

ICS 75.020

CCS E 41

DB 65

新疆维吾尔自治区地方标准

DB65/T 4725—2023

烃氧化菌地下油层激活增油技术规范

Technical specification for activating oil enrichment by hydrocarbon oxidizing
bacteria underground reservoir

2024-02-23 发布

2024-04-10 实施

新疆维吾尔自治区市场监督管理局 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 油藏适用条件及评价 2

5 驱油效果评价 3

 5.1 地层水取样要求及分析 3

 5.2 烃氧化菌菌株的分离筛选及发酵培养条件优化 3

 5.3 激活剂的筛选与评价 3

 5.4 物理模拟驱油效益评价 3

6 现场实施方案编制 4

 6.1 油藏描述 4

 6.2 驱油效果评价 4

 6.3 现场注入工艺 4

 6.4 注采井网完善 4

 6.5 现场注入系统设计 4

 6.6 经济效益评价 4

7 实施要求 5

 7.1 烃氧化菌和激活剂质量检测要求 5

 7.2 跟踪检测要求 5

 7.3 方案调整要求 5

 7.4 其他要求 5

8 现场实施效果分析 5

9 质量、健康、安全、环境控制要求 5

附录 A（规范性） 烃氧化菌菌株的分离筛选及发酵培养条件优化 7

 A.1 烃氧化菌菌株的分离筛选 7

 A.2 烃氧化菌发酵培养条件优化 7

附录 B（规范性） 烃氧化菌的分析方法 9

 B.1 方法原理 9

 B.2 试剂 9

 B.3 仪器设备和材料 9

 B.4 培养基成分 9

 B.5 分析步骤 9

 B.6 结果分析 10

附录 C（规范性） 烃氧化菌物理模拟驱油评价 11

C.1	试验装置.....	11
C.2	试验参数.....	11
C.3	试验程序.....	11
C.4	物模试验效果评价.....	12

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由新疆维吾尔自治区工业和信息化厅提出、归口并组织实施。

本文件起草单位：克拉玛依市新奥达石油技术服务有限公司、新疆维吾尔自治区标准化研究院、中国石油新疆油田分公司陆梁油田作业区、新疆绿色技术研究院有限公司、新疆维吾尔自治区计量测试研究院、新疆维吾尔自治区特种设备检验研究院、新疆万顺亨信息科技有限公司。

本文件主要起草人：董丁、张亚明、陈玉琨、胡小明、吴丛文、马平、马艳清、季凯、刘晓丽、热娜·艾尔肯、盛云高、张鹏、姚璐、贺芙蓉、余何美哲、韩玉凡、冶育芳、刘阳、刘晓燕、胡曼丽、胡晓愍、牛国辉、任国栋、王胜。

本文件实施应用中的疑问，请咨询克拉玛依市新奥达石油技术服务有限公司。

对本文件的修改意见建议，请反馈至新疆维吾尔自治区工业和信息化厅（新疆乌鲁木齐市友好南路179号）、克拉玛依市新奥达石油技术服务有限公司（新疆克拉玛依市石油大厦A座1503）、新疆维吾尔自治区标准化研究院（乌鲁木齐市河北东路188号）、新疆维吾尔自治区市场监督管理局（乌鲁木齐市新华南路167号）。

新疆维吾尔自治区工业和信息化厅 联系电话：0991-4536153；传真：0991-2801354；邮编：830000
克拉玛依市新奥达石油技术服务有限公司 联系电话：18699001510；邮编：834000

