

飞机二氧化碳排放评定方法

Evaluation method of aeroplane CO₂ emissions

2024-03-12 发布

2024-03-12 实施

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 符号和缩略语	2
5 飞机 CO ₂ 排放评定度量值的确定	2
5.1 评定程序	2
5.2 确定 SAR 的方法	2
5.3 SAR 合格审定试验和测试条件	2
5.4 飞机 SAR 的测试	4
5.5 据测试数据计算基准 SAR	4
5.6 结果的有效性	5
5.7 CO ₂ 排放评定度量值的计算	6
5.8 数据报告	6
附录 A（资料性） RGF 的确定	7
参考文献	9

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国民用航空局航空器适航审定司提出。

本文件由中国民航科学技术研究院归口。

本文件起草单位：中国民用航空适航审定中心、中国民航科学技术研究院、中国航发商用航空发动机有限责任公司。

本文件主要起草人：张森、宋建宇、贾蓓、陈翹楚、查筱晨、沈洋、王妙颖、涂杰、刘佳鑫、吴晶峰、杨卓君。

引 言

本文件面向飞机二氧化碳排放测试与评估需求，是对民用航空规章《涡轮发动机飞机燃油排泄与排气排出物规定》（CCAR-34-R1）的补充，明确了飞机二氧化碳排放度量值确定的审定指南、基准几何因子确定的审定指南，并给出了具体技术要求与示意图。

MH

飞机二氧化碳排放评定方法

1 范围

本文件规定了飞机二氧化碳（CO₂）排放需满足的测试和评估要求。

本文件适用于5700 kg以上的亚音速喷气式飞机，以及8168 kg以上的螺旋桨驱动的飞机CO₂排放合格审定。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

ASTM D4052-11 用数字密度计测定液体密度，相对密度和API度的标准试验方法（Standard test method for density, relative density, and API gravity of liquids by digital density meter）

ASTM D445-15 透明和不透明液体运动粘度的标准试验方法（包括动态粘度的计算）[Standard test method for kinematic viscosity of transparent and opaque liquids（and calculation of dynamic viscosity）]

ASTM D4809-13 用弹式量热器（精密法）测定液态烃类燃料燃烧热的标准试验方法[Standard test method for heat of combustion of liquid hydrocarbon fuels by bomb calorimeter（precision method）]

ICAO Annex 16 Volume III 环境保护——飞机二氧化碳排放（Environmental protection——Aeroplane CO₂ emissions）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

