

# 粘吸卡钻机理及处理

熊博 张嘉懿 沈东皞

中石化西北油田分公司石油工程监督中心

DOI: 10.12238/jpm.v5i8.7121

**[摘要]** 卡钻是井下作业中常见的事故之一,比较常见的类型就是粘吸卡钻。粘吸卡钻也称压差卡钻,粘吸卡钻事故的发生离不开三个要素,即滤饼、压差、钻柱与井壁接触面,钻柱与滤饼的粘附力以及由二者异性电荷产生的吸附力对于发生粘吸卡钻有着较为复杂的影响。粘吸卡钻的发生原理虽然不算复杂,但其危害性不容忽视,在发生粘吸卡钻事故后应该及时采取相应措施进行有效的处理,避免事故再次扩大。要想减少粘吸卡钻发生的概率,可以从改善滤饼质量、减小有效接触面积、减小压差等方面着手。

**[关键词]** 粘吸卡钻; 滤饼; 压差; 润滑性; 负电分散体系

## Mechanism and treatment of adhesive suction stuck drill

Xiong Bo, Zhang Jiayi, Shen Donghao

Petroleum Engineering Supervision Center of Northwest Oilfield Company of Sinopec

**[Abstract]** The drill is one of the common accidents in downhole operation, the more common type is sticky suction drill. Stick suction card drill is also known as pressure slip card drill. The occurrence of stick suction card drill accident cannot be separated from three elements, namely, filter cake, pressure difference, the drilling column and the well wall contact surface, the adhesion force of drilling column and filter cake and the adsorption force generated by the charge of the two sides have a more complex impact on the occurrence of sticky suction card drill. Although the occurrence principle of sticky suction drill is not complex, but its harm can not be ignored, in the occurrence of sticky suction drill accident should take corresponding measures to effectively deal with, to avoid the accident to expand again. In order to reduce the probability of adhesive suction card drilling, we can improve the quality of the filter cake, reduce the effective contact area, and reduce the pressure difference.

**[Key words]** sticky suction card drill; filter cake; differential pressure; lubricity; negative electric dispersion system

### 1. 粘吸卡钻的机理

卡钻是钻井作业中常见的井下事故类型之一,卡钻就是指钻柱失去活动空间和运动能力,无法上下移动或左右转动<sup>[1]</sup>。在钻井作业过程中,可能会遇到多种类型的卡钻情况,包括粘吸卡钻(压差卡钻)、键槽卡钻、缩径卡钻、坍塌卡钻、砂桥卡钻、泥包卡钻、落物卡钻等。卡钻事故的发生几率覆盖了整个钻井作业,在钻进、起钻、下钻的过程中,均有发生卡钻事故的可能性。卡钻事故严重的妨碍了钻井作业的正常进行,根据现场经验和数据统计,可以发现卡钻事故半数以上都属于粘吸卡钻。粘吸卡钻是指钻柱被粘附在井壁上,影响了钻具的正常活动,发生粘吸卡钻的部位常常为钻杆或者钻铤。

造成粘吸卡钻事故的成因可以分为两类,一是井壁上吸附

有滤饼,二是钻井液液柱的压力与地层孔隙的压力之间存在压力差,前者属于内因,后者属于外因。

#### 1.1 滤饼的形成

在当前钻井作业中,井筒内分为两相流区域和三相流区域,井筒的上部是由钻井液、岩屑形成的液固两相流区域,井筒的下部是由气、液、固组成的三相流区域。当这些钻井液中的固体颗粒沉积并粘附在井孔的侧壁上时,就形成了滤饼(又称为泥饼)。

钻井液的滤失性是决定能否形成滤饼的关键因素。在具有较高渗透性的砂岩地层中,钻井液的静液压力通常大于地层间的孔隙压力,孔隙性地层会在这种正压差的作用下,被钻井液内的液相渗透侵入。同时,钻井液中的固体颗粒会慢慢沉积、

附着在井壁上，这种沉积物被称为滤饼。而对于渗透性较差、孔隙性较低的泥页岩，往往也存在滤饼。泥页岩具有亲水性，能被水润湿，因此，在采用水基钻井液进行钻探时，就算钻井液的滤失量降至零，润湿过程仍会持续<sup>[2]</sup>。在水的浸润作用下，泥页岩表面的分子、原子或离子会表现出极性，进而吸附钻井液中异性电荷的粒子，这些固相颗粒（砂岩和泥岩）会吸附在岩石表面，慢慢地在井壁上形成滤饼。

