

从美国适航标准变化看航空轮胎技术的发展

盛保信

(青岛森麒麟轮胎有限公司, 山东 青岛 266229)

摘要:对 1961—2006 年间美国联邦航空局发布的 6 个版本适航标准进行技术分析,探寻民用航空轮胎技术的发展脉络。第 1 阶段的 3 个版本主要规定低速和高速着陆试验;第 2 阶段将高速着陆试验改为高速起飞和低速长距离滑行试验,并注重超负荷能力考核;第 3 阶段将子午线轮胎考核内容纳入指标。美国联邦适航标准的变化反映了航空轮胎从低速、低负荷、窄断面向高速、高负荷、低断面、子午线轮胎发展的趋势。

关键词:航空轮胎;适航标准;技术发展

中图分类号:TQ336.1;V226⁺.8 **文献标志码:**B **文章编号:**1000-890X(2012)08-0507-04

美国联邦航空局(Federal Aviation Administration,简称 FAA)的航空轮胎适航标准被公认为世界上最具有权威性的民用航空轮胎标准。2006 年 9 月 29 日 FAA 发布了新版(第 6 版)航空轮胎适航标准 TSOC62e《航空轮胎》。已经发布的 6 版标准整体框架并没有太大变化,从技术角度可以分为 3 个阶段。1961—1984 年期间执行的 TSOC62,TSOC62a 和 TSOC62b 为第 1 阶段,1984—2006 年期间执行的 TSOC62c 和 TSOC62d 为第 2 阶段,2006 年后执行的 TSOC62e 为第 3 阶段。每个阶段内标准技术水平相当,内容要求相似;不同阶段之间技术水平变化较大。

航空轮胎最重要的鉴定试验项目——动态模拟试验方法是衡量标准技术水平的最重要指标,也是 FAA 衡量航空轮胎合格与否最重要的依据。从最初模拟飞机低速着陆,到后来的高速着陆,再到高速起飞和长距离滑行,试验条件不断严格,轮胎性能也随之逐步提高。适航标准的发展是航空轮胎技术发展的缩影。

1 TSOC62,TSOC62a 和 TSOC62b 标准

前 3 版标准的动态模拟试验方法基本相同,分低速和高速轮胎试验方法。低速轮胎是指地面速度不大于 $257\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的轮胎,高速轮胎是指

地面速度大于 $257\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的轮胎。试验速度分级见表 1。

表 1 第 1 阶段标准动态模拟
试验速度

飞机最大地面速度(V_m)	动态模拟试验速度 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$
$257 < V_m \leq 289$	289
$289 < V_m \leq 321$	321
$321 < V_m \leq 361$	361

1.1 低速轮胎

试验负荷为轮胎的额定负荷,试验充气压力为额定充气压力,并用平板压力进行校正,每次试验开始时轮胎的胎体温度不低于 $71\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或胎内气体温度不低于 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。试验动能按下式计算:

$$E = CWv^2 \quad (1)$$

式中 E ——试验过程中轮胎吸收的飞轮动能, $\text{N}\cdot\text{m}$;

C ——常数,数值为 0.011 3;

W ——轮胎额定负荷,kg;

v ——轮胎速度, $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

共 200 次试验,分成 2 组。一组为 100 次低速着陆试验,速度由 $145\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 减速至零,吸收 56% 的总动能;另一组为 100 次高速着陆试验,速度由 $193\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 减至 $145\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$,吸收 44% 的总动能。

