

# 油气井套管滑套技术的发展综述

潘 标 乔 勋

西京学院机械工程学院 陕西西安 710123

**摘 要:** 套管滑套是油气井水平井分段压裂的重要设备,其主要作用是封闭井口、控制井压、防止井喷和支撑钻柱。套管滑套通常由滑套本体、套管连接部分、密封装置以及控制装置等几部分组成。随着工业技术的进步,油气开采设备逐步向高效率、高可靠性与智能化方向发展,也对油气井设备提出了更高的要求。本文主要对油气井套管滑套技术现状、进展、存在的问题及解决方案等进行研究与讨论,对智能化技术在套管滑套中的应用进行重点的分析,最后对套管滑套技术未来发展趋势进行了展望。

**关键词:** 油气井; 套管滑套; 智能化

## 引言

随着工业技术与油气开采与智能化设备的发展,对油气井设备提出了更高的要求,

科技的不断进步,井下滑套的研究和开发也取得了显著的进展。在智能技术的飞速发展以及智能技术与机械的融合下,使得智能滑套成为必然。本文旨在主要综述井下套管滑套的研究现状和未来发展趋势。

### 1. 井下滑套技术现状

井下滑套工具技术可以分为传统手动式和现代自式动两大类。在过去,手动式滑套是主流,操作人员需要亲自到现场进行操作。然而,随着自动化技术的应用,自动式滑套逐渐成为主流。自动式滑套通过传感器和控制系统实现,可以实现远程控制和精确操作。这种方式不仅提高了工作效率,还减少了操作人员的风险。

手动式滑套目前依然应用不少,因其结构简单,操作便捷,成本低廉,在目前的市场上仍然占有一定地位。其最具代表性的就是投球式压裂滑套,其操作最简单,运用最广。如图 1-1 所示,实施常规固井后,<sup>[1]</sup>投入尺寸由小到大的憋压球,当憋压球到达滑套位置时与滑套内的球座形成密封,实现憋压,压力达到一定值时剪断剪钉,打开泄流孔为压裂液提供过流通道。<sup>[2]</sup>其优点为施工周期短、施工难度较低。但缺点也明显,投球式完井管柱中接入的滑套只能依憋压球的规格按从小到大的原则进行顺序操作,不能实现无级差压裂,并且因憋压球的尺寸限制,套管滑套的尺寸受到很大的约束。目前国内有人提出利用机械结构限位计数实现压裂滑

套不限级设计。其中弹性球笼、弹性卡爪、可收缩球座、投入式球座等弹性结构是实现压裂滑套不限级设计的关键结构,内涵是将压裂滑套分级设计的空间维度转变到轴向或周向上,并且主要是利用齿槽、键槽等特征结构的尺寸变化、数量变化以及尺寸和数量组合编码来实现滑套的不限级压裂。但是,过大或过快的特征结构几何尺寸变化可能严重影响开启工具在管柱内的通过性,并影响开启工具与滑套的有效匹配,因此合理的尺寸级差设置显得尤为重要。



图 1-1 投球式压裂滑套

目前,自动打开方式主要有液压和电动两种。液压打开方式通过液压系统提供的压力来实现滑套的打开。这种方式具有操作简单、可靠性高的特点。电动打开方式则通过电动机提供的动力来驱动滑套的打开。这种方式具有响应速度快、精度高的特点。两种方式各有优势,根据实际需求进行选择。

机械液压式的套管滑套,如图 1-1 所示。<sup>[3]</sup>通常滑套与

套管连接并一趟下入井内，实施常规固井后，通过油管或连续管下入开关工具，在油管内加压，开关工具锁块外突，与滑套台肩配合，上提管柱，将滑套泄流孔打开，进行压裂施工。其优点为压裂级数不受限制、管柱内全通畅、无需钻除作业，控制精度大，但是需要繁琐的对井下开关工具进行起下操作，导致施工的周期比较长，施工难度大。

