

文章编号:0253-9985(2001)02-0119-04

廊固凹陷河西务构造带深部碎屑岩储层特征*

王永新¹, 赵澄林²

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029;

2. 石油大学地球科学系, 北京 102200)

摘要:廊固凹陷河西务构造带深部碎屑岩储层以长石砂岩为主, 成分成熟度低、结构成熟度中等。深部地层成岩程度较深, 已进入晚成岩 A_1-A_2 亚期, 受成岩作用的影响, 储层总的演化趋势是物性变差。在 3 450~3 550 m 段普遍因长石和早、中期碳酸盐胶结物溶解而形成一个次生孔隙发育带, 有机酸脱羧而产生的流体溶解是次生孔隙形成的主要机制。次生孔隙以粒内溶孔-粒间溶孔组合为主, 孔隙结构以小孔低渗细喉型为主, 部分为中孔低渗细喉型和特低孔特低渗微细喉型。碳酸盐含量、沉积相带和成岩作用是影响储层物性的主要因素。平面上廊坊-韩村-北旺一带孔隙度最高, 属三角洲相沉积, 是河西务构造带深部储层的主要发育区。

关键词:碎屑岩; 深部储层; 孔隙结构; 廊固凹陷; 河西务构造带

第一作者简介:王永新, 男, 27岁, 博士生, 储层沉积学及盆地模拟

中图分类号: P618.130.2⁺1

文献标识码: A

研究区内孔店组以棕红、紫红、深灰色泥岩与浅灰色砂岩、杂色砂砾岩不等厚互层为主, 属典型的滨浅湖亚相沉积。沙河街组四段(以下简称沙四段)从下往上颜色由浅变深, 由紫红和浅灰色变为灰、深灰色, 岩性由粗变细, 岩芯中见较丰富的介形虫类化石和生物扰动构造, 砂岩中有交错、平行、波状、斜波状层理等, 偶夹薄煤层, 属滨浅湖-三角洲相沉积, 或滩坝亚相沉积。

砂岩成分以石英为主, 长石次之, 富含暗色矿物及喷出岩岩屑和变质岩岩屑, 岩石类型以长石砂岩为主, 次为岩屑长石砂岩。颗粒分选中等-好, 呈次棱-次圆状, 为点-线接触, 胶结物主要为碳酸盐, 次为硫酸盐及粘土矿物等, 属孔隙-接触式胶结, 其粒度概率曲线为二段式或二段过渡式, 单层厚度 1~3 m, 普遍较薄。

孔店组-沙四段地层成岩程度较深, 大部分已进入晚成岩 A_1-A_2 亚期, 主要成岩事件有机机械压实作用, 碳酸盐胶结作用, 交代作用和不稳定组分的溶蚀溶解作用等。压实作用进行的较早, 从早成岩阶段开始一直可进行到晚成岩阶段 A 亚期, 碳酸盐矿物的胶结作用, 石英和长石的次生加大, 方

解石交代石英、长石及其加大边, 长石、岩屑及部分碳酸盐胶结物溶蚀和溶解形成次生溶孔, 部分次生溶孔被(含)铁方解石、铁白云石所充填。根据成岩作用特征又可划分出3种主要成岩相, 即压实固结成岩相, 碳酸盐矿物胶结成岩相和不稳定组分溶蚀、溶解成岩相, 其中以不稳定组分溶蚀、溶解成岩相对深部储层的形成最为有利。

