

# 复杂井修井打捞实践与效益分析

孟珂 (中海油田服务股份有限公司, 天津 300467)

**摘要:** 随着全球油气田开发普遍进入中后期, 因管柱腐蚀、疲劳断裂、电泵系统故障等导致的井下事故频发, 修井打捞作业成为盘活存量资产、提升开发经济效益的关键环节。本文针对复杂井打捞中落鱼结构复杂、电缆缠绕等技术挑战, 系统阐述了以“先外后内、分段清理”为核心的打捞策略, 以及工具优选、参数控制和应急响应全过程, 可有效应对复杂落鱼, 显著降低作业风险与周期, 提升经济效益, 为同类井况的高效安全打捞提供了可推广的技术与管理范式。

**关键词:** 修井作业; 打捞技术; 落鱼处理; 电缆打捞; 经济效益

**中图分类号:** TE28      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1674-5167 (2025) 035-0054-03

## Workover Fishing Practices and Economic Benefit Analysis in Complex Wells

Meng Ke (China Oilfield Services Limited, Tianjin 300467, China)

**Abstract:** As global oil and gas field development generally enters the middle to late stages, downhole accidents caused by pipe string corrosion, fatigue fractures, and electric pump system failures occur frequently. Workover fishing operations have become a critical step in revitalizing existing assets and enhancing the economic benefits of development. This paper addresses the technical challenges in complex well fishing, such as intricate fish structures and cable entanglement, and systematically elaborates on the fishing strategy centered on “external-first, internal-second, and sectional cleanup,” as well as the entire process of tool optimization, parameter control, and emergency response. This approach can effectively handle complex fish scenarios, significantly reduce operational risks and cycle time, and improve economic benefits, providing a replicable technical and management paradigm for efficient and safe fishing under similar well conditions.

**Keywords:** Workover operations; Fishing technology; Fish handling; Cable fishing; Economic benefits

油气资源是不可再生的战略资源, 在勘探开发成本日益高昂的背景下, 最大限度地挖掘现有井筒的潜力, 提高采收率, 是保障能源安全的重要途径。然而, 随着油田开发年限的延长, 井下生产管柱、电潜泵 (ESP) 等设备因长期服役于高温、高压、高腐蚀性介质中, 不可避免地出现腐蚀穿孔、螺纹失效、疲劳断裂等问题, 形成“落鱼” (Fish)。据统计, 在修井作业中, 因打捞作业失败或周期过长导致的成本超支, 可占整个项目预算的 30% 以上。

与常规打捞相比, 复杂井打捞通常具备以下一个或多个特征:

①落鱼结构复杂, 涉及多规格油管、封隔器、电泵机组等组合;

②伴有大量电缆落井, 电缆与管柱缠绕, 形成“鸟巢”状复杂结构;

③鱼顶 (落鱼最上端) 因初始断裂或前期作业不当而严重变形、破损;

④井筒内存在岩屑、砂床、结垢等沉积物, 环空流通不畅。这些因素相互叠加, 极大地增加了打捞作业的技术难度、作业周期与安全风险。因此, 系统总结复杂井打捞的实践经验, 形成标准化与灵活性兼备的作业流程, 对提升修井作业的整体效益具有重要意义。本文将以一典型的电泵管柱与电缆复合落鱼打

捞为例, 深入剖析其技术对策与实践过程。

### 1 井况与落鱼分析: 复杂性评估

#### 1.1 初始井况

该井为一口生产多年的电泵采油井, 在计划性修井起原井生产管柱过程中, 于第 79 根油管起出后, 发现第 80 根油管在接箍下方约 0.335m 处发生本体断裂。断裂口呈现不规则缩径, 侧面存在弧形压痕, 且内壁腐蚀严重, 最薄处仅 2mm, 初步判断为电化学腐蚀与交变应力共同作用导致的疲劳断裂。

