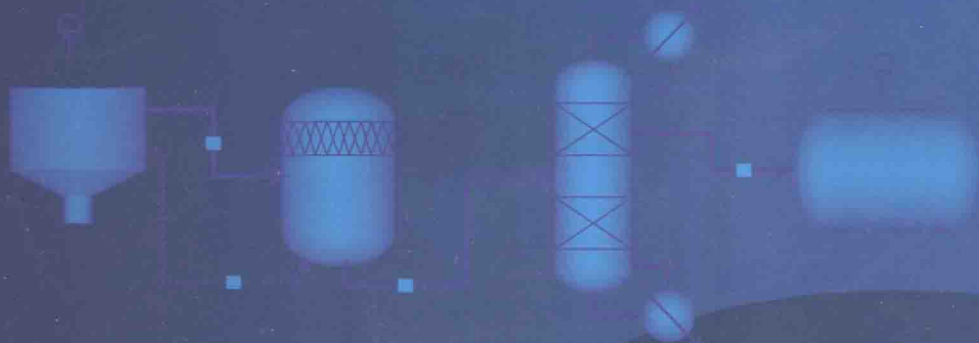


工业废油

处理技术

张贤明 ◎ 主编

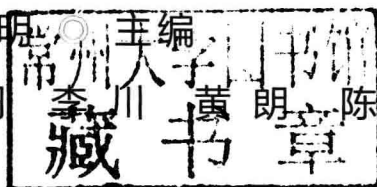


化学工业出版社

工业废油

处理技术

张贤明 主编
刘 阁 李川 黄朗 陈彬 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书从废油处理的理论基础入手,全面阐述了废油处理技术的应用。全书共分为7章,内容主要包括废油再生的基本理论,工业用油的理化性能,常见污染物的来源、危害、检测仪器和方法,废油的物理、化学处理技术,废油典型处理设备的构造及其操作过程。

本书可供环境工程、化学工程、应用化学、生物化工和能源工程等专业技术和科研人员参考,也可供相关专业本科生和研究生学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

工业废油处理技术/张贤明主编. —北京:化学工业出版社,
2012.8
ISBN 978-7-122-14955-8

I. ①工… II. ①张… III. ①工业废物-废油处理 IV. ①X74

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第168140号

责任编辑:邹宁

文字编辑:荣世芳

责任校对:宋夏

装帧设计:关飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市万龙印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张10 $\frac{1}{4}$ 字数206千字 2012年11月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:49.00元

版权所有 违者必究

前 言

随着工业上用油设备系统的飞速发展，工业用油量越来越大。工业用油常常受到固体颗粒、水分、气体和其他杂质的污染，污染的废油对环境产生了越来越大的影响，从废水、废气和固体废物等传统三废处理技术延伸出来的工业废油处理技术也越来越受到重视。

“工业废油处理技术”作为专业基础技术课程，在基础课与专业课之间起着承前启后的作用，是自然科学领域的基础课向工程科学的专业课过渡的入门课程。本书从废油处理的理论基础入手，按照由易到难的认识过程、紧扣先进技术成果，全面阐述了废油处理技术的应用，内容包括废油再生的基本理论、工业用油的理化性能、常见污染物的来源和危害、废油检测仪器的原理和使用方法，对废油的物理、化学处理技术进行了阐述，着重介绍了废油典型处理设备的构造及其操作过程。

《工业废油处理技术》共分8章：第1章概要介绍了废油的定义、工业废油处理技术的特点及意义；第2章介绍了油液处理技术的理论基础，包括流体力学工程基础、热力学基础、油液的润滑理论；第3章对工业用油的理化性能、评价指标和判别标准进行介绍；第4章介绍了工业废油中污染物的来源、种类和油液污染物的特点以及油液的污染控制措施；第5章从固体颗粒、水分、气体三个方面对油中污染物的检测技术进行阐述；第6章通过沉降分离技术、离心分离技术、过滤分离技术的原理及设备特点阐述工业废油的物理处理技术；第7章从分子蒸馏技术、吸附处理技术、油品添加剂调和技术、酸洗技术、碱中和技术、凝聚处理技术等方面阐述工业废油的其他处理技术；第8章介绍了工业废油的典型处理设备及其应用特点。

