

高效低成本地沟油制生物柴油产业化项目

可行性研究报告

目 录

1 总论	4
1.1 项目概述	4
1.2 编制依据和原则	4
1.3 可行性研究报告的工作范围	5
1.4 主要数据及技术经济指标	6
1.5 可行性研究报告结论	6
2 项目建设背景及改造的必要性	7
2.1 项目建设背景	7
2.2 改造的必要性	8
3 企业基本情况	8
3.1 单位概况	8
3.2 财务状况	9
4 项目建设条件	10
4.1 地理位置	10
4.2 自然条件	10
4.3 资源现状	12
5 企业前景分析	13
5.1 农产品加工企业前景广阔	13
5.2 油脂加工企业发展方向	14
5.3 菜子油市场	17
6 项目改造方案	19
6.1 项目改造目标	19
6.2 生产工艺	21
6.3 主要建设内容	24
6.4 辅助设施	27
6.5 进度计划	28
7 定员及培训	29
7.1 劳动定员	29
7.2 员工培训	30
8 生态环境影响及评价	30
8.1 环境影响	30
8.2 项目生产采用的环境保护标准	31
8.3 环保部门评估意见	31
9 投资估算与资金筹措	32
9.1 投资估算	32
9.2 资金筹措	35
10 效益分析	36

10.1 经济效益分析	36
10.2 社会效益分析	38
11 可行性研究报告结论与建议	39
11.1 可行性研究结论	39
11.2 问题与建议	40
附图 厂区总体布局图	46

一、对项目相关领域国内外技术现状和发展趋势的掌握和理解

1、项目背景简述

本项目利用各种废弃油脂和含油脚料制造生物柴油。这些资源包括炒菜和煎炸食品过程产生的废油、烤制食品过程中产生的动物性油脂、动物制品常温加工过程中产生的下脚料经过处理得到的动物性油脂、餐饮废油（也称泔水油，主要指从剩余饭菜中经过油水分离得到的油脂）、地沟油、厨房抽油烟机冷凝的油脂、含油脚料（如皮革、橡胶等工业废油）等。

废弃油脂是近期可依赖的重要资源，棕榈油作为补充原料，而中国食用油需要大量进口，因此菜籽油、棉籽油以及大豆油不可能作为生物柴油的原料。依据我国人民的饮食习惯，每年需要大量的食用油。我国目前食用油消费量约为 2500 万吨 / 年（包括动物油脂），并且每年还在不断增加，估计每年废弃食用油的数量大约在 375~625 万吨。

从这些油脂是一种可再利用的资源被人们认识以后，它便成了抢手货，一支捞油回收队伍便应运而生。仅在上海无证捞油人员达 1000 人之多，无固定场所、无营业执照、无管理的“三无”废油脂处理加工点上百个，这其中有相当一部分加工点把这些废油经简单处理后，作为精制食用油又重新回到了市场，对居民健康构成了潜在的严重威胁。这种现象已经发展成全国性的问题，中央电视台及各省市媒体对这种现象都作了跟踪报道，引起了各地政府的高度重视。近年来，我国部分城市相继出台了“禁止地沟油非法加工”等相关管理条例。因此地沟油

的再利用技术也成为一个新的研究项目，引起了科研工作者的极大关注。

以此为契机，一种以地沟油为主要原料生产出来的环境友好型新能源——生物柴油（脂肪酸甲酯）越来越引起关注。生物柴油是一种从植物油或动物油脂转化而来的清洁燃油，其作为柴油机的代用燃料主要优点在于其对环境的友好性，大气污染小、硫含量低，是清洁可再生、环境友好型燃料。作为直接化工原料，脂肪酸甲酯可作为绿色溶剂、脱漆剂、润滑剂、塑料增塑剂等。作为间接生产原料，脂肪酸甲酯是重要的有机合成中间体，用于制备洗涤剂、乳化剂、发泡剂等表面活性剂及纺织助剂、皮革加酯剂等。

生物柴油中碳链一般是 14~18 个碳，与常规柴油分子的 15 个左右很相近。作为高级脂肪酸甲酯燃料，生物柴油可直接用于现有的柴油引擎，是优质的柴油代用品，属典型的环境友好型“绿色能源”，具有深远的经济效益与社会效益。如下表所示，列出了生物柴油与常规柴油的比较：

表 1 生物柴油与常规柴油的比较

指标名称	生物柴油	常规柴油
冷滤点：		
夏季产品（℃）	-10	0
冬季产品（℃）	-20	-20
密度（g/mL，20℃）	0.88	0.83
运动粘度（mm ² /s，40℃）	4~6	2~4
闪点（℃）	>100	60
可燃性（十六烷值）	最小56	最小49
热值（MJ/kg）	32	35
燃烧功效（柴油=100%）（%）	104	100
硫含量（W，%）	<0.001	<0.2
氧含量（V，%）	10	0
燃烧1kg燃料(按化学算法)的最小空气耗量（kg）	12.5	14.5
水危害等级	1	2
三星期后的生物分解率（%）	98	70

