

中上扬子地区海相成烃物质聚集 分布规律及主控因素

陈洪德^{1,2} 黄福喜¹ 徐胜林¹ 滑心爽¹ 赵立群¹

(1. 成都理工大学沉积地质研究院, 成都 610059;

2. “油气藏地质及开发工程”国家重点实验室, 成都 610059)

[摘要] 以构造-层序地层学、沉积学与岩相古地理学理论和动态演化观为指导, 通过新一轮中上扬子区震旦系—古生界成烃物质聚集分布规律分析, 认为纵向上烃源岩与层序格架发育具有良好的对应关系, 即对应于全球二级海平面变化旋回中的海侵体系域; 主力烃源岩系以泥质烃源岩占绝对优势, 次为碳酸盐质、硅质烃源岩, 成层性好, 单层厚度较薄; 烃源岩母质类型和有机质演化随时代变新具有规律性变化; 陡山沱组、筇竹寺组、龙马溪组和中上二叠统烃源岩品质较好, 对油气成藏贡献大。横向上层序格架中各层烃源岩发育和分布规律及其有利区具有明显差异性; 四川盆地内各层烃源岩全, 江汉盆地组合烃源层残存保留, 雪峰西缘地区残存下组合烃源层, 黔桂地区各套烃源岩相对较发育; 以泥质烃源岩的分布范围最宽广, 其层位、厚度和岩相最稳定, 有机地化指标较佳。综合分析认为成烃物质聚集分布规律主要受构造背景、盆地性质、古气候、古地理以及沉积环境等因素控制, 与各种成因引起的海平面上升的关系密切, 并且总是聚集分布于滨海含煤体系、滞留陆棚、局限海湾、局限台地、台盆、大陆斜坡以及深水盆地等低能缺氧环境。

[关键词] 中上扬子; 古生界; 成烃物质; 分布规律; 主控因素

[分类号] TE122.112

[文献标识码] A

含油气系统理论和勘探实践表明烃源岩对油气藏的形成和分布规律具有重要控制作用, 成烃物质的深入研究对资源评价、区带优选和勘探部署等方面具有重大实际意义。中国南方海相地层分布面积广, 发育多套烃源岩, 具有丰富的成烃物质基础, 勘探前景广阔。近年来, 诸多学者针对中国南方海相烃源岩开展了大量富有成效的研究工作, 总结了上震旦统、下寒武统、上奥陶统一志留统、中上二叠统等多套海相烃源岩发育的基本特征^[1~6], 认识到烃源岩具有时代老、有机质丰度低、热演化程度高、埋藏深和保存条件差以及与古

构造、古沉积环境、古气候和古海平面变化密切相关等分布规律^[1~3], 探讨了原始生产力、沉积速率、保存条件、海平面变化、古水深、上升流、海底热液活动、冰期、沉积环境和保存条件等因素对烃源岩发育的影响^[1~4, 7~9], 并从沉积环境(相)^[9~10]、板块构造演化^[11]和层序格架^[1~3]等方面探讨了对烃源岩的控制作用。但是, 对海相优质烃源岩发育分布的主控因素^[3, 13~14]和有效烃源岩及其资源潜力^[12~14]等科学问题仍需深入研究。本文旨在在前人研究和新的区域资源评价资料基础上, 结合我们近年的研究工作, 探讨构造-层序

[收稿日期] 2009-07-06

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(40739901)

[作者简介] 陈洪德(1956—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事层序地层学与含油气盆地分析的教学与科研, E-mail: chd@cdut.edu.cn.

