

环境管理

江苏省非道路移动源大气污染排放清单研究

徐文文,许雪记,殷承启

(中设计集团股份有限公司,江苏南京 210014)

摘要:以江苏省非道路移动源为研究对象,通过文献资料调研、问卷调查等方法获取非道路移动源活动水平数据,分析了 2015 年度江苏省非道路移动源大气污染排放情况。结果表明:非道路移动源 PM₁₀、PM_{2.5}、HC、NO_x、CO、SO₂ 等污染物排放总量分别为 23878.3 t、18925.8 t、21673.6 t、430193.9 t、62846.0 t 和 112403.5 t;内河船舶各类污染物排放量均为非道路移动源污染物排放量之首,占总排放量的 51.9%~90.4%,工程机械、农业机械以及内河船舶三类非道路移动源排放量占总排放量的 95%以上,工程机械、农业机械以及内河船舶应作为非道路移动源大气污染排放控制的重点;非道路移动源排放的二氧化硫、氮氧化物和 PM₁₀ 分别占全省废气污染物排放量的 6.3%、19.0%和 1.8%。

关键词:江苏;非道路移动源;大气污染;排放清单;排放特征

中图分类号:X703

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2019)02-0059-06

STUDY ON NON-ROAD MOBILE SOURCE EMISSION INVENTORY FOR JIANGSU PROVINCE

XU Wen-wen, XU Xue-ji, YIN Cheng-qi

(China Design Group Co., Ltd., Nanjing 210014, China)

Abstract: Taken non-road mobile sources in Jiangsu province as objects of study, the non-road mobile source air pollutant emission in Jiangsu province was analyzed for the year of 2005. The data was collected by literature review, questionnaire investigation and other methods. The results showed that total emissions of PM₁₀, PM_{2.5}, HC, NO_x, CO and SO₂ were 23 878.3 t, 18 925.8 t, 21 673.6 t, 430 193.9 t, 62 846.0 t and 112 403.5 t, respectively. Inland vessels accounted for 51.9%~90.4% of total emission and discharged more than other sources for each air pollutant. Air pollution emission control should focus on the emission from engineering machinery, agricultural machinery and inland vessels, because they accounted for over 95% of total emission. SO₂, NO_x and PM₁₀ emissions accounted for 6.3%, 19.0% and 1.8% of total emissions in Jiangsu Province.

Key words: Jiangsu province; Non-road mobile source; Air pollutants; Emission inventory; Characteristics of emission.

非道路移动源主要分为农业机械、农用运输车、工业机械、工程机械、船舶、火车和飞机等 7 类^[1],与道路移动源相比,非道路移动源机械以柴油和重油为主要燃料,具有技术水平低、使用年限长、

耗油量高、维护率底和污染物单机排放量较大特点^[2],对区域空气质量和人体健康影响较大,随着各类非道路移动机械在生产生活中的应用日益广泛,对其进行污染物排放控制的需要也越来越迫切。我国非道路用柴油机每年新增约 200 万台左右,全国每年超过 1 亿 t 的柴油消耗总量中,约有 20%用于各类非道路移动机械。这些非道路移动

收稿日期:2018-12-17

基金项目:江苏省环保科技项目(2015028)

第一作者简介:徐文文(1992-),男,江苏南京人,工程师。

机械是氮氧化物的重要排放源,初步估算每年约排放氮氧化物 200 万 t 以上。在清华大学估算的 2001 年中国人为源颗粒物排放清单中,非道路移动源颗粒物排放量是道路移动源颗粒物排放的 1.45 倍,达到 17.8 万吨^[3]。华南理工大学建立的珠江三角洲地区 2006 年非道路移动源排放清单也表明:非道路移动源已成为该地区第三大污染物排放贡献源,其中 SO₂ 和 NO_x 排放量分别占该地区大气污染源 SO₂、NO_x 排放总量的 8.6 % 和 13.5 %^[4-5]。2013 年,北京工业大学也已对京津冀地区 2010 年非道路移动源的污染物排放编制清单:2010 年,京津冀地区非道路移动源中 SO₂、NO_x、VOC、CO、PM₁₀ 以及 PM_{2.5} 的排放量分别为 3.65×10⁴ t、3.42×10⁵ t、8.65×10⁴ t、1.71×10⁵ t、9.61×10⁴ t 以及 2.52×10⁴ t^[6]。因此,非道路移动污染源已成为影响我国空气质量的重要贡献源。

