

信息技术应用

废油三场耦合破乳脱水工艺与装置

龚海峰^{1,2*}, 张贤明¹, 彭 焱³, 尚浩浩², 汪静姝²

(1. 重庆工商大学废油资源化技术与装备工程研究中心, 重庆 400067;

2. 重庆理工大学机械工程学院, 重庆 400054; 3. 兰州理工大学机电工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要:通过提出联合旋流离心场、脉冲电场及真空温度场三场耦合破乳脱水的工艺设计构想, 设计了电场-旋流耦合破乳单元和真空加热破乳单元联合脱水工艺流程。运用三维建模, 优化整体机构布局, 设计开发废润滑油三场破乳脱水净化装置。试验结果表明, 该装置与传统的净化工艺相比较, 具有能耗小、耗时短等特点。

关键词:破乳脱水; 三场; 耦合; 废油**中图分类号:** TQ051**文献标志码:** A**文章编号:** 0253-4320(2016)01-0164-04**DOI:** 10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2016.01.040**Three-fields coupled procedure and equipment for demulsification and dehydration of waste oil**GONG Hai-feng^{1,2*}, ZHANG Xian-ming¹, PENG Ye³, SHANG Hao-hao², WANG Jing-shu²

(1. Chongqing Technology and Business University, Engineering Research Centre for Waster Oil Recovery Technology and Equipment, Chongqing 400067, China; 2. School of Mechanical Engineering, Chongqing University of Technology, Chongqing 400054, China; 3. School of Mechanical and Electronical Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: The procedure idea by coupling of the whirl centrifugal field, the pulsed electric field and the vacuum temperature field is put forward for demulsification and dehydration of waste oil. The coupled pulsed electric field/rotational flow demulsification unit and the vacuum heating demulsification unit are designed. A three-field demulsification dehydration purification plant for waste lubricating oil is developed and exploited by 3D modeling and optimizing the global organization layout. The prototype test results show that the facility is more energy efficient and time-saving than the traditional purification devices.

Key words: dehydration; three fields; coupling; wasted oil

润滑油由于物理、化学或人为等因素, 在使用一段时间后性能发生劣化, 无法继续使用形成废润滑油^[1-2]。在石油资源短缺的今天, 各国出于国家战略、经济发展及环境保护的需要, 都相当重视废油的再生利用^[3-5]。在众多的废润滑油再生工艺中, 对废油进行破乳脱水处理是首要环节^[6]。常用的润滑油破乳脱水净化方法有沉降法、离心法、真空加热法、过滤法、化学法等, 但均存在一定的不足^[7]。

目前在废油脱水净化处理上, 采用最多的是利用真空减压加热方法进行油水分离处理。对于组成结构复杂的废油乳状液, 应用单一的物理手段难以完成快速有效破乳, 只有将2种或2种以上的单元操作通过优化组合来实现常规工艺难以适应的分离过程, 这种耦合或集成技术是乳化油破乳技术发展的主流^[8]。本文将着重探讨旋流离心场、脉冲电场及真空温度场三场耦合破乳工艺与装置设计。

1 工艺设计与流程

1.1 工艺设计

高压脉冲电场破乳技术不但能够建立高压稳定

破乳电场, 而且与传统的直流、交流电破乳相比, 更加节省电能^[9]。水力旋流器是通过对不同密度液体的旋流离心作用, 把2种液体分开, 是目前应用很广泛的液-液分离设备, 具有体积小、重量轻、操作维修简单、流量适应范围宽等优点^[10]。真空加热是目前应用最广泛的乳化油破乳脱水方法, 能够对油液进行深度脱水^[11]。因此, 提出多场耦合实现废润滑油破乳脱水处理工艺, 基本设计构想是: 耦合旋流场、脉冲电场及真空温度场, 利用脉冲电场结聚水滴, 旋流场除去大粒径水滴, 真空温度场除去微小粒径水滴等特点, 通过合理集成, 实现废润滑油高效破乳脱水处理。工艺设计构想如图1所示。

