  
T1- T2. 礁前两期塌积岩; L. 礁后安沟泻湖

Fig. 2 An illustration of the Yushitan-Angou reef complex

安沟礁后泻湖生物滩形成于玉石滩骨架礁与碳酸盐岩台地斜坡之间的凹陷内。泻湖沉积的总厚度为 12 m,下部为厚约 8 m 的薄层生物瘤灰岩夹少量黄绿色页岩,灰岩单层厚 3- 15 cm,主要含小型单体或复体皮壳状珊瑚、海绵,少量腕足类和丰富的海百合茎。珊瑚多为原地生长保存,少量则明显破碎。在礁平台上已固结的骨屑可再度被冲刷到礁后泻湖中堆积,形成与礁核相相似的红褐色泥灰岩。在某些珊瑚骨屑之上,又有泻湖相的小型珊瑚着生。而海百合一度是泻湖中的优势分子。

泻湖相沉积物的上部厚约 4 m, 为泥岩夹两层各厚 0.5 m 和 1.5 m 的红褐色礁角砾岩透镜体。波浪作用不但可形成礁前塌积, 还波及礁平台, 将抗浪能力较弱的小型珊瑚或已处于固结状态的礁岩, 搬运到礁后泻湖中堆积。两次对礁平台的冲蚀作用之间的间歇期, 正是陆缘碎屑物大量倾入碳酸盐台地, 淹没大坪顶骨架礁的时期。玉石滩生物礁在第一次向礁后塌积之后仍维持生长。但第二次塌积之后, 陆源碎屑进一步增高浸入到碳酸盐台地边缘, 导致了玉石滩骨架礁的结束。这种礁平台上的砾块向礁后泻湖塌积的实例, 与 Henrich<sup>[14]</sup>研究的阿尔卑斯山北部三叠纪的礁后泻湖相极为相似。

玉石滩礁组合露头由礁平台前端和礁前塌积物叠复而成, 并以礁前塌积物为主, 总厚度为 22.9 m。礁组合之下的棘屑生物碎屑灰岩与页岩互层中, 产有秀山动物群的腕足类 *Spinochonetes* sp., *Nucleospira* sp., *Striispirifer* sp., *Howellia* sp., *Atrypopsis* sp.; 三叶虫 *Coronocephalus* sp. 等, 棘屑生物滩为礁基, 其上的玉石滩骨架礁开始生长时形状可能与大坪顶生物礁类似, 隐伏的骨架礁建隆初期隆起较缓, 拓展至玉石滩出露的厚度仅 1.8 m。平缓的隆起能有效地减弱波浪对礁体的冲蚀, 原地生长的栅状珊瑚 *Halysites* sp. 和皮壳状珊瑚 *Alveolites* sp. 能障积和盖覆棘屑与灰泥, 为腕足动物等附礁生物提供生长条件。随着礁平台中心纵向加速生长和波浪作用日趋强烈, 自礁前垮塌的砾块状礁石不时撞击着礁体前端的表面, 致使多数造礁生物无法正常生长, 礁前群落被塌积相所取代。塌积的块状和皮壳状珊瑚多破碎和翻转, 有的在礁平台已经成岩固结, 因此砾块边界与塌积相中的后生胶结填隙物边界截然不同, 角砾块的顶面也凹凸不平。虽然垮塌的砾块占该层岩石成分的绝大部分, 但仍然可以识别出少量塌积物未曾波及的原地生长的珊瑚。玉石滩的塌积岩比大坪顶塌积岩中的泥质少得多。第一阶段塌积相形成以后, 礁体经历了一个短暂的风浪平静期, 来自东北方隆起区的陆源碎屑渗入骨架礁平台和礁前, 虽不致于使整个造礁群落完全窒息, 但能抑制礁平台的纵向生长。礁前虽不时地受到大量泥质物干扰, 但仍然有少量小型造架珊瑚和海百合生长。此后礁平台在经历短暂的横向拓展后再次纵向加速生长, 塌积岩再次占据玉石滩。第二次塌积规模与第一次相比要小得多, 而礁平台向礁后泻湖塌积则相对增强。随后形成的灰绿色页岩漫入了生物礁的位置, 结束了玉石滩礁组合的发育。因此玉石滩骨架礁的发育过程有两次旋回。

