

# Advantages and Disadvantages Effects of Diagenesis on Reservoir Physical Properties

Song Hu<sup>1</sup>, Xiaoxiao Lu<sup>2</sup>, Danfeng Zhang<sup>3</sup>, Jing Cheng<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing

<sup>2</sup>Daqing Branch of China Petroleum Logging Co. LTD., Songyuan Jilin

<sup>3</sup>Greatwall Drilling Company, CNPC, Beijing

<sup>4</sup>International Logging Company of Greatwall Drilling Company, CNPC, Beijing

Email: husong.syky@sinopec.com

Received: Apr. 7<sup>th</sup>, 2019; accepted: Apr. 22<sup>nd</sup>, 2019; published: Apr. 29<sup>th</sup>, 2019

## Abstract

Compared with the traditional theory, the diagenesis types cannot be divided into two categories completely. In fact, both the diagenesis itself and its combination have two sides. In this paper, the diagenesis of the W oil field is taken as an example, and the main diagenesis types are summarized by the methods of observing cores, identifying common and casting thin sections, and detecting scanning electron microscope. And the dialectic influence of diagenesis on the physical properties of reservoirs is discussed in the light of the theory of dialectics. The results show that the main diagenetic types, such as compaction, cementation, dissolution, recrystallization, their own or their combination, have a common duality, complexity and interrelated influence on the physical properties. They are characterized by interdependence and mutual transformation of reservoir improvement and destruction. In line with the advantages and disadvantages to find the principle of high-quality reservoirs, it is conducive to the ultimate improvement of reservoir physical properties if the compaction, cementation and metasomatism are relatively developed in the early stage of diagenesis as well as the dissolution is more developed in the later stage of diagenesis.

## Keywords

Diagenetic Type, Diagenetic Evolution, Physical Property, Materialist Dialectics, Two Sides

# 成岩作用对储层物性的利弊影响分析

胡松<sup>1</sup>, 路肖肖<sup>2</sup>, 张丹锋<sup>3</sup>, 成婧<sup>4</sup>

<sup>1</sup>中国石化石油勘探开发研究院, 北京

<sup>2</sup>中国石油测井有限公司大庆分公司, 吉林 松原

<sup>3</sup>中国石油集团长城钻探公司, 北京

<sup>4</sup>中国石油长城钻探工程公司国际测井公司, 北京

Email: husong.syky@sinopec.com

收稿日期: 2019年4月7日; 录用日期: 2019年4月22日; 发布日期: 2019年4月29日

## 摘要

与传统理论相比,成岩作用类型并不能截然地分为对储层影响利弊的两大类,事实上,无论是各类成岩作用本身还是它们的组合,对储层物性影响皆具有两面性。本文以乌南油田储层成岩作用发育类型为例,通过岩心观察、普通薄片、铸体薄片鉴定以及扫描电镜检测等方法详细观察总结了主要成岩作用类型发育特征,并结合辩证法的理论深入探讨了储层成岩作用对其物性的辩证影响。结果表明压实、胶结、交代、溶解、重结晶等主要成岩作用类型的自身或组合对物性影响具有普遍的两面性、复杂性和相互联系,具体表现为对于储层的改善和破坏相互依存和相互转化。本着趋利避害寻找优质储层的原则,如果压实、胶结、交代作用在成岩早期阶段相对发育,溶解作用在成岩后期阶段更为发育,皆有利于储层物性的最终改善。

## 关键词

成岩类型, 成岩演化, 物性, 唯物辩证法, 两面性

Copyright © 2019 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

储层物理性质众多影响因素中,成岩作用是最直观和最显著的[1] [2]。传统理论认为各类成岩作用明显分为两大类,即有利和有弊于储层物性的[3] [4] [5] [6],影响结果在众多的露头样品[7] [8]、岩心样品[5] [6]以及模拟实验[9]中都得到了证实。随着研究的广泛深入,有学者已经认识到辩证关系的客观存在[10]。

笔者在若干油田和露头储层成岩作用研究过程中发现,这种客观存在的辩证关系具有普遍性,而且对于寻找有利成岩相和储层具有一定的指向意义,因此借乌南油田储层成岩作用影响结果实例,立题对其分析讨论,希望引起同行的注意。

传统成岩作用研究目的在于分析成岩类型及其演化阶段,寻找有利成岩相类型,研究过程中目标单一地追求有利于改善储层物性的有利成岩类型和成岩相[11] [12]。而本文认为,研究过程中加入对成岩作用发育时间和空间以及影响结果的两面性分析,可以发现传统研究结果的漏网之鱼,同时为油气勘探开发非常规时代厘清储层发育主控因素,为储层预测和评价,尤其是低渗、超低渗透储层研究提供依据。

