

Research on Optimization of Drilling Fluid System and Anti-leakage and Plugging Technology for Complex Formation in Longdong Gas Exploration Well

Yong Tang

China Petroleum Group Chuanqing Drilling Engineering Co., Ltd., Changqing Drilling General Company, Xi'an, Shaanxi, 710016, China

Abstract

This study investigates complex strata in Longdong gas exploration wells, analyzing the geological profile and key characteristics of the study area to identify core challenges in drilling operations. Building on this foundation, the research focuses on optimizing drilling fluid systems by establishing design criteria and objectives, conducting treatment agent screening and formulation experiments, determining optimized formulations with performance evaluation, and refining field application techniques. To address formation leakage issues, the study explores leakage mechanisms, develops risk prediction models, optimizes leak prevention technologies, selects effective plugging materials, and establishes efficient plugging systems. These findings provide valuable references for drilling projects in similar regions.

Keywords

drilling process; design criterion; drilling engineering

陇东气探井复杂地层钻井液体系优化与防漏堵漏技术研究

汤勇

中国石油集团川庆钻探工程有限公司长庆钻井总公司, 中国·陕西 西安 710016

摘要

本文把陇东气探井复杂地层作为研究课题, 通过剖析研究区地质概况及复杂地层关键特性, 辨别钻井进程中的核心难点。在此根基上, 实施钻井液体系优化研究, 明确优化设计准则与目标, 开展处理剂筛选与复配试验, 确定优化配方并评估其性能, 同时优化现场应用工艺。针对地层漏失问题, 深入探寻漏失机理并搭建风险预测模型, 优化防漏技术, 筛选堵漏材料并构建高效堵漏体系, 对同类地区钻井工程具备参考借鉴意义。

关键词

钻井进程; 设计准则; 钻井工程

1 引言

随着我国天然气勘探开发向深层、复杂地层行进, 陇东地区凭借丰厚的天然气资源潜力, 成为勘探开发的重点地带。然而, 陇东气探井所涉及的地层历经了复杂的构造演化, 形成了多套岩性交错、地质状况多变的复杂地层组合。在钻井施工过程中, 频繁出现井壁坍塌、缩径、地层漏失等复杂情形, 不但造成钻井周期拉长、钻井成本上升, 还可能引发井下安全事故, 严重妨碍了该地区天然气资源的高效勘探开发。本文依靠陇东气探井钻井工程实际需求, 系统开展复杂地层特性剖析、钻井液体系优化及防漏堵漏技术研究, 意在突破该地区钻井进程中的核心技术关卡, 提升钻井作业的安全性与高效性, 为陇东地区天然气资源的规模化开发提供技术保障。

【作者简介】汤勇 (1983-), 男, 中国甘肃庆阳人, 本科, 工程师, 从事石油钻井工程研究。

全性与高效性, 为陇东地区天然气资源的规模化开发提供技术保障。

2 陇东气探井复杂地层特征与钻井难点分析

2.1 研究区地质概况

陇东气探井研究区位于鄂尔多斯盆地位于华北地块西部, 形成于太古代和元古代结晶基底之上。依据现今构造特征, 鄂尔多斯盆地分为六大构造单元: 自西向东依次为西缘逆冲带、天环坳陷、伊陕斜坡、晋西挠褶带, 南、北分别为渭北隆起和伊盟隆起。天环坳陷是由西缘冲断带逐渐向东发展的结果, 尤其陇东环县区块天环坳陷西段, 裂缝发育。

研究区地层自下而上主要发育元古界震旦系、古生界中统系、二叠系, 中生界三叠系、侏罗系及新生界和第四系。其中, 元古界蓟县系以深灰色硅质白云岩, 藻纹层白云岩为主, 长城系以浅肉红色石英砂岩、含砾砂岩夹棕红色泥岩为

