

塔里木盆地玉北地区鹰山组成岩作用及对储层的影响

白鹏飞¹, 王振宇¹, 沙旭光², 郝建龙², 林新², 屈海洲¹, 张云峰¹, 李彦锋¹

¹西南石油大学地球科学与技术学院, 四川 成都

²中国石化西北油田分公司勘探开发研究院, 新疆 乌鲁木齐

Email: 635220031@qq.com

收稿日期: 2020年12月2日; 录用日期: 2020年12月17日; 发布日期: 2020年12月24日

摘要

通过岩心观察、薄片鉴定、物性测试、扫描电镜、阴极发光等手段, 以及定性描述与定量表征相结合的方法, 对塔里木盆地玉北地区鹰山组成岩作用特征及其对储层的影响进行分析。结果表明: 溶蚀作用能大幅改善孔渗性能, 胶结作用不同程度地减低孔隙度和渗透率, 由热液活动伴生的溶蚀、交代作用能改善储层的储集性能, 埋藏白云化能够促进优质储层形成, 压溶压实作用对孔隙的影响具有两面性, 玉北地区鹰山组储层主要受溶蚀、热液白云化控制。

关键词

玉北地区, 鹰山组, 成岩作用, 储层

Lithology of Yingshan and Its Influence on Reservoir in Yubei Area of Tarim Basin

Pengfei Bai¹, Zhenyu Wang¹, Xuguang Sha², Jianlong Hao², Xin Lin²,
Haizhou Qu¹, Yunfeng Zhang¹, Yanfeng Li¹

¹College of Earth Science and Technology, Southwest Petroleum University, Chengdu Sichuan

²Exploration and Development Research Institute, Sinopec Northwest Oilfield Company, Urumqi Xinjiang

Email: 635220031@qq.com

Received: Dec. 2nd, 2020; accepted: Dec. 17th, 2020; published: Dec. 24th, 2020

Abstract

By means of core observation, thin section identification, physical property test, scanning electron

文章引用: 白鹏飞, 王振宇, 沙旭光, 郝建龙, 林新, 屈海洲, 张云峰, 李彦锋. 塔里木盆地玉北地区鹰山组成岩作用及对储层的影响[J]. 地球科学前沿, 2020, 10(12): 1203-1211. DOI: 10.12677/ag.2020.1012117

microscope and cathode luminescence, as well as the method combining qualitative description and quantitative characterization, the characteristics of lithology of Yingshan in Yubei area of Tarim Basin and its influence on the reservoir were analyzed. The results show that the dissolution can greatly improve the porosity and permeability, the cementation can reduce the porosity and permeability to different degrees, the hydrothermal effect can improve the dissolution and metasomatism of rock strata, the burial dolomitization can promote the formation of high-quality reservoirs, and the effect of compaction on pores has two sides. The reservoir of Yingshan formation in Yubei area is mainly controlled by dissolution and hydrothermal dolomitization.

Keywords

Yubei Area, Yingshan Formation, Diagenesis, Reservoir

Copyright © 2020 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

经过长期的勘探实践,塔里木盆地海相深层超深层碳酸盐岩油气勘探取得了重大突破,但仍存在部分问题亟待解决[1] [2]。热液流体对储层的改造作用一直是碳酸盐岩优质油气储层形成的一个重要因素。大气淡水淋滤溶解作用和各种类型白云岩化作用有利于优质储层的形成,而胶结作用及压实作用则阻碍了储集空间的形成,玉北地区鹰山组不同类型流体作用下储层形成机制和叠加改造机制研究有待深入,不同流体作用下,储层发育模式尚不清楚。碳酸盐岩储层埋藏深,多期构造运动与岩溶改造使得此类储层有较强的非均质性[3] [4]。塔里木盆地具备深层-超深层油气勘探的有利地质条件[5] [6] [7] [8];奥陶系是塔里木盆地油气勘探的重要目的层[9] [10] [11],中石化在麦盖提斜坡玉北地区进行了充分的地震勘探工作,并在玉北1构造带多口钻井测试获工业油气流,一系列勘探成果表明玉北地区具备良好的勘探前景,奥陶系鹰山组为该区今后勘探的重点地层[12]-[17]。

