

文章编号: 1009-3850(2001)04-0021-07

潍北凹陷中新生代层序地层的沉积模式

程有义¹, 梁书义¹, 丘东洲²

(1. 胜利油田东胜石油开发集团有限公司, 山东 东营 257000; 2. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082)

摘要: 潍北凹陷是受郯庐断裂带直接控制而发育起来的一个小型中生代富含油气沉积盆地。根据地震反射界面特征, 在凹陷孔店组和沙四段(沙河街组四段)内鉴别出 6 个地震层序界面, 进而划分为 5 个三级层序。在分析初始湖泛面和最大湖泛面的基础上, 对层序内体系域和沉积特征进行了划分与分析。盆地沉积演化可划分为开裂期, 早期沉降, 再沉降, 早期萎缩和晚期沉降五个阶段, 并对凹陷内两种层序地层的沉积模式进行了总结。

关键词: 潍北凹陷; 层序界面; 体系域; 沉积演化; 模式

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

Models for Mesozoic sequence stratigraphy of the North Weifang depression

CHENG You-yi¹, LIANG Shu-yi¹, QIU Dong-zhou²

(1. Dongsheng Petroleum Development Co., Ltd., Shengli Oil Field, Dongying 257000, Shandong, China; 2. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China)

Abstract: The North Weifang depression located in northern Weifang, Shandong is a small Mesozoic prolific sedimentary basin confined by the Tancheng-Luxian fault. In terms of the seismic reflection boundaries in the depression, six seismic sequence boundaries or five third-order sequences have been recognized in the Kongdian Formation and the fourth member of the Shahejie Formation. The depression originated in

the Eocene has experienced several episodes of evolution from rifting apart (latest Late Cretaceous), early subsidence, resubsidence, early collapse (Oligocene), termination and late subsidence (Neogene to Quaternary). Influenced by the intense faulting of the nearly EW-trending Gucheng-Weihekou fault, the strong subsidence of the northern part of the depression resulted in the formation of the half graben-like depression which is relatively gentle in the northern part while steep in the southern part. Two sedimentary models of sequence stratigraphy are put forward: simple fault and duplex fault.

Key words: North Weifang depression; sequence boundary; systems tract; sedimentary evolution; model

潍北凹陷位于山东省潍坊市北部,跨越昌邑、潍县两县,面积为 880km^2 。区域上,潍北凹陷是渤海湾盆地昌潍拗陷内一个重要的二级构造单元,是郯庐断裂带内的一个小型走滑断陷盆地。郯庐断裂作为潍北凹陷的边界断裂,直接控制了潍北凹陷的形成演化。该凹陷具有湖盆小、构造活动强烈、物源多及相带变化复杂等特点。本文在分析潍北凹陷层序地层和沉积特征的基础上,建立了该凹陷层序地层的沉积模式。

1 区域构造背景

潍北凹陷是郯庐断裂带内的一个小型中生代富油气沉积盆地,是昌潍拗陷中的一个负向构造单元。东部以昌邑-大店断裂为界与鲁东隆起相邻,西部以~~昌北凸起~~葛沟断裂为界与昌北凸起、侯镇凹陷相处,北部以古城-潍河口断层为界与昌北凸起和潍河口洼陷相接,南部与潍县凸起相连,平面上大体呈一平行四边形(图1)。该凹陷主要形成于古近纪始新世,渐新世开始衰退,新近纪—第四纪为整体拗陷阶段。由于凹陷北界的古城-潍河口断层长期强烈活动,使凹陷北部大幅度沉降,形成了北断南超、北陡南缓、北深南浅的箕状凹陷,东西向则表现为夹在两条边界大断裂中的双断式断陷盆地。

2 层序地层分析

2.1 层序界面

层序地层分析的基础和关键是层序底界面的识别和确定。通过对凹陷内地震剖面的分析,在孔店组及沙四段中共识别出六个地震反射界面,五个地震波组。根据地震反射界面的特征和层序定义,可鉴别出六个地震层序界面,界面上下岩性、岩相、电性差异明显(图2)。

SB₁ 界面 该界面为古始新统孔店组与上白垩统王氏组的分界面,为一区域地层不整合面,相应的地震反射界面为 T_R 。层序界面之上为孔三段玄武岩,界面之下为王氏组棕红色/紫红色泥质粉砂岩、砂岩及含砾砂岩。地震反射界面为削蚀不整一面,地层侵蚀角度不整合显著。

