

有孔虫及共生生物组合与碳酸盐微相探讨

李兴奎

(石油工业部石油勘探开发科学研究院)

内容提要 有孔虫属微小原生动动物, 不同的属种对其生态环境的选择不同。浙江鸡笼山 C_3-P_1 剖面有孔虫分布于盆地相、开阔海—局限海台地相灰岩中, 并与相应环境的底栖生物共生。盆地相有孔虫还与放射虫共存。根据有孔虫的特征、伴生生物反映的生态环境和周岩的岩石结构、沉积构造所反映的沉积环境, 将该剖面有孔虫划分为三个组合、七个亚组合。它们分别反映了盆地、广海陆棚及陆棚边缘、开阔海台地和局限海台地五个相带、七个亚相和十六个微相。盆地、广海陆棚、开阔海台地有孔虫组合所赋存的微相具有良好的油气生成能力。经搬运后堆积的有孔虫组合所在微相储集油气的性能较好。

主题词 有孔虫组合 共生生物 碳酸盐微相和油气关系 浙江

作者简介 李兴奎 男 46岁 工程师 石油地质

本文是在观察浙江省鸡笼山(C_3-P_1)露头剖面和镜下对110余块岩石薄片相分析基础上, 并结合苏浙皖、滇黔桂地区同层位十条剖面600余块岩石薄片资料编写成的。

鸡笼山剖面位于浙江省桐庐县瑶琳地区(图1)。该剖面上石炭统顶部为浅色灰岩

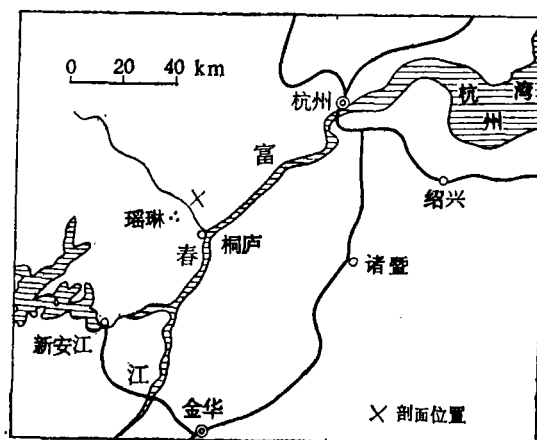


图1 剖面位置图

Fig. 1 Location of the section in the studied area

和含砾屑灰岩。下二叠统梁山组为黑色页岩夹泥灰岩透镜体，厚 3 m。栖霞组为深灰色、灰黑色中厚层至块状灰岩，并夹硅质岩和泥页岩条带，厚度 346 m。丁家山组为砂岩、泥岩、页岩，并夹硅质岩、泥灰岩和炭质页岩，厚 197 m。冷坞组位于下二叠统顶部，为灰白色、灰色生物灰岩，厚 88 m¹⁾。这是一套陆棚碳酸盐和碎屑岩的沉积产物。丁家山组和冷坞组相当于孤峰组（或茅口组）的相变。剖面的相分析见图 2。

有孔虫在该剖面灰岩中十分丰富，仅栖霞组 60 余块岩石薄片就见 57 个属 127 个种。有孔虫，为一种微小的原生动植物²⁾。它适应环境的能力强，但是，主要营海生底栖，最喜在温暖清洁的陆棚浅海中生活。在现代海洋中，不同属种的有孔虫对其生态环境有着不同的要求，因此，从海岸附近的极浅水环境到远洋的深海环境里都有有孔虫的活动。例如，希望虫（*Elphidium*）分布在潮间带极浅水环境；双块虫（*Pyrgo*）出现在大陆边缘半深海环境，串珠虫科（*Textu Lariidae*）在我国黄海、中美洲太平洋沿岸广泛分布，但在 20—60 m 海域繁殖最为旺盛。这些生活在不同环境中的有孔虫，其共生组合形式、复合分异度、个体大小、壳壁结构及壳饰都有很大的差别。根据这些差别，人们可以在古代有孔虫生态、沉积环境研究中得到启示。笔者在研究鸡笼山剖面早二叠世沉积相时发现，不同的碳酸盐微相中出现了不同的有孔虫分子群，各有孔虫分子群的壳体大小、壳壁结构、属种组合及化石完整程度也都很不相同，并且，它们与不同的底栖生物共生，形成化石组合。这表明了古代不同属种的有孔虫也是根据自己的生活属性选择生态环境的。

