

文章编号:0253-9985(2008)05-0703-06

溶洞型碳酸盐岩油藏高效开发实践 ——以塔河油田 11 区为例

王光付

(中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:塔河油田 11 区开发过程中采用地质、地球物理和油藏动态综合研究方法,划分出溶洞型碳酸盐岩油藏存在高产稳产井、低产稳产井、低效井和空井 4 种典型。分析各类井钻遇储集体的地球物理识别特征和具有的油藏动态特征,提出开发方案设计中优先部署高产稳产井、其次是低产稳产井、最大限度地避免低效井和杜绝空井。开发实践证明,提高钻井成功率和开发经济效益十分显著。

关键词:波形;振幅变化率;波阻抗;溶洞;储集体;碳酸盐岩;油藏开发

中图分类号:TE344

文献标识码:A

Efficient development of vuggy carbonate reservoirs: an example from the Block 11 of Tahe oilfield

Wang Guangfu

(SINOPEC Petroleum Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: Four kinds of typical wells, namely paying, stripped, deficient, and barren wells are recognized in the Block 11 of Tahe oilfield through integrated research of geology, geophysics, and reservoir dynamics. A development plan, which gives first priority to paying wells followed by stripped wells, minimizes deficient wells and eliminates completely barren wells, was proposed based on an analysis of the specific geophysical features and performances of the reservoirs encountered by these wells. The practice shows that the plan is quite effective in improving drilling success ratio and economic returns.

Key words: wave shape; amplitude variation ratio; acoustic impedance; vug; reservoir; carbonate rock; reservoir development

砂岩油藏开发已形成众多的开发模式,油田开发专家认为溶洞型碳酸盐岩油藏开发实际上就是二次勘探,主要原因是碳酸盐岩储集体分布受沉积、构造、古地貌以及多期岩溶作用控制,溶洞存在未充填和充填形式,有效溶洞储集体定量预测难度大,目前此类油藏高效合理的开发方式仍处于探索阶段。

塔河油田 11 区奥陶系溶洞型碳酸盐岩油藏经历了初期勘探的喜悦、中期勘探和油藏评价的

困惑以及后期高效开发的成功。文章着重介绍后期油藏开发中采用地质、地球物理和油藏动态综合研究方法,划分出溶洞型碳酸盐岩油藏存在 4 种典型井(高产稳产井、低产稳产井、低效井和空井),分析各类井钻遇储集体的地球物理识别特征和具有的油藏动态特征,提出开发方案设计中优先部署高产稳产井、其次是低产稳产井,最大限度地避免低效井和杜绝空井,从而使钻井成功率和开发经济效益显著提高。

收稿日期:2008-08-18。

作者简介:王光付(1965—),男,博士后、教授级高级工程师,油田开发地质。

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)项目(2006CB202403)。

1 研究区勘探开发简况

塔河油田 11 区位于塔里木盆地北部沙雅隆起阿克库勒凸起的南部,构造处于塔河油田南部斜坡,面积约 380 km²。2002 年 S106 和 S117 井在奥陶系碳酸盐岩测试获高产油气流,从而取得该区勘探的重大突破,但随后的勘探和油藏评价过程并非一帆风顺。如 S114 井取心在奥陶系开发间房组含油岩心长 10.73 m,鹰山组含油岩心长 15 m,但常规测试和酸压求产均未获得工业油流;后期部署并完钻的 39 口探井和评价井成功率仅 54%,低于塔河油田主体区块 30%,而且有 21 口井未投产,主要原因是 11 区成藏和油气富集规律同主体开发区块发生重大变化。如 11 区奥陶系主力含油层系为一间房组而不是鹰山组,主要油气圈闭类型是溶洞而不是风化壳和残丘,尤其是部分碳酸盐岩溶洞储集体被其他岩石充填和半充填,使碳酸盐岩储集体地球物理特性变的更加复杂^[1];同时油藏埋藏深度达到 6 500 m,开发成本高。因此,如何识别和预测有效的碳酸盐岩溶洞型储集体,采用何种开发理念和思路,是塔河油田 11 区奥陶系油藏高效开发的关键。

