

航空轮胎（斜交结构）胎里漏线原因分析及解决措施

高利辉，李强，王立业，郑志超，马磊，沈波

（陕西延长石油西北橡胶有限责任公司，陕西 咸阳 712000）

摘要：以 18×6.50-8 斜交结构航空轮胎为例，分析了胎里漏线的原因，并提出了相应的解决措施。胎里漏线主要发生在轮胎的胎里肩部。通过对设计、工艺和生产三方面的详细分析，得出以下主要结论：设计原因：成型鼓宽度设计过小是导致胎里漏线的主要原因；工艺原因：硫化定型高度和定型压力设置不合理也是造成胎里漏线的重要因素；生产原因：现场工艺控制失效，如半成品和成型工序中胶部件厚度不足，会导致胎里漏线缺陷产生。针对以上原因，本文提出了具体的解决措施，并验证了其有效性。通过实施这些措施，18×6.50-8 斜交航空轮胎因胎里漏线导致的废品率显著降低，生产成本得到有效控制，产品外观和质量显著提升，为公司创造了良好的经济效益。

关键词：航空轮胎；斜交轮胎；胎里漏线；成型鼓宽度

中图分类号：TQ330.61

文献标识码：B

文章编号：1009-797X(2025)07-0046-04

DOI:10.13520/j.cnki.rpte.2025.07.010

0 前言

近年来，随着交通工具的快速发展，轮胎作为汽车和飞机的重要组成部分，其性能和质量直接关系到乘客的人身安全。斜交航空轮胎作为飞机轮胎的一种类型，在市场上仍占有一定的份额，特别是小规格航空轮胎。据统计，我公司斜交结构航空轮胎因胎里漏线导致的不合格品数量占首位，造成了极大的生产成本浪费。

为解决这个问题，我们对公司斜交结构航空轮胎产生出现胎里漏线的原因进行了深入的分析，并探索有效的解决措施，通过对斜交航空轮胎结构、工艺和生产等方面的研究，可以更好地理解胎里漏线的产生机理。本文将在我公司 18×6.50-8 产品为例，分析出现胎里漏线的原因，并提出针对性的解决措施和结果验证。

1 胎里漏线缺陷简述

斜交航空轮胎出现胎里漏线的主要位置为胎里肩部，轮胎第一层骨架层帘线在气密胶表面漏出或显出印痕（第一层帘布接头局部漏出本文不做讨论），由于骨架材料侵入了气密胶层，不仅降低了轮胎的气密性能，同时也使各胶种偏离设计要求位置，降低了骨架层帘线与骨架层胶料的粘附性能，且骨架层帘线突出

气密封胶后，轮胎在使用过程中受到撞击时易造成帘线挑起（见图 1），加剧轮胎损坏，其不仅影响轮胎的外观，也极大的降低轮胎的使用性能和寿命。胎里漏线具体位置及外观见图 2。

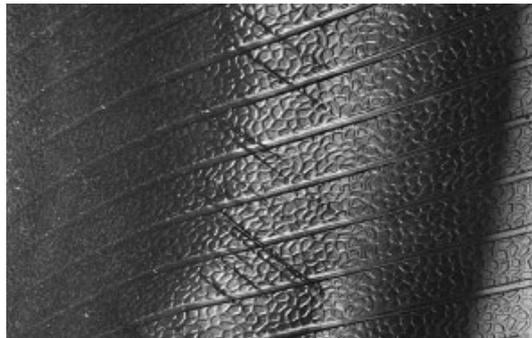


图 1 胎里漏线轮胎动态模拟试验后出现跳线现象

2 原因分析

2.1 设计原因

造成胎里漏线的主要设计原因为成型鼓宽度设计过小，斜交轮胎帘线为交叉网状分布，从胎胚到成品胎帘线的角度是一个增大的过程，如图 3 所示， AB 边组成的菱形为胎胚的帘线网状结构， ab 边组成的菱

