

文章编号: 1000-0550(2004)03-0513-05

三塘湖盆地芦草沟组烃源岩及其古环境

冯乔^{1,2} 柳益群³ 郝建荣³

1(山东科技大学 山东泰安 271019) 2(有机地球化学国家重点实验室 中国科学院
广州地球化学研究所 广州 510640) 3(西北大学 西安 710069)

摘要 三塘湖盆地中二叠统芦草沟组分布于马朗凹陷和条湖凹陷西南部边缘,主要由碳酸盐岩和暗色泥岩组成,是盆地主力生油岩。碳酸盐岩、伽马蜡烷指数(GI)、原油碳同位素组成表明芦草沟组沉积于咸水—半咸水古水体环境中,其主要沉积中心位于盆地西南边缘东侧,呈北西—南东方向延伸,与区域构造延伸方向基本一致。芦草沟组时期的原型盆地范围比现在大,尤其是原型盆地的西南边界应位于现在边界的更西南部,从其碳酸盐岩厚度和伽马蜡烷含量的变化来看,三塘湖盆地与相邻的吐哈盆地和准噶尔盆地呈相互独立分隔的状态。

关键词 伽马蜡烷指数 原油碳同位素 原型盆地 芦草沟组 三塘湖盆地

第一作者简介 冯乔 男 1963年出生 教授 博士后 石油地质学与油气地球化学

中图分类号 P593 **文献标识码** A

1 概述

三塘湖盆地位于新疆东部吐哈盆地之北,其东北与蒙古接壤。盆地呈北西—南东向延伸,面积约 $2.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。自1993年进行油气勘探以来,历经近10年。1999年吐哈油田公司在该盆地的勘探取得了突破性进展,相继发现了马中、黑墩等油田。同时也相继开展了一系列的科研工作,但对二叠系芦草沟组烃源岩的认识还存在很大分歧,尤其是其形成的古水体环境和与周边相邻盆地关系的认识还存在一些不足,甚至相互矛盾的看法。

2 芦草沟组烃源岩性质与原油特征

2.1 烃源岩组成与分布

三塘湖盆地共发育4套烃源岩,即中下侏罗统西沟群(J_{1-2sh})、中上三叠统小泉沟群(T_{2-3xq})、中二叠统芦草沟组(P_2l)和条湖组(P_2t)、上石炭统—下二叠统。其中中二叠统芦草沟组为主力烃源岩。

盆地内芦草沟组的分布范围是目前争论较大的问题,以前的研究认为芦草沟组广泛分布于马朗凹陷和条湖凹陷^[1]。经过对钻井地质剖面分层的重新认识,并结合VSP资料和地表露头资料,通过对大量地震剖面的深入研究与解释,研究认为中二叠统芦草沟

组烃源岩主要分布在岔哈泉凸起以南的马朗凹陷和条湖凹陷西南部,而条湖凹陷的绝大部分地区缺失芦草沟组烃源岩。

条湖凹陷仅有条5、条7井钻遇芦草沟组,其它井在三叠系之下均为火山岩,因此条湖凹陷芦草沟组烃源岩的分布范围非常有限,主要发育在凹陷南部逆冲推覆带中,呈叠瓦岩片产出。如穿过条7井ST94-454地震剖面(图1)显示出,盆地西南边缘逆冲推覆断裂的上盘为石炭系火山岩,之下出现芦草沟组的暗色泥岩和泥灰岩、灰岩,然后为正常层序的二叠系条湖组火山岩、芦草沟组砂泥岩及其以下地层。

由于多条逆冲推覆断裂的活动,在条湖凹陷南部边缘出现地层层序完全倒转的状态。以推覆构造的前锋逆冲断裂为界,推覆构造带中的地层分布与稳定地块上的地层层序完全不同,在条湖凹陷主体部位的稳定地块上,如条4井,虽与条7井仅相隔3 km,但其中生界层序完整,发育 K_1J_3q 、 J_2t 、 J_2x 、 J_1 及 T_{2-3} ,上古生界层序中除可能发育下二叠统或石炭系以外,缺失中二叠统芦草沟组、条湖组和上二叠统。而在逆冲推覆带中,基本缺失中新生界,而二叠系发育较完整,显示出不同构造单元,地层层序完全不同的特点。