2 储集体类型

钻井取心、测井和测试结果表明 11 区主要含油层系为中、下奥陶统一间房组碳酸盐岩,呈似层状^[2],称之为碳酸盐岩储集体,岩性主要为亮晶砂屑灰岩和亮晶生物屑砂屑灰岩,沉积相类型主要为开阔台地相台内滩亚相的砂屑滩和生屑滩微相^[3~7]。有效的碳酸盐岩储集体包括裂缝型、裂缝-溶蚀孔洞型和溶洞型碳酸盐岩等 3 种类型,其中裂缝型碳酸盐岩储集空间主要为溶蚀裂缝,溶蚀孔洞发育较差,油井(如 TK1104 井、S112-2 井和 S114-3 井)生产特征表现为初期产量较高,但产量递减非常快;裂缝-溶蚀孔洞型碳酸盐岩储集空间主要为裂缝、以及溶蚀的孔和小洞,油井(如 S106、S106-3)生产动态表现为低产稳产特征,为本区较有价值的储集体;溶洞型碳酸盐岩储集空间主要为大型洞穴,裂缝在洞穴之间起沟通作用,油井(如 S117 井、S116-2 井)生产动态表现为特高渗透高产特征,为本区最有价值的储集体。因此,着

重开展溶洞型碳酸盐岩储集体预测技术方法研究。

3 溶洞型碳酸盐岩储集体预测技术

针对 11 区一间房组溶洞型碳酸盐岩储集体,采用常规地震剖面波形特征、地震相干体、构造曲率、地震振幅变化率和测井约束地震反演等多种方法技术探讨研究,其中地震相干体不能很好区分本区裂缝发育带、溶洞发育带和岩性变化异常带^[1];构造曲率对断层和裂缝分布起定性分析作用;而其他 3 种方法中仅采用单一方法技术均具有不确定性。

常规地震剖面波形呈现“断层+串珠状”或“串珠状”特征是判断溶洞型储集体的必要条件,但不是充分条件^[1],原因是断层可能经历多次岩溶作用,溶洞被填充物充填也出现上述波形特征。

振幅变化率仅与振幅的横向变化相关,与振幅绝对值无关^[8~12]。碳酸盐岩中溶洞发育,必然会引起振幅发生变化,反之,振幅变化率大的位置碳酸盐岩溶洞不一定发育。原因是单一地震振幅变化率分析技术难以识别有效储集体,位于极强振幅变化率的溶洞有两种可能,一种是未充填或部分充填的溶洞,另一种是被完全充填的“死洞”^[1]。

碳酸盐岩溶洞储集体岩石物理属性表现为高孔隙度、低密度和低速度,地球物理属性特征表现为低波阻抗。同样仅利用单一的波阻抗测井约束反演结果也不能说明溶洞储集体发育程度,原因是位于一间房组顶部附近恰尔巴克泥岩标志层的波阻抗也较低,接近有效溶洞波阻抗绝对值^[13]。

结合 39 口完钻井的钻井、录井、测井、测试和投产状况,确定溶洞型碳酸盐岩有效储集体发育的地球物理特征应同时具备以下 3 个条件^[1]:一是常规地震剖面波形特征为“断裂+串珠状反射+强波谷”,并且强波谷位于一间房组中上部;二是一间房组顶面 0~20 ms 振幅变化率为较强-极强的位置;三是一间房组中、上部具有极低的波阻抗,波阻抗绝对值小于 1.2×10^7 kg/m³。

上述条件中,若不具备条件一或条件二,则说明目的层段介质均质,则不存在溶洞;若具备条件一和条件二,不具备条件三,则说明目的层段碳酸盐岩内存在非均质介质,但介质具有高速高密度的特性,说明碳酸盐岩溶洞被大部分或完全充填。

4 完钻井综合评价分类

依据 39 口完钻井的地质特征(钻井和录井显示、储集体沉积特征)、地球物理特征(测井曲线、常规地震剖面、地震振幅变化率和地震反演剖面特征)、以及试油试采和生产动态特征,塔河油田 11 区溶洞型碳酸盐岩油藏划分出 4 种典型井,即高产稳产井、低产稳产井、低效井和空井。

