

文章编号: 1000-0550(2009) 05-0976-07

南堡凹陷古近纪幕式裂陷作用及其对沉积充填的控制¹

姜 华¹ 王 华² 林正良² 方欣欣³ 赵淑娥² 任桂媛²

(1 中国石油勘探开发研究院石油地质所 北京 100083; 2 中国地质大学 武汉 430074 3 中国地质大学 北京 100083)

摘 要 通过构造格架和层序地层格架的分析,结合区域不整合对比,将南堡凹陷地层与中国东部其他盆地进行对比,进行大型构造幕的确定,确认南堡凹陷古近系地层为区域可对比的裂陷^④幕和裂陷^⑤幕沉积。在此基础上,应用区域不整合规模的对比和火山活动期次研究,将南堡凹陷古近纪沉降划分为 4 个构造幕,并对各个构造幕的构造活动特征及其控制的沉积充填特征进行了分析。南堡凹陷的幕式构造活动可以分为三个阶段:在第一个阶段(即裂陷^{iv}幕、裂陷^④幕),完全受到边界断裂活动的控制;在第二阶段(即裂陷^④幕),高柳断层开始活动,在南堡凹陷东部地区形成了陡坡断阶带控制着沉积发育;而在第三阶段(即裂陷^⑤幕),高柳断层发育为控边断裂并控制着其下降盘的沉积充填。

关键词 南堡凹陷 古近纪 幕式构造运动 高柳断层 沉积充填

第一作者简介 姜华 男 1977 年出生 博士 层序地层学和沉积学 E-mail sorcerer_2004@126.com

中图分类号 P534.61 **文献标识码** A

裂谷盆地的幕式活动特点已经形成普遍的认识^[1-3]。国内外大量的研究表明^[4-8],从一个相对较长的时间来看,很多裂谷盆地都经历过多次的裂陷并由多期裂陷盆地叠合而成,这种由多个裂陷幕构成的断陷盆地亦称为多旋回盆地;而从相对较小的尺度上来看,断裂的活动也表现出多期次或呈脉冲式发育^[9-11]。焦养泉等将这种不同尺度的构造多期次活动称之为多层次幕式裂陷作用,并将构造活动划分为裂陷期、裂陷幕和盆地级正断层的幕式活动三个层次,分别控制着不同级别的层序^[12]。目前普遍认为裂陷期级别的构造活动通常是地球系统或区域大地构造的巨大变化,如板块的汇聚与裂解,对应形成巨层序(一级层序);裂陷幕级别的构造活动通常是区域性大断裂对高级别构造运动作用响应,对应形成超层序(二级层序);盆地级正断层的活动控制形成三级层序。有学者通过对中国东部第三系断陷盆地的对比研究发现^[10],太平洋板块向欧亚板块的俯冲及其变化控制着这些断陷盆地一级层序的形成;对应不同区域的构造响应形成的区域性断层控制着二级层序的形成,如庐庐断裂对渤海湾盆地的控制;而由于构造应力传递或区域背景的不同而形成的盆地级别的断裂则控制着不同盆地独特的充填样式。笔者运用沉积回剥技术,恢复和对比各三级层序时空发育的

差异性,并结合同沉积断裂的活动性对南堡凹陷的幕式构造活动及其对沉积充填的控制作用进行了较为系统的研究。

1 盆地背景

南堡凹陷位于华北板块北部,是渤海湾盆地群黄骅坳陷北部的一个中生代次级凹陷(图 1),属于渤海湾盆地中油气资源丰富的小型凹陷。该凹陷东北部以柏各庄控盆断层为界与柏各庄凸起、马头营凸起毗邻;西北部以西南庄控盆断层为界与西南庄、王老庄凸起为邻;南部缓坡与沙垒田凸起呈超覆关系,该凹陷内总的构造格局呈 NNE 向,面积约 1 932 km²。南堡凹陷总体呈“北断南超”的复式半地堑结构^[13-14]。

焦养泉等在 1996 年就南堡凹陷古近纪断陷盆地的幕式裂陷作用进行过研究^[12]。近年来,裂陷盆地幕式活动研究特别是中国东部幕式构造活动研究取得重大进展^[10],而南堡凹陷经过多年的油气勘探与开发,积累了大量地质、地球物理等资料和研究成果,特别是采集了覆盖整个研究区的高分辨率三维叠前偏移地震数据体,为建立盆地构造格架和地层格架以及构造演化与沉积充填的研究提供了优越的条件。