大坪顶和玉石滩生物礁组合都发育于同一个碳酸盐台地斜坡和最前缘斜坡脚, 并由斜坡向斜坡脚方向逐渐推进。成礁初期以横相拓展为主, 此后因基底沉降较快迫使礁体纵向加速, 保持在浪基面以上的高氧化环境, 利于造礁生物生长。波浪冲蚀礁前, 波及礁平台, 使那里的造礁生物遭受摧毁, 并向礁前、礁后塌积。最终因基底沉降过快, 氧化程度降低或陆源碎屑干扰过强等原因, 生物礁退变为瘤灰岩或直接被泥页岩所盖复。

### 3.3 青岭地湾生物礁组合

青岭地湾生物礁组合位于广元宣河西南, 是神宣驿段第一期形成于宁强湾西部的碳酸盐台地边缘的礁, 下部是生物层, 上部是骨架礁。骨架礁基底是其东南另一个更早形成, 被页岩盖覆的骨架礁礁前塌积岩, 礁体厚 10.6 m, 出露最大宽度约 40 m (图 3)。

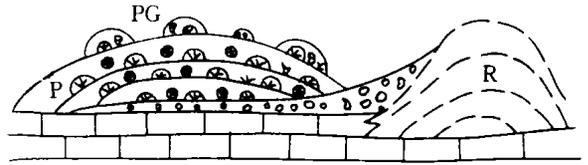


图 3 青岭地湾生物礁组合示意图

P. 下部平台状礁; PG. 上部点礁群;  
R. 隐覆的骨架礁; T. 骨架礁礁前塌积

Fig. 3 An illustration of the  
Qinglingdiwan reef complex

生物层由高分异度和高丰度的珊瑚组成, 其中 *Favosites* sp. 占大多数, 其它珊瑚有 *Subalveolites* sp., *Pilophyllum* sp., *Microplasma* sp., *Stromatopora* sp., *Nanshanophyllum* sp. 等。生物层中局部夹有少量藻团块灰岩层和生物砾屑灰岩层。造架珊瑚群落形成的生物层具备演替为骨架礁的条件。在青岭地湾的东侧曾经形成一个骨架礁, 而且这一骨架礁向西形成礁前塌积相。生物层之上盖覆了厚约 1 m 的骨架礁礁前塌积岩, 塌积岩无层理, 为杂乱堆积的角砾状珊瑚、层孔虫和海百合茎。青岭地湾骨架礁不直接生长于生物层之上, 而是生长在塌积岩之上。这种成礁方式即原有的骨架礁群落整体向塌积区迁移导致新骨架礁的快速形成, 目前在研究地区其它地点和层位中并不多见。

青岭地湾骨架礁下部厚约 8 m, 由原地生长的块状复体珊瑚层组成, 珊瑚中主要为 *Favosites* sp., *Subalveolites* sp. 和 *Halysites* sp.。其间充填少量的海百合茎, 但缺少分枝状珊瑚和其它门类的附礁生物。局部块状珊瑚紧密叠覆生长, 形成平台状礁。这是一个分异度小而丰度极高的 *Favosites-Subalveolites-Halysites* 群落。密集生长的块状珊瑚形成了坡度平缓的礁平台其前端并不堆积塌积相, 因为平缓的骨架礁能有效地缓冲波浪。

青岭地湾骨架礁上部生物群落和礁的生长形状较下部有很大的不同, 由骨架礁的点礁群和灰泥丘共同组成。点礁群包括 10 多个小型点礁, 单个点礁长宽高均仅数米, 还有两个由藻席—皮壳状珊瑚组成的长宽各约 5~10 m 的较大点礁。点礁体由中—大型的块状珊瑚和局部中—大型分枝状珊瑚组成, 大部分块状珊瑚呈原地生长状保存。点礁群中有一个丘状体隆起直径约 1 m, 由非原地生长的块状复体珊瑚和破碎的棘屑、腕足类、单体珊瑚无定向堆积所构成, 是礁平台内的局部塌积体, 说明点礁群仍然处于水流较强的环境。礁平台前方坡度较缓, 点礁群间的水流通道能有效地消减波