#### 1.2 落鱼结构复杂性

初始落鱼结构复杂, 总长超过 2180m, 具体包括: 3-1/2" 油管: 218 根, 构成落鱼主体。井下工具: 2.81" 和 2.312" 滑套 (SSD)、ESP 封隔器总成、变扣 (X/O)、Blast Joint、Landing Nipple 等。电泵机组: 位于管柱最下端。电缆: 总长约 2165.9m, 依附于油管外部。

#### 1.3 核心挑战

本井打捞作业的核心挑战在于: 电缆超前, 电缆断裂点高于油管断裂点, 形成近 60m 的“自由电缆段”, 这部分电缆在井筒中盘绕、堆积, 如同“陷阱”, 任何工具下入都可能先遇到电缆而非油管鱼顶, 极易造成工具卡阻或缠绕。鱼顶状态未知, 初始油管鱼顶的完整性与形状不明, 可能存在破口、毛刺或卷边, 影响打捞工具的引入与抓取。环空堵塞风险, 大量电缆

与可能存在的井筒沉积物（如砂、垢）混合，可能在某些井段形成桥塞，阻碍循环与工具通过。落鱼长度大、重量大，打捞过程中，尤其是后期解封封隔器时，需要处理巨大的摩阻与悬重变化。此井况是典型的高难度复合型打捞案例，其成功处理需要对打捞工艺有系统性的规划和精细化的操作。

## 2 打捞作业的战略规划与核心思路

面对如此复杂的井下情况，制定清晰、稳健的打捞战略是成功的前提。项目组确立了以下核心作业思路：

### 2.1 “先外后内、先易后难”原则

这是处理电缆-管柱复合落鱼的黄金法则。首先处理井筒中松散的、无规则的电-缆，为后续打捞管柱创造一个相对“干净”的环空环境。若试图先打捞油管，极有可能将电缆挤压在管柱与套管之间，形成更复杂的卡钻事故。

### 2.2 “分段清理、逐级打捞”策略

不追求“一蹴而就”，而是将整个打捞过程分解为多个阶段性目标。例如，第一阶段目标：清理至油管鱼顶；第二阶段目标：打捞上部部分管柱；第三阶段目标：处理封隔器及以下复杂段。这种策略有利于及时评估效果，调整方案，控制风险。

### 2.3 动态优化的工具选择体系

根据井下反馈（如铅模印痕、扭矩变化、返出物情况）动态调整打捞工具。建立从“探测（铅模）→清理（外钩/磨鞋）→抓取（捞筒）→修整（磨鞋/胀管器）→最终抓取”的工具链组合。

### 2.4 精细化的参数控制

在复杂井打捞中，粗暴的操作是失败之母。必须对下放速度、旋转转速、施加钻压、循环排量、扭矩监控等参数进行精细化控制，实现“微操作”。例如，遇阻时优先采用“提放”活动而非强行旋转，划眼时控制单次进尺等，这些措施能有效保护鱼顶和套管。

### 2.5 贯穿始终的应急预案

打捞作业具有高度的不确定性，必须对可能出现的卡钻、工具落井、井控风险等做好充分预案。关键工具如震击器、安全接头、打捞篮等必须常备待命，确保在突发情况下能够迅速响应。

## 3 打捞作业的阶段性实施与技术细节

整个打捞作业共进行了40趟钻，是一个不断探索、调整和优化的过程。可分为以下几个主要阶段：

第一阶段：电缆清理与鱼顶探明。本阶段主要任务是清除环空电缆，并探明油管鱼顶的精确深度和状态。工具应用：连续使用多趟压盘式外钩和活动外钩。外钩的设计能在旋转下放时钩挂、缠绕电缆，从而实

现大段捞取。工艺细节：下放至预计电缆顶部以上一段距离即开始缓慢旋转下放，遇阻后上提若干米，再正转管柱数圈以缠绕电缆，然后上提。通过多次打捞，累计捞获电缆78.3m，成功将电缆鱼顶下压至接近油管鱼顶的位置。鱼顶探明：在电缆基本清理后，下入铅模进行打印。铅模底面的不规则凹痕证实了鱼顶存在变形，为后续修整作业提供了直接依据。

