

文章编号:1672-9854(2007)-01-0021-04

塔河油田碳酸盐岩缝洞型油气藏的特征 及缝洞单元划分

张希明,朱建国,李宗宇,杨 坚

(中国石化西北分公司)



张希明

摘 要 塔河油田奥陶系碳酸盐岩缝洞型油气藏的主要特征表现为油气藏高度远大于残丘圈闭幅度,油气分布受储集体发育程度控制,纵向上不连续,储集体主要为岩溶-构造作用所形成的缝洞,单个缝洞储集体为独立的油水系统等。运用油藏压力降落法、类干扰试井法和流体性质变化法等方法将塔河油田主体开发区划分出10个连通储渗单元和20个孤立或相对定容封闭体,对这些缝洞单元的特点作了描述。塔河油田整体上不具统一的底水;各油气藏流体性质变化较大。

关键词 奥陶纪;碳酸盐岩油气藏;缝洞型油气藏;油气藏特征;塔河油田

中图分类号:TE112.33

文献标识码:A

张希明 1958年生,2003年获吉林大学理学博士学位,高级工程师。长期从事油气藏描述研究工作。通讯地址:830011 新疆乌鲁木齐市北京北路29号;电话:(0991)3600646

1 塔河油田概况

塔河油田发现于1997年,其主体位于塔里木盆地北部沙雅隆起中段南翼阿克库勒凸起,包括哈拉哈塘凹陷东部及草湖凹陷西部^[1]。塔河油田是在阿克库勒凸起的背景上,北以轮台断裂为界,东、南、西以中奥陶统顶面6500m构造等深线所圈定的范围内,具有大致相似成藏特点和在现有经济技术条件下具有勘探价值的油气藏的统称(图1)。

油田主要产层为奥陶系碳酸盐岩岩溶缝洞储集层,具有大面积连片整体含油、不均匀富集的特点;其上叠加成带分布的志留系—泥盆系、石炭系及三叠系低幅度背斜圈闭、岩性圈闭及复合型圈闭,早期(加里东期—海西早期)形成的油藏由于复合期构造运动的影响产生破坏调整,并由断裂、不整合等沟通形成次生油藏,纵向上具有“复式”成藏组合特征。

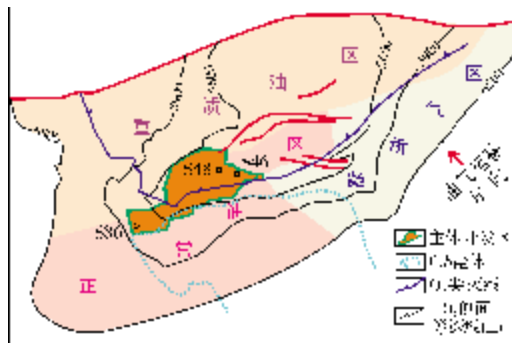


图1 塔河油田范围及不同油区分布

自发现以来,塔河油田的储、产量连年大幅增长。截至2004年12月底,塔河油田共提交探明+控制+预测三级储量合计达到 12.105×10^8 t油当量,含油面积1961 km²。2004年产量达358万吨,塔河油田已经成为中国石化储产量增长的主要基地。

该油气藏由于储集体发育的复杂性和特殊性,

收稿日期:2005-07-01; 改回日期:2006-07-26

基金项目:国家重点科技攻关项目(编号:2001BA650A-03)成果

用常规的勘探评价方法无法准确划分储量单元并计算储量;在开发方案的制定和老区的综合治理方面,常规的方法也不适用,因此必须要对基本的储集单元——缝洞单元进行研究和划分,以不断提高勘探精度和开发采收率。

2 油气藏特征

碳酸盐岩岩溶缝洞型油气藏是受构造—岩溶旋回作用形成的缝洞系统控制、由多个缝洞单元在空间上叠合形成的复合油气藏,具有独立的油气水系统和不规则的形态^[1]。这种缝洞单元(又称单个油气藏)以不同方式的叠加,一般形成在平面上叠合连片含油、空间上不均匀富集的特征。

塔河油田奥陶系油气藏属于碳酸盐岩缝洞型油气藏,其主要特征如下。

(1) 油气藏高度不受局部残丘圈闭的控制。塔河油田奥陶系残丘圈闭幅度很小,只有 20~50 m 左右,个别为 90~100 m,但油气藏高度远大于残丘圈闭幅度,可达 200~300 m。例如,著名的 S48 井所在的残丘圈闭幅度仅为 55 m,但油气藏高度却达 255 m。同时,含油气范围也不受局部残丘圈闭的控制,塔河油田奥陶系残丘圈闭面积很小,一般仅为几平方千米,而油气藏面积则远大于残丘圈闭面积。

