

浅谈微生物强化采油技术在现代技术中的应用

张世仑^{1,2}, 黄波^{1,2}, 王大威^{1,2}

(1. 海洋油气高效开发全国重点实验室, 北京 102209; 2. 中海油研究总院有限责任公司, 北京 100028)

摘要: 随着全球能源需求的不断增长和传统油气资源的逐渐枯竭, 如何提高原油采收率和利用非常规油气资源成为当务之急。微生物强化采油技术作为一种新兴的技术手段, 利用微生物的降解和代谢能力促进原油的释放和流动性, 使其更容易被开采, 并减少环境污染, 降低生产成本, 从而实现能源的可持续性开发。因此, 本文基于微生物强化采油技术的相关内容特点及发展现状, 分析微生物强化采油技术要点, 进一步探索微生物强化采油技术在现代技术中的应用, 更好地应对能源需求和环境保护的挑战。

关键词: 微生物强化采油技术; 能源; 采油效果

中图分类号: TE357

DOI: 10.12230/j.issn.2095-6657.2024.09.026

文献标识码: A

1995年, 辽河油田锦州采油厂进行了我国首次微生物处理技术在油田开发中的应用, 对稠油中的胶质和沥青质组分进行了研究分析, 1996年进入矿场试验阶段, 先后在辽河油田千12区块进行微生物吞吐26井次, 取得良好效果。扶余采油三厂、胜利油田、大庆油田等我国重要石油资源地, 先后对微生物强化采用技术进行深入研究, 总计产油量高达上万吨, 对我国石油产业的发展以及经济增长起到巨大的促进作用。

1 微生物强化采油技术的相关概述

1.1 微生物强化采油技术的概念

微生物强化采油技术是一种利用细菌或其他微生物来提高油田采油效果的技术, 主要通过将分解油烃的微生物注入适宜的油田中, 刺激细菌的生长和繁殖, 产生一系列代谢产物, 如表面活性剂、有机酸和气体, 从而有效地降低岩石-油-水系统的界面张力, 并乳化原油、增加压力、疏通油道, 增加渗透率, 最终达到降低原油黏度和凝固点, 增强原油流动性, 提高采收率的目的。在应用微生物强化采油技术时, 首先, 需通过对不同类型的微生物进行筛选和评估, 选择具有高代谢活性和适应性的微生物菌株, 并确保微生物可耐受高温、高盐和高压等油田环境的条件。其次, 根据所选的微生物要求和生长条件, 配制宜的培养基, 为微生物的生长提供所需的营养物质, 并将所选的微生物接种到培养基中, 创造适宜的培养条件, 合理控制温度、pH等影响因素。最后, 还需通过注入并将经过培养的微生物溶液注入油田中的适当位置, 微生物在油藏开始生长和代谢产生一系列产物, 包括表面活性剂、有机酸和气体等, 改变岩石-油-水界面特性, 使原

油更易流动。

1.2 微生物强化采油技术的特点

与传统的化学方法相比, 微生物强化采油技术更为环保, 微生物在注入油藏中后可以自然生长和繁殖, 不需要添加大量化学物质或人工干预, 微生物代谢产物对环境的影响较小, 不会对地下水和土壤造成污染。同时, 微生物强化采油技术具有较长的可持续性, 细菌可在适宜的油藏条件下生长和繁殖, 不需要经常注入新的微生物, 还可利用油藏中的多种能源和废弃物, 提高能源利用的效率。相比传统的采油方法, 微生物强化采油技术可以减少维持和注入的成本, 降低原油黏度和凝固点, 增大渗透率和孔隙连通性, 使得原本难以开采的油藏变得更容易提取, 提高采收率。微生物强化采油技术还可适应不同类型和条件的油藏, 微生物的选择和培养可根据油藏的特点进行优化, 包括温度、盐度、pH值等, 广泛应用于陆地、海洋油田, 以及各种复杂的油藏环境。

1.3 微生物强化采油技术的发展现状

近年来, 我国先后从美国、加拿大等国引进了微生物产品和微生物采油技术, 以推动该技术在国内的发展和應用, 并在多个油田进行了微生物采油技术的推广和应用, 包括新疆、大庆、扶余、大港、胜利、冀东、辽河、江汉等地。在这些油田内, 开展了大规模的微生物采油技术试验, 总计超过2000井次, 以评估微生物强化采油技术对采油效果的影响, 并优化技术参数和实施方案^[1]。此外, 在微生物采油技术的发展方面, 我国也进行了一系列研究和创新, 包括微生物菌株的筛选和优化、培养基的改进、微生物代谢产物的特性研究等, 旨在提高微生物菌株的适应性和代谢活性, 以及优化微生物注入和试验参数,

