

军用飞机继续起飞决断速度计算方法

宋花玉¹, 郑汝海²

(1. 空军工程大学 理学院, 陕西 西安 710051; 2. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘要:对具有多台发动机的飞机在起飞滑跑过程中一发停车的处置方式进行了研究。提出用继续起飞决断速度和中断起飞决断速度两个决断速度处置一发停车。给出用迭代搜索法计算继续起飞决断速度的算法,编写了军用飞机继续起飞决断速度计算程序。用所编软件对某型飞机在4种不同条件下的继续起飞决断速度进行了计算,结果表明,迭代搜索法是计算继续起飞决断速度的有效算法。

关键词:军用飞机;一发停车;继续起飞决断速度;迭代搜索法

中图分类号: V323.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2007)05-0005-04

我国军用机场在设计跑道长度时不考虑一发停车(指具有多台发动机的飞机在起飞滑跑过程中有一台发动机出现故障),而民航是考虑的^[1]。从部队实际起飞情况看,出现一发停车的现象不多,但确有发生。由于跑道长度设计不考虑这种情况,因此,一旦出现一发停车,如何处理就显得非常重要。处理得当,能够化险为夷,处理不当,就可能造成机毁人亡的重大飞行事故^[2]。对于一发停车的处置方式,美军早已解决^[3-4],而我军研究得较少且不够系统化,主要表现在:至今尚未形成一发停车决断速度的统一定义;关于决断速度的计算,有的仅局限于理论分析^[2,5-6],有的带有较多的工程估算成分^[7-9],至今尚未形成准确有效的算法。本文对一发停车的处置方式进行了比较深入的研究,提出用继续起飞决断速度和中断起飞决断速度两个决断速度处置一发停车,对这两个决断速度进行了明确的定义,提出了计算继续起飞决断速度的迭代搜索算法,仿真结果表明,迭代搜索算法是计算继续起飞决断速度的有效算法。

1 基本定义

对于一定的跑道长度和机场环境,飞机以一定的状态(指起飞质量、外挂形式、起飞迎角等)进行起飞,在滑跑过程中有一台发动机出现故障,飞行员经过2 s-3 s认定发动机故障^[10],驾驶飞机继续起飞,飞机在距离跑道前端一定的安全距离处离地升空,这时的故障认定速度叫做飞机在该机场当时环境和起飞状态下的继续起飞决断速度。

对于一定的跑道长度和机场环境,飞机以一定的状态进行起飞,在滑跑过程中有一台发动机出现故障,飞行员经过2 s-3 s认定发动机故障,及时采取一定的减速措施,飞机刚好在端保险道头停住,这时的故障认定速度叫做飞机在该机场当时环境和起飞状态下的中断起飞决断速度。

根据一发停车时继续起飞决断速度和中断起飞决断速度的定义,当飞机的故障认定速度大于该种情形下的继续起飞决断速度时,飞行员应继续起飞;当飞机的故障认定速度小于该种情形下的中断起飞决断速度时,飞行员应中断起飞。由于篇幅所限,本文仅讨论继续起飞决断速度的计算。

2 不同时刻一发停车继续起飞所需跑道长度计算

2.1 不同时刻一发停车继续起飞对跑道长度的要求

收稿日期:2007-1-29

基金项目:军队科研基金资助项目(JY-06005)

作者简介:宋花玉(1971-),男,陕西西安人,讲师,主要从事机场规划设计与道面结构研究。

飞机在起飞滑跑过程中一发停车,在其余发动机推力作用下继续进行起飞,能够安全离地升空所需跑道长度,根据发动机出现故障的时刻,可分为以下两种情况:

1) 故障速度 V_g 小于抬前轮速度 V_R , 即 $V_g < V_R$, 此时继续起飞的过程如图 1 所示。图中 V_w 为风速, V_L 为离地速度, L_1 为滑跑起点至跑道后端的距离, L_2 为离地点至跑道前端的距离, S_{zh} 为开始滑跑到发生故障时的滑跑距离, S_{g1} 为发生故障到抬前轮时的滑跑距离, S_{g2} 为抬前轮到离地时的滑跑距离, 由图 1 得 $V_g < V_R$ 时继续起飞对跑道长度 L_{j1} 的要求为

