

文章编号:1672-9854(2009)-02-0001-19

## 中国南方海相生烃成藏研究的若干新进展(三) 南方四套区域性海相烃源岩的沉积相 及发育的控制因素

梁狄刚<sup>1</sup>, 郭彤楼<sup>2</sup>, 边立曾<sup>3</sup>, 陈建平<sup>1</sup>, 赵喆<sup>1</sup>

(1 中国石油油气地球化学重点实验室; 2 中国石化南方勘探开发分公司; 3 南京大学地球科学系)



梁狄刚

**摘要** 南方研究区下寒武统、上奥陶统一下志留统、下二叠统、上二叠统四套区域性古生代海相烃源岩可划分为7种有利沉积相:即深水泥质陆棚相、深水热水陆棚相、深水碳酸盐岩陆棚相、深水硅磷质台凹相、海湾潟湖相、近海湖盆沼泽相、前三三角洲相。四套海相烃源岩的沉积—生物相图反映出这些相都不同程度与大洋相通。从早寒武世到晚二叠世,烃源岩的相类型向多样化发展。受都匀、东吴运动影响,有利相带的分布范围由大到小出现两个旋回。南方海相烃源岩的发育受板块运动、板内活动、三大古隆起、四个转换期、沉积—生物相等五个因素的控制。南方海相优质烃源岩的形成模式可概括为深水陆棚—底栖藻席模式,其特点是底栖藻类发育,沉积表面氧化而埋藏环境还原,并以此区别于已有的三种形成模式。研究区北面的秦岭洋,南面的华南海(P<sub>Z1</sub>)、八布洋(P<sub>Z2</sub>)伸入扬子克拉通内部形成的不同时期“海湾体系”,是海相烃源岩发育的摇篮,可作为南方海相油气勘探的一个重要领域。

**关键词** 古生代;海相地层;碳酸盐岩烃源岩;沉积相;生物相;控制因素;形成模式;中国南方  
**中图分类号**: TE112.11 **文献标识码**: A

**梁狄刚** 1938年生,教授级高级工程师。中国石油油气地球化学重点实验室学术委员会主任,中国石油天然气集团公司咨询中心专家委员会专家。通讯地址:100083 北京市海淀区学院路20号910信箱实验研究中心

我国南方海相碳酸盐岩储层的沉积相研究,经过几十年的探索,方法比较成熟,成果也很显著。而南方古生代海相烃源岩则不同,泥岩和泥质碳酸盐岩的沉积结构、构造和指相生物化石相对少而单调,相环境的划分难度较大,研究基础薄弱。本次研究,除了对南方四套区域性古生代海相烃源岩(下寒武统、上奥陶统一下志留统、下二叠统、上二叠统)大量野外剖面的宏观相分析外,主要依据40个重点剖面800多块显微薄片<sup>①</sup>的系统观察,结合早先对四套海相烃源岩的分布与地球化学特征的研究<sup>[1-2]</sup>,对海相烃源岩的沉积相、生物相、形成环境和控制因素进行探索。

### 1 海相烃源岩的沉积—生物相标志

#### 1.1 组构特征

大量研究发现,TOC>0.5%的南方海相泥岩和泥

质碳酸盐岩烃源岩通常都由三个基本组构单元组成:(1)生物席,包括底栖宏观藻席、蓝细菌席、线叶植物席以及浮游藻类沉降埋藏形成的藻席;(2)被黏积物,指被生物席所黏结、障积、绑结的石英、黏土矿物等陆源颗粒,以及有孔虫、介形虫、双壳类、海百合茎等内碎屑的钙质生物屑;(3)胶结物,即生物席及外来物被泥质或方解石胶结,其中生物席组成烃源岩的骨架。若生物席富集,石英、黏土矿物含量低,则烃源岩TOC含量高,反之就会降低。

#### 1.2 层理构造

即使看似是层厚质纯的泥岩,也常见各种微细层理,例如反映深水环境的水平纹层,反映浅水环境的波状层理、交错层理、微斜层理等。下二叠统栖霞组(P<sub>1q</sub>)、茅口组(P<sub>1m</sub>)碳酸盐岩烃源岩中常见眼球状构造,其“眼球”本体由泥晶灰岩组成,是微生物作

收稿日期:2009-01-07

本文为“第十一届全国有机地球化学学术会议”(2007.10.20—28)大会宣讲论文的主要内容

① 因篇幅所限,本文不可能大量列出显微照片。有关详细资料请查阅中国石化南方勘探开发分公司2007年9月《南方复杂构造区有效烃源岩评价》内部报告

用形成的“微型灰泥丘”,反映深水安静环境;“眼皮”则是由棘屑、介形虫壳体、钙藻等组成的钙质碎屑流的一种,反映深水陆棚的短暂动荡环境;“眼皮”包裹“眼球”是成岩压实作用的结果,共同组成深水碳酸盐岩环境的相标志。

### 1.3 粉砂和砂的含量

深水泥质烃源岩中,肉眼往往分辨不出粉砂或砂质纹层。随着水体变浅,粉砂纹层开始出现并增

多、增厚,甚或可见微斜层理,泥岩中的钙质含量往往也增高,例如川北南江沙滩筇竹寺组( $C_1q$ )中上部深灰色泥岩。

### 1.4 生物相标志

重要的生物指相标志概括如图1。

(1)藻类(图1) 通常发育在光合作用带,水深一般50~60m。现代海藻发育的最深海区在夏威夷,水深达200m。不同藻类生活的水体深度不同。蓝藻

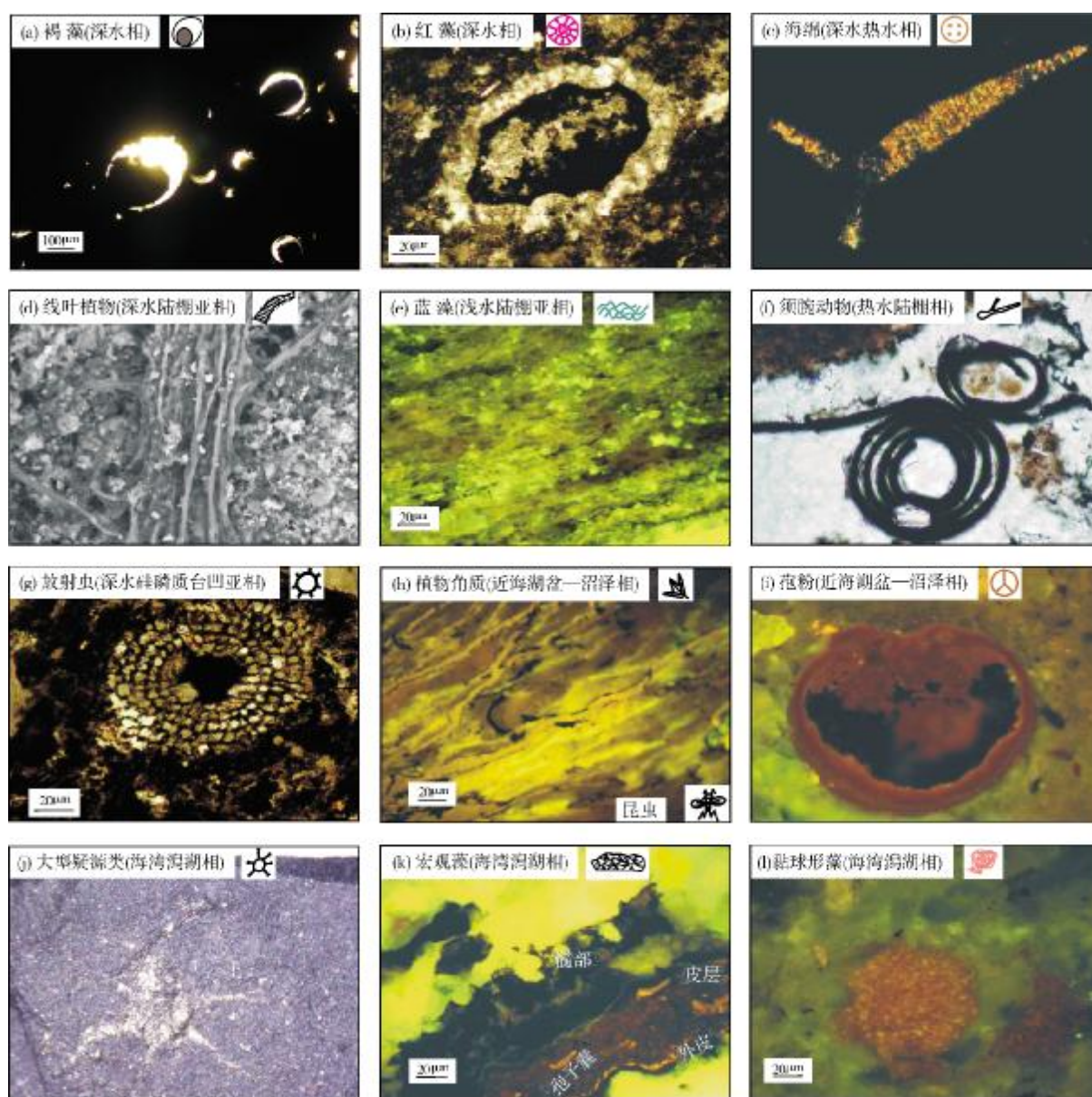


图1 南方古生界海相烃源岩的主要生物相标志  
照片名称后的图样为生物指相图例符号





期的硅磷质岩指示浅水,正常海盆地的硅磷质岩指示深水, $U/Th>1$  指示热水环境, $U/Th<1$  则指示正常海环境, $^{87}Sr/^{86}Sr=0.708\pm$  指示热水环境,而  $\delta^{30}Si$  值小( $-0.1\text{‰}$ )指示靠近热水喷口附近,等等。

## 2 烃源岩发育的七种沉积相

根据以上 5 类相标志,可将南海相烃源岩的沉积—生物相划分为 2 个大相,9 个分相,16 个微相(表 1)。微相的命名参照碳酸盐岩微相的命名方法,在沉积相的岩性之前冠以生物相,例如“深水陆棚褐藻泥岩微相”、“深水台凹红藻、放射虫硅泥岩微相”等。

这里需要说明几点:

(1) 南方上震旦统一二叠系的沉积环境可分为台

地大相、陆棚大相和海陆过渡大相,其中台地大相不发育烃源岩,故表 1 中只列出了后两个大相。南海相烃源岩最发育的环境是深水陆棚环境。陆棚是指从海岸线到大陆坡转折点之间缓缓倾斜的宽阔水域。应当指出,现代海洋广布陆缘海,陆棚范围一般很狭窄,而南方古生代则不同,陆表海的分布面积很大,陆棚范围也很宽阔,这是今、古陆棚的重要不同点。

(2) 本文没有采用“盆地相”来描述海相烃源岩。文献中涉及南方“盆地相”烃源岩的有孤峰组( $P_g$ )和大隆组( $P_d$ ),而这两个组含丰富底栖宏观藻类,生活于光合作用带,水深不大,故用“台凹相”而不用“盆地相”来描述,也避免与“大洋盆地”和“海槽”相混淆。文中的各种“深水相”,水深在 60~200 m 范围内。