浪,使局部的塌积岩堆积在点礁间的低凹处,而不在礁前堆积。点礁群除中一大型块状珊瑚 *Favosites* sp., *Subalveolites* sp. 形成坚固的格架外,还有丰富的单体四射珊瑚、层孔虫、苔藓虫、海百合以及少量的附礁生物腕足类、腹足类和三叶虫等,群落的分异度远超过下部的平台状骨架礁群落,丰度则与下部相当。有的分枝状四射珊瑚直径达 1 m,其枝间空隙便于单体四射珊瑚和小型腕足动物附礁生长。

小型点礁群中发育了一个灰泥丘,高约 1 m,直径约 2 m,外观呈灰白色的丘状,全部是藻席纹层形成的灰泥。小型点礁群东侧是两个藻席和少量皮壳状珊瑚(主要是 *Favosites* sp. *Subalveolites* sp.) 建造的较大灰泥丘。单层厚一般不超过 10 cm,直径约 5~10 m,厚度最大 3 m 左右,仅有平缓的向上隆起。灰泥丘有一局部的小型塌积体,厚 0.5 m 与点礁边界明显,中间无层理,多为已固结成岩的塌积砾块无规则堆积,塌积体之上又被藻席障积的泥灰岩盖覆。这一塌积体与发育于小型点礁群中的塌积体规模相当,而前者含灰泥质成分更高,局部还保存着藻席粘结成岩构造。藻席粘结少量破碎的块状珊瑚、单体四射珊瑚和腕足类,它们来自礁平台前方的小型点礁群,周期性短暂的风暴使点礁群上的珊瑚块体和附礁生物骨屑向礁后藻席运移,在风暴期之后骨屑层又被藻席群落盖覆生长。

从青岭地湾礁平台上两种塌积体的分析可知,小型点礁群经历过高能水流的冲蚀,造成点礁群上的砾块向点礁群中间塌积或盖覆于礁后藻席上,青岭地湾点礁群中的塌积体规模较宁强大坪顶和玉石滩骨架礁的塌积体要小得多,这与塌积岩来源的骨架礁规模大小紧密相关。

### 3.4 花石砣生物礁组合

神宣驿段第三期碳酸盐台地在广元宣河东部形成花石砣骨架礁,礁体长 120 m,宽 80 m,高 30.4 m,在花石砣出露礁基和礁核中下部,而礁核上部 and 礁顶则出露于浅溪河北岸的凤凰咀。骨架礁周缘为黄绿色、黄色泥岩和页岩(图 4)。

花石砣骨架礁生长之前的碳酸盐岩层厚度小,规模局限,为灰绿色、黄绿色页岩中夹 5 层薄层生物骨屑灰岩透镜体,厚 4.4 m。下部的两层生物灰岩单层厚 15~20 cm,是原地生长的生物群落,中间隔有 0.5 m 的页岩。作者选择其中一层作 40×40 cm 样方统计,骨屑以棘屑为主,占层面的

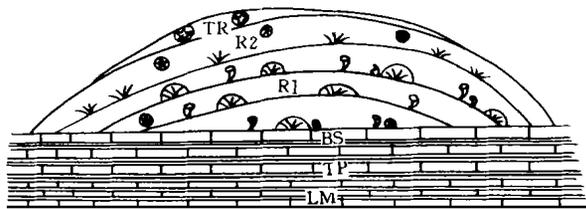


图 4 花石砣生物礁组合示意图

L. 两层生物灰岩; TP. 三期风暴层; BS. 礁基海百合层; R1. 骨架礁中下部; R2. 骨架礁上部藻席纹层; TR. 礁顶海百合层

Fig. 4 An illustration of the Huashituo reef complex

50%, 腕足类 *Dolerorthis* sp. 11 个, 三叶虫 *Coronocephalus* sp. 1 个, 小型珊瑚 *Favosites* sp. 2 个, 小型枝状苔藓虫 7 个, 非海百合茎化石破碎程度中等, 堆积成直径 0.5 m 的小型丘状隆起。这种群落相当于 James 等<sup>[13]</sup>所指的生物礁定殖期。由于大量陆源碎屑的干扰, 底栖群落向生物礁发展的尝试是失败的。

