

DOI: 10.19657/j.geoscience.1000-8527.202509150065

松辽盆地奈曼凹陷白垩纪构造演化与油气成藏

杨雪, 裴家学, 刘海艳, 李丽, 范家铭, 李秀明, 何绍勇, 郝亮

(中国石油辽河油田分公司勘探开发研究院, 辽宁 盘锦 124010)

摘要: 松辽盆地南部的奈曼凹陷在白垩纪晚期遭受严重的构造改造, 制约了该区的油气勘探发现。本文基于三维地震和钻井资料, 通过地震等时界面追踪与断裂活动期次分析, 开展奈曼凹陷白垩纪构造演化研究。运用声波测井法与地层趋势外推法, 厘定了构造抬升时期及地层剥蚀厚度 (最大达 1000 m), 明确了不同地层原型盆地边界, 揭示了构造活动对油气成藏的控制作用。研究表明: 义县组-九佛堂组沉积时期为裂陷期, 断裂活动控制了主要生储岩系的沉积; 沙海组沉积时期为沉降期, 发育了区域性泥岩盖层; 阜新组沉积时期为挤压抬升期, 北部地层遭受剥蚀, 影响烃源岩的热演化; 并通过构造演化与原型盆地综合分析, 明确了奈曼凹陷有效烃源岩分布和东部斜坡带主要物源方向, 建立了构造控源、控相与控藏模式, 为奈曼凹陷实现油气勘探新发现提供理论指导。

关键词: 构造演化; 原型盆地; 油气成藏; 白垩纪; 奈曼凹陷

中图分类号: TE121; P618

文献标志码:

文章编号: 1000-8527(2026)04-1112-12

Cretaceous Tectonic Evolution and Hydrocarbon Accumulation of the Naiman Sag, Songliao Basin

YANG Xue, PEI Jiaxue, LIU Haiyan, LI Li, FAN Jiaming, LI Xiuming, HE Shaoyong, HAO Liang

(Exploration & Development Research Institute of Liaohe Oilfield Branch Company, PetroChina, Panjin, Liaoning 124010, China)

Abstract: The Naiman Sag, located in the southern Songliao Basin, experienced intensive late Cretaceous tectonic reworking, which has severely constrained hydrocarbon exploration breakthroughs in the study area. Based on 3D seismic and borehole data, this study investigates the Cretaceous tectonic evolution of the Naiman Sag through seismic isochronous horizon tracking and phased fault activity analysis. Acoustic logging and stratigraphic trend extrapolation approaches were employed to determine the temporal framework of tectonic uplift and quantify stratigraphic erosion thickness, with a maximum erosion magnitude of 1000 meters. The palaeobasin boundaries of successive Cretaceous stratigraphic units are precisely delineated, and the dominant controls of tectonic activities on hydrocarbon accumulation processes are systematically elucidated. Comprehensive analyses indicate that the depositional stage of the Yixian-Jiufotang Formations corresponds to an extensional rifting phase, wherein fault kinematics exerted primary control on the sedimentary evolution of major source-reservoir couplets. The Shahai Formation was deposited during a stable basin subsidence stage, facilitating the widespread development of regionally extensive mudstone cap rocks. The depositional period of the Fuxin For-

收稿日期: 2025-09-15; **修回日期:** 2026-07-15; **编辑:** 董立。

基金项目: 辽河油田重大科技专项“开鲁复杂低渗油藏增储上产关键技术研究”(编号 2024KJZX-06)。

作者简介: 杨雪, 女, 高级工程师, 1974年出生, 构造地质学专业, 主要从事油区构造特征方面研究。

Email: yangx3@petrochina.com.cn。

引用格式: 杨雪, 裴家学, 刘海艳, 等. 松辽盆地奈曼凹陷白垩纪构造演化与油气成藏 [J]. 现代地质, 2026, 40 (4): 1112-1123. DOI: 10.19657/j.geoscience.1000-8527.202509150065.

YANG Xue, PEI Jiaxue, LIU Haiyan, et al. Cretaceous Tectonic Evolution and Hydrocarbon Accumulation of the Naiman Sag, Songliao Basin [J]. GEOSCIENCE, 2026, 40 (4): 1112-1123. DOI: 10.19657/j.geoscience.1000-8527.202509150065.

mation was dominated by compressional tectonic uplift, resulting in prominent stratigraphic denudation in the northern sag and inhibiting the thermal evolution of hydrocarbon source rocks. Integrated tectonic evolution and prototype basin reconstruction further define the spatial distribution of effective source rocks and the predominant provenance routing of the eastern slope belt in the Naiman Sag. A refined tectonic control model covering source rock development, sedimentary facies differentiation and hydrocarbon accumulation has been established. This study provides robust theoretical foundations for advancing hydrocarbon exploration prospects in the Naiman Sag.

Key words: Tectonic evolution; Prototype Basin; Hydrocarbon accumulation; Cretaceous; Naiman Sag

0 引言

中国东部中—新生代广泛发育单断箕状湖盆^[1-3], 受构造活动强弱差异控制, 湖盆内部沉积体系组合呈现显著分异特征。开鲁拗陷作为松辽盆地西南部重要的次级构造单元, 地处东西向老构造带和北北东向新构造带的交汇叠加部位, 在构造成因、类型以及岩浆活动等方面具有复杂性和多变性^[4-7]。奈曼凹陷位于开鲁拗陷南部, 为典型的中生代陆相单断式残留凹陷。前人已在该凹陷建立了九佛堂组—沙海组的层序地层格架以及沉积相类型, 认为九佛堂组主要发育扇三角洲相、辫状河三角洲相和湖泊相等沉积相类型^[8-9], 沉积体系受控盆断裂影响, 具有明显的东西分带特征。赵兴齐, 刘海艳等认为奈曼凹陷发育义县组、九佛堂组等多套烃源岩, 但烃源岩的成熟度偏低^[10-12], 其原因与奈曼凹陷北部地区遭受严重剥蚀相关。李中堂等运用地震地层厚度趋势法恢复了九佛堂组的地层厚度及地层剥蚀量分布范围^[13]。前人为区域基础地质研究奠定了基础, 但多集中于构造、沉积及烃源岩等单方面的分析, 尚未系统开展构造演化与油气成藏的耦合关系研究, 相关理论认知仍存在明显空白。

奈曼凹陷具备良好的油气勘探潜力, 2007年凹陷西部陡坡带N1块在九佛堂组实现探明油气储量超千万吨的重大突破, 展现出该凹陷的资源前景。然而, 此后十余年勘探未获得新的重大发现, 凹陷北部整体勘探程度依然偏低, 制约勘探突破的核心问题突出。中生代晚期强烈的构造活动严重改造了盆地原型, 导致原始沉积中心分布特征不明确, 直接影响了对油气成藏过程与富集规律的准确认知, 成为阻碍该区油气勘探深化的关键瓶颈。基于此, 本文以三维地震资料与钻井资料

为核心数据支撑, 采用剥蚀量计算、原型盆地恢复技术, 结合断裂活动特征解析, 系统地开展奈曼凹陷白垩纪构造演化过程及其对油气成藏的控制作用研究, 旨在厘清构造演化与油气成藏的关系, 明确油气成藏规律, 为奈曼凹陷实现油气勘探新发现提供科学依据与理论指导。

1 地质概况

1.1 区域构造概况

奈曼凹陷在区域构造上位于松辽盆地南部的开鲁拗陷, 松辽盆地发育于二叠纪末期形成的NE—NNE向褶皱基底之上, 该基底构造格局对中生代盆地展布方向有明显影响^[14-16]。三叠纪印支运动造就了NEE向展布的内蒙—兴安造山带, 制约了造山带内盆地的走向。侏罗纪早燕山运动对松辽盆地南部影响显著, 在开鲁拗陷形成逆冲型山前构造, 发育NE向山前盆地, 为白垩纪盆地的发展搭建了构造格架(图1a)。晚侏罗世起, 开鲁拗陷进入断陷演化阶段^[17-18], 断陷早期以强烈的火山喷发活动为特征, 形成一系列受断裂控制的火山岩盆地; 断陷晚期则以碎屑充填为主, 发育断陷湖盆。深部岩浆上侵导致地壳拉张裂陷, 在开鲁拗陷内部形成多条NE向断陷带, 至此奈曼凹陷构造雏形基本形成。奈曼凹陷位于赤峰—开原断裂与红山—八里罕断裂夹持的三角区域, 中生界分布面积约800 km²。研究对象为凹陷主体所在的三维地震区, 研究区面积约500 km²(图1b)。

