

文章编号: 0253-9985(2006)03-0378-06

凝缩段特征及其与烃源岩的关系 ——以中国南方海相震旦系—中三叠统为例

田景春, 陈洪德, 张翔, 聂永生, 夏青松, 赵强

(成都理工大学“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室, 沉积地质研究所, 四川 成都 610059)

摘要: 在层序地层学研究中, 可用于确定层序的界面有层序的底界面、初始海泛面和最大海泛面, 其中最大海泛面所对应的产物为凝缩段。对凝缩段的识别不仅是认识层序结构的关键, 而且对分析地质历史时期全球相对海平面变化至关重要。以中国南方海相震旦系—中三叠统为例, 在大量野外剖面详细观测的基础上, 识别出凝缩段的物质表现形式有 6 种类型, 分别是硅质岩、黑色页岩、泥质岩、生物化石层、泥晶灰岩和瘤状灰岩。不同类型的凝缩段虽然为不同沉积环境的产物, 但均代表了全球性对海平面达到最高位置的产物, 其形成时期对应于中国南方烃源岩最佳发育时期。

关键词: 层序凝缩段; 烃源岩; 特征; 震旦系—中三叠统; 中国南方

中图分类号: TE112.1 **文献标识码:** A

Features of condensed section and its relationship with source rocks taking marine Sinian–Middle Triassic in southern China as examples

Tian Jingchun, Chen Hongde, Zhang Xiang, Nie Yongsheng

Xia Qingsong, Zhao Qiang

(State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation,
Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059)

Abstract In sequence stratigraphy, boundaries that can be used to define sequences include bottom boundaries, initial marine flooding surface and maximum flooding surface, of which the sediments corresponding to the maximum flooding surface constitute the condensed section. Identification of condensed section is not only the key to understanding of sequence structure, but also critical to analysis of global relative sea level changes during geologic history. Taking the marine Sinian–Middle Triassic in southern China as examples, 6 rock formations are recognized in condensed section, including silicalite, black shale, argillaceous rock, biogenic fossil bed, micrite and nodular limestone. Although different types of condensed sections have been deposited in different sedimentary environments, they all have been deposited when the global relative sea level reached the highest position. Their formation time, therefore, corresponds to the optimum development stage of source rocks in southern China.

Key words condensed section; feature; source rock; Sinian–Middle Triassic; South China

层序地层学理论自提出以来, 改变了分析世界地层记录的基本原则, 打开了了解地球历史的新阶段^[1]。在层序地层学研究中, 最为重要的研

究对象之一便是凝缩段。这是因为由低速率沉积物组成的凝缩段不仅是层序划分的标志, 而且是层序地层对比的关键^[2], 同时凝缩段与多金属成

收稿日期: 2006-04-27

第一作者简介: 田景春(1963—), 男, 教授(博士生导师), 储层沉积学、层序地层学、沉积地球化学、岩相古地理
基金项目: 四川省重点学科建设项目(SZD0408)

表 1 中国南方海相震旦系 — 中三叠统凝缩段物质表现形式和发育特征

Table 1 Sediments and development characteristics of the marine condensed section in marine Sinian to Middle Triassic in Southern China

序号	凝缩段物质表现形式	发育的代表性层位	沉积相类型	代表性剖面
1	硅质岩	$Z_2ds \in _1n, \in _1mf, O_3w, S_1l, S_1g, D_2l$	次深海 — 深海盆地、台盆	广西三江震旦系剖面
2	黑色页岩	$Z_2ds \in _1n, \in _1mf, O_3w, S_1l, S_1g, D_2l$	次深海 — 深海盆地	云南永善奥陶系剖面
	硅质页岩	O_3w, D_2l, D_3l, P_2g	次深海 — 深海盆地、台盆	贵州三度寒武系剖面
	钙质页岩	$S_1g, D_2l, D_3l, P_2q, P_2g$	次深海盆地、台盆	湖南大庸三义寒武系剖面
3	泥岩	T_1q	浅海陆棚、次深海 — 深海盆地	浙江富阳上晚寒武系剖面
	灰质泥岩	P_2q, P_2m, Txq	混积陆棚、台盆	湖北松滋欧家河石炭系剖面
	粉砂质泥岩	D_2l, D_3l	浅海陆棚、次深海盆地	广西南丹罗富泥盆系剖面
	硅质泥岩	D_2l, D_3l, P_2m, P_2q	次深海 — 深海盆地、台盆	广西南丹罗富泥盆系剖面
4	生物化石层	$Z_2ds \in _1n, \in _1mf, O_3w, S_1l, S_1g, D_2$	陆棚、台盆	湖北石门磺厂二叠系剖面
5	泥晶灰岩	$Zs \in , O, Sg, D, C, P, T$	开阔台地潮下、局限台地泻湖潮坪	江西乐平二叠系剖面
6	瘤状灰岩	D_3l, P_2q, P_2m, T	浅海陆棚	广西南丹罗富泥盆系剖面

