

电子驻车制动器性能关键影响因素探究

王 宇, 王君帅, 马 尧, 刘晓东, 张新峰

中汽零部件技术(天津)有限公司底盘部件试验研究部, 天津

收稿日期: 2025年5月8日; 录用日期: 2025年7月2日; 发布日期: 2025年7月10日

摘 要

电子驻车制动器(EPB)作为汽车制动系统核心部件,其性能直接关乎行车安全。鉴于车辆运输过程中EPB长时间处于夹紧状态可能引发性能变化,本研究搭建运输耐久测试系统,开展EPB运输耐久及后续性能测试。通过设置不同力矩与测试次数工况,结合低温(-40°C)和高温(120°C)极端环境条件,探究多因素对EPB性能的影响。试验数据表明,随着力矩和测试次数的增加,EPB效率明显下降;在环境因素影响方面,高温(120°C)相较于低温(-40°C)对EPB效率的衰减作用更为突出。本研究成果为优化EPB设计、制定合理维护策略及提升汽车制动系统可靠性提供了重要参考依据。

关键词

EPB制动钳, 运输耐久, 性能, 极端环境

Exploration of Key Influencing Factors on the Performance of Electronic Parking Brake

Yu Wang, Junshuai Wang, Yao Ma, Xiaodong Liu, Xinfeng Zhang

CATARC Chassis Component Testing and Research Department, China Automotive Parts Technology (Tianjin) Co., Ltd., Tianjin

Received: May 8th, 2025; accepted: Jul. 2nd, 2025; published: Jul. 10th, 2025

Abstract

The electronic parking brake (EPB), as a core component of the automotive braking system, directly

文章引用: 王宇, 王君帅, 马尧, 刘晓东, 张新峰. 电子驻车制动器性能关键影响因素探究[J]. 交通技术, 2025, 14(4): 381-388. DOI: 10.12677/ojtt.2025.144039

affects driving safety in terms of its performance. Considering that EPB being in a clamped state for a long time during vehicle transportation may cause performance changes, this study establishes a transportation durability testing system to conduct EPB transportation durability and subsequent performance testing. By setting different torque and testing conditions, combined with extreme environmental conditions of low temperature (-40°C) and high temperature (120°C), the influence of multiple factors on the performance of EPB is explored. The experimental data shows that with the increase of torque and testing times, the efficiency of EPB significantly decreases; In terms of environmental factors, high temperature (120°C) has a more prominent attenuation effect on EPB efficiency compared to low temperature (-40°C). This research provides important reference for optimizing EPB design, formulating reasonable maintenance strategies, and improving the reliability of automotive braking systems.

Keywords

EPB Brake Caliper, Transportation Durability, Performance, Extreme Environment

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

汽车制动系统是保障车辆行驶安全的核心部分,直接与驾驶员和行人的生命安全紧密相连[1][2]。电子驻车制动卡钳(EPB)由于操作简单、制动力均匀等优势,被广泛应用到各类车辆当中[3]。作为核心安全部件,EPB 的性能的优劣直接决定了制动系统的可靠性和安全性,进而影响整车的品质和市场竞争力。传统 EPB 耐久测试主要为参考 QC/T 592《液压制动钳总成性能要求及台架试验方法》中的扭转疲劳试验和各个企业内部制订的 EPB 执行器耐久测试,这些测试主要聚焦于多次循环耐久后钳体结构完整性、执行器功能稳定性及驻车效率的变化[4]-[6],缺少与车辆运输耐久相关的试验方法。但车辆在运输过程中,为了避免车辆与运输车辆产生相对滑动,EPB 往往处于锁紧状态,因此,EPB 将会受到运输车辆由于加速和减速产生惯性力。鉴于现有研究对该工况下 EPB 性能变化关注不足,本文通过自主搭建 EPB 运输耐久试验装置,探究运输过程中动态载荷及极端温度对 EPB 效率的影响,以完善 EPB 性能测试体系、为提升产品可靠性提供理论依据。

