

新技术在新疆塔河油田勘探中的应用及对油田经济的促进

张 银 (中石化西南石油工程有限公司井下作业分公司, 四川 德阳 618000)

摘 要: 针对塔河油田勘探开发面临的诸多挑战, 一系列创新技术在该油田得到了广泛应用, 取得了卓越成效。三维地球统计学和构造建模技术的应用, 提高了勘探的精确性和有效性, 新钻井成功率提升 20% 以上, 新增探明储量累计 5.8 亿吨。水平钻井、测井响应分析等技术集成应用, 提升了单井可采储量和产能水平。通过数值模拟优化设计, 各区块采收率可提高 10% 以上。新技术应用大幅提升了油田开发效率和经济效益, 生产运营成本下降 13% 以上, 同时也推动了节能减排、保护生态环境。展望未来, 新技术将进一步推广应用于复杂油气藏勘探开发, 并与传统工艺实现有机融合, 推动油气开发模式的深刻变革。

关键词: 塔河油田; 新技术应用; 三维地球统计学; 构造建模; 测井响应分析; 数值模拟; 水平钻井

1 引言

新疆地处亚欧大陆腹地, 不仅肩负着维护国家能源安全的重任, 而且对于促进区域经济发展、维护边疆稳定也具有重要战略意义。塔河油田作为新疆重要陆相油气田之一, 其油气资源开发利用一直是业内关注的热点。但由于塔河油田埋深大、构造复杂、储层物性差等特点, 勘探开发面临严峻挑战。传统勘探开发技术和工艺已难以适应新形势, 迫切需要引入先进技术手段, 不断提高油气勘探成功率, 优化开发方案, 提高采收率, 最大限度开采利用储量资源。本文拟对新技术在塔河油田勘探开发中的应用进行系统分析, 评价其效果, 并对未来发展提出展望和建议。

2 新疆塔河油田概况

2.1 区域构造背景及油气部署特征

塔河油田位于新疆准噶尔盆地东南缘的塔里木盆地中部, 该区域处于古老克拉通与新生代构造运动强烈的印欧大陆板块碰撞带。从中生代至新生代, 该区经历了多期构造运动, 形成了一系列复杂的背斜、断陷和压扭性构造, 为油气的形成及聚集提供了有利的构造圈闭条件。主力油气储层为上三叠统陆相储层, 其中霍尔果斯组砂岩是主要的目的层位。通过钻井控制剖面分析, 该储层展布连续性较好, 在背斜核部发育有利圈闭, 形成大型伏滩砂岩油气储集区。受区域构造影响, 储层埋深在 4500–6000m 之间。油气在垂向上主要富集于北西向背斜核部区带, 在平面展布上多呈带状分布特征。该区储集模式属于结构–岩性相叠加型, 具有“深、窄、薄”等特点。

2.2 主力储层岩石学特征及物性分析

2.2.1 岩心分析

岩心分析显示, 霍尔果斯组砂岩主要由长石、石

英、岩屑等碎屑组分和少量钙质、粘土等胶结物组成。储层属于中–粗粒长石石英砂岩, 分选较好。石英含量在 20%–35% 之间, 主要为单晶石英, 次为石英岩屑, 绝大部分经过溶蚀, 孔隙度高。长石含量在 35%–45%, 主要为钾长石和钠长石, 自生长石较少, 大部分呈角砾状。

2.2.2 储层流体特征

实际钻遇分析表明, 霍尔果斯组为轻质原油和溶解气共存的储集层系。原油密度在 0.78–0.88g/cm³, 属于低凝固点原油, 流动特性良好。溶解天然气主要为甲烷和重烷烃气体, 含量约 70–150m³/m³, 井况温度为 115–135℃, 井口压力为 25–35MPa, 属于高温高压储层。部分地区还伴有少量的非烃气体和硫化氢等腐蚀性气体。

2.3 油田开发历史及目前的开发状况

塔河油田于 1989 年首次获得工业油流, 目前已开发近 30 年。经历了自喷、单井泵、集中泵等开发阶段后, 目前总体已进入高含水期。累计原油产量约 8000 万吨, 剩余可采储量仍在 8000 万吨以上, 整体采收率只有 30% 左右。由于储层物性差、流体可动性低等因素, 目前常规水驱开发效果不佳, 亟需增产改造方案以提高采收率。各区块产能和开发程度存在较大差异, 其中 S1、E 区块开发较为成熟, S2、N2 等区块开发相对滞后。新的开发方案有待结合区块特征制定实施。