SB₂ 界面 该界面为孔二段与孔三段的分界面,为一区域性平行不整合(局部为不整合面),相应的地震反射界面为 T_{GR} 。层序界面之上为孔二下深灰色泥岩,界面之下为孔三段玄

为 T_7 。该界面之下为孔一段中亚段的灰质砂岩, 界面之上为孔一段上亚段的红色泥岩。该界面为不平整—平整—接触, 其地质属性为沉积突变面或沉积间断面。

SB₆ 界面 该界面为古近系馆陶组与古近系沙河街组或孔店组孔一段之间的分界面, 该界面为一区域不整合界面, 相应的地震反射界面为 T_1 。层序界面之下为残留沙四段灰色/灰绿色砂泥岩或孔一段上亚段的红色泥岩, 地层呈角度不整合或平行不整合接触。

2.2 层序组成与体系域特征

以层序界面为等时格架, 将孔店组及其上残留的沙河街组四段划分为五个三级层序。在分析初始湖泛面、最大湖泛面基础上, 进行层序内体系域划分和沉积特征分析。

SQ₁ 层序 该层序由 SB₁ 与 SB₂ 界面之间的孔三段的玄武岩组成。据昌 6、昌 8 和昌 11 等井资料, 玄武岩厚 500 ~ 700m, 为灰黑色/灰绿色/暗紫色及杂色, 属基性喷发, 其间夹多层砂泥岩, 其喷发具旋回性。

SQ₂ 层序 SQ₂ 层序主要由 SB₂ 与 SB₃ 之间的孔二下湖泊扩展体系域(EST) 组成(边缘局部地区有 LST, CST), 岩性为深灰色厚层泥岩夹泥灰岩, 含介形虫化石, 具浅湖—深湖相特征, 厚 80 ~ 220m。

SQ₃ 层序 SQ₃ 层序底界面为 SB₃, 顶界面为 SB₄, 由低水位(LST)、湖泊扩展(EST) 和湖泊萎缩(CST) 三个体系域组成。LST 体系域底界面为 SB₃, 顶界面为孔二中顶的初次湖泛面, 准层序叠加方式以进积式为主, 主要由孔二段中亚段扇三角洲和湖盆浊积扇组成。扇三角洲平原亚相沉积特征似洪积扇, 主要为棕红色砂岩与砾岩沉积, 紧邻断裂带发育。扇三角前缘亚相主要发育水下分支河道和河道间微相。在水下分支河道中以发育厚层的含砾砂岩、粗砂岩为主要特征, SP 曲线上显示多组齿化箱形和钟形密集组合, 底冲刷构造明显, 主要发育块状层理和平行层理, 砂岩分选较好; 前扇三角洲亚相可分为浊积水道、水道间及水道前缘浊积砂等微相。浊积水道砂岩中砾石含量较高, 主要有石英砾、岩屑砾及泥砾等, 成分复杂, 分选差, 磨圆多数为中差, 可见 AB 序组成的递变层理, 底冲刷面明显。水道间由于洪水季节浊积水道的漫溢作用而发育以粉砂岩、泥质粉砂岩和泥岩为主的沉积物, 属于 BE、CE 序列典型浊积岩。水道前缘浊积砂微相位于浊积水道前端湖盆地地形平坦处, 为浊积扇沉积的末梢相带。沉积物以薄层粉砂岩、泥质粉砂岩夹于厚层泥岩中为特征, 属于 CE、DE 序列的典型浊积岩沉积和深水泥岩沉积。本层序的 EST 体系域主要由孔二段上亚段中下部的湖相泥岩组成, 顶界面为油页岩或凝灰岩对应的最大湖泛面, 准层序叠加方式以退积式为主。CST 体系域由孔二段上亚段上部的碳质泥岩、泥岩夹薄层砂岩组成。

