

文章编号:0253-9985(2008)05-0574-08

## 中国前中生代海相储层发育的构造-沉积条件

郑和荣<sup>1</sup>, 胡宗全<sup>1</sup>, 周小进<sup>2</sup>, 张海清<sup>1</sup>, 由伟丰<sup>1</sup>, 杨帆<sup>2</sup>

(1. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院, 北京 100083;

2. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151)

**摘要:**构造、沉积两大要素共同控制着海相储层的形成与分布。震旦纪—早古生代早期( $Z-O_2$ ), 中国主要板块处于洋盆扩张、陆块离散的构造-沉积阶段, 围绕华北、扬子、塔里木等主要陆块长期发育稳定台地-被动大陆边缘斜坡沉积体系。此期台地相碳酸盐岩异常发育, 主要的岩性有灰岩、颗粒灰岩和白云岩, 其中位于高位期的奥陶系是我国海相油气发现的重要层位之一。早古生代晚期( $O_3-S$ ), 为洋盆俯冲消减、古中国陆汇聚形成阶段。伴随着海水退却, 各主要陆块核部隆升为隆起剥蚀区, 围绕其周边发育海相碎屑岩储层, 如塔里木北部和鄂西渝东的志留系。加里东期岩溶作用对下古生界碳酸盐岩储层的早期成岩演化具有重要的影响。晚古生代—中生代早期( $D-T$ ), 此期北方以汇聚作用为主, 主要发育碎屑岩储层沉积, 如华北和准噶尔的石炭系和二叠系、塔里木的泥盆系等, 同时海西期是塔里木盆地地下古生界碳酸盐岩的主要岩溶期; 南方以离散作用为主, 华南台地裂解成“盆包台”格局, 台地边缘发育礁滩相储层。在长期、多期次的构造作用下, 在原生孔隙丧失的同时, 古岩溶、热液溶蚀、白云化和裂缝的复合作用使海相储层经历建设性改造, 从而形成优质储层。

**关键词:**储层; 构造-沉积条件; 海相层系; 前中生代; 中国

**中图分类号:**TE122.2

**文献标识码:**A

## Tectonic and sedimentary conditions of pre-Mesozoic marine reservoirs in China

Zheng Herong<sup>1</sup>, Hu Zongquan<sup>1</sup>, Zhou Xiaojin<sup>2</sup>, Zhang Haiqing<sup>1</sup>, You Weifeng<sup>1</sup>, Yang Fan<sup>2</sup>

(1. Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China;

2. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

**Abstract:** Tectonic and sedimentary factors are of importance in controlling the formation and distribution of marine reservoirs. Confronted with the spreading of ocean basins and dispersing of plates from Sinian to the early period of Early Paleozoic ( $Z-O_2$ ), sedimentary systems of stable platform-passive margin slope developed around the main plates of China such as Huabei, Tarim and Yangtze. Carbonate rocks of platform facies bloomed during that long period, and were mainly composed of limestone, grainstone and dolomite. The high-stand Ordovician is one of the main marine strata for hydrocarbon discoveries in China. Subduction of ocean basins and convergence of Paleo-China continent occurred during the late period of the Early Paleozoic ( $O_3-S$ ). Along with retrogression, the central part of the plates uplifted and became erosion areas, around which marine clastic reservoirs were developed, such as the Silurian in the northern Tarim Basin and areas from west Hubei to east Chongqing. The Caledonian karstification imposed an important influence on the early diagenetic evolution of the Lower-Paleozoic carbonate reservoirs. From the Late Paleozoic to the Early Mesozoic ( $D-T$ ), convergence dominated in northern China, where marine clastic reservoirs were mainly developed, such as the Carboniferous and the Permian in North China and Junggar basins and the Devonian in the Tarim Basin. The Lower Paleozoic carbonate rocks underwent the major karstification during the Hercynian period. While divergence dominated in

收稿日期: 2008-08-01。

第一作者简介: 郑和荣(1962—), 男, 博士、教授级高级工程师, 油气地质。

southern China, where the South China platform underwent tectonic dispersion and broke down into several smaller platforms surrounded by deep basins, with reservoirs of shoal and reef facies deposited on the edge of platforms. Under long and multistage tectonization, marine reservoirs lost primary porosity progressively; meanwhile, conjunction of karstification, hydothermal erosion, dolomitization and fracture formed secondary porosity and improved marine reservoirs remarkably.

