

民用客机座舱温、湿度限制 等效安全研究与应用

Study and Application of Cabin Temperature and Humidity Limits for Civil Aircraft

汪光文 吴成云 杨 智 / Wang Guangwen Wu Chengyun Yang Zhi
(上海飞机设计研究院, 上海 201210)
(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

摘 要:

受低纬度区域低空空气高湿度影响,民用客机对适航条款 FAR/CCAR25.831(g) 的符合性验证非常困难。以 FAA 的 MSHWG 报告为指导,通过验证座舱温、湿度限制等效安全规则间接验证某型民用客机对适航条款 FAR/CCAR25.831(g) 的符合性,即采用热分析方法计算民用客机通风系统失效时座舱内部乘员人体核心温度的变化,并将其与 MSHWG 报告规定的人体核心温度标准值对比,说明某型民用客机对适航条款 FAR/CCAR25.831(g) 的符合性。

关键词:民用客机;环控系统;适航;机械系统联合工作组(MSHWG)报告;人体核心温度

中图分类号:V245.3

文献标识码:A

[**Abstract**] It's impossible for civil aircraft to comply with FAR/CCAR 25.831(g) under the assumption of loss of all conditioned airflow for flight in failure conditions, including descent and landing. It has been speculated that the fixed humidity level of 27 mbar appears to be a reasonable limit for altitude conditions around 10,000 feet. Unfortunately this humidity level is often exceeded at lower altitudes and near sea level for airport ambient conditions. The Mechanical System Harmonization Working Group (MSHWG) Final Report on FAR 25.831(g), dated July 31, 2003 proposed action is to harmonize on a new, performance-based regulation for failure conditions not shown to be extremely improbable. The objective of this regulation is to preserve a tolerable environment by limiting the metabolic and environmental heat loads to passengers and crew during exposures to a potential heat stress event. Relative to the current FAR/CCAR 25.831(g), and considering the inapplicability of its humidity requirements, the proposed regulation does not reduce the current level of safety. A thermal analysis simulation for calculating body core temperature of passengers and pilots is presented and simulated body core temperature is compared with standard temperature value defined in MSHWG report. The computing results are applied to validate one aircraft complying with FAR/CCAR 25.831(g) according to the new regulation in MSHWG report.

[**Key words**] Civil Aircraft; Environmental Control System; Airworthiness; Mechanical System Harmonization Working Group (MSHWG) Report; Body Core Temperature

0 引言

适航条款 FAR/CCAR 25.831(g) 规定:任何未经表明是极不可能的通风系统失效情况发生后,在给定温度下的持续时间不得超出图 1 中曲线所规定的值^[1]。

该条款是确保在通风系统失效的情况下,飞机座舱温、湿度环境不至于影响机组人员执行飞行任务和对乘客身体造成伤害。但在通风系统失效的情况下,飞机不能满足某些情况下的湿度要求,如飞机下降或着陆在高温高湿的低纬度热带地区(当地环境湿度大于 27mbar),任何飞机直接验证对

FAR/CCAR 25.831(g)的符合性都非常困难。

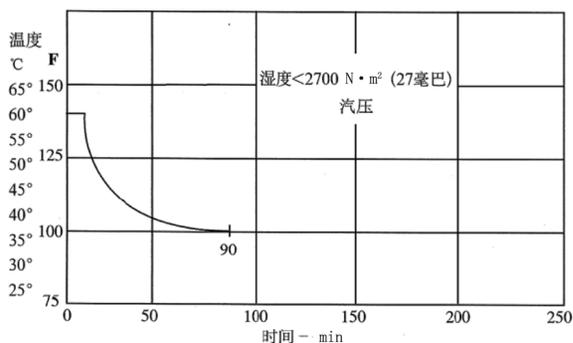


图1 FAR/CCAR 25.831(g)的温、湿度要求

适航条款 FAR/CCAR 21.21(b)(1) 节指出,如果不能直接满足当前的适航管理条例,或者实际情况无法直接满足适航管理条例的某些条款,但只要能通过相关措施进行弥补并提供等效的安全等级,也能发放型号合格证。

FAA 与波音、空客等飞机制造商就此条款的符合性验证进行了多轮讨论,并成立了专门的机械系统工作组制定座舱温、湿度等效安全规则来实现对适航条款 FAR/CCAR 25.831(g)的符合性验证。

