

含油污水 处理与设备

郑远扬 编著

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

含油污水处理与设备

郑远扬 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书在含油污水的性质及含油污水除油过程基本原理讨论的基础上,对工业上处理含油污水的各类油水分离设备,包括平流隔油池、立式除油罐、斜板隔油池、聚结、斜通道波纹板油水分离器、溶气气浮、诱导气浮、涡凹气浮、水力旋流器等进行了系统深入的论述,介绍了它们的结构,分析讨论了它们的工作原理和过程机理,给出了设计计算方法,以及它们各自的优缺点和应用。为方便读者,本书还有相当篇幅的附录。

本书可供环境工程、环境产业、油田地面工程等行业的工程技术人员阅读,亦可作高校环境工程、化学工程、给排水工程及石油工程等专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

含油污水处理与设备 / 郑远扬编著. —北京:
中国石化出版社, 2014. 3
ISBN 978 - 7 - 5114 - 2673 - 4

I. ①含… II. ①郑… III. ①含油废水处理—废水处理设备 IV. ①X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 033767 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 7 印张 164 千字

2014 年 3 月第 1 版 2014 年 3 月第 1 次印刷

定价:24.00 元

前 言

许多工业企业，例如石油和天然气、炼油、石化、化工、食品等企业所产生的污水中，主要的污染物是油和溶于水中的有机及无机污染物，即所谓含油污水。对于含油污水，如在污水处理场集中处理，先要进行油水分离，以脱除污水中的油，其除油效果，对后续污水处理各工艺过程的效率，影响很大；另一种情况，污水需要回用，如油田采出水回注、炼油和石化企业装置内或装置间的污水回用，对含油污水除油处理的效果会有更高的要求。因之，有关生产企业及环境保护部门均对含油污水的除油处理，十分重视。考虑到国内尚未见到有关油水分离过程和设备的专著出版，笔者结合多年从事这方面工作的成果心得和近年来技术的发展进步，编著了这本小册子，奉献给读者。

含油污水可以看成是水为连续相、油为分散相的液—液非均相混合物。本书论述的内容，就是对油水液—液非均相体系中，作为分散相油的分离脱除过程与设备。本书分三个部分：第一部分，对含油污水的性质及含油污水除油过程基本原理进行了讨论；第二部分，分章论述了各种污水除油过程与设备包括平流隔油池、立式除油罐、斜板隔油池、聚结、斜通道波纹板油水分离器、溶气气浮、诱导气浮、涡凹气浮、水力旋流器等，基本上包括了当今国内外普遍应用的各种除油方法；第三部分为附录，提供了与前两部分有关的补充材料和信息。

本书对所讨论的各种污水除油过程与设备，首先介绍它们的工作原理和设备结构，进一步对其过程机理进行了深入的分析，推导出相应数学模型，在此基础上给出了详细的设计计算方法和步骤，并对各类除油过程和设备的特点和工业实际典型应用情况作了介绍。除了气浮分离部分外，本书所讨论的一些基本原理，对于油为连续相、水为分散相的液—液非均相混合物的分离，也有一定参考价值。

本书内容取舍是基于这样的出发点，即希望本书能对参与含油污水处理相关的各行业(生产管理、作业运营、规划设计、工程建设、设备制造、研究开发等)中的各级工程技术人员，以及高校师生，均能多少有所参考和帮助。

