

甲醇船舶燃料报告

阅读方:



甲醇船舶燃料报告

阅读方:



免责声明

本文中的信息和观点由 FCBI Energy (FC Business Intelligence Ltd.) 及其合作伙伴共同完成。本文中的观点或信息有所改动时, FCBI Energy (FC Business Intelligence Ltd.) 没有告知义务。FCBI Energy (FC Business Intelligence Ltd.) 尽最大努力使用可靠且全面的信息, 但我们无法声明所有信息是准确或完整的。因使用本文材料或内容导致的任何损坏、损失、费用、数据丢失以及机会和/或利润丧失, FCBI Energy (FC Business Intelligence Ltd.) 及其合作伙伴概不负责。

未经 FCBI Energy 事先书面许可, 不得对本文进行售卖、复制或修改。

© FC Business Intelligence Ltd ® 2015

作者

Karin Andersson 教授,
查尔摩斯工学院

Carlos Marquez Salazar,
FCBI Energy
项目经理

如有问题和意见, 请写邮件至
carlos@fc-bi.com

发表于 2015 年 10 月

目录

图表目录	5
前言	6
执行摘要	7
1 简介	9
2 法规和规约	10
2.1 排放控制区 (ECA)	10
2.2 加州环保署远洋船舶燃料管理法规	12
2.3 温室气体 EEDI 和 MRV	13
2.4 如何满足法规要求?	13
2.4.1 常规低硫燃料	13
2.4.2 可再生燃料	13
2.4.3 废气减排	14
硫	14
NOx	16
3. 甲醇船舶燃料	17
3.1 甲醇燃料特性	17
3.2 甲醇的环保性能	17
3.2.1 原料	17
3.2.2 燃料在全生命周期内对环境的影响	20
3.3 基础设施要求	22
3.4 供需情况	23
3.5 甲醇的安全和处理	24
3.5.1 安全和法规	24
3.5.2 健康和环境影响	25
4. 发动机改装测试	26
4.1 船舶燃料研究项目	26
4.1.1 Effship	26
4.1.2 SPIRETH	26
4.1.3 PILOT Methanol	26
4.2 发动机改装经验	27
4.2.1 瓦锡兰	27
4.2.2 MAN	28
4.3 测试运行初期结果	28
4.4 船舶应用	28
4.5 未来发动机技术	28
5. 甲醇燃料的经济性	32
5.1 船只和发动机投资	32
5.1.1 24 MW 客滚渡船的改装	32
5.1.2 新建 10 MW 油船	33
5.1.3 小型船只	33

5.2	基础设施	33
5.3	燃料成本	34
5.4	符合 SECA/ECA 法规的替代方法	34
5.4.1.	洗涤器运行	34
5.4.2.	SCR 催化剂	35
5.5	未来成本发展	35
5.5.1.	发动机研发	35
5.5.2.	可再生燃料的生产	36
5.6	总结 — 成本情况	36
5.7	船舶燃料属性汇总	36
6.	推动市场发展	38
6.1	政策和监管	38
	障碍	38
	潜力	38
6.2	技术方面	38
	障碍	38
	潜力	39
6.3	商业方面	39
	障碍	39
	潜力	39
	参考资料	40
	附件	43
	附件 1 — 甲醇船舶燃料研发项目	43
	附件 2 — 船舶甲醇行业涉及公司	45
	附件 3 — 缩写列表	46

图表目录

图 1: 滚装渡轮 Stena Germanica (24 MW)	8
图 2: 波罗的海和北海 SECA	10
图 3: 目前和未来船舶燃料硫含量限值	11
图 4: ECA 内新建船只氮氧化物排放法规	11
图 5: 全球 SECA 和 ECA	12
图 6: 船舶燃料发展途径示例	14
图 7: 可再生燃料情景	19
图 8: 环境全生命周期评估原则	20
图 9: 船舶燃料从“井口到螺旋桨”全生命周期	20
图 10: 与 HFO 相比, LNG 和甲醇全生命周期能源使用情况和环境影响 (HFO 的所有影响 = 图中的 1)	21
图 11: 甲醇全球分销量 (千吨)	22
图 12: 全球主要船只类型船运燃料消耗	24
图 13: 外加甲醇管路的瓦锡兰发动机	27
图 14: 适用于甲醇的改造版 MAN 发动机	28
图 15: 渡轮上安装的甲醇转化装置	29
图 16: 新建油船上的甲醇罐装置	29
图 17: Stena Germanica 号在哥德堡燃料加注	34
图 18: 甲醇和 MGO 价格 (\$/MMBtu)	34
图 19: 天然气价格对甲醇成本的影响	35
图 20: 在甲醇和 MGO 方案不同价格区间下 24 MW 渡轮改装成本回收时间	35
图 21: 甲醇与其他船舶燃料的对比	37
表 1: 船舶燃料对比	15
表 2: 不同船舶燃料的属性	18
表 3: 全球甲醇产能发展预估 (千吨)	23
表 4: 船舶燃料成熟度	30

前言

当七年前新的 IMO 硫管理法规决定将燃料中的硫含量降至 0.1 % 时, 为了满足这个新要求, 有三个备选方案: 改为使用低硫柴油 (MGO)、安装洗涤器或将船只改造成 LNG。我们的研究表明, 转成 MGO 意味着燃料成本会增加 40% 至 50%。洗涤器相当昂贵, 船舶安装数量很小, 无法验证这些洗涤塔的功效。最后, 除了在全球运输 LNG 的大型油船外, LNG 仅在挪威的一些小型客轮上作为燃料使用。

所有这些备选方案均不具有非常大的吸引力, 所以我们决定以更宽的角度来看待该问题。我们的具体问题是找到在 SECA (硫排放控制区) 内运行现有 25 艘大型滚装船舶的解决方案, 并且改造这些船舶肯定会面临着挑战。

在我们的一项研究中, 甲醇因其可用性和具有竞争力的价格而成为替代燃料。事实上, 甲醇因作为汽车和类似发动机应用中的燃料而被人熟知, 这也有利于我们的评估。很明显, 在处理和加注甲醇这样的液体时, 在燃料储存和加注方面比气体或低温燃料具有明显的优势。甲醇是一种绝对值得尝试的重要试用燃料, 并且, 在瓦锡兰和 Methanex 朋友们的大力帮助, 以及欧盟委员会的鼎力支持下, 我们已经改造了一艘大型滚装船 Stena Germanica 号, 让它使用甲醇作为燃料。与传统的船舶柴油相比, 除了大幅降低硫和颗粒物的排放量外, 使用甲醇还可以降低氮氧化物的排放量, 并且在以可再生能源为原料的情况下, 还能够降低整个燃料生命周期的二氧化碳排放量。

甲醇作为船舶燃料的潜在在很大程度上仍然未被专业人士以外的人认可。我相信, 这份报告可以帮助提高对该船舶燃料的认识, 并作为寻找更环保海运燃料的任何人士的重要事实依据。

Carl-Johan Hagman

Stena 航线首席执行官

执行摘要

甲醇储量丰富，可在全球使用，并且能够 100% 再生

在全球范围内，甲醇是现成的可用资源，全球的每年产量超过 7000 万吨。甲醇生产中的主要原料是天然气。但甲醇可以是 100% 可再生燃料，因为很多种可再生原料都可以生产甲醇，它还可以作为一种电燃料来生产。因此，甲醇是一种可以实现可持续发展道路的理想燃料，届时，船舶运输将可以完全使用可再生燃料。

甲醇符合日益严格的减排法规规定

船舶甲醇燃料不会产生硫排放物，氧化氮排放量非常低。因此，该燃料符合排放控制区 (ECA) 和加州远洋船舶燃料管理法规等现有减排措施。过去十年间，人们逐渐开始实施更加严厉的管理法规，旨在减少对人类健康有害且会加剧全球变暖的排放物。从监管的角度来看，船舶甲醇是一种可以满足未来需要的燃料，可以满足目前正在筹划中的最为严苛的特定减排立法要求。

现有加油基础设施仅需稍微改动即可满足甲醇的需要

由于甲醇也是液体，它与重燃料油 (HFO) 等船舶燃料非常类似。这就意味着现有存储、输送和加油基础设施可以处理甲醇。因为甲醇为低闪点燃料，所以仅需进行较小的改动即可。

相比于潜在的替代解决方案，基础设施的成本比较适中

因为甲醇可以保持为液态，所以与液化天然气 (LNG) 等替代燃料相比，基础设施投资成本相对较低。小型甲醇加注设备的安装成本大约为 40 万欧元 (Stefenson, 2015 年)。也可以对加油船进行改装，成本约为 150 万欧元。与之相反的是，LNG 终端的成本约为 5000 万欧元，LNG 加气船成本为 3000 万欧元。此外，随着甲醇用户的不断增多，基础设施增加的投资也比较低。

甲醇价格呈现地区性差异

在过去五年中，以能源当量计算，甲醇通常也比船舶汽油 (MGO) 等同类燃料更便宜。在低油价的环境下，MGO 价格下降幅度大于甲醇，并且甲醇的经济优势已经削弱。然而，在包括中国在内的重要海运地区，甲醇仍然保持着竞争力。在北美，甲醇价格在过去 12 个月中下降了 30% (Methanex, 2015 年)。美国等主要市场甲醇产量的提高应该会将成本压低，使甲醇的成本优势得到提高。因为甲醇发动机是双燃料系统，所以在甲醇更加昂贵的情况下，始终可以将其临时改为使用船舶柴油。

随着经验的不断增加, 改装成本将大幅降低

船只改装成本主要参考点来自于对 24 MW 客滚渡船 *Stena Germanica* 的改装。改装的具体成本达到 1300 万欧元, 工程总造价为 2200 万欧元, 其中包括甲醇陆地储存罐和采用燃料加注驳船。作为同类中的先河, *Stena Germanica* 的改造以及相关基础设施意味着要在新的技术解决方案、安全评估和适应规章制度方面进行大量的设计工作 (Ramne, 2015 年)。据估计, 第二次改装工程的造价会大幅降低, 仅为 *Stena Germanica* 改装费用的 30% 到 40% (Stefenson, 2015 年)。

目前的发动机性能良好, 通过新技术, 可以进一步改善性能

到目前为止甲醇船舶已经能够使用柴油机进行驱动, 后者经过改造, 可以同时使用甲醇和船舶柴油作为燃料。在现场测试和实验室测试中, 改装而成的甲醇发动机与柴油发动机的性能不相上下, 甚至更好。优化版甲醇发动机目前还处于研发阶段, 将来投入使用后, 预计性能会优于改造版机型。

船运和化工产业领域有着很长的历史和丰富的甲醇安全处理经验

甲醇在全球运输、处理和在各种应用中的使用历史已经超过 100 年。从健康和安全的角度来看, 化学和船运产业已经制定出安全的甲醇处理流程。使用油罐卡车和散装货船处理和运输作为一种化学产品的甲醇已经有了丰富的经验。例如, 甲醇是 2008 年和 2009 年芬兰港口吞吐量最大的散装液体, 也是波罗的海沿岸各港口运输的一种非常普遍的化学产品 (Posti 和 Häkkinen, 2012 年)。

甲醇可生物降解

从环境角度来看, 甲醇性能优异。甲醇易于溶于水, 可以快速生物降解, 因为大多数微生物都具备对甲醇进行氧化的能力。在实际情况下, 这意味着大规模溢出造成的环境影响要比同等规模的溢油事件小很多。

图 1: 滚装渡轮 *Stena Germanica* (24 MW)



Stena Germanica 是同类中首个改造成以甲醇为燃料的船只

1.

简介

近年来,各国政府和跨国组织相继推出了各种法规,试图降低发电和运输过程中产生的有害排放物;航运当然也不例外。国际海事组织(IMO)推行了硫排放控制区(SECA)的措施,旨在大幅降低硫氧化物(SO_x)的排放。当前的SECA于2015年在两个区域推行:北美和加勒比地区以及北海和波罗的海地区。2016年,北美和加勒比地区将针对所有新建船只推行类似立法,旨在强制执行氮氧化物(NO_x)减排措施。IMO正在考虑将SECA的覆盖范围扩展至其他地区,并推出更加严厉的控制标准。来自航运业的温室气体(GHG)排放不受京都议定书的约束。发展相关机制以便减少GHG排放量的责任已经委托给IMO。

在州级措施的层面上,州政府也相继推出了旨在降低航运有害排放物的相关立法,其中加州就是一个值得注意的例子。欧洲方面,政策重点集中在通过提高燃料效率降低航运温室气体排放,以及2018年即将开始执行的报告措施。虽然单凭这些措施不可能实现减排的目标,但这为燃料使用方面的新立法提供了更多可能。

面对这种航运减排的压力,行业被迫尝试制定各种减排措施。航运公司有两种方案可以确保合规:要么通过洗涤器或催化转化器去除废气中的排放物,要么将柴油换成甲醇等排放量较低的燃料。

虽然甲醇具有许多优质船舶燃料必备的特性,但作为一种低排放燃料,在政策和行业讨论中却曾一度被忽略。这种燃料符合最为严格的排放标准,产量大而且全球各地均可使用,很多种矿物和可再生原料均可制造甲醇,其属性也被人们熟知,因为早在100年前世界各地的人们就开始出于各种各样的目的对其进行运输、处理和使用。此外,它与当前的船舶燃料也有类似的地方,那就是它也是液体。这也就是说,现有船舶燃料存储和加注基础设施仅需较小改动,即可用来处理甲醇,与建设同等规模液化天然气(LNG)加气终端需要的投资相比,基础设施建设方面需要的成本相对较为适中。

本报告旨在通过对五个重要方面的分析来说明为什么说甲醇是一种既具竞争优势又可满足未来需求的船舶燃料:

- 符合现有和计划中的立法要求
- 船只改装、新建船只和基础设施的成本
- 甲醇全球供应和使用情况
- 完整生命周期内对环境的影响
- 将甲醇用作船舶燃料的最佳做法。

进行此分析的目的在于提高政策制定者和业内人士对甲醇作为船舶燃料的认识。

2.

法规和规约

一直以来,大型船舶使用重燃料油(HFO)作为一种既具有成本效益又可在完整生命周期内提供较高能效的燃料。但HFO内硫和杂质含量较高,这就会导致排放硫氧化物(SO_x)、氮氧化物(NO_x)以及对人类健康和环境均会造成不利影响的各種颗粒物。

这最终导致国际海事组织通过排放控制区(ECA)的方式对北美和加勒比地区以及波罗的海和北海地区船运过程中产生的硫和氮排放物进行监管。

本章将介绍国际和地区法规规定的概况,旨在帮助促进低排放燃料在船运行业中的推行。

2.1 排放控制区(ECA)

排放控制区(ECA)是国际海事组织(IMO)推行的一项监管措施,目的是为了对氧化硫和氧化氮排放进行监管。

2015年1月起,SECA内船舶燃料允许的最大硫成分比例限制为0.1%。北海和波罗的海(见图2)有一个SECA,另一个在北美和加勒比地区。澳大利亚、日本和墨西哥周边海域和地中海海域的更多SECA正在计划中(见图5)。各国已经提出,到2020年,全球的硫上限为0.5%,这促进了低硫燃料的发展。

