

硫化后充气压力和时间对航空轮胎性能的影响

于祥钊, 盛春敬, 刘北江

(青岛森麒麟轮胎股份有限公司, 山东 青岛 266229)

摘要:选取 $27\times 7.7-15$ 航空轮胎作为研究对象,研究硫化后充气压力和时间对航空轮胎性能的影响。分析胎体帘线张力与充气压力的关系以及帘线收缩率、收缩力与温度的关系,并通过热电偶测温法测量轮胎硫化后充气过程中温度随时间的变化情况,确定轮胎最小硫化后充气压力设为200 kPa,可以保证轮胎在胎体温度为 $160\sim 170\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时出模胎体帘线不产生热收缩;硫化后充气时间设为1个硫化周期,可以保证轮胎冷却至环境温度。成品轮胎充气外缘尺寸及动态模拟试验验证了后充气压力和时间选取的合理性。

关键词:航空轮胎;帘线收缩力;帘线张力;胎体温度;硫化后充气压力和时间;动态模拟试验

中图分类号:TQ336.1;TQ330.6⁺7

文章编号:2095-5448(2024)01-0041-04

文献标志码:A

DOI:10.12137/j.issn.2095-5448.2024.01.0041



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

航空轮胎作为飞机唯一与地面接触的部件,是确保飞机安全起飞、着陆及滑行的核心零部件。相对于地面车辆,飞机由于速度高、载荷大、压缩变形大和间歇性使用等特点,决定了航空轮胎需要承受比地面车辆轮胎更为严格的考验。随着航空行业的发展,对航空轮胎的安全性要求不断提高。

在轮胎制造过程中,轮胎在完成硫化周期并从硫化模具卸出后,硫化过程仍在持续,因此在硫化后冷却期间帘线会产生热收缩。为减小帘线热收缩对轮胎性能的影响,硫化后的轮胎需要在张力下进行冷却,常见的冷却方式包括模内冷却或机外后充气冷却。而硫化后充气压力和时间会明显影响轮胎的整体性能。

本工作通过帘线干热收缩仪测量锦纶帘线在不同温度下的收缩率和收缩力,以 $27\times 7.7-15$ 航空轮胎作为研究对象,通过热电偶测温法测得轮胎硫化结束出模时的胎体最高温度,结合实际测温数据与理论计算,得出确保帘线不产生收缩所需的最小后充气压力和时间^[1-2]。最后通过成品

轮胎外缘尺寸及动态模拟试验,验证硫化后充气压力和时间选取的合理性。

1 实验

1.1 帘线及轮胎技术参数

1400dtex/2锦纶66帘线,河南神马帘子布有限公司产品。 $27\times 7.75-15$ 航空轮胎技术参数为:额定速度 $362\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$,额定充气压力 1 380 kPa,额定载荷 42.95 kN。

1.2 主要仪器和设备

帘线干热收缩仪,英国TESTRITE公司产品;轮胎热电偶测量仪,华南理工大学产品;航空轮胎动态模拟试验机,德国TS测试服务有限公司产品。

1.3 性能测试

(1)通过帘线干热收缩仪对1400dtex/2锦纶66帘线进行测试,得到不同温度下帘线收缩率和收缩力。

(2)通过热电偶测温法测量轮胎硫化过程中温度的变化情况。

(3)在硫化后充气过程中,从轮胎出模开始每5 min对轮胎上下模胎面、胎侧及胎圈区域进行测温,记录温度随时间的变化数据,测算出轮胎温度

作者简介:于祥钊(1995—),男,山东菏泽人,青岛森麒麟轮胎股份有限公司工程师,学士,主要从事航空轮胎结构设计工作。

E-mail:931586140@qq.com

降到室温所需的时间。

(4)按照GB/T 9747—2008《航空轮胎试验方法》和中国民用航空技术标准CTSO-C62e进行成品轮胎外缘尺寸及动态模拟试验。

2 结果与讨论

2.1 充气压力作用下胎体帘线张力

通过理论计算成品轮胎胎体单根锦纶帘线在不同充气压力下所受的张力,结合硫化测温数据,得出轮胎在出模温度下保证帘线不收缩所需的最小后充气压力。

单根帘线在充气压力作用下的张力采用比德耳曼公式计算:

$$N = P_0 \frac{R_k^2 - R_0^2}{20 \cos^2 \alpha R_k \sum_{j=1}^n i_j}$$

式中 N ——单根帘线张力, N;

