

连续油管钻磨带圈闭压力的水泥塞技术应用及经济效益

杜兴沛（四川吉瑞祥能源技术服务有限责任公司，四川 成都 618000）

摘要：随着我国石油工业的快速发展，连续油管以其低成本、安全、高效、操作方便等优势，在钻井、修井、完井、油气开发等领域得到了广泛应用。随着连续油管技术的发展，与之配套的井控设备也发展迅速。连续油管闸板防喷器作为确保作业安全的核心装置，具有关闭井口、密封、悬挂和剪切的功能，为井喷、井涌等紧急情况下控制井内压力提供安全保障。

关键词：连续油管；钻磨；水泥塞技术；效益；经济评价

连续油管带压钻磨水泥塞目前已成为油气井开发过程中较为普遍的工艺，因井筒情况多样化，连续油管钻磨水泥塞易出现不同的施工风险，常见有遇卡、井筒堵塞、工具损伤等情况发生，严重时可能造成井控安全风险。分析了连续油管钻磨水泥塞施工工艺安全优化措施，钻扫水泥塞工作液应为摩阻低、高携带能力和低沉降速度的液体以及钻压控制，保证施工顺利进行。

1 连续油管技术概念

连续油管技术是石油天然气工程领域的一项开创性创新，它彻底改变了传统的油气井作业模式。这项技术的核心是采用一种特殊设计的柔性连续管道，利用盘车将其源源不断地送入井筒，形成了一个高效、灵活的作业通道。通过连续油管，各种井下作业任务，如钻磨水泥塞、清蜡、酸化等，都可以在不下套管的情况下顺利开展。与常规工艺相比，连续油管技术具有诸多显著优势：作业灵活性大幅提高，可实现动态实时控制；管道特性赋予了更强的适应性，能够应对复杂的井筒条件；作业效率显著提升，大幅缩短了作业时间和非生产时间；经济成本控制更为出色，降低了人力物力投入。

2 钻磨水泥塞风险

在应用连续油管技术进行钻磨带圈闭压力水泥塞的作业过程中，存在一些潜在的风险因素，必须引起高度重视并采取有效的控制措施。首先，井筒压力管理是一个关键环节，如果压力控制不当，就可能引发井涌或地层破裂等严重后果，危及作业安全和井筒完整性。因此，需要实时监测井筒压力变化，根据压力数据动态调整作业参数，确保压力始终在安全范围内。

其次，在钻磨水泥塞的过程中，作业参数的设计和优化至关重要。若参数设定不合理，如钻压过高、转速过快等，就容易导致连续油管和井下工具发生磨

损、变形甚至断裂，引发卡钻等复杂情况，延误作业进度。因此，需要根据井筒条件、水泥塞性质等因素，优选钻头和铣刀等工具，合理设计并实时调整钻磨参数。再者，水泥塞的质量也是一个风险点。若水泥浆配方不当、凝固时间过长、强度不足等，就难以形成高质量的水泥塞，无法有效封隔地层，可能出现窜层、串层等问题，进而影响后续完井作业。因此，必须严格控制水泥浆性能，优化注入工艺，确保水泥塞能够达到预期的封隔效果。综上所述，钻磨水泥塞是一项精细化的作业，需要对各个风险点进行系统评估和控制，通过压力管理、参数优化、质量控制等措施，才能规避风险，确保连续油管作业安全高效进行。

3 工艺优化措施

3.1 水泥浆的防腐机理

水泥浆防渗机理引入水泥浆防腐机理，只要能保证水泥浆的防渗效果，系统中添加防腐材料，保证水泥浆凝固时不会被气体腐蚀，并具有防腐性能为了检测并比较防污物污泥、纯水泥和污泥系统与防污物材料的防污物性能，根据 API 规范选用并制造普通防汽微硅污泥。水泥石以 3cm × 3cm 块成型，各块的体积和重量以及水泥石的耐压性均得到验证，并在防腐仪器中按试验温度操作，达到试验年龄后将二氧化碳压力调整为试验压力。

3.2 夯实设备生产基础

在油田作业的过程中，可能会出现危险事故，且连续油管技术作用的发挥对专业性要求较高，并要求严格遵循相关规范操作设备。凭借先进设备开展油田井下作业，可以促进整体效率的提高，为作业人员创建安全的工作环境。现阶段，我国部分石油企业为了能够缩短施工时间、减少成本、提高盈利，加强了对施工技术及其工艺的创新，但在设备制造上尚存在诸多问题，进而在实际井下作业中产生了设备短缺的情况。