马朗凹陷芦草沟组分布范围广,厚度也比条湖凹陷大。在马朗凹陷,马9和马7井及其以西厚度较

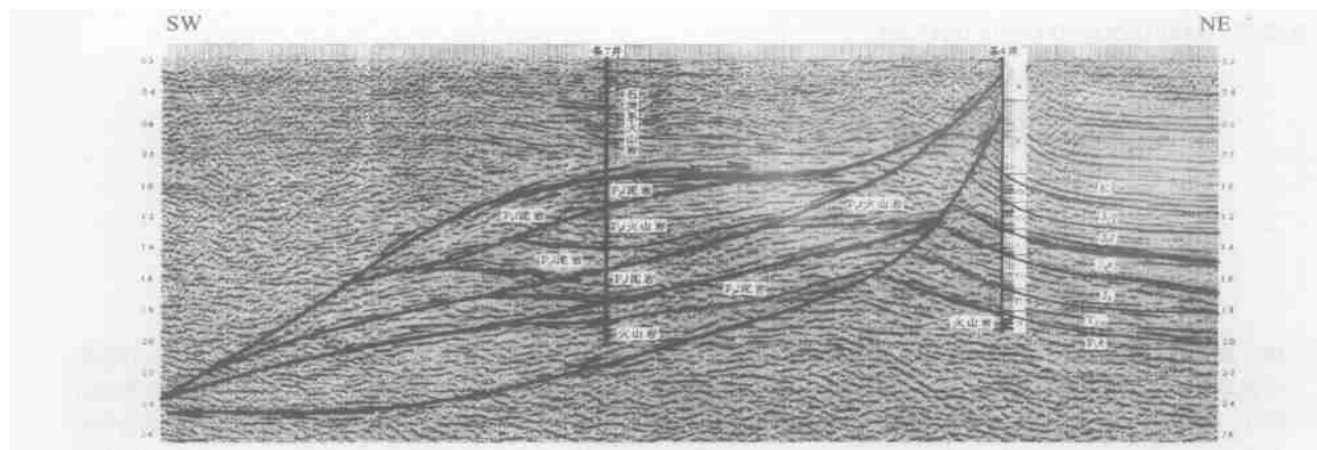


图1 三塘湖盆地凹陷西南边缘 ST93 - 499 地震地质解释剖面

Fig. 1 The seismic and geologic section of ST93 - 499 across the southwest edge of Santanghu Basin

大,达 400 m 以上。在条湖凹陷,芦草沟组厚度约 300 m。其芦草沟组主要为泥灰岩、钙质泥岩、泥岩,形成于咸水—半咸水的湖泊中。

该类烃源岩有机质丰度中等—高,以Ⅱ型干酪根为主,热演化程度条湖凹陷较高,达到成熟;马朗凹陷较低,为低—中等成熟,是三塘湖盆地的主要烃源岩。

2.2 有机岩石学特征

中二叠统烃源岩的显微组份组成存在较大差异。在跃进沟剖面和塘参 3 井,该套烃源岩以富含低等水生生物生源的腐泥组占优势,在凹陷部位,存在较丰富的腐泥无定形组份(平均 18.8%),构成了盆地内主要的生烃母质^[2]。条 5 井芦草沟组烃源岩的腐泥组含量较凹陷低,生烃潜力相对较差。

