

Causes and improvement measures of vacuum tire leakage in four-wheel drive off-road forklift

Hao Liu

Baoji Combined Forklift Co., Ltd., Baoji, Shaanxi, 721001, China

Abstract

A four-wheel-drive off-road forklift model innovatively adopted vacuum tire structures on both front and rear axles to enhance driving stability and off-road performance on unpaved roads. However, users frequently encountered varying degrees of rear tire leakage during actual operation, severely compromising product reliability and user experience. To address this issue, a systematic analysis was conducted from multiple dimensions including structural design, manufacturing processes, material quality, and operational conditions. The primary causes of leakage were identified, leading to a series of targeted improvement measures. Through practical production tracking and multi-round verification, the modified tires demonstrated significantly improved airtightness, effectively controlling leakage issues while ensuring the product's quality and long-term operational stability. This paper details the fault analysis process, structural and process optimization methods, and summarizes the improvement outcomes, aiming to provide reference for vacuum tire system design and quality control in similar engineering vehicles.

Keywords

4WD off-road forklift; vacuum tires; leak detection; structural optimization; process improvement; airtightness testing

四驱越野叉车真空轮胎漏气原因及改进对策

刘浩

宝鸡合力叉车有限公司, 中国·陕西 宝鸡 721001

摘 要

某型四驱越野叉车在其前后桥创新性地采用了真空轮胎结构,旨在提升整车在非铺装路面条件下的行驶稳定性和通过性。然而,在用户实际使用过程中,频繁出现后轮不同程度漏气的现象,严重影响了产品的可靠性与用户体验。针对该问题,从结构设计、制造工艺、材料质量以及实际工况等多个维度展开系统性分析与排查,明确了导致漏气的主要原因,并据此提出了一系列针对性的改进措施。经实际生产跟踪与多轮验证,改进后的轮胎气密性显著提升,漏气问题得到有效控制,保障了四驱越野叉车的产品质量与长期运行稳定性。本文详细阐述了故障分析过程、结构及工艺优化方法,并对改进效果进行了总结,以期为同类工程车辆真空轮胎系统的设计与质量控制提供参考。

关键词

四驱越野叉车; 真空轮胎; 漏气分析; 结构优化; 工艺改进; 气密性测试

1 引言

四驱越野叉车适配复杂非铺装路面,具备两种驱动模式,后轮四驱时兼具传扭与转向功能,承受较大交变载荷。真空胎因多优势被应用于该车型,但后轮存在慢性漏气问题,影响使用、经济性及安全。本文针对此问题,结合理论与实验开展故障分析、排查及对策研究,提出改进方案并评估效果,既解决产品质量问题,也为真空胎在重型越野车辆的应用积累经验。

2 故障现象

该型四驱越野叉车在出厂前检测及用户使用阶段均发

现后轮真空胎压持续下降的现象。初步检测结果显示,部分轮胎总成在轮辋-轮胎界面存在局部漏气。尽管装车前进行过气密性检验并结果合格,但部分车辆在完成强化跑合试验后仍出现气压显著下降,初始气压 550 kPa 可在数日内降至 380–480 kPa,明显低于使用要求,严重影响车辆的正常作业。

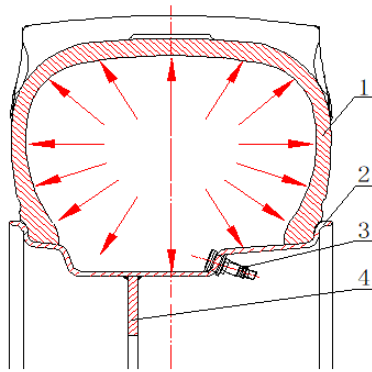
为全面掌握故障情况,我们对连续三个批次的车辆进行了气压跟踪记录,并结合不同路况进行试验,发现漏气现象在颠簸路面和高速转向工况下尤为明显。此外,漏气轮胎多集中于后轮,且左右轮漏气程度存在差异,说明该问题既与零部件质量相关,也与整车工况和受力状态有关。

