

经验交流

# 生物基可降解润滑油在铝电解多功能天车中的应用研究

全鹏程<sup>1</sup> 唐巧玲<sup>2</sup> 崔根群<sup>1</sup> 曹文琦<sup>1</sup> 许亨权<sup>1</sup> 李刚<sup>1</sup> 郝林<sup>1</sup>  
刘明川<sup>1</sup> 练骋<sup>1</sup> 唐蜜<sup>3</sup> 何剑<sup>3</sup> 尹刚<sup>2</sup>

(1. 阿坝铝厂, 四川 阿坝藏族羌族自治州 623001;

2. 重庆大学 资源与安全学院, 煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室, 重庆 400044;

3. 哈索尔(重庆)科技有限公司, 重庆 400042)

**[摘要]** 本文分析了目前植物油改性技术的原理、优缺点以及生物基可降解润滑油所用的改性技术, 对比了生物基可降解润滑油和矿物基润滑油的性能, 并将生物基可降解润滑油代替矿物基润滑油应用在铝电解多功能天车中。生物基可降解润滑油以绿色植物油为主要原料, 与矿物基润滑油相比, 生物基降解润滑油的黏度指数和闪点高、倾点低、生物降解率高、使用寿命长, 因而具有绿色环保、可降解、可再生等特点。在多功能天车中应用, 生物基可降解润滑油可以满足天车作业发热、昼夜温差大等实际场景对润滑油的性能需求, 润滑性能更显著, 摩擦系数更小、油膜覆盖率更高, 能够有效延长天车的使用寿命, 提高铝电解生产效率。

**[关键词]** 节能降碳; 铝电解; 润滑油; 碳达峰; 碳中和; 生物质

**[中图分类号]** TF821

**[文献标志码]** A

**[文章编号]** 2097-2423(2024)02-0085-09

**DOI:** 10.19610/j.cnki.cn10-1873/tf.2024.02.015

## 0 前言

润滑油的应用十分广泛, 包括矿山机械、汽车、工厂以及航空航天领域。大部分机械设备都需要使

用润滑产品来维护正常运行, 保证生产环境的安全、稳定<sup>[1]</sup>。目前使用的多为矿物基润滑油。矿物基润滑油存在生产过程能耗高、污染性强、生物降解性差等缺点, 在性能上不能满足当前工业技术发展提出的新要求。

国家“十四五”规划提出, 要加快发展“生物基材料、专用润滑油脂”等产品; 要加强生物化工方面的发展<sup>[2]</sup>, 鼓励运用生物质资源进行新型材料的研究创新, 加强对生物质的利用, 积极开发生态环境友好的生物基材料, 从而实现了对传统矿物基产品的替代<sup>[3]</sup>。

在国际能源机构(IEA)的定义中, 生物质是指通过光合作用而形成, 包括动植物和微生物的各种有机体。在各种可再生能源中, 大型水电和核能资源存在生态环境风险, 风能和地热等能源受区域性限制。相比之下, 生物质能源因其普遍、丰富多样且可再生等特点受到人们的广泛认可, 因此生物质能源在许多领域能得到大力发展。

在“双碳”背景下, 润滑油应朝着高效、绿色、智

**[收稿日期]** 2023-11-09

**[基金项目]** 重庆英才·创新创业示范团队项目(CQYC202203091061); 科技转化重大项目(H20201555)。

**[作者简介]** 全鹏程(1979—), 男, 重庆人, 本科, 工程师, 主要从事有色金属冶炼及管理。

**[通信作者]** 唐巧玲(2002—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为安全科学与工程、有色金属冶炼、工业润滑技术、人工智能与大数据挖掘。

**[引用格式]** 全鹏程, 唐巧玲, 崔根群, 等. 生物基可降解润滑油在铝电解多功能天车中的应用研究[J]. 绿色矿冶, 2024, 40(2): 85-89.

QUAN Pengcheng, TANG Qiaoling, CUI Genqun, et al. Research on the application of bio-based degradable lubricating oil in aluminum electrolysis multifunctional crane[J]. Sustainable Mining and Metallurgy, 2024, 40(2): 85-89.

