

ICS 75.020

E 12

备案号: 11568—2003

SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 5588—2003

代替 SY/T 5588—93, SY/T 5865—93

注水井调剖工艺及效果评价

**Profile modification technology and result evaluation
in water injection well**

2003-03-18 发布

2003-08-01 实施

国家经济贸易委员会 发 布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 调剖工艺设计	1
5 施工程序	4
6 恢复注水	5
7 质量控制	5
8 健康、安全、环境管理要求	5
9 资料录取和数据处理	5
10 调剖施工效果评价	6
附录 A (资料性附录) 注水井调剖施工设计书格式	8
附录 B (资料性附录) 注水井调剖施工记录格式	15
附录 C (资料性附录) 注水井调剖施工总结格式	16

前 言

本标准是 SY/T 5588—93《注水井调剖工艺作法》和 SY/T 5865—93《砂岩油田注水井调剖效果评定方法》的修订。与原标准相比，主要修订内容如下：

- 去掉、修改了部分术语；
- 修改了调剖选井条件；
- 增加了调剖选井过程流程；
- 调整了部分条款的顺序；
- 增加了调剖施工半径设计；
- 增加了调剖施工排量设计；
- 修改了调剖效果评价方法；
- 增加了调剖效益评价指标及计算方法；
- 修改了附录 A 调剖施工设计格式的部分内容；
- 修改了附录 B 调剖施工记录格式的部分内容；
- 修改了附录 C 调剖施工总结格式的部分内容。

本标准自生效之日起，同时代替 SY/T 5588—93 和 SY/T 5865—93。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C 为资料性附录。

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：河南油田分公司石油工程技术研究院。

本标准主要起草人：曹珍、毛为成、黄青松、石步乾、冯兴武、刘国生、张文玉。

引 言

SY/T 5588—93《注水井调剖工艺作法》及 SY/T 5865—93《砂岩油田注水井调剖效果评定方法》两个标准已实施近十年了，它们在我国油田注水井调剖技术的推广应用起到了重要的指导作用。随着我国老油田进入高含水开发，注水井调剖技术逐渐成为老油田的主要技术措施，调剖技术由单井调剖发展为区块整体调剖，调剖处理半径不断扩大，调剖技术不断发展，调剖设备不断配套完善。为了适应现阶段各油田调剖工作的需要，将两标准合二为一并进行修订。

注水井调剖工艺及效果评价

1 范围

本标准规定了注水井调剖工艺及效果评价的作法。

本标准适用于注水开发油藏的注水井调整吸水剖面作业及效果评价。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

SY 5727 井下作业井场用电安全要求

SY/T 6276 石油天然气工业健康、安全与环境管理体系

SY/T 6361 采油采气注水矿场健康、安全与环境管理体系指南

SY/T 6362 石油天然气井下作业健康、安全与环境管理体系指南

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

调剖井次 number of times in wells profile modification

调剖井次是统计调剖作业工作量的计量单位。在一口井上按调剖设计要求全部完成一次作业工作量，称作一个调剖井次。

3.2

水井有效率 efficiency rate of water inject well

注水井调剖施工井次中，在注水井上见到效果的调剖井数与总调剖井次之百分比。

3.3

油井见效率 efficiency rate of oil well

注水井调剖后，其对应油井中见到效果的井次与对应油井总数之百分比。

3.4

区块整体调剖 profile modification on block well

以油田区块为对象，以提高注入水的波及体积为目的，对区块内需要调剖的注水井在相对集中的时间内进行调剖施工。

4 调剖工艺设计

4.1 区块整体调剖

4.1.1 区块整体调剖总体方案设计

区块整体调剖总体方案设计通过油藏数值模拟确定，包括：调剖总井数、总注入量、井号和各调剖井的调剖半径。

4.1.2 区块整体调剖方案的完善

在调剖区块选择一口有代表性的调剖井进行调剖试注，分别录取试注前后的压力、注入量、排量

等资料，确定区块调剖剂用量系数，完善区块整体调剖方案总体设计。

4.2 选井

4.2.1 选井条件

- a) 纵向及平面渗透率差异大，有高吸水层段的注水井；
- b) 井组（或区块）油井生产状况差异大；
- c) 注采对应的注水井；
- d) 注水井井况好、无漏失，调剖层上下夹层无串通。

