

绿色环保

## 废矿物油资源化工艺研究

冯楠 宋士丽 赵发敏

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

**[摘要]** 工业生产过程中产生的大量废矿物油具有较高使用价值。传统的废矿物油再生工艺包括蒸馏-酸洗-白土精制工艺、蒸馏-加氢工艺、蒸馏-溶剂精制工艺,存在产品品质较低、生产连续性差、易产生大量次生危废等问题。为解决上述问题,基于传统工艺,本文采用“减压精馏+离心萃取+溶剂精制”的工艺对废矿物油进行处理。经过预处理、常压脱水、减压精馏、离心萃取、溶剂精制、产品精制等工艺处理后,可得到基础油产品,实现废矿物油的资源化处置。此外,还分析了萃取剂用量、减压精馏塔操作温度、回流比对工艺回收率、产品质量和经济效益的影响。生产中,应根据实际情况选取合适的剂油比、操作温度和回流比。

**[关键词]** 废矿物油; 减压精馏; 离心萃取; 溶剂精制; 危险废物; 回收; 资源化

**[中图分类号]** X703 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1008-5122(2021)05-0030-05

**DOI:**10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2021.05.008

## Research on Process for Resource Recovery of Waste Mineral Oil

FENG Nan, SONG Shi-li, ZHAO Fa-min

**Abstract:** A large amount of waste mineral oil is produced in industrial production, which has high use value. The traditional waste mineral oil regeneration processes includes distillation-acidic-white clay process, distillation-hydrogenation process and distillation-solvent rectification process. These processes have the disadvantages of poor product quality, poor production continuity and being easy to generate large quantity of secondary hazardous waste. In this paper, based on the traditional processes, the process of Rectification under vacuum + Centrifugal extraction + Solvent refining was adopted to handle the waste mineral oil. After being treated by such processes as pre-treatment, normal pressure dewatering, centrifugal extraction, solvent refining, product refining, etc., the base oil product can be obtained to realize the resource recovery of waste mineral oil. Moreover, the impact of extractant use amount, operating temperature of rectification under vacuum and reflux ratio on the process recovery, product quality and economic results was also analyzed. In production, appropriate solvent-oil ratio, operating temperature and reflux ratio should be selected.

**Key words:** waste mineral oil; rectification under vacuum; centrifugal extraction; solvent refining; hazardous waste; recovery; resource recovery

**[收稿日期]** 2021-04-19

**[作者简介]** 冯楠(1988—),男,黑龙江人,硕士,工程师,主要从事固体废物、危险废物处置工艺设计、开发工作。

**[引文格式]** 冯楠,宋士丽,赵发敏.废矿物油资源化工艺研究[J].有色冶金节能,2021,37(5):30-34.

## 0 前言

矿物油是原油经过常压和减压分馏、溶剂抽提和脱蜡、加氢精制产生的一种混合物,主要成分为C15~C36的烷烃、多环芳烃(PAHs)、烯烃、苯系物、

酚类等。

废矿物油通常是经使用后变质的矿物油,主要来源于汽车工业、工矿企业等。主要的杂质包括机械杂质、水分、胶质、焦炭、沥青等物质。其形成的主要原因包括被外来物质污染、吸水、热分解、氧化等<sup>[1]</sup>。与从生物体内提炼的植物油和动物油相比,废矿物油因主要成分为长链烃和芳香族化合物,对生态环境的危害更大。如果不经有效处理直接将废矿物油倒入土壤或水体中,会严重破坏土壤和水体内平衡,威胁人类健康,破坏生态环境<sup>[2]</sup>。

矿物油作为一种化工产品,经复杂工艺提炼而成,使用成本较高。实际上,废矿物油中变质成分所占比例很小,为20%~40%,基础油占60%~80%。因此,采取适当的工艺,将废矿物油进行提炼、净化,去除其中的杂质,回收利用其中的有用物质,既可以有效减少废矿物油对环境的污染,又可以节约资源,具有良好的经济效益和环境效益。

## 1 废矿物油再生工艺

目前,市场上的废矿物油再生工艺主要包括蒸馏-酸洗-白土工艺、蒸馏-加氢工艺、蒸馏-溶剂精制工艺等。

### 1.1 蒸馏-酸洗-白土工艺

蒸馏-酸洗-白土工艺是根据废矿物油性质以及组分,选取硫酸将废矿物油中的氧化物、胶质、沥青质等物质脱除,并添加适量白土进行精制处理,进而产生再生矿物油的工艺。在润滑油的精制中,吸附精制通常使用2%~5%的活性白土。当白土的吸附能力达到饱和时,白土即失去活性,成为废白土。废白土含有约30%的油分,属于危险废弃物,必须进行合理处置<sup>[3]</sup>。

