



# 油田水处理工艺及药剂应用

中国石油大学（华东）

山东石大油田技术服务股份有限公司



- 1、概述**
- 2、水质特点**
- 3、水处理技术及工艺**
- 4、水处理剂**
- 5、现场案例**



油田污水主要包括原油脱出水（油田采出水）、钻井污水及站内其它类型的含油污水。油田污水的处理依据油田生产、环境等因素可以有多种形式。油田污水种类多，地层差异及钻井工艺不同等原因，油田污水处理站不仅水质差异大，而且水质变化大，水质复杂，含有盐、石油类、酚、硫等污染环境的物质，严重污染生态环境。

油田注水时，污水经过处理回注地层，要对水中的悬浮物、含油等多项指标严格控制，防止对地层产生伤害。因此，对油田污水处理技术提出了更高的要求。



- 1、概述
- 2、水质特点
- 3、水处理技术及工艺
- 4、水处理剂
- 5、现场案例



油田污水的主要特点：

## 1、含油

原油是油田污水含有的主要污染物，污水中含油的存在形式为悬浮状（ $>100\mu\text{m}$ ）、分散状（ $10\sim 100\mu\text{m}$ ）、乳化状（ $0.1\sim 10\mu\text{m}$ ）和溶解状（ $<0.1\mu\text{m}$ ）四种形态，污水中往往含有几种形态的油珠，只是所占比例不同。

## 2、高矿化度

污水中含有 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 等多种阳离子和 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{S}^{2-}$ 等多种阴离子，在一定条件下，多种离子相互结合，生成不溶于水的化合物，如 $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{CaSO}_4$ 、 $\text{MgCO}_3$ 等，这些化合物悬浮于水中，会使水质变浑浊或者沉积在管壁上，引起管线结垢。



管线结垢



管线腐蚀



### 3、气体

溶解有 $O_2$ 、 $H_2S$ 、 $CO_2$ 等多种气体。 $O_2$ 能使 $Fe^{2+}$ 生成 $Fe^{3+}$ ，生产 $Fe(OH)_3$ 沉淀。 $H_2S$ 、 $CO_2$ 等酸性气体生产腐蚀性物质，加剧金属设备的腐蚀。

### 4、悬浮固体

主要有泥沙、胶体、有机物、腐蚀产物及垢等。悬浮固体悬浮在水中，使水质变浑浊；附在管壁上，引起管壁结垢；回注地层，会使孔隙堵塞。

### 5、细菌

污水中常见的细菌有硫酸盐还原菌和铁细菌等。硫酸盐还原菌能把 $SO_4^{2-}$ 中S还原成 $S^{2-}$ ，进而生成 $H_2S$ ；铁细菌在繁殖过程中，进而生成 $Fe(OH)_3$ 沉淀。细菌代谢物都会加速金属设备的腐蚀。

综述：污水成分复杂，其显著特点是腐蚀性强，结垢快。悬浮物和油是导致注水井和油层堵塞的重要因素。



反应器腐蚀



## 碎屑岩油藏注水水质推荐指标及分析方法 SY/T5329-2012

推荐水质主要控制指标						
注入层平均空气渗透率, $\mu\text{m}^2$		$k \leq 0.01$	$0.01 < k \leq 0.05$	$0.05 < k \leq 0.5$	$0.5 < k \leq 1.5$	$k \geq 1.5$
控制 指 标	悬浮固体含量, mg/L	$\leq 1.0$	$\leq 2.0$	$\leq 5.0$	$\leq 10.0$	$\leq 30.0$
	颗粒直径中值, $\mu\text{m}$	$\leq 1.0$	$\leq 1.5$	$\leq 3.0$	$\leq 4.0$	$\leq 5.0$
	含油量, mg/L	$\leq 5.0$	$\leq 6.0$	$\leq 15.0$	$\leq 30.0$	$\leq 50.0$
	平均腐蚀率, mm/a	$\leq 0.076$				
	SRB, 个/mL	$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 25$	$\leq 25$	$\leq 25$
	IB, 个/mL	$n \times 10^2$	$n \times 10^2$	$n \times 10^3$	$n \times 10^4$	$n \times 10^4$
	TGB, 个/mL	$n \times 10^2$	$n \times 10^2$	$n \times 10^3$	$n \times 10^4$	$n \times 10^4$
注1: $1 \leq n \leq 10$						
注2: 清水水质指标去掉含油量						



