

航空轮胎的发展概况（一）

李汉堂

（曙光橡胶工业研究设计院，广西 桂林 541004）

摘要：介绍航空斜交轮胎和航空子午线轮胎的发展概况。航空斜交轮胎技术的主要发展方向：降低断面高度，优化胎面形状和花纹结构，采用胎面增强结构，提高胎体强度。航空子午线轮胎普遍采用尼龙帘线作骨架材料，芳纶帘线是理想的骨架材料，聚酯帘线和复合帘线发展前景良好。航空子午线轮胎胎面、带束层、胎体、胎侧和胎圈结构必须不断优化，以适应高性能飞机的发展。

关键词：航空斜交轮胎；航空子午线轮胎；骨架材料；胎面；胎体；带束层

普通轮胎通常在一定负荷下连续行驶，航空轮胎在飞机起飞和着陆时滑跑，飞机每次起飞和着陆滑跑时间很短，航空轮胎必须在瞬间发挥其性能。航空轮胎的作用是支承飞机质量，减缓飞机着陆时巨大的冲击力，吸收飞机减速时的能量，使飞机具有适当的滑跑滚动阻力。

从20世纪30年代起，飞机经历了活塞式、涡轮螺旋桨式到喷气式的发展过程，1975年进入喷气式飞机时代。随着飞机飞行速度和起飞质量提高，其地面滑跑速度（即航空轮胎的滑跑速度）相应提高。据报道，在20世纪30—50年代，飞机的起飞质量以每10年70 t的速度递增；自50年代后期起，飞机起飞质量呈指数增长。至70年代，宽机身大型喷气式飞机的总质量达到320~330 t，波音747飞机的总质量达到372 t。

高性能飞机对航空轮胎提出了更苛刻的高速、高载荷和耐高温要求。航空轮胎作为飞机起落架的重要部件，自问世之日起就与飞机相互依存。飞机的发展促使航空轮胎发展及性能提高。

1 航空斜交轮胎发展

1903年莱特兄弟制造第1架飞机时轮胎并不是飞机的设计部件。1906年10月阿尔伯特·山度士·杜蒙（Alberto Santos·Dumont）在欧洲制造了第1架带机轮起落架的飞机。美国固特异公司于1909年生产出第1条航空轮胎。

1983年以前的航空轮胎为斜交轮胎。航空斜

交轮胎有3种：①低压轮胎；②超高压轮胎；③超高压低断面轮胎。老式飞机起落架没有缓冲装置时，为了减缓冲击，采用外径和宽度大、内压为294~784 Pa的低压轮胎。目前，在轻型飞机、直升飞机和在低强度跑道上起飞和着陆的飞机仍然使用这种轮胎。不收存的起落架（如直升飞机起落架）曾使用断面形状近似三角形的无花纹弧形胎面轮胎，但现在已不生产这种轮胎。初期的航空轮胎载荷小且速度低，所以尺寸很小，最小规格的轮胎外径仅为19 cm。大型喷气式飞机机体大，轮胎的外径为1~1.35 m，单胎质量为55~160 kg。超高压航空轮胎主要用于喷气式飞机，断面高宽比[断面高（H）/断面宽（B）]为0.80~0.92。随着大型喷气式飞机性能的改善，为提高其地面最高行驶速度，研制成功了超高压低断面航空轮胎。超高压低断面航空轮胎具有代表性的H/B为0.71~0.81。一般情况下，轮胎的H/B越小（越扁平），高速性能越好。这种轮胎通过与窄轮辋（轮胎宽度与轮辋宽度比为0.60~0.70）配合可实现轮胎/轮辋组件轻量化。

1.1 特点

通过国外大型高速飞机及其轮胎的特点可以充分说明当时航空斜交轮胎的技术水平。

（1）F-4鬼怪式飞机

飞机最大起飞质量28.3 t（设计起飞质量26.3 t），最大着陆质量20.8 t，起飞滑跑距离985 m（B型）~1338 m（E型），着陆滑跑距

离1070 m (B型) ~ 1152 m (E型)。轮胎规格30 × 11.5—14.5, 额定层级24 ~ 26 (随型号不同而异), 最高速度395 km · h⁻¹, 负荷气压1.76 MPa。

