

文章编号:0253-9985(2010)06-0763-07

塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩复杂油气藏的特性

邬光辉^{1,2},汪海²,陈志勇¹,刘加良³,赵宽志²,高力¹,陈利新²

(1. 中国石油天然气股份有限公司 石油勘探开发研究院,北京 100083;2. 中国石油天然气股份有限公司 塔里木油田分公司 石油勘探开发研究院,新疆 库尔勒 841000;3. 北京石油机械厂,北京 100083)

摘要: 油藏地质与开发地质综合分析表明,塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩油气藏具有不同于常规油气藏的特性,具有油气分布的广泛性、油气性质的多样性、油气聚集的成层性与非均质性、油气产出的不稳定性等特性。储层强烈的非均质性、油气成藏与调整的多期性是形成油气藏特殊性的两大基本地质条件。塔里木盆地奥陶系大面积含油气、油气水分布复杂、少数高产稳产井支撑大部分产量的特殊碳酸盐岩油气藏具有普遍性,需要采取针对性的勘探开发一体化组织方式。

关键词: 碳酸盐岩;奥陶系;油气藏;勘探开发;塔里木盆地

中图分类号: TE122.1 **文献标识码:** A

Characteristics of the complex Ordovician carbonate reservoirs in the Tarim Basin

Wu Guanghui^{1,2}, Wang Hai², Chen Zhiyong¹, Liu Jialiang³, Zhao Kuanzhi², Gao Li¹ and Chen Lixin²

(1. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China;

2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina Tarim Oilfield Company, Korla, Xinjiang 841000, China)

Abstract: Multidisciplinary analyses of reservoir geology and exploitation geology reveal that the Ordovician carbonate reservoirs in Tarim Basin are different with conventional reservoirs. They feature in extensiveness of oil/gas distribution, diversity of oil/gas property, layering and heterogeneity of hydrocarbon accumulation, and instability of oil/gas production. There are two basic geological conditions controlling the formation of these special reservoirs, namely great reservoir heterogeneity and multi-phase hydrocarbon accumulation and late modification. The special carbonate reservoirs that have large oil/gas-bearing area, complex oil/gas-water contacts and a small amount of wells with high and stable production contributing to bulk of the oil/gas production are common in the Ordovician carbonates in Tarim Basin. Therefore, an integrated exploration and development strategy should be employed.

Key words: carbonate rock, Ordovician, oil/gas reservoir, exploration and development, Tarim Basin

近年来,塔里木盆地轮南潜山及其周缘、塔中北斜坡奥陶系碳酸盐岩油气勘探不断取得新发现^[1~4],已获三级油气地质储量逾 30×10^8 t 油当量,建成油气产能达 600×10^4 t,奥陶系碳酸盐岩已成为塔里木盆地中近期油气增储上产的重点领域。但是,奥陶系碳酸盐岩油气藏表现出明显的复杂性^[1~6],油气水分布复杂、产量变化大,油气成藏机制特殊^[7,8],不同于孔隙型常规碎屑岩与碳

酸盐岩油气藏^[9~12],因此造成油气勘探开发的长期性与艰巨性^[1,4]。鉴于此,研究与总结奥陶系碳酸盐岩油气藏的特殊性,不仅对勘探开发具有重要的现实意义,而且是研究古老碳酸盐岩油气成藏机理的重要内容。本次研究在典型油气藏分析的基础上,通过大量勘探开发静态与动态数据的综合研究,总结这类特殊碳酸盐岩油气藏的特性。

收稿日期:2010-08-16。

第一作者简介:邬光辉(1971—),男,高级工程师,石油地质。

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2006CB202308);国家科技重大专项(2008ZX05004-04)。

1 地质条件的特殊性

塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩油气藏表现出的特性与油气成藏地质条件的特殊性相关,其地质条件的不同点主要体现在储层的非均质性、油气成藏与调整的多期性。

1.1 储层具有强烈的非均质性

塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩地层老、成岩胶结作用强,原生孔隙几乎消失殆尽^[2,13],以后期表生岩溶作用、埋藏溶蚀作用及构造作用形成的溶蚀孔洞、洞穴、裂缝为主。