该工艺的主要缺点是会产生大量废酸、废水、废气、废渣,二次污染较严重,增加处置成本,极易对周边环境造成污染,且难以针对性提供防治手段。

### 1.2 蒸馏-加氢工艺

蒸馏-加氢工艺首先通过蒸馏将废矿物油分离出矿物油馏分和沥青质,之后将矿物油馏分进行加氢精制,在高温、高压环境下,通过添加催化剂,使废矿物油中的各种添加剂、氧化物等物质与氢发生反应,从而产生加氢化合物,以去除废矿物油中的杂质<sup>[4]</sup>。

该工艺对原料品质的要求较高,而废矿物油中杂质较多,易导致催化剂失活;此外,加氢工艺对于

安全性及操作要求较高。

### 1.3 蒸馏-溶剂精制工艺

溶剂精制工艺利用所选溶剂对废矿物油不同组分的溶解度存在差异的原理进行萃取分离。在废矿物油溶剂精制过程中,所选用的溶剂对润滑油中的杂质和非理想组分的溶解度较大,而对理想组分的溶解度则很小。因此,通过液相萃取可将杂质和非理想组分除去<sup>[5]</sup>。

由于废矿物油来源广泛,成分复杂,传统的废矿物油蒸馏-溶剂精制工艺容易产生大量不合格产品,导致生产连续性差,频繁停车。此外,萃取剂缺乏回收工艺,会产生大量危险废物。

综上,针对现有废矿物油再生工艺产品品质较低、生产连续性差、易产生大量次生危废等问题,本研究采用“减压精馏+离心萃取+溶剂精制”的工艺处置废矿物油。该工艺可以得到高品质的基础油,并且废物产生量少,对环境影响小,萃取剂可循环使用。

## 2 减压精馏+离心萃取+溶剂精制工艺

减压精馏+离心萃取+溶剂精制工艺通过减压精馏去除废矿物油内的绝大部分水以及部分杂质,再通过离心萃取进行进一步精馏,可以取得较好的处理效果。其工艺流程如图1所示。

### 2.1 预处理

首先将废矿物油加入预处理罐内,通过预处理罐过滤掉原料中的大颗粒杂质,避免其对系统造成损伤,并根据来料情况,适当添加破乳剂、絮凝剂,脱除废矿物油中水分及少量杂质。随后将废矿物油泵送至原料罐内储存,原料罐采用蒸汽伴热,且罐内物料温度维持在30℃左右,以保持物料的流动性。

### 2.2 脱水

经过预处理后的废矿物油首先经过1#管式换热器与减压精馏塔的侧线采出物料进行换热,升温至80~90℃,随后进入脱水塔。通过蒸汽加热,塔釜温度维持在110℃,利用油、水沸点不同的原理,水分从脱水塔塔顶分离出来,重组分则从塔底送至管式加热炉内加热后送入减压精馏塔内。