图 2: 波罗的海和北海 SECA

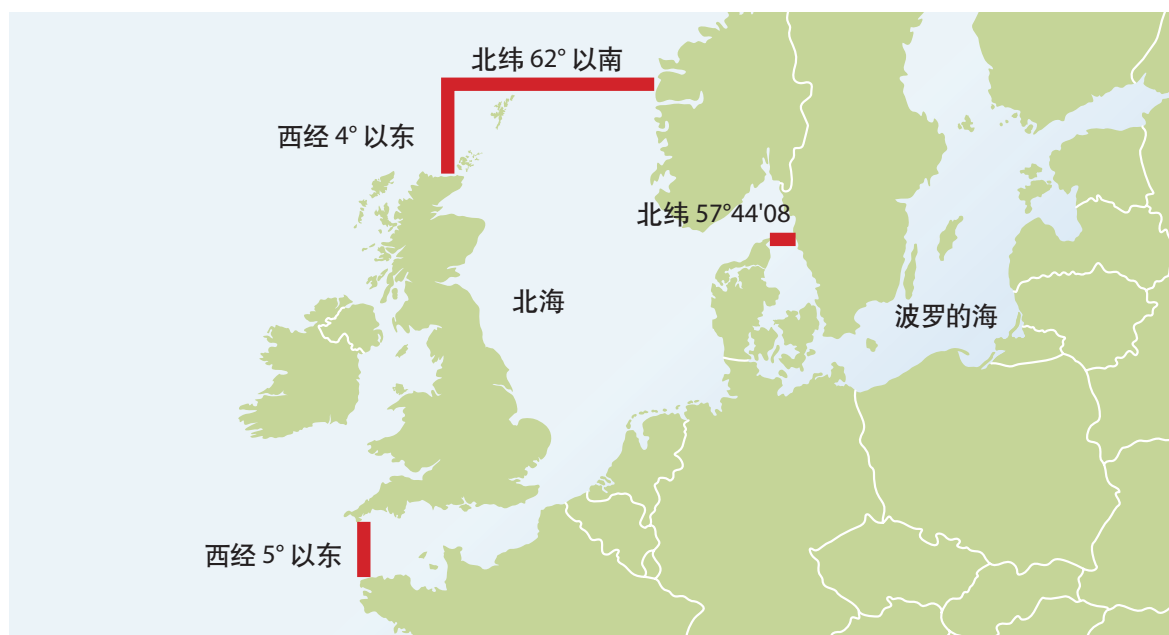
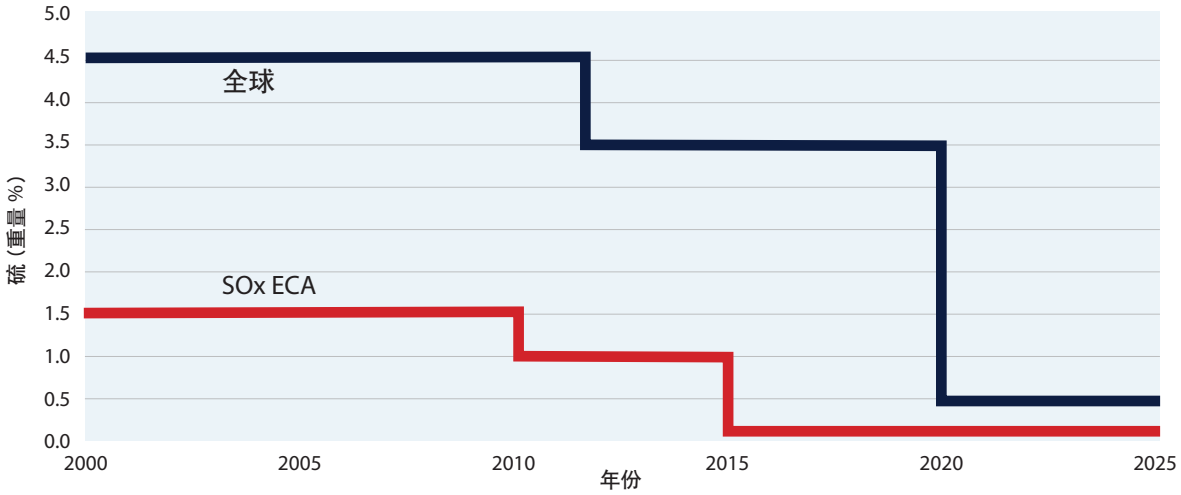
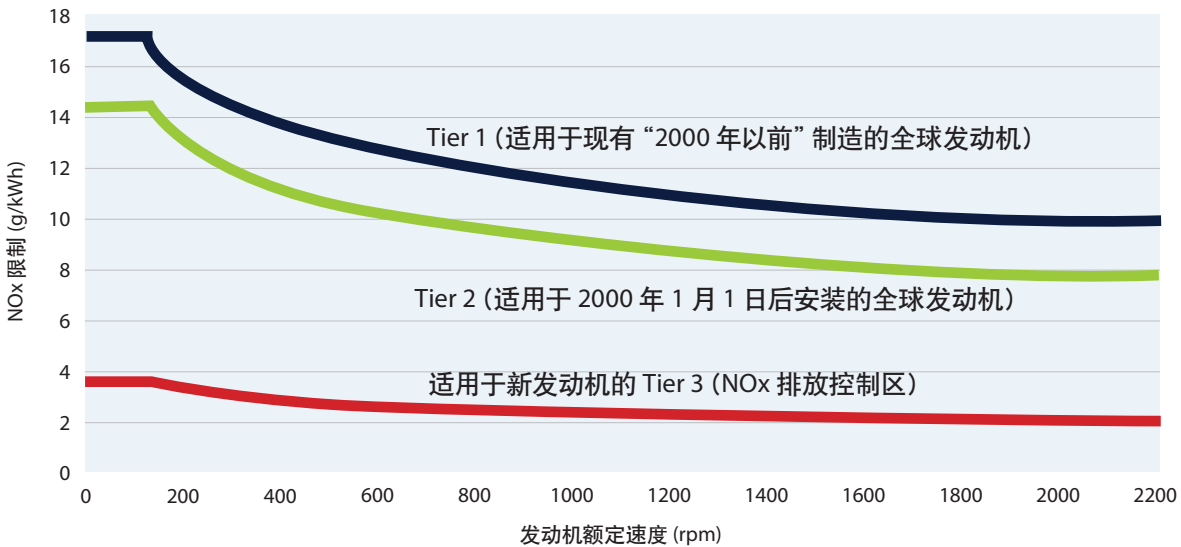


图 3: 船舶燃料硫成分现有和未来限制



来源: IMO

图 4: ECA 内新建船只氮氧化物排放法规



来源: IMO

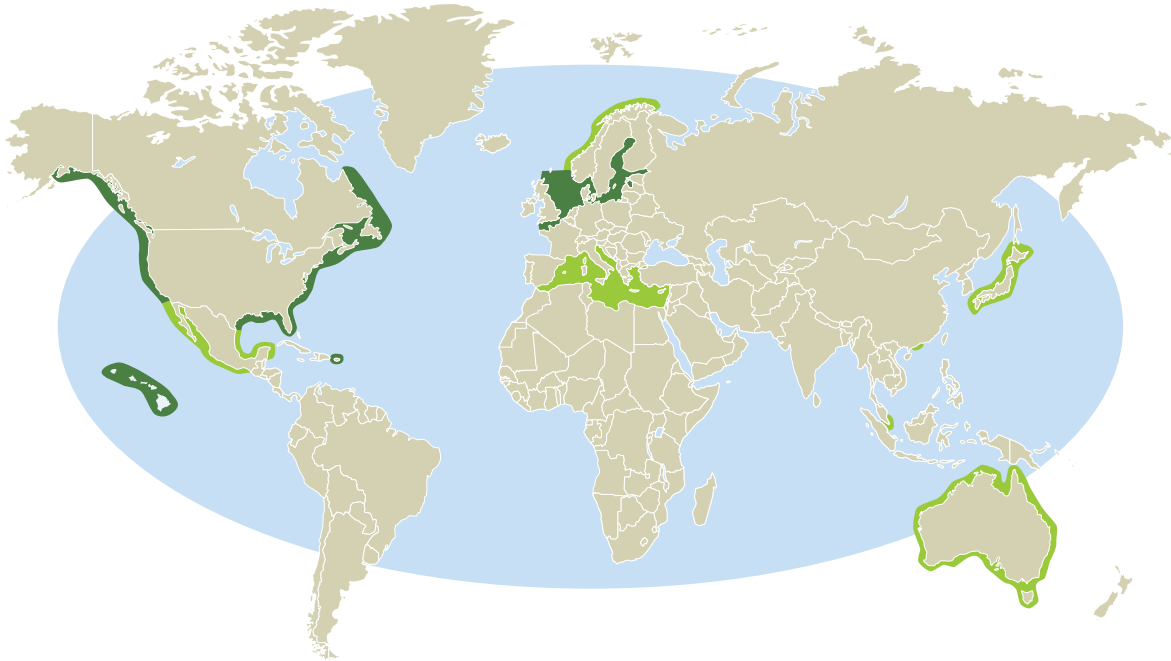
在 SECA 中, 法规允许通过废气净化手段降低硫排放量, 这种方法也被称为洗涤器法, 这样就无需更换低硫燃料。

在控制区 (ECA) 强制执行氮氧化物 (NOx) 低量减排 (被称为 Tier III 标准) 的相关立法已经启动。此项立法仅会影响新建船只, 2016 年起在北美地区生

效。2016 年后建成的船舶将需要采用低 NOx 燃料或减排设备, 以便在北美水域运营。该立法在波罗的海地区的实行已经延期, 但有望在适当的时候实行。

对健康具有不利影响的颗粒物目前尚不在监管范围之内, 但随着硫成分的减少, 应该也会有所减少。其中一种特殊的颗粒物是黑碳, 该物质会对气候产生影响。

图 5: 全球 SECA 和 ECA



根据附件 6 中一方的提议, 可针对船只排放的 SO_x 和 PM 或 NO_x 或所有三种物质指定排放控制区。

现有排放控制区包括:

- 波罗的海 (SO_x, 正式通过时间: 1997 年/生效时间: 2005 年)
- 北海 (SO_x, 2005 年/2006 年)
- 波罗的海和北海 SECA (自 2015 年 1 月 1 日起, 燃料中的 SO_x 含量被设置为 0.1%)
- 北美 ECA, 包括美国大部和加拿大沿岸 (NO_x 和 SO_x, 2006 年/2012 年)
- 美国加勒比 ECA, 包括波多黎各和美属维尔京群岛 (NO_x 和 SO_x, 2011 年/2014 年)

- 现有 ECA 地区
- 未来可能划定的 ECA 地区

来源: IMO

颗粒物可以通过质量或数量来测量。目前, 测量主要针对质量, 但就其对健康的影响而言, 很多质量较低的细小颗粒物会产生更大威胁。对威胁健康的细小颗粒物的构成了解尚不充分, 在广泛推广应用新型燃料之前, 必须对其中颗粒物的构成进行评估。在柴油发动机中使用点火增强剂或引燃燃料时, 这一点尤其如此。

2.2. 加州环保署远洋船舶燃料管理法规

还有一些针对燃料硫成分的地方性法规。在加州, 有一项名为《加州海域和 24 海里加州基准线内远洋船舶燃料硫和其他操作要求》的法规, 该法规于 2008 年 7 月 24 日起实行。此项法规的目的不仅仅局限于氧化硫的排放, 而且还包括远洋船舶对颗粒物和氮氧化物排放 (加州环保署, 2013 年; 加州环保署, 2012 年; 加州环保署, 2008 年)。

与 IMO 对 ECA 规定的法规不同, 加州远洋船舶燃料管理法规不允许使用废气净化技术 (洗涤器) 代替低硫燃料。加州法规还要求, 除了遵守硫成分限制条件以外, 燃料还必须满足船舶轻柴油 (MGO) 或船舶柴油 (MDO) 等馏出物级燃料的规范。如果可以提供相关文件, 可获得此法规的豁免权 (加州环保署, 2014 年)。

可通过几种方法解决以硫排放控制区为代表的最新监管难题。要想通过减少 SO_x、NO_x、颗粒物和温室气体 (GHG) 的排放量实现长期可持续性发展, 可以使用的替代燃料就更加屈指可数。

2.3. 温室气体 EEDI 和 MRV

联合国框架内的国家对气候变化和温室气体的减排进行了国际性的讨论。国际航运业并不在这些讨论的范围之内, 但作为一个独立的实体, IMO 将负责温室气体 (GHG) 的减排工作。IMO 指出: “航运行业将做出其直接和应有的贡献”。

IMO 为新建船只制定了一个名为能效设计指数 (EEDI) 的燃料节约和能效框架, 该框架可对尺寸和设计类似的船只进行运输效率比较。船只能效管理计划 (SEEMP) 适用于所有船只, 旨在鼓励航运公司更好的管理其能效项目。指数对 GHG 减排和安全性的效果备受争议, 对安全性和环境表现的效果可能需要进一步评估。

根据欧洲议会 2015 年 4 月通过的欧盟监测、报告与核证 (MRV) 制度, 船东必须对每条船每次航行的 CO₂ 排放情况进行监测, 而且还必须进行年度监测 (欧盟委员会, 2015 年 b); 报告工作定于 2018 年开始执行。欧盟表示, EEDI 不够充分, 而且还需要一个可以覆盖现有船只的系统。

2011 年欧盟交通白皮书 (欧盟委员会, 2011 年) 制定了欧盟海运 CO₂ 排放目标, 该目标比 2005 年的排放量减少 40%。2013 年开始, 策略开始逐渐将航运包含到欧盟温室气体减排政策当中 (欧盟委员会, 2013b)。

2.4. 如何满足 ECA 法规要求?

航运公司有两种方案可以确保合规: 1) 采用低硫燃料 2) 通过洗涤器 (祛除硫氧化物) 净化废气排放。此外, 适当发动机中的低硫燃料可能符合 Tier III 的氮氧化物排放要求, 但有些燃料将需要氮氧化物减排。本部分将对各种可用方案分别进行分析。

2.4.1. 常规低硫燃料

更换为柴油品质的低硫燃料可保证符合现有的 SECA 规则, 无需在船上增加额外的设备, 但燃料成本可能会较高。大多数专为 HFO 燃料设计的船舶也对偶尔使用船舶柴油进行了规定, 例如在操纵方面。

低硫船舶柴油 (MDO) 或船舶轻柴油 (MGO) 等几种燃料都可使用。还有一些在炼油厂通过产品混合制成的混合燃料也具备低硫 HFO 的品质。这些燃料可以保证符合现有硫排放法规的要求。混合燃料时, 一定要小心操作, 因为将来自不同加注设备中的不同混合燃料进行混合可能导致燃料中出现蜡质析出, 进而导致操作时出现问题 (Krämmerer, 2015 年)。

满足 SECA 需要最受关注的燃料是低硫船舶柴油、LNG 和甲醇。LNG 和甲醇还可提供较低的 NO_x 排放, 也最有可能符合 Tier III 要求。

考虑到监管机构可能会要求更低的 GHG 排放标准, 需要重点指出的是, 即使是低硫和低氮燃料产生的 GHG 排放也可能会因将来的立法而面临被处以罚款的风险。

图 6: 船舶燃料发展途径示例



2.4.2. 可再生燃料

可用的低硫替代燃料有很多, 其中包括低硫船舶柴油、生物柴油、植物油、醇类燃料和液化天然气 (LNG)。其中一些燃料也可以提供一种可以通过可再生途径获得的燃料。因为内燃机是主要的船舶推进装置, 而且在可以预见的未来, 可能仍然保持这种主导地位, 所以柴油品质的燃料引起了最为广泛的注意。

从基础设施和处理的角来看, 有两种燃料: 液体燃料和气体燃料。对于液体燃料, 实现完全可再生系统的途径可能经历不同阶段, 从低硫船舶柴油等矿物燃料开始, 一直到可再生甲醇。对于气体燃料, 该途径会从化石甲烷 (构成天然气和 LNG 的大部分)

开始, 一直到液化沼气 (LBG)。两种途径都可以解决硫和 GHG 的问题。LNG 或醇类等更加清洁的燃料至少还可以符合 NOx Tier II 法规规定, 而且颗粒物排放量也较低 (Bengtsson 等, 2012 年)。

长期看来, 可持续燃料很可能使用可再生资源生产, 在这种情况下, 甲烷和甲醇都是能效较高的候选燃料。两种燃料都可以使用多种可大量获得的可再生资源生产。与需要进行液化处理并保持在零度以下温度才可以用作船舶燃料的甲烷相比, 甲醇具有可在环境温度下保持液态的优势。这就可以使甲醇成为一种可以满足最严苛碳减排法规要求的理想燃料, 而这一法规可能会在未来生效 (Brynnolf 等, 2014 年)。

表 1：船舶燃料对比

燃料	SECA 中的硫	NOx	颗粒物	温室气体减排方案
HFO	使用洗涤器	需要催化剂	高排放量	无
混合燃料	符合	需要催化剂	比 HFO 少	无
MDO	符合	需要催化剂	比 HFO 少	可以使用生物柴油或 FT 柴油代替
LNG*	符合	符合	非常低	可以使用沼气 (LBG) 代替
甲醇*	符合	符合	非常低	可以使用生物甲醇或电燃料代替

*往往需要引燃燃料或点火增强剂。可能导致颗粒物形成。

2.4.3. 废气减排

硫

安装洗涤器（一种可祛除废气中氧化硫成分的末端解决方案）是减少硫排放物的方法之一。该解决方案允许继续使用 HFO，是 IMO 框架 SECA 中可以接受的一种低硫燃料替代方案。但在加州海域，当地法规不允许使用该技术代替低硫燃料。

有两种洗涤器：开环式洗涤器（使用海水）和闭环式洗涤器（使用添加化学品的水溶液处理排放的废气，一般添加氢氧化钠）。海水洗涤器用过的水会回排至大海。当前的法规允许这种做法，但将来可能在敏感区域推出限制措施。洗涤器为大型设施，可能适用于某些大型船只，但要求很大的空间，而且会增加总重量。海水洗涤器的功能取决于水的化学属性，不太适合波罗地海等海域的苦咸水。

闭环洗涤器可以在任何地点使用，但会产生一种需要在陆地进行处理的淤泥，因此需要相应的港口接收设施。闭环洗涤器中使用的氢氧化钠也需要采取特殊的安全措施。

最后，还有一些既可以用于开环模式又可以用于闭环模式的混合洗涤器。该装置可以在敏感区域以及海水成分无法实现开环洗涤器预期性能的地点使用。

洗涤器产生的废水会含有来自废气的硫和其他成分。洗涤器确实可以高效降低硫排放，但去除 NOx 和颗粒物的效果还不明确。如果开环洗涤器可以去除 NOx，这可能会导致世界航道沿线氮成分的局部增加，进而造成海水出现营养过量和藻华暴发等环境问题。

值得注意的是，根据瓦锡兰提供的数据，作为一种附加的技术系统，洗涤器不仅会增加船上的维护要求，还会造成燃料消耗量增加（海水洗涤器增加 3%，闭环式洗涤器增加 1%）（den Boer 和 't Hoen, 2015 年）。

NO_x

要将来自柴油燃料发动机的 NO_x 降至 Tier III 水平, 还需要其他装置。唯一一种可以实现 80% NO_x 减排效果的解决方案是一种选择性催化还原 (SCR) 系统。SCR 系统可通过添加尿素溶液将 NO_x 转化为氮气 (N₂), 这是空气的主要成分。反应中主要消耗尿素, 但废气中也会产生少量的氨, 这种现象就是我们熟知的氨泄漏 (Andersson 和 Winnes, 2011 年)。

SCR 系统可以在任何类型的发动机中安装, 而且不需修改, 但必需确保最低的废气温度 (约 300°C)。在启动阶段和催化剂达到最佳温度前, 存在无法使用 SCR 的一段时间。

3.