本文在 MSHWG 报告^[2]的指导下,研究飞机座舱温、湿度等效安全规则符合性验证的应急下降方案、验证环境、计算方法、评判标准等,为国产民用客机的适航工作提供技术支持。

1 等效安全规则说明

通过验证座舱温、湿度等效安全规则,间接证明飞机对适航条款 FAR/CCAR 25.831(g)的符合性。MSHWG 报告定义了该规则。

飞机在设计时,必须考虑到在任何极小概率的通风系统失效情况下,满足:(1)座舱环境不会影响机组人员工作,从而影响飞行安全;(2)座舱环境不会对乘客构成持久的生理伤害。

该规则定义一个座舱环境,该环境不会造成机组人员精神问题或身体疲劳,从而能顺利完成飞行任务,同时该环境也保证座舱乘务人员能组织指挥乘客撤离飞机。表明符合该规则的可接受方法为:通过分析证明机组人员的工作效率不会降低。

通风系统失效时的座舱环境应该被详细描述以表明乘客不会长时间受到生理伤害。倘若能表明座舱环境对乘务人员的工作执行无影响,那么其对普通静坐的乘客就没有伤害。对座舱环境和工作效率的限制条件应来源于权威著作或人们认知

的权威标准。

该规则基于人的工作效率(能力),申请人应把影响工作效率的数据与曝光的时间-温度-湿度关系相关联,MSHWG 指出当前仍缺少在低飞行环境压力条件下的这种关联关系,为此,符合性分析时应选择保守的座舱环境条件。

与通风系统失效无关的失效事件不考虑,例如:货舱着火、飞行娱乐系统失效等。通风系统失效的整个飞行包线(巡航、下降、进场、着陆、起落架滚轮停止)应被完整包括,直到乘员离开飞机。

失效事件发生后,乘务人员能提供常规的服务;乘客在感到不适时,能获得援助,之后能正常活动。考虑到失效后果,倘若可能,应在飞机中预设减轻后果的装备和被核准的操作程序(关闭非关键电子设备,打开驾驶舱门、窗户等),以备不时之需。

热舒适性和低温(冷载荷)不在本规则考虑范围。

2 等效安全规则的符合性方法

FAR/CCAR25.831(g)中定义的“任何未经表明是极不可能”的通风系统失效概率为大于 $10e^{-9}$, 小于 $10e^{-9}$ 概率的事件不予考虑。

2.1 应急下降方案

飞机在爬升、巡航、下降、进场、着陆等任一阶段都可能出现通风系统失效情况,在最大飞行高度发生通风系统失效为该等效验证的最严酷情形。根据飞机应急下降操作和通风系统特性,对最严酷情形分3个阶段计算通风系统失效后的座舱动态参数。

阶段1:最大飞行高度到可应急通风高度,飞行员发现通风系统失效后,飞机应急下降到可应急通风高度,在此过程中无法应急通风,座舱不通风。

阶段2:应急通风时平飞,飞机下降到可应急通风的高度时,待座舱高度接近飞机高度时接通应急通风按钮,采用适当马赫数平飞,若应急通风失效,打开驾驶舱通风窗。如图2、图3所示。

阶段3:可应急通风高度到飞机停机,飞机进场、着陆,整个过程中采用应急通风(或开启通风窗),为了加快下降过程,下降飞行可先增大飞行马赫数,然后逐渐减小到可着陆速度。