SQ₄ 层序 该层序底界面为 SB₄, 顶界面为 SB₅。SQ₄ 层序由低水位、湖泊扩展和湖泊萎缩三个体系域组成。LST 体系域主要由孔一下浅灰色/灰绿色/紫红色细砂、粉砂岩组成, 砂岩分选、磨圆较好, 局部见小型斜层理及水平层理, 泥质及钙质胶结, 成层性较好, 分布稳定。电阻曲线多呈锯齿状低阻, 自然电位负异常明显, 形态以漏斗状、箱状为主, 属辫状三角洲与滨浅湖环境沉积。EST 体系域主要由孔一段中亚段中下部砂泥岩互层组成, 砂岩为棕红色/浅灰色, 单层厚度 1 ~ 3m, 孔隙—基底式胶结, 见水平层理, 泥岩为浅灰色/灰色, 质较纯, 见微细水平层理, 含介形虫化石, 总体为浅湖沉积环境。CST 体系域由孔一段中亚段上部一套含钙泥岩与顶部钙质砂岩构成。该砂岩分布较稳定, 局部见小型层理, 具滨浅湖相特点。

SO₅ 层序 该层序底界面为 SB₅, 顶界面为 SB₆。SQ₅ 层序由 LST 和 EST 两个体系域组成。LST 体系域由孔一段上亚段滨浅湖相红色含膏泥岩构成, EST 体系域由沙四段浅湖-半深湖相灰色/灰绿色泥岩、粉砂岩夹灰岩、油页岩组成。由于济阳运动, 区内南部 SQ₅ 层序通常保存不全。

3 沉积演化

淮北凹陷的发生、发展和消亡与沂沭断裂带活动密切相关。孔店组沉积时期, 盆地经历了由扩张到萎缩的演化过程, 相应地, 沉积相的纵向演化在不同时期表现出不同的沉积相组合。

3.1 SQ₁ 层序(盆地开裂期)

晚白垩世末期—孔三段沉积时期, 由于沂沭断裂带从左旋走滑作用转变为右旋走滑作用, 其力学性质也由压扭性变为张扭性。在淮北凹陷东、西边界的昌邑-大店断裂和葛沟断裂之间形成 NE 向和 NW 向两组断裂, 同时, 由于受深大断裂强烈活动的影响, 引发大规模的火山喷发。因玄武岩呈高温熔融状态, 粘度较小, 易于流动, 使得玄武岩遍及全区分布。本次火山活动具有裂隙式多中心的旋回性喷发特点, 这主要表现在: ①玄武岩沿边界断层发育有多个沉积厚度中心, 盆地北界古城-淮河口断层及柳疃断层为主要岩浆供给通道; ②大套厚层玄武岩中夹有薄层泥岩。古近纪早期, 盆地上升, 玄武岩遭受大面积风化剥蚀, 形成了玄武岩顶部与孔二下段之间的区域不整合面。

3.2 SQ₂ 层序(早沉降期)

始新世孔二期, 随着沂沭断裂右旋平移作用的进一步加剧, 在区域伸张的背景下, 古城-淮河口等原走滑断层剧烈活动(张性继承正断), 湖盆快速下沉, 沉降中心位于凹陷北部。同时, 周围物源区开始隆起, 但尚未进行大规模的剥蚀作用, 致使沉积物充填速度远小于盆地下沉速度, 湖盆沉积环境由浅湖向半深湖—深湖发展。除在盆地边缘发育小型扇三角洲粗粒沉积物外, 大面积湖盆区在孔三段玄武岩之上沉积了灰色至深灰色厚层泥岩、粉砂质泥岩夹薄层泥质粉砂岩、碳质泥岩等。由于此过程基底下沉快, 湖水深, 沉积速度比较缓慢, 沉积物细, 以泥为主。加之当时气候潮湿, 湖泊中生物较为发育, 河水也会把有机物质源源带入湖泊中, 因此, 沉积物中有机质十分丰富, 对形成生油岩非常有利。

