

文章编号: 0253-9985(2005)06-0746-08

不同构造背景天然气储层成岩作用及孔隙演化特点

刘成林¹, 朱筱敏¹, 朱玉新², 曾庆猛¹

(1. 中国石油大学, 北京 102249 2. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 克拉通盆地气藏储层经历地史时间长, 构造运动旋回多, 导致成岩环境多变, 成岩作用复杂且长期叠加, 孔隙演化也经历几个来回, 储层现今孔隙度小。根据所处构造部位、圈闭类型和储层性质, 气藏又细分为古隆起构造气藏、背斜气藏和岩性气藏 3 种类型。这些气藏储层的成岩序列及孔隙演化有所不同。前陆盆地冲断带和斜坡带气藏储层经历地史时间较短, 构造运动旋回较少, 埋藏速率较大, 成岩序列及孔隙演化较为简单, 储层现今孔隙度较小。裂谷盆地气藏储层地史时间短暂, 构造运动旋回少, 埋藏速率大, 成岩序列和孔隙演化史简单, 储层现今孔隙度较大。

关键词: 裂谷; 前陆; 克拉通; 成岩序列; 天然气藏

中图分类号: TE112.2 **文献标识码:** A

Characteristics of diagenesis and pore evolution of gas reservoirs formed in different tectonic settings

Liu Chenglin¹, Zhu Xiaomin¹, Zhu Yuxin², Zeng Qingmeng¹

(1. China University of Petroleum, Beijing,

2. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Beijing)

Abstract Gas reservoirs in craton basins have experienced multicyclic tectonic movement during the long geologic history, resulting in varied diagenetic environments, complex diagenesis and long-term superimposition. Their pores have experienced several cycles of evolution and the present porosities of reservoirs are low. According to the structural location, trap type and reservoir nature, the gas reservoirs can be further subdivided into three types, including palaeohigh structural gas reservoirs, anticlinal gas reservoirs, and lithologic gas reservoirs. Their diagenetic sequences and pore evolutions are somewhat different. Gas reservoirs in the thrust belt and slope zone of foreland basin are characterized by their relatively short geologic histories, relatively less tectonic cycles, relatively rapid burial and relatively simple diagenetic sequence and pore evolution, so the present porosities are relatively small. While gas reservoirs in rift basin are characterized by their short geologic histories, less tectonic cycles, rapid burial and simple diagenetic sequence and pore evolution, so the reservoirs have relatively large porosities.

Key words rift; foreland; craton; diagenetic sequence; gas reservoir

微观领域的成岩作用无疑是受宏观领域的构造运动影响的。构造背景不同, 相应的成岩作用机理也不一样, 由此影响储层的成岩序列和孔隙演化。中国已发现探明地质储量大于 $300 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的大型气田 (藏) 21 个, 其天然气总探明储量占全国的

58%。这 21 个大型气田 (藏) 主要集中于四川盆地古生界 (克拉通盆地)、四川盆地中生界 (前陆盆地)、鄂尔多斯盆地古生界 (克拉通盆地)、塔里木盆地白垩一下第三系 (前陆盆地)、柴达木盆地第四系 (前陆盆地) 和莺琼盆地第三系 (裂谷盆地)。

基金项目: 国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 “高效天然气藏形成分布与凝析、低效气藏经济开发的基础研究” (2001CB209103)

第一作者简介: 刘成林, 男, 35 岁, 讲师 (博士), 油气地质

收稿日期: 2005-09-27

1 克拉通盆地

克拉通盆地是位于陆壳或刚性岩石圈之上, 而与中-新生代巨型缝合线无关的一类盆地。中国典型的克拉通盆地有古生代的四川盆地、塔里木盆地、华北盆地和鄂尔多斯盆地^[1]。在这些盆地中发育有许多与古生代烃源岩有关的天然气藏。根据所处构造部位、圈闭类型和储层性质, 气藏又细分为 3 种类型: 1) 古隆起构造气藏; 2) 背斜气藏; 3) 岩性气藏。

1.1 古隆起构造气藏

中国四大克拉通盆地发育多个古隆起, 如四川盆地乐山-龙女寺加里东古隆起、塔里木盆地塔中古隆起、华北盆地加里东古隆起和鄂尔多斯盆地中央古隆起。下面以川西南震旦系天然气藏为例, 来讨论古隆起构造气藏储层的成岩序列及孔隙演化。

川西南震旦系天然气藏储层常集中分布在灯影组的中-上部, 岩性以粉-细晶白云岩和多种成因的白云质角砾岩为主, 经历了 6 个成岩期次。1) 同生期, 沉积物刚形成尚未与上覆水体完全分离, 成岩环境为大气淡水, 40% 的原生孔隙度经溶蚀作用可升到 50%。2) 早成岩 iv 期, 沉积物埋深最大 500 m, 属浅埋藏环境。受机械压实作用和胶结作用的影响, 孔隙度下降至 5%。3) 表生成岩期, 晚震旦世桐湾运动将已固结的白云岩抬升至地表而进入表生成岩期, 强烈的溶蚀作用形成古