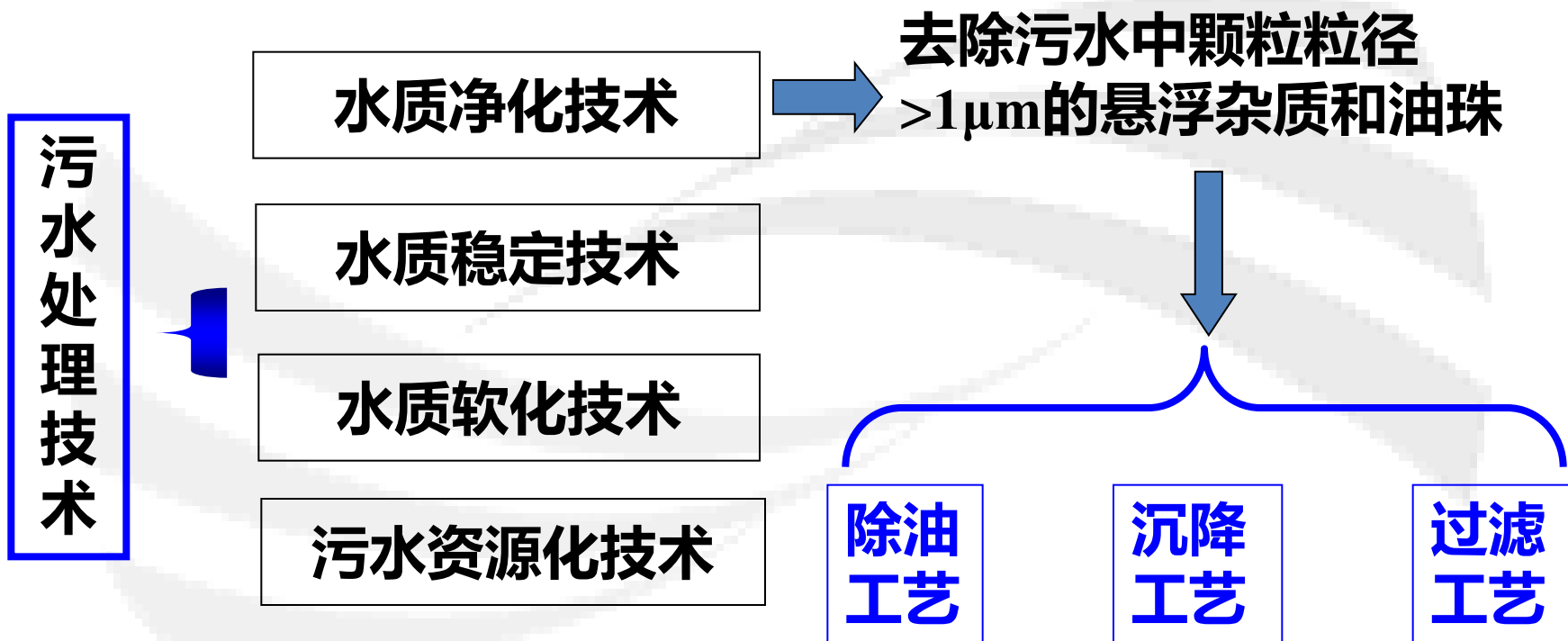


### 石油开发工业水污染物最高排放浓度

编号	项目名称	月平均排放浓度 ( mg/L)				备注
		一级		二级		
		I	II	I	II	
1	pH值	6--9	6--9	6--9	6--9	
2	石油类	10	10	30	30	
3	悬浮物	100	100	200	500	
4	挥发性酚	0.5	0.5	1	1	
5	硫化物	1	1	1	5	
6	化学需氧量COD	100	100	100	100	
7	汞及其无机化合物	0.05				
8	镉及其无机化合物	0.1				
9	六价铬化合物	0.5				
10	砷及其无机化合物	0.5				
11	铅及其无机化合物	1				



- 1、概述
- 2、水质特点
- 3、**水处理技术及工艺**
- 4、水处理剂
- 5、现场案例



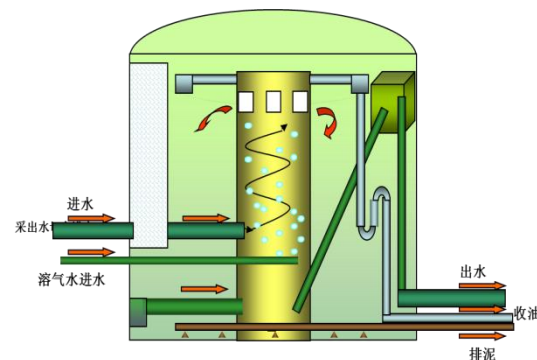
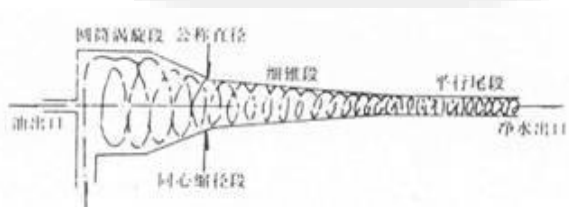
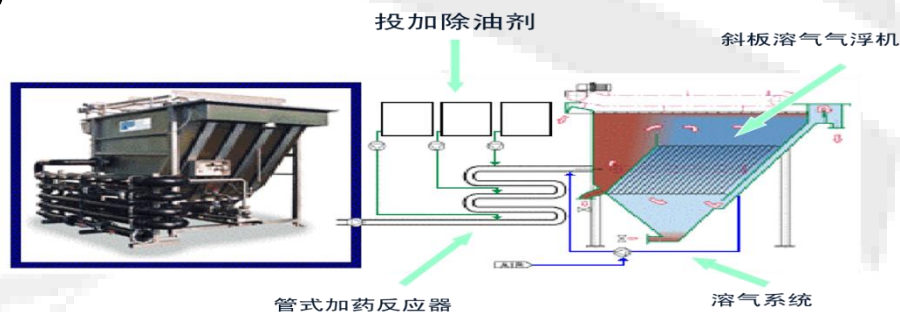


## 1、水质净化技术

### 除油工艺

除油工艺是去除污水中的原油，是污水处理的关键：一是可以回收水中原油，创造一定的经济效益；二是可以降低后段污水处理设施的负荷。

- a、重力除油
- b、压力除油
- c、水力旋流除油
- d、气浮除油

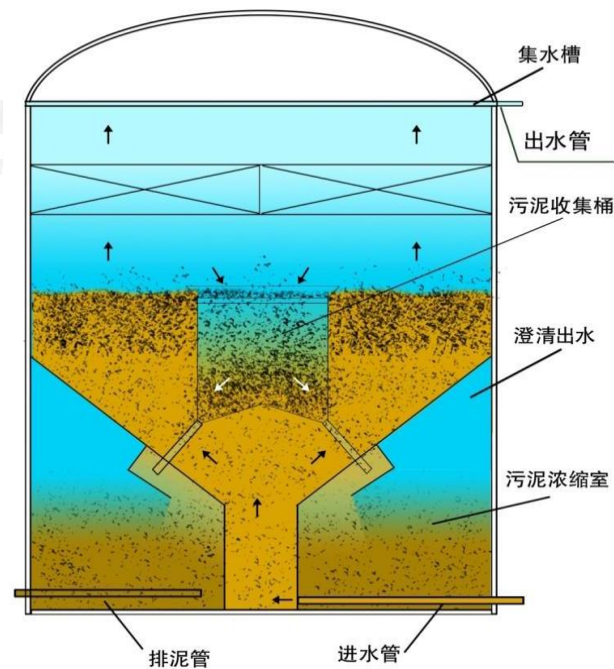
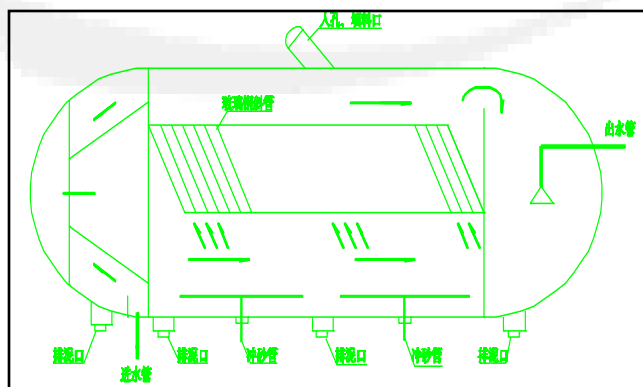


