

# Analysis on Lithofacies Paleogeography and Reservoir of Ordovician in Huanghua Depression and Adjacent Areas

Weifeng Sun<sup>1</sup>, Yuxiang Lin<sup>1</sup>, Xiaoyan Chi<sup>1</sup>, Tengfei Yu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Shandong University of Science and Technology, Qingdao, China, 266510

Email:sunweifeng1986@163.com

**Abstract:** During Ordovician period, Huanghua Depression was a part of Huabei Epicontinental Sea, in which a set of carbonate formation was formed. The Lower Ordovician contains the Yeli Formation and Liangjiashan Formation; and the Middle Ordovician contains the Majiagou Formation and Fengfeng Formation; but the Upper Ordovician is missing. The paleogeography was characterized by two division zones of the south and north in early Ordovician, but in the Middle Ordovician, the paleogeography changed—there was a dolomitic lime flat along North-East strike in open Epicontinental Sea. The reservoirs of Ordovician in this area are changing from relatively good to relatively bad ones, which were characterized by higher porosity but low permeability due to post stage multi-deformation and multiple factors including lithology, sedimentary facies, diagenesis, fault and crack. Favorable reservoirs are distributed in Shenqingzhuang-Tanggu, Kongxi, Wangguantun, Nanpi-Wuqiao and Xuhei regions.

**Key words:** Huanghua depression; lithofacies paleogeography; Ordovician; reservoir

## 黄骅坳陷及邻区奥陶系岩相古地理及储层特征

孙维凤<sup>1</sup>, 林玉祥<sup>1</sup>, 迟小燕<sup>1</sup>, 于腾飞<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> 山东科技大学, 青岛, 中国, 266510

Email: sunweifeng1986@163.com

**摘要:** 黄骅坳陷及邻区在奥陶世时期为华北陆表海的一部分, 在坳陷内发育了一套碳酸盐岩地层。下奥陶统发育冶里组和亮甲山组, 中奥陶统发育马家沟组和峰峰组, 上统缺失。早奥陶世的岩相古地理具有南北分区的特点, 中奥陶世古地理面貌发生了改变, 呈现出“海中有坪”的格局。奥陶系储集层由于后期的多次改造, 并受岩性、沉积相、成岩作用、断层、裂缝等多种因素制约, 其主要特点为高孔、低渗, 总体上属较好—差储集岩。其中沈青庄—塘沽、孔西、王官屯、南皮—吴桥和徐黑等地区为较好储集岩分布区。

**关键词:** 黄骅坳陷; 奥陶系; 岩相古地理; 储层

### 1 引言

研究区位于渤海湾盆地腹地, 东接埕宁隆起, 西邻沧县隆起, 北与燕山褶皱相连, 南与德州凹陷相通。针对黄骅坳陷及邻区奥陶系的油气勘探始于上世纪六十年代初期, 但收效甚微。直到1997年底, 由于认识上的突破及新技术的应用, 发现了千米桥奥陶系潜山油藏, 取得了历史性突破。

工区内钻遇下古生界的井有90多口, 大部分仅钻至奥陶系上部, 钻穿奥陶系的只有10口左右, 钻穿寒武系的更少。因此本文以奥陶系研究为基础, 对奥陶

基金项目: 国家重大油气专项项目(2008ZX05004—003)

系岩相古地理面貌及储集层进行研究, 这将有助于深化油区奥陶系储层发育条件研究, 对奥陶系油气勘探具有重要的指导意义。

### 2 地层

本区奥陶系厚400~900m, 主要由浅水台地沉积的石灰岩和白云岩组成, 与下伏寒武系整合接触, 与上覆地层(石炭系、中生界或下第三系)不整合接触。

关于本区奥陶系的划分有多种方案<sup>[1-4]</sup>, 本次采用最新划分方案, 即奥陶系三分(表1)。下奥陶统治里组和亮甲山组, 分别对应新厂阶和道保湾阶, 中奥陶统马家沟组和峰峰组, 上奥陶统缺失。其中马家沟