风化溶洞, 孔隙度上升至大于 10%。4) 早成岩 ⑤ 期, 加里东期震旦系储层埋深最大 1 000~1 500 m, 属浅埋藏环境, 受机械压实、压溶、充填、重结晶和胶结作用的影响, 孔隙度下降至 4%。5) 晚成岩 iv 期, 受东吴运动、印支运动和燕山早期运动的影响, 震旦系储层经历 3 次较大幅度的升降, 埋深 2 000~4 000 m, 属中-深埋藏环境, 成岩作用有脱羧基作用导致有机酸的溶蚀作用以及充填、重结晶和胶结作用, 孔隙度先升到 5%~10% 后又降至 2%。6) 晚成岩 ⑥ 期, 晚侏罗世后燕山中-晚期和喜马拉雅运动强烈, 形成大型的威远背斜, 同时在震旦系中形成较多高角度的裂缝, 极大改善了储层的渗透性, 孔隙度先升到 3% 后又降至目前的 1.91% (图 1)^[2~4]。

在长达 600 Ma 左右的地质历史中, 震旦系天然气藏储层受 6 次大的构造运动改造, 导致成岩环境多变, 成岩作用复杂且长期叠加。构造下降一方面引起机械压实、压溶、充填、重结晶和胶结作用使孔隙度降低, 另一方面有机质成熟作用导致有机酸的溶蚀作用使孔隙度升高。构造抬升使储层抬升至地表, 经溶蚀作用孔隙度上升。另外, 构造挤压、拉张、褶皱和断裂也可形成裂缝, 从而改善储层的渗透性。

1.2 背斜气藏

克拉通盆地发育较多的背斜气藏。下面以川东石炭系天然气藏为例, 来讨论背斜气藏储层的成岩序列及孔隙演化。

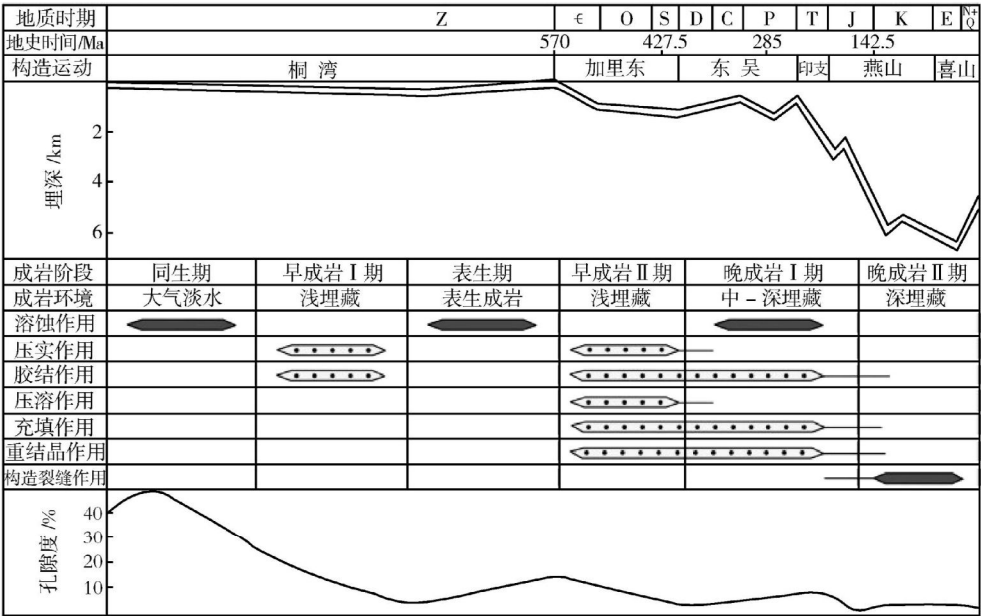


图 1 克拉通盆地古隆起构造气藏储层成岩序列及孔隙演化

Fig. 1 Diagenetic sequence and porosity evolution of palaeohigh structural gas reservoirs in craton basin

川东石炭系天然气藏储层的岩性为石灰岩夹白云岩,经历了 4 个成岩期次。1)同生期-准同生期,蒸发海水和大气淡水成岩环境。由于泥晶化、胶结、新生变形、白云化、石膏化等成岩作用的影响,40%的原生孔隙度降至 30%。2)早成岩期,海水-地层水成岩环境,埋深最大不超过 500m,属浅埋藏环境,胶结、新生变形、白云化、压实作用使孔隙度降至 10%以下。3)表生成岩期,晚石炭世云南运动使已固结的碳酸盐岩抬升至地表,主要受大气淡水改造,强烈的溶蚀作用形成大量的溶孔、溶缝和溶洞,形成较大规模的岩溶角砾岩,孔隙度回升至 23%。4)晚成岩期,受东吴、印支、燕山和喜马拉雅运动的影响,震旦系储层经历 2 次较大幅度的升降,最大埋深超过 7 000m,属中-深埋藏环境。早二叠世东吴运动形成张性缝,深部的热液侵入致使发生填积、胶结和白云化作用,孔隙度又降至 10%以下。中生代的印支、燕山运动产生裂缝,将志留系泥岩形成的有机酸导入,发生溶蚀作用,孔隙度回升至 15%。

随后胶结、新生变形、白云化、压溶等成岩作用又使孔隙度大幅度下降。而新生代喜马拉雅运动形成的褶皱、断裂、裂缝再次改善了储层的渗透性,孔隙度最终达到目前的 3%~5%(图 2)。