作者简介：高利辉（1985-），男，本科，工程师，主要航空轮胎设计、轮胎有限元分析的研究。



图2 胎里漏线位置及外观图

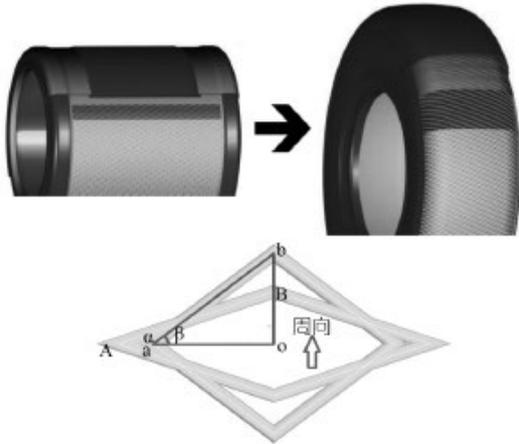


图3 斜交结构轮胎胎胚到成品胎体帘线形状变化图

形为成品胎的帘线网状结构， $\angle \alpha$ 为成型鼓上帘线角度， $\angle \beta$ 为成品胎冠部帘线角度，即 AB 、 ab 方向分别为胎胚和成品胎的帘线方向，在加工过程中， AB 值是等于 ab 值的（引入假定伸张值来定义加工过程中帘线的上缩量，其他情况可不考虑帘线上抽问题）。由成品胎设计参数计算成型鼓鼓宽，在假定伸张取值偏大、成品设计时各部位压缩率取值偏大或计算角度等分段设置量偏少时，鼓宽计算值将小于设计值，假设成品胎两钢圈底部间帘线设计长度为 ab ，胎胚两钢圈底部间帘线长度为 AB ，成品胎帘线径向投影设计长度为 $oa = \cos\beta ab$ ，当鼓宽因以上因素计算偏小时， AB 值将小于设计需求值，此值对应的成品胎钢圈底部帘线长度为 ab' ，帘线径向投影长度 $oa' = \cos\beta' ab'$ ，硫化过程中，模型外直径固定，即 $oa = oa'$ ，可知 $\cos\beta ab = \cos\beta' ab'$ ，由于 $ab > ab'$ ，此式要相等，那 $\cos\beta < \cos\beta'$ ，进而推导出 $\angle \beta > \angle \beta'$ ，斜交轮胎成品胎帘线角度计算见下式：

$$\frac{D_i}{\sin\beta_i} = \frac{D_k}{\sin\beta_i} \quad (1)$$

式中：

D_i —帘线角度为 β_i 处所对应的胎里直径；

D_k —胎里直径；

β_i —帘线某处角度；

β_k —成品胎冠部帘线角度。

按(1)式可知帘线角度 $\angle \beta'$ 对应的帘线胎里直径 D' 小于设计直径 D 。即在鼓宽设计偏小时，相对此部位的帘线直径小于设计直径，从而挤压气密层胶料，造成胎里漏线，由于硫化时胎肩部最后接触模具表面，故此部位更易出现漏线缺陷。

2.2 工艺原因

硫化定型高度设置不合理会导致轮胎下模肩部出现漏线缺陷，斜交航空轮胎的胎胚与成品胎形状相差较大，在硫化生产过程中，我们一般将胎胚的定型高度设定为胎胚筒高度的60%~65%，胶囊在充入一定高温蒸汽压的作用下开始膨胀，将筒状的胎胚顶开，成为一个近似球形，如果定型高度设定偏低，且定型压力过小时，胶囊将持续的挤压胎胚下半部，通过温度传导，受热的气密胶层被挤走，导致成品胎下模肩部出现漏线情况，具体见图4。