(2) B-52远程轰炸机

飞机最大起飞质量204.1 t (D型) 或221.3 t (G和H型), 起飞滑跑距离3050 m (G型) 或2900 m (H型)。轮胎规格56 × 16, 额定层级38, 最高速度400 km · h⁻¹, 负荷气压2.26 MPa。

(3) F-104A飞机

飞机最大起飞质量21.3 t, 起飞滑跑距离1260 m, 着陆滑跑距离1500 m。轮胎规格32 × 8.2, 额定层级24, 最高速度440 km · h⁻¹, 负荷气压2.40 MPa。

(4) F-104飞机

飞机最大起飞质量12.4 t (J型) 或14 t (S型), 起飞滑跑距离1800 m, 着陆滑跑距离885 m。轮胎规格25 × 6.75, 额定层级18, 最高速度440 km · h⁻¹, 负荷气压2.15 MPa。

(5) DC-10飞机

飞机最大起飞质量206.4 t (10系列) 或259.5 t (40系列), 起飞速度335 km · h⁻¹ (10系列) 或330 km · h⁻¹ (40系列), 着陆滑跑速度252 km · h⁻¹ (10系列) 或265.5 km · h⁻¹ (40系列)。轮胎规格52 × 20.5—23, 额定层级28, 额定速度376 km · h⁻¹, 质量138 kg, 充气压力1.24 MPa, 载荷26.98 t。

(6) 波音707飞机

飞机最大起飞质量151.3 t, 最大着陆质量112 t, 着陆滑跑距离785 m。轮胎规格46 × 16, 额定层级28, 额定速度360 km · h⁻¹。

(7) 波音747飞机

飞机最大起飞质量235.8 t (SR型) 或372 t (200B和200C型), 最大着陆质量255.8 t (100B型) 或285.8 t (200B), 起飞速度215 km · h⁻¹, 着陆滑跑速度130 km · h⁻¹。轮胎规格49 × 17 (以B型飞机为例, 共18条轮胎, 前轮胎2条), 额定层级30, 额定速度360 km · h⁻¹。

(8) 协和式飞机

飞机最大起飞质量185 t, 最大着陆质量111.1 t, 起飞速度635 km · h⁻¹, 着陆速度480 km · h⁻¹。主轮胎规格47 × 15.75—22 (共8条),

额定层级26, 额定速度400 km · h⁻¹; 前轮胎规格31 × 10.75—14, 额定层级20。

1.2 结构设计

合理的结构设计是提高航空轮胎性能和延长使用寿命极为有效的手段。在航空轮胎设计中, 外轮廓、胎面和胎体等的优化设计十分重要。

1.2.1 外轮廓

航空轮胎的外轮廓优化设计旨在减小轮胎外缘尺寸及断面高度。

(1) 外缘尺寸

在胎圈着合直径不变的情况下减小外直径是航空轮胎外形设计的发展趋势, 也是飞机速度和负荷不断提高、机翼日渐减薄和轮胎尺寸减小的必然结果。随着外缘尺寸减小, 轮胎质量减小, 其所需的轮舱容积也相应减小, 这不但方便了飞机设计, 提高了轮胎的有效载荷和高速性能, 而且提高了轮胎的临界速度和负荷能力。

(2) 断面高度

轮胎断面高度减小是为适应外缘尺寸减小的需要, 轮胎H减小和B增大使断面轮廓呈扁平状。轮胎滑跑速度提高, H/B减小。H/B值小有利于胎侧上部帘线呈周向排列, 减小轮胎的周向帘线角度, 提高胎侧的刚性和稳定性, 减小轮胎变形及生热, 提高轮胎的临界速度和负荷能力, 延长使用寿命, 但会增大胎肩部位的胎体剪切应力 and B膨胀率(径向)。

