

# Characteristics and Origin of Jurassic Oil Sands in the Piedmont Fault Belt of Longmen Mountain, Sichuan Basin

Xuemei Lin<sup>1</sup>, Xu Wang<sup>1</sup>, Siqin Huang<sup>1</sup>, Shirong Song<sup>2</sup>

<sup>1</sup>State Key Laboratory of Oil and Gas Geology and Development Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan

<sup>2</sup>Third Oil Extraction Plant of Changqing Oil Field Branch Company of China, Xi'an Shaanxi  
Email: 287022684@qq.com

Received: Sep. 7<sup>th</sup>, 2017; accepted: Sep. 21<sup>st</sup>, 2017; published: Sep. 28<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

The Jiangyou Houba is in the mountain front belt of Longmen mountain tectonic belt, according to the investigation, the Jurassic oil and gas show well in Houba, the distribution of a wide range of oil. The analysis of oil sand samples in the study area was carried out by means of GC-MS analysis. The characteristics of biomarkers in the study area are characterized by the abundance of tricyclic terpenes and the main peak of C<sub>23</sub>. Regular steroids have the anti-“L”-type characteristics of C<sub>29</sub> > C<sub>27</sub> > C<sub>28</sub>. The gammacerane index is 0.56, Ts/Tm < 1, Maturity is about 1.99%. It shows that crude oil comes from marine high salinity reduction environment. This area mainly developed in the lower Cambrian Qiongzhusi formation and Xujiahe formation of two sets of hydrocarbon source rocks, the maturity of the sample is closer to that of the Cambrian, the difference between aromatic hydrocarbon and Xujiahe formation is too large, the distribution characteristics of terpenes and steroids are similar to those of Cambrian source rocks. Therefore, it is considered that the source of crude oil in Jurassic oil sands in Houba area is Cambrian black mudstone source rock.

## Keywords

Jiangyou Houba, Jurassic System, Oil Sand, Biomarker Compounds

---

# 四川盆地龙门山山前断裂带侏罗系油砂油的特征及成因

林雪梅<sup>1</sup>, 王旭<sup>1</sup>, 黄思钦<sup>1</sup>, 宋世荣<sup>2</sup>

<sup>1</sup>成都理工大学, 油气地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都

<sup>2</sup>中国石油长庆油田分公司第三采油厂, 陕西 西安  
Email: 287022684@qq.com

收稿日期: 2017年9月7日; 录用日期: 2017年9月21日; 发布日期: 2017年9月28日

## 摘要

江油厚坝处于龙门山构造带的山前带, 据调查现厚坝地区侏罗系的油气显示好, 油苗分布范围较广。通过GC-MS分析等方法对研究区油砂样品的分析, 研究区的样品生物标志化合物特征表现为三环萜烷丰富, 以C<sub>23</sub>为主峰, 规则甾烷具有C<sub>29</sub> > C<sub>27</sub> > C<sub>28</sub>的反“L”型特征; 伽马蜡烷指数为0.56, Ts/Tm < 1, 成熟度约1.99%, 说明原油来自于海相高盐度还原环境。该地区主要发育下寒统筇竹寺组与上三叠统须家河组两套规模的烃源岩, 由于该样品成熟度与寒武系更加接近, 芳烃特征与须家河组差别太大, 且萜烷和甾烷分布特征与寒武系烃源岩具有一定的相似性。因此分析认为厚坝地区侏罗系油砂岩中的原油来源是寒武系黑色泥质烃源岩。

## 关键词

江油厚坝, 侏罗系, 油砂, 生物标志化合物

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

中国的油砂资源十分丰富。据前人调查, 中国油砂石油地质储量为  $59.7 \times 10^8$  t, 准噶尔、四川、柴达木、鄂尔多斯及松辽等盆地均有油砂分布, 其中油砂石油地质储量较大的为准噶尔盆地西北缘风城地区及四川盆地龙门山断裂带山前带北段江油厚坝地区[1]。厚坝地区的油砂因其油气显示好, 露头油苗分布较广, 资源量大, 前人对该地区的油砂已经做了很多的研究, 如戴鸿鸣等[2]、孙晓猛等[3]、罗茂等[4]和王广利等[5]对川西北部厚坝地区侏罗系油砂成因及成藏特征进行了研究, 认为川西北地区油砂受生物降解影响严重, 有机地球化学特征表示厚坝地区油砂油主要来源为寒武系烃源岩。徐世琦等[6]、杨雪飞等[1]、和单玄龙等[7]对四川盆地厚坝地区的成藏条件及储层特征等进行了研究, 发现厚坝地区油砂储层岩性以岩屑石英砂岩为主, 储集空间主要为残余粒间孔和粒间溶孔, 具有良好的储层条件。这些都为本文的研究奠定了基础。

笔者通过四川盆地厚坝地区的油砂岩的野外露头及油苗显示对该地区油砂的成因及成藏条件做了一系列的研究。通过对油砂中有机质的分子地球化学实验分析以及油砂岩的薄片观察, 并结合前人研究成果, 对川西北地区油砂的有机地球化学特征、储层特征有了一定的认识, 进一步分析了川西北地区低成熟油砂的成因及成藏条件, 为探索该地区油砂形成的主控因素和分布规律, 初步确定油砂的资源量以及油砂的后期开采提供了必要的基础地质资料, 为研究其他地区的油砂及油苗打下了基础。