在图1中, 高压脉冲电场能够很好地完成乳化油中小水滴的聚结, 旋流离心场取代了传统重力场并极大地加快了液滴沉降过程, 使得进入真空加热单元的乳化油含水量达到较低的水平, 为后续的深度破乳脱水降低了耗时和能耗。这种多场耦合破乳脱水工艺对于设计研制高效、快速、节能的废油破乳脱水装置以及满足废润滑油再生净化具有重要作用。

收稿日期: 2015-07-27

基金项目: 重庆市教委科学技术研究项目(KJ1500928); 中国博士后科学基金项目(2015M572640XB); 教育部平台科技资助项目(fykf201511)

作者简介: 龚海峰(1979-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为废油再生技术与装置, 通讯联系人, 023-62563400, ghf79016@163.com。

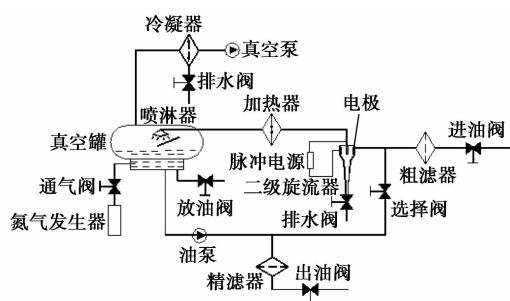


图1 三场耦合破乳脱水工艺设计构想

1.2 工艺流程

按照工艺设计构想,考虑到工艺的实用性和可操作性,三场耦合废油破乳工艺流程如图2。流程分为2个环节,分别是高压脉冲电场-旋流离心联合破乳脱水环节和真空加热破乳脱水环节。在电场-

旋流联合破乳脱水环节,在螺杆泵作用下废油由进油阀通过粗滤器,可脱去油中部分固体杂质(如金属颗粒、沙粒等);在水力旋流器中融合脉冲电场,从粗滤器流出的乳化小液滴在电场作用下结聚变大,在旋流离心作用下迅速完成分离脱水;从旋流器溢流口流出的油液含水量较少,仅用旋流和电场是难以去除的,油液经预处理后进入大缓冲罐。此外,经旋流器底流口流出的油液含水量较高,进入小缓冲罐。在真空加热环节,在负压作用下,油液从大真空罐进入加热器,油液中少量水分在真空条件下被迅速气化,进入真空罐,使得油中水蒸汽充分释放,水蒸汽进入冷凝器后冷凝成水。此外系统还设置了内循环功能,增加油液流经真空罐的次数,使油液达到深度净化。

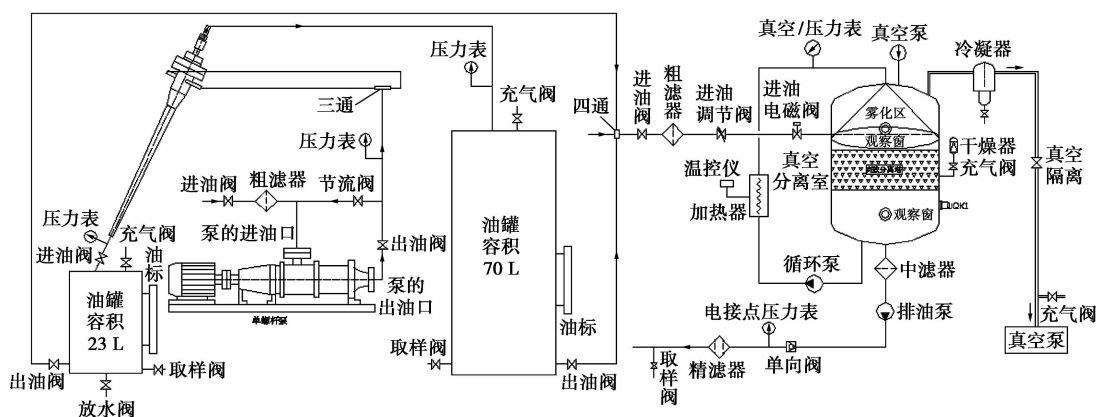


图2 工艺流程示意图

(上接第163页)

气升式反应器的内外筒可很好地实现限氧区和厌氧区的分隔,为AOB好氧菌和ANAMMOX厌氧菌分别提供适宜的生长环境,可提高不同菌种的活性,从而实现部分硝化和厌氧氨氧化的不同功效,通过控制曝气方式、曝气量、曝气时间等参数,可调控半硝化-厌氧氨氧化同步联合工艺性能,实现废水在一体化反应器中较好的脱氮效果。