本书的出版得到了中国石化出版社的鼎力支持，并对本书初稿中的不足之处，提出了非常中肯的修改意见，在此致以衷心的感谢。

目 录

第一章 引论	(1)	§ 6-3 设计计算	(46)
§ 1-1 含油污水中油的存在形态	(1)	§ 6-4 应用	(48)
§ 1-2 含油污水中分散油滴的粒径 分布	(2)	第七章 溶气气浮	(49)
§ 1-3 单个油滴在水中的浮升	(6)	§ 7-1 过程概述	(49)
§ 1-4 开发设计含油污水除油设备所需的 基础数据	(8)	§ 7-2 流程	(52)
§ 1-5 含油污水除油设备的进口管线	(9)	§ 7-3 主要设备和装置部件	(53)
第二章 平流隔油池	(10)	§ 7-4 溶气罐设计计算	(56)
§ 2-1 结构	(10)	§ 7-5 平流气浮池设计计算	(58)
§ 2-2 过程分析	(10)	§ 7-6 应用	(62)
§ 2-3 设计计算	(12)	第八章 诱导气浮	(64)
§ 2-4 刮泥机	(15)	§ 8-1 概述	(64)
§ 2-5 应用	(16)	§ 8-2 过程分析	(65)
第三章 除油罐	(17)	§ 8-3 脱油效率计算	(68)
§ 3-1 结构	(17)	§ 8-4 脱油效率预估	(69)
§ 3-2 设计计算	(18)	§ 8-5 应用	(70)
§ 3-3 主要结构参数	(20)	第九章 涡凹气浮	(71)
§ 3-4 应用	(23)	§ 9-1 构成和配置	(71)
第四章 斜板隔油池	(25)	§ 9-2 过程分析	(72)
§ 4-1 结构	(25)	§ 9-3 设计计算	(75)
§ 4-2 通用设计计算	(26)	§ 9-4 应用	(77)
§ 4-3 理论分析计算	(27)	第十章 水力旋流器	(78)
§ 4-4 多层斜板用于平流隔油装置	(31)	§ 10-1 概述	(78)
§ 4-5 多层斜板用于立式除油罐	(32)	§ 10-2 用于油水分离的水力旋流器 结构	(79)
§ 4-6 应用	(33)	§ 10-3 过程分析	(81)
第五章 聚结	(34)	§ 10-4 设计计算	(83)
§ 5-1 水中油滴的分散与聚结	(34)	§ 10-5 应用	(85)
§ 5-2 粘附聚结和碰撞聚结	(35)	附录一 汉英名词对照	(87)
§ 5-3 聚结设备	(36)	附录二 相关标准和规范	(91)
§ 5-4 颗粒床层聚结器设计计算	(39)	附录三 一些定型产品规格示例	(93)
§ 5-5 波纹板聚结器设计计算	(40)	附录四 水中分散油滴粒径分布简易 测定方法	(97)
§ 5-6 应用	(41)	附录五 溶气水气体析出量测定	(99)
第六章 斜通道波纹板油水分离器	(43)	附录六 化学药剂	(101)
§ 6-1 结构	(43)	附录七 标准正态分布函数值表	(103)
§ 6-2 过程分析	(45)	参考文献	(104)

第一章 引 论

§ 1-1 含油污水中油的存在形态

本书讨论含油污水的除油过程与设备。所涉及的水中油污染物包括不溶于水或在水中溶解度很低的有机化合物,包括石油(矿物油)、植物油和动物油,主要是石油。比较确切的定义,含油污水中的“油”,按照 HJ 637—2012《水质 石油类和动植物油类的测定 红外分光光度法》,是指水中能溶于四氯化碳的有机化合物。而国外有的文献定义,能溶于正己烷的有机化合物即为含油污水中的“油”。

按照油在水中的分散尺度和状态,大致可分为以下几种形态:

1. 浮油

油在水中的分散尺度较大,其尺度大小的数量级在 $10^2\mu\text{m}$ 以上,由于油的密度比水的密度小,油滴又较大,因而很容易浮升至水的上部表面,形成油花、油膜,甚至油层。

2. 分散油

由于在生产过程中,油水混合物在湍流条件下流动,经过阀门、孔板等节流装置,通过离心泵等输送装置,油滴受到剪切力的作用,分散成粒度数量级在 $1\sim 100\mu\text{m}$ 间的细小油滴;且由于细小油滴表面吸附有负电荷,在水中形成双电层,细小油滴在水中相对稳定,即为分散油,或称机械分散油。

3. 乳化油

当含油污水中存在某种具表面活性剂性质的化学品时,在机械剪切力的作用下,会使分散油滴进一步破碎,形成油滴粒径小于数微米的、稳定的乳化油。

4. 溶解油

大多数烃类有机化合物并不是绝对不溶于水,而是溶解度很低。但有的烃类有机化合物在水中溶解度还是相对较高的,如乙苯于 25°C 时在水中的溶解度可达 169mg/L 。故在含油污水处理中,溶解油不可忽视。

5. 粘附于固体悬浮物上的油

当含油污水中有固体悬浮物,油会粘附于其上。脱除固体悬浮物时,这部分油会随之被一同分离脱除。

针对污水中油分散形态与尺度的差异,已开发出不同的与之相适应的分离脱除过程和设备,如表 1-1 所示。本书讨论的主要是脱除分离含油污水中分散油的各种适用过程与设备。

表 1-1 污水中油的分散尺度与分离脱除方法

分散尺度/m	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}
油的分散形态	浮油 分散油 乳化油 溶解油								
分离脱除方法	重力分离 离心分离 聚结 气浮分离 过滤 破乳 吸附 膜分离 生化处理								

§ 1-2 含油污水中分散油滴的粒径分布

本书主要讨论含油污水中分散油的分离和脱除，故对水中分散油滴的一些参数先作简要介绍。

图 1-1 是在显微镜下，污水中分散油滴的一个典型二维图像。作为分散相的油滴，在水中必然会形成球形，在二维图像上显示为圆形；尽管在运动中，球形油滴可能会有所变形，但在本书中，如无特别说明，均将其按球形看待。从图 1-1 可以看到，油滴粒径（直径）有大有小，这就涉及到水中分散油滴的粒径分布，即各个不同油滴粒径在全体分散油滴总量中所占的比率。

