

中国港口协会油港分会十届四次理事会

油港水污染治理与除油处理新技术



陈家庆 博士 教授
博导 处长

二〇一六年十二月八日



◆ 学校的总体情况 — 发展历史

- ▶ 1978年，建校于北京燕山石化——**北京化工学院第二分院**（国家计划独立招收本专科生）；
- ▶ 1985年，划归中国石油化工总公司，根据行业需要培养三年制专科生——**北京石油化工专科学校**；
- ▶ 1992年，成立**北京石油化工学院**，仅招收本科生，中石化；
- ▶ 2000年，成为**中央与北京市共建、以北京市管理为主**的普通高等学校。



为振兴石油化工培养
大批的高层次的优秀
人才。

为北京石油化工学院建院题

戚华仁

一九九三年二月



◆ 学校的总体情况 — 人才培养

- 28个本科专业(**3个通过全国工程教育专业认证**)，每年招收本科生1650人左右，在校生7500人；
- 国内首批实施“卓越工程师教育培养计划”，CDIO工程教育改革试点高校和高水平运动员招生资格高校；
- **2个国家级工程实践教育中心**，1个国家级“人才培养模式创新实验区”，5个北京市级高等学校校外人才培养基地，1个北京市级校内创新基地；
- 5门**北京市级精品课程**，5名**北京市级教学名师**，4个**北京市级优秀教学团队**，中青年骨干人才53人；
- **1个国家级虚拟仿真实验中心**，**1个国家级教学实验示范中心**；
- 4个**北京市高等学校实验教学示范中心**——基础化学实验中心、工程教育中心、环境工程教学与实验中心、电工电子实验中心。



◆ 学校的总体情况 — 学科建设

学校不断优化学科结构，强化以“**能源科技创新**”为核心的学科特色，科研软硬件支撑条件良好，科研实力不断提升，**已经形成了服务石油石化行业的学科集群。**

- **2个一级学科领域硕士专业学位研究生授权点**(机械工程领域、化学工程领域)，1个博士后工作站(北京市安全生产工程技术研究院)；
- **6个北京市级科技创新平台**(能源清洁利用与转化、**智能制造技术与装备**、新材料研究与开发、智能控制与计算机应用技术、**环境污染控制新技术研究**等)，仪器设备总值超过4.0亿元；
- **4个北京市重点建设学科**，**5个北京市重点实验室**(光机电、恩泽生物质、弹性体材料)，1个**北京高等学校工程研究中心**(能源工程先进连接技术)，1个北京市哲学与社会科学基地(北京现代产业新区发展研究基地)；
- **1个北京现代产业新区发展研究基地**，**1个中关村产业技术研究院**，**1个北京市级协同创新中心(市级2011培育计划)**。

学校形成了聚焦石油石化等能源领域的学科集群

机械与控制学科群

控制工程		机械工程	
控制理论与控制工程	检测技术与自动化装置	机械制造及自动化	机械电子工程 市级

光机电装备技术
北京市重点实验室

能源工程先进连接技术
北京市工程研究中心

化工与材料学科群

化学工程		材料工程	
化学工艺 市级	化学工程	材料学 市级	材料加工工程

恩泽生物质精细化工
北京市重点实验室

特种弹性体复合材料
北京市重点实验室








技术经济及管理 管理学	工商管理	经济与管理 学科群
企业管理	公共管理	
行政管理		

环境与安 全学 科群	环境 工程	污染治理
		安全技术
	安全 工程	HSE管理
		应急处理

在海洋油气开发工程装备领域形成了特色技术链



<p>国家“十一五” 863项目：紧凑型静电预聚结原油脱水关键技术研究；“十三五”国家科技重大专项课题</p>	<p>国家“十一五” 863重大项目：“深水海底管道铺设技术”之子课题</p>	<p>国家“十五” 863重大项目：“水下干式管道维修系统”之子课题</p>	<p>国家“十一五” 863项目、“十二五”863重大项目：深水钢结构裂纹修复关键技术系列</p>	<p>国家“九五” 863项目：球罐智能焊接机器人的研制及其现场应用</p>	<p>“十五”中国石化集团项目：原油长输管道腐蚀和裂纹检测机器人技术</p>
					



报告提纲

1

油港水污染治理技术现状

2

紧凑型气旋浮污水除油技术

3

水面溢油高效分离回收技术

4

结束语





1.1 油港污水的来源与相关管理规定

油港是油船停靠、补给、检修的基地，也是油品转运、交接、储存的基地。油港污水的主要来源包括**船舶压舱水、罐区含油污水及港区的生活污水**，其中含油污水为代表性污水。

到港船舶所产生的含油污水主要有：**机舱舱底油污水；燃油舱或油船货油舱作为压载舱时所产生的压舱油污水；油柜或油舱清洗时所产生的洗舱油污水等，俗称“三水”**。有统计资料表明，船舶排放的压载水和洗舱水以及机舱水在船舶油污染总量中占75%。

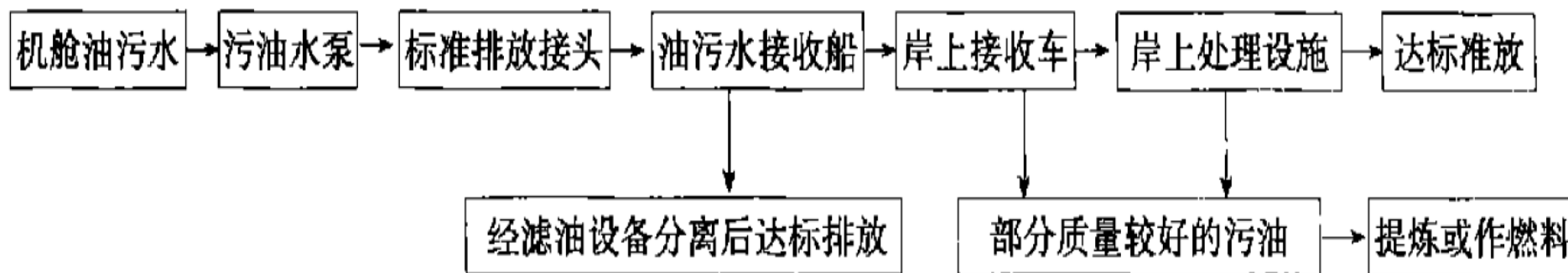


- **《MARPOL 73/78公约》附则I第9条(1)规定：**……除非符合下列所有条件，不得将油类或油性混合物排放入海：(a)对于油船：油船不在特殊区域之内；油船距最近陆地50 n mile 以上；油船正在航行途中；油量瞬间排放率不超过30 L/n mile；排入海中的总油量不得超过这项残油所属的该种货物总量的1/30 000。(b)对于从400总吨及以上的非油船和从油船机器处所的舱底(不包括货油泵舱的舱底)的排放(但不得混有货油的残油)：船舶不在特殊区域；船舶正在航行途中；未经稀释的排出物含油量不超过 15×10^{-6} ；船上所设按本规则第16条要求的设备，正在运转。
- **《MARPOL 73/78 公约》附则I第12条规定：**各缔约国政府应保证在装卸站、修理港以及船舶需要排放残油的其他港口， 设置接收油船和其他船舶留存的残油和含油混合物的足够设备， 以满足到港船舶的需要， 而不致给船舶造成延误。
- **《防治船舶污染海洋环境管理条例》(国务院令561号)：**港口、码头、装卸站以及从事船舶修造、打捞、拆解等作业活动的单位，应当定期检查、维护配备的防治污染设备和器材，确保防治污染设备和器材符合防治船舶及其有关作业活动污染海洋环境的要求。
- **《中华人民共和国海洋环境保护法》第六十九条规定：**港口、码头、装卸站和船舶修造厂必须按照有关规定备有足够的用于处理船舶污染物、废弃物的接收设施，并使该设施处于良好状态。装卸油类的港口、码头、装卸站和船舶必须编制溢油污染应急计划，并配备相应的溢油污染应急设备和器材。
- **《中华人民共和国防止船舶污染海域管理条例》第十九条规定：**船舶排放污染物，必须符合中华人民共和国船舶污染物排放标准。到港压舱、洗舱、机舱等含油污水，不得任意排放，应由港口油污水处理设施接收处理。



(1) 非油船含油污水的处理

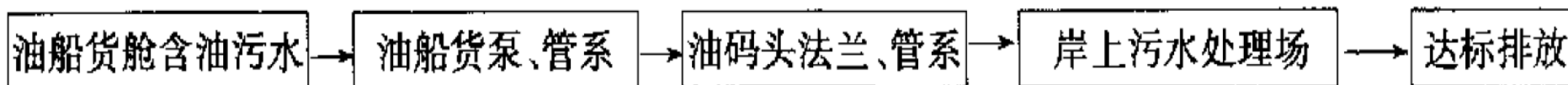
船舶排放含油污水至**油污水接收船**，最后排放至港口接收处理设施。



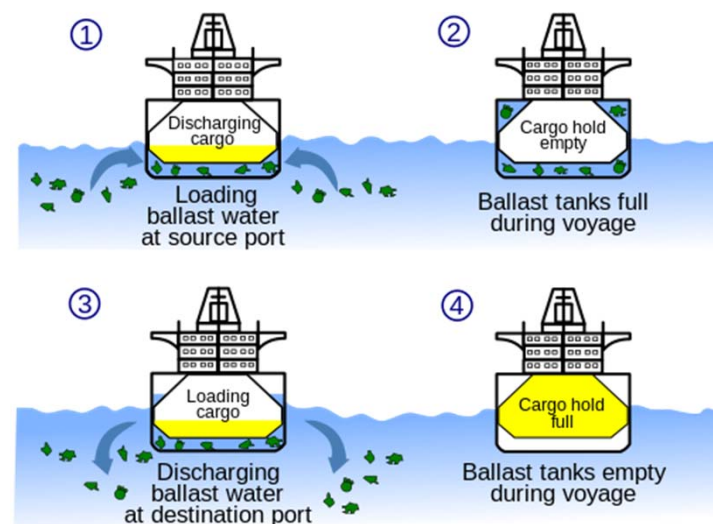
目前的问题：拥有**油污水接收船**的私营企业，因为收费标准低，不愿接收含油量少的船舶含油污水，而愿意接收船舶燃油净化和清理油柜产生的残油，导致部分油港含油污水接收处理量大幅度减少，船舶基本选择“满足有关规定条件在航行途中排放”这一途径处理油污水。



(2) 油船含油污水的来源和处理



➤ **油船货舱压载水**：随着时代的发展，专用压载舱广泛应用，单层壳底的油轮将逐步淘汰。通常中小型化工船的压载水舱在船的底部，而万吨级大型油轮的压载水舱则设在船艏以压低螺旋桨使没入水下。由于专用压载水舱与货舱是隔绝的，故压载水不会被污染，到岸后经过适当处理后可以直放流。



➤ **油船的洗舱水**：按照MARPOL 73/78公约附则I第13条规定，原油船清洁压载舱作为替代专用压载舱或原油洗舱的办法，已于1986年后不再有效；如果油船不变换货油品种或变换的货油品种差异不大，油船一般不采取水清洗货舱的办法，**而原油船进行原油洗舱的办法则被广泛采用**。只有因修理需要而进行水洗舱的洗舱水，可能排入接收处理设施。

➤ **油船机舱机器处所含油污水**：这部分油污水应与非油船油污水的处理状况一样，如果要排入接收处理设施，需要通过标准排放接头排入油污水接收船，再由污水接收车处理到岸上接收处理设施。有些油船将机舱机器处所含油污水通过标准排放接头接驳软管转驳至污水舱(Slop Tank)，再用货油泵将其与货舱油污水一起排放至岸上油污水接收处理设施，此种操作办法没有被有关规范和标准认可。

(3) 生活污水的来源和处理

主要为码头前沿工作人员生活污水，一般需要处理达标后排放市政管网。由于生活污水中污染物相对简单，基本无毒性，可生化性好，处理工艺较成熟，一般采用二级生化处理即可达到排放要求。港区的生活污水量一般不大，日处理量多在几百立方米的范围，很少超过1000m³。二级生化处理可采用氧化沟、SBR、接触氧化、A/O、A²/O法。



1.2 油港污水处理工程设计的一般原则

- 采用成熟、可靠的污水处理工艺，确保处理出水的各项指标达到国家和地方的有关排放标准；
- 污水处理工程力求占地面积小、投资省、运行能耗低、管理费用少；
- 污水处理工程设施在运行上有较大的灵活性和可调节性，以适应水质、水量的变化，同时设置事故应急排放管道，供紧急、特殊情况下使用；
- 污水处理工程采用性能稳定，技术先进的控制系统，主要部分实现自动化管理，减轻工人劳动强度，使污水处理工艺出水稳定、易操作、易管理、易维护；
- **可以考虑将生活污水和含油污水分别处理**，合格出水分别储存后回用于港区绿化或抑尘喷洒。



油港含油污水处理的常规处理方法

现阶段，我国大多数港口特别是油港都设有专门的含油污水处理设施，多采用物理法和物理化学法相结合的处理工艺。港口含油污水处理场的处理程序**一般先采用重力沉降的方法除去水面大部分的浮油，然后以气浮或粗粒化装置进一步去除分散油和乳化油，最后以生化法或吸附法处理，使水质达到排放标准。**

根据近年来实际运行状况来看，由于港口含油废水含油量波动范围大，成分复杂，导致系统处理效果不稳定，且难以去除粒径较小的乳化油和溶解油。

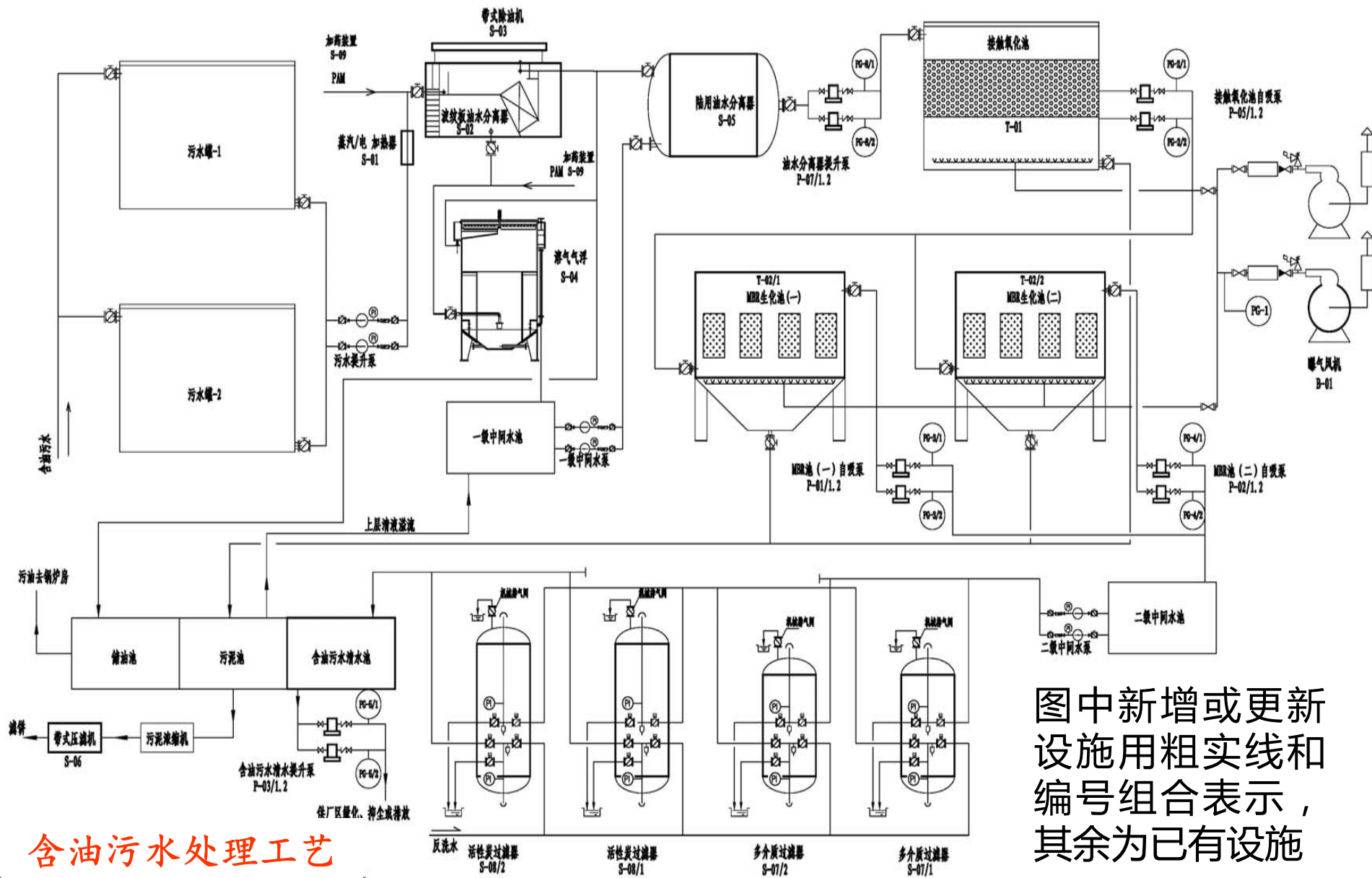
港口含油污水的深度处理净化尚未得到实质性关注。

国内外含油污水处理设备应用情况

处理设备	技术描述	应用范围	优点	缺点
API分离器	通过加斜板、除油、除悬浮物效果好	污水一级处理	可以有效去除50%~99%的浮油	浮油残留量15~100ppm
CPI斜板分离器	浮油从水中分离	污水一级处理	有效去除50%~99%的浮油和粒径大于150 μ m的颗粒	除大油滴
撇油罐	除油	污水除油	除大油滴效率高	除大油滴
水力旋流器	利用液体流速产生的离心力进行分离。	污水除油	能将水中含油降到10ppm	
聚结器	油滴聚结	污水除油一级处理	成本低、分离小油滴好	不能去除溶解油
气浮装置	在一定压力下，将气体溶于水中，除油、除悬浮物	污水除油	通过加药，油的去除率在93%以上	不能去除溶解油
深床过滤	滤层厚度不小于1.2m	除悬浮物	能去除采出水中的小油滴	含油超过30ppm的情况下不推荐使用
离子交换器	利用树脂的交换能力，将一种离子交换成另一种离子	污水除硬处理系统	紧凑，用在经过预处理后出水	需要预处理（除油、沉淀软化等）
双滤料过滤器	为去除颗粒物，滤料分层设置	除悬浮固体	能有效去除大颗粒物质和可以形成矾花的物质	不能去除细小颗粒物
生物接触氧化装置	生化处理	除COD	出水含油低	不稳定