上部是 3 层薄层棘屑生物滩灰岩, 棘屑无分选堆积, 属种单一, 是风暴作用造成的。张廷山等<sup>[6]</sup>曾对该地区的风暴层作过分类, 认为这种风暴层由于埋藏反馈作用使泥底变为棘屑硬底, 导致底栖群落的演替, 并在此基底上发育生物礁。但是这 3 层薄层棘屑灰岩也同样经历了大量泥质的盖覆, 无法从根本上将浑浊的泥质基底改变成清澈的碳酸盐岩硬底。从 3 次风暴层的基底上不能成礁的事实, 说明成礁需要较长时期内无大量泥质倾入这一至关重要的条件。在陆源碎屑频繁干扰期即使有短暂的底栖生物群落和风暴层硬底, 也无法使造礁生物群落生长。风暴潮在某一段地层中应该有频繁的记录, 如果在风暴层的基底上能形成生物礁的话, 整个成礁过程的起止至少以万年计, 而很难设想风暴潮的周期也可达万年之久。风暴潮既然能扰动泥质基底上的海百合群落, 同样也能摧毁早期的生物礁群落。风暴潮在改变了底质条件之后不可能在万年时限内不再强烈地干扰硬底生物群落, 并保证骨架礁群落演替平稳地进行, 而且风暴作用发生之后也必然要伴随泥质的暂停倾入。所以作者认为无论从推理或从实际的地层序列上分析, 要在所谓的风暴层基底上成礁的可能性都非常之小。真正控制宁强湾各种礁体形成时间和地点的最主要因素是海岸线位置变化和陆源碎屑对台地的干扰强度。

花石砣骨架礁的基底是一层 80 cm 厚的棘屑生物层, 海百合茎呈原地固着生长状态, 中间只夹数毫米厚的页岩, 表明成礁的条件已经成熟, 进入了真正的成礁定殖期, 棘屑灰岩的礁基相之上形成了花石砣骨架礁。海百合在定殖期就已大量生长, 并繁盛于整个骨架礁的始终。

骨架礁中下部的主要造架生物为大型块状珊瑚和局部相对集中生长的单体四射珊瑚: *Halysites sinensis*, *Carnegiea elongata*, *Quepora* sp., *Subalveolites* spp. *Mucophyllum* cf. *conicum*, *Amplexoides* cf. *appendiculatus*, *Dokophyllum* sp., *Kodonophyllum* sp., *Strombodes* spp., *Sompora daedalea*, *Ningqiangolites* cf. *mutitabulata*, *Propora* sp., *Eosiella ningqiangensis*, *Zelophyllum* sp., *Protoplasma* sp. 和 *Favosites* sp.<sup>[2]</sup>, 其它对礁体起盖覆作用的苔藓虫、层孔虫亦很丰富。附礁生物有腕足类、三叶虫、鸚鵡螺等。鸚鵡螺在局部地点特别富集, 分异度高, 有: *Parahelenites rarus*, *Geisonoceras* sp., *Kinoceras styliforme*, *K.* spp. *Virgoceras* sp. 和 *Monoceras angustum* 等<sup>[2]</sup>, 此外还见有海林檎 *Cryptocrinites* sp. 礁核的上部大型造架珊瑚逐渐减少, 薄层皮壳状珊瑚和藻席纹层开始大量发育。在礁核的中下部, 灰泥仅在局部造架生物较少、海百合茎较多的位置出现, 而在礁核上部, 灰泥

则均匀地散布于礁体各处,特别在藻席发育的部位灰泥被大量粘结障积,甚至形成了类似灰泥丘的平缓建隆构造,一般厚约 0.5 m,向周缘与棘屑灰岩呈指状交叉接触。此外少量的陆源泥质也局部地漫入了骨架礁。藻席群落开始代替大型造架珊瑚群落,海百合几乎是藻席层中唯一的后生动物,其它门类的附礁生物很少。一般的附礁生物和造礁生物能忍耐少量的陆源泥质,此时泥质的增加可能还不是造礁群落和附礁群落分异度减低的唯一原因, Hallock 等<sup>[13]</sup>认为生物礁在生长过程中,有时由于水体暂时的滞流和因藻席发育产生的丰富有机物不能及时地被带出礁平台,造成了礁平台上灰泥的增高和富营养环境,排斥了适于在贫营养的氧化环境下生存的造礁生物和附礁生物群落。礁核中下部的藻类因多数附礁生物以此为食物而无法形成藻席纹层,一旦出现滞流富营养环境,附礁生物的减少又解除了藻类被捕食压力,生态条件和保存条件都利于形成藻席纹层。海百合是广适性的生物,适于在此环境中生存,当它与大量藻席共存并排斥其它造礁珊瑚和附礁生物时,才指示了氧化条件的降低。单调的海百合对藻席不构成捕食压力,这就是礁核上部比较单调的藻席—海百合群落代替了原来高分异度礁群落的原因。