**Key words:** reservoir; tectonic and sedimentary condition; marine strata; Pre-Mesozoic; China

## 1 中国前中生代海相储层成因类型

随着塔河-轮南油田、靖边气田、普光气田等大型海相油气田相继被发现<sup>[1-4]</sup>, 中国海相层系已成为中国油气勘探的重要接替领域。储层是决定海相油气勘探效果的关键要素之一。中国储层以碳酸盐岩为主, 也有碎屑岩。由于前中生代地层时代老, 受到多期次的构造作用改造, 因此储层的成因既有以沉积为主的, 也有以构造为主的。

### 1.1 碳酸盐岩储层

在碳酸盐岩储层中, 礁滩相、台地相灰岩和白云岩上良好的储层沉积相, 而古岩溶、白云化、裂缝作用是建设性的成岩作用, 构造是重要的控制因素。

#### 1.1.1 岩溶型储层

储集体主要为表生岩溶作用形成的较大型洞穴。灰岩地层一般可以形成较大的洞穴, 塔河油田奥陶系岩溶缝洞型储层最为典型<sup>[5]</sup>。塔河油田T808K井奥陶系钻具放空29.4 m, 根据测井全充填溶洞达75 m(TK409井), 对塔河油田320口井进行综合识别, 在230口井发现大中型洞穴, 出现频率达74.3%。白云岩岩溶型储层也广泛发育, 鄂尔多斯盆地的马家沟组<sup>[6]</sup>、川东石炭系黄龙组<sup>[7]</sup>以及任丘油田的潜山储层<sup>[8]</sup>均为白云岩岩溶型储层。

#### 1.1.2 礁滩相储层

以塔里木盆地塔中I号断裂带台缘礁滩相储层为代表<sup>[9]</sup>。台地边缘礁滩复合体由粒屑滩、珊瑚-层孔虫礁、灰泥丘、礁滩间海亚相组成, 呈多旋回组合发育。岩性主要为骨架岩、障积岩、粘结岩、生屑灰岩、砂屑灰岩等组成。储集空间主要以次生溶蚀孔隙为主, 储层段孔隙度一般在3%~

6%, 礁滩体纵向叠置、横向连片, 单层厚度在1~5 m, 叠合厚度达30~90 m。

#### 1.1.3 白云岩储层

以目前中国最大的海相气田-普光气田为代表<sup>[10]</sup>, 其储层以滩相溶孔鲕粒白云岩为主, 钻井揭示储层最大厚度达443.3 m。下三叠统飞仙关组属暴露鲕滩沉积, 平均孔隙达8%, 以大孔隙占绝对优势(占71%), 次为中孔隙(占21%), 小孔隙和微孔隙很少。上二叠统长兴组岩性主要为浅灰色生物礁灰岩、残余鲕粒白云岩、溶孔白云岩、砂屑灰岩和砂屑白云岩等, 横向分布稳定, 平均孔隙度为7.08%。

#### 1.1.4 裂缝型储层

一般以构造裂缝为主。裂缝的发育改善了储集空间的连通性, 大幅度地提高碳酸盐岩储层的渗透能力, 同时裂缝可成为有效的油气贮存空间和渗流通道, 在一定程度上提高储层的储集能力, 并且为次生孔隙的发育创造良好的条件。构造缝多分布于构造长轴和高点部位, 褶皱扭曲和断层处。川南纳溪气田是典型的碳酸盐岩裂缝型气藏<sup>[11]</sup>。

值得提到的是, 前中生代碳酸盐岩储层一般都不是单一因素控制的, 多具有复合成因, 在具有原始高能沉积环境的先天条件下, 通过岩溶、白云化、裂缝等后期建设性改造作用, 才可能形成优质储层。如普光气田的碳酸盐岩储层原始沉积相为台地边缘滩相鲕粒灰岩, 经过白云岩化和地下溶蚀的双重改造, 从而形成优质储层。鄂尔多斯盆地南部奥陶系古岩溶斜坡, 当剥蚀层位位于白云岩层段时才能形成优质储层, 反映了这种建设性叠加作用的重要性。

