

北京大兴国际机场飞机减排措施效果研究

张俊¹ 余杰^{2*} 李强¹ 李建娜² 樊守彬² 汪标³ 赵芸程²

(1.北京新机场建设指挥部,北京 102604;2.北京市生态环境保护科学研究院,北京 100037;

3.北京京环环境质量检测中心,北京 102299)

摘要 概述了机场飞机尾气排放的影响因素及减排措施,调研了北京大兴国际机场目前已采取的减排措施,并对北京大兴国际机场飞机减排措施的效果进行了研究。结果表明,北京大兴国际机场在采取了减少飞机滑行时间(包括优化滑行路线和采用高级场面活动引导与控制系统)和飞机辅助动力装置替代等减排措施后,飞机尾气中大气污染物可分别减少 NO_x 130.16 t/a、 SO_2 9.13 t/a、CO 133.29 t/a、 $\text{PM}_{2.5}$ 3.97 t/a、碳氢化合物 13.21 t/a。采取减排措施后飞机尾气中的大气污染物对机场附近区域扩散范围缩小,影响浓度降低。整体上,该机场减排措施有效。同时,可因减少耗油量 1 988.53 t/a而节约 1 193.118 万元/a,具有环境和经济双重效益。

关键词 机场 飞机尾气 大气污染物 减排 NO_x

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2021.11.008

Research on the effect of aircraft emission reduction measures at Beijing Daxing International Airport ZHANG Jun¹, YU Jie², LI Qiang¹, LI Jianna², FAN Shoubin², WANG Biao³, ZHAO Yuncheng². (1. Beijing New Airport Construction Headquarters, Beijing 102604; 2. Beijing Municipal Research Institute of Eco-Environmental Protection, Beijing 100037; 3. Beijing Jing Huan Jian Environmental Quality Testing Center, Beijing 102299)

Abstract: The influencing factors and reduction measures of aircraft exhaust emission were summarized. The reduction measures taken by Beijing Daxing International Airport were investigated. And the effect of aircraft emission reduction measures of Beijing Daxing International Airport was studied. Results showed that, after reducing taxiing time (including optimizing taxiing route, and adopting advanced surface activity guidance and control system) and substituting aircraft auxiliary power unit, the aircraft exhaust pollutants could be reduced by 130.16, 9.13, 133.29, 3.97 and 13.21 t/a for NO_x , SO_2 , CO, $\text{PM}_{2.5}$ and hydrocarbon, respectively. It was found that the diffusion area narrowed and contribution concentration reduced after the relevant emission reduction measures taken. On the whole, the emission reduction measures were effective. At the same time, oil consumption could be reduced by 1 988.53 t/a, so as to save $1.193\ 118 \times 10^7$ yuan/a, gaining both environmental benefit and economical benefit.

Keywords: airport; aircraft exhaust; air pollutants; emission reduction; NO_x

随着民航事业的快速发展,机场飞机排放尾气中的大气污染物(CO 、 NO_x 、 SO_2 、碳氢化合物(HC)、 $\text{PM}_{2.5}$ 等)对环境的影响越来越明显。机场作为飞机起飞和着陆的主要场所,其中飞机排放的大气污染物对其周边环境可以造成局部浓度偏高的影响。研究表明,机场飞机排放的 NO_x 和CO总量分别约占流动污染源产生量的4%^[1];飞机每消耗1 t航空煤油,通常会排放3 187.00 kg CO_2 、0.98 kg SO_2 、0.56 kg CO和21.12 kg NO_x ^[2]。

目前,国内外对飞机尾气排放规律和排放源清单的研究较为深入。夏卿等^[3]^[4]研究了飞机在起飞和着陆阶段的污染物排放情况。黄勇等^[4]采用燃油

流量法对中国上空民航飞机 NO_x 排放量及其分布进行了研究。SONG等^[5]研究了机场飞机尾气的大气环境影响,并分析其排放源。UNAL等^[6]深入分析了亚特兰大国际机场周边的大气污染物扩散和浓度分布。WINTHER等^[7]和TURGUT等^[8]分别就丹麦哥本哈根国际机场和土耳其国家航空公司飞机大气污染物排放清单进行了核算。但目前对于机场飞机尾气减排措施及其效果研究较少。本研究通过现场调研北京大兴国际机场已采取的飞机尾气减排措施,应用国际民航组织推荐的FLEXPART模型^[9-10]分析减排效果,以期为机场建设和运营时采取合适的减排措施提供参考。

