



废润滑油再生

(第四版)

戴钧樑 戴立新 编著

中國石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

内 容 提 要

本书在第三版的基础上,补充了近年来废油再生发展的新情况。本书较为详细地介绍了国内外废油再生的单元操作和工艺流程。书中对沉降、离心分离、过滤、碱中和、水洗、絮凝、吸附精制、蒸馏、溶剂精制、加氢精制、硫酸精制、化学精制及产品调配等单元操作的原理及操作条件的影响作了理论联系实际阐述,同时对再生工艺流程也作了较详细的介绍。

本书可供从事废油再生工作的人员参考,同时也可供油品应用人员、炼油厂工作人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

废润滑油再生/戴钧樑,戴立新编著.

—北京:中国石化出版社,2007

ISBN 978-7-80043-747-2

I. 废... II. ①戴...②戴... III. 再生润滑油
IV. TE626.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 158204 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

河北天普润印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 32 开本 14 印张 307 千字

2007 年 2 月第 4 版 2007 年 2 月第 1 次印刷

定价:36.00 元

前 言

《废润滑油再生》第三版于世纪之交问世以来，受到废油再生同业诸君的重视与欢迎，找作者来咨询的人很多，有从速出第四版的需要。

由于近年石油燃料特别紧缺，因此在废油的再生利用中，燃料也逐渐成为一个重要的方向。因此在第四版中，已不强调最宜再生成为润滑油，而是提倡按照经济与环保的原则进行再生利用。

另外由于近年废油与废塑料、废橡胶、废树脂及煤共同裂化生产轻质油的工艺获得一定的发展，因此本书中增加了这方面的内容。

目 录

第一章 概论	(1)
第一节 废油.....	(1)
第二节 各国的废油再生.....	(5)
第三节 再生工艺流程分类.....	(21)
第四节 再生工艺与污染.....	(22)
第二章 废润滑油的组成与性质	(26)
第一节 废内燃机油.....	(26)
第二节 废工业润滑油.....	(51)
第三节 废电气绝缘油.....	(57)
第三章 再生润滑油	(60)
第一节 再炼制工艺生产的再生润滑油.....	(61)
第二节 再精制工艺生产的再生润滑油.....	(68)
第三节 再净化工艺生产的再生润滑油.....	(74)
第四章 沉降、离心分离和过滤	(78)
第一节 沉降.....	(78)
第二节 离心分离.....	(83)
第三节 过滤.....	(88)
第五章 碱中和、水洗、破乳及薄膜过滤	(96)
第一节 无机碱中和.....	(96)
第二节 水洗.....	(100)
第三节 乳化及破乳.....	(102)

第四节	有机胺中和·····	(107)
第五节	薄膜过滤·····	(108)
第六章	絮凝·····	(117)
第一节	原理与概述·····	(117)
第二节	无机絮凝剂·····	(118)
第三节	有机絮凝剂·····	(122)
第七章	吸附精制·····	(131)
第一节	吸附精制的原理·····	(131)
第二节	吸附剂·····	(133)
第三节	接触精制·····	(145)
第四节	渗滤精制·····	(154)
第八章	蒸馏及热处理·····	(159)
第一节	概述·····	(159)
第二节	釜式蒸馏·····	(161)
第三节	蒸馏前的预处理·····	(164)
第四节	连续蒸馏·····	(166)
第五节	较高真空度下的薄膜蒸发·····	(169)
第六节	热处理·····	(175)
第七节	单管反应器蒸馏·····	(178)
第八节	连续加碱蒸馏·····	(183)
第九节	水蒸气汽提·····	(185)
第九章	溶剂过程·····	(188)
第一节	丙烷精制·····	(188)
第二节	超临界抽提·····	(192)
第三节	抽提絮凝·····	(198)
第四节	糠醛抽提·····	(204)
第五节	四氢呋喃甲醇抽提·····	(205)

