

海上油田含油污水旋流气浮一体化处理设备及其应用

陈家庆¹ 韩旭¹ 梁存珍¹ 王春升² 王建文²

(1. 北京石油化工学院环境工程系, 北京 102617; 2. 中海油研究总院, 北京 100027)

摘要 低强度旋流离心力场与气浮组合是一种高效的含油污水处理技术, 目前在国外已有较为成熟的产品, 尤其是挪威 M-I SWACO 公司开发的 Epcon 紧凑型气浮装置已经在海上油田含油污水处理的应用方面取得了众多成功的案例。从 Epcon 紧凑型气浮装置的基本结构及其工作原理入手, 简要叙述了该设备的工艺流程和性能特点, 重点介绍了其在国内尤其是在中国西江 30-2 采油平台上的测试和应用状况, 最后介绍了新一代 CFU 设备的研发动向, 为国内自主设计研发含油污水旋流气浮一体化处理设备提供必要的理论指导。

关键词 含油污水 低强度旋流分离 气浮分离 紧凑型气浮装置

中图分类号 X703

文献标识码

文章编号 1673-9108(2012)01-0087-07

Compact flotation unit and its application in offshore produced water treatment

Chen Jiaqing¹ Han Xu¹ Liang Cunzhen¹ Wang Chunsheng² Wang Jianwen²

(1. Department of Environmental Engineering, Beijing Institute of Petrochemical Technology, Beijing 102617, China;

2. CNOOC Research Center, Beijing 100027, China)

Abstract The combined soft cyclone and flotation separation technology is an efficient produced water treatment method, and there are some mature products based on this kind of advanced technology. The Epcon Compact Flotation Unit (CFU), invented by Norway M-I SWACO, has achieved a number of successful application cases around the world. The structure and principle of the CFU device were introduced firstly, and then the process flow and features were described. It was important to emphasize the pilot trials and application of CFU on XJ30-2 China, and finally introduced the latest CFU productions. All these work supplied a necessarily theoretical guidance for the design and research CFU independently in domestic.

Key words produced water; soft cyclone separation; flotation separation; compact flotation unit

目前常规的含油污水单元处理技术主要有重力沉降除油、压力密闭除油、气浮除油以及液-液旋流除油等, 陆上油田含油污水常用“物理除油→混凝沉降→过滤”的工艺处理后回注^[1]。海上油田开发中, 由于受生产平台的限制, 无法采用此工艺, 而且随着海上油田开发到中后期, 原油含水率上升, 水质变化复杂, 处理难度加大, 严重影响到油田的开发生产。国外近 10 年来在低强度旋流离心力场与气浮组合应用方面取得了较大进展, 出现了一批紧凑型组合处理设备, 如美国 Natco Group 的 VersaFloTM、M-I SWACO 公司的 Epcon 紧凑型气浮装置 (Compact Flotation Unit, CFU)、美国 CETCO Oilfield Services 公司的 CrudeSep[®]、英国 Cyclotech 公司的 DeepSweepTM、英国 Opus Maxim 公司的紧凑型气浮装置、德国 Siemens 水务公

司的 CyclosepTM、法国 Veolia Water Solutions & Technologies (VWS) 下属 Westgarth 公司的 CophaseTM 等产品, 为实现含油污水的“零环境危害排放”奠定了坚实的硬件基础^[2]。其中诞生于挪威的 Epcon 紧凑型气浮装置自 2001 年以来已经取得了数十个成功应用案例, 并被举世知名的海洋工程技术年会 (OTC) 评为 2004 年度十大创新技术, 本文将在近些年来密切跟踪相关信息资料和深入探究分析的基础上, 对其结构

基金项目: 2011 年度国家自然科学基金面上项目 (51079006); 北京市属高等学校人才强教计划资助项目 (PHR200906214)

