

文章编号:1005-0523(2014)03-0012-06

港口作业机械大气污染物排放研究

贾旭,封学军,蒋柳鹏

(河海大学港口海岸与近海工程学院,江苏 南京 210098)

摘要:建立详细的大气污染物排放清单是港口企业实现精细化管理的基础,但目前有关大气污染物排放计算的研究还不充分。本文通过对大气污染物排放的计算方法分析,经过实地调研,选取本地化的污染物排放因子,采用燃料消耗法,对2013年龙潭集装箱港区主要大气污染物 NO_x 、VOCs、CO、 SO_x 和PM10的排放量进行计算,得出龙潭集装箱港口作业机械大气污染物排放清单,以此分析南京龙潭集装箱港节能减排潜力,并提出相应的改进措施。

关键词:港口作业机械;大气污染物;排放清单;龙潭集装箱港

中图分类号:U691.1;X511

文献标志码:A

随着世界经济贸易的发展,港口作为供应链的重要环节,已经从当初单纯的货物中转站转变为促进和支撑地区发展的强大引擎。不过随着港口业务的增长,港区环境问题进一步凸显,近年来大气污染日益成为社会的焦点问题,雾霾天气日益频繁,一度笼罩我国近1/7的国土。2008年,全国非道路机械柴油消耗量占全社会柴油消耗量的48.9%^[1],由此产生的大气污染物排放量也占有相当的比重。港口作业机械众多,在非道路机械中占有一定的比重,其节能减排工作也面临着巨大的压力。为缓解港口发展与环境之间的矛盾,国内外已经开始采取相应的措施。洛杉矶港与长滩港早在2006年就参加了“圣佩德罗湾港口空气清洁行动计划(CAAP)”,并在2010年港口空气清洁行动计划中提出了更新(2010 CAAP Update),该计划采取了一系列港口空气治理措施,取得了积极的成效;荷兰鹿特丹港实施的“里吉蒙地区空气质量行动项目”,大大改善了鹿特丹地区的空气质量^[2-3]。

目前,国内对于港口作业机械大气污染物排放计算方法的研究还处于起步阶段。谭华等^[4]结合上海港各类港口作业机械现状调研结果,对港口作业机械污染物排放计算方法进行了上海本地化校正,建立了2010年上海港港口作业机械大气污染物排放清单,并提出港口大气污染排放计算方法的思路;金圣陶等^[5]采用基于燃油消耗法,对2006年天津港运输船舶排放的 NO_x 、VOCs、CO和PM10进行了计算,建立了天津港船舶大气污染排放清单,为加强排放控制和制定相关法规提供了依据;张礼俊等^[6]采用适当的估算方法和排放因子,建立了2006年珠江三角洲非道路移动源排放清单,为决策者制订合理的大气污染控制措施以及研究者利用空气质量模型评价空气污染控制策略提供了依据和参考;隗潇^[7]在京津冀地区非道路移动源排放清单中,将排放清单数据网格化,并对结果进行了定性的不确定分析,补充和完善了京津冀地区的排放源编制工作;高晓月等^[8]从低碳经济的角度出发,对内河集装箱运输中产生的VOCs、CO和 CO_2 进行了经济效益和社会效益的分析。

1 港口大气污染物排放源分析

在港口各项作业环节中,各种作业机械在货物装卸过程中会排放或泄漏出不同的大气污染物,具体如

收稿日期:2014-03-31

作者简介:贾旭(1988—),男,研究生,研究方向为港口节能减排;封学军(1975—),男,教授,硕士生导师,从事绿色港口与水运经济方向研究。

下:① 港口集装箱运输车和进出港船舶的尾气排放,产生 NO_x , VOCs , CO_x , SO_x 等有毒有害污染物;② 港口作业机械(非道路机械)的动力——柴油机的废气排放,有毒有害污染物主要包括 NO_x , VOCs , CO_x , SO_x 和烟尘等;③ 散装货物在港口装卸、转运和运输过程中会产生粉尘。

根据上海环境监测中心的研究表明,集装箱港口作业过程中的排放污染量最大,占有港口类型污染物总量的56%^[4]。集装箱码头作业区大气污染物排放源众多,集装箱装卸和运输过程中涉及的港口作业机械是主要的其中之一,具体包含:装卸桥、轮胎式起重机、牵引车挂车、正面吊等。港区大气污染物种类繁多,本文研究的对象涵盖了港区主要的大气污染物,具体包括 NO_x , VOCs , CO , SO_x 和 PM_{10} 。