以某港务局油化品事业部下属的污水处理厂为例，主要是处理船舶压舱水、罐区含油污水及港区的生活污水。始建于2007年的处理工艺流程为：

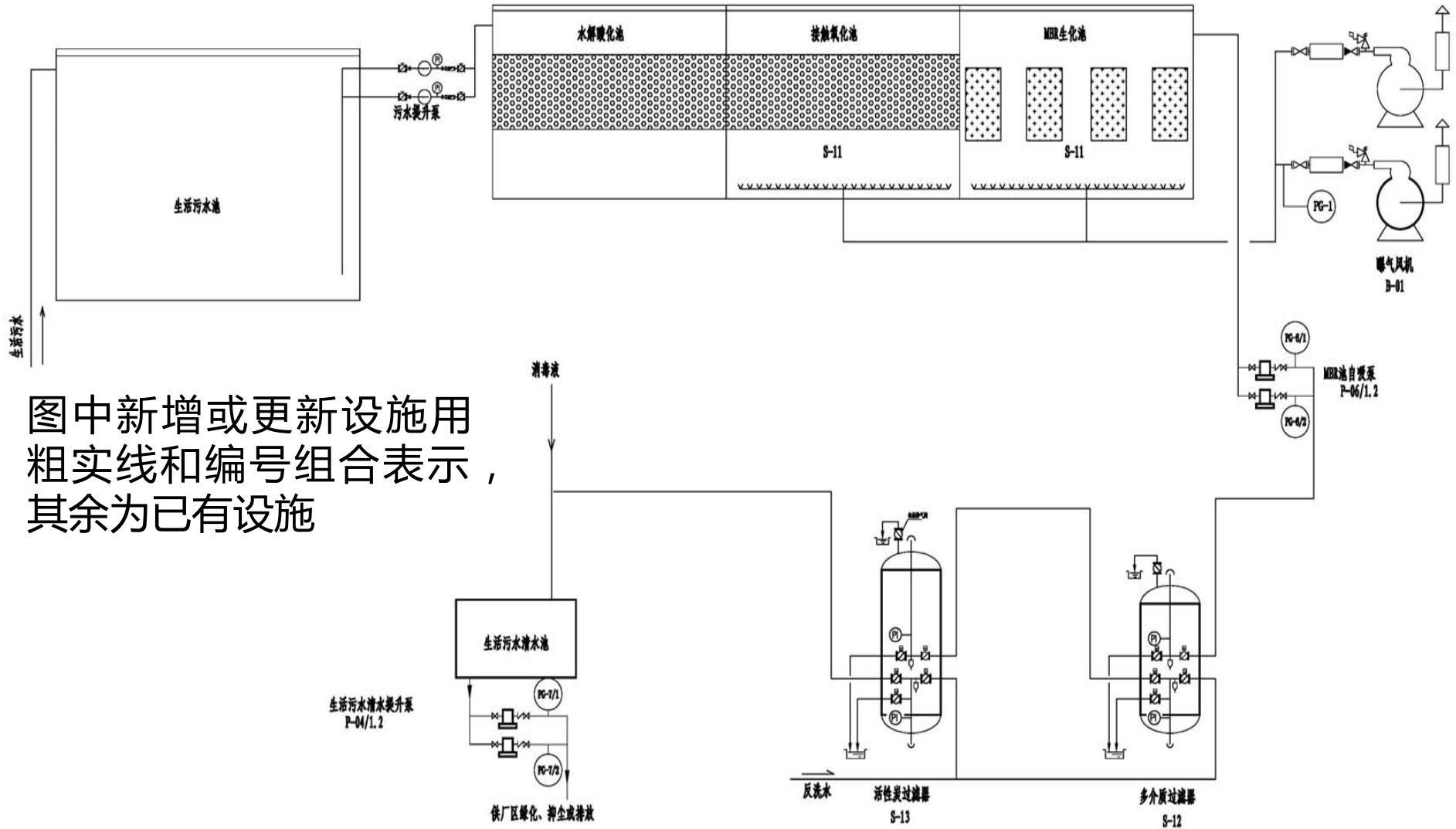
- 压舱水由船上污水输送泵通过输油臂和输水管道输送到污水处理厂的两台2000m³污水罐，油罐区含油污水通过输送泵也输送至上述污水罐。污水罐起调节水质水量和回收油的目的，调节出水经泵提升进波纹板油水分离器，有效分离水中油和悬浮物，油和污泥定时分别排入污油罐和污泥池，出水经管道静态混合器加药混凝后进两级部分回流加压溶气气浮装置。气浮出水进曝气生物滤池进行生化处理，使COD_{Cr}和BOD₅达到排放要求；曝气生物滤池出水进入中间水箱，中间水箱的水用泵提升进入“核桃壳过滤器+双亲可逆纤维球过滤器”二级串联过滤，分离前级设备不能分离的细分散乳化油颗粒及降低有机污染物含量，确保出水水质达到一级排放标准。二级过滤出水加入二氧化氯后进入清水池。
- 生活污水经化粪池后进入调节池，调节池内污水通过泵提升进入一体化生活污水处理装置，生化处理出水经泵提升进入气浮装置。



含油污水处理工艺
原则流程图

图中新增或更新
设施用粗实线和
编号组合表示，
其余为已有设施

一体化生活污水处理装置



图中新增或更新设施用粗实线和编号组合表示，其余为已有设施

生活水处理工艺原则流程图



1.2 油港污水处理所面临的挑战

- **2015年1月1日起开始施行的新《环境保护法》**：史上最严，健全了**问责机制**：对违法实施行政许可、包庇环境违法行为等九种行为，对政府或部门直接负责的主管人员和其他直接责任人员给予记过、记大过或者降级处分；造成严重后果的给予撤职或开除处分，其主要负责人应引咎辞职。
- **地方环保标准有所提高**，例如《山东省半岛流域水污染物综合排放标准》(DB37/676-2007)的部分指标执行2012年山东省环保厅发布的**修改单**，即从2013年1月1日起，一级标准的COD、氨氮、BOD₅、SS、色度排放浓度限值分别调整为50mg/L、5mg/L、10mg/L、20mg/L、30倍。《**辽宁省污水综合排放标准**》(DB21/1627-2008)
- **有压舱水处理的港口，近几年由于船型改进及其他原因(如有个体户收集油轮压舱水)，港区收集到的压舱水量在逐年减少。**如：大榭岛25万t油码头设计时按80万t/a考虑，目前实际只有10万t/a左右；青岛一期油工程的设计压舱水处理能力为6000m³/d，1978年投产，满负荷运行时年处理量可达40万t；但从2000年以后，来水量越来越少，一年也不到1000m³，现场看到隔油池基本上是空的。大连寺儿沟油品公司的处理水量由原来的每年40多万m³降到每年(2006年)20万m³左右。

需要新型高效的含油污水处理技术，装置化、密闭化！



报告提纲

1

油港水污染治理技术现状

2

紧凑型气旋浮污水除油技术

3

水面溢油高效分离回收技术

4

结束语





本部分的背景(续)

➤ 典型的常规单元处理技术：

①重力沉降技术；②粗粒化(聚结)技术；③水力旋流分离技术；④气浮技术；⑤过滤技术；⑥膜分离技术

➤ 集成化处理技术非常规单元处理技术的简单串联，而大多基于协同作用、耦合效应和一体化有机结合，九种可能方式：

- ✓ ①+④：水工艺舱/外排水缓冲罐/重力沉降罐内增配气浮功能
- ✓ ②+①：管式聚结器+外排水缓冲罐/重力沉降罐、吸附聚结与重力沉降分离一体化技术(TORR)
- ✓ ②+③：聚结旋流一体化技术(PFCT-F)
- ✓ ②+④：高梯度聚结气浮(含高梯度聚结气浮)
- ✓ ③+①：旋流与重力沉降一体化技术(罐中罐)
- ✓ ③+④：旋流气浮一体化技术
- ✓ ③+⑤：错流过滤水力旋流器(CFFH)
- ✓ ③+④+②：旋流气浮聚结一体化技术

➤ 发展趋势：常规技术的高效化，单元技术的复合化！

国内外迄今出现的集成化除油处理技术对比

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
序号	现有重力沉降设施内增配气浮除油功能	聚结+重力或离心力分离	聚结、旋流一体化技术	聚结、气浮一体化技术	旋流、重力沉降一体化技术	旋流、过滤一体化技术	旋流、气浮一体化技术	旋流、气浮、聚结一体化技术
研发状况	国内已有工程案例	国内外尚未推广	国内外尚未推广	国内已有工程案例	在国内炼油企业有多家工程案例	国内外尚未推广	国外已有工程案例	国内尚无工程案例
适用情况点评	适用	可以尝试	可以尝试	不适用	可以尝试		必须尽快研发	不如气浮旋流一体化技术

企业关心：运行持续高效吗？设备体积和占地紧凑吗？





2.1 国内外的研究现状 — 国外

- (1) 美国Natco Group(现被Cameron兼并)的VersaFlo™
- (2) 挪威M-I EPCON AS公司的Compact Flotation Unit (CFU)
- (3) 德国西门子水务公司的VorSep™系列产品
- (4) 英国Cyclotech公司的DeepSweep™
- (5) 英国Opus Maxim公司的Compact Flotation Unit (CFU)
- (6) 美国CETCO Oilfield Services公司的CrudeSep®
- (7) 法国Veolia水务集团Westgarth公司的Coph
- (8) 挪威TS-Group AS公司的CFU
- (9) 挪威SorbWater Technology公司的Sorbsep
- (10) 英国Alderley plc公司的CFU ; 等十多家!

气旋浮

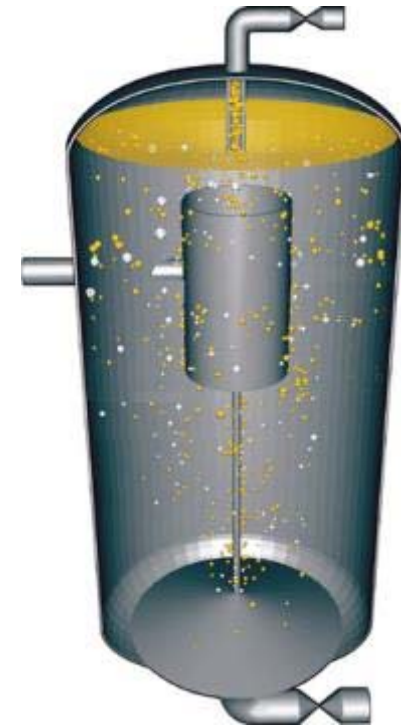
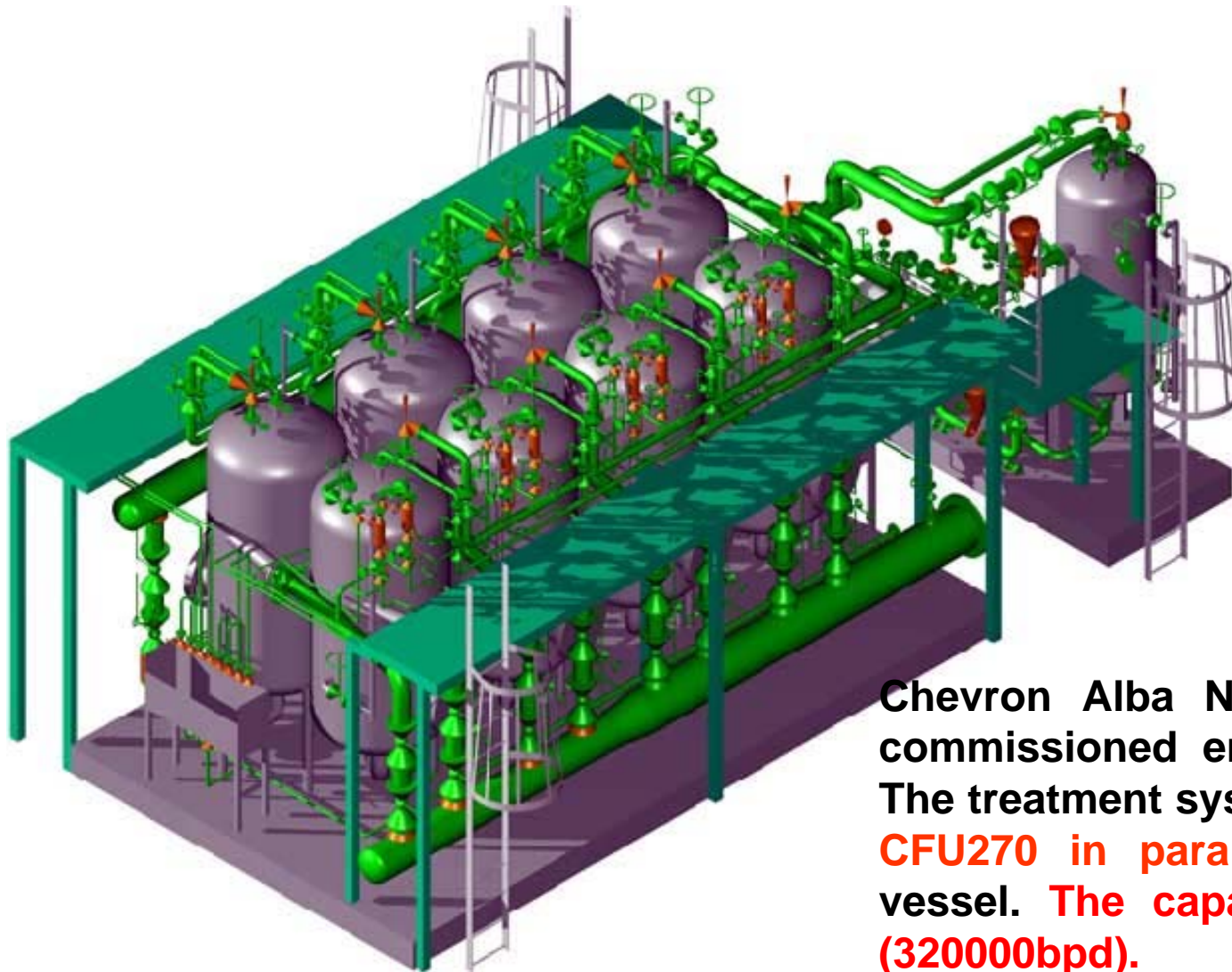
气浮旋流组合

气浮旋流一体化

紧凑型气浮装置
(Compact Flotation Unit, CFU)



(1) Epcon紧凑型气浮装置

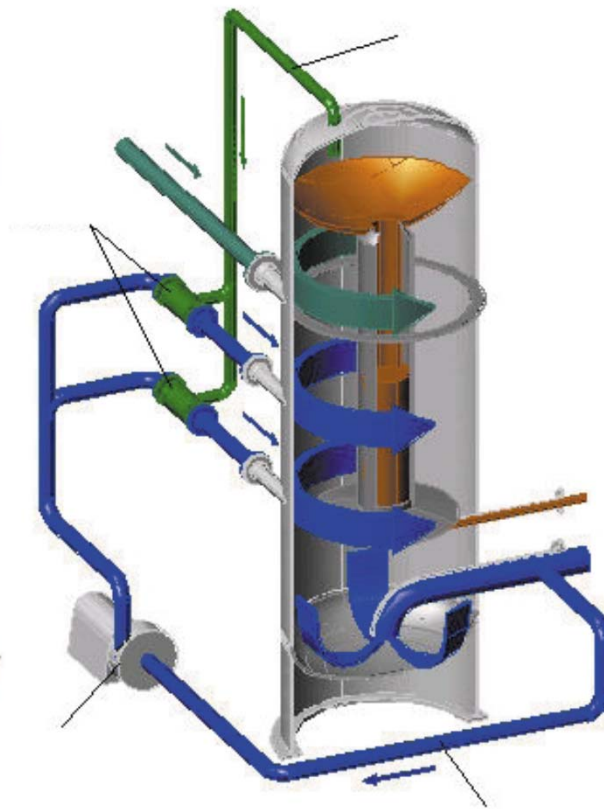


Chevron Alba Northern Platform, commissioned end of June 2006. The treatment system consists of 8 CFU270 in parallel + one reject vessel. The capacity is 2120m³/h (32000bpd).

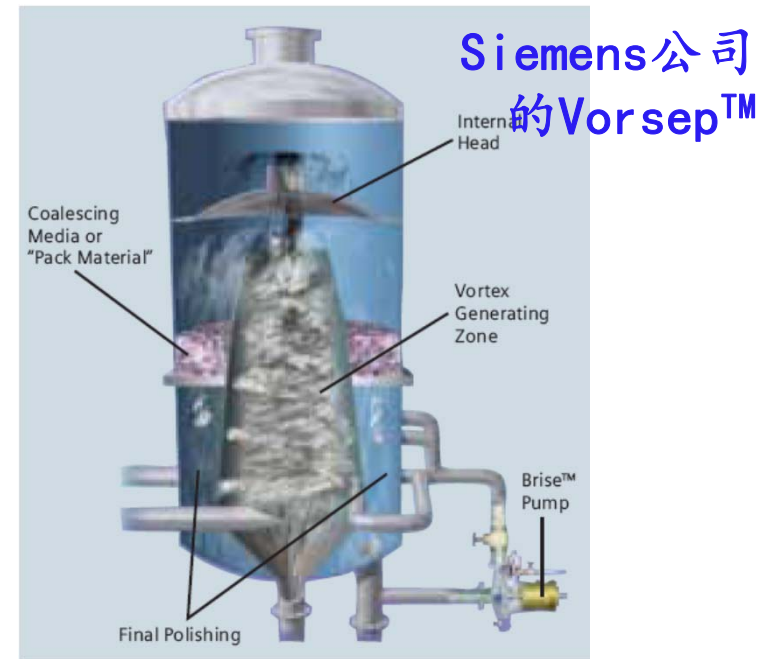
(2) 其他公司的产品



法国Veolia水务集团的Cophase™



美国Cetco公司的CFU



Siemens公司的Vorsep™



Opus公司的两级CFU撬装

紧凑型气浮装置/气旋浮装置
(Compact Flotation Unit, CFU)



对旋流气浮一体化的基本认识

以水力旋流器为代表的离心除油技术
(强旋流流态特征)

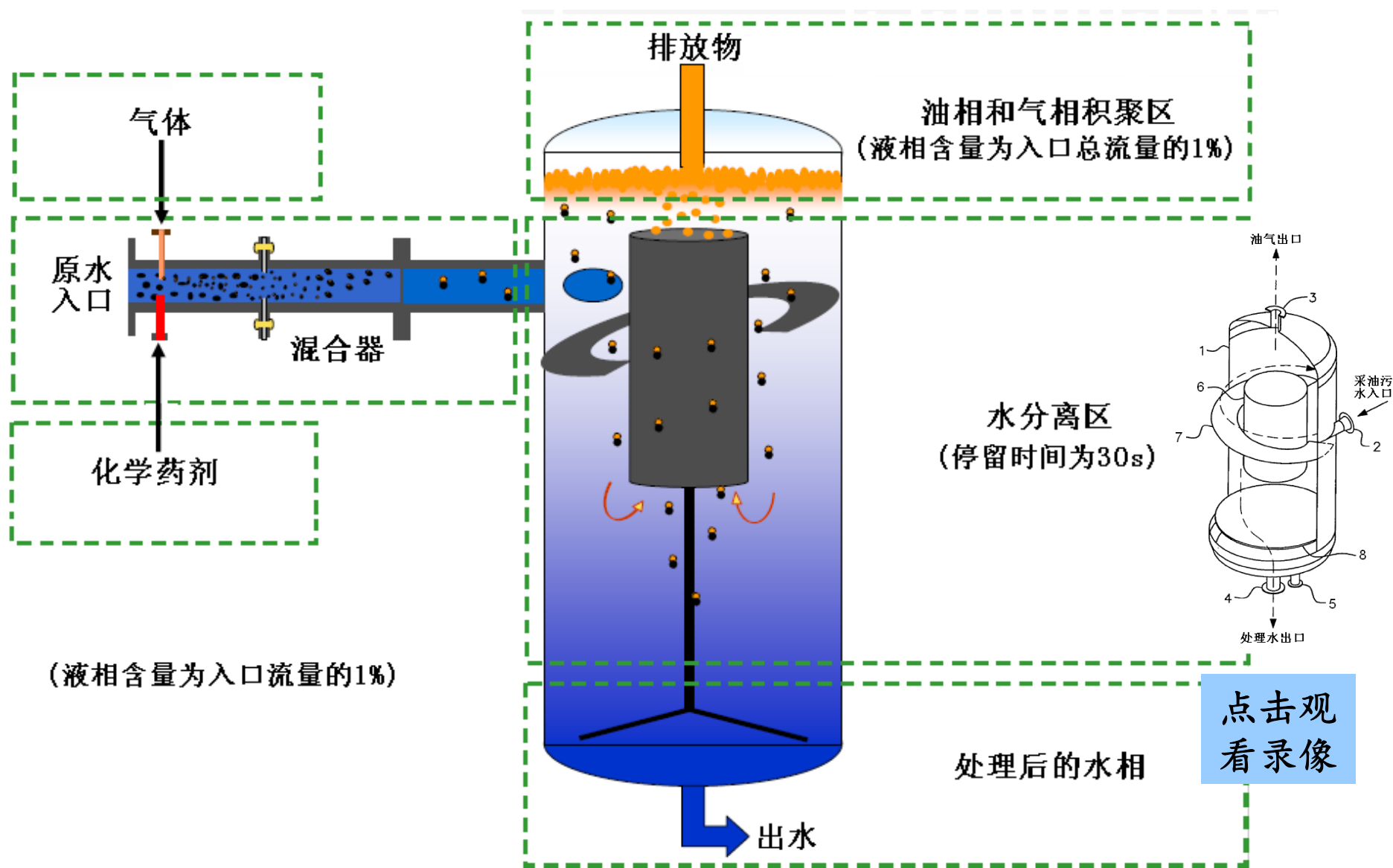
离心气浮

以加压溶气气浮(DAF)为代表的
气浮除油技术
(层流流态特征)