能润滑的方向高质量发展,助力实现节能减排、环保降耗<sup>[4]</sup>。研究以生物质为原料,对环境友好的高性能生物基可降解润滑油是一个极具前景的方向。对实现消除能源危机、环境污染、实现经济和社会的可持续发展有着重大的意义和深远的影响<sup>[5]</sup>。

## 1 生物基可降解润滑油的研发

生物基可降解润滑油以蓖麻油酸<sup>[6]</sup>为原料。通过生物质基础油改性的方式实现双键的转化,结构的支化以及羟基的酯化,从而得到蓖麻油酸改性物—双蓖麻油酸酯,对所得油酸酯进行酯化处理,进一步加入短链脂肪酸进行反应,即可获得性能优异的生物基可降解润滑油。双蓖麻油酸酯分子结构式与生物基润滑油制备工艺技术如图1所示。

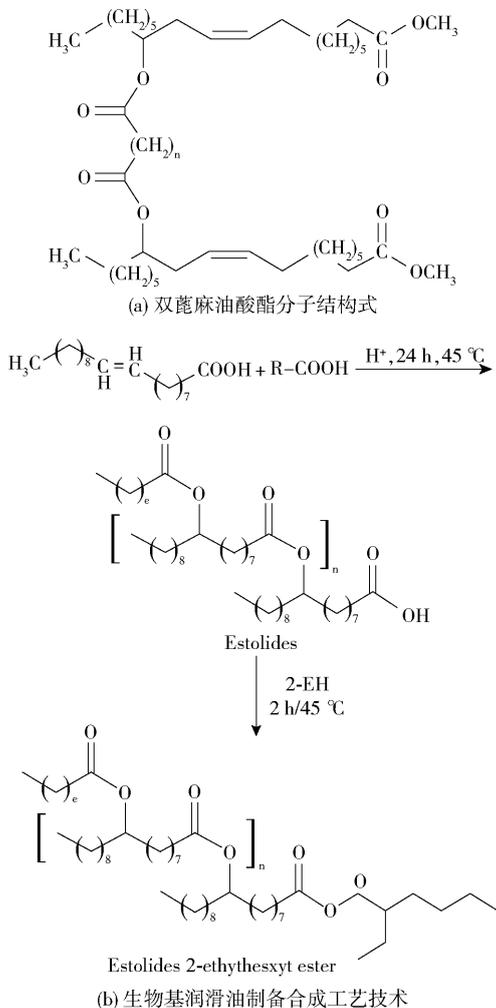


图1 生物基可降解润滑油制备工艺技术示意图

蓖麻油酸是一种生物质基础油,来源广泛,价格低,具有可再生的特点。生物质基础油拥有优异性能的同时<sup>[6]</sup>,也存在氧化稳定性和低温流动

性较差等缺点。生物质基础油的氧化稳定性主要是由植物油中游离脂肪酸比例所决定的,不饱和脂肪酸占比越高,其氧化稳定性越差。如图2所示,植物油结构中存在两个不稳定因素:不饱和双键和 $\beta$ 键。生物质基础油的抗氧化稳定性差会导致其在使用过程或存储过程中易产生酸性沉淀物质,发生变质。因此,需通过不同的改性方法<sup>[7]</sup>降低不饱和脂肪酸比例,改善生物质基础油的氧化稳定性。目前已有四种生物质基础油改进技术。

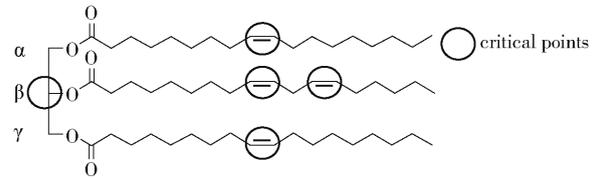


图2 生物质基础油不稳定因素示意图

1) 酯化-酯交换改性,可以有效降低生物基润滑油的倾点,使其低温流动性提升,但与其他几种改性技术相比,其提升生物基润滑油抗氧化性的效果较差。

2) 环氧化改性,环氧化消除了不饱和双键,在一定程度上可以改善生物基润滑油的性能,但改性后生物基润滑油的饱和度太高,会导致其固化温度升高,低温流动性变差。

3) 氢化改性,可以使多不饱和脂肪酸转变为单不饱和脂肪酸,从而提高其抗氧化性能,但这种方法会使反式脂肪酸含量增加,熔点升高,导致其在工业上应用较少。

4) 交内酯改性,能够有效地改善生物基润滑油的氧化稳定性,但交内酯改性的成本太高,所以生物基润滑油交内酯改性的相关研究较少。

上述不同改性方法各有优缺点,对提升生物基润滑油抗氧化性能效果有较大差异。其中,只有酯化-酯交换改性技术有较多应用,其余三项技术的应用由于成本等各种因素的影响受到极大限制。