3.3 SQ₃ 层序(再沉降期)

孔二中沉积时期, 盆地继续快速扩张, 周围隆起区已开始大规模剥蚀, 季节性水流作用将大量粗粒物质带入湖中, 尤其是盆地东、西和北部边缘因山高坡陡, 剥蚀作用强烈, 物源供给充足, 扇三角洲在其湖泊边缘发育更为突出。扇三角洲前缘沉积的厚层含砾砂岩、粗砂岩等粗粒物质因受到地震、洪水等诱导因素的作用, 就会以浊流的流体形态继续向半深湖—深湖中搬运, 在湖盆发育分布面积广的浊积扇沉积, 形成 SQ₃ 层序——低水位体系域。该体系域中扇三角洲前缘分支河道和浊积扇水道中沉积的砂砾岩, 是有利的油气储集砂体。之后基底继续下沉, 沉积作用日趋平静, 沉积物充填速度小于基底下沉速度, 盆地半深湖—深湖相的沉积环境进一步扩张, 湖平面达到最高位时, 湖水深度最大, 湖盆内发育了分布广泛的油页岩, 构成 SQ₃ 层序——湖侵体系域。之后, 基底下沉速度减缓, 盆地处于扩张末期, 盆地由

半深湖—深湖的沉积环境逐渐向浅湖演化, 物质供应不足, 水体安静, 沉积了以浅湖相泥岩为主夹少量薄层粉砂岩, 局部含有钙质粉砂岩的沉积物, 构成SQ₃层序——湖泊萎缩体系域。孔二中上沉积时期, 气候潮湿, 湖盆中生物大量繁殖, 泥岩中有机质含量增高, 为研究区内最为有利的生油岩。

3.4 SQ₄ 层序(早萎缩期)

始新世孔一期, 构造活动相对较弱, 湖盆进入萎缩期, 水深减小。气候条件由孔二期潮湿多雨变为炎热干旱, 湖盆沉积环境由还原环境变为氧化环境, 因此, 沉积物也由灰色、浅灰色变为紫色、紫红色。孔一下沉积时期, 北部和西部发育有扇三角洲, 东部和南部发育有辫状河三角洲和曲流河三角洲, 四周物质源源涌入。由于各种三角洲前缘分支河道的不断摆动迁移和加积作用, 加之水动力较强的湖浪对三角洲前缘沉积物的改造再分配作用, 造成全区广泛分布、成层性好的大套厚层砂岩沉积, 构成SQ₄层序——低水位体系域。该体系域中三角洲前缘分支河道砂体、前缘席状砂以及浅湖亚相中的滩坝砂体, 是极为有利的油气储集砂体。孔一中期, 盆地充填作用减缓, 物源供给较少, 研究区内主要为分布面积广的浅湖相沉积。沉积物主要为厚层泥岩夹薄层粉砂岩、泥质粉砂岩与薄层砂泥岩互层, 顶部发育有几组区域上可连续追踪的薄层钙质粉砂岩和钙质泥页岩(T₇), 构成了SQ₄层序——湖侵体系域和湖盆萎缩体系域。

3.5 SQ₅ 层序(萎缩期和晚沉降期)

孔一上沉积时期, 随着构造沉降的减弱, 盆地进入萎缩晚期, 水体更趋减少。至后期甚至出露水面, 形成极浅湖—湖湾—浅湖相沉积。此时, 湖盆已被填满, 四周物源少而细, 气候相当干旱。沉积物以紫红色泥岩为主, 夹少量薄层粉砂岩及泥质粉砂岩, 构成层序V——盆低水位体系域。之后, 盆地构造沉降作用有所加强, 沉积了一套灰色/灰绿色泥岩、粉砂岩夹灰岩和油页岩的沙四段地层, 构成SQ₅——湖侵体系域, 后经盆地大幅度构造抬升而遭受剥蚀, 使得沙四段在洼陷区外仅残存部分地层甚至全部缺失。

4 层序地层的沉积模式

根据淮北凹陷层序地层、体系域及沉积体系分析, 结合盆地构造沉积演化特点, 笔者给出湖盆的两种层序地层沉积模式, 即南北向单断式层序地层沉积模式(图3)和东西向双断式层序地层沉积模式(图4)。

南北向单断式层序地层沉积模式反映湖盆短轴方向受北部古城—淮河口断层控制的北断南超的箕状断陷湖盆充填沉积模式。由于北部古城—淮河口大断层持续强烈活动, 北部洼陷带持续下降, 可容空间增加量大于沉积物供给量, 盆地整体处于欠补偿阶段, 在各层序中湖侵体系域较为发育。尤其是SQ₂层序处于强断陷期, 气候较为潮湿, 盆地整体扩张, 主要沉积了细粒的暗色泥岩, 为该区有利油气源岩。南部盆地边缘坡度较缓, 各层序体系域发育齐全, 为正常的层序演化。

