

文章编号: 1004-0609(1999)03-0610-05

水力旋流器用于含油废水处理^①

宋振东

(武汉工业大学 资源与环境工程系, 武汉 430070)

摘 要: 水力旋流器可用于脱除水体中的漂浮油和分散油, 在环境工程中适用于小批量和船舶等特殊场合含油废水的处理。采用 $d50\text{ mm}$ 旋流器对含油废水进行了油水分离实验研究, 分别讨论了角锥比、工作压力、含油类型和水温等参数对脱油效率的影响, 并用旋流器中离心力场的“聚并上浮”和紊流场的“碎裂弥散”观点合理地解释了试验规律。实验结果表明: 用 $d50\text{ mm}$ 旋流器, 当溢流口直径 8 mm , 底流口直径 11 mm , 工作压力 0.28 MPa , 水温 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, 处理锅炉厂质量浓度为 1025 mg/L 的含机油废水时得到的底流, 含油质量浓度为 82 mg/L , 溢流产率 23.35% , 脱油率 93.89% 。

关键词: 水力旋流器; 废水处理; 除油; 碎散—聚浮理论模型

中图分类号: X703

文献标识码: A

水力旋流器在矿物分级与分选方面已得到成功的应用^[1,2], 有关水力旋流器中固液两相运动规律也有较多研究^[3,4]。但水力旋流器在环境工程中, 用于含油废水的处理还是一个较新的课题, 旋流器用于液—液分离的研究相对较少。

含油废水主要来自石油开采、石油化工、金属加工、机械制造和粮油精制等工业排放的废水。它是一种对水资源、生态平衡和人类健康危害极大的污染源。含油废水的处理可采用物理法、物理化学法、生物化学法和电化学法等方法^[5]。目前在废水一级处理中用得较多的是物理法, 典型设备是隔油池, 这是一种在重力场中采用平流方式连续浮出废油的一种方法, 该法设备构造简单、管理方便、运行费用低; 但由于其占地面积大、分离时间长、脱油效率低等缺点, 在某些场合又限制了它的使用。在离心力场中采用水力旋流器分离含油废水, 则设备紧凑、占地面积小、分离效率高, 特别是对小批量含油废水的处理是一种理想的

方法。

本文作者对水力旋流器处理含油废水的原理和参数的选择进行了实验研究, 得到了一些有益的结论。

1 理论模型的提出

油在水体中存在的形式, 根据油珠的大小分为漂浮油、分散油和乳化油。“漂浮油”的油珠颗粒较大, 在水中能很快上浮到水面; “分散油”为微小的油珠颗粒, 分散悬浮在水相中, 是一种不稳定的存在形式, 受外力作用可以聚并成比较大的油珠上浮到水面, 也可进一步碎散成更小的油珠弥散在水中; “乳化油”是以分子状态或化学方式分散于水中, 比较稳定, 在重力场和一般的离心力场中很难分离。我们研究水力旋流器处理含油废水, 主要是分离“漂浮油”和“分散油”。

