

文章编号: 1009-3850(2008)01-0076-06

南堡凹陷周边古生界油气藏形成条件及成藏模式

成永生¹, 陈松岭^{1,2}, 王海², 藏锋³

(1. 中南大学 信息物理工程学院, 湖南 长沙 410083; 2. 中南大学 地学与环境工程学院, 湖南 长沙 410083; 3. 中国石油 冀东油田公司, 河北 唐山 063004)

摘要: 为深入分析南堡凹陷周边地区碳酸盐岩油气成藏机理, 笔者通过对区内碳酸盐岩的薄片鉴定、化学分析、烃源岩分析、物性分析、铸体压汞等实验测试和分析。结果表明, 区内碳酸盐岩不具备生油能力, 其油源为南堡凹陷古近系生油岩, 且古近系生油岩生油母质较好、成熟度高、厚度大; 碳酸盐岩基质孔隙度差, 晶间孔欠发育, 早期裂缝基本被充填完全, 晚期构造裂缝为油气运移和聚集的主要空间; 岩溶发育垂向分带不明显, 溶蚀孔洞孤立且连通性差; 区内主要发育有 4 类盖层, 且储盖组合良好, 发育有不整合油藏和构造块状油藏两种油气藏类型。

关键词: 碳酸盐岩; 储集性能; 油气藏类型; 成藏模式; 南堡凹陷

中图分类号: TE122.3 **文献标识码:** A

南堡凹陷位于黄骅拗陷北端, 北靠燕山褶皱带, 东邻渤中拗陷, 西为沧县隆起^[1,2], 主要包括西河凸起、涧河凹陷、老王庄落潮湾凸起、西南庄柏各庄凸起、马头营凸起、石臼坨凹陷、乐亭凹陷和姜各庄凸起(图 1), 分布有 5 个潜山带^[3]。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^[4-8], 拟研究南堡凹陷周边地区古生界油气成藏规律, 探讨总结油气成藏机理, 旨在指导该地区的油气勘探工作。

1 烃源岩条件

寒武系—奥陶系灰岩生烃能力小, 由于抬升作用以及风化剥蚀, 寒武系—奥陶系埋藏浅且达不到成熟生油门限的深度, 故潜山本身不具备生油能力^[9-11]。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古近系的生油岩, 其具有丰富的生油岩层, 其中沙一段、沙二段、沙三⁴⁻⁵亚段、东二段、东三段均具有较好的生烃潜力(表 1), 该套烃源岩于距今 40Ma 左右开始陆续进入生烃高峰期,

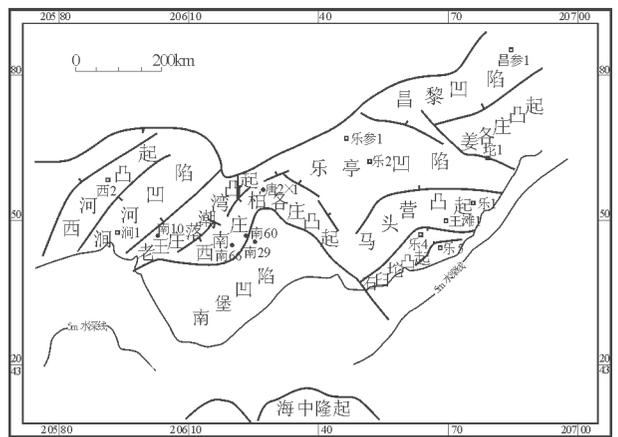


图 1 南堡凹陷周边地区构造区划分图

Fig 1 Structural division in the peripheral areas of the Nanpu depression

最早的排烃高峰期大致发生在距今 36Ma 左右^[12], 烃源岩显微组分总体上以陆生高等植物生源的有机物质占优势, 呈现“富含镜质组、贫惰性组”的特征^[13], 系优质烃源岩, 具备提供充足油源的能力。

收稿日期: 2007-09-30 改回日期: 2007-12-25

作者简介: 成永生 (1979—), 男, 博士, 主要从事地质资源与地质工程研究。Tel: 13017386868, E-mail: cy968@163.com

表 1 南堡凹陷周边地区地层简表
Table 1 Stratigraphic division in the peripheral areas of the Nanpu depression

