

大迎角飞行品质模拟研究

胡朝江¹, 周航星²

(1. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 空军第二航空学院, 吉林 长春 130022)

摘要:为了探索出一条适合于评估失速迎角前大迎角飞行品质评估的思路,通过选取推杆并改变 10° 姿态角,带过载的从一侧到另一侧的倾斜并截获 90° 滚转角及空-空跟踪三项任务作为子任务集,在一台地面飞行模拟器上对一架第三代战斗机大迎角飞行品质进行了评估,并把评估结果与通过等效系统方法得到的结果进行了对比,结果表明尽管大迎角品质边界相对于小迎角有所不同,但只要适当调整品质边界,则用于评估小迎角品质的方法如等效系统等,在大迎角时仍可采用。

关键词:大迎角;飞行品质;模拟评估;等效系统方法

中图分类号:V212.12 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2001)01-0006-04

由于近距离格斗空战的需要使得对大迎角飞行品质的研究变得非常紧迫。目前国外对这一课题的研究已经广泛开展,国内也逐步展开,但目前还主要限于进行理论探讨。为此,本文在有驾驶员参加的情况下,在一台地面飞行模拟器上,结合具体的飞行任务,对一架典型第三代战斗机的失速迎角前大迎角飞行品质进行模拟评估,并把评估结果与通过等效系统方法得到的结果进行对比,借以探索一条评估大迎角飞行品质的方法。

1 方法介绍

1.1 确定评估子任务集

运用地面飞行模拟器研究飞行品质首先需解决的问题是建立与空战密切相关的飞行品质评估机动任务集,该机动任务集中应包括飞机在空战中可能用到的各种典型飞行动作,如平飞、跃升、俯冲、筋斗^[1]、盘旋、战斗转弯以及截获、跟踪等,然后根据研究目的挑选合适的机动任务。在模拟试验中的一个关键问题是驾驶员评分,驾驶员评分结果客观与否对模拟试验的有效性会产生很大影响。

对本文所要涉及的失速迎角前飞行品质的评估任务,主要根据文献2提供的飞行品质评估机动任务集确定了急推杆并改变 10° 姿态角,带过载的从一侧到另一侧的倾斜并截获 90° 滚转角及空-空跟踪三项任务作为子任务集。

在近距离格斗空战中,为了迅速地截获目标并且保证先于目标开火,要求我机迅速增大迎角并转动机动平面以确保我机机动平面与瞄准平面尽快重合,并使机头尽快指向目标,即飞机应具有很好的俯仰和滚转敏捷性。而飞机的俯仰敏捷性与其纵向飞行品质关系密切,滚转敏捷性则与飞机的横航向飞行品质联系紧密。很显然,此阶段驾驶员操纵应属于闭环操纵,故评价大迎角飞行品质应以闭环操纵任务为基础。为此,分别选取了推杆并改变 10° 姿态角(因飞机装有迎角限制器,对于拉杆动作,因迎角增大受限制,故不能有效地改变给定姿态角),带过载的从一侧到另一侧的倾斜并截获 90° 滚转角作为评估飞机纵向和横向飞行品质的飞行任务。

在评估整机飞行品质时,主要通过跟踪任务进行。运用跟踪任务评估飞行品质的优点是:当进行跟踪时,要求驾驶员根据目标运动的变化,及时、准确地修正其飞机的运动规律,这样飞行品质的缺陷就容易暴露出来;跟踪飞行品质是包括驾驶员、操纵系统和飞机本体在内的总的闭环特性,这就避免了把操纵系统和飞机

收稿日期:2000-07-19

作者简介:胡朝江(1968-),男,贵州贵阳人,讲师,博士,主要从事飞行动力学与控制研究。

本体数学模型进行分开的困难(这是应用常规飞行品质规范的前提),因而特别适用于带有诸如电传操纵系统等复杂操纵系统的飞机的飞行品质的研究;跟踪飞行品质与作战任务直接相关,意义明了,容易被驾驶员理解、掌握和运用。