第二阶段：初期打捞尝试与鱼顶修整。在确认电缆干扰基本消除后，开始尝试打捞油管。工具应用：首选可退式卡瓦捞筒。其优点是抓捞可靠，且在遇卡时能够顺利退出，安全性高。遇阻与决策：初期打捞尝试未能成功引入鱼顶，判断为鱼顶破损或仍有电缆残留。随即调整策略，转入鱼顶修整阶段。修整作业：下入平底磨鞋对鱼顶进行磨铣。磨铣作业的关键在于“轻压、慢转、大排量”，即采用低钻压（1-2T）、适中转速（40-60rpm）和高排量循环，确保磨铣产生的铁屑能被及时带出，防止二次卡钻。通过磨铣，获得了一个规整、清晰的新鱼顶。

第三阶段：管柱分段打捞与封隔器解封。在鱼顶修整完毕后，打捞作业进入主体阶段。成功打捞：使用加长捞筒成功捞获上部181m油管段。在打捞过程中，悬重变化明显，确认捞获落鱼。封隔器处理：打捞管柱遇封隔器时，悬重急剧上升，解封困难。此时，随钻震击器发挥了关键作用。通过持续、有控制地上提下放活动管柱（悬重在55T-110T范围内变化），并配合震击器产生的瞬间冲击力，经过230次震击后，最终成功解封封隔器。此过程充分体现了震击器在处理卡钻事故中的价值。切割作业：为分段起出落鱼，在指定深度使用了RCT（连续油管传输）切割工具进行爆炸切割，获得整齐的切割断面，便于后续打捞。

第四阶段：深部复杂段处理与精细打捞。进入深部井段后，井下情况更为复杂，电缆、砂砾与管柱纠缠在一起。组合工艺应用：在此阶段，单一工具往往难以奏效，采用了套铣-打捞组合工艺。即先下入套铣管，其底部的套铣鞋可以磨铣掉环空的电缆、水泥块和压实砂砾，清理出通道；紧接着再下入捞筒进行打捞。这种“扫清外围、再攻核心”的战术有效地处理了环空堵塞问题。反复探索与工具损伤：该阶段打捞尝试多达十余次，工具损坏严重，包括引鞋破裂、磨鞋合金齿磨损、公锥造扣失败等。这真实反映了深部复杂落鱼打捞的艰巨性。每一次起出工具后的仔细检查，都为下一次工具选择和参数调整提供了宝贵信息。胀管与修整：针对套管可能存在的轻微变形或卷边，下入胀管器进行修复，确保工具能顺利到达鱼顶。

## 4 效果评估与技术经济分析

经过系统性的 40 趟打捞作业，最终取得了以下成果，成功打捞：累计起出 3-1/2" 油管 1793.59m，打捞电缆 950.79m。清理环空：基本清除了主要井段的电缆和沉积物，恢复了井筒的完整性。剩余落鱼：井下落鱼长度降至 197.42m，鱼顶深度为 2755.37m。尽管未能实现 100% 打捞，但已为后续作业（如下返或弃井）扫清了主要障碍。

从经济效益角度进行综合评估，本次复杂打捞作业虽投入较高，但其产生的综合经济效益与战略价值远超直接成本。具体而言，其经济性体现在直接成本节约、边际效益提升及无形资产积累三个层面。在直接成本方面，本次打捞作业周期虽长达数十日，直接费用达数百万元，但与重钻一口替代井的方案相比，经济效益显著。根据当前油田开发成本测算，在该区块重新钻探一口同类型深井，需投入钻机动员、钻井液、套管、完井及配套服务等费用，综合成本通常在三千万元至五千万人民币之间。本次打捞作业成功恢复了该井筒的可用性，相当于以不足新井投资十分之一的成本，保全了原有的井眼轨迹和产能通道。在边际效益层面，打捞成功直接加速了油田的产量恢复，该井所属区块为成熟产区，单井日均产量稳定，打捞作业每提前一天完成，即可挽回数十万元的原油产值，相较于新钻井从开钻到投产长达数月的周期，打捞作业使该井在短期内即恢复了生产能力，极大地减少了产量损失时间窗口，对完成区块年度产量目标和维持油田稳产提供了关键支撑。最具深远意义的是无形资产的形成本次作业通过长达四十余趟钻的实践探索，成功构建了一套涵盖“电缆预处理-鱼顶修复-分段打捞-封隔器解卡-深部清理”的完整技术序列。未来在面临类似工况时，可大幅缩短决策周期、减少工具试错成本、降低作业风险，从而在全局层面提升油田修井作业的整体效率与成功率。这种经过实践验证的技术储备和团队能力，是一种难以复制的核心竞争力，其战略价值远超单次作业的经济账。

