

航空轮胎的发展概况(二)

李汉堂

(曙光橡胶工业研究设计院, 广西 桂林 541004)

(续上期)

2 航空子午线轮胎的发展

1983年5月米其林和固特异在巴黎航空博览会上推出航空子午线轮胎,正式宣告了航空子午线轮胎问世。此后,世界各大轮胎公司纷纷投入巨资进行航空子午线轮胎的研发,特别是对航空子午线轮胎的结构设计和材料应用进行深入探讨,使航空子午线轮胎得到不断改进和发展。

2.1 骨架材料应用

为满足高性能飞机日益提高的要求,使航空轮胎能适应飞机发展的需要,必须注重航空子午线轮胎骨架材料的研究。

2.1.1 尼龙帘线

尼龙帘线具有优良的强度性能、韧性和耐疲劳性能,且与橡胶粘合良好,价格也较便宜,在橡胶工业应用广泛,自20世纪50年代中期就替代人造丝帘线而成为轮胎的主要骨架材料之一。

尼龙帘线在航空轮胎中的应用始于1947年。1961年美国所有的航空轮胎均使用尼龙帘线。我国航空轮胎从1957年起使用尼龙帘线,其主要用作胎体帘线,也用作胎面增强帘线或带束层帘线。它的使用大大提高了航空轮胎胎体强度和抗冲击性能,减小了轮胎质量和降低了生热,提高了轮胎的耐久性能和胎面模量,减少了胎面因离心力而产生的剥离。在当今技术水平上尼龙帘线是航空轮胎最佳的骨架材料。

然而,尼龙帘线的耐热性较差,在177℃时其强度以恒定速度降至50%,当温度超过200℃时熔化。在115℃时,尼龙帘线与橡胶的粘合强度保持率只有70%。再则,尼龙帘线的热稳定性较差,在高温下收缩,较长时间后又伸长。为提高尼龙帘线的耐热性能和尺寸稳定性能,多年来对尼龙帘线不断进行改性。

日本专利提出了一种提高尼龙帘线耐热性能的方法。这种方法是使尼龙(聚酰胺)表面附着噻嗪或咪嗪等有机还原剂,从而改善尼龙的耐热性。以尼龙6帘线为例,在纺纱前的纤维聚合物中添加抗氧化剂,结果与未改性尼龙6纤维相比,改性尼龙6纤维在干热180℃下加热20h后,其强力保持率从60%上升到90%,与橡胶的粘合强度及与橡胶粘合硫化后强力均未变化。

日本专利发明了聚己二酰丁二胺(尼龙46)纤维,这种纤维具有熔点高(比普通尼龙纤维高约290%)、热收缩率比尼龙6纤维和尼龙66纤维小以及模量高的特点,其帘线与尼龙6和尼龙66帘线不同,不会因高温而熔化,耐久性能好。这种帘线适合用作航空轮胎等高载荷充气轮胎骨架材料。

杜邦公司研制出一种商品名为HYTEN的高强度尼龙纤维,这种纤维是断面呈扁状的单丝,单丝强度分别比聚酯和普通尼龙纤维高38%和10%。该尼龙帘线可用作胎侧骨架材料,并可代替普通捻合轮胎帘线使用。该尼龙帘线用于子午线轮胎胎体,可使轮胎具有良好的耐久性能和低生热性,且可减小轮胎质量。目前世界上许多大型轮胎企业已试用这种帘线,该尼龙帘线可望投用于某些高性能轮胎。固特异将大直径的HYTEN高强度帘线用于缓冲层和胎体帘布层试制了航空斜交轮胎。用这种帘线制造的航空轮胎可节约约17%的帘线和约45%的橡胶,且可稳定轮胎结构,减少轮胎产生的驻波和帘布层剪切变形,降低轮胎生热。

为了减小航空轮胎质量,提高航空轮胎尺寸稳定性和耐久性能等,目前已研制出原纱强度为124 cN·tex⁻¹以上、断裂伸长率为14.1%以下的高强力、低伸长率尼龙66纤维。据日本专利介绍,通过采用1260dtex/2/2高强力尼龙66帘线作航空轮胎胎体帘线,可以大幅度提高轮胎胎圈外侧胎体附近的抗剥离性能,同时可解决超负荷时外侧胎体的耐

疲劳性能问题, 轮胎胎圈耐久性能优异, 安全性能好。目前, 航空子午线轮胎多采用高强度、低伸长率的尼龙66帘线作为骨架材料。

2.1.2 芳纶帘线

芳纶纤维是芳族聚酰胺纤维的通称。芳族聚酰胺纤维最初的商品名为B纤维, 后改名为凯夫拉(Kevlar)纤维, 1974年由美国联邦公平交易委员会正式取名为芳族聚酰胺纤维。芳纶纤维主要为聚对苯二甲酰对苯二胺(PPTA)纤维(芳纶1414纤维)和聚间苯二甲酰间苯二胺(PMIA)纤维(芳纶1313纤维)。芳纶纤维具有很高的热稳定性, 不溶解, 不燃烧, 400~430℃下才发生氧化降解, 熔点高(500℃), 模量高, 强度大(高温下强度也大)。现有芳纶纤维的最高强度达235 cN·tex⁻¹。在直径相同的条件下, 芳纶帘线的断裂强度为钢丝的5倍, 而相对密度只有钢丝的1/5。芳纶帘线具有优异的耐寒性能和耐热性能, 使用温度范围为-251~+204℃。目前已有许多专利介绍采用芳纶帘线作为航空子午线轮胎带束层和胎体帘线。用芳纶帘线制造的航空子午线轮胎操纵稳定性和高速耐久性能比用钢丝帘线制造的航空子午线轮胎好, 且质量小。