## 1.2 碎屑岩储层

在海相碎屑岩储层中, 滨岸、三角洲等浅水相

和浊积岩等深水相是有利的储层沉积相。

### 1.2.1 滨浅海相及三角洲相

滨岸、三角洲、浅海陆架是等浅水碎屑岩储层相带沿古海岸线分布。

在塔里木盆地碎屑岩储层中发现塔中11等志留系油藏、东河塘油气田、塔中4石炭系油田以及哈德逊东河塘和石炭系油气田,在塔河油田,在碎屑岩储层中也有不同程度的发现。塔里木盆地志留系储层的主要沉积类型为三角洲、滨岸、潮坪等相带的砂岩<sup>[12]</sup>。泥盆系东河砂岩泥盆系东河塘组储层主要为滨海沿岸砂坝。石炭系主要为扇三角洲相砂体及障壁砂。

南方志留系砂岩储层主要发育于湘西渝东的小河坝组、黔东南的翁项群二、三段及中、下扬子区的中、上志留统,近期在鄂西渝东的建深1井于志留系获工业气流。泥盆系和下石炭统发育滨岸、三角洲砂岩储层。

晚古生代,受板块会聚作用影响,克拉通边缘隆起,发育三角洲沉积体系,如鄂尔多斯盆地在二叠系三角洲储层中已发现苏里格、大牛地、榆林、乌审旗等多个大气田。

### 1.2.2 深海浊积扇相

斜坡扇、盆地扇、浊积岩等深水碎屑岩相主要发育于陆棚斜坡-深海盆地等古地理环境。湘赣盆地、钦防盆地、右江盆地是发育这类砂岩储层的主要地区<sup>[13,14]</sup>,如广西右江-南盘江地区中三叠

统浊积岩就厚达2 000~3 000 m。由于这类砂体常与较深海相的钙泥质烃源岩相伴沉积,具有近源成藏优势,是有利的储集体。

总体来说,中国前中生代碎屑岩储层的时代越老,储层就越致密,构造裂缝往往成为控制储层有效性的关键因素。

## 2 震旦纪—早古生代早期(Z—O<sub>2</sub>)洋盆扩张期

在震旦纪—早古生代早期(Z—O<sub>2</sub>),构成中国大陆的主要板块处于离散构造背景下<sup>[15,16]</sup>,各板块之间的洋盆扩张,板块经历海侵作用,一般围绕板块依次发育古陆、台地、斜坡、盆地等构造-沉积单元。在海侵早期,陆块核部一般存在隆起剥蚀区,如震旦纪华北地区的阿拉善陆、鄂尔多斯陆、南方的松潘陆等。随着海侵的持续扩大,各陆块主体均被海水覆盖,以发育台地相碳酸盐岩为特色,如扬子地区广泛分布的震旦系灯影组上部台地潮坪相白云岩、中-上寒武统台地潮坪相和台缘相的白云岩;塔里木地区广泛分布的震旦系奇格布拉克组上部潮坪相白云岩;寒武系柯坪、巴楚、塔中一线广泛发育的局限台地相白云岩;下奥陶统塔中及塔北发育的局限台地相白云岩。华北地台广泛发育台地相白云岩和灰岩、台内滩相鲕状灰岩等。总体来说,华北西部的鄂尔多斯地区比东部的渤海湾地区地势高,遭受同沉积期隆升剥蚀的期次多、时间长,前者岩溶储层较发育(表1;图1)。

