

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2018.04.008

发动机双发失效空滑策略研究

Research on Dual Engine Failure Gliding Strategy

苏 翼 / SU Yi

(中国商飞试飞中心, 上海 201323)

(Flight Test Center of COMAC, Shanghai 201323, China)

摘 要:

双发失效是飞机在发动机试飞中可能遇到的最大风险。通过提前规划双发失效后的垂直、水平路径,让飞行机组在遇到双发失效特情时能按照预先规划的路径飞行,遵循最有利的能量使用,减轻机组在特情时的负荷和避免做出不良决策,以期降低双发失效风险带来的影响。

关键词: 双发失效;空滑;返场

中图分类号: V328.3

文献标识码: A

OSID:



[**Abstract**] Dual engine failure is the worst hazard of engine flight test. This paper talks about planning of vertical flight path and horizontal flight path. Flight crew will follow the planned path and make full use of energy to lower the workload and avoid bad decision when encountered dual engine failure case.

[**Keywords**] dual engine failure; gliding; return to base

0 引言

发动机双发失效是最严重、最危险的飞机特情之一,对于部分风险试飞科目,如发动机空中起动机包线拓展试飞、负加速度试飞等,由于其特有的试飞操作,大大增加了飞机发生双发失效的概率。一旦飞机出现双发失效特情,飞机的电源系统、液压系统、飞控系统、气源系统、压调系统等关键系统将出现不同程度的降级,同时由于失去动力,飞机将无法保持高度、速度,飞行员需要操纵飞机以有利速度下滑,在有限的时间内尽快寻找合适的机场或开阔场地降落。本文旨在从下滑的剖面 and 航迹两方面分析飞机失去动力后的返场策略,以期降低双发失效的危险程度。

1 双发失效返场策略

当飞机发生双发失效应急情况时,飞行员需要进行两方面的工作:一是尝试重新起动机;二是操纵飞机返场或寻找合适的备降/迫降场地。飞机由于失去动力,将不断损失能量,因此供飞行员反应和思考的时间十分有限。此时,提前做好应急预案,

对降低双发失效的风险十分有帮助。

要尽可能避免发生双发失效时飞行员在空中临时计算是否可以空滑至机场或寻找迫降场地,因此提前规划好空滑的策略至关重要。在以往的试验准备中,通常根据飞机的理论计算得到飞机在不同重量、构型下的空滑比,以此作为空滑距离的计算依据,确保飞机能在双发失效的情况下完成返场着陆。本文在此基础上,进行了进一步细化,不仅考虑了垂直剖面的空滑比,也制定了航迹上的标准返场路径,减轻双发失效时飞行员因临时计算和决策带来的额外工作负荷。

飞机大都具备飞行管理系统,并以全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System,简称GNSS)为导航源进行导航。飞机若在空中发生双发失效的情况,可参考机场公布的进近程序中的定位点,选择其中的中间进近定位点(Intermediate Fix,简称IF)和最终进近定位点(Final Approach Fix,简称FAF)作为空滑返场的定位点。一旦飞机发生双发失效,则在空域中调整航向直飞IF点,并对正跑道,在IF点到FAF点之间调整飞机构型,在FAF点前后完成构型调整至着陆构型。本文将以临沂机场

19 号跑道为例,进行空滑策略分析,列出空滑需要考虑的各项要素,包括空滑比、构型调整、定位点高度、空域范围等。

1.1 空滑比

根据不同飞机的设计特点计算得到飞机在不同重量、不同构型下的空滑比,即每个构型下推荐的速度,和在该速度下每损失 1 000 ft (1 ft \approx 0.3 m) 高度可滑行的地面距离,表 1 为假定的某型飞机在某个重量下的空滑比和有利速度。

表 1 某型飞机在某重量下的空滑比和有利速度

构型	速度/kn	空滑比
光洁构型	185	1 000 ft / 2.5 nm
起飞构型	160	1 000 ft / 2 nm
进近构型	150	1 000 ft / 1.7 nm
着陆构型	140	1 000 ft / 1.5 nm