1.2 地层简况

结合区域地质特征与钻探成果^[19], 奈曼凹陷地层自下而上依次发育古生界基底、中生界及新生界。古生界主要揭露二叠系(P), 岩性为中粗砂岩、泥岩和板岩互层为主; 中生界沉积厚度大, 揭露侏罗系和白垩系, 二者呈不整合接触。侏罗系发育海房沟组, 岩性为安山岩、砂砾岩与泥岩

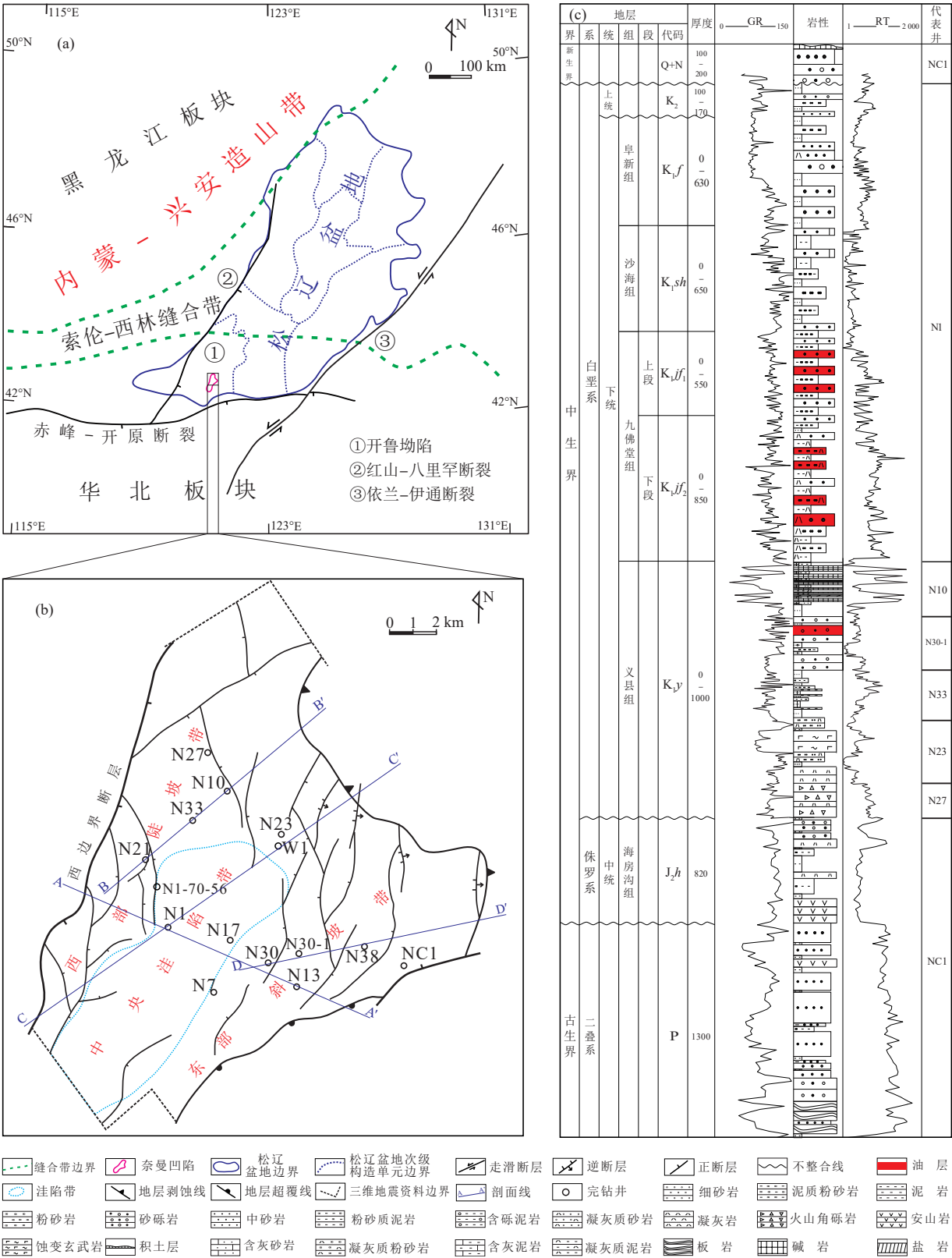


图1 奈曼凹陷区域构造位置 (a)、奈曼凹陷白垩系构造纲要图 (b) 和奈曼凹陷综合柱状图 (c)

Fig. 1 Regional tectonic location of Naiman Sag (a), structural outline map of the Cretaceous in Naiman Sag (b) and comprehensive stratigraphic column of Naiman Sag (c)

互层；白垩系划分为下白垩统与上白垩统，两者 九佛堂组、沙海组及阜新组。下白垩统义县组呈角度不整合接触，其中下白垩统包括义县组、(K₁y) 由砂砾岩和凝灰岩、火山角砾岩、玄武岩

组成, 凹陷北部发育深灰色泥岩及以碱岩、盐岩为主的蒸发岩, 地层厚度为0~1000 m; 九佛堂组(K_{jf})为研究区主要含油层系, 地层厚度为0~1500 m, 分为上下两段: 九佛堂组下段(K_{jf_2})岩性为凝灰质砂岩夹泥岩和含灰泥岩, 九佛堂组上段(K_{jf_1})岩性为泥岩、砂岩不等厚互层。沙海组(K_{sh})以厚层灰色泥岩为主, 夹粉砂岩和薄层砂岩, 地层厚度为0~650 m。阜新组(K_f)岩性为灰色粉砂岩、砂岩、砂砾岩夹灰色薄层泥岩, 地层厚度为0~700 m。上白垩统(K_2)岩性为杂色砂砾岩、砂岩和紫红色泥岩, 地层厚度为100~170 m。地表覆盖新生界松散黄土及大套流沙, 地层厚度为100~200 m (图1c)。

2 构造特征

奈曼凹陷受西边界断层控制形成, 呈狭长带状展布, 构造走向为NNE向, 剖面呈西断东超的箕状结构 (图2), 下白垩统地层总体呈现北东高、南西低的单斜形态。奈曼凹陷划分为三个次级构造单元, 分别为西部陡坡带、中央洼陷带、东部斜坡带。其中西部陡坡带受西部边界断层控制形成, 为南窄北宽的狭长断阶带, 地层产状陡、厚度变化大; 断层较发育, 多数为西边界断层伴生的次级断层, 断层走向NNE—NW向, 断层断距大、延伸远。中央洼陷带埋藏深, 地层厚层大、

分布稳定, 断层不发育。东部斜坡带地层产状平缓, 埋藏较浅, 厚度较薄, 局部存在地层超覆现象; 发育少量正断层, 断层走向NE—近SN向, 断层断距小、延伸长度短。

从剖面上看, 奈曼凹陷发育的断层主要构成阶梯状、“Y”字型和“入”字型等组合类型 (图2)。其中, 阶梯状断层组合以西边界断层及伴生次级断层最为典型, “Y”字型和“入”字型断层组合分布较广。依据断层的活动期次分析, 可将研究区断层划分为三期: 第一期为长期活动断层, 于白垩世早期开始活动并持续至白垩世中—晚期, 主要分布于西部陡坡带, 对湖盆的演化和沉积有明显的控制作用; 第二期为早期活动断层, 活动时限为早白垩世早期, 断穿义县组和九佛堂组下段, 主要分布于东部斜坡带和凹陷北部, 第三期为晚期活动断层, 形成于早白垩世晚期, 断穿沙海组和阜新组, 该期断层多与挤压抬升作用相关, 以逆断层为主, 分布于凹陷东北部 (图1b)。早期和晚期活动断层对凹陷的沉积均无明显控制作用。

