



自然资源保护协会
NATURAL RESOURCES DEFENSE COUNCIL

报告

引领绿色航运发展

— 国内航运低零排放政策的国际经验

二〇二〇年七月

自然资源保护协会
NATURAL RESOURCES DEFENSE COUNCIL

致谢

特别感谢彭博慈善基金会和洛克菲勒基金会对本项目的支持。我们也感谢抽空审阅本报告并提供了宝贵信息和建议的同行，包括彭传圣（交通运输部水运科学研究院），徐洪磊、郑超蕙和李悦（交通运输部规划研究院），沈飞翔（中船重工七一一研究所），Michael Walsh（国际顾问），Jarl Schoemaker（鹿特丹港），David Quiros（加州空气资源局）和挪威气候与环境部。尤其感谢彭传圣对本报告提出了宝贵意见并帮助将本报告翻译成中文。我们特别感谢自然资源保护协会的同事，单静涛、Charlotte Steiner和 David Pettit帮忙审阅本报告。我们也感谢 Richard Kassel 及 Lindsay Wagner 为本报告的调研所做的贡献。



自然资源保护协会（NRDC）

自然资源保护协会（NRDC）是一家国际公益环保组织，成立于1970年。NRDC拥有600多名员工，以科学、法律、政策方面的专家为主力。NRDC自上个世纪九十年代中起在中国开展环保工作，中国项目现有成员30多名。NRDC主要通过开展政策研究，介绍和展示最佳实践，以及提供专业支持等方式，促进中国的绿色发展、循环发展和低碳发展。NRDC在北京市公安局正式注册并设立北京代表处，业务主管部门为国家林业和草原局。更多信息，请访问 www.nrdc.cn。

作者：冯淑慧、Barbara Finamore

Cover image: © Photo by Ding Yiran on Unsplash

© Natural Resources Defense Council 2020

目录

////////////////////////////////////

摘要	4
第一章 引言	6
第二章 有助于控制船舶氮氧化物排放的技术和燃料	10
第三章 推动使用清洁航运技术和燃料的政策措施	14
3.1 采用船用燃料质量标准	15
3.2 采用船舶发动机排放标准	15
3.3 在役船舶排放要求	16
3.4 岸电要求	17
3.5 采用激励和强制措施推动低排放和零排放燃料和技术的应用	18
第四章 国际成功经验值得借鉴	26
4.1 需要实施强制性计划并辅以激励政策，以促进商业上可用的NOx减排技术的 应用和零排放解决方案的开发	27
4.2 治理在役船舶排放至关重要	27

////////////////////////////////////

////////////////////////////////////

4.3 主要海运国家并行采取相应的措施治理船舶造成的空气和气候污染	27
第五章 对中国的建议	28
第六章 未来工作	32
第七章 结束语	34
附录 I. 国际海事组织指定的排放控制区 (ECA)	36
附录 II. 欧盟、美国和中国现行和将采用的船用燃料硫含量标准	37
附录 III. 船舶黑烟的控制	38
附录 IV. 部分正在运行中的电池-电力和插电式混合动力船	39
缩略语列表	40
尾注	41

////////////////////////////////////

图录

////////////////////////////////////

图1：不同司法管辖区所采用的船用发动机、卡车及非道路设备的氮氧化物排放限值	8
图2：2001年至2017年香港本地不同类型排放源的氮氧化物 (NO _x) 及细颗粒物 (PM _{2.5}) 污染份额 (百分比)	9
图3：IMO 规定的氮氧化物排放标准	11
图4：鹿特丹的岸电连接柜及其上关于如何连接岸电和停止岸电供应的说明	18
图5：在瑞典环境差异化航道费制度下获得港口费折扣和配备SCR的船舶的氮氧化物排放量	20

////////////////////////////////////

表录

////////////////////////////////////

表1：中国主要港口城市或地区基于船舶排放清单确定的航运对空气污染的贡献	7
表2：常用氮氧化物控制措施的减排潜力、成本和其他需考虑因素	13
表3：符合NO _x 资金支持条件的移动源NO _x 控制措施及支持力度	19
表4：鹿特丹港基于环境绩效内河船舶港口费制度	21
表5：推进低排放/零排放航运的政策措施综述	27

////////////////////////////////////

摘要

在过去的40年里，庞大的沿海和内陆港口网络，以及繁忙的内河航运系统，已经成为中国高效货运体系的关键组成部分，为国民经济的快速增长提供了有力的支撑。近年来，随着《打赢蓝天保卫战三年行动计划》（简称“蓝天保卫战”）的出台，国家鼓励货运从公路转向水运和铁路等污染更少的运输方式，国内航运由此得到进一步发展。按吨公里计算，船舶无疑比卡车的货运方式更清洁，因为一艘船可以运载更多的货物，行驶的距离也可以比卡车远得多，而且传统的柴油船用发动机比柴油卡车发动机的热效率更高。然而，有关船舶的排放标准要求相对宽松。目前，超过70%的内河在役船舶是在国内船舶空气污染法规尚未生效之前就已投入使用的。在长江三角洲和珠江三角洲的主要港口城市，航运已成为当地空气污染的主要来源之一。随着陆基行业排放标准愈加严格，如果不对航运排放加以控制，后者所占的污染份额将继续增加。

自2016年以来，中国逐步实施了更为严格的排放标准，以降低领海和内河上所用船用燃料的含硫量，这一举措直接推动船舶的硫氧化物（ SO_x ）和颗粒物排放大幅下降。此外，中国还通过了国内船舶发动机的大气排放标准，并采取了其他措施来控制氮氧化物（ NO_x ）的排放。然而，现行的氮氧化物控制措施只覆盖到一小部分船舶，因此对控制整体氮氧化物排放的效果有限。氮氧化物是臭氧的前体物，也导致环境颗粒物水平增加。考虑到中国大多数城市的臭氧污染水平还在不断上升，同时，目前仍需要继续遏制颗粒物污染，采取更强有力的措施以减少航运业的氮氧化物排放至关重要。

为支持中国实现这些目标，本报告对欧洲和美国应对国内航运空气污染问题的政策措施进行了梳理，重点介绍了针对氮氧化物排放控制的政策措施。对这些措施的利弊进行总结，将有助于中国制定更有效的内陆和沿海航运的清洁空气政策。

欧洲国家和美国主要是通过制定针对清洁燃料的要求和新建船舶发动机的排放标准来控制其国内船舶的大气排放。欧洲和美国已实施的船用发动机最新系列标准，旨在促进开发和应用先进的氮氧化物控制技术，包括选择性催化还原（SCR）系统和液化天然气（LNG）推进系统。在理想操作条件下，这些技术可减少至少80%的氮氧化物排放量。鉴于船舶的使用寿命很长，欧洲国家和美国加州提出了针对在役船舶的排放要求以及激励计划，以鼓励这类船舶采用更先进的氮氧化物排控技术。这些方法已经成功地降低了其国内船舶的氮氧化物排放。例如，到2016年，挪威船舶排放的氮氧化物较2007年减少了约40%。为了减少港口的空气污染，荷兰鹿特丹和美国加州均实施了港口岸电法令，要求停泊船舶关闭辅助引擎，使用岸电。过去几年中，挪威、英国和荷兰启动了全面的计划，进一步推动其航运业向低排放和零排放过渡，力争在协同应对气候变化和治理空气污染的同时，使本国航运业在碳排放受限的世界中更具竞争力。



© Photo by Macan Photo Agency on Unplash

减少航运排放的建议

中国正在制定第十四个五年计划的过程当中，这将为引入新的政策打开大门，引导航运业走向低/零排放发展和绿色增长。在对国外的成功经验进行总结后，我们认为以下政策措施可供国内决策者参考：

- 收紧船用发动机排放标准，逐步与最新的美国 and 欧盟标准接轨，以促进中国国内船队采用国际上可商用的氮氧化物排控技术。
- 对所有在役内河及沿海船舶实施排放规定，并根据最严格的标准制定这些要求，以加速高排放船舶的更新、改造或升级。
- 扩大岸电使用范围，要求所有内河船舶在港口靠泊或在锚地等待通过船闸时都能使用岸电。
- 首先为在人口密集地区流域航行和服务固定航线的船舶设定零排放目标，逐步考虑为国内船舶设定零排放的长期目标，并制定推进零排放船舶的长期战略。
- 提供专项资金和出台基于排放的奖励措施，以支持航运业采用氮氧化物排控和低/零排放解决方案，以及发展陆上燃料供应基础设施。

为了继续助力经济增长，并为进一步改善空气质量提供支持，中国航运业应该向低排放或零排放过渡。作为世界上最大的造船国，这一转变也将有助于中国保持其在造船业中的主导地位，并为全球未来实现航运脱碳的努力做出贡献。

* 除特别说明外，本报告中的“中国国内航运”特指内地航运。

引言

中国不仅拥有世界上最繁忙的内河通航体系，还拥有连接50多个沿海港口的漫长海岸线²。内陆和沿海航运以及港口网络在支持贸易发展、促进内陆和沿海城市经济增长方面发挥着关键作用。自本世纪初以来，中国的航运活动大幅增长，与国家快速的经济增长保持同步。从2002年到2018年，内陆港口的货运周转量¹增长了九倍，沿海港口的货运周转量增长了六倍，通过海港运输的货运量增加了四倍多³。

国务院于2018年宣布了一项调整交通运输结构以应对空气污染的计划，预计航运将发挥更加突出的作用⁴。该计划旨在促进货运从公路转向水路和铁路。就每单位货物周转量的能源消耗而言，船舶和火车被认为是更环保的货运方式。

表 1：中国主要港口城市或地区基于船舶排放清单确定的航运对空气污染的贡献¹

港口城市或地区	NO _x	SO ₂	PM _{2.5}	研究年份
香港	37%	52%	41%	2017
上海	25%	17%	5%	2015
深圳	16%	59%	5%	2013
天津	9%	10%	3%	2013
珠三角	12%	14%	4%	2015
长三角	12%	7%	1.3%	2015
沿海省份	9%	10%	NA	2013

包括来自远洋、沿海和内河船舶的大气排放。只包括一次 PM_{2.5}。NA表示不详。

尽管如此，与以柴油为动力的卡车和其他非道路机械一样，船舶排放也造成空气污染。在中国大型港口城市或地区，航运排放是当地大气污染的重要来源之一，尤其是SO_x和NO_x（表1）。在长江三角洲和珠江三角洲地区，船舶排放导致2015年夏季香港和深圳细颗粒物(PM_{2.5})浓度分别增加了6微克/立方米和4微克/立方米，上海、广州和嘉兴PM_{2.5}浓度分别增加了2微克/立方米以上⁵。船舶排放的废气不仅影响到沿海地区，也影响到远离海洋几百公里以外的内陆地区⁶。研究表明，航运活动对健康构成明显威胁。2013年，来自远洋船舶的PM_{2.5}和臭氧污染导致中国约1.8万人过早死亡⁷。2015年，国内和远洋船舶排放放在珠三角地区导致了2500例与颗粒物(PM)相关的和1200例与臭氧相关的过早死亡；在长三角地区导致了约3600例与PM有关的过早死亡⁸。

在中国目前运营的12.4万艘内河船舶中，超过70%的船舶是在国家颁布相关船舶空气污染法规前下

水的⁹。尽管这些船舶的真实排放测试数据有限，但调查结果表明，基于燃烧每单位燃料的污染排放量作比较，一些内河船舶的污染物排放量可能超过现在允许合法运营的最老旧的卡车（国三卡车）¹⁰。就在这些高排放卡车被越来越多大城市禁止在市中心地区运营¹¹的同时，高排放的老旧船舶却仍然可以在内河航道上自由航行。

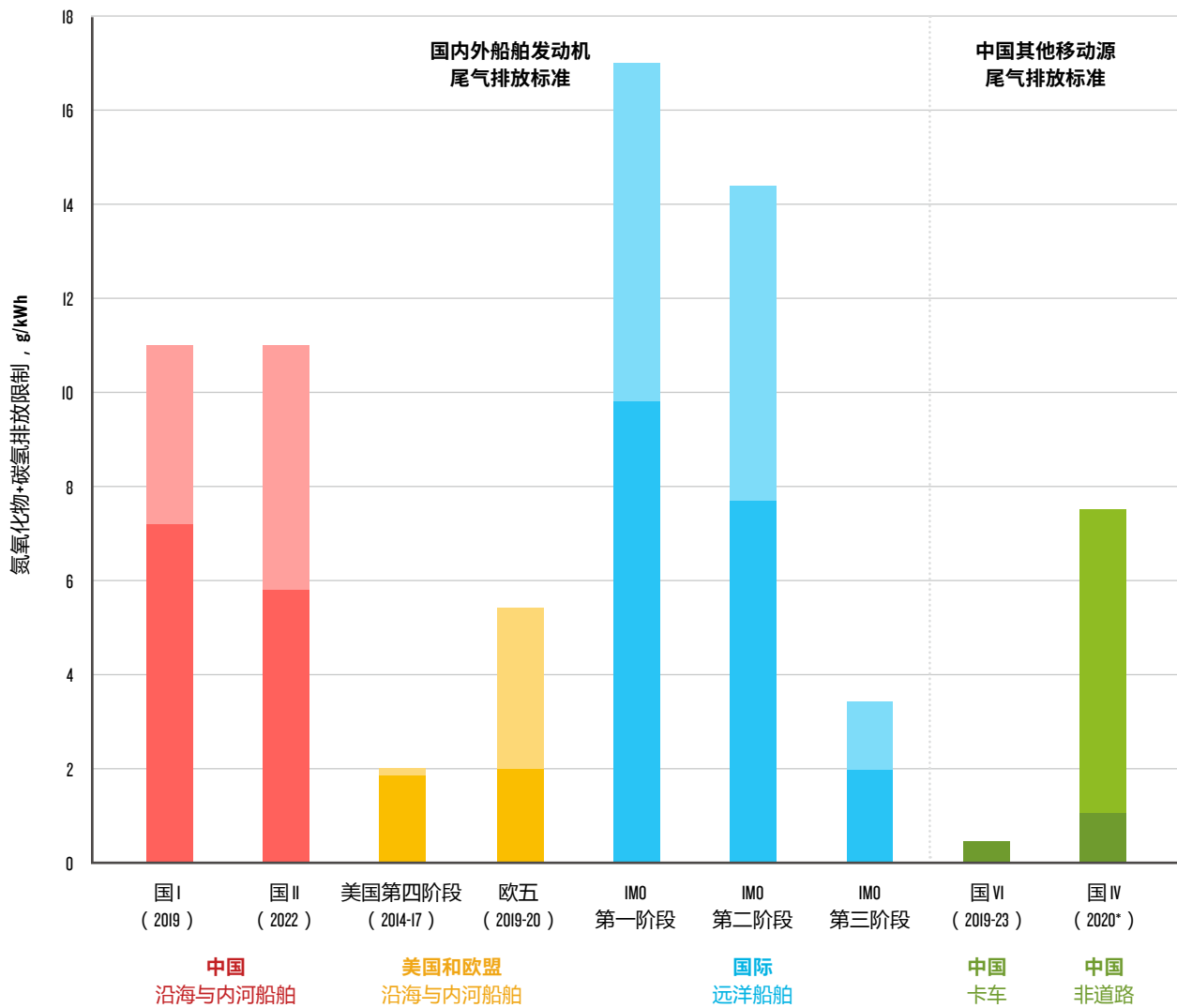
虽然2016年中国颁布了第一阶段船用发动机排气污染物排放标准（国一和国二标准，如图1中红色柱形图所示），但是这些标准的严格程度远低于卡车和非道路设备的最新标准（图1中绿色的柱形图所示）。如果不进一步收紧新船和在役船舶排放要求，随着陆地污染源受到越来越严格的控制，航运在空气污染中所占的份额将会增长。香港就是一个明显的例子，在对其他污染源管制更加严格的同时，航运排放放在2014年之前都不受管制，导致船舶排放成为城市中最大的二氧化硫（SO₂）、氮氧化物和PM的来源（图2）。

¹ 等于以吨计的货运量与以公里计的运输距离的乘积。

⁵ 汽车尾气排放标准于上世纪80年代首次引入中国，但这些标准非常薄弱。根据欧洲法规制定的“中国”机动车排放标准于2000年开始实施。在过去的二十年里，从国一到最新的国六标准，汽车排放标准一直在逐步收紧。为加快淘汰高排放车辆，国务院2013年发布的《大气污染防治行动计划》要求，到2017年，包括所有符合国二及更早标准的车辆在内的黄标车必须报废。自2018年以来，国三卡车是在中国可以合法运营的最过时的卡车。

