

# 复杂地层钻井卡钻事故的成因类型与预防策略综述

司振胜

中石化华东石油工程有限公司六普钻井分公司钻井工艺研究所 江苏 镇江 212000

**摘要:** 复杂地层钻井施工中,卡钻事故影响重大。本文先阐述复杂地层界定、卡钻定义与影响,剖析地质、钻井液性能、操作工艺、设备工具等成因,接着从地质风险预控、钻井液性能优化等方面提出预防策略,最后展望技术创新方向与管理理念提升路径。通过全面分析成因与系统提出策略,为降低复杂地层钻井卡钻事故发生率,保障钻井工程安全高效推进提供参考。

**关键词:** 复杂地层; 钻井卡钻; 成因剖析; 预防策略; 技术创新

引言: 在石油天然气等资源勘探开发领域,钻井工程是关键环节。复杂地层因地质条件复杂、岩石类型多样、地质构造特殊等因素,引起钻井施工难度大,常有卡钻事故的发生。卡钻事故不仅延误钻井进度、增加成本,还影响油气资源的开发。深入剖析复杂地层钻井卡钻事故成因,探索有效预防策略,对保障钻井工程顺利开展、提高资源开发效率意义重大。

## 1 复杂地层钻井卡钻事故基础认知

### 1.1 复杂地层的界定与地质特性

复杂地层界定围绕钻井施工难度及地质条件复杂性展开,核心关联岩石类型、结构特征与分布规律<sup>[1]</sup>。不同复杂地层的岩石类型存在差异,岩浆岩、变质岩及沉积岩在钻井区域的分布呈现不同规律,岩石的类型、胶结程度直接影响钻井过程中的井壁稳定性。复杂地层中常见断层、褶皱等地质构造,断层、破碎带的岩石完整性差,易出现软硬交错,褶皱部位的地层应力分布不均,都会改变钻井过程中的受力环境,增加了施工难度。复杂地层中的流体特性多样,个别区域的地层含高压层、个别区域的地层有溶洞、或欠压实易漏甚至膏盐层蠕变等等因素特征,严重干扰了钻井施工的正常推进。

### 1.2 卡钻事故的表现形式

卡钻事故一旦出现会直接中断作业流程,且处置难度随时间推移逐步增加。钻井作业中,卡钻事故主要表现为钻具起下受阻,旋转扭矩异常增大,钻井液循环流量减少甚至中断,钻具无法传递钻进动力。卡钻事故存在多种类型,井塌卡钻是地层出现大量的掉块而造成钻具上提下放遇阻卡、扭矩增大泵压增高甚至憋泵蹩钻。粘吸卡钻(也叫压差卡钻)因为钻井液泥饼虚厚或有堵漏材料、岩屑床且钻具静止时间长而造成钻具不能上提下放或转动,但开泵泵压正常。沉砂卡钻往往是因为井内岩屑多沉降快而堆积在钻头、扶正器等大尺寸钻具上

部,且下部地层承压能力低造成钻井液无法从上部返出的卡钻形式。键槽卡钻多伴随井眼轨迹突变,钻具在特定井段被“键槽”卡住难以活动;泥包卡钻表现为底部钻具表面附着大量泥质物质,导致循环通道堵塞,钻具活动受限;缩径卡钻由井眼直径缩小引发,钻具与井壁间隙减小,最终形成卡阻。各种类型的卡钻各有独特的发生特征与表现形态。不同类型的卡钻事故虽表现形式各异,但均与井内环境、施工操作或地层条件密切相关,需通过精准识别特征判断类型。

### 1.3 卡钻事故对钻井工程的影响

卡钻事故会直接延缓钻井进度,增加无效作业时间,影响工程整体推进计划。钻井进度的延误还可能错过最佳施工窗口期,尤其在复杂地层区域,易引发后续一系列连锁问题。卡钻事故会额外消耗钻井材料、设备损耗及人力成本,增加钻井工程的经济投入,造成资源浪费,甚至导致钻具损坏、井眼报废等问题。个别卡钻事故还可能引发井喷等大的次生灾害,给钻井工程带来更大的经济损失,凸显了卡钻事故防控的重要性。

## 2 复杂地层钻井卡钻事故的成因剖析

### 2.1 地质因素导致的卡钻

地层应力与复杂的地质构造是引发卡钻的重要地质诱因,地层应力分布不均会破坏井眼原有的稳定状态,如高压盐水层、易蠕变的膏盐层、易漏失的破碎带地层或煤层、易掉垮的页岩层、鹅卵石层、流沙层等极易引发卡钻。复杂的地质构造,如断层、破碎带的岩石完整性差,钻井过程中易产生井下掉块甚至垮塌而卡钻。特殊地层的特性易引发各类卡钻问题,如松软的泥岩地层吸水后膨胀,表层岩石易剥落堆积,造成钻具卡阻;塑性地层易发生蠕变变形,导致井眼直径缩小,形成缩径卡钻;盐岩、膏岩层在井下高温高压环境下会发生蠕变变形,不断侵占井眼空间,提升卡钻风险<sup>[2]</sup>。