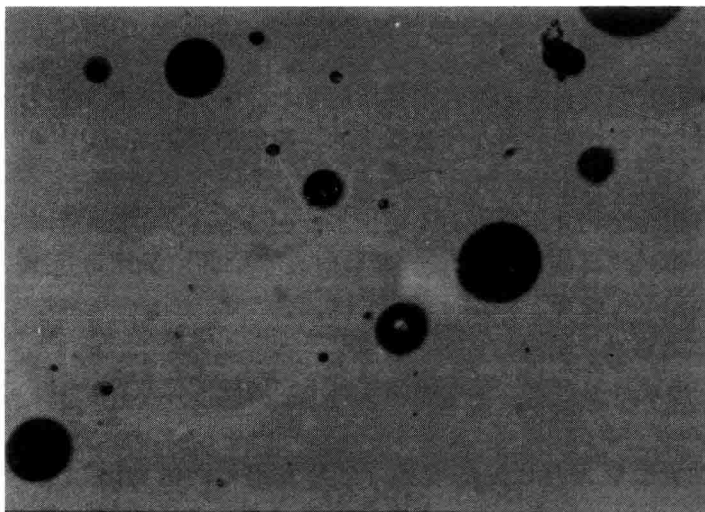


图 1-1 含油污水中分散油滴的显微镜观察图像

1. 油滴粒径分布的基准

通常有两种基准,用以表述分散油滴粒径分布:

(1) 个数分布

按各个不同粒径油滴的个数占所有粒径油滴总个数的比率,表述油滴粒径分布。

(2) 质量(体积)分布

按各个不同粒径油滴的质量(体积)占所有粒径油滴总质量(体积)的比率,表述油滴粒径分布。

使用的分析测试方法不同,给出的粒径分布基准也不同。一般来说,显微镜法、激光散射法所给出的结果,为个数分布;沉降(浮升)法、电阻法和动态光散射法测定的结果则为质量(体积)分布。工业上,设计和操作检测,多用质量(体积)分布。

2. 油滴粒径分布的表述形式

水中分散油滴粒径分布有两种表述形式:

(1) 区间分布

表述一系列油滴粒径区间 $\Delta(d_{pi})$ 内,油滴的量所占的比率,即为区间分布。以粒径为横坐标、分布分率为纵坐标标绘,即为图 1-2 所示的直方图。将图中各直方单元顶部中点用平滑曲线连接,该曲线即为粒径分布密度曲线,相应的曲线函数称为粒径分布密度函数,以 $f(d_p)$ 表示。区间分布又称微分布或频率分布。

(2) 累积分布

表述小于某个粒径 d_{pi} 的所有油滴的量,在全部油滴中所占的比率,即为累积分布。以粒径为横坐标,累积分布分率为纵坐标标绘,就得到图 1-3 所示的 S 形曲线,即为累积分布曲线;相应的曲线函数称粒径分布函数,以 $F(d_p)$ 表示。累积分布亦称积分分布。

粒径分布密度函数 $f(d_p)$ 与粒径分布函数 $F(d_p)$ 的相互关系为

$$f(d_p) = \frac{d[F(d_p)]}{d(d_p)} \quad (1-1)$$

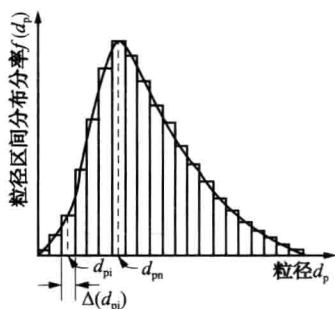


图 1-2 粒径分布直方图和粒径分布密度曲线

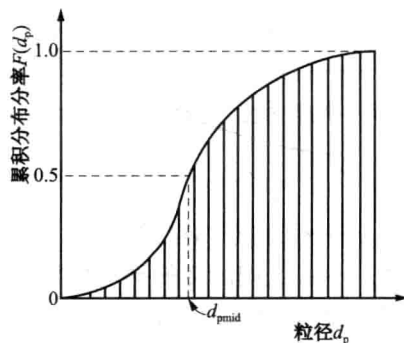


图 1-3 粒径累积分布曲线

(3) 油滴粒径分布密度函数

在工程上,以质量(体积)计的水中分散油滴粒径分布密度,在大多数情况下,比较符合对数正态分布,即

$$f[\ln(d_p)] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\ln\sigma_g} \exp \left[- \left(\frac{\ln \frac{d_p}{d_{pg}}}{\sqrt{2}\ln\sigma_g} \right)^2 \right] \quad (1-2)$$

