

# 民用飞机座舱二氧化碳气体 浓度分析研究

## Analysis and Research on CO<sub>2</sub> Concentration for Civil Aircraft Cabin

杨 智 汪光文 / Yang Zhi Wang Guangwen

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

### 摘 要:

对民用飞机座舱 CO<sub>2</sub> 气体浓度进行了分析研究,阐述了民用飞机 CO<sub>2</sub> 气体浓度的相关要求、计算模型,同时利用该模型对某型民用飞机未满载时座舱 CO<sub>2</sub> 气体浓度进行了计算,并与试验结果进行了对比,验证了计算模型的正确性。之后利用该模型计算了某型民用飞机满载时座舱 CO<sub>2</sub> 气体浓度,以表明某型民用飞机座舱 CO<sub>2</sub> 气体浓度对相关要求的符合性。

**关键词:** 二氧化碳;模型;座舱;民用飞机

**中图分类号:** V216.5

**文献标识码:** A

[Abstract] This paper presents the requirement and calculation model of CO<sub>2</sub> concentration for civil aircraft cabin. At the same time, with the calculation model, the CO<sub>2</sub> concentration in the cabin which is not full is calculated with the calculation model. The result of calculation is also compared with the test to indicate that the model is right. Then, the CO<sub>2</sub> concentration of civil aircraft cabin which is full is calculated with the model to demonstrate that it can meet the related requirements.

[Key words] CO<sub>2</sub>; model; cabin; civil aircraft

## 0 引言

民用飞机座舱环境是一个半封闭、狭小、人员密度密集的特殊环境空间,人体在这种不同于地面状态的环境空间内生活,耗氧量、二氧化碳排出量、呼吸频率、肺活量等呼吸代谢都会发生变化。同时,人员在如此高密度的密闭环境中,很容易产生疾病的传播。并且二氧化碳浓度过高还可直接导致意识模糊,甚至昏厥。因此,应当着重关注座舱二氧化碳浓度。本文将对民用飞机 CO<sub>2</sub> 气体浓度的相关要求、计算模型进行阐述,同时利用该模型对某型民用飞机座舱 CO<sub>2</sub> 气体浓度进行计算。

## 1 座舱 CO<sub>2</sub> 气体浓度要求

民用飞机的座舱 CO<sub>2</sub> 气体浓度要求在适航条款中有详细的定义,下述详细列出了目前 CCAR25 中关于座舱 CO<sub>2</sub> 气体浓度的要求。

从一定程度上讲,飞机舱内环境与居室或高大建筑的环境有几分相似,都是采用空气调节装置使系统内部的温度、湿度达到标准要求,人体及内部设备、装饰材料是主要的污染源。因此下述也列出主要标准中室内 CO<sub>2</sub> 气体浓度要求。

室内 CO<sub>2</sub> 气体浓度要求要比民用飞机座舱 CO<sub>2</sub> 气体浓度要求严格,同时值得关注的是,FAA 在 25-89 号修正案将座舱 CO<sub>2</sub> 气体浓度要求由不超过

[基金项目] 本文为国家重点基础研究发展计划(973 计划)“大型客机座舱内空气环境控制的关键科学问题研究”(2012CB720100)成果之一。

3%更改为不超过0.5%。可以预见,随着民用飞机座舱空气品质技术应用的发展以及对人员舒适性要求的提高,适航条款中还会再次将座舱CO<sub>2</sub>气体浓度要求提高。

### 1.1 适航条款要求

根据CCAR25要求,座舱CO<sub>2</sub>气体浓度适航条款描述如表1所示。

表1 座舱CO、CO<sub>2</sub>气体浓度的相关条款<sup>[1]</sup>

| 序号 | 条款描述        |   |
|----|-------------|---|
|    | 章节号         | 条款内容  |
| 1  | § 25.831(b) | 机组和旅客舱的空气不得含有达到有害或危险浓度的气体或蒸气。为此,采用下列规定:<br>(1) 一氧化碳在空气中浓度超过1/20 000即认为是危险的。可使用任何可接受的检测一氧化碳的方法进行测试;<br>(2) 必须表明飞行期间通常有旅客或机组乘坐的舱的二氧化碳浓度不得超过0.5%体积含量(海平面当量)。 |
| 2  | § 25.831(c) | 必须有措施保证,在通风、加温、增压或其它系统和设备出现有合理可能的故障或功能失常后,仍能满足本条(b)的规定。   |

