

南堡凹陷东营组同沉积构造活动性与沉积格局的配置关系研究

王 华¹, 姜 华², 林正良¹, 赵淑娥¹

(1 中国地质大学 资源学院, 湖北 武汉 430074; 2 中国石油勘探开发研究院 地质研究所, 北京 100083)

摘要: 应用构造-层序地层分析的思维, 通过构造格架与地层格架的关联分析, 对南堡凹陷东营组沉积充填样式与过程、控制要素进行了综合研究。通过沉降史分析, 并结合区域构造演化特征, 古近纪可划分为4个次级构造幕。凹陷内断裂发育, 同沉积断裂及其时空配置关系对凹陷内结构和沉积体系类型及其展布起着重要的控制作用。控凹断裂直接控制了局部构造带的可容纳空间变化和古地貌形态, 从而形成不同的沉积展布特征。高柳断层是南堡凹陷内最为重要的二级断裂, 其活动始于 E_{s1} 沉积时期, 在东营组沉积时期活动最为强烈。在东营组沉积时期, 高柳断层将凹陷分为南、北两个独立的沉积系统, 尤其在 Ed_3 沉积期其强烈的翘倾作用使高柳地区成为一个孤立的湖盆, 直接影响了高柳地区的沉积充填。根据东营组沉积时期同沉积断裂组合样式划分出4种断裂坡折带: 断崖型、断坡型、同向断阶型和反向断阶型, 为研究南堡凹陷东营组同沉积断裂对沉积格局的控制作用提供了有利的指导, 具有重要的石油地质意义。

关键词: 南堡凹陷; 东营组; 断坡带; 高柳断层; 构造活动性

中图分类号: P618.130.2; TE122.3⁺21 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2011)01-0070-08

Relations Between Syndimentary Tectonic Activity and Sedimentary Framework of Dongying Formation in Nanpu Sag

WANG Hua¹, JIANG Hua², LIN Zheng-liang¹, ZHAO Shu-e¹

(1. School of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 2. Institute of Geological Research, Research Institute of Petroleum Exploration and Development PetroChina, Beijing 100083, China)

Abstract Under the guidance of tectono-sequence stratigraphy and the association analysis of tectonic and sequence framework, the sedimentary filling patterns, process and controlling factors of Dongying Formation in Nanpu Sag are comprehensively studied. Through the analysis on subsidence history and regional tectonic evolution characteristics, the Paleogene can be divided into four secondary tectonic episodes. Faults are very developed within Nanpu Sag. It is found that the syndimentary faults and their temporal and spatial configuration have significant control on the intra-sag structures, types and distribution of sedimentary system. The boundary faults control the variation of accommodation space and paleogeomorphology of some local tectonic zones, which result in forming different sediments distribution features. Gaoliu Fault is the most important secondary fault in Nanpu Sag. It starts during the E_{s1} depositional period, and its activity gradually reaches the strongest in Dongying Formation. During the deposition period of Dongying Formation, Gaoliu Fault divides sag into two parts, the southern and northern parts. After its development, the Gaoliu Area becomes an isolated lacustrine basin for the intensive tilting process of the fault during the sedimentary period of Ed_3 , which directly influences the sedimentation in Gaoliu Area. Based on the faults combination styles of Dongying Formation in Nanpu Sag, four types of tectonic slope break are identified, which are faulted scarp type, faulted slope type, concordant and antithetic faulted terrace types. These tectonic slope breaks provide a favorable guidance to the study on the controlling of syndimentary faults on sedimentary framework in Dongying Formation, Nanpu Sag.

Key words: Nanpu Sag; Dongying Formation; faulted slope zone; Gaoliu Fault; intensive tectonic activity

收稿日期: 2010-07-26

基金项目: 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室基金项目(TPR-2009-19; TPR-2010-08)

作者简介: 王 华(1964-), 男, 黑龙江甘南人, 教授, 博士研究生导师, 从事应用沉积学、应用层序地层学研究。E-mail: wanghua@cug.edu.cn

0 引言

10 多年来,国内外学者特别是中国学者通过对构造活动盆地的研究,认为在控制盆地充填的湖(海)平面变化、物源供给、构造活动和气候变化等4个要素中,构造作用往往起到更重要的作用。盆地的幕式构造活动、同沉积构造活动的时空差异性对盆地的可容纳空间、沉积速率和沉积物源等都具有深刻的影响^[14]。目前,层序地层学作为有效的勘探工具已得到广泛应用^[57],同时,结合层序地层分析,在高精度层序地层格架内研究构造对沉积的控制作用逐渐成为近年来国际上构造地质学研究的一个新视角^[4]。“构造层序地层分析”或“构造层序地层学”这一概念近年来不断被提及^[3-4,8],研究盆地构造作用与沉积层序发育演化的关系,阐明各种构造作用对层序样式、层序内沉积旋回、沉积体系域以及沉积体系的类型、分布与成因的控制作用,对于指导油气勘探具有积极