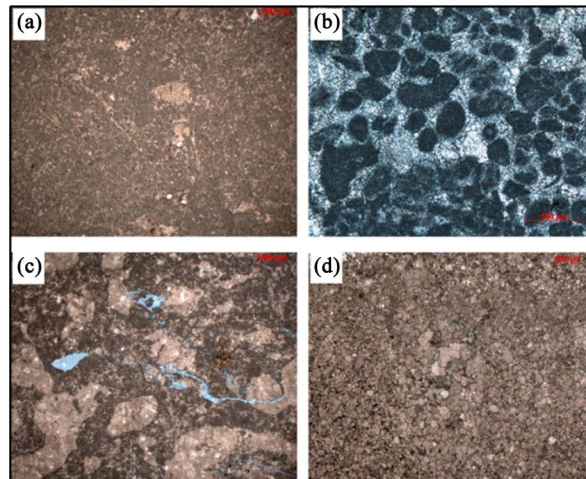
2. 玉北地区

塔里木盆地经历了加里东中期、海西期、印支-燕山期和喜马拉雅期等构造运动,是大型叠合复合盆地[18] [19] [20] [21] [22]。玉北地区位于塔里木盆地西南凹陷东北部的次级构造单元玉北斜坡东部,北邻巴楚隆起南缘的玛扎塔格断裂带,东部延伸至塘古兹巴斯凹陷内部,南邻塔西南叶城-和田凹陷,总面积约 $1.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。受和田古隆起演化影响,玉北地区构造格局受基底断裂控制,发育了加里东早期基底正断裂、加里东中晚期-海西早期盖层滑脱型逆冲推覆、海西晚期继承性逆冲和走滑断裂、喜山中晚期挤压逆冲断裂[23]。加里东中期的构造运动导致奥陶系中上统部分地层缺失,蓬莱坝组和鹰山组则为连续沉积[24]。

3. 储层岩石学及储层物性特征

3.1. 岩石学特征

玉北地区奥陶系储层的主要岩石类型为云质灰岩、灰质云岩、泥晶灰岩、泥质灰岩以及砂屑灰岩等。从岩电特征分析,鹰山组岩性以浅灰色-灰色、灰黄色泥晶灰岩、砂屑灰岩、云质灰岩和灰质云岩为主,鹰山组储层的主要岩石类型以灰质云岩、砂屑灰岩、云质灰岩为主(图1)。



(a) 泥晶灰岩, 玉北 1 井, 2.5 \times , 单偏光; (b) 砂屑灰岩, 玉北 2 井, 5 \times , 单偏光; (c) 云质灰岩, 玉北 7 井, 2.5 \times , 单偏光; (d) 细晶云岩, 单偏光, 玉北 8 井, 2.5 \times)

Figure 1. Typical rock types of Yingshan Formation in Yubei area

图 1. 玉北地区鹰山组典型岩石类型

3.2. 储层物性特征

通过对玉北地区玉北 5 井、玉北 7 井、玉北 6A 井、玉北 8 井各井实测孔隙度进行统计得到鹰山组 84 个孔隙度数据, 并对其进行分析, 孔隙度主要分布于 4.5% 以下(图 2), 结果表明玉北地区鹰山组岩石以中低孔隙度为主, 总体反映出较强的非均质性。

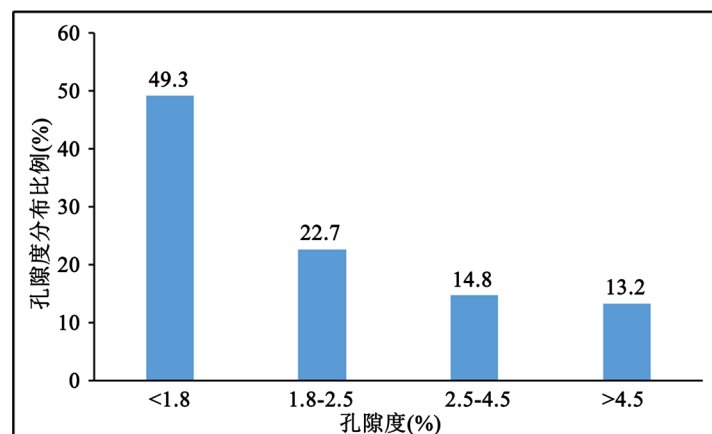


Figure 2. Histogram of matrix porosity distribution of Yingshan formation reservoir in Yubei area