在运用跟踪任务进行品质评估时,由于涉及到目标机,还需对目标机的运动规律及二机的相对位置关系做出规定。当飞机作近距离格斗空战时,进行大小半径不同的转弯机动是最常见的机动方式之一,同时近距离格斗空战往往都在目视范围内。为此,规定目标机作稳定下降盘旋,二机的距离为 1000 m,二机的相对位置关系如图 1 所示。图中目标机较跟踪机的方位角为 60° 。规定目标机与跟踪机有一定方位角,是为了确保跟踪机在截获目标前,需做一段时间的机动,从而有利于检查飞机的飞行品质状况。

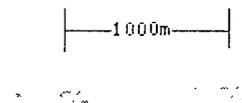


图 1 二机相对位置(初始机翼均水平, $h=51\text{ km}$, $Ma=0.35$)

规定从截获目标并把目标 50% 的面积锁定在瞄准环内 3~5 s(导弹发射所需时间)为完成跟踪任务。驾驶员的评分依据为在一定的误差范围内完成任务所需的时间及难度。跟踪任务完成的时限为 60 s,这主要是由于空战是一个互相攻击的过程,故时间过长,往往会失去意义。

跟踪任务的完成过程大致是,当目标出现在驾驶员的视野中时,在对目标机的运动规律迅速做出判断后,驾驶员即以与目标机相同倾斜方向压杆至与目标机大致相同的倾斜角并拉大迎角,进而完成跟踪任务。

1.2 注意事项

闭环飞行品质的主要优点之一是考虑了驾驶员的作用,但这也带来一个问题,即驾驶员的熟练程度往往会对飞行品质的评估产生影响,好的飞行品质可能会因驾驶员的不熟悉和不适应而获得差的评分效果;同样,差的飞行品质也可能会因驾驶员的熟练而获得好的评分效果。故为了尽可能给出一个准确、客观的驾驶员评分,有以下问题需要注意。

1) 在确定驾驶员评分标准时,应根据空战要求、飞行员普遍的水平及任务特点等确定适当的评分尺度;

2) 应避免在正式评分之前,驾驶员在模拟器上练习过多因适应其特点而导致不能给出真实的评分值;不应告诉飞行员试飞状态的飞行品质参数值。

关于等效系统拟配的方法可参见文献[3~4]。

2 结果分析

关于飞行品质的检查标准,对于小迎角($\alpha < 15^\circ$)飞行品质,仍沿用传统的飞行品质规范去检查,对于失速迎角大迎角($\alpha \geq 15^\circ$)飞行品质的检查标准,文献[5]在地面飞行模拟器上以 30° 迎角为例研究给出了跟踪和截获的飞行品质判据。

2.1 等效系统拟配

纵向和横向拟配结果分别如图 2 及图 3 所示。图中符号含义分别是,PIO 为驾驶员诱发振荡,EOS 为严重超调,LA 为低加速度,MPIO 为中等诱发振荡,OS 为超调。1-5.27 表示状态 1 对应的高度为 5 km 和马赫数 0.27,其余含义类似。由图 2 及图 3 可知,无论是采用根据跟踪任务还是采用根据截获任务制定的飞行品质标准进行检查,对所检查的大迎角状态,其飞行品质均只能满足二级品质要求。

2.2 模拟试飞评估

模拟试飞评估结果分别见表 1~3,为比较方便,相应的等效系统拟配结果也被列于各表中。

2.2.1 推杆并改变 10° 姿态角

由表 1 可知,对所选择的大迎角状态,根据驾驶员评分所得出的飞行品质均只能满足二级品质要求,与等效系统拟配得出的结果一致。对具体的各个状态,驾驶员评语不完全相同,当迎角相对较小时,驾驶员对飞机的评语也较好,反之,则较差。不过,在对各个状态的评价中,都出现了诸如有超调,有驾驶员诱发振荡等的评价,这样的评语与等效系统拟配结果对应区域的评语基本一致,这说明对于该项任务的模拟试飞评估结果与等效系统拟配结果是基本一致的。