轮南潜山碳酸盐岩基质孔隙极低^[1,4,6],孔隙度一般小于 1.2%,渗透率一般小于 $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,岩溶缝洞是主要储集空间,绝大多数高产油气流井钻遇大型缝洞系统^[4,5,10],而邻近未钻遇缝洞体的井多为干井。轮南奥陶系潜山储层在不同岩溶地貌区也有差异^[10,13],岩溶高地渗流带落水洞发育,潜流带水平展布的洞穴发育。轮南潜山储层纵向上不同深度也具有强烈的非均质性,在 200 m 深度范围内一般钻遇 1~3 层缝洞体,而无洞穴井段多为致密层。

虽然塔里木盆地发育多种类型的礁滩体^[14],但古礁滩体的发育特征不同于中生界^[15~17],90% 以上的储层以低孔低渗的次生溶蚀孔隙为主。奥陶系台缘带储层较发育的是塔中 I 号构造带上奥陶统良里塔格组礁滩体,在不同深度、不同井点,储层物性存在较大的差异^[18,19]。礁滩体发育的塔中 62 井区岩心物性统计分析表明,孔隙度的分布区间为 1.10%~10.09%,储层段平均孔隙度为 3.65%;渗透率的分布区间为 $0.011 \times 10^{-3} \sim 217 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,储层段平均渗透率为 $6.45 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。即使在同一井区,由于礁滩体储层受控于多种溶蚀、破裂作用,储层纵向、横向都有变化。储层预测也发现井间储层变化大(图 1),而并非是完全连通的储集体,从而造成低产、高产油气井共存^[2]。

总之,由于缝洞发育的多期性、非组构选择性,造成碳酸盐岩储层强烈的非均质性,主要表现在 3 个方面:①平面上储层横向变化大^[4,13],储层发育区与不发育区齿状交错,在储层发育区也有非储层分布;②纵向上储层段缝洞发育的深度、厚度都有很大的差异;③储层物性变化大,统计数据点分散,孔渗相关性很差。塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩储层的强烈非均质性造成纵向上不同深度、不同井间油气储量与产量的巨大差异。

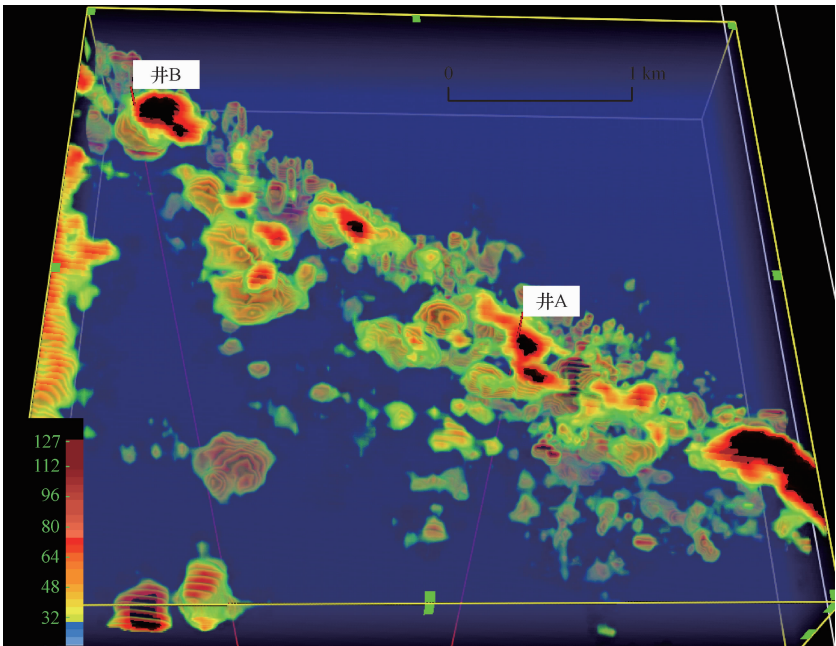


图 1 塔里木盆地塔中 62 井区上奥陶统良里塔格组分频属性立体图(色标指数越大代表储层越发育)

Fig. 1 3-D view of frequency division attribute of the Upper Ordovician Lianglitage Formation in Tazhong-62 wellblock, the Tarim Basin