# 1、水质净化技术

## 沉降工艺

除悬浮物工艺是去除污水中的大部分悬浮物，是保证水质的关键，可以降低后段污水处理设施的负荷。

- a、重力沉降工艺
- b、压力沉降工艺
- c、悬浮污泥工艺
- d、气浮工艺





# 1、水质净化技术

## 过滤工艺

**过滤**是含油污水处理中水质净化（除油和除悬浮物）的关键环节之一，水处理精度的提高在很大程度上依赖于过滤精度的提高。

悬浮液流经颗粒介质或表层层面进行固液（或液液）分离的过程称作过滤。过滤器主要由罐体、**滤料层**、承托层、配水系统、排水系统、搅拌系统和为满足过滤、**反冲洗**要求而设置的管道、阀门系统组成。

过滤类型主要包括**颗粒层过滤(粗过滤)**和**膜过滤（精细过滤）**。



# 1、水质净化技术

过  
滤  
原  
理

**吸附作用**

吸附作用即把悬浮颗粒吸附到滤料颗粒表面。

**絮凝作用**

絮凝作用即通过加入絮凝剂使水中产生小而致密的絮凝体，使之能穿透表面而进入滤床，使之与滤料颗粒粘结在一起而被去除。

**沉淀作用**

沉淀作用适用于小于孔隙空间的颗粒的过滤去除

**截留作用**

截留作用也就是筛滤，即大于孔隙直径的悬浮颗粒被截留在滤层的表面而被去除。



# 1、水质净化技术

## 过滤器类型

### 粗过滤器

**一级过滤器**：核桃壳过滤器

石英砂过滤器

金刚砂过滤器

主要满足出水水质要求为**B级**或**C级**污水的过滤要求。

**二级过滤器**：双滤料过滤器

多介质过滤器

金刚砂过滤器

纤维球(束)过滤器

烧结滤芯过滤器

金属膜过滤器等

主要满足出水水质要求为**A级**，如低渗透和特低渗透率的油藏注水的过滤要求，在常规粗过滤器后增设精细过滤器。

### 精细过滤器

有机膜过滤器

(MF、UF)



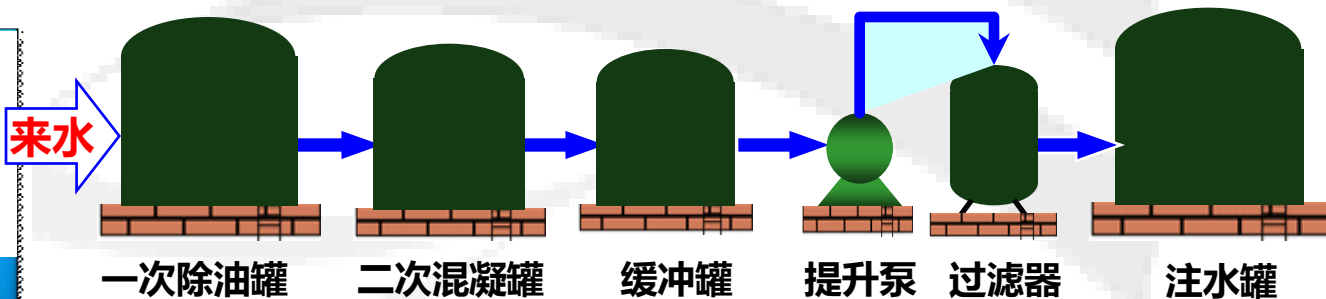


# 典型工艺流程

- ① 常规污水处理工艺系列：  
 “重力沉降 + 过滤” 处理工艺  
 “压力除油 + 过滤” 处理工艺  
 “旋流除油 + 过滤” 处理工艺  
 “悬浮污泥床净化 + 过滤” 处理工艺

## 适用范围

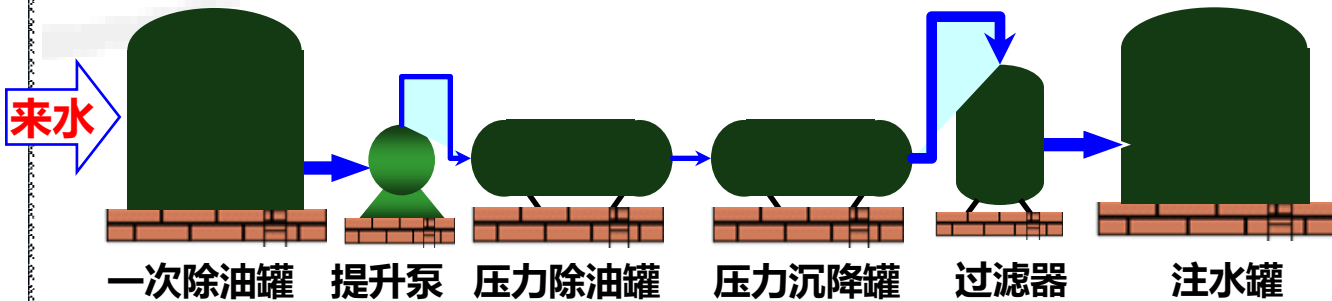
- 1、水驱常规油田开发产生的含油污水
- 2、油水密度差大于0.05



## “重力除油 + 过滤”

## 技术经济指标

- 进口：含油 $\leq 1000\text{mg/l}$   
 悬浮物 $\leq 200\text{mg/l}$   
 出口：含油 $\leq 15\text{mg/l}$   
 悬浮物 $\leq 7\text{mg/l}$   
 颗粒直径 $\leq 4\text{mm}$



## “压力除油 + 过滤”

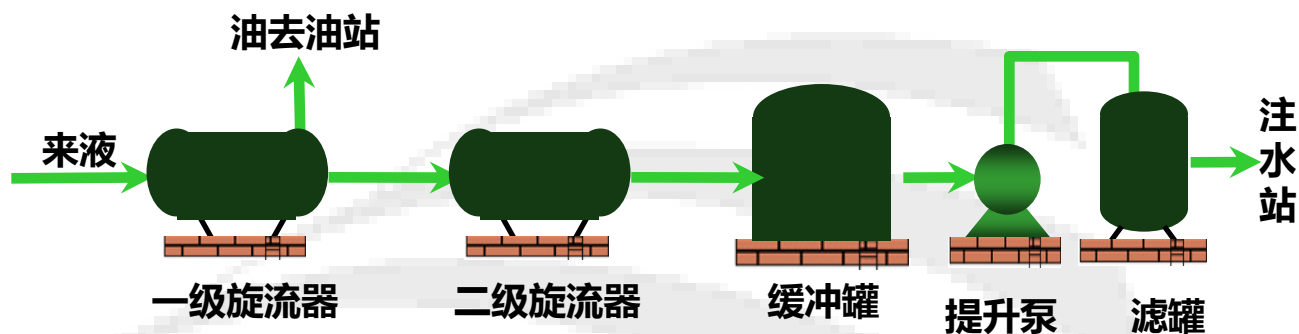
# 典型工艺流程

## 适用范围

- 1、水驱常规含油污水
- 2、油水密度差大于0.07

## 技术经济指标

- 一级出水：含油 $\leq 50\text{mg/l}$   
悬浮物 $\leq 50\text{mg/l}$ ，
- 二级出水：含油 $\leq 15\text{mg/l}$   
悬浮物 $\leq 15\text{mg/l}$

