

直升机舰上起降过程中一发停车后的决策分析

费景荣*, 李冀鑫, 孙岩

海军航空兵学院, 辽宁 葫芦岛 125001

摘要: 针对直升机舰上起降过程中一发停车后决策所需要的临界点条件, 首先分析了确定直升机舰上起降临界点的依据, 并确定了两种现役机型舰上起降的临界点, 最后讨论了舰上起降一发停车后的安全性, 提出了相关建议。研究表明, 确定直升机舰上起降临界点的依据主要是: 舰上起降轨迹特点、陆上开阔场地起降的临界条件及着舰有关要求。由于轨迹特点, 直升机舰上起飞中有两个临界点, 而由于着舰过程一发停车后来不及调整舰速, 无法满足单发着舰的有关要求, 难以安全单发着舰, 临界点只有一个, 为单发复飞临界点。直升机舰上起降一发停车后的安全性与载舰类型、起降条件、舰船运动等条件有关, 可通过采取针对性措施加以提高。

关键词: 直升机; 舰上起降; 一发停车; 操纵决策; 飞行安全

中图分类号: V328 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-5453 (2016) 10-0050-05

统计表明, 由于诸多原因, 双发直升机飞行中一发停车的概率相对较高。其中, 与航线飞行中一发停车比, 直升机在起降阶段一发停车后, 由于处置余地小、难度大, 飞行员及时、正确地做出是否单发继续起飞、单发复飞或中断起飞的决策, 是正确处置、保证飞行安全的重要前提。因此, 美国联邦航空条例 FAR29 将多发直升机在陆上起降中一发停车后的处置分为 A, B 两类。A 类起降中一发停车后, 飞行员根据临界点进行决策^[1]。

而与陆上起降相比, 直升机舰上起降中一发停车后, 除单发起飞(复飞)、单发着舰外, 还可能单发海上迫降, 因而风险更高; 且单发着舰要求较高, 从而导致临界点数量、条件与陆上起降有所不同, 飞行员的技术准备更为关键。但有关资料对直升机舰上起降一发停车后的决策没有规定, 也缺乏理论研究, 形成了安全隐患。随着海军远洋护航、岛屿维权、联合演习的常态化, 舰载直升机伴随驱逐舰、护卫舰等非航空载舰的飞行任务日趋繁重, 迫切需要确定直升机舰上起降的临界点。本文就此问题进行研究, 分析了舰上起降一发停车后的安全性, 并就如何提高安全性提出了建议。

1 确定直升机舰上起降临界点的依据

以下从运动规律的角度出发, 分别分析确定直升机舰上起降过程中单发起飞(或复飞)、单发着舰临界点的依据。

1.1 确定舰上起降中单发起飞(或复飞)临界点的依据

直升机起降临界点可根据功率条件, 按优化轨迹计算。但由于单发继续起降和中断起降的轨迹特点都与飞行员的反应、可用功率大小、直升机重量、水平加减速度大小等因素有关, 为非定常飞行, 理论计算存在一定误差。交付使用的各型直升机陆上起降临界点条件都通过试飞验证。因而根据实际情况, 将陆上起降有关临界点数据做为确定舰上起降相关临界点的依据之一是可靠的。

由于在陆上开阔场地和在海上进行单发起飞(或复飞)的基本要求相同, 都是尽快增速至起飞安全速度, 因而相应的临界点条件也相同(主要取决于单发性能)。因此, 确定舰上起降中单发起飞(或复飞)临界点的主要依据包括: 陆上开阔场地起降的临界条件和舰上起降轨迹特点。

收稿日期: 2016-06-12; 退修日期: 2016-07-18; 录用日期: 2016-08-03

基金项目: 军队级科研课题(2012 装计 475 号)

* 通讯作者. Tel.: 13464382244 E-mail: fjr_hi@163.com

引用格式: FEI Jingrong, LI Jixin, SUN Yan. Analysis of decision about helicopters' one engine off during warship taking off and landing [J]. Aeronautical Science & Technology, 2016, 27(10): 50-54. 费景荣, 李冀鑫, 孙岩. 直升机舰上起降过程中一发停车后的决策分析 [J]. 航空科学技术, 2016, 27(10): 50-54.

