

民用飞机飞行载荷筛选方法研究

Research on the Screening Methods of the Flight Load on Civil Aircraft

谭林林 赵继伟 / TAN Linlin ZHAO Jiwei

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

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

摘要:

以某大型民用飞机为例,对设计点方法、参数分析与选择法、单值包线法以及组合包线法等四种飞行载荷筛选方法进行了分析说明,载荷筛选方法对飞行载荷设计有极其重要的意义,并在目前飞机型号设计中得到广泛的应用。

关键词:民用飞机;载荷筛选方法;飞行载荷

中图分类号:V215.1

文献标识码:A

[Abstract] Taking a large civil aircraft as an example, four screening methods are explained such as design point method, parameter analysis and selection method, single envelop method and assemble envelop method. This paper researches these methods detail by detail. The screening method is important to the flight load. At present, the method is widely used in the airplane design.

[Keywords] civil aircraft; screening methods; flight load

0 引言

在民用飞机飞行载荷设计时,需要根据规范各种机动和突风的要求,对重量、重心、惯矩、速度、高度等多种组合进行计算,会得到数万种载荷情况,如果对所有情况都考虑时间历程中每个点的载荷,将使得载荷点的数目十分庞大,在工程实际中是不切实际、难以实现的。因此,需要从如此浩瀚的数据堆中,根据一定的原则对上述所有载荷情况进行筛选,得到有限的载荷设计严重工况,用以提供强度进行校核计算,这样既能保证不遗漏载荷的严重工况,又能大大减少计算的工作量。飞行载荷筛选使用了四种方法:设计点方法、参数分析与选择法、单值包线法以及组合包线法,其中前三种为经典的筛选方法,组合包线法是对经典法的补充。

1 设计点方法

对于一个机动过程的时间历程,采用设计点的概念来选取典型的载荷特征点。设计点法用于载

荷筛选的初选,以偏航机动的垂尾载荷为例,用垂尾的三个设计点来概括,如图1所示。

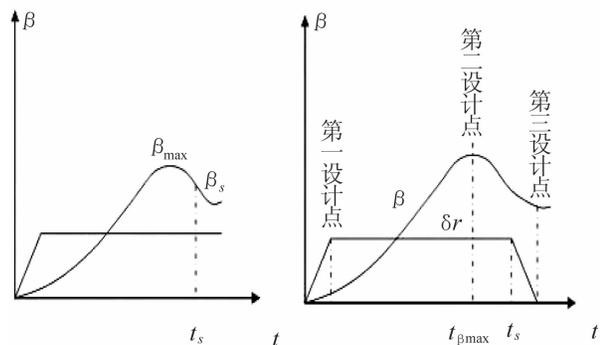


图1 垂尾设计点

- 1) 第一设计点: δr 偏至 δr_{\max} 时刻;
- 2) 第二设计点: FV 为最大时刻;
- 3) 第三设计点: δr 回舵至中立时刻, δr 方向舵偏度。

目前,设计规范对机动设计点提出了明确要求,如表1所示。

表 1 设计点情况

机动情况	第一设计点	第二设计点	第三设计点
偏航机动	方向舵偏至最大偏度时刻	垂尾载荷最大时刻	方向舵回舵至中立时刻
发动机失效	方向舵开始输入时刻	方向舵偏至最大偏度时刻	垂尾载荷最大时刻
非校验机动	平尾载荷最大时刻	全机最大过载时刻	/
校验机动	升降舵偏至最大偏度时刻,平尾载荷最大时刻	全机最大过载时刻	
滚转机动	最大角加速度滚转	最大角速度滚转	/

2 参数分析与选择法

在机动过程的时间历程中,按照极值(包含最大值、最小值)进行筛选,如过载系数、角速度、角加速度、飞机姿态角、操纵面偏角、尾翼载荷、无尾载荷等重要参数。对于纵向机动,筛选对象为过载系数、迎角、平尾偏度、升降舵偏度、俯仰角速度、俯仰角加速度、平尾载荷、无尾载荷等,而侧向机动,以侧滑角、方向舵偏度、偏航角速度、偏航角加速度、侧向过载、垂尾载荷等参数为筛选对象;滚转机动,以滚转角、侧滑角、副翼偏度、滚转角速度、滚转角加速度等参数为筛选对象。

3 单值包线法

对计算的所有总载荷工况,在进行气动分布载荷和惯性力分布载荷计算后,对于翼面类部件按照肋位累计,机身类部件按照框位累计得出各个站位的最大剪力、弯矩、扭矩,绘制出单值包线图,以此筛选出严重载荷情况。以某民用飞机机翼为例给出如图 2~图 4 所示的单值包线图。

