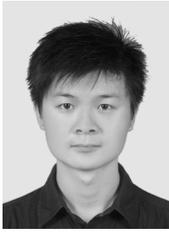


生物油精制技术研究进展



GU Shuai

顾帅, 杨洪雪, 苗玮, 许庆利*, 颜涌捷

(华东理工大学能源化工系, 上海 200237)

摘要: 主要介绍了催化加氢、催化裂解、乳化、催化酯化、分子蒸馏这5种生物油精制方法。由于生物油精制技术都存在各自的问题,如:催化裂解具有设备简单、成本低等优点,但其催化剂容易结焦失活;乳化操作简单,但成本和耗能较多;催化酯化是一种较好的改性方法,但是改性后油的品质不高。这些都使生物油精制技术难以实现工业化。提出了一种在CO/H₂O体系中精制生物油的新方法。

新方法。

关键词: 生物油精制;能源;精制方法

中图分类号:TQ35

文献标识码:A

文章编号:0253-2417(2012)02-0055-06

Progress in Bio-oil Refining Technology

GU Shuai, YANG Hong-xue, MIAO Wei, XU Qing-li, YAN Yong-jie

(Department of Energy Source Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

Abstract: The study mainly introduces five kinds of bio-oil refining methods—hydrogenation, catalytic pyrolysis, emulsion, catalytic esterification and molecular distillation. Bio-oil refining technologies have their respective problems. For example, catalytic pyrolysis has advantages of simple equipment and low cost but catalyst is easily coked and deactivation; emulsion has simple operation but high cost and more energy consumption; catalytic esterification is a good modification methods but the quality of oil is not high after modification. All these bio-oil refining technologies are hard to realize industrialization. Finally, a new method of bio-oil refining in the CO/H₂O systems was also introduced.

Key words: bio-oil refine; energy; refining methods

生物质是唯一可转化为清洁燃料的可再生能源,其热解的主要产物为生物油。生物油以其能量密度高、便于运输、易储存等优势引起全球的广泛关注。生物质热解是指在无空气(氧气)参与条件下,用加热的方法将生物质分解,生成固体(焦炭)、液体(生物油)和气体产物的过程。目前国内外生产的生物油仅能供给锅炉燃烧,而不能直接作为车用燃料使用。这主要是由于粗生物油的高含水量(15%~30%)、高含氧量(40%~50%)、高黏度、低热值(粗生物油热值约20 MJ/kg,而发动机燃料一般42 MJ/kg),酸性较强(pH值为2.5左右)等性质阻碍了其直接作为车用燃料使用,尤其是生物油的高含氧量导致生物油接触到空气很容易黏接变硬^[1-2]。因此,生物油需要经过精制加工才有望部分替代化石燃料,在现有热力设备尤其是内燃机中使用。目前国内外达到工业示范规模的生物质热解液化反应器主要有流化床、循环流化床、烧蚀、旋转锥、引流床和真空移动床反应器等^[3]。本文不仅对国内外研究者提出的不同的生物油精制方法进行了综述,还提出了一种在CO/H₂O体系中精制生物油的新方法。

1 生物油精制方法

1.1 催化加氢

催化加氢是在高氢压(10~20 MPa)和供氢溶剂存在条件下,对生物油进行加氢处理,使生物油中的

收稿日期:2011-07-11

基金项目:国家自然科学基金资助项目(21006028);华东理工大学大学生创新实验项目基金(X1041)

作者简介:顾帅(1990-),男,山东滕州人,从事生物油精制研究;E-mail:gushuai10084627@163.com

*通讯作者:许庆利,男,河南安阳人,博士,讲师,主要从事生物油精制研究;E-mail:xuqingli2001@163.com。

氧以 H_2O 或 CO_2 的形式除去。为了降低成本和操作难度,采用生物油蒸气与氢气混合后直接催化提质,该方法不仅可以利用热解时的反应热量,减少能耗,而且催化剂使用寿命还可得到一定的延长。许多研究者对催化加氢的工艺技术进行了研究,但由于催化加氢过程中,生物油中的氧与氢结合,容易生成水,生物油本来就有 30% 左右的水,过量的水抑制加氢反应的进行,液体产率较低,所以加氢反应一般在较高温度和压力下进行,反应过程结焦较严重,能量利用率相对较低,所需的设备和精制成本较高,而且操作过程中容易发生催化剂失活和反应器堵塞问题。