2. EPB 工作原理及试验装置

2.1. EPB 工作原理

EPB 是电子驻车制动系统的关键执行部分,集成了行车制动和驻车制动功能,两种制动方式的共同点都是通过活塞推动摩擦片,使其挤压制动盘,从而实现制动功能,不同之处在于行车制动是通过液压推动活塞,而驻车制动是通过电子控制单元(ECU)、电机、齿轮、皮带等机构推动活塞[7]-[9],如图 1 所示。电子控制单元(ECU)是 EPB 的“大脑”,能够接收并处理来自车辆的各个传感器信号,如车速、制动踏板位置等,并根据提前在 ECU 内写好控制逻辑向电机发出指令。电机作为动力源,在接收到 ECU 的指令后,通过传动机构将旋转运动转化为直线运动,进而推动制动活塞实现制动或释放动作。传动机构通常采用螺杆螺母、齿轮齿条或滚珠丝杠等形式,其作用是将电机的扭矩放大并精确传递给制动活塞,以满足不同工况下的制动力需求[10]-[12]。

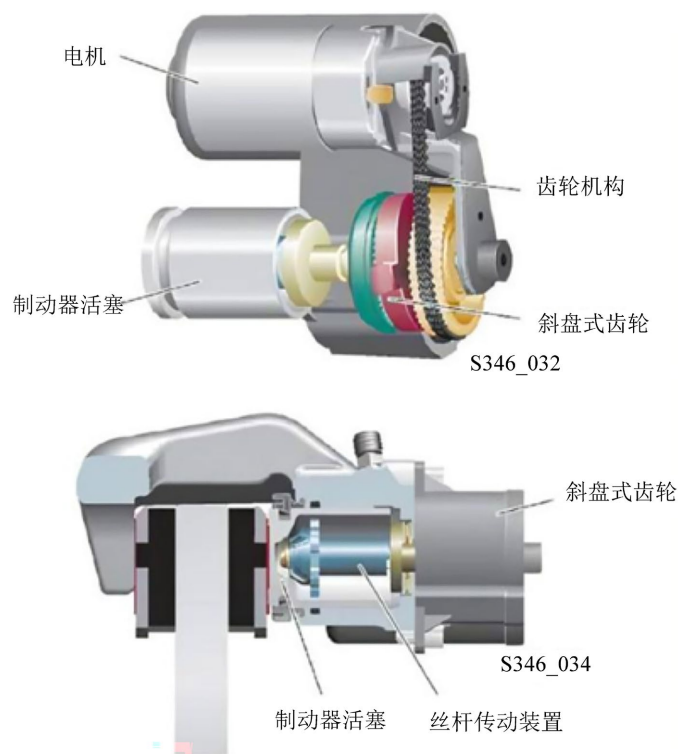


Figure 1. EPB structure
图 1. EPB 结构

2.2. 运输耐久试验装置

运输耐久试验装置旨在精准复现车辆运输过程中 EPB 的实际工作状态，从零部件维度量化分析其经运输耐久后的性能演变，如图 2 所示。该装置由 EPB 制动钳、制动盘、旋转部件、底座、固定轴及气动伺服缸等核心组件构成。其中，EPB 制动钳与制动盘作为待测样品，而铁地板、底座、旋转部件和气动伺服缸共同组成运输耐久疲劳工装体系。