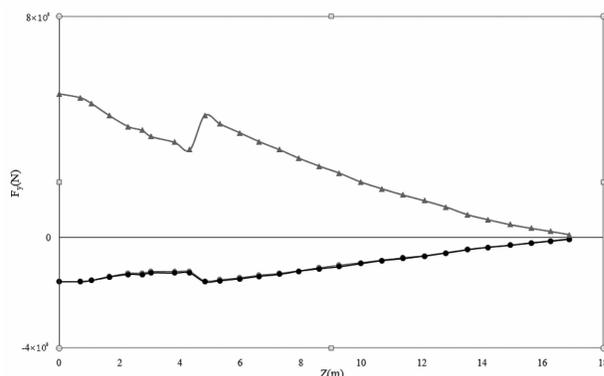


图 2 剪力图

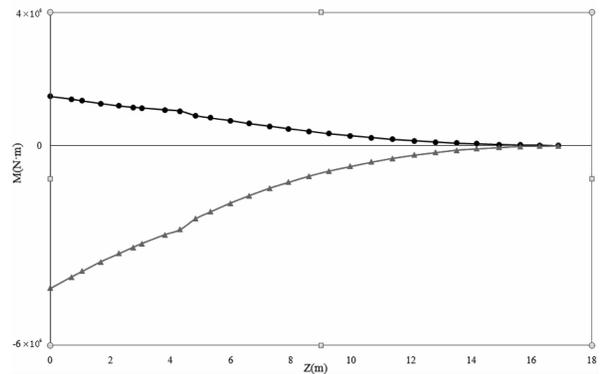


图 3 弯矩图

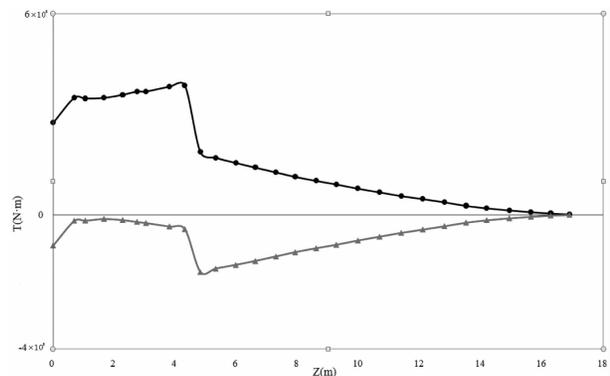


图 4 扭矩图

4 组合包线法

为保证能筛选到局部站位载荷严重情况,采用了组合包线法进行筛选,对于机翼而言一般选取 4~5 个站位,机身选取 20 个站位,平尾和垂尾选取 1~2 个站位,这些站位主要是一些外形突变处、结构对接面、气动力突变处,机翼选取了翼根剖面、发房区、襟翼区、副翼区,平尾和垂尾选取了翼根站位,分别绘制选取站位处的剪力-弯矩、弯矩-扭矩、剪力-扭矩组合包线,选取所有边界点处作为严重工况进行校核。图 5~图 9 给出了某站位机翼的弯矩、剪力、扭矩组合包线图。对机身而言,惯性载荷起主要作用,组合包线法挑选尤为重要,前起框、主起框、前段、中段、尾段框及一些结构对接框都需要选取,目前选定了 4 个框位。机身组合包线类型会更多,增加了侧向力、侧弯等组合。

对某民用飞机机翼而言,选取了翼跟剖面、发房区、襟翼区、副翼区作出剪力-弯矩、剪力-扭矩、弯矩-扭矩组合包线,选取所有边界点处作为严重工况进行校核,选取如下站位: $Z = 1.925\text{m}$, $Z = 6.118\text{m}$, $Z = 10.018\text{m}$, $Z = 13.618\text{m}$ 。如图 10 所示。