1.2 油气成藏与调整的多期性

塔里木盆地台盆区发育中下寒武统、中上奥陶统两套优质烃源岩^[20,21],由于烃源岩层位的差异、不同地区埋深变化大,奥陶系碳酸盐岩具有多期成烃与成藏的特征^[2,4,8]。综合生烃史、构造演化史、油气成藏期次的分析,认为塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩主要有晚加里东期、晚海西期和喜马拉雅期3期油气充注与加里东末期—早海西期、印支—燕山期2期油气破坏调整的复杂成藏史。油气主要分布在古隆起及其斜坡部位^[22~25],油气成藏与演化复杂。

正是由于油气多期成藏与调整,造成同一油田内既有重质油、正常油、凝析油,也有湿气、干气等多相态;不同储集体中油气的充注与保存有差异,油气富集程度不同;同一井区出现高部位出水、低部位出油的特殊现象;在同一油藏也有原油密度、气油比的变化差异。

2 碳酸盐岩油气藏的特性

塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩油气藏特征极为复杂^[1~4],在油气的分布、油气性质、油气产出上与常规油气藏有较大差异,具有自身的特性。

2.1 油气分布的广泛性

随着滚动勘探开发的深入,轮南、塔河奥陶系大油田的规模不断扩大(图2),并向周缘低部位不断拓展。目前发现含油气深度达7 000 m,

高差达1 700 m,但尚未发现碳酸盐岩含油气的深度边界,油气分布已超出古潜山与古隆起范围,勘探发现已进入坳陷区,连片含油气面积达8 000 km²。塔中北斜坡上奥陶统礁滩体、中下奥陶统鹰山组风化壳具有叠置连片含油气的特征^[26],钻探揭示东西油气高差逾2 000 m,出现塔中北斜坡5 000 km²多层段连片含油气的局面。塔里木盆地奥陶系油气沿古隆起斜坡区大面积分布,不同于国内外常规碳酸盐岩油气藏的分布^[9,27]。

塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩礁滩型储层、风化壳型储层都有纵向叠置、横向连片分布的特点,由于多期次、多成因、多类型次生储层的发育,碳酸盐岩储层具有强烈非均质性,不同于孔隙型碳酸盐岩储层^[9,17,28,29],非均质储层叠置连片是油气大范围分布的基础。塔里木盆地台盆区烃源岩分布广泛,碳酸盐岩具有大范围油气充注的条件,在大面积非均质碳酸盐岩储层中经历多期油气充注,形成了大面积的不连续油气分布。

2.2 油气性质的多样性

轮南奥陶系潜山原油性质变化大(图3),从东向西变重。西部轮古西、中部斜坡西部等古潜山高部位原油具有超重、超粘、高凝、高硫、高胶质+沥青质的突出特点,原油密度为0.97~1.04 g/cm³,属于重质油。轮南中部斜坡、桑南西等中部地区奥陶系原油密度为0.85~0.89 g/cm³,属于正常油。东部轮古东、桑塔木断垒带为凝析气区,原油密度明显偏重,原油密度为0.80~0.85 g/cm³。

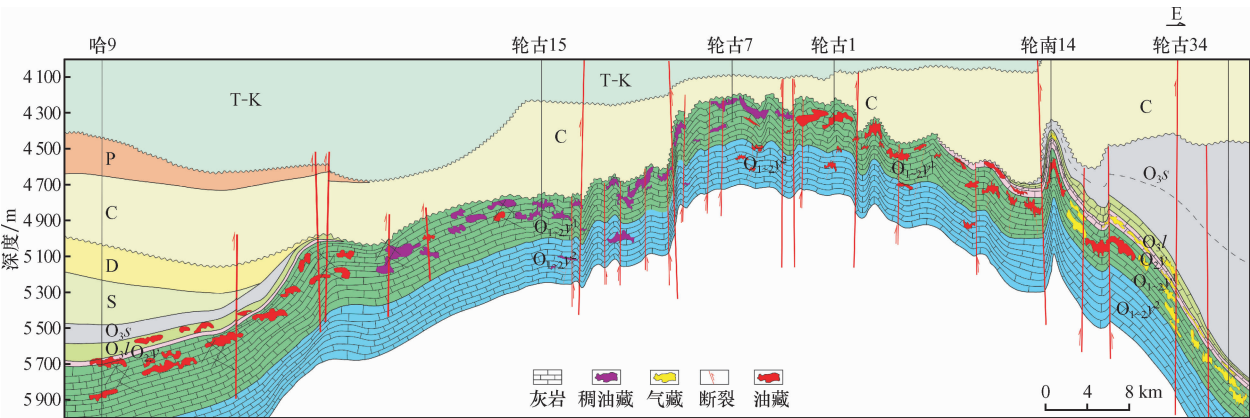


图2 塔里木盆地轮南奥陶系碳酸盐岩东西向油藏模式

Fig. 2 E-W profile showing the oil accumulation pattern in the Ordovician carbonate rocks in Lunnan area, the Tarim Basin

