

文章编号: 1009-3850(2007)03-0094-07

中国南方海相层系埋藏史类型与生烃演化模式

沃玉进, 周 雁, 肖 开华

(中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 在漫长的地质历史中, 中国南方海相层系经历了多旋回构造运动与强烈后期改造。印支运动以来, 多期沉降与隆升及其地区差异性表现产生了“早降晚抬”和“早抬晚降”两大类 6 种形式的埋藏演化史类型。受埋藏史类型控制, 南方各地区不同层系烃源岩的生烃演化史存在明显差异性。按生烃过程是否连续及成熟演化明显暂停前是否已达到或超过生烃高峰期, 将南方海相烃源岩的生烃演化过程归纳为连续生烃模式、二次生烃模式和晚期生烃模式等 3 种类型。

关键词: 海相地层; 埋藏史; 生烃演化; 中国南方

中图分类号: P512.2

文献标识码: A

中国南方中、古生界海相地层分布面积约 $150 \times 10^4 \text{ km}^2$, 震旦系至中三叠统海相地层累计厚度最大超过 10000m, 发育多套生储盖组合, 原始成油气条件优越, 并有大量油气生成、运移、聚集与成藏过程^[1]。在漫长的地质历史中, 中国南方发生有多次构造运动, 其中对南方海相地层建造和后期改造及油气成藏有重要影响的主要构造运动为加里东运动、东吴运动、印支运动、燕山运动和喜马拉雅运动^[2,3]。不同阶段的构造运动的表现形式具有地区差异性, 尤其是印支以来的构造运动, 在不同的地区所引起的抬升与沉降、剥蚀与沉积的差异性明显, 从而也引起海相层系烃源岩的生烃演化史具有明显的地区差异性。

1 印支以来的埋藏史类型及特征

中国南方沉积盖层埋藏历史的总特点是一波三折、起伏迭宕, 即使是连续埋藏, 也不是一种简单的一次性埋藏, 往往是连续埋藏的背景中间夹着小幅度抬升。在这样一个大背景下, 或者其隆升时的剥蚀幅度, 或者其沉降时的沉降幅度, 又存在着或大或小的差别。正是这些差异, 构成了南方多种类型的埋

藏史^[4]。

依据印支运动以来南方地区的沉降-抬升特点, 考虑埋藏史的相似或相近性, 可以将南方各地区的埋藏史可归纳出两大类 6 种基本类型。两大类即“早期沉降、晚期抬升”型(I)和“早期抬升、晚期沉降”型(II)。“早降晚抬”型是指印支运动结束海相沉积建造以后, 早期总体沉降, 晚期总体隆升, 宏观上构成单一的沉降-抬升旋回, 可分为四川型、滇黔桂型和湘鄂西型, 从烃源岩生烃角度看, 其生烃过程基本在因印支运动而短暂停止(减缓)之后, 持续完成, 即只有一次(连续)生烃过程, 晚期抬升后不再有大跨度沉降。其中四川型沉降期远长于抬升期, 湘鄂西型抬升期远长于沉降期, 而滇黔桂型则介于两者之间。“早抬晚降”型是指印支运动结束海相沉积建造以后存在多次隆升-沉降过程, 且总体具有“早期以隆升为主、晚期以沉降为主”的特征, 可进一步划分为江汉型、苏北型和苏南型。从平面分布来看, 两大类型的分布基本以黄陵隆起至江南-雪峰隆起一线为界, 以西为“早降晚抬”型, 以东以“早抬晚降”型为主(图 1, 表 1)。

