

伊通地堑岔路河断陷储层成岩演化史与成岩模式

魏忠元¹, 姚光庆¹, 何生¹, 周锋德¹, 赵志魁², 江涛², 苗洪波²

1. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

2. 中石油吉林油田分公司, 吉林松原 130087

摘要: 依据岔路河断陷大量的岩心、薄片、扫描电镜、X衍射等资料, 详细研究了岔路河地区储集层特征及成岩作用类型。按照成岩阶段划分标准, 将成岩阶段分为早成岩 A 期和 B 期, 晚成岩 A 期和 B 期, 其中晚成岩 A 期又分为 A1 和 A2 两个亚期; 运用 BasinMod 软件对主要构造部位进行埋藏史和热史的分析, 并结合孔隙演化史的研究, 分析了储层成岩演化过程。结果显示, 在 30 Ma 以前, 储层以压实和胶结作用为主, 下部的双阳组和奢岭组孔隙度从 32% 左右下降至 15% 左右, 上部的永吉组和万昌组孔隙度从 32% 左右下降至 20% 左右。在 30~10 Ma, 各地层都沉降至最大埋深, 较深部的双阳组和奢岭组砂岩中长石大量溶解, 孔隙度增加至 18% 左右, 为油气储存提供了良好的孔隙空间, 永吉组和万昌组孔隙度变化不大。在充分考虑了岔路河地区的埋藏史、有机质热演化史、成岩作用演化史以及岩石类型与沉积相等影响因素的基础上, 建立了该断陷的 3 种成岩模式: 冲积扇成岩模式、扇三角洲成岩模式和半深湖—深湖相成岩模式。

关键词: 伊通地堑; 岔路河断陷; 成岩作用; 孔隙演化; 成岩模式。

中图分类号: P618.130.2

文章编号: 1000-2383(2008)02-0227-08

收稿日期: 2007-05-26

Diagenetic Evolution and Mode in the Chaluhe Faulted Depression Reservoir, Yitong Graben

WEI Zhong-yuan¹, YAO Guang-qing¹, HE Sheng¹, ZHOU Feng-de¹,
ZHAO Zhi-kui², JIANG Tao², MIAO Hong-bo²

1. Faculty of Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Jilin Oil Company Branch, CNPC, Songyuan 130087, China

Abstract: The characteristics and diagenetic types of Chaluhe reservoir were studied in terms of the data of drill cores, slices, scanning electron microscopy, X-ray diffraction. According to the criterion of division, the diagenetic phases are divided into early diagenetic A stage, B stage, and late diagenetic A stage and B stage, and the late diagenetic A stage is divided into A1 stage and A2 stage. By using the software of BasinMod, the burial history and thermal history of the primary structure were analyzed, and combined with the result of porosity evolution history, the reservoir diagenetic evolution was studied. The result is: before 30 Ma, the primary diagenesis was compaction and cementation. The porosity in the formation of Shanyang and Sheling reduced to 15% from 32% approximately, and that of Yongji and Wanchang reduced to 20% from 32% approximately; During the period of 30 Ma and 10 Ma, all the formations had been buried to the deepest depth and the feldspars in the sandstone formations of Shuangyang and Sheling began to dissolve, which caused the porosity to increase to 18%, providing space for the storage of oil and gas; but the porosity unchanged in the formation of Yongji and Wanchang during this period. Three diagenetic modes (alluvial fan, fan-delta, deep and half-deep lacustrine facies) are built in Chaluhe fault depression based on the study of burial history, thermal evolution history of organic, diagenetic evolution history, the rock type and sedimentary facies.

Key words: Yitong graben; Chaluhe fault depression; diagenesis; porosity evolution; diagenetic mode.

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司吉林油田公司重点项目“伊通盆地构造、沉积及油气成藏综合评价”(No. 2006026157)。

作者简介: 魏忠元(1977—), 男, 博士, 主要从事油气田开发研究。E-mail: wzy_cn2002@163.com

成岩作用是指沉积物形成以后,从沉积物到沉积岩形成后直至遭受风化或变质前,这一漫长阶段内所发生的各种物理、化学及生物变化(余素玉和何镜宇,1989)。砂岩的成岩作用在埋藏演化过程中对于其孔隙度和渗透率的产生、破坏和改造起关键作用(Cowan, 1989; Dixon *et al.*, 1989; Worden *et al.*, 1998; Alaa *et al.*, 2000; 罗静兰等, 2001)。近年研究发现伊通地堑岔路河断陷中深部是重要的含油气层位,但储层非均质性很强,相变快,目前暂未发现较大产能的油气井,因此在岔路河断陷能否找到和明确优质储层成为生产研究迫切需要解决的问题。本文根据岔路河断陷的大量薄片、扫描电镜、粘土矿物等资料对其成岩作用的类型进行研究,定量划分了储层的成岩阶段,并结合地层的成藏演化史和孔隙演化史,分析了成岩作用的过程,建立了该区储层的成岩模式,为油田的合理开发提供地质依据。

1 研究区地质背景

伊通地堑位于吉林省长春市和吉林市之间,呈 NE45° 方向延伸,长 140 km,宽 12~20 km,面积 2 200 km²。在构造上处在佳木斯—依兰地堑的东辽河断裂和第二松花江断裂之间,属佳—伊地堑的南段,由南向北为莫里青断陷、鹿乡断陷和岔路河断陷(图 1)(赵国泉等, 2004; 何玉平等, 2006)。