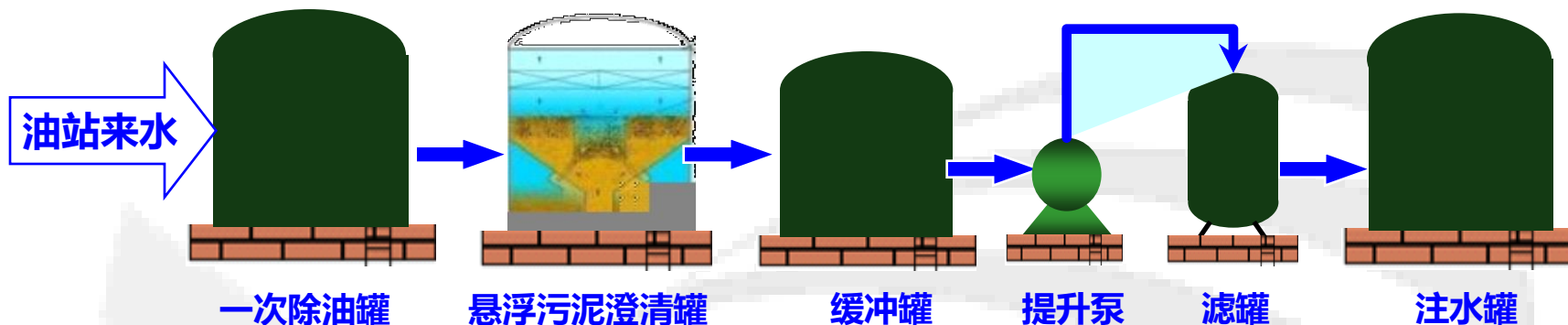


## “旋流除油 + 过滤”





## 典型工艺流程



### “悬浮污泥床净化+过滤”

#### 适用范围

- 1、小规模、水量较稳定
- 2、污油负荷不宜过高

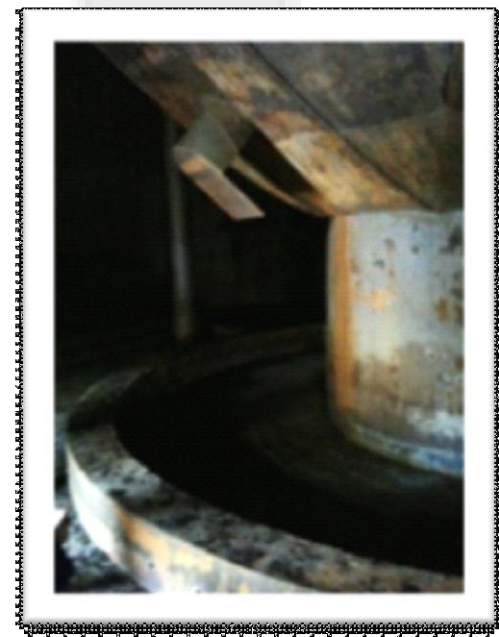
#### 技术经济指标

悬浮污泥床进口：含油 < 100 mg/L

悬浮物 < 200 mg/L

悬浮污泥床出口：含油 ≤ 15 mg/L

悬浮物 ≤ 15 mg/L

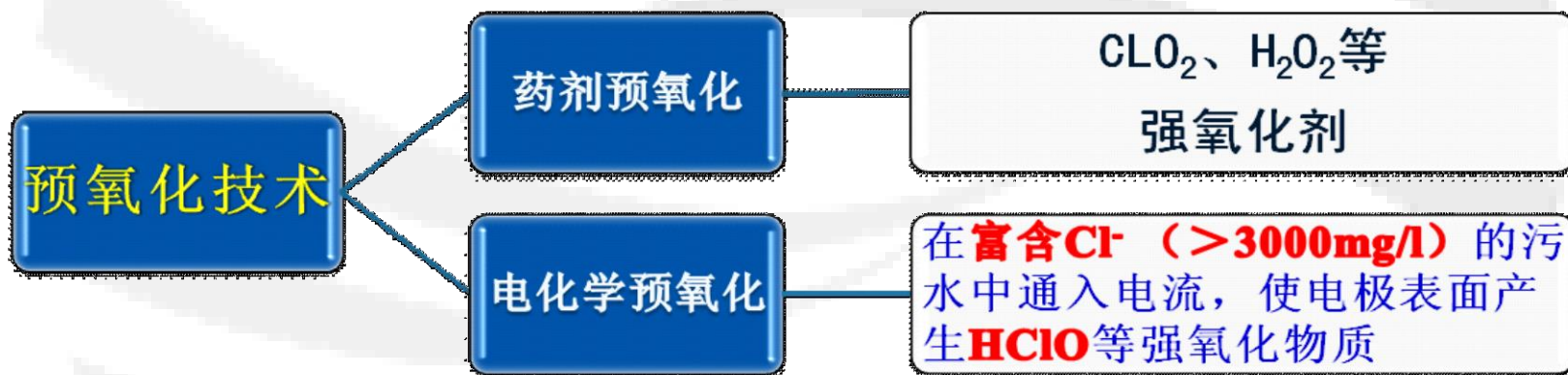




## 典型工艺流程

### ② 强腐蚀污水处理技术系列：“水质改性”处理工艺

#### “预氧化”处理工艺

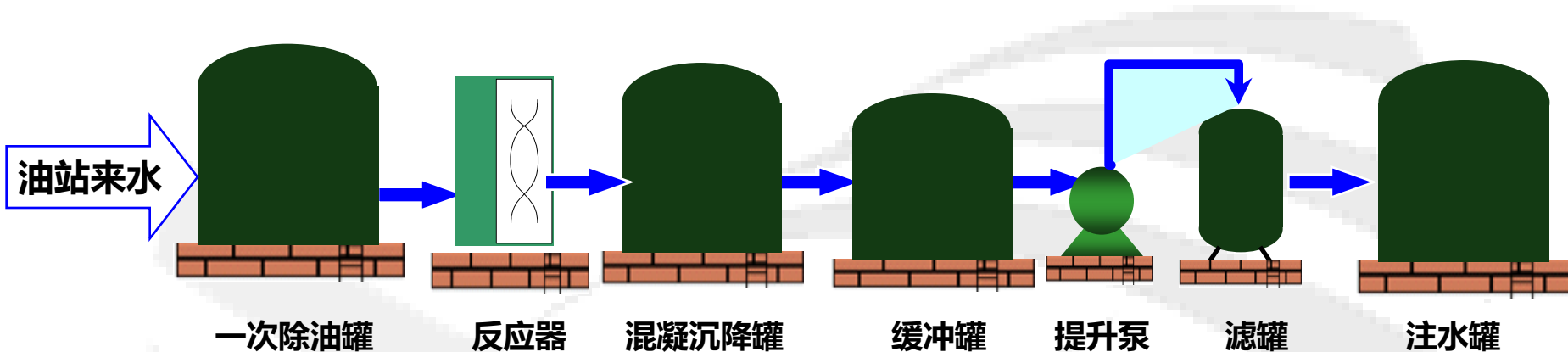


原理：强氧化物质去除水中Fe<sup>2+</sup>、S<sup>2-</sup>等不稳定离子，同时具有杀菌和去除一定量游离CO<sub>2</sub>的作用，再通过投加碱剂，控制腐蚀率。

因调整pH值至7.2左右，相较“水质改性”加药量降低约30—40%。



## 典型工艺流程



### “水质改性”处理工艺

#### 适用范围

平均腐蚀速率 $\geq 0.126\text{mm/a}$

, PH > 6.5 ;

酸性腐蚀气体、以及 $\text{Fe}^{2+}$ 、

$\text{S}^{2-}$ 等非稳定成垢离子含量低

#### 技术经济指标

进口：含油 $\leq 1000\text{mg/l}$