收稿日期: 2007-06-15

第一作者简介: 沃玉进, 1966 年生, 高级工程师, 研究方向为石油地质。

资助项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2005CB422100)。

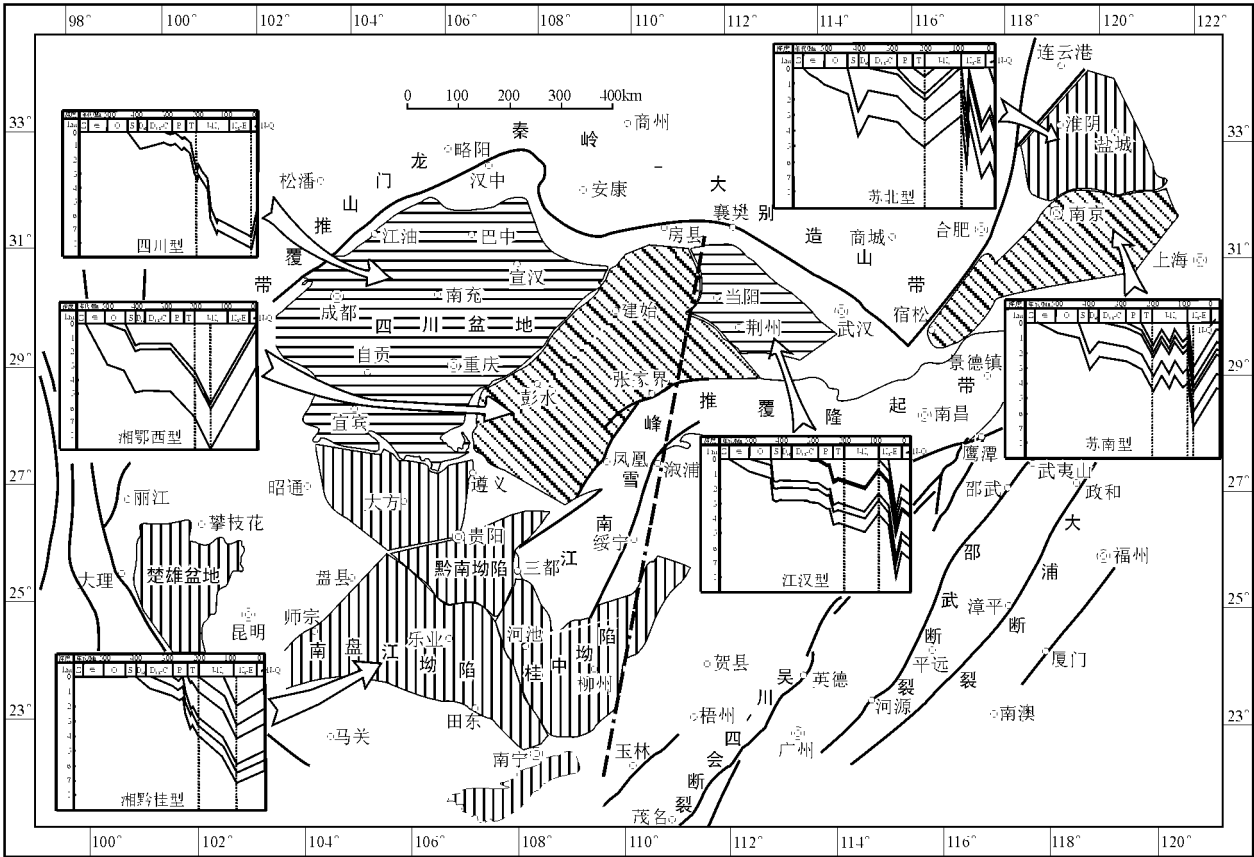


图1 中国南方海相埋藏演化史类型分区图

Fig.1 Distribution of burial types of the marine sedimentary strata in southern China

表1 中国南方埋藏史类型特征

Table 1 Summary of the burial types of the marine sedimentary strata in southern China

埋藏史类型	“早降晚抬”型			“早抬晚降”型		
	四川型	滇黔桂型	汀鄂西型	江汉型	苏北型	苏南型
沉积剥蚀曲线模型						
主要特点	早期沉降、晚期隆升			早期隆升为主、晚期沉降为主		
	沉降期长、隆升期短；多层源岩持续生烃，晚期定型成藏	与四川型相比，沉降期短、隆升期长；隆升期多发生在晚燕山以后，各区有差异。	抬升剥蚀改造持续时间长，且以褶皱抬升为特征，隆升幅度大，下古出露，元后续烃类补给	早期小幅沉降后小幅抬升、生烃中止；晚期大幅沉降，二次生烃	早期隆升、生烃中目；晚期大幅沉降、二次生烃。	早期振荡抬升与沉降、生烃中止；晚期先沉降（K2，二次生烃）后隆升（E-Q），幅度较大。
典型地区	四川盆地	楚雄、南盘江十万山、黔中、桂中及黔西北等地区	湘鄂西	江汉盆地南部	苏北盆地区	沿江及苏南

1.1 四川型

四川型具有早期沉降、晚期隆升，沉降期长、隆升期短，多层源岩持续生烃，晚期定型成藏的特点，主要分布在四川盆地及周缘，包括川东北、鄂西渝东等地区。四川盆地沉积埋藏经历了3个沉积阶段(图2A)：印支运动前，长期沉降为主，沉积了厚达万米的海相碳酸盐岩为主的地层；印支运动后，三叠纪

