

文章编号:1672-9854(2008)-02-0001-16

## 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

梁狄刚<sup>1</sup>, 郭彤楼<sup>2</sup>, 陈建平<sup>1</sup>, 边立曾<sup>3</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** 通过对上、中、下扬子区 121 个地表及钻井剖面烃源岩的密集扫描取样和地化分析,系统研究了下寒武统、上奥陶统—下志留统、上二叠统、下二叠统四套区域性海相烃源岩的厚度及有机质丰度的纵横向分布,明确了海相烃源岩在纵向上以下寒武统和上二叠统为最好,横向上以上扬子区为最好,其次为下扬子区;确定了五个烃源岩发育区。明确了海相烃源岩以泥岩为主,碳酸盐岩烃源岩只出现在下二叠统栖霞组—茅口组,实测最大厚度为 150m,从而表明中国南方不存在上千米厚的碳酸盐岩烃源岩。对四套海相烃源岩的厚度问题、层位问题、原始生烃潜量和碳酸盐岩烃源岩的鉴别问题等提出了认识。

**关键词** 古生代;海相地层;碳酸盐岩烃源岩;泥岩烃源岩;烃源岩分布;生烃潜力;中国南方

**中图分类号**:TE112.3 **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。2000年、2001年先后获国家科技进步奖一、二等奖。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

### 1 概述

中国石油油气地球化学重点实验室受中国石化南方勘探开发分公司的委托,2004—2006年对我国南方上、中、下扬子区海相地层进行了系统的生烃成藏研究。研究区域范围达 $15.5 \times 10^4 \text{ km}^2$  (图1),取样行程21 000 km,涉及上、中、下扬子区的98个地表剖面和23口钻井剖面,对其进行了系统的扫描取样。烃源岩样只取新开公路边壁、采石场、矿坑的新鲜样品,剖面取样间隔通常为1~2m,遇石灰岩段放宽至5~20m。在对3 811块烃源岩样、95个固体沥青和油气样品的33项9 909块次分析的基础上,对南方海相生烃成藏进行了系统研究。

本文着重分析了扬子地台古生界四套区域性海相烃源岩,即下寒武统、上奥陶统—下志留统、下二叠统、上二叠统的纵横向分布特征,讨论了有关的几个问题。

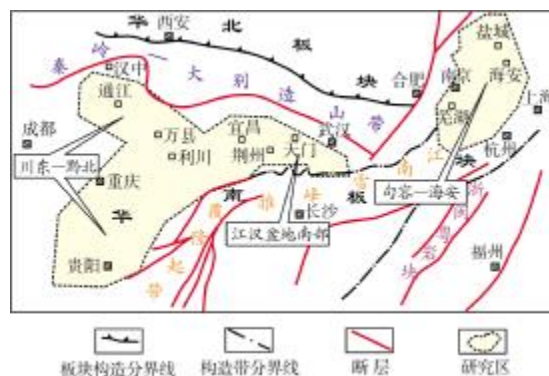


图1 中国南方海相生烃成藏研究区位置

### 2 四套区域性海相烃源岩的纵向分布

南方高、过成熟海相烃源岩的有效评价指标是总有机碳(TOC)含量。考虑到勘探评价实际应用的可操作性,作者认为,海相烃源岩的评价

收稿日期:2008-03-15

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

标准要与国际接轨,碳酸盐岩烃源岩的标准要与泥岩接轨,故统一采用TOC 0.5%作为商业性烃源

岩有机质丰度的下限值(表1),并且不进行成熟度恢复<sup>[1-4]</sup>。

表1 烃源岩的总有机碳(TOC)含量分级标准

评价的岩类	TOC(%)分级					
	非	差	中等	好	很好	极好
古生界海相烃源岩	<0.5	0.5~1.0	1.0~2.0	2.0~3.0	3.0~5.0	>5.0
上古生界Ⅱ—Ⅲ型泥质烃源岩	<0.5	0.5~1.0	1.0~2.5	2.5~4.0	4.0~7.0	>7.0

## 2.1 下寒武统烃源岩

对上、中、下扬子区共31个下寒武统地表及钻井剖面的岩样进行了地化扫描取样分析,图2展示了其中8个典型剖面。

下寒武统烃源岩广泛分布于川北的筇竹寺组( $\text{C}_1\text{qz}$ )(图2a)、贵州—湘西的牛蹄塘组( $\text{C}_1\text{n}$ )(图2c、d、e)、鄂西的水井沱组( $\text{C}_1\text{sh}$ )(图2f)、浙西—皖南的荷塘组( $\text{C}_1\text{h}$ )和苏南—苏北的幕府山组( $\text{C}_1\text{m}$ )(图2g、h)。从图2中可以看出:

(1) TOC>0.5%的烃源岩厚度为30~200 m,实测标定最厚206 m(图2e);皖南—浙西局部可达465 m(图2h)。

(2) 高丰度烃源岩发育在剖面下部,为质纯泥岩;向上随着含粉砂、含钙量增多,TOC含量明显降低。例如川北南江沙滩剖面(图2a),底部TOC含量为4%~5%;距底60 m以上泥岩含粉砂,TOC小于1%;距底90 m以上,泥岩含钙,尽管颜色很黑,但TOC小于0.5%,已属非烃源岩。

(3) 下寒武统高丰度烃源岩的TOC含量可达4%~5%,湘西和浙西—皖南可达8%~10%,在黔东南麻江地区更高达17%~22%,不少地区可见石煤。TOC>2%的烃源岩厚达40~110 m,浙西—皖南局部地区可达200 m以上,是一套广泛分布的很好—极好烃源岩。

## 2.2 上奥陶统一志留统烃源岩

对上、中、下扬子区共29个上奥陶统一志留统地表及钻井剖面的岩样进行了地化扫描取样分析,图3展示了其中的8个典型剖面。

上奥陶统五峰组页岩( $\text{O}_3\text{w}$ )以含硅质、厚度薄(<20 m)、分布广为特征,与中、上扬子区龙马

溪组( $\text{S}_1$ )或下扬子区高家边组( $\text{S}_1\text{g}$ )共同组成一套区域性泥质烃源岩。从图3中可以看出:

(1) 烃源岩主要发育在上扬子区,厚40~130 m,以川东北镇巴、川东石柱最厚(图3a、b);中、下扬子区不很发育,实测标定最厚分别只有28 m和75 m(图3f、g),分布范围也小(见后文图6)。

(2) 高丰度烃源岩发育在五峰组和龙马溪组(高家边组)下部,向上随着含砂量增大,TOC含量迅速减小。例如黔西北习水良村剖面(图3d),五峰组和龙马溪组底部泥岩TOC含量可达8%;距底37 m以上开始含粉砂,TOC小于1%;距底80 m以上,泥岩颜色发绿,TOC小于0.5%,已是非烃源岩。川东北镇巴观音剖面(图3a)是一个例外,除底部外,在龙马溪组中部又发现了一套厚约30 m的中等烃源岩(TOC=1%~2%),其层位在后文中详述。

(3) 上奥陶统一志留统高丰度烃源岩的TOC含量不如下寒武统,在中、下扬子区最大只有3%~5%,上扬子区在川东北城口、巫溪、黔西北习水、观音桥等处最大可达8%。TOC大于2%的好烃源岩厚度一般小于40 m。

## 2.3 下二叠统烃源岩

上、中、下扬子区共对13个下二叠统地表及钻井剖面进行了地化扫描取样分析,图4展示了其中6个剖面,包括川北普光5井、黔北桐梓韩家店、鄂西宜昌麻阳河、鄂中京山石龙水库、苏北黄桥N9井和苏南句容苏32井等。

下二叠统烃源岩自下而上包括上扬子区的梁山组( $\text{P}_1\text{l}$ )和中扬子区的马鞍山组( $\text{P}_1\text{ma}$ )泥岩,栖霞组( $\text{P}_1\text{q}$ )和茅口组( $\text{P}_1\text{m}$ )灰岩,以及下扬子区的孤峰组( $\text{P}_1\text{g}$ )泥岩;其中以栖霞组—茅口组碳酸盐岩烃源岩厚度较大。