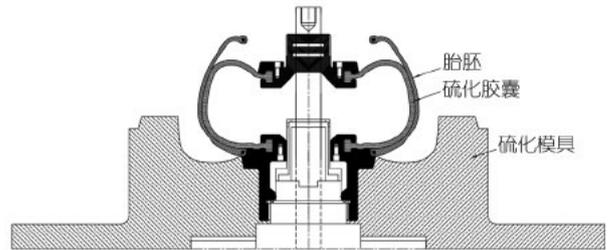


图4 斜交轮胎胎胚定型图

根据胎胚规格尺寸设定合理的胎胚定型高度和定型压力，可有效减少下模肩部胎里漏线的产生。

2.3 生产原因

生产因素导致胎里漏线主要为现场工艺控制失效：

半制品工序：胎面、胎体层或气密胶厚度小于施工标准。

成型工序：胎面贴合偏歪或过度拉升，气密层贴合局部或整体过度拉伸。

以上两个工序归根结底就是因为胶部件厚度减少，从而在硫化过程中，帘线由胎筒到成品的总伸张 δ 就会变大，裁断角度与冠角计算公式：

$$\sin\beta_k = \frac{\beta}{\beta_1} \sin\alpha_k \quad (2)$$

式中：

β_k —成品胎冠部帘线角度；

δ_1 —假定伸张值；

α_0 —帘布裁断角度。

由(2)式可知,总伸张 δ 变大,帘布裁断角度和假定伸张值不变的情况下,冠部角度 β_k 将会增大,由于斜交轮胎成品帘线各部位角度是不一致的,现取胎冠一段帘线 l_k 做分析:

$$l_k = \frac{\Delta S}{\cos \beta_k} \quad (3)$$

式中: ΔS — l_k 投影在鼓宽方向的长度。

由(3)式可知,角度 β_k 增大,实际由于鼓宽固定, ΔS 值固定,即 l_k 值变大,所以在胶料厚度变小时,成品胎两钢丝底间帘线长度需增长,但实际胎胚生产完成后此值为固定值,在硫化过程中两钢丝底间由于帘线长度不够设计值而导致帘线挤压气密封胶,造成胎里漏线缺陷。

3 解决措施

3.1 设计解决措施

确保成型鼓宽度计算准确,成型鼓宽度为机鼓轴线方向,两边缘间的最短距离,也就是第一层帘线在成型鼓轴线方向两边缘间的投影直线长度,我们在设计过程中成型鼓宽度按照 $B_s + A + 2C$ 计算, A 为成型鼓筒状部分宽度; C 为成型鼓肩部宽度。由于轮胎在成型和硫化过程中的变化是复杂的,为了便于计算做两点假定:

(1) 两侧钢丝圈之间的帘线长度,在定型、硫化后,其所受伸张均匀一致。

(2) 斜交帘线组成的菱形,由半成品到成品个数不变,引入帘线假定伸张值 δ 来计算帘线在生产过程中的上抽量。

成型鼓宽度可按下式计算:

$$B_s = \frac{2L}{\delta} \cos \alpha_c - 2l \cos \alpha_c + 2C \quad (4)$$

式中:

L —成品轮胎冠中到钢丝圈底的帘线长度

l —成型鼓肩部曲线到钢丝圈底的帘线长度

α_c —成型鼓上帘线角度

C —成型鼓肩部宽度

由(3)、(4)式可知,假定伸张值 β_1 和帘线在胎胚和成品的分段精细程度是鼓宽计算的两个重点,在设计原因分析中提到的成品结构分布图是计算鼓宽准确性的基础,所以要得到一个准确的鼓宽值,以上三个要点需重点关注。

假定伸张值 β_1 的选取我们主要从两个方面考虑:首先相似产品法,在轮胎规格近似、高宽比、总伸张、

工艺条件和帘线种类接近时,可直接选取相似规格的假定伸张值来计算,没有相似产品时,主要考虑成型和硫化的工艺条件以及骨架材料的种类,现阶段我公司斜交航空轮胎工艺设备主要选用半芯轮式成型鼓和胶囊定型硫化机,此类条件加工过程整体伸张较半鼓式和硫化罐式伸张小,取值一般为1.015~1.03之间,骨架材料为尼龙帘线,此种帘线假定伸张取值一般为1.02~1.04之间,具体情况需结合轮胎的生产工艺条件选取。

