

## 中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 7455—2019

---

### 稠油井井筒降黏工艺规程

Rules of viscosity reduction technology in well bore

2019—11—04 发布

2020—05—01 实施

---

国家能源局 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 相关指标测试方法	2
4.1 转相点	2
4.2 敏感含水点	2
4.3 粘壁温度	2
4.4 流型转变温度	2
5 降黏工艺及要求	2
5.1 降黏工艺分类	2
5.2 掺入降黏工艺	3
5.3 加热降黏工艺	6
6 降黏工艺优选	7
6.1 降黏工艺优选原则	7
6.2 降黏工艺日折算费用计算	7
7 HSE 及井控要求	7
附录 A (资料性附录) 降黏工艺参数计算推荐方法	9
附录 B (资料性附录) 密闭式热流体循环降黏工艺参数计算实例	16
附录 C (资料性附录) 不同降黏工艺日折算费用计算方法	20

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由采油采气专业标准化委员会提出并归口。

本标准起草单位：中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司石油工程技术研究院、中国石油辽河油田钻采工艺研究院、中国石油天然气股份有限公司新疆油田分公司工程技术研究院、中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司孤岛采油厂、中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司工程技术管理中心。

本标准主要起草人：李淑兰、谢志勤、张岩、刘家意、潘竟军、赵晓红、梁兴、梁伟、刘冬青、马爱青、栾海军、曲晓峰、邓伟兵、高兰、王文钢、郭秀媛、罗鹏飞、吴建华。

# 稠油井筒降黏工艺规程

## 1 范围

本标准规定了稠油井筒降黏工艺的相关指标测试方法、降黏工艺及要求、降黏工艺优选、HSE及井控要求。

本标准适用于稠油油田井筒有杆泵举升降黏工艺作业施工和工艺优选。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 8929 原油水含量的测定 蒸馏法
- GB/T 13869 用电安全导则
- GB/T 33840 水套加热炉通用技术要求
- JB/T 12234 铠装加热电缆
- SY/T 0520 原油黏度测定 旋转黏度计平衡法
- SY/T 5225 石油天然气钻井、开发、储运防火防爆安全生产技术规程
- SY/T 5550 空心抽油杆
- SY/T 5587.5 常规修井作业规程 第5部分：井下作业井筒准备
- SY/T 5727 井下作业安全规程
- SY/T 5873 有杆泵抽油系统设计、施工作法
- SY/T 6520 原油脱水试验方法 压力釜法
- SY/T 6524 石油天然气作业场所劳动防护用品配备规范
- SY/T 6610 硫化氢环境井下作业场所作业安全规范
- SY/T 6690 井下作业井控技术规程
- SY/T 6698 油气井用连续管作业推荐作法

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**转相点 phase inversion point**

随着含水率的增加，油水混合液由 W/O 型转变成 O/W 型对应的含水率。

### 3.2

**敏感含水点 sensitive water cut point**

含水率达到转相点后，随着含水的上升，混合液的黏度下降。含水率达到一定值后，含水继续上升，降黏幅度 $\leq 10\%$ ，该含水率即为敏感含水点。

### 3.3

#### 粘壁温度 wall-adhesion temperature

油水混合液管输过程中，当温度低于某一值时，原油出现粘附管壁现象时的温度为粘壁温度。

### 3.4

#### 流型转变温度 flow pattern transition temperature

稠油黏度随温度上升而降低，当温度上升到某一温度时，稠油由非牛顿流体转变为牛顿流体，此温度为稠油流型转变温度。

## 4 相关指标测试方法

### 4.1 转相点

4.1.1 取生产井油样脱水，脱水试验方法按 SY/T 6520 的规定执行。

4.1.2 将脱水油样 100mL 转移至 500mL 乳化机的样品池中，放置水浴锅 50℃ 条件下恒温 1h，加入 10mL 蒸馏水，用高速乳化机剪切 30min，转速 500r/min。立即取 10mL 样品进行 50℃ 黏度测试，测试按 SY/T 0520 的规定执行。

4.1.3 依次向样品池中加入 10mL 蒸馏水，按 4.1.2 步骤操作测试样品黏度。直至当黏度开始下降时取对应的上部乳液，按 GB/T 8929 测含水率，该含水率为转相点。