## 2. 区域地质背景

厚坝地区(图 1)位于龙门山构造带的山前带, 油砂及油气苗极为丰富。龙门山推覆构造带位于松潘 -

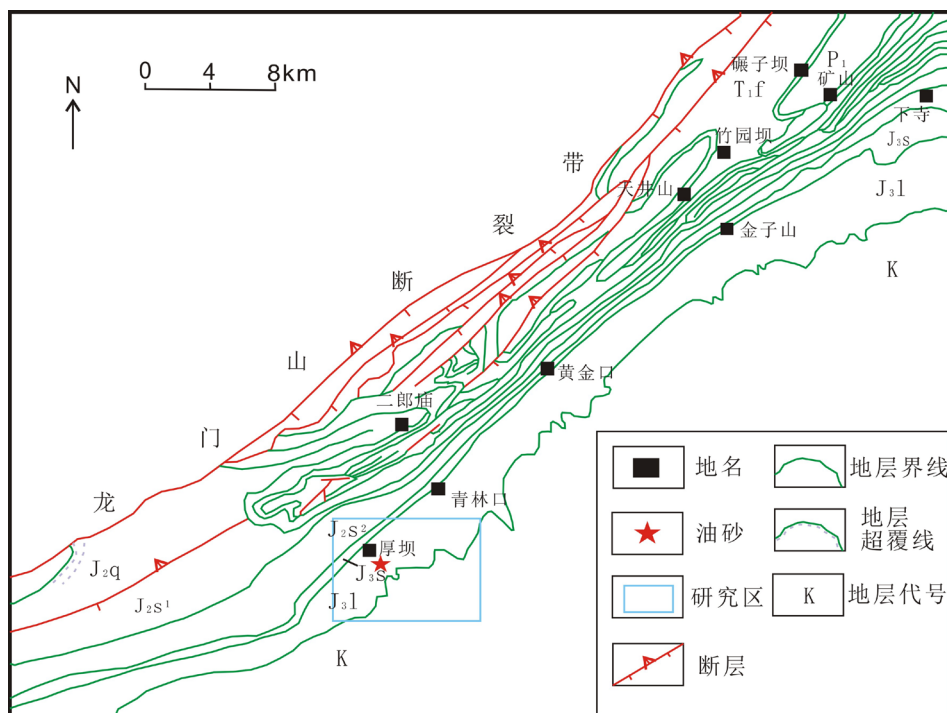


Figure 1. Geologic map of thick Houbain Northwest Sichuan  
图 1. 川西北厚坝地区地质图

甘孜褶皱带与扬子准地台的接合部位，是四川盆地的西部边界，也是青藏高原的东部边界，具有“南北分段，东西分带”的特点从西向东方向依次分为 3 个构造变形带，即“后山带、前山带、山前带”，山前带位于马角坝断裂带与江油 - 广元潜伏断裂带之间，属推覆体构造带的断层隐伏前锋构造带。

龙门山山前带构造演化过程复杂，具有丰富的烃源岩层位和油气资源，自印支期以来，发生了多期次逆冲推覆作用，在印支期形成的背斜圈闭遭到了强烈的破坏，发生油气逸散。作为油气储层和盖层的侏罗系地层也经历构造掀斜、隆升和剥蚀作用，导致该区构造变形复杂，油气圈闭，保存条件差[3]。使古生带形成的油气沿逆冲断裂构造向地表运移，形成了该区丰富的油砂及油苗显示。

纵向上，龙门山北段的烃源岩具有多层位特征，震旦系陡山沱组灰黑色页岩，下寒武统筇竹寺组黑色泥岩，下志留统龙马溪组灰黑色砂质泥岩，上二叠统栖霞 - 茅口组泥灰岩，下二叠统龙潭组泥质岩及煤系，上三叠统须家河组泥岩，总厚度很大[8]。横向上油砂沿龙门山褶皱构造带山前带均有分布，如中坝、海棠铺、重华、倒流河、大梁山、厚坝、双鱼石、二郎庙、青林口等，据徐世琦[6]不完全统计，从广元至安县间共有油气苗及沥青脉 260 多处。

### 3. 油砂油的产状

厚坝地区侏罗系地层与下伏地层须家河组呈角度不整合接触，研究区侏罗系地层中广泛分布着油砂，在剖面上，侏罗系白田坝组、千佛崖组、沙溪庙组均有油砂分布，但其油砂的厚度在有较大的差异但油砂分布各层位的不同地区有较大的变化。沙溪庙组油砂主要分布于该组的中、下部砂岩中，厚度变化在 2.0~50.21 m 之间；千佛崖组油砂主要分布在该组砂岩和底部砾岩中，其厚度最大可达 104 m，最小仅 1 m；白田坝组油砂主要分布在该组的上部砂岩或砾岩中，厚度 2.77~94.91 m。本文以沙溪庙组油砂为研究对象。

通过对研究区油砂薄片的镜下观察发现，沙溪庙组储层岩性以中 - 粗岩屑砂岩为主，岩石分选较好，

磨圆中等，颗粒之间以线接触为主，局部为凹凸接触。孔隙度大约为 7%~8%，总体以次生溶孔为主，可见明显的沥青分布，发绿色荧光，说明含油气性较好(图 2)。

#### 4. 实验方案

本文选取厚坝地区油砂样品做族组分分离和 GC-MS 分析。

族组分分离的实验方法为，首先稀释样品——沉淀沥青质：在称取得的试样中加入 30 ml 正己烷，搅拌使试样充分溶解。在离心机中进行离心至沥青质沉淀出来为止，然后采用塞有脱脂棉的短颈漏斗过滤沥青质，待有机溶剂挥发后称取沥青质的量。再进行色层柱分离：将吸附剂硅胶和氧化铝按 3:2 的比例装入色层柱中(吸附剂:样品 = 200:1)，轻敲管壁使其充填紧密。然后加入足量的正己烷湿润柱子，再将离心管中脱去沥青质的澄清混合液样品转入色层柱中。最后用正己烷洗脱饱和烃；用苯或二氯甲烷和正己烷混合溶剂洗脱芳香烃；用苯加甲醇 1:1 混合液洗脱胶质(冲洗剂的用量为样品的 250 倍)。每步冲洗均观察色层柱液面颜色的变化特征。承接三种组分，装在称量瓶中。