表 1 中国南海相烃源岩发育的沉积—生物相划分标志

大相	相	亚相	分相	微相	颜色	岩性	其他鉴别标志	代表性 TOC (%)	代表性剖面
陆棚大相	正常海水陆棚相	深水陆棚亚相	深水泥质陆棚	线叶植物微相, 红藻微相, 褐藻微相	黑色, 灰黑色	泥岩	纹层状泥岩、水平层理发育; 石英粉砂数量少, 分选差, 相互之间不接触, 缺乏牵引流标志; 层面上可见云母片, 黄铁矿普遍, 局部富集	3~8, 最大 12	川东石柱漆辽 $O_3w-S_{1l}$ ; 黔中瓮安永和 $C_{1n}$ ; 皖南休宁小溪 $C_{1h}$
			深水碳酸盐岩陆棚	底栖藻纹层微相, 底栖藻纹层—钙质骨屑微相, 线叶植物微相, 疑源类微相, 微晶凝块—生物屑微相	灰黑色为主	泥晶灰岩, 泥灰岩; 夹钙质骨屑泥岩	中—薄层, 不发育亮晶颗粒灰岩, 常夹钙质泥岩; 眼球状灰岩发育; 常见菊花石, 海泡石及黄铁矿晶体; 薄片下纹层发育, 但不发育交错层; 灰岩含泥量高	1~2, 最大 2.5	皖南巢湖 $P_{1q}$ , 黔西北桐梓韩家店 $P_{1q}$
		深水硅磷质台凹亚相		放射虫微相, 红藻微相	黑色	硅质岩, 泥岩, 含磷或磷结核	薄层状, 常见菊石、双壳类等浮游动物化石	3~10, 最大 21	苏北 $N_9$ 井 $P_{1g}$ , $P_{2d}$ ; 川西北矿山梁 $P_{2d}$
		浅水泥质陆棚亚相		蓝藻微相	灰黑色, 灰色, 灰绿色	泥岩, 含丰富砂、粉砂透镜体或纹层	常见底栖动物化石, 少见浮游动物化石(例如笔石), 发育牵引流及特定的遗迹相, 泥岩中可见波状层理及交错层	<0.5~2.5	川东北巫溪田坝 $S_{1l}$
	受热水影响陆棚相	深水泥质陆棚亚相		海绵—热水生物微相	黑色	泥岩	与重晶石、石膏层、镍钼矿层和石煤相伴, 常见黄铁矿微层。 $^{87}Sr/^{86}Sr=0.708\pm$ ; $U/Th>1$	5~15, 最大 22	黔东南麻江羊跳 $C_{1n}$
		浅水硅磷质陆棚亚相		热水生物微相	灰黑色	硅磷岩	与下伏地层假整合, 特定的岩性组合和热水生物组合。 $\delta^{30}Si=-0.1\text{‰}$	2~6	
海陆过渡大相	前三角洲泥岩相			红藻、蓝藻、疑源类微相。见浮游动物	黑色, 灰黑色	泥岩(含席状砂)	上覆层为三角洲相	0.5~2.5	广西十万大山峙浪 $T_3$
	海湾潟湖相			底栖宏观藻、黏球形藻微相	黑色, 灰黑色	泥岩	三角洲、堡岛间的沉积, 孢粉、黏球形藻、底栖宏观藻、线叶植物等; 发育海相生物	0.5~5, 最大 13	浙江长兴煤 13 井 $P_{2l}$
	近海湖盆—沼泽相			线叶植物、红藻微相。见高等植物残片	黑色, 灰黑色	泥岩、碳质泥岩和煤	陆源生物输入明显, 沼泽基本脱离海的影响	0.5~10, 煤及碳质泥岩可达 20~60	黔西北习水良村浅 3 井 $P_{2l}$

注:  $O_3w$  五峰组;  $S_{1l}$  龙马溪组;  $C_{1n}$  牛蹄塘组;  $C_{1h}$  荷塘组;  $P_{1q}$  栖霞组;  $P_{1g}$  孤峰组;  $P_{2d}$  大隆组;  $P_{2l}$  龙潭组。

(3)本文也不用“斜坡相”来描述海相烃源岩。台缘斜坡往往可见风暴垮塌碎屑流,本身并不发育烃源岩,但是其中夹有深水陆棚相泥岩舌状体,可以作为烃源岩。至于大陆坡的复理式浊流沉积,更不利于烃源岩的发育。

南方海相烃源岩发育于7种有利沉积相中(图3至图9),由这些沉积相可以综合归纳为3种模式(图10)。7种有利沉积相按其重要性依次论述如下。

深水泥质陆棚相(图3) 这是烃源岩最发育的一种沉积相,广泛分布于 $C_1$ 和 $O_3-S_1$ 下部。岩性为

黑色、灰黑色泥岩和碳质泥岩,水平层理,各种粉砂纹层及微斜层理不发育,富黄铁矿。生物相为褐藻、红藻、线叶植物微相,常见疑源类,下志留统含深水笔石。深水陆棚的演化可分为缓慢水退型、迅速水退型、持续沉降型(图3)三类,水退越慢,烃源岩越厚。TOC含量一般为3%~8%,最高达12%。

热水深水陆棚相(图4) 发育于湘黔地区下寒武统底部梅树村阶。热水影响有4个标志:①发育热水生物群,底部有须腕动物,向上是丰富的高肌虫、大型蠕虫、虫管生物等(麻江热水生物群),富含海

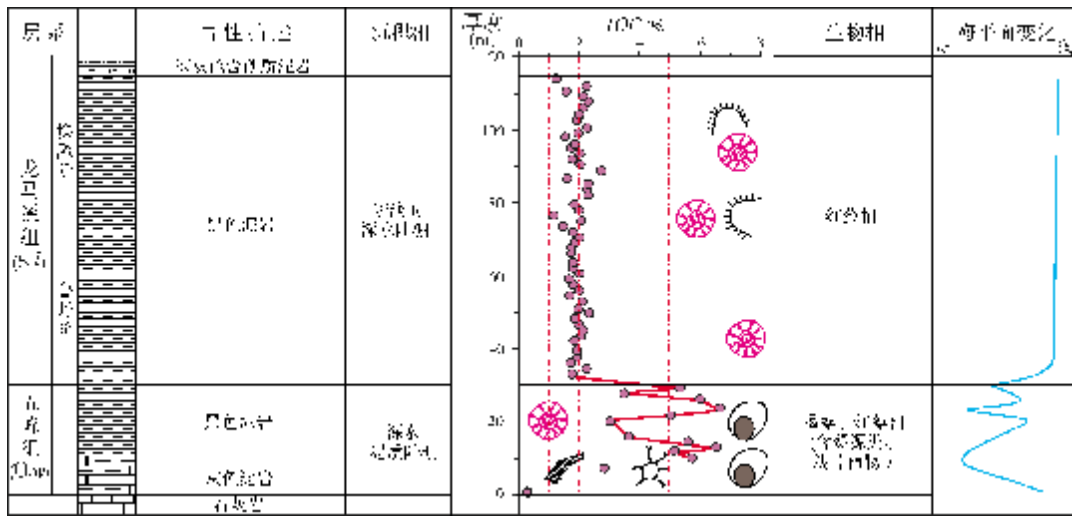


图3 深水泥质陆棚相烃源岩典型相剖面——川东石柱漆辽五峰组( $O_3w$ )—龙马溪组( $S_{1l}$ )

生物指相图例见图1。五峰组水体最深,为褐藻、红藻微相,TOC=3%~7%;龙马溪组水体略浅,但未见浅水相蓝藻,仍属较深水陆棚红藻微相,TOC=1%~3%。剖面位于川东 $O_3-S_1$ 生烃中心,属持续沉降型,烃源岩厚达120m以上,为 $O_3-S_1$ 之最

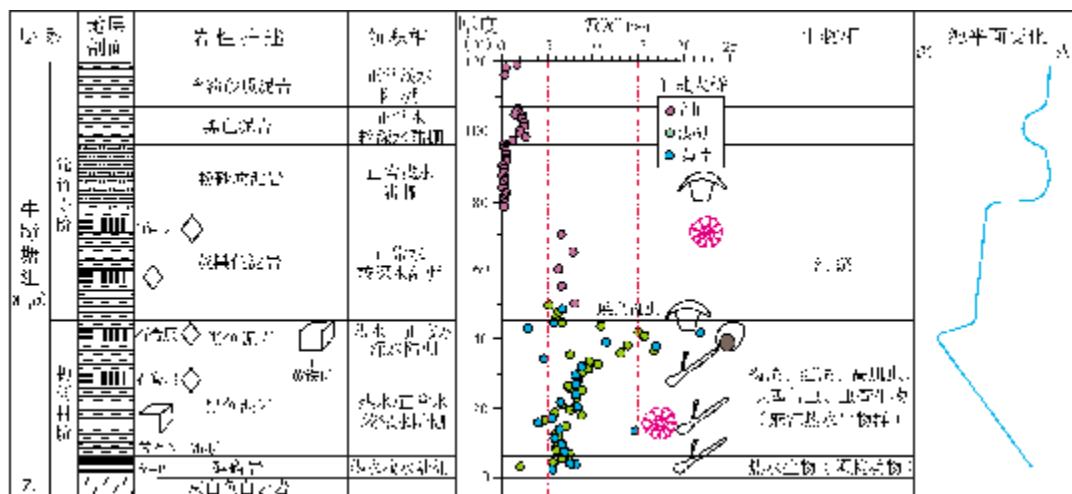


图4 热水深水陆棚相烃源岩典型相剖面——贵州麻江羊跳牛蹄塘组( $C_1n$ )

生物指相图例见图1。梅树村阶大部为热水/正常水交替型。中下部红藻微相,TOC=5%~10%;顶部为褐藻微相,TOC=10%~22%;到了筇竹寺阶底部,出现遵义盘虫,正常海水开始向上进入浅水陆棚相,不发育烃源岩

绵;②发育硅质岩—磷质岩—Ni、Mo 矿层组合;③发育重晶石—石膏—钼冰洲石等热水矿物组合,富黄铁矿;④ $U/Th > 1$ ,  $\delta^{30}Si = -0.1\%$ ,  $^{87}Sr/^{86}Sr = 0.708 \pm$  指示热水环境。又可分为一次热水型、两次热水型、热水/正常水交替型(见图4)三类。TOC 含量为 5%~15%,最高达 22%。

深水硅磷质台凹相(图5) 岩性为黑色硅质岩、泥岩,含磷或磷结核,薄层状。常见菊石、双壳类等浮

游动物,生物相为放射虫、红藻、线叶植物微相,含褐藻及疑源类。深水台凹相发育于上、下扬子区二叠系孤峰组( $P_1g$ )和大隆组( $P_2d$ ),而孤峰组与茅口组石灰岩、大隆组与长兴组石灰岩一般为相变关系<sup>[1]</sup>,可见深水台凹就是碳酸盐岩台地之间的泥质凹地。台凹相烃源岩厚度不大,TOC 含量却很高(见图12d 孤峰组及图16 大隆组),平均值为 3%~8%以上,但变化较大(图5);川西北  $P_2d$  台凹相泥岩 TOC 含量高达 21%。