晚期发育前陆盆地，侏罗纪—第三纪上叠拗陷盆地，除早白垩世有沉积间断外，总体仍然是持续沉降为主；晚喜马拉雅期快速抬升。显然，盆地沉降历史长，主体以持续沉降为主^[5,9]。

1.2 滇黔桂型

与四川型相比，滇黔桂型沉降期短、隆升期长。主要分布在南盘江、黔西北、黔中、黔南、桂中等地

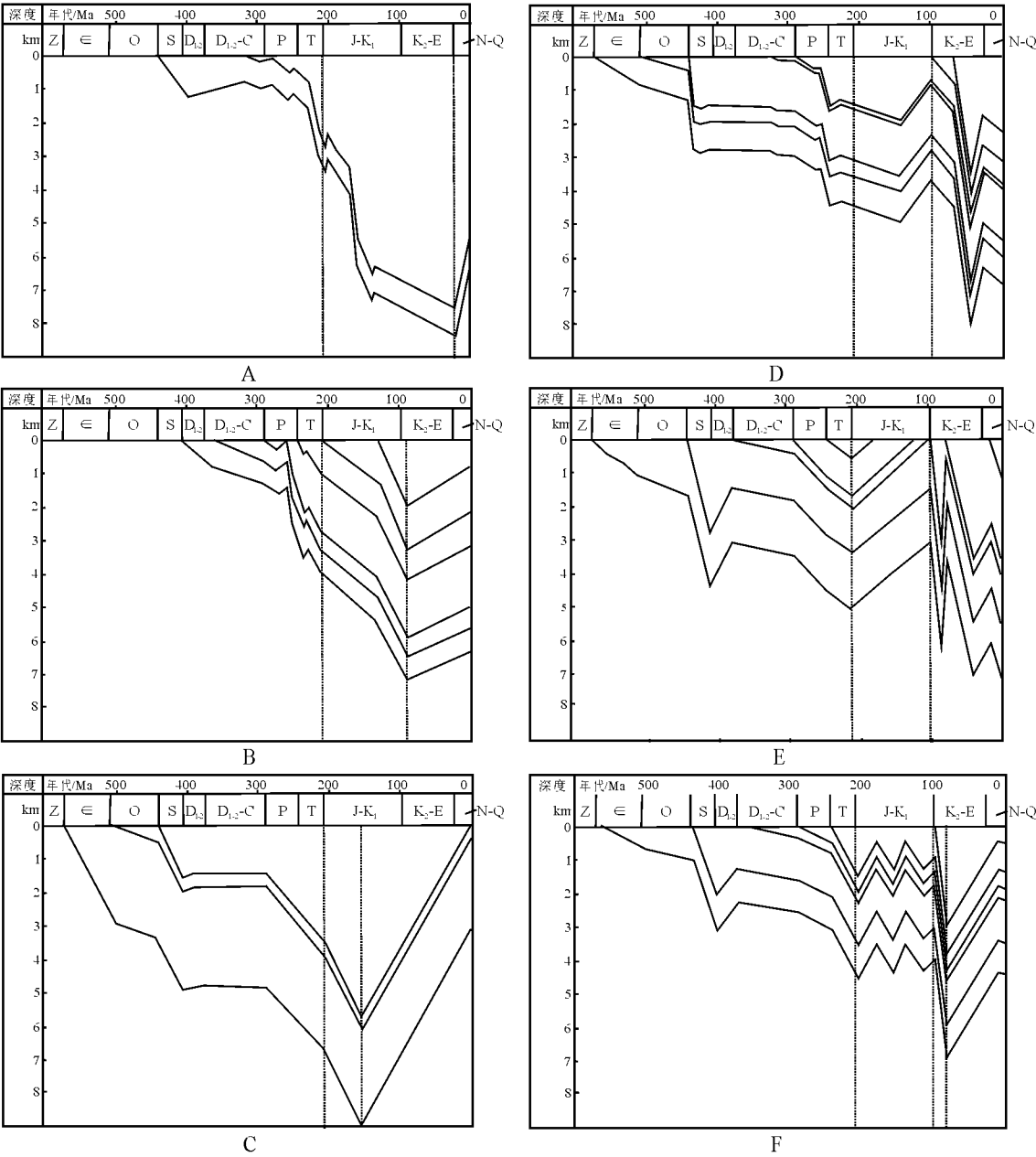


图2 南方海相埋藏演化史类型

A. 四川型; B. 滇黔桂型; C. 湘鄂西型; D. 江汉型; E. 苏北型; F. 苏南型

Fig. 2 Types of the burial and evolution of the marine sedimentary strata in southern China