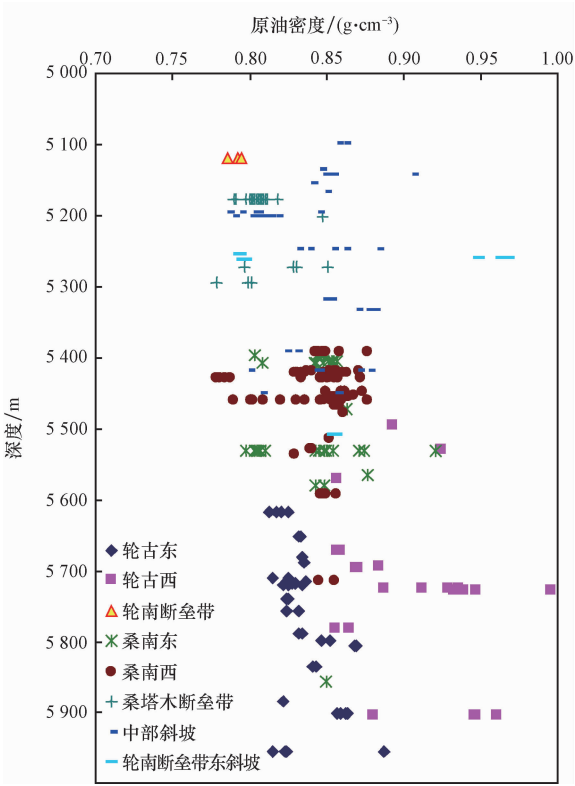


图 3 塔里木盆地轮南地区奥陶系碳酸盐岩原油密度分区统计

Fig. 3 Wellblock-based statistics of oil density data of the Ordovician carbonate rocks in Lunnan area,the Tarim Basin

轮南天然气“东干西湿”。轮南奥陶系天然气干燥系数从东向西降低(图 4),东部桑塔木断垒带东段和轮古东地区天然气干燥系数最高,大于 0.98;中部平台区、轮南断垒带和桑南斜坡带

天然气干燥系数介于 0.90 ~ 0.98,上述地区天然气均为干气。向西轮南断垒带西段、轮古西潜山区和塔河油田的天然气为湿气,干燥系数小于 0.90。轮古 15 井区干燥系数最低,为 0.787,潜山油藏以湿气为主。东部轮古东为晚期天然气首先注入的地区^[30],目前油气运移尚未到达西部潜山区,因此出现西油东气的油气分布格局。

塔中 I 号构造带奥陶系良里塔格组台缘带凝析气田东、西两端气油比高(图 5),中部塔中 621 井一带出现低气油比,比值为 350 ~ 600 m^3/m^3 ,为正常原油;塔中 26 - 塔中 82 井区其他工业油气流井的气油比都在 1 000 m^3/m^3 以上,为凝析气。内带天然气充注少,塔中 58 井和塔中 72 井气油比很低,分别为 276 和 218 m^3/m^3 ,为正常油藏。由于晚期天然气充注程度的差异、储层中古油藏保存规模不同^[8,31],造成井间气油比变化大、油气产量差异大,有的井以产气为主,而有的井以产油为主。

2.3 油气聚集的成层性与非均质性

塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩油气主要沿不同层段的顶部呈层状聚集。轮南奥陶系潜山储层主要分布在潜山面以下约 150 m 范围内^[5],油气分布的统计表明 60%的油气层分布在进山 50 m 范围内,90% 的油气层分布在 150 m 范围内,油气富集层段正好处在储层比较发育的风化壳位置,具