虽然芳纶帘线具有其他帘线无可比拟的优点, 但它的致命缺点是抗压缩疲劳性能和粘合性能差。芳纶帘线作带束层和胎体帘线时易断裂, 易导致轮胎爆裂; 对在高速、高内压下使用的航空子午线轮胎来说, 由于其钢丝圈包边的胎体帘布端部与带束层帘布端粘合性能差, 易导致帘布层剥离, 使轮胎使用寿命大大缩短。

为了提高芳纶帘线的抗压缩疲劳性能和粘合性能, 过去采用RFL(间苯二酚-甲醛-胶乳)浸渍液对其进行处理, 或先用其他试剂处理, 然后用RFL浸渍液处理。但这些方法均未能获得理想的效果。

最近, 日本专利提出芳纶帘线先用环氧化合物进行表面处理, 然后用RFL浸渍液处理, 可获得理想的粘合性能。

另外, 普利司通还研制出2种芳纶帘线的一次处理液。一种处理液由胶乳(a组分)、环氧化合物或/和嵌段异氰酸酯(b组分)、间苯二酚甲醛树脂或/和橡胶硫化剂和促进剂(c组分)组成, 即先将a, b和c按质量比100:(1~30):(1~30)混

合, 再将混合物配成水溶液或水分散液; 另一种处理液由橡胶或改性橡胶(A组分)、异氰酸酯或/和间苯二酚甲醛树脂或/和二马来酰亚胺三嗪和环氧树脂(B组分)组成, 即先将A和B按质量比100:(1~30)混合, 再将混合物配成(有机溶剂)溶液。

用上述2种处理液浸渍芳纶帘线, 使帘线纤维间空隙率在50%以下(用显微镜观察), 帘线可获得良好的粘合性能, 而且帘线不需要热处理, 可以节省能源。用这2种一次处理液浸渍帘线制造的航空子午线轮胎的耐久性能大大优于用普通二次浸渍液浸渍帘线制造的航空子午线轮胎。

2000年7月协和飞机发生坠毁事件后, 协和飞机制造商EADS公司(European Aeronautic Defense and Space Co.)与米其林接洽, 以寻找抗外物损伤的新型航空轮胎。14个月后, 协和飞机换上了米其林的NZG(接近零膨胀率)子午线轮胎。NZG子午线轮胎用芳纶作骨架材料, 辅以改进骨架层结构, 使轮胎膨胀率只有3%, 质量比同规格斜交轮胎减小20%; 轮胎爆破后形成的碎块体积较小, 平均质量不到0.45 kg; 抗外物损伤性能好。在承受协和飞机工作负荷(近23 t)的条件下, NZG子午线轮胎和斜交轮胎分别以低速(20 km·h⁻¹)和高速(324和382 km·h⁻¹)碾过30 cm长的锐利钢刃, NZG子午线轮胎无漏气和掉屑, 而斜交轮胎爆破。碾过钢刃的NZG子午线轮胎接着进行3次滑跑-起飞-着陆-滑跑试验, 结果顺利通过。目前米其林正在扩展NZG子午线轮胎产品系列, 已生产出适合喷气式飞机的大、小规格NZG子午线轮胎。NZG子午线轮胎已广泛用于空中客车A340-500/600和A380等10多种飞机, 得到空客、达索和巴西航空等多家飞机制造公司的装机认证。

固特异宣布已生产出用芳纶帘线代替尼龙帘线作骨架材料的航空子午线轮胎。用芳纶帘线代替尼龙帘线作骨架材料的航空子午线轮胎起落次数增长20%, 固特异希望该轮胎作空中客车A340等大型客机的配套轮胎。

2.1.3 聚酮帘线

脂肪族聚酮是一种新型的半结晶热塑性工程塑料, 1995年由壳牌化学制品公司以商标为Carilon(卡内纶)的聚合物推出。这种新型高性能

聚合物作为一种成功的商品已引起全球热塑性工程塑料市场的变革,成为聚酰胺、聚酯、聚缩醛和聚碳酸酯的主要竞争产品。

Carilon聚合物是由一氧化碳和 α -烯烃(如乙烯和丙烯)用一步法催化工艺制造的,具有高熔点、半结晶和完整交替链结构的特点。聚酮的线性完整交替链结构使其具有独特的性能,用于制造纤维时,纤维具有非常高的强度;与用其它材料制造的半结晶热塑性工程塑料相比,聚酮具有很好的抗冲击性能、耐化学介质性能以及良好的耐水解性能,摩擦性能和耐磨性能极好,使用温度范围较宽。

理论上,纤维强度为聚合物大分子沿纤维轴完全伸展排成一条直线时的强度,纤维的伸长率不仅取决于聚合物的相对分子质量、链段柔性和分子取向度,而且与分子间的相互作用有关。脂肪族聚酮的最大拉伸比可达到26。溶液纺丝(湿法纺丝)生产的聚酮纤维拉伸比与纺丝技术可达到的最大取向度有关。聚酮纤维与其它纤维的最大拉伸比如表2所示。可以看出,与尼龙纤维和聚酯纤维相比,聚酮纤维易拉伸,易获得高取向分子内在结构。由于分子中含有羰基,聚酮分子间的作用力大于烯烃。