- X 充气水力旋流器(Air Sparged Hydrocyclone ASH) ;
- X 以水力旋流器单体为对象, 在其上打孔注入或利用微孔管注入微气泡 ;
- X 以水力旋流器单体为对象, 在含油污水切向进入之前设法注入微气泡 ;
- X 以选矿行业的浮选柱为对象来加以改进。

旋流气浮一体化(紧凑型气浮, Compact Flotation)
(弱旋流, 紊流气浮, 单体大处理量, 高水力负荷特征)

Epcon型旋流气浮一体化设备的工作原理示意图



➤ 国内应用案例佐证：康菲-中海油合资的西江油田

作为处于开发后期的油田，中海油西江(XJ)油田2007年的采油污水排出量即高达4600万t。2007年1月7~10日在XJ 30-2平台上完成了Epcon CFU的前期现场试验，两级除油率都大于90%。

西江油田各合作方于2007年8月签署协议，同意2008年第三季度底末在XJ 30-2平台上安装价值800多万美元的CFU装置。



处理量550000bpd(3640m³/h)

挪威Epcon公司声称，有效容积为2.4m³(83ft³)的Epcon CFU在保证出水口含油量低于20mg/L时，处理量能够高达220m³/h(33000bpd)，相当于水力停留时间40s左右。**实际上，XJ30-2浮选项目单台CFU的容积为11m³，处理量460m³/h，相当于水力停留时间86s左右；表面水力负荷率大于100m³/(m²·h)！**



2.2 自主研发历程回顾

自2005年开始在国内首次开始关注该技术，首次在国内撰文对其出现背景、研发应用及发展前景进行了介绍。

- ✓ **2007年**，研制了具有自主知识产权的BIPTCFU-I型气浮旋流一体化**可视化样机**，初步建立了理论设计体系；
- ✓ **2009年**，研制了BIPTCFU-II型气浮旋流一体化**可视化样机**，完善了理论设计体系；
- ✓ **2011年**，研制开发了BIPTCFU-II-4型气浮旋流一体化**单级工程样机**，成功进行了陆上油田现场试验；
- ✓ **2012年**，研制开发了BIPTCFU-III-4型气浮旋流一体化**两级工程样机**，成功进行了海上油田现场试验；
- ✓ **2014年**BIPTCFU-III-20型、**2015年**BIPTCFU-III-120型气浮旋流一体化**两级工程样机**，成功进行了海上油田现场试验。



主体设备工艺尺寸的设计计算方法

初始设计参数
【示例】

额定处理量 $Q(\text{m}^3/\text{h})$	预定旋流强度 $N_g(\text{m}/\text{s}^2)$	预定水力停留时间 $t(\text{s})$	装料系数 η
预先给定 【4】	预先给定 【35g】	预先给定 【150s】	预先给定 【0.90】

研究建立了主体工艺尺寸的设计计算方法：

(1) 计算有效体积 V_e ，利用 V_e 的表达式，进行总高与内径的组合取值计算。

(2) 通过对微气泡和油滴浮升速度的表征，控制表面负荷率，进而验证限定气浮旋流一体化设备主体内径的最小值。

(3) 利用离心旋流强度，确定切向入口管径以及旋流分离区等效公称内径 D_e ，并对 D_e 进行验证。



2.3 BIPTCFU-III-4系列工程样机

2.3.1 BIPTCFU-III-4型单级工程样机

性能参数		尺寸参数	
处理量(m ³ /h)	4	罐体有效体积(m ³)	0.17
		罐体内径(mm)	400
水力停留时间(s)	150	罐体总高度(mm)	1675
		中心内筒外径(mm)	327
表面水力负荷率(m ³ /(m ² ·h))	32.65	中心内筒高度(mm)	700
		切向入口管内径(mm)	20
旋流强度(g)	35	处理水排出管内径(mm)	40
		椭圆形封头深(mm)	100

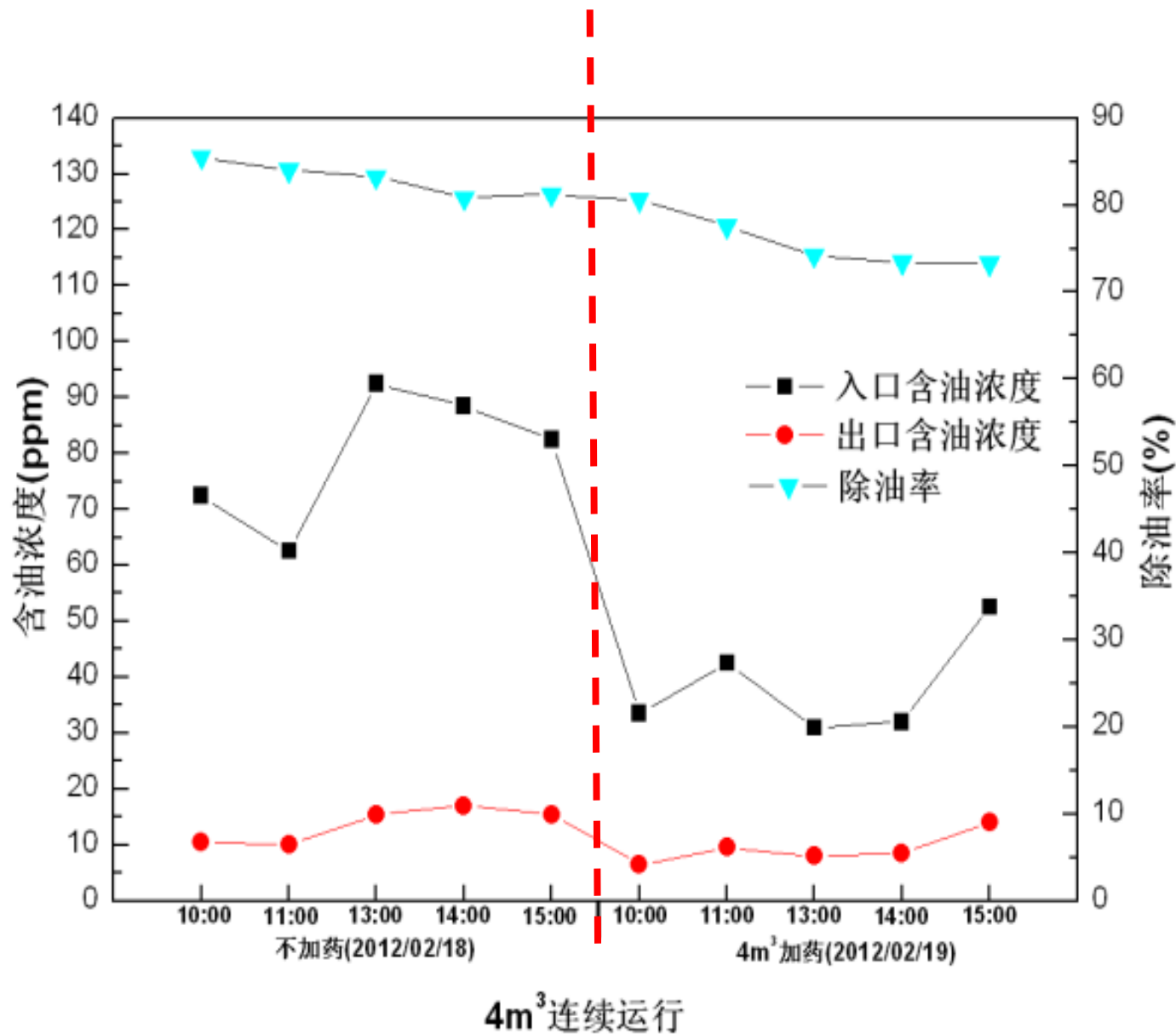
旋流气浮组合罐的尺寸为 $\Phi 0.4\text{m} \times 1.7\text{m}$ ，其中有效分离高度1.1m；微气泡发生器尺寸为 $\Phi 76\text{mm} \times 480\text{mm}$ 。整个样机系统的撬体尺寸 $1.2\text{m} \times 0.8\text{m} \times 2.4\text{m}$ (长 \times 宽 \times 高)；净重 $>1\text{T}$ 。



陆上油田现场试验的相关情况



2012年春节前后(01/04 ~ 01/14、02/07 ~ 02/21)，在中原油田采油一厂“胡二污”注水站进行了旋流气浮一体化除油设备分离性能的现场试验。“胡二污”注水站存在来水矿化度高、来水含油量不稳定、来水压力较低等现象。



有增压泵、不加处理药剂系统连续运行，**入口污水的含油量在62.5-92.5ppm之间，出水口的含油量在10-17ppm之间，除油率在80.8%-85.5%之间**；添加处理药剂系统连续运行，**入口污水的含油量在31-52.5ppm之间，水出口的含油量在6.5-14ppm之间，除油率在73.3%-80.6%之间**。入口含油量较低致使加药效果不明显，且出口含油量已经降到很低的水平。

科技进步奖励证书

为表彰在促进
科学技术进步工作
中做出贡献者，特
颁发此证书，以资
鼓励。

获奖项目：
高效旋流气浮污水处理技
术应用研究

奖励等级：
一等

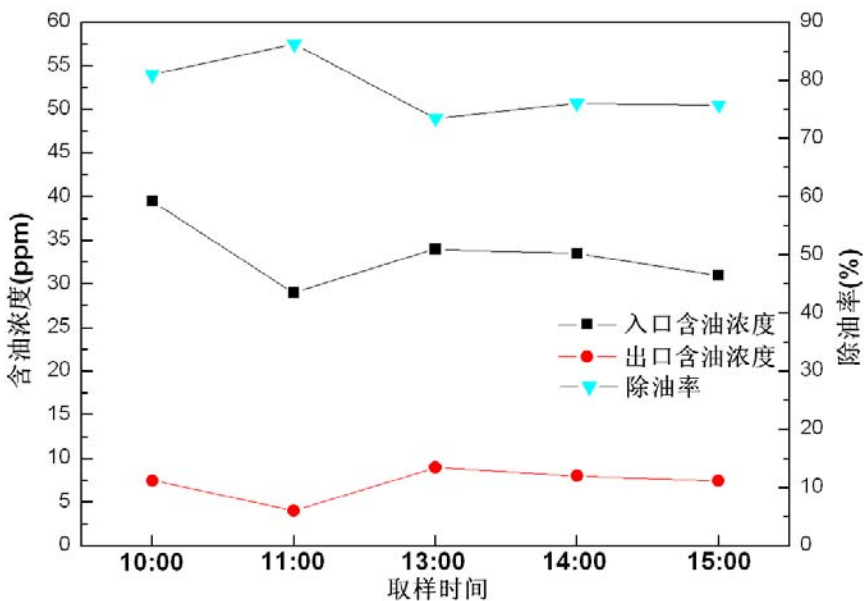
主要参加者：
陈家庆

证书编号：
2011121-02

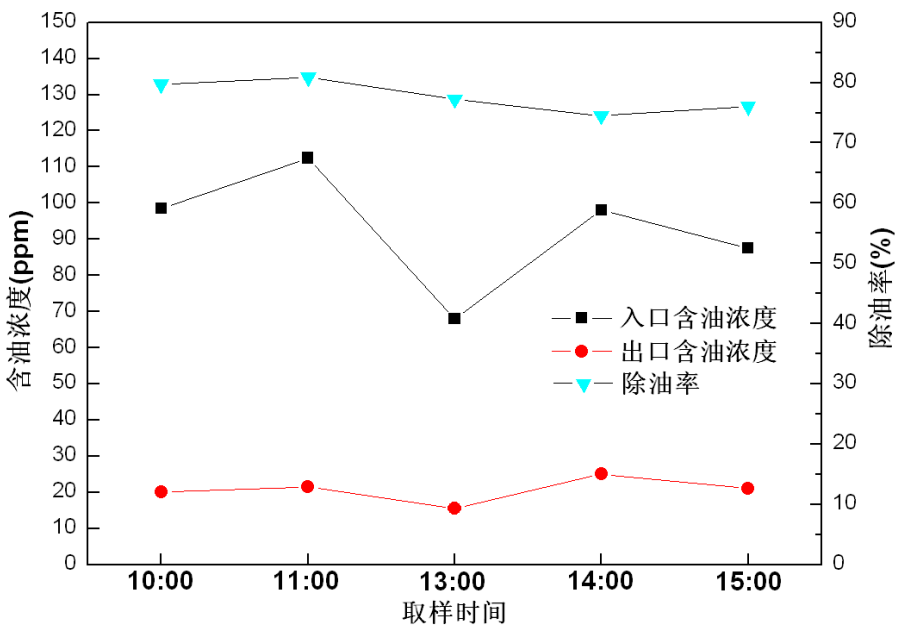
获奖日期：
二〇一二年四月十五日

中原石油勘探局

中原油田分公司



处理量为2m³/h

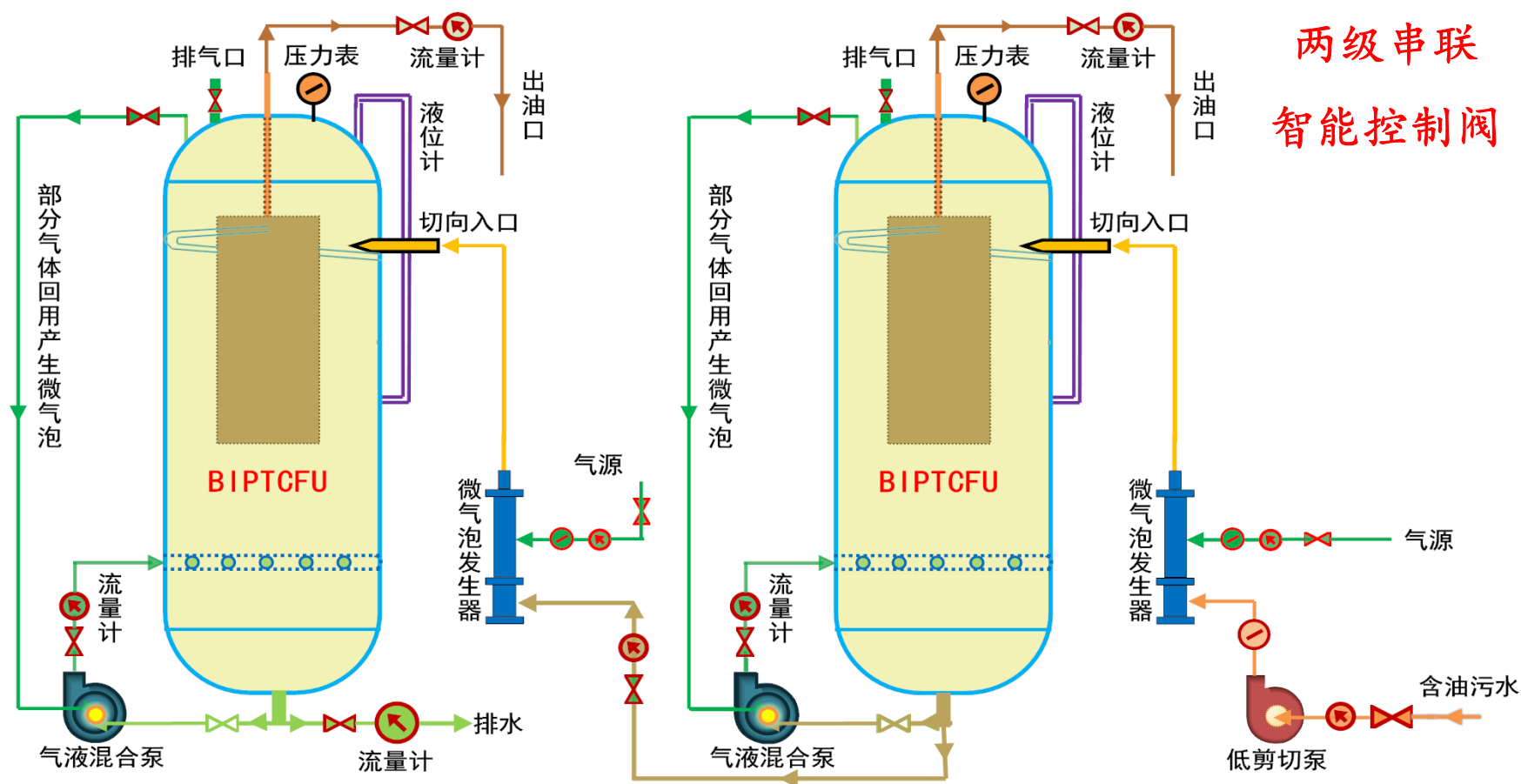


处理量为5m³/h



2.3.2 BIPTCFU-III-4型两级工程样机

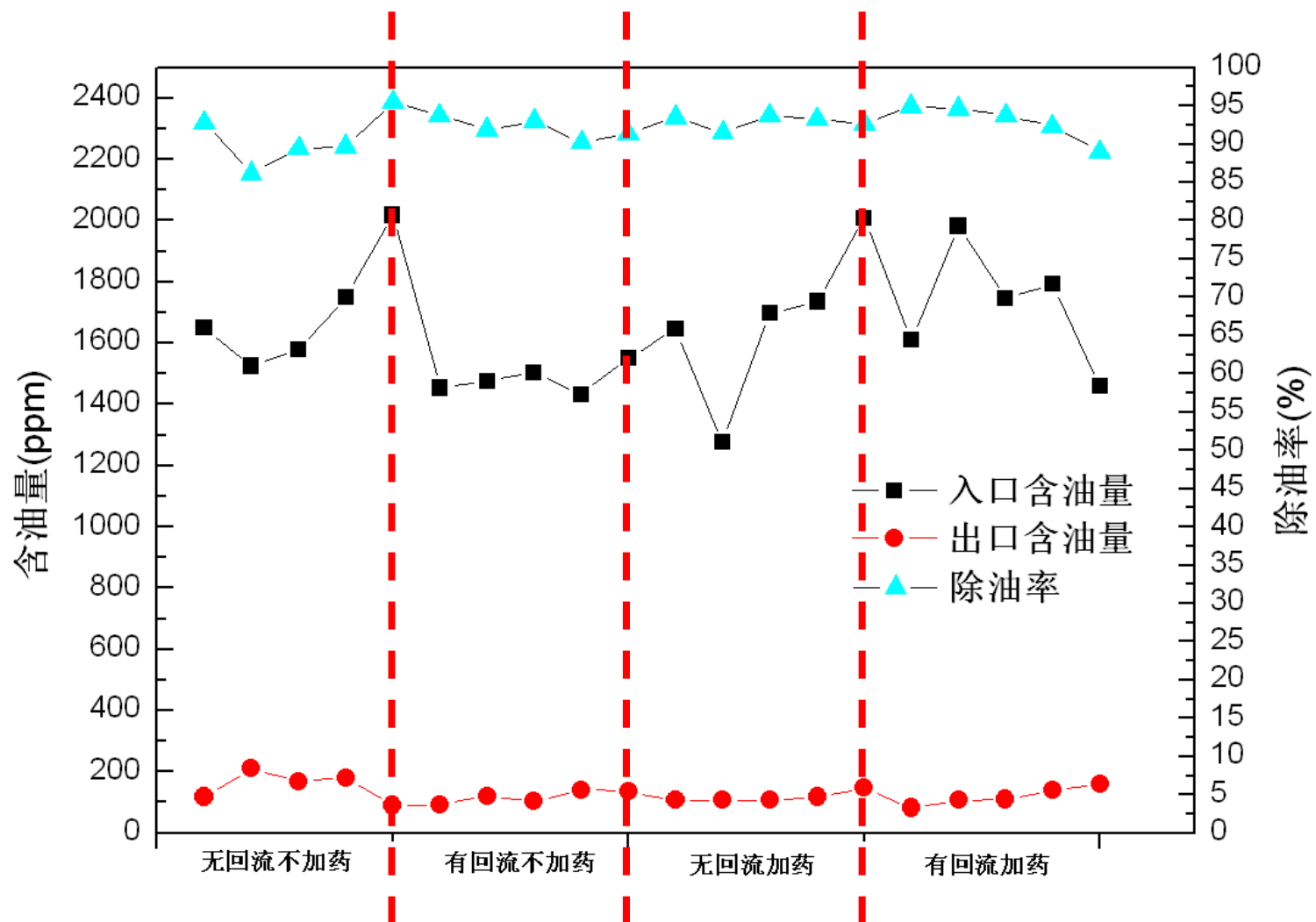
采用两级串联橇装结构，容器、防爆、吊耳等都通过中国船级社(CCS)安全认证。





2012年9月20日-2012年10月2日，在中海油天津分公司 QHD32-6油田“渤海世纪号” FPSO上进行现场试验。

➤ 单级CFU稳定运行对除油率的影响(高含油浓度)