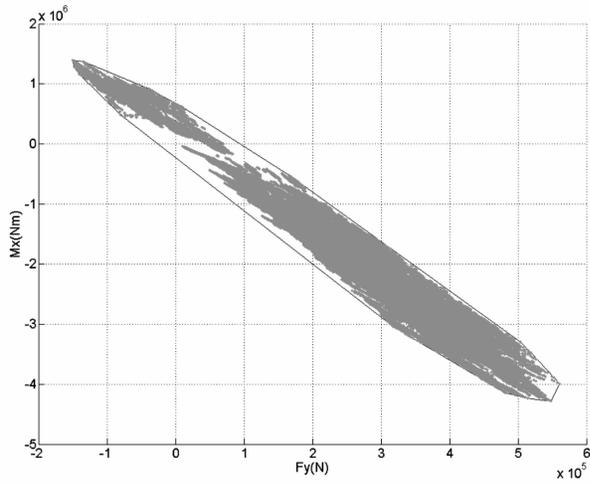


图5 弯矩 - 剪力图

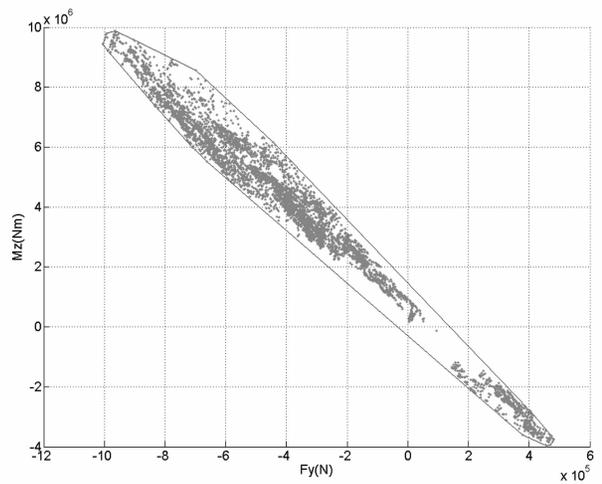


图8 机身弯矩 - 剪力图

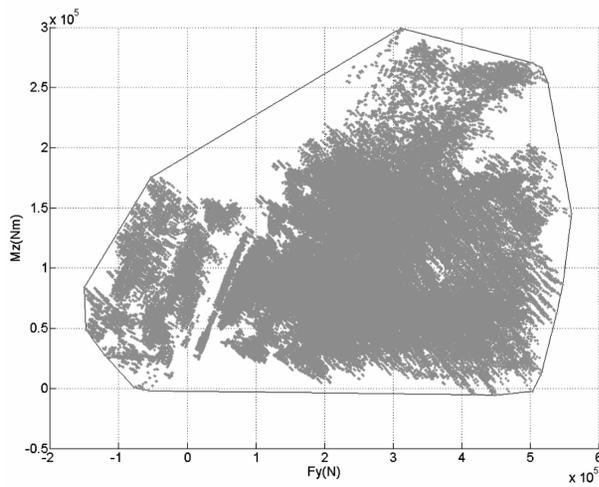


图6 剪力 - 扭矩图

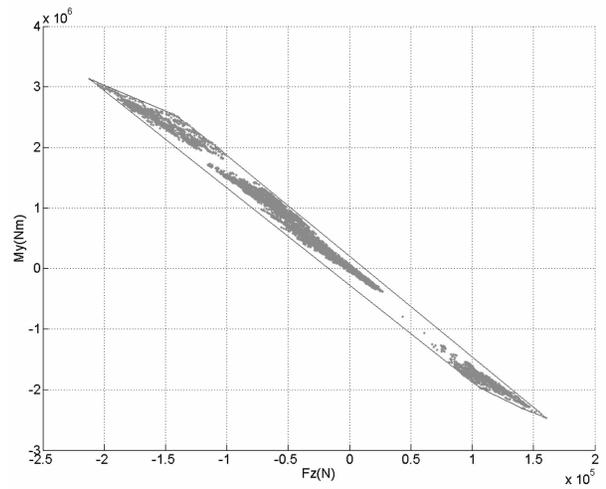


图9 机身侧弯 - 侧剪力图

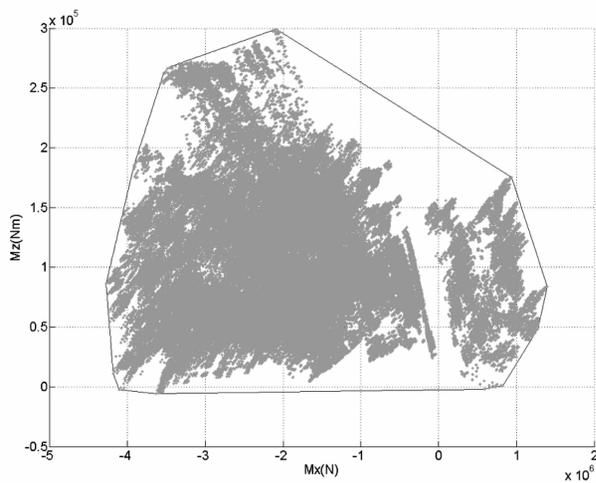


图7 弯矩 - 扭矩图

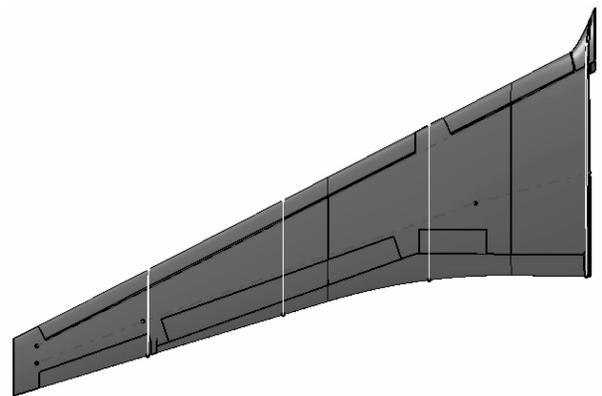


图10 机翼展向剖面站位

(下转第48页)

