

波音 737-800 飞机起飞性能 随襟翼放出量的变化特点

Characteristics of the Takeoff Performance Variations of B737-800 Airplane with the Flap Deflection

陈昌荣 / Chen Changrong

(上海工程技术大学, 上海 201620)

(Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

摘要:

波音 737 飞机与其他民用机型的一个不同之处是前缘缝翼在起飞时可以使用开缝状态。分析了波音 737-800 飞机下列四个起飞性能参数与襟翼放出量的关系: 场地长度限制的最大起飞重量; 爬升梯度限制的最大起飞重量; 障碍物限制的最大起飞重量; 起飞决断速度。结果显示这四个参数在襟翼放出量为 10 时出现异常, 原因是前缘缝翼状态发生了变化。在襟翼放出量由 5 增大到 10 的过程中, 前缘缝翼由不开缝的放出状态变成开缝的完全放出状态, 降低了升力系数。

关键词: 前缘缝翼; 起飞性能; 后缘襟翼

中图分类号: U8

文献标识码: A

[Abstract] One characteristic of B737 airplane is that the slotted extension state of the leading edge slats can be applied in the takeoff, while other types of airplanes do not apply this state in the takeoff. In this paper, the relationships between the flap deflection and the following four parameters of the takeoff were analyzed: the maximum takeoff weight limited by field length, the maximum takeoff weight limited by climb gradient, the maximum takeoff weight limited by obstacles and the takeoff decision speed. The results show that these four parameters of takeoff are abnormal when the flap deflection is 10. The reason is that the extension state of the leading edge slats is changed. During the increase of the flap deflection from 5 to 10, the extension state of the leading edge slats is changed from the sealed extension state to the slotted extension state, and such a change of state causes a decrease of the lift coefficient.

[Key words] Leading Edge Slats; Takeoff Performance; Trailing Edge Flaps

0 引言

增升装置是民航飞机的重要部件^[1], 增升装置设计是增加飞机起飞重量、缩短起飞着陆滑跑距离的关键技术^[2], 增升装置气动性能的微小改变可引起飞机起飞着陆性能的显著变化^[3]。A320 和波音 737 是目前数量最多的两个民用机型, 分析 A320 的增生装置^[4]和波音 737 的增升装置的优缺点对我国民航飞机增升装置的设计具有借鉴意义。本文分析波音 737 飞机起飞性能随襟翼放出量的变化特点。

飞行性能教材^[5-6]显示: 增大襟翼放出量可使场地长度限制的最大起飞重量增大。然而, 根据波

音 737-800 飞机性能手册^[7]分析场地长度限制的最大起飞重量与襟翼放出量的关系时, 发现在襟翼放出量由 5 增大到 10 时出现异常情况, 襟翼放出量 10 对应的场地长度限制的最大起飞重量小于襟翼放出量 5 对应的场地长度限制的最大起飞重量。波音 737-800 飞机在后缘襟翼放出量从 5 增大到 10 的过程中, 翼型发生显著变化的部位是前缘缝翼, 前缘缝翼由不开缝的放出状态变成开缝的完全放出状态。因此, 场地长度限制的最大起飞重量的异常变化是由前缘缝翼状态变化引起的。

其他有前缘缝翼的机型, 如波音 757、波音 767、波音 777、A320 等, 起飞时前缘缝翼都使用不开缝

的放出状态,前缘缝翼开缝的完全放出状态只用于着陆和失速时。本文为了说明前缘缝翼开缝状态对波音 737-800 飞机起飞性能的影响,先介绍前缘缝翼与升力系数的关系和波音 737-800 飞机前缘缝翼的特点。然后分析下列四个起飞性能参数随襟翼放出量的变化曲线:场地长度限制的最大起飞重量;爬升梯度限制的最大起飞重量;障碍物限制的最大起飞重量;起飞决断速度。