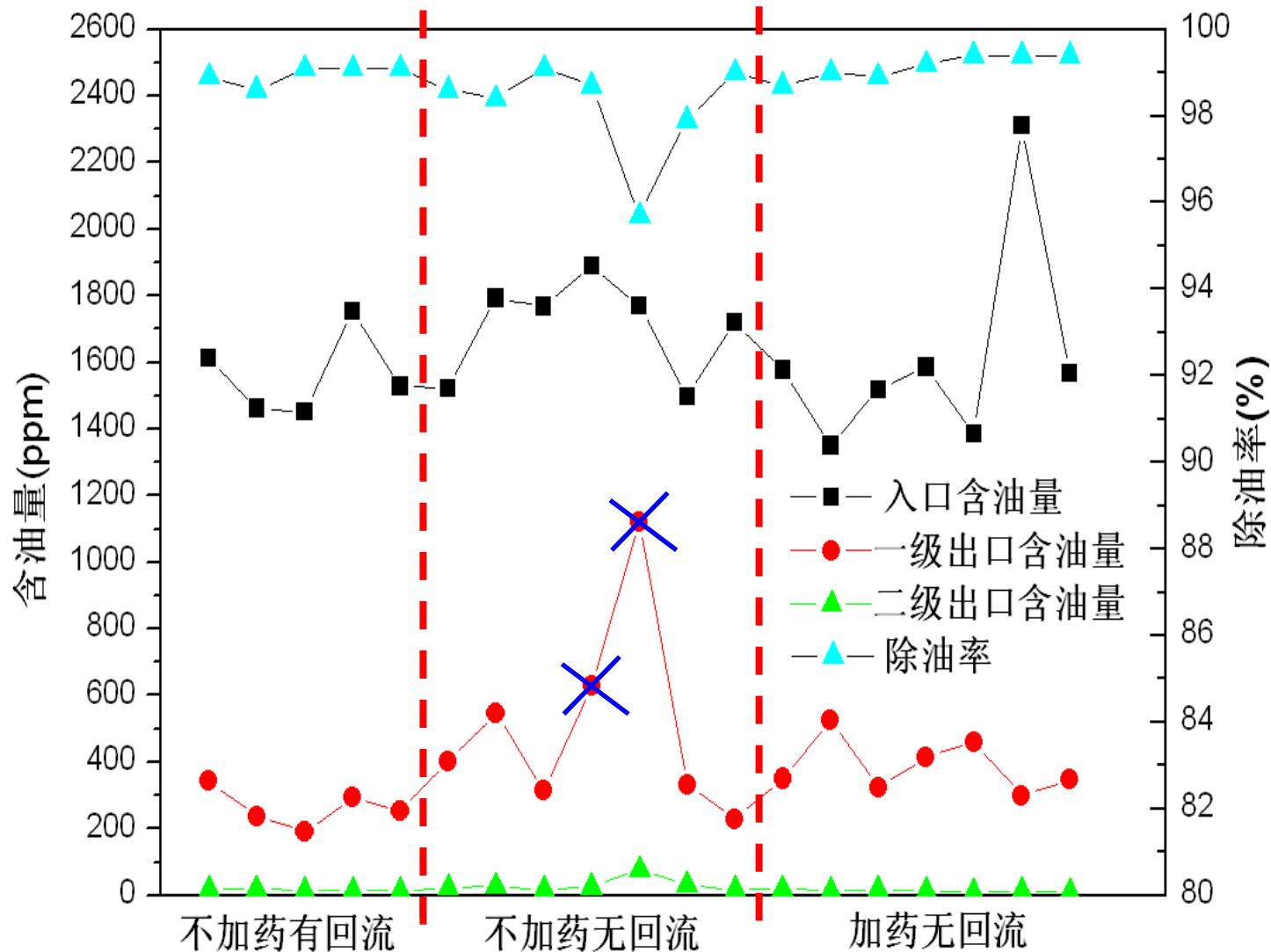
有回流
Vs
无回流

加药
Vs
不加药

无回流 + 不加药剂, 入口污水含油量为 1525 - 2018 ppm, 出水口含油量为 90 - 210 ppm, 除油率为 86.2% - 95.5%, 平均接近 90%。

入口含油污水流量保持为 4.0m³/h

➤ 两级CFU串联稳定运行对除油率的影响(高含油浓度)



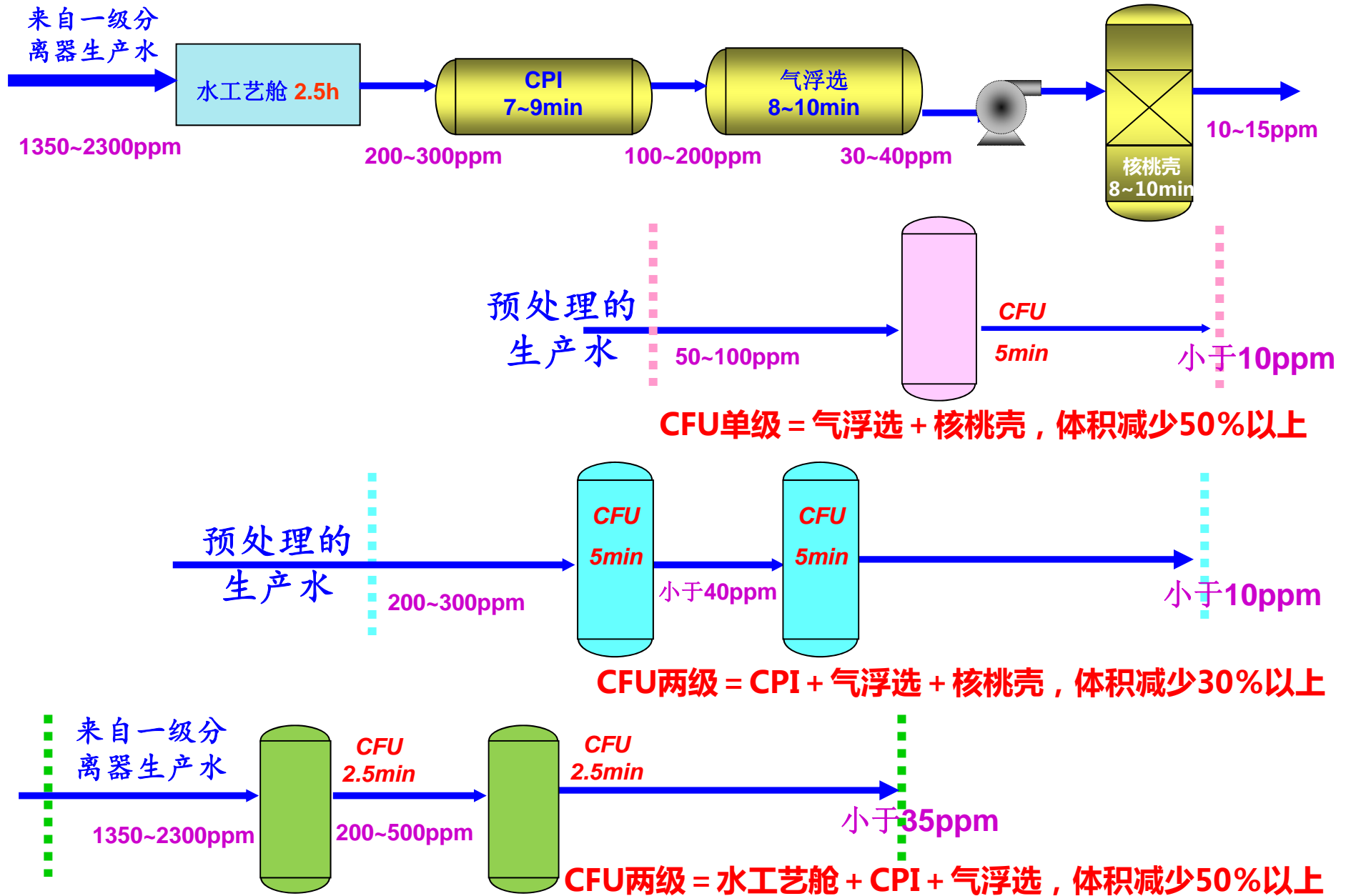
入口含油污水流量保持为 $3.2-3.6\text{m}^3/\text{h}$ ，加药浓度 0.02mg/L

有回流Vs无回流

加药Vs不加药

无回流 + 不加
药剂，入口污水
的含油量为
1498-1793ppm，
出水口的含油量
为**16-31ppm**，
系统除油率为
97.9%-99.1%，
平均除油率达
98.5%。发现气
泡发生器断气前
后的显著区别！

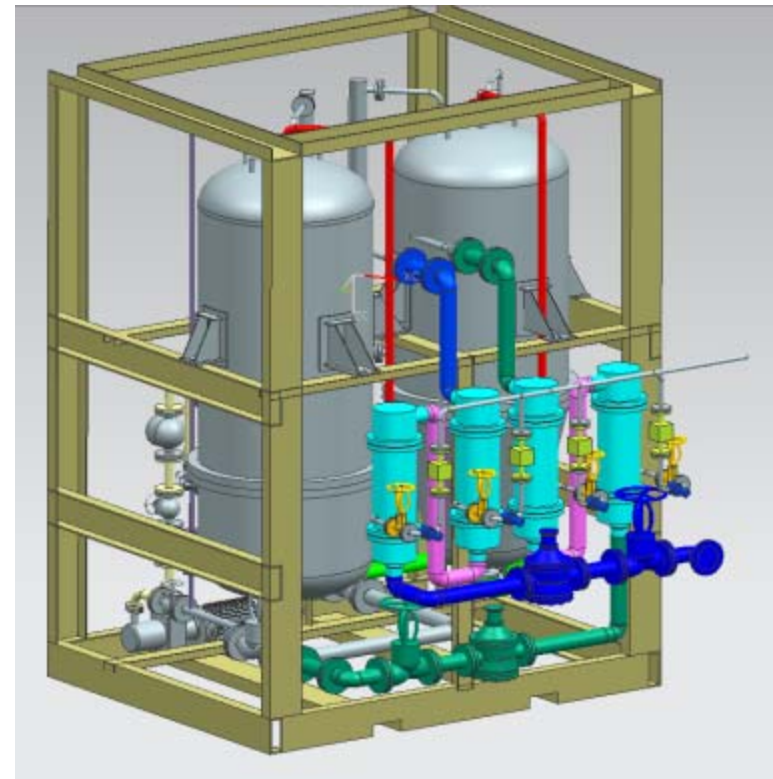
与QHD32-6油田现场水处理流程及参数的对比



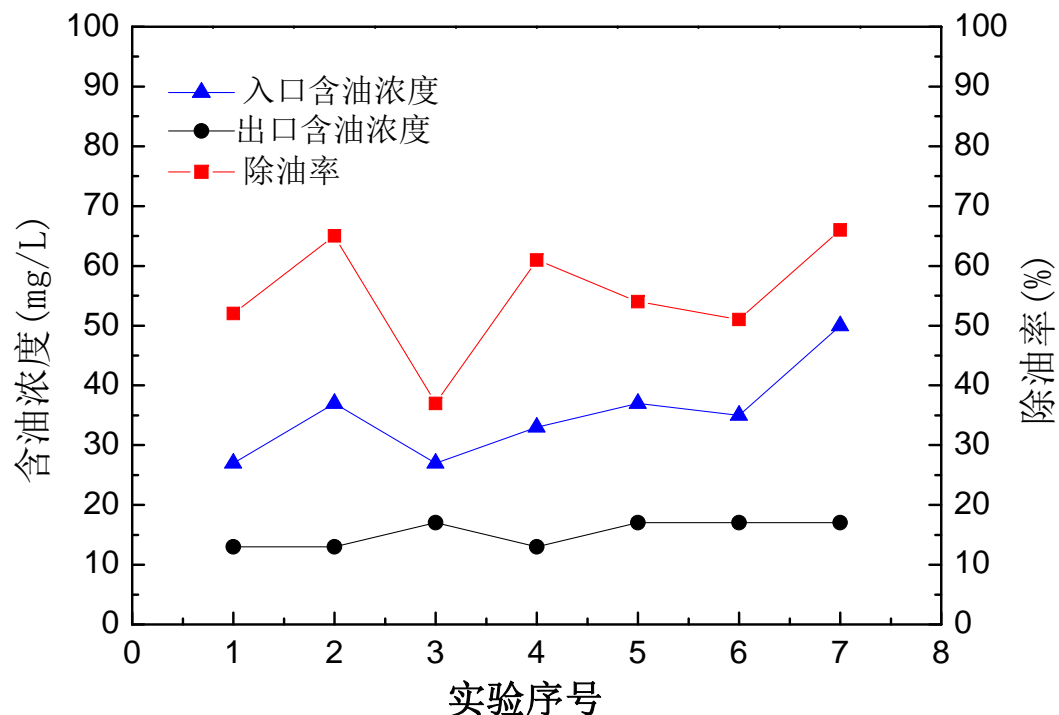


2.4 BIPTCFU-III-20型两级工程样机

采用两级串联橇装结构，容器、防爆、吊耳等都通过中国船级社(CCS)安全认证。2014年8月16日 - 9月3日在JZ25-1 CEP上进行现场试验，同时进行了对固体悬浮物(SS)去除效果的测试(以浊度近似表征)。



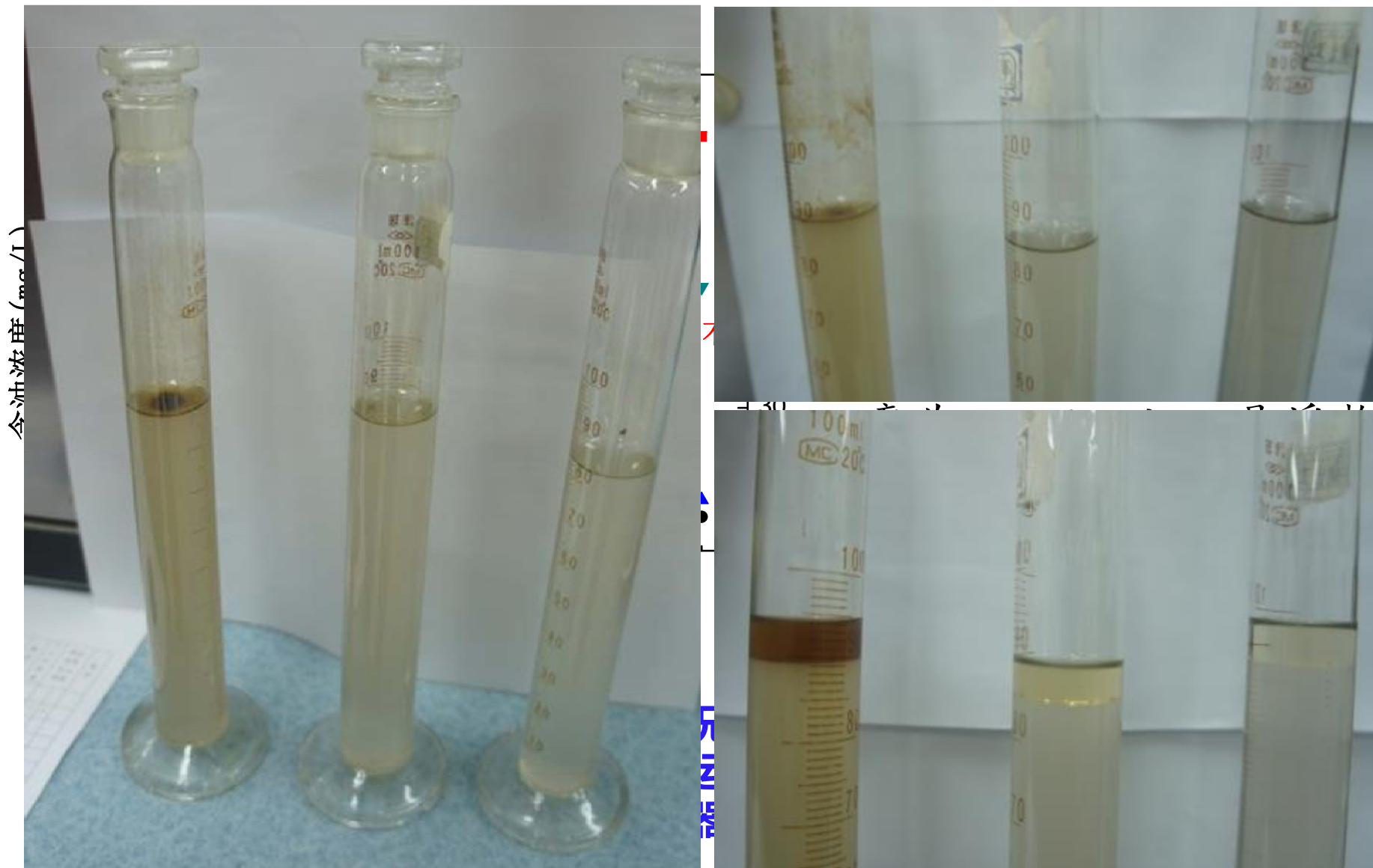
➤ 单级立式圆柱形气旋浮罐连续运行(水力旋流器入口)