### 2.3 减压精馏

脱水塔塔底的重组分经加热后进入减压精馏塔内,精馏塔塔顶真空度为-90~-50 kPa,温度控制在120~140℃,利用不同油分沸点不同的原理,对油品进行分离。

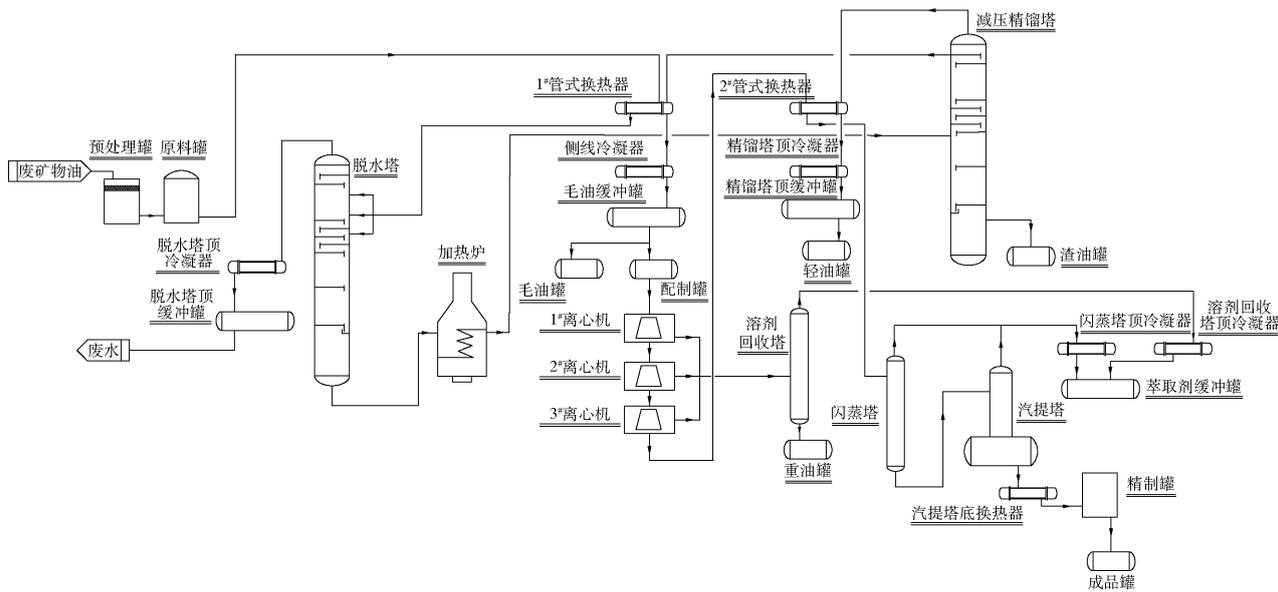


图1 减压精馏+离心萃取+溶剂精制工艺流程图

减压精馏塔塔顶分离出的轻质燃料油,经2#管式换热器换热、精馏塔顶冷凝器冷凝后由塔顶缓冲罐收集,然后送往轻油罐储存,可作为燃料油。侧线分离出基础油毛油。基础油毛油通过毛油缓冲罐收集,送往配制罐。缓冲罐及配置罐内设有在线粘度监测装置,可根据基础油粘度调整前端工艺参数,若产品基础油粘度较低,则相应提高塔釜温度。

当配制罐内介质运动粘度小于 $29 \text{ mm}^2/\text{s}$ 时,调整精馏塔塔内温度,使侧线采出口温度由原来的 $250 \sim 270 \text{ }^\circ\text{C}$ 提升至 $260 \sim 290 \text{ }^\circ\text{C}$ 。完成上述调整后,观察配制罐内介质粘度,若不满足要求,进一步调整工艺参数,直至介质粘度达到指标要求。开、停工及工艺调整过程中产生的不合格产品送至毛油罐,重新进减压精馏装置处理,精馏塔底的重组分送至渣油罐内,可作为渣油。

## 2.4 离心萃取

配制罐内的基础油进入1#~3#离心机内进行离心萃取,萃取剂为N-甲基吡咯烷酮。根据实际情况添加一定比例的萃取剂,萃取温度控制在 $60 \text{ }^\circ\text{C}$ 。萃取剂可以吸收基础油中的芳烃、环烷烃、胶质、沥青质等杂质。利用基础油与N-甲基吡咯烷酮密度不同的原理,通过离心机的离心分离作用,将基础油与萃取剂进行离心分离。

分离后,萃取相送至溶剂回收塔,通过导热油加热,将温度控制在 $160 \sim 190 \text{ }^\circ\text{C}$ ,进行常压操作,萃取剂从回收塔塔顶分离出来,经过溶剂回收塔顶冷凝器冷凝后,输送至萃取剂缓冲罐内。塔底

的重组分为基础油内的重油组分,输送至重油罐,作为重质燃料油。

经过三级离心分离的基础油与减压精馏塔塔顶物料换热至 $120 \sim 130 \text{ }^\circ\text{C}$ 后,泵送至闪蒸塔内。N-甲基吡咯烷酮溶剂从闪蒸塔塔顶闪蒸出来,经过闪蒸塔顶冷凝器冷凝后输送至萃取剂缓冲罐内储存,萃取剂可重新加入离心机内,循环使用。