悬浮物 $\leq 200\text{mg/l}$

出口：含油 $\leq 10\text{mg/l}$

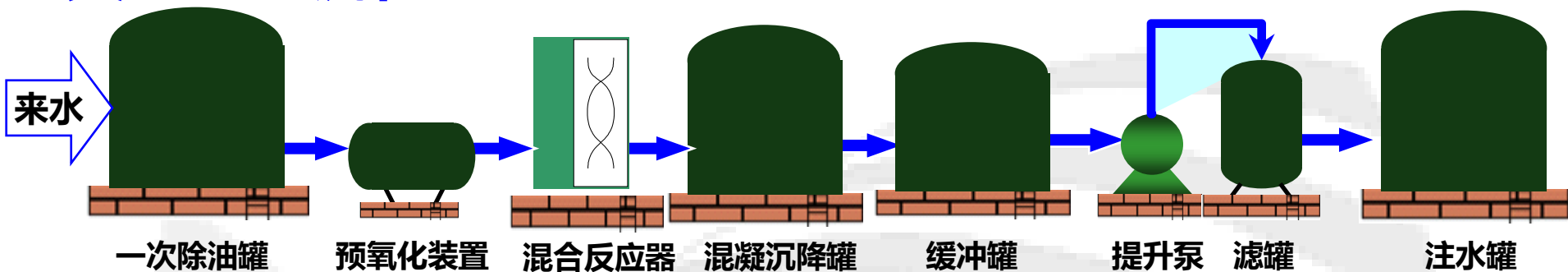
悬浮物 $\leq 7\text{mg/l}$

腐蚀速率 $\leq 0.076\text{mm/a}$





## 典型工艺流程



## “电化学预氧化”处理工艺

### 适用范围

普通腐蚀性污水， $\text{PH} \leq 6.5$ ；  
含侵蚀性 $\text{CO}_2$ 、以及 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{S}^{2-}$ 等非稳定成垢离子

### 技术经济指标

进口：含油  $\leq 1000 \text{ mg/l}$   
 悬浮物  $\leq 200 \text{ mg/l}$   
 出口：含油  $\leq 10 \text{ mg/l}$   
 悬浮物  $\leq 7 \text{ mg/l}$   
 腐蚀速率  $\leq 0.076 \text{ mm/a}$





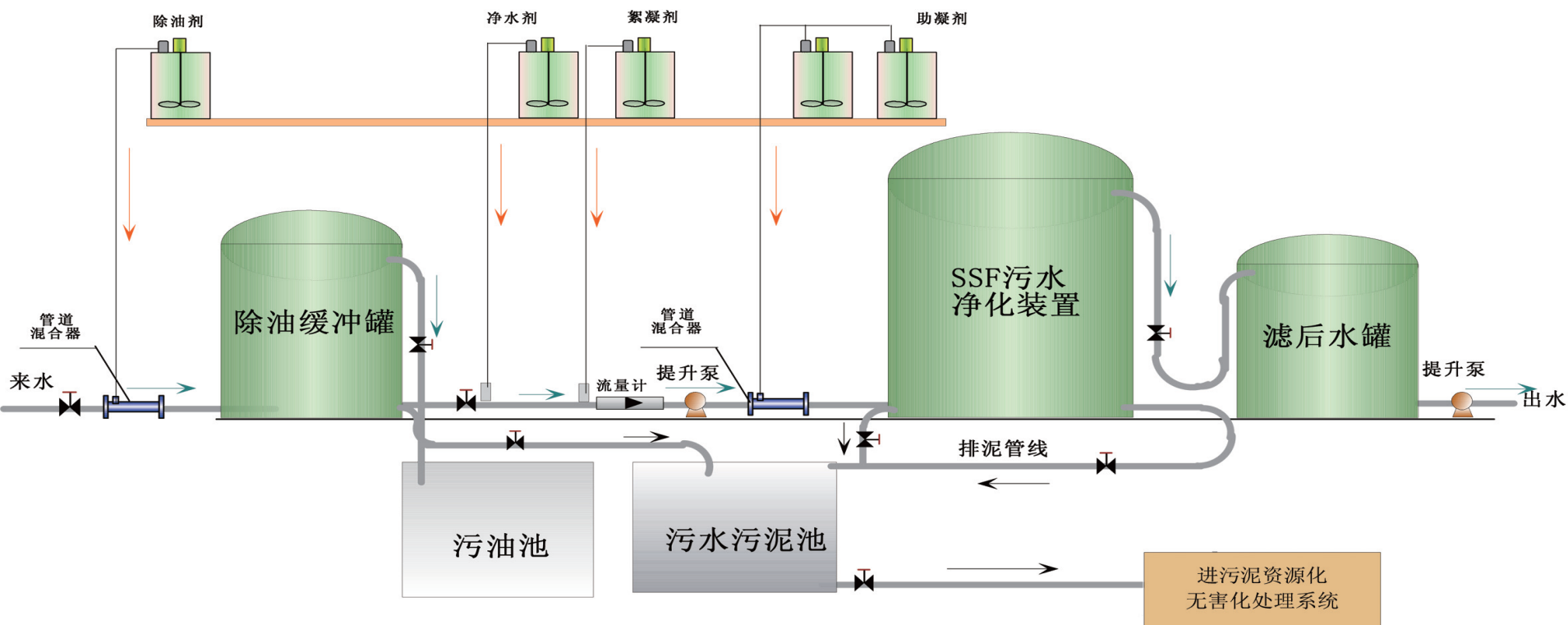
SSF（悬浮污泥过滤）污水净化技术的关键设备是SSF处理装置，该装置巧妙设计符合Stokes定律和同向凝聚理论，用动态缓慢旋转和不断更新的悬浮污泥层作为主要过滤净化介质，具有不用反洗和不怕堵塞的特点，可以长期稳定过滤净化。对水中原油及悬浮固体颗粒小、乳化较严重及油水密度差小的采出水处理较其它沉降分离构筑物具有明显的优势，投资相对较低。