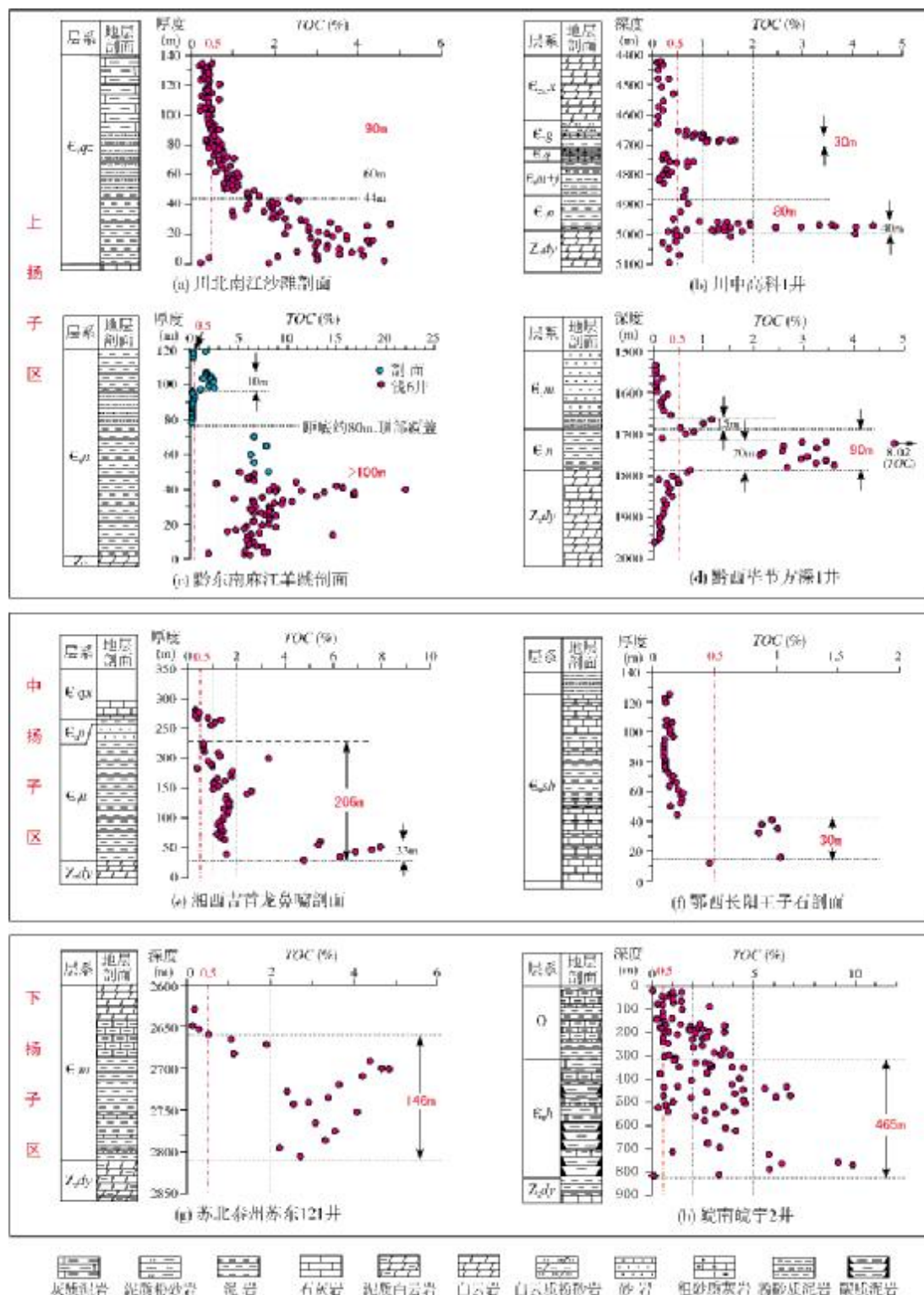


图2 中国南方下寒武统烃源岩典型剖面的TOC含量分布图

粗体红色数字为TOC&gt;0.5%的烃源岩厚度

Z<sub>dy</sub> 灯影组; C<sub>1h</sub> 荷塘组; C<sub>1n</sub> 牛蹄塘组; C<sub>1m</sub> 幕府山组; C<sub>1j</sub> 金顶山组; C<sub>1p</sub> 杷榔组; C<sub>1qz</sub> 筇竹寺组;C<sub>1qx</sub> 清虚洞组; C<sub>1sh</sub> 水井沱组; C<sub>2g</sub> 高台组; C<sub>23x</sub> 洗象池组



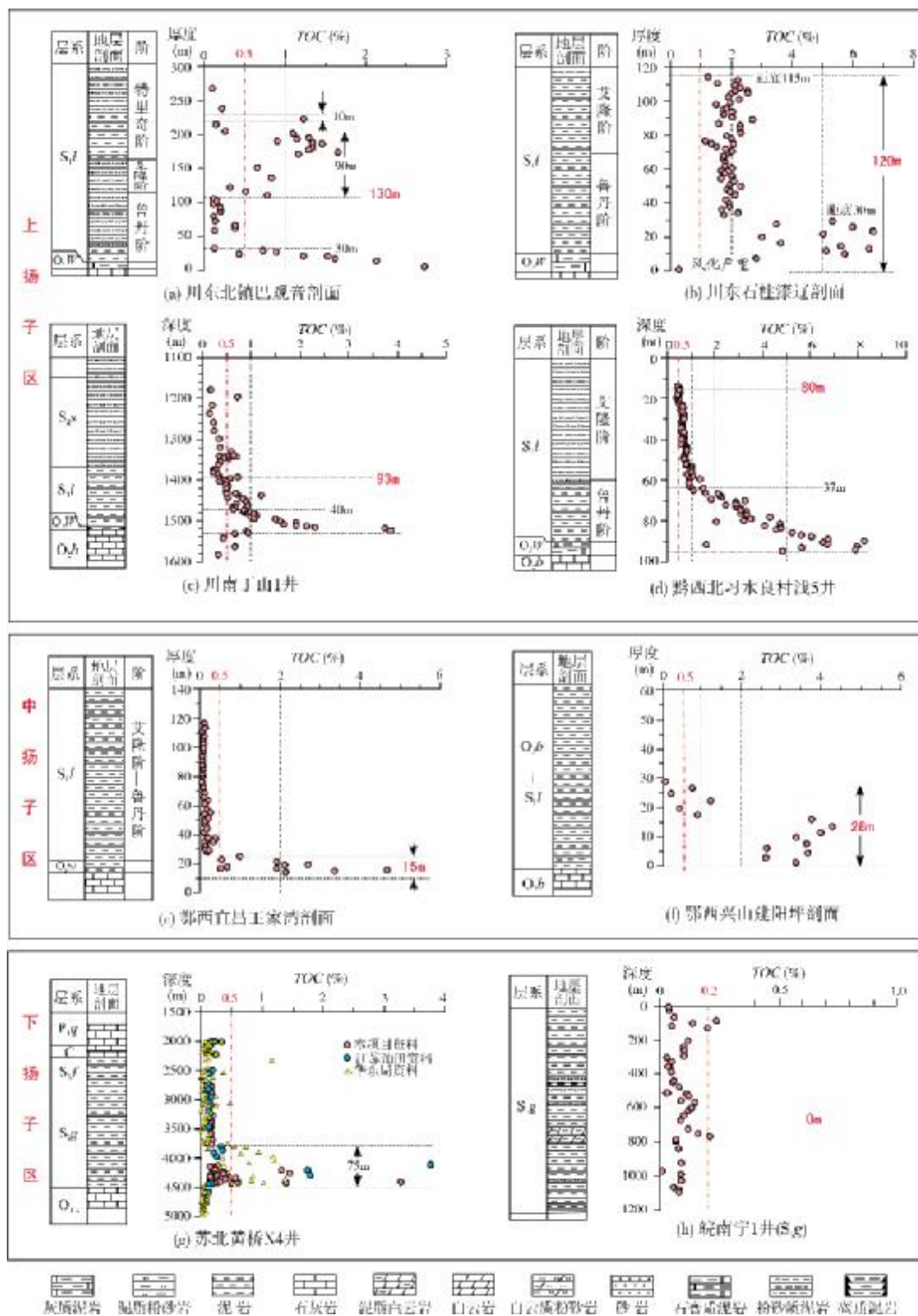


图3 中国南方上奥陶统一下志留统烃源岩典型剖面TOC含量分布图

粗体红色数字为TOC&gt;0.5%的烃源岩厚度

O<sub>2b</sub> 宝塔组; O<sub>2w</sub> 五峰组; S<sub>1</sub> 龙马溪组; S<sub>g</sub> 高家边组; S<sub>s</sub> 石牛栏组; S<sub>2f</sub> 坟头组; P<sub>q</sub> 栖霞组



梁山组( $P_1l$ ) 梁山组煤系烃源岩只见于川北普光5井(厚8m)、黔北桐梓韩家店(厚3m)和鄂西宜昌麻阳河(马鞍山组,厚7.3m)等处,厚度很小,分布局限;TOC含量为1%~2.77%,碳质泥岩可达14.4%(图4b、d、e)。

栖霞组—茅口组( $P_1q$ — $P_1m$ ) 灰岩厚180~400m,其中相当一部分碳酸盐岩TOC含量小于0.5%,属非烃源岩;达标的碳酸盐岩TOC含量多小于1%,属差烃源岩(图4b、d、e、f、g、h等剖面);部分TOC为1%~2%的中等烃源岩,主要是灰岩中的泥质薄夹层(图4d、e),而TOC>1%的碳酸盐岩中则常见次生运移沥青的污染(见后文)。栖霞组—茅口组碳酸盐岩烃源岩实测标定的厚度一般为70~100m,最厚为150m(川北河坝1井),达标的碳酸盐岩烃源岩仅占地层厚度的1/3~1/4,属差—中等烃源岩。

孤峰组( $P_1g$ ) 只发育于下扬子区(图3g、h),是一套黑色硅质泥岩,与茅口组灰岩属同时异相。除断层重复和分层不确定的几个剖面外,孤峰组烃源岩厚28~70m,一般厚30~60m,但TOC含量很高,多在2%~10%,最高达15.47%(浙江煤山13井),是

一套好—极好的泥质烃源岩。

## 2.4 上二叠统烃源岩

上、中、下扬子区共对20个上二叠统地表及钻井剖面进行了地化扫描取样分析(其中3口井分层不确定或有断层重复),图4展示了其中7个典型剖面。

上二叠统烃源岩自下而上包括龙潭组( $P_2l$ )/吴家坪组( $P_2w$ )、长兴组( $P_2ch$ )和大隆组( $P_2d$ ),其中龙潭煤系与吴家坪灰岩、大隆组泥岩与长兴组灰岩均属同时异相沉积(见后文)。上二叠统烃源岩在中扬子区不发育(图4e)。

