

工艺与设备

充气水力旋流器净化含油污水的实验与应用研究

王嘉麟, 陈春茂, 杨双春, 阎光绪, 郭绍辉
(中国石油大学环境中心, 北京 102249)

摘要: 充气水力旋流器(ASH)结合了气浮和旋流器的技术优点,是一种高效油水分离设备。利用自制 ASH 开展净化含油污水的实验研究,介绍了充气旋流分离的基本原理、设备结构、实验工艺流程,较为系统地研究了各种参数对分离性能的影响,对于含油质量浓度 800 mg/L 的炼油污水,最佳进料量为 5.0 m³/h、气液体积比在 0.30~0.35、分流比为 0.16~0.18 时,ASH 分离效率最高达 82%,所分离油滴粒径下限为 4 μm。ASH 现场中试表明其分离效率平均达到 74.7%,可以替代含油污水处理流程中的隔油段,ASH 在含油污水处理领域将有广泛的应用前景。

关键词: 充气旋流分离器;含油污水;分离效率;粒径

中图分类号:TQ028.46

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2008)03-0062-03

Experimental study on purifying oily wastewater by air-sparged hydrocyclone and its application

WANG Jia-lin, CHEN Chun-mao, YANG Shuang-chun, YAN Guang-xu, GUO Shao-hui

(Environmental Engineering Research & Development Centre, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: The air-sparged hydrocyclone (ASH) is a new pattern of oil/water separator which combines the advantages of flotation machine and hydrocyclone. The effect of different structural and operating parameters of ASH on the separation performance is studied in a series of purifying oily wastewater experiments, and basic separation principle and structure of ASH and experimental process are introduced. The result shows that the ASH can effectively separate about 82% of oil from oily wastewater while operated under the optimum conditions: flow rate of 5.0 m³/h, gas-liquid volume rate, 0.30-0.35, split ratio, 0.16-0.18, and the lower limit size of the oil particle separated is about 4 μm. The site pilot experiment also indicates that a 74.7% separation efficiency is attained by adopting ASH, which can replace the oil separation pool in oily wastewater treatment process, and it has an extensive application future in the field of oily wastewater treatment.

Key words: ASH; oily wastewater; separation efficiency; particle size

含油污水处理要着重解决 2 个问题:首先通过物化处理分离污水中的石油类物质及悬浮物;然后通过生化法来降解水中溶解的有机污染物。现有含油污水的物化分离工艺一般为:来水→平流隔油池→斜板隔油池→气浮池,该流程占地面积大,设备投资、基建和运行维护费用高,且水力停留时间长。水力旋流器作为技术经济指标较好的分离设备目前已成功应用于石油、石化、环保等工业领域^[1],但该设备也存在不能有效去除乳化油、通用性较差等缺点^[2]。充气水力旋流器(air-sparged hydrocyclone, ASH)是一种新型的分离设备,它将溶气气浮与水力旋流器的流动特征结合在一起,在固液分离方面的

研究和应用已比较成熟,而在油水分离方面的研究则刚刚起步,未见工业化研究报道^[3]。笔者利用自制的 Φ 50 mm 充气水力旋流器进行了含油污水的净化实验研究,全面分析了结构参数与操作参数对分离效率的影响,并在现场中试过程中取得了较好的处理效果。

1 分离原理与自制 ASH 设备

1.1 ASH 分离原理

ASH 分离原理示意图见图 1。ASH 通过利用不互溶介质间的密度差而将其离心分离^[4]。待分离的含油污水在一定压力下自 ASH 顶部沿切线方向进

收稿日期:2007-10-25

作者简介:王嘉麟(1964-),男,博士生,副教授,主要从事石油石化环境污染治理研究,010-89733335, chunmaochan@163.com;郭绍辉(1958-),男,博士,教授,博士生导师,从事水污染控制方面的研究,通讯联系人,010-89733316, cupgsh@163.com。

入,由于器壁的限制而形成旋流自上而下流动;空气则由外侧夹套进入,通过多孔管壁进入流场,被高速旋转流体的剪切作用分割成大量的细小气泡。水中的油滴与气泡相互碰撞和吸附,在离心力作用下进入中心的泡沫柱,进而垂直向上流入溢流管形成溢流排走;净化后的水体被甩至旋流器器壁,最终经底流口排走。整个过程实现了浮选和旋流的结合,提高了油滴去除效率。

