

页岩油高效开发钻井完井关键技术探析

谢云峰

中国石化江汉油田分公司 湖北 潜江 433124

摘要：页岩油高效开发钻井完井关键技术对于提升产量和降低成本至关重要。关键技术包括储层甜点评价与识别，利用随钻成像等技术提高识别精度；长水平段钻井技术，通过旋转导向工具优化井眼轨迹，提升钻井效率；高效破岩工具与钻井参数实时优化，提高机械钻速与钻井参数适应性；以及水平井高密度分段压裂技术，采用差异化压裂与转向压裂，最大化储层改造效果。

关键词：页岩油高效开发；钻井完井；关键技术

引言：随着全球能源需求的不断增长，页岩油作为非常规油气资源的重要组成部分，其高效开发已成为全球能源领域的研究热点。钻井完井技术作为页岩油开发的关键环节，对于提高开采效率、降低成本具有重要意义。本文旨在深入探析页岩油高效开发中的钻井完井关键技术，以期页岩油的高效、可持续开发提供理论支撑和技术参考。

1 国内外页岩油勘探开发现状

1.1 国际页岩油开发概况

(1) 美国、加拿大、阿根廷、俄罗斯等国页岩油开发进展。在国际上，美国、加拿大、阿根廷和俄罗斯等国在页岩油开发方面取得显著进展。美国凭借丰富的海相页岩油储量和成熟的开采技术，一直是全球页岩油开发领域的领头羊。加拿大的页岩油资源同样丰富，勘探和开发活动也较为活跃。阿根廷则在近年来加大了对页岩油资源的勘探和开发力度，寻求能源产业的多元化发展。俄罗斯虽然拥有庞大的传统油气资源，但也在积极探索页岩油这一非常规油气资源。(2) 成功案例与关键技术分析。美国的页岩油开发成功案例众多，关键技术主要包括水平井钻井和水力压裂技术。水平井钻井技术使钻井轨迹能够沿着油层延伸，大大增加了与油藏的接触面积，从而提高了单井产量。水力压裂技术则是通过高压注入压裂液，使油层产生裂缝，提高石油的渗透率，进一步增加了采收率。这些技术的应用使得美国的页岩油开采成本不断降低，产量持续增长。

1.2 我国页岩油开发现状

(1) 我国页岩油资源分布与勘探开发历程。我国的页岩油资源分布广泛，但主要分布在陆相沉积盆地中，如准噶尔盆地、渤海湾盆地等。我国的页岩油勘探开发起步较晚，但近年来随着技术的不断进步和经验的积累，勘探开发活动逐渐增多。(2) 主要开发区域与试

验井成果。我国已形成新疆吉木萨尔、大庆古龙和胜利济阳三个页岩油示范区和长庆庆城一个主产区的增产格局。例如，新疆吉木萨尔国家级陆相页岩油示范区在2024年累计产量突破100万吨，成为我国首个年产突破百万吨的国家级陆相页岩油示范区。胜利济阳页岩油国家级示范区同样取得了显著成果，估算资源量达105亿吨，已落实页岩油控制预测储量20.21亿吨。

1.3 中外页岩油开发对比分析

在技术水平方面，虽然我国的页岩油开采技术取得了长足进步，但与国外先进水平相比仍存在一定差距。特别是水平井钻井和水力压裂技术方面，美国等发达国家的技术更为成熟和高效。在开发成本方面，由于我国的页岩油储层条件复杂多样，开采难度较大，导致开发成本相对较高。而美国等国家的页岩油储层条件相对较好，开采成本较低。在市场机制方面，我国的页岩油开发仍处于起步阶段，市场机制尚不完善。而国外市场则相对成熟，拥有更为完善的法律法规和配套政策，为页岩油开发提供了更为有利的环境。

2 页岩油高效开发钻井完井关键技术

2.1 储层甜点评价与识别技术

(1) 地质甜点与工程甜点的定义与重要性。储层甜点评价是页岩油开发的关键环节，它直接关系到钻井和压裂的效率及产量。地质甜点主要指储层中具有较高孔隙度、渗透率及油气含量的区域，是理想的开采目标。而工程甜点则关注钻井和完井作业的可行性与成本效益，包括地层稳定性、井壁强度等因素。准确识别地质与工程甜点，能够显著提升开采效率，降低作业风险。(2) 三元相图泥页岩分类与矿物分析管控。三元相图是一种有效的泥页岩分类工具，它通过岩石的矿物组成、有机质含量和成熟度三个维度进行划分，有助于理解储层的物性特征。在此基础上，进行详细的矿物分析，可