本书可作为高等学校环境工程、化学工程、应用化学、生物化工和能源工程等专业本科生和研究生的教学用书，也可供从事相关专业的技术和科研人员学习和参考。

本书由张贤明教授担任主编，负责制订编写要求和详细的编写大纲，并对全书进行统稿和定稿。陈彬、李川、黄朗、刘阁分别承担了两章以上的编写工

作。黄朗教授参加了本书的审阅工作，并对本书提出了很多宝贵的意见，在此向黄教授对本书给予的关心和支持表示诚挚的谢意。另外，周亮、杨旭、郭豫川等也参与了相关工作，向他们一并表示感谢。本书参考了国内外众多工业油液污染及处理技术方面的著作与文献，作者向这些著作者们致以真诚的谢意。

由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，敬请各位同行与读者批评指正。

目 录

1 绪论	1
1.1 “废油”的定义	1
1.2 工业废油处理技术	3
1.2.1 废油再净化工艺	4
1.2.2 废油再精制工艺	4
1.3 工业废油处理的意义	6
2 油液处理的理论基础	8
2.1 流体力学工程基础	8
2.1.1 流体的物理特性	8
2.1.2 流体的流动特性	11
2.2 热力学基础	15
2.2.1 热传递的三种基本方式	15
2.2.2 传热方程	17
2.3 润滑理论	22
2.3.1 润滑油的流动性及润滑性	22
2.3.2 流体润滑机理	25
3 工业用油的理化性能	27
3.1 油液的理化性能指标	27
3.1.1 密度	27
3.1.2 蒸气压	28
3.1.3 沸点	28
3.1.4 黏度	28
3.1.5 低温性能	29
3.1.6 闪点	30
3.1.7 色度	30
3.1.8 水分含量	31

3.1.9	酸值	31
3.1.10	碱值	32
3.1.11	凝点	32
3.1.12	倾点	32
3.1.13	抗乳化性	32
3.1.14	抗氧化、抗腐性	33
3.1.15	抗泡沫性	34
3.1.16	防锈性	35
3.1.17	耐电压性	35
3.2	工业用油的性能标准	36
3.2.1	工业用油的性能分析	36
3.2.2	常见工业用油的质量标准	37
3.3	工业废油的评价	41
3.3.1	建立样品矩阵及其规范化	42
3.3.2	熵权确定	42
3.3.3	建立灰色关联度模糊综合评价模型	43
4	工业废油中的污染物	45
4.1	油液污染物的来源及控制	45
4.2	油液污染物的种类及特点	46
4.2.1	固体颗粒对油液的污染	47
4.2.2	空气对油液的污染	52
4.2.3	水对油液的污染	55
4.2.4	老化产物对油液的污染	58
4.2.5	化学物质对油液的污染	59
4.2.6	混入的其他油品的污染	59
4.3	油液的污染控制措施	59
5	油中污染物检测技术	61
5.1	油液固体颗粒的污染检测技术	62
5.1.1	油液污染度表示方法	62
5.1.2	油液污染度评定方法	65
5.2	污染物检测仪	67
5.2.1	颗粒计数仪	67
5.2.2	光谱分析仪	69
5.2.3	X射线检测仪	71

5.2.4	铁谱分析仪	74
5.3	油液中水分污染检测	76
5.3.1	蒸馏法	76
5.3.2	卡尔·费休水分测定法	78
5.3.3	电容测量法	79
5.3.4	定性检测法	79
5.4	油液中的气体污染检测	79
6	工业废油的物理处理技术	83
6.1	沉降分离技术	85
6.1.1	沉降分离的原理	85
6.1.2	沉降速度的计算	86
6.1.3	影响沉降速度的因素	88
6.1.4	重力沉降-降尘室	88
6.2	离心分离 (centrifugation)	91
6.2.1	离心分离原理	92
6.2.2	常见的离心分离设备	93
6.3	过滤分离 (filtering separation)	99
6.3.1	过滤的基本概念	99
6.3.2	过滤基本理论	100
6.3.3	过滤设备	106
7	工业废油其他处理技术	110
7.1	分子蒸馏技术	110
7.1.1	分子蒸馏技术原理	110
7.1.2	分子蒸馏在油处理中的应用	113
7.2	吸附处理技术	116
7.2.1	吸附的基本原理和分类	116
7.2.2	常见的油液吸附剂特点	117
7.2.3	影响吸附的因素及常见吸附装置	119
7.3	油品添加剂调和和技术	120
7.3.1	抗氧化剂的处理技术	120
7.3.2	防锈剂的处理技术	121
7.3.3	破乳化剂的处理技术	122
7.4	其他处理技术	123
7.4.1	酸洗技术	123

