

轮南地区石炭系砂泥岩段 S3 层储层特征与评价

邵洪伟¹, 马青¹, 邓强¹, 高春海¹, 付春艳¹, 杨海军²

(1. 西南石油大学 资源与环境学院, 四川 成都 610500;

2. 中国石油天然气集团公司塔里木油田公司 勘探开发研究院, 新疆 库尔勒 841000)

摘要: 从沉积环境入手, 依据岩芯、铸体薄片、测井解释、压汞试验、物性分析等资料, 并结合区域地质背景对塔里木盆地北部轮南地区石炭统卡拉沙依组砂泥岩段 S3 砂组进行了研究。结果表明: 该区砂泥岩段 S3 砂组优质储层的岩性为岩屑砂岩、含砾不等粒砂岩、粉砂岩等; 储层孔隙类型以粒间孔、粒间溶孔为主, 发育少量粒缘缝; 碳酸盐岩胶结物在轮南地区砂泥岩段 S3 砂组储层中较为普遍, 钙质体积分数较高。钙质主要以方解石、铁方解石、铁白云石胶结物的形式存在; 优质储层的分布受控于沉积环境, 集中发育在砂泥岩段 S3 砂组上部的三角洲前缘相的分流河道与前缘席状砂和砂泥岩段 S3 砂组下部潮坪相的潮道和砂坪微相里, 所以这些区域是油气勘探的重点目标区。

关键词: 塔里木盆地; 轮南; 石炭系; 砂泥岩段; S3 砂组; 沉积相; 储层

中图分类号: TE122; P618.130.2⁺1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2010)01-0054-06

Reservoir Characteristics and Evaluation on S3 Sand Layer of Carboniferous Sand and Claystone Member in Lunnan Area

SHAO Hong-wei¹, MA Qing¹, DENG Qiang¹, GAO Chun-hai¹, FU Chun-yan¹, YANG Hai-jun²

(1. School of Resources and Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, Sichuan, China;

2. Institute of Exploration and Development, Tarim Oilfield Company, China National Petroleum Corporation, Kuerle 841000, Xinjiang, China)

Abstract Based on core, cast thin section, log interpretation, mercury penetration and physical property analysis, S3 sand layer of Carboniferous sand and claystone member in Lunnan area of north Tarim is analyzed according to regional geological setting and depositional environment. The result shows that the lithology of high quality reservoirs in S3 sand layer are lithic sandstone, pebbled sandstone, siltstone and so on; the types of pore space are mostly intergranular pore and intergranular dissolved pore, and little grain boundary fissures; carbonatite cement is widespread in the reservoir of S3 sand layer of carboniferous sand and claystone member in Lunnan area; calcic is in the form of calcite, ferrocalcite and ankerite cement, and the content is high; the distribution of high quality reservoir is controlled by depositional setting, and mostly developed in distributary channel and delta front sheet sand of delta front facies in the upper S3 sand layer of carboniferous sand and claystone member, which are the important target areas for oil and gas exploration.

Key words: Tarim Basin; Lunnan area; carboniferous sand and claystone member; S3 sand layer; sedimentary facies; reservoir

0 引言

十几年来, 塔里木盆地油气产量的 60%~80% 来源于上泥盆统一石炭系产层, 石炭系是塔里木盆

地一个十分重要的碎屑岩勘探目的层系, 在轮南东部、南部和西部围岩都有分布, 总井数约 200 口。轮南中部及南部石炭系砂泥岩段普遍见到油气显示, 部分井获得高产, 说明有非构造油气藏的

收稿日期: 2009-04-01

基金项目: 中国石油天然气集团公司项目(041007040007)

作者简介: 邵洪伟(1976-), 男, 四川成都人, 理学硕士, 从事油气地质综合研究。E-mail: greatshao@qq.com

存在, 但砂体横向变化大, 储层的分布预测难度大, 这些都制约了油气勘探, 因此, 开展轮南地区石炭系沉积储层的深入研究, 寻找有利砂体和尖灭线分布, 对于支持油气勘探、随钻研究都具有重要意义^[1-2]。

笔者在分析沉积背景的基础上, 探讨了轮南地区石炭系砂泥岩段 S3 层储层的岩石学、孔隙结构和储集物性等特征, 并对其影响的主要因素进行了系统分析与研究, 为该类储层评价与有利区预测提供地质依据。