组细分为上、下马家沟组，下马家沟组属大湾阶，上马家沟组和峰峰组属达瑞威尔阶。奥陶系下统与中统之间为平行不整合接触，其余各组段之间为整合接触。

Table 1 Ordovician stratum system division of Huanghua Depression

表 1. 黄骅坳陷奥陶系地层划分

全国地层会议 1959	北京地质学院 1963	华北地区奥陶纪地层会议 1975	陈均远 1979	河北、京津地区地质志 1989	冯增昭 1990	本文
马家沟组	上马家沟组 下马家沟组	上马家沟组 下马家沟组	马家沟组	马家沟组	马六组 马五组 马四组 马三组 马二组 马一组	峰峰组 磁县组 亮甲山组 冶里组 凤山组

### 3 岩相古地理演化

根据钻井、周边露头资料和区域地层资料，研究区在早、中奥陶世经历了四次大的海进—海退沉积旋回，其沉积相演化如下：

#### 3.1 早奥陶世岩相古地理

##### 3.1.1 新厂期岩相古地理

冶里组地层厚度变化不大，一般 40~70m，北部较南部厚，可达 100m。

从图 1 可以看出：本期研究区属“津塘浅滩”的一部分<sup>[5]</sup>，发育褐灰色、深灰色块状灰岩、泥质条带灰岩，反映开阔海环境。中南部位于“津塘浅滩”、“临长聊云坪”之间，为水流受限的局限海环境，属于“德州局限海”的一部分<sup>[5]</sup>，发育黄褐—灰色灰岩夹薄层泥质灰岩、泥晶白云岩。最南端发育少量云坪沉积。

##### 3.1.2 道保湾期岩相古地理

道保湾期地层厚度较大，为 100~200m 左右，呈现出从东南到西北逐渐加厚的趋势。从图 2 可以看出：道保湾期古地理面貌与新厂期具有继承性，主要为局限海沉积，其中零星分布着潮坪和滩。局限海沉积以灰泥石灰岩为主。与新厂期相比，本期潮坪范围扩大，滩减少，说明发生了广泛的海退，水动力减弱<sup>[6]</sup>。

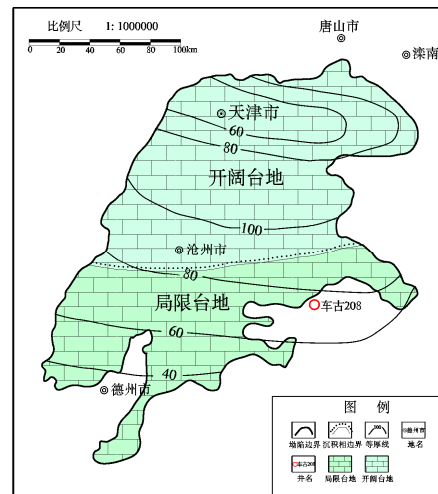


Fig.1 The lithofacies paleogeographic Map of Xinchangian Age  
图 1 新厂期岩相古地理图

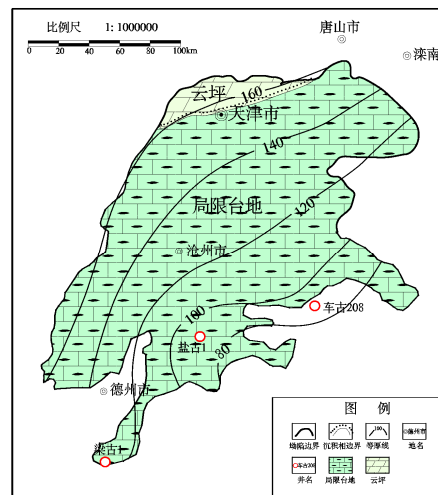


Fig.2 The Lithofacies Paleogeography Map of Daobaowanlan Age  
图 2 道保湾期岩相古地理图

#### 3.2 中奥陶世岩相古地理

##### 3.2.1 大湾早期岩相古地理

大湾期是本区奥陶世的第一个海进—海退旋回。

大湾早期地层厚度较大，均在 100m 以上。从图 3 可以看出：本区开阔海广布，主要沉积灰色、褐灰色泥粉晶白云岩、白云质灰泥石灰岩和石灰岩，泥质含量高，生物碎屑稀少。

