

波纹板聚结法油水分离技术

郑陵 杜英生 (天津大学化学工程研究所 天津市 300072)

摘要 首先介绍了板式聚结法原油脱水和污水除油等油水分离过程的发展概况,指出板式聚结器具有效率高,设备简单的特点,特别是波纹板填料聚结器中波纹板提供了流体在上面来回流动的曲折通道,这些曲折通道使分散液滴产生最大程度的聚结,使波纹板聚结法成为近几年国内外研究和应用的一项新型油水分离技术。通过对聚结原理的分析,指出平行板分离器是各种聚结器分离的基础,并由此导出波纹板聚结器油滴脱除率 $\eta = 1 - \exp\left[-\frac{K(\rho - \rho_o)gx_v^2L}{18\mu u h}\right]$ 。最后,还介绍了各种聚结器的结构,指出波纹板聚结器实际上是在卧式游离水脱除器的前面放置聚结填料,填料长度从 0.6096m 到 2.7432m 不等,这取决于要求油水分离的程度。填料材料采用 70%~85% 的聚丙烯与 15%~30% 的人造纤维混合体,可保证长久的吸油功能。

关键词 油水分离 波纹板 聚结 原油脱水 污水处理 油水分离器

1. 发展概况

1950 年美国 Shell (壳牌) 公司制成第一台平行板捕集器 (PPI) 可去除的最小油滴直径为 $60\mu\text{m}$ 。在这之后不久,又设计出波纹板捕集器 (CPI)。波纹板捕集器要比平板捕集器好,原因是波纹板增加了聚结表面积,波峰处更利于聚结油滴的上浮和固体物质的下沉。这些捕集器都是供炼厂处理污水之用,在油田上未能得到应用^[1]。

Fram 公司于 70 年代开发了先进的聚结板分离器 (Coalescing Plate Separator), 简称 CPS。其中的聚结元件为一叠 V 型板,板上有放液孔,允许聚结油滴垂直穿过板。80 年代 C-E NATCO 公司开发了商标为 Performax 的板式聚结器 (Performax 为 Performance maximization 的缩写),这是一种错流设备 (crossflow devices),有人称为组合式波纹板 (Assymmetric corrugated plate)。这些波纹板提供了流体在上面来回流动的曲折通道,这些曲折通道使分散液滴产生最大程度的聚结。Performax 分离器首先是应用到水的净化上,即从含油污水中去除油,这一应用甚为成功。之后经过不断地开发,又在天然气去雾和原油脱水中得到了应用。这些新型的油水分离技术不仅提高了分离效果,还使板式分离技术在密闭容器中得到应用,因此特别适合油水分离的需要^[1]。

2. 聚结原理及其计算方法

文献 [1] 认为, Performax 板式聚结器的颗粒去除原理与平行板捕集器是一样的,即利用油滴只需浮升较短距离就能到达板表面,通过与板表面碰撞,油滴发生聚结。C-E NATCO 公司分析了 Performax 处理器能提高处理能力的原因是:①水滴 (或油滴) 只需沉降 (或浮升) 到邻近的板表面,而不必沉降 (或浮升) 到油水界面 (oil-water interface);②波纹板片

(matrix) 结构有非常大的聚结表面积; ③能减少湍流, 提高分离效率。Performax 板与平行板的设计条件相当, 即: 雷诺数不超过 400, 最大水平流速为 2.5m/min。与所有重力分离器一样, Fram 公司的聚结板式分离器 (CPS) 也是基于 Stoke's 公式预测其性能, 并有专门的计算机程序。

文献 [2] 通过综合考虑污水水质状况 (污水油滴粒度分布和浓度分布) 和重力分离装置的结构参数, 建立波纹板重力分离的数学模型, 可直接计算排出水中的含油量:

$$C_{out} = \int_F \frac{C_{in} f[g(x, y)]}{F} dF$$

式中: F ——每一板层通道的截面积, cm^2 ; C_{in} ——浓度累加分布函数, $C_{in} = f(d)$;