地 层				岩 性 描 述
界	系	组	段	
新生界	古近系	东营组	东一段	泥岩与砾岩、砂砾岩、砂岩互层
			东二段	泥岩夹砂岩、砂砾岩
			东三段	砂砾岩与泥岩互层
		沙河街组	沙一段	泥岩夹砂岩、粉砂岩
			沙二段	
			沙三段	砂砾岩、砂岩与泥岩互层
中生界	白垩系		以泥岩为主	
	侏罗系		砂砾岩间夹煤层和碳质泥岩	
上古生界	二叠系		砂砾岩、砂岩及泥岩	
	石炭系		铝土岩、泥岩夹砂砾岩、炭质泥岩及煤层	
下古生界	奥陶系	峰峰组	灰黄色花斑状含白云质泥质灰岩	
		上马家沟组	褐灰色灰岩夹条带状灰岩	
		下马家沟组	黄色白云岩与褐灰色花斑状灰岩互层, 夹薄层泥岩及泥灰岩, 局部夹有透镜状泥质条带	
		亮甲山组	以深灰色白云岩为主, 上部夹灰岩, 下部夹泥灰岩	
		冶里组	含白云质泥灰岩、泥质条带灰岩、竹叶状灰岩	
	寒武系	凤山组	白云质灰岩、鲕状灰岩、含鲕灰岩夹条带状灰岩、竹叶状灰岩	
		长山组	条带状灰岩夹竹叶状灰岩	
		崮山组	灰紫色页岩、泥质条带灰岩、灰岩、鲕状灰岩、竹叶状灰岩	
		张夏组	泥质条纹灰岩及灰岩	
		徐庄组	灰紫色/紫红色页岩、泥岩夹灰色鲕状灰岩	
		毛庄组	灰色鲕状灰岩、灰岩夹灰紫色泥质条带	
		馒头组	紫红色泥质页岩夹灰褐色灰质白云岩	
		府君山组	褐色白云岩、白云质灰岩、灰白色灰岩	

2 储层特征分析

2.1 碳酸盐岩物性特征分析

经岩心取样分析表明, 寒武系—奥陶系各组地层中(表 1), 崮山组平均孔隙度最高(1.62%), 次为府君山组(1.0375%), 其余岩石地层的有效孔隙度均低于1%; 野外露头采样物性分析表明, 孔隙度值均介于0.42%~4.4%, 其中87%的孔隙度值低于1.5%, 渗透率值为(0.004~0.658)×10⁻³μm², 30个岩石分析样中有20个样品的渗透率值低于0.01×10⁻³μm², 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。从孔隙度和渗透率来看, 寒武系—奥陶系原生孔隙不能够为油气的运移聚集提供通道或空间, 不具备储集性能。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, 能否充当盖层国际上尚有争议。

2.2 碳酸盐岩结构、构造特征

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(图 2), 晶粒细, 晶间孔极不发育。沉积物成岩后受构造因素影响, 寒武系—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。

2.3 岩溶发育特征

南堡凹陷周边地区早寒武世至中奥陶世海水浸入, 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, 至中石炭世才重新下沉, 并沉积了中石炭统一二叠系的海陆交互及陆相含煤碎屑沉积。因此, 本区风化剥蚀强烈, 并

形成厚的风化壳,溶蚀孔洞较发育(图 3),但因暴露时间长,导致早期溶蚀孔洞充填严重(图 4)。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,78×1 于奥陶系放空 1.79m,其余井的放空都不足 1m,放空和漏失近 90%发生在距不整合面 50m 范围之内,FC 井放空现象发生在距不整合面 166m 处。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。