1 地质背景

塔北隆起位于塔里木盆地北部, 北邻库车拗陷, 南靠满加尔凹陷, 西与阿瓦提凹陷为邻, 向东延伸与库鲁克塔格断隆相接^[3]。根据不同的构造特征与沉积特征, 塔北隆起可进一步划分为 6 个

次一级构造单元, 即轮台断隆、英买力低隆、哈拉哈塘凹陷、轮南低隆、草湖凹陷及库尔勒鼻隆^[4]。研究区主要位于塔北隆起上的轮南地区, 该区石炭系卡拉沙依组砂泥岩段主要由陆源碎屑岩组成, 是油气长期持续运移的指向区和聚集区, 目前勘探程度较高。

2 地层划分与沉积相展布

利用在“旋回对比”基础上运用“厚度控制”原则来约束的方法^[5], 对轮南地区石炭系砂泥岩段地层的详细研究后得出砂泥岩段地层由一个完整的海退海侵旋回组成, 并按照此旋回将轮南地区砂泥岩段地层进一步细分为 2 个亚段 3 个小层(表 1)^[6]。由于轮南地区石炭系的 7 口测试出油气井中有 6 口的油气分布在砂泥岩段下亚段 S3 砂组, 笔者将对此层作重点研究分析。

表 1 轮南地区石炭系卡拉沙依组砂泥岩段细分层地层划分

Tab. 1 Stratigraphic Classification of Sand and Claystone Member of Kalashayi Formation of Carboniferous in Lunnan Area

地层						岩性特征
系	统	组	段	亚段	砂组	
石炭系	上统	卡拉沙依组	含灰岩段			厚层、巨厚层灰色灰岩 夹薄层钙质泥岩和泥灰岩
			砂泥岩段	上亚段	S1 砂组	厚层、巨厚层棕褐色、灰绿色泥岩、高伽马泥岩夹厚层灰色细砂岩、高伽马砂岩、钙质砂岩和砂砾岩
	下亚段			S2 砂组	巨厚层棕褐色、灰绿色泥岩为主夹厚层灰色砾岩、含砾砂岩和砂岩, 上部为灰色砾岩、含砾砂岩和泥岩互层	
				S3 砂组	厚层灰色细砂岩为主, 或巨厚层棕褐色、灰绿色钙质泥岩为主夹薄层灰色粉砂岩、细砂岩和含砾砂岩	
	下统			上泥岩段		

运用单因素分析多因素综合作图法这一一定的岩相古地理研究方法^[7], 将轮南地区石炭系卡拉沙依组砂泥岩段下亚段 S3 砂组进一步分为上下两部分来详细分析其沉积相的展布规律。得出以下认识:

(1)轮南地区石炭系砂泥岩段下亚段 S3 砂组下部沉积期间沉积环境主要为潟湖相—潮坪相, 潟湖环境主要分布于轮古西部地区, 为前三角洲—潟湖相泥岩沉积, 潮坪相区主要分布于轮古中部—轮古东部地区, 岩性为泥岩夹砂岩或砂泥岩互层沉积。

(2)石炭系砂泥岩段下亚段 S3 砂组上部沉积期间沉积环境主要为三角洲前缘沉积和潮坪沉积, 三角洲前缘分布于轮古西部—轮古中部地区, 河口砂坝、席状砂、水下分流河道砂岩非常发育, 大多数

井的油气显示均在这层, 是石炭系砂泥岩段的主要储产层段。同时在轮古中部轮南 59 井区发育潮坪相沉积, 而东北方向的草 5、草 3 井区出现三角洲平原沉积, 并且有逐渐向西南方向进积的趋势。

3 储层特征及评价

3.1 储层岩石学特征

轮南地区石炭系砂泥岩段 S3 砂组储层岩石类型包括粗—中粒、中—细粒、细粒岩屑砂岩、含砾不等粒砂岩、砾岩、粉砂岩等, 砂岩类石英颗粒数量比例一般为 20%~50%, 个别达到 76%, 主要为单石英, 而岩屑颗粒数量比例为 30%~60%, 个别石英颗粒数量比例达到 92%(图 1)。其矿物成分成熟度与结构成熟度均较低, 颗粒分选磨圆中—差, 以棱角—次棱角状为主, 颗粒之间的填隙物主

