

# 航空碳排放计算方法

## Methods of Calculating Aviation Carbon Emissions

■ 王翔宇 刘英杰 / 中国航发研究院

随着航空业参与者对精确掌握二氧化碳排放情况的需求不断增长，构建高可信度、标准化的计算方法变得十分必要。国际民航组织（ICAO）和国际航空运输协会（IATA）的碳排放计算方法以飞行距离为主要输入，根据飞行过程的燃料消耗情况得到每位旅客的碳排放信息，有望在航空业的可持续发展中起到重要指引作用。

**根** 据国际航空运输协会公布的数据，新冠疫情前的2019年商用航空运输市场的二氧化碳排放量达到9.15亿t，占全球排放总量的2.4%，其中85%的碳排放来自民航客运。在全球航空业致力于到2050年实现净零碳排放的大背景下，为了更好地应对碳补偿压力、承担碳减排责任，所有市场参与者首当其冲要做的就是了解各种飞行活动对应的碳足迹信息。科学合理计算航空碳排放量的现实意义愈发显现，这无疑未来建立健全碳交易市场机制的基础。ICAO的碳排放计算器（carbon emissions calculator）和IATA发布的航空旅客碳排放计算方法，是目前最为通用的航空碳排放计算方法。

### ICAO 碳排放计算方法

ICAO的碳排放计算器首先可通过飞行始发地和目的地机场的经纬度坐标计算理想飞行距离（GCD），考虑到交通管制与不利天气等因素的影响，应对结果进行经验校正得到实际飞行距离。然后，基于飞行距离是燃油消耗单一自变量的假设，利用航空制造商使用手册中给出的理论耗油率，以及航空公司在航班实际运营中燃料使用的相关数据，给

出航空燃料消耗和飞行距离之间的经验关系，据此可得到执飞该航线特定机型所消耗的航空燃料（各种机型对应不同飞行距离所消耗的燃料信息可在ICAO碳排放计算器使用说明书中查阅）。

为了能够评估每位旅客产生的航空碳排放，有必要扣除航班上携带的货物和邮件消耗的燃料。旅客、货物和邮件的燃料分配比例与其质量正相关，基于旅客个体的平均质量为100kg（含行李）、与旅客使用相关的机上设备与基础设施（如座位、盥洗室、厨房和机组人员）附加质量为每座位50kg的假设，可得到燃料消耗的客货比系数。利用该机型能够提供的最大座位数量（即假设飞机全部配置经济舱）和载客率，计算航班上实际的旅客人数以及每位旅客对应燃料消耗。根据国际民航公约附件16第14卷国际航空碳抵消和减排计划（CORSIA）中的约定，Jet-A/Jet-A1型航空燃料的二氧化碳转换系数为3.16，即不论何种飞机、装配何种燃气涡轮发动机或执行何种飞行任务，近似认为每消耗1kg航空燃料将固定产生3.16kg碳排放，此时每位旅客的飞行碳排放即为对应燃料消耗量与该转化系数的乘积。根据ICAO发布

的使用说明，几种典型机型飞行距离与燃料消耗量的对应关系如图1所示。

例如，一架从北京首都机场飞往上海虹桥机场的A321客机，飞行距离为1075km，单程燃料消耗总量约6132kg，以客货比79.47%估算，旅客消耗的燃料为4873kg。若进一步认为该飞机的最大座位量为215个、平均载客率为75.3%，那么此次飞行每位旅客消耗航空燃料30kg，相应产生了94.8kg碳排放。而对于非经济舱（含超级经济舱、商务舱和头等舱）的旅客而言，可近似认为产生了两倍于经济舱乘客的排放水平。

需要特别说明的是，ICAO的计算器无需用户给出具体的机型信息，一旦飞行的始发机场和终到机场确定，就会自动比对数据库中已有定期航班信息，获得在这两个机场执飞的所有飞机机型（有一些机型可近似认为是等效的），并通过不同的客货比例和运载能力关系计算燃料消耗情况，再根据其起飞频率占比进行加权平均，最终得到该航线上每位旅客的碳排放平均值。