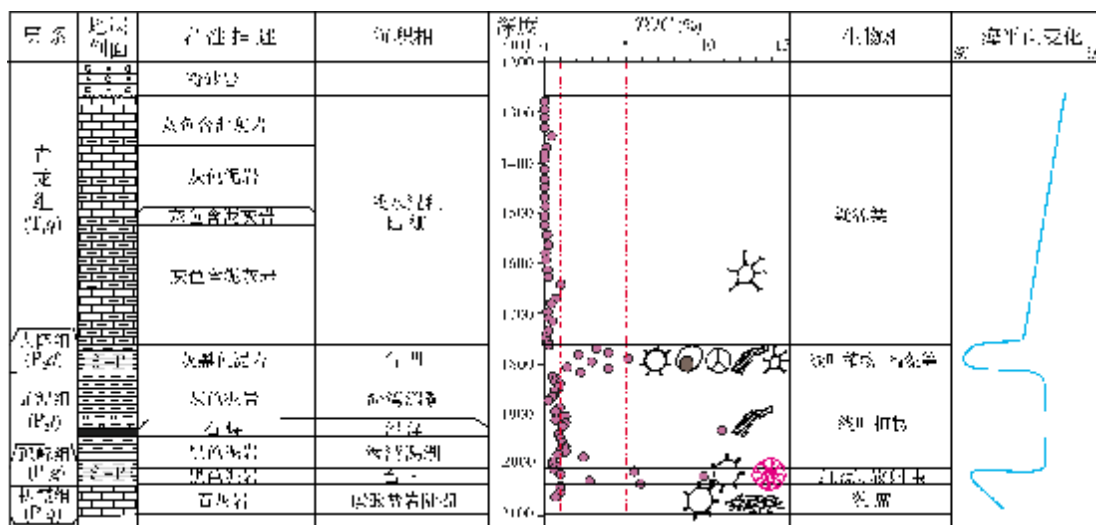


图5 深水硅磷质台凹相烃源岩典型相剖面——苏北 N9 井孤峰组( $P_1g$ )和大隆组( $P_2d$ )

生物指相图例见图1。孤峰组深水台凹泥岩为红藻、放射虫微相,TOC=1%~10%,变化较大,平均 4.3%;大隆组深水台凹泥岩为线叶植物微相,TOC=1%~5%,平均 3.52%

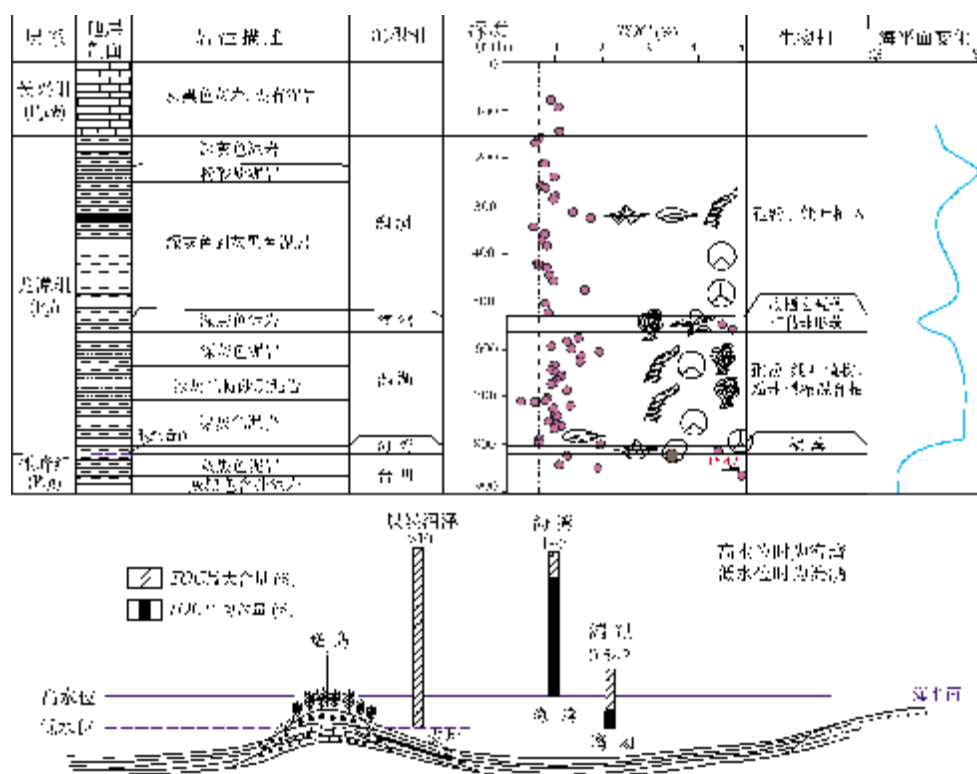
海湾—潟湖相(图6) 岩性为深灰色、灰黑色泥岩,夹薄砂层和煤,属三角洲与堡岛或与浅海碳酸盐岩陆棚之间的沉积,高水位时为海湾,低水位时为潟湖。生物相的特点是混合相。海湾相以黏球型藻、褐藻、底栖宏观藻为主,亲海。潟湖相以孢粉、线叶植物为主,也见黏球型藻,亲陆。海湾潟湖相发育于上二叠统龙潭组( $P_2l$ ),泥岩 TOC 含量为 0.5%~5%,海湾相高于潟湖相,川北  $P_2l$  海湾相 TOC 含量高达 13%(图15a)。

近海湖盆—沼泽相(图7) 高水位时发育障壁近海湖盆,低水位时发育沼泽,两种环境频繁交替,煤、碳质泥岩与泥岩交替。这种环境基本脱离海的影响,只在个别海泛层中见海相生物化石,而陆源生物输入明显增多。近海湖盆以线叶植物微相为主。沼泽是由湖盆内部水体循环、大量生物残屑层层堆积成为正地形演变而成,与高等植物生长形成的沼泽不同,只见少量高等植物残片。近海湖盆—沼泽相烃

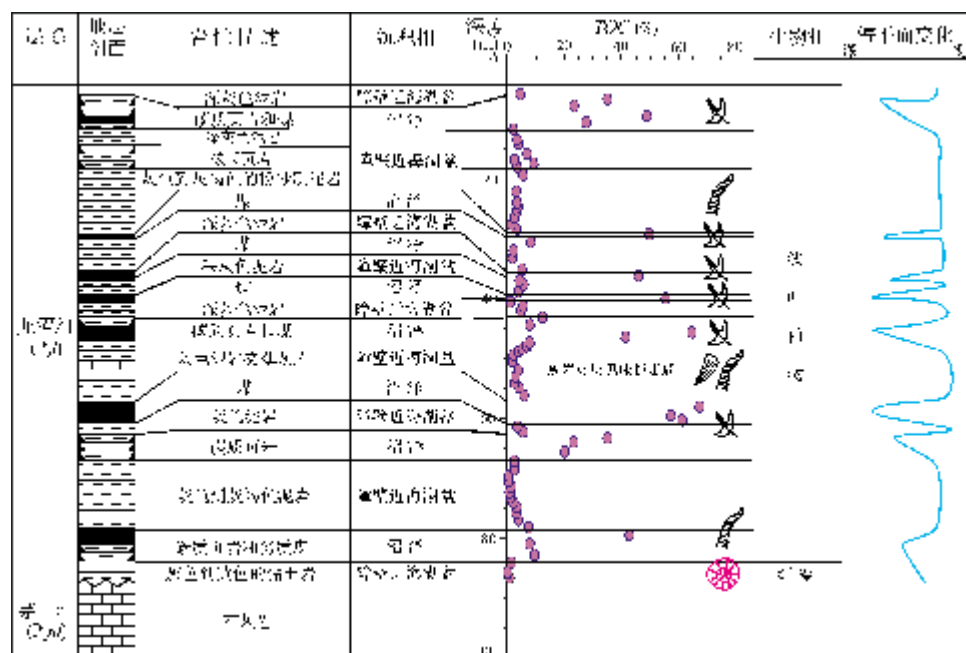
源岩发育于上扬子南区  $P_2l$  组,TOC 含量变化很大,为 0.5%~10%,平均 4%±,煤和碳质泥岩可达 20%~60%。

前三角洲泥岩相(图8) 岩性为灰黑色泥岩夹碳质泥岩。广西十万大山盆地西部峙浪  $T_3$  剖面下部是一个前三角洲泥岩相的典型剖面,自下而上组成水体逐渐加深的海进体系域,其上覆地层为三角洲相。生物相由前三角洲后部的蓝藻席变到前部发育红藻。泥岩平均 TOC 含量也由 0.5%变到 2.5%,好的烃源岩发育在海平面上升层序的顶部。

深水碳酸盐岩陆棚相(图9) 岩性为黑灰色泥晶灰岩、泥灰岩夹钙质骨屑泥岩。灰岩不纯,含泥量高,中薄层状。“眼球”结构发育,常见海泡石、黄铁矿晶体,不发育亮晶颗粒灰岩和交错层。主要生物相为底栖宏观藻席、藻纹层、线叶植物、疑源类等微相。这种沉积相的烃源岩常见于南方下二叠统  $P_1q$  组和  $P_1m$  组下部的“眼球灰岩”发育段,TOC 含量为 1%~

图6 海湾潟湖相烃源岩典型剖面——浙江长兴煤13井龙潭组(P<sub>2</sub>l)

生物指相图例见图1。海湾相含黏球型藻及底栖宏观藻,TOC=4%~5%;潟湖相以孢粉、线叶植物为主,也有黏球型藻,TOC=0.5%~2%。剖面见多层海相化石,含煤层

图7 近海湖盆—沼泽相烃源岩典型剖面——黔西北习水良村浅3井龙潭组(P<sub>2</sub>l)

生物指相图例见图1。剖面含7层煤,与碳质泥岩、泥岩频繁交互。海相化石仅见于石灰岩夹层中。近海湖盆相泥岩以线叶植物为主,TOC含量变化很大,为0.5%~10%,平均4.4%;沼泽相碳质泥岩和煤TOC含量高达10%~60%



