

直升机临界决断点飞行试验方法研究



陈永禄¹, 王勇²

1. 中国飞行试验研究院, 陕西 西安 710089

2. 中国人民解放军93078部队, 黑龙江 哈尔滨 150060

摘要:本文提出了直升机临界决断点及直升机A类起飞、着陆性能验证试飞方法, 针对某型机进行了起飞决断点、着陆决断点飞行试验, 对飞行试验结果进行了分析, 给出了临界决断点及在300m跑道上A类起飞、着陆性能试验结果, 并明确了临界决断点飞行安全关键技术, 更有助于其他直升机临界决断点飞行试验的顺利开展。

关键词:临界决断点; 起飞性能; A类着陆; 发动机失效; 库珀-哈勃; 应急功率

中图分类号: V242.44

文献标识码: A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2021.08.010

直升机临界决断点是作为起飞或着陆过程中出现单发失效后是否需要立即着陆的分割点, 是依据直升机完成继续起飞和中断着陆所需能量最小的概念提出的。在全发工作状态起飞过程中, 一旦出现单台发动机失效(one engine inoperative, OEI), 必须选择继续起飞, 或者中断起飞。直升机在起飞或着陆的过程中, 在达到临界决断点关键发动机失效时, 都能够完成继续起飞或中断着陆^[1-2]。准确确定直升机的临界决断点, 能够指导和帮助飞行员在起飞和着陆阶段, 在关键发动机失效后做出正确的判断, 操纵直升机继续起飞或着陆, 确保飞行安全。

在CCAR-29部《运输类旋翼航空器适航规定》中规定旋翼航空器在起飞决断点时, 关键发动机失效后, 能够保持起飞航迹最低离地高度不低于4.5m, 高度上升到11m时, 速度达到起飞安全速度(VTOSS); 旋翼航空器在着陆决断点时, 关键发动机失效后, 直升机中断着陆复飞航迹, 最低离地高度不低于4.5m。继续着陆距离是从着陆场地上空15m的点到达停止点之间测得的水平距离, 放弃起飞距离通常是从起飞开始时旋翼航空器上给定的参考点, 到着陆完全停止后旋翼航空器上同一参考点之间测得的距离, 这段距离还应加上旋翼航空器的长度。

直升机的临界决断点包含在开阔场地、有限场地和高

架平台的起飞、着陆决断点。本文根据CCAR-29部的规定, 结合直升机和发动机的工作特性, 对300m有限场地的起飞、着陆决断点进行了飞行试验与分析。

1 试飞方法设计与分析

直升机临界决断点试飞需要在确定了直升机H-V包线的基础上开展, 在起飞和着陆轨迹上确定出动能(空速)与位能(高度)的最小组合值, 以保证在一台发动机完全失效后能够完成继续起飞, 并且在继续起飞时, 直升机的最低离地高度不低于4.5m; 在中断着陆时, 直升机的最低离地高度不低于4.5m。对A类直升机而言, 适航取证时, 不但要确定临界决断点, 还要确定其起飞距离和着陆距离, 并确定一个可供选择、满足要求的起飞场地。该项试验需要首先设计起飞剖面 and 着陆剖面, 并且要考虑到一般技术水平的飞行员都能够按照此剖面飞行。某型直升机临界决断点试飞起飞剖面 and 着陆剖面设计如图1所示, 为了加以对比分析, 图中着陆轨迹的速度用负数表示, 起飞轨迹的速度用正数表示。

1.1 直升机A类起飞性能及起飞决断点的确定

直升机A类起飞性能主要是指当关键发动机在临界决断点或之前失效时, 直升机能够安全着陆, 或者关键发动机

收稿日期: 2021-01-21; 退修日期: 2021-03-15; 录用日期: 2021-04-30

引用格式: Chen Yonglu, Wang Yong. Research on flight test method of critical decision point of helicopter [J]. Aeronautical Science & Technology, 2021, 32(08): 62-65. 陈永禄, 王勇. 直升机临界决断点飞行试验方法研究[J]. 航空科学技术, 2021, 32(08): 62-65.

