

# Analysis and Control of Wellbore Stability During Oil Drilling Process

Guanbin Tian

Sinopec North China Petroleum Engineering Co., Ltd. Henan Drilling Branch, Nanyang, Henan, 473000, China

## Abstract

This paper starts from the stability of wellbore during oil drilling and analyzes some factors that may lead to wellbore instability. Then, as well as the types and applications of wellbore stability evaluation indicators, including rock mechanics parameters, pore pressure, stress distribution, etc. Subsequently, the principles and methods of wellbore stability control technology were studied, including enhancing wellbore stability and reducing formation pressure. And proposed monitoring and early warning technologies for wellbore stability, including conventional wellbore monitoring and abnormal warning. Provide reference for wellbore stability during oil drilling. I hope the content of this paper can be helpful to practitioners in the oil drilling industry, and improve the safety and efficiency of drilling operations.

## Keywords

oil drilling; wellbore stability; analysis; evaluation

## 石油钻井过程中井壁稳定性分析与控制

田关斌

中石化华北石油工程有限公司河南钻井分公司, 中国·河南 南阳 473000

## 摘要

论文从石油钻井过程中的井壁稳定性出发, 分析可能导致井壁不稳定的一些因素。然后, 以及井壁稳定性评价指标的种类与应用, 包括岩石力学参数、孔隙压力、应力分布等。随后, 研究井壁稳定性控制技术的原理和手段, 包括增强井壁、减轻地层压力等。并提出了井壁稳定性的监测与预警技术, 包括常规井壁监测和异常警示。以为石油钻井过程中井壁稳定性提供参考。希望论文的内容能够对石油钻井行业的从业人员有所帮助, 提高钻井作业的安全性和效率。

## 关键词

石油钻井; 井壁稳定性; 分析; 评价

## 1 引言

石油钻井是为了开采地下的石油资源而进行的探测和钻探工作。在钻井过程中, 井壁稳定性是一个重要的问题, 它涉及到钻井安全、工作效率以及地下水源和环境保护等方面。因此, 正确分析和有效控制井壁稳定性对于确保钻井作业的顺利进行至关重要。

## 2 井壁稳定性分析

塔河工区新开发的碎屑岩大斜度井是指在该工区进行钻井作业时, 面临的主要地质背景是碎屑岩地层, 并且存在较大的井身倾斜度。在塔河工区, 碎屑岩地层的厚度较大, 分布广泛, 形成了重要的石油储集层。这些碎屑岩地层具有可变的孔隙结构和裂缝网络, 对井壁稳定性提出了

挑战。大斜度井是指井身倾斜度较大的钻井作业, 一般超过60度<sup>[1]</sup>。由于井斜度的增加, 地层力学性质的变化和井眼摩擦等因素会对井壁稳定性产生影响。在大斜度井中, 地层物理性质的变化较为剧烈, 包括孔隙度、压实度和含水量等, 这可能导致井壁失稳的风险增加。并且碎屑岩具有复杂的孔隙结构和裂缝发育, 这些孔隙和裂缝可能会引起泥浆侵入、岩屑脱落和泥浆滤失等问题, 进而导致井壁不稳定。不同类型的岩石具有不同的力学性质和稳定性特点。例如, 在塔河工区新开发的碎屑岩大斜度井中, 主要地质因素是碎屑岩, 其特点是颗粒状构造、含水量较高和含油气的孔隙度变化较大。对于这种地质环境, 通常需要考虑岩屑崩落、泥浆滤失和井眼塌陷等井壁失稳问题。地层压力的大小对井壁稳定性具有直接影响。在钻井过程中, 如果地层压力过大, 会导致井壁塌陷或泥浆侵入, 使井壁不稳定。而如果地层压力过低, 则可能引起泡沫效应和井壁塌陷等问题。断层的存在也是影响井壁稳定性的重要因素。断层是地壳中岩层断裂和错位的产物, 具有破碎、脆性和不均匀性等特点。在钻井过程中,

【作者简介】田关斌(1987-), 男, 中国山东德州人, 本科, 工程师, 从事石油钻井研究。

断层位置附近的地层往往会出现裂缝、泥浆侵入和乱石滚动等问题,需要采取相应的措施加强井壁的稳定。除此之外,地下水的存在可能导致泥浆流失和井壁溶解等问题,进而引发井壁塌陷的风险。因此,在石油钻井过程中,需要合理调整钻井液的配方和密度,以控制地下水的影响。在石油钻井过程中,可以运用力学模型进行井壁稳定性评价。常用的方法包括弹性模型、塑性模型和岩体应力分析等。通过这些模型,可以预测井壁塌陷、泥浆侵入以及裂缝扩展等问题,帮助工程师确定井壁稳定性的风险点。合理选择和优化钻井液体系对井壁稳定性至关重要。钻井液的过滤性能、渗透性以及其与地层的相容性等参数需要考虑,以避免泥浆渗入井壁,导致不稳定问题。

