

深层岩性油藏开发技术研究

唐红军

(胜利油田康贝石油工程装备有限公司, 山东 东营 257000)

摘要 岩性油藏不同于常规构造油气藏, 是由于储集层岩性变化所形成的圈闭, 随着中浅层岩性油藏勘探开发程度提高, 深层岩性油藏的勘探和开发难度不断加大, 其开发面临着地质条件复杂、储层埋深大、岩性致密、非均质性强、开采难度大、经济成本高等诸多挑战。本文探讨了深层岩性油藏开发的技术对策, 通过分析该类油藏的地质特征和开发难点, 并以国内两个成功开发的深层岩性油藏为案例, 从储层评价、钻井技术、储层改造以及开采技术等方面提出了针对性的技术对策, 以期为提高深层岩性油藏的开发效果和采收率提供参考。

关键词 深层岩性油藏; 开发技术; 储层改造; 采收率

中图分类号: TE34

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.035

0 引言

随着全球对能源需求的不断增长, 浅层油气资源日益减少, 深层岩性油藏作为重要的油气资源接替领域, 逐渐成为研究和开发的重点。深层岩性油藏通常埋深超过 3 500 米, 具有岩性复杂、储层致密、非均质性强等特点, 其开发难度远大于浅层油气藏。然而, 深层岩性油藏中蕴含着丰富的油气资源, 对其进行高效开发对于保障国家能源安全、满足经济发展需求具有重要意义。因此, 深入研究深层岩性油藏开发技术对策, 具有重要的理论和实际应用价值。

1 深层岩性油藏地质特征与开发难点

1.1 地质特征

1. 岩性复杂多样。深层岩性油藏的岩石类型丰富, 包括砂岩、砾岩、碳酸盐岩、页岩等。不同岩性的岩石在矿物组成、结构构造、储集性能等方面存在显著差异。例如: 砂岩油藏储层孔隙以原生孔隙为主, 孔隙结构相对简单; 而碳酸盐岩油藏储层孔隙则以次生孔隙为主, 孔隙结构复杂, 溶洞、裂缝发育; 页岩油藏以泥页岩孔隙和裂缝为主。这种岩性的复杂性增加了储层评价和开发的难度。

2. 储层致密。受上覆地层压力和成岩作用影响, 深层岩性油藏储层普遍致密, 孔隙度和渗透率较低。例如, 部分深层砂岩油藏孔隙度小于 10%, 渗透率小于 1 mD; 深层页岩油藏孔隙度多在 5% ~ 10% 之间, 渗透率更是低至纳达西级别。低孔隙度和渗透率导致油气在储层中的流动阻力大, 开采难度增加^[1]。

3. 非均质性强。深层岩性油藏在纵向上和横向上都表现出强烈的非均质性。纵向上, 不同层位的储层

物性、含油性存在较大差异; 横向上, 同一层位的储层在不同区域的性质也各不相同。这种非均质性使得油藏的开发效果极不均衡, 容易出现部分区域开采过度、部分区域开采不足的情况。

1.2 开发难点

1. 储层评价困难。由于深层岩性油藏岩性复杂、非均质性强, 传统的储层评价方法难以准确刻画储层特征。例如: 在测井解释中, 复杂岩性会导致测井响应特征不明显, 难以准确识别储层类型和流体性质; 在地震勘探中, 深层地质条件复杂, 地震波传播过程中能量衰减严重, 成像质量差, 影响储层预测精度。

2. 钻井难度大。深层岩性油藏埋深大, 地层温度和压力高, 对钻井设备和钻井工艺提出了严峻挑战。高温高压环境会使钻井液性能发生变化, 导致钻井液漏失、卡钻等事故频发; 同时, 深层岩石硬度大, 机械钻速低, 钻井周期长, 成本高。此外, 深层地质构造复杂, 存在断层、裂缝等, 增加了钻井过程中的风险。

3. 储层改造效果不佳。深层致密储层需要进行储层改造才能实现有效开发, 但目前的储层改造技术在深层岩性油藏中效果往往不理想。例如: 水力压裂是常用的储层改造方法, 但在深层岩性油藏中, 由于岩石致密、地应力复杂, 压裂后裂缝的形态和延伸方向难以控制, 容易出现裂缝宽度小、长度短、导流能力低等问题, 影响油气开采效果。

4. 开采成本高。深层岩性油藏开发需要采用特殊的技术和设备, 如耐高温高压的钻井设备、先进的储层改造技术等, 这些都增加了开发成本。此外, 由于储层产能低, 需要钻更多的井才能达到预期的产量目标, 进一步提高了开采成本。高成本使得深层岩性油

藏的开发面临巨大的经济压力,制约了其大规模开发利用。

5. 采收率低。岩性油藏由于储层发育非均质性强,平面储层分布不连续,地层异常高压,早期开发阶段采用弹性开发,虽然单井初期产能高,但自然递减大,平均年递减高达50%~70%,导致累产低,弹性采收率一般只有5%~8%,个别开发效果好的油田区块可达15%左右,远低于常规油藏^[2]。