Busetto 等^[4]采用钨基均相催化剂精制生物油,在不同的温度、压力条件下进行试验,发现在 1 MPa 氢气压、145 °C、反应物催化剂比为 200 :1 的条件下反应 1 h 可得到最佳效果。经分析反应前后,生物油中的醛类从 8% 降到了 0.2%,同时不影响芳香族的双键。该反应表明 Shvo 催化剂是一种较为理想的低温均相催化剂,但是此种方法的最大问题是催化剂收率不高。刘颖等^[5]用生物质基丁酮在 1 MPa 压力、催化剂用量占丁酮的 5% 和搅拌速度 1 000 r/min 的条件下,以 Pd/C 为催化剂进行催化加氢反应,得到的主要产物为仲丁醇。实验表明,温度是影响丁酮催化加氢的重要因素,在加氢压力 1 MPa,反应 8 h, 90、120 和 150 °C 条件下仲丁醇收率分别为 53.1%、52.8% 和 45.5%;增大氢压,仲丁醇收率反而明显降低。增加催化剂用量,反应速率加快,反应时间缩短,但对最终仲丁醇收率的影响不大。该实验表明该催化剂能在较低温度较少用量的情况下得到较好的加氢效果,使催化加氢技术在低温下进行成为可能。

1.2 催化裂解

催化裂解是在催化剂的作用下将生物油分子裂解成较小的分子,包含在汽油馏程内的烃类组分,生物油中的氧以 H_2O 、CO 和 CO_2 的形式除去,获得以烃类为主的高辛烷值燃料油的精制方法。该方法一般在常压下进行,并且避免使用宝贵的氢能源,设备也较催化加氢简单,成本相对较低,受到很多研究者的青睐。其中 HZSM-5 分子筛是催化裂解精制热解油最常用的催化剂,其裂解产物中水分较易分离。其他催化剂有 Na-ZSM-5、Y 型分子筛和磷酸铝类分子筛等。该法能降低生物油含氧量和水分,提高热值。研究表明分子筛孔径和表面酸位对催化精制结果起着决定性的作用^[6-7]。

郭晓亚等^[8]采用 HZSM-5 分子筛催化剂,将生物油(由木屑在循环流化床中快速热解制得)与溶剂四氢化萘以 1 :1 的质量比混合,在固定床反应器内催化裂解。结果表明,精制油中的含氧化合物如有机酸、酯、醇、酮、醛的含量大幅减少,而不含氧的芳香烃含量增加。此法除去了生物油中含有的大量的氧,因而使生物油的黏度和结焦性下降,并且提高了生物油的热值。Wang 等^[9]研究了 MCM-41 酸性催化剂和基于 CaO 的催化剂这两种不同的催化剂,结果表明,前者与不加催化剂相比羰基化合物下降了 10.2%,然而酚类化合物,碳氢化合物和 CH_4 分别增加了 15.32%、4.29% 和 10.16%。在催化热解玉米秸秆时加入 CaO 将导致裂解成分极大地改变,与不用催化剂相比,生物油中酸性物质的摩尔分数减少了 75.88%,然而碳氢化合物和 CH_4 分别增加了 19.83% 和 51.05%。CaO 不仅在脱氧和转化酸性物质方面非常有效,而且能促进碳氢化合物和 CH_4 的形成。Aho 等^[10]在流化床反应器,温度为 450 °C 的情况下研究了生物油的催化裂解反应,测试了不同的酸性沸石对反应的影响。结果表明,沸石的形态对生物油的产量影响不大,但对生物油的化学组成有决定性作用,所得产物中酮类和酚类占主要地位。李洪宇等^[11]以木屑为原料,在不同工艺条件下分别制取快速裂解油、二次裂解油和在线精制油,并对三者进行了水分、元素组成、组分测定分析。由分析结果知:在线精制油的水分质量分数最低(仅 22%),氧质量分数最低为 31.4%,且其组分中含一或两个苯环的化合物的相对含量明显上升(接近 17%)。在线催化裂解条件下,比较了 390、450 和 500 °C 3 个温度的产物特性,500 °C 得到的生物油物性(密度、黏度、水分、元素组成)明显优于 390 和 450 °C 两个温度下的产物。徐俊明等^[12]提出以甘油三酯为原料通过催化裂解得到燃料油具有操作方便、设备简单且产物性能较好等特点,而且不产生副产物甘油,还能够节省较多的后处理成本。该方法面临的最大的问题是,由于催化剂较易结焦造成催化剂催化效率和寿命大大降低,液体产率较低。为解决该问题可以对气体通过催化床层的停留时间进行控制,从而减少催化剂结焦。同时,开发较低温度下有较高活性的催化剂也是一种解决的方法。