第六节	含酸或碱的醇水溶液抽提·····	(208)
第十章	加氢 ·····	(211)
第一节	加氢精制的原理·····	(211)
第二节	加氢补充精制·····	(214)
第三节	菲利浦斯石油公司的废油加氢·····	(216)
第四节	动力技术国际公司的废油加氢工艺·····	(217)
第五节	司潘普罗格梯公司的废油加氢工艺·····	(217)
第六节	派洛研究发展公司的废油加氢工艺·····	(218)
第七节	前南斯拉夫的贝尔格莱德炼油厂的 废油加氢工艺·····	(218)
第八节	埃克森公司的废油加氢工艺·····	(219)
第九节	薄膜蒸发 - 加氢流程中的加氢工艺·····	(222)
第十节	加氢脱氯·····	(225)
第十一章	硫酸精制 ·····	(231)
第一节	反应原理·····	(231)
第二节	硫酸精制操作参数的影响·····	(234)
第三节	酸性油的处理·····	(242)
第四节	酸洗时二氧化硫气体的吸收·····	(242)
第五节	酸渣的组成及储存中的反应·····	(243)
第六节	酸渣的利用·····	(248)
第十二章	其他化学精制 ·····	(252)
第一节	用硫酸铵盐处理·····	(252)
第二节	用磷酸铵盐处理·····	(254)
第三节	铵盐与多羟基化合物一起处理废油·····	(257)
第四节	金属钠处理·····	(258)
第五节	用三氯化铝处理及用聚合 α - 烯烃的 铝渣处理·····	(262)

第六节	用碱或盐与过氧化氢等一同处理·····	(263)
第七节	用化学药品处理脱氯·····	(264)
第八节	用多硫代碳酸钠缓冲溶液处理脱除 溶解的重金属·····	(267)
第十三章	再净化工艺 ·····	(269)
第一节	使用中的润滑油再净化的目的·····	(270)
第二节	内燃机油的再净化·····	(271)
第三节	汽轮机油的再净化·····	(274)
第四节	废液压油的再净化·····	(278)
第五节	废金属加工油的再净化·····	(279)
第六节	废齿轮油的再净化·····	(280)
第七节	水蒸气汽提或真空脱气再净化法·····	(281)
第八节	表面活性剂与有机胺复配絮凝·····	(282)
第十四章	再精制工艺流程 ·····	(286)
第一节	脱水杂 - 吸附精制·····	(286)
第二节	水洗 - 吸附精制·····	(290)
第三节	碱洗 - 吸附精制·····	(290)
第四节	汽提 - 吸附精制·····	(291)
第五节	脱水杂 - 硫酸 - 碱 - 水处理·····	(291)
第六节	脱水杂 - 硫酸 - 白土精制·····	(292)
第七节	脱水杂 - 酸 - 碱 - 水 - 白土精制·····	(294)
第八节	苛性碱溶液处理 - 离心分离工艺·····	(295)
第九节	苛性碱加过氧化氢处理 - 三氯化铝 精制·····	(296)
第十节	热处理 - 硫酸 - 胺中和精制·····	(297)
第十一节	溶剂油稀释 - 胺处理 - (蒸馏)工艺·····	(298)
第十二节	蒸馏脱水 - 醇抽提絮凝 - 白土精制·····	(300)

第十三节	稀释后脱水杂 - 抽提 - (白土)精制	(301)
第十四节	白土接触精制 - 硫基催化剂处理 - 水蒸气汽提	(302)
第十五节	脱水杂 - 絮凝剂絮凝 - 白土吸附	(302)
第十五章	再炼制工艺流程	(303)
第一节	蒸馏 - 加氢工艺	(303)
第二节	蒸馏 - 白土工艺	(310)
第三节	PROP 过程	(319)
第四节	IFP 过程	(324)
第五节	斯纳姆帕洛盖蒂过程	(326)
第六节	闪蒸 - 热处理 - 超临界抽提 - 白土 工艺	(327)
第七节	热处理 - 闪蒸蒸发 - CO ₂ 超临界抽提 - 加氢工艺	(328)
第八节	超临界抽提 - 加氢 - 分馏	(328)
第九节	拔头蒸馏 - 酸 - 石灰乳 - 白土工艺	(329)
第十节	拔头蒸馏 - 硫酸 - 白土工艺	(333)
第十一节	闪蒸脱水 - 硫酸 - 带土蒸馏工艺	(334)
第十二节	闪蒸脱水 - (热处理) - 硫酸 - 带土 蒸馏 - 白土石灰工艺	(335)
第十三节	带土蒸馏 - 白土工艺	(337)
第十四节	预蒸馏 - 汽提 - 减压蒸馏 - 白土工艺 ...	(339)
第十五节	预蒸馏 - 汽提 - 蒸馏 - 加碱蒸馏工艺 ...	(340)
第十六节	氢氧化钠 - 氢氧化钾处理 - 蒸馏工艺 ...	(341)
第十七节	闪蒸脱水 - 金属钠处理 - 蒸馏工艺	(342)
第十八节	ENTRA 废油再生工艺	(344)
第十九节	絮凝 - 吸附或钠处理 - 蒸馏工艺	(346)