⁶ 北京、上海、南京、大连、宁波和苏州等城市已经禁止国三及以下标准柴油卡车在市中心运营。对柴油卡车实施交通限制的城市或省份可以在以下网站找到http://www.360che.com/law/191021/119279_all.html。

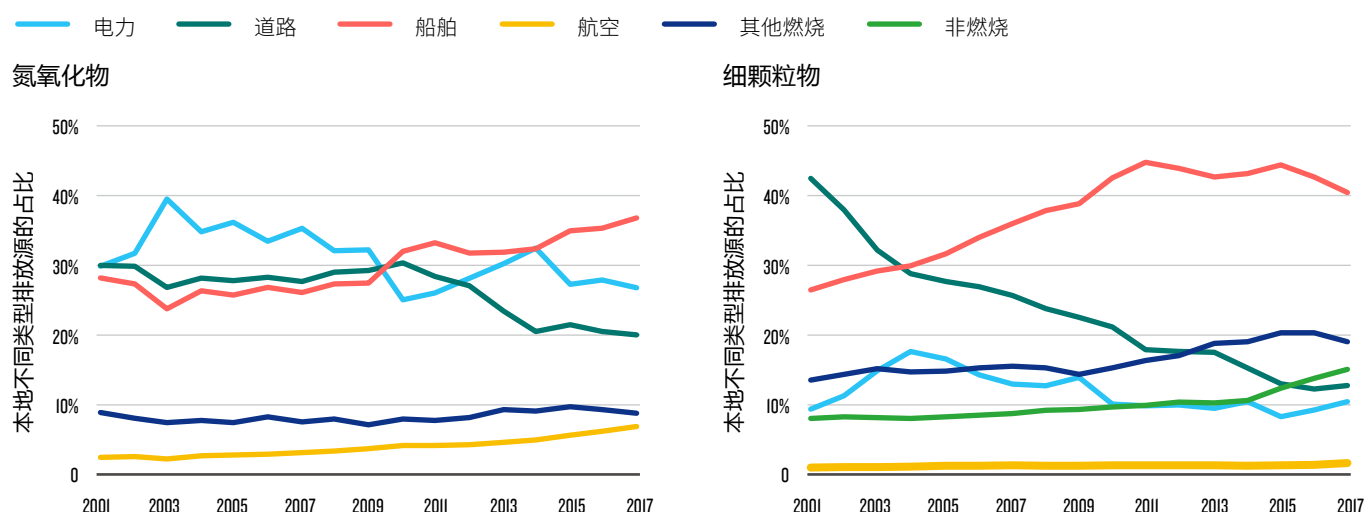
图1：不同司法管辖区所采用的船用发动机、卡车及非道路设备的氮氧化物排放限值



条形图顶部较浅颜色的部分表示NO_x标准的范围，该范围因发动机功率、排量或速度而异。

中国国内船舶氮氧化物标准随发动机排量 and 功率而变化；中国非道路发动机、欧盟内河船舶和美国国内船舶发动机的氮氧化物标准随发动机功率变化；国际海事组织远洋船氮氧化物标准随发动机最大运行速度而变化。IMO的远洋船舶标准只限定了氮氧化物的排放。圆括号中列出了标准实施日期。

* 在2019年2月发布的《非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法（中国第三、四阶段）》修正案中，明确了2020年12月实施第四阶段标准的日期。截至发稿时，修正案尚未通过，因此实施日期还未确定，可能会发生变化。

图2：2001年至2017年香港本地不同类型排放源的氮氧化物(NO_x)及细颗粒物(PM_{2.5})污染份额(百分比)¹²

为了控制船舶造成的空气污染，2016年中国逐步实施了国内排放控制区（DECA）法规¹³。DECA法规最初要求船舶在中国主要港口停泊时使用硫含量不大于0.5%的燃料，后来扩大到包括在这三个DECA区域内作业的所有船舶。2019年，DECA法规的适用范围进一步扩大，所有在中国领海航行的船舶均需使用硫含量不大于0.5%的燃料。此外，自2020年1月1日起，在长江和西江（珠江的一条支流）部分指定为内河DECA的区域远洋船舶必须使用硫含量不大于0.1%的燃料；从2022年起，在海南水域航行的远洋船舶也必须使用硫含量不大于0.1%的燃料。

同时，升级的DECA法规中还增加了控制氮氧化物排放的额外要求。当邮轮、能使用岸电的远洋船舶和一些中国籍船舶(包括内河船舶)¹⁴停靠在有岸电供电设施的泊位时，这些船舶需要使用岸电。自2022年1月1日起建造、进入海南水域或内河DECA航行的中国籍船舶上安装的船用发动机，需要满足IMO第三阶段氮氧化物排放标准。

DECA法规生效后，空气质量监测数据显示，中国大型港口城市的二氧化硫水平显著下降，降幅从26%到52%不等¹⁴。不过，即使在2022年以后，DECA法规对新船达到第三阶段氮氧化物标准的要求也只会影响到一小部分挂靠中国港口的船舶¹⁵。此外，岸电要求只能减少靠泊船舶排放，其占中国船舶氮氧化物排放总量的比例不到20%¹⁶。因此，预计DECA法规在减少氮氧化物排放方面的作用是有限的。

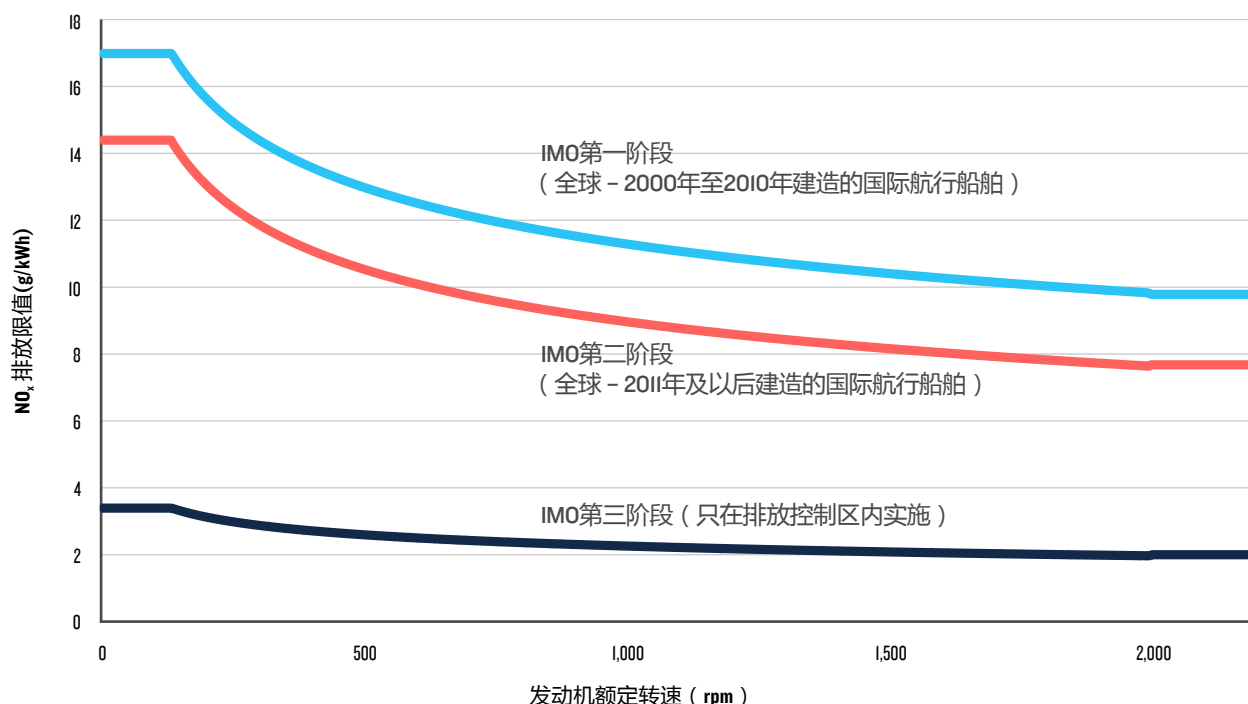
在中国继续应对PM_{2.5}污染之际，臭氧污染的问题也日益严重¹⁷。为了继续发挥航运助力贸易和经济发展的作用，同时支持中国进一步改善空气质量，有必要对航运的排放进行更严格的控制，尤其是氮氧化物排放，因为氮氧化物是臭氧的前体物，也会导致PM_{2.5}的生成。本报告回顾了欧美国家针对国家有管辖权监管的内河船舶和沿海船舶两类船舶排放所采取的方案。考虑到中国DECA法规在处理船舶硫和颗粒物污染方面取得的成功，因此尽管下文讨论的一些政策措施可解决多种空气污染物，有些会同时对气候产生影响，本报告的主要关注重点将是氮氧化物污染的治理政策。

¹⁴ 要求使用岸电的中国籍船舶（称岸电法规适用船舶）包括公共服务船舶、内河船舶（油轮除外）、从事海洋和河流之间的直接航行船舶（称江海直达船舶）、从事国内沿海运输的集装箱船舶、邮轮、滚装船、3,000总吨以上客船以及50,000总吨以上干散货船。2019年1月1日及以后建造的中国籍公务船、内河船舶（液货船除外）和江海直达船舶，属于岸电法规适用船舶，从2019年7月1日起，挂靠DECA区域内的港口要求使用岸电。自2020年1月1日起建造的新的沿海集装箱船舶、邮轮和滚装客船、属于岸电法规适用船舶的客船和干散货船必须配备岸电受电设备。所有在役岸电法规适用船舶需要进行改造，从2022年1月1日起靠泊尽可能使用岸电。

有助于控制船舶氮氧化物排放的技术和燃料

燃料在高温下燃烧时会产生氮氧化物排放。降低发动机的燃烧温度可以减少氮氧化物的排放，但会导致不完全燃烧，增加颗粒物的排放。因此，国家、区域和国际机构已经实施船用发动机的排放标准，以推动发动机设计的改进，并鼓励发动机企业采用先进技术来控制NO_x和PM以及其他空气污染物的排放。

图 3：IMO规定的氮氧化物排放标准



对于远洋船舶，国际海事组织（IMO）为船用发动机的氮氧化物排放制定了一套三级标准(见图 3)。IMO 第一阶段和第二阶段标准是分别适用于2000年至2010年建造的新远洋船舶和2011年及以后建造的新远洋船舶的全球标准。IMO的第三阶段标准适用于IMO指定的4个排放控制区域(ECA)，适用于在实施了ECA标准后建造的船舶。在北美ECA和美国加勒比海ECA，2016年及以后建造的船舶都要遵守IMO的第三阶段标准。在北海和波罗的海ECA，受影响的船舶是2021年或以后建造的。第三阶段标准比第一阶段标准低80%。四个IMO指定ECA的位置见附录I。

欧洲国家、美国和中国还为其领海和内河航道作业的船舶制定了自己的排放标准。目前在欧洲、美国和中国生效的标准是欧盟的第五阶段、美国的第四阶段和中国的第一阶段标准(其各自的NO_x + HC要求见图 1)。报告第3.2节将围绕各种船用发动机排放标准展开进一步讨论。

为了满足日益严格的排放要求，发动机制造商改进了发动机设计，并采取了以下措施来解决氮氧化物排放问题：

■ 选择性催化还原系统（SCR）

SCR 是一种发动机后处理技术，它利用氨(以尿素的形式装载在船上)在催化剂的作用下将氮氧化物还原为氮和氧。它是用于移动和非道路污染源的最主要的氮氧化物控制技术，有悠久的船上应用的历史。SCR系统已经安装在全球超过1000艘船舶上，其中超过250艘是改造的船舶¹⁸。它可以达到IMO第三阶段标准、美国第四阶段标准和欧五标准（参见表 2）¹⁹。

■ 废气再循环装置系统（EGR）

EGR是一种缸内空气处理技术。该技术将一部分废气与进气混合，以降低峰值燃烧温度。虽然已在陆地排放源上使用多年，但该技术近年来才开始在

船上使用。EGR技术已在低速、二冲程发动机上进行了示范应用，证明可单独应用此控制技术以满足IMO 第三阶段 NO_x标准²⁰。

■ 替代燃料

在所有可用的替代燃料中，液化天然气(LNG)是水运业最常用的燃料，目前全球（不包括中国）有177艘船舶在使用LNG燃料^{21, v}。不过，减少NO_x排放的水平不仅取决于燃料的种类，还取决于发动机运转所依据的燃烧原理，即奥托循环还是柴油循环^{vi}。采用奥托循环船用发动机的LNG动力船舶，无需后处理废气即可满足IMO第三阶段 NO_x标准²²。奥托循环发动机可以单独使用天然气，也可以同时使用柴油和天然气作为双燃料发动机。另一方面，使用柴油循环的LNG发动机的NO_x排放量比IMO第一标准 NO_x标准低40%-50%，因此需要使用另一个NO_x控制系统，如SCR或EGR，才能达到IMO第三阶段 NO_x标准要求²³。

水运业也采用了其他类型的替代燃料，例如电力、甲醇和液化石油气。全球在役或已订购的70多艘全电动船舶和大约300艘混合动力船舶，主要用于渡轮服务。相比之下，全球在役或已订购的甲醇或液化石油气驱动船舶不到20艘²⁴。斯泰纳渡轮公司（Stena Line）的 Germanica 渡轮在2016年改造成甲醇-柴油混合动力渡轮，其NO_x排放据称较IMO第一阶段 NO_x标准低60%²⁵。

■ 水基技术

可以通过在燃烧过程中引入水来降低燃烧峰值温度，以控制氮氧化物的排放。目前有以下三种主要的水基技术正在开发中：

(a) 进气加湿：燃气中充满了水蒸气。

(b) 直接注水：水注入进气管或者直接注入燃烧汽缸。

(c) 燃油乳化：燃油掺水乳化。

上述水基技术都经过了测试，但没有一项技术能单独达到IMO第三阶段标准（如表 2 所示）。鉴于这些技术还需要在船上储存水，而短途航行的船舶相对更易于进行频繁补水，因此更适合采用这些技术²⁶。

为便于比较，表 2总结了上述各项措施的排放情况和主要特点。

除了采用这些排放控制技术和燃料外，优化港口停靠以减少船舶在港口停留的时间，或减少船舶靠岸时的燃油使用，例如使用岸电，这些也是减少空气排放的关键。一些主要港口，如鹿特丹港、长滩港和洛杉矶港，已经推出了便于航运公司与港口运营商和相关服务提供商沟通的数字平台，以实时交流他们的港口访问信息，避免延误。港口停靠优化不在本报告的讨论范围之内。更多的信息可以在新闻报道中找到²⁷。

^v 没有包括中国内河LNG动力船舶。

^{vi} 国际上的内燃机按燃烧方式可分为奥托循环和柴油循环两大类。奥托循环发动机采用燃料和空气的混合物，用火花或少量燃料压缩和点燃空气和燃料混合物。柴油循环发动机吸收空气，压缩空气，然后向高度压缩的空气中注入燃料。压缩空气中的热量自发地点燃燃料。

表 2：常用氮氧化物控制措施的减排潜力、成本和其他需考虑因素²⁸

NO _x 控制技术	相对于IMO第一阶段NO _x 标准的减排量	对油耗及主要运营成本的影响	其他考虑
选择性催化还原系统 (SCR)	> 80%	• 由于背压增加，稍微增加油耗（<1% 的燃油消耗） • 尿素成本占燃油成本的7-10% • 每3-5年需更换催化剂 • 通过提高能效减少燃料消耗（发动机优化可以减少2-4% 燃料消耗）	• 可改造且适用于二冲程和四冲程发动机 • 在低硫燃油（硫含量≤ 0.1%）下运营最佳，以免在废气温度较低的情况下催化剂失效 • 氨逃逸（即氨气经过催化器时未能反应，随烟气排放到大气中）
废气再循环系统(EGR)	40-80%	• 增加4-6% 燃油成本 • 用于中和再循环废气的氢氧化钠	• 适用于二冲程发动机 • 投资成本略高于SCR，但运营成本较低 • 在低硫燃料下运行最佳，可避免EGR系统的腐蚀
液化天然气 (LNG)	稀薄燃烧的奥托循环发动机可达80-90% 柴油循环发动机约 50%	节省的燃料成本取决于柴油和液化天然气之间的成本差异	• 可改造，但是需要更多的船上燃料存储空间或更频繁的加注燃料 • 缺乏加注基础设施仍然是被广泛采用的一大障碍 • 甲烷逃逸可能抵消奥托循环发动机的温室气体(GHG)减排效益
进气加湿	40-70%	低	• 改造四冲程发动机是可能的 • 因为需要船上储存水，对于短途船舶更适用
直接注水	最多 60%	1 - 2.5%	• 改造二冲程和四冲程发动机是可能的 • 因为需要船上储存水，对于短途船舶更适用
燃油乳化	20-40%	低	• 改造二冲程和四冲程发动机是可能的 • 因为需要船上储存水，对于短途船舶更适用