尽管聚酮可以通过溶液纺丝制造纤维,且效果良好,然而聚酮制造纤维最可行和经济的方法是熔纺丝法。该法是由含摩尔分数6%的丙烯、熔点为220℃的聚酮混合物在高达260℃的温度和不过度停留的情况下熔纺成单丝和复丝。熔纺的聚酮纤维可以高倍率拉伸,以获得高取向、高强力。当拉伸率为12:1时,纤维可获得很高的刚性。当拉伸率为10:1时,应变为1%的纤维强度为11 cN·dtex⁻¹,模量为92.4 cN·dtex⁻¹;应变为4%的纤维模量为131.1 cN·dtex⁻¹,断裂伸长率为10%。聚酮纤维具有良好的力学性能,是轮胎、高压软管和胶带等橡胶制品应用前景良好的骨架材料。

日本旭化成公司采用自主技术和专利,成功制

造了聚酮和聚酮超纤维。2006年1月在延岗建成的年产能20 t的试验厂所生产的聚酮超纤维提供给用户试用,目标产品主要是高级轮胎帘线。用聚酮帘线生产轮胎,可实现轮胎的轻量化。旭化成公司生产的聚酮纤维密度为1.3 g·cm⁻³,抗拉强度为128 cN·dtex⁻¹,断裂伸长率为3%,含湿率为0.6%,与树脂和橡胶的粘合性能好,熔点与聚酯纤维相近,为272℃。聚酮帘线在轮胎中的应用试验已取得良好的效果。聚酮与芳纶和尼龙帘线的性能对比见表3。

随着航空运输业的不断发展,对航空轮胎的行驶速度、行驶安全性能、操纵稳定性能、乘坐舒适性能和节能经济性能等要求不断提高。采用聚酮帘线作骨架材料可大幅度提高航空子午线轮胎的性能。

2.1.3.1 胎体帘线

航空子午线轮胎承载的负荷很大,在使用状态下屈挠力非常大,必须采用抗反复变形的胎体骨架材料和结构。

在普通技术中,通常是采用耐疲劳性能和耐热收缩性能优异的尼龙帘线等脂肪族纤维帘线作为胎体帘线,此外还可采用具有高断裂强度的芳纶帘线用作胎体帘线。尼龙帘线的断裂强度较小,当其用作胎体帘线时,需要采用多层帘布结构才能满足航空子午线轮胎的耐压要求。采用芳纶帘线可以在保证航空子午线轮胎耐久性能的前提下减少胎体帘布层,进而减小轮胎质量。采用芳纶帘线作胎体帘线产生以下2个问题。(1)成型工艺问题。胎体成型时,胎体内、外帘布层产生圆周变化,致使硫化前胎体外帘布层松弛。当用尼龙帘线作胎体帘线时,可以通过尼龙帘线加热硫化时产生的热收缩来补偿外帘布层松弛。而采用芳纶帘线作为胎体帘线时,由于芳纶帘线的热收缩非常小,硫化时很难消除外帘布层松弛。(2)轮胎耐久性能问题。芳纶帘线的耐压缩疲劳性能较差,采用芳纶帘线作胎体帘线的轮胎在受到反复作用的应变时,胎体帘线由于受到纵向压缩应力而产生疲劳断裂,轮胎的耐久性能较差。

采用特殊结构和用聚酮帘线作胎体帘线可以减小轮胎质量,提高轮胎的耐压性能和耐久性能。普利司通用尼龙帘线、芳纶帘线和聚酮帘线作胎体帘

表2 聚合物纤维的最大拉伸比

材 料	最大拉伸比	材 料	最大拉伸比
尼龙 66 纤维	6	聚丙烯腈纤维	30
聚酯纤维	10	聚丙烯纤维	48
聚酮纤维	26	聚乙烯纤维	150
聚乙烯醇纤维	28		

线制备了46×17R20 30PR航空子午线轮胎, 试验结果见表4。

试验中, 将普通轮胎1的质量指数和胎圈耐久性能指数均定为100, 质量指数越小表示轮胎质量越小, 胎圈耐久性能指数越大表示胎圈耐久性能指数性能越好。可以看出, 胎体采用聚酯帘线的试验轮胎3和试验轮胎4质量较小, 安全性能好, 胎圈耐

久性能好。

2.1.3.2 带束层帘线

为保证航空轮胎的耐压性能, 其带束层帘线与胎面中心线平行排列, 且带束层帘线的断裂强度高。目前广泛用作带束层帘线的芳纶帘线热收缩性能差, 所以轮胎成型时帘线产生的强力不均匀, 而这个问题在轮胎硫化工序很难解决。也就是说, 尽

表3 聚酯帘线与芳纶和尼龙帘线的性能对比

项 目	尼龙 66 帘线	芳纶帘线	聚酯帘线
纤维性能			
抗拉强度/(cN·dtex ⁻¹)	7.2	18.0	13.0
张力模量/(cN·dtex ⁻¹)	44	410	363
150℃×30 min 干热收缩率/%	9.4	0	2.3
帘线性能			
结构	1400dtex/2/2	3340dtex/2	3340dtex/2
捻数	26.5×26.5	22×22	22×22
浸渍帘线最大热收缩应力/(cN·dtex ⁻¹)	0.1	0	0.4
浸渍帘线纤度/dtex	6340	9771	7475
浸渍帘线伸长率(19.8 mN·dtex ⁻¹)/%	11.3	1.7	2.6