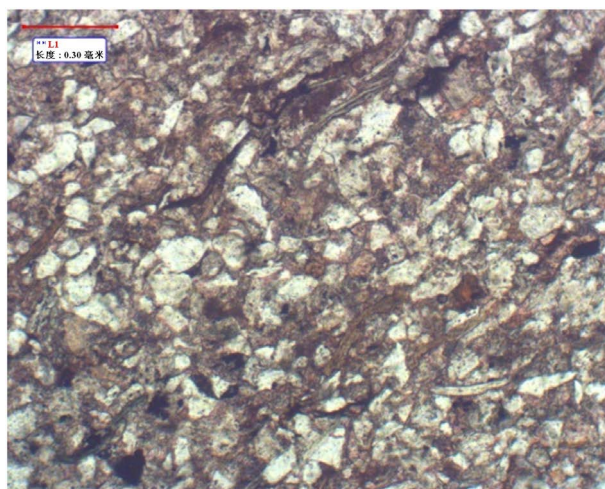
## 2. 主要成岩类型

与绝大多数地区类似,乌南油田成岩作用影响储层物性的方式,以压实、胶结、交代、溶解、重结晶作用较为普遍[1],同时发育具有该地区成岩环境特色的震动压实作用。通常,对于储层来说,压实、

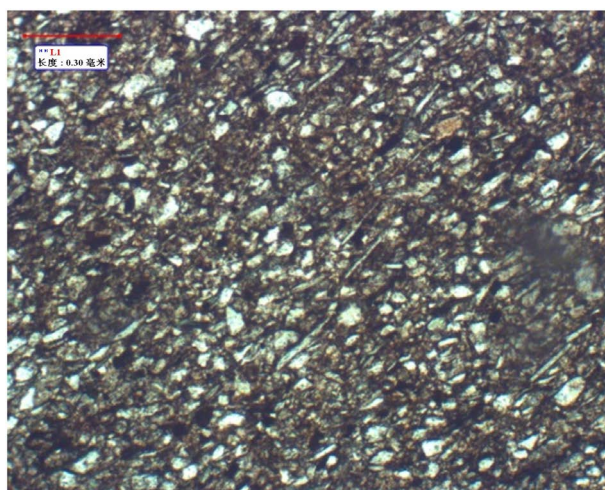
后期胶结以及震动压实作用是破坏原生、次生孔隙并导致储层渗透性变差的主要原因；而溶解作用则有利于改善储层的物性。通过岩心、普通薄片、铸体薄片和扫描电镜分析鉴定等手段，以乌南油田所经历的主要成岩作用类型为例，总结归纳常见类型包括：压实作用(震动压实)、胶结作用、交代作用、溶解作用、重结晶作用等。

## 2.1. 压实作用

压实作用对储层物性的影响体现在多个角度多个方面。对于颗粒本身来说，其本身性质决定了受压实后的表现形式，如颗粒为刚性的，受压后表现为破碎 - 边缘碎裂 - 双晶错位等；如颗粒本身或埋藏受热后为塑性的，受压后易发生塑性变形(图 1)，如果压实程度较高，甚至可以导致颗粒在镜下表现为波状消光。对于颗粒之间来说，随着压实作用的增强，颗粒发生滑动 - 旋转 - 位移 - 变形破裂 - 重排 - 结构构造变化，接触关系依次表现为点 - 线 - 面 - 缝合接触；组合关系和结构构造表现为受压后具有定向性(图 2)。



**Figure 1.** Plastic deformation of soft-toughness mica particles caused by compaction (W 26, 4005.5 m, 100 times polarized light)  
**图 1.** 压实作用导致软韧性云母颗粒塑性变形(乌 26 井 4005.5 米, 100 倍单偏光)



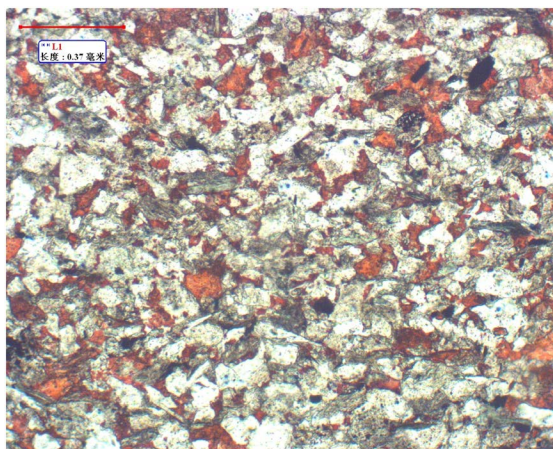
**Figure 2.** Mica particles alignment along the macroaxis caused by compaction (LC 1, 4735 m, 100 times polarized light)  
**图 2.** 压实作用导致云母颗粒顺长轴定向排列(绿参 1 井 4735 米, 100 倍单偏光)

压实作用对储层物性影响的上述表现,其直接结果是导致储层变得致密,孔隙度和渗透率大片流失,物性变差,储集能力大大降低。而压实作用的强度,与沉积物离物源的距离、杂基含量的多少、上覆沉积物和地层水的压力、埋藏时间和深度、水介质的性质、沉积物颗粒的抗压实能力以及是否有烃类物质注入和温压场强度等有关[9] [13]。