与常规柴相比，生物柴油具有下述无法比拟的性能：

(1) 具有优良的环保特性

由于生物柴油的高氧低硫，使得其燃烧效果好，排烟少，一氧化碳的排放与柴油相比减少约 10% (有催化剂时为 95%)，而二氧化硫和硫化物的排放可减少约 30% (有催化剂时为 70%)。同时生物柴油中不含对环境会造成污染的芳香族烷烃，因而废气对人体损害低于柴油，与普通柴油相比，使用生物柴油可降低 90% 的空气毒性，降低 94% 的患癌率。另外，生物柴油易于生物降解。

(2) 具有较好的安全性

闪点是衡量生物柴油在运输、储存和使用过程中的安全性的重要指标。生物柴油的碳链的平均长度比石化柴油长，闪点一般在 100℃ 以上，比石化柴油高。因此其在安全性方面的优势是显而易见的。

(3) 具有良好的燃料性能

十六烷值是衡量柴油点火性能、影响柴油燃烧特性的参数。生物柴油的十六烷值一般高于 45，其燃烧均匀，热功率高，可降低燃料消耗，燃烧性能优于石化柴油。按一定比例与石化柴油调和使用，可以降低油耗、提高动力性，并降低尾气污染。同时，燃烧残余物呈微酸性，使催化剂和发动机机油的使用寿命延长。

(4) 具有可再生性

生物柴油与石油、煤等矿物能源不同，生物柴油的生产、加工、消费是一个碳的有机的循环过程。生物柴油的原料植物通过光合作用把太阳能转化为生物能储存起来，通过加工制成生物柴油，经过燃烧，其中的碳以 CO₂ 形式回到大气中去，作为下次光合作用的原料。生物柴油的可再生性可以解决一些石化能源枯竭而引起的能源危机，保证能源需求。

(5) 具有较好的润滑性能，能延长发动机的使用寿命

发动机的寿命与油品的腐蚀性有很大的关系。油中的含硫物在燃烧后产生的 SO_2 和 SO_3 等硫化物会严重腐蚀高温区的机体，对发动机的寿命影响很大。而生物柴油的含硫量极微，使用生物柴油的发动机寿命会得到很好的保障。此外，生物柴油的优异润滑性能使喷油泵、发动机缸体和连杆的磨损率低，延长使用寿命。

总的来说，生物柴油是一种可再生的能源，不会枯竭；生物柴油又是安全的能源，不易发生爆炸；生物柴油更是对环境友好的能源，对人类健康无害。因此，可以说生物柴油在保证国家能源安全上有着比石油更美好的前景。

2、国内外技术现状及发展趋势

地沟油是含杂质的高酸值油，含有游离脂肪酸、蛋白聚合物、分解物等，这些对于制取生物柴油会产生十分不利的影晌，必须经过过滤将废油中的杂质去掉，以免杂质在制取生物柴油的过程中发生其它的反应或滞留在生物柴油中。酸价高也是地沟油的一个关键的问题，目前研究的脱酸方法有碱炼中和，加入过度催化剂，有机溶剂萃取，蒸馏精炼，酸催化预酯化等。这些方法都各有优缺点，碱炼中和用碱量大，有机溶剂萃取太浪费溶剂，蒸馏精炼太耗能，而且可能破坏生物柴油的副产品，他们成本都比较高，不利于工业化生产，而且可能污染环境。

目前用于降酸的方法主要是酸催化预酯化，其中催化剂可分为固体催化剂和液体催化剂，而浓硫酸是应用最广泛的催化剂。不过其主要缺点有反应完后难分离，浓酸对设备的腐蚀，产生废水污染环境，甚至使油脂氧化脱水发生副反应。针对以上缺点，固体催化剂在这些方面就体现出了优势。它反应完后可分离，条件温和，对设备要求较低，没有副反应，而且不对环境造成污染。

目前国内外利用酯交换法制备生物柴油生产技术主要有碱催化法、酸催化法、酶催化法、无催化剂超临界反应和超声波强化反应等。酸催

化交换过程产率较高，但反应速率慢，分离难，易产生三废，比较适合
酸价高和含水杂

的低级油脂；碱催化法反应速率较快，但不适用于低级油脂；酶催化法环保率低、成本高，原料适应性差；超临界法，催化剂用量少，产率较高，但设备要求高、能耗高。本项目组系统研究了超声空化、碱催化制备生物柴油新技术，发现反应时间可缩短至 10 小时（转化率近 100%），说明超声空化能加速油脂一醇非均相反应进程，但是超声空化技术存在难于规模化的缺点。美国、俄罗斯、日本、印度等国家研究认为水力空化是一种容易实现、能量利用高，适合工业化的空化方法。PANDIT 等系统研究水力空化产生机理和效能；KALUMUCK 等采用水力空化氧化硝基酚，并与超声空化比较，超声的试验结果与文献值一致，而水力空化的能量效率比超声提高两个数量级；AMBULGEKAR 等在常温下采用水力空化氧化甲苯为苯甲酸，发现超声和水力空化使这个非均相反应过程得到显著加速，研究还表明水力空化能量效率较超声提高 48 倍，在此基础上项目组首次探索水力空化强化生物柴油反应器技术，结果表明水力空化技术强化酯交换反应具有与超声类似的效果。国内对普通碱催化制备生物柴油技术有一定的积累，也有小规格试生产，但急需在制备工艺的原料广泛适应性（如利用废弃油脂、高酸价油脂等）、反应过程强化与降低提纯过程能耗方面取得突破。项目组对超声空化对传质过程和化学反应的强化影响已有多年，取得一些较重要成果。前期的研究结果表明水力空化能够极大地缩短生物柴油反应时间，提高转化率，降低能耗及生产成本。

