

深圳市地方标准

# 《深圳港船舶排气污染物排放限值及测量方法》

## 编 制 说 明

《深圳港船舶排气污染物排放限值及测量方法》标准编制组

二〇一九年七月

## 目 录

1 项目背景.....	4
1.1 任务来源.....	4
1.2 工作过程.....	4
2 规范制订的必要性分析.....	6
2.1 船机排气污染物带来的主要环境问题.....	6
2.1.1 SO <sub>2</sub> 对环境的影响及危害.....	6
2.1.2 NO <sub>x</sub> 对环境的影响及危害.....	6
2.1.3 CO对环境的影响及危害.....	7
2.1.4 PM对环境的影响及危害.....	7
2.1.5 TVOC对环境的影响及危害.....	8
2.2 加强船舶大气污染防治工作的需求.....	8
2.2.1 国外大气污染防治相关政策要求.....	8
2.2.2 国内大气污染防治相关政策要求.....	10
2.3 提升深圳港口环境空气质量的需求.....	12
2.4 解决港口环保标准实施存在的主要问题.....	12
3 船舶行业概况.....	13
3.1 船机行业概况.....	13
3.1.1 船舶发动机分类.....	13
3.1.2 船机行业发展概况.....	13
3.2 港口航运业概况.....	15
4 主要国家地区相关法规标准研究.....	17
4.1 美国.....	17
4.2 欧盟.....	18
4.3 中国.....	18
5 标准项目研究及方法.....	21
5.1 研究方案与技术路线.....	21
5.2 深圳港船舶调研.....	23
5.2.1 深圳港口概况调研.....	23
5.2.2 深圳港口船舶基础信息调研.....	23
5.2.3 船舶类型调研.....	24
5.2.4 船舶烟囱结构调研.....	26
5.3 在线监测设备调研.....	27
5.4 深圳港船舶尾气处理设施调研.....	28
5.5 实船监测.....	28
5.5.1 测试前准备.....	28
5.5.2 实船安装.....	29
5.5.3 数据采集.....	31
6 标准主要技术内容.....	31
6.1 标准使用范围.....	31

6.1.1 标准适用范围 .....	31
6.1.2 标准适用范围的确定 .....	31
6.2 标准结构框架 .....	32
6.3 术语和定义 .....	32
6.4 污染项目的选择 .....	32
6.5 测试原理 .....	33
6.6 仪器要求 .....	34
6.7 测量条件（工况） .....	38
6.8 测量要求 .....	38
6.8.1 取样探头安装 .....	38
6.8.2 软管安装 .....	39
6.8.3 机柜组装 .....	39
6.8.4 气路布置 .....	40
6.9 排放限值的确定及制订依据 .....	41
6.9.1 深圳港典型船舶技术参数 .....	41
6.9.2 典型船舶排气限值确定 .....	43
6.10 质控要求 .....	86
6.10.1 出厂前质控标定方案 .....	86
6.10.2 设备自动质控方案 .....	87
6.10.3 远程质控方案 .....	87
6.10.4 现场质控方案 .....	87
7 标准的技术可行性和环境效益分析 .....	88
7.1 环境效益分析 .....	88
7.2 技术可行性分析 .....	89
7.2.1 使用低硫油 .....	89
7.2.2 加装尾气处理装置 .....	91
7.2.3 船舶发动机升级改造 .....	91
8 实施本标准的建议 .....	92
附件 2 .....	93
附件 3 .....	94
附件 4 .....	95

# 1 项目背景

## 1.1 任务来源

为进一步强化船舶大气污染防治工作，落实“深圳蓝”可持续行动计划，根据《中华人民共和国大气污染防治法》、《深圳市大气环境质量提升计划（2017-2020 年）》、《深圳市绿色低碳港口补贴资金管理暂行办法》、《“深圳蓝”可持续行动计划（2018-2020 年）》等相关文件要求，深圳市生态环境局（原深圳市人居环境委员会）于 2018 年 8 月委托深圳市计量质量检测研究院按照相关规定对深圳市内河、江海直达等船舶进行摸底调查和测试并编制《深圳港船舶排气污染物排放限值及测量方法》，根据标准对后续拟安装的尾气处理设施进行有效性评估，为实施在用船舶尾气排放控制做好基础。

本标准制定项目的承担起草单位为：深圳市生态环境局、深圳市计量质量检测研究院。

## 1.2 工作过程

2018 年，该标准制定工作经深圳市市场监督管理局批准立项，由深圳市生态环境局组织制定。

2018 年 8 月，深圳市生态环境局委托深圳市计量质量检测研究院按照相关规定对深圳市内河、江海直达等船舶进行摸底调查和测试并编制《深圳港船舶排气污染物排放限值及测量方法》。深圳市计量质量检测研究院接到任务之后，迅速开展深圳港船舶发动机排气污染物排放限值及测量方法研制工作，成立编制工作组，落实人员及分工。

2018 年 8 月，我院接到《深圳市内河、江海直达船舶尾气处理装置有效性核查评估》项目任务，成立标准编制组，开展文献调研，并完成标准研制立项。

2018 年 9 月至 11 月开展标准前期调研工作，收集国内外及地方

有代表性的相关标准。对深圳港船舶及尾气排放测试设备进行调研，起草“开题报告”。

2018 年 12 月深圳市计量质量检测研究院组织召开《深圳市内河、江海直达船舶尾气处理装置有效性核查评估》开题报告会议：（1）进行船舶分类，确认本规范的适用范围；（2）确定本规范船舶排放污染物项目；（3）确定本规范船舶排放污染物监测设备的使用技术要求及监测方法。

2019 年 1 月至 2 月，为进一步调研深圳港靠泊船舶基础信息，深圳市生态环境局发深环函[2019]473 号文“关于商请协助开展深圳市港口船舶调研与尾气在线监测有关工作的函”，对深圳港靠泊船舶船名、燃料类型、所属企业等基本信息进行完整调查，并制定监管台账（见附件 1）。

2019 年 3 月至 5 月，为进一步获取船舶尾气实际排放浓度数据，分别在深圳航行密集港口选取典型船舶 20 艘，进行在线监测。完成实船测试数据收集与分析。

2019 年 6 月，起草《深圳港船舶排气污染物排放限值及测量方法》标准文本和编制说明。

2019 年 7 月至 2019 年 9 月，组织开展标准文本讨论会，针对标准征求意见稿（草案）和编制说明进行专家论证，确定本标准中的船舶废气排放限值要求，形成标准文本与编制说明的征求意见稿。专家论证会上，各专家针对该规范标准文本分别提出了相关建议，针对各专家建议及采纳情况详见附件 2。

根据专家提出的建议完成了标准文本与编制说明的修订与完善，并将编制说明征求意见稿和标准文本在深圳市生态环境局门户网站及深圳市计量质量检测研究院门户网站发布了《深圳市生态环境局关于征求深圳经济特区技术规范〈深圳港船舶排气污染物排放限值及测量方法（征求意见稿）〉》，面向社会公开征求意见。征求意见时间

为 2019 年 9 月 6 日至 2019 年 10 月 8 日止, 征求意见共 33 天。同时, 深圳市生态环境局发函至有关行政主管部门、有关行业协会等征求意见。征求意见期间, 深圳市生态环境局收到 2 家单位的信息, 共反馈意见 8 条。其中深圳港口协会拖轮专业委员会提出了 3 条建议, 采纳了 1 条建议; 深圳市宝安区人民政府提出了 5 条建议, 采纳了 4 条建议。

## 2 规范制订的必要性分析

### 2.1 船机排气污染物带来的主要环境问题

在过去的 40 多年里, 针对机动车造成的大气污染得到了很好的控制, 空气质量也得到了显著的提高, 然而船舶造成的港口空气污染随着航运业的增加日趋严重。当前世界海运贸易量占主要地位, 由其造成的污染占全球污染量的 3.5-7.6%。船舶的动力装置主要采用柴油机, 在船舶运行过程中, 主要产生 CO、CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、颗粒物、TVOC (挥发性有机物) 等污染物质。据统计, 全球约 70% 的船舶排放污染物发生在离海岸线 400km 以内, 而全球约 23% 的人口居住在海岸线 100km 以内。这对港口附近居民健康和生态环境都造成一定程度的危害。

#### 2.1.1 SO<sub>2</sub> 对环境的影响及危害

船舶尾气排放的 SO<sub>2</sub>, 其主要来源于燃料油中硫的氧化, 其浓度水平和排放量除了与燃料油中硫含量有直接关系之外, 船舶发动机供气量也会影响其浓度变化。有研究表明, 全球每年远洋船舶排放的 SO<sub>2</sub> 总量约为 4.7-6.5Tg, 占到人为源排放的 8%。大气中的 SO<sub>2</sub> 浓度过高会引起支气管炎、肺气肿、眼角膜炎症等多种炎症的发生; 由于 SO<sub>2</sub> 污染产生的酸雨, 会对植物生长引起损伤, 对建筑物造成损害; 在光和氧化剂的作用下, SO<sub>2</sub> 会发生二次反应生成硫酸盐气溶胶, 进而加剧“雾霾”现象的发生。

#### 2.1.2 NO<sub>x</sub> 对环境的影响及危害

NO<sub>x</sub> 是国际海事组织 (IMO) 重点控制的船舶尾气排放污染物之一，有统计资料显示全球船舶 NO<sub>x</sub> 排放量约占 5%-10%，局部地区（如丹麦、挪威等）占比达到了 30%-40%。船舶尾气排放的 NO<sub>x</sub> 主要在燃烧末期生成，燃烧末期缸内温度较高，NO<sub>x</sub> 生成速度快，由于船舶主机多为柴油机，空燃比大于 1，且工作特点是高温高压，转速慢，因此具备了 NO<sub>x</sub> 生成的所有条件。船舶尾气排放的 NO<sub>x</sub> 包括 NO、NO<sub>2</sub>、NO<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>O、N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 等，其中 NO 和 NO<sub>2</sub> 所占比重较高，约为 90%-95%。有研究表明，全球每年船舶尾气排放 NO<sub>x</sub> 约 5.0-6.9Tg，占全球 NO<sub>x</sub> 排放总量的 15%。在欧洲海岸，船舶排放的 NO<sub>x</sub> 对环境空气的贡献率约为 7%-24%。NO<sub>x</sub> 是形成光化学烟雾和酸雨的重要原因，长期暴露于 NO<sub>x</sub> 含量较高的环境中会增加呼吸系统疾病的发生率。NO<sub>x</sub> 是臭氧等二次大气污染物的重要前提物之一，臭氧对人体健康的危害包括增加呼吸系统疾病、降低肺功能等。此外，臭氧在大气中可以扩散到数百公里以外，从而影响内陆区域的空气质量。

### 2.1.3 CO 对环境的影响及危害

CO 经呼吸作用进入人体内，极易与血红蛋白结合，形成碳氧血红蛋白，使血红蛋白丧失携氧功能和作用，造成组织窒息。CO 对全身的组织细胞均有毒性作用，尤其对大脑皮层的影响最为严重。CO 中毒的症状主要包括头痛、无力、眩晕、流泪、呼吸困难等，严重时还会导致昏迷甚至死亡。

### 2.1.4 PM 对环境的影响及危害

船舶排放的颗粒物，约有 98% 为可吸入颗粒物 (PM<sub>10</sub>)，94% 为细颗粒物 (PM<sub>2.5</sub>)，92% 为超细颗粒物 (PM<sub>1</sub>)。在化学组成方面，颗粒物均含有大量的黑碳、硫酸盐、亚硫酸盐、重金属等。其中，重金属污染物在环境介质中难以被降解，具有一定的生物放大和积累效应。在重要港口、航道、海峡等船舶流量较大的地区，船舶尾气污染

严重，给当地居民生活环境造成了严重的空气质量影响。在全球范围内，与船舶相关的 PM 排放每年导致约 6 万例心血管疾病和肺癌死亡。

### **2.1.5 TVOC 对环境的影响及危害**

挥发性有机物 (TVOC) 组分十分复杂，分为烷烃、烯烃、炔烃、芳香烃的非甲烷碳氢化合物 (NMHCs)，包括醛、酮、醇、醚等的含氧有机化合物 (OTVOCs)，卤代烃，含氮化合物，含硫化合物等多种物质。在大气中发生的一系列化学反应，会显著改变大气物理和化学性质，如 TVOC 控制大气中臭氧的形成，进而形成光化学烟雾。造成大气臭氧浓度高、酸雨频率搞、灰霾污染严重。

## **2.2 加强船舶大气污染防治工作的需求**

虽然我国已经在开发环保型的交通运输工具，同时也逐渐提升开发环保型能源的能力，但是在当前的交通运输事业中，海上运输仍旧占据重要地位，在发挥运输作用的同时也对人类生活环境，尤其是大气环境造成较为恶劣的影响。为了改善船舶大气污染物排放对环境的影响，国内外相关政府及相关环保部门分别制定了相应的监管及控制对策。

### **2.2.1 国外大气污染防治相关政策要求**

国际海事组织 (International Maritime Organization, 简称“IMO”) 是联合国设立的专门机构，其职能是防止船舶造成海洋污染并负责海上航行安全。该组织的原名是“政府间海事协商组织”，最早成立于 1959 年 1 月 6 日，截止目前已有 171 个正式成员。1997 年 9 月 27 日，英国伦敦召开 IMO 第 43 次会议即 MARPOL 73/78 缔约国会议，大会通过了 1997 议定书。此次会议批准修订的《MARPOL 73/78 公约》添加了附则 VI“防止船舶造成大气污染规则”，主要提出了对 NO<sub>x</sub> 的排放限值要求，降低大型船舶在公海造成的大气污染。自 2000 年 1 月 1 日起，MARPOL 73/78 附则 VI 在国际海域范围内全面生效。

2008 年，为了进一步限制船舶尾气污染，IMO 第 58 届海洋环境保



护委员会(MEPC, Marine environment protection committee)上再一次修订了公约, 批准了MARPOL 73/78 附则VI修正案。其附则VI规定了船舶排放的相关标准, 对于SO<sub>2</sub>的排放控制, 主要通过控制船用燃料油的硫含量来实现。目前在公海中行驶的远洋船舶硫含量限值必须低于3.5%<sub>m/m</sub>, 而在排放控制区(ECA, Emission control area), 船舶燃油中硫含量需低于0.1%<sub>m/m</sub>。这一限值会随着控制减排变的进一步严格, 例如到2020年1月1日起将在全球范围内降低至0.5%<sub>m/m</sub>。针对NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>, MARPOL附则VI也制定了相应的排放标准, 详见表1和表2。

表 1 MARPOL 附件 VI 氮氧化物排放限值

Tier	实施日期	发动机转速(rpm)	NO <sub>x</sub> 排放限值 ( g/kw.h )
I	2000 年 1 月 1 日	n < 130	17.0
		130 ≤ n < 1999	45*n <sup>(-0.2)</sup>
		n ≥ 2000	9.8
II	2011 年 1 月 1 日	n < 130	14.4
		130 ≤ n < 1999	44*n <sup>(-0.23)</sup>
		n ≥ 2000	7.7
III	2016 年 1 月 1 日	n < 130	3.4
		130 ≤ n < 1999	9*n <sup>(-0.2)</sup>
		n ≥ 2000	2.0

表 2 MARPOL 附件 VI 硫氧化物排放标准限值

Tier	实施日期	全球上限 ( % <sub>m/m</sub> )	日期	IMO 控制区 ( % <sub>m/m</sub> )
I	2012 年 1 月 1 日以前	4.50	2010 年 7 月 1 日以前	1.50
II	2012 年 1	3.50	2010 年 7 月	1.00

	月 1 日及以后		1 日及以后	
III	2020 年 1 月 1 日及以后	0.50	2015 年 1 月 1 日及以后	0.10

近年来IMO先后批准了4个排放控制区，波罗的海排放控制区、北海排放控制区、北美排放控制区和美国加勒比海排放控制区，其具体实施情况如表3。

表 3 IMO 排放控制区实施情况

排放控制区	正式实施时间	排放控制污染物种类
波罗的海	2006 年 5 月 19 日	硫氧化物
北海	2007 年 11 月 22 日	硫氧化物
北美	2012 年 8 月 1 日	硫氧化物、氮氧化物、颗粒物
美国加勒比海	2014 年 1 月 1 日	硫氧化物、氮氧化物、颗粒物

### 2.2.2国内大气污染防治相关政策要求

为了有效控制船舶柴油机尾气污染、减少船舶大气污染物的排放，近年来我国政府、发改委和质检总局陆续制定了一系列相关船舶大气污染物的控制与减排政策、标准。如：2009年提出的《环境保护的“十二五”规划》设定了“十二五”期间SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>的减排目标。同年3月9日，由国家质量监督检验检疫总局发布GB 8840-2009《船用柴油机排气烟度限值》标准，规定了柴油机排气烟度允许限值。

由于我国船舶污染物的排放主要集中在珠三角、长三角和环渤海等沿海港口地区以及长江、京杭运河水域。2013年9月12日国务院颁布了《大气污染防治计划》制定了我国空气污染控制的路线图，重点关注三个地区，京津冀、长三角和珠三角地区。2015年8月31日国家交通运输部发布了《船舶与港口污染防治专项行动实施方案(2015-2020年)》，提出船舶与港口污染防治具体目标/实施途径等，计

划到2020年珠三角、长三角、环渤海（京津冀）水域船舶SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、PM与2015年相比分别下降65%、20%、30%。随后交通运输部于2015年12月发布了《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》，该方案在我国沿海设立珠三角、长三角、环渤海（京津冀）3个船舶排放控制区（ECA），确定排放控制区内的核心港口区域，并提出具体控制要求：（1）2016年1月1日起，ECA内有条件的港口可以实施高于现行船舶排放控制的措施，如规定靠岸停泊时燃料油硫含量不超过0.5%等；（2）2017年1月1日起，进入ECA核心港口的船舶应靠岸停泊实施此措施；（3）2018年1月1日起，进入ECA内所有港口的船舶于靠岸停泊期间实施此措施；（4）2019年1月1日起，船舶进入ECA内应使用硫含量≤0.5%<sub>m/m</sub>的燃油；（5）船舶可采取连接岸电、使用清洁能源、尾气后处理等排放控制等效的替代措施。

同样，船舶燃油品质也直接影响船舶污染物排放量，因此船舶燃油标准的制定也一样受到重视。2015年4月28日，国务院常务会议确定加快成品油质量升级措施，其中重要一点是加快高标准普通柴油供应：（1）2017年7月起，在全国全面供应国四普通柴油（硫含量：50ppm以下）；（2）2018年1月起，在全国全面供应国五普通柴油（硫含量：10ppm以下）。2015年12月交通运输部还发布了《中华人民共和国防治船舶污染内河水域环境管理规定》（2015年第25号），规定要求船舶在内河航行时，使用燃料油应符合规定，并且不得超标排放废气及挥发性有机化合物。

在香港2015年7月1日实施《空气污染管制（远洋船只）（停泊期间所用燃料）规例》，提出远洋船舶在香港停泊时使用洁净燃料，且燃料硫含量不超过0.5%、液化天然气或环境保护署认可的其它燃料。2016年4月1日，上海和浙江等同样开始实施船舶污染物限排，主要是监控燃油的含硫量，而对尾气排放情况的监测依据尚未有相关标准。即规范的制定就在于提供监管依据，作为可靠有效的监控手段。

此外，2016年环境保护部发布的GB15097-2016《船舶发动机排气污染物排放限值及测量方法（中国第一、二阶段）》，对船舶大气污染物排放实施严格限值。GB15097-2016标准分为两个阶段实施，第一阶段相当于汽车发动机和非道路发动机的第II阶段（2009年10月1日开始实施）排放控制水平。与发达国家相比较，第一阶段排放标准与当前欧盟实施的排放标准相当，而第二阶段排放标准则与美国第三阶段实施的排放标准相当。

## 2.3 提升深圳港口环境空气质量的需求

防治大气污染，应当以改善大气环境质量为目标，坚持源头治理，规划先行。根据《中华人民共和国大气污染防治法》、《深圳市大气环境质量提升计划（2017-2020年）》、《深圳市绿色低碳港口补贴资金管理暂行办法》、《“深圳蓝”可持续行动计划（2018-2020年）》等相关文件要求，为进一步强化船舶大气污染防治工作，落实“深圳蓝”可持续行动计划，改善全市空气质量，同时改善国内对船舶污染控制研究相对滞后、船舶污染排放特征、基础排放数据等信息十分匮乏的现状，规范的制定可推动深圳绿色港口的健康发展。

我国环境保护虽然取得积极进展，但环境形势依然严峻，区域性大气污染问题日趋明显。深圳市在全国城市中较早地开展大气污染防治工作，前瞻研究，科学防治，并在《深圳市大气环境质量提升计划（2017-2020年）》文件中提出至2020年将PM<sub>2.5</sub>年均浓度控制在25微克/立方米以内。但随着航运业的不断发展，船舶尾气排放已成为导致大气环境污染的重要原因之一。通过船舶污染物排放法规的建章立制手段，结合深圳港船舶实际排放情况，严格控制船舶大气污染物的排放。建立该标准可引领各港口大气环境解决污染物乱排及超标排放现象，同时解决相关执法部门监管难等问题。

## 2.4 解决港口环保标准实施存在的主要问题

大气环境污染问题越来越严重，国家对环境保护重视程度达到了

空前高度。随着中国港口航运业的不断发展，船舶尾气排放已成为导致大气环境污染的重要原因之一，船舶污染排放法规政策的实施也是限制污染物排放的重要手段之一。

与陆地污染源相比，船舶大气污染物有效监管界限较难界定。相比于陆上的大气污染法规，对船舶废气进行限制的法规制定与实施都比较缓慢，这主要是由于海洋运输多是国际性的，各个国家的技术水平高低不同，很难形成统一的标准，每一个法规的制定与实施都是多方探讨的结果。

### 3 船舶行业概况

#### 3.1 船机行业概况

##### 3.1.1 船舶发动机分类

船舶发动机按使用燃料的不同，大致可分为汽油机、柴油机、燃气轮机等。

按发动机的燃烧冲程分为二冲程船机和四冲程船机。

按曲轴转速 $n$ 分为高速机、中速机和低速机，其范围为： $n \leq 300 \text{r/min}$ 为低速柴油机， $300 < n \leq 1000 \text{r/min}$ 为中速柴油机， $n > 1000 \text{r/min}$ 为高速柴油机。

本标准适用范围的船舶发动机主要为四冲程船用柴油机。

##### 3.1.2 船机行业发展概况

###### (1) 国外船舶柴油机的发展历程

在国外，对于船用发动机领域，2000年瓦锡兰首台船用50DF发动机诞生，能燃用LNG/柴油或重油，并能在运转过程中平稳地切换燃料。此发动机于2006年运用于船舶，并在此后65%的LNG船都安装使用瓦锡兰双燃料发动机。MAN的51/60DF中速双燃料发动机于2007年才通过最后测试，并首次运用于船用领域。

近几十年来，国外工业生产力迅猛发展，船舶工业随之也发展起来，大大提高了船舶柴油机的需求量。从20世纪80年代中期到20世纪

90年代中期再到21世纪初，船舶柴油机得到了相当大的进步。主要反映在以下几个方面：

1) 功率密度高。柴油机强化指标 ( $P_e C_m$ ) 由20世纪70年代的20提高到24，80年代末又由28再提高到90年代的32以上，技术上上了3个台阶。

2) 可靠性高。高可靠性和耐久性评价柴油机实际效用和综合性指标。

3) 经济性好、自动化程度高。采用电子控制、监测、管理系统，智能控制柴油机实现柴油机全工况高效运行，降低柴油机全寿命周期费用。

4) 发展低噪声、紧凑型柴油机动力模块。

5) 国外船用油的研发紧跟船舶发动机技术的发展，力求满足在新型发动机的苛刻工况下对润滑油的要求。

21世纪初，新机研发时间由10年左右缩短到3至4年，同时出现了超高增压技术、电控高压燃油喷射技术、智能化技术。

## (2) 国内船舶柴油机的发展历程

目前，我国船舶从实际调研情况可知，无论是远洋、近海还是内河船舶，绝大多数船舶都是使用柴油机作为主机和发电机组，而这类柴油发动机大部分都是由国外引进技术生产或者直接由国外进口。随着船舶日趋大型化和自动化，对船用设备的质量和要求的越来越高，但同国外的技术水平相比还存在一定的差距。

50年代后期到70年代后期，我国船用柴油机主要依赖进口。由于关键技术落后，研发模式落后，以及船用油技术都存在不完善，因此国内较少有成熟先进的自主研发产品。自1978年起，国内先后从丹麦MAN、瑞士SULZER（现芬兰WARTSILA）、法国SEMT pielstick等多家国外船舶柴油机制造业公司引进先进的大功率船用柴油机专利生产制造技术，并充分利用国外先进资源，提升自身技术能力及自主创

新能力。近年来，我国船舶柴油机自主研发呈快速发展的趋势，目前国产化率已达80%以上，性能已达到原引进柴油机的水平。

### 3.2 港口航运业概况

船舶运输具有运量大、成本低等优点，是国际贸易中最重要的运输方式之一。有80%以上的国际货物通过海运完成，我国更是高达90%以上。2018年统计快报显示，深圳港口船舶交通流量约63.21万艘次。《2018年交通运输行业发展统计公报》显示，我国内河航道通航里程12.71万公里，比上年增加108公里。等级航道里程6.64公里，占总里程52.3%，提高0.2个百分点。2014年至2018年全国内河航道通航里程见下图1。



图1 2014-2018年全国内河航道通航里程

2018年，我国港口拥有生产用码头泊位23919个，比上年减少3659个。其中沿海生产用码头泊位5734个，减少96个；内河港口生产用码头泊位18185个，减少3563个。而全国万吨级及以上的泊位2444个，比上年增加78个。

随着全球经济一体化的快速发展，船舶数量正在快速增加，航运业消耗的能源也越来越多。在世界排名10大港口中，我国港口占7个，分别为上海港、深圳港、宁波港、广州港、青岛港、天津港和维多利亚港，占全球货物吞吐量的四分之一。2015年，我国参与水上运输的船舶约16.59万艘，沿海港口货物吞吐量达到了91772.45亿吨。截止

2015年末全国拥有31259个生产用码头和泊位，总计2221个万吨级泊位。2016年，交通运输部发布了《2016年交通运输行业发展统计公报》显示，全国货物吞吐量达132亿吨。2018年全国港口货物吞吐量达24982万吨。2019年5月，交通运输部发布了统计数据，全国港口货物吞吐量达到了550015万吨，其中外贸货物吞吐量累计为175022万吨，集装箱吞吐量为10467万吨。按可比口径计算，全国港口吞吐量累计同比增速为4.1%，其中外贸吞吐量、内贸吞吐量、沿海港口吞吐量和内河港口吞吐量增速分别为2.2%、5.1%、2.7%和7.7%。

进入21世纪，我国海运业快速发展，取得了举世瞩目的成就。通过分析我国沿海货运船舶动力分析报告得出船舶结构组成，见下表4。

表4 2018年我国船舶结构组成

船舶类型	数量（艘）	运力（万吨）	平均船龄（年）	运力增幅（%）
干散货船	1832	6247.56	10.09	13.14
集装箱船	252	71.58	9.63	18.27
油品船	1296	1024.34	9.76	1.53
化学品船	288	112.9	10.01	6.33
液化气船	72	24.79	11.30	1.18

通过2018年我国船舶结构分析，我国船舶存在着较为明显的缺陷，散货船所占比例较高，而集装箱船所占比例相对偏低，总体船舶平均年龄较老，这与国际水平还存在着较大的差距。

深圳港作为全球第四大集装箱港口，在2019年货物吞吐量达到了9974万吨，其中外贸货物吞吐量为7192万吨，集装箱吞吐量为1023万吨。深圳港在推动我国对外贸易发展、服务国家“一带一路”倡议以及提升城市国际影响力等方面发挥了重要作用。但是，在全国航运货物吞吐量日趋增长的背景下，船舶废气排放的相关问题也随之而来，受到航运界的高度关注。针对环境空气质量问题，深圳市政府高度重视船舶港口污染防治工作，《深圳环境质量提升行动计划》（深府办



[2012] ) 24号 ) 明确提出要“发展绿色航运，治理港口船舶废气污染”。

## 4 主要国家地区相关法规标准研究

### 4.1 美国

美国在港口船舶污染治理和监管方面具有较成功的经验，主要包括加强立法、设立排放控制区、制定相关标准、编制排放清单、制定激励政策、加强监管执法等。通过制定船舶燃料标准和废气排放标准，控制燃油硫含量负荷标准，同时强制要求船舶废气要达标排放。

1999年美国设立自愿认证程序，约束船舶发动机制造商证明其船机符合MARPOL73/78附则VI。2006年美国制定执行法案H.R.5811来执行附则VI，2008年正式实施。2008年修正的《清洁空气法案》要求任何进入或离开美国港口和码头的远洋船舶使用的燃料含硫量不超过0.1%；并从2010年12月31日开始，将该限制扩大到距离美国海岸或大海岸线200英里以内的海域。美国环境保护署（Environmental Protection Agency，EPA）还颁发了发动机排放限值TierII，此标准适用于在美国注册的气缸扫气容积（Vd）为2.5~30dm<sup>3</sup>的船舶，并于2007年开始生效执行。该限值相对IMO TierI来说，NO<sub>x</sub>大约要降低25%~40%，具体排放限值见表5。