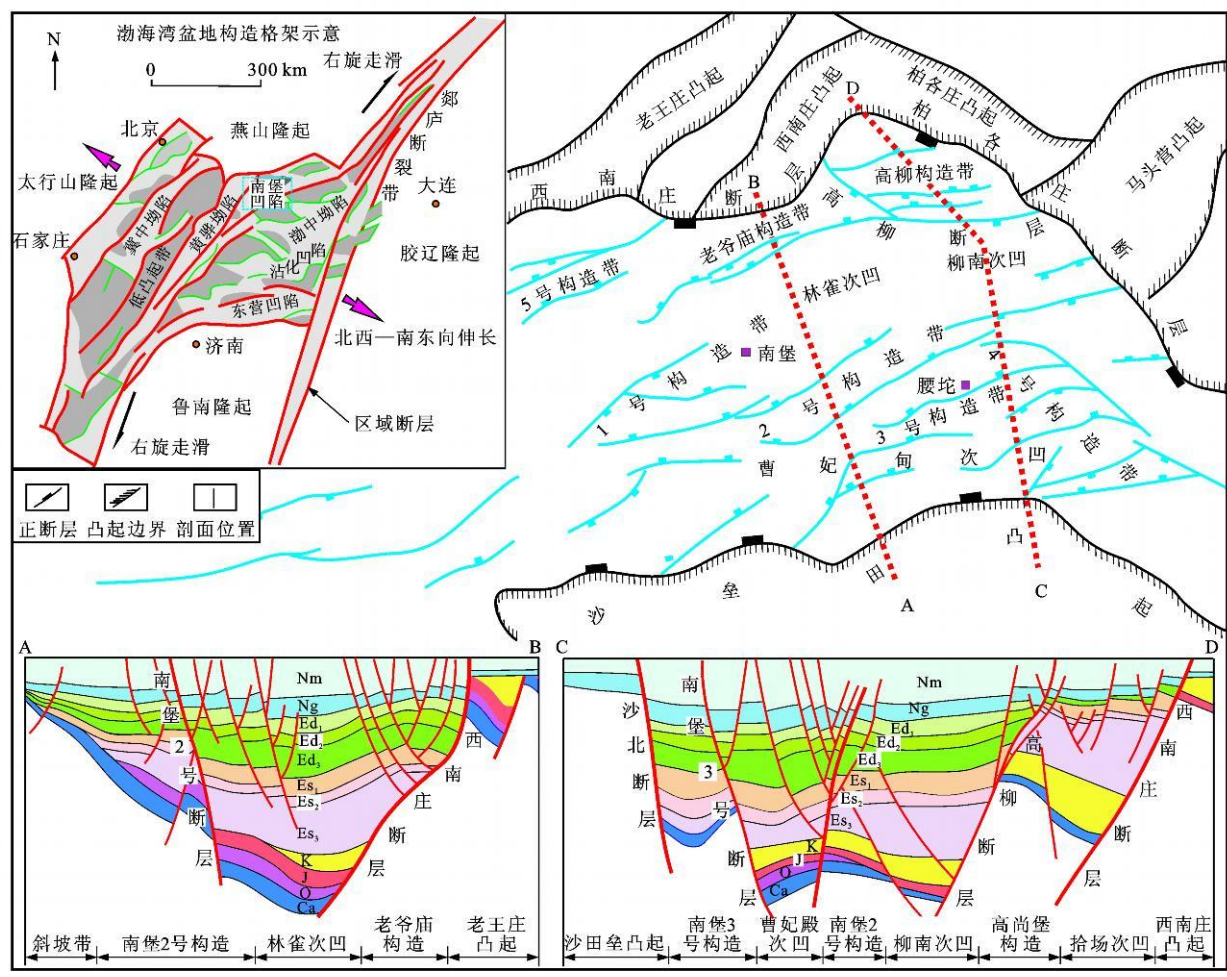
意义,已成为国际上沉积地质研究的新热点。

中国东部大陆边缘大多数中生代含油气盆地是陆相断陷盆地,其演化过程具有多幕性,发育由不同级别的幕式构造所控制的沉积旋回⁹⁻¹⁰。同时,沉积层序和体系域的发育和分布与构造的活动强度和活动期次有着紧密联系,且体系域内沉积相变剧烈,相带狭窄,与同生断裂的分布、规模、组合样式等密切相关。

通过对渤海湾盆地南堡凹陷东营组的研究发现,同沉积断裂活动及其产生的构造古地貌对沉积层序发育及其内部沉积体系分布起到非常重要的控制作用。长期继承性发育的同沉积断裂及其组合样式控制着凹陷内可容纳空间的变化,从而控制着盆地内的砂分散体系和砂体的展布样式。

