

# 航空子午线轮胎气密层胶配方设计

吴洪全,臧云红,常爱修,安丰永

(青岛双星轮胎工业有限公司,山东 青岛 266400)

**摘要:**对航空子午线轮胎气密层胶进行配方设计。结果表明:采用天然橡胶、氯化丁基橡胶和高顺式顺丁橡胶并用,胶料的强伸性能略有降低,但气密性、耐屈挠性能和耐低温性能明显提升,可以满足航空子午线轮胎的产品设计要求;该配方气密层胶在一定程度上减小了轮胎质量,在保证额定轮胎质量下,为完善产品设计提供了更大空间。

**关键词:**航空子午线轮胎;气密层;气密性;耐屈挠性能;低温脆性

**中图分类号:**TQ336.1

**文章编号:**2095-5448(2022)08-0385-04

**文献标志码:**A

**DOI:**10.12137/j.issn.2095-5448.2022.08.0385



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

航空轮胎作为飞机与地面接触的部件,在充气保压的情况下为飞机提供所需的牵引力和制动力。而苛刻的使用环境也对航空轮胎性能提出了各种特殊要求。如地处我国最北端的漠河曾出现 $-52.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的低温,飞机飞行的平流层温度在 $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,航空轮胎要在高纬度、高海拔以及高空等严寒环境下正常使用就需具备严寒环境下保持良好气密性的能力。航空轮胎的相关国家标准中也对气密层胶料脆性温度提出达到 $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的要求。为使航空轮胎在低温状态下仍具有保气使用价值,航空轮胎使用的气密层胶料需兼具低脆性温度和气体渗透率的特性<sup>[1-12]</sup>。

本工作以航空子午线轮胎为例,从轮胎气密层胶配方设计角度探讨如何使气密层胶料保持较好的气密性和耐低温性能。

## 1 实验

### 1.1 主要原材料

天然橡胶(NR),牌号RSS3,泰国产品;高顺式顺丁橡胶(BR),牌号BR9000,中国石化北京燕山

公司产品;氯化丁基橡胶(CIIR),浙江信汇新材料股份有限公司产品;炭黑N330,上海卡博特炭黑有限公司产品;芳烃油NAP10,中国石油克拉玛依石化公司产品;不溶性硫黄HD-OT20,伊士曼化工有限公司产品。

### 1.2 配方

现有航空轮胎气密层胶配方大多采用全NR,虽然全NR胶料的低温脆性温度能够满足 $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的要求,但气密性与卤化丁基橡胶相差较大。而采用气密性优良的卤化丁基橡胶,却因脆性温度高而限制了其用量。

橡胶的低温性能与其分子结构相关,一般主链柔软且支链少的非极性橡胶玻璃化温度偏低。在胶料中混入能使损耗因子( $\tan\delta$ )峰变宽的材料是改善其耐低温性能的有效方法<sup>[1]</sup>。因此在设计航空子午线轮胎气密层胶配方时,着重从生胶体系上进行设计,试验配方生胶体系采用三胶并用方式,NR提供气密层胶料所需的物理性能,CIIR提供良好的气密性,而分子柔顺性好、玻璃化温度达 $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的BR保证气密层胶料满足低温脆性的要求。

应用配方A:NR 100,炭黑N330 52,芳烃油 6,氧化锌等小料 11.5,不溶性硫黄及促进剂 2.1。

**作者简介:**吴洪全(1983—),男,山东临朐人,青岛双星轮胎工业有限公司工程师,学士,主要从事轮胎配方设计与工艺管理工作。

**E-mail:**15964209050@163.com

试验配方B:NR/CIIR/BR 40/40/20,炭黑N330 48,芳烃油 5,氧化锌等小料 11.2,不溶性硫黄及促进剂 2.3。

### 1.3 主要设备和仪器

BB-L1600IM型和BB430型密炼机,日本神户制钢公司产品;XM270型密炼机,大连橡胶塑料机械股份有限公司产品;XKR-150型开炼机,广东湛江机械厂产品;MDR2000E型硫化仪和MV2000型门尼粘度仪,美国阿尔法科技有限公司产品;Instron-5966型电子拉力机,美国英斯特朗公司产品;电加热平板硫化机,湖州东方机械有限公司产品;401B型老化试验箱,江都试验机械厂产品;回弹性测试仪,意大利GIBITRE公司产品;TM-2135型低温脆性试验机,日本上岛公司产品;VAC-V2型压差法气体渗透仪,济南兰光机电技术有限公司产品。

