

Influence Factor Analysis about Compaction in Tight Sandstone

Yuqiang Li, Xin Li, Xue Yang, Shuxiao Shen

College of Earth Sciences, Northeast Petroleum University, Daqing Heilongjiang
Email: yunfeng4510@163.com

Received: Jun. 30th, 2015; accepted: Jul. 10th, 2015; published: Jul. 17th, 2015

Copyright © 2015 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

Abstract

There is compaction in any diagenesis stage; compaction is necessary in diagenesis process for tight sandstone. Analyzing compaction difference of sandstone from intrinsic factors (sedimentation), extrinsic factors (formation condition) and so on in this paper, sedimentation causes the difference in particle size, particle strength, particle brittleness and toughness in sandstone; sandstone porosity increases with particle size and particle strength increasing. And formation pressure is a significant factor to cause densification in sandstone; however, porosity changes fast in early diagenesis stage and changes slowly in medium and late diagenesis stage with pressure increasing; pore pressure, underground fluid, temperature, time and so on influence compaction in various degrees in compaction process.

Keywords

Tight Sandstone, Compaction, Porosity, Mineral Mechanics

致密砂岩压实效应影响因素分析综述

李宇强, 李 昕, 杨 雪, 沈舒晓

东北石油大学地球科学学院, 黑龙江 大庆
Email: yunfeng4510@163.com

收稿日期: 2015年6月30日; 录用日期: 2015年7月10日; 发布日期: 2015年7月17日

摘要

压实作用存在于成岩史的任何阶段,在致密砂岩的成岩过程中扮演着重要的角色。本文从砂岩内因(沉积)和外因(地层条件)两大方面多种因素分析砂岩压实效应的差异性,沉积作用造成砂岩颗粒大小、颗粒强度、脆韧性等差异,砂岩孔隙度随颗粒、强度增大而增大;地层压力是砂岩致密化主要原因,但随压力增加孔隙度存在早期速变阶段和中晚期的缓变阶段;在压实过程中,孔隙压力、地下流体、温度、时间等都对压实效应有不同程度的影响。

关键词

致密砂岩, 压实作用, 孔隙度, 矿物力学

1. 引言

致密砂岩储层具有岩性致密、低孔低渗、气藏压力系数低、圈闭幅度低、自然产能低等典型特征,研究致密砂岩致密化过程(压实、胶结等成岩作用)、寻找致密背景下的优质储层等,是石油地质和油藏工程人员普遍关心的问题。压实作用作为成岩作用的重要组成部分,它对孔隙演化和储层物性有极大的影响。大量研究表明,压实作用的发生可以使砂体的孔隙结构和分布发生极大的变化,从而导致孔隙空间的大幅缩减,有砂岩的压实减孔率甚至高达到 50%以上,孔隙流体在砂体中的流动能力也会因此而大大减弱,从而影响砂体的储集物性[1]-[6]。

人们对压实作用的共识是普遍认为压实作用,指沉积物沉积后在其上覆水层或者沉积层的重荷下,或在构造应力的作用下,发生水分排出、孔隙度降低、体积缩小的一种沉积后作用。但大量实际数据表明,研究区、埋深、岩性、地温场、应力场等不同时,地层的压实效应也不同,可见,碎屑岩的压实作用是个非常复杂、受多种因素影响的地质作用。本文从砂岩内因(沉积)和外因(地层条件)两大方面多种因素分析砂岩压实效应的差异性,分析砂岩压实过程和致密机制,为致密砂岩优质储层预测提供科学依据。

2. 影响砂岩致密效应的因素

砂岩在埋藏成岩过程中发生致密化,致密化程度取决于内外因两个方面,内因主要是指组成岩石颗粒的脆、韧性和颗粒大小,外因是指岩石外部环境主要指温度、围压、孔隙压力、地层流体性质、成岩时间等。