构造运动和地层埋藏深度直接控制了川东石炭系气藏储层的成岩序列及孔隙演化。云南运动的地壳抬升是形成较大规模岩溶角砾岩的决定因素,构成了川东石炭系天然气有利储层类型之一;印支和燕山期深埋藏成岩环境有机酸性水的作用,对于石炭系天然气藏有效次生孔隙的形成起到了关键性的作用^[5~8]。

1.3 岩性气藏

中国克拉通盆地岩性气藏主要有鄂尔多斯盆地上古生界石炭-二叠系砂岩气藏、塔里木盆地石炭系砂岩气藏和四川盆地上二叠统生物礁及下三叠统鲕滩气藏。下面以鄂尔多斯盆地上古生界石炭-二叠系砂岩气藏为例,来讨论岩性气藏储层的成岩序列及孔隙演化。

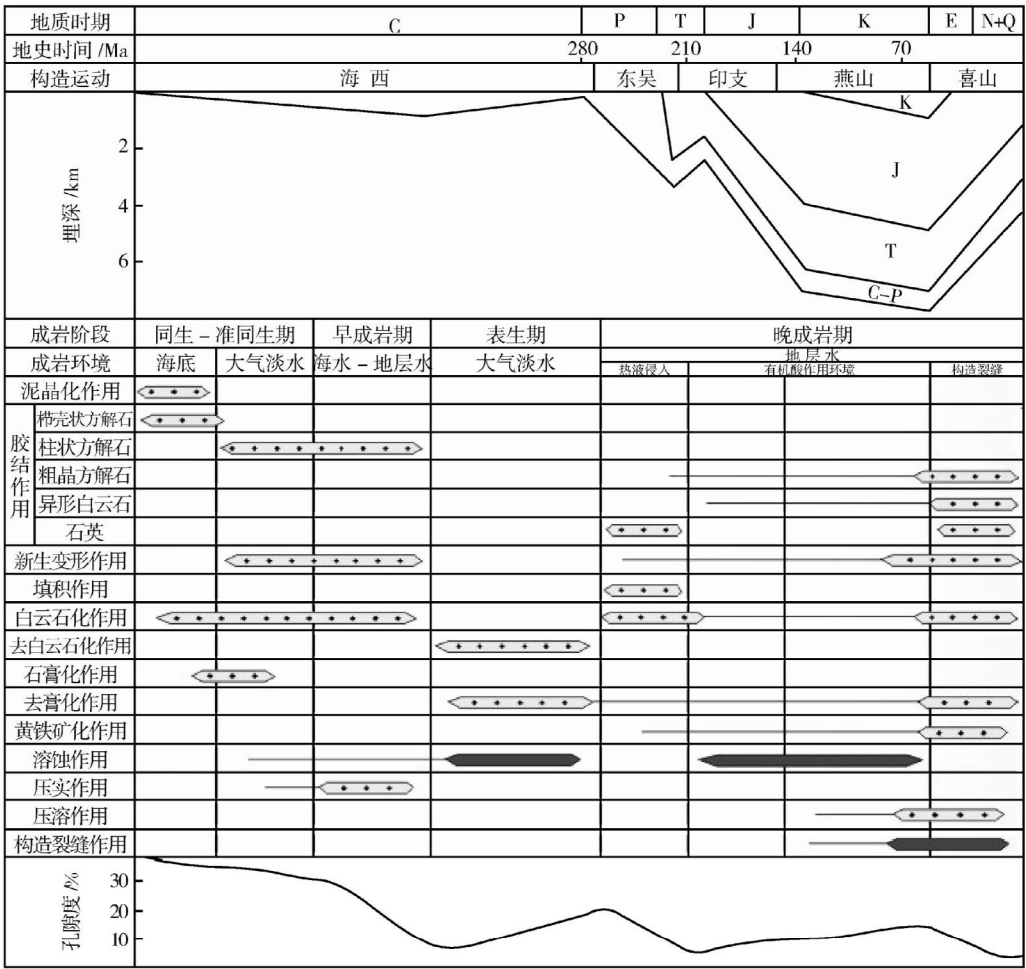


图 2 克拉通盆地背斜气藏储层成岩序列及孔隙演化

Fig.2 Diagenetic sequence and porosity evolution of anticlinal gas reservoirs in craton basin

鄂尔多斯盆地上古生界石炭—二叠系砂岩气藏储层经历了 6 个成岩期次。1) 早成岩 A 期, 平均埋深 900 m, 受机械压实、蚀变、粘土边和溶蚀作用的影响, 孔隙度下降至 15%。2) 早成岩 B 期, 平均埋深 1 900 m, 主要的成岩作用为压实作用、火山物质硅化和黑云母绿泥石化, 孔隙度下降至 9%。3) 晚成岩 A₁ 期, 埋深 1 900~ 3 000 m, 有机质成熟析出的有机酸使铝硅酸盐矿物发生溶蚀作用, 使孔隙度略有回升。4) 晚成岩 A₂ 期, 埋深 3 000~ 3 900 m, 发生石英胶结、碳酸盐岩胶结、自生伊利石生长等成岩作用, 孔隙度降至 8.61%。5) 晚成岩 B 期, 埋深 3 900 m 以上, 大量有机酸生成阶段终结, 主要发生含铁方解石和白云石沉淀作用, 孔隙度降至 6.3%。6) 晚成岩 C 期, 喜马拉雅运动产生微裂缝及碳酸盐岩的微弱溶蚀作用, 使孔隙度升到目前的 6.8% (图 3)。