花石砣生物礁发育末期仍是滞流环境,大量陆源泥质使善于粘结碳酸盐颗粒的藻席也无法生存,只有海百合和一些小型的腹足类如 *Liospira* sp., 才能继续生长。海百合种类繁多,个体粗壮,最大直径 3 cm,保存长度达 25 cm。灰泥岩的礁顶相沉积不到 1 m。花石砣骨架礁形成之初群落替代是快速的,而衰亡则是渐变的。

### 3.5 石砣山生物礁组合

石砣山位于广元中子镇东南,是神宣驿段第四期碳酸盐岩台地上形成的大型生物礁组合,礁的基底是始于川陕交界何家坟的碳酸盐台地向西延伸的边缘。

该礁体包括骨架—藻礁和生物层两部分。骨架礁礁核最大厚度为 27.4 m,礁底最宽,东西延伸 120 m 左右,向礁顶收敛(图 5)。它与其它骨架礁比较,则在形状和生物群落的组成上有很大的不同。首先是外形上的不对称(asymmetric),西翼平缓,向黄色泥页岩夹薄层灰岩透镜体尖灭,东翼呈直立陡壁状,与东侧的生物泥灰岩直接指状穿插,相带分异明显。其次是生物礁群落以藻席纹层和少量皮壳状横板珊瑚 *Favosites* sp., *Halysites* sp., *Subalveolites* sp. 为主,小型分枝状珊瑚 *Fletcheria* sp., *Shensiphyllum* sp. 极少。由于缺少大型造架珊瑚,整个骨架礁平台地貌差异小,礁

体多呈平缓隆起,与花石砣骨架礁上部成礁环境十分相似。这种藻席纹层为主,相对较低能的环境伴随石砣山骨架礁的始终。因此附礁生物群落分异度和丰度均低,仅见有棘屑和局部富集的,适于在骨架礁中生活的鸚鵡螺类,有的鸚鵡螺类如 *Sichuanoceras* sp. 不出现于骨架礁中,却在与骨架礁东侧紧接的生物层中很丰富。生物层中有丰度和分异度极高的腕足类、造架生长的小型四射珊瑚、横板珊瑚,以及腹足类、三叶虫、头足类等。整个礁组合从东向西分为生物层—骨架礁—泥页岩夹生物碎屑灰岩透镜体三个相带。骨架礁平台相对于礁前斜坡和东部生物层而言,并不十分高凸。礁前的泥页岩和东部的生物层是同期水深相近的不同相带。骨架礁东面的生物层和玉石滩骨架礁的礁后安沟泻湖相不同,后者是一种底栖生物相对较少,不断受到陆源碎屑堆积和礁平台向后塌积影响的环境。而前者始终与骨架礁保持同步生长,为在不适应于藻席骨架礁中生存的其它后生动物提供了生态域。骨架礁和生物层两个相带虽然近在咫尺,有些门类的生物却互不渗透,这种格局一直维持到骨架礁和碳酸盐台地的末期因泥质的大量盖覆而结束。在礁顶上沉积的黄色页岩中,仅有“*Lingula*”单属种的底栖生物组合,指示 BAI 的深度,因陆源泥质不断盖覆碳酸盐台地的过程中,已使水体变得很浅。

### 3.6 水井沟生物礁组合

水井沟生物礁位于广元宣河尖包,神宣驿段第五期碳酸盐台地从川陕交界的七盘关向西延伸至此厚度仍然很大,没有尖灭的趋势。骨架礁基底是以底栖固着珊瑚、海百合和腕足类为主的生物层,周围是珊瑚为主的厚层生物灰岩。骨架礁礁体厚约 20 m,底部最宽处约 34 m,顶部收缩,呈草垛状(haystack)(图 6),是一个发育于碳酸盐台地中部,始终都隆起于周围厚层生物层的骨架礁,骨架礁的生长速度大于周缘生物层的沉积速度。骨架礁礁核以粗枝状和皮壳状珊瑚为主,呈红褐色,与后来沉积的灰黄色生物层界限分明,并不象石砣山骨架那样与其东侧的生物层呈指状交叉。