近年来，国内一些高等院校、科研究所对生物柴油制备中原料和工艺选择、产物提纯和分析等方面开展了积极的探索。文献资料（论文和专利）表明国内外已工业化的方法均是酸/碱催化法并且是通过釜式搅拌的方法强化反应过程，其它生产技术还未见工业化的报道。根据国外生物柴油大规模生产经验，结合我国国情和市场情况（原料价格、生产成本和产品消费价格等因素），决定了生物柴油在我国的规模化生产必须走一条原料多元化、工艺低能耗、产品用途多元化和相关衍生物产品综合开发的路子。因此生物柴油及相关产品制备关键技术核心内容是降低生产成本、选择能耗低简单可靠的工艺路线，充分开发脂肪酸甲酯用途并开发相关衍生物产品，拓展生物柴油作为绿色萃取剂、溶剂、润滑剂、增塑剂等应用领域。

本项目符合宁波市“十二五”规划纲要中明确提出的“节能减排，发展循环经济，全面推广节能降耗新工艺新技术”和“4+4+4”产业升级工程。该项目研制成功，对解决地沟油“处理难”问题、杜绝地沟油重入餐桌、减少国家能源危机、提升行业自主创新能力、增加行业综合效益、引领行业技术发展方向等方面都具有重大作用，综合社会经济效益十分显著。

二、项目攻关预期目标及其具体考核指标

1、预期目标

针对当前地沟油制备生物柴油工艺的原料利用率低、能耗高、耗时长、三废未能综合利用等现状，通过本项目的联合攻关，以突破地沟油制备生物柴油中的关键共性技术为目标，在原料充分利用技术、催化剂回收技术、预酯化、酯交换技术、三废综合利用技术、产品提纯技术及其相应的设备制作、改装等方面取得原创性成果，研发出完全拥有自主

知识产权的生物柴油制造技术，成为国内同行的引导者。

2、考核指标

(1) 经济指标

年处理地沟油 1 万吨，生产生物柴油 0.8 万吨，实现销售额 6000 万元，实现新增利税 1200 万元。

(2) 技术指标

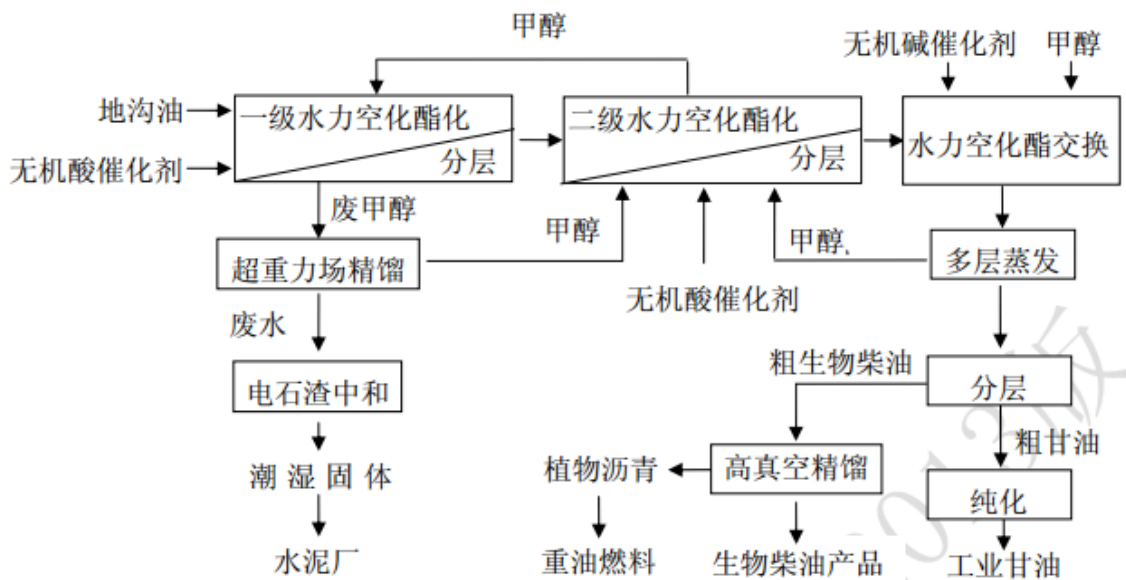
检测项目	检测结果	检测方法
外观	浅黄色透明油状液体	
密度 (20℃) / (kg/m ³)	870~890	GB/T 2540
闪点 (闭口) /℃	160~170	GB/T 261
水分 (质量分数) /%	痕迹	恒重法
碘值 (g I/100g)	75~90	GB/T 5532
机械杂质 (质量分数) /%	无	GB/T 511
铜片腐蚀 (50℃, 3h) /级	≤1	GB/T 5096
十六烷值	≥49	GB/T 386
氧化安定性 (110℃) /小时	≥6.0	EN 14112
冷滤点 /℃	0~5	SH/T 0248
总甘油含量 /%	≤0.2	ASTM D 6584
运动粘度 (40℃) / (m ² /s)	4.5~5	GB/T 265
脂肪酸甲酯含量 /%	≥99.5	气相色谱法

