

源内油气藏源 - 储耦合关系

——以鄂尔多斯盆地华庆地区长7段致密油为例

马 骄^{1,2}

¹重庆轻工职业学院, 重庆

²西安石油大学地球科学与工程学院, 陕西 西安

收稿日期: 2026年5月26日; 录用日期: 2026年7月13日; 发布日期: 2026年7月21日

摘 要

华庆地区长7段致密油资源丰富, 源 - 储耦合关系的研究是储层形成机理的核心问题。本文通过研究生烃过程及储层的成岩演化, 探讨烃源岩生烃过程与储层成岩演化之间的耦合关系, 明确研究区致密油油气藏的源 - 储耦合关系。研究表明, 长7段烃源岩在距今125 Ma~102 Ma为主要生烃期, 而致密储层处于中成岩A期, 致密砂岩储层在110 Ma时次生孔隙较发育, 孔隙度均值达到12%, 是因为烃源岩生烃产生的有机酸充注到储层的原生孔隙中, 使储层的溶蚀作用加强, 增大了储层的储集空间, 是现今致密油形成的关键因素。

关键词

生烃史, 溶蚀作用, 源 - 储耦合, 长7段致密油, 华庆地区

Source-Reservoir Coupling Relationship of Endogenous Oil and Gas Reservoirs

—Taking the Chang 7 Tight Oil in Huaqing Area of Ordos Basin as an Example

Jiao Ma^{1,2}

¹Chongqing Vocational College of Light Industry, Chongqing

²School of Earth Sciences and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an Shaanxi

Received: May 26, 2026; accepted: July 13, 2026; published: July 21, 2026

Abstract

The Huaqing area is rich in tight oil resources in the Chang 7 member, and the study of the source-

文章引用: 马骄. 源内油气藏源-储耦合关系[J]. 地球科学前沿, 2026, 16(7): 1077-1084.

DOI: 10.12677/ag.2026.167096

reservoir coupling relationship is a issue in the mechanism of reservoir formation. By studying the hydrocarbon generation process and the diagenetic evolution of the reservoir, this paper explores the coupling relationship between the hydrocarbon generation process of source rock and the diagenetic evolution of the reservoir, and clarifies the source-reservoir coupling relationship of the tight oil and gas reservoirs in the study area. The study shows that main hydrocarbon generation period of the source rock in the Chang 7 member was from 125 to 102 Ma, while the tight reservoir was in the mesodiectic A stage. Secondary pores in the tight sandstone reservoir were relatively well-developed from 110 Ma, with an average porosity of 12 This is because the organic acids produced by the hydrocarbon generation of the source rock filled the primary pores of the reservoir, which enhanced the dissolution of the reservoir, increased the physical properties of reservoir, and improved the storage space of the reservoir, which is a key factor in the formation of the present-day tight oil.

Keywords

Hydrocarbon Generation History, Dissolution, Source-Reservoir Coupling, Tight Oil of the Long 7 Member, Huaqing Area

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

鄂尔多斯盆地是我国的大型含油气盆地之一，非常规和常规油气资源丰富，是全油气系统的典型代表[1]。盆地可划分为多个一级构造单元，其中伊陕斜坡范围内的华庆地区在三叠纪为陆相湖泊中心(图 1)，普遍发育了细粒沉积物，形成了源 - 储共生型的源内致密油[2]-[4]，延长组长 7 段是最典型代表，普遍发育致密储层，且与烃源岩紧密互层沉积。在盆地内，虽然致密储层的相关地质研究取得了许多认识[5]-[7]，盆地内的致密油也已经实现大规模的商业开发，然而为了实现致密油的大规模开发，致密储层的形成机理的相关科学问题还需进一步深入研究，其中的致密油源 - 储耦合关系既是探讨致密储层形成机理的关键科学问题。

源 - 储耦合关系包括时空上的配置关系，是储层孔隙形成的核心问题，相关研究在其他盆地早有开展，如松辽盆地、四川盆地等，且取得很多可以借鉴的研究方法[8]-[12]。本文以华庆地区长 7 段基础地质资料为基础，从烃源岩及储层的基本特征出发，通过研究生烃过程及储层的成岩演化，探讨烃源岩生烃过程与储层成岩演化之间的耦合关系，明确研究区致密油油气藏的源 - 储耦合关系，为进一步研究储层的成因机理提供确凿的科学依据。