4.1 高产稳产井

高产稳产井以 S117 井和 S116-2 井为代表,储集体岩性为亮晶砂屑灰岩和亮晶生物屑砂屑灰岩,钻井放空或泥浆严重漏失。储集体地球物理特征在常规地震剖面为“断裂+串珠状反射+强波谷”(图 1),并且强波谷位于一间房组顶部,储集体正下方断裂发育,纵向和横向有多个串珠状反射相连;测井约束反演剖面中为极低的波阻抗,其波阻抗绝对值小于 $1.2 \times 10^7 \text{ kg/m}^3$ (图 1);振幅变化率在—间房组顶面以下 0~20 ms 处于极强的位置(图 2)。因钻井放空和泥浆漏失无法测井,为典型的溶洞型储集体。生产动态特征表现为油井投产自喷,高产稳产,不含水或无水采油期较长,生产过程中油压下降缓慢,溶洞供油范围较大,地层能量充足,1~2 年内生产原油大于 $2 \times 10^4 \text{ t}$,如 S117 井在 1 年内已生产原油 $5 \times 10^4 \text{ t}$ 。

4.2 低产稳产井

低产稳产井以 S106 井、S106-3 井和 TK1010 井为代表,储集体岩性为砂屑粒灰岩和生屑粒灰岩,钻井无放空、但钻井泥浆有少量漏失。储集体地球物理特征在常规地震剖面为串珠状反射+强波谷(图 3),并且强波谷位于—间房组顶部;测井约束反演剖面中为低波阻抗,绝对值 $1.2 \times 10^7 \sim 1.4 \times 10^7 \text{ kg/m}^3$ (图 3);振幅变化率在—间房组顶面以下 0~20 ms 处于较强的位置(图 2)。测井响应为裂缝-溶蚀孔洞特征。生产动态特征表现为油井自喷,低产稳产,后期含水导致底水锥进,油压下降较快,说明溶洞供油范围较大,地层能量充足,2~3 年单井生产原油大于 $2 \times 10^4 \text{ t}$ 。

4.3 低效井

低效井进一步细分两种类型。

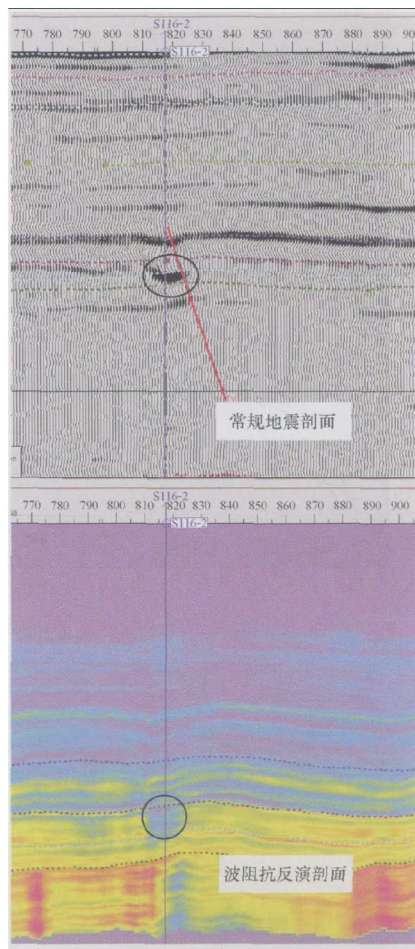


图1 S116-2 井常规地震剖面 and 波阻抗剖面特征

Fig. 1 Features of conventional seismic section and acoustic impedance section across Well S116-2

第一类低效井以 S112-2 井、S114-3 井、S116-1 井和 TK1104 井为代表,分布于 11 区西南部裂缝发育带,储集体岩性以微晶灰岩为主,钻井无放空,但泥浆有少量漏失现象。储集体地球物理特征在常规地震剖面为—间房组上部没有异常现象(图 4);测井约束反演剖面中分布少量低波阻抗(图 4),测井响应显示裂缝型储集体特征;振幅变化率在—间房组顶面以下 0~20 ms 处于较弱的位置(图 2)。生产动态特征表现为裂缝型油藏开采特征,油井初期产量较高,但产量下降快,含水上升快,累计产油量低,3 年内累计产油量小于 $1 \times 10^4 \text{ t}$ 。