A. Sichuan type; B. Yunnan-Guizhou-Guangxi type; C. Hubei-west Hunan type; D. Jiangnan type; E. North Jiangsu type; F. South Jiangsu type

区, 楚雄、十万山地区与之稍有不同。其共同特征是: 印支期后早期沉降幅度较大, 接受较大厚度的陆相地层覆盖, 晚期以隆升为主, 但是抬升时间较四川型早, 剥蚀时间较四川型长。一般晚燕山期开始明显抬升剥蚀。但是, 不同地区也有所不同。这种特征以南盘江、黔南、黔中、黔北等最为特征, 而十万山盆地、楚雄盆地因在白垩和古近纪仍有沉积则有所差异, 主要表现为抬升时间相对较晚(图 2B)。

1.3 湘鄂西型

湘鄂西型以抬升剥蚀改造持续时间长, 且以褶皱抬升为主要特征, 隆升幅度大, 下古出露, 无后续烃类补给。这种类型虽然在印支运动后有一定沉积, 但是较为短暂, 主体在侏罗纪就迅速抬升剥蚀, 而且其后一直保持抬升剥蚀状态, 剥蚀量大(图 2C)。例如, 位于中央复背斜南部的李子溪构造, 早燕山期至晚燕山—喜马拉雅期的持续剥蚀, 使志留系、下奥陶统盖层不复存在, 导致寒武系油气成藏系统处于开启环境, 彻底破坏了李子溪构造圈闭的基本保存条件。李 2 井钻探结果反映, 中寒武统地层水自由交替, 水矿化度仅 3. 78g/l。位于花果坪复向斜北部的河涝子构造, 自早燕山期至喜马拉雅期持续的剥蚀作用下, 志留系盖层底界埋深 990m, 志留系地层水自由交替(志留系水矿化度 1. 8g/l)。位于宜都—鹤峰复背斜中东部的宜都构造, 自早燕山期至喜马拉雅期的剥蚀作用, 致使中、上寒武统剥蚀殆尽, 下寒武统盖层埋深不足 800m, 并在区域拉张作用下, 形成一系列正断层, 最终导致宜都构造圈闭的保存系统破坏。位于宜都—鹤峰复背斜西南部的咸丰构造, 自早燕山期以来的持续剥蚀, 下寒武统石牌组以上地层剥蚀殆尽, 成藏系统进一步被改造, 直

接导致寒武系油气藏破坏。

1.4 江汉型

江汉型早期小幅沉降后小幅抬升、生烃中止; 晚期大幅沉降, 二次生烃。这种类型在印支运动以后具有多个沉积埋藏—抬升剥蚀过程, 形成了多个旋回(图 2D)。一般经历以下几个阶段: 晚三叠世—中侏罗世埋藏, 晚侏罗世—早白垩世期间构造抬升、埋藏变浅, 晚白垩世—古近纪时再次深埋, 新近纪再次抬升。与其他“早抬晚降”型的区别主要是晚侏罗世—早白垩世期间具有较长时间相对平缓的浅埋过程。

从江汉平原全区来看, 不同的构造单元其埋藏史类型则并不相同, 可以进一步分为 3 种类型(表 2)。实际上只有江陵—仙桃冲断褶皱区(江汉盆地南部) 是该类型最典型的地区, 而江汉盆地北部的当阳构造带、宜昌斜坡虽然总体旋回特征与之相同, 不同的是晚期沉降幅度相对较小, 一般未超过前期最大埋深, 因此也就不具备二次生烃的条件。而乐乡关—沙洋构造带、大冶构造带等由于保存的地层记录不全, 难以对中新生代埋藏史作较准确的恢复, 推测可能更接近于湘鄂西型。