## 2.5 溶剂精制

闪蒸塔塔底的基础油送至汽提塔后,往汽提塔塔内通热氮气,使塔底温度为 $120 \sim 160 \text{ }^\circ\text{C}$ ,利用氮气降低N-甲基吡咯烷酮的气相分压,从而达到溶剂再生的目的。N-甲基吡咯烷酮蒸汽由塔顶分离出来,经过闪蒸塔塔顶冷凝器冷凝后进入萃取剂缓冲罐内。

## 2.6 产品精制

汽提塔塔底的基础油经过塔底换热器降温至 $60 \sim 80 \text{ }^\circ\text{C}$ 后,送至精制罐处理。利用白土吸附基础油中的少量重组分、溶剂等杂质,得到产品基础油,并送至成品罐。由于经过脱水、精馏、闪蒸、抽提等工艺处理后,产品基础油品质较高。可根据实际情况跨越产品精制工艺,直接制备成品。

## 2.7 产品指标

经过减压精馏+离心萃取+溶剂精制工艺处理后,废矿物油可制备150SN基础油。本工艺生产的基础油技术指标见表1。

该基础油具有良好的粘温特性、较低的蒸发损失、优良的低温流动性以及良好的抗氧化稳定性,可

以用于生产中低档润滑油、发动机油、润滑油、齿轮油、液压油等,应用范围较广。

表1 产品指标表

指标	数值	指标要求	检测标准
运动粘度(40℃)/mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup>	31	29.5~32.6	GB/T 265—1988
运动粘度(100℃)/mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup>	5.3	4.8~5.8	GB/T 265—1988
闪点(开口)/℃	213	<220	GB/T 3536—2008
倾点/℃	-18	≤-15	GB/T 3535—2006
酸值/mgKOH·g <sup>-1</sup>	0.01	≤0.01	GB/T 7304—2014
机械杂质	无	—	GB/T 511—2010
密度(20℃)/kg·m <sup>-3</sup>	841	825~870	GB/T 1884—2000
赛波特颜色	30	≥27	GB/T 3555—1992
外观特性	透明		

### 3 工艺影响参数

#### 3.1 萃取剂用量的影响

本研究采用的萃取剂 N-甲基吡咯烷酮对于废矿物油内的芳烃、环烷烃、胶质、沥青质等杂质具有良好的相容性,可有效将它们去除。

剂油比(萃取剂/废矿物油)对萃取效果的影响如图2所示。由图2可以看出,随着萃取剂用量的增加,基础油回收率逐渐降低,同时粘度相应增加。实际生产过程中,应根据实际情况选取适宜的剂油比,在确保粘度达标的同时尽量提高基础油回收率。

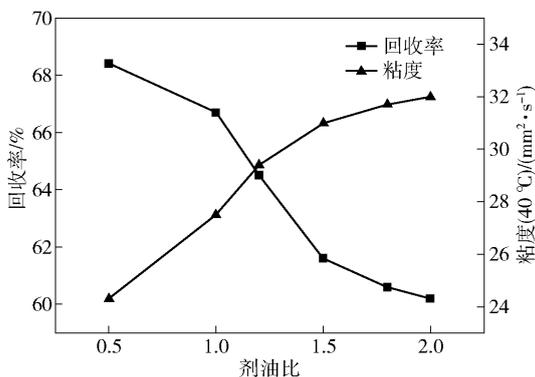


图2 剂油比(萃取剂/废矿物油)对萃取效果粘度的影响

#### 3.2 减压精馏塔侧线操作温度的影响

减压精馏塔作为减压精馏+离心萃取+溶剂精制工艺的核心设备,对产品质量有直接影响。在保证回流比不变的情况下,减压精馏塔侧线采出操作温度对产品的影响如图3所示。

由图3可以看出,随着减压精馏塔侧线采出温度的增加,产品的粘度相应提高,但是操作温度的增加会提高能耗。因此,实际生产过程中,应在满足产品粘度的要求下,选取较低的操作温度,以提高经济

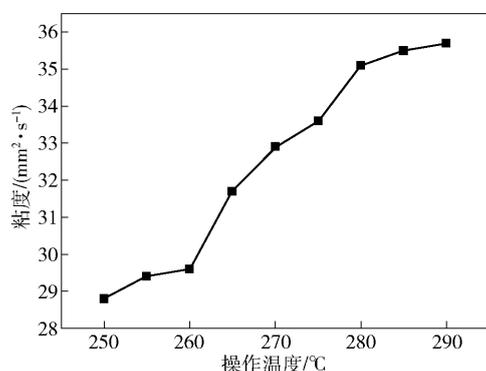


图3 减压精馏塔侧线操作温度对产品粘度的影响效益。

#### 3.3 减压精馏塔回流比的影响

回流比是精馏过程中重要的参数之一,而调整回流比是调节精馏塔操作最为有效的方法。回流比对产品纯度同样有着极为重要的作用。回流比对产品回收率和品质的影响如图4所示。由图4可以看出,在保证操作温度不变的前提下,随着回流比的提高,产品回收率和粘度先是大幅降低,随后逐渐减缓,表明回流比对收率和粘度的影响逐渐减弱。但回流比的提高会在一定程度上提高产品的纯度和品