4.2.2 选井过程流程

调剖选井过程流程见图 1。

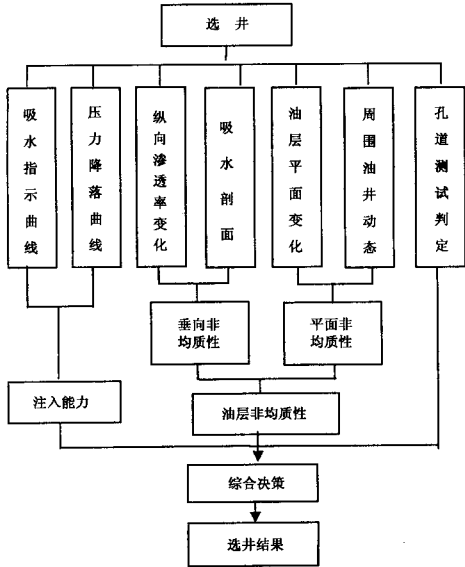


图 1 调剖选井过程流程

4.3 选择调剖剂

4.3.1 调剖剂类型选择

根据注水井调剖层的油藏类型、地层温度、地层压力、油层物性、孔喉特征、流体性质、注水水质和预处理半径，确定所用调剖剂类型。

4.3.2 调剖剂性能要求

调剖剂应具有良好的注入性能、稳定性能及封堵能力。

4.4 单井调剖半径及挤注量设计

4.4.1 单井调剖半径

单井调剖处理半径按式（1）计算：

$$r_a = \exp \frac{(\ln r_e)(f_g - 1) + (\ln r_w)(f_{\pi} - f_g)}{f_{\pi} - 1} \dots\dots\dots (1)$$

其中:

$$f_g = \frac{q_1 / \Delta p_{po}}{q_2 / \Delta p_{pos}} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- r_a ——处理半径, 单位为米 (m);
- r_e ——注水井注水影响半径, 单位为米 (m);
- r_w ——井筒半径, 单位为米 (m);
- f_g ——处理前后注入能力之比;
- q_1, q_2 ——处理前后日注水量, 单位为立方米每天 (m^3/d);
- $\Delta p_{po}, \Delta p_{pos}$ ——处理前后的注水压差, 单位为兆帕 (MPa);
- f_{π} ——残余阻力系数。

4.4.2 单井调剖剂挤注量

单井调剖剂挤注量按式 (3) 计算:

$$V_1 = \pi \sum_{i=1}^n h_i \cdot \phi_i \cdot r_i^2 \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- V_1 ——挤注量, 单位为立方米 (m^3);
- h_i —— i 层段的厚度, 单位为米 (m);
- ϕ_i —— i 层段的孔隙度;
- r_i —— i 层段的处理半径, 单位为米 (m);
- n ——调剖目的层的数量。

4.5 顶替液量

顶替液量按式 (4) 计算:

$$V_2 = V_3 + V_4 + V_5 + V_6 \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- V_2 ——顶替液量, 单位为立方米 (m^3);
- V_3 ——地面管汇容积, 单位为立方米 (m^3);
- V_4 ——管柱容积, 单位为立方米 (m^3);
- V_5 ——封隔器胶筒卡距内环空容积, 单位为立方米 (m^3);
- V_6 ——附加顶替液量, 单位为立方米 (m^3)。

4.6 挤注压力

挤注压力控制在大于高渗透层启动压力, 小于低渗透层的启动压力的范围内。

4.7 挤注排量

施工挤注排量按式 (5) 计算:

$$Q = \frac{2\pi Kh(p_w - p_e)}{\mu \ln(r_e/r_w)} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

Q ——施工挤注排量，单位为立方米每天 (m^3/d)；

K ——调剖层渗透率，单位为二次方微米 (μm^2)；

h ——调剖层厚度，单位为米 (m)；

p_w ——调剖施工井底压力，单位为兆帕 (MPa)；

p_e ——油层平均压力，单位为兆帕 (MPa)；

μ ——调剖剂的粘度，单位为毫帕秒 ($\text{mPa}\cdot\text{s}$)。

渗透率根据吸水指示曲线按式 (6) 计算：

$$K = \frac{Q_w}{\Delta p} \cdot \frac{\mu_w \ln(r_e/r_w)}{2\pi h} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