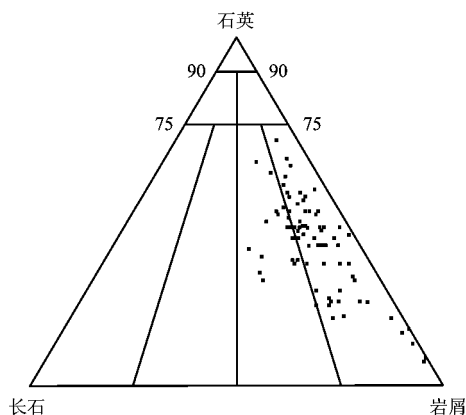


图 1 轮南地区砂泥岩段 S3 砂组砂岩组分三角图

Fig. 1 Components of Sandstones in S3 Sand Layer of Sand and Claystone Member in Lunnan Area

要为泥质和灰质, 颗粒数量比例一般为 8% ~ 25%, 胶结类型主要为孔隙式胶结, 颗粒支撑^[8]。砾岩中的砾石成分主要为石英砾、燧石砾、火成岩砾和灰岩砾。

3.2 孔隙类型及结构特征

3.2.1 储层孔隙类型

轮南地区石炭系砂泥岩段储层孔隙类型以粒间孔、粒间溶孔为主, 次为粒内溶孔、胶结物内溶孔、方解石及高岭石晶间微孔, 发育少量粒缘缝、微裂缝。砂岩普遍为碳酸盐胶结, 而且岩屑成分中碳酸盐岩体积分数较高, 多为团粒状泥粉晶灰岩和白云岩散布于颗粒间, 交代和重结晶作用较强, 对孔隙的影响很大。大部分样品铸体孔径均值小于 10 μm , 孔隙分布比较分散, 多呈零星状或团块状分布, 连通差。储层砂岩以微孔为主, 其次为粒间孔、粒间溶孔和粒内溶孔、晶间孔; 储层主要发育收缩缝, 其次为构造缝; 面孔率的平均值为 2.19%。储层属特低孔型。

3.2.2 储层孔隙结构特征

储层孔隙和喉道的几何形态、大小及其相互连通和配置关系决定了岩石的储集性能^[9-10]。轮南地区石炭系砂泥岩段砂岩的孔隙多呈不规则状、伸长状, 孔隙分布不均匀, 常呈团块状分布于砂体中。不同岩性孔隙的连通情况不同, 细粒填隙物高的粉砂岩、细砂岩孔隙连通性差, 渗透率低。细粒填隙物体积分数少的中砂岩、粗砂岩、含砾砂岩孔隙发育好, 孔隙连通性较好, 渗透率较高。毛管压力曲线为较粗—较细歪度^[11], 大部分样品表现出孔隙结构中等的特征。

3.3 储层控制因素

3.3.1 沉积环境和水动力条件

沉积相或微相除了直接控制储层原始物性外, 更重要的是成岩作用也受到沉积环境、砂岩结构和物质成分的影响^[12-13]。在不同沉积环境下形成的砂体, 其沉积碎屑成分、结构、粒度、分选、单层厚度等均有明显差异, 导致其原始储集条件存在很大差异。原始储集条件越优越, 越容易受后期地质作用的改造而形成高孔隙发育带^[14]。研究区卡拉沙依组储层应该以原生粒间孔隙和粒间溶蚀扩大孔隙为主, 所以沉积相是储层物性的主控因素。轮南地区石炭系砂泥岩段下亚段 S3 砂组下部主要为潟湖—潮坪沉积, 此种环境中海水的能量较弱, 主要以潮汐作用为主, 砂岩的分选性较差, 以岩屑砂岩为主, 加上碳酸盐胶结物较多, 储层物性极差, 基本为非储层。石炭系砂泥岩段下亚段 S3 砂组上部沉积期间沉积环境主要为三角洲前缘沉积和潮坪沉积, 水动力条件较强, 砂岩的分选性较好, 粒度较粗, 物性相对较好。

3.3.2 沉积物的粒度参数

对于轮南地区石炭系砂泥岩段下亚段 S3 砂组以残余原生孔隙或粒间孔为主的储层来说, 砂岩的粒度均值与储层的孔隙度和渗透率关系密切, 即随着砂岩颗粒的粒度增大, 分选性变好, 孔隙度和渗透率逐渐增高。

