

# 基于成本效益分析的井下复杂落物打捞技术优选方法

郑 鸿 (中国石化华北油气分公司采气一厂, 陕西 榆林 719000)

**摘要:** 在井下作业中, 复杂落物的打捞是一项成本高昂且技术要求严格的工程。本文以成本效益分析为出发点, 深入探讨了井下复杂落物打捞技术的成本构成及效益评估。针对常见的井下复杂落物打捞技术, 本文提出了具体的治理技术方案, 总结了各项技术的优势和适用场景。

**关键词:** 成本效益; 井下作业; 打捞技术; 井下投捞

中图分类号: TE28

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 018-0079-03

## Optimization method for complex downhole salvage technology based on cost-benefit analysis

Zheng Hong (Sinopec North China Oil and Gas Branch Gas Production Plant 1, Yulin Shaanxi 719000, China)

**Abstract:** In underground operations, salvaging complex fallen objects is a costly and technically demanding project. This article takes cost-benefit analysis as the starting point and deeply explores the cost composition and benefit evaluation of complex underground salvage technology. This article proposes specific treatment technology solutions for common complex underground salvage techniques, summarizes the advantages and applicable scenarios of each technology.

**Keywords:** Cost-effectiveness; Underground operations; Salvage technology; Underground fishing

在石油开采和钻井过程中, 井下复杂落物打捞技术是确保生产顺利进行的关键环节。随着技术的不断进步, 井下落物打捞的难度和复杂性也在逐渐提高。然而, 无论是何种技术难题, 成本效益分析始终是解决这些问题的核心原则<sup>[1]</sup>。本文将基于成本效益分析的基本原理, 深入探讨井下复杂落物打捞技术的成本构成及效益评估, 对多种常见的打捞技术进行细致的分析与对比。井下复杂落物打捞技术涉及到多方面的专业知识, 包括地质学、机械工程、钻井工程、采矿工程等<sup>[2-3]</sup>。本文旨在为读者提供一个全面的视角, 理解各种技术的特点和优势, 为在成本和效益之间找到最佳的平衡点提供科学的参考依据。不同的情况可能需要不同的打捞技术和治理策略, 选择适合的技术和方案, 可以最大限度地提高效益, 降低生产成本。

### 1 井下复杂落物打捞技术的成本效益分析方法

#### 1.1 成本效益分析的基本原理

成本效益分析是一种通过比较项目的成本和效益来评估项目可行性和决策合理性的方法。其基本原理是将项目的所有成本和效益都以货币形式进行量化, 然后比较两者的差值<sup>[4]</sup>。如果效益大于成本, 那么该项目就是可行的; 反之, 如果成本大于效益, 那么该项目就应该被重新考虑或放弃。在井下复杂落物打捞技术的优选中, 成本效益分析有助于确定哪种打捞技术在经济上是最合理的。通过对不同打捞技术的成本和效益进行分析, 可以选择出既能满足打捞要求, 又能最大程度地降低成本、提高效益的技术方案。

#### 1.2 成本构成及效益评估

井下复杂落物打捞技术的成本主要包括设备成本、人力成本、材料成本和时间成本。设备成本包括打捞设备的购置、租赁和维护费用; 人力成本包括操作人员的工资、培训费用等; 材料成本包括打捞工具、材料的采购费用; 时间成本则是指打捞作业所花费的时间所带来的成本, 包括设备闲置成本、生产延误成本等<sup>[4]</sup>。井下复杂落物打捞技术的效益主要包括直接经济效益和间接经济效益。直接经济效益是指通过打捞作业成功回收落物所带来的价值, 如设备的修复和重新使用、减少生产损失等。间接经济效益则包括提高生产效率、保障生产安全、提升企业形象等方面所带来的效益<sup>[5]</sup>。

#### 1.3 常见的井下复杂落物打捞技术及工程概述

机械打捞技术: 利用各种机械工具, 如捞矛、捞筒、打捞篮等, 对落物进行直接打捞。这种技术适用于落物形状规则、尺寸较小的情况, 操作相对简单, 但对于复杂的落物可能效果不佳。液压打捞技术: 通过液压系统提供动力, 驱动打捞工具进行作业。液压打捞技术具有力量大、适应性强的特点, 能够处理一些较为复杂的落物情况, 但设备成本较高, 操作难度也较大。磁力打捞技术: 利用磁力吸附原理, 对具有磁性的落物进行打捞。这种技术适用于磁性落物的打捞, 但对于非磁性落物则无法发挥作用。套铣打捞技术: 通过套铣筒将落物周围的地层铣掉, 然后将落物取出。套铣打捞技术适用于落物被卡较为严重的情况, 但施

工周期较长,成本较高。

某油气田位于我国西北地区,为典型的低孔、低渗、低丰度油气藏。油气层平均埋深 3000m,井筒内温度高达 120℃。开发初期采用压采一体化管柱,近年来随着生产时间延长,部分老井的井下管柱发生腐蚀、断裂、卡阻。此外,碳酸盐岩气藏开采强度加大,酸性流体腐蚀等原因,导致油管、工具在井下发生断裂,无法正常进行生产。这些因素在一定程度上影响了油气田的开发效果与效益。为确保油气井的持续生产,必须尽快开展井内落物打捞作业。

