

机场地勤设备污染物排放测算

李源¹, 盖永田^{2,3}, 滕帅^{2,3}, 李园^{2,3}, 丁子文^{2,3}, 张伟^{1*}

1. 山东省机动车排气污染监控中心, 山东 济南 250102;

2. 中国重型汽车集团有限公司, 山东 济南 250101;

3. 济南汽车检测中心有限公司, 山东 济南 250101

摘要:为降低机场地勤设备的污染物排放,以某国际机场为研究对象,统计地勤设备的类别及数量,根据地勤设备的实时运行数据确定排放测算的关键参数,计算各类地勤设备的5种污染物排放。结果表明:该机场的地勤设备中,机场小火车(行李车)、传送带车、航餐车、除冰车、飞机牵引车、跑道维护车、地勤代步车的CO、HC、NO_x、PM_{2.5}、PM₁₀排在总排放中的占比分别为78.0%、79.9%、76.4%、79.1%、78.7%。上述车型是机场主要排放源,是推进节能减排的关键。在各类设备中,机场小火车(行李车)由于数量较多,且仍有不少国二排放标准的车辆,因而其各类污染物排放均较高,应通过设备升级降低排放,有效减少该机场的污染物排放。

关键词:机场地勤设备;大气污染物;测算方法;排放

中图分类号:X734.2

文献标志码:A

文章编号:1673-6397(2025)05-0027-05

引用格式:李源,盖永田,滕帅,等.机场地勤设备污染物排放测算[J].内燃机与动力装置,2025,42(5):27-31.

LI Yuan, GAI Yongtian, TENG Shuai, et al. Measurement of pollutant emissions of airport support equipment[J]. Internal Combustion Engine & Powerplant, 2025,42(5):27-31.

0 引言

航空运输是全球交通运输系统的重要组成部分,它不仅有力推动了国际经济贸易的发展,还为全球人员往来与货物流通提供高效保障。我国航空运输业持续快速发展,空运规模始终位居世界前列。机场是航空运输网络的关键节点,随着机场地勤设备数量和种类的激增^[1],由此带来的污染物排放和空气污染问题日益凸显。地勤设备在运行过程中排放大量颗粒物(particulate matter, PM)、NO_x、CO、HC等污染物,污染机场周边环境,威胁地勤人员及周边居民的健康^[2]。随着我国双碳目标的提出,对机场减排提出了更高要求,亟需量化地勤设备的排放特征,为其减排提供科学依据^[3]。

目前,我国对排放清单的研究多集中在城市和港口,在航空领域,对排放的分析主要聚焦于飞机的燃料燃烧排放,即航油排放,却相对忽视了地勤设备等非航油排放源的危害。Abolhasani等^[4]通过便携式排放测量系统(portable emission measurement system, PEMS)对不同运行工况下挖掘机的排放进行了测量和对比。Vlachos等^[5]通过研究提出:随着排放标准越来越严格,PEMS也应做出相应的技术调整,并根据PEMS测量结果对当前排放标准的测试循环进行了优化。Desouza等^[6]使用PEMS对伦敦非道路机械的NO_x排放进行了估算,确定非道路机械的排放系数约为4.88 g/(kW·h)。Desouza等^[7]调查发现2018年伦敦非道路移动源NO_x排放为1 294 t,较2016年减少了约50%,并在调研的基础上提出了一种计算伦

收稿日期:2025-08-18

第一作者简介:李源(1983—),男,山东德州人,工学硕士,高级工程师,主要研究方向为移动源污染防治技术及政策, E-mail:568788550@qq.com。

***通信作者简介:**张伟(1988—),男,山东滨州人,工程师,主要研究方向为移动源污染防治管理政策, E-mail:sdsjdczx@163.com。

敦非道路移动机械排放清单的新方法。李东玲等^[8]通过调查分析我国典型工程机械的保有量构成、活动水平、实际燃油消耗率和排放因子等相关参数,基于 NONROAD 模型估算了中国工程机械的燃油消耗率、功率等参数,利用台架测量数据得到了工程车辆各类大气污染物的比排放。孙世达等^[9]开发了基于车辆行驶里程和使用年限的关联模型,通过三级分类体系(车辆类型-燃料种类-排放标准)获取年均行驶里程并建立排放清单,发现年均行驶里程的本地化与精细化可以极大降低行驶里程不确定性对排放清单准确性的影响。王虹宇等^[10]根据调研收集到的 2022 年河北省非道路移动源活动数据,估算了大气污染物排放,并建立了河北省非道路移动源排放清单,发现河北省主要非道路污染源为农业机械和铁路机车。于敬磊等^[11]应用 EDMS 模型建立了机场地面车辆大气污染物排放清单,并结合全国机场飞行区内的地面车辆普查结果,对机场地面车辆大气污染物排放进行了分析及计算。

