

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2017.04.021

民用飞机刹车系统 CCAR 25.735 条款适航研究

Research on CCAR 25.735 for Brake System of Commercial Airplanes

杨 鹏 / YANG Peng

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

摘 要:

介绍了民用飞机适航规章 CCAR-25-R4 最新版并与前一版本 R3 版在刹车系统主条款 25.735 条进行对比分析,详细解释了 R4 版与 R3 版的不同之处及更改原因,阐述了 R4 版 735 条的详细信息,提供了刹车系统的适航思路及符合性方法建议。最后进行了小结并提出了下一步目标。

关键词: 刹车系统; 适航; CCAR-25-R4; CCAR-25-R3; 25.735; 符合性方法

中图分类号: V221+.91

文献标识码: A

[Abstract] The main clause CCAR 25.735 of brake system of commercial airplanes was compared and analyzed between the current CCAR-25-R4 and previous edition CCAR-25-R3. The difference and reason of change were introduced in detail. The detail requirements of CCAR 25.735 R4 were elaborated. The corresponding airworthiness consideration and means of compliance were proposed. Finally, the summary and next objective were provided.

[Keywords] brake system; airworthiness; CCAR-25-R4; CCAR-25-R3; 25.735; means of compliance

0 引言

对于主要承担载客用途的民用飞机来说,刹车系统与飞行安全息息相关。飞机在每次执行着陆或中断起飞时,都需要刹车系统安全、可靠、快速地从高速运动中刹停,否则飞机就有可能冲出跑道而导致机毁人亡^[1]。因此,各国民航局(包括美国联邦航空局 FAA,欧洲航空安全局 EASA(前身为联合航空局 JAA)和中国民航总局 CAAC 等)专门用三个条款针对刹车系统提出适航要求,分别是 25.731 条“机轮”、25.733“轮胎”和 25.735“刹车”,其中 731 和 733 条款针对刹车系统元件,735 条款针对整个刹车系统。

为了规范民用运输类飞机适航取证,保证其安全运营,国际上最权威的两家民航局 FAA 和 EASA 分别颁布了 FAR 25 部^[2]和 CS 25 部^[3]。在国内,

CAAC 于 1985 年 12 月 31 日发布了《中国民用航空规章第 25 部——运输类飞机适航标准》,简称为 CCAR 25 部,专门适用于在中国运营的民用运输类飞机的适航取证。其后随着国内外民用飞机运行经验教训不断积累和科学技术水平不断提高等,适航理念和要求与时俱进,经历了多次修订。其中 2001 年 5 月 14 日,发布了第三次修订版,简称为 CCAR-25-R3^[4],成为之后几年国内新研制民机的主要适航规章,同时,国内民机研制在此规章的适航取证方面也取得了较为丰富的经验。为了适应新形势下国内航空安全的新要求,CAAC 于 2011 年 11 月 7 日发布了第四次修订版,简称为 CCAR-25-R4^[5],为当前国内民机研制的最新规章。相比于 CCAR-25-R3,CCAR-25-R4 中的 735 条款对刹车系统研制的要求明显提高,从而导致民机刹车系统适航验证的难度变大。但是,万变不离其宗,只要理

清条款中每个要求变更的来源和目的,结合 R3 中取得的适航验证经验,就可以有的放矢地开展民用飞机刹车系统的设计和适航验证工作。本文拟通过 CCAR-25-R4 与 CCAR-25-R3 中 735 条的对比分析,来探讨研究刹车系统针对 CCAR-25-R4 的 735 条的符合性方法。