1.3 乳化

乳化是指在表面活性剂的乳化作用下,将生物油与柴油混溶后作为燃料使用^[13]。乳化机理是在加入表面活性剂后,由于表面活性剂的两亲性质,使之易于在油水界面上吸附并富集,降低了界面张力,改变了界面状态,从而使本来不能混合在一起的“油”和“水”两种液体能够混合到一起,其中一相液体离散为许多微粒分散于另一相液体中,成为乳化液。生物油/柴油乳化技术相对催化裂解和催化加氢而言工艺简单,是很有前景的一项生物油的利用技术。但该技术存在着乳化剂成本和乳化过程能耗高、乳化液对内燃机的腐蚀性高、内燃机运行稳定性差的缺点。所以,乳化方法必须兼顾降低生物油的酸性才能得到进一步的推广。

王丽红等^[14]利用气质联用(GC/MS)分析了轻质生物油和柴油乳化后燃料的物理性质,并将轻质生物油、0#柴油、复合乳化剂按一定的工艺进行乳化,发现增加均质时间、减小轻质生物油比例或增大乳化剂比例都可以提高乳化燃料稳定时间,此法得到的乳化燃料的热值比轻质油热值有明显提高,但还是精制油的腐蚀性较高,pH值变化不明显。张健等^[15]以非离子表面活性剂为乳化剂,对生物油和柴油混合制备乳化油技术进行了研究。试验结果表明,在乳化温度为30-50℃的条件下,以2%的司班-80和吐温-80复配液并辅以0.1%的正辛醇构成的HLB值为8的乳化剂乳化含有5%生物油和柴油的混合液,可以形成油包水(W/O)型乳化油,其稳定时间可达60h;显微镜照片显示,乳化油中粒径为5-15μm的生物油液滴占60%以上。此法显著降低了生物油的粒径,提高了生物油的稳定时间,有利于生物油的保存。王琦^[16]通过生物质热解生物油模型化合物与柴油乳化的研究确定了乳化剂合适的HLB范围,在该范围内稻壳热解生物油与柴油的乳化效果良好,同时研究了生物油贮存时间对乳化效果的影响。在柴油、乳化剂和生物油质量分数分别为92%、3%和5%的条件下,试验研究了不同种类生物质热解生物油与柴油的乳化性能,乳化燃料在热值上接近柴油,黏度符合国家轻柴油标准,具有商业应用的可能。Ikura等^[17]在2号柴油中乳生物油,并在乳化前离心分离重馏分,并设计了多组实验来确定工艺条件对乳化产物稳定性和加工成本的影响。结果表明,生物油浓度、表面活性剂浓度、单位输入功率对乳化的稳定性有显著的影响,并在此基础上得出最佳的反应条件。精制后燃料的特性如热值、十六烷值都有极大地提高,浓度、腐蚀性都有所降低。这种方法不仅是生物油性质大幅提高,而且降低了生物油的酸性,使精制油的可用性增大。

