

《船用生物燃料油 B24、B30》

编制说明

(征求意见稿)

标准工作起草组

2025 年 4 月

1 工作简况

1.1 任务来源

为了应对航运业绿色低碳发展并实现“双碳”目标的要求，响应《国家能源局关于组织开展生物柴油推广应用试点示范的通知》的政策及加快推广 B24 等船用燃料油的应用需要，中国石油和化学工业联合会于 2024 年 8 月 21 日下达了《船用生物燃料油 B24、B30》团体标准制定工作计划通知，由中石油燃料油有限责任公司研究院牵头制定，文件编号为中石化联质发[2024] 94 号。

1.2 编制背景和目的意义

近几年，受国际海事组织（IMO）的船舶温室气体（GHG）减排战略、国内双碳目标、巴黎协定等共同要求，2030 年船舶碳强度比 2008 年降低至少 40%。近中期低碳、碳中性比较合适的船用燃料油是生物船燃、液化天然气、甲醇等低碳和碳中性燃料，远期零碳船用燃料油是绿氢、绿氨、绿电池等。ISO 8217-2024 船燃标准允许船燃掺混生物柴油，且使用生物船燃现有船舶发动机无需改造，与目前主流的石化类船燃产品相比，生物船燃是航运业减碳的可行路径之一。

目前 IMO/MEPC 对船舶的碳排放进行了船舶碳强度指数及评级机制，自 2023 年 1 月 1 日开始，IMO 对所有 5000 吨及以上国际航行船舶（限于 EEDI 适用船舶种类）的年度营运碳强度指标（CII）进行评级，共有 A、B、C、D 或 E 五个等级，表明优、小优、中等、小劣或低性能水平。性能水平将记录在船舶的船舶能源效率管理计划（SEEMP）中，如果评级为 E 或者连续三年评级为 D 船舶需要在船舶能效管理计划中制定整改计划，以达到要求的年度营运 CII。如果船舶评级不佳，会严重影响船舶的正常运营，并且在港口国进行 PSC 检查时，也会受到更多关注，增加滞留风险。

生物船用燃料的使用不仅极大的降低了船舶的碳排放，也带动相关行业的发展。航运企业收益最为直接，使用生物燃料油可以最便捷、最安全的方式降低船舶碳排放而满足相关政策要求；对生物柴油生产企业来讲，将有利于发挥资源禀赋优势，当地消化产能，改变过于依靠生物柴油出口的被动局面；对燃油供应企业来说，则扩大了船燃调和原料种类，增加了市场燃料油品种和供应量，有利于企业做优做强做大。

目前国内和国外的生物船燃牌号有 B20、B24、B30 等等，主流的牌号为 B24

和 B30 两种。国内 2022 年 9 月开始相继开展了多起生物船燃加注业务，主要在广州、舟山和大连，2025 年广东地区预测需求量达 60 万吨/年。国外荷兰、新加坡等地近两年生物燃料消费量增长迅速，其中荷兰鹿特丹港 2023 年生物船燃（B30）销量为 79 万吨，较 2022 年 30 万吨增加 1 倍多；新加坡 2024 年生物船燃（B24）销量为 88 万吨，较 2023 年 52 万吨同比增长 69%。随着相关政策的规定要求和支持，生物船燃消费量正逐年增加。

近几年国内生物柴油主要出口欧洲，受益于全球尤其是欧洲减碳需求，中国生物柴油行业蓬勃发展，中国生物柴油出口实现了倍数级增长。目前国内 2023 年生物柴油产量为 230 万吨，而根据海关数据生物柴油及其混合物（出口编码 38260000）2023 年的出口量为 195 万吨，是 2018 年规模的近 4 倍，85% 产量用于出口。2023 年 12 月 20 日欧盟对于中国进口的生物柴油展开反倾销调查，2025 年 2 月 11 日欧盟委员会发布公告，对原产于中国的生物柴油作出反倾销肯定性终裁，决定对涉案产品征收 10.0%~35.6% 的反倾销税，极大影响国内生物柴油的出口。2024 年国内生物柴油产量为 220 万吨，而 2024 年的出口量为 111 万吨，较 2023 年同比减少了 84 万吨。

生物柴油与低硫燃料油或低硫渣油调和生产生物船用燃料油，可增加国内生物柴油出路，支持生物柴油行业发展，贯彻新发展理念，推进废弃物循环利用。并且不同于欧洲，美国采用菜籽油、大豆油、棕榈油等生产生物柴油，中国的生物柴油主要是采用废弃油脂、地沟油等原料生产，减碳效果更为突出。

由于国内生物船用燃料暂未设定统一的产品标准，国外生物船用燃料产品目前有 ISO 8217-2024 相关船用燃料油技术指标要求。由于生物船用燃料油目前主要以生物柴油与石化类燃料油调和得到，而生物柴油长时间存放时会产生滋生细菌、氧化沉积等问题从而形成污泥导致堵塞过滤器和管道等情况，因此生物船用燃料和目前市面上主流的石化类船用燃料油在相容性、稳定性等技术性能指标要求上还是要有区别。因此，随着生物船用燃料销量和加注量的增加，制定生物船用燃料的相关标准，以规范和把控生物船用燃料市场产品交易品质迫在眉睫，且势在必行。

该标准项目涉及船用燃料油行业，根据目前的行业试点和可行性研究，鉴于生物船用燃料的相对成熟度和与现有基础设施以及国内和远洋船舶的技术兼容

性，生物船燃在短期内可能是海运可持续发展的过渡燃料。为响应 IMO 提出的航运业减排目标及国家碳减排政策，船用业加注生物燃料已是必然的发展趋势，基于 B24、B30 是未来生物船用燃料市场加注量较大的牌号，且国内没有可参照执行的国家或行业标准，生物燃料生产企业、船供油企业及船东都迫切需要相应技术标准支持和规范，以便于支持船用生物燃料 B24、B30 产品的生产、销售、检测及使用过程的全方位质量控制，制定生物船用燃料 B24、B30 相关产品标准，可填补这一空白，有助于我国航运业通过生物船燃路径减碳，有助于我国生物船燃产业链的发展，支持生物船用燃料行业发展，为未来生物船燃保税加注业务的开展打好基础，有助于提升我国船舶的年度营运碳强度评级，保障我国国际航行船舶的政策运营。

1.3 编制过程

2024 年 3 月 11 日，由中国石油和化学工业联合会生物化工与生物质专业委员会组织召开了生物船用燃料等团体标准编制座谈会，一致认为有必要建立生物船用燃料标准，并讨论了标准建立的范围和主要技术内容等，对各单位分工、进度计划进行了安排。

2024 年 3 月 28 日，由中石油燃料油有限责任公司研究院牵头向中国石油和化学工业联合会标准处提交了《船用生物燃料油 B24、B30》团体标准立项申报材料。

2024 年 7 月 23 日，在北京召开的 2024 年第一批石化联合会团体标准立项计划审查会上，《船用生物燃料油 B24、B30》团体标准立项申报答辩材料通过了审查工作组的审议，成功立项。

2024 年 11 月 15 日，由中国石油和化学工业联合会生物化工与生物质专业委员会组织召开了《船用生物燃料油 B24、B30》团体标准启动会，详细讨论了《船用生物燃料油 B24、B30》团体标准的各项技术指标和测试方法，确定关键性指标和评估标准，成立了中石油燃料油有限责任公司研究院、武汉天基生态能源科技有限公司、中石油燃料油有限责任公司、中国石油和化学工业联合会、中国石油天然气股份有限公司华北石化分公司、中国船舶燃料有限责任公司、中石化中海船舶燃料供应有限公司、深圳市朗坤科技股份有限公司、唐河金海生物科技有限公司组成的标准起草工作组。

2025 年 3 月，标准起草工作组汇总了实验数据，起草了标准文本及编制说

明，经充分讨论修改后，形成征求意见稿。

2 标准编制论据

2.1 国内外标准概论

石油基船用燃料油产品标准方面，GB 17411-2015《船用燃料油》及第1号修改单（2019）是我国现行船用燃料油标准。目前，该强制性国标正在修订中，计划跟进 ISO 8217-2024《船用燃料油规格》标准，新增对船用生物燃料油产品牌号的技术要求。

船用生物燃料油产品标准方面，目前国内无相关的国家标准和行业标准，中国出入境检验检疫协会于2024年8月21日发布了 T/CIQA 88-2024《船用生物燃料油》团体标准；国外主要有 ISO 8217-2024《船用燃料油规格》(见表1、表2)和新加坡临时提高 ISO 8217-2017 中 FAME 掺混比例的 WA2-2022《船用生物燃料规格》协议指标。

生物柴油标准方面，主要有荷兰 NEN 7427-1: 2024《用于调合船用残渣型燃料油的脂肪酸甲酯（FAME）及相关产品-第1部分：用于船用燃料油的脂肪酸甲酯（M-FAME）》标准、欧盟 EN 14214《柴油机和加热燃料用脂肪酸甲酯（FAME）》标准、美国 ASTM D6751《用于调合中间馏分燃料的生物柴油（B100）组分的标准规格》标准和中国 GB 25199-2017《B5 柴油》的附录 C“BD100 生物柴油”技术要求。其中，NEN 7427-1 标准专用于调合船用燃料油的 FAME，其他3项标准则侧重于调合车用柴油并可兼用于调合船用燃料油的 FAME。

船用燃料油比车用柴油对 FAME 调合组分的质量要求更宽松，为了更好地利用重质、劣质 FAME 资源，荷兰和比利时正起草用于调合船用燃料油的 FAME 系列标准，NEN 7427-1 是其中之一。尽管国际上有掺混相对劣质 FAME 进入船用燃料油的趋势，但尚无公开的应用数据。前期实验室以粗甲酯、石油基残渣燃料油调和船用生物燃料油考察相容性和稳定性数据，部分样品出现了相容性和稳定性较差现象。因此，本团标制定时，FAME 组分的质量要求仍然重点参考 GB 25199-2017《B5 柴油》的附录 C“BD100 生物柴油”技术要求。