尽管有少数研究人员通过 PEMS 设备对机场地勤设备的排放特性进行了研究,然而机场地勤设备种类繁多,排放水平差异大,已有的研究尚未完全揭示机场地勤设备的排放特性。本文中围绕机场地勤设备的排放测算方法进行研究,并以某国际机场为实证对象,量化该机场各类型地勤设备的 CO、NO_x、HC、PM 排放,以期对机场地勤设备减排政策制订和排放清单编制提供数据支撑,从而改善机场周围环境,助力机场的可持续发展。

1 机场地勤设备分类及排放计算方法

1.1 地勤设备的分类

机场地勤设备是机场内用于保障航空器地面运行、旅客服务、货物装卸以及机场日常运营的各种专用机械和车辆的总称,其主要作用为:缩短航班过站时间,提高机场吞吐量;准确引导飞机地面移动,确保机场交通安全有序;为乘客登机行李托运等提供支持。作为航班地面保障的核心组成部分,这些设备覆盖从航空器入位至离港的全流程,对确保机场的安全、高效运行至关重要。

依据用途可将机场地勤设备分为飞机引导车、传送带车、升降台车、机场小火车(行李车)、地面电源车、地面空调车、地面气源车、污水车、清水车、航油车(罐式/泵式)、航餐车、除冰车、飞机牵引车、驱鸟车、机场消防车、跑道维护车(含施工类)、地勤代步车、地勤巴车等 18 类,类别编号依次为 1~18。依据设备实际使用过程的特点,可将机场地勤设备分为道路地勤车辆和非道路地勤车辆。

1.2 排放计算方法

根据文献[12-13]对各类机场地勤设备的 CO、NO_x、HC 和 PM 排放进行计算。

非道路地勤设备的年污染物排放量

$$E_f = \sum_j \sum_k \sum_n (Q_{1,j,k,n} P_{j,k,n} F_{j,k,n} t_{j,k,n} f_{1,j,k,n}) \times 10^{-6}, \quad (1)$$

式中: j 为非道路地勤设备的类别; k 为排放阶段; n 为功率分段数; Q_1 为非道路地勤设备的保有量; P 为以 kW 为单位的设备额定功率的数值; F 为负载因子,可通过对满足道路国六排放标准及非道路国四排放标准地勤设备的实时运行数据进行分析确定; t 为以 h 为单位年使用时间的数值; f_1 为非道路地勤设备各种污染物的排放系数,可通过各地勤设备的排放阶段及功率在文献[12]查得。

某非道路地勤设备作业的实时转矩数据采集结果如图 1 所示。由图 1 可知:该设备作业时转矩的分布区间较宽。为确定负载因子,对实时转矩的分布特性进行统计分析,该设备的最大转矩约为 100 N·m。将转矩范围按照等步长划分为[0,20]、(20,40]、(40,60]、(60,80]、(80,100] N·m 5 个转矩区间,统计实时转矩在不同区间的占比。实时转矩落在上述 5 个区间的占比分别为 28.6%、24.7%、33.0%、8.2%、