表5 EPA TierII对1类和2类发动机排放限值的要求

扫气容积 Vd/dm <sup>3</sup>	类别	NO <sub>x</sub> +CH g/（kw.h）	PM g/（kw.h）	CO g/（kw.h）
2.5≤5.0	1	7.2	0.20	5.0
5.0≤15.0	2	7.8	0.27	5.0
15.0≤20.0	2（<3.3MW）	8.7	0.50	5.0
15.0≤20.0	2（>3.3MW）	9.8	0.50	5.0
20.0≤25.0	2	9.8	0.50	5.0
25.0≤30.0	2	11.0	0.50	5.0

类别1是指单缸排放D < 5dm<sup>3</sup>，P≥37kw的船用发动机；类别2是指

单缸排量 $5\text{dm}^3 \leq D < 30\text{dm}^3$ 的船用发动机。

对 $\text{SO}_x$ 控制方面，北美加入 $\text{SO}_x$ 的排放控制区域，要求从2007年开始使用硫含量不超过0.05%（500ppm）的柴油。到2012年1月1日起还对进入或离开美国港口远洋船舶发动机执行排放控制要求，并同时要求这部分船舶转换使用超低含硫柴油（0.0015%）。另外，美国部分地区如加利福尼亚州制定了更加严格的计划、法规、控制标准等来推动船舶污染控制。美国部分港口如洛杉矶（POLA）、长滩港（POLB）、圣地亚哥港（POSD）和纽约/新泽西港等均推出了自愿性减速计划，如减速可享受码头费优惠折扣等。

## 4.2 欧盟

欧盟标准是将发动机按单缸排量和净功率分类，其标准要求与美国船机标准一致。欧盟通过立法形式强制性要求停靠欧盟港口船舶使用低硫油和岸电。欧盟1999/32/EC号法令中自2010年1月1日起对停靠欧共体的船舶燃油硫含量的强制要求。欧盟2005/33/EC号法令是对欧盟1999/32/EC号法令的修正，强制要求从2010年1月1日起，在欧盟港口停泊超过2小时的船舶不得使用硫含量超过0.1%的燃油。欧盟2014/94/EU第4条指出，截止2025年12月31日在“跨欧洲交通网络”港口强制使用岸电。

另外，瑞典除了接受国际海事组织的相关规定外，又制定了一些辅助的鼓励和惩罚手段。例如，从1998年起，瑞典当局对进入其海域的船舶，根据船舶上柴油机的实际 $\text{NO}_x$ 和 $\text{SO}_x$ 的排放浓度值大小征收不同比率的污染税。大于 $12\text{g/kw.h}$ 的全额征收；在 $12\text{g/kw.h}$ 和 $2\text{g/kw.h}$ 之间的按比例缴纳；小于 $2\text{g/kw.h}$ 的征收最少。

## 4.3 中国

中国作为MARPOL73/78附则VI的签署国之一，同样非常重视港口船舶污染。针对港口船舶大气污染治理，国务院、交通运输部、环保部等借鉴国际经验，结合我国港口实际情况，研究制定了一系列的

法规、政策、标准、规划和措施来控制港口船舶废气污染，并设立了中国排放控制区。在国家政策的支持下，建设了一批国内绿色港口示范工程，如天津港、宁波舟山港、深圳港等。

2015年《中华人民共和国大气污染防治法》首次将靠港船舶燃油、使用岸电、划定船舶大气污染物排放控制区等要求写入了法律条文中，以立法的形式强有力的推动了我国港口船舶污染治理的发展。2018年，党的十九大提出，坚决打好污染防治攻坚战，持续实施大气污染防治行动，实现PM<sub>2.5</sub>目标控制，加大对“绿色港航工程”的补贴力度及推广使用电动港口工作船舶。

在船舶标准规范方面，我国陆续出台。具体标准规范适用内容如下：

#### （1）GB/T 15097-2016 标准

GB/T 15097-2016 《船用发动机排气污染物排放限值及测量方法（中国第一、二阶段）》标准，由国家质量监督检验检疫总局在2016年8月22日发布，2018年7月1日实施；代替GB/T 15097-2008《船用柴油机排气排放污染物测量方法》标准。

适用范围：船舶装用压燃式发动机及点燃式气体燃料（含柴油天然气双燃料）发动机排气污染物排放限值及测量方法

#### （2）GB/T 5741-2008 标准

GB/T 5741-2008《船用柴油机排气烟度测量方法》标准，由质量监督检验检疫总局在2008年8月4日发布，2009年2月1日实施，代替GB/T 5741-85《船用柴油机排气烟度测量方法》国家标准。规定了用滤纸式烟度计进行测量，测量结果用滤纸式烟度值（FSN）表示。适用于船用柴油机排气烟度的测量。

#### （3）GB/T 8190.4-2010 标准

GB/T 8190.4-2010《往复式内燃机排放测量第4部分：不同用途发动机的稳态试验循环》标准。该标准等同采用ISO8178-4:1996，为

测试方法标准，规定了不同类型船机适用的E1 ~ E5 测试循环。

(4) GD11-2017 指导性文件

GD11-2017《船用柴油机氮氧化物排放试验及检验指南》(2017)，是由中国船级社结合国际海事组织2008年新修订的MARPOL公约附则VI (MEPC.176(58)决议) 的第13条、《船用柴油机氮氧化物排放控制技术规则》(MEPC.177(58)决议)，对《船用柴油机氮氧化物排放试验及检验指南》(2015) 的修订，该决议的生效时间为2017年9月1日。

排放限值要求和实施日期和MARPOL73/78相同。NO<sub>x</sub>排放标准的方法有：船机装船前的试验台试验方法；船机装船后有：柴油机参数检查法、简化测量法和直接测量和监测法。试验循环和欧盟、EPA、MARPOL73/78中规定的试验循环均相同，采用E2、E3、D2和C1循环。试验用燃料应根据试验目的选择，除非船级社同意且适合的参考燃料得不到时，则应使用ISO8217中规定的具有适合柴油机类型的DM级船用燃料。

(5) GB8840-2009标准

《船用柴油机排气烟度限值》规定了船用柴油机稳态工况下排气烟度的允许限值。2009年3月9日发布，2009年8月1日实施。柴油机排气烟度测量值应在柴油机铭牌额定工况或订货合同规定的持续运转功率工况下测量，其允许限值见表6。

表6 柴油机排气烟度允许限值

名义排气流量 G/ (L/s)	滤纸烟度S <sub>F</sub> /FSN	名义排气流量 G/ (L/s)	滤纸烟度S <sub>F</sub> /FSN
≤45	4.86	>290~350	3.27
>45~55	4.77	>350~400	3.08
>55~65	4.58	>400~500	2.99
>65~75	4.48	>500~600	2.90
>75~85	4.30	>600~700	2.71

名义排气流量 G/ (L/s)	滤纸烟度 $S_F/FSN$	名义排气流量 G/ (L/s)	滤纸烟度 $S_F/FSN$
>85~95	4.20	>700~900	2.62
>95~110	4.11	>900~1150	2.43
>110~125	4.02	>1150~1500	2.24
>125~140	3.92	>1500~2000	2.05
>140~160	3.83	>2000~3000	1.96
>160~185	3.74	>3000~5000	1.77
>185~210	3.64	>5000~7000	1.59
>210~250	3.46	>7000	1.40
>250~290	3.36		

#### (6) GB20891-2014标准

GB 20891-2014《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）》标准中规定了额定净功率不超过37kw的船用柴油机排气污染物限值，具体排放限值见表7。

表7 排放限值

额定净功率 (P/kw)	阶段	CO (g/kw.h)	HC+NO <sub>x</sub> (g/kw.h)	PM (g/kw.h)
P<37	III	5.5	7.5	0.6
	IV	5.5	7.5	0.6

## 5 标准项目研究及方法

### 5.1 研究方案与技术路线

为强化船舶大气污染防治工作，落实“深圳蓝”可持续行动计划，船舶废气排放监测监管是对船舶大气污染采取的防治措施。首先，通过深圳各港口现场调研，收集船舶基础信息，包括船舶尾排烟囱结构、燃料类型，发动机使用年限，船舶建造时间等。同时，结合深圳港船舶活动特点，通过实时在线跟踪监测，分别了解与掌握船舶发动机的

排放规律及特征，获取船舶污染物排放数据。并且对监测船舶所使用燃料油进行抽样回实验室检测硫含量，从源头上对船舶排放大气污染物含量进行有效评估。

本项目的实施是建立在充分调研国内外文献，结合深圳市港口船舶类型及活动特点，筛选不同船型、不同功率发动机、不同使用年限主机等船舶，并借鉴国内 GB 15097-2016《船舶发动机排气污染物排放限值及测量方法（中国第一、二阶段）》标准对污染物的监测方法和监测要求，严格筛选精度和量程等参数可靠的在线监测设备，并设计监测船舶发动机的实验方案。项目实施技术路线如图 2 所示。

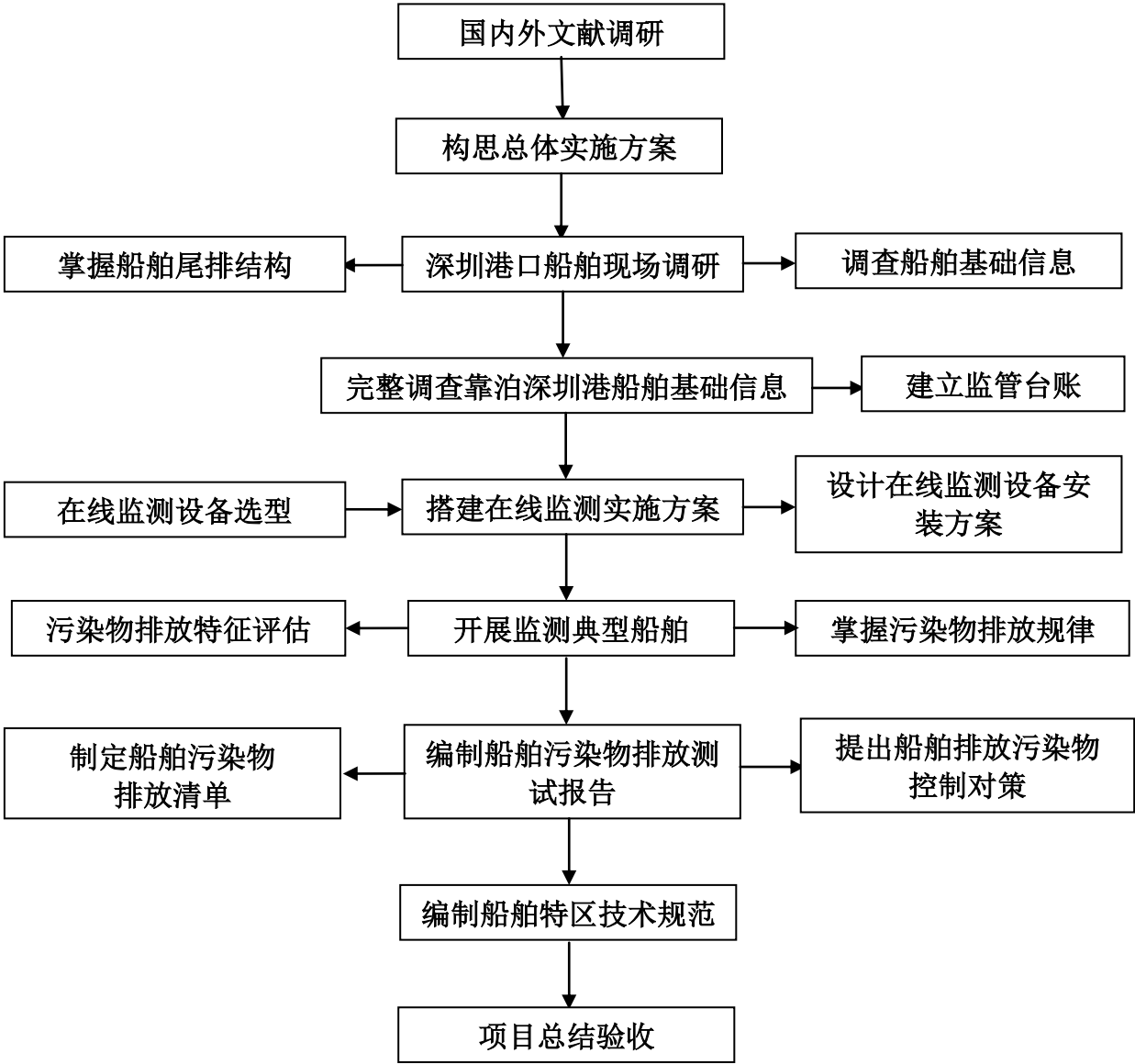


图 2 项目总体技术路线图

## 5.2 深圳港船舶调研

### 5.2.1 深圳港口概况调研

深圳港位于华南沿海，紧邻东北亚国际海运航线，背靠珠江三角洲，毗邻香港，地理位置优越，水陆交通便利，是我国沿海主枢纽港之一和集装箱干线大港。深圳港分东西两大部分，东部各港区位于大鹏湾及大亚湾西岸，西部位于珠江口东岸，依托深圳及珠江三角洲的经济发展，以及与广州、珠海、香港及澳门便捷的水上交通网络，具体地理位置如图3所示。至2014年深圳港已建成十个港区和核电、大鹏LNG等专用码头，500吨级以上泊位130个，其中万吨级及以上泊位82个。年货物吞吐量2亿2千多万吨，集装箱处理量2400多万标箱，客运量约680万人次，年进出港船舶约37万艘次。

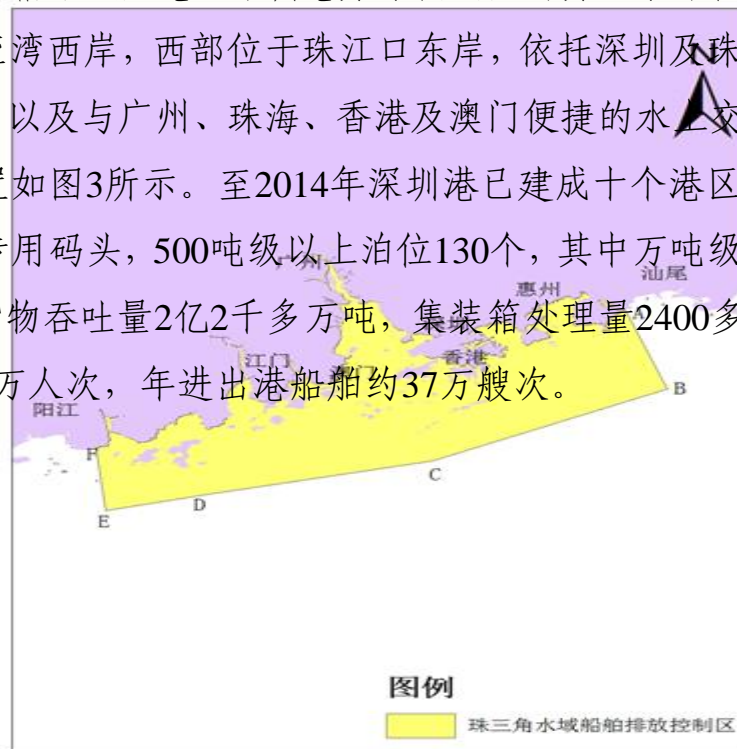


图3 珠三角排放控制区

### 5.2.2 深圳港口船舶基础信息调研

深圳海事局管理辖区范围由东、西部水域组成。经过三十多年的建设，深圳港已成为我国华南沿海的重要港口。在港口建设和生产不断壮大的同时，港口大气污染问题带来的环境空气问题给相关部门敲

响了警钟。为了及时有效防治港口船舶大气污染带来的影响和危害，需要根据深圳市靠泊内河、江海直达、工作船、客船等柴油动力船舶的特点，整理深圳市船舶基础信息，并通过大数据统计归类所需管理的船舶类别。

2019年3月，项目组在深圳海事局的大力协助下，从深圳海事监管服务平台收集到2018年1月至12月全年靠泊深圳港船舶基础信息，包括中文船名、海船内河船标志、船舶种类、船籍港、总吨、燃料类型等基础信息，共计12202艘船舶。由于深圳海事监管服务平台所查询船舶无燃料类型信息登记，因此12202艘船舶燃料类型，根据其总吨及船舶类型等信息进行燃料油判别。此外，船舶所属企业是保密级别较高的基础信息，因而无法获取。具体船舶数据统计见表8。

表8 2018年靠泊深圳港船舶基础信息统计

船舶类型	数量	占比/%
客船	1643	13.5
工程船	328	2.7
集装箱船	3426	28.0
货船	5860	48.0
港作船	203	1.7
油/气储运船	674	5.5
其它	68	0.6

其中国际航行船舶3849艘，国内航行船舶8353艘。此外，500总吨以下共2563艘，500总吨及以上至3000总吨共5076艘，3000总吨及以上共2936艘。基于以上调研船舶信息并制定深圳市船舶监管台账。

### 5.2.3 船舶类型调研

随着造船技术的发展和现代航运的需求，现代船舶已向多元化发展。不同的航区、货物及使用目的对船舶的要求也各不相同，因此船舶种类繁多，各具特色。按船舶用途进行分类可以划分为运输船舶、海洋开发用船、工程/工作船、渔业船舶、特种船舶等几大类型。

为了使船舶尾气排放测试结果具有代表性和科学性，船舶监测对象主要选择运输类船舶，其中大部分为民用船舶。该类船舶靠泊深圳



港作业频率较高，及船机功率相对较大，排气量也相对较大，是港口废气排放贡献率较大的污染源之一。根据深圳海事局提供的深圳市内港口签证清单统计船舶类型如表9所示。

表9典型船舶类型

船舶	船舶类型	用途
客船	车客渡船	用于定期和定点往返于两地的运载人员、车辆的船舶
	高速客船	乘客用于出行/游览欣赏风景的船舶
	普通客船	
	旅游客船	
货船	干货船	用于运载干燥的货物为主的船舶
	油船	用于准载石油类货物的液货船
	化学品船	用于运载液态或固态化学品的船舶
	液货船(LNG)	用于运输散装液态货物的船舶
	水泥船	用于水泥、砂石、钢筋等作为船体机构基本材料的船舶
	散货船	散装运输谷物、煤、矿砂、盐、水泥等大宗干散货物的船舶
	集装箱船	专门运输集装箱货物的船舶
	滚装船	将货物从船舱运输至码头的一种船舶
货船	多用途船	具备多种用途功能的船舶
	汽车渡船	汽车渡船专门用于渡运汽车的渡船
	驳船	驳船本身无自航能力，需拖船或顶推船拖带的货船
港作船	拖船	用于拖带其它船只或浮动建筑物的船舶
工程船	挖泥船	是在水上、水下工程作业的船舶
	打桩船	用于水上打桩作业，船体为钢箱型结构，在甲板的端部装有打桩架，可前俯后仰以适应施打斜桩的需要
	采沙船	在河道里采沙的专用机器
	起重船 (浮吊船)	用于水上起重、吊装作业、一般为非自航，也有自航的。

船舶	船舶类型	用途
港务船	引航船	用来接送引航员上下大船的工具
	交通艇	/
	供给船	提供资源供应的船
	公务船	/
特种用途船	油污水处理船	为停港船舶收集和处理油污水的船，对由油污水驳运船运来的油污水处理后，可排放符合标准的污水及制成再生油
其它	游艇	用于水上娱乐、休闲等
	摩托艇	在水上竞速的船

通过对深圳港船舶靠泊情况的收集与调研，民用船舶主要包括拖轮、小型集装箱船、高速客船等，且占比较高。因此本项目监测深圳靠泊船舶，主要将港口拖轮、客船、小型集装箱货船等作为监测对象。本项目监测船舶类型具体见下表10。

表10 监测船舶主要类型

沿海船舶	船舶类型	具体定义
客船	观光船	用于载客游览欣赏周围风景的船只。
	载客船	承担运载乘客，定期由一个固定地点前往另一个固定地点的船只。
货船	小型集装箱船	运载集装箱货物的船舶。
港作船	拖船	设有拖拽设备，专门用于在水上拖拽船舶或协助船舶进出港的船舶。

#### 5.2.4 船舶烟囱结构调研

根据深圳港船舶实际调研情况发现，船舶烟囱结构差异较大。拖轮类船舶烟囱分为上排和尾排结构，其废气排放烟囱均没有冷凝水排出。其中烟囱为上排结构的船舶，主机与辅机分别对应一个烟囱排放。尾排结构的船舶，其主机与辅机共用一个排放口。

客船类船舶烟囱均为尾排，主机与辅机分别各对应一个排放口，

均有冷凝水流出。小型集装箱类船舶烟囱均为上排，主机与辅机分别对应一个排放口，冷凝水单独其他管道排出。

本项目监测拖轮共计7艘，其中6艘为上排烟囱，1艘为下排烟囱。客船共计6艘，其烟囱结构均为尾排。小型集装箱船共计7艘，其烟囱结构均为上排。

### 5.3 在线监测设备调研

为了能够满足各类船舶尾气排放污染物种类与浓度的监测要求。同时在线监测设备还要满足烟气排放高温环境及不同烟囱结构匹配安装要求。项目组共计调研了四家厂商及设备，具体参数对比情况见下表11。

表11 设备信息表

厂商	设备名称	测量项目	本项目要求	船舶现场要求
厦门东鸿仪器有限公司	直采排放测试系统	CO、CO <sub>2</sub> 、O <sub>2</sub> 、THC、NO <sub>x</sub>	CO、CO <sub>2</sub> 、O <sub>2</sub> 、TVOC、NO <sub>x</sub> 、SO <sub>2</sub> 、PM	1设备采样探头必须加强稳固，防止船舶航行中震动松动； 2尾排结构船舶与海水距离较近，需监测系统防水； 3船舶尾排口温度约200℃，需耐高温设备； 4上排烟囱高度可达2m左右，需采样管长度够长。
上海艺行有限公司	SY8000-W7便携泵吸式气体分析仪	CO、CO <sub>2</sub> 、O <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、SO <sub>2</sub>		
武汉理工大学	PG-3000便携式气体分析仪	CO、CO <sub>2</sub> 、O <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、SO <sub>2</sub>		
智人环保股份有限公司	Mini-SEMS在线监测系统	CO、CO <sub>2</sub> 、O <sub>2</sub> 、TVOC、NO <sub>x</sub> 、SO <sub>2</sub> 、PM		

通过几家厂商设备实地考察，厦门东鸿仪器有限公司及上海艺行有限公司，武汉理工大学的监测设备均没有颗粒物（PM）监测模块，其中上海艺行有限公司设备主要用于汽车尾气监测，其技术参数无法满足船舶尾排高浓度监测要求。智人环保股份有限公司Mini-SEMS在线监测系统，子模块监测项目齐全，监测量程可调到最大满足船舶高

浓度污染项目的监测，同时满足船舶现场监测要求。是本标准研制项目的最佳选择。

基于以上设备调研的结果，设备测量项目均没有考虑监测不透光烟度。根据文献资料的查阅，目前不透光烟度监测项目一般广泛应用于机动车尾气排放测试，而船舶尾气不透光烟度监测几乎没有。此外，不透光烟度分为瞬时性和持续性，瞬时性监测执行在实际中难以实现。

## **5.4 深圳港船舶尾气处理设施调研**

基于前期深圳港口概况及船舶基础信息的调研，同时根据深圳市船舶相关情况，希望筛选出加装尾气处理装置的船舶进行监测。然而项目组前往深圳各大港口，与码头相关人员进行走访实地调研了解到，深圳港几乎没有船舶有加装尾气处理装置，进而无法实现监测加装尾气处理装置的船舶。但在持续调研的过程中，项目组调研到广东珠海有两艘使用液化天然气（LNG）燃料的船舶，共计两艘，均为拖轮（海洋石油525，海洋石油526）。两艘拖轮所属企业为中海油能源发展有限公司，其主机使用液化天然气燃料，辅机使用轻柴油，均为港内作业船舶。

## **5.5 实船监测**

### **5.5.1 测试前准备**

测量前应对在线监测系统各个监测子模块按照HJ76-2017进行计量和校准。

测量前一小时开启设备预热，再开始采集船舶尾气排放的数据。

船舶尾气测量过程中，需收集采样管冷凝水，防止冷凝水流入抽气泵及监测设备里。

由于实船安装现场可能由于天气、船舶特殊任务等各种客观原因影响船舶尾气在线监测活动，因此现场监测前，项目组需与船东签订《外协人员进场安全管理告知书》（见附件3），同时项目组需向船东

提交《现场安装安全保障措施》(见附件4), 确保监测活动的安全性, 可靠性和科学性, 同时让船员了解此项目的重要意义并予以支持和配合。

### 5.5.2 实船安装

为了不影响船舶正常运营, 及损坏船舶发动机与监测设备, 保障监测过程顺利进行, 监测设备安装要求需充分考虑实际情况: (1) 稳固性。要求烟囱紧固件不可有震动掉落零件的风险, 所有螺栓尾部增加开口销, 防止螺母脱落; (2) 耐高温。烟囱口所有零件抗300℃高温; (3) 采样有效。采样管弯曲半径不小于50mm, 进入冷凝瓶前不可有沉积物; (4) 气体温控。采样管外增加散热翅片, 增大散热面积与散热效果。

安装第一步, 将监测仪器用抱箍紧锁在船舶栏杆上, 如图4所示。

第二步, 将采样气路连接在烟囱上, 保证采样管在烟囱横截面的中心位置, 管路伸进10公分。皮托管与采样管保持垂直, 确保监测数据的准确性。

第三步, 将固定安装完成的采样管连接到监测仪器上。

第四步, 将设备固定好后, 连接电源, 确定好采样管位置以及相应管路距离。开启电源进行设备预热, 使其达到相应的工作温度。同时, 检查设备所有系统连接设备是否正常, 数据监测是否正常等情况, 确保船舶监测正常进行。

现场实船尾气在线监测安装如图4, 图5, 图6, 图7, 图8。





图4 监测仪器安装固定图

图5 采样管路的连接图



图6 拖轮实船安装图

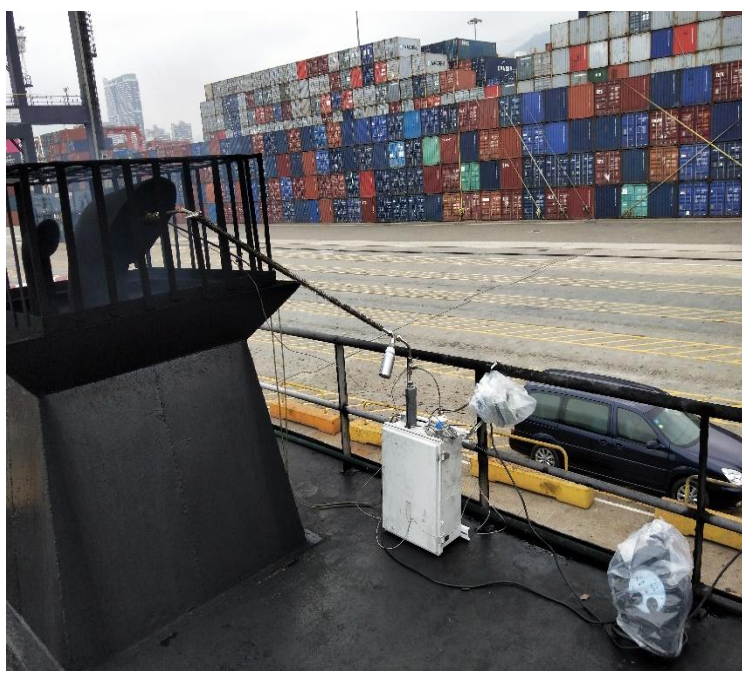


图7 集装箱船实船安装图



图8 客船实船安装图

5.5.3 数据采集

实船在线测试数据，通过实时发往在线显示服务器获取数据，同时可与手机管理平台浏览下载管理数据。用户指定账号及密码登录，连接通讯选择开始时间和结束时间读取有效数据，同时可导出数据。