1.4 催化酯化

生物质快速热解产物生物油中有机酸含量较高,种类较多,导致生物油的酸性和腐蚀性很强^[18-19]。催化酯化就是在生物油中加入醇类助剂,在固体酸或碱催化剂的作用下发生酯化等反应,从而将生物油中的羧基等组分转化为酯类物质,降低羧酸的腐蚀性,达到提高生物油物化性能的目的。由于羧酸的酯化,生物油的pH值提高,腐蚀性下降;酯化过程中会产生水,而且酯化产物对水的溶解性也较差,通过选择合适的反应条件和反应体系,水会从有机相中分离出来,这样获得的有机相的水含量和氧含量都较低,热值较高。此法通过酯化反应将羧基转变为酯基,能够转化大部分的酸性基团,降低了生物油的酸性和腐蚀性,提高了生物油的发热量。但是,精制后的生物油的H/C比提高不明显,热值还是偏低,不能用于汽车燃料使用。

Wang等^[20]选取了732和NKG-9型离子交换树脂作为研究对象,以生物油模型物与甲醇的反应,其结果是732型树脂和NKG-9型树脂的精制油酸值分别下降了88.54%和85.95%,生物油模型的发热量分别增加了32.26%和31.64%,水质量分数分别下降了27.74%和30.87%,两者的密度降低了21.77%,黏性降低了大约97%。此法精制油的稳定性增强,腐蚀性降低,黏性降低幅度最大,是一种很好的降低黏度和提高生物油热值的方法。王琦等^[21]利用间歇式玻璃反应釜,在60℃、油醇质量比为1:2、催化剂质量分数为20%和全回流条件下,研究了强酸型离子交换树脂催化的生物油酯化精制反应。结果表明,酯化后生物油的含水量和黏度下降,热值提高了42.7%;生物油中低级羧酸均得到不同程度的转化,产物分布发生较大变化,主要生成乙酸乙酯、原乙酸三乙酯等新成分。催化酯化精制后的生物油,其黏度和含水量均有所降低,热值提高到21.4MJ/kg,生物油的品质得到一定的改善,生物油

中水的质量分数从 36.8 % 减少到 27.0 % ,且对生物油化学成分几乎没有影响。Cui 等^[22]研究了超临界 CO₂ 条件下的催化酯化,在超临界 CO₂ 条件下研究了乙酸、丙酸等混合酸和生物油为原料与乙醇发生酯化的反应。试验表明:在超临界 CO₂ 氛围下,这些羧酸的转化率比普通条件下有明显提高。在 80 °C, 20.0 MPa 条件下反应 3 h,精制油中酸的总转化率达到 86.78 % ,pH 值从 3.78 增加到 5.11,总挥发分在 140 °C 时达到 100 %。生物油的性质得到了大幅提高,除黏度降低外,转化率也大幅提高,并且反应中使用的 CO₂ 容易获得。Lucena 等^[23]在一个反应器与一个吸附塔耦合的新反应器系统中研究了生物油的催化酯化。该吸收系统不仅能移走乙醇中的水,还能移走酯化反应生成的水使酯化反应的平衡向生成酯的方向移动。吸附器的顶端安装了冷凝器,用于冷凝水蒸气。反应以十八烯酸和乙醇反应,硫酸作催化剂,结果表明,酯的产量达到 99.9 %。在 110 °C,催化剂质量分数为 1 % ,酯醇比为 1 : 3 时,达到最佳的反应条件。此法利用工艺设备来人为使反应向生成酯的方向进行,大大提高液体收率,反应条件温和,是一种值得推广的方法。

1.5 分子蒸馏

分子蒸馏是一种特殊的液液分离技术,它不同于传统蒸馏依靠沸点差分离原理,而是靠不同物质分子运动平均自由程的不同实现分离。不同种类的分子,由于其分子运动平均自由程不同,逸出液面后与其他分子碰撞的飞行距离也就不同,在大于重分子平均自由程而小于轻分子平均自由程处设置冷凝板,气体中轻分子不断被冷凝,从而打破其动态平衡,促使液相中轻分子不断逸出;相反气相中重分子不能到达冷凝板,很快与液相中重分子趋于动态平衡,表观上重分子不再从液相中逸出,实现了液相中轻、重分子的分离。