3 构造演化

奈曼凹陷在区域构造上虽隶属于松辽盆地, 但其白垩纪构造演化具有自身的特点^[20-21], 主要表现为该区火山活动不强烈, 其形成演化主要受

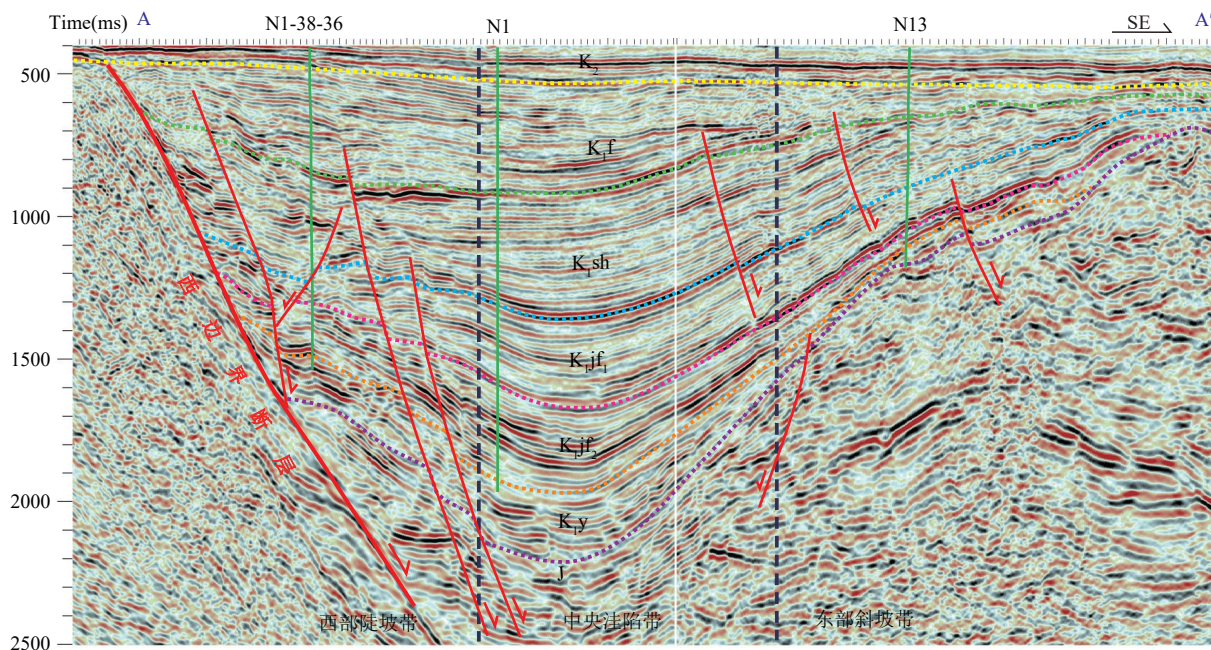


图2 奈曼凹陷典型地震剖面

Fig. 2 Typical seismic profile of Naiman sag

断裂活动控制，并受后期构造抬升作用的改造。鉴于奈曼凹陷北部地层在早白垩世晚期遭受不同程度的剥蚀，凹陷原型被破坏，因此，在开展构造演化研究之前，需要确定抬升剥蚀发生的时间与地层被剥蚀的厚度。

3.1 构造抬升时期与剥蚀量

地震剖面上连续沉积地层具有相似或相同的同相轴变化规律，利用地震剖面可以定性判断抬升剥蚀发生的时期。分析现今地层同相轴的变化趋势，同相轴发生变化的时期被厘定为最晚抬升时期。奈曼凹陷沙海组以大套泥岩为主，全区范围内地层厚度变化不大，在地震上表现出连续稳定的沉积特征。从联络测线方向的地震剖面来看（图3），沙海组下段与九佛堂组的地震同相轴近似平行且弯曲程度相似，地层产状具有相同的变化规律；而北部地区沙海组上段未受剥蚀的地层产状变陡，厚度呈现明显减薄趋势，地震反射呈现上超特征，反映出斜坡沉积背景；并且上覆阜新组具有楔状地震相特征，说明沙海组上段沉积时，该区已经发生构造抬升。因此，奈曼凹陷北部的

构造抬升始于沙海组沉积中期，并不是前人研究认为的阜新组沉积末期^[22-25]，但该区地层大幅抬升、遭受剥蚀仍发生在阜新组沉积之后，这与区域性构造应力的变化时期相吻合。

确定抬升时期后，利用现有资料，采用地层趋势外推法与泥岩声波时差法相结合的方法，对奈曼凹陷北部地区的地层剥蚀量进行恢复。从单井的剥蚀量恢复结果来看（表1），N27井累计剥蚀厚度最大，约为710 m，其中九下段被剥蚀厚度160 m，九上段和沙海组全部被剥蚀，厚度分别为410 m、140 m；N23井累计剥蚀厚度360 m，九上段被剥蚀厚度90 m，沙海组全部被剥蚀，其厚度为270 m；N10井累计剥蚀厚度395 m，九上段被剥蚀厚度150 m，沙海组全部被剥蚀，其厚度为245 m。对比计算结果可以看出（图3），南侧的N21井沙海组地层厚度586 m，而N10井恢复的沙海组剥蚀厚度只有245 m，二者厚度相差281 m，也表明凹陷北部在沙海组沉积中期开始抬升。

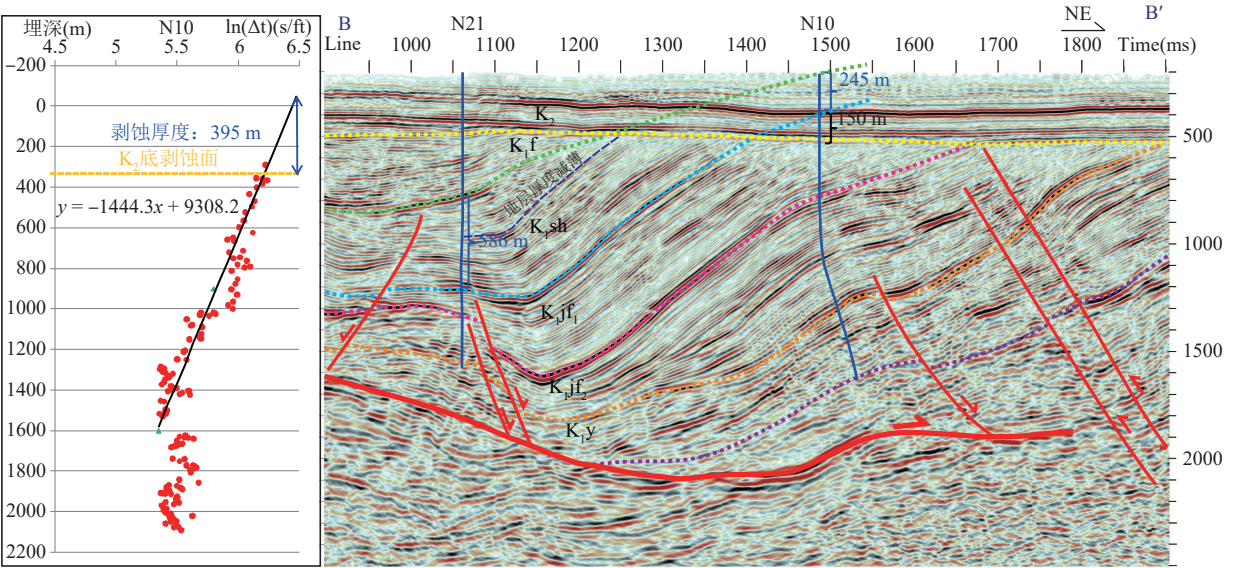


图3 声波测井法与地层趋势外推法计算剥蚀量示意图

Fig. 3 Schematic diagram of denudation thickness calculated by acoustic logging method and stratigraphic trend extrapolation method