进一步提高采收率和降低成本。

2 微生物强化采油技术要点分析

2.1 生产井

生产井是微生物强化采油技术的关键环节，微生物在生产井中的存在和活动可以有效清除射孔层附近的有机污染物。此类有机污染物往往来自原油中的高分子化合物、胶体和胶质等物质，它们附着在孔隙壁和油层表面，导致油井渗透率降低，限制原油流动，而微生物便会通过分解有机污染物，促使原油流动畅通，从而提高油井的产能和采收率^[2]。微生物在油井中的作用不仅限于射孔层，还可以通过生物改造作用打通含油非生产层，特别是对于重质、高黏度和假塑性的含油层，微生物能够释放酶类、表面活性剂等物质，改变含油层的物理化学性质，从而降低油藏黏度，增加剪切力，使得原油能够更容易地流动，提高原油的产量和采收率。此外，微生物还可通过其代谢产物、酶和表面活性剂等改变原油的组分和流变性质，使原本不太流动的原油变得更易流动，减轻流体黏度和黏结性，提高细微油滴的分散性，从而使得原油更容易被开采产出。

2.2 注水井

在微生物强化采油技术中，注水井主要是通过注入水作为携带剂将微生物和其他非活性物质带入目的层中。与生产井相比，注水井中的微生物菌群体量通常较大。这是因为在注水过程中，注入的水能够扩散到更广的区域，使微生物在更大范围内生长和繁殖，从而增加微生物与油井周围的岩石和油层表面接触的机会。一般而言，注水井中的水会停留较长时间，在注水过程中，注入的水需通过管线的输送到达目的层，使得微生物也会在注水井中停留较长时间，给予微生物更多的时间与周围的岩石和油层进行反应和作用，进一步促进微生物的生物改造效果。注水井的作用主要是将微生物带入目的层中，发挥微生物强化采油的作用，通过微生物的活动，改变油层的物理化学性质，提高原油的流动能力，增加产量、提升采收率，同时带入其他非活性物质，如表面活性剂等，以促进微生物发挥更好的作用。然而，注水井的设计和运维需要考虑多方面的因素，包括注入水的流量和压力、微生物的选择、注入时间和频率等，并对其进行实时监测和评估，以确保微生物强化采油技术的有效性和可持续性。

2.3 生物分解

在生物分解过程中，针对直链烃，可通过酶的作用加速氧化还原反应，微生物生成特定的酶，这些酶能够催化直链烃的氧化还原反应，将其转化为较小的组分。例如，通过酶的反复

作用以及共栖微生物和特定营养物的共同作用，石蜡重油组分可被分解成较轻的组分^[3]。生物分解过程通常在氧化还原环境下进行，选定的微生物菌群在无氧条件下进行反应，改变了好氧和兼性好氧微生物的生存空间，而石油组分的结构和组成也会发生很大的改变。通过生物分解，可以改变石油烃链的组成剖面，提高原油的流动性和可采性，较重的蜡质烃被酶分解为较轻的组分，从而降低原油的黏度，增加其流动能力，且有助于降解原油中含硫、氮等杂质成分，减少对环境的污染。需要注意的是，生物分解是一个复杂的过程，不同的微生物对于不同的石油组分具有不同的降解能力，在应用生物分解技术时，要根据油藏和微生物的特性进行合理选择和优化。

2.4 微生物强化采油技术的应用条件

在应用微生物强化采油技术前，需对目标油田开展调研，了解其地质特征、储量、产能和产水情况等，综合评估油田面临的具体问题，如油气采收率低、产能下降、堵塞、水驱失效等。基于评估结果，制定适用于该油田的微生物采油技术筛选标准，包括技术适用性、实施效果、经济可行性等方面的指标；基于筛选标准，对可行的微生物强化采油技术进行评估和选择。例如，综合考虑利用微生物的降解能力、生物胶的形成等技术，根据生产中出现的实际问题和油田条件，进一步优化微生物采油工艺，结合不同的微生物处理措施，如生物驱替、生物增产等，来应对具体问题。在确定微生物采油工艺后，还需进行配伍性实验，评估微生物与油藏岩矿物、注入水和地层水的相容性和相互作用，确保选用的微生物能够在目标油田中有效生长并实现预期效果，进一步提高微生物采油技术的成功率和实际应用效果^[4]。

3 微生物强化采油技术在现代技术中的应用

3.1 提高采收率

微生物强化采油技术可分解油藏中的高黏度有机物质，如蜡和沥青质，它们会使原油黏度增大，阻碍原油的流动性。首先，微生物通过产生代谢产物，如酶和表面活性剂，可以降低原油的黏度，提高油藏中原油的流动性，使其更易于开采。其次，微生物可以通过改变油藏的生物、地质和化学特性，进而改善油藏的渗透性。例如，微生物可以分解油藏中的胶结物质，如胶凝土或聚合物，从而增加原油的流动性，并通过代谢产物改变油藏的渗透率分布，促使原油向采出井运移。再次，微生物还可通过代谢有机酸，产生酸性代谢产物，降低油藏 pH 值，利用酸化反应促进矿物酸解，促使更多的原油流向采出井。最后，微生物强化采油技术的应用，一般会产生多种表面活性剂，如生物胶、蛋白质类物质等，这些表面活性剂能够降低油水界