新疆维吾尔自治区标准化研究院 联系电话：0991-2817441；传真：0991-2817472；邮编：830011

新疆维吾尔自治区市场监督管理局 联系电话：0991-2818750；传真：0991-2311250；邮编：830004

烃氧化菌地下油层激活增油技术规范

1 范围

本文件规定了烃氧化菌地下油层激活增油技术的油藏适用条件及评价、驱油效果评价、现场实施方案编制、现场实施效果分析和质量、健康、安全、环境控制的要求。

本文件适用于注水开发的砂岩、砾岩油藏实施烃氧化菌地下油层激活增油技术。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 609 化学试剂 总氮量测定通用方法
GB 4789.2 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定
GB/T 8423.1—2018 石油天然气工业术语 第1部分：勘探开发
GB 11893 水质 总磷的测定 钼酸铵分光光度法
SY/T 0520 原油粘度测定 旋转粘度计平衡法
SY/T 0532—2012 油田注入水细菌分析方法 绝迹稀释法
SY/T 5523—2016 油田水分析方法
SY/T 5579.1—2008 油藏描述方法 第1部分：总则
SY/T 5588—2012 注水井调剖工艺及效果评价
SY/T 5925 油田注水化学示踪剂的选择方法
SY/T 6225—2018 油田动态分析技术规范

3 术语和定义

GB/T 8423.1—2018界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

油藏 oil reservoir

地壳上石油聚集的基本单元，石油在单一圈闭中的聚集，具有独立压力系统和统一的油水界面的聚集。

[来源:GB/T 8423.1—2018, 2.38]

3.2

烃氧化菌 hydrocarbon oxidizing bacteria

通过自身代谢作用，产生一系列的烃类降解酶，将裂解重质烃类中的大分子物质降解为小分子物质，从而使原油的粘度降低，流动性增强的一类微生物。

3.3

驱油功能菌 oil displacement functional bacteria

能在油藏环境中生长、繁殖和代谢，且其生物活动或代谢产物能够提高原油采收率的微生物。

3.4

激活剂 activator

在油藏中能促进驱油功能菌生长、代谢和繁殖，提高活性的营养制剂。

3.5

微生物驱油 microbial oil displacement

通过注水井向油藏注入经筛选的驱油功能菌和/或激活剂，利用驱油功能菌的生物活动或代谢产物（生物表面活性剂、生物多糖、有机酸、有机溶剂和生物气等）在油藏中与岩石、流体作用，改善流体渗流特征，提高原油产量和采收率。

注：微生物驱油技术的菌种分为内源微生物和外源微生物两大类。

3.6

内源微生物 indigenous microorganism

石油开采过程中，在油藏中能够较为稳定存活的微生物。

3.7

外源微生物 exogenous microorganism

以烃类为唯一碳源生长，不存在于油层中的微生物。

3.8

内源微生物驱油 indigenous microbial flooding

通过向油藏注入适当激活剂，选择性地激活油藏中已有的驱油功能菌，实现微生物驱油。

3.9

外源微生物驱油 exogenous microbial flooding

针对油藏条件筛选出驱油功能菌种（组），并按菌种（组）发酵工艺生产出微生物驱油菌液后注入油藏中，实现微生物驱油。

3.10

水驱 water drive

向油层中注入水，驱替原油的方法。

4 油藏适用条件及评价

4.1 烃氧化菌开采原油的具体油藏适用条件见表 1。

4.2 烃氧化菌地下油层激活增油技术油藏适用性评价见表 1 中检测方法。

表1 烃氧化菌地下油层激活增油技术油藏适用条件

油藏参数	适用条件	检测方法	参数优先等级
油层温度/℃	≤60	SY/T 5579.1—2008	+ + + + +
渗透率/ $10^{-3}\mu\text{m}^2$	≥10	SY/T 5579.1—2008	+ + + +
孔隙度/%	≥12	SY/T 5579.1—2008	+ + + +
地层水矿化度/（mg/L）	≤100000	SY/T 5523—2016	+ + +
地层水pH值	6~8	SY/T 5523—2016	+ + +
（50℃）原油粘度/（mPa·s）	≤50	SY/T 0520	+ + +
含油饱和度/%	≥25	SY/T 5579.1—2008	+ +
注：各因素优先等级越高“+”越多。			

