

曲流带宽度为 2 km, 平均发育厚度为 5 m 左右, 河间砂体呈片状和条带状镶嵌在河道边部^[3]。

1.2 T4 油田三维地质模型的建立

根据 T4 油田的构造特点和具体情况, 首先利用井孔资料进行了地层的精细对比, 通过精确对比每一个沉积单元, 利用“旋回对比、分级控制、不同相带区别对待”的原则, 在垂向上进行了沉积单元细分^[3]。其次, 通过已有的断层模型找出与断层面不吻合的断点, 并对断点进行重新对比, 经过多次迭代, 对所有断点进行重新组合, 使得断层模型更为准确。其三, 利用抽稀井网方法, 对多种构造层面模拟算法进行优选, 并采用优选算法进行构造层面模拟。在水平井区抽出 3 口井不参与计算, 误差分析对比发现, 最小曲率算法有 2 口井小于 0.1 m, 平均误差 0.3 m, 能够很好体现研究区块的构造特征, 因此选择该算法进行构造模拟。其四, 根据实际数据需要建立精细网格, 水平井研究区块按照 10.0 m×10.0 m×0.1 m 对地质体进行网格化。

在构造建模的基础上, 采用相控属性建模的思路, 建立了准确的属性模型。首先对不同的沉积微相选用不同的模拟方法, 建立沉积相模型, 在平面上细分沉积微相。将数字化的沉积相带图与井点相数据结合, 建立离散化的沉积相模型, 在沉积微相的控制作用下(相控), 优选变差函数参数, 模拟沉积单元内储层物性参数的空间分布。

建立相约束的岩性模型时, 抽出水平井区 3 口井不参加插值运算。具体做法是, 首先依据研究区的地质特征, 在变差函数过程中, 设置有效主、次变程的变动范围为 300~800 m, 建立多个模型, 同时输出被抽出的 3 口井所在网格的岩相值, 并与实际数据进行对比, 由此可知主变程在 600~800 m 之间、次变程在 300~450 m 之间时, 被抽出的 3 口井的平均误差均不超过 10%。然后, 设置有效主变程在 600~800 m 之间、次变程在 300~450 m 之间, 建立了研究区属性模型的多个实现, 同时建立了有效砂岩的分布概率模型。最终采用的岩性模型在被抽出的 3 口井处, 误差均不超过 10%, 平均精度达到 94%, 从而完成了研究区的属性建模工作。

1.3 T4 油田三维地质模型评价

以上建立的三维地质模型必须经过严格的检验, 以保证其预测的精度和可靠性。一个模型建立以后, 一定要进行分析, 评价模型精度^[4~8]。

根据油田实际情况, 通过分析 T4 油田构造特

征、储层动/静态资料和生产状况, 选择 T4 油田八区 T48-L121 井区进行水平井设计, 并利用抽稀井网方法验证模型精度(图 2)。为了进一步明确水平井钻井层位, 确定水平井井位, 对 T4 油田八区纯油区进行了储层分级描述。首先进行精细对比, 对准每一个单元的精确沉积层位; 然后进行沉积相细分, 搞清不同单元砂体的沉积特征; 最后进行废弃河道精细识别与组合, 识别出单一点坝。