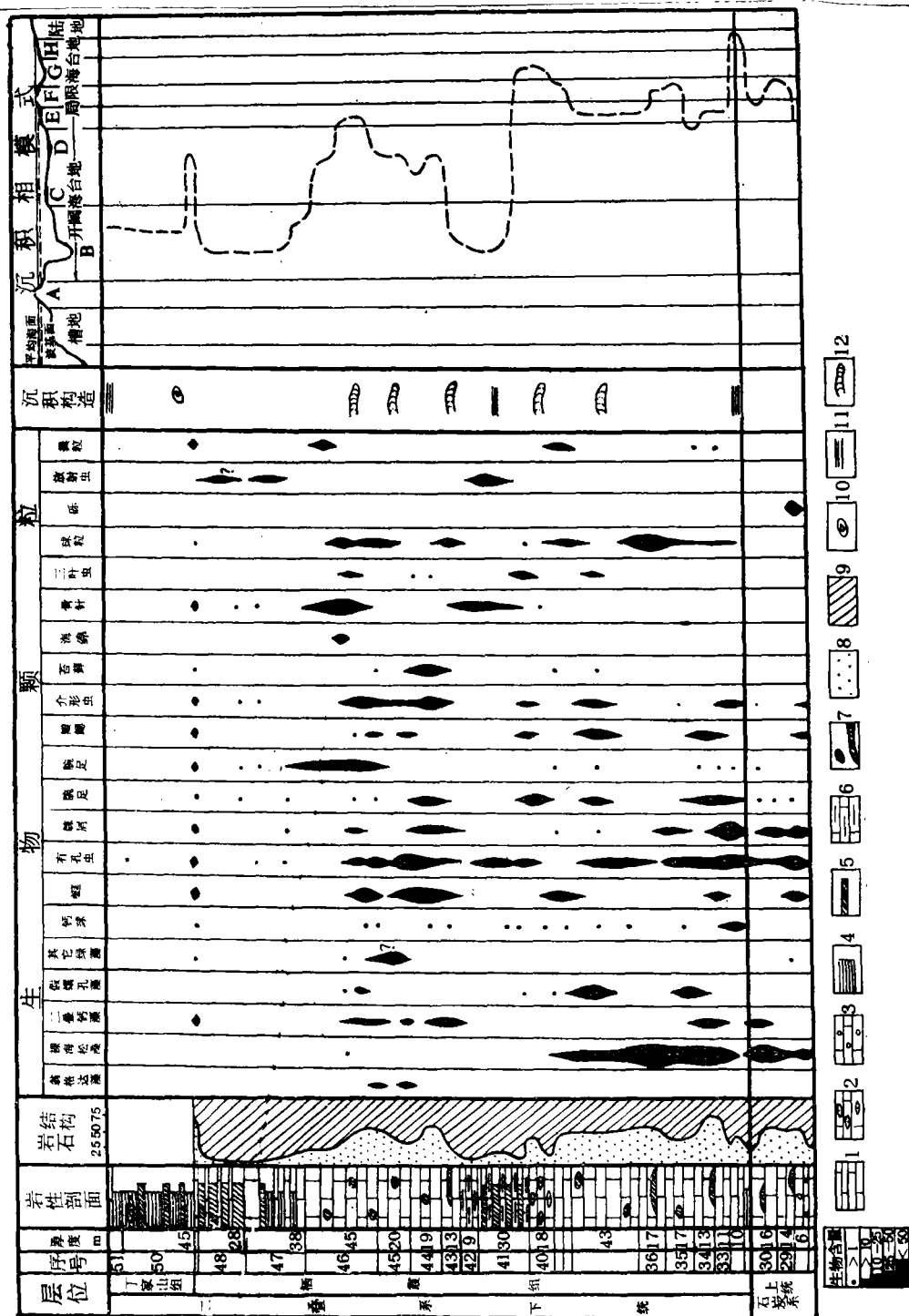
利用鸡笼山 C₃—P₁ 剖面 and 邻区同层位资料，试将碳酸盐沉积相区底栖有孔虫划分为 3 个组合、7 个亚组合，分别寓于七个亚相 16 个微相之中。它们反映的沉积相大致与 J. L. Wilson (1974) 碳酸盐沉积标准相带理想模式中的 7、8 相带（也可以包括 1、2、3 相带）相当。