5 驱油效果评价

5.1 地层水取样要求及分析

5.1.1 取样要求

按SY/T 5523—2016中第4章的规定执行。

5.1.2 分析内容

表2 地层水分析内容

分析内容	检测方法
水质组成	按SY/T 5523—2016中第5章的规定执行
总氮	按GB/T 609的规定执行
总磷	按GB 11893的规定执行
菌落总数	按GB 4789.2的规定执行

5.2 烃氧化菌菌株的分离筛选及发酵培养条件优化

按附录A执行。

5.3 激活剂的筛选与评价

5.3.1 激活剂筛选原则

根据烃氧化菌的营养需求和5.1.2的分析结果筛选激活剂，激活剂应与地层水具有配伍性，且能抑制地层水中的硫酸盐还原菌和铁细菌等有害菌，烃氧化菌基础浓度提高1个~2个数量级。

5.3.2 激活剂初选

根据5.1.2的分析结果，初步确定激活剂的主要成分。

5.3.3 激活剂评价

评价方法如下：

- a) 将初步确定的激活剂加入到地层水中，模拟油藏温度培养 5 d~30 d；
- b) 检测与分析地层水中烃氧化菌含量；
- c) 若烃氧化菌的基础浓度提高了 1 个~2 个数量级，硫酸盐还原菌和铁细菌等有害菌浓度不增加，则确定为烃氧化菌激活剂，可进行物理模拟驱油评价。

5.3.4 烃氧化菌效果评价

评价方法如下：

- a) 模拟油藏的温度，将烃氧化菌菌液加入到经灭菌处理的地层水中，使初始菌浓度 $\geq 1.0 \times 10^6$ CFU/mL；
- b) 加入相应的激活剂及质量分数为 1.0%~5.0%的脱水原油，培养至少 3 d；
- c) 检测地层水中的烃氧化菌活菌总数，若烃氧化菌活菌总数 $\geq 1.0 \times 10^8$ CFU/mL，则确定为驱油功能菌，可进行物理模拟驱油评价。

5.4 物理模拟驱油效益评价

将5.2中筛选出的烃氧化菌和5.3中筛选出的激活剂进行物理模拟驱油评价。物理模拟试验装置、试验参数、试验程序和试验效果评价方法按照附录C执行。若物理模拟试验烃氧化菌提高采收率大于5.0%，可进行现场实施。

6 现场实施方案编制

6.1 油藏描述

6.1.1 油藏地质描述

按SY/T 5579.1—2008的规定执行。

6.1.2 油藏性质分析

按照4.2中表1的参数、检测方法进行分析。

6.2 驱油效果评价

6.2.1 烃氧化菌的筛选、评价以及激活剂的筛选、评价按5.2、5.3执行。

6.2.2 物理模拟驱油评价按5.4执行。

6.3 现场注入工艺

6.3.1 烃氧化菌和激活剂注入量、浓度、配空气量的选择

以产出液含水率达到98%时采收率的提高值为优化指标，采用正交实验法确定烃氧化菌和激活剂的浓度、注入量、配空气量的最佳值。

6.3.2 注入方式的选择

在6.3.1的优化条件下，利用物理模拟试验，在模拟油藏条件下考察烃氧化菌和激活剂不同注入段塞比的驱油效果，按6.3.1的优化指标，选择最佳烃氧化菌、激活剂注入方式和空气段塞的注入方式。

6.3.3 示踪剂监测

烃氧化菌地下油层激活增油技术现场实施前宜开展示踪剂监测，确定水流方向和水线推进速度，按SY/T 5925的规定执行。

6.3.4 调剖工艺选择

根据6.3.3的监测结果，按SY/T 5588—2012中第4章的规定执行。

6.4 注采井网完善

根据6.3.4的结果，并结合现场生产情况，完善注采井网。

6.5 现场注入系统设计

根据注入工艺要求，设计烃氧化菌地下油层增油现场注入系统。现场注入系统主要包括烃氧化菌和激活剂配制与储存设备、注入设备、计量设备、配空气设备（根据6.3.1优化结果确定是否配置）和注入管线，注入系统使用不锈钢材质或防腐处理。