##### 3.2.2 大湾晚期岩相古地理

大湾晚期地层厚度一般 80~100m。从图 4 可以看出，本期大部为开阔海，只在盐古 1 井附近发育局限

海环境。局限海沉积灰色、深灰色厚层灰泥石灰岩，生物化石缺乏。开阔海主要沉积灰泥石灰岩、泥晶灰岩，灰泥石灰岩是下马家沟组上部的主要岩石类型。

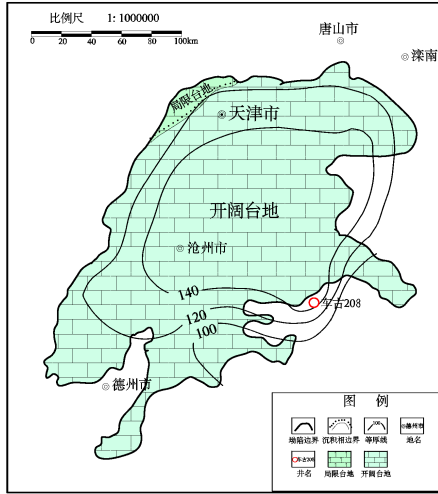


Fig.3 The Lithofacies Paleogeography Map of Early Dawanian Age  
图 3 大湾早期岩相古地理图

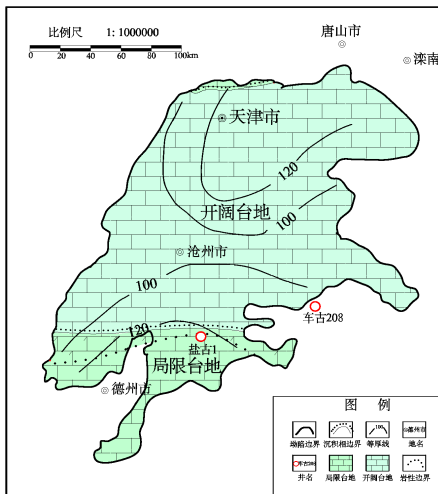


Fig.4 The Lithofacies paleogeography Map of Late Dawanian Age  
图 4 大湾晚期岩相古地理图

### 3.2.3 达瑞威尔早期岩相古地理

达瑞威尔早中期，为本区中奥陶世的第二个旋回。

达瑞威尔早期厚度较大，一般为 100~200m。从图 5 可以看出：沧州以北主要为开阔台地沉积，以南直至德州一带为局限海沉积环境。开阔海沉积泥灰岩、泥晶灰岩，局限海以豹皮灰岩为主。本期古地理面貌与大湾早期迥然不同，但与大湾晚期相似。

### 3.2.4 达瑞威尔中期岩相古地理

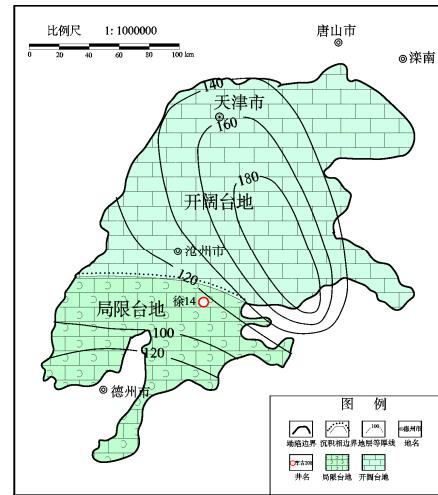


Fig.5 The Lithofacies Paleogeography Map of Early Darriwilian Age  
图 5 达瑞威尔早期岩相古地理图