## SSF污水净化技术工艺污水处理过程

首先采用投加混凝剂使污水中部分溶解状态的污染物胶体颗粒吸附出来，形成微小悬浮颗粒，从污水中分离出来；依据旋流和过滤水力学等流体力学原理，在SSF污水净化器内使絮体和水快速分离，形成悬浮泥层，污水经过罐体内自我形成的悬浮泥层过滤之后，使出水水质达到处理要求。



## SSF污水净化技术工艺流程图



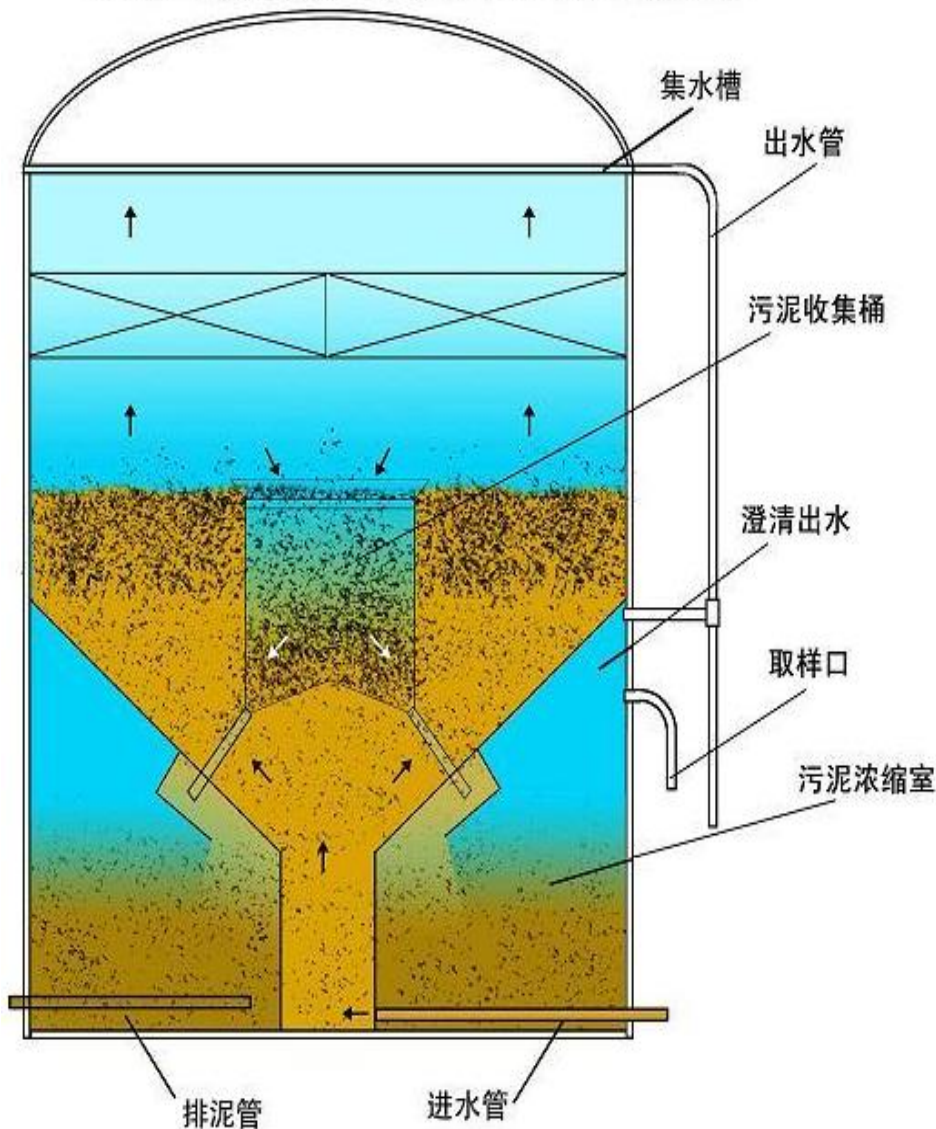
### ■ SSF污水净化系统主体设备

SSF ( 悬浮污泥过滤)法污水净化工艺及系统包括SSF污水净化装置和双滤料过滤器两大部分。





## SSF污水净化装置结构示意图



**原理：**SSF通过投加混凝剂使污水中部分溶解状态的胶体颗粒吸附出来，形成微小悬浮颗粒，从污水中分离出来；依据旋流和过滤水力学等流体力学原理，在SSF污水净化器内使絮体和水快速分离，形成悬浮泥层，污水经过罐体内自我形成的悬浮泥层过滤之后，达到出水标准。



**原理：**双滤料过滤器选用两种不同滤料为过滤介质（无烟煤与石英砂），不同比重，不同材质、不同粒径滤层的截污能力及水中固体粒径的控制能力，由于分布在上层的滤料颗粒间的孔隙较大，与下层孔隙较小的滤料分层配置，可以较好地发挥整个滤层的吸附能力，最大限度地提高截污能力，对去除水中各种杂质具有良好的效果。