有孔虫组合与沉积相

1. 局限海台地有孔虫组合（简称 R 组合）

该组合反映局限海台地相带。沉积物为深灰色、灰黑色薄层至中厚层状灰岩，环境安静闭塞，盐度稍高，水深零至几米。岩石以泥砂结构和砂泥结构为主，广盐性生物屑在颗粒中占绝对优势，含量几—50% 以上。有时也含大量的砂、砾屑。有孔虫量微，仅占颗粒总量的 1—3%。但在局部环境下可富集，含量高达 30% 以上。壳壁为玻纤结构和隐粒结构。属种单调，个体细小，长轴 0.1~0.3 mm。呈圆锥状、球状和盘状等。代表性的有孔虫（属）如：节房虫（*Nodosaria*）、球旋虫（*Glomospira*）、格涅茨虫（*Geinitzina*）、沙盘虫（*Ammodiscus*）、始毛盘虫（*Eolasiodiscus*）、球瓣虫（*Globivalvulina*）、叶片虫（*Fronicularia*）等。它们常与广盐性介形虫（个大壳厚者居多）、瓣鳃类共生；有时也出现少量的假蠕孔藻、腕足类、棘皮类等化石碎屑。岩石的基质是泥晶方解石，分选差，重结晶普遍。从岩石结构上的差别有孔虫特征及其

1) 剖面资料由浙江省石油地质大队提供。2) 林文球，1980，判别古沉积环境化石标志。



1. 灰岩 2. 眼球状灰岩 3. 生物屑砾屑灰岩 4. 泥页岩 5. 硅质岩 6. 泥灰岩 7. 硅质结核及条带 8. 颗粒含量%
 9. 泥粉晶方介石含量% 10. 磷结核 11. 水平层理 12. 潜穴
 A. 台地边缘或岛屿 B. 台盆 C. 可能存在的浅水滩 D. 台坪 E. 低能滩迎风翼
 F. 低能滩背风翼 G. 泻洼 H. 泻湖边缘

图2 浙江桐庐县瑶琳鸡笼山C₃-P₁沉积环境分析图

Fig.2 Analysis of the sedimentary environment of the Upper Carboniferous-Lower Permian, Yaolin, Zhejiang

生物反映的生态环境，该组合可再分为 3 个亚组合，它们分别寓于 7 个碳酸盐微相之中。

有孔虫R₁亚组合 该亚组合代表潮汐海滩(潮坪)、泻湖边缘和半局限海湾内部或边缘的潮汐坪(泥滩、泥丘)环境，沉积物为泥晶生屑灰岩，统称泻湖边缘亚相，剖面上出现于第40层，岩性为灰黑色薄—中层状灰岩，称眼球状(瘤状、透镜状)灰岩。它产于泥粉晶介形虫灰岩相(微相1)和含介屑泥粉晶灰岩相(微相2)之中。突出特点是颗粒中砂级介形虫屑占优势。有孔虫含量1—3%，节房虫、始毛盘虫和沙盘虫常出现。生物屑具定向排列，有机质极其丰富。微相1中颗粒粗，生屑较完整，含量30—50%，局部高达65%以上，分选与磨圆均差。微相2中颗粒稍细，含量10—25%，分选与磨圆较差或中等。