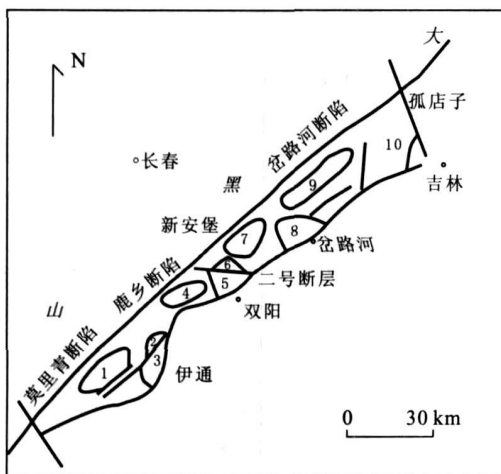


图 1 伊通地堑构造简图

Fig. 1 Simplified structure map of Yitong graben

1. 靠山凹陷; 2. 马鞍山断阶; 3. 尖山隆起带; 4. 大南凹陷; 5. 五星构造带; 6. 梁家构造带; 7. 新安堡凹陷; 8. 万昌构造带;
9. 波太凹陷; 10. 孤店斜坡带

岔路河断陷是该地堑内最大的断陷,面积 1 350 km²,分为梁家构造带,新安堡凹陷,万昌隆起带,波太凹陷,孤店斜坡带 5 个次一级构造单元。岔路河断陷主要为古近系和新近系沉积,断陷内古近系底部古新统缺失,自下向上为始新统双阳组、奢岭组和永吉组、渐新统万昌组和齐家组,古近系厚 2 000~5 000 m;新近系为中新统岔路河组,以角度不整合覆盖于古近系沉积之上(周永胜等, 1995; 赵国泉等, 2004)。

据偏光显微镜对其进行系统观察和统计,岔路河断陷储层主要以长石砂岩和岩屑长石砂岩为主,具有较高的成分成熟度和较低的结构成熟度的特点。石英在双阳组含量最高,双三段、双二段和双一段分别为 54.9%、54.9%和 51.3%;长石含量在万二段含量最大,为 43.3%,长石粒内、粒缘溶蚀现象较为多见;岩屑主要为花岗岩岩屑、中酸性喷出岩岩屑,少量变质岩岩屑,在永吉组含量最高,永一和永三分别为 34.5%和 27.3%(表 1)。结构成熟度中等偏差,常见不等粒砂状结构,分选和磨圆较差,胶结物主要为泥质,少量微晶碳酸盐,亮晶方解石和硅质胶结物较少。从统计结果来看,该地区长石含量普遍偏高,有利于次生孔隙的形成,但由于低的岩石成分成熟度,储层压实作用普遍较强。

2 成岩作用类型及特征

通过对岔路断陷 25 口取心井普通薄片、铸体薄片的镜下观察及扫描电镜、X 衍射等资料的研究,碎屑岩成岩作用类型主要有机械压实(压溶)作用、胶结作用、溶解作用和交代作用。

(1) 压实作用:其主要表现为塑性形变、脆性形变及压裂缝,随着深度的增加,压实作用增强,压实类型也从粒间压实逐渐过渡为粒内压实,其碎屑颗粒之间的接触关系类型从点状接触逐渐过渡为线性接触,其孔隙度从大于 10% 下降到约 2%。当深度大于 2 100 m 时,在颗粒接触点上会发生压溶作用,可使颗粒进一步呈凹凸状接触(图 2a)。

(2) 胶结作用:储层中孔隙度和渗透率衰减的重要因素。本区常见的胶结物有二氧化硅、碳酸盐和粘土矿物等。胶结作用有以下 3 种:①二氧化硅胶结作用:它是最常见的胶结方式,主要在双阳、奢岭和永吉组的长石石英砂岩、岩屑石英砂岩、石英砂岩中。

表 1 岔路河断陷储层岩石成分

Table 1 Sandstone components in Chaluhe fault depression

| 层位 | 石英含量(%) | 长石含量(%) | | | 岩屑含量(%) | | |
|-----|---------|---------|------|------|---------|------|-----|
| | | 长石总量 | 钾长石 | 斜长石 | 岩屑总量 | 火山岩 | 变质岩 |
| 万二段 | 39.9 | 43.3 | 42.2 | 1.1 | 15.2 | 13.7 | 1.1 |
| 万一段 | 43.3 | 36.1 | 32.1 | 4.0 | 6.3 | 5.9 | 0.4 |
| 永四段 | 38.4 | 34.8 | 34.5 | 0.3 | 17.5 | 17.4 | 0.0 |
| 永三段 | 34.8 | 36.3 | 36.3 | 0.0 | 27.3 | 25.5 | 1.8 |
| 永二段 | 46.2 | 35.8 | 29.9 | 5.9 | 16.2 | 15.6 | 0.6 |
| 永一段 | 34.4 | 31.1 | 31.1 | 0.0 | 34.5 | 33.2 | 1.3 |
| 奢一段 | 44.4 | 32.0 | 26.9 | 5.1 | 10.2 | 9.4 | 0.8 |
| 双三段 | 54.9 | 31.1 | 31.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 双二段 | 54.9 | 30.2 | 14.7 | 15.5 | 10.4 | 5.4 | 5.4 |
| 双一段 | 51.3 | 32.2 | 32.2 | 0.0 | 8.9 | 8.9 | 0.0 |

