首都国际机场大气污染模拟研究*

伯 鑫[1,2] 段 钢[3] 李重阳[4] 蔡博峰[5] 韩茹茹[6] 周 鑫[1,2] 卢 力[1,2] 赵晓宏[1,2]

(1. 环境保护部环境工程评估中心,北京 100012; 2. 国家环境保护环境影响评价数值模拟重点实验室,北京 100012;
3. 北京首都国际机场股份有限公司,北京 100621; 4. 北京市环境保护科学研究院,北京 100037;
5. 环境保护部环境规划院,北京 100012; 6. 北京科技大学 土木与环境工程学院,北京 100083)

摘要: 针对我国目前缺乏机场大气污染贡献模拟研究现状,以首都国际机场为例,应用EDMS模型和AERMOD模型展开了大型机场污染排放及扩散模拟研究。综合考虑飞机发动机、辅助动力设备(APU)、地面保障设备(GSE)、场内机动车等污染源,以2012年为基准年,计算首都国际机场大气污染物年排放量及对周围大气环境质量的影响。结果表明:首都国际机场的CO、NO_x、VOC、SO_2和PM_{10}排放量分别为2 497.36,3 117.93,259.87,188.12,27.78 t,飞机发动机是机场最主要的污染源。机场造成的NO_x年均贡献浓度较大,NO_x年均浓度超标主要集中在机场内。

关键词: EDMS; 机场; 大气污染; AERMOD; 环评

DOI: 10.13205/j.hjgc.201703021

AIR POLLUTION SIMULATION STUDY OF BEIJING CAPITAL INTERNATION AIRPORT

BO Xin[1,2], DUAN Gang[3], LI Chong-yang[4], CAI Bo-feng[5], HAN Ru-ru[6], ZHOU Xin[1,2], LU Li[1,2], Zhao Xiao-hong[1,2]

(1. The Appraisal Center for Environment and Engineering, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100012, China;
2. State Environmental Protection Key Laboratory of Numerical Modeling for Environment Impact Assessment, Beijing 100012, China;
3. Beijing Capital International Airport Company Limited, Beijing 100621, China; 4. Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing 100037, China; 5. Chinese Academy for Environmental Planning, Beijing 100012, China;
6. School of Civil and Environmental Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: Aiming at China's lack of dispersion modeling of airport pollution at present, exampled as Beijing Capital International Airport, study of large airport's pollution emissions and diffusion simulation were conducted by EDMS and AERMOD model. In this study, taking 2012 as the base year, Beijing Capital International Airport's annual emission and the impact on the quality of surrounding atmosphere environment were calculated, in consideration of aircraft engines, auxiliary power unit(APU), ground support equipment(GSE), motor vehicles in venue and other sources of pollution. Results showed that Beijing Capital International Airport's annual emission of CO, NO_x, VOC, SO_2, PM_{10} were 2497.36, 3117.93t, 259.87, 188.12, 27.78 t, respectively. Aircraft engines were the main pollution sources in the airport. NO_x annual average concentration had greater impact on surrounding environment, as its annual average concentration exceeding mainly happened within the airport.

Keywords: EDMS; airport; air pollution; AERMOD; EIA

0 引 言

目前,机场对环境影响研究主要集中在噪声污染方面,机场排放废气污染研究相对较少[1-2],机场大气污染研究主要集中在机场对温室效应和臭氧层耗损方面[3-6]。飞机在起飞-降落的过程中会排放大量的CO、NO_x、VOC、SO_2、PM_{10}等[7],其造成的大气污染具有局地性、集中性特点[8]。机场空气污染物排放计算、空气环境影响模拟和各类污染源的环境影响评估需要应用系统化的方法和工具[9]。在机场排放清单方面,国内外学者多运用燃料消耗量和飞机起飞降落(Landing-Taking off,LTO)循环次数对机场排放量进