饱和烃色谱质谱分析仪器为惠普公司 GC6890/5973MSD 气相色谱/质谱联用仪。色谱柱为 HP-5ms 石英弹性毛细柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm)。升温程序为：50℃恒温 2 min，从 50℃到 100℃的升温速率为 20℃·min<sup>-1</sup>，从 100℃到 310℃的升温速率为 3℃·min<sup>-1</sup>，在 310℃恒温 15.5 min。进样器温度为 300℃，载气为氦气，流速为 1.04 mL·min<sup>-1</sup>，电离能量为 70 eV，离子源温度为 230℃，扫描范围为 50~550 amu，检测方式为全扫描[9]。GC-MS 实验由长江大学地球化学实验室完成。

#### 5. 油砂油的地球化学特征

通过对样品族组分(表 1)的测定分析发现，饱和烃及芳烃含量达到 63%，沥青和非烃的含量比较低，这种结果可能暗示着油砂中的原油经历了长距离的运移。

根据笔者在马角坝厚坝地区所取的油砂样品，通过 GC-MS 分析后，得出该样品的饱和烃色谱图(图 3)，可以看出该样品受到了严重的生物降解，类异戊二烯烃以及藿烷因生物降解作用严重，甾烷及重排甾烷也受到了一定程度上的降解；二环倍半萜、三环萜烷抗降解能力较强，分布完整，也是该样品中保存得最好的生物标志化合物。

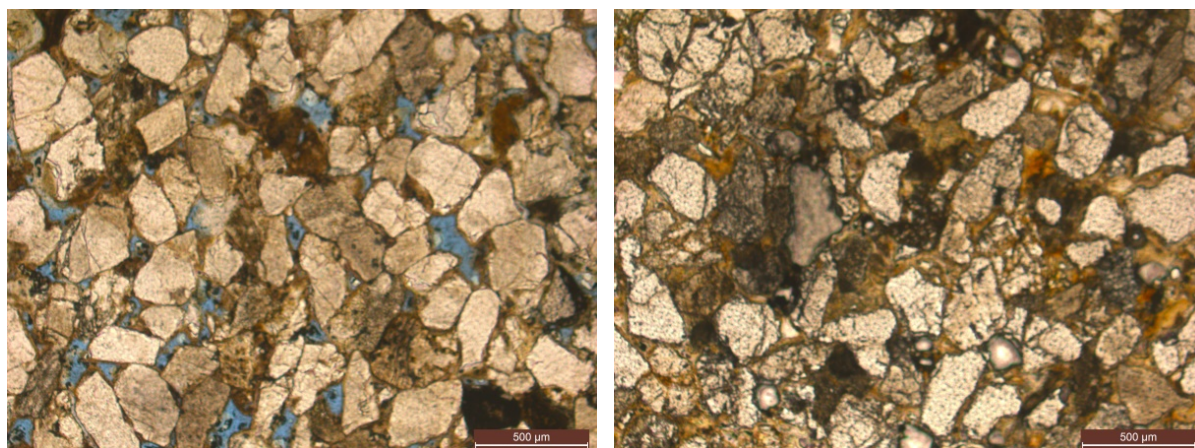
##### 5.1. 饱和烃色谱

根据该样品的饱和烃色谱图(图 3)发现，鼓包严重，受生物降解作用影响较大，各类化合物难以分辨。从该样品的正构烷烃质量色谱图(图 4)中可看出低碳数分布较完整，高碳数受生物降解作用比较严重， $\Sigma C_{21}/\Sigma C_{22+} = 3.77$ ，低碳数占优势，可能说明原油可能是以水生生物来源为主或是受到了长距离的运移作用。

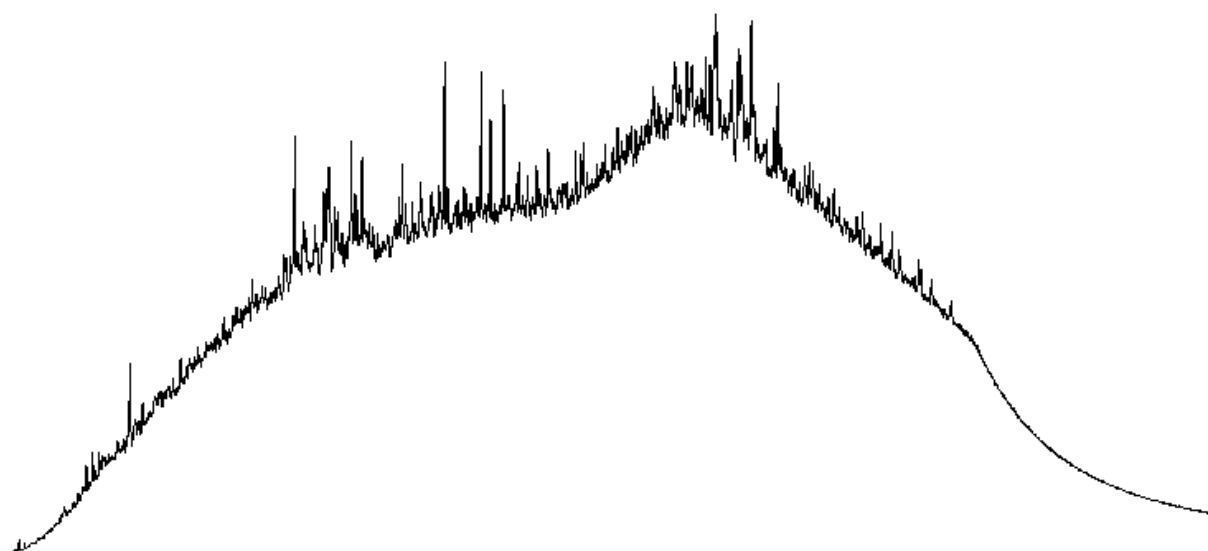
根据碳优势指数计算公示[10]  $OEP = [(C_i + 6C_{i+2} + C_{i+4}) / (4C_{i+1} + 4C_{i+3})]^{(-1)^{i+1}}$  得出  $OEP = 0.97$  (微弱的偶数碳优势，可能是受到了生物降解的影响)，接近于 1，说明该样品已经成熟。

