

文章编号: 0253-9985(2005)05-0630-04

塔河油田 4 区奥陶系缝洞型油藏特征及开发对策

李江龙, 黄孝特, 张丽萍

(中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 塔河油田 4 区储集体主要分布在奥陶系风化壳, 呈不规则网状。储集空间以溶洞、裂缝为主, 溶洞高度大多数低于 2 m, 裂缝平均宽度大于 0.1 mm 的层段占总层段的 58%。储集体的平面分布与古岩溶发育有关, 古岩溶水道的地震反射特征呈串珠状强反射, 深浅侧向测井异常具有幅度差。利用蒙特卡罗法计算缝洞型油藏储量, 一种方法是利用测井解释的结果, 统计孔隙度、有效厚度、含油饱和度的概率分布; 另一种方法是假设孔隙度、有效厚度、含油饱和度为精确值, 储集体面积符合某种概率分布, 求得每口井的储量分布。塔河油田是块状底水油藏, 油藏的水体主要由深部发育的古岩溶水道系统沟通底水。合理开发碳酸盐岩缝洞型油藏应以缝洞单元为基础, 以循环注水、钻侧钻井为主要措施, 宜采用“一井一策”方针。

关键词: 缝洞单元; 古岩溶水道; 近地表古岩溶; 蒙特卡罗法; 开发对策

中图分类号: TE112 322 **文献标识码:** A

Reservoir characteristics and development strategy of Ordovician fractured-vuggy reservoirs in block 4 of Tahe oilfield

Li Jianglong Huang Xiaote Zhang Liping

(Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing)

Abstract Reservoirs in block 4 of Tahe oilfield are mainly distributed in Ordovician weathered crust and appear as irregular chicken-wire pattern. Solution cavities and fractures are the main types of reservoir space. The height of most solution cavities is less than 2m, and the formation intervals with average fracture width of over 0.1 mm account for 58% of the total. Areal distribution of reservoirs is related with the development of fossil karst. Fossil karst channels appear as beaded strong seismic reflection, and magnitude differences exist between deep and shallow laterolog anomalies. Monte Carlo method is used to calculate reserves of fractured-vuggy reservoirs. One way is to achieve the probability distribution of porosity, net thickness and oil saturation based on interpretation of log data. Another one is to achieve reserves distribution of each well through assuming that the values of porosity, net thickness and oil saturation are accurate and the area of reservoir body accords with certain probability distribution. Tahe oilfield is a massive oil pool with bottom water being communicated with deep fossil karst water channel system. Rational development of fractured-vuggy carbonate reservoirs should take fracture-vug units as bases, cyclic waterflooding and lateral drilling as the principal measures, and “one well one scheme” as the guiding principle.

Key words fracture-cave unit; fossil karst channel; near-surface fossil karst; Monte Carlo method; development strategy

基金项目: 中国石化“十条龙”项目“塔河油田 4 区碳酸盐岩油藏开发关键技术研究”(P04081)

第一作者简介: 李江龙, 男, 43 岁, 高级工程师, 油藏工程

收稿日期: 2005-07-04

1 储集体特征

塔河油田 4 区位于塔里木盆地北部阿克库勒凸起南端,主要储集体发育在下奥陶统鹰山组微晶灰岩中,储集空间以溶洞、裂缝、溶蚀孔隙为主。

通过岩心观察、成像测井,可发现塔河油田奥陶系储层中裂缝最发育。裂缝不仅是重要的储集空间之一,也是流体流动的重要通道。依据裂隙组系、裂隙间关系、充填类型等特征以及阴极发光、包体、同位素等多种测试数据,裂缝的发育可划分为加里东期、海西早期、海西晚期、印支期、喜出期。最具有储集意义的主要是加里东期与海西早期发育的裂缝。加里东中期—海西早期,受南东—北西向挤压,形成了与构造走向斜交的剪切缝(以高角度缝为主)、沿构造走向的近垂直张裂缝。海西晚期受南—北向挤压,以近东西向裂缝为主,沿大型断裂带发育形成裂缝网系^[1]。通过统计塔河 4 区 7 口井的岩心观察数据,裂缝的平均宽度大于 0.1 mm 的层段占总层段的 58%,小于或等于 0.1 mm 的占 42%。裂缝密度在纵向上差异较大,成像测井(FM I)解释为 0~18 条/米不等,平均为 3~4 条/米,多以裂缝发育段形式存在;岩心观察裂缝密度为 0.4~38 条/米不等。成像测井(FM I)解释裂缝宽度在 0.03 mm 以下(地下条件),岩心观察裂缝张开度一般在 0.05 mm 以下(地面条件)。