* 环境保护部基金课题(144024000000161066);国家环保公益性行业科研专项(201309062)。
收稿日期:2016-04-24

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

行估算[10-12]；在机场大气污染方面，Gregor[13]、褚艳萍等[14]分别对Zurich机场和上海浦东国际机场的飞机尾气排放对周围环境的影响进行了研究，曹慧玲、Das等分别基于高斯模型和拉格朗日随机模型展开机场扩散模拟研究[15]。飞机不同运行阶段、不同设备等的污染物排放量差异较大[16-18]，Masiol[19]、Zhu[20]及Kesgin等[21]研究表明：飞机在起飞状态的污染物排放量最大，对周围环境产生影响最大。樊守彬等人根据LTO总次数、飞机总数等信息，采用EDMS计算了2007年机场排放清单[22]。

此外，本研究分析了2003—2015年共110本国家级审批机场环境影响评价报告书，发现我国机场环境影响分析主要集中在机场噪声影响，而针对机场大气污染影响的分析较为简单，绝大部分环评报告书对飞机排放尾气主要根据1982年的世界卫生组织《空气、水、土地污染快速评价手册》的排放系数和起降次数简单估算，报告中缺少机场大气污染模拟分析章节。因此，开展机场大气污染模拟研究对机场大气环评、大型机场大气污染防治有着重要意义。

本研究根据2012年首都机场逐时航班信息、年车流量等，计算了飞机发动机、飞机辅助动力设备(APU)、地面保障设备(GSE)、停车场等排放源逐日逐时排放信息，采用EDMS建立具有实时性(排放随时间变化)首都机场排放清单，并模拟了机场对周围环境大气污染情况。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

北京首都国际机场位于北京市顺义区，包含3座航站楼(T1、T2、T3)，2010年至今，旅客吞吐量稳居世界第二位。2012年首都机场国际国内航班起降架次为56万，旅客和货邮吞吐量多达8 192万人次和7 867 t[23]。

1.2 研究方法

1.2.1 EDMS模型介绍

EDMS(emission and dispersion modeling systerm)模型由美国联邦航空管理局(FAA)与美国空军(USAF)联合开发，主要应用于机场空气质量评估，包括排放清单建立、污染物扩散模拟两部分。该系统内置MOBILE、AERMOD模型，可对机场内飞机发动机、APU、GSE、机动车辆等排放源进行统计。

本研究依据2012年全年逐时飞机起飞降落时刻表、车流量等信息，编制了具有实时性机场排放清单，计算了飞机发动机、APU、GSE、停车场及场内公路机动车等的污染物排放量，物种包括NO_x、SO_2、CO、VOC、PM_{10}。

1.2.2 AERMOD模型[24-28]

本研究采用AERMOD模型进行扩散模拟。AERMOD是稳定状态烟羽模型，常用于我国大气环评模拟，是目前《环境影响评价技术导则—大气环境》的推荐模型之一，可以模拟点源、面源、体源等。

1.3 参数设定

飞机行为包括进近、滑入、启动、滑出、起飞、爬升6个阶段，在各个阶段的操作时间参考美国联邦航空局的集成噪声模型(integrated noise model，INM)中采用的滑行时间，滑入滑出时间分别为7，19 min，其他4个阶段操作时间根据具体机型进行定义。

EDMS综合考虑机动车行驶速度、汽车使用年限等因素，采用MOBILE6.2模块计算停车场、道路机动车排放量[29-30]。首都机场停车场所较多，本研究选择了车流量和规模较大的1号停车场、2号停车楼、3号停车楼进行计算(年车流量分别为100万，411万，426万车次)。

2 结果与讨论

2.1 首都机场污染物排放量分析

EDMS统计结果显示，2012年起降于首都机场的飞机共55种机型，主要包括Airbus系列、Boeing系列、Gulfstream系列和Bombardier系列等，其中Boeing系列、Airbus系列机型占比最大，分别约为53.78%、44.09%。

2012年首都机场污染物排放总量如表1所示，CO、VOC、NO_x、SO_2、PM_{10}排放量分别为2 497.36，259.87，3 117.93，188.12，27.78 t，其中NO_x、SO_2、PM_{10}分别占2012年北京污染物总量[31]的0.19%、1.61%、0.02%。

表1 首都国际机场各设施排放情况

Table 1 Emission condition of each facility in Beijing Capital International Airport

