

发动机不可控高推力适航部分豁免方法研究

Research on Partial Exemption Application Method for Uncontrollable High Engine Thrust

戚学锋 杨铁链 / 上海飞机设计研究院动力燃油部

摘要: 介绍了发动机不可控高推力 (UHT) 问题的产生背景, 论述了申请 § 25.901(c) 条款有关不可控高推力的部分豁免的思路和方法。结合 FAA 关于不可控高推力的指导材料, 给出了有关不可控高推力的持续适航工作建议, 对于飞机申请 § 25.901 条款有关不可控高推力的部分豁免具有一定的指导意义。

关键词: 不可控高推力; 适航; 部分豁免

Keywords: uncontrollable high engine thrust(UHT); certification; partial exemption

0 引言

发动机不可控高推力故障定义为机组不能通过正常的方式(指机组手动操纵油门杆或自动油门控制)减少发动机所产生的过多的推力。

对于运输类飞机, 正常方式通过

机组直接用油门杆或者间接通过自动油门可实现对发动机推力的控制。传统的发动机控制系统中, 存在很多单个或者多个故障组合导致发动机控制系统失去其正常控制能力。其中一部分故障使得实际的发动机推力明显高于

指令值, 或者在较低油门控制命令时发动机仍保持在高推力状态。这类故障称之为发动机不可控高推力故障。

例如, 发动机燃油计量装置卡在相对高的燃油流量位置。此时, 机组丧失用油门杆或自动油门控制推力的

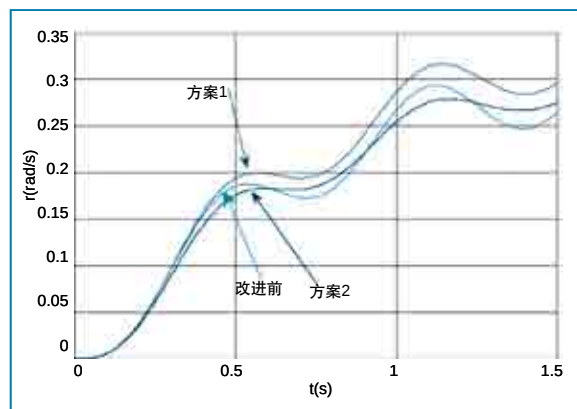


图8 改进前后系统的阶跃响应比较

可以在响应速度不明显变慢的情况下大幅度降低谐振峰值, 同时有较高的稳定裕度, 因此可以作为偏航阻尼器的一种较为理想的改进方案。

4 结论与展望

本文针对民用飞机在湍流所致的

偏航振荡时可能存在的振幅较大的问题, 探讨了民用飞机偏航阻尼器的改进设计。研究表明, 在偏航阻尼器的控制回路中增加合适的陷波滤波器能够显著抑制振荡峰值, 具有较大的稳定裕度, 并且不会明显增加响应时间, 是一个较为合适的解决方案。

偏航振荡的抑制是

民用飞机设计中的一个

重要问题, 本文对偏航阻尼器的改进设计进行了一定的尝试, 但在实际问题中需要考虑更多的因素来寻求更优化的解决方案。例如, 可以考虑改变结构阻尼和频率, 但这意味着改变材料或结构形式, 是一个影响全局的问题, 可能导致成本的增加和研制周期

的滞后; 又如, 从运动和控制角度考虑, 本文的基本假设里只考虑了方向舵偏度和偏航速率的关系, 这是一个较为简化的假设, 实际飞行中的偏航运动还受其他因素的影响, 如果增加副翼偏度等因素作为控制变量, 将有可能得到更好的结果^[2]。总之, 要削弱湍流导致的偏航振荡问题, 精细的主动控制技术是一个切实可行的研究方向, 具有较好的应用前景。

参考文献

- [1] 费玉华. 阵风减缓直接升力控制方案的仿真研究[J]. 飞行力学, 2000, 18(1).
- [2] Powell J D, Abbas E N. 动态系统的反馈控制[M]. 朱齐丹, 张丽珂, 原新, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2004.