水井沟骨架礁的生长速度大于周缘生物层的形成速度,直至礁顶也不见礁群落有明显变化。原地生长的大型块状珊瑚 *Favosites* sp. 在局部地点宽达 1.2 m,其上又被多种类型的造架珊瑚固着生长,还有中等数量的单体四射珊瑚和少量的苔藓虫。附礁生物如腕足类、三叶虫等也很丰富,充填于大型珊瑚骨架间隙中。这些附礁生物的壳体多不破碎,不是异地埋藏,是附礁生物利用了珊瑚骨架间隙的生态位栖息,在这些地方既可以得到丰富的食物和氧气,又可以在珊瑚格架的保护下避开高能水流的冲击。礁周缘无塌积相,可能是水流强度不很高的缘故。礁顶相已被完全或部分剥蚀,局部可见可能是被淡水淋滤形成的溶孔,推测骨架礁可能一度生长出水面,经历了一个古喀斯特(Paleokarst)过程,而后才被层状灰岩埋藏。这种过程在加拿大 Anticosti 岛志留纪生物礁中也曾出现<sup>[10]</sup>。因此水井沟骨架礁的特点还在于成礁过程结束早于碳酸盐台地的终止。

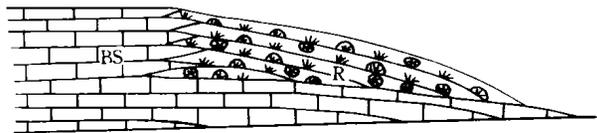


图 5 石砣山生物礁组合示意图

R 骨架礁;BS 生物层

Fig. 5 An illustration of the Shijiaoshan reef complex

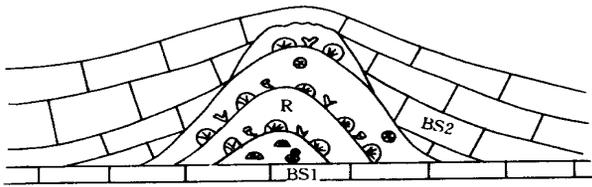


图 6 水进沟生物礁组合示意图

R. 骨架礁; BS1. 骨架礁礁基生物层; BS2. 内架礁周缘生物层

Fig. 6 An illustration of the Shuijingou reef complex

生物层的沉积速度和基底沉降速度基本一致,所以生物群落始终未有明显的变化,有高分异度和丰度的造架珊瑚和其它的附礁生物如腕足类的 *Apopentamerus szechuanensis*, 和 *Nalivkina magna* 等,有的层位中生物骨骼的破碎程度较高,生物层向生物滩过渡。

### 3.7 大石岩生物礁组合

宣河西部的石岩生物礁组合是神宣驿段第七期碳酸盐岩台地成礁的代表,由生物层和其上相距 200 m 左右的两个骨架点礁组成(图 7)。靠西侧的骨架礁较大,高 27.8 m,底部最宽处 53 m,礁前坡度近于直立,层理厚,由大量大型粗枝状原地生长的造架珊瑚和大型块状珊瑚组成,附礁生物少。东翼坡度稍缓,由中—大型栅状、块状、皮壳状珊瑚 *Halysites* sp., *Favosites* sp. 和 *Subalveolites* sp. 组成,数量少于西翼,在礁前有塌积砾块,向西延伸约 25 m。礁体初期呈宽圆台状,之后呈陡直的圆柱状,与宁强大坪顶生物礁生长方式相似。礁顶厚约 2.5 m,灰泥含量增高。东侧的骨架礁礁体较小,呈圆丘状,高 16.9 m,底部宽约 40 m,主要为小型皮壳状珊瑚组成,而且小礁的层理较大礁的要薄得多 (< 0.5 m)。两个骨架礁都生长在生物层基底之上,是同时形成的,顶部与上覆盖层的接触处已被剥蚀。