$$L_{j1} = L_1 + S_{zh} + S_{g1} + S_{g2} + L_2 \quad (1)$$

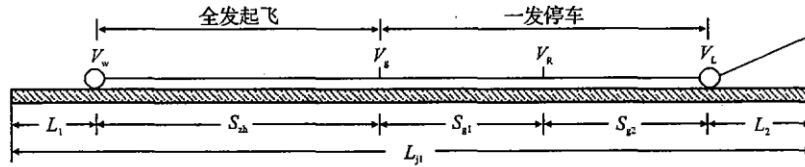


图 1 一发停车继续起飞示意图 1

2) 故障速度 V_g 大于或等于抬前轮速度 V_R , 即 $V_g \geq V_R$, 此时继续起飞的过程如图 2 所示。图中 S_{zh1} 为开始滑跑到抬前轮时的滑跑距离, S_{zh2} 为抬前轮到发生故障时的滑跑距离, S_g 为发生故障到离地时的滑跑距离, 其它符号的意义同图 1。由图得 $V_g \geq V_R$ 时继续起飞对跑道长度 L_{j2} 的要求为

$$L_{j2} = L_1 + S_{zh1} + S_{zh2} + S_g + L_2 \quad (2)$$

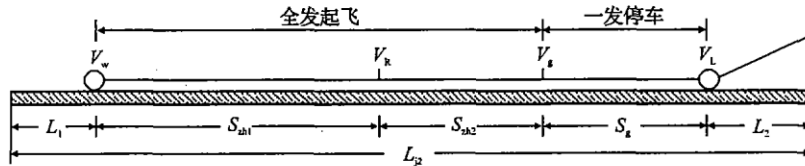


图 2 一发停车继续起飞示意图 2

2.2 飞机滑跑过程中不同阶段滑跑距离的计算

由于一发停车前后,飞机的受力情况是不同的。一发停车前,全部发动机正常工作。一发停车后,工作发动机少了一台,由于偏转力矩的作用,飞机出现偏转,此时飞行员必须用偏转舵面或刹车来修正由于一发停车引起的偏转力矩,这样使得飞机滑跑的阻力有所增加,设增加的阻力系数为 ΔC_{xe} 。根据文献[11]介绍的飞机滑跑距离计算的基本公式可得式(1)、(2)中的 S_{zh} 、 S_{g1} 、 S_{g2} 、 S_{zh1} 、 S_{zh2} 、 S_g 的计算分别如下:

$$S_{zh} = \frac{1}{g} \int_{V_w}^{V_g} \frac{(V - V_w) dV}{\left[\frac{nP_s(H, M) \cos(\alpha_1 + \varphi_p)}{G} - f - \phi \right] - (C_{x1} - fC_{y1}) \frac{\rho_s S V^2}{2G}} \quad (3)$$

$$S_{g1} = \frac{1}{g} \int_{V_g}^{V_R} \frac{(V - V_w) dV}{\left[\frac{(n-1)P_s(H, M) \cos(\alpha_1 + \varphi_p)}{G} - f - \phi \right] - (C_{x1} + \Delta C_{xe} - fC_{y1}) \frac{\rho_s S V^2}{2G}} \quad (4)$$

$$S_{g2} = \frac{1}{g} \int_{V_R}^{V_L} \frac{(V - V_w) dV}{\left[\frac{(n-1)P_s(H, M) \cos(\alpha_1 + \varphi_p)}{G} - f - \phi \right] - (C_{x2} + \Delta C_{xe} - fC_{y2}) \frac{\rho_s S V^2}{2G}} \quad (5)$$

$$S_{zh1} = \frac{1}{g} \int_{V_w}^{V_R} \frac{(V - V_w) dV}{\left[\frac{nP_s(H, M) \cos(\alpha_1 + \varphi_p)}{G} - f - \phi \right] - (C_{x2} + \Delta C_{xe} - fC_{y1}) \frac{\rho_s S V^2}{2G}} \quad (6)$$

$$S_{zh2} = \frac{1}{g} \int_{V_R}^{V_g} \frac{(V - V_w) dV}{\left[\frac{nP_s(H, M) \cos(\alpha_1 + \varphi_p)}{G} - f - \phi \right] - (C_{x2} + \Delta C_{xe} - fC_{y2}) \frac{\rho_s S V^2}{2G}} \quad (7)$$

$$S_g = \frac{1}{g} \int_{V_g}^{V_L} \frac{(V - V_w) dV}{\left[\frac{(n-1)P_s(H, M) \cos(\alpha_1 + \varphi_p)}{G} - f - \phi \right] - (C_{x2} + \Delta C_{xe} - fC_{y2}) \frac{\rho_s S V^2}{2G}} \quad (8)$$