## 2.2 钻井液性能导致的卡钻

滤饼质量缺陷是钻井液性能相关卡钻的主要诱因之一。滤饼过厚会增加钻具与井壁的接触面积,滤饼摩阻系数过高则会增加接触阻力,两者都会阻碍钻具正常上下移动和旋转。滤饼形成过程中若失水量过大,会导致滤饼结构松散、强度不足,无法有效保护井壁,进而引发卡钻事故。钻井液流变性差,如切力太低会降低钻井液携岩能力,岩屑无法及时被带出井眼而在环空内沉积,流变性差还会导致压耗大,影响排量及井筒的清洁。钻井液润滑性不足会加剧摩阻增大,在定向滑动钻进时,高摩阻会明显降低定向的效率甚至无法正常定向钻进,同时也进一步增加了卡钻概率。

## 2.3 操作工艺导致的卡钻

钻进参数控制不当易引发卡钻事故。排量不足会导致钻井液携岩能力下降,岩屑在井眼内沉积,当堆积到一定程度时就会造成卡钻。起下钻操作失误是卡钻事故的常见诱因。起钻过程中未及时灌浆、下钻速度过快会造成井内液柱压力与地层压力之间的失衡,造成井壁失稳掉块或井漏而诱发卡钻。司钻在起下钻过程中遇阻卡初期未及时采取划眼修整井壁、大排量循环清砂而侥幸通过复杂井段,往往会发生卡钻事故。采用大角度定向工具或长井段连续定向造成“狗腿度”过大时,也容易造成钻柱底部的大尺寸钻具被卡。在破碎地层、漏失层井段强钻后接单根时钻头在井底容易出现沉砂卡钻,空气钻钻进期间举砂不彻底、“水泥环”掉落、“夹壁墙”倒塌等情况也极易引起卡钻事故。测井、下套管等作业过程中,通井时对阻卡井段通划不彻底、封井浆性能对复杂地层的抑制性不强,也会出现卡仪器或卡套管的情况。

## 2.4 设备工具导致的卡钻

钻具组合缺陷会直接引发卡钻。钻头严重磨损后会形成“小井眼”,钻具在“小井眼”内易发生卡钻。大直径工具通过“键槽”时因尺寸不匹配易受阻,进而引发卡钻。扩孔器、测井仪器在井下出现故障后也会发生遇卡现象而无法正常起出。手工具、辅助工具掉落井下是设备工具相关卡钻的重要原因,因落物尺寸大、硬度高、地层硬等原因,落物会夹在钻具、地层中间造成钻具“硬卡”的落物卡钻事故。

## 3 复杂地层钻井卡钻事故的预防策略

### 3.1 地质风险预控

地质风险预控是卡钻事故预防的基础环节,需开展详细地质勘察与预测工作<sup>[1]</sup>。充分利用各类地质勘探数据,结合区域地质背景,精准判断破碎带、溶洞或暗

河、易漏地层等复杂地层的分布范围、深度及地质特征,提前掌握潜在卡钻风险点。优化井眼轨迹及井身结构设计,结合地层风险分布情况,主动使井眼避开断层、破碎带、高压异常等复杂地层,必要时下套管封隔异常复杂层段,减少地质因素对钻井作业的不利影响。加强邻井实钻的钻井液比重、施工过程的分析及地层压力监测与管理,应用随钻地层压力监测技术进行压力数据的动态采集与分析。根据地层压力动态变化,及时调整钻井液密度,确保钻井液液柱压力与地层压力保持平衡,有效防范高压流体侵入、低压井壁吸附等引发的卡钻问题。

### 3.2 钻井液性能优化

钻井液性能优化是防范卡钻事故的关键手段,需优选防塌钻井液体系。结合复杂地层特性,选择能够抑制地层水化膨胀的添加剂、降低钻井液的滤失量,缓解松软地层、水敏性地层的膨胀剥落问题,或采用空气钻井、泡沫钻井,提升井壁稳定性。科学设计钻井液配方,通过合理调配各组分比例,增强钻井液对井壁的支撑与保护能力或封堵性,减少井塌、缩径等卡钻隐患。开发低摩阻钻井液,在钻井液中添加适配的润滑剂,降低钻柱与井壁、滤饼之间的摩擦阻力,减少粘吸卡钻的发生概率。优化钻井液流变参数,合理调控粘度、切力指标,提升钻井液携岩能力,避免岩屑在井内堆积。针对高温高压地层使用抗高温的助剂,使其能够适应井下高温高压环境,防止钻井液在极端环境下发生性能劣化,确保钻井液各项功能稳定发挥。