矿密切相关,特别是在油气勘探过程中凝缩段的研究对地层对比以及生油岩预测等具有重大意义。所以,系统研究凝缩段的特征不仅具有理论意义,而且具有重要的实际价值。为此,本文在前人众多研究成果的基础上^[3~10],以中国南方海相震旦系 — 中三叠统为例讨论凝缩段的物质表现形式。

1 物质表现形式

通过对中国南方不同地区海相震旦系 — 中三叠统不同世代的基干剖面和辅助剖面的详细观测和研究,凝缩段的物质表现形式有以下几种(表 1),下面就各种凝缩段的特征进行描述。

1.1 薄层硅质岩

在中国南方海相震旦系 — 中三叠统沉积演化过程中,以硅质岩形式作为凝缩段产出的层位主要包括震旦系陡山沱组(Z_2ds)、寒武系牛蹄塘组

($\in _1n$)、幕阜山组($\in _1mf$)、奥陶系五峰组(O_3w)、志留系龙马溪组(S_1l)、泥盆系罗富组(D_2l)、二叠系大隆组(P_3d)。其特征表现为黑色薄层状,发育水平层理,主要由隐晶硅质 — 微晶石英和硅质岩组成,并含有粘土矿物,有些层位的硅质岩含有硅质放射虫和海绵骨针。总体上看作为凝缩段的薄层硅质岩系次深海 — 深海盆地、台盆相产物(图 1)。



图 1 湖北远安麻阳河二叠系硅质岩

Fig.1 Permian silicalite in Mayanghe, Yuan'an, Hubei

1.2 黑色页岩

在中国南方海相震旦系一中三叠统沉积地层中,以黑色页岩形式作为凝缩段几乎每个层位均有发育。根据成分不同可进一步划分为碳质页岩、硅质页岩、钙质页岩。这些黑色页岩基本均为次深海-深海盆地、台盆环境内的产物(图 2)。

1.3 泥质岩

泥质岩在中国南方海相震旦系一中三叠统沉积地层中非常发育,但作为凝缩段的泥质岩主要为浅海陆棚、次深海-深海盆地、混积陆棚、台盆环境内形成的。根据岩性特征可进一步划分为以下几种类型:泥岩、灰质泥岩、粉砂质泥岩和硅质泥岩。这些泥岩总体呈薄层状产出,发育水平层理(图 3)。



图 2 贵州铜仁东寒武系黑色页岩

Fig. 2 Cambrian black shale in
eastern Tongren, Guizhou

1.4 生物化石层

生物化石层(生物密集段)为典型的凝缩段,此类凝缩段在中国南方海相震旦系一中三叠统沉积地层中广泛发育,但厚度非常薄,其典型特征是密集成层分布(图 4)。

1.5 泥晶灰岩

泥晶灰岩广泛发育于中国南方各时代沉积地层中,均为开阔台地潮下、局限台地泻湖、潮坪环境内的产物。作为凝缩段的泥晶灰岩其最大特征是呈薄层状产出,发育水平层理(图 5)。

1.6 瘤状灰岩

瘤状灰岩在中国南方主要发育于泥盆系、二叠系和三叠系,其主要特征表现为:1) 岩石多呈灰、深灰色,薄至中层状;2) 瘤体成长条状、豆荚状等,大小不一,顺层分布;3) 瘤体与基质之间成分有差异;4) 瘤体排列方式有杂乱状、断链状和