#### 1.4 经济角度下打捞技术的选择

在石油钻探和生产过程中,井下落物是一个常见且复杂的问题。面对这些挑战,如何选择最有效的打捞技术,不仅关乎井下作业的顺利进行,更与经济效益息息相关。井下落物往往源于钻井过程中的工具损坏、井眼环境复杂等因素,导致各种工具和设备意外落入井中。这些落物如果长时间不进行打捞,不仅会加重井下环境的复杂性,还可能对钻井作业造成更大的经济损失。

针对这种情况,应采取一系列的打捞技术。其中,机械打捞法是较为常见的一种。这种方法利用特定的机械装置,如打捞篮、钩子等,直接从井下将落物打捞上来。这种方法的优点在于操作简便、成本较低,适用于大多数常见的落物情况。然而,对于一些特殊情况,如落物体积过大或井眼环境过于复杂时,机械打捞法可能无法奏效。此时,可以考虑采用更为先进的声波打捞法。这种方法利用声波的特殊性质,将声波能量转化为振动能量,使落物与井壁分离,从而实现打捞。虽然这种方法成本较高,但其在处理复杂落物时具有显著的优势,能够大大提高打捞效率和成功率。

从经济效益的角度来看,选择合适的打捞技术至关重要。机械打捞法虽然成本较低,但在处理复杂落物时可能效率低下,导致时间和成本的浪费。而声波打捞法虽然初期投资较大,但其在处理复杂情况时的优势能够为公司节省大量的时间和金钱成本。因此,在实际操作中,应当根据具体情况,权衡各种因素,选择最合适的打捞技术。因此,针对井下复杂落物的打捞技术选择,应综合考虑技术可行性、经济成本以及实际效果等因素。通过科学合理的选择和运用优选方法,不仅能够顺利完成打捞任务,还能为公司带来显著的经济效益。

### 2 治理技术方案

#### 2.1 井下落物复杂治理技术方案

井下落物是指在油气井施工、维护和生产过程中意外掉落至井底的各种工具、设备及杂物。这些落物

通常尺寸不一、形状复杂、材质多样,给打捞作业带来了巨大的技术难题。

**腐蚀严重落物打捞技术:**当井下落物因严重腐蚀而已经无法进行常规打捞时,可采用反扣母锥或平底、凹底磨鞋等方法进行复杂打捞。操作时需要加压 10–20kN,以 15–20r/min 的转速造扣 5–10 圈上提,或采用磨铣的方式修整鱼顶,直至达到可打捞的条件。这种方法对作业人员技能要求较高,但可避免过于复杂的解体工艺,降低了安全隐患。

**大尺寸落物打捞技术:**对于环空单边间隙小于 5mm 的大尺寸落物,通常需要先采用套铣等手段清理环空,辅助解卡,然后再进行打捞作业。对于具有中心通道的工具类落物,优先选用捞矛一次完成打捞,避免工具井下解体导致井况复杂化;对于无中心通道的工具类落物,则可采用母锥加压造扣或利用环空单边间隙 3–4mm、壁厚 8–10mm 的套铣筒进行解封后打捞。

**结垢砂埋落物打捞技术:**针对严重结垢或砂埋的落物,可先采用高压水冲洗、化学溶解等方法进行清理,待清理至可打捞状态后,再采用常规的打捞工艺。这种方法技术复杂,成本较高,但可以避免过于激进的机械打捞,从而降低了作业风险。

#### 2.2 修井液漏失治理技术方案

表 1 井下作业用暂堵剂性能指标

项目	技术指标			
	1 类（有或无固相）		2 类（无固相）	
外观	自由流动液体			
粘度（MPa·s）	30-100			
密度（g/cm³）	≤ 1.03			
耐温（℃）	90	120	90	120
耐酸（pH 值）	5-6			
承压能力（MPa）	20		25	
暂堵有效期（d）	7-15	7-15	7	5
降解率（%）	≥ 85		/	
降解后粘度（MPa·s）	≤ 5			

当井筒出现严重的修井液漏失问题时,可优选可降解型暂堵剂对漏失严重的油气层进行暂堵。设计用量为 1.2 倍井筒容积,当暂堵剂循环顶替至射孔段位置后,对井筒进行整体试压 20–25MPa,确保暂堵剂失水后可靠封堵油气层。这种方法操作简单,成本较低,但需要配合试压等其他手段进行验证。井下作业用暂堵剂性能指标如表 1 所示。

当循环出口排量低于修井液携砂临界流速时,可采用 1500 型压裂泵车或使用双泵车并联的方式,增加循环排量,提高返排出口流速。这种方法投资相对较低,但需要配备专用设备,且对作业现场条件有一定要求。

## 2.3 井筒结构变形治理技术方案

井筒变形检测技术：对于存在严重变形的井筒，需要采用各种检测手段，如钻管检测、孔隙压力测试等，对变形情况进行准确评估，为后续的修复提供依据。这种方法技术相对成熟，但需要专业的检测设备和人员，投资成本较高。