### 4.2 敏感含水点

推荐采取经验法。敏感含水点 = 转相点 +  $k$ 。转相点含水 < 70% 时， $k$  取 20%；转相点含水 ≥ 70% 时， $k$  取 15%。

### 4.3 粘壁温度

4.3.1 继续 4.1.3 操作，依次加蒸馏水 10mL 至敏感含水点，取 10mL 样品，测试不同温度下的黏度，实验温度从 50℃ 降低至 25℃，每次降低 5℃。

4.3.2 将脱水油样 100mL 转移至 500mL 样品池中，按 4.1.2、4.1.3、4.2 掺水至敏感含水点，用高速乳化机剪切 30min，转速 500r/min。取 10mL 样品，测试不同温度下的黏度，实验温度从 50℃ 降低至 25℃，每次降低 5℃，黏度测试按 SY/T 0520 的规定执行。

4.3.3 绘制黏度与测试温度的关系曲线，曲线拐点对应的温度，即为粘壁温度。

### 4.4 流型转变温度

4.4.1 取生产井油样脱水，脱水试验方法按 SY/T 6520 的规定执行。

4.4.2 取 10mL 样品，从 30℃ 开始测量原油流变曲线，原油的黏度测试按 SY/T 0520 的规定执行。

4.4.3 依次升高 5℃ 测量样品流变性，直至屈服值为零，对应的温度为流型转变温度。

## 5 降黏工艺及要求

### 5.1 降黏工艺分类

依据降黏原理，降黏工艺分掺入降黏、加热降黏、复合降黏。掺入降黏包括掺水降黏、掺化学剂降黏、掺稀油降黏；加热降黏包括空心抽油杆电加热降黏、密闭式热流体循环降黏。本标准暂不考虑复合降黏。

## 5.2 掺入降黏工艺

### 5.2.1 掺水降黏工艺

#### 5.2.1.1 工艺原理

通过油套环空或空心抽油杆将掺入的热水与产液混合，达到混合液转相，实现井筒降黏。

#### 5.2.1.2 掺入方式

包括套管注入、空心抽油杆注入两种方式。

#### 5.2.1.3 系统组成

根据掺入方式，系统包括：

- a) 套管掺入工艺主要由地面掺水管线、单流阀等组成。
- b) 空心抽油杆掺入工艺主要由地面掺水管线、高压软管、掺水三通、空心抽油杆、掺水泵、单流阀等组成。

#### 5.2.1.4 适用条件

掺水降黏工艺一般适用于：

- a) 原油黏度低于  $30000\text{mPa}\cdot\text{s}$ （地面  $50^\circ\text{C}$  脱气原油）。
- b) 掺水系统完善，供水量充足。

#### 5.2.1.5 方案设计

##### 5.2.1.5.1 资料收集

包括转相点、粘壁温度、油井动液面、液量、含水、油套管规格、油层深度、油层温度、地温梯度、燃料热值、加热炉热效率、加热炉入口及出口流体温度等资料。

##### 5.2.1.5.2 工艺参数设计

掺水降黏工艺参数包括掺水深度、掺水温度和日掺水量。根据原油敏感含水点、粘壁温度优化工艺参数，工艺参数计算方法参见 A.1。

##### 5.2.1.5.3 空心抽油杆的选择及设计

空心抽油杆的选择及设计应符合 SY/T 5550 和 SY/T 5873 的要求。

#### 5.2.1.6 现场实施

5.2.1.6.1 井筒准备，执行 SY/T 5587.5。

5.2.1.6.2 下入泵、油管、抽油杆等完井。

5.2.1.6.3 按设计的掺水参数试抽，正常后交井。

5.2.1.6.4 跟踪生产动态，及时调整工艺参数。

## 5.2.2 掺化学剂降黏工艺

### 5.2.2.1 工艺原理

向生产井注入化学剂，利用化学剂与原油的乳化或分散作用，实现井筒降黏。

### 5.2.2.2 掺入方式

包括套管注入、空心抽油杆注入两种方式。

### 5.2.2.3 系统组成

根据化学剂的掺入方式，系统包括：

- a) 套管掺入工艺主要由地面注入系统、单流阀等组成。
- b) 空心抽油杆掺入工艺主要由地面注入系统、空心抽油杆组成。

### 5.2.2.4 适用条件

掺化学剂降黏工艺一般适用于：

- a) 原油黏度低于  $30000\text{mPa}\cdot\text{s}$ （地面  $50^\circ\text{C}$  脱气原油）。
- b) 含水不低于 30.0%。
- c) 具备连续加药条件。