1 波音 737-800 飞机前缘缝翼的特点

1.1 前缘缝翼的功能

前缘缝翼处于不开缝的放出状态时,它对机翼升力的影响与前缘襟翼相似,即通过增大机翼面积和增大翼型弯度使升力增大。当前缘缝翼处于开缝的完全放出状态时,它对升力的影响与前缘襟翼不同。前缘缝翼与机翼前缘之间的缝隙对机翼升力系数有两方面影响。一方面,压力较大的机翼下表面空气通过缝隙流向上表面减小了上下表面空气压力差,起减小升力系数的作用;另一方面,前缘缝翼下表面空气通过缝隙后贴近机翼上表面流动,增大了上表面附面层的空气动能,延迟了气流分离的发生,使可用迎角范围增大,起增大升力系数的作用。前缘缝翼开缝是增大升力系数还是减小升力系数与迎角大小有关。在机翼迎角接近或超过临界迎角时,机翼上表面气流发生严重分离,导致升力系数降低,此时前缘缝翼开缝能延缓气流分离,通过增大临界迎角使升力系数增大。在迎角远小于临界迎角时,机翼上表面气流分离弱,此时前缘缝翼开缝会使机翼上下表面压力差减小,导致升力系数减小。

1.2 波音 737-800 飞机的增升装置

波音 737-800 飞机具有可靠性高、燃油效率高、能灵活适应不同市场等优点,是目前世界上最畅销的机型之一。如图 1 所示,波音 737-800 飞机左、右机翼各有两块前缘襟翼和四块前缘缝翼,前缘襟翼位于发动机内侧的机翼前缘,前缘缝翼位于发动机外侧的机翼前缘;左、右机翼各有两组后退双开缝式后缘襟翼,分别位于发动机内侧和外侧的机翼后缘。后缘襟翼放出量为 1、5、10、15、25、30 和 40 单位,其中襟翼放出 1~15 单位的作用是增大升力,襟翼放出 15~40 单位的作用是同时增大升力和阻力。起飞时需要增大升力,同时需要避免阻力过大;着陆接地前既需要增大升力也需要增大阻力,

所以着陆襟翼放出量显著大于起飞襟翼放出量。起飞襟翼放出量有 1、5、10、15、25,其中 5 是最常用的起飞襟翼放出量。着陆襟翼放出量为 40、30 和 15(不包括 25),其中 40 和 30 是正常着陆襟翼放出量,着陆襟翼放出量 15 仅用于复飞爬升梯度要求高的机场。

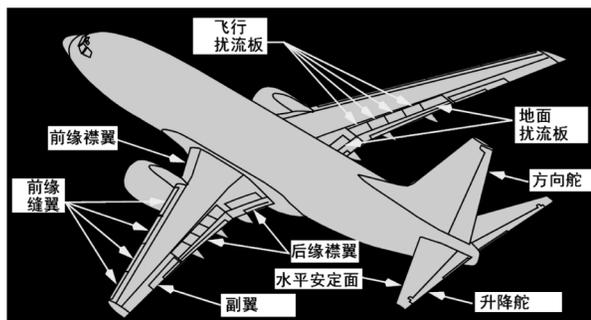


图 1 波音 737-800 飞机的主操纵面和辅助操纵面,左、右机翼各有 4 块前缘缝翼(发动机外侧)和 2 块前缘襟翼(发动机内侧,图中未显示 2 块前缘襟翼之间的间隙)

波音 737-800 飞机的前缘襟翼和前缘缝翼随后缘襟翼而动。前缘襟翼只有两种状态:收起和放出。前缘缝翼有三种状态:收起、放出(不开缝)和完全放出(开缝)。后缘襟翼放出量为 1 时,前缘襟翼放出,前缘缝翼也放出(不开缝)。随着后缘襟翼放出量的增大,前缘襟翼保持放出状态不变。前缘缝翼与前缘襟翼不同,在后缘襟翼放出量由 5 增大到 10 的过程中,前缘缝翼由不开缝的放出状态变成开缝的完全放出状态;在后缘襟翼放出量从 10 增大到 40 的过程中,前缘缝翼保持完全放出状态。在襟翼放出量为 1 和 5 时,如果飞机接近失速状态,前缘缝翼自动变成开缝的完全放出状态。

