

南堡凹陷深层构造岩性油气藏优质储层特征及形成主控因素——以南堡 3 号构造沙一段为例

王政军, 杨玉山, 赵莉莉, 张永超, 刘海青

中国石油冀东油田公司勘探开发研究院, 河北唐山, 063004

南堡凹陷位于渤海湾盆地北部, 是渤海湾盆地典型的陆相新生代富油气断陷凹陷 (董月霞等, 2008)。随着中浅层构造油气藏不断勘探, 中浅层寻找优质规模储量难度越来越大。近年来, 针对中深层构造岩性油气藏勘探取得较大突破, 成为下一步重要勘探领域, 其中南堡 3 号构造沙一段埋深大于 4000m 的碎屑岩储层仍能保存较好的储集性能, 多口井获得高产油气流, 日产油气当量超过百吨。本文以南堡凹陷 3 号构造沙一段构造岩性油气藏储层为例, 探讨优势储层特征及其形成主控因素, 以期对南堡凹陷及渤海湾盆地相似富油气凹陷构造岩性油气藏勘探提供借鉴。

1 优质储层特征

1.1 优势储层岩性特征

根据测录井、岩心、薄片、扫描电镜及全岩 X 衍射等资料表明, 南堡 3 号构造沙河街组一段储层主要分布在沙一上亚段高位体系域, 为一套辫状河三角洲前缘分流河道或河口坝沉积砂岩碎屑岩储层, 该套储层单层厚度大, 最大单层厚度超过 80m, 主要分布在 8~30m。储层岩性主要为岩屑长石砂岩, 其次为长石岩屑砂岩和长石砂岩。砂岩粒度以砂砾岩、含砾不等粒砂岩等中—粗砂岩为主, 颗粒分选较好, 杂基含量少, 结构成熟度中等。另外, 根据该区沙一段镜质体反射率 R_o 分布、烃源岩最大热解峰温 T_{max} 及泥岩中粘土矿物的演化、成岩作用演化、孔隙度演化剖面等研究, 南堡 3 号构造沙一段储层成岩演化阶段现今为中成岩 A_2 亚期。

1.2 优势储层物性及储集空间

根据岩心物性实测资料, 3 号构造沙一段孔隙

度主要分布在 10%~20%, 渗透率主要分布在 $10\sim 1000\times 10^{-3}\mu m^2$, 为中低孔—中渗储层, 细分沉积微相发现, 分流河道孔渗性明显好于河口坝。根据铸体薄片、扫描电镜观察, 南堡 3 号构造沙一段储层储集空间有原生孔隙、次生孔隙、混合孔隙及少量微裂缝。次生孔隙主要为长石、岩屑粒内溶孔及粒间溶扩孔隙, 还可见少量的填隙物溶蚀孔隙。

2 优势储层形成主控因素

2.1 物源与有利沉积相带

研究表明, 自古近纪以来, 南堡凹陷长期接受周边凸起区的物源供给, 其中南部沙垒田凸起从古生代到古近纪沙河街组沉积期一直是隆起剥蚀区, 南堡 3 号长期接受沙垒田凸起母岩为基底太古宇花岗岩物源供给, 具有发育辫状河三角洲的沉积构造背景。近几年多口井钻探证实南堡 3 号构造沙一段物源自南部沙垒田凸起花岗岩母岩 (董月霞等, 2014)。刚性颗粒含量高, 粒度较粗, 杂基含量低, 分选好的水下分流河道砂体, 抗压能力强, 压实作用相对较弱, 有利于孔隙保存。

2.2 有机酸溶蚀

Surdam 研究认为, 有机质在埋藏演化过程中会产生大量有机酸, 有机酸对油气储集岩中矿物组分的溶蚀、自生矿物的产生及次生孔隙的形成具有重要作用。该区沙一段优质成熟烃源岩与碎屑岩储层穿插分布 (王政军等, 2012; Zhu Guangyou et al, 2014), 长石在酸性环境下发生溶解作用的产物之一是 SiO_2 , SiO_2 在酸性环境下会以石英次生加大的形式沉淀。该区沙一段石英次生加大 II-III 级及曹妃甸生烃次凹沙一段烃源岩重排甾烷含量高证实了

注: 本文为国家科技重大专项(编号 2011ZX05006-006)和中石油股份公司重点科技攻关项目 (编号 2013D-0708)的成果。

收稿日期: 2015-02-02; 改回日期: 2015-02-28; 责任编辑: 费红彩。

作者简介: 王政军, 男, 1979 年生, 工程师, 石油地质专业。Email: wzjun2007@126.com。

沙一段为酸性环境。从偏光薄片证实, 优质储层存在大量长石及碳酸盐岩胶结物溶蚀孔, 储层长石与岩屑等硅酸盐矿物的溶解, 能够产生较多的次生孔隙, 有效地改善储层物性。这些证据表明了沙一段优质烃源岩在热演化过程中生成大量有机酸对沙一段紧密接触储层中长石和岩屑等溶蚀形成的溶蚀增孔是滩海地区优质储层重要的成因因素。