7.4.2	碱中和技术	124
7.4.3	凝聚处理技术	125
7.4.4	破乳技术	126
8	工业废油典型处理设备及应用	133
8.1	工业废油典型处理设备	133
8.1.1	真空滤油机	133
8.1.2	透平油专用滤油机	140
8.1.3	抗燃油滤油机	142
8.1.4	变压器油运行再生装置	143
8.1.5	三级精密过滤机	145
8.1.6	机油处理系统	146
8.2	工业废油处理的工程应用	148
8.2.1	废机械油的工业处理	148
8.2.2	Tacoma 港口装备强化油液监测和污染控制	149
8.2.3	某厂的废油“再净化”工艺	150
8.2.4	导热油的处理工艺	152
8.2.5	其他处理工艺举例	153
	参考文献	155

1

绪 论

根据石油产品的特征和用途，工业油液可以分为六大类：燃料、溶剂油、润滑油（脂）、蜡、沥青、石油焦。在对污染油液进行再生净化时，我们又将工业油液分为燃料油、溶剂油和润滑油三大类。燃料油在工业油液的应用中，90%以上都是用作燃料，特别是用作发动机燃料。汽油、柴油、航空煤油、重油是常用的工业用燃料油。燃料油与固体燃料（例如煤炭）相比，具有热值高、灰分少、对环境污染小以及储运和使用方便的优点，对国民经济的发展起到了重要的作用。溶剂油是对某些物质起溶解、稀释、洗涤和抽提作用的轻质石油产品，大部分溶剂油的馏分很轻，挥发性很强，易于燃烧。溶剂油在工业油液中所占的比例小，用量少。润滑油虽然在工业油液中所占的比例不大，但是其种类特别繁多，使用的范围非常广泛，因此润滑油是污染油液净化领域研究的重点。

常用润滑油的主要作用是减轻机械设备在运转时的摩擦，而机械设备的种类繁多，运行条件千差万别，国际上以润滑油在 40℃（50℃、100℃）的运动黏度为基础进行分类。发动机润滑油、机械润滑油、压缩机油、汽轮机油、冷冻机油、汽缸油、齿轮油、液压油都是常用的润滑油。变压器油、开关油、电容器油、电缆油等电力用油在使用上主要起绝缘、隔热和灭弧等作用，而没有润滑的作用，但因为其原料和生产工艺与润滑油相似，因此通常也归属到润滑油中。同样，磷酸酯、硅油等合成液，醇型汽车制动液等醇型液体和蓖麻油等工业动植物油由于通常参照污染润滑油进行净化，在再生净化研究中也归属到润滑油之列。

1.1 “废油”的定义

一般来说，油液污染的原因有被外来杂质污损、被水分混浊、热分解、氧化和

燃料油稀释几种情况。

油液在炼制、储存、运输和使用过程中，由于呼吸作用或者其他原因，可能会有水分和杂质进入；由于温度与空气的氧化作用，可能会老化、变质；油中污染物的产生会促进油液的进一步劣化、分解，产生有害气体，使油液颜色、酸值、黏度等性质发生变化。从这个意义上说，油中有污染物不可避免。但是根据油液的用途，当油中污染物的含量在一定比例范围以内时，对油液的使用并没有大的影响，如此含量的油中污染物是可以接受的。油中污染物含量进一步增加，可能会大大降低油液的使用性能，或者在油液使用过程中产生很大的副作用。当使用性能的降低或者副作用的增大达到一定程度时，就必须停止使用污染油液。例如润滑油中的固体颗粒含量较多时，可能会破坏起到润滑作用的油膜，从而增大设备零件之间的摩擦，引起机器故障。当使用含水量较多的汽油作为燃料时，可能造成积炭增加、停止燃烧甚至引起爆炸。

1998年7月1日起在全国实施的《废润滑油回收与再生利用技术导则》规定了废润滑油的定义、分级、回收与管理、再生与利用。润滑油在各种机械、设备使用过程中，由于受到氧化、热分解作用和杂质污染，其理化性能达到各自的换油指标，被换下来的油统称废润滑油。其中引用润滑剂和有关产品（L类）的分类标准（GB/T 7631.1）将废油分为以下四类：废内燃机油、废齿轮油、废液压油、废专用油（包括废变压器油、废压缩机油、废汽轮机油、废热处理油等）。废油按变质程度、被污染情况、水分含量及轻组分含量来划分等级，废油分为一级、二级，二级以下的废油称为废混杂油，分级指标见表1.1。

