

民机地面扰流板伸出自动控制逻辑 研究及对飞行安全影响分析

Research of Auto-extension Logic of Ground Spoiler in Civil Aircraft and Analysis of the Influence on Flight Safety

肖 飞 / Xiao Fei

(上海飞机客户服务有限公司, 上海 200241)

(Shanghai Aircraft Customer Service Co., Ltd., Shanghai 200241, China)

摘 要:

对7种型号民机的地面扰流板伸出自动控制逻辑进行了对比研究,对地面扰流板待命、完全与部分伸出、主轮接地、推力手柄位置等方面进行了分析讨论;最后以A320为例,就着陆时冲出跑道和发生弹跳两种情况,分析了地面扰流板伸出自动控制逻辑对飞行安全的影响。分析表明,完善的地面扰流板伸出自动控制逻辑,可以提升对飞行操作的容错性,降低因人为因素导致飞行事故的可能性。

关键词:地面扰流板;自动伸出;控制逻辑;飞行安全

[Abstract] The ground spoiler auto-extension logic of 7 types of civil aircraft are researched in this article, including the influences of ground spoiler armed, full/partial extension, main landing gear seen on ground and thrust levers position. At last, the influence on flight safety by auto-extension logic of ground spoiler is studied based on the example of A320 runway excursions and bounces at landing. It is concluded that the modified auto-extension logic of ground spoiler can increase the flight operation tolerance and decrease the probability of flight accidents caused by human factor.

[Key words] Ground Spoiler; Auto-extension; Control Logic; Flight Safety

0 引言

扰流板(Spoiler),也被称作减速板(Speed Brake),是现代民用飞机上的重要操纵面之一,通常配备数量在6~12块左右,对称地安装在飞机机翼上表面,用以帮助飞机调整在不同速度下的气动外形流场,进而获得期望的气动操作效应。

通常,扰流板可分为空中扰流板(也称作空中减速板)和地面扰流板。空中扰流板的作用有两个:空中减速和辅助横滚,前者是通过扰流板伸出后,改变机翼前后压差使得压差阻力增加,从而实现飞机速度的减小,后者则是通过扰流板非对称的伸出,与副翼协调工作,使飞机产生横滚。地面扰流板的作用也有两个:地面减速和地面破升,前者的工作原理与空中减速相同,通过提高气动阻力来减小飞机速度(可增加约30%的气动阻力),从而减小着陆距离(着陆时)

或加速停止距离(起飞中断时);地面破升功能则是通过破坏飞机机翼上表面的平滑气流,降低机翼的升力,从而使飞机重量能更快的落到主轮上,以便机轮与跑道之间能充分接触,使主轮刹车效果更好。目前,大部分客机的所有扰流板都会被当作地面扰流板使用,以在着陆或起飞中断时使飞机最大程度地缩短着陆距离(着陆时)或加速停止距离(中断起飞时),但并非所有的扰流板都会被当作空中扰流板使用。在命名时,有些飞机制造商往往把只在地面才伸出的扰流板称为“地面扰流板”,把可以在飞行中伸出的称为“减速板”、“飞行扰流板”或“多功能扰流板”。为方便理解,本文中的“地面扰流板”除非特别说明,均指的是在地面能够伸出的、起到减速和破升功能的所有扰流板。

本文对多种型号民机的地面扰流板伸出的自动控制逻辑进行了对比分析,然后以A320为例,就

着陆时冲出跑道和发生弹跳两种情况,分析了地面扰流板伸出自动控制逻辑对飞行安全的影响。

1 地面扰流板伸出自动控制逻辑分析

本文总结分析了7个现有机型的地面扰流板伸

出自动控制逻辑,如表1所示,对其各项条件进行了逐一对比分析。此7个机型,除正在研制的ARJ21外,都是目前航空市场的主流机型,且均是双发飞机,并涵盖了主流的飞机制造商(波音、空客、庞巴迪和安博威),因此具有很大的代表性。