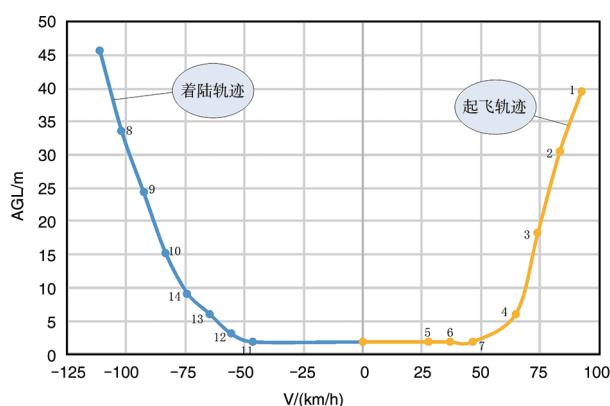


图1 临界决断点试飞剖面

Fig.1 Critical decision point flight test profile

在临界决断点或之后失效时,直升机能够继续起飞。直升机起飞决断点主要是针对直升机的A类性能而言的^[3]。在起飞剖面上选取高于VTOSS的速度及高度组合点作为起始试验点。飞行员按照图1预定的起飞剖面起飞,在到达动作点1(40m,93km/h)时,将关键发动机油门置于慢车位,此时直升机处于OEI工作状态,通过观察直升机的最低离地高度是否为4.5m来决定该点是否为继续起飞的最低点。在该起飞剖面上,采取逐步向下逼近的方法,依次在动作点2~4将关键发动机油门置于慢车位,观察直升机在OEI工作状态下的最低离地高度。如果在某一动作点将关键发动机油门置于慢车位以后,直升机在继续起飞过程中,最低离地高度达到4.5m,则该动作点即为该起飞剖面上继续起飞的最低点。

以300m有限场地为例,验证直升机在继续起飞的最低点处,关键发动机失效后能否安全着陆,即可确定该型直升机在300m场地上是否具备A类起飞性能,同时也可以确定出该直升机的起飞决断点。为了便于更加直观地确定直升机的A类性能,直升机起飞点设置在跑道头,飞行员按照图1中预定的起飞剖面起飞,在到达动作点5(2m,28km/h)时,将关键发动机油门置于慢车位,此时直升机处于单台发动机失效(OEI)工作状态,通过观察直升机的中断起飞距离来判断是否继续进行下一动作点。采用从低点逐步向上拓展的方法逼近继续起飞的最低点,如果直升机在继续起飞的最低点处单台发动机失效,能够在300m场地上实现安全着陆,则该直升机在该场地上具备A类起飞性能,并且该点就是该型直升机在300m场地上的起飞决断点。

1.2 直升机A类着陆性能及着陆决断点的确定

直升机的A类着陆性能主要是指一台发动机在着陆

决断点(landing disruption point, LDP)失效后,允许旋翼航空器在可用的跑道上着陆,或在着陆场地上空的下降高度不低于15ft(1ft=0.3048m)时中断着陆。直升机着陆决断点的确定主要是在着陆剖面上选取高于前期试飞得出的起飞决断点的速度及高度组合点作为起始试验点。飞行员按照图1中预定的着陆剖面着陆,在到达动作点8(34m,102km/h)时,将关键发动机油门置于慢车位,此时直升机处于OEI工作状态,通过观察直升机在复飞过程中的最低离地高度是否为4.5m来确定该点是否为着陆决断点^[4]。在该着陆剖面上,采取逐步向下逼近的方法,依次在动作点9(24m,93km/h)、10(15m,83km/h)将关键发动机油门置于慢车位,观察直升机在单台发动机失效(OEI)工作状态下的最低离地高度。如果在某一动作点将关键发动机油门置于慢车位以后,直升机最低离地高度达到4.5m,则该动作点即为该着陆剖面上的中断着陆的最低点。