1 特征

1.1 储集空间

1.1.1 原生

原生储集空间绝大多数是经压实和(或)胶结作用后缩小的残余粒间孔隙, 由于成岩作用强烈, 这类孔隙保存少且孔径较小, 呈不规则的外形。

1.1.2 次生

次生储集空间主要包括溶蚀孔隙和次生裂缝, 是深部碎屑岩储层的主要储集空间。

溶蚀孔隙包括粒间溶孔、粒内溶孔、铸模孔、超粒大孔隙等。(1)粒间溶孔又可分为正常粒间溶孔和扩大的粒间溶孔两类。正常粒间溶孔是粒间碳酸盐等胶结物发生溶解但边缘无明显溶蚀现象, 孔隙中可见未被完全溶蚀的碳酸盐等粒间胶结物残余呈分散状分布; 扩大粒间溶孔是粒间胶结物与颗粒边缘本身或其交代物同时溶解形成的, 最大可达 0.1 mm 以上。(2)粒内溶孔是岩石颗粒组分内部

* 中国石油天然气集团公司九五科技工程项目部分成果 (970206)

收稿日期: 2000-10-11

分溶解而形成的以长石、不稳定岩屑等颗粒内溶孔为主,粒内溶孔可以呈孤粒状产出,亦可大量成群出现使颗粒呈“蜂窝状”或“网状”。当溶解作用很强烈时,颗粒全部溶解形成铸模孔,在中细砂岩中可见长石颗粒完全溶解后形成铸模孔,这种孔隙数量较少,亦常与其它溶蚀型孔隙共生。(3)超粒大孔隙指孔隙明显大于周围的颗粒(若干倍),它是沉积固结后一些可溶性碎屑颗粒连周围基质大量溶解而形成的大型孔隙。

次生裂缝包括泥屑层间收缩缝及砂砾岩中的粒内裂缝。泥屑层间收缩缝,一般延伸不远,其特点是绕颗粒而过,断续分叉,边缘不光滑。粒内裂缝是较大颗粒在成岩过程中经压实脆性破裂时形成的,它们无方向性,缝细,延伸范围小。

受成岩作用的影响,储集层中原生孔隙较少,受后期改造的次生孔隙占主导地位,其中3450~3550 m段普遍存在一个次生孔隙发育带,孔隙度10%~18%。平面上务10-务22井一带孔隙度最高,垂向上,上部多为硅酸盐矿物溶解的次生溶孔,部分为早、中期碳酸盐胶结物溶解的次生溶孔,而下部则以早、中期碳酸盐胶结物溶解的次生孔隙为主。原生孔隙到早成岩A阶段基本上达到了不可压缩的阶段,当成岩阶段进入晚成岩A₁亚期时,有机质逐渐成熟,有机酸开始脱羧产生有机溶剂,同时由于离子作用使有机酸形成H⁺和有机酸根离子^[1],这些物质随着水溶液向压力低的砂岩孔隙中迁移,有机溶剂与Al³⁺形成络合物,增加了Al³⁺活度,促使长石溶解,由于溶液呈酸性,使部分碳酸盐胶结物也溶解,但是有机酸对孔隙流体的pH值有缓冲作用,一般pH值在5~6之间,虽然这时CO₂仍大量生成,但CO₂浓度的提高并不能使pH值继续降低,反而使反应朝着生成碳酸盐沉淀物的方向

进行,因此该阶段次生孔隙多为长石溶解产生的,也有少量是碳酸盐胶结物溶解而形成的,这个阶段甚至存在长石溶解和碳酸盐沉淀并存的现象,在晚成岩A₂亚期,有机质逐渐被消耗掉,CO₂的分压逐渐增加,这时孔隙流体的酸碱度由CO₂来控制,使得碳酸盐胶结物溶解形成大量次生孔隙,其次才为长石溶解而带来的次生孔隙。