溶洞是塔河油田 4 区碳酸盐岩储层的主要储集空间。依据岩心及铸体薄片观察,其储渗空间按岩溶作用的大小、形态可划分为溶蚀孔隙、溶蚀孔洞、大型洞穴。但是对油藏中流体分布和流动影响较大的是洞穴系统,而溶蚀孔隙和部分溶蚀孔洞只能划分在岩块系统中,只有喉道宽度大于 1 mm 相对连通的洞穴和溶蚀孔洞才可划分为洞穴系统。在近代岩溶发育的洞穴系统中,溶洞的渗透系数与 10 mm 以内的裂隙渗透系数相差 3~4 个数量级^[2]。在成像测井解释成果中,大多数溶洞高度小于 10 m。TK426 井成像测井解释的溶洞厚度大多小于 1 m,TK429 井成像测井解释的溶洞厚度大多小于 5 m,TK457 井成像测井段长度一般小于 1 m,TK458H 井成像测井段长度可见 1 和 15 m 的洞。通过统计,TK426

TK429, TK311, T314 和 S87 等井成像测井解释结果,溶洞厚度小于 1 m 的占 62%、小于 2 m 的占 79%、小于 5 m 的占 91%。

塔河油田奥陶系碳酸盐岩缝洞型储集体是一个块状储集体。储集体的平面分布与古岩溶的发育有关。由于受多期岩溶作用,裂缝溶洞的垂直分布更复杂。塔河油田 4 区主要储集体为古近地表岩溶发育带,钻获工业油气的 S48, T401, TK427, T402, TK412 和 T606 等井,均处于古地貌较高的残丘上。其岩溶残丘受附近断裂、风化、淋滤作用的影响,缝洞较为发育。其主要储集体类型包括风化裂缝型储集体、构造裂缝储集体、溶蚀孔隙型储集体和小型洞穴型储集体^[3-4]。小型洞穴发育较孤立,也可称之为不规则网状缝洞系统^[5-6](图 1)。岩溶残丘顶部储集体缝洞发育时,地震剖面上往往表现为弱振幅、低波阻抗、低频等特征;振幅变化率参数图上多表现为高振幅变化率;电阻率、自然伽马等测井曲线上表现为异常值(图 2);钻井过程中常出现放空或泥浆漏失^[7]。



图 1 不规则网状缝洞系统

Fig. 1 Irregular grid fracture-cave system

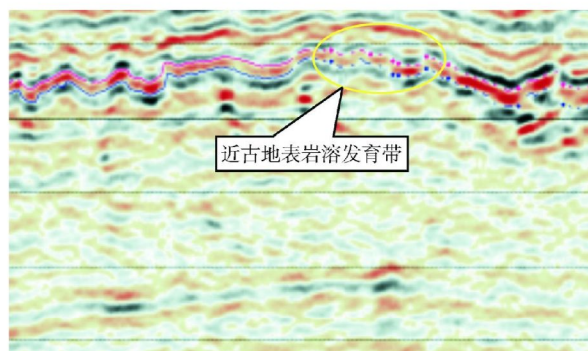


图 2 岩溶残丘地震反射特征

Fig. 2 Seismic reflection features of karstic residual hill

2 储量计算

储量是油气田勘探开发决策的重要参数之一。碳酸盐岩缝洞型油藏的储量计算是世界各大石油公司面临的问题。目前容积法仍是塔河油田采用的储量计算方法^[8],但对其参数的选值在不断地改进。塔河油田利用容积法进行储量计算时,平面上依据动态特征划分流动单元,垂向上以60 m为间隔划分4个带,其有效厚度和孔隙度以测井解释结果为依据,段内碾平。在裂缝孔隙度大于或等于0.5%时和孔洞孔隙度大于或等于2%时划分为I类储层,而孔洞孔隙度小于2%时划分为II类储层。然而,这种方法精确确定缝洞型油藏储量的难度大。目前储量计算时虽说平面上划分单元,垂向按等间隔划分了4个带,但仍很难弄清井间储集体分布,而且有效厚度、孔隙度主要是利用常规测井来求得的,精度较差^[9~11]。