东西向双断式层序地层沉积模式反映湖盆长轴方向受东西两侧边界大断层控制的双断湖盆沉积充填模式。由于东西两侧边界大断层持续活动, 盆地两侧沉降均匀, 同时两个方向物源供给充足, 致使可容空间增加量小于沉积物供给量, 盆地整体以补偿阶段为主。在SQ₃

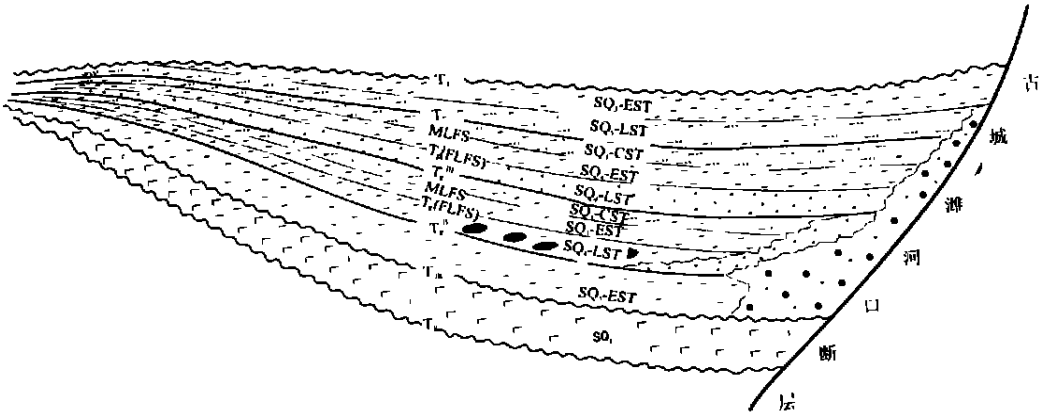


图 3 淮北凹陷南北向单断式层序地层沉积模式

Fig. 3 Sedimentary model for the NS-trending simple fault sequence stratigraphy of the North Weifang depression

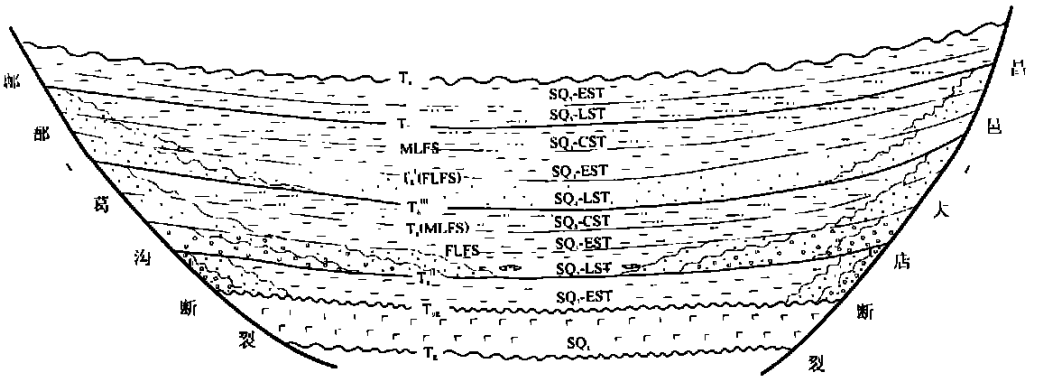


图 4 淮北凹陷东西向双断式层序地层沉积模式

Fig. 4 Sedimentary model for the EW-trending duplex fault sequence stratigraphy of the North Weifang depression

和SQ₄层序低水位体系域中各种三角洲沉积体系发育,发育有多套含砾砂岩、砂岩储集层,物性较好,为淮北凹陷有利储集层。

参考文献:

[1] 徐怀大,魏魁生,洪卫东,等. 层序地层学原理[M]. 北京:石油工业出版社,1993.
[2] 王秉海,钱凯,等. 胜利油区地质研究与勘探实践[M]. 东营:石油大学出版社,1993.
[3] 丘东洲,等. 陆盆扇体沉积形成机制及其油气意义[M]. 北京:石油工业出版社,1988.
[4] 丘东洲,等. 川西凹陷南区侏罗系层序地层与油气[J]. 天然气工业,2000. 20(4): 5-9.