

## 渤海及周边地区早古生代岩相古地理

袁立<sup>1</sup>, 姚君波<sup>1</sup>, 温宏雷<sup>1</sup>, 黄志发<sup>2</sup>, 刘栋<sup>3</sup>

1 中海石油(中国)有限公司天津分公司渤海石油研究院; 2 成都理工大学沉积地质研究院;

3 中国石油冀东油田勘探开发研究院

**摘要** 根据古郯庐断裂两侧地块分布特征,渤海及周边地区早古生代具有南北高、中间低的古地理格局,以清水碳酸盐沉积为主。基于钻井岩心、薄片及露头观察,总结了典型沉积相标志,认为区内发育近岸潮坪相、局限台地相和开阔台地相等3类沉积相,台内洼地、灰泥丘、台内滩、潟湖、台坪等5类沉积亚相,以及9类沉积微相。在寒武系和奥陶系沉积相划分与精细对比的基础上,刻画了渤海及周边地区早古生代4个典型沉积时期的岩相古地理:受二级海平面升降、构造沉降和古地形的影响,早寒武世靠近(水下)古隆起区发育近岸潮坪相,中部局限台地—开阔台地发育;中寒武世厚层鲕粒滩广泛发育;晚寒武世—早奥陶世广泛发育局限台地白云岩坪、石灰岩坪;中奥陶世广泛发育开阔台地相台内洼地泥晶灰岩沉积。

**关键词** 岩相古地理; 沉积演化; 古生代; 渤海海域; 华北地台

**中图分类号**: TE121.1

**文献标识码**: A

### 0 前言

渤海海域下古生界的油气地质研究和勘探程度一直相对较低,随着油气勘探由浅层向深层、由常规向非常规拓展,对渤海海域潜山地层、岩相、古地理等方面基础性地质研究的需求日益增加。近年来渤海海域陆续发现若干大型前古近系潜山油气藏,显示出潜山领域具备良好的勘探前景。下古生界海相地层经历多期构造运动,具有形成风化壳岩溶储层的优势,是渤海未来油气稳产的战略接替领域。

渤海海域潜山钻井分布局限,揭示层位不全,潜山地震资料品质不高,这些是研究下古生界海相地层岩相古地理面临的主要困难。诸多关于早古生代岩相古地理的研究,如冯增昭等<sup>[1-2]</sup>的华北地台早古生代岩相古地理研究,林玉祥等<sup>[3]</sup>基于层序地层学理论的华北地台东部中奥陶世三级层序划分和岩相古地理编图,均未涉及到渤海海域,这除了与海域资料不全有关外,也可能与下古生界边界存在争议有关。部分学者持有古郯庐断裂发生过平移的观点,把古郯庐断裂作为华北地台的

东部边界,因此对郯庐断裂以东区域没有编制岩相古地理图,如李君文<sup>[4]</sup>以超层序体系域为编图单元编制的超层序岩相古地理图,王书荣<sup>[5]</sup>对河北一带的奥陶系和寒武系进行层序划分并以其为单元编制的岩相古地理图。

本项研究的环渤海湾潜山地层野外勘查,共观察剖面61条,获取野外照片1500余张,后续又补充收集了区域地质志资料6份,形成一套较全的环渤海下古生界岩石学资料。笔者利用渤海海域钻井资料和这些露头资料,开展了下古生界寒武系和奥陶系沉积相、沉积微相的精细分析,总结了早古生代沉积特征及控制因素,建立了渤海及周边下古生界沉积演化模式,编制了4个不同时期的岩相古地理图,填补了渤海海域下古生界岩相古地理研究的空白。

### 1 早古生代沉积背景

早古生代华北地台为近东西向的陆表海台地<sup>[6]</sup>,位于赤道以北的低纬度位置,推测海侵方向有:北部来自古亚洲洋,西南部来自古秦岭洋,东南部来自古华南洋<sup>[6]</sup>。早古生代渤海及周边地区具有南北高、中

收稿日期: 2017-10-20; 改回日期: 2018-08-01

本文受国家科技重大专项课题“渤海海域勘探新领域及关键技术研究”(编号:2016ZX05024-003)资助

**第一作者**: 袁立,地质工程师,2014年毕业于成都理工大学,获硕士学位,主要从事沉积储层研究。通信地址: 300452 天津市滨海新区海川路2121号B座; E-mail: 693190097@qq.com

间低,多岛隆的复杂地理格局(图1):北部有燕北古隆起,南部存在鲁苏水下古隆起,鲁东地区、辽东地

区也存在由早期的正向构造单元<sup>[7]</sup>演化而来的水下古隆起,总体上以清水碳酸盐沉积为主。



图1 渤海及周边地区早古生代古隆起及下古生界资料点分布图(古隆起据文献[6-7]综合编绘)

关于古郯庐断裂对研究区块体、地层的影响,宜从地质演化过程来分析。通过分析前人对古郯庐断裂的性质和时代、古地块的分布、古隆起及海侵方向的研究成果,认为太古宙—古元古代在陆内岩浆作用、持续裂谷事件后<sup>[8]</sup>,古郯庐断裂两侧的华北块体与胶辽朝块体,作为2个不同的地块发生上下错动,导致了西侧华北块体的元古宇缺失,而东侧胶辽朝块体的地层完整。震旦纪末发生准平原化作用后,华北地台地势趋于平缓,形成平缓稳定的克拉通盆地及海相沉积建造<sup>[9]</sup>,早寒武世华北地台开始接受几乎相同环境的碳酸盐沉积<sup>[10]</sup>,古郯庐断裂两侧总体上具有大致相同的沉积背景。

