

特殊储层条件下钻井技术的适应性与经济性研究

冯 超 (中石化西南石油工程有限公司钻井一分公司, 四川 成都 610500)

摘 要: 现阶段, 随着油气资源勘探开发的不断深入, 特殊储层条件日益常见。钻井技术作为油气勘探开发的关键环节, 其适应性和经济性直接关系到整个项目的成败和效益。在特殊储层条件下, 选择合适的钻井技术不仅要确保钻井过程的安全、高效, 还要充分考虑技术的成本效益, 以实现资源的经济有效开发。本文重点研究特殊储层条件下钻井技术的适应性与经济性, 以供参考。

关键词: 特殊储层条件; 钻井技术; 适应性; 经济性

0 引言

在当今全球能源需求持续增长的背景下, 油气资源的勘探与开发不断向更复杂的领域推进, 特殊储层条件逐渐成为油气开发的重要目标。特殊储层条件通常具有一系列独特的地质和物理特性, 如高温高压环境、低孔隙度低渗透率、复杂的地层结构以及特殊的流体性质等, 这给钻井工程带来了巨大的挑战。因此, 研究特殊储层条件下钻井技术的适应性与经济性研究具有重要的现实意义。

1 特殊储层条件

特殊储层条件通常涵盖了一系列具有独特地质和物理特性的情况, 这些特性使得油气资源的勘探、开发和开采面临着诸多挑战。

首先, 高温高压储层是特殊储层的常见类型之一。在这样的条件下, 地层深处的温度和压力极高, 对钻井设备、管材以及钻井液等都提出了严苛的要求。高温可能导致设备性能下降、材料强度减弱, 而高压则增加了井控风险和设备的承载压力。

其次, 低孔隙度低渗透率储层也是特殊储层的重要表现。孔隙度低意味着储存油气的空间有限, 渗透率低使油气在储层中的流动变得困难, 这就需要采用特殊的增产措施和先进的开采技术来提高油气的采收率^[1]。

再次, 复杂的地质结构同样构成特殊储层条件。断层发育频繁的储层, 油气分布不连续, 增加了勘探和开采的难度; 地层倾角大可能导致钻井过程中井斜控制困难; 岩石硬度不均则会影响钻井速度和井壁稳定性。

最后, 特殊储层还可能包括含有酸性气体 (如硫化氢) 的储层, 这对设备的抗腐蚀能力提出了高要求; 以及非常规储层, 如页岩气、煤层气储层, 其开采方式和技术与常规储层有很大不同。因此, 特殊储层条

件的内涵丰富多样, 需要综合运用多种先进的技术和方法, 才能实现有效的油气勘探和开发。

2 特殊储层条件下钻井常用技术

2.1 欠平衡钻井技术

欠平衡钻井技术是指人们在钻井的过程中, 钻井液液柱压力比实际地层孔隙压力低, 地层流体能够进入井筒从而循环到地面。尤其是在特殊储层条件下, 欠平衡钻井技术得到广泛应用^[2]。针对低渗透储层, 采用欠平衡钻井技术能够预防钻井液滤液和其他固相颗粒侵入其中, 减少对特殊储层的伤害, 从而确保储层的原始渗透效果, 提高油气采收效率。在低渗透油田开发的过程中, 使用欠平衡钻井技术, 储油渗透率比传统技术相比可以提高 30% 以上。此外, 在裂缝性储层中, 采用欠平衡钻井技术可以有效防止钻井液渗透到裂缝中, 导致裂缝出现堵塞情况, 还可以及时保护天然裂缝, 有效提升储层的导流水平。这项技术能够从源头上保护裂缝, 还可以对返出气体进行及时分析, 让人们及时了解和掌握储层特点, 为后续的储层评价和开发情况提供重要参考。

2.2 水平井钻井技术

水平井钻井技术是指井眼轨迹沿着储层水平方向钻进的钻井技术。在特殊储层条件下, 如薄储层、多层系储层等, 水平井钻井技术能够增加储层的泄油面积, 提高油气产量和采收率。对于薄储层, 由于储层厚度较小, 采用直井钻井方式很难实现经济有效的开发。水平井可以穿越薄储层, 增加储层与井筒的接触面积, 提高单井产能。例如, 在某薄油层的开发中, 通过部署水平井, 使井筒在油层中延伸数百米, 单井产量是直井的 3-5 倍, 大大提高了薄油层的开发效益。水平井钻井技术还可以与分段压裂技术相结合, 对储层进行改造, 进一步提高储层的产能。通过在水平井段进行分段压裂, 可以在储层中形成多条人工裂缝,

增加储层的导流能力,提高油气产量^[3]。

2.3 深井超深井钻井技术

深井超深井钻井技术如今主要应用于埋藏深度较大、地质环境十分复杂的储层开发过程中,如高温高压储层、深部盐膏层储层,使该技术面临众多困难。在高温高压储层钻井中,其井下无论是温度还是压力都很高,就会对该技术设备工具提出更高要求。