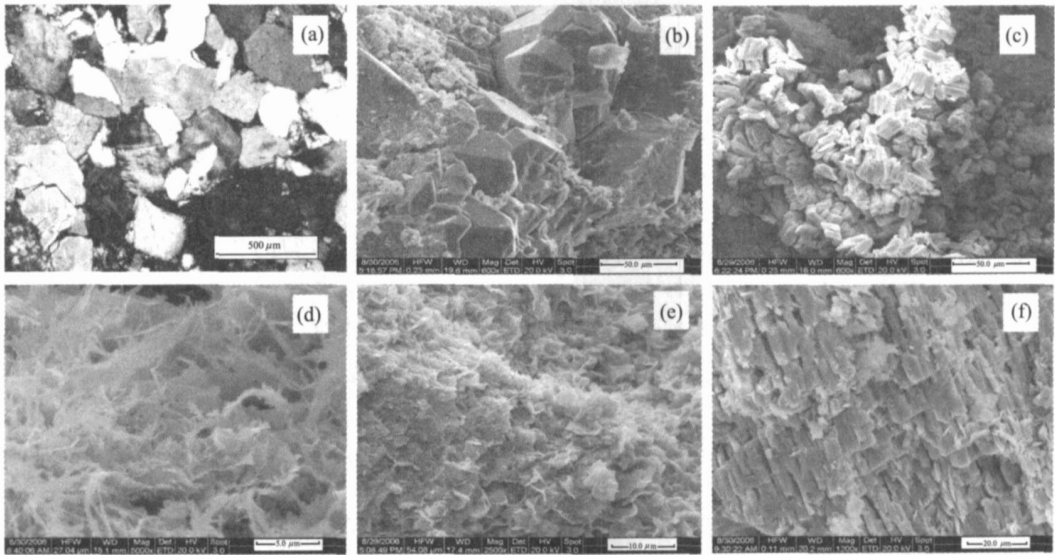


图 2 各类成岩作用

Fig. 2 The types of diagenesis

a. 颗粒凹凸接触及压裂缝, 昌 30 井, 2232.4 m(× 10); b. 石英次生加大, 昌 10 井, 1884.0 m(× 600); c. 书页状高岭石集合体, 昌 12 井, 3 035.3 m(× 600); d. 丝缕状伊利石, 昌 12 井, 3 709.0 m(× 5000); e. 针叶片状绿泥石, 昌 12 井, 3 031.78 m(× 2 500); f. 长石溶蚀, 昌 13 井, 2 356.08 m(× 1 200)

其形成的自生石英有粒间充填型和石英(次生)加大两种基本类型. 粒间充填型的特点是二氧化硅胶结物充填在原生孔隙中. 从扫描电镜分析来看, 本区石英次生加大存在多期石英加大, 一部分为少量的石英颗粒表面沉淀有 SiO₂ 物质, 另一部分在石英颗粒表面结晶形成石英加大边, 还有一部分生成自生石英颗粒充填孔隙. 石英次生加大作用改变了储层的孔隙结构, 使储层的粒间点状喉道变为片状喉道, 大大降低了储层的渗透率(图 2b). ②碳酸盐胶结作用: 它是影响储层物性的重要因素(Sylvia *et al.*, 2000; 寇福德等, 2005; 李相明等, 2005). 该区碳酸

盐胶结物比较单一, 以方解石为主, 主要分布在粒间. 从昌 30 井的碳酸盐含量分布来看, 方解石可分为两期: 早期方解石出现在 900 ~ 1 600 m 处, 它们充填在原生孔隙中. 它的出现可以抑制早期压实作用, 同时也为次生溶解作用准备了易溶物质(何玉平, 2006). 晚期方解石主要发育在 1 900 ~ 2 600 m 处. ③粘土矿物胶结作用: 根据岔路河断陷的扫描电镜和粘土矿物 X 衍射资料分析, 粘土矿物主要为高岭石、伊利石、绿泥石及伊/蒙混层矿物, 蒙皂石很少见. 粘土矿物以薄膜状包裹在碎屑颗粒表面或充填在碎屑粒间孔隙中. 自生高岭石多呈假六方板状集

合体,在 1 600 m 和 2 600 m 左右出现两个峰值,常见于长石颗粒溶孔或粒间孔隙中(图 2c).伊利石和绿泥石都在第一迅速转化带之后逐渐增加,伊利石多为丝状、毛发状,呈搭桥和网状形式充填在颗粒间(图 2d),绿泥石多为针叶片状充填于孔隙中(图 2e).砂岩中的伊/蒙混层随深度的增加而减少,在 2 600 m 左右又逐渐增加.

(3)交代作用:从岔路河断陷的 25 口井 600 块薄片分析结果来看,本区常见的交代作用有石英或长石等碎屑颗粒被碳酸盐(主要为方解石)、粘土矿物和云母所交代.粘土矿物和泥质交代约占 20%,灰质碳酸盐交代约占 80%.方解石的交代作用主要从 1 500 m 开始,在 2 400 m 和 3 000 m 左右处交代强烈,被交代的石英、长石颗粒边缘呈锯齿形或残骸状.控制这一交代作用的主要因素是温度和 pH 值(邱隆伟等, 2002).在富含粘土基质的岩石中,有时可见到粘土矿物对碎屑颗粒的交代作用,主要是石英、长石被伊利石或高岭石交代,这一交代作用往往在碱性环境下出现,因为在这一环境下石英、长石不稳定(刘招君, 2003; 王京等, 2006).