表4 不同胎体帘线的46×17R20 30PR航空子午线轮胎试验结果对比

项 目	普通轮胎 1	普通轮胎 2	试验轮胎 1	试验轮胎 2	试验轮胎 3	试验轮胎 4
胎体帘线						
材料	尼龙 66 帘线	芳纶帘线	聚酯帘线	聚酯帘线	聚酯帘线	聚酯帘线(反包层) 尼龙 66 帘线(正包层)
结构	1400dtex/2/2	1670dtex/2/2	1670dtex/2/2	1670dtex/2/2	1670dtex/2/2	1670dtex/2/2(聚酯帘线) 1400dtex/2/2(尼龙 66 帘线)
捻数	26×26	47×47	47×47	47×47	47×47	47×47(聚酯帘线) 26×26(尼龙 66 帘线)
σ /(cN·dtex ⁻¹)	0.2	0	0.5	0.5	0.5	0.5(聚酯帘线) 0.2(尼龙 66 帘线)
E /(cN·dtex ⁻¹)	40	160	155	155	155	155(聚酯帘线) 40(尼龙 66 帘线)
胎体						
总帘布层数	5	3	3	2	3	3
反包帘布层数	4	2	3	1	2	2(聚酯帘线)
正包帘布层数	1	1	0	1	1	1(尼龙 66 帘线)
帘线强力/N	525	962	918	918	918	918(聚酯帘线) 525(尼龙 66 帘线)
帘线根数 ¹⁾ (轮胎最大宽度处)	5585	3007	3007	2005	3007	2005(聚酯帘线) 2002(尼龙 66 帘线)
成品轮胎						
外直径/m	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
断面宽/m	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
胎体帘布层性能	合格	不合格	合格	合格	合格	合格
质量指数	100	93	93	90	93	93
安全倍数	4.5	4.2	3.2	3.5	4.7	4.5
胎圈耐久性能指数	100	30	71	101	105	107

注: 1) 胎体反包帘布层和正包帘布层帘线根数。

管芳纶帘线断裂强力高,但带束层芳纶帘线的强力利用率低,因此芳纶帘线带束层还需要配置增强部件,这对轮胎的轻量化不利。

另外,轮胎高速行驶时,胎侧附近产生的驻波会促使胎侧部位生热,从而大大降低轮胎耐久性能。通过提高轮胎行驶时胎肩部位带束层周向张力,可有效防止胎侧部位产生驻波。

日本专利提出在航空子午线轮胎带束层中采用至少1层的高弹性模量、高断裂强度聚酮帘布(其它带束层帘布可以是聚酮帘布和尼龙帘布等)可以解决上述问题。

聚酮帘线具有适度的热收缩性,用作带束层帘线时在轮胎硫化时收缩,可以克服轮胎成型时帘线张力不匀问题,提高帘线强力利用率,从而提高轮胎耐压性能。同样,依靠聚酮帘线热收缩效果,可以使胎肩部位帘线均匀受力,有效抑制轮胎高速行驶时产生驻波,使轮胎获得优异的高速耐久性能。

为了评价专利效果,进行了成品轮胎试验,结果见表5。高速耐久性能是在转鼓上以规定的内压和载荷进行反复起飞-着陆试验,直到轮胎破

坏。高速耐久性能指数越大表示轮胎高速耐久性能越好。

从表5可以看出,带束层采用聚酮帘线的试验轮胎2和试验轮胎3质量较小,安全性能和高速耐久性能较好。

2.1.3.3 带束层保护层帘线

航空子午线轮胎在高内压和高载荷下工作,而高内压和高速旋转的离心力作用会导致胎面产生径向膨胀,使胎面处于沿轮胎周向拉伸的状态。

飞机起飞和着陆时,轮胎碾压跑道上的石子和金属碎片等尖锐物时,轮胎周向拉伸会削弱胎面抗刺穿能力,致使胎面割伤,异物易刺入胎面内部而损伤轮胎。用芳纶帘线作带束层保护层帘线的航空子午线轮胎易产生这个问题;此外,高温时芳纶帘线与橡胶的粘合性能比尼龙帘线或聚酮帘线低,所以胎面受损后高速旋转(高温)的轮胎带束层保护层与胎面间容易剥离。

为了解决上述问题,可采用断裂强度在 $5 \text{ cN} \cdot \text{dtex}^{-1}$ 以上、初始模量在 $21 \text{ cN} \cdot \text{dtex}^{-1}$ 以上、3%定伸应力在 $1 \text{ cN} \cdot \text{dtex}^{-1}$ 以上的聚酮帘线作为带

表5 不同带束层帘线的航空子午线轮胎试验结果对比

项 目	普通轮胎1	试验轮胎1	试验轮胎2	试验轮胎3	试验轮胎4	试验轮胎5
带束层帘线						
材料	芳纶帘线	聚酮帘线	聚酮帘线	聚酮帘线 ¹⁾ 尼龙66帘线 ²⁾	聚酮帘线	聚酮帘线
$\sigma/(\text{cN} \cdot \text{dtex}^{-1})$	0	0.5	0.5	0.5(聚酮帘线) 0.2(尼龙66帘线)	0.5	0.3
$E/(\text{cN} \cdot \text{dtex}^{-1})$	160	155	155	155(聚酮帘线) 40(尼龙66帘线)	155	40
带束层						
结构	周向螺旋卷绕	周向螺旋卷绕	周向螺旋卷绕	周向螺旋卷绕 ¹⁾ 锯齿状周向 ²⁾	周向螺旋卷绕	周向螺旋卷绕
帘布层数	4	4	4	2+2	2	4
宽度(第1和第2层带束层)/m	0.336	0.336	0.336	0.336	0.336	0.336
宽度(第3和第4层带束层)/m	0.326	0.326	0.168	0.326	-	0.326
帘线根数(带束层总宽度)/根	953	953	726	483(螺旋卷绕) 469(锯齿状)	484	953
帘线强力/N	1520	1450	1450	1450(聚酮帘线) 787(尼龙66帘线)	1450	1300
轮胎						
外直径/m	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
断面宽/m	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
质量指数	100	98	96	98	95	98
安全倍数	4.8	5.0	5.0	4.4	3.5	4.5
高速耐久性能指数	100	105	105	103	101	99