第二类低效井以 T758 井、S108 井和 S102 井等为代表,分布于西北部复杂断裂带的断背斜翼部,储集体地球物理特征在常规地震剖面特征为

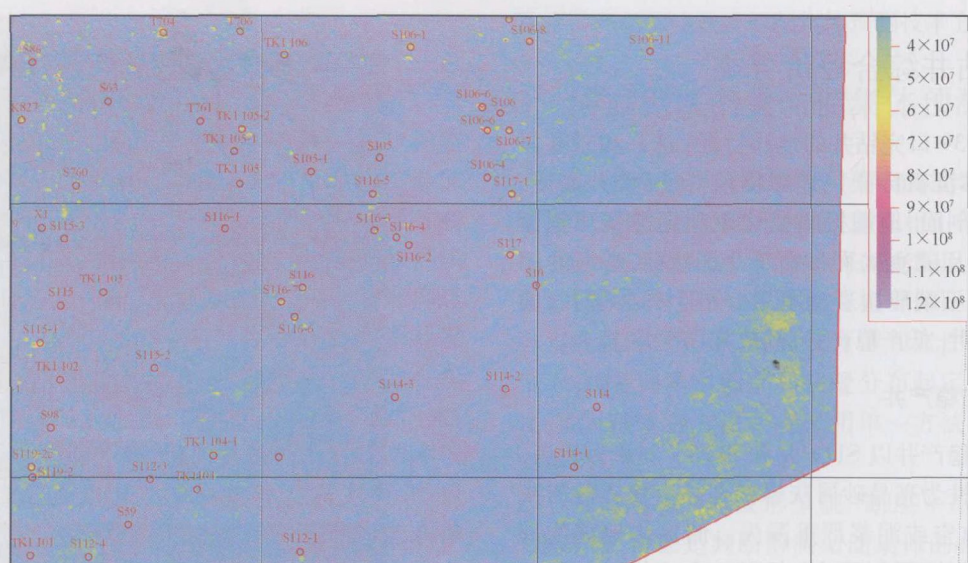


图2 塔河油田11区奥陶系一间房组顶部0~20 ms地震振幅变化率分布

Fig. 2 Distribution of amplitude variation ratio in 0-20 ms at the top of the Ordovician Yijianfang Formation in Block 11 of Tahe oilfield

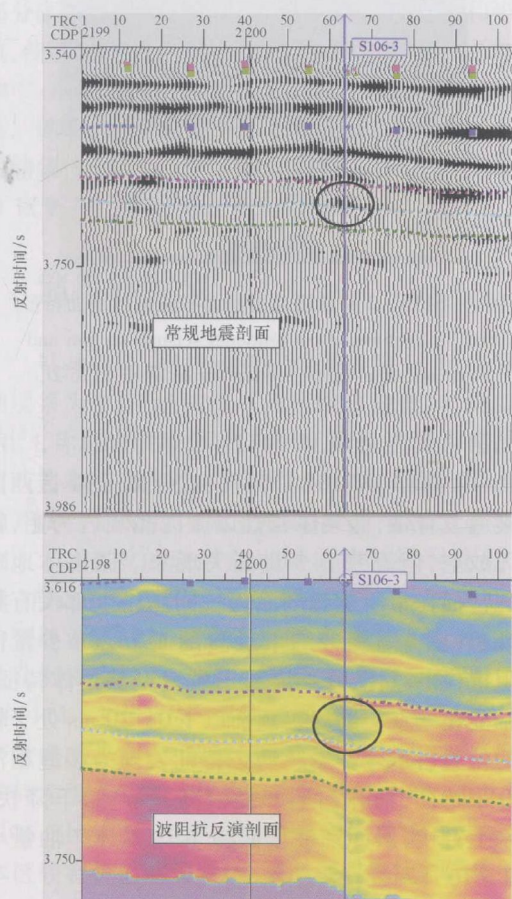


图3 S106-3井常规地震剖面 and 波阻抗剖面特征

Fig. 3 Features of conventional seismic section and acoustic impedance section across Well S106-3