由于碳酸盐岩缝洞型储集体分布具有极强的随机性,其油藏储量计算可选择蒙特卡罗法,即利用统计分布函数来描述储量参数,通过对孔隙度、有效厚度、含油面积等参数进行统计分析,采用随机模拟,计算出储量的分布曲线,用其不同概率所对应的储量来评价储量的可靠性。在实际计算中,往往采用两种方法:一种方法是利用测井解释的结果,统计孔隙度、有效厚度、含油饱和度的概率分布,含油面积取一定值(依据地震特殊处理结果来确定);另一种方法假设孔隙度、有效厚度、含油饱和度为精确值,认为储集体面积符合某种概率分布,来求得每口井的储量分布。后一种方法中的储集体面积分布函数可从钻井、录井资料(包括水平井和试井资料)、古岩溶的野外地质调查统计结果、地震资料缝洞识别成果、与产量的关联系数等来确定。随着油田的不断开发,取得的储量参数资料越来越丰富,可不断地修正储量计算参数及计算结果,从而不断完善此类油藏储量的计算方法。

3 油藏水体

塔河油田是块状底水油藏,但对底水的认识以及底水的分布尚未有定论。依据古岩溶发育理论,古岩溶水道储集带发育在古风化壳下深度不等的地带,受古水流的控制,由相对连通的主洞道和多

条支洞组成,常发育有大型洞穴、洞穴充填物、暗河沉积物、岩溶角砾岩、大型方解石充填体等^[12]。洞穴的展布方向常与断裂构造线、节理裂缝及地层的走向密切相关。古岩溶水道发育带是很好的储集带^[13],但在塔河4区古岩溶水道是底水的储存带。塔河4区钻遇岩溶潜流带岩洞的井一般产水。岩溶潜流带岩洞在地震剖面上表现为“串珠状”强反射特征,钻井过程中有放空和泥浆漏失,常规测井、成像测井表现为溶洞发育段。TK404井奥陶系顶面下250 m附近发育有“串珠状”强反射特征(图3),初产油平均108 m³/d,无水采收油174 d,自喷采油412 d,表现为能量充足。截止2005年2月,该井生产原油14.118×10⁴ t,累计产水15.533×10⁴ m³,目前含水率为93%。

4 开发对策

塔河油田4区自从1997年正式投入开发以来,已逐步形成适合塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏开发的技术。首先以缝洞单元为开发单元,由于缝洞单元大小不等分布极其无规律,所以以单井为独立的缝洞单元居多,开发好独立的小规模缝洞单元成为开发好整个油藏的关键。由于缝洞单元中裂缝、溶洞发育,流体在裂缝、溶洞中流动能力差别很大,流体沿流动阻力最小的方向突进现象严重,使得裂缝、溶洞中的油气动用程度很差。解决此类问题的关键是控制地层压力的下降速度,减缓裂缝因压力下降闭合的程度,或是改变流体流动的方向,扩大油气的动用体积。目前,在油田开发中,现场采用循环注水方式取得了很好的效果。

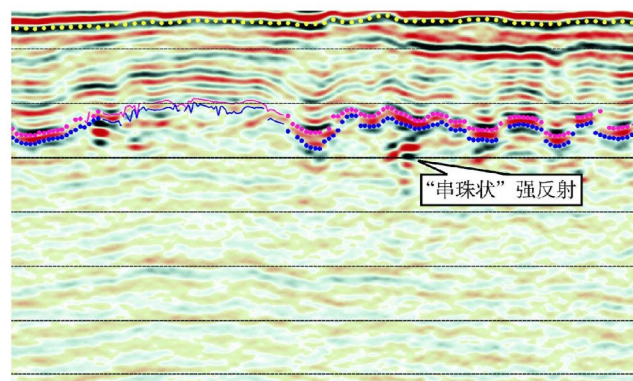


图3 “串珠状”强反射特征

Fig. 3 “Beaded” strong reflection feature

对于高含水井区,应采用关井压锥措施。由于底水通过发育在奥陶系较深部位的洞穴系统中水体锥进,含水上升很快,控制水体锥进难度大,采用堵水措施效果可能不会很好。因而对于深部洞穴系统发育的地区钻井不宜过深,酸压强度不宜过大,要分析地层中垂向裂缝不发育的层段作为封隔层位置,封死下部水体,以达到控水的目的。

