

# 华北地台东部中奥陶世岩相古地理特征

林玉祥, 朱传真, 赵承锦, 吴玉琛, 李 佳, 李秀芹

(山东科技大学 地球科学与工程学院, 山东 青岛 266590)

**摘要:**以明确华北地台中奥陶世沉积格局分布及演化特征为目的, 基于层序地层学理论, 将华北地台东部中奥陶统划分为5个三级层序, 并以三级层序为单位进行沉积相分析和岩相古地理编图。从层序地层的等时性出发, 研究了本区中奥陶世岩相古地理特征。华北地台东部中奥陶世以持续海侵为主, 层序地层的发展受海侵规模、时间及短暂海退的影响, 中部地层发育最为齐全。古地理格局总体上表现为南北高、中间低, 早期至晚期演化具有一定的继承性和明显的发展性。古地理环境受构造和海平面变化综合作用的影响, 随着海侵扩大, 云坪沉积减少, 局限台地和开阔台地占据绝对优势。各期沉积相的分布格局有所差异, 但整体而言, 继承性明显, 南北两侧的隆升格局造成南北分化显著, 沉积相带南北对称, 开阔台地常为南北两侧的局限台地所夹持, 反映了构造隆升背景下沉积环境对海平面变化的敏感性。沉积过程的多旋回性和岩性组合的韵律性使得中奥陶统形成了多套有利的生储盖组合, 中新生界保存条件较好的渤海湾盆地区为有利勘探区。

**关键词:**沉积相; 岩相古地理; 层序地层; 中奥陶世; 华北地台东部

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

## Lithofacies Palaeogeography of the Middle Ordovician in the eastern North China Platform

Lin Yuxiang, Zhu Chuazhen, Zhao Chengjin, Wu Yuchen, Li Jia, Li Xiuqin

(College of Geological Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

**Abstract:** We subdivided the Middle Ordovician in the eastern North China Platform into five level 3 sequences using sequence stratigraphic classification and correlation in order to determine clear sedimentary patterns and evolution characteristics. Sequence palaeogeographic maps of sedimentary facies were drawn, and the coastal evolutions were described using detailed sequence isochronism. Persistent transgression occurred in the eastern North China Platform during the Middle Ordovician. Lithofacies palaeogeography at five different stages of the Middle Ordovician took the appearance of some inherited features coexisting with significant evolution. Paleotopography of five stages kept on presenting higher in the north and south, and in central North China there developed a quite complete sedimentary sequence. The paleogeographical environment was influenced by tectonics and sea level changes and the distribution pattern of sedimentary facies in each phase was different. With the growing marine transgression, restricted platform and open platform were prominent. The north-south symmetry of sedimentary facies manifested as a restricted platform located on both sides of the open platform. Overall, it was the sensitive feedback to sea level change of the epicontinental sea coupled with crustal uplift, that controlled the sedimentary cyclicity and rhythmicity of lithologic associations, thus developing favorable source-reservoir-cap assemblages. It is worth mentioning, with beneficial Mesozoic preservation conditions, the Bohai Bay Basin is the most advantageous exploration area.

**Key words:** sedimentary facies; lithofacies palaeogeography; sequence stratigraphy; Middle Ordovician; eastern North China Platform

旋回是一种时间周期性沉积过程, 层序则主要是这一过程的产物<sup>[1]</sup>。层序为等时地质体<sup>[2-3]</sup>, 其在作为岩相古地理基本编图单位时, 与岩石地层岩相古地理图相比, 其等时性、成因连续性和实用性

明显更强, 并能有效解决同期异相沉积难以对比的问题<sup>[4]</sup>。中国海相沉积中, 经历了风化壳古岩溶的碳酸盐岩地层广泛分布<sup>[5-7]</sup>, 其中华北地台中奥陶统马家沟组极具代表性。华北地台东部中奥陶

收稿日期: 2016-02-02; 修订日期: 2016-07-02。

作者简介: 林玉祥(1963—), 男, 博士(后), 教授, 博士生导师, 从事油气地质研究。E-mail: sdkdlyx@126.com。

基金项目: 国家自然科学基金面上项目“沁水盆地煤层气与致密砂岩气共生成藏机理研究”(41172108)、国家重大专项“十三五”课题“中深层煤系地层立体勘探有利目标优选”(2016ZX05041005)和“岩性地层油气藏区带、圈闭评价方法与关键技术”(2016ZX05001003)联合资助。

世陆表海盆地不仅沉积了广覆性的碳酸盐岩,同时也决定了碳酸盐岩沉积的旋回性和韵律性<sup>[8]</sup>。该期地层原始沉积广泛分布于华北全区,但由于后期地壳变动,南北两侧地区该套地层多保留不全,在山西太行山区—鲁西沂蒙山区保留地层最厚、最齐全,岩性组合也最具代表性,且为一典型的穿时地层。研究表明,运用层序地层学观点进行该区中奥陶世等时性古地理研究,较常规方法更能反映该区内奥陶世的沉积格局分布及演化特征<sup>[9]</sup>。因此,本次研究综合华北地台东部中奥陶世具体的沉积特点,以层序地层学原理划分的三级层序作为岩相古地理编图单位进行分析。

本文在等时层序地层格架基础上,通过华北地台东部中奥陶世沉积相及沉积体系分析,明确了其岩相古地理特征,阐明了研究区的生、储、盖层组合,预测了储集体的类型和分布。本文研究成果对于预测本区油气勘探有利区带、指导油气勘探具有重要的意义。

## 1 层序地层划分与对比

### 1.1 层序地层划分

在层序地层研究基础上,通过关键界面识别,中奥陶统可划分出 1 个二级层序、5 个三级层序(图 1),分别对应大湾阶下带( $O_2d^{\text{下}}$ )、大湾阶上带

( $O_2d^{\text{上}}$ )、达瑞威尔阶下带( $O_2dr^{\text{下}}$ )、达瑞威尔阶中带( $O_2dr^{\text{中}}$ )和达瑞威尔阶上带( $O_2dr^{\text{上}}$ )。本区识别出的关键界面包括构造侵蚀不整合面、岩性转换面、海进侵蚀面、最大海泛面等。各三级层序以海侵体系域、高位体系域为主。

华北地台东部中奥陶统顶、底界面均为区域性不整合面<sup>[10-12]</sup>,分别为大湾阶下带的底界和达瑞威尔阶上带的顶界(图 1)。中奥陶世处于全球海平面主体上升期,顶界不整合之下的高位体系域为向上变浅的进积碳酸盐叠置体;底界不整合之上为海侵沉积体系域<sup>[13]</sup>。

