

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2017.06.001

舰载飞机弹射起飞安全评价准则研究

赵一飞*, 姚海林, 张宏

航空工业第一飞机设计研究院, 陕西 西安 710089

摘 要: 舰载机安全地从航母上起飞是舰载机设计和使用的关键指标之一, 通过对国外舰载机弹射起飞规范、资料的研究, 结合陆基飞机起飞规范的要求, 分析了舰载机弹射安全起飞需要满足的各项指标要求, 从飞行性能、飞行品质角度提出了舰载机弹射起飞安全评价准则。该准则可为舰载机设计和使用提供参考。

关键词: 舰载机; 弹射起飞; 安全评价准则; 飞行性能; 飞行品质

中图分类号: V212.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-5453 (2017) 06-0001-03

舰载飞机(舰载机)以航空母舰为基地,是航空母舰编队武器系统攻防体系的核心,依靠舰载机强大的作战能力,航空母舰编队才能在广袤的海洋上纵横驰骋。但是由于航空母舰的空间,尤其是甲板长度的限制,以及环境(大气环境,航空母舰运动等)的影响显著,舰载机能否迅速、安全地起飞是保证航空母舰战斗力的最主要的技术条件之一,是舰载机设计和使用时需要首要考虑的关键问题,因此,需要建立一套舰载机弹射起飞安全评价准则与分析手段。

舰载机弹射起飞安全评价准则指的是对应每一类舰载机都适用的标准或准则,对于安全起飞准则,应包括飞行性能、飞行品质两个方面。性能方面,将飞机作为一个质点,从完成滑跃/弹射起飞性能任务角度进行定义。主要包括:在不同条件(发动机状态、大气条件等)下,飞机的弹射起飞重量、弹射末端速度、起飞轨迹等。品质方面,主要指飞机在起飞过程中的操纵性和飞行稳定性。包括飞机操纵策略、动态响应、大迎角特性和操纵能力等。

1 飞行品质指标要求分析

美国联合军种规范指南 JSSG 2001^[1]是美军用来规范涉及舰上航空器的要求指南,其对舰载机弹射起飞过程中飞行品质的要求为:

在指南(1)规定甲板风影响下,对于所有起飞重量和重心位置的组合,在满足弹射最小末端速度要求的所有现役弹射器上弹射起飞时必须达到1级飞行品质。在弹射发射之后的下沉量

不得大于指南(2)规定,同时俯仰角速度不大于指南(3)规定。

规范指南要求:(1)舰船上进行飞机操纵的最小合适甲板风;(2)弹射发射之后飞机可以接受最大的合适距离;(3)弹射发射之后可以接受的俯仰角速度。

提出此条要求的目的是为了保证在典型操纵环境条件下,舰载机必须能在各类航母所有位置的弹射器上进行弹射起飞。由此可以看出,JSSG 2001对舰载机弹射起飞安全特性要求为飞机达到1级飞行品质,同时,对离舰后下沉量和俯仰角速度也提出了要求,要求的具体数值可参考 MIL-STD-3013A^[2]中的要求。

美国军用规范 MIL-STD-1797^[3]中对弹射起飞飞机飞行品质要求的条款与常规陆基飞机大致相同,在使用包线内满足规范等级1要求,弹射起飞阶段使用包线的速度左边界为弹射最小末端空速,速度右边界为弹射最小末端空速+56km/h。综上所述,舰载机弹射起飞阶段飞机飞行品质必须满足等级1要求。

2 最小末端空速要求分析

为了保证舰载机的弹射起飞安全,美军标 MIL-STD-3013A 要求舰载机在弹射冲程末端达到弹射最小末端空速,以保证飞机离舰后满足规定的高度损失、升力限制、俯仰角速度限制和纵向加速度等条件的限制要求。除非有特殊的说明,否则环境温度要求为标准大气环境温度 32℃。