$d = g(x, y)$ 为最小可分离粒径与分离装置结构参数的关系式, 即临界粒径函数。对于由波纹板对置构成的板组, 其临界粒径函数为:

$$d = \sqrt{\frac{18\mu Q(\sqrt{R^2 - x^2} - y)}{g(\rho_w - \rho_o)(V_1 - V_2)}}$$

式中: R ——波峰高度, cm ; V_2 ——板层自身所占体积, cm^3 ;

V_1 ——重力分离装置的体积, cm^3 ; Q ——含油污水流量, cm^3/s 。

文献 [3] 通过对波纹板聚结器内流动方向和截面不断变化的液流等量地用多层板层流来表示, 以及用 Samter 平均粒径 x_{VS} 来表示进口油滴平均粒径等假设, 并列入校正因数 K , 导出波纹板聚结器的油滴脱除率为:

$$\eta = 1 - \exp\left[-\frac{K(\rho - \rho_o)g x_{VS}^2 L}{18\mu h}\right]$$

式中: u ——液流速度, m/s ; μ ——水的粘度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$; L ——波纹板长度, m ;

ρ ——水的密度, kg/m^3 ; h ——波纹板波高, m ; ρ_o ——油的密度, kg/m^3 。

3. 几种波纹板聚结器的结构

Fram 公司的聚结板式分离器 (CPS) 的结构见图 1。聚结板由玻璃纤维制成, 每块板上有散液孔, 聚结的油滴从波纹板峰的放液孔溢出。由于波纹通道的宽度不等 (见图 2), 流体在其间时而得到加速, 时而得到减速, 加剧了分散液滴间的碰撞和聚结。该设备主要适合处理含油量在 200~1000ppm 的污水。出口水质在 50ppm 左右。

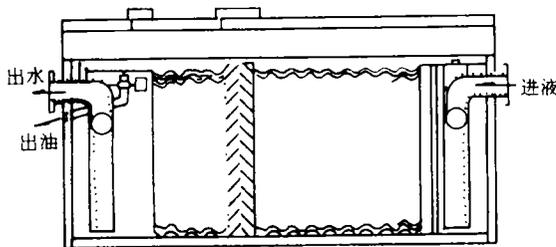


图 1 聚结板式分离器 (CPS)

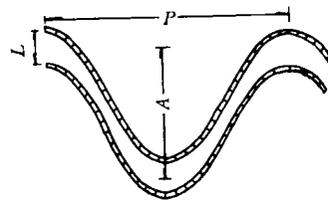


图 2 聚结波纹板结构

文献 [4] 对多层错流式聚结器申请了专利, 如图 3、4 所示。其聚结部分是由多层斜板重叠而成, 与单层板式聚结器相比, 可大大提高分离效率, 而且不易阻塞。图中所示为散开

式，也可制成密闭式容器以利油田使用。

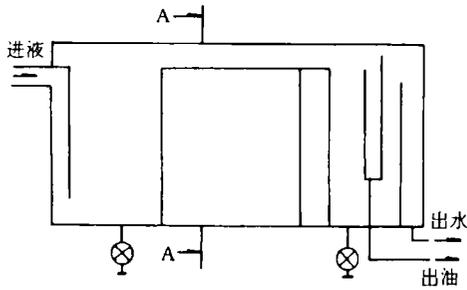


图3 多层错流式聚结器

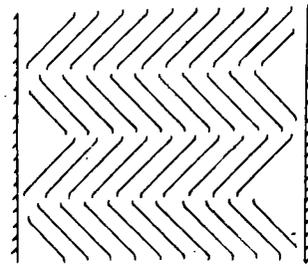


图4 聚结部分的多层斜板 (A-A 截面)

文献[1]描述了 Performax 聚结器的结构，并指出 Performax 聚结器实际上是在卧式游离水脱除器 (FWKO) 的前面安置了聚结填料。两者的差别是容器的长度。在聚结器中，大部分的油水分离是在聚结部分中完成的，因而容器长度要比游离水脱除器短。相对而言，FWKO 是基于停留时间进行分离的，因而需要较长的容器。

