

# 基于燃料属性的航空器全航线碳排放预测



聂武, 王步升, 刘向雷

南京航空航天大学, 江苏 南京 210016

**摘要:**精确计算碳排放是推进民航绿色发展、开展减碳工作的前提。为准确预测航空器碳排放并评估燃料属性对其影响, 本文从燃料属性出发, 将航空器飞行力学模型与发动机模型耦合, 考虑航空器在机场起降循环和空中飞行阶段的不同飞行特征, 建立了航空器碳排放计算方法。利用该方法计算航空器全航线碳排放, 与国际民航组织(ICAO)方法计算结果对比验证了方法的准确性, 分析了飞行条件变化及航空燃料属性对碳排放的影响。结果表明, 降低起飞重量、增加巡航高度有利于减少航空器碳排放; 使用生物航空燃料对航线碳排放影响较小, 在全生命周期内可有效降低碳排放。与传统航线碳排放预测方法相比, 燃料属性的引入增强了碳排放计算的适用性, 提高了预测精度。

**关键词:**民用航空器; 碳排放; 生物航空燃料; 全航线; 飞行条件

中图分类号: X738

文献标识码: A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2025.03.008

随着“双碳”目标的提出, 减少碳排放成为各行业的重要任务。航空器在飞行过程中消耗化石燃料, 排放出二氧化碳等温室气体。由于高空作业的特点, 航空器排放出的气体及颗粒物直接对大气层的温室气体浓度和结构造成影响, 由此造成的温室效应及相关气候问题相较于其他运输方式更为显著<sup>[1]</sup>, 因而民航业减碳工作更加紧迫。从航空器运行角度看, 各种减碳措施(如使用太阳能、电能和氢能、改进飞机/发动机技术等)中, 使用以生物质为原料生产的可持续航空燃料(SAF)由于可直接加注于现有航空发动机, 被认为是目前减排的主要方式<sup>[2-3]</sup>。针对目前民航业的减排路径规划, 以航空燃料属性为基础, 综合考虑航空器及发动机性能、航线特征等因素影响, 建立航空器全航线碳排放预测方法。该方法有助于提高航空器碳排放计算的精度和适用性, 可有效评估减碳效果, 对推进民航业绿色低碳发展具有重要意义。

针对航空器碳排放预测, 研究人员提出了众多方法。Pagoni等<sup>[4]</sup>利用聚类和地标登记技术, 结合飞行数据获取航空器飞行特征, 由此确定飞行路径的高度剖面, 进而计算燃油消耗量和碳排放量。朱学松等<sup>[5]</sup>在研究碳排放限制下

的航线货运机队规划时, 将航空器全航线飞行简化为巡航飞行, 计算航空器碳排放。闫国华等<sup>[6]</sup>将航空器全航线飞行分为起飞着陆(LTO)以及爬升巡航和下降(CCD)两个阶段, 结合国际民航组织(ICAO)数据库和中国民航统计数据, 估算了航空器全航线的碳排放量。刘菲等<sup>[7]</sup>通过构建基于四维航迹数据的飞行性能参数匹配计算模型, 利用雷达数据估算航空器的燃油流量、质量、马赫数和推力等参数, 进而计算航空器CCD阶段的油耗及碳排放量。

可以看出, 目前对航空器碳排放的测算往往采用基于具体航班数据或对飞行过程进行简化的方式, 前者计算量大且数据不易获取, 而后者计算准确性较低。同时, 生物航空燃料制备工艺的迅猛发展大大提高了燃料种类的丰富度, 航空燃料属性(如低热值、生命周期排放指数等)会影响航空器碳排放, 建立针对使用生物航空燃料的航空器碳排放预测方法对发展绿色民航意义重大, 而目前研究对其关注较少。

针对上述难点, 本文考虑生物航空燃料属性对碳排放的影响, 建立了基于航空燃料属性、航空器飞行特征以及发动机工作状态的碳排放计算方法。以某航线为算例分析了

收稿日期: 2024-08-25; 退修日期: 2024-11-07; 录用日期: 2025-01-06

基金项目: 中国工程院咨询项目(2023-XBZD-15)

引用格式: Nie Wu, Wang Busheng, Liu Xianglei. Prediction of civil aircraft carbon emissions in entire flight route based on fuel properties[J]. Aeronautical Science & Technology, 2025, 36(03): 63-69. 聂武, 王步升, 刘向雷. 基于燃料属性的航空器全航线碳排放预测[J]. 航空科学技术, 2025, 36(03): 63-69.

