

# 海上油田水平井稳油控水技术现状及发展方向探索

王晓波 石磊

中海石油(中国)有限公司天津分公司, 中国·天津 300452

**摘要:** 海上油田稳油控水技术经过近 20 年的发展, 已经形成了一套针对不同油藏特性的控水体系, 包括变密度筛管、中心管控水、ICD 控水、连续封隔体、分段控水工艺等多项控水技术, 基本满足了常规控堵水需求。但是, 存在找水难、控水有效期短、堵水成功率低、难以进入地层深部控水等一系列问题。随着控水条件越来越严苛, 控水成本越来越高, 促使控堵水技术朝着有效期长、适应性强、控水效果更好的方向发展。

**关键词:** 稳油控水; 变密度筛管; 中心管; ICD; 连续封隔体; 分段控水

## Exploration of the Current Situation and Development Direction of Stable Oil and Water Control Technology for Horizontal Wells in Offshore Oil Fields

Xiaobo Wang Lei Shi

CNOOC (Chinese) Co. Ltd. Tianjin Branch, Tianjin, 300452, China

**Abstract:** After nearly 20 years of development, water control technology for offshore oil fields has formed a set of water control systems for different reservoir characteristics, including variable density screen pipes, central pipe water control, ICD water control, continuous annulus isolation, segmented control water processes, and other water control technologies, which basically meet the conventional water control problems. However, there are series of problems such as difficulty in finding water, short effective period of water control, low success rate of water plugging, and difficulty in entering deep formations for water control. With the increasingly stringent water control conditions and rising water control costs, the development of water control technology is moving towards longer effective periods, stronger adaptability, and better water control effects.

**Keywords:** stabilizing oil and controlling water; variable density sieve tube; central management; ICD; continuous isolation body; segmented water control

### 1 引言

水平井开发主要是通过增大产层暴露面积来提高油井产量、提升油田整体开发经济效益的一项开发技术, 对老油田剩余油的挖潜有极其重要的作用。但是水平井开发, 尤其是长井段的水平井, 由于井筒摩擦和上下压差所形成的粘性和重力不均影响, 水平段跟端、趾端的产液强度高, 中间层位产液强度低, 导致水平井各处的采油速率不同, 随着开采时间的推移, 水平井的漏斗效应越来越明显, 在水平段始端压力梯度最大处形成水脊, 造成底水锥进; 同时, 对于非均质、多油层油藏, 由于层间矛盾突出, 更加会加剧底水的锥进, 造成水平井过早的进入高含水期, 无法充分发挥水平井的产液优势。

### 2 海上油田控水需求

随着海上油田的大规模开发, 越来越多的油田进入到开采中后期, “高含水”和“高采出程度”问题日益突出, 而且大部分油田由于海上作业的特殊性, 已经面临产能能力达到上限、水处理能力饱和、无剩余井槽钻井等问题, 无法进一步的提产上产, 因此对于稳油控水的需求量也变得十分的紧迫。

针对海上油田水平井稳油的控水技术, 是一个系统的、综合性的工程<sup>[1]</sup>, 其中包含了地质油藏专业、测井专业, 钻井完井技术、控水工艺等, 因此必须对整个进行生产的井段进行全生命周期控水的考虑, 也必须全面的考虑各个能够产生影响的因素, 最大程度的延长一口井的低含水采油期, 最大化提高采出程度。

### 3 水平井的控水机理

稳油控水的主要机理有: ①减少水平段的水力摩擦损失, 均衡近井筒压力分布; ②控制流动方向, 使水平段压力剖面重新分布; ③通过控制井筒流入, 使水平近井地带兴城最优的压力分布; ④底水分流<sup>[2]</sup>。

### 4 稳油控水技术现状

海上油田稳油控水技术经过 20 多年的发展, 已经形成了一套针对底水油藏的比较成熟的多种稳油控水工艺, 总体来说分为两类, 一类是笼统控水工艺, 另一类是分层控水工艺。笼统控水工艺主要是指对整个裸眼段进行整体控水, 划分为一个层位, 工艺主要包括中心管、变密度筛管、ICD、连续封隔体等技术; 分层控水工艺是指将整个水平段