第二十节	预处理 - 蒸馏 - 糠醛 - 白土工艺·····	(348)
第二十一节	蒸馏 - 乙醇抽提 - 白土工艺·····	(351)
第二十二节	预蒸馏 - 抽提 - 白土工艺·····	(356)
第二十三节	蒸馏 - 抽提工艺·····	(356)
第二十四节	预蒸馏 - 丙烷 - 糠醛 - 加氢工艺·····	(357)
第二十五节	预蒸馏 - 抽提絮凝 - 蒸馏 - 白土 工艺·····	(358)
第二十六节	REG 工艺 ·····	(360)
第二十七节	直接催化加氢工艺·····	(361)
第二十八节	拔头 - 热处理 - 真空蒸馏 - 白土或 加氢补充精制·····	(363)
第二十九节	预处理或闪蒸拔头 - 丙烷抽提 - NMP 或糠醛抽提 - 加氢 ·····	(364)
第十六章	用废油制造液体燃料·····	(367)
第一节	废润滑油代替燃料油·····	(369)
第二节	废润滑油的无污染燃烧·····	(372)
第三节	乳化油作燃料·····	(374)
第四节	热裂化及高温热解·····	(375)
第五节	废油催化裂化·····	(376)
第六节	废油与塑料、树脂、橡胶、沥青煤、 泥煤等的共同裂化·····	(377)
第七节	废油塑料橡胶等的催化液化·····	(379)
第八节	废油塑料橡胶等与煤的共同催化液化·····	(382)
第九节	脱金属 - 加氢·····	(383)
第十节	减粘裂化 - 蒸馏 - 加氢·····	(384)
第十七章	合成油、醇型液体及动植物油的再生·····	(389)
第一节	废合成油、废动植物油脂及废醇型液体 的回收·····	(389)

第二节	磷酸酯合成油的再生·····	(390)
第三节	废合成氟油的再生·····	(391)
第四节	废合成酯类油的再生·····	(393)
第五节	废硅油的再生·····	(395)
第六节	醇型液体的再生·····	(396)
第七节	废动植物油的吸附精制·····	(399)
第八节	废食用油脂的含酸担体处理·····	(401)
第九节	用碱性物质精制·····	(403)
第十节	利用废动植物油制造洗涤剂·····	(404)
第十一节	利用废动植物油制造涂料·····	(405)
第十二节	废植物油用于制造橡胶再生软化剂·····	(405)
第十三节	废动植物油在丢弃前的处理·····	(406)
第十四节	废动植物油的电解脱臭·····	(407)
第十八章	质量检验与控制·····	(409)
第一节	再生润滑油的质量控制·····	(409)
第二节	润滑油的流动性及润滑性·····	(416)
第三节	润滑油的抗氧抗腐蚀性·····	(424)
第四节	内燃机油的清浄性·····	(426)
第五节	闪点、蒸气压、挥发性·····	(427)
第六节	与精制深度有关的项目·····	(428)
第七节	与油品清洁程度有关的项目·····	(429)
第八节	抗乳化性·····	(429)
第九节	抗泡沫性·····	(430)
第十节	防锈性及常温腐蚀·····	(431)
第十一节	耐电压性·····	(432)
第十二节	废润滑油的分析·····	(433)