1.2 组合型式

根据储集空间的分布特征,可归纳出3种孔隙组合类型,即粒内溶孔-粒间溶孔型、粒间溶孔-粒缘溶孔型和原生粒间孔-少量其它孔隙型。

粒内溶孔-粒间溶孔组合中粒内溶孔发育,主要为长石及少量岩屑粒内孔,部分溶解成铸模孔及超粒孔,另有部分粒间溶孔,总体表现为中、低孔低渗特点。

粒间溶孔-粒缘溶孔组合中粒间溶孔发育,由溶蚀作用形成的粒缘缝较为发育,另有少量粒内孔,少见铸模孔和超粒孔。该组合总体表现为低孔低渗特征。

原生粒间孔-少量其它孔隙组合中孔隙最不发育,只见极少量的残余粒间孔及粒内微孔,物性最差,表现为特低孔特低渗的特点。

次生孔隙发育带中主要为粒内溶孔-粒间溶孔,次为粒间溶孔-粒缘溶孔。

1.3 孔、喉结构

由于深部储层的储集空间以次生溶孔为主,分布较均一,所以压汞资料能较客观的反映储层孔隙结构特征。本区压汞资料(表1)显示深部砂岩储层物性较差,其孔喉半径值较小,喉道较细,属小孔低渗细喉型储层,部分样品为低孔特低渗微细喉型和中孔低渗细喉型。

表1 河西务构造带务10井深部砂岩储层压汞资料

Table 1 Mercury-injection data of sandstone reservoirs from 10 Well of Hexiwu structural belt

深度/m	层位	孔隙度/%	渗透率/ 10 ⁻³ μm ²	中值压力/ MPa	排驱压力/MPa	喉道平均半径/μm	分选系数	评价级别
3462.80	Es ₄	15.60	27.80	0.263	0.131	8.989	22.46	中孔低渗细喉型
3463.55	Es ₄	13.60	11.70	0.447	0.199	6.937	19.15	小孔低渗细喉型
3464.05	Es ₄	15.00	25.60	0.276	0.134	8.684	21.47	小孔低渗细喉型
3465.50	Es ₄	13.20	7.00	0.445	0.216	9.980	30.79	小孔特低渗细喉型
3465.90	Es ₄	12.10	34.80	0.336	0.336	4.385	16.80	小孔低渗微细喉型
3466.30	Es ₄	11.10	3.40	0.730	0.250	8.408	31.01	小孔特低渗细喉型
3505.99	Es ₄	4.5	<0.1	-	11.59	6.740	29.70	低孔特低渗细喉型
3645.70	Es ₄	13.00	2.50	1.441	0.429	3.555	18.01	小孔特低渗微细喉型

从孔隙图像分析结果来看,深部砂岩储层喉宽一般5~20 μm,孔径一般30~75 μm,属分选较好

的中孔低渗细喉、小孔低渗细喉型储层。喉道半径大小比孔隙半径大小对渗透率的影响大, 孔隙、喉道的绝对大小与孔隙度无关, 它们的分选系数与孔隙度的关系也不明显(图1)。

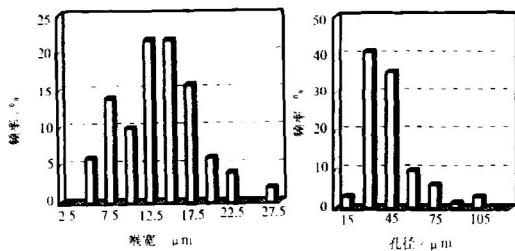


图1 河西务构造带沙四段砂岩孔喉半径分布图

Fig.1 Distribution Showing pore-throat radius of sandstones in Sha-4 member, Hexiwu structural belt

2 主要影响因素

2.1 沉积相带

大量统计资料表明, 河西务构造带下第三系深部砂岩的沉积微相是影响物性的最基本的因素, 不同的沉积体和不同的沉积相带储层往往有不同的物性参数, 只有具有有利沉积相带的砂体才能发育较好的次生孔隙带。河西务构造带沙四段主要为滨浅湖亚相、三角洲相和滩坝相, 在研究区内三角洲前缘亚相水下分支河道砂体、滩坝砂体与其它砂体类型相比, 结构成熟度较高, 杂基含量少, 原生孔隙较多, 加之临近廊坊生油洼陷, 砂岩中的碎屑成分多以长石为主, 又富含碳酸盐胶结物, 在酸性地层水溶液作用下, 不稳定组分如长石、碳酸盐胶结物等溶解形成大量次生孔隙, 因此这些相带是最有利的储层发育区。