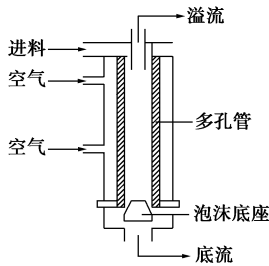
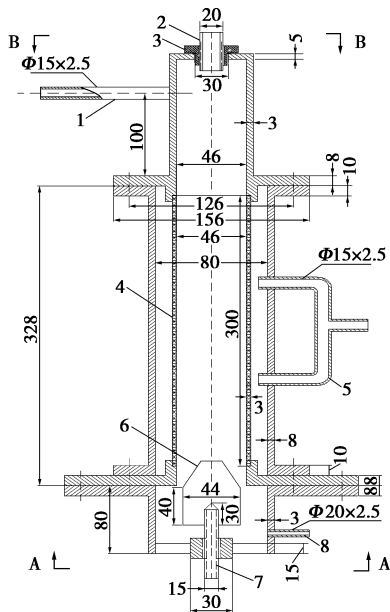


图1 ASH分离原理

1.2 ASH 结构

充气水力旋流器的外形为圆柱形,由进料段、浮选段、底流段3部分组成,ASH结构如图2所示。在进料段的中上部是进料管,采用切向进料方式;进料段顶部设计有溢流管和压盖;压盖外侧与进料段顶部螺纹连接,内侧与溢流管螺纹连接,可以根据水质要求配套不同直径的压盖和溢流管。浮选段由内外2层腔体构成,内层选用北京有色金属研究院制造的烧结钛多孔管,与进料段内径相等,器壁平均



1—进料管;2—溢流管;3—压盖;4—多孔器壁;
5—进气管;6—泡沫底座;7—螺杆;8—底流管

图2 自制ASH结构图

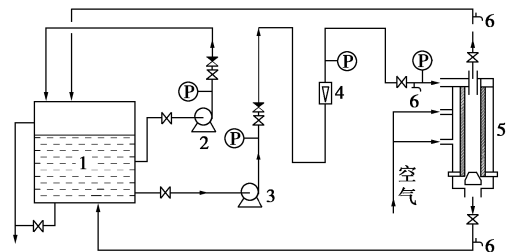
孔径为 $5 \mu\text{m}$;ASH 外层采用 1Cr18Ni9Ti 不锈钢材料制作;其上均安装有同样材质的进气管,为使进气均匀,进气分为 2 股;为防止气流对多孔管局部造成冲击,将进气管的管头封闭,空气通过管径向上所开的数个均匀小孔而进入夹套。底流段材质为普通碳钢,其底部套有内丝,与螺杆配合。螺杆的顶部通过螺纹连接的方式将泡沫底座紧固。泡沫底座为截锥形,通过螺杆的旋转,可以实现泡沫底座的升降,调节改变底流环隙面积和分离的有效高度,进而改变底流流量、溢流流量和停留时间等重要参数,设备的底部设计有底流管,用于排出净化后的水。

多孔管是整个 ASH 的核心部件,其平均孔径为 $5 \mu\text{m}$,空隙度为 $30\% \sim 50\%$,内径 $\Phi 46 \text{ mm}$,壁厚 3 mm ,长度 500 mm ,透气率为 $(2 \sim 9) \times 10^{-3} \text{ L}/(\text{min} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{mm H}_2\text{O})$;根据前期基础实验研究结果^[5],进料口直径优化为 10 mm ;溢流管内径选定 28 mm ,底流口当量直径为 26 mm 。

2 实验研究

2.1 实验方法

为了考察 ASH 对含油污水的处理效果,设计了如图 3 所示的工艺流程。



1—水箱;2—剪切泵;3—水泵;4—流量计;5—ASH;6—取样阀

图3 ASH净化炼油污水的工艺流程

配置含油污水所用的污油取自某炼油厂污水处理车间污油池,该污油是炼油污水源水经平流隔油-斜板隔油后所回收得到的,利用该污油配水几乎可以完全还原炼油污水性质。污油用胶体磨处理后置入水箱中,同时开启高速旋涡泵循环剪切 $24 \sim 48 \text{ h}$,形成良好的油滴分散状态,控制含油质量浓度为 800 mg/L 。炼油污水配制完成后,由离心泵送料,经流量计后进入 ASH 进行分离,由空气压缩机为 ASH 充气。分离后产生的净化水与含油浓液各自回到水箱继续混合。

水中含油浓度选用国标 GB/T16488—1996 中的红外光度法进行测量。分离效率的计算采用折算分

离效率: $\epsilon = 1 - c_u/c_i$, 式中 ϵ 为分离效率(%); c_u 为底流中油的质量浓度(mg/L); c_i 为进料中油的质量浓度(mg/L)。