第一作者:张俊,男,1982年生,硕士,高级工程师,主要从事绿色机场建设、机场生态环境管理研究。*通讯作者。

1 机场飞机尾气排放影响因素及减排措施概述

1.1 机场飞机尾气排放的影响因素

一般将飞机在机场的活动定义为标准起飞着陆(LTO)循环,主要包括进近、滑行、起飞和爬升4种模式。机场飞机尾气排放的影响因素主要有:

(1) 发动机

机场飞机排放大气污染物与飞机发动机类型、实际工作条件(包括发动机速度、温度、老化程度、维修周期等)以及周围环境有密切关系。

(2) 燃油

飞机燃油是机场飞机排放大气污染物的关键影响因素^[11]。飞机燃油在燃烧过程中会有大量CO₂和水的产生,同时也产生大气污染物。

(3) 飞行调度与优化管理手段

机场飞机尾气的排放在一定程度上也受飞行调度与优化管理手段的影响。通过飞行调度和优化管理,可以在一定程度上减少飞机滑行时间,从而达到减少飞机尾气排放的目的。

1.2 机场飞机尾气减排措施

改进飞机发动机的设计、研发新型绿色环保飞机是减少机场飞机尾气减排的最根本措施,也可以综合考虑各机型的排放特性及目标机型在机场的起降架次,通过机型组合或者调整各机型起降架次,达到降低机场飞机尾气大气污染物排放量的目的。此外,采用其他辅助设施减少燃油的消耗也是可行、可控的减排措施。

2 材料与方法

2.1 研究对象

北京大兴国际机场已经成为中国地位最重要、生产运输最繁忙的大型国际航空港。北京大兴国际机场位于永定河北岸,距天安门广场直线距离约46 km,距北京首都国际机场约67 km。机场基准点为东经116.423 796°、北纬39.511 571°。本研究以北京大兴国际机场的民航飞机为研究对象,研究机场飞机尾气大气污染物(主要考虑SO₂、CO、HC、NO_x和PM_{2.5})的减排情况。

从中国研究较多的民航飞机NO_x排放情况来看,垂直方向最大排放量在离地1.0、9.0 km处,由于机场近地面范围对人类活动才有较大影响^[12],因此在不考虑巡航条件下发动机排放^[13]的情况下,本研究确定近地面范围在915 m以内。

2.2 北京大兴国际机场已采取的飞机尾气减排措施

2.2.1 减少飞机滑行时间

飞机滑行时间一般为26.0 min^[14]。有研究显示,当飞机滑行时间从26.0 min降至22.0 min时,大气污染物总量可以下降6%^[3,1473]。一般,飞机滑行时间每缩短1 min,CO和HC可减排3%^[15]。基于此,北京大兴国际机场通过采取优化滑行路线和采用高级场面活动引导与控制系统(A-SMGCS)来减少飞机滑行时间。

(1) 优化滑行路线

飞机完成一个标准LTO循环约需32.9 min,其中滑行时间为26.0 min。北京大兴国际机场在设计在建设时对跑道滑行路线进行了优化,借助“三纵一横”全向型跑道构型有效缩短了飞机从机位到跑道的滑行距离,减少了飞机滑行时间。

机场构型主要是指跑道的数量和方位以及航站区与跑道的相对位置。北京大兴国际机场通过前期的仿真模拟研究和相关实际运营案例研究^[16],在比较了全平行、链式和全向型跑道构型(见图1)后最终确定了以平行跑道为主的“三纵一横”全向型跑道构型^[17]。