6.6 经济效益评价

对烃氧化菌地下油层激活增油技术投入成本包括地面注入系统、烃氧化菌、激活剂、管理、运行费用和其它费用进行统计分析,以及烃氧化菌地下油层激活增油收益分析,并计算出烃氧化菌地下油层激活增油技术投入产出比,根据投入产出比评价烃氧化菌地下油层激活增油技术经济效益。

7 实施要求

7.1 烃氧化菌和激活剂质量检测要求

7.1.1 烃氧化菌质量检测指标

pH值: 6.0~8.0, 烃氧化菌菌浓: 大于 1.0×10^8 CFU/mL, 烃氧化菌菌浓检测方法按附录B执行。

7.1.2 激活剂质量检测指标

激活剂按5.3.3的评价结果激活1个~2个数量级配置。激活剂质量检测指标为pH值: 6.5~7.5。

7.2 跟踪检测要求

7.2.1 油水井跟踪监测要求

每月检测产出水样和注入水样的 pH 值 1 次。每季度检测烃氧化菌浓度 1 次、检测产出气样组分 1 次。氧含量实时监测。

7.2.2 生产动态监测

按SY/T 6225—2018中第5章执行。

7.3 方案调整要求

现场实施半年后油藏无生物特征显示或现场实施一年后阶段采收率达不到预期的情况下,可调整现场实施方案,调整方案设计应根据现场生产动态和产出液跟踪检测情况制定。

7.4 其他要求

所有与烃氧化菌和激活剂接触的设备(泵、罐、管线等)及施工液体外加剂不应影响烃氧化菌和激活剂的质量。

8 现场实施效果分析

烃氧化菌驱油现场实施效果的主要特征表现为生物见效特征和油藏动态见效特征。结合6.1.2和7.2的分析与监测结果,进行现场实施效果分析。

9 质量、健康、安全、环境控制要求

9.1 在包含配空气工艺的烃氧化菌驱油现场实施过程中,应对油井产出气氧含量进行实时监测,并控制该值 $\leq 5\%$ 、注入压力不应高于井口额定压力的80%。

9.2 施工人员应穿戴好安全防护用具。施工方注意保护施工场地环境,保证各种管线接口密封、阀门灵活好用,不应有跑、冒、滴、漏的现象。

9.3 脘氧化菌液、激活剂应存放在阴凉干燥处，避免太阳暴晒；脘氧化菌液、激活剂溶液不应随意排放，废料应集中回收处理。

9.4 施工方应对现场作业环境进行详细的风险辨识，制定相应的应急处置措施。

附录 A
(规范性)

