

控压钻井在长庆油田低压地层防漏失应用效果分析

刘汗卿 雷晓贤

中国石油长庆油田分公司工程技术部 陕西 西安 710018

【摘要】：面对长庆油田所处低压、低渗、易漏地层在钻井作业中漏失现象多发、作业隐患突出、运行效率不足等现实问题，对控压钻井技术展开适配性研究与应用成效分析。此项技术依托对井筒压力分布的精细化管控，收窄钻井液密度适用区间，达成近平衡状态的钻进模式，能够从源头抑制压差引发的地层漏失及地层流体涌入问题。现场实践数据显示，控压钻井可有效压缩井漏等复杂工况占比，加快钻井机械破岩速率，维护井筒作业稳定，为长庆油田低压地层实现高效且安全的钻井作业筑牢技术基础，也可同类型油气藏勘探开发工作提供可行参考。

【关键词】：控压钻井；长庆油田；低压地层；防漏失；钻井安全

DOI:10.12417/2705-0998.26.02.006

引言

长庆油田在国内油气生产体系中占据关键地位，区域内低压、低渗、易发生漏失的地层条件具备普遍性，常规钻井手段在作业过程中易诱发井漏及各类井下复杂状况，对钻井作业效率与油田整体开发效益形成明显制约。控压钻井凭借对井筒压力的精细化管控能力，成为破解低压地层漏失问题的可行技术路径。结合现场实施情况，探究该技术在长庆油田低压地层中的防漏失机制与应用表现，归纳技术适配特点与现场实践经验，可为相似地质条件下的安全高效钻井提供实践依据，助力油田开发质量与效益同步提升。

1 长庆油田低压地层钻井工程背景及漏失问题现状

1.1 长庆油田低压地层地质及钻井工程特征

长庆油田主力开发区域聚焦鄂尔多斯盆地，区内地层岩性构成繁杂，低压地层广泛分布且贯穿多个含油层段，侏罗系、三叠系地层表现最为突出。该类地层呈现鲜明的低压、低渗、孔隙度不均衡等地质特质，地层孔隙压力系数普遍低于 1.0，部分区块更降至 0.7-0.9 区间，造就天然低压地质环境。钻井作业阶段，受地层沉积韵律作用，岩层胶结程度欠佳，存在大范围裂隙发育带与薄弱夹层，岩层抗压性能薄弱，为钻井漏失构筑天然通道。加之油田开发步入中后期，长期油气开采致使地层能量衰减，地层承压能力进一步下滑，低压地层钻井施工难度随之攀升，常规钻井工艺的适配能力逐步弱化。

1.2 长庆油田低压地层钻井漏失问题分布特征

长庆油田低压地层钻井漏失现象呈现清晰的区块聚集性与地层关联性，陕北、陇东等主力区块漏失发生概率偏高。从漏失出现的地层维度分析，核心集中于侏罗系延安组、三叠系延长组，该区域地层以砂泥岩互层为主要构成，裂隙发育密集，部分区块还分布溶洞型储层，极易诱发不同程度的漏失问题^[1]。漏失类型以压差驱动型漏失为主，渗透性漏失与裂隙型漏失居次，少数区块因地层坍塌伴随产生诱导性漏失。漏失程度呈现分级分布态势，轻度漏失井段多集中于浅部地层，中度及重度

漏失则多见于中深部低压储层，对钻井施工的连续性造成极大干扰。

1.3 低压地层钻井漏失对工程施工的影响

钻井漏失既推高施工成本，又对钻井效率与井下作业安全形成严重制约。漏失发生后，钻井液大量损耗，需反复补充钻井液并调整其性能，大幅增加钻井材料消耗与施工时长，单井漏失处理成本平均上升 15-20 万元。井筒压力失衡往往伴随漏失出现，易诱发井壁坍塌、卡钻等次生复杂事故，进而延长钻井周期，部分严重漏失井需暂停钻井实施堵漏作业，导致工期延误 10-15 天。除此之外，漏失的钻井液可能污染油气储层，堵塞地层孔隙与裂隙，造成油气产能下降，后续还需开展储层解堵作业，进一步抬升油田开发综合成本，削弱整体开发效益。

2 长庆油田低压地层钻井漏失问题成因及核心痛点分析

2.1 低压地层自身地质条件导致漏失的内在成因

长庆油田低压地层漏失的根本症结在于地层自身地质禀赋的先天短板，该区域低压地层多历经复杂沉积演化过程，砂泥岩互层交替频繁，岩层颗粒分选效果不佳，胶结物含量匮乏且胶结强度薄弱，形成大量连通性优良的孔隙与微裂隙，为钻井液漏失搭建天然通路。与此同时，地层孔隙压力长期维持较低水平，与钻井作业中井筒内钻井液柱压力形成显著差值，当这一差值超出地层承压阈值时，钻井液便会沿孔隙、裂隙向地层内部渗透或窜流，最终引发漏失。部分区块分布的溶洞型储层或断层破碎带，进一步放大漏失风险，此类地质结构连通性强、容纳空间广阔，一旦发生漏失，钻井液流失速率快、漏失量偏大，且处置难度显著提升。