主, 古生界二叠系为主要的天然气储层发育段, 中生界侏罗系、三叠系则以泥岩、砂岩交错为主, 是钻井进程中的主要复杂地层段。钻井施工中, 中生界侏罗系与三叠系泥岩、砂岩频繁互层, 岩性变化快, 力学性质不均, 易引发井壁失稳、缩径及钻井液漏失等复杂情况, 是制约钻井效率与安全的关键层段。古生界主力储层段则发育深灰色、灰黑色砂岩及砂岩储集体, 黑色泥岩, 灰绿色铝土岩夹浅灰色砂岩及煤层, 储层物性相对较好, 是天然气富集与产能突破的重要目标。研究需重点关注单斜背景下局部构造与裂缝系统对气藏的控制作用, 兼顾上部复杂地层的钻井工艺优化与下部储层的精准预测评价^[1]。

2.2 复杂地层关键特征室内测试分析

为精准把握陇东气探井复杂地层的关键特征, 采集研究区域不同深度的岩心样本, 实施室内测试分析。借助 X 射线衍射剖析岩样矿物构成, 结果显示, 中生界泥岩地层当中黏土矿物占比偏高, 主要以蒙脱石、伊利石以及伊蒙混层为主体, 这类黏土矿物具备较强的水化膨胀效能, 是造成井壁坍塌、缩径的重要缘由。砂岩地层则以石英、长石为主要成分, 部分砂岩胶结结构疏松, 孔隙程度较高, 容易出现井漏以及井壁垮塌现象。

运用岩石力学测试系统测定岩样的抗压强度、抗拉强度以及弹性模量等相关参数, 察觉不同岩性地层的力学属性差异显著。泥岩地层抗压强度较低, 并且随着水化作用的加剧, 强度会呈现显著下降态势, 容易在钻井液浸泡环境下发生坍塌; 灰岩地层抗压强度较高, 然而脆性较大, 受构造应力作用影响容易发育裂缝。与此同时, 通过渗透率测试能够知晓, 砂岩以及裂缝发育的灰岩地层渗透率较高, 为钻井液漏失提供了路径。

2.3 钻井过程核心难点识别

研究区域泥岩地层黏土矿物含量较高, 水化膨胀性能较强, 在钻井液浸泡情况下容易发生坍塌、缩径问题; 砂岩地层部分胶结结构疏松, 井壁容易出现垮塌情况; 同时, 地层构造应力作用致使裂缝发育, 进一步对井壁完整性造成破坏, 频繁引发井壁失稳状况, 加大了钻井施工风险。受构造运动作用影响, 研究区域地层裂缝发育, 部分裂缝连通性能良好, 形成漏失通道; 除此之外, 疏松砂岩地层孔隙度较高, 也容易发生渗透性漏失现象。在钻井过程当中, 由于钻井液柱压力与地层压力失去平衡, 时常出现不同程度的漏失情况, 程度较轻的会导致钻井液消耗量较大, 程度较重的则会引发井喷、井塌等恶性事故。

3 陇东气探井复杂地层钻井液体系优化研究

3.1 钻井液体系优化设计原则与目标

结合陇东气探井复杂地层钻井液难点, 明确钻井液体系优化设计遵循如下原则: 其一为性能匹配原则, 钻井液性能需要与地层特性相匹配, 具备良好的抑制性能、抗污染性能、

滤失性能以及流变性能, 满足井壁稳定、防漏等方面的需求; 其二为安全高效原则, 确保钻井液在复杂工况条件下性能稳定, 为钻井作业安全提供保障, 同时提升钻井速度; 其三为环保经济原则, 优先选用环保型处理剂, 降低对环境的污染程度, 通过优化配方减少处理剂使用量, 控制钻井成本支出^[2]。