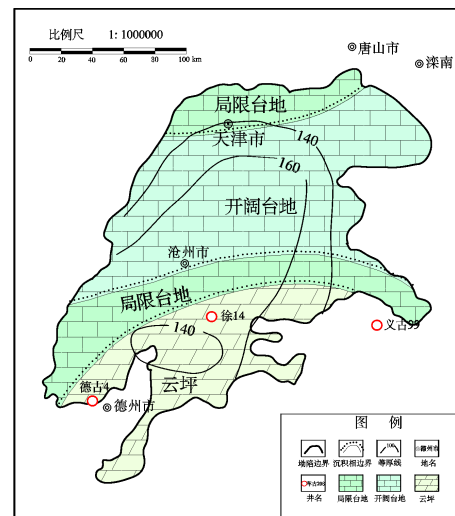


Fig.6 The Lithofacies Paleogeography Map of Middle Darriwilian Age  
图 6 达瑞威尔中期岩相古地理图

达瑞威尔中期地层沉积厚度大，变化也大，一般 140~240m。

从图 6 中可以看出：本区天津以北和沧州以南地区为局限海环境，中部为开阔海，最南端发育云坪沉积。云坪沉积准同生泥粉晶白云岩。局限海沉积灰白色泥晶灰岩，泥灰岩。开阔海沉积厚层块状灰、灰褐色灰泥石灰岩、含生屑灰泥石灰岩。

### 3.2.5 达瑞威尔晚期岩相古地理

达瑞威尔晚期为本区中奥陶世的第三个旋回。

从图 7 可以看出：峰峰组地层厚度较大，均在 80~160m 左右。该期水体较浅，几乎全是局限海沉积，主要沉积泥晶灰岩、白云岩、白云质硬石膏盐岩的岩性组合。生物化石种类单调，以藻屑为主。

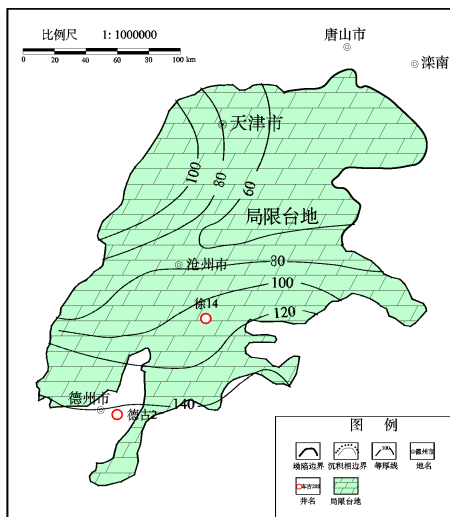


Fig.7 The Lithofacies Paleogeography Map of Late Darriwilian Age  
图 7 达瑞威尔晚期岩相古地理图

## 4 储集层特征

### 4.1 储集层类型

根据实际物性资料分析，本区主要储集岩类型为泥粉晶白云岩、角砾岩、中细晶白云岩、灰质白云岩、泥晶灰岩。

根据露头、岩芯及显微薄片观察，本区奥陶系碳酸盐岩原生孔隙均被胶结物充填，储集空间主要为次生孔隙、溶蚀空隙、裂缝和溶蚀缝，在储集层中常表现为几种类型的复合。本地区碳酸盐岩储集层的储集空间按其几何形态分为孔隙型和裂缝型两大类<sup>[8]</sup>。

孔隙型储集空间以次生孔隙为主，主要包括白云岩或灰岩晶间孔、晶间溶孔、粒间孔、角砾状白云岩或灰岩的砾间砾内溶孔、膏盐铸模孔，这些不同类型孔隙的成因大多与不同成岩时期的溶解作用有关。本区岩性、裂缝与录井显示关系统计显示，裂缝的含油性不活跃。