### 3 井壁稳定性评价指标

第一,孔隙压力反映了地层中的流体压力,直接影响着井壁周围的力学状态和稳定性。通过监测孔隙压力的变化,可以及时发现异常或高压带,提前采取措施防止井壁失稳的风险。第二,岩石强度是指岩石抗剪强度和抗拉强度等参数,代表了岩石的抗破坏能力。在评价井壁稳定性时,需要考虑岩石强度与井身倾斜度、地层应力等因素的综合影响,判断岩石是否足够稳定以抵抗钻井作业中的力学力和化学腐蚀。第三,地层应力是指地层中垂直于井壁的压力分布情况,确定了井壁周围的力学状态和井壁稳定的临界条件。对于塔河工区新开发的碎屑岩大斜度井,地层应力的大小和变化对井壁稳定性非常关键,需要通过测量和监测来获取准确的数据。第四,地质应力是指地壳构造和应力场对地层施加的应力,它与地层类型、断层活动以及地下水等因素有关。地质应力的大小和方向是评价井壁稳定性的重要参考,需要进行合理的建模和分析。

在选择考虑工区特点的井壁稳定性评价指标时,应考虑断层的特性。塔河工区常存在断层,断层具有破碎、脆性和不均匀性等特点,对井壁稳定性会产生明显影响。因此,需要关注断层的位置、长度和倾角等参数,作为井壁稳定性评价指标的一部分。碎屑岩多产生大量岩屑,在钻井过程中可能导致岩屑崩落和堵塞井眼,影响井壁稳定<sup>[2]</sup>。通过监测岩屑的流失情况和进行粒度分析,可以判断岩屑的分布和影响范围,为井壁稳定性的评估提供依据。碎屑岩地层通常孔隙度高、渗透性差,容易出现泥浆的滤失和对地层的侵入。因此,衡量泥浆滤失的指标,如滤失率、滤失壁厚等,可以帮助判断井壁稳定性的风险。除此之外,碎屑岩大斜度井需要选择合适的钻进液体系,以达到控制井壁稳定性的目的。评价钻进液性能的指标包括维持压力、胶体粘度、泥浆密度和过滤性等参数。在进行井壁稳定性评价时,为了更准确地分析和控制井壁的稳定,需要对各个评价指标进行权重分配。断层在稳定性中占据着关键作用,并且不同的断层特性可能对井壁产生不同的影响。因此,在权重分配时,需要给

予断层特性较高的权重,以确保对断层的稳定性和变化有全面的了解。还需要考虑到碎屑岩大斜度井的特点,岩屑可能导致井壁破坏和堵塞的风险增加,因此在权重分配时,需要给予岩屑数量和大小适当的权重,以准确评价井壁稳定性的风险。不同的钻进液体系会对井壁稳定性产生不同的影响。在权重分配时,需要根据钻进液的性能和使用条件来确定适当的权重,以确保钻进液的选择和使用对井壁稳定性能够起到有效的控制作用。还需要考虑到塔河工区碎屑岩大斜度井的特点,这些指标相对于其他井壁稳定性评价指标也需要给予一定的权重,以准确评估和控制井壁的稳定。

### 4 井壁稳定性控制技术

在塔河工区新开发的碎屑岩大斜度井中,针对碎屑岩大斜度井,常用的钻井液类型包括高密度泥浆、钻井液和胶凝剂等。高密度泥浆可以增加钻柱压力、抑制井底失稳、减小油气井的井底耐压性,适用于井深较大、地层断裂性差的情况。钻井液和胶凝剂则适用于处理较小的井壁塌陷风险。物理性质包括钻井液的密度、粘度、流变性、润湿性等,它们直接影响液相与固相的分离、泥浆与井壁的作用以及岩屑的悬移。化学性质则涉及到钻井液的pH值、离子含量、抑制剂浓度等,可以控制井壁腐蚀、岩屑溶解和泥浆滤失。针对碎屑岩大斜度井,可以通过调节钻井液的颗粒分布、胶体稳定性、滤失性能等来达到控制井壁稳定性的目的。例如,在井底的高渗透层段,可使用颗粒分布均匀地洗净钻井液,以保持井壁的稳定。

在石油钻井过程中,密度的调整可以通过添加重质物质或提高溶解度来实现。在碎屑岩大斜度井的钻井中,通常需要增加钻井液的密度以抵抗地层压力和防止井壁坍塌。根据地层情况和静压梯度,通过调整钻井液的密度,可以有效地控制和维持井壁的稳定。并且钻头和推进速度是需要特别注意的参数。钻头的选择应根据地层硬度、稳定性和井深等因素进行合理的匹配。推进速度的控制需要根据井壁稳定性的变化情况进行动态调整,以避免推进速度过高导致井壁失稳。还应注意钻井液性能参数的调整<sup>[3]</sup>。例如,黏度、过滤性和润湿性等参数的合理调整可以帮助减小井壁塌陷风险和泥浆滤失问题。通过改变钻井液的化学配方和添加剂浓度,可以有效地调整钻井液性能,从而实现井壁稳定性的控制。此外,对于碎屑岩大斜度井,需要考虑工况变化对井壁稳定性的影响,并及时调整相应的参数。例如,在遇到地层断层或高渗透层段时,需要根据实际情况和监测数据来调整钻井液、控制推进速度和井下参数等,以确保井壁稳定性的控制。