三、项目拟采用的工艺技术路线、关键技术

1、项目拟采用的工艺技术路线

目前国内外利用酯交换法制备生物柴油生产技术主要有碱催化法、酸催化法、酶催化法、无催化剂超临界反应和超声波强化反应等。酸催化交换过程产率较高，但反应速率慢，分离难，易产生三废，比较适合酸价高和含水杂的低级油脂；碱催化法反应速率较快，但不适用于低级油脂；酶催化法环保率低、成本高，原料适应性差；超临界法，催化剂用量少，产率较高，但设备要求高、能耗高。本项目组系统研究了超声空化、碱催化制备生物柴油新技术，发现反应时间可缩短至 10 小时（转化率近 100%），说明超声空化能加速油脂一醇非均相反应进程，但是超声空化技术存在难于规模化的缺点。美国、俄罗斯、日本、印度等国家研究认为水力空化是一种容易实现、能量利用高，适合工业化的空化方法。PANDIT 等系统研究水力空化产生机理和效能；KALUMUCK 等采用水力空化氧化硝基酚，并与超声空化比较，超声的试验结果与文献值一致，而水力空化的能量效率比超声提高两个数量级；AMBULGEKAR 等在常温下采用水力空化氧化甲苯为苯甲酸，发现超声和水力空化使这个非均相反应过程得到显著加速，研究还表明水力空化能量效率较超声提高 48 倍，在此基础上项目组首次探索水力空化强化生物柴油反应器技术，结果表明水力空化技术强化酯交换反应具有与超声类似的效果。国内对普通碱催化制备生物柴油技术有一定的积累，也有小规格试生产，但急需在制备工艺的原料广泛适应性（如利用废弃油脂、高酸价油脂等）、反应过程强化与降低提纯过程能耗方面取得突破。项目组对超声空化对传质过程和化学反应的强化影响已有多年的研究，取得一些较重要成果。前期的研究结果表明水力空化能够极大地缩短生物柴油反应时间，提高转化率，降低能耗及生产成本。

2、工艺技术路线



3、关键技术

(1) 沟油预处理技术

地沟油作为原料油生产生物柴油在成本上有着明显优势，但需要较高的加工工艺技术。其主要原因是地沟油中含有较多的杂质和游离脂肪酸，酸价高，颜色重，尤其是高酸值极大地阻碍酯交换反应的进行。因此，地沟油的预处理就成了必要的步骤。尤其为了防止酯交换时发生皂化，预处理工艺中降低酸值是要解决的关键问题。

本项目通过研究地沟油预处理的最佳工艺路线，并确定其各个步骤的参数。对于最主要的酯化降酸，采用无水硫酸铁为催化剂，通过单因素和正交试验考察醇油摩尔比、反应时间、反应温度和催化剂用量对预处理酯化降酸效果的影响，在为后续酯交换反应提供优质原料油的同时，有效降低酯交换反应时间，提高生物柴油制品品质。

(2) 水力空化作为生物柴油制备过程的强化技术

本关键技术采用水力空化乳化新技术解决接触面问题。现有的酯交换技术中甲醇和动、植物油的互溶性差，反应体系成两相，酯基的转化主要在界面完成，反应速度低。采用动态超声乳化技术可以将油脂分散呈微米甚至纳米级的颗粒，呈数量级地增加两相的接触面积，使酯交换反应在短时间内达到平衡。采用搅拌结合水力空化强化反应技术，可使生产设备和能耗比现有的搅拌碱催化技术分别缩小 5 倍和降低 10%。

(3) 多层蒸发技术脱除粗生物柴油中的甲醇和微量水分

生物柴油沸点高于 350℃，从沸点上讲很容易脱除甲醇和水分。但是，在不沸腾的条件下，甲醇和水分子从内部扩散到蒸发面需要很长时间。在传统的蒸发釜中需要数小时才能除尽甲醇和水分，生物柴油长时间受热导致部分分解。针对这个问题，开发了多层蒸发器，在其内部设置了多层蒸发盘，每一层上有加热管，盘上液层高度 100 毫米（釜式蒸发器液层高 2 米），液体在盘上平推流流动，逐盘向下流动，流出最后一盘时甲醇和水已经除尽。多层蒸发器的优点是浅液层汽化，降低了汽化温度；液体不返混，停留时间均匀，效率高；设备内持液量小，停留时间短，液体从进到出 15 分钟即可完成任务；连续操作，产量高。

采用多层蒸发技术使得粗生物柴油中的轻组分除尽，生物柴油不分解，且能耗有效降低。常规蒸发技术脱除甲醇和水分，时间长、能耗大，长时间加热导致生物柴油分解。自主开发的多层蒸发技术，具有浅液层汽化、加热温度低、不返混和停留时间短的优点，达到了甲醇和水分脱尽、生物柴油不分解和产量大的目标。

(4) 高真空精馏技术

因原料是地沟油，粗生物柴油需精馏才能符合国家生物柴油标准。生物柴油沸点 350℃左右，需在高真空下精馏，即使是高真空，塔釜和塔顶的温度仍高达 240℃和 170℃