表 1 ISO 8217-2024 船用馏分型生物燃料油的主要技术要求

| 项目 | 质量指标 | | | 试验方法 |
|----|------|-----|-----|------|
| | DFA | DFZ | DFB | |

| | | | | | |
|------------------------------------|------------|----------------|----------------|----------------------------|--|
| 运动黏度 (40 °C)/ (mm ² /s) | 不大于 不小于 | 6.000 2.000 | 6.000 3.000 | 11.00 2.000 | ISO 3104 |
| 密度(15 °C)/ (kg/m ³) | 不大于 | 890.0 | 890.0 | 900.0 | ISO 3675 或 ISO 12185 |
| 十六烷值 | 不小于 | 40.0 | 40.0 | 35.0 | ISO 5165 或 ASTM D6890/EN 15195 或 ASTM D7668/EN 16715 或 ASTM D8183/EN 17155 |
| 硫/ w % | 不大于 | 买方根据有关法规提出指标要求 | | | ISO 8754 或 ISO 14596, ASTM D4294 |
| 闪点 (闭口) /°C | 不低于 | 60 | 60 | 60 | ISO 2719 |
| 硫化氢含量/ (mg/kg) | 不大于 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | IP 570 |
| 酸值/ (mgKOH/g) | 不大于 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | ASTM D664 |
| 总沉积物 (热过滤法) /w% | 不大于 | - | - | 0.10 | ISO 10307-1 |
| 氧化安定性/h | 不小于 | 8.0 | 8.0 | 8.0 | EN 15751 |
| 脂肪酸甲酯 (FAME) /(w 或 v)% | | 报告 | 报告 | 报告 | ASTM D7963 或 EN 14078/ASTM D7371 |
| 净热值/(MJ/kg) | | 报告 | 报告 | 报告 | ASTM D240 |
| 10% 蒸余物残炭/% | 不大于 | 0.30 | 0.30 | - | ISO 10370 |
| 残炭/% | 不大于 | - | - | 0.30 | |
| 浊点/°C | 不高于 | 报告 | 报告 | 报告 | ISO 3015 |
| 冷滤点/°C | 不高于 | 报告 | 报告 | 报告 | EN 116 或 EN 16329 |
| 倾点/°C | 不高于 | | | | ISO 3016 |
| 冬季 | | -6 | -6 | 0 | |
| 夏季 | | 0 | 0 | 6 | |
| 外观 | | 清澈透明 | | 非清澈透明时, 总沉积物 (热过滤法) 和水分应合格 | 目测 |
| 水体积分数/% | 不大于 | - | - | 0.30 | ISO 3733 |
| 灰分/% | 不大于 | 0.010 | | | ISO 6245 |
| 润滑性 | | | | | ISO 12156-1 |
| 磨痕直径 (60 °C) /μm | 不大于 | 520 | | | |

表 2 ISO 8217-2024 船用残渣型生物燃料油的主要技术要求

| 项目 | 质量指标 | 试验方法 |
|----|------|------|
|----|------|------|

| | RF20 | RF80 | RF180 | RF380 | RF500 | |
|---|--|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------------|
| 运动黏度 (50°C)/ (mm ² /s) 不大于 不小于 | 20.00 2.000 | 80.00 20.00 | 180.0 80.00 | 380.0 120.0 | 500.0 380.0 | ISO 3104 |
| 密度(15°C)/ (kg/m ³) 不大于 | 955.0 | 991.0 | 991.0 | 991.0 | 1010.0 | ISO 3675 或 ISO 12185 |
| 碳芳香度指数 (CCAI) 不大于 | 860 | 870 | 870 | 870 | 870 | 附录 C |
| 硫含量/ (w)% 不大于 | 买方根据有关法规提出指标要求 | | | | | ISO 8754 或 ISO 14596,ASTM D4294 |
| 闪点 (闭口) /°C 不小于 | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 60.0 | ISO 2719 |
| 硫化氢/ (mg/kg) 不大于 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | IP 570 |
| 酸值/ (mgKOH/g) 不大于 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | ASTM D664 |
| 残炭/% 不大于 | 10.00 | 15.00 | 15.00 | 18.00 | 20.00 | ISO 10370 |
| 倾点/°C 不高于 | 6 | 30 | 30 | 30 | 30 | ISO 3016 |
| 水/(v)% 不大于 | 0.30 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | ISO 3733 |
| 灰分/(w)% 不大于 | 0.070 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.150 | ISO 6245 |
| 钒含量/ (mg/kg) 不大于 | 150 | 350 | 350 | 350 | 450 | IP 501,IP 470 或 ISO 14597 |
| 钠含量/ (mg/kg) 不大于 | 50 | 100 | 100 | 100 | 100 | IP 501,IP 470 |
| (铝+硅)含量/ (mg/kg) 不大于 | 40 | 60 | 60 | 60 | 60 | IP 501,IP 470 或 ISO 10478 |
| 未精炼的使用过的润滑油 (ULO) / (mg/kg) 钙和锌含量 钙和磷含量 | 符合下述条件之一, 认为燃料油含有 ULO: 钙含量 > 30mg/kg 且 锌含量 > 15mg/kg 钙含量 > 30mg/kg 且 磷含量 > 15mg/kg | | | | | IP 501 或 IP 470,IP 500 |
| 总沉积物质量分数 (TSP,热老化法) /% 不大于 | 0.10 | | | | | ISO 10307-2(A 法) |
| 总沉积物质量分数 (TSA,化学老化法) /% 不大于 | 报告 | | | | | ISO 10307-2(B 法) |
| 总沉积物质量分数 (TSE,热过滤法) /% 不大于 | 报告 | | | | | ISO 10307-1 |
| 脂肪酸甲酯 (FAME) / (w) % | 报告 | | | | | ASTM D7963 或 IP 631 |
| 净热值/ (MJ/kg) | 报告 | | | | | ASTM D240 |

2.2 标准制定依据

文本格式方面，本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。技术内容方面，本标准主要参考 GB 17411-2015《船用燃料油》、GB 25199-2017《B5 柴油》的附录 C 和 ISO 8217—2024《船用燃料油规格》标准的技术要求，同时基于我国船用燃料油和 FAME 的产品质量特点，确定了主要技术内容。

3 标准的主要实验和分析测试工作

3.1 实验样品的选择与确定

常见的船用生物燃料油品种为 B24、B30 船用生物燃料油，以 24%BD100 生物柴油与 76%石油基船用燃料油调合而成的为 B24 船用生物燃料油，30%BD100 生物柴油与 70%石油基船用燃料油调合而成的为 B30 船用生物燃料油。对不同生物柴油生产厂提供的生物柴油按 BD100 技术指标要求进行性质分析，具体分析数据见表 3。对中石油、中石化、中海油及民营炼油厂提供的石油基船用残渣燃料油按 GB 17411-2015 技术指标要求进行性质分析，具体检测分析数据见表 4。

表 3 BD100 生物柴油理化性质分析

| 项目 | BD100 生物柴油 | | | | 试验方法 |
|--------------------------------|------------|-------|-------|-------|------------|
| | F1 | F2 | F3 | F4 | |
| 密度(20℃), kg/m ³ | 874.7 | 874.8 | 881.5 | 876.3 | SH/T 0604 |
| 运动黏度 (40℃), mm ² /s | 4.277 | 4.321 | 4.11 | 4.81 | GB/T30515 |
| 闪点 (闭口), °C | 176 | 146.0 | 168.5 | 159 | GB/T 261 |
| 冷滤点, °C | 5 | 3 | -3 | 2 | SH/T 0248 |
| 硫含量, mg/kg | 13 | 8.3 | <3 | 5.4 | SH/T 0689 |
| 残炭, w% | - | 0.01 | 0.03 | 0.01 | GB/T 17144 |
| 硫酸盐灰分, % | <0.005 | 0.001 | 0.002 | 0.001 | GB/T 2433 |
| 水质量分数, mg/kg | 220 | 101 | 118 | 134 | GB/T 11133 |
| 机械杂质, % | - | 无 | 无 | 无 | GB/T 511 |
| 铜片腐蚀 (50℃/3h), 级 | 1a | 1a | 1a | 1a | GB/T 5096 |
| 十六烷值 | 55.6 | 72.4 | 49 | 51.3 | GB/T 386 |

| | | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| 氧化安定性 (110°C), h | 8.5 | 0.4 | >21.3 | 8 | NB/SH/T 0825 |
| 酸值, mgKOH/g | 0.35 | 0.4 | 0.07 | 0.39 | GB/T 7304 |
| 游离甘油, w% | 0.009 | 0.007 | 0.004 | 0.011 | SH/T 0796 |
| 单甘酯, w% | <0.1 | 0.074 | 0.085 | 0.13 | SH/T 0796 |
| 总甘油, w% | 0.024 | 0.025 | 0.026 | 0.063 | SH/T 0796 |
| 一价金属 (Na+K) 含量, mg/kg | <1 | <1 | <1.0 | <1 | ASTM D7111 |
| 二价金属 (Ca+Mg) 含量, mg/kg | <1 | <1 | <1.0 | <1 | ASTM D7111 |
| 磷, mg/kg | <4 | <1 | <1.0 | <1 | ASTM D7111 |
| 脂肪酸甲酯, w% | 98.5 | 98.2 | 98.7 | 97.1 | NB/SH/T 0831 |