式中 d_p ——油滴粒径；

d_{pg} ——油滴粒径几何均值；

σ_g ——油滴粒径几何标准差。

式(1-2)也可写成

$$f(d_p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}(d_p)\ln\sigma_g} \exp \left[- \left(\frac{\ln \frac{d_p}{d_{pg}}}{\sqrt{2}\ln\sigma_g} \right)^2 \right] \quad (1-3)$$

3. 分散油滴粒径的表述参数

(1) 最可几粒径

在图 1-2 粒径分布密度曲线中，最高点所在的粒径 d_{pm} ，称为最可几粒径；表示具有该粒径的油滴，或其所在粒径区间的油滴，在整个分散油滴中所占的分率最大。

(2) 中位粒径

在图 1-3 中，对应于累积分率 0.5 处的粒径 d_{pmid} ，称为中位粒径；即在整体分散油滴中，小于及大于该粒径的油滴量各占一半。

(3) 平均粒径

工程上有多个不同定义的平均粒径，本书采用质量(体积)平均粒径；又分为算术平均粒径和几何平均粒径。如已经测定出水中油滴的区间质量(体积)分布数据，则可由下式计算算术平均粒径：

$$d_{pm} = \sum_{i=1}^n f_i d_{pmi} \quad (1-4)$$

式中 d_{pm} ——算术平均粒径；

f_i —— i 区间粒径油滴的质量分率；

d_{pmi} —— i 区间的算术平均粒径；

n ——区间数。

对于几何平均粒径，则有

$$d_{pg} = \prod_{i=1}^n (d_{pgi})^{f_i} \quad (1-5)$$

式中 d_{pg} ——几何平均粒径；

d_{pgi} —— i 区间的几何平均粒径；

其他符号同式(1-4)。

式(1-5)也可写成

$$\ln(d_{pg}) = \sum_{i=1}^n f_i \ln(d_{pgi}) \quad (1-6)$$

[示例] 表 1-2 为一个含油污水中分散油滴粒径的实测数据。将表中数据标绘成粒径分布密度曲线，可得到图 1-4 和图 1-5。图 1-4 横坐标是按表 1-2 中各粒径区间的算术平均粒径 d_{pmi} 标绘的；而图 1-5 则是用表 1-2 中各粒径区间的几何平均粒径的对数值 $\ln d_{pgi}$ 为

横坐标而标绘的。可以看出，图 1-5 所描述的粒径分布密度曲线比较接近于正态分布曲线，即表 1-2 所示含油污水中油滴粒径分布数据，比较符合对数正态分布函数。

表 1-2 一个污水中分散油滴粒径分布示例

粒径区间 $d_{pi-1} \sim d_{pi}/\mu\text{m}$	算术平均粒径 $d_{pmi}/\mu\text{m}$	几何平均粒径 d_{pgi}	区间质量分布分率 f_i	累积质量分布 分率 F_i
1.0 ~ 2.0	1.7	1.673	0.005	0.005
2.0 ~ 2.8	2.4	2.366	0.010	0.015
2.8 ~ 4.0	3.4	3.347	0.015	0.030
4.0 ~ 5.6	4.8	4.733	0.019	0.049
5.6 ~ 8.0	6.5	6.693	0.060	0.109
8.0 ~ 11.2	9.6	9.466	0.136	0.245
11.2 ~ 16.0	13.6	13.387	0.185	0.430
16.0 ~ 22.4	19.2	18.932	0.217	0.647
22.4 ~ 32.0	27.2	26.773	0.183	0.830
32.0 ~ 44.8	38.4	37.863	0.133	0.963
44.8 ~ 64.0	54.4	53.546	0.030	0.993
64.0 ~ 89.6	76.8	70.218	0.027	1.000