上述四种植物油改性技术对原料均有一定的特殊要求,因此需要研发新型生物质基础油改性技术以适应工业生产的发展需求。新型生物质基础油改性技术<sup>[8]</sup>能够消除植物油结构中的不饱和双键,将其转化为饱和脂肪酸链,使植物油的热氧化稳定性显著提高;再对饱和脂肪酸链进行羟基酯基化,即可得到性能优异的生物质基础油。新型生物质基础油改性技术属于创新技术,其改进原理如图3所示。新型生物质基础油改性技术对原料的适应性强,只

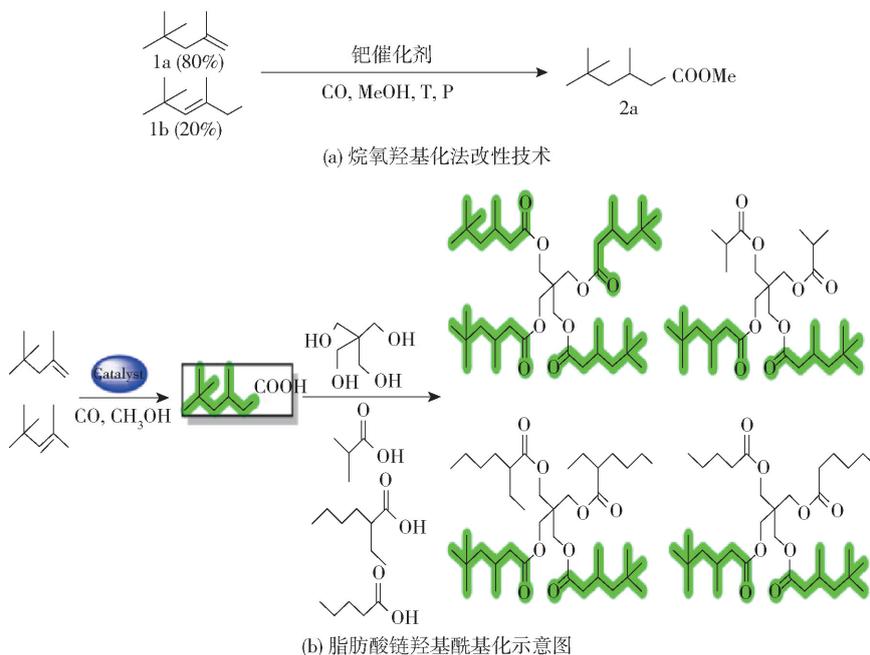


图3 新型植物油改性技术

要油酸含量达到一定要求,其他脂肪酸的存在对合成没有影响。生物基可降解润滑油正是采用这种新型改性技术产生的。

## 2 生物基可降解润滑油的特点

生物基可降解润滑油与矿物基润滑油性能对比见表1。

表1 生物基可降解润滑油与普通润滑油性能对比

指标	生物基润滑油	矿物基润滑油
黏度指数	≥125	90 ~ 120
闪点/℃	≥220	200 ~ 220
倾点/℃	≤ -25	-10 ~ -20
生物降解率/%	≥80	≤25
使用寿命/年	≥8	≤5
碳排放(以矿物基润滑油为基准)/%	≤25	100

1) 黏度指数表示润滑油黏度随温度变化的程度,黏度指数越高,表示润滑油黏度受温度的影响越小,对温度越不敏感。生物基可降解润滑油的黏度指数高于矿物基润滑油,这意味着生物基润滑油应用温度范围更广。

2) 闪点是可燃液体用于产品储存、运输的安全指标,反映产品的挥发性和耐火性。如表1所示,与同黏度等级的矿物基润滑油相比,生物基可降解润滑油的闪点更高,这表明生物基润滑油更稳定、不易

燃、更易于储存和运输。

3) 倾点是在规定的条件下被冷却的试样能流动时的温度,反映润滑油储运和使用时的低温流动性。生物基润滑油的倾点更低,表明其低温润滑性比矿物基润滑油更好,意味着在低温环境下使用生物基润滑油具有较大优势。

4) 生物降解率是衡量一款产品是否可降解的关键指标,能反映产品对环境的危害程度。矿物基润滑油的生物可降解率低,表明可降解性差,炼制过程存在高能耗高污染现象,对环境污染严重,因此不能满足日益严苛的环保要求。