(4)溶解作用:溶解(溶蚀)作用往往能改善储层(特别是深层)的性质,可以增加储集层的储集空间.本区长石的溶解现象常见,多发生在双阳组和奢岭

组的储层中,多沿解理、破裂缝发生溶解而形成蜂窝状粒内溶孔(图 2f).

3 粘土矿物转化与成岩阶段的划分

根据伊/蒙混层中蒙皂石含量(S),将储层分为几个成岩转化带:在深度 < 700 m 时, $S > 70\%$,属于有序的蒙皂石带;深度在 700~1 600 m, S 在 70%~50%之间,是蒙皂石渐变带;深度在 1 600~2 600 m, S 在 50%~35%之间,定为第一迅速转化带;深度在 2 600~3 400 m, S 在 35%~15%之间,划为第二迅速转化带;深度 $> 3 400$ m 时, $S < 15\%$,划为第三迅速转化带.

结合自生矿物组合、粘土矿物分布、孔隙类型和有机质热成熟度等指标对岔路河断陷的成岩阶段进行了划分(图 3).

早成岩 A 期:该成岩阶段蒙皂石含量高, $S > 70\%$, $R_o < 0.35\%$,有机质未成熟,其深度 < 700 m,高岭石含量逐渐增加,伊利石含量逐渐减少,伊/蒙混层含量少,不含绿泥石,压实作用弱,颗粒间以点状接触为主,孔隙类型为原生孔隙.

早成岩 B 期:该成岩阶段蒙皂石含量高, S 在 70%~50%之间,镜质体反射率 $R_o < 0.5\%$.地层埋深一般 700~1 600 m.由于埋藏较浅,因此压实作用

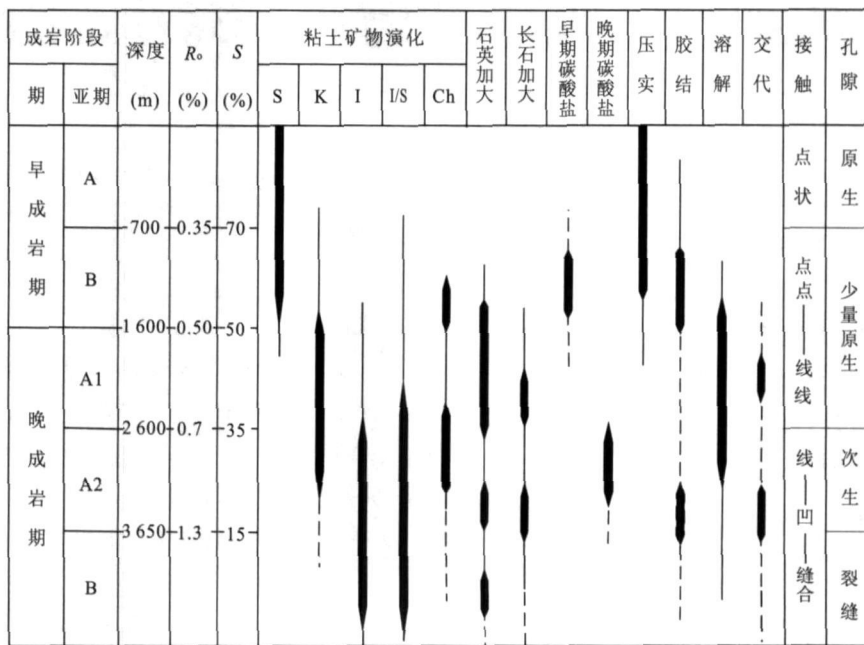


图 3 岔路河断陷成岩阶段划分

Fig. 3 Diagenesis stage of Chaluhe fault depression

S 为 S 在 I/S 中的百分含量; S . 蒙皂石; I/S . 伊/蒙混层; K . 高岭石; I . 伊利石; Ch . 绿泥石

较弱, 以原生孔隙为主. 砂岩中的蒙皂石逐渐减小, 甚至消失. 高岭石含量逐渐增加, 到早成岩 B 期末达到一个峰值. 在其末期, 伊利石开始出现. 伊/蒙混层逐渐增加, 但含量很少. 绿泥石含量在此阶段存在峰值, 但在末期含量很少. 孔隙度为 4% ~ 30%, 渗透率为 $(0.06 \sim 30) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$.

晚成岩 A 期: 晚成岩 A 亚期又进一步划分出晚成岩 A1 期和晚成岩 A2 期: ①在晚成岩 A1 期, $35\% < S < 50\%$, 为第一迅速转化带, $0.5\% < R_o < 0.7\%$, 有机质进入低成熟期. 由于埋深加大 (深度 1 600 ~ 2 600 m), 压实作用和胶结作用增强, 原生孔隙明显减少. 高岭石有所减少, 伊利石和伊/蒙混层有所增加, 绿泥石含量少, 石英加大作用明显, 交代作用增加. 成岩环境还基本处于酸性, 孔隙类型逐渐由原生孔隙向次生孔隙过渡, 孔隙度为 2% ~ 24%, 渗透率为 $(0.06 \sim 50) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$. ②在晚成岩 A2 期, $15\% < S < 35\%$, 为混层第二迅速转化带, $0.7\% < R_o < 1.3\%$, 有机质进入成熟阶段, 埋深达 2 600 ~ 3 650 m. 这一阶段砂岩处在有机质排之后的弱碱性环境中, 出现了长石的大量溶解现象, 产生大量次生孔隙 (Ronald *et al.*, 1989; 蒋恕等, 2007; 张莉等, 2007). 由于埋深加大, 部分岩石颗粒出现裂缝, 岩石进入再胶结作用期, 表现为石英的再次次生加大 (3 000 ~ 3 500 m). 储层孔隙度为 2% ~ 14%, 渗透率为 $(0.06 \sim 25) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$.