收稿日期: 2010-05-05; **修订日期:** 2010-11-08

作者简介: 陈家庆 (1970~), 男, 博士, 教授, 主要从事油/气/水多相分离技术、环保设备原理与设计等方面的教学与科研工作。E-mail: jiaqing@bipt.edu.cn

设计、性能特点、现场应用及其最新动态等问题进行系统阐述,旨在为国内自主设计研发含油污水旋流气浮一体化处理设备提供必要的理论指导,进而推动该技术在国内的应用进程。

1 基本结构与工作原理

Epcon 紧凑型气浮装置因其最早由挪威 EPCON Offshore AS 公司研发而得名,该公司于 1999 年成立,2000 年推出了首个海上实验样机;2001 年在 Brage 和 Troll C 油田进行了全尺寸现场实验。2006 年 2 月, EPCON Offshore AS 公司被以钻井液知名的 M-I SWACO 公司兼并,改称为 M-I EPCON AS 公司。

1.1 基本结构

Epcon 紧凑型气浮装置(CFU)从外形上为一个立式圆柱容器(或称立罐),高度和直径之比为 1:1~2:1。如图 1 所示,主要由立式圆柱容器、圆柱状内筒、入口螺旋导片和水平圆板、切向入口、油相和气相出口、泥砂出口等组成^[3,4]。圆柱状内筒位于立罐内的中上部,与立式圆柱容器的中心线同轴,在内筒与罐顶之间留有一定的空间,为罐中的油气和水提供通道,内筒向下延伸至罐身约 2/3 处。为使水流通道不受限制,内筒外径与立式圆柱容器的内径之比为 0.4~0.6(最佳取值为 0.5)。入口螺旋导片固定在罐体内壁,其起点与含油污水切向入口光滑过渡连接,引导进入的含油污水产生向上的螺旋流动,导片的螺旋升角为 5°~15°(最佳取值为 7°),导片在圆周方向的延伸角为 180°~300°(最佳取值为 270°)。油相和气相出口位于罐顶,接管伸入罐内一定长度。出水口位于罐底最下方,水平圆板在罐内底部出水口的上方居中固定安装,在工作

过程中充当防涡器或起缓流作用,以防止罐内整体向下流动速度过大而携带过多的油颗粒到达出水口。泥砂出口安装于水出口旁边,用于连续或间断地清除积聚在罐底的泥砂。

1.2 工作原理

Epcon 紧凑型气浮装置的研发初衷是组合应用气浮分离、低强度旋流分离以及聚结技术,以高效去除含油污水中的烃类、亲水性物质、芳族化合物以及小固体颗粒。图 2 为其工作原理示意图,整个装置内部分为上部的油相和气相积聚区、中部的分离区以及下部的处理水积聚区,中部的分离区主要位于罐和内筒之间,是实现旋流、释气和气浮作用的关键场所。含油污水从切向入口进入罐内,入口接管的直径逐渐减小以逐渐提高流动速度,在入口螺旋导片的引导下形成较为柔和的旋流运动,离心加速度一般为 8~10 倍的重力加速度;与此同时,由于流体流速升高致使流体压力下降,含油污水中残留的部分溶解气以气泡的形式释放出来。在采用多个 CFU 并联工作时,入口管段上的压力降能够保持各装置之间的进水量保持一致。在旋转离心力作用下,密度较大的水将向罐壁移动,而油滴和气泡等较轻成分将向内筒外壁附近运移,在此过程中油滴与气泡发生粘附,形成密度更小的组合体而在内筒附近区域上升,在罐内上部水面将会形成一层连续的油和气泡浮渣层,分离出来的气体、油和水在压力作用下,将通过顶部悬伸到罐内的接管连续排出罐外,送往两相分离器或污泥沉降罐中进一步处理。一般而言,顶部排出的总液体量为总入口流量的 0.5%~1.5%,虽然排出物的成分取决于具体污水中的含油量,但通常含有 0.5%~5% 的油、95%~99.5% 的水以及部分从水中释放出来的气体(自然也包括另外注入的气体)。

