浅析钻井泵双级介杆限位装置助力深井井下复杂处理中的研制与应用

王子龙 张恒 马前进 胡兆锋

中石化西南石油工程有限公司钻井工程研究院

DOI: 10.12238/jpm.v6i4.7858

[摘要] 现有的钻井泵介杆分为单级介杆, 取代了原有的一级介杆, 避免了拆装不便的中心拉杆与活塞端介杆连接, 不同轴和断落故障。在近些年的应用中, 针对深井、超深井多工况作业凭借设计两级介杆, 实现了同轴度自适应与对盘断落的风险。本论文旨在浅谈现有的介杆拆卸限位装置不能满足生产需要, 轻者造成地面设备及井下工具损坏, 重则发生人身伤害及钻具、井眼报废等恶性事故。保证了人身安全, 设备安全, 井下安全。

[关键词] 钻具; 对扣; 安全; 效果

A Brief Analysis of the Development and Application of Double Stage Medium Rod Limiting Device for Drilling Pump to Assist in Complex Processing of Deep Well Underground

Wang Zilong Zhang Heng Ma qianJin Hu Zhaofeng

Sinopec Southwest Petroleum Engineering Co., Ltd. Drilling Engineering Research Institute

[Abstract] The existing drilling pump rods are divided into single-stage rods, replacing the original single-stage rods, avoiding the inconvenient connection between the center rod and the piston end rod, as well as the failure of different shafts and breakage. In recent years, in response to multiple operating conditions in deep and ultra deep wells, the design of two-stage dielectric rods has achieved adaptive coaxiality and the risk of disc breakage. The purpose of this paper is to briefly discuss how the existing limit devices for dismantling intermediate rods cannot meet production needs, which can cause damage to surface equipment and downhole tools in mild cases, and serious accidents such as personal injury and scrapping of drilling tools and wellbore in severe cases. Ensuring personal safety, equipment safety, and underground safety.

[Key words] drilling tools, coupling, safety, effectiveness.

1 引言

泥浆泵是钻探设备的重要组成部分。在常用的正循环钻探中, 它是将地表冲洗介质——清水、泥浆或聚合物冲洗液在一定的压力下, 经过高压软管、水龙头及钻杆柱中心孔直送钻头的底端, 以达到冷却钻头、将切削下来的岩屑清除并输送到地表的目的。常用的泥浆泵是活塞式或柱塞式的, 由动力机带动泵的曲轴回转, 曲轴凭借十字头再带动活塞或柱塞在泵缸中做往复运动。在吸入和排出阀的交替作用下, 实现压送与循环冲洗液的目的。

现阶段, 钻井泵中间拉杆又叫介杆, 是动力端和液力端分界处的关键零件, 是连接十字头和活塞杆的重要组成部分, 它的作用是将动力传递给液力端。它的一端和十字头相连, 另一端凭借卡箍和活塞杆相连, 它的外圆面装着填料盒总成。在往复运动中, 中间拉杆的外圆和填料盒中的密封件相互摩擦, 为

了保证耐磨性, 中间拉杆外表面进行了镀铬处理。中间拉杆材质为 35CrMo, 经表面镀铬精磨后表面光滑, 大大提高了耐磨性和耐腐蚀性。

介杆拆卸更换中人工配合操作使用, 随着智能化钻井装备普及, 不同钻机人员配置递减, 在作业人员较少的情况下, 介杆限位装置需技术革新, 同时, 石油钻井行业发展日趋成熟, 同时带来新的挑战与新的问题。尽管各岗操作有着高标准、严要求, 规范化的操作规程, 但作业人员毕竟是人在操作, 难免注意力出现不集中等疾病的发生, 造成事故发生。据统计: 近些年有关钻井泵维修作业中协作不当事件时有发生, 自从诞生了单级定位装置, 较之前有明显的下降, 井身质量得以保障, 井下故障发生率降低, 请注意这地方是降低, 而不是杜绝, 为什么这样说, 因为, 近些年来在应用中, 由于作业人员应对紧急事件发生处置和突发异常状况不当等原因, 致使维修