华北地台东部中奥陶世持续海侵,经历多级别的海进、海退旋回,选择多重性海泛面作为编图单元顶底界面<sup>[14]</sup>,层序划分具有较高的精度和稳定性。

### 1.2 层序地层对比

为了明确研究区中奥陶统层序地层展布规律,以研究区有代表性的地层露头 and 钻井剖面为基础,进行了层序地层划分与对比(图 2)。研究发现,南北两侧地层均有缺失,中部地层齐全,由西向东地层厚度逐渐增大。总体上,中东部地层发育完整,厚度最大,沉积—沉降中心主要位于中东部。地层发育早期至晚期,沉积—沉降中心略向北、向东迁移,逐渐向缓坡碳酸盐台地演化。

地层				层序地层		年龄/Ma	岩性剖面	岩石特征描述	生物化石	沉积相		
系	统	阶	组	二级	三级						界面标识	
石炭系	中统	达拉阶	本溪组					灰黑色页岩夹砂岩及灰岩薄层,底部为灰白色铝土岩及铁矿层	腕足类: <i>Charisifites</i> <i>sd.</i>			
								加里东构造运动面 不整合界面	460.9			
奥陶系	中统	达瑞威尔阶	马家沟组					中上部深灰色泥—粉晶白云质灰岩,白云岩为主,夹生屑灰岩和含泥灰岩;下部灰黄色膏云岩,膏溶角砾岩或泥灰岩,泥质白云岩	头足类: <i>Protocloceras</i> , <i>Sactorhoceras</i> , <i>Fengfengoceras</i> , <i>Streospyroceras</i> , <i>Goniceras badouense</i> 牙形石: <i>Belodina compressa</i> — <i>Microcoelodus symmetricus</i> 带, <i>Tasmanognathus</i> — <i>Panderodus</i> 带	局限台地 潮上云坪 潮间泥灰坪		
								泥质白云岩含角砾岩性转换面 云斑灰岩				
奥陶系	中统	达瑞威尔阶	马家沟组					上部含膏云岩,膏溶角砾岩,云斑灰岩;中部灰色泥质条带夹白云岩;下部灰色含膏云岩,白云岩,膏溶角砾岩或灰岩	头足类: <i>Tofangoceras</i> 带, <i>Steroplasmodoceras pseudoseptatum</i> 牙形石: <i>Aurilobodus serratus</i> 带, <i>Plectodina onychodonta</i> 带, <i>Acontiodus streblus</i> 带, <i>Plectodina fragilis</i> 带,	开阔台地 局限台地 潮上云坪		
								泥质白云岩凝缩层 最大海泛面				
奥陶系	中统	达瑞威尔阶	马家沟组					上部灰色粉晶灰岩为主,中部云斑灰岩,下部膏溶角砾岩及泥质白云岩	头足类: <i>Polydesmia</i> , <i>Wutinoceras</i> , <i>Ordosoceras</i> , <i>Tofangoceras</i> , <i>Actinoceras</i> , <i>Pseudoskinoceras</i> 牙形石: <i>Tangshandus tang shanensis</i> , <i>Scolopodus flexilis</i> 带, <i>Polycaulodus yuxianensis</i> 带	开阔台地 局限台地 潮上云坪		
								白云岩含岩溶角砾岩性转换面 泥晶灰岩				
奥陶系	下统	道保湾阶	亮山组					灰至灰黄色燧石白云岩或灰岩,藻云岩,灰黄色薄层状泥质白云岩或灰岩,富竹叶状构造	头足类: <i>Mancharoceras</i> , <i>Coreanocera</i> 牙形石: <i>Serratognathus bilobatus</i> 带	潮上云坪		
								泥质灰岩凝缩层 最大海泛面				

图 1 华北地台东部中奥陶统层序地层划分

Fig.1 Sequence stratigraphy classification of the Middle Ordovician in the eastern North China Platform

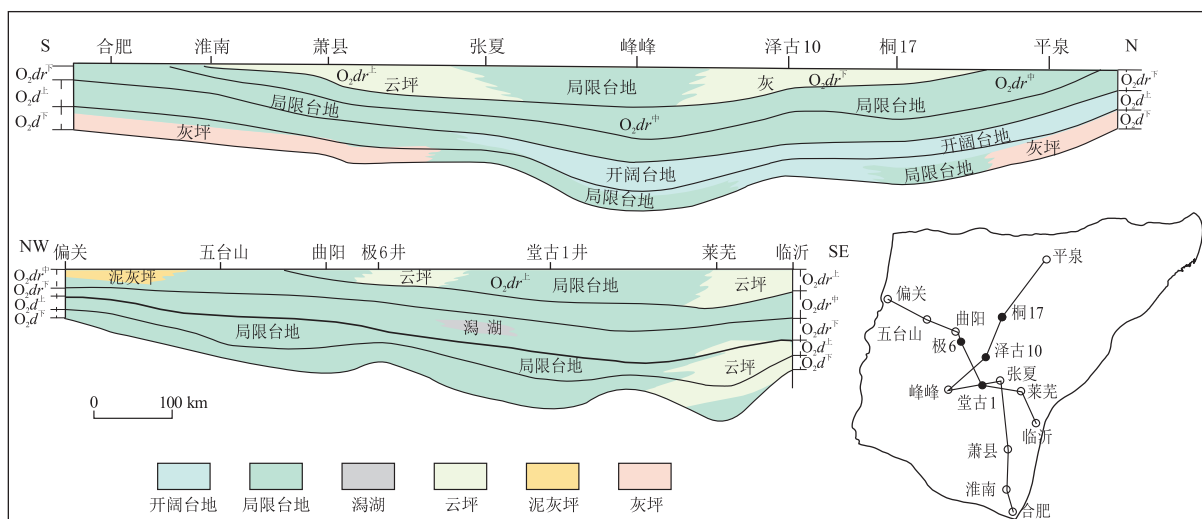


图2 华北地台东部中奥陶统层序地层对比剖面

Fig.2 Sequence stratigraphic correlation of the Middle Ordovician in the eastern North China Platform

## 2 层序地层展布特征

### 2.1 大湾阶下带

本区大湾阶下带沉积期发生了道保湾期末大规模海退后的首次海侵,与道保湾期沉积特征相比地层厚度减小,地层沉积中心大致沿沈阳—天津—太原—济南呈“人”字形分布,地层由北向南呈薄—较厚—厚—较厚—薄相间分布的格局。沉积—沉降中心略向南迁移,主要的沉降—沉积中心带位于鲁

西地区,地层最大厚度超过200 m。另有3处范围较小的沉降中心,分别位于石家庄—太原、天津和沈阳西南附近,地层最大厚度120~180 m(图3)。

### 2.2 大湾阶上带

本期海水持续向西、向北侵入,同大湾阶下带相比,南北两侧厚度有明显增加,而其分布格局具有较强的继承性。仅在西侧太原附近地层厚度明显变薄,沉积—沉降中心略向东转移。主要的沉积—沉降中心位于济南和沈阳附近,最大厚度在济