龙潭组( $P_2l$ )/吴家坪组( $P_2w$ ) 龙潭组泥质烃源岩含煤及碳质泥岩,在上扬子区以川东北云安、普光一带最厚,可达170m(图4a、b),在黔西北习水良村厚75m(图4c);在下扬子区一般厚100~200m(图4g、h),局部可达670m(浙西煤山13井)。龙潭组泥岩的有机质丰度很高,TOC>2%的好烃源岩在多数剖面中占总厚的50%~90%,碳质泥岩的TOC含量更高达7%~38%。当龙潭组煤系相变为吴家坪组灰岩时,绝大多数灰岩TOC小于0.5%,属非烃

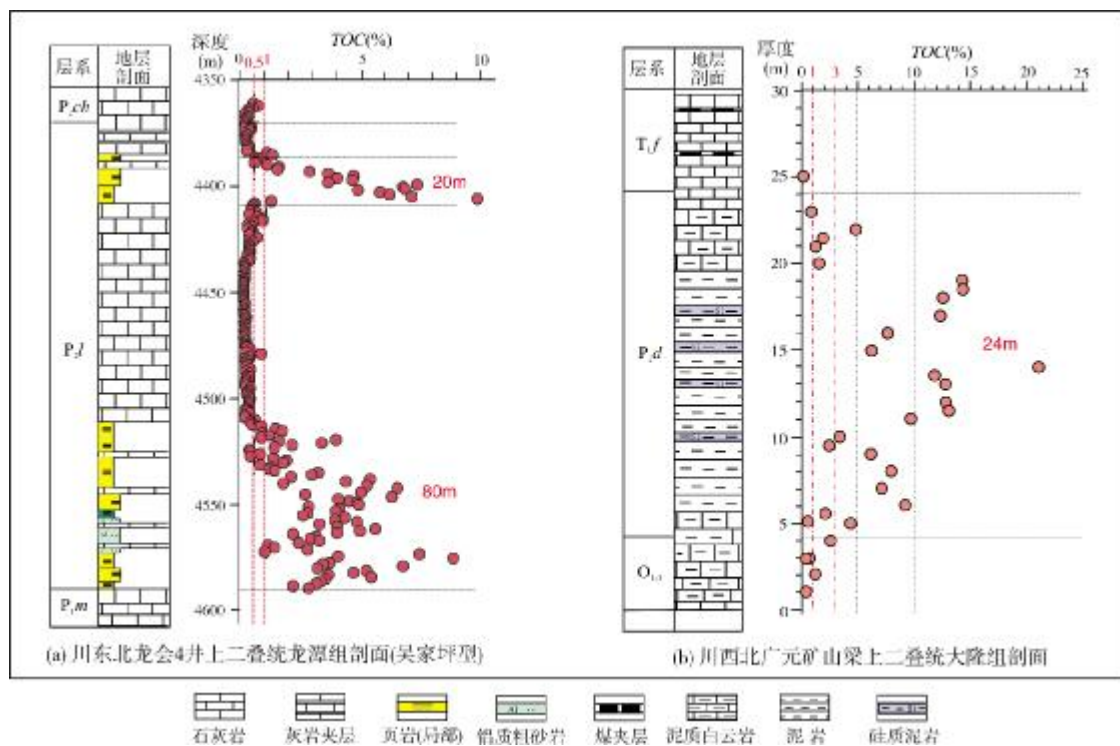


图5 上扬子区上二叠统烃源岩剖面 TOC 含量分布图

粗体红色数字为 TOC>0.5%的烃源岩厚度

$P_{1m}$  茅口组;  $P_{2l}$  龙潭组;  $P_{2ch}$  长兴组;  $P_{2d}$  大隆组;  $T_1f$  飞仙组



源岩(图4e)。川东北的两口钻井剖面最为典型<sup>①</sup>:川东北的云安19井上二叠统属典型的龙潭型剖面(图4a),泥岩的TOC含量为1%~10%,绝大多数大于2%,平均5.04%,烃源岩厚170m。川西北的龙会4井属吴家坪型剖面(图5a),中上部厚120m的灰岩TOC含量小于0.5%,属非烃源岩,下部80m和上部20m泥岩的TOC含量与云安19井的相似,绝大多数在2%~10%,平均3.42%。可见,吴家坪组灰岩有机质丰度很低,不能作为商业性烃源岩。

长兴组( $P_2ch$ )/大隆组( $P_2d$ ) 长兴组灰岩的TOC含量一般小于0.5%(图4b,图5a),属非烃源岩。在上、中、下扬子区,长兴组灰岩局部相变为大隆组的一套黑色硅质泥岩,TOC含量为1%~10%,多数大于2%,最高可达21%(图5b),厚5~37m;在

下扬子区局部厚55m,是一套厚度不大的好—极好烃源岩。

### 3 四套烃源岩的横向分布

从上、中、下扬子研究区四套区域性烃源岩的等厚图(图6和图7)及有机碳含量等值线图(与等厚图大体一致,本文从略)可以看出,共有五个烃源岩发育区,即

- (1)川东北区( $\epsilon_1, O_3-S_1, P_1, P_2$ );
- (2)川东鄂西区( $\epsilon_1, O_3-S_1$ );
- (3)川南区( $\epsilon_1, O_3-S_1, P_1, P_2$ );
- (4)湘黔区( $\epsilon_1$ );
- (5)苏浙皖区( $\epsilon_1, P_1, P_2$ )。