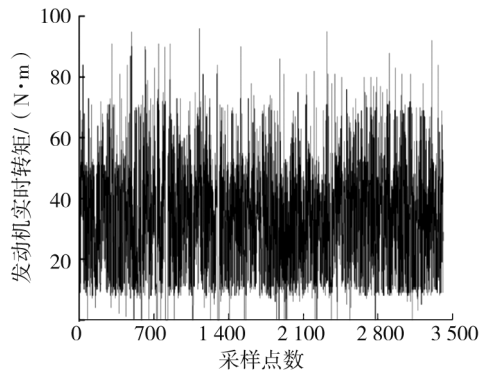


图 1 非道路地勤设备作业的实时转矩

1.3%。按照每个转矩区间的占比及对应区间的平均转矩,计算每类设备的负载因子。

道路地勤设备的年污染物排放量

$$E_d = \sum_i (Q_{2,i} f_{2,i} L_i) \times 10^{-6}, \tag{2}$$

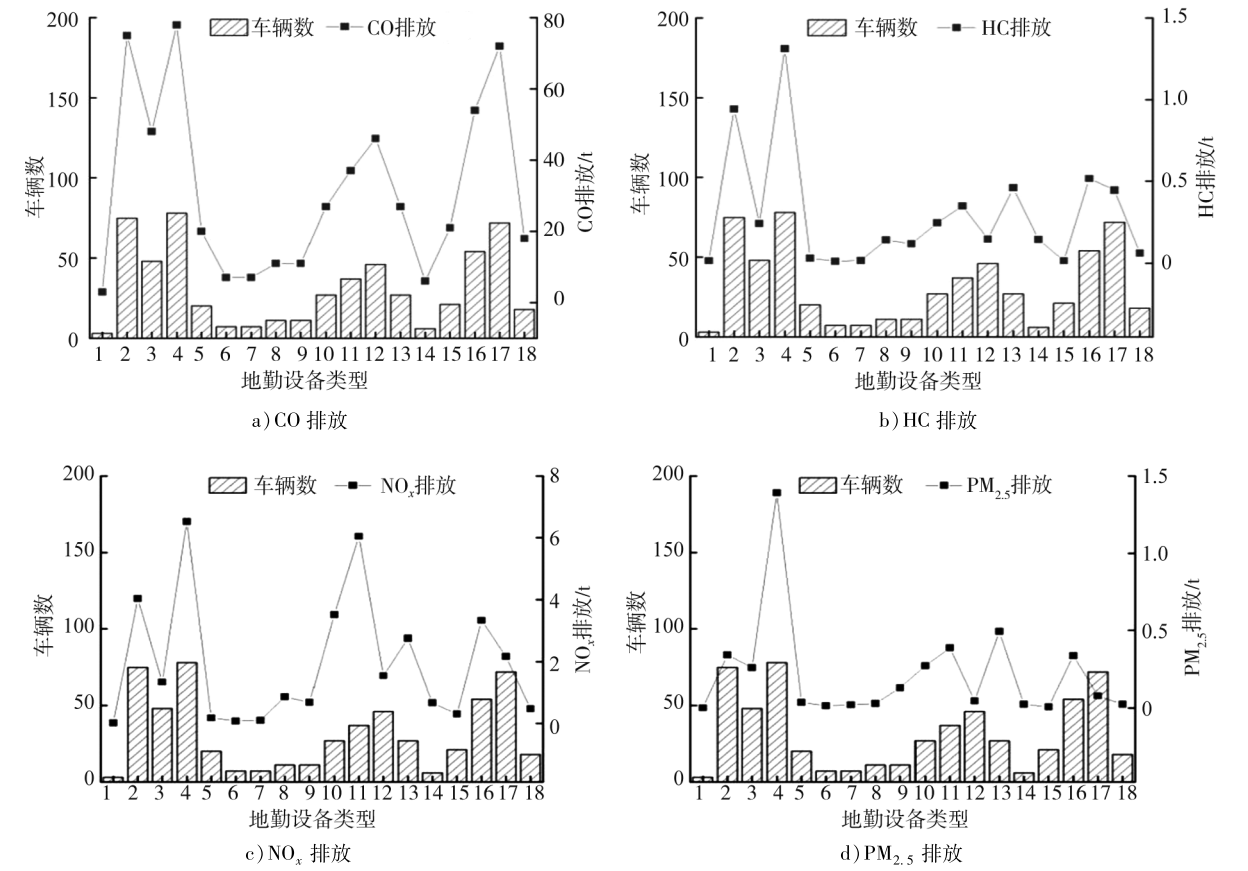
$$f_{2,i} = f_{B,i} \varphi_i \gamma_i \lambda_i \theta_i, \tag{3}$$

式中: $f_{2,i}$ 为*i*类道路地勤设备的排放系数,即行驶1 km 排放的污染物质量; $Q_{2,i}$ 为*i*类道路地勤设备的保有量; L_i 为*i*类道路地勤设备的年均行驶里程,可由地勤设备实时运行数据确定的平均车速和使用时间计算得到; $f_{B,i}$ 为*i*类道路地勤设备的基准排放系数,可依据车型及所处排放阶段查文献[13]获得; φ_i 为环境修正因子,可根据机场地勤设备实际使用时的环境参数,结合文献[13]的修正因子确定; γ_i 为速度修正因子,可根据机场地勤设备的实时车速数据统计得到; λ_i 为车辆劣化修正因子,可查文献[13]得到; θ_i 为负载因子的修正因子,可根据地勤设备的实时运行数据确定。