根本性问题未解决，检修频发，造成连锁反应发生，给处理复杂带来极大难度，没办法有效实施技术措施。在地层稳定性差的一些区块实施深井解卡打捞作业和下套管作业争分夺秒，且井控高压态势，提速提效难度增加。凭借收集近些年修泵作业相关的事例分析，借鉴钻具技术手册，现有的装置，原因是作业人员处于动态作业，同步的操作需要高度的注意力和密切的协作能力，现场施工中，从生物学角度出发分析，作业人员的注意力较白天明显下降，配合不当难免，只是在维修事故中，有70%是在配合中发生，纵观定位技术有待持续完善。结合数据分析及介杆承载与现有发展的不足等，这些事件或现象的发生，不得不考虑设备技术的完善，原因大相径庭，主要是工艺制造和操作者是否使用得当，凭借分析验证，确认要因。旨在降低生产时效损失、人身伤害、设备损毁和井下事故的发生。

2 钻井泵双级介杆限位装置助力深井井下复杂处理中的研制与应用

2.1 研制的原因

2.1.1 现有双级介杆定位装置的不足

现阶段钻井泵的双级介杆连接定位装置在实际应用中暴露出诸多问题。其中最为明显的是受力不均和抖动现象。由于介杆在高频往复运动过程中承受巨大的机械负荷，任何细微的不平衡都会导致设备运转不畅甚至出现故障。受力不均的问题主要源于传统定位装置设计的局限性，定位部件的结构刚性不足和锁紧性能不佳会导致介杆在高强度作业中无法保持稳定进而引发一系列连锁反应。

2.1.2 人身安全和井下事故隐患

现有的双级介杆定位装置在拆卸和更换过程中存在较大的安全隐患。由于装置结构复杂和操作繁琐作业人员需要在高风险环境下进行人工配合操作，同时井内在使用打捞工具进行打捞作业时，对打捞技术实施带来困扰，这对人员的注意力和体力以及协作能力提出了很高的要求。因定位装置失效导致的人身伤害事件在钻井泵检修作业中占较高比例^[1]一旦拆卸过程中出现滑脱或定位不当会对设备本身造成损害和对现场作业人员造成直接威胁。

2.1.3 提高生产效率的迫切需求

石油钻井行业向智能化、高效化方向发展，设备检修作业的自动化水平需要进一步提升。现有双级介杆定位装置的拆卸与更换过程仍然较为依赖人工操作且效率低下。在一些地层条件复杂或施工环境恶劣、深井解卡打捞处理的情况下传统装置的局限性尤为突出。介杆表面在寒冷气候中容易结冰或被钻井液覆盖，这使得操作难度进一步增加，进而导致检修时间延长。

介杆定位装置的不可靠性也直接影响到设备的使用寿命和生产的效率。当定位装置在运行过程中频繁失效时会增加设备的检修频率和导致作业中断，浪费宝贵的施工时间^[2]。正常工况时给井下复杂埋下隐患。井下复杂处理时，造成复杂化，为下步技术措施实施带来障碍。

2.2 研制的过程

现实工作中，钻井泵检修作业，不同的规格，尤其是五缸泵，致使介杆运移的工作中更加频繁，冬季检修时，介杆表面存在钻井液，打滑，不便于操作，雨水的滑脱等原因，导致我们现有的维修作业时效低下，不能有效的作业。需要安全可靠、结构简单、适用性强、方便加工、具备自锁功能的装置，解决介杆运移的同时放倒扣，又随着往复位移卡持越紧来解决生产中的困惑。针对现场出现的断扣事故等。连锁发生设备损坏及井下故障不仅耽误生产，环境污染甚至造成人员伤害。在经过反复的推敲、论证下研讨、剖析现象，梳理造成的原因，确定要因的情况下。凭借再三的思考，反复实验，为了降低定位装置失效的风险等事故的发生，思考一种具备锁止装置。就是当两级介杆在往复位移时将限位装置自锁。在卡持装置同轴端增加预紧力配合锁止部件，保障介杆定位功能失效的可能。