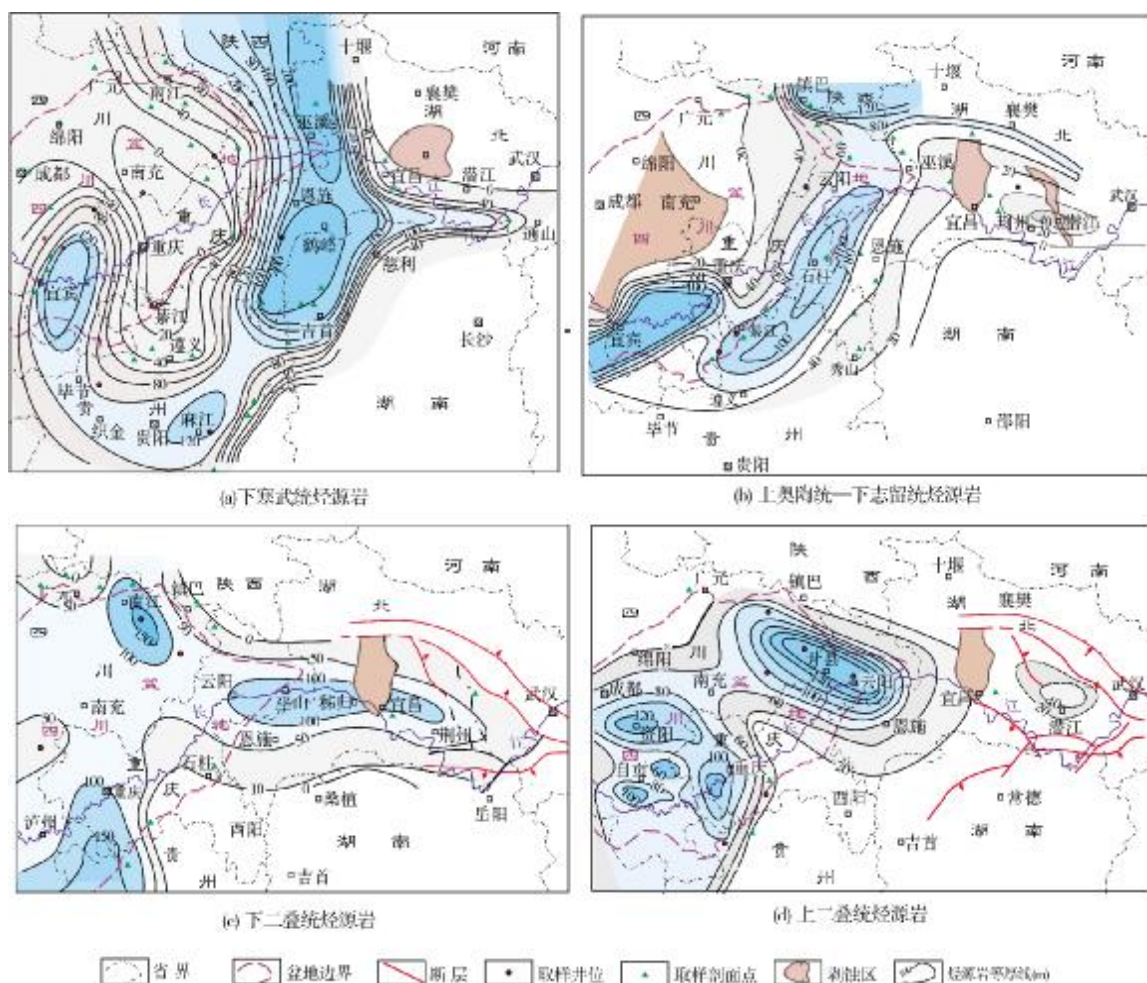


图6 上、中扬子区下寒武统、上奥陶统一下志留统、下二叠统、上二叠统烃源岩等厚图

<sup>①</sup> 云安19井、龙会4井剖面及样品由中国石油西南油气田分公司提供,顺致谢意。

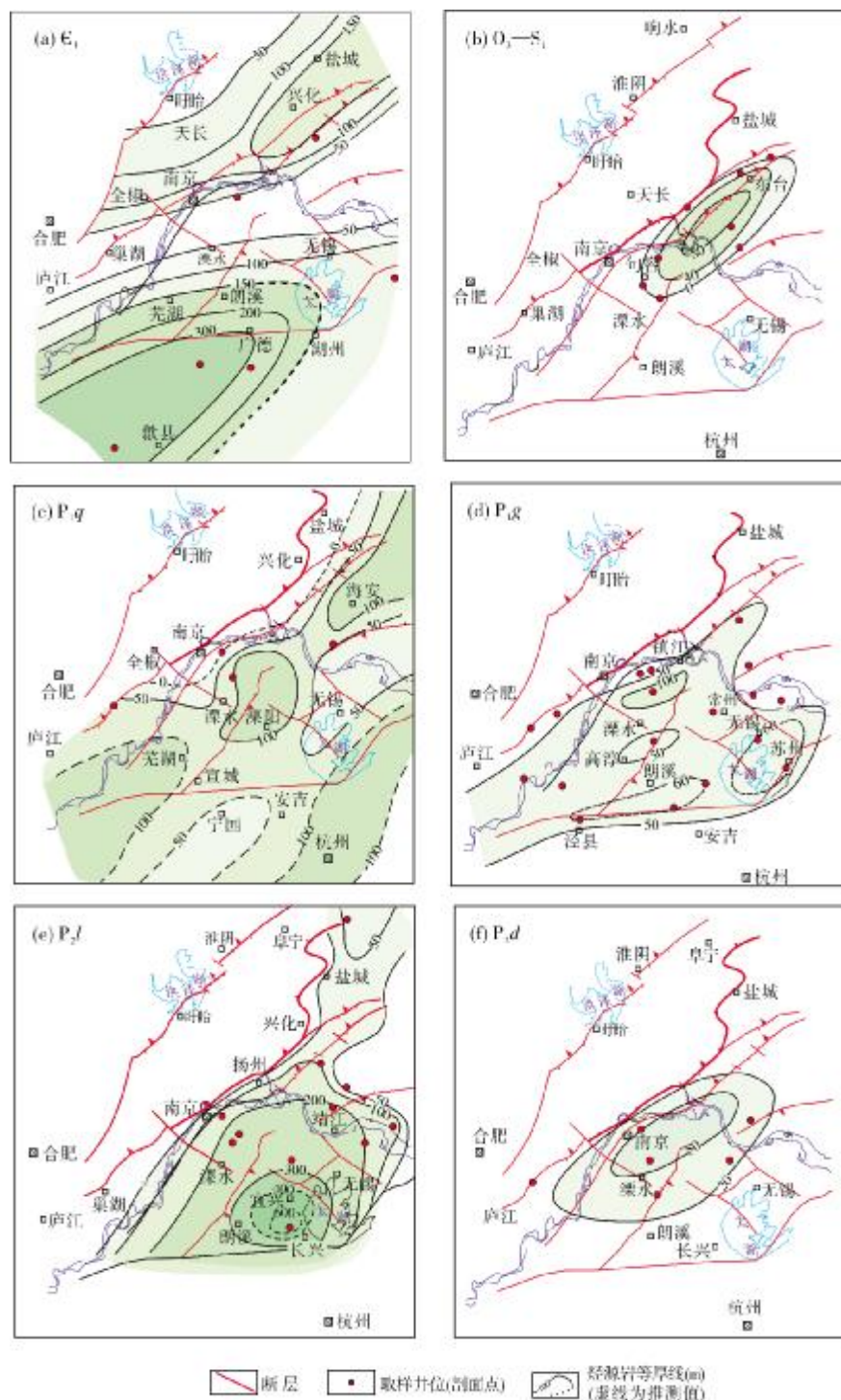


图7 下扬子区下寒武统、下志留统、下二叠统、上二叠统烃源岩等厚图

P<sub>1q</sub> 栖霞组; P<sub>1g</sub> 孤峰组; P<sub>1l</sub> 龙潭组; P<sub>1d</sub> 大隆组

下寒武统烃源岩 共有5个发育区(图6a,图7a):①川东北区南江—镇坪—巫溪一带,向北与南秦岭槽盆相过渡,烃源岩厚80~200m,TOC含量为

1%~3%;②川东鄂西区巫山—鹤峰—秀山一带,近南北向展布,烃源岩最厚200m,TOC含量达5%~8%,向东延伸至江汉盆地南部(赤壁珍珠口)厚度小



于 100m, TOC 含量只有 1%; ③川南区自贡—泸州—宜宾一带, 烃源岩最厚 140 m, TOC 含量为 3%~5%; ④湘黔区吉首—麻江一带, 烃源岩最厚 120m~200 m, TOC 含量可达 7%~8%, 这是下寒武统烃源岩最发育的地区; ⑤苏浙皖区(图 7a), 南部在歙县—安吉一带烃源岩最厚在 300 m 以上, TOC 含量可达 4%~6%; 北部在盐城—东台一带烃源岩最厚 150 m, TOC 含量可达 3%以上。

上奥陶统—下志留统烃源岩 在中、下扬子区不很发育, 在上扬子区有 3 个发育区(图 6b): ①川东北区镇巴—镇坪一带, 烃源岩最厚 130 m, TOC 含量为 1%~2%; ②川东鄂西区云阳—石柱—綦江一带, 北北东向展布, 烃源岩最厚 120 m, TOC 含量可达 3%~5%; ③川南区自贡—泸州—宜宾一带, 烃源岩最厚 120 m。此外, 在下扬子区句容—海安一带也有一个小的生烃区(图 7b), 烃源岩最厚 80 m, TOC 最大 1.5%。

下二叠统烃源岩 共有 3 个发育区:(图 6c、图 7c): ①川东北—鄂西区河坝—云阳—宜昌一带, 呈北西—东西向展布, 烃源岩厚 100~150 m, TOC 含量为 1%~2.2%; ②川南区重庆—綦江一带, 烃源岩最厚 150 m, TOC 含量为 1%~1.5%; ③苏皖区句容—海安一带(图 7c), 北东走向, 烃源岩最厚 100 m, TOC 含量为 1%~1.35%。

上二叠统烃源岩 中扬子区不发育。龙潭组( $P_2l$ )烃源岩在上、下扬子区有 3 个发育区(图 6d、图 7e): ①川东北区普光—云阳一带, 北西分布, 烃源岩最厚 170 m, TOC 含量可达 3%~5%; ②川南重庆、自贡、资阳一带, 烃源岩厚 80~120 m, TOC 含量为 1%~4%; ③苏浙皖区句容、泰兴、长兴、宣城一带, 以浙北煤山为中心, 烃源岩厚度大于 200 m, 局部可达 600 m 以上, TOC 含量为 2%~5%。此外, 上二叠统大隆组在川西北广元—梁平、苏南句容—海安各有一个烃源岩发育区(图 7f), 最厚 30 m 和 55 m, TOC 平均含量高达 8.4% (川西北矿山梁)和 7.8% (苏南靖江孤 731 井)。

四套区域性烃源岩以下寒武统分布最广, 其次是上、下二叠统, 下志留统烃源岩在中扬子江汉盆地及下扬子区分布局限, 厚度也小。

## 4 烃源岩比较

### 4.1 四套区域性烃源岩比较

根据大量样品统计(图 8), 可以看出:

四套烃源岩以下寒武统最好, 厚度可达 200 m, 局部达 465 m。在上、下扬子区 TOC 平均含量大于 4%, 底部“石煤层”的可达 10%~23%, 推算的平均原始生烃潜量( $S_1+S_2$ )可达 17~19 mg/g, 最大超过 100 mg/g, 干酪根为 I 型, 是一套优质海相泥质烃源岩。

其次是上二叠统龙潭组泥质烃源岩, 厚度可达 200 m 以上, 局部达 670 m, 但在中扬子江汉盆地不发育。这套烃源岩含煤, 泥岩 TOC 平均含量为 2%~4.5%, 煤和碳质泥岩的很高, 平均原始生烃潜量为 5~12 mg/g, 最大可达 46 mg/g; 干酪根为 II 型和 III 型。川北和苏南还发育大隆组烃源岩, 最厚只有 30~60 m, 但 TOC 平均含量可达 3.7%~8.5%, 最大可达 14%~21%, 平均原始生烃潜量达 11~27 mg/g, 最大可达 70 mg/g, 干酪根为 II 型。上二叠统是一套好的煤系烃源岩。

上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组/高家边组下部烃源岩在上扬子区厚达 130 m, 但在江汉盆地及下扬子区较薄, 分布局限。TOC 平均含量为 1.28%~2.53%, 平均原始生烃潜量为 4~10 mg/g, 最大为 36 mg/g, 母质为 II 型, 也是一套好—中等泥质烃源岩。

下二叠统碳酸盐岩烃源岩厚达 80~150 m, TOC 平均含量只有 0.8%~1.2%, 平均原始生烃潜量只有 2~3.2 mg/g, 母质以 II 型为主, 也有 III 型, 属差—中等烃源岩。下扬子区还发育一套孤峰组泥质烃源岩, 厚 30~120 m, TOC 平均含量为 5.47%, 平均原始生烃潜量为 17.4 mg/g, 最大 54 mg/g, 母质为 II 型, 是一套很好的泥质烃源岩。

### 4.2 上、中、下扬子区烃源岩比较

从图 8 可以看出: 上扬子研究区 4 套区域性烃源岩都很发育, 厚度较大, 平均 TOC 和原始生烃潜量也大。烃源岩环绕川中古隆起发育川东北(4 套)、川东鄂西( $C_1$ 、 $S_1$ )、川南(4 套)、黔西北( $S_1$ )和黔中( $C_1$ )四个生烃中心。