### 3.3 操作工艺规范

规范操作工艺能够有效降低人为因素引发的卡钻风险,需注重钻进参数的优化调整。结合地层特性与钻井设备性能,匹配合理的排量,避免因排量低导致岩屑沉积等问题。避免长时间静止钻具,减少钻具与井壁的接触时间,降低卡钻风险。强化起下钻精细操作,严格控制起下钻速度,遇阻卡时要及时划眼、分段循环清砂。起下钻过程中及时灌浆维持井内液柱压力稳定,对井壁提供持续有效的支撑。增斜井段应控制“狗腿度”使井眼轨迹平滑,水平井段应避免因“追层”而多次陡增陡降引起掉块滞积造成憋泵甚至“键槽”卡钻、掉块卡钻。针对测井、下套管等特殊作业,应制定专项防卡方案,明确作业流程与防卡措施,对重点井段通划顺畅后采用封井浆保护,防止卡仪器、卡套管事故的发生。

### 3.4 设备工具管理

加强设备工具管理是预防设备工具类卡钻的核心举措,需优化钻具组合设计。遵循合理的设计原则,避免

大直径工具通过易形成键槽的井段,减少工具与键槽的卡阻概率<sup>[4]</sup>。通过分析返出岩屑的形状、钻时的高低等判断钻头的磨损情况,及时更换磨损超标的钻头,避免“小井眼”。有针对性地采用清砂钻杆、清砂接头、倒划眼钻头工具及时破碎井下掉块,降低卡钻风险。按扩孔器、仪器的使用说明正确操作,避免强拉硬压造成工具损坏而卡钻。井队要建立工具摆放、检查与登记制度对各类井口工具进行规范管理,明确责任分工;在井口配置防落物设施,使用井口工具时务必拴好保险绳,防止手工具、井口螺栓等落井引发卡钻事故。

#### 4 复杂地层钻井卡钻事故预防的未来展望

##### 4.1 技术创新方向

技术创新是提升卡钻事故预防能力的核心支撑,重点推进智能化监测与预警系统发展。依托大数据、人工智能技术,整合钻井过程中的各类参数数据,实现卡钻事故相关指标的实时监测与分析,精准捕捉潜在风险信号。着力开发卡钻事故预警系统,通过数据建模与趋势分析,提前预判卡钻事故发生可能性,为预防措施实施争取时间,进一步提高卡钻事故预防的主动性与有效性。加大新型钻井液与添加剂研发力度,立足环保与高效双重需求,探索性能更优越的钻井液体系,兼顾防塌、低摩阻、抗温抗压等多重功能。研发适配复杂地层的新型添加剂,优化钻井液各项性能指标,增强钻井液对复杂地层的抑制能力,从源头减少卡钻隐患。积极引入先进钻井工具与设备,选用可靠性更高、适配性更强的钻井工具,降低工具失效引发的卡钻风险。推广应用钻井顶驱、高压泵、旋导等新型钻井设备,增强预防复杂的及时性;在匀质性、可钻性强的井上采用套管钻井技术,优化钻井施工流程,推动卡钻事故预防技术升级。

##### 4.2 管理理念提升

管理理念提升是完善卡钻事故预防体系的重要保障,推行全过程风险管理实施。将卡钻事故预防工作融入到钻井工程设计、施工、收尾全流程,打破分段管理壁垒,实现各环节风险管控的无缝衔接。建立卡钻事故

预防长效机制,明确各岗位责任,细化防控流程,确保预防工作常态化、规范化推进,避免临时防控带来的疏漏<sup>[5]</sup>。强化团队协作与沟通,打破钻井团队各成员、各岗位之间的信息壁垒,形成卡钻事故预防合力。构建地质工程一体化协同配合组织,建立高效的信息共享与沟通机制,及时传递钻井过程中的各类参数、异常情况及防控经验,确保相关信息快速流转、精准传递。推进持续培训与教育工作,定期组织钻井人员开展卡钻事故预防知识培训,涵盖地质风险识别、操作规范、应急处置等内容。通过系统化培训,不断提高钻井人员的安全意识与操作技能,规范操作行为,减少人为因素引发的卡钻风险,夯实卡钻事故预防的人力基础。

##### 结束语

复杂地层钻井卡钻事故预防是一项长期且艰巨的任务。通过推进智能化监测与预警系统发展,能更精准捕捉风险信号;加大新型钻井液与添加剂、先进钻井工具与设备研发应用力度,可从源头减少卡钻隐患。推行全过程风险管理,强化团队协作与沟通,开展持续培训教育,能提升整体防控能力。多管齐下,才能切实降低复杂地层钻井卡钻事故发生率,保障钻井工程安全高效推进。

##### 参考文献

- [1]曹东风,王长新.水平井卡钻事故处置技术方法及预防措施探究[J].能源技术与管理,2023,48(4):179-183.
- [2]任美洲.定向井施工卡钻事故成因分析和预防措施[J].石化技术,2022,29(3):203-204.
- [3]胡振宇.探析石油钻井工程事故的原因及应对策略[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2022(7):113-116.
- [4]徐志强.探析石油钻井工程事故的原因及应对策略[J].魅力中国,2021(13):392.
- [5]向伟,张禹,王敏,等.浅谈石油钻井工程事故的原因及应对策略[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2023(2):94-96.