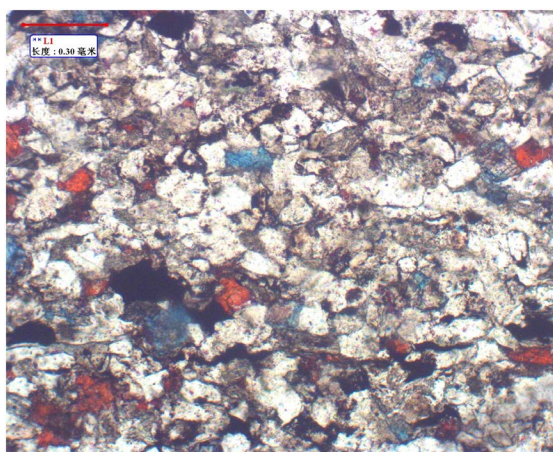
## 2.2. 胶结作用

胶结作用类型丰富,常见胶结物主要有碳酸盐、粘土矿物、黄铁矿、硅质、石膏等。

早期碳酸盐胶结物主要为方解石和白云石,颗粒边缘处生长或颗粒间呈碳酸盐颗粒状分布,主要占据原生粒间孔隙(图 3);中期碳酸盐胶结物主要为(含)铁方解石,常有交代作用发生;后期碳酸盐胶结物主要是铁方解石和铁白云石,常见嵌晶式胶结(图 4)。

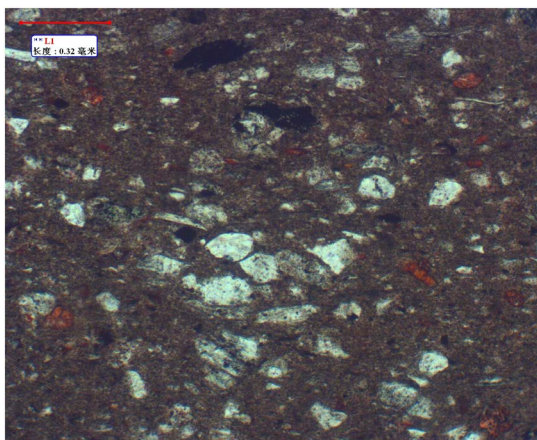


**Figure 3.** Calcite cements formed in early cementation stages (LC 1, 4128 m, 100 times polarized light)  
**图 3.** 早期胶结作用形成的方解石胶结物(绿参 1 井 4128 米, 100 倍单偏光)



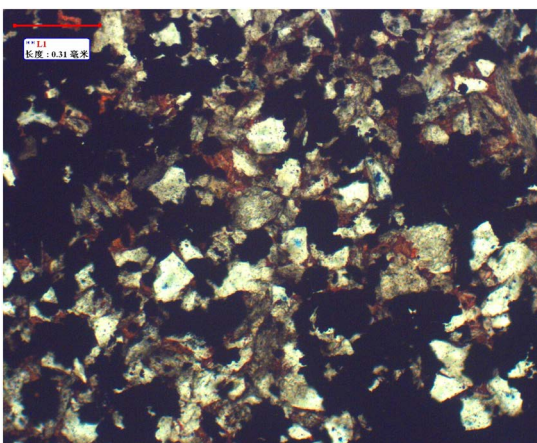
**Figure 4.** Iron calcite and iron dolomite cements formed in the middle and late cementation stages (W 3, 3995 m, 100 times polarized light)  
**图 4.** 中后期胶结作用形成的(含)铁方解石和铁白云石胶结物(乌 3 井 3995 米, 100 倍单偏光)

随着埋深的增加,粘土矿物中伊/蒙混层比是逐渐降低的,常见粘土矿物单体或集合体垂直或平行碎屑颗粒表面生长,并形成粘土包壳以及分布于粒间孔隙中呈孔隙充填(图 5),此外尚见粘土矿物充填在岩石或颗粒的裂隙中,或充填在切穿一系列碎屑颗粒的晶洞中。



**Figure 5.** Clay mineral cements (LC 1, 4735.5 m, 100 times polarized light)  
**图 5.** 粘土矿物胶结物(绿参 1 井 4735.5 米, 100 倍单偏光)

再者还常见一些指示成岩环境的胶结物, 如指示强还原环境的黄铁矿, 单偏光下不透明, 反射光下具金属光泽, 常呈分散状球粒或集合体呈凝块状集中分布, 偶见正方体晶形(图 6); 指示酸性环境的二氧化硅和指示碱性环境的硬石膏胶结物, 常呈斑块状嵌晶体, 包裹、半包裹碎屑颗粒, 充填裂缝, 严重堵塞孔隙和喉道。



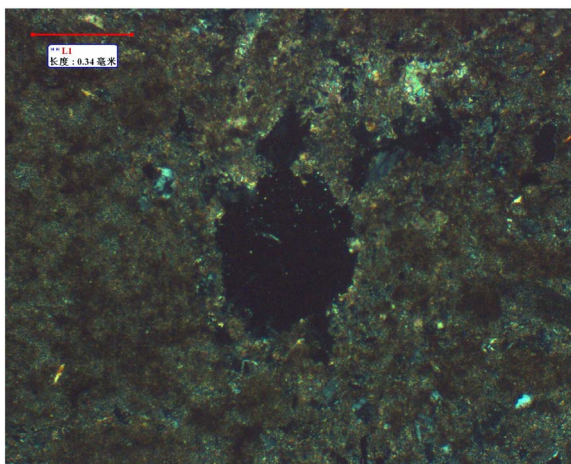
**Figure 6.** Pyrite cements (W 26, 4006 m, 100 times polarized light)  
**图 6.** 黄铁矿胶结物(乌 26 井 4006 米, 100 倍单偏光)