由于没有发生大规模的构造抬升, 鄂尔多斯盆地上古生界石炭—二叠系砂岩储层主要经受了破坏性的成岩作用, 如机械压实、胶结、自身粘土矿物生长作用等, 导致致密储层广布^[9~ 14]。

2 前陆盆地

前陆盆地是位于褶皱山系前缘与毗邻克拉通之间的沉积盆地, 包括褶皱—冲断带、深凹 (坳) 带、稳定前陆斜坡及前缘隆起 3 个部分。中国前

陆盆地有中—新生代的四川盆地西北缘、鄂尔多斯盆地西缘、塔里木盆地库车和塔西南、准噶尔盆地南缘、柴达木盆地北缘和吐哈盆地等, 具有丰富的天然气资源^[15~ 17]。

2.1 褶皱—冲断带气藏

中西部褶皱—冲断带气藏是中国前陆盆地的主要气藏类型。下面以塔里木盆地库车坳陷中—新生代天然气藏为例, 来讨论褶皱—冲断带气藏储层的成岩序列及孔隙演化。塔里木盆地库车坳陷中—新生代天然气藏储层有两大类: 下第三系—白垩系碎屑岩储层和下第三系碳酸盐岩储层。它们的成岩序列及孔隙演化各具特点。

2.1.1 下第三系—白垩系碎屑岩储层

下第三系—白垩系碎屑岩储层经历了 4 个成岩期次, 即早成岩 A 期、早成岩 B 期、晚成岩 A 期和晚成岩 B 期。晚第三纪, 储层快速下沉, 沉降速率可达 250 m/Ma, 最大埋深达 7 000 m。第四纪以来, 随着天山造山带的不断隆升, 自北向南强烈的逆冲挤压活动使得储层埋深减小。成岩序列为: 早成岩期的压实作用和早期胶结作用—晚成岩 A 期的早期溶蚀作用、胶结作用和碳酸盐交代作用—晚成岩 B 期的晚期胶结作用和交代作用。相应的孔隙演化为: 40% 降至 10% 以下—升至 15% 又降到 10% 以下—降至目前的 5%。

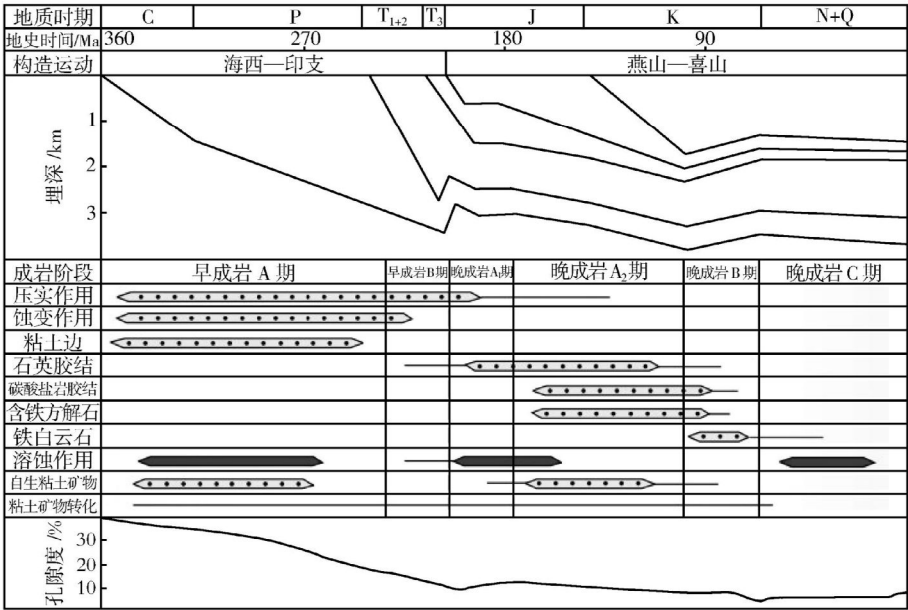


图 3 克拉通盆地岩性气藏储层成岩序列及孔隙演化

Fig. 3 Diagenetic sequence and porosity evolution of lithologic gas reservoirs in craton basin

2.1.2 下第三系碳酸盐岩储层

下第三系碳酸盐岩储层经历了 3 个成岩期次。1)同生成岩期: 成岩环境有海底、混合水、大气渗流带和大气潜流带 4 种。由于方解石胶结作用和白云化作用使孔隙度降低,但在回流渗透白云化期间大气淡水淋滤作用使生屑、砂屑颗粒不稳定矿物溶蚀形成粒内溶孔和铸模孔,孔隙度约为 15%~25%。2)早成岩期,浅埋藏环境,硬石膏充填、压实作用使孔隙度降至 15%~20%。3)晚成岩期,中-深埋藏环境,随酸性水进入,早期铸模孔中的石膏充填物被溶蚀形成重塑的铸模孔和膏模孔。另外,构造破裂作用形成裂缝,使孔隙度回升至目前的 6%~16%(图 4)。

总之,塔里木盆地库车坳陷中-新生代天然气藏储层的成岩史较为短暂,成岩序列也比较简单。早期的快速沉降使成岩作用以压实作用为主,导致孔隙度下降很快;晚期又由于构造破裂作用形成裂缝,使储层孔渗条件得到改善。