2.3 原油特征与类型

三塘湖盆地原油、残余油的性质、生源参数、成熟度及碳同位素等研究表明,三塘湖盆地的原油可以划分为 3 种类型。(1)沼泽相煤系成因原油,仅见于北小湖油田侏罗系储层中。原油具有油质重、含硫高、Pr/Ph 高、饱和烃含量低、碳同位素偏轻($-29.38\text{‰} \sim -29.41\text{‰}$)、原油成熟度较高及富含陆源母质生物标志物等特点,反映源岩形成于弱氧化—弱还原的沼泽环境。(2)咸水—半咸水湖相原油,主要分布在条湖凹陷南部和马朗凹陷,包括牛圈湖油田、马中构造、黑墩构造等所见的油气显示和原油。原油总体具有较高密度、中—高粘度、低 Pr/Ph,富含 n -胡萝卜烷、伽马蜡烷,原油碳同位素轻($-32.36\text{‰} \sim -29.5\text{‰}$),三环萜烷分布完整和四环萜烷相对贫乏,富 C_{28} 规则甾烷、原油成熟度较低,反映源岩形成于快速堆积的、

强还原的微咸水—半咸水的沉积环境,主要由中二叠统富含藻类母质的芦草沟组烃源岩形成。(3)淡水湖相原油,该类原油仅见于塘参 3 井下二叠统—石炭系储层中,以高 C_{27} 规则甾烷、较高成熟度、三环萜烷系列完整和四环萜烷相对贫乏、原油碳同位素较重(-28.1‰)为特征,其源岩可能为下二叠统湖相泥岩。其中第 2 类原油占盆地石油总地质资源量的 80% 以上。

3 芦草沟组烃源岩发育环境

沉积环境是控制烃源岩显微组份组成和生源类型的最重要因素之一。通过对二叠系芦草沟组岩石组合特征、典型生标及碳同位素组成等研究,较深入探讨了中二叠统芦草沟组的沉积古环境。

3.1 芦草沟组碳酸盐岩分布

中二叠统芦草沟组中发育较多碳酸盐岩,主要包括泥晶灰岩、泥灰岩、泥质白云岩和细晶白云岩等。灰岩是由 $CaCO_3$ 围绕细碎屑颗粒结晶而形成,或者是由生物化学作用而形成,反映当时古地形相对平缓,陆源碎屑供应不充分,水体较清澈,生物活动较强。经研究,本区白云岩属于原生型白云岩,形成于浅水蒸发环境。灰岩和白云岩发育,并有油页岩,表明三塘湖盆地在芦草沟组沉积时期,气候比较炎热,湖水蒸发量大于降水量,湖水较深较平静,仅在局部发育辫状河及辫状河三角洲。

从芦草沟组碳酸盐岩平面分布变化来看(图 2),碳酸盐岩分布广泛,主要位于马朗凹陷西北和条湖凹陷西南侧。碳酸盐岩厚度介于 0~100 m 范围,发育

两个沉积中心。在马朗凹陷,有两个较大厚度区,均超过 100 m。其一在马 1 井附近,以白云岩为主,属于浅水环境的沉积;其二在西南侧逆冲推覆带前缘,范围较大,属于较深水环境沉积。在条湖凹陷西南侧逆冲推覆带前缘发育另一较厚的碳酸盐岩分布区,最厚可达 60 余米,为较深水环境沉积。

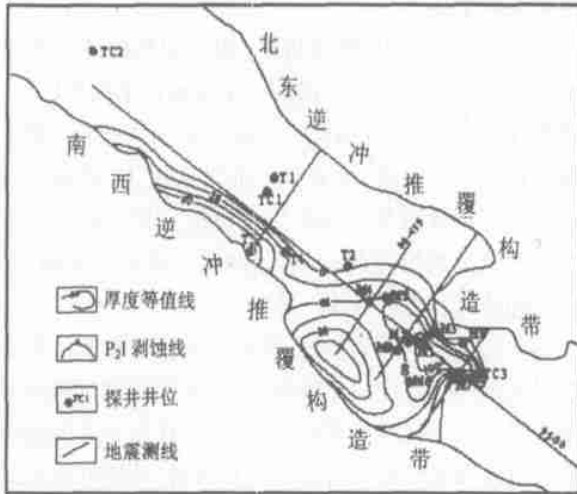


图 2 三塘湖盆地二叠系芦草沟组碳酸盐岩厚度图

Fig. 2 The thickness plot of carbonate in Permian Lucaogou Fm. in Santanghu Basin