第一章 概 论

第一节 废 油

我国润滑油产量约占石油产品总量 2%，每年在 400 万吨以上，其中一半以上是内燃机润滑油。各种润滑油使用寿命不同，用到一定时限就必须更换，换下来的废油占新油用量的比例，因油的品种、使用的机器的情况等而不同。对于废油发生的总量能占到用油量的多少有过不同的估计，在 25% 到 40% 左右。

废油还包括油轮的洗舱油、油罐清洗罐底的洗罐油、机械厂清洗零件的洗油、地沟中回收的杂油、食品工业油炸食品用过的废食用油。

所以全国每年发生的废油总量是一个很大的数字。

废油发生的总量虽很多，但由于从每台机器、每部车子、每只船放出来的废油数量不大，地点分散，所以要想全部收集起来，也是十分困难的事情。

综合各国的文献报道，废油的去向大约可分为以下五种，现在分别叙述于下：

1. 丢弃

人们往往把小量废油倒入下水道、倒在空地的土壤或野外的土壤中或倒入垃圾箱中。进入下水道中的废油，会随着污水流入河流，最后进入江湖河海；丢弃在陆地上的废油，渗透在土壤中，一部分会被微生物分解，另一部分则会由于

雨水的冲洗最后也进入江湖河海中，造成对环境中土壤及水系的污染。

许多润滑油中加有重金属盐添加剂，还有些加有含氯有机化合物、含硫有机化合物、含磷有机化合物、含硫磷有机化合物，有些含氯化合物是多环芳烃的氯取代物。这些含重金属、硫磷氯的化合物都属于有毒物，对人体及生物有害，有可能通过各种渠道危害人类。

进入水系的油对水有很强的污染力，据估计，一大桶(200L)废油流入湖海，能污染近 3.5 平方千米的水面。在污染的水域，由于油膜覆盖在水面上，阻止了水中的溶解气体与大气的交换，水中的溶解氧被生物及污染物消耗后得不到补充，使水中的含氧量明显下降。油膜覆盖在水生植物的叶子上、鱼类贝类等水生动物的呼吸器官上，阻碍水生动植物的呼吸。与水中生物直接接触的废油，还能分泌出水溶性物质来毒害它们。以上这些原因能引起水生动植物的大量死亡，甚至还影响到鸟类的生存，特别是潜水鸟，整个食物链都受到损害。

2. 道路油化

美国将废润滑油用于道路油化防尘，将废油喷洒在容易扬起尘土的道路上，使尘土与油粘在一起，不易飞扬。美国回收的废润滑油中有相当大一部分作此用途。但这些喷洒在道路上的废油在下雨时同样也会被冲洗到道路两旁的排水沟中，最后进入江湖河海而污染水面，或者留在道路附近的土壤中污染土壤。当然土壤中的微生物是能够慢慢分解废油的，但需要相当长的时间才能使污染的土壤自然净化。

3. 焚烧

有人将废润滑油直接当作炉用燃料，或者将废润滑油与

各种需要焚化处理的废物，如含油渣滓等一起在焚化炉中焚化，或者是将废润滑油仅仅经过沉降离心脱水后去作燃料使用。这样的处理方法带来的问题是烟气中含有重金属氧化物及燃烧不完全而生成的多环芳烃氧化物。

这些重金属氧化物，包括来自汽油中的铅(在使用含铅汽油发动机中工作过的汽油机油中含有大量的铅)及来自润滑油添加剂中的钡、钙、锌等，特别是铅对人的健康影响较大。美国环保局指出，接触平均含铅浓度为 $2\text{mg}/\text{m}^3$ 的空气 3 个月，对人的健康有足够的不良生理效应，对人是危险的。有人曾计算过，如果将美国的全部废内燃机油烧掉，每年将需要 $18.7 \times 10^{15} \text{ m}^3$ 的空气来稀释氧化铅，使之达到可以接受的浓度水平。而且已经知道，燃烧含铅废润滑油产生的氧化铅是超微粒子，如果没有空气污染防止系统在烧油炉子的烟道系统中工作，氧化铅超微粒子进入大气后，它在空气中的半衰期为 6 ~ 12 个月。换句话说，烟气中的这些重金属氧化物微粒，特别是氧化铅微粒很小，它们从烟囱中出来弥散于大气中之后，沉降速度极慢，经过半年到一年，空气中这些粒子的量仅仅减少一半，而余下的这一半的沉降速度则更慢，远远不是再经过半年到一年就可以完全沉降的。