其次是下扬子区, 发育下寒武统、上二叠统、下二叠统 3 套区域性烃源岩, 以分布范围较小、局部厚度很大、层位较多为特征。烃源岩的平均 TOC 和原始生烃潜量略小于上扬子研究区(图 8)。下志留统烃源岩分布局限, 有机质丰度相对也低, 不发育。

中扬子区西部是上扬子川东鄂西生烃区的东延

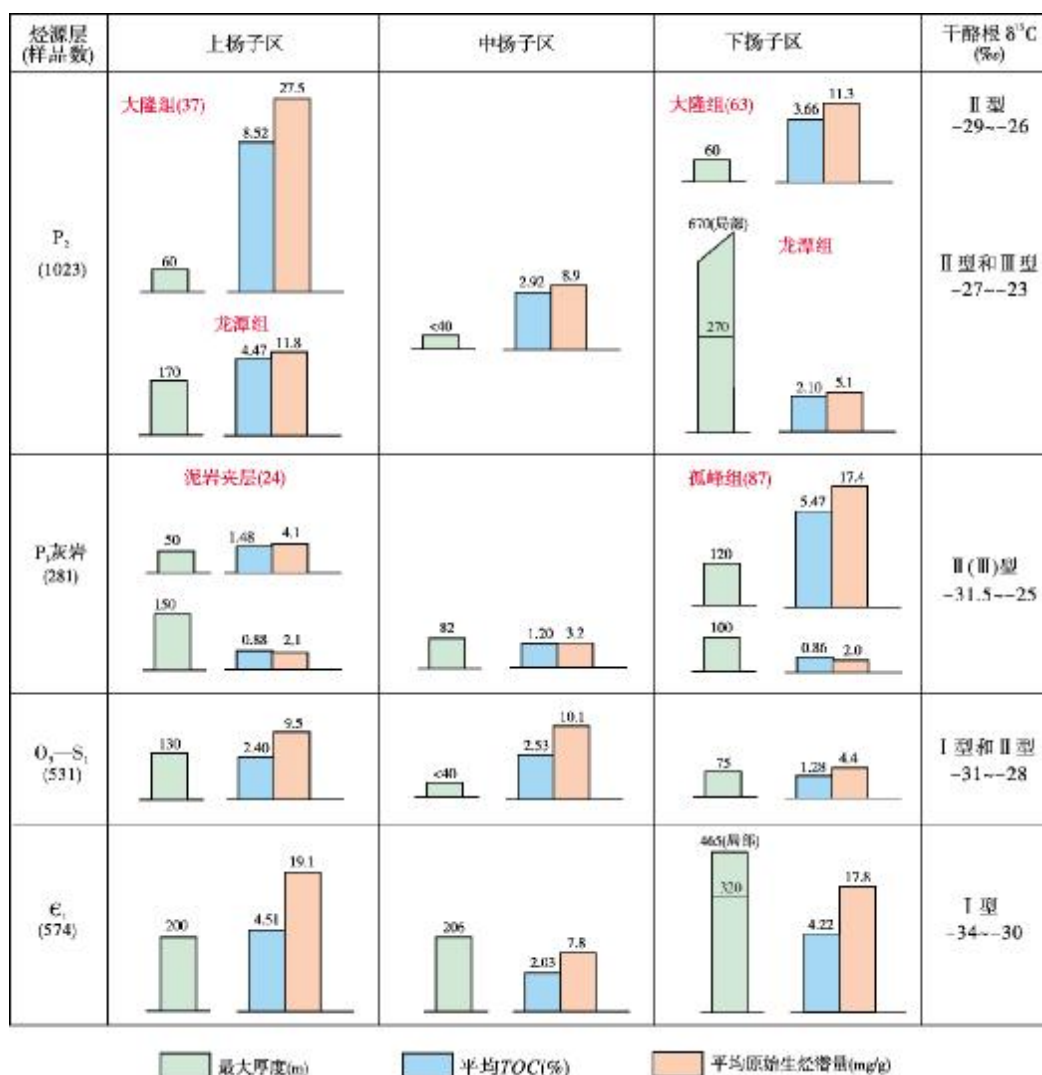


图8 上、中、下扬子区四套区域性海相烃源岩的最大厚度、平均有机碳含量及原始生烃潜量对比图  
括号内数字为样品数

部分;东部江汉盆地主要发育下寒武统(南部)、下二叠统(北部)2套烃源岩,厚80~100m,分别属好和中等烃源岩,下志留统和上二叠统2套烃源岩厚度小于40m,分布局限,不发育。

## 5 几个问题的讨论

### 5.1 关于四套区域性烃源岩的厚度问题

本次实测标定的四套区域性海相烃源岩的厚度比以往确定的要小得多(表2)。

根据野外和钻井剖面密集采样扫描分析的结果,TOC含量大于0.5%的下寒武统烃源岩在中、上

扬子区实测最厚206m(湘西龙鼻嘴,图2e),下扬子皖南地区局部可达465m(皖南皖宁2井,图2h),其余广大地区一般只厚50~200m。上奥陶统一志留统烃源岩实测最厚130m(川东北镇巴观音,图3a),一般只厚40~100m。上二叠统龙潭组烃源岩在中、上扬子区实测最厚170m(川东北云安19井和普光5井,图4a和4b),一般厚60~100m;在下扬子区实测最厚270m(厚余60孔),局部达670m(浙北煤山13井)。

下二叠统碳酸盐岩烃源岩实测最厚150m(川北河坝1井),一般只有50~100m,比以往划分的厚度要小得多(表2);特别是我国南方不存在以往不

表 2 中国南方四套区域性海相烃源岩的厚度 (m)

烃源层	王根海等 <sup>[5]</sup> (2001)	中国石化南方勘探开发公司 <sup>①</sup> (2006)	本次研究 (2004—2006)
上二叠统	50~300	50~300	60~170(下扬子局部 670)
下二叠统(碳酸盐岩)	100~400	100~600	50~150
上奥陶统—下志留统	50~600	40~80	40~130
下寒武统	50~600	50~400	50~200(下扬子局部 470)

少报告<sup>[6-7]</sup>中引用的上千米厚的碳酸盐岩烃源岩。

以往南方海相烃源岩划分的厚度之所以偏大,一是碳酸盐岩烃源岩的 TOC 下限值采用 0.1% 的极低值,以致碳酸盐岩的地层厚度几乎就等于烃源岩厚度;二是对地表和钻井剖面缺少系统密集扫描取样标定厚度,以致将 TOC 含量很低的“暗色泥岩”也笼统划为烃源岩。

尽管南方几套区域性海相烃源岩(以泥岩为主)厚度一般只有几十米到 200 m,但是有机质丰度和原始生烃潜量很高,仍然足以形成古今海相大油气田。

## 5.2 关于几套烃源岩的层位问题

### 5.2.1 下寒武统有两套不同层位烃源岩

从图 2 可以看出,下寒武统高丰度烃源岩都发育在各剖面的下部,覆于上震旦统灯影组灰岩之上,但

是,同样是在剖面下部,在不同地区其层位是不同的。在湘西黔中地区,例如黔中麻江羊跳剖面(图 9a),距底 40 余米的牛蹄塘组底部发育以海绵、须腕动物、高肌虫、大型蠕虫、虫管生物为代表的麻江热水生物群,这套高丰度(TOC=5%~22%)烃源岩的层位属下寒武统最底部的梅树村阶;距底 45 m 以上海绵消失,出现遵义盘虫,已经进入筇竹寺阶;更向上,出现下寒武统标准三叶虫,直到距底 80 m,也是一套 TOC 为 5%~8% 的好烃源岩。可见,在湘西黔中地区,下寒武统发育底部梅树村阶与下部筇竹寺阶两套烃源岩。