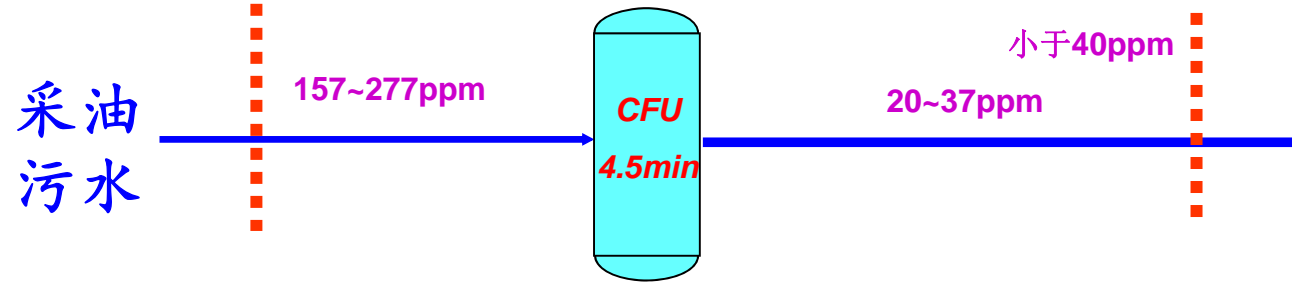
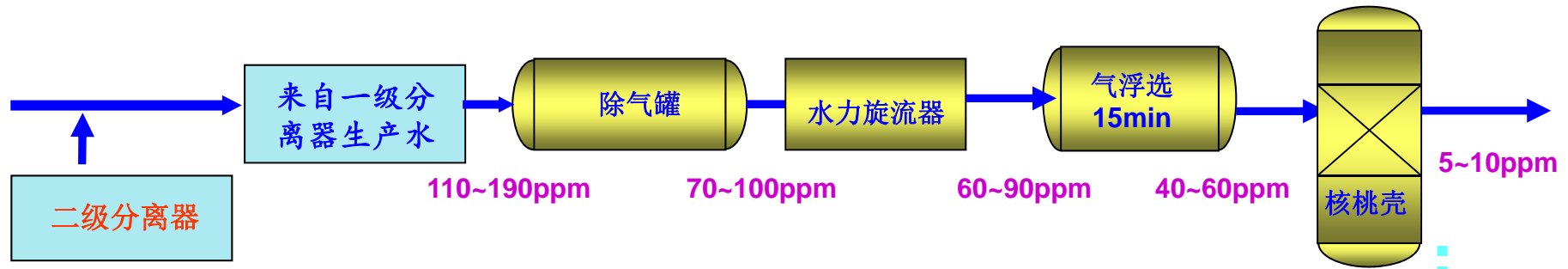
基于调整后的最优运行参数组合(流量 $20\text{m}^3/\text{h}$ 、注气比6%、分流比4%、注气压差 0.02MPa)下,仅开启1个管式微细气泡发生器(由于注气比保持不变因而总的注气量保持不变)

在“无回流+不加药”连续运行工况下,当入水口含油浓度在 $27\sim 50\text{mg/L}$ 之间变化时,出水口含油浓度在 $13\sim 17\text{mg/L}$ 之间波动,除油率为 $37.0\%\sim 66.0\%$,平均除油率达到 55.1% 。此外,尽管入口污水的含油浓度存在一定程度波动(幅度高达 85.2%),但出水口的含油浓度总体上较为稳定(波动幅度下降为 30.8%),表明单级立式圆柱形气旋浮罐子模块抗水质波动的能力较强。

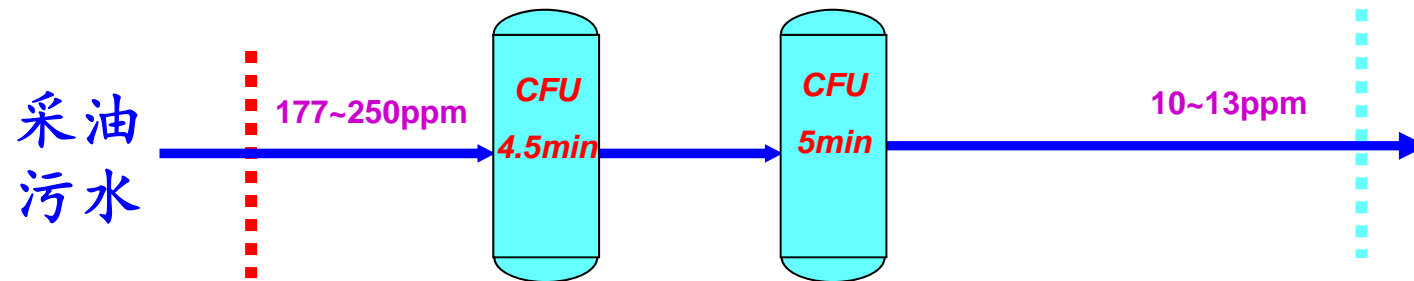
➤ 两级CFU串联连续运行试验(一级分离器冲砂口为接入口)



JZ 25-1CEP现场水处理流程及参数



CFU单级 = 除气罐+水力旋流器+气浮选器



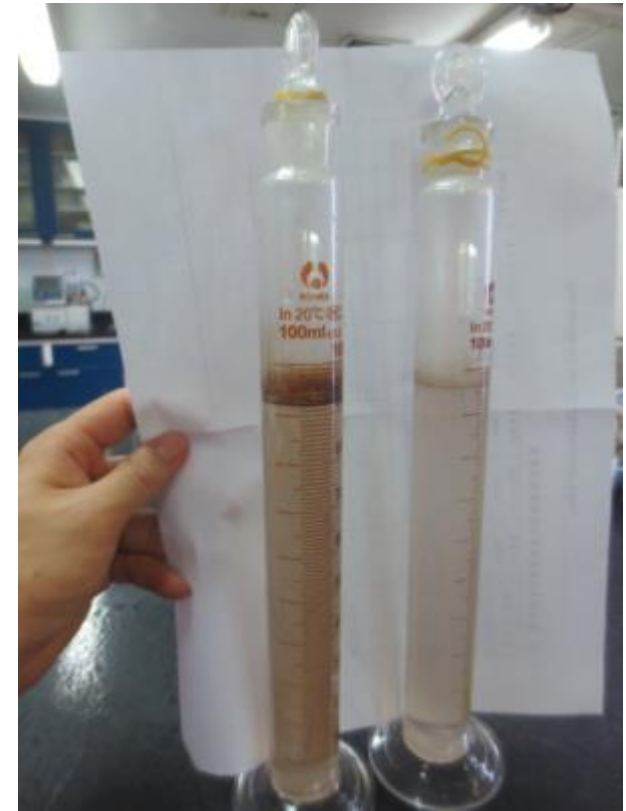
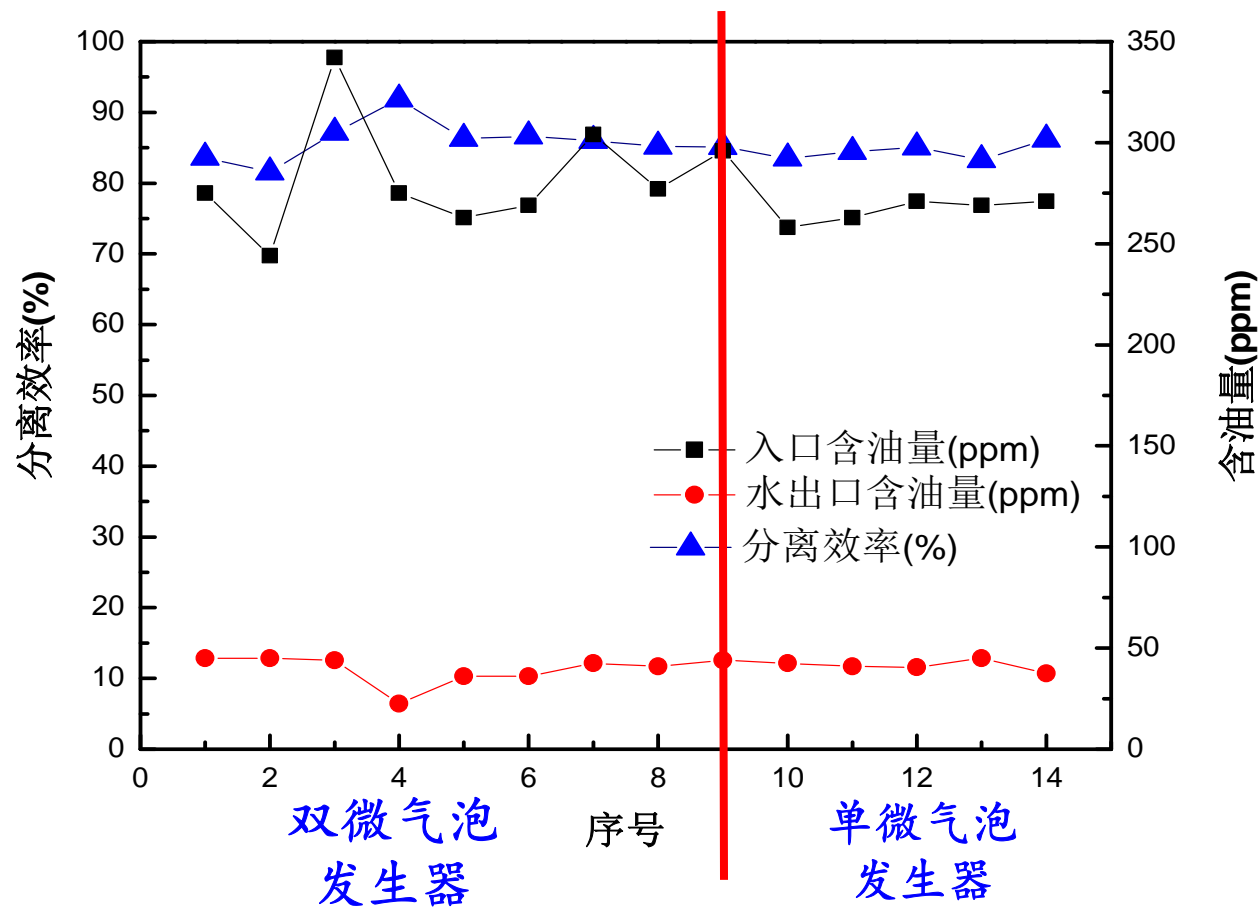
CFU两级 = 除气罐+水力旋流器+气浮选器+核桃壳滤器



2.5 BIPTCFU-III-120型单级工程样机

与中海油研究总院、海洋石油工程股份有限公司三家合作，2015年11月6日-16日在流花11-1油田“南海胜利号”浮式生产储卸油轮(FPSO)上进行了BIPTCFU-III-120型气旋浮水处理装置的现场试验。





现场试验结果表明，装置运行稳定、除油效率高，在无回流、不添加任何浮选剂、最优操作参数下连续运行时，**当入口含油量在240~400ppm之间变化时，单级除油效率稳定在85%以上，最高可达91.8%，水出口含油量可降低到50ppm以下。**2015年12月通过中海油研究总院的验收。

中海石油（中国）有限公司综合科研项目
“气浮旋流一体化水处理技术现场应用放大试验研究”课题
验收意见

2016年3月25日，中海石油（中国）有限公司科技发展部组织专家组（名单附后）在北京对北京研究中心承担的科研课题“气浮旋流一体化水处理技术现场应用放大试验研究”进行任务验收。专家组听取课题组汇报并质疑有关问题后，经讨论形成意见如下：

验收专家组建议：纳入总公司“三新三化”产品清单；研究中心在后续项目

15	二类	紧凑型气浮污水处理装置	恩平 23-1 油田	随工程项目计划开展； 预计 2016 年 11 月投产	深圳分公司工程建设中心	国产化
			流花 16-2 油田流花 11-1 油田调整	随工程项目计划开展； 预计 2018 年底投产		
16	二类	外输深浮软管	流花 16-2 油田流花 11-1 油田调整	随工程项目计划开展； 预计 2018 年底投产	深圳分公司工程建设中心	国产化
三、三类（国内尚处于研发阶段，有应用前景）						
17	三类	7600kW 原油发电机组	流花 16-2 油田流花 11-1 油田调整	随工程项目计划开展； 预计 2018 年底投产	深圳分公司工程建设中心	国产化
18	三类	水下采油树	待定	随科研项目计划开展	深圳分公司工程建设中心	科研项目研究进行中
19	三类	乙二醇再生装置	待定	随科研项目计划开展	深圳分公司工程建设中心	科研项目研究进行中
20	三类	固体绝缘开关柜	待定	随科研项目计划开展	研究总院	科研项目研究进行中
21	三类	水下阀门	待定	随科研项目计划开展	研究总院	科研项目研究进行中



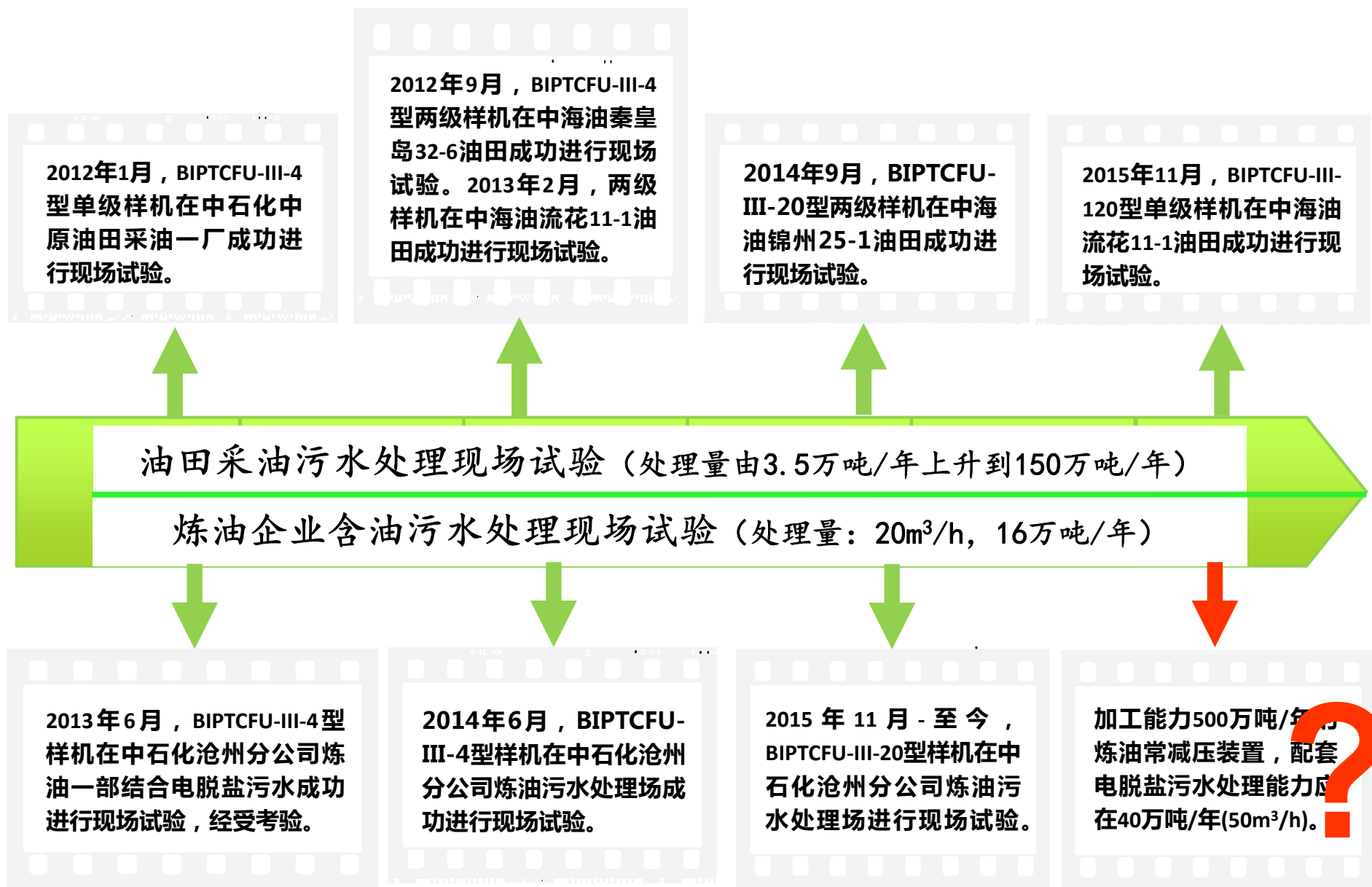
2.6 研发工作小结与展望

(1) 最早在国内开展了旋流气浮一体化含油污水处理装置的系列研究工作，并**自主建立了整套完整的理论设计方法和测试评价手段**——包括主体设备工艺尺寸的分析设计和内部关键结构尺寸的计算流体动力学(CFD)数值模拟分析，**具备产品化和系列化设计能力**。

(2) 自主研制开发了配套使用的高效紧凑管式微细气泡发生器，并在国内首次建立了微细气泡特性在线测试评价方法。

(3) 在国内四个油田和一个炼油厂开展了旋流气浮一体化采油污水处理设备样机的现场试验【最大原油密度： 954.6kg/m^3 (20°C)】，**水力停留时间(2.5min)、除油率、出水口含油量等性能指标位居国内最高水平、国际先进水平**。

现场试验案例汇总



- ✓ 在**油田采出水达标处理环节**，代替重力沉降设备、斜板除油器、水力旋流器或常规气浮设备，减轻过滤器的除油负荷；
- ✓ 改装成**采出液预脱水设备**用于井口或转接站，或改装成**高效紧凑型立式三相分离器**；
- ✓ 用于**炼油厂区内作为电脱盐污水**的预处理设备，回收污油；
- ✓ 用于炼化污水处理场，取代“**老三套**”**工艺流程**(隔油+浮选+传统好氧活性污泥法)中的“隔油+气浮”或“气浮”；
- ✓ 用于**油罐清洗水、油轮压载水、油品罐区切水**等的处理；
- ✓ 用于“气浮+生物过滤”工艺**处理城镇污水二级出水**，取代常规气浮技术；
- ✓ 用于化工、环保、电力、医药、食品等其他行业中的**液-固、液-液分离**过程。



➤ **拓展工业化应用的范围** (适应不同水质、不同水量的要求)



报告提纲

1

油港水污染治理技术现状

2

紧凑型气旋浮污水除油技术

3

水面溢油高效分离回收技术

4

结束语





3.1 溢油应急处理的必要性

在一些港口油码头，船舶装卸作业时发生的溢、漏油不可小视。这些日常的跑、冒、滴、漏、渗一般是从装卸油的管线、阀门、接口等处产生的，这与设备的保养不良、人员的操作不规范有关。据统计，约有92%的溢、漏油事件发生在船舶装卸作业时，发生意外事故仅占8%。

《中华人民共和国海事局船舶污染清除协议管理制度实施细则》：在2012年12月31日前，等级为一级的船舶污染清除单位应当**至少自有一艘溢油应急处置船或者一艘基本满足溢油应急处置船舶功能要求的专业清污船舶**。等级为二级的船舶污染清除单位在2012年12月31日前，可以通过光船租赁的方式拥有一艘溢油应急处置船或者拥有一艘基本满足溢油应急处置船舶功能要求的专业清污船舶。2013年1月1日起，船舶污染清除单位的应急清污能力应当全面符合《规定》附件的要求。

水面溢油的处理**一般采用机械回收法和化学处理法**。具体步骤是首先用围油栏围油，再用浮油回收器抽汲或吸附浮油，在难以使用机械回收时，可以考虑向水中喷洒消油剂，但使用化学剂处理须经有关部门批准。