## SSF悬浮污泥过滤装置优点：

过滤层的污泥来自水中悬浮物，且不断自动补充和更新，故可使过滤过程满足：无滤料堵塞需反洗的要求、无滤料板结需更换的要求、无滤料的流失需补充的要求、无设置PLC操作和反冲洗流程的要求，实现不用反洗和不怕堵塞的长期稳定过滤净化。

与双滤料过滤器配合使用，在进口含油 $\leq 50\text{mg/l}$ ，悬浮物含量 $\leq 100\text{mg/l}$ 的条件下，处理后含油 $\leq 5\text{mg/l}$ ，悬浮物含量 $\leq 5\text{mg/l}$ ，达到了设计要求。

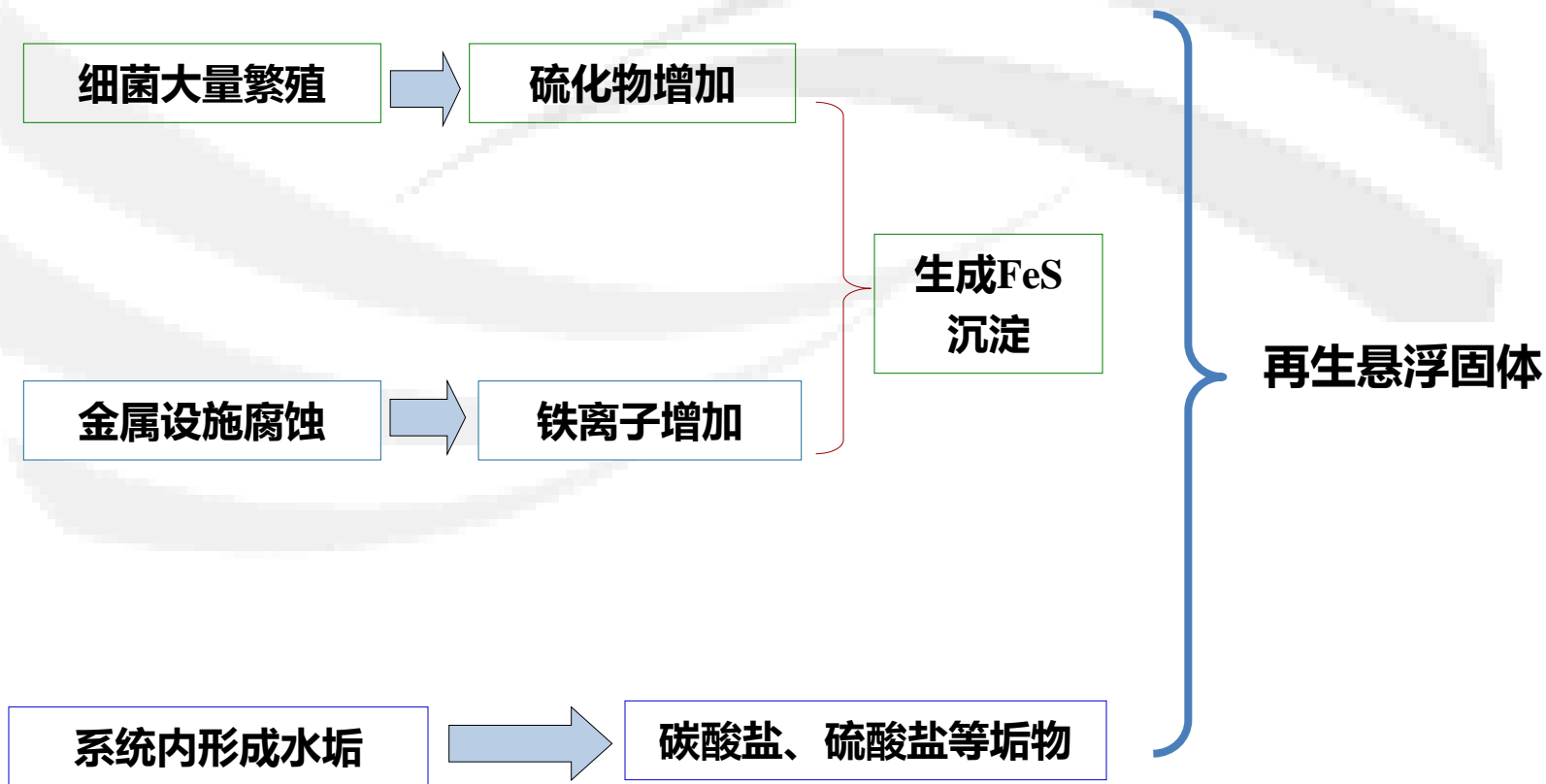
**运行及后期维护费用低，后期设备维护保养几乎无费用。**

**适用范围广：油田采出水、生活污水、作业返排液等废水处理。**



## 2、水质稳定技术

### 回注水在地面输送及回注过程中不稳定影响因素及作用机理



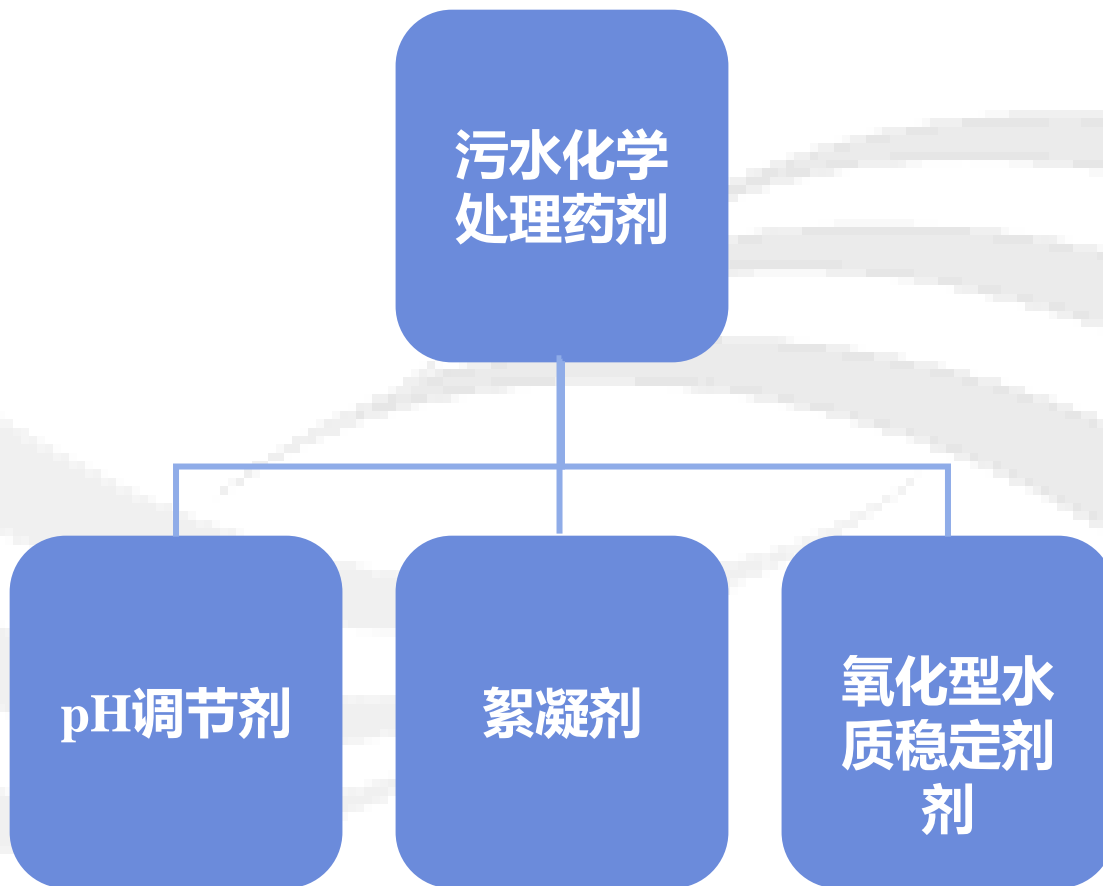


## 水质稳定控制措施

- ◆ 密闭隔氧；
  - ◆ 科学投加三防药剂（特别是杀菌剂）；
- 管线、储罐建议采用非金属材料（如玻璃钢、衬釉钢管等）；
- ◆ 定时进行洗污，避免水质二次污染；
  - ◆ 高效防腐抑菌涂料的使用。



- 1、概述
- 2、水质特点
- 3、水处理技术及工艺
- 4、**水处理剂**
- 5、现场案例





水质改性是一项变地下结垢为地面结垢，有利于破乳除油，有利于控制腐蚀，有利于水体稳定，从而提高注入水质量的水体改造技术。水质改性起到了改造水体、稳定水体、优化水质，以治代防的作用。注水水质有了质的飞跃，注水稳油见到较好的效果。





## 1、pH调节剂

在污水中加入碱，调整污水的酸碱度，使污水中的化学平衡得以破坏， $\text{HCO}_3^-$  不断离解为 $\text{CO}_3^{2-}$  和 $\text{H}^+$ ，大量的 $\text{CO}_3^{2-}$  与 $\text{Ca}^{2+}$  反应生成 $\text{CaCO}_3$ 沉淀， $\text{Fe}^{3+}$ 生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀，利用絮凝剂的网捕作用，与系统中的悬浮固体等一同快速沉降，从系统中排出。同时碱的加入，使污水中的 $[\text{H}^+]$ 降低，氢的去极化过程减弱，腐蚀速度降低，使腐蚀结垢受到抑制，水质变为稳定的水。

从腐蚀率、结垢量、污泥量等方面综合评价，pH值优化在7.8-8.2范围内，采用复合碱+石灰乳及混凝剂复合处理工艺，药品与水中的有害化学成分发生化学反应而生成 $\text{CaCO}_3$ 沉淀，生成的絮体矾花大，除油彻底，沉降速度快、时间短，综合效益最好。