### 1.2 室内空气品质相关标准要求

ASHRAE颁布的通风标准ASHRAE Standard 62-2007<sup>[2]</sup>在附录中摘录了当前美国和欧洲的标准要求,其中OSHA规定室内CO<sub>2</sub>浓度标准为5 000ppm。

我国《室内空气质量标准》GB-T18883规定室内CO<sub>2</sub>浓度标准为0.1%。

## 2 座舱CO<sub>2</sub>气体浓度验证方法

为表明对1.1节引用的适航条款25.831(b)、(c)的符合性,民用飞机座舱CO<sub>2</sub>气体浓度可采用计算分析或测试的方法进行。AC25-22<sup>[3]</sup>的30.d.(1)建议测试时应在有人乘坐的驾驶舱和客舱的“头部”水平位置,采用手持取样器或气体测量装置来测量二氧化碳浓度。同时AC25-7<sup>[4]</sup>中只建议对CO进行飞行测试,未有对CO<sub>2</sub>进行飞行测试的建议。

由于民用飞机座舱中CO<sub>2</sub>的主要来源为乘员呼吸出的CO<sub>2</sub>,而民用飞机在实际测试时受制于座舱乘员只能为测试人员,座舱乘员远远不能达到实际飞机运营时的乘员人数,因此对座舱乘员满载时CO<sub>2</sub>气体浓度一般采用计算分析的方法。

## 3 座舱CO<sub>2</sub>气体浓度计算模型

民用飞机座舱CO<sub>2</sub>气体的来源主要为乘员呼吸产生,座舱CO<sub>2</sub>气体浓度主要通过新风稀释,CO<sub>2</sub>气体浓度计算模型如下所述。

### 3.1 计算模型

座舱CO<sub>2</sub>气体浓度计算模型采用如下公式<sup>[5]</sup>:

$$C_{out} = C_{in} + (nm_{CO_2}MW_{\alpha}) / (mMW_{CO_2}) \quad (1)$$

式中, $n$ 为座舱总人数; $m$ 为新风的质量流量,g/min; $m_{CO_2}$ 为人体CO<sub>2</sub>呼吸量,g/min; $C_{in}$ 为新风CO<sub>2</sub>浓度,ppm; $C_{out}$ 为客舱二氧化碳排风浓度,ppm; $MW_{CO_2}$ 为二氧化碳分子量,g/mol; $MW_{\alpha}$ 为空气分子量,g/mol;

### 3.2 人体CO<sub>2</sub>呼吸量

人体的二氧化碳排出量与人的活动状态有关,睡眠时的排出量最少,从事体力劳动时排出量最大。低气压对人体二氧化碳排出量的影响非常复杂,当海拔高度增加时,人体在单位时间内排出的二氧化碳质量是变化的。由于可吸入的氧气含量下降,人体在单位时间内排出的二氧化碳质量减少。但是,这个量值很难计算。因此,本文中不考虑大气压力变化(即海拔高度变化)的影响,按海平面的海拔高度进行计算。

ASHRAE Standard 62-2007的附录C中定义了人体在不同状态下呼出的CO<sub>2</sub>气体含量,本文中选取人体静止时(活动水平为1.2)呼出的CO<sub>2</sub>气体含量0.31L/min。

## 4 某型民用飞机座舱CO<sub>2</sub>气体浓度计算结果与分析

由于试验条件的限制,某型民用飞机进行了座舱未满载时的CO<sub>2</sub>气体浓度测量试验。通过未满载时座舱CO<sub>2</sub>气体浓度计算结果与测量结果的对比,验证计算模型的正确性,进而计算座舱满载时座舱CO<sub>2</sub>气体浓度,以表明某型民用飞机座舱CO<sub>2</sub>气体浓度对适航条款的符合性。

### 4.1 座舱未满载时CO<sub>2</sub>气体浓度分析

某型民用飞机进行了各种高度下的座舱CO<sub>2</sub>气体浓度测量,测量试验点如表2所示,实际测量时座舱共有4名乘员。同时利用上述座舱CO<sub>2</sub>气体浓度计算模型计算了该民用飞机座舱CO<sub>2</sub>气体浓度,实测值与计算值对比如表3所示。

(下转第68页)

量大、工况繁琐、类型多样的输入难题。通过实际工程算例可以得出以下结论:

(1)采用6位阿拉伯数字进行载荷编码能方便而快捷地实现载荷的准确输入

(2)节点载荷的批处理以及导入 NASTRAN 后的载荷检查,为静强度初步校核节约了输入时间提高了工作效率。

**参考文献:**

[1] 冯国庆,刘相春,任慧龙. 基于 PCL 语言的波浪压力自动加载方法[J]. 船舶力学,2006,10(5):107-112.