参考文献

- [1] 郝晓地,仇付国, W1 R1 L1 van der Star, 等. 厌氧氨氧化技术工程化的全球现状及展望[J]. 中国给水排水, 2007, 23(18): 15-19.
- [2] Sergey K, Marina G, Arnold M, et al. New biological nitrogen removal process based on anaerobic ammonia oxidation coupled to sulphide driven conversion of nitrate into nitrite[J]. Wat Res, 2006, 40(9): 3637-3645.
- [3] 周呈, 黄勇, 李祥. 部分亚硝化——厌氧氨氧化联合工艺处理高

氨氮废水研究进展[J]. 水处理技术, 2014, 40(4): 11-15.

- [4] 李祥, 黄勇. 基于竖流式一体化反应器实现自养生物脱氮研究[J]. 中国环境科学, 2014, 34(6): 1471-1477.
- [5] Kenji Furukawa, Hayato Hohman, et al. Study on nitrogen removal performance for single stage nitrogen removal using Anammox and Partial Nitritation (SNAP) process [J/OL]. Osaka University Knowledge Archive: OUKA. <http://ir.library.osaka-u.ac.jp/dspace/>.
- [6] Egli K, Fanger U, Alvarez P J J, et al. Enrichment and characterization of an Anammox bacterium from a rotating biological contactor treating ammonium-rich leachate [J]. Archives Microbiol, 2001, 175: 198-207.
- [7] 卢刚, 郑平. 气升式内环流反应器流体力学特征探讨[J]. 浙江大学学报, 2003, 29(2): 188-194.
- [8] 朱家亮, 张涛, 韦朝海. 基于结构参数响应的内循环流化床流体特性优化数值模拟[J]. 环境科学学报, 2012, 32(11): 2732-2740.
- [9] 郑冰玉, 张树军. 一体化厌氧氨氧化工艺处理垃圾渗滤液的性能研究[J]. 中国环境科学, 2014, 34(7): 1728-1733.
- [10] 高彦宁, 刘志军, 等. 循环流化床厌氧氨氧化反应器脱氮性能研究[J]. 现代化工, 2011, 31(7): 75-78. ■

2 装置设计与建模

2.1 电场-旋流耦合单元

利用旋流离心场取代重力场,此单元耦合了旋流离心场和高压脉冲电场,即运用高压脉冲电场在短时间内完成乳状液小水滴的聚结,旋流器离心场在短时间内实现聚结液滴的沉降分离,从整体上提高乳化油破乳脱水效率,实现废油高效快速脱水^[12]。

在图 3 中,该单元主体为双锥段水力旋流器,为了稳定流场设计了切向双入口^[13]。考虑到此旋流器属脱水型旋流器,相比脱油型旋流器增大了溢流口直径,可让油相快速流出;同时,增大了旋流器锥段顶角,其目的也是加快油相的流出^[14]。溢流管在直管段有伸长量,选用材料为铜材,采用绝缘材料与筒身绝缘,可作为高压电场正极,旋流器直管段可作为高压电场的负极,这样在旋流器直管段可形成高压电场。

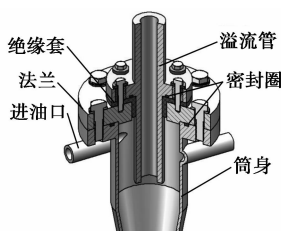


图 3 电场-旋流耦合单元

对于旋流器公称直径的选择与设计,其公称直径选为 $d_0 = 26$ mm,依据旋流器常用设计原则,旋流器直段内径设计为 $d_1 = 55$ mm。由于溢流管在直管段有伸长量,干扰了流场,在设计时旋流器直管段内径增大到 $d_0 = 70$ mm。为了考察 2 种管径设计的合理性,利用 Ansys 对 2 种管径参数的水力旋流器进行了数值仿真,其结果见图 4。