2. 烃源岩及生烃特征

鄂尔多斯盆地长 7 段沉积期，为三叠纪湖盆的又一次扩张期，此时的湖盆面积大，水体较前期加深，湖岸线不断向岸边迁移推进[3]。华池 - 庆阳一带处于当时湖盆的中心位置，为深湖环境，物源来自三个方向，分别是来自北部伊陕斜坡的主要物源以及西部、南部的次要物源，三大物源最终在研究区汇集，研究区水体较深且物源搬运距离较远，沉积了大量的细粒沉积物。细粒沉积物包括了粒度较细的泥岩及砂质碎屑流成因的细砂岩，两种岩性的沉积物在水深频繁变化的控制下，形成了泥岩与砂岩的互层沉积，形成了现今长 7 段源 - 储紧密互层接触的源内非常规砂岩致密油藏[2]-[5]。

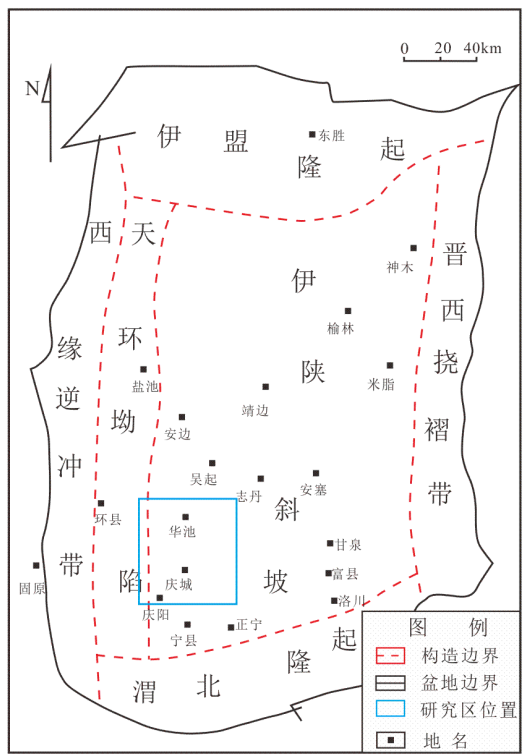


Figure 1. Location map of the study area
图 1. 研究区位置

Table 1. Table of rock pyrolysis and chloroform bitumen extraction experimental data for the Chang 7 member shale
表 1. 长 7 段泥岩岩石热解及氯仿沥青的抽提实验数据表

层位	TOC (%)	氯仿沥青“A” (%)	总烃/ppm	S ₁ + S ₂ (mg/g)	丰度评价
长 7 段	0.42 ~ 37.85 6.07(448)	0.006 ~ 2.35 0.52(128)	214 ~ 726 345(24)	0.23 ~ 145 22.84(320)	极好

注：表中分式意义为： $\frac{\text{最小值} \sim \text{最大值}}{\text{平均值}(\text{样品数})}$ 。

长 7 段泥岩在深水的还原环境下形成，由于水体缺氧且沉积物供给充足，含有大量有机质的泥岩得以快速堆积，有机质大量保存，为后期源内砂岩致密油提供了良好的烃类物质基础。通过岩石热解及氯仿沥青的抽提实验对长 7 段泥岩进行了烃源岩的分析，样品数量共计 920 样次(表 1)。长 7 段有机质含量 TOC 均值为 6.07%，氯仿沥青“A”均值为 0.52%，总烃均值为 345 ppm，S₁ + S₂ 为 22.84 mg/g，每项评价指标均显示烃源岩有机质丰度较高，评价为极好的烃源岩，是生成大量油气的直接保障。烃源岩的有机质类型决定了烃类产物的类型，长 7 段烃源岩显微组分中矿物沥青基质含量较多，平均值 58.21%，HI 的平均值为 221mg/g，两项指标均表明有机质类型以Ⅱ型干酪根为主，其次是Ⅰ型干酪根，Ⅰ型和Ⅱ型干酪根以生成液态烃为主，部分为Ⅲ型，生成小分子的气态烃为主。烃源岩的热演化程度也是烃源岩评价的重要指标，华庆地区延长组长 7 烃源岩 Ro 介于 0.48%~1.45%，平均值为 0.84%，莫烷/藿烷比值主要分布在 0.03~0.14，Ro 值与莫烷/藿烷比值均显示烃源岩现今正处于成熟阶段。类型好，成熟度适中的长 7 段优质的烃源岩为互层共生的细粒砂质碎屑流形成致密油提供了良好的烃类物质来源，本次研究选取了典型井宁 29 井及庄 3 井，充分利用地球化学参数，结合研究区的埋藏史，运用最新的 JunMod 盆地模拟软

