

# Research on the Influence of the “ECA” New Regulations on the Emission of Air Pollutants during Vessels Berthing

Le Zhang<sup>1\*</sup>, Qingjun Gao<sup>2</sup>, Huiying Gao<sup>1</sup>, Xi Feng<sup>1</sup>

<sup>1</sup>China Classification Society Industry Corp., Tianjin Branch, Tianjin

<sup>2</sup>Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, Ministry of Transport of the People’s Republic of China, Tianjin

Email: [zhangle@ccsi.com.cn](mailto:zhangle@ccsi.com.cn)

Received: Jul. 23<sup>rd</sup>, 2018; accepted: Aug. 7<sup>th</sup>, 2018; published: Aug. 14<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

After the “ECA” new regulations are promulgated, the list of air pollutant emissions made by vessels will also change. In this study, we selected bulk carriers, container ships and ro-ro ships as the research objects. The air pollution emission list of vessels during berthing was measured by the power model, and the container ships were selected due to high pollutant sharing rates. According to equivalent pollution source method, using ALOHA model to simulate the diffusion of pollutants, it was found that the concentration of nitrogen oxides in sensitive areas exceeded the standard, so it needed further governance. The result of this paper is not only the reflection of the present air situation, but also an important theoretical basis for the implementation of atmospheric emission reduction plan in Tianjin port.

## Keywords

The New Regulations, Air Pollution, Emission List, Diffusion Simulation, Sensitive Area

---

# “ECA” 新规对船舶靠泊期间大气污染物排放 影响研究

张乐<sup>1\*</sup>, 高清军<sup>2</sup>, 高慧颖<sup>1</sup>, 冯玺<sup>1</sup>

<sup>1</sup>中国船级社实业公司天津分公司, 天津

<sup>2</sup>交通运输部天津水运工程科学研究院, 天津

Email: [zhangle@ccsi.com.cn](mailto:zhangle@ccsi.com.cn)

收稿日期: 2018年7月23日; 录用日期: 2018年8月7日; 发布日期: 2018年8月14日

\*通讯作者。

## 摘要

“ECA”新规颁布后,船舶大气污染物排放清单也将发生变化。本次研究以天津港区散杂货船、集装箱船和滚装船为研究对象,通过动力法模型测算出船舶靠泊期间大气污染物排放清单,并筛选出污染物分担率较高的集装箱船舶。通过污染源等效的观点,结合ALOHA模型进行污染物扩散模拟,得出敏感区域氮氧化物浓度存在超标情况,需进一步治理。本次研究成果不仅是天津港区大气现状的反映,也是促成港区大气减排的重要理论基础。

## 关键词

新规,大气污染,排放清单,扩散模拟,敏感区域

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

2016年1月1日,交通运输部发布的《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》规定,在我国沿海重点区域设立ECA(以下简称“排放控制区”),严格限制区域内船舶大气污染物的排放。设区前,张向辉[1]、杨培举[2]、徐华[3]就中国版的排放控制区设置可行性进行了研究分析;设区后,李伟[4]、彭传圣[5]、刘新亮[6]对船舶进入排放控制区需采取措施及存在问题进行了解读,相关的研究都对实施方案的具体落地起到很好地促进作用。该实施方案按年度分步提出了排放要求,其中规定,“自2018年1月1日起,船舶在排放控制区内所有港口靠岸停泊期间应使用硫含量 $\leq 0.5\%$  m/m的燃油。”天津港作为渤海湾核心港口,应当无条件执行实施方案排放规定,新规将如何影响天津港区大气环境,本文将作进一步的研究。

## 2. 基本情况

船舶进入排放控制区后主要包括航行、锚泊、靠泊装卸三种状态,其中靠泊状态虽然排放量不如航行时期,但持续时间最长,在港区码头内船舶排放强度高并靠近人群,对港区周边人群的直接影响更为重要,是造成地区空气污染的重要来源之一。船舶靠泊后,负责动力推进的主机停止工作,而船舶辅机(柴油发电机组)仍需提供电能满足船舶电气的日常工作。

船舶主要用电设备包括:通用设备、通讯导航设备、通导锚泊设备、靠离泊设备、部分机舱辅助设备。集装箱船舶除了上述通用电气设备外,还拥有大型冷藏箱的冰机、船用压缩机等,用电需求更高。