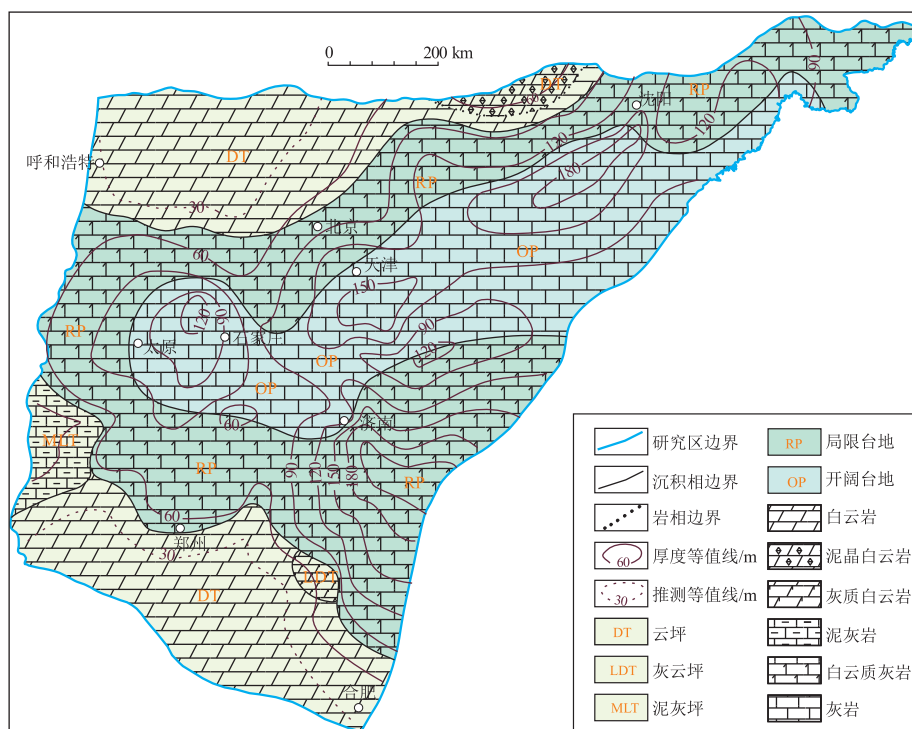


图3 华北地台东部大湾早期岩相古地理

Fig.3 Lithofacies and palaeogeography of the eastern North China Platform during the early Dawan period

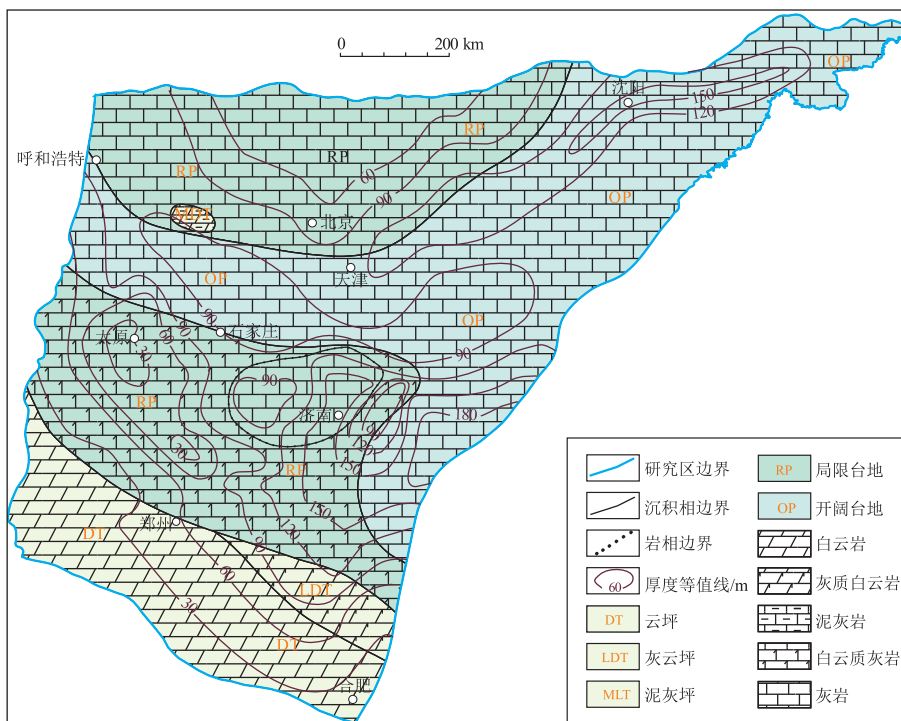


图 4 华北地台东部大湾晚期岩相古地理

Fig.4 Lithofacies and palaeogeography of the eastern North China Platform during the late Dawan period

南东部超过 180 m,在合肥、郑州和太原等地区地层厚度较小,一般小于 60 m(图 4)。

### 2.3 达瑞威尔阶下带

整体上,达瑞威尔阶下带在华北中部和东北部最厚,向西北部和南部地层厚度均逐渐减小。同大湾阶上带相比,地层厚度变大,地层分布格局也发生了较大变化,沉积—沉降中心继续向中部迁移聚拢。这些变化表明达瑞威尔早期发生了海侵。本期主要的沉积—沉降中心有 4 个,分别位于济南、沈阳、太原—石家庄和天津一带。根据各露头剖面资料,该期沉积最大厚度为 267.87 m,位于辽宁下缸窑剖面。合肥—郑州、呼和浩特—北京附近地层厚度较小,安徽淮南市老龙眼水库剖面地层厚度仅为 33.13 m(图 5)。

### 2.4 达瑞威尔阶中带

本期地层在华北地台中部和东北部较厚,沉积—沉降中心向东北略有迁移,主沉积中心位于济南,次沉积中心在沈阳附近。与达瑞威尔早期相比,沉积面积有所缩小,地层厚度变薄。说明本期虽仍为向西海侵,但海侵的规模和范围均小于达瑞威尔早期(图 6)。

### 2.5 达瑞威尔阶上带

研究区内本期地层厚度变化较大,南北两侧出现剥蚀区。整体上该期地层在济南附近形成了一个较大的沉积—沉降中心,在天津—石家庄地区另有一

个较小的沉积—沉降中心,自沉积—沉降中心向四周地层厚度逐渐减小,南北向直至地层尖灭(图 7)。但本期在南北隆起剥蚀区的围限下,海侵的规模和范围继续缩小。该期残留地层平均厚度为 126 m,淄博五阳山一带地层厚度最大,为 373.95 m。该期地层分布格局继承了达瑞威尔中期的特点,但由于南缘隆升沉积范围变小,在郑州附近区域地层厚度较小,到安徽淮南市龙眼水库剖面地层厚度仅 15.78 m。

## 3 沉积相研究

通过露头剖面、钻测井等资料分析,对沉积岩岩性、沉积构造、古生物及地球化学特征进行综合研究,提出了适合本区的沉积相、亚相及微相类型(表 1)。认为本区中奥陶世沉积相以局限台地和开阔台地为主,潮坪相次之,偶见潟湖相沉积,蒸发台地相少见(图 8)。