然而,我国非道路移动源排放清单开发研究尚处于起步阶段,面临着活动水平统计数据不足,本地化排放因子匮乏的窘境。迄今为止,仅珠江三角洲^[4-5]及京津冀地区^[6]开发过非道路移动源排放清单,其余研究也仅局限于农业机械^[7-9]、铁路内燃机车^[9]、工程机械^[10]、飞机^[11]或船舶^[12-14]等某一类别的非道路移动源,存在统计思路不一致、统计口径差别大的问题,未形成系统、全面、统一的非道路移动源排放清单编制。江苏省对于非道路移动源排放的相关研究工作,目前也尚未开展。

基于上述,以江苏省非道路移动大气污染源为研究对象,开展江苏省非道路移动污染源排放清单的研究工作,建立 2015 年江苏省非道路移动污染源排放清单,并基于排放清单系统分析江苏省非道路移动污染源大气污染物排放特征,以期江苏省针对非道路移动污染源大气污染控排决策提供数据支撑。

1 研究方法

1.1 研究范围和对象

本文以 2015 年为基准年,研究区域为江苏省 13 个地级市。估算的非道路移动源为农业机械、农业运输车、工程机械、内河船舶和铁路机车,涵盖的污染因子以现行排放标准中规定的常规排放污染物为主,包括一氧化碳(CO)、氮氧化物(NO_x)、碳氢化合物(HC)、二氧化硫(SO₂)、总颗粒物(PM)和细颗粒物(PM_{2.5})。

1.2 计算方法

本项目考虑到目前各非道路移动源相关数据的获取情况,拟借鉴 EMEP/CORINAIR 以及《非道路移动源大气污染物排放清单编制技术指南(试行)》(以下简称《指南》)中的方法选取原则,确定非道路移动源污染物排放计算方法。

1.2.1 农业机械与工程机械排放清单计算

通过咨询内燃机工业协会等相关行业协会,并查阅相关统计年鉴,目前尚未统计工程机械与农业机械分类别、功率段、排放阶段的非道路移动机械保有量,以及分类别、排放阶段的燃油消耗量等数据。因此,本项目宜选取使用简易方法,根据燃油消耗量和排放因子计算工程机械与农业机械大气污染物排放量。

一氧化碳(CO)、氮氧化物(NO_x)、碳氢化合物(HC)、总颗粒物(PM)和细颗粒物(PM_{2.5})等排放量的估算,采用计算公式如(1)所示:

$$E = \sum_{i=1}^n (Y_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-6} \quad (1)$$

式中,E-非道路移动机械污染物排放量;Y_i-用途非道路移动机械燃油消耗量,kg;EF_i-用途非道路移动机械平均排放因子,g/kg-燃料,参考《指南》,如表 1 所示;n-非道路移动机械用途数,种。

二氧化硫(SO₂)排放的估算采用物料衡算法,估算方法见公式(2):

$$E = 2W \times S \quad (2)$$

式中,E-为污染物的排放量,kg;W-为总燃油消耗量,kg;S-为燃油的含硫率,%,含硫量根据不同类型非道路移动机械参考现有文献取值。

表 1 工程机械与农业机械平均排放系数(g/kg 燃料)

	PM ₁₀	PM _{2.5}	HC	NO _x	CO
工程机械	2.09	2.09	3.39	32.79	10.72
农业机械	1.74	1.74	3.37	35.04	10.94

1.2.2 船舶排放清单计算

对于船舶排放清单计算以江苏内河船舶为研究对象。根据《非道路移动源大气污染物排放清单编制技术指南(试行)》中计算方法选择流程,拟采用复杂方法进行计算。一般来说,船舶排放的估算方法大体分为基于燃料消耗的估算方法和基于船舶引擎功率的估算方法等两类,为了计算详细的、高精度的内河船舶大气排放,因此本文采用基于

船舶引擎功率的估算方法(ICF International, 2009^[15])。

主机排放量计算公式:

$$E=P \times LF \times LLAM \times T \times EF \times FCF \quad (3)$$

其中, E 为船舶主机的排放量(g); P 为船舶发动机额定功率(kw); LF 为负载因子; $LLAM$ 为低负载调整系数(当船舶运行负载低于 20% 时, 会存在因输出功率低而导致单位污染物排放强度上升的问题, 因此估算主机排放量时需对排放因子进行低负载校正); T 为持续时间(h); EF 为排放因子(g/kw*h); FCF 为燃料调整因子。

