

# 大型客机货舱烟雾探测模拟研究

## Large Passenger Aircraft Cargo Compartment Smoke Detection Simulation

程书山 / 中国商飞上海飞机设计研究院

**摘要:** 基于火灾动力学模拟器FDS5, 本文对大型客机货舱行李着火时烟雾传播和货舱烟雾探测系统的性能进行了模拟, 为相关研究机构提供参考。

**Abstract:** The fire dynamics simulator FDS5 was employed to simulate the fire and smoke detection in a large passenger aircraft cargo compartment model. This work can provide reference to related research institutions.

**关键词:** 大型客机; 烟雾探测; FDS5

**Keywords:** large passenger aircraft; smoke detection; FDS5

### 0 引言

安全性是大型客机最重要的性能之一, 飞行中货舱着火会严重威胁大型客机的安全。大型客机货舱一般都位于客舱的下面为C级货舱, 飞行中当货舱着火时, 机组成员无法直接观察到。对于C级货舱, FAA适航规章要求布置烟雾探测或火警探测器系统, 货舱着火时提出警告。FAA联邦适航规章条款FAR25.858对货舱烟雾和火警探测系统的要求如下:

如果申请带有货舱或行李舱烟雾探测或火警探测装置的合格审定, 则对于每个装有此种装置的货舱或行李舱, 必须满足下列要求:

- 1) 该探测系统必须在起火后一分钟内, 向飞行机组给出目视指示;
- 2) 必须表明, 探测系统在所有经批准的运行形态和条件下均为有效。

为了评估货舱烟雾探测器的性能, 一般需通过货舱着火地面模拟试验来验证, 而地面模拟试验需要搭建试验台, 采购试验设备等, 经济成本较高。随着计算流体动力学(CFD)在火灾模拟中的应用越来越成熟, 使用CFD技术模拟货舱中的火灾和烟雾探测系统的

性能成为可能。一方面, 利用CFD模拟的结果, 可以为试验提供指导, 提高试验的针对性和目的性; 另一方面, 计算机模拟可以降低经济成本。本文利用美国国家标准和技术研究院(National Institute of Standards and Technology, NIST)的火动力学模拟器FDS5(Fire Dynamics Simulator 5), 探索利用CFD技术模拟货舱烟雾探测的方法。

### 1 火灾动力学模拟器FDS5

FDS5软件采用数值方法求解受火灾浮力驱动的低马赫数流动的N-S方程(Navier-Stokes Equations), 重点计算火灾中的烟气和热传递过程<sup>[1]</sup>。由于FDS是开放的源码, 在推广使用的同时, 根据使用者反馈的信息持续不断地完善程序。

1) 流体动力学模型: FDS5数值求解热驱动下低速流动( $Ma$ 小于0.3)的N-S方程, 其核心算法为显式预估校正格式, 在时间和空间上具有二阶精度, 湍流采用Smagorinsk形式的大涡模拟(Large Eddy Simulation, LES), 在足够细的网格下能实施直接数值模拟(Direct Numerical Simulation, DNS), 缺省状况

下使用LES。采用拉格朗日粒子法追踪洒水和燃料喷雾模型。

2) 燃烧模型: 对于大多数应用, FDS5采用混合分数燃烧模型。该模型假设燃烧混合控制, 燃料和氧气反应速度无限快。主要反应物和生成物的质量分数通过“状态关系”从混合物分数中得到, 通过简单分析和测量的结合得到经验表达式。

### 2 货舱火灾模型的建立

模型货舱的尺寸为长2.65m、宽5.83m、高1.18m, 在货舱壁上布置有通风口, 通风量60L/s。在货舱顶部板, 沿中心线左右均匀布置四个模拟烟雾探测器。在货舱地板中央, 布置一个长0.3m、宽0.3m、高0.2m的模拟行李箱, 在行李箱的上表面, 设置一个热释放率随时间变化的火源, 如图1所示。

火灾场景设置为塑料着火, 根据FAA的William J. Hughes技术中心利用锥形量热仪对燃烧的塑料块的测试数据, 火源的热释放率(heat release rate, HRR)设置为随时间变化: 从0s到90s, 火源热释放率从0kW逐渐升高到5kW,