## 2 下古生界沉积相

渤海及周边地区寒武系自下而上发育下寒武统府君山组、馒头组、毛庄组,中寒武统徐庄组、张夏组,

上寒武统崮山组、长山组、凤山组;奥陶系自下而上发育下奥陶统冶里组、亮甲山组,中奥陶统下马家沟组、上马家沟组,中奥陶统峰峰组—上奥陶统缺失。

### 2.1 沉积相划分方案

研究区早古生代以清水碳酸盐沉积为主,受潮汐作用的影响小,其主要动力来源是波浪和风暴浪。基于钻井岩心、薄片及野外露头观察,开展了寒武系、奥陶系沉积特征的详细研究。本区的沉积相划分方案见表1:沉积相包括近岸潮坪相、局限台地相和开阔台地相等3类;沉积亚相包括台内洼地、灰泥丘、台内滩、潟湖和台坪等5类;沉积微相包括静水灰泥、生物丘灰岩、藻屑滩、砂屑滩、生物碎屑滩、白云质潟湖、灰质潟湖、白云岩坪和石灰岩坪等9类。进一步总结了10类典型的沉积相标志及其在各地区的分布(表2)。典型沉积相标志见图2、图3。

**局限台地相** 水深在正常浪基面之下,水体循环受限。除了障壁岛的阻碍可以形成局限环境外,如果台地非常广,而其上水体又很浅(不超过10 m),这种情况下水体交换非常受限也能形成局限海<sup>[11]</sup>。局限台地相贫氧或缺氧,其盐度多高于正常海盐度,其中碳酸盐台坪亚相位于正常浪基面附近(主要在浪基面之下),由于水深以及蒸发强弱等环境差异而大量发育白云岩坪(图3h)、石灰岩坪等不同微相。在渤南B21-1区发育纹层状泥晶白云岩、膏质白云岩等。局限台地中发育一种特殊的风暴成因岩石:风暴沉积常见于30 m水深处,介于正常浪基面与风暴浪基面之间,具有能量大、持续时间短的特点;以寒武系长山组B28-8D井角砾灰岩为例,风暴卷起、打碎台地中未固结的石灰岩形成角砾并在滩附近沉降,由于出露水面而形成红色氧化圈(图2a)。局限海台内滩,系盆地中未固结或弱固结的沉积内碎屑

颗粒,经波浪和潮汐等水流的冲刷、破碎、磨蚀、搬运,再沉积到局限环境中形成。局限台地中的潟湖是地势较低、被台坪和滩岛所阻隔的地区,潟湖为还原-低能-缺氧的环境,只有种类不多的蓝藻、腹足、双壳等广盐度生物适合生存。

表1 渤海及周边地区下古生界沉积相类型

沉积相	亚相	微相(岩相)
近岸潮坪	潮上	石灰岩坪、泥坪、砂坪、砂泥坪、膏坪、白云岩坪、膏盐湖
	潮间	
	潮下	
局限台地	台坪	石灰岩坪、白云岩坪、泥质灰岩坪、泥质白云岩坪
	潟湖	灰质潟湖、白质潟湖
	台内滩	生物碎屑滩、砂屑滩、鲕滩、风暴灰岩浅滩、复合颗粒滩
开阔台地	台内滩	生物碎屑滩、砂屑滩、鲕滩、复合颗粒滩
	灰泥丘	生物丘灰岩
	台内洼地	静水灰泥

表2 渤海及周边地区下古生界典型沉积相标志

相标志	沉积相	沉积亚相/微相	井名	层位
变形-泄水构造	局限台地	台内滩	B28-6D、B28-8D	奥陶系上马家沟组、寒武系
干化角砾 干裂构造	局限台地 近岸潮坪		X17、C2-3A	奥陶系下马家沟组、亮甲山组
层纹石	局限台地 近岸潮坪		C2-2、X17	奥陶系下马家沟组
纹层结构	局限台地	台坪、潟湖	C2-2、X17、B22-2、B28-6D	奥陶系上马家沟组、下马家沟组、亮甲山组、冶里组
生物扰动构造	开阔台地		X17、B28-6D、B28-8D、X12-1	奥陶系上马家沟组、寒武系
鸟眼构造	近岸潮坪		B28-6D	奥陶系上马家沟组
角砾红色氧化边	局限台地 近岸潮坪	风暴沉积 潮上	B28-8D	寒武系长山组
粉晶-粗晶灰岩	开阔台地		C2-2、S36-2D	奥陶系下马家沟组
生物碎屑 泥晶灰岩	开阔台地	灰泥丘、台内滩	NP1-9、B21-1、S36-2D、C2-2、X12-1、X17、B28-6D	奥陶系上马家沟组
亮晶鲕状结构 竹叶状灰岩	开阔台地	台内滩	B28-8D、C30-1、S36-2D	寒武系

**开阔台地相** 水深在正常浪基面之下,水体循环良好,海底富氧,明显区别于局限台地相的是含有狭盐度生物,如珊瑚、海绵类、苔藓虫、层孔虫、腕足类、三叶虫、棘皮类、头足类、有孔虫等。开阔台地相包括台内滩、灰泥丘(图2g)和台内洼地(图3b)亚相。开阔海台内滩,形成于高能水动力环境,在台地内的高部位沉积,如图3e、3f所示鲕粒灰岩、砂屑灰岩。

**近岸潮坪相** 按照平均高/低潮面分为潮上、潮下和潮间,常伴有陆源碎屑物质输入,黄色砂岩、紫色

页岩、土黄色粉晶白云岩等岩相在研究区下寒武统大量发育。如山东莱芜剖面馒头组黄绿色、紫红色页岩(图2e、2f)为近岸潮坪沉积,伴有短暂暴露和蒸发环境的标志,如图3c、3d所示的鸟眼构造和硬石膏。