甲醇船舶燃料

船舶燃料的全球需求很大。据估计，国际航运每年消耗大约 3 亿吨 HFO (Buhaug 等, 2009 年)。在每年的 HFO 消耗量中，北海/波罗的海 SECA 地区占 2000~2500 万吨。这些数字突出了甲醇等低硫燃料的潜在市场。

甲醇已经过测试，并在陆地重型车辆上获得积极结果，是航运业感兴趣的一种替代燃料。多项因素表明，该燃料可以作为一种可以解决当前环境和法规规定问题的可行方案。与其他醇类燃料一样，甲醇可以在发动机内实现清洁燃烧，燃烧产生的碳烟比柴油或 HFO 更低（甲醇在重型发动机中燃烧时低于 0.01 g/kWh，而最好的柴油则高于 0.1 g/kWh）(Tunér, 2015 年)。实验室和现场测试都充分证明了这些观察结果。南加州大学的一个研究小组对甲醇用作未来大规模能量载体进行了详细的阐述 (Olah, 2009 年, Olah, 2013 年)。

在船舶柴油发动机中对甲醇进行的试验中，氧化氮和颗粒物的排放非常低，而且无硫，甲醇不会产生硫化物排放。氧化氮排放量较低，符合 Tier III NOx 排放标准 (2-4 g/kWh)。使用酒精燃料，有时会形成甲醛。甲醇的排放物测量显示，不会产生任何可测量的甲醛 (MAN 2015b)。使用甲醇作为原料，发动机效率与传统燃料不相上下，甚至更高 (Haraldsson, 2015 年 a; Stojcevski, 2015 年)。

甲醇在发电行业中的表现也十分乐观。在以色列一家燃气轮机发电厂进行的试验表明，用甲醇代替柴油后，排放量大幅下降；满负荷运行时，NOx 排放量降低了 85% (Eilat, 2014 年)。

3.1 甲醇船舶燃料特性

甲醇是一种优质的汽油替代品，而且可以在混合燃料中使用，它还可在柴油发动机中实现良好的性能。在柴油发动机中使用时，需要一种点火增强剂，使用少量柴油即可。在进行的所有试验中，甲醇的燃烧属性和能效都比较理想，而且燃烧排放也较少。

甲醇等醇类燃料的缺点就是它们比传统燃料的能含量要低。出于等效能量密度的考虑，甲醇存储罐所需空间大约要比传统燃料大一倍。甲醇和液化天然气在能量密度方面类似 (见表 2)。

3.2 甲醇的环保性能

3.2.1. 原料

从传统意义上讲，甲醇通过木柴干馏法制得，因此也衍生出“木醇”的名字。人们在很早之前就研究出了甲醇的工业合成方法，1913 年，甲醇是使用一氧化碳和氢（合成气）作为起始物催化过程的一种产物。早期过程在高压 (25-35 MPa) 和 320-450 °C 的高温条件下进行。20 世纪 60 年代，人们研究出低压合成法 (5-10 MPa, 200-300 °C) 后，生产经济性得到提高 (Fiedler 等, 2011 年; Biedermann 等, 2006 年)。

表 2: 不同船舶燃料的属性

属性	甲醇	甲烷	LNG	柴油燃料
分子式	CH ₃ OH	CH ₄	C _n H _m ; 90 - 99% CH ₄	C _n H _{1.8n} ; C ₈ -C ₂₀
碳含量 (重量 %)	37.49	74.84	≈75	86.88
16°C 时的密度 (kg/m ³)	794.6	422.5 ^a	431 到 464 ^a	833 到 881
101.3 kPa 时的沸点 (°C) ^b	64.5	-161.5	-160 (-161)	163 到 399
净热值 (MJ/kg)	20	50	49	42.5
净热值 (GJ/m ³)	16		22	35
自动点火温度 (°C)	464	537	580	257
闪点 (°C) ^c	11		-136	52 到 96
十六烷值	5		0	>40
可燃极限 (vol %, 在空气中)	6.72 到 36.5	1.4 到 7.6	4.2 到 16.0	1.0 到 5.0
水溶度	完全	无		无
硫含量 (%)	0	0	<0.06	不定, <0.5 或 < 0.1

^a 甲烷/LNG 在沸点下

^b 要将 kPa 转换为 psi, 乘以 0.145

^c 产生汽化并在空气中形成可燃混合物的最低温度

来源: Jackson 和 Moyer, 2000 年; LNG: Woodward 和 Pitblado, 2010 年; Hansson, 2015 年。

工业甲醇生产有三个主要步骤:

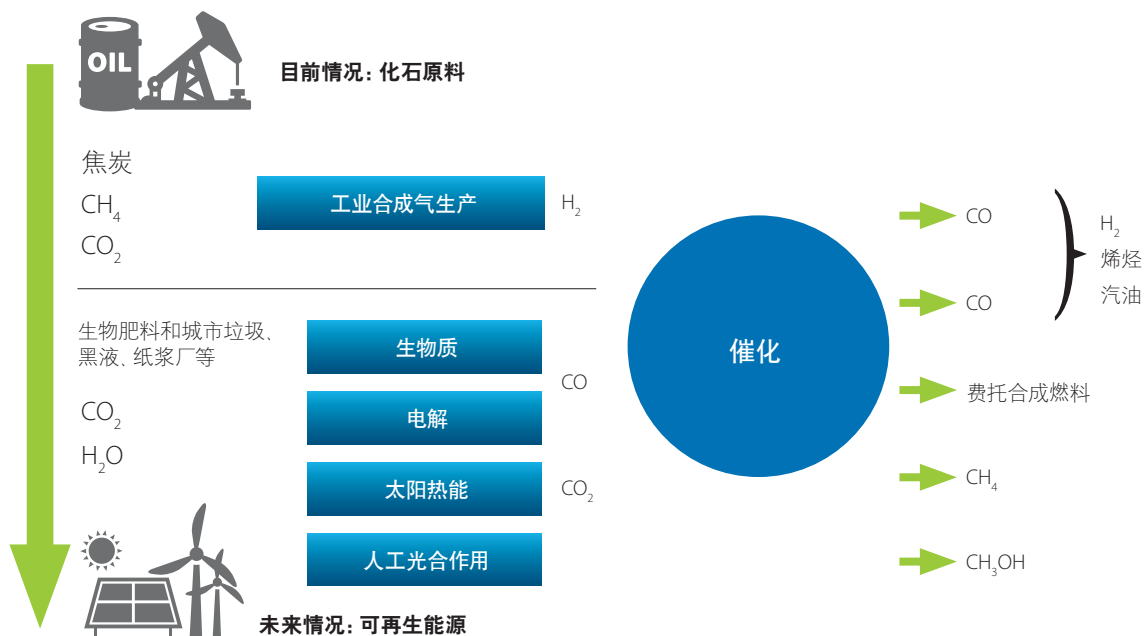
- 合成气的生产
- 甲醇合成
- 粗甲醇处理。

合成气可以从化石或可再生原料中产生。它还是多种产品合成工艺的起始物, 甲醇只是其中一种产品。今天, 市面上的大多数甲醇均使用天然气生产。中国大多数厂家都使用煤来生产甲醇, 主要供应国内市场。也有使用 HFO 等炼油厂残余馏分的案例 (Seuser, 2015 年)。

各种生物质, 如废木材、森林疏伐, 甚至是城市固体废物都可以通过气化来生产合成气。在瑞典, 纸浆和造纸厂产生的黑液用来生产可再生甲醇和生物 DME (Landälv, 2015 年; Bögild Hansen, 2015 年)。

二氧化碳, 从工业生产过程中回收并转换回合成气或在其纯态中捕获, 也可用于生产甲醇。Carbon Recycling International 依据这种原理在冰岛建立了一座甲醇工厂。三菱重工已经开发了二氧化碳回收 (CDR) 技术, 并被巴林的海湾石化工业公司 (GPIC) 和卡塔尔的卡塔尔燃料添加剂公司 (QAFAC) 成功

图 7: 可再生燃料方案



来源: Ferrari, 2014 年

方框 1: 车辆应用经验

20 世纪 80 年代初期, 人们就进行了以甲醇作为重型发动机燃料的相关试验, 试验表明甲醇发动机与常规柴油发动机效率不相上下, 甚至更高。NO_x 和颗粒物的排放量显著降低 (Jackson 和 Moyer, 2000 年)。

在赛车等其他各种条件下, 甲醇还可用作汽车燃料。目前在中国, M15 到 M85 车用混合燃料中, 越来越多的燃料都在使用甲醇 (Su 等, 2013b)。20 世纪 80 年代, 美国曾对车用甲醇进行过大规模测试。美国开始进行这项测试的原因是为了禁止使用含铅汽油, 因为这种汽油需要添加一种将会增加辛烷值的添加剂 (Bromberg 和 Cheng, 2010 年)。石油危机爆发后, 从 1980 年到 1990 年的 10 年间, 为了寻找替代燃料, 人们在加州进行了大规模的测试, 测试中将汽油车改装成了含 85% 甲醇的汽车 (Bromberg 和 Cheng, 2010 年)。从技术上讲, 这是成功的, 能量效率水平能够与汽油车辆相媲美。

测试中还包括柴油发动机。测试中, 对两冲程和四冲程柴油发动机都进行了改装。测试表明, 碳烟和氮氧化物的排放量均较低。

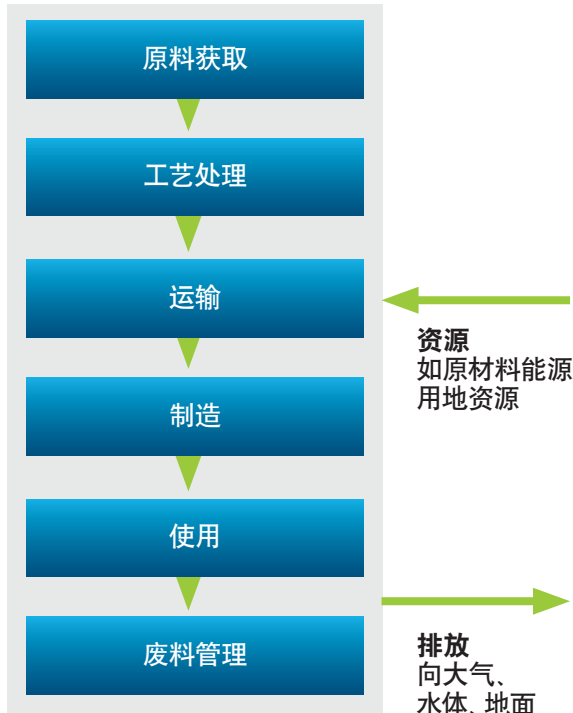
之所以甲醇的推广最终停止, 一部分原因是石油价格的回落, 另一部分原因是缺乏市场导向 (Bromberg 和 Cheng, 2010 年)。

目前, 中国是在交通运输车辆中使用甲醇量最大的国家。原因之一是甲醇生产原料极为丰富, 其中煤、天然气和生物质的原料利用比例分别为 64%、23% 和 11% (Su 等, 2013 年 a)。甲醇产量正在不断增长, 2013 年车辆甲醇燃料使用比例为 17%。此外, 6% 的甲醇用于生产燃料用 MTBE (Su 等, 2013 年 b)。所用甲醇用于不同混合燃料 — M100、M85 和 M15 (分别为 100%、85% 和 15% 甲醇)。据估计, 中国甲醇生产中煤的能效为 35-40%。

在中国, 为用户配送甲醇主要通过卡车运输 (> 80%), 海运和铁路运输量分别不足 10% (Su 等, 2013 年 a)。

作为交通运输燃料, 几个国家已对甲醇进行测试, 但仍未作为主要燃料得到大面积推广, 主要原因往往是来自汽油的竞争。

图 8：环境生命周期评估原则



备注：向整个生命周期内加入了排放和资源
来源：Baumann 和 Tillman, 2004 年

地应用在生产可再生甲醇领域。阿塞拜疆甲醇公司 (AzMeCo) 正计划在其位于巴库的甲醇生产设施中应用相似的 CDR 技术, 并且已经规划的美国南路易斯安那甲醇生产设施也计划通过收集 CO₂ 来进行额外的甲醇生产。Enerkem 最近在加拿大建成的一家

工厂使用垃圾生产运输燃料和化学品, 而不是使用石油 (Enerkem, 2015 年)。

Olah 等人提供了大致的甲醇生产流程 (Olah 等, 2009 年)。

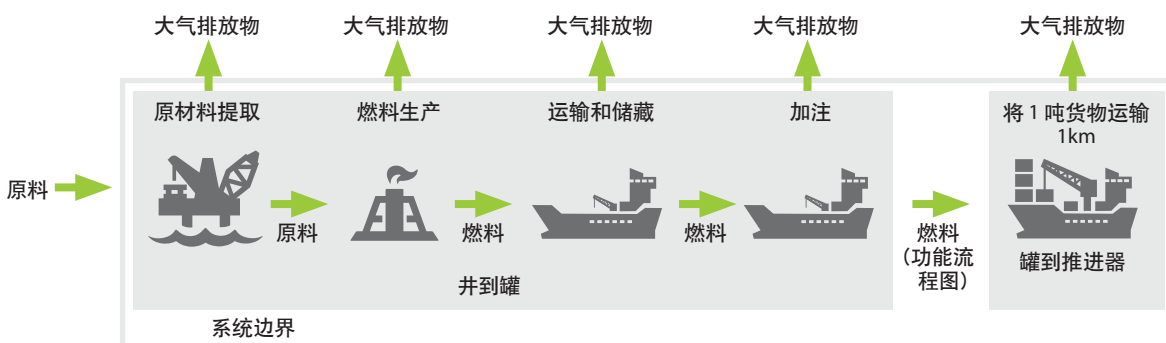
图 7 显示了未来使用可再生电能生产燃料的方案。通过这种方法, 可以在产量超过需求时对可再生能源进行存储, 这也是架设更多配电网的一种替代方法。甲醇是一种高效的“液体电池”, 可以存储在储罐中, 并通过海运、铁路或公路输送到各地 (Varone, 2015 年)。在催化过程的能效方面, 甲醇非常有吸引力。

对使用电力制备甲醇可能产生的生产成本的预估显示, 如果按照生产成本使用电力, 其生产成本可与生物甲醇的生产成本 (比矿物甲醇高 40%) 持平 (Ramne, 2014 年)。