件对盆地的生烃史进行了模拟，模拟的关键参数包括单井地层的分层数据，地层的厚度，热演化成熟度值取 0.84%(图 2)。模拟结果显示宁 29 井长 7 段烃源岩在距今 136 Ma 年的时候开始生烃，以生油为主且持续生烃，在距今 128 Ma 开始生成天然气，生烃高峰期出现在距今 120 Ma~102 Ma；庄 3 井长 7 段烃源岩在距今 134 Ma 年的时候开始生烃，以生油为主且持续生烃，在距今 125 Ma 开始生成天然气，生烃高峰期出现在距今 125 Ma~108 Ma，综合不同地区的生烃史特征，最终确定生烃高峰期为 125 Ma~102 Ma，之后生烃量趋于稳定。

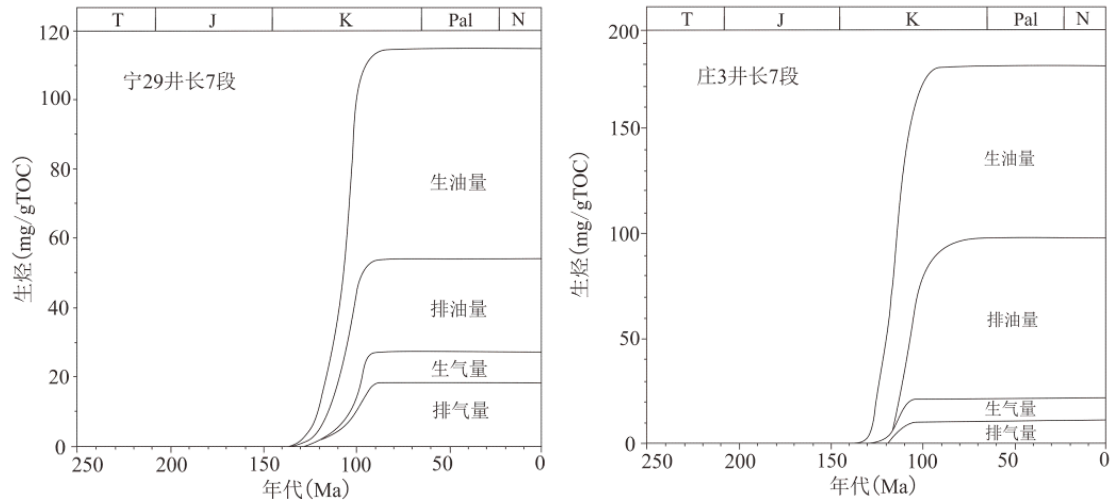


Figure 2. Hydrocarbon generation history diagram of the Chang 7 formation in Huaqing area
图 2. 华庆地区长 7 段标准井生烃史图

3. 储层特征及成岩演化

长 7 段致密油储层为深湖相的砂质碎屑流成因的细粒沉积物[13]，储层致密，物性较差，本次分析选用了 390 个样品进行了恒速亚汞分析进行了致密储层的物性测定。致密油储层的孔隙度集中分布在 4%~10%，平均值为 7.3%；渗透率集中分布在 0.01 mD~0.4 mD 之间，平均值为 0.14 mD，孔隙度均值小于