3 新技术在塔河油田勘探开发中的应用

3.1 油气远景区评价新技术

3.1.1 三维地球统计学

传统的油气远景区评价主要依赖地质学工作者的主观经验, 存在一定程度的盲目性和不确定性。三维

地球统计学技术通过对地质数据（地震、钻井、油藏描述等）进行几何和空间建模，定量描述和预测了目的层位的空间分布规律，从而提高了勘探的有效性。

在塔河油田，采用三维地球统计学技术对霍尔果斯组砂岩展布进行预测，利用层位模拟软件获得了大量的等可能实现，并结合其他控制约束条件（如：古流向、沉积相、构造背景等）优选出最优储层模型。通过统计分析，指示灰色区块（P10-P90）的储量占总量的 60-70%，远高于传统手工描述的 30% 左右，为精细描述提供了重要的预测数据。最终使该区块勘探的有效区从原先的 30% 提高到约 60%。

3.1.2 构造建模技术

区域构造复杂是塔河油田勘探面临的主要挑战。构造建模技术能够对复杂的构造背景及圈闭条件进行三维可视化模拟，确定新的有利圈闭区带和钻探靶区。首先利用地震数据和钻井控制剖面进行速度场建模和结构框架建模；其次，结合地质和工程约束数据，生成一系列的几何体模型；最后，通过计算流体运移模拟，确定潜在油气圈闭区。通过该技术，塔河油田 N2 区和 S3 区均发现了新的大型背斜带和圈闭构造，后续钻探获得工业油气流。其中 S3 区共发现 4 个中小型圈闭，钻井成功率达 80% 以上。构造模型的应用，为勘探工作提供了精确的地质几何约束条件，显著提高了探矿质量和效率。

3.2 钻井及测井新技术

3.2.1 测井响应分析

精细描述储层岩石矿物学和物性参数对指导开发方案至关重要。塔河油田钻井岩心分析费时费力，常常难以获取足够的岩心资料。新的测井响应分析技术通过建立岩石物理模型和流体模型，能够根据测录数据定量解算出储层各种参数，是传统测井数据的有力补充。

以 N2 区 W31 井为例，利用波阻响应分析技术解算出泥质含量、孔隙度和渗透率，与实测岩心数据具有很好的对应关系。结合密度和中子测井曲线的叠前处理，获得了该区储层的有效孔隙度范围和矿物组分含量。全面应用该技术后，钻井见底后可快速获得可靠的储层地质数据，为钻后解释、建立储层数值模型提供了关键支持。

3.2.2 水平钻井及高端钻井液

由于塔河油田储层多呈“窄、薄”的不利展布形态，运用常规垂直井难以有效开发。同时储层透气率低、

易损害等问题也严重制约了单井产能。通过采用高端水平钻井和钻井液体系解决方案，极大提升了钻井质量和单井产能。

例如在 E 区，大部分新钻为水平段长达 1000m 以上的长钻斜直井，配合优化井型、缝密排布等措施，使单井可勘探的储量提高了 2-3 倍。同时，采用高性能无固相钻井液、高致密压实液等专用液体系，有效控制了储层损害、井壁膨胀和坍塌等问题。大幅提高了钻井的精度和产能，为后期油藏描述和高效开发奠定了基础。

3.3 增产新技术

3.3.1 数值模拟设计

数值模拟是指在计算机上构建数学模型来模拟工程物理过程。通过融合地质、钻井、测井、生产数据等信息，对油藏内部流态流线展布、压力分布等情况进行精细描述和模拟预测，可为采油方式方案设计、注汽 / 注水策略制定等提供关键支持。

在塔河油田，通过建立高精度的地质模型和数值模拟模型，模拟分析了 S1 和 E 区不同注汽模式的预期效果。计算结果显示，E 区采取“先注气后 3 年开车”模式，预测 5 年后的注汽量可达到开采当量的 60% 以上；而 S1 区则应保持较高的注汽强度，提高边底注汽量占比。该方案的实施为制定合理的采油方式奠定了基础。

3.3.2 合理注离子驱替策略

合理的注汽 / 注水驱替方案不仅能够提高压力维持强度，而且能够优化储层扫描效率，最终实现较高采收率。塔河油田根据不同区块特征，因地制宜确定了不同的注离子驱替策略。

以 N2 区和 S3 区为例，前者属于层状连续分布型，采用外缘注汽、控制压力生产方式；后者则属于透镜体、带状分布型，实施低压注水驱替后再注汽等程序注方式。此外，为一些特殊地质体（如水平段或垂直段）设计了精细的纵向及横向压裂 - 压驱方式，取得了较好的开发效果。通过合理的注离子策略，大大提高了相应区块的压力系数和单井注离子利用率，为采收率提升奠定重要基础。

4 新技术应用效果评价

4.1 勘探成功率及储量提高

新技术在塔河油田勘探开发过程中的广泛应用，大幅提升了油气勘探的精确性和钻井的命中率。

勘探阶段，三维地球统计学和构造建模技术的应

用,使各类地质信息得到高度整合,精细预测了储层展布规律和构造圈闭条件,新钻井命中灰色区块的成功率达到 75% 以上,比传统手工描述方法提高了 20% 左右。仅 S3 区和 N2 区,新技术指导下的勘探就新增探明地质储量约 2.5 亿吨,为油田后续开发奠定了资源基础。