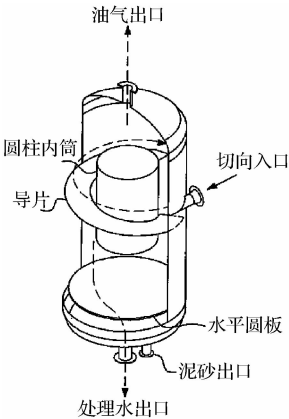


图 1 Epcon 紧凑型气浮装置(CFU)的结构示意图

Fig. 1 Structure diagram of the Epcon CFU

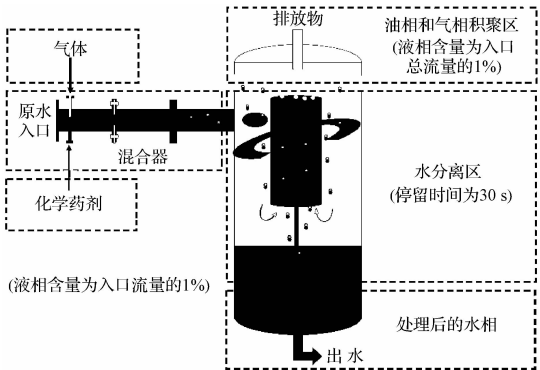


图 2 Epcon 紧凑型气浮装置(CFU)的工作原理示意图

Fig. 2 Schematic diagram of working principle of Epcon CFU

由于气浮分离的效果在很大程度上取决于微小气泡数量的多少,因此当原水中残余的气体量有限甚至较低时,可以在罐外的入口区域附近另外注入气体(如氮气、烟气或伴生气)以增强气浮效果,注气量一般约为 $0.1 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$ 入口原水量。为了使得注入的气体能够较为均匀地分散在含油污水中,在注气短管与罐体入口法兰之间还安装有一个气/液混合器。2007 年左右,M-I EPCON AS 公司基于射流器原理研发了一种新型的气/液混合器,由于入口流速而在射流器中产生抽吸作用,致使罐内顶部空间积聚的多余气体被循环到 CFU 的入口,从而较使用传统气/液混合器降低了注气用量 50%。

每个 CFU 上都配备有 1 个压力指示计、1 个压力安全阀、1 个液位指示计,在 1 个入口和 2 个出口附近都设置有取样点。运行过程中,如果任何一个 CFU 内的液面低于预设值,将会关闭出水口的阀门,以避免未经处理的污水排海。罐内气相空间的压力一般维持在 0.7 bar 以上,从而使得顶部的高浓度含油污水和气泡浮渣层能够通过悬伸接管自动排放到罐外,罐内压力越高,悬伸接管内混合流体的排放速度(进而排放量)越大,从而能够使罐内的气/液界面维持在一个恒定位置。处理过的水由入口导片与内筒之间的间隙流至罐底部,经过水平圆板的缓流后,由底部出水口排出,出水或直接排放、或进入下游工艺继续处理。泥砂和其他较重的固体颗粒被甩向罐壁并滑落到罐底,最后由泥砂出口定期排出。

较为柔和的离心力场是 Epccon CFU 技术的一个重要特点,一般需要根据具体的水质情况和处理量加以定制,以确保获得最优的分离性能。罐内的水力停留时间一般为 $10 \sim 40 \text{ s}$,若以 20 s 的停留时间计算,对于罐内有效气浮容积为 1 m^3 的 CFU,则其处理能力为 $180 \text{ m}^3/\text{h}$ 。从运行机理上来讲,CFU 发挥作用无需化学药剂,但研究人员发现,在某些情况下,通过使用破乳剂和絮凝剂能够改善系统的总体处理性能^[5]。