该样品姥植比(Pr/Ph)为 1.27，据研究显示，认为在低成熟的样品中，高姥植比(Pr/Ph > 3.0)反映氧化条件下陆源有机质的输入；低姥植比(Pr/Ph < 0.6)代表缺氧，超盐度环境；但姥植比在 0.6~2.5 之间的样品，受成熟度影响较大，一般不把此范围内的姥植比作为确定古环境的标志[11]。

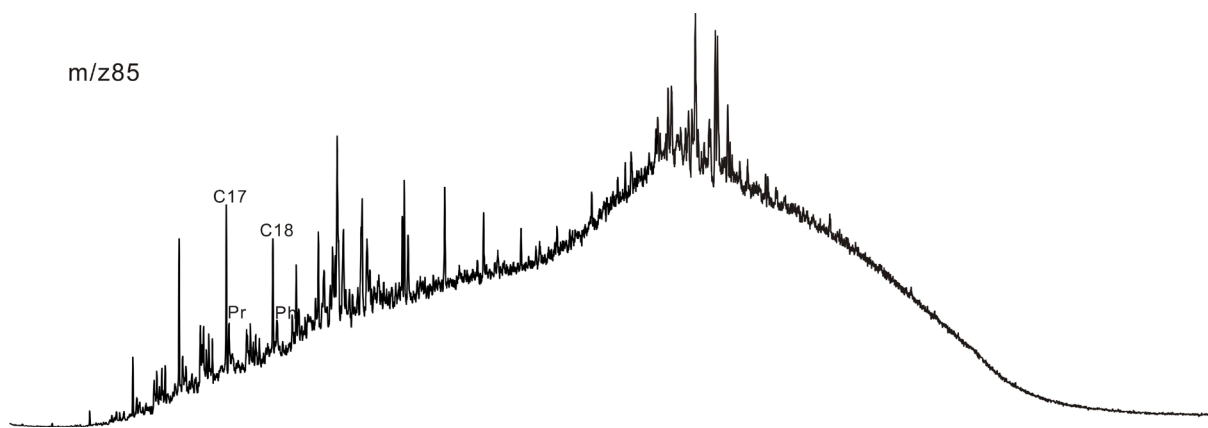
有机质成熟度对类异戊二烯烃的分布有着一定的影响，在演化过程中，随着有机质成熟度的增高，Pr/Ph 值增大异构烷烃与正构烷烃的含量比值下降，Pr/nC<sub>17</sub>，Ph/nC<sub>18</sub> 降低，所以可利用这两个参数判断母质类型，沉积环境及成熟度。根据 Pr/nC<sub>17</sub>-Ph/nC<sub>18</sub> 交绘图版[12] (图 5)得出，该地区油砂油是在还原环境中形成的，母质类型为 II 型干酪根，处于成熟阶段。



**Figure 2.** Secondary porosity and pitch distribution  
**图 2.** 次生溶孔及沥青分布



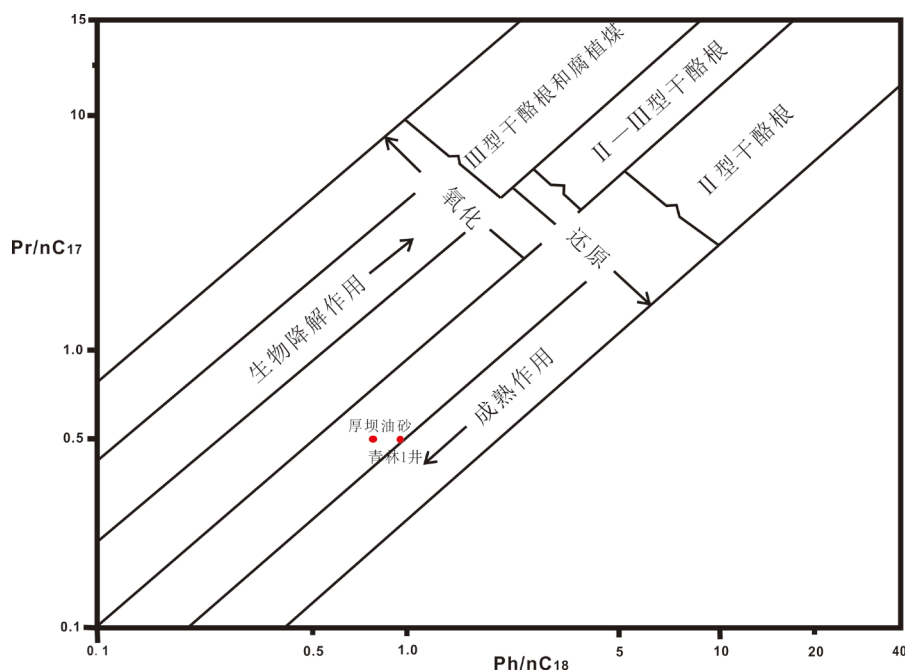
**Figure 3.** Chromatogram of saturated hydrocarbon in sand oil reservoir in Houba area  
**图 3.** 厚坝地区油砂饱和烃色谱图