表1 不同机型地面扰流板自动伸出所需条件列表

伸出条件 机型/伸出方式		地面扰流板待命			地面扰流板未待命		
		主轮接地	推力手柄位置	主轮速度	主轮接地	推力手柄位置	主轮速度
波音 737NG	完全伸出	任一主轮接地*	双推力手柄慢车位	>60 节	任一主轮接地	双推力手柄慢车位,且反推手柄置于反推位	>60 节
波音 777	完全伸出	任一主轮接地	双推力手柄慢车位	——	任一主轮接地	双推力手柄慢车位,且反推手柄置于反推位	——
A320 (SEC120 之前)	完全伸出	所有主轮接地	双推力手柄慢车位	>72 节	所有主轮接地	任一推力手柄反推位,另一推力手柄慢车位	>72 节
	部分伸出	任一主轮接地	任一推力手柄反推位,另一推力手柄慢车位	——	任一主轮接地	任一推力手柄反推位,另一推力手柄慢车位	——
A320 (SEC120)	完全伸出	所有主轮接地	双推力手柄慢车位;或任一推力手柄位于反推位,另一手柄 MCT 位以下	>72 节	所有主轮接地	任一推力手柄反推位,另一推力手柄 MCT 位以下	>72 节
	部分伸出	任一主轮接地	双推力手柄慢车位	——	任一主轮接地	任一推力手柄反推位,另一推力手柄 MCT 位以下	——
A330	完全伸出	所有主轮接地	双推力手柄慢车位	>72 节	所有主轮接地	任一推力手柄反推位,另一推力手柄慢车位	>72 节
	部分伸出	任一主轮接地	任一推力手柄反推位,另一推力手柄慢车位	——	任一主轮接地	任一推力手柄反推位,另一推力手柄慢车位	——
CRJ200	完全伸出	任一主轮接地	双推力手柄慢车位,或左右发动机 N1<40%	>16 节	N/A	N/A	N/A
ERJ190	完全伸出	任一主轮接地	双推力手柄角度 (TLA) 小于 26°	>45 节或空速>60 节	N/A	N/A	N/A
ARJ21	完全伸出	任一主轮接地	双推力手柄慢车位	>45 节或空速>60 节	N/A	N/A	·

说明:表1中列出的“所需条件”并非是地面扰流板自动伸出的充分条件,不同机型会有所不同。表中“——”表示无需此条件,“N/A”表示在地面扰流板未待命的情况下,地面扰流板无法自动伸出。对于波音 737NG,在满足其他条件的前提下,若任一起落架支柱被压缩会使飞行扰流板伸出,只有右主起落架支柱被压缩时,才是地面扰流板放出。

1.1 人工操作和自动控制

通常,当飞机在着陆或中断起飞时,可通过人工操作或自动控制来指令地面扰流板伸出。人工操作通常是通过把操作扰流板手柄(也称“减速板手柄”)置于伸出位(UP)来实现,但有些机型的扰流板手柄并不能使所有扰流板都伸出,而只能使部分(通常是飞行扰流板)伸出,因此破升和减速效果要差些。自动控制则是通过监控地面扰流板是否待命、推力手柄位置、轮载信号、无线电高度等参

数,由扰流板控制装置自行判断和执行地面扰流板的伸出,通常自动控制可以使所有扰流板都伸出,因此破升和减速效果更好。

与人工控制相比,自动控制地面扰流板伸出由于省去了飞行员反应和操作的时间,可以做到最大程度地“及时”伸出,因此对减小着陆距离或加速停止距离帮助很大,尤其是在短跑道、湿滑跑道和污染跑道上着陆和起飞时,自动控制可以最大程度地防止飞机冲出跑道。另外,自动控制可以减小飞行

员在着陆和起飞时的工作负荷,可以让飞行员腾出手来进行其他操作。因此,目前绝大部分飞机制造商都建议飞行员在着陆或中断起飞时,使用自动控制方式伸出地面扰流板。

必须指出的是,自动控制可能会导致飞行员对扰流板的工作状态不甚清楚,尤其是在发生着陆弹跳、单发失效或相关系统故障时,复杂的自动控制逻辑中某一或某些条件不再满足,可能影响到地面扰流板自动伸出,从而可能引发不安全的飞行事件。另外,自动控制逻辑的设计必须具有较高的容错性,尽量防止出现因飞行员的误操作导致严重后果的情况。

1.2 自动控制逻辑分析

地面扰流板自动伸出需要满足一系列的条件,主要包括地面扰流板是否待命、主轮是否接地、推力手柄位置等,另外还涉及到地面扰流板完全伸出和部分伸出的区别(主要是空客飞机)。

(1) 地面扰流板待命

地面扰流板伸出的自动控制,通常按地面扰流板自动控制系统是否“待命”(ARMED,也称“预位”)分为两类不同的条件。不同机型使地面扰流板处于或解除待命状态的方式有所不同,波音飞机(B737NG(图1)、B777)和空客飞机(A320(图2)、A330)都是通过飞行员是否将扰流板手柄置于待命(ARMED)位置来实现;ERJ190和ARJ21则是自动待命,无需飞行员任何操作,但若要解除待命则需要按压“解除待命按钮”;而CRJ200则是通过选择控制开关使之自动待命(AUTO)、手动待命(MAN ARM)或解除待命(DISARM)。与手动待命相比,自动待命的好处是节省操作资源,但需要良好的信号反馈,告知飞行员地面扰流板“已待命”,以便使飞行员清楚地了解其工作状态。