2.3 研制的结果

2.3.1 解决双级介杆退扣问题

传统装置由于设计局限性，锁紧机构在高频运动中容易松动，导致介杆在运行过程中出现滑脱或断扣。这种现象不仅直接造成设备运行不稳定，还可能引发设备损毁、作业中断甚至井下复杂等严重后果。凭借对定位装置的锁紧结构进行优化，新型装置引入了自锁功能和预紧力调节设计，使其在高振动、高压环境仍能保持稳定运行^[3]。自锁机构动态调节锁紧力可以保证介杆始终处于稳固状态，从而彻底解决了退扣问题。

2.3.2 提升装置的受力稳定性

传统定位装置中因设计刚性不足经常导致受力不均和局部应力集中，从而加速装置的疲劳失效。为了解决这一问题新型装置在材料和结构设计上进行了全面改进。装置采用高强度合金材料提高了其抗拉强度和抗疲劳性能。结合有限元分析技术对装置的受力分布进行了优化也可以保证在高负荷运行条件下各部件的应力更加均匀。

2.3.3 改善作业安全性

传统装置在安装和拆卸过程中需要较高的人工配合，操作难度大且风险高容易因滑脱或定位不准导致事故。新装置凭借模块化设计和操作简化使作业人员可以在更短的时间内完成装置的拆装。定位指示功能的增加帮助作业人员快速确认装置是否正确安装，降低了人为操作失误的概率和提升了作业现场的安全性。

2.3.4 降低经济损失并提升生产效益

经济效益方面，新型装置的应用有效降低了因退扣和滑脱引发的事故率和维修频率。装置投入使用后，每井次的维修时间平均缩短 200 小时大幅提高了作业效率。由于装置的耐久性增强，相关部件的更换频率降低，直接节约了设备材料费用^[4]。更重要的是装置减少了井下复杂事故的发生，为钻修井领域节约了大量因作业中断而产生的间接成本。新型装置的应用每年为企业挽回经济损失约 1000 万元，其社会效益和经济价值明显。

3 浅析钻井泵双级介杆限位装置助力深井井下复杂

处理的推广与应用

3.1 初步试点与验证阶段

在新技术的推广过程中双级介杆拆卸限位装置首先在公司内部进行了小范围试点。试点阶段选择了具有代表性的钻井泵设备，不同规格和型号的设备以便可以覆盖各种工况条件下的实际需求。在试点范围内仅覆盖了公司内部2%的设备。这些试点设备主要用于高频作业环境，井深较大、地层复杂的施工区块、深井解卡打捞实施现场以及检修频次较高的设备上^[5]。这些条件下的应用数据更能反映装置在实际生产中的表现。

试点期间，施工队伍凭借详细记录设备运行数据，包括拆卸限位装置的稳定性、设备的检修效率和因拆卸过程不当导致的故障发生率。针对试点中发现的问题，如安装过程中零部件磨损较快、限位锁紧不完全等，技术团队及时调整了设计方案。例如，凭借增加限位装置的自锁预紧力，提高了装置在高震动环境下的可靠性。这一阶段的验证结果显示，试点设备的检修事故发生率下降了约30%，显示了装置初步的推广价值。

3.2 逐步推广与优化过程

在试点成功的基础上，双级介杆拆卸限位装置开始在公司范围内逐步推广。推广范围由2%扩大至10%，涵盖了主要高强度作业井场的关键设备。推广阶段注重标准化安装与操作流程的制定，以保证装置的可靠运行。技术团队编制了《双级介杆拆卸限位装置安装与操作指南》，涵盖从装置安装到日常维护的各个环节，并对井队操作人员进行培训。