1 盆地背景

南堡凹陷是位于渤海湾盆地黄骅坳陷北部的一个中生代凹陷(图1)。该凹陷西北部以西南庄断



注:据文献[11]修改

图1 渤海湾盆地南堡凹陷构造格局及东西部构造格架

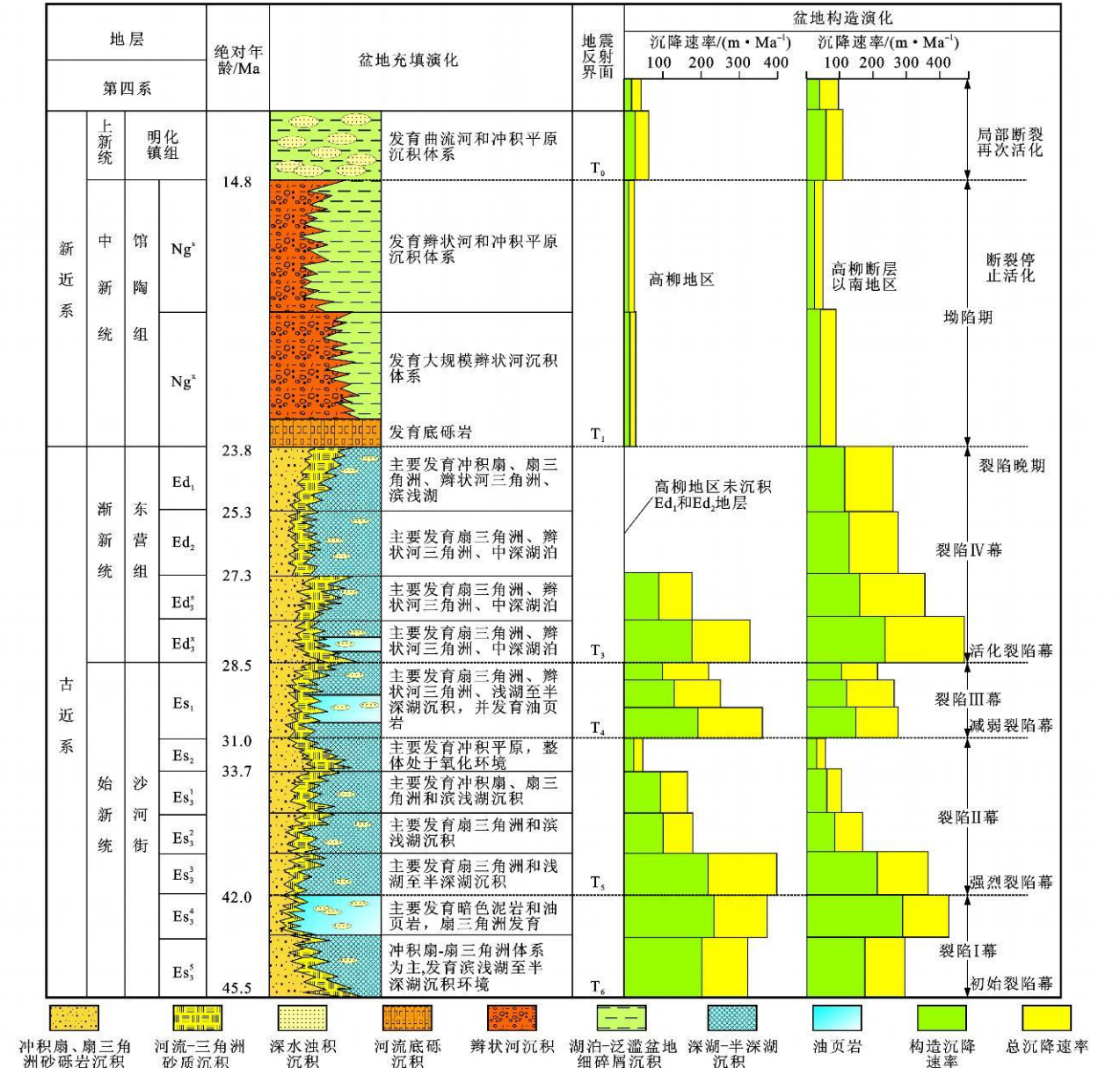
层为界,与老王庄—西南庄凸起为邻;东北部以柏各庄断层为界,与马头营—柏各庄凸起毗邻;南部与沙垒凸起呈断超关系,该凹陷内部被高柳断层分割为南北两区。凹陷面积约 1 932 km²,总体呈“北断南超”的复式半地堑结构。盆地结构在不同区域存在较大差异,在分布区域上,“北断南超”的特征在凹陷西部(高柳断层以西的地区)表现得比较显著,向东逐渐过渡到“双断型”复式地堑结构,但分布范围相对较小^[11-13]。

研究区南堡凹陷是渤海湾盆地内重要的油气勘探开发区之一,其中东营组是最重要的油气产出层

位,其地层主要发育于高柳断层的下降盘及滩海地区,高柳地区遭到抬升剥蚀,东营组地层不发育。东营组地层沉积期,凹陷受到多种应力场的多期控制,同沉积断裂发育,形成老爷庙背斜、高柳构造带、南堡 1 号等多个次级构造单元。

2 充填序列和幕式裂陷作用

南堡凹陷同沉积裂陷期受中国东部区域幕式构造运动控制。根据沉降史恢复可将南堡凹陷古近纪划分为 4 期次级构造幕式沉降(图 2):Es₃⁴⁺⁵ 层序对应裂陷 I 幕;Es₂ 至 Es₃³ 层序对应裂陷 II 幕;Es₁ 层序对



注: 据文献 [13]。

图 2 渤海湾盆地南堡凹陷第三纪充填序列和构造演化

Fig. 2 Filling Sequence and Tectonic Evolution of the Tertiary Nanpu Sag in Bohai Bay Basin

应裂陷Ⅱ幕;Ed层序对应裂陷Ⅳ幕,其一、二级层序基本与同在渤海湾盆地的东濮凹陷一致(但缺失孔店组和沙河街组四段),而与渤海湾盆地东部的济阳拗陷略有差异,体现了区域构造差异对盆地充填的控制作用;新近纪拗陷期的两幕构造运动基本一致。

高柳断层是南堡凹陷内一条十分重要的盆内次级断层,其活动始于Es₁沉积时期,在Ed沉积时期构造活动最为强烈。正是由于高柳断层的活动将南堡凹陷分为南、北两个部位。北部地区(即高柳地区)沉积中心被古近纪前三幕构造活动(对应沙河街组地层)所控制。南部地区(即高柳断层以南地区)沉积中心被裂陷Ⅳ幕构造活动(对应东营组地层)所控制。

裂陷Ⅰ幕:Es₃⁵沉积时期为南堡凹陷的初始裂陷期。控制凹陷北部地区沉积的边界断层西南庄断层和柏各庄断层开始活动。整个凹陷雏形开始形成,为较浅的北断南超的箕状凹陷。凹陷北部高柳地区的拾场次洼为该时期的沉积中心和沉降中心,地层向西南方向超覆减薄,发育一套以红色泥岩、灰绿色泥岩和粗碎屑岩为主的冲积扇沉积,在深洼区发育深灰色湖相泥岩。Es₃⁴沉积时期,控边断裂活动性开始加强,箕状结构特征更加明显,沉积中心和沉降中心向南至柳南次洼。凹陷内形成以扇三角洲和半深湖至深湖相为主的沉积地层,岩性以灰色、深灰色、灰黑色泥岩、油页岩为主,夹有薄层砂岩,为南堡凹陷重要的烃源岩层。由于该裂陷幕晚期区域性的构造抬升作用,西部地区地层遭受了强烈剥蚀。