格架内烃源岩的发育分布特征,认识中上扬子区震旦系—古生界层序格架中成烃物质聚集与分布规律,探讨海相成烃物质聚集发育分布的主控因素,进一步深化和丰富海相油气勘探理论和认识。

1 海相地层的层序地层格架

地层层序是具有级别体系的受构造作用、沉积作用、海平面变化、气候变化等多种因素综合作用的结果,沉积层序形成发展和层序格架的演化

过程就是成烃物质的生成演化过程。根据前期研究成果,中上扬子地区从震旦系到中三叠统可划分出 13 个二级层序和 99 个三级层序^[1~3](图 1)。层序格架的性质和构成决定了成烃物质的发育与分布规律,中上扬子地区震旦纪至中三叠世不同时期,构造古地理、相对海平面变化、古气候条件等因素不同,层序成因格架及内部构型存在差异,因此,成烃物质聚集分布规律及其控制因素也不同。

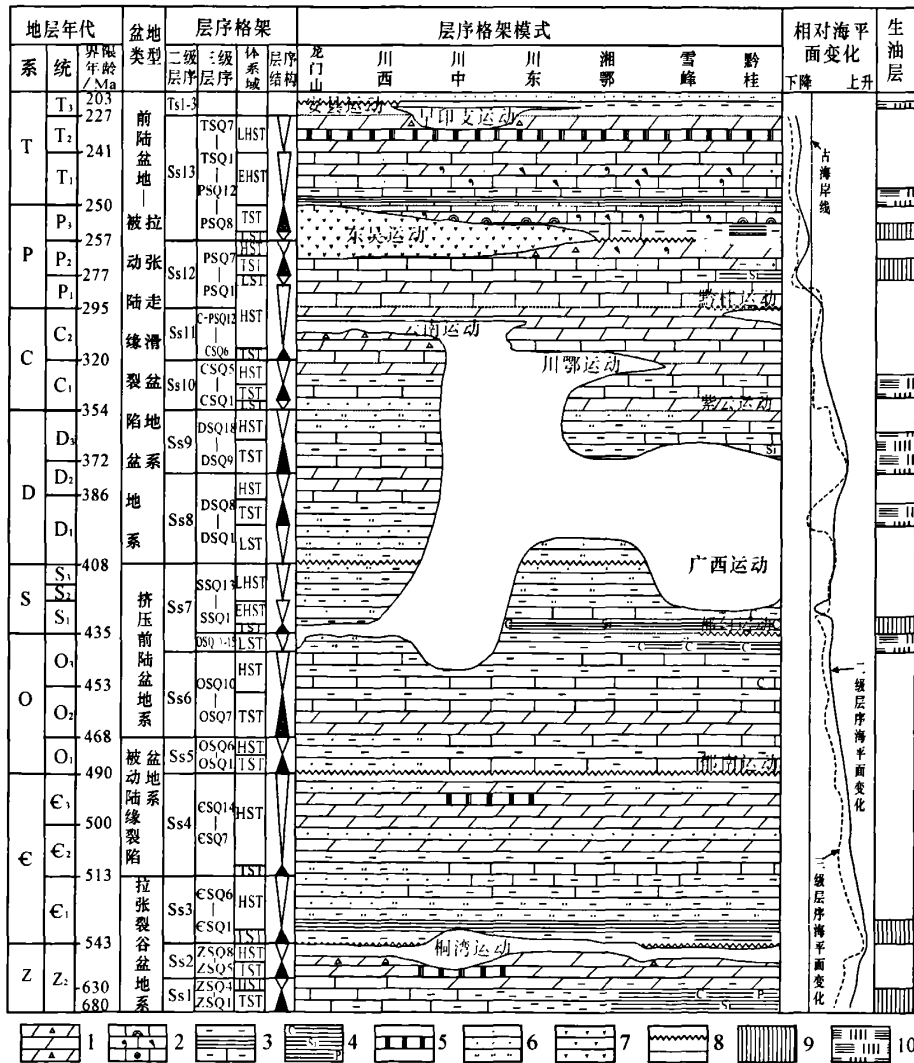


图 1 中上扬子地区层序地层格架及其中的生烃物质

Fig. 1 The sequence stratigraphic framework in the middle and upper parts of the Yangtze region and its hydrocarbon material