2.1. 矿物颗粒脆、韧性的影响

一般来说,含硬度大的颗粒矿物越多的岩石,强度越大,往往呈脆性变形,如石英颗粒;含硬度小的颗粒矿物越多的岩石,强度越小往往呈韧性变形(图 1),如碳酸盐矿物、粘土矿物。通过对松辽盆地大安油田扶余油层致密砂岩的岩芯进行测试分析,砂岩孔隙度与石英含量呈明显正相关;与长石含量关系不明显,主要是由于长石易受物理和化学等多种成岩作用的影响,无法产生一个单一的函数关系;砂岩成分中岩屑含量也相对较高,其中酸性火山岩岩屑占很大比例,其抗压性差,压实作用对其孔隙度变小,总体趋势是随岩屑含量增加而减小(图 2)。

2.2. 碎屑颗粒大小的影响

大量研究表明,碎屑岩物性与碎屑颗粒大小一般成正相关。大安油田扶余油层砂岩碎屑颗粒大小与

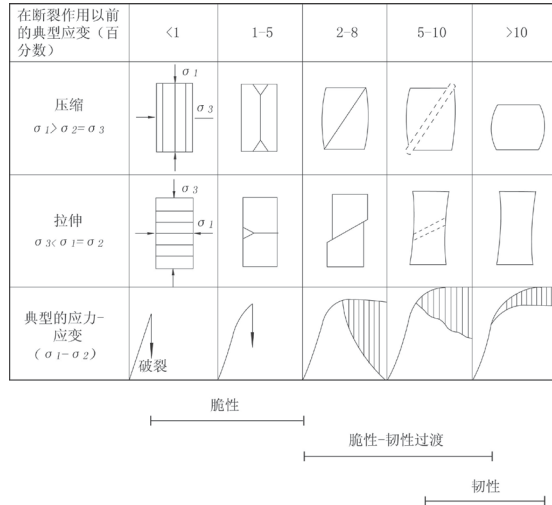


Figure 1. The schematic diagram of the changes of the performance from complete brittle to complete toughness
 图 1. 从完全脆性到完全韧性的性能变化示意图