裂陷Ⅱ幕:该裂陷幕是南堡凹陷的主裂陷幕。受到西南庄断层的强烈活动,凹陷内最大的沉积中心和沉降中心移至林雀次凹,拾场次凹还保留继承性的次级沉积中心。在该裂陷幕早期,受整个渤海湾盆地上地幔强烈隆起控制,断陷作用强烈,凹陷内的次级断裂活动性增强,发育以砾岩、含砾砂岩、灰色和灰绿色泥岩为主的沉积地层,为南堡凹陷古近系最主要的储集层段。北部陡坡地区,受西南庄断层和柏各庄断层的强烈活动的影响,在其下降盘发育大规模的扇三角洲沉积体系;南部缓坡带地区,发育辫状河三角洲沉积体系,其物源来自于沙垒田隆起。该裂陷幕晚期,整个凹陷趋于填平,发育氧化环境下的河流相冲积体系。与下覆沙河街组三段地层呈假整合接触。其顶部地层由于受到凹陷整体构造隆升遭受剥蚀而减薄,大部分地区残余地层厚度小于100 m。

裂陷Ⅲ幕:该裂陷幕的构造活动性开始减弱。该时期高柳断层开始活动,将凹陷分为两个大的沉积单元,并导致沉积中心和沉降中心向南迁移。发

育一套浅湖背景下的扇三角洲沉积体系,沉积物以灰色泥岩、浅灰色砂岩为主,并形成一定厚度的烃源岩层。同时,在高柳地区发育少量生物灰岩。

裂陷Ⅳ幕:为南堡凹陷的裂陷晚期。该时期凹陷内的高柳断裂活动性强烈,沉积中心转移到高柳断层的下降盘,发育柳南次凹和林雀次凹两个沉积和沉降中心。Ed₁和Ed₂沉积时期,由于高柳断层的活动,导致高柳地区的地层发生翘倾作用并局部遭受剥蚀,从而导致东营组地层不发育。在高柳断层以南地区,东营组最大沉积厚度超过2 000 m。其中,Ed₃底部发育一套以粗碎屑为主的冲积体系;向上变为扇三角洲;Ed₂沉积时期为南堡凹陷最大湖侵期,沉积了一套达200~400 m的巨厚泥岩;Ed₁沉积时期湖盆开始逐渐萎缩形成了一套以粗碎屑为主的冲积体系。因此,整个东营组形成一个完整的沉积旋回。

3 同沉积断裂特征、活动样式与沉积体系分布

南堡凹陷裂陷期断裂系统十分发育,同沉积断裂及其组合样式控制的古地貌决定着可容纳空间的变化,从而影响着沉积物分散体系和沉积体系域的发育和分布,这一特征在东营组尤为显著。控凹边界断层西南庄断层、柏各庄断层以及高柳断层控制着盆地的整体结构,各二级构造带控制断层及其次级调节断层的配置控制着沉积体系在盆地内部的迁移和堆积。

3.1 构造-层序地层格架

在断陷盆地中,规模较大的、活动时期长、贯通到地表的同沉积断裂常构成断裂坡折带,简称断坡带^[14-16]。断坡带是由同沉积断裂活动产生的地貌明显发生差异变化的古构造枢纽带,是沉积相带和沉积厚度发生突变的地带。在南堡凹陷内,沿北部西南庄断层、柏各庄断层及其调节断层构成的陡坡带、南部由南堡1~4号构造带形成的缓坡带受到不同时期的同沉积断裂的控制,形成多级坡折带,产生了复杂的构造古地貌,对盆地充填样式产生了深刻的影响。

以过南堡凹陷东部典型构造格架为例(图3),剖面沿柏各庄断层下降盘展布,自北而南分别受到控凹断裂柏各庄断层、高柳断层和垂直于柏各庄断层的次级调节断层控制。物源主要来源于柏各庄断层的侧向供应,受到同生断裂的控制作用进行了沉积物的重新分配和堆积。在裂陷早期,断裂活动强

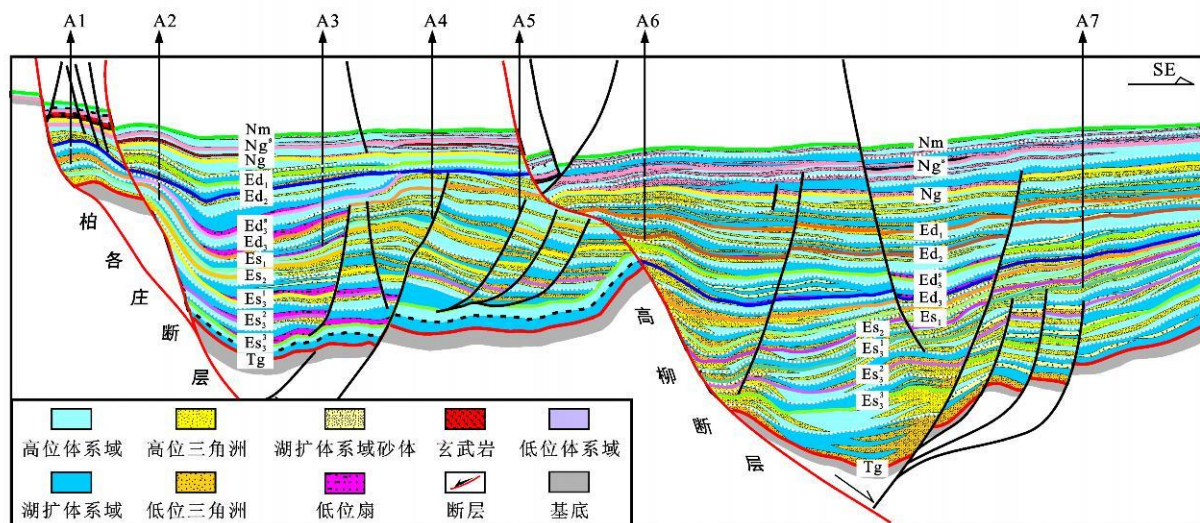


图 3 渤海湾盆地南堡凹陷东部地区连井沉积断面

Fig. 3 Depositional Profile with Wells in East Area of Nanpu Sag of Bohai Bay Basin