2.2 沉积相分析

在单井、露头沉积相和沉积微相划分的基础上,选择典型井和露头剖面开展寒武系、奥陶系沉积相精细对比分析。从沉积相对比图(图4,图5)可以看出:山东长清剖面,寒武系台内滩和台坪发



育,且厚度相对渤海海域要大;北京下苇甸剖面多发育开阔台地和台内滩,少见白云岩坪;海域的渤南-渤中地区寒武系以台坪为主,水体更为局限,而向东到辽西地区水体则逐渐变得开阔,以泥晶

灰岩沉积为主。从图5可见,奥陶纪水体整体变深,除了山东新-博剖面以台内滩和台坪为主外,其他地区下奥陶统以局限台地为主,中奥陶统以开阔台地为主。



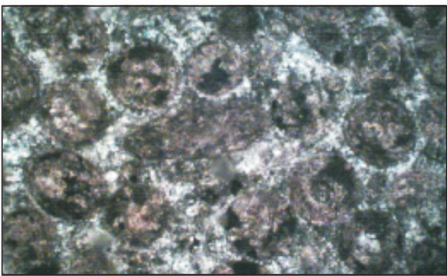

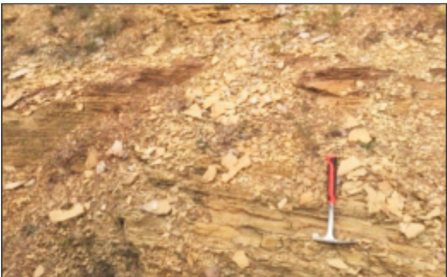



局限台地 风暴沉积	 <p>(a) 角砾灰岩,边缘具红色氧化圈。B28-8D井3461.2 m,上寒武统长山组。岩心</p>  <p>(b) 粉晶白云岩,刀砍纹构造。上寒武统凤山组,山东莱芜剖面</p>
开阔台地 鲕滩沉积	 <p>(c) 鲕粒灰岩。中寒武统徐庄组,河北韩城剖面。单偏光,×100</p>  <p>(d) 鲕粒灰岩。中寒武统张夏组,山东莱芜剖面</p>
近岸潮坪 沉积	 <p>(e) 黄绿色页岩。下寒武统馒头组,山东莱芜剖面</p>  <p>(f) 紫红色钙质页岩。下寒武统馒头组,山东莱芜剖面</p>
开阔台地 石灰岩沉积	 <p>(g) 石灰岩。下寒武统府君山组,河北抚宁剖面</p>  <p>(h) 生物碎屑灰岩。中寒武统张夏组,河北石岭村剖面</p>

图2 渤海及周边地区寒武系典型沉积相标志照片



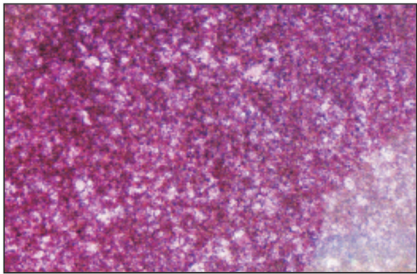
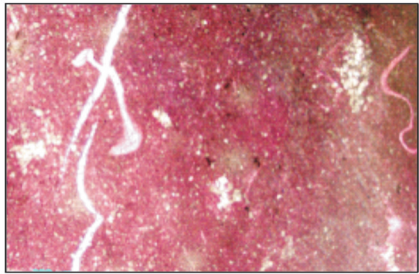

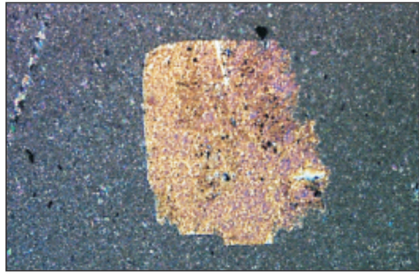
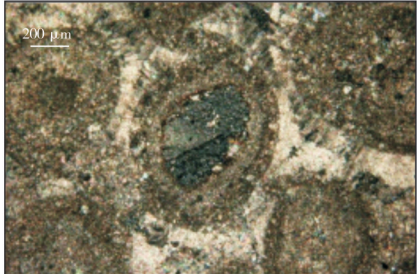
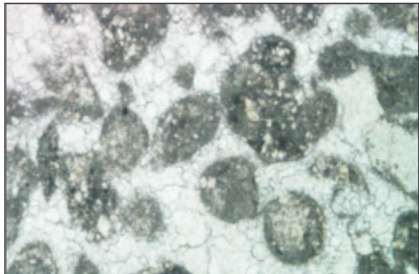


开阔台地沉积	 (a) 泥晶灰岩, 轻微白云石化。X17井3 308 m, 中奥陶统上马家沟组。单偏光, × 100	 (b) 泥晶灰岩。B22-2井4 440 m, 中奥陶统下马家沟组。单偏光, × 100
近岸潮坪沉积	 (c) 鸟眼构造。B28-6D井3 486 m, 中奥陶统上马家沟组。岩心	 (d) 硬石膏。X17井3 367 m, 中奥陶统上马家沟组。正交光, × 100
台内滩沉积	 (e) 鲕粒灰岩。X17井3 371 m, 中奥陶统上马家沟组。	 (f) 砂屑灰岩。B21-1井4 400 m, 中奥陶统下马家沟组。单偏光, × 100
局限台地白云岩坪沉积	 (g) 含燧石结核白云岩。下奥陶统冶里组, 辽宁金州剖面	 (h) 泥粉晶白云岩。下奥陶统亮甲山组, 辽宁金州剖面