弹射最小末端空速是以下速度的最大值:(1)在甲板自

收稿日期:2017-02-15; 退修日期:2017-03-13; 录用日期:2017-04-25

* 通讯作者: Tel.: 029-86832287 E-mail: nuaazhy1983@163.com

引用格式: ZHAO Yifei, YAO Hailin, ZHANG Hong. Research on safety evaluation criteria for catapult take-off of carrier-based aircraft [J]. Aeronautical Science & Technology, 2017, 28 (06): 01-03. 赵一飞,姚海林,张宏. 舰载飞机弹射起飞安全评价准则研究 [J]. 航空科学技术, 2017, 28 (06): 01-03.

由滑跑段距离不超过 10m (弹射冲程末端至舰艏甲板边缘距离),且座舱操纵杆位置处于固定、松杆或主动控制状态(整个弹射起飞过程中的操纵杆位置在 MIL-STD-1797 中弹射飞行控制要求部分有规定)的条件下,相比于弹射冲程末端飞机的重心高度,飞机离舰后重心下沉不超过 3m 确定的末端速度;(2) 无动力、无地效情况下,90% 最大升力系数对应的速度;(3) 零航迹角时飞机有 0.065g 的纵向加速度时的最小空速;(4) 无地效情况下,空中静态/动态最小操纵速度的 105%,静态和动态最小操纵速度的定义见 MIL-STD-1797;(5) 能够保证飞机最大俯仰角速度不超过 $12(^{\circ})/s$ 的末端速度;(6) 基于飞行控制限制有适当裕度的最小速度,该项须经订购方的批准。

正常弹射起飞时使用的操作末速度为弹射最小末端空速 +28km/h,分析认为这里的速度增量 28km/h 是考虑大气扰动、航母运动、非最佳驾驶技术、单发失效等因素对弹射起飞造成不利影响而预留的速度裕量。

2.1 离舰后下沉量要求分析

上述要求中第(1)条是关于离舰后的下沉量的要求,虽然有文献通过仿真显示更大的下沉量仍是可接受的,但基于以下几点考虑仍坚持 3m 下沉量的标准:第一,弹射起飞参数的临界状态最有可能出现在大下沉量对应的末端速度情况下,下沉量的增加虽然可以获得性能方面的收益(包括起飞重量的增大和需要的甲板风减小),但这会导致弹射起飞安全裕度的丧失,以减小安全裕度来获得弹射起飞性能的提升是得不偿失的;第二,通过与舰载飞行员的交流,飞行员们更喜欢离舰后无下沉的弹射起飞,且不赞成放宽下沉量标准;第三,在夜间或恶劣天气条件下,下沉量增加的标准是不可取的。因此,在确定弹射最小末端空速时,必须保证舰载机重心离舰后的下沉量不超过 3m。

2.2 失速裕度要求分析

上述要求中第(2)条是为了保证舰载机在弹射冲程末端达到的空速离失速边界有足够的安全裕度。不仅舰载机对失速安全边界裕度有要求,陆基飞机对离地速度至失速边界同样有相似的要求,如 MIL-STD-3013A 中要求飞机离地速度必须大于 1.1 倍无地效、无动力时的失速速度。

文献[4]、文献[5]提到弹射起飞过程中迎角不应超过 $90\%C_{L_{max}}$ 对应的迎角,不能引起飞机抖动或横航向稳定性和控制的丧失,这些现象在飞机失速之前可能会出现,并预示着飞机临近失速,是飞机失速的警告现象。在飞机飞行品质设计规范 MIL-STD-1797、MIL-F-8785C^[6]中,要求飞机临界失速时有一种清晰、明确的指示,以便警告飞行员存在进入危险飞行状态的可能,即必须有失速告警,飞行员在这些警告信息出现时应积极介入操纵,防止飞机迎角的增大和速度的减小,起飞阶段失速警告速度的范围为 $1.05\sim 1.15V_s$,警告迎角的范围为 $75\%\sim 90\%C_{L_{max}}$ 对应的迎角。MIL-STD-3013SA 和文献[4]、文献[5]中 $90\%C_{L_{max}}$ 对应的速度和迎角是飞行品质设计规范中失速警告触发的最小低速