港口作业机械主要能源有燃油和电力,由于电力消耗不直接产生污染物排放,所以本文仅考虑燃油港口作业机械的污染排放。

2 估算方法与排放因子研究

2.1 功率法

目前非道路机械排放量的估算,国外多采用美国环保署开发的NONROAD模型。功率法以此模型为基础,综合考虑发动机功率以及年活动水平等综合因素,得出非道路机械的具体排放量。此方法需要大量的统计资料,而在国内如此详细的统计资料还不够完善,计算有一定的难度。具体排放计算公式如下^[9]:

$$E = \sum [Pop_{i,j,k,l} Power_{i,j,k,l} LF_{i,j,k,l} A_{i,j,k,l} (EF_{adj})_{i,j,k,l}] \quad (1)$$

式中: E 为污染物排放量; Pop 为机械的保有量; $Power$ 为发动机功率,kW; LF 为发动机负荷因子,即发动机平均实用功率与额定功率的比值; A 为年活动水平,h; EF_{adj} 为综合排放因子, $\text{g} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$; $i, j, k, l = 1, 2, 3, \dots$,分别代表非道路移动机械类型、燃料类型、发动机功率水平类型和机龄类型。

2.2 燃油消耗法

燃油消耗法是忽略不同机械的不同功率、使用时间、劣化系数等不同的工况因子,运用现有文献的统计资料,结合实际作业水平选取合理的修正因子,归纳总结各污染物的排放因子,利用各机械的燃油消耗量得出大气污染物的排放量。主要大气污染物 NO_x , VOCs , CO , SO_x 和 PM_{10} 的排放量计算公式具体如下:

$$I_{ij} = CF_{ij} EF_{ij} C_j \times 10^{-6} \quad (2)$$

式中: I 为排放量, $\text{t} \cdot \text{year}^{-1}$; CF 为修正因子; EF 为排放因子, $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; C 为燃油消耗量, $\text{L} \cdot \text{year}^{-1}$; i, j 分别为污染物类型和港口作业机械类型。

修正因子的概念是考虑港口作业机械的功率、使用时间等因素的不同,采取合理的校正系数以期达到计算的准确性。综合上述两种计算方法的特点,并考虑到资料数据的完整性不足,本文采取燃油消耗法对排放清单进行计算和分析,且文中修正因子数值选取为1。

2.3 排放因子的选择

目前国内关于非道路机械柴油内燃机排放因子的研究还相对缺乏,机械的具体排放因子选择具有一定的难度,本文总结相关文献的成果^[10-12],并根据南京龙潭集装箱港的作业流程和作业水平,将排放因子本地化,选取 NO_x , VOCs , CO , SO_x 和 PM_{10} 的排放因子,具体如表1。

表1 港口机械柴油机污染物排放因子

Tab.1 The pollutant emission factors of port mechanical diesel engine					$\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
参数	污染物种类				
	NO_x	VOCs	CO	PM_{10}	SO_x
排放因子	43.36	6.69	35.83	5.43	3.28

3 实例分析

3.1 龙潭集装箱港概况

经过对龙潭集装箱码头的实地调研,总结其作业流程具体如下:当集装箱船靠泊码头后,由装卸桥将集装箱从船上抓起并将其放在等候的牵引车上,由牵引车将其运往后方堆场,最终由轮胎式龙门起重机或正面吊堆放到指定位置。由此可知,龙潭集装箱港的主要作业机械包括装卸桥、牵引车、轮胎式龙门起重机和正面吊等。作业流程如图1所示。