，热量需回收；塔釜的植物沥青几乎不汽化，而要实现精馏，塔釜必须要有物料汽化，这就导致传统的塔釜必然留有生物柴油，降低了精馏得率；为了采出植物沥青中残留的生物柴油，就得把釜残再蒸一次。采用多层蒸发器作塔釜，可解决这个问题，上面的蒸发盘提供生物柴油汽化，下面的蒸发盘把植物沥青中的生物柴油蒸干，既保证了精馏汽化的需要，又提高了精馏得率。采用组合式冷凝器，回收塔顶热量，具有热量回收效率高，同时保证生物柴油不被抽入真空泵中，结构紧凑，投资抵。

(5) 粗甘油精制技术。

粗甘油的商品性较差，对正常有序的生产造成困扰。经分离得到副产品粗甘油，因生产过程的因素，在粗甘油里总存在着游离碱($\text{pH}>12$)，脂肪酸皂及沉降分离过程夹带的部分脂肪酸甲酯。所以副产品粗甘油在进入精甘油生产前，必须经废甲醇酸液酸化处理，使粗甘油中的游离碱被中和，脂肪酸皂分解成脂肪酸。而脂肪酸又与脂肪酸甲酯溶为一相，然后通过脱甲醇后，在沉降分离罐中进行多级重力沉降分离，下层清液酸性粗甘油去甘油车间，经氢氧化钠液碱中和脱酸后，再经真空闪蒸脱水脱低沸，然后进入甘油薄膜蒸馏。

国内的成套精甘油装备还停留在 50 年代，效力低，能耗高，品质差。而国外装备价格很高，只能望而怯步。我们在吸收国外装备技术的基础上，结合公司实际，设计一套简捷的精甘油生产线，满足生产需要。粗甘油价格每吨 2300 元，工业甘油价格每吨 5300 元，这样就大大提高了企业生产效率和经济效益。

(6) 超重力精馏回收甲醇技术。

酯化产生的酸性甲醇水溶液，需回收甲醇以循环使用。传统的办法先将酸性甲醇水溶液用碱中和，然后进入高 20 米的精馏塔分离，使得设备和附属设施投资大，操作不便。采用耐腐蚀的釜汽化，甲醇水汽相进

入高度不足 4 米的超重力精馏装置，顶上得到高于 99.5%的甲醇，再沸器则为甲醇含量小于 0.1%的废水。采用超重力精馏装置可降低设备和公用工程投资，方便操作，同样的处理要求，高度仅为塔设备的 1/5，体积仅为 1/7，极大地强化了精馏过程。

(7) 三废处理技术

地沟油预处理采用密闭式烘房，集中排气，经碱液吸收后无味放空；生产过程中各设备密闭操作，放空管中的甲醇气体经冷阱后集中放空，故无废气排放。整个生产过程中仅有的固体植物沥青，可作重油燃料。与传统工艺不同，本项目拟利用“甘油洗”代替酸洗和水洗过程，所以，整个生产过程仅为酯化反应产生的废水，其量为生物柴油量的 3%左右。一级酯化产生的酸性废甲醇，经精馏后，塔釜产生的含酸废水与电石渣中和，形成无机钙盐或镁盐，少量水分经挥发后，将其送至水泥厂或砖瓦厂作原料。因此，整个生产过程无“三废”排放，做到了地沟油全利用，清洁生产。本项目中因取消了酸洗和水洗操作，废水产生量仅为生物柴油量的 3%，且仅含无机酸，用电石渣中和后，作为水泥厂的原料；整个生产过程密闭，甲醇不泄漏，地沟油酸败气体经碱液吸收后无味排放；精馏产生的植物沥青作为重油燃料。

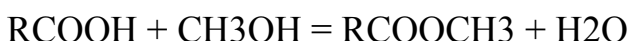
四、项目的主要技术特点和创新点，可能取得专利及知识产权分析。

1、主要技术特点和创新点

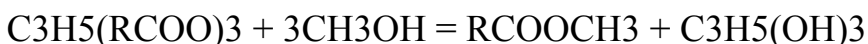
创新点一：自主研发水力空化制备生物柴油的方法，采用水力空化酯交换反应器来优化生物柴油的生产，这种方法工艺简单，酯交换反应速度快，反应时间比传统反应器缩短 2~3 倍，油脂酯交换转化率高达 99%，而且甲醇、催化剂消耗量少，能耗低，适于大规模的工业生产。

地沟油中含有约 30%的脂肪酸和 70%的甘油三酯。脂肪酸与甲醇反应生成生物柴油（脂肪酸甲酯）和水，称为酯化反应；甘油三酯与甲醇反应生成生物柴油和甘油，称为酯交换反应。上述两步反应均为可逆反应，反应式如下所示。

由脂肪酸到生物柴油的反应式为：



由甘油三酯到生物柴油的反应式为：



酯化反应和酯交换反应一般都需要催化剂，主要有均相酸碱催化、固体酸碱催化和酶催化，另外，高温高压法和超临界法无需催化剂。国内外已经产业化的技术中，主要采用均相酸碱催化法，其它方法还需经生产实践进一步检验。