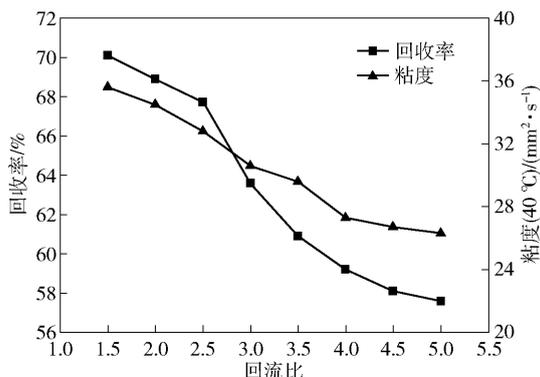


图4 回流比对收率、产品粘度的影响

质。实际生产过程中,在保证产品质量的情况下,应尽量选择较低的回流比,一方面提高回收率,另一方面降低能耗。

上述因素的影响在实际生产过程中并不是孤立的,往往需要通过联动调整各种参数,才能得到最佳生产条件,应在保证产品质量的前提下,选择合适的参数,尽量降低能耗、提高生产稳定性。

#### 4 结束语

本研究中废矿物油经过预处理、常压脱水、减压精馏、离心萃取、溶剂精制、产品精制等工艺处理后,可得到产品质量较好的基础油。基础油可作为机油、润滑油、齿轮油的原料,具有较高的使用价值。

相对于现有废矿物油主要处置方法,本工艺流程先进,处理效果佳,产品质量较好;次生废物产生量少,环境相容性好;适应性强,可满足废矿物油来

源广泛多变的特点;生产稳定性好,经过各环节有效处理后,可确保产品质量稳定达标。

#### [参考文献]

- [1] 丁木生. 废矿物油再生利用的工艺和行业现状分析[J]. 化工时刊, 2020, 34(4): 20-23.
- [2] 彭艳菲, 王翠青, 李倩茹, 等. 废矿物油对生态环境的影响及监管现状研究[J]. 山东化工, 2020, 49(3): 198-199.
- [3] 李闰华, 高丽, 张虎清, 等. 润滑油精制废白土再生及资源化利用[J]. 山东化工, 2020, 49(18): 242-243, 246.
- [4] 孙真, 章金骏. 国内废矿物油再生工艺的现状与发展方向浅析[J]. 大科技, 2019(48): 177-178.
- [5] 蔡恒吉, 程斌, 彭大海, 等. 我国废矿物油再生工艺的现状及未来的发展方向[J]. 化工管理, 2017(24): 83-85.

(上接第 29 页)

气流量测试数据的基础上,通过采取调整烟管阀门开度和清理集气系统积料的措施,达到了降低烟气流量、减少烟气散热、降低铝液直流电耗以及减少净化动力电耗的目标。统计数据显示,烟气标况流量从调整之前的 8 075 Nm<sup>3</sup>/h 下降到 5 086 Nm<sup>3</sup>/h,烟气散热从调整前的 0.617 V 下降到 0.529 V;烟气流量调整后铝直流电耗降低 92 kWh/t-Al,净化动力电耗降低约 30 kW·h/t-Al,烟气流量调控取得了良好效果。

#### [参考文献]

- [1] 邱竹贤. 预焙槽炼铝(第三版)[M]. 北京:冶金工业出版社, 2005.
- [2] 刘业翔, 李劫. 现代铝电解[M]. 北京:冶金工业出版社, 2008.
- [3] 汪艳芳, 周云峰, 李昌林, 等. 铝电解槽上部散热分析与研究[J]. 轻金属, 2019(4): 20-25.
- [4] 王俊青, 李昌林, 周云峰, 等. 铝电解槽低散热理想状态的研究[J]. 轻金属, 2019(5): 26-29.