3.2 钻井液处理剂筛选与复配实验

针对优化目标, 实施钻井液处理剂筛选事项, 重点筛选抑制剂、降滤失剂、增黏剂、抗污染剂及润滑剂等关键处理剂。于抑制剂筛选层面, 对比评估钾盐、聚胺、腐植酸钾等不同类型抑制剂的抑制效能。经岩样水化膨胀实验可得, 聚胺类抑制剂可借助吸附作用在岩样表面构造保护膜, 有效遏制黏土矿物水化, 抑制效果优于传统抑制剂; 将聚胺与钾盐复配运用, 可催生协同效应, 进一步提升抑制性能。在降滤失剂筛选中, 重点对比了聚阴离子纤维素 (PAC) 与磺化沥青类产品的性能。实验表明, 聚阴离子纤维素能有效改善泥饼质量, 控制滤失量, 且抗温性良好, 其在复杂地层中的稳定性优于传统产品。增黏剂方面, 考察了生物聚合物与改性纤维素, 前者在提切力与保护井壁方面表现突出。针对抗污染能力, 优选了磺化共聚物类处理剂, 可有效抵抗盐钙侵。润滑剂筛选则聚焦于石墨与聚合醇类, 二者均能显著降低摩擦系数。综合评估后, 推荐以聚胺复配钾盐作为核心抑制剂, 并搭配 PAC 降滤失剂、生物聚合物增黏剂、磺化共聚物抗污染剂及聚合醇润滑剂, 形成一套协同高效、适应性强且兼顾环保的钻井液处理体系, 为优化钻井性能与保障井壁稳定提供可靠支持。

3.3 优化钻井液体系配方确定与性能评价

依据处理剂筛选与复配实验成果, 确定陇东气探井复杂地层优化钻井液体系配方。该配方以水作为基液, 投入聚胺-钾盐复合抑制剂、纳米二氧化硅-改性沥青复合降滤失剂、聚丙烯酰胺增黏剂、抗盐抗钙抗污染剂及生物质润滑剂等处理剂, 通过合理调配各组分比例, 构建高效复合钻井液体系。对优化后的钻井液体系开展全面性能评估。抑制性评估结果显示, 该钻井液体系处理后的岩样水化膨胀率显著下降, 岩样强度保持率高, 能有效抑制黏土矿物水化。滤失性能测试表明, 在高温高压状况下, 钻井液滤失量控制于较低水准, 形成的滤饼薄而致密, 滤饼渗透率低。流变性测试结果显示, 钻井液屈服应力和动切力恰当, 具备良好的悬浮携带岩屑能力, 能有效防范岩屑沉降。

3.4 钻井液现场应用工艺优化

为保障优化后的钻井液体系在现场应用中充分释放性能, 开展现场应用工艺优化。在钻井液配制阶段, 优化配制流程, 采用分段配制模式, 先加入基液和抑制剂, 充分搅拌之后再加入降滤失剂、增黏剂等其他处理剂, 确保各处理剂充分溶解分散, 规避性能波动。同时, 严格把控配制过程中的温度、搅拌速度等参数, 保证钻井液配制质量。在钻井过程中, 搭建钻井液性能动态监测体系, 实时监测钻井液的黏

度、密度、滤失量、切力等关键性能指标。依照监测结果,及时调整处理剂用量,确保钻井液性能稳定。针对不同井段地层特性,分段调控钻井液性能:在泥岩发育井段,适当提升抑制剂用量,增强抑制性;在砂岩或裂缝发育井段,调整降滤失剂用量,降低滤失量,同时合理控制钻井液密度,防范地层漏失^[1]。

4 陇东气探井复杂地层防漏堵漏技术研究

4.1 漏失机理与漏失风险预测模型建立

为有效防控陇东气探井复杂地层漏失难题,首先施行漏失机理探究。借助剖析研究区地质特征、钻井施工数据及井下漏失状况,明晰该地区地层漏失主要划分为渗透性漏失、裂缝性漏失和溶洞性漏失三类。渗透性漏失主要产生于疏松砂岩地层,鉴于地层孔隙度和渗透率较高,钻井液在液柱压力态势下侵入地层造就漏失;裂缝型漏失是研究区最关键的漏失类型,受构造运动作用,地层中孕育大量天然裂缝,钻井液液柱压力超越裂缝闭合压力之际,裂缝开启,构建漏失通道;溶洞性漏失主要出现于灰岩地层,溶洞发育区域易催生大规模漏失。

4.2 防漏技术优化与应用

在钻井进程当中,针对不同漏失风险等级采取对应防漏手段。对于低风险区域,运用常规防漏办法,通过优化钻井液性能,添入随钻防漏剂,构建致密滤饼,阻塞地层孔隙和微小裂缝,缩减滤液侵入;对于中风险区域,在常规防漏根基之上,运用随钻堵漏技术,在钻井液中添加核桃壳、玉米芯等桥接材料,随钻井液循环进入地层,在漏失通道之处形成桥塞,发挥防漏功效。同时,掌控钻井参数,降低钻井速度和泵压,减少对地层的扰动。