1.2 确定舰上起降中单发着舰临界点的依据

直升机着舰的一个基本要求是：进入甲板过程中需要与舰保持近似“同速”飞行，以便观察舰船摇晃情况。此外，单发着舰时还要求：能有效控制旋翼转速与飞行高度，以便直升机能稳定下降。否则，就可能因好发动机功率不足或飞行员操纵不当，引起高度剧降，危及安全。如某型直升机单发着舰下滑过程中，高度 57m 时，因速度过小 (51km/h)，所需功率大，飞行员上提总距杆，旋翼转速急剧减小，高度很快降到 16m 左右^[2]，幸好机组反应迅速，才化险为夷。

因此，确定单发着舰临界点必须考虑着舰特殊要求，其依据是着舰要求和陆上起降临界条件。

2 直升机舰上起飞过程中临界点的确定

为确定直升机平台起飞临界点，首先分析舰上起飞轨迹与平台起降轨迹的异同。

2.1 直升机舰上起飞轨迹与 A 类平台起飞轨迹的异同

文献 [3, 4] 表明，直升机舰上起飞轨迹与 A 类平台起飞轨迹基本相同，如图 1 所示，首先垂直起飞至规定高度悬停，检查直升机、发动机工作良好；接着后退上升，以便观察平台，判断直升机运动；也便于此时一发停车后降落时能看到场地；后退上升至规定高度，顶杆尽快增速至安全起飞速度 (高度变化不大)；再上升增速至经济速度。

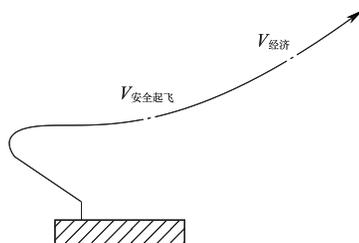


图 1 A 类平台起飞轨迹和舰上起飞轨迹

Fig.1 The path of taking off on type A platform and warship

两者轨迹差别：舰上起飞后退上升的顶点高度较低 (5~8m，平台起飞约 40m)；其次，至顶点后，为避开舰面建筑，需先改变航向再增速。

由于直升机舰上起飞的增速方向与舰向不一致，出现一发停车后存在海上迫降的可能性，用一个临界点难以进行科学决策，因而应将单发着舰和单发起飞决策分开考虑。舰上起飞过程中的临界点包括单发着舰临界点 A 和单发起飞临界点 B，如图 2 所示。

2.2 单发着舰临界点 A 的确定

由于舰上起飞过程中，倒飞上升的顶点距甲板的高度

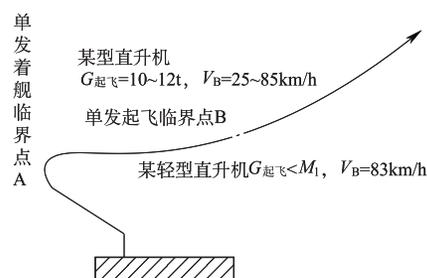


图 2 直升机舰上起飞中的临界点

Fig.2 The critical point of helicopters' warship taking off

通常为 5~8m，且位于甲板边缘附近。因而，在此顶点以下一发停车，可通过直接上提总距杆并推杆，降落到甲板上。

而在顶点后的增速阶段，由于飞行方向与舰向存在夹角，且由于此时速度小、高度低，加之一发停车后高度下降，难以有效控制状态，不能回到甲板。如图 2 所示，单发着舰临界点 A 为倒飞上升的顶点。实际上，规划直升机舰上起飞程序时，已考虑到 A 点及 A 点前单发着舰的问题。

2.3 单发起飞临界点 B 的确定

2.3.1 直升机舰上起飞增速段的轨迹特点

由于 B 点处于起飞增速段，需先分析该段的轨迹 (主要是高度) 特点：舰型不同，甲板高度不同，开始增速时 (A 点) 直升机距海面的高度也不同。按目前舰型，该高度包括 13.5m 左右和 18.5m 左右两种情况。其次，为了尽快增速，增速至起飞安全速度前上升角较小，高度变化不大。

2.3.2 直升机陆上 (平台) 起飞临界条件与舰上单发起飞临界点 B 的确定

直升机 A 类起降中的临界条件通过理论计算和飞行试验确定，符合国际适航条例规定的飞行标准。其中，对一发停车后的着陆来说，临界高度、临界速度应能够保证轨迹控制的需要，如临界点须在回避区之外；对一发停车后的继续起飞来说，临界高度、临界速度应能够保证尽快增速及狭小场地超越障碍物的需要。如前述，在陆上开阔场地和在海上进行单发起飞 (或复飞) 的基本要求相同。因此，依发动机功率储备特点不同，直升机陆上或平台起飞中的单发起飞临界点条件主要受直升机重量、气温影响。