表 1.1 废油分级

类别	检测项目	一级	二级	试验方法
废内燃机油	外观	油质均匀，色棕黄，手捻滑，无微粒感，无明水、异物	油质均匀，色黑，手捻稠滑，无微粒感，无刺激性异味、无明水异物	感观测试
	滤纸斑点试验（ α 值）	扩散环呈浅灰色，油环呈透明到浅黄色， $1 \leq \alpha \leq 1.5$	扩环呈灰黑色，油环呈黄色至黄褐色， $2 \leq \alpha \leq 3.5$	滤纸斑点试验法（GB/T 8030）
	比较黏度，试验温度 40℃	试样中钢球落下的速度慢于下限参比油，快于上限参比油 下限参比油： $\nu_{100} = 8 \text{ mm}^2/\text{s}$ 上限参比油： $\nu_{100} = 18 \text{ mm}^2/\text{s}$	试样中钢球落下的速度快于下限参比油，慢于上限参比油 下限参比油： $\nu_{100} = 8 \text{ mm}^2/\text{s}$ 上限参比油： $\nu_{100} = 18 \text{ mm}^2/\text{s}$	采用滚动落球比较黏度计（GB/T 8030）
	闪点（开）/℃	≥ 120	≥ 80	GB/T 3536 石油产品闪点和燃点的测定（克利夫兰开口杯法）
	闪点（闭）/℃	≥ 70	≥ 50	GB/T 261 石油产品闪点测定法（闭口杯法）
	蒸后损失/%	≤ 3	≤ 5	

续表

类别	检测项目	一级	二级	试验方法
废齿轮油	外观	油质黏稠均匀,色棕黑,手捻无微粒感,无明水异物	油质黏稠均匀,色黑,手捻有微粒感,无明水异物	感观测试
	比较黏度、试验温度 40℃	试样中钢球落下的速度慢于下限参比油,快于上限参比油 下限参比油: $\nu_{100}=5\text{mm}^2/\text{s}$ 上限参比油: $\nu_{100}=25\text{mm}^2/\text{s}$	试样中钢球落下的速度快于下限参比油,慢于上限参比油 下限参比油: $\nu_{100}=5\text{mm}^2/\text{s}$ 上限参比油: $\nu_{100}=25\text{mm}^2/\text{s}$	采用滚动荡球比较黏度计(GB/T 8030)
	蒸后损失/%	≤ 3	≤ 5	
废液压油	外观	油质均匀,色黄稍混浊,手捻无微粒感,无明水异物	油质均匀,色棕黄混浊,手捻无微粒感,无明水异物	感官测试
	比较黏度,试验温度 30℃	试样中钢球落下的速度慢于下限参比油,快于上限参比油 下限参比油: $\nu_{100}=10\text{mm}^2/\text{s}$ 上限参比油: $\nu_{100}=50\text{mm}^2/\text{s}$	试样中钢球落下的速度快于下限参比油,慢于上限参比油 下限参比油: $\nu_{100}=10\text{mm}^2/\text{s}$ 上限参比油: $\nu_{100}=50\text{mm}^2/\text{s}$	采用滚动落球比较黏度计(GB/T 8030)
	蒸后损失/%	≤ 3	≤ 5	

注: 1. 斑点试验 α 值为油环直径 D 与扩散环直径 d 的比值, 即 D/d 。当油环颜色明显加深, 呈褐色, α 值也明显增大时, 说明混有较多重柴油和齿轮油, 应列为废杂油。

2. 蒸后损失 (%) 是废油经室温静置 24h, 除去容器底部明水后的油为试油进行测定的, 测定方法是取油 1L, 充分搅动后取油 100g, 准确至 0.01g, 接于干燥清洁的 200mL 烧杯中, 用控温电炉缓缓加热并搅拌, 使油温缓慢升至 160℃, 待油面由沸腾状逐渐转为平静为止。此时, 试油所减少的质量与原质量之比即为该油的蒸后损失 (%), 因蒸出物中含有轻质可燃组分, 测定时应注意防火安全。

