

渤海湾盆地南堡凹陷外围古生界油气成藏研究

成永生, 陈松岭

(中南大学 信息物理工程学院, 长沙 410083)

摘要: 渤海湾盆地南堡凹陷为第三纪形成的箕状凹陷, 是黄骅坳陷的二级构造单元之一。对南堡凹陷外围地区古生界油气成藏进行了分析研究, 表明外围地区古生界碳酸盐岩不具备油气生成能力, 油源来自于南堡凹陷下第三系, 通过断层和不整合面进行长距离运移, 并在构造高点进行富集, 形成新生古储型油气藏。碳酸盐岩基质孔隙度差, 原生孔隙基本不具备油气储集性能, 晚期未充填构造裂缝乃油气运移与聚集的主要场所; 岩溶发育垂向分带不明显, 溶蚀孔洞孤立且连通性差。发育有不整合油藏以及构造块状油藏两种油气藏类型。

关键词: 碳酸盐岩; 古生界; 油气成藏; 南堡凹陷

中图分类号: TE122.3; P618.13 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2008)04-0330-04

0 引言

我国 28 个盆地中广泛分布海相碳酸盐岩, 总面积超过 $400 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。如在华北、塔里木和扬子古克拉通中, 沉积地层有中-上元古界、古生界和中-新生界, 具有多旋回特点, 古生界以海相碳酸盐岩为主。拥有我国 13% 的石油资源和 26% 的天然气资源的古生界含油气系统是新世纪初我国陆上重要的勘探领域之一。这套层序与国外相比有较大差异, 表现为热演化程度高、构造变动频繁、原盆地保存差、烃源岩丰度偏低、灰岩所占比重偏大等, 其油气排烃与成藏机理、成藏规模并不十分清楚^[1]。对中国海相碳酸盐岩特别是陆上中-古生界碳酸盐岩油气成藏的复杂性和特殊性, 迄今基本形成了共识^[2]。

1 区域概况

南堡凹陷是第三纪形成的凹陷盆地, 位于渤海湾盆地黄骅坳陷的北部的一个二级构造单元(图 1), 属走滑伸展型断陷, 面积 $1\,932 \text{ km}^2$ 。南堡凹陷是在华北地台基底上, 经中、新生代断块运动而发育起来的一个中新生界北断南超的箕状凹陷, 北部以

西南庄断层为界与老王庄凸起相隔, 东部以柏各庄断层为界与柏各庄凸起、马头营凸起相连, 南与沙垒田凸起呈断超式接触, 西以涧东断层与北塘凹陷相邻^[3-6]。南堡凹陷外围地区油气勘探工作始于上世纪 60 年代。本文借助有效烃源岩评价、油气成藏、油气运移等理论和方法^[7-9] 探讨南堡凹陷外围地区古生界油气成藏规律, 总结油气成藏机理, 旨在指导该地区的油气勘探工作。

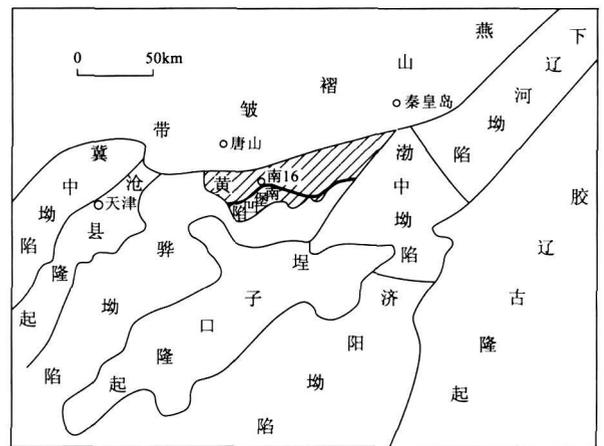


图 1 南堡凹陷及周边地区构造位置图

Fig. 1 Geotectonic position map of Nanpu sag and the surroundings

收稿日期: 2007-08-21; 改回日期: 2008-11-13

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金项目(20040533009)和湖南省科技计划项目(05FJ3054)资助。