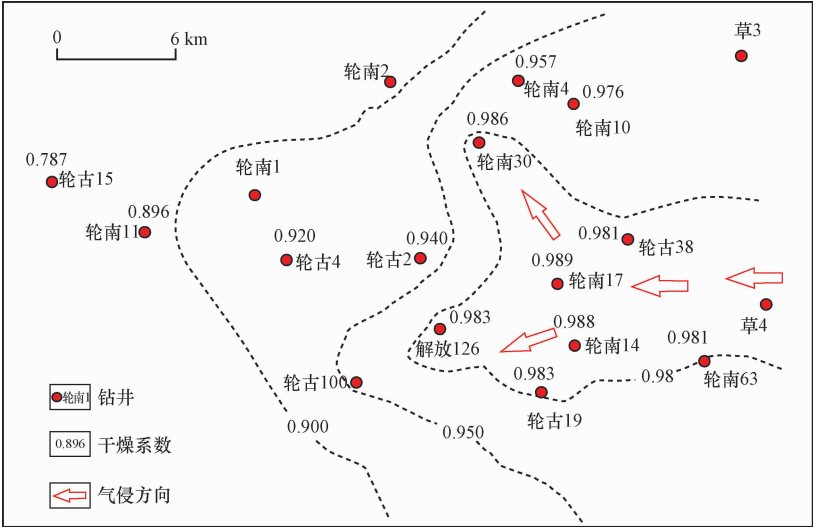


图 4 塔里木盆地轮南地区奥陶系天然气干燥系数分布

Fig. 4 Distribution of gas-drying coefficients of the Ordovician carbonate rocks in Lunnan area,the Tarim Basin

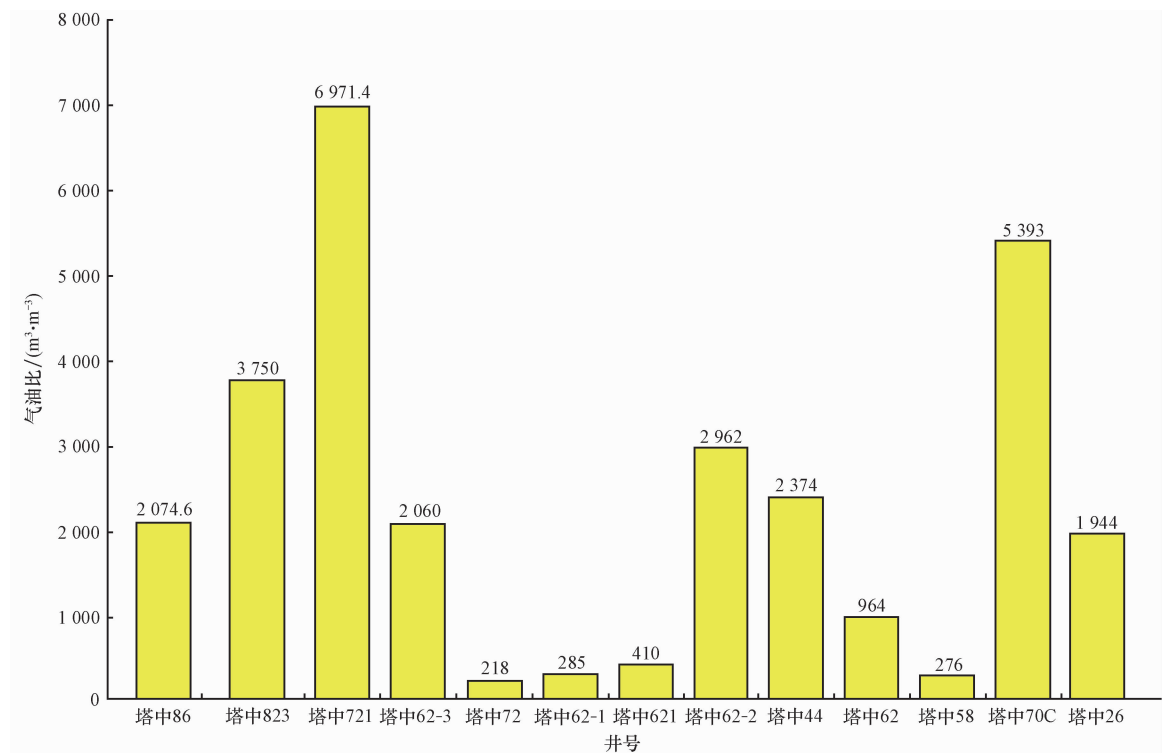


图5 塔里木盆地塔中Ⅰ号构造带奥陶系碳酸盐岩气油比

Fig. 5 Gas/oil ratios of the Ordovician carbonates in the Tazhong I structure belt, Tarim Basin