3.2.2. 燃料在生命周期内对环境的影响

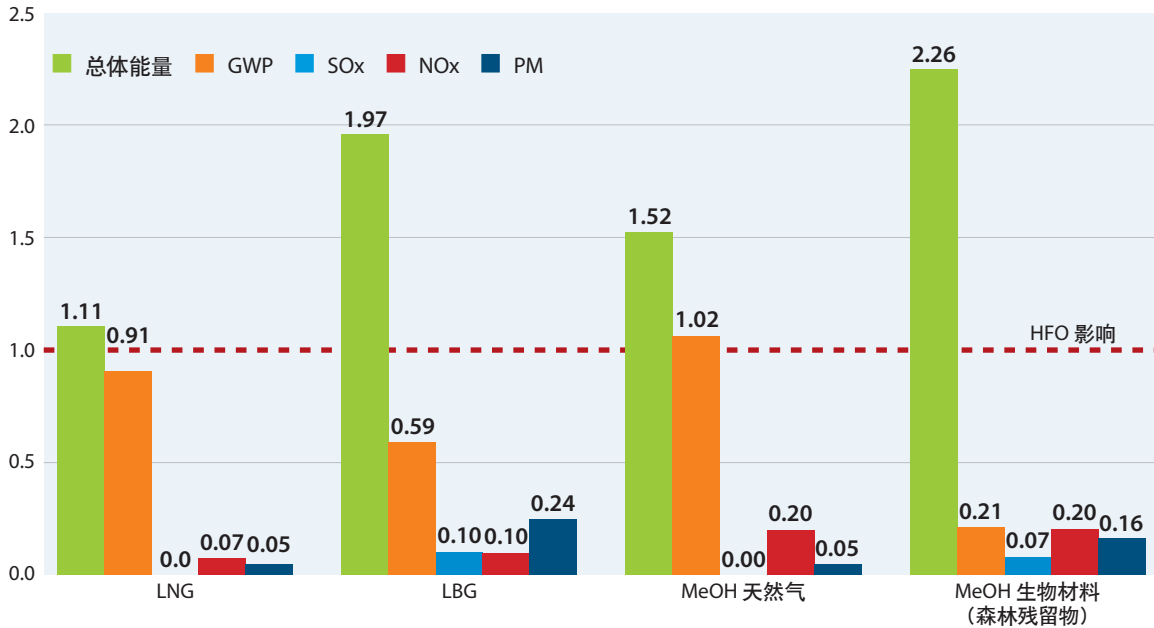
评估一种燃料对环境的影响时, 发动机内能量转换相关的效果不是唯一一项需要重点考虑的因素。虽然一种燃料可以符合发动机排放法规的要求, 但也许会产生一些从上游生产环节就开始显现的不利影响。从原材料的开采到燃料生产和运输的上游环节影响会加大总体影响并影响总体能源使用情况。上游加工过程中能源利用率和排放量较高的燃料生产成本很可能会比较高。随着环保法规的日益严格, 这也可能会成为未来碳减排立法的整治对象。

图 9：船舶燃料的完整生命周期



来源：Bengtsson 等, 2011 年

图 10: 与 HFO 相比, LNG 和甲醇生命周期能源使用情况和环境影响 (HFO 的所有影响 = 图中的 1)



*能量输入和影响从井到推进器的角度进行考虑, 并适用于使用 RoRo 船运输 1 吨物体前进 1 公里使用的燃料。正如制造商所报告, LNG 数字假设有 4% 的甲烷丢失。
来源: Brynolf 等, 2014 年

船舶燃料在整个生命周期内的影响可以通过全生命周期评估法 (LCA) 进行评估。在 LCA 中, 可以对加剧环境和健康影响的排放物以及能源和资源的使用情况进行评估。之后就可以对可能加剧全球变暖和酸化等各种环境问题的潜在因素进行预测。LCA 是一种符合 ISO 14040 (ISO, 2006) 标准的工具。在产品功能相关的整个产品链中均会对排放物和资源使用情况进行评估, 详见图 8。

船舶燃料的生命周期包括获取/提取、燃料加工和运输以及最后的使用阶段 (推进器) 组成, 详见图 9。这些步骤发生在不同地点, 有时候也许会在世界的其他部分。对于某种特定的燃料而言, 上游加工过程 (“井到罐”) 可能不同, 但其使用过程 (“罐到推进器”) 却很相近。

图 10 对替代燃料的影响和 HFO 的影响进行了对比, 所有燃料均在相同的应用条件下使用。燃料分别为甲醇、液化沼气 (LBG) 和生物甲醇, 所有燃料均归一化到重燃料油 (HFO) 的影响, 由虚线表示 (Brynolf 等, 2014 年)。生物甲醇的能源使用范围由生物材料

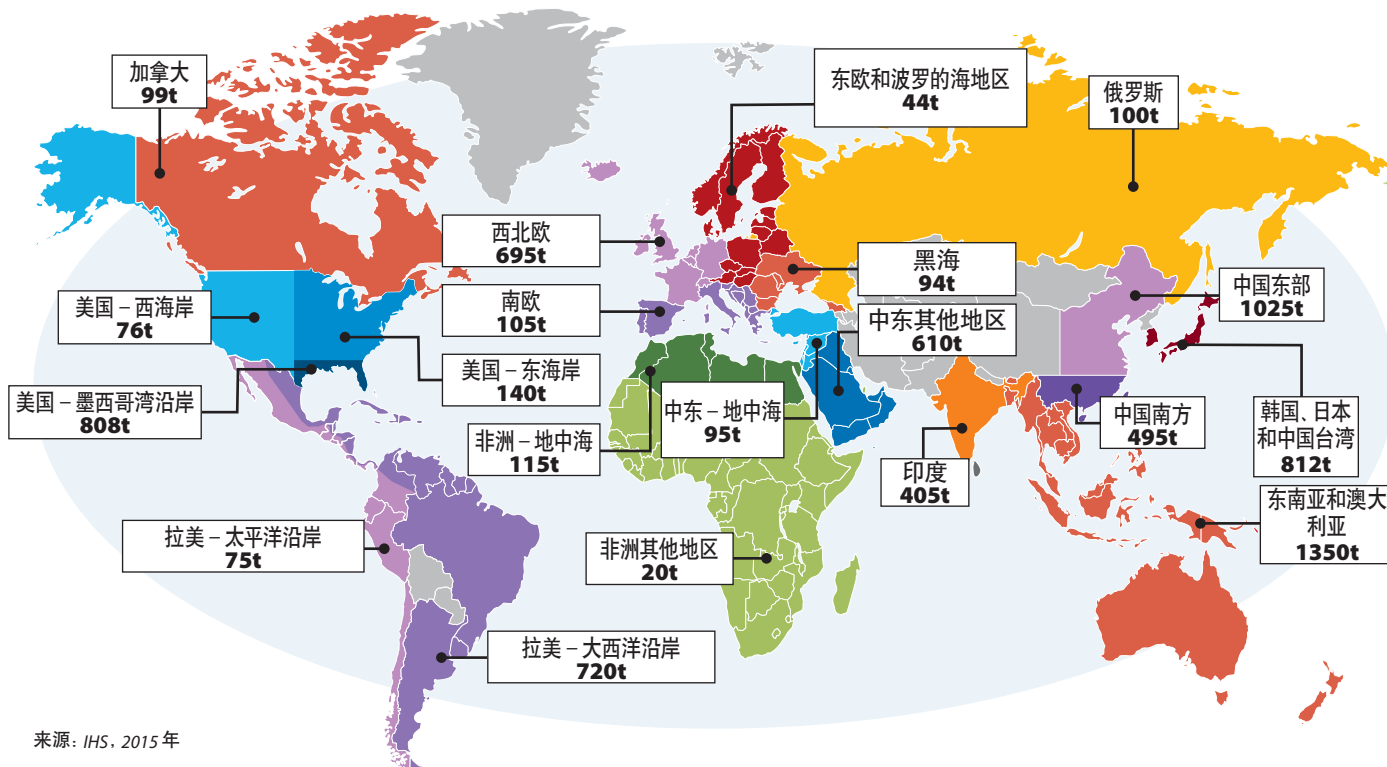
的来源及其收获方式决定; 在本示例中, 采用了森林残留物。

所有化石燃料都会对温室效应产生加剧作用, 具体表现为全球变暖潜能值 (GWP)。即使是生物燃料也会使用矿物能源在上游进行种植、收获、加工和运输。矿物和生物燃料在矿物能源使用方面的差别体现在总体能量和 GWP 之间的差异上。

依靠 LNG 燃烧实现的小幅 CO₂ 减排效果 (最大 20%) 很容易就会被发动机甲烷泄露和配送环节中的流失所抵消。作为一种温室气体, 甲烷温室效应是 CO₂ 的 20-30 倍, 这就导致甲烷排放物成为全球变暖的一个重要因素。提取、加工和运输至加注地点的过程中, 气体的去向很难估计, 因为期间存在诸多的影响因素和大量可能的供应商。

在 LCA 中对不同船舶燃料在生命周期内产生的影响进行比较后, 我们可以依据每种用于船舶推进的能源的一次能量得出结论, 没有一种接受研究的燃料比重燃料油 (HFO) 的能效更高。该参数也是衡量

图 11: 甲醇仓储量预估 (千吨)



来源: IHS, 2015 年

生产一种燃料的成本是否具有竞争力的一个重要指标。由于种植和收获过程中进行的工作，生物燃料往往需要更大的能量投入。这种能源也可能以矿物柴油的形式出现，进而对全球变暖产生影响。选择新原料和燃料加工工艺时，必须考虑到上游影响。使用再生电和二氧化碳代替生物材料生产的新一代非矿物燃料是一项有趣的发展，现以冰岛的一种甲醇生产工艺和一个制造商为代表 (Tran, 2015 年)。作为一种电能燃料，未来发展使用不同 CO₂ 来源的甲醇生产工艺可为以低于生物产品的一次能量需求量获得可再生甲醇提供新的机遇。

在其他排放物方面，虽然甲醇中不含硫，但可能会在上游工艺中出现少量泄漏，具体由加工和运输使用的能量载体决定。来自船只的排放物与柴油品质燃料中的硫成分有关。使用甲烷和甲醇的发动机氮氧化物排放量较低，因为燃料燃烧温度较低且特性理想。

3.3 基础设施要求

为了使某种燃料适合船运使用，必须建设足够的基础设施，以覆盖大量港口。可以通过加注船和陆地加注的方式为船加注燃料，两种加注方式均需要可以提供燃料的终端设备。

目前供应甲醇基础设施基于向全球化工产业分销甲醇的模式建设。这可保证燃料的广泛应用，但仍然需要建设更多的船舶燃料终端设备。在 SECA 内，建有大量可供化工产业使用的终端设备。在欧洲的某些港口，甲醇是吞吐量最大的化学品之一。集散地的甲醇配送通过 1200 吨的驳船、火车或油罐卡车来执行。

目前，使用甲醇作为燃料船只的加注通过卡车进行 (Stefenson, 2014 年)。卡车通过渡船临近码头上储料罐罐内内置的泵将甲醇送至加注设备。这种方案

表 3: 全球甲醇产能发展预估 (千吨)

地区	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
北美	1,353	1,160	1,885	2,330	3,110	4,250	6,158	9,108	14,268
南美	11,113	11,603	11,113	11,163	10,915	10,915	10,915	11,636	11,636
西欧	3,075	2,975	3,075	3,075	3,075	3,075	3,075	3,075	3,075
中欧	400	805	400	400	400	400	400	400	400
独联体和波罗的海国家	4,180	4,070	4,160	4,160	4,370	4,820	4,870	5,050	7,230
中东	16,114	15,464	16,114	16,114	16,114	16,194	16,194	16,194	16,194
非洲	3,005	2,060	3,320	3,320	3,320	3,320	3,320	3,320	3,320
印度次大陆	502	502	502	597	667	667	832	832	832
东北亚	37,875	33,389	43,169	50,489	57,034	61,234	66,209	66,759	66,759
东南亚	5,180	4,930	5,505	6,047	6,530	6,530	6,530	6,530	6,530
全世界	82,797	76,958	89,243	97,695	105,535	111,405	118,503	122,904	130,244

来源: IHS, 2015 年

是一种处理灵活, 便于建设的解决方案。在其他应用情况的甲醇供应工作中, 在技术和安全注意事项方面积累了长期的经验。2015 年 4 月, 这批设备中的首台已经投入使用。

如果多艘船只使用港口内加注的甲醇, 则需要对现有加注船进行改装。

甲醇与柴油燃料在处理方式方面的主要差别在于甲醇是一种低闪点的燃料。低燃点化学品的处理技术已经非常成熟, 安全处理甲醇的经验已经非常丰富。

3.4 供需情况

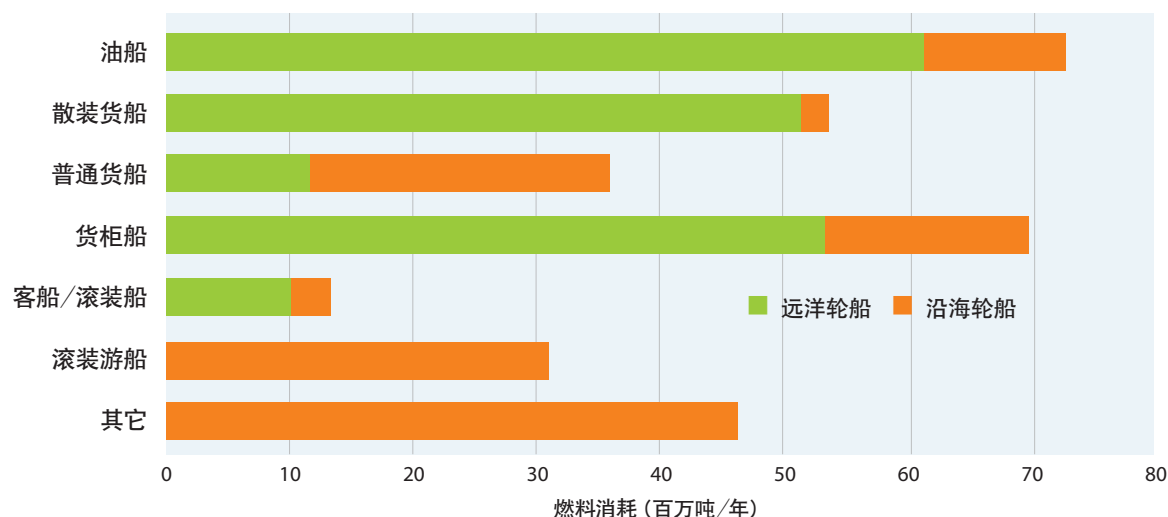
甲醇产业是全球性产业, 亚洲、南北美洲、欧洲、非洲和中东地区均可生产。除中国之外, 所有生产国的原料主要是天然气, 中国使用煤作为主要原料

(Seuser, 2015 年)。全球每年的甲醇产能超过 1 亿吨。甲醇可以用作多种用途, 主要用于化工产业; 燃料用量约 900 万吨, 主要用作汽油混合燃料。2014 年全球需求量预计约为 6500-7000 万吨, 其中中国用量至少有 4000 万吨 (IHS, 2015 年)。全球所有主要船运中心均可提供甲醇。

还有几座甲醇工厂正处于建设阶段。美国提高页岩气预计产量后, 随即制定甲醇增产计划, 预计从 2014 年到 2018 年大幅增加产能。根据在建和规划工厂的相关数据, 预计 2018 年国际供应量可能达到 1.3 亿吨 (IHS, 2015 年)。

供应量的增加与需求量的增加, 尤其是中国需求量的增加有关。船运会消耗大量的燃料, 国际船运行业年燃油使用量预计为 3 亿吨。

图 12: 全球主要船只类型船运燃料消耗



备注: 沿海轮船东要是指小于 15,000 dwt 的客货滚装船、游船、服务船和渔船
来源: Smith 等, 2014 年; Buhaug 等, 2009 年

在北海和波罗地海 SECA 中, 年燃料使用量约为 2000 万吨 (Ellis 等, 2014 年)。一台大型车辆/旅客轮渡每年将使用 1 万吨柴油燃料 (Haraldsson, 2015 年b)。

中长期看来, SECA 区域内的船只不可能全部改装为甲醇燃料船, 主要是因为不是所有的发动机都适合改装, 而且船队更新速度比较慢。但如果对北欧 SECA 区域内所用燃油进行 5% 的更换, 每年将会需要 200 万吨甲醇。

3.5 甲醇的安全和处理

更换燃料时的处理方式和安全是操作人员的一项新挑战。甲醇是一种低闪点燃料, 这就意味着, 它可在相对较低的温度下蒸发并与空气混合, 形成一种可燃的混合物, 这是安全评估中需要解决的一个实际问题。具有较低的闪点是甲醇与 LNG 共有的一个特性。但与 LNG 不同的是, 甲醇在环境温度和压力下是液态, 这就意味着它可储藏在普通存储罐中, 无

需进行过多改动。在存储和处理方面, 甲醇与 HFO 具有很多相同的特性。

使用油罐卡车和散装货船处理和运输作为一种化学产品的甲醇已经有了丰富的经验。例如, 甲醇是 2008 年和 2009 年芬兰港口吞吐量最大的散装液体, 也是波罗的海沿岸各港口运输的一种非常普遍的化学产品 (Posti 和 Häkkinen, 2012 年)。

3.5.1. 安全和法规

在安全性方面, 甲醇的一个显著特点就是甲醇是一种低闪点燃料。甲醇的闪点为 11°C, 沸点为 65°C。参考信息: HFO 闪点为 60°C, LNG 闪点介于 -188°C 和 -135°C 之间, 沸点为 -163°C。

闪点非常重要, 因为这是形成火灾隐患的核心问题。就甲醇而言, 化工产业在火灾预防和消防灭火方面有着丰富的经验, 为改装和加注解决方案的设计提供了依据, 进而可将甲醇用作一种船舶燃料。