注:1)第1和2带束层;2)第3和4带束层。

束层保护层帘线,该保护层既具有与芳纶帘布保护层相当的抗切割性能,还能提高保护层与胎面间的抗剥离性能。如果聚酮帘线的伸断裂强度小于 $5 \text{ cN} \cdot \text{dtex}^{-1}$,其带束层保护层的强度低,胎面的抗切割性不足;如果聚酮帘线的初始模量小于 $21 \text{ cN} \cdot \text{dtex}^{-1}$ 和3%定伸应力小于 $1 \text{ cN} \cdot \text{dtex}^{-1}$,其带束层保护层的刚性低,胎面抗异物刺穿能力差。

采用表3所示芳纶帘布和聚酮帘布作带束层保护层制备1270×445R22 32PR航空子午线轮胎,结果见表6。抗切割性能是采用刀尖角度 30° 的刀具对着轮胎(气压1620 kPa)胎面中央,以垂直施加相当于额定载荷(24860 kg)5%的力时产生的割口深度倒数来评价的。抗切割性能指数越大表示轮胎的抗切割性越好。抗剥离性能是采用胎面中央具有宽400 mm、深15 mm割口的轮胎(气压1620 kPa)放在动力试验机上,以24860 kg的额定载荷进行测试的。设试验轮胎1产生剥离时的飞轮速度对应的抗剥离性能指数为100,抗剥离性能指数越大表示轮胎抗剥离性能越好。

从表6可以看出,采用聚酮帘布作带束层保护层的轮胎与采用芳纶帘布作带束层保护层的轮胎抗切割性相当,抗剥离性能提高。

2.1.4 复合帘线

到目前为止,还没有一种市售帘线能完全满足轮胎的性能要求。为充分利用不同帘线的优点并克服其缺点,对复合帘线进行了研究。

复合帘线大致分为2种:一种是由2股或多股股线捻合而成的合股复合帘线;另一种是由芯线和缠绕芯线皮层构成的芯皮结构复合帘线。合股复合帘线可根据需要选择2种以上纤维材料加捻成股线,再将股线捻合成复合帘线;芯皮结构复合帘线通常由1根或多根钢丝以及1股或多股纤维股线作芯线,

表6 不同带束层保护层1270×445R22 32PR航空子午线轮胎试验结果对比

项 目	试验轮胎 1	试验轮胎 2
带束层保护层帘线	芳纶帘线	聚酮帘线
帘线结构	3340dtex/3	1720dtex/2/3
胎体帘布层帘线	尼龙 66 帘线	尼龙 66 帘线
帘线结构	1400dtex/2/2	1400dtex/2/2
抗切割性能指数	100	99
抗剥离性能指数	100	120

由1股或多股缠绕芯线的纤维或1根或多根钢丝缠绕成皮层,皮层可以是1层,也可以是2层。已有专利报道以尼龙纤维缠绕成皮层、聚酯纤维作为芯线的复合帘线,这种复合帘线集聚酯帘线的弹性、强度和尼龙帘线良好的粘合性能于一体。

与芳纶帘线相比,由1~2股芳纶纤维和1股尼龙或聚酯纤维捻合而成的复合帘线具有如下特征:①耐疲劳性能好;②伸长率较大;③模量低;④收缩率可控;⑤强度成本比相当或降低。尼龙-芳纶复合帘线与尼龙帘线和芳纶帘线的性能对比见表7。

固特异研究得出,将尼龙-芳纶复合帘线用作胎体帘线,并采用尼龙-芳纶或聚酯-芳纶复合帘线替代钢丝帘线用于子午线轮胎带束层,可在不降低轮胎操纵稳定性和乘坐舒适性能的前提下有效减小轮胎质量和油耗。

邓禄普航空轮胎公司用尼龙-芳纶复合帘线作骨架材料试制出了航空子午线轮胎。

美国专利分别用尼龙帘线和 $1670 \text{ dtex} (A) + 1400 \text{ dtex} / 1/2 (N) // 10.7Z (A) + 6.2Z (N) \times 9.7S (A)$ 表示芳纶,N表示尼龙)复合帘线作为胎体帘布层试制了32×11.5-15航空子午线轮胎。复合帘线轮胎在爆破前通过了48次正常的起飞试验、1次延长滑行试验和1次高速起飞试验。其动态性能超过预期值。与尼龙帘线轮胎相比较,复合帘线轮胎的强度、疲劳性能和韧性均得到改善。

2008年,曙光橡胶工业研究设计院采用其与北京橡胶工业研究设计院联合开发的新型复合帘线作带束层帘线的航空子午线轮胎顺利通过了各项静态和动态试验,轮胎性能完全达到设计要求。该航空子午线轮胎的行驶速度达到世界先进水平。

总的说来,高性能航空子午线轮胎所用的尼龙66帘线的强度需要进一步提高,断裂伸长率需要进一步降低,以提高轮胎强度和尺寸稳定性,减小轮胎质量。芳纶帘线热稳定性好,是理想的航空轮胎骨架材料,但其价格昂贵,如能解决这一问题,它将是一种很有前途的航空子午线轮胎骨架材料。聚酮帘线具有非常高的强度,很好的抗冲击性能和耐化学介质性能,良好的水解稳定性,优异的摩擦性能和耐磨耗性能,适用温度范围较宽,尤其是粘合性极佳,价格比芳纶帘线低,有利于提高航空子午