烈, 断裂控制着低位体系域的分布, 多级断裂造成的陡坡带往往是低位扇体发育的部位。冲积扇、近岸水下扇和扇三角洲以及滨浅湖、深湖泥岩、深水浊积等是早期主要发育的沉积体系, 断裂的下降盘往往是砂体聚集和厚度增大的部位。

值得注意的是, 高柳断层在裂陷早期并不活动, 直到 E_{S1} 沉积时期才开始活动, 至东营组沉积时期剧烈翘倾活动, 使其上升盘和下降盘在某一时期开始分割为两个相互孤立的湖盆, 并造成了高柳地区最终成为独立的沉积系统直至完全充填(图 4)。在翘倾过程中, 高柳地区临近高柳断层上升盘的部位, 发生强制性湖退, 局部暴露发生剥蚀, 一部分输入高柳地区成为局部物源, 另一部分以陡岸扇形式在高柳断层下降盘堆积^[17]。

3.2 同沉积断裂(坡折)带的配置与沉积体系域分布

在构造活动盆地中, 构造活动控制的古地貌影响着物源的输入、可容纳空间的变化以及沉降和沉积中心的分布。同沉积断裂的组合特征及其形成的特定构造古地貌, 制约着沉积体系的分散过程及砂体堆积位置及展布范围。南堡凹陷东营组不同构造部位不同断裂配置关系形成了不同的沉积体系展布样式。以 Ed^8 沉积时期低位体系域(LST)沉积体系与古地貌配置为例(图 5), 西南庄断层下降盘形成 3 个继承性的物源入口, 分别对应柳赞构造带、老爷庙构造带和南堡 5 号构造带, 形成大规模的扇三角洲沉积体系; 柏各庄断层的物源入口则频繁更迭, 且由于其下降盘梳状断层对砂分散体系的控制作用, 导致柏各庄下降盘扇体横向大规模的展布; 南堡 4 号构造带供源方向主要来自柏各庄断层方向, 在不同时期由于物源

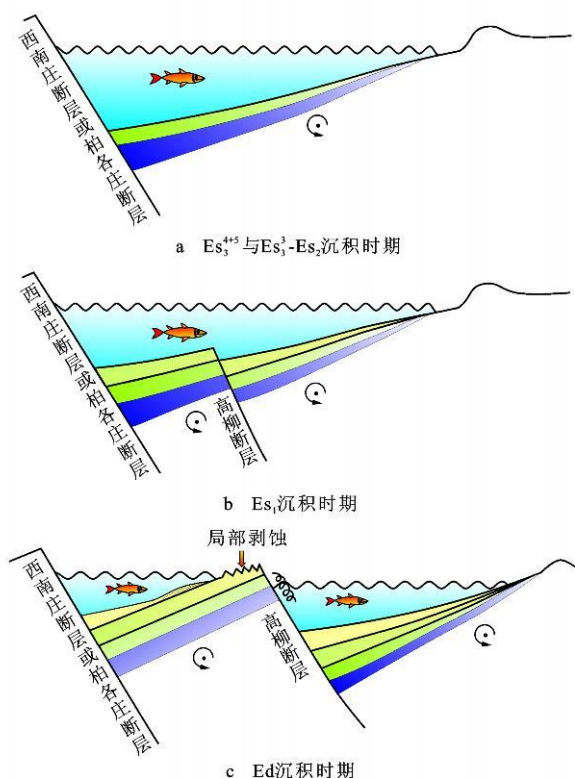


图 4 渤海湾盆地南堡凹陷高柳断层断块翘倾作用模式

Fig. 4 Model of Fault Block Tilting of Gaoliu Fault in Nanpu Sag of Bohai Bay Basin

规模的变化, 并非所有时期在其下降盘都有砂体发育, 在 Ed^8 低位发育期, 物源扩展到南堡 4 号构造带, 砂体沿帚状构造展布。南堡 2、3 号构造带的物源供给主要来自于南部的沙垒田隆起, 该方向物源沿着构造形成的地槽或斜坡进入南堡凹陷内部。整体来源于北部陡坡带的沉积体系以扇三角洲为主, 而南部缓坡带的沉积体系以辫状三角洲为主, 受凹陷内次级断