大骨架礁不仅有礁前塌积角砾岩,而且其造架珊瑚在礁前礁后的群落组分也不相同,这是波浪作用于礁前强于礁后所致。在此造礁之前,宁强湾中的骨架礁造礁珊瑚在礁前和礁后的群落分异尚不明显。大石岩大骨架礁的礁前迎浪面多为粗枝状和块状造架珊瑚,如 *Coenites* sp., *Entelophyllum* sp., *Aphyllum* sp., *Fletcheria* sp., 等。礁后粗枝状珊瑚明显减少,而皮壳状、栅状珊瑚 *Favosites* sp., *Halysites* sp. 等却占了主要比例,与东侧的小礁珊瑚组合相似,大礁的礁前和礁后都未见大量藻席纹层对礁体的固结和盖覆,礁前灰泥远少于礁后皮壳状珊瑚障积的大量泥灰岩。粗枝状珊瑚大量叠

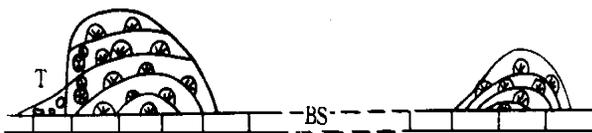


图 7 大石岩生物礁组合示意图

左. 大骨架礁; 右. 小骨架礁;

T. 大礁礁前塌积; BS. 骨基生物层

Fig. 7 An illustration of the Dashiyuan reef complex

复生长于礁前波浪强烈带,它们的抗浪能力更强于礁后块状复体珊瑚,这与 Braithwaite<sup>[9]</sup>研究的现代珊瑚礁礁前高能带的粗枝状珊瑚和礁后低能带块状皮壳状珊瑚群落的分异是可比较的。大石岩骨架礁礁前波浪作用的强度与大坪顶和玉石滩骨架礁相近,神宣驿段第七期碳酸盐台地上礁前粗枝状珊瑚群落的形成,表明早期以叠覆生长的块状珊瑚群落抗浪结构向着更高级的粗枝状珊瑚礁前群落抗浪结构的进化过程。

大石岩骨架礁的另一特征是礁体中除礁前礁后丰度很高的造礁珊瑚外,非珊瑚的造礁生物极少,仅少量的海百合茎作局部充填。位于小礁东侧的包家梁,黄色薄层泥灰岩生物滩中除少量造架生物外,其它门类的生物也十分丰富,是典型的礁后低能带灰泥坪环境的生物组合。这种灰泥坪生物滩群落的高分异度和丰度与石窑山骨架礁东部的生物层相似,仍处于开阔海湾台地之上的非滞流环境。所以从大石岩一包家梁骨架礁的礁前、礁体和礁后的不同生物组合代表了三个水体能量不同的生物群落。

从以上生物礁组合实例分析可以看出陕南宁强和川北广元地区礁组合的规模大小有别,生物群落多样化,随着礁的生长发生群落的演替。骨架礁的藻席群落和旁侧的生物层群落之间既可以因地貌上的高差而分异,也可以处于近同一平面上同步生长,形成生态群落明显的分异。骨架礁礁体因为大量造礁生物的生长和沉积的高速度,可生长成隆起于周缘的地貌,也可能隆起平缓。直接与侧向的生物层联结。礁体生长的结束方式大都是泥质成分大量倾入碳酸盐台地所致。随着扬子地台在特列奇期末的完全抬升和宁强海湾的封闭,宁强组的台地及生物礁群落分子除少数外大多绝灭。

### 参 考 文 献

- 1 丘金玉. 川北广元及陕南宁强地区兰多维列世生物岩礁. 古生物学报, 1990, 29(5): 557-566
- 2 陈旭, 戎嘉余, 伍鸿基等. 川陕边境广元宁强间的志留系. 地层学杂志, 1991, 15(1): 1-25
- 3 陈旭, 戎嘉余, 王成源等. 中国扬子区兰多维列统特列奇阶及其与英国的对比. 北京: 科学出版社, 1996. 1-162
- 4 陈祥荣, 成汉均, 汪明洲. 陕西南宁强二郎坝志留系的研究. 西安地质学院学报, 1988, 10(4): 12-20
- 5 李越, 陈旭, 樊隽轩. 宁强广元地区宁强组碳酸盐岩台地的时空分布及宁强湾的封闭. 地层学杂志, 1997, 22(1): 16-24
- 6 张廷山, 高卫东, 兰光志等. 中国川西北地区志留纪生物礁. 成都: 成都科技大学出版社, 1994. 1-115
- 7 中国科学院南京地质古生物研究所. 西南地区古生物手册. 北京: 科学出版社, 1974. 1-145
- 8 俞昌民, 林尧坤, 章森桂等. 宁强组石代的再认识. 地层学杂志, 1988, 12(3): 210-215
- 9 Braithwaite C J R. The origins and growth of recent reefs. *Geology Today*, 1987, 3(1): 16-20
- 10 Brunton F R, Copper P. Paleocology, Temporal, and Spatial Analysis of Early Silurian Reefs of the Chicotte Formation, Anticosti Island, Quebec, Canada. *Facies*, 1994, 31: 57-80
- 11 Cooper P, Brunton F. A global review of Silurian reefs. In Bassett M G, Lane P D, Edward D. eds. *The Muuchison Symposium: Proceedings of an International Conference on the Silurian*