全航线碳排放分布情况,研究了主要飞行条件对碳排放的影响,并分析了使用生物航空燃料的航空器碳排放。为准确预测航空器全航线碳排放、评估生物航空燃料减碳效果提供参考。

## 1 计算方法

以航空燃料属性为基础,将航空器飞行力学模型与发动机模型耦合,考虑航空器的航线不同飞行阶段的特征,将航空器全航线飞行划分为LTO阶段和CCD阶段分别计算,最终得到航空器全航线飞行的CO<sub>2</sub>排放量。航空器全航线碳排放的计算流程如图1所示。

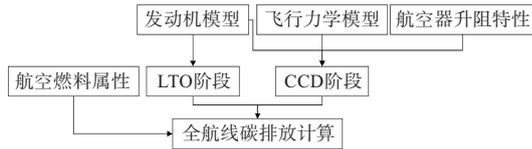


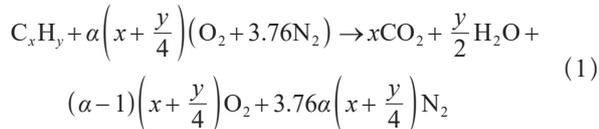
图1 全航线碳排放计算流程

Fig.1 Carbon emission calculation process in entire flight route

### 1.1 航空燃料属性计算

#### 1.1.1 二氧化碳排放指数

航空器碳排放计算的关键在于获取燃油消耗量与CO<sub>2</sub>排放量之间的关系,航空燃料的氢碳比、低热值等属性会影响其燃烧所产生的CO<sub>2</sub>,燃料燃烧达到平衡时的化学方程式可表示为<sup>[8]</sup>



式中,C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>为航空燃料; $\alpha$ 为余气系数。由元素守恒可推导出航空燃料燃烧的CO<sub>2</sub>排放指数EI<sub>CO<sub>2</sub></sub>为

$$EI_{CO_2} = \frac{44x}{12x + y} = \frac{44}{12 + k}, \quad k = \frac{y}{x} \quad (2)$$

式中,EI<sub>CO<sub>2</sub></sub>表示消耗单位质量燃料所产生的CO<sub>2</sub>, $k$ 为航空燃料的氢碳比。

#### 1.1.2 掺混燃料属性计算

目前生物航空燃料主要是与传统化石基航空燃料掺混的方式使用,掺混燃料的低热值与掺混比例呈线性变化关系,可表示为<sup>[9]</sup>

$$LHV_{mix} = LHV_{bio} \cdot \omega + LHV_{fossil} \cdot (1 - \omega) \quad (3)$$

式中,LHV为燃料的低热值; $\omega$ 为生物航空燃料的质量分数。

根据能量守恒定律,在相同的能量需求下,燃料的低热值越低,燃油流量越大,因此发动机使用掺混燃料时的燃油

流量需要根据燃油热值进行修正。使用掺混燃料时的流量修正系数C<sub>f</sub>可表示为<sup>[9]</sup>

$$C_f = \frac{LHV_{fossil}}{LHV_{mix}} \quad (4)$$

根据国际航空碳抵消和减排计划(CORSIA)提出的燃料生命周期碳排放计算方法,掺混燃料生命周期碳排放指数LS<sub>f<sub>mix</sub></sub>与掺混比例 $\omega$ 的关系可表示为<sup>[10]</sup>

$$LS_{f_{mix}} = \frac{LHV_{bio} \cdot LS_{f_{bio}} \cdot \omega + LHV_{fossil} \cdot LS_{f_{fossil}} \cdot (1 - \omega)}{LHV_{mix}} \quad (5)$$

基于中国的能源及原料数据,文献[11]计算出化石基航空燃料的生命周期碳排放指数LS<sub>f<sub>fossil</sub></sub>为91.59gCO<sub>2</sub>/MJ,本文采用此值进行计算。本文研究的4种生物航空燃料制备路径分别为水相催化重整、水热液化、气化费托合成和油脂加氢技术,各种燃料的低热值LHV<sub>bio</sub>及生命周期碳排放指数LS<sub>f<sub>bio</sub></sub>参考文献[12]中的数据,见表1。