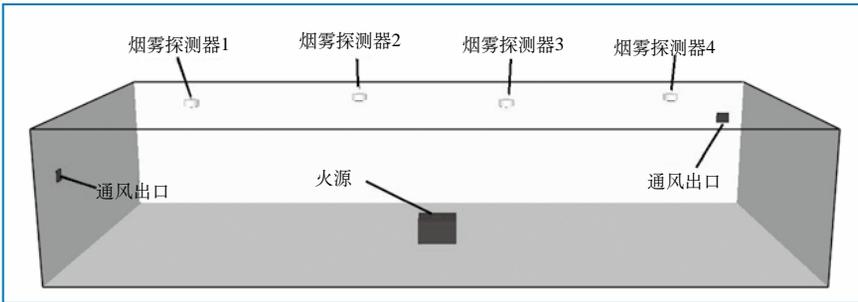


图1 货舱模型

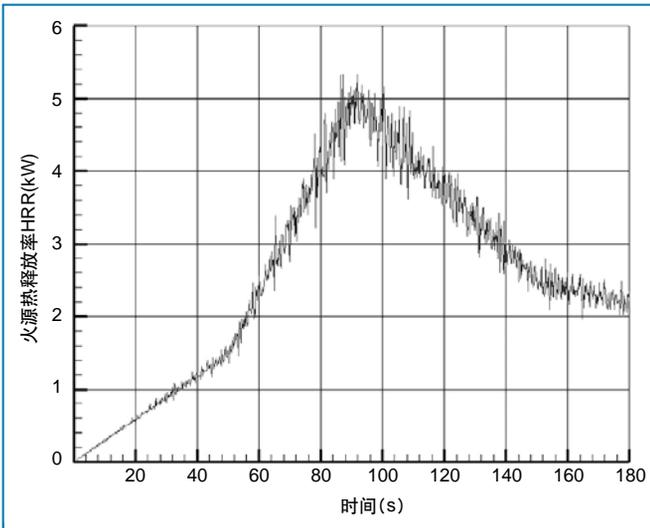


图2 火源热释放率

从90s到180s,火源热释放率从5kW逐渐降低到2.5kW<sup>[2]</sup>。FDS5模拟结果输出的火源热释放率随时间关系见图2。

### 3 货舱烟雾探测模拟结果

#### 3.1 货舱烟雾传播

货舱行李着火时,烟雾在热流产生的浮升力的驱动下,从火源向

货舱上方传播,到达货舱上部后由于货舱天花板的阻挡,烟雾沿货舱天花板向四周蔓延,随着烟雾的增多,烟雾首先充满货舱的上层空间,并逐步蔓延到中层和下层空间。图3(a)表明,15s时货舱烟雾量比较少,但烟雾已经传播到烟雾探测器2和烟雾探测器3附近。图3(b)表明,30s时烟雾在货舱上层空间逐步蔓延。图3(c)表明,60s时烟雾已经布满整个货舱的上层空间。图3(d)表明,120s时烟雾已经完全充满上层空间,并开始逐步填满中部和下部空间。模拟结果显示,FDS5较好的模拟了货舱货舱烟雾的传播。

#### 3.2 烟雾探测系统性能

货舱烟雾探测系统由四个光电型烟雾探测器组成,为了降低虚警率,至少两个烟雾探测器输出告警信号时烟雾探测系统认为该区域发生烟雾状况。按照FDS5中的设定,当烟雾探测器所在位置的昏暗度超过3.28%/m时,该烟雾探测器触发报警<sup>[3]</sup>。图4为FDS5模拟计算得到的4个烟雾探测器所在位置处