飞机 **aeroplane**

其飞行中的升力主要来自在给定飞行条件下保持固定的翼面上的空气动力作用的由动力驱动的重于空气的航空器。

3.2

驾驶舱机组区 **cockpit crew zone**

指定为飞行机组专用的那一部分机舱。

3.3

等效程序 **equivalent procedure**

一种试验或分析程序，虽然与本文件规定的程序不同，但在技术判断中，有效地得出了与规定程序相同的CO₂排放评定度量值。

3.4

最大起飞质量 **maximum take-off mass**

针对某型号设计构型的所有起飞质量的最高值。

3.5

性能模型 **performance model**

一种经修正后的试验飞行数据验证的分析工具或方法，可用于确定单位空中航程以便计算基准条件下的CO₂排放评估度量值。

3.6

基准几何因子 **reference geometric factor**

以根据机身尺寸二维投影导出的飞机机身尺寸测试值为依据的调整因子。

3.7

单位空中航程 **specific air range**

飞机巡航飞行阶段每单位燃油消耗所行驶的里程。

3.8

型号设计 **type design**

为确定适航性之目的，用来定义航空器、发动机或螺旋桨型号所必需的一组数据和信息。

4 符号和缩略语

下列符号和缩略语适用于本文件。

CO₂: 二氧化碳 (carbon dioxide)。

g_0 : 在海平面和大地纬度45.5° 处的重力加速度标准值, 9.80665 (m/s²)。

Hz: 赫兹 (每秒中的周期数)。

W_T : 飞机总燃油流量, 单位为公斤每小时 (kg/h)。

AVG: 平均值 (average)。

CG: 重心 (centre of gravity)。

MTOM: 最大起飞质量 (maximum take-off mass), 单位为公斤 (kg)。

OML: 外模线 (outer mould line)。

RGF: 基准几何因子 (reference geometric factor)。

RSS: 平方和根值 (root sum of squares)。

SAR: 单位空中航程 (specific air range), 单位为千米/公斤 (km/kg)。

TAS: 真空速 (true aeroplane fuel flow), 单位为千米/小时 (km/h)。

5 飞机 CO₂ 排放评定度量值的确定

5.1 评定程序

CO₂ 排放评定度量值的确定包括下列程序。

- a) 确定 RGF (见附录 A)。
- b) 通过直接飞行试验或验证性能模型来确定合格审定试验和确定 SAR 的测试条件和程序 (见 5.3 节), 包括:
 - 1) 测试确定 SAR 所需的参数 (见 5.4);
 - 2) 参照 SAR 基准条件修正测试数据 (见 5.5);
 - 3) 验证计算审定的 CO₂ 排放评定度量值时所用的数据 (见 5.6)。
- c) 计算 CO₂ 排放评定度量值 (见 5.7)。
- d) 数据报告 (见 5.8)。

5.2 确定 SAR 的方法

SAR 的确定方法如下。

- a) SAR 可通过 SAR 试验点的直接飞行试验测试来确定, 包括根据基准条件对试验数据的任何修正, 或是通过使用性能模型来确定。如使用性能模型, 应通过实际 SAR 飞行试验数据予以验证。
- b) 在任一情况下, SAR 飞行试验数据均应根据该标准所规定的程序获得, 并经过批准。
- c) 性能模型的验证应该仅需要在试验点和显示与标准相符的条件下显示。试验和分析方法, 包括可能使用的任何算法, 应尽量详细说明。

5.3 SAR 合格审定试验和测试条件

5.3.1 概述

5.3.2规定了进行SAR合格审定试验和使用测试程序的条件。

注：审定CO₂排放度量值的申请可能仅涉及飞机机型设计的微小变化。因此，产生的CO₂排放度量值的变化可能往往通过等效程序即可准确确定，而不必进行完整的试验。

5.3.2 飞行试验程序

5.3.2.1 飞行前

飞行前的程序应经过批准，并且包括以下要素。

- a) 飞机制造符合性：应确认试验飞机符合申请进行合格审定的型号设计。
- b) 飞机称重：试验飞机应称重。称重后、试验飞行前发生的任何质量变化都应加以考虑。
- c) 燃油低热值：每次飞行试验都要抽取燃油样本，以确定其低热值。燃油样本测试结果应用来参照基准条件修正测试数据。确定燃油低热值和参照基准条件进行校正应得到批准。
 - 1) 燃油低热值应该根据至少与 ASTM D4809-13 中规定的同样严格的方法来确定。
 - 2) 燃油样本应该代表每次飞行试验所使用的燃油，而且不应该因为燃油取自多个来源，油箱的选择或燃油在油箱中的分层而使燃油样品出现误差或差异。
- d) 燃油比重和粘度：应抽取每次飞行试验的燃油样本，以确定使用容积燃油流量表时燃油的比重和粘度。
 - 1) 燃油比重应该根据至少与 ASTM D4052-11 中规定的同样严格的方法来确定。
 - 2) 燃油运动粘度应该根据至少与 ASTM D445-15 所规定的同样严格的方法来确定。

注：使用容积燃油流量表时，燃油粘度用来确定一个容积燃油流量表计量的参数得出的容积燃油流量。燃油比重（或密度）用来将容积燃油流量转换为质量燃油流量。

5.3.2.2 飞行试验方法

飞行试验方法要求如下。

- a) 飞行试验应根据以下飞行试验方法和 5.3.2.3 中规定的稳定性条件来进行。
- b) 试验点应至少间隔 2 min，或者通过超越 5.3.2.3a) 所述的一个或多个稳定性标准限值来间隔开。
- c) 在测试飞行条件以确定 SAR 时，应保证：
 - 1) 飞机尽可能在恒压高度沿等压线恒定航向飞行；
 - 2) 对于非加速水平飞行，发动机推力/功率设定平稳；
 - 3) 飞机尽可能贴近基准条件飞行，以最大限度地减少修正值；
 - 4) 配平或发动机功率/推力设定、发动机稳定性和操纵放气，以及电气和机械动力提取（包括引气）方面没有变化。应该避免可能影响 SAR 测试的飞机系统使用的任何变化；
 - 5) 尽可能减少机上人员的移动。