**Figure 4.** Normal paraffin chromatogram of sand oil samples in Houba area  
**图 4.** 厚坝地区油砂样品正构烷烃质量色谱图

**Table 1.** Group composition analysis of oil sand samples in Houba area**表 1.** 厚坝地区油砂样品族组分分析

族组分	饱和烃	芳烃	非烃	沥青质
马角坝	21.65	41.24	12.37	23.71

**Figure 5.** Pr/nC17-Ph/nC18 cross drawing plate**图 5.** Pr/nC17-Ph/nC18 交绘图版

## 5.2. 萘烷和甾烷分布

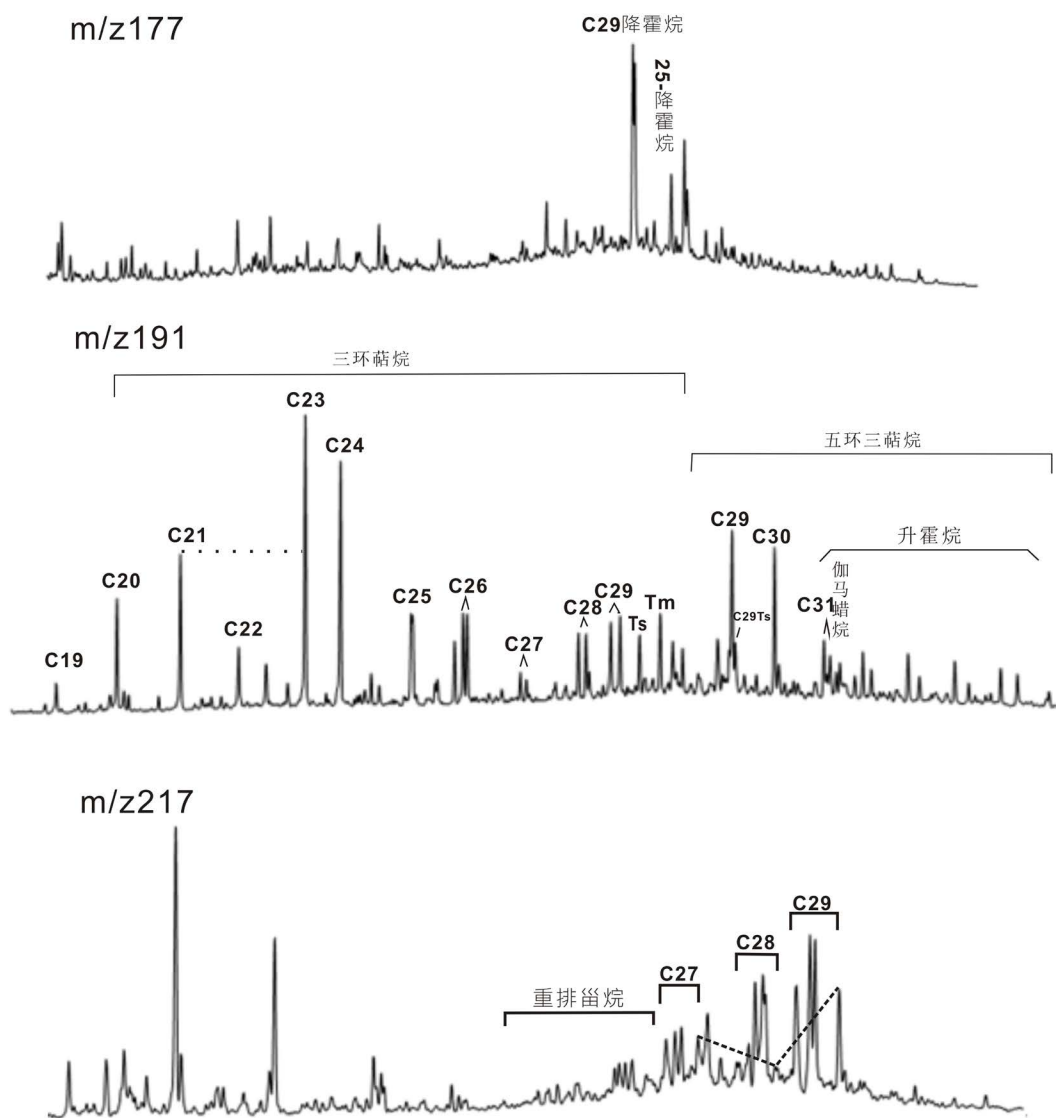
从降藿烷( $m/z177$ )质量色谱图发现, 存在丰富的 25-降藿烷和二降藿烷。

据该油砂样品的萘烷( $m/z191$ )质量色谱图(图 6)分析发现, 三环萘烷含量较高, 明显高于藿烷的含量, 三环萘烷与藿烷比值可达到 1.07, 由于三环萘烷抗热成熟作用及生物降解能力强, 一般成熟度越高, 比值越大, 说明原油具有较高的成熟度; 且  $C_{31}S/(R+S) = 0.66$ , 也说明原油达到了一定的成熟度。

$Ts/Tm$  应用比较广泛, 但也存在一些局限性。 $Ts$  形成于富含黏土矿物的沉积物, 成熟度越高,  $Ts/Tm$  值越大, 一般  $Ts/Tm < 0.1$  指示着原油来自于碳酸盐岩;  $Ts/Tm > 2$ , 则说明原油来自于碎屑岩。该样品  $Ts/Tm = 0.63$ , 说明原油可能是来源于达到了成熟或高成熟阶段的碳酸盐岩。

该样品伽马蜡烷指数达到 0.56, 说明原油有机质的沉积环境为海相或盐湖相环境。大量实验研究表明,  $C_{23}$  三环萘烷来自海相或盐湖相环境,  $C_{21}$  三环萘烷来自淡水湖相环境,  $C_{19}$  三环萘烷及  $C_{20}$  三环萘烷往往与煤系地层有关; 该样品以  $C_{23}$  为主峰, 具有“ $C_{23} > C_{21} > C_{20}$ ”的分布特征, 说明样品中原油来自于海相或盐湖相环境中。且样品中新藿烷及重排藿烷含量不高, 也说明原油来自与非氧化环境。

甾烷( $m/z217$ )质量色谱图(图 6)可看出, 重排甾烷含量较低, 难以识别, 可能已经受到生物降解作用, 并且还影响到了规则甾烷。据研究表明, 通常  $C_{29}$  规则甾烷来源于陆源高等植物,  $C_{27}$  规则甾烷来源于水生藻类,  $C_{28}$  现阶段没有明确的定论, 但一般与高盐度环境有关; 该样品中规则甾烷具有  $C_{29} > C_{27} > C_{28}$  的反“L”型分布特征, 根据四川盆地的大量研究显示, 在石炭系之前也存在  $C_{29} > C_{27}$  的情况[6], 可能是由于一种分布于四川盆地古生代及中生代的藻类形成; 并且这种特征与寒武系黑色泥岩具有相似性。