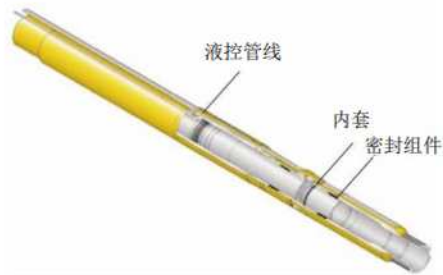


图 1-2 液压式套管滑套

电控式滑套一般由滑套本体、电机、编码器、控制器、传动装置、限位开关以及电源组成，它通过控制电流和电压来实现滑套的位置、速度和力的控制，信号传输速度快，响应速度较快，可以实现更快的滑套运动。但其相对于液控滑套结构复杂，在空间狭小的井下环境中，结构限制约束大。但在过小的井壁中，一方面需要达到足够打开滑套的力，一方面自身结构零件小，使得加工以及力的传输效率低。

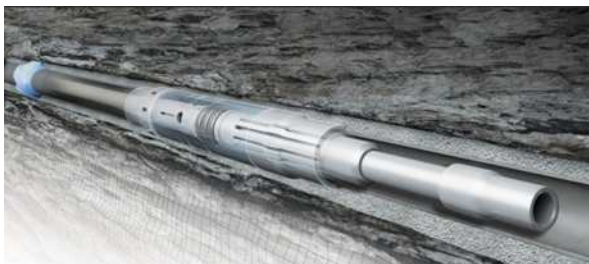


图 1-3 电控式套管滑套

而作为现代智能技术的产儿，智能滑套则是在液控和电控的技术上<sup>[4]</sup>通过传感器和控制系统的相互配合从而实现实时监测和采集数据，包括井下的温度、湿度、油气浓度等参数，并根据这些参数进行自动控制。其功能可综合为感知、分析和控制三个步骤。

智能滑套的感知功能通过传感器感知井下环境的各种参数。传感器可以是温度传感器、湿度传感器、气体传感器等，它们能够实时采集环境数据并传输给控制系统。其优势

包括：

(1) 提供实时的滑套运行状态信息，帮助工作人员及时发现和解决问题，提高生产效率和安全性。

(2) 可以预测滑套的故障和异常，提前采取维修措施，避免生产中断和设备损坏。

(3) 可以提供滑套的历史数据和趋势分析，为设备维护和优化提供参考依据。

(4) 可以远程监控和控制滑套的运行，减少人工干预和操作风险。

<sup>[5]</sup>智能滑套的分析功能通过使用传感器和数据分析技术，对井下滑套的运行数据进行分析 and 评估，以获取有关滑套性能和健康状态的信息。

(1) 异常检测：通过监测滑套运行数据，如压力、温度、振动等，检测到滑套是否存在异常情况，如过高温、异常振动等。这些异常情况可能表明滑套存在故障或潜在问题。

(2) 故障诊断：通过对滑套运行数据的分析，可以识别出滑套存在的故障类型和原因。例如，通过分析压力数据，可以确定是否存在密封失效或阀门故障等问题。

(3) 运行状态评估：通过对滑套运行数据的综合分析，可以评估滑套的运行状态和性能。例如，可以分析滑套的位置、速度和压力等参数，判断滑套是否正常工作，是否需要维护或更换。

(4) 预测性维护：通过对滑套运行数据的长期分析和趋势预测，可以预测滑套的寿命和维护需求，提前采取维护措施，避免设备故障和生产中断。

<sup>[6]</sup>智能滑套的自动化控制功能通过控制系统接收传感器传输的数据，并进行实时分析。通过对数据的处理和算法的运算，控制系统能够判断井下环境的状态，如是否存在危险因素或异常情况。并可以进行如下的操作：

(1) 远程控制：通过控制系统，实现对滑套的远程控制。工作人员可以通过监控中心远程调节滑套的位置、速度、压力等参数，以适应不同的工况要求。这种远程控制功能可以提高工作人员的安全性，减少人工操作的风险。

(2) 自动化控制：<sup>[7]</sup>通过使用控制算法和逻辑，实现对滑套的自动化控制。根据预设的工作要求和条件，控制系统可以自动调节滑套的运行参数，以实现更高效的油井生产和操作。例如，在油井生产过程中，控制系统可以自动调节滑套的位置和速度，以保持油井的稳定生产。

(3) 故障保护: 控制系统可以通过监测滑套运行数据, 实时检测到滑套的故障或异常情况并采取相应保护措施, 如自动停止滑套运行, 避免进一步损坏设备或引发安全事故。