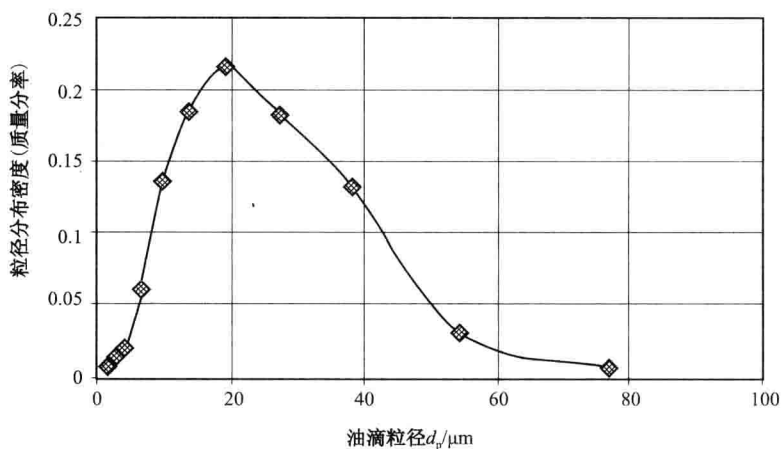


图 1-4 油滴粒径分布密度曲线

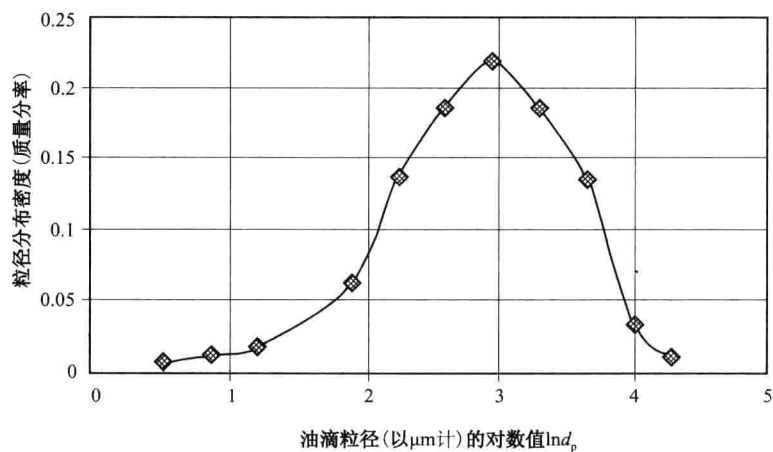


图 1-5 以对数值为横坐标的油滴粒径分布密度曲线

依式(1-4), 表1-2所示含油污水中分散油滴的算术平均粒径为

$$d_{pm} = 20.83 \mu\text{m}$$

依式(1-6), 得到

$$\ln d_{pg} = 2.831$$

相应的几何平均粒径为

$$d_{pg} = 16.96 \mu\text{m}$$

§ 1-3 单个油滴在水中的浮升

分离脱除污水中机械分散油的常用方法是重力分离, 即借助油的密度小于水的密度这一特点, 创造一定条件, 使分散油滴浮升至水面上, 从而实现油水的分离。为此, 应先讨论有关单个油滴在水中的浮升过程; 其所得的结论, 不但是重力分离过程设计计算的基础, 也是离心分离和气浮分离设计计算的基础。

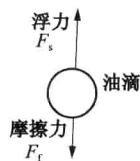


图1-6 单个油滴在水中的浮升

1. 基本公式的导出

如图1-6所示, 有一粒径为 d_p 的油滴, 在水中浮升。为考察其浮升过程, 作如下的简化假定:

- ①油滴在水中浮升过程中, 保持为球形;
- ②油滴在水中浮升过程的运动形态为层流状态;
- ③水体是静止的, 且相对于油滴粒径而言, 水体容积很大, 油滴浮升不受水体容器器壁的影响。

在油滴浮升过程中, 油滴所受到的力有:

- ①因油滴密度比水小而产生的浮力 F_s ;
- ②油滴上浮运动, 必然受到油滴周围水体对其产生的摩擦阻力 F_f 。

如图1-6所示, 油滴在水中的浮力 F_s 为

$$F_s = \frac{\pi}{6} d_p^3 (\rho - \rho_p) g$$

油滴浮升所受到的阻力 F_f 与油滴浮升速度 u 有关, 且其方向与浮力 F_s 相反:

$$F_f = -\lambda \left(\frac{\pi}{4} d_p^2 \right) \left(\frac{1}{2} u^2 \rho \right)$$

式中 λ 为阻力系数, 在层流条件下

$$\lambda = \frac{24}{Re} \quad (Re < 2)$$

$$Re = \frac{u \rho d_p}{\mu}$$

故有

$$F_f = -3\pi\mu u d_p$$

于是可写出油滴浮升运动的方程式

$$\frac{\pi}{6} d_p^3 \rho_p \frac{du}{dt} = \frac{\pi}{6} d_p^3 (\rho - \rho_p) g - 3\pi\mu u d_p \quad (1-7)$$

式中 d_p ——油滴粒径, m;

ρ_p ——油滴密度, kg/m^3 ;
 u ——油滴浮升速度, m/s ;
 t ——时间, s ;
 ρ ——水的密度, kg/m^3 ;
 g ——重力加速度, m/s^2 ;
 μ ——水的黏度, $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$;
 λ ——阻力系数;
 Re ——雷诺数。

将式(1-7)整理:

$$\frac{du}{dt} = \frac{(\rho - \rho_p)g}{\rho_p} - \frac{18\mu u}{d_p^2 \rho_p} \quad (1-8)$$

取初始条件 $t=0$ 时 $u=0$, 对式(1-8)求解, 得

$$u = d_p^2 \frac{(\rho - \rho_p)g}{18\mu} \left[1 - \exp\left(-\frac{18\mu t}{d_p^2 \rho_p}\right) \right] \quad (1-9)$$