¹ 国家自然科学基金项目(批准号:40872077)和湖北省重点自然科学基金(编号:2008CDA098)联合资助。

收稿日期:2009-02-22 收修修改稿日期:2009-06-27

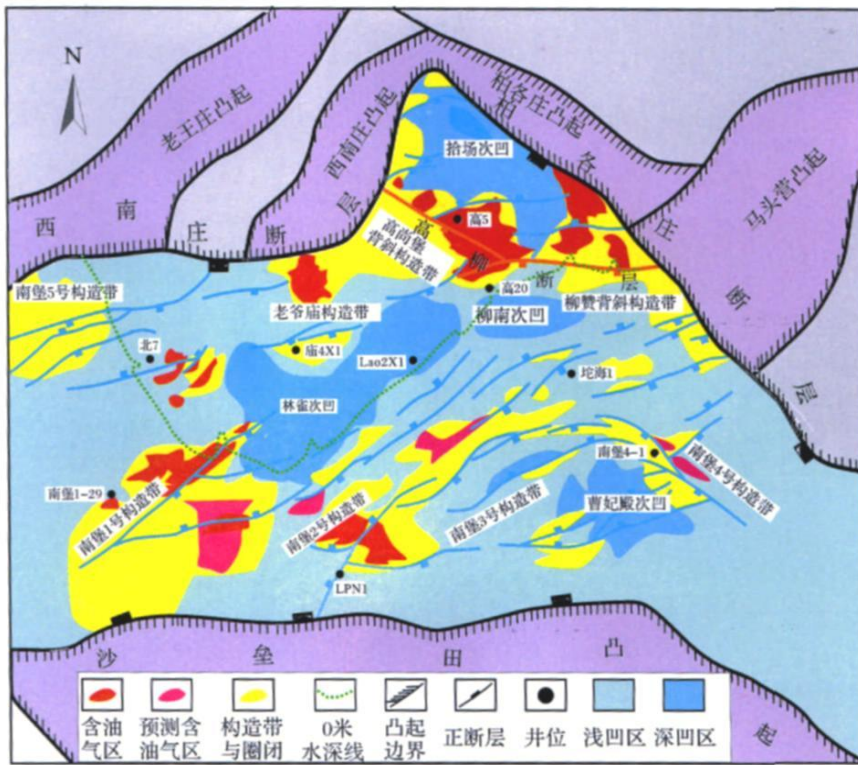


图 1 南堡凹陷构造格局 (据徐安娜, 2008修改)

Fig 1 Schematic structure pattern of Nanpu sag (modified by Xu 2008)

2 幕式裂隙的依据

中国东部中生代断陷盆地一般都经历了早期裂陷和晚期裂后拗陷两个阶段, 早期与伸展作用和地幔上隆过程有关, 而晚期与热衰减回沉过程有关。裂陷阶段的幕式活动首先体现在断裂活动的多期性。不同构造幕之间主要表现在盆地应力场和边界条件的变化, 断裂的活动强烈、展布方向和构造格局以及地层格架发生明显的变化, 同时伴随着沉降和沉积中心变化以及岩浆岩的活动事件。

2.1 裂陷期内的区域性角度不整合、超覆及地层的强烈剥蚀是幕式裂陷的重要依据之一

渤海湾盆地的幕式构造活动可以划分为 2 个构造期, 并可继续划分为 4 个构造幕 (图 2)。通过对南堡凹陷内重大不整合界面的追踪, 削截和超覆等地层接触关系的识别, 并与渤海湾盆地内济阳拗陷、东濮拗陷对比, 发现南堡凹陷与其他盆地的构造期划分基本一致, 都是以古近系和新近系的重大不整合为标志划分的; 从构造幕划分对比来看, 南堡凹陷残余地层构造幕与同位于渤海湾盆地西部的东濮盆地基本可对比, 但是南堡凹陷缺失区域构造活动的前两幕构造