1.3 前缘缝翼开缝对场地长度限制的最大起飞重量的影响

标准大气条件下,波音 737-800 飞机最大起飞重量需要的标准场地长度是 2 400m。实际起飞重量低于最大起飞重量,大多数机场的场地长度大于波音 737-800 起飞需要的场地长度,所以起飞襟翼放出量通常选用 5,此时前缘缝翼处于不开缝的放出状态。对于场地长度比较短的机场,可以使用襟翼放出量 15 或 25,此时前缘缝翼处于开缝的完全放出状态,襟翼放出量 15 和 25 对应的场地长度限制的最大起飞重量大于襟翼放出量 5 的对应值。但是,当场地长度特别短时,可能使用较大的襟翼放出量仍不能使场地长度限制的最大起飞重量满足要求,此时如果能让前缘缝翼在起飞时不开缝就有

意义。巴西里约热内卢的桑托斯-杜蒙特机场的场地长度仅 1 465m,为了使波音 737-800 飞机能用于该机场,波音公司 2005-2006 年为巴西戈尔航空公司的波音 737-800 飞机改变了前缘缝翼与襟翼放出量的关系,前缘缝翼在襟翼放出量超过 25 时才开缝;在襟翼放出量为 1~25 的情况下,前缘缝翼在飞机接近失速时可自动变成开缝状态。起飞时前缘缝翼不开缝使场地长度限制的最大起飞重量增大了 1 700kg^[8]。前缘缝翼开缝会使升力下降,导致不开缝的前缘缝翼的升阻比要比开缝的大,所以前缘缝翼不开缝提高了最大起飞重量。

2 前缘缝翼开缝对起飞性能的影响

下面根据波音 737-800 飞机性能手册^[7]来确定四个起飞性能参数随襟翼放出量的变化曲线,分析前缘缝翼开缝对起飞性能的影响。

2.1 前缘缝翼开缝对场地长度限制的最大起飞重量的影响

条件:最大起飞推力,干跑道,可用场地长度 2 400m,跑道坡度为 0,机场气压高度 4 000ft,机场温度 30℃,无风,发动机引气组件接通,防冰系统关闭。

图 2 给出了场地长度限制的最大起飞重量随襟翼放出量的变化曲线。为了理解机场温度的影响,机场温度 20℃ 和 10℃ 对应的结果也在图 2 中给出。在襟翼放出量从 1 增大到 5 和从 10 增大到 25 的过程中,前缘缝翼保持不开缝的放出状态,场地长度限制的最大起飞重量增大;在襟翼放出量从 5 增大到 10 的过程中,场地长度限制的最大起飞重量反而有所减小。

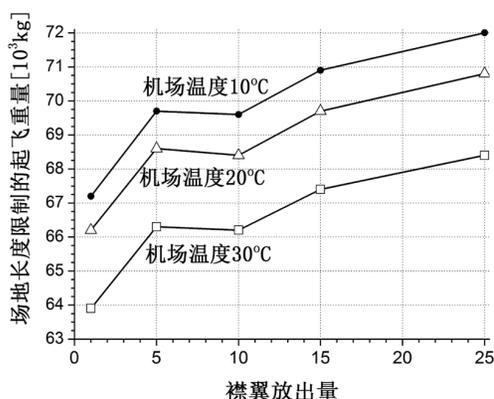


图 2 场地长度限制的最大起飞重量随襟翼放出量的变化

在图 2 中,以机场温度 30℃ 对应的曲线为例,把襟翼放出量 15~10 之间的线段延长到襟翼放出

量 5,可知在襟翼放出量 5 时假如前缘缝翼处于开缝状态,那么场地长度限制的最大起飞重量将至少减少 1 300kg,或者在襟翼放出量 10 时假如前缘缝翼不开缝,那么场地长度限制的最大起飞重量将至少增大 1 300kg。