### 4.2 优质储集层控制因素

国内外碳酸盐岩储层研究表明，沉积相带、成岩作用和构造裂缝是碳酸盐岩储层的主要控制因素<sup>[8]</sup>。结合前述的分析，将本区储集层控制因素总结如下：

1) 岩性及岩相古地理对岩溶储层发育的作用  
实际资料表明，白云岩储集性通常比石灰岩的好，储层发育段常对应白云岩段，钻井过程中放空和漏失也主要发生在白云岩段，这是由于白云岩的脆性通常比石灰岩大，容易形成裂缝，且常具有粉晶至细晶结构，晶间孔发育。

一定的岩石类型是特定沉积-成岩环境的产物，因此沉积环境对岩溶储层的分布也有重要的控制作用。潮坪环境有利于白云岩和石膏的发育，是有利的储集相带。由滩相颗粒石灰岩白云化形成的白云岩空隙发育，所以海滩也是有利储层发育的相带，而局限海和开阔海则较差。

### 2) 岩溶作用是储层发育的关键

岩溶作用是暴露于大气中的碳酸盐岩地质体上的一种痕迹，岩溶作为一种地貌形态，独特而复杂，其发育受水动力条件、风化淋滤时间、古地形、古水温等多种因素的控制。

探区内对储集层起建设性作用的岩溶作用主要发生在峰峰组—上马家沟组。因此，纵向上峰峰组—上马家沟组是较有利的储集层位<sup>[8]</sup>。

### 3) 裂缝、断层是储层发育的重要条件

裂缝和断层是地下水流动的良好通道，裂缝和断层的分布和发育程度直接控制了岩溶的分布和发育程度。裂缝和断层发育的地区，岩溶发育；而裂缝和断层不发育的地区，岩溶一般也不发育<sup>[8]</sup>。

### 4.3 储集层有利区带预测

根据本区储集岩孔渗资料，我们把探区内碳酸盐岩划分三类（表 2）。黄骅坳陷奥陶系储集层均处于较好—差储集层级别<sup>[8]</sup>。

Table 2 Classification of Ordovician reservoir in Huanghua Depression

表 2. 黄骅坳陷奥陶系储集层分级

类别	主要岩石类型	物性	
		孔隙度 /%	渗透率 / $10^{-3} \mu m^2$
I 类 (较好储集层)	角砾状灰(白云)岩, 泥粉晶、粉细晶白云岩、颗粒云岩、灰质云岩	>4	>0.5
II (差储集层)	灰质云岩、含灰云岩、泥粉晶云岩、颗粒灰岩、细、粉晶灰岩	2~4	0.1~0.5
III (非储集层)	泥晶灰岩、含泥或泥质灰岩、云质灰岩	<2	<0.1



研究区奥陶系平均孔隙度 3.68%，平均渗透率  $1.076 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。储层物性变化大，单块孔隙度最高可达 22.9%，最低 0.33%；渗透率最高达  $36 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，最低几乎接近于零。

根据储集层控制因素分析，初步在探区内划出 5 个 I 类储集层区，预测其平均孔隙度大于 4%，它们分别是沈青庄—塘沽地区、孔西地区、王官屯地区、南皮—吴桥凹陷区和徐黑地区(图 8)。

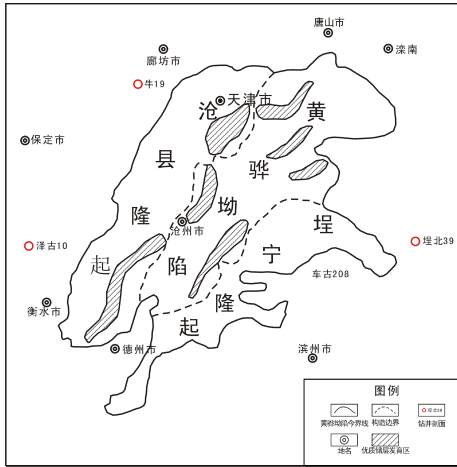


Fig.8 The Distribution of Ordovician Favorable Reservoirs in Huanghua Depression  
图 8 黄骅拗陷奥陶系有利储层分布区