除上述差别外，Performax 聚结器的其他结构类似于 FWKO，标准结构设计中有气相部分、油相部分和水相部分。当进油浓度较高时，油水界面控制在容器中心线 (脱水器设计)。当进油浓度较低时 (2000ppm)，界面将控制在较高的地方，并要求有较好的出水水质 (撇油器设计)。图5为典型的 Performax 设计。文献 [1] 用具体数据给出了在油田实际运用中 FWKO 与 Performax 的处理效果的比较。

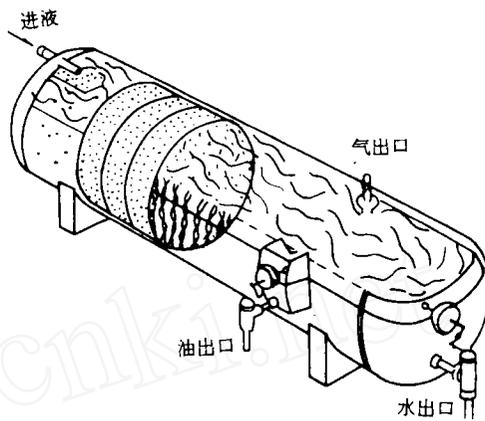


图5 Performax 板式聚结器

图5为典型的 Performax 设计。文献 [1] 用具体数据给出了在油田实际运用中 FWKO 与 Performax 的处理效果的比较。

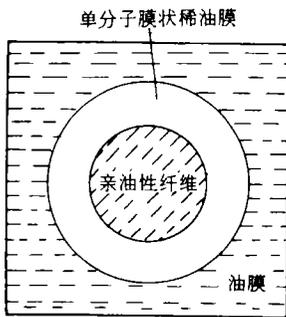


图6 亲油性纤维分子膜的形成

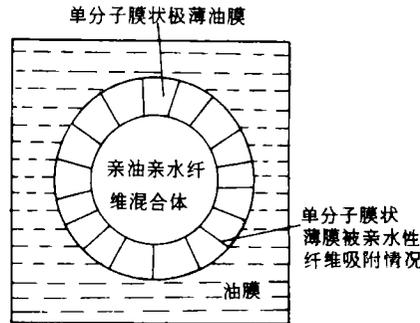


图7 亲水性纤维吸附单分子膜

Performax 聚结部分可由不同材料制造，如聚丙烯、不锈钢和碳钢。材料选择基于操作条件。板网部分为一种改进的波纹板，波纹板垂直安装并和容器纵轴线平行。板上的波纹走向成 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 角，相间的波纹板上波纹互相平行；而相邻两板的波纹成交叉状。这样，流体流经此部分时作向上和向下运动，有助于分散相液滴的聚结。实验表明分离段的整个截面安装这种波纹板，将获得最佳处理效果。填料的长度从 0.6096m (2ft) \sim 2.7432m (9ft) (下转 21 页)

3. 结 论

(1) 填料三相分离器结构合理,性能良好,操作简单,油水分离效果好,解决了萨北油田多年来污水水质不合格的问题,取得了出水含油小于1000mg/L,出油含水小于50%和分水率大于90%的良好效果。

(2) 应用填料三相分离器可简化生产工艺,减少设备,降低工程投资。而且解决了中转站掺水水质不合格的问题,不再需要大站返输供水;还可减少机泵,节约电能。

(3) 填料三相分离器的沉降室采用全封闭结构,设置了可调节的水堰板,可针对进液含水的波动调节堰板高度,控制油水界面,调整油和水的沉降时间,这种结构很适合高含水油田中后期开发的生产。

(4) 填料三相分离器存在的问题是为了增大聚结面积,需将聚丙烯填料制成峰高13mm、峰距29mm、峰坡上压有许多凹槽的波纹板,这样在生产中将会引起波纹板表面泥砂的沉积和污垢的聚结,运行一定时期后会影晌设备的处理效果,如何清洗波纹板有待于研究解决。

(收稿日期 1993-11-20 编辑 陆永祥)