图 3 贵州独山肆放坡泥盆系灰质泥岩

Fig. 3 Devonian calcareous mudstone in
Sifangpo, Dushan, Guizhou



图 4 宜昌王家湾志留系生物化石层

Fig. 4 Silurian biogenic fossil bed in
Wangjiawan, Yichang



图 5 江西乐平涌山桥石炭系中薄层泥晶灰岩

Fig. 5 Carboniferous thin micrite in Yongshan
Bridge, Leping, Jiangxi



图 6 湖南渐源雷口乌桥泥盆系瘤状灰岩
Fig. 6 Devonian nodular limestone in Leikouwu
Bridge, Jianyuan, Hunan

链状; 5) 瘤体无明显的搬运、磨圆和分选的痕迹。对此类灰岩的成因不同学者认识不同, 但大多数学者认为其是相对深水环境的产物, 系海平面上升到最高位置时形成的, 故为典型的凝缩段 (图 6)。

总之, 中国南方海相震旦系 — 中三叠统凝缩段广泛发育, 岩石类型众多, 包括泥质岩、碳酸盐岩、硅质岩等类型, 正确认识不同类型的凝缩段对于正确划分层序、进行层序对比、进而认识烃源岩均具有重要意义。

2 凝缩段的时空分布与烃源岩的关系

从上述讨论可以看出, 构成中国南方海相震旦系 — 中三叠统中的凝缩段岩石类型众多, 但由于凝缩段具有分布广泛、空间跨度大的特点, 不同类型的凝缩段在不同盆地发育特征不同 (表 2); 同一层序发育时期不同沉积相带, 凝缩段特征不同, 如中国南方泥盆纪时期, 由于同沉积断裂作用形成被动陆缘上的台盆相间的格局, 在台地上凝缩段由原地埋藏、个体完整的腕足化石层、弓石燕化石层、瘤状灰岩等组成, 而台盆内则为含丰富竹节石的硅质岩所组成 (图 7)。同时, 同一类型的凝缩段可出现在不同层序和不同相带中, 如硅质岩作为凝缩段不仅可发育于台盆相带的沉积剖面中, 还可以出现在深海相沉积剖面中。

上述各种类型的凝缩段形成时期对应于中国南方烃源岩最佳发育时期, 如中国南方下寒武统牛蹄塘组黑色页岩, 形成于全球海平面上升和南方早古生代最大海侵期。黑色页岩干酪根 $\delta^{13}C$ 为 $-32.92\text{‰} \sim -29.82\text{‰}$, 平均值为 -30.88‰ , 属