边界,在飞机设计过程中,不同型号之间警告迎角/速度的选取可能会有所差异,但目的都是为了保证舰载机弹射起飞过程中有足够的失速安全裕度。因此,舰载机弹射起飞过程中的最大迎角应不超过警告迎角,弹射最小末端空速应大于失速警告速度。

2.3 纵向加速度要求分析

上述要求中第(3)条是关于离舰后纵向加速度要求,文献[4]是对离舰后的爬升率要求:飞机在弹射起飞离舰最大下沉点之后 3s,必须达到 3m/s 以上的爬升率,而 3m/s 的爬升率大约相当于飞机具有 0.05g 的纵向加速度值。两种要求在本质上都是对飞机发动机剩余功率的要求,考虑到在起飞阶段,飞行员更关注于飞机速度增加,舰载机弹射起飞采用纵向加速度 0.065g 的要求更合理。

2.4 单发可控性分析

上述要求中第(4)条是对舰载机离舰后出现单发失效后可控飞行最小速度的要求,舰载机在弹射冲程末端,必须有足够的横航向操纵能力,以应付可能出现的单发失效,恢复对飞机横航向的控制。军用飞行品质规范 MIL-F-8785C^[6]、MIL-STD-1797 中对突然出现非对称推力时,都要求飞机可以安全操纵,即飞机速度必须大于空中最小操纵速度;民用运输类飞机适航标准 FAR 25^[7]中要求飞机的抬前轮速度不小于 105% 空中最小操纵速度 V_{MC} ,飞机离地晚于抬前轮,因此,离地速度必然大于 105% 空中最小操纵速度。

因此,舰载机弹射起飞离舰后须满足单发可控性要求,弹射最小末端空速大于 105% 空中最小操纵速度。

2.5 俯仰角速度要求分析

舰载机弹射起飞在离舰后需要快速建立足够的迎角,以防止飞机离舰后出现较大的下沉,但飞机迎角建立的过程中如果俯仰角速度变化太快,可能会引起飞行员出现晕头转向,因此,俯仰角速度有不超过 $12(^{\circ})/s$ 的限制,陆基飞机在起飞过程中一般柔和地拉杆离地,飞机俯仰姿态变化不会太剧烈,因此,对俯仰角速度未做明确要求。

3 单发爬升率要求分析

舰载类飞机规范 MIL-STD-3013A 中对离舰后的单发爬升率要求不是强制性指标,其建议速度为弹射最小末端空速 +18.5km/h 时,保证起飞安全的单发爬升率为 1m/s。该规范对弹射起飞离舰单发爬升率要求较高,因此,在实际的飞机设计中可以根据飞机的发动机能力进行适当裁剪。

在此,对比陆基飞机对起飞后单发爬升率要求,军用规范和民用适航条例要求分别如下:(1) MIL-STD-3013A 中对陆基飞机离地后单发爬升率规定为:在起飞构型下,发动机最大推力(功率)状态、无地面效应,飞机具有 0.5% 爬升梯度能力,0.5% 爬升梯度大约相当于 0.3m/s 爬升率;(2) FAR 25 是民用运输类飞机安全飞行的最低要求,其对起飞

离地后单发爬升率要求为: 对起落架在放下位置的起飞, 在临界发动机停车, 而其余发动机处于起飞可用功率(推力)状态时, 在离地速度 V_{LOF} 的定常爬升梯度, 对于双发飞机必须是正的。

