



江苏省船舶大气污染物排放研究

Research on the air pollutants of vessel in Jiangsu Province

江苏省环境监测中心

2014年12月

目 录

1 项目研究背景	1
1.1 我国水运情况	1
1.2 我国船舶污染概况	2
1.3 国内外船舶污染防治情况	3
1.4 本课题研究的必要性	4
2 技术路线	6
2.1 研究技术路线	6
2.2 测试技术路线	6
3 项目工作开展情况	8
4 江苏省内河船舶大气污染物排放情况	12
4.1 江苏内河水运情况	12
4.2 全省船舶货运情况	14
4.3 全省内河船舶污染物排放情况	16
4.3.1 全省机动货船功率分布	16
4.3.2 综合单位货物周转量污染物排放系数	17
4.3.3 江苏省内河船舶大气污染物排放量	18
4.3.4 航道大气污染物排放系数	19
5 江苏省沿海渔船大气污染物排放情况	22
5.1 全省沿海渔船概况	22
5.2 沿海渔船大气污染物监测	23
5.2.1 辽丹渔 23600 号	23
5.2.2 辽丹渔 23601 号	26
5.3 全省沿海渔船大气污染物排放情况	29
5.3.1 沿海渔船功率分布	29

5.3.2 沿海渔船油耗排放因子.....	30
5.3.3 沿海渔船耗油量	31
5.3.4 沿海渔船大气污染物排放量.....	32
6 江苏省长江段船舶大气污染物排放情况	33
6.1 长江江苏段概况	33
6.1.1 自然地理概况	33
6.1.2 社会经济概况	33
6.2 长江船舶大气污染物监测.....	34
6.2.1 华远号.....	35
6.2.2 至善号.....	39
6.2.3 维 5 号.....	42
6.3 长江船舶大气污染物排放情况	50
6.3.1 长江船舶流量观测	50
6.3.2 长江船舶功率分布	52
6.3.3 综合单位货物周转量污染物排放系数.....	52
6.3.4 长江江苏段船舶货物周转量	54
6.3.5 长江江苏段船舶大气污染物排放量.....	55
7 燃油法和周转量法排放因子的比较.....	Error! Bookmark not defined. 56
8 江苏省船舶大气污染防治对策和建议.....	56
8.1 全省船舶排污状况.....	56
8.2 全省机动车排污状况.....	59
8.3 政策建议.....	61

1 项目研究背景

1.1 我国水运情况

在国际上，铁路运输比公路便宜 20—30%，水路运输比公路便宜三分之二。水路运输有着运价低廉、运量巨大的优点，一直以来在我国综合运输体系中占有重要地位。据统计，2012 年我国铁路和公路货运量分别达 39.04 亿吨、244.81 亿吨，货物周转量分别为 29187 亿吨公里、43389.67 亿吨公里，平均运距分别是 747.6 公里、177.24 公里。2012 年全国完成水路货运量 37.89 亿吨、货物周转量 68427.53 亿吨公里，平均运距 1805.72 公里。其中，内河运输完成货运量 18.86 亿吨、货物周转量 5535.74 亿吨公里，平均运距 293.5 公里；沿海运输完成货运量 13.23 亿吨、货物周转量 16892.63 亿吨公里，平均运距 1276.8 公里；远洋运输完成货运量 5.81 亿吨、货物周转量 45999.15 亿吨公里，平均运距 7917.2 公里。全年长江干线货物承载量达 15.12 亿吨。其中煤炭、金属矿石、钢铁和矿物性建筑材料占总承载量的 65.4%。长江干线到干线货运量 2.95 亿吨，海上到干线运量 6.83 亿吨。

交通部《2010 年公路水路交通运输行业发展统计公报》显示：2010 年底，全国内河航道通航里程 12.42 万公里；等级航道 6.23 万公里，占总里程的 50.1%；其中，三级及以上航道 9280 公里，五级及以上航道 2.53 万公里，分别占总里程的 7.5%和 20.3%。各等级内河航道通航里程分别为：一级航道 1385 公里，二级航道 3008 公里，三级航道 4887 公里，四级航道 7802 公里，五级航道 8177 公里，

六级航道 18806 公里，七级航道 18226 公里。各水系内河航道通航里程分别为：长江水系 64064 公里（占比 51.6%），珠江水系 15989 公里，黄河水系 3477 公里，黑龙江水系 8211 公里，京杭运河 1439 公里，闽江水系 1973 公里，淮河水系 17246 公里。

1.2 我国船舶污染概况

据《2010 年公路水路交通运输行业发展统计公报》统计：2010 年底，全国拥有水上运输船舶 17.84 万艘，净载重量 18040.86 万吨，平均净载重量 1011.22 吨/艘，载客量 100.37 万客位，集装箱箱位 132.44 万 TEU，船舶功率 5330.44 万千瓦，动力以柴油机为主。据中石化科学研究院有关专家（张建荣）统计，2007 年渔业船舶柴油消费量为 663 万吨、水路运输船舶柴油消费量是 833 万吨，合计为 1546 万吨。按照每年 10% 的 GDP 增长率同比推算，估计 2010 年渔业和水路运输船舶柴油消费量约为 2000 万吨。

与世界船舶相比，我国船舶缺陷明显，散货船比例较高，油轮和集装箱轮比例偏低，低端柴油机大量应用，船舶平均吨位小，平均船龄较老，船舶大型化、集装箱化与国际水平相比有较大差距。在柴油机大气污染物排放方面，我国内河船舶大气污染物排放量显著高于欧美发达国家同等功率船舶。加之船舶使用年限一般在 30 年-40 年，更新换代周期较长，短期内对船舶实施升级换代的想法不太现实。

随着我国经济的进一步发展，航运业也将不断发展壮大，船舶尾气排放对大气的污染也越来越严重。我国经济格局呈现沿海和东部地区较为发达、中部和西部地区较为落后的态势，大气环境污染也呈现出与之相对应的分布态势，即沿海和东部地区大气污染严重、中西部

地区大气环境较为良好。而沿海和东部地区正是我国航运业最为发达、船舶最为密集的地区，也是工业污染、城市建设污染、机动车污染最为严重的地区，多重污染的叠加，使得空气中凝结核增多，雾霾形成几率增加，影响范围更广、持续时间更长、污染物浓度更大，影响也越发严重。有关研究显示，对于上海、香港等港口城市，船舶尾气污染占当地大气污染的比重高达 40%；根据油耗排放系数简单粗略估算，船舶消耗 2000 万吨柴油的 CO、HC、NO_x、PM 排放量分别是 30 万吨、6.3 万吨、112 万吨、6 万吨，合计是 154.3 万吨。其中，船舶氮氧化物排放量在全国机动车氮氧化物排放量中占比是 20%左右，在全国氮氧化物排放量中占比是 5%左右。对于环境容量原本就很稀缺、生态环境已经非常脆弱的沿海和东部地区来说，船舶尾气污染也许就是压垮骆驼的最后一根稻草，因此，控制船舶污染排放迫在眉睫。

1.3 国内外船舶污染防治情况

“十二五”以来，党中央、国务院严重关注大气污染问题，《国务院办公厅转发环境保护部等部门关于推进大气污染联防联控工作改善区域空气质量指导意见的通知》（国办发〔2010〕33号）指出，近年来我国一些地区酸雨、雾霾和光化学烟雾等区域性大气污染问题日益突出，严重威胁群众健康，影响环境安全，要求各地采取切实措施，推进区域大气污染联防联控，改善区域空气质量。江苏省省政府坚决贯彻落实党中央、国务院的有关要求，出台了《省政府关于实施蓝天工程改善大气环境的意见》（苏政发〔2010〕87号），积极推进相关课题研究，为管理提供技术保障。随着减排工作的深入开展，机动车

尾气污染得到有效控制，大气污染减排空间逐步收窄，但是我国的雾霾污染情况仍然非常严重，说明我国大气污染物排放仍保持高压态势，亟须深入挖掘新的减排潜力。船舶污染作为大气污染的一个重要来源，也逐渐被纳入了区域联防联控的重点。2013年9月份，国务院发布的《大气污染防治行动计划》（国发〔2013〕37号）要求：“开展工程机械等非道路移动机械和船舶的污染控制。”

1997年9月26日，国际海事组织(IMO)在缔约国大会上增补通过了“防止船舶造成空气污染规则”MARPOL 73/78 1997议定书，新增附则VI第13条规定了有关船用柴油机氮氧化物(NO_x)排放限值。美国在2008年由国会批准实施《防止船舶造成空气污染规则》，对船舶大气污染实施有效控制。日本、俄罗斯及欧盟各国等发达国家，也都先后制定了非道路移动源排气污染物标准及管理制度，分阶段对非道路移动源的污染物排放进行控制。瑞典除了接受国际海事组织的相关规定外，又制定了一些更加严格的规定，例如，从1998年起瑞典当局对进入其海域的船舶，根据船舶上柴油机实际NO_x和SO_x排放值征收不同比率的污染税。

1.4 本课题研究的必要性

我国在船舶大气污染防治方面起步较晚，2006年3月25日，我国批准加入了“防止船舶造成空气污染规则”，并于2006年8月23日正式生效。在国内现行法律法规方面，只有《中华人民共和国大气污染防治法》对大气污染防治有过笼统的规定，针对船舶大气污染防治法律法规尚处于空白阶段。在江苏省现行地方法律法规中，涉及船舶大气污染防治的条款也不多。江苏省人大常委会在2005年1月1日

颁布的《江苏省内河水域船舶污染防治条例》第十六条中提到：“海事管理机构可以根据城市市区通航水域周围环境对限制大气污染及环境噪声污染的要求，拟定禁止船舶航行的区域和时段，经设区的市、县（市）人民政府批准后公告实施。”这个条例仅对船舶航行的区域和时段提出禁止性要求，并未要求地方政府出台船舶排气污染防治的相关规定。因此，可以说，我省目前在船舶污染防治体系、监督管理制度建立方面还是一片空白，这与“蓝天工程”计划不相适应，也是本课题及今后课题亟待解决的任务。

在美国能源基金会的支持下，由环保部和交通部牵头，江苏、上海、广东等省市积极参与的“中国船舶及港口空气污染物排放研究”课题于2013年9月正式实施。根据课题要求，江苏省环境监测中心承担了“江苏省船舶大气污染物排放研究”子课题。该子课题的任务是：开展江苏沿海、长江船舶主要大气污染物排放情况研究，并整合一期船舶课题“江苏省典型地区船舶排气污染现状调查”、二期船舶课题“江苏省京杭运河船舶排气污染研究”的研究成果，编写完成“江苏省船舶大气污染物排放情况研究报告”，在此基础上提出江苏省船舶大气污染防治的政策建议，为出台相关管理办法提供技术支持。

2 技术路线

2.1 研究技术路线

1、开展长江船舶尾气污染物排放监测，计算“长江船舶单位货物周转量大气污染物排放系数”。

2、开展沿海渔船尾气污染物排放监测，计算“沿海渔船大气污染物排放系数”。

3、与交通部水运科学研究院联合，到江苏省地方海事局、江苏省航道管理局、江苏省港口局、江苏海事局等船舶管理权威部门进行调研。

4、调查、收集全省内河船舶、沿海渔船保有量、登记量、运营情况、货运量、货物周转量、全省船舶船型分布情况、功率分布情况、船龄分布情况等基础数据。

5、重点调研长江江苏段船舶的通过量、货物周转量、货运量，为计算长江江苏段船舶污染物排放量打下基础。

6、通过船舶尾气污染物排放系数、货物周转量等数据计算全省内河船舶、沿海渔船、长江船舶大气污染物排放量。结合全省机动车污染物排放情况，分析船舶大气污染物所占比重。

7、提出船舶大气污染防治方面的对策和建议。

2.2 测试技术路线

1、测试设备连接方法

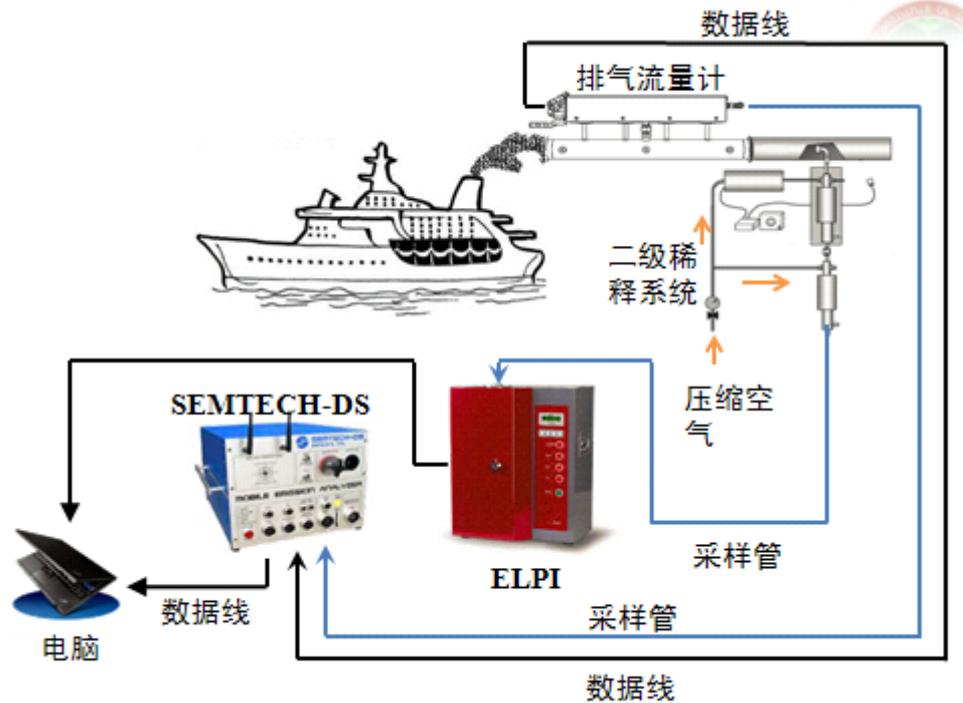


图 2-1 测试设备连接

2 排放分析设备

(1) 气态污染物测试设备

美国 SENSOR 公司的 SEMTECH-DS 气态分析仪，CO/CO₂ 利用 NDIR 方法测试，NO/NO₂ 利用 NDUV 方法测试，THC 利用 HFID 方法测试。

(2) 颗粒物测试设备

低压电子冲击器 (ELPI)，ELPI 可以测量空气动力学直径在 7nm ~ 10μm 之间的颗粒物，并分割为 12 级分别计数。

(3) 其他测试设备

排气流量计、油耗仪、空压机、真空泵、稀释系统、发电机和蓄电池。

3 项目工作开展情况

1、2013年8月29日，在美国能源基金会的支持下，环境保护部机动车排污监控中心和交通部水运科学研究院在北京召开《中国船舶和港口空气污染防治》课题启动会。根据课题要求，江苏省环境监测中心承担“江苏省船舶大气污染物排放研究”子课题，北京理工大学承担大课题的船舶监测工作，在江苏的船舶监测由江苏省环境监测中心配合完成。

2、2013年10月22日、24日，江苏省环境监测中心和交通部水运科学研究院有关专家（乔总）专程到江苏省地方海事局、江苏省港口局、江苏省航道局进行调研，取得了丰富的第一手资料，为课题研究打下了坚实的基础。

3、2014年2月27、28日，环保部机动车排污监控中心、交通运输部水运科学研究院在上海共同举办了“2014年船舶港口空气污染防治国际论坛暨中国船舶及港口空气污染物排放项目第一季度工作会议”，论坛邀请了国内外知名专家、政府官员共120多人，就船舶港口空气污染防治等相关议题展开深入探讨。江苏省环境监测中心作为中国船舶及港口空气污染物排放项目课题承担单位之一应邀参加会议，并作了“江苏省京杭运河船舶排气污染研究”的主题发言。