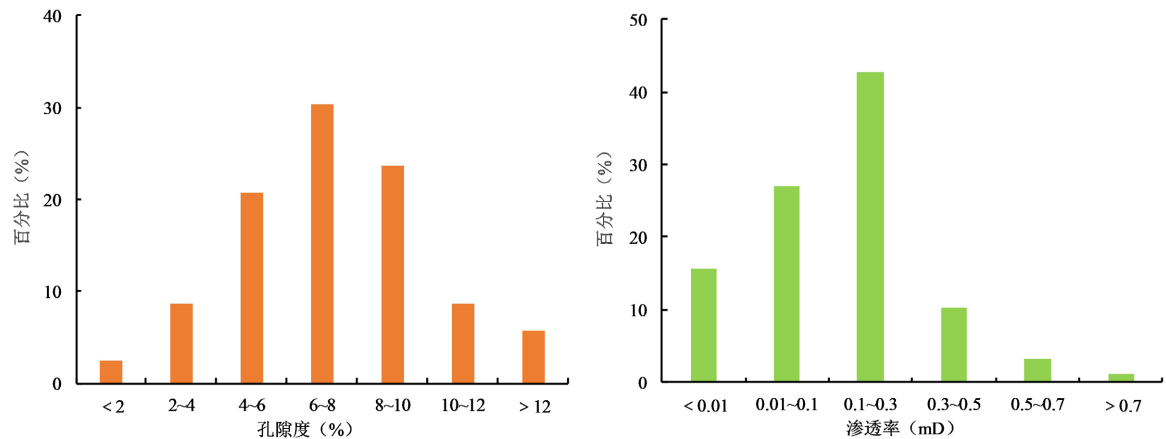
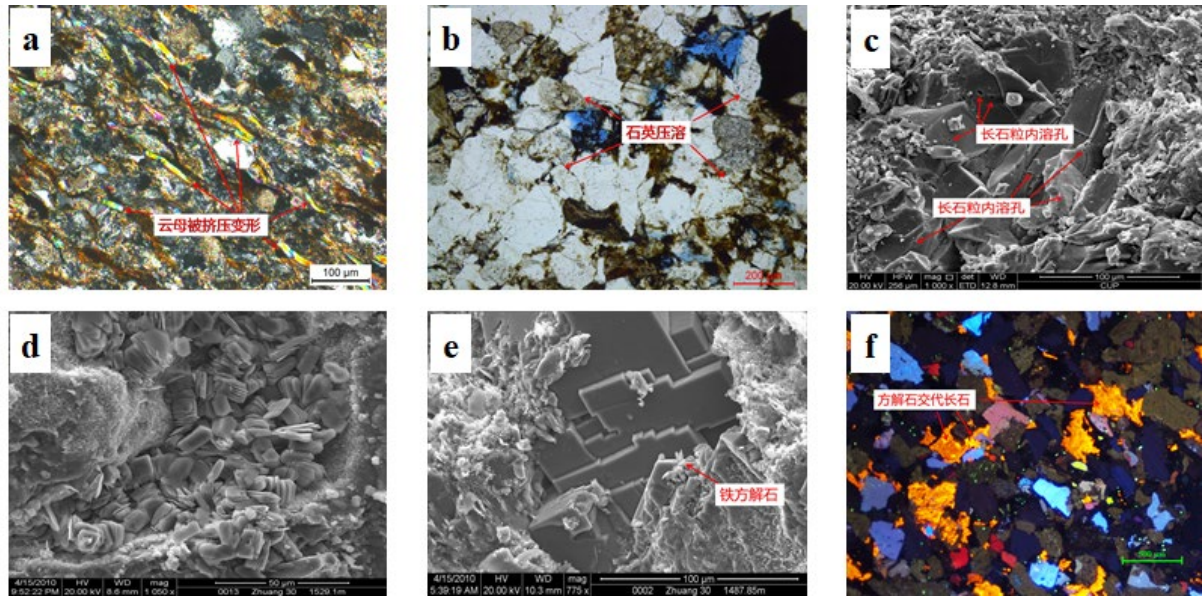


Figure 3. Physical property parameters statistical chart of Chang 7 member in Huaqing area
图 3. 华庆地区长 7 段物性参数统计图