对比可知, 舰载机对离舰后爬升率的要求明显要比陆基飞机高, 分析认为这主要是因为舰载机在离舰瞬间迎角较小, 离舰后由于地效的突然消失, 飞机升力不足以平衡重力, 离舰后存在一定的下沉量, 如果出现单发失效, 飞机加速慢, 离舰后的下沉量会进一步增加, 甚至可能危及起飞安全, 因此, 出现单发后发动机剩余功率的要求需高于陆基飞机。

国外舰载机在弹射起飞速度确定时对单发爬升率有要求, F/A-18E/F 飞行手册中^[8]提到, 弹射起飞单发失效后所有重量、环境温度情况下, 飞机有足够的爬升率, 手册中紧接着列出该型飞机不同环境温度、高度情况下单发爬升率 0.5m/s 的最大重量, 据此推测可知 F/A-18E/F 舰载机弹射起飞安全要求的单发爬升率为 0.5m/s。

综合以上军民用规范条款要求, 国外舰载机对单发爬升率的要求分析, 舰载机弹射起飞离舰后单发爬升率的要求需高于陆基飞机, 具体数值可根据需要对规范 MIL-STD-3013A 中的要求进行适当裁剪或参考国外同类型舰载机要求确定。

4 结束语

通过本文的研究分析, 可以总结得出舰载机弹射起飞安全的评价准则:

- (1) 弹射起飞阶段飞行品质指标满足等级 1 要求。
- (2) 满足离舰后下沉量、失速安全裕度、纵向加速性、单发操纵性、最大俯仰角速度等要求的弹射最小末端空速。
- (3) 单发爬升率要求, 具体数值可根据需要对规范要求

进行适当裁剪或参考国外同类型舰载机确定。

AST

参考文献

- [1] JSSG 2001 Department of defense joint service specification guide – air vehicle [S]. U.S. Department of Defense, 2000.
- [2] MIL-STD-3013 A glossary of definitions, ground rules and mission profiles to define air vehicle performance capability [S]. U.S. Department of Defense, 2008.
- [3] MIL-STD-1797 Flying qualities of piloted aircraft [S]. Department of Defense, 1997.
- [4] Lucas C B. Catapult criteria for a carrier-based airplane [S]. Department of the Navy, 1968.
- [5] Deveson K H. STOVL carrier operations – comparison of safe launch criteria and MTOW sensitivities using APOSTL [C]. //1997 World Aviation Congress. AIAA, 1997.
- [6] MIL-F-8785C Military specification flying qualities of piloted airplanes [S]. 1980.
- [7] FAR-25 Airworthiness standards: transport category airplanes [S]. Federal Aviation Administration, Department of Transportation, 2008.
- [8] A1-F18EA-NFM-000 NATOPS flight manual navy model F/A-18E/F aircraft [S]. Department of the Navy, 2001.

作者简介

赵一飞 (1983—) 男, 学士, 高级工程师。主要研究方向: 飞机操纵性稳定性研究。

Tel: 029-86832287 E-mail: nuaazhy1983@163.com

Research on Safety Evaluation Criteria for Catapult Take-off of Carrier-based Aircraft

ZHAO Yifei*, YAO Hailin, ZHANG Hong

AVIC The First Aircraft Design Institute, Xi'an 710089, China

Abstract: The safety of catapult take-off from the aircraft carrier is one of the key technologies in carrier-based aircraft's design and operation. Relevant foreign criteria and data of catapult take-off from the aircraft carrier were studied, then the requirements for a safe take-off were analyzed as compared with the criteria of land-based aircraft. Finally, safety evaluation criteria to evaluate safety of carrier-based aircraft takeoff were purposed from the point of flight performance and flying quality. The criteria can provide a reference for the design and operation of carrier-based aircraft.

Key Words: carrier-based aircraft; catapult take-off; safety evaluation criteria; flight performance; flying quality

Received: 2017-02-15; Revised: 2017-03-13; Accepted: 2017-04-25

*Corresponding author. Tel.: 029-86832287 E-mail: nuaazhy1983@163.com