钻井液在井眼环空的流动过程中，环空中心的流速最快，往井壁方向的流体流动速度逐渐减小，形成了一个速度梯度，靠近井壁的流体流速接近于零。流速较低甚至零流速的原因造成了钻井液中的固相颗粒逐渐沉积在井壁上，聚集成为滤饼。

砂岩井段和泥页岩井段都会有滤饼沉积，因此都具有发生粘吸卡钻的几率。由于泥页岩井段的井径通常不够规则，并且与钻杆的接触面较小，所以发生粘吸卡钻的风险相较于砂岩井段要低。发生粘卡的概率与泥饼质量有很大关系，虚厚的、粘滞系数较大滤饼较容易粘附钻柱；薄而致密的、粘滞系数较小的滤饼对钻柱的粘附力相对较小。

### 1.2 压差的存在

钻井液在保持地层的压力平衡和保持井壁稳定方面扮演着关键角色。为了保障钻井作业的地下安全，目前的大多数钻井操作都引进了超平衡钻井技术，这种技术通常采用液柱压力高于地层孔隙压力的钻井液。在钻杆未与井壁接触的情况下，钻杆在其横截面上会受到来自360度全方位液体柱的压力，正是这些周围的压力帮助钻杆保持稳定。

在现代钻井作业中，在下部钻柱弯曲或者井眼的过度弯曲的情况下，钻具可能会因为本身的质量、弹性变形和轴向的拉伸或压缩产生侧向推力，这种推力会使钻柱紧密地贴合在井壁上形成的滤饼上。当钻柱处于运动状态下，钻柱和滤饼中间会形成一层钻井液薄膜，钻井液液柱通过这层薄膜将压力均匀地传递到钻柱的周围，从而实现液柱压力平衡，在这种情况下，作用在井壁上的钻柱力主要由钻柱本身产生的侧向力组成。当钻柱处于静止状态下，钻柱通过其侧向力向井壁施加压力，使得钻井液水膜消失。如果该侧向力过大，会加剧钻柱压入井壁的滤饼的过程，导致吸附面之间的空隙缩小，钻柱和滤饼之间的粘附力增强，钻柱与井壁间的接触面积扩大。

## 2. 粘吸卡钻的预防及征兆

### 2.1 粘吸卡钻的预防

粘吸卡钻的关键三个因素——滤饼、压差、有效接触面积，若三者缺少其一，粘吸卡钻便不会发生。

在钻井作业中，期待形成薄而致密并且具有低粘滞系数的滤饼，这种滤饼不仅能够降低粘吸卡钻发生的可能性，还能防止钻井液中的液相加深对地层的侵入，有利于减少钻井液对地层的破坏。薄而致密的滤饼还能更好的稳定井壁，降低井下复

杂状况及发生事故的可能性。所以在处理钻井液时，要求钻井液失水控制在合理的范围之内，及时添加合适的絮凝剂，并合理利用固控设备，及时清除钻井液中的无用固相，防止形成虚厚的滤饼。并且，在钻井液中加入适量合适的润滑剂，增强钻井液的润滑性，减少滤饼的粘滞系数，确保井下安全。

对于压差控制，关键在于将钻井液密度控制在一个合适的范围内。当钻井液密度过大时，机械钻速不仅会降低，地层还可能受到更严重的损伤，甚至导致地层被压漏。然而，如果钻井液密度过小，可能无法确保井下的安全，存在溢流、井涌甚至井喷的风险。按石油天然气行业标准 SY/T6426-2005《钻井井控技术规程》对安全附加值规定如下：气井的钻井液安全附加值为  $0.07\text{g}/\text{cm}^3\sim 0.15\text{g}/\text{cm}^3$ ，或控制井底压差  $3.0\sim 5.0\text{MPa}$ ；油井、水井的钻井液安全附加值为  $0.05\text{g}/\text{cm}^3\sim 0.10\text{g}/\text{cm}^3$ ，或控制井底压差  $1.5\sim 3.5\text{MPa}$ 。在实际施工中，需根据实际情况选择最合适的钻井液密度。