油和水的分离是按密度差进行的, 从理论上讲只要分离时间足够长, 油和水就可完全分

① 收稿日期: 1998-10-31; 修回日期: 1999-02-25

宋振东(1943-), 男, 副教授

离。由于实际含油废水在旋流器中停留时间很短, 因此油珠“上浮”速度就成为影响脱油率(油在溢流中的回收率)的重要因素。水力旋流器中, 高速旋转的液流产生强大的离心力场, 使油珠沿径向受到相当于重力场几十倍甚至上百倍的浮力作用, 并沿径向“上浮”, 上浮过程中小油珠聚并成大油珠又加快了上浮速度, 此为离心力场对油珠的“聚并上浮效应”。另一方面, 水力旋流器内液流呈高度的紊流状态, 并构成一个紊流流场, 紊流场中存在紊动扩散和剪切弥散作用, 并以后者为主^[6]。根据实测数据, $d50\text{ mm}$ 旋流器的溢流口直径 8 mm , 底流口直径 11 mm 和入口压力 0.28 MPa 时, 入口流速为 9.69 m/s , 入口雷诺数为 8.75×10^5 。液流沿切向进入旋流器后形成剪切紊流, 在切向、径向、轴向分速度上均有剪切率存在, 并以切向速度沿径向的剪切率最大^[7]。剪切应力对油珠产生撕裂和弥散作用, 使油珠由大变小甚至乳化, 此为紊流场对油珠的“碎裂弥散效应”。油珠的碎裂程度取决于油珠的表面张力与紊流剪切应力的平衡。在离心力场的“聚并上浮效应”和紊流场的“碎裂弥散效应”共同作用下大部分油珠沿径向“上浮”, 并随内旋流从溢流口排出, 一些被碎裂弥散的微小油珠来不及“上浮”而随外旋流从底流口排出。这种用碎裂弥散和聚并上浮效应来解释旋流器中油和水的分离过程, 我们称为“碎散—聚浮”模型。

2 实验方法

实验用两种水样, 1号水样采自武汉某油脂厂, 主要污染油为植物油; 2号水样采自武汉某锅炉厂, 主要污染油为机油。水力旋流器采用 $d50\text{ mm}$ 聚氨酯旋流器, 旋流器直径 50 mm , 锥角 7° , 高度 435 mm ; 溢流口可调直径为 14 mm , 11 mm , 8 mm , 6 mm ; 底流口可调直径为 10 mm , 8 mm , 6 mm 和 3 mm 。实验时改变旋流器的角锥比、工作压力、含油性质和水温。找出合理的结构参数和操作参数, 并对实验规律用理论模型解释。油浓度的测定采用石

油醚萃取重量法。

3 实验结果及讨论

3.1 角锥比的影响

角锥比是水力旋流器底流口和溢流口的比值, 它影响水力旋流器底流和溢流的水量分布和油浓度, 在相同的角锥比时, 底流口和溢流口的不同组合也将影响脱油效率。实验固定条件为: 工作压力 0.24 MPa , 水温 20°C 。实验用样为 1 号水样, 油的质量浓度 1010 mg/L 。第一组实验, 同时改变底流口和溢流口大小, 保持角锥比(底流口/溢流口)等于 1, 变量为: $6/6$, $8/8$, $11/11$, 实验结果见图 1; 第二组实验中, 改变角锥比的大小, 变量为: $6/8=0.73$, $8/8=1$, $11/8=1.38$, $11/6=1.83$, 实验结果见图 2。

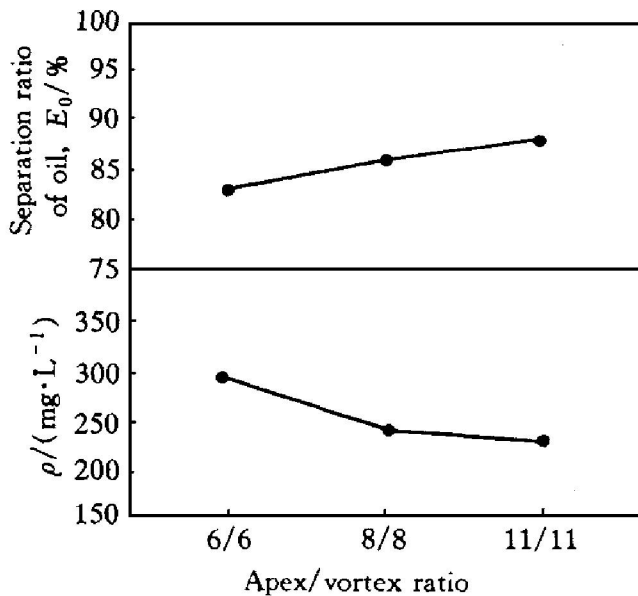


图1 角锥比为1时的脱油指标

Fig. 1 Parameter of separating oil at 1:1 apex/vortex ratio

第一组实验结果表明, 在相同的角锥比下, 底流口和溢流口较大时脱油率指标(E_0)较高, 底流含油指标(ρ)较低。这一结果可用理论模型解释, 即在旋流器中液流切向速度随回转半径减小而增大, 当回转半径接近溢流口半径时有一最大值, 在旋流器壁到最大切线速度处的范围内, 剪切速率大小与旋流器入口尺寸大小有关^[8]。同理, 当入口尺寸固定时剪切速