2.2 斜坡带气藏

稳定前陆斜坡及前缘隆起处于深凹(坳)带向台地的过渡段,一般具有较大的分布面积。下面以川西上三叠统须家河组天然气藏为例,来讨论

稳定前陆斜坡及前缘隆起气藏储层的成岩序列及孔隙演化。

川西上三叠统须家河组气藏储层经历了 5 个成岩期次。1)早成岩 A 期,发生在早侏罗世以前,平均埋深 1 000 m,受机械压实作用、粘土包壳作用、石英、长石及方解石胶结作用的影响,原生孔隙度下降。2)早成岩 B 期,中侏罗—早白垩世,最大埋深 3 000 m,压实作用和胶结作用使原生孔隙度继续减小。又由于部分有机质成熟作用产生的有机酸溶蚀长石岩屑,开始形成次生孔隙。3)晚成岩 A₁ 期,晚白垩世,埋深 3 000~3 600 m,有机质成熟析出的有机酸对铝硅酸盐矿物产生溶蚀作用,形成较多次生孔隙。4)晚成岩 A₂ 期,晚白垩世末—早第三纪初,埋深 3 600~4 900 m,发生铁方解石、铁白云石和硬石膏胶结等成岩作用,次生孔隙度开始减小。5)晚成岩 B 期,喜山运动使地层抬升,主要发生石英、铁方解石、铁白云石和硬石膏胶结等成岩作用,次生孔隙度大量减小。又由于构造运动产生的微裂缝,使储层孔渗条件得到不同程度的改善(图 5)。

由此,川西上三叠统须家河组天然气藏储层的成岩史为 200Ma 经历了早成岩 A 期、早成岩 B

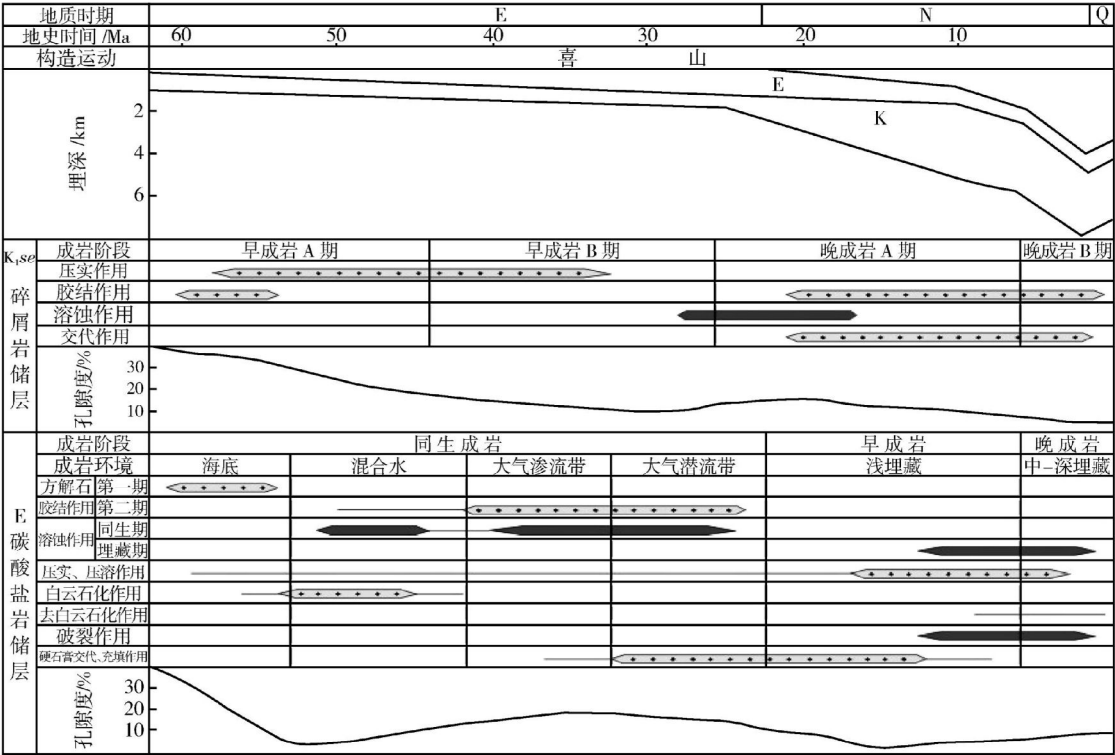


图 4 前陆盆地褶皱-冲断带天然气藏储层成岩序列及孔隙演化

Fig. 4 Diagenetic sequence and porosity evolution of gas reservoirs in fold-thrust belt of foreland basin