表1 震旦纪—中奥陶世洋盆扩张期海相储层主要沉积相类型

Table 1 Main sedimentary facies of marine reservoirs formed during the ocean spreading period from the Sinian to the Middle Ordovician

| 地 层 |    | 地 区    |      |        |        |        |
|-----|----|--------|------|--------|--------|--------|
|     |    | 西北     | 华北   |        | 南方     |        |
| 系   | 统  | 塔里木    | 鄂尔多斯 | 渤海湾    | 中-上扬子  | 下扬子    |
| 奥陶系 | 中统 | 礁滩相    | 白云岩  | 灰(白云)岩 | 灰(白云)岩 | 灰(白云)岩 |
|     | 下统 | 白云(灰)岩 | 隆起剥蚀 | 白云(灰)岩 | 白云岩    | 白云(灰)岩 |
| 寒武系 | 上统 | 灰岩     | 白云岩  | 鲕滩     | 白云岩    | 白云岩    |
|     | 中统 | 灰岩     | 白云岩  | 鲕滩     | 白云岩    | 白云岩    |
|     | 下统 | 白云(灰)岩 | 隆起剥蚀 | 白云(灰)岩 | 白云岩    | 白云岩    |
| 震旦系 | 上统 | 白云岩    | 隆起剥蚀 | 隆起剥蚀   | 白云岩    | 白云(灰)岩 |
|     | 下统 | 滨岸     | 隆起剥蚀 | 隆起剥蚀   | 白云岩    | 白云(灰)岩 |