对于钻柱和滤饼的有效接触面积，如前文所说，钻柱静止时，钻柱与井壁滤饼接触才可能会造成粘吸卡钻。当钻柱静止，由于下部钻柱弯曲，或因井眼井斜、曲率过大等原因使得钻柱与井壁有一个接触点，在压差作用下接触面进一步扩大，甚至造成卡点上移。所以在钻井作业中，尽量减少钻柱在井内的静止时间，例如钻进中接单根要快，一般要求短于5分钟，同时可适当活动转盘；长时间维修设备时，要将钻柱上提至安全井段或套管内。此外，保证良好的井身质量，优化下部钻具组合等都可以减少粘吸卡钻发生的概率。

滤饼的负电力场与钻柱表面的正电力场之间的吸附效应也是造成粘吸卡钻现象的重要原因。为了降低发生粘吸卡钻的风险，可以采用阳离子体系的钻井液，尤其是高价阳离子聚合物体系的钻井液。此外，油基钻井液也可以减少粘吸卡钻，但由于成本较高，通常使用较少。

### 2.2 粘吸卡钻的征兆

粘吸卡钻通常在钻柱静止不动时发生，说明在出现粘吸卡钻之前，除了正常摩擦阻力，活动钻具不会遇到额外的阻力。然而，根据每口井使用的钻井液的性能差异，以及井身质量和钻具结构的差异，会导致在钻柱静止后发生粘吸卡钻的具体时间有所不同。但是可以确定，在粘吸卡钻发生之前，钻柱必然在井内静止了一段时间，这个时间段可能短至两三分钟，也可能长达十几分钟。

钻柱与井壁之间的接触可能引起粘吸卡钻现象，因此粘吸卡钻通常发生在钻杆或钻铤的位置。由于一般钻铤的外径较大，所以在钻铤位置发生粘卡的可能性比在钻杆位置发生粘卡的可能性更高。而由于钻头的形状不规则，在钻头位置出现粘吸卡钻的情况不多见。

在粘吸卡钻事故发生以后，如果钻柱拉伸伸长量越来越小

则说明卡点已经上移。卡点最高可以移动至套管鞋的位置。

粘吸卡钻前后的钻井液循环正常, 泵压没有发生变化。

### 3. 塔河区某井阿克库勒组卡钻故障

#### 3.1 故障发生经过

2021年11月17日15:03钻进至井深5215.59m, 单根打完, 15:11上下划眼两遍通畅(长裸眼水平段, 公司要求根据划眼情况决定是否接单根, 划眼最少两遍以上)后提离井底1m静止1min, 15:12开泵测斜, 15:18测斜后上提接单根, 前期摩阻均正常, 录井悬重显示1466kN, 接单根上提1466↑1540kN, 摩阻7.4t。15:22接单根后开泵下放钻具(接单根时间4min), 下放至井深5204.65m, 悬重由1466↓1302kN遇阻16.4t未放开, 15:25-15:29上提下放行程短, 起甩单根重新接方钻杆, 15:29-15:34上下活动钻具未开(活动范围1621-672kN, 以下压为主), 15:34-15:40转盘憋扭矩19.9kN, 开泵大幅度活动未开(上提180t, 下压至40T), 钻具卡死。

#### 3.2 故障原因分析

(1) 现场处理方式不当。15:22接单根下放遇阻至15:29甩单根后接方钻杆下放, 钻具长时间井底静止导致粘卡故障发生。

(2) 钻井液密度 $1.24\text{g}/\text{cm}^3$ , 三叠系地层压力系数 $1.04-1.06\text{g}/\text{cm}^3$ , 压差作用下钻具贴井壁发生粘卡, 钻井液润滑剂含量3.5%, 粘附系数: 0.0524, HTHP泥饼1.5mm, 符合设计要求, 但不满足井下安全需求, 钻井液性能需进一步优化。

#### 3.3 故障处理过程

(1) 组配解卡剂: 卡钻后井队循环, 间断上下活动、转盘憋扭矩尝试解卡(原悬重150t, 活动吨位40-180t; 转转具20-25圈), 组配解卡剂。至11月18日10:45解卡剂组配到位, 配方: 柴油 $9.11\text{m}^3$ +解卡剂1.5t(PF-FREE), 搅拌30min充分乳化, 加水 $5.763\text{m}^3$ , 加重8.364t至 $1.24\text{g}/\text{cm}^3$ , 总量约 $17.3\text{m}^3$ , 泵入前加入快T0.77t, 预计入井 $17\text{m}^3$ , 进入裸眼 $8\text{m}^3$ , 水眼预留 $9\text{m}^3$ , 泡解卡剂井段: 4741.26-5215.59m。