表 4 船用残渣燃料油原料性质分析

| 项目 | R1 | R2 | R3 | R4 | 试验方法 |
|---------------------------------|--------------|-------------|-------|-------|-----------------------|
| 运动黏度 (50°C), mm ² /s | 9120 | 513.8 | 232.8 | 109.4 | GB/T 30515 |
| 密度 (20°C), kg/m ³ | 971.0 | 1054.5 | 955.0 | 907.7 | SH/T 0604 |
| 碳芳香度指数 (CCAI) | 806 | 912 | 824 | 786 | GB 17411— 2015 附录F |
| 硫含量, w% | 0.64 | 0.60 | 0.299 | 0.31 | GB/T 17040 |
| 闪点(闭口), °C | >300 (开口) | 186 (开口) | 75.0 | 80.0 | GB/T 261 |
| 硫化氢, mg/kg | 0 | 0 | 0 | 0 | IP 570 |
| 酸值, mgKOH/g | 1.55 | 0.05 | 1.81 | 0.16 | GB/T 7304 |
| 总沉积物 (热老化法), w% | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.014 | SH/T 0702 |
| 残炭, w% | 12.61 | - | 10.71 | 8.57 | GB/T 17144 |
| 倾点, °C | >40 | 15 | 3 | 33 | GB/T 3535 |
| 水分, v% | 痕迹 | 0.03 | 痕迹 | 0 | GB/T 11133 |
| 灰分, w% | 0.03 | 0.0945 | 0.052 | 0.004 | GB/T 508 |
| 钒, mg/kg | 31.50 | 6.6 | 1.22 | 1.76 | IP 501 |
| 钠, mg/kg | 19.27 | 0.9 | 55.87 | 0 | IP 501 |
| 铝+硅, mg/kg | 19.00 | 101 | 28.58 | 3.49 | IP 501 |
| 热值, MJ/kg | - | - | 41.18 | 41.87 | GB/T 384 |

| | | | | | |
|----------------------|-------|-----|-------|------|--------|
| 使用过的润滑油 (ULO), mg/kg | | | | | |
| 钙 | 59.84 | 2.8 | 81.49 | 3.71 | IP 501 |
| 锌 | 1.38 | 0 | 0.98 | 1.28 | |
| 磷 | 0.17 | 7.9 | 0 | 0 | |

续表 4 船用残渣燃料油原料性质分析

| 项目 | R5 | R6 | R7 | 试验方法 |
|--------------------------------|-------|-------|--------|----------------------|
| 运动黏度 (50℃), mm ² /s | 48.6 | 419.4 | 3160.8 | GB/T 30515 |
| 密度 (20℃), kg/m ³ | 959.0 | 952.1 | 933.9 | SH/T 0604 |
| 碳芳香度指数 (CCAI) | 845 | 812 | 776 | GB 17411—2015 附录F |
| 硫含量, w% | 0.24 | 0.628 | 0.11 | GB/T 17040 |
| 闪点(闭口), °C | 89 | 156 | 305 | GB/T 261 |
| 硫化氢, mg/kg | 0 | 0 | 0 | IP 570 |
| 酸值, mgKOH/g | 0.02 | 0.48 | 0.53 | GB/T 7304 |
| 总沉积物 (热老化法), w% | 0.01 | 0.01 | 0.04 | SH/T 0702 |
| 残炭, w% | 5.23 | 12.71 | 8.57 | GB/T 17144 |
| 倾点, °C | 18 | 27 | >50 | GB/T 3535 |
| 水分, v% | 痕迹 | 0 | 0 | GB/T 11133 |
| 灰分, w% | 0.006 | 0.011 | 0.013 | GB/T 508 |
| 钒, mg/kg | 0 | 9.7 | 20.01 | IP 501 |
| 钠, mg/kg | 1.91 | 0 | 2.09 | IP 501 |
| 铝+硅, mg/kg | 14.63 | 9.7 | 1.78 | IP 501 |
| 热值, MJ/kg | 41.21 | 41.40 | 42.16 | GB/T 384 |
| 使用过的润滑油 (ULO), mg/kg | | | | |
| 钙 | 0.33 | 3.4 | 14.9 | IP 501 |
| 锌 | 0.23 | 0.2 | 15.9 | |
| 磷 | 0 | 0.3 | 0.3 | |

以不同厂家的石油基船用燃料油和 BD100 生物柴油作为原料, 按不同比例调配出 B24、B30 船用生物燃料油进行试验。试验的基本原则是基于 GB 17411-2015 的基本项目, 同时增加脂肪酸甲酯(FAME)含量、总沉积物-热老化法 (TSP)、总沉积物-化学老化法 (TSA)、总沉积物-热过滤法 (TSE) 的测定。

3.2 牌号的确定

按照 2019 年国际海事组织（IMO）海洋环境保护委员会（MEPC）第 17 号通告《2019 年石油及生物燃料混合物运输指南》的规定，以及参考国际第一大船加油港新加坡港主要供应 B24 牌号及鹿特丹港供应 B30 牌号的船用生物燃料油的现状，本标准的牌号定为 B24、B30。目前市场上生物柴油和船用残渣燃料油调合成船用生物燃料油一般是按质量比进行调合，ISO 8217-2024 船用燃料油标准中，生物残渣燃料油也是规定按照质量分数进行调合。因此，本文件中 B24、B30 船用燃料油的脂肪酸甲酯含量按照质量分数进行确定。

3.3 船用生物燃料稳定性的验证

分别以 R1R2F1、R6F1、R5F1、R5F3、R5F2 为原料调和 B24 船用生物燃料油，分别以 R4F4、R5F4、R3F4 为原料调和 B30 船用生物燃料油，以 R7F1 为原料调和 B50 船用生物燃料油，按 GB 17411-2015 的基本项目，同时增加脂肪酸甲酯(FAME)含量性质分析，具体性质见表 5。由表 5 分析数据可知，调和后 B24、B30、B50 船用生物燃料油产品性质均满足 GB 17411-2015 船用残渣燃料油相关品质要求。

表 5 调和 B24 船用生物燃料油产品性质

| 项目 | 调和组分 | | | | | 试验方法 |
|------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------------------|
| | R1R2F1 | R6F1 | R5F1 | R5F3 | R5F2 | |
| 脂肪酸甲酯（FAME）/w% | 23.64 | 23.64 | 23.64 | 23.69 | 23.57 | NB/SH/T 0831 |
| 运动黏度（50℃），mm ² /s | 121.8 | 69.9 | 28.3 | 27.5 | 27.85 | GB/T 30515 |
| 密度（20℃），kg/m ³ | 974.7 | 934.4 | 956.1 | 955.9 | 956.0 | SH/T 0604 |
| 碳芳香度指数（CCAI） | 849 | 816 | 852 | 852 | 852 | GB 17411—2015 附录F |
| 硫含量，w% | 0.47 | 0.48 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | GB/T 17040 |
| 闪点(闭口)，℃ | 108 | 111 | 106 | 108 | 112 | GB/T 261 |
| 硫化氢，mg/kg | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | IP 570 |
| 酸值，mgKOH/g | 0.81 | 0.45 | 0.10 | 0.05 | 0.15 | GB/T 7304 |
| 总沉积物-热老化法，w% | 0.008 | 0.055 | 0.030 | 0.027 | 0.044 | SH/T 0702 |
| 残炭，w% | 8.93 | 9.66 | 3.97 | 3.97 | 3.98 | GB/T 17144 |
| 倾点，℃ | 21 | 23 | 16 | 15 | 15 | GB/T 3535 |
| 水分，v% | 痕迹 | 痕迹 | 痕迹 | 痕迹 | 痕迹 | GB/T 11133 |

| | | | | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| 灰分, w% | 0.042 | 0.008 | 0.005 | 0.007 | 0.007 | GB/T 508 |
| 钒, mg/kg | 16.47 | 7.37 | 0 | 0 | 0.12 | IP 501 |
| 钠, mg/kg | 12.71 | 3.57 | 5.02 | 1.45 | 4.71 | IP 501 |
| 铝+硅, mg/kg | 44.27 | 12.6 | 16.35 | 13.70 | 15.45 | IP 501 |
| 净热值, MJ/kg | 40.35 | 40.65 | 40.50 | 40.50 | 40.51 | GB/T 384 |
| 使用过的润滑油 (ULO), mg/kg | | | | | | |
| 钙 | 32.9 | 7.17 | 4.83 | 2.91 | 3.59 | IP 501 |
| 锌 | 0.66 | 0.17 | 0.19 | 0.21 | 0.19 | |
| 磷 | 2.45 | 0.23 | 0 | 0.01 | 0.06 | |