需要注意的是,在地面扰流板未待命时,CRJ200、ERJ190和ARJ21均无法实现自动伸出,只能通过人工操作使之伸出(但有部分扰流板不能伸出);但波音飞机和空客飞机仍然可使地面扰流板自动伸出,只不过条件更为苛刻(参照表1),都需要“至少一个推力手柄收至反推位”,这样设计的原因有两个:一是在地面扰流板未待命(如匆忙进近时飞行员忘记)时,地面扰流板仍可以通过“将推力手柄收至反推位”(着陆和中断起飞时的标准操作)来实现自动放出;二是由于飞机在空中时无法将推力手柄置于反推位(反推的锁定功能),这样就杜绝了

飞行员在空中打开地面扰流板的可能,有效地保证了飞行安全。

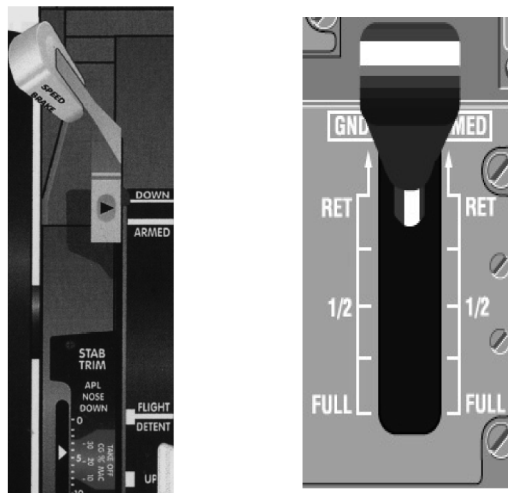


图1 波音737NG扰流板手柄 图2 A320扰流板手柄

(2) 完全/部分伸出

除空客飞机外,其他机型的地面扰流板伸出都是最大行程的完全伸出。空客飞机(A320、A330)则有部分伸出和全部伸出之别,这也是空客飞机的特点之一。以A330为例,在“一个主起落架被压缩,且任一发动机推力手柄选择了反推,另一推力手柄位于慢车位”时,地面扰流板会部分伸出;扰流板部分伸出和完全伸出的角度分别为 14° 和 35° (1号扰流板)、 20° 和 50° (2~6号扰流板)。按照空客手册的说法,这种部分伸出的方式“可通过减小升力使未接地的主起落架更易于压缩,并最终使地面扰流板正常放出”。

另外,对于着陆时,除空客飞机外,其他机型地面扰流板完全放出的必要条件之一是“任何一个主轮接地”,而空客飞机“只有一个主轮接地”时,地面扰流板只能部分伸出,要全部伸出的话,必须要“所有主轮都接地”。

(3) 主轮接地

着陆时,飞机主轮被视为“已经接地”的条件包括主起落架是否被压缩、无线电高度以及主轮转速。对于波音飞机而言,波音737NG视“主轮接地”的条件需要三者均满足,具体为“任一主起落架支柱压下、无线电高度小于10ft、主轮转速大于60节”,波音777则没有了轮速要求,只要前两者满足即可。而空客飞机有所不同,以A320为例,地面扰流板全部伸出时,接地条件为“两个主起落架的轮速大于72KT,或者两个主起落架减震支柱被压缩且

无线电高度低于 6ft”。ERJ190、CRJ200、ARJ21 与波音 737NG 类似,但 CRJ200 和 ARJ21 对轮速的要求可以是轮速或空速二选一。

(4) 推力手柄位置

大部分机型以发动机推力手柄位置(如慢车位、反推位等)作为触发地面扰流板自动伸出的判断条件之一,而对推力手柄位置的确定是通过全权数字发动机控制计算机(FADEC)判读推力手柄角度(TLA)实现的,有些机型(如波音 737NG)也会把发动机反推手柄的位置作为判断其是否位于慢车位的依据。