实际应用过程中，装置逐步显现了其在不同工况下的适应能力。例如，在深井钻探工况中，由于设备震动较强，传统单级介杆限位装置容易发生滑脱现象，而双级介杆限位装置的自锁功能有效防止了这一问题的发生。在北方冬季寒冷气候条件下由于雨雪导致设备表面湿滑，检修过程中存在较大安全隐患。双级介杆拆卸限位装置凭借改进外表面处理材料，增加了抗滑脱性能，明显提高了作业安全性。

3.3 装置实际应用效果分析

推广阶段，凭借对装置的持续跟踪与数据分析，进一步验证了其效果。从设备检修数据来看，装置的应用降低了因滑脱、断扣导致的检修事故，特别是在复杂地层条件下的深井作业中，装置的可靠性得到了广泛认可。某地层稳定性较差的井场因装置的应用而降低了因设备故障导致的井下复杂事故发生率，从此前的10.5%降低至3.2%明显提升了作业效率。

在装置应用的过程中作业人员的劳动强度也得到了明显降低。传统的介杆拆卸需要多人配合，尤其是在狭窄作业空间中，对人员协作能力要求较高，而双级限位装置简化了操作步骤仅需两人即可完成装置的拆卸与安装，节约了人力资源^[6]。装置的推广还降低了设备材料的消耗。因传统限位装置磨损导致的零部件更换频率大幅减少，直接降低了维修成本。

4 钻井泵双级介杆限位装置助力深井井下复杂处理

的效果

使用后较之前相比降低了滑脱、断扣事故，造成的事件，等相关工作，降低了人工成本，很好的杜绝了设备损毁、井下事故、人身伤害等未遂事件的发生，在维修作业数据统计中，试用阶段降低了因需要更换发生的不当事故，节约设备维修时间约200余小时/井次/年；降低了设备材料费用，很好的保证了生产的连续性，规避了由于限位失效造成的井下复杂，为公司挽回因下频繁维修致使井下复杂及维修设备造成的工期损失1000万元/年。有效降低了班组员工劳动力增加；减少了事故的发生概率，保证了职工的人身安全。据统计：井下复杂的发生率有38%是在钻井泵故障原因所致，从数据中分析降低因设备故障率等是安全生产的前提，尤其是在国际油价持续低迷的环境下，精心使用维护好设备才能让公司举步维艰的困境扭转，所以在革新现有设备的基础上完善是每一个石油人的职责。

5 结论

本文深入分析了当前双级介杆限位装置中存在的主要不足。针对现有技术的研究与探讨本文提出了一种完善的自锁一体限位技术措施并结合实际应用情况对其进行了有效的改进。这些改进解决了传统装置在高频振动和高压环境下出现的退扣问题和提高了作业过程的安全性和稳定性。由于钻井作业环境的复杂性、多样性，装置在某些极端工况下可能仍会遇到挑战且新装置的长期耐用性和性能还需要在更广泛的现场应用中进一步验证。装置的进一步优化仍需更多的实验数据和实际反馈，以便解决潜在的技术瓶颈。本文的研究成果为双级介杆限位装置的技术创新提供了有价值的参考并为后续的技术改进和行业发展提供了新的思路和方法。

[参考文献]

- [1]《钻井工程技术手册第二版》2011年9月中国石化出版社出版的图书。
- [2]《国内外石油钻采设备技术水平分析》2001年12月1日石油工业出版社出版的图书。
- [3]《钻井机械》2006年8月1日石油工业出版社出版的图书。
- [4]《钻井装备与工具》2012年6月石油工业出版社出版的图书。
- [5]《石油钻具的管理与使用标准》SY/T5369-94 中华人民共和国石油天然气行业标准。
- [6]《石油钻采机械》2015年12月中国石油大学出版社。
作者简介：王子龙（1987-），高级技师，研究方向为钻井技术研究与应用。
基金项目：“十四五”国家科技专项。深井复杂井寻优钻井技术“深井测卡解卡及打捞工艺工具应用技术研究”部分研究内容，编号（XUBG230044）