续表 5 调和 B30、B50 船用生物燃料油产品性质

| 项目 | 调和组分 | | | B50 R7F1 | 试验方法 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------------|----------------------|
| | R4F4 | R5F4 | R3F4 | | |
| 脂肪酸甲酯 (FAME) /w% | 29.13 | 29.13 | 29.13 | 49.25 | NB/SH/T 0831 |
| 运动黏度 (50℃), mm ² /s | 42.6 | 22.28 | 37.4 | 35.2 | GB/T 30515 |
| 密度 (20℃), kg/m ³ | 929.3 | 949.7 | 935.3 | 906.7 | SH/T 0604 |
| 碳芳香度指数 (CCAI) | 818 | 850 | 826 | 799 | GB 17411—2015 附录F |
| 硫含量, w% | 0.22 | 0.17 | 0.21 | 0.06 | GB/T 17040 |
| 闪点(闭口), °C | 108 | 110 | 105 | 101 | GB/T 261 |
| 硫化氢, mg/kg | 0 | 0 | 0 | 0 | IP 570 |
| 酸值, mgKOH/g | 0.23 | 0.13 | 1.38 | 0.45 | GB/T 7304 |
| 总沉积物-热老化法, w% | 0.044 | 0.008 | 0.012 | 0.036 | SH/T 0702 |
| 残炭, w% | 5.99 | 3.66 | 7.50 | 4.29 | GB/T 17144 |
| 倾点, °C | 25 | 15 | 4 | 26 | GB/T 3535 |
| 水分, v% | 0.005 | 痕迹 | 痕迹 | 0.011 | GB/T 11133 |
| 灰分, w% | 0.003 | 0.004 | 0.036 | 0.007 | GB/T 508 |
| 钒, mg/kg | 1.37 | 0.14 | 0.99 | 10.01 | IP 501 |
| 钠, mg/kg | 4.21 | 5.55 | 43.32 | 8.50 | IP 501 |
| 铝+硅, mg/kg | 7.84 | 15.64 | 25.41 | 11.78 | IP 501 |
| 热值, MJ/kg | 40.81 | 40.34 | 40.32 | 40.22 | GB/T 384 |

| | | | | | |
|----------------------|------|------|-------|-------|--------|
| 使用过的润滑油 (ULO), mg/kg | | | | | |
| 钙 | 6.46 | 4.10 | 60.90 | 17.00 | IP 501 |
| 锌 | 1.14 | 0.41 | 0.93 | 8.00 | |
| 磷 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.15 | |

本研究主要考察了 B24、B30 两种牌号的船用燃料油样品，在 B24~B30 范围内研究船用生物燃料油的稳定性数据及有关变化规律。样品常温存放，重点考察初始及每隔一个月、两个月、三个月测定总沉积物-热老化法 (TSP)、总沉积物-化学老化法 (TSA)、总沉积物-热过滤法 (TSE)、不同位置密度和运动黏度的指标变化情况以及相容性和清洁度情况。

以 R1R2F1 为原料调和的 B24 船用生物燃料油稳定性分析数据见表 6。由表 6 数据可知，调合的 B24 船用生物燃料油在三个月的存储时间里，船用生物燃料油上中下三部分的密度、运动粘度和三种总沉积物均变化非常小，相容性和清洁度均为一级，且三种总沉积物均小于 0.1%，表明调和的 B24 船用生物燃料油具有较好的稳定性和相容性。

表 6 R1R2F1 调和 B24 船用生物燃料油稳定性分析数据

| 调和组分 | R1R2F1 | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 初始 | 一个月 | | | 两个月 | | | 三个月 | | |
| 取样点 | - | 上部 | 中部 | 下部 | 上部 | 中部 | 下部 | 上部 | 中部 | 下部 |
| 运动黏度 (50℃) /mm ² /s | 121.8 | 121.5 | 121.3 | 121.2 | 121.1 | 121.6 | 121.8 | 121.9 | 121.6 | 121.3 |
| 密度 (20℃) /kg/m ³ | 974.7 | 974.3 | 974.6 | 974.6 | 974.0 | 974.2 | 974.1 | 974.5 | 974.2 | 974.3 |
| 总沉积物 (TSP) /w% | 0.008 | 0.015 | 0.010 | 0.017 | 0.056 | 0.052 | 0.066 | 0.020 | 0.027 | 0.036 |
| 总沉积物 (TSA) /w% | 0.023 | 0.015 | 0.016 | 0.018 | 0.049 | 0.060 | 0.042 | 0.040 | 0.014 | 0.023 |
| 总沉积物 (TSE) /w% | 0.022 | 0.037 | 0.032 | 0.018 | 0.051 | 0.025 | 0.038 | 0.038 | 0.021 | 0.023 |
| 相容性 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 |
| 清洁度 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 | 一级 |

以 R6F1 为原料调和了 8000 吨 B24 船用生物燃料油，取样后分析的稳定性数据见表 7。由表 7 数据可知，调合的 B24 船用生物燃料油在三个月的存储时间里，船用生物燃料油上中下三部分的密度、运动粘度和三种总沉积物均变化较小，相容性和清洁度均为一级，且三种总沉积物均小于 0.1%，表明调和的 B24 船用生物燃料油具有较好的稳定性和相容性。

表 7 R6F1 调和 B24 船用生物燃料油稳定性分析数据

| 调和组分 | R6F1 | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 初始 | 一个月 | | | 两个月 | | | 三个月 | | |
| 时间 | | | | | | | | | | |
| 取样点 | - | 上部 | 中部 | 下部 | 上部 | 中部 | 下部 | 上部 | 中部 | 下部 |
| 运动黏度 (50℃) /mm ² /s | 69.9 | 70.93 | 70.41 | 70.57 | 70.82 | 70.11 | 70.44 | 70.82 | 78.11 | 70.44 |
| 密度 (20℃) /kg/m ³ | 934.4 | 934.4 | 934.6 | 933.4 | 934.1 | 934.5 | 934.6 | 934.1 | 934.5 | 934.6 |
| 总沉积物 (TSP) /w% | 0.055 | 0.026 | 0.040 | 0.010 | 0.043 | 0.020 | 0.024 | 0.043 | 0.020 | 0.024 |
| 总沉积物 (TSA) /w% | 0.031 | 0.032 | 0.019 | 0.029 | 0.051 | 0.035 | 0.034 | 0.051 | 0.035 | 0.034 |
| 总沉积物 (TSE) /w% | 0.037 | 0.018 | 0.043 | 0.012 | 0.045 | 0.041 | 0.060 | 0.045 | 0.041 | 0.060 |
| 相容性 | 一级 |
| 清洁度 | 一级 |

以 R5F1 为原料调和的 B24 船用生物燃料油稳定性分析数据见表 8。由表 8 数据可知，调合的 B24 船用生物燃料油在三个月的存储时间里，船用生物燃料油上中下三部分的密度、运动粘度和三种总沉积物均变化较小，相容性和清洁度均为一级，且三种总沉积物均小于 0.1%，表明调和的 B24 船用生物燃料油具有较好的稳定性和相容性。

表 8 R5F1 调和 B24 船用生物燃料油稳定性分析数据

| 调和组分 | R5F1 | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 初始 | 一个月 | | | 两个月 | | | 三个月 | | |
| 时间 | | | | | | | | | | |
| 取样点 | - | 上部 | 中部 | 下部 | 上部 | 中部 | 下部 | 上部 | 中部 | 下部 |
| 运动黏度 (50℃) /mm ² /s | 28.3 | 28.2 | 28.3 | 28.1 | 28.4 | 28.0 | 28.1 | 28.4 | 28.3 | 28.1 |
| 密度 (20℃) /kg/m ³ | 956.1 | 956.0 | 956.7 | 956.0 | 956.1 | 956.1 | 956.2 | 955.8 | 955.9 | 955.9 |
| 总沉积物 (TSP) /w% | 0.030 | 0.018 | 0.017 | 0.013 | 0.031 | 0.015 | 0.024 | 0.025 | 0.020 | 0.027 |
| 总沉积物 (TSA) /w% | 0.11 | 0.023 | 0.023 | 0.035 | 0.030 | 0.028 | 0.023 | 0.020 | 0.024 | 0.019 |
| 总沉积物 (TSE) /w% | 0.011 | 0.017 | 0.008 | 0.008 | 0.033 | 0.024 | 0.010 | 0.023 | 0.019 | 0.029 |
| 相容性 | 一级 |
| 清洁度 | 一级 |

以 R5F3 为原料调和的 B24 船用生物燃料油稳定性分析数据见表 9。由表 9 数据可知，调合的 B24 船用生物燃料油在三个月的存储时间里，船用生物燃料油上中下三部分的密度、运动粘度和三种总沉积物均变化较小，相容性和清洁度均为一级，且三种总沉积物均小于 0.1%，表明调和的 B24 船用生物燃料油具有

较好的稳定性和相容性。

表 9 R5F3 调和 B24 船用生物燃料油稳定性分析数据

| 调和组分 | R5F3 | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 初始 | 一个月 | | | 两个月 | | | 三个月 | | |
| 时间 | 初始 | 一个月 | | | 两个月 | | | 三个月 | | |
| 取样点 | - | 上部 | 中部 | 下部 | 上部 | 中部 | 下部 | 上部 | 中部 | 下部 |
| 运动黏度 (50℃) /mm ² /s | 27.5 | 28.25 | 28.35 | 28.14 | 27.97 | 28.06 | 28.15 | 27.9 | 28.0 | 28.0 |
| 密度 (20℃) /kg/m ³ | 955.9 | 956.0 | 955.9 | 955.9 | 956.0 | 956.0 | 956.0 | 956.0 | 956.9 | 956.0 |
| 总沉积物 (TSP) /w% | 0.027 | 0.018 | 0.005 | 0.013 | 0.023 | 0.029 | 0.024 | 0.020 | 0.024 | 0.032 |
| 总沉积物 (TSA) /w% | 0.003 | 0.018 | 0.013 | 0.019 | 0.006 | 0.006 | 0.018 | 0.016 | 0.020 | 0.020 |
| 总沉积物 (TSE) /w% | 0.014 | 0.015 | 0.022 | 0.017 | 0.029 | 0.042 | 0.026 | 0.005 | 0.020 | 0.012 |
| 相容性 | 一级 |
| 清洁度 | 一级 |

以 R5F2 为原料调和的 B24 船用生物燃料油稳定性分析数据见表 10。由表 10 数据可知，调合的 B24 船用生物燃料油在三个月的存储时间里，船用生物燃料油上中下三部分的密度、运动粘度和三种总沉积物均变化较小，相容性和清洁度均为一级，且三种总沉积物均小于 0.1%，表明调和的 B24 船用生物燃料油具有较好的稳定性和相容性。