表1 生物航空燃料属性及参数<sup>[12]</sup>

Table 1 Bio-jet fuel properties and parameters<sup>[12]</sup>

制备路径	原料	LHV <sub>bio</sub> /(MJ/kg)	LS <sub>f<sub>bio</sub></sub> /(gCO <sub>2</sub> /MJ)
水相催化重整	玉米秆	43.6	29.8
水热液化	玉米秆	42.8	25.2
气化费托合成	玉米秆	43.4	51.2
油脂加氢	大豆	42.8	56.4

### 1.2 航空器飞行力学模型

航空器在空中飞行时的受力方程可表示为

$$\begin{cases} m \frac{dv_{tas}}{dt} = T \cos \alpha - D - G \sin \gamma \\ mv_{tas} \frac{d\gamma}{dt} = T \sin \alpha + L - G \cos \gamma \end{cases} \quad (6)$$

式中, $m$ 为航空器的质量; $v_{tas}$ 为真空速; $T$ 为发动机产生的推力; $D$ 为航空器所受到的阻力; $G$ 为航空器的重力; $L$ 为航空器升力; $\alpha$ 为航空器的迎角,表示推力方向与航空器速度方向间的夹角; $\gamma$ 为航空器爬升角。升力 $L$ 及阻力 $D$ 的计算公式为<sup>[13]</sup>

$$\begin{cases} L = \frac{C_L \rho v_{tas}^2 S}{2} \\ D = \frac{C_D \rho v_{tas}^2 S}{2} \end{cases} \quad (7)$$

式中, $\rho$ 为大气密度; $S$ 为航空器的机翼面积;阻力系数 $C_D$ 与升力系数 $C_L$ 的关系可表示为<sup>[13]</sup>

$$C_D = C_{D0} + AC_L^2 \quad (8)$$

式中, $C_{D0}$ 为零升阻力系数; $A$ 为诱导阻力系数。该式描述了一般情况下航空器的升力系数与阻力系数之间的关系,

可用于计算航空器飞行过程中的需用推力。

### 1.3 发动机模型

目前民用航空器主要采用大涵道比双轴涡轮风扇发动机,参考《航空发动机设计手册》对发动机各部件进行建模,发动机处于稳定工作状态时需满足各部件间流量平衡、压力平衡以及功率平衡,根据以上条件建立由8个控制方程构成的方程组<sup>[14]</sup>,利用牛顿-拉夫逊法对方程组进行迭代求解,可得到发动机在给定高度和马赫数下的各部件进出口截面气动热力参数以及推力和燃油流量数据。之后根据高度、马赫数、推力和燃油流量的关系建立三维插值表,用于插值计算不同工作条件下的发动机燃油流量。

### 1.4 全航线碳排放计算

#### 1.4.1 LTO阶段碳排放计算

LTO阶段表示航空器从跑道到空中914.4m高度的起降过程,包括起飞、爬升、进近和慢车4个工作状态,各工作状态的持续时间、发动机推力设置及燃油流量根据ICAO发动机排放数据库确定<sup>[15]</sup>。以CFM56-5A3发动机为例,该发动机的LTO阶段基准运行参数见表2。

表2 CFM56-5A3发动机LTO阶段基准运行参数<sup>[15]</sup>

Table 2 CFM56-5A3 aero-engine reference operating parameters in LTO phase<sup>[15]</sup>

工作状态	推力设置	持续时间/min	燃油流量/(kg/s)
起飞	100%	0.7	1.131
爬升	85%	2.2	0.925
进近	30%	4	0.307
慢车	7%	26	0.104

航空器在LTO阶段的碳排放计算公式为

$$E_{LTO} = \sum_{i=1}^4 n t_i W_{fi} EI_{CO_2} \quad (9)$$

式中, $E_{LTO}$ 表示航空器在LTO阶段的CO<sub>2</sub>排放量; $i$ 表示航空器在LTO阶段的4个工作状态; $n$ 表示航空器装配的发动机台数; $t_i$ 表示航空器在第*i*个工作状态的运行时间; $W_{fi}$ 为单台发动机在第*i*个工作状态的燃油流量。