郭祚刚等^[24]利用分子蒸馏技术将生物油中的水分与酸性组分作为整体对象进行分离,既得到生物油酸性组分富集馏分,又获得了水分含量低、酸性较弱、热值较高的精制生物油 I (蒸馏重质馏分)与精制生物油 II (常温冷凝馏分)。同时,具体考察了精制前后生物油的 pH 值、热值和水分等参数的变化规律。研究表明,生物油的水分与酸性组分得到有效分离,精制生物油 I 和 II 的低级羧酸含量从原始生物油的 18.85 % 分别降低至 0.96 % 和 2.2 % ,利用分子蒸馏技术进行生物油酸性组分的分离,取得了很好的分离效果,同时分离过程中未出现生物油结焦现象。

Martinello 等^[25]以分子蒸馏法研究了葡萄籽油的物理精制过程。对原料粗油进行水脱胶、脱蜡和漂白三步预处理,然后再进行分子蒸馏以脱氧。实验以物料流量(0.5~1.5 mL/min)和蒸发温度(200~220 °C)为变量考察了精制油中游离脂肪酸和生育酚的含量。结果表明,在所有研究流量范围内,高的蒸发温度下只能获得极少量的(少于 0.1 %)游离脂肪酸。然而,在低物料流速和低温或高物料流速和高温的条件下都能获得较多的生育酚。这使在高温(220 °C)和高物料流速(1.5 mL/min)下都能获得较低自由脂肪酸含量和较高生育酚收率(100 %)的精制油成为可能。Posada^[26]等采用分子蒸馏技术以 PFAD(棕榈油脂肪酸)为原料,提取出了生育三烯酚和其他微量组分。在所有研究条件下气相中都含有游离脂肪酸,在高温下,其他组分(如甘油酯)易存在于液相中。只有在低温下才有可能从游离脂肪酸中分离出最多的生育三烯酚,随着温度的升高生育三烯酚的得率急剧下降。

分子蒸馏方法利用不同分子运行的自由程不同的特点,对生物油的组分进行分离。分离效果较好,但是,此法难以从生物油中直接分离获得单一的组分,只能得到不同程度的馏分富集,而且设备复杂造价高,目前还处于实验室研究阶段。

2 生物油精制发展展望

生物油精制技术是国内外研究的热点,各种精制方法都有其优点同时也存在着一些缺陷。催化裂解具有设备简单、成本低等优点,但其催化剂容易结焦失活;乳化操作简单,但成本和耗能较多;催化酯化是一种较好的改性方法,但是改性后油的品质不高;从催化加氢和催化裂解技术可以看出,产率低和催化剂失活限制了生物油精制技术的发展,因此开发高活性、高稳定性催化剂和开发新的工艺技术提高生物油的产率是解决生物油精制技术的关键问题,针对生物油催化加氢和生物油中含水量高的特点,本

课题组抛弃了以往的生物油直接加氢精制的方法,采用CO作为活性组分,CO与生物油中的水组成CO/H₂O体系。在CO/H₂O体系中,生物油精制过程中可以充分利用生物油本身含有的水分,主要是活性组分CO被吸附在催化剂上后与生物油中的水发生水煤气变换反应(CO+H₂O=CO₂+H₂)产生氢气,生成的活性组分氢气立即与生物油中的含氧化合物反应,即氢与氧结合生成水的过程。生物油在CO/H₂O体系中加入精制技术优点是可以利用生物油中的H₂O(生物油含水量15%~30%)产生氢气,在加氢精制过程中油生成水。整个催化精制过程中,生物油中的含水量不增加,与生物油直接加氢精制相比,采用CO/H₂O体系精制生物油,有利于反应的进行,从而提高精制效果和目的产物产率。在CO/H₂O体系中催化精制生物油技术还处于初级阶段,该技术目前国内外没有研究,属于新的技术开发,其中最关键的部分是催化剂的开发。因为该催化剂既能促进水煤气变换反应,又可以起到生物油催化加氢脱氧效果,为双功能催化剂,两者之间存在协同作用,任何一步都可能影响整个催化精制的效果。