表 10 R5F2 调和 B24 船用生物燃料油稳定性分析数据

| 调和组分 | R5F2 | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 初始 | 一个月 | | | 两个月 | | | 三个月 | | |
| 时间 | 初始 | 一个月 | | | 两个月 | | | 三个月 | | |
| 取样点 | - | 上部 | 中部 | 下部 | 上部 | 中部 | 下部 | 上部 | 中部 | 下部 |
| 运动黏度 (50℃) /mm ² /s | 27.85 | 27.96 | 27.99 | 28.13 | 28.03 | 28.11 | 28.21 | 27.9 | 27.8 | 27.8 |
| 密度 (20℃) /kg/m ³ | 956.0 | 955.9 | 956.0 | 956.0 | 955.9 | 955.9 | 956.0 | 955.7 | 955.8 | 955.8 |
| 总沉积物 (TSP) /w% | 0.032 | 0.039 | 0.044 | 0.020 | 0.022 | 0.028 | 0.015 | 0.023 | 0.025 | 0.023 |
| 总沉积物 (TSA) /w% | 0.023 | 0.032 | 0.035 | 0.023 | 0.014 | 0.029 | 0.016 | 0.034 | 0.017 | 0.016 |
| 总沉积物 (TSE) /w% | 0.029 | 0.025 | 0.035 | 0.025 | 0.010 | 0.030 | 0.010 | 0.031 | 0.023 | 0.025 |
| 相容性 | 一级 |
| 清洁度 | 一级 |

以 R4F4 为原料调和的 B30 船用生物燃料油稳定性分析数据见表 11。由表 11 数据可知，调合的 B30 船用生物燃料油在三个月的存储时间里，船用生物燃料油上中下三部分的密度、运动粘度和三种总沉积物均变化较小，相容性和清洁

度均为一级，且三种总沉积物均小于 0.1%，表明调和的 B24 船用生物燃料油具有较好的稳定性和相容性。

表 11 R4F4 调和 B30 船用生物燃料油稳定性分析数据

| 调和组分 | R4F4 | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 初始 | 一个月 | | | 两个月 | | | 三个月 | | |
| 时间 | 初始 | | | | | | | | | |
| 取样点 | - | 上部 | 中部 | 下部 | 上部 | 中部 | 下部 | 上部 | 中部 | 下部 |
| 运动黏度 (50℃) /mm ² /s | 42.60 | 42.6 | 42.2 | 42.9 | 42.10 | 42.39 | 42.24 | 42.21 | 42.32 | 42.19 |
| 密度 (20℃) /kg/m ³ | 929.3 | 929.7 | 929.9 | 930.3 | 929.4 | 929.6 | 929.6 | 929.1 | 929.4 | 929.5 |
| 总沉积物 (TSP) /w% | 0.044 | 0.021 | 0.072 | 0.079 | 0.037 | 0.047 | 0.066 | 0.041 | 0.045 | 0.048 |
| 总沉积物 (TSA) /w% | 0.008 | 0.014 | 0.014 | 0.057 | 0.023 | 0.059 | 0.039 | 0.021 | 0.029 | 0.031 |
| 总沉积物 (TSE) /w% | 0.046 | 0.038 | 0.045 | 0.058 | 0.020 | 0.018 | 0.016 | 0.025 | 0.028 | 0.026 |
| 相容性 | 一级 |
| 清洁度 | 一级 |

以 R5F4 为原料调和的 B30 船用生物燃料油稳定性分析数据见表 12。由表 12 数据可知，调合的 B30 船用生物燃料油在三个月的存储时间里，船用生物燃料油上中下三部分的密度、运动粘度和三种总沉积物均变化较小，相容性和清洁度均为一级，且三种总沉积物均小于 0.1%，表明调和的 B24 船用生物燃料油具有较好的稳定性和相容性。

表 12 R5F4 调和 B30 船用生物燃料油稳定性分析数据

| 调和组分 | R5F4 | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 初始 | 一个月 | | | 两个月 | | | 三个月 | | |
| 时间 | 初始 | | | | | | | | | |
| 取样点 | - | 上部 | 中部 | 下部 | 上部 | 中部 | 下部 | 上部 | 中部 | 下部 |
| 运动黏度 (50℃) /mm ² /s | 22.28 | 22.32 | 22.28 | 22.21 | 22.18 | 22.17 | 22.23 | 22.38 | 22.35 | 22.33 |
| 密度 (20℃) /kg/m ³ | 949.7 | 949.5 | 949.6 | 949.6 | 949.0 | 949.5 | 949.3 | 949.1 | 949.4 | 949.1 |
| 总沉积物 (TSP) /w% | 0.008 | 0.034 | 0.035 | 0.037 | 0.018 | 0.020 | 0.016 | 0.021 | 0.020 | 0.023 |
| 总沉积物 (TSA) /w% | 0.010 | 0.035 | 0.034 | 0.029 | 0.011 | 0.009 | 0.018 | 0.013 | 0.014 | 0.015 |
| 总沉积物 (TSE) /w% | 0.030 | 0.023 | 0.036 | 0.039 | 0.018 | 0.017 | 0.018 | 0.015 | 0.017 | 0.014 |
| 相容性 | 一级 |
| 清洁度 | 一级 |

以 R3F4 为原料调和的 B30 船用生物燃料油稳定性分析数据见表 113。由表 13 数据可知，调合的 B30 船用生物燃料油在三个月的存储时间里，船用生物燃

料油上中下三部分的密度、运动粘度和三种总沉积物均变化较小，相容性和清洁度均为一级，且三种总沉积物均小于 0.1%，表明调和的 B24 船用生物燃料油具有较好的稳定性和相容性。

表 13 R3F4 调和 B30 船用生物燃料油稳定性分析数据

| 调和组分 | R3F4 | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 初始 | 一个月 | | | 两个月 | | | 三个月 | | |
| 时间 | - | 上部 | 中部 | 下部 | 上部 | 中部 | 下部 | 上部 | 中部 | 下部 |
| 运动黏度 (50℃) /mm ² /s | 37.36 | 37.79 | 37.89 | 38.40 | 37.57 | 37.73 | 37.75 | 37.61 | 37.63 | 37.65 |
| 密度 (20℃) /kg/m ³ | 935.3 | 935.5 | 935.4 | 935.6 | 934.9 | 935.0 | 935.0 | 935.4 | 935.1 | 935.2 |
| 总沉积物 (TSP) /w% | 0.012 | 0.008 | 0.014 | 0.016 | 0.005 | 0.014 | 0.014 | 0.012 | 0.013 | 0.011 |
| 总沉积物 (TSA) /w% | 0.003 | 0.013 | 0.018 | 0.011 | 0.010 | 0.009 | 0.009 | 0.011 | 0.010 | 0.009 |
| 总沉积物 (TSE) /w% | 0.005 | 0.017 | 0.018 | 0.016 | 0.005 | 0.004 | 0.004 | 0.006 | 0.007 | 0.005 |
| 相容性 | 一级 |
| 清洁度 | 一级 |

以 R7F1 为原料调和的 B50 船用生物燃料油稳定性分析数据见表 14。由表 14 数据可知，调合的 B50 船用生物燃料油在三个月的存储时间里，船用生物燃料油上中下三部分的密度、运动粘度和三种总沉积物均变化较小，相容性和清洁度均为一级，且三种总沉积物均小于 0.1%，表明调和的 B50 船用生物燃料油具有较好的稳定性和相容性。

表 14 R7F1 调和 B50 船用生物燃料油稳定性分析数据

| 调和组分 | R7F1 | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 初始 | 一个月 | | | 两个月 | | | 三个月 | | |
| 时间 | - | 上部 | 中部 | 下部 | 上部 | 中部 | 下部 | 上部 | 中部 | 下部 |
| 运动黏度 (50℃) /mm ² /s | 35.18 | 35.18 | 35.32 | 35.26 | 35.37 | 35.99 | 35.74 | 35.96 | 35.25 | 36.19 |
| 密度 (20℃) /kg/m ³ | 906.7 | 906.7 | 907.2 | 907.3 | 906.8 | 907.0 | 907.3 | 907.0 | 907.0 | 907.0 |
| 总沉积物 (TSP) /w% | 0.036 | 0.017 | 0.017 | 0.027 | 0.048 | 0.052 | 0.067 | 0.050 | 0.076 | 0.060 |
| 总沉积物 (TSA) /w% | 0.026 | 0.029 | 0.030 | 0.033 | 0.038 | 0.049 | 0.033 | 0.048 | 0.052 | 0.042 |
| 总沉积物 (TSE) /w% | 0.016 | 0.023 | 0.033 | 0.054 | 0.030 | 0.047 | 0.050 | 0.057 | 0.062 | 0.064 |
| 相容性 | 一级 |
| 清洁度 | 一级 |

3.4 市售船用生物燃料性质分析

对市面上销售的 B24、B30 船用生物燃料油进行收集，因国内和新加坡目前基本没有 B30 船用生物燃料油市售和加注，在鹿特丹港加注量较大，仅收集到 1 份 B30 相关品质分析单。目前市售船用生物燃料油产品主要按 ISO 8217-2010 的基本项目，同时增加脂肪酸甲酯(FAME)含量进行性质分析，具体性质分析数据见表 15。由表 15 分析数据可知，市售 B24、B30 船用生物燃料油产品性质均满足 GB 17411-2015 船用残渣燃料油相关品质要求。