2 工艺流程与性能特点

2.1 工艺流程

Epccon 紧凑型气浮装置实际上是一个立式三相(油/水/气)分离器,在离心力和气浮的联合作用下来强化油水分离过程,含油污水在容器内的运移过程中,分散相的小油颗粒聚结较大的附聚物^[5]。如图 3 所示,在海上油气田开发作业中,Epccon 紧凑型气浮

装置有多种不同的应用方法,既可以替代水力旋流器、絮凝/聚结罐、特定浮选装置、脱气罐和机械离心机等传统分离设备来独立使用,也可以作为深度处理设备使用;既可以作为脱气器,也可以作为含油污水处理设备。图中所示的 7 种不同应用包括:(1)独立处理方案,替代水力旋流器和脱气器;(2)作为现有 D/S 水力旋流器或浮选装置的深度处理装置;(3)D/S 脱气器的深度处理装置;(4)D/S 泡沫分离器;(5)在重力式平台上作为储存单元置换水的处理装置;(6)安装在脱气装置出口一侧和雨水收集排放系统后独立使用;(7)用作处理含油泥浆。

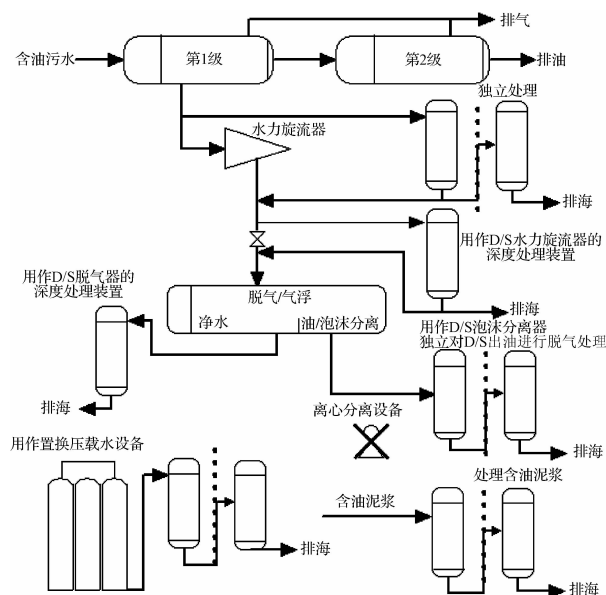


图 3 Epccon 紧凑型气浮装置应用示意图

Fig. 3 Application schematic diagram of Epccon compact flotation unit

M-I Epccon 公司的现场测试表明,一级 CFU 能够将含油污水中的含油量减少至 $15 \sim 20 \text{ mg/L}$,同时可以将水脱气;而采用两级 CFU 串联使用时即可将水中的含油量降低至 10 mg/L 以下^[6]。因此,根据具体场合中的处理量要求以及出水口的含油量要求,可以将 CFU 串联或并联安装运行。图 4 仅以 2 个 CFU 为例进行了展示,实际应用时往往根据处理量的需要而将 N 个 CFU 并联,但串联的级数一般最多采用两级。例如,在 Chevron 公司的 Alba Northern 采油平台上,基于小型样机测试,该公司决定安装一套处理能力更大的全尺寸实验装置,处理能力为 $2 \times 250 \text{ m}^3/\text{h}$,材料为不锈钢,净重 6.2 t ,占地 10 m^2 ,净高 4.2 m ,符合 NORSOK 标准。在认识到 Epccon