表7 尼龙-芳纶复合帘线与尼龙帘线和芳纶帘线的性能对比

项 目	尼龙帘线(3股)	尼龙-芳纶复合帘线 (股数比2/1)	尼龙-芳纶复合帘线 (股数比1/2)	芳纶帘线(3股)
尼龙捻度(正捻)	8	8	8	-
芳纶捻度(正捻)	-	12	10	7
帘线捻度(反捻)	8	8	8	7
断裂强力/N	320.3	391.4	649.4	827.3
7%定伸负荷/N	97.9	80.1	142.3	-
断裂伸长率/%	18	17	10	5
总收缩率/%	9.0	4.0	2.0	1.1
耐疲劳指数	100	95	40	20

线轮胎的性能,并使轮胎轻量化,发展前景好。采用不同纤维制成的复合帘线,如芳纶-尼龙复合帘线模量和强度高,热稳定性和弹性好,质量和吸湿率小,能更好地满足航空子午线轮胎需求。

2.2 结构设计

结构设计是提高航空轮胎性能极其重要的手段之一。通过合理的结构设计,可以使航空轮胎各部件的功能相互协调,赋予航空轮胎优越的性能。航空子午线轮胎的规格和载质量决定胎体帘布层数。采用高结构帘布有利于减小轮胎质量和体积,增大民航飞机的有效载荷和增加军用飞机装备。通常,航空子午线轮胎每侧只需要1个钢丝圈,而斜交轮胎则需要多个。载荷下胎体产生屈挠时,主要依靠带束层的约束力来稳定胎面,以减小轮胎在水泥跑道上的侧向滑移,从而减小轮胎磨损量。某军用航空子午线轮胎结构如图1所示,在胎体圆周方向配置纤维帘布带束层,并用1层钢丝编织层包卷纤维带束层,以作带束层保护层。自航空子午线轮胎问世以来,其结构设计及改进一直深受重视。

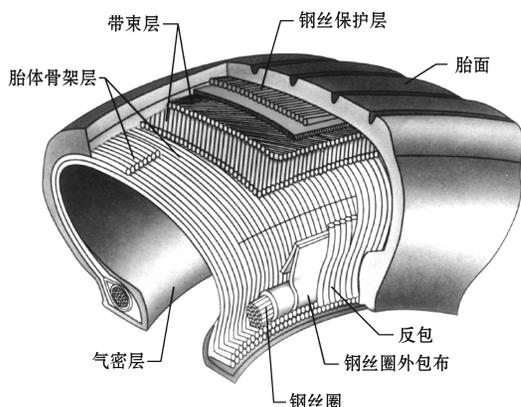


图1 航空子午线轮胎结构示意图

2.2.1 胎面

航空子午线轮胎是在高压和高载荷下使用,其下沉率有时达到普通汽车子午线轮胎的2~3倍,因此轮胎各部位的应力和应变比普通轮胎大得多。轮胎旋转时,特别是沿径向向胎冠、胎肩施加的负荷产生的压缩应力显著降低了带束层的耐久性能和胎肩的耐磨性能。为减缓航空子午线轮胎胎肩部位的径向压缩应力,提高带束层的耐久性能和胎肩的耐磨性能,日本专利发明了一种新结构胎面。这种新结构胎面的特征是,在标准载荷下胎冠接地处与150%标准载荷下胎冠接地处之间设置一周向应力缓和沟,轮胎在载荷下行驶时应力缓和沟的宽度比无载荷下行驶时小,以减缓胎肩部位压缩应力;应力缓和沟深度为带束层与胎冠外表面距离的1/2左右,沟底与带束层距离3 mm以上。

为提高航空子午线轮胎的高速耐久性能和延长超载行驶条件下胎面使用寿命,胎面胶采用胎面基部胶和胎冠胶两部分构成。胎面基部胶配置在胎面下部的两侧,覆盖整个带束层。胎面基部胶厚度为胎面胶总厚度的10%~35%,其100%定伸应力为胎冠胶的60%~80%,为带束层覆胶的40%~70%。胎面基部胶硫化后常温下的损耗因子($\tan \delta$)小于0.17,而胎冠胶常温下的 $\tan \delta$ 小于0.22,带束层覆胶常温下的 $\tan \delta$ 小于0.15。

2.2.2 带束层

普通带束层结构的航空子午线轮胎易出现剥离问题。这是因为普通周向带束层帘线一般采用模量较高的覆胶,当轮胎承受高载荷时,带束层在胎肩部位受轮胎轴向压缩力的作用,帘线间距减小,帘线覆胶不随带束层帘线移动,导致帘线与橡胶或胎

肩部带束层与胎面剥离。为解决此问题,带束层的轴向两外侧采用模量较低的覆胶,即将带束层分为轴向两外侧区域和中央区域,两外侧区域的覆胶模量比中央区域的覆胶低,模量比为0.40~0.83较理想。这样的结构使得高载荷下胎肩部带的带束层受轴向压缩力时低模量覆胶随带束层变形而变形,从而防止帘线与橡胶以及胎肩部带束层与胎面剥离,并且由于胎面中央部位带束层帘线覆胶模量高,所以能有效抑制胎面变形。

日本专利报道,通过在带束层两端与肩部间沿胎体最外层帘布配置断面呈三角形的缓冲胶,可以减少带束层端部的集中变形,防止带束层端部剥离或帘线断裂,提高带束层的耐久性能。该缓冲胶为软质胶,其100%定伸应力为1.7~3.9 MPa。缓冲胶的模量不宜过高或过低,如果过高,缓冲胶就不能充分吸收变形;如果过低,缓冲胶的定伸应力与胎体和带束层覆胶相差较大,这样其界面产生应变集中,进而产生剥离。