表 15 市售 B24、B30 船用生物燃料油产品性质

| 项目 | 生物船燃 | | | | | 试验方法 |
|---------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|-------------|
| | B24 | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 脂肪酸甲酯 (FAME), w% | 23.57 | 23.5 | 23.5 | 23.2 | 23.50 | ASTM D7963 |
| 运动黏度 (50°C), mm ² /s | 34.49 | 68.2 | 43.20 | 66.91 | 68.05 | ISO 3104 |
| 密度 (15°C), kg/m ³ | 927.6 | 934.7 | 946.5 | 948.6 | 964.7 | ISO 12185 |
| 碳芳香度指数 (CCAI) | 820 | 816 | 835 | 831 | 846 | ISO 8217 |
| 硫含量, w% | 0.39 | 0.47 | 1.85 | 1.87 | 2.09 | ISO 8754 |
| 闪点(闭口), °C | 82 | >100 | >100.0 | >100.0 | 90 | ISO 2719 |
| 硫化氢, mg/kg | <0.60 | <0.60 | <0.60 | <0.60 | <0.60 | IP 570 |
| 酸值, mgKOH/g | 0.34 | 0.42 | 0.21 | 0.21 | 0.08 | ASTM D664 |
| 总沉积物-热老化法, w% | 0.03 | <0.01 | <0.01 | 0.01 | 0.03 | ISO 10307-2 |
| 残炭, w% | 3.32 | 7.11 | 8.41 | 8.90 | 11.6 | ISO 10370 |
| 倾点, °C | -3 | 18 | 3 | 0 | 3 | ISO 3016 |
| 水分, v% | 0.25 | 0.25 | 0.10 | 0.20 | 0.25 | ISO 3733 |
| 灰分, w% | 0.010 | 0.007 | 0.014 | 0.035 | 0.046 | ISO 6245 |
| 钒, mg/kg | 4 | 9 | 23 | 93 | 151 | IP 501 |
| 钠, mg/kg | 10 | 3 | 9 | 18 | 25 | IP 501 |
| 铝+硅, mg/kg | 12 | <15 | <15 | <15 | 15 | IP 501 |
| 净热值, MJ/kg | 40.59 | 40.65 | 40.15 | 40.31 | 39.390 | ASTM D240 |
| 使用过的润滑油 (ULO), mg/kg | | | | | | |
| 钙 | 6 | 5 | <3 | 5 | 5 | IP 501 |
| 锌 | <1 | <1 | <1 | <1 | 2 | |
| 磷 | <1 | 1 | <1 | 1 | <1 | |

续表 15 市售 B24、B30 船用生物燃料油产品性质

| 项目 | 生物船燃 | B24 | | | | | 试验方法 |
|---------------------------------|------|--------|-------|-------|--------|--------|-------------|
| | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| 脂肪酸甲酯 (FAME), w% | | 23.2 | 23.6 | 23.6 | 23.4 | 23.5 | ASTM D7963 |
| 运动黏度 (50°C), mm ² /s | | 37.05 | 59.78 | 60.80 | 40.05 | 59.88 | ISO 3104 |
| 密度 (15°C), kg/m ³ | | 941.3 | 933.7 | 933.2 | 944.0 | 933.0 | ISO 12185 |
| 碳芳香度指数 (CCAI) | | 832 | 817 | 817 | 834 | 817 | ISO 8217 |
| 硫含量, w% | | 0.33 | 0.41 | 0.42 | 0.32 | 0.40 | ISO 8754 |
| 闪点(闭口), °C | | >100.0 | 94.0 | 93.0 | >100.0 | >100.0 | ISO 2719 |
| 硫化氢, mg/kg | | <0.60 | <0.60 | <0.60 | <0.60 | <0.60 | IP 570 |
| 酸值, mgKOH/g | | 0.68 | 0.36 | 0.41 | 0.76 | 0.28 | ASTM D664 |
| 总沉积物-热老化法, w% | | 0.01 | 0.01 | <0.01 | 0.01 | <0.01 | ISO 10307-2 |
| 残炭, w% | | 5.43 | 7.21 | 7.04 | 6.02 | 6.51 | ISO 10370 |
| 倾点, °C | | 0 | 18 | 18 | 6 | 9 | ISO 3016 |
| 水分, v% | | 0.05 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.05 | ISO 3733 |
| 灰分, w% | | 0.020 | 0.007 | 0.013 | 0.024 | 0.016 | ISO 6245 |
| 钒, mg/kg | | 4 | 5 | 5 | 3 | 6 | IP 501 |
| 钠, mg/kg | | 5 | 4 | 7 | 6 | 4 | IP 501 |
| 铝+硅, mg/kg | | 15 | 16 | 19 | <15 | 21 | IP 501 |
| 净热值, MJ/kg | | 39.74 | 40.01 | 39.91 | 40.11 | 39.81 | ASTM D240 |
| 使用过的润滑油 (ULO), mg/kg | | | | | | | |
| 钙 | | 48 | 3 | 6 | 63 | 7 | IP 501 |
| 锌 | | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | |
| 磷 | | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | |

续表 15 市售 B24、B30 船用生物燃料油产品性质

| 项目 | 生物船燃 | B24 | | | | B30 | 试验方法 |
|---------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| | | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | |
| 脂肪酸甲酯 (FAME), w% | | 23.5 | 23.6 | 23.4 | 23.8 | 29.2 | ASTM D7963 |
| 运动黏度 (50°C), mm ² /s | | 57.61 | 43.92 | 58.97 | 59.25 | 41.18 | ISO 3104 |
| 密度 (15°C), kg/m ³ | | 932.7 | 944.6 | 935.6 | 957.2 | 925.8 | ISO 12185 |
| 碳芳香度指数 (CCAI) | | 817 | 833 | 819 | 841 | 815 | ISO 8217 |

| | | | | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| 硫含量, w% | 0.383 | 0.465 | 0.418 | 2.15 | 0.34 | ISO 8754 |
| 闪点(闭口), °C | >90.0 | 95.0 | 96 | 96.0 | 91.0 | ISO 2719 |
| 硫化氢, mg/kg | - | - | - | <0.60 | <0.60 | IP 570 |
| 酸值, mgKOH/g | 0.51 | 2.19 | 0.43 | 0.30 | 0.53 | ASTM D664 |
| 总沉积物-热老化法, w% | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | ISO 10307-2 |
| 残炭, w% | 7.54 | 5.87 | 7.36 | 9.76 | 5.43 | ISO 10370 |
| 倾点, °C | 15 | 3 | 15 | -3 | 1 | ISO 3016 |
| 水分, v% | 0.05 | 0.3 | 0.40 | 0.25 | 0.04 | ISO 3733 |
| 灰分, w% | 0.026 | 0.043 | 0.016 | 0.049 | 0.011 | ISO 6245 |
| 钒, mg/kg | 10 | 16 | 5 | 105 | 46 | IP 501 |
| 钠, mg/kg | 29 | 28 | 7 | 24 | 3 | IP 501 |
| 铝+硅, mg/kg | <15 | 43 | 19 | 45 | 36 | IP 501 |
| 净热值, MJ/kg | 40.60 | - | - | 40.11 | 39.81 | ASTM D240 |
| 使用过的润滑油 (ULO), mg/kg | | | | | | |
| 钙 | 12 | 3 | 6 | 6 | 5 | IP 501 |
| 锌 | 2 | <1 | <1 | 1 | <1 | |
| 磷 | 3 | 3 | <1 | 1 | <1 | |

4 标准主要技术指标的说明

标准起草组收集了具有代表性的 FAME 和燃料油样品, 开展了大量调和分析测试工作, 整理实验数据, 确定了主要项目的技术指标。本文件适用于船用柴油机及其锅炉用的 B24、B30 船用燃料油。

4.1 脂肪酸甲酯 (FAME) 质量分数

生物柴油的主要成分是脂肪酸甲酯 (FAME), 用于调合的生物柴油原料需满足 GB 25199-2017《B5 柴油》附录 C 的技术要求。本文件中的牌号确定依据主要根据船用生物燃料油中的 FAME 含量进行划分。ISO 8217-2024 中引用的测定 FAME 含量的方法为 ASTM D7963, 本文件引用该方法标准。介于国际上相近牌号有 B20、B24 和 B30 等牌号, 将 B24 船用燃料油中 FAME 质量分数的指标范围定为: 大于 20% 且不大于 24%, B30 船用燃料油中 FAME 质量分数的指标范围定为: 大于 24% 且不大于 30%。

4.2 运动黏度 (50°C)

运动黏度表示燃油自身流动时的内阻力，是对流动性阻抗能力的度量，其大小表示燃料油的易流动性、易泵送性和易雾化性能的好坏。黏度的大小直接影响输送性能和喷油雾化效果。黏度过高，增大泵送沿程阻力，影响喷油油束的形成，造成雾化不良，不能与空气均匀混合，以致燃烧不完全，甚至形成积碳；黏度过低，油束角度过大，同样不能喷射到设计的位置与空气良好混合，也会导致燃烧不完全，功率下降，同时黏度过低还会影响油泵润滑，而加剧磨损。因此，需要选择合适的黏度范围，以满足船舶使用的需求。根据前期了解的上海海事大学台架试验结果，船用生物燃料油运动黏度（50℃）小于 20mm²/s 时，会引起尾气排放异常，因此调合出来的船用生物燃料油运动黏度（50℃）应不小于 20mm²/s。根据实验室调配样品和市售船用生物燃料的测试结果，运动黏度（50℃）结果均在该范围内。同时参照 ISO 8217-2024 中船用生物残渣燃料油要求运动黏度（50℃）最大为 500mm²/s，因此本文件设定运动黏度（50℃）的指标为：20~500mm²/s，检测方法为：GB/T 30515。