川北南江沙滩(图 9b)、鄂西宜昌(水井沱组)、苏南—苏北(幕府山组)等地区则不同,下寒武统底部缺失梅树村阶化石,只有一套筇竹寺阶烃源岩。

### 5.2.2 下志留统有三套不同层位烃源岩

从图 3 可以看出:下志留统烃源岩与下寒武统

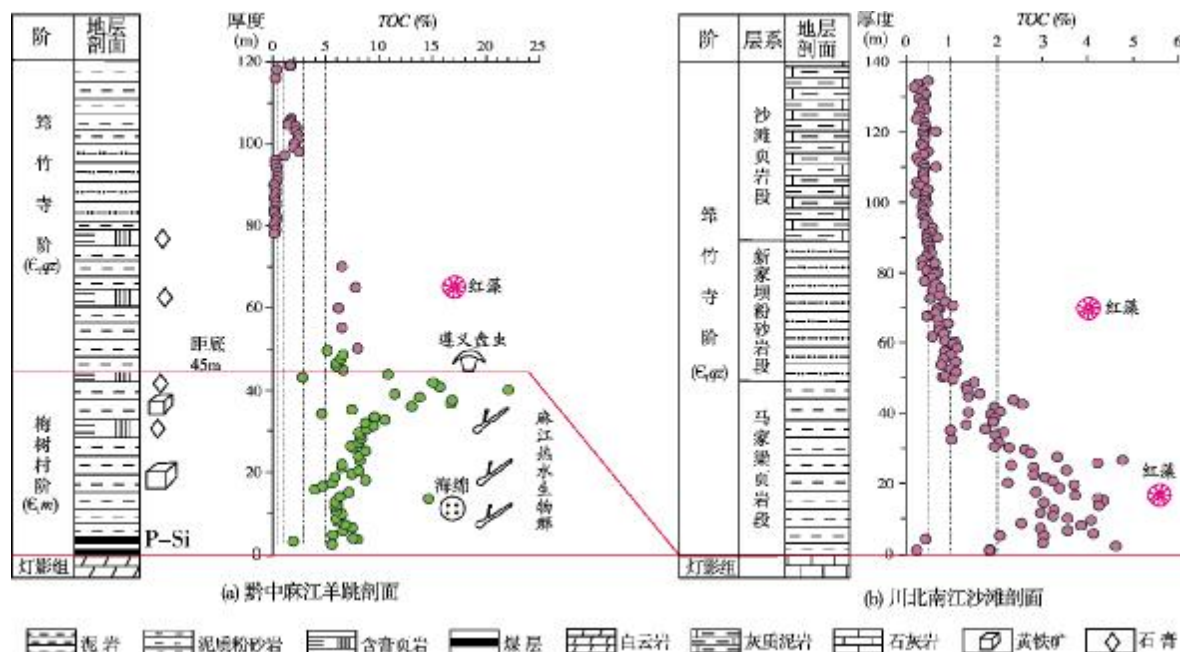


图 9 黔中麻江与川北南江下寒武统烃源岩层位对比图

① 马永生,郭彤楼,等.中国南方典型油气藏解剖研究.中国石化股份有限公司南方勘探开发公司,2006.



相似,都发育在各剖面的下部,覆于上奥陶统五峰组(或观音桥组)之上;但是同在剖面下部,不同地区其层位也不同。

下志留统龙马溪组与全球对比,可按笔石带自下而上划分为鲁丹阶、艾隆阶和特里奇阶(图 10),其中鲁丹阶与艾隆阶的分界以出现半耙笔石为标志。在中东,这三个阶往往只发育鲁丹阶和特里奇阶两套烃源岩(图 11a),而在北非则三个阶的烃源岩都有发育,且以下部鲁丹阶最好(图 11b)。

我国南方中、上扬子区下志留统多数剖面只发育下部鲁丹阶一套烃源岩,唯独川东北镇巴剖面三个阶都有烃源岩发育(图 11c),并与北非(图 11b)可以对比,自下而上分别厚 25 m、45 m 和 60 m, 共厚 130 m,其中以下部鲁丹阶最好,TOC 可达 2%;中部艾隆阶和上部特里奇阶分属差和中等烃源岩。

中、上扬子区下志留统发育鲁丹阶、艾隆阶两套烃源岩的剖面只有 4 个,即川东石柱漆辽(图 3b)、黔西北习水良村(图 3d)、川南綦江观音桥和秀山溶溪剖面,仍以下部鲁丹阶烃源岩最好;艾隆阶除川东石柱剖面为中等—好烃源岩外,其余 3 个剖面均属差烃源岩。

川北南江桥亭剖面(图 11d)十分特殊,下志留统鲁丹阶、艾隆阶都已超缺,只发育一套特里奇阶烃源岩,直接覆于上奥陶统观音桥组(O<sub>3</sub>g)灰岩之上,

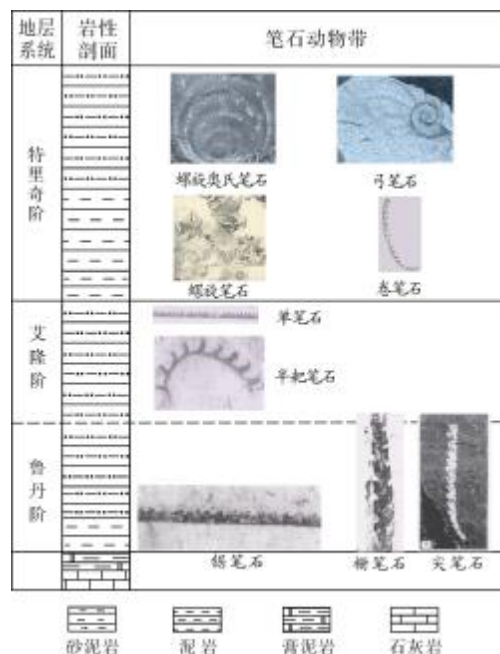


图 10 下志留统鲁丹阶、艾隆阶、特里奇阶的笔石带划分

厚仅 20 m, TOC 为 2%~4%, 属好烃源岩。可见,同是在下志留统下部,在中、上扬子区多数剖面上烃源岩属鲁丹阶,而在南江剖面上则属于特里奇阶。

下扬子大部地区正是因为缺失下部鲁丹阶,以致下志留统烃源岩不发育。

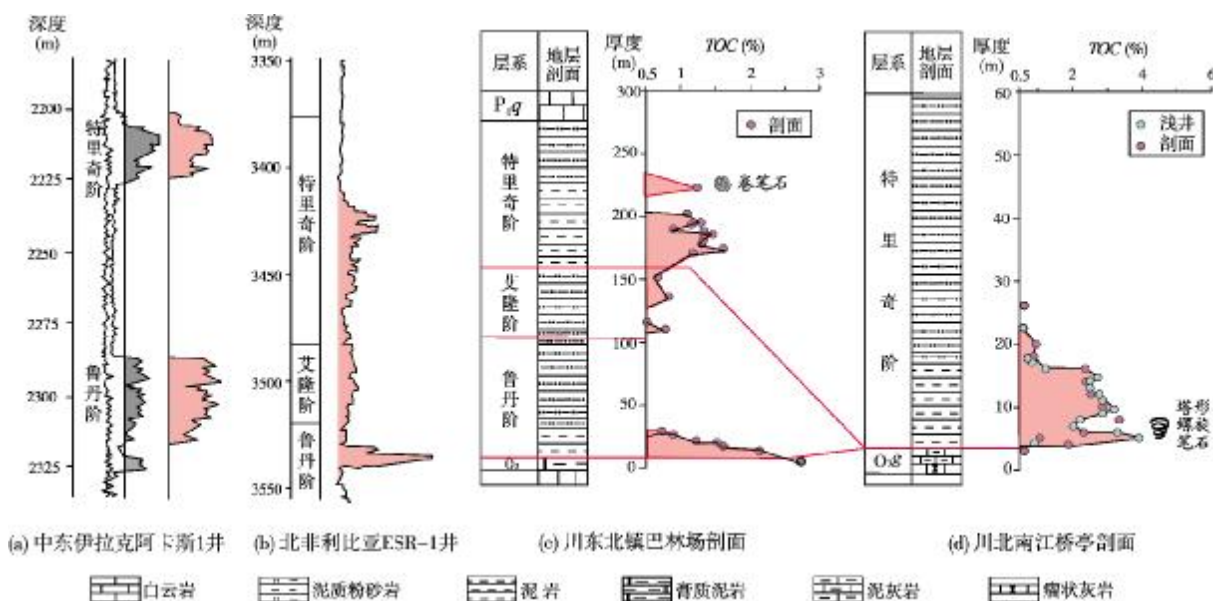


图 11 中东、北非、上扬子区下志留统典型剖面三套烃源岩层位对比图

P<sub>1</sub>q 栖霞组; O<sub>3</sub>g 观音桥组

### 5.2.3 下二叠统孤峰组与茅口组烃源岩属同时异相

从图 12 中可以清楚看出:中扬子区宜昌天坑—麻阳河剖面(图 12a)在栖霞组( $P_1q$ )之上有 267 m 厚的茅口灰岩( $P_1m$ ),其上直接为上二叠统吴家坪组( $P_2w$ )所覆,下二叠统有茅口组而无孤峰组。茅口组中达标的灰岩烃源岩厚 48 m, 仅占地层厚度 18%,

TOC 为 0.5%~2%, 属差—中等烃源岩。相反,下扬子区苏北泰州新苏泰 159 井(图 12b)在栖霞组之上有 70 m 厚的孤峰组( $P_1g$ )泥岩,其上直接为上二叠统龙潭组( $P_2l$ )所覆,下二叠统有孤峰组而无茅口组;孤峰组泥岩 TOC 平均为 6.49%, 最大 12.5%, 是一套极好的泥质烃源岩。

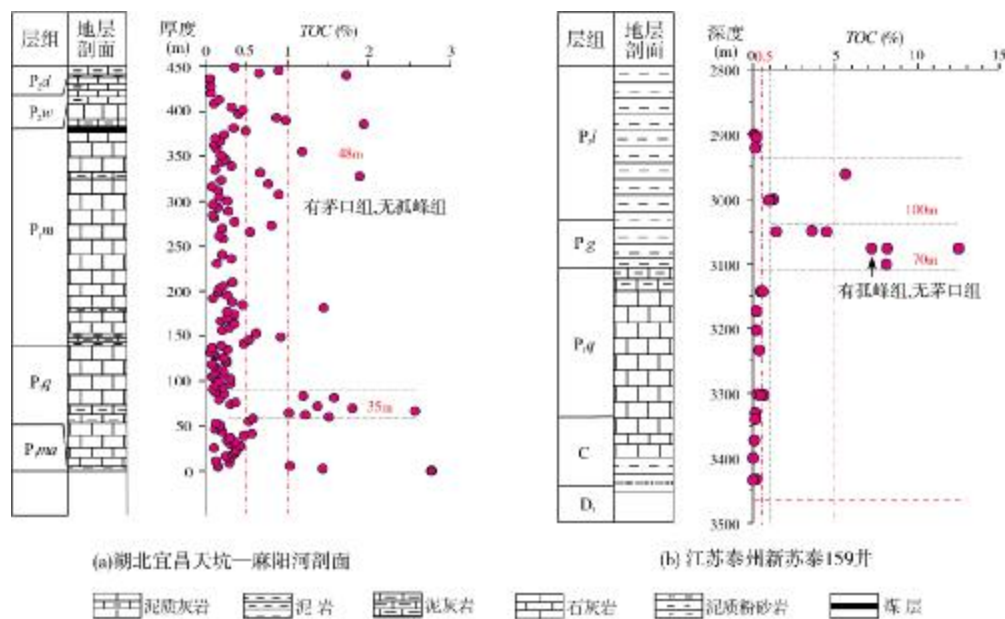


图 12 扬子地台下二叠统孤峰组泥岩与茅口组灰岩同时异相的实例

$P_1ma$  马鞍山组;  $P_1q$  栖霞组;  $P_1g$  孤峰组;  $P_1m$  茅口组;  $P_2l$  龙潭组;  $P_2w$  吴家坪组;  $P_2d$  大隆组