3.3 工具优选

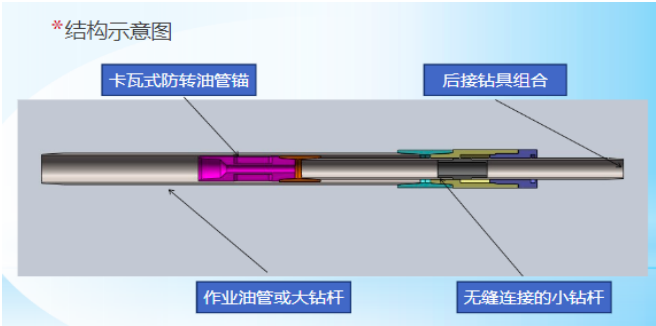


图 1 结构示意图

在连续油管钻磨带圈闭压力水泥塞的作业中，工艺优化措施至关重要，其中工具优选是一个关键环节。首先，要根据井筒条件和水泥塞性质，选择合适的钻头和铣刀。对于硬质水泥塞，可选用金刚石复合片钻头，其耐磨性强，适合钻磨高强度水泥塞；对于软质水泥塞，可选用 PDC 钻头，其钻速快，适合快速钻穿水泥塞。铣刀方面，可根据水泥塞的直径和长度，选择不同尺寸和类型的铣刀，如直筒铣刀、阶梯铣刀等，以实现最佳的铣磨效果。其次，要优选连续油管和井下工具的规格尺寸。油管内径要与钻头和铣刀的外径相匹配，以确保良好的循环和通畅的排屑能力。油管外径要与井筒内径相适应，既要避免油管与井壁摩擦过大，又要防止环空间隙过小影响循环效果。井下工具如振动器、旋转接头等，也要与油管和作业要求相匹配，既要提高钻磨效率，又要确保工具的可靠性和安全性。再者，要选用合适的钻井液体系。钻井液除了起到清洁井底、润滑钻具、平衡地层压力等基本作用外，还要满足钻磨水泥塞的特殊要求。针对不同的水泥塞性质和井筒条件，可选用水基钻井液、油基钻井液或气体钻井液等不同类型的钻井液体系，通过调整钻井液的性能参数，如密度、粘度、失水量等，来优化钻磨效果，提高作业效率。此外，还要重视辅助工具的优选，如降阻工具、磨铣鞋等，它们可以显著提升钻磨水泥塞的效率和质量。总之，工具优选是一项系统工程，需要综合考虑各种影响因素，通过优化钻头、铣刀、油管、井下工具、钻井液等关键要素，

才能实现连续油管钻磨水泥塞作业的高效、安全、优质进行。螺杆钻具组合，见螺杆钻具性能参数表 1，结构示意见图 1。

连续油管配合钻杆的结构简述：卡瓦式防转油管锚：根据选用的钻具和钻压、扭矩等，计算出需要安装弹簧条数、卡瓦片数、安装油管锚个数；保证在钻塞过程中不旋转打滑、达到合理的钻压，同时在卡钻时保护钻具组合。

无缝衔接的小钻杆：小钻杆采用无接箍的方式直连，采用特殊螺纹实现无缝对接，置于大钻杆内部，活塞杆式移动，保证与大钻杆内部不泄露。

连续油管或大钻杆：保证足够的强度，同时保护小钻杆，钻具组合：按照井的结构要求，与普通钻塞的钻具组合相同，计算好连续油管的容积，下至预计位置遇阻后必须在油管本体上打标记。

3.4 合理制定施工规划

在连续油管钻磨带圈闭压力水泥塞作业中，合理制定施工规划是工艺优化的另一项关键措施。首先，要全面收集并详细分析井筒资料，包括地层特性、压力梯度、套管尺寸等，在此基础上，优选钻磨水泥塞的位置和长度，确保封隔效果。其次，要合理设计钻磨参数，如钻压、转速、排量等，既要满足钻磨效率要求，又要避免油管和工具损坏，同时还要动态调整参数，适应井下状况变化。再者，要严格控制钻磨终点，避免过度钻磨损伤套管或油层，通常采用短接和迟到等措施，精准把控钻磨深度。此外，还要优化水泥浆注入方案，合理设计注入速度、排量和凝固时间等参数，确保水泥浆充分置换井筒内容物，形成致密均匀的水泥环，提高封隔质量。最后，要制定完善的风险防控预案，提前识别井涌、卡钻等潜在风险，制定针对性的应急措施，确保作业安全。总之，合理的施工规划是保证连续油管钻磨水泥塞作业高效、安全、优质的基础，需要系统考虑各环节的影响因素，优化设计各项参数，规避潜在风险，才能实现作业的圆满成功。

3.5 优选加重材料

为了解决高密度水泥浆流动性与矿床稳定性之间

表 1 螺杆钻具性能统计表

钻具型号	马达流量范围	马达压降 (MPa)	额定扭矩 (N.m)	最大扭矩 (N · m)	推荐钻压 (kN)	功率 (KW)	直径 (mm)	长度 (m)
5LZ60×7.0	1.26-3.13	2.5	160	280	5	2.35-6.03	60	3.3
5LZ73×7.0	1.26-5.05	3.5	275	480	12	3.5-13.82	73	3.35
5LZ89×7.0	2-7	4.1	560	980	18	5.6-19.35	89	4.67
5LZ95×7.0	4.73-11.04	3.2	950	1240	21	10.4-23.79	95	3.7