(2) 采用A-SMGCS

A-SMGCS是民航局大力推进的一项新技术,可以有效提升飞机地面滑行的效率。A-SMGCS除可自动识别飞机在跑道及滑行道上运行的潜在冲突并发出告警外,还可以规划滑行路线,并提供滑行引导。

调研发现,北京大兴国际机场在采取优化滑行路线及采用A-SMGCS后,飞机每个标准LTO循环可节省滑行时间约4 min。

2.2.2 飞机辅助动力装置(APU)替代

飞机在航站楼停靠时,主发动机未启动,APU可为飞机舱内提供照明和空调等的电力和压缩空气,少数的APU还可以向飞机提供附加推力。长期以来,飞机在地面等待时间内所需动力由APU提供。但是APU作为一种使用航空燃油的发动机存在能耗较大、污染严重等缺点。为减少机场飞机大气污染物的排放,北京大兴国际机场全面推广地面电源装置(GPU)替代APU,设置了89个电源井,同时配置了为远机位停靠飞机提供电源的地面服务车。

2.3 方法和数据

2.3.1 FLEXPART 模型方法

模拟方向为前向24 h,模拟区域包括机场及附近区域(机场用地红线外10 km范围内),模型的粒子(即污染物)释放位置在北京大兴国际机场的基准

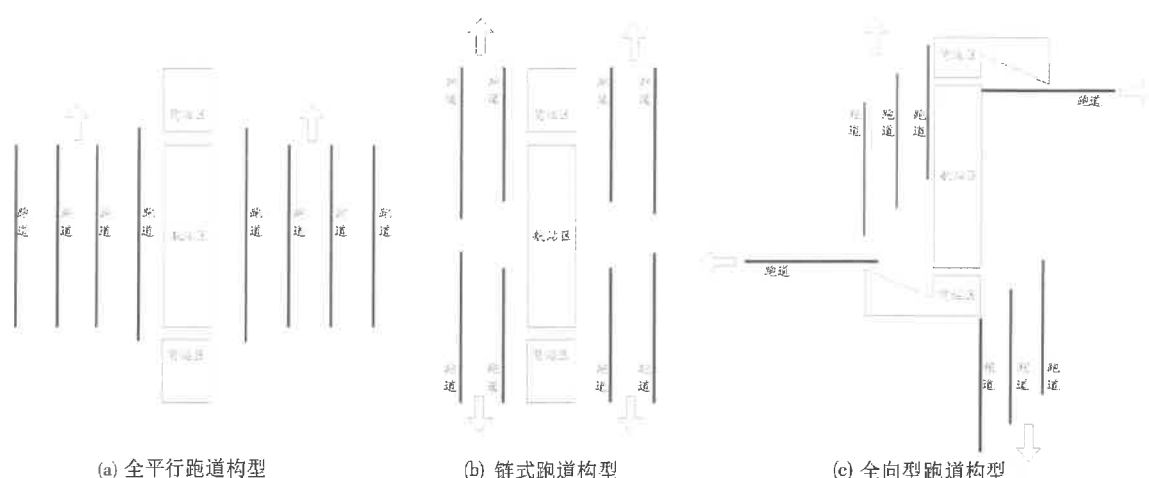


图 1 北京大兴国际机场拟采用的几种跑道构型比较

Fig.1 Comparison of runway configurations to be adopted for Beijing Daxing International Airport

点(东经 116.423 796°,北纬 39.511 571°),输出时间分辨率为 1 h,可以计算每个网格中粒子的传输浓度,即可计算对区域的浓度贡献和传输通道的分布。

模型所需的气象数据采用北京气象站近 20 年的统计数据。年平均风速为 2.4 m/s,最大风速为 14.0 m/s;年最大风频风向为 SSW,其风频为 9.45%,无主导风向;年平均静风频率为 7.39%;年平均气温为 13.2 °C,最冷的 1 月平均气温为 -3.0 °C,最热的 7 月平均气温为 27.1 °C,极端最高气温 41.9 °C,极端最低气温 -17.0 °C;年平均相对湿度为 53.0%;年平均降水量为 508.6 mm,最大降水量为 813.2 mm,最小降水量为 266.9 mm;年日照时数为 2 483.7 h。