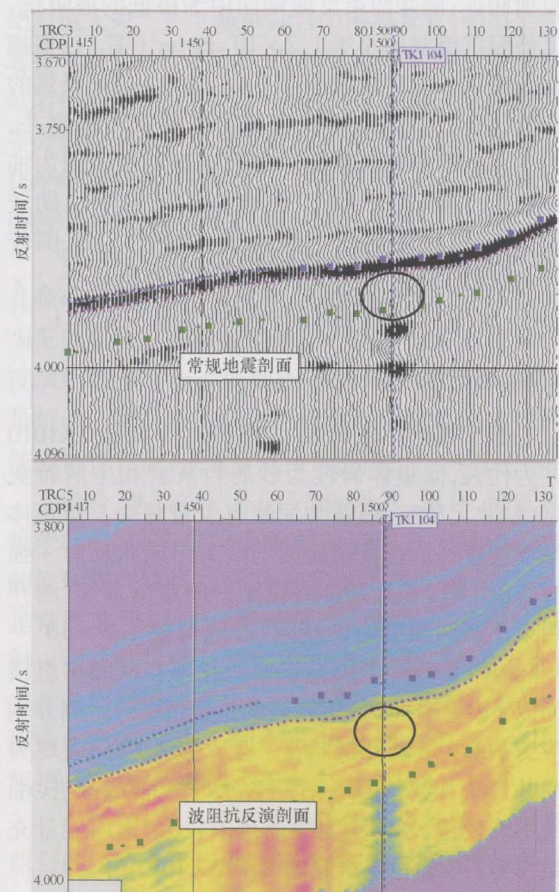


图4 TK1104井常规地震剖面 and 波阻抗剖面特征

Fig. 4 Features of conventional seismic section and acoustic impedance section across well TK1104

一间房组顶部出现微弱的波谷特征;测井约束反演剖面中分布少量低波阻抗;振幅变化率在一间房组顶面以下0~20 ms处于较弱的位置。测井响应显示一间房组中、上部储集体为裂缝-孔洞型特征或裂缝-溶洞型小定容体。由于储集体规模小,生产动态特征表现为油井累积产液量较少,3年内累计产油量小于 1×10^4 t。

4.4 空井

空井进一步细分两种类型。

第一类空井以S105井、S114井、S114-2井、S119井、S119-1井、T761井、TK1102井、TK1103井、TK1104井、TK1105井、TK1105-1井等为代表,储集体岩性以岩性为泥微晶砂屑灰岩,钻井无放空和泥浆漏失现象;储集体地球物理特征在鹰

山组出现串珠状反射,如T761和TK1105-1井,或为一间房组局部小残丘,如S114和S114-2井;振幅变化率在一间房组顶面以下0~20 ms处于极弱的位置;测井约束反演剖面中一间房组中上部无渗透性或较差的储集体,如S105井等,波阻抗值高一般大于 1.8×10^7 kg/m³。测井响应显示一间房组中、上部无渗透性储集体。生产动态特征表现为未见工业油流。

第二类空井以S116井、S115-1井、T750井、T758井、T759井、T760井等为代表,储集体岩性为含硅质团块泥微晶砂屑灰岩,钻井无放空和泥浆漏失现象;储集体地球物理特征在常规地震剖面表现为串珠状反射+强波谷(图5),且强波谷位于一间房组中、上部;振幅变化率在一间房组顶面以下0~20 ms处于极强的位置(图2);测井约