2.2 钻井工程施工过程中的外在诱发因素

钻井施工中的不合理操作这类外在因素，是触发低压地层漏失的关键推手。钻井液密度设计缺乏针对性，未能结合不同区块、不同井段的地层压力差异进行精准调控，导致钻井液柱压力与地层孔隙压力适配度不足——要么压力过高突破地层

承压能力，要么压力偏低引发地层流体侵入并伴随漏失现象。钻井施工中的机械扰动同样会破坏地层稳定性，钻井速率过快、钻具下放冲击力过大，都会加剧井壁岩石破损，扩大裂隙发育范围，为钻井液漏失开辟新的通道。此外，钻井液性能调控不到位，粘度、切力等关键指标不符合低压地层施工标准，无法形成致密有效的井壁泥饼，难以阻隔钻井液向地层渗透，进而提升漏失发生几率。

2.3 低压地层钻井漏失的核心痛点提炼

长庆油田低压地层钻井漏失的核心痛点，集中在成因繁杂、预判不易、处置棘手三个维度。漏失并非单一因素作用的结果，而是地质条件与工程操作协同影响的产物，不同区块、不同井段的漏失成因存在差异，给漏失原因的精准研判带来极大阻碍^[2]。低压地层漏失多具备隐蔽性，初期漏失迹象不清晰，一旦察觉往往已发展为中度或重度漏失，错失最佳处置时机。同时，漏失处置与钻井安全、储层保护之间存在矛盾，传统堵漏工艺需提高钻井液密度或注入堵漏材料，可能进一步破坏地层稳定性或污染储层，而轻度过漏若处置不及时，又会演变为严重漏失，形成“处置难、难处置”的恶性循环，大幅制约钻井施工的高效推进。

3 适配长庆油田低压地层的控压钻井防漏失技术方案

3.1 低压地层压力窗口精准预判与钻井参数前置优化

精准把握地层压力窗口是控压钻井防漏失的核心前提，需结合长庆油田低压地层地质特质，搭建多维度压力预判体系，为后续控压方案拟定提供可靠数据支撑。整合地震-地质-工程一体化数据资源，借助多尺度裂隙识别与地层应力模拟技术，精准界定不同井段的孔隙压力、坍塌压力及漏失压力范围，明确低压地层安全钻井压力区间，规避压力预判偏差诱发的漏失隐患。针对油田开发中后期地层能量衰减的特点，结合邻井实钻数据与地层测试结果，修正压力计算模型，重点校准侏罗系、三叠系等主力漏失地层的压力参数，提升预判精准度。同步前置优化钻井基础参数，依据不同区块地层承压能力，精细化设计钻井液密度，摒弃传统统一密度的粗放式管控模式，将钻井液密度控制在略高于地层孔隙压力的微过平衡状态，既能有效抑制漏失发生，又可避免压力过高损毁地层^[3]。优化钻具组合与钻井速率，选用低扰动钻具降低对井壁的机械冲击，严控钻具下放与上提速度，削减激动压力与抽汲压力对井筒压力的扰动，从源头减少漏失诱发因素。

3.2 适配低压地层的控压钻井系统选型与调试

结合长庆油田低压、低渗、易漏的地层禀赋，选用小型化、高适配性控压钻井设备，构建闭环压力控制系统，实现井筒压力的精细化调控。核心设备选用小型旋转防喷器与柱塞式节流阀，配套井口回压自动控制系统，兼顾设备便携性与控压精度，

适配油田野外施工场景，同时降低设备投入成本。搭载智能控压软件与数据采集系统，整合压力变送器、液位变送器等高精度测量设备，实时捕捉钻井液密度、井口压力、环空压耗等关键参数，通过计算机智能分析实现压力数据的精准监测与自动调控，控压精度可达到 $\pm 0.07\text{MPa}$ 。针对不同漏失类型优化系统调试方案，对于压差驱动型漏失，重点调试井口回压补偿功能，通过动态调整井口压力，抵消环空压耗、激动压力与抽汲压力的影响，维持井底压力稳定在安全窗口内；对于裂隙型、溶洞型漏失，强化系统快速响应能力，确保漏失发生时可在短时间内调整压力参数，遏制漏失扩大态势。此外，配备双通道硬件冗余控制系统，提升设备运行稳定性，规避设备故障引发的压力失控问题，保障控压钻井作业连续推进。