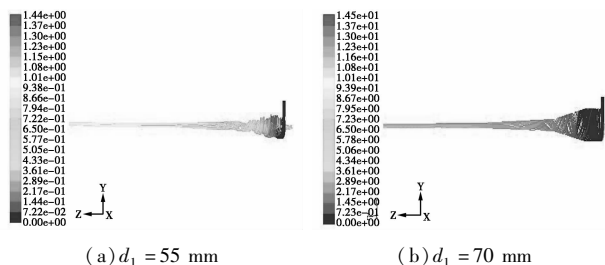


图 4 2 种管径旋流器的 Ansys 数值仿真

仿真结果表明,在直管段 $d_1 = 55$ mm 旋流器中,有较多水颗粒从溢流管流出;在 $d_1 = 70$ mm 旋流器中,水颗粒从溢流管中流出的现象并不明显,说

明有较好的分离效果。因此,把旋流器直管段设计为 $d_1 = 70$ mm 较为合理。

2.2 真空破乳脱水单元

根据图 2,乳化废油经电场-旋流耦合单元后,大部分的水从旋流器底流管流出,含水量较少的油从溢流管流出后,在真空单元负压的作用下,进入真空加热单元。该单元采用高效型真空分离塔和专用油液雾化器,分离效率比传统机型高,分离更彻底,大大提高了真空分离的效果^[15]。

在图 2 中,溢流管流出的乳化油由进油阀进入粗滤器,滤去粗大机械杂质,再经进油调节阀、进油电磁阀后进入真空分离室。然后经循环油泵升压后经加热器加热,油温逐级上升,经温控仪控温后,油液在正压力的作用下从真空室顶部经雾化器将油液形成带正压力的油雾罩,可阻止真空分离室内油液泡沫的上升,避免了真空泵在运行中喷油的现象,达到了自动消泡的目的。经雾化后的油液再进入高效分离塔,在高效分离塔中油液再形成展开面积扩大了很多倍的油膜,油中水分迅速由液态转变成气态,伴随着从真空分离室底部溢出的氮气,对油中的水蒸汽进行洗涤,把油中的水分从顶部携带排除。去掉水分的油液在排油泵的作用下从负压油升为正压经单向阀、精滤器从排油口输出,循环 1 次或多次,生成洁净油液。

2.3 三维建模

利用 Solidworks 对三场耦合破乳装置进行模型建立,如图 5,这是装置设计与优化的重要一环。装置结构的整体布局包括组件设计与位置、管路设计与布局等内容,使装置符合高效性和紧凑性要求。

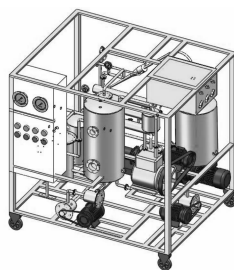


图 5 三场耦合破乳脱水装置三维建模

3 装置试验与分析

3.1 装置参数与试验

根据脉冲电场、旋流离心场、真空温度场联合破乳脱水工作原理,进行装置三维模型,制造出乳化润滑油三场联合破乳脱水装置,如图 6。装置的相关工作性能参数如表 1。



图6 废油三场联合破乳脱水装置

表1 装置工作性能参数

公称流量/ (L·min ⁻¹)	旋流器入口 压力/MPa	泵的总功 率/kW	加热功 率/kW	脉冲电 压/kV	脉冲频 率/Hz
20	0.6	4.5	20	9	60

在装置性能测试试验中,采用含水体积分数为15%的46#汽轮机油乳化油作为实验油样。在试验中,装置分别以2种模式对乳化油进行破乳脱水处理。第一种模式:乳化油先进入脉冲电场-旋流脱水耦合单元进行预处理,然后进入真空加热单元进行循环深度破乳脱水处理;第二种模式:乳化油无需预处理,直接进入真空加热单元。为了考察脉冲电场-旋流离心耦合破乳脱水单元及装置的处理能力和有效性,在第一种试验模式下测试了旋流器溢流口和真空加热单元排油口的油液含水率。此外,还对比了2种操作模式下装置的单位能耗和单位耗时。

3.2 结果与分析

在2种测试模式下,分别进行了3次实验,并对单位能耗和单位耗时进行了对比,结果见表2。其中, $W_{真空}$ 为真空处理单位能耗; $W_{多场}$ 为多场耦合处理单位能耗; $t_{真空}$ 为真空处理单位耗时; $t_{多场}$ 为多场耦合处理单位耗时。