### 3.1 局限台地

局限台地相沉积区水体运动受限,持续低能,盐度稍高,生物种类及丰度较低<sup>[15-16]</sup>。岩相受水动力条件控制,以发育灰岩、白云质灰岩为主,主要岩石类型为泥晶灰岩、球粒泥晶灰岩、泥质条带泥晶灰岩、豹皮状灰岩、云斑泥晶灰岩及准同生白云岩等,缺乏高能颗粒,可发育燧石结核。富含球粒的碳酸盐岩泥、藻团块,广盐生物扰动强烈。

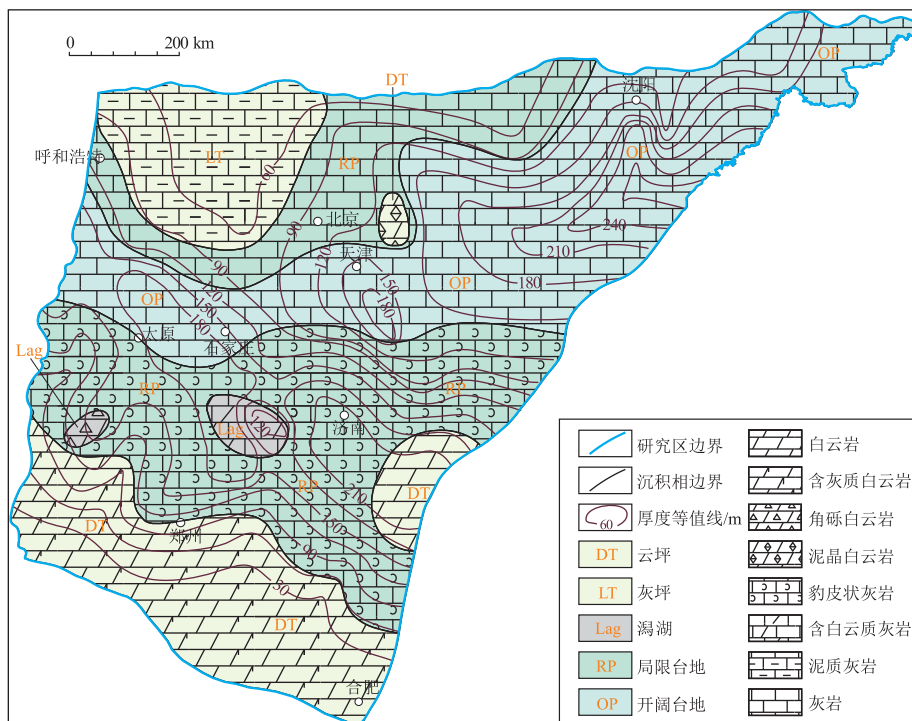


图 5 华北地台东部达瑞威尔早期岩相古地理

Fig.5 Lithofacies and palaeogeography of the eastern North China Platform during the early Darriwilian period

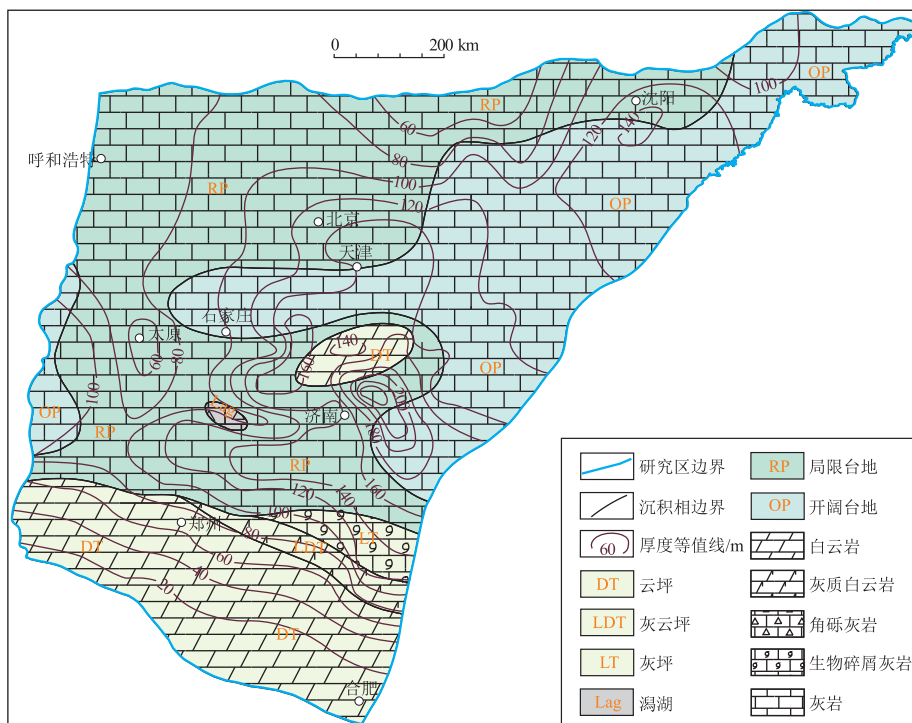


图 6 华北地台东部达瑞威尔中期岩相古地理

Fig.6 Lithofacies and palaeogeography of the eastern North China Platform during the middle Darriwilian period

### 3.2 开阔台地

开阔台地环境盐度正常,水深一般为数米至数十米,具中等能量,因此岩石颗粒类型较丰富,见有内碎屑、生物碎屑和鲕粒等高能颗粒。主要岩石组合类型为厚层泥质条带灰岩、颗粒灰岩、亮晶鲕粒

灰岩、泥晶生物灰岩、砂屑灰岩、泥晶灰岩及虫迹(生物扰动)灰岩。化石较为丰富,可见介形虫、软体动物、棘皮动物、三叶虫和腕足类等,其中窄盐性生物相对含量少。沉积构造主要有水平层理、平行层理、交错层理、缝合线以及叠层石构造等,亦常见