从监管的角度考虑，相关部门出台了多项法规和指南，以便对火灾隐患进行管理和防御并保证甲醇大宗陆运和海运的运输安全。

国际散装运输液化气体船舶构造和设备规则 (IGC Code) 中规定的指南和国际法规对甲醇等低闪点液体的安全运输进行了详细规定。散装化学品船舶国际散装运输危险化学品船舶构造和设备规则 (IBC Code) 也适用 (Freudentahl, 2015 年)。然而，早期的规定适用于将甲醇作为船上货物进行处理的情况。IGF 规则则适用于将甲醇作为燃料使用的情况。

特别针对低闪点燃料，相关部门制定了船舶天然气燃料发动机装置中期指南 IMO Res MSC.285(86)、国际气体燃料船舶安全章程 (IGF Code) 和来自 DNV 和英国劳埃德船级社的船级社规则和法规 (DNV, 2013 年)。在 IGF Code 中，正在准备一份低闪点燃料船安全规范草案。

一个相关的安全问题是甲醇的爆炸范围相当宽泛，空气对甲醇的比例是 6.7% 到 35%；甲烷的爆炸范围相对较小，比例范围是 5.0%-15%。因此，需要对加注和供应安全操作程序和技术进行更加严格的要求 (Freudentahl, 2015 年)。

如今采用的规则会面临一定风险，也就是说需要对每种设施进行风险评估。这可能会被视为一种障碍，尤其是对小船东，因为评估成本较高，但是这可能也会促进某些特定船型专用解决方案的制定。

甲醇在很多方面都与 HFO 具有相似之处，因此，处理和安全性方面的很多最佳做法都可适用于这两种燃料。主要的区别就是甲醇是一种低闪点燃料 (Krämmerer, 2015 年)。

3.5.2. 健康和环境影响

甲醇是一种极性液体，可溶于水、其它醇类、酯类和大多数有机溶剂。因其具有极性，所以也可溶解盐类等多种无机化合物。其在脂肪和油脂中的溶解度较低 (Fiedler 等, 2011 年)。

大多数微生物都可以在酶促反应中将甲醇氧化为甲酸，并且在叶酸的作用下，进一步转化为二氧化碳。这就意味着泄漏到环境中的甲醇可以快速生物降解。大量溢出产生的影响十分有限，仅可能会快速生物降解和稀释 (Fiedler 等人, 2011 年)。

人们很久之前就已经对甲醇的健康威胁有了比较深入的了解，接触甲醇后同样也会进行相应治疗，防止中毒。因误饮甲醇而中毒的最早文献报道出现在 150 年前。甲醇不仅可以通过误饮的途径摄入体内，也可通过皮肤接触和吸入摄入。与其它大多数物种相反，人类将甲醇降解为二氧化碳的能力非常有限。肝脏中发生的酶促降解相反会造成甲酸水平升高，导致中毒。乙醇在转化过程中优先反应，因而可能会抑制甲醇降解反应。这就意味着乙醇的摄入可能会使反应结果出现延迟。人体内的乙醇转化过程会先从乙醛转化为乙酸，之后转化为二氧化碳和水 (Fiedler 等, 2011 年; Tinnerberg, 2015 年)。将甲醇作为船舶燃料使用时，机载燃料处理系统将是完全封闭的，使得与甲醇接触的可能性微乎其微 (Freudentahl, 2015 年 B)。

在社会生活中，甲醇是一种用途广泛的化学品。在某些国家，甲醇除了作为燃料，还用在防风玻璃清洗液中，还可作为一种污水处理厂中使用的一种工艺助剂以增强脱氮细菌的活性，还可作为其它化学品合成中的起始物。甲醇的处理特性已经被人们熟知，已经不是问题。

4.

发动机改装测试

船舶使用的柴油发动机类型有两冲程发动机或四冲程发动机。目前，两冲程发动机和四冲程发动机均可改装为可以在双燃料模式下使用甲醇的发动机。在这些改装中，将对发动机燃料喷射器进行改动，以便获得更高的喷射压力，这样才能引燃甲醇。

与常规 HFO 和柴油相比，甲醇的粘度很低，所以需要密封件采取特殊的防泄漏措施。燃料供应系统还必须保证执行维护或维修工作的技术工人的安全，在实际情况下，这就意味着需要避免直接接触甲醇。因此，甲醇发动机装有双层燃料输送系统。此外，发动机系统具有脱氮净化功能，可确保操作人员可以安全操作发动机。与 HFO 恰恰相反，甲醇无需对燃料进行加热；相反，有时需要在喷射前对燃料进行降温。

4.1. 船舶燃料研究项目

Effship、SPIRETH 和 PILOT Methanol 等很多研究项目，对发动机改装及其运行情况进行了研发和测试。本部分将对每个项目进行简短介绍。

4.1.1. Effship

Effship 项目 (2009-2013) 对可用于满足短期 (2015-2016) SO_x 和 NO_x 减排法规规定以及中期 (2030) 和长期 GHG 减排目标的不同技术解决方案和船舶燃料进行了测试。此项目得出结论，考虑到快速的

可用性、对现有基础设施的利用情况、价格以及发动机设计和知名陆地应用情况船舶技术方面的简便性以及，甲醇是最佳的替代燃料 (Fagerlund 和 Ramne, 2013 年)。

此项目是在瑞典创立，由瑞典创新署 (Vinnova) 与合作伙伴共同出资。

4.1.2. SPIRETH

SPIRETH 项目从 Effship 中剥离出来，时间从 2011 年直到 2014 年 (Ellis et 等, 2014 年)。此项目通过在实验室环境下对两种燃料概念进行测试的方式论证各自的可行性：

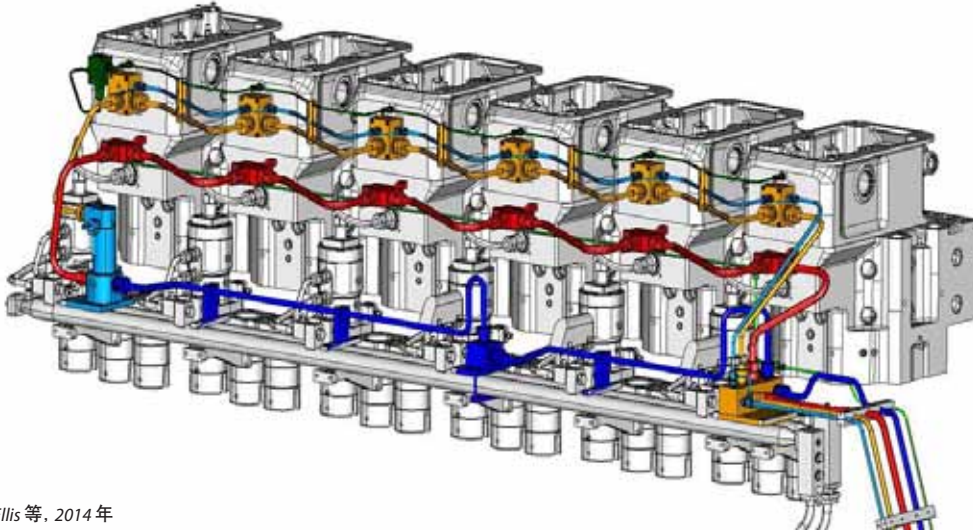
- 1) 全尺寸船舶柴油发动机中使用的甲醇。
- 2) 在船上经甲醇转换而成并使用在改装的辅助柴油发动机中的二甲醚 (DME)。

SPIRETH 项目从瑞典能源署、北欧能源研究组织、北欧投资银行和丹麦海事基金会获得资金支持。

4.1.3. PILOT Methanol

PILOT Methanol 是一项客滚渡船 *Stena Germanica* 甲醇燃料转换和运行的全尺寸测试，从 EU TEN-T 计划获得资金支持。此项目的主要目标是发展燃料转换专业技术和基础设施。这包括对发动机和船上燃

图 13: 外加甲醇管道的瓦锡兰发动机



来源: Ellis 等, 2014 年

料供应系统、加注设施进行改造以及许可证/法规制定。改装工作已于 2015 年 4 月完成, 目前正处于测试阶段 (欧盟委员会, 2015 年)。

4.2. 发动机改装经验

大部分发动机改装经验来自以上列出的三个项目。SPIRETH 项目的其中一个目的在于对船舶柴油发动机进行改造, 以便打造以甲醇为主要燃料的双燃料发动机 (Ellis 等, 2014 年)。项目主要关注点为中速四冲程发动机制定改装甲醇解决方案。此概念在旅客渡船 *Stena Germanica* 上的现有发动机相关改装项目中得到进一步发展。该发动机类型非常适合改造。还可以改装其他一些发动机型号, 但这并不适用于所有较旧的船舶柴油发动机 (Haraldsson, 2015 年 b)。

为满足一个新建七艘液货船订单的需要, 一款两冲程双燃料甲醇推进发动机已经开发成功, 这种液货船将用于运输甲醇。与大多数其他案例相同, 此款发动机也在现有概念基础上建造 (MAN, 2015 年 b)。

4.2.1. 瓦锡兰

在 SPIRETH 项目中, 以减排、高效、坚固耐用的解决方案和具有成本效益的改装为目标, 各种燃烧概念和设计解决方案都被进行评估。这项研发活动可积

累更多低压燃气系统 LNG/HFO 双燃料发动机的设计经验。此概念已经经过 10 多年的测试。

甲醇与 LNG 的十六烷值都比较低, 所以发动机将需要一种十六烷增强剂, 以便点火。在双燃料解决方案, 使用少量的柴油作为一种引燃燃料。为了对现有发动机进行改装, 使用了气体 - 柴油技术。

气体双燃料发动机的不同之处在于, 天然气使用的气体压缩机更换为高压甲醇泵, 以增加燃料压力。在改装船只中, 常规燃料系统可以作为一个独立系统保留运行功能。

甲醇喷射通过高压共轨系统执行。所有甲醇管道均采用双层设计。所有甲醇高压管道系统可通过氮气净化处理, 以便操作员在不接触甲醇的情况下进行维护。

该发动机的排气阀进行了耐磨改造, 且废气中自带的润滑颗粒物比使用柴油燃料或重燃料油时更少。通过对改装的瓦锡兰 Sulzer 八缸 Z40S, 这种概念得到了验证, 在这之前在实验室中已对这款发动机进行测试。同类型的发动机也进行了改装, 以便为 *Stena Germanica* 提供动力。

4.2.2. MAN

MAN 正在对梅赛尼斯公司订购的七台新建甲醇货船发动机进行改装, 首台发动机已经在 2015 年 8 月交付使用 (Sejer Laursen, 2015 年 a)。船舶定于 2016 年 4 月和 10 月份之间交付。

改装中的发动机是两冲程 10 MW ME-LGI 发动机。这种发动机可为低闪点液体燃料提供双燃料解决方案。缸盖加装了额外的甲醇增压喷射器 (MAN, 2015 年 b), 以便获得 10 bar 的典型喷射压力。日本正在对发动机进行长期测试 (Sejer Laursen, 2015 年 a)。

高压甲醇通过双层管道输送, 通过干燥空气通风, 所有甲醇燃料设备均采用双层设计 (MAN, 2015a)。

4.3. 测试运行初期结果

测试运行数据均显示出其良好的性能。

瓦锡兰实验室测试显示了以下结果 (Stojcevski, 2014 年):

- NOx 3.5 g/kWh (低 Tier II, 无重大改装)
- CO (< 1 g/kWh)
- THC (< 1 g/kWh)
- 仅 MGO 引燃时产生 PM (FSN ~ 0,1)
- 仅 MGO 引燃时产生 SOx (减排 99%)
- 甲醛排放 (略低于 TA-luft)
- 废气中未发现甲酸
- 输出未见降低, 负荷反应未发生改变, 燃料冗余完整
- 能效更高 (测试显示在甲醇模式中, 燃料消耗较低)。

在 MAN 测试中:

- 首批结果显示 NOx 排放比 Tier II 限制低 30%。颗粒物排放 (按重量) 非常低 (Sejer Laursen, 2015a)。

图 14: 适用于甲醇的改造版 MAN 发动机



来源: Sejer Laursen, 2015 年 b

- 对 4T50ME 发动机进行的测试表明, 柴油和甲醇的性能差异非常小。与柴油相比, 甲醇循环后期发热量较低, 提供了较好的燃烧效率 (Sjöholm, 2015 年)。

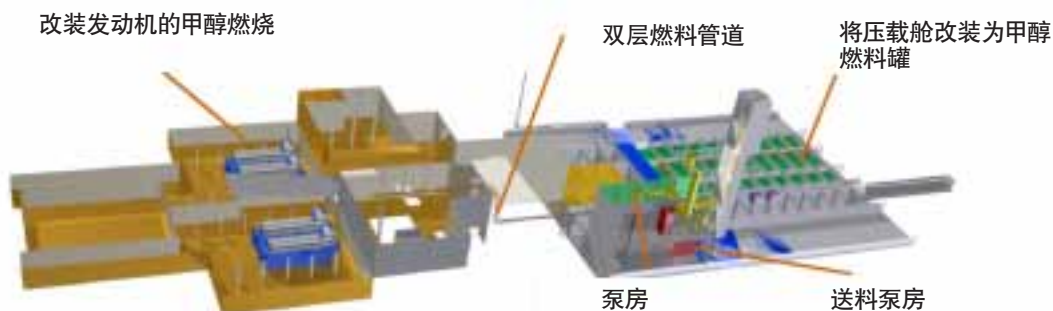
4.4. 船上应用

更换燃料时, 必须在船上添加相应装置, 或对装置进行改装。这包括燃料罐、管道和加注系统。如果甲醇是主要燃料, 或双燃料发动机中的其它燃料是轻柴油, HFO 燃料船中使用的锅炉和燃料分离器等其它设备均不需要。在改装中, 则可能需要对燃料进行冷却 (Haraldsson, 2015b)。

4.5. 未来发动机技术

目前所有的甲醇发动机均由专用于重油、柴油和燃气的双燃料发动机改装而成。适合这种改装的发送机比较有限 (Haraldsson, 2015b)。

图 15: 渡轮上安装的甲醇转化装置



来源: Stojcevski, 2014 年

改装发动机性能良好, 但并非达到目的的最佳方式 (Haraldsson, 2015b)。更换为甲醇燃料允许建造更加高效且更加小型化的发动机。

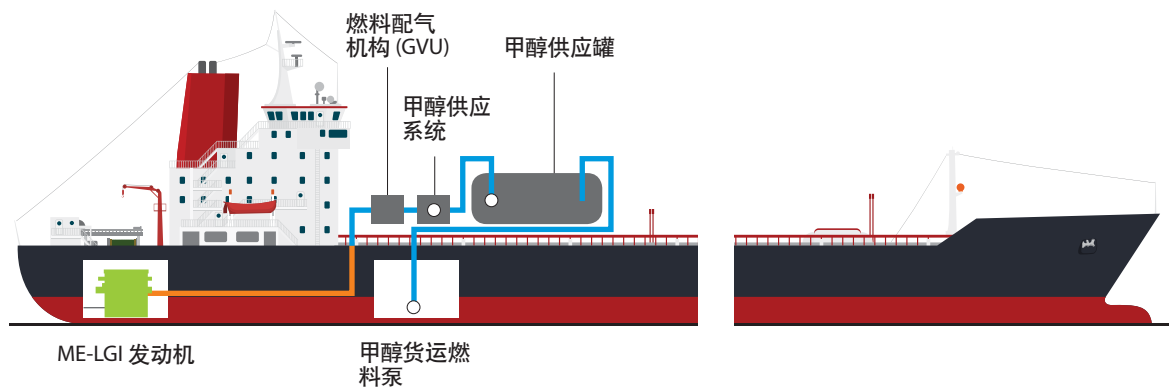
多所大学正在研发柴油工艺的新型发动机概念以适用甲醇和其它醇类的燃烧。这些大学有 MIT (Cohn, 2015 年)、根特大学 (Verhelst, 2015 年) 和隆德技术大学 (Tunér, 2015 年)。

未来两年可能出现的发动机概念发展是预热塞的使用, 以便帮助点火。另一种易于得到发展的概念是

在压缩机之前将燃料与空气混合, 以便对燃料进行热烘。这样可以实现更高的燃烧温度, 但废气中的甲醇成分更加难以控制 (Fagerlund 和 Ramne, 2014 年)。

有许多方法来建造能够满足 Tier III 要求的发动机。一个示例是使用排气再循环 (EGR)。如今, 还可以使用 SCR 催化剂满足 Tier III 标准的要求。几种可以提供低 NOx 排放并满足 Tier III 标准要求的未来发动机概念正在研发当中 (Fagerlund 和 Ramne, 2014 年)。

图 16: 新建油船上的甲醇罐装置



■ 双层管道
■ 单层管道

来源: MAN, 2015 年b

决定更换燃料时, 必须考虑各种技术参数, 而且技术成熟度 (TRL) 对成本和操作可行性都很重要。表

4 对 HFO、低硫 HFO、MDO、甲醇和 LNG 某些参数的技术成熟度进行了汇总。

表 4: 船舶燃料成熟度

	HFO	低硫 HFO	船舶柴油	甲醇	LNG
发动机技术	现有	现有	现有	一些现有发动机的改装成本与洗涤器装置的成本类似。改装发动机的执行效率应该可以与洗涤器持平或更高。未来为甲醇设计的发动机应该具有更高的效率。甲醇需要引燃燃料/点火增强剂。	市面上的双燃料 LNG 发动机。柴油发动机的改装成本可能会是甲醇改装成本的两到三倍。仅可使用燃气的发动机也可以使用
燃料加热	需要	需要	可能不需要	不需要。可能需要冷却	不需要
燃料分离器	需要	需要	可能不需要	不需要	不需要
管道	标准	标准	标准	双层。可进行清洗	真空隔离, 双层
安全性	现有规则	现有规则	现有规则	除了低闪点外, 大多数特性与柴油相同。低闪点燃料、基于风险的规则、根据 LNG 法规制定的法规。未来可能进行简化	由于低温和高压要求而具有较大需求量的低闪点燃料。必须在非工作状态下对罐中蒸发进行处理
加注	现有	现有	现有	可使用与 HFO/MGO 同一类型的驳船。火灾预防措施。燃料供应系统清洗系统。已研发陆上移动终端加注方法	特殊建造的驳船。比液体燃料成本高出 20-30 倍。加注后系统清洗等加注特别注意事项
终端设备	现有	现有	现有	终端设备建造成本可能较低	LNG 终端数量较少, 需要批量生产, 以便降低成本。比甲醇终端设备成本高出 10 倍左右
配送与物流	现有	现有	现有	可在全球使用。使用油轮、驳船、卡车和铁路运输。	欧洲正在建设 LNG 终端设备, 但运营数量仍然相对较少。
洗涤器	需要	不需要	不需要	不需要	不需要

表 4: 船舶燃料成熟度 (续)

	HFO	低硫 HFO	船舶柴油	甲醇	LNG
SCR/催化剂	需要	需要	需要	不需要	不需要
船员培训				需要	需要
维护				由于使用清洁燃料, 维修间隔可能比 HFO 更长。在执行的研究中未发现磨损增加	

5.