划分为多个小层，对每个小层实施单独的控水，技术工艺主要是裸眼封隔器 + 中心管分层控水。根据不同的钻后储层认识，优选匹配的控水工艺，不仅提高了剩余油的挖潜能力，抑制了边底水的入侵速度。

### 4.1 笼统控水工艺

#### 4.1.1 变密度筛管控水

变密度筛管的控水机理，其控水结构由不同孔密分布 + 过滤件组合而成（见图 1），根据水力学原理，通过调配过滤件密度分布，利用节流方法将较大部位的生产压差合理消耗一部分，筛管基管上孔眼的孔径和孔密都比普通筛管上的小很多，保证其能够起到节流作用<sup>[3]</sup>。

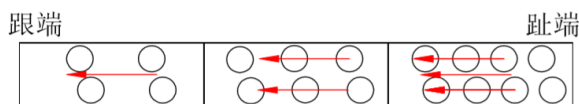


图 1 变密度筛管控水示意图

#### 4.1.2 中心管控水技术

中心管控水技术是将中心管下到水平段筛盲管中间，通过中心管的下入来调控水平段的生产压差，可以平衡跟端、趾端的压力差值，均衡整个水平段的流量，从而降低了底水前进速度，使油水沿水平段的流动更加一致，从而达到延缓底水坠进的效果（见图 2）。其设计需要参考有以下指标：流量均匀系数、跟端流入下降量、中间流入下降量、趾端流入下降量等<sup>[4]</sup>。

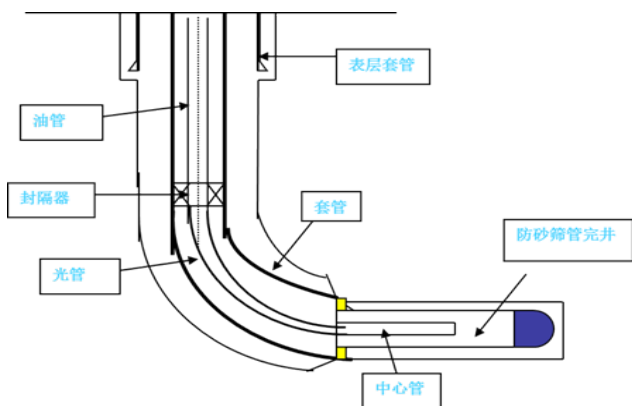


图 2 中心管控水示意图

#### 4.1.3 ICD 筛管控水技术

ICD 控水筛管具有以下特点：①流速敏感，高渗透段为易出水段，流动速度大，被限流；②产油段流速低，基本不阻止限流；③ ICD 阀为金刚石材质，无活动部件，耐腐蚀、稳定可靠；④可根据实钻测井结果，按需现场优化调整控流强度；⑤具备双向流通功能，后期可实现注酸。

其控水原理是：地层流体从储层流出后经防砂筛管进入过滤套网基管与基管之间的环形空间，经由 ICD 控水阀，最后进入基管内部。ICD 装置与油藏的性质相结合，可根据

随钻测井的储层认识，入井前调节布置方案，达到均衡产液剖面的目的（见图 3）。

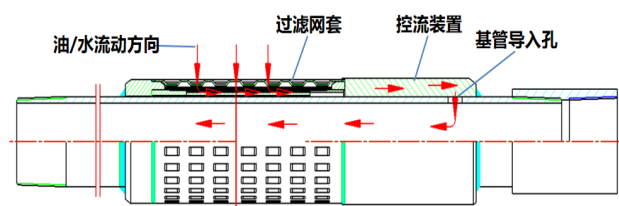


图 3 ICD 控水筛管示意图

#### 4.1.4 连续封隔体控水技术

连续封隔体技术是中国新型控水技术，其控水机理主要是指在筛管和井筒间环空充填低密度轻质颗粒，该颗粒具有亲油疏水特性，并下入带节流阀的控水管柱，实现对环空流体进行流量控制，通过设置控水阀参数，使得产量高层位流动阻力大，产量低层位流动阻力小，从而实现全井筒产液剖面的均衡产出（见图 4）<sup>[5]</sup>。