(上接3页)不等,取决于所需油水分离的程度。标准的单元填料长度为0.9144m(3ft)。

文献[5]认为,聚结材料由无机材料与有机材料的混合使用可取得单一材料达不到的良好效果。在油水混合物中如用聚丙烯(100%)作为吸油材料,其吸油情况见图6。开始时吸油活跃,当接近饱和时,在纤维周围出现由油和水的界面产生的分子膜状的薄油膜,吸油达到平衡。若用70%~85%聚丙烯与15%~30%人造纤维混合体,吸油时就不会出现油和水的界面(见图7),其吸油功能可长久保持,并可连续进行。

文献[6]探讨了适宜的进液分布器的形式(见图8),实验表明,板成45°安装可使液体分布最均匀,并能最大程度地减小湍流。这样不仅提高了分离效率,而且还提高了容器的利用率,增加了流体在容器中的停留时间。

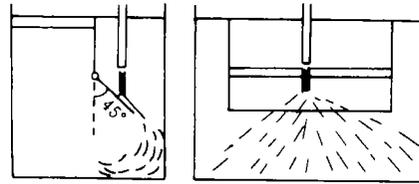


图8 进液分布器

参 考 文 献

- 1 S J Rehm, R J Shanghnessy. Enhanced Oil-Water Separation The Performax Coalescer. Proceeding, Production Operations Symposium, Oklahoma: 1983
- 2 朱鸣跃. 重力分离数学模型研究及应用. 水处理技术, 1988, 14(4): 237~244
- 3 郑远扬. 波纹板填料油水分离器及其计算方法. 化工学报, 1992, 43(2): 236~240
- 4 G A Davies, W E Hardwick. Phase Separation Device, UK2, 116, 447, 1983
- 5 郑雯君. 微量含油废水处理装置——粗粒化油水分离器. 化工环保, 1988, 8(4): 228~234
- 6 Gregory G Aymong. Oil-Water Separator. US4, 722, 800, 1988

(收稿日期 1993-11-01 编辑 贾方才)

本期部分第一作者简介

郑陵 讲师,1965年生,1987年毕业于湘潭大学化工系化工环境工程专业,1990年研究生毕业于天津大学化学工程研究所化学工程专业,现攻读在职博士学位。先后在《石油学报》、《化学工程》等杂志发表论文15篇。已完成炼厂常减压系统、吸收稳定系统、气体分离、干气脱硫再生等技术改造10余项,并从事波纹板填料聚结法油水分离技术研究。现为天津大学填料塔新技术公司顾问。

陈友昌 工程师,1962年生,1984年毕业于吉林大学数学系力学专业,1990年攻读大连理工大学理论物理专业研究生,1993年获硕士学位。

赵庆德 高级工程师,1940年生,1964年毕业于黑龙江工学院土建系,先后从事油田给排水工程设计、大庆市城市规划、大庆市建设工作管理等工作,曾与人合作在1981年《油田设计》(《油田地面工程》前身)第二期(增刊)发表了钢管水力计算表。

李杰训 助理工程师,1991年毕业于石油大学石油储运工程专业。

白希尧 教授级高级工程师,1935年生,1960年毕业于大连理工大学化工自动化专业。现任鞍山静电技术研究设计院院长,中国物理学会静电专业委员会委员,辽宁省物理、电子、生物物理学会理事,辽宁省静电专业委员会主任委员。白希尧同志从事静电理论及静电技术应用研究多年,在超高压静电抑制酸雾技术、低温常压等离子体分解有害气体技术、臭氧技术及应用、石化检测仪器仪表研究等领域取得了丰硕成果。自1980年以来,共发表118篇论文,获奖论文15篇,获科研成果12项。1987年被日本国静电学会授予“功绩奖”;1988年荣获国家级中青年有突出贡献专家称号。