2 数据统计及分析

山东某国际机场共有各类地勤设备 761 辆,其中,柴油车为 512 辆,汽油车为 56 辆,纯电动车为 193 辆。全部 568 辆燃油地勤车辆中,非道路车辆为 309 辆,道路车辆为 259 辆。非道路燃油车辆中,排放满足国二、三、四排放标准的车辆分别为 64、81、164 辆;道路燃油车辆中,排放满足国二、三、四、五、六排放标准的车辆分别为 34、80、76、54、15 辆。

测算 568 辆燃油地勤车的年度 CO、HC、NO_x、PM_{2.5}、PM₁₀ 排放,结果如图 2 所示。由图 2 可知:不同类型燃油车辆的 5 种污染物排放存在差异,CO、HC、NO_x、PM_{2.5} 及 PM₁₀ 排放相对均较高的车型为机场小火车(行李车)、传送带车、航餐车、除冰车、飞机牵引车、跑道维护车、地勤代步车;这 7 类地勤车辆的 5 种污染物排放放在所有地勤设备总排放中的占比分别为 78.0%、79.9%、76.4%、79.1%、78.7%,这表明上述车型是该机场地勤设备排放的主要来源。



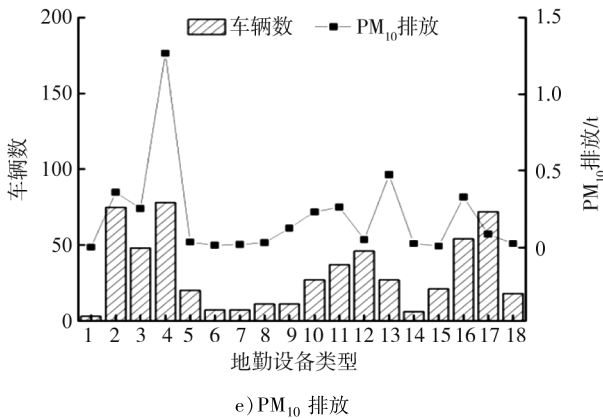


图 2 机场燃油地勤设备各污染物年排放量对比

在各类地勤设备中,机场小火车(行李车)的各种污染物排放均较高,其 CO、HC、NO_x、PM_{2.5}、PM₁₀ 排放占比分别为 28.2%、25.0%、18.9%、35.7%、35.2%。主要原因有:1) 机场小火车的保有量最多;2) 在实际运行过程中,需频繁起停,长时间低速行驶或怠速运行;3) 需牵引多节拖斗或满载行李,发动机输出功率较大。

该机场的机场小火车主要为国二、三、四排放阶段车辆,其保有量分别为 28、13 及 37 辆,国四阶段小火车最多。对不同排放阶段小火车的排放进行分析,结果如图 3 所示。由图 3 可知:国二阶段小火车排放最高,其 CO、HC、NO_x、PM_{2.5}、PM₁₀ 排放比国四阶段车辆分别高 19.4%、50.5%、2.8%、49.9%、64.6%。这一结果清晰地表明:必须通过升级机场地勤设备,提高其排放标准,才能有效减少污染物的排放。

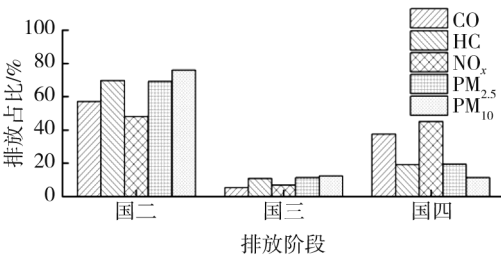


图 3 不同排放阶段机场小火车排放对比

3 结论

以某国际机场为例,调研地勤设备类型及运行数据,分析并确定排放计算所需关键参数,通过测算地勤设备的 5 种污染物排放,得到以下结论。

- 1) 该机场的地勤设备以燃油车辆为主,各类地勤设备的排放水平差异较大,其中低标准、高排放的设备占比较高。
- 2) 在该机场地勤设备中,CO、HC、NO_x、PM_{2.5}、PM₁₀ 排放均较高的车型为机场小火车(行李车)、传送带车、航餐车、除冰车、飞机牵引车、跑道维护车及地勤代步车,以上车型各污染物排在总排放中的占比均大于 75%,是该机场地勤设备排放的主要来源,也是节能减排的重点管控对象。
- 3) 机场小火车(行李车)的排放最高,其 CO、HC、NO_x、PM_{2.5}、PM₁₀ 排放占比分别为 28.2%、25.0%、18.9%、35.7%、35.2%;该车型不同排放阶段车辆排放的对比结果表明,升级机场地勤设备,提高其排放标准,才能有效减少污染物的排放。

参考文献:

[1] 王小霞. 道路机动车尾气污染物排放量的预测与控制措施研究[D]. 西安:长安大学,2012.