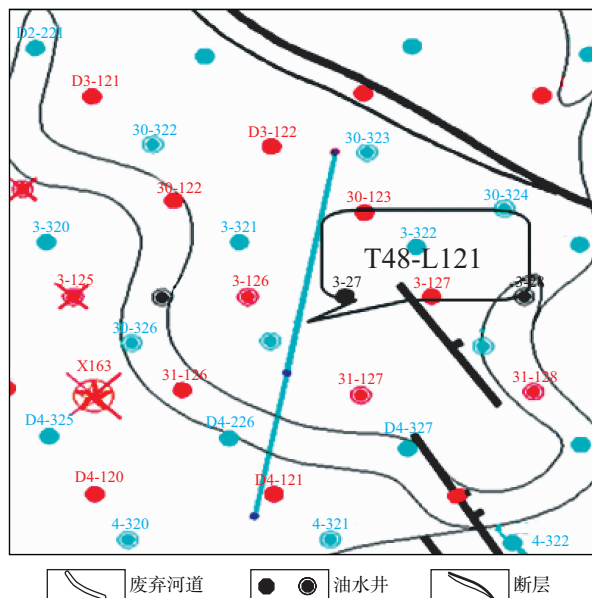


图 2 T48-L121 井方位

2 水平井轨迹的设计与随钻跟踪

2.1 T48-L121 水平井轨迹设计

综合分析油水井监测资料、取心井资料、水淹层解释资料, 确定研究区中部目的层上部存在剩余油。这主要是由于废弃河道、变差带、断层和不渗透侧积薄夹层影响油水井间的连通状况, 控制了河道砂体内的油水运动规律。剩余油富集区垂向上主要分布在油层顶部, 平面上主要分布在废弃河道附近。按岩心资料显示, 在厚油层顶部有 33.2% 的厚度未水洗, 平均单井发育有效厚度 3.80 m, 计算出顶部未动厚度大约在 1.26 m。结合本区已钻开发井揭示的目的层葡 9 单元的地层情况, 根据本区建立的三维地质模型, 给出了准确可靠的 T48-L121 水平井目的层的靶点数据(表 1), 并依据曲流河点坝砂体沉积情况和侧积夹层发育分布情况, 设计了水平井垂直侧积夹层方向(图 3)。

2.2 基于三维模型的随钻跟踪

利用三维可视化技术将本区三维实体模型显示在三维场景中, 从而实现地质体的三维显示, 并

表 1 T48-L121 井设计靶点坐标

轨迹控制点	坐标		
	横坐标 y/m	纵坐标 x/m	海拔深度 z/m
地面位置	7 440.85	22 160.63	
入靶点	7 557.37	22 425.12	-901.97
控制点 1	7 596.39	22 514.15	-899.44
控制点 2	7 613.67	22 551.82	-898.64
控制点 3	7 650.93	22 632.21	-894.14
控制点 4	7 671.14	22 676.18	-891.89
控制点 5	7 713.53	22 767.61	-887.86
控制点 6	7 728.86	22 801.08	-885.40
控制点 7	7 744.56	22 834.03	-882.81

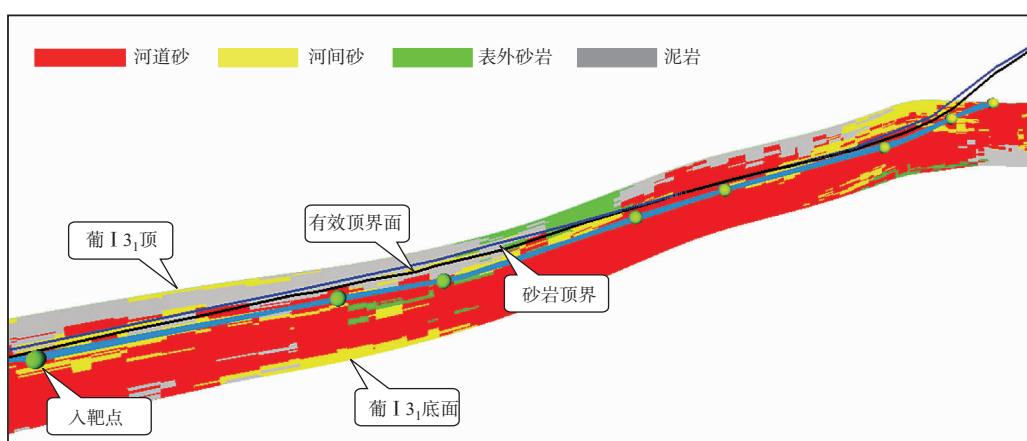


图 3 T48-L121 井水平段井轨迹剖面

可以应用三维地质模型实现水平井随钻跟踪。利用储层地质模型监测系统、岩屑录井系统、钻井监测系统和随钻仪(LWD)监测系统实时进行现场数据的传输,在钻井过程中根据录井资料与 LWD 监测资料对井轨迹进行实时调整,确保准确入靶^[9](图 4)。

通过实钻轨迹和设计轨迹在三维模型中的对比,我们发现地质模型预测的葡 I 组顶面与实钻测量深度相差仅 0.3 m(预测 1 071.3 m、实钻 1 071.0 m)。目的层预测砂岩长度 450.0 m,实钻 475.2 m。通过 T48-L121 井测井资料解释,在目

的层段发现了 2 个未水淹油层(图 5,表 2),并取得了较好的产能。

结合储层内部结构和水淹层研究结果,T48-L121 井初期射孔长度为 280 m,均采用水平 180°双向射孔。2008 年 2 月投产,初期产液 104 t/d,产油 22 t/d,含水率为 79%。统计资料表明,水平井钻井成本是直井的 1.5~2.0 倍,产油量是直井的 3.0~7.0 倍。T48-L121 水平井钻井成本是直井的 4 倍多,而产油量是水平井区直井的 7 倍,可以看出,水平井挖掘了厚油层顶部的剩余油,取得了较好的经济效益。