4、2014年3月18日，江苏省环境监测中心和交通部水运科学研究院有关专家（乔总）专程到江苏省海事局进行调研，全面了解了长江江苏段的船舶通行和管理情况，取得了丰富的第一手资料，并就5月份长江船舶监测请海事局协调一事达成一致意见，为后期监测的

顺利进行铺平了道路。

5、2014年4月25日，江苏省环境监测中心在南京召开了“长江船舶大气污染物排放监测研讨会”，邀请了江苏省环保厅大气办、江苏海事局、北京理工大学、江苏省港口局等有关单位领导和专家参会。会上就长江船舶尾气污染排放监测方案进行了充分讨论，初步定下在长江监测10艘船舶，并拟定《船舶测试细则》。测试过程中分工如下：江苏省海事局负责寻找船舶，北京理工大学负责现场测试，江苏省环境监测中心负责居中协调。《船舶测试细则》内容如下：

(1) 测试船舶类型为干散货船。测试数量为10艘，测试船舶额定功率需不小于400kW，其中：海船2艘，上行船舶4艘，下行船舶4艘。排气管外径不超过200mm，最好是纯圆形，另外离船舷的距离不要太近。对功率大和排气管直径超过200mm的船舶，也可以安装油耗仪进行监测。

(2) 测试之前要求船主提供船舶登记信息，并提供少量的燃油样本。

(3) 每艘船的排气管出口处需要有一个2-2.5平米的平台放置测试设备，并能方便人员搬运设备。

(4) 测试路线：请协调从南京港（或其他港口也可以）出发能够1-2个小时左右抵达的港口停泊，然后第二天从此港口选船，驶回南京港（或其他港口也可以），这样可以满足上行，下行的要求。

(5) 要求测试船舶始终在长江水道中航行。

(6) 测试工况包括：进港、出港、实际航行和停泊（部分安装有装卸机械的船舶还将测试装卸货物过程的排放）。

(7) 仪器安装过程需要2~2.5小时，在此期间要求船舶处于靠

岸静止状态，且船舶停靠位置需满足仪器搬运的要求（尽可能与岸在同一水平位置）。最好能将主发动机关闭。当达到目的地港后，测试船舶需寻找方便位置靠岸以便将仪器卸下。仪器拆卸过程约需要 1 小时。

（8）测试过程中要求驾驶员按照实际的进、出港以及航行状态进行操作，不能刻意降低或提高船速。

（9）考虑到人员及仪器安全问题，整个测试过程最好在白天完成。若遇到雨雪大风等恶劣天气时，将停止整个测试。

（10）请提供港口活动水平的数据，即港口在测量时间内船舶停靠的数量、时间。

研讨会开完以后，为确保寻找船舶工作的顺利开展，我中心以“江苏省大气污染防治联席会议办公室”的名义给江苏海事局发出了请求协助开展长江船舶排气污染监测的正式公函，由江苏海事局根据这个公函协调各市海事局、各港口海事处对船舶监测工作予以配合。

6、2014 年 5 月 5 日，在江苏海事局协调下，江苏省环境监测中心和北京理工大学有关专家到南京新生圩港现场查看了靠港船舶，实地考察船舶尾气监测环境，为下一步寻找船只定下基调。

7、2014 年 5 月 13 日-6 月 12 日，在江苏海事局、南京海事局、扬州海事局、泰州海事局、镇江海事局、南京港轮驳公司等多家单位的配合下，北京理工大学开展了历时 1 个月的长江船舶监测工作，共监测船舶 4 艘，虽然比原定计划少了 6 艘，但是考虑到长江船舶监测的诸多困难，已经算是圆满完成任务了。

8、5 月 21 日，在交通运输部长江航务管理局环境监测中心站的协调下，我们和途径南京的“维多利亚 7 号”游轮取得联系，到该游轮

上实地查看了发动机舱、烟囱位置、仪器安装平台等情况，为 8 月份的长江游轮尾气监测工作奠定了基础。

9、2014 年 5 月 30 日，由美国能源基金会组织、广东省环科院承办的课题中期会议在广州召开。江苏省环境监测中心作为课题承担单位之一应邀参加会议，并作了“长江船舶监测进展”的主题发言。

10、2014 年 8 月 26 日-29 日，在交通运输部长江航务管理局环境监测中心站的协调下，在长江海外游轮总公司和“维 5 号”游轮全体工作人员的大力配合下，江苏省环境监测中心和北京理工大学共同完成了长江“维 5 号”游轮的尾气监测工作，通过为期 4 天的跟踪监测，掌握了长江船舶启航、巡航、靠岸等三个阶段的尾气排放完整数据，有效补充完善了 5、6 月份长江船舶监测在数量上、数据完整性上的不足。

4 江苏省内河船舶大气污染物排放情况

4.1 江苏内河水运情况

1、全省内河总体概况

江苏省位于长江、太湖及淮河流域三大流域范围内，水网极为丰富，全省有大小河道 2900 多条，湖泊近 300 个，水库 1100 多座，由江河湖泊组成的水面面积 1.73 万平方公里，占全省总面积的 16.8%，比重之大居全国之首，船舶运输极为发达。江苏省内河水系见图 4-1。



图 4-1 江苏省内河水系

全省拥有登记在册的运输船舶 60858 艘，993 万总吨，船员 95318 人，旅游船舶 2600 余艘，乡镇农用自备船 14 万余艘，乡镇

渡口 517 道，还有周边 14 个省市的近 12 万艘船舶常年在江苏省境内航行、停泊、作业，因此，水上船舶大气污染排放情况比较严重。同时，江苏又是造船大省，2012 年，完成船舶建造检验 4461 艘、273 万总吨；完成营运检验 4.7 万艘、1656 万总吨；完成船用产品检验 2.9 万件（台、套）。

水运业在江苏交通运输结构中占有非常重要的地位，对江苏地方经济发展起着举足轻重的影响。2012 年，航道日均通过船舶 1 万艘次，同比增长 1.8%。其中，8 月份船舶通过量为最高峰，日均通过各类船舶达到 1.2 万艘次；11 月份货物通过量最大，日均通过货物 429 万吨。2 月份日均通过船舶 0.8 万艘次，通过货物也最少，日均通过货物 258 万吨。内河航运船舶总量和单船数量同比增长，船队数量同比有所下降。累计通过船舶 433 万艘次，同比增长近 2%。其中，单船 227 万艘次，船队 20 万队次，分别同比增长 6%和下降 4%。

2、京杭运河基本概况

京杭运河全长 1700 多公里，北起北京，南迄杭州，途经京、津、冀、鲁、苏、浙等四省两市，跨越海河、黄河、淮河、长江、钱塘江五大水系。京杭运河江苏段全长 687 公里，以长江为界分为苏北运河和苏南运河，其中苏北运河 475 公里，苏南运河 212 公里。目前，江苏段是整个京杭运河中通航条件最好、船舶通过量最大、社会效益发挥最为显著的区段。该段是国家水运主通道，也是江苏省“两纵四横”干线航道网最重要的组成部分，常年有 13 个省、市的船舶运输航行，担负着我国长三角地区经济重地大宗物资及时中转集散及北煤南运战略任务，在长三角地区经济社会发展中的地位十分突出，近十年来货运量年均递增 8%以上，船舶密度超过欧洲的莱茵河。

京杭运河江苏段从北至南纵贯徐州、宿迁、淮安、扬州、镇江、常州、无锡、苏州等 8 个省辖市，对连接 8 市城镇及生产力布局发挥了非常重要的纽带作用，极大地促进了区域间的经济交流，形成了生命力旺盛的沿运河经济带，8 市的地区 GDP 总量占全省的比重已连续几年超过 2/3。其中苏北运河承担了苏北四市绝大部分经济发展所需原材料的运输；苏南运河 1997 年整治以后，由于其特殊的区位优势 and 自然资源优势，沿线迅速成为经济投资的热点，目前运河两岸年运量在万吨以上的企业已发展到 1300 多家，建成了 30 多个国家级和省级开发区，进区项目 1 万多个，总投资 2500 多亿元，一批著名跨国公司纷纷前来投资，成为助推江苏经济发展的一支重要力量。

4.2 全省船舶货运情况

江苏内河航道里程、货运量和货物周转量均居全国内河首位，全省内河航道里程 2.46 万公里，约占全国航道总里程的 1/5。2010 年，全省内河货运量达 3.45 亿吨，占全国内河货运量的 18.3%；完成货物周转量 746 亿吨公里，占全国货物周转量的 13.5%；全省平均货运里程为 216 公里/吨，低于全国平均运距，仅为全国平均运距的 73.6%，说明江苏内河货运以省内为主；全省内河货运密度为 303 万吨公里/公里，是全国内河货运密度(445.7 万吨公里/公里)的 68%。数据表明，虽然江苏省内河货运量较大，但是由于全省航道里程较长，导致货运密度低于全国平均水平。

京杭运河江苏段年货运量约 2.7 亿吨，占全省内河货运的 78.3%，是全省内河货运的主要通道。京杭运河江苏段全长 687 公里，其中苏北运河 475 公里，苏南运河 212 公里。苏北运河是国家北煤南运

的黄金水道，苏南运河则是大宗建材、生产资料等物资的主要运输通道。作为全省干线航道网的主轴，苏北运河年货运量已接近 1.2 亿吨，其中煤炭运量达 7290 万吨，约占全省煤炭消费总量的 1/2；苏南运河年货运量超过 1.5 亿吨。

按照全省平均货运里程 216 公里/吨计算，京杭运河江苏段每年货物周转量是 583.2 亿吨公里，货运密度是 8489 万吨公里/公里，分别是全国货运密度的 19 倍、全省货运密度的 28 倍。

苏南运河全长 212 公里，低于全省平均货运里程 216 公里。假设船舶在苏南运河全部跑满，则：

苏南段每年货物周转量 = 1.5 亿吨×212 公里 = 318 亿吨公里。

苏北段货物周转量 = 京杭运河江苏段周转量-苏南段周转量
= 583.2 - 318 = 265.2 亿吨公里。

苏北段货运密度 = 265.2 亿吨公里/475 公里 = 5583 万吨公里/公里

苏南段货运密度 = 318 亿吨公里/212 公里 = 1.5 亿吨公里/公里。

其中，苏北段货运密度分别是全国货运密度的 12.5 倍、全省货运密度的 18.4 倍；苏南段货运密度分别是全国货运密度的 33.6 倍、全省货运密度的 50 倍、苏北段货运密度的 2.7 倍。

4.3 全省内河船舶污染物排放情况

4.3.1 全省机动货船功率分布

全省有机动货船约 3.3 万艘,其中长度大于 60 米的有 2300 艘,55 米-60 米的有 700 艘,50 米-55 米的有 724 艘,45 米-50 米的有 2000 艘,35 米-45 米的有 1.3 万艘,小于 35 米的有 1.4 万艘。船龄在 7 年以内的有 1.4 万艘,8 年-15 年的有 1.8 万艘,超过 15 年的约 1000 艘。见表 4-1。

表 4-1 全省机动货船大小和船龄分布

船舶长度(米)	数量(艘)	船龄	数量(艘)
L>60m	2300	7 年以内	14000
55m-60m	700	8 年-15 年	18000
50m-55m	724	超过 15 年	1000
45m-50m	2000	合计	33000
35m-45m	13000		
L<35m	14000		
合计	32724		

35 米左右的船舶发动机功率约 50 马力(约 37kW),载重量是 200-300 吨;45 米左右的船舶发动机功率约 200 马力(约 147kW),载重量约为 1000 吨;50 米左右的船舶发动机功率约 400 马力(约 300kW),载重量是 1500 吨;55 米左右的船舶发动机功率约 600 马力(约 441kW),载重量是 2000 吨;60 米左右的船舶发动机功率约 700 马力(约 515kW),载重量是 3000 吨。见表 4-2。

按此推断,全省约 3.3 万艘机动货船中,功率小于 100kW 的有 1.4 万艘,占比 43%;功率在 100-150 kW 的有 1.3 万艘,占比 40%;功率大于 200kW 的有 5724 艘,占比 17%。见表 4-3、图

4-2。

表 4-2 全省机动货船大小和功率的关系

船舶长度（米）	载重（吨）	单船功率	
		马力	换算成千瓦
60m	3000	2*350	514.5
55m	2000	2*300	441
50m	1500	2*200	294
45m	1000	200	147
35m	200-300	50	36.75

表 4-3 全省机动货船功率分布

功率（千瓦）	数量（艘）	占比
小于 100kW	14000	43%
100-150 kW	13000	40%
大于 200kW	5724	17%

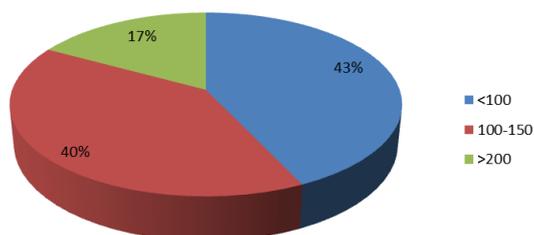


图 4-2 全省机动货船功率分布

4.3.2 综合单位货物周转量污染物排放系数

根据北京理工大学在京杭运河江苏段对内河船舶的实地监测结果，各功率段船舶单位周转量污染物排放系数见表 4-4。

表 4-4 各功率段船舶单位周转量污染物排放系数

功率段(kw)	CO (g/km t)	HC (g/km t)	NOx (g/km t)	PM (g/km t)
<100	0.083	0.057	0.346	0.012
100-150	0.043	0.015	0.227	0.009
>200	0.042	0.010	0.205	0.008

综合单位货物周转量污染物排放系数 = 船舶单位周转量污染物排放系数×功率分布。见表 4-5。

以 CO 为例：

$$\text{综合单位货物周转量 CO 排放系数} = 43\% \times 0.083 + 40\% \times 0.043 + 17\% \times 0.042 = 0.060(\text{g/km}\cdot\text{t})$$

表 4-5 综合单位货物周转量污染物排放系数

CO(g/ km·t)	HC(g/km·t)	NOx(g/km·t)	PM(g/km·t)
0.060	0.032	0.274	0.010

4.3.3 江苏省内河船舶大气污染物排放量

2010 年，全省内河货运量达 3.45 亿吨，货物周转量 746 亿吨公里。

全省内河船舶大气污染物排放量 = 综合单位货物周转量污染物排放系数×每年货物周转量。见表 4-6。以 CO 为例：

$$\text{全省内河船舶 CO 排放量} = 0.060 \times 746 = 4476 \text{ 吨。}$$

表 4-6 全省内河船舶大气污染物排放量

内河航道		货运周转量 (亿吨公里)	CO 排放量 (吨)	HC 排放量 (吨)	NOx 排放量 (吨)	PM 排放量 (吨)	总排放量 (吨)
全省		746	4476	2387.2	20440.4	746	28049.6
京杭运河江苏段		583.2	3500.9	1878.5	16004.8	590.2	21974.4
其中	苏北段	265.2	1592	854.2	7277.9	268.4	9992.5
	苏南段	318	1909	1024.3	8726.9	321.8	11981.9

研究显示，全省内河船舶 NOx 排放量超过 2 万吨，占全省内河船舶大气污染物总排放量的 73%，是主要控制因子。京杭运河江苏段是全省内河船舶大气污染物排放的主要河段，各类污染物占全省的比重是 78.3%，与其货运量占比相当，是主要控制河段。

4.3.4 航道大气污染物排放系数

本课题借用“货运密度”的概念，提出了一个新的概念即“航道大气污染物排放系数”。

(1) 货运密度

“货运密度”是指一定时期内平均每公里线路上通过的货物运输量。即：

货运密度 = 货物周转量/线路长度。

货运密度是反映线路能力利用程度的指标。2010年，全省内河货运密度是303万吨公里/公里，京杭运河江苏段是8489万吨公里/公里。

校核：根据铁道部数据，2006年全国铁路货运量为288224万吨，货物周转量为21954亿吨公里，国家铁路正线延展里程9万公里，2006年铁路货运密度2440万吨公里/公里。2011年全国铁路货运密度为3032万吨/公里。与2011年数据比较，京杭运河江苏段货运密度是铁路的2.8倍。