[2] 杨若愚. 民航旅客低碳出行行为及影响因素:基于 TPB-ABC 整合框架的实证研究[J]. 综合运输,2024,46(10): 97-100.

[3] 庄贵阳. 我国实现“双碳”目标面临的挑战及对策[J]. 人民论坛,2021(18):50-53.

[4] ABOLHASANI S, FREY H C, KIM K, et al. Real-world in-use activity, fuel use, and emissions for nonroad construction

- vehicles: a case study for excavators[J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2008, 58(8): 1033–1046.
- [5] VLACHOS T G, BONNEL P, PERUJO A, et al. In-use emissions testing with portable emissions measurement systems (PEMS) in the current and future european vehicle emissions legislation: overview, underlying principles and expected benefits[J]. SAE International Journal of Commercial Vehicles, 2014, 7(1):199–215.
- [6] DESOUZA C D, MARSH D J, BEEVERS S D, et al. Real-world emissions from non-road mobile machinery in London[J]. Atmospheric Environment, 2020, 223: 117301.
- [7] DESOUZA C D, MARSH D J, BEEVERS S D, et al. A spatial and fleet disaggregated approach to calculating the NO_x emissions inventory for non-road mobile machinery in London[J]. Atmospheric Environment: X, 2021, 12: 100125.
- [8] 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.
- [9] 孙世达,金嘉欣,吕建华,等.基于精细化年均行驶里程建立机动车排放清单[J].中国环境科学,2020,40(5):2018–2029.
- [10] 王虹宇,赵英帆,许瑞广,等.河北省非道路移动源排放清单研究及情景预测[J/OL].环境化学,(2025-07-28)[2025-08-01].<https://doi.org/10.7524/j.issn.0254-6108.2024112102>.
- [11] 于敬磊,张磊.基于EDMS模型的机场地面车辆大气污染物排放量估算[J].环境工程,2017(增刊1):61–63.
- [12] 环境保护部.非道路移动源大气污染物排放清单编制技术指南(试行)[S/OL].[2025-04-10].<https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201501/W020150107594587960717.pdf>.
- [13] 环境保护部.道路机动车大气污染物排放清单编制技术指南(试行)[S/OL].[2025-04-10].<https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgth/201407/W020140708387895271474.pdf>.

Measurement of pollutant emissions of airport support equipment

LI Yuan¹, GAI Yongtian^{2,3}, TENG Shuai^{2,3}, LI Yuan^{2,3},
DING Ziwen^{2,3}, ZHANG Wei^{1*}

1. Shandong Motor Vehicle Exhaust Pollution Monitoring Center, Jinan 250102, China;

2. China National Heavy Duty Truck Group Co., Ltd., Jinan 250101, China;

3. Jinan Automotive Testing Center Co., Ltd., Jinan 250101, China

Abstract: In order to reduce the pollutant emissions of airport ground handling equipment, a certain international airport is taken as the research object. The types and quantities of ground handling equipment are counted, and the key parameters for emission calculation are determined based on real-time operating data of ground handling equipment. The emissions of five types of pollutants from various ground handling equipment are calculated. The results show that in the ground handling equipment of the airport, the emissions of CO, HC, NO_x, PM_{2.5}, and PM₁₀ from the airport's small train (luggage car), conveyor belt car, catering car, de-icing car, aircraft tractor, runway maintenance car, and ground handling commuter car accounted for 78.0%, 79.9%, 76.4%, 79.1%, and 78.7% of the total emissions, respectively. The above mentioned vehicle models are the main sources of emissions for airports and are key to promoting energy conservation and emission reduction. Among various types of equipment, airport small trains (luggage cars) have relatively high emissions of various pollutants due to their large number and the presence of many vehicles that meet the China II emission standards. Therefore, equipment upgrades should be carried out to meet higher emission standards in order to effectively reduce the airport's pollutant emissions.

Keywords: airport ground support equipment; atmospheric pollutant; measurement method; emission analysis

(责任编辑:臧发业)