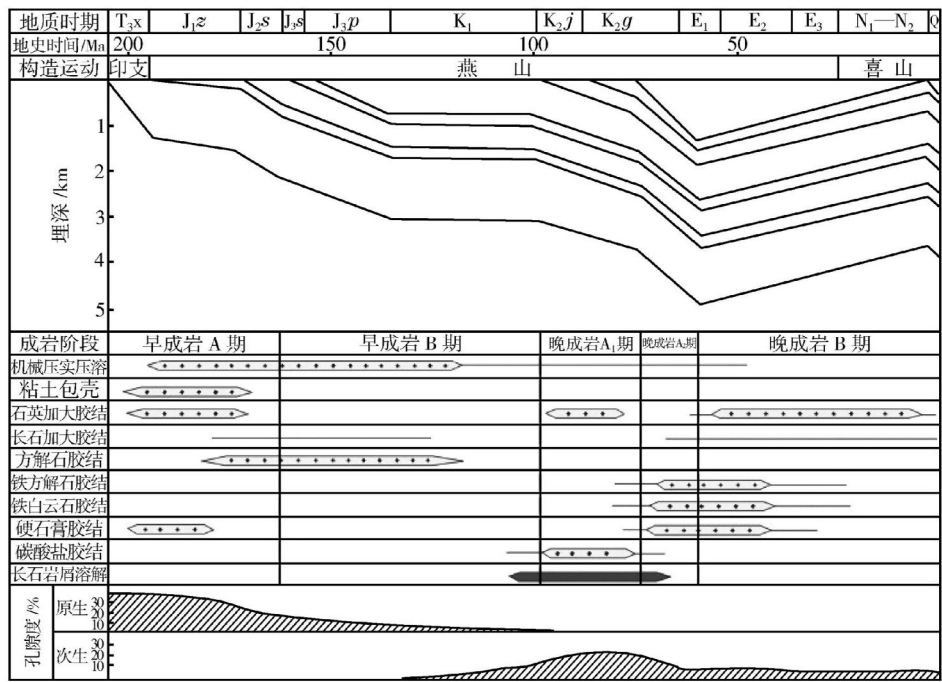


图 5 前陆盆地斜坡带天然气藏储层成岩序列及孔隙演化

Fig. 5 Diagenetic sequence and porosity evolution of gas reservoirs in slope zone of foreland basin

期、晚成岩 A₁ 期、晚成岩 A₂ 期和晚成岩 B 期。储层主要经受机械压实、胶结等破坏性的成岩作用, 导致储层较为致密^[18]。

3 裂谷盆地

Griggs^[11] 将具陡而长、两壁平行的沉降谷称为裂谷。它是最常见的大型岩石圈拉张破裂而形成的长条形断陷或坳陷。裂谷盆地也是中国天然气勘探的重要领域。下面以莺-琼盆地第三系天然气藏为例, 来讨论裂谷盆地气藏储层的成岩序列及孔隙演化。

莺-琼盆地第三系天然气藏储层经历了 6 个成岩期次, 即早成岩 A 期、早成岩 B 期、表生期、晚成岩 A₁ 期、晚成岩 A₂ 期和晚成岩 B 期。上新世以前, 储层缓慢沉降; 而上新世—第四纪, 喜马拉雅运动使储层快速沉降, 沉降速率可达 560m/Ma。成岩序列为: 早成岩期的压实作用和胶结作用—表生期的淡水淋滤作用—晚成岩 A 期的胶结作用、碳酸盐交代作用和溶蚀作用—晚成岩 B 期的有机酸溶蚀作用和胶结作用。相应的孔隙演化为: 40% 降至 25% 以下—升至 25%—降到 20% 以下—目前的 15% (图 6)。

莺-琼盆地第三系天然气藏储层晚期沉降快、沉积速率大, 使得成岩作用强度减弱, 孔隙减少变

缓。由于烃源岩较丰富, 水溶液中的有机酸、羧酸和 CO₂ 都可能会引起溶蚀作用, 有利于次生孔隙发育。溶蚀的结果补偿了胶结所造成的孔隙损失, 维持了较好的物性。另外, 地层中的异常高压、活动热流体也会对孔隙产生保护作用, 使得深部位也可有较好的储层。总之, 成岩作用的结果使本区浅层和中—深层都保存了物性优良的储层^[19]。

4 结论

我国典型天然气藏的类型主要有克拉通盆地古隆起构造气藏、克拉通盆地背斜气藏、克拉通盆地岩性气藏、前陆盆地褶皱—冲断带气藏、稳定前陆斜坡气藏和裂谷盆地气藏。克拉通盆地气藏储层的成岩作用地史时间长 (360~ 600Ma), 构造运动旋回多 (4~ 6 次), 埋藏速率小 (10m/Ma), 储层岩性主要为碳酸盐岩, 成岩序列复杂 (5~ 6 个成岩期次, 成岩环境多变, 成岩作用多样), 孔隙演化经历由大到小、再增大、又减小几个来回, 目前孔隙度为 1.91%~ 6.8%。其中古隆起构造气藏、背斜气藏和岩性气藏储层的成岩序列及孔隙演化又有所不同。前陆盆地气藏储层的成岩作用地史时间较短 (144~ 200Ma), 构造运动旋回较少 (1~ 2 次), 埋藏速率较大 (20~ 50m/Ma), 储层岩性主