1.2 构型调整

在正常进近的过程中,飞机在 FAF 点前将完成着陆构型的调整,对正跑道开始建立稳定下滑。飞机在双发失效的特情下返场时,推荐按照同样的思路进行构型调整,这样能够让飞行员尽快对正跑道建立一个稳定的空滑状态,避免在无动力情况下,在低高度频繁操纵飞机。

根据这一思路,参考临沂机场航图 19 号跑道 IF 点 LY803 进行计算,LY803 距离跑道端头 18.6 km (10 nm),距离 FAF 点 LY802 为 8.7 km (4.7 nm),FAF 点 LY802 距离跑道端头 9.9 km (5.3 nm)。在双发失效时,大多数飞机将出现襟缝翼半速甚至 1/4 速率的情况,故需要根据型号的设计特点,按照双发失效情况下襟缝翼收放到着陆构型的时间进行计算。假设完成襟缝翼收放需要 90 s,参考表 1 此时飞机的进近速度为 140 kn,则所需的地面距离约为 3.5 nm,故按照该假设可在 IF 点至 FAF 点之间完成构型调整。若由于双发失效导致襟缝翼调整时间过长,则可在 IF 点前开始构型调整,原则上应让飞机在 FAF 点前完成最终着陆构型的调整。

1.3 定位点高度

除了构型调整以外,还需考虑通过两个定位点 IF 点和 FAF 点的高度,以确保通过两个定位点时飞机具备足够的能量返场着陆。依然以临沂机场 19 号跑道为例,IF 点 LY803 距离 FAF 点 LY802 为 8.7 km (4.7 nm),FAF 点 LY802 距离跑道端头

9.9 km (5.3 nm)。通过近似处理,将 IF 点至 FAF 点的距离均分为数段作为不同的构型调整期,并根据不同构型的空滑比得到构型调整期间的高度损失。

以表 1 数据为例,在 IF 点至 FAF 点期间构型将依次从光洁构型调整到起飞构型、进近构型和着陆构型,故将 IF 点至 FAF 点距离均分为 3 段,每段 1.6 nm,并按照下一个构型的空滑比进行计算(更加保守)得到构型调整期间的高度损失如表 2 所示。

表 2 构型调整期间的高度损失

构型	空滑比	1.7nm 的高度损失
光洁构型至起飞构型	1 000 ft / 2 nm	800 ft
起飞构型至进近构型	1 000 ft / 1.7 nm	941 ft
进近构型至着陆构型	1 000 ft / 1.5 nm	1 066 ft

以上计算为近似计算,若构型调整所需时间远小于或者大于飞机在 IF 点至 FAF 的用时,则需要考虑延迟或者提前构型调整时机,确保在 FAF 点完成构型调整又不至于过早完成构型调整而影响空滑距离。

在 FAF 点以后,飞机已经调整至着陆构型,以表 1 数据为例,FAF 点距离跑道端头 5.3 nm,则这段距离需要损失高度 3 533 ft。故为了保障飞机能够空滑回机场,过 IF 点的所需高度为 800 ft + 941 ft + 1 066 ft + 3 533 ft = 6 340 ft,过 FAF 点的所需高度为 3 533 ft。

1.4 空域范围

发动机空中起动除了需要保持在划设的空域范围内以外,还要受到空滑范围的限制,需要同时满足这两者的要求。按照表 1 数据,某型飞机在某重量下光洁构型的空滑比是 1 000 ft / 2.5 nm,速度 185 kn,对于速度比 185 kn 小的试验点,则需要考虑势能转换为动能,对于速度比 185 kn 大的试验点,则可以根据势能转化为动能,增加空滑范围。下面以高度 21 500 ft,速度 320 kn 的试验点举例。