P_0 ——轮胎充气压力, kPa;

R_k ——充气轮胎胎里半径, cm;

R_0 ——轮胎零点半径, cm;

i ——充气轮胎冠部帘线密度, 根·cm⁻¹;

j ——充气轮胎帘布层序数;

α ——充气轮胎胎冠帘线角度, (°)。

27×7.75-15轮胎胎体采用1400dtex/2锦纶66帘线。根据试验实测爆破压力值与计算值对比得出,爆破压力实测值约为计算值的0.7倍,故引入效能因数为0.7,修正后胎体帘线张力计算结果如图1所示。从图1可以看出,胎体帘线张力与充气压力呈线性关系。

2.2 硫化过程中温度因素的影响

2.2.1 帘线收缩率

采用干热收缩仪测试1400dtex/2锦纶66帘线收缩率与温度的关系,如图2所示。从图2可以看出,帘线收缩率随温度升高而增大。

2.2.2 帘线收缩力

采用干热收缩仪测试1400dtex/2锦纶66帘线收缩力与温度的关系,如图3所示。从图3可以看出,帘线收缩力随温度升高而增大。

2.2.3 胎体最高温度

通过热电偶测温法测量轮胎硫化过程中温度的变化情况,应用等效硫化效应理论,推算出等效硫化时间,以此来确定轮胎各部位(见图4)的硫化

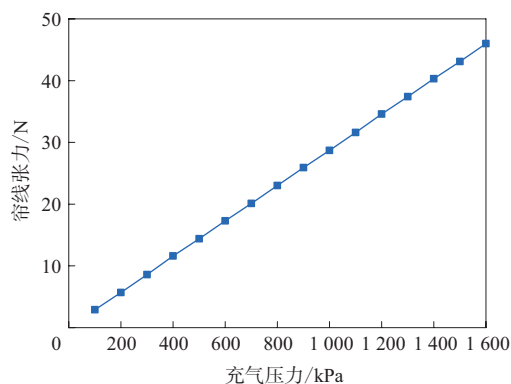


图1 胎体帘线张力与充气压力的关系曲线

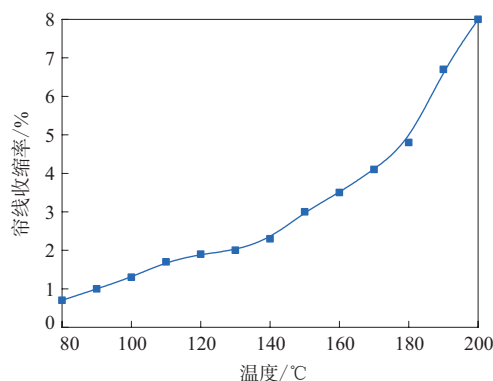


图2 帘线收缩率与温度的关系曲线

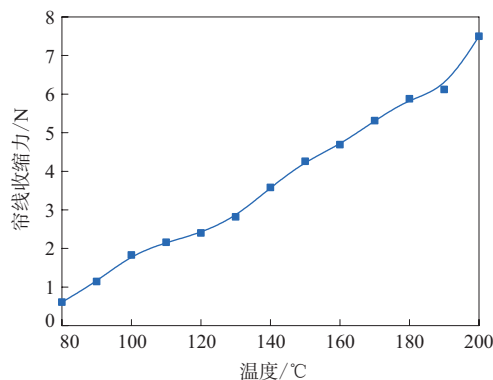


图3 帘线收缩力与温度的关系曲线

程度与胶料的硫化匹配情况。这里将胎体硫化测温点所测得的最高温度作为轮胎出模时胎体的最高温度,从而确定该温度下保证帘线不收缩所需的最小后充气压力。

硫化结束出模时轮胎各测温点的最高温度如表1所示。从表1可以看出,轮胎出模时胎体最高温度为156.7℃。

2.2.4 轮胎温度随后充气时间的变化情况

轮胎安装在后充气卡盘装置后,分别在轮胎

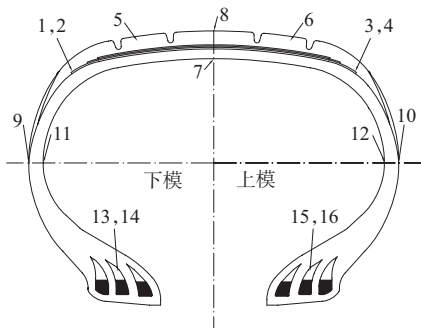


图4 轮胎测温点埋线位置示意

表1 硫化结束出模时轮胎各测温点的最高温度 /℃

测温点编号	测温位置	温度	测温点编号	测温位置	温度
1	胎面	146.2	9	胎侧	145.7
2	胎面	147.5	10	胎侧	149.1
3	胎面	148.8	11	内衬层	167.9
4	胎面	145.4	12	内衬层	168.9
5	胎面	144.5	13	胎体	148.4
6	胎面	143.8	14	胎体	148.9
7	内衬层	172.1	15	胎体	156.1
8	胎体	147.4	16	胎体	156.7

上下模胎面区域、上下模胎圈区域(表面)、上下模胎肩区域周向三等分位置设置6个测温点,从轮胎出模开始每隔5 min测量温度变化情况,结果如表2所示。轮胎温度与后充气时间的关系曲线如图5所示。

由表2和图5可以看出,轮胎温度随着后充气时间延长而逐渐降低,降低至环境温度所需要的时间为95 min。

2.3 后充气压力和时间的确定

