

# Discussion on the Setting of Inclined Angle of Inclined Pipe in Settlement Tank for Produced Water Treatment

Xuelong Cui Renyong Xiao Hao Tuo Jia Han Xinlu Duan

Surface Institute of Oil and Gas Engineering Research Institute, Tarim Oilfield Company, Korla, Xinjiang, 841000, China

## Abstract

The inclined pipe of settling tank plays the role of accelerating oil droplet accumulation, floating, suspended matter accumulation and subsidence. The installation angle of inclined pipe of settling tank has influence on the amount of suspended matter stuck in the inner wall of inclined pipe with high dynamic viscosity, and the suspended substance pasted on the inner wall of inclined pipe is the main load of the supporting column, through the simulation experiment of the same water quality and the amount of suspended matter in the inner wall of inclined tube with different installation angles of inclined tube, it provides an improved basis for the reasonable installation of inclined pipe angle of high viscosity produced water.

## Keywords

produced water; inclined tube of sedimentation tank; dynamic viscosity; installation angle; influence

## 浅谈采出水处理沉降罐斜管倾角的设置

崔学龙 肖人勇 庾浩 韩佳 段新禄

塔里木油田公司油气工程研究院地面所, 中国·新疆 库尔勒 841000

## 摘要

油田采出水处理沉降罐斜管起到加速油滴聚集、上浮、悬浮物聚集、下沉的作用。沉降罐斜管安装角度对高动力粘度采出水悬浮物粘在斜管内壁的多少有影响, 斜管内壁粘的悬浮物是支撑柱的主要荷载, 通过对同一水质、不同斜管安装角度粘在斜管内壁悬浮物多少的模拟实验, 为高粘度采出水斜管角度合理安装提供改进依据。

## 关键词

采出水; 沉降罐斜管; 动力粘度; 安装角度; 影响

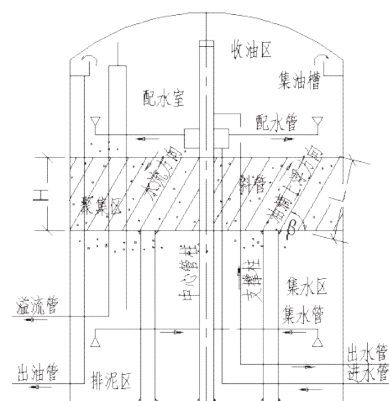
## 1 采出水处理沉降罐斜管的作用

### 1.1 采出水处理沉降罐的结构

新疆油田采出水处理一般采用重力流程, 其代表性的工艺流程是: <sup>[1]</sup> 污水→自然沉降罐→沉降罐斜管沉降→缓冲罐→过滤提升泵→压力过滤罐→清水罐→达标注水。处理机理是根据油、水两相存在的密度差, 在重力作用下经过一定时间的自然沉降, 可使油、水、悬浮物混合物自动分离, 因此, 采出水在沉降过程中的停留时间是影响处理效果的重要因素之一。

斜管是七十年代初发展起来的一种污水除油装置, 九十年代开始在油田采出水处理沉降罐(立式)中开始使用, 沉降罐主要内构件为由多层波纹板所组成的斜板或斜管组成, 设置在沉降罐沉淀聚集区, 目的是延长或增大采出水在沉降罐内的流经路程即停留时间。沉降罐(立式)罐体内包括:

中心管柱、集水管、配水室、集油槽、斜管、支撑柱和设于罐体底部的排泥装置。中心管柱设于罐体内, 连通有出水管, 下部连通有多个集水管, 集水管上设有入水口; 配水室连接有多个配水管路, 配水管路设有出水口。沉降罐结构详见图 1。



附图一: 沉降罐结构图

图 1 沉降罐结构

## 1.2 采出水处理沉降罐斜管的作用

油田开采过程中所产生的含油污水简称采出水。沉降罐斜管沉降运用的是“浅层沉淀”原理,增大沉降罐的沉淀面积,采出水在沉降罐内通过配水区,在斜管竖流状态及下降过程中,由于因密度不同使水中的油、水和悬浮固体自然分离。采出水在斜板(管)之间所形成的流道(竖流状态)中流过,层流状态好、由于浮力作用,油滴上浮并相互碰撞、聚并,油滴逐渐增大上浮,碰到板面,即在板下聚集并沿斜板(管)向上移动,至斜板出口,即成大油滴而浮升至水面,由于流道当量直径较小,可在较高处理量下流态仍保持层流状态,因此,具有很大的浮升面积,除油效率也较高,而悬浮物在下降过程中相互碰撞、聚并、逐渐增大并加速下沉,最终聚集到罐底排泥区排出罐外。因此,采出水处理沉降罐斜管能起到加速油滴聚集、上浮、悬浮物聚集、下沉的作用,目前沉降罐斜管在世界各国得到广泛应用。