1 CCAR 25.735 R4 与 CCAR 25.735 R3 对比分析及符合性方法

表 1 为 CCAR-25-R4 与 R3 的 735 条对比表,以分款的形式列出了 735 条中每一款的详细内容,以下将逐款进行对比分析。

表 1 CCAR-25-R4 与 R3 735 条对比表

条款编号	CCAR 25.735 R4 内容 ^[5]	CCAR 25.735 R3 内容 ^[4]
735 刹车(a)	(a)批准 每一包含机轮和刹车的组件都必须经批准。	(a) 刹车装置必须经批准。
735 刹车(b)	(b)刹车系统能力 刹车系统及其相关系统必须设计和构造造成: (1) 如果任何电气、气动、液压或机械连接元件或传动元件损坏,或者任何单个液压源或其它刹车能源失效,能使飞机停下且滑行距离不超过第 25.125 条规定的滑行距离的两倍。 (2) 无论在飞行中或在地面上,刹车或其附近元件失效后从刹车液压系统泄漏的液体都不足以引起或助长有危害的火情。	(b) 刹车系统及其相关系统的设计和构造,必须使其在任何电气、气动、液压或机械连接元件或传动元件(操纵脚踏或手柄除外)损坏或者任何单个液压源或其它刹车能源丧失时,能使飞机在按 § 25.125 规定的条件下停下,其着陆滑跑过程中的平均减速度至少等于按该条确定着陆距离时所得减速度的 50%。除非表明刹车组件中的分组件,诸如刹车鼓轮、刹车块及作动筒(或其等效装置)的密封元件损坏引起的液压渗漏不会使刹车效率低于本款的要求,否则这些装置均应视为连接元件或传动元件。
735 刹车(c)	(c)刹车控制 刹车控制必须设计和构造造成: (1) 操作时,不需要额外的控制力。 (2) 如果安装了自动刹车系统,必须有措施: (i) 预位和解除预位该系统; (ii) 允许驾驶员使用手动刹车超控该系统。	无 (c) 使用刹车操纵器件时所需的操纵力不得过大。
735 刹车(d)	(d)停留刹车 飞机必须具有停留刹车装置,当一台发动机为最大推力,同时其它任何或全部发动机为直到最大慢车推力的最不利组合时,打开停留刹车装置后,无须进一步关注就可以防止飞机在干燥的带铺面的水平跑道上滚动。该装置必须放在适当的位置或充分保证避免误操作。当停留刹车没有完全释放时,驾驶舱中必须有提示。	(d) 飞机必须具有停机刹车装置,当临界发动机为起飞功率(推力)时,驾驶员使用此装置后,无需进一步关注就能防止机轮在有铺面的水平跑道上滚动。
735 刹车(e)	(e)防滑系统 如果安装了防滑系统: (1) 无须外部调整就可以在预期的任何跑道情况下进行满意地操作。 (2) 在所有情况下必须优先于自动刹车系统(如果安装)。	(e) 如果装有防滑装置,则该装置及其有关系统的设计必须使在发生任何可能的单个故障时都不会使飞机的刹车能力或方向操纵损失到危险的程度。
735 刹车(f)	(f)动能容量 (1) 设计着陆停止设计着陆停止是在最大着陆重量下可操作的着陆停止。必须确定每一个机轮、刹车和轮胎组件的设计着陆停止刹车动能吸收要求。必须通过测功器测试验证,在整个定义的刹车磨损范围之内机轮、刹车和轮胎组件能够吸收不少于该水平的动能。必须达到飞机制造商刹车要求的能量吸收率。平均减速率必须不小于 10fps ² 。	(f) 在对于适用的技术标准规定(TSO)或可接受的等效规定的刹车鉴定试验中应采用每个主轮刹车装置的设计着陆刹车动能容量额定值。该动能容量额定值不得小于按下列方法之一确定的动能吸收要求: (1) 必须根据对最大着陆重量下着陆时预期会出现的事件序列进行的合理分析确定刹车动能吸收要求。

