

台南凹陷构造演化与成藏规律

李志军, 李 斌, 陈 辉

(吐哈石油勘探开发指挥部地球物理研究所, 新疆哈密 839009)

摘要: 台南凹陷历经觉罗塔格前陆拗陷(C_2-P_1)和博格达前陆拗陷(P_2-J)两个阶段。晚二叠世以来, 台南凹陷为吐哈盆地北倾斜坡上的次一级凹陷。由于早二叠世南部觉罗塔格前陆盆地向北部博格达前陆盆地演变, 桃东沟群沉积末抬升剥蚀, 印支末-早燕山的构造反转-裸露剥蚀、块断掀斜、构造肢解等三次较大的改造, 决定了台南凹陷烃源岩的分布局限、热演化程度低、资源潜力小, 以低熟稠油为主。因此, 鲁克沁巨大稠油油藏的油应主要来自台北凹陷。鲁克沁圈闭形成期为印支晚期, 成藏期为印支末-燕山早期, 油气运聚成藏后遭受进一步稠化、调整运移及破坏, 使鲁克沁构造带形成众多的断块稠油油藏和沥青封堵油藏。

关键词: 吐鲁番拗陷; 台南凹陷; 稠油; 改造盆地; 低熟原油

第一作者简介: 李志军, 男, 31岁, 工程师, 石油物探

中图分类号: TE121.13

文献标识码: A

台南凹陷位于吐哈盆地吐鲁番拗陷南部, 北依著名的火焰山, 南望艾丁湖, 西接鲁西凸起, 东邻库木凸起。海西期以来, 台南凹陷沉积了石炭系-第四系, 大套地层保存较齐全, 但沉积间断和剥蚀在沉积构造演化过程中频繁出现, 反映出凹陷演化的多期性和复杂性。

1 构造演化

吐哈盆地呈近东西走向的菱形, 今构造面貌表现为南北分带, 东西分块的特征, 反映出盆地演化过程中东西方向和南北方向的差异。

1.1 晚石炭世-早二叠世

晚石炭世, 觉罗塔格前陆拗陷发育早期, 台南凹陷处于浅海沉积环境, 沉积了较厚的海相沉积物。艾参1井揭示的石炭系海相地层尚未变质, 该套地层向南有加厚趋势, 最大厚度可达1500m(图1)。

早二叠世, 由于觉罗塔格山向北逆冲, 前陆拗陷呈东南深西北浅的构造格局, 形成一套海陆交互沉积。这一时期, 盆地经历了早期残留海盆向湖盆转化的过程, 伴有强烈的火山活动, 主要为安山岩和玄武岩与火山碎屑岩组合。沉积地层具有向南、向东加厚的趋势, 与上覆地层呈不整合接触。

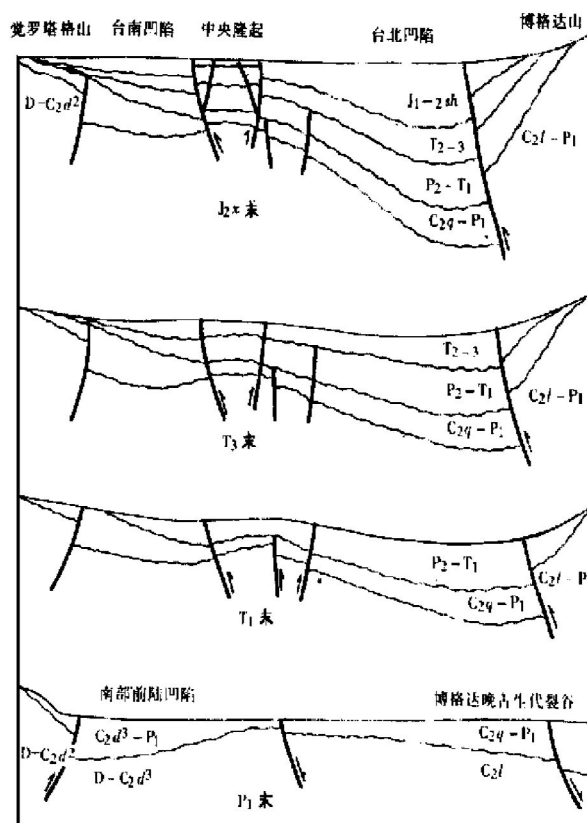


图1 台南凹陷-台北凹陷构造演化图

Fig. 1 Tectonic evolution of Tainan and Taipei sags

1.2 晚二叠世-侏罗纪

早二叠世末期, 区域构造背景发生重大转变, 南部觉罗塔格山逆冲基本停止, 而北部博格达山开始隆升并向南强烈逆冲, 形成博格达前陆拗陷。台南凹陷是北倾斜坡上的次一级凹陷, 其南北方向构