### IATA 碳排放计算方法

2022年年初，IATA发布了最新航

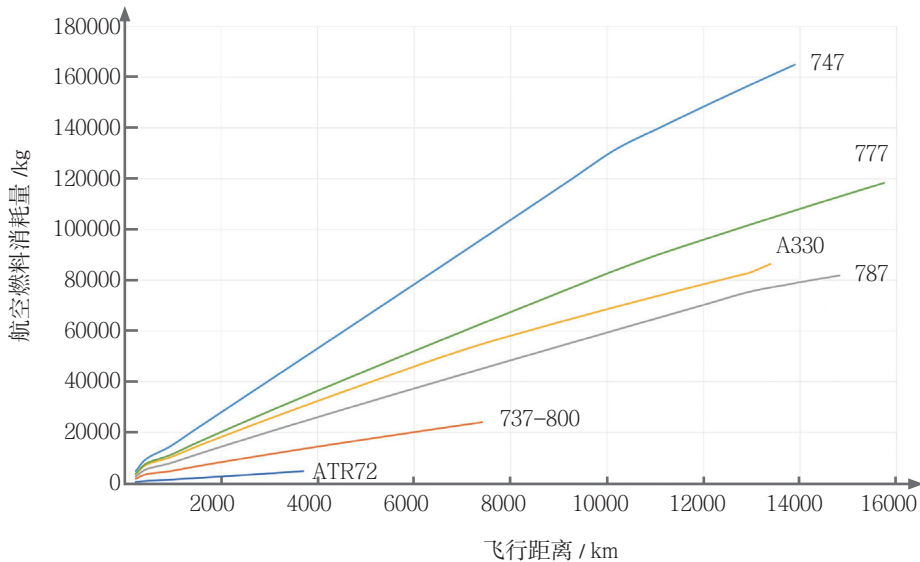


图1 几种典型机型飞行距离与燃料消耗量的对应关系 (来源: ICAO)

空旅客碳排放计算方法，并宣称可为所有有兴趣了解飞行活动碳足迹的旅客提供最准确的计算结果。整体上看该方法基本延续了ICAO的计算思路，如同样是基于飞行距离与燃料消耗对应关系、同样将燃料燃烧生成二氧化碳的转化系数定为3.16，只是在一些细节上重新审定，进行了改进和更新。在燃料燃烧监测方面，IATA建议采用的监测对象、流程和方法应与CORSA保持一致，且由外部独立核查组织审计确认相关数据，实际计算中不再对

航线上所有可能的机型取均值；在燃料客货分配方面，虽然每位旅客及其托运的行李的平均质量仍计为100kg，但不再附加每个座位50kg的额外设备设施质量（所在地法规要求除外），这相当于普遍调减了旅客承担的碳排放；在座位方面，考虑到窄体、宽体飞机不同客舱等级旅客座位空间与质量的巨大差异，燃料消耗要对应不同的权重系数，此时经济舱旅客产生的碳排放可能会显著低于ICAO碳排放计算器给出的计算结果。

除了二氧化碳，飞行活动在高空产生的氮氧化物、水蒸气（尾迹云）和颗粒物同样会带来巨大的温室效应，因此似乎有必要在碳排放计算时引入所谓的辐射强迫系数（RFI）的影响。早期的一些研究工作将RFI标定为1.9 ~ 2.7，即认为最终产生的等价碳当量是燃料燃烧产生二氧化碳的1.9 ~ 2.7倍。然而，随着研究的深入，用RFI来简单表达航空排放与辐射效应之间的关系可能并不合适，在业界就航空非碳排放计算与影响评估达成共识之前，IATA不建议基于RFI人为放大飞行碳足迹。而针对目前广受关注的可持续航空燃料（SAF），其使用过程中的碳排放计算与传统航空燃料并无区别，想要确定SAF产生碳信用额度必须追踪从生产到使用的全生命周期碳排放情况。表1和表2分别给出了窄体飞机和宽体飞机旅客碳排放计算示例。

### 碳排放计算方法的发展

对每个航班使用实时数据分析燃料消耗情况并不现实，单次飞行不但容易受到诸如天气和交通等无法控制因素的干扰，也无法真实反映很多航线季节性和方向性的潜在特

表1 窄体飞机旅客碳排放计算示例 (来源: IATA)