船舶产生的大气污染物主要包括氮氧化物( $\text{NO}_x$ )、硫氧化物( $\text{SO}_x$ ) [7]和颗粒物,近年来金陶胜[8]、伏晴艳[9]、乔冰[10]等分别对船舶大气污染排放物清单进行了研究,梁永贤[11]对深圳港的船舶大气污染物排放进行了核算。李丽平[12]、孙德红[13]、吴海宁[14]等对船舶大气污染均提出了自己的观点。以上研究对各类船舶产生的不同污染物进行了分担率的分析,并依据AIS记录对网格区域对应污染物排放量进行了统计,但是并没有分析船舶污染物对港区敏感人群可能产生的具体影响,为掌握靠泊状态下船舶对天津港区大气的影响,本文将首先对船舶靠泊作业期间大气污染物排放清单进行估算。

### 3. 大气污染物排放清单估算

通过对国内外相关技术方法的对比分析, 本次研究采用动力法[15]对船舶污染物排放清单进行计算, 动力法原理如下。

船用柴油机做功计算:

$$W = MCR \times LF \times Act$$

$W$ : 船舶所做的功(kWh);  $MCR$ : 船用柴油机标定功率。

$LF$ : 负载因子;  $Act$ : 工作时间。

船舶柴油发电机组污染物排放计算:

$$E = W \times EF \times FCF \times CF \times 10^{-6}$$

$E$ : 某类大气污染物的排放量, 单位为(吨/年);  $EF$  为大气污染物的排放因子, 单位为( $\text{g} \cdot \text{kWh}^{-1}$ )。

$FCF$ : 燃油校正因子, 无量纲单位;  $CF$ : 排放控制因子。

排放因子修正公式:  $EF = \text{基础 } EF \times LLA$ ;  $LLA$ : 低负载调整系数。

排放控制因子  $CF$  与船舶实际尾气净化装置使用效率相关, 鉴于不同船舶净化效率差异较大, 本次研究以最大产生量估算, 暂不考虑净化装置作用; 而船舶靠泊运行参数则根据实际调研情况进行分析。

#### 3.1. 船舶靠泊运行参数分析

本次研究船舶为天津港区的散杂货船、集装箱船和滚装船舶。调研内容包括东疆、北疆、新港、海河、南疆、大沽口港区下辖主要 42 家码头船舶靠泊艘次统计, 港区 270 艘船舶辅机能耗抽样调研。

机组负载因子为船舶靠泊期间柴油发电机组实际输出功率与额定功率的比值, 以集装箱船为例, 通过对天津港北疆港区靠泊的集装箱船舶调研, 可分别得出典型船型辅机额定功率和靠泊期间实际输出功率, 从而获得对应吨位船舶电气负载率, 如表 1 所示。

机组工作时间即船舶靠泊柴油发电机组运行时间, 不同类型船舶由于装卸工艺不同呈现不同特点。以散杂货船为例, 比较典型的装卸工艺即通过码头抓斗机将货物转移至封闭传送带, 通过传送带送达后方堆场, 散杂货船由于装卸效率相对较低, 不同吨级船舶靠泊时间相差较大, 总体和船舶吨级呈正比, 可通过调研得出。

通过对柴油发电机组不同工况的研究, 可以发现机组在负载较低时由于燃烧室燃烧不充分导致更多的燃油消耗。通过对康明斯柴油发电机组的性能调查, 机组运行效率变化时, 对应的能耗相差较大, 具体能耗如表 2 所示。

对于颗粒物(主要为  $PM_{10}$  和  $PM_{2.5}$ )、硫氧化物, 若机组额定功率不大于 350 kW, 25%工况时能耗约为理想工况(负载 75%左右)的 1.1 倍, 50%工况时能耗约为理想工况的 1.03 倍, 总体相差较小; 而机组额定功率大于 350 kW 时, 25%工况时能耗约为理想工况的 1.35 倍, 50%工况时能耗约为理想工况 1.08 倍。基于大多数远洋船舶辅机机组额定输出功率大于 350 kW, 由此得低负载调整因子  $LLA$  取值 1.35 基本符合实际情况。

对于氮氧化物, 由于氮元素主要来自氮气, 与燃油并无直接关系, 因此能耗的变化不会带来氮氧化物产生量明显变化, 低负载调整因子  $LLA$  为 1。

综合三类船舶靠泊时机组负载因子情况, 集装箱船、滚装船舶靠泊时由于用电需求较大, 不属于低负载工况, 散货船基本属于低负载工况。

**Table 1.** Electrical load statistics of container ship berthing**表 1.** 集装箱船舶靠泊电气负载统计

| 集装箱典型船型 | 船舶辅机输出功率(kW) | 靠泊平均功率(kW) | 船舶负载率(%) |
|---------|--------------|------------|----------|
| ≤1 万    | 590          | 200        | 34%      |
| 1~3 万   | 875          | 350        | 40%      |
| 3~5 万   | 2000         | 800        | 40%      |
| 5~10 万  | 2760         | 1400       | 51%      |
| 10~15 万 | 3800         | 1700       | 45%      |
| ≥15 万   | 6000         | 2000       | 33%      |