某型直升机由于功率储备较大，陆上起飞的临界点仅考虑重量影响： $G_{起飞}=12t$ ，对应好发动机应急状态， $H_{临界} \geq 15m$ ， $V_{临界}=85km/h$ ； $G_{起飞} < 12t$ ，每减小 500kg，临界速度约减小 15km/h。该机起飞重量为 10~11t，临界点的速度为 25~55km/h^[5]。可见，该型直升机重量越轻，单发加速性越好，临界速度也越小。

由于此处不小于 15m 的临界高度与该机舰上起飞增速

段的高度接近。因此,该机单发起飞临界点 B 为起飞增速至临界速度的点,如图 2 所示。其中,起飞重量为 10~12t, B 点速度为 25~85km/h。

某轻型直升机由于功率储备较小,陆上起飞的临界条件同时受重量、气温影响。根据该机起飞决策重量 M_1 (即在开阔场地进行 A 类飞行的最大起降重量,能满足单发 30min 功率状态,空速 138km/h、上升率 46m/min) 曲线^[4],得到不同温度下的 M_1 ,如表 1 所示。

表 1 某轻型直升机不同温度的 M_1
Table 1 The M_1 of a certain light type helicopter different temperature

$t/^\circ\text{C}$	40	30	25	10	0	-10	-20	-30
M_1/t	3.82	4.02	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1

显然,由于该轻型直升机功率储备较小,气温和直升机重量对单发起降决策有重要影响。

以 M_1 为基准,该机在陆上开阔场地起飞过程中一发停车后的决策规定如下^[3]:

起飞重量大于 M_1 ,中断起飞。

起飞重量小于 M_1 ,速度小于 83km/h,中断起飞;速度大于 83km/h,可继续起飞。

因此,该机舰上 A 类起飞中单发起飞临界点 B 为:增速至 83km/h (高度约 30m) 的点,如图 2 所示。

2.4 直升机舰上起飞中一发停车的决策与安全性

某型直升机舰上起飞一发停车后的决策:A 点及 A 点前,单发着舰;B 点及 B 点后, $G_{\text{起飞}} < 12t$,单发起飞; $G_{\text{起飞}} > 12t$,海上迫降;A, B 之间,海上迫降。

某轻型直升机舰上起飞一发停车后的决策:A 点及 A 点前,单发着舰;B 点至安全起飞速度: $t < 25^\circ\text{C}$, $G_{\text{起飞}} \leq 4.1t$,单发继续起飞; $t > 25^\circ\text{C}$ 或 $t < 25^\circ\text{C}$, $G_{\text{起飞}} \geq 4.1t$,海上迫降。A, B 之间,海上迫降。

可见,直升机在 A 点前一发停车,可安全降落到甲板;在 B 点后一发停车,可安全复飞或海上迫降;在 A, B 之间一发停车,只能迫降在海面,且高度低、速度小,风险较高。其中,甲板较低的舰型,因直升机距海面高度低,风险更高。

3 直升机着舰过程中临界点的确定

3.1 直升机着舰轨迹与 A 类平台降落轨迹的异同

文献 [2, 3] 表明,直升机着舰轨迹与 A 类平台降落轨迹基本相同:

在规定高度带杆减速;并调整总距、控制下降率。

通常,按高距比 1:10 左右控制下滑线下降;接近舰船,减小下滑角。

以规定高度与舰“同速”平飞进入甲板、下降接舰。

两者轨迹区别:着舰进入甲板的高度 (3m) 较平台降落 (4m) 的低。

3.2 着舰要求与着舰过程中临界点的特点

直升机着舰进入甲板过程中保持与舰近似“同速”飞行以及单发着舰稳定下降的要求,都取决于功率平衡,并与着舰速度直接相关。某型直升机规定,单发着舰的下滑速度 (表速) 70~140km/h^[4],其最小速度 70km/h 就是为满足单发功率平衡。

然而,该型直升机正常着舰中,舰速通常在 27.78km/h 左右,直升机进舰时速度比舰速大 15km/h 左右。因此,行进着舰时,直升机接近舰船的速度为 42km/h 左右。可见,在着舰阶段一发停车,由于舰来不及增速,直升机速度难以保证 70km/h 要求,无法安全单发着舰。某轻型直升机功率储备小,更难以保证着舰阶段一发停车后的单发着舰。因此,直升机着舰过程中不存在单发着舰临界点,即着舰过程中临界点只有一个,即单发复飞临界点 C,如图 3 所示。