对于低效井和无产能井应依据地震反演特性、储层预测结果,并结合周围油井动态特征,向可能发育的缝洞单元钻侧钻井或侧钻水平井,以提高平面上的储量动用程度。

至于合理的采油速度和单井的采油强度,应依据单井钻遇的缝洞单元特征来确定。根据目前生产实际,采用“一井一策”可能是最好的选择。

参 考 文 献

- 张希明. 新疆塔河油田下奥陶统碳酸盐岩缝洞型油气藏特征 [J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(5): 17~22
Zhang X in g The characteristics of Lower Ordovician fissure vug carbonate oil and gas pools in Tahe oil field Xinjiang [J]. Petroleum Exploration & Development 2001, 28(5): 17~22
- 杨明德. 喀斯特流域水文地貌系统 [M]. 北京: 地质出版社, 1998 47~200
Yang M ing de Hydrogeomorphological system in karst drainage area [M]. Beijing Geological Publishing House 1998 47~200
- 黄孝特. 碳酸盐岩裂缝-溶洞型油气藏开发技术探讨 [J]. 石油实验地质, 2002 24(5): 446~451
Huang X iaote An approach on the development technologies of fissure karst cave type hydrocarbon pools in carbonate rock [J]. Petroleum Geology & Experiment 2002, 24(5): 446~451
- 肖玉茹, 何峰煜, 孙义梅. 古洞穴型碳酸盐岩储层特征研究——以塔河油田奥陶系古洞穴为例 [J]. 石油与天然气地质, 2003 24(1): 75~82
Xiao Yuru He Fengyu Sun Yimei Reservoir characteristics of paleocave carbonates a case study of Ordovician paleocave in Tahe oilfield Tarin basin [J]. Oil & Gas Geology 2003 24(1): 75~82
- 周兴熙. 初论碳酸盐岩网络状油气藏——以塔里木盆地轮南奥陶系潜山油气藏为例 [J]. 石油勘探与开发, 2000 27(3): 5~12
Zhou X ingxi A primary discussion on the network-like oil and gas pools in carbonate rocks taking the Lunnan Ordovician buried-hill pool in Tarin basin as an example [J]. Petroleum Exploration & Development 2000 27(3): 5~8
- 周兴熙. 再论网络状油气藏与轮南潜山勘探对策 [J]. 石油勘探与开发, 2002 29(4): 4~9
Zhou X ingxi My second discussion on network-like oil and gas pools and the exploration strategy for Lunnan buried-hill pools [J]. Petroleum Exploration & Development 2002 29(4): 4~9
- 阎相宾. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层特征 [J]. 石油与天然气地质, 2002 23(3): 262~266
Yan X iangbin Characteristics of Ordovician carbonate rock reservoir in Tahe oilfield [J]. Oil & Gas Geology 2002 23(3): 262~266
- 张希明, 杨坚, 杨秋来, 等. 塔河缝洞型碳酸盐岩油藏描述及储量评估技术 [J]. 石油学报, 2004 25(1): 13~19
Zhang X in g Yang Jian Yang Q iulai et al Reservoir description and reserves estimation technique for fracture cave type carbonate reservoir in Tahe Oilfield [J]. Acta Petrolei Sinica 2004 25(1): 13~19
- 柳建华. FM I 成像测井技术在塔河碳酸盐岩油田的应用 [J]. 新疆石油地质, 2001, 22(6): 487~490
Liu Jianhua The effectiveness for applying FM I well logging in carbonate reservoir of Tahe oilfield [J]. Xinjiang Petroleum Geology 2001, 22(6): 487~490
- 景建恩, 梅忠武, 李舟波. 塔河油田碳酸盐岩缝洞型储层的测井识别与评价方法研究 [J]. 地球物理学进展, 2003 18(2): 336~342
Jing Jian'en Mei Zhongwu Li Zhoubo Investigation on well logging methods for identifying and evaluating fracture-vug type carbonate reservoirs in Tahe oil field [J]. Progress in Geophysics 2003 18(2): 336~342
- 李翎, 魏斌, 贺铎华. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层的测井解释 [J]. 石油与天然气地质, 2002 23(1): 49~55
Li Ling Wei Bin He Duohua Log interpretation of Ordovician carbonate reservoirs in Tahe oilfield [J]. Oil & Gas Geology 2002 23(1): 49~55
- 李昌全. 赤水地区碳酸盐缝、洞型气藏地质模型讨论 [J]. 贵州地质, 2000 17(2): 71~79
Li Changquan A discussion on the geological model of carbonate seam-cave type gas pool in Chishui region [J]. Guizhou Geology 2000 17(2): 71~79
- 任玉林, 李江龙, 黄孝特. 塔河油田碳酸盐岩油藏开发技术政策研究 [J]. 油气地质与采收率, 2004 11(5): 57~59
Ren Yulin Li Jianglong Huang Xiaote Study on developmental technologic strategies in Tahe carbonate oilfield [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency 2004 11(5): 57~59

(编辑 高岩)