

# 塔里木盆地顺北地区超深层油气地球化学 特征及地质意义

乔荣臻<sup>1,2)</sup>, 李美俊<sup>1,2)</sup>, 张冬琳<sup>1,2)</sup>

1) 中国石油大学(北京)油气资源与工程国家重点实验室, 北京, 102249;  
2) 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京, 102249

**关键词:** 塔里木盆地; 顺北; 超深层; 地球化学

塔里木盆地顺北地区古生界超深层储层中发现了大量的轻质油和气藏。这种超深层油气藏大多遭受强烈蚀变, 油气成藏过程极为复杂。为了进一步探讨超深层油气地球化学特征及指示意义, 本次研究对原油进行气相色谱—质谱分析。金刚烷检测表明顺北地区的原油处于高成熟~过成熟阶段。它通过原油地球化学分析显示顺北地区的原油先后遭受了生物降解、热蚀变、混合、蒸发分馏等次生作用。TSR 存在于顺北 4 号和 5 号断裂带南部的有限的几口井中。基于各类次生作用特殊的形成机制和形成条件发现其可有效的被应用于油气成藏史的重建。

## 1 油气地化特征

### 1.1 原油物性

顺北地区古生界超深层储层中发现大量的轻质油、挥发油、凝析油和天然气 (Qiao Rongzhen et al., 2024)。顺北地区原油密度的分布范围为 0.74~0.84 g/cm<sup>3</sup>, 黏度的分布范围为 0.76~8.06 mm<sup>2</sup>/s。其原油密度和黏度虽呈很大的差异, 但整体上均具有低蜡 (<10%) 和低硫 (<0.5%) 的特征。

### 1.2 原油成熟度

原油的化学成分极为复杂, 评价其成熟度对表征原油性质极为重要。对于顺北地区而言, 其古生界超深层储层深度普遍超过 7200 m。金刚烷检测发现顺北地区大多数原油具有丰富的金刚烷系列化合物。通过甲基双金刚烷指数 (MDI) 折算的等效

镜质体反射率 ( $R_c$ ,  $R_c=0.4389+0.0243*MDI$ ) 分布范围为 1.27%~1.99%, 整体处于高成熟~过成熟阶段。

## 2 油气次生作用及地质意义

超深层油气的聚集和保存常伴随着各类次生作用的发生。因此, 精细刻画油气藏中各类次生作用, 对油气成藏过程和保存机理研究至关重要。

在顺北地区大多数原油中检测到完整的正构烷烃和 25-降藿烷系列化合物。这主要是由于早期生物降解原油和晚期充注新鲜原油混合的结果。先前研究表明顺北地区普遍存在两期原油充注, 即, 晚加里东时期和海西—印支期 (图 1)。结合热史分析发现生物降解应发生在加里东时期的奥陶系储层中 (图 1)。原位方解石 U/Pb 定年显示在二叠纪时期的塔里木大火成岩省期间存在一期热液上涌事件 (Qiao Rongzhen et al., 2025, 图 1)。热液活动期间对原油进行蚀变进一步的引发了原油的地球化学特征的复杂性。此外, 热液在流经寒武系膏盐层时与其相互作用产生还原性的硫离子或 H<sub>2</sub>S。这促进了寒武系膏盐层附近的原油发生 TSR。随后, 伴随着海西—印支期原油的充注较高比例的 2-甲基己烷和 2, 3-二甲基戊烷进入奥陶系储层。这导致顺北地区奥陶系原油中虽具有较高的 K<sub>1</sub> 值 ( $K_1 > 1.1$ ), 但未检测到高含量的硫代金刚烷。正构烷烃摩尔浓度计算显示顺北地区原油中正构烷烃存在不同程度的损失。这可能是由于喜马拉雅期天然气充注引发的蒸发分馏所导致 (图 1)。顺北地区

注: 本文为国家自然科学基金资助项目(编号: 42173054) 的成果。

收稿日期: 2025-05-25; 改回日期: 2025-06-15; 责任编辑: 马铭株。DOI: 10.16509/j.georeview.2025.s1.118

作者简介: 乔荣臻, 男, 1996 年生, 博士研究生, 地质学专业; Email: qiaorongzhen123@163.com。通讯作者: 李美俊, 男, 1972 年生, 教授, 地质学专业; Email: meijunli@cup.edu.cn。