在带束层与胎面间设置相互交叉排列的辅助带束层,辅助带束层帘线伸长率在20%以上,初始模量为49 MPa以下(主带束层帘线的伸长率和初始模量分别为10%以下和98 MPa以下),宽度为标准载荷和标准气压下轮胎接地宽度的70%,与轮胎周向夹角为10°以上,这种结构的航空子午线轮胎主带束层最外层帘布与胎面胶间产生的局部剪切应力以及作用于胎肩部带的应力减小,可以有效防止胎肩部胎面与带束层剥离。

2.2.3 胎体

为解决芳纶帘线压缩疲劳性能差的问题,提出以下航空子午线轮胎胎体结构。

(1)胎体的两内帘布层采用抗压缩变形良好的尼龙帘布,两外帘布层采用弹性模量高的芳纶帘布。这是针对轮胎滚动变形时胎体内帘布层受压缩变形和外帘布层受拉伸变形而采用的一种胎体结构。这种结构的胎体抗压缩变形和抗拉伸变形性能都很理想。

(2)胎体外帘布层帘线为径向排列,内帘布层帘线与外帘布层帘线夹角为5~15°,形成X结构胎体,这种航空子午线轮胎的内帘布层耐疲劳性能和胎体耐久性能改善,而且转弯性能与斜交轮胎相当。

2.2.4 胎侧

子午线轮胎充气后,胎体膨胀,导致靠近胎圈的部位向外凸出,由此而使胎侧纵向刚性变低,在负荷作用下胎侧产生大屈挠,胎圈因这种屈挠而明显地向内摆动,耐久性能降低,且胎体帘布层也产生大屈挠,导致整个胎体耐久性能下降。尽管胎体内帘布层在负荷作用下产生大压缩变形,但胎侧产生的张力并不大,基本上起不到克服上述压缩变形的作用,甚至导致胎体帘线断裂。胎侧设计为直线形,轮胎充气后胎侧中央部位沿轴向向外膨胀,胎圈部位沿径向向外膨胀,减少了胎侧向外的凸出量,胎侧的曲率半径较大,这样,胎侧的纵向刚性提高,负荷下屈挠减少,胎圈和胎体的耐久性能提高,胎侧张力增大,大部分胎圈压缩变形消除,从而提高了胎体耐久性能。另外,由于充压时胎肩部沿径向向外膨胀,所以胎面半径增大,耐磨性能提高。

2.2.5 胎圈

航空轮胎,特别是航空子午线轮胎在高压、高载荷下的应力集中在胎圈部位,导致胎圈部位温度上升和形变大而产生疲劳。为减小胎圈部位应力集中和形变,普利司通提出采用由硬质胶和软质胶构成的三角胶。硬质胶的断面面积为软质胶的10%~70%,100%定伸应力为9.8~14.7 MPa(为软质胶的3~6倍)。硫化后在常温下测得硬质胶和软质胶的 $\tan \delta$ 分别为2.25以下和0.15以下。其中硬质胶起控制胎体沿轮胎轴向向外甩摆的作用,软质胶起吸收胎体帘布层与反包端部接点附近变形的作用。采用这种三角胶可提高航空子午线轮胎胎圈的耐久性能和有效防止轮胎在高速行驶中产生驻波。

为有效防止胎体帘布反包端部与橡胶剥离和钢丝圈、三角胶与胎体帘布剥离以及帘线断裂,普利司通发明了一种有利于提高胎圈耐久性能的胎圈包布。该包布由多层帘布构成,与三角胶和钢丝圈相接,从轮胎内侧向外包卷。在胎圈包布中,至少有2层帘布的帘线交叉排列,帘线与轮胎径向成19~20°角,包布覆胶模量与三角胶相同。据介绍,这种胎圈结构主要通过提高胎圈刚性来控制胎圈部位的剪切变形和胎体沿轮胎轴向向外甩摆,从而达到防止胎圈剥离的目的。

3 航空轮胎的生产状况

与航空斜交轮胎相比,航空子午线轮胎有其独特的优点。(1)质量小。航空子午线轮胎的质量比航空斜交轮胎小20%~30%。轮胎质量减小意味着飞机质量减小,这可降低飞机燃料消耗或增大有效载荷。(2)载荷大。米其林研制的装于空中客车的46×17-20航空子午线轮胎能承受相当于标准载荷(20852 kg)2倍的载荷。(3)胎面使用寿命长。航空子午线轮胎的耐磨耗性能较航空斜交轮胎提高约50%。(4)耐久性能和抗切割性能都较好,可提高翻新性能和飞机安全性能。(5)行驶温度低,可提高飞机高速着陆、长距离滑跑时轮胎的防爆破性能。(6)乘坐舒适性好。航空子午线轮胎胎体具有很好的弹性,能更好地减缓跑道冲击,并能减小飞机长时间停放时胎体产生的变形。(7)牵引效果好。载荷时,航空子午线轮胎胎面接地部位压力分布均匀,与路面的滑移量小,牵引效果较斜交航空轮胎提高2%~5%。