总体上看, 航空轮胎的H/B值日趋减小。航空轮胎的H/B值已从闪电式飞机主轮胎的1减至鬼怪式飞机主轮胎的0.65, 后者的B值为前者的2倍, 胎面使用寿命延长了4倍。H/B值为1的航空轮胎属于低速轮胎(起飞速度在160 km · h⁻¹以下)。高速航空轮胎的H/B值为0.7 ~ 0.9, H/B值为0.7的低断面高速轮胎最流行, 目前已有H/B值为0.65的航空轮胎。航空轮胎滑跑速度与H/B值的关系如表1所示。

表1 滑跑速度与H/B值的关系

滑跑速度/ (km · h ⁻¹)	H/B	滑跑速度/ (km · h ⁻¹)	H/B
256	1.00	360	0.77
304	0.87	376	0.72
336	0.82		

1.2.2 胎面结构

航空轮胎胎面结构的优化设计主要在于胎面形状和胎面花纹等的改进。

(1) 胎面形状

基于高速滑跑的轮胎要产生巨大的离心力(如以 $360\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 滑跑的波音747飞机轮胎,其胎面要受到 19.6 N 的离心力作用),导致胎面产生径向膨胀,从而减小了胎面曲率半径(R)和轮胎接地面积,使胎面应力集中,磨损加剧。因此,采用较大的 R 值来使胎面变得较为扁平是航空轮胎胎面设计的发展趋势。采用较大的 R 值可以延长20%的轮胎使用寿命。但较大的 R 值会增大胎肩部位厚度和生热,因此 R 值较大的轮胎只适用于低速滑跑的飞机,高速滑跑的飞机几乎不可取。不过,采用胎面外轮廓曲线不连续的设计法可解决胎肩部位生热大的问题。总的来说,胎面趋于扁平化是现代航空轮胎设计的一大特点,也是一个正确的发展方向。

(2) 胎面花纹

随着飞机滑跑速度、负荷、气压和制动力增大,航空轮胎胎面必须具有足够的强度和抗变形性能、耐热性能,良好的耐磨性能、散热性能、排水性能和制动性能。目前,航空轮胎胎面花纹一般都采用周向条状花纹,并增大花纹条宽度、花纹沟宽度、花纹沟底部半径和花纹沟角度,以加速空气流动,有利于胎面降温,消除轮胎局部过热,提高轮胎排水性能,加大轮胎湿路面抓着力,减少花纹基部的应力集中、裂口、崩花掉块等问题,提高轮胎耐磨性能。

(3) 胎面增强结构

对滑跑速度在 $160\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 以上,特别是 $320\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 以上的航空轮胎来说,由于高速离心力会使胎面掉块或与胎体剥离,因此用织物增强胎面很有必要,这样除可减少或防止上述损坏外,还能提高轮胎刚性和抗切割性能,推迟驻波产生。

所谓胎面增强,就是把2层或多层(一般为偶数层)帘布放置于胎面胶内。增强帘布层数不宜过大,否则会增大胎面质量及其离心力。胎面增强帘布层一般为2~4层,个别为6层。胎面增强帘布层的放置位置视轮胎速度而异。对速度为 $320\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的中速轮胎,增强帘布层应置于下胎

面(花纹沟底部与胎体之间);对于高速轮胎,增强帘布层应置于上胎面(靠近花纹沟底部),以应对巨大的离心力。胎面增强帘布层一般以 $0\sim 20^\circ$ 的帘线角度交叠。这种帘线角度较小的帘布层周向伸长率小,可给胎面较大的约束力。增强帘布层帘线交叠角度从内向外逐渐增大(各层角度一般相差 5°),目的是使其伸长率从内向外逐渐增大。伸长率大的外帘布层吸收由离心力产生的膨胀力,将胎面剥离力减至最小。