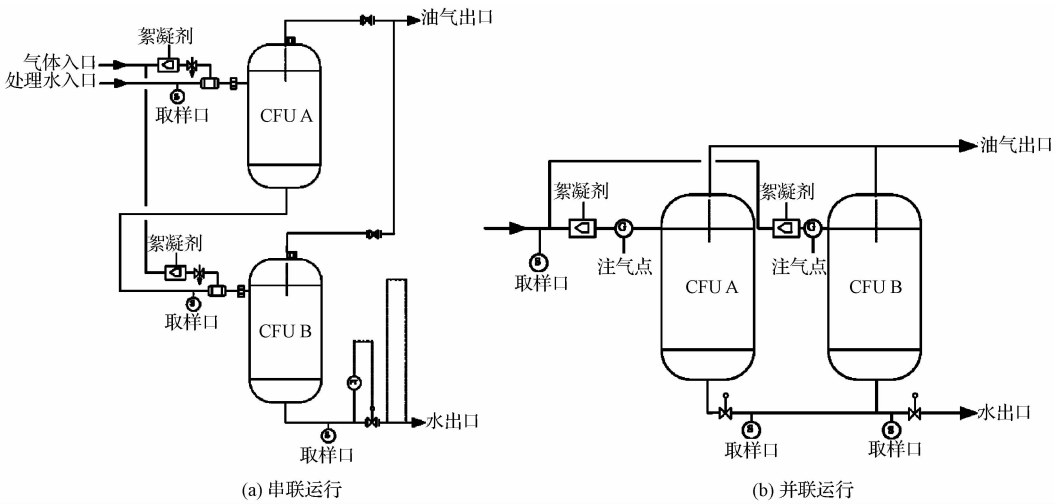


图 4 Epcon 紧凑型气浮装置的不同安装运行工艺流程示意图

Fig. 4 Schematic diagrams of a two-steps Epcon CFU system operated in series(a) and in parallel(b)

紧凑型气浮装置能够胜任处理任务之后,Chevron 公司于 2006 年 6 月并联安装了 8 台 CFU,总处理能力为 2 120 m³/h,出水口的含油量低于 5 mg/L。

2.2 性能特点

表 1 将 Epcon 紧凑型气浮装置与水力旋流器和脱气装置进行了对比,从表中可见,由于水力旋流器单体的处理能力非常有限,处理量大时需要将多根单体并联运行,致使海上油田常用压力容器组合式

水力旋流器的重量和占地面积远大于 Epcon 紧凑型气浮装置。更为难能可贵的是,这种结构尺寸和占地面积的紧凑并非是以牺牲工作性能为代价,实际上,一个有效容积仅为 2 m³ 的 Epcon 紧凑型气浮装置在保证出水口含油量低于 20 mg/L 的前提下,每小时能够处理高达 250 m³ 的含油污水。表 2 将 Epcon CFU 与离心分离机进行了对比。

表 1 Epcon 紧凑型气浮装置与水力旋流器和脱气装置的性能对比

Table 1 Performance comparison: Epcon CFU vs hydrocyclones and degasser

参 数	水力旋流器和脱气装置	一级 CFU	二级 CFU
占地面积(m ²)	30	6	12
净重(t)	45	8	16
处理能力(bpd) (m ³ /h)	81 000(540)	81 000(540)	81 000(540)
处理性能-出水口含油量(mg/L)	<40	<30	<10
最低压力	3.5	0.7	1.5
高 压	性能良好	进行过≤30bar 的测试,性能良好	进行过≤30bar 的测试,性能良好
对油段塞(oil slugging)	敏感	不敏感	不敏感
流量变化	敏感	设计流量的 20% ~100% 不敏感 ^{a)}	设计流量的 20% ~100% 不敏感
固体物质	敏感	不敏感 ^{a)}	不敏感 ^{a)}
气 体	<5%	>1% , <80%	>1% , <80%
晃动(在 FPSO 上)	取决于上游工艺流程	不敏感	不敏感
资本支出(设备成本)	高	低	中等
经营支出(运营成本)	高	很低	很低

a) 根据在 Troll C 平台上得到的数据。

表 2 Epcon 紧凑型气浮装置与离心分离机的性能对比
Table 2 Performance comparison: CFU vs centrifuges

参 数	离心分离机	一级 CFU	二级 CFU
处理性能-出水口含油量(mg/L)	40 ~ 160	< 100 ^{a)}	< 10 ^{b)}
对油段塞(oil slugging)	敏感	不敏感	不敏感
流量变化	敏感	设计流量的 20% ~ 100% 不敏感	设计流量的 20% ~ 100% 不敏感
固体物质	敏感	不敏感	不敏感
资本支出(设备成本)	高	低	中等
经营支出(运营成本)	高	很低	很低