甲醇燃料的经济性

本章将对有关船舶甲醇成本的三个主要方面进行分析：船只和发动机改装资金投入、新建存储和加注基础设施投资和燃料成本。

本章成本数据可对所需投资提供指导。但如需准确了解船舶甲醇的成本和优势，需要对每艘船只及其具体运行情况进行评估。这包括载货/载客量、海上航行时间比例、在 ECA 等排放控制区中的航行时间比例以及其他多种船只特定的参数。改装的难易程度、安装新燃料罐和燃料输送系统或减排设备的可用空间也是分析中需要考虑的重要因素。

5.1 船只和发动机投资

大型发动机 (10-25 MW) 从柴油燃料到双燃料甲醇/柴油燃料的船只改装成本预计为 250-350 欧元/kW。可以将之与 LNG 燃料改造进行对比，这种改装的成本约为 1,000 欧元/kW。燃料罐和供应设备的实际安装成本由具体船只的布局而定。在客滚渡船的示例中，可以在压载舱中安装甲醇罐，无需占用货物空间。如果安装 LNG 罐，通常需要减少载货量。

与任何技术一样，最先进行甲醇改装的几艘船只的投资会比后续改装的投资更高，因为所有解决方案都是全新的方案，而且必须从开始就进行风险评估。据估计，第二次改装工程的造价比首次改装

费用低 30% 到 40% (Stefenson, 2015 年)。目前，甲醇船只由改装的船舶柴油发动机提供动力。虽然改装发动机的甲醇运行效率可与 HFO 持平或更高，但仍不是甲醇推进器的最佳方案。专门设计用于使用甲醇运行的新型发动机应该比改装设备的运行效率更高 (Haraldsson, 2015 年b; Cohn, 2015 年)。技术成熟后，新建甲醇燃料船只的成本有望与使用 HFO 的传统船只非常接近。使用甲醇时，就不需要安装燃料加热和燃油分离器等装置，因为甲醇是一种易于在环境温度下进行泵送的清洁燃料 (Ramne, 2015 年)。

转换燃料时的工作停止时间将会非常重要。一般而言，转换为 LNG 的时间可能会比甲醇更长。*Stena Germanica* 单个发动机改造为甲醇的时间为两周。安装燃料罐和燃料系统后，可在运行期间覆盖额外的发动机改造时间 (Stefenson, 2015 年; Chryssakis, 2015 年)。

5.1.1. 24 MW 客滚渡船的改装

可用的改装成本数据来自 24 MW 客滚渡船 *Stena Germanica* 的改装。改装的具体成本达到 1300 万欧元，工程总造价为 2200 万欧元，其中包括甲醇陆地储存罐和加注船适应。作为同类中的先河，*Stena Germanica* 的改造以及相关基础设施意味着要在新

的技术解决方案、安全评估和适应规章制度方面进行大量的设计工作 (Ramne, 2015 年)。后续改装项目成本预计将大幅度下降。此项工作作为 EU TEN-T 计划中的研发项目展开。

预计改装成本为 350 欧元/kW。虽然成本按照每千瓦计算,但对于大型发动机而言可能不适用,因为需要在船上安装额外的装置。因此,仅有有限的船型尺寸可以进行成本效益较高的改装。

5.1.2. 新建 10 MW 油船

建造一艘使用两台改装版 10 MW MAN 发动机的船只,将会产生以下成本:

- 发动机成本: 825,000 欧元
- 发动机相关工作成本: 300,000 欧元
- 燃料供应系统: 600,000 欧元
- 燃料罐: 500,000 欧元
- 管道等: 500,000 欧元

每千瓦总成本为 270 欧元。与之前的示例相同,这是首次将此类发动机改装为甲醇发动机,但这些改装工作均针对新发动机 (Sejer Laursen, 2015a)。

5.1.3. 小型船只

对海岸巡逻船或领航船等小型船只的改装经验十分有限。但瑞典海事管理局计划对一艘领航船进行相关测试并展开技术研发工作。这是一个根据现有发动机进行的示范项目,但涉及一种之前从未改装过的发动机的改装工作。

目前,尚无有关此项目的可用成本数据。为符合法规规定要求而加装燃料罐和供应系统将在很大程度上影响成本,考虑到与渡船不同的因素,小型船无法使用压载舱。目前尚没有针对将甲醇用作船舶燃料的国家规定,因而相关法规也必须制定。

5.2 基础设施

燃料基础设施成本由大型终端输送和储藏设施费用、运送至小型终端设施的运费和港口加注设施成本构成。

大部分甲醇供应基础设施已经建设到位,因为世界各地的港口都可以使用甲醇。缺少的部分是加注过程中从罐车或加注船到船只的最后一个步骤。这就意味着,船东可以开始在以适中成本建造的小型设施中对单条甲醇船只进行燃料加注。目前,从驳船或卡车进行加注的方式适用于柴油燃料,其中很多相同的技术适用于甲醇,且均可使用化工产业中采用的安全装置和常规步骤。小型甲醇加注设备的安装成本预计约为 400,000 欧元 (Stefenson, 2015 年)。将现有驳船改装为甲醇加注船的成本约为 150 万欧元。对于 20,000 m³ 的甲醇罐和用于从液货船装载到甲醇罐并将其卸载到加注船的设备,成本大约是 500 万欧元 (Stefenson, 2015 年)。

我们还可以在世界很多地方找到 LNG 终端设备的身影,但在大面积区域,例如欧洲 SECA 等只有少数终端存在。LNG 终端的建设工作推进缓慢 (Chryssakis, 2015 年),但欧盟计划在未来的几年内大力发展这一事业。与甲醇相比,LNG 终端的初始基础设施成本普遍偏高。建成后,终端将为相关行业和基础设施以及航运业务中的大量用户提供服务。瑞典尼奈斯港等地建造的 LNG 终端的投资额大约为 5000 万欧元。

处理甲醇或 LNG 的大型终端可为各种消费者提供服务,航运业只是其中一个很小的部分。LNG 终端投资不仅仅由运输燃料的需要决定,而且还是由地区能源政策驱动的大规模进程。港口燃料终端建成投入使用后,基础设施成本会有所不同:

- 甲醇可通过卡车轻松为一艘船或几艘船加注。随着用户数量的增加, 可以将加注驳船以 150 万欧元的较低成本进行改装 (Stefenson, 2015 年)。
- LNG 还可通过卡车进行小批量加注。加注驳船的投资要高很多, 约为 3000 万欧元 (Stefenson, 2015 年)。

5.3 燃料成本

本部分将针对燃料成本展开讨论, 因为这是运营成本中重要的组成部分 (OPEX)。据估计, 甲醇维护成本与传统燃料的成本不相上下, 甚至更低 (Haraldsson, 2015 年 b)。

燃料成本占到船只运营成本的 50% 或更高。如图 18 所示, 过去五年里, 大部分时间中船舶柴油的成本比甲醇更高。在最近的低油价环境下, 船舶柴油价格也快速下降, 削弱了甲醇的价格优势。这种趋势的一个例外是中国, 甲醇依然是这两种燃料中最具成本优势的燃料 (MMSA, 2015 年)。

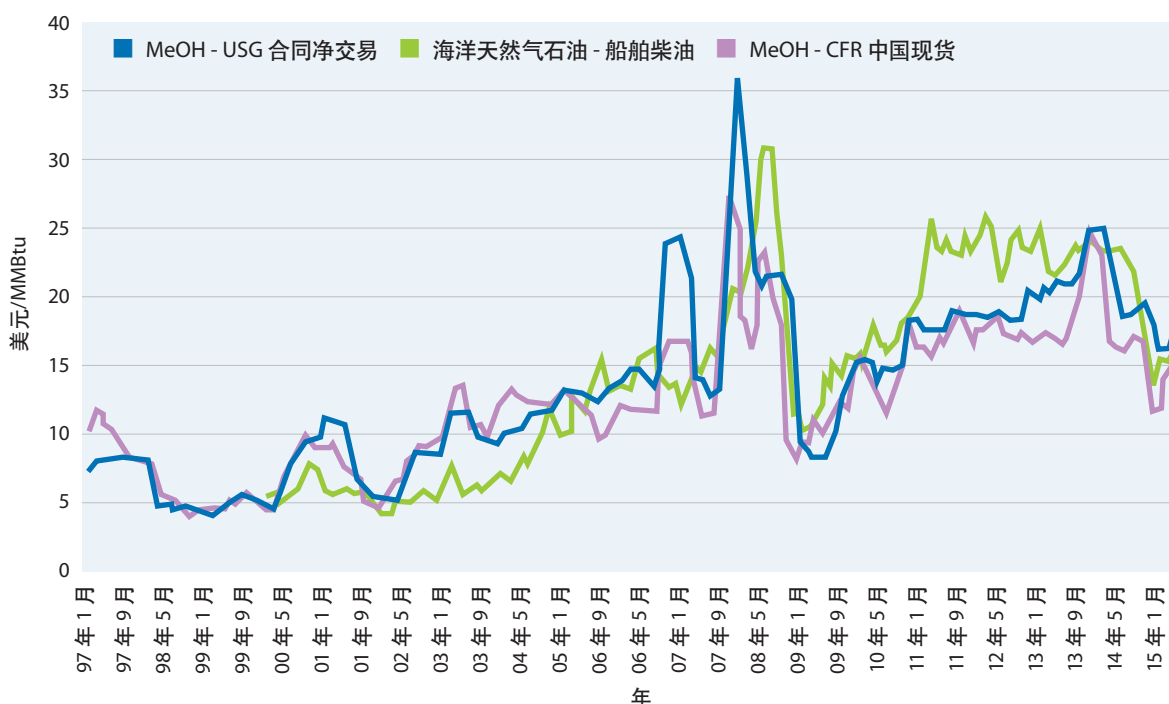
Rao (2015 年) 使用天然气价格函数评估了甲醇生产成本 (见图 19)。Rao 最初评估了每加仑的成本,

图 17: Stena Germanica 号在哥德堡燃料加注



在本报告中, 已将加仑转换为它们的能量当量, 并以 MMBtu 为单位。例如, 在天然气价格为 3 美元/MMBtu 时, 甲醇的生产成本约为 5 美元/MMBtu。考虑利润后最终成本大约为 6 美元/MMBtu, 这可以与图 18 中提供的价格相比。一旦考虑价值链中的配送成本, 甲醇的整体成本等于或低于 LNG 的

图 18: 甲醇和 MGO 的价格 (\$/MMBtu)



注意: 这些数字根据能当量计算得出。
来源: MMSA, 2015 年

整体成本, 因为甲醇的配送成本更低 (Fagerlund 和 Ramne, 2013 年)。

一项年柴油燃料消耗量小于 10,000 m³ 的大规模渡船甲醇改装项目可在三到五年内收回成本, 作为 MGO 的替代品每吨价格可下降 100-200 美元 (或欧元)。

5.4 符合 SECA/ECA 法规的替代方法

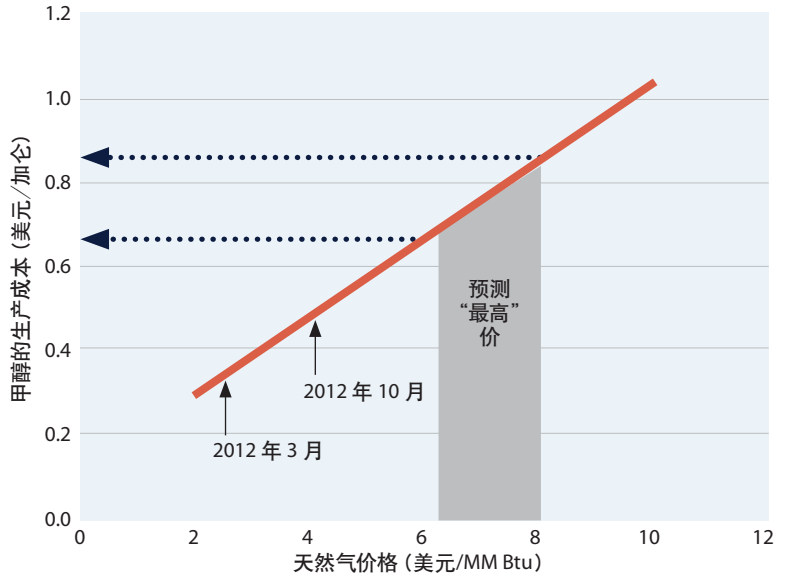
SECA 法规允许使用洗涤器代替低硫燃料。也可以实现 NO_x 减排目的。这与投资成本和运营成本有关, 包括技术系统的维护成本。

5.4.1. 洗涤器操作

总体看, 本文所述洗涤器每年运营和维护成本为投资成本的 1-3% (den Boer 和 't Hoen, 2015 年)。

一项对装有 9,500 kW 主发动机和 2,900 kW 辅助发动机的新建成品油船进行的案例研究对洗涤器的运营成本进行了评估。由于这艘船大约 50% 的时间都在 SECA 中运营, 因此对在 SECA 中将 MDO 用作燃料和安装并使用开环或闭环洗涤器分别进行了研究。由 en Boer 和 't Hoen (2015 年) 进行详细计算。在此项对比中, 按照 2014 年 1 月份的燃料价格, 年成本与在使用开环洗涤器的情况下使用 HFO 类似,