图3 渤海及周边地区奥陶系典型沉积相标志照片

2.3 沉积控制因素及演化

沉积相类型受海平面变化、构造升降及碳酸盐岩建造变化等多种因素的影响和制约。二级海平面升降、构造沉降共同控制着早古生代沉积旋回的

特征。中元古代的大冰盖覆盖了从高纬度极地到低纬度赤道的所有地区<sup>[12]</sup>。早寒武世由于地幔CH<sub>4</sub>等温室气体逸出,地表气候转暖,促使冰川融化,海平面缓慢上升,华北地台被海水覆盖,间歇出露海

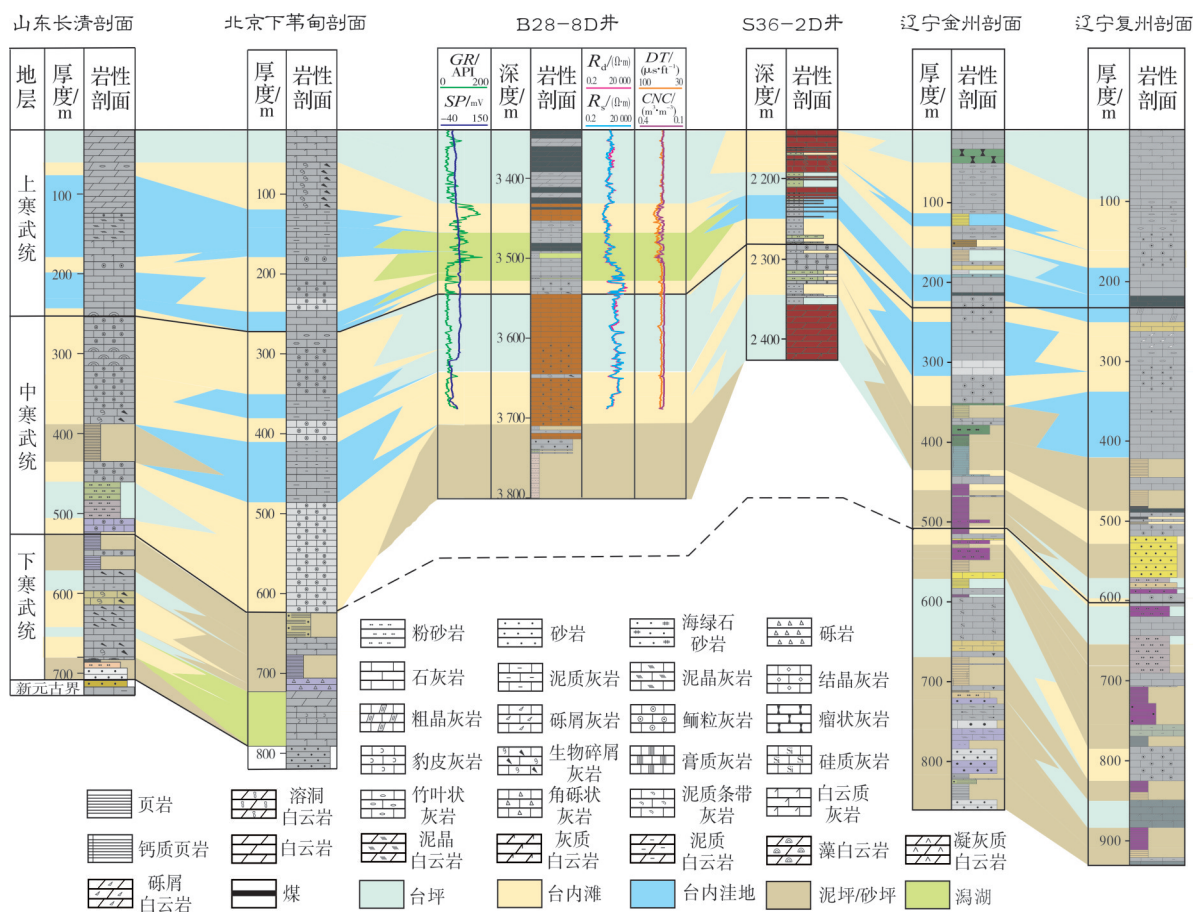


图4 渤海及周边地区寒武系沉积相精细划分与对比

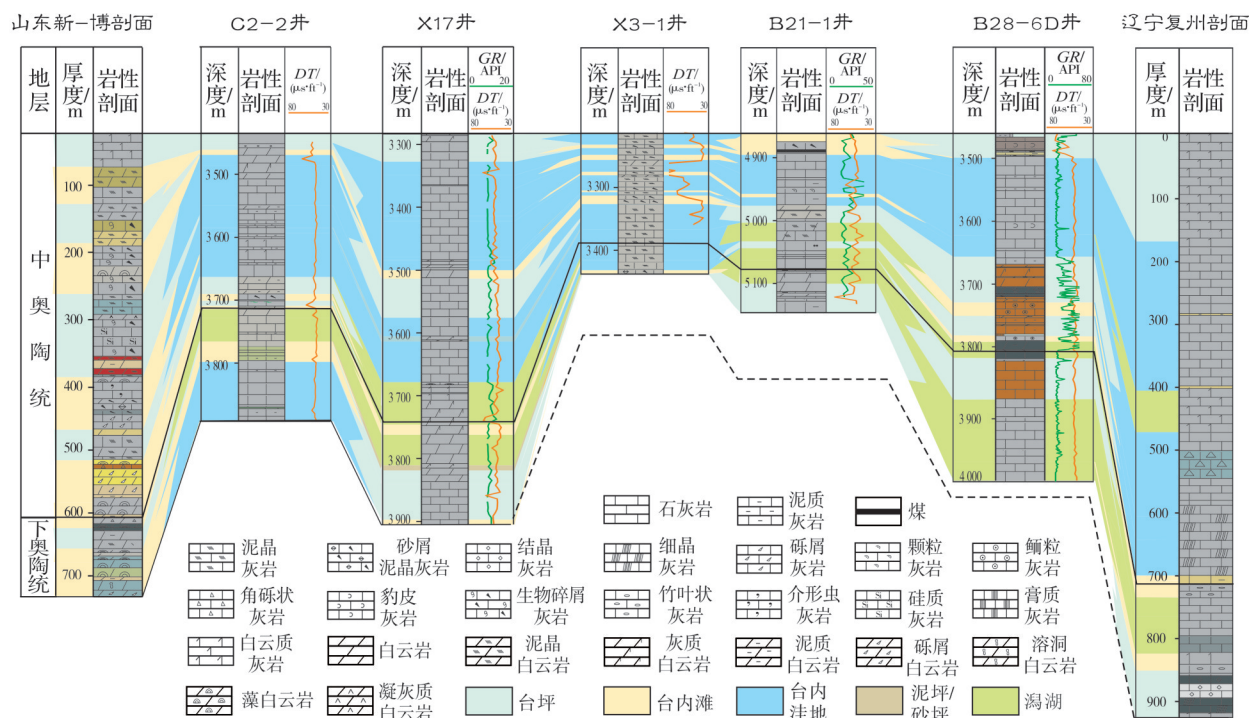


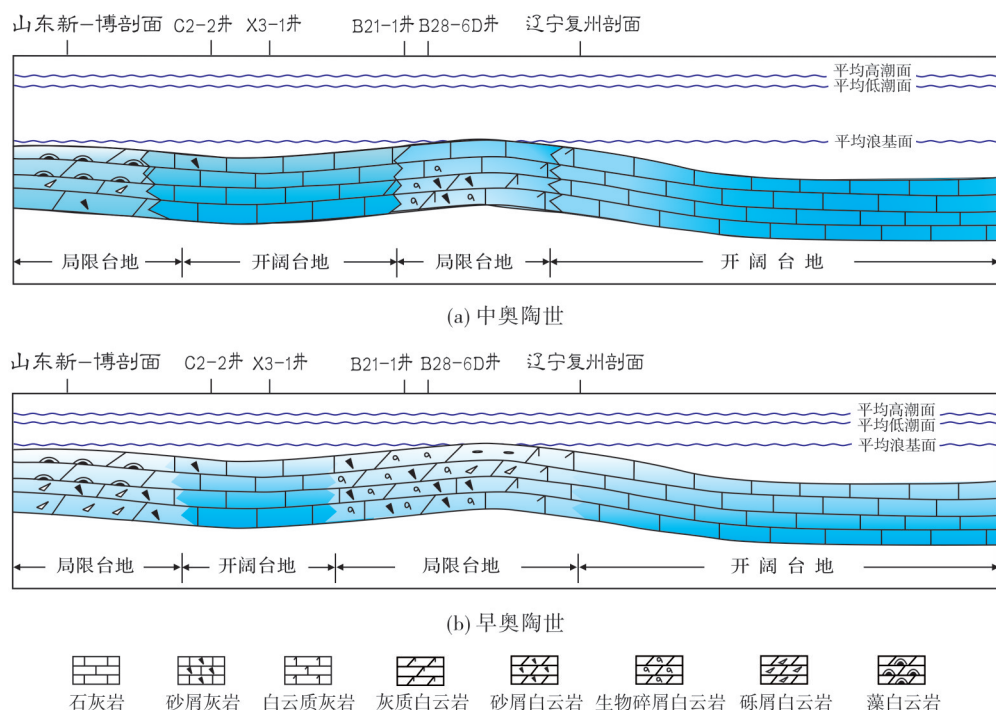
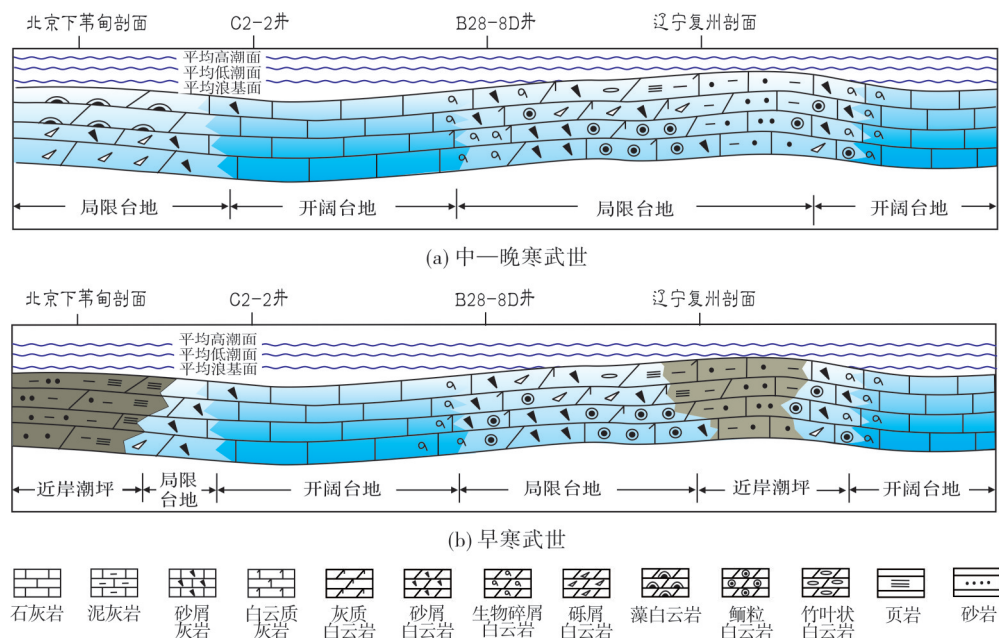
图5 渤海及周边地区奥陶系沉积相精细划分与对比