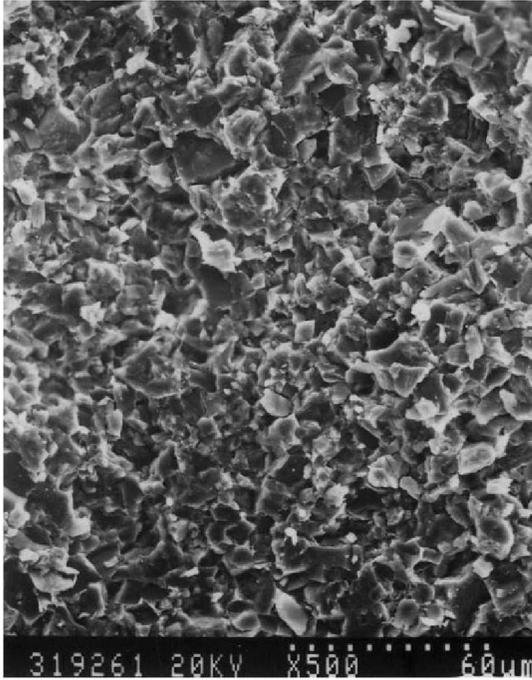


图 2 N16 井, 31.28m 府君山组粉晶白云岩
Fig 2 Micritic dolomite in the Fujunshan Formation, 31.28 m, N-16 well



图 3 冶里组灰岩中发育的溶孔
Fig 3 Solution openings in the limestone from the Yeli Formation

2.4 裂缝发育特征

构造运动导致碳酸盐岩中形成了大量的裂缝(图 5),多组多期裂缝相互叠加形成有效的裂缝系统,尤其在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,对油气的运移和聚集非常有利。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 6),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 12 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,被未充填或半充填,是油气运移和聚集的有利场所。

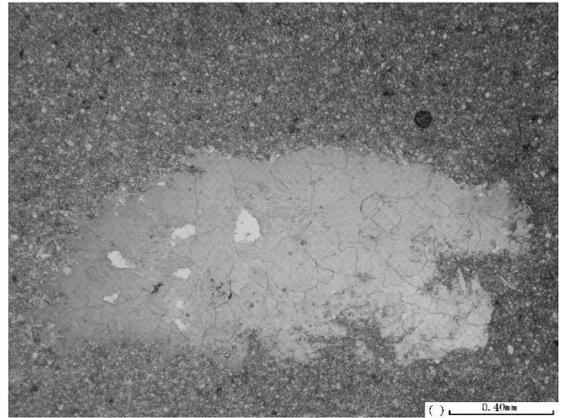


图 4 溶蚀状方解石脉充填于深孔中
Fig 4 Corroded calcite veins filling in the solution openings

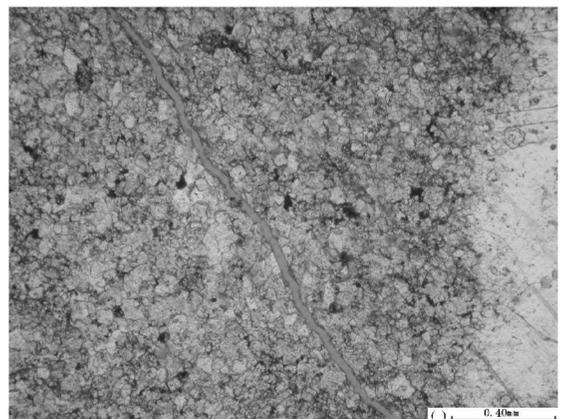


图 5 N13, 1337m 府君山组细晶白云岩发育的未充填裂缝
Fig 5 Unfiled fissures in the micritic dolomite from the Fujunshan Formation, 1337 m, N-13 well

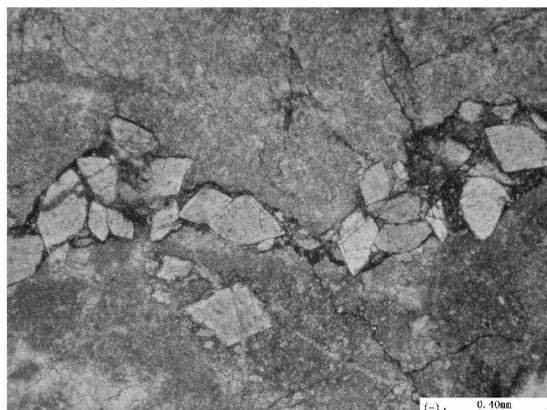


图6 $Z8 \times 1, 1850.24\text{m}$ 府君山组灰岩中发育的缝线被泥质充填

Fig 6 Sjolines filled by mud in the limestone from the Fu Junshan Formation, 1850.24 m, $Z8 \times 1$ well