根据 $\frac{1}{2m}(v_{\text{高速}}^2 - v_{\text{低速}}^2) = mgh$,进行多余的能

量转换,得到速度减少到 185 kn 时可以爬升的高度,为了足够保守,中间留下 15% 的保守裕度作为能量转换的损失,其中需要特别注意单位的换算,通过计算得到经过能量转换后额外的高度为 788 m (2 587 ft)。除了动能转换为势能外,在发动机空中起动的高度本身具备的势能也可作为空滑的转换,

假设飞机在 20 000 ft 进行发动机空起。那么从该高度空滑降低高度到 IF 点(所需高度 6 340 ft),可以消耗的高度为 $20\,000\text{ ft} - 6\,340\text{ ft} + 2\,587\text{ ft} = 16\,247\text{ ft}$ 。

此外飞机发生双发失效时,飞行员需要一定的时间反应,才能做出正确的判断和操作,故考虑增加 1 000 ft(大约 30 s)的额外高度作为反应时间余量。飞机发生双发失效时,还需要调整航向朝着机场飞行,故还需要考虑飞机以特定的坡度进行 180° 转弯时的高度损失,假定某型飞机以 30° 坡度进行 180° 转弯时的高度损失为 1 000 ft。

此时可以空滑距离为 $[16\,247\text{ ft}(\text{原有势能}) - 1\,000\text{ ft}(\text{飞行员反应时间}) - 1\,000\text{ ft}(\text{180}^\circ\text{转弯})] / 1\,000 \times 2.5(\text{空滑比}) = 35.6\text{ nm}$ 。得到此时在以 IF 点为圆心、35.6 nm 为半径的范围内,可以满足空滑的范围。应用同样的方法,可以得到不同速度、不同高度条件下的空滑范围。这样在每个试验点执行前,飞行员可根据空滑覆盖范围进行空域调整,此时试验可飞空域则是空滑覆盖范围和试验空域的交联部分。综上,各个试验点可满足飞机空滑回机场的覆盖范围是以 IF 点 LY803 为圆心,不同距离为半径的圆形,如图 1 所示。



图 1 某试验点空滑覆盖范围和试验空域

但是上述空滑范围未考虑风速对空滑距离的影响,若存在较大顺风/逆风的情况,需要考虑风速风

向对空滑距离的影响。此时可以根据空滑的地面距离和此时的有利速度,近似得到飞机空滑回机场需要的时间,由此计算风速对空滑距离的影响,并对空滑覆盖范围进行修正。

2 结论

根据上述计算分析,发生双发失效时的空滑返场策略如表 3 所示。此外,为了在试飞中真正降低双发失效带来的风险,除了制定完备的空滑方案外,还需对双发失效造成的系统降级、双发失效后的操作程序十分清楚,需要试飞员、试飞工程师通过模拟机进行充分的训练。

表 3 返场策略总结

序号	过程	高度、速度策略	航迹策略
1	飞机发生双发失效,飞行员意识到双发失效特情	预留的飞行员反应时间 (1 000 ft / 30 s)	无
2	飞行员开始尝试起动发动机和返场着陆	调整到当前构型有利速度	调整航向,飞向机场 IF 定位点
3	到达机场 IF 定位点,开始调整襟缝翼构型	进行定位点高度检查,并根据不同构型调整有利速度	飞向机场 FAF 定位点
4	对准跑道,做好着陆准备	进行过定位点高度检查	飞向机场跑道

参考文献:

- [1] 中国民用航空总局. 中国民用航空规章第 25 部: 运输类飞机适航标准[S]. 中国: 中国民用航空总局, 2011.
- [2] Federal Aviation Administration. Flight test guide for certification of transport category airplanes: AC25-7C[S]. [S. l.]: Federal Aviation Administration, 2012.

作者简介

苏翼 男, 硕士研究生, 工程师。主要研究方向: 民用飞机试飞测试与评估。E-mail: suyi@comac.cc