推动使用清洁航运技术和燃料的政策措施

欧洲和北美已采取一系列政策，加速水运业采用更清洁的燃料和排放控制技术。这些措施大致可分为五类：

- (1) 采用船用燃料质量标准
- (2) 采用船舶发动机排放标准
- (3) 实施在役船舶排放标准或规定
- (4) 强制使用岸电来减少港口排放
- (5) 采用激励和强制措施推动低排放和零排放燃料和技术的应用



© Photo by Valeria Bondarenko on Unsplash

3.1 采用船用燃料质量标准

从传统上讲，收紧燃料硫含量限值是控制柴油机排放的第一步。这可以减少 SO_x 排放和二次颗粒物（硫酸盐）的生成，并为采用先进的 NO_x 和PM排放控制设备创造条件，包括SCR、EGR和柴油颗粒过滤器（DPF）系统，这些设备可能会被燃料中的硫破坏或失效^{29,vii}。如果这些先进的排放控制系统在低硫燃料条件下使用，其投资和运营成本可以大大降低³⁰。

在美国和中国注册并在当地从事国内贸易的国内船舶以及欧盟的内河船舶，必须使用硫含量不超过0.001%（10ppm）或0.0015%（15ppm）的燃料（见附录II）。由于严格的船用发动机排放规定要求船东使用对燃料硫含量敏感的先进排控系统，因此实施严格的船用燃料硫含量要求能为执行严格的船用发动机排放标准铺平了道路。

对于远洋船舶，IMO通过设定全球船用燃料硫含量标准来监管 SO_x （以及间接的PM）排放。目前全球燃料的含

硫量上限为500ppm（0.5%）。在IMO指定的四个ECA中，船舶必须使用硫含量不超过1000 ppm（0.1%）的燃料。

3.2 采用船舶发动机排放标准

虽然收紧燃料硫含量标准在降低航运硫排放和降低颗粒物排放方面是有效的，但它对氮氧化物排放的直接影响有限。随着燃料标准日趋严格，欧美国家同时引入了发动机排放法规或者激励措施，以推动排放控制技术的应用，包括本报告第2节中讨论的技术。

上世纪90年代末，欧洲和美国通过立法，对内河船舶和国内船舶发动机的空气排放（ SO_x 、 NO_x 、PM、碳氢化合物和一氧化碳）进行了规范³¹。在美国，环境保护署（USEPA）推出了适用于不同类别发动机的船用发动机排放标准。对于推船、拖船、供应船、渔船和港口船等许多类型的国内船舶所用的发动机以及辅机（第1类和第2类发动机^{viii}），美国标准已从第一阶段标准逐步收紧到目前的第四阶段标准。对于远洋船舶所

^{vii} 对于SCR系统，硫导致形成硫酸铵，使催化剂失活。对于EGR系统，高硫燃料会导致EGR组件的腐蚀。为使用高硫燃料而设计的EGR系统需要使用不同等级的不锈钢，这使得它们更加昂贵。此外，对于在EGR系统中运行高硫残渣油的船舶，再循环废气中的硫和颗粒会对发动机造成损害，需要更频繁地对再循环废气进行清洗。对于DPF，燃料中的硫严重降低了催化DPF的效率，因为尾气中的二氧化硫在催化剂再生（清洗DPF）过程中转化为硫酸盐。这需要催化DPF在超低硫燃料（硫含量不超过10ppm的燃料）下运行。

^{viii} 在美国船舶发动机法规中，船舶发动机根据每缸排量分为三类，第1类、第2类和第3类。第1类和第2类船用发动机包括单缸排量在30升以下的发动机，它们的典型尺寸从500kW到8000kW不等。第3类发动机是单缸排量在30升或以上的发动机，它们的典型尺寸从2500kW到70000kW不等。

用的大型船用发动机(第三类发动机),美国的排放标准与IMO的标准一致³²。

在欧洲,莱茵河航行中央委员会(CCNr)引入了排放标准,以管制在莱茵河和比利时境内航行的内河船舶造成的空气污染^{ix}。CCNR提出的两级标准,即CCR1和CCR2标准,分别于2003年和2007年生效。2004年,欧盟通过了非道路移动机械第三A阶段标准,首次引入了欧盟内河船舶发动机排放标准。欧盟第三A阶段措施已于2007年至2009年分阶段实施。欧盟第三A阶段措施的严格程度与CCR2标准相当,得到了欧盟和CCNR的一致认可³³。2016年,欧盟通过了第五阶段标准,其排放限制的严格程度与美国的第四阶段标准相当。欧盟第五阶段标准于2019年至2020年生效,是欧盟和CCNR共同认可的现行标准³⁴。

如本报告第2节所述,安装在远洋船舶上的船用发动机须符合IMO规定的第三阶段NO_x标准。现行的美国和欧盟标准以及IMO的第三阶段NO_x标准,旨在强制使用先进的NO_x排放控制技术(SCR或EGR系统)或者替代燃料(如LNG或者电力)。

在中国,海事局(MSA)要求所有内河船舶分别从2011年和2015年开始遵守IMO第一阶段和第二阶段NO_x标准³⁵。2016年,生态环境部(原环境保护部)通过了第一版国内船舶(内河、沿海、渔船)船用发动机排放标准,称为中国第一阶段和第二阶段标准。国一标准于2019年7月1日生效,国二标准将于2021年7月1日生效^{xi}。国一和国二标准涵盖了美国和欧洲监管的所有污染物并额外考虑了甲烷排放,但比美国和欧盟目前的标准(欧盟第五阶段和美国第四阶段标准)宽松(如图1所示,红色柱形图表示中国的氮氧化物标准,橙色柱形图表示美国和欧盟的要求)。

通常情况下,发动机排放标准只适用于新发动机和再制造发动机。通过不断提高新船排放标准,船队排放可以通过船舶的不断更新而自然减少,但由于船舶使用寿命较长,需要较长时间才能充分实现排放效益。

3.3 在役船舶排放要求

鉴于新的船用发动机标准要实现其全部效益需要较长的时间,欧洲和美国的许多城市和地区已对已投入使用的船舶实施了排放要求。在执行日益严格的新船排放标准的同时,在役船舶排放要求可以通过推动船舶退役、升级(repower)或改造(retrofit),从而加速整个船队的大气排放净化。

以下介绍的在役船舶排放标准是基于船舶大气排放制定的。一些地区已经对船舶产生的黑烟进行了限制,以间接控制在役船舶的排放。虽然黑烟限制要求可以促进更好的发动机维护,但它们不能引导采取升级减排NO_x,因此不在这里讨论。截至报告发布时,全球已知的船舶黑烟管控措施摘要参见附录III。

3.3.1 加州商用港作船舶法规

2007年,加州空气资源委员会(CARB)颁布了商用港作船舶(CHC)法规,其中包括在役船舶的排放规定。这一规定的出台是因为港作船舶被发现是长滩和洛杉矶港口作业的第三大颗粒物排放源³⁶。截至2009年1月,推进和辅助发动机符合美国第1阶段前或者第1阶段标准的规定适用船舶^{xii},在2009年到2022年期间必须进行升级,以便符合在满足要求时生效的标准(美国第2阶段或第3阶段标准)。每艘船舶须遵守的在役船舶排放规定的年份取决于发动机型号年代——发动机的型号越老,就越要提早达到当时实施的在役

³² 排放标准由莱茵河航行中央委员会(CCNr)的《莱茵河船舶检验规则》(RheinSchUO)制定。CCNR是一个超国家政府机构,旨在确保莱茵河及周边水域的高度安全。CCNR有德国、比利时、法国、荷兰和瑞士5个成员国。

³³ 欧盟标准的实施日期是指发动机在欧盟市场上销售的日期;申请型式认证的发动机,标准提前一年生效。

³⁴ 这些日期是指针对上市发动机的实施日期。对于需要申请型式认证的发动机,实施日期提前一年。

³⁵ 本法规所规管的船舶包括渡轮、游览船、拖船、牵引船、推船、船员及供应船、驳船及挖泥船。

船舶排放规定^{37,xiii}。总的来说，船东有2到15年的准备时间（从规定实施到船东不得不采取行动的时间），允许船东选择对他们来说成本最低的时间段（如在干船坞期间），实施船舶的更新、发动机改造或升级³⁸。

选择提前改善船舶排放性能的船东将获得加州的资金支持。即便是不受现行在役船舶排放规定限制的船舶，如果船东也选择改善其排放性能（如渔轮）^{xiv}，也可获得加州的资金支持。对于不经常使用的船舶，加州还提供了—个适应低利用率的合规途径^{xv}。

除了在役船舶排放标准外，CHC法规还要求在加州运营的每一艘商用港作船舶都必须遵守：

- 使用超低硫燃料（硫含量不大于15ppm）
- 在每台发动机上安装1台不可重调时间的计时器，用于计量发动机的工作时间
- 向CARB提交一份包含船舶和发动机信息的报告
- 若更换现有船舶的发动机或在新建船舶上安装发动机，均须符合现行的新发动机排放标准（新客运渡轮的排放需要比采购时的标准更洁净）

上述(2)(3)有关记录及报告的规定有助CARB监督执行有关法规，以及更深入了解船队的排放表现及运作情况，有助于未来制定相关标准。

根据上述对在役船舶和新船的要求，再加上对早期行动者的资金支持和自然船舶更新，CARB预计，到2023年，加州CHC船队的平均氮氧化物排放量将达到美国第二阶段标准，或比美国第一阶段前标准（即控制前）低51%的水平³⁹。到目前为止，船东主要是通过更换

发动机来达到在役船舶排放要求。CARB现正开展规则制定前的工作，以便修订CHC法规。正在审议的其中两项修正案是进一步加强对在役船舶的要求，达到美国第四阶段标准，并加快采用零排放技术⁴⁰。

3.3.2 鹿特丹和挪威的在役船舶排放规定

在鹿特丹，从2025年开始，不符合CCR2标准的内河船舶将被禁止进入港口⁴¹。CCR2在NO_x要求方面与中国第1阶段和第2阶段标准相似，但在PM要求方面更为严格⁴²。为了鼓励船东使用更清洁的内河驳船，并促进实现2025年的目标，鹿特丹港口税是根据排放水平制定的（参见本报告3.5.1.3部分）。在欧盟实施更严格的欧盟第五阶段排放标准后，CCR2标准被认为不够严格。荷兰绿色协议的签署方正在为内河船舶开发—个可以替代CCR2要求的可持续性标签^{43,xvi}。

挪威采取了一项更具雄心的政策，要求所有在被列为世界遗产的挪威峡湾地区航行的船舶在2026年或之前不排放废气⁴⁴。到2030年，只有低排放或零排放的船舶才能进入其他峡湾和挪威水域⁴⁵。这些低排放和零排放的要求，促使所有在挪威海岸航行的游轮和旅游船舶的船东计划向零排放技术过渡。

3.4 岸电要求

内河船舶可以很容易地采用岸电，因为船侧改装接电比较简单。当船舶靠泊时使用岸电可以消除港口地区的空气污染排放，还可以减少对气候的影响（如果电网是清洁的）、噪音和振动。加州和鹿特丹已强制使用岸电，前者针对远洋船舶，而后者重点是内河船舶。

³⁷ 合规日期见加州法规第93118.5条。商用港作船舶的空气毒物控制措施，表7-10。

³⁸ 其中一个加州政府为船东提供资金支持的是卡尔·梅奥（Carl Moyer）计划。此计划为减少老旧发动机和机械排放可造成雾霾的污染物和有毒污染物的项目提供资金资助。这些项目达至的污染物排放水平必须比法律规定更低。卡尔·梅奥计划为很多自愿提前更换在役船舶发动机的项目提供了支持。有关加州激励计划的更多信息请访问<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/topics/incentives>。

³⁹ 见加州法规第93118.5条。商用港作船舶的空气毒物控制措施，第(e)(6)(C)4段。低使用率船舶是指每年在受规管类别下运作300小时或以下的船舶，或运作80小时的驳船及挖泥船。如这类船舶的船东能够证明有关船舶运作时间没有而且不会超过符合低使用率船舶资格的时数，则该船舶被视为符合规定。证据可以包括船舶发动机在合规日之前的历年度的全年运行总小时数的记录，以及预测未来全年运行小时数的文件。

⁴⁰ 2020年4月30日与鹿特丹港务局的Jarl Schoemaker的私人通信。

图4：鹿特丹的岸电连接柜(左) 及其上关于如何连接岸电和停止岸电供应的说明(右)



图片来源: 冯淑慧



加州于2014年实施的岸电法规要求集装箱船、冷藏货船和游轮在停靠加州最大的六个港口时, 使用岸电或其他替代技术来减少船载辅助发动机的发电。法规规定, 整个船队靠港期间的辅机能源消耗在2014年降低50%, 2017年降低70%, 2020年降低80%。尽管这些规定在显著减少港口大气排放方面取得了成功, 但由于航运活动的持续增长, 预计在2020年以后远洋船舶造成的大气污染将继续增加⁴⁶。因此, CARB建议将岸电需求扩展至油船和滚装船(装载运输车辆的船舶)等船舶类型, 以及油轮锅炉和更多的港口^{xvii}。

鹿特丹于2010年通过了一项港口法规, 禁止在该市停泊的内河船舶上使用发电机或启动引擎或辅助引擎, 以减少空气污染和噪音滋扰⁴⁷。内河船舶应按规定与岸电连接, 除非码头未配备岸电连接。为了辅助船东遵守规定, 政府在所有公共泊位安装了岸上电力接口(内陆驳船371个接口, 内河游轮2个接口)(图4), 并推出了一款手机应用程序, 让船长很容易找到可用的岸上电力泊位, 并进行支付⁴⁸。

3.5 采用激励和强制措施推动低排放和零排放燃料和技术的应用

除了对船舶排放实施管制之外, 欧洲各区域长期以来还有通过财政奖励办法来促进先进的NO_x控制技术发展和商业化的传统。最近, 一些欧洲国家已经通过这一双管齐下的策略来支持低排放和零排放解决方案。

3.5.1 环境差异税或费

瑞典和挪威率先采用环境差异税收或收费计划, 以鼓励在航运业使用排放控制技术和清洁燃料。环境差异税或费用可适用于新造船舶和在役船舶。挪威的计划根据船舶每年的氮氧化物排放量来评估总税费, 而瑞典的计划则根据每艘船舶的NO_x排放量来评估航道费。

3.5.1.1 挪威的NO_x税和NO_x基金

自2007年起, 挪威开始对包括航运、陆基工业、石油和天然气开采、渔业、铁路和航空等在内的所有行业征收NO_x税^{xviii}。运营功率超过750kW的发动机、

^{xvi} 更多信息请浏览CARB网站: <https://www.arb.ca.gov/ports/shorepower/shorepower.htm>

^{xvii} 关于航运, 氮氧化物税是根据船舶在挪威领水内以及从事国内航运的排放计算的, 从事国内航运时即使船舶的部分航行发生在挪威领水以外(离挪威海岸250海里)发生的排放也计入。所有从事国际运输的船舶都免税, 包括在挪威和外国港口之间进行直接运输的船舶。更多信息参见尾注56给出的Becqu 等人2018年发表的文章。

10MW以上的锅炉或发生燃烧行为的单位须缴纳NO_x税（2020年每排放1公斤NO_x税收为22.69挪威克朗，相当于人民币17元^{xix}）。受监管企业还可选择通过支付NO_x费用加入NO_x基金（2020年船舶每排放1公斤NO_x缴费10.5挪威克朗，相当于人民币8元），以代替支付更高的NO_x税⁴⁹。加入NO_x基金的企业需要承诺实现商定的年度NO_x减排目标，并制定减少其NO_x排放的长期计划。如果达不到目标，将导致重新征税。