2.3.2 排放源计算方法

标准 LTO 循环下机场飞机各模式尾气排放的大气污染物排放量采用式(1)进行计算:

$$E_{i,m} = \sum_j n_j l_j F_{j,m} EI_{i,j,m} t_{j,m} \quad (1)$$

式中: $E_{i,m}$ 为 m 模式下污染物 i 的年排放量, g ; n_j 为 j 型飞机的发动机数量; l_j 为 j 型飞机的年标准 LTO 循环数; $F_{j,m}$ 为 j 型飞机在 m 模式下的平均燃油消耗率, kg/s ; $EI_{i,j,m}$ 为 j 型飞机在 m 模式下污染物 i 的平均排放因子, g/kg ; $t_{j,m}$ 为 j 型飞机在 m 模

式下的工作时间, s 。

污染物的平均排放因子数据来自 ICAO 飞机发动机排放数据库 (<https://www.easa.europa.eu/domains/environment/icao-aircraft-engine-emissions-databank>); 飞机的发动机数量、年标准 LTO 循环数、平均燃油消耗率、工作时间等数据使用北京大兴国际机场 2019 年的统计数据。

3 结果与讨论

3.1 机场飞机尾气排放情况

北京大兴国际机场在采取减排措施后飞机尾气大气污染物减排效果见表 1,其中减少飞机滑行时间是由优化滑行线路和采用 A-SMGCS 共同作用的结果。与不采取减排措施相比,各大气污染物排放量均有较明显减少, SO_2 、 CO 、 HC 、 NO_x 、 $PM_{2.5}$ 减排量分别为 9.13、133.29、13.21、130.16、3.97 t/a,减排比例分别为 11.51%、20.33%、20.74%、11.08%、67.98%。

由于飞机滑行时间减少,耗油量也将减少,相比不采取减排措施时,飞机滑行模式下的耗油量由 12 925.45 t/a 下降至 10 936.92 t/a,可减少 1 988.53 t/a。目前,民航客机主要使用的航空燃油受原油价

表 1 北京大兴国际机场采取减排措施后飞机尾气大气污染物减排效果

Table 1 Emission reduction of aircraft exhaust pollutants before and after emission reduction measures taken at Beijing Daxing International Airport

项目	SO_2	CO	HC	NO_x	$PM_{2.5}$
不采取减排措施的排放量/($t \cdot a^{-1}$)	79.36	655.72	63.69	1 174.56	5.84
减少飞机滑行时间的减排量/($t \cdot a^{-1}$)	4.18	84.92	8.17	15.86	3.97
APU 替代的减排量/($t \cdot a^{-1}$)	4.95	48.37	5.04	114.30	0.01
采取减排措施后的排放量/($t \cdot a^{-1}$)	70.23	522.43	50.48	1 044.40	1.87
减排比例/%	11.51	20.33	20.74	11.08	67.98

表2 飞机尾气中大气污染物对敏感点的影响质量浓度对比¹⁾
Table 2 Comparison of mass concentrations of aircraft exhaust influenced pollutants to sensitive points

敏感点	相对机场方位	相对机场距离/km	NO _x		CO		SO ₂		PM _{2.5}		HC	
			无措施	有措施	无措施	有措施	无措施	有措施	无措施	有措施	无措施	有措施
1	SE	5.24	2.13	2.09	1.23	1.05	0.15	0.14	0.001 9	0.001 8	0.12	0.10
2	SE	4.75	3.96	3.90	2.29	1.96	0.28	0.26	0.003 5	0.003 4	0.22	0.19
3	NE	8.90	3.96	3.90	2.29	1.96	0.28	0.26	0.003 5	0.003 4	0.22	0.19
4	E	4.80	3.96	3.90	2.29	1.96	0.28	0.26	0.003 5	0.003 4	0.22	0.19
5	N	6.35	3.96	3.90	2.29	1.96	0.28	0.26	0.003 5	0.003 4	0.22	0.19
6	NW	6.14	1.18	1.17	0.68	0.59	0.08	0.08	0.001 0	0.001 0	0.07	0.06
7	SW	5.89	1.87	1.84	1.08	0.92	0.13	0.13	0.001 6	0.001 6	0.10	0.09
8	NE	8.94	3.96	3.90	2.29	1.96	0.28	0.26	0.003 5	0.003 4	0.22	0.19
9	NW	4.80	1.18	1.17	0.68	0.59	0.08	0.08	0.001 0	0.001 0	0.07	0.06