5.3.2.3 试验条件稳定性

试验条件稳定性要求如下。

- a) 要获得有效的 SAR 测试数据，以下参数应在获得 SAR 数据所需的至少 1 min 时间内保持在注明的公差范围内：
 - 1) 马赫数在±0.005 以内；
 - 2) 环境温度在±1 °C 以内；
 - 3) 航向在±3 度以内；
 - 4) 航迹在±3 度以内；
 - 5) 偏航角低于 3°；
 - 6) 地速在±3.7 km/h (±2 节) 以内；
 - 7) 试验条件开始时的地速和试验条件结束时的地速之间的差在±2.8 km/h/min (±1.5 节/分) 以内；
 - 8) 气压高度在±23 m (±75 英尺) 以内。
- b) 以上列示的稳定性试验条件标准替代方案可在充分论证稳定性的情况下使用。
- c) 试验点不符合 5.3.2.3a) 规定的稳定性试验标准时，正常情况下应弃之不用。然而，不符合 5.3.2.3a) 所列的稳定性标准的试验点经过批准后可以接受，并将被视为一个等效程序。

5.3.2.4 试验条件下飞机质量的验证

试验条件下飞机质量验证要求如下。

- a) 确定每个试验条件下飞机质量的程序，应获得批准。
- b) 飞行试验期间的飞机质量应该通过试验飞行开始时的飞机质量减去所使用的燃油（即综合燃油流量）来确定。确定所使用燃油的准确性应该通过在 SAR 试验飞行之前和之后，或在巡航航段的另一次试验飞行之前和之后，按校准刻度称量试验飞机的重量来予以验证，条件是，飞行在 SAR 试验飞行后的一周或 50 飞行小时之内进行，并且使用同一个没有改动的燃油流量表。

5.4 飞机 SAR 的测试

5.4.1 测试系统

5.4.1.1 以下参数应按 1 Hz 最低抽样率记录：

- a) 空速；
- b) 地速；
- c) TAS；
- d) 燃油流量；
- e) 发动机功率设定参数（如风扇转速、发动机压力比、扭矩、轴马力）；
- f) 气压高度；
- g) 温度；
- h) 航向；
- i) 航迹；
- j) 使用的燃油（用于确定总质量和 CG 位置）。

5.4.1.2 以下参数应按适当的抽样率记录：

- a) 纬度；
- b) 发动机放气位置和动力输出；
- c) 动力提取（电气和机械载荷）。

5.4.1.3 确定 SAR 所使用的每个参数值，除地速外，应为整个稳定性试验条件下获得的该参数测试值的简单算数平均数[见 5.3.2.3a)]。

注：试验条件下地速的变化率将用来评定和修正试验条件下可能出现的任何加速或减速情况。

5.4.1.4 个别测试装置的图形分辨率应足以确定 5.3.2.3.a) 所规定参数的稳定性可以得到维持。

5.4.1.5 整个 SAR 测试系统被视为仪器和设备的组合，包括任何相关程序，用来获得确定 SAR 所需的下列参数：

- a) 燃油流量；
- b) 马赫数；
- c) 高度；
- d) 飞机质量；
- e) 地速；
- f) 外部空气温度；
- g) 燃油低热值；
- h) CG。

5.4.1.6 构成整个 SAR 测试系统的各个要素的准确性按其对于 SAR 的影响来确定。与整个 SAR 测试系统有关的累积误差被定义为各个准确性的 RSS。

注：参数的准确性仅需要在显示与 CO₂ 排放标准相符所需的参数范围内予以考察。

5.4.1.7 如果整个 SAR 测试系统的绝对累积误差值大于 1.5%，则对根据基准条件修正的 SAR 值处以相当于 RSS 超过 1.5% 的数额的施加罚值修正（见 5.5）。如果整个 SAR 测试系统的绝对累积误差值小于或等于 1.5%，则不施加罚值修正。