活动对应的地层, 即当时凹陷并未发育地层; 而南堡凹陷与渤海湾盆地东部的济阳拗陷相对比, 裂陷 ⑤幕的起始时期存在差异, 前者以东营组底界面的重大不整合为分界, 而后者则以沙河街组一段底界面为分界, 体现了局部断裂活动的差异性对幕式构造活动的控制作用。通过对沙河街组内部不整合规模和级别的对比, 可将沙河街组地层 (对应区域上裂陷 ④幕构造运动) 划分为 3 个次级构造幕, 从而划分出南堡凹陷地区古近系 4 幕构造运动 (图 3)。其中, $E_{S_3}^{4+5}$ 亚段是裂陷 iv 幕, 为初始裂陷幕, 发育范围局限, 厚度较薄, 超覆于前第三系基底上; $E_{S_3}^3$ 至 E_{S_2} 亚段是裂陷 ⑦幕, 为主裂陷幕, 是南堡迅速沉降扩张的关键时期, 地层分布范围大, 沉积地层较厚, 与 $E_{S_3}^{4+5}$ 亚段地层呈角度不整合接触, 也超覆于前第三系基底上。地层保存相对完整, 可以划分出裂陷活动阶段 (即 $E_{S_3}^3$ 至 $E_{S_1}^1$ 亚段) 和裂后相对静止阶段 (即 E_{S_2} 亚段)。 E_{S_1} 亚段是裂陷 ⑥幕, 为衰退裂陷幕, 与前期裂陷活动相比强度降低, 厚度较薄, 其发育范围与盆地最后的主体范围相当。 E_d 亚段是裂陷 ④幕, 为再活化裂陷幕, 该幕处于裂陷晚期, 但是构造活动强烈, 沉积地层厚度大, 盆地均一化程度高。

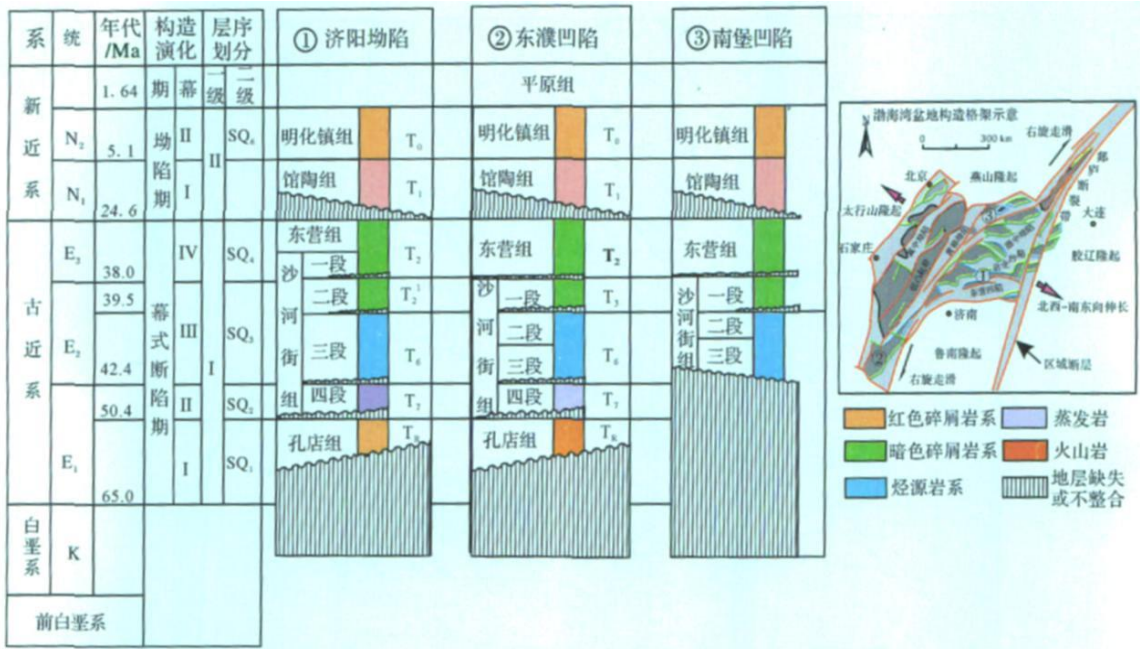


图 2 南堡凹陷与济阳拗陷、东濮凹陷层序划分及对比

Fig. 2 The sequence classification and regional sequence units comparison of Nanpu Sag, Jiyang Depression and Dongbu sag