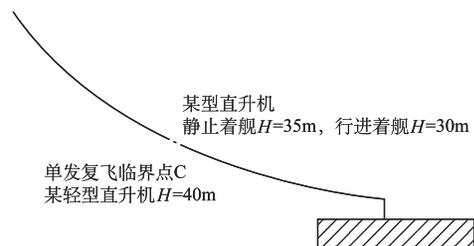


图 3 直升机着舰过程中临界点

Fig.3 The critical point of helicopters' warship landing

3.3 直升机陆上 (平台) 降落临界条件与单发复飞临界点 C 的确定

某型直升机陆上降落的临界点条件: $G=11t$,好发动机可进入“起飞”或“紧急”状态,只有 $H_{\text{临界}} \geq 25\text{m}$, $V_{\text{临界}} \geq 50\text{km/h}$,才可保证单发复飞和平台继续降落。如果 $G > 11t$,不能保证单发平台降落^[5]。

该型直升机正常着舰,高度 30m,相对舰的速度 50km/h 左右。与上述陆上降落临界点相比,此点高度略高。行进着舰时,直升机速度与临界点条件基本符合;静止着舰时,速度略小。因此,如图 3 所示,该机单发复飞临界点 C 为行进着舰高度 30m 的点,静止着舰高度 35m 的点。

某轻型直升机平台 A 类着陆的临界点为 $H=40\text{m}$,

$V=55\text{km/h}^{[4]}$ 。该机着舰后段高度与速度匹配与平台 A 类着陆相同： $H=40\text{m}$ ， $V=55\text{km/h}^{[6]}$ 。因此，该机静止着舰和行进着舰的单发复飞临界点 C 点定为： $H=40\text{m}$ 的点，如图 3 所示。

3.4 直升机着舰时一发停车后的决策与安全性

某型直升机着舰时一发停车后的决策： $G > 11\text{t}$ ，海上迫降。 $G < 11\text{t}$ ，C 点及 C 点前，单发复飞；C 点后，以海上迫降为宜；接近舰时一发停车，风险较大。

某轻型直升机着舰时一发停车后的决策，C 点及 C 点前： $t < 25^\circ\text{C}$ ， $G_{\text{起飞}} \leq 4.1\text{t}$ ，复飞； $t > 25^\circ\text{C}$ 或 $t < 25^\circ\text{C}$ ， $G_{\text{起飞}} \geq 4.1\text{t}$ ，海上迫降；接近舰时一发停车，风险较大。

直升机在 C 点之前一发停车，可安全复飞；在 C 点之后一发停车，能迫降于海面，但控制直升机下降率、接水状态及选择风向、浪向的余地小；接近舰时一发停车，风险较大。

4 提高直升机舰上起降中一发停车安全性的思考

直升机在舰上起降中一发停车后，单发起飞或单发降落的安全性与直升机重量、气温、风、舰船类型、舰船运动等因素有关。为进一步提高直升机舰上起降的安全性，建议采取如下措施：

(1) 适情增加行进着舰时的合成风速

考虑到大速度航向时舰纵横摇及甲板涡流特性的限制，在一定范围内增加合成风速，则单发起飞、单发降落安全裕度增大，海上迫降的概率较小、安全裕度也增大。

(2) 适情减小直升机起降重量

起降重量小，则单发起飞、降落的安全裕度大，海上迫降的概率小。因此，发动机大修前后、高温、小（无）风、载舰不理想、静止着舰、新员着舰等不利条件下，应视情减少燃油及设备、人员。

(3) 舰上起降时加强发动机检查

由于直升机舰上起降过程中出现一发停车，安全性总体较低，因而应加强发动机检查。

(4) 应尽量避免大载重、高温、小（无）风、静止着舰等诸多不利因素的同时出现。

5 结论

本文在分析确定直升机舰上起降临界点依据的基础上，确定了两种现役机型舰上起降的临界点，并讨论了舰上起降一发停车后的安全性，提出了相关建议，对提高直升机

舰上起降安全性具有一定意义。可以得出结论如下：

(1) 确定直升机舰上起降临界点的主要依据是：舰上起降轨迹特点、陆上起降的临界条件及着舰要求。受直升机单发功率的限制，根据临界点进行决策时，需考虑重量、气温影响。