(2) 航道大气污染物排放系数

“航道大气污染物排放系数”是指一定时期内平均每公里线路上船舶大气污染物的排放量。即：

航道大气污染物排放系数 = 船舶大气污染物排放量/航道长度。

“航道大气污染物排放系数”是反映航道船舶大气污染物排放强度的指标。

航道大气污染物排放系数与货运密度的关系是：

航道大气污染物排放系数 = 货运密度 × 综合单位货物周转量污染

物排放系数。

以 CO 为例：

$$\begin{aligned} \text{全省内河航道 CO 排放系数} &= 4476 \text{ 吨}/24600 \text{ 公里} \\ &= 303 \text{ (万吨公里/公里)} \times 0.06(\text{g}/\text{km.t}) \\ &= 0.182 \text{ 吨/公里。} \end{aligned}$$

计算结果见表 4-7。

表 4-7 全省内河船舶大气污染物排放系数

内河航道	长度 (公里)	CO 排放系数 (吨/公里)	HC 排放系数 (吨/公里)	NOx 排放系数 (吨/公里)	PM 排放系数 (吨/公里)	污染物总排放系数 (吨/公里)
全省	24600	0.182	0.097	0.830	0.030	1.16
京杭运河江苏段	687.0	5.1	2.7	23.3	0.9	32.0
其中	苏北段	475.0	3.4	1.8	15.3	21.0
	苏南段	212.0	9.0	4.8	41.2	56.5

货运密度是交通行业常用的业务数据，江苏省交通厅航道局历年均有统计，并绘有江苏省内河货运密度图（见图 4-3）。因此，通过货运密度可以直接计算各内河航道大气污染物排放系数，从而计算出各内河船舶大气污染物排放量。由表 4-7 可以看出，由于苏南运河的货运密度是苏北货运密度的 2.7 倍，苏南段航道船舶大气污染物排放强度也是苏北段的 2.7 倍，说明苏南段航道两侧的区域污染更加严重。



图 4-3 江苏省内河航道货流密度示意图

5 江苏省沿海渔船大气污染物排放情况

5.1 全省沿海渔船概况

江苏省海岸线长 954 公里，海域面积约 3.75 万平方公里，海洋渔业已成为其沿海地区的特色产业和支柱产业。江苏全省登记在册的海洋渔业船舶有 11000 余艘，年捕捞量 57 万吨左右，产值约 85 亿元。目前，我国渔船存在老化、船型杂乱、装备水平低、安全性能差、耗能高、生产条件差等状况。为此，我国近年来积极推进渔船标准化改造工作，以求实现渔船“安全、节能、经济、环保”的目标。

2012 年 4 月 28 日，江苏省万艘渔船更新改造工程标准化渔船建造开工仪式在南通举行，标志着江苏万艘海洋捕捞渔船更新改造工程进入了正式实施阶段。江苏省将按照“政府引导、渔民自愿、各方支持”、“小改大、木改钢”、“鼓励发展远洋渔船”的原则，用 10 年左右的时间，投入 10 亿元财政资金，推动全省万艘海洋捕捞渔船更新为 7000 艘左右“安全、节能、环保、经济、舒适”的标准化渔船。2012 年 4 月，首批开工建造 30 米级定置网渔船、20 米级定置网渔船、30 米级流刺网渔船，上述船型进一步优化了型线设计和机桨匹配，采用了水滴型球艏和节能型主机，选配了先进的通讯导航设备和防污染设备。通过这些措施对有效地降低渔船建造成本、改善渔船动力结构、提高船舶安全性能、推进渔船节能减排、促进水域生态环境保护、改善渔民生产条件、提高捕捞渔船经济效益等方面将起到积极的作用。

南通市作为江苏船舶第一大市、全国第二大造船基地，南通现有海洋渔船 3462 艘，占全省 1/3 强；有规模以上船舶企业近 600 家，

渔船船用产品生产企业 59 家、渔船修造企业 41 家；江苏全省仅有的 2 家拥有 60 米及以上渔船建造资质的船厂均在南通市。

连云港市目前在册渔船总数为 6413 艘，其中捕捞渔船 5485 艘，船龄在 15 年以上 2326 艘，15 年以下 3159 艘（14 年船龄的 679 艘），一半以上渔船“超龄”服役。从渔船分布看，赣榆县最多，海洋渔船为 1992 艘，其中捕捞渔船 1716 艘；连云区渔船既旧又小，在该区 709 艘船中木质船达 701 艘，100 马力以下达到 589 艘，且船龄严重老化，其中在 15 年以上渔船达到 633 艘；大多数海洋捕捞木质渔船已到报废及更新改造的期限。

5.2 沿海渔船大气污染物监测

5.2.1 辽丹渔 23600 号

辽丹渔 23600 号主机功率是 330 千瓦，试验海域是旅顺，实验时间是 2013 年 9 月 5 日。

1、基本信息

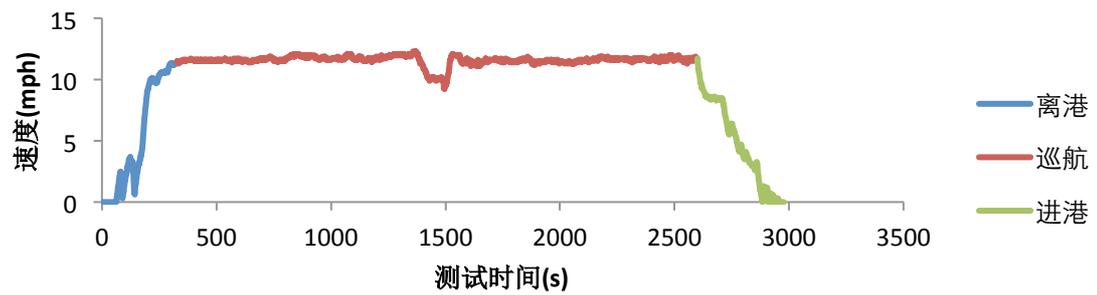
实验日期	2013.9.5	船号	辽丹渔 23600 号
柴油机型号	6190ZLCA-1	柴油机制造商	济南柴油机厂
出厂日期	2012.12.02	标定功率/转矩	330kW/1200rpm
柴油机质量	3960kg	增压器型号	SJ150-7A
增压器制造商	IMO-26	试验海域	旅顺



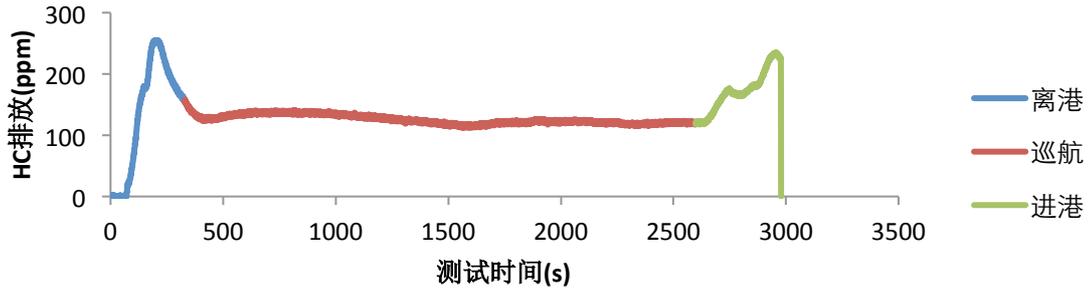
图 5-1 辽丹渔 23600 号测试现场

2、测试结果

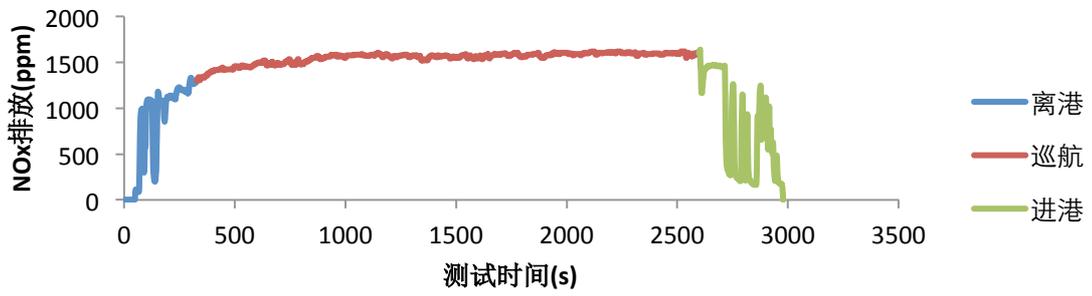
(1) 速度



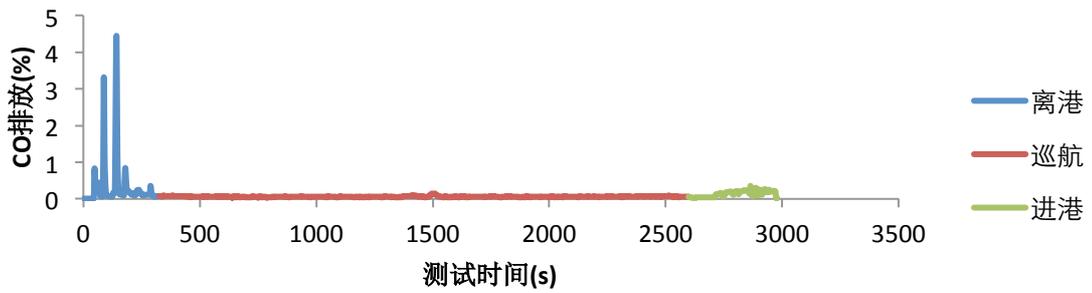
(2) HC 排放



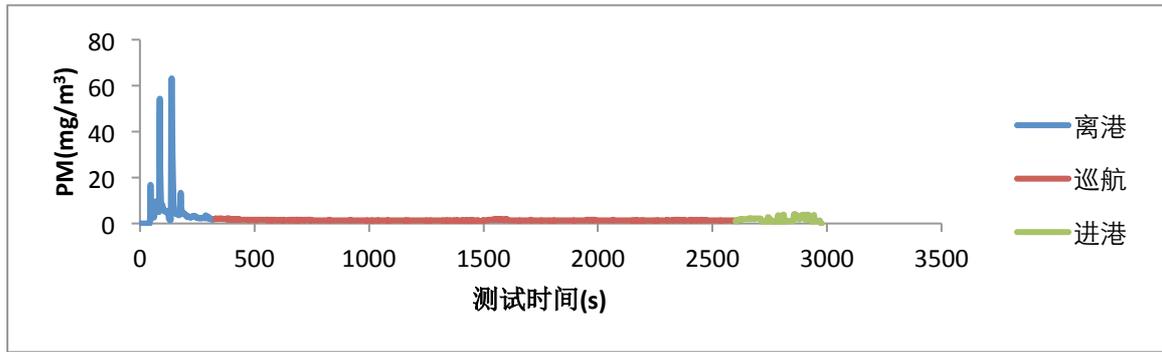
(3) NO_x 排放



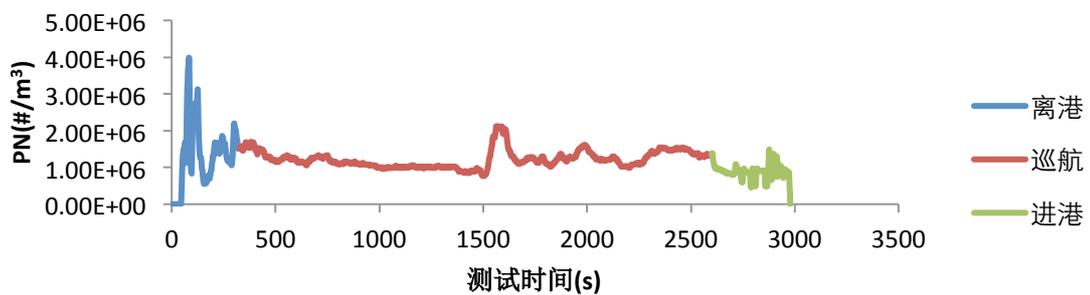
(4) CO 排放



(5) 颗粒物质量



(6) 颗粒物数量



3、基于燃油的排放因子

船号	CO (g/kg)	NOx (g/kg)	HC (g/kg)	PM (g/kg)
渔船 23600 号	237.82	262.57	10.66	19.20

5.2.2 辽丹渔 23601 号

辽丹渔 23601 号主机功率是 330 千瓦，试验海域是旅顺，实验时间是 2013 年 9 月 4 日。

1、基本信息

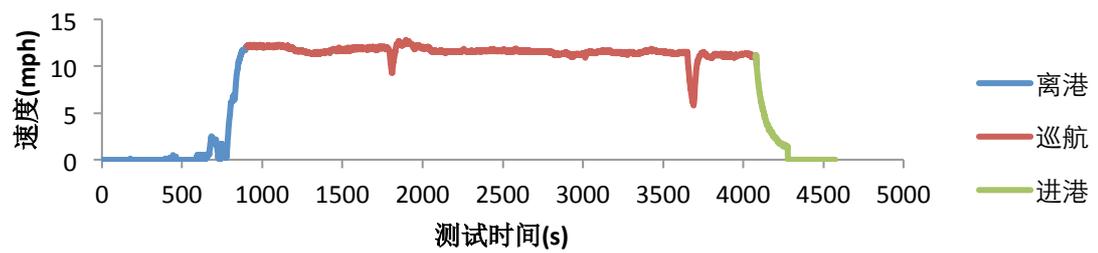
实验日期	2013.9.4	船号	辽丹渔 23601 号
柴油机型号	6190ZLCA-1	柴油机制造商	济南柴油机厂
出厂日期	2012.12.02	标定功率/转矩	330kW/1200rpm
柴油机质量	3960kg	增压器型号	SJ150-7A
增压器制造商	济南柴油机厂	试验海域	旅顺