## 5 结论

(1) 黄骅拗陷在奥陶纪为华北陆表海的一部分，经历了多次海进海退过程。早奥陶世的岩相古地理具有南北分区的特点，中奥陶世古地理面貌发生了改变，呈现出“海中有坪”的格局。

(2) 根据露头、岩芯及显微薄片观察，本区奥陶系碳酸盐岩储集空间主要为次生孔隙，及溶蚀空隙、裂缝和溶蚀缝，按几何形态分为孔隙型和裂缝型两大类。

(3) 奥陶系储集层受岩性、沉积相、成岩作用、断层、裂缝作用等多种因素控制，沉积相带、溶蚀作用和裂缝作用是形成本区优质储层的决定性因素。

(4) 奥陶系储集层总体上属较好—差储集岩。根

据储集层控制因素分析，划出 5 个 I 类储集层区，分别是沈青庄—塘沽、孔西、王官屯、南皮—吴桥和徐黑地区。

## 致谢

本次研究过程中，从资料收集到室内分析处理，始终得到了导师林玉祥教授的具体指导，并得到了大港油田勘探开发技术研究中心的大力协助，在此一并表示衷心感谢。

## References (参考文献)

- [1] Feng Zengzhao, Chen Jixin, Wu Shenghe. Lithofacies paleogeography of Early Paleozoic of North China Platform[M]. Beijing: Geological Press, 1990. 1-73(Ch).  
冯增昭, 陈继新, 吴胜和. 华北地台早古生代岩相古地理[M]. 北京: 地质出版社, 1990. 1-73.
- [2] Guo Xujie, Jiao Guihao, Petroleum Geology of Paleozoic of North China[M]. Beijing: Geological Press, 2002. 1-21(Ch).  
郭绪杰, 焦贵浩. 华北古生界石油地质[M]. 北京: 地质出版社, 2002. 1-21.
- [3] Editorial Committee of "Petroleum Geology of Dagang Depression". Petroleum Geology of China(Volume 4)Dagang Depression. [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1991. 32-43(Ch).  
大港油田石油地质志编辑委员会. 中国石油地质志(卷四)大港油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1991. 32-43.
- [4] Wang Xiaofeng, Chen Xiaohong et al.. Stratum system division and correlation of Each geological age of China[M]. Beijing: Geological Press, 2005. 101-154(Ch).  
汪啸风, 陈孝红等. 中国各地质时代地层划分与对比[M]. 北京: 地质出版社, 2005. 101-154.
- [5] Feng Zengzhao. Lithofacies paleogeography of Early Ordovician in JinJiLuJingJin region of North China Platform. [J]. *Acta Sedimentologica sinica*, 1986, 4(4), 28-42(Ch).  
冯增昭. 华北地台东部晋冀鲁京津地区早奥陶世岩相古地理[J]. 沉积学报, 1986, 4(4), 28-42.
- [6] Feng Zengzhao. Lithofacies paleogeography of Ordovician of Early Paleozoic of North China Platform[M]. Beijing: Geological Press, 1990. 49-74(Ch).  
冯增昭. 华北地台早古生代奥陶纪岩相古地理[M]. 北京: 地质出版社, 1990. 49-74.
- [7] Jin Zhenkui, Zou Yuanrong, You Weifeng et al.. Ordovician Lithofacies Paleogeography of North Bohai Bay Basin[J]. *Acta Sedimentologica sinica*, 2002, 20(1), 13-19(Ch).  
金振奎, 邹元荣, 由伟丰等. 渤海湾盆地北部奥陶纪岩相古地理[J]. 沉积学报, 2002, 20(1), 13-19.
- [8] Zhang Liqin, Zhou Liying, Zhang Ying et al.. Analysis on Lithofacies Paleogeography and Reservoir of Ordovician in Dagang Exploration Area[J]. *Petroleum Explorationist*, 1996, 4(2), 33-36(Ch).  
张立勤, 周立英, 张英等. 大港探区奥陶系岩相古地理与储集层特征[J]. 勘探家, 1996, 4(2), 33-36.