表 1 奈曼凹陷北部地层剥蚀量计算表					
Table 1 Calculation table of stratigraphic denudation thickness in the northern Naiman Sag					
井名	阜新组(m)	沙海组(m)	九佛堂组上段(m)	九佛堂组下段(m)	总剥蚀量(m)
n27	/	140	410	160	710
n23	/	270	90	0	360
n10	/	245	150	0	395

3.2 构造演化特征

基于三维地震资料,通过地震等时界面精细解释与追踪,结合区域构造背景及断裂活动期次分析,将奈曼凹陷白垩纪的构造演化划分为4个阶段:早白垩世早期(义县组-九佛堂组沉积时期)为裂陷期;早白垩世中期(沙海组沉积时期)为沉降期;早白垩世晚期(阜新组沉积时期)为挤压抬升期;晚白垩世(上白垩统沉积时期)为拗陷期。

(1) 裂陷期—早白垩世早期

义县组沉积早期,在区域性地幔隆起背景下,

地壳上部出现拉张应力环境,形成了NE向展布的断裂系统,控制凹陷发生沉降。由于气候炎热、干燥,沉积了一套以洪积-河流相为主的紫红色粗碎屑岩;局部地区岩浆活动强烈,导致火山喷发,发育了以安山岩为主的火山岩沉积。义县组沉积晚期,西边界断层北段活动强烈,在凹陷北部形成沉积中心,沉积了厚层的暗色泥岩;至义县组沉积末期,气候变得干旱炎热,蒸发作用十分强烈,在沉积中心南部沉积厚层的蒸发岩。凹陷南部地区长期出露地表,遭受剥蚀,与上覆地层呈不整合接触(图4)。

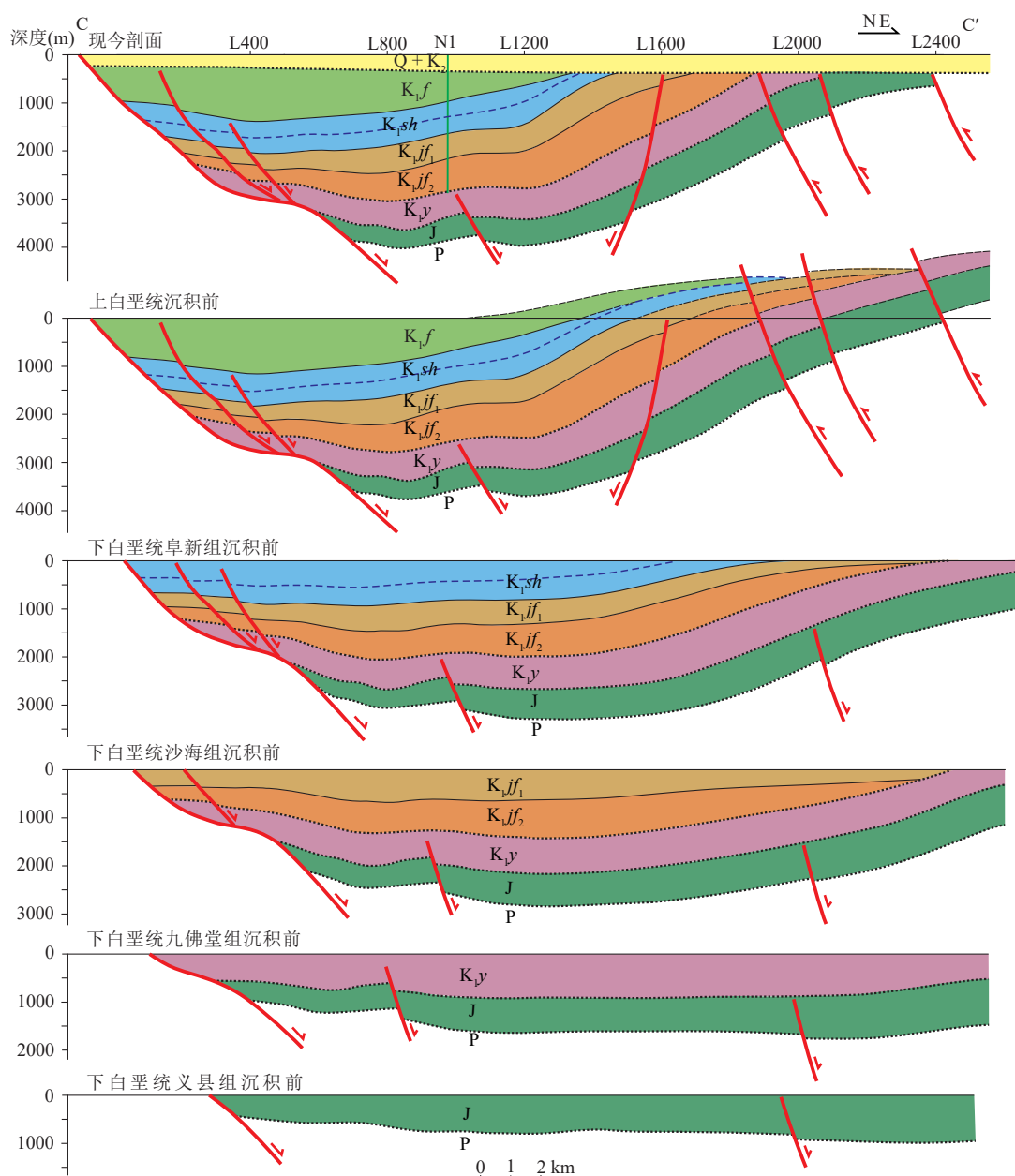


图4 奈曼凹陷Trace1260构造演化史剖面

Fig. 4 Tectonic evolution section of trace 1260 in Naiman sag

P-二叠系;J-侏罗系;K_{1y}-义县组;K_{1j2}-九佛堂组下段;K_{1j1}-九佛堂组上段;K_{1sh}-沙海组;Q+K₂-第四系+上白垩统

九佛堂组沉积时期,西边界断层强烈活动,奈曼凹陷西部快速沉降,水体不断加深,在断层下降盘发育多个扇三角洲沉积体系,沉积物以凝灰质砂砾岩、砂岩为主;湖盆逐渐扩大,湖盆中央粗碎屑物质供给不足,发育一套稳定的暗色泥岩夹油页岩,沉积中心位于凹陷中部偏西 N35 井附近;凹陷东部及南部地区处于浅水的沉积环境,主要接受辫状河三角洲相沉积。

(2) 沉降期—早白垩世中期

沙海组沉积早期,湖盆水体最深,并在较长时间内保持稳定,接受半深湖-深湖相沉积,沉积了一套稳定分布的厚层泥岩夹油页岩,成为奈曼凹陷区域性盖层;至沙海组沉积中期(图4中蓝色虚线所示),受岩浆活动与基底冷却收缩引起的差异沉降作用影响,凹陷北部开始缓慢抬升,局部地区逐渐露出地表,不接受沉积;而凹陷南部地区仍以稳定沉降为主,接受开阔的滨浅湖相沉积。

(3) 挤压抬升期—早白垩世晚期

阜新组沉积时期,受近 EW 向区域性挤压应力场作用,开鲁拗陷发生不同程度的构造反转^[23-25]。此时期,奈曼凹陷北部发生大幅抬升并遭受剥蚀,局部地区义县组上部及上覆地层全部被剥蚀,在 N27 以北地区最大剥蚀厚度可达 1000 m,阜新组与上白垩统呈角度不整合接触。伴随挤压应力场持续作用,迫使油气发生大规模运移,聚集成藏,因此,阜新组沉积晚期为奈曼凹陷主要的油气成藏期。

(4) 拗陷期—晚白垩世

区域性构造活动弱,利于形成的油气藏完整保存。奈曼凹陷接受河流相沉积,沉积物粒度变粗,地层厚度变化不大。

4 原型盆地恢复

原型盆地恢复对烃源岩的演化、沉积相带的展布以及油气成藏等方面的研究至关重要^[26]。在前文单井剥蚀厚度计算的基础上,运用等比例趋势法对奈曼凹陷下白垩统原型盆地进行恢复。选择典型地震剖面,以未被剥蚀地层中一套反射稳定的波组作为标志层,它在平面上厚度变化率近似代表该剖面位置被剥蚀前的原始沉积厚度变化,残余地层的顶、底界延长线的相交点 D,即为原型盆地边界(图5)。