式(1-9)表述了单个油滴在水中浮升速度随时间的变化关系, 如图 1-7 所示, 即在开始阶段, 油滴有一个加速浮升阶段, 但很快浮升速度即趋于稳定。这是由于式(1-9)中 $\exp\left(-\frac{18\mu t}{d_p^2 \rho_p}\right)$ 项 $\ll 1$ 之故, 工程上均将该项忽略, 即认为加速浮升阶段非常短暂, 油滴是以恒速浮升方式上浮, 并将该恒速浮升速度称为油滴浮升终端速度, 式(1-9)即简化为

$$u_t = \frac{d_p^2 (\rho - \rho_p) g}{18\mu} \quad (1-10)$$

式中 u_t ——油滴浮升终端速度, m/s ;

其他符号同式(1-7)。

式(1-10)即著名的斯托克斯公式, 是油水分离设备研究开发和设计计算的一个基础公式。

2. 斯托克斯公式之分析

作为斯托克斯公式的式(1-10), 给出了影响油滴浮升终端速度的一些因素, 现对其作简要分析:

- ①决定油滴浮升终端速度大小的主要参数是, 水和油的密度差、油滴粒径和水的黏度。
- ②在式(1-10)中虽未出现温度这一参数, 但温度对油滴浮升终端速度仍有影响, 这是由于水和油的密度及水的黏度都随温度而变, 特别是水黏度受温度的影响较大。
- ③从式(1-10)可以看到, 油滴浮升终端速度与油滴粒径的平方成正比关系, 即油滴粒径的大小对油滴浮升终端速度的影响程度最大。
- ④式(1-10)是在重力场条件下导出的, 如果油水混合物处于离心力场作用下, 则式(1-10)中的重力加速度项应代以离心加速度, 一般离心加速度大于重力加速度, 故在离心力场下, 油滴可有较大的终端速度。

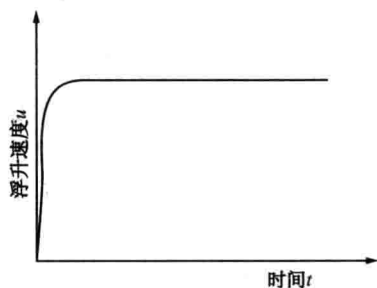


图 1-7 油滴浮升速度随浮升时间的变化

图 1-8 为当水温 20℃ 时, 不同粒径的油滴在重力场和离心力场条件下, 浮升 20mm 所需的时间, 可以明显看出这两个重要因素对水中油滴浮升分离的影响。

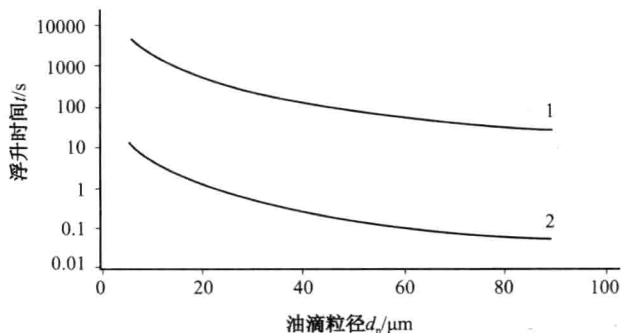


图 1-8 不同力场作用下 20℃ 水中油滴浮升 20mm 所需时间

1—在重力场作用下, 重力加速度为 g ; 2—在离心力场作用下, 离心力加速度为 $500g$

§ 1-4 开发设计含油污水除油设备所需的基础数据

为了开发设计污水除油过程设备, 应先确定所处理含油污水的来源。例如, 所处理的含油污水来自炼油厂或石油化工厂, 则还应考虑是单一生产装置排出的含油污水, 还是数个生产装置或全厂的混合含油污水; 又如, 所处理的含油污水为油田采出水, 则还应了解是一次采油采出水, 还是蒸汽驱或聚合物驱采出水; 等等。其次应明确油水分离处理后污水的去向, 是进一步进行后续处理, 还是直接去复用。所有这些都是油水分离器选型或开发研制所必须顾及的。在此基础上, 应收集以下一些基础数据, 作为设计开发油水分离器的依据。