一级废油变质程度低, 包括因积压变质及混油事故而不能使用的油。二级废油变质程度较高, 在表 1.1 以外的各类废油, 可按蒸后损失的百分率划分等级: $\leq 3\%$ 为一级, $(3\%, 5\%]$ 为二级。

1.2 工业废油处理技术

污染废润滑油再生工艺始于 1935 年。美国是世界上废润滑油再生最早的国家, 也曾是生产再生润滑油最多、再生率最高的国家, 其经历了从硫酸-白土工艺到目前的无酸工艺, 建成了世界上最大的废油再生工厂。而欧洲共同体国家由于石油资源较少, 他们把废润滑油视为珍贵资源, 同时出于对环境的保护, 一些国家颁布了相关法律禁止将废油随意抛弃。德国自 1968 年颁布相关法律以来建了 11 个硫酸-白土废油再生工厂。法国的废润滑油回收比例在西欧诸国中最高, 但法国用作燃料的废润滑油量在 20 世纪 70 年代迅速上升, 其再生处理量并不大。意大利早在 1940 年就对污染废油的收集和再生进行立法, 使得废油的再生具有了强制性, 而且优先用于再生润滑油。随着废润滑油再生工艺的逐步成熟, 西班牙、瑞典、挪

威、希腊等也纷纷建起了再生工厂。由于许多国家对污染废油回收再生实行补贴以及法律上的强制，推动了废油再生处理技术的研究进程。

对于污染润滑油的再生处理根据其劣化程度的不同又分为以物理方法为主的再净化工艺和以化学方法为主的再精制工艺。

1.2.1 废油再净化工艺

润滑油在初期劣化过程中仅仅出现了少量的酸性或极少的沉淀及部分水分，而其主要性质功能并没有发生大的变化，此时仅仅通过物理方法如沉降、过滤、离心分离和水洗等处理即可满足需要。该净化工艺和过程主要应用于透平油、磷酸酯抗燃油、变压器油、液压油、磨合机械油等污染废油的再生净化处理。

国内外在这方面也有大量的研究，如日本曾报道将废机械油送入离心机高速离心，脱去水杂。日本还有专利报道，将废油加热，进行水蒸气汽提，除去水及汽油等。美国有一项专利报道，将废油加热后送入旋风流动的容器，使水及汽油汽化，与机械油分离，脱去水及汽油的废油再经过一个过滤器滤去机械杂质。韩国的 SOK YONG HO (KR) 在 1989 年申请了“油压真空过滤装置”的韩国专利。《Filter. Sep.》在 1995 年第 9 期报道了英国的 Headline Filters Ltd. 开发的真空滤油机，以及在 20 世纪 70 年代发展起来的较理想的静电净油技术，它与机械过滤法及物理化学法不同，是根据油液为绝缘流体的特点，利用静电场对带电粒子的静电吸附力而除掉油中的污染物。它对油产生两个方面的作用：一是对油中的杂质产生絮凝作用；二是在油水乳化的状况下进行破乳。并且纳垢容量大，处理杂质范围宽，不仅能吸附微粒污染物，滤除小至 $0.01\mu\text{m}$ 的颗粒杂质和微量水分以及微小气泡等，同时还对油中的添加剂无不良影响，还可以去除堵塞滤油器的油泥之类的污染物。静电净油机既可作为附属设备与液压设备配套用于净化系统的液压油，又可单独使用对废油进行净化再生，但是它的局限在于它必须在不击穿油液的安全电场下进行，耗电量大、成本高。

我国油液污染控制的研究起步较晚，但对污染油的净化处理在近几十年内得到了快速发展。具有代表性的是重庆工商大学研发的各系列滤油机，它们集合了重力沉降法、离心分离法、凝聚法、分子吸附法、真空分离法、压力过滤法等优点，能够高效可靠地脱除各种废润滑油中的水分、气体、杂质，在不停电、不停产、不换新油、不用滤纸、在线状态下即可对变压器油、透平油、磷酸酯抗燃油等进行处理。该类技术已广泛应用于国内外一些重要工程，产生了巨大的经济效益和生态效益。

1.2.2 废油再精制工艺

润滑油经长时间的运行使用后，由于苛刻的环境条件和超负荷的工作，其黏度、低温流动性能、抗氧化性、热稳定性、清净分散性能、抗磨损性能、防腐蚀性、抗锈蚀性能等，发生严重的劣化变质，使用性能急剧下降，而如果单纯地采用