项目	CO/t	VOC/t	NO_x/t	SO_2/t	PM_{10}/t
飞机发动机	946.82	198.95	2856.66	174.23	13.13
GSE	1437.91	50.07	168.77	3.60	6.14
APUs	44.89	4.25	86.06	10.24	8.32
停车场	—	4.52	4.84	3.27	0.02
场内公路	29.31	2.04	3.17	0.03	0.12
总量	2497.36	259.83	3119.5	191.37	27.73

飞机发动机是机场最主要的污染源，NO_x、SO_2、VOC、CO排放量分别占机场排放总量的91.62%、

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

92.62%、76.56%和37.91%。

GSE的CO排放量最大，约占57.58%；停车场和场内公路机动车排放量不高，贡献率均低于2.52%（VOC排放量占2.52%）。

飞机起降循环各阶段污染物排放量如表2所示，飞机起飞阶段NO_x、SO_2、PM_{10}排放量最大，分别占飞机排放总量的62.66%、40.33%、47.29%，该阶段CO和VOC排放量相对较小；爬升阶段NO_x和PM_{10}排放量较大，分别占飞机排放总量的20.89%、16.77%；滑行阶段主要排放CO、VOC等，约占飞机排放总量的85.17%和56.22%；滑入阶段排放量略低于滑出阶段；飞机启动阶段时间较短，VOC排放量较大，其他污染物可忽略不计；进近阶段各类污染物排放量均不高。