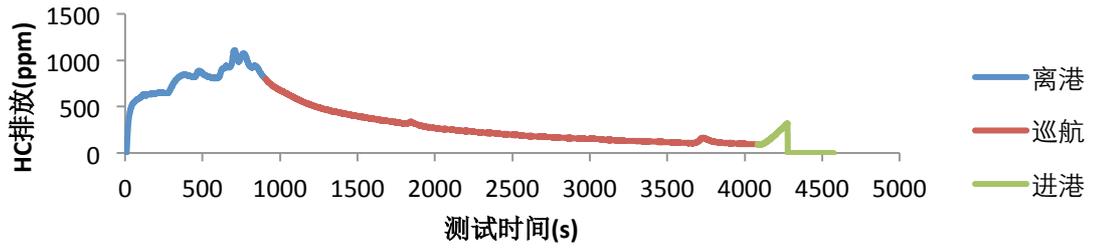
图 5-2 辽丹渔 23601 号测试现场

2、测试结果

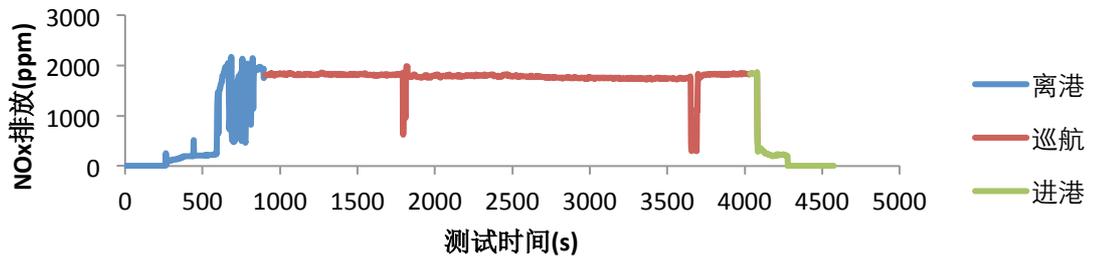
(1) 速度



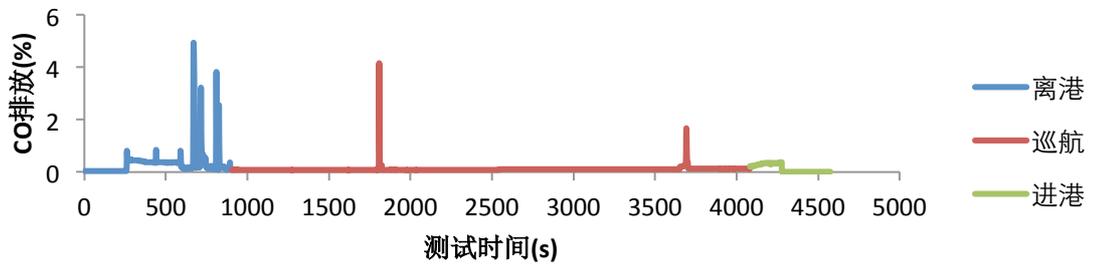
(2) HC 排放



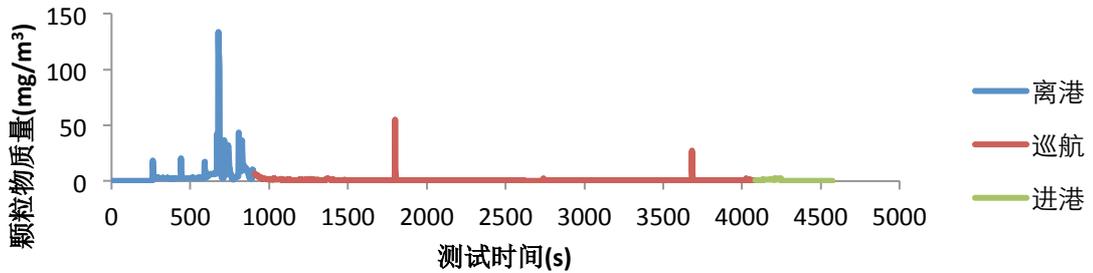
(3) NO_x 排放



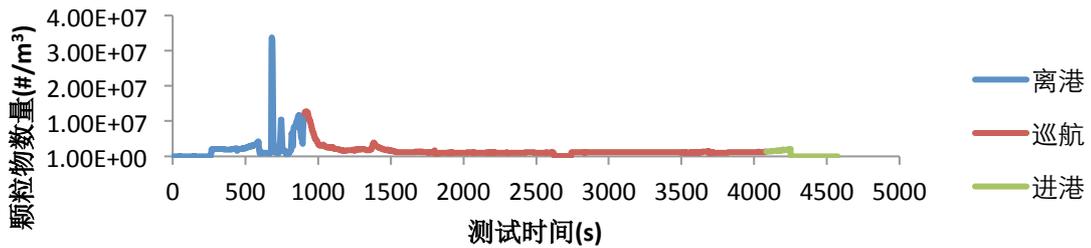
(4) CO 排放



(5) 颗粒物质量



(6) 颗粒物数量



3、基于燃油的排放因子

船号	CO (g/kg)	NOx (g/kg)	HC (g/kg)	PM (g/kg)
渔船 23601 号	210.91	272.38	10.70	17.05

5.3 全省沿海渔船大气污染物排放情况

5.3.1 沿海渔船功率分布

据统计，我省沿海渔船长度一般在 20 米到 50 米，船舶动力在 40 马力到 400 马力。远洋捕捞船长度一般在 50 米到 80 米，船舶动力在 400 马力以上，船速在 10 节到 12 节。可见，沿海渔船的大小、对应功率与内河船舶类似。

目前，江苏全省登记在册的海洋渔业船舶有 11000 余艘。据有关资料统计，全省 20 米以下级渔船有 2000 艘，30 米级渔船有 5000 艘，超过 30 米级的船舶有 4000 艘。全省最大的远洋渔业船在南通，总长 60 米，型宽 8.6 米，型深 6.0 米，设计吃水 3.7 米，排水量 1177.4 吨。船舶续航能力 12000 海里，设计航速 12 海里/小时，主机额定功率 698 千瓦。

由于海洋资源日益枯竭，捕捞产业持续不景气，江苏省大部分渔船船体老旧，以连云港市的连云区为例：该区渔船既旧又小，在该区

709 艘船中木质船达 701 艘，100 马力（73.5 千瓦）以下达到 589 艘，占比 82%。根据机动货船大小与功率的关系推算，30 米级以下渔船的船舶功率均在 100 千瓦以下，因此全省渔船功率分布见表 5-1。渔船见图 5-3。

表 5-1 全省渔船大小和功率的关系

船舶长度（米）	单船功率（千瓦）	数量（艘）	占比
<30 米级	<100kW	7000	63.6%
>30 米级	>100kW	4000	36.4%



图 5-3 江苏省洋口港渔船

5.3.2 沿海渔船油耗排放因子

由于渔船测试数据有限，辽丹渔 23600 号和辽丹渔 23601 号均为 330 千瓦类型渔船，只能代表船舶长度大于 30 米、单船功率在 100

千瓦以上的渔船，在此污染物排放系数取辽丹渔 23600 号和辽丹渔 23601 号的均值。对于船舶长度小于 30 米、单船功率在 100 千瓦以下的渔船，只好借用前期内河船舶的测试数据。见表 5-2。

表 5-2 沿海渔船各功率段污染排放因子

功率段(kw)	CO (g/kg)	NOx (g/kg)	HC (g/kg)	PM (g/kg)
<100	27.271	40.997	4.913	5.032
>100	224.4	267.5	10.7	18.1

综合燃油消耗污染物排放系数 = 渔船污染排放因子×功率分布。

见表 5-3。

以 CO 为例：

$$\begin{aligned} \text{综合燃油消耗 CO 排放系数} &= 63.6\% \times 27.271 + 36.4\% \times 224.4 \\ &= 99.03(\text{g/kg}) \end{aligned}$$

表 5-3 沿海渔船综合燃油消耗污染物排放系数

CO(g/kg)	NOx (g/kg)	HC (g/kg)	PM(g/kg)
99.03	123.44	7.02	9.79

5.3.3 沿海渔船耗油量

2012 年，江苏渔业经济产销两旺，渔民收入大幅增加。全省水产品总产量达 495 万吨，渔业产值达 1100 亿元，渔业经济总产值近 1800 亿元。全省渔民人均纯收入超过 1.6 万元，继续位居全国前列。但海洋捕捞量不足，明显低于周边沿海省份的捕捞量。上世纪 90 年代后期至今，捕捞产业持续不景气，渔业船舶更新改造进展缓慢，大部分渔船存在船体老旧、安全性下降等问题，无力从事外海、远洋捕捞作业。而近岸海域资源日渐萎缩，捕捞产量、效益下滑，渔民生产生活状况较差。

目前，江苏省每年海洋捕捞量在 57 万吨左右，仅占全国 1400 万吨海洋捕捞量的 4%。

据中石化研究院张建荣等人研究，2007 年我国渔业消费柴油 663 万吨，按照 4% 的比例推算，江苏省渔业每年消耗的柴油在 26.52 万吨。

5.3.4 沿海渔船大气污染物排放量

根据前面推算得到的江苏省渔业柴油消耗量及污染物排放因子，可以得到江苏省基于燃油消耗的渔船污染物排放总量，见表 5-4。

表 5-4 基于燃油消耗的船舶排放总量

CO(t)	NOx (t)	HC (t)	PM(t)
26261.68	32737.37	1861.56	2595.98

江苏省渔船污染物排放总量是 63456.6 吨。其中 NOx 排放量最大，是 32737.37 吨；CO 次之，排放量为 26261.68 吨；两者合计占到总排放量的 93.0%。HC 和 PM 排放量较小，两者合计仅占总排放量的 7.0%。

6 江苏省长江段船舶大气污染物排放情况

6.1 长江江苏段概况

6.1.1 自然地理概况

长江是我国第一大河，发源于青藏高原的唐古拉山脉，流经 11 个省、自治区、直辖市，于崇明岛以东注入东海，全长 6300 余公里，在世界大河中长度仅次于非洲的尼罗河和南美洲的亚马孙河，居世界第三位。流域面积达 180 万平方公里，约占中国陆地总面积的 1/5。长江是中国水量最丰富的河流，水资源总量 9616 亿立方米，约占全国河流径流总量的 36%。它自西向东横贯我国中部，战略地位十分重要。长江流域气候温暖、雨量充沛、支流湖泊众多。

长江干流自西向东横穿江苏全境，流域面积 3.86 万平方千米，分为长江干流水系和太湖水系。其中，长江干流水系面积 1.92 万平方千米，太湖水系面积 1.94 万平方千米。

6.1.2 社会经济概况

长江经济带是我国的“经济脊梁”，覆盖上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、四川、重庆、云南、贵州等 11 个省(市)。2013 年的统计数据显示，长江经济带辐射 1/5 以上国土面积，GDP 总量接近 26 万亿，聚集全国 40% 的经济总量，直接带动 6 亿人口。长江横贯东中西，连接东部沿海和广袤的内陆，依托黄金水道打造新的经济带，有独特的优势和巨大的潜力。长江货运量位居全球内河第一。

江苏地处长江下游,通江达海,扼守门户,紧邻上海,远接重洋,江苏的区位优势集中表现为“靠江靠海靠上海”。江苏自然资源相对贫乏,一条长江就是最宝贵的资源,长江横穿江苏东西 425 公里,赋予江苏 1175 公里岸线资源和 369 公里的深水航道,沿江地区是长三角名副其实的“黄金江岸”。更加重要的是,江苏是长江流域第一经济大省,2013 年地区 GDP 达到 59161.75 亿元,占全国 GDP 总量的 10.4%,占长江经济带经济总量的 25%左右。

江苏的长江段是全世界最繁忙水域,船舶断面流量每天有 1700 至 2000 艘次,高峰时可达 3000 艘次。2011 年进出长江江苏段的超大型船舶达 10257 艘次,同比增长 33.2%;超大型船舶完成货物运输量 2.68 亿吨,创历史新高。

2006 年,江苏省出台了《江苏省沿江开发总体规划》,指出江苏拥有长江岸线的地区是沿江开发的核心区域。沿江开发区包括南京、镇江、常州、扬州、泰州、南通 6 个市区和句容、扬中、丹阳、江阴、张家港、常熟、太仓、仪征、江都、泰兴、靖江、如皋、通州、海门、启东 15 个县(市)。据统计,2012 年江苏沿江开发区户籍人口 2544.38 万人,面积 2.54 万平方公里,国内生产总值 27386.39 亿元,分别占全省的 33.7%、24.7%和 50.7%。可见,江苏沿江开发区以 1/4 的土地面积、1/3 的人口做出了 1/2 的经济贡献。

6.2 长江船舶大气污染物监测

本课题长江船舶总共测试了 5 条,分别是华远号、至善号、泰州号、宁港 1 号、维 5 号游轮。宁港 1 号是拖轮,由于作业时间短,测试数据不具有代表性。泰州号由于没有排气流量、船速及 HC 排放

数据，尾气污染物排放系数无法计算。

6.2.1 华远号

华远号船舶单机 450 kW，总功率是 900 kW，载重 4000 吨。

1、基本信息

编号	测试日期	船舶类型	主机功率与个数	主机制造商
05	2014.06.15	集装箱船	450kW×2	潍柴
辅机功率与个数	辅机制造商	额定转速 rpm	载重 t	制造年份
50kW×2		1500	4000	2009
设计航速 km/h	长宽尺寸 m×m	排放标准	测试起点	测试终点
15	82×16		龙潭港	浦口港