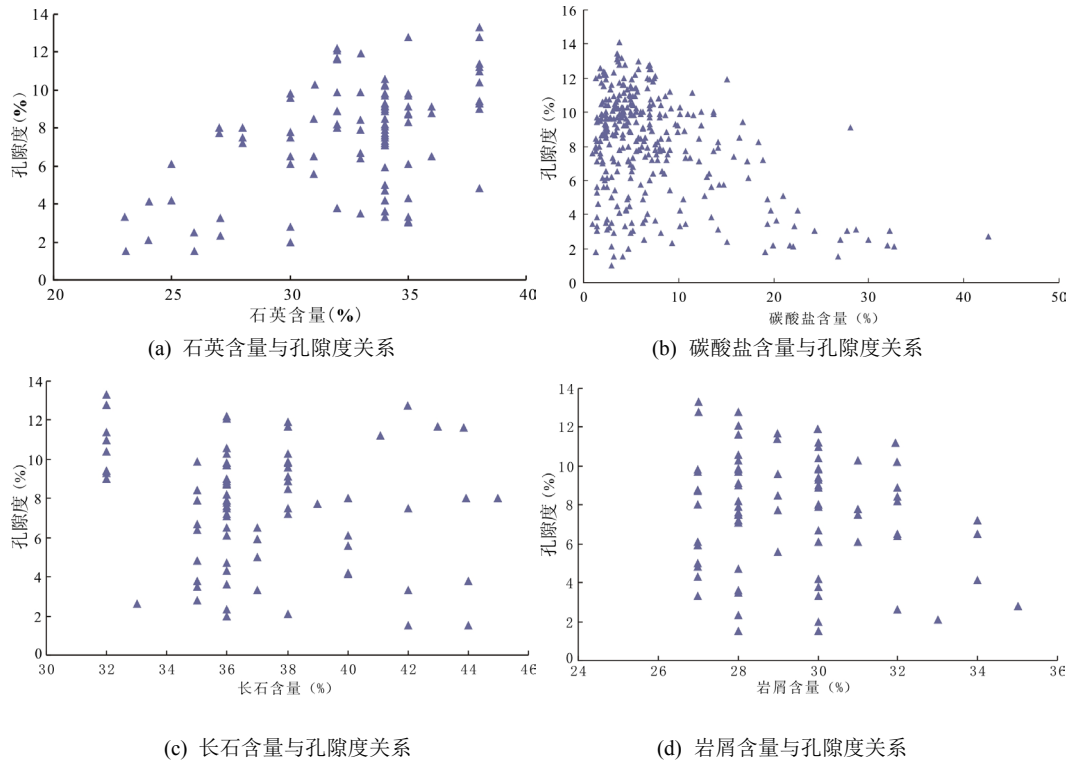


Figure 2. The relationship between the composition of different mineral particles and the porosity in Daan oil field
 图 2. 大安油田不同矿物颗粒成分与孔隙度关系

孔隙度关系明显(图 3), 这主要是由于在地层条件下, 颗粒支撑方式的砂岩主要是碎屑颗粒承受地层压力, 在压实过程中, 颗粒紧密排列后孔隙降低速率减小造成的。

2.3. 地层压力的影响

地层压力是地层深度的函数, 大量实验和地层数据表明, 随着埋深的增加, 地层压力增大, 压实作用导致孔隙度渗透率增加, 地层压力是影响压实作用的主要因素[7]。但砂岩机械压实过程中, 孔渗随深

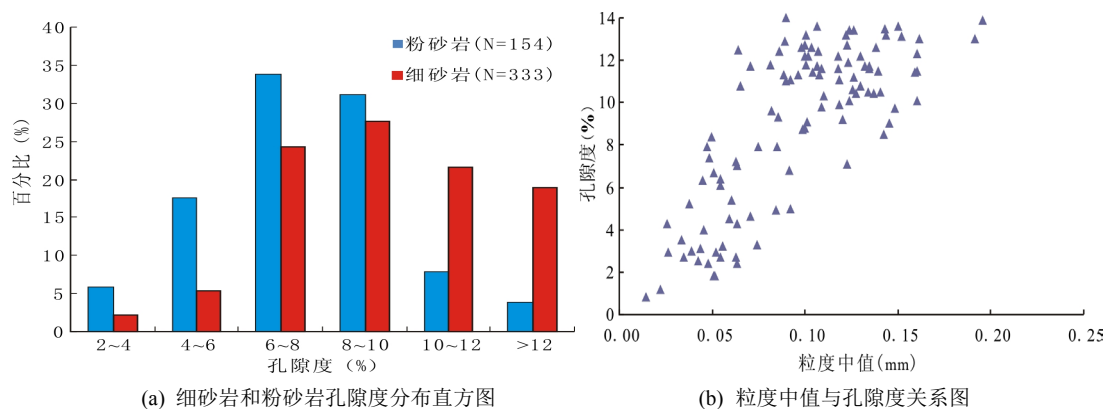


Figure 3. The actual relationship between the porosity of compact sandstone and the particle size of the Fuyu reservoir of Daan oil field

图 3. 大安油田扶余油层碎屑颗粒大小与砂岩物性关系

度变化具有分段性。压实作用初期，孔渗随深度快速减小，形成速变阶段，随后压实作用变慢，形成缓变阶段。这是由于在压实初期碎屑颗粒有一个位置调整的过程，在地层压力作用下，碎屑颗粒滑动、位移及转动来重新排列，达到一个位能最低的紧密堆积状态，这一过程就会出现孔渗的陡降。碎屑颗粒达到稳定堆积后，随着承载压力的继续增加，碎屑颗粒不会再发生以上变化，只是堆积的紧密程度进一步增加，孔隙降低速率减小。