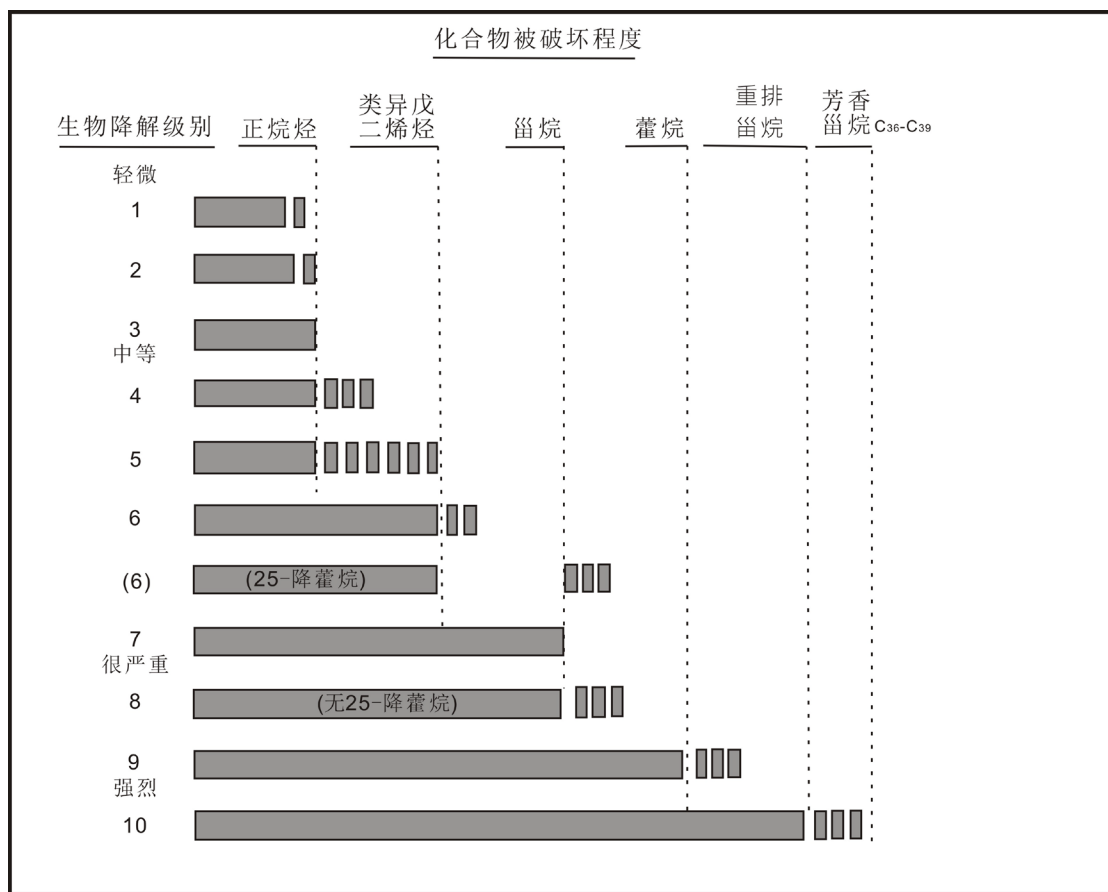


**Figure 6.** Mass spectra of norhopane ( $m/z177$ ), terpane ( $m/z191$ ) and sterane ( $m/z217$ ) of saturated hydrocarbons  
**图 6.** 饱和烃降霍烷( $m/z177$ )、萜烷( $m/z191$ )和甾烷( $m/z217$ )质量色谱图

结合前文对饱和烃色谱图，正构烷烃、萜烷及甾烷质量色谱图的分析发现，该样品生物降解作用非常严重，正构烷烃，类异戊二烯烃受到大量的降解，藿烷以及完全不可见；重排甾烷受到严重的降解，规则甾烷有一定的保存；三环萜烷抗生物降解能力强，保存较完整。综合原油中化合物受降解情况，根据不同程度生物降解对成熟原油的影响[13] (图 7)，可判定生物降解程度为九级。

### 5.3. 其他生物标志化合物

由于样品受生物降解作用的影响严重，很多生物标志化合物都受到影响，二环倍半萜较稳定，抗降解能力强，保存完整，该生物标志化合物可作为指示环境的依据。一般重排补身烷与补身烷比值越大，表明有机质沉积环境越偏氧化；反之比值越小，说明为还原环境中沉积的。根据厚坝油砂样品的二环倍半萜( $m/z123$ )质量色谱图(图 8)，计算出重排补身烷与补身烷比值为 0.236，比值较小，说明样品中原油是在还原环境中形成的。



1-正构烷烃轻度损失；2-正构烷烃一般损失；3-正构烷烃少量保存；  
4-无正构烷烃无环异戊二烯类烷烃无损失；5-缺环异戊二烯类烷烃；6-甾烷降解，重排甾烷无损失；  
7-甾烷降解，重排甾烷无损失；8-藿烷部分降解；9-藿烷损失，重排甾烷受到影响；10-C36-C39芳香甾烷类受到影响

Figure 7. Effect of biodegradation on mature crude oil (according Connan, 1984)

图 7. 不同程度生物降解对成熟原油的影响(据 Connan, 1984)

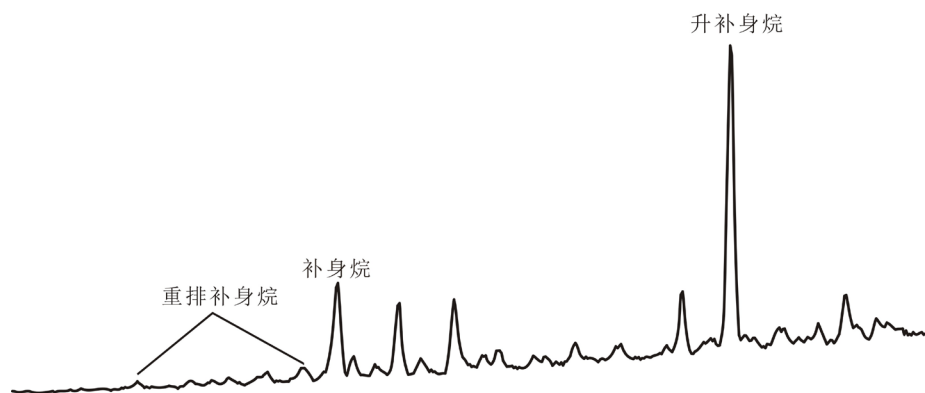


Figure 8. Bicyclic carbonate (m/z123) mass spectrum of sand oil samples in Houba area