6 标准主要技术内容

6.1 标准使用范围

6.1.1 标准适用范围

本标准规定了船装用压燃式发动机在航行中各个工况下排气污染物排放限值及测量方法。

本标准适用于内河船、沿海船、江海直达船装用的额定净功率大于37kw的第1类和第2类船机（主机和辅机）且燃烧一切燃料的船机。

本标准不适用于内河船、沿海船、江海直达船装用的应急船机、安装在救生艇上或只在应急情况下使用的任何设备或装置上的船机。

额定净功率不超过37kw的船机执行GB 20891标准。

本标准适用于使用轻柴油的船舶发动机。其他燃料类型暂不适用。

6.1.2 标准适用范围的确定

（1）船舶类型的确定

根据GB/T7727.1-2008《船舶通用术语 第1部分：综合》中船舶的定义，按照航行区域划分，船舶可分为以下几类，见表12。

表12 船舶类型及其航行区域

船舶名称	航行区域	是否本标准控制范围
海[洋]船	海洋区域	否
极区船	北冰洋或南极圈内海区	否
远洋船	大洋上	否
江海直达船	沿海水域和江河航道	是

沿海船	沿海各港口之间	是
海峡[渡]船	海峡两岸或岛屿间水域	否
内河船	江河、湖泊	是

本标准适用于进入深圳港口排放控制区的船舶，控制对象为：深圳港排放控制区内航行的内河船、沿海船和江海直达船装用的船舶柴油机。

## （2）船舶发动机类型的确定

内河船、沿海船和江海直达船舶装用的发动机按使用燃料划分大体有三类：柴油船机、汽油船机和LPG船机。深圳港内船舶所使用发动机主要为柴油机，因此本规范标准适用于船用柴油机。

## 6.2 标准结构框架

本标准文本包括适用范围、规范性引用文件、术语和定义、测量方法、排放限值、测量设备质控要求。

## 6.3 术语和定义

本标准所涉及的术语和定义均引自 GB/T7727.1-2008《船舶通用术语 第1部分：综合》与欧盟船机法规2004/26EC中的定义：

### （1）内河船 inland vessel

适宜于在江河、湖泊航行的船。

### （2）沿海船 coaster vessel

适宜于在沿海各港口之间航行的海船。

### （3）江海直达船 river-sea ship

适宜于在沿海水域和江河巷道航行的船。

### （4）第1类船机 category 1 marine engine

额定净功率大于或等于37kw并且单缸排量小于5L的船机。

### （5）第2类船机 category 2 marine engine

单缸排量大于或等于5L且小于30L的船机。

## 6.4 污染项目的选择



船舶发动机排放的大气污染物主要包括颗粒物 (PM)、氮氧化物 (NO<sub>x</sub>)、二氧化硫 (SO<sub>2</sub>)、挥发性有机物 (TVOC)、一氧化碳 (CO)、二氧化碳 (CO<sub>2</sub>)、苯、芳烃和烯烃等有害气体。考虑到船舶排放大气污染物对环境和人体健康的影响分析, 本项目监测项目主要选择 CO、CO<sub>2</sub>、TVOC、NO、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>及PM。

## 6.5 测试原理

### (1) 排烟口流速监测方法及原理

采用皮托管测量排气压差, 再应用伯努利定理算出气流的速度。

对于低速流动 (流体可近似地认为是不可压缩的), 由伯努利定理得确定流速的公式为:

$$V = \sqrt{\frac{2(P_0 - P_\infty)}{\rho}} \quad (1)$$

其中V为排气气体流速 (单位: m/s);  $P_0$ 为排气口总压 (单位: Pa);  $P_1$ 为排气口静压 (单位: Pa);  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] 空气密度

### (2) 船机排气污染物的在线测试方法及原理如下:

a) 电化学传感器: 气体通过多孔膜扩散进入传感器的工作电极, 在此气体被氧化还原, 这种电化学反应生成电流, 经过外电路放大和信号加工处理成电信号。此电信号被高灵敏度微电流放大器放大之后, 经过线性折算成浓度值。船舶尾气NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO主要应用该检测原理。

b) 光离子传感器 (PID): 主要用于船舶碳氢化合物检测, 其使用具有特定电离能 (10.6eV) 的真空紫外灯 (UV) 产生紫外光, 在电离室内对气体分子进行轰击, 把气体中含有的有机物分子电离击碎成带正电的离子和带负电的电子, 在极化板的电场作用下, 离子和电子向极板撞击, 从而形成可以被检测到的微弱离子电流。这些离子电信号被高灵敏度微电流放大器放大之后, 经过线性折算成浓度值。其

高能紫外辐射可以使空气中大多数有机物和部分无机物电离，但是仍保持空气中基本成分如氮气，氧气，二氧化碳，水蒸气等不被电离。

c) 非分散红外传感器 (NDIR): 主要用于船舶尾气CO<sub>2</sub>的检测。红外光束穿过采样腔，样本中的各气体组分吸收特定频率的红外线。通过测量相应频率的红外线吸收量，以此确定气体组分的浓度。

d) 颗粒物传感器: 颗粒物采样由采样口吸入，进入检测器室内。检测器室内有安装激光发生器，把激光束按一定角度照射到颗粒（不管是固体颗粒、液滴或气泡）上时激光向空间四周折射和散射，这些散射和折射的光信号被光电二极管检测器捕捉并转换成电信号，经过内部电路处理和换算之后得到颗粒物质量浓度。

6.6 仪器要求

实船尾气排放测量仪器主要使用在线监测系统。分为采样模块和Mini-SEMS监测模块两大部分。各个模块的详细信息如表13所示。其工作原理主要采用高灵敏度电化学传感器和PM传感器，利用电化学反应分辨气体成分，同时检测气体浓度。结合单片机技术和网络通讯技术，连续监测船舶尾气排放污染物浓度和温湿度、压力及气体流速等参数，全面显示需要监测的测量数据，实现了高时间和空间分辨率的测量。

表13 在线监测系统各组分信息

主模块	子模块	组分
采样模块	前端采样探头 (3/8" 不锈钢管)	排气温度传感器
		排气湿度传感器
		排气压力传感器
		排气流速传感器
	采样延长管 (3/8" 不锈钢)	伴热电阻
		包裹保温石棉
		外包裹材料

主模块	子模块	组分
		保温控制器
		散热翅片
		冷凝水瓶
		变径三通接头
	气泵及进气过滤网	-
	气体稀释模块（如需）	干空气过滤器
		气体混合容器
		气泵
Mini-SEMS 监测 模块	气体传感器模块	CO 传感器
		CO <sub>2</sub> 传感器
		NO 传感器
		NO <sub>2</sub> 传感器
		TVOC 传感器
		SO <sub>2</sub> 传感器
		O <sub>2</sub> 传感器
	颗粒物传感器模块	颗粒物传感器
	其他附属设备	系统主控板
		数据传输与存储模块
		环境温度传感器
		环境湿度传感器
		环境压力传感器
		进气颗粒物滤膜
		冷凝水收集瓶
		气体进样气泵
	自动调零模块	调零催化剂
		调零气体气泵

其中采样模块包含前端采样探头（3/8” 不锈钢管）、采样延长管（3/8” 不锈钢管），Mini-SEMS监测模块包含气体传感器模块、颗粒物传感器模块、自动调零模块及其他附属设备。

前端采样探头从烟囱排口中连续采样并检测排口流速、温湿度和压力等参数。随后连接采样延长管，并在一段管线上加装散热翅片把高温排气（约200℃）冷却至70℃并进行保温控制，以保证进样气体温度高于环境露点温度。另外在低处安装冷凝水收集瓶，收集在温度冷却过程中饱和水汽凝结出的冷凝水。抽气泵进口前安装过滤网过滤颗粒物以保护气泵。采样模块的气体流量设定在5 LPM。在采样延长管的适当位置安装变径三通接头设置旁路，从旁路连接Mini-SEMS监测模块进气口，从而对进样气体进行分析。如果进样气体浓度过高超过传感器量程，需要加装气体稀释。即在变径三通旁路之前接入气体稀释模块，对进样气体进行稀释，之后再通过旁路进入Mini-SEMS监测模块进行分析。整个设计简图如下图9所示：

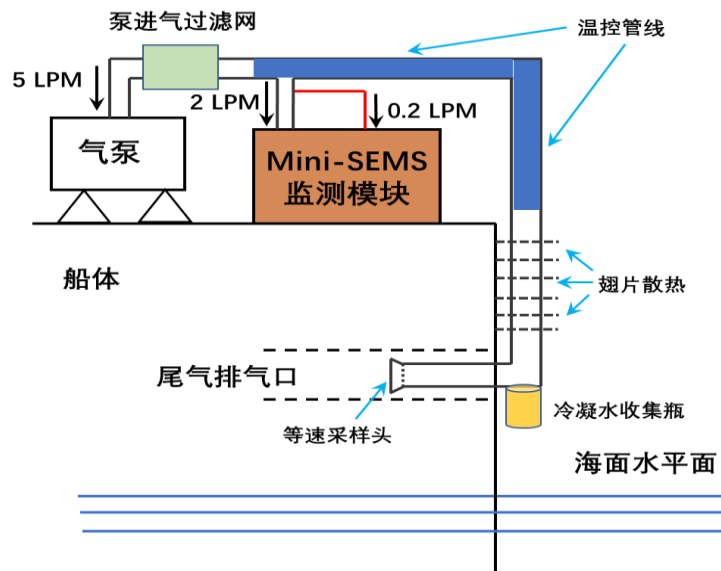


图9 在线监测系统设计简图

上述在线监测系统Mini-SEMS是基于传感器的空气质量监测系统，监测目标物主要包括气体污染物（NO、NO<sub>2</sub>、CO、CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、TVOC），颗粒物（PM）和环境因素（废气排放流量、压力等）。为

了获取现场测试要求的精确度，实船测试系统技术规格和精度要求、工作原理和技术规格等详细参数设计见表14所示。

表14 船舶监测系统的技术规格与要求

设备名称	监测项目	技术规格
电化学一氧化碳传感器	CO	量程：0~4000 ppm；响应时间：<35 s；最大功率：0.8W 检测精度：不超过 $\pm 3\%$ F.S；重复性：不超过 $\pm 2\%$ ； 线性误差：不超过 $\pm 2\%$ ；零点漂移：不超过 $\pm 2\%$ （F.S/年）；
非分散红外二氧化碳传感器	CO <sub>2</sub>	量程：0~ 5% （0 ~ 50000 ppm）；响应时间：<15 s； 检测精度：不超过读数 $\pm 10\%$ ；重复性：不超过 $\pm 2\%$ ； 线性误差：不超过读数 $\pm 10\%$ ；零点漂移：不超过 $\pm 1\%$ （F.S/月）；
（PID）挥发性有机物传感器	TVOC	量程：0~2000 ppm；响应时间：<2 s；检测限：0.5 ppm
电化学一氧化氮传感器	NO	量程：0~2000 ppm；响应时间：<15 s；最大功率：0.8W 检测精度：不超过 $\pm 3\%$ F.S；重复性：不超过 $\pm 2\%$ ； 线性误差：不超过 $\pm 2\%$ ；零点漂移：不超过 $\pm 2\%$ （F.S/年）；
电化学二氧化氮传感器	NO <sub>2</sub>	量程：0~500 ppm；响应时间：<60 s；最大功率：0.8W 检测精度：不超过 $\pm 3\%$ F.S；重复性：不超过 $\pm 2\%$ ； 线性误差：不超过 $\pm 2\%$ ；零点漂移：不超过 $\pm 2\%$ （F.S/年）；
电化学二氧化硫传感器	SO <sub>2</sub>	量程：0~2000 ppm；响应时间：<25 s；最大功率：

设备名称	监测项目	技术规格
器		0.8W 检测精度：不超过 $\pm 3\%F.S$ ；重复性：不超过 $\pm 2\%$ ； 线性误差：不超过 $\pm 2\%$ ；零点漂移：不超过 $\pm 2\%(F.S/\text{年})$ ；
电化学氧气传感器	O <sub>2</sub>	量程：0~30%；响应时间：<8 s；最大功率：0.8W 检测精度：不超过 $\pm 3\%F.S$ ；重复性：不超过 $\pm 2\%$ ； 线性误差：不超过 $\pm 2\%$ ；零点漂移：不超过 $\pm 4\%$ (F.S/3年)
光散射PM传感器	PM	量程：0~100 mg/m <sup>3</sup> ；响应时间：1 s； 最大功率：<20 W；检测精度：不超过 $\pm 5\%F.S$ ；

## 6.7 测量条件（工况）

本标准规范了监测船舶全工况，分为出港（离泊）、巡航、进港、停泊（靠港）四种工况。船舶出港离泊期，船舶航速加速且主机转速变大；当船舶航速加速至一定速度保持稳定为船舶巡航工况；当船舶开始从巡航速度开始减速到船舶速度降为 0 节时定义为进港工况；船舶靠好码头，速度降为 0 节，主机转速保持怠速或停止时定义为停泊工况。本标准规定了测试每艘船舶覆盖船舶四个工况，以此获取不同工况数据。

本标准适用于规定范围内船舶所有工况下的排放污染物浓度限值及测量方法。

## 6.8 测量要求

### 6.8.1 取样探头安装

取样探头安装在船舶柴油机排气烟囱直管段的中心轴线上，并逆气流方向安装。

取样探头前端距柴油机排气烟囱口大于 6D（D 为排气连接管的内径），其后方直管段长度大于 3D。

取样管加装散热翅片，防止监测气体温度过高（监测时气体温度应低于 80℃），影响监测结果准确性。

实船安装采样管由现场量身定制，再进行监测。

6.8.2 软管安装

皮托管垂直取样探头安装，同时监测流量和烟气压力。

连接取样探头和皮托管的软管的内径大于 4mm。取样探头与船舶烟囱连接设计安装如图 10。

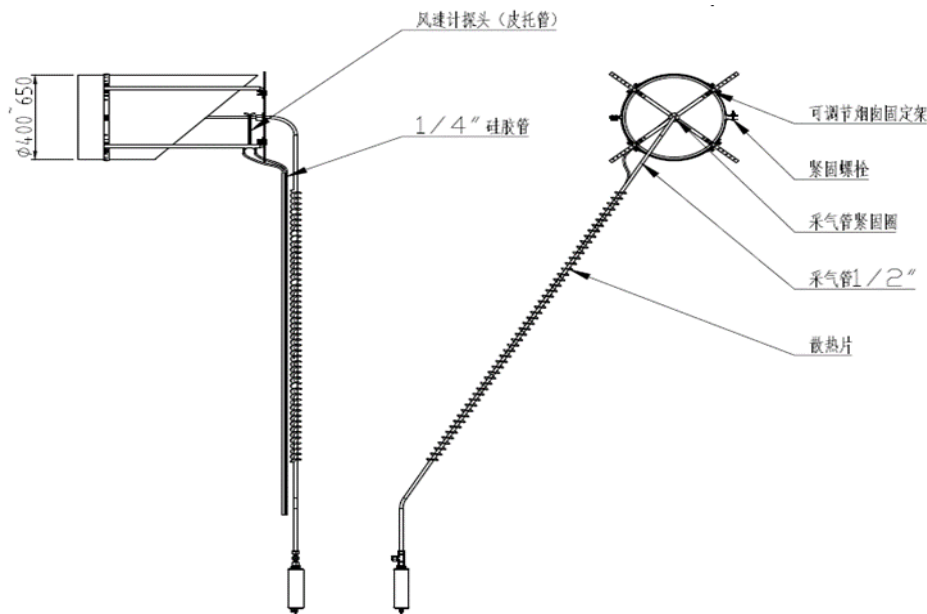


图 10 设计安装图

6.8.3 机柜组装

监测系统主要集中在机柜组装部分，其组装安装如图 11 所示。

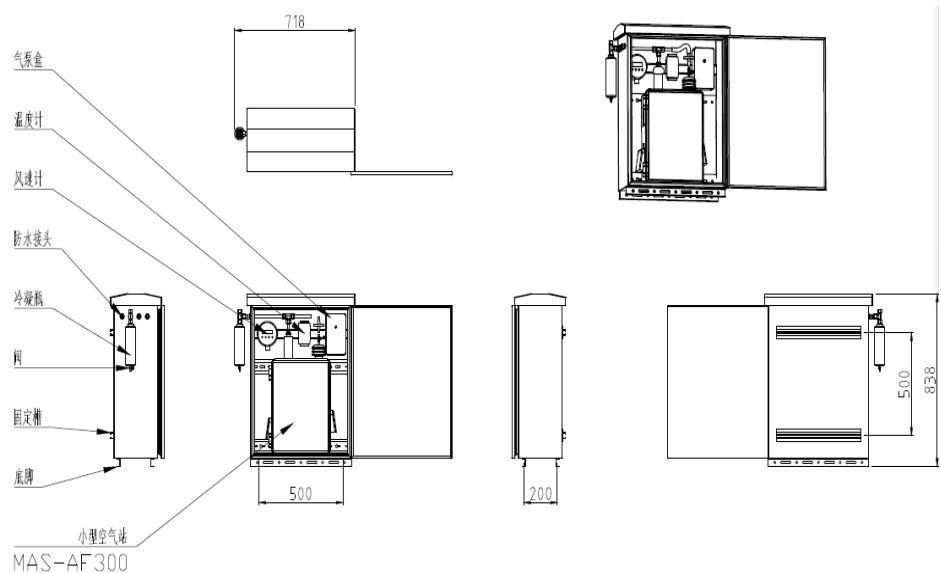
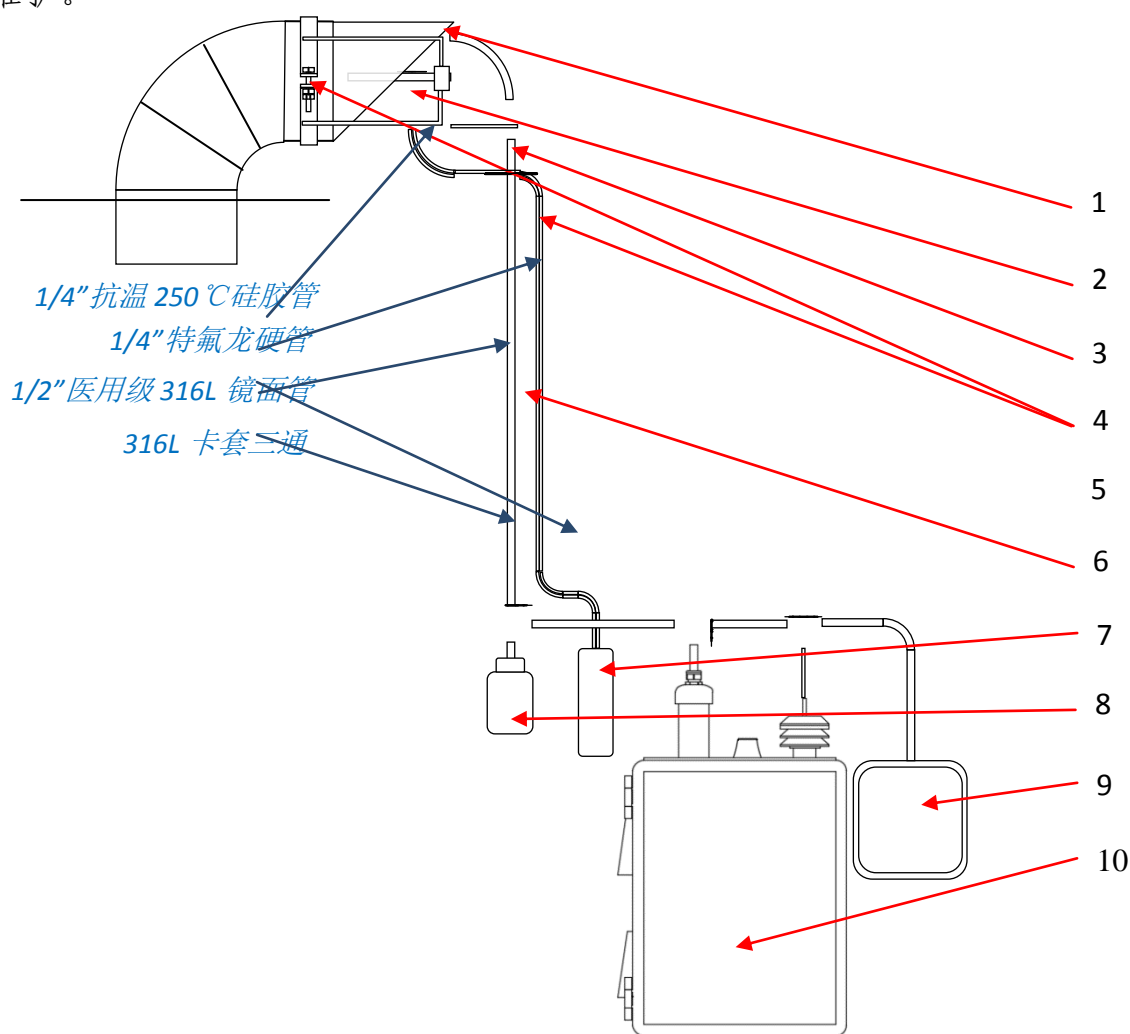


图 11 监测系统机柜组装图

#### 6.8.4 气路布置

如图 12 所示，船舶尾气排放监测系统及采集管安装，其主气路利用镜面管的抗静电和吸附效应把含粉尘的烟气从烟囱口以适当的流速抽到采集管内，气路流量约 6LPM；传感器均为泵吸式，能有效的避免传感器安装需要接近气源，防止高温及烟尘的侵蚀；采气管支路先导入颗粒物传感器，可有效并精确测试出颗粒物浓度，模块含颗粒物过滤滤芯（每测完一艘船均对其进行及时清理和更换）；然后导入气体传感器，内含 PTFE 无损滤膜，调零功能，多种气体检测，平台在线监测。同样，每监测完一艘船舶之后就按要求对监测系统进行及时维护。





- 1、船舶烟囱口    2、流量计探头    3、采气管    4、采气管及传感器支架  
5、流速流量计导管    6、散热片    7、压差流量计    8、冷凝水收集器  
9、主气路气泵盒    10、MINi-SEMS 在线监测系统

图 12 船舶测量气路布置图

6.9 排放限值的确定及制订依据

6.9.1深圳港典型船舶技术参数

筛选深圳港排放控制区内活动占比大的拖轮、客船、小型集装箱船作为监测对象，这类船舶主要为运输类的民用船舶。拖轮、客船、小型集装箱船分别选取7艘、6艘、7艘，共计20艘，作为深圳港民用船舶的典型代表。

（1）20艘典型船舶参数信息如下表15。

表15 盐田港拖轮主机参数

船名	柴油机型号	制造商	出厂时间	使用年限	额定功率 kW	额定转速 r/min	启用 主机
盐港拖二	6DIM-262	日本大发	1992.05	26年	1250	750	2台
盐港拖八	6L26HLX	日本新泻	2003.12	15年	1471	750	2台
盐田拖11	6EY26	日本洋马	2008.02	11年	1840	750	2台
盐田拖12	6EY26	日本洋马	2007.01	12年	1840	750	2台
盐田拖17	8EY26W	日本洋马	2012.11	6年	2210	750	2台
湛港拖505	6L28HX	日本新泻	2015.12	3年	1838	750	2台
盐田拖15	VCM274E13	日本洋马	2010.05	9年	1471	750	2台

（2）监测客船主机详细参数见表16。（由于筛选典型客船辅机启动过程中尾气排放与冷凝水为同一排放口，设备探头接触水会影响监测结果，因此客船辅机均未监测）

表16 客船主机参数

船名	柴油机型号	制造商	出厂时	使用年	额定功率	额定转速	启动
----	-------	-----	-----	-----	------	------	----

			间/年	限	/kW	r/min	主机
鹏星23	12 V 2000M72 Common Rail	MTU	2018	4个月	1080	2250	2台
金色海岸1	D7ATA	无	2002	16年	174	2300	1台
金色海岸2	D7A-TA	无	2002	16年	174	2300	1台
鹏星1	16V2000M72	MTU	2016	3年	1440	2250	2台
鹏星12	12V2000M72	MTU	2015	4年	1080	2250	2台
鹏星15	12V2000M72	MTU	2011	5年	1080	2250	2台

(3) 监测小型集装箱船主机详细参数见表17。

表17 小型集装箱船主机参数

船名	柴油机型号	制造商	出厂时间	使用年限	额定功率/kW	额定转速 r/min	启用主机
惠海龙158	Z6170ZLC-3	淄博柴油机总公司	2011.05	8年	330	1200	2台
惠海龙388	CW6200ZC-16	重庆潍柴发动机厂	2011.02	8年	350	1000	2台
惠湾398	Z6170Z1CZ-4	山东淄博柴油机厂	2003.05	16年	300	1200	2台
惠金桥298	YC6C480L-C20	广西玉柴机器股份有限公司	2016.06	3年	352	1000	2台
惠湾228	61902LCA2-1	山东济南柴油机厂	2004.03	15年	330	1200	2台
惠湾222	Z6190ZLCA-1	济南柴油机股份有限公司	2010.02	9年	330	1200	2台

正华018	Z6170ZLC2-4	山东淄博 柴油机厂	2003.12	15年	350	730	2台
-------	-------------	--------------	---------	-----	-----	-----	----

注：小型集装箱船正常航行过程中由主机启动带电。辅机仅在船舶靠岸时或做饭时偶尔供电，其余时间不开启。所以监测过程中仅监测主机，不监测辅机。

### 6.9.2典型船舶排气限值确定

结合深圳港船舶进出港与靠泊基础信息以及20艘典型船舶尾气污染物排放测试数据结果分析，参考《MARPOL防污公约》附则VI船舶排放控制要求和GB15097-2018中第一阶段及第二阶段排放限值，制订深圳港排放控制区船舶排气限值。本标准在国家标准的基础上，增加了TVOC的排放限值及测量方法。

基于典型船舶实际测试数据，本标准研制项目分别测试拖轮、客船、小型集装箱船在不同工况下排放浓度、流速和压力，同时专门安排一名项目成员手动记录船舶航行过程中发动机实时转速。

由于本项目是通过实船全工况正常工作情况下测试尾气获取数据并计算出限值，而GB15097-2016中船机排放限值是在台架实验中获取的数值，因此本标准限值与GB15097-2016中规定的限值不能相比较。

#### 6.9.2.1船舶排放因子计算

在船舶尾气排放测试方面,国家标准船舶发动机监测为台架实验,而本项目监测是实船在整个航行工况下的在线实时监测获取各排气污染物浓度值。此外,由于实船航行中功率无法监测,与现有国家标准测量方法及换算单位不同,因此此方面工作目前还处于空白。

目前移动源污染物排放数值单位种类较多,包括浓度单位、每公里排放量、每公斤排放量等等,根据实际测量要求不同而进行确定。综合多方因素考虑,船舶实测结果利用“碳平衡法”计算各污染物排放因子,假设燃油燃烧后,所有的碳组分基本上都以CO<sub>2</sub>的形式排出(由于CO<sub>2</sub>排放浓度远远大于CO、TVOC等污染物浓度,对计算结果的影响可忽略不计)。计算公式如下:

$$EF_p = \frac{\Delta[P]}{\Delta[CO_2] \times \frac{MW_c}{MW_{CO_2}}} \times w_c \quad (2)$$

式中：EF<sub>p</sub>为各污染物排放因子，g/kg；Δ[P]为扣除环境背景值后的质量浓度，g/m<sup>3</sup>；Δ[CO<sub>2</sub>]代表扣除环境背景值之后的质量浓度，g/m<sup>3</sup>；MW<sub>i</sub>为质量分数；W<sub>c</sub>为每千克燃料中的碳含量,g/kg。

注：由于船舶排放因子的计算还没有相关文献有W<sub>c</sub>值的明确数值，因此该公式中引用汽车柴油的W<sub>c</sub>=0.87g/kg代入计算。

其中，监测的SO<sub>2</sub>与CO<sub>2</sub>污染物浓度值在换算成排放因子之后，利用下面公式换算成硫碳比值（FSC）来代表硫排放水平。FSC计算公式如下：

$$(\quad)$$

式中：FSC为硫碳比值，%；Δ[CO<sub>2</sub>]代表扣除环境背景值之后的质量浓度，g/m<sup>3</sup>；Δ[CO<sub>2</sub>]代表扣除环境背景值之后的质量浓度，g/m<sup>3</sup>。

### 6.9.2.2 污染物排放因子分析

针对20艘典型船舶实测数据，利用公式6.2.9.1（1）计算船舶排放污染物浓度值，计算船舶整个航行过程中的排放因子，并获取中位值代表船舶的排放水平，并作为排放清单中船舶主机CO、NO、NO<sub>2</sub>、TVOC及PM的排放因子。表18列出了本次项目20艘船舶排放因子具体数据。

通过具体数据得出，拖轮氮氧化物、CO排放量相对客船和货船较大，其次是货船，客船。货船TVOC排放量较拖轮和客船较大。PM拖轮和货船均大于客船。分析其原因，可能有一下两个方面：①燃油品质的影响，导致污染物排放因子较大；②发动机使用年限较久，喷油不均匀，燃油燃烧过程中不够充分。本次测试20艘典型船舶均使用