10%(图 3)，属于典型的致密砂岩储，储层虽然物性差，岩石致密，但在互层的高丰度烃源岩生烃增压的

情况下, 仍能产生较大的充注动力, 互层的砂岩和泥岩大面积接触, 增大了排烃的效率, 从而形成源内致密油。



照片备注: (a) 宁 95 井, 2097.8 m, 塑性组分云母被挤压变形, 正交偏光; (b) 庄 5 井, 2047.8 m, 石英压溶, 正交偏光; (c) 固 13 井, 2195.4 m, 长石粒内溶孔, 扫描电镜; (d) 白 105 井, 1829.6 m, 高岭石充填孔隙, 扫描电镜; (e) 里 56 井, 1996.4 m, 铁方解石胶结, 扫描电镜; (f) 庄 26 井, 2406.2 m, 方解石交代长石, 阴极发光。

Figure 4. Typical microscopic characteristics of tight reservoirs, Chang 7 member, Huaqing area

图 4. 华庆地区长 7 段致密储层典型微观特征图

通过大量的实验分析, 包括正交偏光薄片镜下观察及鉴定、扫描电镜及阴极发光分析测试(图 4)。研究区的砂质碎屑流与烃源岩互层沉积后, 随着埋深的增加, 经历了相关的成岩作用, 同时互层的泥岩也发生了生烃演化, 对储层的成岩作用产生影响, 岩石的压实作用一直持续, 体现出片状云母的挤压变形(图 4(a)), 伴随着压实作用的进行, 同时发生了压溶作用, 典型的代表可见部分石英的破碎并伴生微弱的溶蚀(图 4(b)), 长石的抗溶蚀性比石英更弱, 镜下可见长石颗粒的边缘有溶蚀孔隙的发育(图 4(c)), 溶蚀孔隙的发育是建设性的成岩作用, 增加了储集空间, 是致密油储层形成的主要贡献。扫描电镜下可见高岭石的聚集, 在颗粒间呈散乱的不规则分布, 具有成岩后期的新生产物的特征(图 4(d))。铁方解石及铁白云石也常见, 两种矿物呈附着状充填与石英和长石的颗粒表面, 堵塞了孔隙, 加大了储层的致密化程度。通过大量岩石薄片的分析, 结合研究区的埋藏史特征, 致密储层经历了多阶段的成岩演化作用, 早成岩 A 期深小于 1000 m, 古地温在 75℃以下, 镜质体反射率小于 0.35%。绿泥石开始形成、此阶段压实作用最强烈, 储层中的孔隙水大量排出[14]; 随着埋深到 1400 m, 早成岩 B 期结束, 此阶段有机质处于未成熟阶段, 强烈的压实作用和碳酸盐矿物形成, 同时还有方解石交代石英, 绿泥石膜形成并保护了原生孔隙; 在中成岩 A 期早期, 温度达到 110℃, 进入成熟阶段, 有机质开始大量生烃, 自生伊利石和高岭石发生沉淀, 与之互层的高丰度有机质泥岩发生蚀变, 形成大量的有机酸, 并侵入细粒砂岩的孔隙中, 使整个储层环境变成了酸性, 长石等易溶矿物发生了强烈的溶蚀作用, 大大提高了储集空间的体积; 当埋深大于 1700 m, 温度也随之发生变化, 储层进入中成岩 A 期晚期, 此阶段的最大特点是烃源岩的生成的有机酸已经逐渐减小, 孔隙的溶蚀作用也随之变弱, 大量的胶结物(铁白云石、铁方解石)填充于次生孔隙中, 储层的孔渗进一步减小(图 5)。