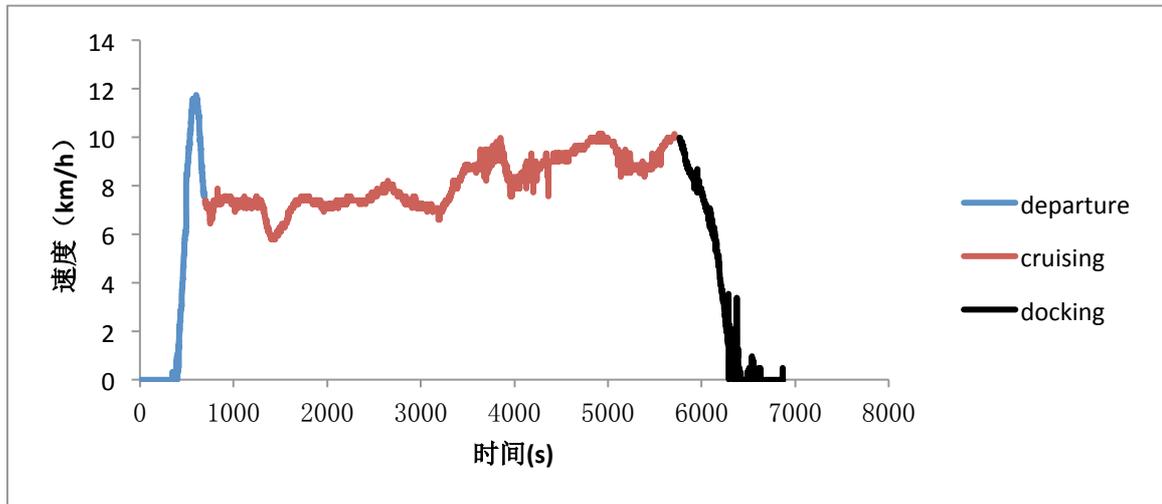
图 6-1 华远号船舶



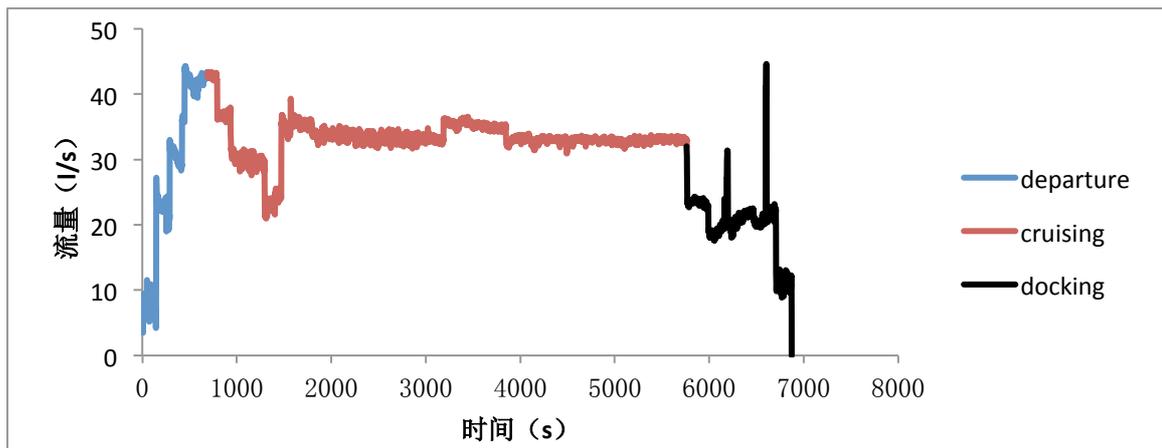
图 6-2 华远号船舶测试现场

2、测试结果

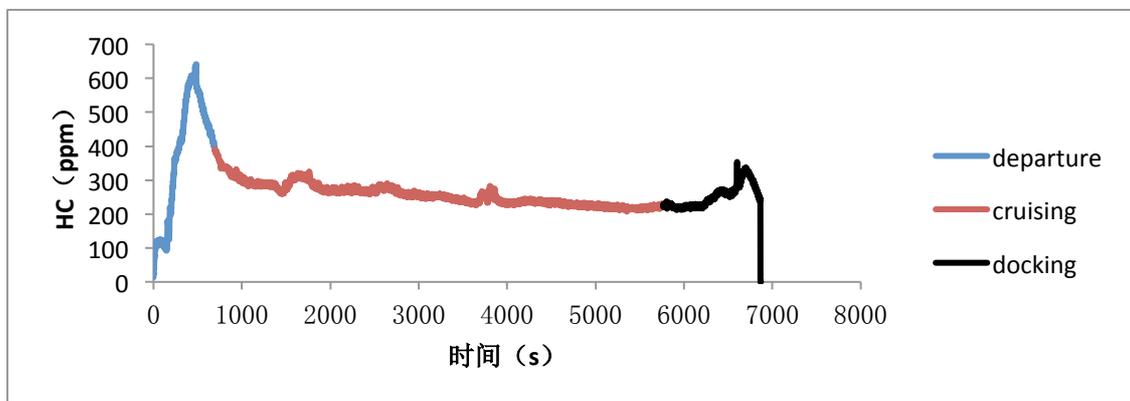
(1) 速度



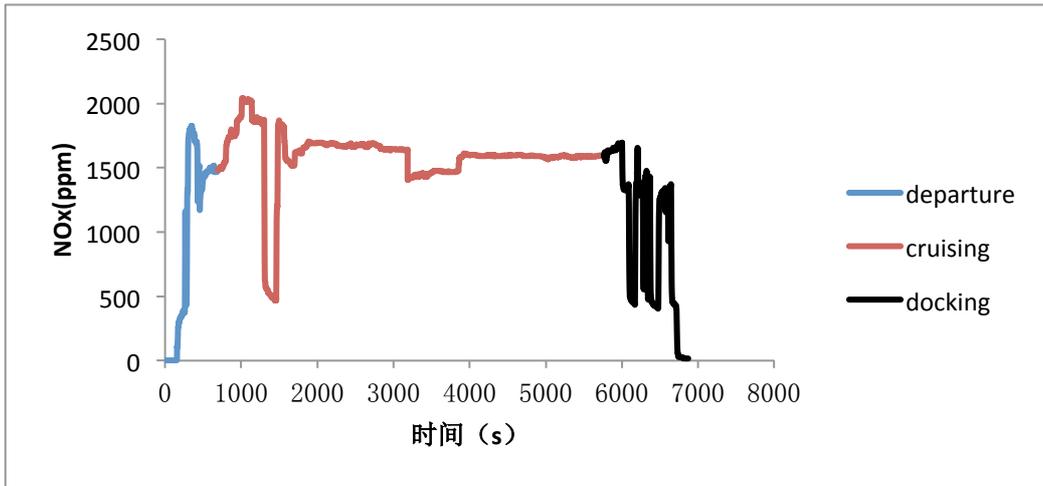
(2) 排气流量



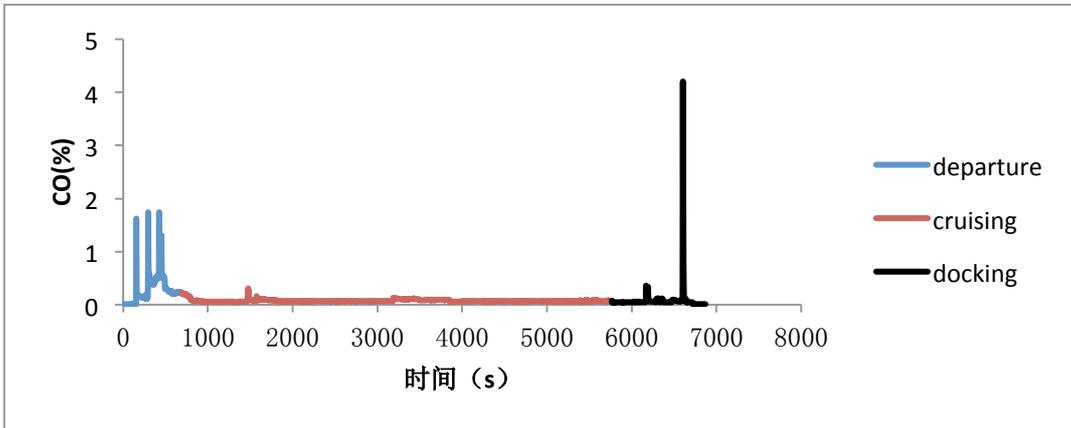
(3) HC 排放



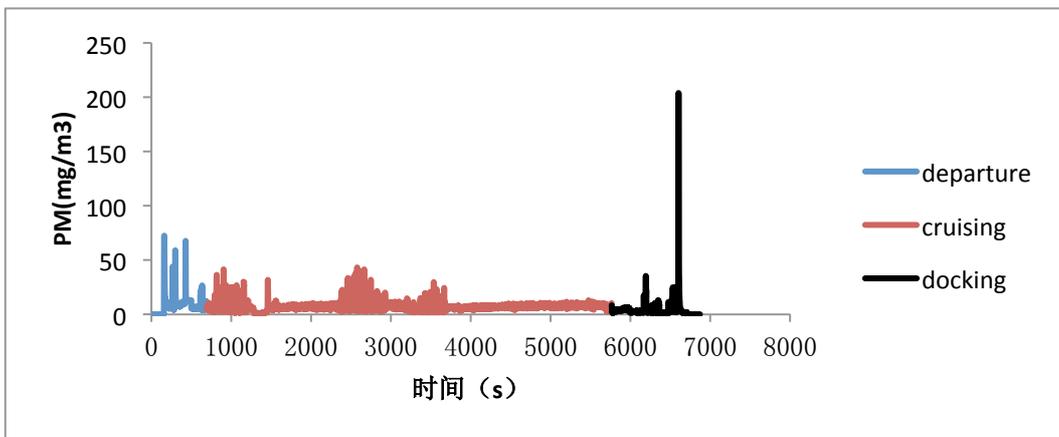
(4) NO_x 排放



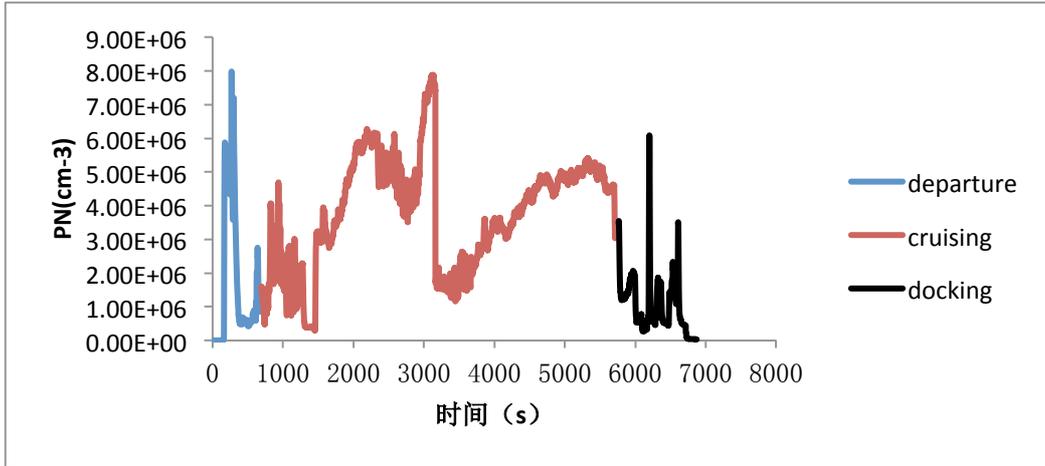
(5) CO 排放



(6) 颗粒物质量



(7) 颗粒物数量



3、排放因子

(1) 基于 g/(km.t)

	CO	NOx	HC	PM
Total	0.072	0.17	0.0095	0.0045*
Departure	0.02973	0.018045	0.00196	0.000075
Cruising	0.003255	0.011273	0.000548	2.75E-05
Docking	0.006233	0.010965	0.00077	0.00003

*备注：根据北理工提供的数据，PM 的排放系数是 0.00045 g/km.t，但是对比前期各类船舶监测数据，该数据低了 1 个数量级，明显不符合常理，因此根据常规监测数据进行修正，修正为 0.0045 g/km.t。

(2) 基于 g/kg 燃油

	CO	NOx	HC	PM
Total	31.25	75.60	4.15	0.19
Departure	96.45	58.54	6.36	0.24
Cruising	21.94	76.02	3.70	0.18
Docking	56.22	98.89	6.94	0.28

6.2.2 至善号

至善号船舶单机 440kW，总功率是 880kW，载重 600 吨。

1、基本信息

编号	测试日期	船舶类型	主机功率与个数	主机制造商
02	2014.06.06	集装箱船	440kW×2	华东 HBE/淄柴
辅机功率与个数	辅机制造商	额定转速 rpm	载重 t	制造年份
56kW×2		1200	600	2011.07
设计航速 km/h	长宽尺寸 m×m	排放标准	测试起点	测试终点
24	74.3×13.2		龙潭港	扬州港