1.2.3 胎体

为提高胎体强度以及轮胎的载荷和速度,可采取以下胎体结构优化设计方法。

(1) 采用大的胎体帘线角度,以提高轮胎的临界速度。胎体结构的变化主要在于帘线角度变化,胎体帘线角度对轮胎性能影响很大。胎体帘线接近于周向排列,可有效抑制轮胎径向膨胀,延迟驻波产生,提高轮胎的临界速度。胎体帘线角度每减小 10° ,可提高轮胎临界速度20%~25%,还可减少能量的吸收。当帘线角度从 31° 减至 25° 时,吸收的能量可从 $9.56\text{ kJ}\cdot\text{s}^{-1}$ 降至 $6.62\text{ kJ}\cdot\text{s}^{-1}$,这可降低轮胎生热。现代航空轮胎胎体帘线角度通常为 $30\sim 60^\circ$ 。对于速度为 $320\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的航空轮胎,常采用 34° 的胎体帘线角度,这样的轮胎胎面稳定性能和耐磨耗性能好。

(2) 增加胎体帘布层和提高轮胎内压,以提高轮胎载荷和安全性能。在现代航空轮胎设计中,不以增大轮胎尺寸来适应飞机负荷日益提高的要求。当前多采用增加胎体帘布层和提高轮胎内压来提高轮胎的载荷能力。目前胎体帘布层已从早年的16~22层级增至现在的26~32层级;轮胎内压也从20世纪30年代的 0.49 MPa 左右增至70年代的 1.37 MPa ,舰载飞机轮胎气压高达 2.45 MPa 。

通过采用以上胎体结构优化设计方法,航空斜交轮胎具有以下性能特点:①载荷能力强;②有效传递飞机控制力;③飞机着陆过载和起飞滑跑时对瞬时负荷的吸收能力强;④可承受起飞时高速滑跑产生的离心力;⑤胎体强度高和胎面使用寿命长;⑥适应地面和飞行条件(在预定区域内);⑦质量小。

目前航空斜交轮胎单胎最大载荷已达 56 t ,最大地面滑跑速度已达 $440\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。(未完待续)

Overview of Aviation Tire Development (I)

Li Hantang

(Shuguang Rubber Industry Research & Design Institute, Guilin 541004, China)

Abstract: This paper is intended to provide an overview of the development of aviation bias tires and radial tires. Focus areas of the aviation bias tire technology are to lower section height, optimize tread shape and pattern structure, use tread reinforcement structure and improve carcass strength. For the reinforcement material of aviation radial tires, Kevlar cord is an ideal material, but currently nylon cord is widely used, and polyketone cord and composite cord are having good prospects. The tire tread, belt layers, carcass, sidewall and bead structure of the aviation radial tire are continuously optimized in order to meet the needs of high performance aircraft.

Keywords: aviation bias tire; aviation radial tire; reinforcement material; tread; carcass; belt

信息·资讯

我国新增轮胎出口贸易摩擦

2012年我国新增多起轮胎出口贸易摩擦。2012年3月,墨西哥部分企业提交申请,要求对山东省出口该国的轮胎企业进行反倾销调查;6月,哥伦比亚正式对原产自中国的卡客车轮胎

进行反倾销立案调查;7月,泰国决定对原产于中国的摩托车内胎征收为期4个月的反倾销税;8月,巴西决定对原产于中国的机动小客车轮胎展开反倾销复审调查。

周永源

2013年我国天然橡胶进口关税下调

日前,国务院关税税则委员会发布《关于2013年关税实施方案的通知》。自2013年1月1日起,包括天然橡胶在内的部分商品进出口关税将进行调整。

国务院关税税则委员会税委会[2012]22号文件附表4《进口商品暂定税率表》显示,税则号40011000的天然胶乳2013年暂定税率为10%或

每吨720元,两者从低,与2012年相同;税则号40012100的烟胶片暂定税率为20%或每吨1200元,两者从低,比2012年每吨1600元降低400元;税则号40012200的技术分类天然橡胶暂定税率为20%或每吨1200元,两者从低,比2012年每吨2000元降低800元。

程 絮