5.5 据测试数据计算基准 SAR

5.5.1 SAR 的计算

根据式（1）计算SAR：

$$\text{SAR} = \text{TAS}/W_f \dots\dots\dots (1)$$

式中：

TAS——真空速；

W_f ——飞机总燃油流量。

5.5.2 根据基准条件进行试验后的修正

5.5.2.1 SAR 值测试数据应修正至 ICAO Annex 16 Volume III 规定的基准条件。以下每个参数如并非在基准条件下测试，均应修正。

- a) 加速/减速（能量）：阻力的确定依据基准条件即稳定、无加速飞行的假设。试验条件下出现的加速或减速影响阻力的评估。
- b) 气动力弹性：机翼气动力弹性可能因飞机机翼质量分布的作用造成阻力变化。飞机机翼质量分布将受机翼上燃油载重分布和所出现的任何外挂物的影响。高度飞机飞行的高度影响燃油流量。
- c) 视比重：地球引力的局部效应和惯性造成的加速运动影响飞机的试验重量。试验条件下的视比重随纬度、高度、地速和相对于地轴的运动方向而变化。基准重力加速度为飞机在 45.5° 纬度和基准高度的静止空气中向真北方向飞行时的重力加速度，以 g_0 为标准值。
- d) CG 位置：飞机 CG 的位置因纵向配平而影响阻力。
- e) 电气和机械动力提取和引气：电气和机械动力提取和引气影响燃油流量。
- f) 发动机性能衰退程度：发动机首次使用时会出现燃油效率的快速的初始性退化。此后衰退率会大幅度降低。在获得批准的情况下，可使用性能衰退率小于基准发动机性能衰退程度的发动机。在这种情况下，应使用批准的方法，根据基准发动机性能衰退程度，修正燃油流量。也可使用衰退率大于基准发动机性能衰退程度的发动机。在这种情况下，不允许根据基准条件进行修正。
- g) 燃油低热值：燃油低热值决定了燃油的含能量。低热值直接影响给定试验条件下的燃油流量。
- h) 雷诺数：雷诺数影响飞机阻力。在给定试验条件下，雷诺数是在试验高度和温度时空气的密度和粘度的函数。基准雷诺数来源于国际民航组织在基准高度的标准大气的密度和粘度。
- i) 温度：环境温度影响燃油流量。基准温度是国际民航组织基准高度的标准大气产生的标准日温度。

注：飞行后的数据分析包括修正测试数据，以体现数据获得硬件的响应特征（如系统时间延迟、滞后、偏差、缓冲等）。

5.5.2.2 修正方法应得到批准。如果认为不需要进行特别修正，则应提供可接受的正当理由。

5.5.3 SAR 的确定

ICAO Annex 16 Volume III 所确定的三种基准质量中每一种的 SAR 值，应直接按每个根据基准条件调整的有效试验点进行的测试来计算，或者间接按通过这些试验点验证的性能模型来计算。每种基准质量的最后 SAR 值应为适用总质量的情况下所有有效试验点的算术平均数，或根据经过验证的性能模型导出。有效试验点获得的任何数据均不得遗漏。

5.6 结果的有效性

结果有效性要求如下。

- a) 90%置信区间应针对三种基准质量的每一种 SAR 值计算。
- b) 如果针对三个总质量基准点中的每一个单独获得了聚类数据，则三个总质量的每一个 SAR 值可接受的最小样本规模应为 6。
- c) 可以收集各种质量的 SAR 数据。在这种情况下，最小样本规模应为 12 且 90%置信区间应通过该数据针对均数回归线计算。

- d) 当任何三个基准飞机质量的 SAR 值的 90%置信区间超过 $\pm 1.5\%$ 时，如果要做出补偿，可以在获得批准的情况下，使用该基准质量的 SAR 值。补偿数额应相当于 90%置信区间超过 $\pm 1.5\%$ 时的数额。如果 SAR 值的 90%置信区间小于或等于 $\pm 1.5\%$ ，则不需要进行补偿。

注：计算90%置信区间的方法见ICAO Doc 9501 Volume III。

5.7 CO₂排放评定度量值的计算

CO₂排放评定度量值应按ICAO Annex 16 Volume III中定义的公式进行计算。

5.8 数据报告

5.8.1 一般信息

应针对申请CO₂合格审定的每个飞机型号和模型提供以下信息：

- 飞机型号和模型的名称；
- 飞机的一般特征，包括 CG 范围、发动机和螺旋桨（如适用）的数量和型号名称；
- MTOM；
- F 所需的相关尺寸；
- 为申请 CO₂合格审定目的进行试验的飞机序列号，除此以外，可能影响飞机的 CO₂特征的任何改造或非标准设备。

5.8.2 基准条件

应提供用于确定SAR的基准条件。

5.8.3 试验数据

应针对每个试验测试点，提供以下测试的试验数据，包括对仪表设备特性的任何修正：

- 空速、地速和 TAS；
- 燃油流量；
- 气压高度；
- 静止空气温度；
- 每个试验点的飞机总质量和 CG；
- 电气和机械动力提取和引气的级别；
- 发动机性能：
 - 对于喷气式飞机，发动机功率设定，
 - 对于螺旋桨驱动的飞机，轴马力或发动机扭矩和螺旋桨转速；
- 燃油低热值；
- 燃油比重和运动粘度，如果使用燃油流量表[见 5.3.2.1d)]；
- 整个测试系统的累积误差（见 5.4.1.6）；
- 航向、航迹和高度；
- 恪守所要求的稳定性标准[见 5.3.2.3a)]；和
- 获得确定 SAR 所需参数所使用的仪表和设备描述，以及就对 SAR 的影响而言，各自的准确性（见 5.4.1.5 和 5.4.1.6）。