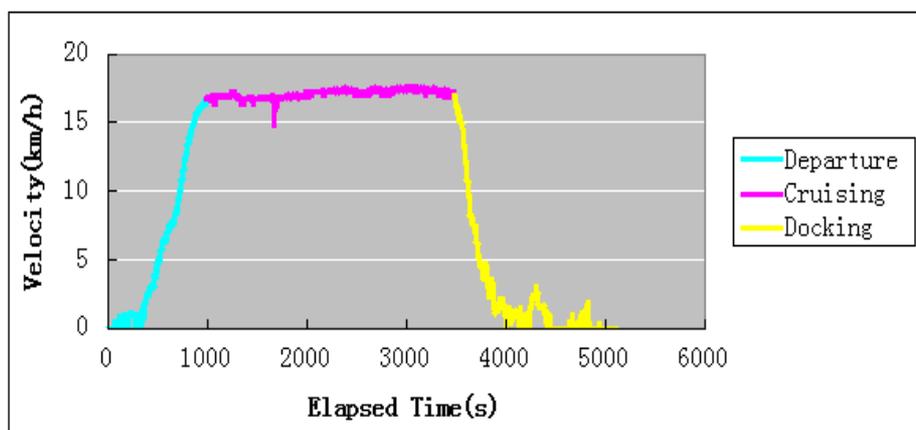
图 6-3 至善号船舶



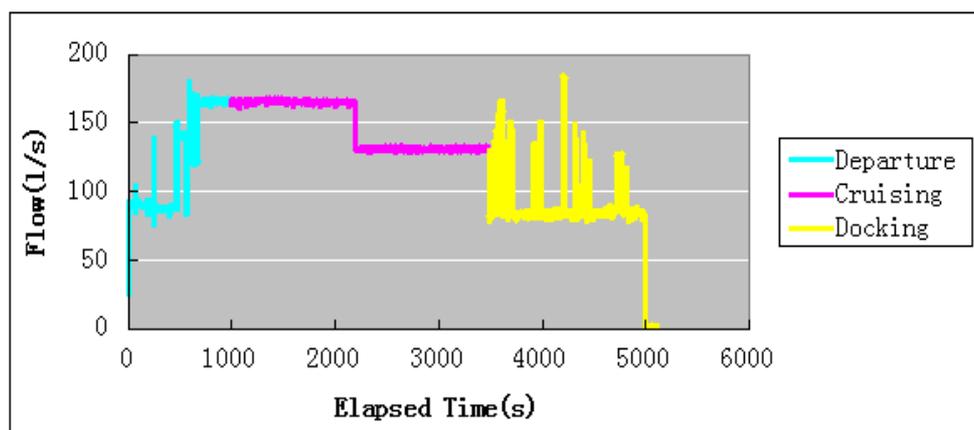
图 6-4 至善号船舶测试现场

2、测试结果

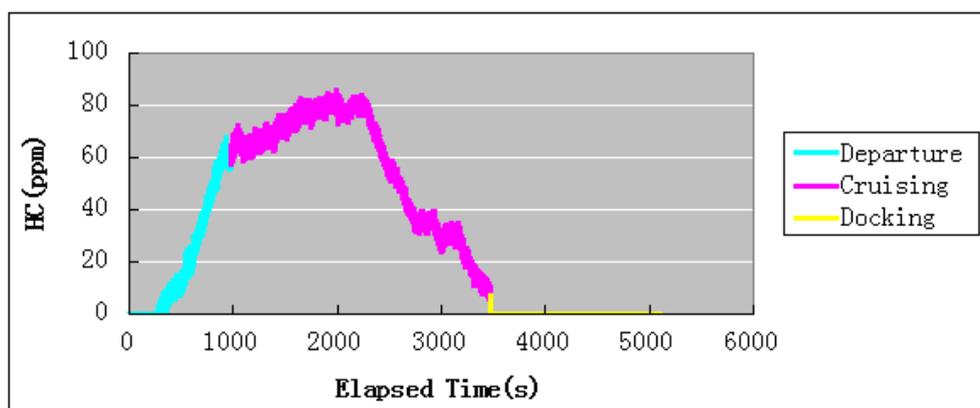
(1) 速度



(2) 排气流量

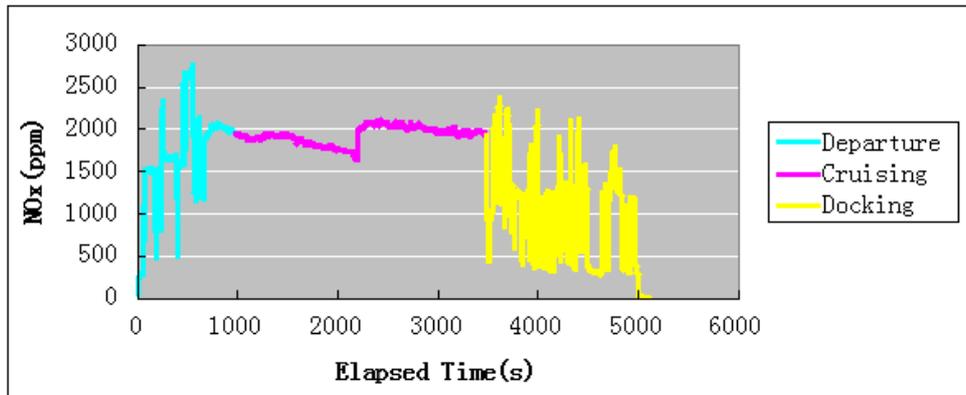


(3) HC 排放

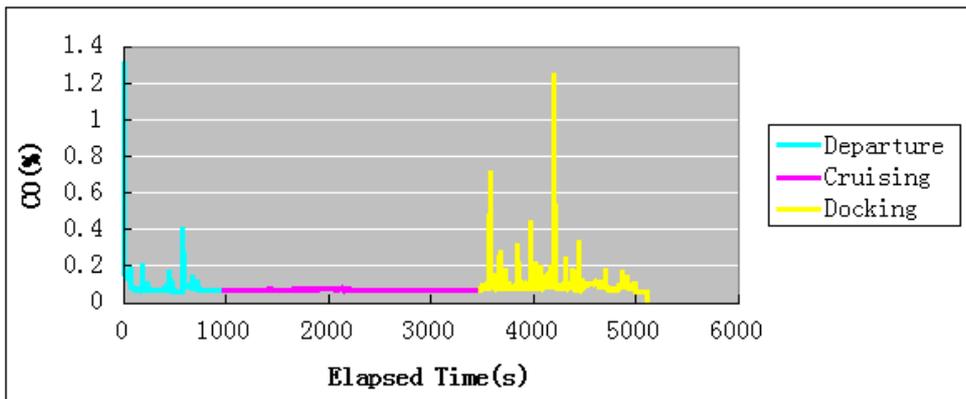


说明：无进港排放数据

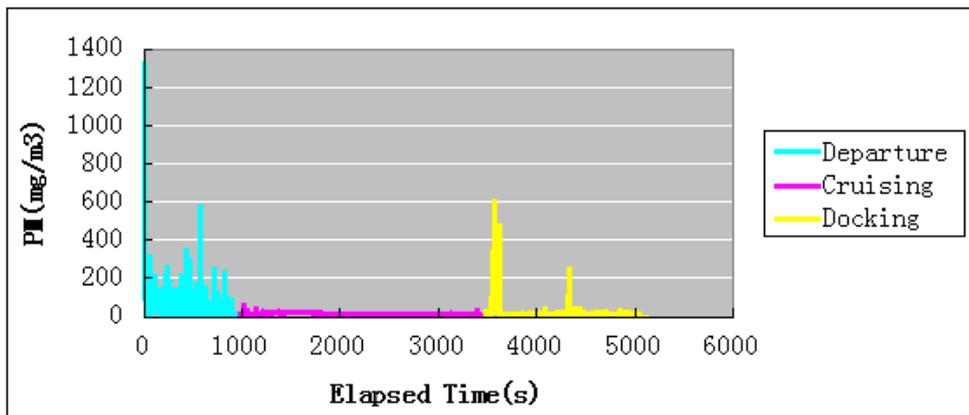
(4) NO_x 排放



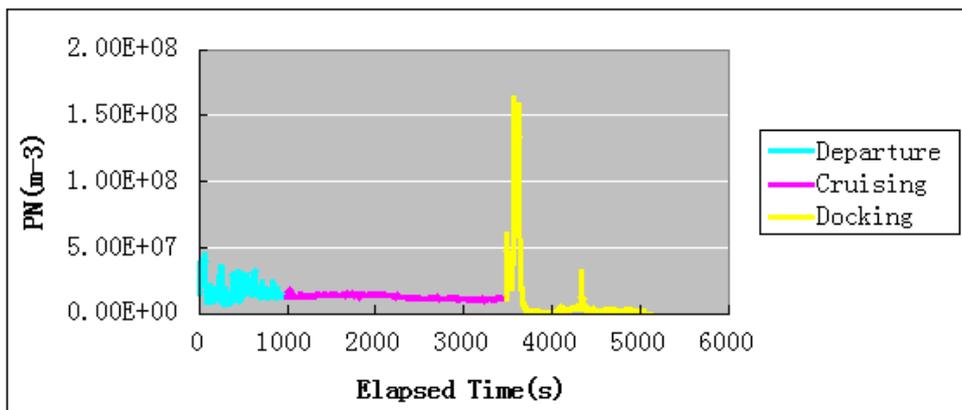
(5) CO 排放



(6) 颗粒物质量



(7) 颗粒物数量



3、排放因子

(1) 基于 g/(km.t)

	CO	NOx	HC	PM
Total	0.049	0.19695	0.001517	0.0013
Departure	0.119783	0.43195	0.0019	0.0058
Cruising	0.040483	0.181333	0.001467	0.001017
Docking	0.258967	0.432317	----	0.004917

(2) 基于 g/kg 燃油

	CO	NOx	HC	PM
Total	27.31	109.77	0.81	0.72
Departure	29.71	107.15	0.47	1.44
Cruising	25.04	112.14	0.90	0.63
Docking	51.05	85.22	----	0.97

6.2.3 维5号

维5号游轮单机780 kW，总功率是1560 kW，载重1750吨。维5号游轮排放监测是本课题监测中数据最完整的一个，本次监测历时4天，完成了多个出港、巡航、进港的监测，数据代表性最强。

1、基本信息

编号	测试日期	船舶类型	主机功率与个数	主机制造商
---	2014.08.26-29	游船	780kW×2	陕西柴油机厂
辅机功率与个数	辅机制造商	额定转速 rpm	载重 t	制造年份
304kW×3		主 900 辅 1500	1750	1993.10
设计航速 km/h	长宽尺寸 m×m	排放标准	测试起点	测试终点
	87.5×14.4		宜昌桃花村码头	重庆朝天门码头