的冲突，水泥浆因粒状微锰矿而加剧。流动过程中颗粒之间的摩擦表现为滚动摩擦，这可以大大提高泥浆的流动性，因为矿粒是球形的，从而增加了颗粒密度和球形颗粒之间的摩擦系数。因此，微型锰矿加剧的高密度水泥浆的流动性和沉积稳定性有所改善，可以大大降低高密度水泥浆泵输送过程中的循环压力消耗，降低高安全密度井泄漏的风险。

4 现场应用

2023 年 12 月，某工区气田进行二次开发利用，对 6 口井连续进行连续油管钻扫水泥塞施工，累计钻磨水泥塞进尺 1755m，均采用螺杆马达 + 平底磨鞋和 PDC 钻头的方式进行，井口压力平均在 15-20MPa 下优化控制钻压 5-15kN，排量控制在 400-450L/min，通过钻塞的过程中，观察放喷口返排量和井口压力的变化，采用油嘴及针阀控压，使井口压力 + 油管内的静液柱压力略大于地层压力，二次开发重复利用井连续油管钻塞在带圈闭压力的条件下，均取得了显著的成效，有效解决了携砂效果不好、井口压力高、遇卡遇阻、井控等高风险因素，同时，该工艺技术在现场投产运用极大的缩短了钻塞作业施工周期，提高了生产时效，降低了作业成本，保障了某工区气田的生产投产和高效的开发利用，为老井焕发二次青春活力。

5 优化后油田经济效益

通过多口井钻扫带圈闭压力的水泥塞技术对工艺不断优化、异常处置和总结，对油田带来的经济效益也是不可估量的，实现了油气产量和新增产能的意义，其中油田企业投资的发展重要目的是面对市场经济的挑战，水泥塞的顺利施工，在一定周期内实现批量次的工作量才有一定的利润，才能为单位注入新鲜的动力和血液。经济效益中要考虑包括 16 个项目：材料费、燃料费、动力费、生产工人工资、职工福利、驱油物注入费、井下作业费、钻塞费、维护及修理费、设备摊销费、车辆费、油气处理费、运输费、其他直接费、制造费用、折旧费。按照连续油管钻磨水泥塞技术的评价原则和方法，首先要遵循国家颁布的相关经济法规及石油行业关于建设项目的规定；其次以地质为基础，在油气藏工程、采油气工程、地面工程等按照甲方出具的工程方案，施工单位编写的施工设计为依据进行每个工序的计算。

新区开发方案经济评价以动态评价方法为主，静态评价方法为辅；老区调整方案采用增量法进行评价，用方法调整前后费用及效益的增量数据评价。

总投资收益率（ROI）

总投资收益率等于息税前利润与总投资的比例，见公式 1：

$$POI = EBIT / I_p \times 100\% \quad (\text{公式 1})$$

2021-2023 年在某工区完成的工作量统计评价表（表 2）。

表 2 某工区钻塞水泥塞工作量统计表

年份	施工价值		规模价值		经济效益（万元）		
	工作量	施工率	有效值	合格率	原计算效益	增加效益	涨幅
2021	18	98	0.945	99	137	167	30
2022	24	100	0.947	100	273	305	32
2023	28	100	0.963	100	348	396	48
合计					758	868	110

由表 2 可知，近三年的连续油管钻磨带圈闭压力的水泥塞在带来的效益涨幅比较大，因此，在对于打造技术产业投资政策必须要不断完善落实，在完成老井挖潜施工的同时还必须实施低成本战略，更要结合目前中国发展的契机加大环境污染综合治理力度，提高油田投资的生态效益，走适合单位自有的生产模式转型的发展道路。

连续油管钻磨带圈闭压力的水泥塞施工结束后最后要进行最终的经济评价，进一步不断完善结算的手续，更要符合集团公司审计要求规范结算，主要完成的资料归集和评价的基本步骤如下：①了解方案的类别、目的，设计原则和要点；②熟悉油气藏工程、采油气工程、地面工程方案内容并收集相关基础资料；③收集财务数据、计价清单和相关的经济评价参数；④根据油田开发方案设计指标进行经济指标计算；⑤对计算结果进行初步分析，采用动态经济评价模式优化评价方案；⑥对计算方案进行不确定性分析；⑦对不同方案进行必选，提出推荐方案；⑧编写开发方案经济评价报告。

6 结束语

石油行业历来在我国经济市场中都占据举足轻重的地位，虽然我国某些石油开采的技术在世界领先地位，但在油田含油污水处理技术及回收技术、钻井技术我国依然存在很多缺点，只有通过人才培养、强基建设、技术提升、打造特有的技术工艺，使国家石油石化的开发利用得到提升，做到清洁生产，使我国的生活环境得到有效保护。

参考文献：

- [1] 于洋. 连续油管泡沫钻塞技术研究与应用 [J]. 复杂油气藏, 2022(02).
- [2] 甘泉泉. 连续管侧钻弯曲井眼岩屑运移规律研究 [D]. 长江大学, 2021.