Q_w ——测试时调剖层吸水量，单位为立方米每天 (m^3/d)；

Δp ——测试时注水压差，单位为兆帕 (MPa)；

μ_w ——水的粘度，单位为毫帕秒 ($\text{mPa}\cdot\text{s}$)。

4.8 编写调剖施工设计书

根据地质方案编写调剖工艺设计方案，根据调剖工艺设计方案编写单井施工设计书，施工设计书格式参见附录 A。

5 施工程序

5.1 井筒准备

5.1.1 不动管柱施工

5.1.1.1 用注入水洗井至进出口端的水质相同。

5.1.1.2 分注井投捞配注水嘴：调剖层为空嘴子，非调剖层为死嘴子。

5.1.1.3 正注水 2d~4d。

5.1.1.4 测取注水指示曲线、吸水启动压力、井口压降曲线。

5.1.2 动管柱施工

5.1.2.1 起出注水管柱。

5.1.2.2 通井至井底；有砂则冲至人工井底。

5.1.2.3 按调剖施工设计要求下入施工管柱，安装井口。

5.1.2.4 按 5.1.1.1 操作。

5.1.2.5 按 5.1.1.3 操作。

5.1.2.6 按 5.1.1.4 操作。

5.2 井场布置

根据施工设计摆放各种配液设备和注入设备，连接各种管线、管汇。

5.3 设备试运行及管汇试压

地面设备试运转，关闭注水闸门，试压（挤注压力的 1.5 倍），以管线不刺不漏为合格。

5.4 配制调剖剂

根据所选用的调剖剂的配制方法和设计剂量的要求配制调剖剂。

5.5 挤注施工

5.5.1 试挤

试挤验封确定调剖剂挤注压力和排量，试挤压力、排量应满足 4.6、4.7 的要求。

5.5.2 挤注

根据试挤确定的压力和排量注入调剖剂。当挤注压力超过 4.6 规定的压力范围时，降低施工排

量。

5.5.3 挤顶替液

调剂挤注完后，挤入顶替液停泵关井或直接改为注水。

6 恢复注水

6.1 不动管柱施工后恢复注水

6.1.1 洗井

注入水洗井至进出口端的水质相同。

6.1.2 录取测试资料

正注水 3d~7d，观察调剖层调剖后的注水状况。待注水井压力稳定后，测取注水指示曲线、吸水启动压力、井口压降曲线。

6.1.3 注水

按地质要求投捞井下水嘴，分层配注。

6.2 动管柱施工后恢复注水

6.2.1 洗井

按 6.1.1 操作。

6.2.2 录取测试资料

按 6.1.2 操作。

6.2.3 注水

6.2.3.1 根据工程设计起出施工管柱。

6.2.3.2 根据地质要求按设计下入分层注水管柱，安装井口。用注入水洗井至进出口端的水质相同后恢复注水。

7 质量控制

7.1 设计质量控制

各级审批手续完备。

7.2 施工质量控制

调剂配制符合质量要求；施工压力、排量、总注入量控制在设计要求的范围内。

8 健康、安全、环境管理要求

8.1 井场用电安全要求

井场用电要求按 SY 5727 执行。

8.2 现场施工健康、安全、环境管理要求

现场施工健康、安全、环境管理要求按 SY/T 6276、SY/T 6361、SY/T 6362 执行。

9 资料录取和数据处理

9.1 录取资料

a) 施工过程中进行施工记录，施工记录格式参见附录 B。

b) 调剖施工前后一个月内采用相同的测井方法，在相同的条件下测试注水井吸水剖面。

c) 调剖施工前后，在正常注水一周后，在相同压力、注水量条件下测取分层注水指示曲线、吸水启动压力和井口压降曲线。

9.2 数据处理

绘制调剖井施工前后的注水曲线、各对应油井和井组的采油曲线及水驱特征曲线。

9.3 施工总结

调剖作业结束后，编写施工总结，施工总结格式参见附录 C。

10 调剖施工效果评价

10.1 注水井调剖效果的判定

凡符合 10.1.1、10.1.2 中任一条且有效期在一个月以上的视为调剖有效。

10.1.1 水井有效

- a) 高吸水层吸水指数下降 15 个百分点及以上。
- b) 吸水剖面发生明显合理变化，其高、低渗透层段每米吸水量的变化在 10 个百分点以上。
- c) 压力降落曲线明显变缓。

10.1.2 油井见效

- a) 日产油量上升，含水率下降 5 个百分点及以上。
- b) 日产油量上升 10 个百分点以上，含水率不变。
- c) 日产油量不变，含水率下降 10 个百分点及以上。