1.5 苏北型

苏北型早期隆升、生烃中止; 晚期大幅沉降、二次生烃。该类型在印支运动以后具有多个沉积埋藏—抬升剥蚀过程, 形成了多个旋回(图 2E)。一般经历以下几个阶段: 中三叠世晚期—早白垩世期间构造抬升剥蚀, 晚白垩世(及古近纪) 时再次深埋, 中、上新世再次抬升, 按古近纪是否深埋进一步分为两种类型(表 3)。与其它“早抬晚降”型的区别主要是中三叠世晚期—早白垩世期间具有抬升幅度较大且剥蚀明显的过程。

表 2 江汉平原区印支以来沉降史类型特征
Table 2 Subsidence history of the Jiangnan Plain area in Hubei since the Indo China movement

大区	构造单元		沉降幅度			沉降史特征	
			T ₃ —J	K ₁	K ₂ —E		
南部	江陵- 仙桃冲断褶皱区	荆沙构造带	中	无	大	晚期沉降幅度大于早期, 具二次生烃条件	
		潜江构造带					
		仙桃构造带					
		大冶构造带	无		无	可能更接近于“ 早降晚抬” 的湘鄂西型	
北部及周缘	监利-通山冲断区						
	当阳- 京山叠瓦推覆区	乐乡关-沙洋构造带		小—无			小
		钟祥-天门构造带					
		宜昌斜坡	大	中	晚期沉降幅度小于早期, 不具二次生烃条件		
		当阳构造带					

1.6 苏南型

苏南型早期振荡抬升与沉降、生烃中止;晚期先沉降(K₂, 二次生烃)后隆升(E-Q), 幅度较大, 不利于油气保存。这种类型在印支运动以后具有多个沉积埋藏-抬升剥蚀过程, 形成了多个旋回(图 2F)。一般经历以下几个阶段: 中三叠世晚期—早白垩世期间构造活动较强烈, 有多次沉降与抬升剥蚀过程, 晚白垩世有较大幅度深埋, 晚白垩世末之后以抬升作用为主, 局部地区古近系有小幅沉降。按 T₂—K₁、K₂、E 期间的沉降幅度可以进一步划分为 3 种类型(表 3)。与其它“早抬晚降”型的区别主要是侏罗纪—早白垩世期间具有频率较高的抬升与沉降过

程, 大部分地区第三纪以来以抬升作用为主。

2 烃源岩生烃演化模式

受埋藏史类型控制, 南方各地区不同层系烃源岩的生烃演化史存在明显差异性。按生烃过程是否连续及成熟演化明显暂停前是否已达到或超过生烃高峰期, 将南方海相烃源岩的生烃演化过程归纳为两类 3 种演化模式^[7, 8]: 连续生烃模式和间断生烃模式, 间断生烃模式又可分为二次生烃模式和晚期生烃模式(表 4、图 3)。

受“早降晚抬”型埋藏史控制的生烃模式主要是连续生烃型。这种生烃模式虽然生烃过程可以表现

表 3 下扬子区印支以来沉降史类型特征
Table 3 Subsidence history of the lower Yangtze area since the Indo-China movement

大区	区带	按第三纪构造单元划分	按印支—中燕山构造单元划分	沉降幅度			中、上古保存	沉降史特征
				T ₂ —K ₁	K ₂	E		
苏北	高邮、金湖凹陷	断、拗复合盆地发育区	复背斜-高断块区	小至无	中	大	无	早期抬升, 晚期沉降, K ₂ 及 E 都具备二次生烃条件
	盐阜、海安凹陷		复向斜-低断块区		大		有	
	建湖隆起、柘垛凸起等	隆起凸起区	复背斜-高断块区	中	小	小	无	早期抬升, 晚期沉降, 仅 K ₂ 具备二次生烃条件
	滨海、射阳、小海、泰州凸起, 通扬隆起东段		复向斜-低断块区				有	
苏南	沿江带, 不含无为、南陵	隆起区局部断陷	T ₂ —K ₁ 深陷带	大	中	小—无	有	晚期沉降幅度小于早期, 不具二次生烃条件
	句容、常州、直溪桥、无为、南陵地区		低隆起带	小		中—大		晚期沉降幅度大于早期, K ₂ —E 具二次生烃条件
	无锡、太湖、皖南部分地区		复向斜带	中		小—无		晚期沉降幅度小于早期, 不具二次生烃条件

表 4 南方海相烃源岩生烃演化模式及特征
Table 4 Summary of the hydrocarbon generation and evolution in the marine sedimentary strata in southern China