造演化相对简单,东西方向构造演化相对剧烈。

1.2.1 晚二叠世早期

在鲁西凸起和库木凸起的控制下,形成东断西超的断陷湖盆,古地貌西高东低。东部马1号断层为控制沉积的正断层。沉积中心在艾参1井至马1井地区,在广布的下二叠统海陆交互相地层之上,沉积了桃东沟群暗色泥岩,构成前侏罗系最重要的烃源岩。海西运动晚期,本区地层抬升遭受剥蚀,形成泉子街组和桃东沟组之间的不整合,残留的桃东沟群暗色泥岩分布范围局限,主要分布在鲁南1-艾参1井一线以东至马1井之间的南北狭长条带内,北部英1井缺失。在泉子街组(P_2q)沉积时期,湖水变浅但范围扩大,沉积了一套粗的砂砾岩,是较好的储层。

在此沉积期间,马1号断层表现为正断层,证据有:(1) P_2q 暗色泥岩分布明显受断层控制,以马1号正断层下降盘泥岩最厚最纯;(2)地震剖面显示,地层自西向东呈发散加厚趋势,马1号断层上盘地层厚度最大;(3)马1号正断层下降盘地层齐全(P_2td+P_2q),而上升盘缺失上二叠统。

1.2.2 晚二叠世晚期-三叠纪末

晚二叠世晚期到早三叠世,马1号断层停止活动,断陷湖盆萎缩,并逐步演化为坳陷沉积,湖水进一步变浅,形成以杂色泥岩为主的砂泥互层沉积,沉积范围扩大到玉东地区,形成上二叠统泉子街组储层的盖层。吐玉克地区仍出露下二叠玄武岩。早三叠世继承了晚二叠世的构造格局,沉积范围扩大到整个台南地区,沉积了一套棕红色泥岩。早三叠世末,克拉玛依运动使下三叠统普遍遭受剥蚀,玉东古构造发育,马1号断层转为逆断层,马场南构造开始发育,但西高东低的古构造格局仍然保持。自中三叠世开始,水体逐步加深,在水进沉积体系下形成一套正旋回沉积。底部为冲积砂砾岩,中部为扇三角洲中细砂岩与泥岩互层沉积,形成克拉玛依组(T_2k)储盖组合。上三叠统为以泥为主的砂泥互层沉积,砂岩集中发育在底部,上部以泥为主。三叠纪地层整体呈现自西向东加厚趋势。

印支晚期,台南凹陷构造运动剧烈。在NE-SW方向挤压应力作用下,马1号断层大规模向SE方向逆冲隆升,形成东南高、西北低的构造格局,完全扭转了西高东低的面貌。此时,鲁克沁I号断层开始发育,吐玉克、玉东背斜、鲁克沁断鼻构造形成,马场南构造继承性发育,并基本定型。印

支晚期是台南凹陷古油藏开始形成期。随着马1号断层逆冲规模日益增大,本区东部地层不断抬升,地层自东向西大面积遭受剥蚀,形成本区最重要的不整合面。上三叠统被剥蚀殆尽,自东向西出露地层依次为:马场南地区出露上二叠统泉子街组,马1井以西出露下三叠统,鲁克沁以西出露中三叠统克拉玛依组。东部马场南地区剥蚀量最大,持续时间最长,一直到三间房组(J_1)沉积时。向西剥蚀量逐渐减小,持续到水西沟群超覆沉积期。

1.2.3 早侏罗世

燕山早期,在东南高、西北低的古地貌背景下,水西沟群自西向东、由北向南开始超覆沉积。西部吐玉克地区超覆沉积八道湾组,玉东-鲁克沁地区超覆沉积西山窑组,东部马场南地区三间房组沉积在上二叠统泉子街组上。早燕山晚期,随着块断掀斜的加剧,本区东部进一步抬升,东西高差越来越大,构造西倾幅度增大,而东倾幅度减小甚至消失,一系列NE向断层把印支末期构造及油藏切割肢解,形成一系列“豆腐块”状断块圈闭及油藏。

2 改造作用与油气聚集

根据鲁克沁构造带稠油油藏的分布特征以及稠油性质,结合台南凹陷构造沉积演化,本区改造作用对稠油成藏的控制主要体现在以下方面。

2.1 上二叠统烃源岩分布

根据地震资料,台南凹陷桃东沟群分布面积 600 km^2 ,有效生油岩面积 160 km^2 ,平均厚度 300 m 。桃东沟群烃源岩总资源量约 $2\,855\times 10^4\text{ t}$,与鲁克沁构造带探明、控制、预测储量共约 $10\,118\times 10^4\text{ t}$ 相差甚远,且源岩仅分布在艾参1井-鲁南1井一线以东、马1井以西地区,油气不可能向西部低部位运移。这也就是说,台南凹陷不能作为鲁克沁稠油油藏的油气源。因此,鲁克沁构造带稠油油藏的油气主要来源于台北凹陷的桃东沟群。