2.4. 温度的影响

温度对压实作用有着不可忽略的影响，寿建峰等(2006)在中国油气盆地砂岩储层的成岩压实机制分析中提出热压实的观点[5]，本文将温度作为影响岩石物理性质的因素，进而影响了岩石的压实效应。在宏观上，即使是脆性较强的岩石和矿物颗粒，在高温下也会出现脆性降低，韧性增强；在微观上，温度升高加速的矿物颗粒内部原子和分子的热运动，使内部结构易于变形。D. F. Griggs (1951)在早期就对大理岩做过实验，当其他环境条件不变时，温度从室温增加到 150℃，大理岩的弹性极限从 2000 kgf/cm²降低为 1000 kgf/cm²，说明随着温度增加，岩石抗压强度降低，易于变形，致使岩石物性变差。

2.5. 围压的影响

因为垂向的地层压力的压缩作用，在横向上却产生向四周的张力，对于相邻的矿物颗粒而言，便起到了一种支持颗粒、反抗变形的作用。换言之，围压使矿物颗粒靠得更紧密，使岩石的强度极限提高。王仁等(1981)通过对白云岩进行不同围压下的压缩实验，也认为围压的存在使得岩石更难压碎。

2.6. 孔隙压力的影响

当岩层之间或者孔隙之间的各种溶液由于岩性致密而无法顺畅流通，孔隙压力会越来越大，甚至接近围压，并进而与孔隙外的力相互作用，使岩石屈服强度降低，从而易于变形。B. E. Hobbs (1976)用莫尔圆解释了这个原因(图 4)，图中圆 I 代表孔隙压力为零，稳定岩石内部的应力状态；圆 II 代表总应力与 I 相同，而孔隙压力上升 P 数量时，不稳定岩石中的应力状态，P 的数值用横坐标表示。当孔隙压力为零时，有效正应力就是总应力，在这种条件下岩石是稳定的；当孔隙压力逐渐增加到 P 时，而总正应力仍然保持不变，这时岩石所有截面上的有效正应力降低数量 P，但剪应力不变，结果是应力圆大小不变，却向左移动，从原来的 I 处移到 II 处，从而与莫尔包络线相交切，于是使岩石发生破裂。

2.7. 地下流体的影响

地下液体即溶液对压实作用的影响研究不是很深入，大部分人认为溶液主要影响化学成岩作用，对物理成岩作用影响较小，寿建峰等(2006)认为酸性溶液会对矿物颗粒产生溶蚀，从而产生溶孔，降低岩石抗压强度，称之为流体压实效应[5]。长期处于孔隙溶液使颗粒的内部分子活动性增强，岩石软化，韧性提高，而且不同溶液软化程度不同。

2.8. 作用时间的影响

在长期的地质历史时期中，时间对压实作用的影响是缓慢的，但又是不可缺少的和重要的，由岩体力学基本理论可知，在成岩史中蠕变效应总是存在的，换句话说，就是应变的时间效应，总体来说，其影响效果决定于时间的长短(图 5)，在第一阶段 AB 段中，岩石变形缓慢；在第二阶段 BC 段中，变形比较平稳；而在第三阶段 CD 段中，岩石加速变形，这也一定程度上反映时间越长，压实作用的时间效应(蠕变)越明显。