图 2. 玉北地区鹰山组储层实测基质孔隙度分布直方图

4. 成岩作用对储层的影响

4.1. 压溶压实作用

压实作用产生于第一期方解石胶结物形成之后, 常见的现象包括颗粒间的镶嵌接触、变形、压塌、压断等, 是造成原生孔隙度减小的重要作用。

压溶作用是本区奥陶系鹰山组灰岩中常见的成岩作用类型之一, 发生于第二期胶结物形成之后的埋藏环境中, 缝合线是压溶作用的直观表现, 据岩心和薄片观察, 缝合线可分为早、晚两期。早期缝合线

多呈水平状或缓倾斜状，大致呈与层面或不同岩性响应单元的界面平行的锯齿状，它常可切割早期的成岩收缩缝，缝中常充填泥质、沥青和黄铁矿。晚期的缝合线常垂直层面或斜交岩性界面产出，延伸较远，规模较大，常切割不同时期的缝合线、构造裂缝和溶蚀孔洞充填物，常被泥质、沥青、原油充填，溶蚀作用沿缝合线常可扩溶成串珠状溶孔。

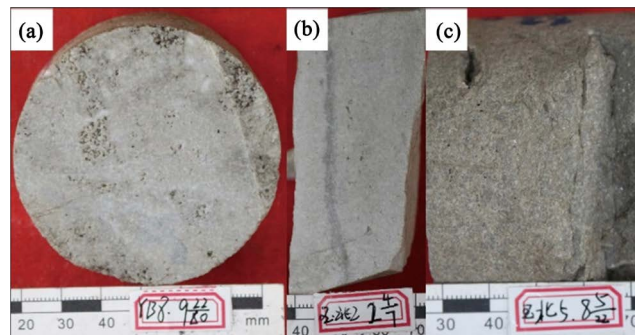
4.2. 溶蚀作用

通过岩心及镜下薄片观察分析，认为玉北地区溶蚀作用可以分为大气淡水溶蚀作用、不整合面形成期的岩溶作用等。

4.2.1. 大气淡水溶蚀作用

受次级沉积旋回、海平面变化和构造作用等因素的影响，玉北地区鹰山组沉积期发生抬升暴露，受到富含 CO_2 的大气水的淋滤，对不稳定组分选择性溶蚀，形成大小不一，形态各异的溶孔，主要产生粒内溶孔和粒间溶孔。溶孔直径一般较小，常为 0.01~0.05 mm，有以蜂窝状(图 3(a)、图 3(c))和顺层状(图 3(b))。

玉北地区多口井在钻遇奥陶系时出现放空与漏失现象，岩心观察可见溶蚀孔洞发育。通过储层发育特征及物性特征的总结可知，玉北地区溶蚀作用发育程度具有从蓬莱坝组到鹰山组逐渐减弱的特征。且从岩心和成像测井特征来看，孔洞发育并未受单一统一暴露界面的控制，表明并非是区域上加里东晚期-海西早期的构造运动导致的表生暴露控制着玉北地区储层的发育，而可能是海平面升降作用导致的短期暴露产生准同生溶蚀作用的结果。表生岩溶作用与准同生岩溶作用在溶蚀孔洞发育位置、规模和分布规律等多方面存在差异，除上述不受单一统一暴露面控制外，玉北地区的溶蚀孔洞发育尺度较小，部分具结构选择性，且其纵横向分布规律也符合准同生溶蚀的特征。



((a) 粒间溶孔，鹰山组，玉北 8 井，岩心；(b) 顺层状溶孔，鹰山组，玉北 2 井，岩心；(c) 粒间溶孔，鹰山组，玉北 5 井，岩心)

Figure 3. Atmospheric freshwater dissolution

图 3. 大气淡水溶蚀作用

4.2.2. 不整合面形成期的岩溶作用

岩层在鹰山组沉积期被抬升暴露，随后接受沉积，和上覆地层形成不整合接触，大气水对岩层进行非选择性溶蚀。不整合面附近的岩溶作用特征，可借助常规测井和电成像测井加以识别，在鹰山组顶面不整合面附近，常规测井中自然伽马 GR 表现为锯齿状低值，光电吸附指数 PE 表现为突然变大(从 2 突变为 11 左右)，在电成像测井图像上表现为明暗相间的暗斑相，未被充填的溶孔为黑色斑点，围岩为亮色。