### 1.4 试样制备

#### 1.4.1 小配合试验

小配合试验胶料分两段混炼,先在BB-L1600IM型密炼机中混炼后再在开炼机上下片。一段混炼加料顺序为:生胶、炭黑、软化剂→氧化锌、硬脂酸、加工助剂、防老剂→下片。一段混炼胶停放8 h后进行二段混炼,二段混炼加料顺序为:一段混炼胶→不溶性硫黄和促进剂→下片。

#### 1.4.2 大配合试验

大配合试验胶料分3段混炼,一段混炼在BB430型密炼机中进行,转子转速为 $38\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ ,加料顺序为:生胶→炭黑→软化剂和氧化锌、硬脂酸、加工助剂→排胶( $130\sim 140\text{ }^{\circ}\text{C}$ );二段混炼在BB430型密炼机中进行,转子转速为 $35\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ ,加料顺序为:一段混炼胶→排胶( $125\sim 135\text{ }^{\circ}\text{C}$ );三段混炼在XM270型密炼机中进行,转子转速为 $20\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ ,加料顺序为:二段混炼胶→不溶性硫黄和促进剂→排胶( $90\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ )。

### 1.5 性能测试

胶料的气密性按照GB/T 1038—2000《塑料薄膜或薄片气体透过性试验方法 压差法》进行测试;脆性温度按照GB/T 15256—2014《硫化橡胶或热塑性橡胶 低温脆性的测定(多试样法)》进行测试;其他各项性能均按照相应的国家标准进行测试。

## 2 结果与讨论

### 2.1 小配合试验

小配合试验胶料的硫化特性如表1所示。

表1 小配合试验胶料的硫化特性

项 目	配方A	配方B
门尼焦烧时间 $t_5(127\text{ }^{\circ}\text{C})/\text{min}$	27.69	23.89
硫化仪数据( $151\text{ }^{\circ}\text{C}$ )		
$F_L/(\text{dN}\cdot\text{m})$	1.81	2.58
$F_{\text{max}}/(\text{dN}\cdot\text{m})$	10.87	12.26
$t_{10}/\text{min}$	4.80	5.09
$t_{90}/\text{min}$	10.61	14.02
$t_{s2}/\text{min}$	5.58	6.56
$t_{R97}/\text{min}$	26.53	37.41

由表1可以看出,与配方A胶料相比,配方B胶料的门尼焦烧时间略短, $F_L$ 和 $F_{\text{max}}$ 略大,起硫点延迟,硫化速度略慢,出现硫化返原的时间较长。

小配合试验硫化胶的物理性能如表2所示。

由表2可以看出:与配方A硫化胶相比,配方B硫化胶的密度较小,邵尔A型硬度和定伸应力略大,拉伸强度、拉断伸长率、撕裂强度和回弹值较小,这是由生胶体系改变导致的;配方B硫化胶的耐屈挠性能明显优于配方A硫化胶。

小配合试验硫化胶的气密性和低温脆性如表3所示。

由表3可以看出,与配方A硫化胶相比,配方B硫化胶的透气量和脆性温度均较低。

### 2.2 大配合试验

大配合试验胶料的硫化特性如表4所示。

由表4可以看出,与配方A胶料相比,配方B胶料的门尼焦烧时间略短, $F_L$ 和 $F_{\text{max}}$ 略大,起硫点相近,硫化速度较慢,出现硫化返原的时间较长,这与小配合试验结果基本一致。

大配合试验硫化胶的物理性能如表5所示。

由表5可以看出,与配方A硫化胶相比,配方B硫化胶的密度较小,邵尔A型硬度和定伸应力略大,拉伸强度、拉断伸长率、拉断永久变形、撕裂强度和回弹值较小,30万次屈挠后未出现裂口,耐屈挠性能明显提高。