### 5.2.2.5 方案设计

#### 5.2.2.5.1 资料收集

包括人工井底、井斜数据、射孔数据、原油黏度、动液面、液量、含水、油套管规格、化学剂性能参数、泵挂深度等资料。

#### 5.2.2.5.2 工艺参数设计

掺化学剂降黏工艺参数设计包括：

- a) 确定井筒沿程产液温度，计算方法参见 A.1.2，实验测试温度取沿程平均温度。
- b) 取生产井油样脱水，脱水试验方法按 SY/T 6520 的规定执行。
- c) 测试脱水油样的原油黏度，原油的黏度测试按 SY/T 0520 的规定执行。
- d) 测试掺入化学剂后的原油黏度，原油的黏度测试按 SY/T 0520 的规定执行。
- e) 筛选化学剂、优选化学剂浓度、化学剂用量、化学剂掺入方式。

#### 5.2.2.5.3 空心抽油杆的选择及设计

空心抽油杆的选择及设计应符合 SY/T 5550 和 SY/T 5873 的要求。

### 5.2.2.6 现场实施

#### 5.2.2.6.1 井筒准备，执行 SY/T 5587.5。

#### 5.2.2.6.2 下入泵、油管、抽油杆等完井。

#### 5.2.2.6.3 按设计的工艺参数掺入化学剂试抽，正常后交井。

#### 5.2.2.6.4 跟踪生产动态，及时调整工艺参数。

### 5.2.3 掺稀油降黏工艺

#### 5.2.3.1 工艺原理

向生产井注入稀油，利用稀油的溶解、稀释作用，实现井筒降黏。

#### 5.2.3.2 掺入方式

包括套管掺入、油管掺入、空心抽油杆掺入三种方式。

#### 5.2.3.3 系统组成

根据稀油的掺入方式，系统包括：

- a) 套管掺入工艺、油管掺入工艺主要由地面注入系统、单流阀等组成。
- b) 空心抽油杆注入方式主要由地面注入系统、空心抽油杆、单流阀等组成。

#### 5.2.3.4 适用条件

掺稀油降黏工艺适用于：

- a) 原油黏度不受限制，更适用于超稠油。
- b) 具备稀油资源。

#### 5.2.3.5 方案设计

##### 5.2.3.5.1 资料收集

包括人工井底、井斜数据、射孔数据、原油黏度、动液面、液量、含水、油套管规格、稀油黏度、泵挂深度等资料。

##### 5.2.3.5.2 工艺参数设计

掺稀油降黏工艺参数设计包括：

- a) 确定井筒沿程产液温度，计算方法参见 A.1.2，实验测试温度取井口产液温度。
- b) 取生产井油样脱水，脱水试验方法按 SY/T 6520 的规定执行。
- c) 测试掺入稀油后的原油黏度，原油的黏度测试按 SY/T 0520 的规定执行。
- d) 筛选稀油、优选稀油的掺入比例、日掺稀量、稀油掺入方式、掺稀油深度。