能力。发动机推力持续增加，直至达到发动机限制或采取某些干预措施为止。发动机限制可能是发动机独立的控制限制功能，如发动机超速保护；也可能是发动机的固有物理限制，如发动机失速。上述干预措施包括一些恢复正常控制的操作，或利用独立的燃油切断阀使受影响的发动机停车^[1]。

发动机不可控高推力故障及其危害长期存在于运输类飞机设计之中。根据过去20年FAA对不可控高推力故障发生概率的粗略统计，目前采用涡轮风扇发动机的运输类飞机出现不可控高推力故障的概率是 1×10^{-7} 次/飞行小时。随着航线交通拥堵和使用平行跑道的增加，飞机遭遇不可控高推力的危险性有所提高。最近几年，受自动起飞推力控制（ATTCS）和降推力等级发动机的应用等因素的影响，不可控高推力的风险有增无减，使得局方更加关注此类相关故障^[2]。因此，研究不可控高推力申请部分豁免的思路和方法，对飞机型号合格审定具有重要的意义。

1 部分豁免申请

部分豁免是申请人提出并由型号合格审定委员会确定的审定基础的一部分。对于某些具体技术问题，由于其不切实际或者对安全没有实质性贡献，型号合格证申请人可以因技术原因申请豁免适航标准的某些条款。

传统的发动机控制采用“失效—安全”方式进行发动机过高推力的保护，允许机组确定发动机停车的恰当时机，并通过独立的燃油切断装置关闭故障发动机，以防止这类故障导致灾难性的后果。该类设计对发动机不可控高推力情形下的保护基于以下假设条件：“机组能够识别不可控高推力故障状态，并且在不可控制高推力

故障对飞机造成不可接受的危险之前，安全地处理不可控制高推力故障。”然而工程研究和飞机运营经验以及1997年沙特阿拉伯航空公司波音737-200飞机的空难表明，这类假设条件并不一定总是正确的。

§ 25.901(c)条款^[3]要求：“对于动力装置和辅助动力装置的安装，必须确认任何单个失效或故障或可能的失效组合都不会危及飞机的安全运行……”然而基于目前工业设计水平，飞机发动机设计并不能完全满足§ 25.901(c)对不可控高推力故障的要求。FAA指出，如果申请人无法证明飞机在不可控高推力故障条件下满足该条款要求，应申请等效安全或部分豁免。因此，国外多个机型对§ 25.901条款关于发动机不可控高推力故障申请了部分豁免。

2 FAA对UHT部分豁免的要求

FAA批准UHT部分豁免基于两方面因素：

- 1) 根据美国联邦航空法规（14 CFR）§ 11.81(d)，所批准的豁免应符合公众利益；
- 2) 根据美国联邦航空法规（14 CFR）§ 11.81(e)，所批准的豁免不会对安全性造成不利的影响。

FAA通过问题纪要的形式指出：不可控高推力是一个通用的安全性问题，其相关条款的符合性验证对运输类飞机设计仍是一项挑战，工业界和局方对其应用范围和解决方法仍在研究中。其符合性验证不在公众利益范围内，如果申请人能够证明其设计构型在可接受的安全范围内，FAA将会考虑同意豁免的申请。

针对安全性的影响，申请UHT部分豁免应符合如下条件：

- 1) 已采取所有可以实现的措施来

减小部分豁免§ 25.901(c)不可控高推力故障对安全的负面影响。这包括但不限于，减少风险的改进设计、工艺、持续性适航培训和指导。

2) 采取所有可以实现的措施，保证申请部分豁免§ 25.901(c)不可控高推力的运输类飞机所具有的风险不得大于现存飞机已知和可接受的风险，可接受风险的特征包括除飞机距地面高度低于400英尺之外，飞行中出现的任何可预见的不可控高推力故障应符合所有的适航条例；UHT故障发生的概率不得超过 1×10^{-7} 次/飞行小时。

3 申请UHT部分豁免的方法

3.1 最小化UHT危害的措施

根据FAA批准的《适航评估和风险管理计划》，用于最小化不可控高推力对飞机安全性影响的措施有三种。

- 1) 提供在UHT故障条件下机组的操作程序，并将其增加至机组操作手册中；
- 2) 对飞行员进行UHT故障条件下的机组操纵程序培训；
- 3) 考虑设计改进，以最小化不可控高推力对飞机安全性的影响。

3.2 UHT故障概率

对于400英尺以下UHT故障对飞机带来的安全性影响，需采用故障概率计算方法证明飞机满足申请UHT部分豁免的要求，即需证明该飞机发生UHT故障的概率低于 1×10^{-7} 次/飞行小时。

3.3 UHT模拟器试验

FAA通过问题纪要的形式指出，作为《适航评估和风险管理计划》的一部分，申请人需采用FAA认可的方法，如飞行试验目击、模拟器试验和相关支持文件等，定义并描述所有UHT故障状态下飞机的不安全状态中符合适用条款的类型，以及不能符合

适用条款的不安全状态类型。

由此可见,申请人除需要进行最小化UHT危害的措施和故障概率计算以外,还需要进行飞行试验(MOC6)或模拟器试验(MOC8),验证发生UHT故障对飞机的安全性影响。然而进行UHT故障概率下的飞行试验难以实现,且危险度较高,申请人往往会选择模拟器试验进行验证。