在表2中,乳化油试验油样初始含水体积分数为15%,经脉冲电场-旋流离心耦合单元处理后,使其含水体积分数处在5%~6%,说明此单元具有较好的破乳脱水作用,对于高含水乳化油的预处理是积极有效的。真空装置出油口油液含水体积分数保持在 150×10^{-6} 以下,无论是三场联合破乳脱水,还是传统的真空加热脱水,在经过真空加热单位处理后,油液中含水率均保持在比较小的水平。但是,2种测试模式下,在处理油液达到同一含水率时,其单位耗时和单位能耗差距明显,三场联合破乳比单一真空加热破乳脱水的单位能耗和单位耗时分别降低了80%和80.7%。表2表明,三场耦合破乳脱水装置与单一的真空加热单元处理乳化油,在乳化油的处理效果上是一致的,但是在单位能耗及单位耗时

方面,三场耦合破乳脱水装置要优于真空加热单元处理。旋流-脉冲耦合单元处理乳化油润滑油效果明显,对减少后续真空加热单元处理时间贡献较大。

表2 装置试验结果

测试项目	旋流器溢流口含水率/%	装置出油口含水率/ 10^{-6}	$(W_{真空} - W_{多场}) / (t_{真空} - t_{多场}) /$ $W_{真空} \times 100\%$	$t_{真空} \times 100\%$
第一次	5.5	120	80	80.4
第二次	6.3	145	78	78.5
第三次	5.8	135	83	83.4
平均值	5.9	133	80	80.7

4 结论

- (1)利用高压脉冲电场、旋流离心场和真空加热场进行集成耦合,突破原有单一的处理工艺,能够形成一种新型的废油破乳脱水工艺方法。
- (2)废油三场耦合破乳装置能耗及处理时间要比单一的真空加热处理方法有较大优势。
- (3)电场-旋流耦合单元对于提高整机的处理效率具有重要作用。

参考文献

[1] 徐高洋,陆明. 船用废润滑油的再生[J]. 中国资源综合利用, 2003,22(12):14-16.

[2] 戴钧樑. 废润滑油再生[M]. 北京:中国石化出版社,1999,83.

[3] 杨宏伟,费逸伟,胡建强. 国内外废润滑油再生[J]. 润滑油, 2006,21(6):9-11.

[4] 刘先斌,廖兰,黄菊. 重庆市废润滑油的污染现状及改善策略的研究[J]. 环境科学与技术,2007,31(1):44-46.

[5] 刘先斌,廖兰. 废润滑油再生资源产业化问题的研究[J]. 资源科学,2006,28(2):186-189.

[6] 常汝楫. 航空油料脱水[Z]. 北京:空军油料研究所,1986: 109-112.

[7] 李廷朝,程素萍. 润滑油聚结脱水技术[J]. 液压与气动,2003, 27(1):41-42.

[8] 潘诗浪,张贤明,吴峰平. W/O 乳液破乳方法及机理研究[J]. 重庆工商大学学报:自然科学版,2010,27(2):158-163.

[9] 阎军. 静电场和离心力场联合分离水/油型乳状液[J]. 化工学报,1998,49(1):17-27.

[10] 王文才. 液膜乳化液的离心-脉冲电场连续破乳[J]. 北京科技大学学报,2005,33(5):12-20.

[11] 贾玉梅,张贤明,任宏飞. 真空滤油机油中水分真空蒸发初探[J]. 重庆工商大学学报:自然科学版,2007,27(4):411-414.

[12] 杨秀丽. 离心-脉冲电场作用下 W/O 乳液液滴的动力学研究[D]. 东营:中国石油大学,2009.

[13] 杜红勇. 双锥型油水分离器的 CFD 仿真[D]. 南充:西南石油学院,2005.

[14] 蔡小华,袁惠新. 结构参数对油脱水型旋流器分离性能的影响[J]. 江南大学学报:自然科学版,2002,1(4):391-393.

[15] 黄福盛,涂建山. 提高真空滤油机脱水效率的措施[J]. 过滤与分离,2008,18(4):40-42. ■