1. 白云岩、喀斯特角砾岩; 2. 生物礁/生屑/鲕粒灰岩; 3. 泥岩、页岩、泥灰岩; 4. 碳质、硅质、磷质页岩; 5. 青盐岩;
6. 砂砾岩、砂岩、粉砂岩; 7. 玄武岩; 8. 角度不整合、平行不整合; 9. 区域烃源岩; 10. 局域烃源岩

2 烃源岩物质聚集分布规律

2.1 纵向聚集分布规律

中上扬子地区纵向上确定了多套烃源岩(Z_2d , ϵ_1 , O_3 , S_1 , P_2 , P_3w 等),主要烃源岩与层序格架发育的对应关系是:陡山沱组黑色页岩、硅质岩与泥质岩发育于第1超层序的海侵体系域SS1(TST);筇竹寺组黑色碳质页岩与泥质岩发育于第3超层序的海侵体系域SS3(TST);五峰组和龙马溪组分别发育于第7超层序的低位体系域和海侵体系域SS7(LST和TST);栖霞—茅口组深灰—灰黑色微晶灰岩、泥灰岩、硅质岩发育于第12超层序的海侵体系域SS12(TST);吴家坪—龙潭组黑色炭、硅质泥页岩发育于第13超层序的海侵体系域SS13(TST)。它们为油气田(藏)的形成奠定了烃源物质基础。中上扬子地区成烃物质纵向上的分布规律主要有:(1)烃源岩系的岩石类型众多,不同岩性的烃源岩层位分布具一定选择性,表现为集中发育于海侵体系域,且主要分布在各地质历史时期沉积旋回的中下部。(2)主力烃源岩系以泥质烃源岩占绝对优势,次为碳酸盐质、硅质或其他岩性的烃源岩。不同组分、结构和成因类型的烃源岩岩性差别虽然很大,但成层性好,单层厚度较薄;若连续沉积厚度较大。(3)以泥质岩为主的烃源岩发育层位和各项有机地化指标具有较好的稳定性,岩性组合也相对单一;以碳酸盐岩为主的烃源岩系发育层位岩性组合相对较复杂,通常以纯灰岩和不纯灰岩间夹泥岩的韵律互层组合为特点;煤系地层为主的烃源岩往往在碳质页岩中呈夹层产出,于牛蹄塘组或层位相当的水井沱组、幕府山组下部有时有较大的沉积厚度。(4)烃源岩的母质类型,随地层年代变新,自下而上具有从Ⅰ型干酪根为主(震旦系—志留系),到Ⅰ型为主含少量Ⅱ型干酪根(二叠系)至Ⅱ型为主含少量Ⅲ型干酪根(三叠系)的变化规律。(5)烃源岩中的有机质热演化具有随烃源岩发育层位的时代变新,演化程度逐渐降低;以及在构造活动相对稳定的地区有机质热演化程度相对较低,而构造活动强烈的地区则为很高或极高的热演化规律。(6)陡山沱组、筇竹寺组、龙马溪组和中上二叠统烃源岩品质较好,对油气成藏贡献较大。

2.2 横向聚集分布规律

a. 上震旦统陡山沱组烃源岩对应于二级层序SS1的二级TST,为广泛发育的主力烃源岩,主要分布于川东—鄂西与湘桂地区的深水陆棚、台盆、深水盆地,以及次深海—深海等沉积相区,沉积黑色硅质岩、硅质页岩与泥质岩为主,以海侵和凝缩段复合体组合为特征的烃源岩系。随海侵速度加快和海平面上升,烃源岩发育位置逐渐由外陆棚和水下隆起区向斜坡带迁移和加厚。烃源岩厚度20~300 m;川东—鄂西地区厚度较大,五峰及周边最大厚度近300 m(图2)。