世界主要的航空子午线轮胎生产商为米其林、固特异、普利司通、住友橡胶工业、邓禄普等。目前已有FK-4、F-15E、F-16、A-10、T-38、幻影Ⅲ、幻影2000、幻影F-1、AV-8B鹞式飞机、Alpha和Pakele、A300-B4、A300-600、A310-300、A320、A340-600、A380、Falcone(隼)、DHC-7S、MD-80、DC-9-80、B777、协和、图204等20多种军用、民用飞机先后装用了航空子午线轮胎。目前航空子午线轮胎市场份额约占航空轮胎市场份额的20%。目前新研制的一些军用和民用飞机将子午线轮胎作为原配轮胎装用。

据统计,在航空业发达的北美和南美地区商用航空轮胎子午化率不到15%,军用航空轮胎子午化率约30%。航空子午线轮胎需求量每年仅以1%的速度增长,至今航空子午线轮胎尚未对航空轮胎市场形成冲击。分析原因,航空子午线轮胎代替航空斜交轮胎还需要做大量的工作,例如验证轮胎与轮胎、刹车装置、起落架和机体的适应性,航空子午线轮胎标准体系需要进一步完善,结构设计、生产工艺及生产设备等需要进一步优化。

为了突破航空轮胎子午化率低的瓶颈,世界航空轮胎巨头现在十分注重与飞机制造商合作,尤其注重取得新机型的轮胎配套资格,并带动老机型轮

胎子午化。目前,航空轮胎制造商的争夺战日趋白热化。

米其林最近与总部位于迪拜的阿联酋航空公司签下了一份为期10年的合同,独家供应空中客车A380飞机所需的子午线轮胎。阿联酋航空公司已向欧洲航空防务与航天公司(EADS)订购了58架空中客车A380飞机,按计划在2013年6月交付使用。届时该航空公司将拥有世界上最庞大的空中客车A380飞机机队。迄今为止,空中客车A380是世界上最大的双层宽体飞机,每架需要安装20条主轮胎。每条这种轮胎可承受33 t有效载荷,起飞速度 $364 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。这些航空子午线轮胎由位于法国Ladoux的米其林技术中心研发,由位于Bourges的工厂生产。Ladoux技术中心是一家专攻航空子午线轮胎技术、成绩斐然的科研机构,NZG航空子午线轮胎技术就是该技术中心的研究成果。

固特异2001年投资1000万美元在弗吉尼亚的丹维尔建成的航空子午线轮胎生产基地主要向波音737和空中客车A320等商用飞机以及军用和私人飞机提供航空轮胎。该项投资直接关系航空子午线轮胎市场份额增长,有利于航空轮胎子午化气候形成。

普利司通原来仅在久留米工厂生产航空子午线轮胎(新轮胎),为适应全球航空轮胎需求增长,普利司通于2008年起在东京工厂生产航空子午线轮胎。在2011年完成扩产后,普利司通的航空子午线轮胎(新轮胎)总产能扩大为原来的2.5倍左右。普利司通东京工厂的航空子午线轮胎已被空中客车A350 XWB(超宽体)和新型A380飞机采用,波音公司也决定在其下一代波音787飞机上将普利司通的航空子午线轮胎作为标准部件装用。此前,普利司通已经与波音公司签订一项协议,为7E7梦幻系列(Dream Liner)3种新型客机提供轮胎。该协议涉及的4种规格轮胎均为航空子午线轮胎,其中52×21.0R22 36PR和50×20.0R22 26PR,52×21.0R22 36PR轮胎分别供波音7E7-3,7E7-8和7E7-9飞机的主起落架使用;40×16.0R16 28PR轮胎供这3种飞机的前起落架使用。

普利司通为全日本航空公司(ANA)开发的更安全、更省燃料费的新结构子午线轮胎用作波音777-300ER飞机的主轮胎。普利司通最近决定为三

菱航空公司研发的喷气式支线客机(MRJ)提供航空子午线轮胎。此前普利司通是为100座以上的大型客机配套轮胎,这次为新研发的70~90座的MRJ配套轮胎是普利司通在航空子午线轮胎领域的进一步扩展。

横滨橡胶公司开发出新型ADVAN AC Y-255航空子午线轮胎,轮胎规格为50×20.0R22 26PR和50×20.0R22 26PR 32PR,用于波音777-200和777-300飞机。波音777-300飞机轮胎需要在承载300 t、速度340 km·h⁻¹的条件下完成重复起飞和着陆。

森美斯(Simex)航空轮胎公司是马来西亚森那美集团公司的一部分。目前,它已成为全球第三大专为大型飞机生产航空子午线轮胎的公司。森美

斯拟除了为波音737飞机提供前轮胎外,还为波音777飞机提供主轮胎和前轮胎。为获得波音公司和美国联邦航空局的支持,森美斯接受来自飞机制造厂和住友橡胶工业公司的技术援助。

4 结语

由于飞机对航空轮胎提出了更苛刻的高速、高载荷和耐高温等要求,同时轮胎用橡胶材料、骨架材料以及生产技术、生产设备不断发展,航空子午线轮胎的发展势在必行。不断采用新型橡胶材料、骨架材料,优化整体结构,采用新工艺和新技术,是航空轮胎的发展方向。

Overview of Aviation Tire Development (II)

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 (完)



信息·资讯

普利司通摩托车轮胎上市

日本普利司通公司推出商品名为Battlax Sport Touring T30系列摩托车轮胎。轮胎在2013年2月1日在日本上市,然后陆续投放世界各地市场。

该系列摩托车轮胎中,前轮轮胎有10种规格,后轮轮胎有13种规格。普利司通表示,T30系列轮胎是为大中型摩托车而设计的,采用了新型橡胶原材料和独特的胎面花纹。该系列轮胎具有最佳的抓着力、良好的刚性和更小的质量,操控性能优异。

鲁迪