注: ¹⁾ 无措施指不采取减排措施; 有措施指采取减排措施后, 包括减少飞机滑行时间和 APU 替代。污染物质量浓度单位为 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

格影响每天的波动较大, 各个机场的价格也不一致, 主要在 6 000 元/t 上下波动。因此, 以 6 000 元/t 进行计算, 飞机滑行时间减少可以节约 1 193.118 万元/a。

综上所述, 通过采取减少飞机滑行时间(包括优化滑行路线和采用 A-SMGCS)和 APU 替代等减排措施后, 北京大兴国际机场在一定程度上可以实现飞机尾气的减排, 并且还可通过减少耗油量实现更大的经济效益。

3.2 机场飞机尾气扩散情况

飞机尾气中的最主要大气污染物是 NO_x, 是高温燃烧下产生的副产品, 主要包括 NO、NO₂, 因此机场飞机尾气的扩散情况主要选择了 NO_x 进行分析。

根据 FLEXPART 模型分析结果, 北京大兴国际机场尾气的 NO_x 等大气污染物在气象条件的影响下, 扩散范围基本集中在 10 km 以内, 扩散范围不大, 属于局地污染, 相比不采取减排措施情况下, 大气污染物影响范围缩小, NO_x 最大影响质量浓度约 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 总体随距离增加, 浓度减少; 采取减排措施后, 机场飞机尾气 NO_x 平均约可下降 0.06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 对较远距离的区域 NO_x 影响质量浓度在 0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下。

3.3 对附近区域敏感点的影响分析

本研究在机场附近区域选择了代表性的环境敏感点, 分析机场飞机尾气中大气污染物对敏感点的影响, 比较得出采取减排措施的效果, 结果见表 2。

由表 2 可见, 北京大兴国际机场在采取减排措施后, 飞机排放的尾气中 5 种大气污染物对 9 个环境敏感点的影响基本都有所降低, 说明减排措施确实有效。

4 结 论

(1) 北京大兴国际机场在飞机尾气减排方面主要采取了减少飞机滑行时间(包括优化滑行路线和采用 A-SMGCS)和 APU 替代等减排措施。

(2) 与不采取减排措施相比, 北京大兴国际机场在采取减排措施后可以使飞机尾气中 SO₂、CO、HC、NO_x、PM_{2.5} 分别减排 9.13、133.29、13.21、130.16、3.97 t/a。机场飞机排放的尾气对机场附近区域各敏感点的影响也基本都有所降低, 说明减排措施确实有效。

(3) 以飞机尾气排放的最主要大气污染物 NO_x 为例, 北京大兴国际机场飞机尾气排放的大气污染物扩散范围基本集中在 10 km 以内, 属于局地污染, 相比不采取措施情况下, NO_x 污染范围缩小, 影响浓度下降。

(4) 由于飞机在机场的滑行时间减少, 飞机在北京大兴国际机场内耗油量可减少 1 988.53 t/a, 因此可节约 1 193.118 万元/a。可见, 北京大兴国际机场采取的减排措施不仅可有效降低大气污染物的排放, 同时也可节省运行费用, 具有环境和经济的双重效益。

参考文献:

- [1] 朱艳玲. EDMS 在机场大气污染预测中的应用[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2015.
- [2] 丁文彬, 蔡良才, 邵斌, 等. 机场大气污染研究现状综述[J]. 环境工程, 2015, 33(3): 69-72.
- [3] 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).
- [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] SONG S K, SHON Z H. Emissions of greenhouse gases and air pollutants from commercial aircraft at international airports in Korea[J]. Atmospheric Environment, 2012, 61: 148-158.

(下转第 1403 页)