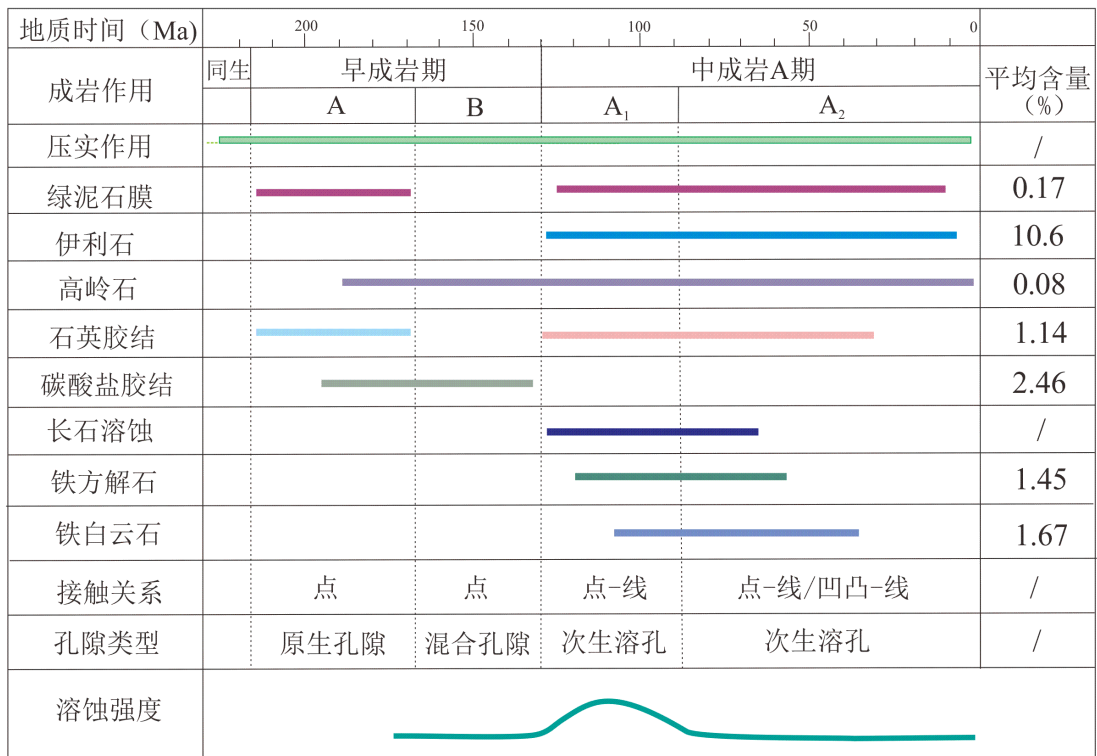
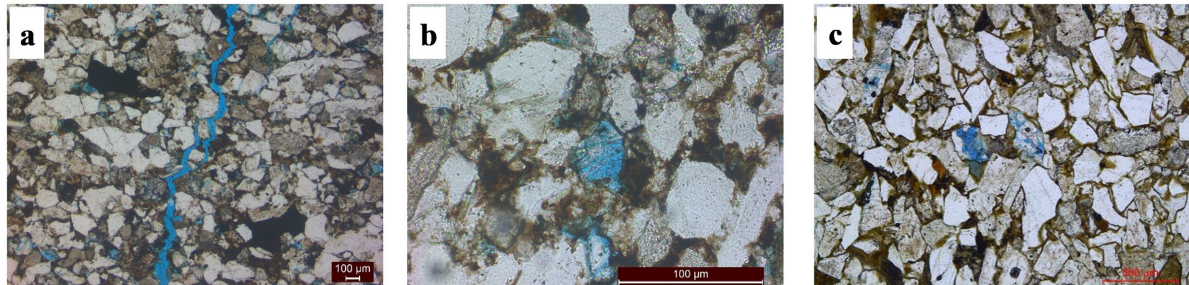


Figure 5. Diagenetic evolution stages of tight reservoirs, Chang 7 member, Huaqing area
图 5. 华庆地区长 7 段致密储层成岩演化阶段

4. 源 - 储耦合关系



照片备注: (a) 西 76 井, 1982.3 m, 微裂缝; (b) 庄 55 井, 2003 m, 长石粒内溶孔; (c) 西 36 井 2194.5 m, 粒内溶孔。

Figure 6. Secondary fractures and dissolution pores of tight reservoirs, Chang 7 member, Huaqing area (crossed polarized light)
图 6. 华庆地区长 7 段致密储层次生裂缝及溶蚀孔隙(正交偏光)