- System. Palaeontology, London (Palaeont. Ass. London), 1991, 44: 225~260
- 12 Cumings E R. Reefs or bioherms? Geol. Soc. Amer. Bull., 1932, 43: 331~352
- 13 Hallock P, Schlager W. Nutrient excess and the demise of coral reef and carbonate platforms. *Palaios*, 1986, 1(4): 34~36
- 14 Henrich R. Facies, Dolomitization and Karstification of Lagoon Carbonates Triassic of the Northern Alps. *Facies*, 1984, 1: 109~156
- 15 James N P, Cuffey R J. Middle Ordovician coral reefs: Western Newfoundland. In: Geldsetzer H H J, James N P, Tebbutt G E, eds. Reefs, Canada and Adjacent Area. *Can. Soc. Petrol. Geol. Mem.*, 1988, 13: 192~195
- 16 Kershaw S. Classification and Geological Significance of Biostromes. *Facies*, 1994, 3: 81~92
- 17 Leinfelder R M, Kranutter R, Laternser R, et al. The Origin of Jurassic Reefs: Current Research Developments and Results. *Facies*, 1994, 3: 1~56
- 18 Wilson J L. Carbonate Facies in Geologic History. Springer-Verlag, 1975. 1~471

## The Reef Complexes of Ningqiang Formation, Telychian, Ningqiang-Guangyuan Area

Li Yue Chen Xu

(Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

### Abstract

The uplifting of whole Yangtze platform occurred by the end of Llandovery (Telychian), except several bays around the margin of the platform. The Ningqiang Formation consists of more than 2000 m shales and limestones with faunas from upper *griestoniensis* Zone to *spiralis-grandis* Zone. The limestones within this unit may be subdivided into 8 stages according to their origination in ascending order. Reef complexes developed at different sites on limited carbonate platforms. Reefs, biostromes and lime-mud-mounds cropped out in the different subfacies of the reef complexes. The important reef complexes' building organisms include corals, bryozoans, pelmatozoans, algae and stromatoporoids, and the attaching reefal organisms are brachiopoda, nutiloidea, trilobite, etc. The features of the reefal organisms are changeable in temporal and spatial distribution. Analysis of typical reef complexes indicate that they are variable in association, shape and growth process. The termination of all limited platforms and reef complexes depends on the covering of mudstones.

**Key words** reef complexes Ningqiang Formation Telychian Ningqiang Guangyuan

(Continued from page 123)

## Biomarker Assemblage Characteristics of Source Rocks and Associated Crude Oils in Saline Lake Facies of Cenozoic in China

Zhang Zhihuan<sup>1</sup> Yang Fan<sup>2</sup> Li Dongming<sup>1</sup> Fang Zhaoliang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(University of Petroleum, Beijing 102200)

<sup>2</sup>(The Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Qinghai Petroleum Administrative Bureau, Dunhuang Gansu 736200)

### Abstract

Saline lakes of Cenozoic are extensively developed in China. There are unique sedimentary environment and condition of hydrocarbon generation in these saline lakes. The geochemical characteristics of source rocks and hydrocarbons generated from saline lakes sedimentary environment are different to those generated from freshwater lacustrine facies and those generated from marine facies. It is introduced that biomarker assemblage characteristics, generating condition and geochemical significance of source rocks and crude oils in saline lakes.

**Key words** saline lake source rock crude oil sedimentary environment geochemistry biomarker