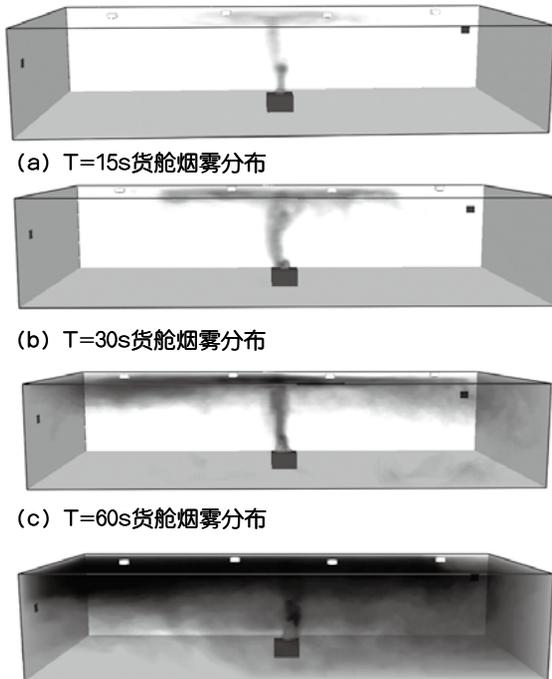


图3 货舱烟雾分布

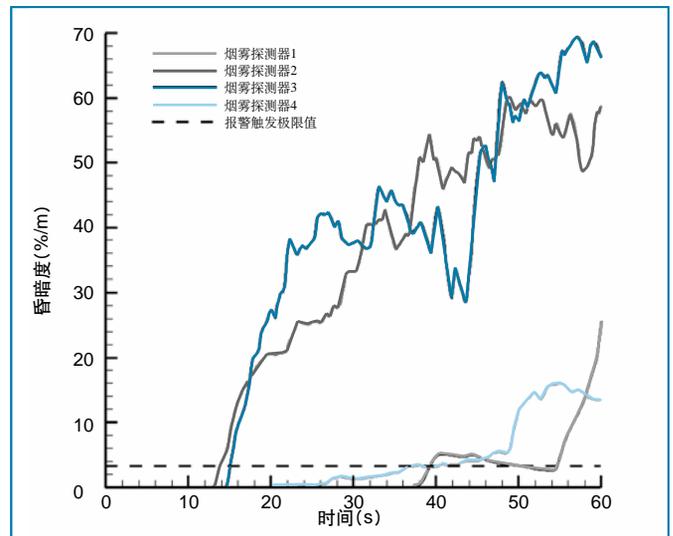


图4 烟雾探测器昏暗度

表1 烟雾探测器触发时间

烟雾探测器	烟雾探测器1	烟雾探测器2	烟雾探测器3	烟雾探测器4
触发时间(s)	39.2	13.7	15.0	37.6

# 民用飞机系统安全性分析中EWIS部件的考虑

## Safety Analysis of EWIS System for Civil Aircraft

郑建 / 中国商飞上海飞机设计研究院

**摘要:** 通过对适航规章25.1709的分析, 结合AC 25.1701, 提出了民用飞机系统安全性分析中需考虑EWIS部件的一些方面, 并初步研究了具体的分析方法。

**Abstract:** Based on the analysis of airworthiness regulation 25.1709 and AC 25.1701, this paper provides the considerations of EWIS components in the system safety analysis of civil aircraft, and preliminarily researches the analysis method.

**关键词:** 电气线路互联系统; 系统安全性; 适航规章; 符合性验证

**Keywords:** EWIS; system safety; airworthiness regulation; compliance verification

### 0 引言

电气线路互联系统(EWIS)是指任何导线、线路装置, 或者其组合, 包括端点装置, 安装于飞机的任何部位用于两个或多个端点之间传输电能(包括数据和信号)。

美国联邦航空局(FAA)在2007年发布的运输类飞机适航规章(FAR 25部)123号修正案<sup>[1]</sup>中, 正式提出了EWIS的概念及相应的规章要求。中国民用航空局(CAAC)在2011年发布的中国

民用航空规章第25部运输类适航标准(CCAR25部)R4版<sup>[2]</sup>中, 也提出了EWIS相关的规章要求。

系统安全性分析作为民用飞机研制和适航审定过程中的一项重要工作, 为了满足EWIS相关的适航规章要求, 需要对分析方法进行一定的调整。

### 1 适航规章要求及解析

CCAR25.1709和FAR 25.1709均要求每个EWIS的设计和安装必须使得灾

难级失效状态是极不可能的且不会因单个失效而引起, 并且每个危险失效状态是极微小的。

咨询通告AC 25.1701<sup>[3]</sup>对25.1709规章的制定背景进行了进一步的解析。制定25.1709规章, 一是因为25.1309规章主要覆盖系统和设备, 没有考虑EWIS部件的影响; 二是因为EWIS设计的集成特性和EWIS部件失效的严重性, 如导线的电弧故障可能会导致着火, 需要采用比表明对25.1309规章要

的昏暗度数据, 图中虚线为设定的烟雾探测器报警触发的昏暗度极限值。

表1为FDS5模拟得到的4个烟雾探测器报警触发的时间。

模拟结果显示, 距离火源较近的烟雾探测器2和烟雾探测器3在13.7s和15s先后触发报警。距离火源较远的烟雾探测器1和烟雾探测器4在39.2s和37.6s也先后触发报警。根据烟雾探测系统的设计, 有两个烟雾探测器报警触发时系统认为出现烟雾状况, 即在烟雾探测器2

和烟雾探测器3报警触发后, 飞机烟雾探测系统即判定货舱出现烟雾并通知飞行员执行关闭货舱通风和货舱灭火操作, 此时距离烟雾开始出现的时间约为16s左右, 满足FAA适航规章中的1min内报警的要求。

AST

### 参考文献

[1] 李萍. 火灾动态模拟器FDS软件介绍[J]. 高性能计算发展与应用. 2009, (1): 63-66.

[2] Ezgi Öztekin. Smoke transport in a cargo compartment[R]. Koeln, Germany: International Aircraft Systems Fire Protection Working Group, 2011.

[3] Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide[K]. National Institute of Standards and Technology, 2010.

### 作者简介

程书山, 硕士研究生, 助理工程师, 研究方向为大型客机防火系统。