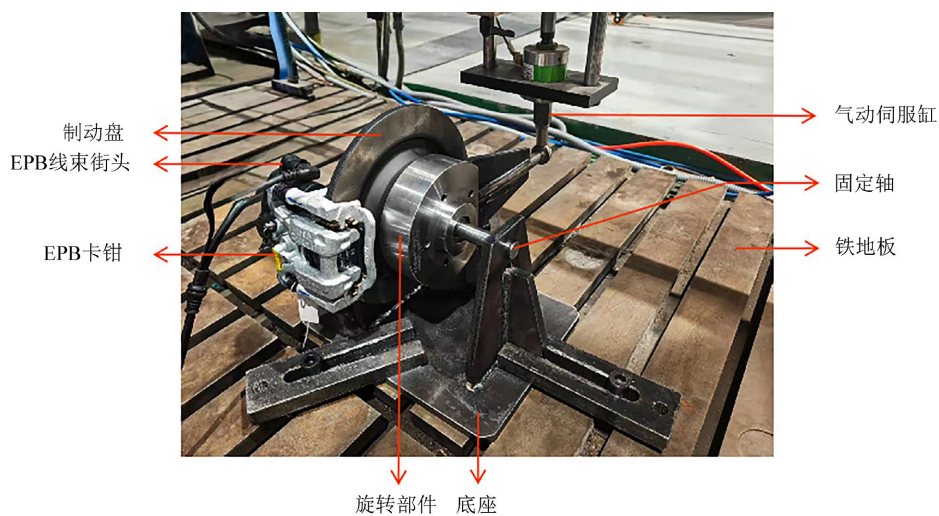


Figure 2. Durable transportation equipment
图 2. 运输耐久装置

气动伺服缸作为核心动力单元，具备灵活调控直线驱动力大小与频率的功能，可依据试验需求快速切换工况参数。其通过 250 mm 长度的力臂与旋转部件相连，借助独特的机械结构设计，将输入的直线力高效转化为旋转力矩，逼真模拟车辆运输时 EPB 实际承受的动态载荷，为研究运输过程对 EPB 性能的影响提供可靠试验平台。

3. 运输耐久试验方法及测试结果

本试验选用市面采购的某型号 EPB 卡钳作为测试样品，通过标准化采购流程获取样品，确保了测试对象与实际应用场景的高度契合，有效提升了试验结果的普适性与可靠性，为后续研究结论的推广应用奠定坚实基础，如图 3 所示。



Figure 3. Sample to be tested
图 3. 待测试样品

EPB 运动耐久测试工况往往发生在运输车辆、运输船上，由于所配套的车辆重量的不同，EPB 受到的扭转力矩也不同。同时，车辆在运输过程中，运输时间也有所差异。因此，将扭转力矩及试验次数作为试验方法的主要变量，开展 EPB 卡钳运输耐久试验。

EPB 的运输耐久工况广泛存在于公路运输车辆、海运船舶等载体。受配套车辆整备质量差异影响，EPB 在运输过程中承受的扭转力矩也不同；同时，跨区域、跨国界的运输周期亦长短不一。鉴于运输场景中力矩载荷与时间维度的双重影响，本研究以扭转力矩和试验次数作为核心控制变量，系统性开展 EPB 运输耐久试验，旨在量化关键因素对其性能衰减的影响规律，为构建标准化测试体系提供数据支撑。

3.1. 运输耐久测试方法

为精准探究关键因素对 EPB 性能的影响，本研究以扭转力矩与试验次数作为核心变量展开测试。为确保试验工况高度还原实车场景，EPB 严格按照实车安装规范，固定于运输耐久试验装置。通过加载最大设计电流激活 EPB 系统，使刹车片紧密贴合制动盘，形成标准制动状态。随后，将气动伺服装置与试验装置的旋转部件精准对接，完成测试环境的搭建。

本次试验共设置 2 组不同扭转力矩与 2 组不同试验次数的交叉工况组合，具体分组方案详见表 1，每个组别代表一个 EPB 制动钳。同时，考虑到车辆行驶条件的复杂多变，故研究极端环境对 EPB 性能的影响，在本研究中，极端环境为低温(-40°C)和高温(120°C)。

Table 1. Protocol
表 1. 试验方案

组别		A	B	C	D
实验条件	力矩(N·m)	350	350	850	850
	次数	30,000	130,000	30,000	130,000

3.2. 运输耐久测试结果

EPB 制动钳的效率可通过夹紧力与夹紧电流的比值直观衡量。在恒定电压条件下，该比值越高，表明单位电流驱动下制动钳产生的夹紧力越大，进而使制动盘与摩擦片间的摩擦力矩更强，车辆制动效能也就越优。这意味着，当输入电流相同时，EPB 制动钳产生的夹紧力越大，其能量转换效率越高，制动性能表现越出色，EPB 制动钳效率计算公式如下：

$$u = F/A \tag{1}$$

其中， F 为夹紧力，kN； A 为电流，A； u 为制动效率。

为评估 EPB 经运输耐久后的性能表现，对四组制动钳开展常温下的性能一致性测试。试验以 11,000 N 夹紧力为标准工况，通过测试不同电压条件下制动钳效率，判断其性能稳定性，测试结果如图 4 所示。数据显示，四组制动钳在各电压节点的效率相近，使用标准差表征离散度，则离散度均小于 0.05。这一结果表明，所选制动钳在相同工况下展现出良好的性能一致性，可满足后续运输耐久性能测试的要求，确保测试数据具备较高的可靠性与可重复性。