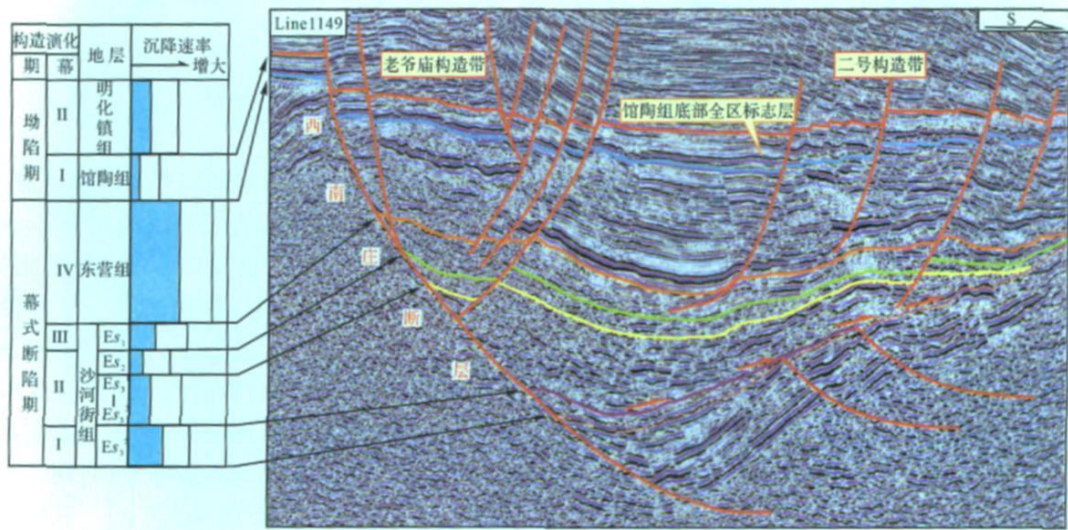


图 3 南堡凹陷构造幕划分及层序特征

Fig. 3 The sequence characteristics and periodic rifting divisions of Nanpu Sag

2.2 岩浆活动对幕式构造运动的响应

南堡凹陷主要岩浆活动具有多期次、间歇性的特点，并与构造幕式活动具有对应的关系。这主要是由于盆地的拉张减薄的过程往往伴随着地幔的上涌，幕式构造活动导致盆地的伸展过程具有多幕式特征，伸展期中间常具有较长的间歇活动期，从而导致岩浆的上涌也出现多期次的特征。在南堡凹陷古近系各构造幕均发育火山岩，且整体主要为基性岩类，偶见

少量超基性岩^[15, 16]。在早期裂陷幕主要发育辉绿岩(沙三段各期)，K₂O 含量相对偏高，SO₂ 含量相对总碱度偏低。在沙一段(裂陷④幕)主要分布粗粒玄武岩，结晶较粗，具间隐间粒结构，局部含长石斑晶并显斑状结构，K₂O 的含量偏低。东三段(裂陷⑤幕初期)发育杏仁状玄武岩，肉眼可见气孔、杏仁构造。在馆陶组底部(拗陷初期)发育大陆拉斑玄武岩，大多为玻基结构、玻基斑状结构，以富 SO₂ 和低碱度为

特征,总体上表现为碱性逐渐减弱的过程。而每一个裂陷幕基本上又分为初始裂陷→热扩张→冷扩张→充填 4 个阶段,由于各期断层活动的差异,4 个阶段可能存在缺失。初始裂陷阶段的地层通常是以底部粗碎屑沉积为主,火山岩开始活动,由于地壳较厚、岩浆来源深,火山岩多为碱性系列玄武岩,含 K 较高,多为钾质类型。在热扩张阶段由于盆地拉伸、沉降速度快,沉积物供给速度较慢而水体较深。该时期由于地幔上隆、地壳变薄、岩浆来源较浅或地壳岩浆房中的岩浆已经过了长时间的演化,喷出岩浆多为拉斑玄武岩质,钠质较高、多为钠质类型,由于水体较深,火

山活动多为中深湖水下喷发,是裂陷的鼎盛时期。在冷扩张阶段经过热扩张阶段大量火山岩喷发后,岩浆喷发殆尽,火山喷发停息或活动微弱。而在充填期火山岩基本停止活动,沉积物不断堆积,是一个裂陷幕结束的时期,而由于裂陷幕间歇期的剥蚀强度不同往往造成充填期地层不同程度的缺失,有些地层甚至剥蚀殆尽。