埋藏史特征	“早降晚抬”型: 印支以后早期沉降、晚期隆升	“早抬晚降”型: 印支以后早期隆升为主、晚期沉降为主; 印支以后晚期沉降幅度大于早期沉降幅度	
生烃模式	连续生烃(I)	间断生烃	
		二次生烃(II)	晚期生烃(III)
主要特点	烃源岩的成熟演化在印支前后可视为一个连续过程, 直至生烃潜力枯竭(I -1)或抬升而使生烃作用停止(I -2), 并且抬升后不再沉降或沉降幅度小于前期最大埋深, 从而使烃源岩的生烃史表现为只有一次基本连续的生烃过程。	烃源岩的成熟演化在印支运动以后存在明显的暂停过程, 且在成熟演化暂停以前已达到或超过生烃高峰期, 之后再次深埋并超过前期最大埋深而发生增熟生烃。直至生烃潜力枯竭或再次抬升而使生烃作用停止。之后仍可以再一次深埋增熟生烃而发生两期“二次”生烃作用。	与“二次”生烃(II)型特征相似, 不同的是在印支运动后的首次明显成熟演化暂停之前, 未达成熟或未达到生烃高峰, 其生烃潜力的发挥主要是在“晚期”完成。
典型地区及层位	四川盆地、湘鄂西、楚雄、南盘江、十万山、黔中、桂中及黔西北等地区; 江汉平原北部及盆地周缘地区; 下扬子区沿江带(不含无为、南陵)、无锡、太湖、皖南部分地区等各层系烃源岩	江汉盆地南部, 下扬子苏北盆地区、苏南的句容、常州、直溪桥、皖南部分地区等下古生界烃源岩	江汉盆地南部二叠系烃源岩, 下扬子苏北盆地区, 苏南的句容、常州、直溪桥、皖南部分地区等二、三叠系烃源岩

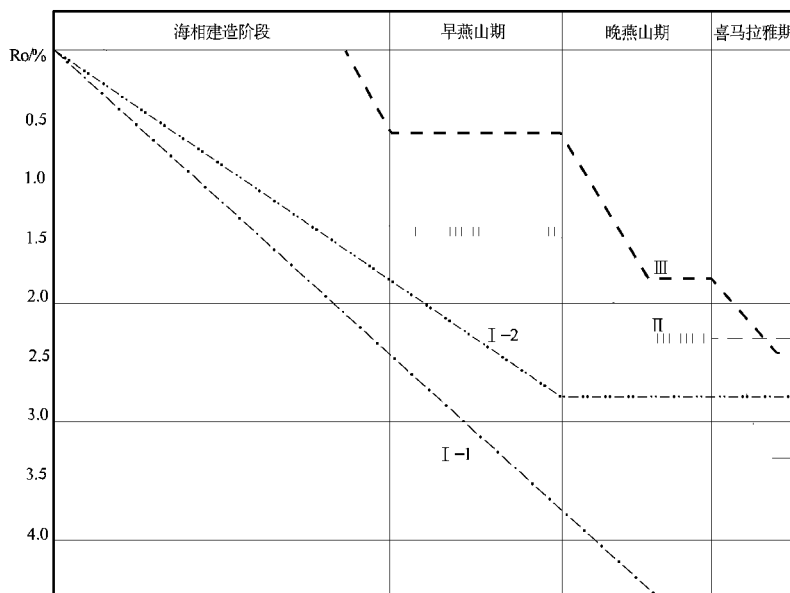


图3 南方海相烃源岩生烃演化模式

I-1. 连续生烃演化模式(枯竭型终止); I-2. 连续生烃演化模式(抬升型终止); II. 二次生烃演化模式; III. 晚期生烃演化模式

Fig. 3 Models for the hydrocarbon generation and evolution in the marine sedimentary strata in southern China

I-1. Continuous hydrocarbon generation (exhaustion-type termination); I-2. Continuous hydrocarbon generation (elevation-type termination); II. Secondary hydrocarbon generation; III. Late hydrocarbon generation

为多个阶段,并且也可能存在短暂的生烃中止或暂缓,但从整个生烃演化历史看,烃源岩的成熟演化在印支前后可视为一个连续过程,直至生烃潜力枯竭或抬升而使生烃作用停止,并且抬升后不再沉降或沉降幅度小于前期最大埋深,从而使烃源岩的生烃史表现为只有一次基本连续的生烃过程。四川盆地、湘鄂西、楚雄、南盘江、十万山、黔中、桂中及黔西北等地区,江汉平原北部及盆地周缘地区,下扬子区沿江带(不含无为、南陵)、无锡、太湖、皖南部分地区等各层系烃源岩的生烃史即属于该种演化模式。