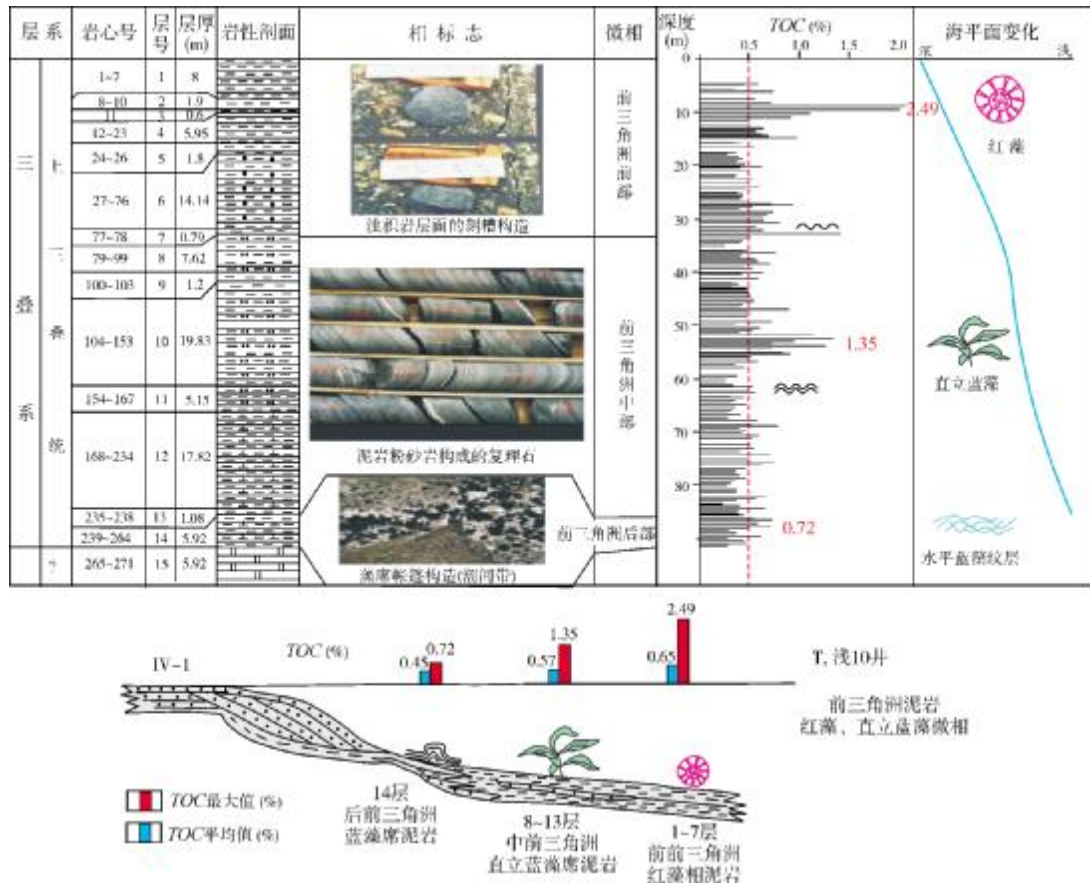


图8 前三角洲相烃源岩典型剖面——十万大山盆地西部峙浪上三叠统

剖面由下向上,生物相变由蓝藻席帐篷构造→直立蓝藻→红藻,水体逐渐加深,TOC含量高值相应也从0.72%→1.35%→2.5%

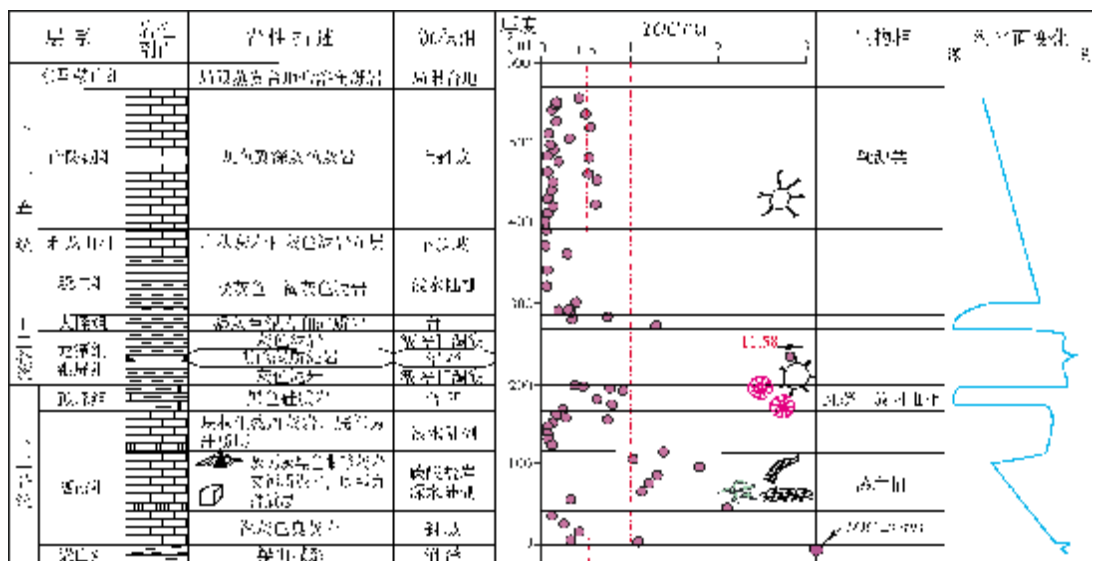


图9 深水碳酸盐岩陆棚相烃源岩典型剖面——皖南巢湖栖霞组(P,q)

生物指相图例见图1。剖面上栖霞组分5个岩性段,其中夹在上、下硅质层之间的眼球灰岩段属深水碳酸盐岩陆棚相藻席、线叶植物微相,TOC含量为1%~2%,最大2.5%





### 3 四套海相烃源岩的沉积—生物相图

我们综合烃源岩的厚度、TOC 含量分布和单剖面沉积相—生物相分析结果,编制出上、中扬子和下扬子研究区 4 套区域性海相烃源岩的 10 张沉积—生物相图。

#### 3.1 下寒武统

下寒武统沉积时,上、中扬子研究区西有川中水下古隆起,东有鄂中古陆,环绕这两个古隆起周缘,发育了川北、川东—鄂西、川南、湘黔(热水)四个深

水陆棚区(图 11)。川中古隆起向南延伸,包括了川南丁山水下高地。川东鄂西深水陆棚向东延伸,受鄂中古陆阻隔,只分布在江汉盆地南部。在下扬子区,沿 NE 向同生断裂带下降盘,发育了休宁—安吉和泰州—盐城 2 个斜列式深水陆棚(图 12a)。此时黔中隆起及江南隆起尚不存在,川北、川东—鄂西、泰州—盐城 3 个深水陆棚区向北开口,与秦岭洋相通;川南、湘黔(梅树村阶为热水)2 个深水陆棚区向南开口,与华南洋(早期热水)相通。下扬子区休宁—安吉深水陆棚荷塘组(C<sub>1</sub>h)底部富含海绵和石煤(U/Th>1),也受华南洋热水的影响。

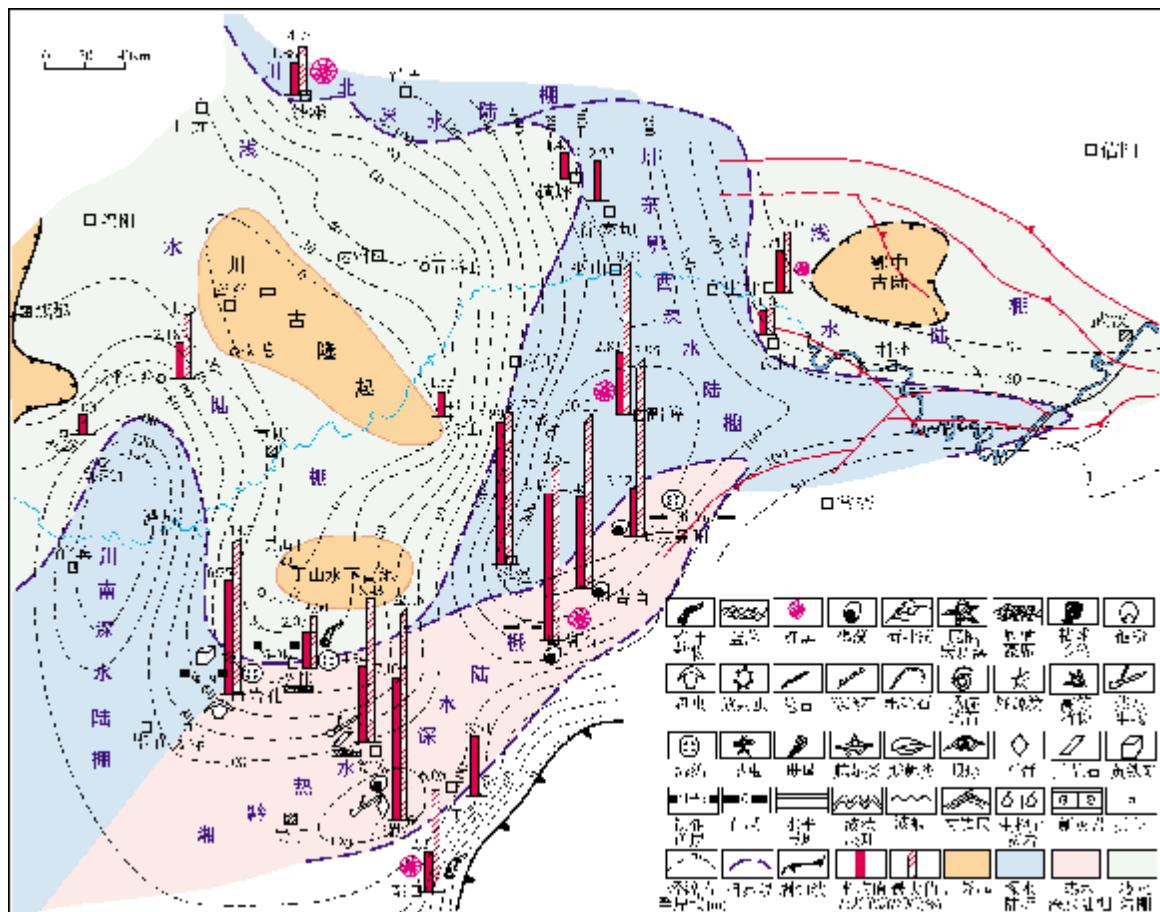
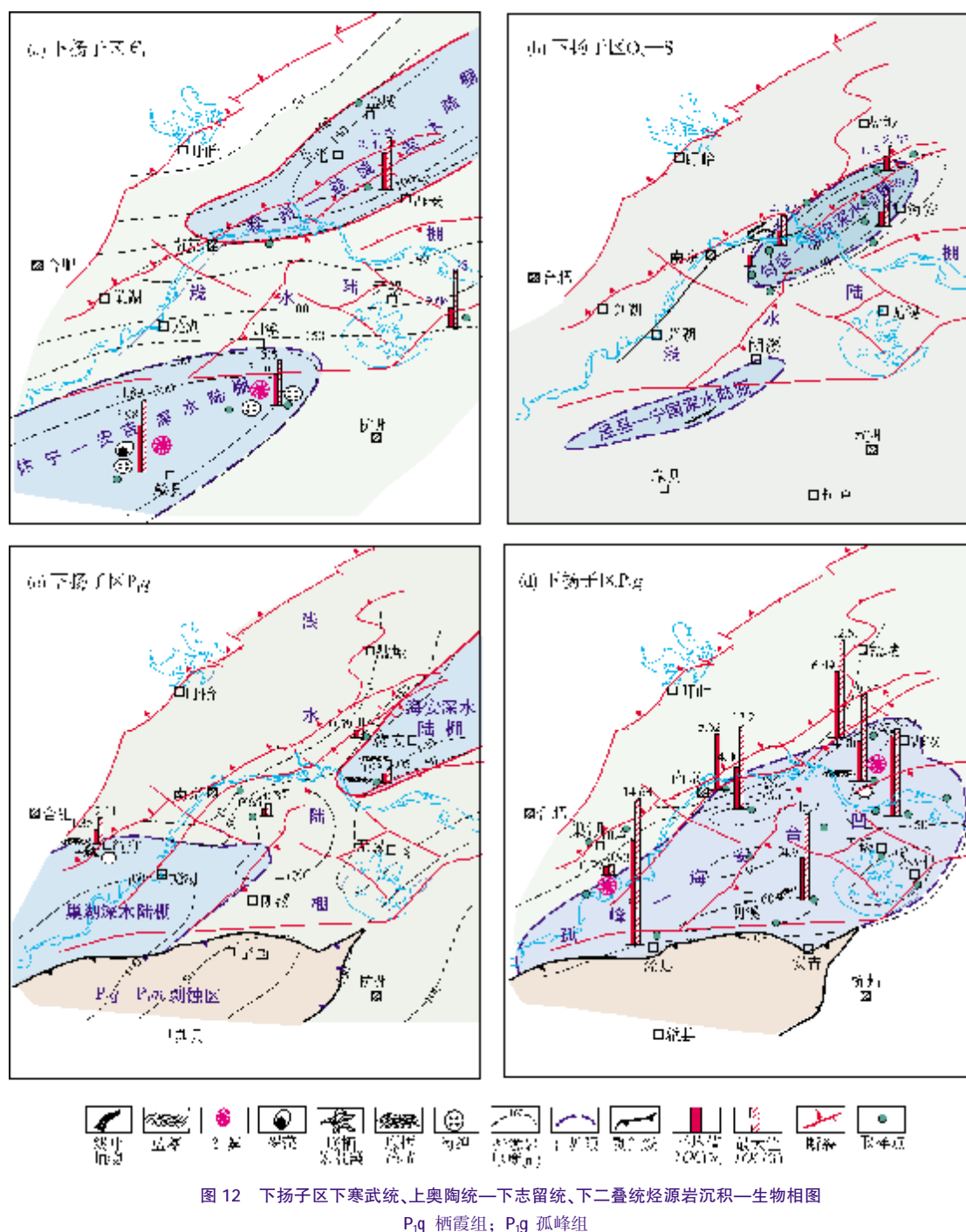