胶结作用的发生, 是沉积物转化为沉积岩的必经过程, 同时也是孔隙度和渗透率进一步下降的重要原因[14] [15]。

### 2.3. 溶解作用

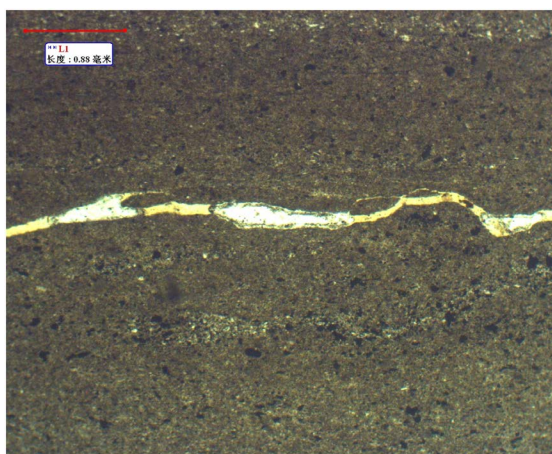
由于地下成岩环境复杂, 水介质性质的变化无论对沉积物颗粒还是杂基和胶结物都会造成不同程度的溶蚀或溶解。常见被溶解物质主要包括岩屑、长石颗粒(图 7)以及方解石等胶结物。

前期的溶蚀作用主要发生在岩石压实作用较弱, 颗粒以点接触为主, 早期的自生矿物主要为碳酸盐, 并以胶结物的形式沉淀于颗粒间的孔隙中。随后, 由于酸性水介质(如含有烃源岩半成熟或低成熟期所提供的有机酸的地层水或含有大气  $\text{CO}_2$  或其它  $\text{CO}_3^{2-}$  的水溶液, 使充填在孔隙中泥晶方解石、泥晶菱铁矿、硬石膏及其少量颗粒)溶蚀而形成次生孔隙。次生孔隙由浅至深增加。



**Figure 7.** Dissolution causes the dissolution of particles to form voids (LC 1, 3690 m, 100 times polarized light)  
**图 7.** 溶解作用导致颗粒溶解形成孔洞(绿参 1 井 3690 米, 100 倍正交光)

后期的溶解作用主要与裂缝和缝合线有关。常见裂缝被溶蚀加宽加大或者溶蚀孔隙沿裂缝或缝合线分布, 呈串珠状(图 8)。



**Figure 8.** Dissolution forms beaded cracks (LC 1, 4527 m, 40 times polarized light)  
**图 8.** 溶解作用形成串珠状裂缝(绿参 1 井 4527 米, 40 倍单偏光)

目前, 大多数学者认为碳酸或有机酸造成矿物溶解并最终形成溶蚀型次生孔隙[16][17][18]。直观来看, 溶解作用确实起到了改善储层物性的作用。

## 2.4. 其它成岩作用

为了便于论述的简洁性, 本文将交代作用、重结晶作用、矿物的多形转变以及诸如乌南油田特有的震动压实作用等对于储层物性影响相对较小或成岩类型相似的其他成岩作用统归于此类。

通常和胶结作用相伴发生的交代作用对储层物性的影响不大, 它使得一些现有矿物遭受不同程度的溶解, 同时一些新的矿物又形成, 因而这个此消彼长的过程对储层孔隙及物性影响较小[19]。比如常见的碳酸盐矿物对沉积物颗粒的交代、粘土矿物对砂岩颗粒的交代等。

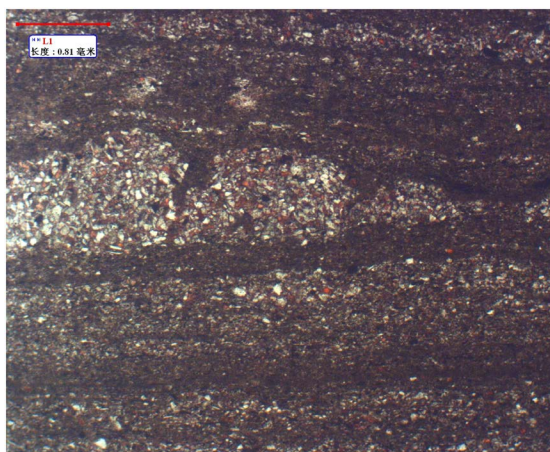
此外, 重结晶作用和矿物的多形转变都属于矿物颗粒或晶体结构构造的变换, 其物质成分并没有发生本质变化, 因而其对储层物性的影响比交代作用还要小[20]。比如石英颗粒的溶解和次生加大等。