成品断面内轮廓曲线和成型鼓肩部分段值选取主要参考轮胎规格大小,小型胎(断面宽 < 180 mm)内轮廓曲线等分长度一般选用5 mm;中型胎(断面宽 < 300 mm)内轮廓曲线等分长度一般选用10 mm;大、巨型胎内轮廓曲线等分长度一般选用20~30 mm。

成品结构分布图绘制需注意四个主要部位的材料压缩系数,胎冠、胎侧平衡点、胎圈横向和钢丝圈底部的压缩系数选主要参考成熟规格的取值。

18×6.50-8规格通过将假定伸张值由1.03调整为1.02,成品内轮廓曲线等分长度选用5 mm,优化了整体结构分布图后,重新对鼓宽进行了计算,成型鼓宽度由原有的295 mm调整为305 mm。确保了胎胚钢丝圈底线间帘线长度与成品钢丝圈底线间帘线长度的一致。可有效防止胎里漏线缺陷的产生。

3.2 工艺解决措施

硫化胎胚定型高度按照胎胚总高度的60%~65%设定,18×6.50-8规格取65%,定型高度有原来的180 mm调整为215 mm,定型压力不宜取大值,此规格较小,帘线层数仅2层,如定型压力取0.08 MPa以上易造成脱圈,定型压力取0.01~0.02 MPa,采用两次定型,首先充入0.02 MPa蒸汽,将胎胚快速定型展开,防止胶囊长时间挤压下模胎里,再抽真空后,充入0.01 MPa蒸汽,保持胶囊与胎胚全面接触,达到定型状态,可有效防止胶囊挤压导致的下模胎里漏线产生。

3.3 生产解决措施

(1) 严格按照施工标准及作业指导书要求进行半成品厚度管控,杜绝超标件流入下一工序。

(2) 提升员工生产及自检技能,定期组织员工培训,重点讲解厚度控制的重要性和操作方法,提高员工专业技能和质量意识,确保厚度控制得到有效执行。

(3) 强化质量检验和抽样检测,建立完善的半成品质量检验体系,包括首检、巡检和终检等环节,确

保每批半制品都经过全面检测。增加抽样频率，对关键工序和易出现问题的环节，增加抽样检测的频率，以便及时发现并纠正厚度不达标的问题。

4 结束语

通过增加鼓宽、优化硫化定型工艺设置和严

格的生产工艺过程控制，2024年4月我公司生产18×6.50-8斜交航空轮胎因胎里漏线导致的废品率降低至0.7%（3月胎里漏线废品率9.6%），该规格产品外观和质量有了较大提升，生产成本得到了有效控制，为公司创造了良好的经济效益。

Analysis and solutions for leakage lines in aircraft tires (diagonal structure)

Gao Lihui, Li Qiang, Wang Liye, Zheng Zhichao, Ma Lei, Shen Bo

(Shaanxi Yanchang Petroleum Northwest Rubber Co. LTD., Xianyang 712023, Shaanxi, China)

Abstract: This article takes the 18 × 6.50-8 diagonal structure aviation tire as an example to deeply analyze the causes of tire line leakage and propose corresponding solutions. Research has found that the problem of tire line leakage mainly occurs in the shoulder area of the tire. Through a detailed analysis of the three key links of design, process, and production, the following main conclusions are drawn: in terms of design, the main reason for the leakage of lines in the tire is that the width of the building drum is designed too small; In terms of process, the unreasonable setting of vulcanization molding height and molding pressure is also an important factor causing thread leakage in the tire; Production aspect: Failure of on-site process control, such as insufficient thickness of rubber components in semi-finished products and molding processes, can lead to the occurrence of wire leakage defects in the tire. In response to the above reasons, this article proposes specific solutions and verifies their effectiveness through practice. After implementing these measures, the scrap rate of 18 × 6.50-8 diagonal aviation tires due to thread leakage significantly decreased, production costs were effectively controlled, and product appearance and quality were significantly improved, creating considerable economic benefits for the company.

Key words: aviation tires; diagonal tires; leakage lines in aircraft tires; width of building drum

(R-03)