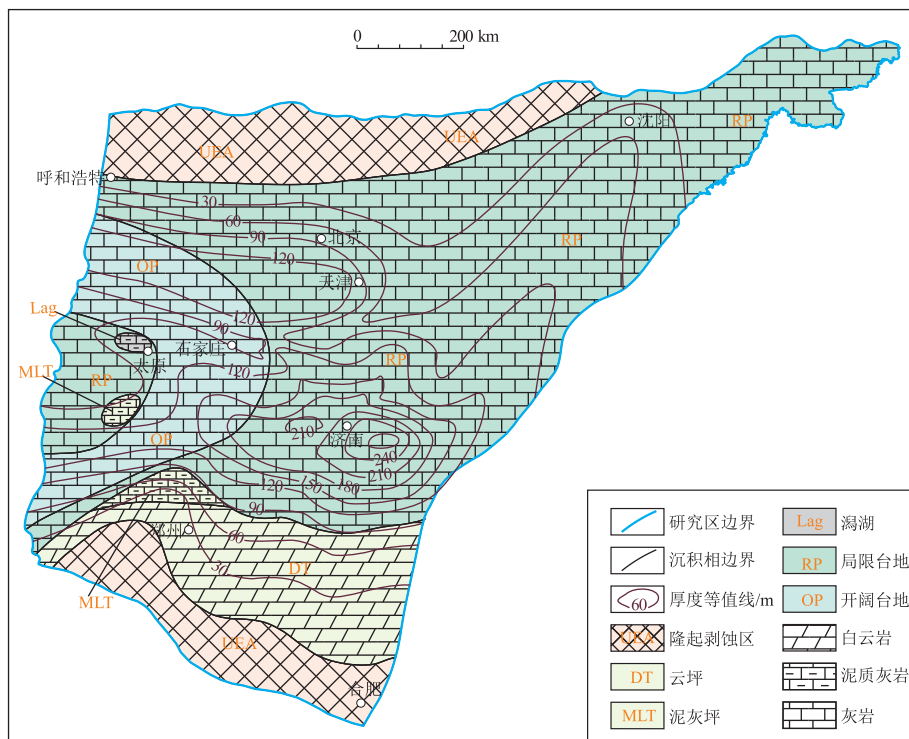


图 7 华北地台东部达瑞威尔晚期岩相古地理

Fig.7 Lithofacies and palaeogeography of the eastern North China Platform during the late Darriwilian period

表 1 华北地台东部中奥陶世沉积相划分

Table 1 Sedimentary facies classification of the Middle Ordovician in the eastern North China Platform

相	亚相	微相
开阔台地	台内浅滩	鲕粒滩、生屑滩、砂屑滩、灰泥质颗粒滩
	滩间洼地	灰质洼地、云灰质洼地
局限台地	台内浅滩	鲕粒滩、砂屑滩
潟湖	开阔潟湖	泥质潟湖、灰泥质潟湖、灰质潟湖、云质潟湖
	局限潟湖	灰质潟湖、云质潟湖、泥质潟湖
潮坪	潮间坪	柱状叠层石坪、潮道—潮溪、灰坪、灰云坪、云坪、泥坪
	潮上坪	纹层状叠层石坪、灰云坪、云坪、膏云坪
蒸发台地	蒸发潟湖	膏质潟湖(膏湖)
	萨布哈	云膏坪、膏泥坪—泥膏坪、石膏坪/膏池

地质年代	中奥陶世				
	$O_2d^f$	$O_2d^l$	$O_2dr^f$	$O_2dr^m$	$O_2dr^l$
潮坪					
潟湖					
局限台地					
开阔台地					

图 8 华北地台东部中奥陶世沉积环境分布

Fig.8 Sedimentary environments of the Middle Ordovician in the eastern North China Platform

生物扰动构造。

### 3.3 潮坪相

潮坪相在空间上一般沿古陆边缘分布,本区主

要发育潮上坪亚相和潮间坪亚相。根据岩性特征,又可进一步分为潮上云坪、泥云坪,潮间灰坪、泥灰坪、灰云坪等,以潮上云坪最发育,其准同生白云岩含量达 60% 以上。主要发育的沉积构造有层纹状、波纹状藻叠层构造,波状、脉状、透镜状层理,雨痕、鸟眼构造和垂直于层面的弯曲虫孔。反映了一种潮上—潮间的中—低能水动力条件。

### 3.4 潟湖相

潟湖相位于局限台地内部,面积一般较小。潟湖因受障壁岛遮挡,海水能量较低,沉积物以灰色、灰黄色、浅灰色膏岩、盐岩、准同生白云岩、泥晶灰岩为主。沉积构造以水平层理及塑性变形层理为主,斜层理不发育,可见泥裂、石盐假晶等干燥气候

条件下的暴露标志。海水含盐度偏高,生物数量较少,且种属单调,多为窄盐度的双壳类、腹足类和介形虫。单斜交错层理不发育,一般为水平层理或塑性变形层理,层面上常有波痕、泥裂及雨痕等。

## 4 古地理特征

笔者采用优势相方法编制岩相古地理图,结合岩性、古生物、沉积相与区域地质资料进行综合分析,确定古地理特征。

### 4.1 大湾早期

本期沉积地层是继怀远运动广泛剥蚀后首次海侵的产物,南北升降差异大为降低,沉积相类型分布南北基本对称,相带分布格局较为简单,以开阔台地、局限台地和潮上云坪环境为主(图3)。开阔台地分布于济南、天津—沈阳一带,其岩性主要为深灰色泥晶灰岩、豹皮状灰岩、泥质条带灰岩、白云质灰岩夹少量泥晶白云岩、藻灰岩沉积,下部一般以中薄层浅灰色泥质白云岩、岩溶角砾岩、泥灰岩较为发育为特征。云坪在局限台地南北两侧,分别在郑州以南和北京以北地区,其岩性以泥晶、粉晶白云岩、灰质白云岩、泥质灰岩为主,夹少量的砂屑灰岩。在开阔台地和云坪之间分布了大范围的局限台地沉积,岩性以中细晶白云岩、白云质灰岩、泥晶灰岩、角砾状灰岩为主,夹少量的砂屑泥晶灰岩、生屑灰岩沉积。与早奥陶世相比,隆起剥蚀区消失,沉积区明显向南推移,特别是局限台地和开阔台地相的边界明显南移,潮上云坪的分布范围显著缩小。岩性分布上,由中部开阔台地向两侧变成局限台地和潮上云坪,岩性由灰岩、白云质灰岩过渡为白云岩。古地理格局总体上呈现中间低、南北高的格局。

### 4.2 大湾晚期

本期海侵强度进一步加大,海水自南向北推进,形成整体中部为开阔台地,北侧为局限台地,南侧为潮上云坪和局限台地的相带展布格局(图4)。总体来看,相带展布格局较为简单,是大湾早期沉积环境的继承和发展,呈南北高、中间低的古地理格局。北部潮坪相基本消失,南部潮上云坪仅分布在郑州以南地区,岩性以白云岩、灰质白云岩、泥质白云岩等为主。台地相范围扩大,开阔台地向西越过研究区西部边界,向北延至沈阳以东,向东至郟庐断裂带,岩性以灰岩、(含泥)白云质灰岩为主,夹少量豹皮状灰岩、页岩和角砾状灰岩。开阔台地两侧为局限台地,分布范围扩大。南区主要分布在太原—济南一线,岩性以微晶灰岩、白云质灰岩、豹

皮状灰岩、泥灰岩、灰质白云岩为主;北区主要分布在北京以北地区,在大湾早期云坪沉积基础上进一步海侵成为局限台地环境,岩性以灰岩、燧石结核灰岩、白云质灰岩为主,夹少量的生物碎屑泥晶灰岩、粉晶白云岩等。由开阔台地到潮上云坪,岩性由灰岩过渡为白云质灰岩到白云岩。北部局限台地以灰岩为主,仅局部狭小泥云坪内发育泥质白云岩,说明虽然南北皆高,但北部沉降幅度比南部大。