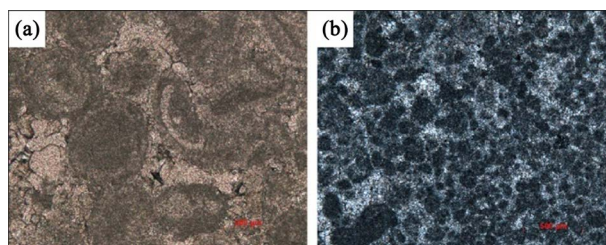
4.3. 胶结作用

胶结作用作为一种最为常见的碳酸盐岩成岩作用，在玉北地区主要表现为地层水、热液等流体通过先期孔缝中沉淀形成或粗或细的方解石或白云石的胶结物，其对储层重要的影响是使孔隙度下降，渗透

率减低。在玉北地区鹰山组可识别三期次的胶结作用产物。

4.3.1. 海底胶结作用

第一期方解石胶结作用发生在海底成岩环境，主要发生在残余砂屑颗粒间或白云石晶体间，在岩心薄片的观察中发现，其产物主要有微晶方解石、纤状方解石、放射纤维状方解石等(图 4)。



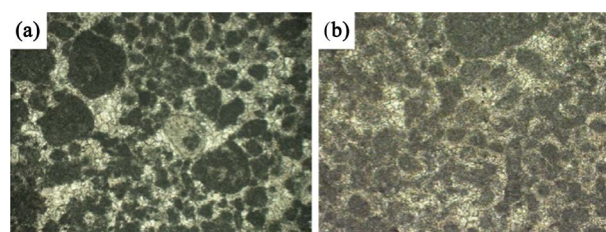
(a) 砂屑颗粒间发生胶结作用，纤状方解石胶结物，鹰山组，玉北 8 井，5×，单偏光；(b) 微晶方解石充填于砂屑颗粒间，鹰山组，玉北 1 井，5×，单偏光)

Figure 4. Characteristics of the first phase cementation

图 4. 第一期胶结作用特征

4.3.2. 大气淡水胶结作用

第二期的胶结作用是在第一期海底胶结作用完成后，岩层由于构造作用或海平面相对下降，抬升暴露，接受大气淡水淋滤作用，方解石接受沉淀或高镁方解石转化为低镁方解石。胶结成岩作用多形成等轴细粒状、等厚的叶片状、刀刃状或犬牙状、菱形、六面体的粉-细晶方解石。它们常沿早期纤状环边胶结物的外缘生长，并与之呈胶结不整合接触，部分地区沉积期并未经历海底胶结成岩环境，因而大气淡水胶结作用也可作为“第一期”胶结物充填于早期大气淡水溶蚀形成的次生孔隙中(图 5)。



((a) 方解石沿早期胶结物边缘生长，鹰山组，5×，玉北 1 井，单偏光；(b) 等轴细粒状方解石与早期方解石胶结物呈胶结不整合接触，鹰山组，5×，玉北 2 井，单偏光)

Figure 5. Characteristics of atmospheric fresh water cementation

图 5. 大气淡水胶结作用特征

4.3.3. 第三期胶结作用

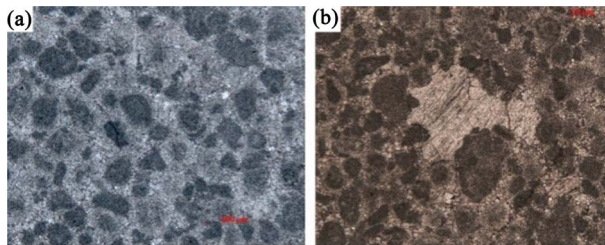
第三期胶结作用是在前两期胶结作用后发生的，该期方解石胶结物的共同特征是晶体明亮粗大，一般大于 0.1 mm，以单晶或嵌晶形式充填于孔隙或孔洞的中心部位，与前两期方解石胶结物呈胶结不整合接触，或直接与颗粒或洞壁接触。这一期方解石多见于颗粒灰岩孔洞中，虽然含量不高，但往往导致原生孔隙、次生孔隙储集性能的降低(图 6)。