鄂尔多斯盆地华庆地区长 7 段沉积后, 共经历了四次大的古构造活动[15]。通过对埋藏史的恢复及孔隙演化过程的研究, 长 7 段在中生界三叠世时期, 在印支运动的影响下, 远源的细粒沉积物在湖盆中心大面积堆积, 随着埋深的增加, 成岩作用进入早成岩 A 期, 此阶段孔隙度不断降低至约 20%, 到早成岩 B 期, 压实作用的不断增强, 孔隙度又再次降低至约 18%, 此时有机质并未达到成熟, 地层温度小于 110℃, 随后因盆地不断扩张, 沉积物不断沉积, 长 7 段的温度增加, 有机质进入成熟阶段, 有机质丰度高的 I-II 型干酪根在大量生成液态烃的同时也产生了有机酸, 进入细粒的砂岩中, 对长石、岩屑等易溶的矿物进行了溶解, 生成了大量的次生孔隙, 阻止了碳酸盐矿物的胶结, 同时也形成了大量的微裂缝(图 6), 此时

对应生烃的高峰期(120 Ma~102 Ma)，时间为白垩纪早期，但由于压实作用一直存在，储层的孔隙度也一直在减小，生烃产生的有机酸对矿物的溶蚀作用大大减缓了这一过程，部分原生孔隙消失的同时，次生的溶蚀孔隙也不断增加，在 110 Ma 孔隙度达到 12% (图 7)，均一温度的峰值为 130℃~140℃，对应的成藏时间也是储层处于溶蚀高峰的时间。在白垩纪中期 100 Ma，由于构造作用发生变化，地层发生抬升，烃源岩中的有机质生烃已经达到高峰，之后进入缓慢生烃阶段直至今今，由于地层缓慢的抬升，压实作用有所减弱，成岩作用处于中成岩 A 期晚期，有机酸对矿物的溶蚀作用随之变弱，胶结物形成加强了储层致密，孔隙度降低至 10%以下，形成了现今的致密储层。

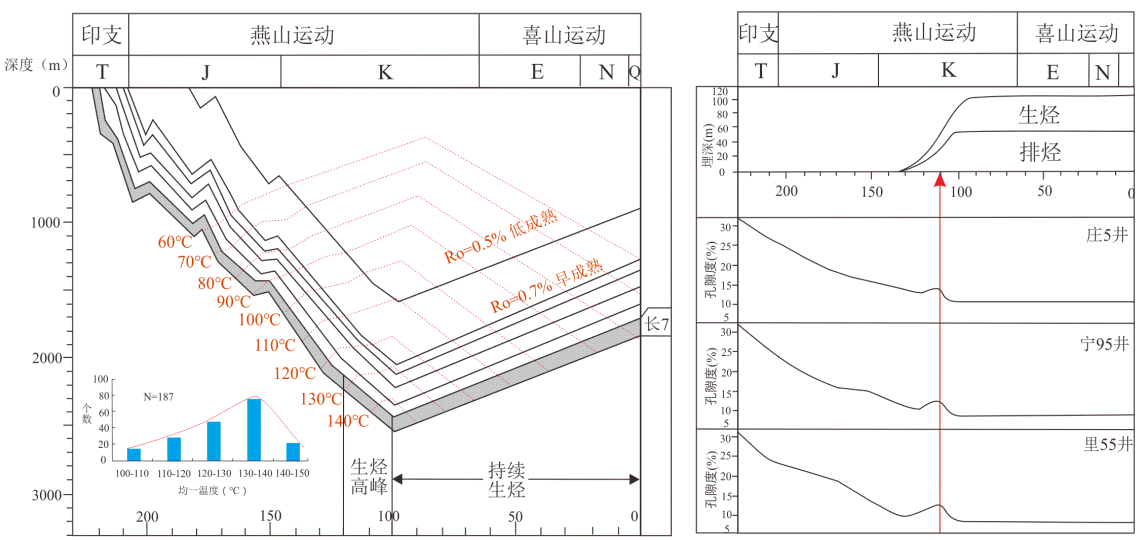


Figure 7. Source-reservoir coupling relationship diagram of tight oil, Chang 7 member, Huaqing area
图 7. 华庆地区长 7 段致密油源 - 储耦合关系图