### 4.3 达瑞威尔早期

本期南北两侧以潮上云坪和局限台地为主,中部为开阔台地沉积,相带展布格局比大湾晚期更为复杂(图5)。云坪主要分布于郑州以南、呼和浩特—北京之间和济南东南等3个地区,其岩性以泥晶、粉晶白云岩、灰质白云岩、泥质灰岩为主,夹少量的砂屑灰岩。开阔台地沿太原—天津—沈阳一线展布,整体呈北东走向,以深灰色泥晶灰岩、豹皮状灰岩、白云质灰岩夹少量泥晶白云岩、燧石结核灰岩沉积为主。在开阔台地和云坪之间分布了大范围的局限台地沉积,以微晶白云岩、灰质白云岩、白云质灰岩、豹皮灰岩为主,夹少量的角砾状白云质灰岩沉积。另外,在太原和郑州之间还分布有2块小范围的潟湖沉积,岩性以角砾状白云质灰岩和角砾状泥质白云岩为主。从本期相带展布特征来看,华北地台在大湾末期经历了一次小规模的海退,自达瑞威尔早期又开始了一次新的海侵,继承了大湾晚期南北高、中间低的古地理格局。

### 4.4 达瑞威尔中期

与达瑞威尔早期相比,本期海侵强度进一步加大,海水自东南向西北推进,形成了中部的开阔台地、北侧的局限台地、南侧的潮上云坪和局限台地(图6)。云坪主要分布于郑州以南的广大地区,岩性以白云岩、灰质白云岩、泥灰岩等为主,在济南以北地区也有小范围的分布,岩性以泥质白云岩、石膏质白云岩为主。开阔台地分布范围有所缩小,主要分布于济南—石家庄—天津一线以东,而在太原以西仅有小范围的分布。岩性以微晶灰岩为主,夹少量的豹皮状灰岩、泥灰岩和白云质灰岩。局限台地分布范围有所扩大,分布于开阔台地和云坪之间的广大地区,其岩性以灰岩、白云质灰岩、泥灰岩、豹皮状灰岩为主,夹少量角砾状白云岩、含生物碎屑灰岩和砂屑灰岩等。总的来看,该时期海侵范围、规模较前期广泛,但沉积环境具有一定的继承性,整体仍具有南北高、中间低的古地理格局。

### 4.5 达瑞威尔晚期

受加里东运动影响,本期南、北缘地壳抬升,使

郑州—合肥以南地区和呼和浩特以北地区露出水面成为陆地剥蚀区,缺失本期沉积(图 7)。从相带展布特征看,后期剥蚀明显。整体上以潮坪和局限台地为特征,仅在西部石家庄—太原之间分布有小范围的开阔台地沉积。潮坪相可进一步分为潮上云坪和潮间泥灰坪 2 种,云坪主要分布在郑州附近地区,岩性以白云岩、灰质白云岩和含泥白云岩为主;泥灰坪紧靠云坪分布于郑州以北,分布局限,岩性以灰岩、泥灰岩为主。局限台地广布全区,沉积形成的岩石类型主要以灰岩、白云质灰岩、泥灰岩为主,夹少量灰质白云岩和角砾状灰岩。开阔台地分布局限,岩性以竹叶状泥灰岩、白云质泥灰岩为主,夹少量暗色页岩、生物碎屑灰岩。从本期的沉积相带展布格局和岩性特征可以看出,早期本区主要为潮坪环境,在中、后期随着海侵的不断扩大演变为局限台地沉积。在达瑞威尔末期本区发生了大规模的海退,华北地台的南北两侧整体抬升,进入长期暴露的剥蚀作用阶段,直到中石炭世才开始接受沉积。

总体而言,华北地区中奥陶世海侵规模及沉积厚度较早奥陶世大,从大湾早期到达瑞威尔晚期,由于海平面的升降发生了 5 次海退、海进,从而形成了 5 个三级旋回,这 5 个旋回又是一个整体,构成了华北地台中奥陶世岩相古地理的独特格局。

## 5 岩相古地理条件与油气成藏

如前所述,本区经历多级次海进、海退旋回,发育了一套台地浅海碳酸盐岩沉积,面积广,厚度大,沉积稳定。多旋回沉积过程和岩性的韵律组合形成了该区有效的生储盖组合。

### 5.1 岩相古地理对烃源岩的控制作用

中奥陶世开阔台地和局限台地占据绝对优势,分布面积达 80% 以上,潮坪相不发育。以潮下低能环境为主,多为还原条件,海水盐度正常—稍高。从开阔台地—局限台地—潮坪,岩性由灰岩到白云质灰岩过渡到白云岩。清水碳酸盐岩台地相沉积,陆源泥质含量较少,灰岩特别发育。沉积沉降幅度大,各层序沉积—沉降中心厚度均在 100 m 以上,最大可接近 300 m,存在多个沉积—沉降中心。

已有研究表明,不同沉积环境下源岩生烃潜力不同,其中尤以局限台地和开阔海沉积环境最为优越<sup>[17-20]</sup>。中奥陶世,在全球海平面主体上升背景下,沉积速度适中,累积沉降幅度大,沉积厚度大,生源丰富,形成的源岩生烃潜力较大<sup>[21-23]</sup>。局限台地总体呈现低能、底水缺氧环境,微体生物(藻

类)发育,微体生物死亡沉降至还原条件的海底,能被很好地保存并转化为成烃母质<sup>[24-25]</sup>。中奥陶统主要发育灰岩类烃源岩,优质烃源岩主要分布在渤海湾盆地区济阳拗陷、黄骅拗陷的局限台地沉积环境中,在马家沟组各段地层中均有分布,有机质类型以 I, II 型干酪根为主,其中马家沟组一、二段烃源岩分布较为局限,有机碳含量偏低,生烃潜力较小,以济阳拗陷最优,有机碳含量在 0.07% ~ 0.95% 之间,生烃潜力 0.05 ~ 3.19 mg/g,  $R_o$  为 1.5% ~ 2.2%;三、四段烃源岩分布范围较大,平均有机碳含量为 0.21%,以济阳拗陷最高,达 0.76%,生烃潜力 0.03 ~ 0.75 mg/g,且均已达高成熟演化阶段;五、六段烃源岩分布范围广,但厚度相对较薄,一般在 20 ~ 90 m,有机碳含量在 0.01% ~ 2.20% 之间,平均达 0.21%,生烃潜力在 0.02 ~ 11.07 mg/g,且有机质成熟度较高。总体上中奥陶统烃源岩达到了较好—好烃源岩标准<sup>[18,24-25]</sup>。地台中东部地层最发育,特别是渤海湾盆地区生烃条件及保存条件最好。

