

商用车气压制动系统典型故障机理与 诊断维修技术研究

陈群

湖北东风汽车技师学院, 湖北 十堰 442000

DOI:10.61369/ECE.2026050003

摘 要 : 商用车气压制动系统是保障车辆道路运输安全的核心总成, 其运行可靠性直接关系到车辆行驶的安全性。为解决当前制动故障成因复杂、诊断效率偏低、维修质量参差不齐等问题, 本文以主流重型商用车气压制动系统为研究对象, 系统阐述系统组成、工作原理及关键部件功能, 深入剖析制动力不足、制动跑偏、制动抖动、轮毂过热四类典型故障的产生机理与影响因素, 构建“热源溯源—材料匹配—结构校准—电控检测”四位一体诊断体系, 结合实车案例验证诊断流程有效性, 提出标准化诊断及维护策略。研究表明, 高温热衰退、摩擦材料不匹配、调整参数失准、电控部件异常是制动故障的主要诱因, 科学诊断与规范维修可显著降低故障发生率。研究成果可为商用车制动系统故障快速排查、精准维修及可靠性提升提供技术支撑。

关 键 词 : 商用车; 气压制动; 故障机理; 诊断技术; 维修工艺

Research on Typical Fault Mechanism and Diagnostic Maintenance Technology of Pneumatic Braking System for Commercial Vehicles

Chen Qun

Hubei Dongfeng Automotive Technician College, Shiyan, Hubei, 442000

Abstract : The pneumatic braking system serves as the core assembly guaranteeing the road transportation safety of commercial vehicles, whose operational reliability directly determines driving safety. To tackle prevalent problems including complicated causes of braking faults, low diagnostic efficiency and inconsistent maintenance quality, this paper targets the pneumatic braking system of mainstream heavy-duty commercial vehicles. It systematically specifies the system composition, working principles and functions of key components, and deeply analyzes the formation mechanism and influencing factors of four typical faults: insufficient braking force, brake pull, brake judder and overheated wheel hubs. A four-in-one diagnostic framework consisting of heat source tracing, material matching, structural calibration and electronic control inspection is established. The effectiveness of the diagnostic procedure is verified via practical vehicle cases, and standardized diagnosis and maintenance strategies are put forward. The research reveals that high-temperature thermal fade, mismatched friction materials, inaccurate adjustment parameters and abnormal electronic control components constitute the primary triggers of braking failures. Rational diagnosis and standardized maintenance can drastically cut down fault frequency. The research findings provide technical references for rapid troubleshooting, precision maintenance and reliability improvement of commercial vehicle braking systems.

Keywords : commercial vehicle; pneumatic brake; fault mechanism; diagnostic technology; maintenance process

引言

我国物流运输行业持续快速发展, 商用车保有量逐年递增, 重载化、高速化、智能化发展趋势日益明显。制动系统作为车辆安全的关键装置, 承担着车辆减速、驻车等核心功能, 其性能稳定性直接决定行车安全水平。当前国内重型商用车普遍采用气压制动系统, 并集成 ABS、EBS、ESC 等电控辅助装置, 电子化程度不断提升, 制动响应速度与控制精度显著提升, 但系统结构复杂度增加也导致故障类型多样化、诊断难度提升, 制动力不足、制动跑偏、制动抖动、轮毂过热等故障频发, 易引发侧滑、甩尾等交通事故。

商用车制动故障具有隐蔽性、关联性、突发性特征，单一故障诱因往往伴随机械、气压、电控多系统耦合影响，传统经验式诊断方法效率低、误判率高，难以满足现代商用车维修需求。因此系统梳理气压制动系统结构原理、揭示典型故障产生机理、建立科学高效的诊断维修体系，对提升商用车制动系统可靠性具有重要意义。本文基于实车维修数据与故障案例，开展商用车气压制动系统典型故障机理与诊断维修技术研究，为行业提供技术参考。

一、商用车气压制动系统结构与工作原理

（一）系统组成

商用车气压制动系统由空气供给系统、制动驱动机构、制动器、电控辅助系统四大核心模块构成，各模块协同工作，实现制动功能的稳定输出。

空气供给系统为制动系统提供稳定、干燥的压缩空气，空气压缩机产生高压压缩空气，经空气干燥器去除水分、杂质，通过调压阀将系统压力稳定在 10bar 左右，再经四回路保护阀分配至前后桥储气筒储存，排水阀定期排出管路积水，防止锈蚀与结冰。