3.3.3 碳酸盐岩体积分数

碳酸盐岩胶结物在轮南地区砂泥岩段储层中较为普遍, 钙质体积分数较高, 钙质主要以方解石、铁方解石、铁白云石胶结物的形式存在, 钙质体积分数的多少直接影响着储层的物性。通过统计轮南 9 井、轮南 14 井、轮南 18 井、轮南 19 井和轮南 32 井的 48 个配套样品的物性与填隙物体积分数的关系(图 2), 发现物性的好坏与孔隙的胶结物直接相关, 二者之间存在负指数相关关系。

3.4 储层物性特征

此次研究中统计了轮南地区 13 口井的石炭系砂泥岩段储层物性参数, 并且根据砂泥岩段地层的划分, 选用 502 块岩芯样品物性分析数据对取心井进行统计, S3 砂组进一步细分为上下两个小层, 按照分层结果对单井取芯段孔隙度、渗透率进行分层统计。

砂泥岩段下亚段 S3 砂组上部: 共统计了 11 口井 318 块砂岩样品, 物性较好, 孔隙度最大为

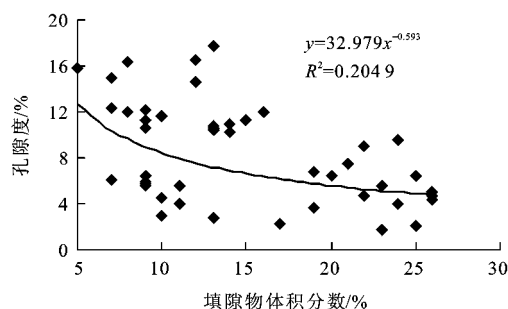


图 2 轮南地区石炭系砂泥岩段下亚段 S3 砂组
储层孔隙度与填隙物体积分数关系

Fig. 2 Relationship Between Porosity and Filling Materials
in Reservoir of the Lower S3 Sand Layer of Carboniferous
Sand and Claystone Member in Lunan Area

23.85%, 最小 2.29%, 平均 9.79%; 渗透率最大为 $1.21374 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均 $28.79 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。物性很好, 并且有 50% 样品的渗透率在 $(1 \sim 100) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 范围分布。

砂泥岩段下亚段 S3 砂组下部: 共统计了 6 口井 184 块砂岩样品, 物性普遍较差, 孔隙度最大为 16.64%, 最小为 1.35%, 平均为 5.28%; 渗透率最大为 $631.35 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均为 $11.59 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。渗透率普遍偏小, 小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的超过 80%。从以上物性分布及统计结果看, 砂泥岩段下亚段 S3 砂组上部砂岩储层主要是三角洲前缘水下分流河道环境中沉积的, 砂岩分选性较好, 因此储层物性相对较好, 而 S3 砂组下部砂岩主要是在潮坪环境中沉积的, 物性相对较差。

储层孔隙度与渗透率之间的关系是储层孔隙类型和储层孔隙结构的反映, 通过分析储层孔隙度与渗透率的相关关系可以推测储层的相关特性^[15] (图 3)。轮南地区砂泥岩段砂岩储层的孔隙度与渗透率基本呈指数正相关关系, 即随着孔隙度增加, 渗透率也在相应增加, 孔—渗相关性较好, 相关系数为 0.83。

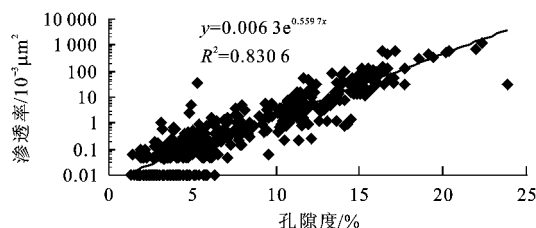


图 3 轮南地区石炭系砂泥岩段砂岩孔隙度与渗透率关系
Fig. 3 Relationship Between Porosity and
Permeability of Sandstone in Carboniferous
Sand and Claystone Member in Lunan Area

3.5 有利储集区带分布预测

轮南地区石炭系砂泥岩段下亚段 S3 砂组取芯段实测孔隙度平均值约 10%, 单层砂岩储层厚度约 3 m, 砂岩累加厚度约 10 m, 油气显示非常丰富并且有 6 口井测试出油气。本研究储层平面评价和有利储集区带预测的依据为:

(1) 地层分层: 首先将轮南地区砂泥岩段下亚段 S3 砂组细分为上下两部分。

(2) 沉积相及砂体分布预测研究: S3 砂组下部为潟湖—潮坪沉积, 砂岩储层主要分布于潮坪相区内; S3 砂组上部为三角洲—潮坪—潟湖沉积, 砂岩储层主要分布于三角洲—潮坪相区内。