有近层状展布的特征,形成大面积近层状分布的碳酸盐岩岩性油气藏(图2)。钻探表明,轮古东奥陶系碳酸盐岩多层段含油气,主要分布在奥陶系鹰山组、一间房组、良里塔格组等层段上部,横向上具有较好的对比性,沿各层段顶面近层状复式聚集。塔中奥陶系良里塔格组、鹰山组油气同样位于层序顶部近层状分布,良里塔格组台缘带油气主要分布在礁滩体上部100 m范围内,鹰山组油气主要分布在风化壳顶面150 m范围内,形成多层段成层性复式含油气的大油气田^[26]。

碳酸盐岩油气聚集具有明显的非均质性。轮南奥陶系潜山、塔中鹰山组风化壳是受岩溶缝洞体系控制的岩性油气藏,勘探开发与研究表明其中很多缝洞体油气藏是孤立的^[1~6],具有明显的定容特征,横向上变化大。由于长期深埋与成岩作用,大多缝洞体之间的通道为垮塌充填、胶结充填,其间连通性差,形成相对独立的储集单元。地震储层预测表明大多缝洞体相隔较远,其间多为孤立状。大量钻井表明在大型缝洞体旁边就是致密层,难以有油气产出,而失利井或低产井通过侧钻钻遇大型缝洞体,表明缝洞体之间连通性较差,油气主要分布于相互独立的缝洞体内。邻近缝洞

体的不同井间流体性质、压力系统、油气水界面等特征多有较大的变化。试采开发数据也表明不同的井间连通性差,多表现为定容型孤立油气藏。塔中礁滩体储层对比与地震预测表明^[32],礁滩体虽然纵向叠置、横向连片,但沉积微相横向特征变化较大,又由于成岩作用的差异,造成单个礁滩体可能形成相对独立的油气单元(图1)。在横向上通过裂缝、渗透性储层而连通时,多个礁滩体储层形成统一的油气藏单元,邻近礁滩体间出现油气流体性质的差异,出现高产井、低产井、显示井交错出现,以及含水的复杂性。

总之,受碳酸盐岩储层的控制,塔里木盆地奥陶系油气藏主要沿区域性储层段顶面近层状聚集,油气富集具有强烈的非均质性,造成纵向上不同深度、横向上不同井间油气储量及产量的巨大差异。

2.4 碳酸盐岩油气产出的不稳定性

2.4.1 油、气、水产出变化大,油气产量递减快

塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩同一油气藏内,既有高产稳产井,也有中低产井、出水井;单井油气初始产量高,但多数井产量递减快、含水上升快、稳产难。轮南油田的产量递减率达20%~

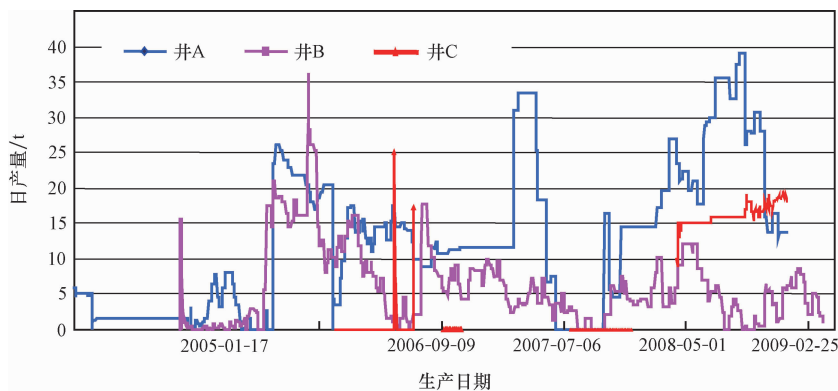


图6 塔里木盆地塔中62井区奥陶系综合试采含水曲线

Fig. 6 Composite water cut curves from the well testing of the Ordovician reservoirs in Tazhong-62 wellblock, the Tarim Basin

30%,塔河油田也是如此^[4,6],每年需要大量的钻井补充产能递减。相对轮南潜山,塔中礁滩体油气藏试开采稳产效果较好、产量递减较慢、含水率低。但油气产量变化也很大,油气产量有比较稳定的、缓慢下降的,也有周期性变化的、产量忽高忽低的。油气产出的差异性,主要由于奥陶系碳酸盐岩储层的复杂性,储层物性好、连通程度好,则油气的产出较稳定;而储层变化大、连通状态复杂、非均质性强,则出现油气产量波动大、产量递减快。

塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩产水状况也很复杂。轮南奥陶系普遍出现油水同出、气水同出的现象,出水井点的分布不受构造位置高低控制,出水产量变化大。塔中奥陶系礁滩体油气藏出水井的比率与出水量相对轮南地区少,但出水特征同样复杂(图6)。奥陶系碳酸盐岩油气藏见水状况主要有3种特征:①暴性水淹,在试油或开采过程中,出现突发性含水率快速上升,油气很少或无产出;②缓慢上升,含水率呈台阶状缓慢上升,产液量相对稳定;③周期振荡,含水率变化较大,出现含水上升快下降也快,或是间断出水后又无水现象等(图6)。

常规油气藏具有统一的油/气水界面,而碳酸盐岩油气藏没有明显的边/底水界面,油气水产出变化大,油气产量递减快,产水状况复杂,容易发生快速水淹。正是由于碳酸盐岩油气产出的不稳定性,造成塔里木盆地碳酸盐岩油气开发措施难,原油采收率一般低于20%。

2.4.2 20%~30%的高产、稳产井支撑70%以上的产量

塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩油气藏单井产量

变化大,在同一开发区块,在少量高产井周围更多的是中低产井,少数高产井提供了油气的大部分产能。轮古油田投入开发以来,在不同的井区都有高效井、低效井,同时也有空井与少量产出后的未投产井,高效井的比率一般在20%~30%,能保持较长时期的高产稳产,对油气产量的贡献率在75%以上。塔中奥陶系礁滩体油气藏单井稳产时间相对较长,但高产稳产井的数量也低于30%,多数为累积产量很低的低产井,高产稳产井日产量所占比率达65%,累积产量高于75%。

3 结论

1) 塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩油气藏具有与常规油气藏明显不同的特性,油气沿古隆起斜坡大面积广泛分布,流体性质具有多样性,油气聚集具有多层段成层性与强烈的非均质性,碳酸盐岩油气水产出变化大,油气产量递减快,20%~30%的高产井支撑了70%以上的产量。

2) 塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩的特性与地质条件的特殊性密切相关,储层的非均质性、油气成藏与调整的多期性两大要素是碳酸盐岩油气藏特性形成的地质基础。

3) 基于塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩油气藏的特殊性,需要采取针对性的勘探开发一体化组织形式,加强探井的试采与开发的先期介入,利用开发井先期介入探明地质储量,边试采边进行产能建设,确立不同类型油气藏的有效增储上产方式,实现碳酸盐岩油气藏的高效勘探开发。

致谢:感谢胡云扬、李启明、杨海军、潘文庆、

罗春树、韩剑发、李新生等专家的指导帮助,感谢审稿专家与编辑的精心审定。

参 考 文 献

1 康玉柱. 中国古生代海相油气田发现的回顾与启示[J]. 石油与天然气地质,2007,28(5):570~576

2 周新源,王招明,杨海军,等. 塔中奥陶系大型凝析气田的勘探和发现[J]. 海相油气地质,2006,11(1):45~51

3 周新源,杨海军,李勇,等. 塔里木盆地和田河气田的勘探与发现[J]. 海相油气地质,2006,11(3):55~62

4 翟晓先,云露. 塔里木盆地塔河大型油气田地质特征及勘探思路回顾[J]. 石油与天然气地质,2008,29(5):555~573

5 顾乔元,潘文庆,曹淑玲,等. 轮南地区奥陶系油气成藏特征[J]. 新疆石油地质,1999,20(3):36~38

6 李江龙,张宏方. 物质平衡方法在缝洞型碳酸盐岩油藏能量评价中的应用[J]. 石油与天然气地质,2009,30(6):773~778

7 顾忆. 塔里木盆地北部塔河油田油气藏成藏机制[J]. 石油实验地质,2002,22(4):307~312

8 邬光辉,陈利新,徐志明,等. 塔中奥陶系碳酸盐岩油气成藏机理[J]. 天然气工业,2008,28(6):20~22

9 Keith B D,Zuppann C W. Mississippian oolites and petroleam reservoirs in the United States-an overview, in Mississippian oolites and modern analogs[J]. AAPG studies in Geology,1993,35:1-12