a) 根据在 Troll C 平台上得到的数据; b) 根据在 Troll C 平台上所得经验,入口含油量 1 000 mg/L。

Epcon 紧凑型气浮装置的优点可以概括为:(1) 尺寸小、重量轻、成本低:尺寸和占地面积约为传统技术的 1/3,投资成本和运营成本都较低;(2) 可靠性高:没有小口径开孔,不易被固体物质堵塞,无运动部件;(3) 效率高:对油和芳烃有很高的去除率,停留时间短(一般 30 s 以内);(4) 易于操作:非常低的维护要求,无需操作人员协助;(5) 适应性强:在不同环境条件(例如压力、流量、温度、密度、固体含量和油的浓度等)下应用都很有效,对于液面晃动场合(例如 FPSOs)也有着良好的适应性。显然,这些优点的结合使 CFU 比同类技术具有较高的生产量、较好的性能和较低的成本。

3 现场应用情况及最新动向

3.1 现场应用情况

自 2001 年以来,Epcon 紧凑型气浮装置已经成功地进行商业化推广应用,尤其是在北海海域作业的一些超级企业和国家石油公司作为首选含油污水处理技术,所涉及的原油重度范围为 19° ~ 46° API。截止 2009 年 12 月,M-I EPCON AS 公司已经为 9 个国家安装了 37 套紧凑型气浮装置并均已投产。值得一提的是,这些现场应用装置全部根据实际情况为用户专门定制,M-I EPCON AS 公司建议用户首先进行现场测试。根据测试前用户提交的相关数据,公司的技术人员可以向用户建议测试装置的接口位置以及分离级别参数选择等;完成现场测试通常需要 3 ~ 4 d,然后根据现场测试结果进行放大设计、加工制造和调试运行等系列工作。这些数据结果对用户及 M-I EPCON AS 公司都至关重要。

这里简单介绍 Epcon 紧凑型气浮装置在中海油西江 30-2 油田的应用情况。随着该油田逐渐进入生产后期,需要在继续保持稳产的同时,以环保的方

式来处理日益增加的生产水产量,为此生产方美国 ConocoPhillips 公司一直在研究和探寻更为有效的水处理系统。基于详细的分析和考察工作,该公司邀请 M-I EPCON AS 公司的技术人员于 2007 年 1 月 7—10 日完成了现场实验。测试采用设计处理量 1 000 bpd 的 2 级 CFU 串联装置(实际测试中的处理量大约在 700 bpd),并在含油污水入口和第 2 级 CFU 出水口分别设置采样点,操作压力分别控制在 1.0 bar 和 0.5 bar;采用 N₂ 作为注入浮选气体,单个 CFU 的注气量约占进水量的 10%;化学药剂采用 M-I Production Chemicals 的 WT-1361。预计在上述操作条件下,出水中的含油量低于 15 mg/L。现场依次采取以下 3 种实验方案:额外加注 N₂ 但未使用化学药剂;未额外加注 N₂ 且未使用化学药剂;额外加注 N₂ 并使用化学药剂。图 5 为现场测试结果,入口污水的含油量在 90 ~ 170 mg/L 之间,经过二级 CFU 处理后,出水中的含油量稳定在 8 mg/L 以下,基本达到了实验要求,但入口污水含油量的多少对最终处理效果的影响较大。分析 3 种不同实验方案下的样品(编号 1 ~ 7、11 ~ 14 对应额外加注 N₂ 但未使用化学药剂,编号 8 ~ 10 对应未额外加注 N₂ 且未使用化学药剂,样品 15 ~ 19 对应额外加注 N₂ 并使用化学药剂)中的含油量可知:在入口污水含油量基本相同的条件下,如样品 7 和样品 9 的进水油含量分别为 119.9 mg/L 和 122 mg/L,处理后的含油量分别降至 4.4 mg/L 和 7.8 mg/L,由此可见,通过额外加注 N₂ 可以有效提高浮选效率,从而获得更好的除油效果;伴随着化学药剂的加入,出水口含油量呈稳定下降趋势,与相同注气条件下相比,出水口的含油量更低。总的来看,实验结果非常令人满意,除油率高达 95%;在之后进行的第 2 次实验中,除油率也达到了 90%。

