

# 油田开发提高采收率新方法研究进展与展望

周毓江

克拉玛依市三达新技术股份有限公司, 新疆 克拉玛依 834000

**[摘要]** 随着全球石油资源的逐渐枯竭以及对石油需求的不断增长, 如何有效提高油田的采收率已成为全球石油产业面临的重大挑战。尽管传统的二次采油技术, 如水驱与气驱, 及三次采油技术中的热采、化学驱油以及微生物驱油等方法, 在一定程度上提升了油田的采收率, 但随着油田开发的深入, 这些技术的效果逐渐递减, 尤其是在复杂地质条件下。近年来, 智能化油田、纳米技术及微生物驱油等新兴技术的出现, 为提升采收率提供了新的解决方案, 尤其在面临复杂储层时, 展示了巨大的应用潜力。文章将探讨油田采收率提升技术的最新进展, 分析新兴技术在提高采收率方面的具体作用, 并展望未来油田开发中技术创新的趋势与前景。

**[关键词]** 油田开发; 采收率提升; 智能化油田; 纳米技术; 微生物驱油; 化学驱油

DOI: 10.33142/ect.v3i2.15536

中图分类号: TE35

文献标识码: A

## Research Progress and Prospects of New Methods for Improving Oil Recovery in Oilfield Development

ZHOU Yujiang

Karamay Sanda New Technology Co., Ltd., Karamay, Xinjiang, 834000, China

**Abstract:** With the gradual depletion of global oil resources and the increasing demand for oil, how to effectively improve the recovery rate of oil fields has become a major challenge facing the global oil industry. Although traditional secondary oil recovery technologies such as water and gas flooding, as well as thermal recovery, chemical flooding, and microbial flooding in tertiary oil recovery technologies, have improved the recovery rate of oil fields to some extent, their effectiveness gradually decreases with the deepening of oil field development, especially under complex geological conditions. In recent years, the emergence of emerging technologies such as intelligent oil fields, nanotechnology, and microbial enhanced oil recovery has provided new solutions for improving oil recovery, especially when facing complex reservoirs, demonstrating enormous potential for application. The article will explore the latest developments in oilfield recovery enhancement technology, analyze the specific role of emerging technologies in improving recovery, and look forward to the trends and prospects of technological innovation in future oilfield development.

**Keywords:** oilfield development; enhanced recovery rate; intelligent oilfield; nanotechnology; microbial enhanced oil recovery; chemical flooding

### 引言

随着石油资源的逐步枯竭以及全球能源需求的增加, 油田开发的采收率问题变得愈加突出。采收率作为衡量油田开发效果的关键指标, 其提升直接决定了油田的开采效益及资源的利用效率。尽管二次采油技术, 如水驱与气驱, 在油田开发初期取得了显著的成效, 但随着油田开发的深入, 这些技术的采收效果逐步减弱。为了解决这一问题, 三次采油技术, 包括热采、化学驱油与微生物驱油等方法, 已经被广泛应用。但在复杂油藏条件下, 这些传统技术依然面临一定的局限。近期, 智能化油田、纳米技术与微生物驱油等新兴技术的兴起, 为解决这一问题提供了新的思路。

#### 1 油田采收率概述

##### 1.1 采收率的定义与测量

采收率指的是采出原油数量与油藏原始地质储量之比, 通常以百分数表示。它不仅是评价油田开发效率的重要指标, 也是衡量油田开发经济性的重要依据。为准确测

量采收率, 通常结合物理方法与数学模型进行分析。常用的测量方法包括生产历史分析法与储层模拟法。生产历史分析法通过对油田生产过程中的关键数据, 如注水量、产油量等, 进行统计与回归分析, 来估算采收率; 而储层模拟法则依赖于建立油田的三维动态模型, 结合油藏的物理参数及流体力学特性, 对油田进行模拟, 并预测采收率。采收率的测量受到多个因素的影响, 其中油藏的物理特性, 如渗透性、孔隙度以及地层压力等, 直接决定了原油的流动性, 进而影响采收效果。为提高测量的准确性, 通常会结合不同的方法, 通过对油田实际情况的综合评估, 进行合理的采收率预测。

