

# 钻具螺纹防粘扣技术及应用探讨

杨 露

中原石油工程有限公司管具公司 河南 濮阳 457331

**摘要:** 随着全球能源需求的持续增长,石油钻井技术不断向深井、超深井及复杂地质环境拓展,钻具工作条件愈发严苛。本文聚焦钻具螺纹防粘扣技术及应用展开探讨。首先分析钻具螺纹粘扣的主要危害,如影响钻具连接强度、导致钻井事故等,并剖析其核心成因,包括材料特性、表面状态等。接着阐述多种防粘扣表面处理技术,如化学镀镍磷合金处理、磷化处理等,以及连接工艺优化措施,像精准扭矩控制、螺纹对中导向优化等。最后介绍渗氮、镀锌、新型纳米复合涂层及钛合金螺纹二硫化钼涂层等防粘扣表面处理技术的现场应用情况,旨在为提高钻具螺纹性能、保障钻井作业安全提供参考。

**关键词:** 钻具螺纹;防粘扣;技术;应用

引言:在石油钻井等工程作业中,钻具作为关键装备,其螺纹连接的可靠性至关重要。然而,钻具螺纹粘扣现象时有发生,这不仅会严重影响钻具的正常使用,降低钻井效率,还可能引发严重的钻井事故,造成巨大经济损失与安全隐患。因此,钻具螺纹防粘扣技术成为行业关注的焦点。随着材料科学、表面工程等领域的不断发展,多种防粘扣技术应运而生。深入探讨这些技术的原理、应用及效果,对于优化钻具螺纹性能、提升钻井作业的安全性与稳定性具有重要的现实意义。

## 1 钻具螺纹粘扣的危害与成因分析

### 1.1 粘扣的主要危害

钻具螺纹粘扣会带来诸多严重危害。在钻井作业中,粘扣会破坏螺纹原本的紧密连接,致使钻具连接强度大幅降低。这使得钻具在承受巨大拉力、扭矩时,容易出现松动、断裂等情况,严重影响钻井进程,导致非计划停钻,增加作业成本与时间。而且,粘扣引发的钻具故障往往具有突发性,难以提前准确预测,可能引发井下复杂事故,如卡钻、井塌等,不仅损坏钻井设备,还可能造成井眼报废,给整个钻井工程带来巨大经济损失,甚至威胁到现场作业人员的生命安全。

### 1.2 粘扣的核心成因

钻具螺纹粘扣的核心成因较为复杂。从材料方面看,钻具螺纹材质的硬度、韧性不匹配,在交变应力作用下易产生微动磨损,进而引发粘扣。表面状态也是关键因素,若螺纹表面粗糙度大、存在划痕、锈蚀等缺陷,会增大摩擦阻力,促进粘扣发生。此外,连接工艺不当同样不容忽视,上扣扭矩过大或过小、螺纹对中不准确、上扣速度过快等,都会使螺纹受力不均,造成局部应力集中,最终导致螺纹粘扣,影响钻具的正常使用

与钻井作业的顺利进行<sup>[1]</sup>。

## 2 钻具螺纹防粘扣表面处理技术

### 2.1 化学镀镍磷合金处理

化学镀镍磷合金处理是借助化学催化还原反应,在钻具螺纹表面沉积镍磷合金层的工艺。它无需外加电流,依靠镀液中的还原剂将镍离子和磷元素还原并沉积在基体表面,形成均匀、致密的非晶态合金镀层。该镀层性能卓越,硬度可在400-600HV范围内通过热处理调节,能适应不同工况需求。其耐腐蚀性极佳,能抵御多种酸、碱、盐溶液的侵蚀,在恶劣环境下有效保护钻具螺纹。同时,镍磷合金镀层与基体结合力强,不易剥落。在处理过程中,需精确控制镀液成分、温度、pH值等关键参数。镀液成分的配比直接影响镀层性能,温度和pH值则影响反应速率和镀层质量。经过化学镀镍磷合金处理后的钻具螺纹,表面光滑度提升,摩擦系数降低,可显著减少粘扣现象,增强螺纹连接的可靠性和稳定性,延长钻具使用寿命。