0#轻柴油，燃油硫含量均符合深圳港排放控制区0.5% $m/m$ 的限值。

表18 20艘典型船舶排放因子（ $g/kg.fuel$ ）

船名	CO	NO	NO <sub>2</sub>	TVOC	PM	CS Ratio/%
盐港拖8	22.58	57.25	6.74	0.84	0.07	0.20
盐田拖11	32.18	10.07	1.57	5.99	0.05	0.03
盐田拖17	22.91	14.74	3.38	6.85	0.15	0.11
盐港拖2	4.42	123.05	16.66	15.66	0.09	0.29
盐田拖12	38.67	13.81	2.88	7.68	0.02	0.11
盐田拖15	16.59	26.01	3.58	20.79	0.02	0.21
湛港拖505	259.70	78.33	13.88	20.85	0.40	0.10
惠海龙158	15.46	51.39	3.42	21.64	0.04	0.20
惠海龙388	1.97	28.94	0.24	9.92	0.11	NA
惠湾398	44.65	72.15	6.21	3.85	0.08	NA
惠金桥298	39.58	36.34	0.44	9.05	0.03	NA
惠湾228	12.17	9.19	1.56	17.12	0.10	NA
惠湾222	7.69	15.43	1.49	30.13	0.07	NA
正华018	56.44	56.06	2.44	17.71	0.12	0.33
金色海岸1	18.76	22.12	2.16	5.50	0.05	0.07
金色海岸2	16.83	21.50	1.32	5.77	0.01	0.01
鹏星23	12.22	12.73	3.07	0.79	0.06	0.09
鹏星12	27.25	16.73	4.63	7.09	0.003	0.16
鹏星15	26.37	12.53	2.47	1.17	0.01	0.13
鹏星1	20.47	15.26	3.09	7.81	0.008	0.12

### 6.9.2.3典型船舶污染物排放速率分析

通过测试深圳港典型船舶排气污染物浓度、排气流速、排放截面积，计算整个航行过程中的各污染物的平均排放速率，见下表19。从整体分析，CO<sub>2</sub>排放速率最高，平均排放速率达到172.2  $g/s$ ；NO<sub>2</sub>、

SO<sub>2</sub>、PM、TVOC及CO排放速率偏低，平均排放速率分别为0.3 g/s、0.2 g/s、0.014 g/s、0.583 g/s、1.3g/s。其中货船的NO<sub>2</sub>和SO<sub>2</sub>排放速率几乎为0.0g/s。

平均排放速率计算公式如下：

(4)

式中：V<sub>1</sub>为污染物流速，m/s；S为船舶烟囱排放截面积，m<sup>2</sup>；C<sub>i</sub>为污染物浓度，g/m<sup>3</sup>；i代表各污染物。

表19 20艘典型船舶的平均排放速率

船名	烟气排放 流速(m/s)	排放 时间 (s)	排放截面 积(m <sup>2</sup> )	CO 总排 放量(g/s)	CO <sub>2</sub> 总排 放量(g/s)	NO 总 排 放 量 (g/s)	NO <sub>2</sub> 总 排 放 量 (g/s)	SO <sub>2</sub> 总 排 放 量 (g/s)	PM 总排 放量(g/s)	TVOC 总排放 量(g/s)
盐田拖轮 8	6.9	3503	0.1	0.3	72.7	1.2	0.1	0.1	0.012	0.013
盐田拖轮 11	8.4	2972	0.2	1.2	59.7	0.5	0.2	0.1	0.026	0.150
盐田拖轮 17	6.9	2277	0.3	0.8	115.0	2.2	0.5	0.1	0.011	0.489
盐田拖轮 2	8.4	4430	0.2	0.2	122.8	4.7	0.6	0.2	0.026	0.598
盐田拖轮 12	5.9	4582	0.2	0.8	54.3	0.7	0.1	0.1	0.018	0.160
盐田拖轮 15	8.8	3807	0.2	0.7	137.7	1.1	0.1	0.1	0.005	0.767
惠海龙 158	11.3	23751	0.1	0.2	126.8	2.0	0.1	0.0	0.012	0.855
	11.2	4739	0.1	NA	140.2	2.2	0.1	NA	0.013	0.963
惠海龙 388	11.4	29955	0.1	NA	52.5	0.5	NA	NA	0.014	0.178
惠湾 398	7.5	7219	0.1	0.7	46.2	1.0	0.1	NA	0.008	0.054
	7.5	14855	0.1	0.4	44.4	1.0	0.0	NA	0.014	0.087
惠金桥 298	7.4	9552	0.1	0.7	56.1	0.6	NA	NA	0.004	0.166
	7.2	13522	0.1	0.4	46.4	0.5	NA	NA	0.003	0.141
惠湾 228	11.0	5934	0.1	0.6	115.4	0.8	0.1	NA	0.025	0.666
	11.5	588	0.1	0.9	NA	1.4	NA	NA	0.024	0.739
惠湾 222	11.9	45290	0.1	0.2	65.7	0.3	0.1	NA	0.011	0.627
	11.2	14098	0.1	0.0	50.3	0.2	NA	NA	0.007	0.299
正华 018	20.0	61640	0.1	1.7	96.6	1.7	0.1	0.2	0.026	0.531
鹏星 12	30.7	3847	0.2	6.2	733.8	4.2	1.1	0.7	0.005	1.607
鹏星 1	49.0	3182	0.2	7.3	1134.3	5.5	1.1	0.8	0.021	2.561
鹏星 23	14.1	3749	0.2	1.7	332.1	1.8	0.4	0.3	0.059	0.095

鹏星 15	39.5	4358	0.2	9.0	1199.6	4.5	0.8	0.9	0.026	0.395
金色海岸 1	20.0	5406	0.2	3.0	492.8	3.4	0.3	0.2	0.053	0.848
金色海岸 2	17.8	5545	0.1	0.8	159.3	1.1	0.1	NA	0.004	0.288
AVG	/	/	/	1.3	172.2	1.6	0.3	0.2	0.014	0.583

### 6.9.2.4不同船型排放因子分布分析

#### (1) CO排放因子分析

如图13所示，不同船舶类型CO排放因子差异明显，货船CO排放因子分布范围高于拖轮，其次是客船。货船CO排放因子主要分布在7.38g/kg至47.53g/kg，中位值为29.17g/kg。拖轮CO排放因子主要分布在18.28g/kg至56.67g/kg之间，中位值为34.42g/kg。客船CO排放因子主要分布在17.41g/kg至26.29g/kg之间，中位值为20.16g/kg。

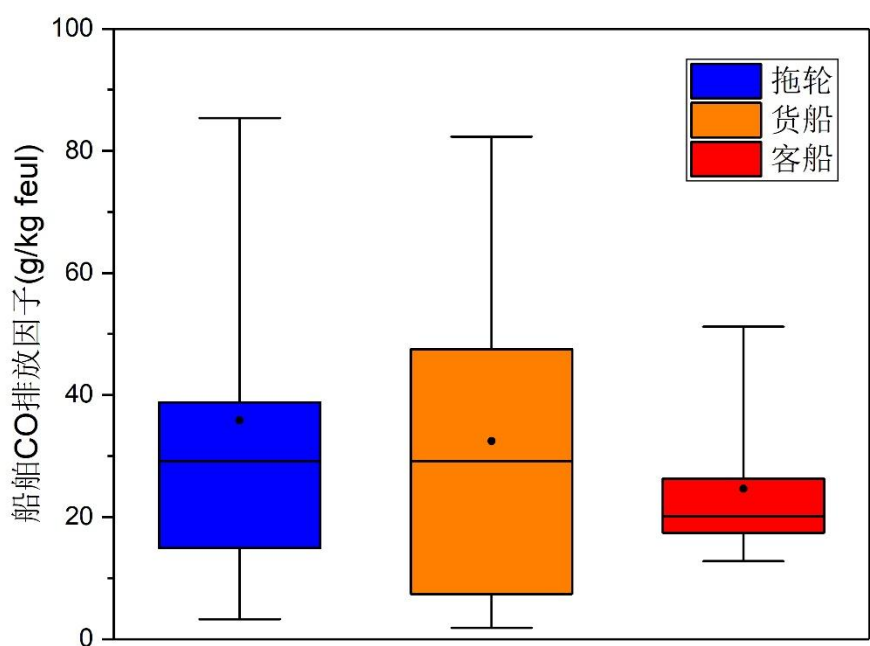


图13 不同船型CO排放因子分布图

#### (2) NO排放因子分析

不同船舶类型NO排放因子分布情况如图14所示，NO排放因子较高的为拖轮，分布较广，主要集中在14.31g/kg至110.3g/kg之间，中位值为30.67g/kg。货船NO排放因子主要集中分布在26.10g/kg至55.98g/kg之间，中位值为43.10g/kg。客船NO排放因子主要分布在14.93g/kg至21.99g/kg之间，中位值为20.73g/kg。

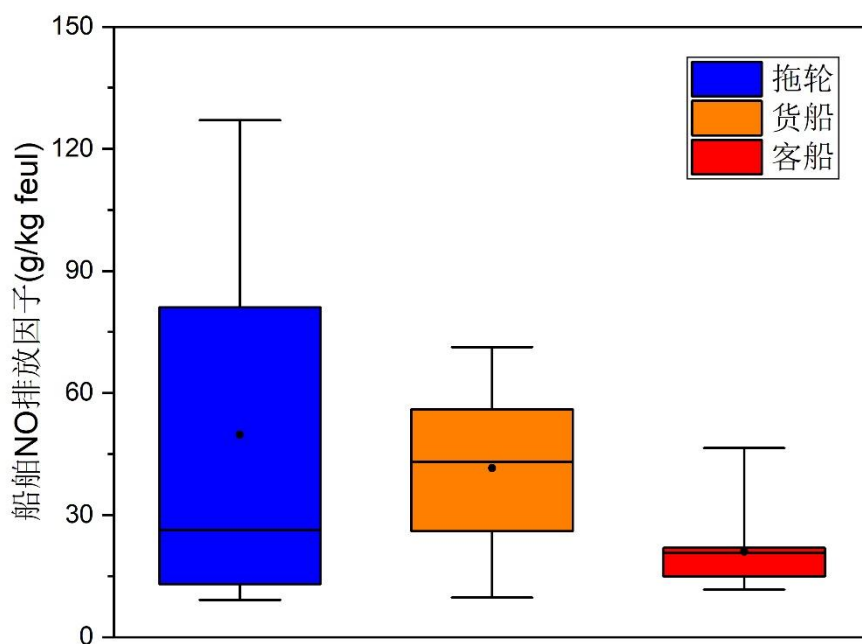


图14 不同船型NO排放因子分布图

### (3) NO<sub>2</sub>排放因子分析

如图15所示，不同船舶类型NO<sub>2</sub>的排放因子与NO的排放因子分布特征类似。拖轮NO<sub>2</sub>排放因子同样分布较货船和客船大，主要分布在2.58g/kg至15.87g/kg之间，中位值为4.14g/kg。货船NO<sub>2</sub>排放因子主要分布在0.98g/kg至3.30 g/kg之间，中位值为2.29 g/kg。客船NO<sub>2</sub>排放因子分布较为集中，主要分布在1.80 g/kg至3.34 g/kg，中位值为2.44 g/kg。

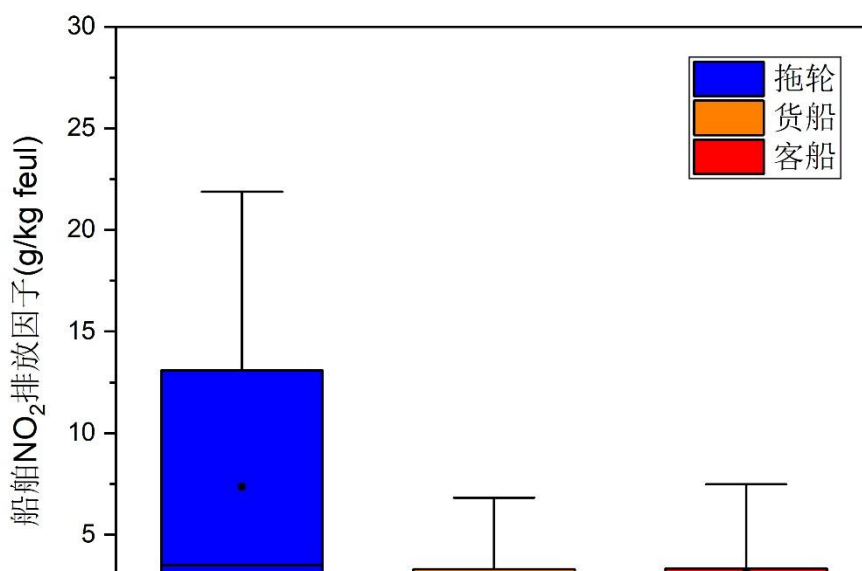




图15 不同船型NO<sub>2</sub>排放因子分布图

#### (4) PM排放因子分析

如图16所示，货船和客船PM排放因子分布范围较为接近，客船最低。货船PM排放因子主要分布在0.05g/kg至0.12g/kg之间，中位值为0.08g/kg。拖轮PM排放因子主要分布在0.04g/kg至0.19g/kg之间，中位值为0.08g/kg。客船PM排放因子主要分布在0.01g/kg至0.03 g/kg，中位值为0.01 g/kg。

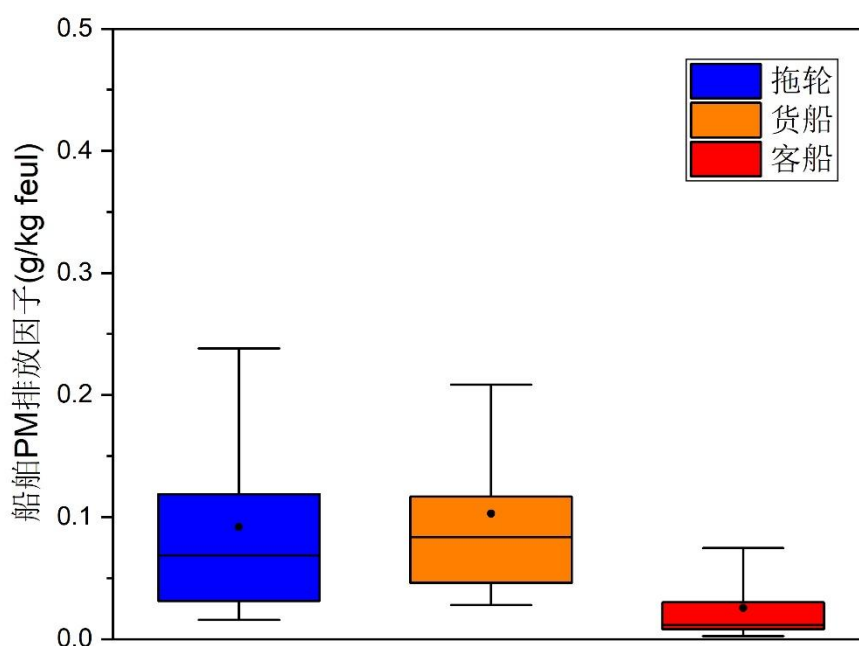


图16 不同船型PM排放因子分布图

#### (5) TVOC排放因子分析

如图17所示，TVOC排放因子分布最大的是货船，其排放因子主要分布在8.60g/kg至29.22g/kg之间，中位值为18.76g/kg。拖轮TVOC排放因子分布主要集中在6.04g/kg至16.05g/kg之间，中位值为

8.13g/kg。客船TVOC排放因子主要分布在4.32g/kg至5.94g/kg之间，中位值为5.55g/kg。

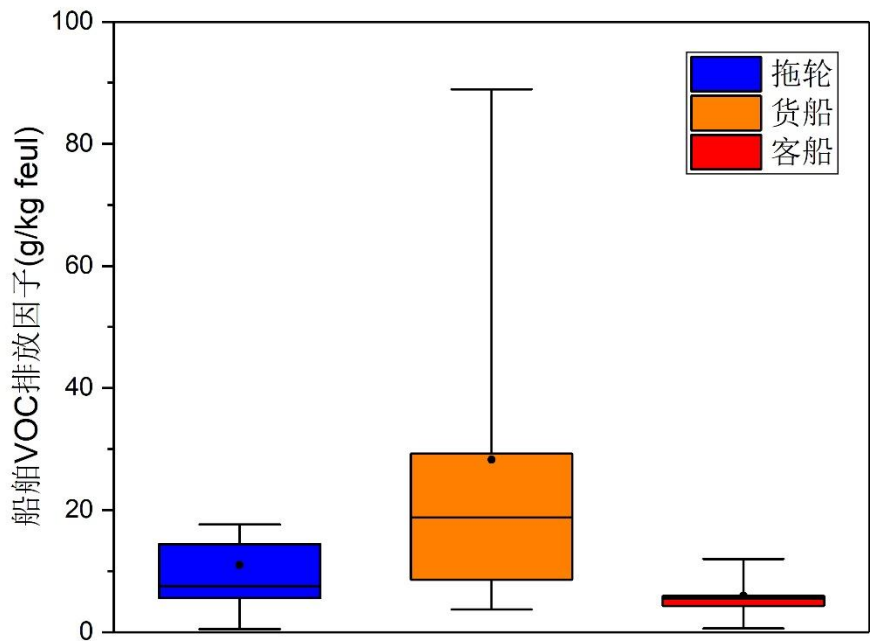


图17 不同船型TVOC排放因子分布图

**(6) FSC分析**

对于以燃料油为燃料的船舶，燃料油中硫在燃烧过程中基本转化成SO<sub>2</sub>，燃料油中的碳99.8%转化成CO<sub>2</sub>(肖笑等，2019; 孙蜀，2015)。因此本项目计算FSC值(S:C值)可以近似等于燃油中的硫含量值。如图18所示，不同船舶类型硫碳比值(硫:碳=FSC/%)分布差异明显，但是75%分布值均低于0.5%(交通运输部印发船舶大气污染物排放控制区实施方案的船用燃油硫含量不大于0.5%*m/m*)，符合深圳港排放控制区船用燃油硫含量限值不大于0.5%*m/m*的要求。货船硫碳比分布主要集中在0.21%至0.38%范围之内，中位值0.32%。拖轮硫碳比分布主要在0.09%至0.36%范围之内，中位值为0.19%。客船硫碳比分布主要在0.07%至0.15%范围之内，中位值为0.10%。

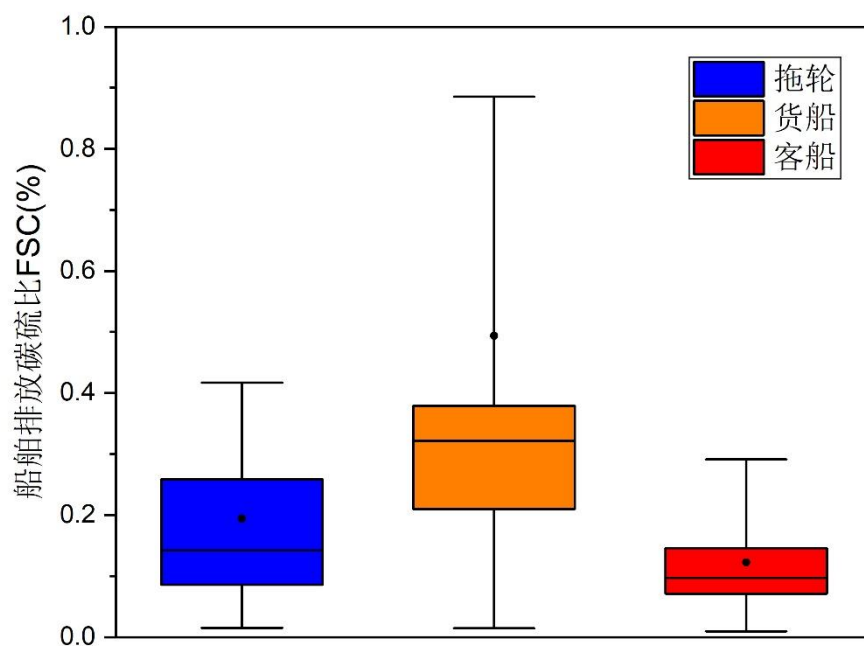


图18 不同船型硫碳比分布图

#### 6.9.2.5 同类船型排放因子分布分析

##### (1) 拖轮排放因子分析

##### 1. CO排放因子

拖轮排放因子如图13所示，盐港拖8排放因子分布主要集中在9.0g/kg至37g/kg之间，中位值为23g/kg。盐田拖11排放因子主要集中在24g/kg至37g/kg范围之内，中位值为32g/kg。盐田拖17和盐港拖2由于开机时排放因子较大，排放因子最大值超过100g/kg。其中盐田拖17排放因子主要集中在18g/kg至31g/kg之间，中位值为23g/kg。盐港拖2排放因子分布在2g/kg至10g/kg之间，中位值为4g/kg。盐田拖12CO排放因子主要在36g/kg至46g/kg之间，中位值为39g/kg。盐田拖15排放因子主要分布在12g/kg至23g/kg之间，中位值为17g/kg。

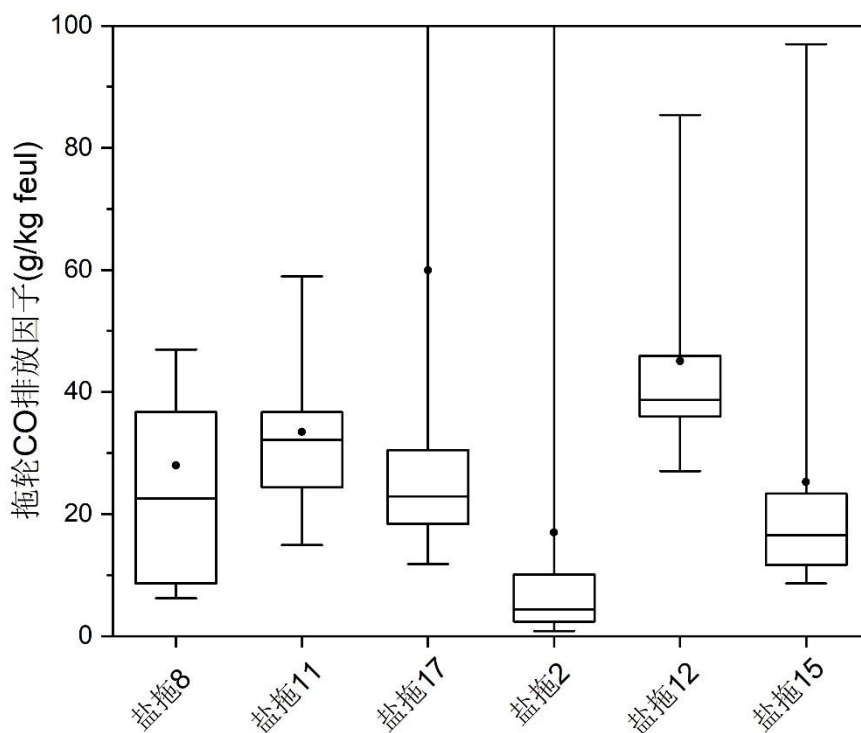


图13 拖轮CO排放因子分布图

## 2.NO排放因子

拖轮NO排放因子分布从图14可以看出，盐港拖2排放最高，且分布比较集中，主要分布在120g/kg至126g/kg之间，中位值为123g/kg，基本可以代表该船的正常排放水平。其次排放因子较高的是盐港拖8，NO排放因子主要分布在48g/kg至73g/kg之间，中位值为57g/kg。盐田拖15排放因子主要分布在24g/kg至29g/kg之间，中位值为26g/kg。盐田拖17排放因子主要分布在13g/kg至19g/kg之间，中位值为15g/kg。盐田拖12主要分布在13g/kg至16g/kg之间，中位值为14g/kg。盐田拖11排放因子分布在9g/kg至12g/kg之间，中位值为10g/kg。

通过以上排放因子数据中位值计算平均值，定为当前拖轮排放限值的确定值。但由于盐港拖2主机使用年限较久(主机使用年限26年)，排放因子太高，认为不宜作为当前限值计算。

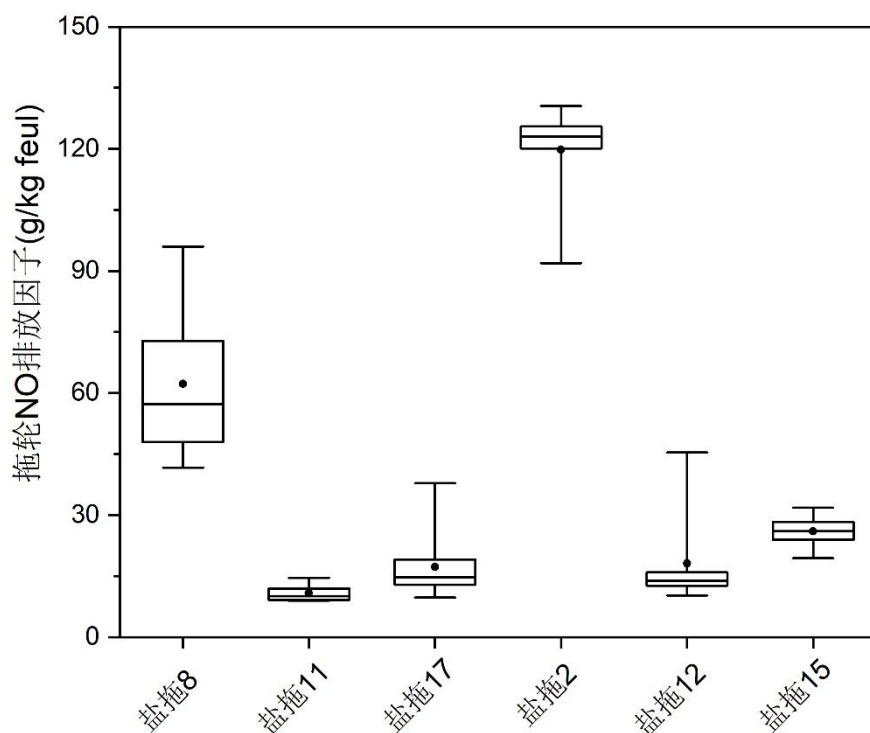


图14 拖轮NO排放因子分布图

### 3.NO<sub>2</sub>排放因子

拖轮NO<sub>2</sub>排放因子分布从图15可以看出，盐港拖2尾排NO<sub>2</sub>排放因子同样高于其它拖轮NO<sub>2</sub>排放因子，排放分布在16g/kg至22g/kg之间分布较广，中位值为17g/kg。盐港拖8排放因子分布在3g/kg至10g/kg，中位值为7g/kg。盐田拖11排放因子分布在1g/kg至2g/kg之间，分布较为集中，排放量较低，中位值为2g/kg。盐田拖17排放分布在2g/kg至4g/kg之间，中位值为3g/kg。盐田拖12排放因子分布较小，整个工况中排放因子与盐田拖11的排放水平接近，中位值为3g/kg。盐田拖15排放因子分布在3g/kg至4g/kg之间，中位值为4g/kg。

通过以上拖轮NO<sub>2</sub>排放因子分布情况分析，盐港拖2受发动机年限使用较久有关，燃油燃烧不够充分，又加上缸内温度持续升高，氧浓度下降，从而导致氮氧化物生成较多。

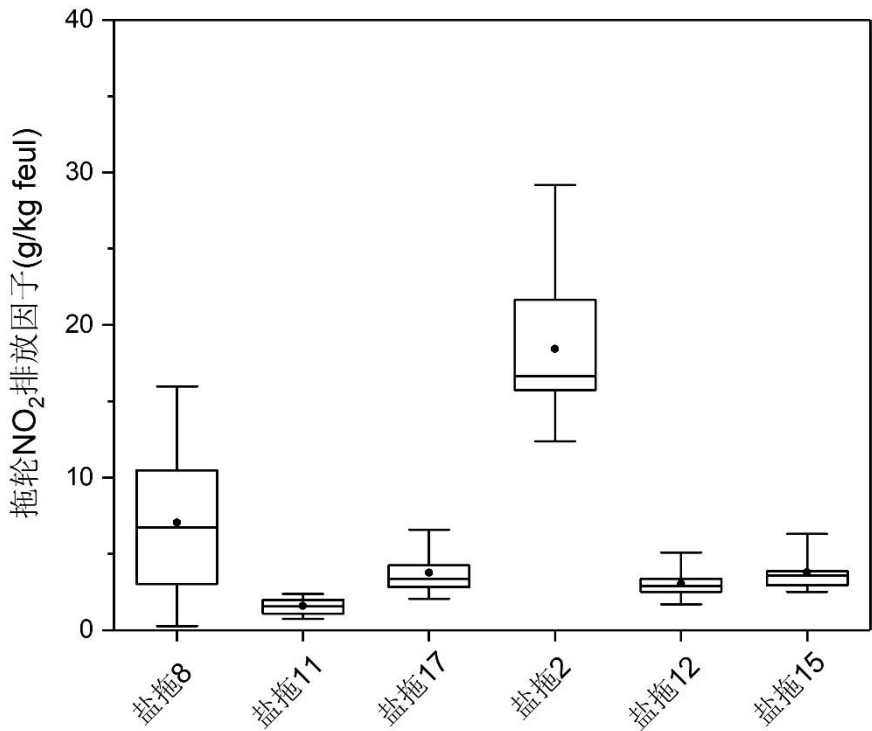


图15 拖轮NO<sub>2</sub>排放因子分布图

4.TVOC排放因子

拖轮TVOC排放因子分布从图16可以看出，盐田拖15排放因子分布最广，主要分布在12g/kg至26g/kg之间，中位值为21g/kg，且开机时，TVOC排放因子超过了40g/kg，波动较大。盐港拖8排放因子分布在0.5g/kg至0.9g/kg之间，中位值为0.8g/kg，相较于其他拖轮排放TVOC的分布最小，且贡献量最小。盐田拖11TVOC排放因子分布在6.0g/kg至7.0g/kg之间，中位值为6.0g/kg。盐田拖17排放因子主要分布在6.0g/kg至8.0g/kg之间，中位值为7g/kg。盐港拖2排放因子主要分布在15g/kg至16g/kg，中位值为16g/kg。盐田拖12排放因子主要分布在