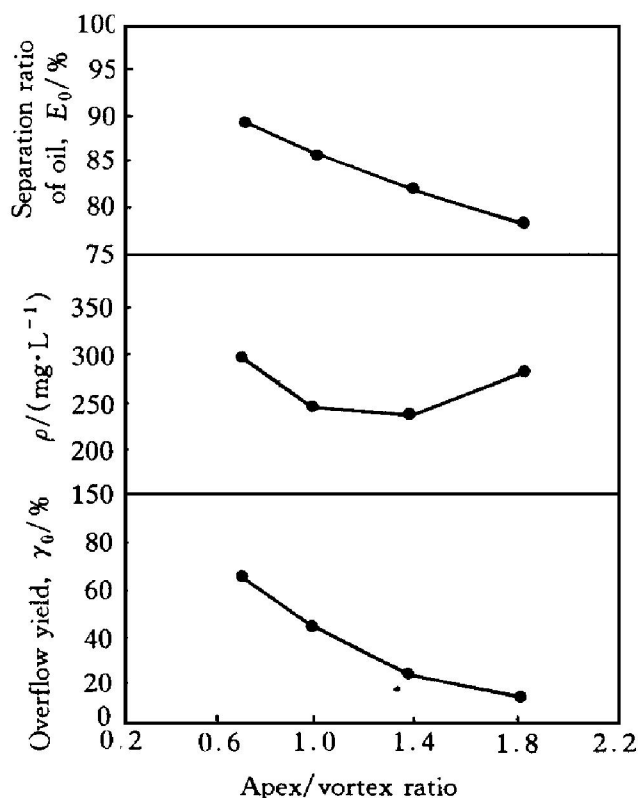


图2 脱油指标与角锥比的关系

Fig. 2 Dependence of parameters separating oil on apex/vortex ratio

率则随底流口和溢流口增大而减小。随剪切速率减小,紊流场对油珠的“碎裂弥散效应”减弱,有利于油珠的“聚并上浮”,表现出脱油率增大,底流含油浓度减小,如图1。第二组实验结果表明,随角锥比增大,溢流产率(γ_0)减小,脱油率(E_0)减小,底流油浓度(ρ)初期减小而后增大,有一最小值,如图2。这一结果与一般规律符合^[9],但应注意到角锥比为11/8=1.38时,底流口和溢流口处于最大值,此时碎裂效应的影响最弱,所以在角锥比1.38时综合指标最好,与上述理论模型的分析是吻合的。

实验结果为:角锥比为1.38时,溢流产率为22.27%,脱油率为82.08%,底流油浓度为234 mg/L。

3.2 工作压力影响

水力旋流器的工作压力是影响旋流器工作效率的重要因素,对油和水的分离有其最佳值。实验固定条件为:溢流口直径8 mm,底流口直径11 mm,水温20℃;实验用样为1号水