5.8.4 按照基准条件对 SAR 试验数据的计算和修正

应为每一个试验测试点提供测试的SAR值、按照基准条件的修正值（见5.5.2）和修正后的SAR值。

5.8.5 衍生数据

应针对为合格审定目的进行试验的每架飞机，提供以下衍生信息：

- 每个基准飞机质量的SAR (km/kg) 及相关的90%置信区间（见5.6）；
- 三个基准质量SAR值倒数的平均数；
- RGF；
- CO₂排放评定度量值，包括国际民用航空公约附件16环境保护第III卷所规定的其占最高允许CO₂排放评定度量值的百分比。

附录 A (资料性) RGF 的确定

A.1 RGF 是用于调整 $(1/SAR)_{AVG}$ 的无量纲参数。RGF 基于以 1 m^2 为准进行归一化处理的机身尺寸的度量，并通过下列方式导出：

- a) 对于单层飞机，确定受垂直投射到一个与主舱地板平行的平面的机身 OML 最大宽度制约的表面面积（以平方米表示）；
- b) 对于有上舱的飞机，确定受垂直投射到一个与主舱地板平行的平面的机身 OML 最大宽度制约的表面面积（以平方米表示）与受垂直投射到一个与上舱地面平行的平面的、上舱地面或之上机身 OML 最大宽度制约的表面面积的总和；
- c) 通过用 1 m^2 除 1a) 或 1b) 中定义的面积来确定无量纲 RGF。

A.2 RGF 包括主舱或上舱所有受压空间，包括通道、辅助空间、通路、厨房、厕所、楼梯井和可以容纳旅客、货物或辅助燃油箱的区域。不包括无压空间、机舱内永久性集成燃油箱，或不在主舱或上舱上的空间，例如地板以下的某个货舱或某个机组休息区。

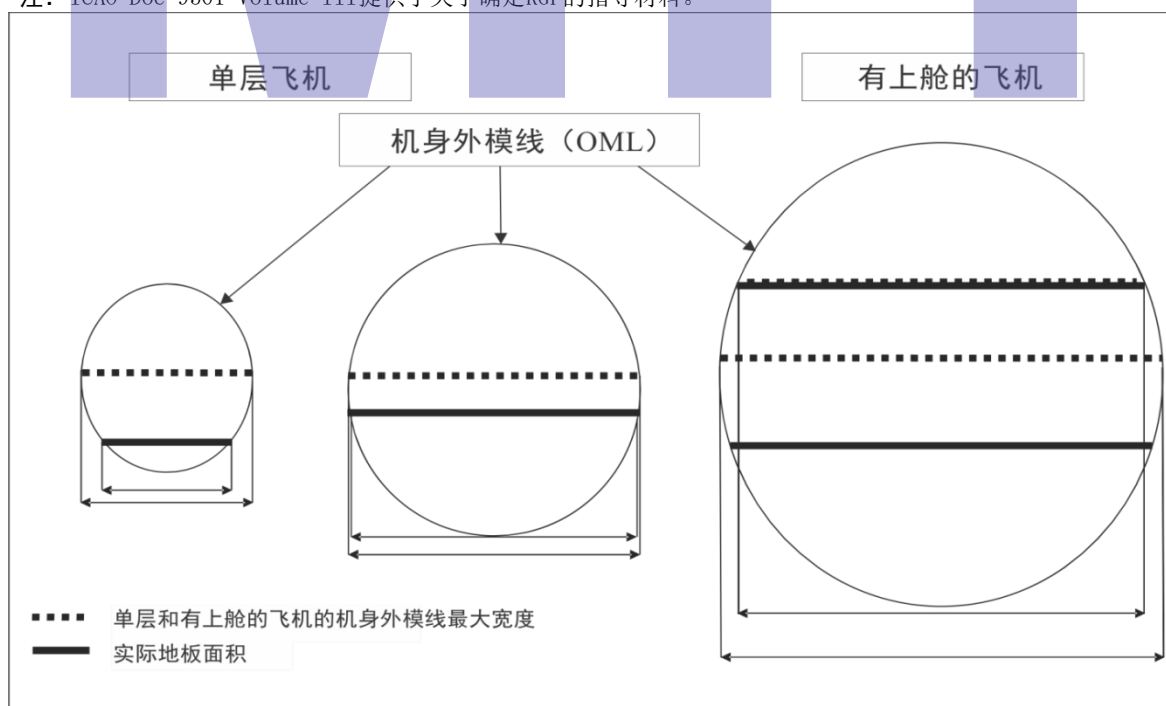
注：RGF 不包括驾驶舱机组区。

A.3 用于计算 RGF 的后方界线是后压力隔舱蒙皮的后表面。前方界线是除驾驶舱机组区之外的前压力隔舱蒙皮的前表面。A.1a) 或 b) 中界定的宽度边界可能沿机身长度在前方和后方界限之间变化。