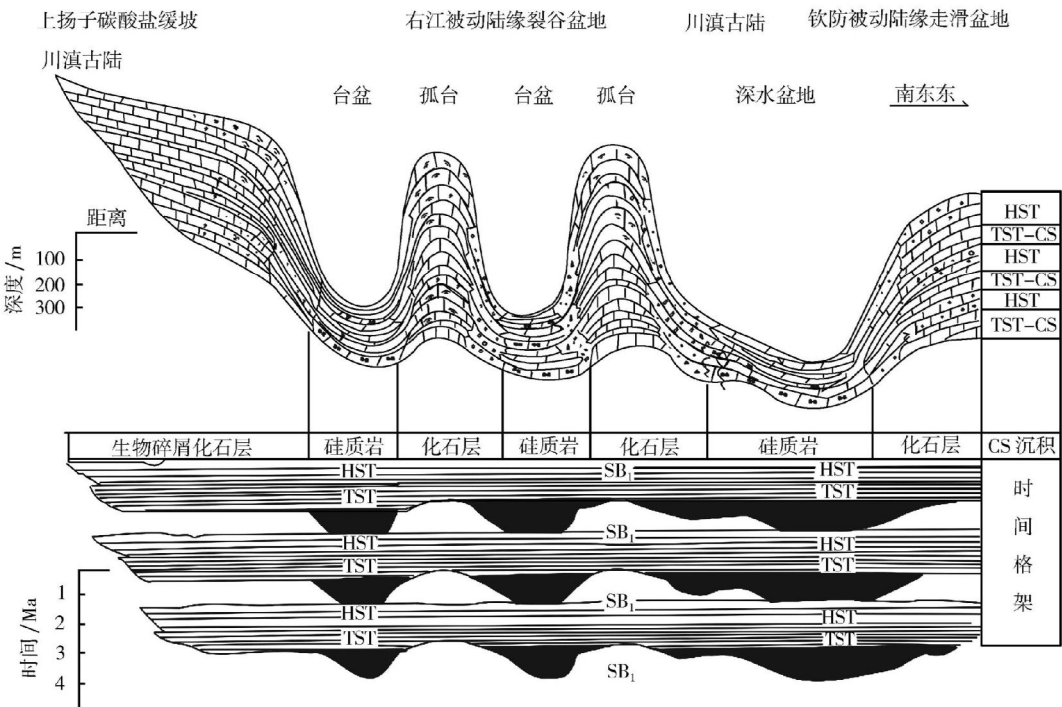


图 7 右江台盆相间的沉积格局中凝缩段的空间分布规律
Fig. 7 Spatial distribution of condensed sections in the sedimentary framework
characterized by platforms alternating with basins in Youjiang

表 2 中国南方海相震旦系—中三叠统发育特征

Table 2 Characteristics of marine Sinian to Middle Triassic developed in southern China

凝缩段特征		被动大陆边缘盆地		克拉通盆地	前陆盆地	
		坳陷	裂陷		前渊	膨隆带
沉积环境	次深海—深海	次深海	次深海—深海	浅海	浅海—盆地	浅海
沉积相类型	下斜坡	斜坡—盆地	台盆	陆棚或开阔台地	浊积岩	滞留陆棚
岩性组合	硅质岩、黑色页岩、偶夹泥灰岩和石煤层	黑色页岩为主偶夹硅质岩、泥灰岩、石煤	黑色页岩，偶夹硅质岩、泥灰岩	泥粉砂岩组合或为碳酸盐岩组合	泥粉砂岩，偶夹泥灰岩	硅质页岩，偶夹泥粉砂岩、灰岩
母质类型	I 型，少量 II 型	I 型，少量 II 型	I 型，少量 II 型	I 型，II 型，少量 II 型	I 型，II 型，少量 II 型	I 型，II 型，少量 II 型
有机地化指标	干酪根 $\delta^{13}\text{C}$ / ‰	泥岩：- 36.54 ~ - 26.60			泥岩：- 30.95 ~ - 28.20	泥岩：- 32.54 ~ - 27.93
		灰岩：- 34.53 ~ - 26.56		灰岩：- 35.11 ~ - 23.14	灰岩：- 28.50 ~ - 25.90	
	残余 TOC 含量 / %	泥岩：0.40 ~ 7.48 (集中于 0.95 ~ 3.14)		泥岩：0.42 ~ 1.21, 平均 0.59	泥岩：0.05 ~ 5.79 (集中于 0.28 ~ 0.71)	泥岩：0.05 ~ 6.47 (集中于 0.28 ~ 2.23)
		灰岩：0.05 ~ 3.50 (集中于 0.11 ~ 0.91)		灰岩：0.02 ~ 14.82 (集中于 0.30 ~ 2.00)		灰岩：0.07 ~ 1.85 (集中于 0.09 ~ 0.28)
	氯仿沥青“A”含量 / 10^{-6}	泥岩：31 ~ 990 (集中于 62 ~ 135)		泥岩：3 ~ 74 (平均 15)		泥岩：35 ~ 373 (集中于 78 ~ 83)
		灰岩：16 ~ 698 (集中于 33 ~ 94)		灰岩：0.6 ~ 590 (集中于 10 ~ 160)		灰岩：54 ~ 416 (集中于 87 ~ 116)
主要产出层位	$Z_2, \in_1$		$Z_2, \in_1, D_2$	$Z_2, \in_1, P_2$, 以 P_2Q 为主	$O_3 w, S_1 l$ (或 $S_1 g$), $T_1 x$, 以 $T_1 x$ 为主	$O_3 w, S_1 l$ (或 $S_1 g$), $T_1 x$, 以 $T_1 x$ 为主
产状特征	厚数十至数百米，层位稳定，区域分布面积大	厚数十至数百米，层位稳定，区域分布面积大	厚数十至数百米，稳定区域分布面积大	厚数百米，层位不稳定，相控快，区域分布局限	厚数百至千余米，较稳定，区域分布较局限	厚数米至数十米，极稳定，区域分布面积大