有孔虫R₂亚组合 代表泻湖、半局限海湾低洼部位的沉积环境，沉积物为泥晶灰岩，可定为泻洼亚相。下属三个微相：微相3，含介屑泥晶灰岩。它与微相1、2产于同一层位，分布于眼球状灰岩的眼球(即透镜状)部分。而微相1、2则出现在包绕眼球的纹层(即生物屑定向排列形成的纹层)部分。微相3的岩石具砂泥结构或灰泥结构，生物组合特征与微相1、2相似，但颗粒含量较低，一般小于15%；粒度更细，潜穴发育，微相4、5分别出现在含生屑泥晶灰岩和泥晶灰岩中，表明它们是在低能安静环境下沉积的，如半局限海内部、泻湖的低洼处。岩石以灰泥结构为主，局部可出现砂泥结构。生物单调，丰度低，以广盐性生物化石组合为特征，有时也含一些经搬运的窄盐性生物屑化石。有孔虫很少，一般小于1%，化石保存完整，R型有孔虫分子均可出现。

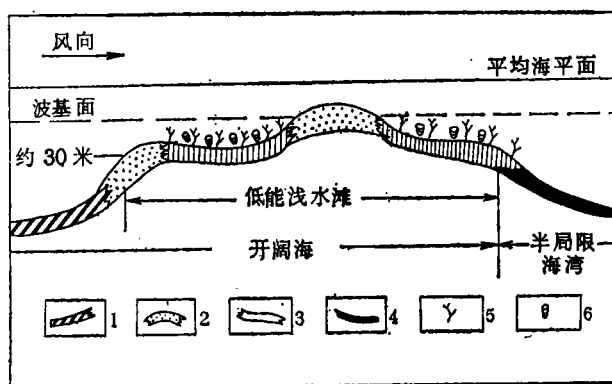
有孔虫R₃组合 产于剖面28层，寓于泥粉晶有孔虫灰岩相(微相6)和泥粉晶有孔虫砾屑灰岩相(微相7)之中。微相6，岩石具泥晶颗粒结构，颗粒含量50—70%，其中R型有孔虫颗粒占明显优势，并且，有孔虫均遭强烈泥晶化。微相7，岩石具泥砂砾结构，颗粒含量大于60%，其中除含有丰富的泥晶化有孔虫外，突出的特点是含大量的园度尚好、成分为泥晶方解石的砾级内碎屑，砾屑表层为厚薄不均的泥晶套。微相7遍及苏浙皖地区，亦称船山球灰岩，它是结构退变的产物。显然，R₃亚组合反映了安静到动荡、常有风暴袭击(形成砾屑)和水体浅、但时有流动(使有孔虫得以汇集)的环境。微相6、7属于低能极浅水滩(背风部分)或半局限海湾低能滩间亚相。

2. 开阔海台地有孔虫组合(简称O组合)

此组合主要见于剖面33—38层、45至46层和49层。产层岩性为深灰色、灰黑色中厚层状至块状灰岩。岩石具泥砂结构或泥晶颗粒结构。颗粒成分主要是浅海底栖生物化石，含量25—60%。填隙物为分选差的泥晶方解石。在颗粒中有孔虫占5—10%(其中包括部分R型分子)个体肥大，长轴0.5—2.0mm，壳壁厚并具双层结构(隐粒暗色层和纤状明亮层)。代表性属种为筛串虫(*Cribrogenerina*)、梯状虫(*Climacamina*)、古串珠虫(*Palaeotextularia*)、巴东虫(*Fadangia*)、厚壁虫(*Pachyphloin*)、内卷虫(*Endothyra*)、四排虫(*Tetrataxis*)等。共生生物门类广，属种多，常见者有裸松藻、二叠钙藻、翁格达藻、假蠕孔藻、瓣类、珊瑚、苔藓虫、海绵、瓣鳃类、腹足类、介形虫、棘屑、腕足类、三叶虫等。此外，生物搅动、潜穴构造及粪

粒现象十分普遍。上述特征说明O组合为正常浅海开阔环境的产物。据岩石结构,有孔虫特征及其共生生物组合反映的环境可将该组合再分为3个亚组合,分别出现在3个亚相、7个微相之中。