图 11 上、中扬子研究区下寒武统烃源岩沉积—生物相图

川东—鄂西、川南及湘黔(热水)三个深水陆棚区下寒武统烃源岩最发育,厚 120~200m,生物相为褐藻、红藻、海绵及热水生物微相,TOC 平均含量高达 7%~8%(图 11)。休宁—安吉深水陆棚 C<sub>1</sub>h 烃源岩最厚,达 300~460m,TOC 平均含量为 3%~6%(图 12a)。

#### 3.2 上奥陶统一志留统(O<sub>3</sub>W—S<sub>1</sub>l)

晚奥陶世末的都匀运动,造成黔中隆起及宜昌上升,江南(雪峰)隆起已具雏形。上、中扬子区 O<sub>3</sub>W—S<sub>1</sub>l 深水陆棚只分布在不受都匀运动影响的地



区,发育有川东北、川东鄂西、川南三个深水陆棚区,夹持在川中、黔中、江南(雪峰)三大古隆起之间,向北开口与秦岭洋相通,形成“三隆夹一坳”的半闭塞滞流海盆(图 13)。下扬子区发育句容—海安深水陆棚(图 12b)。受江南隆起的影响,中扬子区江汉盆地 O<sub>3</sub>—S<sub>1</sub> 深水陆棚相不发育。

O<sub>3</sub>W—S<sub>1</sub>I 海相烃源岩在川东鄂西深水陆棚区最厚可达 130m,生物相为红藻、褐藻、线叶植物、疑源类微相,TOC 平均含量为 2%~4%。下扬子区高家边组(S<sub>1</sub>g)缺失 S<sub>1</sub>I 鲁丹阶下部,烃源岩的发育“先天不足”<sup>[1]</sup>,句容—海安陆棚高家边组烃源岩厚度小于 80m,范围也不大,笔石微相,TOC 平均含量为 1%~1.5%(图 12b)。

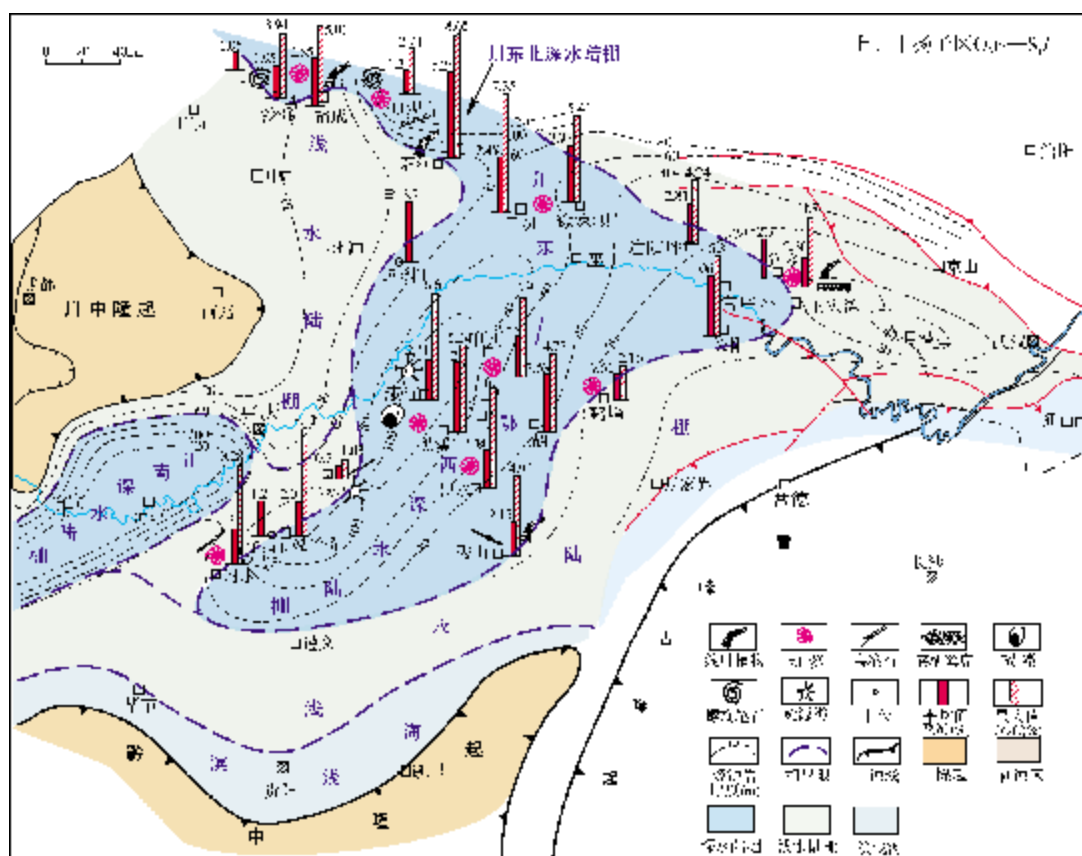


图 13 上、中扬子研究区上奥陶统一志留统烃源岩沉积—生物相图

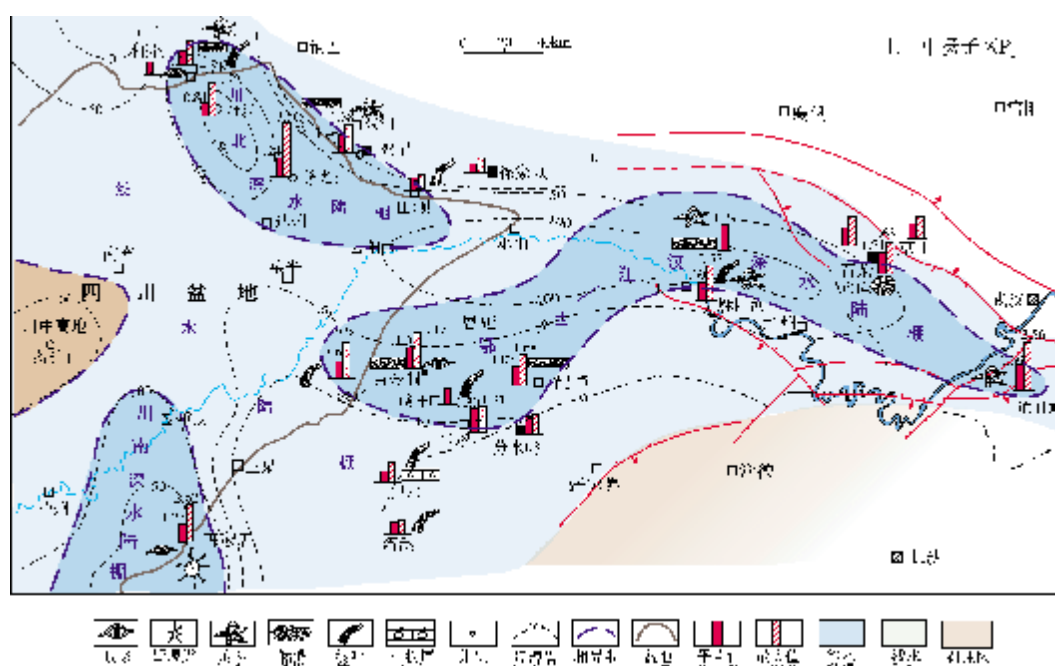
O<sub>3</sub>W 五峰组; S<sub>1</sub> 龙马溪组

图 14 上、中扬子研究区下二叠统碳酸盐岩烃源岩沉积—生物相图



### 3.3 下二叠统

从早二叠世开始,扬子克拉通内部出现了隆凹相间的构造—沉积格局。上扬子研究区围绕川中古隆起发育川北、鄂西、川南三个碳酸盐岩深水陆棚(图 14),其中鄂西深水陆棚向东伸向中扬子区,成为东西狭长的鄂西—江汉深水陆棚。川北深水陆棚则是以后晚二叠世—早三叠世开江—梁平台凹的雏型。下扬子区因江南隆起不断扩大,下二叠统只分布在周王—湖苏断裂以北、沿江断裂以南,发育巢湖、海安两个碳酸盐岩深水陆棚(图 12c),之间为南京—宜兴灰泥丘相带,这个深水陆棚,晚期相变为孤峰—海安泥质台凹。

下二叠统碳酸盐岩深水陆棚相烃源岩最厚 100~150 m,底栖宏观藻席、藻纹层、线叶植物微相,TOC 平均含量为 1%~2%,属中等丰度烃源岩。下扬子区孤峰组( $P_1g$ )硅磷质台凹(图 12d)发育红藻、放射虫微相泥质烃源岩,厚度一般小于 100 m,但 TOC 平均含量高达 10%,是一套优质烃源岩。

### 3.4 上二叠统

东吴运动后,扬子地台东部与西部、下扬子区与

上扬子区沉积格局的差异更加明显。

上扬子区的龙潭组( $P_2l$ )分南、北两相区(图 15a)。北区发育一个 NW 向海湾潟湖,3 口探井的  $P_2l$  组以泥岩为主,四周为吴家坪组( $P_2w$ )灰岩所环绕。这个海湾潟湖向上发展到大隆期( $P_2d$ ),成为一个北西开口、南东封闭的广(元)旺(苍)台凹(图 16),它是早三叠世开江—梁平台凹的前身。南区大面积为近海湖盆—沼泽环境,基本上脱离海的影响。南、北相区之间为川中隆起的古三角洲所分隔。