2.2 排出低熟稠油

三叠纪末晚印支运动的抬升作用,使台北凹陷桃东沟群烃源岩埋深变浅。桃东沟群虽已进入生油门限,但处于低熟状态,断褶作用导致烃源岩破裂并开始排烃,排出的原油比较粘稠,通过断层纵向上运移进入克拉玛依组(T_2k)及泉子街组(P_2q)储集层,在南高北低的背景下进入同期发育的鲁克沁、马场南构造带成藏。由于本区含油饱和度与储层物性呈明显的正相关,岩芯明显呈黑白相间的特

征,说明原油进入储层前已相当粘稠。

2.3 沿构造轴线最富集

鲁克沁-马场南地区整体表现为 NW-SE 走向的大型鼻状隆起,鼻隆西北低,东南高。自西向东依次发育吐玉克断背斜、玉东断鼻及鲁克沁克拉玛依组不整合圈闭、马场南泉子街组不整合圈闭。本区断层有两组, NW 向断层断距大,延伸长。鲁克沁 I 号断层控制构造带的形成,而 II 号断层是油藏南贫北富的分水岭,在 II 号断层以南仅在鼻隆高部位鲁克沁地区聚集,以北沿构造轴线最富。NE 向断层断距较小,一般 20~50 m,控制油气分布,自西向东形成油水界面递次抬高的一系列底水断块层状(块状)油藏,油柱高度(>100 m)普遍大于断层断距。分析造成这种现象的原因,一是稠油排驱压力小,封堵条件易于满足;二是在成藏后上覆地层不断剥蚀,油藏埋藏浅,断面粘土颗粒受地表水交替胶结,形成封堵。油气在纵向上的分布受物性控制。三叠系克拉玛依组储层可分为 I 油组和 II 油组, I 油组储层岩性以细砂岩为主,占 74%,粉砂岩占 22%,平均孔隙度 21.8%,平均渗透率 $184 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; II 油组储层岩性以中细砂岩为主,细砂岩占 55%,中砂岩占 27%,平均孔隙度 20%~28%,平均渗透率 $268 \times 10^{-3} \sim 294 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

储层物性 II 油组比 I 油组好。由于孔渗性的差异, I 油组仅有鲁 2、鲁 3、玉东 1、2、4、202 等 6 口井见显示,为非工业油层,而 II 油组除玉东 201 井外均见高级别稠油显示,是主力油层。

2.4 鲁克沁稠油藏成藏历程

2.4.1 稠油成藏期

根据前面对构造演化的分析,晚印支运动是构造的形成期,早燕山运动后基本定型。而烃源岩在晚三叠世末进入生油门限,晚印支运动提供油气运移的动力条件。油气聚集于同期形成的圈闭中,古油藏为断背斜、断鼻型。在鲁克沁地区,中三叠统克拉玛依组扇三角洲前缘砂体广为分布,厚度稳定,物性好,是油气运移的疏导层。马场南地区,马 1 号断层是油气运移的通道,离马 1 号断层最近的马 1 井,稠油显示最好;英 1 井稍远,则显示变差;向西到艾参 1 井、玉东 1 井则无任何显示。

2.4.2 油气调整期

燕山早期,随着块断掀斜的加剧,本区东抬西降,东西埋深差异增大,背斜西倾增大,东倾减小甚至消失,古油藏压力失衡,油气自西向东调整,受燕山早期形成的 NE 向断层遮挡,形成众多的断块油藏(图 2)。