晚成岩 B 期: 埋深 3 500 ~ 4 250 m, $S < 15\%$, 镜质体反射率 $R_o > 1.3\%$, 有机质已达到高成熟阶段, 石英次生加大更普遍, 绿泥石和高岭石基本消失, 伊利石和伊/蒙混层含量高. 岩石中颗粒接触紧密, 多呈镶嵌状, 致使孔隙度和渗透率明显降低, 平均孔隙度为 2% ~ 14%, 平均渗透率为 $(0.01 \sim 11) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$.

4 成岩过程与孔隙演化

运用 BasinMod 软件对盆路河地区的不同构造部位的井进行地层埋藏史和热史模拟, 结果显示, 不同构造带的埋藏史和热史也不一样, 由于梁家—新安堡地区的钻井资料比较丰富, 分析测试数据也比较齐全, 因此以该区中间部位的昌 25 井为例进行成岩过程与孔隙演化的分析 (窦同君等, 2000; 王宝清等, 2000; 李少华等, 2002; 肖丽华等, 2003; 钟大康等, 2003; 李斌等, 2005; 刘成林等, 2005; 邵

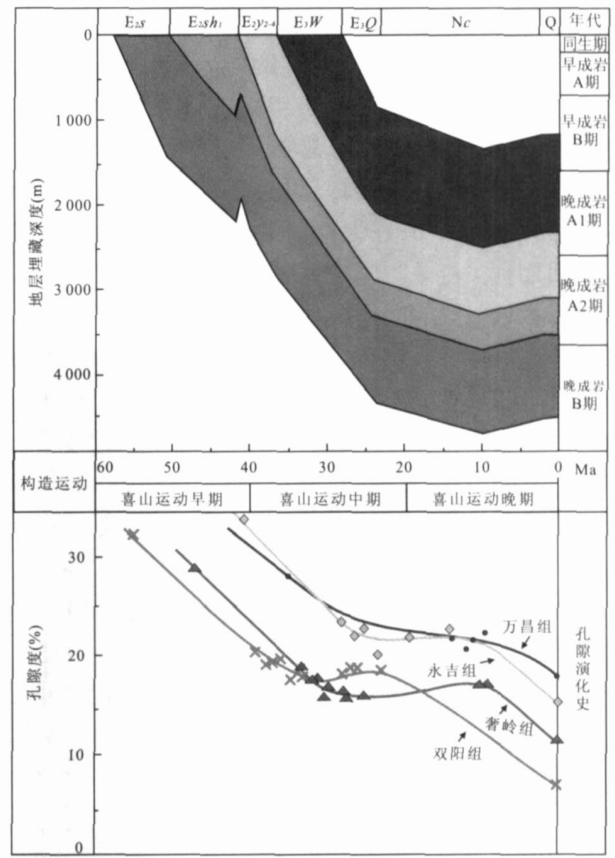


图 4 梁家—新安堡地区地层埋藏史与孔隙演化史

Fig. 4 History of stratum embedding and porosity evolution in Liangjia and Xin'anbao area

红梅等, 2005).

最早沉积的双阳组地层是在距今大约 58 Ma 的喜山运动早期阶段, 接受沉积过程中, 地层不断下降; 大概在 42.1 Ma 时开始双阳和奢岭组地层抬升, 使刚沉积的奢岭组上部地层被剥蚀, 受地表淋滤, 但抬升时间较短, 在 41 Ma 的时候开始下降并沉积永吉组二、三、四段的地层. 因此在 30 Ma 前, 主要地层如双阳组、奢岭组、永吉组和万昌组都以压实、胶结作用为主, 由于泥晶化、胶结、新生变形和石膏化等成岩作用的影响, 孔隙度随着深度的变化呈直线下降, 从 32% 左右下降至 15% ~ 20%; 在 30 ~ 10 Ma 之间, 没有大的地层抬升, 但随着埋藏深度的增加, 各地层进入不同的成岩阶段, 深部双阳和奢岭组地层的泥质烃源岩进入生烃期, 形成的有机酸导入, 发生溶蚀作用, 孔隙度回升至 20% 左右. 此阶段孔隙度具体演化模式是: (1) 双阳组的地层在 30 ~ 20 Ma, 孔隙度略有增大的趋势, 从 17.6% 上升到 18.9%. 此阶段地层埋深在 3 700 m, 处于晚成岩 A2

期,是溶解和交代作用的主要阶段。(2)奢岭组地层在 30~10 Ma,此时地层从 3 000 m 降至 3 500 m,处于晚成岩 A2 期,主要成岩作用是长石交代作用和溶解作用,孔隙度也呈现增大趋势,从 15.3%~16.9%。(3)永吉组和万昌组地层在 30 Ma 之前,地层埋深在 2 000 m 以上,处于早成岩 B 期和晚成岩 A1 期之间,主要以压实和胶结作用为主;在 30~10 Ma 期间,永吉组地层从 2 000 m 下降至 3 100 m,成岩阶段也从晚成岩 A1 期进入晚成岩 A2 期,主要成岩作用是压实作用、交代作用和溶解作用,孔隙度略有增大,但不明显。此期间万昌组从 500~1 500 m 降至 1 300~2 200 m,上部地层处于早成岩 B 期,下部地层进入晚成岩 A1 期,该组砂岩主要成岩作用还是压实和交代作用,孔隙度在 21.9% 左右;从 10 Ma 至今,处于喜山运动中后期阶段,各地层都略有抬升,形成微裂缝,深部的热液沿裂缝侵入致使发生填积、胶结和白云岩化作用,双阳组地层孔隙度又降至 10% 以下,其他地层孔隙度平均下降 27% 左右(图 4)。