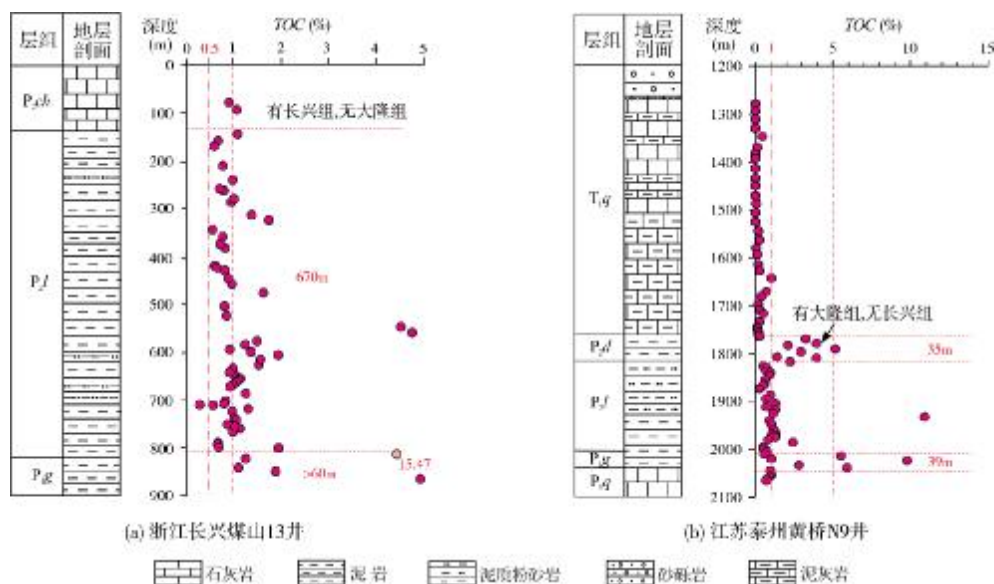


图 13 下扬子区上二叠统大隆组泥岩与长兴组灰岩同时异相的实例

$P_1q$  栖霞组;  $P_1g$  孤峰组;  $P_2l$  龙潭组;  $P_2d$  大隆组;  $P_2ch$  长兴组;  $T_1q$  青龙组

可见,孤峰组泥岩与茅口组灰岩属同时异相的烃源岩。

#### 5.2.4 上二叠统大隆组烃源岩与长兴组也属同时异相

从图 13 可以清楚看出:下扬子区浙北长兴煤山 13 井剖面(图 13a)在巨厚的龙潭组( $P_2l$ )之上有 140m 厚的长兴组灰岩( $P_2ch$ ),其上直接为下三叠统青龙组( $T_3q$ )所覆,上二叠统有长兴组而无大隆组;长兴组灰岩 TOC 为 1%左右,属差—中等烃源岩。相反,苏北泰州黄桥 N9 井(图 13b)在龙潭组之上有 35m 厚的大隆组( $P_2d$ )泥岩,其上也直接为下三叠统青龙组( $T_3q$ )所覆,上二叠统有大隆组而无长兴组。大隆组烃源岩 TOC 达 2.2%~5.2%,属好—很好的烃源岩。

可见,大隆组泥岩与长兴组灰岩也属于同时异相的烃源岩。

### 5.3 高、过成熟海相烃源岩的原始生烃潜力

我国南方海相烃源岩的成熟度很高,二叠系以下实测  $R_o$  大多大于 1.5%~2%,热解  $S_1+S_2$  大多小于 0.1mg/g,已经不能反映烃源岩的原始生烃潜力。有幸的是,本次研究在上扬子区川西北矿山梁剖面发现了一套上古生界(泥盆系和二叠系)低成熟海相泥岩和石灰岩,实测  $R_o$  为 0.52%~0.84%,一块吴家坪组煤样的  $R_o$  为 0.57%。下古生界没有找到低

成熟烃源岩,但是以往在华北下花园剖面发现过一套中—上元古界低成熟泥岩和油页岩,实测  $R_o$  只有 0.5%~0.7%,可以代表母质相似的下古生界海相烃源岩。通过建立这两批低成熟样品的 TOC 与  $S_1+S_2$  关系曲线(图 14),我们就可根据高、过成熟海相烃源岩的 TOC 含量,推算出它们在低熟阶段的“原始”生烃潜力(结果示于图 8),由于这是推算值而不是实测值,只宜作为评价高、过成熟海相烃源岩的辅助指标。

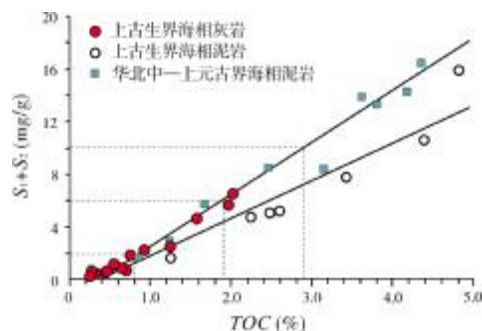


图 14 上、下古生界低成熟泥岩、碳酸盐岩 TOC 含量与热解  $S_1+S_2$  关系曲线

从表 3 低熟烃源岩 TOC 含量与热解生烃潜力的对应值可以看出,上古生界泥岩中因为有高等植物成分的掺入,母质相对差些,要达到同样的热解  $S_1+S_2$  值,需要比下古生界泥岩更高的 TOC 含量。

表 3 上、下古生界海相低成熟泥岩、碳酸盐岩 TOC 含量与热解  $S_1+S_2$  对应值

“原始”热解 $S_1+S_2$ (mg/g)			0.5	1.0	2.0	6.0	10	20	30	40	50
TOC (%)	上古生界 (川西北广元矿山梁)	泥岩	0.57	0.75	1.10	2.5	4.0	7.5	11.0	14.5	18.0
		石灰岩	0.40	0.55	0.85	2.05	3.25	6.26	9.27	12.27	15.27
	下古生界 (以华北下花园中—上元古界泥岩为代表)	泥岩	0.40	0.55	0.9	1.90	2.90	5.0	7.0	9.5	11.5

### 5.4 关于碳酸盐岩烃源岩

我国南方中、古生界海相碳酸盐岩厚达 2500~5000m 以上,有机质丰度低,对碳酸盐岩的生烃问题始终存在不同观点。作者认为,关键在碳酸盐岩烃源岩的 TOC 含量标准应与泥岩烃源岩接轨、与国际接轨,残余 TOC 含量应不小于 0.5%。因此,南方不存在厚达 1000~3000m 以上的海相碳酸盐岩烃源岩。

这次研究取得的主要认识是:

(1) 南方海相碳酸盐岩烃源岩主要发育于下二

叠统栖霞组—茅口组,其它各层系碳酸盐岩有机质丰度低,多不达标。栖霞组、茅口组达标的碳酸盐岩只占剖面厚度的 1/4~1/3,实测最厚 150m。

(2) 上、中、下扬子区 940 块二叠系碳酸盐岩的分析结果表明,其中只有 281 块烃源岩(约占总样品数 30%)的 TOC 平均值达标,它们分别为 0.88%、1.20%和 0.86%(图 8),推算的平均原始生烃潜力分别只有 2.1 mg/g、3.2 mg/g 和 2.0 mg/g,属中等偏差烃源岩,比泥岩要差得多。考虑到烃源岩高、过成熟的影响,只用低成熟的川西北广元矿山梁大隆组进行