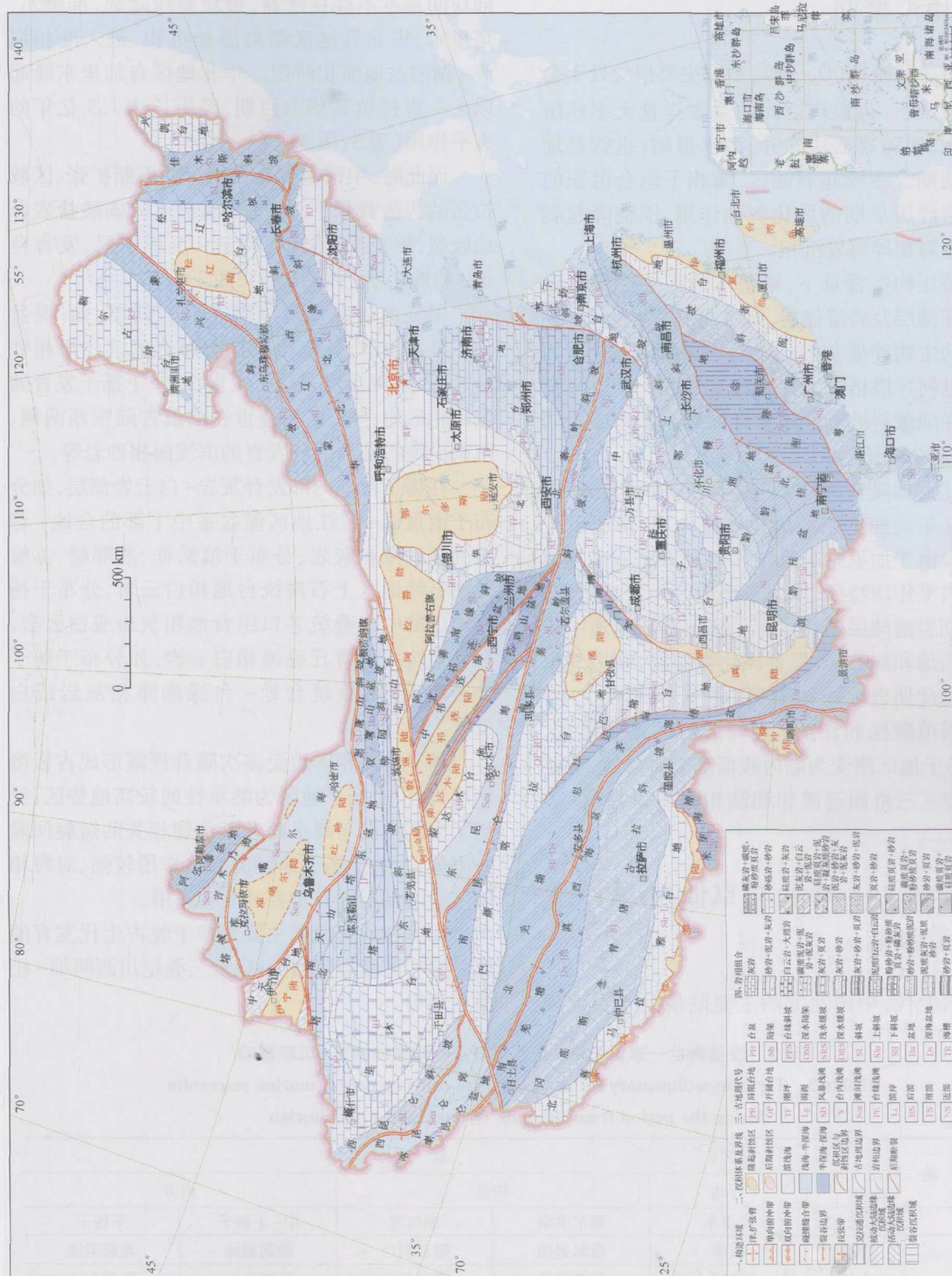


图1 中国中寒武世毛庄期构造-岩相古地理图

Fig. 1 Tectonic-lithofacies palaeogeographical map of China during the Maozhuang stage in the Middle Cambrian

### 3 早古生代晚期( $O_3-S$ )洋盆削减、陆块汇聚期

早古生代晚期( $O_3-S$ ),中国主要板块处于会聚碰撞背景下,各板块之间的主要洋盆大多经历俯冲消减,伴随着陆块隆升、海水退缩,也就是加里东运动期。在隆起剥蚀区,海相下组合沉积的碳酸盐岩经历早期的风化剥蚀作用,围绕隆起剥蚀区发育海相碎屑岩沉积。

在挤压构造背景下,塔里木地区主要发育台缘礁滩相储层及岩溶储层,如塔北及塔中的中-上奥陶统的生物碎屑灰岩;滨岸-三角洲相储层,如早志留世柯坪塔格组发育的滨浅海相砂岩;中-晚奥陶世在陆缘斜坡至盆地发育深海浊积扇砂岩储层,如满加尔坳陷。

华北大部隆升为陆,下古生界碳酸盐岩经历超过1亿年的加里东期风化淋滤作用,形成风化壳储层。由于加里东期风化作用在华北地区具有明显的夷平作用特征,华北东部地区为岩溶低地,加里东期岩溶储层不甚发育。鄂尔多斯盆地中部的岩溶高地和斜坡区,发育风化壳储层,靖边气田的储层与此期岩溶关系密切。

随着滇黔桂和江南-雪峰隆起的逐步形成,中-上扬子地区演变为陆内残留陆表海盆地,主要发育滨岸-三角洲过渡相和陆相碎屑岩储层(表2;图2)。

### 4 晚古生代—中生代早期( $D-T$ )北聚南张期

晚古生代,中国北方的主要陆块处于古亚洲

洋消减关闭、陆块会聚的构造背景下,松辽、华北、柴达木、塔里木等陆块已基本拼合成统一的陆块,陆块间基本不存在洋盆,板块周缘隆起,准噶尔、塔里木、华北等地区结束海相沉积,进入陆相河流-湖泊盆地演化阶段。华北地区自加里东隆起以来一直持续到华力西期,经历长达1.3亿年的夷平作用(表3;图3)。

而此时,中国南方在古特提斯不断扩张、区域拉张的构造背景下,加里东期形成的碳酸盐岩台地破裂,形成“盆包台”构造-沉积格局,发育台地-斜坡-台盆体系(表3;图3)。

围绕古陆发育滨浅海相砂岩储层,如:泥盆纪—早石炭世,环绕滇黔桂粤海湾的滨浅海相砂岩,以及晚泥盆世—早石炭世在中、下扬子发育的滨海相砂岩;早-中三叠世在康滇古陆东西两侧、东南沿海古陆西北缘发育的滨浅海相砂岩等。

在扬子台地内部发育灰岩-白云岩储层,如分布于南盘江-右江地区泥盆系中下部的台地-台缘的丘礁滩相灰岩、分布于滇黔桂、湘鄂赣、苏皖及南秦岭地区上石炭统台地相白云岩、分布于扬子地区的中二叠统茅口组台地相灰岩或白云岩。在台地边缘发育丘礁滩相白云岩,如分布于扬子地区中、下三叠统台地-台缘礁滩相灰岩或白云岩。