3 结论

生物油是一种具有很大发展前景的能源,而生物油的精制技术是至关重要的。提高生物质油品质,需要深入研究生物质热解液化机理、生物质油的特性,特别是生物油精制技术,只有这样才能在快速裂解的各个阶段控制生物质油成分的生成途径,从而得到化学性质稳定、利用价值较高的生物质油或化工原料。目前由于各种生物油精制方法都有其缺点,所以极大的限制了生物油的工业的发展。因此本课题组对生物油催化加氢方法进行了改进,提出了在CO/H₂O体系中生物油的催化精制方法。与生物油直接加氢精制相比,采用CO/H₂O体系精制生物油,有利于反应的进行,从而提高精制效果。采用CO/H₂O体系精制生物油还处于初级阶段,目前还存在较多的关键技术问题,在这方面的研究还有待进一步深入。

参考文献:

- [1] 王树荣,廖艳芬,骆仲决,等. 生物质热裂解制油的动力学及技术研究[J]. 燃烧科学与技术,2002,8(2):176180.
- [2] SIPIÄ K, KUOPPALA E, FAGERNÄS L, et al. Characterization of biomass-based flash pyrolysis oils[J]. Biomass and Bioenergy, 1998, 14(2):103-113.
- [3] 路冉冉,商辉,李军. 生物质热解液化制备生物油技术研究进展[J]. 生物质化学工程,2010,44(3):5459.
- [4] Busetto L, Fabbri D, Mazzoni R, et al. Application of the Shvo catalyst in homogeneous hydrogenation of bio-oil obtained from pyrolysis of white poplar: New mild upgrading conditions[J]. Fuel, 2011, 90(6):11971207.
- [5] 刘颖,林鹿,庞春生,等. Pd/C 催化剂对生物质基丁酮催化加氢制取仲丁醇[J]. 工业催化,2009,17(7):4442.
- [6] WILLIAMS P T, HORNE P A. The influence of catalyst regeneration on the composition of zeolite-upgraded biomass pyrolysis oils[J]. Fuel, 1995, 74(12):18391851.
- [7] CHIARAMONTI D, BONINI M, FRATINI E, et al. Development of emulsions from biomass pyrolysis liquid and diesel and their use in engines-part I: Emulsion production[J]. Biomass and Bioenergy, 2003, 25(1):8599.
- [8] 郭晓亚,颜涌捷,李庭琛,等. 生物质裂解油催化裂解精制[J]. 过程工程学报,2003,3(1):9495.
- [9] WANG Deng-hui, XIAO Rui, ZHANG Hui-yan, et al. Comparison of catalytic pyrolysis of biomass with MCM-41 and CaO catalysts by using TGA-FTIR analysis[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2010, 89(2):174177.
- [10] AHO A, KUMAR N, ERÄNEN K, et al. Catalytic pyrolysis of woody biomass in a fluidized bed reactor; Influence of the zeolite structure[J]. Fuel, 2008, 87(12):24932501.
- [11] 李宏宇,颜涌捷,任铮伟,等. 在线催化裂解精制生物质裂解油[J]. 太阳能学报,2008,29(5):515519.
- [12] 徐俊明,蒋剑春,陈洁. 生物油脂精炼制备柴油新方法的研究进展[J]. 林产化学与工业,2010,30(5):103107.
- [13] 刘荣厚,黄彩霞,蔡均猛,等. 生物质热裂解生物油精制的研究进展[J]. 农业工程学报,2008,24(3):308-312.
- [14] 王丽红,吴娟,易维明,等. 玉米秸秆粉热解生物油的分析及乳化[J]. 农业工程学报,2009,25(10):204208.
- [15] 张健,李文志,陆强,等. 复配乳化剂乳化生物油/柴油技术[J]. 农业机械学报,2009,40(2):104106.
- [16] 王琦,李信宝,王树荣,等. 生物质热解生物油与柴油乳化的试验研究[J]. 太阳能学报,2010,31(3):384384.
- [17] IKURA M, STANCIULESCU M, HOGAN E. Emulsification of pyrolysis derived bio-oil in diesel fuel[J]. Biomass and Bioenergy, 2003, 24(3):224232.
- [18] LUO Zhong-yang, WANG Shu-rong, LIAO Yan-fen, et al. Research on biomass fast pyrolysis for liquid fuel[J]. Biomass and Bioenergy, 2004,