2.3 早期油气充注

油气充注作为一种特殊的成岩流体对储层的成岩作用具有重要影响, 油气充注影响成岩作用, 从而影响了储层物性演化, 改善了储层的物性。主要表现为以下 3 方面: ①抑制石英胶结作用, 尤其是早期快速的油气充注对石英胶结有明显的抑制作用; ②促进深部溶蚀改造, 烃类充注携带的有机酸改造原生孔隙, 形成较好的次生孔隙; ③抑制压实作用, 烃类充注增加孔隙流体压力, 从而增加了岩石对压实作用的抵抗能力。从荧光薄片及包裹体荧光照片可以看出, 粒间孔中原油抑制碳酸盐胶结物生长, 另外, 石英及其加大边的微裂隙面中油包裹体呈橘黄色或黄绿色荧光为成熟油特征, 盐水包裹体均一温度显示发生了两期油气充注。根据铸体薄片观察, 发生早期石油充注的孔隙, 后期未被铁白云石等胶结物胶结, 而未发生早期石油充注的孔隙, 后期被铁白云石等胶结物强烈胶结。同时发现含油级别高的储层碳酸盐胶结物含量较少, 即早期油气充注能够有效抑制碳酸盐胶结的生长。试油结果与储层实测物性统计也表明, 该区沙一段异常高孔隙带储层含油级别高的储层孔隙度明显高于含油级别低的。因此, 早期油气充注有效保护了储层孔隙, 对优质储层的形成起了建设性作用。

2.4 成熟烃源岩排烃形成超压

该区沙一段构造岩性油气藏优质储层发育区发育超压: 试油资料结果显示, 3 号构造沙一段优质储层发育区大多为强超压压力系统。叠合南堡凹

陷沙一段烃源岩排烃强度和地层压力分布, 发现超压发育区烃源岩排烃强度大, 该区沙一段地层超压开始发育于馆陶末期明化镇组, 这与烃源岩大规模排烃时间一致, 即超压主要是由于烃源岩大量排烃所致。早期形成的异常高压, 在有机质生烃作用过程中, 压力进一步增高, 并且在有利的保存条件下, 得到有效保存, 从而能够减缓压实作用, 保护储层原生孔隙, 对优质储层的发育起到一定作用。

3 结论

南堡凹陷 3 号构造沙一段构造岩性油气藏优质储层来自辫状河三角洲前缘水下分流河道, 母岩为来自南部物源沙垒田凸起的花岗岩母岩, 分选较好, 杂基含量低, 成分成熟度中等, 成岩演化阶段为中成岩 A₂ 亚期。

南堡凹陷 3 号构造沙一段埋深大于 4000m 的砂岩仍能保存较好的储集性能, 主要存在 4 个方面的有利因素: ①来自南部物源的长石、石英等刚性颗粒含量高的花岗岩母岩和粒度较粗, 杂基含量低, 分选好的辫状河三角洲前缘水下分流河道砂体为深层优质储集层发育提供了物质基础和先决条件; ②超压环境下保护的原生孔隙是发育优质储集层的必要保障; ③优质储层与沙一段烃源岩交互分布, 在埋藏热演化过程中释放大量有机酸溶蚀长石和岩屑等形成溶蚀增孔是优势储层形成的重要成因因素; ④早期油气充注, 抑制碳酸盐胶结作用对孔隙的充填。

综上所述, 除了母岩和有利沉积相带外, 早期油气充注和烃源岩排烃形成超压对原生孔隙均有较好的保存作用, 有机酸溶蚀增加了次生孔隙形成, 即沙一段优质烃源岩是 3 号构造沙一段构造—岩性油气藏优质储层形成的主要控制因素。

参 考 文 献 / References

董月霞, 汪泽成, 郑红菊, 徐安娜. 2008. 走滑断层作用对南堡凹陷油气成藏的控制. 石油勘探与开发, 35(4): 424-430

董月霞, 杨赏, 陈蕾, 王琦, 曹中宏. 2014. 渤海湾盆地辫状河三角洲沉积与深部储集层特征——以南堡凹陷南部古近系沙一段为例. 石油勘探与开发, 41(4): 385-392.

王政军, 马乾, 赵忠新, 夏景生, 张永超, 刘永昌, 王建伟. 2012. 南堡凹陷深层火山岩天然气成因与成藏模式. 石油学报, 33(5): 36-42.

Zhu Guangyou, Wang Zhengjun, Yongjun Wang, et al. 2013. Origin and Source of Deep Natural Gas in Nanpu Depression in Bohai Bay Basin, China. Acta Geologica Sinica, 87(04): 1081-1096.