### 2.2 磷化处理

磷化处理是通过化学反应在钻具螺纹表面生成一层磷酸盐化学转化膜的技术。这层转化膜呈多孔结构,能储存润滑油,在螺纹连接时提供良好的润滑作用,有效降低摩擦阻力,减少粘扣风险。磷化膜还具备一定的耐腐蚀性,可保护钻具螺纹免受外界环境的侵蚀。处理时,先对螺纹表面进行严格预处理,包括除油、除锈、活化等步骤,以去除表面杂质,保证磷化膜的质量。然后将钻具螺纹浸入磷化液中,在一定温度和时间条件下进行反应。磷化液的成分和工艺参数需根据钻具材质和使用要求进行优化选择。磷化处理工艺简单、成本较低,适用于大规模的钻具螺纹防粘扣处理,能有效提高

钻具的使用性能和安全性,保障钻井作业的顺利进行。

### 2.3 硬质合金涂层喷涂

硬质合金涂层喷涂是利用高温高速气流将硬质合金粉末喷射到钻具螺纹表面,形成高硬度、高耐磨涂层的技术。常用的硬质合金材料如碳化钨(WC)、碳化钛(TiC)等,具有极高的硬度和良好的耐磨性,能显著提升钻具螺纹的抗磨损能力。在喷涂过程中,通过精确控制喷涂参数,如气流速度、粉末粒度、喷涂距离等,可获得均匀、致密的涂层。硬质合金涂层与基体结合牢固,能承受较大的载荷和冲击,适用于在恶劣工况下工作的钻具螺纹。该技术能有效减少因磨损和粘扣导致的钻具失效,提高钻具的使用寿命和作业效率。而且,可根据不同的使用需求选择合适的硬质合金材料和喷涂工艺,以满足多样化的工程要求,为钻井工程提供可靠的保障。

## 3 钻具螺纹防粘扣连接工艺优化

### 3.1 精准扭矩控制技术

精准扭矩控制技术是钻具螺纹防粘扣连接工艺优化的关键环节。扭矩大小直接影响螺纹连接的紧密程度与质量,过大易导致螺纹损伤、粘扣,过小则连接不牢固,易松动。为实现精准控制,需采用高精度的扭矩扳手或自动化扭矩控制系统。这些设备能精确设定并实时监测扭矩值,确保上扣扭矩符合设计要求。同时,结合钻具材质、规格及工况等因素,制定科学合理的扭矩标准。在操作过程中,要严格按照标准执行,避免人为因素导致的扭矩偏差。此外,定期对扭矩控制设备进行校准和维护,保证其测量精度和稳定性。通过精准扭矩控制技术,可使螺纹连接达到最佳状态,有效减少粘扣现象,提高钻具连接的可靠性和安全性,延长钻具使用寿命,降低钻井成本<sup>[2]</sup>。

### 3.2 螺纹对中导向优化

螺纹对中导向优化对于防止钻具螺纹粘扣至关重要。若螺纹在连接过程中出现偏心、歪斜等情况,会导致局部应力集中,使螺纹受力不均,从而增加粘扣的风险。优化螺纹对中导向,可从设计和操作两方面入手。在设计上,改进螺纹结构和导向装置,提高其导向精度和稳定性。例如,采用带有导向斜面的螺纹结构,使钻具在连接时能自动对中。在操作方面,使用专业的对中导向工具,如对中套、导向架等,辅助钻具准确对接。操作人员要严格按照操作规程进行操作,确保钻具在连接过程中保持平稳、对中。通过螺纹对中导向优化,可使螺纹均匀受力,减少局部磨损和粘扣,提高钻具连接的质量和效率。