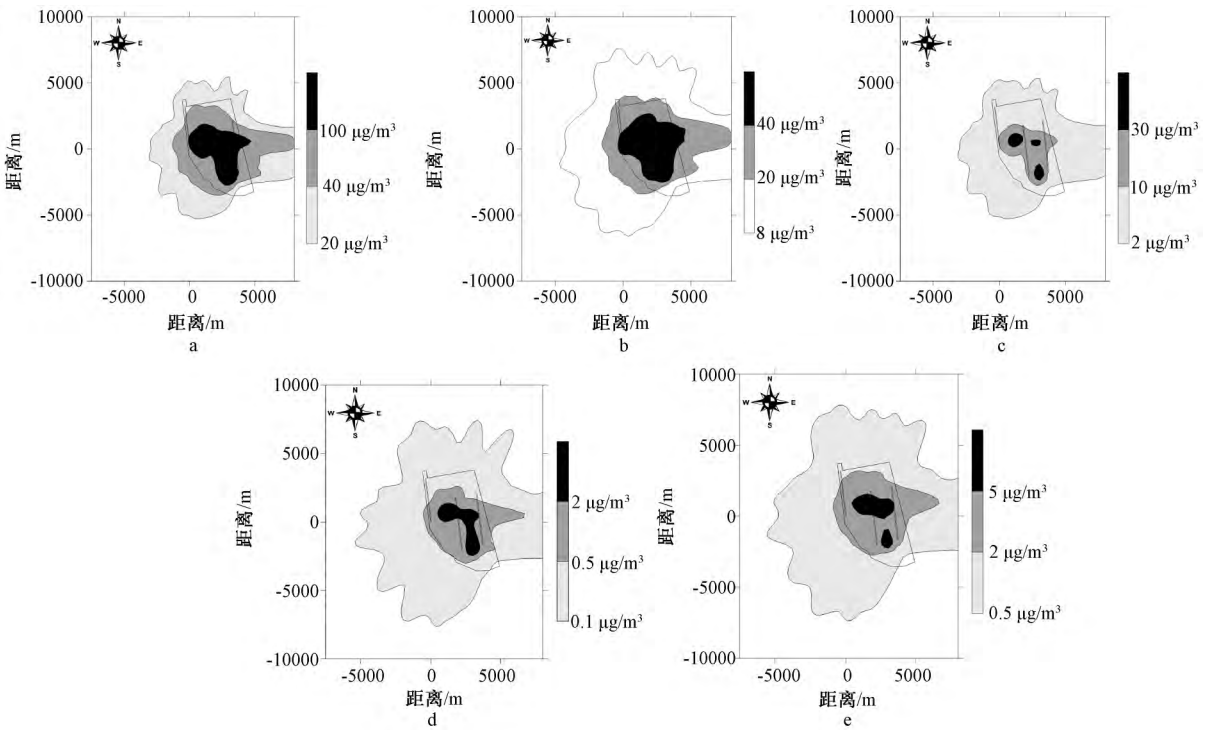
表2　飞机飞行各阶段污染物排放量

Table2　pollutant emission in each stage of flight

项目	CO/t	VOC/t	NO_x/t	SO_2/t	PM_{10}/t
进近	103.12	10.94	229.60	27.37	1.62
爬升	11.23	2.26	596.86	27.72	2.20
启动	—	62.44	—	—	—
起飞	26.02	5.71	1789.89	70.27	6.21
滑入	348.39	47.80	123.52	22.48	1.41
滑出	458.06	64.05	116.79	26.40	1.69

2.2　各污染物年均浓度分析

首都机场周围各污染物年均浓度分布如图1所示。由于不受短时间气象影响，各污染物年均扩散形式一致，CO、NO_x、VOC、PM_{10}、SO_2的网格最大年均贡献浓度分别为842.08，165.28，71.89，8.06，9.49 μg/m³。除NO_x外，机场产生其他污染物年均贡献浓度对机场周围环境影响较小，均低于国家二级空气质量标准浓度，且主要对机场内部环境产生影响，机场外扩散浓度均处于较低水平。NO_x年均贡献浓度超标主要集中在机场内。但考虑到不利气象条件等因素，首都机场有可能出现对周围局部环境污染物小时贡献浓度超标的情况。



a—CO；b—NO_x；c—VOC；d—PM_{10}；e—SO_2。

图1　首都机场大气污染物年均浓度分布

Fig. 1　Annual average concentration distribution of air pollutants in Beijing Capital International Airport

3　结　论

1）从污染物排放量来看，飞机发动机是机场最主要的污染源。NO_x、SO_2、PM_{10}主要在飞机起飞阶段排放，排放量分别为3 117.93，188.12，27.78 t；CO、VOC主要在滑行阶段排放，排放量分别为2 497.36，259.87 t。

2）从污染物扩散模拟来看，除NO_x外，机场其他污染物排放对机场周围环境年均贡献影响较小，均低

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

于国家二级空气质量标准浓度，且主要对机场内部环境产生影响，机场外年均贡献浓度均处于较低水平。NO_x 网格最大年均浓度为 165.28 $\mu g/m^3$，占标准的 330.56%，NO_x 年均浓度超标主要集中在机场内。机场应重点关注不利风向、高峰起降量等不利条件下的局部、瞬时大气集中污染问题。

参考文献

[1] 陈林. 我国航空运输 LTO 阶段和巡航阶段排放量测算与预测[J]. 北京交通大学学报. 社会科学版，2013，12(4)：27-33.

[2] Sausen R，Schumann U. Estimates of the climate response to aircraft CO_2 and NO_x emissions scenarios [J]. Climatic Change，2000，44(1)：27-58.

[3] Kentarchos A S，Roelofs G J. Impact of aircraft NO_x emissions on tropospheric ozone calculated with a chemistry-general circulation model：Sensitivity to higher hydrocarbon chemistry [J]. Journal of Geophysical Research：Atmospheres，2002，107(D13)：41-75.

[4] 黄勇，周桂林，吴寿生. 中国上空民航飞机 NO_x 排放量及其分布初探 [J]. 环境科学学报，2000，20(2)：179-182.

[5] Yu L，Isaksen I S A，Sundet J K，et al. Impact of aircraft NO_x emission on NO_x and ozone over China [J]. Adv Atmos Sci，2003，20(4)：565-574.

[6] Schumann U. Effects of aircraft emissions on ozone，cirrus clouds，and global climate [J]. Air & Space Europe，2000，2(3)：29-33.

[7] Brasseur G P，Cox R A，Hauglustaine D，et al. European scientific assessment of the atmospheric effects of aircraft emissions [J]. Atmospheric Environment，1998，32(13)：1537-1565.

[8] 吴寿生. 飞机发动机排气污染控制 [J]. 国际航空，1994(9)：51-53.