7g/kg至9g/kg之间，中位值为8g/kg。

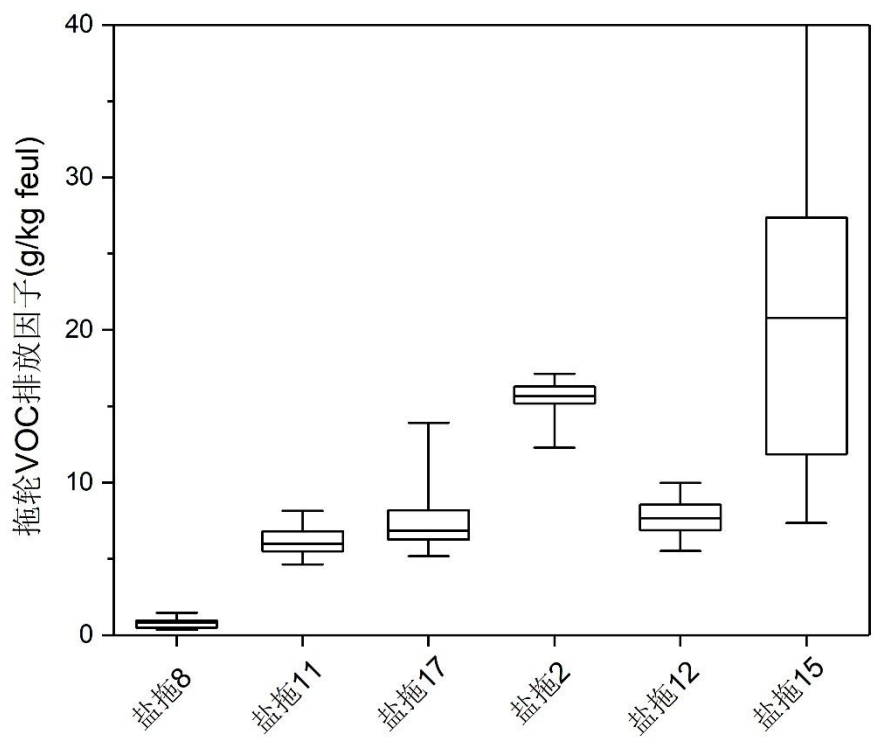


图16 拖轮TVOC排放因子分布图

5.PM排放因子

拖轮PM排放因子分布从图17可以看出，除盐田拖17是所有拖轮中颗粒物贡献率最大的一艘船舶外，其余船舶排放水平相当。盐田拖17PM排放因子分布在0.13g/kg至0.23g/kg之间，中位值为0.15g/kg。盐港拖8排放因子主要分布在0.05g/kg至0.09g/kg之间，中位值为0.07g/kg。盐田拖11排放因子分布在0.03g/kg至0.07g/kg范围内，中位值为0.05g/kg。盐港拖2排放因子分布在0.07g/kg至0.12g/kg之间，中位值为0.09g/kg。盐田拖12PM排放因子分布在0.02g/kg至0.04g/kg，中位值为0.02g/kg。盐田拖15排放因子分布在0.01g/kg至0.04g/kg之间，中

位值为0.02g/kg。

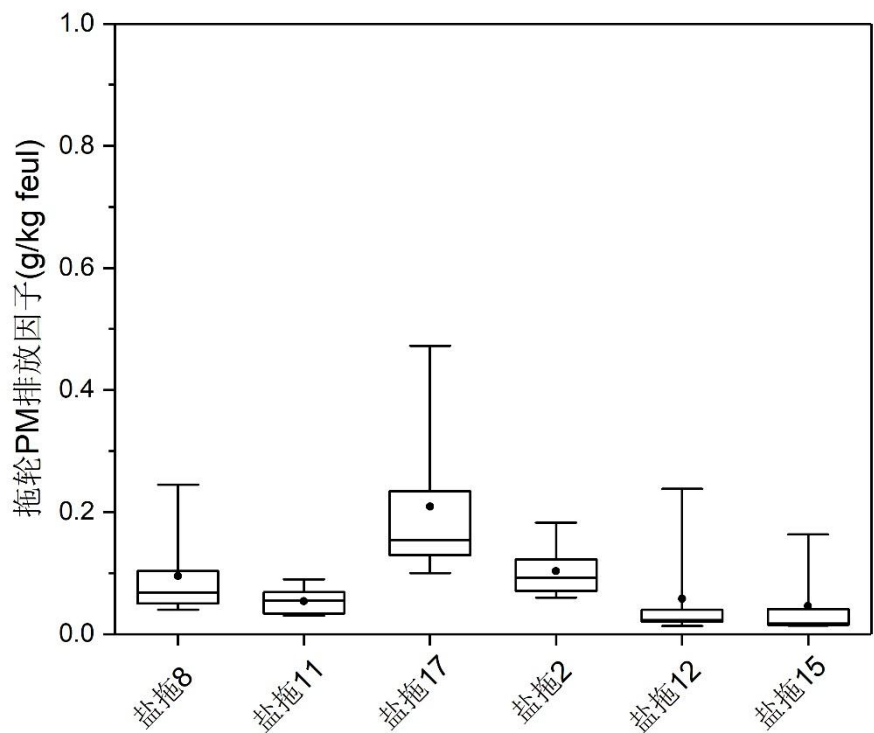


图17 拖轮PM排放因子分布图

6.硫碳比分析

拖轮硫碳比分布情况如图18所示，盐田拖15硫碳比排放分布最大，主要在0.11%至0.54%之间，中位值为0.21%。盐港拖8排放FSC分布在0.12%至0.24%，中位值为0.20%。盐田拖11排放FSC分布在0.01%至0.04%之间，中位值为0.03%。盐田拖17排放FSC分布在0.08%至0.16%，中位值为0.11%。盐港拖2FSC分布在0.23%至0.35%，中位值0.29%。盐田拖12FSC分布在0.09%至0.14%之间，中位值为0.11%。



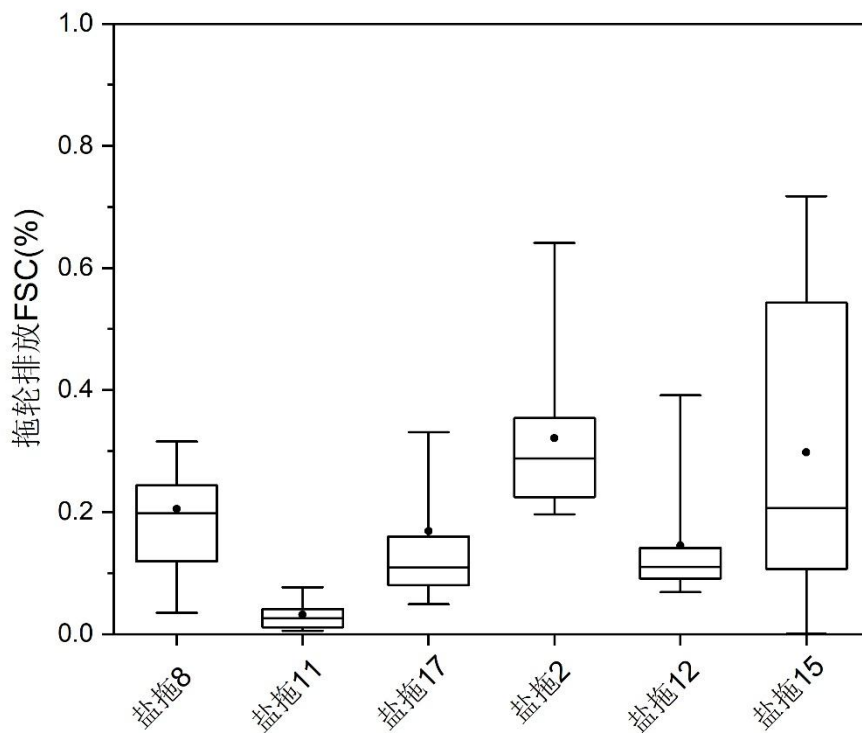


图18 拖轮硫碳比分布图

## (2) 货船排放因子分析

### 1.CO排放因子

货船CO排放因子如图19所示，不同货船排放有所差异，这可能是因为货船主机功率、使用年限、航行工况等不同造成。惠湾228开机时CO排放因子较大，最高达到285g/kg；其排放因子主要集中在10.8 g/kg至79.8 g/kg之间比较，中位值为12.17g/kg。惠海龙388CO排放因子分布较小，CO排放因子主要分布在0.79g/kg至7.70g/kg之间，中位值为1.97g/kg。惠湾398CO排放因子主要分布在40.1g/kg至48.67g/kg之间，中位值为1.19g/kg。惠金桥298排放因子集中分布在35.51g/kg

至44.56g/kg之间，中位值为39.58g/kg。惠湾222分布在5.70g/kg至10.83g/kg之间，中位值为7.69g/kg。正华018排放因子主要分布在42.16g/kg至70.63g/kg之间，中位值为56.44g/kg。

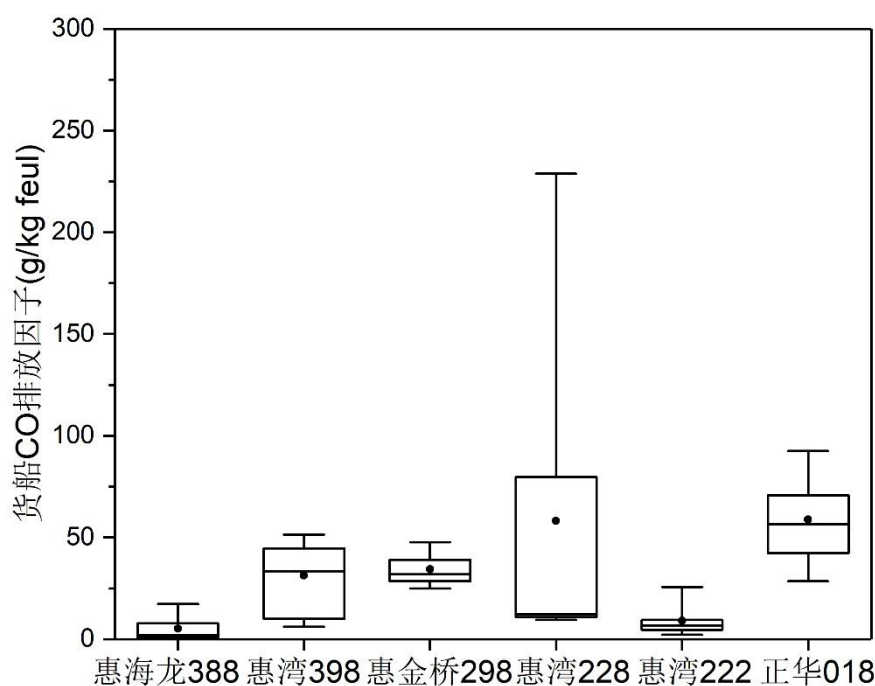


图19 货船CO排放因子分布图

## 2.NO排放因子

货船NO排放因子如图20所示，货船NO排放因子差异较大。这可能跟发动机燃烧燃油情况及缸内温度有关。如惠湾398排放因子较其他货船最大，排放因子主要集中在69.9g/kg至76.2g/kg之间，中位值为72.1g/kg。正华018排放因子分布在51.81g/kg至64.34g/kg之间，中位值为56.07g/kg。惠海龙158分布在49.29g/kg至53.66g/kg之间，中位值为51.39g/kg。惠海龙388分布在27.63g/kg至30.01g/kg之间，中位值为28.94g/kg。惠金桥298分布在34.76g/kg至37.46g/kg之间，中位值为36.34g/kg。惠湾228排放因子分布在6.22g/kg至12.25g/kg范围内，中位值为9.19g/kg，排放因子范围较其它船舶分布小，排放量相对较小。惠湾222排放因子在12.15g/kg到25.76g/kg之间分布最多，中位值为

15.4g/kg。

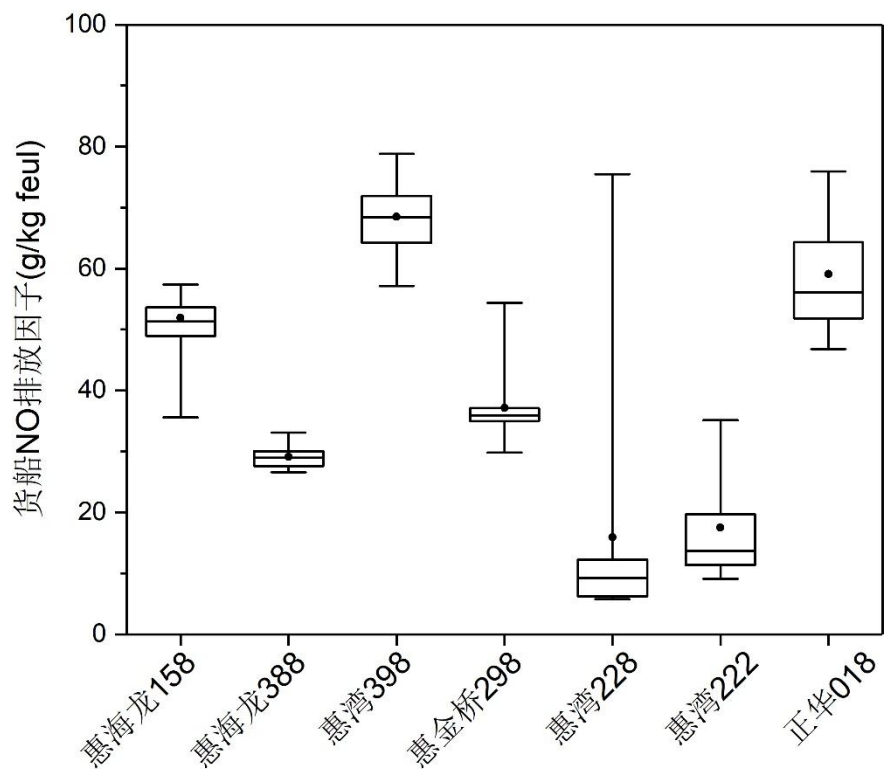


图20 货船NO排放因子分布图

3.NO<sub>2</sub>排放因子

如图21所示，惠湾228NO<sub>2</sub>排放因子分布最大，主要分布在0.63g/kg到11.75g/kg之间，分布较广，排放量波动较大，中位值为1.56g/kg。其次惠湾398NO<sub>2</sub>排放因子的分布，在5.03g/kg至7.04g/kg范围为主，中位值为6.21g/kg。然后是惠海龙158，其排放因子集中分布在1.95g/kg至4.59g/kg，中位值为3.42g/kg。惠海龙388NO<sub>2</sub>排放因子最低，整个工况运行下，监测值低于0.5g/kg。惠金桥298排放因子也相对较低，排放分布主要在0.31g/kg至0.58g/kg之间，中位值为0.44g/kg。惠湾222排放因子分布在0.90g/kg至2.43g/kg之间，中位值为1.49g/kg。

正华018排放因子略比惠湾222高，主要分布在1.64g/kg至3.11g/kg之间，中位值为2.44g/kg。

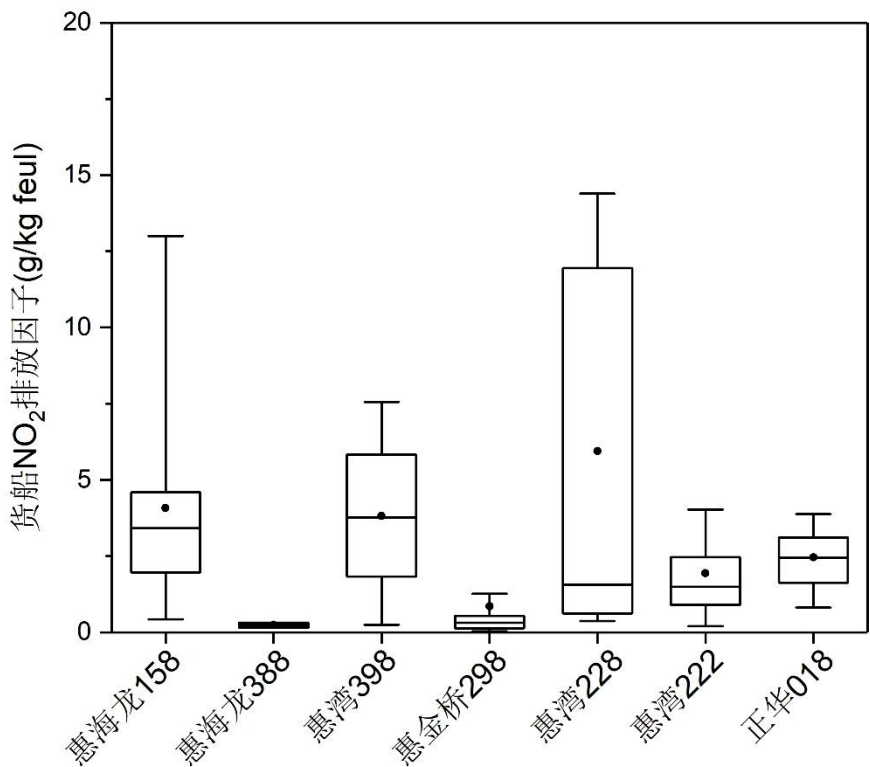


图21 货船NO<sub>2</sub>排放因子分布图

4.PM排放因子

如图22所示，PM排放贡献率最大的有两艘货船，分别为惠湾398和惠湾228。总体平均排放水平低于0.5g/kg。惠湾398PM排放因子集中分布在0.072g/kg至0.087g/kg，中位值为0.08g/kg。惠湾228PM排放因子在0.083g/kg至0.189g/kg之间，中位值为0.1g/kg之间。惠海龙158分布在0.033g/kg至0.042g/kg之间，排放因子相对较小，中位值为0.04g/kg。惠海龙388排放因子在0.108g/kg至0.118g/kg，中位值为0.11g/kg。惠金桥298PM排放因子从0.028g/kg至0.0312g/kg，分布较为集中，中位值为0.03g/kg。惠湾222排放因子分布在0.051g/kg至

0.082g/kg，中位值为0.07g/kg。正华018排放因子分布在0.110g/kg至0.135g/kg，中位值为0.12g/kg。

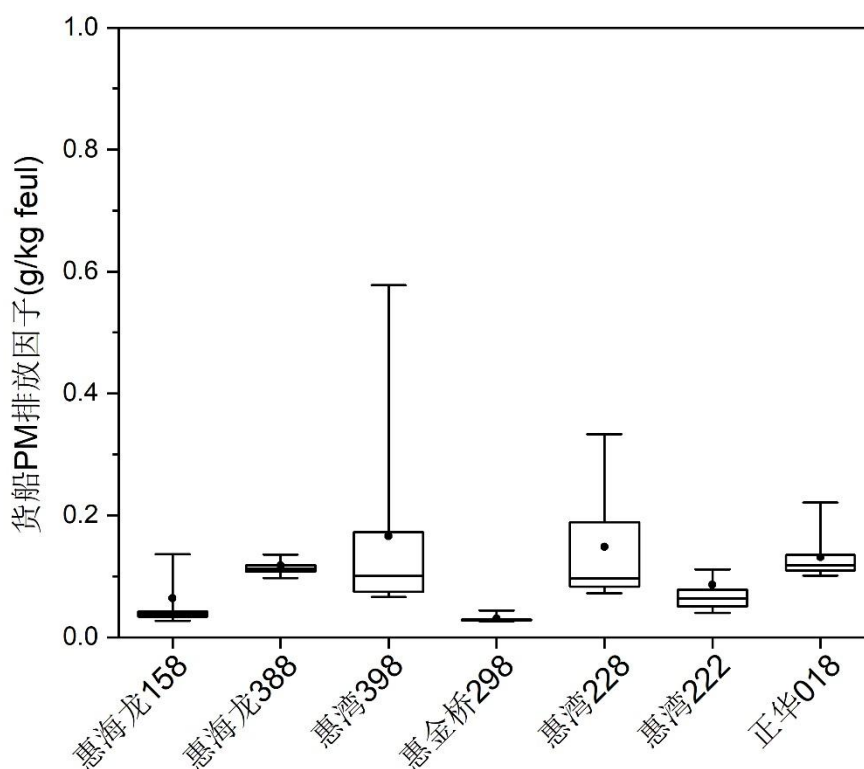


图22 货船PM因子分布图

## 5.TVOC排放因子

如图23所示，正华018和惠湾222TVOC贡献率相对较高，排放因子分布较广。正华018TVOC排放因子主要在7.06g/kg至67.11g/kg之间，分布较广，中位值为17.71g/kg。惠湾222从图中看出主要分布在23.56g/kg至49.09g/kg，中位值为30.13g/kg。惠湾228TVOC排放因子分布范围较小，集中在15.73g/kg至18.42g/kg之间分布，中位值为17.12g/kg。惠金桥298排放因子在8.33g/kg至1011g/kg范围内分布集中，中位值为9.05g/kg。惠湾398排放因子在2.74g/kg至4.09g/kg间，中位值3.85g/kg。惠海龙388排放分布在7.57g/kg至10.88g/kg之间，中位

值为9.92g/kg。惠海龙158排放分布在20.68g/kg至22.92g/kg间，中位值为21.64g/kg。

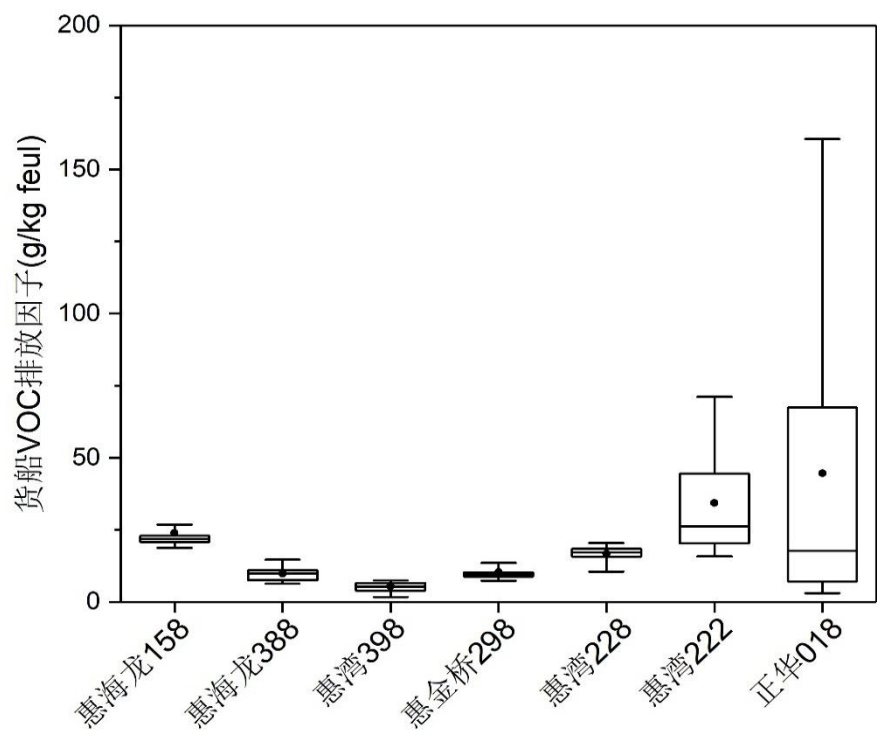


图23 货船TVOC排放因子分布图

6.硫碳比分析

如图24所示，正华018硫碳比分布在0.23%至0.38%之间，中位值为0.33%。惠海龙158硫碳比分布在0.09%至0.34%之间，中位值为0.20%。其余几艘货船在整个工况下，几乎为未检出，低于监测设备下限。

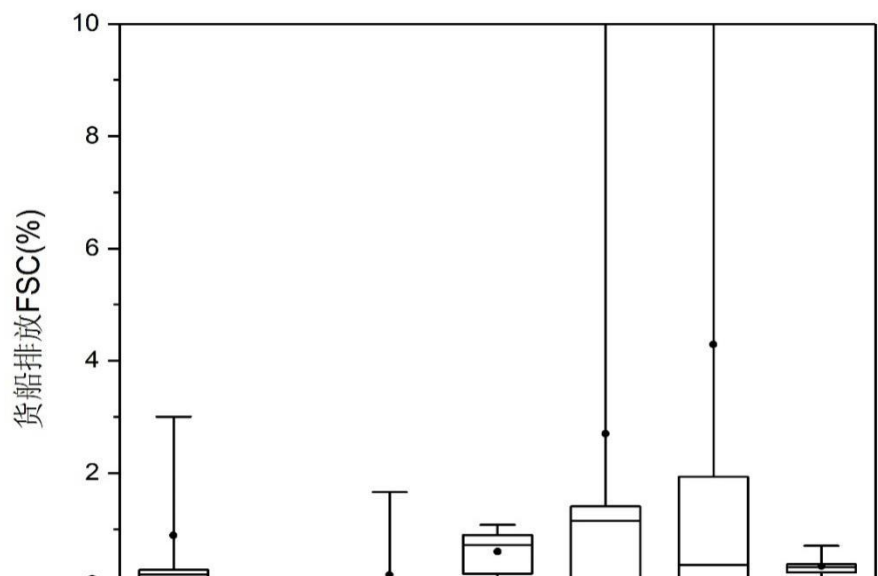


图24 货船硫碳比分布图

### (3) 客船排放因子分析

#### 1. NO排放因子分析

如图25所示，客船NO排放因子分布情况中，鹏星23客船NO贡献率最高，排放因子分布较广，从11.09g/kg至44.55g/kg排放分布最多，中位值为12.73g/kg。鹏星12NO排放因子分布从15.83g/kg至17.80g/kg之间，中位值为16.73g/kg。鹏星15排放因子主要集中在12.13g/kg至12.73g/kg，中位值为12.53g/kg。鹏星1排放因子主要分布在14.84g/kg至16.79g/kg范围内，中位值为15.26g/kg。金色海岸1NO排放因子分布在21.16g/kg至23.0g/kg之间，中位值为22.12g/kg。金色海岸2分布在21.17g/kg至21.73g/kg，分布浓度较为集中，离散程度小，排放较为均匀，中位值为21.5g/kg，基本代表该船的排放水平。

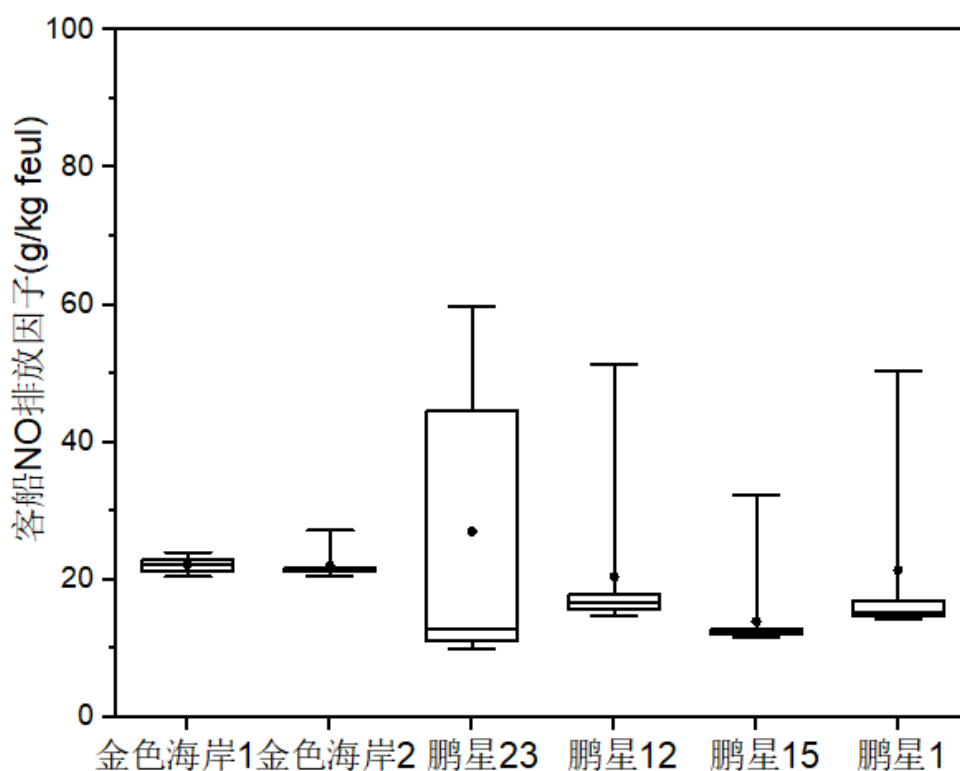


图25 客船NO排放因子分布图

## 2.CO排放因子分析

客船CO排放因子分布如图26所示，客船整体排放水平相当。鹏星23CO排放水平分布在10g/kg到20g/kg之间较多，中位值为12.22g/kg。鹏星12排放因子主要分布在25.88g/kg到28.4g/kg之间，中位值为27.25g/kg。鹏星15排放因子主要分布在12.13g/kg至12.73g/kg，中位值为26.37g/kg。鹏星1排放因子主要分布在20.02g/kg至22.08g/kg，中位值为20.47g/kg。金色海岸1排放因子分布主要分布在17.87g/kg至19.95g/kg之间，中位值为18.76g/kg。金色海岸2排放因子主要分布在15.76g/kg至17.55g/kg之间，中位值为16.83g/kg。