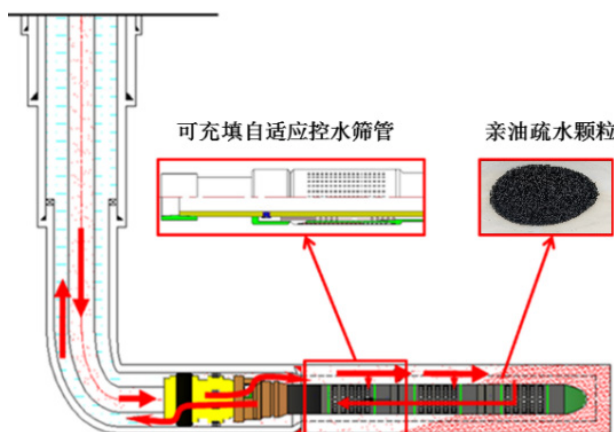


图 4 连续封隔体控水示意图

### 4.2 分段控水工艺

分段控水工艺是指通过油藏开展水平井见水模式及不同井段动用程度研究，确定分段位置，采用管外分舱（化学或机械预置）和管内分舱工艺，解决怎么采，从而实现水平井分舱控水，达成水平井增产稳产目标（见图 5）。

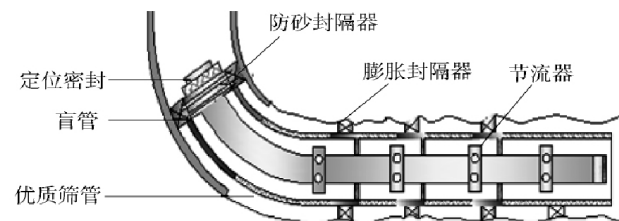


图 5 分段控水工艺示意图

该工艺通过在完井管柱设置机械式封隔器实现井筒内分段，砾石充填防砂并使用机械式封隔器和现有砾石充填防砂工艺相匹配，完井管柱内部下入电控或液控式智能生产滑套，从而实现分段控制、分段开采。

## 5 海上油田稳油控水发展趋势

虽然海上油田控水技术,已经有了很大发展,但部分井实际应用效果较差,应用效果还需要进一步完善评价,特别是海上各个油田地层边底水特点不同,后续需要建立稳油控水选井选层标准和量化评价模型,建立统一控水效果评价机制,提高控水措施效果。同时,后续将加大力度研发新型控水完井工具,包括在高温高压储层、稠油热采井中控水阀和智能分仓控水技术等,提升工具高温高压状态下的稳定性和工艺适用性。例如,采用机械+化学复合控水完井技术,利用 ACP 化学封隔器、选择性可溶堵水颗粒等,提高环空封堵效果和裂缝堵水能力,以解决分段困难、裂缝窜流等问题<sup>[6]</sup>。

## 6 结语

海上油田的稳油控水技术,经过多年的发展,已形成了一套针对不同油藏类型的控水体系。随着越来越多的油田开发进入到中后期,储层非均质性严重、层间矛盾日益突出,边底水突破程度加剧,常规水驱油效率越来越低,稳油控水形势更加严峻,因此更加需求精细化控水工艺技术。并且伴

随着环保要求的越来越严格,稳油控水技术将朝着节能、环保、智能、适应性强、有效期长、控水效果更好的方向发展,同时进一步创新稳油控水技术,降低投入成本,提高油田采收率,保障海上油田的高效开发。

### 参考文献:

- [1] 庞博.海上油田水平井稳油控水技术现状与发展趋势[J].技术研究,2023(5):119-120.
- [2] 张瑞霞.水平井控水完井技术现状与发展趋势[J].钻采工艺,2012,35(4):35-37.
- [3] 李伟.水平井变密度筛管配合盲管控流完井参数优化[J].石油地质与工程,2016,30(1):110-111.
- [4] 张舒琴.中心管采油设计方法及应用[J].石油钻采工艺,2010,32(2):62-64.
- [5] 潘豪.海上油田水平井稳油控水技术现状与发展趋势[J].石油矿场机械,2020,49(3):89-90.
- [6] 莘怡成.海上机械控水完井技术应用现状及发展趋势[J].石油矿场机械,2024,53(3):76-81.

作者简介: 王晓波(1986-),男,中国山东潍坊人,本科,工程师,从事海洋石油完井技术及项目管理研究。