#### 1.4.2 CCD阶段碳排放计算

航空器在CCD阶段飞行过程中的高度和马赫数不断变化,推力和燃油流量也会随之改变,需要将航空器飞行力学模型与发动机模型耦合,由航空器受力情况计算出发动机推力,结合飞行高度和马赫数,插值求出燃油流量。

假设发动机在每个微小时间步长 $\Delta t$ 内的燃油流量保持不变,通过对CCD阶段的发动机燃油流量进行积分,结合CO<sub>2</sub>排放指数和航空器装配的发动机数量,可计算出航

空器在CCD阶段的碳排放总量,计算公式可表示为

$$E_{CCD} = \sum_{i=1}^{t/\Delta t} n \Delta t W_{fi} EI_{CO_2} \quad (10)$$

航空器全航线的碳排放量 $E_{total}$ 可表示为

$$E_{total} = E_{LTO} + E_{CCD} \quad (11)$$

## 2 ICAO航空器碳排放计算方法

ICAO提出了基于始达机场间大圆航线距离(GCD)的航空器碳排放计算方法<sup>[16]</sup>,该方法首先根据出发机场和到达机场的经纬度坐标计算出初始GCD,由于空中交通管制和天气因素需要对初始GCD进行修正,不同GCD下的需增加的修正距离见表3<sup>[16]</sup>。之后根据ICAO所建立的各类航空器在不同航程下的燃油消耗数据库,插值计算出在修正后GCD下的燃油消耗量。最后结合航空燃料的CO<sub>2</sub>排放指数(ICAO方法定义为3.16kgCO<sub>2</sub>/kg),计算出航空器全航线的碳排放量。计算流程如图2所示。

表3 大圆航线距离修正表<sup>[16]</sup>

Table 3 Correction sheet of great-circle distance<sup>[16]</sup>

GCD/km	修正距离/km
GCD<550	50
550 < GCD < 5500	100
5500 < GCD	125

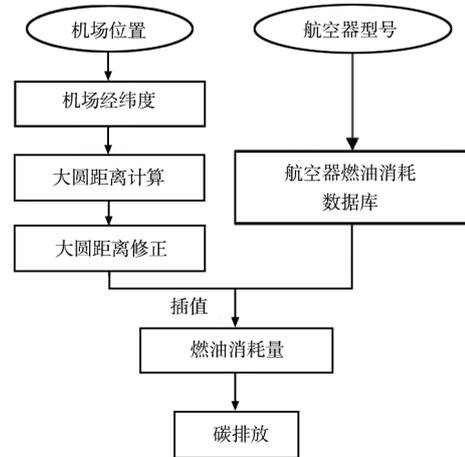


图2 ICAO航空器碳排放计算流程

Fig.2 ICAO aircraft carbon emission calculation flow chart

## 3 结果与讨论

### 3.1 飞行条件设置

以装配两台CFM56-5A3发动机的A320-212航空器为研究对象,假设飞行航线为南京禄口国际机场—乌鲁木齐

地窝堡国际机场。A320-212航空器航线飞行的主要参数设定为:起飞重量为70t,巡航高度为10.668km,巡航马赫数为0.8。航空器爬升及下降过程中在不同高度的飞行速度均根据A320系列航空器通用的飞行方式确定<sup>[17]</sup>,使用的化石基航空燃料的低热值为43.1MJ/kg,氢碳比为1.94。航空器的升阻特性参考文献<sup>[18]</sup>数据。图3显示了A320航空器在巡航阶段升阻比与升力系数的关系。

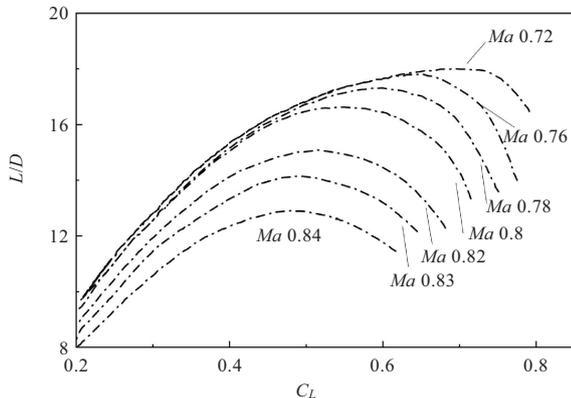


图3 A320航空器升阻比随升力系数变化情况<sup>[18]</sup>

Fig.3 The lift-drag ratio of A320 aircraft at different lift coefficient<sup>[18]</sup>