## 1.3 采出水流体在沉降罐斜管内的停留时间

流体在沉降罐斜管内的停留时间主要指油滴的浮升速度及悬浮物的下沉速度,其原理是来自斯托克斯沉速公式(Stockes formula),美国物理学家斯托克斯1850年从理论上推算球体在层流状态沉速( $w$ )的公式。公式如下:

$$w = \frac{2(\rho_s - \rho)gr^2}{9\mu}$$

式中: $\rho_s$ 为颗粒密度 $\text{kg/m}^3$ ;  $\rho$ 为水的密度 $\text{kg/m}^3$ ;  $\mu$ 为流体黏度 $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ;  $r$ 为颗粒半径 $\text{m}$ ;  $g$ 为重力加速度 $\text{m/s}^2$ 。

此公式是在 $20^\circ\text{C}$ 恒温、静水、介质的黏度不变、球形颗粒、密度相同、表面光滑、颗粒互不碰撞,在实验室理想条件下获得的。当然与自然界的实际情况相差很大,因为自然界静水条件几乎不存在,因此,在具体使用时不能过度考虑油滴的浮升速度及悬浮物的下沉速度,特别是悬浮物的下沉速度。影响悬浮物颗粒沉速的因素很多,主要有颗粒的形状、水质及含沙量等。所以沉速公式大多数都为经验公式。

## 2 采出水处理沉降罐斜管倾角设计大小在实际使用过程中存在的问题

### 2.1 采出水处理沉降罐斜管倾角大小需要考虑的问题

斯托克斯沉速公式尽管与实际情况有出入,但需要考虑的参数仍然有理论意义。它表明悬浮物的沉速与颗粒直径的平方成正比,悬浮物在水中沉降除重力作用外还受与重力作

用相反的黏滞阻力的作用。而实际在使用斜管时,对作业区的采出水水质由于各参数一定,根据斯托克斯沉速公式,沉速( $w$ )相对一定。为了让在下降过程中的悬浮物或颗粒尽可能的相互碰撞、聚集,在聚集区垂直高度 $H$ 一定的情况下,有时候会将斜管倾角 $\beta$ 设置尽可能减小,从而相应增加斜管长度 $L$ 以延长悬浮物或颗粒在斜管内相互碰撞、聚集大颗粒的有效时间或机会( $t=L/w$ ;  $t$ :悬浮物或颗粒的有效接着时间; $L$ :斜管长度; $w$ :悬浮物或颗粒沉速),而忽略由于污水动力粘度较大可能增大悬浮物粘附斜管内壁的机会或影响。

采出水通过斜管过程中,由于水质动力粘度的影响,悬浮物的沉速、油滴的上浮速度会发生细微的减速和悬浮物粘附在斜管内壁的现象。在斜管使用中为了尽可能的使悬浮物聚集,将斜管倾角 $\beta$ 设置减小相应增加斜管长度 $L$ 。这样势必增加悬浮物粘附在斜管内壁的机会,从而使斜管内壁附着的悬浮物重量逐渐增多,斜管内径变小,处理的水质变差甚至达不到设计要求;同时支撑柱荷载在短时间内逐渐增大,给生产带来安全隐患<sup>[2]</sup>。

### 2.2 采出水处理沉降罐斜管倾角设置过小在实际使用中存在的问题

采出水沉降罐斜管倾角一般设置在 $55^\circ - 60^\circ$ 之间,采出水动力粘度和温度成非线性关系。新疆油田作业区采出水处理站2010年9月建成投产,处理的采出水动力粘度为: $9.8 \times 10^{-4} \text{Pa}\cdot\text{s}$ ,比新疆油田作业区其它处理站采出水动力粘度( $6.0 \times 10^{-4} \text{Pa}\cdot\text{s}$ )偏大、且有腐蚀性,悬浮物含量高。斜管材质参照其它已建处理站斜管使用情况,选用玻璃钢材质,为了提高悬浮物聚集沉降效果,当时对沉降罐( $V2000\text{m}^3$ 、 $D15.7\text{m}$ )斜管角度设置没有充分考虑采出水动力粘度对悬浮物附着在斜管内壁的影响,安装要求及重视程度不够,将沉降罐斜管倾角设置在 $57^\circ$ 。2012年上半年以前沉降罐各项出水指标达到设计要求,从下半年开始沉降罐出水指标慢慢的偏高,2013年初沉降罐出水指标在高位运行,靠通过调节下游处理设备已不能达到处理站出水指标设计要求,经化+690沉降罐( $V2000\text{m}^3$ 、 $D15.7\text{m}$ )进水,其指标基本没变,而出水指标变化较大,具体出水指标化验结果见表1,按表1绘制时间-SS-含油曲线,见图2。2013年11月通过打开水处理旁通系统对沉降罐进行停水检修,发现沉降罐内的斜管变形、坍塌,排污系统被斜管堵塞,无法正常运行。