图 8. 厚坝地区油砂样品二环倍半萜(m/z123)质量色谱图

## 6. 油气源对比

据肖玉亮[8]调查研究发现，在龙门山山前带主要的海相烃源岩为寒武系黑色泥岩，主要陆相烃源岩为须家河组烃源岩。在四川盆地主要存在下寒武系统筇竹寺组，下志留统龙马溪组，上二叠统栖霞-茅



口组, 下二叠统龙潭组, 上三叠统须家河组及侏罗系自生的几套烃源岩。但在龙门山山前带, 下志留统龙马溪组在川西地区缺失; 侏罗系在龙泉山以西整个地区沉积厚度比较薄, 并且是在氧化环境下沉积, TOC 含量低, 上下二叠统在该处分布较薄, 尤其是下二叠统 TOC 含量很低, 都难以形成规模的烃源岩。所以在本区能形成规模烃源岩的层系仅下寒武统筇竹寺组和上三叠统须家河组。

结合前文对该样品生物标志化合物的分析, 该样品三环萜烷分布完整, 以  $C_{23}$  为主峰, 有“ $C_{23} > C_{21} > C_{20}$ ”的分布特征, 且甾烷分布表现为  $C_{28} < C_{27} < C_{29}$  的反“L”型特征, 表明该样品中的原油来自于一种海相高盐度的还原环境中。

根据甲基菲指数(MPI)计算成熟度是目前应用较广泛的一种方法, 计算方法为:

$$MPI = 1.5 * (3 - MP + 2 - MP) / (1 - MP + 5 - MP + 4 - MP)$$

$$Rc(\%) = 0.6MPI + 0.4(Ro < 1.35\%)$$

$$Rc(\%) = 2.3 - 0.6MPI(Ro > 1.35\%)$$

$C_{29}$  甾烷  $20S/(20S + 20R)$ 、 $C_{29}$  甾烷  $\alpha\beta/(\alpha\alpha\alpha + \alpha\beta)$  是两个常用来表征成熟度的生物标志化合物参数, 当烃源岩演化进入生油高峰期时, 他们分别达到其平衡值 0.55 和 0.70。该样品的  $C_{29}$  甾烷  $20S/(20S + 20R)$  达到 0.52,  $C_{29}$  甾烷  $\alpha\beta/(\alpha\alpha\alpha + \alpha\beta)$  达到 0.54, 均接近其平均值, 为高成熟油, 所以  $Ro > 1.35\%$ , 根据甲基菲指数(MPI)折算其成熟度为 1.9%。

根据肖玉亮[8]研究显示, 四川盆地寒武系烃源岩成熟度约为 2.0%~5.0%, 但在川西北龙门山山前带地区约 1.7%左右。

本次研究还采集了一些川西北地区须家河组的样品进行  $Ro$  测定(表 2), 通过  $Ro$  测定结果可看出, 在川西北地区须家河组原油的成熟度并不高, 本次研究的油砂样品的成熟度远高于川西北地区须家河组原油的成熟度, 说明该油砂样品中的原油是经过比须家河组更深层位的高成熟演化, 所以油砂样品中的原油主要来自于须家河组的可能性很小, 更大可能是来自于寒武系。

通过对须家河组样品及油砂样品三芳甾烷的测定, 可发现两个样品三芳甾烷的分布特征有明显的区别(图 9), 厚坝油砂样品中,  $C_{28}$  三芳甾烷含量明显远高于  $C_{27}$  三芳甾烷和  $C_{26}$  三芳甾烷的含量, 而  $C_{26}$  三芳甾烷与  $C_{27}$  三芳甾烷的含量差别不大; 但须家河组样品中分布特征表现为,  $C_{26}$  三芳甾烷、 $C_{27}$  三芳甾烷及  $C_{28}$  三芳甾烷差距均不大, 与厚坝油砂样品三芳甾烷分布差别明显, 即可排除油砂中原油主要来源于须家河组的可能性。

厚坝油砂样品与寒武系黑色泥岩有很多生物标志化合物相似之处。三环萜烷在地质体中分布广泛, 且在演化过程中具有较高的热稳定性和较强的抗生物降解能力, 在厚坝油砂样品中检测到丰富的三环萜烷。在三环萜烷的分布中, 样品以  $C_{23}$  为主峰, 并具有“ $C_{23} > C_{21} > C_{20}$ ”的特征,  $Ts/Tm < 1$ , 川西北地区寒武系黑色泥岩具有同样的特征。