面则形成了暴露成因的潮坪相砂泥沉积(图6)。中寒武世海水继续缓慢上升,但怀远运动造成地台整体缓慢隆升,引起地台内部海水变浅。晚寒武世到中奥陶世气候温暖,海平面较低且保持缓慢上升(图7)。由于华北台地内部地形平坦,并且远离深海洋盆,加之气候干热,造成了台地内部海水蒸发量大<sup>[13]</sup>。随着

海水持续不断浓缩,盐度增大,各地长山组—冶里组均出现不同程度的白云石化,形成一套较纯的厚层白云岩。早古生代华北地台通常整体发生稳定的上升和下降运动,形成平面上分布稳定的碳酸盐岩。

水动力条件和古地貌控制着次级(三级或四级)旋回的沉积特征。早古生代华北地台处于北半球低





纬度,从极地方向顺时针流动的寒流与热气流交汇,引起风暴频发,受月球引力影响又常引发潮汐,从而形成强水动力环境。频繁的潮汐日往返距离可达数百千米,因此动荡水环境成因的竹叶状灰岩、鲕粒灰岩十分发育。地台平坦辽阔的古地貌特点,决定了大部分地区中寒武统一上寒武统发育鲕粒灰岩<sup>[14]</sup>。

### 3 岩相古地理演化

在渤海及周边地区寒武系和奥陶系露头、岩心观察和沉积相类型识别的基础上,总结了寒武纪和奥陶纪的沉积相及演化规律,编制了全区关键时期的岩相古地理图。

#### 3.1 编图原则和方法

本次编制的岩相古地理图,总体上具有2个特点:一是利用了定量多信息古地理重建,二是每一个古地理单元的划分和确定都有确切的定量资料和定量图件作为依据。笔者统计了渤海及周边露头寒武系和奥陶系各组3类岩性(准同生白云岩、颗粒灰岩、陆源碎屑岩)的厚度等资料,计算得到各期不同岩性含量分布趋势等单因素图,综合单井微相分析、沉积演化、单因素分析等3个方面,以世为单位编制了华北地台东部岩相古地理图(图8),包括距今54亿年至32亿年期间的早寒武世、中寒武世、晚寒武世一早奥陶世、中奥陶世。这套图件,填补了渤海海域早古生代岩相古地理研究的空白。

对于岩相古地理具体相带的确定,主要依据冯增昭教授等<sup>[1]</sup>的划分标准。对台坪亚相进一步细分:准同生白云岩含量 $\geq 50\%$ 的沉积,定义为白云岩坪;石灰岩含量 $\geq 50\%$ 的沉积,定义为石灰岩坪;具有潮坪沉积特征、且准同生白云岩含量与黏土岩含量之和 $\geq 50\%$ 的沉积,定为泥质白云岩坪。(台内)滩,一般处于水下隆起或高地,其顶面位于浪基面之上,水体能量高,通常由亮晶方解石胶结的颗粒岩石组成,把颗粒含量 $\geq 30\%$ 的沉积定义为滩。

#### 3.2 各时期岩相古地理

早寒武世相对海平面下降,研究区北部(靠近燕北古隆起)、南部和辽东地区(水下古隆起发育),发育近岸潮坪相(图8a),在山东莱芜剖面中见到具有黄绿色页岩(图2e)、紫红色钙质页岩(图2f)、砂岩等暴露标志的陆源碎屑岩;向中部海水逐渐变深,渤海以南靠近水下古隆起发育局限台地;研究区中部广大

地区开阔台地台内滩和台内洼地灰泥丘发育。

中寒武世继承了前期的古地理格局,在相对海平面上升且较长期受动荡强水动力潮汐的影响下,厚层鲕粒滩普遍发育(图8b),局限台地内白云岩坪与台内滩交替,开阔台地内台洼灰泥和台内滩交替。

晚寒武世一早奥陶世相对海平面缓慢下降,局限台地范围扩大(图8c),覆盖了辽东地区,以大规模白云岩坪发育为特征;渤海以西及海域中部开阔台地发育,以台内洼地为主,台内滩的发育相对有限。

中奥陶世以持续海侵为主,至上马家沟期海侵规模达到最大,开阔台地大规模发育(图8d),由于台地大多数沉没于平均浪基面以下,沉积机制上以藻菌类等浮游动物沉降而形成碳酸盐为主,区内台内洼地泥晶灰岩广泛发育,仅研究区北部和南部发育局限台地。

#### 3.3 重建岩相古地理的意义

恢复重建早古生代岩相古地理,对于开展下古生界烃源岩、储层分布研究和油气勘探评价均有重要意义:

(1)渤海及周边地区奥陶系是潜在的烃源岩层系。中国已发现众多自生自储型碳酸盐岩大中型油气田<sup>[15]</sup>,表明开阔台地相可具有生烃能力。渤海湾盆地断裂发育,有效地沟通了烃源岩,古生界在垂向上形成了多套生储盖组合,已发现苏桥自生自储型油气藏、千米桥下生上储型油气藏<sup>[16-17]</sup>。研究区中一下奥陶统局限台地,具有水体低能、底水缺氧,以及微体生物特别是藻类发育的特点,例如渤海西部海域奥陶系上马家沟组顶部、下马家沟组顶部、亮甲山组、冶里组发育白云质潟湖、灰质潟湖,属局限海还原环境,生物死亡后可以得到良好的保存,具有形成有效烃源岩的有利条件。