### 3.2 发动机模型精度验证

在起飞和巡航两个工况对发动机模型的精度进行验证,对比结果见表4,发动机模型在巡航阶段的油门特性对比如图4所示。

表4 发动机模型精度验证

Table 4 Aero-engine model accuracy verification

参数	参考值 <sup>[19]</sup>	模型	误差/%
起飞推力/kN	117.9	117.04	-0.73
起飞耗油率/(g/(kN·s))	9.59	9.93	3.47
巡航推力/kN	22.25	21.77	-2.16
巡航耗油率/(g/(kN·s))	16.85	17.23	2.20

由表4可看出,发动机模型在起飞工况和巡航工况的误差在4%以内,图4表明巡航阶段的推力油耗变化与发动机性能计算软件计算结果十分接近。这说明建立的发动机模型精度可靠,可用于计算发动机的CO<sub>2</sub>排放。

### 3.3 全航线碳排放计算验证

分别利用本文方法和ICAO方法对A320-212航空器在南京到乌鲁木齐全航线的CO<sub>2</sub>排放总量进行计算,计算结果如图5所示。

结果表明,本文方法计算出的航空器碳排放量比ICAO方法计算结果减少7.16%,造成这一差异的原因在于ICAO

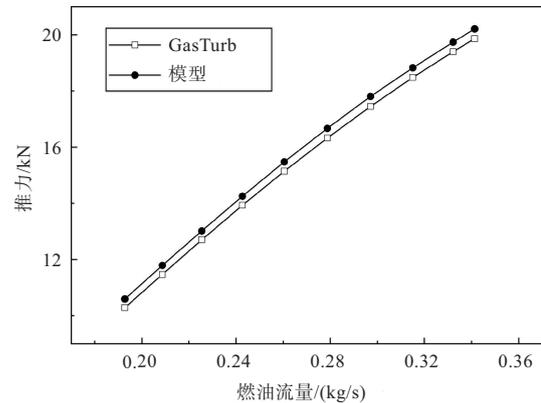


图4 发动机模型巡航阶段油门特性对比

Fig.4 Comparison of throttle characteristics of aero-engine model in cruise phase

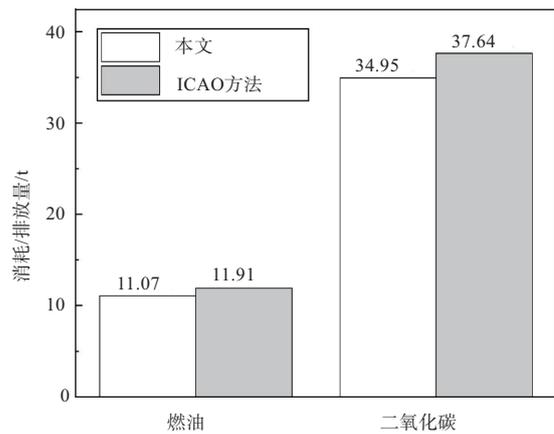


图5 全航线碳排放计算结果

Fig.5 Carbon emission calculation result of the entire route

方法是基于航空公司的航空器实际油耗统计数据建立飞行距离-油耗数据库,根据GCD进行插值计算;而本文提出的碳排放计算方法是在航空器理想飞行状态基础上进行计算,未考虑实际飞行过程中的气候条件、空中交通管制、机龄等因素的影响,因此导致油耗和碳排放计算结果偏小。综上所述,本文方法能够准确计算航空器全航线的碳排放量。

航空器全航线碳排放分布如图6所示。可以看出,巡航阶段的碳排放在全航线碳排放中占比最大,航线爬升次之,其余飞行阶段由于飞行时间较短且燃油流量低,所产生的碳排放远低于巡航碳排放。

### 3.4 飞行条件变化对碳排放的影响

其余飞行条件与3.1节一致,分别计算航空器起飞重量为68t、70t和72t,巡航高度为10068m、10668m和11268m时的航空器全航线碳排放。各飞行条件下的全航线碳排放量如图7所示。