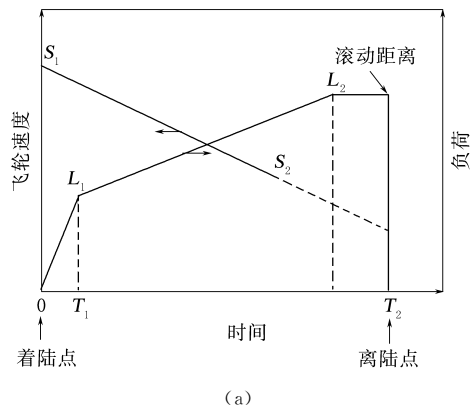
1.2 高速轮胎

高速轮胎试验包括 150 次着陆试验和 3 次滑行试验。

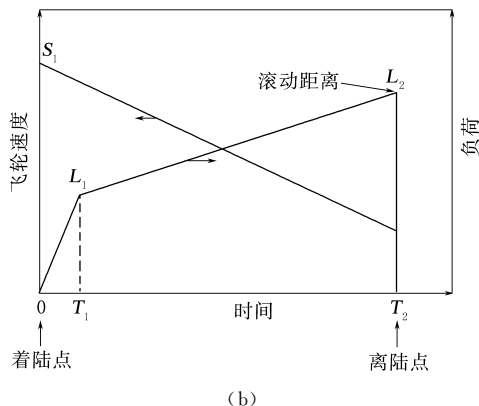
作者简介:盛保信(1962—),男,山东嘉祥人,青岛森麒麟轮胎有限公司教授级高级工程师,从事航空轮胎研究工作。

①150次着陆试验分成2组,其中一组50次着陆试验按图1(a)或(b)所示曲线进行;另一组100次着陆试验按上述低速轮胎试验速度由145 km·h⁻¹减至零、吸收56%总动能的方法进行。

②3次滑行试验的滑行速度为56 km·h⁻¹,试验负荷为轮胎的额定负荷,每次滑行距离为10 668 m。



(a)



(b)

T_1 —试验时间; T_2 —试验结束时间; S_1 —试验速度; S_2 —试验结束速度; L_1 —试验负荷; L_2 —试验结束负荷。

图1 第1阶段标准高速轮胎着陆试验速度-负荷-时间曲线

2 TSOC62c 和 TSOC62d 标准

TSOC62c 和 TSOC62d 标准是1984—2006年间执行的版本。这一时期是民用航空轮胎技术飞速发展的时期。动态模拟试验方法也分低速和高速轮胎两种,低速轮胎仍为着陆试验,但高速轮胎改成了起飞和滑行试验,航空轮胎的鉴定试验方法发生了根本改变。

2.1 低速轮胎

高速轮胎与低速轮胎的分界线降了一个速度

级别,由257 km·h⁻¹降到193 km·h⁻¹。

低速轮胎试验方法有两种,一种是可变质量飞轮试验方法A,另一种是固定质量飞轮试验方法B,两种方法可任选一种。

可变质量飞轮试验方法A包括低速着陆和高速着陆试验,与前3版标准方法基本相同。每次试验开始时的轮胎温度由不低于71℃调整为不低于41℃,降低了试验难度。

固定质量飞轮试验方法B是新增的试验方法。首先根据轮胎需要吸收的飞轮动能,按下式计算轮胎着陆滚动时间(T_C):

$$T_C = \frac{E_C}{\left[\frac{E_{W(UL)} - E_{W(LL)}}{T_{L(UL)} - T_{L(LL)}} \right] - \left[\frac{E_{W(UL)} - E_{W(LL)}}{T_{W(UL)} - T_{W(LL)}} \right]} \quad (2)$$

式中 E_C ——每次着陆轮胎应吸收的动能, N·m;

E_W ——给定速度下的飞轮动能, N·m;

T_L ——在轮胎额定负荷下飞轮速度衰减的时间, s;

T_W ——无轮胎额定负荷作用时飞轮速度衰减的时间, s;

UL——速度上限;

LL——速度下限。

100次低速着陆必须在 T_C 时间内速度由145 km·h⁻¹减至零,另外的100次高速着陆必须在 T_C 时间内速度由193 km·h⁻¹减至145 km·h⁻¹。着陆速度由145 km·h⁻¹减至零时,公式(2)可简化如下:

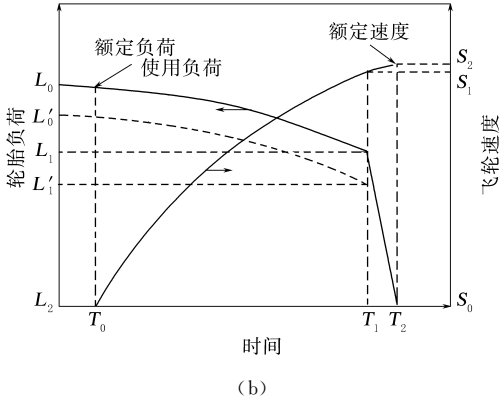
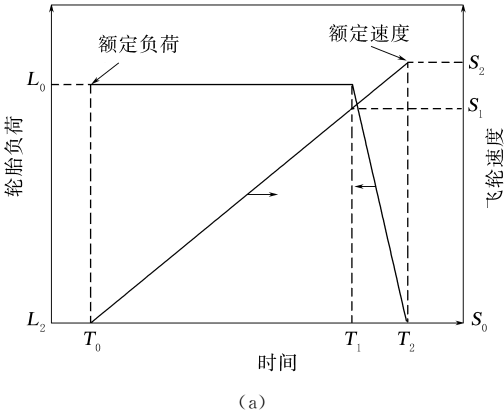
$$T_C = \frac{E_C}{\frac{E_{W(UL)}}{T_{L(UL)}} - \frac{E_{W(UL)}}{T_{W(UL)}}} \quad (3)$$