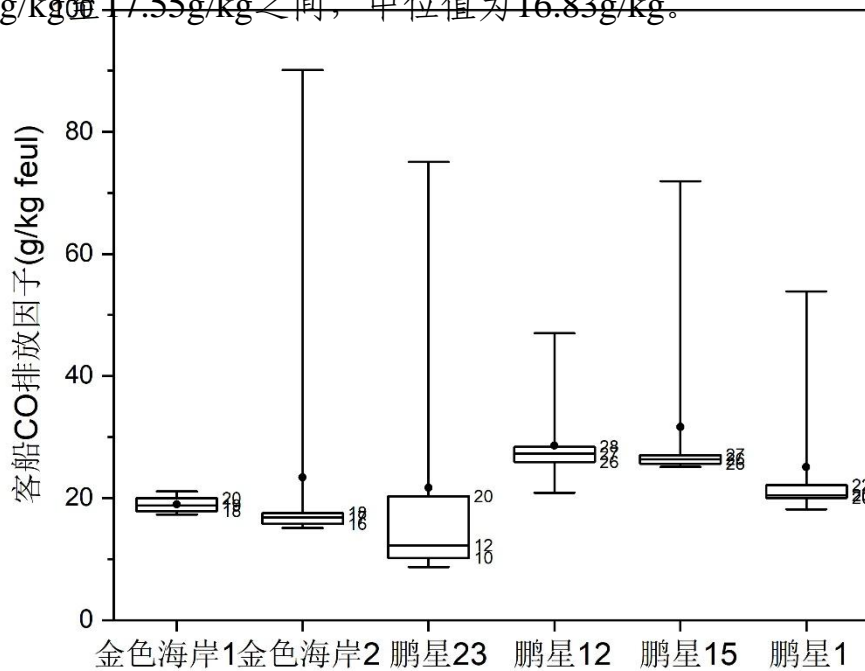


图26 客船CO排放因子分布图

## 3.NO<sub>2</sub>排放因子分析

客船NO<sub>2</sub>排放因子分布如图27所示，鹏星23氮氧化物排放因子分散范围较大，贡献率较其他客船较高。其NO<sub>2</sub>排放因子主要分散在



2.63g/kg至6.58g/kg之间，中位值为3.07g/kg。鹏星12客船排放因子分散在4.44g/kg至4.80g/kg之间，中位值为4.63g/kg。鹏星15排放因子分布在2.12g/kg至2.82g/kg之间，中位值为2.47g/kg。鹏星1排放因子分布在2.85g/kg至3.26g/kg之间，中位值为3.09g/kg。金色海岸1排放因子主要分布在1.82g/kg至2.33g/kg范围内，中位值为2.16g/kg。金色海岸2排放因子主要分布在0.89g/kg至1.53g/kg范围内，中位值为1.32g/kg。

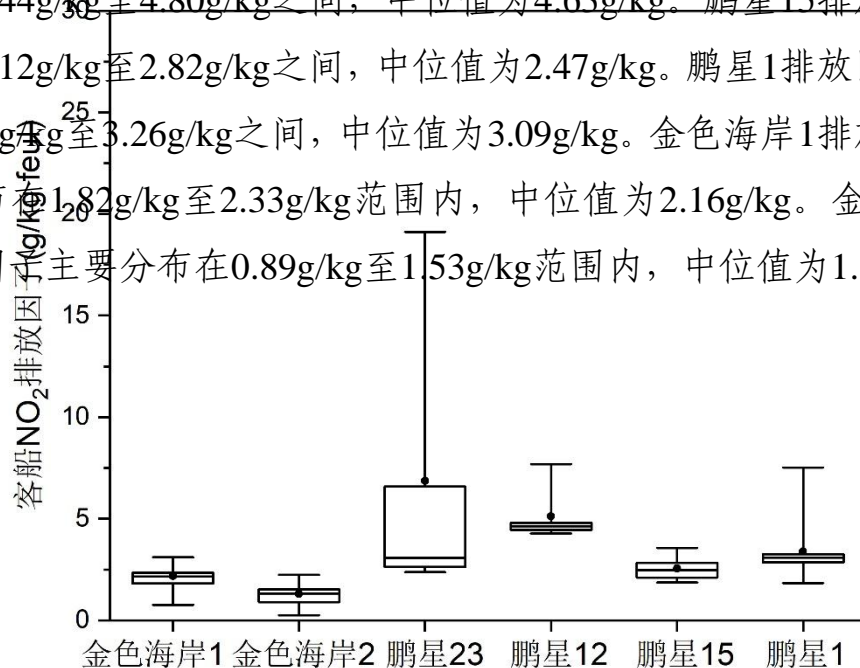


图27 客船NO<sub>2</sub>排放因子分布图

#### 4. PM排放因子分析

客船PM排放因子分布如图28所示，PM排放因子分布差异显著。鹏星23PM排放因子主要分布在0.044g/kg至0.065g/kg区间，中位值为0.06g/kg。鹏星12PM排放因子主要分布在0.002g/kg至0.003g/kg之间，中位值为0.003g/kg。鹏星15排放因子主要分布在0.010g/kg至0.012g/kg之间，中位值为0.01g/kg。鹏星1排放因子主要分布在0.007g/kg至0.011g/kg之间，中位值为0.008g/kg。金色海岸1排放因子分布在0.027g/kg至0.060g/kg之间，中位值为0.05g/kg。金色海岸2PM排放因子主要分布在0.010g/kg至0.013g/kg，中位值为0.01g/kg。

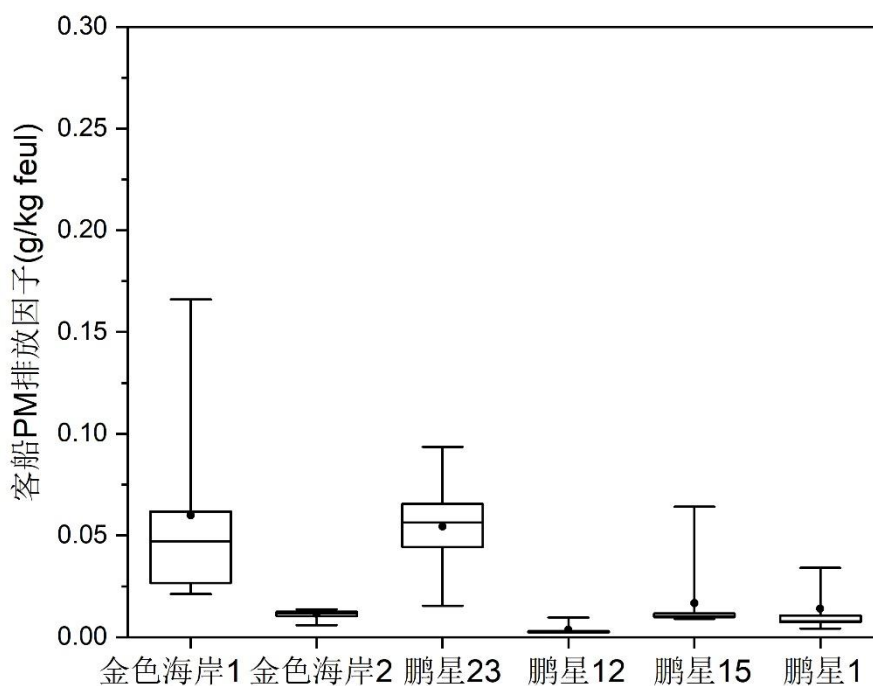


图28 客船PM排放因子分布图

## 5.TVOC排放因子分析

客船TVOC排放因子分布如图29所示，鹏星1TVOC排放因子主要集中分布在5.83g/kg至9.66g/kg，中位值为7.81g/kg。鹏星15排放因子主要集中分布在0.78 g/kg至1.79 g/kg之间，中位值为1.17 g/kg。鹏星12排放因子主要分布在5.69 g/kg至8.05 g/kg之间，中位值为7.09 g/kg。鹏星23主要分布在0.59 g/kg至1.01 g/kg之间，中位值为0.79g/kg。金色海岸1主要分布在5.30 g/kg至5.56 g/kg之间，船舶排放因子分布较为集中，中位值为5.5 g/kg。金色海岸2排放因子主要分布在5.61 g/kg至5.86 g/kg之间，中位值为5.77 g/kg。

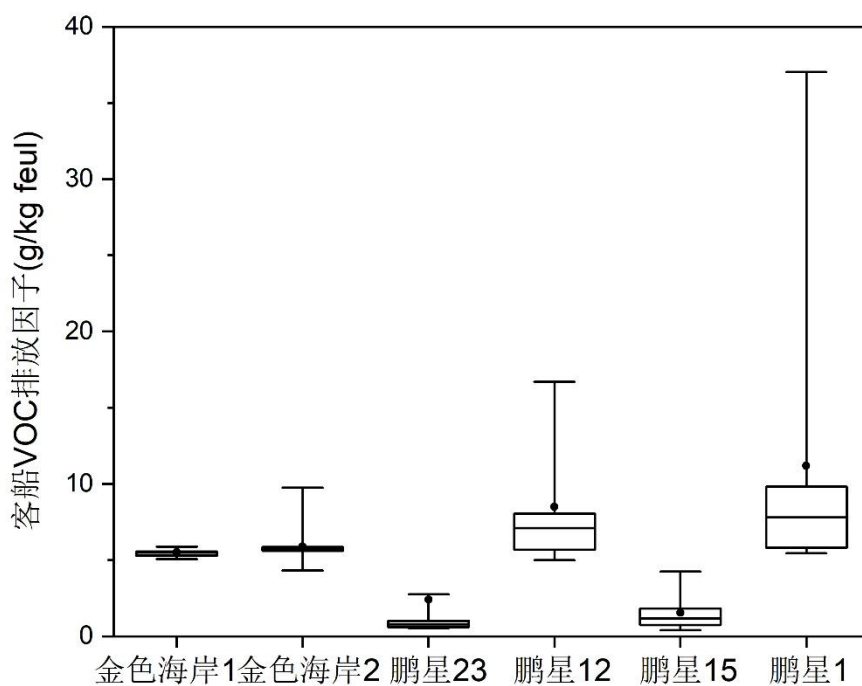


图29 客船TVOC排放因子分布图

## 6.硫碳比（FSC）分析

客船硫碳比分布如图30所示，所监测6艘客船硫碳比均低于0.5%，符合深圳港排放控制区硫含量限值要求。鹏星23硫碳比主要集中分布在0.07%至0.010%之间，中位值为0.09%。鹏星12硫碳比排放分布主要在0.12%至0.19%之间，中位值为0.16%。鹏星15排放分布主要在0.12%至0.15%之间，中位值为0.13%。鹏星1硫碳比主要分布在0.09%至0.14%之间，中位值为0.12%。金色海岸1硫碳比集中分布在0.06%至0.08%之间，中位值为0.07%。金色海岸2分布在0.01%至0.03%之间，中位值为0.01%。

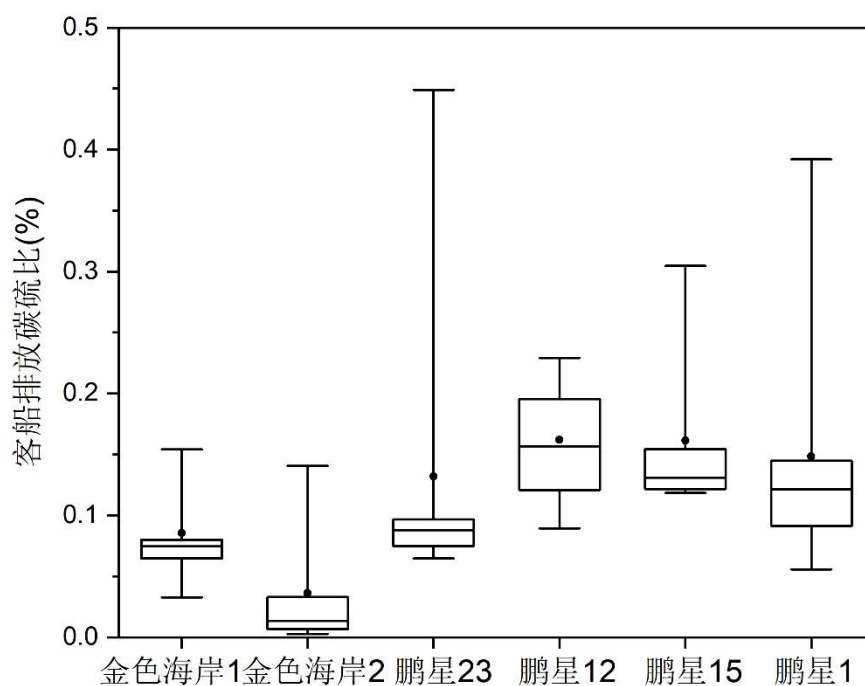


图30 客船硫碳比分布图

#### 6.9.2.6 不同类型船舶污染物排放特征分析

##### (1) CO 排放浓度分析

从不同船舶类型分析，船舶CO排放浓度占比最大的是货船。如图13所示，货船排放浓度最大，同样排放总量最大。货船排放浓度在161~1063ppm排放浓度范围内占比最高，且比拖轮和客船排放量要大。拖轮排放水平值为708ppm，客船排放水平值为650ppm，货船为673ppm。而平均排放浓度最高的客船，其排放浓度分布时间最短。

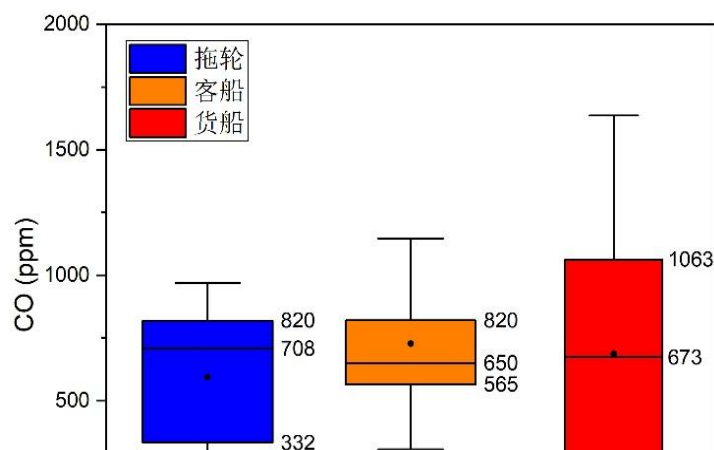


图 13 不同船舶类型 CO 排放浓度分布图

## (2) CO<sub>2</sub> 排放浓度分析

从不同船舶类型分析，船舶CO<sub>2</sub>排放浓度占比最大的是货船。如图14所示，客船相对排放浓度最大，其次是货船和拖轮。货船排放CO<sub>2</sub>在36000ppm至55750ppm之间的浓度分布最多；客船排放CO<sub>2</sub>在66136ppm至73000ppm之间的浓度分布最多；拖轮排放CO<sub>2</sub>在31350ppm至43100ppm之间的浓度分布最多。总体上看来排放CO<sub>2</sub>主要是货船。

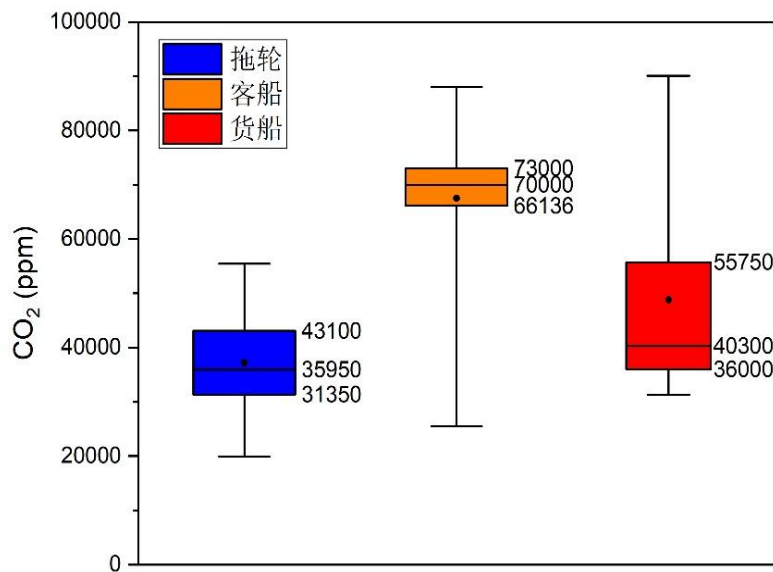


图14 不同船舶类型CO<sub>2</sub>排放浓度分布图

## (3) NO 排放浓度分析

如图15所示，从拖轮、客船、货船三种不同船舶类型进行分析得出，拖轮是三种船型中排放NO的主要船舶类型，其次是货船和客船。拖轮、货船和客船排放浓度水平分别为738ppm、915ppm和589ppm，

客船排放水平及排放浓度分布均最小。

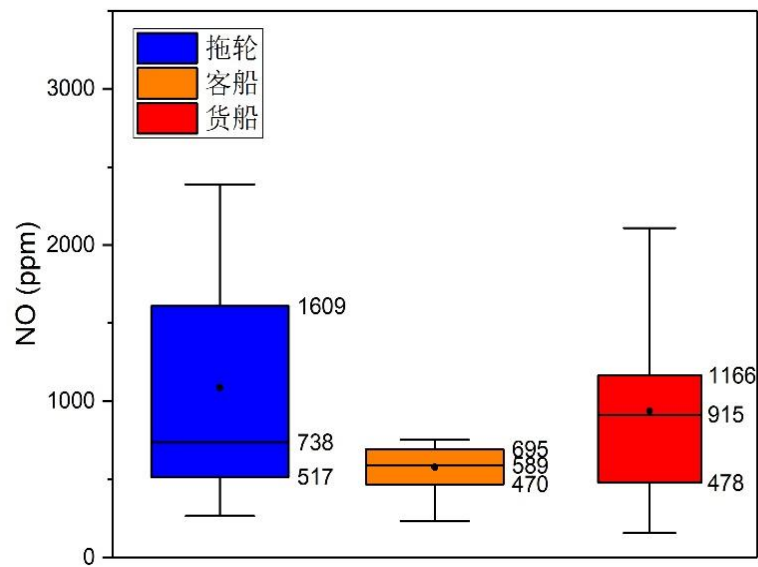


图15 不同船舶类型NO排放浓度分布图

#### (4) NO<sub>2</sub> 排放浓度分析

NO<sub>2</sub>的排放浓度情况从不同船舶类型图分析得出，拖轮排放浓度分布大于客船，客船大于货船。其中拖轮为主要排放船舶类型，其排放浓度在68ppm至165ppm之间的占比较大，平均排放浓度大于中位值95ppm。客船排放浓度主要分布在33ppm至74ppm的排放水平之间。货船排放浓度主要分布在15ppm至41ppm的排放水平之间。

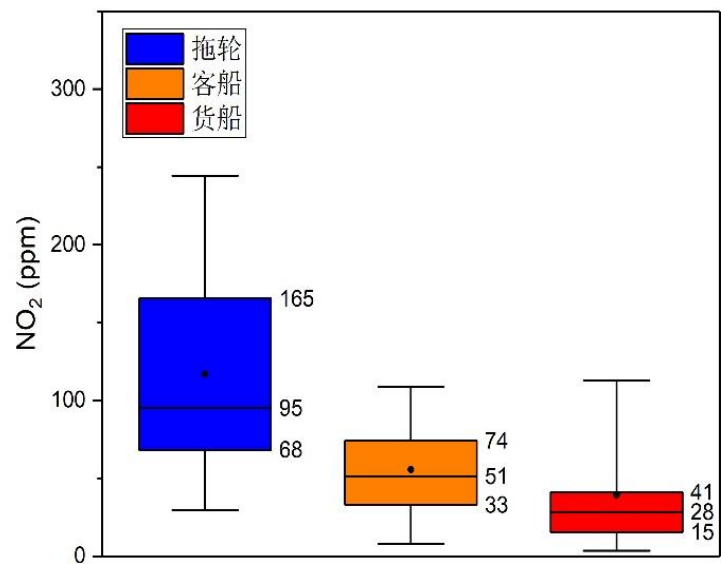


图16 不同船舶类型NO<sub>2</sub>排放浓度分布图

### (5) SO<sub>2</sub>排放浓度分析

如图17所示,从不同船舶类型分析,拖轮和货船SO<sub>2</sub>排放浓度分布比较接近。拖轮SO<sub>2</sub>排放浓度在23ppm至53ppm之间的分布较多,货船SO<sub>2</sub>排放浓度在32ppm至57ppm之间的分布较多,客船SO<sub>2</sub>排放浓度在21ppm至44ppm之间的分布较多。

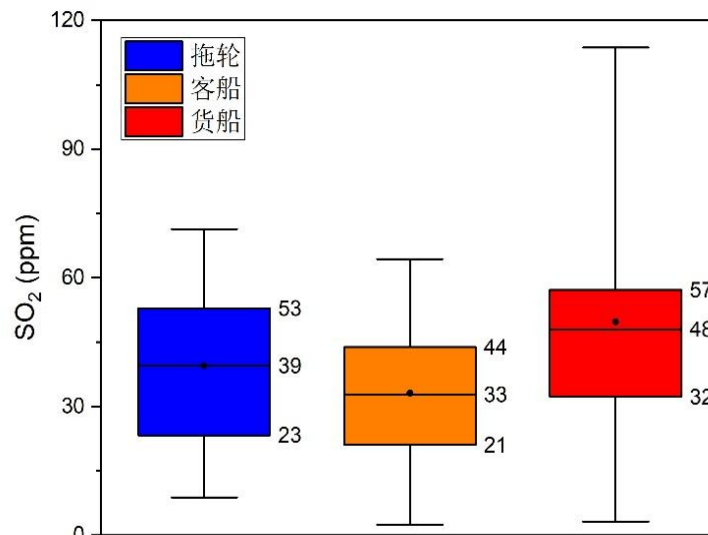


图17 不同船舶类型SO<sub>2</sub>排放浓度分布图

### (6) TVOC 排放浓度分析

不同船舶类型,TVOC排放浓度差异也较大。如图18所示,货船TVOC排放浓度相对较大,且是三种船型中的主要排放来源,其排放浓度在121ppm至581ppm之间的分布较大,排放总量也相对较多,其中位值为216ppm,基本代表了货船的排放水平。其次是拖轮,其排放TVOC浓度在62ppm至186ppm之间的分布较广,其平均排放水平在99ppm。客船排放TVOC浓度在30ppm至126ppm之间的分布较广,相对拖轮和客船,其排放浓度较低且总量较少。

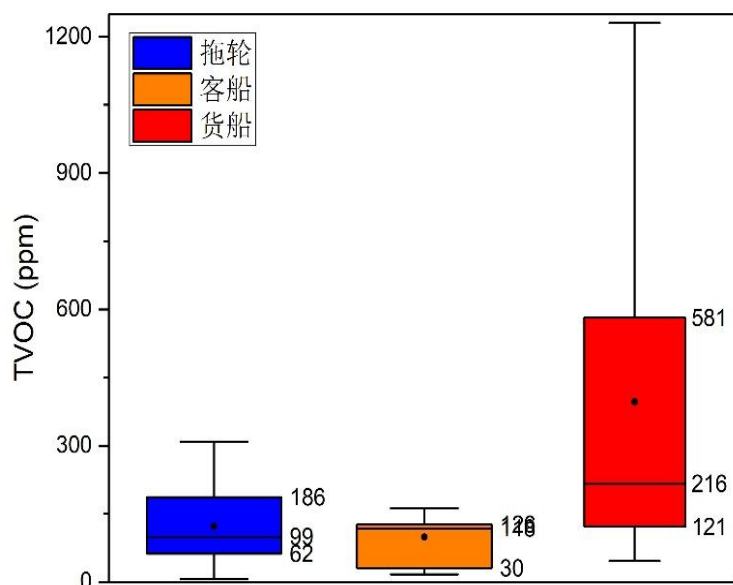


图18 不同船舶类型TVOC排放浓度分布图

### (7) PM 排放浓度分析

从不同船舶类型颗粒物排放浓度数据分析，拖轮、和货船尾气排放颗粒物的水平基本上一致，其排放浓度分布范围分别 $11\text{mg}/\text{m}^3$ 至 $21\text{mg}/\text{m}^3$ ， $11\text{mg}/\text{m}^3$ 至 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 之间，中位值分别在 $17\text{mg}/\text{m}^3$ 和 $16\text{mg}/\text{m}^3$ 。客船尾气颗粒物排放浓度相对较低，其浓度排放主要分布在 $2\text{mg}/\text{m}^3$ 至 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 之间。

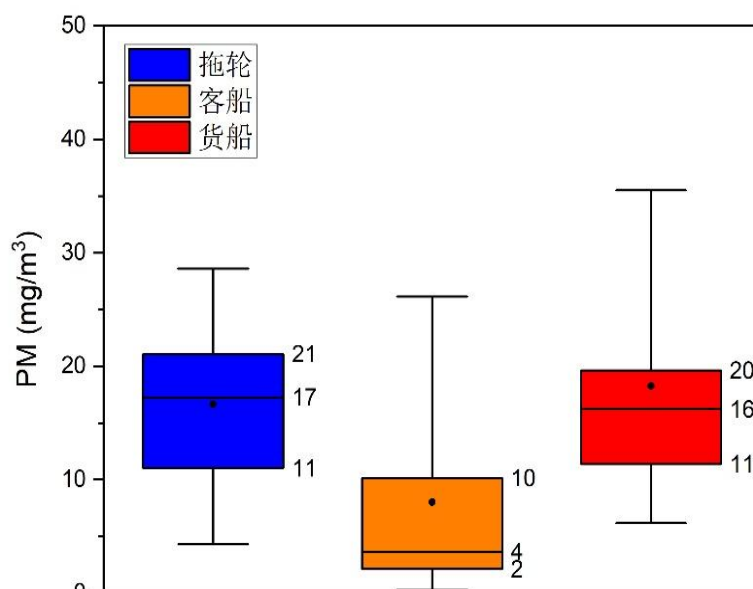




图 19 不同船舶类型 PM 浓度分布图

#### 6.9.2.7不同工况下船舶污染物排放情况分析

##### (1) 不同工况CO瞬时排放情况分析

如图20所示，根据不同工况可看出各类型船舶在不同工况下CO排放浓度分布差异较大。客船和货船工况相同，然而排放浓度分布差异较大，货船在加速和减速时排放浓度主要分布在118ppm至1358ppm之间，范围较广，离散程度较大，中位值为847ppm，从某种程度上说可以代表此工况的排放水平；其航行工况下，排放浓度主要分布在171ppm至1105ppm范围之内，相对加/减速工况分布范围较小，其中位值为678ppm。

拖轮分为怠速、航行和做功三类工况，怠速工况下，其排放浓度分布集中在271ppm至745ppm之间，中位值为393ppm；航行工况箱型图较其他工况时最大，从324ppm至831ppm范围内排放浓度分布最多，中位值为622ppm，说明该工况波动略大，排放浓度离散程度大；拖轮做功工况时，排放浓度最为集中在754ppm至790ppm范围之内，箱型图显扁平，说明该工况下排放稳定。

客船与货船工况结构相同，包括加/减速和航行工况。在加/减速工况时，排放浓度主要集中在457ppm至726ppm之间，中位值为575ppm；航行工况时，排放浓度主要集中在579ppm至830ppm之间，中位值为655ppm。