烃氧化菌菌株的分离筛选及发酵培养条件优化

A.1 烃氧化菌菌株的分离筛选

A.1.1 样品储存

用经过灭菌的5 L样品桶收集采出液样品后，盖盖密封，置于4℃的冷藏室保存，保存时间不应超过半年。

A.1.2 培养基

培养基类型及制备方法见表A.1。

表 A.1 筛选烃氧化菌菌株培养基制备方法

培养基类型	组分	制备方法
无机盐培养基	NaCl 5 g、(NH ₄) ₂ SO ₄ 1 g、MgSO ₄ ·7H ₂ O 0.25 g、NaNO ₃ 2 g、KH ₂ PO ₄ 4 g、K ₂ HPO ₄ ·3H ₂ O 10 g	溶解于1 L纯净水中，调节pH至7.25，在0.1 MPa，121℃条件下灭菌20 min
葡萄糖培养基	10倍无机盐溶液加酵母膏1 g、葡萄糖20 g、固体培养基加琼脂20 g	溶解于1 L纯净水中，自然pH值，在0.1 MPa，121℃条件下灭菌15 min~20 min
Luria-Bertani (LB) 液体培养基	蛋白胨10 g、牛肉膏5 g、NaCl 10 g、琼脂15 g (固体培养基添加)	溶解于1 L纯净水中，调节pH至7.0，在0.1 MPa，121℃条件下灭菌20 min
原油培养基	10倍无机盐溶液100 mL、原油(油井采出油)20 mL	溶解于900 mL纯净水中，自然pH值，在0.1 MPa，121℃条件下灭菌20 min
固体选择培养基 (油平板)	10倍无机盐溶液100 mL、酵母膏1g、琼脂15 g、原油20 mL	溶解于900 mL纯净水中，自然pH值，在0.1 MPa，121℃条件下灭菌20 min，倾注平板

A.1.3 筛选及纯化

步骤如下：

- a) 将适量采出液水样加入基础无机盐培养基中，摇床培养7 d~14 d(培养条件为：摇床转速120 r/min，培养温度为对应的油藏温度，下同)；
 - b) 取适量 a) 中培养液加至 LB 液体培养基中进行富集培养，摇床培养1 d；
 - c) 取 b) 步骤的富集培养液，进行平板划线，分离培养，静置培养1 d~2 d；
 - d) 将分离出来的单菌分别加至原油培养基，摇床培养7 d；
 - e) 取一环原油乳化现象明显的培养液，在含油平板上划线，培养4 d~5 d；
 - f) 选取出现降油斑的平板，从降油斑周围挑取菌落，在葡萄糖平板上划线分离，培养24 h；
 - g) 从葡萄糖平板上挑取单菌落转接至 LB 斜面，培养24 h，由斜面再次划线接种至油平板。
- 重复上述步骤，直至得到形态一致的纯化菌落。

A.2 烃氧化菌发酵培养条件优化

A.2.1 目的

针对烃氧化菌的发酵培养条件进行优化,使烃氧化菌菌浓大于 1×10^8 CFU/mL。

A.2.2 主要仪器设备

超净工作台、高压灭菌锅、恒温培养箱、恒温震荡培养箱、显微镜、通风橱等。

A.2.3 培养基优化

A.2.3.1 碳源优化

碳源分别选用糖蜜、玉米浆粉、棉籽油、液蜡。考察不同碳源条件下菌浓的变化情况,培养温度为对应的油藏温度,转速180 rpm,培养时间72 h。

A.2.3.2 氮源优化

氮源分别选用 NH_4Cl 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、酵母粉、蛋白胨。考察不同氮源条件下的菌浓变化情况,培养条件同A.2.3.1。

A.2.3.3 磷源优化

磷源分别选用 KH_2PO_4 、 Na_2HPO_4 。考察不同磷源条件下的菌浓变化情况,培养条件同A.2.3.1。

A.2.3.4 发酵温度优化

温度是影响微生物生长以及生产表面活性剂的重要环境影响因素之一。分别在30℃、35℃、40℃、50℃、60℃条件下,180 r/min发酵培养72 h,考察不同温度条件下菌浓的变化。

A.2.4 表面活性剂的盐敏实验

经A.2.3优化后发酵产生的烃氧化菌发酵液,在矿化度为0 g/L、30 g/L、60 g/L、90 g/L、120 g/L、150 g/L的条件下处理,12 h后检测表面张力,考察不同矿化度条件对烃氧化菌发酵液表面活性的影响。

附 录 B
(规范性)
烃氧化菌的分析方法

B.1 方法原理

烃氧化菌的分析采用绝迹稀释法。将待测定的水样逐级注入至测试瓶或试管中进行接种稀释，直至最后一个测试瓶或试管中无菌生长为止，根据细菌生长情况和稀释倍数，计算出水样中细菌的数目。