2.2 高速轮胎

高速轮胎试验由着陆试验改成了起飞和滑行试验,共61次。重点考核轮胎的高速起飞性能、低速耐疲劳性能及超载性能,符合当时航空轮胎高速、高负荷的技术潮流。与前3版相比,主要有如下变化。

①取消了150次着陆试验。

②增加了50次正常起飞试验和1次1.5倍超负荷起飞试验,起飞试验的负荷-速度-时间曲线如图2所示。



T_0 —试验开始时间; S_0 —试验起始速度; L_0 —试验起始负荷;
 L_0' —使用起始负荷; L_1' —使用负荷。

图 2 第 2 阶段标准高速轮胎着陆试验
负荷-速度-时间曲线

图 2(a)所示为最苛刻的试验条件,适用于所有高速轮胎;当飞机设计单位给出特定试验条件时,可以选用图 2(b)所示曲线。

③3 次正常负荷滑行改由 8 次正常滑行和 2 次 1.2 倍超负荷滑行试验代替;滑行速度由 56 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 提高至 64 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$,每次滑行距离仍为 10 668 m,试验条件见表 2。

表 2 第 2 阶段标准高速轮胎滑行试验条件			
试验次数	最小负荷	最小滑行速度/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	最小滑行 距离/m
8	额定负荷	64	10 668
2	1.2 倍额定负荷	64	10 668

④试验速度分级与前 3 版不同。一是最低级别由 257 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 改为 193 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$,二是级差进行了调整,三是增加了 377 和 394 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 两个高速度级别,对于速度级别 394 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 以上的轮胎,试验速度按最大速度进行,具体分级见表 3。

表 3 第 2 阶段标准高速轮胎		
试验速度		$\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$
V_m	轮胎额定速度	动态模拟试验速度
$193 < V_m \leq 257$	257	257
$257 < V_m \leq 305$	305	305
$305 < V_m \leq 337$	337	337
$337 < V_m \leq 361$	361	361
$361 < V_m \leq 369$	369	369
$369 < V_m \leq 394$	394	394

3 TSOC62e 标准

TSOC62e 标准与之前各版本标准相比内容有了全新的变化,航空子午线轮胎的内容首次进入标准。另外,动态模拟试验取消了低速着陆,全部改用起飞和滑行试验。

3.1 有关航空子午线轮胎的内容

①子午线轮胎是指胎体帘线由一个胎圈延伸到另一个胎圈,胎体帘线与胎面中心线之间的角度接近 90° ,同时胎体由基本不伸张的周向带束层箍紧的充气轮胎。

②子午线轮胎的充气尺寸是指 50 次起飞试验后在额定充气压力下的胀大尺寸。

③子午线轮胎静负荷半径是指 50 次起飞试验后在额定充气压力和额定负荷下静负荷半径的实际值。

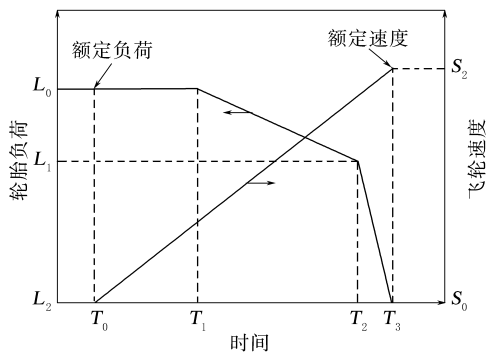
3.2 动态模拟试验方法的主要变化

①试验速度分级与之前版本稍有不同,从零开始,飞机最大地面速度为 0~193 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时的轮胎额定速度和动态模拟试验速度均为 193 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

②所有轮胎均采用起飞和滑行试验,257 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 及以下速度级的低速轮胎着陆试验方法由之前版本的规定方法改成了可选用的替代方法。着陆试验方法退居为辅助方法,彻底改变了以往低速轮胎的鉴定方法。