(2)白云岩和石膏发育的层段往往形成良好的储集层段。寒武系凤山组—崮山组白云岩坪和台内滩发育的白云岩,粒间溶孔或晶间孔发育,往往形成潜山内幕顺层岩溶储层。以渤海海域B28-1晚生古储型油气藏<sup>[17]</sup>为例:中下奥陶统白云岩储层,储集空间包括晶间孔、晶间溶孔、粒间溶孔和晚期的构造缝、少量溶蚀缝,孔隙度多分布在 $1.8\% \sim 4.7\%$ 之间,渗透率多分布在 $(124 \sim 378) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间,反映出中低孔中渗特征;从储层孔缝的纵向分布看,中下奥陶统白云岩储层孔隙较大,储层裂缝也较下寒武统发育。奥陶系石灰岩风化壳,经过漫长地史中的多期

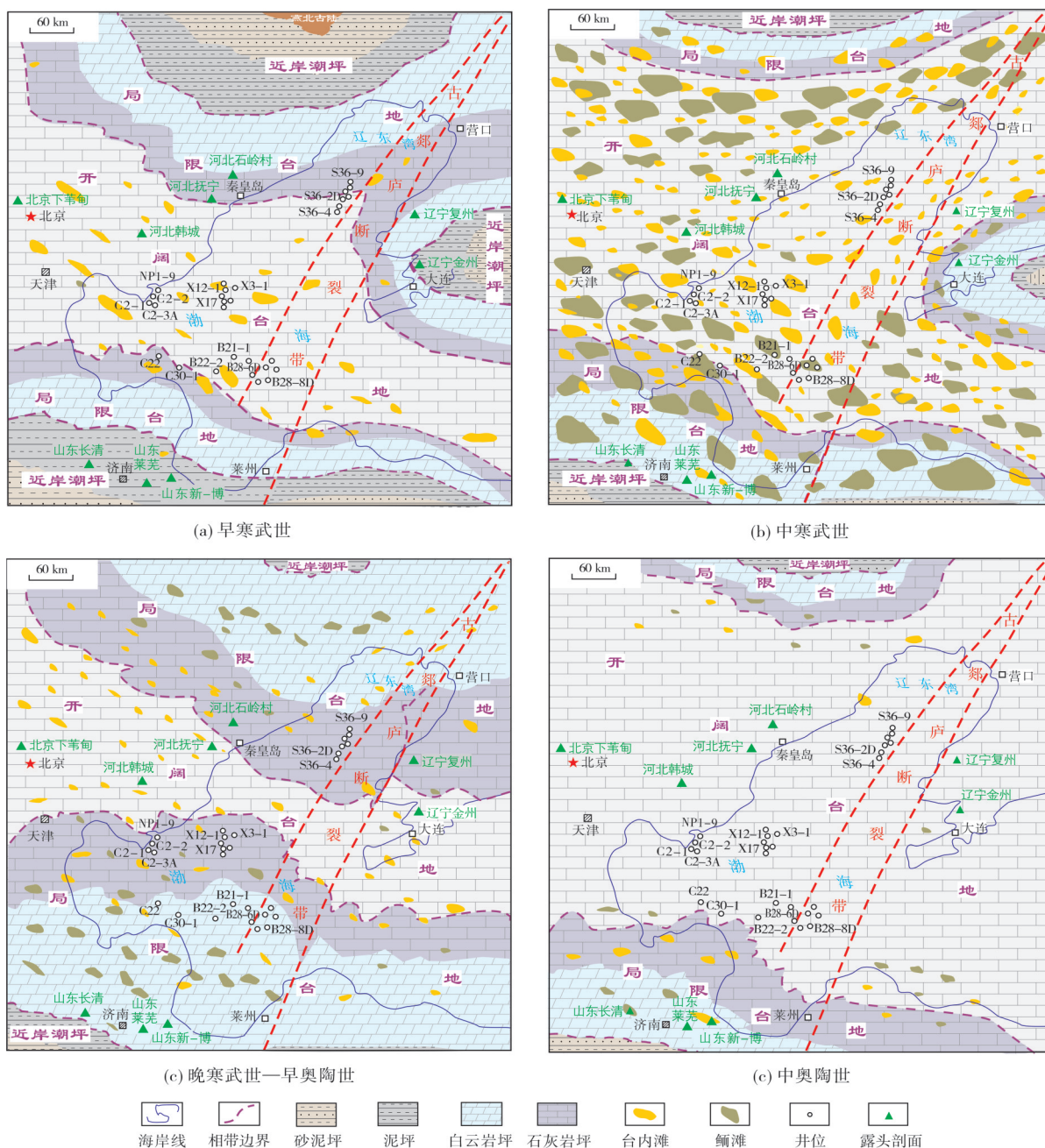


图8 渤海及周边地区早古生代岩相古地理图

风化淋滤作用,可形成粒间溶孔、溶洞等储集空间<sup>[18]</sup>,也可成为潜力储层。

(3)在盖层良好的条件下,中深层的高温高压有利于轻质油、天然气的赋存。因此,下古生界是寻找大中气田的有利层系。

## 4 结论

(1)渤海及周边地区早古生代具有南北高、中间低的古地理格局,以清水碳酸盐沉积为主。区内

发育近岸潮坪相、局限台地相和开阔台地相等3类沉积相,台内洼地、灰泥丘、台内滩、潟湖、台坪等5类沉积亚相,以及9类沉积微相。

(2)基于沉积相精细划分和对比,刻画了渤海及周边地区早古生代寒武纪—奥陶纪4个时期的岩相古地理。受二级海平面升降、构造沉降和古地形的共同影响,其演化特点为:早寒武世靠近燕山古隆起的地区以及水下古隆起区,发育近岸潮坪相,中部局限台地—开阔台地发育;中寒武世相对海平面上升,受