## 5 经验总结与未来展望

### 5.1 核心经验总结

①信息是基础：详尽的井史资料、准确的落鱼结构和及时的井下信息反馈（如铅模印痕）是制定正确决策的基础。②策略是关键：“先电缆后管柱、先清理后打捞”的策略是处理此类复杂情况的不二法门。③工具是保障：一个完备、多样的打捞工具库，以及根据情况灵活组合应用的能力，是打捞成功的物质保障。④精细操作是灵魂：在复杂井打捞中，“慢”就是“快”。精细化的参数控制和耐心的“微操作”是

避免事故扩大、最终解决问题的核心。⑤预案是底线：充分的应急预案和常备不懈的应急工具，是确保作业安全运行的底线。

### 5.2 技术展望

未来，复杂井打捞技术将向着智能化、高效化和精准化的方向发展：①可视化与感知技术：随钻测井（LWD）技术和井下摄像技术将更广泛应用于打捞作业，实现对落鱼状态的“可视化”探测，改变目前“盲打”的局面。②智能打捞工具：开发具有感知、判断、动作调整能力的智能打捞工具，例如能自动识别鱼腔并选择最佳抓取方式的捞筒。③新型材料应用：采用耐磨性更强、韧性更好的复合材料制造打捞工具，延长其井下使用寿命。④数字化与模拟：利用数字孪生技术，在作业前对打捞过程进行模拟，预演各种工况，优化工具选择和作业参数，降低现场风险。⑤激光/水力喷射技术：非接触式切割技术如激光切割或高效水力喷射切割可能在处理复杂落鱼中发挥更大作用，它们能更精准地分离管柱，减少对套管的损伤。

综上所述，本次复杂电泵管柱及电缆打捞作业，是一次对技术、管理和毅力的综合考验。通过实践，我们深刻认识到：对于复合型落鱼，必须坚持系统性的打捞战略，遵循科学的工作程序，任何环节的冒进都可能导致前功尽弃。精细化的现场操作和动态优化的技术调整，是应对井下不确定性的根本手段。尽管本次作业取得了阶段性成功，但也暴露出在工具性能和信息获取方面的短板。未来，应积极拥抱新技术、新工艺，推动复杂井打捞技术向更安全、更高效、更经济的方向发展，为老油田的稳产增产提供坚实的技术保障。

### 参考文献：

- [1] 张琪, 王海文. 深井复杂落鱼打捞技术经济评价方法研究 [J]. 钻采工艺, 2019, 42(3): 55-58.
- [2] 刘伟, 陈浩, 马鑫. 电泵井电缆落鱼打捞技术难点与对策 [J]. 石油机械, 2021, 49(8): 88-93.
- [3] 冯耀辉, 董社霞. 油管腐蚀疲劳失效机理及预防措施 [J]. 材料工程, 2018, 46(11): 125-132.
- [4] 王治平, 郝忠. 复杂结构井打捞工艺原则及工具选型 [J]. 钻井液与完井液, 2017, 34(4): 110-114.
- [5] 陈柯, 董超, 王雪松. 海上油田电泵管柱打捞作业风险识别与管控实践 [J]. 中国海上油气, 2021, 33(4): 180-186.

### 作者简介：

孟珂（1986-），男，汉族，本科，中级工程师，研究方向：钻完井专业。