有孔虫O₁亚组合 反映开阔海台地低能滩(藻坪、藻丘)亚相。常位于开阔海的向陆边缘,海水盐度正常。沉积面多处于波基面以下,能量低,海水循环尚好。生物繁盛,尤以裸松藻最发育。沉积物主要是泥晶生物(屑)灰岩,环境与微相分布见图3。有孔虫较丰富,一般含量3—8%,主要属种为内卷虫、四排虫、巴东虫、厚壁虫、假橡果虫、可疑球旋虫、格涅茨虫、叶片虫等。从个体大小和壳壁结构看,O₁亚组合具有R型—典型O型有孔虫组合的过渡特征。化石组合中裸松藻很突出,含量高达20—50%,其次是二叠钙藻、海绵、介形虫、瓣鳃类、瓣、棘屑等。有孔虫O₁亚组合见于三个微相,它们是:微相8系泥晶裸松藻灰岩。具泥砂结构和泥晶颗粒结构。颗粒含量一般30—60%,其中裸松藻占半数以上,化石保存完整。裸松藻属已绝灭的红藻,生活在波基面以下丘状地貌的较高部位,如图3所示。微相9系泥晶生屑灰岩。它紧邻微相8,两者特征相似。生物组合中裸松藻的含量不占优势,生屑破碎,分选磨圆尚好,偶见瓣类和典型O型有孔虫分子。这些差异恰好揭示了微相9形成环境能量较微相8稍高,为丘状地貌迎风翼或内部正向部位的产物(见图3)。微相10系泥晶生物灰岩。剖面上它出现在下二叠统顶部的冷坞组,为一套灰白色至灰、深灰色的生物灰岩。



1. 微相8 2.微相9 3.微相11 4.微相4 5.裸松藻 6.有孔虫

图3 亚组合生态环境及微相分布示意图

Fig. 3 Sketch map of O₁ subassembly bionomy and the distributed of microfacies

这是一套发育在陆源碎屑沉积背景中的孤立丘状堆积体,长、宽各几公里。岩石具粘结、障积结构。底部为正常浅海底栖生物屑堆积,向上依次变为海绵、苔藓虫-红藻-绿藻-顶部兰绿藻粘结堆积。显然,这是一个由下向上水体逐渐变浅的生物丘沉积层序。基质由分选极好的泥晶方解石组成,其中发现了数量不多的类似O₁型有孔虫分子。

有孔虫O₂亚组合 反映环境开阔,盐度正常,水深数十米,水动力能量中等、循环尚好,沉积物为泥晶生屑(物)灰岩的台坪亚相。有孔虫分异度高,以个体肥大、壳壁具双层结构者为主,如筛串虫、梯状虫、古串珠虫等。镜下可确定出两个微相:生物

屑泥晶灰岩或泥晶生物屑灰岩（微相11），具泥砂结构或泥晶颗粒结构。颗粒含量30—70%，分选磨圆均差；基质为泥晶方解石，分选差，重结晶普遍。窄盐性生物组合无明显优势。筳、翁格达藻和 O_2 型有孔虫形成共生组合。筳（或含筳）泥晶灰岩（微相12）。该微相在本剖面中分布局限。西南各省筳灰岩十分发育，基本特点与微相11相似。但是，生物组合中筳含量较高，占明显优势。本剖面49层，含筳10—15%。筳，为有孔虫中一个已经灭绝了的目^[5]，主要生活在正常海洋、水质清洁、深度几米至几十米的陆棚环境。

有孔虫 O_3 亚组合 是碳酸盐台地内水动力学能量最高的一个有孔虫亚组合，它常出现在台内或台缘中，高能极浅水滩亚相，其环境动荡、水流畅通，水深小于十多米；沉积物为亮晶生屑灰岩。本剖面缺失这一亚相，在浙北长兴县葡萄山剖面和西南各省石炭、二叠系中，这一亚相十分发育，分布广泛。代表性的微相有亮晶生物屑灰岩（微相13）等。岩石具亮晶颗粒结构，颗粒成分以窄盐性生物屑为主，含量40—70%，分选磨圆良好，粒间为亮晶方解石胶结。颗粒主要来源于周围台坪亚相，故成分、化石组合与微相11、12相似，但多为异地埋藏。有孔虫多数已泥晶化，其中 O_2 型有孔虫较破碎。本剖面44层产泥晶筳、生物屑灰岩（微相14），具泥晶颗粒结构，颗粒含量达60%，分选磨圆差至中；粒间泥晶方解石和有机质充填。有孔虫组合特征与 O_1 近似，筳均已被强烈泥晶化，形变强烈，多呈扁平透镜状。这是中低能极浅水滩或中高能滩背风翼的沉积产物。