甲醇与油脂互溶性差，两者反应属于液-液非均相反应，研究表明酯化反应属于中等反应速度，两相接触面积的大小是决定反应时间的关键因素。采用传统的搅拌混合方法，甲醇在油脂中分散度低，反应两相接触面积小，反应时间长，实验室搅拌速度 600rpm 时，甲醇液滴粒径为 3700nm，而在工业上，搅拌速度要远低于实验室，液滴更大，反应速度更慢；利用超声波产生的“超声空化”可以使甲醇与油脂产生乳化，甲醇分散性好，反应时间短；“水力空化”是利用液体通过节流元件，液体流速和压力产生激烈变化而产生空化，使得液体质点之间产生强力撞击，导致甲醇与油脂乳化，与“超声空化”有异曲同工之妙。实现“水力空化”只需一台离心泵和一套可自行设计加工的节流元件，具有在生产上容易实现、适合大中小规模的生产、耐腐蚀、不易损坏、成本低的优点。实验室酯交换和生产中酯化反应的数据如表所示。

不同混合方法生产生物柴油的数据比较

混合方法	甲醇液滴粒径 (nm)	比表面积 (m ² /m ³)	实验室酯交换 反应时间 (h)	工业上酯化时 间 (h)
搅拌	3700	1.6×10 ⁶	1	6

超声	250	2.4×10^7	0.25	/
----	-----	-------------------	------	---

水力空化	450	1.3×10^7	$0.25 \sim 0.3$	1.5
------	-----	-------------------	-----------------	-----

由表可知，水力空化混合与搅拌相比，两相接触比表面积提高了近一个数量级，反应速度提高了 3~4 倍。

创新点二：自主开发生物柴油酯化酯交换反应装置，酯化反应过程甲醇和水不汽化，成倍降低了能耗；甲醇循环套用，显著减少了甲醇回收的能耗。

由于酯化反应具有很强的可逆性，要将水分不断除去，才能将反应进行到底。甲醇的沸点 64.5°C ，水的沸点 100°C ，蒸发脱水时，甲醇先于水沸腾，需有大量的甲醇汽化，才能带出少量的水分，蒸出的甲醇（95%）-水溶液必须再经过精馏才能循环使用，又增加了能耗。所以，传统的酯化工艺能耗大，甲醇循环用量大。

1、酯化反应过程甲醇和水不汽化，成倍降低了能耗。

针对传统酯化反应能耗高的情况，本项目在 60°C 、常压下，采用两级酯化法，第一级酯化后，脂肪酸含量降为 5%，甲醇-水相与油相静止分层，含水甲醇进超重力床回收后循环利用，油相进入第二级酯化，脂肪酸降为 1%以下，分层后，甲醇相作为原料进入第一级酯化，油相进入酯交换反应，反应物进入多层蒸发脱出粗生物柴油中的甲醇和微量水，粗生物柴油与甘油分层后，进入精馏塔精制，获得生物柴油产品，甘油进一步纯化获得工业甘油。采用本项目工艺，生产 1 吨生物柴油少汽化 600kg 甲醇，相当于节约标准煤 23kg。

2、甲醇循环套用，显著减少了甲醇回收的能耗

第一级酯化的甲醇来自第二级酯化，第二级酯化的甲醇来自多层蒸发和超重力场，新鲜的甲醇进入酯交换反应；需要精馏回收的甲醇水溶液仅仅来自第一级酯化。1 吨生物柴油少回收甲醇 500kg，节约标准煤 20kg，以年产 1 万吨生物柴油计算，仅此一项可节约标准煤 430 吨。

创新点三：自主开发的多层蒸发的生物柴油连续精馏系统和工艺，能维持较高的真空度，提高产能，降低能耗，提高产品的收率；并最大程度上消除因停留时间过长造成的高温分解和聚合，提高生物柴油精馏得率，较釜式再沸器提高 10% 以上；通过组合冷凝器和产品-原料换热器，回收高温生物柴油产品的冷凝潜热和显热，极大的降低能耗，节能 50% 以上。