26(5):455462.

- [19] SIPILÄ K, KUOPPALA E, FAGERNÄ S L, et al. Characterization of biomass-based flash pyrolysis oils [J]. Biomass and Bioenergy, 1998, 14(2):103-113.
- [20] WANG Jin-jiang, CHANG Jie, FAN Juan. Catalytic esterification of bio-oil by ion exchange resins [J]. Journal of Fuel Chemistry and Technology, 2010, 38(5):560564.
- [21] 王琦, 姚燕, 王树荣, 等. 生物油离子交换树脂催化酯化试验研究[J]. 浙江大学学报:工学版, 2009, 43(5):927930.
- [22] CUI Hong-you, WANG Jing-hua, WEI Shu-qin, et al. Upgrading bio-oil by esterification under supercritical CO₂ conditions [J]. Journal of Fuel Chemistry and Technology, 2010, 38(6):673678.
- [23] LUCENA I L, SABOYA R M A, OLIVEIRA J F G, et al. Oleic acid esterification with ethanol under continuous water removal conditions [J]. Fuel, 2011, 90(2):902904.
- [24] 郭祚刚, 王树荣, 朱颖颖, 等. 生物油酸性组分分离精制研究[J]. 燃料化学学报, 2009, 37(1):5052.
- [25] MARTINELLO M, HECKER G, DEL CARMEN PRAMPARO M. Grape seed oil deacidification by molecular distillation: Analysis of operative variables influence using the response surface methodology [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 81(1):6064.
- [26] POSADA L R, AHI J, KAKUDA Y, et al. Extraction of tocotrienols from palm fatty acid distillates using molecular distillation [J]. Separation and Purification Technology, 2007, 57(2):220229.

计量标准器具 竭诚欢迎使用检定

松 香 色 度 标 准 块

本产品具有国内行业中质量检验的权威性
长期、周到的售后服务让客户无后顾之忧

松香色度标准装置(又名《松香颜色分级标准》玻璃比色块),是符合我国松香光学特性具有完整体系的松香颜色分级标准。1982年荣获林业部科技成果二等奖。1987年至今,被《脂松香》、《松香试验方法》国家标准所采用,并多次经国家质量监督检验检疫局复查考核合格。

用有色光学玻璃制成的最高标准一套称为“中国松香色度标准装置”,计六个级别,每级一块,编号为S20,保存在中国林业科学研究院林产化学工业研究所。本标准块为最高标准的复制品,分为壹等品和贰等品两种。壹等品适用于商检、质检、内外贸、工厂中心化验室和教学、科研等单位;贰等品适用于工厂车间化验室。根据检定规程,壹等品与最高标准的色差 $\Delta E_{ab}^* \leq 1.5$,贰等品与最高标准的色差 $\Delta E_{ab}^* \leq 2.0$ 。林产化学工业研究所为本标准块全国唯一的制造单位和归口检定单位。制造计量器具许可证证书编号为(苏)制00000095号。产品出厂两年内免检,以后按检定规程要求每两年采用双光束分光光度计复检一次。林产化学工业研究所将竭诚为您服务,欢迎来电来函订购,欢迎将标准块寄我所检定。

联系地址:210042 南京市锁金五村16号
中国林科院林产化学工业研究所

电 话:(025)85482450,85482533

联 系 人:郭长泰

传 真:(025)85413445