表 1 沉降罐 (2000m<sup>3</sup>) 出水指标化验结果

取样时间	取样点	SS(mg/l)	ΣFe(mg/l)	H <sub>2</sub> S(mg/l)	含油(mg/l)
2010.08	进水	150	0.90	21	145
2010.10	出口	71	0.89	20	45
2010.12	出口	71	0.89	19	45
2011.04	出口	71	0.89	19	46
2011.08	出口	72	0.90	18	47
2011.12	出口	73	0.90	18	47
2012.03	出口	73	0.89	18	49
2012.05	出口	74	0.90	18	50
2012.07	出口	75	0.89	18	54
2012.09	出口	79	0.90	18	58
2012.11	出口	89	0.90	18	58
2013.01	出口	99	0.89	18	60
2013.03	出口	110	0.89	19	66
2013.05	出口	108	0.90	19	66
2013.07	出口	110	0.90	18	68
2013.10	出口	112	0.90	18	68

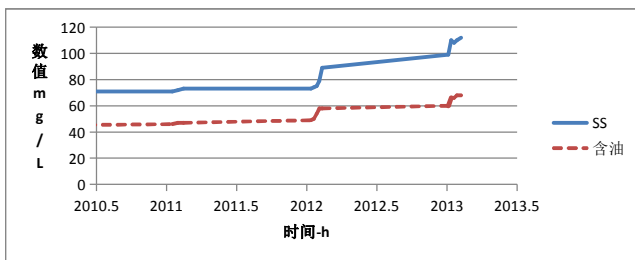


图 2 时间-SS-含油曲线

### 3 采出水处理沉降罐斜管倾角参数的改进

#### 3.1 沉降罐内斜管坍塌原因和计算分析

检修发现，沉降罐内的斜管、托盘、部分支撑柱变形、坍塌，斜管内壁附着大量泥沙、悬浮物，厚度在 5-15mm 之间，大部分在 13mm 左右，经调查其它采出水处理站沉降罐斜管内壁没有出现附着大量泥沙情况。经设计、操作、技术、管理人员分析，斜管变形、坍塌原因主要是斜管内壁附着、粘贴泥沙太多。由于该站采出水动力粘度比其它站采出水动力粘度偏大，斜管倾角没变化、偏小，悬浮物较其它处理站极易粘附在斜管内壁，日积月累斜管内壁附着泥沙大量增加，超出支撑柱设计荷载，致使支撑柱变形、坍塌。技术人员通过计算核实结果如下<sup>[3]</sup>：

(1) 支撑柱设计荷载 65 吨；

(2) 沉降罐截面积 ( $S_1$ )= $\pi\phi_1^2/4 = 3.14 \times 1000 \times 1000 \times 15.7^2/4=193494650\text{mm}^2$ ;  $\phi_1$ : 沉降罐直径;

(3) 单只斜管截面积 ( $S_2$ )= $\pi\phi_2^2/4 = 3.14 \times 50^2/4=1962.5\text{mm}^2$ ;  $\phi_2$ : 斜管直径;

1962.5mm<sup>2</sup>;  $\phi_2$ : 斜管直径;

(4) 斜管总数量 (n)= 沉降罐截面积 / 单只斜管截面积 = $S_1/S_2=193494650/1962.5=98596$  个;

(5) 单只斜管内壁表面积 ( $S_3$ )= $L\pi\phi_2=1.2 \times 3.14 \times 50/1000 =0.1884\text{m}^2$ ; L: 斜管长度;

(6) 斜管内壁总表面积 ( $S_{总}$ )= 单只斜管内壁表面积 × 斜管总数量 = $98596 \times 0.1884=18575.5\text{m}^2$ ;