3 盖层条件

区内发育的主要盖层类型有: ①馒头组泥页岩; ②中生界暗色泥岩; ③古近系泥页岩; ④致密性碳酸盐岩(?)。盖层主要岩石类型为泥(页)岩, 包括馒头组泥页岩、中生界暗色泥岩以及古近系泥页岩, 厚层泥岩呈深灰色/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 Ed 泥岩厚 200~300m, 北堡地区泥岩厚 300m 左右, 含砂渗透率低(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^[14]。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。

4 油气运移条件

本区古生界油气藏的油气运移模式主要为沿断层和不整合面的联合运移模式(图7)。南堡凹陷共发育有大小断裂百余条, 断层成为沟通油源与储集层的重要途径, 通过断层使得凹陷内生成的油气能够顺利地向周边进行运移, 并于合适的圈闭中聚集成藏。不整合面对油气的侧向排驱具有重要作用, 使得油气水平运移到达周边地区的潜山圈闭中。

5 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

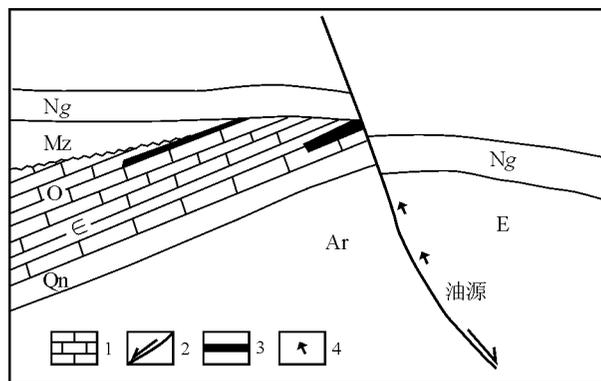


图7 南堡凹陷周边油气运移模式

1. 碳酸盐岩; 2 断层; 3 油藏; 4. 油气云移方向

Fig 7 Model for hydrocarbon migration in the peripheral areas of the Nanpu depression

1 = carbonate rock; 2 = fault; 3 = hydrocarbon accumulation; 4 = migration direction of hydrocarbons

闭, 各种类型的圈闭在空间上的分布明显受断裂及构造带的控制, 由于周边凸起地区自中生代以来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^[12]。周边凸起在构造上处于高位置, 来自于凹陷内古近系的油源常常通过控凹断裂和控带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^[15], 常常形成新生古储型油气藏。

6 油气藏成藏模式

区内主要发育不整合油藏和构造块状油藏两类油气藏类型。

6.1 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。如柏各庄潜山寒武系府君山组碳酸盐岩不整合油藏位于 $T2 \times 1$ 井区块侏罗系油藏之下(图8), 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。

6.2 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(图9), 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。