##### 1.2 油田开发中的主要采收率技术

在油田开发过程中, 采收率的提升技术大致可分为二次采油技术、三次采油技术及其他新兴技术。二次采油技术主要包括水驱与气驱, 通过注水或注气等手段维持油藏压力, 推动剩余油向生产井流动。这些技术在油田开发的

初期阶段特别有效,尤其在渗透性较好的油藏中,水驱与气驱能够有效提高采收率。然而,随着开发的深入,水驱与气驱技术的效果逐渐减弱,特别是在油藏压力下降后,油层中的剩余油难以有效流动。

为解决这一问题,三次采油技术,如热采、化学驱油及微生物驱油等方法被广泛应用。热采技术通过向油藏注入蒸汽,提升油藏温度,从而降低原油黏度,改善原油流动性;化学驱油则通过注入聚合物、表面活性剂等化学药剂,改变油水界面张力,从而促进剩余油的流动;微生物驱油利用微生物或其代谢产物,调节油藏中油水相互作用,进一步提高采收率。这些技术,尤其在低渗透与高黏度油藏中,表现出了良好的应用前景。

### 1.3 影响油田采收率的因素

影响油田采收率的因素复杂多样,其中储层特性无疑是最为关键的因素之一。油藏的渗透性、孔隙度、流体饱和度等地质参数,直接决定了原油的流动性与可采性。在低渗透或高黏度的油藏中,传统的二次采油技术效果有限,亟需采用三次采油技术以提高采收率。此外,开发过程中采油设备的选择、注水与注气的合理控制、油田管理策略的科学性等因素,也对采收率产生显著影响<sup>[1]</sup>。随着科技的进步,智能化与数字化技术的应用日益广泛。通过实时监控油田生产状态,及时调整开发策略,能够最大限度提高采收率。例如,借助大数据分析,油田管理者可以精确调整注水与注气的比例,优化采收方案,从而实现高效开发。

## 2 传统采油方法与技术

### 2.1 自然驱动法 (Primary Recovery)

自然驱动法是一种利用油藏中天然能量来推动原油流动的技术,通过溶解气驱、弹性驱以及重力驱等作用力,将原油从地层中推送至井口。这一过程中,地层内天然能量发挥了至关重要的作用,无需外部能源参与,从而大幅降低了开发成本。然而,采收率相对较低,通常仅能回收原油的 10%-20%左右,限制了其在油田开发后期的应用。尽管如此,天然驱动法在油田的初期开发阶段表现出明显的经济效益,通常用于低产油田的初步开采。

### 2.2 机械采油法

机械采油法通过使用各种机械设备提取井中的原油,不同的设备适应不同类型的油田。主要的设备包括抽油机、电潜泵和螺杆泵,每种设备具有特定的适用条件和优势。①抽油机采油:游梁式抽油机通过其运动结构利用吸力将井下的原油提取至地面。此方法特别适用于低产或高黏度原油的油井。抽油机的操作简单且维护方便,但在深井或高产油田中的效率较低,难以应对高流量的需求。②电潜泵采油:电潜泵通过安装在井底的泵体,以电力驱动将原油从深井中抽至地面。这种方法常应用于高产油井及深井,能够实现较为稳定的采油。然而,其运行成本较高,且维护要求较为复杂,尤其对电力供应的依赖较强,因此其经

济效益受限。③螺杆泵采油:螺杆泵通过螺旋转动带动油液流动,将原油从井底输送至地面。此方法尤其适用于高黏度或含砂较多的油井。螺杆泵能够有效地解决高黏度原油的提取问题,但由于能耗较大,通常用于含砂较高的油田中。

### 2.3 气举采油

气举采油技术通过向油井注入高压气体(如氮气、天然气或二氧化碳),减少原油所在液柱的静压力,从而提升原油至地面。该技术通常用于深井或高产油井,特别是在地层压力下降后依然需要采油的油田中。注气使得原油与气体混合,达到降低压力、提高采收效率的目的。该方法的关键优势在于较低的成本和操作的灵活性,但由于气体注入量及气体种类等因素的影响,采油效果依赖于严格的控制与调整。