样,含油质量浓度1010 mg/L。变量为压力,分别是0.20, 0.24, 0.28, 0.32 MPa。实验结果见图3。

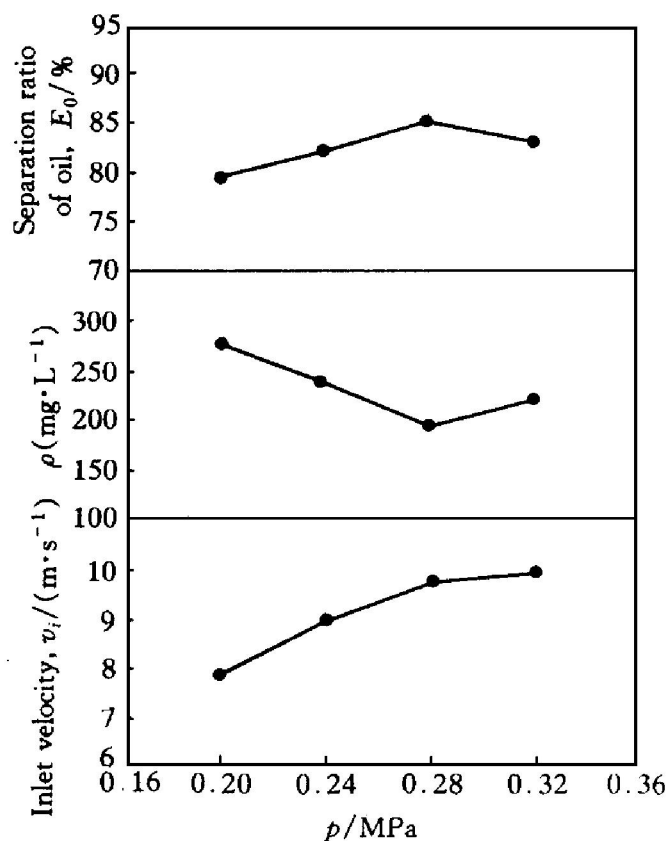


图3 脱油指标与压力的关系

Fig. 3 Dependence of parameters separating oil on pressure

实验结果表明,随压力增高脱油率曲线开始上升而后下降,压力为0.28 MPa时脱油率和底流浓度有最佳值,这一结果可用理论模型解释,即从图3可以看出,入口流速(v_i)随压力增大而增大,并分为两个阶段:第一阶段压力从0.20 MPa增大到0.28 MPa,入口流速从7.91 m/s增大到9.69 m/s;第二阶段压力从0.28 MPa增大到0.32 MPa,入口流速从9.69 m/s增大到9.98 m/s。第一阶段流速增幅较大,离心加速度随切向速度的二次方增大,引起离心力场强度明显增强,相比之下紊流场增强的影响不明显。进入第二阶段后流量趋于饱和,流速增幅变小,紊流场增强的影响逐渐显示出来。所以,第一阶段离心力场增强较大,“聚并上浮效应”占主导,表现出脱油率随压力增大而增大;第二阶段紊流场增强的影响明显,“碎裂弥散效应”影响相对加大,所以表现

出脱油率随压力增大而减小。

实验结果为: 压力为 0.28 MPa 时, 溢流产率为 22.74%, 脱油率为 85.20%, 底流油浓度为 194 mg/L。

3.3 油的性质和水温的影响

含油废水中油的性质和水温是影响脱油效率的又一重要因素。实验固定条件为: 溢流口直径 8mm, 底流口直径 11mm, 工作压力 0.28 MPa, 实验样为 1 号水样和 2 号水样, 含油浓度分别为 1010 mg/L, 和 1025 mg/L。水温为变量分别是 15, 20, 25, 30 °C。实验结果见图 4。

实验结果表明, 2 号水样(图 4 曲线 2)的脱油率高于 1 号水样(图 4 曲线 1), 底流含油低于 1 号水样, 且随水温增高两种水样脱油效率均降低。这一结果可用理论模型解释, 即 2 号水样为机油, 1 号水样为植物油, 机油的粘度高, 抗碎散作用较强, 因而在紊流场中不易被碎散, 油珠相对较大, 聚并上浮效应占优势, 所以 2 号样的脱油率较高, 底流含油较低。同样道理, 当水温升高时油的粘度降低, 如理论模型所述, 油珠的碎裂程度取决于油珠的表面张力与紊流剪切应力的平衡, 粘度降低和表面张力减小, 使平衡向油珠减小方向移动。由于紊流对油珠的碎裂弥散效应相对加强, 导致脱