物理过程来净化再生显然已经达不到再生的目的，此时必须采用化学方法来精制再生。由于技术和侧重点的不同，促使废润滑油再精制加工工艺朝两个不同的方向发展，产生了以传统的酸洗-白土为代表的有酸污染的再生工艺和以丙烷抽提为代表的无酸环保再生工艺。其主要工艺如下所述。

1.2.2.1 传统的污染废润滑油再生工艺

传统的污染废油再生工艺以 Meinken 开发的硫酸精制工艺为主，主要衍生发展的有：沉降-酸洗-白土工艺，沉降-酸洗-碱洗-白土工艺，蒸馏-酸洗-白土工艺，沉降-蒸馏-酸洗-白土工艺，这些工艺主要是对劣化程度比较深的污染废油进行再生，再生后油质一般都比较好，可以达到基础油的标准。该工艺硫酸用量及酸洗参考温度见表 1.2。

表 1.2 硫酸用量及酸洗参考温度

项 目	废油	酸洗温度/℃	酸洗用量/%
全损耗系统油	L-AN46 以下	25~35	6~10
	L-AN68 以上	30~40	6~10
液压汽轮机油	酸值 0.5 以上	15~35	8~12
	酸值 0.5 以下	15~35	4~8

该工艺在国内外都有广泛的应用，如瑞典在 1969 年建的一套 $6.0 \times 10^4 \text{ t/a}$ 的硫酸-白土工艺以及在 1979 年改建的 $2.4 \times 10^4 \text{ t/a}$ 工艺，西班牙 1979 年在巴塞罗那建的 $3.2 \times 10^4 \text{ t/a}$ 工艺等都是用的 Meinken 开发的有酸工艺。20 世纪 70 年代 Meinken 工艺在我国得到了较快的发展，属于全国石油公司新建和改建的废油再生厂达到了 170 多家，另外在油田、钢铁、铁道、化工、林业等行业也有 50 多套再生装置。但是该工艺明显的不足是产生比较严重的二次污染，如产生大量的酸性气体二氧化硫及大量难以处理的酸渣、酸水、白土渣等，危害操作人员身心健康，腐蚀设备、污染环境。

随着人们环保意识的增强及人们对为环境污染而付出的代价的认识，国际上越来越致力于无污染、环保的再生工艺研究，从而一些无酸环保再生工艺应运而生。

1.2.2.2 Kleen 工艺

该工艺采用常压闪蒸以脱除水和轻质尾馏分，然后减压抽提燃油，通过两台薄膜蒸发器减压蒸馏获得燃油和重质尾馏分，另外也采用了广泛的加氢处理技术，通过煤油汽提塔获得煤油，最后获得基础油。该工艺相对安全，目前世界上最大的废润滑油再精炼厂即采用此工艺，但同样是条件要求比较高，仅适于大规模处理。

1.2.2.3 KTI 工艺

KTI（国际动力学技术公司）工艺主要过程是将减压蒸馏与加氢精制相结合，用于除去大部分杂质和添加剂，该工艺得到的再生油品质量优良，但是反应条件比较苛刻，要求温度不超过 250°C ，加氢成本高，适于大规模处理，该工艺的流程如图 1.1 所示。

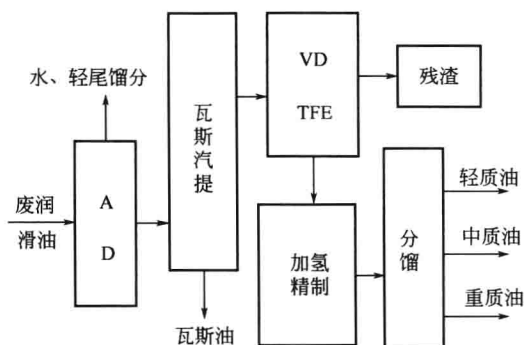


图 1.1 KTI 工艺流程

综上所述，各种污染废油的再生工艺各有特点，但国外工艺都正在朝着无污染、环保的方向发展，加氢精制已成为研究的主流方向，但其再生工艺过程、操作技术相对复杂，条件比较苛刻。国内工艺目前还处于以硫酸-白土为主的水平，二次污染比较严重，因此如何开发出适合我国国情的环保、经济的污染废油再生新工艺是亟待解决的研究课题，另外在污染废油回收利用