I 型干酪根，有机碳丰度变化范围为 0.43% ~ 4.28%，有机碳丰度平均为 2.17%，属好烃源岩，其中 40% 的样品达到最好烃源岩级别。

又如，上奥陶统上部的五峰组和下志留统龙马溪组黑色碳质泥页岩及硅质泥页岩，形成于缺氧、非补偿的次深海环境，有机质类型仍以腐泥型为主，干酪根的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 - 32.54‰ ~ - 27.93‰，平均值为 - 29.52‰，属 I 型干酪根。有机碳丰度变化范围为 0.12% ~ 5.12%，有机碳丰度平均值 1.83%，大部分属好烃源岩。

又如遍及整个中国南方的栖霞组黑色微晶灰岩形成与晚古生代以来南方地区最大海侵期，为典型的烃源岩， $\delta^{13}\text{C}$ 为 - 35.11‰ ~ - 24.86‰，平均值为 - 29.08‰，有机碳丰度变化范围为 0.02% ~ 2.34%，其中 61% 的样品达到有效烃源岩标准，

平均值为 0.46%，属较好烃源岩。

总之，不同类型的凝缩段均形成于全球海平面上升和南方最大海侵期，但同一时期，不同相带凝缩段物质构成不同 (图 7)；同时，凝缩段发育时期对应于中国南方烃源岩最佳发育时期，中国南方主力烃源岩、重要烃源岩发育时期均对应于二级海平面升降变化过程中所形成的凝缩段发育时期。所以，详细研究和认识凝缩段的特征对于层序划分和识别及层序对比，恢复地质历史时期全球海平面相对变化，同时对于油气勘探过程烃源岩预测等具有重大意义。

参 考 文 献

- 1 Vail P R. The stratigraphic signature of tectonics, eustasy and sedimentology—an overview [A]. In: Einsele G, Ricken W, Seilacher