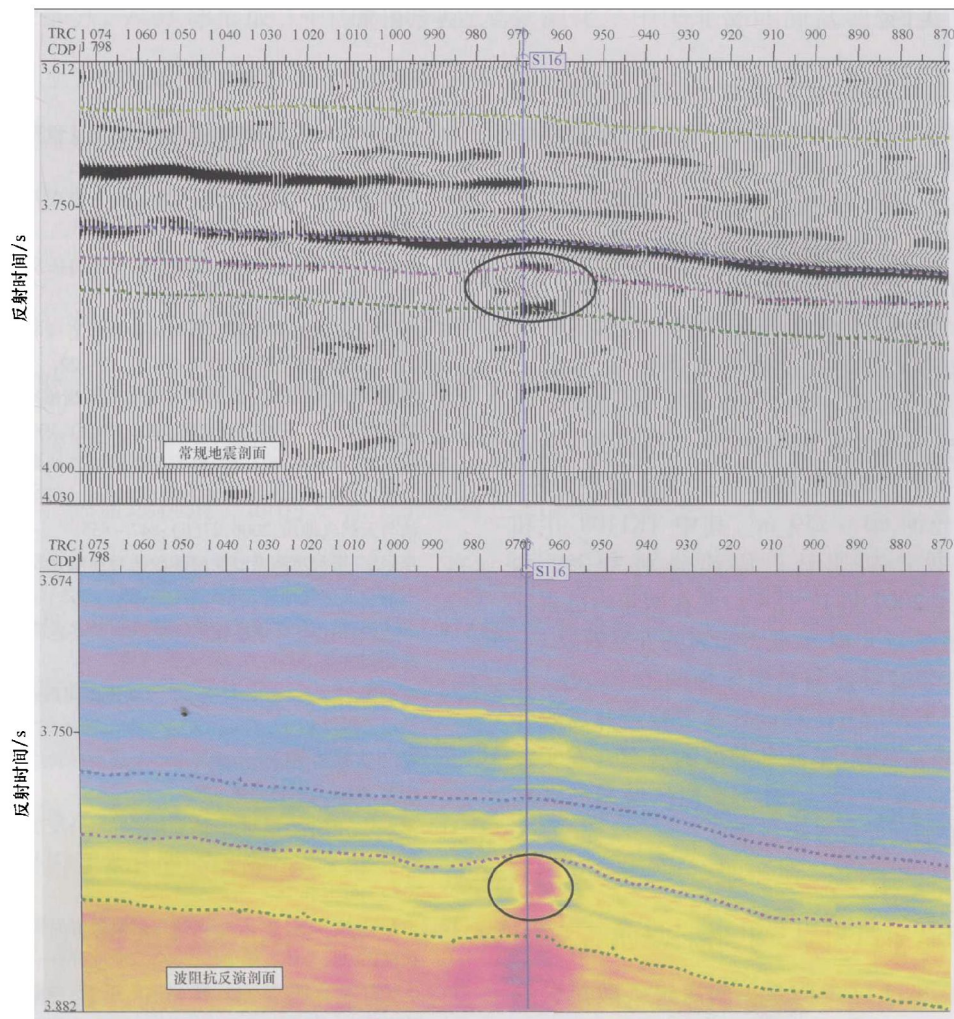


图5 S116 常规地震剖面和波阻抗剖面特征

Fig. 5 Features of conventional seismic section and acoustic impedance section across well S116

束反演剖面具有极高波阻抗,波阻抗绝对值大于 $2.0 \times 10^7 \text{ kg/m}^3$ (图5);波阻抗特征明显区别于A类高产稳产井,分析认为原溶洞后期被高速介质(特殊岩性)充填,一间房组中、上部层位钻井取心得到证实,如S116井6 139.00~6 139.35 m取心岩性分析为黄灰色(含硅质团块)泥微晶砂屑灰岩,S115-1井6 016.45~6 019.43 m取心岩性分析为浅黄灰色砂屑泥晶灰岩(发育灰黑色和乳白色硅化团块),T758井6 033.62~6 035.13 m取心岩性分析为褐灰色沥青质砂屑泥晶灰岩(局部见硅质条带),这些局部的硅质条带,导致一间房组顶面0~20 ms振幅变化率极强,反演剖面为极高波阻抗。测井响应显示一间房组中、上部无渗透性储集体。生产动态特征为未见工业油流。