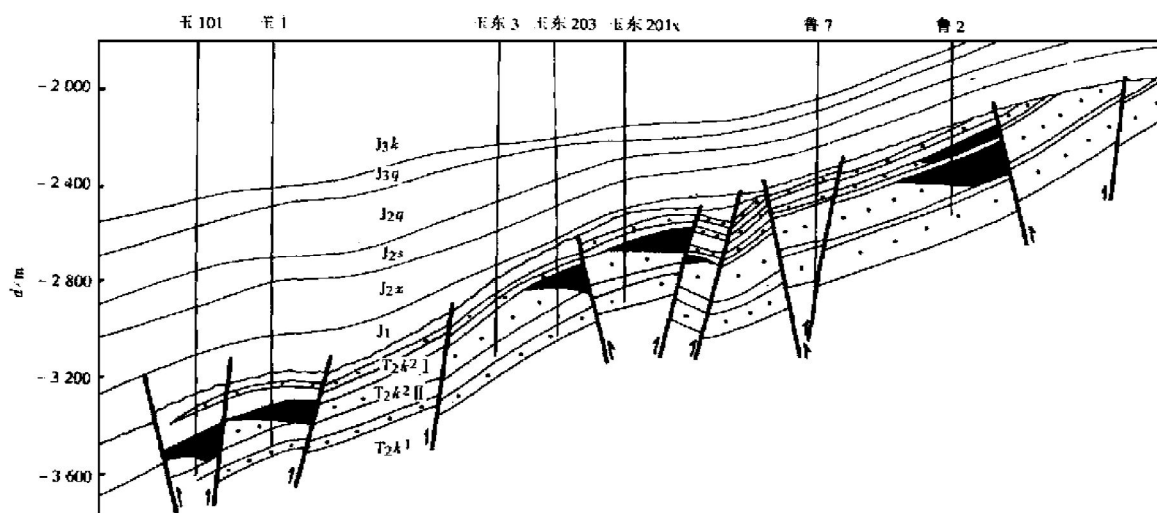


图 2 玉 101-鲁 2 井东西向油藏剖面

Fig. 2 Profile of oil pools along Yu 101-Lu 2 Wells(from east to west)

2.4.3 油藏破坏稠化期

印支末-早燕山期,本区发生构造反转,地层出露地表遭受剥蚀,油藏上覆地层不断减薄,加上早燕山期 NE 向断层的活动,本区油藏受地表水交替及厌氧细菌硫酸盐还原作用,油藏在调整过程中进

一步稠化,在断层遮挡下形成断块油藏。鲁克沁地区由于剥蚀量大,油层出露地表,油气散失,油水界面上升,低部位的鲁 3、鲁 4 井表现为水洗残余油藏。艾参 1 井断鼻在上翘断层遮挡条件下,油藏遭受剥蚀氧化,形成沥青封堵型不整合油藏。东部马

场南地区则剥蚀最为严重,早期形成的泉子街组油藏遭受剥蚀氧化,形成泉子街组沥青封堵油藏。马场南地区克拉玛依组油藏破坏形成半塑沥青,在东高西低的古地貌背景下,沥青依附于碎屑颗粒表面,或藏于粒内裂缝中,经搬运沉积下来,形成英1井西山窑组底部含沥青砂岩。英1井沉积沥青的发现,也有力证明了本区油藏形成期在印支末期,早燕山油藏受到破坏。

塔格前陆凹陷演化阶段,晚二叠世-侏罗纪博格达前陆凹陷演化阶段。总体表现为南高北低的斜坡,在鲁西凸起和库木凸起的控制下,凹陷历经断陷、坳陷沉积演化期,印支末-早燕山期发生构造反转、裸露剥蚀、块断掀斜及构造肢解等改造过程,表现出复合改造盆地的特征。这一演化改造过程不仅控制着烃源岩的分布,储盖组合的形成,而且控制着油气的运聚成藏及油藏的破坏、改造和保存。

3 结束语

台南凹陷构造演化历经晚石炭-早二叠世觉罗

TECTONIC EVOLUTION AND POOL-FORMING REGULARITY IN TAINAN SAG

Li Zhijun Li Bin Chen Hui

(*Geophysical Research Institute, Turpan-Harimi Headquarter of Petroleum Exploration and Development, Harimi, Xinjiang*)

Abstract: Tainan Sag underwent Jrtak and Bogda foreland two depression stages. The sag has been a secondary sag on the north dip slope of Turpan-Harimi Basin since Late Permian. The study area underwent three big transformation: (1) the northward transformation from Jrtak foreland basin to Bogda foreland basin in Early Permian; (2) uplifting and denudation in the end of Taodonggou Group sedimentation; (3) tectonic inversion, denudation, fault-block dip and disintegration in Late Indosinian-Early Yenshan Period. The above mentioned transformations determined the characteristics of the source rocks in Tainan Sag such as restricted distribution, lower thermal evolution degree, small source potential and predominant with lower maturity of thick crude oil. Therefore, the oil of huge thick oil pools of Lukqin structure belt should be mainly driven from Taipei Sag. Lukqin trap was formed in late Indosinian epoch and the oil pools were formed in the end of Indosinian-Early Yenshan Period. Then the oil was further thickened, remigrated and destoried, thus causing Lukqin structural belt to be separated into many fault-block thick oil pools and asphalt-plugged reservoirs.

Key words: Turpan Depression; Tainan Sag; thick oil; reformed basin; low mature crude oil