3 幕式沉降和沉积充填响应

由于区域应力强度和方向的变化,不同的构造幕在沉降速率、同沉积断裂活动的强度与展布方向、构

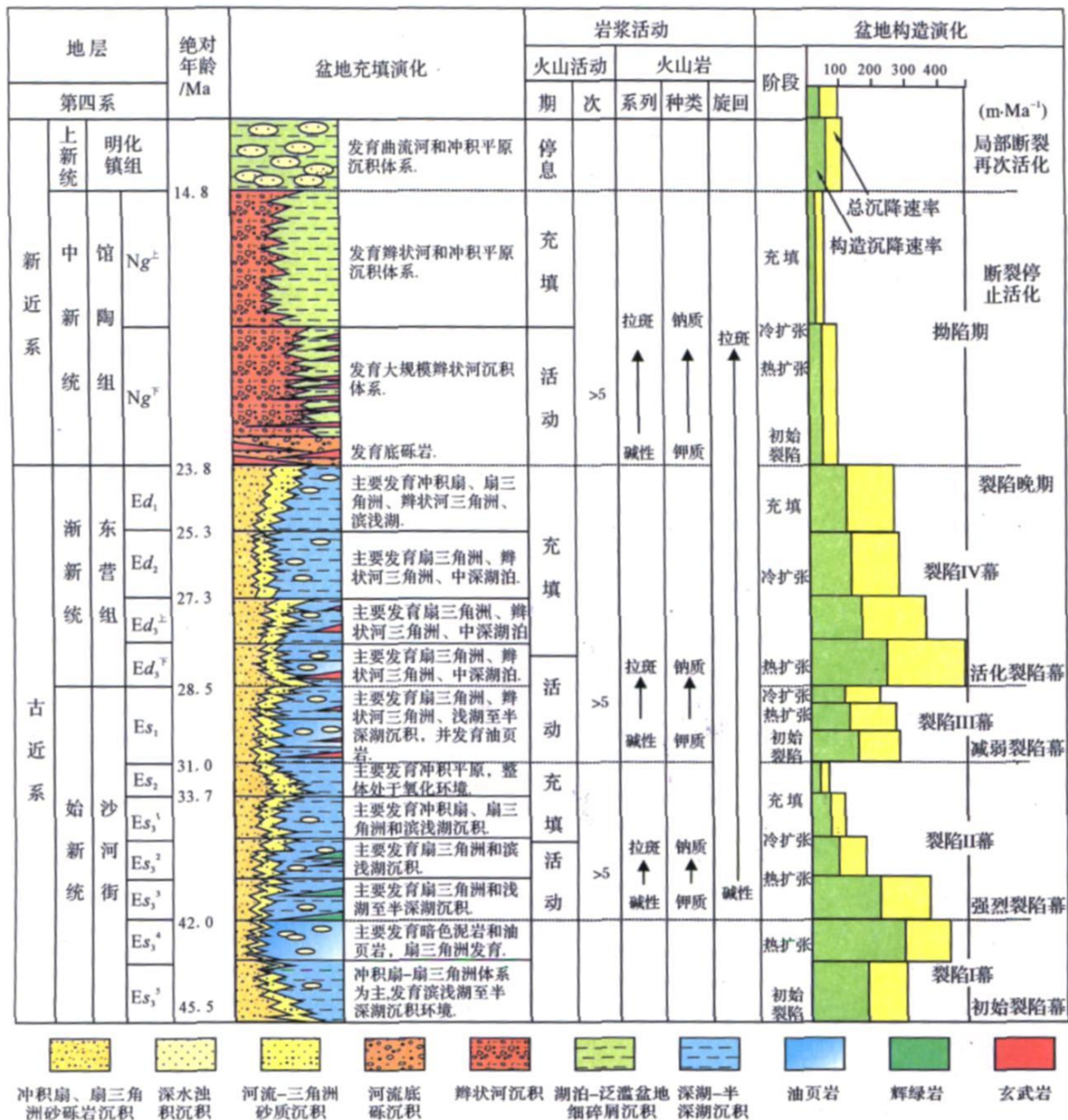


图 4 南堡凹陷火山活动与幕式构造运动关系

Fig. 4. Relationship of volcanic activity and periodic rifting of Nanpu Sag. <http://www.cnki.net>