(2) 油气藏受储集体发育程度的控制,储集体发育则含油或形成油气藏;储集体不发育则不含油。因此,在同一残丘圈闭上高产稳产井与干井交叉分布,高产稳产井与非稳产井同时并存。例如,T403 井 5 405~5 409 m、5 415~5 428 m、5 434~5 446 m 井段测井解释为一类储层,经酸压获 170 m³/d 的高产油流;而在其以西 1 km 处的 TK420 井未解释出一类储层,5 408~5 414 m 经酸压未获油气流;再向西 1 km 处的 TK455 井 5 532~5 539 m 测井解释为一类储层,5 516~5 540 m 井段经酸压获 100 m³/d 的高产油流。可见油气分布不受残丘构造的控制,也不受层位的控制,而与储集体的发育程度密切相关。

(3) 单井油气分布不连续。例如 S86 井,录井显示 5 693~5 734 m 为油迹—含油,5 770~5 775 m、5 789~5 791 m 为含油,5 795~5 798 m 为气测异常,5 810~5 816 m、5 820~5 823 m、5 835~5 838 m、5 878~5 880 m 为含油。生产测井解释结果也显示这种特征,例如 TK647 井,可将产液层位分为二段:5 544.5~5 546.4 m 产油 8 m³/d;5 556.0 m 以下主要产层产油

64 m³/d,产水 2.6 m³/d。

(4) 油气藏储集体为岩溶—构造作用所形成的缝洞储集体,单个缝洞储集体(缝洞单元)周围的基岩基本不具储、渗性能,岩心统计孔隙度分布区间 0.04%~10.6%,平均 0.76%,87% 的样品孔隙度小于 1%;渗透率平均 $0.7087 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,96% 的样品渗透率小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。单个缝洞储集体即是一个相对独立的油气藏。储集体的分布严格受岩溶—构造旋回控制,平面上叠加、纵向上分层。

(5) 油气藏的盖层是上覆分布稳定的泥岩,单个缝洞储集体的外部边界是基本不具储、渗性能的基岩,两者组成特殊的圈闭——岩溶缝洞型圈闭。

(6) 单个油气藏具有相对独立的油水系统及油水界面,整个油气藏整体上不具有统一的底水。

(7) 油藏的流体性质变化较大,密度轻的仅 0.82 g/cm³,重的可达 1.0 g/cm³ 以上,平面上密度分布轻重交叉,总体上有东轻西重的特征。

3 缝洞单元划分

3.1 缝洞单元的划分方法

缝洞单元的划分方法主要有以下三种。

油藏压力降落法 利用油藏压力降落划分缝洞单元,基本思路是:当油藏投入开发后,如果井间连通,即各井属于同一缝洞单元,那么该油藏单元的各井处于同一压力系统内,压力可以互相传递,因此在一定时间后,油(气)藏将处于动态平衡,只要原油的物性和流体性质相对均质,各井的压降会大致相同,即压降趋势一致。如不同油藏单元属于不同的压力系统,就会具有不同的地层压力变化特征。

类干扰试井法 以相邻井为基本单元,进行井组分析。充分利用开发过程中的井间干扰现象,如新井投产、工作制度的改变,在邻井观察是否存在井间干扰信息。如果存在井间干扰现象,就说明井是连通的,井间无不渗透边界存在,井组处于同一压力系统;反之,如果无井间干扰现象,则两井之间的油层就有可能不连通。这一思路类似于干扰试井。

流体性质变化法 利用流体性质变化研究缝洞单元。塔河油田奥陶系油藏开发实践证实,油藏内流体性质变化复杂。油气性质无论在垂向还是横向上均存在不同程度的非均质性。国内外许多实例研究表明,油藏内流体非均质性特征可作为判断油藏连