由此看来，将未经处理或仅经过脱水的废润滑油用作燃料，尽管在经济上是合算的，但其环保效应太差，也是不可取的。

现在有人采取将废发动机油与石油重油掺合起来，作为锅炉燃料使用，由于掺入的废发动机油比例不大，所以排出的烟气中的重金属氧化物含量并不超过环保标准，这是可以的。

有些现代的大锅炉，具有完善的烟道气清洗系统，排出的烟气不仅不含重金属氧化物，就是氧化硫、氧化氮等酸性

气体也很少，在这样的锅炉中烧废油也是可以的。

近年来，由于石油大幅度涨价，所以废油作为燃料油来使用已经是一大趋向。

4. 废润滑油经脱重金属后作为燃料

废润滑油经化学方法脱去重金属后，得到的脱金属油可以安全地作为燃料使用。

化学脱金属是用某些化学药剂处理废润滑油，使原来在油中处于溶解状态的重金属盐转变为不溶于油也不溶于水的固体化合物，如硫酸铅、硫酸钡、硫酸钙、磷酸铅、磷酸钡和磷酸钙等，然后经过滤从油中除去。

将废润滑油再生成为燃料的这一方法，成为再生润滑油方法的一个有力的竞争者。哪一种方法更有利，主要取决于市场上燃料油及润滑油的价格。

5. 再生成为润滑油

将废润滑油经过适当的工艺处理，除去变质成分及外来污染物后，成为再生润滑油。无论从技术、环境保护、资源利用以及经济的角度来看，都是合适的选择。

在发达国家，有一种力求把废油再生厂的规模扩大的趋势。20 世纪 80 年代报道的最大废油再生厂每年处理量在 10 万吨左右，20 世纪 90 年代报道的最大废油再生厂已达年处理量 30 万吨。这一方面是因为规模越大，劳动生产率越高，成本也就越低；另一方面是因为规模越大，越有利于采用现代化的生产设备与生产技术，越容易满足环境保护的要求。

各国现在都相当重视废油再生，西欧各国由于自身石油资源不足而更是一贯重视。1975 年 6 月欧洲共同体发布命令，规定全部废润滑油都必须回收再生，德国一直对废油再生工业进行补贴。美国在 20 世纪 60~70 年代曾在法律及政

策上压制废油再生行业，导致美国废油再生工业的滑坡，70年代的后5年开始从立法上支持废油再生，通过了“能源政策及资源保护法(1975)”、“资源回收及再生法(1976)”、“国家能源法(1978)”，扭转了再生工业滑坡的情况。但是到了80年代中后期，由于石油价格大幅度下跌，使一些劳动力价格很高的国家的废润滑油再生业处于困境，废油更多地用于生产燃料，废润滑油再生厂又倒闭了一批。但各国由于认识到废油再生的社会意义，都继续在政策上做出新的努力，并开展无污染工艺的开发及改进，以扶植废油再生工业。

第二节 各国的废油再生

一、美国

美国是世界上废油再生最早的国家，也曾是生产再生润滑油最多、再生率(再生油与新油用量之比)最高的国家。尽管美国有丰富的石油资源，但仍然把废润滑油看作宝贵的资源加以保护利用。1960年再生润滑油产量超过 10^6m^3 ，主要是内燃机油，再生率达18%，再生厂有150家左右。