方面应加强立法，杜绝污染废油被随意排放污染环境。

1.3 工业废油处理的意义

我国是仅次于美国和俄罗斯的世界第三大润滑油消费国。根据“九五”期间我国润滑油需求的实际增长情况和 2001~2010 年我国国民经济发展计划安排，2003 年我国润滑油的总需求量就已达 425 万~435 万吨，预计 2020 年可达 800 万吨。随着现代社会的不断进步，对工业用油的需求量迅猛增长，汽车年产量的激增使得润滑油用量大幅增加。汽车润滑油用量几乎占润滑油用量的 50%。我国现有汽车保有量仅为美国的 12.5%、日本的 50%，而润滑油消费量则为美国的 58%、日本的 155%，可见利用率差别之巨、浪费之大。

首届“中美清洁能源务实合作战略论坛”上，美国安洁集团（Safety-Kleen）北美营销副总裁迈克·索马表示“90%以上废油都可以回收，废油再生的市场机会巨大。”索马说，“采用安洁集团的废油再生技术，废油回收率可以达到 70%，而能耗仅为从原油中提炼润滑油的 15%”。废油再生是解决目前能源困境的有效途径。如果按 30%回收率再生，每年可再生 200 多万吨，这是一笔十分可观的经济效益。

废油再生利用技术，在发达国家已有比较成熟的经验。在我国到目前为止，绝大多数废油被当作烧火油用于锅炉，或被低质量、低效率加工成劣质汽柴油流入市场。由于我国废油再生方面的政策、法规不够完善，人们对废油的环境危害性认识不足，又缺乏有效的约束机制，使得正常的废油处理渠道不能畅通，甚至在废油大量产生的城区还没有废油回收再生企业。因此，使一些非法回收再生黑窝点得以有机可乘。他们用高价从企业或汽车 4S 店回收废油，用土法再生油品，然后再低价将劣质油品卖给油库或加油站。这种不纯净的混合油不仅给汽车发动机造成损害，严重的还会引起爆炸。同时，土法炼制废油，不仅由于回收率低造成严重的资源浪

费，而且造成了更为严重的二次污染。

实际上废油并不废，而用过的润滑油真正变质的只是其中的百分之几，因此如何有效地去除废油中的这些杂质，是废油再生的关键。一般来说，可供回收的废润滑油量应为消费量的 40%~45%，然而目前我国污染废润滑油回收率非常低，每年回收再生的油品仅有 20 万~30 万吨，其中一部分排入了环境而造成污染。因此对污染废润滑油进行回收和再生，不仅可以节约石油资源，而且是保护环境防止废油污染的主要措施。

人类赖以生存的石油在地球上的储量有限，随着工业的发展和开采技术的提高，石油资源正在日趋减少，石油紧缺危机正在到来。掌握废油资源循环利用技术，不仅是中国的国策，也是事关千秋万代的大事。

2

油液处理的理论基础

2.1 流体力学工程基础

2.1.1 流体的物理特性

流体是液体和气体的总称,是由大量不断地做热运动而且无固定平衡位置的分子构成的,它的基本特征是没有一定的形状和具有流动性。流体都有一定的可压缩性,液体可压缩性很小,而气体的可压缩性较大,在流体的形状改变时,流体各层之间也存在一定的运动阻力(即黏滞性)。当流体的黏滞性和可压缩性很小时,可近似看作是理想流体,它是人们为研究流体的运动和状态而引入的一个理想模型。

2.1.1.1 密度

单位体积流体的质量称为密度。

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{或} \quad \rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{dm}{dV} \quad (2.1)$$

式中 ρ ——流体的密度, kg/m^3 ;

m ——流体的质量, kg ;

V ——流体的体积, m^3 。

流体密度 ρ 为坐标 x 、 y 、 z 和时间 t 的函数,即 $\rho = \rho(x, y, z, t)$,则

$$d\rho = \frac{\partial \rho}{\partial x} dx + \frac{\partial \rho}{\partial y} dy + \frac{\partial \rho}{\partial z} dz + \frac{\partial \rho}{\partial t} dt \quad (2.2)$$

事实上密度 ρ 还随压力 p 和温度 T 而变化,即 $\rho = \rho(p, T)$,故在同一坐标点上因 p 和 T 引起的密度变化量为

$$d\rho = \frac{\partial \rho}{\partial p} dp + \frac{\partial \rho}{\partial T} dT \quad (2.3)$$