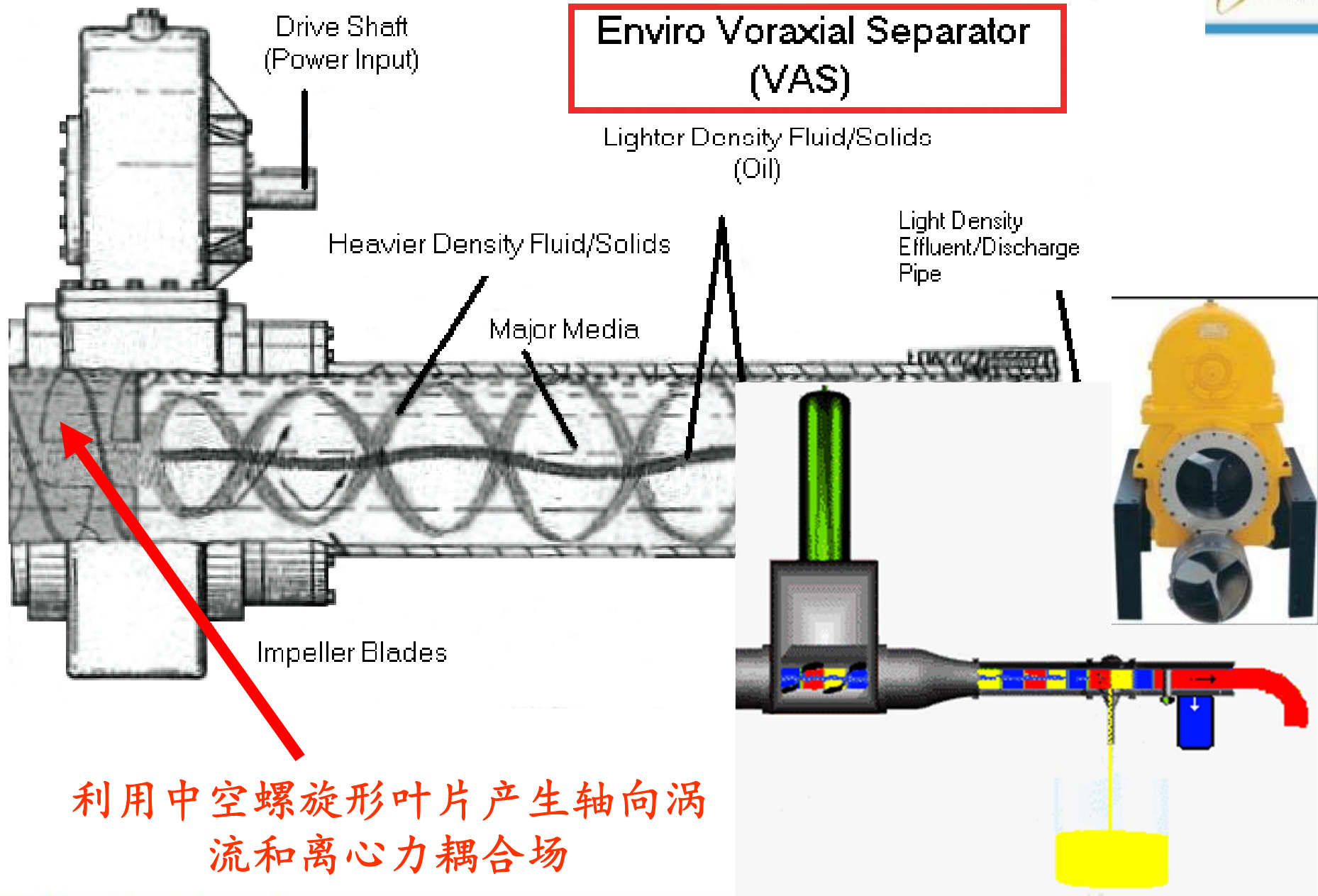
3.2 溢油回收用轴向涡流分离技术

轴向涡流分离技术由美国Enviro Voraxial Technology(EVTN)公司率先提出，并投资历时十年研发而成。2004年在墨西哥湾海洋平台上对Voraxial2000型分离器进行了两个月的液-液、液-固分离试验。同年，采用Voraxial 4000型分离器进行污水粗泥砂分离连续运行试验，处理量为1.9千万升/天，工作效率高达85%~89%。**2011年在墨西哥湾泄油事件中大放异彩。**





Enviro Voraxial Separator (VAS)

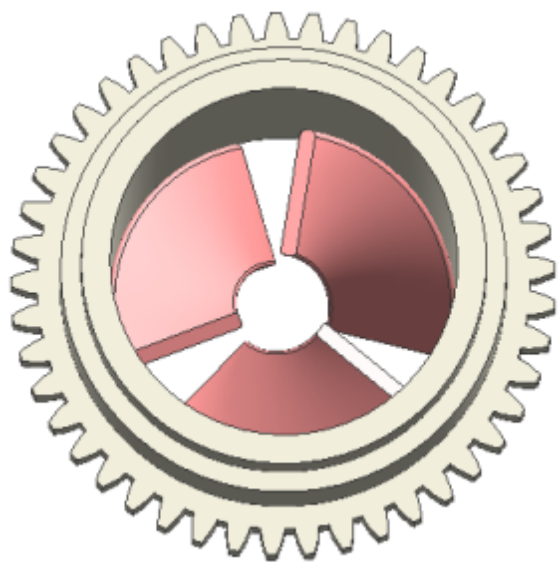


利用中空螺旋形叶片产生轴向涡流和离心力耦合场

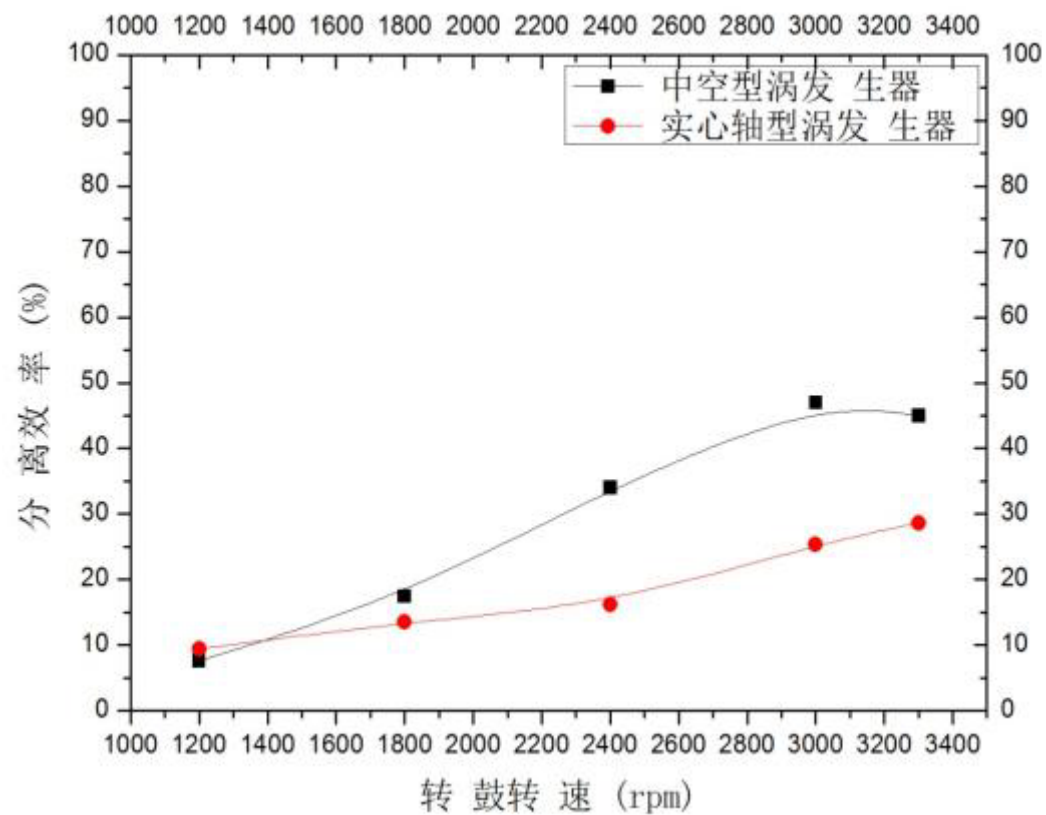
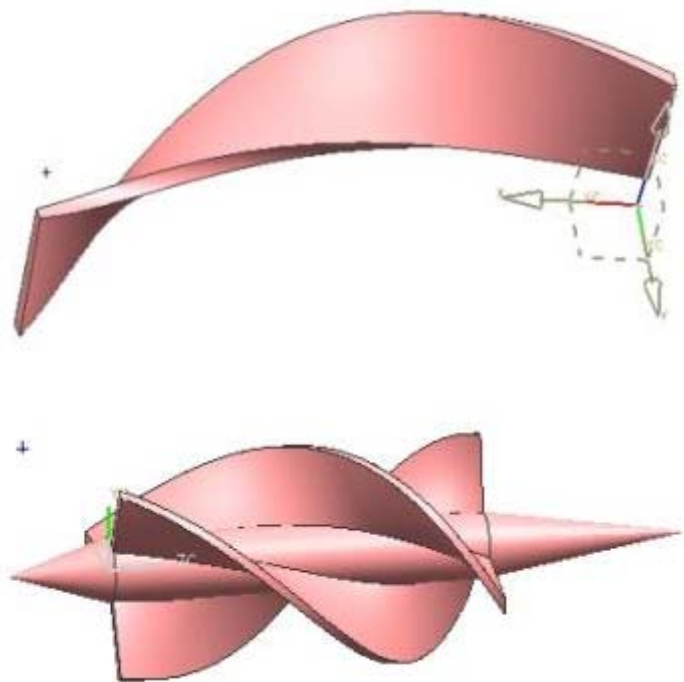
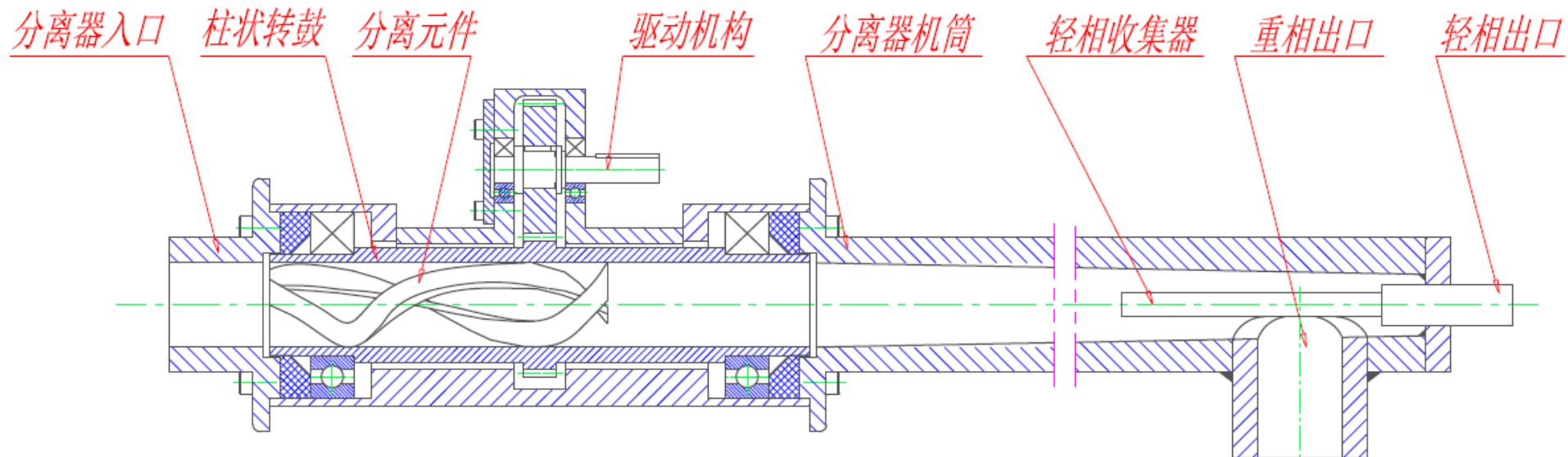


3.2.1 结构设计研究

自2009年以来，首次在国内系统开展了轴向涡流分离技术的相关研究。自主提出了系统结构方案和布局方案，借助理论解析分析和CFD数值模拟等手段，建立较为完整的设计体系，**具备产品化和系列化设计能力。**

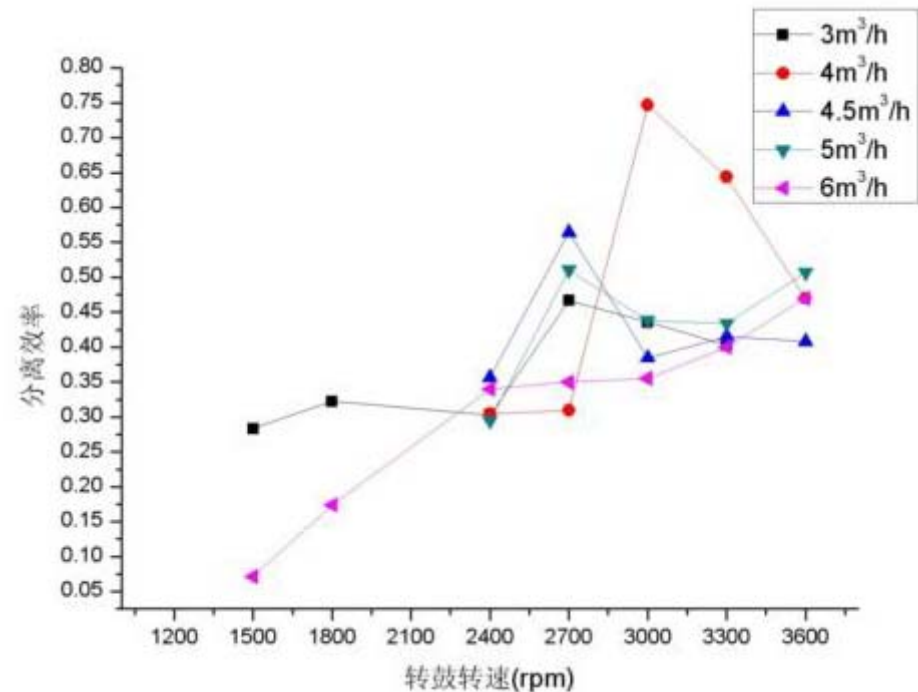


所设计的油-水分离用轴向涡流分离器包括**螺旋分离叶片**、转鼓、驱动机构、专用机筒、油相出口、水相出口、安装支撑板等。转鼓由带有可无级调速的变频防爆电机控制，整个分离器为撬装式整体机构，可直接与管路连接。

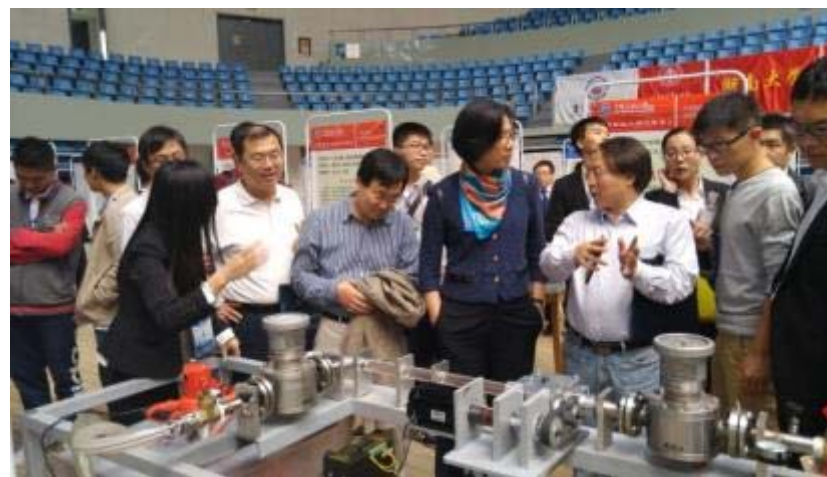
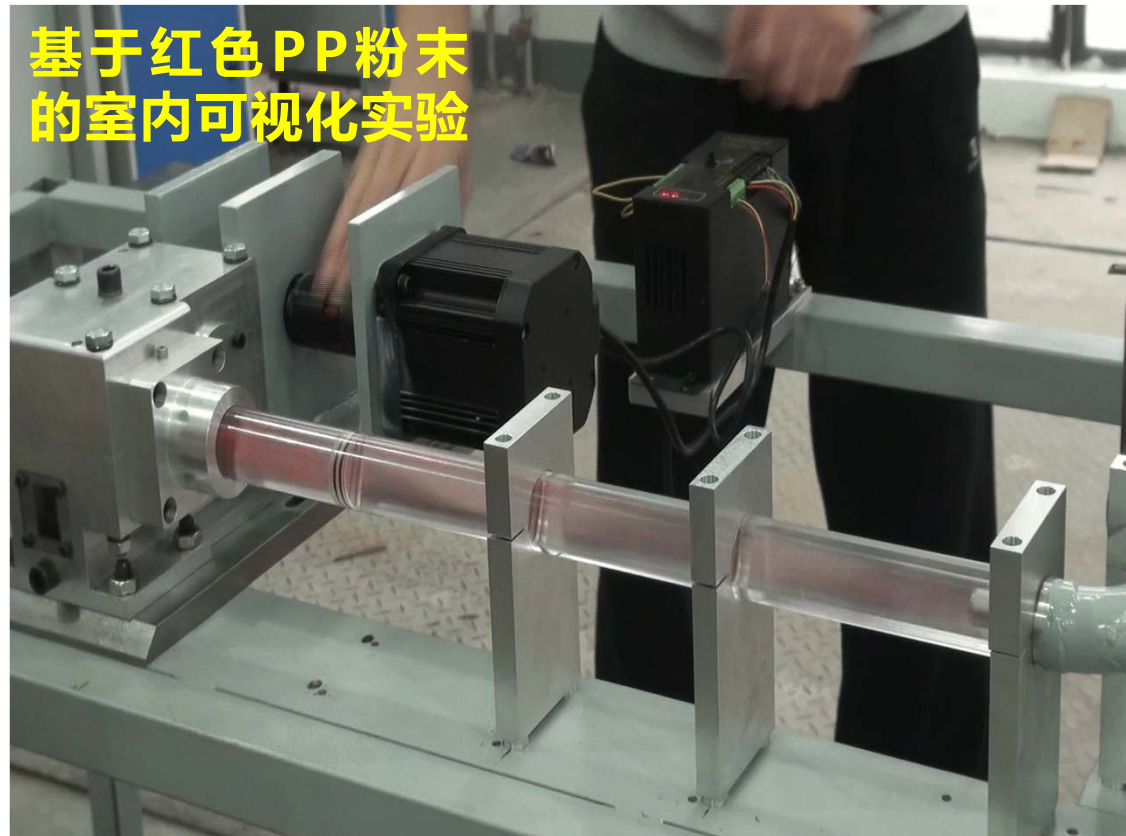


3.2.2 室内实验研究

研制了BIPTVAS-I型轴向涡流分离器室内可视化样机。主要工作参数：流量调节范围为0~7m³/h，转鼓转速调节范围为0~4500rpm，最大许用压力2.0MPa，最高工作温度100℃。分离效率随转鼓转速及流量的变化趋势与数值模拟结果相吻合，最高分离效率随流量先增加而后降低，**最佳分离效率所对应的流量为4m³/h，分离效率达74.7%。**