下扬子区龙潭组属堡岛—三角洲体系,南面为陆地,北面为大洋,发育一个向北开口的苏皖海湾(图 15b)。

上扬子区川北海湾潟湖相  $P_2l$  泥质烃源岩厚达 170 m,发育疑源类,TOC 平均含量 2%~5%,最大值大于 10%; $P_2d$  硅磷质台凹相优质烃源岩厚仅 20~30 m,富含线叶植物及疑源类,TOC 含量高达 21%。川南近海湖盆沼泽相  $P_2l$  煤系烃源岩厚 100~120 m,富含草本植物、线叶植物及红藻,泥岩 TOC 平均含量为 4%,煤和碳质泥岩很高。下扬子区苏皖海湾  $P_2l$  烃源岩厚 200~300 m,局部达 600 m,发育混合生物相,含煤,泥岩 TOC 平均含量为 2%~5%。

上、下扬子区龙潭煤系除生物相有差异外,还有

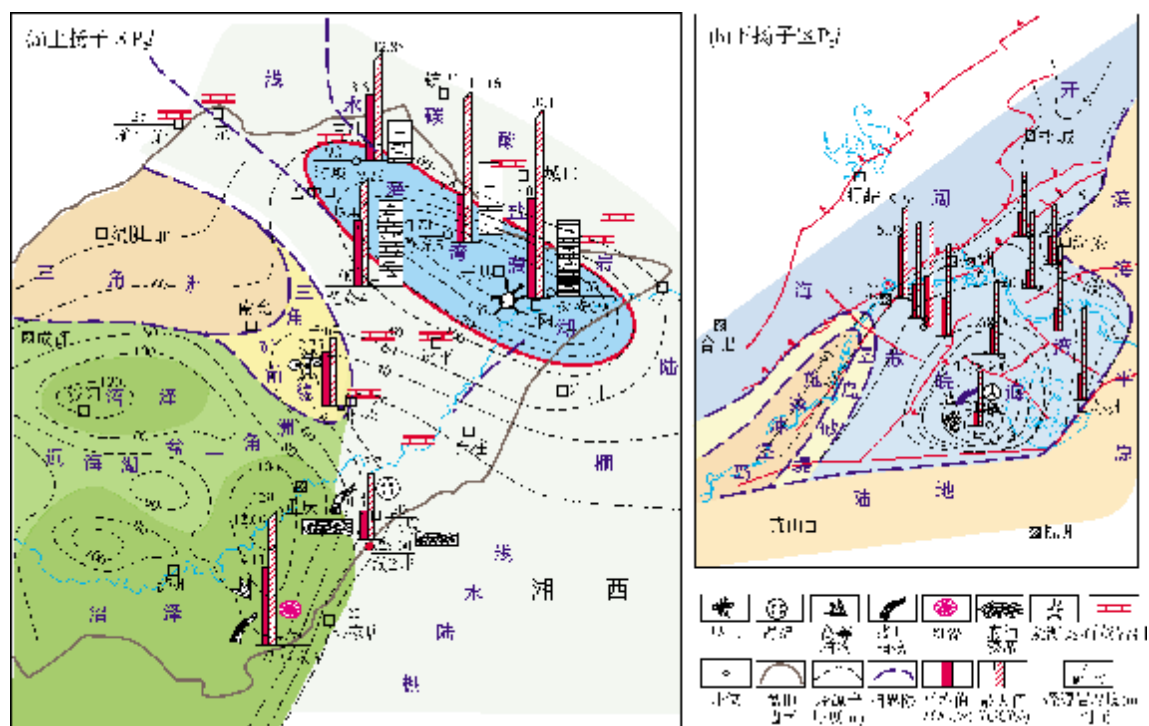


图 15 上、下扬子研究区上二叠统龙潭组( $P_2l$ )烃源岩沉积—生物相图

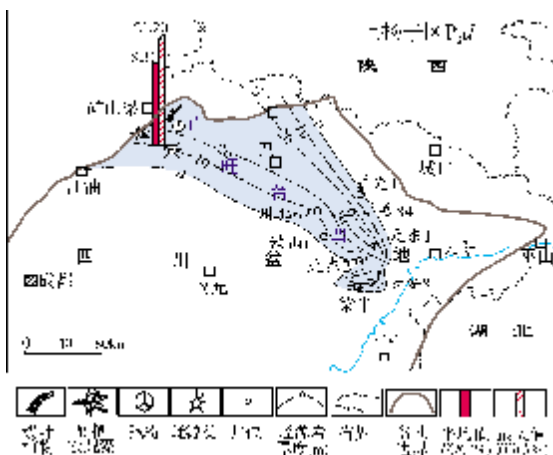


图 16 上扬子区川北上二叠统大隆组( $P_{2d}$ )  
烃源岩沉积—生物相图

两点明显不同:一是下扬子区苏皖海湾与海连通,见多层海相生物化石,上扬子南区近海湖盆沼泽则仅在个别海泛层见海相化石。二是苏皖海湾的堡岛—三角洲砂体发育,煤层夹在砂岩之中,上扬子南区则是潮坪体系直接覆于沼泽之上,煤层与泥岩或石灰岩直接接触。

中扬子区因江南古陆抬升,上二叠统烃源岩不发育。

### 3.5 烃源岩沉积环境的演变

对比研究区四套区域性烃源岩的沉积相图,可以看出以下三方面特征:

(1)相类型向多样化演变 从 $C_1$ 深水泥质陆棚相(含热水)→ $O_3-S_1$ 半闭塞海盆深水泥质陆棚相→ $P_1$ 碳酸盐岩深水陆棚相,后期( $P_{1g}$ )出现深水硅磷质台凹→ $P_2$ 海湾、潟湖、近海湖盆、沼泽相,后期( $P_{2d}$ )出现深水台凹,相类型越来越多种多样,到了晚二叠世,过渡大相占了主要地位。

(2)与大洋都有联系,但陆地影响增大  $C_1$ 深水陆棚南北与华南洋、秦岭洋相通→ $O_3-S_1$ 深水陆棚南面封闭,北面与秦岭洋相通→ $P_1$ 碳酸盐岩深水陆棚南北与八布洋、秦岭洋相通→ $P_2$ 海湾潟湖与大洋相通,近海湖盆、沼泽则基本脱离海的影响。

(3)分布范围由大变小,出现两个旋回 受都匀运动( $S_1/O_3$ )和东吴运动( $P_2/P_1$ )的影响,早、晚古生代烃源岩的分布出现由大变小的两个旋回:①  $C_1$ 深水陆棚相广布于上、中、下扬子区→ $O_3/S_1$ 深水陆棚相主要在上扬子区,中、下扬子区不很发育;②  $P_1$ 深

水碳酸盐岩陆棚相广布于上、中、下扬子区→ $P_2$ 过渡大相主要在上、下扬子区,中扬子区不发育。

## 4 海相烃源岩发育的五个控制因素

### 4.1 板块运动控制烃源岩发育的时代

从全球范围看,6个时代的烃源岩相对最发育,生成了全球油气储量的91.5%<sup>[4]</sup>(图17a),而早寒武世和晚二叠世两个时期烃源岩最不发育。为什么在我国南方却偏偏发育了 $C_1$ 和 $P_2$ 两套海相烃源岩?从图17b<sup>[5-6]</sup>可以看出,在板块拼合、劳伦大陆和泛大陆形成、全球板块一体化过程中,扬子板块始终游离于古大陆之外,在赤道南北游弋,活动性强,形成多岛体系,这可能是它不同于世界各大板块而发育 $C_1$ 和 $P_2$ 两套海相烃源岩的重要原因。

### 4.2 板内活动控制烃源岩发育的盆地类型

扬子研究区海相烃源岩发育的盆地类型有克拉通边缘盆地( $C_1$ )、前前陆拗陷( $O_3-S_1$ )和台凹( $P$ )等三类(图18)。

下寒武统烃源岩发育在上扬子区东部(川东—鄂西、湘黔、川南)、下扬子区南部(皖南—浙西)两个克拉通边缘盆地之中(图18a),克拉通盆地本部烃源岩不发育。

上奥陶统一志留统烃源岩发育在川东鄂西—川南前前陆拗陷带之中(图18b),它是在前陆盆地挤压期开始(早志留世艾隆期)之前的拉张期(晚奥陶世—早志留世鲁丹期)拗陷;中、下扬子区两个前陆盆地烃源岩不发育。

上、下二叠统烃源岩发育在克拉通盆地内部隆凹相间的几个台凹之中(图18c)。

中扬子区在早古生代不发育克拉通边缘盆地和前前陆拗陷,晚二叠世又不发育台凹,几套海相烃源岩的发育不如上、下扬子区。

### 4.3 三大古隆起控制烃源岩的分布

南方扬子地台研究区内发育川中(乐山—龙女寺)、黔中和江南三大古隆起。其中,川中古隆起活动最早,在震旦纪灯影期已有雏形,志留纪末定型;黔中古隆起于早奥陶世开始活动,定型于晚奥陶世;江南隆起在晚奥陶世开始活动,定型于中志留世。它们对古生界海相烃源岩的分布有明显控制作用:

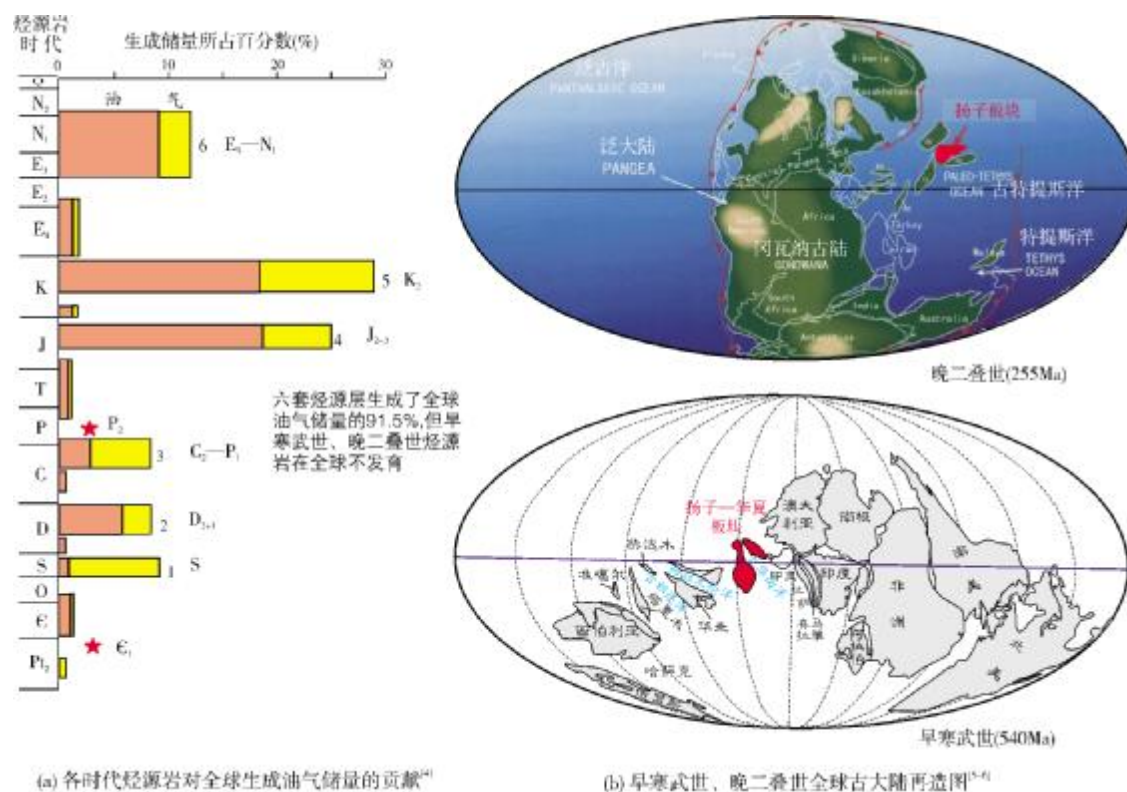


图 17 全球各时代烃源岩生成的油气储量与古生代全球古大陆构造变动图

(1)川中古隆起长期活动,导致 $\epsilon_1$ 、 $O_3$ — $S_1$ 、 $P_1$ 、 $P_2$ 四套区域性烃源岩环绕古隆起在周缘凹陷中分布(图 11—图 16)