2.2 验证环境选择

为了保守性验证 FAR/CCAR 25.831(g)的等效安全规则,选择极端热湿环境作为计算条件,具体

的热、湿环境条件选择见参考文献[3]。

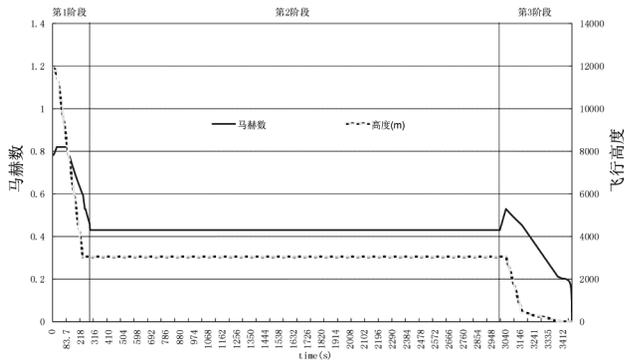


图2 应急通风机时飞行高度与马赫数

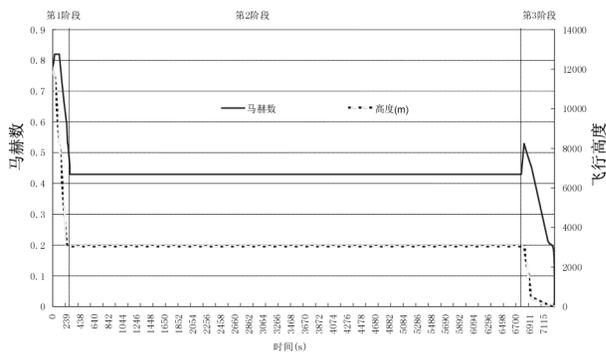


图3 驾驶舱通风窗打开时飞行高度与马赫数

表2 世界范围高热地区0~16km海拔高度温度值

海拔		温度	
km	kft	℃	℉
0	0	46	115
1	3.28	39	102
2	6.56	29	84
4	13.1	14	57
6	19.7	4	39
8	26.2	-6	21
10	32.8	-17	1
12	39.4	-24	-11
14	45.9	-35	-31
16	52.5	-39	-38

2.3 座舱热载荷计算

工程上可将飞机座舱热载荷分为四部分:座舱结构热载荷、电子设备热载荷、人员热载荷以及太阳热载荷。通风系统失效后,座舱内温升主要来自座舱热载荷作用。

座舱结构热载荷可由座舱温度、飞行高度、飞行马赫数等求得,其在飞行过程中动态变化;电子

设备热载荷需要统计飞机驾驶舱和客舱打开的电子设备发热量,为了降低电热载荷,关闭所有不必要的电子设备;影响人员热载荷的最大因素为座舱温度,考虑满员情况,驾驶员考虑为轻度劳动,乘客假定为静坐状态;太阳热载荷的相关参数为:飞行高度、直射面积、太阳辐射强度等,计算过程中考虑将客舱窗户关闭。

表3 世界范围高湿地区0~8km海拔高度湿度值

海拔		质量的百万分之一
km	kft	ppm
0	0	28 000
1	3.26	26 000
2	6.56	21 000
4	13.1	16 000
6	19.7	8 300
8	26.2	4 700

注:表2、表3中高温高湿地区出现表中温、湿度值的概率为5%。

温度、绝对含湿量、水蒸气分压力及压力的计算方法采用经典的湿空气状态参数计算公式^[4]。

2.4 人体核心温度计算

人体核心温度可通过人体热平衡方程求解,方程主要参数包括:空气温度、平均辐射温度、水蒸气分压力、空气速度、人体新陈代谢率、衣物特性系数、出汗率等。人体热平衡方程表达了人体内部热生成情况,人体新陈代谢率与有效机械功之差等于人体呼吸空气对流、呼吸空气蒸发,人体皮肤传导、对流、辐射、蒸发,积累在身体的热存储之和。详细的计算方法见参考文献[5]。

2.5 符合性评判标准

MSHWG 报告指出,热天环境中普通人长时间工作时人体核心温度的保守判据:人体核心温度不超过 38℃,但是由于乘员在着陆后就可以马上得到合适的医疗处理,因此,低于 38.5℃ 的人体核心温度极限是可以接受的,这个温度极限仅限于不超过 20 分钟的最后进近和着陆阶段。38.5℃ 的人体核心温度不能超过或持续任何时间,因此,申请者应该保证:

- (1) 人体核心温度不能长时间超过 38℃;
- (2) 人体核心温度高于 38℃ 的持续时间不能超过 20 min;
- (3) 人体核心温度任何时候不能超过 38.5℃。

3 某型民用客机的符合性分析

某型民用客机在第2阶段应急下降中的通风形式有两种,一种采用空调系统应急通风,而当应急通风也失效时,开启驾驶舱通风窗通风,座舱内温湿度参数及人体核心温度计算均需考虑上述两种情况。