## 2. 井下滑套技术的未来展望

<sup>[8]</sup> 井下智能滑套是一种能够实时监测和控制油井生产过程的装置, 其发展趋势对于提高油井生产效率和降低成本具有重要意义。

首先, 井下智能滑套的发展趋势之一是更高的自动化水平。<sup>[9]</sup> 随着人工智能和物联网技术的不断进步, 井下智能滑套将能够实现更加智能化的操作和控制。通过传感器和数据分析技术, 井下智能滑套可以实时监测井口参数, 如温度、压力和流量等, 从而实现对油井生产过程的精确控制。这将大大减少人工干预的需求, 提高生产效率和安全性。

其次, 井下智能滑套的发展趋势还包括更加可靠和耐用的设计。<sup>[10]</sup> 由于井下环境的恶劣和复杂性, 井下智能滑套需要具备高度的可靠性和耐久性。未来的发展趋势将集中在材料和工艺的改进, 以提供更好的耐腐蚀和耐高温能力。此外, 井下智能滑套还需要具备自我诊断和维护功能, 以及远程监控和故障排除能力, 以确保其长期稳定运行。

第三, 井下智能滑套的发展趋势还包括与其他井下设备的集成。在现代油井生产过程中, 存在着多种不同的井下设备, 如油泵、油管 and 传感器等。将井下智能滑套与这些设备进行集成, 可以实现更加高效和协调的油井生产。通过数据共享和协同控制, 井下智能滑套可以更好地适应复杂的工作变化, 并实现更高的生产效率和资源利用率。

综上所述, 井下智能滑套作为石油工业中的关键设备, 其发展趋势将朝着更高的自动化水平、更可靠和耐用的设计、与其他井下设备的集成以及可持续的方向发展。这些趋势将为油井生产提供更高效、更安全和更可持续的解决方

案, 为石油工业的可持续发展做出重要贡献。我们对井下智能滑套的未来充满信心, 期待着在石油工业中的广泛应用。

## 参考文献

- [1] 刘景超, 王金龙, 武宇琛. 智能完井井下智能滑套位移监测系统研制 [J]. 石油机械, 2023, 51(02): 1-8. DOI: 10.16082/j.cnki.issn.1001-4578.2023.02.001.
- [2] 李瑞丰, 张亮, 刘景超等. 智能完井技术地面控制系统研究 [J]. 机械工程师, 2022(11): 136-139.
- [3] 曾明勇, 周怡君, 赵伟. 压裂滑套无限级设计方式研究现状与展望 [J]. 石油矿场机械, 2023, 52(01): 57-63.
- [4] 杨兆中, 钟鹏, 易良平等. 套管固井滑套工具现状及发展趋势 [J]. 科学技术与工程, 2023, 23(20): 8484-8492.
- [5] 王晓, 单彦魁, 刘景超等. 智能完井液控滑套开关压力设计与验证 [J]. 海洋石油, 2021, 41(04): 63-67.
- [6] 刘义刚, 张志熊, 邹明华等. 井下电控滑套研制与试验 [J]. 石油矿场机械, 2020, 49(04): 46-49.
- [7] 重成兴. 油气井用智能滑套研究. 四川省, 川南航天能源科技有限公司, 2020-11-12.
- [8] 黎伟, 夏杨, 陈曦. RFID 智能滑套设计与试验研究 [J]. 石油钻探技术, 2019, 47(06): 83-88.
- [9] 王斌, 郭岩宝, 田晓雨等. 水平井压裂装置智能趾端滑套设计 [J]. 石油矿场机械, 2021, 50(05): 52-59.
- [10] 蒋廷学, 周珺, 廖璐璐. 国内外智能压裂技术现状及发展趋势 [J]. 石油钻探技术, 2022, 50(03): 1-9.
- [11] 喻贵民, 许亮斌, 谢仁军等. 智能井井下液压控制信号传输特性研究 [J]. 石油钻探技术, 2022, 50(06): 98-106.
- [12] Wang X, Huang X, Fu Y, et al. Model Investigation on Intelligent Sliding Sleeve Downlink System Based on Pressure Waves [J]. Arabian Journal for Science and Engineering, 2021, 47(9).