3. 盆地型有孔虫组合（简称B组合）

该组合反映陆表海内部或碳酸盐台地内部深洼部分的盆地相（也可代表广海陆棚盆地相）。沉积环境安静，海水深度100—200m，甚至更深。沉积物为泥晶灰岩。本剖面分布于41、42和47层，岩性为灰黑色薄层状石灰岩、硅质岩，其间夹泥页岩条带。镜下已确定出两个微相，其一，泥晶灰岩相（微相15），岩石具灰泥结构，泥晶方解石分选中等至良好，重结晶作用普遍。颗粒由粉细砂级生屑组成，含量小于5%。生屑中有孔虫较多，其次是薄壳微型介形虫、小骨针和钙球等。有孔虫壳体微小，长轴0.08—0.16mm，粉晶结构。主要有节房虫、球旋虫、始毛盘虫、格涅茨虫和沙盘虫等，与典型的R型有孔虫相似。其二，放射虫泥晶灰岩相（微相16），岩性和原生生物组合都与微相15近似，只是颗粒中含10—30%的放射虫，岩石为砂泥结构或泥砂结构。放射虫为织虫（*F-lustrella*¹⁾），球形，均已被钙化，直径0.07—0.2毫米，具同心放射网格状结构，与B型有孔虫混生。这些放射虫是趁早二迭世海侵最盛时期随大洋海水向陆推进的机会来到当时的南中国海域内部的。由于某些沟槽盆地海水与外洋流通，在上升流的作用下，使得沟槽盆地表层海水具有与远洋海水相似的水介质环境，这就为那些来自外洋的放射虫创造了生存繁衍的条件。死亡后的放射虫沉入海底，与B型有孔虫等原地生物和来至周围浅水台地的灰泥混杂一起，便形成了放射虫泥晶灰岩。

1) 经南京古生物所鉴定。

与油气的关系

本剖面明显的特征之一就是岩石中含丰富的有机质。经22块岩样分析, 19块灰岩样品中含残余有机炭多数在0.16—0.32%之间, 三个泥灰岩和钙质页岩中残余有机炭含量为0.8—1.6%。均属良好生油岩。据岩石热解资料研究, 钙质页岩最高热解峰温已达565—589℃, 表明烃类物质已演化到干气阶段(T_{max} 485—600℃)¹⁾, 而灰岩的最高热解峰温却为468—481℃, 烃类还处于凝析油—湿气阶段(T_{max} 450—485℃)。因此, 该层位至今还具有一定的含油气潜力。在野外露头观察时, 曾多处看到裂缝里有沥青充填。室内镜下岩石薄片鉴定中, 也常看到白云化形成的晶间孔和缝合线里有丰富的有机质和沥青充填。这些现象均说明该区曾有过油气物质的形成过程。

从有孔虫组合反映的沉积相看, 不同的有孔虫亚组合代表的亚相其生油能力不同, 见表1。表中看出, 有孔虫B组合代表的盆地相具有最好的生油条件, R₁代表的泻湖边缘亚相生油条件相对较差。

表1 有孔虫组合与残余有机炭关系表

有孔虫组合	B	O ₁	O ₂	R ₁
沉积相	盆地相	低能滩亚相	台坪亚相	泻湖边缘亚相
残余有机炭	0.8—1.6	0.36—0.43	0.2—0.37	0.17—0.36

亚组合代表中高能浅水滩亚相, 由于环境能量高, 沉积物中灰泥部分被冲走, 剩下的颗粒粗, 分选磨圆好, 具亮晶颗粒结构, 原始孔隙度高, 是良好的储集层。在四川盆地二叠系, 该亚相已成为重要的天然气产层。另外, 有孔虫O₁、R₃和R₁亚组合相应的微相也可作为较好的储集层。遗憾的是该剖面中储集层均在成岩作用过程中严重地破坏了其原始孔隙性, 使储集性能大大变差。