③增加了 193 和 257 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 两档低速轮胎的起飞试验方法,如图 3 所示。

④与起飞试验方法类似,滑行试验也增加了 193 和 257 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 两档低速轮胎的要求,方法与高速轮胎相同,但滑行距离为 7 620 m,高速轮胎滑行距离为 10 668 m,见表 4。



$L_1 = 0.65L_0$, T_1 为 20 s, T_3 为滚动距离为

1 981 m 时的时间, $T_3 - T_2 = 3$ s。

图3 第3阶段标准 193 和 257 km·h⁻¹ 轮胎动态模拟试验负荷-速度-时间曲线

表4 第3阶段标准滑行试验条件

试验次数	最小负荷/kg	最小滑行速度/(km·h ⁻¹)	最小滑行距离/m	
			a	b
8	额定负荷	64	7 620	10 668
2	1.2 倍额定负荷	64	7 620	10 668

注: a—额定速度为 193~257 km·h⁻¹; b—额定速度大于 257 km·h⁻¹。

3.3 静不平衡力矩指标大小规格分开

将辅助轮轮胎(不包括尾轮轮胎)和主轮轮胎及 1 168 mm 以上大规格轮胎的静不平衡力矩指标区别对待。

①辅助轮轮胎(不包括尾轮轮胎)的静不平衡力矩(M)应不大于以下计算值:

$$M = 0.025D^2 \quad (4)$$

式中, D 为新轮胎最大充气外直径。

②所有主轮轮胎及外直径不小于 1 168 mm 的轮胎, 其静不平衡力矩应不大于以下计算值:

$$M = 0.035D^2 \quad (5)$$

之前版本的标准对所有规格轮胎的静不平衡力矩均按公式(4)计算, 对大规格轮胎而言, 要求太过严格。

4 由适航标准看航空轮胎技术发展

通过以上分析可以看出, 20 世纪 60 年代美国的适航标准尚处于不断完善阶段, 标准体系和

试验方法也不够成熟。这一时期的航空轮胎主要是窄断面轮胎, 速度低、负荷小, 动态模拟试验也是低速着陆, 滑行试验只有 3 次低速滑行, 没有超负荷试验。

从 20 世纪 70 年代后期起, 随着轮胎新型高性能原材料的出现和飞机设计制造技术的高速发展, 航空轮胎设计制造水平也有了长足进步。这一时期的航空轮胎已由原来的窄断面、大高宽比发展成低断面、小高宽比的高速、高负荷、超高压轮胎, TSOC62c 和 TSOC62d 适航标准也是为了适应这一变化, 将高速轮胎的鉴定试验由原来的着陆试验改成了更加苛刻的高速起飞和低速长距离滑行试验, 并开始注重轮胎的超负荷能力考核。

20 世纪 80 年代后, 航空轮胎技术进入子午化时代, 特别是法国米其林公司一马当先, 于 2000 年年底为法国航空公司协和号飞机复出开发成功 NZG(Near Zero Growth)子午线轮胎后, 业界对航空子午线轮胎的技术优势有了更深了解, 促使子午线轮胎自 2001 年开始进入前所未有的快速发展阶段。目前, 航空子午线轮胎已经成为新型民航飞机的标准配置, 美国适航标准也顺应技术潮流, 将子午线轮胎技术纳入标准。

对航空轮胎而言, 最苛刻的使用条件是满载的起飞阶段, 而不是减载后的着陆阶段。高速起飞对轮胎综合性能考核的重要性以及低速、长距离热滑行对胎圈耐疲劳性能考核的重要性日益显现。这一时期的 TSOC62e 适航标准也不失时机地反映了这些新成果, 将所有轮胎的鉴定试验都改成了起飞和滑行试验, 取消了着陆试验。

综上所述, 从第 1 阶段到第 3 阶段, 时间跨度长达 50 年, 航空轮胎从初期的低充气压力、低速轮胎, 到后来的超低断面、高充气压力轮胎, 再到子午线轮胎, 适航标准的变化反映了航空轮胎的技术演变过程。通过美国适航标准的演变可以清晰地看出美国航空轮胎技术的发展轨迹和趋势, 由此也可以了解世界航空轮胎技术的发展脉络。

收稿日期: 2012-02-19