**Table 2.** Diesel generator energy consumption comparison**表 2.** 柴油发电机组能耗对比(单位:  $\text{g}\cdot\text{kWh}^{-1}$ )

| 机组额定功率(kW) | 25% | 50% | 75% | 100% |
|------------|-----|-----|-----|------|
| 不大于 350    | 225 | 210 | 204 | 200  |
| 大于 350     | 291 | 232 | 215 | 210  |

### 3.2. 船舶污染物排放估算

经统计各船型不同吨级船舶港区靠泊年均艘次, 结合已分析船舶负载因子和作业时间, 计算出集装箱船舶靠泊期间柴油机年度做功 211,017.6 MWh, 同理可得散杂货船舶靠泊期间柴油机年度做功 122,739.2 MWh, 滚装船舶靠泊期间柴油机年度做功 5399.5 MWh。

动力法中涉及大气污染物排放因子  $EF$ 、燃油校正因子  $FCF$  如表 3、表 4 所示, 作为国际海事组织缔约国, 中国远洋船舶排放因子与 CARB [15] 的参数接近, 可以参考使用。

2018 年 1 月 1 日以后, 船舶在排放控制区内所有港口靠岸停泊期间应使用硫含量  $\leq 0.5\%$  m/m 的燃油, 按含硫量 0.5% 计算。利用动力法估算颗粒物、氮氧化物、硫氧化物和二氧化碳的排放清单, 则结果如表 5 所示。

由此看出, 三类船舶中, 集装箱船舶污染物贡献值最大, 颗粒物占比 55.2%, 氮氧化物占比 62.2%, 硫氧化物占比 55.2%, 二氧化碳占比 62.2%。随着排放控制区全面实施后, 船舶靠泊期间将使用低硫油作为燃料, 颗粒物和硫氧化物明显降低, 降幅基本在 50% 以上。对于氮氧化物的减排需采用其他手段, 应通过改进工作原理或安装尾气脱氮设备来达到船舶 Tier III 排放标准[16]。

## 4. 污染物对港区影响分析

船舶大气污染物对港区影响, 可研究典型工况下大气污染物扩散模拟, 研究内容包括污染物分布和浓度贡献值。由上文计算清单可得, 集装箱船舶污染物产生量最大, 且从地理区位上集装箱码头群位于港区腹地, 与港区敏感资源(学校和居民区)相距较近, 最近距离约为 4 km。综上, 本次通过集装箱泊位排放研究, 即可达到预测目的(图 1)。

每艘集装箱船舶烟囱可视为通过排气筒排放的独立点源, 由于各点源间距远大于船舶烟囱高度, 不宜采用环境影响评价导则中推荐排气筒等效方法进行处置。鉴于港区集装箱泊位分布较为密集的特点, 本次研究设定集装箱码头群为研究区域, 利用 Google Earth 进行逐个泊位定位, 选取靠泊频次稳定的泊位作为固定排放源, 依据尽可能覆盖区域点源原则, 将研究区域内点源等效为一个以研究区域圆心作为排放点的等效污染源, 排放强度可通过年度排放清单进行折算。

**Table 3.** Ship auxiliary engine emission factor  
**表 3.** 船舶辅机排放因子  $EF$  (单位:  $\text{g}\cdot\text{kWh}^{-1}$ )

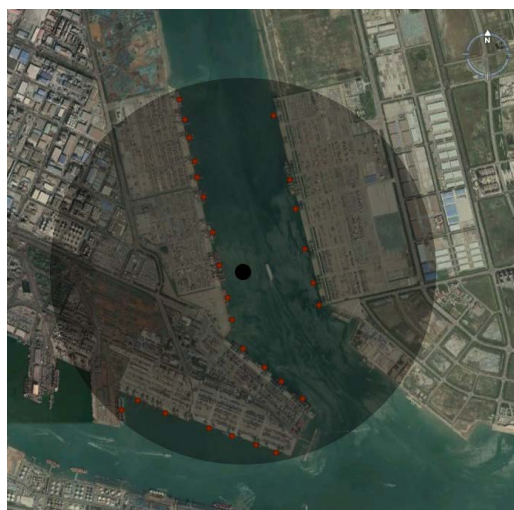
| $\text{PM}_{10}$ | $\text{PM}_{2.5}$ | $\text{NO}_x$ | $\text{SO}_2$ | $\text{CO}_2$ |
|------------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| 1.5              | 1.2               | 13            | 12.3          | 683           |