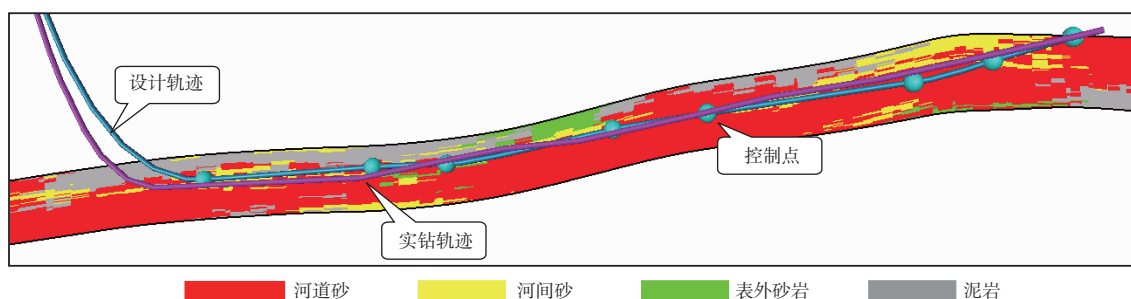


图 4 设计轨迹与实钻轨迹对比剖面

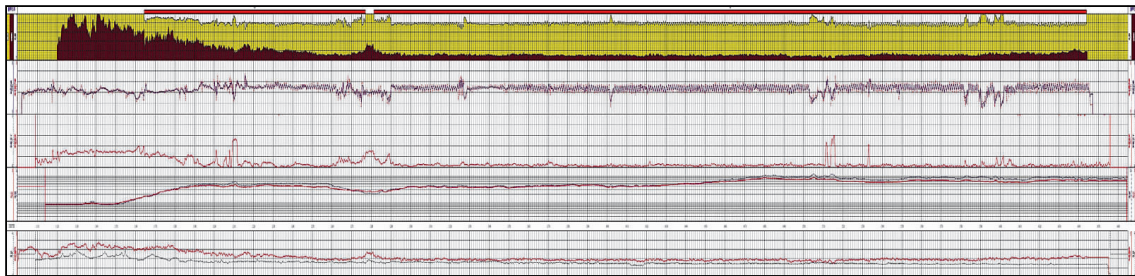


图 5 T48-L121 井水平段测井解释成果

表 2 T48-L121 井水平段测井解释成果

序号	起始深度/m	终止深度/m	孔隙度, %	渗透率/($10^{-3} \mu\text{m}^2$)	饱和度, %	解释结论
1	1 164.4	1 277.0	28.2	122.97	23.6	未水淹油层
2	1 281.4	1 644.0	27.3	112.18	27.4	未水淹油层

3 结论

1) 三维地质模型提供了沉积微相、岩性以及孔隙度、渗透率等参数的空间分布特征,使得对地质特征的认识由定性转化为定量。

2) 实践证明,以三维地质建模为基础的水平井开发地质方案设计技术,可以有效地指导水平井钻井工作。

3) 通过三维地质建模技术与其他技术相结合,可以实现水平井随钻跟踪,而随钻跟踪技术的应用,可以更好地指导水平井的实施。

参 考 文 献

- 魏嘉. 地质建模技术[J]. 勘探地球物理进展, 2007, 30(1): 1~6
- 闫百泉, 马世忠, 王龙, 等. 曲流点坝内部剩余油形成与分布规律物理模拟[J]. 地质前缘, 2008, 15(1): 65~70
- 赵翰卿. 储层非均质体系、砂体内部建筑结构和流动单元研究思路探讨[J]. 大庆石油地质与开发, 2002, 21(6): 16~19
- 张永庆, 代开梅, 陈舒薇. 砂质辫状河储层三维地质建模研究[J]. 大庆石油地质与开发, 2002, 21(5): 34~36
- 吴胜和, 金振奎, 黄沧钿. 储层建模[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999. 1~5
- 侯加根. 河流和三角洲储层随机建模[M]. 北京: 石油大学出版社, 1999. 13~17
- 崇仁杰, 宋春华, 程立芝. 应用随机模拟技术建立夹层模型[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 89~97
- 马世忠, 杨清彦. 曲流点坝沉积模式、三维构形及其非均质模型[J]. 沉积学报, 2000, 18(2): 241~247
- 沈章洪, 梁雪梅, 田立新. 随机模拟技术在 QHD32-6 油田油藏地质模型随钻调整中的应用[J]. 中国海上油气(地质), 2001, 15(6): 148~156

(编辑: 戴春秋)