### 2.4 水力喷射采油

水力喷射采油技术依赖向油藏中注入水或其他液体,通过液体压力驱动原油向井口流动。注水量的合理控制能够有效地提高油田的采油速率,特别适合水驱效应较好的油田。在高水含量的油田中,水力喷射能够明显提高采收效率。然而,注水过多可能导致油水比失衡,从而影响采油效果。因此,科学控制注水量显得尤为重要,以确保采油效率的最大化。

### 2.5 热采法 (如蒸汽驱、火烧油层)

热采法通过外部热源改变油藏的温度,从而降低原油的黏度,提高其流动性,促进原油采出。常见的热采方法有蒸汽驱和火烧油层。①蒸汽驱:蒸汽驱技术通过注入高温蒸汽降低原油的黏度,提升原油流动性,进而提高采收率。该方法适用于重质原油或稠油油田,特别是在低渗透性油田中,通过蒸汽的注入不仅能改善油层流动性,还能调整油层压力,增强采油效果。②火烧油层:火烧油层技术通过在油层内点燃部分原油,利用产生的热量扩散至周围的油层,从而降低原油的黏度。该方法对稠油油田具有显著的效果,能够大幅提高采收率。然而,火烧油层操作复杂且存在一定的安全隐患,因此需要精准控制火源区域,防止火势蔓延,确保安全实施。

## 3 新型提高采收率技术的研究进展

### 3.1 化学驱法

化学驱法的主要目标是通过改变油水界面的物理化学性质,提升油的流动性,进而提高采收率。在聚合物驱法中,向油藏注入聚合物溶液(例如聚丙烯酰胺),通过增加流体的黏度来增强水驱效果。这种方法能够显著降低油水界面张力,并提升油水的相对渗透率,从而提高采油效率。表面活性剂驱法则通过注入表面活性剂来降低油水界面张力,进而增强油水的相容性,促进油的流动。随着研究的深入,开发出了一些具有较低临界胶束浓度、强乳化能力的表面活性剂,这些表面活性剂已显著提高了化学驱法的应用效果。在泡沫驱法方面,气体与表面活性剂结

合,形成泡沫系统,能在高渗透率油藏中提高驱油效率。当前研究集中在如何提高泡沫的稳定性,以及增强其抗高温和抗高盐能力,以更好地应对不同的油田条件。

### 3.2 低碳/环保型提高采收率技术

在环保要求不断升级的背景下,低碳环保型提高采收率技术逐渐成为研究的重点。二氧化碳驱(CO<sub>2</sub>-EOR)技术通过利用二氧化碳的溶解性及其降低油藏黏度的特性,显著改善原油的流动性,从而有效提高采收率。与传统的采油技术相比,CO<sub>2</sub>驱不仅能提高采收率,还能减少温室气体的排放,因此被视为一种环保型的提升采收率技术。当前,研究主要关注二氧化碳注入方式的优化、注入压力的控制,以及二氧化碳长期封存问题。另一种低碳型技术是注气驱法,通过将天然气或氮气注入油藏,增加油层压力,从而改善油的流动性,尤其对轻质原油的采收效果较为显著。

### 3.3 热力学提高采收率技术

热力学方法通过引入热源来降低原油的黏度,从而提升油的流动性,最终提高采收率。蒸汽驱(SAGD)技术是热力学提高采收率技术中广泛应用的一种,它通过注入高温蒸汽来降低原油的黏度,从而改善原油的流动性。为提升热采收率并降低蒸汽消耗,研究者们已对蒸汽质量控制和注入方式进行了优化。另一种热力学方法是热化学驱(例如燃烧驱),该方法通过在油藏中引燃部分原油,释放热量以提高油藏温度,降低原油的黏度。当前的研究重点在于如何精确控制燃烧区域的范围以及减少热量损失,以进一步提高热化学驱法的效率。