### 3.3 分级上扣工艺实施

分级上扣工艺是一种有效的钻具螺纹防粘扣连接工艺。传统的一次性上扣方式,会使螺纹瞬间承受较大载荷,容易导致螺纹损伤和粘扣。而分级上扣工艺将上扣过程分为多个阶段,逐步增加扭矩,使螺纹均匀受力。在实施分级上扣工艺时,需根据钻具的规格和材质,确定合理的分级次数和每级的扭矩增量。一般先以较小的扭矩进行初步上扣,使螺纹初步咬合,然后逐步增加扭矩,直至达到设计要求的最终扭矩。每级上扣后,要检查螺纹的连接情况,确保无异常。分级上扣工艺可使螺纹在连接过程中逐渐适应载荷,减少应力集中,降低粘扣的可能性。同时,还能提高螺纹连接的密封性和可靠性,保障钻井作业的顺利进行。

## 4 防粘扣表面处理技术的现场应用

### 4.1 渗氮技术的现场应用

渗氮技术作为一种有效的钻具螺纹防粘扣表面处理技术,在钻井现场有着广泛且重要的应用。在现场作业前,需对钻具螺纹进行全面细致的预处理。先通过喷砂、打磨等方式去除螺纹表面的油污、锈迹和氧化层等杂质,保证表面清洁度,为渗氮处理创造良好条件。渗氮处理过程中,要严格控制工艺参数。根据钻具材质和使用工况,合理选择渗氮温度、时间和气体成分等。合适的温度能促使氮原子充分扩散进入金属表面,形成高硬度的氮化物层;恰当的时间可确保渗氮层厚度均匀且达到理想深度;而特定的气体成分则有助于提高渗氮效果和质量。经过渗氮处理后的钻具螺纹,表面硬度显著提高,耐磨性和抗粘扣性能大幅提升。在现场连接钻具时,能有效减少螺纹间的摩擦和磨损,降低粘扣风险。而且,渗氮层还具有一定的耐腐蚀性,可保护螺纹免受钻井液等介质的侵蚀,延长钻具使用寿命。此外,渗氮技术操作相对简便,对现场设备要求不高,易于在钻井现场推广应用,为保障钻井作业的顺利进行和钻具的安全使用提供了有力支持。

### 4.2 镀锌技术的现场应用

镀锌技术在钻具螺纹防粘扣的现场应用中发挥着独特作用。在钻井作业现场,钻具常面临复杂恶劣的环境,螺纹易出现粘扣、腐蚀等问题,影响钻井效率和安全性,而镀锌处理能有效应对这些挑战。现场应用时,首先要对钻具螺纹进行严格预处理。需采用化学清洗、机械打磨等方式,彻底清除螺纹表面的油污、铁锈和氧化皮等杂质,保证表面清洁光滑,以增强镀层与基体的结合力。镀锌工艺选择上,热镀锌和电镀锌较为常用。热镀锌是将钻具浸入熔融的锌液中,使锌均匀附着在螺

纹表面,形成的镀层较厚,防护性能强,适合在腐蚀性较强的环境使用。电镀锌则是通过电解原理在螺纹表面沉积锌层,镀层细腻均匀,能较好地控制厚度,可满足对精度要求较高的钻具需求。镀锌后的钻具螺纹,锌层作为牺牲阳极,优先被腐蚀,从而保护螺纹基体不受侵害,大大提高了耐腐蚀性。同时,锌层表面光滑,降低了螺纹连接时的摩擦系数,减少了粘扣现象的发生。在现场连接钻具时,操作更加顺畅,降低了因粘扣导致的钻具损坏和作业中断风险。而且,镀锌工艺相对成熟,成本较低,易于在钻井现场大规模推广应用,为钻井作业的稳定高效进行提供了可靠保障。