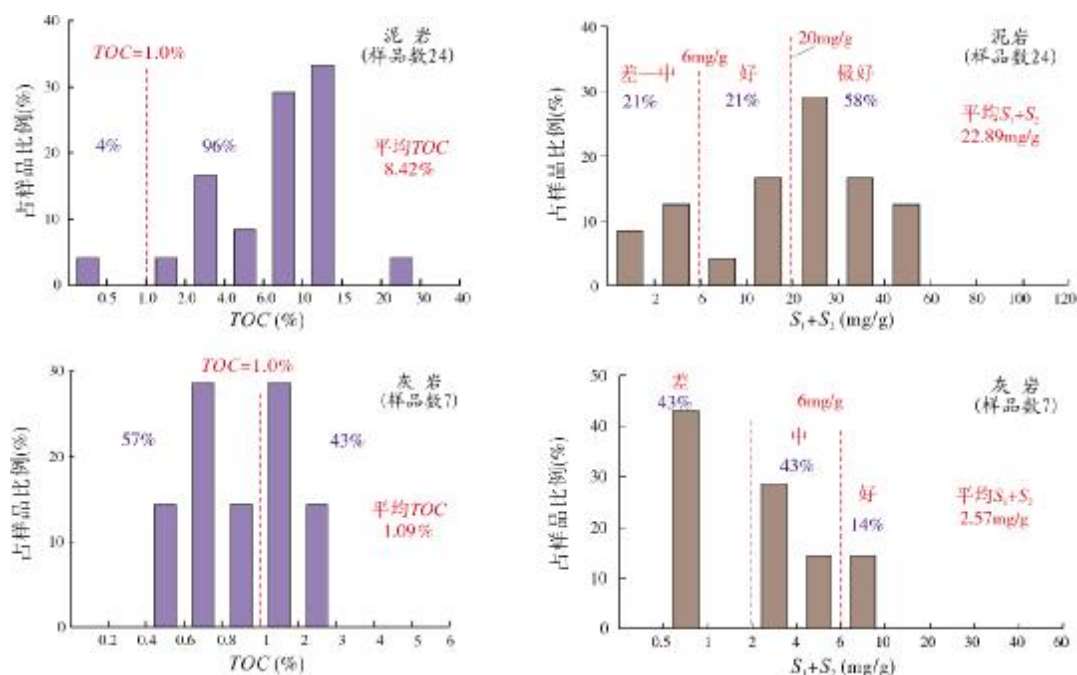
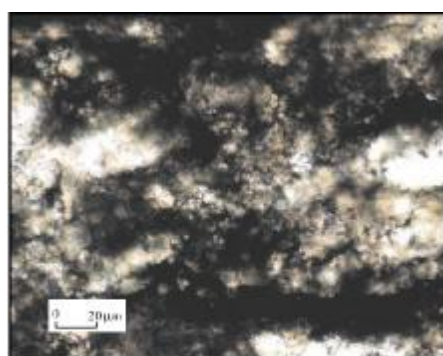
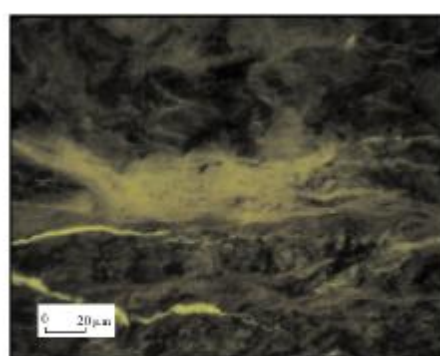
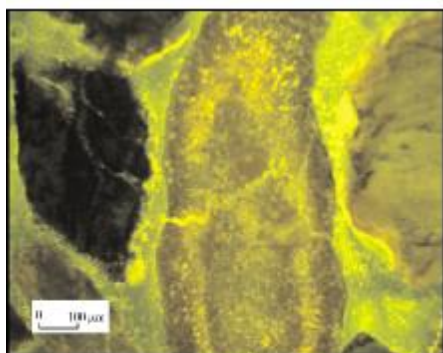
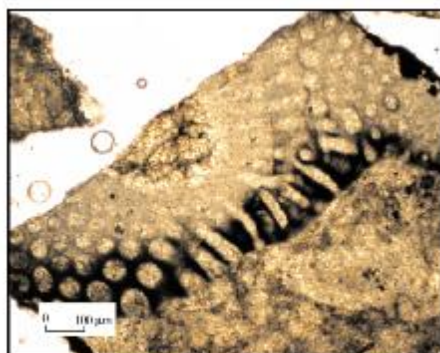
图 15 川西北矿山梁大隆组(P<sub>2</sub>d)低成熟泥岩与灰岩烃源岩 TOC 含量和热解 S<sub>1</sub>+S<sub>2</sub> 的比较(a) 晶间沥青。普光3井, 5925m, 上二叠统长兴组。CaCO<sub>3</sub>=83.20%, TOC=1.33%(b) 沥青缝。河坝1井, 5880m, 下二叠统茅口组。CaCO<sub>3</sub>=87.83%, TOC=1.15%(c) 钙藻被沥青污染。河坝1井, 5720m, 下二叠统茅口组。CaCO<sub>3</sub>=95.44%, TOC=1.11%(d) 钙藻被沥青污染。湖北京山石龙水库, 下二叠统栖霞组。CaCO<sub>3</sub>=96.80%, TOC=1.47%

图 16 TOC 大于 1%、碳酸盐含量大于 80%的较纯碳酸盐岩镜下观察到的次生沥青污染

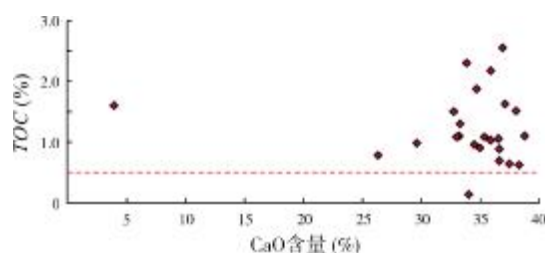


图 17 研究区 22 个镜下检测无次生沥青污染的碳酸盐岩烃源岩的 TOC 含量与 CaO 含量关系图

TOC>0.5%~3%的碳酸盐岩集中分布在 CaO 含量为 30%~40% (即  $\text{CaCO}_3$  含量为 50%~70%)、泥质含量相应为 50%~30%的泥质碳酸盐岩之中

比较,24 个泥岩烃源岩的平均 TOC 为 8.24%, 平均热解  $S_1+S_2$  为 22.89 mg/g, 而 7 个石灰岩烃源岩的平均 TOC 只有 1.09%, 平均  $S_1+S_2$  只有 2.57 mg/g。可见,泥岩的参数为石灰岩的 8~9 倍(图 15)。

(3) 那些 TOC 含量大于 1%、碳酸盐含量大于 80% 的较纯碳酸盐岩, 一般都有次生沥青污染 (图 16), 这些局部富集的沥青造成 TOC 含量大大失真, 不能用来评价碳酸盐岩烃源岩。因此, 碳酸盐岩在地化分析前, 必须进行次生沥青污染的镜下检查。

(4) 什么样的碳酸盐岩可以成为烃源岩? 答案是: ①富含生物席(藻席、线叶植物席等); ②一般都含泥质, 在 30%~50% 以上(图 17); ③发育于

深水陆棚相, 而陆表海台地相碳酸盐岩一般不发育烃源岩。

致谢:在南方海相生烃成藏研究的三年过程中,得到了中国石化南方勘探开发分公司原总经理杨方之教授、原总地质师马永生教授、蔡勋育院长、李国雄、付孝悦、高林、冷德勋、魏志宏、黄仁春高工以及江苏油田毛凤鸣总经理、陈安定教授等的大力协助和指导,致以衷心的感谢。

#### 参考文献

- [1] 梁狄刚, 张水昌, 张宝民, 等. 从塔里木盆地看中国海相生油问题[J]. 地学前缘, 2007, 7(4): 534-546.
- [2] 张水昌, 梁狄刚, 张宝民, 等. 塔里木盆地海相油气生成[M]. 北京:石油工业出版社, 2004: 19-25, 395-396.
- [3] 张水昌, 梁狄刚, 张大江. 关于古生界烃源岩有机质丰度的评价标准[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(2): 8-12.
- [4] 钟宁宁, 卢双舫, 黄志龙, 等. 烃源岩生烃演化过程 TOC 值的演变及其控制因素[J]. 中国科学: D 辑 地球科学, 2004, 34(增刊 1): 102-126.
- [5] 王根海, 赵宗举, 李大成, 等. 中国南方海相油气地质及勘探前景[M]. 北京:石油工业出版社, 2001: 103-107.
- [6] 翟光明. 中国石油地质志: 卷十 四川油气区[M]. 北京:石油工业出版社, 1989: 118-121.
- [7] 翟光明. 中国石油地质志: 卷十一 滇黔桂油气区[M]. 北京:石油工业出版社, 1992: 125-132.
- [8] 马力, 陈焕疆, 甘克文, 等. 中国南方大地构造和海相油气[M]. 北京:地质出版社, 2004: 259-275.

编辑:赵国宪

#### Some Progresses on Studies of Hydrocarbon Generation and Accumulation in Marine Sedimentary Regions, Southern China (Part 1):

### Distribution of Four Suites of Regional Marine Source Rocks

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

**Abstract:** A systematic study on the vertical and horizontal distributions of the thickness and the organic matter abundance for four suites of Paleozoic regional marine source rocks ( $\text{C}_{11}, \text{O}_3-S_1, P_1$  and  $P_2$ ) has been made by geochemical analyses on the source rock samples from 98 outcrop profiles and 23 well profiles in Upper, Middle and Lower Yangtse River regions. It is clarified that in vertical the Lower Cambrian and Upper Permian source rocks are the best, and in horizontal the source rocks in Upper Yangtse River regions are the best and then those in Lower Yangtse River are the secondary, respectively. Five developmental source rocks areas are defined. It has shown that marine source rocks are predominated by mudstones in these areas and carbonate source rock occurs only in the Lower Permian Qixia-Maokou Formations with a measured maximum thickness up to 150m. It is proved that no one suite of carbonate source rock with a thickness over 1000m exists in Southern China. This study has bring forward some new insights into the thickness, developed zones and primary hydrocarbon-generating potential of the four suites of source rock as well as into the identification of carbonate source rocks.

**Key words:** Paleozoic; Marine source rock; Carbonate source rock; Mudstone source rock; Distribution of source rock; Hydrocarbon-generating potential; 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