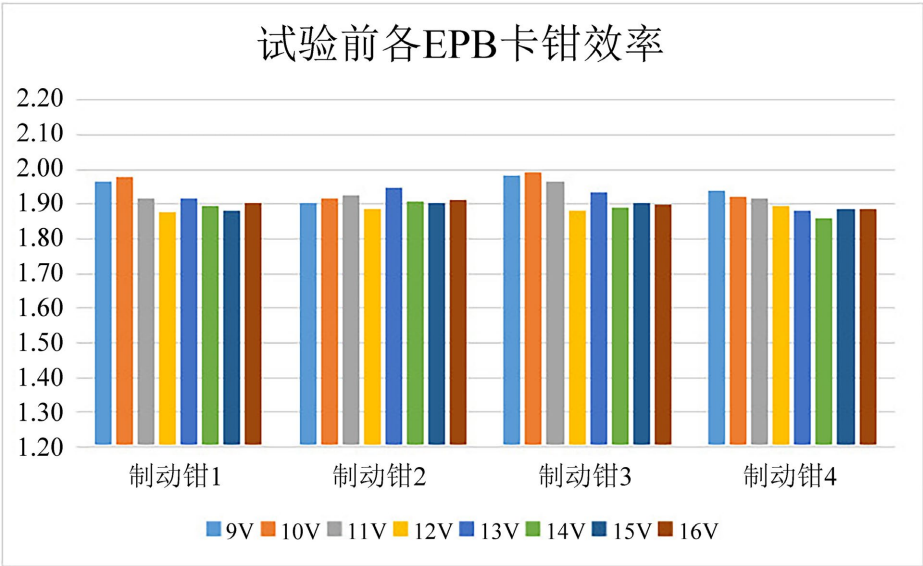


Figure 4. Efficiency of each EPB caliper before the experiment
图 4. 试验前各 EPB 卡钳效率

图 5 为经过耐久后的测试结果。研究发现，经耐久测试后，制动钳效率在各电压节点与试验前基本保持一致，基于此，通过计算不同电压下的效率平均值，以表征当前状态下 EPB 制动钳的综合效率水平。

表 2 展示了试验前后效率数据对比。数据显示，施加相同力矩条件下，随着测试次数的增加，EPB 制动钳的效率衰减值增大；而在相同测试次数下，随着试验力矩的增大，制动钳的效率衰减也愈发明显。这主要归因于随着力矩加载值的提升以及耐久测试次数的累积，制动钳结构所承受的机械应力不断加剧，