续表 1

条款编号	CCAR 25.735 R4 内容 ^[5]	CCAR 25.735 R3 内容 ^[4]
	<p>(2) 最大动能加速停止最大动能加速停止是在最临界 的飞机起飞重量和速度组合状态下的中止起飞状态。 必须确定每一个机轮、刹车和轮胎组件的加速停止刹 车动能吸收要求。必须通过测功器测试验证,在整个 定义的刹车磨损范围之内机轮、刹车和轮胎组件能够 吸收不少于该水平的动能。必须达到飞机制造商刹车 要求的能量吸收率。平均减速率必须不小于 6fps^2。</p> <p>(3) 最严酷的着陆停止最严酷的着陆停止是在最临界 的飞机着陆重量和速度组合状态下的停止。必须确定 每一个机轮、刹车和轮胎组件最严酷的停止刹车动能 吸收要求。必须通过测功器测试验证,在刹车热库达 到完全磨损极限情况下,机轮、刹车和轮胎组件能够吸 收不少于该水平的动能。对于极不可能的失效情况或 当最大动能加速停止能量更严酷时,不必考虑最严酷 的着陆停止。</p>	<p>这一分析必须计及使用刹车时保守的飞机速度值、 轮胎与跑道间的刹车摩擦系数、气动阻力、螺旋桨阻 力或动力装置的向前推力,和(如果更为临界)最不 利的单台发动机或螺旋桨故障;</p> <p>(2) 如果不用合理分析,每个主轮刹车装置的动能 吸收要求可以按下列公式计算,如刹车分配不相等, 公式必须修正: $K_E = 0.0135WV^2/N$ $(K_E = 0.0443WV^2/N)$ 式中: K_E 为每个机轮的动能,公斤米(英尺磅); W 为设计着陆重量,公斤(磅); V 为飞机速度,节(节),V 必须不小于 V_{SO}, V_{SO} 为海平 面设计着陆重量和着陆形态下飞机无动力失速 速度; N 为装有刹车的主轮个数。</p>
735 刹车 (g)	<p>(g) 高动能测功器停止后的刹车状态 按照本条(f)要 求的高动能刹车试验停留刹车迅速和完全地作用了至 少 3 分钟后(注:根据 FAR 25 部英文原文,此处笔者 认为更准确的表述应该是“在本条(f)款规定的高动 能刹车试验后,立即施加停留刹车至满刹车并保持至 少 3 分钟),必须证明,从停留刹车作用起至少 5 分钟不 能发生状况(或者在停止期间不能发生),包括轮胎或机 轮和刹车组件的火情,可能妨碍安全和完全撤离飞机。</p>	<p>(g) 每一主轮刹车装置的最小失速速度额定值(即 测功试验时采用的初始速度)不得大于按本条(f)确 定动能所用的 V 值。由于制定机轮刹车装置的试验 程序必须涉及一个给定的减速率,因此,对于相同量 的动能,能量吸收率(刹车的功率吸收能力)与初始 速度成反比。</p>
735 刹车 (h)	<p>(h) 储备能量系统 如果使用储备能量系统用于表明符 合本条(b)(1)的要求,必须给机组提供有关可用储备 能量的指示。对于以下情况,可用的储备能量必须 充足: (1) 当防滑系统没有工作时至少可完成六个完整的 刹车; (2) 在飞机经审定的所有跑道表面条件下,当防滑系 统运行时飞机完全停止。</p>	<p>(h) 在对于适用的技术标准规定(TSO)或可接受 的等效规定的刹车鉴定试验中,应采用每个主轮 刹车装置在其允许磨损范围内的磨损极限状态下的 中止起飞刹车动能容量额定值,该动能容量额 定值不得小于按下列方法之一确定的动能吸收 要求: (1) 必须根据对加速—停止机动时预期会出现的事 件序列进行的合理分析确定刹车动能吸收要求。这 一分析必须计及使用刹车时保守的飞机速度值、轮 胎与跑道间的刹车摩擦系数、气动阻力、螺旋桨阻力 或动力装置的向前推力和(如果更为临界)最不利的 单台发动机或螺旋桨故障; (2) 如果不用合理分析,每个主轮刹车装置的动能 吸收要求可以按下列公式计算,如刹车分配不相等, 公式必须修正: $K_E = 0.0135WV^2/N$ $(K_E = 0.0443WV^2/N)$ 式中: K_E 为每个机轮的动能,公斤米(英尺磅); W 为飞机重量,公斤(磅); V 为飞机速度,节(节); N 为装有刹车的主轮个数; W 和 V 为在中止起飞中得到的起飞重量和地面速度 的最临界组合</p>

续表 1

条款编号	CCAR 25.735 R4 内容 ^[5]	CCAR 25.735 R3 内容 ^[4]
735 刹车 (i)	(i) 刹车磨损指示器 对于每一个刹车组件,必须有措施保证在热库磨损达到许可的极限时有指示。该措施必须可靠并容易看到。	无
735 刹车 (j)	(j) 过热爆裂保护 对于每个带刹车的机轮,必须提供措施防止由于刹车温度升高导致的机轮失效和轮胎爆裂。并且,所有机轮必须满足第 25.731 条 (d) 的要求。	无
735 刹车 (k)	(k) 兼容性 机轮和刹车组件与飞机及其系统兼容性必须经过验证。	无