##### 5.2.3.5.3 空心抽油杆的选择及设计

空心抽油杆的选择及设计应符合 SY/T 5550 和 SY/T 5873 的要求。

#### 5.2.3.6 现场实施

5.2.3.6.1 井筒准备，执行 SY/T 5587.5。

5.2.3.6.2 下入泵、油管、抽油杆等完井。

5.2.3.6.3 按设计的工艺参数掺入稀油试抽，正常后交井。

5.2.3.6.4 跟踪生产动态，及时调整工艺参数。

### 5.3 加热降黏工艺

#### 5.3.1 密闭式热流体循环降黏工艺

##### 5.3.1.1 工艺原理

利用密闭式循环通道内的热流体加热产液，实现井筒降黏。

##### 5.3.1.2 系统组成

主要由加热炉、循环系统、双空心抽油杆或外空心抽油杆+连续内管、四通悬挂器组成。

##### 5.3.1.3 适用条件

密闭式热流体循环降黏工艺一般适用于：

- a) 原油黏度低于 50000mPa·s（地面 50℃脱气原油）的油井。
- b) 具备稳定的燃料供应或电力升温条件。

##### 5.3.1.4 方案设计

###### 5.3.1.4.1 资料收集

包括原油流型转变温度、油井动液面、液量、含水、油套管规格、油层深度、油层温度、地温梯度、热流体的物性参数、加热炉热效率、燃料热值、循环流体的温度等资料。

###### 5.3.1.4.2 工艺参数设计

工艺参数包括加热深度、日循环量、循环温度。根据原油流型转变温度优化工艺参数，工艺参数计算方法参见 A.2，计算实例参见附录 B。

###### 5.3.1.4.3 空心抽油杆的选择及设计

空心抽油杆的选择及设计应符合 SY/T 5550 和 SY/T 5873 的要求。

##### 5.3.1.5 现场实施

5.3.1.5.1 井筒准备，执行 SY/T 5587.5。

5.3.1.5.2 下入泵、油管、抽油杆等完井。

5.3.1.5.3 连续内管的施工执行 SY/T 6698。

5.3.1.5.4 按设计的循环参数试抽，正常后交井。

5.3.1.5.5 跟踪生产动态，及时调整工艺参数。

#### 5.3.2 空心抽油杆电加热降黏工艺

##### 5.3.2.1 工艺原理

通过空心抽油杆内的电缆加热产液，实现井筒降黏。

##### 5.3.2.2 系统组成

主要由空心抽油杆、加热电缆、电缆三通及电控部分组成。

### 5.3.2.3 适用条件

空心抽油杆电加热降黏工艺一般适用于：

- a) 适用于原油黏度低于 200000mPa·s (50℃脱气原油) 的稠油。
- b) 原油黏度为 100000mPa·s ~ 200000mPa·s (50℃脱气原油) 的稠油, 宜采用隔热油管。

### 5.3.2.4 方案设计

#### 5.3.2.4.1 资料收集

包括原油流型转变温度、油井动液面、液量、含水、油套管规格、油层深度、油层温度、地温梯度、电缆参数等资料。

#### 5.3.2.4.2 工艺参数设计

空心抽油杆电加热降黏工艺参数设计包括：

- a) 工艺参数包括加热深度、加热功率。根据原油流型转变温度优化工艺参数, 工艺参数计算方法参见 A.3。
- b) 根据工艺参数选择加热电缆和控制柜, 电缆参数的选择执行 JB/T 12234。

#### 5.3.2.4.3 空心抽油杆的选择及设计

空心抽油杆的选择及设计应符合 SY/T 5550 和 SY/T 5873 的要求。

### 5.3.2.5 现场实施

5.3.2.5.1 井筒准备, 执行 SY/T 5587.5。

5.3.2.5.2 下入泵、油管、抽油杆等完井。

5.3.2.5.3 开井前电热系统应通电预热 2h ~ 4h。

5.3.2.5.4 按设计的加热参数试抽, 正常后交井。

5.3.2.5.5 跟踪生产动态, 及时调整工艺参数。

## 6 降黏工艺优选

### 6.1 降黏工艺优选原则

基于井筒降黏工艺的技术适用性, 结合油井现场实际情况, 优化降黏工艺的技术参数, 对比降黏工艺的日折算费用, 在满足正常生产需求的前提下, 宜以降黏工艺日折算费用最低为原则优选降黏工艺。

### 6.2 降黏工艺日折算费用计算

计算方法参见附录 C。

## 7 HSE 及井控要求

7.1 作业场所劳动防护用具配备应符合 SY/T 6524 的规定。

7.2 井下作业井控评价与设计按 SY/T 6690 执行。

7.3 施工过程的防火防爆应符合 SY/T 5225 的规定。

7.4 加热炉的调试运行按 GB/T 33840 执行。

- 7.5** 井下作业的安全要求应符合 SY/T 5727 的规定。
- 7.6** 用电安全应符合 GB/T 13869 的规定。
- 7.7** 作业场所硫化氢的防护按 SY/T 6610 执行。
- 7.8** 施工用液不应落地，井下作业过程中从井内排出的液体应回收进罐，不应随意排放。
- 7.9** 做好 HSE 预案。

附 录 A  
(资料性附录)  
降黏工艺参数计算推荐方法

### A.1 掺水降黏工艺参数计算

#### A.1.1 掺水降黏技术要求

采用掺水降黏时,要求掺水后混合产液综合含水达到敏感含水点,并筒沿程温度高于黏壁温度,避免原油附着在管壁堵塞井筒和管线。

#### A.1.2 井筒温度场模拟

井筒沿程温度分布按公式 (A.1) 计算:

$$t = (t_{z0} + \frac{mW_L}{K}) + mz + (t_{zw} - t_{z0} - \frac{mW_L}{K} - mz_w)e^{-\frac{z_w - z}{K} \frac{W_L}{K}} \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