[2] 陈博,陈秀华,汪海. MSC. Patran 二次开发以其集成开发环境[J]. 机械设计与制造,2009,7:71-73.

[3] 唐友宏,陈宾康. 用 MSC. Patran 的 PCL 二次开发用户界面[J]. 船海工程,2002,3:20-22.

[4] 杨志斌. 应用 PCL 开发温度场分析前后处理系统[J]. 航空计算技术,2010,40(1):90-93.

[5] 周健斌. 基于 CATIA 二次开发的飞机质量特性批量提取方法[J]. 民用飞机设计与研究,2011,3:50-51.

[6] MSC. Patran User's Guide, Volume 4 Part 9: PCL and Customization[Z].

[7] MSC. Patran PCL Reference Manual, Volume 2: Code Example [Z].

(上接第44页)

**表2 某型民用飞机座舱 CO<sub>2</sub> 气体浓度测量试验点**

| 序号 | 试验点 | 高度/km |
|----|-----|-------|
| 1  | a   | 4.5   |
| 2  | b   | 9.45  |
| 3  | c   | 10.6  |

**表3 某型民用飞机座舱未满载时 CO<sub>2</sub> 气体浓度实测值与计算值**

| 序号 | 试验点 | 新鲜空气流量(kg/s) | CO <sub>2</sub> 浓度实测值(%) | CO <sub>2</sub> 浓度计算值(%) |
|----|-----|--------------|--------------------------|--------------------------|
| 1  | a   | 0.577        | 0.045 4                  | 0.053 5                  |
| 2  | b   | 0.317        | 0.050 3                  | 0.056 4                  |
| 3  | c   | 0.467        | 0.049 1                  | 0.054 3                  |

注:表中的新鲜空气流量为实测数据。

由表3可以看出,各试验点计算分析的客舱 CO<sub>2</sub> 气体浓度比实测值大,即计算分析方法可以用于座舱满载时 CO<sub>2</sub> 气体浓度计算,从而表明对第1.1节的适航条款的符合性。

**4.2 座舱满载时 CO<sub>2</sub> 气体浓度分析**

针对某型民用飞机在表1试验点下的座舱 CO<sub>2</sub> 气体浓度进行了计算分析,计算分析中的新鲜空气流量与表3中的一致,计算结果如表4所示。

**表4 某型民用飞机满载时座舱 CO<sub>2</sub> 气体浓度计算结果**

| 序号 | 试验点 | CO <sub>2</sub> 浓度实测值(%) |
|----|-----|--------------------------|
| 1  | a   | 0.152 1                  |
| 2  | b   | 0.235 9                  |
| 3  | c   | 0.176 1                  |

由表4可以看出,各试验点计算分析的客舱 CO<sub>2</sub> 气体浓度满足适航条款的相关要求。

**5 结论**

本文对民用飞机座舱 CO<sub>2</sub> 气体浓度进行了研究,得出如下结论:

(1)座舱 CO<sub>2</sub> 气体浓度计算模型可以用于座舱 CO<sub>2</sub> 气体浓度计算;

(2)经过计算分析,某型民用飞机座舱 CO<sub>2</sub> 气体浓度满足相关适航条款要求。

**参考文献:**

[1]中国民用航空总局. CCAR-25-R4 中国民用航空规章第25部:运输类飞机适航标准[S]. 北京:中国民用航空总局,2011

[2]ASHRAE 62-2007. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality [S].

[3]AC25-22. Certification of Transport Airplane Mechanical Systems [S]. FAA,2000.

[4]AC25-7A. Flight Test Guide for Flight Test Guide for Category Airplanes [S]. FAA,1998.

[5]Nadia Boschi1, Fariborz Haghghat. Aircraft Cabin Indoor Air Environment Requirements [J]. Hdb Env Chem Vol. 4, Part H (2005): 53-83.

[6]寿荣中,何慧珊. 飞行器环境控制[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2004:49-51.

[7]L. M. Mulloth, J. E. Finn. Air quality system for enclosed spaces Spacecraft Air [J]. Hdb Env Chem Vol. 4, Part H (2005): 383-404.