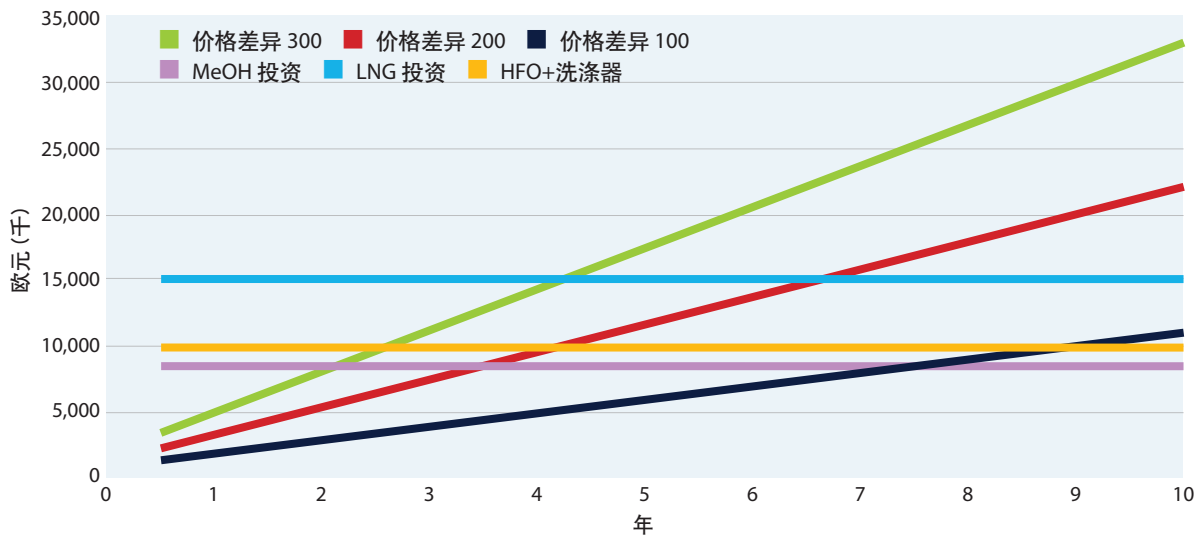
图 19: 天然气价格对甲醇成本的影响



来源: RTI International

但如果使用闭环洗涤器, 成本就会增加 25%。区别在于闭环洗涤器使用了额外的化学品, 而且投资成本较高。此外, 洗涤器的经济性依赖于石油的价格。而且, 在 2015 年的价格下, 洗涤器是一些应用的替代品。对洗涤器污泥的处理不够发达, 并可能导致成本在将来更高。

图 20: 甲醇和 MGO 方案不同价格区间 24 MW 渡轮改装的成本回收时间



5.4.2. SCR 催化剂

对于使用 SCR 催化剂将氧化氮降低至 Tier III 标准水平, 典型运营成本为 4 欧元和 6 欧元/MWh。主要成本为将尿素溶液用作试剂的使用成本 (CNSS, 2015 年)。

5.5 未来成本发展

5.5.1. 发动机研发

目前, 甲醇船只由改装的船舶柴油发动机提供动力。虽然改装发动机的甲醇运行效率可与 HFO 持平或更高, 但仍不是甲醇推进器的最佳方案。专门设计用于使用甲醇运行的新型发动机应该具有更高的运行效率 (Haraldsson, 2015 年b; Cohn, 2015 年)。

与任何技术一样, 最先进进行甲醇改装的几艘船只的投资会比后续改装的投资更高, 因为所有解决方案都是全新的方案, 而且必须从开始就进行风险评估。据估计, 第二次改装工程的造价比首次改装费用低 30% 到 40% (Stefenson, 2015 年)。因此, *Stena Germanica* 项目 2200 万欧元的总成本中, 包含许多仅针对首个此类项目产生的基础设施、准备和改造成本。

技术成熟后, 新建甲醇燃料船只的成本有望与使用 HFO 的传统船只非常接近。使用甲醇时, 就不需要安装燃料加热和燃油分离器等装置, 因为甲醇是一种易于在环境温度下进行泵送的清洁燃料 (Ramne, 2015 年)。

5.5.2. 可再生燃料的生产

甲醇的生产成本由原材料和生产过程决定。通过合成气生产甲醇的过程可以使用许多原材料, 矿物和

可再生原料。对于可再生原料而言, 生产成本中的区别来自上游环节, 即原料获取。其它可再生燃料也具有同样的问题。

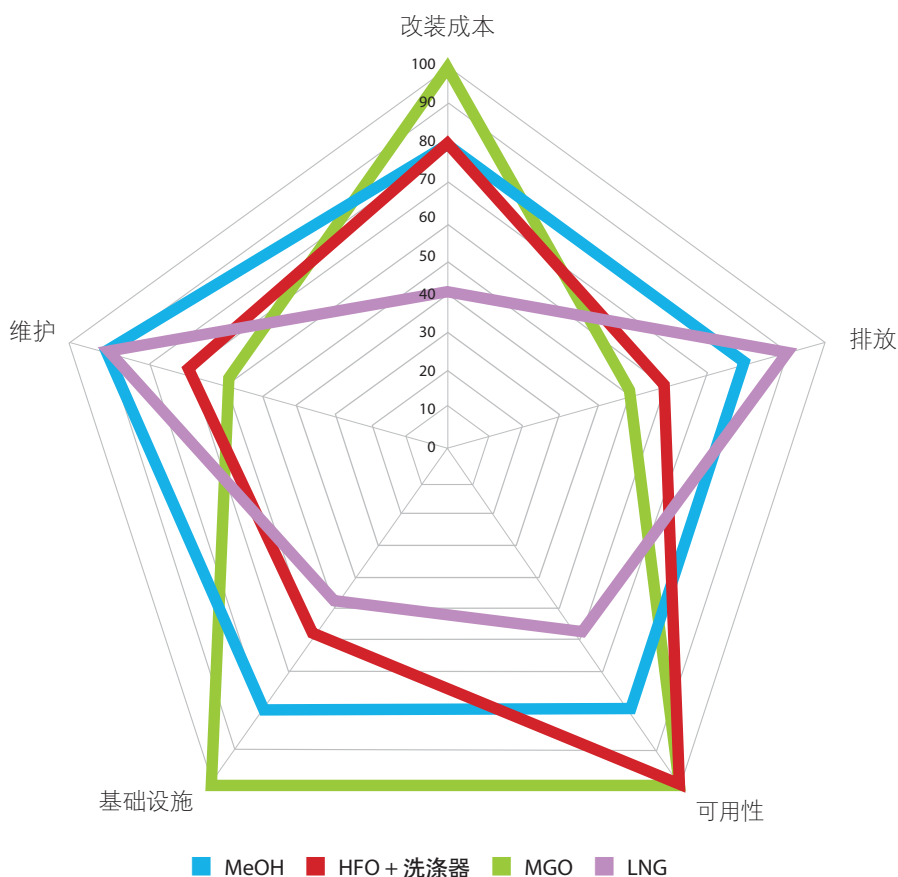
5.6 总结 — 成本情况

从燃料储存和加注基础设施成本方面看来, 甲醇是一种非常具有吸引力的替代品。此外, 甲醇系统是模块化系统, 允许船运公司在开始阶段进行适中的投资, 并随着更多船只改装为甲醇燃料船逐渐建立系统。

甲醇改装和新建成本具有竞争优势。船舶甲醇的成本比等同船舶 LNG 成本更低, 它还是一种符合 SOx 和 NOx 减排法规的优质燃料。与洗涤器和催化剂等减排措施相比, 甲醇也具有一定优势, 因为前者也会增加运营成本。

作为一种燃料, 甲醇在过去五年内的大多数时间都具有一定的成本优势, 但目前与低硫船舶汽油 (MGO) 相比, 已经不具优势。由于全球油价的下跌, MGO 的价格也随之回落。在撰写本报告之时, 石油价格达到自 2008 年金融危机以来的最低点 (EIA, 2015 年)。虽然没有可以确定油价何时才会上涨, 但不可否认的是, 石油和 MGO 等衍生品过去也经历过价格波动。鉴于这种事实, 船运公司避免燃料价格波动风险并通过在某些船只上使用甲醇等替代燃料的方式使其燃料使用组合趋于多样化不失为一种明智的做法。双燃料发动机解决方案将允许使用 MGO 以及甲醇, 使船舶在这两种燃料之间切换, 实现经济有效地操作的同时, 仍然确保合规。如 3.4 部分所示, 美国等主要市场的甲醇供应正在上升, 这将会为燃料成本带来下行压力。甲醇价格正在下降

图 21: 甲醇与其他船舶燃料的对比



	MeOH	HFO + 洗涤器	MGO	LNG
改装成本	80	80	100	40
排放*	80	60	50	90
可用性	80	100	100	60
基础设施	80	60	100	50
维护	90	70	60	90

*考虑从并到推进器的排放。

已经得到证实: 2015 年 7 月到 8 月之间, 美国甲醇价格下降 11.4%, 中国则下降了 12.5% (Platts, 2015 年)。根据 Methanex 提供的北美相关数据, 在截至 2015 年 11 月的 12 个月内, 甲醇价格下降了 30% (Methanex, 2015 年)。

长期看来, 甲醇是船舶燃料向可再生燃料发展的过程中最吸引人的一种燃料, 因为它可以使用可再生资源制造。

5.7 船舶燃料属性汇总

如上所述, 虽然在进行燃料选择时, 价格优势是一个必要条件, 但其他多种因素也需要考虑进来, 这样才能选择一种长期可持续的燃料。图 21 对配合洗涤器使用的 MGO、HFO、甲醇和 LNG 的属性进行了汇总说明, 其中 100 分为满分, 0 分为最低分。

6.

推动市场发展

正如之前列举的信息，甲醇是一种潜力很大的船舶燃料。但它仍然面临诸多技术、政策和商业方面的障碍，只有克服这些障碍，才能在航运行业中得到大规模推广。本章将列出其中一些障碍，还会给出一些克服障碍的建议。

6.1 政策和监管

政策制定者普遍对甲醇作为船舶燃料缺乏了解。甲醇供应商应与政策制定者进行接触，介绍甲醇作为一种合规且具成本优势的燃料的潜力，是一种可以满足未来需要的燃料，届时航运行业使用的燃料将会是一种 100% 可再生燃料。

障碍

- 当前政策不会将甲醇认为是一种具有潜力的船舶燃料。
- 船舶燃料替代品研发资金趋向于关注 LNG。
- 相关法规不到位，且不完全适合甲醇的属性。

潜力

- 甲醇是一种可以满足 SECA 硫排放标准的燃料。因此，它可以被列入各种政策和法规允许的范围内，并作为一种合规的燃料进行推广。

- 制定政策时，应鼓励将甲醇用作实现可持续航运产业发展之路的一种途径。甲醇可以完美胜任过度性可再生船舶燃料，因为它可以从多种可再生资源中获取。
- 燃料加注和安全处理国际法规应将甲醇划归为一种低闪点燃料。这可以增加其对航运公司的吸引力，有时候他们对甲醇的属性并不是很确定。
- 国家监管机构可对小型船舶在内陆水域使用甲醇展开测试和示范项目。在内陆水域，甲醇是欧洲 5 号或欧洲 6 号柴油等陆地品质柴油燃料的替代品，颗粒物和 NOx 的排量更低。

6.2 技术方面

从技术角度分析，在实验室和现场测试中，甲醇均显示了稳定的性能。在下一阶段的研发工作中，甲醇需要更多大规模示范性测试。此外，优化版甲醇发动机和相关设备的开发将推动行业的发展。

障碍

- 在航运环境中部署大规模甲醇系统的经验还仅限于 *Stena Germanica*（客滚渡船，24MW）的改装。跟踪记录的相对缺乏增加了投资者认为的技术风险。
- 一些航运公司针对甲醇毒性强度提出了有关健康和安全性质的质疑。

潜力

- 应展开 *Stena Germanica* 改装等更多全尺寸示范项目, 以便优化技术并降低投资者心目中认为的技术风险。Waterfront 公司对七艘新建甲醇船只进行验证的事实将有助于建立甲醇的跟踪记录。甲醇生产商有潜力成为海运领域的先驱。
- 为适应甲醇而进行优化的效率更高的发动机和其他设备目前正处于研发阶段, 以便进一步提升甲醇的性能和成本优势。
- 在甲醇安全处理方面已经有了大量经验。来自化工产业的规程应采用到甲醇用作船舶燃料的过程中, 以确保用负责的态度安全处理燃料。
- 甲醇可以生物降解, 对环境的影响很有限, 适合在特别敏感的海域使用, 包括极地地区和内陆水域。
- 从 100% 可再生资源生产甲醇具有可行性。甲醇可提供向清洁船舶燃料发展的一种途径。

6.3 商业方面

从商业的角度看, 成本目前是甲醇大面积推广的最大障碍。因为两种燃料都符合 SECA 法规, 所以从能源替代品的角度出发, 甲醇需要比 MGO 更加清洁, 以便得到大面积推广。美国等主要市场的甲醇供应量不断上升, 应该有助于降低甲醇成本, 并令其在船舶燃料市场中更具竞争优势。

另一个障碍就是船运公司对甲醇的了解相对缺乏。甲醇供应商应与他们进行接触, 介绍甲醇的优势, 并为船运行业提出方便且具成本效益的甲醇供应方案。同样, 建设甲醇加注基础设施也有助于增加采用量。

障碍

- 只要在单位能量方面甲醇的价格超过低硫 MGO, 单凭排放法规无法为促进船舶甲醇大面积推广提供足够的激励。较低的排放水平等其他推动因素必须足够有力。
- 船运行业希望将燃料价格的波动降至最低。甲醇行业需要提出可以解决这些问题的合同结构。
- 虽然甲醇可用性很好, 但目前没有一个特定的市场将甲醇用作船舶燃料。鉴于此, 甲醇行业应努力通过针对船运行业进行的推广活动增加认知。

潜力

- 再次说明, 与区域性和当地政府进行合作的行业应努力促成示范项目, 以便证明此项技术的可行性并优化其性能。
- 一般情况下, 甲醇的可用性非常好。世界各地的很多地方都可将其用作一种化学品并投入行业应用。目前已经有了生产和配送基础设施。
- 建设加注基础设施会降低船运行业采用该燃料的障碍。
- 如果实行严格的二氧化碳排放法规, 甲醇就是一种潜在的替代燃料。之后, 该燃料就会与生物柴油和液化沼气 (LBG) 等其他替代燃料展开竞争。在这种情况下, 甲醇具有以有竞争力的成本生产的潜力, 而且根据电价的实际情况, 按照电燃料的生产成本有望可行。

参考资料

- ANDERSSON, K. & WINNES, H. 2011. Environmental trade-offs in nitrogen oxide removal from ship engine exhausts. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part M, Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 225, 33-42.
- BAUMANN, H. & TILLMAN, A.-M. 2004. *The hitchhiker's guide to LCA: an orientation in life cycle assessment methodology and application*. 隆德: Studentlitteratur.
- BENGTSSON, S., ANDERSSON, K. & FRIDELL, E. 2011. A comparative life cycle assessment of marine fuels: liquefied natural gas and three other fossil fuels. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part M, Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 225, 97-110.
- BENGTSSON, S., FRIDELL, E. & ANDERSSON, K. 2012. *Environmental assessment of two pathways towards the use of biofuels in shipping*. *Energy Policy*, 44, 451-463.
- BIEDERMANN, P., GRUBE, T., HÖHLEIN, B. 2006. *Methanol as an energy carrier*.
- BÖGILD HANSEN, J. 2015. *Methanol production technology: today's and future renewable solutions*. 隆德: MOT-2030.
- BROMBERG, L., CHENG, W. K. 2010. *Methanol as an alternative transportation fuel in the US: options for sustainable and/or energy-secure transportation*. 马萨诸塞州坎布里奇: 麻省理工学院.
- BRYNOLF, S., FRIDELL, E. & ANDERSSON, K. 2014. Environmental assessment of marine fuels: liquefied natural gas, liquefied biogas, methanol and bio-methanol. *Journal of Cleaner Production*, 74, 86-95.
- BUHAUG, Ø., CORBETT, J. J., ENDRESEN, Ø., EYRING, V., FABER, J., HANAYAMA, S., LEE, D. S., LEE, D., LINDSTAD, H., MARKOWSKA, A. Z., MJELDE, A., NELISSEN, D., NILSEN, J., PÅLSSON, C., WINEBRAKE, J. J., WU, W., YOSHIDA, K. 2009. *Second IMO GHG Study 2009*. 伦敦: 国际海事组织.
- 加州环保署. 2008. *Fuel sulfur and other operational requirements for ocean-going vessels within California waters and 24 nautical miles of the California baseline*. 萨克拉门托: 加州环保署.
- 加州环保署. 2012. Marine Notice 2012-1. *Upcoming requirements in the regulation for fuel sulfur and other operational requirements for ocean-going vessels within California waters and 24 nautical miles of the California baseline (California OGV Fuel Regulation)*. 萨克拉门托: 加州环保署.
- 加州环保署. 2013. *Upcoming January 1, 2014 requirements in the regulation for fuel sulfur and other operational requirements for ocean-going vessels within California waters and 24 nautical miles of the California baseline (California OGV Fuel Regulation)*. 萨克拉门托: 加州环保署.
- 加州环保署. 2014. Marine notice 2014-1. *Guidance for complying with the California ocean-going vessel fuel regulation during the Air Resources Board Sunset Review Process*. 萨克拉门托: 加州环保署.
- CHRYSSAKIS, C. 2015. 私人通信.
- CNSS. 2015. 请访问: <http://cleantech.cnss.no/air-pollutant-tech/nox/selective-catalytic-reduction-scr/> [Accessed May 27 2015].
- COHN, D. 2015. 私人通信.
- DEN BOER, E., T HOEN, M. 2015. *Scrubbers - an economic and ecological assessment*. Delft: CE Delft.
- DNV. 2013. Tentative rules for low flashpoint liquid fuelled ship installations. 发表期刊: DNV (ed.) *Rules for classification of ships / high speed, light craft and naval surface craft Part 6, Chapter 32*.
- EIA. 2015. *Spot prices for Crude Oil and Petroleum Products*. 请访问: <http://www.eia.gov/dnav/pet/hist/LeafHandler.ashx?n=PET&s=RWTC&f=M> [Accessed November 19, 2015]
- 埃拉特. 2014. *Eilat power plant unit no3. Preliminary report. GT performance with methanol firing after retrofit*.
- ELLIS, J. 2015. 私人通信
- ELLIS, J. R., FALK, T., NILSSON, M., STEFENSON, P., EFRAIMSSON, A., FOLIC, M., KOTUR, N., TANNEBERGER, K., FREUDENDAHL, U., STENHEDE, T., HARALDSSON, L. 2014. *SPIRETH, Alcohols and ethers as marine fuel*. 哥德堡: Norden.