通性的主要依据。从理论上讲,如果油藏是相互连通的,混合作用可以部分或完全消除原油在运移成藏过程中造成的成分差异。反之,如果油藏是分隔的,那么由各种原因(油源差异、原油在油藏内的生物降解作用等)造成的流体非均质特性将长期保存下来。因此,油田范围内油气和水的组成的非均质性,可作为推断油藏内部垂向和横向分隔性的依据。例如:七区 TK640 井原油密度只有 $0.667 \sim 0.795 \text{ g/cm}^3$,甚至低于三区带凝析气顶的井中原油密度,生产气油比高达 $1\,600 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 以上,初期井口流压高达 40 MPa ,但 $2 \sim 3$ 天就停喷,无产能,因此属稠油区的凝析气藏;四区 TK431 井原油密度 $0.8925 \sim 0.8998 \text{ g/cm}^3$,明显低于周围各井的原油密度,TK432 井原油密度为 1.0060 g/cm^3 ,比邻井的原油密度都大,显示油藏有局部定容封闭性的特点。

3.2 缝洞单元初步划分结果

塔河油田缝洞型碳酸盐岩的储集性能主要受控于次一级岩溶地貌及断裂、裂缝发育程度,笔者在充分研究岩溶储集体发育规律的基础上,综合利用各类静资料研究成果,应用上述缝洞单元划分方法,在塔河油田探明储量区共划分出 10 个连通的储渗单元体,20 个孤立或相对定容的封闭体(图 2)。

图 2 所示的缝洞单元在平面及纵向上的分布特点如下:

(1) 分布明显受控于断裂,尤其是长轴的走向一般与断裂的走向一致;

(2) 发育程度及规模大小多受控于岩溶发育的程度和规模,早期(加里东中—晚期、海西早期)的岩溶在后期沉积成岩过程中又经晚期(海西中—晚期)岩溶作用叠加改造的区域,缝洞单元发育程度高、规模大;

(3) 缝洞单元的分布在纵向上受控于古风化壳和岩溶的叠加改造程度。缝洞单元多分布于风化壳顶部($0 \sim 60 \text{ m}$),向下迅速减少,80%的缝洞单元(尤其是大缝洞单元)均分布于此段,岩溶的叠加改造愈强烈,则发育规模就愈大,发育程度就愈高;

(4) 缝洞中的充填物多为硅质、钙质、砂泥质,其成长发育与岩溶的形成期次基本一致,据不完全统计,充填物约占全部缝洞空间的 30% 左右;

(5) 研究区的岩溶叠加改造强度自北向南逐渐减弱,其表现特征为:北部风化剥蚀强烈,奥陶系(顶部剥失)直接与石炭系接触,为加里东期、海西期构造—岩溶叠加发育区,缝洞单元发育规模大、程度高,向南逐渐变化为构造—岩溶单一发育区,缝洞单元发育规模小、程度低;

(6) 缝洞单元的成因序列为断裂→裂缝→溶蚀,其形成发育时间长,与岩浆岩的相关性不十分明显;

(7) 在各缝洞单元中,缝和洞相互依存,共为一体。

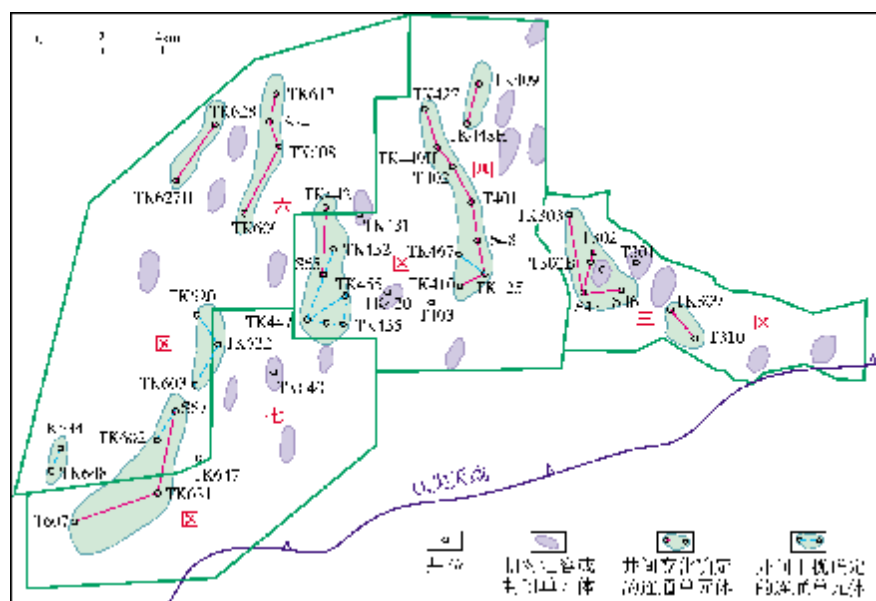


图 2 塔河油田奥陶系油气藏部分开发主体的缝洞单元分布

3.3 缝洞单元划分的意义

不同缝洞单元间被致密层隔挡,互不连通,每个缝洞单元就是一个单独的油藏,可以独立进行开发。缝洞单元的划分对于塔河油气田开发具有十分重要的意义,具体表现在以下几方面。