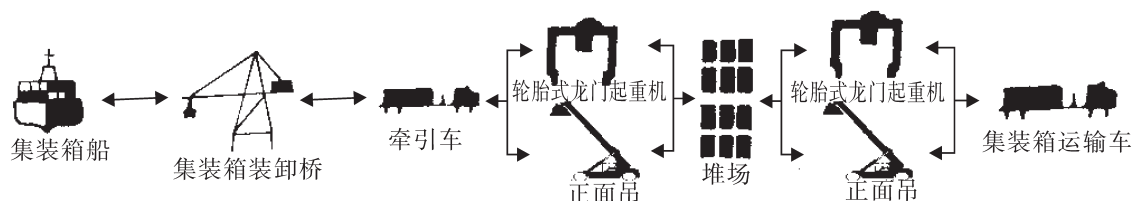


图1 龙潭集装箱港作业流程

Fig. 1 The operation process of Longtan Container Port

统计数据包含龙潭集装箱港各项作业机械的柴油消耗情况,汇总知2013年港口的总耗柴油量为4 572.77 t。主要的油耗机械为集装箱装卸车、拖车、正面吊、轮胎式龙门起重机和叉车,其总的耗油量占港口作业机械油量的98.7%,其中集装箱装卸桥耗油量为3 128.66 t,占总作业机械的68.4%,为港口能耗和排放的量来源。详细的作业机械的耗油量见表2。

3.2 结果分析

3.2.1 港口作业机械主要大气污染物排放清单

结合南京龙潭集装箱港的数据类型,本文采用燃油消耗法对龙潭集装箱港口2013年的主要大气污染物排放量进行计算。2013年南京龙潭集装箱港码头作业机械排放 NO_x 共为230.0 t, VOCs 为35.49 t, CO 为190.05 t, PM_{10} 共为28.80 t, SO_x 为17.40 t。由计算结果知, NO_x 和 CO 是港口作业机械排放的主要污染气体,而 SO_x 的排放量比其他污染物相对较小。主要污染物所占比重见图2,港口各作业机械大气污染物排放清单见表3。

3.2.2 各作业机械排放情况分析

根据对港口各作业机械排放量的计算结果可知,集装箱装卸桥是港口大气污染物排放的主要来源,总的污染物排放量达343.28 t。另外轮胎式龙门起重机虽然数量众多(占总机械数量的50%以上),但其排放量仅占总排放量的4.4%,其原因是龙潭集装箱港堆场的“油改电”项目开展的比较彻底,节能减排效果显著。港口各作业机械的污染物排放量比重详见图3。

表2 龙潭集装箱港2013年港口机械耗油量
Tab.2 The diesel consumption of cargo handling equipment in Longtan Container Port in 2013

机械种类	耗油总量/t	比例/%
装卸桥	3 128.66	68.42
拖车	746.71	16.33
正面吊	128.92	2.82
轮胎式龙门起重机	202.03	4.42
叉车	308.42	6.74
其他	58.04	1.27

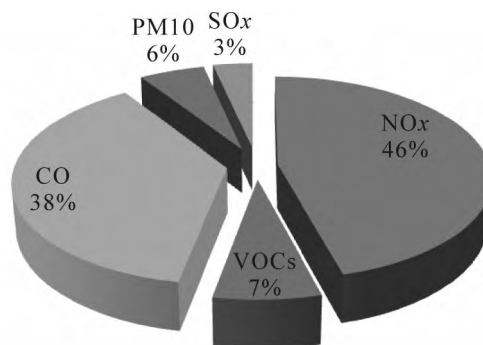


图2 主要污染物所占比重

Fig.2 The proportion of main pollutant emissions

表3 港口各作业机械大气污染物排放清单

Tab.3 The air pollutant list of different cargo handling equipments

污染物	装卸桥	拖车	正面吊	轮胎式龙门起重机	叉车	其他
NO _x	157.36	37.56	6.48	10.16	15.51	2.92
VOCs	24.28	5.79	1.00	1.57	2.39	0.45
CO	130.03	31.03	5.36	8.40	12.82	2.41
PM ₁₀	19.71	4.70	0.81	1.27	1.94	0.37
SO _x	11.90	2.84	0.49	0.77	1.17	0.22