b. 下寒武统烃源岩对应于二级层序SS3的二级TST,包括下寒武统下部梅树村—筇竹寺组,为广泛发育的主力烃源岩系,以发育泥质烃源岩为主,而碳酸盐质烃源岩不重要。同样具有随海侵扩大和洋面迅速上升,有利烃源岩发育的相带由外陆棚向斜坡逐渐迁移变化的显著特点;尤以发育同生断凹作用的斜坡相带为烃源岩沉积厚度最大部位。广阔的鄂西、鄂中、川东、川南、黔西、黔南和桂北地区,为水深加大的外陆棚相区,以沉积含磷黑色页岩、泥灰岩和硅质岩为主,局部夹有薄层碳质页岩和石煤,厚度0~500 m,平均厚度139 m,川西南地区最厚(图3)。

c. 上奥陶统五峰组烃源岩对应于二级层序SS7的LST,亦为广泛发育的烃源岩系。烃源岩的平面展布受西隆东坳构造格局控制。隆升的中、上扬子区为水体循环受限的广阔滞留陆棚,以沉积富含笔石化石的黑色碳质页岩为主,间夹薄层石煤和透镜状生物碎屑灰岩,于湘桂川鄂地区的陆棚沉积区均有分布,区域上厚度普遍很薄(0~20 m),但层位稳定(图4)。

d. 下志留统龙马溪组烃源岩对应于二级层序SS7的TST,为中国南方广泛发育的主力烃源岩系,沉积相类型和分布范围大致与五峰组烃源岩一致,形成海侵页岩广泛超覆沉积在五峰组与观音桥组之上的区域性烃源岩;但是志留系在乐山—龙女寺古隆起核部已被全部剥蚀。沉积作用主要受西浅东深的前渊坳陷盆地控制,具有北西侧为浅—较深水陆棚、东侧为深水盆地的沉积相展布格局。烃源岩主要为下统的盆地相黑色页岩和深灰色泥岩,厚度具有自陆棚向缓斜坡方向加厚,向东侧的江南古陆逆冲造山带方向上超变薄和尖灭的规律;平均厚度为203 m,厚度变化在100~

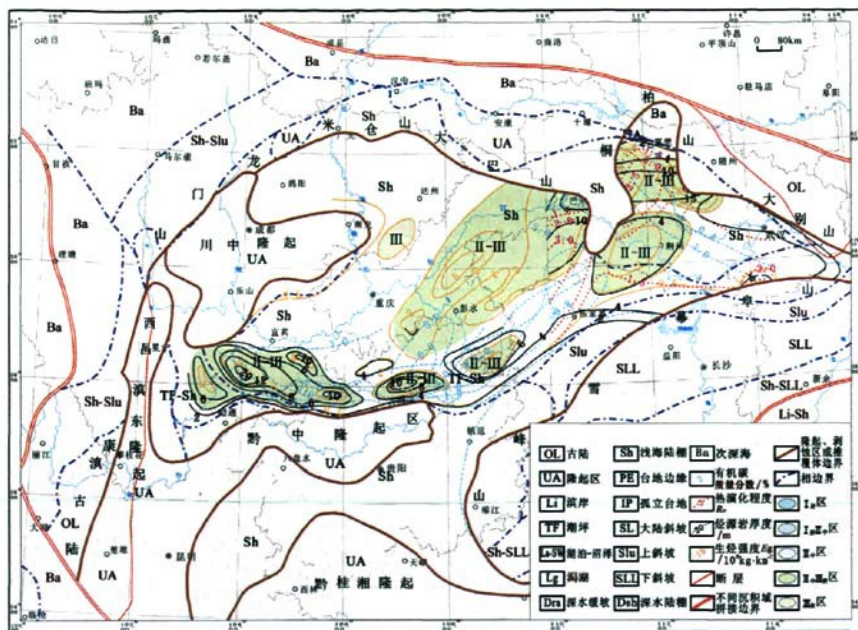


图4 中上扬子第7超层序低位体系域(晚奥陶世晚期)构造层序岩相古地理及成烃物质分布图

Fig. 4 The tectonic sequence lithofacies palaeogeography and the distribution of hydrocarbon materials of the LST of No. 7 super-sequence (late-Late Ordovician) in the middle and upper parts of the Yangtze region