以指导钻井液的选择与维护,预防井壁坍塌和地层伤害,确保作业安全^[1]。(3)元素测井、油基钻井液成像测井、核磁共振测井技术的应用。元素测井能揭示储层岩石的化学成分,为判断储层流体性质提供依据。油基钻井液成像测井则利用钻井液中的特殊造影剂,提高地层对比度和分辨率,准确识别裂缝和孔隙结构。核磁共振测井则通过测量地层流体中氢核的弛豫时间,评估孔隙大小分布和流体饱和度,为甜点识别提供重要信息。

(4)随钻成像技术在储层甜点识别中的作用。随钻成像技术能够在钻井过程中实时获取地下地质结构的三维图像,帮助工程师准确判断钻头位置与储层甜点的关系,及时调整钻井轨迹,优化井眼布局。

2.2 长水平段钻井技术

(1)长水平段钻井技术的优势与挑战。长水平段钻井技术可以显著提高储层的暴露面积,增加油气产量。然而,这种技术也面临着井壁稳定性差、扭矩和摩阻大等挑战。为了克服这些挑战,需要采用先进的钻井液和钻井工具,以及优化的钻井参数。(2)旋转导向工具与传统定向工具的对比。旋转导向工具通过内置的测量和控制系统,可以实时调整井眼轨迹,提高井眼轨迹的精度和稳定性。与传统的定向工具相比,旋转导向工具具有更高的作业效率和更好的井眼轨迹控制能力。(3)油基钻井液的使用与井壁稳定性分析。油基钻井液具有良好的润滑性和抑制性,可以有效防止井壁坍塌和减少泥浆污染。在页岩油开发中,使用油基钻井液可以提高井壁稳定性,降低井下故障的发生率。(4)超大规格电驱动钻机与自动化控制系统的应用。超大规格电驱动钻机具有强大的提升能力和扭矩输出,可以满足长水平段钻井作业的需求。同时,自动化控制系统的应用可以实现对钻井参数的实时监测和调整,提高钻井作业的精度和安全性。这些先进设备的引入,不仅提高了钻井效率,还显著降低了人为因素对作业质量的影响^[2]。

2.3 水平井高密度分段压裂技术

(1)压裂优化设计技术。压裂优化设计是确保页岩油高效开采的关键。这涉及到支撑剂用量、压裂级数、段间距和簇间距的精细设计。合理的支撑剂用量能够确保裂缝的有效支撑,提高油气导流能力;而适当的压裂级数和段间距则能够确保裂缝网络的均匀分布,提高储层的整体开采效率。簇间距的设计则需要考虑裂缝间的干扰效应,以达到最佳的开采效果。(2)转向压裂技术的原理与实施效果。转向压裂技术通过改变压裂液的注入方向和压力,诱导裂缝在储层中发生转向,从而扩大裂缝网络的覆盖范围。这种技术特别适用于复杂地质条

件下的页岩油开采,能够显著提高储层的采收率。实施转向压裂后,通常可以观察到油气产量的显著提升^[3]。

(3)重复压裂技术在低产井再激活中的应用。随着开采时间的延长,部分页岩油井的产量会逐渐下降。此时,采用重复压裂技术可以对这些低产井进行再激活。通过重新压裂储层,可以产生新的裂缝或扩大原有裂缝,从而提高储层的渗透率和采收率。这种方法具有成本低、效果显著的特点,是延长页岩油井开采寿命的有效手段。(4)改性支撑剂的研发与应用。改性支撑剂,如高性能树脂覆膜亲油支撑剂,具有更好的导流能力和抗压能力。这种支撑剂能够更有效地支撑裂缝,提高油气的流动效率。同时,亲油性质使得支撑剂更容易与油气接触,进一步提高了开采效率。

2.4 物探-地质-工程一体化技术

(1)一体化技术的目标与实施流程。物探-地质-工程一体化技术的目标是实现地质、工程和地球物理信息的深度融合,为页岩油开采提供全面的数据支持。其实施流程包括数据采集、处理、解释和集成应用等多个环节。通过这些环节,可以形成对储层的全面认识,为钻井和完井作业提供精确的指导。(2)油藏研究与工程设计的结合。油藏研究是了解储层特征和流体分布的基础,而工程设计则是根据这些特征制定开采方案的关键。将油藏研究与工程设计紧密结合,可以确保开采方案的科学性和可行性。这种结合有助于优化钻井轨迹、完井方式和压裂设计,提高开采效率。(3)“后”评估与“前”设计相结合的综合评估方法。在页岩油开采过程中,“后”评估是指对开采效果进行实时监测和分析,以评估开采方案的有效性和可调整性。而“前”设计则是指根据地质和工程信息制定开采方案。将“后”评估与“前”设计相结合,可以形成一个闭环的反馈机制,不断优化开采方案,提高开采效率。(4)关键井剖析与区块综合研究的结合。通过对关键井的详细剖析,可以深入了解储层的特征和开采潜力。同时,结合区块综合研究,可以形成对整个开采区域的全面认识。这种结合有助于制定更加科学合理的开采策略,提高整个区块的开采效率^[4]。