2 深层岩性油藏开发技术对策

2.1 储层评价技术

1. 多学科融合的储层评价方法。综合运用地质学、地球物理学、地球化学等多学科知识,对深层岩性油藏进行全面、系统的评价。例如:将地质分析与测井解释相结合,利用地质分析确定储层的岩性、沉积相和构造特征,通过测井解释获取储层的物性、含油性等参数,提高储层评价的准确性;将地震勘探与地质建模相结合,利用地震资料进行储层预测,建立三维地质模型,直观展示储层的空间分布和变化规律。

2. 高精度测井技术。研发和应用高精度测井技术,如核磁共振测井、元素俘获测井等,提高对深层岩性油藏储层特征的识别能力。核磁共振测井可以直接测量储层孔隙中的流体性质和孔隙结构参数,对于识别复杂岩性储层中的油气水层具有重要作用;元素俘获测井能够分析储层岩石的元素组成,为确定岩性和储层评价提供更多信息。

3. 地震储层预测技术。不断改进地震储层预测技术,提高深层岩性油藏储层预测的精度和可靠性。例如,采用叠前深度偏移成像技术,提高深层地震资料的成像质量,准确刻画储层的构造形态和空间位置;利用地震属性分析技术,提取与储层物性、含油性相关的地震属性,建立地震属性与储层参数之间的关系模型,实现对储层参数的定量预测。

2.2 钻井技术

1. 耐高温高压钻井装备与技术。研发和应用耐高温高压的钻井装备和技术,如高温高压钻井液体系、高强度钻头、耐高温井下工具等,确保钻井过程的安全和高效。高温高压钻井液体系应具备良好的流变性、稳定性和抗污染能力,能够在高温高压环境下保持性能稳定;高强度钻头应具有高耐磨性和抗冲击性,能够有效提高机械钻速;耐高温井下工具应具备可靠的密封性能和工作性能,满足深层钻井的需要。

2. 高效钻井工艺。采用高效钻井工艺,如欠平衡钻井、控压钻井等,降低钻井过程中的风险,提高钻井效率。欠平衡钻井是指在钻井过程中使井底压力低

于地层压力,让地层流体自然流入井筒,从而减少对储层的伤害,提高机械钻速;控压钻井是通过精确控制井底压力,实现安全、高效钻井,有效解决深层钻井中的井漏、井涌等问题。

3. 随钻测量与导向技术。发展随钻测量与导向技术,实时获取井下地质信息和钻井参数,实现对井眼轨迹的精确控制。随钻测量技术可以测量井底的温度、压力、方位、倾角等参数,并将这些信息实时传输到地面,为钻井决策提供依据;随钻导向技术可以根据井下地质情况和钻井目标,自动调整井眼轨迹,使钻头准确钻达目标储层,提高钻井成功率。

2.3 储层改造技术

1. 体积压裂技术。针对深层致密岩性油藏,大力推广体积压裂技术,形成复杂的裂缝网络,提高储层的导流能力。体积压裂技术通过优化压裂液配方、施工参数和压裂工艺,在储层中形成多条相互交织的裂缝,增加油气与井筒的接触面积,改善油气流动条件。例如,采用大规模多段多簇压裂技术,在水平井段上进行分段、分簇压裂,形成复杂的裂缝网络,有效提高了深层页岩油藏的产量。

2. 酸压技术。对于深层碳酸盐岩岩性油藏,酸压技术是一种有效的储层改造方法。酸压技术是将酸液注入地层,通过酸液与岩石的化学反应,溶蚀岩石中的裂缝和孔隙,扩大油气流动通道,提高储层渗透率。在酸压施工中,应根据储层特征和酸液性质,合理设计酸压工艺参数,如酸液浓度、注入量、注入速度等,以达到最佳的改造效果^[3]。

3. 新型压裂材料与工艺。研发新型压裂材料和工艺,提高储层改造效果。例如:开发高性能的支撑剂,如高强度、低密度的陶粒支撑剂,能够在裂缝中形成稳定的支撑结构,提高裂缝的导流能力;研究新型压裂液体系,如清洁压裂液、可降解压裂液等,减少对储层的伤害,提高压裂效果。此外,还可以探索采用水力喷射压裂、重复压裂等新工艺,进一步提高深层岩性油藏的储层改造效果。

2.4 开采技术

1. 水平井开采技术。水平井开采技术在深层岩性油藏开发中具有重要优势,能够增加油气井与储层的接触面积,提高单井产量。通过优化水平井的井位部署和井眼轨迹设计,使水平井尽可能多地穿越储层中的“甜点”区域,提高油气采收率。例如,在深层砂岩油藏中,采用水平井开采技术,单井产量可比直井提高数倍。

2. 注水开发技术。对于深层岩性油藏,注水开发

是一种常用的开采方式。通过合理注水,补充地层能量,保持油藏压力,提高油气驱替效率。在注水开发过程中,应根据油藏地质特征和开发动态,优化注水井的布局和注水量,避免出现注水无效循环、水淹等问题。同时,还可以采用分层注水、调剖堵水等技术,改善注水开发效果^[4]。