由表1可知,轮胎出模时测得的胎体最高温度为156.7℃;由图3可知,160℃时帘线收缩力为4.69 N;由图1可知,充气压力为200 kPa时,胎体帘线张力为5.7 N,即在该充气压力下帘线张力大于帘线收缩力。为消除测量误差带来的影响,保证帘线在充气压力下张力大于收缩力,取值可以留有余量。由图3可知,在170℃时帘线收缩力为5.31 N,仍小于200 kPa充气压力下的帘线张力。

根据热电偶测温结果,通过等效硫化效应理论计算出轮胎正硫化时间为138 min。由图5可知,胎圈区域温度下降速率较快,其次为胎肩区域,胎面区域温度下降速率较慢。由表2可知,轮胎温度下降至室温需要95 min。轮胎热电偶测温数据显示,胎体温度降至轮胎表面温度需要38~43 min,

表2 后充气过程轮胎各测温区域的平均温度 /℃

时间/ min	胎面区域		胎圈区域		胎肩区域	
	下模	上模	下模	上模	下模	上模
0	118.7	121.0	114.9	120.7	116.5	110.3
5	99.9	95.4	83.6	95.1	96.6	86.9
10	89.9	84.8	81.8	85.8	89.1	75.7
15	79.9	75.8	71.8	75.1	81.4	65.7
20	73.8	68.8	64.5	66.7	71.5	57.9
25	64.7	61.2	60.0	58.1	63.7	51.2
30	62.0	56.8	54.9	53.1	58.5	47.5
35	56.4	52.1	52.5	50.3	55.2	44.3
40	52.8	47.2	49.1	46.7	50.9	40.9
45	50.1	45.9	47.5	43.0	47.8	40.3
50	47.5	43.1	44.7	42.7	45.8	38.2
55	45.0	41.5	43.3	39.9	42.1	36.6
60	42.0	39.9	41.3	38.1	39.7	35.4
65	40.5	37.7	39.6	36.7	38.0	33.5
70	37.1	34.5	36.4	34.0	35.0	31.1
75	34.1	31.7	33.6	31.0	31.8	30.0
80	32.4	30.4	31.5	30.0	30.1	30.0
85	31.1	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
90	30.1	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
95	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0

注:环境温度为30℃。

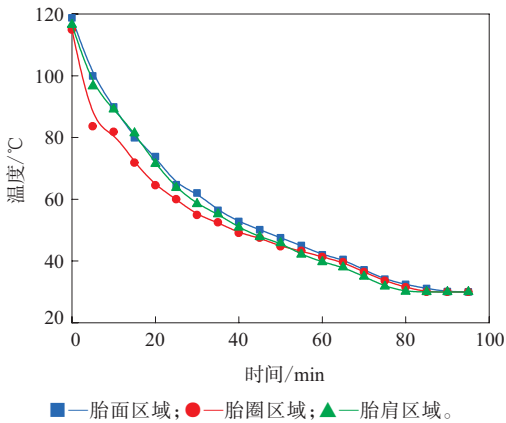


图5 轮胎温度与后充气时间的关系曲线

帘线温度下降趋势与轮胎表面温度相符。因此轮胎硫化后充气时间选取为1个硫化周期即138 min,可以保证轮胎冷却至环境温度。

综上所述:轮胎最小硫化后充气压力设为200 kPa,可以保证轮胎在胎体温度为160~170℃时出模胎体帘线不产生热收缩;硫化后充气时间控制在1个硫化周期,可以保证轮胎冷却至环境温度。