以上式中各符号的意义及确定参见文献[12]。

3 继续起飞决断速度的计算

对于特定的机场,飞机在特定环境条件和起飞状态下的继续起飞决断速度可用迭代搜索法计算,即分别计算飞机在滑跑过程中不同时刻一发停车继续起飞的滑跑距离(指滑跑起点到离地点之间的距离),考察哪个故障速度下继续起飞的滑跑距离与该机场继续起飞可用跑道长度(定义见式(9))相等,则该故障速度对应的故障认定速度即为飞机在该机场当时环境条件和起飞状态下的继续起飞决断速度,具体步骤如下:

1) 计算给定跑道长度为 L_0 时继续起飞可用跑道长度 L_{ky} :

$$L_{ky} = L_0 - L_1 - L_2 \quad (9)$$

2) 用迭代搜索法计算相应于一发停车继续起飞决断速度的故障速度 V_{gm} 。方法是先取故障速度 V_g 为抬前轮速度 V_R , 计算相应的继续起飞滑跑距离 S_{jx} :

$$S_{jx} = S_{zh1} + S_{g2} \quad (10)$$

其中 S_{zh1} 、 S_{g2} 分别由式(6)、(5) 计算。

如果 $S_{jx} = L_{ky}$ (在程序中为 $|S_{jx} - L_{ky}| < 1$), 说明 V_R 就是飞机在该种情况下与继续起飞决断速度对应的故障速度 V_{gm} 。

如果 $S_{jx} < L_{ky}$ (在程序中为 $S_{jx} - L_{ky} < 1$), 说明飞机在该种情况下继续起飞决断速度对应的故障速度 V_{gm} 小于抬前轮速度 V_R , 这时取 V_g 初值为 V_w , 步长为 0.1, 在式(11) 中用迭代法计算每个 V_g 对应的继续起飞滑跑距离 S_{jx} , 当 $S_{jx} = L_{ky}$ (在程序中为 $|S_{jx} - L_{ky}| < 1$) 时停止迭代, 此时的 V_g 即为所求的 V_{gm} 。

$$S_{jx} = S_{zh} + S_{g1} + S_{g2} \quad (11)$$

其中 S_{zh} 、 S_{g1} 、 S_{g2} 分别由式(3)、(4)、(5) 计算。

如果 $S_{jx} > L_{ky}$ (在程序中为 $S_{jx} - L_{ky} > 1$), 说明飞机在该种情况下继续起飞决断速度对应的故障速度 V_{gm} 大于抬前轮速度 V_R , 因此, 可取 V_g 初值为 V_R , 步长为 0.1, 在式(12) 中用迭代法计算每个 V_g 对应的继续起飞滑跑距离 S_{jx} , 当 $S_{jx} = L_{ky}$ (在程序中为 $|S_{jx} - L_{ky}| < 1$) 时停止迭代, 此时的 V_g 即为所求的 V_{gm} 。

$$S_{jx} = S_{zh1} + S_{zh2} + S_{g2} \quad (12)$$

其中 S_{zh1} 、 S_{zh2} 、 S_{g2} 分别由式(6)、(7)、(8) 计算。

3) 计算一发停车继续起飞决断速度 V_{MA}

与步骤 2) 搜索出的故障速度 V_{gm} 对应的故障认定速度就是飞机在当时情况下的继续起飞决断速度 V_{MA} 。 V_{MA} 仍可用搜索法求得。根据 V_{gm} 发生的不同时刻, 继续起飞决断速度 V_{MA} 可按下述两种情形分别搜索:

若 $V_{gm} < V_R$, 则取 V_{MA} 初值为 V_{gm} , 步长为 0.1 在下式中作迭代搜索, 迭代停止的条件是 $t = t_{gr}$ (在程序中为 $|t - t_{gr}| < 0.01$)。

$$t = \frac{1}{g} \int_{V_{gm}}^{V_{MA}} \frac{dV}{\left[\frac{(n-1)P_s(H, M) \cos(\alpha_1 + \varphi_p)}{G} - f - \phi \right] - (C_{x1} - fC_{y1}) \frac{\rho_s S V^2}{2G}} \quad (13)$$