本文在原稿的编写过程中曾得到刘义兰工程师指导帮助, 成文后又承蒙傅瑜、高俊恒工程师审阅并提出了宝贵意见, 在此深表谢意。

收稿日期1986年7月14日

参 考 文 献

- [1] 南京大学, 1980, 古生物学, 地质出版社, 84—94页
- [2] 傅瑜, 1979, 应用有孔虫及藻类分布特征探讨四川盆地二叠纪阳新世沉积条件, 中国微体古生物学会第一次学术会议论文选集, 科学出版社, 19—25页。
- [3] 杨振强等, 1983, 沉积学报, 1卷4期, 92—103页。
- [4] 杨万容等, 1981, 石油与天然气地质, 2卷4期, 299—308页。
- [5] 陈旭等, 1961, 古生物学, 人民出版社, 65—66页。

[6] J.L. Wilson, 1975, Carbonate Facies in Geologic history p.348—369.

[7] J.L. Wary, 1977, Calcareous Algae P.51—52.

PROBE INTO THE RELATION WHICH FORAMINIFERA AND ASSOCIATED BIONOMY WERE TO MICROGACIES OF CARBONATE DEPOSITS AND GENERATION OF OIL-GAS

Li Xingkui

(Research Institute of Petroleum exploration And Development, Beijing)

Abstract

Through studying foraminifera and associated bionomies in the upper Carboniferous-Lower Permian sedimentary section of YaoLin, ZheJiang province, China, the paper divided the benthonic foraminiferas from carbonate platform into three types of assemblages,

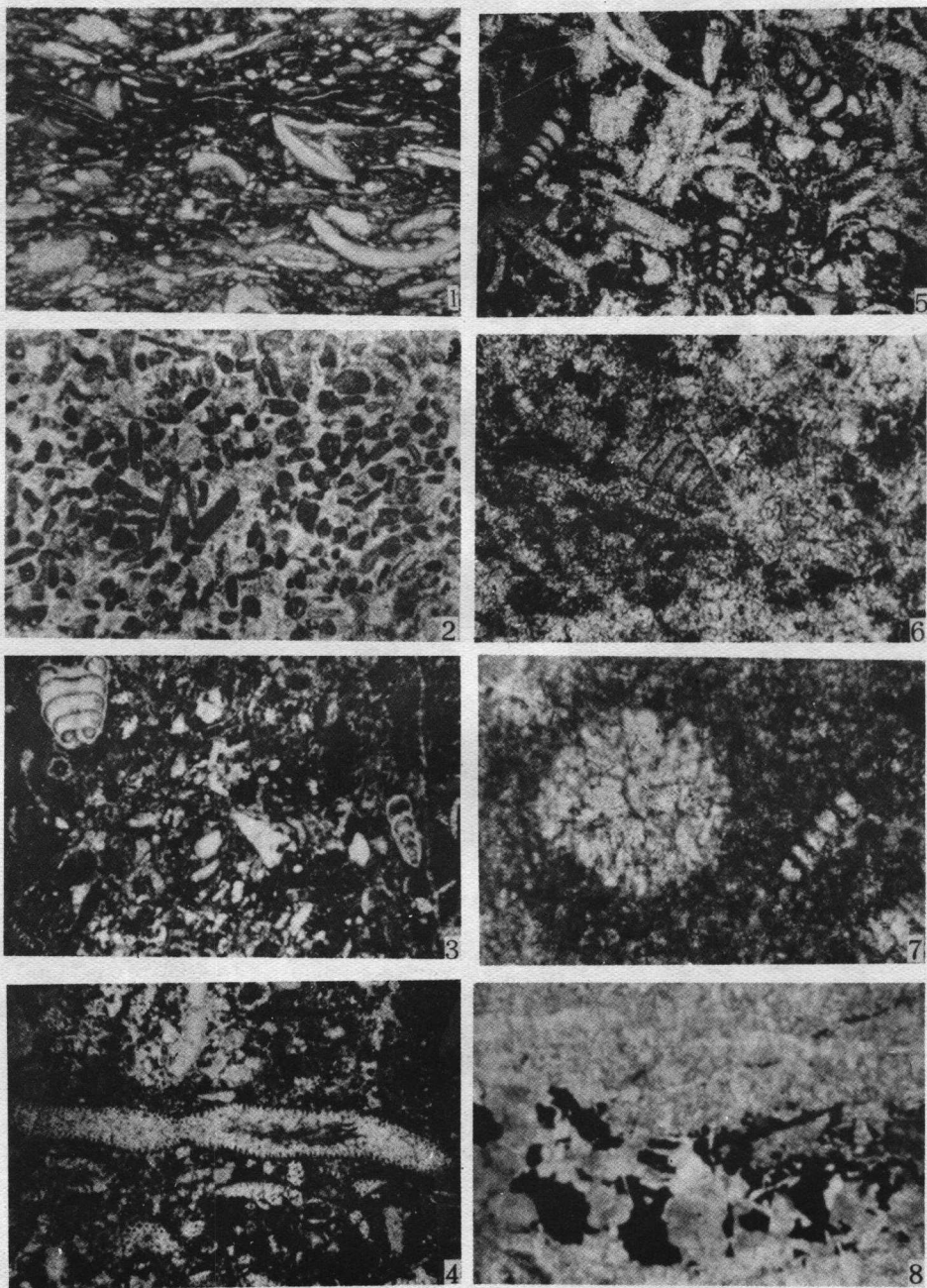
Type 1 (R) is the assemblages of the foraminifera from the restricted sea platform, which are characteristic of minor bodies and walls with fibrous and micritized texture, such as *Nodosaria*, *Glomospira*, *Geinitzina*, *Ammodiscus*, and *Eolasiiodiscus*.