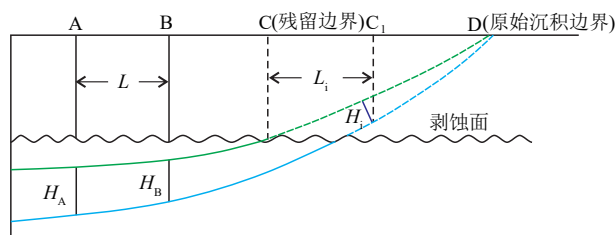


图5 等比趋势法恢复原型盆地边界示意图(据李中堂^[9]改)

Fig. 5 Schematic diagram of prototype basin boundary restored by isopachous trend method (modified after Li^[9])

设 A 点标志层的视厚度为 H_A , B 点标志层的视厚度为 H_B , A、B 两点相距 L

则厚度在 A、B 点及其附近的变化率为 r :

$$r = (H_A - H_B) / L \quad (1)$$

剥蚀地层 C_1 点的地层厚度为 H_1 :

$$H_1 = L_1 * r / \sqrt{1 + r^2} \quad (2)$$

如果地层倾角不大,其剥蚀厚度可近似为

$$H_1 = L_1 * r \quad (3)$$

奈曼凹陷北部残留地层连续性较好,地震反射界面较为连续,因此以 1 km 为单位长度设置网格,应用上述公式计算各网格交点被剥蚀的地层厚度,并把计算结果与现今地层厚度进行叠加,即得到地层原始沉积厚度(图6)。

从恢复的原型盆地可以看出:奈曼凹陷下白垩统原型盆地具有北宽南窄的形态特征,且地层厚度普遍呈现西厚东薄趋势,沉积中心靠近西边界断层,反映出西边界断层对凹陷沉积的控制作用。从各时期的沉积中心分布来看,义县组沉积中心位于凹陷北部,沉积中心部分地层被剥蚀;九佛堂组下段沉积中心位于西部陡坡带中段,基本未受剥蚀;九佛堂组上段发育了两个沉积中心,表现出继承性迁移的特点,沙海组沉积中心位于西部陡坡带南段。总体来说,奈曼凹陷下白垩统各地层沉积中心呈现出自北向南迁移的特点。

5 构造控油作用

5.1 构造对烃源岩的分布与演化的控制作用

奈曼凹陷发育义县组和九佛堂组两套烃源岩。义县组烃源岩面积约 110 km²,分布于 N21 ~ N30 以北地区;九佛堂组烃源岩面积约 150 km²,分布于凹陷中部和南部。奈曼凹陷已发现的油气以低熟油为主,其根源在于烃源岩的热演化程度不高。

奈曼凹陷烃源岩的沉积和演化明显受断裂活动的控制。裂陷早期,西边界断层活动强烈,在

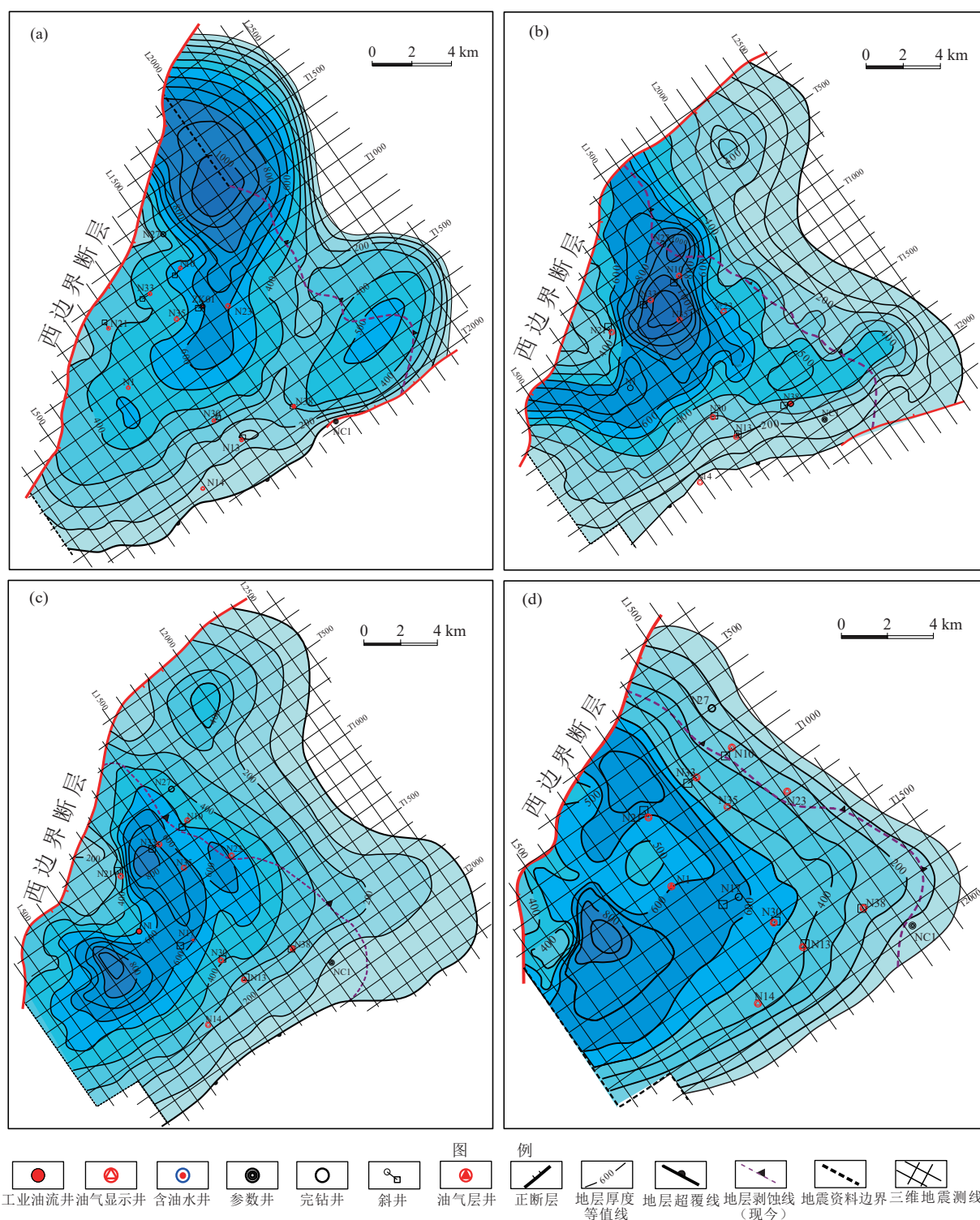


图6 奈曼凹陷北部不同地层原始沉积厚度

Fig. 6 Original sedimentary thickness of different strata in the northern part of Naiman sag

(a) 义县组; (b) 九佛堂组下段; (c) 九佛堂组上段; (d) 沙海组

凹陷北部N10井北部形成一个沉积中心, 沉积了厚层的暗色泥岩。该时期伴随的火山作用产生热能, 对烃源岩生烃产生积极作用; 同时该区义县组顶部沉积的蒸发岩, 为烃源岩的演化提供良好的封闭条件^[27]。裂陷晚期, 西边界断层再次强烈

活动, 沉积中心迁移至N10井南侧; 随着断裂活动减弱, 凹陷大部分地区水深湖广, 九佛堂组下段沉积一套分布稳定的暗色泥岩, 为烃源岩的发育奠定物质基础。

烃源岩的演化主要取决于它所经历的地质时

间和温度^[28-29], 后期的构造抬升对烃源岩的演化产生影响。义县组烃源岩在九佛堂组沉积之后基本达到成熟门限(埋深大于1480 m), 后期的构造抬升仅减缓了义县组烃源岩的演化速度, N10井地化综合指标揭示了义县组烃源岩为优质烃源岩^[12]。九佛堂组烃源岩在沙海组沉积中期进入低熟门限, 之后N33~N38井一线以北地区长期抬升, 地层遭受剥蚀, 导致该区即使经历了拗陷期的再次沉降, 其烃源岩仍未达到成熟门限; 而N33~N38井一线以南地区持续沉降, 烃源岩基本达到成熟阶段。相对而言, 义县组烃源岩分布面积虽小于九佛堂组, 但其生烃能力优于九佛堂组烃源岩, 这一发现给奈曼凹陷以及开鲁拗陷深层油气勘探带来希望。