2.2.2 从一侧到另一侧的倾斜

结果见表 2。表中第一列的迎角为飞机配平于向右倾斜角为 45° 时的定常盘旋的迎角,拟配栏中的前一个数值为 τ_R 等级,后一个为 (ζ_n, ω_n) 的。由表 2 的评分结果可知,在小迎角($\alpha < 15^\circ$)时,飞行品质能满足一级

品质要求,而在大迎角时,飞行品质则降为只能满足二级品质要求。(与通过等效系统方法得出的品质等级相同)。驾驶员的评语主要是,初始响应慢,修正时有超调等内容,而图3中的对应评语则为加速度小,有超调,有中度PIO等,显然,初始响应慢与加速度小含义相同。这说明对于该项任务的模拟试飞评估结果与等效系统拟配结果也是基本一致的。

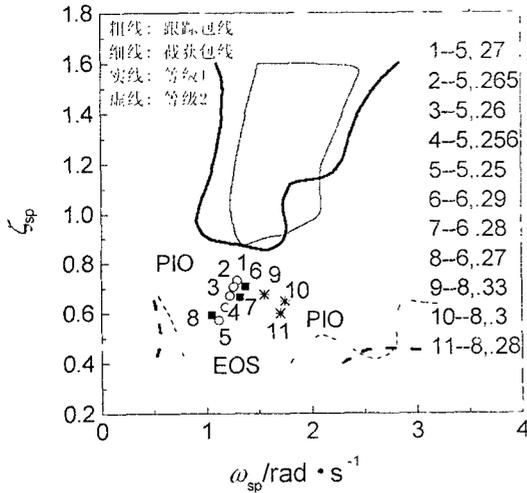


图2 纵向大迎角品质标准

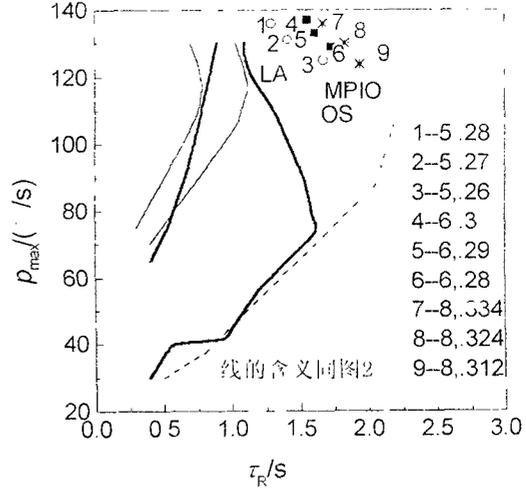


图3 横向大迎角品质标准

表1 推杆的驾驶员评分及评语(试飞栏下面对应的数值为试飞品质等级,拟配栏相同)

$h/\text{km}/\text{Ma}/\alpha(^{\circ})$	评分	简短评语	试飞	拟配	ζ_{sp}	$\omega_{sp}/\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$	目标函数
5/.3/12	3	初始响应时间尚可,修正时有较小的超调量	1	1	0.87,1.14		19
5/.27/15	4	响应较慢,小量超调	2	2	0.72,1.27		23
5/.25/18	6	时间慢,稳态值不好预测,有超调及PIO超势	2	2	0.59,1.16		33

表2 保持过载从倾斜左到倾斜右的滚转, $\Phi=45^{\circ}, n_z=1.4$ 时的驾驶员评分及评语

$h/\text{km}/\text{Ma}/\alpha(^{\circ})$	评分	简短评语	试飞	拟配	τ_R/s	$\zeta, \omega_{sp}/\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$	目标函数
5/.33/13	4	初始响应慢,操纵力合适,有超调,难保持过载	2	1/1	0.92/(0.42,1.81)		48
5/.29/15	4	滚转初始响应慢,有超调,很难保持过载	2	2/2	1.22/(0.27,1.61)		74
5/.26/18	6	初始响应慢,严重超调,有PIO,很难保持过载	2	2/2	1.72/(0.07,1.24)		68