5 储层成岩作用模式

成岩作用是多因素影响的结果,在充分考虑了岔路河地区的埋藏史、有机质热演化史、成岩作用演化史以及岩石类型与沉积相等影响因素,按沉积相及沉积位置划分出:冲积扇成岩模式、扇三角洲成岩模式和半深湖—深湖相成岩模式(图 5)。

(1)冲积扇成岩模式:冲积扇位于断陷西北缘,相当于莫里青地区的陡坡成岩带。处于半封闭成岩环境,地层埋藏深,处于中等压实和强压实作用下。在 1 600~3 400 m 之间,该带处于晚成岩 A 期,有机质脱羧作用使酸性流体活跃,致使长石的溶解作用发育,形成大量次生孔隙。该带胶结作用成分复杂,石英和长石次生加大十分发育。

(2)扇三角洲成岩模式:扇三角洲沉积主要位于断陷东南部,储层主要发育在扇三角洲前缘,属开放式成岩环境,由于埋藏浅,主要为压实和胶结作用,成岩作用弱,相当于早成岩期。前扇三角洲部分在埋藏较深的地区,处于晚成岩 A1 至 A2 期,压实作用和溶解作用较强。

(3)半深湖—深湖相成岩模式:半深湖—深湖相位于盆地中部,相当于莫里青地区的坳陷成岩带,这里埋藏深度大,储层处于封闭环境下,因此属于封闭型成岩环境。这里的储层主要为水下扇的外扇、扇三角洲的前三角洲,以及深水重力流形成的水下浊积扇。多为透镜状砂体储层,压实作用强,胶结作用成分复杂,石英和长石次生加大十分发育,物性较差。

6 结论

(1)岔路河断陷储层经历多种成岩作用过程。压实和胶结作用对原生粒间孔隙主要起破坏作用。溶解作用产生的次生孔隙大大提高了储层的孔隙度和渗透率,主要发育在较深部的储层中。交代作用以碳

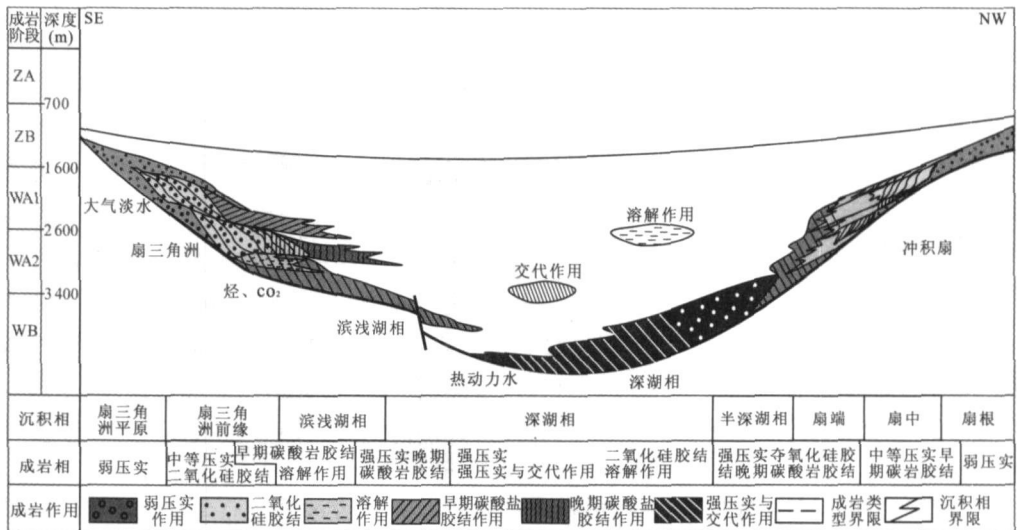


图 5 岔路河断陷成岩模式

Fig. 5 Diagenetic mode in Chaluhe fault depression

酸盐和粘土矿物交代长石为主, 对储层的物性影响不大。

(2) 岔路河断陷的储层划分为 5 个成岩阶段, 上部永吉组和万昌组以上的地层在早成岩 A 期、B 期和晚成岩 A1 期阶段, 主要成岩作用是压实和胶结作用, 自生石英含量很高, 碳酸盐含量增加, 物性随深度增加而迅速减小。奢岭组和永吉组下部地层处在晚成岩 A2 期, 以溶解作用为主, 是岔路河地区优质储层的发育层段。双阳组地层在晚成岩 B 期, 以石英加大胶结为主, 孔隙度和渗透率都较低。

(3) 岔路河地区的地层埋藏过程中经历了多期的成岩演化。30 Ma 年前, 各地层都以机械压实作用为主, 孔隙度从 30% 以上下降到约 15% ~ 20%。从 30 ~ 10 Ma 之间, 双阳组和奢岭组地层溶解现象较普遍, 孔隙有明显增大的趋势, 永吉组和万昌组地层孔隙变化不大。从 10 Ma 至今, 各地层在填积和胶结作用下孔隙度下降。