**Table 4.** Fuel correction factor  
**表 4.** 燃油校正因子  $FCF$

| 燃油种类   | 含硫量  | PM   | $\text{NO}_x$ | $\text{SO}_2$ | $\text{CO}_2$ |
|--------|------|------|---------------|---------------|---------------|
| 重油     | 3.5% | 0.82 | 1             | 0.56          | 1             |
| 柴油     | 1.5% | 0.47 | 0.9           | 0.56          | 1             |
| 柴油/轻质油 | 0.5% | 0.25 | 0.94          | 0.18          | 1             |
| 柴油/轻质油 | 0.2% | 0.19 | 0.94          | 0.07          | 1             |
| 柴油/轻质油 | 0.1% | 0.17 | 0.94          | 0.04          | 1             |

**Table 5.** Discharge of pollutants after restricting emission  
**表 5.** 限排以后船舶靠泊期间排放清单(单位: t)

| 船舶类型 | $\text{PM}_{10}$ | $\text{PM}_{2.5}$ | $\text{NO}_x$ | $\text{SO}_2$ | $\text{CO}_2$ |
|------|------------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| 集装箱船 | 79.1             | 63.3              | 2578.6        | 467.2         | 144,125.0     |
| 散杂货船 | 62.1             | 49.7              | 1499.9        | 366.9         | 83,830.9      |
| 滚装船  | 2.0              | 1.6               | 66.0          | 12.0          | 3687.9        |
| 总计   | 143.3            | 114.6             | 4144.5        | 846.0         | 231,643.8     |



**Figure 1.** Location map of equivalent pollution source  
**图 1.** 等效污染源地理位置图

等效污染源源强为所有泊位源强的叠加, 排放速率和浓度远大于正常排放, 短期评价可视作事故排放进行研究。ALOHA 模型[17]是由美国环保署(EPA)化学制品突发事件和预备办公室(CEPPO), 美国国家海洋和大气管理(NOAA)响应和恢复办公室共同开发的应用程序。ALOHA 经过多年发展, 可以用来计算危险化学品泄漏后的毒气扩散、火灾、爆炸等产生的毒性、热辐射和冲击波等。本次研究有毒气体主要为二氧化硫和氮氧化物, 该模型包括高斯扩散模型和重气扩散模型, 由于两种污染物密度均大于空气

密度, 建议使用重气扩散模型进行研究。渤海湾在夏季盛行东南风, 平均风速 4 m/s, 此风向对港区生活区空气质量将造成严重影响, 以 ESE 作为研究风向(图 2、图 3)。

根据《环境空气质量标准》(GB3095-2012)中对学校和居住区应达到的二级时均浓度, 二氧化硫应不大于  $0.5 \text{ mg/m}^3$ , 折合  $0.175 \text{ ppm}$ ; 氮氧化物应不大于  $0.20 \text{ mg/m}^3$ , 折合  $0.1 \text{ ppm}$ 。

通过大气扩散模拟, ESE 风况条件下, 二氧化硫浓度超标最远距离约为 1 km, 影响范围基本局限于泊位、后方堆场和绿化带、公路区域, 对生活区基本不会造成较大影响; 氮氧化物浓度超标最大影响半径约 3.6 km, 影响范围覆盖下风向大部分区域, 距离学校等敏感区仅 400 m, 不利风况下会对敏感区域造成大气污染。集装箱船舶靠泊阶段, 氮氧化物的排放会对港区大气质量造成重大影响, 应采取相关措施减轻污染物排放。

## 5. 结语

船舶尾气排放研究, 一直以来都是港口城市大气环境保护的重要部分, 通过研究主要得到以下结论:

船舶靠泊期间, 散杂货船舶辅机运行效率存在低于 25%情况, 油耗大于正常负荷状态; 集装箱船和滚装船基本不存在低负荷状态, 油耗变化不大。



Figure 2. Sulfur dioxide concentration map in the port area  
图 2. 港区二氧化硫浓度分布图

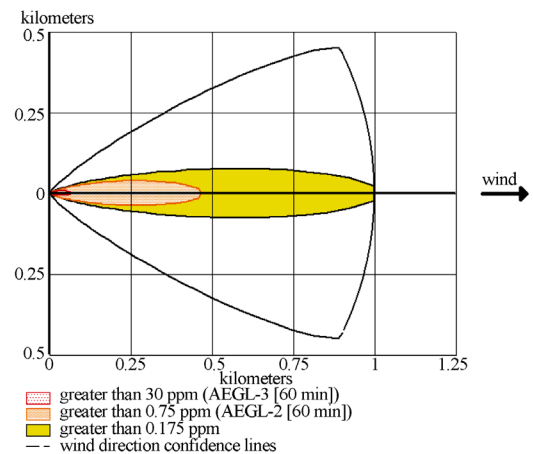
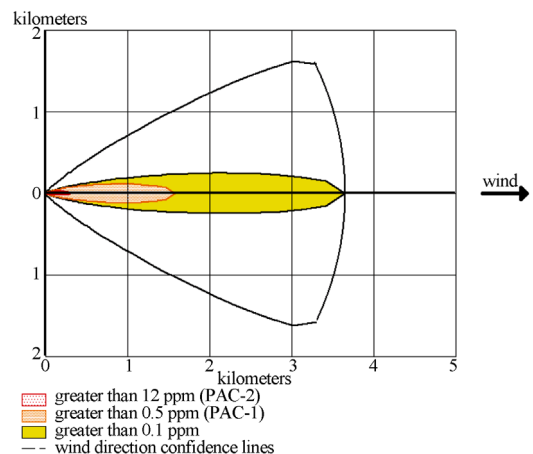


Figure 3. Nitrogen oxides concentration map in the port area  
图 3. 港区氮氧化物浓度分布图



本文采用动力法研究船舶靠港期间污染物排放清单, 得出集装箱船、散货船和滚装船年度颗粒物排放量 257.9 吨、二氧化硫 846 吨、氮氧化物 4144.5 吨、二氧化碳 231,643.8 吨。

集装箱船污染物排放量占据主要地位, 分担率最高, 其中氮氧化物在夏季可对港区学校和居住区造成大气污染。

2018 年排放新规实施后, 二氧化硫基本不会对港区造成影响, 氮氧化物限排对策和措施需进一步加强和完善。

本次研究结果体现了船舶排放的区域特性, 既可作为天津港区大气环境治理的一个重要依据, 也可作为船舶使用岸电、低硫油等其他措施的参考。

## 参考文献

- [1] 张向辉. 国际 ECA 透视[J]. 中国船检, 2014(8): 17-20.
- [2] 杨培举. 中国 ECA 亟待破题[J]. 中国船检, 2014(8): 9-12.
- [3] 徐华. 中国版 ECA 呼之欲出[J]. 中国船检, 2015(10): 12-15.
- [4] 李伟, 李娜. 船舶排放控制区域(ECA)介绍及 PSC 检查应对[J]. 中国海事, 2016(3): 22-24.
- [5] 彭传圣. 我国船舶排放控制区的特点及存在的问题[J]. 水运管理, 2016, 38(4): 4-8.
- [6] 刘新亮. 船舶排放控制区(ECA)与船舶进入 ECA 区域的措施[J]. 珠江水运, 2017(10): 57-58.
- [7] 孙猛. 标准法规对船舶大气污染物排放不断提出新要求[J]. 船舶标准化与质量, 2015(2): 21-22.
- [8] 金陶胜, 殷小鸽, 许嘉, 等. 天津港运输船舶大气污染物排放清单[J]. 海洋环境科学, 2009, 28(6): 623-625.
- [9] 伏晴艳, 沈寅, 张健. 上海港船舶大气污染物排放清单研究[J]. 安全与环境学报, 2012, 12(5): 57-64.
- [10] 乔冰, 赫伟建, 刘轶超, 等. 一种动态组建港口和船舶空气污染物排放清单的计算方法[P]. 中国专利, CN103927461A. 2014-07-16.
- [11] 梁永贤, 廖汝娥, 颜敏等. 深圳港船舶大气污染物排放核算[J]. 环境科学导刊, 2016(2): 27-31.
- [12] 李丽平, 高颖楠, 周婷, 等. 借鉴美国经验控制我国船舶大气污染[J]. 环境保护, 2015, 43(1): 64-66.
- [13] 孙德红, 郑海霞, 杨艳芳. 港口大气污染排放控制初探[J]. 中国港口, 2015(6): 40-42.
- [14] 吴海宁. 我国船舶大气污染防治对策[J]. 中国海事, 2016(12): 42-45.
- [15] Starcrest Consulting Group L (2013) Port of Los Angeles Inventory of Air Emissions-2012. The Port of Los Angeles, Los Angeles.
- [16] 吴哲, 陈永艳, 曹林. 船用柴油机应对 IMO Tier III 排放法规的路线选择[J]. 船舶工程, 2015(8): 25-29.
- [17] 焦姣, 张静, 姬亚芹, 等. ALOHA 在突发性大气污染事故中的应用[J]. 安全与环境学报, 2015, 15(3): 151-155.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5485, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [aep@hanspub.org](mailto:aep@hanspub.org)