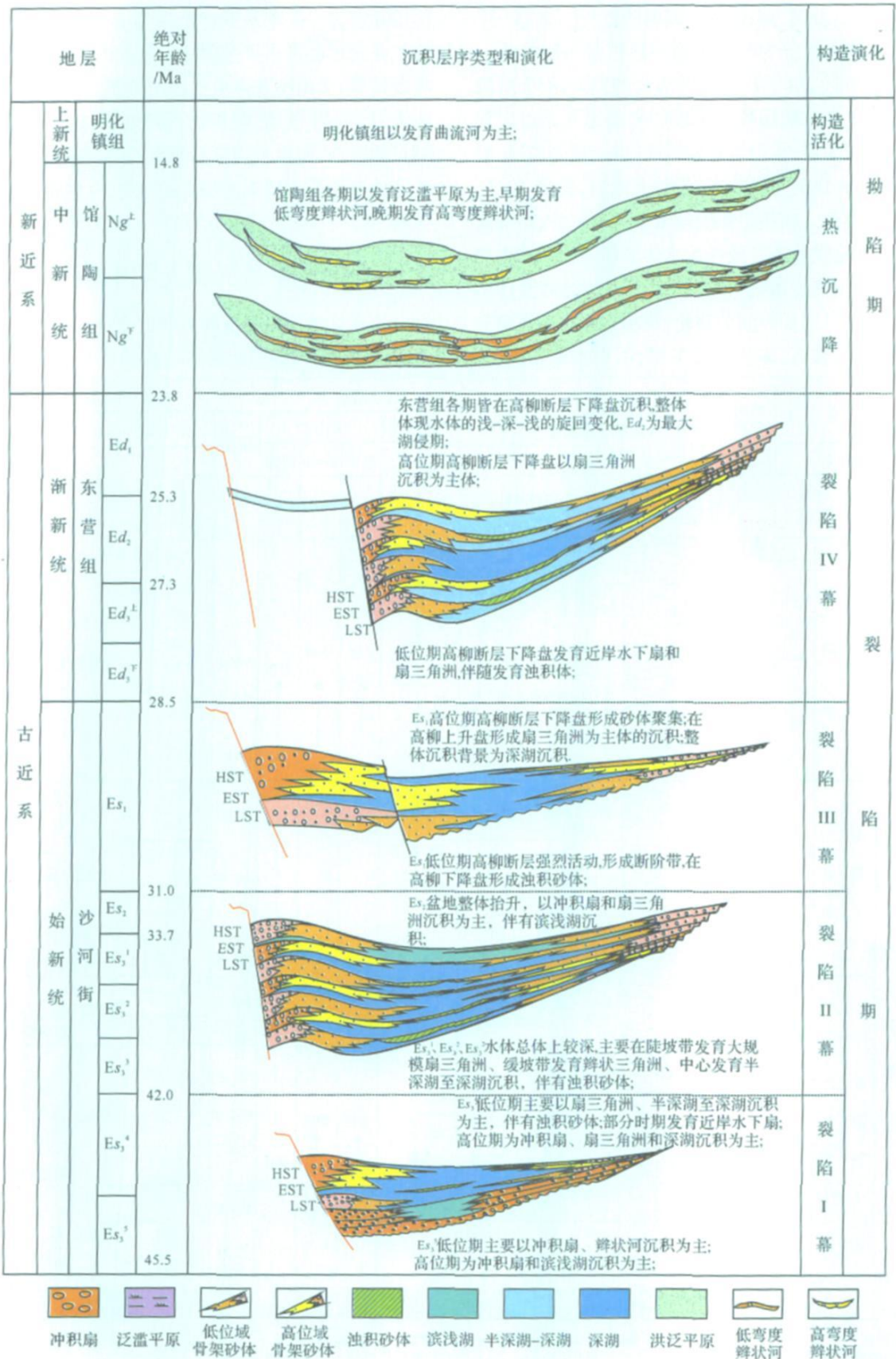


图 5 南堡凹陷沉积充填与幕式构造运动关系

造格局等方面存在明显差异,从而控制着不同的沉积层序的几何形态、沉积体系域的分布以及沉积相构成等的发育特征(图 5)。

裂隙 iv 幕:相当于 $E_{S_3}^{4+5}$ 沉积时期,其中 $E_{S_3}^5$ 沉积时期是盆地初始裂隙,南堡凹陷北部控凹边界断层如柏各庄断层、西南庄断层开始活动,盆地发育成浅的北断南超的箕状凹陷,高柳地区的拾场洼陷是该时期的沉降和沉积中心,地层向南向西方向超覆,发育了一套较干旱气候条件下的以红色泥岩、灰绿色泥岩和粗碎屑岩为主的冲积扇沉积,深洼区发育深灰色泥岩。 $E_{S_3}^4$ 沉积时期控凹断裂活动加强,箕状结构更加明显,形成了扇三角洲和深至半深湖相沉积,岩性以灰色、深灰色、灰黑色泥岩、油页岩为主,夹有薄层砂岩,形成沙河街时期的有效烃源岩。该裂隙幕的晚期,由于区域性的构造抬升产生了剥蚀。