本研究结合 AIS 及签证数据进行船舶排放清单的计算, 通过实船测试获得内河船舶排放清单中船舶主机的 NO_x、PM₁₀ 与 PM_{2.5} 排放因子。对于内河船其他排放因子, 采用引用国外排放因子并校正的方式予以确定^[15-17], 内河船舶的主机绝大部分为中速柴油机, 辅机一般为高速柴油机, 对于海船, 由于其测试难度较大, 其主机、辅机以及锅炉的排放因子均引用国外排放因子并校正的方式予以确定^[17-18], 本文选取的船舶排放因子见表 2 以及表 3。

表 2 内河船舶大气污染物排放因子

动力单元	排放因子 (g/kW·h)	出港	正常航行	进港
主机	NO _x	19.89	17.23	19.46
	PM ₁₀	6.71	1.59	6.99
	PM _{2.5}	6.14	1.4	5.9
	SO ₂		11.5	
	CO		1.1	
	HC		0.5	
	CO ₂		683	
	NO _x		13	
	SO ₂		12.3	
	PM _{2.5}		1.38	
辅机	PM ₁₀		1.5	
	HC		0.4	
	CO		1.1	
	NO _x		13	
	CO ₂		683	

1.2.3 民航飞机排放清单计算

国际民航组织(ICAO)采用标准起飞着陆循环(landing and take-off operation, 即 LTO)来计算在机场范围内 1000m 以下飞机的滑行、起飞、爬升、

表 3 海船大气污染物排放因子

动力单元	排放因子(g/kW·h)	高速	中速	低速
主机	NO _x	18.1	14	12.7
	SO ₂	10.3	11.31	11.31
	PM _{2.5}	1.22	1.22	0.5
	PM ₁₀	1.5	1.5	1.5
	HC	0.6	0.5	0.2
	CO	0.5	1.1	1.1
	CO ₂	620	680	680
	NO _x	12		
	SO ₂	2.12		
	PM _{2.5}	0.29		
辅机	PM ₁₀	0.32		
	HC	0.4		
	CO	1.1		
	CO ₂	690		
	NO _x		2	
	SO ₂		5.67	
	PM _{2.5}		0.24	
	PM ₁₀		0.31	
	HC		0.1	
	CO		0.2	
锅炉	CO ₂		970	

进近着陆等阶段的 CO、HC 和 NO_x 排放问题。一个理想的 LTO 循环由四个工作状态组成: 进近(approach)、滑行(taxi in)、起飞(take-off)和爬升(climb out)(定义为起飞结束到飞机冲出大气边界层)。一个标准的 LTO 循环时间为: 进近时间 4 min, 滑行时间 2.6 min, 起飞时间 0.7 min, 爬升时间 2.2 min^[11]。

对于民航飞机排放量, 计算方法参考《非道路移动源大气污染物排放清单编制技术指南(试行)征求意见稿》中的方法, 一氧化碳(CO)、氮氧化物(NO_x)、碳氢化合物(HC)、总颗粒物(PM)和细颗粒物(PM_{2.5})排放量基于 LTO 计算, 方法如公式(4)所示:

$$E=(C_{LTO} \times EF) \times 10^{-6} \quad (4)$$

式中: E —民航飞机污染物排放量, 吨; C_{LTO} —民航飞机起飞着陆循环次数, 次; EF —民航飞机起飞着陆循环时的排放因子, 千克/LTO。

在评估硫排放时, 通常假定燃油中的硫在燃烧过程中全部与氧结合产生 SO₂。因此, SO₂ 排放根据燃油中硫含量计算。本研究中根据夏卿等研究建立的飞机每周 LTO 循环次数与 SO₂ 污染气

表 4 江苏省各机场起降架次及 LTO 循环次数

机场	起降架次(次)	C _{LTO} (次)
南京/禄口	14 4278	72139
无锡/硕放	35 781	17890
常州/奔牛	22 438	11219
徐州/观音	31 400	15700
南通/兴东	26 104	13052
扬州/泰州	22 956	11478
连云港/白塔埠	6 978	3489
盐城/南洋	5 536	2768
淮安/涟水	10 546	5273

体排放量的函数关系^[1],如式(5)所示,通过每周 LTO 循环次数计算年排放清单。

SO₂ 与 LTO 循环数的函数关系:

$$y=0.9722x-23.3 \quad R_2=0.9864 \quad (5)$$

表 5 基于 LTO 方法的民航机场 SO₂ 周排放量(kg/周)