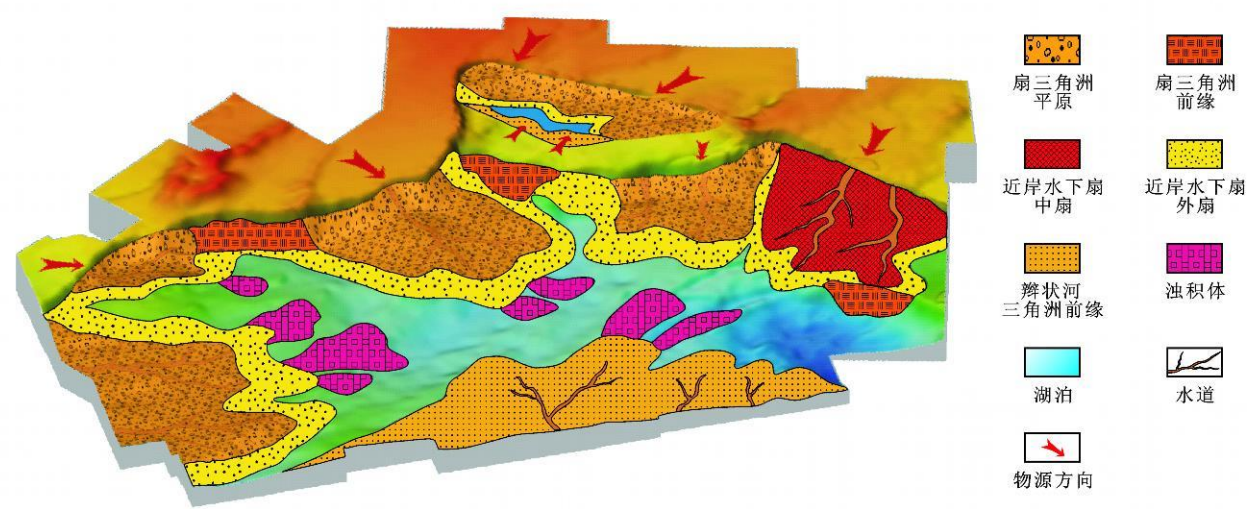


图 5 南堡凹陷 Ed₃ 低位体系域与古地貌配置关系

Fig. 5 Configuration of Lowstand System Tract and Geomorphology in Upper of the Third Member of Dongying Formation in Nanpu Sag

裂的控制,前缘都普遍发育滑塌水下扇体。值得注意的是,在柏各庄断层下降盘的中、早期发育近岸水下扇体,近岸水下扇体为重力流迅速在水下堆积的产物,在柏各庄断层下降盘形成巨厚的砂砾岩体,可能成为油气聚集的有利储集岩体^[18]。

3.3 几种断裂组合样式对砂分散体系的控制

南堡凹陷东营组断裂发育异常复杂,主干断层和次生调节断层以多种多样的方式组合,控制着地层厚度与沉积相突变,断裂坡折带不仅是低位域盆底扇和高位域三角洲前缘或前缘滑塌浊积岩堆积的重要场所,对来自缓坡方向的物源体系以及砂体分布有重要控制作用,而且断裂组合形成可容纳空间的局部变化,对沉积物在盆地内分散过程的影响是最直接的。

根据边界断层、内部结构、平面展布、构造位置、发育演化阶段等特点,可将南堡凹陷坡折带继续划分为断崖型、断坡型、同向断阶型、反向断阶型 4 类断裂组合样式(图 6)。这些断裂剖面组合样式形成特定的古地貌,控制着可容纳空间的变化,影响着局部碎屑体系推进方向和砂体的展布样式。

3.3.1 断崖型

断崖型断裂构成样式往往由盆地边缘控制断层形成,地形强烈变化,断层产状高陡,往往在断层下为沉降最强烈部位,湖水水体较深。物源体系进入盆地后,就近迅速堆积形成近岸水下扇,在水体较浅情况下,沉积扇体向扇三角洲沉积过渡。水系分散和沉积体规模小,沉积相带窄是最显著的特点。

南堡凹陷西南庄断层西段在东营组沉积期活动

强烈,断层下降盘发生强烈翘倾,从凹陷西部边缘进入的物源体系沿断裂形成的沟槽沿断裂边缘迅速堆积扩展,直至断裂附近可容纳空间基本充填的情况下,向盆地深部扩展(图 6 中断崖型)。

3.3.2 断坡型

断坡型断裂构成样式可以形成在盆地的陡坡带也可以形成盆地的缓坡带,其特点是断裂活动作用不强,其下降盘部位并非沉降最大的位置,地貌向盆地方向继续变深,从而形成断裂下的斜坡区。由于断裂附近可容纳空间较小,沉积体系会沿着斜坡继续向前扩展,与断崖型控制的沉积体系相比,沉积体系展布范围较广,以扇三角洲沉积体系发育为主,水体较深情况下可能发育近岸水下扇,并在斜坡下方形成盆底扇或滑塌浊积扇等重力流沉积体系。

南堡凹陷柏各庄断层下降盘往往形成这样的断裂构造样式,西南庄断层部分位置也表现为这种断裂构造样式(图 6 中断坡型)。

3.3.3 同向断阶型

同向断阶型与断坡型构造样式有相似之处,都是向盆地方向地貌变陡,不同之处在于断坡型控制下沉积体系沿斜坡连续发育,而同向断阶型则在每一个断层下降盘形成可容纳空间的突变,从而在不同断阶部位控制的主体沉积相发生突变的位置。