裂隙 ⑤幕:相当于 $E_{S_3}^3$ 至 E_{S_2} 沉积时期,该裂隙幕是南堡凹陷的主裂隙幕,由于西南庄断层在该时期的剧烈活动,除了在高柳堡构造带以北的拾场次凹是继承性的沉积中心,在柳赞构造带以西形成了受西南庄断层控制的林雀次凹。其中 $E_{S_3}^{1-3}$ 沉积时期由于整个渤海湾盆地上地幔强烈隆起,盆地断陷强烈,气候潮湿,发育了以砾岩,含砾砂岩、灰色和灰绿色泥岩为主的地层,形成南堡凹陷古近系最为主要的含油和储油层系。受西南庄断裂和柏各庄断裂的强烈控制,北部沿控凹边界断裂发育众多扇三角洲沉积体系,南部缓坡带有来自于沙垒田隆起的辫状河三角洲沉积体系。这些沉积分散体系一直表现为继承性发育。 E_{S_2} 沉积时期,盆地趋于填平,主要发育氧化环境下的河流冲积体系,形成主体正旋回的沉积地层。与下伏地层呈平行不整合接触。 E_{S_2} 沉积晚期,南堡凹陷整体发生构造隆升, E_{S_2} 遭受剥蚀,残留地层主要由粗碎屑的冲积扇体系、扇三角洲体系和滨浅湖体系组成,该段烃源岩不发育。

裂隙 ⑥幕:相当于 E_{S_1} 沉积时期,在该时期高柳断层开始发育,沉积中心逐步向南迁移,陡坡带整体构成断阶坡折带控制沉积体系的发育。这一时期的裂隙作用总体较强,总体以半深湖-深湖沉积为主,陡坡带以扇三角洲沉积为主,且在高柳断层下形成砂体堆积中心,在缓坡带发育辫状河三角洲体系。

裂隙 ⑦幕:相当于东营组沉积时期,是南堡凹陷的裂隙晚期^[17]。在该时期,高柳断裂活动加强,沉积中心转移到高柳断层的下降盘,柳南次凹和林雀次凹成为新的沉积和沉降中心。整个东营组是一个完整

的沉积旋回。在陡坡带, E_{d_3} 由扇三角洲体系组成; E_{d_3} 沉积时期为最大水侵期,沉积了厚达 200~400 m 的加积型泥岩段; E_{d_1} 沉积时期湖泊开始萎缩,形成了一套以粗碎屑为主的扇三角洲体系;在缓坡带以辫状河三角洲沉积为主。

馆陶组代表南堡凹陷裂后拗陷早期的盆地充填,其底界面的区域性不整合面代表一次较强的构造隆升作用。在不整合面之上的 $Ng^{\text{下}}$ 层序发育了一套由砾岩、砂砾岩、基性火成岩夹薄层灰绿色、灰色泥岩组成的低弯度辫状河沉积。而 $Ng^{\text{上}}$ 层序发育岩性为紫红、暗紫色、灰绿色泥岩、砂质泥岩与粉砂岩互层,夹粉、细砂岩的高弯度辫状河沉积。该时期沉降速率相对较小。明化镇组后期发生构造活化,出现一次快速沉降,在南堡凹陷平均厚度约 1500 m,由块状砂岩与灰绿、灰黄、棕红色泥岩互层组成,是一套曲流河沉积。

4 结论

南堡凹陷作为一个典型的构造活动盆地,其形成与沉积充填演化受到构造活动的强烈控制,通过对南堡凹陷构造特征和沉积体系的研究可以得出以下结论:

(1) 南堡凹陷古近纪控凹断裂的活动与中国东部普遍发育的幕式构造运动可以对应,仅发育可对比的第三、第四幕,并根据自身活动特点划分为 4 个次级构造幕,这些构造层序之间为较大的不整合界面分割,并与火山的活动期次耦合。