700 m 之间,其中,黑色页岩厚度变化在 20~120 m 之间。大致具盆地东南厚西北薄的分布特征。在盆地东部和南部,烃源岩厚度一般大于 150 m,池 7 井和阳深 1 井厚度分别为 822.5 m 和 846.6 m。在盆地中西部 and 北部,厚度多小于 50 m(图 5)。

e. 中二叠统烃源岩对应于二级层序 SS12 的二级 TST,为中国南方广泛发育的主力烃源岩系,主要由开阔台地潮下低能带和局限台地的暗色碳酸盐岩为主泥页岩为辅的沉积组成,具有沉积连续、层位稳定和岩性组合虽然较复杂,但厚度和岩性变化较稳定的基本特点。其中泥质烃源岩主要为碳质页岩,厚度较薄,一般为 5~20 m,平均为 11 m。碳酸盐岩烃源岩厚度为 175~400 m,平均为 261 m。在四川盆地东部和西南部相对较厚,麻 1 井最厚达 400 m(图 6)。

f. 上二叠统吴家坪组龙潭组烃源岩发育于二级层序 SS13 的二级 LST 和 TST,是一套区域性含煤建造。烃源岩分泥质岩、碳酸盐岩和煤岩三类,分布总趋势为:华蓥山以东以灰岩为主,以西以泥岩为主,煤层在川中、川南区块和川东北部比

较发育。

四川盆地内煤岩厚 0~17.5 m,以川中和川南区块厚度较大,川东区块煤岩分布广但厚度薄,川西和川北区块少见或无煤层。泥质烃源岩厚 10~125 m,在川中和川西南一带较厚,盆地西北缘、北缘及东北缘较薄。碳酸盐岩厚 10~284 m,在川西南地区最薄,多小于 25 m,其余地区均大于 25 m。总体而言,吴家坪组烃源岩层总厚 50~300 m 不等,但有效烃源岩介于 5~120 m,川东—川南地区厚度较大(图 7)。

总之,中上扬子地区成烃物质横向分布规律是:(1)受大地构造演化史中不同时期板块构造格局、沉积盆地性质和低能缺氧沉积环境控制,表现为生油凹陷广泛发育。(2)区域上以泥质烃源岩的分布范围最宽广,其层位、厚度和岩相最稳定,有机地化指标较佳(尤以碳质页岩和石煤层为最佳,多为优质或特优烃源岩),大多具备主力烃源岩系条件;而碳酸盐质烃源岩大多具有分布范围有限和层位不稳定,岩性、岩相和厚度变化大,以及有机地化指标较差的规律(中二叠统烃源岩具有发育区域广、层位较稳定、有机地化指标较好而