[9] 夏卿. 飞机发动机排放对机场大气环境影响评估研究 [D]. 南京：南京航空航天大学，2009.

[10] 夏卿，左洪福，杨军利. 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.

[11] 黄清凤，陈桂浓，胡丹心，等. 广州白云国际机场飞机大气污染物排放分析 [J]. 环境监测管理与技术，2014，26(3)：57-59.

[12] 宋利生. 基于 ICAO 起降模型的中国机场飞机排污计算研究 [J]. 中国民航大学学报，2013，31(6)：46-48.

[13] Schramm G，Schfer K，Jahn C，et al. The impact of NO_x，CO and VOC emissions on the air quality of Zurich airport [J]. Atmospheric Environment，2007，41(1)：103-118.

[14] 储燕萍. 上海浦东国际机场飞机尾气排放对机场附近空气质量的影响 [J]. 环境监控与预警，2013，5(4)：50-56.

[15] 曹惠玲，饶德志，梁大敏. 机场飞机起降循环污染物扩散分布研究 [J]. 环境科学与技术，2013，36(增刊1)：374-376.

[16] 闫国华，高君，魏娜. 飞机不同进近排放影响研究[C]//第五届中国智能交通年会暨第六届国际节能与新能源汽车创新发展论坛，深圳，2009.

[17] 李可，李政. 考虑飞机排放的滑行线路优化 [J]. 交通节能与环保，2009(3)：45-48.

[18] 李龙海，张积洪. 民用航空器机载 APU 污染排放及节能运行研究 [J]. 环境科学与技术，2013，36(10)：34-38.

[19] Masiol M，Harrison R M. Aircraft engine exhaust emissions and other airport-related contributions to ambient air pollution：A review [J]. Atmospheric Environment，2014，95：409-455.

[20] Zhu Y，Fanning E，Yu R C，et al. Aircraft emissions and local air quality impacts from takeoff activities at a large International Airport [J]. Atmospheric Environment，2011，45(36)：6526-6533.

[21] Kesgin U. Aircraft emissions at Turkish airports [J]. Energy，2006，31(2)：372-384.

[22] 樊守彬，聂磊，李雪峰. 应用 EDMS 模型建立机场大气污染物排放清单 [J]. 安全与环境学报，2010，10(4)：93-96.

[23] 2012 年全国机场生产统计公报 [R]. 2013.

[24] 伯鑫，傅银银，丁峰，等. 新一代大气污染估算模式 AERSCREEN 对比分析研究 [J]. 环境工程，2012，30(5)：71-76.

[25] 夏思佳，王勤耕. 基于 AERMOD 模式的大气扩散参数方案比较研究 [J]. 中国环境科学，2009，29(11)：1121-1127.

[26] HJ 2.2—2008 环境影响评价技术导则：大气环境 [S].

[27] EPA(USA). User´s Guide for the Aermod Meteorological Prepro-Cessor(AERMET) [M]. Emissions Monitoring，and analysis Division Research Triangle Park，North Carolina 27711：U. S. Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standard，2004.

[28] EPA(USA). Revised Draft USER´S Guide for The AERMODE Terrain Preprocessor (AERMAP) [M]. Emissions，Monitoring，and Analysis Division Research Triangle Park，North Carolina 27711：U. S. Evironmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards，1998.

[29] User´s guide to MOBILE6.1 and MOBILE6.2 [R]. Ann Arbor. MI：Office of Transportation and Air Quality，2002.

[30] Weilenmann M，Soltic P，Saxer C，et al. Regulated and nonregulated diesel and gasoline cold start emissions at different temperatures [J]. Atmospheric Environment，2005，39(13)：2433-2441.

[31] 2012 年北京市环境状况公报 [R]. 北京市环境保护局，2012.

第一作者：伯鑫(1983－)，男，硕士，主要研究方向为大气环境质量模拟、污染源清单。boxinet@gmail.com

通信作者：赵晓宏(1973－)，男，教授级高工，主要从事环境质量模拟和数据库开发应用研究工作。zhaoxh@acee.org.cn

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net