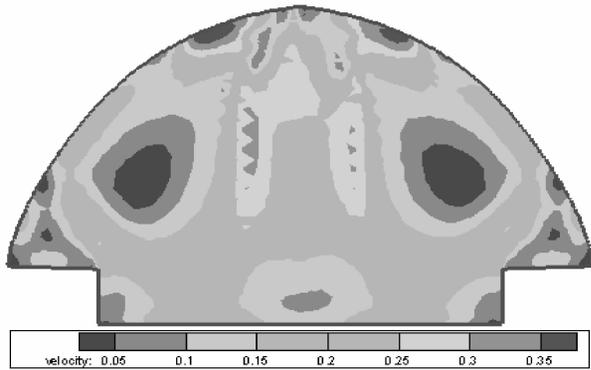


图9 观察员界面速度场

从图中可看出驾驶员区域温度在 297K ~ 298K 之间,分布均匀且无较大温差,正驾驶和副驾驶温度分布、速度分布基本一致,座椅上部分速度在 0.05m/s ~ 0.15m/s 之间,座椅下部分速度在 0.15m/s ~ 0.55m/s 之间,这是因为出风口在正对座椅下方的地板上;观察员区域温度控制在 296K ~ 296.6K,温度场分布均匀波动很小,速度控制在 0.05m/s ~ 0.25m/s,满足 ASHRAE 中规定的人体热舒适性要求^[7]。

3 结论

本文对某型民用客机的驾驶舱建立了数理模型,对其气流组织进行了数值计算,选择三个观察点并基于 PS 模型评价各工况的优劣,得到以下结论:

(1)在保证人员新鲜空气量和电子设备散热的前提下,驾驶舱总送风量的最佳设计值为 $0.08\text{m}^3/\text{s}$ 。

(2)在总送风量为 $0.08\text{m}^3/\text{s}$ 的工况下,左、右侧操纵台出风口出风量占总风量的 40% 时,可获得

最优的人员满意率,此时天花板出风速度为 1.05m/s,侧面出风速度为 2.4m/s。

(3)对侧面送风方向进行了计算分析,最优工况为侧面出风方向垂直于出风口。

(4)计算了最佳工况下驾驶员界面和观察员界面的温度场和速度场,其结果完全满足人体热舒适性的标准,为民用飞机驾驶舱气流组织的设计提供了参考。

参考文献:

- [1] 袁建新. 单通道民用飞机客舱气流组织数值仿真研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2015, 1: 11 - 14.
- [2] 王黎静, 王昭鑫, 何雪丽. 大型客机驾驶舱气流热仿真及舒适性评价[J]. 北京航空航天大学学报, 2010, 36(12): 1436 - 1439.
- [3] 孙贺江, 安璐, 等. 客机驾驶舱流场 CFD 模拟与热舒适性分析[J]. 天津大学学报, 2014, 47(4): 298 - 303.
- [4] Gunther G, Bosbach J, Julien P. Experimental and numerical simulation of idealized aircraft cabin flows[J]. Aerospace Science and Technology, 2006, 10(7): 563 - 573.
- [5] Singh A, Hosni MH, Horstman RH. Numerical simulation of airflow in an aircraft cabin section[J]. ASHRAE Transactions, 2002, 108(1): 1005 - 1013.
- [6] 陈鹏. 客机驾驶舱供风系统的初步设计与数值模拟[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2011.
- [7] American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. ANSI/ASHRAE Standard 55-2004 Thermal Environment Condition for Human Occupancy [S]. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, 2004.

(上接第 18 页)

5 结论

以某民用飞机载荷筛选为例采用组合包线法从 60 多万种总载荷工况中筛选出各个部件的严重工况;结合经典法共筛选出 500 多种纵向严重工况, 100 多种侧向严重工况, 相比只用单值筛选方法(100 多种纵向情况, 70 多种侧向情况)更完善、合理, 不会遗漏部件局部严重情况;组合包线法已经经过多轮载荷设计, 目前采用的严重载荷筛选法已经得到适航当局审批, 可应用到民用飞机工程设计中。2014 年 12 月, 通过咨询国外技术专家, 了解到

空客载荷设计目前也应用了组合包线筛选法, 其中, 机翼选取了 4 ~ 5 个站位, 机身选取了 10 ~ 20 个站位, 平尾垂尾选取了 1 ~ 2 个站位。这说明采用的载荷筛选法已经与国际接轨。

参考文献:

- [1] 《飞机设计手册》总编委会. 飞机设计手册第九册: 载荷、强度和刚度[M]. 北京: 航空工业出版社, 2001.
- [2] 中国民用飞机航空局. CCAR-25 中国民用航空规章第 25 部: 运输类飞机适航标准[S]. 北京: 中国民用航空局, 2011.