3.2 伽马蜡烷指数

伽马蜡烷是反映环境水体盐度高度的最良好的生物标志化合物之一,伽马蜡烷含量较高,指示较高的古盐度水体环境^[4,5]。 C_{30} 蜡烷/ C_{30} 藿烷比值可以用来反映伽马蜡烷的相对含量,称为伽马蜡烷指数(GI)。三塘湖盆地芦草沟组烃源岩及其所生成的石油中含有较高的伽马蜡烷^[2]。

从岩性上看,同一岩性,伽马蜡烷指数差别较大,如钙质泥岩 GI 的变化范围为 0.07 ~ 0.68,暗色泥岩 GI 的变化范围为 0.04 ~ 0.38。不同岩性之间,虽然伽马蜡烷指数变化不是很大,仍可看出伽马蜡烷指数随岩性变化的大致趋势,即暗色泥岩 < 钙质泥岩 < 白云质泥岩 < 凝灰质泥岩 < 泥灰岩。

油砂抽提物的伽马蜡烷指数的变化范围相对烃源岩要小,主要介于 0.14 ~ 0.50 之间,这说明(1)原油的伽马蜡烷指数可能反映了具有不同伽马蜡烷含量的烃源岩生成原油混合的结果;(2)低伽马蜡烷指数的烃源岩不具有生成油气的潜力;(3)同一岩性之间伽马蜡烷指数变化较大,不同岩性之间差别不大,

说明原油的聚集成藏对岩性没有选择性,而储集性能是成藏的主要控制因素。

从分布层位和地区看,无论是烃源岩,还是原油,除塘参 1 井外,伽马蜡烷指数均较高,介于 0.15 ~ 0.50 之间,绝大部分均 > 0.2。即使是侏罗系储层的原油,伽马蜡烷指数也很高,其中马 6 井芦草沟组烃源岩的伽马蜡烷指数最高,达到 0.74,而马朗凹陷下二叠统卡拉岗组较低,平均 0.15。

塘参 1 井侏罗系西山窑组原油的伽马蜡烷指数极低,仅有 0.07,比二叠系烃源岩和原油的伽马蜡烷指数低一个数量级,说明塘参 1 井侏罗系原油应来源于与二叠系烃源岩完全不同沉积环境的源岩。据研究,可能来源于中上三叠统小泉沟群湖相源岩。

伽马蜡烷指数的平面分布表明(图 3),马朗凹陷伽马蜡烷指数分布发育多个高值区。这不仅反映了沉积水体的分隔性,也反映了沉积古地形的起伏变化。其中马 1、马 5 和马 6 井区伽马蜡烷指数相对较高,属于沉积水体盐度相对较高区域,尤其是在西侧逆冲推覆带前缘,如马 6 井,芦草沟组深灰色钙质泥岩的 $GI = 0.68$ (3139.5 m),泥灰岩的 $GI = 0.74$ (3099.1 m),反映了盐度较高的水体环境。

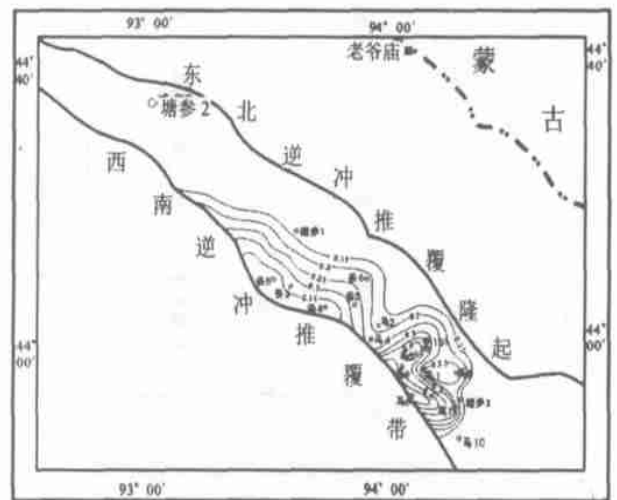


图 3 三塘湖盆地源岩和原油伽马蜡烷指数平面分布图

Fig. 3 The planar plot of gammacerane index of source rocks and crude oils in Santanghu Basin