3.1 应急通风

根据第2章等效安全规则的符合性方法,计算该民用客机在采用空调系统应急通风情况下,舱内乘员的人体核心温度,计算结果如图4所示。

图4给出了三个阶段中驾驶舱和客舱的人体核心温度随时间的变化曲线(其中第2阶段时间约为45min),从图中可以看出:整个时段内,在飞机应急通风的过程中,驾驶舱驾驶员的人体核心温度均低于 38.5°C ,超过 38°C 的时间段小于20min;客舱乘客的人体核心温度均低于 38°C 。

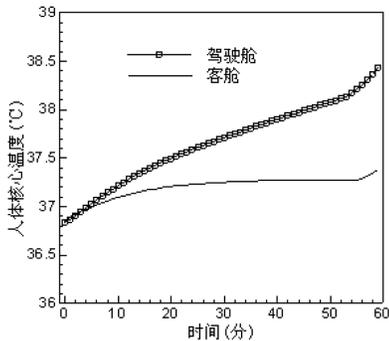


图4 人体核心温度随时间变化曲线

3.2 开启驾驶舱通风窗

根据第2章等效安全规则的符合性方法,计算该民用客机开启驾驶舱通风窗通风情况下,舱内乘员的人体核心温度,计算结果如图5所示。

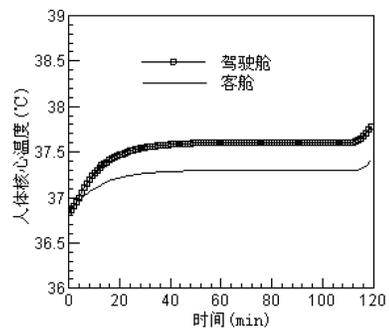


图5 人体核心温度随时间变化曲线

图5给出了三个阶段中驾驶舱和客舱的人体核心温度随时间的变化曲线(其中第2阶段时间约为108min),从图中可以看出:(1)整个时段内,在飞机应急通风的过程中,驾驶舱驾驶员的人体核心温度

均低于 38.5°C ,超过 38°C 的时间段小于20min;客舱乘客的人体核心温度均低于 38°C 。(2)第2阶段中后段,客舱和驾驶舱内人体核心温度几乎稳定在一个恒定值,座舱内部空气和人体保持热平衡,所以此状态没有时间限制。

4 结论

本文在MSHWG报告的指导下,研究了适航条款 FAR/CCAR25.831(g)的等效安全规则。针对该等效安全规则制定了符合性验证方法,并采用该方法验证某型民用客机对 FAR/CCAR25.831(g)的符合性。通过研究得出如下结论:

(1)在极端热、湿环境条件下,座舱内通风系统失效时,民用客机通常不能直接满足适航条款 FAR/CCAR25.831(g)要求。

(2)在极端热、湿环境条件下,某型民用客机采用应急下降、适当的低空平飞(马赫数0.43左右,飞行高度约3000m)等操作:(a)采用应急通风低空平飞时,驾驶舱飞行员在45min内人体核心温度值高于 38°C 的时间不超过20min,且任何时刻人体核心温度均不超过 38.5°C ;客舱乘客人体核心温度值任何时刻均不高于 38°C 。(b)采用驾驶舱通风窗通风时,任何时刻(包括ETOPS)驾驶舱飞行员人体核心温度值高于 38°C 的时间不超过20min,且任何时刻人体核心温度均不超过 38.5°C ;客舱乘客人体核心温度值任何时刻均不高于 38°C 。

(3)该型客机座舱环境不会影响机组人员正常飞行工作,也不会对乘客造成身体伤害。这说明该型客机满足 FAR/CCAR 25.831(g)的等效安全法则,从而满足适航条款 FAR/CCAR 25.831(g)的要求。

参考文献:

- [1]刘剑锋,等. CCAR-25-R3 运输类飞机适航标准[S]. 北京:中国民用航空局,2001,05.
- [2]Mechanical Systems Harmonization Working Group (MSHWG) Final Report on FAR/JAR 25.831(g)[R]. July 2003.
- [3]Global Climatic Data for Developing Military Products[S]. MIL-HDBK-310, June 1997.
- [4]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,2003:11-19.
- [5]Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain[R]. ISO/FDIS7933:2004(E), 2004.