- cher A, eds Cycles and events in stratigraphy [C]. Berlin Springer-Verlag 1991
- 2 Haq B U, Hardenbol J, Vail P R. Chronology of fluctuating sea level since the Triassic [J]. Science, 1987, 235: 156–167
 - 3 陈洪德, 覃建雄, 田景春, 等. 右江盆地层序充填动力学初探 [J]. 沉积学报, 2000, 18(2): 165–171
Chen Hongde, Qin Jianxiong, Tian Jingchun, et al. Sequence filling dynamics of Youjiang basin, southern China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(2): 165–171
 - 4 侯中健, 陈洪德, 田景春. 右江盆地海相泥盆系—中三叠统层序界面成因类型与盆地演化 [J]. 沉积学报, 2000, 18(2): 205–209
Hou Zhongjian, Chen Hongde, Tian Jingchun. Genesis of sequence boundary and basin evolution in Youjiang basin during the Devonian to the Middle Triassic [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(2): 205–209
 - 5 贾振远, 杨家骥, 李志明, 等. 中国古大陆及其边缘早古生代层序地层及海平面变化的基本特征 [J]. 地球科学, 1997, 22(5): 544–551
Jia Zhenyuan, Yang Jialu, Li Zhiming, et al. Sequence stratigraphy and sea level changes on Early Paleozoic paleocontinents and their margins in China [J]. Acta Geoscientica Sinica, 1997, 22(5): 544–551
 - 6 彭军, 陈洪德, 田景春, 等. 川滇黔桂地区石炭系层序地层研究 [J]. 沉积学报, 2000, 18(2): 190–197
Peng Jun, Chen Hongde, Tian Jingchun, et al. Sequence stratigraphy study on the Carboniferous strata in Sichuan, Yunnan, Guizhou and Guangxi [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(2): 190–197
 - 7 覃建雄, 陈洪德, 田景春, 等. 川滇黔桂地区泥盆系层序地层分析 [J]. 沉积学报, 2001, 18(2): 172–180
Qin Jianxiong, Chen Hongde, Tian Jingchun, et al. Sequence stratigraphy of Devonian in Sichuan, Yunnan, Guizhou and Guangxi [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(2): 172–180
 - 8 田景春, 陈洪德, 彭军, 等. 右江盆地深水沉积层序地层学研究 [J]. 沉积学报, 2000, 18(2): 210–214
Tian Jingchun, Chen Hongde, Peng Jun, et al. Study on sequence stratigraphy of deep water sediments in Youjiang basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(2): 210–214
 - 9 吴治, 龚一鸣, 李德清. 华南泥盆系层序地层与岩石、年代地层界线间相关性探讨 [J]. 地球科学, 1994, 19(5): 565–574
Wu Yi, Gong Yiming, Li Deqing. Correlation of sequence stratigraphy to lithostratigraphy and chronostratigraphy of Devonian in South China [J]. Acta Geoscientica Sinica, 1994, 19(5): 565–574
 - 10 杨家骥, 徐世球. 川黔湘交界寒武纪二级层序的划分及海平面变化 [J]. 地球科学, 1997, 22(5): 467–470
Yang Jialu, Xu Shiqiu. The second-order sequence division and sea level fluctuation in Cambrian on the border of Sichuan, Guizhou and Hunan [J]. Acta Geoscientica Sinica, 1997, 22(5): 467–470
 - 11 威尔格士署 C K. 层序地层学原理 [M]. 徐怀大, 魏魁生, 洪卫东, 译. 北京: 石油工业出版社, 1993
Vail G S C K. Sea-level changes an integrated approach. Xu Huaida, Wei Kuisheng, Hong Weidong, translated. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993
 - 12 钱奕中, 陈洪德, 刘文均. 层序地层学理论和研究方法 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994
Qian Yizhong, Chen Hongde, Liu Wenjun. Sequence stratigraphic theory and analyses [M]. Chengdu: Science & Technology Press of Sichuan, 1994
 - 13 Vail P R, Hardenbol J. Sea-level changes during the Tertiary [J]. Oceans, 1997, 22: 71–79
 - 14 Kidwell S M. Condensed deposits in siliciclastic sequences: expected and observed features [A]. In: Einsele G, Ricken W, Seilacher A, eds Cycles and Events in Stratigraphy [C]. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 682–695
 - 15 葛铭, 孟祥化, 陈荣坤, 等. 海绿石质凝缩层: 克拉通盆地层序地层划分对比的关键——华北寒武系凝缩层的特征和含义 [J]. 沉积学报, 1995, 13(4): 1–15
Ge Ming, Meng Xianghua, Chen Rongkun, et al. Glauconitic condensed sections: the key to correlation of sequence stratigraphy in the craton basin—characteristics and implication of the Cambrian condensed section of North China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1995, 13(4): 1–15

(编辑 高岩)

“油气政策与管理”项目中国案例研究第四次国际研讨会成功举行

我院与东亚东南亚地学计划协调委员会 (CCOP) 技术秘书处联合于 2006 年 6 月 5 日在北京举行了“油气政策与管理”项目中国案例研究第四次国际研讨会。会议的主题是: “低渗透天然气勘探开发对策及政府的作用”。来自中国、柬埔寨、印度尼西亚、马来西亚、韩国、菲律宾、泰国、越南、挪威和美国的专家和学者参加了这次研讨会。我院总地质师郑和荣和中国常任 CCOP 副代表马永正出席了开幕式并讲话。

围绕会议主题, 中国专家介绍了中国天然气工业的发展战略、中石化探区低渗透天然气开发技术和面临的挑战以及川西地区天然气资源——经济评价和勘探开发对策。挪威专家介绍了在低渗天然气勘探开发方面政府的作用, 美国专家介绍了低渗透天然气勘探开发方面的技术挑战和解决方案。来自柬埔寨、印度尼西亚、马来西亚、韩国、菲律宾、泰国和越南的专家分别介绍了各自国家在低渗透天然气勘探开发方面的现状及进展。

(周庆凡, 李晓明)