近年来,通过研发更加抗高温钻井液体系,采用高强度材料,如抗高温的螺杆钻具、MWD/LWD 随钻测量仪器等,可以有效地解决高温高压储层钻井中的技术难题。在深部盐膏层储层钻井中,盐膏层的蠕变特性容易导致井眼缩径、卡钻等复杂情况。采用合理的井身结构设计、优选钻井液体系(如饱和盐水钻井液)和应用先进的钻井工艺技术(如欠平衡钻井、控压钻井等),可以有效地抑制盐膏层的蠕变,保证钻井安全顺利进行。

3 特殊储层条件下钻井技术的适应性分析

3.1 低渗透储层条件下的钻井技术适应性

低渗透储层由于自身孔隙和渗透率较低,从而导致油气渗流阻力较大,如果采用常规的钻井技术是难以实现有效开发,并且经济成本较高,在这种情况下,特定的钻井技术就展示出较好的适应性。除了水平井钻井技术和欠平衡钻井技术之外,分段压裂技术于水平井技术相互结合具有十分明显的适应性。分段压裂技术通过在水平井上制造不同的人工裂缝,可以进一步增强储层的导流能力和水平,从根本上改善油气渗透效果,如美国的巴肯页岩油区,广泛应用水平井分段压裂技术,使原本低产的页岩储层实现大规模商业开发。在该项技术使用的过程中,新型的钻井液、清洁压裂液等都能够有效确保低渗透储层的安全性和稳定性。

3.2 裂缝性储层条件下的钻井技术适应性

裂缝性储层中的裂缝是油气储存和流动的主要通道。在钻井过程中,如果不能合理地保护裂缝系统,很容易造成裂缝闭合或堵塞,严重影响储层产能。欠平衡钻井技术对于裂缝性储层的适应性较强。由于井筒内处于欠平衡状态,能够避免钻井液在正压差作用下大量侵入裂缝,减少对裂缝的损害,同时有助于保持裂缝的开启状态,提高储层导流能力^[4]。此外,在欠平衡钻井过程中,地层流体能够有控制地进入井筒,通过对返出流体的分析,可以及时了解裂缝发育情况和储层特性,为优化钻井方案和后续储层改造提供依

据,定向钻井技术在裂缝性储层中也具有重要的应用价值。通过定向钻井,可以使井眼轨迹沿着裂缝发育方向延伸,增加井眼与裂缝的接触几率,提高油气产出效率。此外,利用随钻测井(LWD)和随钻测量(MWD)技术,可以实时监测井眼轨迹与裂缝的相对位置,及时调整钻井方向,确保井眼最大限度地穿越裂缝系统。

3.3 复杂压力系统储层条件下的钻井技术适应性

所谓复杂压力系统储层一般是指多个压力层系,压力梯度之间的差异性越大,钻井施工面临的挑战性就越强,在这种背景下,采用控压钻井技术可以有效改善这一情况。控压钻井技术利用井筒压力实现精确性的操控,使其保持在一个合理的范围之内,能够解决井漏问题,还能够避免失衡问题,其优势是显而易见的。例如,在我国南海某海域的复杂压力系统储层钻井中,采用控压钻井技术,成功解决了窄压力窗口问题,钻井过程中未发生井涌和井漏事故,安全高效地完成了钻井作业。

此外,精细控压钻井技术能够做到实时监测井口回压、钻井液流量、钻井密度等数值,根据反馈的数据情况对井筒压力进行精确化控制,配合其他设备进行施工,更好地应对复杂压力系统带来的一系列问题。同时,多层套管技术也是应对复杂压力系统的关键方法之一,将不用的压力系统分层隔开,减少层间的干预情况,在设计和应用多层套管技术的过程中,需要监测地层压力和井身结构,从而明确套管层次和下入深度。

3.4 深部高温高压储层

深部储层由于埋藏深度大,地温梯度大,地层压力大,对钻井技术和装备提出了很高的要求。深井超深井钻井技术是开发深部高温高压储层的关键技术。在钻井过程中,需要采用耐高温、高压的钻井液体系、钻具材料和井下工具。例如,抗高温水基钻井液、油基钻井液以及合成基钻井液等能够在高温条件下保持良好的性能稳定性;高强度合金钢钻杆、钛合金钻杆以及金刚石复合片钻头等能够适应高温高压环境下的钻井作业。

此外,需要配备先进的钻井参数监测与控制系统,实时掌握井下工况,确保钻井安全,隔热钻井技术对于深部高温储层的开发具有重要意义。在钻井过程中,由于地层温度高,热量会通过井筒向地面传递,导致钻井液温度升高,性能恶化,也会增加能量消耗。隔