井筒变形修复技术：针对变形的井筒，可采用机械液压复合套管整形、旋转连续冲击碾压整形和高效铣鞋磨铣整形等技术进行修复。通过这些技术，5 1/2 英寸套管的内径可以恢复到 114~116mm，7 英寸套管的内径可以恢复到 150~154mm，满足打捞工具及井下落物正常通过的需求。这种方法操作相对复杂，但可以有效恢复井筒的结构完整性。

## 3 现场应用情况及打捞作业成功率评估

### 3.1 现场应用情况

自 2009 年 5 月起，某天然气井投入生产，其油层套管内径为 124.26mm，生产管柱采用  $\Phi 73\text{mm}$  加厚油管。作业前该井呈现低压低产状态，电磁探伤检测显示，1806.8m~1811.8m 处油管脱落，2006.2m~2007.0m 处套管发生腐蚀穿孔。在作业过程中，上提原井油管共计 192 根，末端扣扣与丝扣保持完好，而以下 93 根油管脱扣后落井。采用 HLM-D(S)73 双滑块捞矛配合反扣钻杆，经过三次打捞落井油管尝试，未能成功解卡，但最终捞获原井油管 24 根。

在打捞至 2005.11m 深度时，使用套铣滑块捞矛多次尝试均无法进入鱼头，打铅印结果显示套管最小缩径至 117mm；随后使用  $\Phi 118\text{mm}$  铣锥对缩径位置进行修整，直至正常通过且无悬重变化，此后继续捞获原井油管 63 根。当井深达到 2642m 时，发现落井油管被压裂砂埋，使用套铣打捞组合工具成功捞获油管 6 根；在此过程中，生产层射孔段出现漏失，修井液泵入排量为 500L/min，返出排量为 180L/min，经泵入 38m<sup>3</sup> 固化水暂堵后，返出排量提升至 480L/min。

通过打铅印分析，确认井内存在工具类落物，经井史资料核实，落物确认为桥塞，但其具体型号及结构不详。通过使用  $\Phi 118\text{mm}$  套铣筒搭配沉淀杯多次套铣桥塞本体，成功带出原打捞工具及桥塞卡瓦，随后使用  $\Phi 114\text{mm}$  母锥（打捞范围 60mm~95mm）顺利捞获原井桥塞，并核实其型号为防顶卡瓦 +Y211-115 封隔器 + 丝堵。

### 3.2 打捞作业成功率评估

成功率评估的核心目标在于，通过收集并分析实际作业数据，对复杂落物打捞作业的成效进行量化评估。这一过程不仅有助于确保作业目标的顺利实现，还能够为后续的作业提供参考和改进方向。

需要先对成功打捞出井下复杂落物的案例进行详细统计，记录其数量，并将其与总打捞作业次数进行对比，从而计算出作业的成功率。还应统计完成复杂打捞作业所需的时间，以及分析制定实施技术方案对作业效率的影响。这一步骤有助于了解技术方案的实际效果，为未来的作业提供优化策略。

在实施针对性的技术方案后，井下复杂落物的成功打捞案例数达到了 11 井次，总计成功率高达 91%。这一数据相较之前提高了 18%，显示出显著的效果。对打捞作业成功率的评估不仅有助于提高作业效率，还能够为相关领域的研究和实践提供有力支持，不断提升工程作业经济性，实现降本增效。

## 4 结论

从成本构成及经济效益评估的角度出发，井下复杂落物打捞技术的成本涵盖了设备投入、人力资源、时间成本以及潜在的安全风险成本等多个方面。而效益则主要体现在打捞成功率、作业效率、以及对环境的影响等多个维度。通过综合经济性分析，优选出的打捞技术方案需满足高成功率、低成本投入、快速响应及环保可持续等多重标准。

在技术方案的选择上，需根据井下落物的具体情况，制定出相应的治理策略。这包括但不限于井下落物复杂治理技术、修井液漏失治理技术、井内有害流体治理技术以及井筒结构变形治理技术等。每一种技术都有其独特的适用场景和效果，因此需根据实际情况进行科学合理的选择与组合。在现场应用方面，通过对不同技术的应用和实施，可有效提升打捞作业的成功率，提升作业经济性。

### 参考文献：

- [1] 高鹏阳, 薛宪波, 曹金凯, 等. 井下复杂落物打捞技术工艺优化探讨 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025, 45(5): 150-153.
- [2] 吴宏. 井下复杂落物打捞技术要点分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(7): 181-182.
- [3] 侯振坤, 程汉列, 海金龙, 等. 页岩水力压裂裂缝起裂和扩展断裂力学模型 [J]. 长江科学院院报, 2020, 37(5): 99-107.
- [4] 范龙文. 井下复杂落物打捞技术的探讨 [J]. 河南科技, 2013, (5): 38-39.
- [5] 程汉列, 武博, 郭旭, 等. 不同微观条件下的天然裂缝闭合特征对比分析 [J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2017, 36(5): 29-34.

### 作者简介：

郑鸿（1989-），男，汉族，河北承德人，工程师，从事研究及工作方向：石油工程、井下作业研究工作。