EPB 内部组件，例如传递齿轮、螺杆出现磨损、形变等不可逆损伤，最终对制动效率产生负面影响。

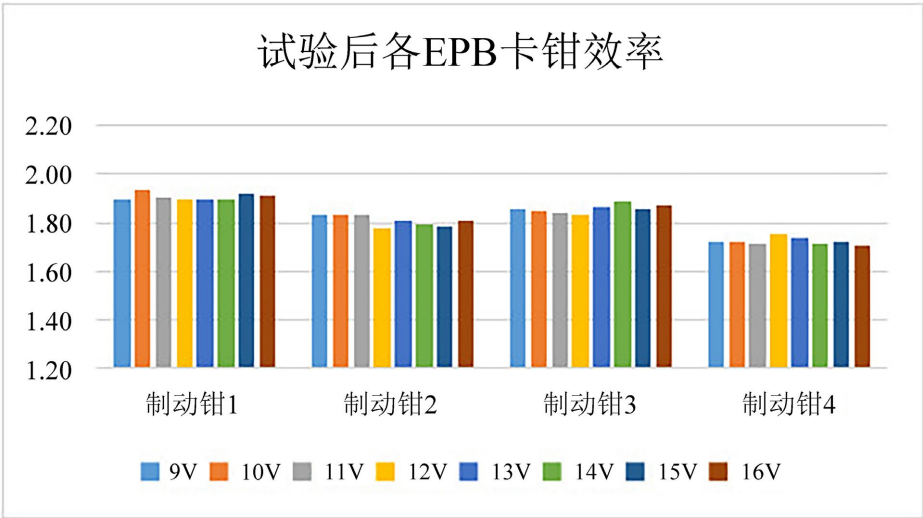


Figure 5. Efficiency of each EPB caliper after transportation durability
图 5. 运输耐久后各 EPB 卡钳效率

Table 2. Comparison of efficiency before and after each group experiment
表 2. 各组别试验前后效率对比

组别	A	B	C	D
试验前	1.92	1.91	1.93	1.90
试验后	1.91	1.81	1.86	1.72
衰减值	0.52%	5.24%	3.63%	9.47%

EPB 夹紧时间是指从 EPB 接收到制动指令到制动钳完全夹紧车轮所需的时间。在紧急情况或异常工况下，其作用尤为显著。当车辆遭遇突发状况需要紧急驻车时，若夹紧时间过长，车辆仍会在一定时间内保持行驶惯性，增加碰撞风险，因此将试验前后，夹紧时间进行对比，验证运输耐久对夹紧时间的影响，如表 3 所示。由表 3 可知，随着电压的增加，夹紧时间逐渐变小，这是由于电压升高，EPB 响应加快。但从变化值可以看出，A 组的变化值最小，D 组的变化值最大，这是因为 D 组的测试时间和扭矩都是最恶劣的。

Table 3. Comparison of clamping time before and after each group experiment
表 3. 各组别试验前后夹紧时间对比

组别	电压(V)	A	B	C	D
试验前(ms)	9	372	361	372	366
	10	330	321	326	321
	11	295	287	292	289
	12	275	263	270	267
	13	250	241	242	240
	14	232	223	223	222
	15	210	206	208	201
	16	196	193	193	192

续表

试验后(ms)	9	404	404	407	424
	10	357	354	357	375
	11	321	320	320	338
	12	291	294	293	308
	13	265	263	260	280
	14	242	242	239	258
	15	225	223	223	241
	16	209	207	207	225
变化值(ms)	9	32	43	35	58
	10	27	33	31	54
	11	26	33	28	49
	12	16	31	23	41
	13	15	22	18	40
	14	10	19	16	36
	15	15	17	15	40
	16	13	14	14	33

在实际工况下，车辆运行环境涵盖复杂多样的地域条件。为系统探究环境因素对 EPB 制动钳效率的影响机制，选取组别 A 样品开展极端环境测试，在低温-40℃与高温 120℃条件下进行专项试验。测试数据及图 6 及表 4 结果表明：相较于低温工况，高温环境对 EPB 制动钳的性能影响更为显著，其性能衰减程度明显加剧，凸显出高温环境对制动钳效能的严峻挑战。