扬子台地相区遭受多次隆升裸露形成古岩溶储层,其中上扬子地区为继承性的较高地势区,经历了多期次的与海平面升降密切相关的短旋回隆升剥蚀,因此上扬子地区的岩溶作用较强,对海相碳酸盐岩储层具有重要的改善作用。

深海相砂岩储层主要分布于晚古生代发育的滇黔桂和湘赣裂陷盆地,以及三叠纪川西阿坝-松潘盆地等。

表2 晚奥陶世—志留纪陆块汇聚期对海相储层的构造-沉积影响

Table 2 Tectonic-sedimentary influence of plate convergence on marine reservoirs during the period from the Late Ordovician to the Silurian

| 地 层 |    | 地 区   |      |        |        |      |
|-----|----|-------|------|--------|--------|------|
|     |    | 西北    | 华北   |        | 南方     |      |
| 系   | 统  | 塔里木   | 鄂尔多斯 | 渤海湾    | 中-上扬子  | 下扬子  |
| 志留系 | 顶统 | 滨岸    | 隆起剥蚀 | 隆起剥蚀   | 隆起剥蚀   | 隆起剥蚀 |
|     | 上统 | 滨岸    | 隆起剥蚀 | 隆起剥蚀   | 隆起剥蚀   | 隆起剥蚀 |
|     | 中统 | 滨岸    | 隆起剥蚀 | 隆起剥蚀   | 滨岸、三角洲 | 滨岸   |
|     | 下统 | 滨岸    | 隆起剥蚀 | 隆起剥蚀   | 滨岸     | 滨岸   |
| 奥陶系 | 上统 | 礁滩、滨岸 | 隆起剥蚀 | 白云(灰)岩 | 灰岩     | 灰岩   |