加入NO_x基金的企业也有资格申请对其采取的氮氧化物控制措施提供资金支持，可解决至多80%的资金需求，但这些企业必须首先自费采用最具成本效益的措施⁵⁰。选择可能无碳的技术/燃料(如氢或电)或符合IMO第三阶段NO_x标准的船东有资格获得更大的财政支持（参见表3）。

氮氧化物税和氮氧化物基金的结合，以及其他基金计划(见本报告第3.5.2.1节)，已成功地促使挪威水运业采用NO_x控制技术，在SCR系统、LNG和电力推进方面的进展尤其明显。目前，全球逾30%使用SCR系统的船舶均在挪威⁵²。到2026年，包括在役和订购的船舶在

内，挪威将拥有全球五分之一以上的LNG动力船舶、44%的电池动力船舶^{53,xx}。从2007年到2016年，挪威船舶排放的NO_x减少了约40%⁵⁴。

3.5.1.2 瑞典环境差异化航道费

瑞典在1996年采用了以排放为基础的航道费制度。环境差异化航道费项目旨在鼓励进一步减少船舶NO_x排放和SO_x排放，除了监管要求，还基于船舶的NO_x排放水平及其使用燃油的硫含量水平，逐步减少按照船舶总吨位支付的航道费^{xxi}。随着监管逐渐收紧，该制度已被修订了几次。2015年，在ECA船舶使用燃油硫含量不大于0.1%标准生效后，航道费费率更新为仅根据NO_x排放水平进行差异化收费。最新的修订是在2018年做出的，此项制度目前仅与清洁航运指数(CSI)的得分挂钩。CSI是由航运业利益相关者和瑞典大型进出口公司在瑞典发起的一个独立的船舶和航运公司环境绩效报告和标识制度^{xxii}。船舶的CSI得分反映了其在大气污染排放和对气候影响、化学品使用、水和废水管理方面的表现⁵⁵。

表3：符合NO_x资金支持条件的移动源NO_x控制措施及支持力度⁵¹

NO _x 基金对移动源控制措施的支持力度（每减少1公斤NO _x 排放）	
200挪威克朗（人民币151元）	400挪威克朗（人民币301元）
NO _x 减排技术,包括SCR和EGR	能源转换：LNG、电力或氢
提高能效措施	混合动力电池
减少NO _x 排放的发动机改造	提高能效和满足IMO第三阶段标准（SCR, EGR, LNG）措施组合
更换成具有NO _x 净化技术的发动机	更换发动机和配备满足IMO第三阶段标准技术（SCR, EGR, LNG）组合

^{xix} 在本报告中，汇率是基于中国人民银行公布的2020年2月21日的人民币中间参考汇率（<http://www.pbc.gov.cn/zhengcehuobisi/125207/125217/125925/index.html>）。

^{xx} 用在计算挪威LNG动力船舶占全球LNG动力船舶份额的数据不包括中国所有的内河LNG动力船舶。

^{xxi} 为了降低航道费，航运公司必须按照ISO 8178标准向瑞典海事管理局提供所有主要和辅助发动机的氮氧化物排放的测量数据，还应测量位于SCR后部的烟囱处的氨逃逸，并提供给主管部门，以证明氨逃逸量低于10ppm（后来修订为20ppm）。也应提供使用尿素的证据，如尿素消耗量和尿素购买记录材料。

^{xxii} CSI评分方法是由一个由瑞典海事当局和航运业的研究人员和代表组成的技术委员会开发的。更多信息参见<https://www.cleanshippingindex.com/>。

当该项目首次启动时，项目管理方意识到，在安装有效的NO_x控制系统(如SCR)方面的大量投资，可能需要10年以上的时间才能通过减少航道费收回成本。因此，瑞典政府从1998年至2001年提供资金以补贴对控制NO_x的投资，但由于成本过高，投资资金补贴于2002年终止⁵⁶。

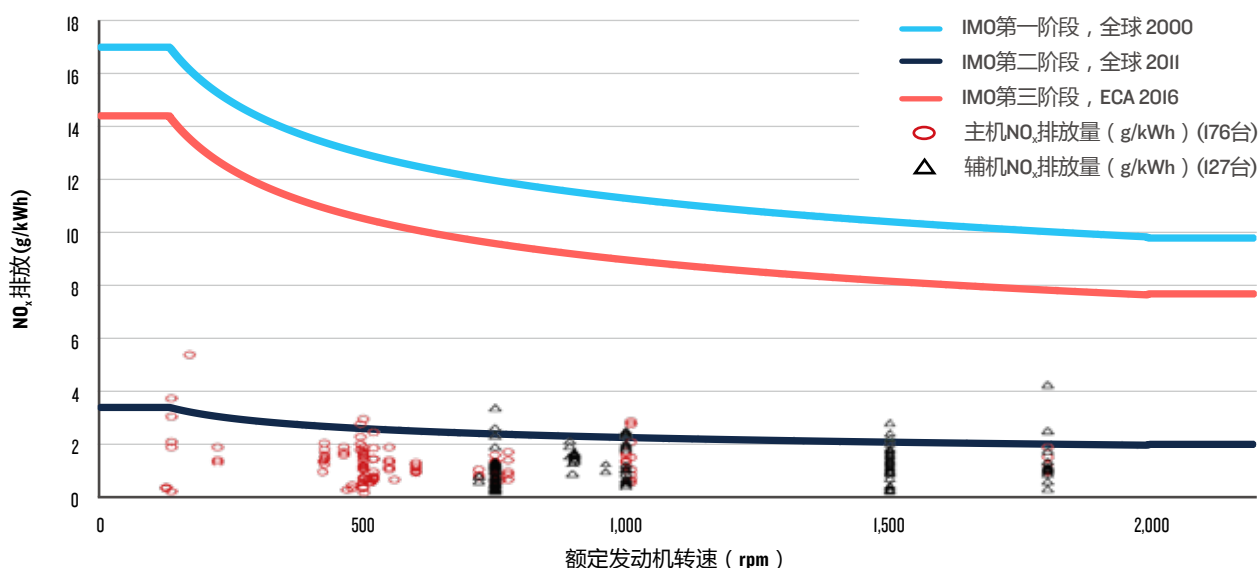
尽管为获得航道费折扣而改进NO_x性能的船舶总数很少(2007年至2016年有64艘)，但该制度在推动提早采用NO_x控制技术方面是成功的。SCR是首选技术，有76%的获得航道费折扣船舶选用该技术降低NO_x排放。每艘船所减少的NO_x排放量相当可观：2009年收集到的排放测试数据表明，大多数为获得航道费折扣而装备SCR的船舶，其排放表现甚至比IMO第三阶段NO_x标准还要好(图5)^{57, xxiii}。

3.5.1.3 鹿特丹港差异化的港口费

鹿特丹港是欧洲最大的港口，也是海运和内河船舶的物流中心。鹿特丹港已经采取了多种措施来解决船舶排放问题。内河船舶方面，港口实施五级港务费制度，以激励船东控制船舶排放(见表4)。港务局对于比CCR2标准更清洁的船舶提供各种折扣，而对于排放超过CCR2标准的船舶征收港口费附加费。2018年，港务局宣布内河船舶通过绿色环保奖零排放认证(船舶获得了绿色环保奖的白金证书)港口费可以享受100%的折扣^{59, xxiv}。在欧盟第五阶段排放标准取代了CCR标准后，鹿特丹港目前正在审查港口费用差异计划⁶⁰。

鹿特丹还向表现优于现行标准的远洋船舶(包括未在荷兰注册的沿海船舶)提供港口费折扣。折扣是根

图5：在瑞典环境差异化航道费制度下获得港口费折扣和配备SCR的船舶的氮氧化物排放量⁵⁸



ME代表主机，AUX代表辅机。红色的圆圈表示装有SCR系统并获得航道费折扣的船舶的主发动机的NO_x排放量，黑色的三角形表示这些船舶的辅机的NO_x排放量。

转载自 Selma Brynolf 等人, "Compliance Possibilities for the Future ECA Regulations Through the Use of Abatement Technologies or Change of Fuels," *Transportation Research Part D*, 28 (2014): 6-18, 版权 (2020), 经 Elsevier 允许使用。

^{xxii} 关根据最新的公开数据。值得注意的是，瑞典当局使用的测试工况与IMO的不同，后者涵盖了几个对SCR操作具有挑战性的低负荷点。参见尾注58给出的Brynolf等人2014年发表的文章。

^{xxiii} 内河船舶的绿色环保奖证书是通过评估船舶的空气排放而获得的。目前，绿色环保奖的白金证书颁发给每天连续工作三小时不排放废气的船舶。白金认证的无排放运行时间可以在以后认为合适的时候加强。更多信息可以在这里找到<https://www.greenaward.org>。

表 4：鹿特丹港基于环境绩效内河船舶港口费制度⁶¹

港口费附加费或折扣	内河船舶主机环保性能
10%附加费	不符合 CCR2 的 NO _x 和 PM 排放标准
无折扣	符合 CCR2 的 NO _x 和 PM 排放标准
15%折扣	获得有效的绿色环保奖证书，并符合 CCR2 的 NO _x 和 PM 标准
30%折扣	至少比 CCR2 PM 和 NO _x 标准清洁60%
100%折扣	获得了证明零排放操作的绿色环保奖的白金证书

据船舶在环境船舶指数（ESI）下的得分进行评估的，ESI是一个第三方评级计划，评估船舶的NO_x、SO_x和CO₂排放。如果一艘船的ESI分数高于30，则可以在港口费用的总吨位部分获得10%的折扣。如果一艘船的ESI评分的NO_x部分超过30，那么折扣将加倍，这可以通过使用LNG或SCR系统来实现⁶²。除ESI折扣外，鹿特丹提供15%的折扣给绿色环保奖证书认证的液化天然气船、化学品/天然气船和原油/成品油轮以奖励在改善船舶管理、环境和安全性能方面进行投资的公司⁶³。

3.5.2 推广低排放和零排放燃料和技术的综合措施

随着公众对气候变化的认识不断提高，欧洲和北美治理船舶造成的空气污染的努力，已逐渐转向以协同治理空气污染和应对气候变化。IMO成员国于2018年达成协议，到2050年将全球航运排放减少至少50%，这凸显了气候问题的紧迫性，同时也加大了航运业和主要航运国家的压力，要求它们加大努力实现航运脱碳。

利用现有技术提高船舶的能源效率，如改进动力和推进系统、提高船舶空气动力和水动力性能、优化速度和物流链等，可以显著减少温室气体排放。例如，

全球最大的集装箱航运公司马士基（Maersk）通过采取节能措施，将2008年至2018年每单位货物运输的二氧化碳排放量降低了60%⁶⁴。然而，随着航运活动的稳步增长，低碳和零碳燃料和推进技术的大量使用，对于实现IMO2050年的目标至关重要。考虑到船舶寿命一般在20到30年之间，低排放和零排放的燃料和技术将需要在2030年左右进入市场。

由于低排放和零排放燃料和推进技术的市场仍处在发展的初期阶段，大规模转向零排放推进技术将需要船东以及港口和燃料供应商的大量投资。在这个阶段，资金资助和基于市场的解决方案对于推进研究与开发（R&D）和刺激应用至关重要。挪威在这一方面一直走在世界的前列，通过上文讨论的NO_x税和NO_x基金以及其他筹资和政策手段支持可持续航运的发展。越来越多的国家正在效仿挪威的做法。

3.5.2.1 挪威推动低排放和零排放航运的基金和强制政策

十多年来，挪威实施了包括资助计划、排放税和费用以及公共采购政策在内的一系列政策措施，以鼓励开发船舶应用的低排放和零排放技术并促进这类技术的应用。挪威意识到，海运业的绿色转型不仅对应对气候变化和改善空气质量至关重要，而且还为该国

在绿色航运的整个价值链上建立专业知识体系提供了机会⁶⁵。

鼓励使用环保燃料一直是挪威绿色航运政策的核心内容，LNG、电力和先进的生物燃料被认为潜力最大。过去几年，随着政策焦点转向气候变化，电力推进和氢燃料电池受到越来越多的关注⁶⁶。挪威98%的电力生产来自可再生能源，因此采用这两种推进方式的船舶可以实现真正的零排放⁶⁷。

由于挪威十多年来一直致力于推动可持续航运，该国在船用LNG和电池电力推进系统方面处于世界领先地位。2019年6月，挪威加大了航运减排力度，发布了绿色航运行动计划，宣布到2030年将把国内航运和渔业的温室气体排放减少一半的目标⁶⁸。挪威为推动低排放和零排放船舶解决方案而推出的主要资助计划和公共采购政策如下：

■ 加快研发和试验低排放和零排放船舶的资助计划

为了促进技术发展和支持示范项目，挪威政府通过各种资助计划，向低碳和零碳航运项目提供了总计几千万挪威克朗的拨款，涵盖了燃料补给基础设施的建设。其中三个最重要的计划是：

- 挪威能源管理公司（Enova）：隶属挪威气候和环境部的国有独资公司，其使命是减少温室气体排放，加强能源安全，激发能源和气候技术创新，促进挪威向低碳社会的转型。

自2015年以来，Enova已经提供了超过16亿挪威克朗（约合人民币12亿元）的资金，用于支持不同类型的低排放和零排放船舶以及充电设施的建设⁶⁹。对于不适合全电动作业的船舶类别，如快速渡轮和沿海集装箱船，Enova与挪威创新署（Innovation Norway）和挪威研究委员会（Norwegian Research Council）正在共同管理一个PILOT-E资助计划，该计划为开

发电池和燃料电池解决方案提供资助⁷⁰。符合Enova支助资格的船舶必须在挪威注册，并在挪威领土或挪威经济区内进行很大部分业务⁷¹。

此外，Enova还为建设陆上基础设施提供资金，以实现低碳转型。自2015年以来，挪威政府已拨款5亿挪威克朗（约合人民币3.77亿元）用于开发挪威港口的岸电基础设施⁷²。2018年，霍达兰（Hordaland）、默勒-鲁姆斯达尔（Møre og Romsdal）和南特伦德拉格（Sør-Trøndelag）这三个位于挪威西部的郡的渡轮项目获得了4.8亿挪威克朗（约合人民币3.62亿元）的资金支持，用于建设渡轮充电基础设施，推动电池电动及插电式混合动力渡轮的发展⁷³。

- 挪威创新署（Innovation Norway）：挪威支持本国企业和产业通过创新发展竞争优势。创新署负责向与海运有关的项目提供拨款，以促进新海事技术的开发、商业化和示范，并使旧船舶退役。据估计，2017年航运产业获得了7300万挪威克朗（约合人民币5500万元）的资金。挪威创新署还通过一项创新合同计划提供资助，年约2500万挪威克朗（合人民币1900万元），该计划专为中小企业设计，旨在与试点客户密切合作，开发新的创新产品、服务和技术。除了提供拨款之外，挪威创新署还为绿色航运方面的创新项目提供创新贷款和低风险贷款⁷⁴。

挪威对创新的支持主要针对近海航运。接受资金或贷款的公司必须在挪威注册，相关船舶必须主要在挪威沿海水域作业⁷⁵。

- 挪威环境署气候倡议（Klimasats）：为了支持那些希望采购气候友好型高速船舶的郡政府，通过Klimasats倡议建立了一个临时资助计划^{xxv}，向郡政府提供资金，用于减少温室气体排放，促进向低排放社会的过渡。2018年和2019年

^{xxv} Klimasats是挪威政府于2016年建立的一项财政计划，旨在支持在直辖市和郡一级减少温室气体排放的项目。

Klimasats倡议分别投入了2500万挪威克朗(约合人民币1900万元)和7700万挪威克朗(约合人民币5800万元)的资金补贴气候友好型高速船舶的采购⁷⁶。

■ 挪威对低排放和零排放技术的绿色采购要求

为了刺激对海运低排放和零排放解决方案的需求，2017年挪威议会决定，在技术允许的情况下，低排放或零排放技术应该成为国家渡轮服务公开招标的要求之一。虽然这一要求对采购渡轮服务的郡政府不是强制性的，但鼓励他们遵循这一要求⁷⁷。上述各项资金支持计划和氮氧化物基金使国家和地方政府能够在招标时列入更严格的环境要求。因此，挪威在渡轮上迅速采用了电池技术。截至2019年，挪威有33条渡轮航线部分或全部使用电力，预计到2021年，挪威峡湾将有63艘电池驱动的渡轮投入运行⁷⁸。