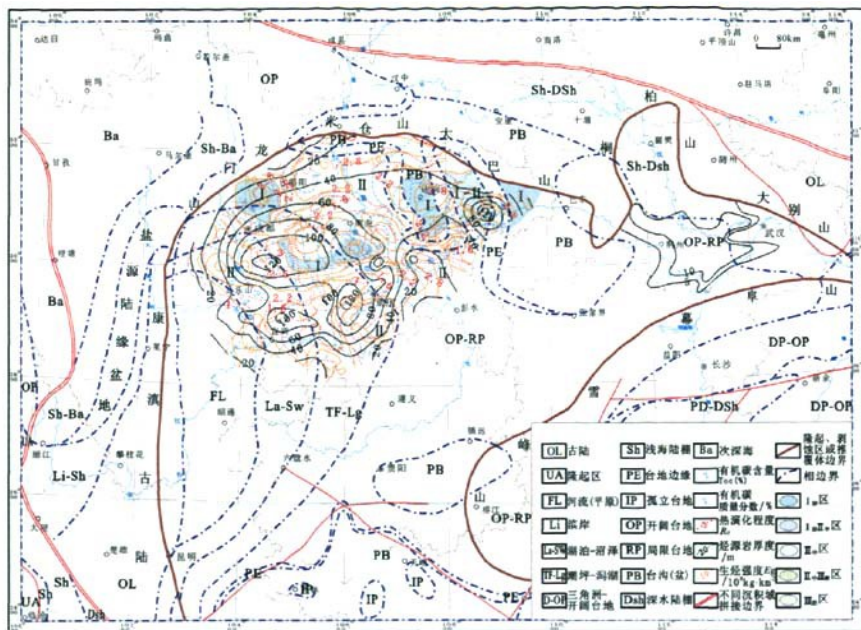


图7 中上扬子第13超层序海侵体系域(晚二叠世中晚期)构造层序岩相古地理及成烃物质分布图

Fig. 7 The tectonics sequence lithofacies palaeogeography and the distribution of hydrocarbon materials of the TST of No. 13 super-sequence (middle and late-Late Permian) in the middle and upper parts of the Yangtze region

例外)。(3)水深越大和水流循环越闭塞的沉积环境,越有利于烃源岩的发育,烃源岩的沉积厚度和有机碳丰度亦越高,层位越稳定。(4)四川盆地内各层烃源岩齐全,江汉盆地地下组合烃源层残存保留,雪峰西缘地区残存下组合烃源层,黔桂地区各套烃源岩相对较发育。(5)层序格架中各层烃源岩发育和分布规律,及其有利区具有明显差异性。以生烃强度($E_g/10^8 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-2}$)和有机质含量(TOC的质量分数: $w_{\text{TOC}}/\%$)为主要指标,将烃源岩分为Ⅰ_好($E_g > 25$, $w_{\text{TOC}} > 2$)、Ⅱ_中($10 < E_g < 25$, $1 < w_{\text{TOC}} < 2$)、Ⅲ_差($E_g < 10$, $1 < w_{\text{TOC}} < 0.5$)三级。其中:(1)陡山沱组烃源岩Ⅰ级有利区主要位于川东的仁怀—南川—道真,涪陵—万州一带,以及雪峰西缘—鄂西的独山—凯里—镇远—秀山—鹤峰—五峰一带,均呈北东向展布。(2)筇竹寺组烃源岩Ⅰ级有利区集中分布于川东至鄂西与黔东南至雪峰西的广大地区,整体亦呈北东向展布。(3)五峰组烃源岩品质普遍较差,以Ⅱ—Ⅲ类烃源岩为主,主要分布在川南—黔北、川东—雪峰西—鄂西、以及鄂中地区。(4)龙马溪组烃源岩品质较好,分布区整体向北西向转移,Ⅰ级有利区集中分

布于川东南—川东—川东北,以及鄂西的广大地区。(5)中二叠统烃源岩品质较好,分布区继续向西、北、南方向转移,I级有利区分布于桂北—黔南、川南—黔中北、川西南、川西和川北的广大地区。(6)上二叠统烃源岩品质有所变差,分布主要限于四川盆地,I级有利区范围大为缩小,且主要分布在川中、川西和川东北地区。

3 烃源岩物质聚集主控因素

前人^[1]对海相烃源岩发育与分布的控制因素,从不同角度进行了大量探索^[1~14],归纳起来主要有:原始生产力、保存条件、海平面变化、沉积速率、上升流、海底热液活动、冰期、古板块演化、古地理面貌、构造背景、沉积环境(沉积相)和生物相,以及盆地性质转换(马永生,2007)等因素。控制因素繁多,并存在“保存条件”和“生产力”两方面的争论^[7]。通常,烃源岩是指既生成又排出油气的源岩^[15](陈义才等,2007)。定义的内涵说明具有油气生成能力是成为烃源岩的基本前提,而有机质的富集与保存是具备生烃能力的关键核心,因此,地质历史时期有机质及其赋存岩体(细