2.2.3 跟踪

由表3可知,当目标机 $\alpha \leq 20^{\circ}$ 时,勉强能够完成任务,从驾驶员的评分情况来看,能满足二级品质要求。而当目标机迎角进一步增大时,则完成跟踪任务很难,飞行品质也相应地只能满足三级品质要求,这与等效系统拟配结果基本一致。

表3 跟踪任务驾驶员评分及评语

$h/\text{km}/\text{Ma}/\alpha(^{\circ})$	评分	简短评语	等级
5/0.35/15	4	捕获时间长,精确操纵能力差,有超调	2
5/0.35/20	9	无法按要求完成任务	3
5/0.35/25	9	无法按要求完成任务	3

3 结论

1)由于描述大迎角机动飞行的数学模型为非常复杂的高阶非线性微分方程,因而不能用传统的小迎角线性系统的方式来分析、研究和试飞验证大迎角飞行品质。考虑到大迎角飞行品质是直接为空战服务的,它与当代战斗机的作战环境、作战方式密切相关,且由于数值仿真技术的进展,故应将大迎角飞行品质研究与近距空战模拟紧密联系在一起,通过建立与空战密切相关的飞行品质评估机动任务集,然后利用机动任务集,结合驾驶员评分进行研究。

2)通过以上从等效系统及模拟试飞评估两个方面对一架第三代失速迎角前飞行品质的检查,可以看出:对于不同的任务,等效系统拟配结果与模拟试飞评估结果基本相同,对于任务1,因大迎角限制器的作用,故

在大迎角时不能完成任务。总的来说,随着迎角的增大,品质等级下降,对于这一点,通过等效系统拟配与通过模拟试飞得到的结论相同,这说明这架飞机的大迎角飞行品质可能需做修改。

3)从文献[5]提供的失速迎角前大迎角飞行品质判据来看,相对于小迎角,短周期阻尼比和频率向适当的低频大阻尼方向移动,这说明大迎角品质边界相对于小迎角有所不同。但通过以上工作可以看出,只要适当调整品质边界,则用于评估小迎角品质的方法如等效系统拟配等,在大迎角时仍可采用。

参考文献:

- [1] 胡朝江.斜筋斗特性研究[J].空军工程大学学报(自然科学版).2000,1(2):8-10.
- [2] David B L,Thomas J C. Flying qualities demonstration maneuvers[R]. AIAA-94-2113-CP:52-62.
- [3] 杨朝旭.对纵向等效系统固定与变动 $1/T_{Qz}$ 拟配的一些看法[J].飞行力学,1986,4(1):60-64.
- [4] 文 检.横向等效系统拟配应用研究[J].飞行力学.1990,8(3):60-65.
- [5] Krekeler G,Wilson D,Riley D. High angle of attack flying qualities criteria[R]. AIAA 90-0219:1-11.

Study about high angle of attack flying qualities with simulator

HU Chao-jiang¹, ZHOU Hang-xing²

(1. The Engineering Institute, AFEU. , Xi'an 710038, China;

2. Dept. 1 of the Second Aeronautical Engineering Institute of AF. , Changchun 130022, China)

Abstract: In order to explore how to evaluate the high attack (AOA) flying qualities before stall AOA, through pushing stick and changing posture angle by 10° , to roll from bank to bank and to capture 90° roll angle and air to air tracking are chosen as a subset to study flying qualities at high angle of attack. Secondly, flying qualities of a third generation fighter are evaluated with a simulator. At last, the results of simulation evaluation are compared with ones derived from equivalent system method. The conclusion is that if the boundary of flying qualities are adjusted suitably, the high AOA flying qualities can still be evaluated by equivalent system method, although the boundary of high AOA flying qualities is different from small AOA ones.

Key words: high angle of attack; flying qualities; simulation evaluation; equivalent system method