(1) 含油污水流量

生产上含油污水流量是波动的, 应采用最大流量作为设计流量; 如果冲击负荷频繁且波动量大, 必要时可按加缓冲容器或不加缓冲容器两个方案进行技术经济比较。

(2) 水温

应按最低水温度进行设计, 特别对寒冷地区, 应考虑冬季的最低水温。

(3) 水的密度和黏度

依据设计水温确定水的密度和黏度。

(4) 油的密度

污水中所含油的成分比较复杂, 最好取样实测, 并换算成设计温度下的密度。

(5) 水中油含量

应收集污水中油含量的波动范围和波动规律, 并依处理要求确定选用最大值或平均值作为设计开发依据。

(6) 水中油滴的粒径分布

有条件的话, 应测定水中油滴的粒径分布及其分布规律。

(7) 水中油的乳化情况

特别要考察水中是否含有会使分散油滴加重乳化的表面活性剂, 及其处理对策。

(8) 水中的固体悬浮物

含油污水中是否还含有固体悬浮物，如有的话，应测定其含量和粒径分布。

(9) 处理要求

明确要求的脱油效率或处理后出水中最大油滴粒径；如有固体悬浮物，亦应明确其脱除要求。

§ 1-5 含油污水除油设备的进口管线

由于含油污水中分散油滴会因水流的湍动而趋于更加分散为细小油滴（参见第五章），为减少这种因素对除油设备除油效率的不利影响，对各种除油设备进口管线系统的设置，应注意如下一些一般事项。

①进口系统应尽可能不用离心泵，尽可能利用系统中的压能或位能将含油污水输送入除油设备。

②进口管线应尽可能减少阀门、弯头、三通及节流装置等管件。

③进口管线直径应在尽可能低压降条件下选定。

④进口管线应选用内壁光滑的材料。

⑤连接除油设备入口处直管线长度应大于其管径的 10 倍。

第二章 平流隔油池

§ 2 - 1 结 构

平流隔油池亦称 API 隔油池，是结构比较简单、使用历史比较长且适应性也较广的一种油水分离设备，主要用于污水处理场，作为一级处理设施，以脱除污水中的浮油和部分分散油；污水中的固体悬浮物也可在平流隔油池得到脱除。

平流隔油池的结构如图 2 - 1 所示。其主体为一矩形池，池壁一般用钢筋混凝土构筑，池内由进水、隔油、出水、集油和集泥等部分构成。在进水处，含油污水经分配栅板和分布栅进入隔油池的主体部分即分离隔油区；在分离隔油区，水流缓慢，流动形态为层流，分散油滴随水流流动而向上浮升，并在分离隔油区水层顶部聚集形成油层，通过集油管，将油层中的油不断排出回收；处理后的水通过水溢流堰进入集水池排走；水溢流堰的作用为使池中有一定水位，使之有足够的停留时间，完成一定的分离任务；隔油挡板则是为防止油层中的油又混入处理后的水中而设。进水中如有固体悬浮物，在分离隔油区内会沉集于底部，由刮泥器收集于集泥槽而排走。

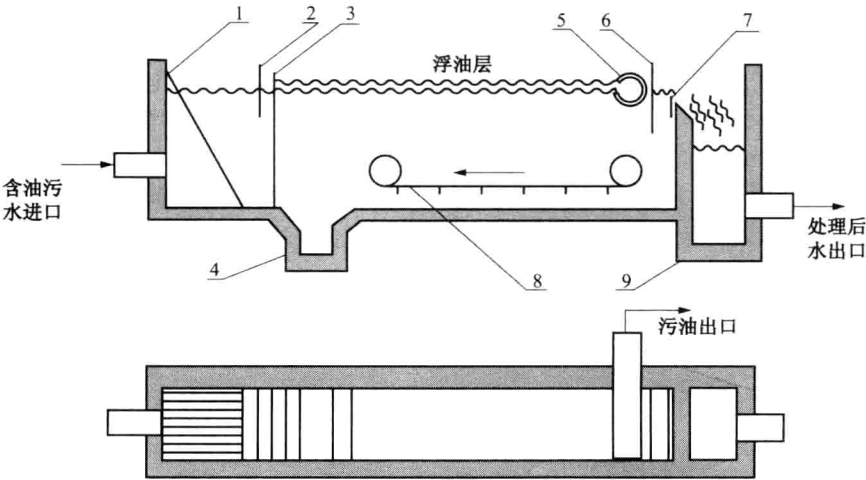


图 2 - 1 平流隔油池

1—分配栅板；2—隔板；3—分布栅；4—集泥槽；5—集油管；6—隔油挡板；
7—水溢流堰；8—刮泥器；9—集水槽

§ 2 - 2 过程分析

在平流隔油池的分离隔油区，含油污水中的分散油滴因油的密度比水的密度小而浮升。令分离隔油区的长度为 L ，水层高度为 H ，如图 2 - 2 所示。由于在分离隔油区，水流以缓

慢的层流流动向前流动, 不会干扰分散油滴在水中的浮升, 所以, 不同粒径的油滴会以其相应的终端速度向上浮升。如果在水流进口截面底部有一粒径为 d_{pc} 的油滴, 当其随水流速度 u 前行时, 亦有一相应的垂直向上的浮升速度 u_{tc} 。此油滴浮升的终端速度 u_{tc} 可由式(1-10)确定:

$$u_{tc} = \frac{(\rho - \rho_p) d_{pc}^2 g}{18\mu} \quad (2-1)$$

式中 ρ 、 ρ_p ——水及水中分散油滴的密度, kg/m^3 ;

d_{pc} ——油滴粒径, m ;

g ——重力加速度, m/s^2 ;