再者，由于构造运动、沉积物和地层水的作用，乌南油田普遍发育震动成因的压实作用。震动压实作用与普通的机械压实作用结果不同，其不仅导致沉积物体积减小和发生排水及脱水作用，它还能使沉积物的结构重新排列和更紧密接触，结构构造发生应激变化。它通常叠加于机械压实作用之上，尤其是地震活动或局部构造运动发育时，主要对未固结的沉积物发生影响，在沉积物埋藏的早中期阶段表现得比较明显。

震动压实作用随着震动强度的增加，会依次有不同的形态、构造特征。如震动强度较小时，原始水平岩层可以发生软沉积变形形成波状岩层、砂岩脉、液化负载囊构造(图 9)，随着强度的进一步加大，砂岩层可以部分或全部被拉断，形成石香肠构造甚至一些孤立的扁豆体和球枕体，其两端发生收敛合拢，抗压强度较小的细粒沉积物从拉断处挤入，形成典型的扁豆状、球枕状及火焰状构造(图 10)。通常，这些结构构造的形成和改变，最直接的结果就是导致早期储层物性的迅速变差[5]。



**Figure 9.** Liquefaction load bag structure formed by vibration compaction (W 26, 4006.05 m, core photograph)  
**图 9.** 震动压实作用形成液化负载囊构造(乌 26 井 4006.05 米, 岩心照片)



**Figure 10.** Lenticular structure formed by vibration compaction (W 26, 4013.5 m, 40 times polarized light)  
**图 10.** 震动压实作用形成扁豆状构造(乌 26 井 4013.5 米, 40 倍单偏光)

### 3. 辩证思考与讨论

常见类型的成岩作用对储层物性影响的实例和成因表明，不同类型的成岩作用，其对储层物性的影响从辩证法的角度来讲，是一致的，都符合联系与发展规律的核心——即“对立统一”基本规律[10] [21]。

所以,如果辩证地去看待其影响结果,各类成岩作用存在一个主要的影响作用的同时,也会“对立统一”地存在相对次要的反作用。因此,改善和破坏储层物性,在成岩演化的不同阶段或不同时期,无论谁主谁次都辩证统一地维持着成岩作用的进程。

前述研究结果显示,包括乌南油田储层在内的相似成岩环境的物性利弊影响具有普遍性,区别在于各自具体的发育程度、特征以及对储层的最终影响程度不同。不少学者关于成岩作用的研究也有类似观点,但是通常基于传统认识,或者仅仅对于溶解作用产生次生孔隙观点方面具有一致性,对于其他成岩作用两面性的认识和考虑还不足[22] [23] [24]。下面就几种典型的成岩作用类型对储层物性的利弊影响进行阐述。

### 3.1. 压实作用的利弊影响

压实作用对储层物性的影响是占主导的。储层的孔隙和吼道等物性要素随着埋深的增加不断被压缩,只是压缩的速度和程度在不同区域或不同储层存在差异。有些地震作用频繁的地区下降得更快,比如本文作为实例的乌南油田。在同一时期,不同构造分区形成的储层,如果成岩演化程度较弱,则埋藏浅,压实度低,颗粒以点接触为主,孔隙度中等,物性良好;反之,则埋藏深,压实度较高,颗粒以点一线接触为主,孔隙度较低,物性差。相应地,砂岩的原始孔隙度由高变低,渗透率也依次降低,而且这种效应是不可逆的。随着沉积物埋藏深度的增加,这种作用将加强。因此,普遍认为压实作用从沉积物进入埋藏就开始破坏储层物性而且一直持续到沉积岩遭受变质作用或风化作用[9] [13]。

然而,作者认为压实作用亦对储层物性存在有利的影响。压实作用的影响具有典型的两面性,一方面来说,压实作用确实破坏了储层的原生孔隙,使得沉积物初始埋藏后孔隙和吼道的大量流失,对储层物性产生不可恢复的破坏。但是从另一个角度来说,事物的发展总是矛盾互补的,压实作用压实了沉积物,从而使沉积物颗粒发生一系列结构构造变化,接触关系达到紧密,使松散的沉积物具有一定的压实强度,形成颗粒支撑的骨架结构。这在后期构造应力作用或者孔隙流体压力的变化下具有积极的作用。当压力没有达到岩石弹性形变极限时,压实骨架的存在很大程度上减弱了围压对其的破坏,为形成致密型储层及油藏提供了物质条件;当压力已经达到甚至超出岩石弹性形变极限后,将诱发岩石脆性变形,压实骨架导致岩石破裂,产生裂缝和次生孔隙,进而起到改善物性的作用,为流体或油气运移提供通道[25]。

因此总体来看,压实作用主体起到破坏储层物性的影响,但是其对储层后期裂缝和次生孔隙的产生以及储层保护作用也不容忽视。

### 3.2. 胶结作用的利弊影响

胶结作用是沉积物转化为沉积岩的重要成岩过程。它在压实作用的基础上进一步缩小储层孔隙和吼道空间,如果成岩环境适宜,其结果将导致储层孔隙度和渗透率的急剧降低。从这个角度来看,胶结作用是导致储层物性迅速变差的主要因素,也是一直以来针对储层成岩作用研究众多实验手段的目标之一,比如铸体染色薄片对胶结物成分、结构的观察研究,扫描电镜、电子探针等对粘土矿物的进一步鉴定,包括近年来的数字岩心、CT扫描电镜等等都无不针对孔隙吼道进行的微观尺度的观察研究,最直接的目标就是胶结物。因此,胶结物的发育与否,已经公认为是影响储层储集性能的关键要素之一[14] [15]。