基于红色PP粉末的室内可视化实验

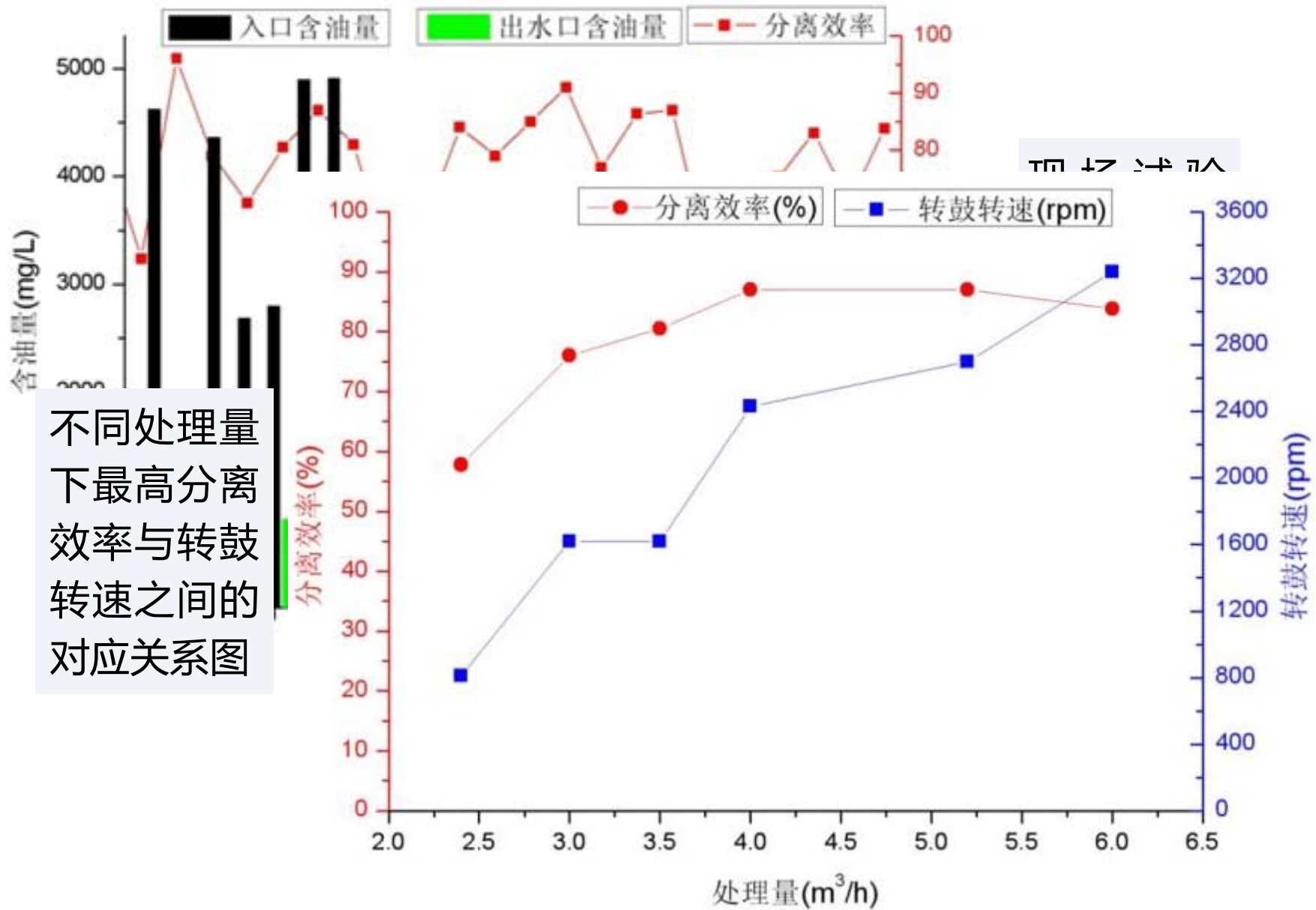


2015年9月荣获第二届中国研究生石油装备创新设计大赛一等奖。

3.2.3 BIPTVAS-II型工程样机的现场试验



2012年2月在中原油田采油一厂79号计量站进行现场试验



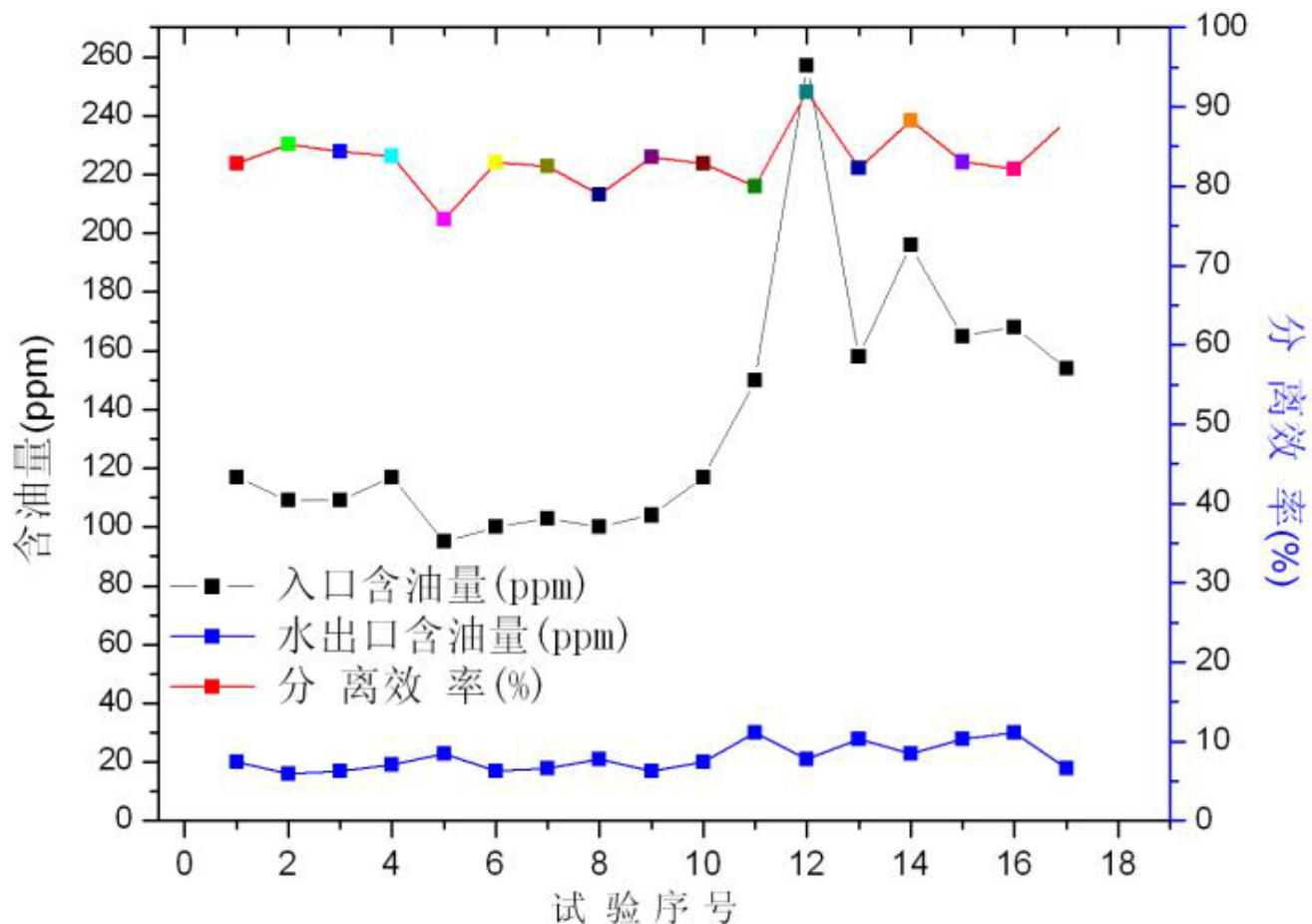
不同处理量
下最高分离
效率与转鼓
转速之间的
对应关系图



现场试验油水分离最高效率达90%，通过了中原油田鉴定验收，
并获得2011年度中原油田科技进步二等奖



3.2.4 BIPTVAS-III型工程样机的现场试验



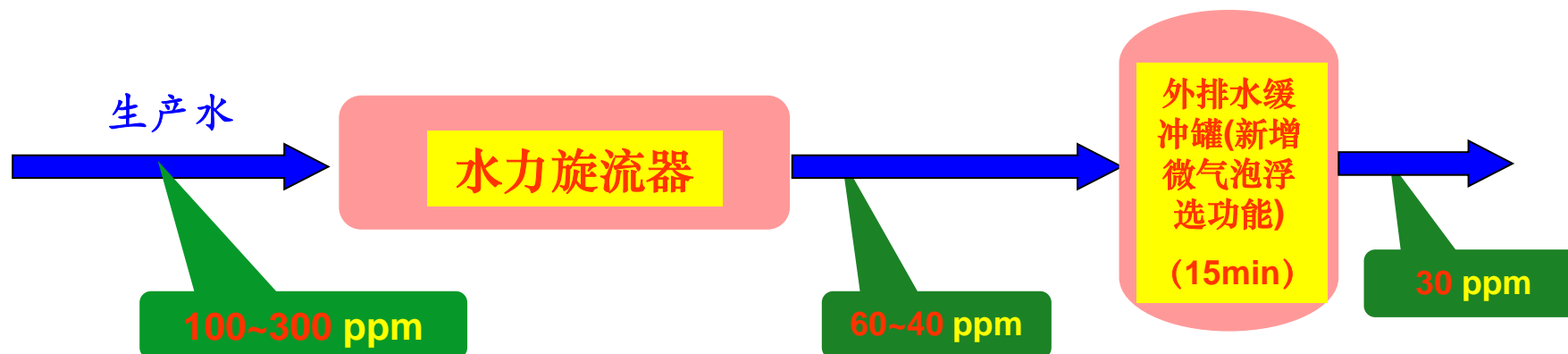
入口污水含油量为100-300 ppm时，水出口含油量可将至16-30ppm，平均含油量为19ppm，除油率为79% -91.8%，平均为82.6%。



2013年3月6-15日在中海油LH11-1油田“南海胜利号”FPSO上进行了现场试验



现场比对 —— 以LH11-1为例

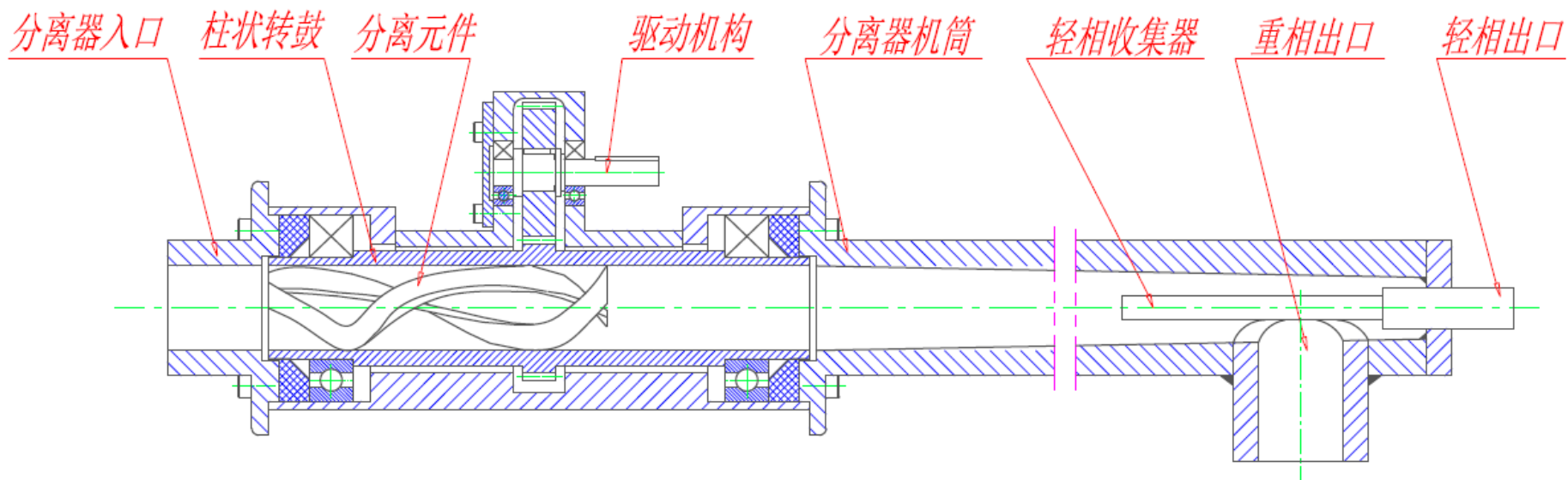


LH11-1 FPSO 生产水处理流程及现场参数

样机实验效果:

入口污水平均含油(ppm)	VAS水出口含油(ppm)
170	< 30(平均19)(停留2s)

➤ 使用VAS，代替现有的水力旋流器除油工艺。

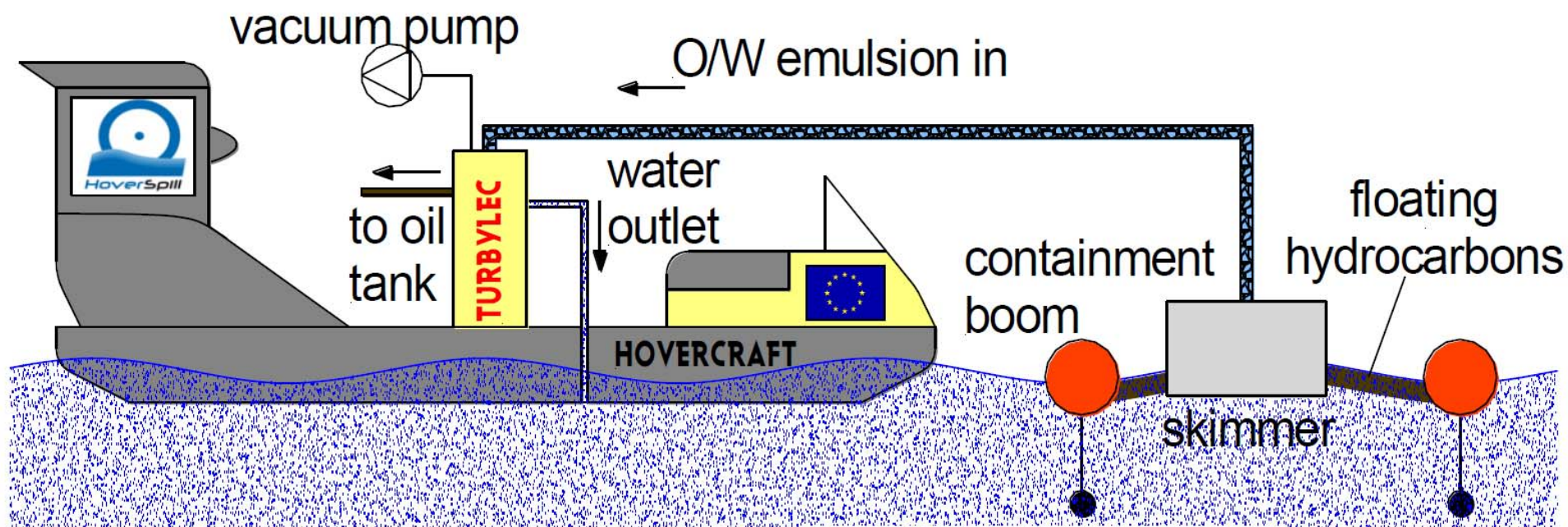


120m³/h工业化装置，准备在流花(LH)11-1油田进行工业应用

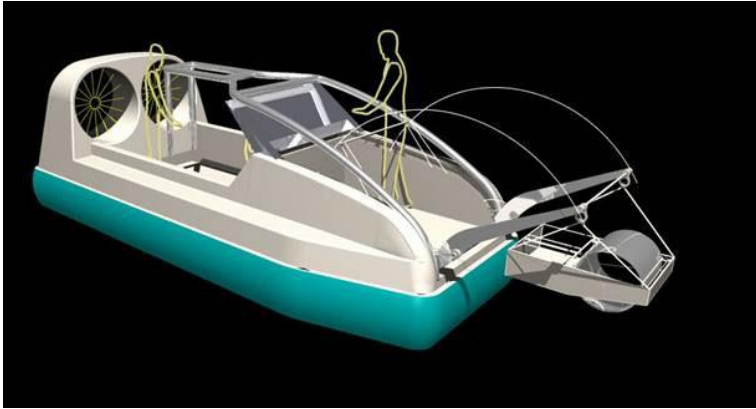


3.3 撇油船用固体涡相分离器

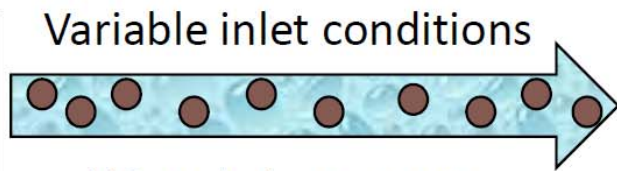
TURBYLEC受欧盟第七科技框架计划(EU FP7)资助，依托HOVERSPILL project研制开发，2014年见诸文献。**我们2015年开始在其基础上改进创新，称之为“撇油船用固体涡相分离器”。**



撇油器 → 收油船载油水分离设备富集油相 → 低含油污水外排

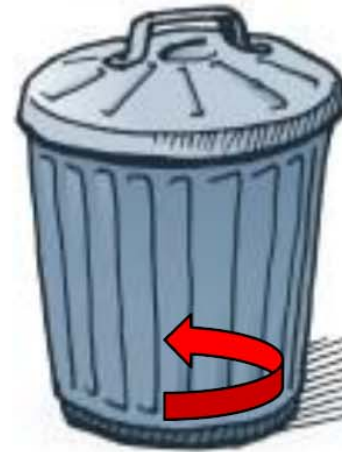


Skimming
and pumping
system



Variable inlet conditions

HC and air contents,
density contrast,
flow rate,...



*Simple, flexible and light
rotating HC/Water separator*

water content < 5%

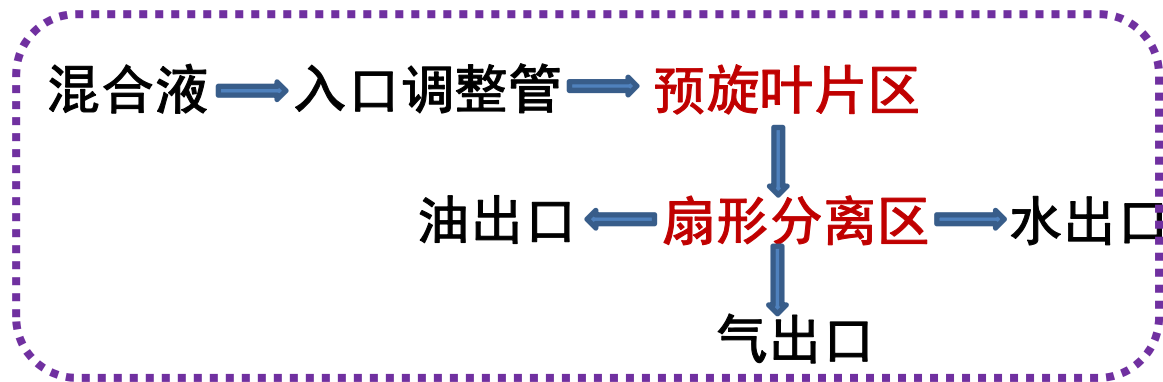


High quality water





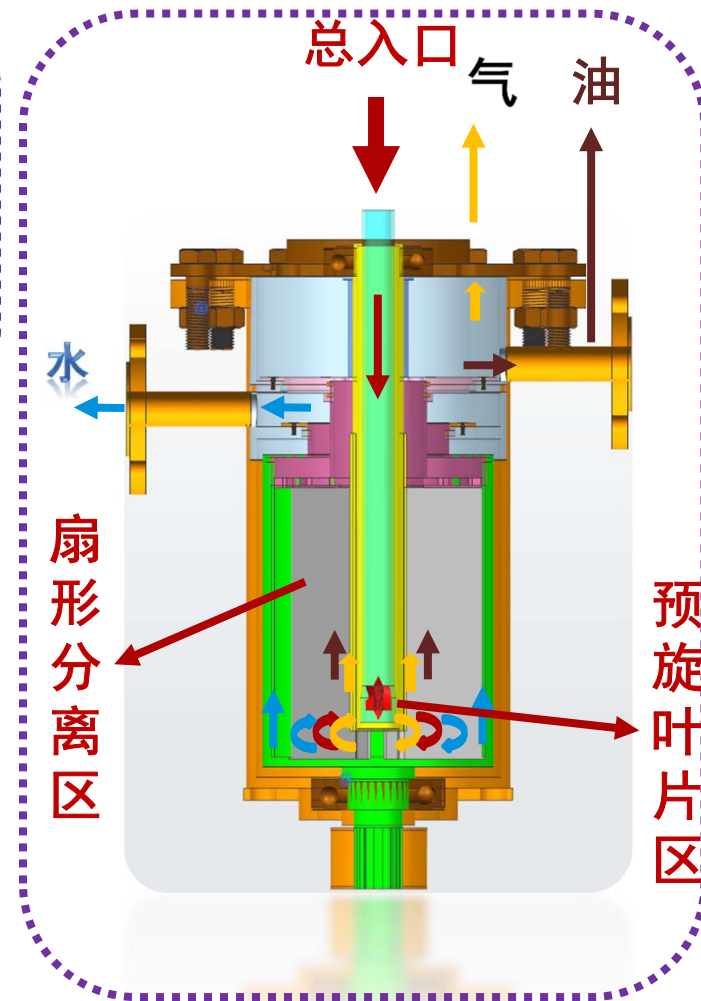
3.3.1 分离器结构设计 — 工作原理



离心分离作用：

流动过程中，由于三相密度差在机筒内部逐渐形成油、气、水的分界面，密度较大的水相趋向机筒壁面，油相在中间，气相集中在中心轴外侧。油相速度符合斯托克斯公式：

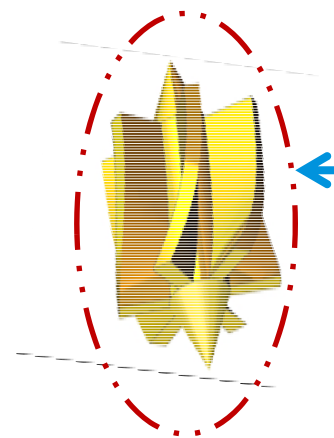
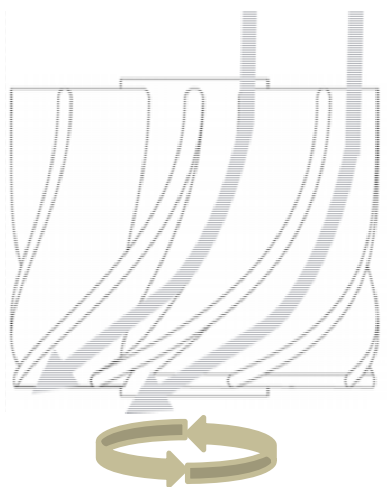
$$v = \frac{A(\rho_w - \rho_0)d^2}{18\mu}$$