碎屑岩或碳酸盐岩)聚集与保存的控制因素也是烃源岩物质聚集的主控因素,探讨烃源岩的成因机制及其时空演化过程,能有效揭示烃源岩物质聚集分布规律的控制因素。

构造层序格架的形成伴随着构造背景、沉积-成岩环境变迁、气候变换、生物繁衍演化等作用下,物质在时间和空间上的分异、分配和转化的过程。因此,层序格架的形成过程也是烃源岩的形成演化过程,是烃源岩层成因机制的综合反应。中上扬子地区层序地层格架中的成烃物质发育特征(见图1)说明:(1)烃源岩普遍发育于二级层序格架中的海侵体系域(五峰组烃源岩与次级海侵体系域对应),而且在海平面主体上升阶段的中、晚期最为发育,反映海平面升降控制成烃物质聚集分布规律。(2)盆地性质、构造背景与烃源岩发育关系密切,除五峰组和龙马溪组发育于挤压周缘前陆盆地外,均发育于拉张裂陷(裂谷)盆地环境。(3)古地理格局和沉积背景控制成烃物质聚集分布规律。因为层序格架中烃源岩总是聚集在滨海含煤体系、滞留陆棚、局限海湾、局限台地、台盆、大陆斜坡以及深水盆地等低能缺氧环境中。(4)层序格架中的各层烃源岩聚集分布规律差异性明显,但均与不同成因的海平面上升相关。一般有如下成因关系:气候转暖、冰雪融化、构造运动以及物源供给(在海盆中作用弱)影响海平面升降,而海平面升降制约生物繁衍、有机质丰度和保存条件,并最终控制烃源岩在层序格架中的发育。如:(1)陡山沱期在拉张裂谷背景下,受洋壳扩张、冰雪消融引起的海平面上升的控制;(2)筇竹寺期在拉张裂谷背景下,受上升洋流与干热古气候、洋壳扩张引起的海平面上升的控制;(3)五峰期在挤压前陆背景下,受全球缺氧事件以及二级低位体系域中盆地反转引起的次级海平面上升的控制;(4)龙马溪期在挤压前陆背景下,受二级低位体系域中盆地反转引起的次级海平面主体上升的控制,并与湿润气候、滞留静海沉积环境密切相关;(5)中二叠世在拉张走滑裂陷背景下,受构造运动和洋壳扩张引起的海平面上升的控制;(6)晚二叠世在被动陆缘一周缘前陆背景下,受构造运动和盆地应力反转引起的海平面上升的控制。

总之,中上扬子地区震旦系—古生界层序格架中的成烃物质聚集分布规律主要受构造背景、盆地性质、古气候、古地理以及沉积环境等因素控

制,与各种成因引起的海平面上升的关系密切,并且总是聚集分布于低能缺氧环境。

4 结论

a. 纵向上,中上扬子地区层序格架内海相地层发育的多套烃源岩(Z_2d , ϵ_1 , O_3 , S_1 , P_2 , P_3w)层位分布具有一定选择性,表现为集中发育于海侵体系域以及沉积旋回的中下部。自下而上,岩石类型、母质类型、演化程度等具有规律性变化;即下部具有以泥质烃源岩为主、I型干酪根且演化程度高等特征,向上变为以碳酸盐质烃源岩为主、干酪根向II型(少量III型)变化、演化程度降低的特点。

b. 横向上,层序格架内海相烃源岩在各地区差异保存,四川盆地内各层烃源岩保存较全。泥质烃源岩与碳酸盐质烃源岩均优先分布于水流循环闭塞的低能环境;但是分布范围、厚度和岩相等方面,泥质烃源岩较稳定,有机地化指标也优于碳酸盐质烃源岩。烃源岩I级有利区主要分布川东—鄂西、桂北—黔南以及四川盆地的广大地区。

c. 中上扬子地区层序格架中的海相烃源岩受多种因素控制,包括构造背景、盆地性质、古气候、古地理以及沉积环境等;但是主要受各种成因引起的海平面上升期以及低能缺氧的古地理环境控制。

[参 考 文 献]