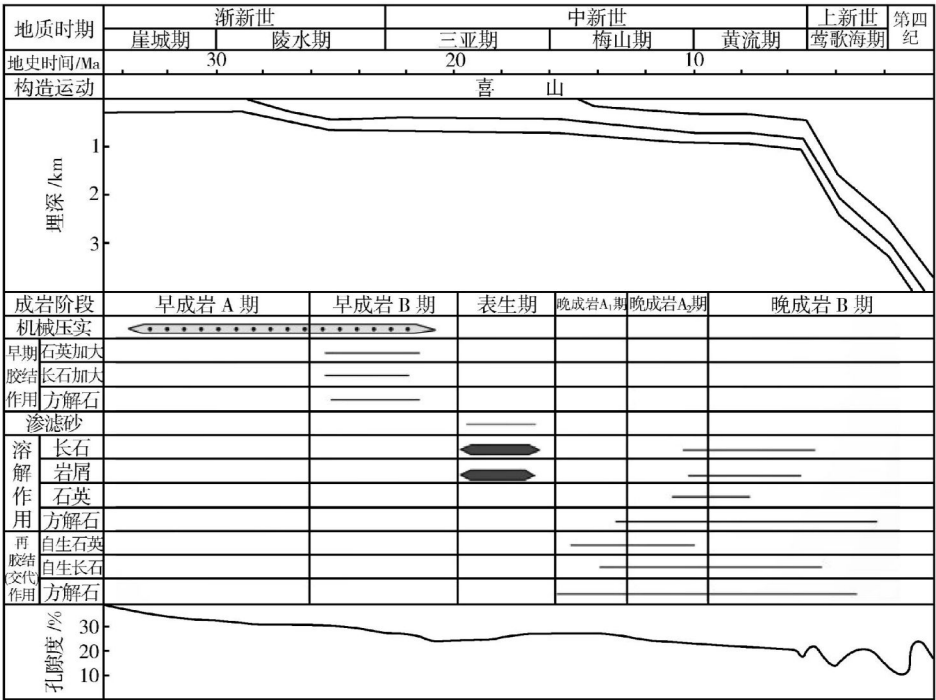


图 6 裂谷盆地天然气藏储层成岩序列及孔隙演化

Fig. 6 Diagenetic sequence and porosity evolution of gas reservoirs in rift basin

要为砂岩,成岩序列较为简单(5个成岩期次,成岩环境为浅至中-深埋藏,成岩作用以压实、压溶、胶结和溶蚀作用为主),孔隙演化史较为简单,目前孔隙度为6%~16%;裂谷盆地气藏储层的成岩作用地史时间短暂(36Ma),只1个构造运动旋回,埋藏速率大(130m/Ma),储层岩性主要为砂岩,成岩序列较简单(6个成岩期次,成岩环境为浅至中-深埋藏,成岩作用以压实和溶蚀作用为主),孔隙演化史简单,目前孔隙度为15%。

参 考 文 献

1 李景明,魏国齐,曾宪斌,等.中国大中型气田富集区带[M].北京:地质出版社,2002 21~150
Li Jingming Wei Guoqi Zeng Xianbin et al Large medium scale natural gas plays in China[M]. Beijing Geological Publishing House, 2002 21~150

2 徐言岗,贺自爱,王津义.湘鄂西地区油气前景探析[J].石油与天然气地质,2003 24(4): 356~361
Xu Yangang He Ziai Wang Jinyi A recognition of hydrocarbon potential in western Hunan and Hubei area [J]. Oil & Gas Geology, 2003 24(4): 356~361

3 王兴志,穆曙光,方少仙,等.四川盆地西南部震旦系白云岩成岩过程中的孔隙演化[J].沉积学报,2000 18(4): 549~554
Wang Xingzhi Mu Shuguang Fang Shaoxian et al A study on porosity evolution during dolomite diagenesis of the Sinian reservoirs in the southwestern part of Sichuan basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000 18(4): 549~554

4 赵澄林,陈丽华,涂强,等.中国天然气储层[M].北京:石油工业出版社,1999 63~160
Zhao Chenglin Chen Lihua Tu Qiang et al Natural gas reservoirs in China[M]. Beijing Petroleum Industry Press 1999 63~160

5 钱峥,黄先雄.碳酸盐岩成岩作用及储层[M].北京:石油工业出版社,2000 42~59
Qian Zheng Huang Xianxiong Carbonate diagenesis and reservoirs [M]. Beijing Petroleum Industry Press 2000 42~59

6 刘成林,李景明.川东小坝河砂岩天然气成藏地球化学研究[J].西南石油学院学报,2002 24(1): 46~49
Liu Chenglin Li Jingming Geochemistry research on natural gas reservoirs in Xiaohaba sandstone of East Sichuan [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2002 24(1): 46~49

7 郭一华.川东地区石炭系储层成岩作用和天然气成藏规律[J].西南石油学院学报,1994 16(1): 1~10
Guo Yihua Pool-forming rules of natural gas and diagenesis of Carboniferous reservoirs in East Sichuan [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 1994 16(1): 1~10

8 魏国齐,刘德来,张林,等.四川盆地天然气分布规律与有利勘探领域[J].天然气地球科学,2005 16(4): 437~442
Wei Guoqi Liu Delai Zhang Lin et al Exploration regions and natural gas accumulation in Sichuan basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2005 16(4): 437~442

9 李文厚,魏红红,马振芳,等.苏里格庙气田碎屑岩储集层特征与天然气富集规律[J].石油与天然气地质,2002 23(4): 387~391
Li Wenhong Wei Honghong Ma Zhenfang et al Characteristics of detrital reservoirs and regularity of gas concentration in Sulige gas field [J]. Oil & Gas Geology, 2002 23(4): 387~391