- ENERKEM. 2015 'Enerkem makes transport fuels and chemicals from garbage instead of petroleum'. <http://enerkem.com/about-us/technology/>, September 8.
- 欧盟委员会. 2011. 白皮书. *Roadmap to a single European transport area – towards a competitive and resource efficient transport system*. 布鲁塞尔: 欧盟委员会.
- 欧盟委员会. 2013a. *Clean Baltic Sea Shipping, CleanShip final report*.
- 欧盟委员会. 2013b. COM(2013) 479 final. *Integrating maritime transport emissions in the EU's greenhouse gas reduction policies*.
- 欧盟委员会. 2015a. *Reducing emissions from the shipping sector* [在线]. 请访问: http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/shipping/index_en.htm.
- 欧盟委员会. 2015b. *TEN-T project: EU to co-fund pilot action on methanol for maritime transport* [在线]. 请访问: http://ec.europa.eu/transport/newsletters/2013/11-29/articles/ten-t-maritime_en.htm [2015年6月7日访问].
- FAGERLUND, P., RAMNE, B 2013. *Effship Project: summary and conclusions*.
- FAGERLUND, P., RAMNE, B 2014. *PROMSUS Production of methanol sustainably and related engine technology*. 最终报告. *Workshop groups summary*. 哥德堡: PROMSUS.
- FERRARI, M., VARONE, A., STÜCKARD, S., WHITE, R. J. 2014. *Sustainable synthetic fuels*. 波茨坦: 可持续发展高等研究院.
- FIEDLER, E. G., KERSEBOHM, D. H., WEISS, G., WITTE, C. 2011. Methanol. 发表期刊: *Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. 魏因海姆: Wiley-VCH
- FREUDENDAHL, U. 2015. Methanol as ship fuel. Handling and safety matters. 发表期刊: *MOT-2030 Workshop*. 隆德大学.
- FREUDENDAHL, U, 2015 b, personal communication
- HANSSON, M. 2015. 私人通信.
- HARALDSSON, L. 2015a. Methanol as fuel. 发表期刊: *MOT-2030 Workshop*, Lund University.
- HARALDSSON, L. 2015b. 私人通信.
- IHS. 2015. 私人通信.
- ISO. 2006. ISO 14040:2006. *Environmental management life cycle assessment principles and framework*. 日内瓦: 国际标准化组织.
- JACKSON, M. D., MOYER, C. B. 2000. *Alcohol fuels*. 约翰威立国际出版公司.
- KRÄMMERER, C. 2015. 私人通信.
- LANDÄLV, I. 2015. 私人通信.
- LLOYD'S REGISTER. 2015. LR project studies new generation of methanol-powered passenger ships. *Horizons*, Jan 2015, 18 19.
- MAN 2015a. Retrofit to ME-LGI. 哥本哈根: MAN Diesel & Turbo.
- MAN 2015b. *Using methanol fuel in the MAN B&W ME-LGI series*. 哥本哈根: MAN Diesel & Turbo.
- METHANEX. 2015. *Methanex Monthly Average Regional Posted Contract Price History*. https://www.methanex.com/sites/default/files/methanol-price/MxAvgPrice_Oct%2028%202015.pdf [2015年11月19日访问].
- 全球甲醇行业协会. 2015. *The methanol industry* [在线]. 请访问: www.methanol.org/Methanol-Basics/The-Methanol-Industry.aspx [2015年5月27日访问].
- MMSA, 2015, *Methanol Notes*, Tuesday 14th July.
- OLAH, G. A. 2013. Towards oil independence through renewable methanol chemistry. *Angew. Chem. Int. Ed*, 52, 104 107.
- OLAH, G. A., GOEPPERT, A., SURYA PRAKASH, G. K. 2009. *Beyond oil and gas: the methanol economy*. 魏因海姆: Wiley-VCH.
- PAULASKAS, V., LUKAUSKAS, V. 2013. CleanShip, clean Baltic Sea shipping. 3.6 Sustainable shipping and port development. 克莱佩达: 克莱佩达科技园.
- 普氏能源资讯. 2015. US methanol falls to near-five-year low on sustained demand weakness. 请访问: www.platts.com/latest-news/chemicals/houston/us-methanol-falls-to-near-five-year-low-on-sustained-21908316 [2015年7月6日访问]
- POSTI, A., HÄKKINEN, J. 2012. *A 60. Survey of transportation of liquid bulk chemicals in the Baltic Sea*. 图尔库: 图尔库大学海事研究中心.
- PRAKASH, S. G. K. 2015. 私人通信.
- RAO, V. (2015). *Shale Oil and Gas: The Promise and the Peril, Revised and Updated Second Edition*: RTI Press Publication No. BK-0012-1508. Research Triangle Park, NC: RTI Press.
- RAMNE, B. 2014. Electric marine propulsion, possibilities and limitations. *Electrified public transport*, May 21-22 2014, Lindholmen Science Park, Gothenburg.
- RAMNE, B. 2015. 私人通信.

SEJER LAURSEN, R. 2015a. 私人通信。

SEJER LAURSEN, R. 2015b. *World's first methanol driven ocean going ship the dual fuel ME-LGI engine*. 中国: MAN。

SEUSER, W. 2015. 电子邮件通信

SJÖHOLM, J. 2015. 4T50ME-LGI Results from methanol tests in March 2015 in Copenhagen. MAN。

SMITH, T. W., ANDERSON, B. A., CORBETT, J. J., HANAYAMA, S., O'KEEFFE, E., PARKER, S., JOHANSSON, L., ALDOUS, L., RAUCCI, C. T., ETTINGER, S., NELISSEN, D., LEE, D. S., NG, S., AGRAWAL, A., WINEBRAKE, J. J., T HOEN, M. C., PANDEY, A. 2014. *Third IMO GHG Study 2014*. 伦敦: 国际海事组织。

STEFENSON, P. 2014. The use of biofuel in the marine sector or methanol, the marine fuel of the future. *European Biofuels Technology Platform Brussels 15 October 2014*. 布鲁塞尔。

STEFENSON, P. 2015. 电子邮件通信

STOJCEVSKI, T. 2014. Methanol as engine fuel, status Stena Germanica and market overview. 卡塔尔: 中东甲醇论坛。

STOJCEVSKI, T. 2015. 私人通信。

SU, L.-W., LI, X.-R., SUN, Z.-Y. 2013a. The consumption, production and transportation of methanol in China: a review. *Energy Policy*, 63, 130-138.

SU, L.-W., LI, X.-R., SUN, Z.-Y. 2013b. Flow chart of methanol in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 541-550.

TINNERBERG, H. 2015. Methanol as a fuel exposure and possible health risks. 发表期刊: *MOT-2030 Workshop*. 隆德。

TRAN, K. C. 2015. 私人通信。

TUNÉR, M. 2015. Methanol as an engine fuel and as an energy storage. 发表期刊: *MOT-2030 Workshop*. 隆德大学。

VARONE, A. 2015. 私人通信。

VERHELST, S. 2015. *Experimental and numerical work at Ghent University on methanol combustion in SI engines*. 发表期刊: *MOT-2030*. 隆德大学。

WOODWARD, J. L., PITBLADO, R.M. 2010. LNG properties and overview of hazards. 发表期刊: *LNG risk based safety: modeling and consequence analysis*. 霍博肯: 约翰威立国际出版公司。

ZETTERDAHL, A.-C. 2015. Ännu ett metanolbygge på gång. *Sjöfartstidningen*.

附件:

附件 1 — 甲醇船舶燃料研发项目

Effship (高效船运, 节能减排) 2009-2013

Effship 项目 (2009-2013) 是一项瑞典项目, 由瑞典创新署 (Vinnova) 出资。项目参与单位有 SSPA、ScandiNaos、查尔摩斯工学院、Stena Rederi AB、Swedish Orient Line、DEC Marine、S-Man、瓦锡兰、Stora Enso 和 Göteborg Energi AB。

项目对可从短期 (2015/16)、中期 (2030) 和长期角度符合海事法规的不同技术解决方案进行了评估。这包括替代燃料和推进器, 以及能量回收和减排技术。

研究替代船舶燃料, 满足硫和 NO_x 法规并为可再生资源提供途径时, 结合在现有基础设施中及时的可用性, 低价以及发动机和船舶技术及其在陆地的广泛应用情况, 案例得出的结论是, 甲醇是最佳的替代燃料 (Fagerlund, 2013 年)。

CleanShip (波罗的海洁净船运) 2010-2013

此项目是欧盟地区有关波罗的海环境的区域性项目 (即用于区域合作), 涉及众多港口和船东。项目也讨论了在波罗的海地区的一种颇为吸引人的替代燃料。计划的一个子项目对作为甲醇燃料辅助发动机的燃料电池进行了测试 (Paulauskas 和 Lukauskas, 2013 年; 欧盟委员会, 2013 年a)。

SPIRETH (醇醚类为船舶燃料) 2011-2014

SPIRETH 项目是 Effship 的一个衍生项目, 开始于 2011 年, 从瑞典能源署、北欧能源研究组织、北欧

投资银行和丹麦海事基金会获得资金支持。项目参与单位分别为 SSPA、ScandiNaos、Stena Rederi AB、瓦锡兰、Haldor Topsoe、Methanex 和 Lloyd's Register Marine。

在此项目中, 在实验室中对两种燃料概念进行了测试: 在船上进行甲醇转化生产的二甲醚 (在改装柴油辅助发动机中使用) 和在改装全尺寸船舶柴油发动机中使用的甲醇。

主要结论为, 将船只改装为使用甲醇和基于 DME 的燃料作为燃料的船只具有可行性。这些燃料还有助于减少大气排放物。

项目装置促进了船级社将甲醇作为一种船舶燃料的规则制定, 以及 IMO 草案“燃气或其他低闪点燃料船舶国际安全规范”的出台。

我们得到的结论是, 甲醇和 DME 具有可通过减排以及使用可再生原料和能源进行燃料生产的潜力, 有助于实现更加环保可持续的船运行业 (Ellis, 2014 年)。

PILOT Methanol 2014-2015

PILOT Methanol 是一项对客滚渡船 *Stena Germanica* 进行甲醇燃料转换和运行的全尺寸测试, 从 EU TEN-T 计划获得资金支持。主要参与单位有 Stena Line、瓦锡兰、哥德堡港、基尔港、SSPA、Stena Oil 和瑞典船东协会。此项目的主要

目标是发展燃料转换专业技术和基础设施。这包括对引擎和船上燃料供应系统、加注设施改造以及许可证/法规制定。改装工作已于 2015 年 4 月完成，目前正处于测试阶段。

项目总预算为 2200 万欧元 (欧盟委员会, 2015 年 b)。

MethaShip 2015-2017

MethaShip 项目开始于 2015 年 1 月。项目由德国政府提供资金支持，旨在对建造新的甲醇燃料船只的可行性进行评估。合作方分别为 Meyer Werft、Lloyd's Register 和 Flensburger Schiffbau Gesellschaft。

在为期三年的项目过程中，将为一艘游船和客滚渡船制定设计方案。Lloyd's Register 制定的设计方案将通过一项基本认证 (AiP) (Lloyd's Register, 2015 年)。

领航船改装 2015

瑞典海事管理局针对一艘领航船上的一个小型船舶发动机的改装展开了项目。研发资金正在申请阶段。根据局长 Ann-Catrine Zetterdahl 的说法，改装预计 2016 年完成 (Zetterdahl, 2015 年)。

附件 2 – 船舶甲醇行业涉及的公司

发动机制造商

MAN Diesel & Turbo
<http://dieselturbo.man.eu>

瓦锡兰
www.wartsila.com

Scania
www.scania.com/products-services/engines/marine-engines/

Volvo Penta
www.volvopenta.com

设备制造商

Haldor Topsoe
www.topsoe.com/

造船厂

Minaminippon Shipbuilding Co.
www.mnsb.co.jp/

Hyundai Mipo Dockyard Co.
www.hmd.co.kr/english/

Flensburger-Schiffbau-Gesellschaft
www.fsg-ship.de/

Meyer Werft
www.meyerwerft.de/

Remontowa
www.remontowa.com.pl/

船舶设计公司

ScandiNAOS
www.scandinaos.com/

船运公司

Waterfront Shipping Company
www.wfs-cl.com/

Stena Line
www.stenaline.com/

甲醇生产企业

Methanex Corporation
www.methanex.com/

Carbon Recycling International
www.carbonrecycling.is/

Atlantic Methanol Production Company
www.atlanticmethanol.com

BP
www.bp.com

Methanol Holdings (Trinidad) Ltd
www.ttmethanol.com

Clariant
www.clariant.com

Coogee Chemicals
www.coogee.com.au

Ecofuel SpA
www.eni.com/en_IT/company/operations-strategies/other-companies/ecofuel/ecofuel.shtml

Metafrax
www.metafrax.ru/en

Metor
www.metor.com.ve/

Mitsubishi Gas Chemical America
www.mgc-a.com/

Mitsubishi Corporation
www.mitsubishicorp.com/jp/en/index.html

Mitsui & Co
www.mitsui.com

OCI N.V.
www.oci.nl

Oman Methanol Company
www.omanmethanol.com

Petronas Chemicals Group
www.petronaschemicals.com

Qatar Fuel Additives Company
www.qafac.com.qa/

Recochem
www.recochem.com.au

Saudi Arabia Basic Industries Corporation
www.sabic.com

Salalah Methanol Company
www.salalahmethanol.co.om

Sipchem
www.sipchem.com/

Solvadis Methanol
www.solvadis.com

甲醇生产技术公司

Haldor Topsoe
www.topsoe.com/

Johnson Matthey Process Technologies
www.jmprotech.com/methanol-catalysts-katalco-johnson-matthey

Oberon Fuels
www.oberonfuels.com/

甲醇经销商

HELM AG
www.helmag.com/

Colonial Chemical Solutions
<http://colonialchemicals.com/>

IMTT
www.imtt.com/

Southern Chemical Corporation
www.southernchemical.com

Unipex Solutions
www.unipex.ca

船级社

Lloyd's Register
www.lr.org

DNV GL
www.dnvgl.com/maritime/

政府机构

瑞典海事管理局
www.sjofartsverket.se/en/

国际海事组织 (IMO)
www.imo.org

加州环保署 (CalEPA)
www.calepa.ca.gov/

欧盟委员会机动性和运输总局 (DG Move)
<http://ec.europa.eu/transport/>

行业协会

全球甲醇行业协会
www.methanol.org/

Fuel Freedom Foundation
www.fuelfreedom.org/

附件 3 – 缩写列表

CO₂	二氧化碳
ECA	排放控制区
EEDI	能效设计指数
EGR	废气回收。依靠甲醇实现 NOx 减排
EIA	能源情报署
EU	欧盟
GHG	温室气体
GWP	全球变暖潜能值。根据二氧化碳同类物质将所有温室气体进行汇总
HFO	重燃料油
IMO	国际海事组织。联合国专业机构，负责船运安全保障以及船只海洋污染的预防
kPa	千帕，压力单位。将 kPa 转换为 psi，则乘以 0.145。
LBG	液化沼气
LCA	生命周期评估。对产品“从生到死”整个期间对环境的潜在影响和资源利用情况的评估方法
LNG	液化天然气
MARPOL	防止船舶污染国际公约，IMO 制定。MARPOL 代表海洋污染
MDO	船舶柴油
MeOH	甲醇
MGO	船用轻柴油
MRV	监测、报告与核证。欧盟对船运 CO2 排放制定的法规
NOx	氮氧化物
PM	颗粒物
PSSA	特别敏感区域。IMO 指定的需要特别保护的海域
Ro-pax	滚装车辆和客船
SCR	选择性催化还原。NOx 减排催化剂，使用尿素作为试剂。
SECA	硫排放控制区
SEEMP	船舶能源效率管理计划
SOx	硫氧化物
UN	联合国
USG	美国墨西哥湾沿岸