(1)对油藏地质特征及储量研究具有重要意义

各缝洞单元的地质特征不同,每个单元具有独立的储层特征、流体分布、温压系统、储量规模及分布特征。通过缝洞单元的划分,各缝洞单元内储层、流体等非均质性相对降低,有利于进一步刻画各油藏的地质模型。塔河油田在此基础上部署的开发井建产率提高了8~10个百分点。

(2)有利于开发管理,提高生产效率

根据储层的连通性、储量规模及能量状况等,初步将塔河油田的缝洞单元划分为三类:

I类缝洞单元 多井控制,储集体规模大,储量达到 $500 \times 10^4 \text{ t}$ 以上,水体发育,天然能量较充足,开发过程中,油井含水上升相对较慢,产量递减不大;

II类缝洞单元 多井控制,储集体规模较大,储量在 $(120 \sim 500) \times 10^4 \text{ t}$,具有一定天然能量,开发生产过程中产油井含水上升和能量下降较快,导致产量下降较快;

III类缝洞单元 单井控制,储集体规模小,储量在 $120 \times 10^4 \text{ t}$ 以下,天然能量不足或具有一定天然能量,因地层能量下降较快,生产井产量比II类缝洞单元下降更快,开发效果也更差。

2005年,为了解决II、III类缝洞单元地层能量下降较快的难题,塔河油田进行了注水保压的论证和工艺技术实验,目前已取得良好效果,单井及单元压力回升明显,产量增加显著。

(3)针对缝洞单元的差异性进行开发,可有效增加油气藏的可采储量

通过对连通单元的整体开发、治理及单井控制缝洞单元的治理,可采储量明显增加。塔河油田20口注水替油开采井采收率提高了3.2%,在II类缝洞单元中注水,日增油能力186 t/d,累计增油7 652 t,有效地增加了油气藏的可采储量。

4 结 论

缝洞型油气藏由多个缝洞单元以不同方式叠加形成,一般具有在平面上叠合连片含油、空间上不均匀富集的特征。

塔河油田奥陶系油气藏属于碳酸盐岩缝洞型油气藏,以缝洞单元为基本单元,多个缝洞单元组成复合油气藏,整体上不具统一的底水。在塔河油田探明储量区共划分出10个连通的储渗单元体,20个孤立或相对定容的封闭体。

缝洞单元划分方法主要有三种,即油藏压力降落法、类干扰试井法及流体性质变化法等。

缝洞单元的划分提高了塔河油田的油藏采收率和开发建产率,增加了油气藏的可采储量。

参 考 文 献

- [1] 张希明. 新疆塔河油田奥陶系缝洞型油气藏特征[J]. 石油勘探与开发, 2001, (5): 32-36.

编辑: 吴厚松

Ordovician Carbonate Fractured-vuggy Reservoir in Tahe Oilfield, Tarim Basin: Characteristics and Subdivision of Fracture-Vug Units

Zhang Ximing, Zhu Jianguo, Li Zongyu, Yang Jian

Abstract: Tahe Oilfield is located in the southern Aekulie Arch of Xayar Uplift in northern Tarim Basin. The Ordovician limestone reservoir is a unique kind of composite one with multi-units of fractures and/or vugs (or caverns) so it is similar with neither fractural one nor buried-hill one. The height of the reservoir is much larger than the relief of residual trap. Distribution of hydrocarbon is under the control of developing reservoir. Reservoir bodies are composed of fractures and vugs formed by karstification and tectonization, which are not continuous in longitudinal, and usually a single fractured-vuggy reservoir body is an isolated oil/water system. 10 connecting permeable-stored units and 20 isolated or constant-volume sealed bodies of the reservoir are subdivided and described in feature. The whole oilfield has not unitive basal groundwater and quite different quality of fluids exists in different reservoir bodies.

Key words: Ordovician; Carbonate reservoir; Fractured-vuggy reservoir; Reservoir characteristics; Tahe Oilfield; Tarim Basin

Zhang Ximing: male, Senior Geologist. Add: SINOPEC Xibei Branch, Urumqi, 830011 China