作者通过乌南油田储层胶结作用的深入研究,揭示其不仅对物性具有破坏性作用,同时还具有建设性的一面,这在以前研究中是被忽视的。理论上来说,早期胶结作用(压实作用发生之前或同时),与压实作用对储层的保护作用相似,在一定范围内可减弱后期压实、胶结作用对沉积物的构造挤压或进一步成岩作用影响,并为后期构造运动产生裂缝、流体介质溶蚀溶解胶结物形成次生孔隙提供条件。因此可见,胶结作用对储层物性的影响也同样具有两面性。



举例来说, 碳酸盐是储层中最为常见的胶结物, 也是对储层物性影响最大的胶结物。碳酸盐胶结或交代作用对储层物性的影响的两面性主要取决于胶结物含量的多少以及形成的早晚期次。

某些碳酸盐胶结物虽然在一定程度上抑制了后期压实压溶作用, 也为形成次生孔隙提供了易溶物质。但如果含量很高, 特别是在储层中形成基底式胶结结构, 则完全封堵了孔隙和喉道, 不利于后期酸性孔隙水的混和对储层的改造, 从而形成低渗透型储层。同时, 不同阶段形成的碳酸盐对储层物性具有不同的影响。早期成岩过程中形成部分胶结的砂岩中, 往往具有较高的孔隙度, 这是因为早期碳酸盐胶结物部分胶结砂岩颗粒, 使砂岩快速成岩, 并有效地增加了砂岩的抗压实能力, 这些碳酸盐胶结物可以保留下大量的孔隙体积, 当酸性孔隙流体对其进行溶蚀后, 可以形成具有现实意义的油气储集空间, 因此是次生孔隙形成的一个重要的物质基础; 后期碳酸盐胶结物主要呈连晶状或弥散状分布在砂岩孔隙之中, 对储层的破坏性较强; 后期碳酸盐交代物可以交代砂岩颗粒或孔隙间填隙物, 形成“悬浮砂”, 或呈自形较好的菱面晶体充填在次生孔隙中, 通过完全或部分占据粒间体积来破坏储层物性。

因此, 沉积物受到胶结作用的影响喜忧参半, 只是在不同时期的发育程度决定了当时占主导地位的物质影响结果。

### 3.3. 溶解作用的利弊影响

上世纪七十年代以来, 溶解作用在成岩过程中对次生孔隙的贡献性逐渐被国内外专家学者重视起来, 溶解作用的机理及其储层成岩演化过程中的重要性越来越受到关注和研究[16] [26] [27] [28]。事实上, 许多砂岩中的组分, 包括岩屑, 长石、部分重矿物碎屑等颗粒物, 甚至比较稳定的石英颗粒, 部分杂基, 碳酸盐等胶结物, 在演化的成岩阶段或环境中造成溶蚀、溶解形成次生孔隙。次生孔隙的发育特征与成岩演化的环境和程度密切相关, 众多学者的研究成果表明, 往往发育多个韵律性分布的深度段[16] [18] [29]。也正是因为一个又一个深层油气藏的发现, 才逐步揭示出深部韵律性的次生孔隙发育带, 从而大大拓宽了油气勘探开发的视野, 引起业界的重视。因此一般来说, 溶解作用对于储层物性的改善显而易见。

然而, 在积极的一面占主导地位的同时, 矛盾的正反两方面在自然界总是同时存在。因此溶解作用一方面显示出形成次生孔隙的乐观效果, 于此同时, 类似于胶结作用对储层物性的两面性一样, 同样存在着不容忽视的反面效果。

不同成因机理和不同发育阶段的溶解作用, 对储层物性的影响往往并不相同。通常早期阶段主要为大气水的下渗形成溶解侵蚀流体, 中后期阶段很大一部分来源于有机质热解成烃过程中形成的有机酸溶液。

溶解作用如果发生在胶结作用之前, 则可溶蚀成分多为矿物颗粒和杂基, 并且起到冲洗孔隙喉道的作用。但是因此带来的后果则是为后期胶结作用提供了大量的连通性更好的孔隙和喉道, 使得储层物性发生本质的改变, 破坏性显而易见。如果发生在胶结作用之后, 则不仅可溶蚀成分更丰富, 而且胶结物的溶解对储层物性改善更重要。据统计, 溶解作用的发育平均新增孔隙度约为初始孔隙度的 10%左右[30], 此外, 溶解侵蚀流体对碎屑颗粒的粒间孔隙和喉道的扩大往往起主要作用, 结果可使储层的物性得到大大改善。

因此, 与胶结作用类似, 只是作用阶段正好相反, 不同发育阶段决定了占主导地位的影响因素和成岩作用结果。

### 3.4. 其他作用的利弊影响

其他成岩作用诸如交代作用对储层物性的影响, 由于物质的带入带出, 往往对储层物性影响相比其他成岩作用而言小得多。

按照辩证法, 统一事物的对立双方, 其内在的要素, 往往互相渗透。并且, 在一定条件下, 对立双方会互相转化。而交代作用即是被交代物与交代物之间的相互转化和替换, 达到最后物质平衡的统一。