3 成品轮胎性能

3.1 外缘尺寸

确定轮胎硫化后充气压力及时间分别为200

kPa和138 min,根据GB/T 9747—2008,测量3条轮胎的充气外缘尺寸,结果如表3所示。

表3 轮胎的充气外缘尺寸 mm

轮胎序号	充气外直径	充气断面宽
1	673.0	187.8
2	673.3	187.5
3	673.5	187.2

注:充气外直径和充气断面宽的标准值分别为668~686和185~197 mm。

从表3可以看出,3条轮胎的充气外直径和充气断面宽均在标准范围内,且数据一致性较好,表明设定的硫化后充气压力和时间可以保证轮胎充气外缘尺寸的稳定性。

3.2 动态模拟试验

按照GB/T 9747—2008,并根据CTSO-C62e规定的61次动态试验要求,对测量完充气外缘尺寸的3条轮胎进行50次正常起飞试验、8次正常滑行试验、2次1.2倍超载滑行试验和1次1.5倍超载起飞动力试验。轮胎在动态模拟试验机上的安装如图6所示。

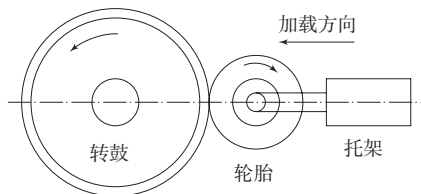


图6 轮胎在动态模拟试验机上的安装示意

3条轮胎均完成61次动态模拟试验,胎面完好,轮胎与轮辋间无滑移,均通过试验。试验后测量3条轮胎的外直径分别为677.4、677.3和677.5 mm,断面宽分别为189.7、189.5和189.3 mm。

4 结论

(1) 锦纶66帘线的收缩率和收缩力随温度升高而增大。

(2) 轮胎硫化后充气压力选取原则为:帘线在该充气压力下的张力不小于在出模温度下的帘线收缩力;后充气时间选取原则为:轮胎内外温度降至室温所需要的时间。

(3) 27×7.7—15航空轮胎最小后充气压力设定为200 kPa,可以保证轮胎在胎体温度为160~170 ℃时出模胎体帘线不产生热收缩;后充气时间设定为1个硫化周期即138 min,可以保证轮胎冷却至环境温度。

(4) 成品轮胎充气外缘尺寸及动态模拟试验验证了后充气压力和时间选取的合理性,轮胎充气外缘尺寸一致性较好。

参考文献:

- [1] 浦哲,冯伟,边慧光,等. 硫化后充气过程对半钢子午线轮胎外周长的影响[J]. 轮胎工业,2014,34(12):622-625.
- [2] 陈华,沈哲炎,黄在青,等. 阿伦尼乌斯方程在全钢载重子午线轮胎硫化计算中的应用研究[J]. 橡胶工业,2021,68(6):409-414.

收稿日期:2023-09-09

Effect of Post-curing Inflation Pressure and Time on Performance of Aircraft Tire

YU Xiangzhao, SHENG Chunjing, LIU Beijiang

(Qingdao Century Tire Co., Ltd, Qingdao 266229, China)

Abstract: In this study, the effects of post-curing inflation pressure and time on the performance of aircraft tires were investigated by taking a 27×7.7—15 aircraft tire as the research object. The relationship between the carcass cord tension and inflation pressure was analyzed, as well as the relationship between the cord shrinkage rate, shrinkage force and the temperature. Then, the temperature change over time during the tire post-curing inflation process was measured by using a thermocouple. It was found that the minimum post-curing inflation pressure of the tire was set at 200 kPa in order to ensure that the carcass cord did not produce any significant thermal shrinkage when the tire was demolded at the carcass temperature of 160~170 ℃. The post-curing inflation time was set at 1 vulcanization cycle in order to cool the tire down to the ambient temperature. The rationality of the selection of post-curing inflation pressure and time was verified through the confirmation of the inflated peripheral dimension and dynamic simulation test of the finished tire.

Key words: aircraft tire; cord shrinkage force; cord tension; carcass temperature; post-curing inflation pressure and time; dynamic simulation test