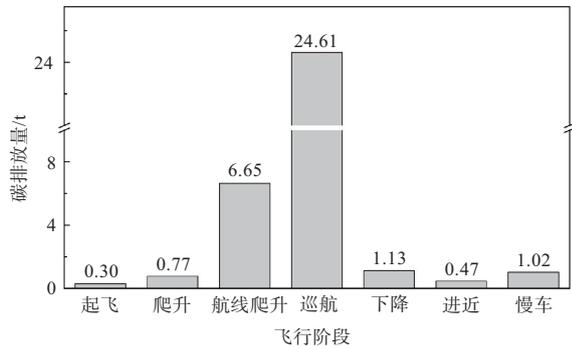


图6 航空器全航线碳排放分布

Fig.6 Carbon emission distribution of aircraft in entire route

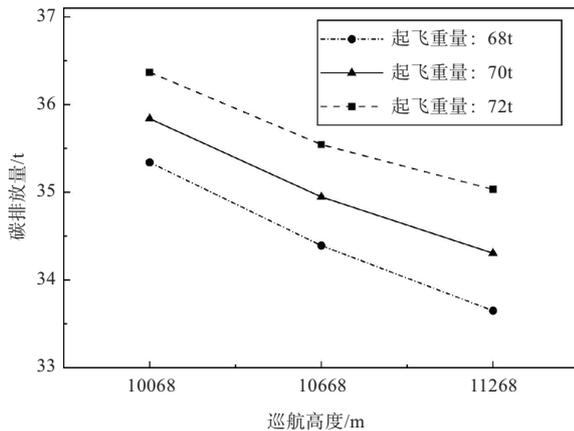


图7 巡航高度及起飞重量对航空器碳排放的影响  
Fig.7 Effects of cruise altitude and take-off weight on aircraft carbon emissions

由图7可以看出,随着起飞重量的增加,航空器飞行所产生的碳排放不断增加,这是由于起飞重量的增加使航空器飞行过程中需要克服更大的重力和阻力,造成了油耗的增加,因此碳排放量增大。航空器全航线碳排放随着巡航高度的增加而减少,这是由于随着巡航高度的增加,空气密度不断降低,由阻力计算公式可知航空器所受阻力减少,因此造成油耗量降低,碳排放减少。

### 3.5 燃料属性对碳排放的影响

将4种生物航空燃料的掺混比例分别设置为0、30%和50%,其余飞行条件与3.1节一致,计算出航空器全航线碳排放如图8所示。由图8(a)可看出,随着掺混比例由0上升到50%,使用4种生物航空燃料的航线碳排放变化比例分别为-0.55%、0.38%、-0.32%和0.38%,这主要是由于生物航空燃料的低热值与传统化石基航空燃料相近,导致航线CO<sub>2</sub>变化量较小。由图8(b)可以看出,使用4种生物航空燃料的生命周期碳排放随着掺混比例增大而不断减小。在掺

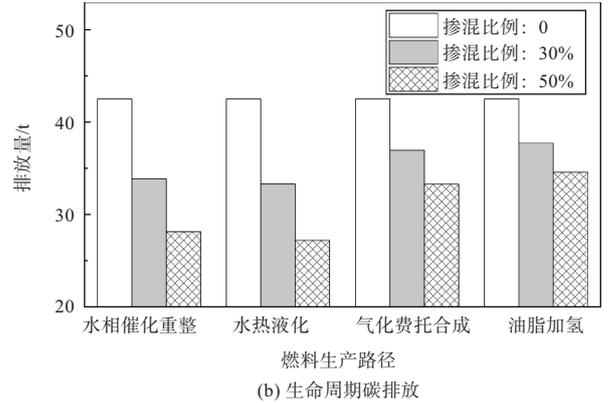
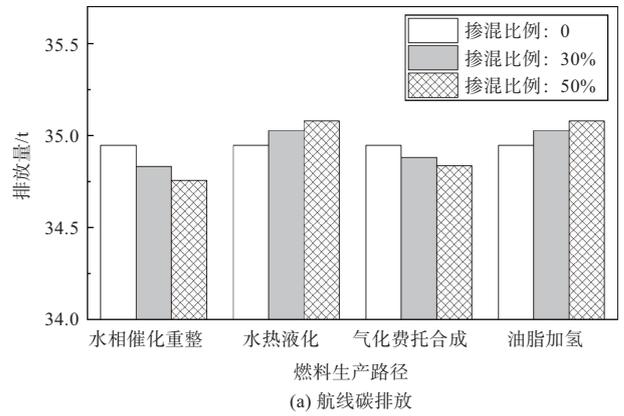


