

钻井管柱失效机理及预防措施研究

单斌

中石化华北石油工程公司五普钻井分公司

DOI: 10.12238/jpm.v5i2.6574

[摘要] 本文研究了钻井管柱失效机理及预防措施，从静载荷、动载荷和腐蚀三个方面进行了深入分析。阐述了钻井管柱失效的定义和影响，在失效机理分析部分，针对静载荷、动载荷和腐蚀分别进行了探讨，分析了其对钻井管柱的影响及导致失效的主要因素。提出了针对材料选择、设计优化和监测与维护的三项主要措施。本文可为钻井管柱失效机理及预防措施研究提供参考和借鉴。

[关键词] 钻井管柱；失效机理；预防措施

Research on the Failure Mechanism and Preventive Measures of Drilling String

Shan Bin

Sinopec North China Petroleum Engineering Company Wupu Drilling Branch

[Abstract] This article studies the failure mechanism and preventive measures of drilling string, and conducts in-depth analysis from three aspects: static load, dynamic load, and corrosion. The definition and impact of drilling string failure were elaborated. In the failure mechanism analysis section, static load, dynamic load, and corrosion were discussed respectively, and their impact on drilling string and the main factors leading to failure were analyzed. Three main measures have been proposed for material selection, design optimization, and monitoring and maintenance. This article can provide reference and guidance for the study of the failure mechanism and preventive measures of drilling string.

[Key words] Failure mechanism and preventive measures of drilling string

随着全球能源需求的不断增长，油气勘探和开发活动日益频繁。在这一过程中，油气钻井作为一项关键的工程活动，对钻井管柱的稳定性和安全性提出了严格的要求。钻井管柱作为连接井口和井底的关键部件，承担着支撑钻头、输送钻井液和承受地层压力等重要任务。然而，由于复杂的地层条件、高强度的工作环境以及不断进步的技术要求，钻井管柱在实际作业中经常面临着各种失效风险。钻井管柱失效不仅会导致生产延误和成本增加，更可能引发严重的安全事故，甚至危及生命和财产安全。据统计，钻井作业中约有60%的事故是由于钻井管柱失效引起的。这些失效不仅包括了静载荷、动载荷和腐蚀等常见因素所导致的失效，还包括了由于材料选择不当、设计缺

陷以及监测与维护不到位所引发的失效。因此，深入研究钻井管柱失效的机理及预防措施，对于提高油气钻井作业的安全性、稳定性和效率具有重要意义。针对不同失效机理和作业环境，采取合适的预防措施，可以有效降低钻井管柱失效的风险，保障钻井作业的顺利进行。因此，本文旨在深入分析钻井管柱失效的机理，探讨有效的预防措施，为钻井行业提供可靠的技术支持和指导。

1. 钻井管柱失效概述

钻井管柱作为油气钻井中至关重要的组成部分，其失效可能导致严重的后果。失效可被定义为钻井管柱无法满足其设计功能或无法承受所受到的外部力量而发生破坏或失效的情况。

这种失效不仅会直接影响到钻井作业的进行，还可能导致生产延误、环境污染以及人员伤亡等严重后果。钻井管柱失效可能由多种因素引起，包括但不限于静载荷、动载荷和腐蚀等。其中，静载荷主要包括钻井液的重力、地层压力等因素，动载荷则涵盖了钻井操作中的振动、冲击等动态载荷。腐蚀则可能由环境介质中的化学物质或电化学反应引起。因此，钻井管柱失效不仅会影响到钻井作业的顺利进行，还可能造成严重的安全事故和经济损失，因此对其失效机理进行深入研究并采取有效的预防措施显得尤为重要。

2. 失效机理分析

2.1 静载荷失效机理

静载荷是指钻井管柱在钻井过程中承受的持续静态负荷，其对钻井管柱的影响不容忽视。首先，静载荷会对钻井管柱施加持续的压力，使得管柱内部产生应力和变形。这种持续的静态负荷会导致管柱材料的本构关系发生变化，进而影响到管柱的强度和刚度。其次，静载荷还可能导致管柱产生塑性变形或者局部塑性失稳，进而引发管柱的屈曲或破坏。引起静载荷失效的主要因素包括钻井液的密度、井深、井斜等钻井参数，以及地层的性质、压力等因素。不同的钻井条件和地质条件都会对静载荷的大小和作用方式产生影响，因此，在设计和操作钻井管柱时，必须充分考虑静载荷的影响，采取合适的措施以预防静载荷失效的发生。