在条湖凹陷西侧逆冲推覆带前缘也发育一个伽马蜡烷指数相对较高的区域, $GI > 0.35$,属于盐度较高的水体环境,包括条 3、条 4、条 5、条 6 和条 7 井分布的区域。向东北方向伽马蜡烷指数逐渐降低,反映了盐度逐渐降低和水深逐渐变浅的趋势。

3.3 碳同位素特征

原油的碳同位素主要取决于母质类型^[3,6]。陆源有机质生成的原油富含重碳同位素,其¹³C偏高;低等水生生物构成的腐泥型有机质生成的原油富轻碳同位素,其¹³C值偏低。三塘湖盆地原油的碳同位素值也遵循这一规律。

三塘湖盆地原油碳同位素值均比较接近,其中条湖凹陷¹³C值介于-28.7‰~-32.8‰,平均-30.67‰;马朗凹陷介于-28.6‰~-32.9‰,平均-30.81‰。总的看来,条湖凹陷和马朗凹陷生成原油的母质类型没有大的差别,但仔细分析发现,马朗凹陷碳同位素值偏负的样品明显比条湖凹陷多,说明马朗凹陷的原油更多是来源于偏腐泥型的生源。

再则,原油¹³C的分布无论是条湖凹陷还是马朗凹陷均可明显分成两组,即-33‰<¹³C<-30.5‰和-29.5‰<¹³C<-28.5‰(图4),二者之间相差1‰,这可能反映了烃源岩母质生源的差异和沉积环境的不同,也就是说,前者代表了偏腐泥型烃源岩生成的原油,后者代表了偏腐植型烃源岩生成的原油。其中塘参1井原油,其¹³C=-29.5‰,落入偏腐植型母质类型生成的原油,而与以前认为的煤成原油不一致^[3]。

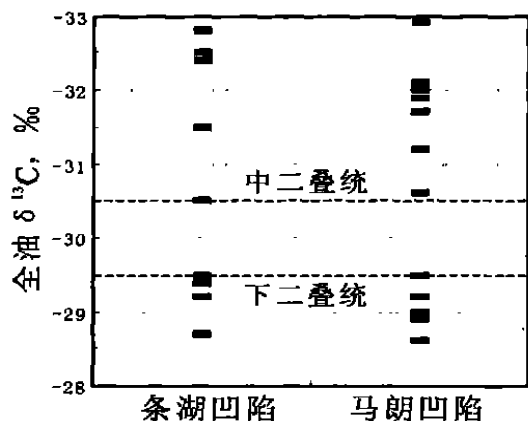


图4 三塘湖盆地不同凹陷全油碳同位素分布

Fig. 4 The carbon isotope distribution of crude oils in different depressions, Santanghu Basin

原油各组分¹³C值的变化顺序为:饱和烃<全油<芳烃<非烃<沥青质,而不同层位各原油的碳同位素十分接近,其¹³C大多小于-29‰,也反映了原油为湖相烃源岩生成。

4 结论与认识

三塘湖盆地中二叠统芦草沟组分布于马朗凹陷

和条湖凹陷西南部边缘,主要由碳酸盐岩和暗色泥岩组成,有机质丰度高,有机质类型好,是盆地主力生油岩。

根据原油性质、生标参数、成熟度及碳同位素等研究认为,三塘湖盆地的原油可分为3种类型,即沼泽相煤系成因原油、咸水—半咸水湖相原油和淡水湖相原油。其中咸水—半咸水湖相原油主要由芦草沟组烃源岩生成。