需要进行以下9种发生UHT故障条件下飞机不安全情景的模拟器验证。

a) 起飞中断1:不可控高推力故障状态在起飞滑跑期间,处于功率设置和达到V1之间时出现;由于不正常的发动机运行导致起飞异常中断;工作正常的发动机推力正常下降,但是故障发动机仍处于高推力状态,由此导致的推力不对称致使飞机偏出跑道。

b) 起飞中断2:起飞异常中断情景2#,不可控高推力故障状态在起飞滑跑期间,处于功率设置和达到V1之间时出现;由于不正常的发动机运行导致起飞异常中断;工作正常的发动机推力正常下降,但是故障发动机仍处于高推力状态;由此导致的过高的净推力致使飞机冲出跑道。

c) 复飞情景1:UHT故障状态在进近/拉平时出现,飞行员无法对准跑道中心线而开始复飞,但是如果不能及时克服飞机的下降率,便可能在跑道侧面降落。

d) 复飞情景2:UHT故障状态发生在进近/拉平时,飞行员试图对准跑道中心线而开始复飞,但是如果不能及时克服飞机的下降率,则发生飞机翼尖触地。

e) 复飞情景3:UHT故障状态发生在进近的最后阶段,飞行员试图通过方向舵输入进行补偿,但是无法对准跑道便开始复飞;当正常工作的发动机加速到复飞推力时,故障发动机达

到其超速限制,突然被减至最小燃油流量,这样会导致丧失故障发动机;此时需要额外的飞行员技巧才能完成方向舵反向以保持控制状态;如果飞行员失去对飞机的控制,则没有足够的复飞高度可以恢复。

h) 着陆情景1:UHT故障状态发生在进近的最后阶段,飞行员无法对准跑道并继续着陆,结果飞机翼尖接触跑道。

i) 着陆情景2:UHT故障状态发生在进近的最后阶段,飞行员无法对准跑道并继续着陆,工作正常的发动机推力正常下降,但是故障发动机仍处于高推力状态;由此导致的推力不对称致使飞机离开跑道。

j) 着陆情景3:UHT故障状态发生在进近的最后阶段;正常运行发动机的推力正常下降,而故障发动机的推力仍然很高;机组对不对称推力进行补偿操作,延长着陆距离,并最终关闭故障发动机。然而延长着陆对着陆性能的影响和额外时间的高推力状态导致飞机高速偏出跑道。

k) 着陆情况4:UHT故障发生在着陆时反推力装置应用的初始阶段,故障发动机的反推力增加。机组发现问题后将下令收回反推力装置。当故障发动机处于高推力状态时,反推力装置由于过高的气动压力无法收回,发动机推力的不对称导致飞机高速偏出跑道^[2]。

4 关于UHT的持续适航考虑

FAA通过问题纪要的形式指出,§ 25.901(c)与UHT有关的部分豁免并不意味着减轻了申请人对该条款符合性验证的责任,该项条款用于定义UHT故障并推动避免UHT故障的设计改进工作。FAA鼓励飞行员上报任何与UHT故障相关的失效事件。因此,申请人应重视与UHT相关的持续适航问题。

按照要求,申请人应建立UHT故障的《适航评估和风险管理计划》,内容见参考文献[1]。此外,申请人应提供减小或避免UHT故障的设计改进方法和程序的计划,并按照该计划进行设计改进。

5 结论

§ 25.901(c)条款要求“对于动力装置和辅助动力装置的安装,必须确认任何单个失效或故障或可能的失效组合都不会危及飞机的安全运行……”,然而基于目前工业设计水平,飞机发动机设计并不能完全满足§ 25.901(c)对不可控高推力故障的要求。本文以FAA出版的UHT适航指导材料为基础,结合与FAA的技术讨论,给出了民机申请§ 25.901(c)有关UHT故障部分豁免的思路和方法。

此外,针对民机有关UHT故障的持续适航,本文给出了具体的工作建议,对于民机申请§ 25.901(c)有关UHT故障部分豁免具有一定的指导意义。AST

参考文献

[1] FAA. ANM-100 FAA memorandum policy statement on the thrust control malfunction airworthiness program uncontrollable high engine thrust/ power Failures[Z].

[2] FAA. Uncontrollable high engine thrust [Z].

[3] 中国民用航空局. CCAR25-R3 运输类飞机适航标准[S]. 中国. 2001-5-14.

作者简介

戚学锋,高级工程师,主要研究方向为民用飞机航空发动机设计。

杨铁链,工程师,主要研究方向为民用飞机航空发动机设计。