2.5 大数据分析 with 工程优化技术

(1)大数据平台在页岩油开发中的应用案例。大数据平台能够整合和分析海量的地质、工程和地球物理数据,为页岩油开采提供强大的数据支持。通过大数据平台的分析和预测能力,可以实现对开采过程的实时监测和优化调整。实际应用中,大数据平台已经成功应用于钻井参数优化、压裂效果评估和开采方案制定等多个方

面。(2) 钻井参数实时优化系统的原理与实施效果。钻井参数实时优化系统通过实时监测钻井过程中的关键参数(如钻压、转速、泥浆流量等),并根据这些数据对钻井方案进行动态调整。这种系统能够显著提高钻井效率 and 安全性,降低钻井成本。(3) 数据驱动的开发方案优化与降本增效实践。在页岩油开发中,大数据分析不仅用于实时监测和调整作业参数,还用于优化整体开发方案。通过对历史数据和实时监测数据的综合分析,可以识别出影响开采效率和成本的关键因素,进而制定针对性的优化策略。例如,通过分析不同压裂参数对产量的影响,可以优化压裂设计,提高裂缝网络的效率和油气导流能力。

3 页岩油高效开发钻井完井技术面临的挑战与对策

3.1 技术挑战

(1) 储层物性及与压裂液作用机理认识不清。页岩油储层通常具有低孔隙度、低渗透率的特点,且储层物性复杂多变。此外,压裂液与储层岩石之间的相互作用机理尚未完全明确,这导致在压裂过程中难以准确预测和控制裂缝的扩展和分布。这种认识上的不足限制了压裂技术的效果和开采效率的提升。(2) 建井成本高与单井产能递减快的问题。页岩油钻井完井作业涉及的技术复杂、设备昂贵,导致建井成本居高不下。同时,由于储层特性的限制和开采过程中的各种因素(如地层压力下降、流体流失等),单井产能往往会随着开采时间的延长而逐渐递减。这种高成本与低产能的矛盾成为制约页岩油开发的关键因素之一。(3) 采收率低与资源利用率不足的现状。尽管页岩油资源丰富,但由于开采技术的限制和储层特性的复杂性,目前页岩油的采收率普遍较低。大量的油气资源被留在地下,无法得到有效利用。这种资源利用率的不足不仅浪费了宝贵的自然资源,还限制了页岩油产业的持续发展。

3.2 对策与建议

(1) 加强基础研究与技术创新,提升对储层特性的认识。为了克服技术挑战,需要加强基础研究工作,深入了解页岩油储层的物理、化学特性以及压裂液与储层岩石的相互作用机理。同时,积极推动技术创新,研发

更加高效、环保的钻井完井和压裂技术,以提高开采效率和资源利用率。(2) 优化钻井完井工艺,降低建井成本。通过优化钻井完井工艺,如采用先进的钻井设备和工具、优化钻井参数、提高钻井效率等措施,可以有效降低建井成本。此外,还可以探索采用更加经济、环保的钻井液和完井材料,进一步降低开采成本。(3) 实施差异化压裂与全生命周期开发策略,提高采收率。针对不同储层特性和开采条件,实施差异化的压裂策略,如采用不同压裂液体系、压裂方式和压裂参数等,以提高裂缝网络的效率和油气导流能力。同时,制定全生命周期的开发策略,综合考虑开采过程中的各种因素,如地层压力管理、流体流失控制等,以提高采收率和资源利用率。(4) 加强国际合作与交流,借鉴国际成功经验。页岩油开发是一个全球性的课题,各国在开采技术、管理经验等方面都有自己的优势和特色。通过加强国际合作与交流,借鉴国际成功经验和技术成果,可以加快我国页岩油开发技术的进步和创新步伐。同时,还可以促进国际市场的拓展和合作机会的增加,为页岩油产业的持续发展提供有力支持。

结束语

综上所述,页岩油高效开发钻井完井关键技术的深入研究与应用,对于推动我国乃至全球能源结构的优化与可持续发展具有重要意义。通过不断创新与完善相关技术,我们不仅可以提高页岩油的开采效率与资源利用率,还能有效降低开发成本,促进能源产业的绿色发展。未来,随着技术的不断进步,页岩油开发将迎来更加广阔的前景与机遇。

参考文献

- [1]张威,陈弘.国外页岩油开发技术进展及其启示[J].化工管理,2020,(13):219-220.
- [2]管保山,刘玉婷,梁利,刘倩.页岩油储层改造和高效开发技术[J].石油钻采工艺,2020,(20):212-213.
- [3]张瀚之,翟晓鹏,楼一珊.中国陆相页岩油钻井技术发展现状与前景展望[J].石油钻采工艺,2020,(13):126-127.
- [4]王力东.自210井页岩气关键钻井技术[J].建筑技术科学,2022,(03):33-34.