2.2 前缘缝翼开缝对爬升梯度限制的最大起飞重量的影响

条件:最大起飞推力,机场气压高度 4 000ft,机场温度 30℃,发动机引气组件接通,防冰系统关闭。

图 3 给出了爬升梯度限制的最大起飞重量随襟翼放出量的变化曲线。为了了解机场温度的影响,机场温度 20℃ 和 10℃ 对应的结果也在图 3 中给出。在襟翼放出量从 1 增大到 5 和从 10 增大到 25 的过程中,爬升梯度限制的最大起飞重量下降;在襟翼放出量从 5 增大到 10 的过程中,爬升梯度限制的最大起飞重量下降幅度最大。

在图 3 中,以机场温度 30℃ 对应的曲线为例,假如把襟翼放出量 1~5 之间的线段延长到襟翼放出量 10,可知在襟翼放出量 10 时假如前缘缝翼处于不开缝状态,那么爬升梯度限制的最大起飞重量将至少增大 1 000kg。

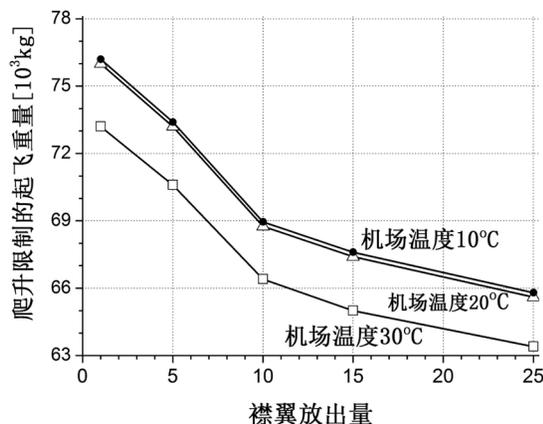


图 3 爬升梯度限制的起飞重量随襟翼放出量的变化

2.3 前缘缝翼开缝对障碍物限制的最大起飞重量的影响

条件:最大起飞推力,机场气压高度 0,机场温度 30℃,风速 0,障碍物高度 150m,障碍物距起飞松开刹车点 6 000m,发动机引气组件接通,防冰系统关闭。

图 4 给出了障碍物限制的最大起飞重量随襟翼放出量的变化曲线。在襟翼放出量从 1 增大到 5 和从 10 增大到 25 的过程中,障碍物限制的最大起飞重量下降;在襟翼放出量从 5 增大到 10 的过程中,障碍物限制的最大起飞重量下降幅度最大。

在图4中,如果把襟翼放出量1~5之间的线段延长到襟翼放出量10,可知在襟翼放出量10时假如前缘缝翼处于不开缝状态,那么障碍物限制的最大起飞重量将至少增大1700kg。