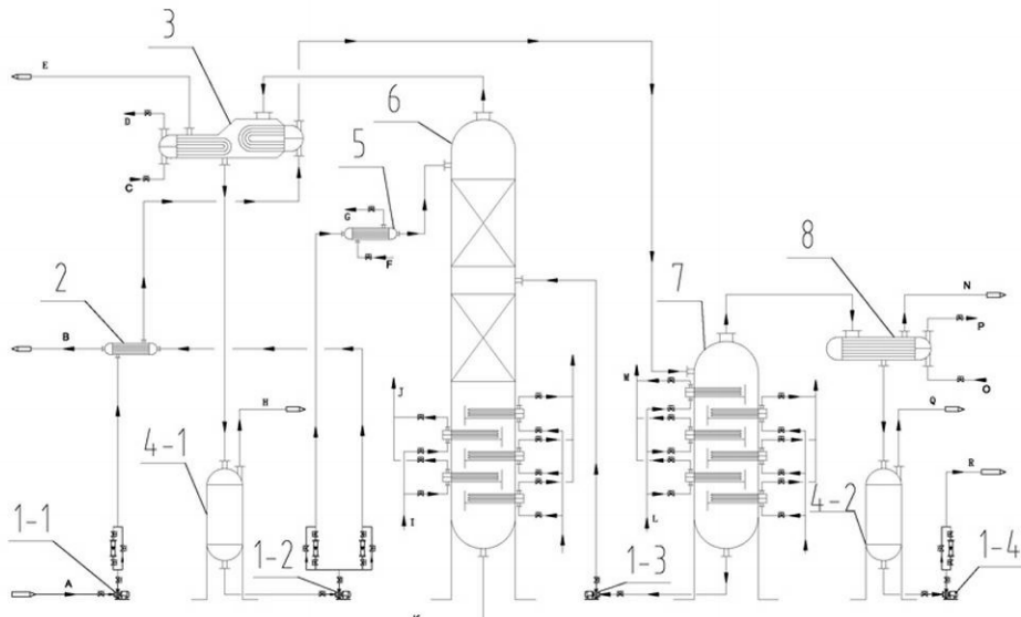
工业生物柴油精馏过程是一个涉及高温(加热导热油的温度通常控制在 250~300℃之间)高真空(操作绝压通常低于 1000Pa)的单元操作，操作的关键之一就是高真空条件的维持。高真空操作的目的是主要有两方面：1)生物柴油组分甲酯沸点高，高真空操作可降低甲酯沸点，从而降低加热介质导热油温度，减少能耗。生物柴油主要由碳 16 甲酯和碳 18 甲酯组成，因原料不一样，也会含有一定量的低碳甲酯(碳数小于 16 个)和高碳甲酯(碳数大于 18 个)，操作绝压在 1000Pa 条件下，碳 16 甲酯、碳 18 甲酯的沸点仍处在较高的温度，约在 170℃~200℃之间。2)生物柴油组分碳 18 甲酯中不饱和键含量较多(油酸甲酯、亚油酸甲酯和亚麻酸甲酯等)，高真空可降低甲酯沸点，进而减少甲酯在高温汽化的过程不饱和键的分解。操作的另一关键是生物柴油加热汽化过程的停留时间控制，过长也会造成甲酯中不饱和键的分解，产品酸值升高，颜色加深，甲酯精馏得率下降。工业生物柴油精馏过程还需要考虑的一个问题就是热能回收。生物柴油的汽化热平均值约为 65kcal/kg，比热约为 0.5kcal/(kg·℃)，这意味着 1kg 生物柴油液体产品从饱和温度冷到室温所释放的热量与 1kg 甲酯蒸汽冷凝释放的汽化潜热相当，因而热量回收应不仅仅考虑甲酯显热，同时也要考虑甲酯的潜热一起回收。

本项目开发的

一种基于多层蒸发的生物柴油连续精馏系统和工艺，该系统包括进料泵，进料泵连有产品-原料换热器，产品-原料换热器通过组合冷凝器连有多层蒸发器，多层蒸发器上方连有冷凝器，冷凝器连有产品中间罐，产品中间罐连有出料泵，多层蒸发器下方通过中间进料泵连有精馏塔，精馏塔上方通过组合冷凝器连有轻组分中间罐，轻组分中间罐经回流泵连有产品-原料换热器以及预热器，预热器连回精馏塔。

1)通过进料泵输送，粗生物柴油原料依次通过产品-原料换热器、组合冷凝器预热，进入多层蒸发器脱除低碳甲酯等轻组分，轻组分蒸汽通过与多层蒸发器顶部连接的冷凝器冷凝后，收集在轻组分中间罐，经出料泵输送作为生物柴油轻组分产品；

2)脱净低碳甲酯等轻组分后的粗生物柴油再经中间进料泵输送，进入精馏塔精制，进入精馏塔内的粗生物柴油由精馏塔底部多层蒸发加热托盘汽化，生物柴油蒸汽经与精馏塔顶部连接的组合冷凝器冷凝，收集在产品中间罐，经回流泵输送，部分经预热器加热回流至精馏塔内，部分经产品-原料换热器冷却后出料作为生物柴油产品，精馏塔底部出料为生物沥青。



本项目结构示意图

(进料泵 1-1、回流泵 1-2、中间进料泵 1-3、出料泵 1-4、产品-原料换热器 2、组合冷凝器 3、轻组分中间罐 4-1、产品中间罐 4-2、预热器 5、精馏塔 6、

多层蒸发器 7、冷凝器 8)