## 2、絮凝剂

无机聚合絮凝剂主要是铝盐和铁盐的聚合物。如：聚合氯化铝(PAC)、聚合硫酸铝(PAS)、聚合氯化铁(PFC)以及聚合硫酸铁(PFS)等。

有机高分子絮凝剂从化学结构上主要分为三种类型：（1）聚胺型；（2）季胺型；（3）丙烯酰胺共聚物

配制成水溶液加入废水中，便会产生压缩双电层，使废水中的悬浮微粒失去稳定性，胶粒物相互凝聚使微粒增大，形成絮凝体、矾花。絮凝体长大到一定体积后即在重力作用下脱离水相沉淀，从而去除废水中的大量悬浮物，从而达到水处理的效果。为提高分离效果，可适时、适量加入助凝剂。处理后的污水在色度、含铬、悬浮物含量等方面基本上可达到排放标准，可以外排或用作人工注水采油的回注水。



### 3、氧化型水质稳定剂

氧化型水质稳定剂主要包括： $O_3$ 、 $ClO_2$ 、 $H_2O_2$ 等；

当PH值足够低时，在 $Fe^{2+}$ 的催化作用下氧化型水质稳定剂就会分解产生 $\cdot OH$ ，从而引发一系列的链反应。

主要包括对有机物的氧化和混凝两种作用。



- 1、概述
- 2、水质特点
- 3、水处理技术及工艺
- 4、水处理剂
- 5、现场案例



尕斯联合站是尕斯库勒、油砂山等油田的原油、天然气、污水处理中心。始建于2008年，设计处理量20000m<sup>3</sup>/d，实际处理量15000m<sup>3</sup>/d。采用悬浮污泥过滤污水净化技术，净化水质达到标准后，回注地层驱油。

### 来水指标

- (1) pH值：6.0-6.4
- (2) 含油量：≤50mg/L
- (3) 悬浮物含量:≤100mg/L
- (4) Fe<sup>2+</sup>：≤0.5mg/L
- (5) 总铁：≤10mg/L

### 出水指标

- (1) pH值：7.0-7.4
- (2) 含油量：0mg/L
- (3) 悬浮物含量:≤10mg/L
- (4) Fe<sup>2+</sup>：≤0.5mg/L
- (5) 总铁：≤0.5mg/L



处理前水样



处理后水样



# 总结

- 1、通过实施水质改性技术，变地下结垢为地面结垢，变被动防腐为积极主动防腐，水质指标达到SY5329-2012标准。水质改性技术处理水效果好，具有推广应用价值。**
- 2、水质改性技术原料来源广泛，价格低廉，适合于油田生产应用。能充分利用现有设施和条件对现有水处理流程改造少，投入成本低。**
- 3、水质处理的药剂配方仍需不断再优化：污水处理每年的药剂费用很大，如何用尽可能低的成本处理合格的污水也是下一步研究的课题。水质改性的投入，每天的污泥量逐步加大，发挥药剂的最大效能，降低药剂成本与污泥产量也需要继续研究。**



中國石油大學 (华东)  
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM



谢谢大家