4.4. 热液作用

4.4.1. 岩浆作用

深部岩浆等流体通过断裂进入鹰山组，对灰岩溶蚀、交代或充填先期孔缝。具体于玉北地区表现为：

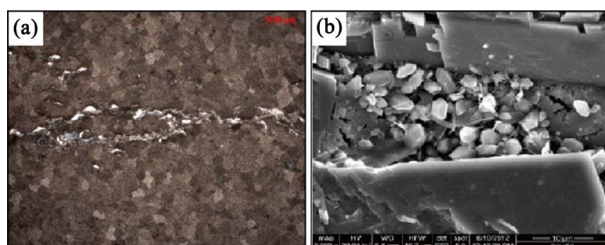
① 硅质交代充填裂缝(图 7(a)); ② 自生石英充填晶间孔(图 7(b))。



((a) 粗晶方解石以嵌晶形式充填于早期未充填的孔洞的中心部位, 基岩为深灰色砂屑灰岩, 鹰山组, 玉北 1 井, 10×, 单偏光; (b) 粗晶方解石以单晶形式充填于粒间孔洞中, 浅灰色砂屑灰岩, 鹰山组, 玉北 9 井, 2.5×, 单偏光)

Figure 6. Characteristics of the third phase cement

图 6. 第三期胶结物特征



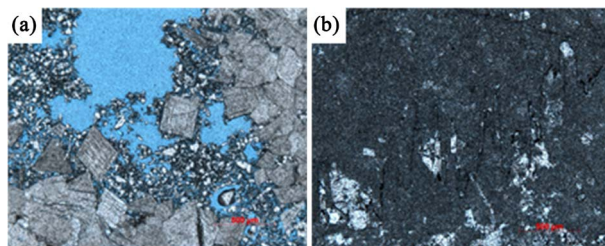
((a) 硅质沿裂缝分布, 鹰山组, 玉北 8 井, 1.25×, 单偏光; (b) 浅灰色含灰质云岩, 白云石晶间见自生石英, 玉北 7 井, 鹰山组, 3000×, 扫描电镜)

Figure 7. Features of magmatism

图 7. 岩浆作用特征

4.4.2. 白云化作用

富 Mg 热液流体岩裂缝使方解石发生白云化。玉北地区鹰山组发育白云岩及灰质云岩、云质灰岩。根据岩心和镜下薄片观察, 结合各项测试分析, 玉北地区白云化有热液白云化和埋藏白云化。热液白云化作用所产生的白云石主要包括中晶(图 8(a))和粗晶白云石、沿裂缝分布的晶型保存完好的白云石(图 8(b))、雾心亮边白云石、亮晶白云石、环带白云石和异形白云石等, 以晶体粗大和结构复杂为特征。



((a) 细晶白云石充填溶孔, 可见白色硅质, 埋藏白云化, 鹰山组, 玉北 6A 井, 10×, 单偏光; (b) 沿缝合线分布的白云石晶体, 热液白云化, 鹰山组, 玉北 8 井, 10×, 单偏光)

Figure 8. Characteristics of dolomitization

图 8. 白云化作用特征

4.5. 埋藏白云化

虽然热液白云化也发生于埋藏期, 为区分热液作用产生的热液白云岩, 将埋藏期白云化单独分为一类作为讨论。埋藏白云岩化发生于浅-深埋藏环境中, 环境相对稳定, 所形成的白云石多呈细晶、中晶

甚至粗晶，半自形到它形，显微镜下显得混浊，晶体比较混浊，一般呈分散状、斑团状或窄的条带状沿压溶缝及其附近分布。埋藏白云化易形成晶间溶孔能够改善储层储集性能，促进优质储层的形成。

玉北地区鹰山组下段的白云岩储层主要受断裂裂缝、溶蚀、热液白云石化等控制；鹰山组上段尤其是逆冲断裂上盘或形成的构造高部位的白云岩储层，主要受到岩溶作用控制(图 9)。