(7) 斜管内壁附着污泥总量 ( $W_{总}$ )= 斜管内壁总表面积 ( $S_{总}$ ) × 附着污泥厚度 × 污泥比重 = $18575.5 \times 13/1000 \times 1.3=313.93\text{t}$ 。

计算可知：支撑柱荷载仅 65t，而斜管内壁附着污泥总量达 313.93t，因此，必须尽可能的减少管内壁附着污泥量，由于水质参数一定，不可能改变，只有增大斜管角度，以便悬浮物下沉，减少悬浮物粘附在斜管内壁的机会。

#### 3.2 实验模拟结果

2013 年 11 月作业区实验室开始用同一水质做不同斜管角度下附着悬浮物量的实验，为了缩短时间、减少其它条件的干扰，实验分 2 组，每组由 8 个不同角度的斜管组成（同一角度的斜管由 64 个斜管组成），将 2 组斜管放在同一座罐内做模拟实验。其结果见表 2：斜管内附着悬浮物量，按表 2 绘制角度  $\beta$ -SS 曲线见图 3。

表 2 斜管内附着悬浮物量

斜管角度 ( $\beta^\circ$ )	57	59	61	63	65	67	69	71
第 1 组各斜管悬浮物重量 (g)	8020.18	3565.22	581.62	177.66	180.09	172.96	174.33	172.49
第 2 组各斜管悬浮物重量 (g)	7994.18	3605.22	548.62	189.66	188.09	184.96	184.33	184.49
均值 (g)	8007.18	3585.22	565.12	183.66	184.09	178.96	179.33	178.49

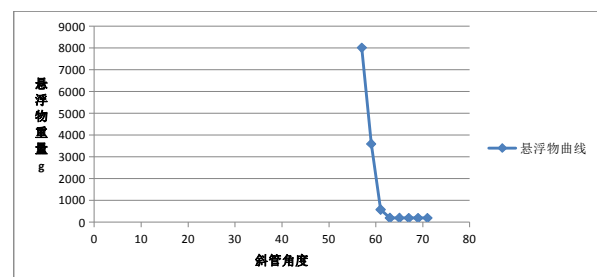


图 3 角度  $\beta$ -SS 曲线

由表 2、图 3 分析可知。斜管角度从 61 度开始内壁附着的悬浮物开始大量减少，在 63<sup>o</sup>、65<sup>o</sup> 趋于稳定，经技术人员评估，认为该水质斜管角度应设置在 65<sup>o</sup><sup>[4]</sup>。

## 4 实际应用效果

2014年4月作业区安排人员按 $65^{\circ}$ 在沉降罐(V2000m<sup>3</sup>、D15.7m)内安装斜管,5月初进水投产并开始进行水质化验,2016年对斜管内附着悬浮物情况进行检修检查,发现附着物较少。目前沉降罐运行良好。具体出水指标化验结果见表3。

表3 沉降罐(2000m<sup>3</sup>)出水指标化验结果

取样时间	取样点	SS(mg/l)	$\Sigma$ Fe(mg/l)	H <sub>2</sub> S(mg/l)	含油(mg/l)
2014.05	进水	145	0.90	21	135
2014.06	出口	70	0.88	21	41
2014.08	出口	70	0.87	20	42
2014.11	出口	70	0.89	19	42
2015.01	出口	71	0.89	18	41
2015.04	出口	71	0.90	19	42
2015.08	出口	69	0.89	19	42
2015.12	出口	71	0.88	18	41
2016.05	出口	71	0.88	19	42
2016.12	出口	72	0.89	19	42

## 5 结语

通过对高粘度采出水沉降罐斜管安装角度的研究,高粘

度采出水处理沉降罐斜管安装角度应提高,才能保证沉降罐斜管不坍塌,设备才能有效运行。

(1) 沉降罐斜管经验安装角度不能满足所有采出水的要求,斜管安装角度不当对斜管支撑柱荷载有影响,甚至可能影响生产及安全;

(2) 对高粘度油田采出水宜进行模拟实验,建立模拟数据指导斜管安装;

(3) 采出水模拟实验结果经现场有效运行取得良好的效果,具有一定的推广及指导意义。

## 参考文献

- [1] 董阳阳,陈静一.立式沉降罐油水沉降分离原理及运动分析.化工管理,2016,23.
- [2] 卢明昌胜利油田采出水处理技术的现状与发展.石油机械,2003,05.
- [3] 尹先清,游革新.斜管沉降罐的设计计算.油田地面工程,1997,05.
- [4] 曹建喜,陈金.油田采出水处理现状及发展方向.环境保护科学,2001,12(108),27.