3.3 控堵结合的防漏失工艺优化与配套技术完善

秉持“以防为主、控堵结合”的核心原则，优化控压钻井防漏失工艺，结合长庆油田漏失核心痛点完善配套技术，构建全方位防漏失体系。优化钻井液性能，研发适配低压地层的复合盐防塌抗污染钻井液体系，调整钻井液粘度、切力等关键指标，提升钻井液携砂能力与造壁性能，快速形成致密坚韧的井壁泥饼，阻隔钻井液向地层渗透，同时规避钻井液对储层的污染。针对不同漏失程度制定差异化控堵工艺，轻度过漏时，通过微调井口回压与钻井液密度，搭配钻井液性能优化实现漏失控制，无需暂停钻井开展堵漏作业；中重度漏失时，采用控压钻井与堵漏作业协同推进的模式，在维持井筒压力稳定的前提下，注入抗承压、易降解的堵漏材料，填充地层孔隙与裂隙，快速封堵漏失通道，封堵完成后逐步恢复控压钻进，避免堵漏过程中引发二次漏失^[4]。完善漏失预警机制，依托智能控压系统的大数据分析能力，搭建漏失预警模型，通过实时监测钻井液流量、压力变化等参数，精准识别初期漏失迹象，提前调整控压参数，实现漏失的早发现、早控制。同步优化固井环节控压工艺，将控压技术延伸至固井阶段，精细化控制固井液密度与注入速度，规避固井过程中压力波动引发的漏失问题，提升固井质量，筑牢井下防漏屏障。

4 控压钻井在长庆油田低压地层防漏失的现场应用成效

4.1 漏失防控效果显著，井下安全稳定性提升

控压钻井技术在长庆油田低压地层的现场实践，成功破解漏失频发的核心难题，显著提升井下施工安全水平。依托精细化压力调控能力与漏失预警机制，实现各类漏失的精准防控，尤其在压差驱动型漏失与裂隙型漏失处置上表现突出，有效缩减漏失发生频次与漏失量。现场实践数据显示，相较于常规钻井工艺，控压钻井可有效遏制初期漏失发展态势，避免轻度过漏向中度、重度漏失演变，大幅减少停钻堵漏次数。井筒压力的稳定控制，还能降低压力失衡诱发的井壁坍塌、卡钻等次生

复杂事故,提升钻井施工连续性,为低压地层钻井作业筑牢安全防线,充分适配鄂尔多斯盆地低压地层的复杂地质条件。

4.2 钻井效率大幅提升,施工周期有效缩短

控压钻井通过优化钻井参数、压缩复杂工况处理时长,实现钻井效率的明显提升。相较于常规钻井工艺,该技术无需频繁调整钻井液密度或暂停钻井实施堵漏,有效减少非钻进耗时,尤其在侏罗系、三叠系等主力漏失地层,机械钻速提升效果显著,单井钻井周期大幅压缩^[5]。结合现场应用数据来看,控压钻井可显著降低复杂情况处理耗时,提升日进尺水平,在水平段施工中优势更为突出,部分区块实现水平段高效钻进,进一步印证该技术在低压地层的适配价值。同时,低扰动钻具的应用与压力精准调控,减少对井壁的机械损伤,降低井壁坍塌风险,避免井壁问题引发的工期延误,推动钻井施工高效推进。

4.3 综合开发效益优化,储层保护效果凸显

控压钻井技术的应用既降低施工成本,又能高效保护油气储层,实现油田综合开发效益的提升。一方面,减少钻井液流失量与堵漏材料消耗,降低钻井材料成本与施工工时投入,同

时缩减次生复杂事故处理费用,单井综合施工成本大幅下降。另一方面,适配低压地层的钻井液体系与精准压力控制,可避免钻井液对储层的污染,减少储层孔隙与裂隙堵塞,有效保护储层原始渗透性,为后续油气开采筑牢基础。此外,控压技术延伸至固井环节,提升固井质量,降低固井漏失风险,减少后续修井作业成本,同时助力油田增储上产,实现钻井施工与储层保护的协同优化,为长庆油田低压地层高效开发提供有力支撑。

5 结语

本文全面剖析长庆油田低压地层钻井漏失的现状特征、形成机理与核心痛点,构建适配该类地层的控压钻井防漏失技术体系,结合现场实践验证技术应用成效。现场实践证实,控压钻井技术可实现漏失精准防控、钻井效率提升与综合效益优化,是破解低压地层漏失难题的可靠技术路径。基于现有应用成果,后续可进一步完善压力预判模型、优化控压工艺细节,提升设备对不同区块地层的适配能力,强化技术针对性与适用性,为长庆油田及同类型低压油气藏高效、安全钻井作业提供更坚实的技术保障。

参考文献:

- [1] 张茂林,周玉东,高新,等.精细控压钻井技术在准噶尔南缘超深井的应用[J].复杂油气藏,2024,17(04):461-466+485.
- [2] 郭修成.控压钻井技术在侧钻井中研究与应用[J].内蒙古石油化工,2023,49(09):61-65.
- [3] 李照,蒋林,何贤增,等.常规控压钻井在四川页岩气技术应用探讨[C]//上海联合非常规能源研究中心,上海科学技术交流中心.ECF2023 第十三届亚太页岩油气暨非常规能源大会论文集.川庆钻探工程有限公司钻采工程技术研究院:欠平衡与气体钻井试验基地,2023:72-83.
- [4] 于长广.渤海油田太古界潜山地层精细控压钻井技术研究及应用[J].石化技术,2022,29(11):206-208.
- [5] 孙玉学,李城里,赵景原,等.隔水管钻井液控压技术及其在深水钻井中的应用前景[J].钻采工艺,2022,45(01):21-28.