### 5.2 生储盖组合特征与分布

中奥陶统在稳定地台多旋回沉积过程中形成了有利的生储盖组合<sup>[26]</sup>。不整合面之下是碳酸盐岩储层发育的有利层段<sup>[27]</sup>,怀远运动使得亮甲山组 and 冶里组的白云岩经历海平面下降后的短期暴露,在地表水和大气降水的淋滤溶蚀作用下次生孔隙尤为发育,是储层发育的最有利地带。加里东运动使得奥陶系顶发育厚 40 ~ 100 m 的古岩溶带,在全区形成了分布稳定的古岩溶型储层<sup>[28]</sup>。中奥陶统灰岩发育,易形成裂缝型储集空间,发育裂缝型储层,粉—细晶白云岩也发育孔隙型储层。总体上,奥陶系各组平均孔隙度介于 3.58% ~ 10.68% 之间,下奥陶统平均孔隙度为 5.75%,上奥陶统达 8.75%,马家沟组五、六段平均孔隙度最高(10.68%);各组平均渗透率介于  $(16.7 \sim 357.5) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  之间,平均渗透率为  $60.08 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,冶里组平均渗透率最高,为  $357.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

中奥陶统膏盐层发育,厚度为 20 ~ 400 m 不等。除此之外,泥质碳酸盐岩也具有较强的封闭能力,从而使本区发育了一套海相成因膏岩、泥质碳酸盐岩区域性盖层。本套盖层发育程度受沉积相控制,主要分布于太原附近膏盐潟湖区。

综合对中奥陶统生储盖条件的分析,根据生油岩、储集层、盖层的空间叠置关系,本区发育 3 种类型的生储盖组合。(1) 马家沟组自生自储自盖型。以灰岩为烃源岩层,顶部风化壳或白云岩为储层,膏岩、泥质碳酸盐岩为盖层。这套组合的分布主要



受膏岩、泥质碳酸盐岩分布范围的制约。(2) 自生自储上盖型。以灰岩为烃源岩层,顶部风化壳或白云岩为储层,上覆的上石炭统本溪组铝土岩为盖层。这套组合的分布受本溪组铝土岩的发育程度及保存状况的影响,为一套局部生、区域储盖的组合。(3) 上生下储上盖型。以灰岩为烃源岩层,下奥陶统顶部风化壳或白云岩为储层,中奥陶统膏岩、泥质碳酸盐岩为盖层。这套组合的分布主要受膏岩、泥质碳酸盐岩分布范围的制约,也是一套局部性生、盖,区域储的组合。

## 6 结论

(1) 根据层序地层学理论,在综合分析野外基本剖面 and 钻井资料的基础上,通过关键界面识别,将本区中奥陶统划分为1个二级层序、5个三级层序。

(2) 华北地台东部地区层序地层厚度及展布特征表明,在整体海进背景下,各期层序地层具有明显继承性,同时又受各期海侵规模和时间及短暂海退共同影响,各层序地层在保持持续继承基础上又存在分异,主要表现在沉积厚度差异和沉积—沉降中心迁移变化上。

(3) 华北地台东部中奥陶世持续海侵,水体较深,以开阔台地和局限台地交替占据优势为主,突出特点为开阔台地向南北两侧依次发育局限台地相—潮坪相。

(4) 从大湾早期到达瑞威尔晚期,海平面的升降发生了5次海退、海进,从而形成了5个三级旋回,这5个旋回又构成一个整体,形成了华北地台东部中奥陶世岩相古地理的独特格局。

(5) 沉积过程的多旋回性和岩性组合的韵律性,使得本区拥有发育有利生储盖组合的优越条件。以中奥陶统灰岩为烃源岩层,形成了3套生储盖组合,即自生自储自盖型(中奥陶统)、自生自储上盖型(中奥陶统生储,本溪组铝土岩盖)、上生下储上盖型(中奥陶统生盖,下奥陶统储)。经综合分析,认为渤海湾盆地区为华北地台东部中奥陶统油气勘探有利区。

### 参考文献:

[1] 梅冥相. 华北地台北缘奥陶系亮甲山组的碳酸盐复合海平面变化旋回层序[J]. 岩相古地理, 1995, 15(5): 33-42.  
Mei Mingxiang. Composite sea-level change cyclic sequences of the carbonates in the Ordovician Liangjiashan Formation on northern North China Platform[J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1995, 15(5): 33-42.

[2] 史晓颖, 陈建强, 梅仕龙, 等. 华北地台东部寒武系层序地层

年代格架[J]. 地学前缘, 1997, 4(3/4): 161-173.

Shi Xiaoying, Chen Jianqiang, Mei Shilong, et al. Cambrian sequence chronostratigraphic framework of the North China Platform[J]. Earth Science Frontiers, 1997, 4(3/4): 161-173.

- [3] 李思田. 层序地层分析与海平面变化研究: 进展与争论[J]. 地质科技情报, 1992, 11(4): 23-30.  
Li Sitian. Development of sequence stratigraphic analysis and the research on sea level change, and about their controversy[J]. Geological Science and Technology Information, 1992, 11(4): 23-30.
- [4] 侯中建, 陈洪德, 田景春, 等. 层序岩相古地理编图在岩相古地理分析中的应用[J]. 成都理工学院学报, 2001, 28(4): 376-382.  
Hou Zhongjian, Chen Hongde, Tian Jingchun, et al. The application of sequence lithofacies and paleogeography mapping to the analyses of lithofacies-paleogeography[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2001, 28(4): 376-382.
- [5] 张宝民, 刘静江. 中国岩溶储集层分类与特征及相关的理论问题[J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(1): 12-29.  
Zhang Baomin, Liu Jingjiang. Classification and characteristics of karst reservoirs in China and related theories[J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(1): 12-29.
- [6] 姜自然, 陆正元, 吕宗刚, 等. 四川盆地东吴期泸州古隆起与茅口组碳酸盐岩缝洞储层分布[J]. 石油实验地质, 2014, 36(4): 411-415.  
Jiang Ziran, Lu Zhengyuan, Lü Zonggang, et al. Distribution of carbonate fractured and vuggy reservoirs of Maokou Formation in Luzhou Paleo-uplift during Dongwu Movement, Sichuan Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(4): 411-415.
- [7] 乔桂林, 钱一雄, 曹自成, 等. 塔里木盆地玉北地区奥陶系鹰山组储层特征及岩溶模式[J]. 石油实验地质, 2014, 36(4): 416-421.  
Qiao Guilin, Qian Yixiong, Cao Zicheng, et al. Reservoir characteristics and karst model of Ordovician Yingshan Formation in Yubei area, Tarim Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(4): 416-421.
- [8] 冯增昭. 碳酸盐岩岩相古地理学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1989: 127-139.  
Feng Zengzhao. Carbonate lithofacies paleogeography[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1989: 127-139.
- [9] 许效松. 古地理研究的前景与挑战[J]. 古地理学报, 1999, 1(4): 1-10.  
Xu Xiaosong. Prospect and challenges of palaeogeography study[J]. Journal of Palaeogeography, 1999, 1(4): 1-10.
- [10] 宋奠南. 对怀远运动的再认识[J]. 山东地质, 2001, 17(1): 19-23.  
Song Diannan. Re-recognition of Huaiyuan Movement[J]. Geology of Shandong, 2001, 17(1): 19-23.
- [11] 刘波, 王英华, 钱祥麟. 华北奥陶系两个不整合面的成因与相关区域性储层预测[J]. 沉积学报, 1997, 15(1): 25-30.  
Liu Bo, Wang Yinghua, Qian Xianglin. The two Ordovician unconformities in N. China: Their origins and related regional reservoirs' prediction[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(1): 25-30.
- [12] 田树刚, 章雨旭. 华北地台北奥陶纪露头层序地层[J]. 地球学报, 1997, 18(1): 87-97.