4.3 密度（20℃）

密度是石油及其产品的最简单常用的理化指标，通常高密度的燃料油含有较多的残碳和沥青质，着火性能与燃烧性能比较差。其也是计算装载量和进行贸易交换换算的指标，可依据密度大小初步判定油品的质量。密度大小还影响着分油机的性能，相同条件下，密度大的油品油水分离实力差，密度小的油品，油水分离实力好。根据 GB 17411-2015《船用燃料油》中船用残渣燃料油对密度（20℃）的要求，为 916.5~1006.6kg/m³；ISO 8217-2024 中船用生物残渣燃料油对密度（15℃）要求，为 955.0~1010.0kg/m³。鉴于 GB 17411-2015《船用燃料油》和 ISO8217-2024 船用生物残渣燃料油对密度要求只有上限，并结合前期实验室调合出来的船用生物燃料油和市售船用生物燃料的性质分析数据，密度（20℃）设定为不大于 1006.6kg/m³。检测方法为 GB/T 1884、SH/T 0604，以 GB/T 1884 为仲裁方法。

4.4 硫含量

硫含量高除了其燃烧产物 SO_x 对人体和环境产生严重不利影响，也易导致存储系统、过滤系统和燃烧系统金属的严重腐蚀磨损，清洁燃料的一个重要要求就是低硫。为深入贯彻落实党中央、国务院关于加快推进生态文明建设、打好污

染防治攻坚战和打赢蓝天保卫战的部署，促进绿色航运发展和船舶节能减排，设立船舶大气污染物排放控制区，根据交海发〔2018〕168号《交通运输部关于印发船舶大气污染物排放控制区实施方案的通知》，2019年1月1日起，海船进入排放控制区，应使用硫质量分数不大于0.5%的船用燃料油，大型内河船和江海直达船舶应使用符合新修订的船用燃料油国家标准要求的燃油；其他内河船应使用符合国家标准的柴油。2020年1月1日起，海船进入内河控制区，应使用硫质量分数不大于0.1%的船用燃料油。国际海事组织IMO允许船舶加装尾气脱硫设备，以便继续使用高硫燃料油，目前中石化中海、中船燃均已开展过B24高硫船用生物燃料油的加注。本文件虽然主要考察低硫燃料油的特性，但结合目前高硫船用生物燃料油市场加注情况，同时参照GB 17411-2015《船用燃料油》对于硫含量的要求，本文件设定三个等级的硫含量，I级指标为硫质量分数不大于3.50%，II级指标为硫质量分数不大于0.50%，III级指标为硫质量分数不大于0.10%，检测方法为GB/T 17040，与国标GB 17411-2015要求一致。

4.5 闪点（闭口）

闪点是表征石油产品及添加剂着火危险性的指标，对产品储存、运输和使用安全意义重大，根据GB 17411-2015中船用残渣燃料油的指标要求，闪点（闭口）设定为不低于60℃，而生物燃料油的闪点（闭口）不低于130℃，两者混兑之后闪点（闭口）将高于60℃。根据前期调和船用生物燃料油样品和市售船用生物燃料的分析结果，闪点（闭口）均在60℃以上。并结合GB 17411-2015《船用燃料油》和ISO 8217-2024船用生物残渣燃料油对于闪点的指标要求，本文件设定闪点（闭口）指标为不低于60℃，检测方法为GB/T 261，与国标GB 17411-2015要求一致，也满足产品安全储运的要求。

4.6 硫化氢含量

硫化氢是表征石油产品使用安全性的指标。硫化氢是高毒性气体，人员暴露于高浓度硫化氢气体下是危险的，极端情况下致命。在非常低的浓度时有特殊的臭鸡蛋气味，在高浓度下会麻痹嗅觉神经导致嗅觉丧失、头痛、头晕眼花，在非常高的浓度下会立即死亡。根据GB 17411-2015中船用残渣燃料油和ISO 8217-2024船用生物残渣燃料油的指标要求，硫化氢设定为不大于2.0mg/kg。根据前期调和船用生物燃料油样品和市售船用生物燃料的分析结果，硫化氢质量

分数均在 2.0mg/kg 以下。因此本文件设定硫化氢含量的指标为质量分数不大于 2.0mg/kg，与国标 GB 17411-2015 要求一致，检测方法为 GB/T 34101，该标准等同采用 IP 570。

4.7 酸值

酸值是控制腐蚀性的重要性指标，酸值高的燃料油会腐蚀燃料油储罐和设备管线，也会加速船用内燃机的毁坏。采用 GB/T 7304 测定的燃料油酸值可以表征燃料油中大概存在的酸性化合物。根据 GB 17411-2015 中船用残渣燃料油和 ISO 8217-2024 船用生物残渣燃料油的指标，酸值设定为不大于 2.5mgKOH/g。根据前期调和船用生物燃料油样品和市售船用生物燃料的分析结果，酸值测定结果均在 2.5mgKOH/g 以下。因此本文件设定酸值指标为不大于 2.5mgKOH/g，检测方法为 GB/T 7304，与国标 GB 17411-2015 要求一致。

4.8 残炭

残炭表征的是燃料在燃烧室燃烧结焦结炭的趋势，高残炭燃料会加速气缸和活塞的磨损，甚至引起活塞运转不顺畅。根据 GB 17411-2015 中船用残渣燃料油和 ISO 8217-2024 船用生物残渣燃料油的指标，残炭设定为不大于 20.00%。根据前期调和船用生物燃料油样品和市售船用生物燃料的分析结果，残炭结果均在 20% 以下。但是根据多年检测数据以及对使用客户的调研发现，常规使用的船用残渣燃料油的残炭一般不超过 18.00%，同时为了响应国家的节能减排政策，因此本文件设定残炭指标为不大于 18%，检测方法为 GB/T 17144。

4.9 倾点

倾点是指油品在规定的试验条件下，被冷却的试样能够流动的最低温度，是油品低温流动性好坏的指标。倾点高，低温流动性差，使用中会影响泵送和过滤，因此应确保倾点适合船上设备要求，尤其是船舶运行在寒冷气候条件下。根据 GB 17411-2015 中船用残渣燃料油和 ISO 8217-2024 船用生物残渣燃料油的指标，倾点设定为不高于 30°C。根据前期调和船用生物燃料油样品和市售船用生物燃料的分析结果，倾点结果均在 30°C 以下。因此，本文件设定倾点指标为不高于 30°C，检测方法为 GB/T 3535，与国标 GB 17411-2015 要求一致。

4.10 水分

燃料油过量的水分将影响油品的稳定性、热值等。燃料油在生产，运输和存

储过程中，因为种种原因，会混入一定量的水分，并以溶解态，悬浮态或游离态三种形式存在于油品中。燃料油经船舶燃油系统分油机和滤清器等净化设备采取适当的处理措施后，燃料油中原有较高的水分能够减少到可以使用的范围。高含水量燃料油可能会引发多种不利于存储，燃烧和设备的结果：与燃烧产生的 SO_3 结合生成 H_2SO_4 腐蚀设备，溶解后带入无机盐沉积在燃烧室内加速设备磨损；降低燃料油热值，因低温凝固影响油品流动性；导致燃烧熄火等。根据 GB 17411-2015 中船用残渣燃料油和 ISO 8217-2024 船用生物残渣燃料油的指标，水体积分数设定为不大于 0.50%。根据前期调和船用生物燃料油样品和市售船用生物燃料的分析结果，水质量分数都不大于 0.5%。因此，本文件设定水体积分数指标为不大于 0.50%，试验方法为 GB/T 260，与国标 GB 17411-2015 的要求一致。

4.11 灰分

灰分是燃烧高温灰化后剩余的无机物，通常呈粉末状。灰分的主要来源是炼制过程中的金属催化剂，原油中残留的无机盐，储运过程中的铁锈，还可能是非法添加废旧润滑油中的金属添加剂或磨损元素。从来源上看，灰分高的燃料油测试所得金属元素也高，灰分低的燃料油金属元素也低。灰分会附着在设备受热面，使热传导变差，灰分中含有的大量金属元素也会加速设备的磨损。根据 GB 17411-2015 中船用残渣燃料油和 IS O8217-2024 船用生物残渣燃料油的指标，灰分设定为不大于 0.150%。但是根据多年检测数据以及对使用客户的调研发现，常规使用的船用残渣燃料油的灰分一般不超过 0.10%，同时为了响应国家的节能减排政策，且根据前期调和船用生物燃料油样品和市售船用生物燃料的分析结果，灰分均在 0.10% 以下。因此，本文件设定灰分指标为不大于 0.10%，检测方法为 GB/T 508，与国标 GB 17411-2015 要求一致。

4.12 金属元素（钒、钠、铝+硅）

钒：钒是燃料油中的天然组分，它以含有其他元素复杂的化学分子形式存在。这些分子在残渣燃料油中以溶解状态存在，船上没有实用的方法可以将钒从燃料油中除去，限制钒的唯一实际方法就是限制它的含量。钒含量高可能会对主机热通道产生电化学腐蚀，也可能燃烧后附着在设备表面产生结垢。根据 GB 17411-2015 中船用残渣燃料油和 ISO 8217-2024 船用生物残渣燃料油的指标，钒设定为不大于 450mg/kg，但是根据多年检测数据以及对使用客户的调研发现，

常规使用的船用残渣燃料油的钒含量一般不超过 350mg/kg，同时为了响应国家的节能减排政策，根据前期调和船用生物燃料油样品和市售船用生物燃料的分析结果，钒含量均在 350mg/kg 以下。因此，本文件设定钒含量的指标为不大于 350mg/kg，检测方法为 IP 501。

钠：富含钒和钠的燃料油灰分溶解温度降低，通常认为钠钒比例为 1:3 时的灰分溶解温度最低，溶解后的灰分附着在燃烧系统表面，对设备有热腐蚀作用。同时钠含量的上升也被视为燃料油中是否混有海水的推断标准之一。根据 GB 17411-2015 中船用残渣燃料油和 ISO 8217-2024 船用生物残渣燃料油的指标，钠设定为不大于 100mg/kg。根据前期调和船用生物燃料油样品和市售船用生物燃料的分析结果，钠结果均在 100mg/kg 以下。因此，本文件设定钠结果为不大于 100mg/kg，检测方法为 IP 501。