5.2 构造演化控制沉积相类型及砂体规模

地质综合研究表明: 奈曼凹陷发育扇三角洲

和辫状河三角洲, 储集岩主要为三角洲的前缘砂体(图7)。构造演化对有利储集相带的展布及砂体规模具有明显控制作用^[30-32]。裂陷期, 奈曼凹陷西边界断层活动强烈, 周边大量风化剥蚀的碎屑物质近岸堆积, 为西部陡坡带提供充足的物源, 在断层下降盘发育多个扇三角洲沉积体系, 沉积物以砂砾岩、砂岩为主, 单砂体面积小、数量多, 纵向上多期叠置, 形成较大规模的储集体, 但其储集性能优劣不一, 存在差异。东部斜坡带断裂活动不强烈, 地层产状较平缓, 整体处于浅水沉积环境, 主要接受河流相沉积, 发育辫状河三角洲沉积, 岩性以砂岩、粉砂岩为主, 砂体厚度薄, 但分布范围广, 储集性能良好。

东部斜坡带发育辫状河三角洲已被钻井证实, 但由于存在地层超覆和地层剥蚀, 对其物源方向长期认识不清。通过前文原型盆地的恢复, 在凹

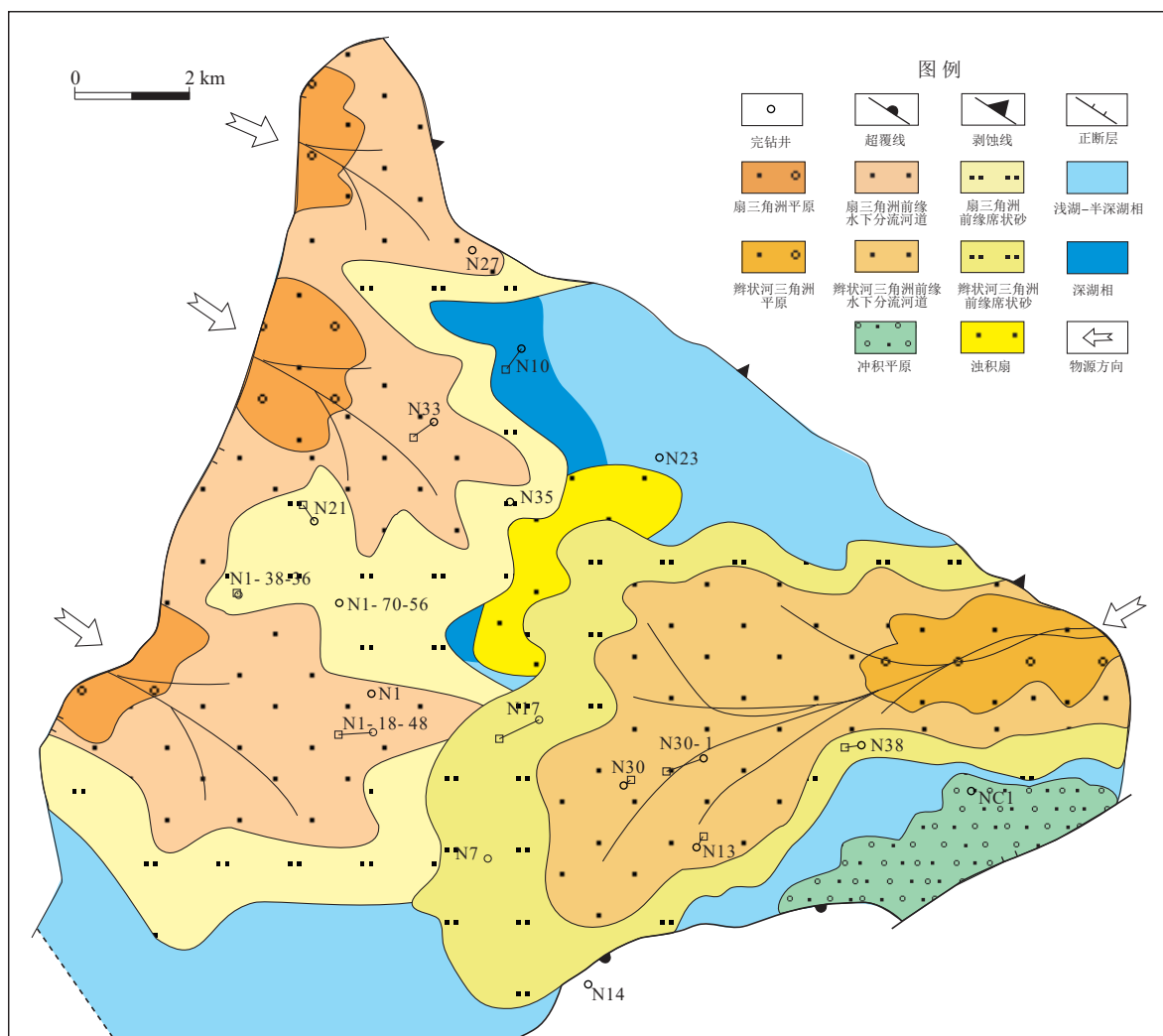


图7 奈曼凹陷九佛堂组下段沉积相

Fig. 7 Sedimentary facies of the lower member of Jiufotang Formation in Naiman Sag

陷东北部落一个局部沉积中心(图6a, 图6b), 为东部斜坡带物源区的判定提供依据。N38等井在义县组和九佛堂组下段钻遇厚层的杂色砂砾岩, 反映浅水沉积环境, 说明该区块临近物源区; N30-1井钻遇的砂砾岩, 单层厚度较薄, 以灰色为主, 反映水体相对较深, 该区块距离物源区较远。从两口井对比来看, 其岩性、粒度、单层厚度以及颜色等方面存在差异, 均反映出从三角洲平原亚相到前缘亚相的变化特征。通过地震相特征分析(图8), N38井东侧地震同相轴较粗, 多为强振幅连续反射, 局部存在地层加厚、空白反射特征, 代表平原亚相沉积的分选差的、厚层砂砾岩; N38井东侧地震同相轴增多, 为中、强振幅中等连续反射, 具有平行、亚平行产状, 代表前缘亚相沉积的分选较好的、互层发育的砂泥岩^[33]。综上所述, 东部斜坡带义县组和九佛堂组下段物源来自NE方向, 碎屑物质在向洼陷区长距离搬运过程中, 砂体物性得以改善, 利于油气的聚集。物源方向的明确对东部斜坡带油气勘探开发起指导作用。

5.3 构造对油藏类型及分布的控制作用

构造演化控制奈曼凹陷形成西断东超的箕状凹陷, 从而决定了东、西两侧不同的圈闭类型^[34-37]。裂陷期, 西边界断层持续活动, 在西部陡坡带发育多个构造或构造-岩性圈闭, 而陡

坡带的砂体本身具有近源的优势, 易于捕获油气, 形成以N1块为代表的数量多、规模小的构造油藏^[38]; 东部斜坡带断裂不发育, 地层较为平缓, 来自辫状河三角洲前缘的砂体面积大、物性好, 油气注入后, 侧向受老地层封堵, 形成以N13块为代表的地层超覆油藏。挤压抬升期, 北部地区地层大幅抬升, 中央洼陷带北段的砂体发生翘倾, 持续的挤压作用造成油气大规模运移, 注入这些砂体, 形成岩性上倾尖灭油藏^[39-40](图9)。拗陷期, 构造活动微弱, 对圈闭内聚集的油气无明显的破坏作用, 已形成的油藏得以良好保存。