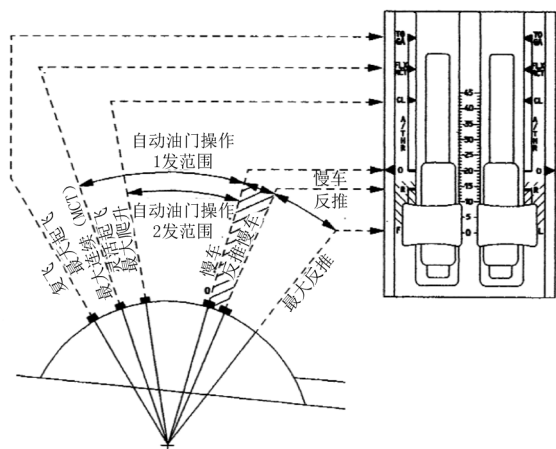


图3 A320 飞机推力手柄卡位示意图

多数机型在地面扰流板待命时,都把“双推力手柄慢车”作为地面扰流板自动伸出的条件之一,波音和空客飞机在地面扰流板未待命时,则把“任一推力手柄反推位,另一推力手柄慢车位”作为条件之一。但是根据参考文献^[1],空客公司新近生产的 A320 对此逻辑做了修改(配备扰流板/水平安定面控制计算机 SEC120 型、MSN 编号 4472 以后的新 A320 飞机),最大变动之一是:在地面扰流板未待命时,对“另一推力手柄”(图 1)的要求变为“MCT 位及以下(A/THR)”。这对推力手柄位置的要求变得更为宽松,将人为因素(如单发失效时,飞行员误以为失效发动机推力手柄已置于慢车位,但事实上未置于慢车位)导致的地面扰流板无法伸出的可能性降到最低。

2 地面扰流板伸出自动控制逻辑对飞行安全的影响分析

下面以配备 SEC120 和未配备 SEC120 的 A320 为例,对比分析飞机着陆时在冲出跑道和发生弹跳情况下,地面扰流板控制自动伸出控制逻辑对飞行安全的影响。

2.1 着陆时冲出跑道

飞机在着陆时,若跑道被积雪、积水等覆盖,则会使刹车效应大大降低,导致着陆距离大大增加,这时地面扰流板所起的减速作用就会更为突出和关键。如果此时地面扰流板未能及时伸出,则有可能致使飞机冲出跑道。除扰流板相关的系统故障原因外,飞行员未遵循标准操作程序(SOP)操作也可能是地面扰流板未能及时伸出的重要原因之一。

飞机在着陆时,若飞行员未将扰流板手柄置于收回位置,又或者在单发失效的情况下,一个推力手柄置于反推位,另一个推力手柄却未放在慢车位置(失效发动机),这两种情况对于 A320 (SEC120 之前)而言,地面扰流板都不会自动伸出;但是改进后的 A320 (SEC120) 则可以实现自动伸出。因为 SEC120 把地面扰流板伸出的自动控制逻辑进行了扩展,把“未将扰流板手柄置于收回位置”等价于“将地面扰流板待命”;将一个推力手柄置于反推位时,“另一个推力手柄置于慢车位”,拓展为“另一个推力手柄置于最大爬升位(CL)及以下”。这样的改进,可在飞行员没有按照 SOP 操作的情况下,地面扰流板也能够及时自动伸出,从而减小着陆距离。

可见,改进后的 A320 对地面扰流板控制自动伸出控制逻辑增加了对飞行操作的容错性,降低了因人为因素导致飞行事故的可能。

2.2 着陆时发生弹跳

飞机着陆时,发生弹跳往往是因为飞行员没有控制好飞机状态(忘记或过晚将油门置于慢车位、没有及时拉平等),导致飞机着陆速度偏大或/和垂直速度偏大,而且发生弹跳后往往会重着陆。有数据表明,弹跳后第二次触地产生的载荷往往远大于第一次触地时的载荷,这往往与扰流板伸出的时机不恰当有一定关系。图 4、图 5 以及表 2 对 A320 (SEC120 之前)和 A320 (SEC120) 在发生弹跳后着陆的基本过程进行了图示和描述。

改进后的 A320 (SEC120) 把“地面扰流板待命情况下自动部分伸出”的条件进行了拓展,在满足“所有主轮接地,且双推力手柄最大爬升位及以下(A/THR)”时,即可自动部分伸出。这样,在飞机接地瞬间,地面扰流板会自动部分伸出,升力减小,从而减弱或者抵消掉飞机的弹跳,这就大大降低了第二次触地时的载荷。图 6 则显示,改进后的 A320 可将弹跳后第二次触地产生的载荷从原先的 3.57g 降低到 1.78g。