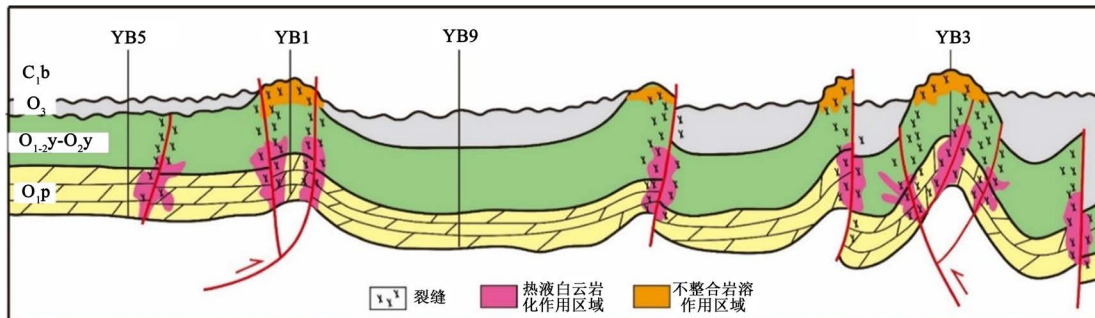
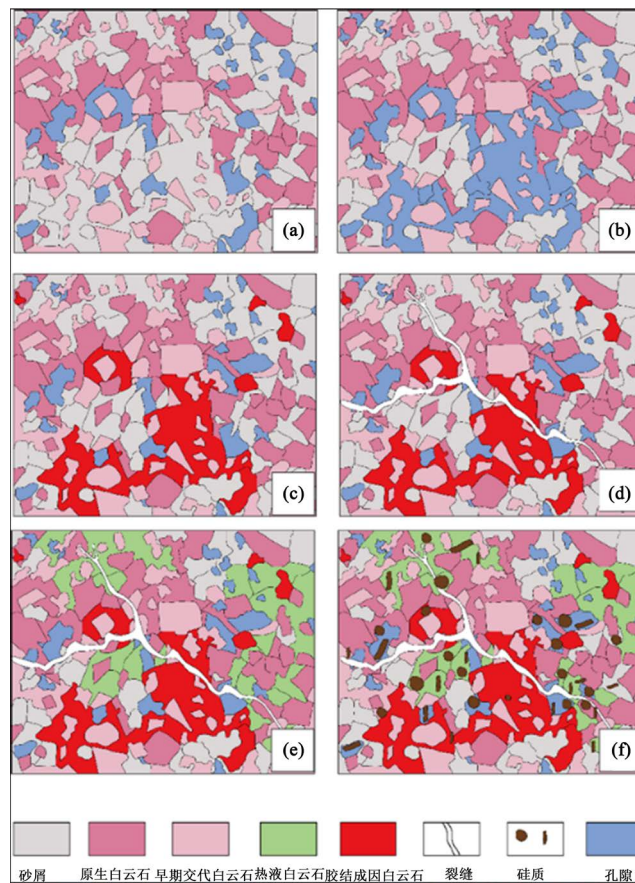


Figure 9. Development pattern of dolomite reservoirs in Yubei area

图 9. 玉北地区白云岩储层发育模式图



((a) 粒间孔、晶间孔存在于原始结构中；(b) 在不整合面之下，发生大气淡水溶蚀作用，孔隙度增加；(c) 随着埋藏深度的增加，在残余孔隙中胶结白云石晶体，白云石充填了部分粒间溶孔和晶间孔，孔隙度下降；(d) 伴随着晚海西期构造缝的产生，酸性地层水等流体进入岩层，发生扩溶，孔隙度增加；(e) 岩浆、酸性地层水等热液流体通过裂缝进入岩层，富 Mg 流体使残余砂屑发生热液白云化作用，孔隙度有所增加；(f) 热液作用使“近源”部位孔隙度再次降低)

Figure 10. Pore evolution model of Yingshan formation in Yubei area

图 10. 玉北地区鹰山组孔隙演化模式

4.6. 孔隙演化模式

玉北地区鹰山组经历了同生 - 准同生成岩阶段、浅中深埋藏成岩、中深 - 深埋藏阶段等三个成岩阶段, 结合成岩演化建立了孔隙演化模式(图 10)。

5. 结论

1) 玉北地区奥陶系鹰山组储层岩石类型主要为灰质云岩、砂屑灰岩、云质灰岩, 储层物性主要以中低孔为主, 储层的非均质性强。

2) 玉北地区奥陶系鹰山组储层经历了压溶压实、溶蚀、胶结、热液作用、埋藏白云化等多种成岩作用。胶结作用是造成储层物性变差的因素, 溶蚀、热液、埋藏白云化作用可有效改善储层物性, 压实压溶作用对孔隙的影响具有两面性。