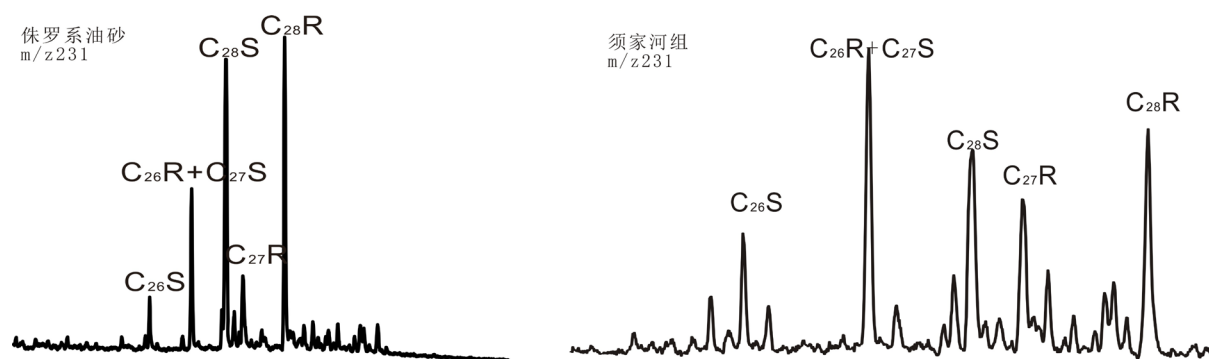
地质体中的甾烷类是源于生物圈的甾醇类, 除某些例外, 原核生物一般不能合成甾醇, 主要由真核生物衍生而来, 如藻类、浮游动植物或高等植物。由于有机质中甾烷碳数的分布直接受生源输入的影响, 因而烃源岩和原油中的  $C_{27}$ 、 $C_{28}$ 、 $C_{29}$  甾烷(尤其是具有生物构型的  $\alpha\alpha\alpha 20R$  型)相对含量常常被作为生源参数。在该样品中, 由于样品受严重生物降解作用的影响, 甾烷的分布表现为  $C_{28} < C_{27} < C_{29}$ , 具反“L”型特征, 这与川西北地区寒武系烃源岩具有相似性[14]。进一步说明了其源于寒武系烃源岩的可靠性。

## 7. 结论

1) 川西北厚坝地区具有丰富的油砂和良好的油苗显示, 储层的主要孔隙为溶蚀孔, 有明显的沥青分布, 具有良好的研究前景。

**Table 2.** Crude oil maturity of Xujiache Formation in northwestern Sichuan**表 2.** 川西北地区须家河组原油的成熟度

取样地点	中坝	广元上寺	北川通口	马角坝沥青
层位	须家河组 1 段	须家河组 1 段	须家河组	须家河组 1 段
Ro (%)	0.74~1.37	0.42~0.55	0.62	0.24

**Figure 9.** Three aryl steroid mass spectrum of oil sand samples in Houba area and three aryl steroid mass spectrum of Xujiache Formation**图 9.** 厚坝地区油砂样品三芳甾烷质量色谱图与须家河组样品三芳甾烷质量色谱图

2) 通过分析该地区样品发现, 江油厚坝地区侏罗系油砂受到严重的生物降解, 类异戊二烯烃、藿烷、重排甾烷及重排藿烷受降解严重; 升藿烷及规则甾烷也受到生物降解的影响, 但分布比较完整; 二环倍半萜及三环萜烷因稳定性好, 抗生物降解能力强, 所以保存得比较完好; 综合化合物被破坏的程度, 判定生物降解程度达到九级。

3) 该油砂样品的生物标志化合物特征表现为三高三低( $C_{23}$  三环萜烷含量高,  $C_{29}$  规则甾烷含量高, 伽马蜡烷指数较大;  $C_{21}$  三环萜烷含量低,  $C_{27}$  规则甾烷含量低, 重排补身烷与补身烷比值低), 说明样品中原油来自与海相高盐度还原环境中。

4) 用甲基菲指数 MPI 折算出成熟度为 1.99%, 更接近与龙门山山前带寒武系的成熟度; 且该样品的三芳甾烷特征与须家河组有明显区别, 因此认为该油砂样品中原油主要来源为寒武系。

## 参考文献 (References)

- [1] 杨雪飞, 王兴志, 张哨楠, 等. 川西北厚坝地区油砂储层特征及成岩作用分析[J]. 岩性油气藏, 2013, 25(5): 59-64.
- [2] 戴鸿鸣, 刘文龙, 杨跃明, 等. 龙门山北段山前带侏罗系油砂岩成因研究[J]. 石油实验地质, 2007, 29(6): 604-608.
- [3] 孙晓猛, 许强伟, 王英德, 等. 川西北龙门山冲断带北段油砂成藏特征及其主控因素[J]. 吉林大学学报, 2010, 40(4): 886-896.
- [4] 罗茂, 耿安松, 廖泽文, 等. 四川盆地江油厚坝油砂有机地球化学特征与成因研究[J]. 地球化学, 2011, 40(3): 280-288.
- [5] 王广利, 王铁冠, 韩克猷, 等. 川西北地区固体沥青和油砂的有机地球化学特征与成因[J]. 石油实验地质, 2014, 36(6): 731-735.
- [6] 徐世琦, 曾庆, 唐大海, 等. 江油厚坝油砂岩成藏条件分析[J]. 天然气勘探与开发, 2005, 28(3): 1-4.
- [7] 单玄龙, 罗洪浩, 孙晓猛, 等. 四川盆地厚坝侏罗系大型油砂矿藏的成藏主控因素[J]. 吉林大学学报, 2010, 40(4): 897-904.
- [8] 肖玉亮. 四川盆地海相烃源岩生物标志化合物特征及应用[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南石油大学, 2016.

- [9] 陈希文, 包建平, 朱翠山, 等. 珠江口盆地不同类型原油地球化学特征[J]. 世界地质, 2016, 35(4): 1066-1075.
- [10] Philipi, G.T. (1965) On the Depth, Time and Mechanism of Petroleum Generation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **29**, 1021-1049.
- [11] Peters, K.E. and Moldowan, J.M. (1993) *The biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 252-265.
- [12] Hunt, J.M. (1996) *Petroleum Geochemistry and Geology*. Second Edition, W.H. Freeman and Company, San Francisco, CA.
- [13] Connan, J. (1984) Biodegradation of Crude Oil in Reservoirs. In: Brooks, J. and Welte, D., Eds, *Advancens in Petroleum Geochemistry*, Academic Press, London, 299-335.
- [14] 黄东, 刘全洲, 杨跃明, 等. 川西北部地区下二叠统茅口组油苗地球化学特征及油源研究[J]. 石油实验地质, 2011, 33(6): 617-623.

**期刊投稿者将享受如下服务:**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>期刊邮箱: [ojs@hanspub.org](mailto:ojs@hanspub.org)