4.3 堵漏材料筛选与堵漏体系优化

对于中大型裂缝漏失,选用聚合物凝胶类堵漏材料。聚合物凝胶具备良好的流动性和适应性,能渗入裂缝深部并产生交联反应生成凝胶体,堵塞裂缝通道。其中,抗高温聚合物凝胶可适配深层高温环境,在高温之下仍能维持良好的稳定性和强度;绿色自降解交联凝胶采用环保材料制造,在封堵漏层之后可自行降解,规避对储层造成损害,适用于储层段漏失处置。对于溶洞性大漏失,采用复合堵漏体系,将桥接材料、凝胶材料与水泥等刚性材料融合。首先注入桥接材料初步封堵大尺寸漏失通道,再注入凝胶材料填充缝隙,最后注入水泥浆形成高强度固体,达成高效堵漏。同时,筛选适配的固化剂和缓凝剂,调控水泥浆凝固时间,保障堵漏材料在漏失通道内充分驻留并固化。在材料筛选前提之

下,优化堵漏体系配方及施工工艺。依据漏失类型、漏失程度及地层条件,确定各堵漏材料的配比比例,形成具有针对性的堵漏体系。施工工艺领域对堵漏浆液注入相关参数实施优化操作,参数涵盖注入压力、注入排量以及注入量,依照漏失通道的尺寸规模和纵深程度,选用分段注入搭配逐步升压的模式路径,促使堵漏浆液对漏失通道开展充分填充作业,防范浆液产生流失状况。与此同时,强化堵漏操作之后的效果评估工作,借助钻井液循环状况观察、压力测试等手段方式,对堵漏效果进行判别认定,当出现堵漏未达成预期成效时,及时对堵漏体系以及施工工艺做出调整修正,再次开展堵漏处置任务。

5 结语

研究区域范围内的地层岩性呈现复杂多变的特性,黏土矿物具备较高含量水平,裂缝发育态势显著,地层水矿化度处于较高程度;在钻井作业进程当中,主要面临井壁稳定控制存在难度、地层漏失问题突出、钻井液适配性能较差以及钻井效率偏低等方面的难题挑战。该体系将聚胺-钾盐作为复合抑制剂成分,把纳米二氧化硅-改性沥青作为复合降滤失剂成分,具备优良的抑制性能、抗污染性能、降滤失性能以及流变性能;同时对现场配制工艺、性能监测工艺以及循环净化工艺等应用工艺实施优化举措,切实提升井壁稳定保障能力。明确不同类别漏失问题的作用机理以及影响因素情况,所构建的漏失风险预测模型能够实现漏失风险的分级预测目标;形成以预防为主导思想、实施分级防控策略的防漏技术体系,筛选出与不同漏失类型相适配的堵漏材料,构建复合堵漏体系结构,提升防漏堵漏工作的成功概率水平。研究所得成果在陇东气探井的现场应用过程中,有效减少井壁失稳现象和地层漏失现象等复杂情况的发生频率,缩短钻井作业周期时长,降低钻井作业成本支出,充分验证研究成果的有效性和适用性。在后续工作阶段,可进一步推进钻井液与堵漏材料的绿色化研发进程,结合智能化监测技术手段,力求实现复杂地层条件下钻井作业过程的精准调控目标。

参考文献

- [1] 王小龙,王广财,王阳,万事兴,姚禄文,徐宏.一种抗高温环保钻井液体系的研制及应用[J].新疆石油天然气,2025,21(04):17-23.
- [2] 任鹏举,胡国金,韩超,向良炜,邴旭.BIODRILL-S合成基钻井液体系室内研究及在渤海油田的应用[J].海洋石油,2025,45(03):95-101.
- [3] 祝恩营.复杂区域深井优快钻井技术应用[J].中国科技论文在线精品论文,2025,18(03):257-259.