(3) 储层物性及砂岩孔隙度分布: 轮南地区 S3 砂组取芯较少, 但大部分井有测井解释孔隙度, 应用砂体的平面孔隙度分布图就可以对储层进行评价和预测, 分别做出了两层的测井解释孔隙度等值线图。将每一层的砂岩厚度等值线图、孔隙度等值线图叠加在一张图上, 并参考油气显示情况和沉积相图, 即可对轮南地区砂泥岩段 S3 砂组进行储层评价和预测 (图 4.5)。

3.5.1 轮南地区砂泥岩段 S3 砂组上部储层评价及有利储集区带预测

轮南地区砂泥岩段 S3 砂组上部地层主要是在潟湖—三角洲—潮坪环境中沉积的, 其中的砂岩储层主要分布于三角洲—潮坪相区内, 其中三角洲相区砂岩储层物性较好, 测井解释孔隙度和实测孔隙度值均较高, 砂岩储层侧向连通性较好。

从图 4 可看出, 该区域有利砂岩储层分布区主要集中于三角洲相区内, 这里是 I、II 类储层的集中分布区, 储层性质较好, 测井解释孔隙度为 12% ~ 15%, 储层累加厚度在轮古 8—轮古 7 井区达 20 m 以上, 在轮南 9—轮古 5 井区储层累加厚度在 9 m 以上, 油气显示较丰富, 测试出油气井基本分布于该区域内。而在轮古 39—草 4 井区的潟湖沉积区主要以泥岩沉积为主, 砂岩储层基本呈薄层透镜体分布, 储层性质较差, 基本为非储层分布区。

3.5.2 轮南地区砂泥岩段 S3 砂组下部储层评价及有利储集区带预测

轮南地区砂泥岩段 S3 砂组下部沉积环境主要为潟湖—潮坪环境, 砂岩储层主要分布于潮坪环境中, 储层较发育, 储层物性较好, 但砂体侧向连通性较差, 这些特点均反映在储层平面分布图中 (图 5)。