2.2 动载荷失效机理

动载荷对钻井管柱的影响是油气钻井中一个重要的考虑因素。首先，动载荷包括了钻井操作中的振动、冲击、旋转等动态载荷，这些载荷会给钻井管柱带来周期性的应力变化和变形，加剧管柱的疲劳损伤。其次，动载荷还可能导致管柱产生共振现象，当共振频率与管柱自振频率相近时，会引发管柱的共振失稳，造成破坏。除此之外，动载荷还可能使得管柱与井壁之间的摩擦增大，增加管柱受力，并可能导致管柱卡钻或打滑等问题，影响钻井作业的进行。引起动载荷失效的主要因素包括钻头旋转速度、钻井液的流动速度、井斜角度等钻井操作参数，以及地层的地质特征和井筒状况等因素。因此，在钻井作业中，必须充分考虑动载荷对钻井管柱的影响，采取有效的措施以减轻动载荷带来的不利影响，确保钻井作业的安全和顺利进行。

2.3 腐蚀失效机理

2.3.1 腐蚀对钻井管柱的影响

腐蚀对钻井管柱的影响是油气钻井作业中需要特别关注的问题。首先，腐蚀会引起钻井管柱表面或内部的蚀坏、凹坑以及腐蚀孔等缺陷，降低了管柱的强度和耐久性。这些缺陷会削弱管柱的结构完整性，使得管柱在受到外部载荷作用时更容易出现裂纹和断裂，从而严重影响到钻井作业的安全性和持续性。其次，腐蚀还可能导致管柱的截面减小，增加了管柱内部应力的集中程度，进一步提高了管柱发生腐蚀疲劳破坏的风险。此外，腐蚀还可能导致管柱表面粗糙度增加，增大了管柱与井壁之间的摩擦力，从而增加了管柱卡钻或打滑等问题的发生几率，进一步影响了钻井作业的顺利进行。因此，针对腐蚀对钻井管柱的这些不利影响，必须采取有效的防腐措施，以确保钻井管柱的安全性和稳定性。

2.3.2 导致腐蚀失效的主要原因

导致腐蚀失效的主要原因多种多样。首先，环境介质中的化学物质是导致腐蚀的主要因素之一。例如，含盐度高的钻井液、地层中的酸性介质等都可能对钻井管柱产生腐蚀作用。这些化学物质与管柱材料接触后，会引发腐蚀反应，进而导致管柱表面或内部产生蚀坏、凹坑等缺陷，降低了管柱的强度和耐久性。其次，操作过程中的温度和压力变化也是导致腐蚀的重要因素。在高温高压环境下，腐蚀速率会显著增加，加剧了管柱的腐蚀程度和失效风险。此外，管道表面的机械损伤、电化学反应以及微生物腐蚀等因素也可能加速腐蚀的发生和发展。例如，管柱在运输、安装和使用过程中可能受到外力撞击或摩擦，导致表面保护层破损，从而暴露于腐蚀介质中。因此，在设计和运营钻井管柱时，必须综合考虑以上因素，采取有效的防腐措施，如选择耐腐蚀材料、加强表面保护、控制环境介质成分等，以预防和减缓腐蚀的发生，确保钻井作业的安全和稳定进行。

3. 预防措施

3.1 材料选择

材料选择是预防钻井管柱失效的关键步骤之一，其重要性不言而喻。首先，选择适当的材料可以保证钻井管柱具有足够的强度和耐腐蚀性，能够承受钻井作业中的各种外部载荷和环境影响，从而降低管柱失效的风险。其次，合适的材料选择可

以延长钻井管柱的使用寿命,降低维护成本,提高钻井作业的效率和经济性。

针对不同的工况,可以提出以下材料选择建议:对于常规的钻井作业,可以选择高强度的碳钢作为钻井管柱材料,其强度高、成本低、易于加工和维修,适用于大多数的钻井环境。对于高温高压的钻井作业,建议选用耐高温合金钢或者镍基合金,具有良好的耐热性和抗腐蚀性,能够承受极端环境下的高温 and 压力,确保管柱的稳定性和安全性。对于容易受到腐蚀影响的井段,如含高盐度或酸性的井段,建议选择耐腐蚀的不锈钢或耐酸合金钢作为材料,以提高管柱的耐腐蚀性能,延长使用寿命。