1.1 25.735 刹车(a)

从表 1 可以看出,R3 只要求刹车装置经批准才能使用,R4 要求机轮刹车组件都必须经过批准才能使用。根据 AC 25.735-1^[6]可知,本款要求安装了指定和经批准的类型和尺寸轮胎的每个机轮和刹车装置,需要能够满足适用的 TSO 中规定的最低标准和性能。同样,此规定也适用于机轮和刹车装置或元件的更换、更改和翻修,同时限定了来自不同供应商的机轮和刹车装置的混合使用一般来说是不可接受的,因为不同的摩擦元件、特定刹车转向操纵和其他因素等会造成很复杂的情况。相对于 R3 来说,R4 的要求更加全面,不仅包括刹车装置,还包括对机轮的要求。这是因为一方面机轮的设计特性或更改对刹车能力有较大影响,另一方面 TSO 中部分试验需要机轮和刹车共同满足,任何一方发生变化都可能导致对 TSO 符合性的改变。

本款的符合性方法建议为 MOC4/9,MOC9 为机轮刹车结构的单独元件鉴定试验,MOC4 为机轮和刹车组件的惯性台试验室试验。

1.2 25.735 刹车(b)

从表 1 可以看出,R4 中(b)款分为两项:

第一项比 R3 少了两部分内容:单点故障时着陆减速要求和刹车装置上密封元件损坏的强调。其中取消单点故障时着陆减速要求,分析是因为已经对着陆距离提出了定量要求,减速本身只是实现着陆距离要求的更细的指标,从保障飞机安全的角度来说,着陆距离的定量要求已经足够;刹车装置上密封元件损坏的强调内容在 R4 中放入了咨询通告 AC 25.735-1 中,是因为此项是对“任何电气、气动、液压或机械连接元件或传动元件损坏”的细化说明而不是额外要求,放入 AC 25.735-1 中还可以

使条款本身简洁明了。

第二项为 R4 新增内容,分析是为了对刹车系统失效状态提出更全面的要求,第一项仅提出了性能方面的要求,第二项补充提出了安全方面的要求,要求申请人在设计刹车系统时应更加重视系统失效所带来的影响。

本款的符合性方法建议为 MOC1/2/3/6/9。MOC1 为说明刹车系统失效类型,MOC2 为计算着陆距离,MOC3 为对故障时可能的起火范围及影响进行分析,MOC6 为飞行验证着陆距离,MOC9 为验证刹车元件对起火情况的耐受程度。

1.3 25.735 刹车(c)

从表 1 可以看出,R4 中(c)款分为两项:

第一项与 R3 基本一致;

第二项为新增内容,对自动刹车提出要求。因为当前主流民机刹车系统均具有自动刹车能力,且在实际运营中驾驶员使用较多,因此在条款中增加对自动刹车的要求是顺应飞机发展的趋势。民用飞机适航的基本原则之一是驾驶员需要在任何情况下能够具备对飞机的操纵能力。因此条款要求所设计的刹车系统需要能够由驾驶员主动进行预位和解除,并且能够随时进行超控。这也同样基于安全性的考虑,防止自动刹车故障时驾驶员无法自行采取有效的处置措施。

本款的符合性方法建议为 MOC6,通过地面滑行和飞行进行验证即可。

1.4 25.735 刹车(d)

从表 1 可以看出,R4 与 R3 有五处不同:

第一,R3 中停机刹车改为了 R4 中的停留刹车。这是因为停留刹车功能本身并不只在发动机关闭后使用,停机刹车容易产生歧义,以为只有在发动机关闭后才会使用。

第二,R3 中要求临界发动机为起飞功率(推力),R4 中要求一台为最大推力,其余为最大慢车推力,R4 的工况设置不仅对飞机航向的推力提出了要求,同时对不对称推力导致的力矩也提出了要求,这同样属于实际使用过程中会出现的工况。相对于 R3 来说,R4 对停留刹车的要求更高。