### 3.4 生物驱法(微生物提高采收率)

生物驱法通过注入特定微生物或其代谢产物(例如生物表面活性剂),改善油藏的渗透性并降低油水界面张力,从而促进原油的流动。这一方法具有低成本、环保且无毒的优点,逐渐成为一种被广泛关注的提高采收率技术。微生物驱法的研究热点包括微生物的筛选与培养条件的优化,此外,还需要深入探讨微生物与油藏环境的相互作用,这些研究将为生物驱法的实际应用提供理论基础,并推动油田的可持续发展。

### 3.5 纳米技术应用

随着纳米技术的迅速发展,其在油田采收率提升中的应用前景变得越来越广泛。纳米流体驱油技术通过向油藏注入纳米颗粒(例如纳米二氧化硅、纳米氧化铁等),可以改变油藏的流动性质,增强油藏的渗透性,从而改善采油效果。纳米颗粒能够在油藏中形成稳定的流体体系,优化油水分离效率,并提升流体的流动性。当前的研究聚焦于选择合适的纳米颗粒及其浓度的优化,同时,如何提高这些纳米颗粒在油藏中的稳定性也是研究的一个重要方向。

### 3.6 智能化、数字化技术

随着智能化与数字化技术的发展,它们在油田开发中

的应用逐渐成为提升采收率的有效手段。通过传感器、物联网、大数据及人工智能技术的结合,可以实现对油田的实时监控与数据分析,进而精确预测油藏变化,优化采油方案。这些技术提高了油田管理的精准度,有效优化了资源配置,进而提升采油效率。此外,增强现实(AR)与虚拟现实(VR)技术在油田设计、施工及模拟油藏开采过程中得到了广泛应用。这些技术帮助技术人员更好地理解油藏特性,优化操作,最终促进采收率的提升。

## 4 结语

随着全球石油资源逐步枯竭及石油需求持续增长,如何有效提升油田采收率已成为石油行业面临的关键挑战。传统的二次采油技术,如水驱与气驱,及三次采油技术中的热采、化学驱油等方法,在油田开发初期曾显现出良好的效果,但随着开发的深入,这些技术在复杂油藏条件下的应用效果逐渐减弱。面对这一瓶颈,近年来,智能化油田、纳米技术与微生物驱油等新兴技术的迅速发展,为提升采收率提供了创新的解决方案。随着相关技术研究的不断深入,化学驱法、低碳环保型提升采收率技术以及热力学方法已逐步取得显著成果。以二氧化碳驱油技术为例,它不仅能够提升采收率,还能减少温室气体的排放,展现了较好的环境友好性。与此同时,智能化与数字化技术的结合,推动了油田管理模式的变革。通过实时监控及数据分析,采油策略的精确调整得以实现,从而在提高采收率的同时优化了资源的配置。虽然新兴技术在实际应用中仍面临成本控制、技术适应性等挑战,但随着科研的不断推进,这些技术将不断成熟,推动油田开发进入新的阶段。未来,随着技术的持续创新,油田采收率提升技术有望在全球能源供应中发挥更为重要的作用,为能源的可持续利用提供更加有力的支撑。

### [参考文献]

- [1]鲁瑞彬,刘双琪,胡琳,等.水驱砂岩油田动态采收率计算新方法[J].西安石油大学学报(自然科学版),2019,34(4):60-66.
- [2]齐书贤,喻高明,刘云,等.基于注意力机制的长短期记忆网络的油田采收率预测新方法[J].当代化工研究,2023(9):177-179.
- [3]王晓伟.试论提高油田采收率的技术措施[J].中国石油和化工标准与质量,2019,39(15):15-16.
- [4]齐书贤,喻高明,刘云,等.基于注意力机制的长短期记忆网络的油田采收率预测新方法[J].当代化工研究,2023(9):177-179.

作者简介:周毓江(1993.11—),毕业院校:中国石油大学胜利学院,所学专业:石油工程,单位名称:克拉玛依市三达新技术股份有限公司,就职单位职务:技术员,职称级别:助理工程师。