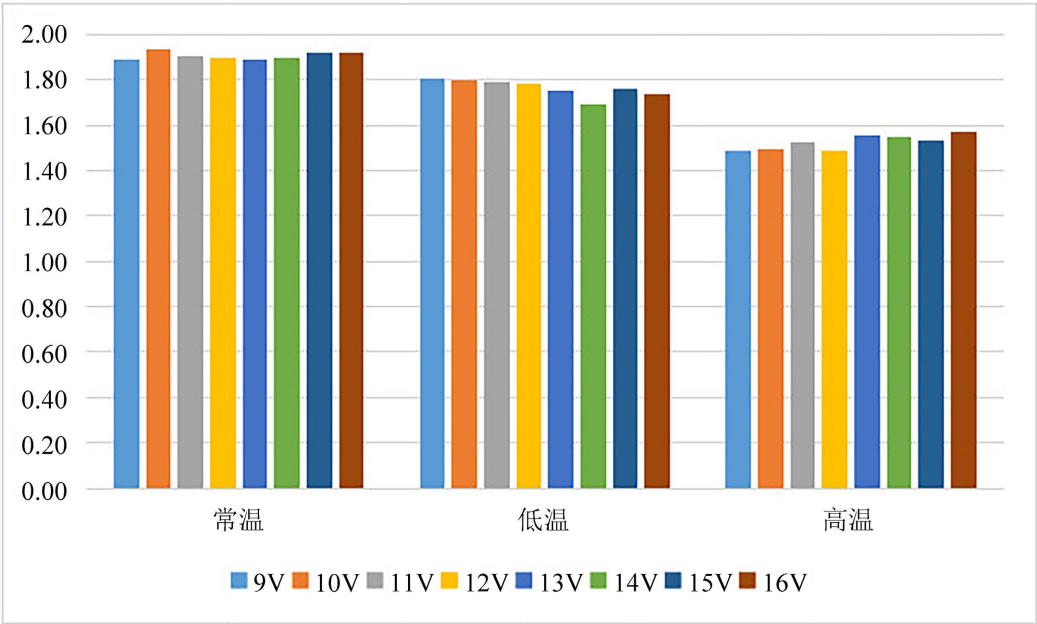


Figure 6. EPB caliper efficiency in extreme environments
图 6. 极端环境下 EPB 卡钳效率

Table 4. Comparison of EPB caliper efficiency in extreme environments
表 4. 极端环境下 EPB 卡钳效率对比

组别	常温	低温	高温
效率	1.91	1.77	1.53
衰减值(与常温比)	----	7.48%	20.08%

4. 结语

研究围绕 EPB 在运输过程中的性能演变展开系统性研究，通过自主搭建运输耐久试验装置，以扭转力矩和试验次数为核心变量，结合实车安装构建测试环境。研究结果表明，随着扭转力矩的增大与试验次数的累积，EPB 的效率呈现显著衰减趋势，验证了运输工况对其性能存在不可忽视的影响。同时，极端环境对比试验进一步揭示高温条件相较于低温对 EPB 性能的负面影响更为突出。在下一步研究中，将结合更多复杂运输场景及环境变量，深入探究 EPB 性能演变机制，为提升汽车制动系统可靠性与安全性提供更全面的技术支持。

参考文献

- [1] 张志坚. EPB 制动钳拖滞性能分析[J]. 公路与汽运, 2023(4): 4-7.
- [2] 闵庆付, 阮文龙. 汽车电子驻车制动系统(EPB)驻车力研究[J]. 传动技术, 2019, 33(2): 25-30.
- [3] 乔君辉, 张克谦, 孙毅威, 等. 电子驻车制动(EPB)开发与研究[J]. 汽车工艺师, 2018(11): 46-48.
- [4] 赖伟. 汽车电子机械制动系统执行器优化设计与试验研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西华大学, 2024.
- [5] 易俊, 袁文强, 辛强, 等. 集成式 EPB 卡钳作动耐久试验装置研究[J]. 汽车零部件, 2024(8): 18-23.
- [6] 赵坤, 许铁松, 张国威. 影响 EPB 滚珠丝杠副耐久性能的原因分析与改进[J]. 机械, 2019, 46(1): 73-80.
- [7] 左砥. 汽车电子驻车制动器总成开发和测试[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆理工大学, 2018.
- [8] 乔帅. 比亚迪秦 EV 电子驻车制动系统不工作常见故障原因分析与排除[J]. 汽车与驾驶维修(维修版), 2024(12): 72-74.
- [9] 邵作业, 魏宏, 李敬东. 电子驻车制动系统(EPB)的控制策略与试验评价方法[J]. 上海汽车, 2018(8): 30-36.
- [10] 宋艳芳. 汽车电子驻车制动系统(EPB)的研发及运用研究[J]. 电子技术与软件工程, 2014(17): 265.
- [11] 别晓樵. 汽车整合式电子驻车制动钳(MOC)驻车设计研究浅谈[J]. 汽车零部件, 2021(4): 89-95.
- [12] 黄榕. 某新能源商用车电子驻车制动开发系统研究[J]. 专用汽车, 2023(10): 26-28.