- [1] 陈洪德,覃建雄,田景春. 中国南方古生界层序格架中的生储盖组合类型及特征[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 62—69.
- [2] 马永生,陈洪德,王国力,等. 中国南方层序地层与古地理[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [3] 牟书令,金之钧,刘家铎,等. 中国海相油气勘探理论技术与实践[M]. 北京:地质出版社,2009.
- [4] 蔡勋育,韦宝东,赵培荣. 南海相烃源岩特征分析[J]. 天然气工业,2005, 25(3): 20—24.
- [5] 梁狄刚,郭彤楼,陈建平,等. 中国南海相生烃成藏研究的若干新进展(一)——南海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.
- [6] 刘光祥. 中上扬子北缘中生界海相烃源岩特征[J]. 石油实验地质,2005, 27(5): 490—495.
- [7] 张水昌,张宝民,边立曾,等. 中国海相烃源岩发育控制因素[J]. 地学前缘,2005, 12(3): 39—48.
- [8] 李天义,何生,杨智. 海相优质烃源岩形成环境及其控

- 制因素分析[J]. 地质科技情报, 2008, 27(6): 63-70.
- [9] 陈践发, 张水昌, 鲍志东, 等. 海相优质烃源岩发育的主要因素及沉积环境[J]. 海相油气地质, 2006, 11(3): 49-54.
- [10] 陈安定. 南海相“有效烃源岩”定义及丰度下限[J]. 南方油气, 2004, 17(3): 1-4.
- [11] 刘树根, 罗志立. 从华南板块构造演化探讨中国南方油气藏分布的规律性[J]. 石油学报, 2001, 22(4): 24-30.
- [12] 郭彤楼, 田海芹. 南方中生界油气勘探的若干地质问题及对策[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 244-247.
- [13] 金之钧. 中国海相碳酸盐岩层系油气勘探特殊性问题[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 15-22.
- [14] 钱凯, 李本亮, 许惠中. 中国古生界海相地层油气勘探[J]. 海相油气地质, 2002, 7(3): 1-10.
- [15] 陈义才, 沈忠民, 罗小平. 石油与天然气有机地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2007.

Distribution rule and main controlling factors of the marine facies hydrocarbon substances in the middle and upper parts of Yangtze region, China

CHEN Hong-de^{1,2}, HUANG Fu-xi¹, XU Sheng-lin¹,
HUA Xin-shuang¹, ZHAO Li-qun¹

1. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

Abstract: Under the guidance of the tectonic-sequence stratigraphy, sedimentology and lithofacies palaeogeography and dynamic evolutionary view, the authors reappraise the distribution of the Sinian-Paleozoic hydrocarbon source rocks in the middle and upper parts of the Yangtze region. The vertical distribution of carbonate reservoirs is correlated well to the sequence stratigraphic framework, that is, to the transgressive system in the second order sea-level change cycle. The muddy source rocks are dominant in the main hydrocarbon source rocks and the carbonate, siliceous source rocks secondary. Their layers are good and a single layer thickness is thinner. The hydrocarbon source rock types of parent materials and the organic evolution regularly change with the time. The Doushantuo Formation, Qiongzhusi Formation, Longmaxi Formation and the Upper Permian source rocks with better quality contribute a greater accumulation of oil and gas. The horizontal distribution and development of the favorable source rocks have differences in the sequence stratigraphic framework. The hydrocarbon source rocks are widely distributed over Sichuan Basin, only the lower-assemblage of source layers is residually preserved in Jiangnan basin, however, the lower-assemblage of source layers has remained in the western border region of Xuefeng and all levels of source rocks have relatively developed in the Guizhou-Guangxi region. The distribution of the muddy source rocks are most wide with the most stable horizons, thickness and lithofacies and better organic geochemical indicators. Through the comprehensive analysis, the authors conclude that the gathering of hydrocarbon source rocks is controlled by the tectonic setting, the nature of the basin, paleoclimate, depositional environments and palaeogeography, and related to the rising of sea level with different causes. The hydrocarbon substances are always aggregated in the coastal coal-bearing system, stranded in shelves, restricted in bays, restricted in platforms, basins, continental slopes and deep-water basins.

Key words: Yangtze; Paleozoic; hydrocarbon substance; distribution rule; main controlling factor