铝+硅：铝和硅的主要来源于原油加工过程中的金属催化剂，铝和硅质硬，是设备磨损的主要因素。根据 GB 17411-2015 中船用残渣燃料油和 ISO 8217-2024 船用生物残渣燃料油的指标，铝+硅设定为不大于 60mg/kg。根据前期调和船用生物燃料油样品和市售船用生物燃料的分析结果，铝+硅结果均在 60mg/kg 以下。因此，本文件设定铝+硅结果为不大于 60mg/kg，检测方法为 IP 501。

4.13 使用过的润滑油（ULO）

燃料油中本不应含有使用过或废的润滑油(ULO)，由于一些地区历史形成的习惯做法，将使用过的废润滑油尤其是废的车辆曲轴箱油加入到燃料油中，而燃料油中掺杂用过的润滑油会带来各种危害：润滑油在使用过程中缓慢变质，含有的酸性物质会腐蚀设备；带入的磨损颗粒会增加灰分，再次磨损燃油系统；含有的各种有害物质甚至是致癌物燃烧后排入大气污染环境并损害船员健康。润滑油多为钙锌配方、钙磷配方或钙锌磷配方，燃料油中据此推断是否含有用过的润滑油。根据 GB 17411-2015 中船用残渣燃料油和 ISO 8217-2024 船用生物残渣燃料油的指标，钙大于 30mg/kg 且锌大于 15mg/kg 或钙大于 30mg/kg 且磷大于 15mg/kg 认为该燃料油中含有使用过的润滑油。根据前期调和船用生物燃料油样品和市售船用生物燃料的分析结果，均显示不含有 ULO。因此，本文件设定钙锌磷指标与国标 GB 17411-2015 和 ISO 8217-2024 要求一致，检测方法为 IP 501。

4.14 总沉积物（热老化法 TSP、化学老化法 TSA、热过滤法 TSE）

油品中的沉淀物会在存储、过滤、喷油过程中积累，加速设备的磨损，堵塞输油管路特别是喷嘴。沉淀物可在储存罐中、过滤器滤网上或设备积累，造成油料从油罐到燃烧器流通不畅。老化法总沉积物结果不仅仅反应了燃料中实际存在的总沉淀物，还反映了燃料在存储和使用过程中生成沉淀物的倾向和趋势，可用于预测该油品在贮存或使用过程中的稳定性。根据 GB 17411-2015 中船用残渣燃料油和，总沉积物-热老化法（TSP）的质量分数设定为不大于 0.10%，而 ISO 8217-2024 船用生物残渣燃料油的指标，除规定了总沉积物-热老化法（TSP）的质量分数设定为不大于 0.10%，还规定了需分析总沉积物-化学老化法（TSA）、总沉积物-热过滤法（TSE），具体数值见报告。虽然前述对生物柴油品质进行了要求，需满足 GB 25199-2017《B5 柴油》附录 C 对于生物柴油的品质要求，但因国内生物柴油的生产原料错综复杂，其与船用残渣燃料油调和时需着重考虑调和产品的相容性和稳定性问题。

船用生物燃料油的良好稳定性对于船上的安全处理和使用至关重要，为了实现长期稳定性，每种燃料油都应具有足够的稳定性，以承受正常的船上使用和储存条件。为了更严格的把控油品的质量，更加全面的反应燃料中实际存在的总沉淀物，以及在存储和使用过程中生成沉淀物的倾向和趋势，以保证油品在贮存或使用过程中的稳定性，本文件将总沉积物-老化法(TSP)、总沉积物-化学老化法（TSA）、总沉积物-热过滤法（TSE）三项指标均设为产品指标。总沉积物-老化法(TSP)、总沉积物-化学老化法（TSA）、总沉积物-热过滤法（TSE）是表征燃料油不同使用和储存时期总沉积物情况，其中 TSE 为现有总沉积物，表征的是燃料在未经过人为加速老化的情况下已存在的总沉积物量，其通过过滤和称重过滤器上的沉积物的量来测量测试燃料中存在的有机和无机沉积物量，反映燃料当前的清洁度，高 TSE 说明燃料本身含有较多杂质，可能来自炼制或运输污染；TSP 为潜在总沉积物，是指燃料油样品在 100℃ 下老化 24 小时后的总沉积物，表征的是燃料油在长期储存后可能形成的最大沉积物量，模拟燃料在储罐或船舶燃油舱中的自然老化过程，评估燃料的储存稳定性，预测其在长期存放后是否会产生大量沉积物，高 TSP 意味着燃料在储罐或船舶燃油舱中可能逐渐形成沉积物，导致滤器堵塞等；TSA 为加速总沉积物，是指燃料油样品经溶剂稀释后在 100℃ 下储存 1 小时后的总沉积物，表征的是燃料油在高温和化学稀释溶解条件

下加速老化后可能形成的最大沉积物量，模拟燃料燃料在发动机系统或高温环境下的氧化稳定性，预测是否容易在喷油嘴、滤器等部位形成沉积物，高 TSA 意味着燃料在发动机燃油系统中容易因受热氧化生成胶质和沉积物。TSP、TSA、TSE 三个总沉积物指标，可共同确保船用燃料的清洁度、储存稳定性和高温稳定性，减少因沉积物导致的机械故障和维护成本。

根据前期调和船用生物燃料油样品和市售船用生物燃料的分析结果，总沉积物-老化法(TSP)、总沉积物-化学老化法 (TSA)、总沉积物-热过滤法 (TSE) 均在 0.10% 以下。因此，本文件设定总沉积物-老化法(TSP)、总沉积物-化学老化法 (TSA)、总沉积物-热过滤法 (TSE) 的指标为质量分数均不大于 0.10%，检测方法为总沉积物-老化法(TSP)为 SH/T 0702、总沉积物-化学老化法(TSA)为 SH/T 0702、总沉积物-热过滤法 (TSE) 为 SH/T 0701。

4.15 净热值

燃料的热值是在一定条件下，单位质量的燃料完全燃烧时所释放出的热量。船用燃料油的净热值是评价燃料将热能转化为动能的重要依据，热能则是船舶动力的主要来源。目前，国内船用燃料油市场较为混乱，油品质量优劣不齐，尤其是残渣型燃料油多为混调而成，组分复杂。由于非石油基组分热值较低，使得调合的船用燃料油成品热值不高，影响使用；同时非石油基组分的进入还会影响船用燃料油的其他品质，威胁到船舶的正常运行。根据 GB 17411-2015 中船用残渣燃料油的指标，净热值设定为不小于 39.8MJ/kg，检测标准为 GB/T 384。根据前期调和船用生物燃料油样品的分析结果，不同的混兑比例的船用生物燃料油，净热值结果会随着生物燃料混兑比例的提高，净热值会出现相应的降低。主要是因为生物柴油的净热值相对船用燃料油的净热值会比较低。同时，经过试验发现，采用 GB/T 384 和 ASTM D240 方法测试的净热值，随着生物燃料比例的增高，ASTM D240 方法的测试结果会比 GB/T 384 方法的测试结果偏低。结合前期了解的上海海事大学台架试验结果，ASTM D240 方法的测试结果与台架试验结果更吻合。2023 年修正案：MEPC.376 (80) 会议决议-船用燃料油全生命周期温室气体强度指南 (LCA 指南) 中提到，生物柴油 (FAME) 的热值一般为 37.2MJ/kg，不同比例的生物燃料油的热值呈线性关系，据此推算 B50 船用生物燃料油最低值为 38.5MJ/kg。根据前期调和船用生物燃料油样品和市售船用生物燃料的分析

结果，净热值结果均在 38.5MJ/kg 以上。考虑到对 B24、B30 船用生物燃料油净热值进行适当放宽质 B50 的理论推算值，因此本文件设定净热值指标为不小于 38.5MJ/kg，检测方法 ASTM D240 为仲裁法，也可采用 GB/T 384 方法，结果有争议时，以 ASTM D240 为准。

4.16 未采用碳芳香指数（CCAI）指标说明

GB 17411-2015 中船用残渣燃料油含有碳芳香指数（CCAI）指标，本文件中将不再引用该项目，原因如下：碳芳香度指数（CCAI）是表征残渣船舶燃料着火性的一个重要指标，由密度和黏度决定，同时，它不是提供残渣燃料油的燃烧性信息，它提供的是着火迟后期（滞燃期），通过观察 CCAI 数据，可以避免密度黏度关系异常的燃料可能导致燃料的滞燃期延长。其主要是表征石油碳氢化合物的一个指标，但是加入生物柴油后，已经不适用该方法来进行测算。因此本文件不采用 CCAI 碳芳香度指标项目。

5 与现行法律、法规、政策及相关标准的协调性

本标准的技术内容与现行的法律法规协调一致。

6 重大分歧意见的处理经过及依据

无。

7 本标准作为强制性或推荐性标准的建议

本标准作为推荐性标准。

8 贯彻本标准的要求和措施建议

本标准可作为相关企业船用生物燃料油 B24、B30 产品的生产、检验及验收依据。

9 废止现行有关标准的建议

无。

10 效益分析

制定《船用生物燃料油 B24、B30》团体标准可填补国内技术标准的空白。能有效地对船用生物燃料油的生产、销售提供技术保障，促进产业链发展。同时，也为我国航运业乃至国际航运业绿色低碳发展贡献力量，具有显著的社会意义。

11 重要内容的解释和其他应予说明的事项

无。