若 $V_{gm} \geq V_R$, 则仍取 V_{MA} 初值为 V_{gm} , 步长为 0.1 在下式中作迭代搜索。迭代停止的条件是 $t = t_{gr}$ (在程序中为 $|t - t_{gr}| < 0.01$)。

$$t = \frac{1}{g} \int_{V_{gm}}^{V_{MA}} \frac{dV}{\left[\frac{(n-1)P_s(H, M) \cos(\alpha_1 + \varphi_p)}{G} - f - \phi \right] - (C_{x2} - fC_{y2}) \frac{\rho_s S V^2}{2G}} \quad (14)$$

4 算法实现及实例计算

按照上述算法, 本文采用 Visual Prolog 与 Visual C++ 编写了一发停车继续起飞决断速度计算程序。用所编程序对某型飞机在 4 种不同环境下的继续起飞决断速度进行计算, 结果如表 1。计算中取跑道纵坡和风速为零, 起飞滑跑起点至跑道后端的距离为 100 m, 飞机离地点至跑道前端的安全距离取 80 m。

表1 某型飞机继续起飞决断速度计算结果

跑道长度/m	气温/°C	气压/ 10^5 Pa	起飞质量/ 10^3 kg	继续起飞决断速度/(m/s)
1 800	0	700	50	44.86
2 000	15	760	55	52.78
2 500	10	760	60	51.39
3 000	10	650	60	53.06

5 结论

1) 提出用继续起飞决断速度和中断起飞决断速度两个决断速度处置军用飞机一发停车。给出用迭代搜索法计算继续起飞决断速度的算法。

2) 编写了军用飞机继续起飞决断速度计算程序。该程序可以计算出我军装备的主要飞机在每次起飞滑跑过程中一旦发生一发停车时的继续起飞决断速度,为飞行员处理一发停车提供了可供操作的决策依据,从而尽可能保证一发停车时的飞行安全。

参考文献:

- [1] 刘晓明. 飞行性能与计划[M]. 成都:西南交通大学出版社,2003.
- [2] 蔡良才,邓学钧. 确定跑道长度的理论分析初探[J]. 机场工程,1995,15(2):21-26.
- [3] 潘泉,景小宁,陈云翔. 美军新机的综合诊断技术及启示[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2005,6(2):1-3.
- [4] 胡朝江,陈士楷. 美军 1797 飞行品质规范分析[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2005,6(4):1-3.
- [5] 蔡良才,邓学钧. 飞机极限起飞重量和决断速度的确定[J]. 东南大学学报,1997,27(1):136-138.
- [6] 蔡良才,高波,吴延炜,等. 军用机场跑道长度计算机辅助设计-考虑飞机在起飞滑跑过程中一发失效情况[J]. 计算机辅助工程,1995,23(4):75-80.
- [7] 傅跃声,吴建华. 关于 H5 飞机中断起飞几个问题的探讨[J]. 飞行力学. 1995,13(4):65-69.
- [8] 侯洛源,高彦玺,吴利荣. 某型飞机拉萨机场飞行性能研究小结[R]. 西安:空军工程大学. 2000.
- [9] 宋花玉,蔡良才. 基于 BP 网络的飞机起飞滑跑距离计算[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2004,5(6):4-6.
- [10] 蔡良才. 机场规划设计[M]. 北京:解放军出版社,2002.
- [11] 常振亚,陈启顺,王子方. 飞机飞行性能计算手册[M]. 西安:飞行力学杂志社,1987.
- [12] 宋花玉,蔡良才,郑汝海. 飞机起飞滑跑距离数值积分改进算法[J]. 交通运输工程学报,2007,7(2):24-28.

(编辑:姚树峰)

A Calculating Method for Military Aircraft in Resume Taking-off at Decision Velocity

SONG Hua-yu¹, ZHENG Ru-hai²

(1. The Science Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China; 2. The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

Abstract: This paper studies how to deal with an emergency procedure in the event of a certain engine failure in the process of take-off run and proposes an algorithm, i. e. an iteration searching algorithm to calculate the resume take-off decision velocity and programs the aircraft resume take-off decision velocity calculation. Furthermore, four kinds of resume take-off decision velocities of a certain aircraft are computed. The results indicate that the iteration searching algorithm is effective in calculating the resume take-off at decision velocity.

Key words: aircraft; one engine failure; resume take-off decision velocity; iteration searching algorithm