李怀印 工程师,1965年生,1985年毕业于武汉水利电力学院水利工程专业,1988年研究生毕业获硕士学位。先后在《中国给水排水》、《给水排水》发表过论文。

许小成 工程师,1959年生,1982年毕业于西北农业大学机械设计制造专业。

冯耀忠 工程师,1947年生,1970年毕业于西南石油学院采油工程专业。曾先后在国内多家杂志上发表过近30篇论文。

曾凡军 工程师,1962年生,1984年毕业于大庆石油学院石油生产及加工过程自动化专业。在《信息与控制》上发表过与人合作完成的《一种新的自适应滤波器及其应用》论文。

于良俊 助理工程师,1964年生,1988年毕业于石油大学采油工程专业。

徐淑清 高级工程师,1943年生,1962年毕业于哈尔滨建筑工程学校给排水专业。

油田地面工程(双月刊 1978年创刊) **OILFIELD SURFACE ENGINEERING**(Bimonthly)

第13卷第2期(总第84期)1994年4月出版 Vol. 13 No. 2(Total No. 84)Published in Apr. 1994

主办:大庆石油管理局 编辑出版:大庆油田设计院《油田地面工程》杂志社 邮政编码:163712 主编:王道满

微机排版:《油田地面工程》杂志社 印刷装订:黑龙江省安达市印刷厂 国内发行:黑龙江省大庆市邮局

国内订阅:全国各地邮局 国外发行:中国国际图书贸易总公司(北京399信箱) 代号:BM4151

Editor and Publisher: Daqing Oilfield Construction Design and Research Institute OSE Press Post Code: 163712

Chief Editor: Wang Daoman Distributor Abroad: China International Book Trading Corporation(P. O. Box 399, Beijing, China, T 841. 3063, Telex 22496 CIBTC CN, Cable CIBTC BEIJING) Code: BM4151

邮发代号:14—89 国内统一刊号:CN23—1288/TE 黑工商广字068号 国内定价:2.50元 全年订价:15元

OILFIELD SURFACE ENGINEERING

Vol. 13 No. 2 Apr. 1994

CONTENTS

- 1 **Corrugated Board Coalescing Oil-Water Separating Technology**
At first, the article introduces the developing situation of the board type coalescer applied on oil-water separation. Through analysing coalescing principle, the article points out that the parallel board separator is the base of various coalescing separation and therefore gains the calculation method of coalescer.
theme words: oil-water separation / corrugated board / coalescing / crude dehydration / disposal of sewage / oil-water separator
- Zheng Ling, Du Yingsheng*
- 4 **Simulating Calculation of Temperature Field Around Oil-Gathering Pipelines Buried on Frozen Ground Area**
In accordance with the thermal-insulation form of the double-conduit oil-gathering process flow, this article sets up the math model of calculating temperature field and calculates the two-dimensional, unstable phase-change temperature field of soil around pipeline by using the theory of limited difference value.
theme words: frozen ground / oil gathering pipeline / temperature field / calculation
- Chen Youchang, Ding Dewen, Song yongtao*
- 8 **Hydraulic Calculation of Nonpressurized Round Conduit**
- Zhao Qingde*
- 11 **Improving Calculation Method of System Efficiency of Pumping Well**
- Zhou Guanghou, Zhang Hongchun*
- 14 **Preliminary Discussion on Surface Gathering and Transferring Process Flow of Hydraulic Pump Production**
- Huang Hui*
- 18 **Application of Corrugated Board Three Phase Separator at Sabei Oilfield**
This kind of separator is applicable to high water cut crude (water cut over 80%) to separate oil-water-gas at normal temperature. No. 9 drawing off pump station of Daqing Sabei oilfield and Bei Ⅲ-2 combination station use 4 sets of $\Phi 4m \times 24m$ corrugated board 3-phase separators (each station two sets). Operations are constantly well (water cut in treated oil less 50%, oil cut in treated water less 1000 mg/l).
theme words: Sabei oilfield / oil-water separation / 3 phase separation / packing / corrugated board
- Li Xunjie, He Zhongan*
- 22 **Test of High-Pressure Pulse Coalescing Dehydration**
- Bai Xiyao, Xiong Limin, Zhao Qiaoling*