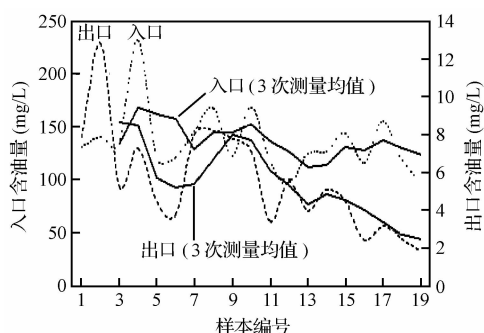


图5 Epcon 紧凑型气浮装置在中海油西江30-2平台上的现场样机测试结果

Fig.5 Epcon CFU testing result on CNOOC Xijiang 30-2

实验的成功促成了西江油田各合作方于2007年8月签署协议,同意在2008年第三季度末安装全尺寸CFU装置,项目总投资800万美元,这也是自1994年西江油田建成投产以来最大的一笔环保投资^[7]。此外,M-I EPCON AS公司还于2008年5月18—22日在流花11-1油田“南海胜利号”FPSO上进行了现场样机测试工作^[8]。

3.2 最新研发动向

3.2.1 CFU技术的评估研究

前已述及,M-I EPCON AS公司一般都遵从“初始样机测试→工程化 & 项目执行→发货→运行和技术支持→反馈”,以便不断更新和改进设计。由于受到的影响因素较多,在从样机测试到工程放大设计过程中往往会出现一些意想不到的问题,这就需要重视放大设计研究,评估不良运行条件对CFU技术的影响^[9]。例如,在一次现场样机测试时,使用两级CFU可以使含油量从第1级CFU入口处的4 000 mg/L下降到第2级CFU出水口处的10 mg/L,但全尺寸CFU安装运行后含油量只能从500 mg/L下降到50 mg/L。分析其原因,一是由于新开采流程的接入使含油污水中油颗粒的粒径分布发生了变化,二是由于在上游分离器中使用了新的破乳剂。

Epcon 紧凑型气浮装置在现场运行过程中所暴露的主要问题是装置的入口管线结垢,原因可能是所注入 N_2 中携带的氧气与铁元素发生化学反应,因此需要进一步降低所供应 N_2 中的氧含量,或者使用烟气作为附加的注入气体。当然,在装置内部使用衬里也可以减缓腐蚀。此外,由于油相和气相出口中环烷酸盐的含量较高,沥青质、重蜡和固相微颗粒可能会致使阀门堵塞。为了进一步扩大运行范围、提高固体去除率,M-I EPCON AS公司的研发人员

正借助计算流体力学(CFD)手段,优化分离器内部构件,优化气体注入和混合器。此外,该公司还计划开发新的水处理化学药剂,为实现“零排放的目标”而开发附加处理设备,研发海底生产系统用样机,对装置的运行过程实施在线监测^[10]。