作者简介: 成永生(1979), 男, 江西九江人, 博士研究生, 地质资源与地质工程专业。通信地址: 湖南省长沙市中南大学校本部信息物理工程学院, 邮政编码: 410083, E-mail: cys968@163.com

2 油源条件分析

经油源对比研究发现,南堡凹陷周边地区的油源主要来自下降盘下第三系的生油岩,其具有丰富的生油岩层^[10-12]。东营组三段和沙河街组沙三 4+5 亚段有机质丰度高,东三段有机碳平均为 1.05%,生烃潜量平均为 3.87×10^{-3} ,沥青“ A ”平均为 0.1069%,总烃含量平均为 593×10^{-6} ,沙三 4+5 亚段烃源岩生烃潜量为 4.48×10^{-3} ,有机碳、沥青“ A ”和总烃含量均系优质烃源岩。根据整个南堡凹陷烃源岩 R_o 演化趋势,南堡凹陷烃源岩的生烃高峰深度为 4 250 m,生成凝析油的深度大约为 4 900 m。综合分析认为,下第三系生油母质较好、成熟度高、厚度大,这套烃源岩体系在距今 40 Ma 左右开始陆续进入生烃高峰期,最早的排烃高峰期大致发生在距今 36 Ma 左右,烃源岩显微组分总体上以陆生高等植物来源的有机物质占优势,呈现“富含镜质组、贫惰性组”的特征,系优质烃源岩,具备提供充足油源的能力。

3 碳酸盐岩储集层特征

碳酸盐岩储集层的发育情况是决定其是否含油气及油气产能高低的重要因素。碳酸盐岩储层的最大特点就是存在严重的非均质性,其储集空间主要靠裂缝和次生溶孔^[13]。

3.1 基质孔隙度差

从孔隙度和渗透率来看,寒武-奥陶系原生孔

隙不具备油气运移聚集的通道或空间。如寒武-奥陶系各组地层中,崮山组地层平均孔隙度最高(1.62%),次为府君山组(1.0375%);同样,经野外露头岩石采样物性分析显示,孔隙度值为 0.42%~4.4%,其中 87% 的孔隙度值小于 1.5%,渗透率值为 $0.004 \times 10^{-3} \sim 0.658 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,30 个岩石分析样中有 20 个样品的渗透率值低于 $0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,约占 70%,结果有近 82% 的地层被评价为低孔特低渗或特低孔特低渗型储层。从理论上讲,这种基质孔隙度特低的碳酸盐岩可充当盖层的角色,但由于碳酸盐岩属易溶岩石,能否充当盖层目前国际上仍存在有很大的争议。

3.2 晶间孔发育

区内碳酸盐岩沉积物多为灰岩、泥灰岩、白云质灰岩、白云岩、灰质白云岩、泥质白云岩等,晶粒结构多为细晶结构、泥晶结构、粉晶结构。晶粒细,晶间孔极不发育(图 2a)。沉积物成岩后受构造因素影响,寒武-奥陶系未经历深埋藏晚成岩阶段。因此,早期低渗透性储层未能得到有效改善。

3.3 未充填裂缝具有重要储集性能

由于本区曾经历了长时期的沉积间断和风化剥蚀,早期形成的裂缝基本被完全充填(图 2b),通过对 10 口井的碳酸盐岩岩心段裂缝统计表明,共计发育有 127 条,其中全充填缝 104 条,占 81.9%,半充填裂缝 8 条,占 6.3%,未充填裂缝仅 15 条,占 11.8%,半充填缝和未充填缝共计占 18.1%,但对油气的储、渗意义却是非常积极的。裂缝充填物以方解石和泥质为主。经对比研究发现,晚期的构造裂缝充填性差、开启性好,是油气运移和聚集的有利场所。