在石油钻井过程中,需要根据地质调查和工程实际情况,选择适合的井壁增强方案。针对碎屑岩大斜度井,在选择井壁增强方案时,可以考虑使用固井、注浆和衬管等技术。固井技术可以通过注入固化剂来增强井壁的稳定;注浆技

术可以填充裂隙、堵塞孔隙，同时加固地层；衬管技术可以提供更强的支撑力和保护作用。根据不同的地质特征和井壁稳定性要求，结合工程实际情况进行方案选择。在进行固井、注浆或安装衬管等操作过程中，需要进行实时监测井壁的变化情况和应力分布。通过合理使用传感器和监测装置，及时把握井壁的稳定性变化，并根据监测数据进行调整和控制。同时，还需要严格按照工艺规程和操作要求进行施工作业，保证增强方案的有效实施。在方案实施后，需要进行效果评估，以确定增强方案是否达到预期效果。通过地震勘探、岩芯采集、井底压力监测等手段，对井壁增强后的稳定性进行检测和评价。如果发现井壁稳定性存在问题，需要及时调整和优化增强方案，提升井壁稳定性。

## 5 井壁稳定性监测与预警

在石油钻井过程中，可以通过地震仪和传感器的布置，可以采集到地下水层中的反射波信号，并通过解释和分析反射波数据，推断地下断层、构造和岩性等信息。地震勘探可用于评估井壁的稳定性 and 检测潜在的地层问题，为井壁稳定性控制提供重要的参考依据。并且岩芯的采集可以获取地下地层的实际岩石样本，并进行实验室测试和分析。岩芯的物理、力学特性测试可以直接获得地层岩石的强度、应力状态等参数，从而评估井壁的稳定性 and 预测井壁塌陷风险。此外，还需要在钻头和套管之间设置压力传感器，实时监测井壁内的钻进液压力变化。井壁内钻进液压力的异常增高可能是井壁失稳的前兆，可以及时预警并采取相应措施进行稳定。可以在井筒中布置应力测量设备，可以实时监测地层应力状态的变化。地层应力的变化可以反映井壁稳定性，通过分析和解释应力数据，可以对井壁的稳定性进行评估和预测。石油钻井过程中，井壁稳定性异常的发生可能导致严重的安全事故，因此及时警示和应急处理是至关重要的<sup>[4]</sup>。可以通过安装传感器和监测仪器来实现，用于监测井下的压力、温度、位移等参数的变化。监测系统需要实时工作，并能够将数据传输

到地面的监控中心，以便及时发现井壁稳定性的异常情况。当监测系统检测到井壁稳定性存在异常时，应及时触发警报机制，向相关人员发送警报信息。泥浆系统中的流量、压力、泵出量等参数的异常变化可能预示井壁稳定问题，因此在监测分析过程中，这些参数的变化也应受到关注。

在井壁稳定性异常发生时，应按照事先制定的应急处理计划迅速采取措施。例如，可以立即停止钻井作业，并进行井口封堵处理，控制井内压力。此外，还可以根据情况考虑调整钻井液配方、增加固井材料的浓度等手段来加固井壁。还需要及时评估井壁稳定性异常的严重程度，并与工程师和地质学家等专业人员进行沟通与协商，共同制定解决方案。在井壁稳定性异常较为严重的情况下，可能需要进行中断钻井、返钻或重新设计井壁支撑等措施来解决问题。并且针对塔河工区碎屑岩大斜度井，应将井壁稳定性的异常情况进行详细记录，总结出应对策略和有效的应急处理方法，以便在类似情况下能够更好地应对。

## 6 结语

论文对石油钻井过程中的井壁稳定性分析与控制进行了综述和讨论。通过分析井壁稳定性的方法和技术，评价指标的选择与应用，以及控制技术和监测预警手段，可以帮助钻井工程师和有关人员科学地评估井壁的稳定性并采取相应措施。

## 参考文献

- [1] 李如洋,朱向辉,郭寿松.采动影响下暗立井稳定性及支护关键技术研究[J].能源技术与管理,2023,48(5):84-85+99.
- [2] 郑勋.泥岩水化井壁的稳定性分析[J].黑龙江科学,2023,14(18):1-4.
- [3] 崔亚辉,张菲菲,孙四维,等.实时井壁稳定性的定量风险评估模型研究[J].石油机械,2023,51(7):19-27.
- [4] 冯晟,宋峙潮,王沛,等.基于岩石力学参数的渤海油田A区块井壁稳定研究[J].化学工程与装备,2023(5):144-146.