3.2.2 新一代CFU的研发

相关信息表明,开发第一代Epcon紧凑型气浮装置的原班人马已经另起炉灶,正在研发新一代高性能的、基于单个立式容器操作的处理系统。含油污水从容器底部的中心管进入,旋流作用不再靠入口管的切向结构效应产生。目前已经设计了CFU B、CFU MS2和CFU MS3等3种不同类型的CFU,设计处理量为单个容器从10~150 m³/h。通过标准模块单元而在容器内部采用特定的布置方式,其中CFU B为基本型CFU,用于含油量较低的场合;CFU MS2为带两级内部结构的CFU,用于中等含油量的场合;CFU MS3为带三级内部结构的CFU,用于高等含油量以及游离水的场合。在海上平台的样机测试表明,新一代CFU可以脱除直径低至2 μm的油颗粒,若在水力旋流装置下游安装一套CFU B,可将污水含油从40~55 mg/L降低到2.5~4.5 mg/L,可以实现高达90%的脱油效率;若在脱气装置下游安装一套CFU B,可将污水含油从20 mg/L降低到1~2 mg/L,实现高达90%~95%的脱油效率。

4 结 论

随着边际油田、海洋深水油田的不断开发,对含油污水的处理提出了新挑战,要求相应的处理设备朝着高效化、紧凑化和一体化的方向发展。与此同时,国家海洋局于2008年10月19日颁布了新的《海洋石油勘探开发污染物排放浓度限值》(GB4914-2008),新标准于2009年5月1日正式实施,一级排放标准中石油类的最高容许浓度为月平均值20 mg/L,一次容许值30 mg/L。但由于设备处理能力受限和执法力度不够等原因,相关海上油田仍然不时会出现采出水超标排放的现象。在此大背景下,为了保障海上油田的正常生产,摆脱依赖国外技术与设备的被动局面,应该尽快从旋流气浮一体化这种先进实用的采出水处理技术着手,进行相关的应用基础研究,充分发挥旋流与气浮技术的协同效应,为研制开发具有自主知识产权的紧凑高效型采出水处理技术与设备提供理论基础,为确保我国海洋石油工业以健康、安全、环保(HSE)的模式发

展提供必要的技术支持,并最终提高我国含油污水处理等水污染控制工程技术的总体水平。

参 考 文 献

- [1] Fakhru' l-Razi Ahmadun, Alireza Pendashteh, Luqman Chuah Abdullah, et al. Review of technologies for oil and gas produced water treatment. *Journal of Hazardous Materials*, **2009**, 170(2-3): 530-551
- [2] 王波, 陈家庆, 梁存珍, 等. 含油污水气浮旋流组合处理技术浅析. *工业水处理*, **2008**, 28(4): 87-92
Wang Bo, Chen Jiaqing, Liang Cunzhen, et al. Analysis on the treatment of oily wastewater by the combination of flotation and cyclone methods. *Industrial Water Treatment*, **2008**, 28(4): 87-92 (in Chinese)
- [3] Stein Egil Oserod. Combined degassing and flotation tank. United States Patent No. 2009/0289002 A1, Nov. 26, **2009**
- [4] Stein Egil Oserod. Separation of crude oil at the well head. United States Patent No. 2007/0277967 A1, Dec. 6, **2007**
- [5] Jahnsen L., Vik E. A. Field trials with Epcon technology for produced water treatment. Produced Water Workshop 26th-27th March **2003**, NEL East Kilbride Glasgow
- [6] http://www.miswaco.com/Products_and_Services/Production_Technologies/Produced_Water_Treatment/EPCON_Technology/EPCON%20Technology.cfm
- [7] M-I EPCON AS. Report Test trial XJ30-2. January **2007**
- [8] M-I EPCON AS. Pilot Test EPCON CFU Technology Lihua-Nanhai Shengli FPSO. 27th May, **2008**
- [9] Karsten Rabe, Lars Hardli. EPCON CFU Technology-"Ensure optimized PW treatment efficiency from initial testing, throughout life-long operation". TEKNA-Produced Water Management, **2009**
- [10] Knudsen B. L., Hjelsvold M., Frost T. K., et al. Meeting the zero discharge challenge for produced water. SPE 86671, presentation at the Seventh SPE International Conference on Health, Safety, and Environment in Oil and Gas Exploration and Production, 29-31 March, **2004**, Calgary, Alberta, Canada