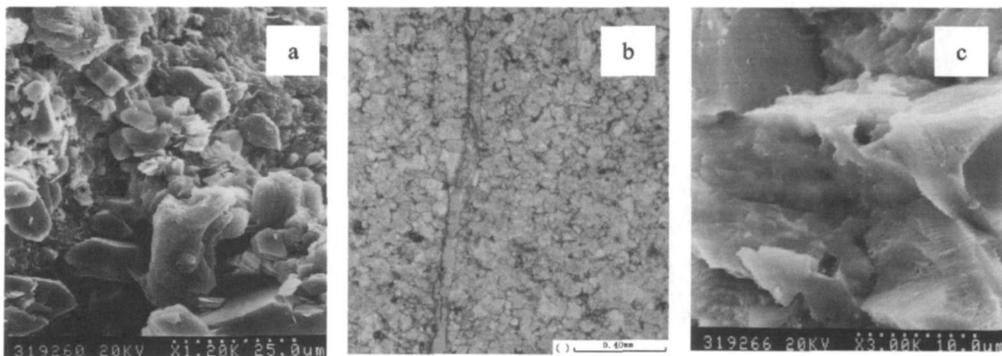


图 2 府君山组灰岩微观结构构造照片

Fig. 2 Micro structure and texture of limestone of Fujunshan formation

a. 府君山组灰岩中的晶间微孔隙 b. 府君山组灰质白云岩中的充填方解石细脉 c. 府君山组灰岩中的晶内溶孔

大地构造运动是导致碳酸盐岩中大量裂缝形成的主要因素,多组多期裂缝相互叠加形成有效的裂缝系统,尤其在不同期次裂缝的交汇部位岩石破碎严重,裂缝开启程度好,有利于油气的运移和聚集。

3.4 岩溶不甚发育

早寒武世—中奥陶世,区域沉积了一套海相碳酸盐岩地层,中奥陶世末的加里东运动使该区整体抬升遭受剥蚀,至中石炭世才重新接受沉积,形成中石炭—二叠系海陆交互及陆相含煤碎屑沉积。因此,本区风化剥蚀强烈,并形成风化壳,溶蚀孔洞较发育(图2c),但因暴露时间长,导致早期溶蚀孔洞充填严重。在古风化壳的钻井过程中钻具放空、井漏等现象并不十分普遍,仅有5口井存在放空现象,且放空和漏失现象90%发生在距不整合面50m范围内。岩溶发育垂向分带不明显,且溶蚀孔洞孤立,同时由于储层基质孔隙度差,影响岩溶的深度发育。

4 盖层条件

区内的主要盖层类型为:①馒头组泥页岩;②中生界暗色泥岩;③新近系泥页岩;④致密性碳酸盐岩。盖层的岩石类型主为泥(页)岩,包括馒头组泥页岩、中生界暗色泥岩以及新近系泥页岩,厚层泥岩呈深灰—灰黑色,质纯,水平层理发育,含少量介形虫和动物介壳化石,为中—深湖相沉积,厚度大、分布范围广,可达控制性盆缘大断裂边界,如高尚堡地区Ed²泥岩厚200~300m,北堡地区泥岩厚约300m,含砂率低(10%~30%),砂岩主要为透镜状近岸水下扇和深水浊积砂体,侧向连通性差^[4]。由于受沉积环境以及构造作用的共同影响,区内碳酸盐岩基质孔隙度或渗透率低,对油气具有一定的封堵阻隔作用。

5 油气圈闭特征

南堡凹陷主要发育了各种背斜(滚动背斜、披覆背斜、逆牵引背斜、断背斜)、断鼻、断块和潜山圈闭,各类圈闭在空间上明显受断裂及构造带的控制,由于中生代以后周边的凸起长期处于隆升剥蚀状态,与潜山有关的圈闭相对发育,为油气的富集提供了有利条件。周边凸起在构造上处于高位置,来自于凹陷内下第三系的油源常常通过特定断裂进行长距