碳酸盐岩、伽马蜡烷指数(GI)、原油碳同位素组成表明芦草沟组沉积于咸水—半咸水古水体环境中,说明在芦草沟组沉积时期,气候炎热,干旱少雨,湖水蒸发量大于降水量,没有强烈的洪水发生,可能仅在局部发育辫状河及其辫状河三角洲。其主要沉积中心位于盆地西南边缘东侧,呈北西—南东向延伸,与区域构造延伸方向基本一致。

碳酸盐岩、伽马蜡烷指数的平面分布表明芦草沟组时期的原型范围应比现在大,尤其是原型盆地的西南边界应位于现在边界的西南部,但从东北方向碳酸盐岩厚度和伽马蜡烷含量的变化来看,其原型盆地西南边界也不会离现在边界很远。因此,芦草沟组时期的三塘湖盆地仍表现为一个山间盆地,与相邻的吐哈盆地和准噶尔盆地呈相互独立分隔的状态。

参考文献(References)

- 1 王志勇,卫延召,赵长毅. 三塘湖盆地低熟油的发现及其地球化学特征. 沉积学报, 2001, 19(4): 598~604 [Wang Zhiyong, Wei Yanzhao, Zhao Changyi. The immature oils in Santanghu Basin. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(4): 598~604]
- 2 杜宏宇,王鸿雁,徐宗谦. 马朗凹陷芦草沟组烃源岩地化特征. 新疆石油地质, 2003, 24(4): 302~305 [Du Hongyu, Wang Hongyan, Xu Zongqian. Geochemical characteristics of Lucaogou source rock in Malang sag, Santanghu Basin. Xinjiang Petroleum Geology, 2003, 24(4): 302~305]
- 3 包建平,马安来,黄光辉,等. 三塘湖盆地原油地球化学特征及其成因类型. 石油勘探与开发, 1999, 26(4): 25~29 [Bao, Jianping, Ma Anlai, Huang Guanghui, et al. The origin and geochemical characteristics of crude oils from Santanghu basin. Petroleum Exploration and Development, 1999, 26(4): 25~29]
- 4 Sinninghe Damste J S, Kenig F, Koopmans M P, et al. Evidence for gammacerane as an indicator of water column stratification. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1995, 65(9): 1895~1900
- 5 Marynowski L, Narkiewicz M, Grelowski C. Biomarkers as environmental indicators in a carbonate complex, example from the Middle to Upper Devonian, Holy Cross Mountains, Poland. Sedimentary Geology, 2000, 137: 187~212
- 6 徐永昌,刘文汇,沈平. 含油气盆地油气同位素地球化学研究概

述. 沉积学报, 2001, 19(2): 161 ~ 168 Xu Yongchang, Liu Wen-hui, Shen Ping. A review of isotope geochemical researches on oil and

gas in oil and gas bearing basins. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(2): 161 ~ 168]

The Source Rock and Its Palaeo-environment of Lucaogou Formation, Permian in Santanghu Basin

FENG Qiao^{1,2} LIU Yi-qun³ HAO Jian-rong³

1(Shandong Science and Technology University; Tai 'an Shandong 271019)

2(The State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640)

3(Northwest University, Xi 'an 710069)

Abstract The middle Permian Lucaogou Fm. was distributed within Malang sag and the southwestern part of Tiaohu sag. It was the main source rock composed from carbonate rocks and dark shale. Lucaogou Fm. was deposited in the paleo-environment from saltwater to half-saltwater based on carbonate rocks, gammacerane index (GI) and carbon isotopes of crude oils. Its depositional center, located on the eastern side of the southwest thrust structure belt, extended along the northwest-southeast direction and paralleled to the regional structural range. The prototype basin's scope of Lucaogou Fm. was greater than present. In particular, its southwest boundary should be out of the Lucaogou Fm. basin. Santanghu basin was separated reciprocally with Tu-Ha basin and Junggar basin based on the variations of carbonate rock's thickness and gammacerane index during Lucaogou Fm. sedimentation.

Key words gammacerane index, carbon isotopes of crude oils, prototype basin, Lucaogou Fm, Santanghu basin