本项目技术的优点有：1、粗生物柴油经多层蒸发器脱净低碳甲酯等轻组分后，促使后续精馏塔体系维持较高的真空度，提高产能，降低能耗，提高产品的收率；2

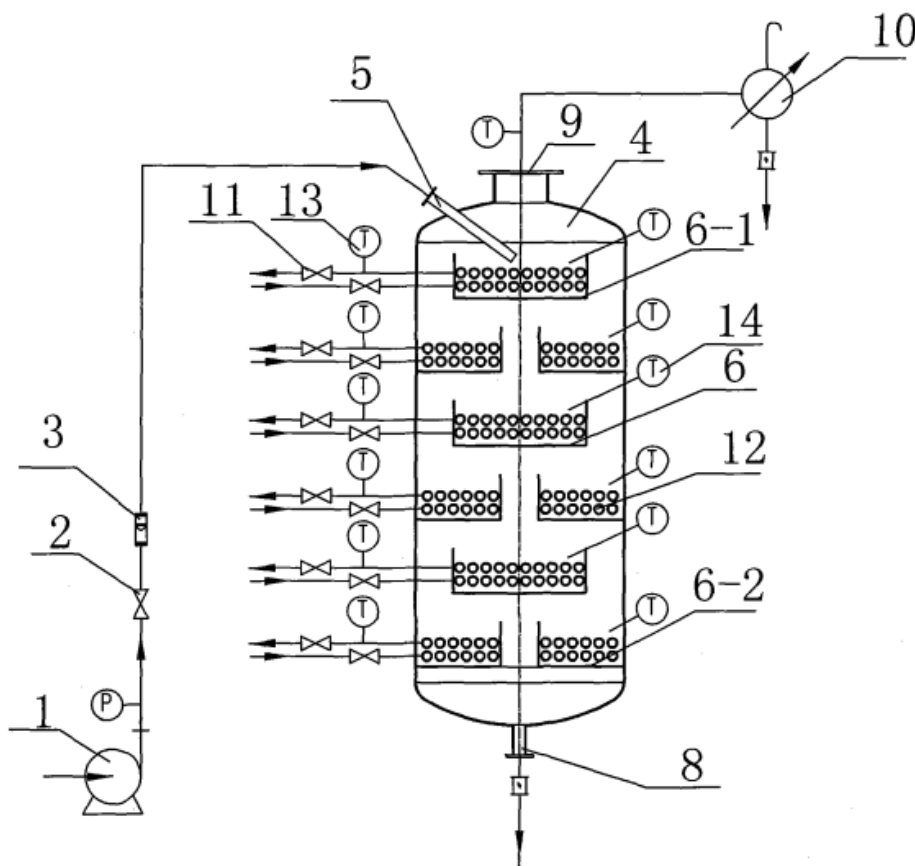
、在多层蒸发器和精馏塔内，均采用浅液层多层蒸发方式加热汽化，从而可降低加热托盘液层厚度，提高加热管表面真空度，降低加热介质温度，提高加热汽化量，通过加热托盘的层数可控制粗生物柴油加热汽化停留时间，最大程度上消除因停留时间过长造成的高温分解和聚合，提高生物柴油精馏得率，较釜式再沸器提高 10% 以上；3、通过组合冷凝器和产品-原料换热器，回收高温生物柴油产品的冷凝潜热和显热，极大的降低能耗，节能 50% 以上。

创新点四：采用多层蒸发技术脱除粗生物柴油的甲醇和微量水分，具有浅液层汽化、加热温度低、不返混和停留时间短的优点，达到了甲醇和水分脱尽、生物柴油不分解和产量大的目标。

常规蒸发技术脱除甲醇和水分，时间长、能耗大，长时间加热导致生物柴油分解。生物柴油沸点高于 350℃，从沸点上讲很容易脱除甲醇和水分。但是，在不沸腾的条件下，甲醇和水分子从内部扩散到蒸发面需要很长时间。在传统的蒸发釜中需要数小时才能除尽甲醇和水分，生物柴油长时间受热导致部分分解。

针对这个问题，开发了多层蒸发器，开发了一种基于多层蒸发器的从生物柴油脱除甲醇的系统及工艺，系统包括多层蒸发器，多层蒸发器内设有 6-12 层加热盘，其中上层加热盘的液体溢出后能够流入至下一层加热盘内，加热盘内设有加热盘管及工艺液体温度计，多层蒸发器上设有对着上层加热盘的液体进口，输送泵通过原料控制阀和液体流量计与液体进口相连接，多层蒸发器的底部设有液体出口，多层蒸发器的顶部设有气体出口，气体出口连有冷凝器，加热盘管可供加热介质进出。本发明有益的效果是：利用每层独立控温的特点，原料从上而下一致性将甲醇脱尽，因此可以实现生物柴油脱除甲醇的连续操作工艺，达到原料加温时间短、操作简便易行的目的。

在其内部设置了多层蒸发盘，每一层上有加热管，盘上液层高度 100 毫米（釜式蒸发器液层高 2 米），液体在盘上平推流流动，逐盘向下流动，流出最后一盘时甲醇和水已经除尽。多层蒸发器的优点是浅液层汽化，降低了汽化温度；液体不返混，停留时间均匀，效率高；设备内持液量小，停留时间短，液体从进到出 15 分钟即可完成任务；连续操作，产量高。采用多层蒸发技术使得粗生物柴油中的轻组分除尽，生物柴油不分解，且能耗有效降低。



本项目结构示意图

（输送泵 1，原料控制阀 2，液体流量计 3，多层蒸发器 4，液体进口 5，加热盘 6，上层加热盘 6-1，下层加热盘 6-2，液体出口 8，气体出口 9，冷凝器 10，导热油控制阀 11，加热盘管 12，导热油温度计 13，工艺液体温度计 14，水蒸气控制阀 15，压力计 16，疏水器 17。）

2、可能取得专利及知识产权分析

基于上述创新点，根据国内外该领域的技术与知识产权现状，本项

目有望在以下几个方面获得知识产权：

- 1、一种生物柴油生产过程中流体循环酯化、酯交换装置；
- 2、一种生物柴油副产品粗甘油的综合利用方法或装备技术；

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/738067011047006056>