#### 4.3 新型纳米复合涂层的现场应用

在钻井作业现场,钻具螺纹面临着高应力、强腐蚀以及频繁摩擦等诸多挑战,传统涂层技术逐渐难以满足需求,而新型纳米复合涂层凭借其卓越性能,在现场应用中展现出巨大优势。新型纳米复合涂层在现场应用前,需对钻具螺纹进行精细预处理。通过喷砂、酸洗等手段,彻底清除螺纹表面的污垢、锈迹和氧化层,确保涂层能与基体紧密结合,发挥最佳性能。在涂层制备与喷涂环节,现场采用先进的喷涂设备,精确控制喷涂参数,如喷涂距离、速度和角度等,使纳米复合材料均匀覆盖在螺纹表面,形成致密、光滑的涂层。这种涂层融合了纳米粒子的特殊性能,具有极高的硬度和耐磨性,能有效抵抗钻井过程中螺纹间的强烈摩擦,显著降低磨损速率,减少粘扣现象的发生。同时,纳米复合涂层还具备优异的耐腐蚀性能,可抵御钻井液中的各种化学物质侵蚀,保护螺纹基体不受损坏。在现场连接钻具时,涂层的光滑表面降低了摩擦阻力,使上扣和卸扣操作更加轻松顺畅,提高了作业效率。此外,新型纳米复合涂层的应用还延长了钻具的使用寿命,减少了钻具更换频率,降低了钻井成本,为钻井作业的高效、安全进行提供了有力保障。

#### 4.4 钛合金螺纹的二硫化钼涂层技术

钛合金螺纹因轻质高强特性广泛应用于航空航天、石油钻探等领域,但其表面硬度较低、摩擦系数高,在复杂工况下易出现粘扣、磨损等问题。二硫化钼( $\text{MoS}_2$ )涂层技术凭借其独特的层状晶体结构,成为提

升钛合金螺纹性能的关键解决方案。(1)二硫化钼的润滑性能源于其硫-钼-硫三层结构,层间通过弱范德华力连接,受外力时易滑移形成低剪切力平面,可显著降低摩擦系数至0.03-0.05。针对钛合金基体,需采用物理气相沉积(PVD)或磁控溅射工艺,在真空环境中将高纯度二硫化钼粉末气化并沉积于螺纹表面,形成厚度2-5 $\mu\text{m}$ 的均匀涂层。该工艺可避免高温氧化,确保涂层保持本征润滑特性。(2)为增强涂层附着力,需对钛合金螺纹进行预处理:先通过喷砂提高表面粗糙度至 $\text{Ra}3.2\text{-}6.3\mu\text{m}$ ,再采用氢氟酸蚀刻形成微观凹槽结构。实验数据显示,经此处理的涂层结合强度可达40MPa以上,远超行业标准要求。此外,通过添加镍-铬过渡层或与聚四氟乙烯(PTFE)复合,可进一步提升涂层耐冲击性和耐腐蚀性。(3)在石油钻井场景中,涂覆二硫化钼的钛合金钻杆螺纹经现场测试,上扣扭矩波动降低60%,粘扣发生率从15%降至2%以下,使用寿命延长3倍以上。该技术尤其适用于高温( $\leq 400^\circ\text{C}$ )、真空或惰性气体环境,为极端工况下的螺纹连接提供了可靠润滑解决方案<sup>[1]</sup>。

#### 结束语

钻具螺纹防粘扣技术对于保障钻井作业的顺利开展意义重大。从化学镀镍磷合金、磷化处理等表面处理技术,到精准扭矩控制、分级上扣等连接工艺优化,再到渗氮、镀锌、新型纳米复合涂层及钛合金螺纹的二硫化钼涂层等多元技术的现场应用,均有效降低了钻具螺纹粘扣风险,提升了钻具使用寿命与作业效率。未来,随着材料科学与制造工艺的持续进步,防粘扣技术将朝着更高效、环保、智能化的方向发展,为石油、地质勘探等行业提供更坚实的技术支撑,推动行业迈向新的发展阶段。

#### 参考文献

- [1]何体财.石油钻具螺纹应力分析与减摩涂料的开发[J].西安科技大学,2021.154-156
- [2]韩翔.刍议当前石油钻具螺纹防粘扣技术及应用[J].企业技术开发,2022,34(26):185-186.
- [3]戈海峰.钻具螺纹磁粉探伤及缺陷分析[J].化工管理,2021(14):207.