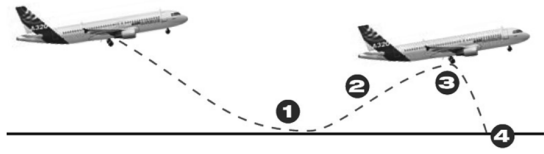


图4 A320(SEC120之前)弹跳后情形

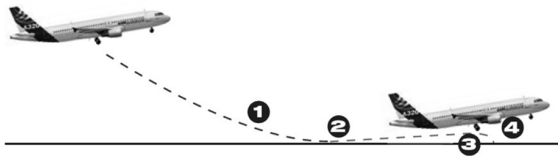


图5 A320(SEC120)弹跳后情形

表2 A320(SEC120之前)与A320(SEC120)在着陆发生弹跳时的不同情形对比

机型	A320(SEC120之前)	A320(SEC120)
1	在飞行拉平时,未把发动机推力手柄收至慢车位,从而导致地面扰流板未能伸出;	在飞行拉平时,未把发动机推力手柄收至慢车位(位于爬升位或爬升位以下,但高于慢车位);
2	具有较大动能以及未能及时将升力减小,导致飞机在接地时发生弹跳;	在飞机接地瞬间,地面扰流板会自动部分伸出,导致升力减小,从而减弱或者抵消掉飞机的弹跳;
3	在弹跳过程中,若在第一次触地后3s内将发动机推力手柄收至慢车位,则地面扰流板自动全部伸出;	在弹跳过程中(如果有的话),若在第一次触地后3s将推力手柄收至慢车位,则地面扰流板自动全部伸出;
4	地面扰流板伸出导致升力突然大幅减小,飞机在大约5~15ft高度快速下沉,从而导致严重的重着陆。	随着飞机弹跳高度的显著降低,第二次触地时的载荷将会大大减小。

(上接第3页)

(3)运用矩阵管理促进民机客户服务专业技术人才队伍建设

随着中国商飞公司ARJ21、C919等型号任务的深入开展,人力资源日趋紧张,这就需要公司建立以型号任务为导向的矩阵管理,弥补人员不足、效率不高的缺点,在内部建立更多的跨部门、跨单位工作团队,甚至是国际化工作团队。而且随着公司信息化平台建设的初步形成规模,以信息和知识为核心的扁平化、矩阵管理也有了更好的发展基础和条件。当然,矩阵管理需要大量的高素质经过培训的职业经理人(团队负责人)以及一套成熟的管理制度来维持集权和分权之间的有效平衡。总之,

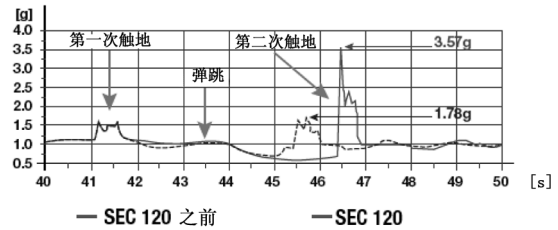


图6 弹跳前后飞机载荷-时刻对比图

3 结论

本文对多种型号客机的地面扰流板伸出自动控制逻辑进行了对比研究,对地面扰流板待命、完全与部分伸出、主轮接地、推力手柄位置等方面进行了分析讨论。最后以A320为例,就着陆时冲出跑道和发生弹跳两种情况,分析了地面扰流板伸出自动控制逻辑对飞行安全的影响。分析表明,完善的地面扰流板伸出自动控制逻辑,可以提升对飞行操作的容错性,降低因人为因素导致飞行事故的可能性。

参考文献:

- [1] Stephane Boissenin, Eliabeth Salavy. A320 Family/Evolution of ground spoiler logic[J]. Safety First, 2010(2):3-6.
- [2] AC-121-FS-2009-33, 航空承运人湿跑道和污染跑道运行管理规定.
- [3] A320 飞机飞行机组操作手册, 空中客车公司.
- [4] A330 飞机飞行机组操作手册, 空中客车公司.
- [5] 波音 737NG 飞机飞行机组操作手册, 波音公司.
- [6] 波音 777 飞行机组操作手册, 波音公司.
- [7] CRJ200 飞机飞行机组操作手册, 庞巴迪飞机公司.
- [8] ERJ190 飞机飞行机组操作手册, 巴西航空工业公司.
- [9] ARJ21 飞机飞行机组操作手册, 中国商用飞机有限责任公司.

随着我国民机产业的不断向前发展,需要培育造就一支具有自身特色的国际一流的民机客户服务专业技术人才队伍,从而保证我国民机产业的可持续发展,为我国经济结构的转型升级做出应有的贡献。

参考文献:

- [1] 国家中长期人才发展规划纲要(2010-2020), 2010.
- [2] 胡问鸣. 世界民用飞机工业概览[M]. 北京: 航空工业出版社, 2008.
- [3] 汤小平. 民用飞机客户服务入门[M]. 北京: 航空工业出版社, 2008.
- [4] 彼得·贝罗巴巴. 全球航空业[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2012.