3.5.2.2 欧洲其他国家向零排放航运过渡的努力

■ 荷兰

2019年6月，荷兰各界达成了一项航运绿色协议，协议旨在促进内陆和海上航运到2050年达到零排放和气候中性的目标。这份绿色协议由政府、港务局、航运和物流业、托运人、银行和研究机构签署，为内陆和海上航运制定了雄心勃勃的二氧化碳排放目标。内河航运的二氧化碳排放目标是到2030年至少减少40%，到2050年减少到零，而海运的二氧化碳排放到2050年将减少70%。

绿色协议还包括几十项控制航运造成的空气和气候污染措施。其中一项措施是为内河船舶推出可持续性标签，使船舶有资格获得港务费折扣，或获得资金支持或银行贷款优惠。为了控制氮氧化物污染，荷兰政府拨款



© Photo by Freda Fung

7900万欧元(约合人民币5.98亿元),用于在2020年至2029年期间改造使用SCR系统的内河船舶。此外,基础设施和水管理部将为内河运输业拨款1500万欧元(约合人民币1.14亿元)用以鼓励创新,如购买清洁发动机。500万欧元(约合3800万元)已被指定用于研究新技术,使海运可持续发展。航运绿色协议签署人承诺在2030年前将有至少一艘零排放远洋船舶投入商业运行,和有至少150艘内河船应用零排放动力系统⁷⁹。

荷兰的港口城市在推进低排放/零排放航运转型方面也发挥了领导作用。例如,鹿特丹港推出了一系列倡议,以促进内陆、沿海和远洋航运的低/零排放解决方案的开发和应用,包括:

- 支持气候友好型航运的奖励计划:港口将在2019年至2022年期间提供500万欧元(约合人民币3800万元)的资金,用于支持开发适用于远洋船舶的低排放替代燃料并进行示范应用的项目。港口资金最多可支付项目成本的40%。符合支持条件的燃料必须是生物燃料或合成燃料,或涉及电力或燃料电池的使用。与传统燃料相比,这种燃料还须减少50%以上的碳排放,并可在鹿特丹港加注⁸⁰。
- 位于卡兰卡纳尔采用风力发电的20MW岸电项目:2019年,赫雷拉海运承包商(HMC)、埃尼科公司(Eneco)、市政府和鹿特丹港合作开发了岸电系统,为HMC在卡兰运河附近的起重船提供电力。这将是全球连接离岸船舶最大的岸电系统,其电力将来自邻近的兰通罗森堡风电场。预计减少的总排放量将相当于5000辆柴油汽车的年排放量,大幅降低当地的污染排放和噪音⁸¹。
- 适用于沿海船舶的移动式岸电系统:2019年12月,鹿特丹港和市政府在鹿特丹市中心附近的

Parkkade启动了一个试点项目,测试适用于沿海船舶的不同类型的移动岸电系统的技术和商业可行性。这项试验耗资50万欧元(约合人民币380万元),将测试五种不同动力来源的移动式岸电系统:

- i 集成生物燃料发电机的电池
- ii 集成蓝色柴油发电机和太阳能电池板的电池^{xxx}
- iii LNG动力燃气发动机
- iv 生物质液化天然气动力的涡轮机
- v 集成一个储能小电池的氢燃料电池组

每一个移动系统都将接受两到四周的测试,测量排放和噪音水平,并与船上的发电机进行比较。参与的船舶可获得免费电力。港口已经预留150万欧元(约合人民币1140万元),在这次试点之后启动第二轮试点,重点测试以不同模式为大型远洋船舶提供岸电⁸²。

- 世界港口气候行动计划:2018年9月,鹿特丹港等11个世界主要港口携手发起世界港口气候行动计划,这个行动计划的目的是^{xxvii}:
 - i 使用数字工具提高供应链效率;
 - ii 推进共同且有雄心的(公共)政策措施,在更大地理范围内减少船舶排放;
 - iii 加快开发港口内使用可再生能源供应岸电方案以及其他零排放方案,控制码头排放;
 - iv 加快开发商业上可行的可持续低碳海洋运输燃料以及支持船舶推进系统电气化的基础设施;
 - v 加快港口货物处理设施全面脱碳。

^{xxx} 蓝色柴油是指由餐厨废油等废弃物提炼的再生柴油。

^{xxvii} 其他参与的港口包括阿姆斯特丹、安特卫普、巴塞罗那、哥德堡、汉堡、勒阿弗尔、长滩、洛杉矶、纽约和新泽西以及温哥华。

目前正在为上述每一项任务制定行动计划，制定五年(2019-2023年)的行动和重要事件时间表⁸³。

早在荷兰绿色协议被采纳之前，阿姆斯特丹就推出了促进零排放航运的措施。2013年，阿姆斯特丹市政府规定，到2025年，所有运河游船必须实现零排放。阿姆斯特丹的运河游船公司已经逐步将游船动力由柴油改为电动⁸⁴。运河沿岸也安装了快速充电器⁸⁵。2019年，该市将2025年的零排放要求扩展到所有运河船舶⁸⁶。截至2020年，运河上550艘商船中已有四分之三达到了零排放标准⁸⁷。

■ 英国

2019年7月，英国宣布了清洁航运计划，旨在积极推动英国水域船舶向零排放过渡，并力争在2050年成为该领域的世界领导者⁸⁸。英国政府意识到向零排放航运过渡可以解决空气污染和温室气体问题，同时为英国清洁海运的发展创造机会。

为此，该计划提出了以下关键政策承诺：

- 探索使用非税收优惠和现有的可再生运输燃料公约，以鼓励使用低碳燃料
- 启动绿色融资计划，支持零排放航运转型
- 启动相关研究，以确定和支持英国各地潜在的零排放航运集群，作为零排放燃料的需求和供



© Photo by Freda Fung

应中心，并在这些集群所在地建设燃料生产、供应和存储基础设施

- 提供种子基金和政府拨款支持，并设立奖励计划，在未来数年促进绿色海运的创新;其中包括130万英镑(约合人民币1180万元)用于支持清洁航运创新

该计划的短期目标是，到2025年，所有在英国水域的新船都要采用零排放技术。到2035年，将建立几个清洁海运集群，并且在英国全境都能购买到低排放或零排放的船用燃料。

2019年7月，英国宣布了清洁航运计划，旨在积极推动英国水域船舶向零排放过渡，并力争在2050年成为该领域的世界领导者。英国政府意识到向零排放航运过渡可以解决空气污染和温室气体问题，同时为英国清洁海运的发展创造机会。

国际成功经验 值得借鉴

十多年来,欧洲国家和美国加州实施了一系列法规和激励措施,以治理国内航运造成的空气污染。这些政策措施不仅推动了低硫燃料的广泛应用,还促进了海运业排放控制技术的发展和商业化,SCR系统、LNG和电力推进等技术可以大大减少船舶的NO_x排放。这些国家和地区的成功经验可供中国借鉴。

表 5：推进低排放/零排放航运的政策措施综述

	挪威	荷兰	美国加州	英国
新船要求	服务国家航线的新渡轮采用低/零排放推进系统	内河船舶符合欧盟第五阶段排放标准	港作船舶符合美国第四阶段排放标准	• 欧盟第五阶段排放标准 • 到2025年，所有新船都实现零排放
在役船舶要求	• NO_x税/基金 • 到2026年，世界遗产峡湾的船舶将实现零排放 • 到2030年，所有峡湾和挪威水域的船只都将达到低排放/零排放	国家 • 内河航运 CO₂排放到2030年至少减少40%，到2050年减少到零 • 海运的CO₂排放到2050年将减少70% 鹿特丹 • 到2025年，所有船只均符合CCR2标准 • 内陆驳船必须使用岸电 阿姆斯特丹 • 到2025年，所有运河船都实现零排放	• 港口船舶升级到符合美国第二阶段或第三阶段标准 • 远洋船舶80%的挂靠必须使用岸电	
资助和奖励	• 支持NO_x减排解决方案的NO_x基金 • 提供基金建造低/零排放船舶及配套燃料补给和岸电基础设施的挪威海洋管理公司、挪威创新署以及挪威环境署气候倡议（Klimasats）	国家 • 资助购买清洁发动机和进行可持续海运技术研究的荷兰绿色协议 鹿特丹 • 港口费由排放水平决定 • 为开发远洋船舶低排放替代燃料并示范应用提供基金 • 为沿海和远洋船舶试验低/零排放岸电系统提供基金	支持应用超出标准要求要求的低NO _x /碳技术的卡尔·梅奥和其他奖励计划	为支持绿色海运创新提供资金

4.1 需要实施强制性计划并辅以激励政策，以促进商业上可用的NO_x减排技术的应用和零排放解决方案的开发

现有的技术可以成功地减少船舶的NO_x排放。低/零排放船舶技术也在迅速发展，特别是用于渡轮和沿海船舶的技术。越来越严格的监管，再加上激励计划，正在推动这些技术得到更广泛的应用。强制性计划提供了监管确定性，如挪威氮氧化物税、欧盟和美国的船用发动机标准，或加州和鹿特丹对在役船舶排放的要求，刺激了低/零排放船舶技术的发展和逐步应用。激励计划是这些强制性方法的必要补充，因为开发和应用这些技术面临着高昂的前期资本成本和/或缺乏燃料补给基础设施的巨大障碍。然而，最终需要法规来推动相关技术的大规模应用。

4.2 治理在役船舶排放至关重要

由于船舶的使用寿命较长，针对在役船队的项目对于实现整个船队的显著减排至关重要。对新船实施越来越严格的排放要求，正被加州和欧洲国家用作面向在役

船队激励计划的基准。通过替换在役船舶的发动机或淘汰更新在役船舶，可以促进低排放和零排放技术的应用。加州、鹿特丹和挪威制定的在役船舶排放要求的提前期很长，这让船东可以选择最佳的时间更换或改造他们的船舶，进一步强化了政策的执行。

4.3 主要海运国家并行采取相应的措施治理船舶造成的空气和气候污染

尽管解决航运产生的NO_x污染仍是主要海运国家的首要任务，但越来越多的国家正在启动加速实施零排放航运的计划。挪威、英国和荷兰等率先推广低排放和零排放技术的国家，均认为这是一个能同时实现治理空气污染、应对气候危机和刺激绿色增长三大目标的机会。尽管低排放和零排放船舶技术的发展仍处于初级阶段，但由于主要海运国家的资金和法规支持，低排放和零排放船舶的数量正在不断增加。一些最新的船舶已装备大容量电池，以满足长途航行(一次充电可达80公里)需要。附录 IV列出了一些已在运行的全电动和插电式混合动力船舶。

对中国的建议

目前，中国正在制定“十四五”规划的过程中，空气质量，特别是细颗粒物和臭氧污染，仍然是居民最关心的问题，在“蓝天保卫计划”的重点地区尤其如此。由于这些空气污染防治重点区域覆盖了沿海许多省市和主要内河航道，加强对航运排放的控制应是“十四五”规划中清洁空气政策的关键部分。



© Photo by pond spider on Flickr

国务院2018年发布的“蓝天保卫计划”和相应的地方计划，规定了一些针对航运的措施。这些措施包括促进“新能源”(如LNG或电力)用于船舶，鼓励内河船舶的改造，以及建设岸电供电设施。政府还要求限制长江等主要内河流域的高排放船舶的运营，并鼓励服役20年以上的内河船舶退役。虽然促进低排放的替代技术和加快船队现代化的政策方向是明确的，但除了DECA法规和新建船舶发动机的排放标准之外，上述措施大多是自愿性的。这些措施未必有足够的监管确定性促使船东对于能够大幅度减少航运氮氧化物污染的技术进行长期投资。

借鉴欧洲和美国的成功经验，我们提出以下几点建议，供决策者制订“十四五”规划时参考。

就近期而言，我们建议清洁航运政策应侧重于推动新船和在役船舶采用商业上可获得的减少氮氧化物排

放技术，以进一步实现改善环境空气质量的目標。另一个需要考虑的因素是气候变化对中国农业、生态系统、水资源和人类健康的不利影响。最新研究表明，更严重的极端气候，如不断增加的热浪和更长的空气静稳期，可能导致中国空气质量恶化⁸⁹。鉴于这些不利影响，我们建议制定长期的清洁航运战略，重点是促进协同控制航运的空气污染和对气候的影响。

■ 进一步严格发动机标准，以推动清洁发动机的商业可用性

为控制国内船用发动机的排放，中国已经出台了第一阶段和第二阶段排放标准，但这些标准还不够严格，不足以显著降低氮氧化物排放。中国可收紧标准，达到与美国第四阶段和欧盟第五阶段标准相当的水平。这样做可推动国内船队采用商业上可获得的氮氧化物控制技术。由于排放标准本身是技术中立的，

船东可以根据船舶运行状况和配套基础设施的可达性在符合排放标准的技术中进行选择。

业界可能存在的担心在于，即使采用了严格的标准，中国航运业推广SCR或LNG推进装置的过程可能也会和欧洲一样缓慢。然而，欧洲内河船舶引进符合欧盟第五阶段标准的船用发动机之所以进展缓慢，很大程度上是因为欧洲国内船用发动机市场规模较小。由于船用发动机的独特设计，开发和认证新发动机的成本很高，这进一步提高了符合欧盟第五阶段标准的发动机的成本。因此，欧盟的发动机制造商推迟了推出符合欧盟第五阶段标准的产品⁹⁰。

相比欧盟市场，中国内河船舶市场要更加广阔。截至2018年，中国运营船舶12.43万艘，是仅有1.8万艘的欧洲内河船舶数量的七倍。此外，中国还有超过10,379艘沿海船舶受国家排放标准管制⁹¹。基于中国广阔的市场规模，只要采取更严格的监管措施以保障市场的确定性，投资于氮氧化物排控技术研发的前景是可期的。中国已在电动汽车、太阳能和风能等其他清洁能源技术市场方面取得了成功，因此可采用类似的方法，从而大幅降低船舶减排技术的成本。

■ 推行最严格的排放标准以净化在役老旧船舶，并启动试点项目论证高排放船舶改造和升级的可行性

交通运输部推出了加速老旧船舶退役的激励计划，使内河船舶的平均使用寿命从30年左右缩短到15年。然而，71%的在役内河船舶排放仍处于国家排放法规实施前的水平，达不到IMO第一阶段水平⁹²。我们建议，除了新船之外，所有内河及沿海船舶也应实施在役船舶排放规定，即执行最严格的排放标准，并给予船东

和发动机/后处理系统制造商充足的时间，以便为应对新规定做好准备。

与此同时，可以开展试点项目，评估和论证采用先进的氮氧化物控制解决方案，对高排放内河船舶进行改造或升级的可行性和效益。发动机改造和升级项目可以鼓励更多的船舶采用净化装置，特别是那些仍然适合营运且船东不愿淘汰的船舶。欧盟清洁内陆航运(CLINSH)项目为在役船舶的改造或升级提供资金和技术支持，并开展船上和远程测量项目以监测减排效益，为此类试点项目提供了一个很好的范例^{xxxvii}。

■ 强制要求所有内河船舶靠港零排放

2018年底交通运输部修订了DECA法规，要求2019年1月1日或之后所有新建内河船舶必须具备岸电受电能力，并从2019年7月开始在靠泊具有岸电供电能力泊位时连接岸电。不符合中国第二阶段排放标准的内河船舶，必须在2022年1月1日前对其进行岸电改造，并在可行的情况下使用岸电⁹³。虽然这两项要求可以涵盖大多数内河船舶，但我们建议将靠泊船舶使用岸电的要求，扩大到所有停泊在港口和在停泊区等待通过大坝的内河船舶^{xxxix}。鉴于长江和珠江等主要内河沿岸城市的人口密度较高，全面实施靠港船舶使用岸电要求，可进一步减少空气污染和噪音滋扰，同时亦可简化执法工作。

目前，三峡大坝及其附近的主要码头、锚泊区以及长江、珠江、京杭大运河沿岸港口正在建设岸电基础设施⁹⁴。长江及其主要支流的所有港口计划到2035年具备发电供应能力⁹⁵。随着岸电基础设施建设，主要内陆港口已具备支持全面实施岸电的要求。

^{xxxvii} CLINSH是欧盟资助的一个项目，旨在通过清洁燃料和排放控制技术的示范应用和排放效益评估，促进清洁内河运输发展及岸电使用。该项目招募了42艘在役内河船舶。这些船舶中有一半已经安装了排放控制系统（如SCR/DPF系统或适用于船舶的符合欧盟第六阶段标准的重型车发动机），或使用更清洁燃料（电力推进、气液燃料、生物柴油和LNG）的推进系统。三分之一的船舶已进行改造安装了先进的排放控制系统或清洁燃料/推进系统。其余的船舶采用传统发动机，使用柴油、气液燃料或可再生柴油燃料。所有招募船舶均已安装船上排放监测设备。更加详细的信息参见CLINSH网站 (www.clinsh.eu)。