目前奈曼凹陷已发现的油气集中分布于九佛堂组, 义县组及其下伏侏罗系尚未获得油气发现。结合前文分析, 义县组在沉积中心、沉积相类型及砂体展布规模方面与九佛堂组均具有可比性, 并且烃源岩条件更为优越。凹陷北部临近原始沉积中心, 油气资源潜力可观, 是开鲁坳陷在深层获得规模储量的重点目标层系。侏罗系发育碎屑岩、火山岩等多种储集岩体, 凹陷西北部具有近油源的有利成藏条件, 义县组烃源岩所生成的油气能够通过区域不整合、断层运移至有利储层聚集成藏, 该区有望成为侏罗系实现勘探突破的首选区块。

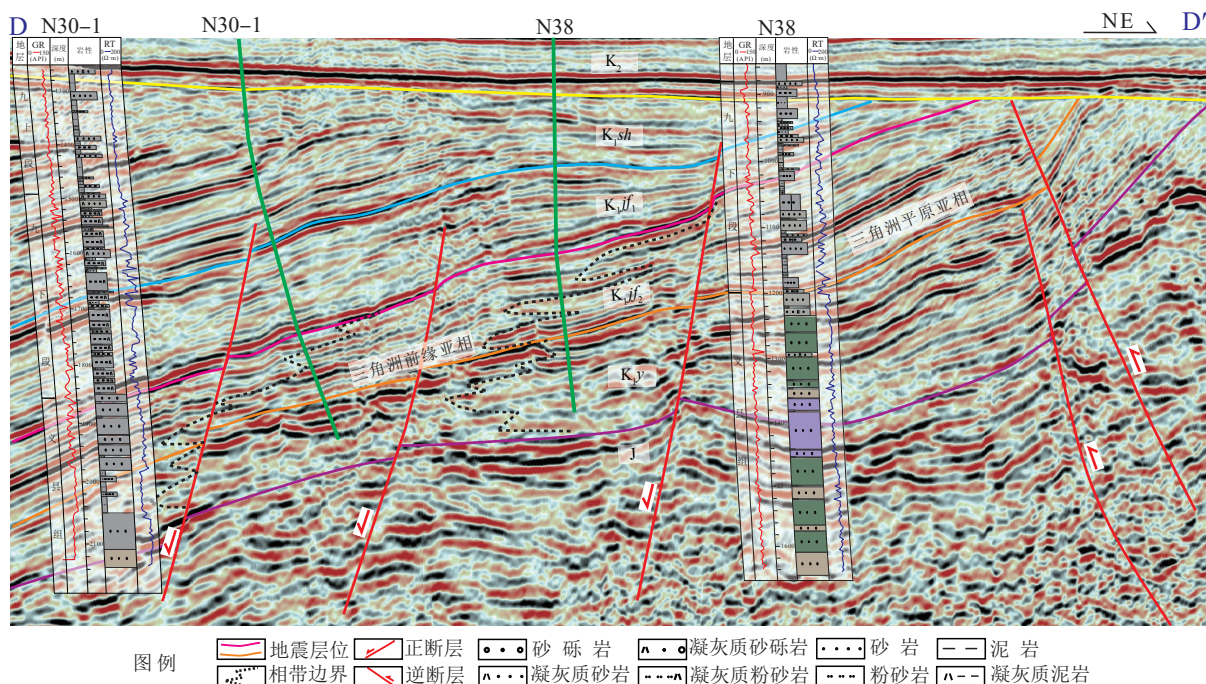


图8 奈曼凹陷过N38~N30-1井地震剖面

Fig. 8 Seismic profile across well N38 and well N30-1 in Naiman Sag

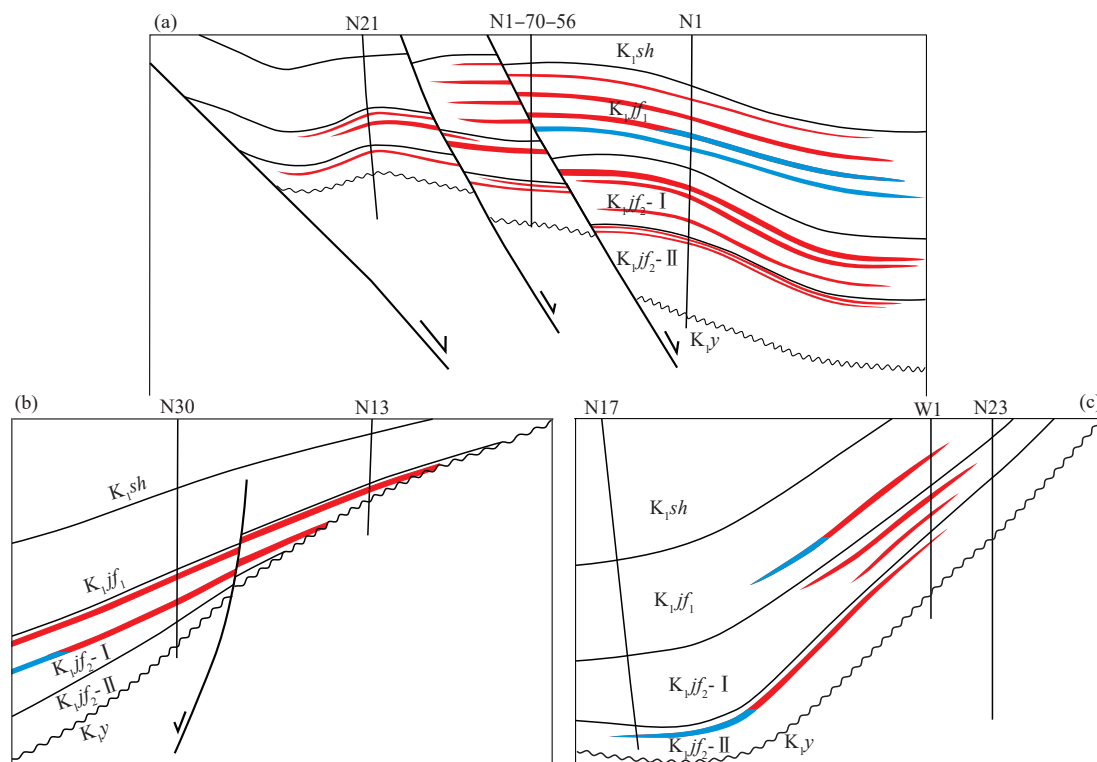


图9 奈曼凹陷不同构造背景下油气成藏模式

Fig. 9 Hydrocarbon accumulation models of Naiman Sag under different tectonic settings

(a) 陡坡带: 构造油藏、构造-岩性油藏; (b) 斜坡带: 地层超覆油藏; (c) 构造反转带: 岩性油藏

6 结 论

(1) 厘定了奈曼凹陷构造抬升时间始于沙海组沉积中期, 地层遭受剥蚀发生于阜新组沉积之后; 采用声波测井法与地层趋势外推法定量恢复地层剥蚀量, N27井以北地层剥蚀厚度可达1000 m; 落实了下白垩统各地层原型盆地边界及沉积中心分布范围, 结果表明沉积中心呈现自北向南迁移的演化规律。

(2) 明确了早白垩世义县组—九佛堂组沉积时期为裂陷期, 发育主要的生、储岩系; 沙海组沉积时期为稳定沉降期, 沉积区域性泥岩盖层; 阜新组沉积时期为挤压抬升期, 北部地层遭受剥蚀, 影响烃源岩的成熟度; 晚白垩世至今为拗陷期, 对油藏无破坏作用。

(3) 建立了奈曼凹陷构造控源、控相与控藏模式。明确了构造抬升作用造成凹陷北部九佛堂组烃源岩不具生烃能力, 有效烃源岩分布于N33~N38以南地区; 断裂活动控制义县组和九佛堂组有利储集相带的类型, 西部陡坡带九佛堂组发育构造油藏, 中央洼陷带北段发育岩性上倾尖灭油藏, 东部斜坡带发育地层超覆油藏; 指明凹陷北