B.2 试剂

B.2.1 化学试剂（分析纯）：硝酸钠、硫酸镁、硫酸铵、磷酸氢二钾、磷酸二氢钾、液体石蜡。

B.2.2 生物试剂：蛋白胨、牛肉膏、酵母浸粉、指示剂。

B.3 仪器设备和材料

需要的仪器设备和材料如下：

- a) 电热恒温培养箱：控温范围 30℃～80℃，±0.1℃；
- b) 高压蒸汽灭菌器；
- c) 电子天平：感量 0.01 g；
- d) 酸度计：精度 0.1 pH；
- e) 电热恒温磁力搅拌器；
- f) 烧杯：规格 1000 mL；
- g) 量筒：规格 500 mL；
- h) 定量分液器：1 mL～10 mL 可调，精度 0.1 mL；
- i) 无菌注射器：规格 1 mL。

B.4 培养基成分

(NH)₂SO₄ 1.0 g/L、MgSO₄ 0.2 g/L、NaNO₃ 1.5 g/L、KH₂PO₄ 1.0 g/L、K₂HPO₄ 2.0 g/L、液体石蜡 20.0 g/L、指示剂 1 mL/L。

B.5 分析步骤

B.5.1 总体要求

操作步骤按SY/T 0532—2012中第8章的规定执行，采用1个试样3个平行管法。

B.5.2 培养温度

为油藏的温度。

B.5.3 培养时间及烃氧化菌鉴别

烃氧化菌培养时间及鉴别方法见表B.1。

表 B.1 脲氧化菌培养时间及鉴别

菌种名称	培养时间	鉴别
脲氧化菌	7 d~14 d	试管中的液体由红变黄或浑浊

B.6 计数方法及结果分析

按SY/T 0532—2012的规定执行。

附 录 C
(规范性)
烃氧化菌物理模拟驱油评价

C.1 试验装置

主要包括试验预处理装置、模型装置、压力和温度监测装置、注入装置、采样和计量装置。

C.2 试验参数

模拟油藏渗透率、孔隙度、饱和度、温度、矿化度等参数。

C.3 试验程序

C.3.1 试验准备

步骤如下：

- a) 根据油藏基础数据确定试验参数，设计并制备模型；
- b) 测定模型渗透率；
- c) 进行模型灭菌处理。

C.3.2 岩心选取及制备

C.3.2.1 试验选用人造胶结岩心，长 30 cm，直径 3.8 cm；

C.3.2.2 人造胶结岩心端面与柱面均应平整，且端面应垂直于柱面，不应有缺角等结构缺陷。

C.3.3 试验步骤

C.3.3.1 饱和原油

按SY/T 5579.1—2008中A.1.2.4的规定执行。

C.3.3.2 模型老化和一次水驱

步骤如下：

- a) 将模型放入设定油藏温度下的恒温箱中，放置（老化）7 d；
- b) 老化结束后将模型管内压力提升至油藏压力；
- c) 将产出水由模型入口端注入，出口端收集产出液，直至出口端产出液含水率达到 98%时，根据累计驱出原油的量计算模型一次水驱采收率。

C.3.3.3 注入烃氧化菌或激活剂

烃氧化菌或激活剂注入按外源微生物驱油和内源微生物驱油分别进行：

- a) 外源微生物驱油：注入筛选出的烃氧化菌及其激活剂，注入完成后，培养时间不低于 10 d；
- b) 内源微生物驱油：注入筛选出的激活剂，注入完成后，培养时间不低于 10 d。

C.3.3.4 二次水驱

将注入水由模型入口端注入，出口端收集产出液，直至产出液中含水率达到98%时，结束驱替试验，根据二次水驱产出原油总量计算模型二次水驱采收率。

C.4 物模试验效果评价

物理模拟试验提高采收率按公式 (C.1) 计算:

$$\eta = \eta_1 - \eta_2 \cdots \cdots \cdots (C.1)$$

式中:

- η ——提高采收率, %;
- η_1 ——烃氧化菌驱岩心二次水驱采收率, %;
- η_2 ——空白对照岩心二次水驱采收率, %。