^{xxxix} 有报道称，由于船闸容量有限，在中国通过诸如三峡大坝之类船闸的船舶，因为船闸能力制约，通常要等上几个小时甚至几天，从而造成空气和噪音污染。（参见实例 <https://s0.news.gdwx.com.cn/a.html?aid=6220560191274877952&gid=4616194016101269504>）。

中国可以通过设定国内航运零排放目标，并制定长期战略，协调行动，促进零排放航运发展，推动低排放和零排放解决方案的研发及其在庞大的国内船队上的应用。

■ 设定国内航运长期零排放目标并制定长远战略，致力于成为零排放航运的引领者

从长远看，零排放技术将是改善当地空气质量和应对气候危机的最佳解决方案。中国已经启动了几个低排放和零排放船舶技术的试点项目⁹⁶。两艘全电力船已经在中国投入使用（附录 IV），分别为一艘散货船和一艘内河游轮。这些试点项目对论证技术可行性和确定可能的技术问题至关重要。然而，欧洲和美国的经验表明，零排放技术的广泛应用面临着巨大的挑战，其中最显著的是这类技术较高的投资成本以及需要建立燃料补给基础设施网络。

为应对这些挑战，中国可以考虑对某些类别的船舶实行零排放目标，并为其提供资助，使其能够采用低排放解决方案。零排放要求与资金支持协同提供了监管确定性，并降低了零排放船舶推进系统和相关加油/充电基础设施开发投资的财务风险。在人口密集地区附近运营并为固定航线服务的船舶，如在内陆港口城市的渡船和内河邮轮，是实施零排放要求的主要目标，因为它们的健康效益较高，而且燃料/充电基础设施建设相对容易。这些船舶可以作为零排放技术的试验台。

中国还可以考虑为国内航运制定一个长期的零排放目标，以刺激其他船舶领域的创新，并制定一个长期战略来支持实现这一目标。作为第一步，我们建议展开一项有关不同类别国产船舶特点的研究。通过研

究它们的运作地点、船队的年龄以及其对碳排放的贡献，确定最适合每种船舶类别的无排放燃料和技术选择，并提出促进技术应用的政策工具。研究还应该探索将这些零排放船舶与中国的总体零排放能源发展战略相结合的方法，以确保它们真正的低/零排放。

中国还应考虑制定推进零排放航运的长远战略，覆盖从航运公司、造船厂到燃料/能源供应商和港口的整个价值链。这一战略的目标应该是引导整个价值链上的相关各方的行动，使航运实现零排放。为确保相关各方在行动上能很好地协调，交通运输部门可与行业发展监督部门、环境保护部门、港口城市和省级政府相关部门以及业界紧密合作，制订策略。

一些欧洲国家预期当地和国际市场对航运业低排放和零排放解决方案的需求将会有相当大的增长。因此，这些政府为发展零排放的渡船和游轮以及零排放的能源提供了大量资助，以期未来将这些技术应用于远洋运输⁹⁷。中国可以通过设定国内航运零排放目标，并制定长期战略，协调行动，促进零排放航运发展，推动低排放和零排放解决方案的研发及其在庞大的国内船队上的应用。由于中国是世界上最大的造船国，并拥有世界上最大的港口，这一战略还可以提高其航运业和造船业的竞争力，并使中国成为未来碳排放受限环境中全球海运的引领者。

■ 提供资金资助和以排放为基础的激励措施，支持航运业采用氮氧化物排放控制和低/零排放船舶解决方案和发展陆地燃料基础设施

考虑到采用先进氮氧化物控制系统和低/零排放解决方案的初期成本较高，建议政府设置专项资金补贴船舶和陆地配套基础设施的初始资本投资，如考虑设立船舶大气污染防治专项基金。除此之外，还可以采取其他补充性政策，如差异化的港口费或税率，以加速升级或更换现有船舶，如中国现行的免除“新能源船舶”（如LNG动力船）的车船税；政策制定者可以考虑根据每艘船的排放表现来调整税率。

未来工作

受本报告的范围所限，没有对建议的政策进行定量评估(如减少每吨排放的成本)。定量评估将有助于比较船舶排放控制政策与针对其他排放源措施的成本效益，并可作为支持将相关政策建议纳入“十四五”规划的依据。



© Photo by Markus Winkler on Unsplash

在制定促进零排放航运长期战略过程中, 为了选择能够为零排放运输提供最佳机会的燃料, 了解各种低/零排放燃料和推进技术的生命周期空气排放和气候影响以及这些燃料在中国的潜在来源是至关重要的。例如, LNG燃料长期以来被认为是一个桥梁, 可以大幅降低 SO_x 和PM排放而且碳和氮氧化物排放也较低, 但最近的研究认为, 液化天然气与柴油燃料相比较, 如果考虑天然

气在提取、加工、运输过程中的甲烷泄漏和在燃烧过程中的甲烷逃逸, 其生命周期气候效益存疑⁹⁸。对于其他燃料选择, 如甲烷、氨、电和氢, 其生命周期的排放取决于这些燃料的生产方式。结合中国具体情况, 特别是可再生能源生产情况, 对各种低/零排放燃料由油井到储罐的排放进行评估, 分析中国低/零排放燃料的供需关系问题, 可以为制定国家的长远战略奠定基础。

结束语

自DECA法规要求船舶在泊位和近岸使用低硫燃料以来，中国主要港口地区的空气质量有了显著改善。但仅靠燃料标准对减少航运产生的氮氧化物排放的作用甚微，而氮氧化物是形成二次颗粒物和地面臭氧的关键因素。此外，现有的政策也不足以刺激采用先进的排放控制技术，从而进一步减少船舶的排放。



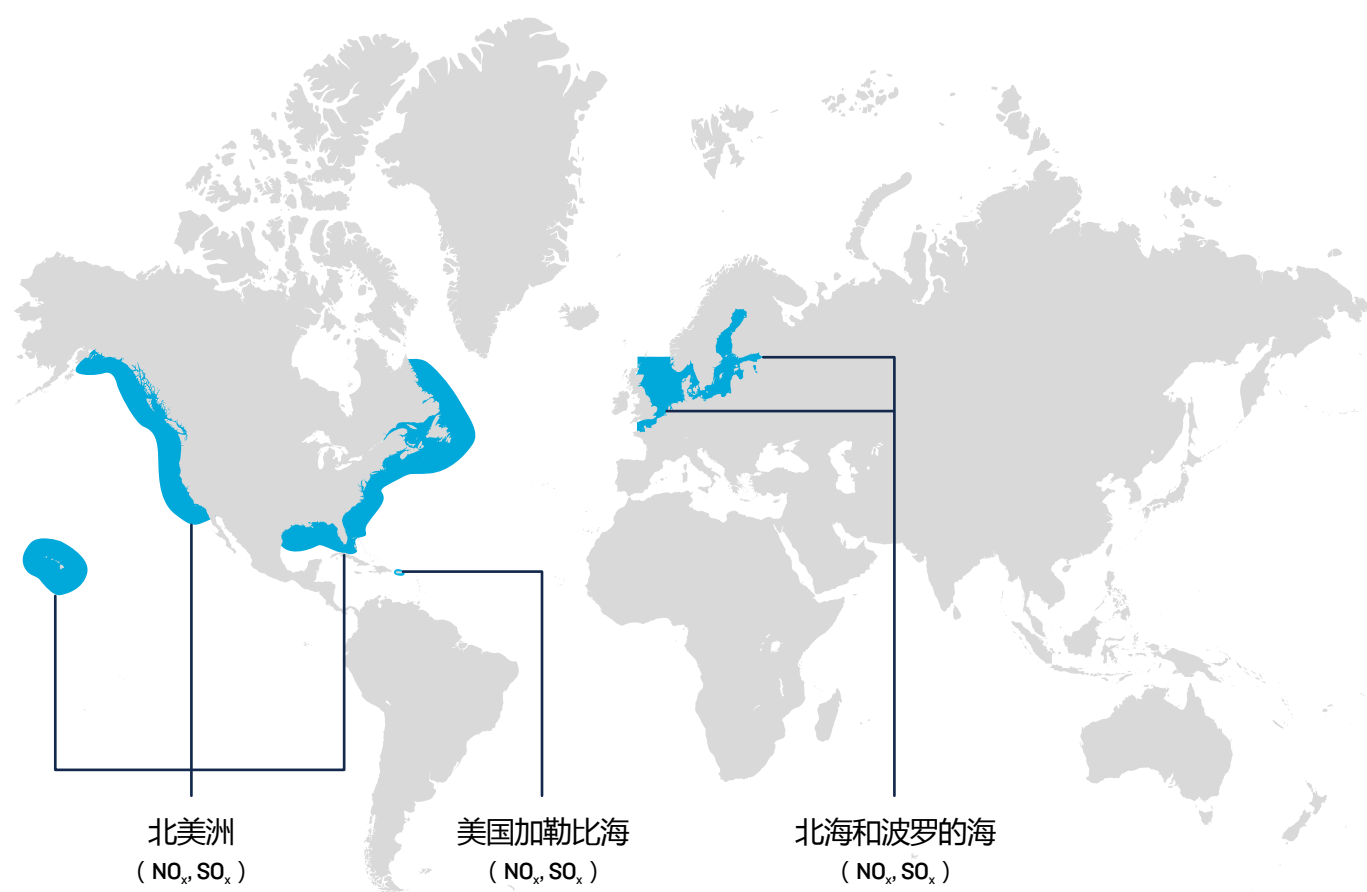
© Photo by pondsider on Flickr

基于欧美国家的施政经验，中国可以从对国内船舶实施更严格的控制开始，进一步收紧新船的排放要求，对旧船实施排放限制，同时提供激励和资金支持，以促进低排放技术的采用。

考虑到应对气候变化的紧迫性，以及气候变化将加剧空气污染的事实，中国可以从进一步向零排放航运过渡中获益：这将帮助中国达到改善空气质量和应对气候变化的目标。与此同时，在全球航运业致力于实现IMO目标即在2050年之前将航运业温室气体排放减少至少一半的过程中，向零排放航运过渡还将帮助中国保持在全球造船行业的领先地位。

附录 I

国际海事组织指定的排放控制区 (ECA)



附录 II

欧盟、美国和中国现行和将采用的船用燃料硫含量标准⁹⁹

地区	船用燃料硫要求及实施日期		
	挪威	荷兰	美国加州
欧盟	10ppm (2011年1月)	1000ppm (0.1%硫含量) ECA内及靠泊欧盟港口期间 (2015年1月) 5000ppm (欧盟水域客船: 2020年1月)	1000ppm ECA内及靠泊欧盟港口期间 (2015年1月) 5000ppm ECA外 (2020年1月)
美国	15ppm (加州: 2009年1月; 美国其他州: 2012年1月)	15ppm 对第1类和第2类发动机 (加州: 2009年1月; 美国其他州: 2012年1月) 1000ppm 对ECA内航行船舶的 第3类发动机 (加州: 2014年1月; 美国其他州: 2015年1月)	1000ppm ECA内 (加州: 2014年1月; 美国其他州: 2015年1月) 5000ppm ECA外 (2020年1月)
中国 ^{xxx}	10ppm (内河船: 2018年1月) (江海直达船舶: 2019年1月)	1000ppm (海南水域: 2022年1月) 5000ppm (沿海DECA: 2019年1月)	1000ppm (内河DECA: 2020年1月; 海南水域: 2022年1月) 5000ppm (沿海DECA: 2019年1月 DECA外水域: 2020年1月)

ECA表示排放控制区；DECA表示中国基于国内法设立的排放控制区；沿海DECA覆盖中国领海；内河DECA覆盖长江干线的通航水域和西江干线。

^{xxx} 在中国香港，自2014年4月1日起，国内贸易中船舶燃料的含硫量被限制在不超过500ppm。自2019年1月1日起，在香港水域内作业的远洋船舶已受到与中国DECA相同的硫含量要求(500ppm)的限制（《空气污染管制（船用轻型柴油）规例》第311.543章；《空气污染管制（船只燃料）规例》第311AB章。

附录 III

船舶黑烟的控制

部分地区已限制船舶排放黑烟，以间接控制微粒排放。下表总结了美国、欧洲和亚洲各地区对黑烟的要求。黑烟是不完全燃烧的产物，是供气不足或燃油喷射不正确导致的结果。造成黑烟排放的常见原因包括对空

气过滤器、喷油器、空气诱导系统的维护不当，或对喷油泵或系统的设置不正确¹⁰⁰。黑烟限制实施起来很简单，可鼓励改善维修工作，但并不能鼓励在役船舶提高大气排放控制性能。

部分区域控制船舶排放黑烟的要求¹⁰¹

地区/国家	合规要求	评价方法	主管机关	罚款
美国 阿拉斯加州	在距海岸线3英里范围内排放的不透明度 $\leq 20\%$ ¹⁰⁰	目视检测， 美国环保署方法 9	训练有素的工作人员和签约的阿拉斯加环境保护部门的黑烟透明度认读人员	每次违规37500美元 (约合人民币263000元)
英国	不比阴影2更暗	目视检测， 林古门烟污鉴别图	地方当局	最多5000英镑 (约合人民币45200元)
新加坡	MPA认为烟尘排放过多	不详	新加坡海事和港口管理局	最多5000新元 (约合人民币25100元)
中国香港	不比阴影2更暗 ($\leq 40\%$ 不透明度) 持续3分钟	目视检测， 林古门烟污鉴别图	香港海事处，也接受来自公众的报告	非本地船：25000/50000港币 (约合人民币22600/45100元) 本地船： 10000/25000港币 (约合人民币9020/22600元)
中国秦皇岛	不比阴影2更暗 ($\leq 40\%$ 不透明度) 持续3分钟	目视检测， 林古门烟污鉴别图	秦皇岛海事局	非渔船：人民币3000-30000元 渔船：人民币 3000-10000元

MPA表示新加坡海事和港口管理局。

¹⁰⁰ 船舶在港口操纵和停泊时除外。更多信息可在尾注101，阿拉斯加环境保护部门 (Alaska Department of Environmental Conservation, "Cruise Ship Air" 中找到)。

附录 IV

部分正在运行中的电池-电力和插电式混合动力船

船舶名称	船舶类型	运行地点	船载电池容量 (KWH)	船舶能力	航线长度 (公里)	投入使用
电池电力						
Ampere	车客渡轮	挪威	1,000	360客位, 120车位	5.7	2015
Future of the Fjords	游艇	挪威	1,800	400客位	6.5	2018
Prinses Irene (和其他5艘船) ^R	内河游轮	荷兰阿姆斯特丹	不详	30客位	一次充电2天	2018
Ellen E-Ferry	车客渡轮	丹麦	4,300	198/147客位 (夏季/冬季), 31 车位或5卡车位	40.7	2019
河豚	散货船	中国珠江	2,400	2,000吨 (载重吨)	NA* (一次充电 80km)	2019
Gee's Bend Ferry ^R	车客渡轮	美国阿拉巴马州	270	132客位, 18车位	2.8	2019
君旅号	内河游轮	中国武汉	2,280	300客位	120	2020
插电式混合动力						
Viking Energy ^R	离岸服务船	挪威	653	6,013吨 (载重吨)	NA*	2015
Vision of the Fjords	游轮	挪威	576	400客位	32	2016
Elektra	车客渡轮	芬兰	1,060	375客位, 90车位	1.6	2017
Tycho Brahe ^R	车客渡轮	丹麦	4,160	1,200客位, 240车位	4	2018
Aurora ^R	车客渡轮	丹麦	4,160	1,200客位, 240车位	4	2018
Enhydra	渡轮 (峡湾游)	美国旧金山	160	600客位	一次充电 1小时	2018
Hadaroy	车客渡轮	挪威	2,900	400客位, 120车位	7.7	2019
Roald Amundsen	游轮/探险船	极地	1,750	530客位	NA*	2019
Ov Ryvingen	采油与修理船	挪威	3,000	460吨 (载重吨)	NA*	2019
Skopphorn	车客渡轮	挪威	1,808	399客位, 120车位	3.7	2020
Rovdehorn	车客渡轮	挪威	1,808	399客位, 120车位	3.7	2020