5. 结论

长 7 段烃源岩有机质丰度较高，类型以II型干酪根为主，其次是I型干酪根，部分为III型。烃源岩在距今 136 Ma 年的时候开始生烃，生烃高峰期出现在距今 125 Ma~102 Ma，之后生烃特征趋于稳定。致密油储层在早成岩 A 期到早成岩 B 期，压实作用的不断增强，孔隙度从最初的 30%降低至约 18%，在中成岩 A 期的早期，有机质进入成熟阶段，生烃作用产生的有机酸进入细粒的砂岩中，对储层进行了改造，生成了大量的次生孔隙，阻止了碳酸盐矿物的胶结，在 110 Ma 孔隙度达到 12%，在中成岩 A 期晚期，有机酸对矿物的溶蚀作用随之变弱，胶结物形成加强了储层致密，形成了现今的致密储层。

参考文献

[1] 贾承造, 王祖纲, 赵文, 等. 全油气系统理论创新发展与勘探实践[J]. 世界石油工业, 2026, 33(z1): 21-38.
[2] 邹才能, 张国生, 杨智, 等. 非常规油气概念、特征、潜力及技术-兼论非常规油气地质学[J]. 石油勘探与开发. 2013, 40(4): 385-399.
[3] 吴康军, 王艳茹, 关欣, 等. 鄂尔多斯盆地长 7 段烃源岩有机地球化学特征[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2019, 20(6): 1-8.
[4] 贾承造. 论非常规油气对经典石油天然气地质学理论的突破及意义[J]. 石油勘探与开发, 2017, 44(1): 1-11.
[5] 曹江骏, 王茜, 范琳, 等. 深水致密砂岩储层特征及成岩相分析——以鄂尔多斯盆地西峰地区长 7 油层组为例[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2021, 51(1): 80-94.

-
- [6] 马瑶, 李文厚, 刘哲, 等. 低渗透砂岩储层微观孔隙结构特征——以鄂尔多斯盆地志靖-安塞地区延长组长 9 油层组为例[J]. 地质通报, 2016, 35(z1): 398-405.
- [7] 吴康军, 刘洛夫, 徐正建, 罗安湘, 付金华, 等. 鄂尔多斯盆地长 7 段致密油成藏物性下限研究[J]. 石油实验地质, 2016, 38(1): 63-69.
- [8] 葛岩, 黄志龙, 宋立忠, 等. 松辽盆地南部长岭断陷登娄库组致密砂岩有利储层控制因素[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2012, 43(7): 2691-2700.
- [9] 朱如凯, 邹才能, 张鼎, 等. 致密砂岩气藏储层成岩流体演化与致密成因机理: 以四川盆地上三叠统须家河组为例[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2009, 39(3): 327-339.
- [10] 刘伟. 复杂低渗透油气储层测井评价[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国石油大学, 2009.
- [11] 王国亭, 何东博, 李易隆, 等. 吐哈盆地巴喀气田八道湾组致密砂岩储层分析及孔隙度演化定量模拟[J]. 地质学报, 2012, 86(11): 1847-1856.
- [12] 郭小波, 黄志龙, 陈旋, 等. 马朗凹陷芦苇沟组泥页岩储层含油性特征与评价[J]. 沉积学报, 2014, 32(1): 166-173.
- [13] 李相博, 付金华, 陈启林, 等. 砂质碎屑流概念及其在鄂尔多斯盆地延长组深水沉积研究中的应用[J]. 地球科学进展, 2011, 26(3): 286-294.
- [14] 陈怡婷, 刘洛夫, 王梦尧, 等. 鄂尔多斯盆地西南部长 6、长 7 储集层特征及控制因素[J]. 岩性油气藏, 2020, 32(1): 51-65.
- [15] 蒲仁海, 姚宗慧, 张艳春. 鄂尔多斯盆地古构造演化在气田形成中的作用及意义[J]. 天然气工业, 2000, 20(6): 27-29.