制动驱动机构负责制动信号传递与制动力执行，制动总泵将驾驶员踏板力转化为气压控制信号，继动阀实现气压快速传递，制动气室将气体压力转化为机械能，推动制动器工作，保障制动响应及时性。

车轮制动器是产生制动力矩的核心部件，主流重型商用车采用鼓式制动器 + 盘式制动器，高端车型逐步采用全盘式制动器。鼓式制动器通过摩擦片与制动鼓摩擦产生制动力矩；盘式制动器散热性能好、制动稳定性高。

电控辅助系统由 ABS 轮速传感器、ABS 电磁阀、电子控制单元（ECU）、ESC 横摆传感器、转角传感器等部件组成，实时监测车辆运行状态，实现防抱死、驱动防滑、车身稳定控制功能，提升复杂工况下的制动安全性。

（二）工作原理

商用车气压制动本质是动能、热能转换过程，其工作流程分为供气、制动、解除制动三个阶段。正常行驶时，压缩空气储存于储气筒，系统维持标准工作气压，制动气室处于非工作状态，摩擦片与制动鼓保持间隙，制动器不产生制动力。

制动时，驾驶员踩下制动踏板，踏板力通过推杆传递至制动总泵，总泵内部活塞运动，打开对应阀门通道，压缩空气经总泵输出口输出气压信号，传递至继动阀控制口。继动阀接收到控制信号后，快速打开进气通道，储气筒高压空气直接进入制动气室，推动气室推杆伸出，带动凸轮轴旋转，凸轮轴推动制动蹄张开，使摩擦片与制动鼓产生摩擦，摩擦将车辆动能转化为热能，实现车辆制动。

解除制动时，驾驶员松开制动踏板，制动总泵排气阀打开，控制信号气压迅速下降，继动阀进气阀关闭、排气阀打开，制动气室压缩空气经继动阀快速排出，制动蹄在回位弹簧作用下回位，摩擦片与制动鼓分离，制动力消失，车辆恢复正常行驶状态。

二、商用车制动系统典型故障机理分析

（一）制动力不足

制动力不足表现为制动距离明显延长、制动踏板行程过大、减速无力、紧急制动无明显拖印，是商用车最常见的制动故障之一。其核心机理为摩擦系数下降、气压供给不足、制动间隙异常、热衰退效应，多因素耦合导致制动力矩达不到设计要求。

摩擦片性能衰退是制动力不足的主要原因。摩擦片再高温下粘结剂易分解碳化，温度超过 280℃时摩擦系数骤降，产生热衰退现象；摩擦片长期使用磨损过度、表面油污污染、接触面积不足 60%，会直接降低摩擦系数，导致制动力矩不足。

空气处理系统故障会导致制动气压不足，影响制动力输出。空气压缩机磨损供气效率下降、空气干燥器堵塞导致气路不畅、储气筒压力偏低、管路弯折或松动漏气、继动阀卡滞，均会造成制动气室工作气压不足，制动力输出受限。

制动器参数调整不当也会引发制动力不足。制动间隙过大，摩擦片与制动鼓接触不充分；制动鼓失圆，摩擦接触面积减小；回位弹簧失效，制动蹄回位异常；调整臂卡滞，无法有效调节制动间隙，均会影响制动器正常工作，导致制动力不足。

车辆超载、超速、频繁急刹会加剧制动系统负荷，导致制动器温度急剧升高，热衰退效应加剧，摩擦性能急剧下降，进一步恶化制动力不足故障。

（二）制动跑偏

制动跑偏表现为制动时车辆自动向左或向右偏驶，严重时引发侧滑、甩尾，威胁行车安全。其根本机理是左右车轮制动力不均衡，分为单向规律跑偏、无规律跑偏、突发跑偏三类，机械参数差异、气压分配失衡、底盘状态异常是主要诱因。