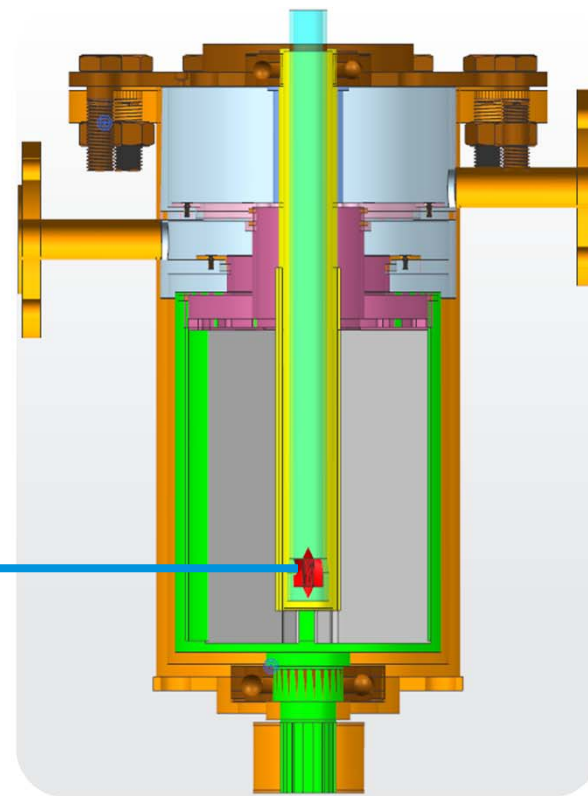


3.3.1 分离器结构设计 — 预旋流叶片

预旋流叶片为过渡元件，使液体产生切向速度，形成旋流从而避免直接冲击，能够有效减少油滴破碎。

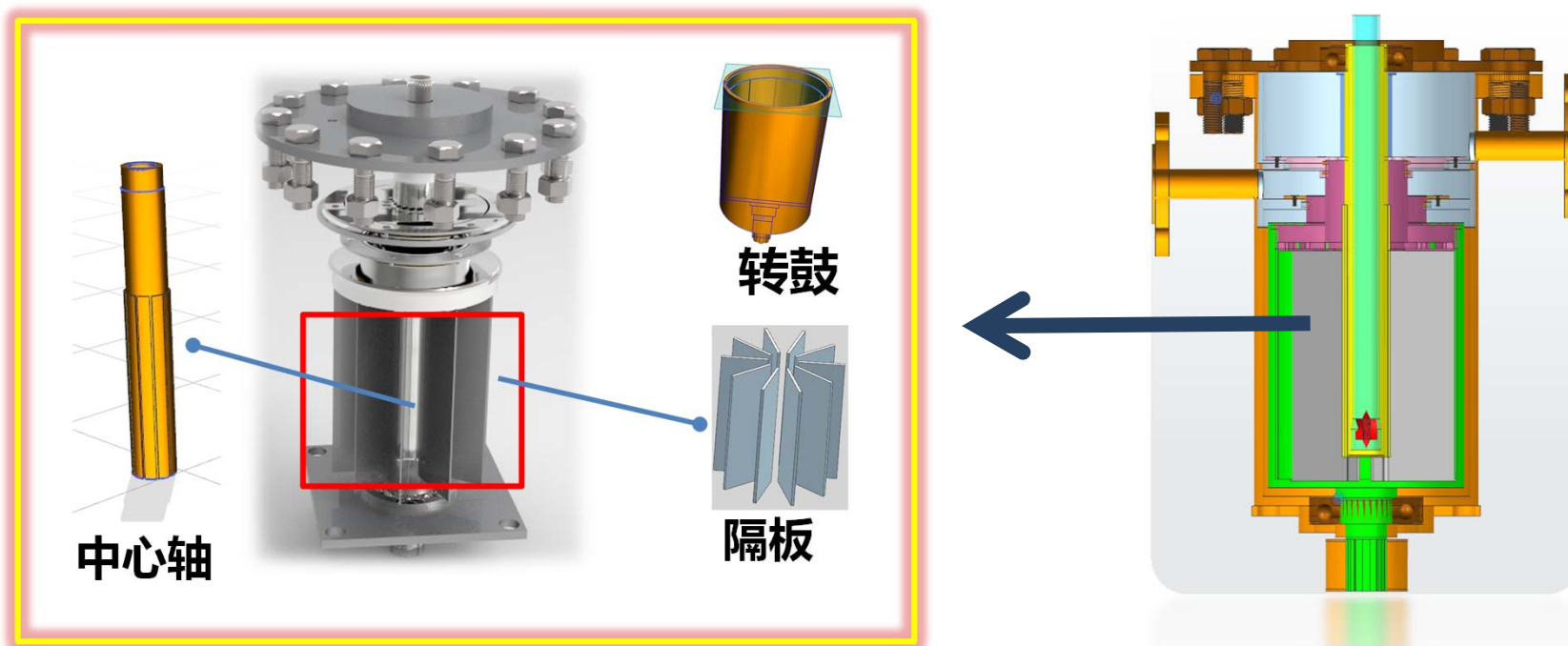


预旋流叶片

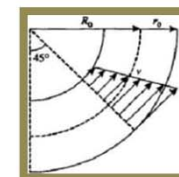




3.3.1 分离器结构设计 — 扇形分离区



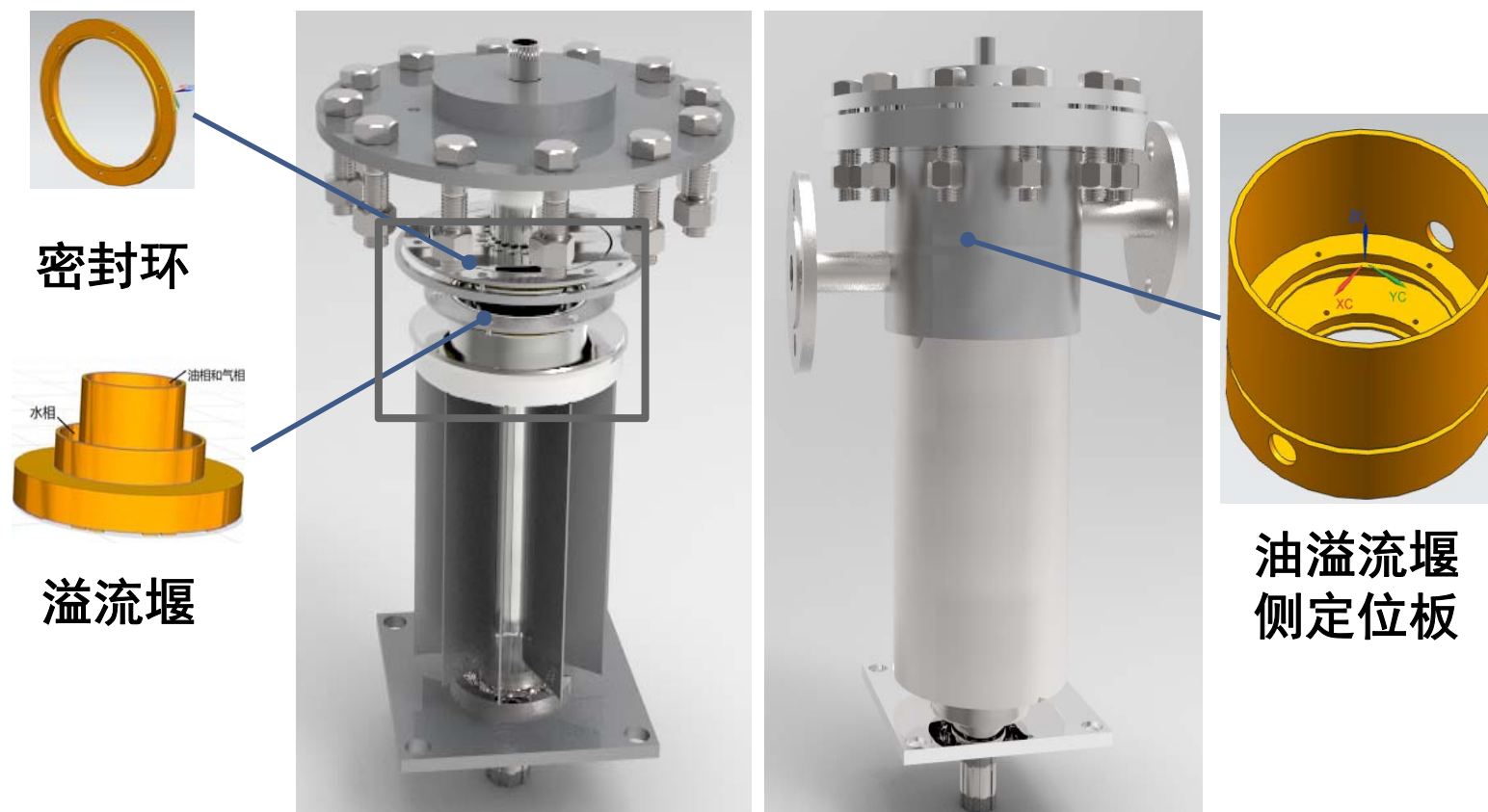
隔板、转鼓和中心轴组成的扇形分离区
高速旋转产生离心分离，同时形成固体涡，
降低油滴破碎程度。





3.3.1 分离器结构设计 — 溢流区

作用是将油、气、水三相进行**分隔**，并沿着各自的流道排出。



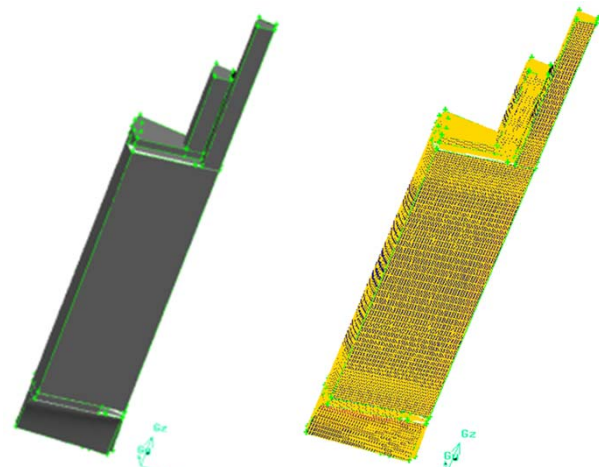


3.3.2 分离器性能分析 — CFD数值模拟

不考虑入口和出口时，基于轴对称模型，仅对一个独立的扇形区用CFD模拟。

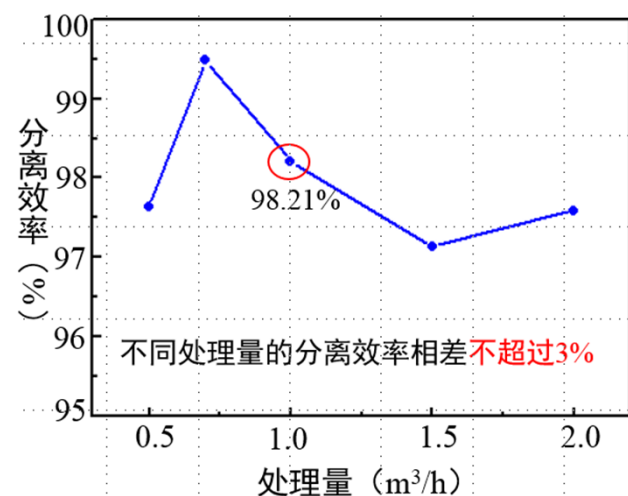
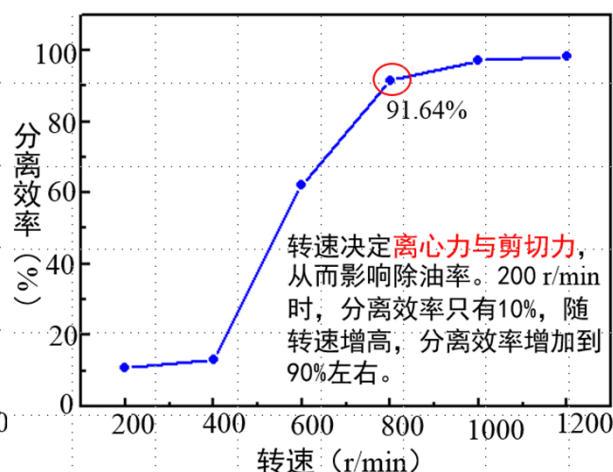
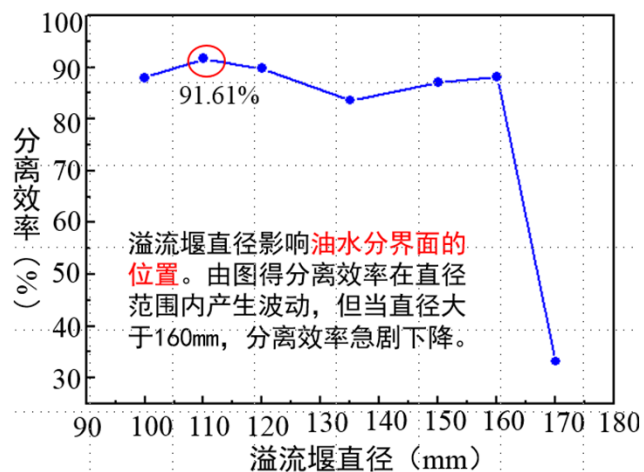
参数模拟：溢流堰直径、转速、含油量

PBM模型：有无叶片时的油滴粒径分布



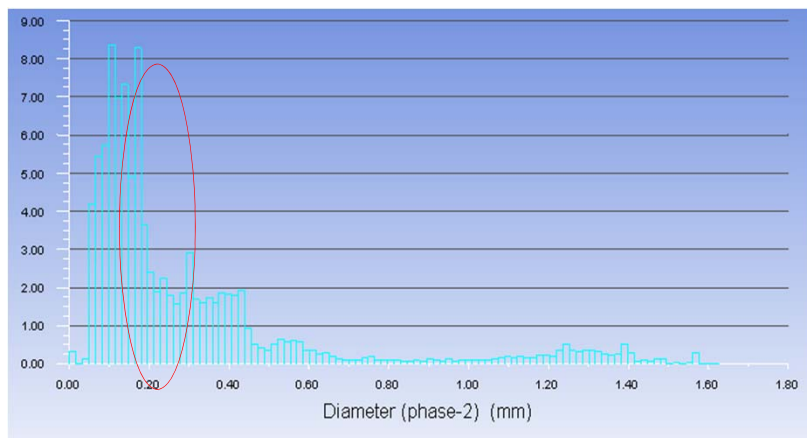
简化模型

网格划分

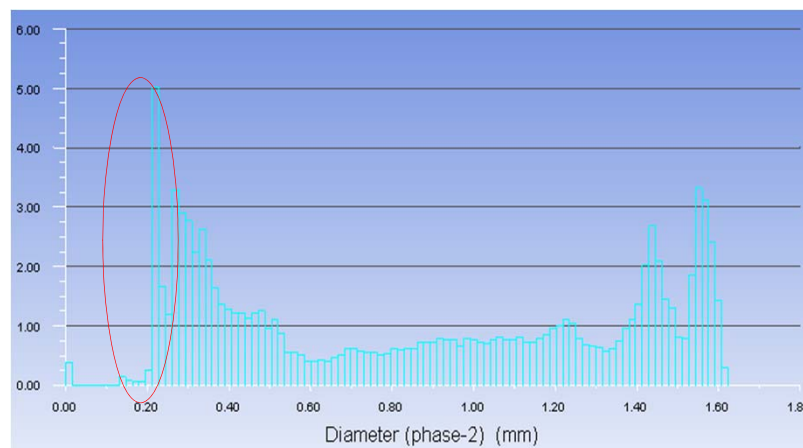




3.3.2 分离器性能分析 — CFD数值模拟



无叶片时的油滴粒径分布



有叶片时的油滴粒径分布

phase-2	(kg/s)	油相质量流率
Mass Flow Rate		
-----	-----	
mass-flow-inlet	0.000278	
outlet-oil	-0.00026132918	
outlet-water	-1.2313487e-05	
-----	-----	
Net	4.3573374e-06	

(1) 在最优参数下，分离器的分离效率达**90%**以上；

(2) 分离器有叶片时几乎**无油滴破碎**，**油滴粒径大于**无叶片时。



3.3.3 分离器效果展示 — 室内可视化实验

可视化实验采用的红色示踪粒子为聚丙烯(PP)粉末，以此来模拟水体溢油回收液中的油分。



分离器实物照片



油水出口样品对比



(1) 油水出口样品对比明显；

(2) 水出口较清澈，含PP粉末较少，分离效果较好。

CERTIFICATE OF HONOUR

获奖证书

第三届中国研究生石油装备创新设计大赛

THIS CERTIFICATE IS PRESENTED WITH

一等奖



获奖作品名称：撇油船用固体涡相分离器
 获 奖 者：张雪、潘威丞、刘文津、张龙、李玮健
 指 导 教 师：姬宜朋、陈家庆
 所 在 单 位：北京石油化工学院

教育部学位与研究生教育发展中心
 中国石油和石化设备工业协会
 中国石油教育学会
 中国研究生石油装备创新设计大赛组委会

DATE: 2016.10



报告提纲

1

油港水污染治理技术现状

2

紧凑型气旋浮污水除油技术

3

水面溢油高效分离回收技术

4

结束语





结束语

随着**我国石油需求量和对外依存度**的日益增大，海上油品运输量越来越大，油港数量不断增加，规模也不断扩大，由此带来的环境问题也相应增多。如油码头挥发性有机化合物、港口污水、二氧化碳排放、水体石油污染、噪声等。

建设低碳绿色油港，使其既能最大限度地发挥油港对经济发展的促进作用，又能将其对环境的危害降到最低限度，已成为当前我国油港运营过程中亟待解决的问题。**跨行业借鉴，新技术的力量不可忽视。**

请各位专家和领导批评指正



www.bipt.edu.cn

崇尚实践 知行并重

Abstinence leads to a higher goal
work upon the trunk and bring forth new ideas