- Tian Shugang, Zhang Yuxu. Ordovician outcrop sequence-stratigraphy in northern North China Platform [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 1997, 18(1): 87-97.
- [13] 许效松. 层序不整合界面的综合标志与盆地性质 [M] // 王英华, 鲍志东, 朱筱敏, 等. 沉积学及岩相古地理学新进展. 北京: 石油工业出版社, 1995: 442-445.
- Xu Xiaosong. Comprehensive mark of sequence unconformity and basin properties [M] // Wang Yinghua, Bao Zhidong, Zhu Xiaomin, et al. New development of sedimentology and lithofacies paleogeography. Beijing: Publishing House of Oil Industry, 1995: 442-445.
- [14] 赵玉光, 许效松, 刘宝珺. 层序地层学关键界面多重性研究在盆地分析中的应用 [M] // 王英华, 鲍志东, 朱筱敏, 等. 沉积学及岩相古地理学新进展. 北京: 石油工业出版社, 1995: 456-458.
- Zhao Yuguang, Xu Xiaosong, Liu Baojun. The application of study on the multiplicity of sequence stratigraphy key boundaries in basin analysis mapping [M] // Wang Yinghua, Bao Zhidong, Zhu Xiaomin, et al. New development of sedimentology and lithofacies paleogeography. Beijing: Publishing House of Oil Industry, 1995: 456-458.
- [15] 郭绪杰, 焦贵浩. 华北古生界石油地质 [M]. 北京: 地质出版社, 2002.
- Guo Xujie, Jiao Guihao. Petroleum geological characteristics of the North China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002.
- [16] 王英华, 张秀莲, 杨承运. 华北地台早古生代碳酸盐岩岩石学 [M]. 北京: 地震出版社, 1989: 107-122.
- Wang Yinghua, Zhang Xiulian, Yang Chengyun. Carbonate petrology of early Paleozoic of North China Platform [M]. Beijing: Seismological Press, 1989: 107-122.
- [17] 常俊合, 吕红玉, 郭广辉, 等. 下古生界碳酸盐岩生烃条件及二次生烃潜力评价: 以临清地区 TG5 井为例 [J]. 断块油气田, 2001, 8(1): 13-15.
- Chang Junhe, Lü Hongyu, Guo Guanghui, et al. Evaluation for hydrocarbon generating conditions and second potential of Lower Paleozoic era carbonates source rock [J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2001, 8(1): 13-15.
- [18] 王兆云, 何海清, 程克明. 华北区古生界原生气藏勘探前景 [J]. 石油学报, 1999, 20(2): 1-6.
- Wang Zhaoyun, He Haiqing, Cheng Keming. Exploration prospect of Paleozoic primary oil and gas pools in Huabei area [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1999, 20(2): 1-6.
- [19] 宁正伟. 华北地区寒武、奥陶系碳酸盐岩有机质丰度及生油岩研究 [J]. 石油实验地质, 1992, 14(4): 344-351.
- Ning Zhengwei. A study of the organic abundance of Cambrian-Ordovician carbonate rocks in North China [J]. *Experimental Petroleum Geology*, 1992, 14(4): 344-351.
- [20] 秦建中, 腾格尔, 申宝剑, 等. 海相优质烃源岩的超显微有机岩石学特征与岩石学组分分类 [J]. 石油实验地质, 2015, 37(6): 671-680.
- Qin Jianzhong, Tenger Borjin, Shen Baojian, et al. Ultramicroscopic organic petrology characteristics and component classification of excellent marine source rocks [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2015, 37(6): 671-680.
- [21] 刘波, 钱祥麟, 王英华. 华北板块早古生代构造—沉积演化 [J]. 地质科学, 1999, 34(3): 347-356.
- Liu Bo, Qian Xianglin, Wang Yinghua. Tectono-sedimentary evolution of North China plate in early Paleozoic [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1999, 34(3): 347-356.
- [22] 陈荣坤, 孟祥化. 华北地台早古生代沉积建造及台地演化 [J]. 岩相古地理, 1993, 13(4): 46-55.
- Chen Rongkun, Meng Xianghua. Early Palaeozoic sedimentary suits and the evolution of the North China platform [J]. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 1993, 13(4): 46-55.
- [23] 文琼英, 孟繁利. 冀鲁(西)地区早古生代浅海碳酸盐台地成生演化 [J]. 岩相古地理, 1991(5): 19-26.
- Wen Qiongying, Meng Fanli. Formation and evolution of the Early Palaeozoic shallow marine carbonate platform in the Hebei-Western Shandong area [J]. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 1991(5): 19-26.
- [24] 程锦翔, 焦养泉, 颜佳新, 等. 华北地区东部下古生界烃源岩分布特征及其发育模式 [J]. 现代地质, 2007, 21(3): 538-545.
- Cheng Jinxiang, Jiao Yangquan, Yan Jiaxin, et al. The distribution character and development model of hydrocarbon source rocks of Lower Palaeozoic, the Eastern North China [J]. *Geoscience*, 2007, 21(3): 538-545.
- [25] 吴光华, 焦养泉, 郝运轻. 华北地区东部寒武系—奥陶系沉积相特征及其对烃源岩的控制作用 [J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(4): 1-4.
- Wu Guanghua, Jiao Yangquan, Hao Yunqing. Sedimentary facies and the control on hydrocarbon source rocks of Cambrian-Ordovician in the east of North China [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2008, 15(4): 1-4.
- [26] 朱筱敏, 杨俊生, 张喜林. 岩相古地理研究与油气勘探 [J]. 古地理学报, 2004, 6(1): 101-109.
- Zhu Xiaomin, Yang Junsheng, Zhang Xilin. Application of lithofacies palaeogeography in petroleum exploration [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2004, 6(1): 101-109.
- [27] 窦立荣, 王一刚. 中国古生界海相碳酸盐岩油气藏的形成与分布 [J]. 石油实验地质, 2003, 25(5): 419-425.
- Dou Lirong, Wang Yigang. Formation and distribution of the Paleozoic marine carbonate-rock pools in China [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2003, 25(5): 419-425.
- [28] 何江, 冯春强, 马岚, 等. 风化壳古岩溶型碳酸盐岩储层成岩作用与成岩相 [J]. 石油实验地质, 2015, 37(1): 8-16.
- He Jiang, Feng Chunqiang, Ma Lan, et al. Diagenesis and diagenetic facies of crust-weathered ancient karst carbonate reservoirs [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2015, 37(1): 8-16.