大配合试验硫化胶的气密性和低温脆性如表6所示。

由表6可以看出,配方B硫化胶的透气量和脆性温度明显低于配方A硫化胶。

表 2 小配合试验硫化胶的物理性能

项 目	配方 A			配方 B		
硫化时间 (151 °C)/min	20	30	40	20	30	40
密度/(Mg · m <sup>-3</sup> )	1.120			1.103		
邵尔 A 型硬度/度	56	56	55	59	59	58
100%定伸应力/MPa	1.5	1.6	1.5	2.1	2.1	2.1
300%定伸应力/MPa	6.9	7.6	7.6	9.4	8.9	9.3
拉伸强度/MPa	23.5	22.9	23.6	14.8	14.1	14.4
拉伸伸长率/%	691	655	658	479	451	465
拉伸永久变形/%	28	24	24	20	16	16
撕裂强度/(kN · m <sup>-1</sup> )	119			30		
回弹值/%	52			33		
耐屈挠性能	5万次1级裂口,10万次2级裂口,15万次5级裂口			30万次无裂口		
100 °C × 24 h 老化后						
邵尔 A 型硬度/度	58			62		
100%定伸应力/MPa	2.2			2.9		
300%定伸应力/MPa	9.9			11.3		
拉伸强度/MPa	18.8			12.8		
拉伸伸长率/%	521			344		
拉伸永久变形/%	28			12		
撕裂强度/(kN · m <sup>-1</sup> )	71			28		
回弹值/%	53			35		

表 3 小配合试验硫化胶的气密性和低温脆性

项 目	配方 A	配方 B
透气囊 × 10 <sup>2</sup> /[cm <sup>3</sup> · (m <sup>2</sup> · d · MPa) <sup>-1</sup> ]	5.044	1.743
脆性温度/°C	-55	-59

注:硫化条件为151 °C × 30 min。

综上所述,配方B胶料的强伸性能低于配方A胶料,这可以通过过渡层过渡来达到与胎体等胶料的强伸性能匹配。在气密层胶料要求的耐屈挠

表 4 大配合试验胶料的硫化特性

项 目	配方 A	配方 B
门尼焦烧时间 $t_5$ (127 °C)/min	30.89	24.33
硫化仪数据 (151 °C)	30.89	24.33
$F_L$ /(dN · m)	1.81	2.61
$F_{max}$ /(dN · m)	10.26	13.30
$t_{10}$ /min	5.36	5.21
$t_{90}$ /min	11.30	14.58
$t_{s2}$ /min	6.31	6.49
$t_{R97}$ /min	29.08	38.73

表 5 大配合试验硫化胶的物理性能

项 目	配方 A			配方 B		
硫化时间 (151 °C)/min	20	30	40	20	30	40
密度/(Mg · m <sup>-3</sup> )	1.118			1.105		
邵尔 A 型硬度/度	54	55	54	59	59	59
100%定伸应力/MPa	1.7	1.5	1.5	2.1	2.2	2.3
300%定伸应力/MPa	8.4	8.1	8.0	9.2	9.6	10.2
拉伸强度/MPa	23.9	23.9	23.8	13.6	14.2	14.0
拉伸伸长率/%	645	522	456	435	442	426
拉伸永久变形/%	20	20	20	20	16	16
撕裂强度/(kN · m <sup>-1</sup> )	115			29		
回弹值/%	52			33		
耐屈挠性能	5万次0级裂口,10万次1级裂口,15万次5级裂口			30万次无裂口		
100 °C × 24 h 老化后						
邵尔 A 型硬度/度	59			62		
100%定伸应力/MPa	2.1			3.3		
300%定伸应力/MPa	9.9			12.6		
拉伸强度/MPa	22.4			11.9		
拉伸伸长率/%	484			295		
拉伸永久变形/%	24			12		
撕裂强度/(kN · m <sup>-1</sup> )	97			27		
回弹值/%	51			35		

表6 大配合试验硫化胶的气密性和低温脆性

项 目	配方A	配方B
透气量 $\times 10^2/[\text{cm}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{MPa})^{-1}]$	5.044	2.470
脆性温度/ $^{\circ}\text{C}$	-56	-59