作者根据行业新闻报道收集的数据。NA表示不适用。R表示改造的船舶。

*航线长度不适用，因为这些船舶不服务于固定航线。

缩略语列表

CA	California	加利福尼亚州
CARB	California Air Resources Board	加利福尼亚州空气资源委员会
CCNR	Central Commission for the Navigation of the Rhine	莱茵河航行中央委员会
CHC	Commercial Harbor Craft	商用港作船舶
CSI	Clean Shipping Index	清洁航运指数
DECA	Domestic Emission Control Area	国内排放控制区（基于国内法的排放控制区）
DPF	Diesel Particulate Filter	柴油机微粒过滤器
ECA	Emission Control Area	排放控制区
EGR	Exhaust gas recirculation	废气再循环系统
ESI	Environmental Ship Index	环保船舶指数
EU	European Union	欧盟
GHG	Greenhouse gas	温室气体
HC	Hydrocarbon	碳氢化合物
HKEPD	Hong Kong SAR Environmental Protection Department	中国香港特别行政区环境保护署
IMO	International Maritime Organization	国际海事组织
LNG	liquefied natural gas	液化天然气
MEE	Ministry of Ecology and Environment of China	中国生态环境部
MOT	Ministry of Transport of China	中国交通运输部
MSA	Maritime Safety Administration	海事局
NH ₃	Ammonia	氨
NOK	Norwegian krone	挪威克朗
NO _x	Nitrogen oxides	氮氧化物
OGV	Oceangoing vessel	远洋船舶
PM	Particulate matter	颗粒物
PM _{2.5}	Fine particles	细颗粒物
ppm	Parts per million	百万分率
Ropex	Passenger and car vessels	旅客及汽车运输船
SCR	Selective catalytic reduction	选择性催化还原
SO ₂	Sulfur dioxide	二氧化硫
SO _x	Sulfur oxides	硫氧化物
UK	United Kingdom	英国
U.S.	United States	美国

尾注

1. Tatsuo Takaishi et al., "Approach to High Efficiency Diesel and Gas Engines", *Mitsubishi Heavy Industries Technical Review* 45, No.1 (2008).
2. Mingliang Fu et al., "National- to Port-Level Inventories of Shipping Emissions in China," *Environmental Research Letters* 12, No.11 (2017), <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa897a>.
3. 交通运输部, 公路水路交通运输行业发展统计公报, 2003-2012, http://www.mot.gov.cn/fenxigongbao/hangyegongbao/201510/t20151013_1894759.html. 交通运输部, 交通运输行业发展统计公报, 2013-2018, http://zizhan.mot.gov.cn/zfxgk/bnssj/zhghs/201803/t20180329_3005087.html.
4. 国务院办公厅. 国务院办公厅关于印发推进运输结构调整三年行动计划 (2018-2020年) 的通知, 2018年9月17日, http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-10/09/content_5328817.htm (2019年6月20日访问).
5. Yang Zhang et al., *Impacts of Shipping on Air Pollutant Emissions, Air Quality, and Health in the Yangtze River Delta and Shanghai, China*, Special Report 22, Boston, MA: Health Effects Institute, 2019, <https://www.healtheffects.org/publication/impacts-shipping-air-pollutant-emissions-air-quality-and-health-yangtze-river-delta>. Chen Chen et al., "Ship Emission Impacts on Air Quality and Human Health in the Pearl River Delta (PRD) Region, China, in 2015, with Projections to 2030," *GeoHealth* 3, Issue 9 (July 2019), <https://doi.org/10.1029/2019GH000183>.
6. Zhaofeng Lv et al., "Impacts of Shipping Emissions on PM2.5 Pollution in China," *Atmospheric Chemistry and Physics* 18 (2018): 15811-15824, <https://doi.org/10.5194/acp-18-15811-2018>.
7. Huan Liu et al., "Health and Climate Impacts of Ocean-Going Vessels in East Asia," *Nature Climate Change* 6 (2016): 1037-1041, <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE3083>.
8. Zhang et al., *Impacts on Shipping*, 尾注5. Chen et al., "Ship Emission Impacts," 尾注 5.
9. 贾大山, 纪永波, 焦芳芳. "大力推进船舶标准化 促进内河船舶高质量发展," *中国水运*, 2019年第7期, <https://new.qq.com/rain/a/20190816A05B68> (2020年1月29日访问).
10. Zihang Peng et al., "Emissions from Several Ships Tested by Portable Emission Measurement System," *Ocean Engineering* 116 (2016): 260-267, <http://dx.doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.02.035>.
11. 梁永贤, 廖汝娥, 颜敏, 郑卓云, 徐光仪. "深圳港船舶大气污染物排放核算." *环境科学导刊*, 2016年02期, <http://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTotat-YNHK201602006.htm>. HKEPD, *Hong Kong Air Pollutant Emission Inventory - 2017 Emission Inventory*, 2019, https://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/air/data/emission_inve.html (2019年7月18日访问). Junlan Feng et al., "The Influence of Spatiality on Shipping Emissions, Air Quality and Potential Human Exposure in the Yangtze River Delta/Shanghai, China," *Atmospheric Chemistry and Physics* 19 (2019): 6167-6183, <https://doi.org/10.5194/acp-19-6167-2019>. Dongsheng Chen et al., "Estimating Ship Emissions Based on AIS Data for Port of Tianjin, China," *Atmospheric Environment* 145 (2016): 10-18, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.08.086>. Cheng Li et al., "An AIS-based High-Resolution Ship Emission Inventory and its Uncertainty in Pearl River Delta Region, China," *Science of the Total Environment* 573 (2016): 1-10, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.219>. Cheng Li et al., "Decadal Evolution of Ship Emissions in China from 2004 to 2013 by Using an Integrated AIS-based Approach and Projection to 2040," *Atmospheric Chemistry and Physics* 18 (2018): 6075-6093, <https://doi.org/10.5194/acp-18-6075-2018>. Zhang et al., *Impacts on Shipping*, 尾注5.
12. HKEPD, *Hong Kong Air Pollutant Emission Inventory*, 尾注11.

13. 交通运输部, 交通运输部关于印发珠三角、长三角、环渤海(京津冀)水域船舶排放控制区实施方案, 2015年12月2日, http://www.gov.cn/xinwen/2015-12/04/content_5019932.htm. 交通运输部, 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, 2018年11月30日, <https://www.msa.gov.cn/public/documents/document/mtel/nzey/~edisp/20181210115712685.pdf>.
14. 刘志强. “设立船舶排放控制区, 改用清洁能源: 船舶减排大气减负,” 人民日报, 2019年7月18日, <http://city.huanqiu.com/csyw/2019-07/15159290.html?agt=15422> (2019年8月29日访问). 此处指的是自2016年至2017年期间主要港口空气中二氧化硫浓度的变化。
15. Liu et al., “Health and Climate Impacts,” 尾注7. Oceangoing vessels registered in China accounted for 11 percent of CO₂ emissions from shipping in the South China Sea, less than 10 percent in the East Sea and 31 percent in the Bohai Sea in 2013. As CO₂ emissions are roughly proportional to fuel consumption, the low percentage of the CO₂ contribution of China-flagged ships in the South China, East and Bohai seas suggests that the DECA NO_x requirements applying to China-flagged ships would likely impact only a small fraction of ships visiting China.
16. Fu et al., “National- to Port-Level Inventories,” 尾注2, Figure 2c.
17. Xiao Lu et al., “Severe Surface Ozone Pollution in China: A Global Perspective,” *Environmental Science and Technology Letters* 5, 8 (2018): 487-494, <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.8b00366>. Daniel M. Westervelt et al., “Mid-21st Century Ozone Air Quality and Health Burden in China Under Emissions Scenarios and Climate Change,” *Environmental Research Letters* 14, No.7 (2019), <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab260b>.
18. IACCSEA, “IACCSEA – A Catalyst for Clean Shipping”, International Association for Catalytic Control of Ship Emissions to Air (IACCSEA) website, <https://www.iaccsea.com/> (2020年2月5日访问).
19. International Maritime Organization (IMO), “MEPC 65th Session Agenda Item 4 – Final Report of the Correspondence Group on Assessment of Technological Developments to Implement the Tier III NO_x Emission Standards Under MARPOL Annex VI (MEPC 65/4/7),” London, UK: IMO, February 8, 2013. J. Gibson and O. Groene, “Selective Catalytic Reduction on Marine Diesel Engines,” *Automotive Engineering* (October 1991): 18-22.
20. Malcolm Latache, “In Service Experience of Tier III EGR Systems.” *ShipInsight*, September 22, 2015, <https://shipinsight.com/articles/in-service-experience-of-tier-iii-egr-systems> (2019年4月5日访问). IMO, “Comments to the Approval at MEPC 65 of Amendments to the Effective Date of the NO_x Tier III Standards,” MEPC 66th Session, Agenda Item 6, London, UK: IMO, December 24, 2013.
21. DNV GL, “DNV-GL NO_x Tier III Update – Choices and Challenges for On-Time Compliance,” <https://www.dnvgl.com/maritime/publications/NOx-TIER-3-Update-download.html?cookie-consent=1> (2019年4月10日访问). DNV GL, “Alternative Fuels Insight,” <https://afi.dnvgl.com/> (2020年2月9日访问).
22. MAN Diesel & Turbo, Technology for Ecology: Medium Speed Engines for Cleaner Air, https://marine.man-es.com/docs/default-source/shopwaredocuments/technology-for-ecologyb574f4e240cb4e5e84e04fcd-258d3c0d.pdf?sfvrsn=babfbab1_5 (2019年4月28日访问). DNV GL, “DNV-GL NO_x Tier III Update,” 尾注21.
23. Ioannis Bakas, “Principles of Marine Main Engines Running on LNG,” in *On the Mos Way Network – Module #5 – Propulsion and Power Generation Training of LNG Driven*, October 27, 2015, <https://www.onthemosway.eu/on-the-mos-way-network-module-5-propulsion-and-power-generation-training-of-lng-driven-vessel/> (2020年2月5日访问). DNV GL, “DNV-GL NO_x Tier III Update,” 尾注21.
24. DNV GL, “Alternative Fuels Insight,” 尾注21.
25. Hulda Winnes et al., “NO_x Controls for Shipping in EU Seas,” IVL and CE Delft Report Commissioned by Transport and Environment, 2016. Maritime Knowledge Centre, TNO and TU Delft, Methanol as an Alternative Fuel for Vessels – Public Final Report, January 15, 2018, https://platformduurzamebiobrandstoffen.nl/wp-content/uploads/2018/02/2018_MKC_TNO-TU-Delft_Methanol-as-an-alternative-fuel-for-vessels.pdf.
26. IMO, “MEPC 65th Session,” 尾注19.
27. See Vincent Wee, “New Port of Rotterdam App Cuts Waiting Time by 20%, Reduces CO₂ Emissions,” *Seatrade Maritime News*, May 23, 2018, <https://www.seatrade-maritime.com/europe/new-port-rotterdam-app-cuts-waiting-time-20-reduces-co2-emissions>. Edwin Lopez, “Port Optimizer Gives Cargo Owners 2 Weeks More Notice, Long Beach Pilot Finds,” *Supply Chain Dive website*, November 9, 2018, <https://www.supplychaindive.com/news/Long-Beach-GE-Port-Optimizer-pilot/541877/> (2020年2月3日访问).

28. Kjeld Aabo and Michael Witt, "MAN B&W 2-stroke Engines – Ocean Going Vessels Retrofit Technology," presented at the Ocean Going Vessels Retrofit Technology Forum, Los Angeles, CA, December 5, 2018, <http://www.aqmd.gov/docs/default-source/ocean-going-vessels/ogv-technology-forum---website-slides---2018-12-05.pdf>. CIMAC, "Guide to Diesel Exhaust Emissions Control of NO_x, SO_x, and Particulates, Smoke and CO₂ – Seagoing Ships and Large Stationary Diesel Power Plants," 2008, https://www.cimac.com/cms/upload/Publication_Press/Recommendations/Recommendation_28.pdf. IACCSEA, "The Technical and Operational Capabilities of Marine Selective Catalytic Reduction," <https://www.iaccsea.com/wp-content/uploads/2018/12/IACCSEA-Marine-SCR-Technical-and-operational-capabilities-2013.pdf> (2020年3月2日访问). Elizabeth Lindstad and Agathe Rialland, "LNG and Cruise Ships, an Easy Way to Fulfill Regulations—Versus the Need for Reducing GHG Emissions", Sustainability, Vol. 12 (2020), doi:10.3390/su12052080. W. Addy Majewski, "Selective Catalytic Reduction," Dieselnet Technology Guide, 2005, https://dieselnet.com/tech/cat_scr.php (2018年10月2日访问). MAN Energy Solutions, "MAN B&W Two-stroke Marine Engines Emission Project Guide for Marpol Annex VI Regulations, 9th Edition," MAN Energy Solutions, Copenhagen, Denmark, 7020-0145-09, (2018), https://marine.man-es.com/applications/projectguides/2stroke/content/special_pg/7020-0145-09_uk.pdf. WinGD, "Selective Catalytic Reduction FAQ," 2018, <https://www.wingd.com/en/documents/general/brochures/scr-technology-faq.pdf/> (2019年4月10日访问). MAN Diesel & Turbo, Technology for Ecology, 尾注22. IMO, "MEPC 65th Session," 尾注19. DNV GL, "DNV-GL NO_x Tier III Update," 尾注21.
29. Daniel Chatterjee and Klaus Rusch, SCR Technology for Off-highway (Large Diesel Engine) Applications, Urea-SCR Technology for deNO_x After Treatment of Diesel Exhausts, I. Nova and E. Tronconi (eds.), 2014, https://doi.org/10.1007/978-1-4899-8071-7_2. W. Addy Majewski, "Diesel Particulate Filters," Dieselnet Technology Guide, 2019, <https://dieselnet.com/tech/dpf.php> (2019年12月3日访问). DECSE, "Diesel Emission Control Sulfur Effects Program: Phase I Interim Report No. 4," U.S. Department of Energy, Engine Manufacturers Association, and the Manufacturers of Emission Controls Association, January 2000, <https://www.osti.gov/biblio/755351-diesel-emission-control-sulfur-effects-decse-program-phase-interim-data-report-diesel-particulate-filters-final-report>. MAN Diesel & Turbo, "Tier III Two-Stroke Technology," August 2012, <https://marine.mandieselturbo.com/docs/librariesprovider6/technical-papers/tier-iii-two-stroke-technology.pdf?sfvrsn=18>. MAN Energy Solutions, "MAN B&W Two-stroke Marine Engines," 尾注28.
30. Chatterjee and Rusch, SCR Technology, 尾注29. DNV GL, "DNV-GL NO_x Tier III Update," 尾注21.
31. Dieselnet, "United States: Marine Diesel Engines," 2011, <https://dieselnet.com/standards/us/marine.php> (2020年2月6日访问). Dieselnet, "EU: Nonroad Engines," 2016, <https://dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php> (2020年2月6日访问).
32. Dieselnet, "United States," 尾注31.
33. VDMA, "Exhaust Emission Legislation: Diesel and Gas engines," VDMA Engines and Systems, 2017, <http://www.musvdm.org/emission> (2020年2月8日访问).
34. EUROMOT and CESNI, "Inland Waterways Transport Sector – Frequently Asked Questions," 2019, https://www.cesni.eu/wp-content/uploads/2018/11/FAQ_Engines_en.pdf (2020年4月11日访问). CESNI, 2019. European Standard Laying Down Technical Requirements for Inland Navigation Vessels, European Committee for Drawing up Standards in the Field of Inland Navigation (CESNI), https://www.cesni.eu/wp-content/uploads/2018/12/ES_TRIN_2019_en.pdf.
35. 中国海事局,《船舶与海上设施法定检验规则(内河船舶法定检验技术规则)》2011.中国海事局,《船舶与海上设施法定检验规则(内河船舶法定检验技术规则)》(2015年修改通报),2014.
36. California Air Resources Board (CARB), "Overview of Commercial Harbor Craft Regulation," May 2016, <https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2019-03/chcfactsheet0516.pdf>.
37. Ibid.
38. CARB, "Compliance Guidelines for the Commercial Harbor Craft Regulation," 2017, <https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2019-03/complianceguidelines021017.pdf>.
39. CARB, "Presentation at the Public Workshop to Discuss Additional Requirements for the Commercial Harbor Craft (CHC) Regulation," presented at CARB CHC public workshop, Long Beach, December 4, 2018, <https://www.arb.ca.gov/ports/marinevess/harborcraft/presentations/chcl20418pres.pdf>.
40. Ibid.
41. Christa Sys and Thierry Vanelander (edited), Future Challenges for Inland Navigation: a Scientific Appraisal of the Consequences of Possible Strategic and Economic Developments Up to 2030, Antwerp: University Press Antwerp, 2011.
42. VDMA, "Exhaust Emission Legislation," 尾注33.
43. Jarl Schoemaker of Port of Rotterdam Authority, personal communications via email, April 30, 2020