以300m有限场地为例,验证直升机在中断着陆的最低点处,关键发动机失效后是否能安全着陆,即可确定该直升机是否具备A类着陆性能,同时也可以确定该直升机的着陆决断点。为了便于更加直观地确定直升机的A类着陆性能,直升机着陆轨迹上高度为15m的点设置在跑道头,飞行员按照图1预定的着陆剖面着陆,在到达动作点11(2m,46km/h)时,将关键发动机油门置于慢车位,此时直升机处于OEI工作状态,通过观察直升机的着陆距离来判断是否继续进行下一动作点。采用从低点逐步向上拓展的方法逼近中断着陆的最低点,如果直升机在中断着陆的最低点处能够实现300m着陆场地上实现安全着陆,则该直升机在该着陆场地上具备A类着陆性能,并且该点就是该型直升机在300m场地上的着陆决断点。

2 试飞结果分析及关键技术

2.1 试飞结果分析

依据设计的直升机临界决断点试飞方法,采取循序渐进的方式,进行了直升机临界决断点试飞。飞行试验在低海拔机场进行,试验过程中,严格控制重量相对密度比 W/σ 。试验过程中,测试并记录了以下关键参数:直升机最低离地高度、直升机接地时的垂直速度、接地时的水平速度、着陆距离和起飞距离^[5],飞行员给出库珀-哈珀(Cooper-Hubble)等级评价。通过试飞得到的临界决断点试飞结果如图2所示。

由图2可知,在起飞轨迹上,在动作点4(6m,65km/h)将关键发动机油门置于慢车位时,在继续起飞过程中,最小

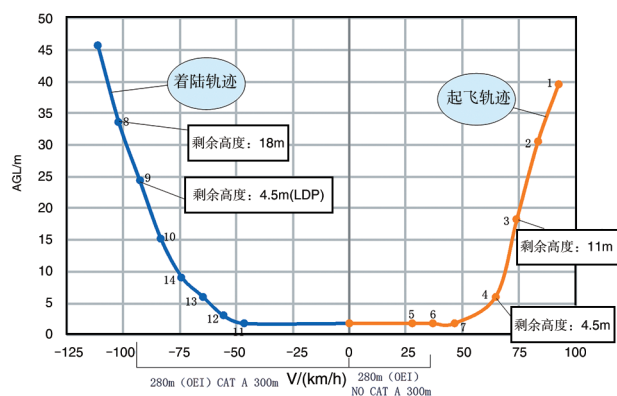


图2 临界决断点试飞结果

Fig.2 Results of critical decision point flight test

离地高度为4.5m,则该点即为继续起飞的最低点。在着陆轨迹上,在动作点9(24m, 93km/h)将关键发动机油门置于慢车位时,在中断着陆过程中,最小离地高度为4.5m,则该点即为中断着陆的最低点。将继续起飞的最低点和中断着陆的最低点进行对比可知,中断着陆的最低点的动能(速度)和位能(高度)均大于继续起飞的最低点,这是因为直升机的动量在中断着陆的最低点是减小的,而在继续起飞的最低点是增大的。

在起飞轨迹上,在动作点7(2m, 37km/h)将关键发动机油门置于慢车位时,在中断起飞过程中,着陆滑行距离为280m,接近有限着陆场地长度限制(300m)。而该动作点并未与继续起飞的最低点重合。因此,在300m的场地上,该型机不具备A类起飞性能,无起飞决断点。

在着陆轨迹上,发动机正常工作状态下着陆距离和在下落轨迹上的任一点(包括着陆决断点)将关键发动机油门置于慢车位时的着陆距离均为280m。因此,在300m的着陆场地上,该型机具备A类着陆性能,中断着陆的最低点即为该型直升机在300m场地上的着陆决断点。