性能、气密性和低温脆性等方面,配方B胶料的综合性能优于配方A胶料。

此外,由于配方B胶料的气密性好,密度小,结构设计时可以适当减薄气密层,减小轮胎质量,为结构优化提供更大设计空间。

### 2.3 工艺性能和成品性能

配方B胶料挤出表面外观较好,终炼胶门尼粘度为60~65;气密层半成品在双复合内衬层生产线单独挤出,厚度为 $(0.7 \pm 0.05)$  mm,表面光滑,粘性符合工艺要求。

采用配方B胶料试制航空轮胎,气密层由4层减至3层,轮胎整体质量减小1.35 kg。成品轮胎按正常工艺硫化,外观良好无缺陷。轮胎在标准试验温度下充入882 kPa额定气压,停放12 h后再将气压补充到882 kPa,继续保压停放24 h后,测量气压为873 kPa,气压下降率为1.02%,远低于国家标准要求的气压下降率(5%)。

### 3 结论

航空子午线轮胎气密层采用NR,CIIR和BR并用,胶料的强伸性能略有降低,但气密性、耐屈挠性能和耐低温性能明显提高,可以满足航空子午线轮胎的产品设计要求。该配方气密层胶在一定

程度上减小了轮胎质量,在保证额定轮胎质量下,为完善产品设计提供了更大空间。

**致谢:**魏爱龙先生对本文提出了宝贵的意见,在此深表感谢。

### 参考文献:

- [1] 张新军,王京通. 轮胎耐低温性能表征方法的探讨[J]. 轮胎工业, 2014,34(12):716-719.
- [2] 李路明,强军,秦齐富,等. 考虑腔内压力变化的航空轮胎静载仿真研究[J]. 橡胶工业,2021,68(8):569-575.
- [3] 王泽鹏,苏玉斌,徐龙靖. 航空轮胎有限元分析[J]. 轮胎工业, 2018,38(3):131-134.
- [4] 王超群,吴洪全,齐立平,等. 子午线航空轮胎带束条挤出工艺技术研究[J]. 橡塑技术与装备,2021,47(9):1-6.
- [5] 王超群. 子午线航空轮胎二段成型机伺服电机的设计选型[J]. 橡塑技术与装备,2020,46(11):51-58.
- [6] 杨兴云,李宏. 标准胶替代烟胶片在航空轮胎胎面胶中的应用[J]. 轮胎工业,2014,34(2):88-90.
- [7] 王宏志,鲍晨辉. 高性能子午线航空轮胎成型机的研制[J]. 橡塑技术与装备,2012,38(4):25-28.
- [8] 任侠. 基于ABAQUS的航空轮胎三维有限元模型的建立与分析[J]. 科学时代,2015(11):159.
- [9] 罗瑞兴,同普选,王玉峰,等. 基于ABAQUS的 $34 \times 10.75-16$ 航空轮胎非线性有限元分析[J]. 工业技术创新,2014(5):515-519.
- [10] 王晓建. 异戊橡胶湿法混炼及其在航空轮胎部位胶中的应用研究[D]. 合肥:中国科学技术大学,2021.
- [11] 杜宇. 茶多酚多功能助剂的研发及其在航空轮胎胶料中的应用[D]. 青岛:青岛科技大学,2020.
- [12] 王松威,关伟平. 全球航空轮胎业现状与发展趋势[J]. 轮胎工业, 2009,29(11):643-648.

收稿日期:2022-04-14

## Formula Design of Inner Liner Compound for Aircraft Radial Tire

WU Hongquan, ZANG Yunhong, CHANG Aixiu, AN Fengyong

(Qingdao Doublestar Tire Industry Co., Ltd, Qingdao 266400, China)

**Abstract:** The formula of the inner liner compound for aircraft radial tires was designed. The results showed that when natural rubber, oxidized butyl rubber and high cis-butadiene rubber were used in combination, the strength and elongation properties of the compound were slightly reduced, but the airtightness, flexural resistance and low temperature resistance were significantly improved, which could meet the product design requirements of aircraft radial tire. The inner liner compound with this formula could reduce the tire weight to a certain extent, and provide more space for improving the product design under the rated tire weight.

**Key words:** aircraft radial tire; inner liner; airtightness; flex resistance; low temperature brittleness