3. 三次采油技术。在深层岩性油藏开发后期,适时采用三次采油技术,进一步提高采收率。例如:对于深层砂岩油藏,可以采用聚合物驱、表面活性剂驱等化学驱技术,降低油水界面张力,提高驱油效率;对于深层碳酸盐岩油藏,可以考虑采用注气驱技术,如二氧化碳驱、氮气驱等,利用气体的膨胀性和溶解性,提高油气采收率;对于页岩油藏,可采用纳米驱油+单井注氮气吞吐增能技术,提高单井采收率。

3 实例分析

实例 1: 以中海油某深层岩性油藏为例,该油藏埋深 4 000 ~ 4 500 m,岩性主要为砂岩和砾岩,储层致密,孔隙度平均为 8%,渗透率平均为 0.5 mD。在开发初期,由于储层评价不准确,钻井过程中多次出现井漏、卡钻等事故,储层改造效果不佳,单井产量低,开发效益差。

针对这些问题,采用了多学科融合的储层评价方法,综合地质、测井、地震等资料,对储层进行了精细评价,准确识别了储层的岩性、物性和含油性。在钻井过程中,应用了耐高温高压钻井装备和高效钻井工艺,采用了随钻测量与导向技术,成功完成了多口井的钻井任务,钻井周期缩短了 30%。

在储层改造方面,采用了体积压裂技术,优化了压裂液配方和施工参数,形成了复杂的裂缝网络,有效提高了储层的导流能力。改造后,单井产量提高了 3 倍以上。在开采过程中,采用了水平井开采技术和注水开发技术,合理部署井网,优化注水量,油藏开发效果得到显著改善,采收率提高了 15%^[5]。

实例 2: 胜利油田东部页岩油区,通过理论创新,对上万米岩心的研究和 15 万次室内实验,提出了“储、缝、压”三元储渗理论,创建了“咸化早生、无机控储、源储一体、超压封存”的陆相断陷盆地页岩油富集理论,初步明确胜利页岩油富集、高产规律,打破了成熟度小于 0.9 的页岩油勘探开发禁区,将原来 90% 的资源从“不可动”变为“可动”。

应用立体开发、旋转导向和体积压裂新技术,工厂化水平井优快建井、电驱压裂施工和自动化远程控制等低成本高效开发模式,实现了从 3 层楼到 5 层楼再到 7 层楼的突破,水平段大于 2 000 m 的水平井高

效钻进,钻井周期从 133 天缩短到 29.5 天,试验井最大水平段 3 055 m,压裂段数达 54 段。

截止到 2024 年,已投产 94 口页岩油水平井,单井峰值日产油 262.8 吨,刷新国内页岩油单井日产最高纪录,已建成樊页平 1、牛页一区、民丰中区等三个 10 万吨级试验井组,日产油由 2021 年的 100 吨上升到 1 600 吨,年产油突破 50 万吨,建成胜利济阳页岩油国家级示范区,控制预测储量 20.21 亿吨。

通过以上两个深层岩性油藏的勘探开发实例可以看出,针对深层岩性油藏的地质特征和开发难点,采用有效的开发技术对策,能够显著提高油藏的开发效果和采收率,实现经济效益和社会效益的最大化。

4 结束语

深层岩性油藏作为重要的油气资源接替领域,其开发对于保障国家能源安全具有重要意义。然而,深层岩性油藏的地质特征复杂,开发难度大,需要综合运用多种技术手段,从储层评价、钻井技术、储层改造以及开采技术等方面入手,提出针对性的技术对策。通过多学科融合的储层评价方法、高精度测井技术和地震储层预测技术,能够准确刻画储层特征,为开发方案的制定提供科学依据;采用耐高温高压钻井装备与技术、高效钻井工艺和随钻测量与导向技术,能够降低钻井难度,提高钻井效率和成功率;应用体积压裂技术、酸压技术和新型压裂材料与工艺,能够有效改造储层,提高储层的导流能力;采用水平井开采技术、注水开发技术和三次采油技术,能够提高油气采收率,实现油藏的高效开发。在实际开发过程中,应根据不同深层岩性油藏的特点,因地制宜地选择合适的开发技术对策,并不断创新和完善技术体系,以提高深层岩性油藏的开发水平,实现我国深层油气资源的可持续开发利用。

参考文献:

- [1] 姜瑞忠,乔杰,孙辉,等.低渗透砂砾岩油藏储层分类方法[J].油气地质与采收率,2018,25(01):90-93.
- [2] 刘华,张宁生,王志伟,等.低渗透油田提高采收率发展现状[J].钻采工艺,2004,27(06):38-40.
- [3] 姜平,张辉,王雯娟,等.涠洲 11-4N 油田流沙港组低渗复杂断块油藏高效开发策略[J].中国海上油气,2018,30(12):86-91.
- [4] 赵卫华,常剑,杜燕,等.深层低渗难采油藏的注水开发[J].石油与天然气地质,2001,22(09):245-248.
- [5] 范白涛,陈峥嵘,姜洪,等.中国海油非常规和海上低渗储层压裂技术现状及展望[J].中国海上油气,2021(04):112-119.