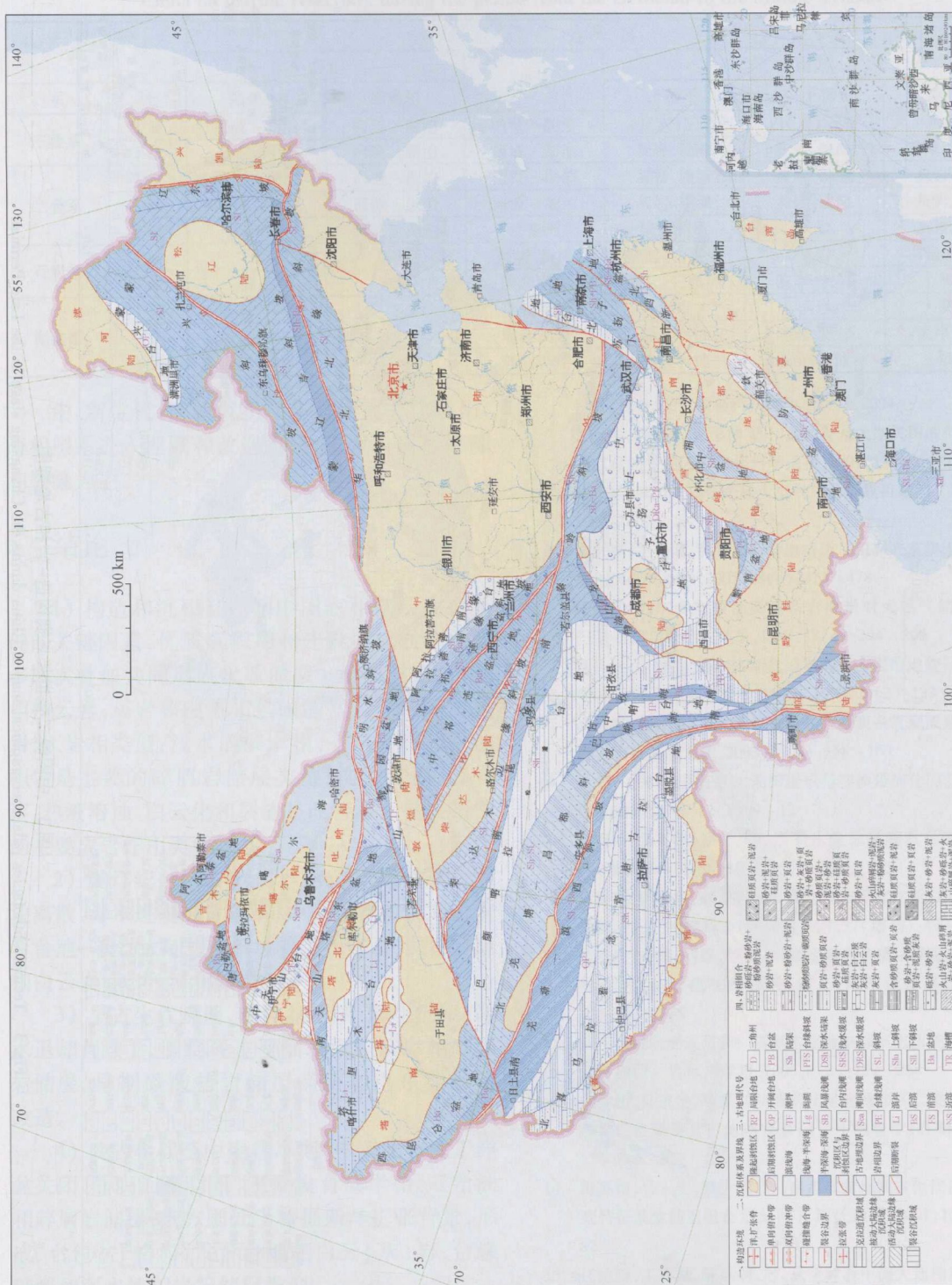


图 2 中国早志留世龙马溪构造-岩相古地理图  
Fig. 2 Tectonic-lithofacies palaeogeographical map of China during the Longmaxi stage in the Early Silurian



表3 泥盆纪—中三叠世北聚南张期对海相储层的构造-沉积影响

Table 3 Tectonic-sedimentary influence of plate convergence in northern China and divergence in southern China on marine reservoirs during the period from the Devonian to the Middle Triassic

| 地 层 |    | 地 区   |       |       |        |        |        |
|-----|----|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
|     |    | 西北    |       | 华北    | 南方     |        |        |
| 系   | 统  | 塔里木   | 准噶尔   |       | 上扬子    | 中-下扬子  | 滇黔桂    |
| 三叠系 | 中统 | 河流-湖泊 | 河流-湖泊 | 河流-湖泊 | 白(灰)云岩 | 白(灰)云岩 | 浊积扇    |
|     | 下统 | 隆起、河流 | 河流-湖泊 | 河流-湖泊 | 灰岩、礁滩  | 灰岩、礁滩  | 礁滩、浊积扇 |
| 二叠系 | 上统 | 河流-湖泊 | 河流-湖泊 | 河流-湖泊 | 灰岩、礁滩  | 灰岩、礁滩  | 灰岩、礁滩  |
|     | 中统 | 河流-湖泊 | 河流-湖泊 | 河流-湖泊 | 灰岩、礁滩  | 灰岩、礁滩  | 灰岩、礁滩  |
|     | 下统 | 三角洲   | 河流-湖泊 | 三角洲   | 隆起剥蚀   | 灰岩     | 灰岩、礁滩  |
| 石炭系 | 上统 | 三角洲   | 滨岸    | 灰岩、滨岸 | 隆起、白云岩 | 灰岩     | 白云岩、礁滩 |
|     | 下统 | 滨岸    | 滨岸    | 隆起剥蚀  | 隆起、三角洲 | 滨岸、灰岩  | 灰岩     |
| 泥盆系 | 上统 | 隆起、滨岸 | ?     | 隆起剥蚀  | 滨岸     | 滨岸     | 灰岩     |
|     | 中统 | 隆起、滨岸 | ?     | 隆起剥蚀  | 隆起剥蚀   | 隆起、滨岸  | 滨岸、灰岩  |
|     | 下统 | 隆起、滨岸 | ?     | 隆起剥蚀  | 隆起剥蚀   | 隆起剥蚀   | 滨岸     |