2.2 成岩作用

河西务构造带下第三系深部储层的成岩作用中主要以压实作用、胶结作用和溶解作用对储层物性的影响最为明显。

机械压实作用和胶结作用是破坏原生孔隙的重要原因, 压实作用与上覆地层厚度、埋藏深度、埋藏时间、岩石骨架颗粒粒级大小、成分及其物理、化学上的稳定性、填隙物含量以及构造应力作用强弱和有无异常高压存在等因素有关。胶结作用包括碳酸盐、硫酸盐、石英和长石次生加大、黄铁矿和各种自生粘土矿析出, 它们对孔隙及喉道大小有重要影响, 使孔隙和渗透性变差, 尽管胶结作用破坏了储层的储集空间, 但它也在一定程度上抑制了压实作用, 并

为后期酸性地层水的溶解作用打下了物质基础。

在埋藏过程中, 随有机质的热成熟向有机酸转变过程中, 不仅能形成脱羧作用, 而且还具有离析作用, 使有机酸形成 H^+ 离子和有机酸根离子^[1], 这些离子进入砂岩孔隙中, 不仅溶解原始沉积的碳酸盐胶结物, 同时也溶解长石等碎屑, 被溶解的 Ca^{2+} 等被搬运到砂岩顶部又沉淀下来形成砂岩钙质顶层。这种随着孔隙水性质的变化, 易溶组分被溶解而形成的次生溶孔是深部储层最主要的储集空间。

2.3 碳酸盐含量

砂岩中碳酸盐含量与储层物性关系比较密切, 二者呈负相关(图2A), 这是因为深部砂岩储层以次生孔隙作为主要储集空间, 而这种次生孔隙的形

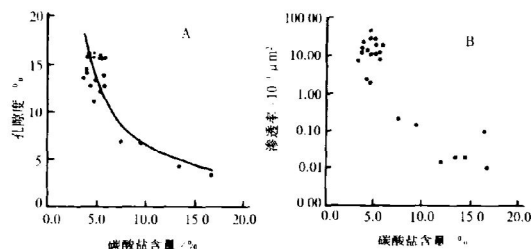


图2 河西务构造带深部储层碳酸盐含量与孔、渗关系图

Fig.2 Relationship between carbonate content and porosity-permeability of deep-buried reservoirs in Hexiwu structural belt

成与碳酸盐组分的多少密切相关, 含量过高, 成岩流体不能使其有效溶解, 含量过低, 则不能为形成足够的溶蚀空间提供足够的物质基础。目的层段砂岩中碳酸盐矿物胶结作用普遍, 并以方解石、(含)铁方解石和铁白云石为主, 其中可分为早、中、晚三期。早期碳酸盐胶结物多以微晶、细晶的方解石为主, 呈自形、半自形晶粒状充填粒间孔隙中, 或在粒表胶结砂岩; 中期以晶粒较粗的方解石为主, 呈连晶式(或近连晶)形式胶结砂岩, 交代作用较弱; 晚期以粗粒为主, 主要为(含)铁方解石、铁白云石等, 多呈分散状充填剩余孔隙和裂隙之中, 形成于石英次生加大之后, 胶结、交代作用强烈, 常见交代长石、石英、岩屑等。从形态上看, 铁白云石较铁方解石具更完善的晶形, 从数量上看, 晚期碳酸盐胶结物不如前两期那么多。早、中期碳酸盐胶结物受后期溶解作用的影响而形成次生孔隙, 因此它们对次生孔隙的形成起建设性作用, 而晚期形成的铁方解石和铁白云石充填先前形成的次生孔隙, 因此它们对次生孔隙的形成起破坏作用。当碳酸盐含量超过6%时, 岩石