3 原因分析

真空轮胎在汽车领域已广泛应用,其密封原理主要依靠充气后轮胎胎唇与轮辋密封面之间的过盈配合。该结构省

【作者简介】刘浩(1987–),男,中国陕西咸阳市人,本科,工程师,从事机械设计制造及其自动化研究。

去了内胎、衬带和弹性缩圈，依靠轮胎自身的弹性与轮辋紧密贴合实现密封，具有结构简单、重量轻、生热低等优点。然而，在越野叉车这类恶劣工况下，由于载荷复杂、冲击大、转向频繁，对密封系统的可靠性提出了更高要求（结构原理见图1）。



1—轮胎 2—轮辋 3—气门嘴 4—轮辐

图1 真空轮胎安装结构

基于现有故障样本，我们重点从轮辋制造质量、轮胎唇口结构以及整车工况三个维度进行排查，并结合皂液检测、三坐标测量、粗糙度检测等多种手段进行定量分析。

3.1 轮辋制造缺陷

真空轮胎的密封效果高度依赖于胎唇与轮辋密封面之间的过盈配合。通过对漏气轮胎进行细致的皂液检测，发现泄漏点多集中于轮辋-轮胎接触周圈，呈间断性分布。拆解分析后进一步发现，轮辋密封面存在局部凹陷与凸起，其成因主要在于轮辋卷圆焊接后依赖人工进行打磨修整，导致质量一致性差。该类局部缺陷超出了胎唇材料的弹性补偿能力，从而形成微观泄漏通道。（见图2）



图2 轮辋制造缺陷

3.2 轮辋形位公差超标

轮辋密封面的径向跳动是影响密封性能的关键形位公差。检测数据显示，部分轮辋的径向跳动量达到2.5 mm，远超设计允许范围（通常应控制在1.5 mm以内）。径向跳动过大会导致胎唇与轮辋之间的接触压力分布不均，局部区域密封不严。

此外，轮辋密封面的表面粗糙度也偏大（ $Ra > 12.5 \mu m$ ），不利于胎唇的均匀贴合，容易造成局部应力集中，进一步削

弱气密性。图3和图4分别展示了轮辋径向跳动和表面粗糙度的检测情况

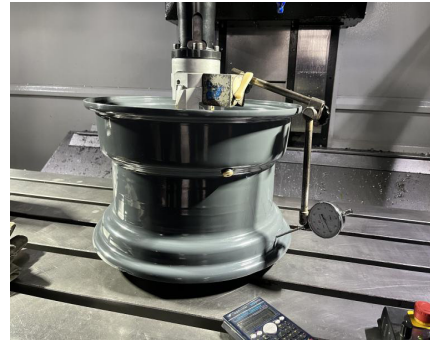


图3 轮辋径向跳动量检测



图4 轮辋表面粗糙度

3.3 工况载荷影响

该型叉车后轮在四驱模式下同时承担驱动和转向功能，在高速转向或恶劣路况下承受较大的侧向力。若胎唇与轮辋间的静摩擦力不足以抵抗该侧向力，则可能发生瞬时的相对位移甚至唇口局部脱开，导致气体泄漏。尤其是在轮胎气压略有不足时，这种风险显著增加。

此外，车辆在非铺装路面上行驶时，轮胎受到的交变冲击载荷较大，易引起轮辋-轮胎界面的微观滑移，长期累积也会破坏密封界面，加剧漏气。

4 改进措施

4.1 提高轮辋设计与制造标准

形位公差优化：将轮辋密封面径向跳动公差由原2.0 mm收紧至1.5 mm，确保胎唇周向均匀贴合；

表面质量提升：密封面粗糙度要求由 $Ra \leq 12.5 \mu m$ 提高至 $Ra \leq 3.2 \mu m$ ，减少微观泄漏通道；

工艺改进：取消传统的人工打磨方式，引入数控机床对焊接后的轮辋密封面进行精加工，保证尺寸一致性及表面质量，彻底消除人工操作带来的不确定性。

4.2 轮胎唇口结构优化

轮胎与轮辋间的密封依赖于轮胎与轮辋在密封唇口处所产生的静摩擦力，计算公式如下：

$$F = \mu \cdot N$$