重结晶作用属于原始矿物颗粒的溶解和再生, 与之相似的矿物的多型转变, 只是矿物晶体的晶形变换, 因此从物质平衡上来说, 其相比交代作用而言, 对储层物性的影响更小, 也更符合物质平衡的规律, 只是原始物质换了新的形态而已。

其他诸如乌南油田特有的震动压实作用, 其与常规的机械压实作用相比确实存在特有的结构构造特征, 其对储层物性的影响也更加明显。但是其最终结果与常规机械压实一致, 都是导致储层物性的相对变差, 但是也为沉积物的进一步埋藏提供了抵御进一步被压实的骨架体系。因此其对储层物性的影响与压实作用一样, 在先期产生不利影响的条件下, 为后期的储层抗压和改造创造了有利的物质基础。

总的来说, 成岩作用的利弊两方面影响相互依存、相互联系、相互转化, 在不同时期、不同地区、不同程度地交互演化, 一主一辅地共同制约着储层物性的改善或破坏。此外, 不同成岩作用之间也可组成矛盾对立的双方, 共同影响成岩作用的演化。压实、胶结作用和溶解作用之间的对立统一, 是成岩作用本身的直接矛盾。压实、胶结作用在破坏储层物性方面往往占更主要地位, 而溶解作用的存在, 使得物性改善方面有了互补的空间。与此同时, 它们不同时期不同地区不同演化阶段的主导影响力也在受自身内在的矛盾对立统一影响着。从而造就了成岩作用一环套一环不断演化的辩证统一。最终影响着储层发育的良莠, 油气充注的难易与油气成藏的盈缺。

#### 4. 结论

成岩作用对储层物性的影响具有普遍的辩证两面性, 对立面相互矛盾, 相互依存, 具有主次地位的不平衡性。主要成岩作用形成以压实、胶结作用为主和以溶解作用为主的对立阵营, 矛盾双方在成岩演化的不同阶段不断变化主导着对储层的改善和破坏作用。

主要成岩作用本身也存在对立统一的矛盾斗争, 压实作用在压实沉积物导致物性变差的同时也增强了后期沉积物的抗压抗裂能力, 为后期储层保护或裂缝和次生孔隙的形成提供骨架基础; 胶结作用导致沉积物胶结成岩破坏储层孔隙和吼道连通性的同时, 早期的发育对储层的影响与压实作用相似也起到积极作用, 但是后期的发育则以破坏储层物性为主; 溶解作用在极大改善储层物性的同时, 早期的发育为后期胶结作用提供了丰富的孔隙吼道空间, 从而起到破坏作用, 而后期溶解作用更多地是形成了改善储层的次生孔隙发育带; 此外交代、重结晶、矿物的多形转变等成岩作用, 不同程度制约着成岩作用演化的进程。

成岩作用的矛盾对立统一的直接结果就是对油气富集的影响。压实作用对储层后期次生孔隙的产生以及保护作用, 早期胶结、交代作用对减弱压实作用破坏储层的影响, 并为后期溶解次生孔隙的产生创造条件, 成岩阶段后期溶解作用在改善储层物性方面显得更加重要。

因此, 在成岩作用研究过程中, 各类成岩作用的机理和演化程度需要详细研究确定, 这对成岩作用评价、储层评价和油气勘探有利区优选的决策至关重要。

#### 基金项目

国家重大专利“致密复杂碎屑岩储层测井评价技术研究”(编号: 2016ZX05002-005-001)和国家自然科学基金项目(编号: No.40503003)资助。

#### 参考文献

- [1] 冯增昭. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993: 198-221.