2.2 实验结果与讨论

对影响 ASH 分离性能的各参数进行了分组实验, 实验目的在于找出该 ASH 的最优参数组合, 为现场中试试验提供依据。

2.2.1 流量对分离性能的影响

ASH 内部流场的建立必须有足够的进料速度, 以产生足够的离心加速度。流量对分离效率的影响见图 4。由于在低流量下介质所受的离心力较低, 低流量条件下水力旋流器分离效率较差。而当进料量过大时, ASH 内部不能形成正常的流场, 导致旋流器中产生更大的旋流, 这使乳状液滴分裂成更小的小液滴, 从而使分离效率急剧降低。实验表明, 进料流量为 $5.0 \text{ m}^3/\text{h}$ 时, 分离效率最高, 达到 81%。实验中, 气液体积比控制为 0.30, 分流比设定为 0.15。

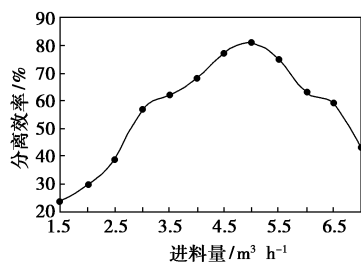


图 4 流量对分离效率的影响

2.2.2 气液体积比对分离性能的影响

气液体积比与分离效率的关系如图 5 所示。由图 5 可以看出, 气液体积比对分离性能影响较大。在流量 $5.0 \text{ m}^3/\text{h}$ 、分流比为 0.15 条件下, 最佳气液体积比为 0.30 ~ 0.35。气液体积比较小时, 注入的气体与产生的气泡数量都很少, 不能形成稳定的含油泡沫柱, 表现出较低分离效率; 气液体积比较大时, 气泡数量急剧增加, 严重干扰旋流层的流动状态, 并且造成气泡间的迅速合并, 同样造成分离效率的下降。因此 ASH 气液体积比参数必须设定在一个合理范围内。

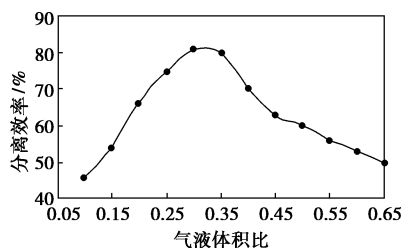


图 5 气液体积比对分离效率的影响

2.2.3 分流比对分离性能的影响

分流比对分离性能的影响见图 6。实验结果表明, 分流比对分离效率的影响较大。由图 6 可以看出, 分离效率先是随着分流比的增大而增大; 在流量 $5.0 \text{ m}^3/\text{h}$ 、气液体积比为 0.30 条件下, 分流比为 0.16 ~ 0.18, 分离效率最高可达 82%, 随后分离效率逐渐减小。分流比较小, 旋流分离出的油相不能有效排出, 导致分离效率下降。而分流比过大, 溢流短路现象加剧, 同样导致分离效率降低。

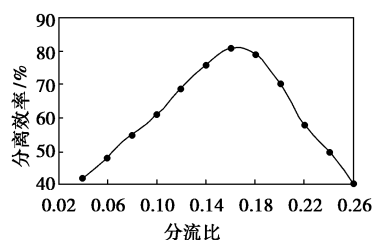


图 6 分流比对分离效率的影响

2.2.4 油滴粒径对分离性能的影响

为探索 ASH 所能分离油滴粒径的下限, 测量了最高分离效率时的底流口出水中的油滴粒径, 底流出口水中油滴的平均粒径为 $4.18 \sim 7.40 \mu\text{m}$, ASH 对于粒径小于此范围的油滴几乎无分离效果, 可见 ASH 所能分离最小粒径为 $4 \mu\text{m}$ 左右。

3 现场中试研究

3.1 中试试验工艺

现场中试在某炼油厂污水处理场内完成, 进水来自平流隔油池, 平均油质量浓度为 $650 \sim 1120 \text{ mg/L}$ 。操作条件为: 进料量 $5.0 \text{ m}^3/\text{h}$ 、气液体积比 0.30 ~ 0.35、分流比为 0.16 ~ 0.18。现场工艺流程见图 7。来水经柱塞泵加压进入 ASH, 厂内净化风作为气源, 底流水去斜板隔油池, 溢流油相回平流隔油池。

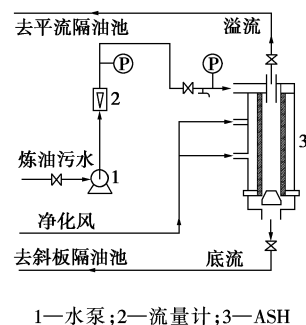


图 7 ASH 净化含油污水的中试工艺流程

锅炉)产生 40 kPa 蒸汽,反应气体出料温度降至 120℃。

该流程明显的优点是:反应器流出的高温气体以最短的途径从三级换热器的管程通过,沿程压降小(< 7 kPa),并且热损失小,反应出料的高温显热得到充分回收。

2 存在问题及分析

2.1 存在的问题

上述流程虽然在热量回收和压降控制方面优点突出,但在实际工业装置运行中仍存在一些问题,据报道,国内采用该流程的某苯乙烯装置在运行不到 2 年时间内,三级组合换热器的第 1 级乙苯过热器就多次发生换热管与固定管板连接处被拉裂,壳侧的乙苯原料严重泄漏至管程而被迫全线停车,并且这种情况在不同规模的苯乙烯装置上时有发生,严重影响了苯乙烯装置的正常生产^[5-8]。