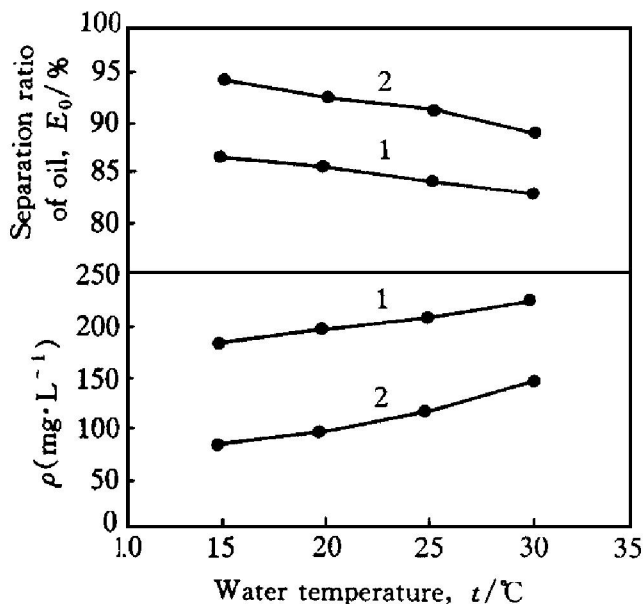


图 4 脱油指标与油的性质和水温的关系

Fig. 4 Dependence of parameters separating oil and oil property on water temperature

油率下降, 底流油浓度升高。

实验最终结果是: 水温 15 °C 时, 1 号水样溢流产率 23.0%, 脱油率 86.30%, 底流油浓度 180 mg/L; 2 号水样溢流产率 23.35%, 脱油率 93.89%, 底流油浓度 82 mg/L。

4 结论

(1) 影响水力旋流器脱油率的主要操作和结构参数有工作压力、角锥比、含油类型和水温等。实验表明, $d50$ mm 旋流器, 溢流口直径 8 mm, 底流口直径 11 mm, 工作压力 0.28 MPa, 水温 15 °C, 处理油脂厂和锅炉厂含油废水, 其浓度分别为 1010 mg/L 和 1025 mg/L, 溢流产率分别为 23.00% 和 23.35%, 脱油率分别为 86.30% 和 93.89%, 底流油浓度分别为 180 mg/L 和 82 mg/L。

(2) 用“聚并上浮”和“碎裂弥散”的观点合理解释了试验现象, 用于指导含油废水处理有一定的理论意义和实用价值。

REFERENCES

- 1 Song Zhendong (宋振东). Journal of Wuhan University of Technology(武汉工业大学学报), 1997, 12(1-2): 69.
- 2 Song Zhendong (宋振东). Journal of Wuhan University of Technology(武汉工业大学学报), 1997, 19(2): 38.
- 3 Song Zhendong (宋振东). The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1998, 8(3): 492.
- 4 Xu Jirun(徐继润) and Luo Qian(罗茜). The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1998, 8(3): 487.
- 5 Xu Genliang (徐根梁), Zeng Jing (曾静) and Weng Jianqing (翁建庆). Technology of Water Treatment(水处理技术), 1991, 17(1): 1.
- 6 Liang Zaichao (梁在潮). Multiphase Flow and Coherent Structure of Turbulence (多相流与紊流相干结构), Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press. 1994: 105~108, 219.
- 7 Lilge E O. Bull Thst Min Metall, 1962, 71: 285~337.
- 8 Bradley D. Ind Chem, 1958, 34: 437.
- 9 Xu Deming (许德明). Metall Mine (金属矿山), 1993, (11): 31.

Hydrocyclone used in oil-containing wastewater treatment

Song Zhendong

*Department of Resources and Environment Engineering,
Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, P. R. China*

Abstract: The hydrocyclone can be used for separating float-oil and disperse-oil in water, and is suitable for the treatment of oil-containing wastewater of small amount in environment engineering. Based on experiment, the effects of apex/vortex ratio, work pressure, oil-containing type and water temperature on the efficiency of separating oil have been discussed, and experiment rules were explained by disintegrate-disperse and mass-rise theory. The oil-containing wastewater of 1 025 mg/L consistence was treated using a d 50 mm hydrocyclone with overflow diameter 8 mm, underflow diameter 11mm at work pressure 0.28 MPa, water temperature 15 °C, obtained results were underflow oil-containing consistence 82 mg/L, overflow yield ratio 23.35%, oil separation ratio 93.89%.

Key words: hydrocyclones; wastewater treatment; separation of oils; disintegrate-disperse and mass-rise theory model

(编辑 吴家泉)