南堡凹陷南部的缓坡带或者北部陡坡带局部部位发育这种构造构成样式类型,控制着扇三角洲和辫状河三角洲的发育(图 6 中同向断阶型)。

3.3.4 反向断阶型

反向断阶型与断崖型具有相似之处,由边界断

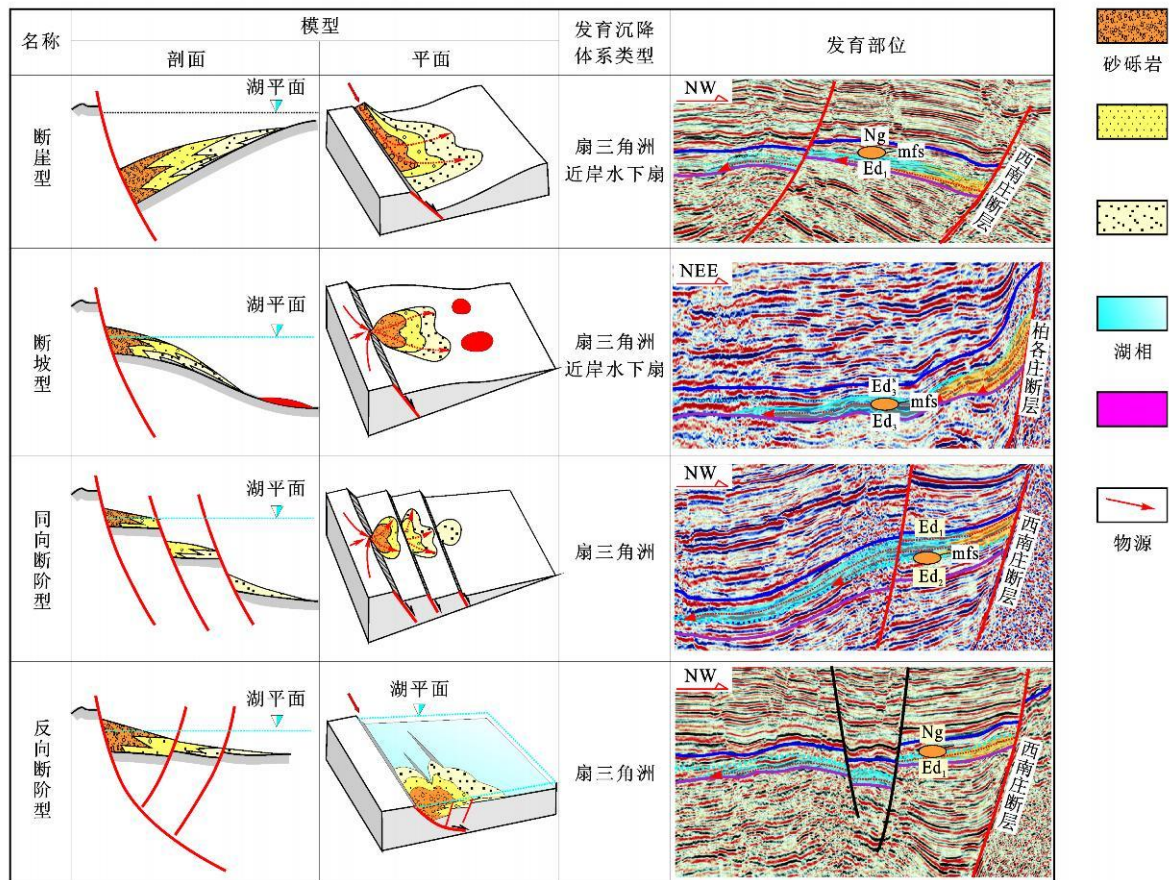


图 6 南堡凹陷东营组构造坡折类型及其对砂分散体系的控制

Fig. 6 Types of Faulted Slope Belts and Their Controlling on Sandbody Distribution in Dongying Formation of Nanpu Sag

层相反的次级调节断层形成。物源进入盆地后, 沿着主干断裂下的断槽进行分散和充填, 然后在可容纳空间充填与反向调节断层上升盘相近时沉积体系向盆地方向展布。这种构造构成类型控制的沉积厚度带更集中于主干断层下降盘。

在南堡凹陷北部老爷庙构造带和南部缓坡带都发育这种构造构成类型。值得注意的是, 虽然沉积相变位置仍然向盆地方向变化, 粒度由盆缘粗碎屑沉积向盆地中心细粒碎屑沉积变化, 但是由于其前缘部位水体较浅, 沉积物经过反复淘洗作用, 经常表现为较粗和分选较好的砂质沉积(图 6 中反向断阶型)。

4 结语

南堡凹陷东营组为凹陷内重要的勘探目的层段。受幕式构造活动的强烈控制, 其沉积地层为一个完整的沉积旋回。通过对南堡凹陷构造演化特征和沉积体系的综合研究可以得出以下结论。

(1) 南堡凹陷古近纪构造活动具有幕式活动的特征。通过沉降史分析并结合区域构造演化特征, 将古近纪划分为 4 个次级构造幕, 并经历了初始裂

陷幕、强烈裂陷幕、减弱裂陷幕、活化裂陷幕和裂陷晚期等活动阶段。每个次级构造幕分别对应着一个二级构造层序, 并由于不同构造幕的构造活动强度和演化差异性形成不同的构造样式, 从而控制着沉积体系类型和展布特征的变化。

(2) 高柳断层的活动对南堡凹陷盆内结构和盆内充填样式的控制起到了关键性的影响。高柳断层的活动始于 E_{s1} 沉积时期, 在东营组沉积时期活动最为强烈, 由于断裂活动造成强烈掀斜作用, 使得高柳地区地层遭受剥蚀, 并将南堡凹陷分为南、北两个相互独立的沉积系统。这一观点对于认识高柳地区的沉积体系演化具有十分重要的意义。

(3) 受构造活动影响, 南堡凹陷东营组断裂异常发育, 主干断层和次生调节断层以多种多样的方式组合, 并控制着地层厚度与沉积相的变化。根据南堡凹陷东营组沉积时期内部主干断裂和次级调节断裂的组合样式可以划分出 4 种构造坡折类型: 断崖型、断坡型、同向断阶型和反向断阶型。不同的构造坡折带控制着不同的可容纳空间变化, 从而影响着古地貌形态和古水深以及物源通道的变化, 导致沉

积体系类型和规模及空间分布形态的差异性,近而影响储层物性和孔隙性的差异性。

参考文献:

- [1] Lin C S, Li S T, Wan Y X, et al. Depositional Systems, Sequence Stratigraphy and Basin Filling Evolution of Erlian Fault Lacustrine Basin, Northeast China[J] // Liu B J, Li S T. Basin Analysis, Global Sedimentary Geology and Sedimentology: Proceedings of the 30th International Geological Congress, Utrecht; Brill Academic Publisher, 1997: 163-175.
- [2] 林畅松, 刘景彦, 张燕梅, 等. 库车坳陷第三系构造层序的构成特征及其对前陆构造作用的响应[J]. 中国科学: D 辑, 2002, 32(3): 177-183.
- [3] 林畅松. 沉积盆地的构造地层分析[J]. 现代地质, 2006, 20(2): 185-194.
- [4] 林畅松, 郑和荣, 任建业, 等. 渤海湾盆地东营、沾化凹陷早第三纪同沉积断裂作用对沉积充填的控制[J]. 中国科学: D 辑, 2003, 33(11): 1025-1036.
- [5] 李思田, 潘元林, 陆永潮, 等. 断陷湖盆隐蔽油藏预测及勘探的关键技术[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2002, 27(5): 592-598.
- [6] 王家豪, 王 华, 赵忠新, 等. 层序地层学应用于古地貌分析: 以塔河油田为例[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2003, 28(4): 425-429.
- [7] 田景春, 彭 军, 陈高武, 等. 塔里木盆地东河塘组层序地层学研究[J]. 地球科学与环境学报, 2007, 29(2): 130-136.
- [8] 邓宏文, 郭建宇, 王瑞菊, 等. 陆相断陷盆地的构造层序地层分析[J]. 地质前缘, 2008, 15(2): 1-7.
- [9] 严德天, 王 华, 王清晨. 中国东部第三系典型断陷盆地幕式构造旋回及层序地层特征[J]. 石油学报, 2008, 29(2): 185-190.
- [10] 解习农, 程守田, 陆永潮. 陆相盆地幕式构造旋回与层序构成[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1996, 21(1): 27-33.
- [11] 徐安娜, 郑红菊, 董月霞, 等. 南堡凹陷东营组层序地层格架及沉积相预测[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(4): 437-443.
- [12] 刘延莉, 邱春光, 邓宏文, 等. 冀东南堡凹陷古近系东营组构造对扇三角洲的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(1): 95-101.
- [13] 王 华. 南堡凹陷构造古地貌、沉积体系、热动力学研究及有利勘探方向预测[R]. 唐山: 中国石油天然气集团公司冀东油田分公司, 2009.
- [14] 任建业, 陆永潮, 张青林. 断陷盆地构造坡折带形成机制及其对层序发育样式的控制[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2004, 29(5): 596-602.
- [15] 林畅松, 潘元林, 肖建新, 等. 构造坡折带——断陷盆地层序分析和油气预测的重要概念[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(3): 260-266.
- [16] 王家豪, 王 华, 肖敦清, 等. 伸展构造体系中传递带的控砂作用[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(1): 19-25.
- [17] 操应长. 断陷湖盆中强制湖退沉积作用及其成因机制[J]. 沉积学报, 2005, 23(1): 84-90.
- [18] 管 红, 朱筱敏. 南堡凹陷东营组层序地层格架与沉积体系[J]. 沉积学报, 2008, 26(5): 730-736.
- [19] Owen R A, Owen R B, Renaut R W, et al. Mineralogy and Origin of Rhizoliths on the Margins of Saline Alkaline Lake Bogoria Kenya Rift Valley[J]. Sedimentary Geology, 2008, 203(1/2): 143-163.
- [20] 胡 广, 金章东, 张 飞. 利用介形类壳体 Sr、Mg 重建古环境受自生碳酸盐矿物的限制及机理探讨[J]. 中国科学: D 辑, 2008, 38(2): 177-186.
- [21] Jin Z D, Bickle M J, Chapman H J, et al. Early to Mid-Pleistocene Ostracod $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in the Central Tibetan Plateau: Implication for Indian Monsoon Change[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2009, 280(3/4): 406-414.
- [22] Jin Z D, Bickle M J, Chapman H J, et al. Ostracod Mg/Sr/Ca and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Geochemistry from Tibetan Lake Sediments: Implications for Early to Mid-Pleistocene Indian Monsoon and Catchment Weathering[J]. Boreas, 2010. DOI: 10. 1111/j. 1502-3885. 2010. 00184. x.
- [23] Ito E, Forester R M. Changes in Continental Ostracode Shell Chemistry: Uncertainty of Cause[J]. Hydrobiologia, 2009, 620(1): 1-15.
- [24] Campana S E. Chemistry and Composition of Fish Otoliths: Pathways Mechanisms and Applications[J]. Marine Ecology Progress Series, 1999, 188: 263-297.

(上接第 44 页)

- [54] 胡守云, Appel E, Hoffmann V, 等. 湖泊沉积物中胶黄铁矿的鉴定及其磁学意义[J]. 中国科学: D 辑, 2002, 32(3): 234-238.
- [55] Snowball I, Thompson R. A Stable Chemical Remanence in Holocene Sediments[J]. Journal of Geophysical Research, 1990, 95(B4): 4471-4479.
- [56] Babinszki E, Márton E, Márton P, et al. Widespread Occurrence of Greigite in the Sediments of Lake Pannon; Implications for Environment and Magnetostratigraphy[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2007, 252(3/4): 626-636.
- [57] Jones B F, Eugster H P, Rettig S L. Hydrochemistry of the Lake Magadi Basin, Kenya[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1977, 41(1): 53-72.
- [58] Jaisi D P, Blake R E, Kukkadapu R K. Fractionation of Oxygen Isotopes in Phosphate During Its Interactions with Iron Oxides[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2010, 74(4): 1309-1319.
- [59] Nriagu J O, Dell C I. Diagenetic Formation of Iron Phosphates in Recent Lake Sediments[J]. American Mineralogist, 1974, 59: 934-946.