渗透率急剧降低(图2B)。当孔隙度变化位于5%~16%之间时,最适合的碳酸盐含量是3%~8%。

3 有利储层发育区

河西务构造带下第三系深部砂岩储层孔隙度与渗透率具明显的正相关(图3),即孔隙度越大,

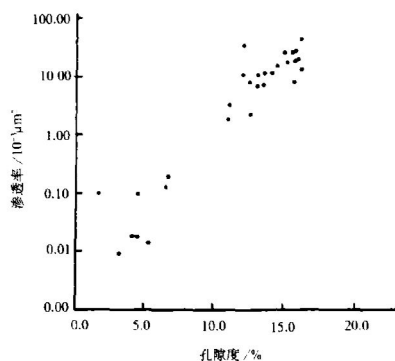


图3 河西务构造带深部储层孔隙度与渗透率关系图

Fig.3 Relationship between porosity and permeability of deep-buried reservoirs in Hexiwu structural belt

渗透率也越大,说明深部砂岩储层的孔隙主要为次生孔隙,连通孔隙为渗透率的主要贡献者,其物性相对较均一。深部砂岩储层的渗透率与泥质含量呈负相关,当泥质含量增加时,渗透率急剧下降。

从平面上看,就廊固凹陷而言,西南部的牛北斜坡构造带的孔隙度最高,可高达25%~30%,但对于河西务构造带的沙四段储层,则廊坊-韩村-北旺一带(务10-务22井)的孔隙度最高(图4),

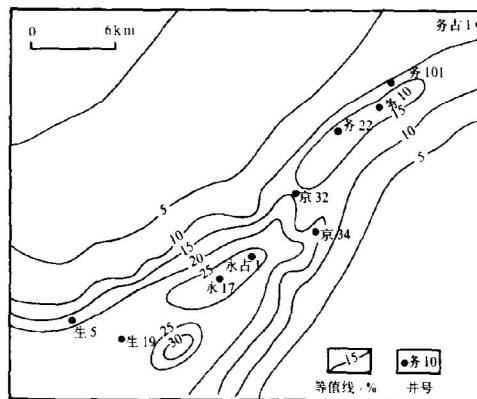


图4 廊固凹陷沙四段孔隙度等值线图

Fig.4 Porosity isogram of Sha-4 member in Langgu Depression
约为15%~20%,是该构造带主要储集层发育区,属三角洲相沉积。

参考文献

- 1 徐北煤,卢冰. 硅质碎屑岩中碳酸盐胶结物及其对储层的控制作用研究[J]. 沉积学报, 1994, 12(3): 56~65

CHARACTERS OF DEEP-BURIED CLASTIC RESERVOIR ROCKS IN HEXIWU STRUCTURAL BELT OF LANGGU DEPRESSION

Wang Yongxin¹, Zhao Chenglin²

(1. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing;

2. Department of Geosciences, Petroleum University, Beijing)

Abstract: Deep-buried clastic rock reservoirs in Hexiwu structural belt of Langgu Depression mainly consist of feldspathic sandstone with low compositional maturity and middle textural maturity. The deep clastic rocks are in late diagenesis stage (A_I-A_{II}), the physical property of the reservoirs become much more worse. A secondary pore belt developed in the section. From 3 450 m to 3 550 m, intragranular and intergranular solution pores developed well, thus forming available reservoirs. fluid solution caused by decarboxylation of organic acid was the major formation mechanism of secondary pores at the deep section. Pore structure is mainly characterized by small pore-low permeability-fine throat. The content of carbonate, sedimentary facies and diagenesis are the principal factors affecting the physical property of the reservoirs. The porosity of reservoirs in Langfang, Hancun and Beiwang is the highest in Hexiwu structural belt. These places are favourable for the development of the reservoirs.

Key Words: clastic rock; deep-buried reservoirs; pore structure; Langgu Depression; Hexiwu structural belt