长期动荡强水动力影响,厚层鲕粒滩广泛发育;晚寒武世—早奥陶世相对海平面下降,局限台地广泛发育,以大规模发育白云岩坪为特征;中奥陶世持续海侵,广泛发育开阔台地相台内洼地泥晶灰岩沉积。

(3)渤海及周边地区下古生界是寻找大中气田的有利层系。奥陶系局限台地相潟湖发育潜在的烃源岩,寒武系、奥陶系内幕白云岩和台内滩以及奥陶系古风化壳,具有发育优质储层的条件。

#### 参考文献

- [1] 冯增昭,彭勇民,金振奎,等. 中国寒武纪和奥陶纪岩相古地理[M]. 北京: 石油工业出版社,2004: 112-119.
- [2] 冯增昭,陈继新,张吉森,等. 鄂尔多斯地区早古生代岩相古地理[M]. 北京: 地质出版社,1998: 2-8.
- [3] 林玉祥,朱传真,赵承锦. 华北地台东部中奥陶世岩相古地理特征[J]. 石油实验地质,2016,38(5): 559-562.
- [4] 李君文. 环渤海湾地区下古生界层序岩相古地理特征及演化[D]. 成都: 成都理工大学,2007: 90-94.
- [5] 王书荣. 渤海湾及邻区奥陶纪岩相古地理研究[D]. 青岛: 山东科技大学,2009.
- [6] 周小进,倪春华,杨帆,等. 华北古生界原型-变形构造演化及其控油气作用[J]. 石油与天然气地质,2010,31(6): 779-781.
- [7] 郭玉贵,王红霞. 黄海及邻区震旦纪—三叠纪构造古地理及深部构造重磁研究[M]. 北京: 地质出版社,2004: 139.
- [8] 翟明国,胡波,彭澎,等. 华北中—新元古代的岩浆作用与多期裂谷事件[J]. 地学前缘,2014,21(1): 101-102.
- [9] 崔盛芹,李锦蓉,孙家树. 华北陆块北缘构造运动序列及区域构造格局[M]. 北京: 地质出版社,2000: 32-36.
- [10] 乔秀夫,张安棣. 华北块体、胶辽朝块体与郯庐断裂[J]. 中国地质,2002,29(4): 338-341.
- [11] 金振奎,石良,高白水,等. 碳酸盐岩沉积相及相模式[J]. 沉积学报,2013,31(6): 966-967.
- [12] 威尔逊 J L. 地质历史中的碳酸盐相[M]. 冯增昭,等译. 北京: 地质出版社,1981: 365.
- [13] 袁立,姚君波,李国蓉,等. 四川盆地中—上寒武统层序地层划分与沉积模式[J]. 海相油气地质,2013,18(3): 19-28.
- [14] 梅冥相,梅仕龙. 中寒武世张夏组复合海平面变化旋回层序[J]. 沉积学报,1997(4): 5-10.
- [15] 刘丹,冯子齐,刘洋,等. 鄂尔多斯盆地中东部下古生界奥陶系自生自储气地球化学特征[J]. 天然气地球科学,2016(10): 1897-1899.
- [16] 吴永平. 渤海湾盆地北部奥陶系潜山[M]. 北京: 地质出版社,2002: 493.
- [17] 蒋裕强,董兆雄,陈善勇,等. 千米桥地区奥陶纪海底及浅埋藏环境白云石化作用[J]. 西部探矿工程,2006,18(9): 111-113.
- [18] 王粤川,韦阿娟,高坤顺,等. 渤海海域沙垒田凸起西北部奥陶系碳酸盐岩储层发育主控因素与分布预测[J]. 海相油气地质,2016,21(2): 13-19.

编辑:董 庸

## Lithofacies paleogeography of Early Paleozoic in Bohai Sea and its surrounding areas

YUAN Li, YAO Junbo, WEN Honglei, HUANG Zhifa, LIU Dong

**Abstract:** According to the strata of the blocks on both sides of the ancient Tanlu fault, it is concluded that the Bohai Sea and its surrounding areas has a high-north, high-south, and low-middle paleotopography pattern in the Early Paleozoic, where clear-water carbonate mainly deposited. Based on the observation of drilling cores, thin sections and outcrops, typical sedimentary facies indicators are summarized. It is considered that there are three types of sedimentary facies in the area, i.e. nearshore tidal flat facies, limited platform facies and open platform facies, five types of sedimentary subfacies such as intra-platform depression, micrite mound, intra-platform shoal, lagoon, and platform flat, and nine types of sedimentary microfacies. Based on the identification and fine correlation of sedimentary facies of Cambrian and Ordovician, the lithofacies palaeogeography of four typical periods in the Bohai Sea and its surrounding areas is reconstructed. Controlled by sea level rise and fall, tectonic subsidence, and paleotopography, coastal tidal flats developed along paleouplifts and platforms developed widely in Lower Cambrian, oolitic shoals with large thickness developed in Middle Cambrian, dolomite and lime flats developed from Upper Cambrian to Lower Ordovician, and micrite limestone mainly developed in intra-platform depressions of open platform in Middle Ordovician. The results would be helpful to the study of hydrocarbon genesis and reservoir formation in the Lower Paleozoic, which is a favorable target layer for large or medium gas fields.

**Key words:** lithofacies paleogeography; sedimentary evolution; Paleozoic; Bohai Sea; North China Platform

**YUAN Li,** First author: MSc, Geological Engineer, engaged in research on sedimentology and reservoir geology. Add: Bohai Oilfield Research Institute of CNOOC Tianjin Branch Company, No. 2121 Haichuan Rd., Binhai New District, Tianjin 300452, China