离运移,并在高点进行富集。显而易见,油气的富集程度与潜山关系紧密,常常形成新生古储型油气藏。

6 油气成藏模式

6.1 油气藏类型

潜山所处的大地构造背景、构造部位及后期的各种改造等作用,决定了潜山油气藏研究和勘探的难易程度,而潜山油气藏类型受控于潜山地形地貌、构造属性、储集层(体)类型及生储盖组合的复杂性^[5]。本区主要发育不整合油藏和构造块状油藏两种油气藏类型(图3)。

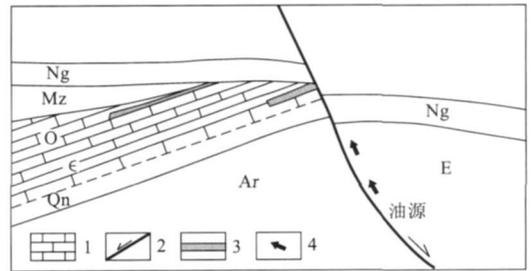


图3 南堡凹陷外围古生界油气藏模式

Fig. 3 The Paleozoic oil reservoir model in Nanpu sag and the surroundings

1. 碳酸盐岩 2. 断层 3. 油藏 4. 油气运移方向

(1) 不整合油藏。西南庄、柏各庄断层上盘凸起油气藏位于高柳断层、西南庄断层和柏各庄断层的交汇处,良好的油气运移通道使得凹陷内生成的油气可以通过高柳断裂直接向凸起中的古潜山进行侧向运移聚集^[6]。如柏各庄潜山寒武系府君山组碳酸盐岩不整合油藏位于T2×1井区块侏罗系油藏之下,受两侧的西南庄与柏各庄断层控制,储油层为府君山组白云岩或白云质灰岩,储集空间为裂缝和溶蚀孔洞,该井在钻进中有放空现象,据测井资料分析属于缝洞复合型储层。

(2) 构造块状油藏。西南庄潜山N21井区块寒武系构造块状油藏位于西南庄断层上升盘,为高柳断层与西南庄断层的交截处,其下降盘为杜林油田N38明化镇组断鼻油藏,储油层为寒武系白云岩和白云质灰岩,储集空间为构造缝、层间缝、粒内溶孔、晶间孔。

6.2 成藏模式

西南庄潜山、柏各庄潜山烃源层为南堡凹陷内的烃源岩,如沙一段、沙二段、沙三4+5亚段、东二

段、东三段等, 储集层主要岩性为白云岩、白云质灰岩、灰质白云岩, 储集空间主要为构造缝、晶间孔、粒内溶孔, 盖层为同时代的上覆泥页岩以及侏罗系煤层, 圈闭类型主要为断块和不整合, 油气运移主要通道为西南庄断层、柏各庄断层以及不整合风化壳, 形成西南庄潜山和柏各庄潜山新生古储型油藏(图 4)。

缝对油气成藏具有重要意义。

(3) 油气通过断层和不整合面进行长距离联合运移, 并在构造高点聚集, 形成新生古储型油气藏。

(4) 发育不整合油藏和构造块状油藏两种油气藏类型, 其中不整合油藏储集空间为裂缝和溶蚀孔洞, 构造块状油藏储集空间为构造缝、层间缝、粒内溶孔、晶间孔。

参考文献:

- [1] 窦立荣, 王一刚. 中国古生界海相碳酸盐岩油气藏的形成与分布[J]. 石油实验地质, 2003, 25(5): 419-425.
- [2] 赵宗举, 范国章, 吴兴宁, 等. 中国海相碳酸盐岩的储层类型、勘探领域及勘探战略[J]. 海相油气地质, 2007, 12(1): 1-11.
- [3] 刘蕴华, 周海民, 熊保贤, 等. 南堡凹陷的含油气系统分析[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(4): 364-365.
- [4] 韩晋阳, 肖军, 郭齐军, 等. 渤海湾盆地南堡凹陷沉降过程、岩浆活动、温压场演化与油气成藏的耦合分析[J]. 石油实验地质, 2003, 25(3): 257-263.
- [5] 谭丽娟, 田世澄. 南堡凹陷油气运移特征及成藏动力学系统划分[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(5): 16-18.
- [6] 周海民, 魏忠文, 曹中宏, 等. 南堡凹陷的形成演化与油气的关系[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(4): 345-349.
- [7] 马永生, 田海芹. 碳酸盐岩油气勘探[M]. 山东: 石油大学出版社, 1999.
- [8] 邹华耀, 张春华. 廊固凹陷河西务潜山带永清—刘其营潜山油气成藏时间与成藏模式[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(3): 25-28.
- [9] 甘华军, 王华, 韩晋阳, 等. 潜山圈闭含油气系统特征研究[J]. 石油实验地质, 2004, 26(4): 338-343.
- [10] 张振英, 邵龙义, 柳广第, 等. 南堡凹陷无井探区烃源岩评价研究[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(4): 64-67.
- [11] 徐龙, 王振奇, 张昌民, 等. 南堡凹陷下第三系储层特征及其影响因素[J]. 江汉石油学院学报, 1994, 16(2): 21-26.
- [12] 李贤庆, 王铁冠, 郑红菊, 等. 南堡凹陷下第三系烃源岩显微组分组成与热演化[J]. 现代地质, 1999, 13(4): 439-443.
- [13] 吕修祥, 金之钧, 皮学军, 等. 塔里木盆地地下古生界碳酸盐岩油气聚集与分布[J]. 中国科学(D辑), 1999, 29(4): 358-361.
- [14] 王家豪, 王华, 王根发. 南堡凹陷厚层泥岩的封盖作用及其与油气的关系[J]. 石油实验地质, 2001, 23(4): 418-423.
- [15] 肖军, 王华, 马丽娟, 等. 北部湾盆地涠西南凹陷 W61 潜山油气成藏条件分析[J]. 新疆石油学院学报, 2003, 15(4): 30-33.
- [16] 曹守连. 南堡凹陷断裂带构造演化及成藏条件分析[J]. 断块油气田, 1997, 4(2): 13-16.

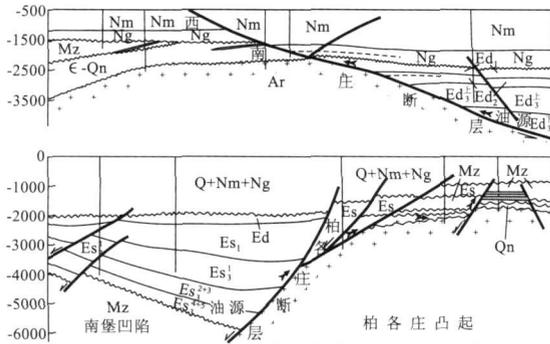


图 4 油气成藏模式图

Fig. 4 The oil reservoir model

上图: 西南庄潜山油气模式 下图: 柏各庄潜山油气模式

Q. 第四系 Nm. 上第三系明化镇组 Ng. 上第三系馆陶组 Ed. 下第三系东营组 Ed₁. 东一段 Ed₂. 东二段 Ed₃. 上. 东三段 Ed₄. 东三段下段 Es. 下第三系沙河街组 Es₁. 沙一段 Es₁. 沙三 1 亚段 Es₂³. 沙三 2+3 亚段 Es₃⁴. 沙三 4+5 亚段 Mz. 中生界 ε. 寒武系 Qn. 青白口系 Ar. 太古界

老王庄、落潮湾潜山储集层为碳酸盐岩, 储集空间为缝洞及风化壳, 盖层为同时代上覆的泥页岩、致密灰岩以及上第三系泥岩, 圈闭以背斜、断块和不整合为主, 烃源层为南堡凹陷下第三系内的烃源岩, 油气主要通过西南庄断层、高柳断层、不整合风化界面进行长距离联合式运移, 并形成新生古储型油藏。如落潮湾的钻井 N66, Z8×1 以及 M42×1 均见油气显示, 其中 M42×1 于寒武系中获得工业油流。老王庄已钻 N3, N9, N10, N33 共 4 口井, 其中 N10 于奥陶系中见油斑显示 31 m/3 层, 荧光 33 m/5 层, N33 奥陶系顶部见荧光 10 m/3 层显示。