第三,相对于 R3,R4 仅针对干燥的跑道,分析是因为根据 R3 要求,停留刹车在冰跑道等严酷路面上也需要满足发动机临界推力要求,此要求过高难以实现,即使实现也可能导致刹车结构的重量大大增加,或者对液压系统压力要求大大增加,对冰跑道等路面在实际运营中所占比例与飞机重量等的增加进行权衡,只对干跑道提出要求更加合理。

第四,相对于 R3,R4 增加了人为错误防护的要求,目的是为了防止驾驶员误操作停留刹车而可能导致的非指令刹车,减少安全隐患。

第五,相对于 R3,R4 增加了驾驶舱指示的要求,目的是为了告知驾驶员停留刹车是否施加到位,防止在停留刹车未完全实施情况下松开刹车脚踏板而导致飞机移动,同样是为了减少安全隐患。

本款的符合性方法建议为 MOC6/7,其中 MOC6 用于通过地面滑行试验表明在发动机临界推力组合下飞机不会滚动,且在停留刹车没有释放时驾驶舱有提示;MOC7 用于表明驾驶舱停留刹车实施装置具有人为错误防护能力。

1.5 25.735 刹车(e)

从表1可以看出,在防滑系统方面,R4 与 R3 存在较大不同:

第一,根据 FAA NPRM No. 99-16^[7],FAA 认为“如果装有防滑装置,则该装置及其有关系统的设计必须使在发生任何可能的单个故障时都不会使飞机的刹车能力或方向操纵损失到危险的程度”这条要求是不必要的(superfluous),在 FAR Amendment 25-107 中删除了此条要求,相应地,CAAC 在 R4 中也取消了此条要求。

第二,R4 中新增了两条要求,一条要求是防滑系统需要能够自动适应不同的跑道情况,而不需要在每次需要使用刹车防滑系统时再调参,这属于飞机运营角度的正常要求,毕竟不可能要求航空公司或驾驶员在每次着陆或中断起飞时重新设

置防滑系统参数;另一条要求是自动刹车必须有防滑保护,当防滑保护丧失时不允许使用自动刹车,这条要求主要是为了安全性考虑,防止在没有防滑保护情况下,自动刹车压力过大而导致轮胎爆破,相反,没有防滑保护时,驾驶员可以根据飞机运行情况轻柔使用刹车,降低轮胎爆破的可能性。

本款的符合性方法建议为 MOC2/6,MOC6 为在可行的各种跑道上进行刹车防滑试验,MOC2 为在无法飞行试验的跑道(如冰跑道等)上,进行刹车防滑的仿真分析计算,并通过 MOC6 的试验数据修正 MOC2 中仿真模型/计算方法的准确性。

1.6 25.735 刹车(f)和(g)

从表1可以看出,R4 中的(f)和(g)款对应于 R3 中的(f)、(g)和(h)款。R4 相对于 R3 的改变较大,是因为 R4 与 CAAC 的适航技术标准规定 CT-SO C135a《运输类飞机机轮和机轮刹车组件》保持了一致性,对不同工况下使用刹车系统的减速能力进行了更加全面的要求,并将对应的能量等计算方法移入 AC 25.735-1 中,保证了条款本身的简洁明了。

本款的符合性方法建议为 MOC2/4/9,MOC2 为能量等的计算分析,MOC9 和 4 分别为机轮刹车结构的单独元件鉴定试验和组件的惯性台试验室试验。

1.7 25.735 刹车(h)

从表1中可以看出,R4 的(h)款为新增款,对储备能量系统单独提出了要求,目的是为了对(b)款进行完善,防止由于主液压系统失效而使用储备能量系统时无法满足着陆距离和安全性的要求,方法是分别针对是否使用防滑系统情况下的储备能量系统能力提出了具体的要求。值得注意的是,AC 25.735-1 中专门指出,本款并不适用于那些提供了许多独立刹车系统,包括一个储能系统,但不依赖此储能系统的飞机。

本款的符合性方法建议为 MOC2/6,MOC6 为使用储备能量系统进行无防滑时的 6 次完整刹车动作,以及在可行的各种跑道上进行刹车防滑试验,MOC2 为在无法飞行试验的跑道(如冰跑道等)上,进行使用储备能量系统的刹车防滑的仿真分析计算,并通过 MOC6 的试验数据修正 MOC2 中仿真模型/计算方法的准确性。