μ ——水的黏度, $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$;

u_{tc} ——粒径为 d_{pc} 的油滴浮升终端速度。

要使粒径为 d_{pc} 的油滴在水流出口截面处能浮升至水层顶部而得以分离, 必须是该油滴由底部浮升至水层顶部的时间与该油滴从进口截面随水流至出口截面的时间相等, 即

$$\frac{H}{u_{tc}} = \frac{L}{u} \quad (2-2)$$

式中 H ——分离隔油区水层高, m ;

u_{tc} ——粒径为 d_{pc} 的油滴浮升终端速度, m/s ;

L ——分离隔油区长度, m ;

u ——分离隔油区水流水平流速, m/s 。

可见, 在平流隔油池运行中, 如满足式(2-2)的条件, 水中粒径 $\geq d_{pc}$ 的分散油滴均可浮升至水层顶部而被完全分离。

令水的处理量为 Q , 平流隔油池的宽度为 B , 则有

$$u = \frac{Q}{HB}$$

式中 u ——分离隔油区水流水平流速, m/s ;

Q ——水处理量, m^3/s ;

H ——分离隔油区水层高, m ;

B ——分离隔油区宽, m 。

将其代入式(2-2), 得到

$$u_{tc} = \frac{Q}{LB} \quad (2-3)$$

将式(2-1)改写为

$$u_{tc} = K d_{pc}^2 \quad (2-1a)$$

其中

$$K = \frac{(\rho - \rho_p) g}{18\mu}$$

将式(2-1a)代入式(2-3), 有

$$d_{pc} = \sqrt{\frac{Q}{KLB}} \quad (2-4)$$

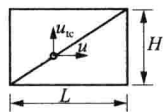


图 2-2 隔油池内油滴的浮升

即在隔油池操作中,如能满足式(2-3)或式(2-4)的条件,则水中粒径 $\geq d_{pc}$ 的分散油滴均可浮升至水层顶部而被完全脱除分离。

分析式(2-3)或式(2-4),还可得出如下结论:

①利用重力浮升进行油水分离,水中分散油滴的脱除效率只与隔油池长 L 与宽 B 的乘积,即隔油池的浮升面积有关,而与水层深度无关。这个结论有的文献称之为“浅池原理”。

②定义单位浮升面积 LB 所处理的含油污水量 Q 为表面负荷 u_s ,则有

$$u_s = \frac{Q}{LB}$$

与式(2-3)比较,可得出结论,即当表面负荷 u_s 与粒径为 d_{pc} 油滴的终端速度 u_{tc} 相等时,隔油池能将粒径 $\geq d_{pc}$ 的油滴完全脱除。所以表面负荷也是通过重力浮升脱除水中分散油滴设备一个技术经济指标。

③利用重力浮升进行油水分离,如要在恒定处理量条件下脱除更小的油滴,或在要求脱除最小油滴粒径不变条件加大处理量,均需增加设备的浮升面积。

§2-3 设计计算

1. 基本设计计算

平流隔油池通用的设计方法是,以可以完全脱除的最小油滴粒径作为设计指标和依据。

①确定该隔油池可以完全脱除的最小油滴粒径 d_{pc} ,一般为 $100 \sim 150 \mu\text{m}$,依含油污水来源、性质及处理后污水的去向而定。由是,依式(2-2),可得到具有该粒径油滴在水中的浮升终端速度 u_{tc} 。

②依式(2-4),就可求出为使该粒径 d_{pc} 油滴完全浮升脱除,所需的最小浮升面积 A_c :

$$A_c = \frac{Q}{u_{tc}}, A_c = BL$$

③选定池宽 B ,一般可在 $2.0 \sim 6.0\text{m}$ 之间选定,于是可得到在相应选定池宽条件下,所需的池长 L

$$L = \frac{Q}{Bu_{tc}} \quad (2-5)$$

且应使 $L \geq 2.0B$,如不满足此条件,重新选定池宽 B 。

④确定隔油池水深 H 。隔油池应当有足够的横截面积 BH ,以使含油污水在隔油池内的水平流速 u 较低,流动状态保持为层流;其次,因隔油池内一般均装有刮泥器,故要有足够的水深以防止、减弱刮泥器运动所引起的湍动。通常水深 H 可在 $1.0 \sim 2.5\text{m}$ 范围内选定,并应使水深 H 与池宽 B 的比值为

$$\frac{H}{B} = 0.3 \sim 0.5$$

⑤计算隔油池内含油污水的水平流速 u

$$u = \frac{Q}{BH}$$

并应使

$$u \leq 0.015\text{m/s}$$