(2) 舰上起飞一发停车后有两个临界点；着舰过程中临界点只有一个，为单发复飞临界点。

(3) 直升机舰上起降时一发停车后的总体安全性与载舰类型、起降条件、舰船运动等条件有关。通过采取针对性措施可在一定程度提高直升机舰上起降的安全性。

本文仅从飞行性能的角度对直升机舰上起降过程中一发停车后的决策做了分析。实际飞行中如果有侧风，则对直升机的操稳特性产生不利影响，相应的甲板涡流也对直升机进舰状态产生不利影响，进而在一定程度上影响到决策。因此，在“风限图”范围内一发停车后的决策问题有待进一步研究。

AST

参考文献

- [1] 张雅铭, 张苇. 直升机基本原理 [M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 2012: 133-134.
ZHANG Yaming, ZHANG Wei. Principle theory about helicopter[M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 2012: 133-134. (in Chinese)
- [2] 孙自武. 成功处置某型机单发着舰的经过与体会 [J]. 海军航空兵, 2010, 4: 44-46.
SUN Ziwu. Course and realize of successful handle on certain type helicopter's one engine off during warship landing[J]. Naval Air Force, 2010, 4: 44-46. (in Chinese)
- [3] 桑雨生. 直升机飞行力学 [M]. 北京: 陆军航空兵学院, 2004, 8: 197-204.
SANG Yusheng. Flight dynamics about helicopter[M]. Beijing: Arm Air Force Institute, 2004, 8: 197-204. (in Chinese)
- [4] 某型直升机飞行员驾驶守则 [M]. 北京: 中国人民解放军海军航空兵司令部, 1998, 10: 201-202.
Pilot rules about a certain type helicopter[M]. Beijing: Chinese People's Liberation Army Naval Air Force Headquarters, 1998, 10: 201-202. (in Chinese)
- [5] 某型直升机飞行使用指南 [M]. 北京: 中国人民解放军海军, 2001: 201-202.
Pilot manual about a certain type helicopter[M]. Beijing: Chinese

- People's Liberation Army Navy, 2001: 201-202. (in Chinese) 飞行技术与飞行安全。
- [6] 某型直升机飞行使用手册 [M]. 宁波: 中国人民解放军海军航空兵独立第四团, 2001: 188-189, 368-370. Tel: 13464382244
E-mail: fjr_hi@163.com
- Pilot guide about a certain type helicopter [M]. Ningbo: Chinese People's Liberation Army Naval Air Force Independence Fourth Regiment, 2001: 188-189, 368-370. (in Chinese) 李冀鑫 (1976—) 男, 博士, 副教授。主要研究方向: 直升机飞行技术与飞行安全。
孙岩 (1978—) 男, 硕士, 讲师。主要研究方向: 直升机飞行技术与飞行安全。

作者简介

费景荣 (1966—) 男, 硕士, 教授。主要研究方向: 直升机

Analysis of Decision about Helicopters' One Engine off during Warship Taking off and Landing

FEI Jingrong*, LI Jixin, SUN Yan

Naval Flying Institute, Huludao 125001, China

Abstract: Against the critical point that the decision about helicopter's one engine off during warship taking off and landing was needed, the basis of the critical point of warship taking off and landing were analyzed and determined, and the critical point of two type helicopter in service was determined. Finally, the safety of one engine off during warship taking off and landing was discussed and some related suggestions were proposed. The research indicated that the conditions were the trace characteristic of warship taking off and landing, the critical point of terrestrial open field taking off and landing and relation conditions about warship landing. Based the trace characteristic, there were two critical points during warship taking off. However, when one engine off during warship landing, because of the warship velocity could not be adjusted in time, the relation conditions about warship landing could not be met, one engine off landing was very difficult, so that the only critical point was one engine off wave-off critical point. The overall safety of one engine off during warship taking off and landing is connected with warship type, taking off and landing conditions, warship motion and so on. And it could be improved by taking against measures.

Key Words: helicopters; warship taking off and landing; one engine off; decision; flight safety

Received: 2016-06-12; Revised: 2016-07-18; Accepted: 2016-08-03

Foundation item: Army Scientific Research Problem (2012 Zhuangji 475)

*Corresponding author. Tel. :13464382244 E-mail: fjr_hi@163.com