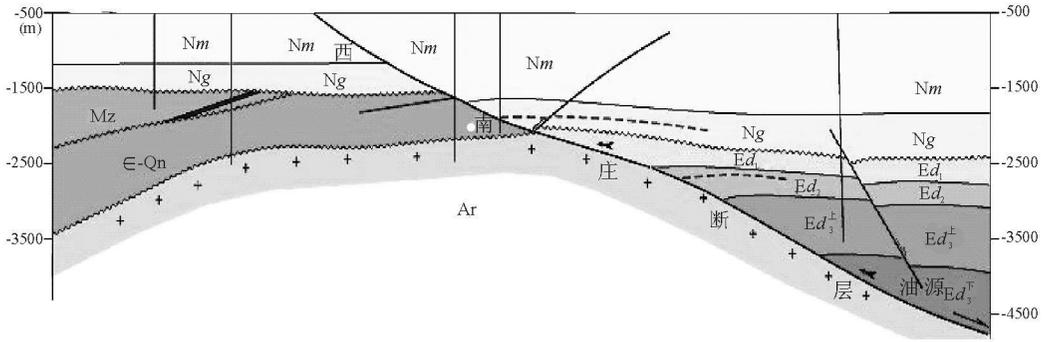


图 8 柏各庄潜山油气成藏模式

Fig 8 Model for hydrocarbon accumulation in the Baigezhuang buried hills

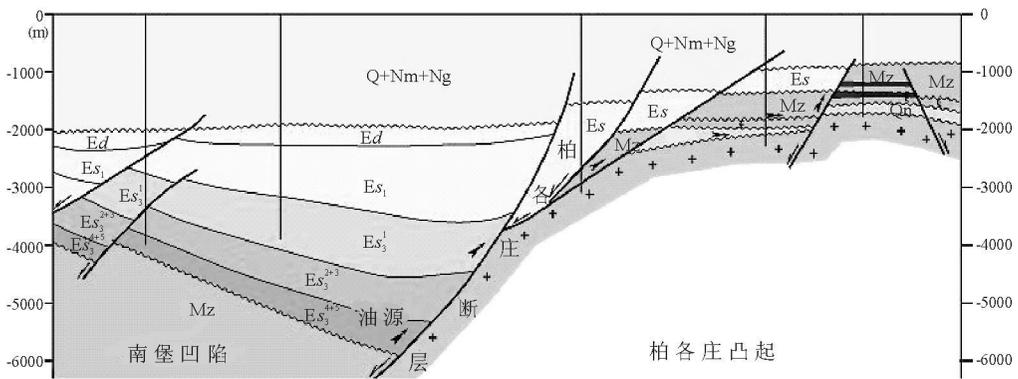


图 9 西南庄潜山油气成藏模式

Fig 9 Model for hydrocarbon accumulation in the Xianzhuang buried hills

7 结论与认识

(1) 寒武系—奥陶系碳酸盐岩生烃能力小, 埋藏较浅达不到成熟生油门限的深度, 故潜山本身不具备生油能力, 其油源主要来自于南堡凹陷古近系烃源层;

(2) 碳酸盐岩基质孔隙度低, 属特低孔特低渗型储层, 晚期构造裂缝、未充填的孔洞乃油气运移、聚集的有利空间;

(3) 区内寒武系—奥陶系未经深埋藏晚成岩阶段, 导致碳酸盐岩储集性能未得到有效改善, 是其基质孔隙度差的主要原因;

(4) 泥(页)岩是主要的盖层岩石类型, 其分布范围广、封盖能力好, 基质孔隙度差的碳酸盐岩对油气也具有一定的封堵阻隔能力。

参考文献:

[1] 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

[2] 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.

[3] 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

[4] 马永生, 田海芹. 碳酸盐岩油气勘探 [M]. 东营: 石油大学出版社, 1999.

[5] 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.

[6] 宋传春. 济阳坳陷低位古潜山成藏条件分析 [J]. 特种油气藏, 2004, 11(4): 12—15

[7] 童小兰, 卢明国, 张建华. 江汉断陷盆地潜山油气成藏模式探讨 [J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(4): 48—51

[8] 袁红军, 曲萍. 济阳坳陷平方王——平南潜山带油气成藏模式 [J]. 断块油气田, 2003, 10(4): 1—4

[9] 卢鸿, 王铁冠, 徐新德, 等. 南堡凹陷原油的有机地球化学特征 [J]. 江汉石油学院学报, 1998, 20(3): 28—35

[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] 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.
- [13] 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
- [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] 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

Hydrocarbon accumulation and models for the Palaeozoic reservoirs in the peripheral areas of the Nanpu depression

CHENG Yong-sheng¹, CHEN Song-ling², WANG Hai¹, CANG Feng³

(1. School of Info-Physics and Geomatics Engineering, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China; 2. School of Geoscience and Environmental Engineering, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China; 3. East Hebei Oil Field Company, PetroChina, Tangshan 063004, Hebei, China)

Abstract: The investigation of the mechanisms for the hydrocarbon accumulation in the carbonate rocks in the peripheral areas of the Nanpu depression is made by means of the analysis of thin section, chemical property, source rocks, physical property and mercury injection experiments of cast sections. The results show that the carbonate rocks in these areas are not capable of oil generation, and oil is mostly derived from the Palaeogene source rocks which have better types of organic matter, high maturity and tremendous thickness. The carbonate rocks are characterized by lower porosity of matrix and less developed intercrystal pores. The early structural fractures have almost been filled, and only late ones may serve as the dominant reservoir spaces for the accumulation and migration of hydrocarbons. No vertical zoning is observed for the development of palaeokarsts, and the solution openings are isolated and poorly connected on the whole. There are four types of cap rocks dominated by mudstone (shale), constituting excellent seal reservoir associations together with the reservoir rocks. The reservoir types consist of unconformable reservoirs and structural reservoirs.

Key words: carbonate rock, reservoir quality, reservoir type, model for hydrocarbon accumulation