44. Helge Hermundsgård "Norway Challenges the Cruise Industry to Operate Emission Free," DNV GL Maritime Impact – Our expertise in stories, February 25, 2019, <https://www.dnvgl.com/expert-story/maritime-impact/Norway-challenges-the-cruise-industry-to-operate-emission-free.html> (2019年3月31日访问).
45. Paul Hockenos, "Guilt-Free on the Sea," Hakai Magazine, September 18, 2018, https://www.hakaimagazine.com/features/guilt-free-sea/?x-id=PS_smithsonian (2019年4月19日访问).
46. CARB, "Public Hearing to Consider the Proposed Control Measure for Ocean Going Vessels at Berth – Staff Report: Initial Statement of Reasons," October 15, 2019, <https://ww3.arb.ca.gov/regact/2019/ogvatberth2019/isor.pdf>.
47. City of Rotterdam, "2010 Rotterdam Port Management Bye-Laws (version: March 2018)," Articles 4.6 and 4.7 (2018), https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/rotterdam_port_management_bye-laws.pdf.
48. Peter Mollema, "LNG and Shore Power," presented at NRDC Port and Shipping Emission Control Roadshow, September 21-25, 2015.
49. NOx Fund, "New Rates of Payment From 2020," The NOx Fund website, October 15, 2019, <https://www.nho.no/samarbeid/nox-fondet/the-nox-fund/news/new-rates-of-payment-from-2020/> (2019年12月10日访问).
50. DNV GL, "Technical advisory for the Norwegian NOx Fund," <https://www.dnvgl.com/maritime/advisory/technical-advisory-norwegian-nox-fund.html?cookie-consent=1> (2019年12月10日访问).
51. NOx Fund, "New Support Rates and Conditions for NOx Reducing Measures," The NOx Fund website, 2018, <https://www.nho.no/samarbeid/nox-fondet/the-nox-fund/news/new-support-rates-and-conditions-for-nox-reducing-measures/> (2019年6月18日访问). NOx Fund, "Adjustment in Support Conditions," The NOx Fund website, September 3, 2019.
52. Alvar Mjelde and Øyvind Endresen. "Air Emissions from Shipping in the ASEAN Region," Report for Norwegian Maritime Authority, DNV GL, Norway, 2018, <https://d333mq0i40sk06.cloudfront.net/documents/Air-Emissions-from-Shipping-In.pdf>.
53. DNV GL, "Alternative Fuels Insight," 尾注21.
54. NOx Fund, Annual Report 2017, 2018, Figure 11 [in Norwegian], https://www.nho.no/siteassets/nox-fondet/rapporter/2018/nox-fondet-arsrapport-2017_oppslag.pdf (2020年2月28日访问).
55. Renilde Becqué, Freda Fung and Zhixi Zhu, "Incentive Schemes for Promoting Green Shipping," NRDC, January 2018, <https://assets.nrdc.org/sites/default/files/incentive-schemes-promoting-green-shipping-ip.pdf>.
56. Per Kågeson, Market-based Instruments for NOx abatement in the Baltic Sea, A Report for Air Pollution and Climate Secretariat (AirClim), the European Environmental Bureau (EEB) and the European Federation for Transport and Environment (T&E), 2009.
57. Tobias Lindé and Inge Vierth, "An Evaluation of the Environmentally Differentiated Fairway Dues in Sweden 1998–2017," VTI, 2018, <http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:1186525/FULLTEXT01> (2019年4月27日访问).
58. Selma Brynolf et al., "Compliance Possibilities for the Future ECA Regulations Through the Use of Abatement Technologies or Change of Fuels," Transportation Research Part D, 28 (2014): 6-18.
59. Port of Rotterdam, "General Terms and Conditions – Including Port Tariffs, Annex I," 2019, https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/general_terms_and_conditions_including_port_tariffs_2019.pdf?token=7KUIF2MH (2019年4月1日访问). Jarl Schoemaker of Port of Rotterdam Authority, personal communications via email, April 30, 2020. The 100% discount is intended to be temporary to stimulate innovations, though an end date has not been specified.
60. Schoemaker, Jarl, "Sustainable Shipping: Air Quality, Climate Change and Energy Transition," presented at the MOT Transportation Planning and Research Institute Study Tour, Rotterdam, October 13, 2017.
61. Port of Rotterdam, "General Terms," 尾注59.
62. Port of Rotterdam, "ESI Discount," Port of Rotterdam website, <https://www.portofrotterdam.com/en/shipping/sea-shipping/port-dues/discounts-on-port-dues/esi-discount> (2020年2月9日访问).
63. Port of Rotterdam, "General Terms," 尾注59.
64. A.P. Møller - Mærsk A/S, 2018 Sustainability Report, 2019, <https://investor.maersk.com/static-files/57bf2e50-075d-49f2-a94c-129e68e407cc>
65. Norwegian Government, The Government's Action Plan for Green Shipping, June 20, 2019, <https://www.regjeringen.no/contentassets/2ccd2f4e1d444bc88c93ac4effe78b2f/the-governments-action-plan-for-green-shipping.pdf>.
66. Ibid.
67. Statistics Norway, "Electricity," Statistics Norway webpage, 2019, <https://www.ssb.no/en/elektrisitet> (2019年12月19日访问).
68. Norwegian Government, The Government's Action Plan, 尾注65.

69. Norwegian Government, The Government's Action Plan, 尾注65.
70. Hyon AS and Enova SF, "Grants for Fuel-Cell R&D Maritime Transport Projects in Norway," NGV Global News, December 14, 2018, <https://www.ngvglobal.com/blog/grants-for-fuel-cell-rd-maritime-transport-projects-in-norway-1214> (2019年4月8日访问). Trond Moengen, "Commitments Through PILOT-E in 2018 Are Clear," Enova website, <https://www.enova.no/pilot-e/tilsagn-gjennom-pilot-e-i-2018-er-klare/> (2019年4月8日访问).
71. Enova, Annual Report 2018, 2019, <https://www.enova.no/about-enova/> (2019年12月11日访问). Andreas Fjærvoll Larsen and Elise Dale, "Support Schemes for Green and Sustainable Shipping in Norway," Wikborg Rein, September 13, 2018, <https://www.wr.no/en/news/publications/green-shipping/support-schemes-for-green-and-sustainable-shipping-in-norway/>.
72. Norwegian Government, The Government's Action Plan, 尾注65.
73. Norwegian Ministry of Petroleum and Energy, "Enova," Energy Facts Norway website. <https://energifaktanorge.no/en/et-baer-ekraftig-og-sikkert-energisystem/enova/>. Hyon AS and Enova SF, "Grants for Fuel-Cell," 尾注70. Moengen, "Commitments Through PILOT-E," 尾注70.
74. Norwegian Government, The Government's Action Plan, 尾注65.
75. Larsen and Dale, "Support Schemes," 尾注71.
76. Miljøkommune, "Climate Bet – Support for Climate Action in the Municipalities (Klimasats - støtte til klimasatsing i kommunene)," 2019 [in Norwegian], <http://www.miljokommune.no/Temaoversikt/Klima/Klimasats---stotte-til-klimasatsing-i-kommunene/> (2019年12月17日访问). Norwegian Government, The Government's Action Plan, 尾注65.
77. Kristin Ystmark Bjerkan et al., "Governance in Maritime Passenger Transport: Green Public Procurement of Ferry Services," World Electric Vehicle Journal, 10(4), 74 (2019), <https://doi.org/10.3390/wevj10040074>
78. Daniel Bjarmann-Simonsen, "Norway – Pioneering Sustainable Shipping," presented at the Maritime Battery Forum Conference, March 7, 2018. <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/watts-up/id2593310/> (2019年4月8日访问). Marie Launes, "Norwegian Parliament Adopts Zero-Emission Regulations in the Fjords," Norwegian Centers of Expertise, May 3, 2018, <https://maritimecleantech.no/2018/05/03/norwegian-parliament-adopts-zero-emission-regulations-fjords/>. Norwegian Government, The Government's Action Plan, 尾注65.
79. Government of the Netherlands, "Sector and Governments Joining Forces to Promote Clean Inland and Sea Shipping," June 16, 2019, <https://www.government.nl/latest/news/2019/06/14/sector-and-governments-joining-forces-to-promote-clean-inland-and-sea-shipping> (2020年1月15日访问). CLINSH, "Dutch Government Provides €79 Million for Retrofitting Inland Navigation," April 29, 2020, <https://www.clinsh.eu/news.html?read=61-dutch-government-provides-79-million-for-retrofitting-inland-navigation> (2020年5月26日访问). Green Deals, "GD230 Green Deal on Maritime and Inland Shipping and Ports", November 22, 2019, <https://www.greendeals.nl/sites/default/files/2019-11/GD230%20Green%20Deal%20on%20Maritime%20and%20Inland%20shipping%20and%20Ports.pdf> (2020年6月26日访问).
80. Port of Rotterdam, "Incentive Scheme Climate-Friendly Shipping Launched," January 21, 2019, <https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/incentive-scheme-climate-friendly-shipping-launched> (2020年5月21日访问).
81. Shore Power Calandkanaal, "Shore Power in the Calandkanaal in Rotterdam Will Drastically Reduce Local Emissions and Noise," 2020 (2020年5月26日访问).
82. Port of Rotterdam, "Shore Power Trial for Coasters in Rotterdam," Press Release, December 16, 2019, <https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/shore-power-trial-for-coasters-in-rotterdam> (2020年5月26日访问). Green Port, "Shore Power Trial for Coasters in Rotterdam," December 18, 2019, <https://www.greenport.com/news/101/energy-and-technology/shore-power-trial-for-coasters-in-rotterdam> (2020年5月21日访问).
83. WPSP, "World Ports Climate Action Program," World Ports Sustainability Program (WPSP) website, <https://sustainableworldports.org/world-ports-climate-action-program/> (2020年5月21日访问).
84. Matthew Wall, "How Amsterdam's Canal Boats are Going Electric – at a Cost," BBC News, October 9, 2018, <https://www.bbc.com/news/business-45783085> (2020年1月30日访问).
85. Netherlands Enterprise Agency, Electromobility in the Netherlands – Highlights 2015, 2016. [https://www.rvo.nl/sites/default/files/2016/07/Brochure percent20Electromobility percent20Engels.pdf](https://www.rvo.nl/sites/default/files/2016/07/Brochure%20Electromobility%20Engels.pdf)
86. Municipality of Amsterdam, Clean Air Action Plan (Actieplan Schone Lucht), April 2019, [in Dutch] file:///Users/Freda_Fung/Downloads/actieplan_schone_lucht_2019.pdf.
87. Toby Sterling, "Amsterdam's Boats Go Electric Ahead of 2025 Diesel Ban", Reuters, March 3, 2020, <https://www.reuters.com/article/us-climate-change-netherlands/amsterdams-boats-go-electric-ahead-of-2025-diesel-ban-idUSKBN20QIW7>.

88. UK Department for Transport, Clean Maritime Plan, London, UK, 2019, https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/815664/clean-maritime-plan.pdf.
89. Government of the People's Republic of China (PRC), The People's Republic of China Third National Communication on Climate Change, December 2018, https://unfccc.int/sites/default/files/resource/China%203NC_English_0.pdf (2020年1月31日访问). Chaopeng Hong et al., "Impacts of Climate Change on Future Air Quality and Human Health in China," PNAS 116, No. 35 (2019):17193-17200, <https://doi.org/10.1073/pnas.1812881116>.
90. VBW (Association for European Inland Navigation and Waterways), "VBW and VSM Welcome Initiative of the Federal Ministry of Transport (BMVI) for the Approval of EURO VI and NRE Engines for Inland Waterway Vessels," VBW Press Release, November 5, 2018, [in German] <https://www.vbw-ev.de/en/275-vbw-und-vsw-begrueessen-initiative-des-bundesverkehrsministeriums-bmvi-zur-zulassung-von-euro-vi-und-nre-motoren-fuer-binnenschiffe.html> (2019年4月20日访问).
91. 交通运输部, "2018年交通运输行业发展统计公布," 2018年4月2日, <http://www.chinahighway.com/article/63052.html> (2019年6月22日访问). STC-NESTRA, "D6.8 Roll-Out Plan for Innovative Greening Technologies and Concepts," Report for PROMINENT project, April 27, 2018.
92. 贾大山等人, "大力推进船舶标准化," 尾注9.
93. 交通运输部, "交通运输部关于印发珠三角," 尾注13.
94. 国家电网有限公司. "港口岸电 描绘绿色长江新画卷," 国务院国有资产监督管理委员会网站, 2018年8月16日, <http://www.sasac.gov.cn/n2588025/n2588159/c9379452/content.html> (2020年2月13日访问). 国际能源网, "六部委进一步推进船舶靠港使用岸电工作任务分工及完成时限," 国际能源网网站, 2019年1月28日, <https://www.in-en.com/article/html/energy-2277582.shtml> (2020年2月13日访问).
95. 交通运输部. "交通运输部关于推进长江航运高质量发展的意见," 2019年7月1日, http://xxgk.mot.gov.cn/jigou/syj/201907/t20190709_3222903.html (2020年1月31日访问).
96. 中国锂离子动力系统产业技术创新战略联盟. "今年年初," 河豚"号纯电动船舶试航行, 续航力可达80公里," 中国锂离子动力系统产业技术创新战略联盟, 2019年3月12日, <http://www.elecfans.com/d/883983.html> (2020年2月20日访问). 电池中国网. "亿纬锂能与中船动力研究院签约 共同推进新能源船舶发展," 2019年12月5日, <https://finance.sina.com.cn/stock/relnews/cn/2019-12-05/doc-iihnzhfz3733222.shtml> (2020年2月20日访问).
97. Norwegian Government, The Government's Action Plan, 尾注65. UK Department for Transport, Clean Maritime Plan, 尾注88.
98. Nikita Pavlenko, Bryan Comer, Yuanrong Zhou, et al., The Climate Implications of Using LNG as a Marine Fuel, ICCT Working Paper 2020-02, 2020, <https://theicct.org/publications/climate-impacts-LNG-marine-fuel-2020>. Lindstad and Rialland, "LNG and Cruise Ships," 尾注28.
99. European Council Directive 2012/33/EU (2012). European Council Directive 2009/30/EU (2009). California Code of Regulations § 93118.5 (2006). United States Code §80.510, (c) and (k). 交通运输部, "交通运输部关于印发珠三角," 尾注13.
100. W. Addy Majewski and Magdi K. Khair, Diesel Emissions and Their Control, SAE International, USA, 2006. Mohit Sanguri, "Causes of Marine Diesel Engine Exhaust Black Smoke from Funnel," Bright Hub Engineering website, <https://www.brighthubengineering.com/marine-engines-machinery/66725-black-smoke-from-the-funnel-what-to-do/> (2019年12月9日访问).
101. Alaska Department of Environmental Conservation, "Cruise Ship Air," <https://dec.alaska.gov/water/cruise-ships/cruise-air/> (2019年12月9日访问). United Kingdom Clean Air Act 1993, Section 44, 1993, <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/1993/11/section/44>. Hong Kong Marine Department, "Control of Dark Smoke Emission from Vessels. Maritime Department Notice No. 92 of 2014," 2014, <https://www.mardep.gov.hk/en/notices/pdf/mdnl4092.pdf>. Maritime and Port Authority of Singapore, "Control of Smoke Emission by Vessels in Port," Port Marine Circulars No. 5 (2018), <https://www.mpa.gov.sg/web/portal/home/port-of-singapore/circulars-and-notices/port-marine-circulars/detail/6b8b3ece-ff98-4bb4-88ae-d3246e5dbd3b>. 秦皇岛市政府, "秦皇岛市船舶大气污染防治暂行办法," 2019年11月8日, <http://www.qhd.gov.cn:81/article/314/III394.html> (2019年12月9日访问).



NRDC北京代表处

地址：中国北京市朝阳区东三环北路38号泰康金融大厦1706

邮编：100026

电话：+86 (10) 5927-0688



本报告采用环保纸印刷