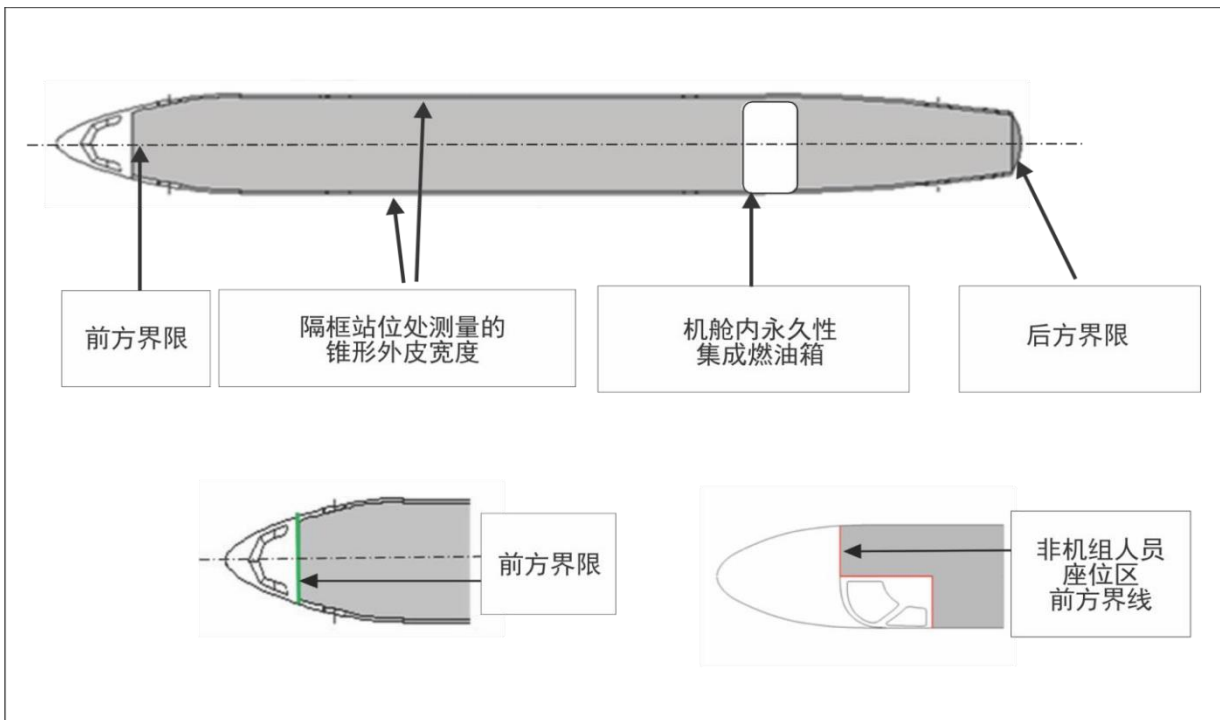
A.4 机组和旅客都能进入的区域被排除在驾驶舱机组区的定义之外。对于有驾驶舱门的飞机，驾驶舱机组区的后方界线是驾驶舱门前部的平面。对于拥有可选内部布局（包括驾驶门的不同位置）或没有驾驶舱门的飞机，该界线以提供最小驾驶舱机组区的布局为准。对于获得单驾驶员运行合格审定的飞机，即使安装了驾驶舱门，驾驶舱机组区应扩大至驾驶舱的一半宽度。对于有上舱的飞机，允许一个舱的 RGF 向前延伸，在驾驶舱机组区之上或之下。

A.5 图 A.1 和 A.2 提供了 RGF 界线条件的概念图。

注：ICAO Doc 9501 Volume III 提供了关于确定 RGF 的指导材料。



图A.1 横剖面图



图A.2 平面图

参 考 文 献

[1] ICAO Doc 9501 Volume III Environmental technical manual—Procedures for the CO₂ emissions certification of aeroplanes

MMH