二次生烃和晚期生烃演化模式均受“早抬晚降”型埋藏史类型控制,均存在明显的生烃中止过程,也都存在再次深埋而增熟生烃过程。

二次生烃演化模式的烃源岩成熟演化在印支运动以后存在明显的暂停过程,且在成熟演化暂停以前已达到或超过生烃高峰期,之后再次深埋并超过前期最大埋深而发生增熟生烃,直至生烃潜力枯竭或再次抬升而使生烃作用停止。之后仍可以再一次深埋增熟生烃而发生两期“二次”生烃作用。江汉盆地南部,下扬子苏北盆地区,苏南的句容、常州、直溪桥、皖南部分地区等下古生界烃源岩的生烃演化史即属于这种模式。

晚期生烃演化模式与二次生烃型演化模式特征相似,不同的是在印支运动后的首次明显成熟演化暂停之前,未达成熟或未达到生烃高峰,其生烃潜力的发挥主要是在“晚期”完成。江汉盆地南部二叠系烃源岩,下扬子苏北盆地区、苏南的句容、常州、直溪桥、皖南部分地区等的二叠系、三叠系烃源岩的生烃演化史即属于这种模式。

3 油气地质意义

一个地区的埋藏演化史类型不仅反映了该地区在历次构造运动中的抬升剥蚀与沉降埋藏特征,也能较为直观地反映其油气生成期次、保存与改造期次及油气运聚成藏期次特点;“早降晚抬”型埋藏史反映了烃源岩的连续生烃特点,“早抬晚隆”型埋藏史则反映了烃源岩的二次或多期次生烃的特征,但是,烃源岩是否能够发生二次或多期次生烃,还要看其晚期沉降幅度与前期隆升幅度的关系。依据此划分的生烃演化模式,不仅可以宏观判别烃源岩的生烃结束期,更重要的是可以判别该区油气成藏后进入保存或改造的时间长短、有无后续烃源补给,结合生储盖层配置分析和圈闭形成期次分析,还可以对一个地区的油气勘探对象及勘探方向作出判别。

参考文献:

[1] 戴少武, 贺自爱, 王津义. 中国南方中、古生界油气勘探的思路[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(3): 195—202.

[2] 肖开华, 沃玉进, 周雁, 等. 中国南方海相层系油气成藏特点与勘探方向[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3): 316—325.

[3] 高瑞琪, 赵政璋, 等. 中国油气新区勘探(第五卷)[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001. 1—321.

[4] 沃玉进, 肖开华, 周雁, 等. 中国南方海相层系油气成藏组合类型与勘探前景[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(1): 11—16.

[5] 徐国盛, 张阳, 姜阿妮. 川东复合气藏成藏机理及立体开发方式研究[J]. 成都理工大学学报, 2003, 30(1): 69—75.

[6] 陆正元. 缝洞气藏断层油气保存条件评价[J]. 成都理工学院学报, 1999, 26(4): 263—266.

[7] 郭占谦, 杨兴科. 中国含油气盆地的多种生烃机制[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 50—52, 64.

[8] 马哲, 宁淑红, 姜莉. 准噶尔盆地烃源岩生烃模型[J]. 新疆石油地质, 1998, 19(4): 278—280.

The burial history and models for hydrocarbon generation and evolution in the marine strata in southern China

WO Yu-jin, ZHOU Yan, XIAO Kai-hua
(*Research Institute of Petroleum Exploration and Development, SINOPEC, Beijing 100083, China*)

Abstract: The marine strata in southern China underwent polycyclic tectonic movement and intensive late reworking in long geologic times. The differences of multistage subsidence and uplift, and regional erosion and deposition in different parts of southern China since the Indo-China movement have led to the delineation of six types of burial history, which may be separated into two groups including the “early subsidence-late uplift” and “early uplift-late subsidence”. As a result, there are marked differences in hydrocarbon generation and evolution in different parts of southern China. According continuity of the hydrocarbon-generating processes, the hydrocarbon generation and evolution may be involved into three models, namely the continuous hydrocarbon generation, secondary hydrocarbon generation and late hydrocarbon generation.

Key words: marine strata; burial history; hydrocarbon generation and evolution; southern China