机械参数差异是单向规律跑偏的主要原因。左右车轮摩擦片材质、磨损程度不一致，摩擦系数存在差异；制动鼓内径差超标，摩擦接触面积不同；制动间隙不均，左右制动器响应时间不一致；凸轮轴升程差异、支撑销磨损不均，导致左右制动器制动力矩输出不均衡，制动时车辆向制动力大的一侧跑偏。

气压分配失衡会导致左右制动力输出不均。单侧工作气压不足；继动阀内部故障；ABS 电磁阀故障，均会造成左右车轮制动力不均衡，引发制动跑偏。

底盘状态异常也会诱发跑偏。轮胎气压、磨损不一致；钢板弹簧弹力差异；车架变形等，破坏车辆行驶整车参数，制动时易出现跑偏现象。

（三）制动抖动

制动抖动表现为中高速（50km/h 以上）制动时，方向盘、车身剧烈抖动，车速越高抖动越明显，驻车制动无抖动，多在重

载、长下坡制动后出现。其核心机理是制动鼓失圆、热变形、开裂，导致摩擦接触不平稳，振动通过底盘传递至车身。

制动鼓长期高温运行是抖动的主要诱因。长下坡、频繁制动导致制动器温度急剧升高，制动鼓内壁受热不均产生热变形，内壁出现凹凸不平、裂纹；长期使用磨损不均，制动鼓圆度超标，旋转时摩擦面跳动量过大，摩擦片与制动鼓接触不平稳，产生周期性振动，引发方向盘、车身抖动。

摩擦片局部硬化、表面不平、接触不良，会加剧抖动现象。摩擦片高温下局部碳化硬化，表面出现硬点，制动时硬点与制动鼓反复冲击，放大振动幅度，导致抖动加剧。

（四）轮毂过热

轮毂过热表现为车辆短距离行驶后轮毂异常发烫、冒烟、伴有焦糊味，严重时导致轮毂轴承烧蚀、轮胎起火。其本质机理是制动拖滞、回位不良，摩擦面长期接触持续摩擦生热，热量积聚导致轮毂温度升高。

制动器回位不良是轮毂过热的主要原因。制动凸轮轴发生变形，旋转阻力随之增大；回位弹簧疲软或断裂，回位拉力不足；调整臂卡滞，无法正常释放制动间隙；制动气室内部故障，推杆回位不畅，均会导致制动蹄无法完全回位，摩擦片与制动鼓长期接触摩擦，持续产生热量。

感载阀调整不当或内部卡滞，会导致制动气压持续作用于制动器。感载阀用于调节不同载荷下的制动力分配，调整不当或卡滞时，无法正常泄压，制动气室始终保持一定气压，摩擦副长期接触，引发拖滞摩擦，导致轮毂过热。

三、商用车制动故障诊断体系与维修工艺

（一）多维度溯源诊断体系

针对商用车制动故障复杂性，构建“热源溯源—材料匹配—结构校准—电控检测”四位一体诊断体系，实现故障快速定位。

热源溯源聚焦高温对制动系统的影响，优先排查散热条件、制动频率、超载情况、摩擦片耐热等级，判断是否存在热衰退、热变形问题，重点检查制动器温度、摩擦片碳化程度、制动鼓变形情况。

材料匹配排查摩擦材料适配性，核对摩擦片型号、材质、适配工况，避免混用不同配方产品，检查摩擦片是否存在油污、硬化、磨损不均等问题，确保摩擦副材料匹配一致。

结构校准重点检查制动器机械参数，使用百分表测量制动鼓圆度、塞尺检测制动间隙、弹簧测力计测试回位弹簧弹力、千分尺测量摩擦片厚度，校准左右制动器参数一致性，排查机械卡滞、磨损异常等问题。

电控检测针对 ABS、EBS 等电控系统，使用专用 PC 诊断仪读取故障码，排查传感器、电磁阀、线路故障；用万用表检测传感器、电磁阀电阻，检查线路通断，排除电控系统故障干扰。