中、新生代,海相沉积逐步向西南方向退出,海相层系进入埋藏和改造阶段,以发育次生孔隙和裂缝为主。

## 5 结论

1) 构造和沉积是控制中国海相储层发育条件的关键因素,优质沉积相和建设性成岩作用的多期次叠加共同形成优质储层。沉积方面,台地相白云岩、灰岩和礁滩相是碳酸盐岩储层的主要岩性、岩相类型,浅水的滨岸相、三角洲和深水浊积岩是主要的碎屑岩储层类型;构造方面,古岩溶、热液溶蚀、白云化和裂缝是改善海相储层条件的主要成岩作用类型。

2) 震旦纪—早古生代早期,在洋盆扩张、陆块离散、海水进侵的背景下,中国主要陆块周边发育台地-被动大陆边缘斜坡等沉积体系,发育台地相白云岩、灰岩、滩相储层。

3) 早古生代晚期,在洋盆削减、陆块汇聚、海水退却背景下,围绕各主要陆块沉积滨岸相碎屑岩储层,早期碳酸盐岩储层经历加里东期岩溶改造。

4) 晚古生代至中生代早期,中国北方处于洋盆关闭、陆块汇聚背景,主要发育滨岸相、三角洲相碎屑岩储层;南方则处于特提斯洋扩张背景,形成“台包盆”格局,发育台地相白云(灰)岩、台缘礁滩和深水浊积岩等储层类型。

## 参 考 文 献

1 康玉柱,张希明,孟繁莹,等. 中国塔里木盆地塔河大油田

[M]. 乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,2004

- 2 马永生,蔡勋育,郭彤楼. 四川盆地普光大型气田油气充注与富集成藏的主控因素[J]. 科学通报,2007,52(增刊):149~155
- 3 马永生. 四川盆地普光超大型气田的形成机制[J]. 石油学报,2007,28(2):1~7
- 4 吴永平,王允诚. 鄂尔多斯盆地靖边气田高产富集因素[J]. 石油与天然气地质,2007,28(4):473~478
- 5 吴照纯. 鄂尔多斯南部奥陶系岩溶带对天然气储层的控制[J]. 石油与天然气地质,1997,18(4):294~299
- 6 夏日元,唐健生. 鄂尔多斯盆地奥陶系古岩溶地貌及天然气富集特征[J]. 石油与天然气地质,1990,20(2):133~136
- 7 徐国盛,赵昇华. 川东开江古隆起区石炭系气藏成藏机理剖析[J]. 石油实验地质,2003,25(2):158~163
- 8 王定一,梁苏娟. 任丘大油田形成与变换带演化[J]. 石油与天然气地质,2001,22(1):9~12
- 9 顾家裕,张兴阳,罗平,等. 塔里木盆地奥陶系台地边缘生物礁、滩发育特征[J]. 2005,26(3):277~283
- 10 马永生,郭彤楼,赵雪凤,等. 普光气田深部优质白云岩储层形成机制[J]. 中国科学(D辑),2007,37(增刊):43~52
- 11 李延钧,刘麟,刘臣,等. 四川盆地南部纳溪-塘河地区下三叠统嘉陵江组含硫气藏成因[J]. 天然气地球科学,2007,18(5):732~736
- 12 魏伟,李剑,王宏亮,等. 塔里木盆地东部下志留统下砂岩段储层特征[J]. 古地理学报,2006,8(2):259~268
- 13 梅冥相,马永生,邓军,等. 滇黔桂盆地及邻区二叠系乐平统层序地层格架及其古地理背景[J]. 中国科学(D辑),2007,37(5):605~617
- 14 梅冥相,马永生,戴少武,等. 南盘江盆地晚古生代盆地充填序列特征及生储盖组合划分[J]. 现代地质,2001,15(1):74~82
- 15 任纪舜,王作勋,陈炳蔚,等. 从全球看中国大地构造——中国及邻区大地构造图简要说明[M]. 北京:地质出版社,1999
- 16 王鸿祯. 中国古地理图集[M]. 北京:地图出版社,1985

(编辑 陈喜禄)