其中:

$$W_L = \dot{m}_w C_w + \dot{m}_o C_o + \dot{m}_g C_g \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

- $t$ ——产液温度,单位为摄氏度(℃);
- $t_{z0}$ ——地表恒温层温度,单位为摄氏度(℃);
- $m$ ——地温梯度,单位为摄氏度每米(℃/m);
- $W_L$ ——产液水当量,单位为瓦每摄氏度(W/℃);
- $K$ ——产液到地层的径向传热系数,单位为瓦每米摄氏度[W/(m·℃)];
- $z$ ——计算深度,单位为米(m);
- $t_{zw}$ ——油层温度,单位为摄氏度(℃);
- $z_w$ ——油层深度,单位为米(m);
- $\dot{m}_w$ ——产液中水的质量流量,单位为千克每小时(kg/h);
- $C_w$ ——产液中水的比热,单位为瓦时每千克摄氏度[W·h/(kg·℃)];
- $C_o$ ——产液中油的比热,单位为瓦时每千克摄氏度[W·h/(kg·℃)];
- $\dot{m}_o$ ——产液中油的质量流量,单位为千克每小时(kg/h);
- $\dot{m}_g$ ——产液中气的质量流量,单位为千克每小时(kg/h);
- $C_g$ ——产液中气的比热,单位为瓦时每千克摄氏度[W·h/(kg·℃)]。

#### A.1.3 掺水深度计算

由 4.3 确定稠油的粘壁温度,根据公式 (A.1) 温度分布,计算出产液温度与粘壁温度相等时的深度,即为掺水深度  $z_H$ 。将  $z_H$  代入公式 (A.1) 中的  $z$ ,计算掺水深度对应的产液温度  $t_H$ 。

#### A.1.4 日掺水量计算

由 4.1、4.2 确定稠油的敏感含水点,根据公式 (A.3),计算出达到敏感含水点时的掺水量,即为

掺水降黏工艺的掺水量。

$$G_1 = \frac{G_L(1-B_w)}{1-B_{w0}} - G_L \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

$G_1$ ——日掺水量，单位为立方米每天 ( $m^3/d$ )；

$G_L$ ——日产液量，单位为立方米每天 ( $m^3/d$ )；

$B_w$ ——综合含水率；

$B_{w0}$ ——敏感含水点。

#### A.1.5 掺水温度参数计算

根据掺水量、加热深度，给定任意的井口掺水温度，可以计算掺水段任一点的混合液温度。根据公式 (A.4) 计算出满足掺水后井筒中混合产液最低温度等于粘壁温度时所需要的掺水温度。

$$t_1 = C_1 e^{\alpha_1 z} + C_2 e^{\alpha_2 z} + mz + a \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

其中：

$$C_1 = \frac{\alpha_1 D_2 - \beta_1 D_1}{\alpha_1 \beta_2 - \beta_1 \alpha_2} \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

$$C_2 = \frac{D_1 \beta_2 - D_2 \alpha_2}{\alpha_1 \beta_2 - \beta_1 \alpha_2} \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

$$\alpha_1 = \frac{K_1 + K}{K_1} - \frac{r_1}{K_1} (W_1 + W_L) \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

$$\alpha_2 = \frac{K_1 + K}{K_1} - \frac{r_2}{K_1} (W_1 + W_L) \quad \dots\dots\dots (A.8)$$

$$\beta_1 = [ (1 - \alpha_1) W_1 + W_L ] e^{\alpha_1 z_H} \quad \dots\dots\dots (A.9)$$

$$\beta_2 = [ (1 - \alpha_2) W_1 + W_L ] e^{\alpha_2 z_H} \quad \dots\dots\dots (A.10)$$

$$W_1 = \dot{m}_1 C_w \quad \dots\dots\dots (A.11)$$

$$D_1 = T_0 - b \quad \dots\dots\dots (A.12)$$

$$D_2 = W_1(b - a) + W_L(t_H - mz_H - a) \quad \dots\dots\dots (A.13)$$

$$a = t_{z0} + \frac{W_L}{K} \quad \dots\dots\dots (A.14)$$

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/346241002041010040>