2.2 原因分析

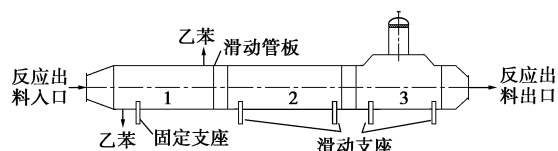
三级组合换热器的第 1 级乙苯过热器工艺操作条件十分苛刻,其典型操作条件见表 1。

从表 1 可知:乙苯过热器的管程平均壁温高达

表 1 第 1 级换热器工艺操作条件

	管程	壳程
进/出口温度/℃	570/340	95/500
进/出口压力/ kPa(绝压)	40/38	100/80
介质	乙苯脱氢反应产物(气相)	乙苯原料与水蒸气(气相)
程数	1	1

460℃,壳程平均壁温为 300℃,管、壳程温差达 150℃,特别是低温端(近第 2 级换热器处)温差达 250℃,这必然使两者的热膨胀量存在很大的差别,通过计算,该差值达 30 mm 以上。如果管/壳程的膨胀差得不到协调,将会导致换热管拉裂而使设备失效。为此,工业上常采用设置滑动管板来解决热膨胀不均的问题,并通过填料函实现管程和壳程介质的分隔(见图 2)。



1—乙苯过热器;2—低压废热锅炉;3—低低压废热锅炉

图 2 卧式组合式换热器吸收热膨胀结构示意图

(上接第 64 页)

3.2 中试试验结果与分析

ASH 中试试验结果见图 8。ASH 进水含油质量浓度平均为 909 mg/L,出水含油质量浓度平均为 227 mg/L,满足进入斜板隔油处理或两级气浮处理的进水水质要求。现场中试分离效率达到 74.7%,与小试实验结果相比约下降了 6%,这是受现场水质波动的影响。出水达到了该炼油污水处理场平流隔油池水力停留时间 4 h 时的处理效果,而 ASH 停留时间仅为 1 s 左右。

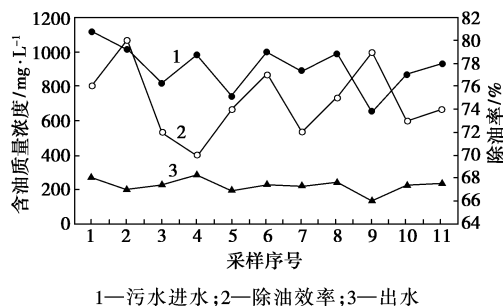


图 8 ASH 中试效果

4 结论

(1) 自制充气水力旋流器,并对其结构进行了优

化;实验室小试与现场中试中 ASH 均能成功地用于含油污水的净化。

(2) 将 ASH 用于含油污水净化实验,得出优化操作条件为:进料量 5.0 m³/h、气液体积比为 0.30 ~ 0.35、分流比为 0.16 ~ 0.18,上述条件下,ASH 分离效率最高达 82%,除油粒径的下限为 4 μm 左右。

(3) 在某炼油污水处理场开展现场中试,除油率达 74.7%,出水满足斜板隔油处理或两级气浮处理进水的要求;ASH 具有效率高、体积小、停留时间短等突出优势,具有替代常规隔油处理工序的潜力,在含油污水处理领域有较好的应用前景。

参考文献

- [1] 赵立新,朱宝军,李枫,等.气携式液-液水力旋流器分离性能影响因素[J].化学工程,2007,35(2):43-47.
- [2] 袁惠新,俞建峰,蔡小华.用旋流分离器处理含油污水的前景[J].炼油设计,2000,30(5):48-51.
- [3] 裴世瑜,汪华林,李小勇,等.含油污水气浮旋流耦合分离方法的研究[J].华东理工大学学报:自然科学版,2005,31(3):376-378.
- [4] Miller J D, Hupka J. Water de-oiling in an air-sparged hydrocyclone flotation[J]. Filtration & Separation, 1983(7/8):279-282.
- [5] 刘洪敏.充气水力旋流器处理含油污水的应用研究[D].北京:中国石油大学,2006. ■