(2) 南堡凹陷各个裂隙幕构造活动强度不一,总体上初始裂隙幕即 $E_{S_3}^{4+5}$ 沉积时期构造活动较强,发育构造初始活动阶段的冲积平原体系,继而发育中深湖为背景,扇三角洲和辫状河三角洲为主体的沉积环境;在主裂隙幕即 $E_{S_3}^3$ 至 E_{S_2} 沉积时期, $E_{S_3}^3-E_{S_3}^1$ 整体为半深湖至深湖沉积,在陡坡带发育近岸水下扇和扇三角洲沉积,缓坡带发育辫状河三角洲沉积。在该裂隙幕结束阶段即 E_{S_2} 沉积时期以冲积相和滨浅湖相为主;裂隙 ⑥幕即 E_{S_1} 沉积时期为裂隙衰减幕,由于高柳断层开始活动,凹陷的沉降中心向南部转移,整体在陡坡带以断阶坡折^[18]控制扇三角洲和近岸水下扇的发育,在缓坡带辫状河三角洲发育规模较大;裂隙 ⑦幕即东营组沉积时期为裂隙再活化幕,沉降速率增强,整体为一个完整的沉积旋回,陡坡带发育的近岸水下扇和扇三角洲的规模以及缓坡带的辫状河三角洲的规模都比较大。

参考文献 (References)

- 1 Lin C S, Li S T, Wan Y X, *et al*. Depositional systems, sequence stratigraphy and basin filling evolution of Ertian fault lacustrine basin, Northeast China [C]// Liu B, Li S, eds. Basin Analysis: Global Sedimentary Geology and Sedimentology, Proceedings of the 30th IGC Utrecht VSP International Science Publishers, 1997: 163-175
- 2 林畅松, 刘景彦, 张燕梅. 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 Egger H, Homayoun M, Schnabel W. Tectonic and climatic control of Paleogene sedimentation in Rhodanubian Flysch basin (Eastern Alps, Austria) [J]. Basin Research, 2002, 14: 247-262
- 5 Smith G J, Jacobi R D. Tectonic and eustatic signals in the sequence stratigraphy of the Upper Devonian Canada way Group, New York State [J]. AAPG Bulletin, 2001, 85(2): 325-357
- 6 Frimmel H E, Folling P G, Eriksson P G. Neoproterozoic tectonic and climatic evolution recorded in the Gariiep Belt, Namibia and South Africa [J]. Basin Research, 2002, 14: 55-67
- 7 Bryan De Vaulx, Jason Jeremiah. Tectonostratigraphy of the Nieuwerkerk Formation (Delfland subgroup), West Netherlands Basin [J]. AAPG Bulletin, 2002, 82(1): 110-146
- 8 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
- 9 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]. 地学前缘, 2008, 15(2): 1-7
- 10 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
- 11 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, 1996, 21(1): 81-87
- 12 焦养泉, 周海民. 断陷盆地多层次幕式裂隙作用与沉积充填响应 [J]. 地球科学, 1996, 21(6): 633-637
- 13 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
- 14 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
- 15 董月霞, 周海民, 夏文臣. 南堡凹陷火山活动与裂陷旋回 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(4): 304-307
- 16 董月霞, 夏文臣, 周海民. 南堡凹陷第三系火山岩演化序列研究 [J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(2): 24-26
- 17 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, 2004, 29(5): 596-602
- 18 管红, 朱筱敏. 南堡凹陷东营组层序地层格架及沉积体系 [J]. 沉积学报, 2008, 26(5): 730-736

Periodic Rifting Activity and Its Controlling on Sedimentary Filling of Paleogene Period in Nanpu Sag

JANG Hua¹ WANG Hua² LIN Zheng-liang² FANG Xin-xin³ ZHAO Shu-e² REN Gui-yuan²

(1 PetroChina Institute of Petroleum Exploration & Development Beijing 100083

2 China University of Geosciences Wuhan 430074; 3 China University of Geosciences Beijing 100083)

Abstract Through analyzing tectonic framework and sequence stratigraphic framework, comparing regional uniform surfaces, Nanpu Sag was compared with other basins in the eastern China, it was sure that strata of Paleogene of Nanpu Sag were related with sedimentary in the third period and fourth period of rifting. On the basis of all of these, it could be divided into 4 sub-periodic subsidence through comparing the scale of uniform of different periodic rifting and volcanic activity periods, researching. Meanwhile, characteristics of tectonic activity in different periodic rifting and their controlling on sedimentary filling were studied. Periodic rifting activity in Nanpu Sag could be classified into three periods. Sedimentation process was entirely controlled by boundary fault in the first and second period, sedimentary and subsidence were controlled by stepped-shaped slope belt in steep slope of the eastern Nanpu Sag in the third period, while Gao-liu fault became marginal fault and controlled sedimentary filling in its downing wall in the fourth period.

Key words Nanpu Sag, Paleogene, periodic rifting activity, Gao-liu fault, sedimentary filling