(4) 根据岔路河地区沉积特征, 划分了 3 种成岩模式: 冲积扇成岩模式、扇三角洲成岩模式和半深湖—深湖相成岩模式。其中扇三角洲成岩模式储层物性较好, 高渗层段平均孔隙度达 18.8%, 渗透率达 $(16 \sim 47) \times 10^{-3} \text{ m}^2$, 主要发育在断陷的东南缘。半深湖—深湖相成岩模式和冲积扇成岩模式主要在断陷中部和西北缘, 压实和胶结作用为主, 储层物性较差。

感谢: 衷心感谢吉林油田勘探开发研究院为本研究提供了大量的资料。

References

Alaa, M., Salem, S., Morad, S., et al., 2000. Diagenesis and reservoir-quality evolution of fluvial sandstones during progressive burial and uplift: Evidence from the Upper Jurassic Boipeba Member, Reconcavo basin, northeastern Brazil. *AAPG Bulletin*, 84(7): 1015—1040.

Cowan, G., 1989. Diagenesis of Upper Carboniferous sandstones: Southern North Sea basin. In: Whateley, M. K. G., Picketing, K. T., eds., *Deltas: Sites and traps for fossil fuels. Geological Society of London Special Publication*, 41: 57—73.

Dixon, S. A., Summers D. M., Surlam, R. C., 1989. Diagenesis and preservation of porosity in Norphlet Formation (Upper Jurassic), Southern Alabama. *AAPG Bulletin*, 73: 707—728.

Dou, T. J., Wang, W. G., Liu, G. F., et al., 2000. Sandstone diagenesis and porosity genesis of the middle oil-bearing formation in Taikang area, Songliao basin. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, 24(2): 1—4 (in Chinese with English abstract).

with English abstract).

He, Y. P., Liu, Z. J., Dong, Q. S., et al., 2006. Diagenesis of reservoir of the Shuangyang Formation of Paleogene in Moliqing faulted depression of Yitong basin, Jilin Province. *Journal of Paleogeography*, 8(1): 75—82 (in Chinese with English abstract).

Jiang, S., Cai, D. S., Zhu, X. M., et al., 2007. Mechanism of the pore evolution in Liaodong Bay area. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 32(3): 366—372 (in Chinese with English abstract).

Kou, F. D., Zhu, Y. J., Li, J. M., 2005. Reservoir diagenesis of Lower Jurassic in Lenghu area. *Journal of Oil and Gas Technology*, 27(6): 695—698 (in Chinese with English abstract).

Li, B., Meng, Z. F., Li, X. B., et al., 2005. Diagenetic characteristics of the Chang 6 oil-bearing interval of the Upper Triassic in the Jin' an oilfield Ordos basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 23(4): 574—583 (in Chinese with English abstract).

Li, S. H., Chen, X. M., Long, Y. M., et al., 2002. Diagenesis and porosity evolution in the reservoir rocks from the Pingbei oil field in Shaanxi. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 22(3): 25—30 (in Chinese with English abstract).

Li, X. M., Feng, C. M., Hu, Z. G., 2005. Diagenesis and porosity characteristic of Dujiatai oil layer in Huanxing oil field. *Journal of Oil and Gas Technology*, 27(4): 435—437 (in Chinese with English abstract).

Liu, C. L., Zhu, X. M., Zhu, Y. X., et al., 2005. Characteristics of diagenesis and pore evolution of gas reservoirs formed in different tectonic settings. *Oil & Gas Geology*, 26(6): 746—752 (in Chinese with English abstract).

Liu, Z. J., 2003. A case study of fan sedimentary characteristics and influence factor. *Acta Sedimentologica Sinica*, 21(1): 148—154 (in Chinese with English abstract).

Lu, J. L., Morad, S., Yan, S. K., et al., 2001. The reconstruction of diagenesis and its affection on reservoir's physical evolution of sandstone of fluvial-delta facies. *Science in China (Ser. D)*, 31(12): 1006—1016.

Qiu, L. W., Jiang, Z. X., Chen, W. X., et al., 2002. A new type of secondary porosity-quartz dissolution porosity. *Acta Sedimentologica Sinica*, 20(4): 621—627 (in Chinese with English abstract).

Ronald, C., Surlam, L. J., Crossey, E. S. H., et al., 1989. Organic-inorganic interactions and sandstone diagenesis. *AAPG Bulletin*, 73(1): 1—23.

Shao, H. M., Liu, Z. J., Wang, C., et al., 2005. Diagenesis and pore evolution of deep sandstone in North of Songliao basin. *Global Geology*, 24(1): 58—62 (in Chinese with English abstract).