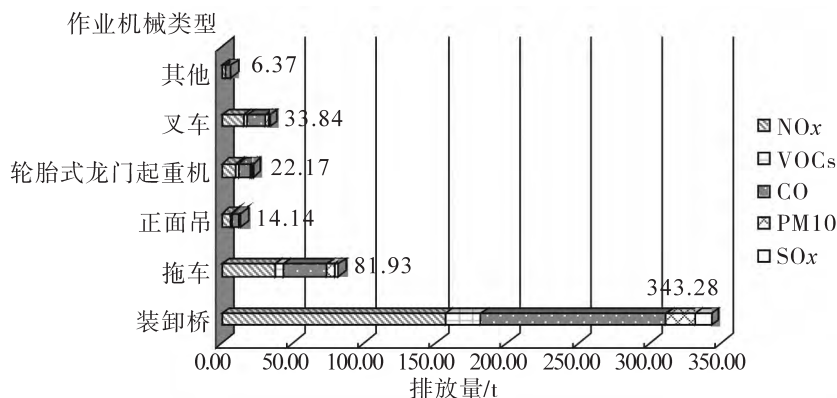


图3 港口各作业机械的污染物排放量

Fig. 3 The pollutant emissions of different cargo handling equipments

3.2.3 各大气污染物排放情况

由港区作业机械的排放清单可知,CO和NO_x是港区排放量最大的污染物气体,占总排放量的84%,CO主要是柴油在机械发动机内燃烧不完全产生的,而NO_x主要由柴油与空气的复杂反应产生的,大部分来源于空气,这两种气体排放量的大小主要取决于柴油发动机自身的工况。SO_x的排放量直接取决于柴油的含硫量,排放量虽然很少,但污染后果相对严重,仍是减排的重点。港区不同污染物排放量见图4。

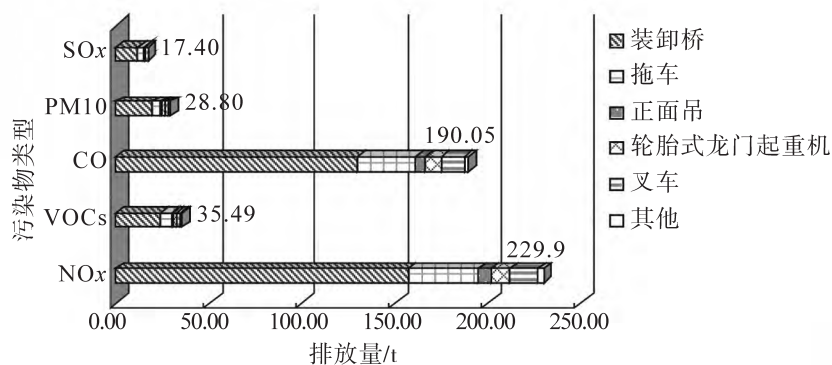


图4 港区不同污染物排放量

Fig.4 The emissions of different air pollutants

4 措施和建议

由排放清单的计算可知,柴油仍是龙潭集装箱港作业机械主要的动力来源,电力等清洁能源在能源结构中的比例相对较低。另外港区水平运输过程存在一定的空载率,且在能耗管理系统中缺少有关排放的

实时监测体系,信息化程度有待进一步提升。针对龙潭集装箱港节能减排工作中存在的问题,本文给出如下措施建议。

4.1 优化能源结构

港口能源消费结构对港口污染物排放具有直接的影响。轮胎式龙门起重机由柴油驱动改为电力驱动,具有很大的社会和经济效益。根据龙潭集装箱港的统计数据得知,“油改电”能有效降低成本约40%,减少排放70%~80%。鼓励港口企业进一步深化轮胎式龙门起重机和集装箱装卸桥“油改电”,是当前港口节能减排行之有效的方法之一。水平运输车辆“油改气”,减少水平运输机械的柴油消耗量,可大幅度减少车辆大气污染物 NO_x 和 SO_x 的排放,节能减排和环保效益非常显著。在港口照明系统中,增加太阳能LED灯、风光互补灯等清洁能源设施的使用。增加清洁能源在港口作业中的使用比例,合理改善港口能源消费结构,是港口节能减排工作的重点。

4.2 提升港口生产管理的信息化和智能化

目前港口生产中,人、机、货等资源配置日益复杂,港口生产组织管理对信息的时效性提出了更高的要求。实时获取港口生产中的有效信息,利用信息技术和智能化技术来辅助港口生产的管理,有效减少港口作业机械空载率,可以迅速提高港口生产的作业效率,降低无谓环节的能耗。目前国内大部分专业化集装箱码头和专业化散货码头都已采用了智能化管理系统,并取得了良好的效果。提升港口生产作业的信息化和智能化水平,是港口降低空载率、提高生产效率、降低能耗、减少排放的有效方法。