机场	C _{LTO} (次/周)	SO ₂ (kg/周)
南京/禄口	1 387	1325.42
无锡/硕放	344	311.18
常州/奔牛	216	186.45
徐州/观音	302	270.23
南通/兴东	251	220.72
扬州/泰州	221	191.29
连云港/白塔埠	67	41.93
盐城/南洋	53	28.45
淮安/涟水	101	75.28

2.2.4 铁路内燃机车排放清单计算

对于铁路内燃机车排放量,拟参考《非道路移动源大气污染物排放清单编制技术指南(试行)》推荐方法,基于燃料消耗量计算,一氧化碳(CO)、氮氧化物(NO_x)、碳氢化合物(HC)、总颗粒物(PM)和细颗粒物(PM_{2.5})排放量估算公式采用公式(1),平均排放因子参考《指南》。计算方法见公式(6):

$$E=(Y_{\text{铁路}} \times EF) \times 10^{-6} \quad (6)$$

式中: E -铁路内燃机车排放量,t; Y -铁路内燃机车柴油消耗量,kg; EF -铁路内燃机车排放因子,g/kg-燃料。

表 6 铁路内燃机车排放系数(g/kg 燃料)

	PM ₁₀	PM _{2.5}	HC	NO _x	CO
铁路内燃机车	2.07	1.97	3.11	55.73	8.29

考虑到统计部门未公开铁路内燃机车燃油消耗量,根据《非道路移动源大气污染物排放清单编制技术指南(试行)》推荐方法,通过客货周转量计算。因目前仅能获取江苏省铁路运输客运货运周转量,无法获得江苏省货运铁路机车合计日产量、货运铁路内燃机车日产量、货运铁路电力机车日产量等数据。因此,本项目中采取如下方法:

货运铁路内燃机车燃油消耗量计算,江苏省目前仍运行内燃铁路机车的仅宁启、宁芜、新长等线路,本项目中仅计算上述三条线路大气污染物排放量。货运铁路内燃机车油耗量计算,根据宁启、宁芜、新长三条铁路线路货运周转量计算。

$$Y_{\text{货}}=Z_{\text{货}} \times E_{\text{内燃机车}} \quad (7)$$

式中: $Y_{\text{货}}$ -货运铁路内燃机车燃油消耗量,万吨; $Z_{\text{货}}$ -铁路内燃机车货运周转量,万吨公里; $E_{\text{内燃机车}}$ -每万吨公里耗油量,采用《中国交通年鉴》中数据,取 27.2 kg/万吨公里。

表 7 2015 年江苏铁路内燃机车货物周转量及燃油消耗量

线路	货物周转量	折算燃油消耗量
	万吨公里	吨
宁启	183 180	4982.5
宁芜	46 400	1262.1
新长	342 300	9310.6
合计	571 880	15555.2

客运铁路内燃机车油耗量计算,由于可以获取上述三条线路客运车次,可根据内燃机车运行工况及时间(表 7)计算油耗量;据内燃机车燃油消耗和速度关系表(kg/min),查出相应的单位时间平均耗油量,根据列车运行时间计算耗油量。

表 8 2015 年度江苏铁路内燃机车客运各工况运行时间 (h/a)

铁路线路	总运行时间	牵引运行时间	制动运行时间	惰行时间
宁启铁路	22 323	2 871	870	18 582
宁芜铁路	12 848	1 652	501	10 695
新长铁路	29 711	3 821	1 158	24 732

表 9 2015 年度江苏省铁路内燃机车客运燃油消耗量

线路	宁启铁路	宁芜铁路	新长铁路	合计
燃油消耗量(t)	2477.6	1426.0	3297.6	7201.1

二氧化硫(SO₂)排放的估算采用公式(2),其中燃油的含硫率参考文献进行取值^[4],其中燃油的含硫率取 0.5 %。

2 江苏省非道路移动源大气污染物排放清单及排放特征

2.1 江苏省非道路移动污染源排放清单

对 2015 年度江苏省各非道路移动源大气污染物排放量进行计算,结果如表 10 所示,2015 年度江苏省非道路移动源(包括建筑行业工程机械、农业机械、内河船舶、民航飞机以及铁路内燃机车)PM₁₀、PM_{2.5}、HC、NO_x、CO、SO₂ 等污染物排放总量分别为 23 878.3 t、18 925.8 t、21 673.6 t、430 193.9 t、62 846.0 t、56 741.9 t。