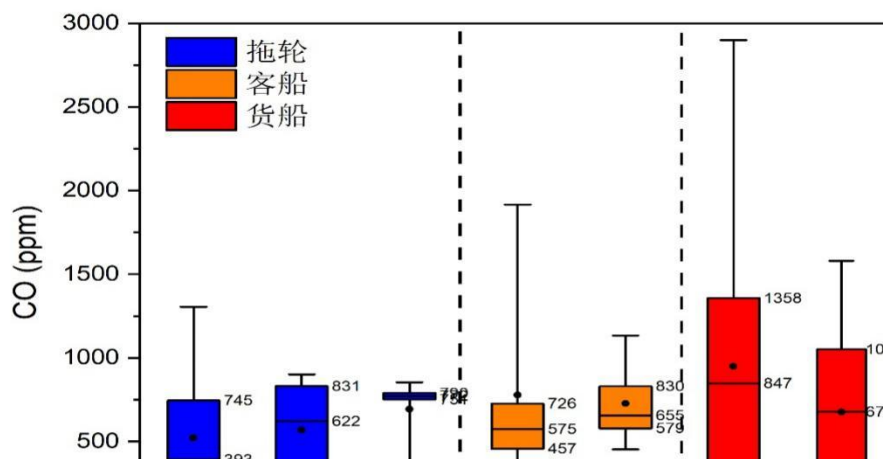


图20 不同工况下CO排放分布图

## (2) 不同工况NO瞬时排放情况分析

如图21所示，NO排放浓度最大的为拖轮，各工况下分布浓度较广，怠速时排放浓度主要分布在398ppm至1405ppm之间，中位值为570ppm；航行时排放浓度主要分布在663ppm至1694ppm之间，中位值为726ppm；做功时排放浓度分布在379ppm至1504ppm之间，中位值为614ppm。货船在加/减速时排放浓度分布在587ppm至1376ppm之间，中位值为1051ppm；航行时排放浓度分布在492ppm至1115ppm之间，中位值为913ppm。客船在加/减速航行时，排放浓度分布在406ppm至934ppm中位值为627ppm；航行时排放浓度分布在478ppm至694ppm之间，中位值为597ppm。以上数据可以得出货船是NO的主要排放源，其次为货船，客船最小。

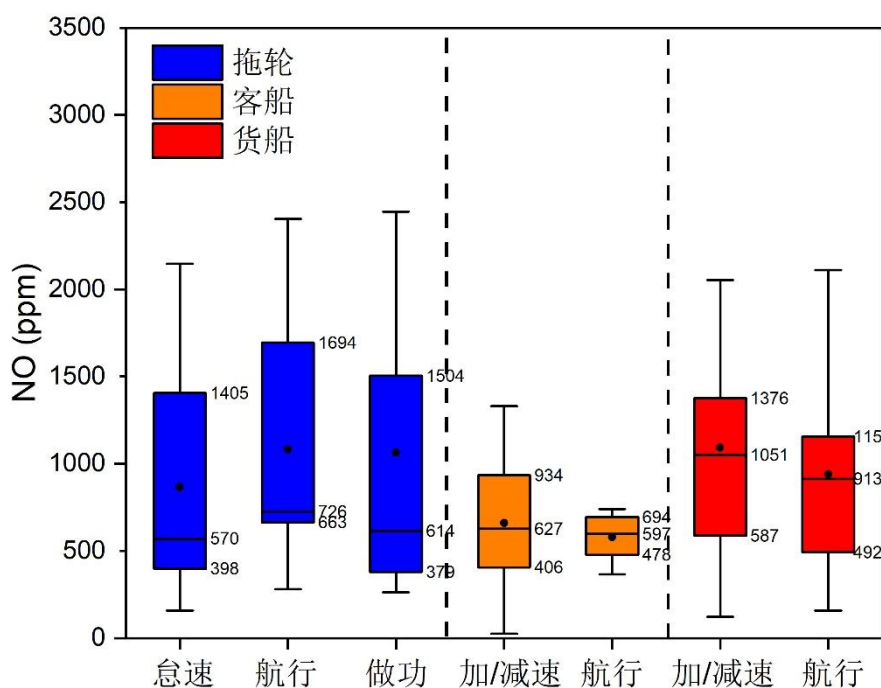


图21 不同工况下NO排放分布图

### (3) 不同工况NO<sub>2</sub>瞬时排放情况分析

如图22所示，拖轮NO<sub>2</sub>排放浓度分布居三类船型中的排放浓度之首。尤其在做功时，拖轮排放浓度分布范围最广，从54ppm分布至194ppm，中位值为78ppm；其次是航行时，排放浓度在66ppm至170ppm分布最多，中位值为98ppm；怠速时，排放浓度相较于其他两种工况下排放分布最小，从72ppm至132ppm，此范围间排放浓度集中，中位值为89ppm。客船排放浓度分布在加/减速工况和航行工况时排放浓度分布相似，分别为30ppm至75ppm，37ppm至75ppm，中位值分别为45ppm和52ppm。货船排放浓度分布主要集中在加/减速工况时，分布范围为27ppm到81ppm，中位值为41ppm，航行时排放浓度分布在15ppm至39ppm之间，中位值为28ppm。

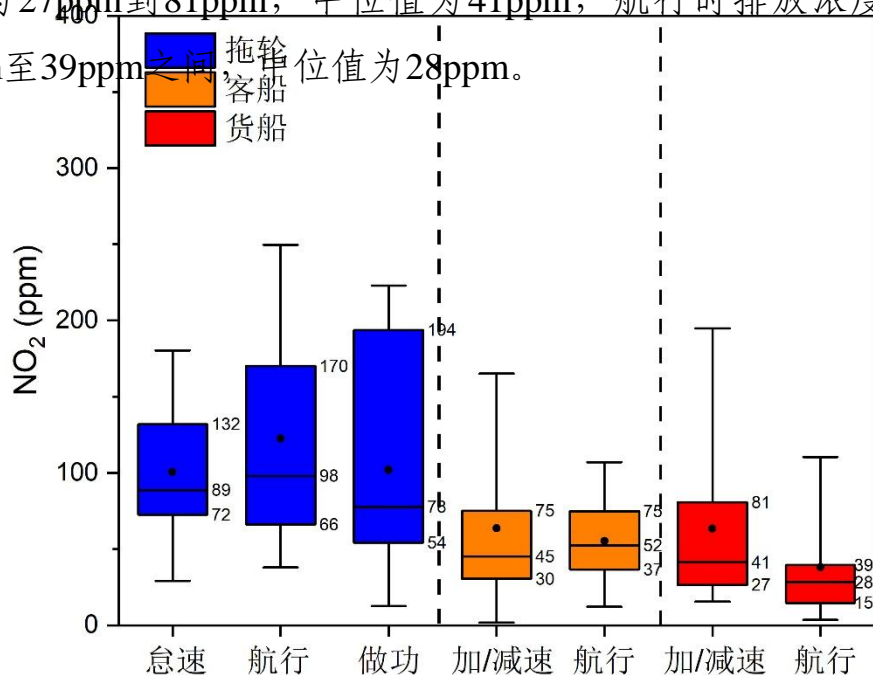


图22 不同工况下NO<sub>2</sub>排放分布图

### (4) 不同工况SO<sub>2</sub>瞬时排放情况分析

如图23所示，SO<sub>2</sub>排放浓度最低的为客船，在加/减速工况时，排

放浓度主要分布在13ppm至37ppm之间，中位值为26ppm；航行时排放浓度分布在22ppm至44ppm之间，由此看出航行时排放浓度大于加/减速工况。货船在加/减速工况下排放浓度分布最广，从23ppm分布到71ppm，中位值为51ppm；航行时排放浓度从34ppm至57ppm分布最为集中，中位值为48ppm。拖轮在做功时排放浓度分布较广，从20ppm至52ppm分布较多，离散程度较大；航行时排放浓度主要分布在28ppm至54ppm，中位值为41ppm；怠速时拖轮瞬时排放浓度小，主要分布在19ppm至40ppm之间，中位值为27ppm。

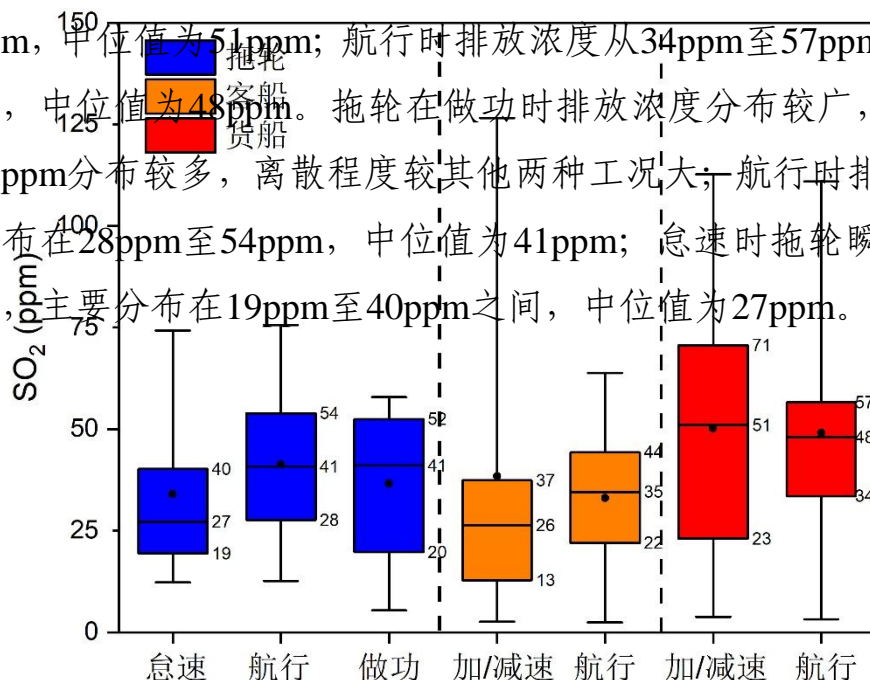


图23 不同工况下SO<sub>2</sub>排放分布图

#### (5) 不同工况TVOC瞬时排放情况分析

如图24所示，TVOC主要是货船排放，在整个工况下，排放浓度分布比较广，在加/减速时，排放浓度分布在47ppm至485ppm范围之间，中位值为164ppm；航行时排放浓度分布在12ppm至58ppm之间，中位值为21ppm；拖轮在怠速时排放浓度在8ppm至147ppm范围之间分布最多，中位值为58ppm；航行时排放浓度分布从79ppm到189ppm，中位值为101ppm；做功时排放浓度分布集中在61ppm至194ppm之间，中位值为99ppm。客船在加/减速工况时，排放浓度分布在27ppm至

149ppm之间最多，中位值为113ppm；在航行时排放浓度从38ppm到126ppm范围间分布。总体来看，货船排放浓度最大。

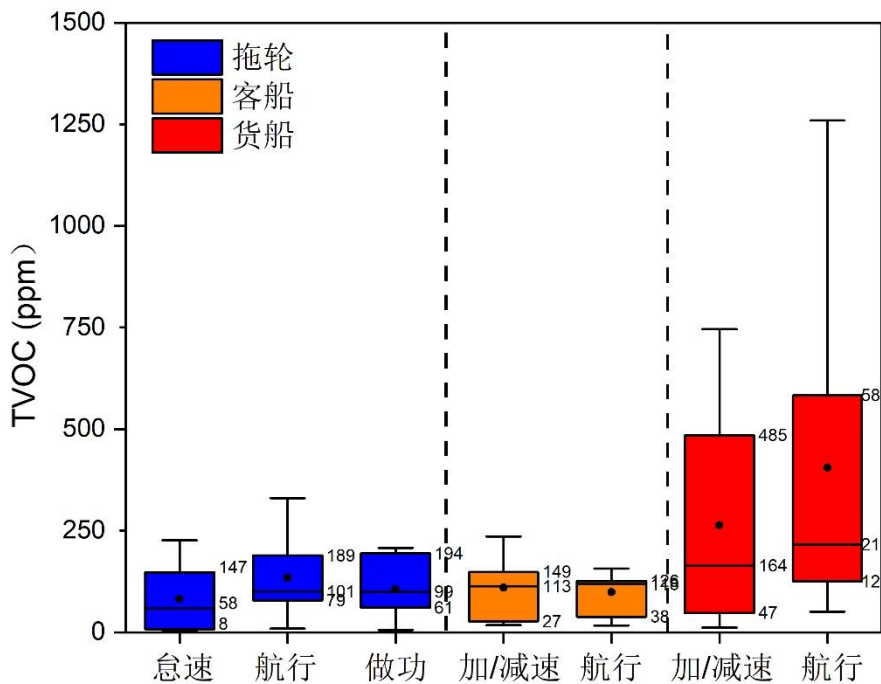


图24 不同工况下TVOC排放分布图

### (6) 不同工况PM瞬时排放情况分析

如图25所示，货船颗粒物排放浓度较大，分布较广。在加/减速时，排放浓度在 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 至 $71\text{mg}/\text{m}^3$ 之间分布，中位值为 $30\text{mg}/\text{m}^3$ ，比较高；在航行时，排放浓度在 $11\text{mg}/\text{m}^3$ 至 $19\text{mg}/\text{m}^3$ 之间分布，中位值为 $16\text{mg}/\text{m}^3$ 。拖轮在航行时排放浓度较怠速和做功时排放浓度分布大，从 $9\text{mg}/\text{m}^3$ 至 $22\text{mg}/\text{m}^3$ 区间内分布，中位值为 $17\text{mg}/\text{m}^3$ ；怠速时，排放浓度分布在 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 至 $17\text{mg}/\text{m}^3$ 范围内，中位值为 $12\text{mg}/\text{m}^3$ ；做功时箱型图最扁平，排放浓度在 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 至 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 之间比较集中。从总体上看，货船颗粒物排放占据重要来源。

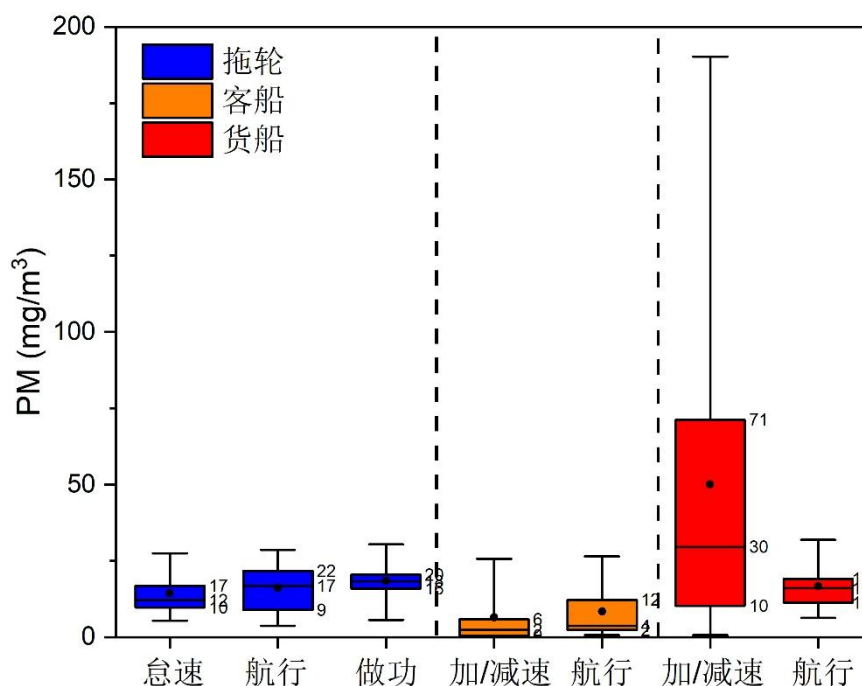


图25 不同工况下PM排放分布图

#### 6.9.2.8典型船舶瞬时排放污染物规律分析

实测船舶共计20艘，共三类船型，以下分别筛选各类船型一艘进行分析总结，讨论起各个工况下瞬时排放污染物浓度变化规律。

##### (1) 盐田拖12瞬时排放污染物规律分析

盐田拖12实船测试瞬时排放污染物浓度如图26所示。时间为2019年3月19日下午15:09开始启动船舶发动机，执行港内拖带任务，同时有三艘拖轮协助作业。盐田拖12为本次监测对象，其航行工况如表20所示。

表20 盐田拖12工况信息表

时间	船舶工况
15: 09至15: 15	启动出港

15: 15至15: 33	匀速循环
15: 33至15: 35	怠速
15: 35至15: 50	慢速行驶
15: 51至16: 12	拖带作业
16: 13至16: 25	进港
14: 20至14: 45	做功（顶船、拉船等）
14: 45至14: 51	怠速
14: 52至14: 59	减速进港

根据各时间段工况及结合瞬时排放浓度图可以看出，船舶在离港、做功、进港工况下，不断变化功率，导致各污染物排放浓度波动较大。各污染物在拖轮出港工况下，瞬时排放浓度急剧上升。当拖轮加速至匀速巡航工况期间，CO、CO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、NO、SO<sub>2</sub>、PM、TVOC瞬时浓度均上升，然后下降趋于平稳，混合气体浓度变化不大。在拖轮匀速巡航状态下时SO<sub>2</sub>排放量几乎为零，此时，NO<sub>2</sub>排放也较低。这可能与船舶使用硫含量较低的燃料（实验室检测值：0.088%/m/m）有关。

当拖轮进入拖带作业状态时，发动机负荷略有增大，然而排放气态污染物及颗粒物浓度几乎没有太大波动及变化。当船舶进港时，航速降低且功率随之减小，各污染物排放浓度急剧下降。

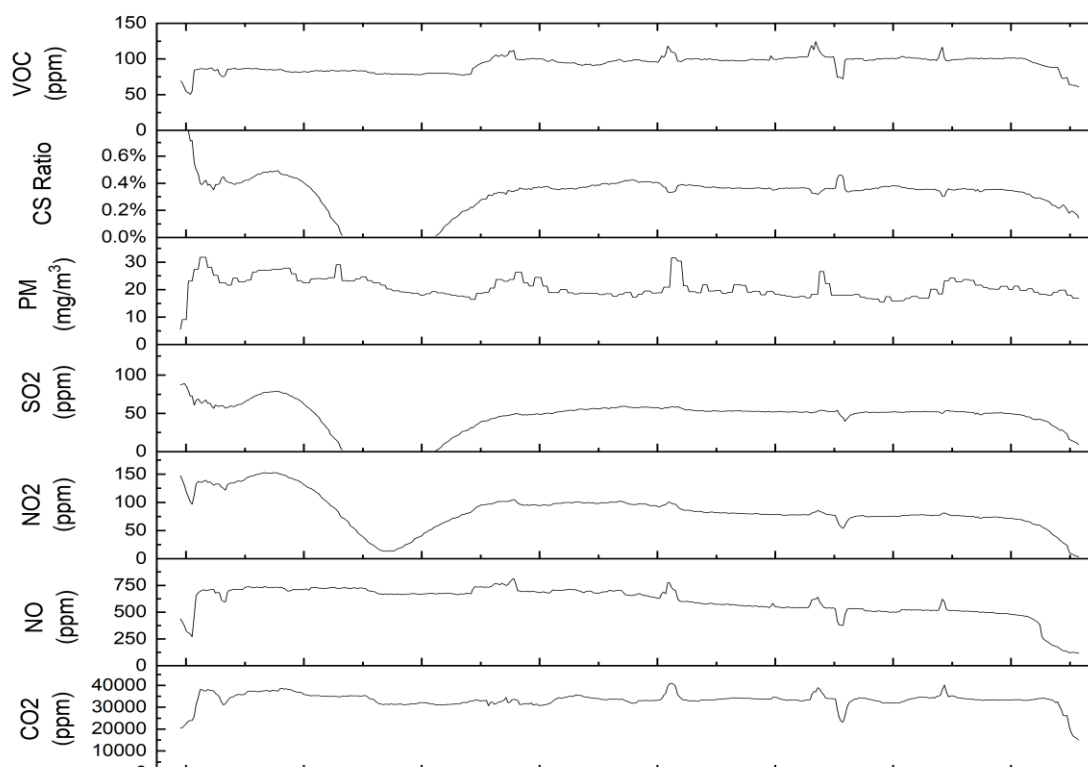




图26 盐田拖12污染物浓度瞬时排放图

## (2) 集装箱船瞬时排放污染物规律分析

“正华018”为小型集装箱船，本次测试时该船舶负载120t左右，各时间段工况由驾驶室船员记录，监测日期为2019年5月15日。具体时间工况对应时间如下表21所示。

表21 正华018工况信息表

时间	工况
01: 30至01: 57	出港
01: 58至18: 15	正常巡航
18: 16至18: 37	减速进港

由于集装箱船主要为载货货船，其工况变化不复杂，主要为出港、匀速航行和减速进港，三种工况。如图21所示，船舶离港及进港，船舶污染物瞬时浓度排放波动较大。当船舶在离港和进港两工况下时，船舶功率变化频繁。在整个运行工况下，CO<sub>2</sub>排放量相对其他几个污染物排量最大，达到40000ppm左右。其次是CO，其瞬时排放规律与NO相似，且数值变化较为接近，但是整个工况下，波动频繁。同样TVOC 排放浓度波动也较大，在船舶出港及进港尤为突出，中间巡航也时有波动，但与进港和出港时比较，波动相对较小。这或许与发动机使用年限较久有关系，正华018发动机使用年限为16年，可能其燃油喷射不均匀，导致燃烧不充分等。此外，SO<sub>2</sub>与PM排放规律相似，在巡航工况下下排放浓度稳定。以上各污染物浓度变化与船舶发动机



功率变化、发动机性能息息相关。

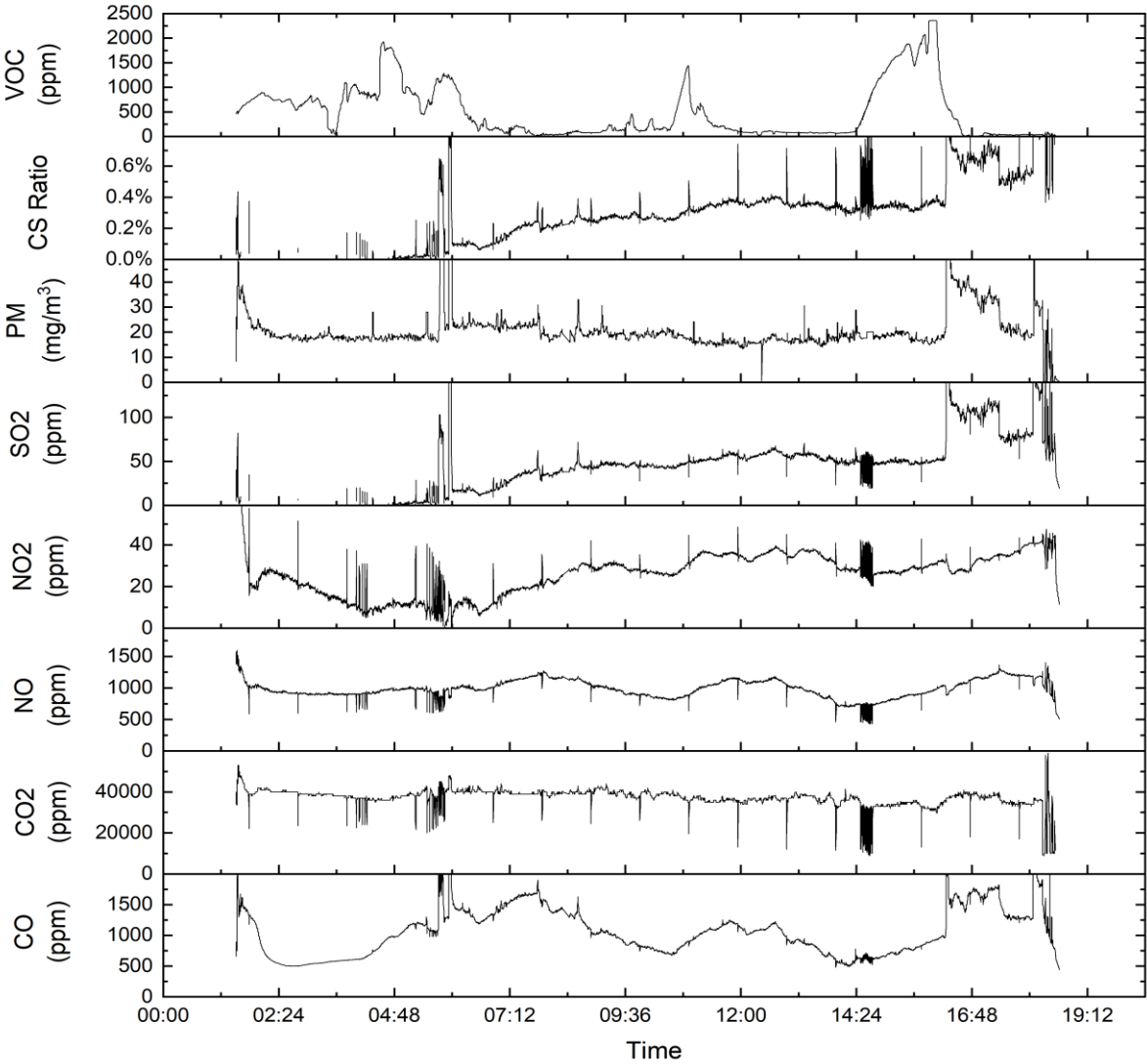


图27 货船瞬时排放特征图

**(3) 客船鹏星15瞬时排放污染物规律分析**

客船主要为高速客船，航速可达30节左右，远比拖轮及货船航速要大。且排气流速也相对较大。本次将蛇口港高速客船鹏星15号作为

客船瞬时排放污染物规律分析的典型代表。其主要航程为蛇口港到珠海，单程约1小时。

如图28所示，鹏星15号客船定点启动发动机预热，在启动离港工况下，由于船舶不断变化的功率，各类污染物均发生了剧烈波动。波峰密集。当船舶进入巡航初期，燃空比、缸内温度和压力等条件的稳定使各类污染物排放浓度有所下降趋势，之后排放稳定，CO<sub>2</sub>、CO、NO、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、TVOC分别稳定在88000ppm、1000ppm、500ppm、60ppm、45ppm、29ppm、3.7mg/m<sup>3</sup>左右。当船舶进入正常巡航期时，船舶速度基本没有太大变化，船舶污染物排放浓度基本稳定。当船舶进港时，船舶需要调整位置等，且发动机功率变化频繁，特别是突然拉大功率时，发动机迅速升高到较大负荷状态，从而导致各类污染物急剧上升急剧下降的频繁波动状态。其中CO<sub>2</sub>与拖轮和货船相比，远大于其排放浓度，而CO、SO<sub>2</sub>、PM、NO和NO<sub>2</sub>均低于拖轮和货船。而TVOC排放浓度小于货船，大于客船排放浓度值一半左右。这可能

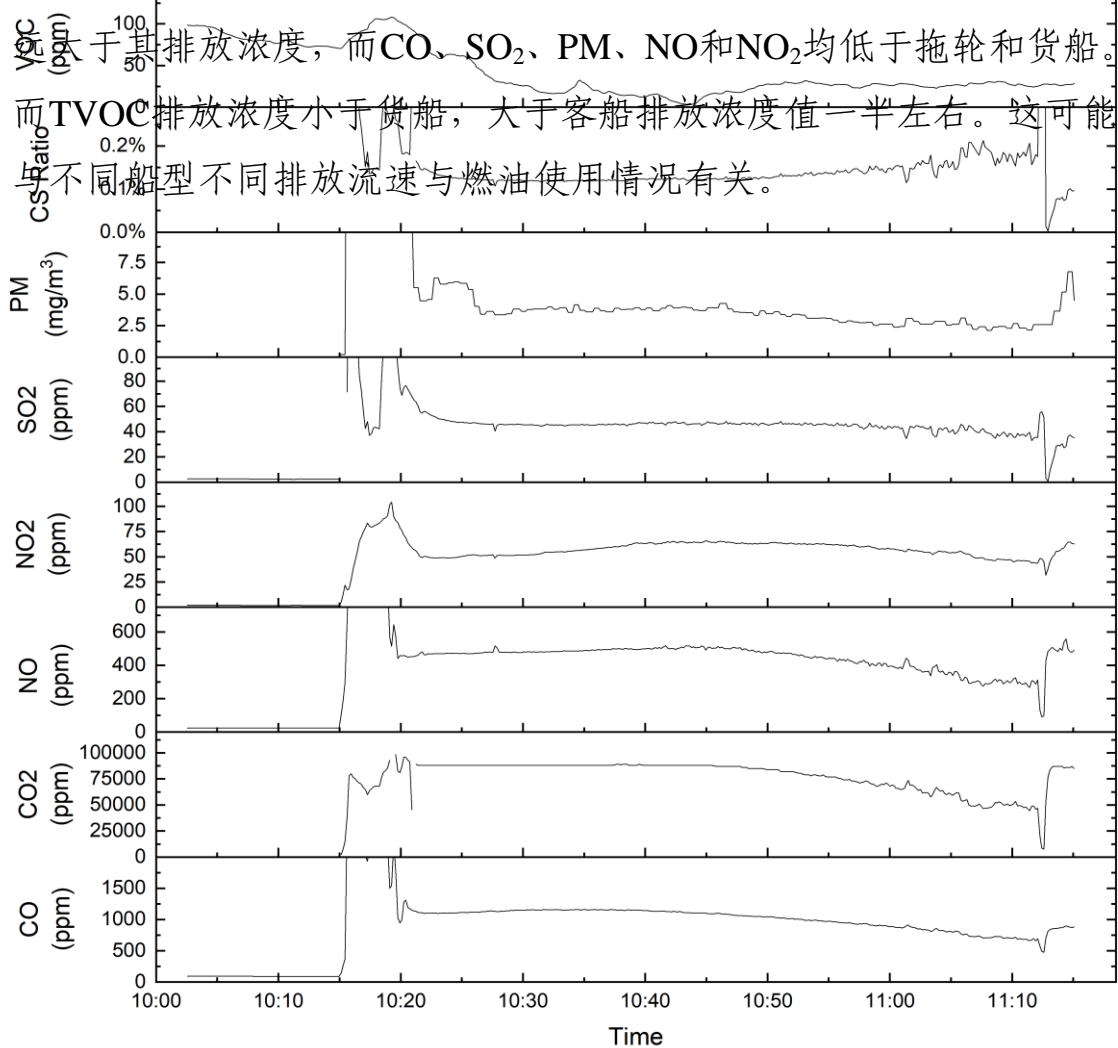


图28 鹏星15瞬时排放特征图

#### (4) 湛港拖505瞬时排放污染物规律分析

湛港拖505瞬时排放污染物浓度图如图29所示。船舶上午10:43开启主机，加速出港，加速过程，CO和NO污染物排放波动较大，这可能跟发动机启动，缸内温度变化，及发动机功率变化频繁相关。当船舶匀速航行时，各污染物排放稍微稳定，且航速达到最大，发动机转速控制在600rpm左右，CO和NO排放浓度相对较高，CO<sub>2</sub>排放量也达到最大。当船舶减速时，CO和NO瞬时排放浓度迅速降低，此时PM排放浓度排放浓度上升，出现波动。当船航速稳定，PM排放浓度下降。当船舶进入怠速时，各污染物排放浓度相对稳定，没有太大波动。在整个运行工况下，SO<sub>2</sub>排放浓度波动相对较小，硫碳比也相对较小。