（二）标准化诊断维修流程

制定标准化诊断维修流程，规范操作步骤，提升维修效率与质量。

第一步，故障确认。路试重现故障，记录故障现象、车速、载荷、路况等工况信息，区分机械、气压、电控故障类型，初步判断故障范围。

第二步，初步外观检查。检查轮胎气压、磨损情况，制动管路有无破损、漏气痕迹，储气筒压力是否正常，制动器有无油污、变形，排除明显外观故障。

第三步，精准检测。机械系统：拆解制动器，检查摩擦片、制动鼓、凸轮轴、调整臂、回位弹簧磨损情况，测量关键参数；气压系统：用压力表检测空压机供气压力、各阀输出气压，肥皂水排查管路漏气；电控系统：读取故障码，检测传感器、电磁阀性能，排查线路故障。

第四步，故障定位。综合检测数据，锁定故障部件与根本原因，区分单一故障与复合故障，制定针对性维修方案。

第五步，维修更换。更换故障部件，优先选用原厂适配配件，保证材质、尺寸一致性；校准制动间隙、制动力分配等参数；排空管路空气，确保气路通畅。

第六步，调试磨合。路试验证维修效果，轻载低速磨合制动器，检查制动性能是否恢复正常，有无异常抖动、跑偏、过热现象，确认故障彻底消除。

（三）典型故障维修案例

1. 制动抖动故障案例

车辆信息：东风天龙 DFH4250C2 型牵引车，行驶里程 36830km，装配 ABS 系统，标载总质量 49t。

故障现象：车速 60km/h 以上制动时车身剧烈抖动，车速越高抖动越严重，驻车制动无抖动，长下坡后故障加剧。

诊断维修：路试确认故障，逐一断开单桥制动回路，故障未消除；外观检查无明显漏气、破损；拆解制动器，发现制动鼓内壁开裂、严重失圆，摩擦片局部硬化；更换原厂制动鼓与摩擦片，校准制动间隙，轻载磨合后路试，抖动故障彻底消除。

故障结论：制动鼓长期高温运行导致开裂、失圆，摩擦面跳动引发制动抖动。

2. 轮毂过热故障案例

车辆信息：东风天锦 DFL1311A8 型载货车，行驶里程 6500km，装配感载阀，额定载质量 18t。

故障现象：车辆行驶 50km 后轮毂异常发烫，伴有焦糊味，重载行驶后故障更明显。

诊断维修：排查轮毂轴承、制动分泵、凸轮轴、回位弹簧均正常；检测制动管路无漏气，储气筒压力正常；初步调整感载阀，故障缓解但未根除；更换感载阀后，故障彻底消除；更换原厂感载阀，校准制动力分配参数，路试验证正常。

故障结论：感载阀内部卡滞，气压分配异常导致制动拖滞，引发轮毂过热。

四、预防性维护策略

为降低制动故障发生率、延长系统使用寿命，制定预防性维护策略，实现故障早发现、早处理。

定期检查制动间隙，每10000km 检查一次，避免间隙过大导致制动力不足、间隙过小引发拖滞过热；定期排放储气筒积水，每5000km 检查空气干燥器工作状态，防止管路锈蚀、结冰；规范驾驶操作，避免超载、超速、频繁急刹，减少制动系统高温负荷；定期读取 ABS/EBS 故障码，每20000km 检查电控部件性能，提前排查隐患；每20000km 检查制动鼓圆度、凸轮轴磨损、回位弹簧弹力，及时更换老化部件。

五、结论

商用车气压制动系统故障成因复杂，涉及机械、气压、电控

多系统耦合影响，高温热衰退、摩擦材料不匹配、机械参数失准、电控部件异常是制动故障的主要诱因。本文构建的“热源溯源—材料匹配—结构校准—电控检测”四位一体诊断体系，可实现故障快速定位；标准化诊断维修流程经实车案例验证，有效提升维修效率、降低误判率；预防性维护策略可显著降低故障发生率，保障制动系统稳定可靠。研究成果为商用车制动系统故障诊断维修提供理论支撑与实践参考，对提升道路运输安全具有重要意义。

参考文献

-
- [1] 东风商用车技术中心. 东风商用车底盘制动系统维修手册 [Z]. 十堰：东风商用车有限公司，2022.
 - [2] 周晓飞. 商用车底盘故障诊断与维修 [M]. 北京：机械工业出版社，2020.
 - [3] 王翌予. 汽车设计 [M]. 北京：机械工业出版社，2019.
 - [4] 瑞佩尔. 重型卡车制动系统故障分析与排除 [M]. 北京：电子工业出版社，2021.