(2) 注替解卡剂: 11月18日10:45-11:20悬重下压至112t(原悬重150t), 替入密度 $1.24\text{g}/\text{cm}^3$ 前置液 $2\text{m}^3$ +解卡剂 $17.117\text{m}^3$ (泵压10.8MPa, 排量10.21/s), 至11:28替入密度 $1.24\text{g}/\text{cm}^3$ 后置液 $2\text{m}^3$ (粘度110s, 泵压11.4MPa, 排量10.21/s), 至12:02替入井浆 $18.74\text{m}^3$ (泵压21.8MPa, 排量121/s; 包含地面管汇 $1\text{m}^3$ , 水眼留存解卡剂 $9\text{m}^3$ 。

(3) 泡解卡剂: 12:02-20:10泡解卡剂(每半小时顶井浆 $0.3\text{m}^3$ 、转转盘憋扭矩、上下活动钻具一次; 上提下放吨位40-180t, 转转盘25圈以内), 至20:15顶 $1.24\text{g}/\text{cm}^3$ 井浆 $0.34\text{m}^3$ , 上提下放无效, 下放钻具由 $1728\text{kN}\downarrow 334\text{kN}$ , 转盘憋

扭矩22圈, 20:58钻具悬重突然恢复正常,  $334\text{kN}\uparrow 1504\text{kN}$ , 扭矩释放完, 钻具解卡, 故障解除。

### 4. 粘吸卡钻的处理

#### 4.1 强力活动

为避免粘吸卡钻状况随着时间的延长而加剧, 应在问题刚出现时迅速采取措施活动钻杆, 力求解决粘吸卡钻问题。上提要保持在薄弱环节的安全负荷极限以下, 下压无明确限制, 可把施加全部钻柱重量的压力, 也可适当地转动, 但转动幅度不能超过钻杆所限制的扭转圈数。若强力活动多次无效, 应停止强力活动。在这种情况下, 应当在恰当的限度内操控未被卡住的钻杆, 以降低钻杆与井壁的接触面, 预防卡点向上移动。上提拉力不超过自由钻柱悬重 $100\sim 200\text{kN}$ , 下压可以施加自由钻柱重量的二分之一甚至全部压力, 从而使裸眼井段内的钻杆发生弯曲。

#### 4.2 震击解卡

如果钻柱上安装有随钻震击器, 应该立即启动随钻震击器, 从而解决粘吸卡钻问题。若没有安装随钻震击器, 首先需要确定卡点具体位置, 从而选择合适的地面震击器(如上击器、下击器等)进行解卡。如果通过震击仍然不能解卡, 可考虑注入解卡剂, 将浸泡和震击相结合, 解卡效果可能会更好。

### 5. 结论及认识

(1) 钻柱在井内的静止时长与发生粘吸卡钻的概率成正比。

(2) 负电分散体系的水基钻井液可能会引发粘吸卡钻, 通过控制钻井液中高价阳离子含量或选用油基钻井液都可以降低发生粘吸卡钻的可能性。

(3) 砂岩和泥页岩井段均存在滤饼, 因此都有可能发生粘吸卡钻事故, 并且砂岩井段的发生粘吸卡钻的概率更高。

(4) 及时清除钻井液中的无用固相, 降低钻井液失水量, 改善滤饼质量, 增加钻井液润滑性等措施都可以减少发生粘卡的概率。

(5) 碎屑岩井砂岩发育井段, 钻井液要做好井壁封堵和润滑工作。接单根过程中如发生摩阻上升、上提困难等复杂应尽量缩短钻具在井内的静止时间, 正常后方可进行下部施工。

(6) 发生粘卡后应及时采取对应措施处理, 避免事故复杂化、扩大化。

### [参考文献]

[1] 李晓亮, 陈平, 郭昭学等. 应用随钻测量技术来预防钻井问题[J]. 西部探矿工程, 2009, 21(04): 59-61.

[2] 张玉秀, 张世德, 李硕等. 钻井过程中粘附卡钻成因及处理[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2013, 33(16): 190.