执飞机型			A320	飞行距离 / km		≈ 1000
航空燃料消耗总量 / kg			6638	货物邮件质量 / kg		809
客舱级别	旅客数量 / 个	旅客质量 / kg	旅客消耗燃料合计 / kg	舱位权重	加权后每位旅客燃料消耗 / kg	每位旅客碳排放 / kg
经济舱	86	8600	5829	1	60	191
超级经济舱	—	—		1	—	—
商务舱	7	700		1.5	91	286
头等舱	—	—		1.5	—	—

表2 宽体飞机旅客碳排放计算示例（来源：IATA）

执飞机型			777	飞行距离/km		≈ 5500
航空燃料消耗总量/kg			27000	货物邮件质量/kg		2100
客舱级别	旅客数量/个	旅客质量/kg	旅客消耗燃料合计/kg	舱位权重	加权后每位旅客燃料消耗/kg	每位旅客碳排放/kg
经济舱	140	14000	24375	1	84	266
超级经济舱	30	3000		1.5	126	398
商务舱	20	2000		4	336	1062
头等舱	5	500		5	420	1328

征。相应地，航空碳排放计算在很大程度上成为了一个时间构架（周期一般为1年）下的统计学问题。从飞行距离到燃料消耗、再到燃料产生的二氧化碳，ICAO和IATA的碳排放计算流程方法得到了越来越多的认可，在旅客质量估算、舱位权重分配等方面已基本形成了共识。考虑到国际民航公约已正式标定航空燃料与二氧化碳转换系数，业界对该计算方法关注的焦点集中在如何更加准确地评估燃料消耗上。

一般可将飞行分为巡航和起飞/着陆（LTO）两大部分。其中巡航包含了飞机在915m高度以上的所有活动，不仅覆盖了绝大部分航程（如一些估算中粗略取99%），而且工况较为单一、试验数据较为全面完备，很多飞机/发动机设计手册中都对如何计算巡航的燃料消耗进行了详尽的分析，并给出了置信度较高的经验公式。LTO则涉及滑出、起飞、爬升、进场、着陆和滑入等多个状态，粗略认为燃料消耗占据了全程的10%左右，由于飞行距离较短，该阶段产生的碳排放会更加集中，相应地带来了机场附近低空大

气环境破坏的问题，并衍生出了碳排放扩散分析等研究方向。

根据ICAO发布的相关文档，不同飞行状态飞机的燃料消耗为飞行时间与发动机数量、发动机燃料流量三者的乘积。如一架波音737飞机爬升用时132s，此时配装CFM56-7B发动机的燃料流量为0.761kg/s，因此该飞行状态下的燃料消耗计算公式为 $2 \times 132 \times 0.761 = 200.9\text{kg}$ ，若计算整个LTO阶段的燃料消耗则需将各个状态下的结果叠加起来。为简化工作，在一些研究中近似将飞机/发动机在执行不同飞行任务时LTO阶段的燃料消耗当作定值，但目前这么做是否合适还没有一个定论。当然，即便针对巡航来说，不同研究机构所采用的燃料消耗经验公式可能也并不相同。

未来航空碳排放计算方法将呈现以下发展趋势：第一，航空碳排放计算方法不是“屠龙之术”，所针对的也不只是航空设备制造商和航空公司，过于纷乱繁杂的计算流程无助于其在广大旅客中的普及应用，适度的近似和简化是非常有必要的；第二，各种不同的碳排放计算方法和思路逐渐从发散走向收敛，ICAO和IATA相

关碳排放计算方法最有可能成为业界通用的基准，像机场这样特殊场景的碳排放计算都会在此基础上改进演化；第三，碳排放计算方法应与经核实的航空设备制造商的试验数据和航空公司运营数据结合使用，但很多企业内部信息并不对外公开，即便同样的计算方法很可能产生不同的计算结果，协调全行业排放数据的统合已经势在必行。

## 结束语

正如IATA所宣称的那样，“创建一套公认的航空碳排放计算行业标准是实现这一目标（2050年净零碳排放）的必要条件”。五花八门的碳排放计算方法和各种各样的计算结果，只会削弱航空业对于达成可持续发展愿景的信心。随着ICAO和IATA相关碳排放计算方法不断成熟完善，业界有望以此为基础构建权威的碳足迹跟踪工具。而未来工作的重点与难点，既包含在一些计算流程和参数简化上统一认识，也涉及真实燃料消耗数据信息的协调共享。 **航空动力**

（王翔宇，中国航发研究院，高级工程师，主要从事航空发动机发展战略研究）