10.2 注水井调剖效果计算

对产油量递减严重或含水率上升快的井组或区块，按自然递减率和含水上升率折算月原油增产量和月减少产水量。

10.2.1 日增油量的计算

日增油量按式 (7) 计算。

$$\Delta Q = Q_4 - Q_3 \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

- ΔQ ——调剖后日增油量，单位为吨每天 (t/d)；
 - Q_3 ——若不调剖，第 n 个月油井自然递减后的日产量，单位为吨每天 (t/d)；
 - Q_4 ——调剖后实际日产量，单位为吨每天 (t/d)。
- Q_3 按式 (8) 计算：

$$Q_3 = Q(1 - a)^n \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：

- Q ——调剖前日产量，单位为吨每天 (t/d)；
 - n ——油井见效的月数；
 - a ——处理前区块产油月自然递减率。
- a 按式 (9) 计算：

$$a = (Q_2 - Q_1)/Q_2 \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：

- Q_1 ——油井见效前第一个月的平均日产量，单位为吨每天 (t/d)；
- Q_2 ——油井见效前第二个月的平均日产量，单位为吨每天 (t/d)。

10.2.2 日减少产水量的计算

日减水量的计算按式 (10) 计算。

$$\Delta Q_w = Q_{w3} - Q_{w4} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中：

ΔQ_w ——调剖后日降水量, 单位为立方米每天 (m^3/d);

Q_{w3} ——若不调剖, 第 n 个月自然递增后的日产水量, 单位为立方米每天 (m^3/d);

Q_{w4} ——调剖后实际日产水量, 单位为立方米每天 (m^3/d)。

Q_{w3} 按式 (11) 计算:

$$Q_{w3} = Q_w(1 + A)^n \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中:

Q_w ——调剖前日产水量, 单位为立方米每天 (m^3/d);

A ——区块日产水月自然递减率。

A 按式 (12) 计算:

$$A = (Q_{w1} - Q_{w2})/Q_{w1} \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中:

Q_{w1} ——油井见效前第一个月的平均日产水量, 单位为立方米每天 (m^3/d);

Q_{w2} ——油井见效前第二个月的平均日产水量, 单位为立方米每天 (m^3/d)。

10.3 调剖经济效益的计算

调剖经济效益评价采用产出投入比和经济效益两个指标进行评价。

10.3.1 产出投入比

产出投入比按式 (13) 计算:

$$\lambda = \frac{V}{C_f} \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中:

λ ——产出投入比;

V ——调剖增加值, 单位为元;

C_f ——调剖投资, 单位为元。

V 按式 (14) 计算:

$$V = \Delta Q_o \cdot (M_o - C_d) + \Delta Q_w \cdot (C_{inj} + C_{ww}) \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中:

ΔQ_o ——累计增产油量, 单位为吨 (t);

M_o ——原油价格, 单位为元每吨 (元/t);

C_d ——直接采油成本, 单位为元每吨 (元/t);

ΔQ_w ——累计降低产水量, 单位为立方米 (m^3);

C_{inj} ——注水费用, 单位为元每立方米 (元/ m^3);

C_{ww} ——污水处理费用, 单位为元每立方米 (元/ m^3)。

10.3.2 经济效益

经济效益按式 (15) 计算:

$$E = V - C_f - C_d \cdot \Delta Q_o \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中:

E ——调剖经济效益, 单位为元。

附录 A
(资料性附录)
注水井调剖施工设计书格式

A.1 调剖施工设计书推荐文本尺寸

调剖施工设计书文本推荐使用 21mm×9.7mm (A4) 纸。

A.2 调剖施工设计书封面格式

调剖施工设计书封面格式见图 A.1。

_____ 油田

_____ 井调剖施工设计书

编写单位：_____

设计日期：_____

图 A.1 调剖施工设计书封面格式

A.3 调剖施工设计书封 2 格式

调剖施工设计书封 2 格式见图 A.2。

编写人:	
审核意见:	审核人:
批准意见:	批准人:
甲方批准意见:	甲方批准人:

图 A.2 调剖施工设计书封 2 格式

A.4 调剖施工设计书内容

一、施工目的

二、调剖层号及井段

三、施工方式

四、基本数据

表 A.1~表 A.6 为所设计调剖井基本数据。

表 A.1 井筒数据

完钻日期		套补距, m	
投注日期		油补距, m	
完井深度, m		联 入, m	
人工井底, m		套管型号	
套管下深, m		套管最小内径, mm	
水泥返高, m		固井质量	
造斜深度, m		斜度, (°)	

表 A.2 油层数据

层 位 及层号	井 段 m	油 层 厚 度 m	有 效 厚 度 m	孔隙度 %	渗透率 μm^2	油 层 目前温度 ℃	油 层 破裂压力 MPa

表 A.3 射孔数据

层 位 及层号	射孔井段 m	射开厚度 m	孔 径 mm	射孔密度 孔/m	发射率	电测解释	岩性

表 A.4 目前井下管柱

下井日期:

油 管		钢级	直径	根数	撞击筒深度 m		洗井阀深度 m		筛管深度 m		尾管深度 m	
封 隔 器	序 号	1		2	3	4	5	6	7		8	
	型 号											
	深度, m											
配 水 器	序 号	1		2	3	4	5	6	7		8	
	直径, mm											
	深度, m											

表 A.5 油层段套管接箍深度

表 A.6 目前注水状况

选值日期	注水层号	注水井段 m	注水方式	泵压 MPa	油压 MPa	套压 MPa	日注水量 m ³

五、测试数据

表 A.7~表 A.9 为测试数据。

表 A.7 分层水量测试数据

测试日期	注水压力 MPa	层 号	井 段 m	水嘴直径 mm	日注水量 m ³

表 A.8 吸水剖面测试数据

测试日期	测试方法	注入压力 MPa	日注水量 m ³	层 号	井 段 m	层 厚 m	相 对 吸水量 %	每米相对 吸水量 %	注水强度 m ³ /(d·m)

表 A.9 对应油井产液剖面测试数据

井号			测试日期			测试方法		
层号	井段 m	层 厚 m	分 层 日产液 m ³	分 层 日产油 t	分 层 含水率 %	全 井 日产液 m ³	全 井 日产油 t	全 井 含水率 %

六、挤注参数设计

挤注参数设计见表 A.10。

表 A.10 挤注参数设计

序号	程序内容	注入流体 名 称	注入压力 MPa	注入排量 L/min	注入时间 min	注入量 m ³

七、施工准备

表 A.11～表 A.13 为施工准备内容。

表 A.11 前置液、调剂剂、顶替液用料准备

负责施工单位：

名 称	类 型	用量, kg	备 注

表 A.12 井下工具准备

负责单位：

井下工具名称	型号及规格	数 量

表 A.13 施工设备准备

负责单位：

施工设备名称	型号及规格	数 量

八、施工步骤

1. 井筒

2. 调剖挤注施工

3. 恢复注水

九、施工要求

十、健康、安全、环境管理注意事项

十一、附图

1. 调剖施工管柱图

图中应标明调剖层位、层号、射孔井段，调剖用井下工具名称、规格、型号、深度。

2. 调剖施工后注水管柱示意图

图中应标明调剖层位、层号、射孔井段，调剖用井下工具名称、规格、型号、深度。

附 录 B
(资料性附录)
注水井调剖施工记录格式

B.1 调剖施工记录封面

调剖施工记录封面见表 B.1。

表 B.1 调剖施工记录封面

调 剖 井 号	
施工设计单位	
施工组织单位	
施 工 指 挥	
参 加 单 位	
参 加 人 员	
施 工 日 期	
调 剖 层 位	
调剖井段, m	
调 剖 剂 名 称	
设计注入量, m ³	
施 工 方 式	

B.2 调剖施工记录内容

调剖施工记录内容见表 B.2

表 B.2 调剖施工记录内容

时 间	流 体 名 称	注 入 压 力 MPa	注 入 排 量 m ³ /d	累 计 注入时间 min	累 计 注入量 m ³	记录人 (签字)	备 注

附 录 C
(资料性附录)
注水井调剖施工总结格式

C.1 调剖施工总结推荐文本尺寸

调剖施工总结文本推荐使用 21mm×9.7mm (A4) 纸。

C.2 调剖施工总结封面格式

调剖施工总结封面格式见图 C.1。

	_____ 油田 _____ 井调剖施工总结
编 写 人 _____ 审 核 人 _____ 编写单位 _____ 编写日期 _____	

图 C.1 调剖施工总结封面格式

C.3 调剖施工总结内容

一、基本数据

调剖施工基本数据见表 C.1。

表 C.1 调剖施工基本数据

调剖层位		调剖井段, m	
施工日期		挤注时间, min	
调剖剂名称		设计调剖剂挤注量, m ³	
配制调剖剂量, m ³		实际调剖剂挤注量, m ³	

二、施工情况

三、挤注参数汇总

挤注参数汇总表 C.2

表 C.2 挤注参数汇总

类 别	程序内容	液体名称	注入压力 MPa	注入流量 L/min	注入时间 min	注入量 m ³	备 注
设计挤 注参数							
施工挤 注参数							

四、调剖施工管柱图

图中应标明调剖层位、层号、射孔井段，调剖用井下工具名称、规格、型号、深度。

五、施工效果预测

六、存在问题及建议