3) 多种成岩作用在不同时期对玉北地区鹰山组储层均产生一定的影响, 但影响程度不同, 玉北地区鹰山组储层主要受溶蚀、热液白云化控制。

参考文献

- [1] 马永生, 黎茂稳, 蔡勋育, 等. 中国海相深层油气富集机理与勘探开发: 研究现状、关键技术瓶颈与基础科学问题[J]. 石油与天然气地质, 2020, 41(4): 655-672+683.
- [2] 何登发, 马永生, 刘波, 等. 中国含油气盆地深层勘探的主要进展与科学问题[J]. 地学前缘, 2019, 26(1): 1-12.
- [3] 马永生, 何登发, 蔡勋育, 等. 中国海相碳酸盐岩的分布及油气地质基础问题[J]. 岩石学报, 2017, 33(4): 1007-1020.
- [4] 朱光有, 杨海军, 苏劲, 等. 中国海相油气地质理论新进展[J]. 岩石学报, 2012, 28(3): 722-738.
- [5] 杨海军, 陈永权, 田军, 等. 塔里木盆地轮探 1 井超深层油气勘探重大发现与意义[J]. 中国石油勘探, 2020, 25(2): 62-72.
- [6] 顾忆, 万旸璐, 黄继文, 等. “大埋深、高压”条件下塔里木盆地超深层油气勘探前景[J]. 石油实验地质, 2019, 41(2): 157-164.
- [7] 顾忆, 黄继文, 贾存善, 等. 塔里木盆地海相油气成藏研究进展[J]. 石油实验地质, 2020, 42(1): 1-12.
- [8] 云金表, 金之钧, 解国军. 塔里木盆地地下古生界主力烃源岩分布[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(6): 827-838.
- [9] 何治亮, 金晓辉, 沃玉进, 等. 中国海相超深层碳酸盐岩油气成藏特点及勘探领域[J]. 中国石油勘探, 2016, 21(1): 3-14.
- [10] 庞雄奇, 周新源, 姜振学, 等. 叠合盆地油气藏形成、演化与预测评价[J]. 地质学报, 2012, 86(1): 1-103.
- [11] 漆立新. 塔里木盆地顺托果勒隆起奥陶系碳酸盐岩超深层油气突破及其意义[J]. 中国石油勘探, 2016, 21(3): 38-51.
- [12] 林新, 龚伟, 余腾孝, 等. 塔里木盆地玉北地区奥陶系储层成因及分布[J]. 海相油气地质, 2018, 23(3): 11-20.
- [13] 吴小力, 李荣西, 李纯泉, 等. 塔里木盆地玉北地区奥陶系储层流体包裹体特征及油气成藏史[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2017, 53(6): 740-748.
- [14] 倪斌, 汤良杰, 郭颖, 等. 塔里木盆地玉北地区埋藏史及热史分析[J]. 现代地质, 2017, 31(2): 357-366.
- [15] 谭广辉, 邱华标, 余腾孝, 等. 塔里木盆地玉北地区奥陶系鹰山组油藏成藏特征及主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(1): 26-32.
- [16] 斯尚华, 陈红汉, 谭先锋, 等. 塔里木盆地麦盖提斜坡玉北地区奥陶系油气输导体系与成藏期[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2013, 38(6): 1271-1280.
- [17] 刘忠宝, 吴仕强, 刘士林, 等. 塔里木盆地玉北地区奥陶系储层类型及主控因素[J]. 石油学报, 2013, 34(4): 638-646.
- [18] 陈景山, 李忠, 王振宇, 等. 塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩古岩溶作用与储层分布[J]. 沉积学报, 2007(6): 858-868.
- [19] 顾家裕, 张兴阳, 罗平, 等. 塔里木盆地奥陶系台地边缘生物礁、滩发育特征[J]. 石油与天然气地质, 2005(3): 277-283.

-
- [20] 林忠民. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层特征及成藏条件[J]. 石油学报, 2002(3): 23-26+7.
- [21] 贾承造. 塔里木盆地构造特征与油气聚集规律[J]. 新疆石油地质, 1999(3): 3-5.
- [22] 汤良杰. 塔里木显生宙盆地演化主要阶段[J]. 地学前缘, 1997(Z2): 322-328.
- [23] 吕修祥, 杨海军, 白忠凯, 等. 塔里木盆地麦盖提斜坡东段油气勘探前景[J]. 石油实验地质, 2010, 32(6): 521-526.
- [24] 罗少辉, 李九梅, 张旭光, 等. 塔里木盆地玉北地区奥陶系沉积相与沉积演化模式[J]. 海相油气地质, 2017, 22(3): 23-29.