从轮南地区砂泥岩段 S3 砂组下部储层评价及

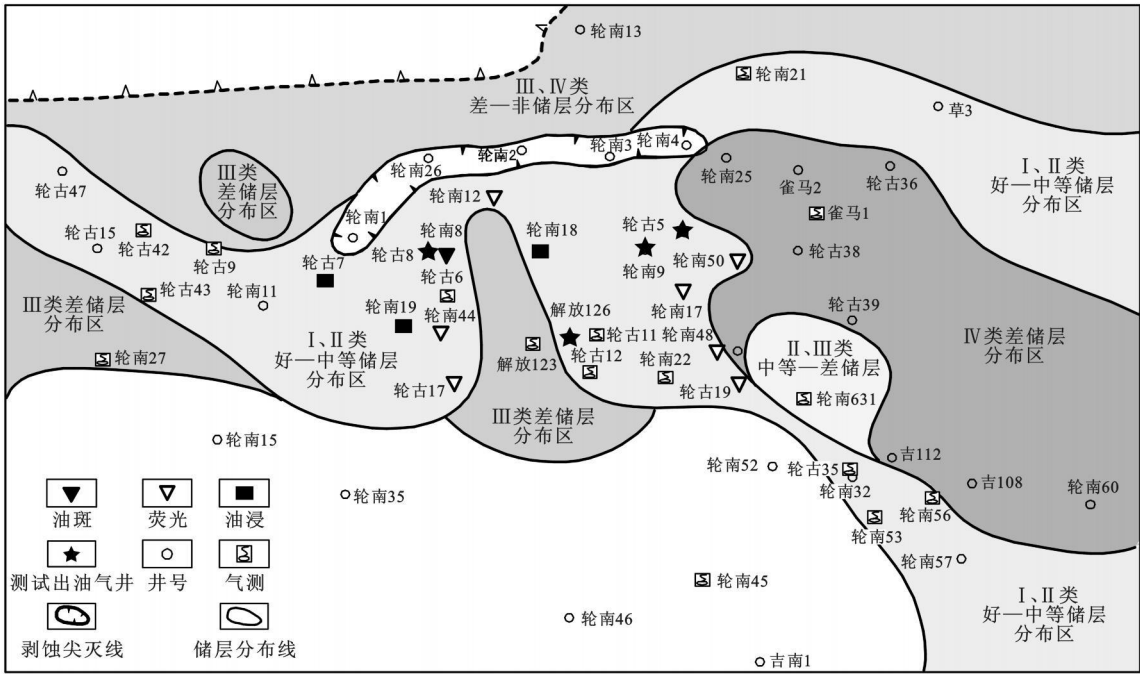


图 4 轮南地区石炭系砂泥岩段下亚段 S3 砂组上部储层评价及有利储集区带评价预测

Fig. 4 Prediction of Favorable Reservoir Zones of the Upper S3 Sand Layer of Carboniferous Sand and Claystone Member in Lunan Area

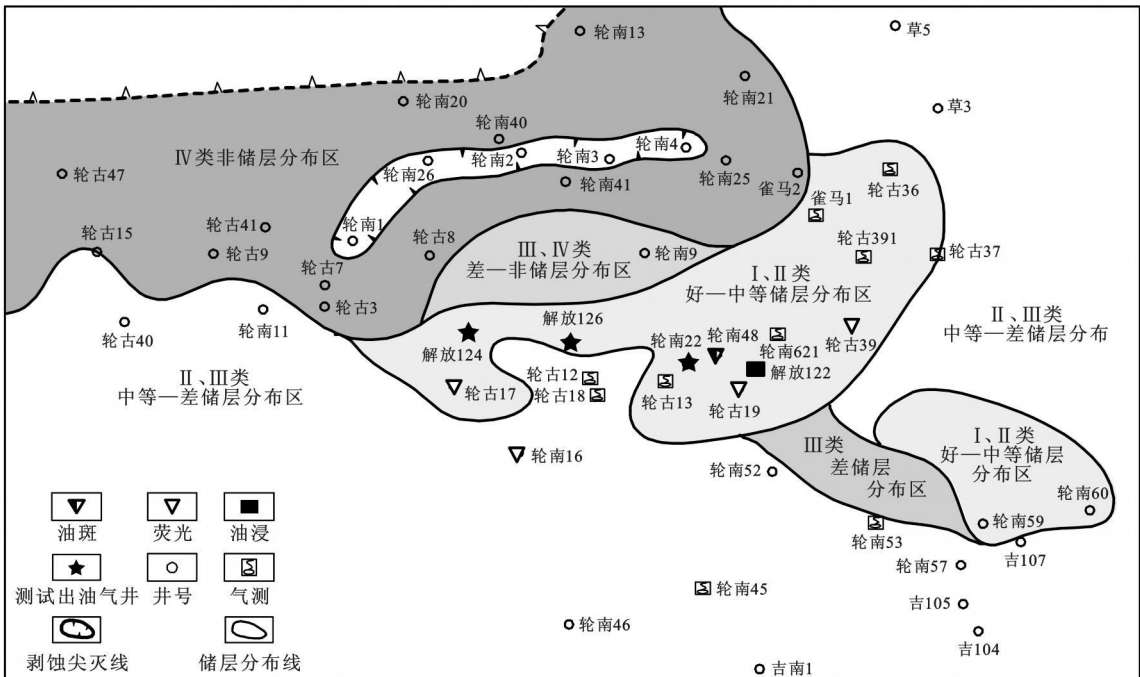


图 5 轮南地区石炭系砂泥岩段下亚段 S3 砂组下部储层评价及有利储集区带评价预测

Fig. 5 Prediction of Favorable Reservoir Zones of the Lower S3 Sand Layer of Carboniferous Sand and Claystone Member in Lunan Area

图 5 可看出:

(1)该区域 IV 类非储层分布区主要位于轮南 21—轮南 30—轮古 7—轮古 42 井区一带地区,该

区域为潟湖沉积区,主要为泥岩夹薄层砂岩和粉砂岩沉积,砂岩厚度较薄,甚至缺失,一般为 1~3 m,储层孔隙度较低,储层评价为非储层。

(2) 轮南地区 S3 砂组下部 I、II 类好—中等储层分布区主要位于桑塔木断垒带和轮古东地区的轮古 391—轮南 621 井区一带, 这一带地区为潮坪相的潮道和砂坪分布区, 砂岩储层较厚, 测井解释孔隙度和实测孔隙度均较高, 油气显示极丰富, 3 口测试出油气井均位于该区域; 另外在轮南 59—轮古 351 井区也为 I、II 储层分布区。