图 6-5 维 5 号游轮



图 6-6 维 5 号游轮监测现场 1



图 6-7 维 5 号游轮监测现场 2

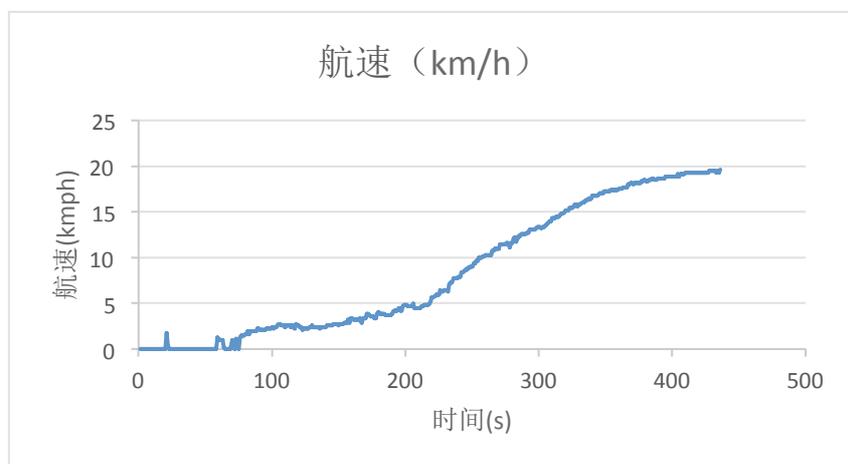


图 6-8 维 5 号游轮监测现场 3

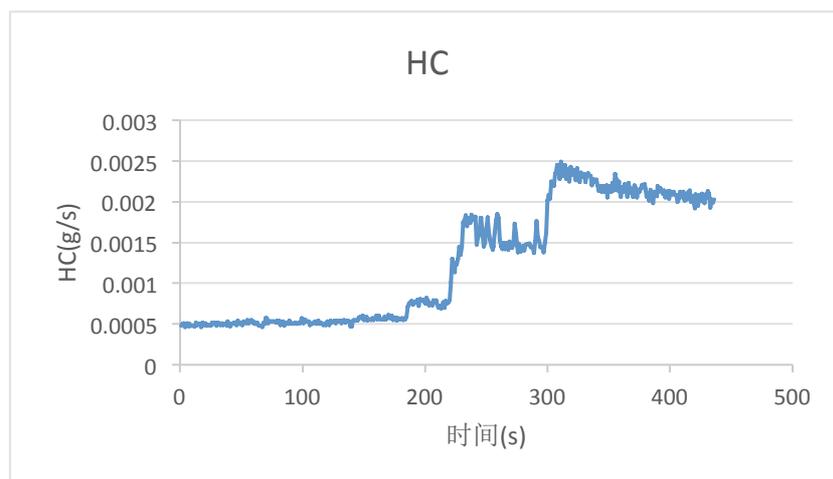
2、测试结果

(1) 出港工况

①速度

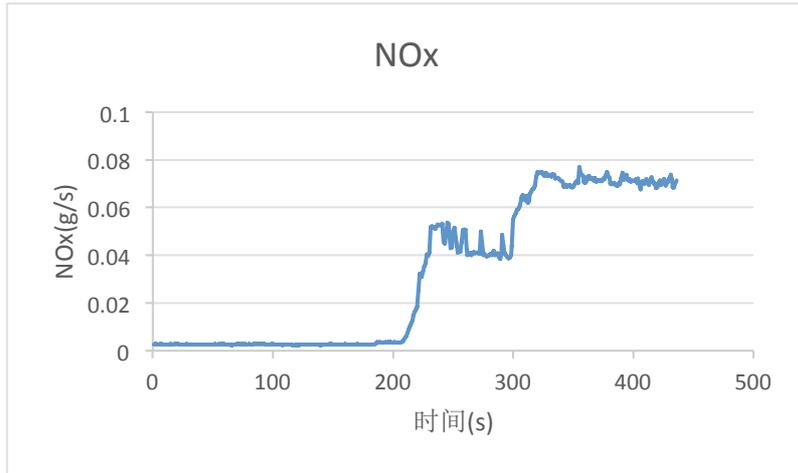


②HC 排放

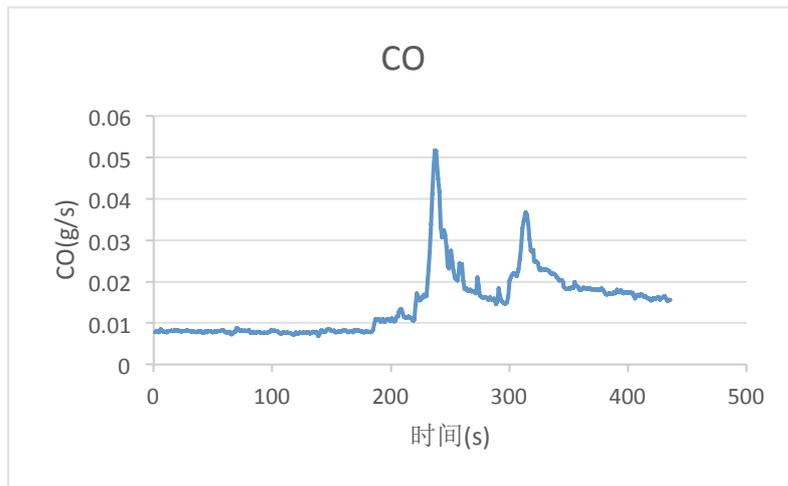


注：部分采样，仅为样气中的排放物含量

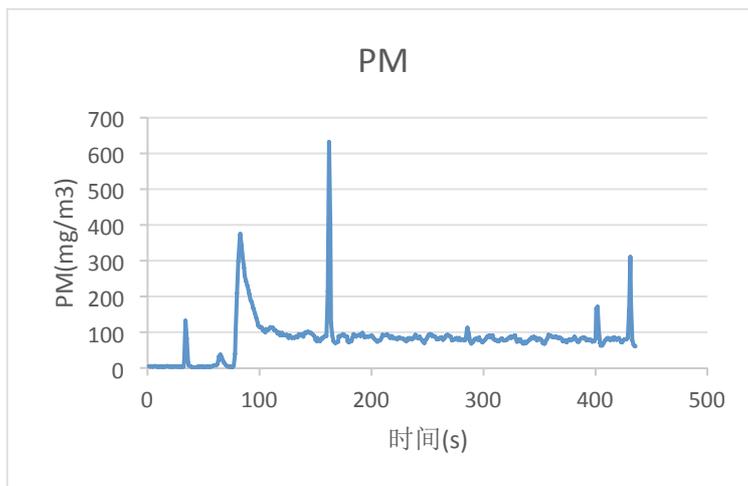
③NO_x 排放



④CO 排放

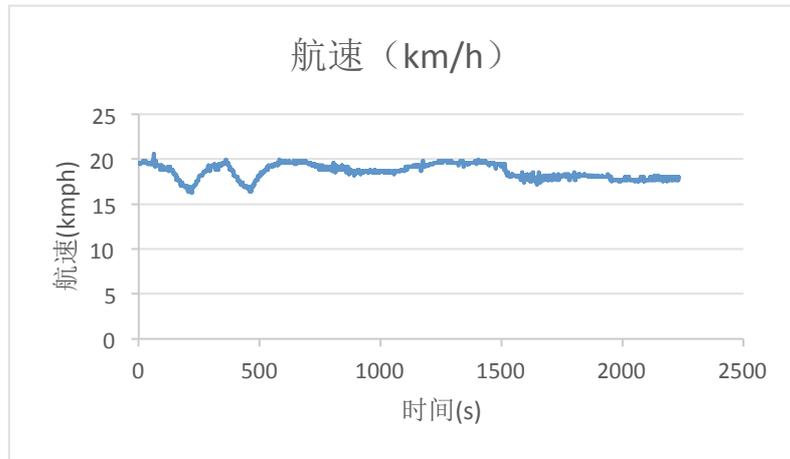


⑤颗粒物质量

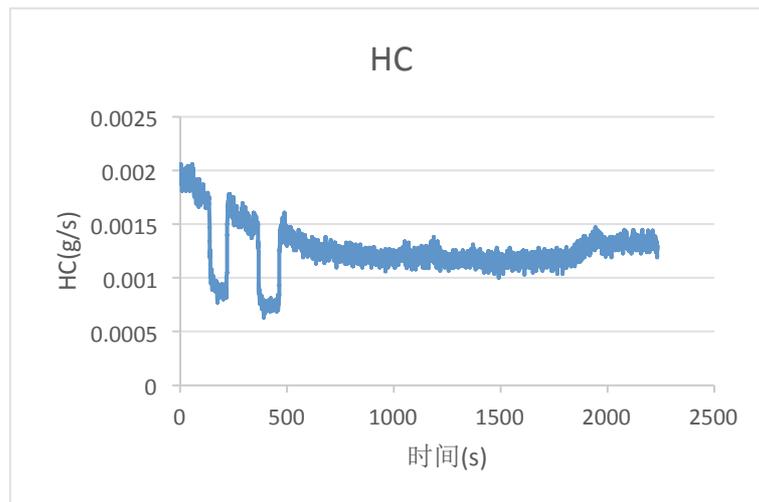


(2) 巡航工况

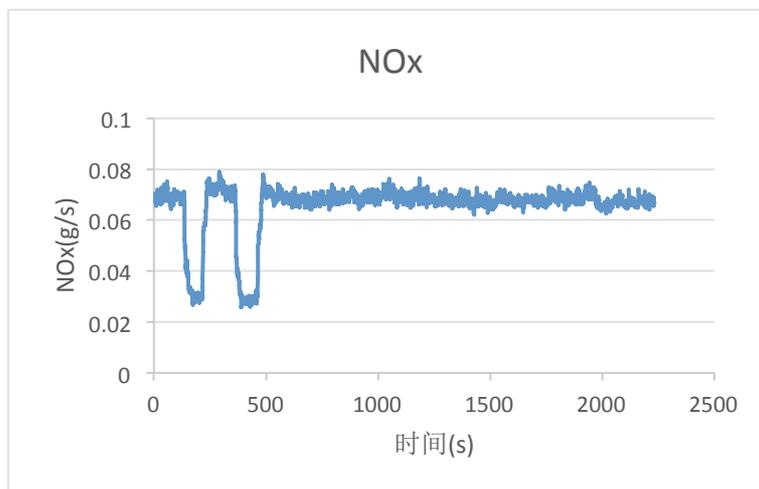
①速度



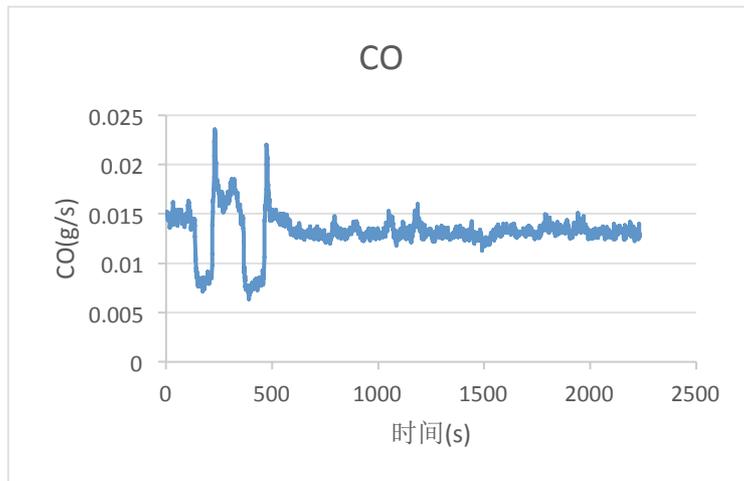
②HC 排放



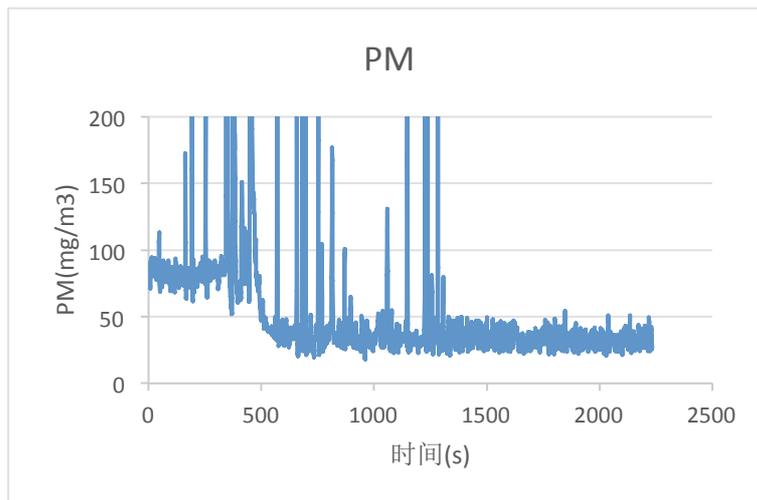
③NOx 排放



④ CO 排放

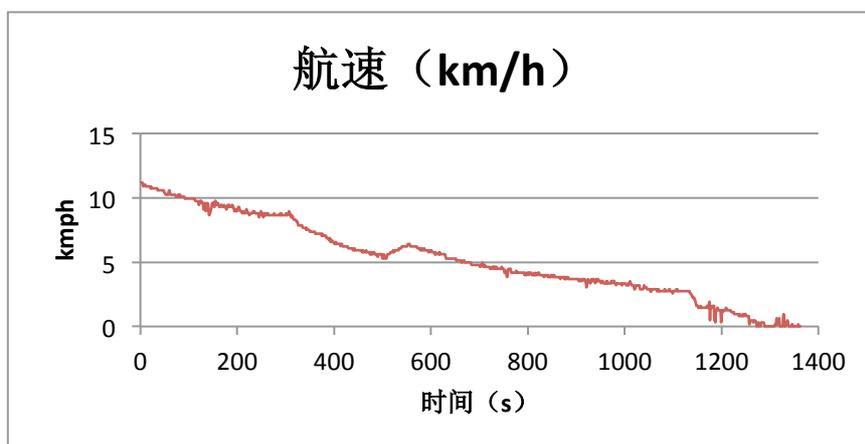


⑤ 颗粒物质量

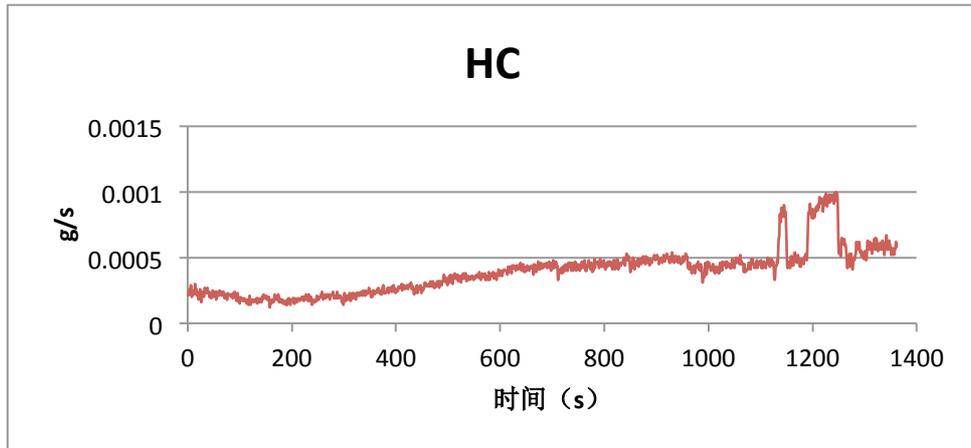


(3) 进港工况

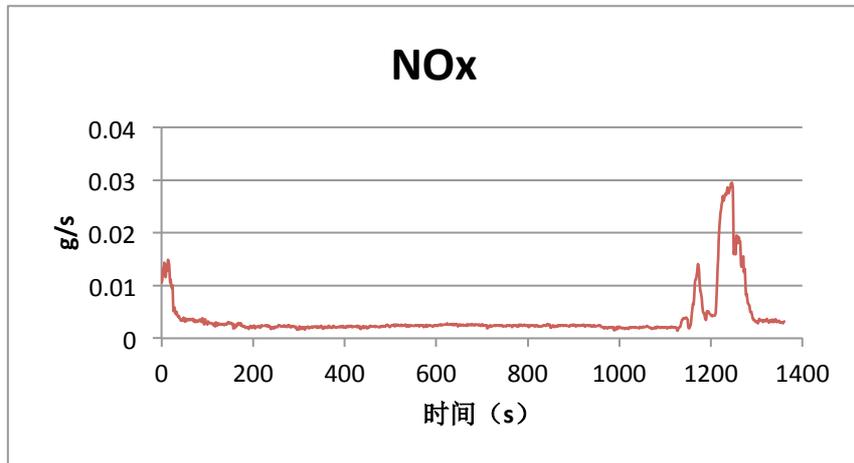
① 航速



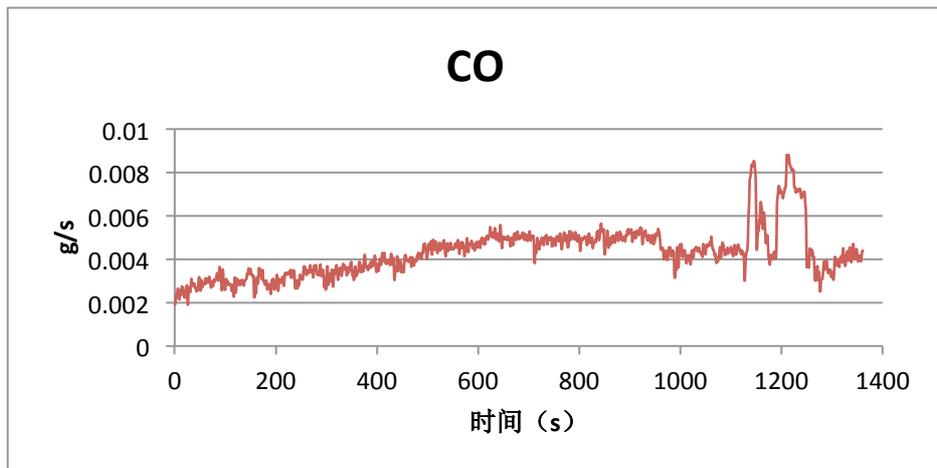
②HC 排放



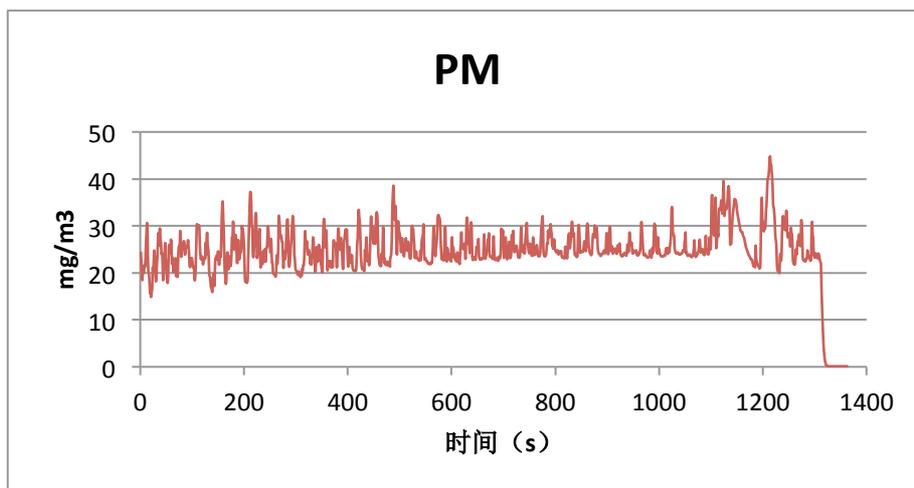
③NOx 排放



④CO 排放



⑤颗粒物质量



3、排放因子

①基于 g/km.t

	CO	NOx	HC	PM
Total	0.032	0.11	0.0030	0.0058
Departure	0.0214	0.0468	0.00184	0.01422
Cruising	0.0087	0.0434	0.00083	0.00098
Docking	0.0408	0.0353	0.00371	0.00117

②基于 g/kg 燃油

	CO	NOx	HC	PM
Total	31.10	91.22	2.87	6.58
Departure	37.62	82.18	3.23	24.96
Cruising	19.79	98.20	1.89	2.21
Docking	77.38	67.68	7.06	2.22

6.3 长江船舶大气污染物排放情况

6.3.1 长江船舶流量观测

根据江苏海事局提供的权威统计数据，2010年长江干线6个断面的日均船舶流量（按尺度分）当量平均为1485艘，合计平均流量

为 1784 艘。其中长度小于 30 米的船舶有 182 艘，30 米~50 米之间的船舶 782 艘，50~90 米之间的船舶 628 艘，90~180 米之间的船舶 174 艘，大于 180 米的船舶 19 艘。见表 6-1。

表 6-1 2010 年长江干线航道观测断面日均船舶流量

序号	断面名称	当量合计	合计	船舶长度					
				小计	<30 米	30~50 米	50~90 米	90~180 米	≥180 米
1	南京长江大桥观测线	1044	1507	上行船舶数					
				645	102	283	218	41	1
				下行船舶数					
				862	181	412	232	35	1
		尺度合计		284	695	450	76	3	
2	镇江润扬大桥（北线+南线）观测线	1563	1849	上行船舶数					
				866	116	358	333	56	3
				下行船舶数					
				983	30	386	452	109	6
		尺度合计		147	743	784	165	9	
3	长江镇江尹公洲航段观测线	1777	2411	上行船舶数					
				1123	39	679	349	49	9
				下行船舶数					
				1288	33	791	398	54	11
		尺度合计		72	1470	747	103	19	
4	江阴大桥观测线	1538	1925	上行船舶数					
				903	178	383	209	124	9
				下行船舶数					
				1023	211	437	240	128	8
		尺度合计		388	820	449	252	17	
5	南通狼山港区观测线	1687	1913	上行船舶数					
				983	93	380	393	106	12
				下行船舶数					
				930	86	350	382	101	11
		尺度合计		179	730	774	207	23	

6	太仓海事 基地观测 线	1300	1098	上行船舶数					
				509	11	98	267	114	19
				下行船舶数					
				589	14	137	294	126	19
				尺度合计	25	235	561	240	38
断面平均		1485	1784	尺度平均	182	782	628	174	18
				所占比例	10.2%	43.8%	35.2%	9.7%	1.0%

备注：1、船长小于 30 米，折算系数取 0.3；船长 30~50 米，折算系数取 0.5；船长 50~90 米，折算系数取 1；船长 90~180 米，折算系数取 2；船长大于 180 米，折算系数取 3.5。

2、本表数据系 2010 年各月观测数据平均而得。

6.3.2 长江船舶功率分布

根据上海交通大学吴丹玲等人的研究论文《巴拿马船型船舶主机功率估算》，船舶长度 185 米（装载量 4 万吨）的干散货船主机功率为 4461 千瓦。也就是说，船舶长度大于 180 米的干散货船主机功率在 4000 千瓦以上。泰州号船舶长 99.8 米，主机功率是 1620 千瓦；至善号船舶长 74.3 米，主机功率是 880 千瓦；华远号船舶长 82 米，主机功率是 900 千瓦；长度为 50 米的船舶主机功率在 300 千瓦左右。因此，可以估算长江船舶功率分布见表 6-2。

表 6-2 长江船舶功率分布

船舶长度（米）	日观测流量 （艘）	功率（千瓦）	占比
≥180 米	18	≥4000	1.0%
90~180 米	174	1500~4000	9.7%
50~90 米	628	300~1500	35.2%
30~50 米	782	100~300	43.8%
<30 米	182	<100	10.2%

6.3.3 综合单位货物周转量污染物排放系数

根据北京理工大学的内河船舶测试数据，各功率段船舶单位周转

量污染物排放量见表 6-3。

表 6-3 各功率段内河船舶单位周转量污染物排放量

功率段(kw)	CO (g/km t)	HC (g/km t)	NOx (g/km t)	PM (g/km t)
<100	0.083	0.057	0.346	0.012
100-150	0.043	0.015	0.227	0.009
150-200	0.043	0.005	0.274	0.011
>200	0.042	0.010	0.205	0.008

本课题中,对于功率在 100 千瓦~300 千瓦的船舶,其污染物排放系数取 100 千瓦~150 千瓦和 150 千瓦~200 千瓦这两个功率段的平均值。

对于功率在 300 千瓦~1500 千瓦这个功率段的船舶,有华远号和至善号两艘船舶的测试数据,其中华远号是满载,而至善号仅装载了 600 吨,远不到满载要求,其测试数据不具有代表性,对于这个功率段的船舶其污染物排放系数选用华远号的数据。

由于超过 4000 千瓦的船舶比例很少(仅为 1%),可以将此功率段与 1500 千瓦~4000 千瓦合并为一个大型船舶功率段(≥ 1500 千瓦),这个大型船舶功率段的污染物排放系数则用维 5 号游轮的数据来代表。各功率段长江船舶的污染物排放系数见表 6-4。

表 6-4 各功率段船舶单位周转量污染物排放系数

功率段(kw)	所占比例	CO (g/km t)	NOx (g/km t)	HC (g/km t)	PM (g/km t)
<100	10.2%	0.083	0.346	0.057	0.012
100-300	43.8%	0.043	0.2505	0.01	0.01
300-1500	35.2%	0.072	0.17	0.0095	0.0045
>1500	10.8%	0.032	0.11	0.0030	0.0058

综合单位货物周转量污染物排放系数 = 船舶单位周转量污染物排放系数×功率分布。见表 6-5。

以 CO 为例：

综合单位货物周转量 CO 排放系数 = $10.2\% \times 0.083 + 43.8\% \times$

0.043

$$+35.2\% \times 0.072 + 10.8\% \times 0.032 = 0.0561(\text{g/km.t})$$

表 6-5 综合单位货物周转量污染物排放系数

CO(g/ km.t)	NOx(g/km.t)	HC (g/km.t)	PM(g/km.t)
0.0561	0.217	0.0139	0.0078

6.3.4 长江江苏段船舶货物周转量

根据二期船舶课题研究结果，2010 年江苏省船舶货物周转量为 4020 亿吨公里。2010 年，全省沿江、沿海、内河港口码头货物吞吐量为 19.54 亿吨，其中沿江为 12.64 亿吨，占比 64.7%；沿海为 2.32 亿吨，占比 11.9%；内河为 4.58 亿吨，占比 23.4%。

2012 年全国完成水路货运量 37.89 亿吨、货物周转量 68427.53 亿吨公里，平均运距 1805.72 公里。其中，内河运输完成货运量 18.86 亿吨、货物周转量 5535.74 亿吨公里，平均运距 293.5 公里。全年长江干线货物承载量达 15.12 亿吨。长江干线到干线货运量 2.95 亿吨，海上到干线运量 6.83 亿吨，两者合计为 9.78 亿吨。

由于没有更为精确的数据支撑，此处只能假设长江干线到干线、海上到干线的货运量是长江江苏段的货运量，为 9.78 亿吨。因为江苏段处于长江下游末端，长江流域凡是出海的货物或是从海上来的货物均需通过这个区域。

根据江苏海事局提供的权威统计数据，2010 年长江干线 6 个断

面的日均船舶流量（按尺度分）当量平均为 1485 艘，合计平均流量为 1784 艘。用年货运量 9.78 亿吨核算，相当于每艘船舶的平均货运量为 1502 吨，与实际统计情况比较符合。

长江横穿江苏东西 425 公里，根据全国内河平均运距，假设长江江苏段船舶的平均运距与之一致，取 293.5 公里。由此可以推算出长江江苏段的货物周转量 2870.43 亿吨公里，占全省船舶货物周转量总数的比例是 71.4%。这个比例与长江江苏段航运占我省货运量的比例 64.7% 相当，说明该数据具有一定的合理性。