(2)川中、黔中、江南三大古隆起的活动,导致  $O_3$ — $S_1$  前前陆拗陷带分布在“三隆夹一坳”之中(图 18b),形成向北开口、向南封闭的半闭塞海盆烃源岩。

(3)江南隆起中段在都匀运动( $S_1/O_3$ )和东吴运动( $P_2/P_1$ )的抬升,导致其北缘江汉盆地  $S_1$  和  $P_2$  两套烃源岩不发育(图 18b,18c)。隆起东段在东吴运动的抬升,导致下扬子区二叠系烃源岩仅分布在周王—湖苏断裂以北、沿江断裂以南地区(图 12,图 15b)。

#### 4.4 四大转换期控制烃源岩的发育层位

(1)被动大陆边缘向前陆盆地的转换期 控制了上奥陶统五峰组、观音桥组和下志留统龙马溪组下部鲁丹阶烃源岩的发育层位(图 3)。

(2)冰期向间冰期的转换期 控制了上震旦统陡山沱组后冰期烃源岩发育在南沱冰碛层之上。与全球对比,下志留统龙马溪组下部鲁丹阶烃源岩也

是后冰期一次短暂海进的产物。

(3)水进体系域向高水位体系域的转换期 控制了十万大山盆地三叠统烃源岩发育在这一转换期的淹没台地陆棚相泥岩之中(图 19)。

(4)热水盆地向正常海水的转换期 控制了湘黔热水深水陆棚相最高 TOC 层段发育在梅树村阶(热水)顶部(图 4),向上进入筇竹寺阶正常水沉积,TOC 含量复又下降。

#### 4.5 沉积相、生物相控制烃源岩的有机质丰度

沉积相对烃源岩有机质丰度的控制见图 10,其中以深水泥质陆棚(热水)及深水硅磷质台凹相最好,其次是海湾潟湖相。近海湖盆—沼泽相以生气为主。

生物相对烃源岩有机质丰度的控制见表 2。

### 5 海相烃源岩的形成模式

#### 5.1 三种已有的模式

已有的三种海相烃源岩形成模式及其特点为:



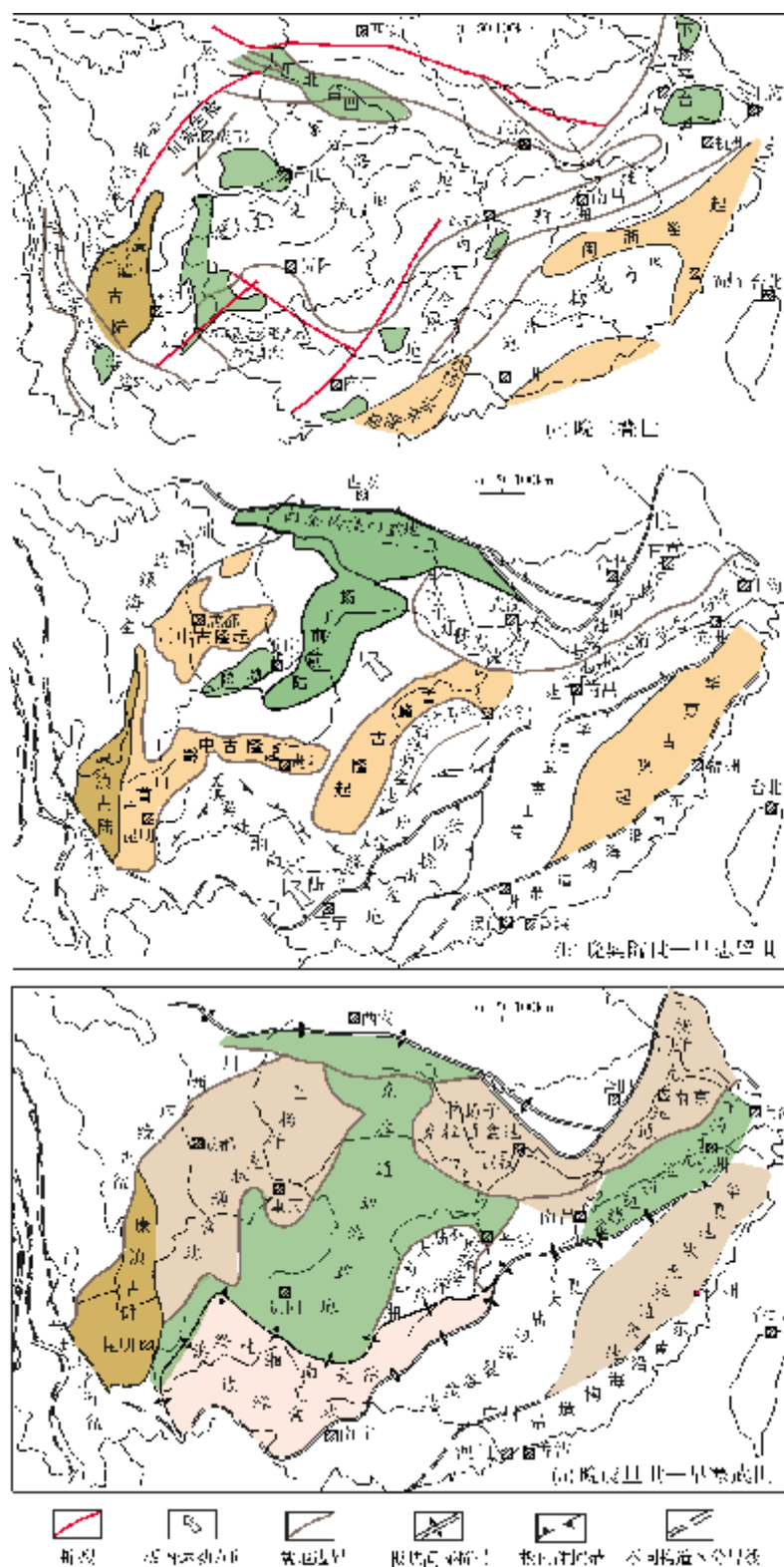


图 18 中国南方三个烃源岩发育时期的盆地类型(据文献①修改)

① 中国石化江汉油田研究院. 中国南方震旦纪—中三叠世海相地层构造—层序岩相古地理研究及编图. 2004.



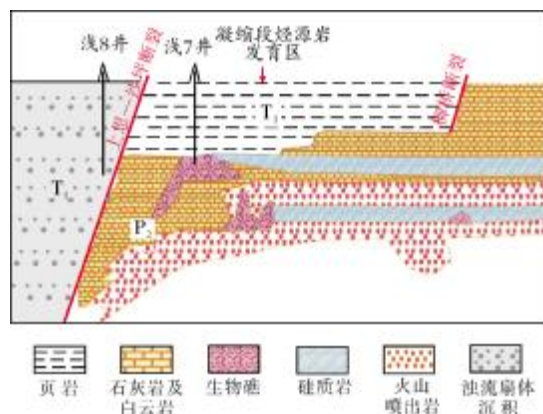


图 19 广西十万大山盆地地下三叠统烃源岩发育于水进体系向高水位体系转换期

旧城浅 7 井烃源岩发育于沟槽体系与碳酸盐岩台地之间,属淹没台地陆棚相泥质烃源岩。TOC 平均含量为 1%,最高 1.87%

表 2 不同生物相烃源岩的 TOC 含量

生物相	TOC(%)
褐藻微相	>10
红藻微相	4~10
线叶植物微相	2~5
蓝藻微相	<0.5~2.5

(1)上升洋流模式(图 20a) 与强大季风有关,发生于大陆边缘斜坡区的上升洋流带,地域上有局限性;

(2)大洋缺氧事件模式(图 20b) 与白垩纪全球高温有关,时间上有短暂性;

(3)黑海滞流盆地模式(图 20c) 只发生于闭塞海盆的潟湖环境。

这三种模式都缺少普遍性。特别是,这三种模式有两点与我国南方海相烃源岩的形成环境明显不同:一是生物相以浮游藻类为主;二是底层为还原、强还原环境(或在光合作用带以下的深水区),底栖藻类不发育。

## 5.2 本文的模式

深水陆棚—底栖藻席模式(图 20d) 本文提出的这个模式与上述三种已有的模式有三点不同:①浮游植物群不发育,而代之以底栖生物席;②生物席的生活环境是氧化的,但埋藏环境(沉积界面以下)则是还原的;③古地理环境是深水陆棚,而不是大陆坡和大洋。这三点,构成了我国南方主要海相烃源岩的

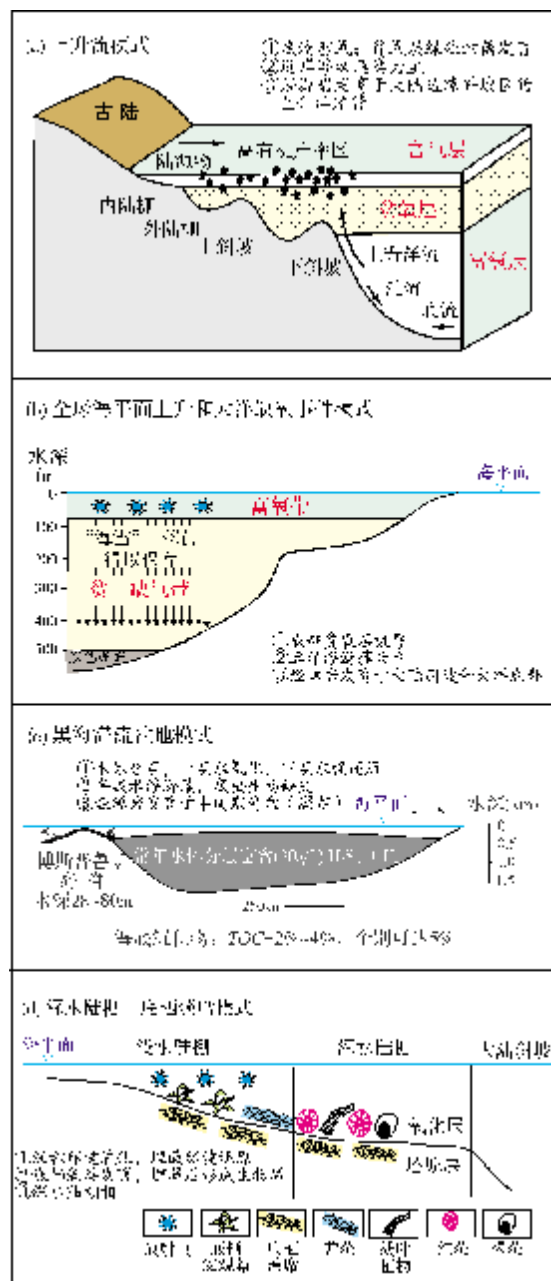


图 20 海相烃源岩的四种形成模式

形成模式——深水陆棚—底栖藻席模式。当然,也不排除某些地区二叠系  $P_{1g}$ 、 $P_{21}$ 、 $P_{2d}$  各组台凹相、海湾潟湖相烃源岩的形成有黑海模式的影响。