2.2 各类非道路移动源污染物排放贡献率

各非道路移动源,包括建筑行业工程机械、农业机械、内河船舶、民航飞机以及铁路内燃机车等,污染物排放量占非道路移动源排放总量的比例如图 1 所示。



图 1 2015 年江苏省各非道路移动源大气污染物排放量占比

内河船舶各类污染物排放量均为非道路移动源污染物排放量之首,占总排放量比例 51.9%~88.5%。本项目中工程机械因无法获取相关活动水平数据,通过建筑行业柴油消耗量计算而得,因此较全省工程机械实际排放量偏低。工程机械、农业机械以及内河船舶三类非道路移动源排放量占总排放量比例达到 95% 以上。工程机械、农业机械以及内河船舶应该成为非道路移动源大气污染排放控制的重点。

表 10 2015 年度江苏省各非道路移动源大气污染排放清单

非道路移动源	PM ₁₀	PM _{2.5}	HC	NO _x	CO	SO ₂
工程机械	541.1	541.1	877.7	8489.3	2775.4	1035.6
农业机械	1763.2	1763.2	3415.0	35508.0	11086.1	4053.4
船舶	10997.5	8220.3	6369.5	187072.7	16679.4	51285.2
民航飞机	82.6	81.1	410.1	2492.5	1398.5	137.9
铁路内燃机车	47.1	44.8	70.8	1268.2	188.7	229.9
合计	13431.5	10650.5	11143.1	234830.7	32128.1	56741.9

2.3 非道路移动源对全省大气污染物排放的贡献

根据 2015 年江苏省环境质量公报,全省废气中二氧化硫排放总量 90.47 万 t,氮氧化物排放总量 123.26 万 t,烟(粉)尘排放总量 76.37 万 t。非道路移动源排放量占全省废气污染物排放量比例如图 2 所示。

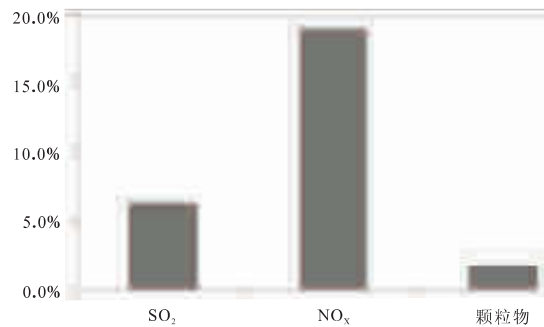


图 2 2015 年江苏省非道路移动源典型大气污染物排放量占全省排放总量比例

2015 年,江苏省非道路移动源排放的二氧化硫、氮氧化物以及颗粒物(PM₁₀)分别占全省废气中污染物排放量的 6.3%、19.0%、1.8%。非道路移动源的氮氧化物排放对全省大气污染物排放贡献最大。然而,因本项目中工程机械仅考虑了建筑行业,全省非道路移动源大气污染物排放总量比实际偏小,因此有必要在获取工程机械完整信息后,对非道路移动源的排放清单进行更深入的计算。

根据 2015 年江苏省环境质量公报,全省机动车氮氧化物及颗粒物排放量分别为 33.7 万 t、2.47 万 t。非道路移动源氮氧化物及颗粒物排放(PM₁₀)与机动车排放量对比如图 3 所示。

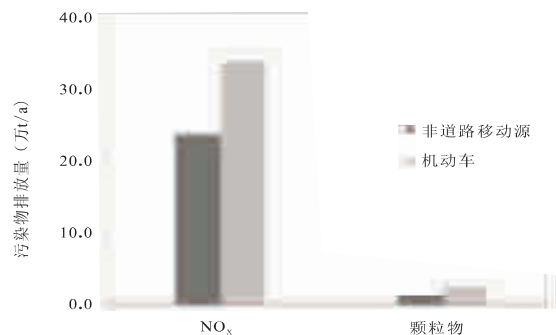


图 3 2015 年江苏省非道路移动源与机动车氮氧化物及颗粒物排放量

与机动车相比,2015 年度江苏省非道路移动源颗粒物(PM₁₀)以及氮氧化物排放总量均较少,

颗粒物(PM₁₀)以及氮氧化物排放总量分别比机动车排放量少 45.7 %、30.4 %。

3 结论

本文基于文献资料调研、问卷调查、管理部门调研、随船实测等多种方法,以江苏省非道路移动污染源为研究对象,建立以 2015 年为基准年的江苏省非道路移动源大气污染物排放清单并分析了其排放特征,主要结论如下:

2015 年度江苏省非道路移动源(包括建筑行业工程机械、农业机械、内河船舶、民航飞机以及铁路内燃机车)PM₁₀、PM_{2.5}、HC、NO_x、CO、SO₂等污染物排放总量分别为 23 878.3 t、18 925.8 t、21 673.6 t、430 193.9 t、62 846.0 t、112 403.5 t。

各非道路移动源中,内河船舶各类污染物排放量均为非道路移动源污染物排放量之首,占总排放量比例 51.9 %~90.4 %。工程机械、农业机械以及内河船舶三类非道路移动源排放量占总排放量比例达到 95 %以上。工程机械、农业机械以及内河船舶应该成为非道路移动源大气污染排放控制的重点。

非道路移动源大气污染物排放特征,2015 年,江苏省非道路移动源排放的二氧化硫、氮氧化物以及颗粒物(PM₁₀)分别占全省废气中污染物排放量的 6.3 %、19.0 %、1.8 %。与机动车相比,2015 年度江苏省非道路移动源颗粒物(PM₁₀)以及氮氧化物排放总量均较少,其颗粒物(PM₁₀)以及氮氧化物排放总量比非道路移动源分别多排放 84.2 %、43.7 %。

参考文献

- [1]傅立新,程玲琳,粘桂莲,等.移动污染源大气环境影响报告[R].北京:清华大学环境工程系,2005,57-93.
- [2]张楚莹,王书肖,邢佳,等.中国能源相关的氮氧化物排放现状与发展趋势分析[J].环境科学学报,2008,28(12):2470-2479.
- [3]张强,霍红,贺克斌.中国人为源颗粒物排放模型及 2001 年排放清单估算[J].自然科学进展,2006,16(2):223-231.
- [4]张礼俊,郑君瑜,尹沙沙,等.珠江三角洲非道路移动源排放清单开发[J].环境科学,2010,31(4):86-91.
- [5]Zheng J,Zhang L,Che W,et al.A highly resolved temporal and spatial air pollutant emission inventory for the Pearl River Delta region, China and its uncertainty assessment [J].Atmospheric Environment, 2009,43(32):5112-5122.
- [6]隗潇.京津冀非道路移动源排放清单的建立[C].中国环境科学学会 2013 年学术年会论文集,2013:1631-1637.
- [7]金陶胜,陈东,付雪梅,等.基于油耗调查的 2010 年天津市农业机械排放研究[J].中国环境科学,2015 (8):2148-2152.
- [8]樊守彬,聂磊,阚睿斌,等.基于燃油消耗的北京农用机械排放清单建立[J].安全与环境学报,2011,11(1):145-148.
- [9]徐雨晴,何吉成,王长科,等.33 年来中国铁路运输行业的大气污染物排放[J].环境科学,2011,32(5):1217-1223.
- [10]李东玲,吴烨,周昱,等.我国典型工程机械燃油消耗量及排放清单研究[J].环境科学,2012,33(2):518-524.
- [11]夏卿,左洪福.中国民航机场飞机起飞着陆(LTO)循环排放量估算[J].环境科学学报,2008,28(7):1469-1474.
- [12]Hong Kong Environmental Protection Department (HKEPD), 2012 Hong Kong Emission Inventory Report, Hong Kong SAR Government, March 2015. www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/air/data/files/2012HKEIRReport_eng.pdf.
- [13]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,2012,5:57-63.
- [14]叶斯琪,郑君瑜,潘月云,等.广东省船舶排放源清单及时空分布特征研究[J].环境科学学报,2015,34(3):537-547.
- [15]ICF International.2009.Current Methodologies in Preparing Mobile Source Port Related Emission Inventories [R].09-024.United States:ICF International.
- [16]Jakab G J,Risby T H,Hemenway D R.Use of physical chemistry and in vivo exposure to investigate the toxicity of formaldehyde bound to carbonaceous particles in the murine lung [J].Research report (Health Effects Institute),1992 (53):1-39,discussion 41-9.
- [17]Hong Kong Environmental Protection Department (HKEPD), Study on Marine Vessels Emission Inventory, Hong Kong SAR Government, March 2015.
- [18]宋亚楠.内河和近海船舶排放特征及排放清单研究[D].北京理工大学,2015,47-49.
- [19]Goldsworthy, L.; Goldsworthy, B. Modelling of ship engine exhaust emissions in ports and extensive coastal waters based on terrestrial AIS data - an Australian case study. Environmental Modelling & Software. 2015, 63:45-60.