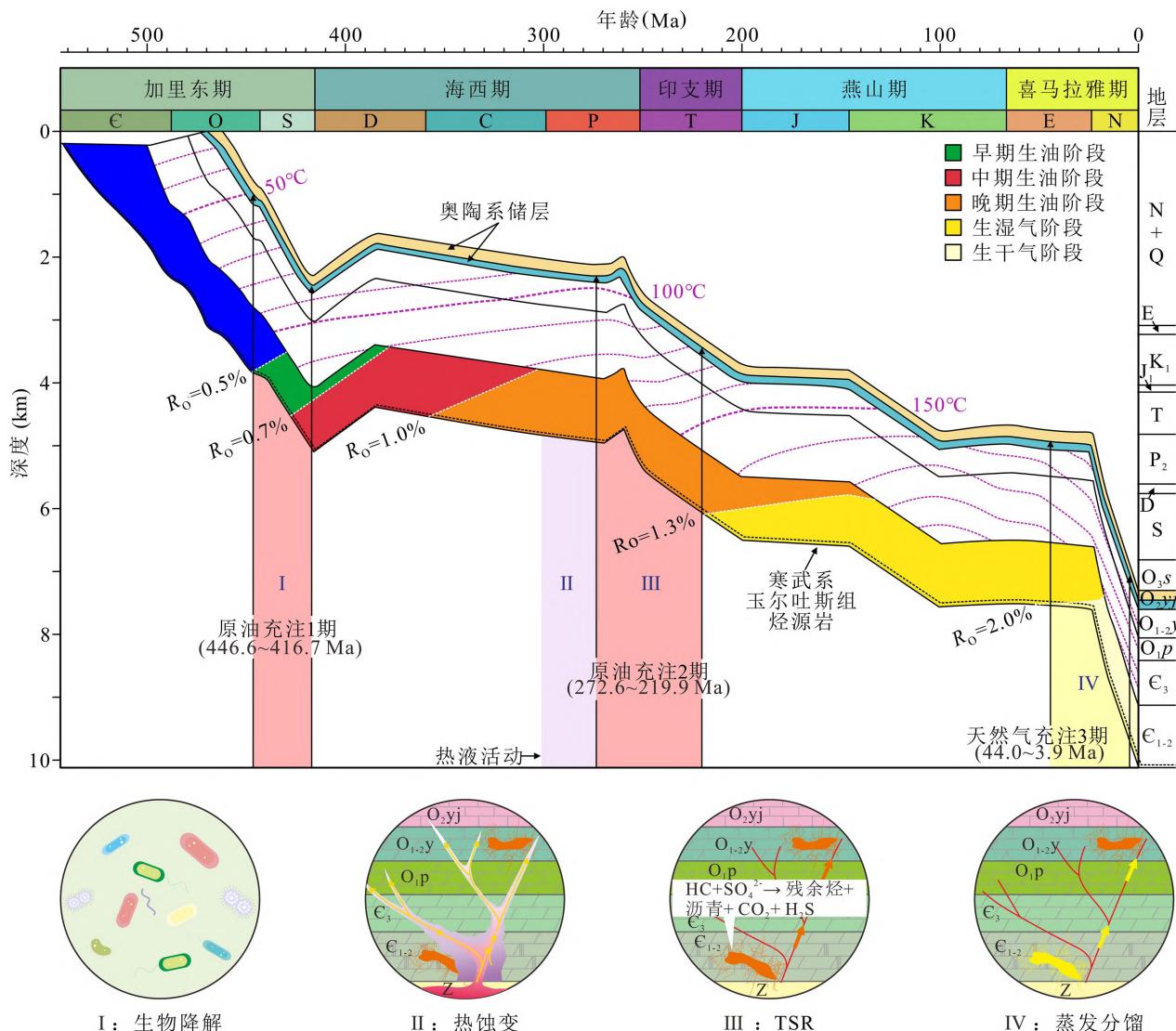


图 1 顺北地区广义的埋藏史—热史及油气成藏模式图

超深层原油遭受的各类次生作用可与各期油气充注一一对应。

### 3 结论

顺北地区超深层原油等效镜质体反射率分布范围为 1.27%~1.99%，整体处于高成熟~过成熟阶段。其先后遭受生物降解、热蚀变、混合、蒸发分馏等次生作用。TSR 存在于顺北 4 号和 5 号断裂带南部的有限的几口井中。研究区原油遭受的各类次生作用可与各期油气充注一一对应。因此，次生作用的地质意义可有效应用于油气成藏史的重建。

### 参 考 文 献 / References

Qiao Rongzhen, Li Meijun, Zhang Donglin, Xiao Hong, 2024.

Geochemistry and accumulation of the ultra-deep Ordovician oils in the Shunbei oilfield, Tarim Basin: Coupling of reservoir secondary processes and filling events. *Marine and Petroleum Geology*, 167: 106959.

Qiao Rongzhen, Li Meijun, Zhang Donglin, Xiao Hong, Wang Wenqiang, 2025. Polycyclic aromatic compounds in crude oil as proxies for Permian Tarim large igneous province activities. *Geoscience Frontiers*, 16 (2): 102000.

**QIAO Rongzhen, LI Meijun, ZHANG Donglin:** Geochemistry and significance of ultra-deep petroleum in the Shunbei area, Tarim Basin

**Keywords:** Tarim Basin ; Shunbei ; ultra-deep ; geochemistry