## 6 “海湾体系”是海相烃源岩发育的摇篮

纵观南方古生界海相烃源岩发育的有利相带分

布,可以发现一个重要特点——它们都与古大洋有密切联系,多种沉积相组合成不同时期的多个“海湾体系”(图 21)。

所谓“海湾体系”,并非单指狭义的“海湾潟湖”沉积亚相,而是指不同时期大洋伸入克拉通内部、与大洋边界斜交或垂直而形成条形或不规则状台内凹地,其中的沉积相可由深水陆棚相(泥质、碳酸盐岩、热水)、浅水陆棚相、台凹相、海湾潟湖相、前三角洲相,以及孤立台地相、台地斜坡相等组合而成。扬子研究区北面的秦岭洋,南面的华南海(早加里东期)和八布洋(海西期—早三叠世),是伸入扬子克拉通的两个最主要大洋。

早寒武世华南海、秦岭洋的侵入,分别形成南、北两个相通的海湾体系,包括 6 个“海湾”(图 21a)。

早志留世秦岭洋的向南侵入,形成北部海湾体系,包括 4 个“海湾”(图 21b)。早泥盆世八布洋钦防海槽的向北侵入,形成了滇黔桂海湾体系(图 21c)<sup>[7]</sup>。早二叠世秦岭洋、八布洋的侵入,分别形成南、北两个海湾体系<sup>[8]</sup>,包括 6 个“海湾”(图 21d)。晚二叠世秦岭洋的向南侵入,形成了川东北和苏皖两个海湾(图 15)。在这些不同时期的海湾体系中,分别发育了深水(泥质、碳酸盐岩、热水)陆棚相、深水台凹相、海湾潟湖相、前三角洲相、近海湖盆—沼泽相等 7 种有利相带烃源岩。

在海湾体系中,地形分异大,隆凹相间,有利于烃源岩的发育。海湾体系靠陆,营养丰富,海洋初级生产力高。海湾体系与大洋连通,易受上升流的影响。海湾体系容易闭塞,形成还原环境。由此可见,

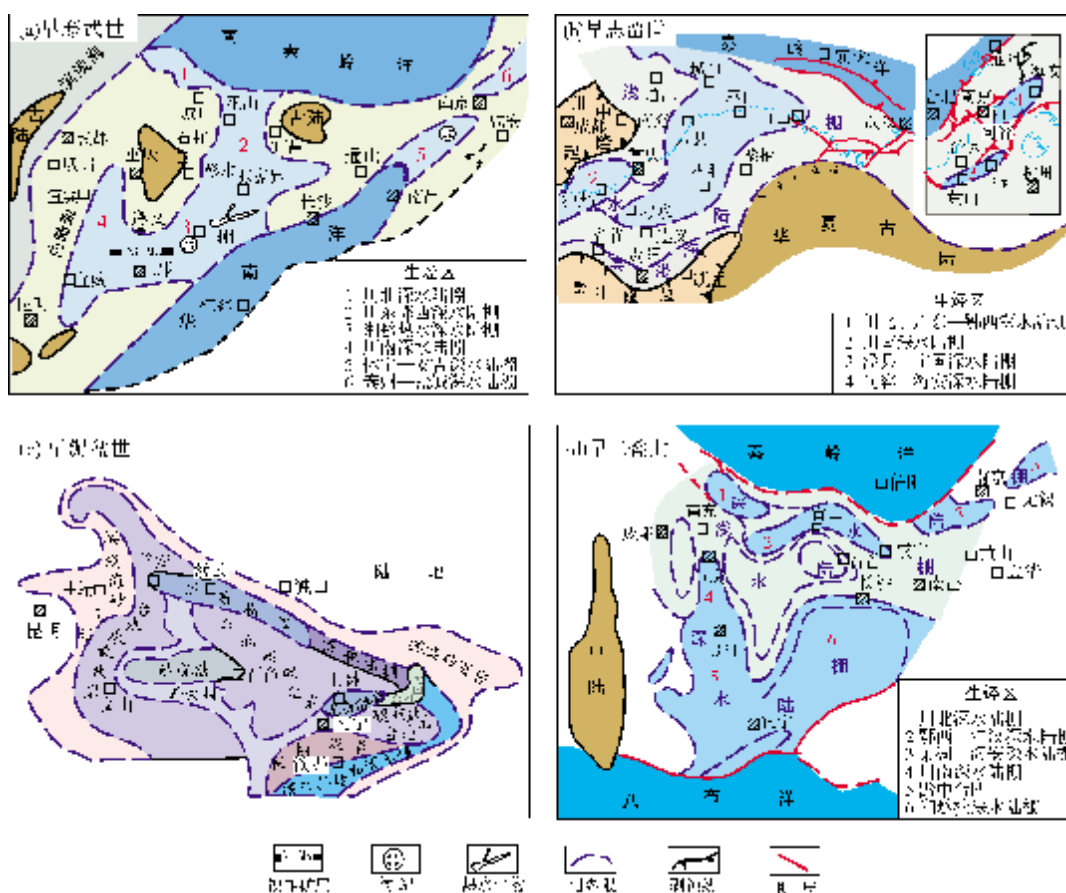


图 21 多种沉积相组合成不同时期的“海湾体系”促进海相烃源岩的发育(图 c、d 据梅冥相等<sup>[7-8]</sup>修改)

- (a) 早寒武世秦岭洋、华南海向南北侵入扬子克拉通的海湾体系控制 6 个生烃区的发育;
- (b) 早志留世秦岭洋向南侵入扬子克拉通的海湾体系控制 4 个生烃区的发育;
- (c) 早泥盆世八布洋向北侵入扬子克拉通的滇黔桂海湾体系控制泥盆系烃源岩的发育;
- (d) 早二叠世秦岭洋、八布洋向南北侵入扬子克拉通的海湾体系控制 6 个生烃区的发育

“海湾体系”是海相烃源岩发育的摇篮。

从这个意义上说,要寻找不同时代生成的油气,就要寻找不同时代的烃源岩发育区,这就首先要确定当时的大洋位置和边界,然后在克拉通区圈定出不同时期与大洋相通的“海湾体系”。换句话说,要找下寒武统生成的油气,首先要找早寒武世的“海湾体系”,要找二叠系生成的油气,首先要找二叠纪的“海湾体系”。

从源控论出发,“海湾体系”是克拉通盆地海相油气勘探的一个重要领域。

#### 参考文献

- [1] 梁狄刚,郭彤楼,陈建平,等. 中国南方海相生烃成藏研究的若干新进展(一):南方四套区域性海相烃源岩的分布[J]. 海相油气地质,2008,13(2):1-16.
- [2] 梁狄刚,郭彤楼,陈建平,等. 中国南方海相生烃成藏研究的若干新进展(二):南方四套区域性海相烃源岩的地球化学特征[J]. 海相油气地质,2009,14(1):1-15.
- [3] 陈哲,胡杰,周传明,等. 皖南下寒武统荷塘组海绵动物群[J]. 科学通报,2004,49(14):1399-1402.
- [4] Ulmeshek G. F, Klemme H D. Effective petroleum source rock of the world: Stratigraphic distribution and controlling deposition factors[J]. AAPG Bull, 1991,75(12):1809-1851.
- [5] 翟光明,宋建国,靳久强,等. 板块构造演化与含油气盆地形成和评价[M]. 北京:石油工业出版社,2002:25-26.
- [6] 万天丰,朱泓. 古生代与三叠纪中国各陆块在全球古大陆再造中的位置及运动学特征[J]. 现代地质,2007,21(1):1-13.
- [7] 梅冥相,曾萍,初汉明,等. 滇黔桂盆地及邻区泥盆纪层序地层格架及古地理背景[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2004,34(4).
- [8] 梅冥相,郑宽兵,初汉明,等. 滇黔桂盆地及邻区二叠纪层序地层格架及古地理演化[J]. 古地理论,2004,6(4):401-418.

编辑:赵国宪

### Some Progresses on Studies of Hydrocarbon Generation and Accumulation in Marine Sedimentary Regions, Southern China (Part 3): Controlling Factors on the Sedimentary Facies and Development of Palaeozoic Marine Source Rocks

Liang Digang, Guo Tonglou, Bian Lizeng, Chen Jianping, Zhao Zhe

**Abstract:** There are 4 suites of Paleozoic marine source rocks, including the Lower Cambrian, the Upper Ordovician-Lower Silurian, the Lower and the Upper Permian ones, in the studied area of South China. These source rocks can be divided into 7 favorable depo-biofacies: namely deep-water argillaceous shelf facies, deep-hot-water shelf facies, deep-water carbonate shelf facies, deep-water silicophosphatic platform-seg facies, bay lagoon facies, offshore lake-basin swamp facies and prodelta facies. The 4 suites of depo-biofacies diagrams of regional marine source rocks indicate that all of these facies are connected to some extent with oceans. These facies of source rocks represented to diversify from Early Cambrian to Late Permian periods. Influenced by the Douyun and Dongwu Movements, the distribution area of favorable facies zones varied from broadness to narrowness in two cycles. The development of marine source rocks in South China has been controlled by five factors, such as plate movements, intraplate activities, the three big palaeohighs, the four transform periods and depo-biofacies. The formation pattern of marine source rocks in South China consists of the deep-water shelf and benthonic algal mats characterized by the up-growth of benthonic algae, the oxidation of depositional surface but reduction of burial settings. This pattern differs in these characters from the other three formation patterns that have already occurred. In the studied area, the Qingling Ocean in the north, the Huanan Ocean in the south (P<sub>2</sub>) and the Babu Ocean (P<sub>2</sub>) intruded into the Yangtze Craton to form “bay systems” at different times, which are cradles for the development of marine source rocks and significant targets to explore marine oils and gases in Southern China.

**Key words:** Paleozoic; Marine source rock; Carbonate source rock; Depoacities; Biofacies; Gulf system; Controlling factor; Formation pattern; Southern China

**Liang Digang:** male, Prof., Chief of the Academic Committee of Key Lab of Petroleum Geochemistry, PetroChina and Consultant of the Expert Committee of the Consulting Center, CNPC. Add: Experiment & Research Center, P.O.Box 910, 20, Xueyuan Rd, Beijing, 100083 China