以后由于内燃机油质量的改进带来了废油质量的变化，内燃机油中无灰添加剂的使用及添加剂总加入量的大为上升，使废油中悬浮的杂质及残存的添加剂增多。特别是大量无灰分散剂的存在，使得各种固体杂质不沉降，酸洗时难以分渣。原来广泛用于废润滑油精制的硫酸白土工艺，只能靠大幅度提高硫酸用量及白土用量来适应废油质量上的变化。这不仅提高了消耗，而且也降低了产品收率，增加了环境污染。

废油质量的下降，增加了再生的难度，于是也有一些再

生得不够好、质量上满足不了现代内燃机要求的再生油进入市场，影响了再生油的声誉。这就引起美国在 20 世纪 60 年代开始对再生润滑油产品加“再生产品标签”及征收更多的税，并且在军用内燃机油规格中规定不许使用再生润滑油。在打击劣质产品的同时也打击了废润滑油再生行业，再加上硫酸精制的酸渣处理难以满足环境保护方面的严格要求，使得废润滑油再生业遇到了很大的困难。短短几年内，再生厂减少到 40 家左右，再生润滑油产量减少到 290kt/a 左右，再生率降到了 5%。而同时作燃料用的占 15%，作道路油的占 6.9%，丢弃的占 30.2%。70 年代初，再生厂进一步减少到不足 10 家，总处理能力只有 170kt/a 左右，只占美国最大潜在废油量的 3.1%。

70 年代石油输出国组织 (OPEC) 对石油的限量生产及大幅度提价，使人们认识到石油不是取之不尽的廉价资源而是昂贵的宝物。美国人认识到决不能继续让废润滑油再生工业滑坡，必须大力扶植。美国政府在 1971 年指定能源部的一个研究中心做废润滑油再生无污染新工艺的研究工作，美国国会也通过了一系列的法律来支持废润滑油再生工业，这些立法推动了各方面的工作。具体表现在以下几个方面：

(1) 对废润滑油的丢弃者及收集者进行严格管理，对废润滑油的产生、收集及处理作出更准确的记录。对废润滑油的储存、丢弃作了许多保护环境的严格规定，这些规定增加了丢弃废润滑油的费用，也使得烧废油的费用大大上升，从而降低了烧废油在经济上的竞争能力。

(2) 免去了再生润滑油每加仑 6 美分的税，增加对再生润滑油厂的信贷，在经济上增加了再生润滑油的竞争能力。

(3) 联邦机构(包括国防部)带头使用再生润滑油，即使

在再生价格略高的情况下也要优先选用。美军在进行试验评定的基础上已修改了他们的后勤车辆用油规格 MIL - L - 46152 及战术车辆用油规格 MIL - L - 2104C, 删去了原有的禁止使用再生润滑油的条款, 加上允许使用再生润滑油的规定。

(4) 联邦商品委员会对那些已证明实际质量相当于新油的再生润滑油, 取消其包装上的再生标志, 使其不因心理因素而影响销售。

(5) 联邦能源部、标准局以及民间的研究机构, 开展了大量的研究工作, 开发能为环境保护方面接受的再生新工艺, 提出再生油的分析测试方法及规格标准。

这些工作无疑对废润滑油再生业有很大的帮助。据报道, 20 世纪 70 年代末, 再生润滑油公司回升到 20 ~ 25 家, 再生润滑油量回升到大约 500kt/a。由于许多民间公司积极研究开发的推动, 将许多再生公司的硫酸 - 白土再生装置改造成蒸馏 - 白土再生装置。到 80 年代初, 已有 6 套蒸馏 - 白土装置在美国建成。其中规模最大的厂处理量为 50kt/a, 除一套规模未报道外, 其余的 4 套的总处理量为 93kt/a。

另外一种无污染再生工艺是化学脱金属 - 加氢工艺, 也有两套建成投产, 总处理量为 33kt/a。

80 年代初, 作为薄膜蒸馏 - 加氢技术的 KTI 工艺也在美国洛杉矶有一套 35kt/a 的装置投产。至此, 美国无污染再生润滑油装置已有 9 套, 除一套规模未见报道外, 总处理能力已达 210kt/a。

80 年代后期, 由于石油输出国组织不断降低原油出口价格, 使世界石油价格大幅度下降, 这给成本高的无污染再