4.3 完善港口能源管理体系

能源管理对港口节能减排的影响是多方面的,包括建立完善的港口能源管理体系,如设立能源管理机构,配置能源管理人员,制定能源管理制度,确立节能减排目标,加强节能培训,提高操作人员技术水平,配置能源计量器具,做好能源消耗统计,进行能耗定额考核,并定期对企业能源情况进行审计,对耗能设备监测等。这些都是实施能源管理行之有效的手段。能源管理贯穿港口运营的全过程,对节能减排发挥着重要作用。

4.4 建立港口能耗与排放的实时监测系统

建立港口能耗与排放的实时监测系统,统计任意时段的油耗、里程、作业量,计算出每公里或每吨的油耗费用,对统计监测数据进行采集分析,形成涵盖油耗、发动机功率、工作状态等不同工况因子的数据库,建立本地化的不同工况的能源消耗与排放的模型,并将油料消耗与作业量有效结合,制订更为合理的作业机械调配及调度机制,精确成本,推动节能降耗。通过对油耗数据的实时监控,采取相应的辅助措施如节油奖励、加装超时怠速机械自行熄火装置等,可有效提升司机绿色驾驶的能力,降低燃油消耗。港口能耗与排放的实时监测系统会进一步促进港口精细化运营的程度,为港口节能减排工作提供精确的解决方案。

5 结论

通过对港口作业机械进行精细分类,结合龙潭集装箱港的实际生产情况,选取主要大气污染物 NO_x , VOCs, CO, SO_x 和PM10的排放因子分别为43.36, 6.69, 35.83, 3.28 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 和5.43 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,运用燃油消耗法得出2013年龙潭集装箱港的具体排放清单。总的大气污染物排放量为501.73 t,其中 NO_x , CO和 SO_x 为主要的空气污染物,其排放量分别为229.9, 190.5 t和17.4 t。集装箱装卸桥是港区主要的大气污染物排放源,其排放量占总排放量的84%。

参考文献:

- [1] 中国环境科学研究院. 环境污染物排放关键技术标准研制[R]. 北京: 中国环境科学研究院, 2010: 236-237.
- [2] INTERNATIONAL ASSOCIATION OF PORTS AND HARBORS. Tool box for port clean air programs [EB/OL]. (2007-12-11) [2008-07-04]. <http://www.iaphworldports.org/toolbox%201/toolbox%201/htm/>.
- [3] 吕航. 美国的绿色港口之路[J]. 中国船检, 2005(8): 42-44.
- [4] 谭华, 刘娟, 沈寅, 等. 码头港作机械大气污染物排放清单研究[J]. 环境科学与管理, 2013(6): 82-88.
- [5] 金圣陶, 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.
- [6] 张礼俊, 郑君渝, 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): 886-891.
- [7] 隗潇. 京津冀非道路移动源排放清单的建立[C]//北京: 中国环境科学学会, 2013: 1631-1637.
- [8] 高晓月, 封学军. 基于低碳经济的内河集装箱运输效益分析[J]. 华东交通大学学报, 2013, 30(4): 54-58.
- [9] U S ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Median life, annual activity, and load factor values for nonroad engine emissions modeling, EPA-420-R-10-016[R]. NW Washington, DC: United States Environmental Protection Agency, 2010.
- [10] JAMES LENTS, MICHAEL WALSH, KEBIN HE, et al. Estimating emissions from sources of air pollution[R]. 2010.
- [11] 傅立新. 移动污染源大气环境影响研究报告[R]. 北京: 清华大学环境工程系, 2005: 57-93.
- [12] 交通运输部水运科学研究所. JTS/T 105-4-2013, 绿色港口等级评定标准[S]. 北京: 人民交通出版社, 2013.

Research of Air Pollutants from Cargo Handling Equipments

Jia Xu, Feng Xuejun, Jiang Liupeng

(College of Harbor, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: A detailed list of air pollutant emission is the foundation for realizing port enterprises' fine management, and there has not been adequate research on the air pollutant discharge calculation so far. This paper, based on the field investigation in Longtan Container Port and the calculation method of air pollutant emission, selects localized pollutant emission factors and uses fuel consumption method to calculate the emission value of main air pollutants, such as NO_x, VOCs, CO, SO_x and PM₁₀, thus producing a detailed list of air pollutant emission from cargo handling equipments in Longtan Container Port in 2013. According to the list, some measures and suggestions are proposed to promote the energy conservation and emission reduction in Nanjing Longtan Container Port.

Key words: cargo handling equipments; air pollutants; emission list; Longtan Container Port