- stract).
- Sylvia, M. C., dos Anjos, L. F., de Ros, R. S., et al., 2000. Depositional and diagenetic controls on the reservoir quality of Lower Cretaceous Pedernia sandstones, Potiguar rift basin, Brazil. *AAPG Bulletin*, 84(11): 1719—1742.
- Wang, B. Q., Zhang D. N., Liu S. Q., et al., 2000. Diagenesis of reservoir rocks of Gaotaizi oil bed (Cretaceous) and its influence on porosity modification in Longhupao field area. *Acta Sedimentologica Sinica*, 18(3): 414—418 (in Chinese with English abstract).
- Wang, J., Zhao, Y. C., Liu, K., et al., 2006. Super imposing controls of acidic and alkaline dissolutions on sandstone reservoir quality of the Paleozoic Xiashihezi and Shanxi formations in Tabamiao area, Ordos basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 31(2): 221—228 (in Chinese with English abstract).
- Worden, R. H., Oxtoby, N. H., Smalley, P. C., 1998. Can oil emplacement prevent quartz cementation in sandstones? *Petroleum Geoscience*, 4: 129—137.
- Xiao, L. H., Meng Y. L., Hou C. Y., et al., 2003. Diagenetic modeling and prediction of secondary pore zone in the deep of the Shengping area in the Songliao basin. *Geological Review*, 49(5): 544—550 (in Chinese with English abstract).
- Yu, S. Y., He J. Y., 1989. Sedimentary petrology. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Zhang, L., Zhu X. M., Zhong, D. K., et al., 2007. Vertical distribution of secondary pores in Paleogene sandstones in Huimin depression and its genesis analysis. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 32(2): 253—259 (in Chinese with English abstract).
- Zhong, D. K., Zhu X. M., Wen Y. C., et al., 2003. Diagenesis, porosity evolution and secondary porosity prediction of Jurassic sandstone reservoir in Fudong slope, Junggar basin. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 17(4): 249—251 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, G. Q., Li, Y. T., Tian, C., 2004. A study on petrological features and genesis of Chaluhe fault depression in Yitong graben in Jilin. *Henan Petroleum*, 18(4): 4—7 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, Y. S., Wang D. P., Kuang L. C., et al., 1995. Properties of Eogene sedimentary system in Yishu graben and its hydrocarbon significance. *Oil & Gas Geology*, 16(1): 55—61 (in Chinese with English abstract).
- 油组合砂岩成岩作用及孔隙成因. 大庆石油学院学报, 24(2): 1—4.
- 何玉平, 刘招君, 董清水, 等, 2006. 吉林伊通盆地莫里青断陷古近系双阳组储层成岩作用研究. 古地理学报, 8(1): 75—82.
- 蒋蕊, 蔡东升, 朱筱敏, 等, 2007. 辽东湾地区孔隙演化的机理. 地球科学——中国地质大学学报, 32(3): 366—372.
- 寇福德, 朱玉洁, 李建明, 2005. 冷湖地区下侏罗统储层成岩作用研究. 石油天然气学报, 27(6): 695—698.
- 李斌, 孟自芳, 李相博, 等, 2005. 靖安油田上三叠统长 6 储层成岩作用研究. 沉积学报, 23(4): 574—583.
- 李少华, 陈新民, 龙玉梅, 等, 2002. 坪北油田储层成岩作用与孔隙演化. 沉积与特提斯地质, 22(3): 25—30.
- 李相明, 冯常茂, 胡忠贵, 2005. 欢喜岭油田杜家台油层成岩作用及孔隙特征. 石油天然气学报, 27(4): 435—437.
- 刘成林, 朱筱敏, 朱玉新, 等, 2005. 不同构造背景天然气储层成岩作用及孔隙演化特点. 石油与天然气地质, 26(6): 746—752.
- 刘招君, 2003. 湖泊水下扇沉积特征及影响因素. 沉积学报, 21(1): 148—154.
- 罗静兰, Morad S., 阎世可, 等, 2001. 河流—湖泊三角洲相砂岩成岩作用的重建及其对储层物性演化的影响. 中国科学(D 辑), 31(12): 1006—1016.
- 邱隆伟, 姜在兴, 陈文学, 等, 2002. 一种新的储层孔隙成因类型——石英溶解型次生孔隙. 沉积学报, 20(4): 621—627.
- 邵红梅, 刘招君, 王成, 等, 2005. 松辽盆地北部深层砂岩成岩作用与孔隙演化. 世界地质, 24(1): 58—62.
- 王宝清, 张荻楠, 刘淑芹, 等, 2000. 龙虎泡地区高台子油层成岩作用及其对储集岩孔隙演化的影响. 沉积学报, 18(3): 414—418.
- 王京, 赵彦超, 刘琨, 等, 2006. 鄂尔多斯盆地塔巴庙地区上古生界砂岩储层“酸性+碱性”叠加溶蚀作用与储层质量主控因素. 地球科学——中国地质大学学报, 31(2): 221—228.
- 肖丽华, 孟元林, 侯创业, 等, 2003. 松辽盆地升平地区深层成岩作用数值模拟与次生孔隙带预测. 地质论评, 49(5): 544—550.
- 余素玉, 何镜宇, 1989. 沉积岩石学. 北京: 地质出版社.
- 张莉, 朱筱敏, 钟大康, 等, 2007. 惠民凹陷古近系碎屑岩次生孔隙纵向分布规律. 地球科学——中国地质大学学报, 32(2): 253—259.
- 钟大康, 朱筱敏, 文应初, 等, 2003. 准噶尔盆地阜东斜坡侏罗系砂岩成岩作用、孔隙演化及次生孔隙预测. 中国海上油气(地质), 17(4): 249—251.
- 赵国泉, 李永涛, 田成, 2004. 吉林省伊通地堑岔路河断陷岩石学特征及成岩作用研究. 河南石油, 18(4): 4—7.
- 周永胜, 王东坡, 匡立春, 等, 1995. 伊舒地堑下第三系沉积体系特征及其油气勘探意义. 石油与天然气地质, 16(1): 55—61.

附中文参考文献

窦同君, 王文广, 刘国范, 等, 2000. 松辽盆地泰康地区中部含