2.2 试飞关键技术

由于直升机临界决断点飞行试验具有极大的风险,进行临界决断点飞行试验时,必须采取小步长逐步逼近、返回检查的原则^[6],开展该项目试飞的关键技术如下:

(1) 对于起飞、着陆决断点试飞,确定一个正常的增速起飞和下滑着陆轨迹非常重要,并且每次都要沿着这个相同的轨迹起飞、着陆,以确保进行临界决断点试验结果的有效性。

(2) 在进行起飞决断点试飞时,由于是加速上升的过程,将关键发动机油门置于慢车位后,总距位置较高,此时工作发动机容易进入应急功率状态,应迅速减小总距,然后

再增加功率至单发最大连续状态,以减小下降率。

(3) 在进行着陆决断点试飞时,由于是消速下滑的过程,将关键发动机油门置于慢车位后,总距位置较低,应迅速增加功率至单发最大连续状态,以减小下降率。

(4) 在进行着陆决断点试飞时,对于同一条着陆轨迹,当所有发动机都正常工作时,直升机能够沿着该轨迹在有限长度的场地上安全着陆,则在该轨迹上的任何一点,关键发动机失效时,直升机均可沿着该轨迹在相同长度的着陆场地上安全着陆。

(5) 对于橇式直升机,在发动机关车后接地滑行时,不要立刻将总距放到底,否则容易引起直升机航向偏转或横向侧移,偏出跑道。

3 结束语

直升机临界决断点飞行试验是直升机适航取证的必需环节,本文针对某型直升机进行了临界决断点试飞,所设计的直升机临界决断点飞行试验方法在安全的基础上更加有效地在起飞、着陆剖面上确定临界决断点,能够指导和帮助飞行员正确处置在起飞和着陆轨迹上关键发动机失效的特情,也为其他直升机开展A类性能的飞行试验验证提供了参考和借鉴。

AST

参考文献

- [1] Johnson W. Helicopter optimal descent and landing after power loss[R]. NASA TM 73244, 1977.
- [2] 张宏林,马庚军.军用直升机飞行品质规范发展与展望[J].航空科学技术,2018,29(8):7-11.
Zhang Honglin, Ma Gengjun. Development and prospect of the military helicopter flying quality specification[J]. Aeronautical Science & Technology, 2018, 29(8): 7-11. (in Chinese)
- [3] 韩东.变转速旋翼直升机性能及配平研究[J].航空学报,2003(7):1241-1248.
Han Dong. Research on performance and trim of variable speed rotor helicopter[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2003(7): 1241-1248. (in Chinese)
- [4] Lee A Y, Bryson A E, Hindson W S. Optimal landing of a helicopter in autorotation[J]. Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 1988, 11(1): 7-12.
- [5] Kang H, Saberi H, Grandhi R. Dynamic blade shape for improved helicopter rotor performance[C]//5th Annual Forum Proceedings of the American Helicopter Society, 2009.

[6] 陈永禄, 姚海忠. 直升机速度-过载包线拓展飞行试验方法研究[J]. 科学技术与工程, 2015(12):1671-1815.

Chen Yonglu, Yao Haizhong. Research on extended flight test

method of helicopter speed overload envelope [J]. Science and Technology and Engineering, 2015 (12) : 1671-1815. (in Chinese)

Research on Flight Test Method of Critical Decision Point of Helicopter

Chen Yonglu¹, Wang Yong²

1. Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China

2. China Unit 93078 of PLA, Ha'erbin 150060, China

Abstract: This paper presents helicopter critical decision point and type A take-off and landing performance verification test method. Aiming at a certain type of Helicopter, The flight test of the take-off and landing breakpoint is carried out, The flight test results are analyzed. The critical decision point and the test results of the take-off and landing performance of type A on the 300m runway are given, and the critical decision point flight safety key technology is clarified. It is more conducive to other helicopters critical decision point flight test smoothly.

Key Words: critical decision point; take-off performance; class A landing; engine failure; Cooper-Hubble; emergency power