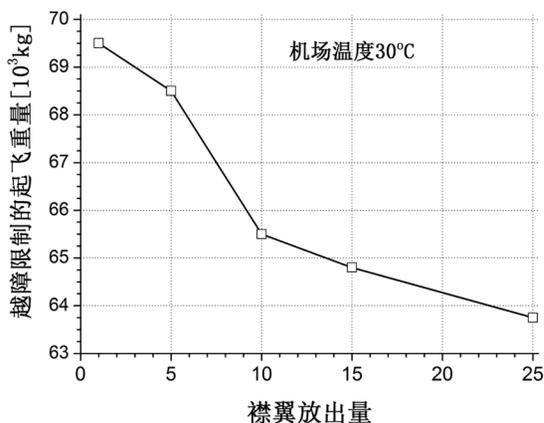


图4 障碍物限制的起飞重量随襟翼放出量的变化

2.4 前缘缝翼开缝对起飞决断速度 V_1 的影响

条件:最大起飞推力,干跑道,跑道坡度为0,不考虑净空道和停止道,机场气压高度0,机场温度30°C,无风。

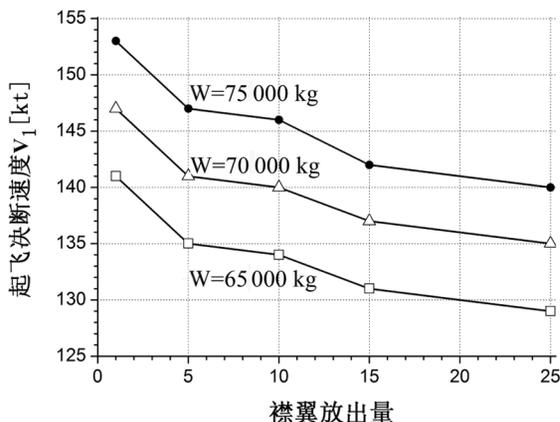


图5 起飞决断速度随襟翼放出量的变化

图5给出了起飞重量分别为75000kg、70000kg和65000kg对应的起飞决断速度 V_1 随襟翼放出量的变化曲线。在襟翼放出量从1增大到5和从10增大到25的过程中, V_1 下降;在襟翼放出量从5增大到10的过程中, V_1 下降幅度最小。

在图5中,以重量70000kg对应的曲线为例,把襟翼放出量15~10之间的线段延长到襟翼放出量5,可知在襟翼放出量5时假如前缘缝翼处于开缝状态,那么 V_1 将至少增大2.5kt,或者在襟翼放出量10时假如前缘缝翼不开缝,那么 V_1 将至少减小2.5kt。

从图2~图5可以看出前缘缝翼在飞机起飞时开缝降低了起飞性能,那么波音737-800飞机为什么还要让前缘缝翼在起飞襟翼放出量大于5就开缝?根据文献[9]对增升装置发展历史的介绍,判断波音737-800飞机起飞时前缘缝翼开缝的主要目的是预防飞机失速。另一目的可能是减小阻力。虽然前缘缝翼开缝使升力系数降低,但同时也减小了阻力系数。

图2~图5的主要目的是说明前缘缝翼开缝对最大起飞重量和起飞决断速度的影响趋势,所以采用线性外推的方式以确保结果足够保守。若采用二次外推方式可使结果更准确些,但不能保证结果足够保守可靠。

3 结论

(1)前缘缝翼开缝使场地长度限制的最大起飞重量减小,使爬升梯度限制的最大起飞重量减小,使障碍物限制的最大起飞重量减小,使起飞决断速度增大。

(2)波音737飞机起飞时前缘缝翼开缝虽有防飞机失速的作用,但降低了起飞性能。

参考文献:

- [1] 郝璇,张卫民,苏诚,郭少杰. 大型客机增升装置气动设计与计算[J]. 航空制造技术,2010,14: 74-77.
- [2] 陈迎春,李亚林,叶军科,毛俊. C919飞机增升装置工程应用技术研究进展[J]. 航空工程进展,2010,1(1): 1-5.
- [3] 毛俊,陈迎春,李亚林. 民用飞机二维增升装置设计[J]. 民用飞机设计与研究,2009,3: 4-7.
- [4] 雷晓明. A320飞机的增升研究[J]. 民用飞机设计与研究,2009,2: 35-40.
- [5] 刘晓明,苏彬,孙宏. 飞行性能与计划[M]. 成都:西南交通大学出版社,2003.
- [6] 丁兴国,陈昌荣. 民航运输机飞行性能与计划[M]. 北京:清华大学出版社,2012.
- [7] Boeing document D632A008-ZZ027. 737-800 Flight Planning and Performance Manual [S]. USA: Boeing Commercial Airplane Group, 2006.
- [8] <http://www.波音737.org.uk>
- [9] C. P. van Dam. The aerodynamic design of multi-element high-lift systems for transport airplanes[J]. Progress in Aerospace Sciences, 2002, 38: 101 - 144.