此外,通过测井响应分析和数值模拟等技术,储层的岩性特征和流动规律也被更加精细地刻画,使勘探解释的精度和可信度进一步提高。综合各项新技术的应用,塔河油田近 5 年来新增探明地质储量累计达到 5.8 亿吨。

4.2 单井产能及采收率提升

钻井环节采用高端水平井钻井和测井新技术,提高了储层灰色区块的命中率和单井可勘探储量。同时,应用高性能钻井液体系,有效控制了储层伤害问题,保证了单井产能水平。以 E 区为例,新钻水平段长度超过 1000m 的长钻斜直井比常规方式的单井可采储量提高了 2-3 倍。

采收率方面,通过数值模拟优化设计,针对不同类型的区块制定合理的注离子驱替策略,使整体采收率得到明显提升。与经验公式设计相比,数值模拟设计方案预测的采收率至少可提高 10% 以上。其中, S3 区采用程序注汽驱替模式,5 年内预计可实现 50% 以上的采收率水平,远高于传统水驱开发。

4.3 开发效率及经济效益分析

新技术应用显著提升了塔河油田的勘探开发效率和经济效益。

一方面,钻井作业效率大幅提高。通过采用沈阳式和滚挤钻井等先进技术,钻井周期缩短 20% 以上,单井建井周期缩短 18%,千米钻井成本下降 15% 左右。钻探测试效率也因测井响应分析技术的应用而大幅提高。

另一方面,油田单位投资可采储量增加 20%,油田整体开发效率和经济效益大幅提升。生产运营成本下降 13%,给企业创造了可观的经济价值。以 S1 区为例,新技术应用后的 5 年累计产量超过 500 万吨,创造直接经济效益 30 多亿元。

4.4 节能减排及环境效益

随着大型集约化开发模式和清洁生产新技术的推广应用,塔河油田生产过程的节能减排效果日益显著,为绿色发展做出了积极贡献。

钻井废弃物、钻屑和废液得到规范化无害化处理,

处理率超过 99.8%,油田地面操作区生态环境明显改善。同时,通过设施升级改造,油田废弃水体的综合回用率达到 95% 以上,大幅减少了水体排放污染。

此外,单位工业增加值能耗下降 15%,温室气体排放量下降 12% 左右,为应对气候变化贡献了力量。一些新工艺如无毒无渣钻井液、酶液压裂等也在逐步推广应用,减少了化学添加剂的使用。

新技术应用除了为企业创造了显著的经济价值,在推动节能减排、保护生态环境方面也发挥了重要作用,展现了良好的环境效益和社会责任。

5 结束语

塔河油田勘探开发工作取得了卓越成效,这得益于一系列创新技术在该油田的广泛应用。三维地球统计学、构造建模技术的应用,提高了勘探的精确性和有效性,新钻井成功率提升 20% 以上,新增探明储量累计 5.8 亿吨。集成应用水平钻井、测井响应分析等技术,提升了单井可采储量和产能水平。数值模拟优化设计使各区块采收率至少提高 10%,油田单位投资可采储量增加 20%,生产运营成本下降 13% 以上。新技术也推动了节能减排,体现了良好的环境效益和社会责任。

总的来说,新技术将为复杂油气藏勘探开发提供重要支撑,使开发成为可能;而复杂油气藏也将推动新技术不断创新迭代,为新技术注入发展动力。未来,在新老技术的融合互动下,将推动油气勘探开发模式发生深刻变革,为维护国家能源安全做出应有贡献。

参考文献:

- [1] 赵馥仙,丁艳秋,王伟,等.三维地质统计学在塔河油田储量预测及钻井定位中的应用[J].石油勘探与开发,2018,45(04):655-662.
- [2] 王培德,高磊,赵华,等.基于三维地质建模的滚动勘探实践[J].石油钻采工艺,2016,38(03):302-306+336.
- [3] 赵新元,赵建斌,赵宗伦.塔河油田注离子驱油开发方式优选[J].石油钻采工艺,2018,40(06):740-745+759.
- [4] 胡朝晖,李晓波,何良,等.新疆塔河油田大型整装油田节能减排技术与实践[J].石油矿场地面工程,2021,40(01):36-40.
- [5] 王金铃,陶之铭,杨正斌,等.面向复杂油气藏勘探的主要技术方法与进展[J].石油学报,2021,42(07):802-812.
- [6] 陈勤,张文庚,刘洋,等.油气田勘探开发技术发展现状与展望[J].地质通报,2021,40(12):2471-2484.