10 Alexander L,Handschy J. Fluid flow in a faulted reservoir system, South Eugene Island Block 330 field, offshore Louisiana [J]. AAPG Bulletin,1998,82(3):387~411

11 Cooke M,Simo J A,Underwood C A. Mechanical stratigraphic controls on fracture patterns within carbonates and implications for groundwater flow [J]. Sedimentary Geology,2006,184(3-4):225~239

12 杨海军,邬光辉,韩剑发,等. 塔里木盆地中央隆起带奥陶系碳酸盐岩台缘带油气富集特征[J]. 石油学报,2007,28(4):26~30

13 林忠民. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层特征及成藏条件[J]. 石油学报,2002,23(3):23~26

14 顾家裕,张兴阳,罗平,等. 塔里木盆地奥陶系台地边缘生物礁、滩发育特征[J]. 石油与天然气地质,2005,26(3):277~283

15 范嘉松,吴亚生. 我国生物礁研究中的问题与发展方向[J]. 石油与天然气地质,1992,13(4):463~464

16 Kiesslin W,Flügel E,Golonka T. Paleoreef maps: evolution of comprehensive database on Phanerozoic reefs[J]. AAPG Bulletin,1999,83(10):1552~1587

17 罗平,张静,刘伟,等. 中国海相碳酸盐岩油气储层基本特征[J]. 地学前缘,2008,15(1):36~50

18 王招明,赵宽志,邬光辉,等. 塔中 I 号坡折带上奥陶统礁滩型储层发育特征及其主控因素[J]. 石油与天然气地质,2007,28(6):797~801

19 李慧莉,钱一雄,沙旭光,等. 塔里木盆地卡塔克隆起西北倾没端良里塔格组碳酸盐岩储层发育特征与影响因素[J]. 石油与天然气地质,2010,31(1):69~75

20 梁狄刚,张水昌,张宝民,等. 从塔里木盆地看中国海相生油问题[J]. 地学前缘,2000,7(4):534~547

21 周新科,许化政. 海相碳酸盐岩的形成环境与有机质特征[J]. 石油与天然气地质,2009,30(3):337~342

22 吕修祥,胡轩. 塔里木盆地塔中低凸起油气聚集与分布[J]. 石油与天然气地质,1997,18(4):288~293

23 韩剑发,王招明,潘文庆,等. 轮南古隆起控油理论及其潜山准层状油气藏勘探[J]. 石油勘探与开发,2006,33(4):448~453

24 崔海峰,张年春,郑多明,等. 塔里木盆地牙哈断裂构造带寒武系白云岩潜山储层预测[J]. 石油与天然气地质,2009,30(1):116~111

25 金之钧,云金表,周波. 塔里木斜坡带类型、特征及其与油气聚集的关系[J]. 石油与天然气地质,2009,30(2):127~125

26 杨海军,韩剑发,陈利新,等. 塔中古隆起下古生界碳酸盐岩油气复式成藏特征及模式[J]. 石油与天然气地质,2007,28(6):784~790

27 Robertson C H. Review of carbonate sand-belt deposition of ooid grainstones and application to Mississippian reservoir, Damme Field, southwestern Kansas [J]. AAPG Bulletin,1988,72(10):1184~1199

28 Neilson J E,Oxtoby N H. The relationship between petroleum, exotic cements and reservoir quality in carbonates-A review [J]. Marine and Petroleum Geology,2008,25(8):778~790

29 赵雪凤,朱光有,刘钦甫,等. 深部海相碳酸盐岩储层孔隙发育主控因素研究[J]. 天然气地球科学,2007,18(4):514~521

30 王晓梅,张水昌. 轮南地区天然气分布特征及成因[J]. 石油与天然气地质,2008,29(2):204~209

31 赵文智,朱光有,张水昌,等. 天然气晚期强充注与塔中奥陶系深部碳酸盐岩储集性能改善关系研究[J]. 科学通报,2009,54(20):3218~3230

32 王宏斌,张虎权,卫平生,等. 碳酸盐岩地震储层学在塔中地区生物礁滩复合体油气勘探中的应用[J]. 岩性油气藏,2010,22(2):3218~3230

(编辑 张亚雄)