面的张力,改善原油与水的分离效果,增强原油在介质中的流动性,从而提高采油效率。

3.2 油田污水处理

一般而言,在油田开采过程中会产生大量的含油污水,这些污水含有油脂、有机物、重金属等污染物,对环境造成不利影响,而微生物强化采油技术可利用微生物的降解能力,进行有效的污水处理。首先,微生物能够分解污水中的有机物质,包括油脂和其他有机化合物,通过代谢过程中产生的酶类物质,将有机物质转化为无机物质,有效减少有机物质的污染程度,降低油田污水对环境的影响。其次,部分微生物对重金属具有吸附和螯合的能力,可以将污水中的重金属离子吸附在其细胞壁或分泌的胞外聚合物上,并通过代谢产物的形成,使重金属从可溶性形式转化为不可溶性形式,从而实现重金属的沉淀和去除。最后,微生物在污水中的作用不仅限于降解有机物和去除重金属,同时也能够净化水质,通过竞争和抑制其他微生物的生长,减少水中细菌和藻类的数量,提高水质的清洁程度,减少环境污染。

3.3 CO₂ 的捕捉和储存

随着全球温室气体排放增加引发的气候变化问题日益严重,寻找有效手段减少 CO₂ 排放已成为十分迫切的任务。微生物强化采油技术的应用,可有效减少 CO₂ 的排放,实现其固定和储存。微生物强化采油技术主要是通过将微生物引入注入 CO₂ 的油藏中,利用微生物生长代谢活动将 CO₂ 转化为有机物质,利用 CO₂ 作为碳源进行生长,通过光合作用或化能合成作用,将 CO₂ 固定在微生物细胞中,进而有效减少 CO₂ 的排放,将其转化为可重复利用的有机物。此外,某些微生物在生长过程中还会产生胞外聚合物,如胞外多糖和聚酮等,这些胞外聚合物能够与 CO₂ 发生反应,形成固态胶体物质,从而促进 CO₂ 的固定和储存,限制其释放到大气中。同时,利用微生物的生长代谢作用,在油藏中形成微生物阻塞屏障,以胞外聚合物和生物胶等物质形式阻塞油藏中的裂缝和孔隙,减少 CO₂ 的渗漏和泄漏,有效地固定和储存注入的 CO₂。

3.4 地下储气库的运维

地下储气库是一种将天然气储存在地下的设施,用于调节供需平衡,应对季节性需求变化和紧急情况等。微生物强化采油技术在地下储气库运转和维护过程中的应用,可有效提高储气库的效率和可持续性。首先,微生物会在地下储气库中形成生物胶、聚合物和矿化物等物质,与地层岩石结合,从而增强

地层的封存能力,降低气体泄漏和渗漏风险,确保储气库的安全性和可靠性。其次,地下储气库的运转温度对气体的存储和释放具有一定的影响,而微生物可以通过代谢产物的生成,改变地下储气库中的温度分布。例如,微生物的代谢作用可以产生热量,提高储气库的温度;或者通过产生胞外聚合物形成生物隔热层,减少温度波动,通过微生物调控,实现储气库温度的调节和控制。最后,地下储气库运转过程中还会产生大量废水,其中可能含有天然气成分和其他污染物,微生物强化采油技术可利用微生物的降解能力,对储气库废水进行处理,分解其中的有机物质、氧化氮和硫化物等,将其转化为无害物质,从而减少废水污染程度,降低对环境的有害影响。

4 结语

综上所述,微生物强化采油技术是通过利用微生物的降解和代谢能力,提高原油采收率,在降低开采成本的同时,减少环境污染和地表破坏,实现能源的可持续性发展。然而,该技术的应用还面临一些挑战,例如,选择合适的微生物菌种、优化工艺参数和解决生物随时间、空间的变化等,未来还需进一步探索微生物强化采油技术的潜力和瓶颈,更好地应对能源需求和环境保护的挑战。

参考文献:

- [1] 杨玉敏,孙明波,张博宇.石油烃污染场地气相抽提-微生物降解耦合修复研究[J].炼油技术与工程,2023,53(12):59-64.
- [2] 王春雨,崔倩,罗飏.石油行业中新环保技术的应用分析[J].资源节约与环保,2023,(09):21-24.
- [3] 魏晓霞,韩春春,张海浪,等.青海油田本源微生物采油技术研究与应用[C]//中国地质大学(武汉),西安石油大学,陕西省石油学会.2023油气田勘探与开发国际会议论文集I,2023:9.
- [4] 姜雨朦.三次采油化学驱油技术现状与趋势[J].化学工程与装备,2023,(07):213-214.

作者简介:张世仑(1984-),男,辽宁庄河人,博士研究生,高级工程师,主要从事化学驱、微生物采油等采油技术研究。

基金项目:国家重点研发计划项目“生物酶制剂入井体系开发及应用示范”(项目编号:2022YFC2105204)。