- 10 翟爱军, 邓宏文, 邓祖佑. 鄂尔多斯盆地上古生界层序地层与储层预测 [J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(4): 336~340
Zhai Aijun, Deng Hongwen, Deng Zuyou. Sequence stratigraphy and reservoir prediction of Upper Palaeozoic in Ordos basin [J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(4): 336~340
- 11 杜运华, 钱凯, 张守鹏. 中国天然气储层的岩石、古地理类型与勘探方向 [J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 140~143
Du Yunhua, Qian Kai, Zhang Shoupeng. Exploration orientation and rock palaeogeographic types of China's gas reservoirs [J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(2): 140~143
- 12 裘怿楠, 薛叔浩, 应凤祥, 等. 中国陆相油气储集层 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 149~217
Qiu Yinan, Xue Shuhao, Ying Fengxiang et al. Petroleum reservoirs of continental facies in China [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 1997. 149~217
- 13 吴胜和, 熊琦华. 油气储层地质学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1998. 55~104
Wu Shenghe, Xiong Qihua. Petroleum reservoir geology [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 1998. 55~104
- 14 刘孟慧, 赵澄林. 碎屑岩储层成岩演化模式 [M]. 山东东营: 石油大学出版社, 1993. 1~79
Liu Menghui, Zhao Chenglin. Diagenetic model of elastic reservoirs [M]. Dongying Shandong Petroleum University Press, 1993. 1~79
- 15 张厚福, 方朝亮, 张枝焕, 等. 石油地质学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1999. 314~318
Zhang Houfu, Fang Zhaoliang, Zhang Zhihuan et al. Petroleum geology [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 1999. 314~318
- 16 易荣龙, 黄泽光, 刘树根. 中国中西部压扭性盆地油气地质特征 [A]. 见: 李丕龙, 编. 压扭性盆地勘探理论及方法文集 [C]. 北京: 石油工业出版社, 2001. 71~95
Yi Ronglong, Huang Zeguang, Liu Shugen. Petroleum geologic features of compressive basins in Central West China [A]. In: Li Pílong ed. Proceedings of exploration theory and methodology of compressive basins [C]. Beijing Petroleum Industry Press, 2001. 71~95
- 17 吴奇之, 王同和. 中国油气盆地构造演化与油气聚集 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 73~151
Wu Qizhi, Wang Tonghe. Tectonic evolution and petroleum accumulation of petroleum basins in China [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 1997. 73~151
- 18 刘成林, 李景明. 川西白马庙地区上侏罗统蓬莱镇组天然气藏研究 [J]. 天然气工业, 2002, 22(2): 10~13
Liu Chenglin, Li Jingming. Research on natural gas reservoirs in Upper Jurassic Penglaizhen Formation of Baimaiao region, West Sichuan [J]. Natural Gas Industry, 2002, 22(2): 10~13
- 19 吕明. 莺-琼盆地含气区储层特征 [J]. 天然气工业, 1999, 19(1): 20~24
Lü Ming. Reservoir characteristics of gas-bearing areas in Yingqiong basin [J]. Natural Gas Industry, 1999, 19(1): 20~24

(编辑 李 军)

(上接第 745 页)

- 7 周兴熙. 源-盖联控论述要 [J]. 石油勘探与开发, 1997, 24(6): 4~7
Zhou Xingxi. Essentials about hydrocarbon distribution controlled by source and seal. Petroleum Exploration & Development, 1997, 24(6): 4~7
- 8 付广, 张发强, 吕延防. 厚度在盖层封闭油气中的作用 [J]. 天然气地球科学, 1998, 9(6): 20~25
Fu Guang, Zhang Faqiang, Lü Yanfang. Role of thickness in sealing oil-gas [J]. Natural Gas Geoscience, 1998, 9(6): 20~25
- 9 戴金星, 陈践发, 钟宁宁, 等. 中国大气田及其气源 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2003
Dai Jinxing, Chen Jianfa, Zhong Ningning et al. Large gas fields and their gas sources in China [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 2003
- 10 康竹林, 傅诚德, 崔淑芬, 等. 中国大气田概论 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2000
Kang Zhulin, Fu Chengde, Cui Shufen et al. Introduction to large gas fields in China [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 2000
- 11 李景明, 魏国齐, 曹宪斌. 中国大中型气田富集区带 [M]. 北京: 地质出版社, 2000
Li Jingming, Wei Guoqi, Cao Xianbin. Accumulation zones of large and medium gas fields in China [M]. Beijing Geological Publishing House, 2000
- 12 游秀玲. 天然气盖层评价方法探讨 [J]. 石油与天然气地质, 1991, 12(3): 261~275
You Xiuling. Study on assessment method of caprocks in natural gas pools [J]. Oil & Gas Geology, 1991, 12(3): 261~275
- 13 胡光灿, 谢姚祥. 中国四川东部高陡构造石炭系气田 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 47~135
Hu Guangcan, Xie Yaoliang. Gas fields of Carboniferous system in high and steep structures in the east of Sichuan, China [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 1997. 47~135
- 14 郑朝阳, 张文达, 朱盘良. 盖层类型及其对油气运移聚集的控制作用 [J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(2): 96~101
Zheng Zhaoyang, Zhang Wenda, Zhu Panliang. Cover types and their control over hydrocarbon migration and accumulation [J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(2): 96~101
- 15 邓祖佑, 王少昌, 姜正龙, 等. 天然气封盖层的突破压力 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(2): 136~138
Deng Zuyou, Wang Shaochang, Jiang Zhenglong et al. Breaking pressure of gas cap rocks [J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(2): 136~138

(编辑 高 岩)