1.8 25.735 刹车(i)

从表 1 中可以看出,R4 的(i)款为新增款,提出了运营和安全性角度的要求,目的是方便使用刹车前对热库的能力进行检查,防止飞机使用磨损过多的热库进行刹车,导致因无法吸收全部飞机能量而冲出跑道。

本款的符合性方法建议为 MOC1/7/9,MOC1 用于说明热库极限磨损指示的设置,MOC7 用于机上检查实际的磨损指示,MOC9 用于验证到达热库磨损指示前热库均能够吸收飞机的中止起飞和最严酷着陆停止的能量。

1.9 25.735 刹车(j)

从表 1 中可以看出,R4 的(j)款为新增款,同样是从运营和安全性角度提出要求,分别为过热和过压爆裂保护的要求,过热保护要求在机轮温度升高到不可接受的水平时,释放轮胎压力,防止轮胎爆破带来的安全性影响;过压爆裂保护用于当轮胎压力高得不可接受时,释放轮胎压力,防止轮胎爆破带来的安全性影响。

本款的符合性方法建议为 MOC1/7/9,MOC1 用于说明热熔塞和过压保护阀(或称为释压阀等)的设置,MOC7 用于机上检查实际的热熔塞和过压保护阀安装,MOC9 用于验证热熔塞和过压保护阀能够在对应的设计门限时释放轮胎压力。

1.10 25.735 刹车(k)

表 1 中可以看出,R4 的(k)款为新增款,从安全性角度提出了要求,目的是为了防正机轮和刹车组件在单个元件鉴定试验及试验室惯性台试验满足后,安装到飞机时与飞机其他系统/结构及自身控制系统不兼容,而导致出现不安全情况。

本款的符合性方法建议为 MOC1/4/6/9,MOC1 用于说明机轮和刹车组件的设计,MOC9 和 4 分别为机轮刹车结构的单独元件鉴定试验和组件的惯性台试验室试验,说明在试验室情况下满足飞机的定性和定量要求,MOC6 用于验证机轮和刹车组件在安装到飞机上后,可以正确地在飞机运行过程中使用。

2 结论

本文通过对 CCAR-25-R4 与 CCAR-25-R3 中的 735 条进行对比,分析了当前最新 R4 版与 R3 版的不同之处及更改原因,阐述了 R4 版 735 条的详细要求,并提供了刹车系统的适航思路及符合性方法建议。由于目前国内尚无民用飞机完整地走过整个 CCAR-25-R4 版的适航取证过程,因此笔者并不能保证以上分析的完全正确性,仅希望能够对当前在研民用飞机刹车系统适航验证工作提供参考。相信随着国内民机在 CCAR-25-R4 版的适航取证过程中不断前进,对于刹车系统 735 条的理解会逐渐加深,后续将会进一步提供更新的 CCAR 25.735 R4 的适航建议。

参考文献:

- [1] YOUNG D W. Aircraft Landing Gears—The Past, Present and Future[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D Transport Engineering, 1986: 75–92.
- [2] FAA. PART 25—Airworthiness Standards: Transport Category Airplanes[S]. Federal Aviation Administration, 2012: 161–166.
- [3] EASA. Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplanes Amendment 16[S]. European Aviation Safety Agency, 2015: 1-D-12—1-D-15.
- [4] 中国民航总局. 中国民用航空规章第 25 部——运输类飞机适航标准[CCAR-25-R3][S]. 2001:58–59.
- [5] 中国民航总局. 中国民用航空规章第 25 部——运输类飞机适航标准[CCAR-25-R4][S]. 2011:69–71.
- [6] FAA. Advisory Circular 25.735-1—Brakes and Braking Systems Certification Tests and Analysis[S]. Federal Aviation Administration, 2002:1-15.
- [7] FAA. Notice of Proposed Rulemaking No. 99–16—Revision of Braking Systems Airworthiness Standards to Harmonize with European Airworthiness Standards for Transport Category Airplanes[S]. Federal Aviation Administration, 1999:6–7.

作者简介

杨鹏 男,硕士,工程师。主要研究方向:民机刹车系统研发。Tel: 021–20864618;E-mail: yangpeng2@comac.cc