热钻井技术通过在井筒内安装隔热管柱,减少热量传递,保持钻井液性能稳定,降低钻井成本。

3.5 非常规储层的钻井技术适应性

非常规储层,如页岩气、煤层气储层,具有独特的储集特征和开采要求。在页岩气储层钻井中,水平井分段压裂技术是提高产量的关键。通过在水平井段进行分段压裂,制造大量的人工裂缝,增加储层的渗透性和气体解吸面积。煤层气储层则由于煤层的易碎性和低渗透性,需要采用特殊的钻井和完井技术,采用欠平衡钻井保护煤层,采用洞穴完井或筛管完井增加煤层的渗透性。针对煤层气储层的特点,优化钻井液配方,减少对煤层的伤害。因此,特殊储层条件下的钻井技术适应性需要综合考虑储层的各种特性和开采要求,不断创新和优化钻井技术,以实现安全、高效、经济的钻井作业。目前,国内一些企业正在研究开发适合于油气田开发的新型钻头及钻具,提高油田生产效率,改善井下环境。

4 特殊储层条件下钻井技术应用的经济性分析

现阶段,在我国特殊储层条件下,钻井技术的经济性已经成为了油气开发中至关重要的考量因素,特殊储层通常具有复杂的地质和物理特性,这使得钻井作业面临着更高的成本挑战。

一方面,钻井技术中施工设备、材料选择等直接影响成本,针对高温高压等特殊环境,就需要采用更加高级的耐高温、耐高压设备和钻井液,这会导致其成本逐步上升,为了降低成本可以提高钻井技术水平,优化钻井液的使用效果。针对低孔隙度低渗透率储层中,采用水平井或多分支井技术可以增加油气产量,但这些技术的施工难度大,需要更先进的设备和技术支持,从而导致钻井成本上升,需要进一步开发先进钻井技术,结合定向钻井技术、泡沫钻井技术等方法,达到节约成本的目的。

另一方面,特殊储层条件下钻井技术使用过程中实际消耗和人力成本也不容忽视。对于复杂的特殊储层而言,长时间的钻井需要消耗更多能源和人工费用,要想保证钻井安全,提高风险预防水平就需要配备更加专业的技术人员和抢险应急设备,这在无形中也会导致成本增加。在评估钻井技术的经济性过程中,需要进行长期综合性效益评价,尽管前期投资成本较大,但后期可以减少后期的修井和增产作业成本,提高油气产量和质量,其总体经济性可能更为优越。因此,特殊储层条件下钻井技术的经济性需要平衡技术、设

备、消耗以及人员之间的关系,以实现油气开发的经济效益最大化。

随着全球能源需求的不断增长和油气勘探开发的深入推进,特殊储层的开发变得日益重要,相应的钻井技术也展现出广阔的应用前景。在低渗透储层开发中,欠平衡钻井技术、水平井钻井技术等结合压裂改造技术应用前景巨大,这些技术能够更加科学有效的对储层进行优化,从而提高油气的采收效率和单井产量,为其大规模开发提供技术支撑;在复杂压力系统储层的钻井作业过程中,控压钻井技术可以适用更为复杂的环境,通过智能化压力设备从而确保钻井的安全性和高效性,同时与地质导向技术相互融合,能够使压力控制的更加精准。此外,无论是应用于裂缝性储层还是高温高压储层,新型钻井技术的应用都十分广泛,井液技术将进一步优化,使得钻井能够在更深、温度更高、压力更大的储层中安全进行,从而扩大油气资源的可采储量。因此,对于特殊储层条件下的钻井技术需要不断进行创新和优化,这样才能够为我国油气资源的开发和利用开拓新途径,在未来发展过程中发挥关键作用,满足人们的实际需求。

5 结束语

特殊储层条件下钻井技术的适应性与经济性研究具有重要作用,通过对不同的特殊储层条件下钻井技术进行详细深入的分析,能够使人们看到不同技术在该环境中应用的优势与局限。在适应性方面采用更为新型先进的钻井技术能够解决传统技术问题,提高特殊储层的开采效率和价值;在经济性方面通过科学合理的钻井技术能够有效节约成本,提升经济效益。总之,未来期待更多新技术、新方法的出现,从而为我国特殊储层提供更加广阔的开发空间,推动油气产业的可持续发展。

参考文献:

- [1] 张晓春,王文举.煤层气储层评价与增产技术研究进展[J].天然气工业,2020,40(6):1-11.
- [2] 李松,王建明.基于GIS的煤层气储层评价方法及应用[J].煤田地质与勘探,2019,47(5):141-147.
- [3] 李文涛.地震拓频处理技术在S油田铜钵庙储层预测中的应用[J].物探化探计算技术,2023,45(4):420-427.
- [4] 陈自立,杨曼.复杂驱替类型油气田开发中示踪剂模拟技术的研究与应用[J].化工设计通讯,2023,49(9):26-28.