6.3.5 长江江苏段船舶大气污染物排放量

全省长江江苏段船舶大气污染物排放量 = 综合单位货物周转量污染物排放系数 × 每年货物周转量。见表 6-6。以 CO 为例：

全省长江江苏段船舶 CO 排放量 = $0.0561 \times 2870.43 = 16103$ 吨。

表 6-6 全省长江江苏段船舶大气污染物排放量

长江航道	货运周转量 (亿吨公里)	CO 排放量 (吨)	NO _x 排放量 (吨)	HC 排放量 (吨)	PM 排放量 (吨)	总排放量 (吨)
江苏段	2870.43	16103	62288	3990	2239	84620

研究显示，长江江苏段船舶 NO_x 排放量超过 6 万吨，占长江江苏段船舶大气污染物总排放量的 74%，是主要控制因子。

7 江苏省船舶大气污染防治对策和建议

7.1 全省船舶排污状况

综合总结二期、三期、四期的课题研究成果，2010 年我省内河船舶污染物总排放量是 28050 吨，长江船舶总排放量是 84620 吨，沿海渔船总排放量是 63456.6 吨，合计总排放量是 17.6126 万吨。内河船舶、长江船舶、沿海渔船的总排放量占比分别为 15.9%、48.0%、36.0%。可见三类船舶中，长江船舶污染物总排放量最大。见表 7-1，图 7-1、7-2、7-3、7-4、7-5。

表 7-1 内河船舶、长江船舶、沿海渔船污染物排放量汇总

区域	一氧化碳 (吨)	占比 (%)	氮氧化物 (吨)	占比 (%)	碳氢化合 物(吨)	占比 (%)	颗粒物排 放 量(吨)	占比 (%)	总排放量 (吨)	占比 (%)
内河船舶	4476	9.6%	20440	17.7%	2387	29.0%	746	13.4%	28050	15.9%
长江船舶	16103	34.4%	62288	53.9%	3990	48.4%	2239	40.1%	84620	48.0%
沿海渔船	26262	56.1%	32737	28.4%	1862	22.6%	2596	46.5%	63457	36.0%
合计	46841		115466		8239		5581		176126	
占比	26.6%		65.6%		4.7%		3.2%		100.0%	

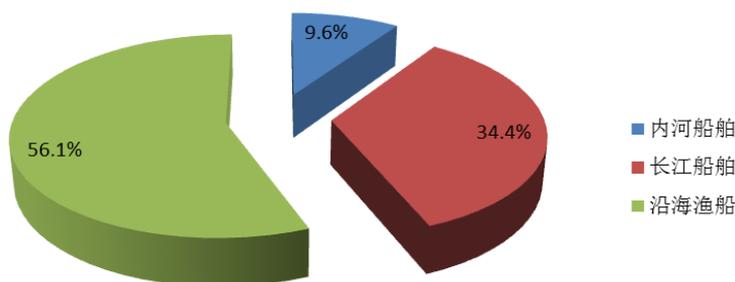


图 7-1 内河船舶、长江船舶、沿海渔船 CO 排放比例

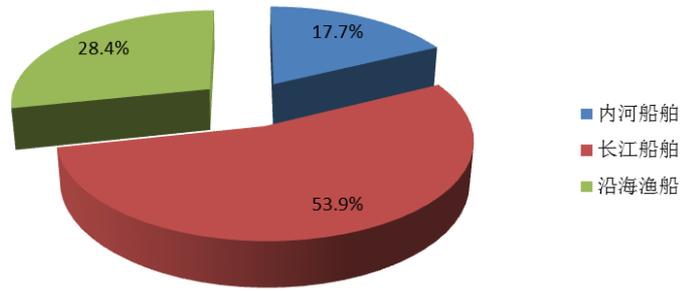


图 7-2 内河船舶、长江船舶、沿海渔船 NO_x 排放比例

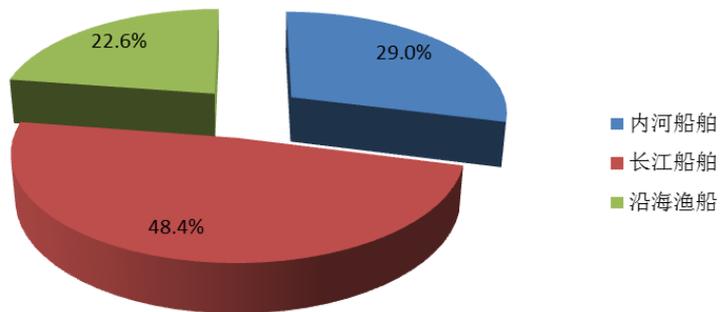


图 7-3 内河船舶、长江船舶、沿海渔船 HC 排放比例

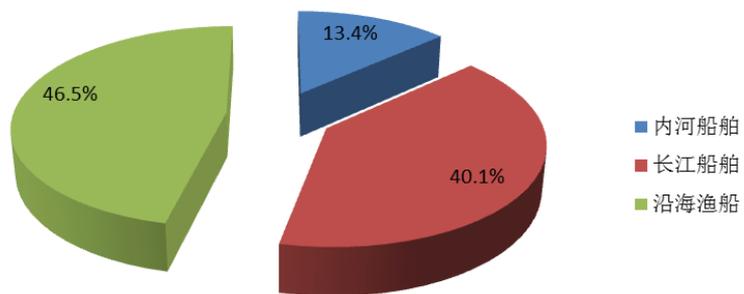


图 7-4 内河船舶、长江船舶、沿海渔船 PM 排放比例

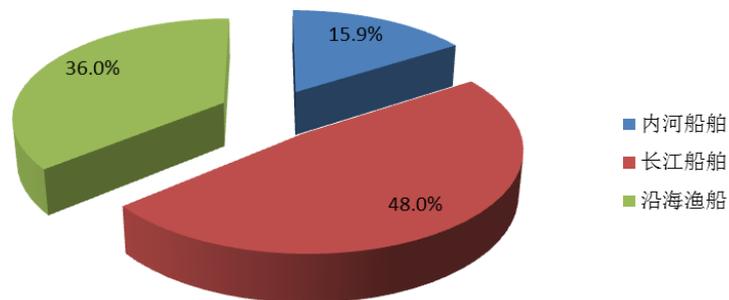


图 7-5 内河船舶、长江船舶、沿海渔船总排放量排放比例

深入研究发现，同等功率下，渔船的船舶燃油排放系数与内河船舶相差很大，其中，渔船的 CO 排放系数是内河的 20 倍，氮氧化物是内河的 5 倍，HC 是内河的 3 倍，颗粒物是内河的 7 倍。通过调查，可能是以下两个原因：一是渔船的发动机比较老旧。据有关资料统计，目前我国渔船船型在能源利用效率方面与先进国家和地区相比，同样的作业方式和同样的鱼舱容积的渔船，在油耗方面要比国外高出 15% 左右。二是渔船的油品非常差。北京理工大学在监测过程中发现，沿海渔船的大气污染非常严重，船舱壁上黑乎乎的，燃烧的油品很多是不知从哪里弄来的渣油，油品质量没有保证。

在各类污染物排放状况中，2010 年内河船舶、长江船舶、沿海渔船的 CO 排放量是 46841 吨，占污染物总排放量的比例是 26.6%；氮氧化物排放量是 115466 吨，占比 65.6%；HC 排放量是 8239 吨，占比 4.7%；颗粒物排放量是 5581 吨，占比 3.2%。据相关资料估算，我国内河船舶排入大气的污染物（仅柴油机船舶部分）中，氮氧化物是 60-70 万吨，颗粒物是 5-6 万吨。据此推算，我省内河船舶、长江船舶、沿海渔船的氮氧化物排放量占到全国的 1/5 左右，颗粒物占到

1/10 左右。

由此可见，氮氧化物是全省船舶大气污染物排放的主要关注对象，其占到了各类污染物总排放量的 2/3。其中，长江船舶的氮氧化物排放量最大，为 62288 吨，占比 53.9%，其次是沿海渔船，排放量为 32737 吨，占比 28.4%；最后才是内河船舶，排放量为 20440 吨，占比 17.7%。

CO 是全省船舶大气污染物排放的重点关注对象，其占到了各类污染物总排放量的约 1/4。其中，沿海渔船的 CO 排放量最大，为 26262 吨，占比 56.1%，其次是长江船舶，排放量为 16103 吨，占比 34.4%；最后才是内河船舶，排放量为 4476 吨，占比 9.6%。

8.2 全省机动车排污状况

1、机动车保有量

2013 年，江苏省机动车保有量为 1806.6 万辆，其中汽车（载客汽车、载货汽车）1020.4 万辆，低速汽车（三轮汽车、低速货车）17.4 万辆，摩托车（普通、轻便）768.8 万辆（见表 7-2），分别占机动车总量的 56.5%、1.0%和 42.5%。（图 7-6）。

与 2012 年相比，江苏省机动车保有量增长 7.5%，其中汽车保有量增长 15.8%，低速汽车和摩托车保有量分别降低 8.4%和 1.5%。

表 7-2 2013 年江苏省机动车保有量统计

单位：万辆

年份	汽车	低速汽车	摩托车	机动车合计
2012	881.0	19.0	780.5	1680.5
2013	1020.4	17.4	768.8	1806.6
年际变化（%）	15.8	-8.4	-1.5	7.5

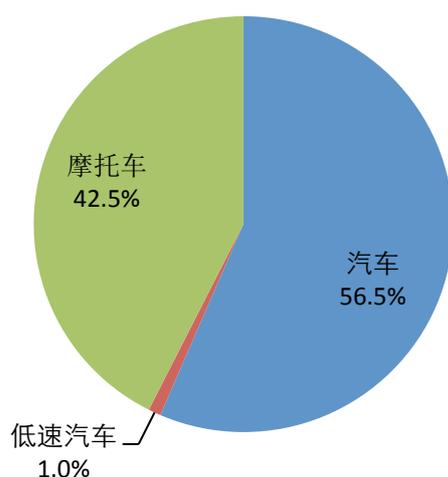


图 7-6 2013 年江苏省机动车保有量构成

2、机动车污染物排放现状

2013 年 ,全省机动车一氧化碳排放量为 181.2 万吨 ,其中汽车、低速汽车、摩托车排放分别占 78.7%、0.2%和 21.1%。碳氢化合物排放量为 21.5 万吨 ,其中汽车、低速汽车、摩托车排放分别占 74.2%、2.0%、23.8%。氮氧化物和颗粒物排放量分别为 35.1 万吨和 2.7 万吨 ,主要来自汽车排放 ,汽车排放量分别为 33.2 万吨和 2.6 万吨 ,分别占 94.7%和 97.3% (见表 7-3)。

表 7-3 2013 年江苏省机动车污染物排放量统计

单位：万吨

车型	一氧化碳		碳氢化合物		氮氧化物		颗粒物	
	排放量	比例 (%)	排放量	比例 (%)	排放量	比例 (%)	排放量	比例 (%)
汽车	142.6	78.7	16.0	74.2	33.2	94.7	2.6	97.3
低速汽车	0.4	0.2	0.4	2.0	1.2	3.3	0.1	2.7
摩托车	38.2	21.1	5.1	23.8	0.7	2.0	0.0	0.0
机动车	181.2		21.5		35.1		2.7	

3、船舶占机动车大气污染物排放的比例

与 2013 年机动车污染物排放相比 ,全省内河船舶、长江船舶、沿海渔船一氧化碳、氮氧化物、碳氢化合物、颗粒物排放量占比分别

为 2.6%、32.9%、3.8%、20.7% ,总排放量占比为 7.3%。见表 7-4。

表 7-4 全省内河船舶、长江船舶、沿海渔船占比分析

类别	一氧化碳	氮氧化物	碳氢化合物	颗粒物排放量	总排放量
内河船舶(吨)	4476	20440	2387	746	28050
长江船舶(吨)	16103	62288	3990	2239	84620
沿海渔船(吨)	26262	32737	1862	2596	63457
合计	46841	115466	8239	5581	176126
机动车污染物排放量(万吨)	181.2	35.1	21.5	2.7	240.5
船舶占机动车比例	2.6%	32.9%	3.8%	20.7%	7.3%

可见 ,在当前机动车减排空间大幅收窄的格局下 ,船舶领域氮氧化物和颗粒物的减排大有可为。

8.3 政策建议

1、江苏省船舶大气污染物控制领域与方向

(1) 船舶大气污染主要集中在氮氧化物方面 , 占到了船舶各类污染物总排放量的 2/3 , 也占到全省机动车氮氧化物排放量的 1/3。因此 , 控制船舶氮氧化物排放是今后机动车船污染防治的主要方面。其中 , 重点是控制长江船舶的氮氧化物排放。

(2) 尽管颗粒物在船舶大气污染排放中所占比例不大 , 仅为 3.2% , 但是该污染物占到全省机动车颗粒物排放量的 1/5。说明控制船舶颗粒物可以给机动车船颗粒物减排带来明显效果。其中 , 重点是控制沿海渔船的颗粒物排放。

(3) CO 是全省机动车排放的第一大污染物 , 占了约 2/3。尽管船舶排放的 CO 在机动车中占比很小 (2.6%) , 但 CO 是全省船舶大气污染物排放的重点关注对象 (约占总量的 1/4)。其中 , 重点是控制沿海渔船的 CO 排放。

2、政策建议

(1) 尽快制定出台大型船用发动机大气污染物排放标准。针对净功率 P 小于等于 37kW 的小型船舶柴油发动机，国家出台了《非道路移动机械用小型点燃式发动机排气污染物排放限值 and 测量方法(中国第一、二阶段)》(GB 26133—2010) 和《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)》两个标准。但是对于净功率 P 大于等于 37kW 的大型船舶柴油发动机，该标准正在制定中，目前尚未出台。从本课题研究看，使用大型发动机的船舶占在用船舶的大多数。因此，尽快出台该标准非常有必要。

(2) 开展船用燃油品质管理体系研究，近期内将我省船用燃油的硫含量控制在 50ppm 以内。从沿海渔船大气污染物所占比重看，控制船用油品质量对控制船舶大气污染排放至关重要。如何让船舶使用的油品是合格油品，需要从油品生产、运输、加油、临船检查等多方面进行控制。因此，厘清工商、质监、环保、海事、交通、油品生产单位、加油站等各部门、各单位职责，出台江苏省船用燃油品质管理办法也很有必要。

(3) 对我省南京、镇江、江阴、苏州、南通、泰州、连云港等亿吨级港口开展港口废气排放清单研究，制定适合于各个港口的清洁空气行动计划。据相关研究，大型港口停靠的远洋船舶对当地空气质量、气候变化和人体健康都会产生极大的负面影响。2012 年，江苏省万吨级以上泊位高达 356 个，南京、镇江、江阴、苏州、南通、泰州、连云港等 7 个港口跻身亿吨级港口行列，港口货物吞吐量(19.5 亿吨)继续保持全国第一。长江江苏段深水航道才 369 公里，短短的航道上分布了 6 个亿吨级大型港口和 300 多个万吨级以上泊位，

其分布密度应该说是世界上最大的。船舶大气污染对整个长江江苏段的影响已经由点源污染上升为面源污染。因此，对我省大型港口开展港口废气排放清单研究、制定港口清洁空气行动计划，非常迫切。

(4)将船舶大气污染防治纳入长三角区域联防联控的重要措施，建立“长三角区域船舶大气污染联防联控体系”。这个体系应着重关注几个方面：一是船用燃油统一标准，硫含量在 50ppm 以下；二是对在用船舶实施统一的排放标准，建立长三角排放控制区；三是对长三角区域内的大型港口实施清洁空气行动计划，统一标准，统一实施；四是建立强有力的联防联控机构，提高工作效率；五是建立联合检查监督机制，维持区域内执法检查的力度统一。