5) 润滑油的使用寿命是指在机械设备中使用的的时间。生物基可降解润滑油的使用寿命更长,减少了更换润滑油的频率,对工业生产而言性价比更高。

此外,与矿物基润滑油相比,生物基可降解润滑油的碳排放可减少70%以上,从可持续发展角度来看,生物基润滑油的推广可减少温室气体排放、减缓气候变化。

综上所述,生物基润滑油是一类环境友好型润滑油,其生产不依赖石油资源且具有良好的润滑性能和环境相容性,以及耐高温性能、低挥发损失等一系列优点。

## 3 生物基可降解润滑油在铝电解多功能天车中的应用

生物基可降解润滑油以植物油为资源,在成本

和绿色环保之间达到良好的平衡。生物基可降解润滑油可以加工成生物基工业齿轮润滑液、生物基液压油以及生物基金属加工油等多种形式,应用于电力、风电、船舶、高铁、工程机械、航空航天、医疗器械、钢铁、有色金属、建材等诸多领域,不仅能满足各行业对润滑油的性能要求,还能减少对环境的影响。随着人们对环保意识的提高以及对可再生资源需求的增加,生物基可降解润滑油的市场前景将会更加广阔。

### 3.1 铝电解多功能天车的功能

铝电解多功能天车是铝电解生产中极其重要且关键的设备之一<sup>[9]</sup>,其运行正常与否影响铝电解生产效率<sup>[10]</sup>。铝电解多功能天车的主要功能如下。

1) 打壳功能:打开电解质结壳,方便残阳极碳块的更换。

2) 加下料功能:天车加料系统采用自动控制和手动控制两种方式为电解多功能天车料箱加料,再通过下料装置给电解质液面添加氧化铝和破碎后电解质。

3) 清渣功能:利用清渣装置清理铝电解槽内的残阳极散块及结壳电解质,以便安放新阳极。

4) 出铝功能:利用真空抬包从铝电解槽内抽吸铝液并进行称重计量。

5) 更换阳极功能:通扭把机构装置将铝电解槽中的残阳极取出并换上新阳极。

6) 吊运功能:安装和检修铝电解槽上部结构和下部槽壳及其他零星吊运。

### 3.2 生物基可降解润滑油在铝电解多功能天车中的应用

润滑油是铝电解多功能天车内流动的血液,发挥着平衡热量、散热降温的作用,确保齿轮间的充分润滑,减少摩擦,防止天车运行时发生磨损甚至胶合,从而达到提高传动效果和承载力的目的。

1) 天车在运行过程中会产生热量,润滑油能够吸收和传导这些热量,从而保持天车的温度在合理范围内。通过冷却效果,润滑油能够防止天车因过热而导致机械变形或损坏。

2) 润滑油可以形成润滑膜,在天车的运动部件之间形成一层保护膜,从而降低摩擦系数,使天车的运行更加顺畅,可以延长天车的使用寿命、降低能源消耗以及碳排放。

3) 润滑油中添加的清洁剂能够清除多功能天车内部的杂质和污染物,保持齿轮和轴承等零部件

的表面清洁,防止堆积和腐蚀,提高天车的运行效率及可靠性。

4) 润滑油能够在天车的密封部位形成一层薄膜,提高密封性能,防止外界灰尘、水分等进入核心部件内,从而保护零部件免受污染和腐蚀。

生物基润滑油具有良好的润滑性能和抗氧化性,使得铝电解多功能天车的运行更加平稳。与矿物基润滑油相比,更高的黏度指数表明其应用温度范围更广,在铝电解多功能天车中应用可以满足其作业发热、昼夜温差大等实际场景的性能需求;与同黏度等级矿物基润滑油相比,更低的倾点和更高的闪点说明生物基可降解润滑油在实际应用中低温润滑性更好、结构更稳定,能够有效减少设备磨损,延长设备使用寿命。与此同时,生物基润滑油在铝电解多功能天车运行过程中产生的噪声更低;生物基润滑油被废弃时,可以通过燃烧或堆肥等生物降解方法进行处理,产生的废物可以在自然环境中迅速降解,降低润滑油对环境的持久影响,从而改善生产环境。

生物基润滑油低碳环保、便于降解、无毒无害,与传统的矿物基润滑油相比,生物基可降解润滑油具备原料可再生、润滑效果更优、适用范围广等许多优点,最重要的是其具有出色的生物降解特性。生物基可降解润滑油的使用对于生态环境的影响较小,有利于未来的长期发展,促进绿色可持续发展目标的实现。

### 3.3 生产案例

生物基可降解润滑油在某铝厂的铝电解多功能天车投入试用。经过一段时间使用,生产实践表明,与相同黏度的矿物基润滑油相比,生物基可降解润滑油在润滑性能上具有明显的优势。使用矿物基润滑油生产的设备出现了线状磨损疤痕,这种现象是由金属与金属直接接触摩擦造成的。使用生物基润滑油的设备磨损疤痕更小且是圆形的,这说明其润滑性能更显著,摩擦系数更小、油膜覆盖率更高,能够有效延长机械设备的使用寿命,提高铝电解生产效率。由此,生物基润滑油具有取代传统矿物基润滑油的巨大潜力。