图8 掺混生物航空燃料的航空器碳排放

Fig.8 Carbon emissions of aircraft blending with bio-jet fuel

混比例由0增加到50%的过程中,碳排放减少比例分别为33.92%、36.11%、22.12%和19.14%,这是由于生物航空燃料以生物质为原料生产,生物质在生长过程中会吸收CO<sub>2</sub>,因此生命周期碳排放大幅度降低。

## 4 结论

本文基于航空燃料属性建立了民用航空器全航线碳排放预测方法,结合具体航线计算分析了航空器碳排放,得到以下结论:

- (1) 相较于传统航线碳排放计算方法,燃料属性的引入提高了碳排放计算的适用性以及预测精度。
- (2) 航空器在巡航阶段碳排放占比最大,优化巡航飞行条件是减少航线碳排放的关键,可通过降低起飞重量及增加飞行高度等方式实现。
- (3) 与化石基燃料相比,使用生物航空燃料的航线碳排放变化极小,但可在全生命周期内大量减少碳排放,利用水热液化所制备的航空燃料减排效果最好。

本文提出的航空器碳排放计算方法不仅可以实现准确的全航线碳排放预测,还可对使用生物航空燃料的航空器

减碳效果进行快速准确的计算评估,为完善航空器碳排放测算体系,促进民航绿色低碳发展提供参考依据。 **AST**

### 参考文献

- [1] 吴光辉,马静华,刘倩,等.民用航空运输业低碳化发展战略研究[J].中国工程科学,2023,25(5):165-173.  
Wu Guanghui, Ma Jinghua, Liu Qian, et al. Low-carbon development of civil aviation industry[J]. Strategic Study of CAE, 2023, 25(5): 165-173. (in Chinese)
- [2] 杨晓军,袁中楠,丁水汀,等.基于纤维素类能源植物的可持续航空燃料全生命周期排放方法分析[J].航空科学技术,2024,35(1):25-35.  
Yang Xiaojun, Yuan Zhongnan, Ding Shuiting, et al. Analysis of whole life cycle emissions method of sustainable aviation fuel based on cellulose energy plants[J]. Aeronautical Science & Technology, 2024, 35(1):25-35. (in Chinese)
- [3] 雷国东,徐悦,陈少军,等.固定翼民机的新能源关键技术研发现状与展望[J].航空科学技术,2024,35(1):2-14.  
Lei Guodong, Xu Yue, Chen Shaojun, et al. Research and development status and prospect of the alternative energy key technologies for the fix-wing civil aircrafts[J]. Aeronautical Science & Technology, 2024, 35(1):2-14. (in Chinese)
- [4] Pagoni I, Psaraki-Kalouptsidi V. Calculation of aircraft fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions based on path profile estimation by clustering and registration [J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2017, 54: 172-190.
- [5] 朱学松,陈肯.碳排放限制下的竞争航线货运机队规划研究[J].航空计算技术,2023,53(6):6-10.  
Zhu Xuesong, Chen Ken. Research on cargo fleet planning for competitive routes under carbon emission restrictions[J]. Aeronautical Computing Technique, 2023, 53(6): 6-10. (in Chinese)
- [6] 闫国华,吴鹏.飞机完整航线二氧化碳排放量估算[J].装备制造技术,2013,41(8):29-31.  
Yan Guohua, Wu Peng. The aircraft CO<sub>2</sub> emissions estimate in complete routes[J]. Equipment Manufacturing Technology. 2013, 41(8): 29-31. (in Chinese)
- [7] 刘菲,韩孝兰,魏志强,等.基于雷达记录数据的飞机碳排放估算方法[J].安全与环境学报,2019,19(5):1761-1766.  
Liu Fei, Han Xiaolan, Wei Zhiqiang, et al. Estimation method of civil aircraft carbon emission based on radar recorded data [J]. Journal of Safety and Environment, 2019, 19(5): 1761-1766. (in Chinese)
- [8] Li Yanqing, Xuan Yimin. Thermal characteristics of helicopters based on integrated fuselage structure/engine model [J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2017, 115: 102-214.
- [9] Fusaro R, Viola N, Galassini D. Sustainable supersonic fuel flow method: an evolution of the Boeing fuel flow method for supersonic aircraft using sustainable aviation fuels[J]. Aerospace, 2021, 8(11): 331.
- [10] International Civil Aviation Organization. CORSIA default life cycle emissions values for CORSIA eligible fuels [S]. ICAO, 2022.
- [11] 赵晶,郭放,阿鲁斯,等.未来航空燃料原料可持续性研究[J].北京航空航天大学学报,2016,42(11):2378-2385.  
Zhao Jing, Guo Fang, A Lusi, et al. Research of sustainable feedstock for future alternative aviation fuels[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2016, 42 (11): 2378-2385. (in Chinese)
- [12] 朱啸南.基于生命周期评价的生物航油制备及利用对环境的影响研究[D].杭州:浙江大学,2022.  
Zhu Xiaonan. Study on environmental impact of bio-jet fuel preparation and utilization based on life cycle assessment[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2022. (in Chinese)
- [13] 徐冬蕾,丁冬进,肖刚,等.基于飞机性能连续爬升程序建模和油耗分析[J].民用飞机设计与研究,2021,35(4):15-21.  
Xu Donglei, Ding Dongjin, Xiao Gang, et al. Performance based continuous climb operation modeling and fuel consumption analysis[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2021, 35(4): 15-21. (in Chinese)
- [14] Cai Changpeng, Wang Yong, Fang Juan, et al. Multiple aspects to flight mission performances improvement of commercial turbofan engine via variable geometry adjustment[J]. Energy, 2023, 263: 125693.
- [15] International Civil Aviation Organization. ICAO engine exhaust emission databank[S]. ICAO, 2024.
- [16] International Civil Aviation Organization. ICAO carbon emissions calculator methodology, Version 11[S]. ICAO, 2018.
- [17] Airbus. Getting grips with aircraft performance: flight opera-