4 结语

(1) 轮南地区砂泥岩段 S3 砂组储层的岩性为岩屑砂岩、含砾不等粒砂岩、粉砂岩等。

(2) 轮南地区砂泥岩段 S3 砂组储层孔隙类型以粒间孔、粒间溶孔为主, 发育少量粒缘缝。孔隙多呈不规则状、伸长状。孔隙分布不均匀, 常呈团块状分布于砂体中。储层孔隙度和渗透率基本为微细喉和微喉所控制。

(3) 优质储层的分布受控于沉积环境, 集中在砂泥岩段 S3 砂组上部三角洲前缘相的分流河道与前缘席状砂和砂泥岩段 S3 砂组下部潮坪相的潮道和砂坪微相里, 是油气勘探的重点目标区。

参考文献:

- [1] 孙玉善, 马 青, 朱永峰, 等. 轮南及其周缘地区石炭系沉积储层研究[R]. 新疆库尔勒: 中国石油天然气集团公司塔里木油田公司勘探开发研究院, 2008.
- [2] 庞 雯, 史鸿祥, 郑浚茂. 轮南地区奥陶系储层特征及其影响因素[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2008, 23(1): 26-29.
- [3] 刘学锋, 彭德堂, 刘绍平, 等. 塔北隆起构造格架及其成因[J]. 江汉石油学院学报, 1996, 18(4): 26-30.
- [4] 贾承造, 魏国齐, 姚慧君, 等. 盆地构造演化与区域构造地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995.
- [5] 张丽娟, 王月华, 顾乔元. 塔里木盆地轮南地区石炭系 I 油组沉积储层特征[J]. 新疆地质, 2002, 20(3): 276-277.
- [6] 周志毅. 塔里木盆地各纪地层[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [7] 冯增昭. 单因素分析多因素综合作图法——定量岩相古地理重建[J]. 古地理学报, 2004, 6(1): 3-19.
- [8] 赵澄林, 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001.
- [9] 张荣虎, 张惠良, 沈安江, 等. 塔里木盆地西部石炭系生屑灰岩段沉积环境与优质储层关系[J]. 天然气地球科学, 2007, 18(4): 501-508.
- [10] 杨 宁, 吕修祥, 陈梅涛. 塔里木盆地塔河油田奥陶系碳酸盐岩油气成藏特征[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2008, 23(3): 1-5.
- [11] 罗哲潭, 王允诚. 油气储集层的孔隙结构[M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [12] 韩会平, 武春英, 蒋继辉, 等. 大路沟地区三叠系延长组长 6 储层特征及影响因素[J]. 地球科学与环境学报, 2008, 30(2): 149-155.
- [13] 刘辰生, 郭建华, 朱 锐, 等. 塔里木盆地阿克库勒地区三叠系中油组沉积相研究[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2007, 22(6): 36-39.
- [14] 陈纯芳, 赵澄林, 李会军. 板桥和歧北凹陷沙河街组深层碎屑岩储层物性特征及其影响因素[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2002, 26(1): 4-7.
- [15] 李永宏, 闫相宾, 张 涛, 等. 塔河油田石炭系卡拉沙依组储层特征及其控制因素[J]. 石油实验地质, 2004, 26(1): 17-22.

《地球科学与环境学报》再次荣获 “中国科技论文在线优秀期刊”二等奖

据教育部科技发展中心消息,《地球科学与环境学报》荣获 2009 年度“中国科技论文在线优秀期刊”二等奖。这是继本刊获得 2008 年度“中国科技论文在线优秀期刊”二等奖后再次获此殊荣。为了促进科技期刊健康发展, 提高科技期刊的质量, 推动科技期刊的数字化建设, 提高期刊刊载论文的引用率, 扩大期刊的影响力, 促进论文免费共享, 建设良好的科研环境, 使科技期刊更好地为科研工作者服务, 教育部科技发展中心根据“中国科技论文在线优秀期刊”评选指标体系, 对已收录在“中国科技论文在线”科技期刊栏目的各类期刊就期刊的影响因子和他引率、网站收录论文数和下载量、期刊入网的完整性及期刊编委的国际化程度、开放存取等统计分析, 经过严格评审, 共评出 2009 年度“中国科技论文在线优秀期刊”一等奖 30 名, 二等奖 65 名。