5 开发实践

依据溶洞型碳酸盐岩储集体识别、预测技术方法和完钻井综合评价分类研究成果,遵循溶洞型碳酸盐岩油藏开发就是二次勘探的开发理念,开发方案井位设计坚持部署高产稳产井、减少低效井、最大限度地避免低效井和杜绝空井、并实行滚动开发的思路。在塔河油田11区一间房组中、上段预测并优选14口具有高产稳产井和低产稳产井类似地球物理特征的溶洞型储集体,目前已实施并完钻的S106-5井(后更名为TK1108井)、S106-6井(后更名为TK1109井)、TK1105-2井(后更名为TK1112井)、TK1113井等4口开发井,测试后日产油60~259 m^3 ,其中TK1108井和TK1109井投产初期日产原油分别为259和245 m^3 ,截至2007年12月4口井在两年内已累计生产原油超过 $11 \times 10^4 \text{ t}$,获得显著的开发效果。

碳酸盐岩有效溶洞储集体预测技术方法、完钻井综合评价方法和设计高产稳产井高效开发理念,在塔河油田11区和邻区的后续开发实践中得到了进一步应用,同时为类似的缝洞型碳酸盐岩油藏滚动勘探开发提供借鉴。

6 结论

塔河油田11区奥陶系一间房组碳酸盐岩油藏主要油气圈闭类型是溶洞。碳酸盐岩溶洞存在两种形式,一种是未充填或部分充填的溶洞,另一

种是被完全充填的“死洞”。

溶洞型碳酸盐岩有效储集体发育的地球物理特征应同时具备3个条件:一是常规地震剖面波形特征为“断裂+串珠状反射+强波谷”,并且强波谷位于一间房组中、上部;二是一间房组顶面0~20 ms振幅变化率为较强-极强的位置;三是一间房组中、上部具有极低的波阻抗,波阻抗绝对值小于 $1.2 \times 10^7 \text{ kg/m}^3$ 。

溶洞型碳酸盐岩油藏开发就是二次勘探。开发方案设计坚持部署高产稳产井,减少低效井、最大限度地避免低效井和杜绝空井、并实行滚动开发的思路。

致谢:文章中部分研究思路得到中国石化股份有限公司焦方正副总裁、中国石化西北分公司窦之林副经理和朱建国副总地质师等指点,在此表示谢意。

参 考 文 献

- 王光付. 碳酸盐岩溶洞型储层综合识别及预测方法[J]. 石油学报, 2008, 29(1): 47~51
- 张抗. 塔河油田似层状储集体的发现及勘探方向[J]. 石油学报, 2003, 24(5): 4~9
- 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
- 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
- 刘文, 李永宏, 张涛, 等. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩沉积相及地层学研究[J]. 石油实验地质, 2002, 24(2): 104~109
- 陈志海, 马旭杰, 黄广涛. 缝洞型碳酸盐岩油藏缝洞单元划分方法研究——以塔河油田奥陶系油藏主力开发区为例[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 847~855
- 李宗宇. 塔河奥陶系缝洞型碳酸盐岩油藏开发对策探讨[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 856~862
- 杨子川. 塔河油田碳酸盐岩储层预测技术及应用[J]. 勘探地球物理进展, 2004, 27(6): 432~439
- 韩革华, 漆立新, 李宗杰, 等. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩缝洞型储层预测技术[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 860~870
- 袁国芬. 塔河油田碳酸盐岩储层地球物理响应特征[J]. 石油物探, 2003, 42(3): 318~321
- 张永升, 李家蓉, 潘新志. 地震和测井联合反演技术在塔河油田碳酸盐岩储层预测中的应用[J]. 勘探地球物理进展, 2002, 25(4): 46~48
- 王勤聪, 李宗杰, 孙雯. 塔河油田碳酸盐岩储集层地球物理识别模式[J]. 新疆石油地质, 2002, 23(5): 400~401
- 李明娟, 张永贵, 郭兴威, 等. 塔河南部地区碳酸盐岩油气预测技术研究[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(4): 536~541

(编辑 高 岩)