7 结语

(1) 古生界寒武—奥陶系碳酸盐岩不具备油气生成能力, 油源主要来自于凹陷内的下第三系地层。

(2) 寒武—奥陶系碳酸盐岩基质孔隙度差, 原生孔隙基本不具备油气储集性能, 晚期未充填构造裂

(下转第 338 页)

质大学出版社, 1989: 100-130.

[8] 王允诚. 油气储层评价[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999.

[9] 王琪, 陈国俊, 史基安, 等. 鄂尔多斯西部长 6 砂岩成岩演化与优质储层[J]. 石油学报, 2005, 26(5): 17-23.

[10] 李士祥, 胡明毅, 李霞, 等. 鄂尔多斯盆地榆林气田山西组 2 段砂岩成岩作用及孔隙演化[J]. 海相油气地质, 2005, 10

(2): 31-36.

[11] 王琪, 史基安, 王多云, 等. 鄂尔多斯西部三叠系长 2 油层组砂岩成岩演化特征[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(3): 261-268.

[12] 刘成林, 朱筱敏, 曾庆猛. 苏格里气田储层成岩序列与孔隙演化[J]. 天然气工业, 2005, 25(11): 1-3.

THE PORE TYPES AND ITS EVOLUTION CHARACTERISTIC IN THE CHANG 6 SANDSTONES IN THE SOUTHEAST MARGIN OF ORDOS BASIN

TIAN Ya ming¹, SHI Ze jin¹, SONG Jiang hai²

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059 China; 2. Changqing Oilfield Company, Xi'an 710021, China)

Abstract: The Cenozoic Chang 6 formation in the Yichuan Xunyi area on the southeast margin of Ordos basin occurs mainly under the front sedimentation environment of delta and locally under sublake fan. The core and slice observation and calculation and the scanning electron microscope and pressure Hg analysis show that sandstones of Chang 6 formation are mostly feldspar detritus sandstone and detritus feldspar sandstone and the residual protozonal intergranular pore and the dissolution pore are the main pore types with the poor pore structure. Compaction and cementation reduced 27.81% of the pore and dissolution increased 0.84% of the pore thus the protozonal porosity of the sandstones is reduced from 34.59% to 7%-8% with the tight sandstone reservoir formed. The reservoir space is mostly the protozonal intergranular pore.

Key Words: pore type; pore evolution; pore structure; diagenesis; Yanchang formation; Ordos basin

(上接第 333 页)

STUDY ON THE PALEOZOIC HYDROCARBON POOL FORMING IN PERIPHERAL OF NANPU SAG, BOHAIWAN BASIN

CHENG Yong sheng, CHEN Song ling

(School of Inorganic Physics and Geomatics Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Nanpu sag in Bohaiwan basin is a Tertiary semi-graben fault sag, and is also one of the sub-tectonic units of Huanghua depression. The Paleozoic hydrocarbon pool forming was studied. It suggests that the source rock in peripheral of Nanpu sag isn't the carbonate but the Lower Tertiary strata from which oil is migrated long distance along fault and unconformity and accumulates at high position of structures forming as the newly born paleo-reservoir. It is characterized by the lower matrix porosity for carbonate with the primary pore incapable of reservoir. The late formed unfilled tectonic fracture is the dominant reservoir space for oil migration and accumulation. The paleo-karst is not developed in vertical zoning and corroded cavity is isolated with poor connectivity. In this zone, the reservoir types mainly consist of unconformity reservoir and structural reservoir.

Key Words: carbonate; Paleozoic; hydrocarbon pool forming; Nanpu sag