## 4 结束语

生物基可降解润滑油的生物降解性能优异,有助于减少对环境的污染,降低生产环境清洁和处理的成本。应用生物基可降解润滑油可以实现从原料

来源、清洁加工及使用过程等全生命周期的绿色化,能有效降低产品使用后对环境生态的负面影响。

在实施“双碳”目标的背景下,铝电解多功能天车采用生物基可降解润滑油替代传统矿物基润滑油,不仅能提高润滑效果,更重要的是生物基可降解润滑油在环境中具有较高的生物降解性,能有效减少对环境的影响。这种技术创新有助于节约能源,促进电解铝行业实现绿色、节能、降碳的可持续发展。因此,加强生物基可降解润滑油在企业中的生产应用具有极其重要的现实意义。

### [参考文献]

[1] 黎小辉,胡远海,杨露露,等.聚脲基润滑脂发展研究(I)——组成、结构与性能[J].润滑与密封,2023,48(8):196-205.

[2] 董明.有色金属行业推进绿色低碳发展的思考[J].绿色矿冶,2023,39(4):1-5.

[3] 陈爽,赵晨.生物质基润滑油基础油的合成研究进展[J].石油学报(石油加工),2021,37(6):1491-1503.

[4] 张乃庆,吴启东.可降解微量润滑油的开发.上海市,上海金兆节能科技有限公司,2018-12-01.

[5] 张宇婷.铝电解生产过程全氟化碳排放现状与分析[J].绿色矿冶,2023,39(4):36-40.

[6] 杨俊杰,高辉,刘中大,等.润滑油的新时代[J].润滑油,2014(3):1-5.

[7] 杨小敏,陈丽丽,肖宇峰,等.植物油制备润滑基础油的化学改性技术研究进展[J].中国油脂,2013,38(11):55-60.

[8] 孙晓英,朱峰,曲洋君.改性植物油作为可降解润滑油基础油的研究进展[J].润滑油,2015,30(2):1-6.

[9] 吴晓华.新型柔性轨道固定系统在铝电解多功能天车中的应用[J].有色冶金节能,2020,36(5):44-48.

[10] 刘凤琴.铝电解生产技术[M].长沙:中南大学出版社,2010.

## Research on the Application of Bio-based Degradable Lubricating Oil in Aluminum Electrolysis Multifunctional Crane

QUAN Pengcheng<sup>1</sup>, TANG Qiaoling<sup>2</sup>, CUI Genqun<sup>1</sup>, CAO Wenqi<sup>1</sup>, XU Hengquan<sup>1</sup>, LI Gang<sup>1</sup>, HAO Lin<sup>1</sup>, LIU Mingchuan<sup>1</sup>, LIAN Cheng<sup>1</sup>, TANG Mi<sup>3</sup>, HE Jian<sup>3</sup>, YIN Gang<sup>2</sup>

(1. A'ba Aluminium Plant, Wenchuan 623001, China;

2. School of Resources and Safety Engineering, Chongqing University, State Key Laboratory of Coal Mine Disaster Dynamic and Control, Chongqing 400044, China;

3. Hathor (Chongqing) Technology Co., Ltd, Chongqing 400042, China)

**Abstract:** In this paper, the principle, advantages and disadvantages of the current modification technology of vegetable oil and the modification technology used in bio-based degradable lubricating oil were analyzed. The performance of bio-based degradable lubricating oil and mineral-based lubricating oil was compared, and bio-based degradable lubricating oil was used instead of mineral-based lubricating oil in aluminum electrolysis multifunctional crane. Bio-based degradable lubricating oil uses green vegetable oil as the main raw material. Compared with mineral-based lubricating oil, bio-based degradable lubricating oil has high viscosity index and flash point, low pour point, high biodegradation rate and long service life. Therefore, it has the characteristics of green environmental protection, degradability and renewability. In the application of multifunctional crane, bio-based degradable lubricating oil can meet the performance requirements of actual scenarios such as crane operation heating and large temperature difference between day and night. The lubrication performance is more significant, the friction coefficient is smaller, and the oil film coverage is higher. It can effectively prolong the service life of the crane and improve the production efficiency of aluminum electrolysis.

**Key words:** energy efficiency and carbon reduction; aluminium electrolysis; lubricants; carbon peak; carbon neutral; biomass