3.2 设计优化

设计优化是预防钻井管柱失效的关键措施之一,通过对管柱结构和参数进行优化,可以减少失效风险并提高其稳定性和安全性。首先,针对静载荷失效,可以优化管柱的截面形状和尺寸,使其能够承受更大的静态载荷。例如,增加管柱的壁厚、加强关键部位的支撑结构等方式可以提高管柱的抗压性能,减少由静载荷引起的屈曲和破坏。其次,对于动载荷失效,可以采用减振器、防振材料等技术来减少动态载荷对管柱的影响。例如,通过在管柱上安装减振器,可以有效减少管柱受到的振动和冲击,降低管柱的疲劳损伤和共振失稳的风险。另外,引入新技术和改进设计方法也是优化钻井管柱设计的重要途径。例如,采用有限元分析、计算流体力学等先进技术,可以更准确地预测管柱在不同工况下的受力和变形情况,为设计优化提供科学依据。此外,借鉴其他行业的经验和先进技术,如航空航天、汽车等领域的轻量化设计、材料强化技术等,也可以为钻井管柱的设计优化提供新思路和方法。

3.3 监测与维护

监测与维护在预防钻井管柱失效中扮演着至关重要的角色。首先,通过定期监测钻井管柱的状态和性能,可以及时发现潜在的问题和隐患,防止失效事故的发生。监测可以包括对管柱的外观检查、尺寸测量、超声波检测等方法,以全面了解管柱的健康状况。其次,及时的维护和保养可以延长钻井管柱的使用寿命,减少失效的风险。维护包括对管柱的清洁、润滑、修复和更换等操作,可以有效消除管柱表面的腐蚀、磨损和疲

劳损伤,提高管柱的耐用性和稳定性。

为了确保监测与维护工作的有效进行,可以采取以下策略。首先,建立健全的监测体系和标准化的维护程序,明确监测的频率和方法,确保监测数据的准确性和可靠性。其次,借助先进的技术手段,如传感器、无损检测设备等,实现对管柱状态的实时监测和远程诊断,及时发现并处理问题。另外,加强对操作人员的培训和技能提升,提高其对管柱监测和维护工作的专业水平和责任意识,确保监测与维护工作的有效执行。此外,建立健全的信息管理系统,对监测数据和维护记录进行及时整理和分析,为管柱的长期运行提供科学依据和决策支持。

4. 结语

本文通过概述钻井管柱失效的定义和影响,以及静载荷、动载荷和腐蚀等失效机理的分析,深入剖析了导致钻井管柱失效的主要因素。接着,针对失效预防提出了三项关键措施:材料选择、设计优化和监测与维护。在材料选择方面,强调选择适当材料的重要性,并提出了针对不同工况的材料选择建议。在设计优化方面,探讨了如何优化钻井管柱的设计以减少失效风险,引入了新技术或改进设计方法。最后,在监测与维护方面,强调了监测和维护在预防失效中的重要性,并提出了有效的监测和维护策略。未来钻井管柱失效预防领域仍有许多挑战和发展机遇。首先,随着油气勘探和开发活动的不断深入和复杂化,对钻井管柱的安全性、稳定性和可靠性提出了更高的要求,需要不断改进和创新预防措施。其次,新材料、新技术的不断涌现为钻井管柱失效预防提供了新的思路和方法,如智能材料、数字化监测技术等,有望进一步提高管柱的性能和可靠性。另外,加强国际合作和经验交流,共同研究解决钻井管柱失效领域的关键技术和难题,推动行业技术水平的提升和进步,为油气勘探和开发提供更好的支持和保障。

[参考文献]

- [1]大位移井钻井延伸极限研究与工程设计方法[J]. 高德利;黄文君;李鑫.石油钻探技术,2019(03)
- [2]摩阻与扭矩分析在水平井钻井设计中的运用[J]. 王植锐.钻采工艺,2022(06)