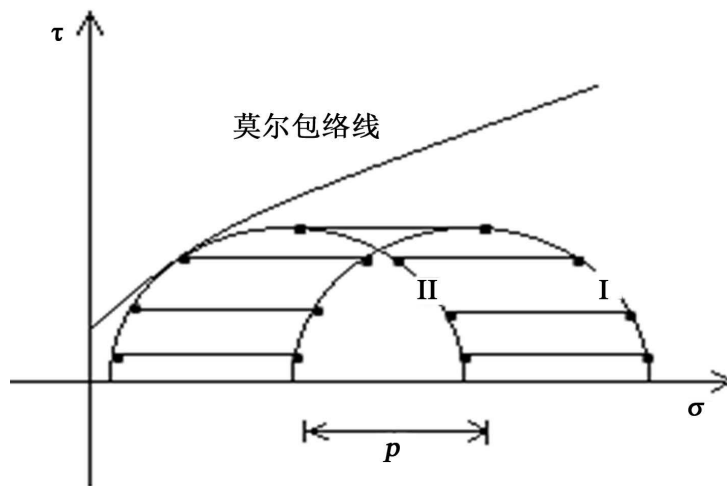


Figure 4. The Mohr's circle plotted by effective normal stress and relative shear stress (according to B. E. Hobbs, 1976)

图 4. 根据有效正应力和相对剪应力标绘的莫尔圆(据 B. E. Hobbs, 1976)

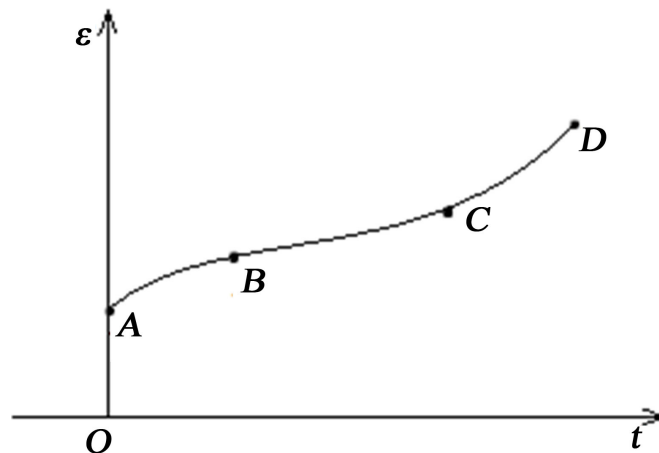


Figure 5. Creep curve of rock

图 5. 岩石蠕变曲线示意图

3. 结论

(1) 碎屑岩储层压实作用并非只是简单的机械作用, 而是一个复杂的过程, 其变化规律受多种因素的影响。

(2) 地层压力是影响压实作用的主要因素。压实作用初期存在孔渗随深度快速减小的速变阶段, 随后压实作用变慢, 形成缓变阶段。压力早期碎屑颗粒的重新排列, 趋于紧密堆积状态, 碎屑颗粒达到稳定堆积后, 只是堆积的紧密程度进一步增加, 孔隙降低速率减小。

(3) 碎屑岩在压实过程中也受到沉积因素、地下流体、作用时间等多种因素的影响, 通过分析这些因素, 可能从定性到定量的研究砂岩的压实效应。

基金项目

该题为东北石油大学(国家级)大学生创新创业训练计划项目(201410220016)部分研究成果。

参考文献 (References)

- [1] 刘明洁, 刘震, 刘静静, 等 (2014) 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组机械压实作用与砂岩致密过程及对致密化影响程度. *地质评论*, **60**, 655-665.
- [2] 邹才能, 朱如凯, 吴松涛, 等 (2012) 常规与非常规油气聚集类型, 特征, 机理及展望——以中国致密油和致密气为例. *石油学报*, **33**, 173-187.
- [3] 邹才能, 等, 著 (2011) 非常规油气地质. 地质出版社, 北京, 17.
- [4] 张峭楠 (2008) 致密天然气储层讨论: 成因和讨论. *石油与天然气地质*, **29**, 1-14.
- [5] 寿建峰, 张惠良, 沈扬, 等 (2006) 中国油气盆地砂岩储层的成岩压实机制分析. *岩石学报*, **22**, 2165-2170.
- [6] 刘震, 邵新军, 金博, 等 (2007) 压实过程中埋深和时间对碎屑岩孔隙度演化的共同影响. *现代地质*, **21**, 125-132.
- [7] 操应长, 蒯克来, 王健, 等 (2011) 砂岩机械压实与物性演化成岩模拟实验初探. *现代地质*, **25**, 1152-1158.