Type 2 (O) is the assemblage of the foraminifera from the open sea platform, which are characteristic of large bodies and shells with two-layer texture, such as *Cribo generina*, *Climacammina*, *Pachyphloin*, *Padangin*, and *Endothyra*.

Type 3 (B) is the assemblage of the foraminifera from the basin, which are characteristic of minor bodies and shells with the fine sparry texture, associated with minor and thin-shell *Ostrcada*, and mixed with a lot of afloat *Rodiolarians*. The genus and species of the foraminiferas are similar to the type 1.

According to the differences of rock textures, mineral compositions, foraminiferal features and sedimentary structures, these have been divided into R₁ R₂ R₃ O₁O₂ O₃ and B, existing in sixteen carbonate microfacies respectively. The sedimentary environments which are represented by the foraminifera assemblages corresponding to the first, second, third seventh and eighth face belts of the ideal model of standard face belts which was established by J. L. Wilson, 1975.

The microfacies represented by type B and subassemblages O₁ and O₂ have best potentials of oil-gas generation. The microfacies represented by subassemblage O₃ and R₃ have good reservoir space of oil-gas,



1. 微相 1, 泥粉晶介形虫灰岩, 有孔虫 R₁ 亚组合 P₁Q × 40 杭州 2. 微相 6, 泥粉晶有孔虫灰岩, 有孔虫 R₂ 亚组合 P₁Q × 20 长兴 3. 微相 9, 泥晶生物屑灰岩, 有孔虫 O₁ 亚组合 P₁Q × 15 瑶琳 4. 微相 8, 泥晶裸松藻灰岩, 有孔虫 O₁ 亚组合 P₁Q × 15 瑶琳 5. 微相 11, 泥晶生物屑灰岩, 有孔虫 O₂ 亚组合, P₁Q × 15 瑶琳 6. 微相 15, 泥晶灰岩, 有孔虫 B 组合 P₁Q × 125 瑶琳 7. 微相 16, 含放射虫泥晶灰岩, 织虫与 B 组合有孔虫混生, P₁Q × 200 瑶琳 8. 沥青 (黑色部分), P₁Q × 20 瑶琳

129-X