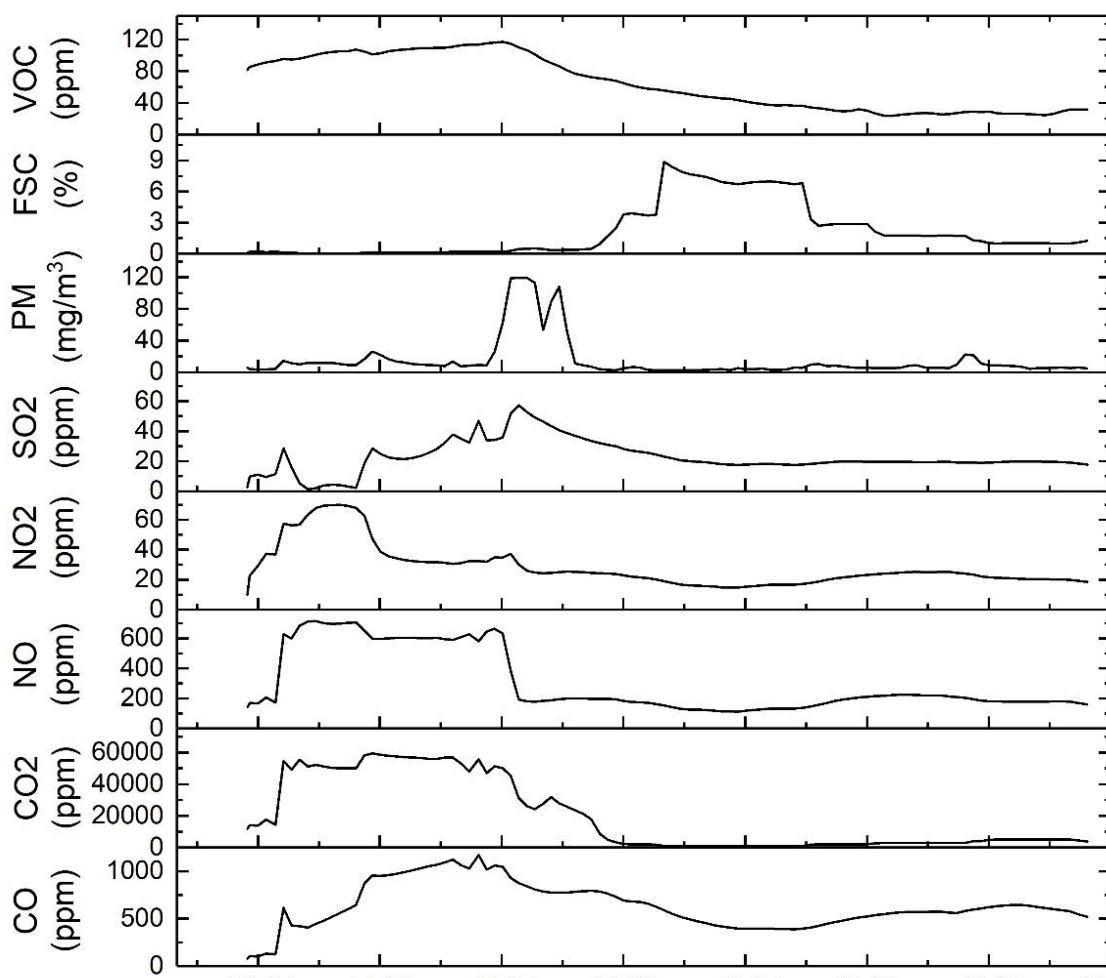


图29 湛港拖505瞬时排放特征图

### 6.9.2.9排放限值的确定

基于以上污染物排放规律分析、不同类船舶污染物排放情况分析、同类型船舶污染物排放因子分布的分析及代表性典型船舶瞬时排放污染物规律分析。由于拖轮工况与客船和货船均不相同。其拖带作业与怠速工况占据时间较多。而客船与货船进出港时间较短，可忽略不计，污染物排放量主要集中于巡航状态时排放。

综合以上各类船舶（20艘典型船舶样本）的数据分析值，排放因子中位值基本代表船舶整个航行工况下的排放水平，然而20艘典型船舶样本较少，代表性缺乏，中位值过于严苛，可能不适用于所有船舶。

因此，各类船舶污染物排放因子限值的确定根据不同船舶类型排放因子75%的分布情况进行当前确定较为合理公正。各类船舶污染物排放因子75%分布值见下表22，表23，表24。

表22 拖轮污染物排放因子75%分布值（g/kg.fuel）

船名	CO	NO	NO <sub>2</sub>	TVOC	PM	CS ratio/%
盐港拖8	36.28	72.08	10.47	0.94	0.09	0.24
盐田拖11	36.36	11.91	1.98	6.81	0.07	0.04
盐田拖17	30.51	19.05	4.25	8.19	0.23	0.16
盐港拖2	9.64	125.49	21.56	16.26	0.12	0.35
盐田拖12	45.94	15.83	3.35	8.51	0.04	0.14
盐田拖15	22.08	27.89	3.85	25.84	0.04	0.54
<b>75%值</b>	<b>36.34</b>	<b>61.03</b>	<b>8.92</b>	<b>14.32</b>	<b>0.11</b>	<b>0.32</b>

表23 小型集装箱船污染物排放因子75%分布值（g/kg.fuel）

船名	CO	NO	NO <sub>2</sub>	TVOC	PM	CS ratio/%
惠海龙158	21.14	53.66	4.59	22.92	0.04	0.34
惠海龙388	7.71	30.01	NA	10.88	0.12	NA
惠湾398	48.67	76.16	7.04	4.09	0.09	NA
惠金桥298	44.56	37.46	0.58	10.11	0.03	NA
惠湾228	79.83	12.25	11.75	18.42	0.19	NA
惠湾222	10.83	25.76	2.43	49.09	0.08	NA
正华018	70.63	64.34	3.11	67.11	0.13	0.38
<b>75%值</b>	<b>65.14</b>	<b>57.62</b>	<b>7.04</b>	<b>41.42</b>	<b>0.13</b>	<b>0.38</b>

表24 客船污染物排放因子75%分布值（g/kg.fuel）

船名	CO	NO	NO <sub>2</sub>	TVOC	PM	CS ratio/%
金色海岸1	19.95	23.00	2.33	5.56	0.06	0.08
金色海岸2	17.55	21.73	1.53	5.86	0.01	0.03
鹏星23	20.29	44.55	6.58	1.01	0.07	0.10
鹏星12	28.40	17.80	4.80	8.05	0.003	0.19
鹏星15	27.00	12.73	2.82	1.79	0.01	0.15
鹏星1	22.08	16.79	3.26	9.66	0.01	0.14
<b>75%值</b>	<b>25.77</b>	<b>22.68</b>	<b>4.42</b>	<b>7.50</b>	<b>0.05</b>	<b>0.15</b>

#### 6.9.2.10标准允许限值

基于以上数据分析，规定各类型船舶在整个运行工况下，污染物排放因子限值应低于75%分布值较为合适，制定当前排放因子具体限值如下表25所示。

表25 排气污染物排放因子允许限值（g/kg.fuel）

船舶类型	CO	NO	NO <sub>2</sub>	TVOC	PM	CS Ratio/%
拖轮	36.5	61.5	9.0	14.5	0.20	0.4
客船	26.0	23.0	5.0	8.0	0.10	0.2
货船	65.5	58.0	7.5	41.5	0.20	0.4
注：排放控制区内VOC和CS Ratio/%船机排放限值仅供筛查使用						

## 6.10 质控要求

为了船舶排放污染物浓度监测数据的准确性和科学性，每次进行船舶尾气在线监测时，必须严格按照相应要求进行质控方案的实施，实现设备正常工作和准确监测。具体质控方案如下：

### 6.10.1 出厂前质控标定方案

设备在出厂前，其气体模块及颗粒物模块经过严格出厂质控程序。方案包括三大质控手段：

#### （1）气体模块标定

依据温湿度的季节性和区域性，利用环境温湿度箱模拟应用场景及终端用户使用季节区域，设置温湿度及污染物浓度模拟循环，标定内置出厂校准公式的温度湿度矫正系数及单个气体传感器灵敏度系数，并出具传感器出厂标定证书。

#### （2）颗粒物模块标定

颗粒物模块在实验室条件下的粒径谱浓度与具有NIST标定的迁移标准设备对比，确保颗粒物传感器读数在有效范围之内，并出具传感器出厂标定证书。

#### （3）出厂前验证比对

经过出厂实验室质控之后，设备在交付用户之前将在户外环境中与标准设备进行三天数据对比，验证出厂初始化标定参数及浓度输出精确度与准确度在有效范围之内，并出具传感器现场标定证书。

### **6.10.2设备自动质控方案**

Mini-SEMS设备自身具有一定的质控模块，包括：

气体模块具有自动调零功能，对传感器长期工作进行漂移矫正。

### **6.10.3远程质控方案**

#### **（1）系统运行参数的平台远程监控及报警**

设备在线运行期间，系统在线状态参数随数据包回传平台，对颗粒物光学模块，加热模块，气体采样模块，调零模块，及其他系统参数进行在线监控。包括颗粒物模块的流量参数，光室温度计压力参数，光源电压参数，湿度控制的参数。气体模块单个传感器输出电压参数，气体模块气室温湿度参数，调零气流的流量参数，气体模块的流量参数，系统电源电压参数及机箱内部温湿度参数等信息。

所有参数设定有正常工作范围区间，以及监控区间与报警区间。利用远程平台监控，当以上参数超出指定正常区间进入监控区间时，自动提醒远程维护人员注意观察状态，在4小时内参数没有恢复正常区间后，需要指派现场维护团队进行现场操作，并根据参数情况确定远程或现场维护操作，确保设备最大限度正常工作状态。

当以上参数超出监控区间进入报警区间时，需立即指派现场维护团队进行现场操作，并根据现场维护说明文件进行现场操作，确保设备最大限度正常工作状态。

#### **（2）远程标定**

Mini-SEMS设备中气体监测单元自带调零模块，定期定时利用高效选择过滤器对主要污染物气体进行过滤产生零空气吹扫传感器气室。在远程维护中，质控团队将利用远程调零数据对单个传感器模块的零点漂移根据操作指南进行漂移校正。

### **6.10.4现场质控方案**

#### **（1）现场维护频率**

Mini-SEMS设计指标中有充分冗余满足全天候条件下连续运行。

颗粒物以及一氧化氮及二氧化氮，二氧化硫模块自带定期的调零标定，但是建议每隔三个月做一次现场标定比对。

根据质控方案6.10.3(1)中远程监控中发现参数异常并无法远程排除情况下，维护团队也需及时对设备进行现场维护，做好设备运维记录。

## **(2) 现场维护方法**

颗粒物标定方式是现场做流量检查与调零通过检查，并与标定好的模块在现场做同步比对测试，时长一个小时，获取分钟数据做拟合，确保拟合系数 $>0.9$ 。

气体模块现场维护包括现场做流量检查及设备状态检查，确保系统输出参数与实测参数吻合度在10%以内。如有偏差，需现场对流量传感器进行重新标定。

气体模块现场标定通过零空气发生器配合动态校准仪及标准气体生成80%量程浓度对具有配对差分过滤方法的气体传感器进行零点漂移验证与跨度验证。如果气体传感器零点漂移在 $\pm 1$  ppm以内，则无需进行标定参数调整；如果跨度标定浓度在实际浓度读数5%以内，则无需进行标定参数调整。

当零点漂移及跨度误差超过指定范围，现场维护需通过数据串口或远程参数设置分别对零点及跨度参数进行更新。并重复上述步骤验证。

为确保在线监测设备测量结果的准确性和可靠性，在线监测设备需使用国家有证标气（不同浓度点由低到高，至少三个）对各个气体传感器模块进行定期（至少一年一次）计量和校准。

# **7 标准的技术可行性和环境效益分析**

## **7.1 环境效益分析**

目前，船舶已成为我国沿海、沿河地区主要的大气污染源。尽管柴油机具有效率优势，但其废气排放对环境和人体健康为较大。当前



世界海运贸易量的97%由排水量超过10亿吨的9.4万艘船舶承担，由其造成的污染占全球污染量的3.5~7.6%。船舶动力装置主要为柴油机，其产生的大气污染物主要包括SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、PM、CO、CO<sub>2</sub>等。其中颗粒物和氮氧化物不仅危害极大，因此制定标准并且严格执行标准已经迫在眉睫。

1.实施本标准后，对内河船、沿海船、江海直达船舶船机的排气污染物进行控制，可大大减少港口船机污染物的排放，改善港口环境空气质量，进一步提高船舶发动机行业技术进步。随着我国对外开放力度不断加大以及“一带一路”倡议的推进，我国航运业取得长足发展。

2.通过标准的制定，完善管理体制。针对船舶排气污染防治技术和政策，提高船员环保意识和自身素质。提高船舶低硫燃油的使用率和促进岸电设施的建立。加强岸电试点示范项目，形成可复制、易推广的模式。

3.随着船舶尾气减排的制度实施，可增设排放控制区，同时根据治理效果，考虑政策鼓励，激励港航企业自觉遵守规章制度。

4.通过控制港口船舶排气污染物浓度限值，可以淘汰部分老旧及技术水平不达标排放的船舶柴油机，这有利于推动行业技术升级和进步，促进行业持续健康发展。

7.2技术可行性分析

7.2.1使用低硫油

船舶尾气SO<sub>2</sub>排放浓度与燃油的硫含量紧密相关，燃烧过程中燃油中硫含量几乎全部转化成废气中的SO<sub>2</sub>，因此，船舶使用低硫燃料油（包括低硫油的替代物）能够直接降低船舶尾气SO<sub>2</sub>的排放。通过对深圳港选择的20艘船舶燃油硫含量检测，得出结果如下表26所示。

表26 20艘典型船舶燃油硫含量

序号	船名	发动机	燃油类型	硫含量（%）
----	----	-----	------	--------

序号	船名	发动机	燃油类型	硫含量（%）
1	盐港拖2	内燃机	轻柴油	0.12000
2	盐港拖8	内燃机	轻柴油	0.09020
3	盐田拖11	内燃机	轻柴油	0.01800
4	盐田拖12	内燃机	轻柴油	0.08800
5	盐田拖15	内燃机	轻柴油	0.08200
6	盐田拖17	内燃机	轻柴油	0.12000
7	湛港拖505	内燃机	轻柴油	0.00318
8	金色海岸1	内燃机	轻柴油	0.00600
9	金色海岸2	内燃机	轻柴油	0.00020
10	鹏星1	内燃机	轻柴油	0.00060
11	鹏星12	内燃机	轻柴油	0.00170
12	鹏星15	内燃机	轻柴油	0.04100
13	鹏星23	内燃机	轻柴油	0.00030
14	正华018	内燃机	轻柴油	0.06200
15	惠湾222	内燃机	轻柴油	0.00770
16	惠湾228	内燃机	轻柴油	0.02500
17	惠湾398	内燃机	轻柴油	0.00455
18	惠金桥298	内燃机	轻柴油	0.00180
19	惠海龙158	内燃机	轻柴油	0.03300
20	惠海龙388	内燃机	轻柴油	0.00750

以上深圳港20艘典型船舶使用燃油硫含量均低于0.5% $m/m$ ，符合《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》（交海发〔2015〕177号）的规定要求，同时大部分船舶符合IMO针对燃油硫含量小于等于0.1% $m/m$ 的限值要求。2015年4月28日，国务院常务会议提出加快成品油质量升级措施，即加快高标准普通柴油供应。2017年7月起，在全国全面供应国四普通，硫含量小于50ppm以

下；2018年1月1日起，在全国全面供应国五普通柴油，硫含量低于10ppm以下。通过深圳港内作业船舶实地调研，沿海船舶全部使用低硫燃油。二低硫油硫含量值直接与船舶尾气SO<sub>2</sub>排放浓度相关，燃烧过程中燃料硫几乎全部转化成废气中的SO<sub>2</sub>。因此低硫油的使用，也是降低SO<sub>2</sub>排放的有效方式之一。

### 7.2.2 加装尾气处理装置

与固定源烟气脱硫脱硝技术相似，目前国内外常见的船舶尾气脱硫技术主要有干法脱硫和湿式洗涤技术；尾气脱硝技术主要是用选择性催化还原（SCR）技术、等离子体还原技术等。随着社会对环境的要求越来越高，单一的脱硫技术或者脱硝技术与现实中复杂尾气成分存在着矛盾。因此，脱硫脱硝技术一体化，是当前最大限度降低船舶污染物排放的一种技术之一。该一体化技术目前常用的主要有四种，氧化-吸收法、低温等离子体技术、光催化技术、改性海水法。其中氧化吸收法和改性海水法比较成熟，工艺过程简单易实现。综上所述方法均可以大大降低船舶尾气污染物浓度的排放，切实做到船舶尾气节能减排，实现绿色航运。

### 7.2.3 船舶发动机升级改造

船舶尾气污染物排放控制对策多种多样，然而针对船舶柴油机升级改造也是一种推动企业积极探索提高发动机技术水平与燃烧性能，促进产品升级的方式。发动机从现有排放控制水平升级到标准排放控制要求，可从以下几种方式进行船机技术升级：

1）进气方式从自然吸气升级到废气涡轮增压器（单级或双极增压）或增压中冷技术；

2）进气方式从废气涡轮增压器（单级或双极增压）升级到增压中冷技术；

3）采用废气再循环（EGR）技术，采用EGR技术会降低NO<sub>x</sub>排放，但会造成油耗和颗粒物的增加，采用该项技术，通常会调整供油

提前角，EGR率也应根据情况选择高或低；

4) 发展智能柴油机，实现燃油喷射系统优化，提高喷射压力，是降低颗粒物的主要措施；

5) 喷射系统与燃烧室、涡流之间的匹配，进气流动、混合气在缸内的混合和燃烧过程之间是相互作用的复杂体系，特别在燃烧后期，将这些作用关系通过喷射系统与燃烧室、涡流之间的匹配进行优化，对柴油机的经济性和排放，将起到重要作用。

## 8 实施本标准的建议

关于船舶排气污染物控制限值的确定，主要以IMO和GB15097为主要依据，考虑到深圳港严峻的大气污染物形势及环境减排需求，以及国际上对内河、沿海船舶的污染的治理经验，深圳港船舶排放要求应严于国际限值。IMO要求里面对氮氧化物提出限值控制要求，GB15097第一阶段和第二阶段限值增加了CO、HC、CH<sub>4</sub>和PM。本标准的制订增加了TVOC和FSC项目，更加全面掌握大气污染物排放水平，因此，建议在以IMO和GB15097为主要依据的基础之上制订本标准的大气污染物排放项目和限值要求。

从深圳港20艘典型船舶在线监测结果分析，船舶发动机排放水平较低，说明深圳港排放控制区内的沿海船舶机大部分达到排放控制区排放水平。为了能够实时监测到进入排放控制区的船舶排放污染物，建议尽快实施建立港区内排放控制区在线监控平台。

从执法监督部门的角度出发，为了获取船舶真实排放数据作为执法的证明，建议各港口监督部门配备一台现场在线监测设备及专业人员，积极配合执法监督活动。

本标准仅对进入深圳排放控制区的内河船、沿海船、江海直达船舶进行排气污染物浓度控制。建议后续在技术成熟的基础上，可以制订针对超过3000总吨以上或3000kw以上的船舶排放污染物的限值控制标准。

## 附件2

### 《深圳市内河、江海直达船舶尾气处理装置有效性核查评估》 项目专家评审意见

2019年7月24日，深圳市生态环境局在深圳组织召开了《深圳市内河、江海直达船舶尾气处理装置有效性核查评估》项目成果评审会，会议邀请了船舶和大气化学等方面的5名专家（名单附后）组成了专家组。与会专家和代表认真听取了项目承担单位深圳市计量质量检测研究院的汇报，经讨论与质询，形成如下评审意见：

一、本项目的开展是贯彻《深圳市大气环境质量提升计划（2017-2020年）》和《“深圳蓝”可持续行动计划（2018-2020年）》的重要措施，掌握了我市港口靠泊的内河、江海直达、沿海、客船、工作船等船舶基础信息，按要求选取典型船舶进行大气污染物排放测试，并根据深圳市船舶排放的特点和实际情况，制定了《深圳港船舶排气污染物排放限值及测量方法》特区规范文本和编制说明。

二、本项目通过港口船舶基础信息调研、典型船舶在线监测和数据统计分析等手段完成了深圳港靠泊船舶基础信息的完整调查和21艘典型船舶的在线监测，出具了船舶发动机排放污染物监测结果报告、深圳港靠泊船舶监管台账、特区技术规范编制说明及标准文本（征求意见稿），并针对深圳港排放控制区船舶废气排放污染治理提出合理建议。

三、本项目研究内容全面、资料齐全，完成了合同要求，专家组一致同意通过评审验收。

专家评审组组长：李强

评审专家：

魏高峰 王兴东 何志 许志

### 附件3

深圳盐田拖轮有限公司

## 外协人员进场安全管理告知书

外协单位	深圳市计量质量检测研究院		
事由	船舶尾气检测		
施工负责人	白蜀霞	联系电话	15817259230

深圳盐田拖轮有限公司			
现场负责人	林安理	紧急联系电话	18025378930

### 告知内容

- 1、进入施工现场，请遵守深圳盐田拖轮有限公司相关安全作业规定，遵守码头方的安全管理。车辆进入码头内，请控制在码头方限制的车速内。
- 2、进入施工现场，请正确穿戴工作服、工作鞋、安全帽、安全带等劳动保护用品。
- 3、进入施工现场，请服从现场（船舶）负责人的指挥。
- 4、禁止酒后进入现场；禁止在码头吸烟；禁止在船舶机舱、甲板处禁止吸烟。
- 5、禁止私自操作现场设备的任何开关、按钮和阀门。
- 6、禁止随意进入受控区域，不要在任何防护栏杆上或有作业的地方休息。
- 7、非工作需要，不要登高或随意进入施工人员上下楼梯、施工斜道等。
- 8、禁止在有坑洞、临边及有材料堆放的场所或船舶无人舱室处停留。
- 9、进入现场请不要妨碍其它作业人员工作，不要做与本项目无关的事情。
- 10、禁止在未经允许的情况下挪动现场安全警示标识。
- 11、未经允许，不得进入非作业区域、重点管理部位和危险场所。
- 12、进行潜水作业、登高作业、动火作业、拆接用电作业及临时电源线架设时，必须按规定办理海事潜水、动火报备等，电气相关作业前须切断电源等，按规定挂设安全警示牌；做好安全防范措施和现场安全培训后方可进行操作；特种作业人员必须持证上岗。
- 13、注意现场的地面和环境情况，确保自身安全，以防发生意外事故。
- 14、其它：\_\_\_\_\_

本人已知悉上述告知内容，并严格遵守相关安全管理规定！

附件4

现场安装安全保障措施

1.准备

1.1 安装现场勘查

安装人员抵达盐田港口现场后，由盐田港海事局相关人员带领安装人员勘查已经准备好的被测试拖轮结构及排烟管具体结构，同时安装人员与船员了解现场实验场地情况，详细说明实验实施方案中涉及船舶测试步骤和现场准备事项及其它注意事项。确定安装方案后，由安装人员按照确定的方案组织开展工作。

1.2 场地准备

在设备安装前应对拖船排烟管及附近场地进行详细的实地勘测，要求在线监测设备登船道路通畅及设备放置位置足够。以船舶排烟管为中心，四周场地空间应满足设备及工具放置空间。

1.3 设备及工具准备

在线监测设备安装如果需要使用专用的工具，应提前一并带入测试场地，并检验设备及工具保持在完好的状态。整套监测设备包括污染物监测模块、采样模块及附属设备，具体见下表 1：

表 1 现场安装工具清单

监测设备模块	设备	数量	备注
污染物监测模块	安装支架	1	/
	污染物监测设备	1	/
	流速仪	1	/

监测设备模块	设备	数量	备注
	抽气泵	1	/
采样模块	采样管	若干	/
	散热翅片	若干	/
	冷凝瓶	1	/
	烟囱支架	1	/
	皮托管	1	/
附属设备	安装工具（起子等）	若干	/
	抱箍/扎带	若干	/
	气泵进气过滤芯	1	/
	三通接头	2	/
	卡套接头	2	/
	弯管器	1	/
	割管器	1	/
	隔热硅胶垫	若干	/

#### 1.4 人员准备

深圳市计量质量检测研究院环保检测中心安排两名协助安装人员，并在第一次安装和测试过程中需进行现场培训，保证接下来的安装、拆卸及测试等工作顺利进行。培训工作由设备方的相关技术人员给予培训。安装人员经实际安装培训合格后，即可担任后续的设备安装等工作。

#### 1.5 其他准备

1. 设备安装故障预防措施
2. 专业人员跟船测试
3. 船电
4. 电线应预先穿好，并盘放在不妨碍安装和船员工作的位置

### 2.安全保障措施

#### 2.1 设备保障措施

设备测试过程中，为防止船舶航行活动中海浪波动，造成设备来回滑动。首先，安装人员需固定好设备位置，如有需要，可同时安装上避震海绵。此外，设备监测探头夹子夹住烟囱的同时，需额外用耐高温绳子拴住，以防探头夹子螺丝松动掉进烟囱时，可拉出绳子快速找到探头。



设备的防护措施做好后，要加强现场的维护保养，保证测试过程中能够及时处理设备出现的故障等问题。

2.2 人员安全保障

船上操作人员必须具备安全责任意识，保证并监督船上在线监测过程的实施。以“安全第一，预防为主”为方针，设备安装前，检查设备设施的不安全状态、船舶周围作业环境等。确认好现场安全环境之后，安装人员穿戴好实验服、手套，严格按照安装要求和规范完成设备安装和拆卸工作。同时，设备接电时，执行船上用电规程。服从船上的安全管理。

如果烟囱过高，安装时需要使用梯子，并且旁边需要有监护人辅助。把一切不安全的因素消灭在萌芽中。

2.3 船舶烟囱安全保障

船舶烟囱一般设计为有一定弧度，防止下雨天雨水和其他物品掉入影响船舶主机正常工作。船舶在线监测设备安装时，需要将设备传感器探头用夹子夹住烟囱壁，然后进行监测。由于船舶航行过程中难免会受到风浪影响，产生烟囱震动，抖松传感器探头夹子或者螺丝，因而在探头夹子处绑上耐高温绳子，保护夹子掉进去时可以及时拉出。保护烟囱连接的主机不被损伤。

现场使用工具材料等堆放整齐，严禁乱放乱扔，保持现场周边环境卫生。

2.4 船舶预测风险评估及应对措施

船舶预测风险评估及应对措施，见表 2。

表 2 船舶预测风险评估及应对措施

紧急事故	风险等级	预防措施	应急应对措施
电气短路	中	电路全部预安装保险丝	彻底检查电路，排除短路故障并更换保险丝
采样管线紧固螺丝松动	高	测试开始前锁紧螺丝并用紧固胶固定；测试过程中监督安装状态，如果有松动立即报告；测试停止时需再次检查紧固状态。 用绳索吊住采样管线，防止任何时候设备松动掉落伤及人员或船上设备	测试过程中如果有发现松动立即报告，同时拉住绳索防止管线掉落
监测仪器震动	低	在和栏杆接触部分加装减震泡沫海绵	查看实时数据是否受震动的影响，再采取减震措施
高空安装作业	中	穿戴劳保设备进现场，使用安全绳再进行高空安装作业	