- [2] 应凤祥, 罗平, 何东博. 中国含油气盆地碎屑岩储集层成岩作用与成岩数值模拟[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 95-113.
- [3] Giles, M., Stevenson, S., Martin, S., *et al.* (1992) The Reservoir Properties and Diagenesis of the Brent Group: A Regional Perspective. *Geological Society*, **61**, 289-327. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1992.061.01.16>
- [4] 熊金玉, 关平, 韩定坤, 等. 江汉盆地白垩系储集层中硬石膏的成岩作用及其对油气分布的控制[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(1): 39-42.
- [5] 王卓卓, 梁江平, 李国会, 等. 成岩作用对储层物性的影响及与沉积环境的关系——以鄂尔多斯盆地劳山地区为例[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(2): 171-177.
- [6] 张顺存, 杨兆臣, 刘振宇, 等. 成岩作用对克百断裂下盘二叠系砂砾岩储层物性的控制作用研究[J]. 天然气地球科学, 2010(5): 755-761.
- [7] 孙萍, 罗平, 阳正熙, 等. 基准面旋回对砂岩成岩作用的控制——以鄂尔多斯盆地西南缘纳水河延长组露头为例[J]. 岩石矿物学杂志, 2009, 28(2): 179-184.
- [8] 罗忠, 罗平, 张兴阳, 等. 层序界面对砂岩成岩作用及储层质量的影响——以鄂尔多斯盆地延河露头上三叠统延长组为例[J]. 沉积学报, 2007, 25(6): 903-914.
- [9] 高志勇, 崔京钢, 冯佳睿, 等. 埋藏压实作用对前陆盆地深部储层的作用过程与改造机制[J]. 石油学报, 2013, 34(5): 867-876.
- [10] 周玉琦. 油气勘探的辩证思维和方法——从事油气勘探活动的心得体会[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(5): 545-551.
- [11] 邹才能, 陶士振, 周慧, 等. 成岩相的形成、分类与定量评价方法[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(5): 526-540.
- [12] 徐樟有, 魏萍, 熊琦华. 枣南油田孔店组一、二段成岩作用及成岩相[J]. 石油学报, 1994(S1): 60-67.
- [13] Zwingmann, H., Gaupp, R., Higgs, K., *et al.* (2008) Diagenesis Evaluation in Sedimentary Basins for Hydrocarbon Exploration. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **72**, A1109.
- [14] Jamesr, B. and Stepheng, F. (1979) Clay Diagenesis in Wilcox Sandstones of Southwest Texas: Implications of Smectite Diagenesis on Sandstone Cementation. *Journal of Sedimentary Petrology*, **49**, 55-70. <https://doi.org/10.1306/212F76BC-2B24-11D7-8648000102C1865D>
- [15] 嵇喜准, 王琪, 李娟, 等. 早期碳酸盐胶结作用对恩平凹陷珠江组砂岩孔隙演化模式的影响[J]. 天然气工业, 2013(4): 26-30.
- [16] Volkmar, Sc. and Davida, M. (1979) The Role of Secondary Porosity in the Course of Sandstone Diagenesis. *The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists (SEPM)*, **26**, 175-207. <https://doi.org/10.2110/pec.79.26.0175>
- [17] 张金亮, 司学强, 梁杰, 等. 陕甘宁盆地庆阳地区长 8 油层砂岩成岩作用及其对储层性质的影响[J]. 沉积学报, 2004, 22(2): 225-233.
- [18] 钟大康, 朱筱敏, 周新源, 等. 次生孔隙形成期次与溶蚀机理——以塔中地区志留系沥青砂岩为例[J]. 天然气工业, 2006, 26(9): 21-24.
- [19] Sujkowski, Zb.L. (1958) Diagenesis. *AAPG Bulletin*, **42**, 2692-2717. <https://doi.org/10.1306/0BDA5C09-16BD-11D7-8645000102C1865D>
- [20] Gregg, J., Howard, S. and Mazzullo, S.J. (1992) Early Diagenetic Recrystallization of Holocene (<3000 Years Old) Peritidal Dolomites, Ambergris Cay, Belize. *Sedimentology*, **39**, 143-160. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1992.tb01027.x>
- [21] 赵家祥, 聂锦芳, 张立波. 马克思主义哲学教程[M]. 北京: 北京大学出版社, 2004: 23-58.
- [22] 刘孟慧, 赵澄林. 储层成岩演化模式[M]. 东营: 石油大学(华东)出版社, 1989.
- [23] 李忠, 陈景山, 关平. 含油气盆地成岩作用的科学问题及研究前沿[J]. 岩石学报, 2006, 22(8): 2113-2122.
- [24] 冯娟萍, 李文厚, 欧阳征健, 等. 河流相和三角洲相储层成岩作用及其对储层的影响——以青化砭油田长 2 油层组和长 6 油层组砂岩为例[J]. 地球学报, 2008, 29(2): 189-198.
- [25] 杨剑萍, 聂玲玲, 张琳璞, 等. 柴达木盆地西南缘乌南油田新近系古地震纪录及储集性能研究[J]. 地质学报, 2008, 82(6): 805-812.
- [26] 陈丽华, 赵澄林, 纪友亮, 等. 碎屑岩天然气储集层次生孔隙的三种成因机理[J]. 石油勘探与开发, 1999(5): 77-79.
- [27] 王琪, 史基安, 薛莲花, 等. 碎屑储集层成岩演化过程中流体—岩石相互作用特征——以塔里木盆地西南坳陷地区为例[J]. 沉积学报, 1999, 17(4): 87-93.

- 
- [28] 杨晓萍, 赵文智, 邹才能, 等. 低渗透储层成因机理及优质储层形成与分布[J]. 石油学报, 2007(4): 57-61.
- [29] Saller, A.H., Dickson, J. and Matsuda, F. (1999) Evolution and Distribution of Porosity Associated with Subaerial Exposure in Upper Paleozoic Platform Limestones, West Texas. *AAPG Bulletin*, **83**, 1835-1854.  
<https://doi.org/10.1306/E4FD4279-1732-11D7-8645000102C1865D>
- [30] 王琪, 嵇喜准, 陈国俊, 等. 鄂尔多斯西部长 6 砂岩成岩演化与优质储层[J]. 石油学报, 2005(5): 21-27.

**知网检索的两种方式:**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ag@hanspub.org](mailto:ag@hanspub.org)