- tions support & line assistance[Z]. Airbus, 2002.
- [18] Vera-Morales M, Hall C A. Modeling performance and emission from aircraft in the aviation integrated modelling project[J]. *Journal of Aircraft*, 2010, 47(3): 812-819.
- [19] 林左鸣. 世界航空发动机手册[M]. 北京: 航空工业出版社, 2012.
- Lin Zuoming. *World aeroengine handbook*[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2012. (in Chinese)

## Prediction of Civil Aircraft Carbon Emissions in Entire Flight Route Based on Fuel Properties

Nie Wu, Wang Busheng, Liu Xianglei

*Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China*

**Abstract:** Accurate calculation of carbon emissions is the prerequisite for advancing the green development of civil aviation and conducting carbon reduction work. To accurately predict aircraft carbon emissions and assess the impact of fuel property on the emissions, a calculation method based on the jet fuel properties, aircraft flight mechanics model and aeroengine model is proposed. This method takes into account the different flight characteristics of aircraft during landing and take-off cycle as well as airborne flight phase. Using this method, the carbon emissions of aircraft along the entire route are calculated, and the accuracy of the method is validated by comparing with the results obtained from ICAO carbon emissions calculator methodology. The impact of flight conditions and fuel property on carbon emissions is analyzed. The results indicate that reducing take-off weight and increasing cruise altitude are beneficial for reducing aircraft carbon emissions. The use of bio-jet fuel has a relatively minor impact on flight route carbon emissions but can effectively reduce emissions over the lifecycle. Compared with traditional flight carbon emissions prediction methods, the introduction of fuel properties enhances the applicability of carbon emission calculation and improves the prediction accuracy.

**Key Words:** civil aircraft; carbon emissions; bio-jet fuel; entire flight route; flight condition

---

**Received:** 2024-08-25; **Revised:** 2024-11-07; **Accepted:** 2025-01-06

**Foundation item:** Chinese Academy of Engineering Consulting Project(2023-XBZD-15)