部义县组深层是取得勘探突破的重点区带。

参考文献:

- [1] 刘磊, 钟怡江, 陈洪德, 等. 中国东部箕状断陷湖盆扇三角洲与辫状河三角洲对比研究[J]. 沉积学报, 2015, 33(6): 1170-1181.
- [2] 黄耀华. 奈曼旗凹陷九佛堂组沉积层序地层研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2008.
- [3] 朱筱敏, 王晓琳, 张美洲, 等. 中国典型陆相盆地细粒沉积环境和岩相特征[J]. 石油与天然气地质, 2024, 45(4): 873-892.
- [4] 吴兆剑, 韩效忠, 胡航, 等. 开鲁盆地陆家堡凹陷绍根地区早白垩世裂陷期后沉积构造演化与铀矿化特征[J]. 沉积学报, 2018, 36(1): 20-30.
- [5] 袁禹涵, 张金功, 袁炳强, 等. 松辽盆地开鲁凹陷构造特征及其有利区预测[J]. 地质论评, 2023, 69(5): 1628-1638.
- [6] 张进江, 郑剑磊, 王海滨, 等. 内蒙古大青山—盘羊山晚中生代—早新生代构造事件及其对华北北缘构造演化的启示[J]. 地学前缘, 2024, 31(1): 127-141.
- [7] 吕古贤, 张宝林, 焦建刚, 等. 新华夏构造体系地块的多层次“构造隆起—拆离凹陷”特征: 大兴安岭造山带例析[J]. 现代地质, 2024, 38(4): 853-864.
- [8] 原家鹏, 张云峰. 开鲁盆地陆东凹陷白垩系九佛堂组上段米兰科维奇旋回及沉积响应特征[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2025, 55(2): 375-386.
- [9] 刘晓丽, 裴家学, 蔡国钢, 等. 箕状断陷湖盆裂陷期层序地层及沉积演化—以松辽盆地西南缘奈曼凹陷九佛堂组下段为

- 例[J]. 东北石油大学学报, 2023, 47(2): 91-103.
- [10] 赵兴齐, 陈践发, 张晨, 等. 开鲁盆地奈曼凹陷1区块原油地球化学特征及油源分析[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2012, 36(3): 44-53.
- [11] 田涯. 奈曼凹陷烃源岩地球化学特征[J]. 石油地质与工程, 2018, 32(5): 23-26.
- [12] 刘海艳, 裴家学, 杨雪, 等. 奈曼北部义县组烃源岩地球化学特征及研究意义[J]. 特种油气藏, 2022, 29(1): 31-37.
- [13] 李中堂, 张云峰, 于训涛, 等. 开鲁盆地奈曼凹陷北部地区下白垩统地层剥蚀量恢复及其对油气藏的影响[J]. 地质科学, 2024, 59(2): 341-351.
- [14] 张一伟, 张卫海, 查明, 等. 勘探早期盆地分析与油气评价[M]. 北京: 地质出版社, 1998: 1-117.
- [15] 葛荣峰, 张庆龙, 王良书, 等. 松辽盆地构造演化与中国东部构造体制转换[J]. 地质论评, 2010, 56(2): 180-195.
- [16] 万天丰. 侏罗纪地壳转动与中国东部岩石圈转型[J]. 地质通报, 2004, 23(9/10): 966-972.
- [17] 冯志强, 董立, 童英, 等. 蒙古-鄂霍茨克洋东段关闭对松辽盆地形成与演化的影响[J]. 石油与天然气地质, 2021, 42(2): 251-264.
- [18] 张兴洲, 郭治, 曾振, 等. 东北地区中-新生代盆地群形成演化的动力学背景[J]. 地学前缘, 2015, 22(3): 88-98.
- [19] 吴怀春, 李山, 王成善, 等. 松辽盆地白垩纪综合年代地层格架[J]. 地学前缘, 2024, 31(1): 431-445.
- [20] 杨承志. 松辽盆地一大三江盆地晚白垩世构造反转作用对比及其成因联系[D]. 武汉: 中国地质大学, 2014.
- [21] 张功成, 徐宏, 刘和甫, 等. 松辽盆地反转构造与油气田分布[J]. 石油学报, 1996, 17(2): 9-14.
- [22] 陈晓, 李忠权, 陈均亮, 等. 松辽盆地反转期的界定[J]. 地质通报, 2010, 29(2/3): 305-311.
- [23] 张岳桥, 赵越, 董树文, 等. 中国东部及邻区早白垩世裂陷盆地构造演化阶段[J]. 地学前缘, 2004, 11(3): 123-132.
- [24] 胡望水, 吕炳全, 张文军, 等. 松辽盆地构造演化及成盆动力学探讨[J]. 地质科学, 2005, 40(1): 16-31.
- [25] 宋鹰. 松辽盆地裂后期构造反转及其动力学背景分析[D]. 武汉: 中国地质大学, 2010.
- [26] 李伟, 秦瑞庆, 贾海波, 等. 济阳凹陷古近纪孔店组一沙四下亚段沉积期的原型盆地格局[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2025, 49(4): 11-25.
- [27] 周飞, 邵泽宇, 张静, 等. 咸化湖相混积岩烃源岩地球化学特征及其发育模式——以柴西坳陷英雄岭构造带下干柴沟组上段为例[J]. 石油实验地质, 2025, 47(5): 1134-1149.
- [28] 郑晓薇, 姜福杰, 张宇, 等. 下古生界烃源岩成熟度研究进展及存在问题[J]. 石油实验地质, 2025, 47(3): 569-579.
- [29] 李小冬, 李志军, 李熹微, 等. 冀中坳陷保定凹陷清苑构造带低熟油成因解析[J]. 现代地质, 2024, 38(5): 1338-1353.
- [30] 王亚, 秦余福, 潘清峰, 等. 断陷湖盆细粒三角洲沉积特征及其主控因素探讨——以东濮凹陷文96储气库区为例[J]. 断块油气田, 2025, 32(4): 597-604.
- [31] 田兵, 苑艺瀚, 段志强, 等. 砂质辫状河致密砂岩储层特征及其主控因素——以苏里格气田石盒子组8段为例[J]. 断块油气田, 2024, 31(3): 387-394, 402.
- [32] 陈钊州, 刘震, 姜蕾. 断陷盆地陡坡带早期斜向沉积物源新模式: 以渤南洼陷北部沙四上亚段为例[J]. 现代地质, 2024, 38(6): 1473-1483.
- [33] 李宏涛. 基于井-震联合的辫状河沉积微相分析——以鄂尔多斯盆地东胜气田锦77井区为例[J]. 石油与天然气地质, 2025, 46(1): 91-107.
- [34] 郭齐军, 邓铭哲, 张晨雨, 等. 中国含油气盆地不同构造样式及其油气地质意义[J]. 石油与天然气地质, 2024, 45(3): 609-621.
- [35] 谢昭涵, 冯昌, 仇永峰, 等. 苏北盆地盐城凹陷盐③断裂带构造演化及其控圈作用[J]. 现代地质, 2024, 38(2): 300-311.
- [36] 刘国勇, 刘华, 陈蕾, 等. 南堡凹陷油气分布有序性与差异富集主控因素[J]. 中国石油勘探, 2024, 29(2): 112-122.
- [37] 米立军, 徐建永, 刘志峰, 等. 新构造运动对渤海凸起区、斜坡—洼陷区浅层油气最终成藏的控制作用[J]. 中国石油勘探, 2024, 29(1): 92-105.
- [38] 裴家学. 辽河外围盆地岩性油藏形成条件及识别[J]. 特种油气藏, 2015, 22(4): 62-65.
- [39] 斯尚华, 喻意, 王小龙, 等. 松辽盆地三肇凹陷扶余油层致密油气充注期次及其成藏贡献. 吉林大学学报(地球科学版), 2024, 54(5): 1457-1467.
- [40] 雷文智, 陈冬霞, 王永诗, 等. 渤海湾盆地济阳凹陷东部深层砂砾岩多类型油气藏成藏机理及模式[J]. 石油与天然气地质, 2024, 45(1): 113-129.