

EPB 制动钳拖滞性能分析

张志坚

(泛亚汽车技术中心有限公司, 上海 200120)

摘要: 随着电控技术的发展, 电子驻车制动 (EPB) 被动参与汽车保持静止的场景越来越多, 驻车后的残余制动拖滞性能影响制动钳的能耗、汽车的燃油经济性和续航里程。文中通过对某车型液压拖滞和驻车拖滞性能的研究, 分析驻车拖滞的特性, 解析 EPB 释放后制动拖滞现象比大多数液压制动拖滞更恶劣的原因。

关键词: 汽车; 电子驻车制动 (EPB); 制动钳; 制动拖滞

中图分类号: U463.51

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2023)04-0004-04

制动拖滞是指制动器解除制动后摩擦片仍然与制动盘接触产生摩擦力, 对车轮形成一定阻滞力矩的现象。制动拖滞完全是汽车非制动情况下的能源消耗, 会增加整车油耗, 减少电动车续航里程, 增加摩擦片和制动盘的磨损, 降低其使用寿命, 对制动噪声、制动抖动也有影响。

自动驻车 (AVH) 具有自动刹车功能, 可以帮助驾驶员在坡道路段更舒适地起步。但 AVH 不仅在坡道路段工作, 只要车辆处于静止状态, 启动 AVH 开关, 液压系统就会主动建压。当驾驶员长时间没有驶离意图时, 自动转为驻车制动状态, 电子驻车制动 (EPB) 启动工作。随着自动制动功能的不断开发, EPB 被动参与行驶过程中暂时停车的驻车工况越来越多。在开发过程中, 不仅要考量 EPB 的耐久寿命, 还有必要对 EPB 启动释放后残余制动拖滞进行研究。本文分别对某车型的液压拖滞、驻车启动释放后拖滞性能进行测量, 分析液压拖滞和驻车拖滞的特性, 从原理上对驻车释放后制动拖滞现象比大多数液压制动拖滞更恶劣的原因进行解析。

1 制动拖滞台架试验

将带有集成驻车电机的制动总成装在拖滞试验台架上, 制动总成包括制动钳、制动盘、轴承和试验夹具。图 1 为制动拖滞试验台架。

在制动拖滞测量过程中, 制动液压应为零。试验设置制动盘所需转速为 400 r/min, 记录在 50 Hz 下持续 120 s 后的制动拖滞, 跟踪稳定的制动拖滞水平。试验过程如下:

(1) 试验开始。将制动钳活塞完全缩回制动钳



图 1 制动拖滞试验台架

壳体, 完全收回内外侧摩擦片, 摩擦片不得接触制动盘。

(2) 预压力。先进行 300 kPa、500 kPa 预压力制动应用。

(3) 液压拖滞试验。依次施加 500 kPa、1 000 kPa、1 800 kPa、2 500 kPa、5 000 kPa、7 000 kPa、10 000 kPa、12 000 kPa、13 000 kPa、14 000 kPa、15 000 kPa 液压, 每次施加 10 s。在每次制动间隔期间, 测量 120 s 后的制动拖滞。

(4) 驻车拖滞试验。EPB 供应商在开发驻车夹紧力的标定值时采用系列化设计, 与制动钳活塞的直径系列化有一定关联 (见表 1)。选用某车型开发的 EPB 后制动钳, 其活塞直径为 45 mm, 夹紧力标定值最小为 16.5 kN。

表 1 EPB 驻车标定夹紧力及制动钳活塞规格

EPB 整车 匹配	车辆满载 质量/kg	活塞缸径/ mm	驻车设计夹紧力 标定值(最小)/kN
类型 1	<2 500	<41	13.5
类型 2	<3 000	<45	16.5
		<48	18.5

EPB 驻车拖滞试验中通过控制电流和温度控制试验所需夹紧力。对制动钳施加一次 EPB 夹紧 10 s,转动制动盘,记录 400 r/min、120 s 时的拖滞。对制动钳施加一次 EPB 夹紧 10 s、施加液压至制动钳 10 s,记录 400 r/min、120 s 时的拖滞。驻车拖滞试验顺序见表 2。

表 2 EPB 驻车拖滞试验顺序

试验工况编号	EPB 夹紧电流/A	液压/MPa	拖滞测量时机
1	16.5	—	120 s,400 r/min
2	16.5	2.5	120 s,400 r/min
3	16.5	5.0	120 s,400 r/min
4	16.5	5.0+1.0	120 s,400 r/min
5	16.5	5.0+1.8	120 s,400 r/min
6	16.5	5.0+2.5	120 s,400 r/min
7	16.5	5.0+5.0	120 s,400 r/min
8	16.5	5.0+10.0	120 s,400 r/min
9	16.5	5.0+6×2.5	120 s,400 r/min

2 试验结果与分析

图 2 为 EPB 制动钳液压制动拖滞试验结果,图 3 为 EPB 制动钳驻车拖滞试验结果。

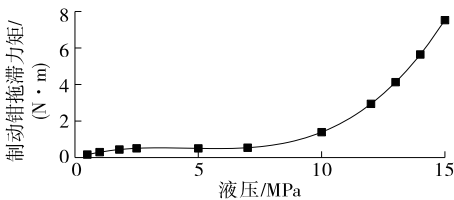


图 2 EPB 液压制动拖滞试验结果

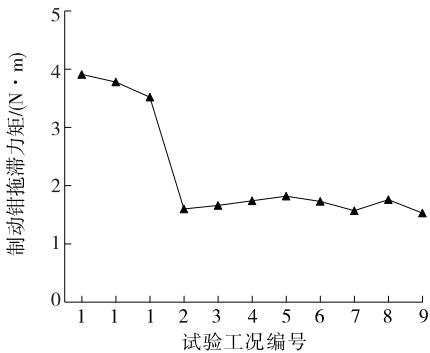


图 3 EPB 驻车制动拖滞试验结果

从图 2 可以看出:低压时拖滞值较小,小于 1 N·m;施加制动的液压<9 MPa 时,制动钳拖滞值波动不大;液压>9 MPa 时,密封圈和活塞发生相对运动,随着液压的增大,通过活塞和壳体间的摩

擦及黏性物质流耗散的能量增多,制动拖滞值增大。

从图 3 可以看出:施加 EPB 16.5 A 电流夹紧后拖滞值最大,3 次驻车制动拖滞值为 3.5~4.0 N·m;施加驻车制动后再施加液压制动,制动拖滞值明显下降,为 1.5~2.0 N·m;连续施加 6 次低液压 2.5 MPa,制动拖滞值没有明显降低。

对比驻车后施加液压的值,将液压制动和驻车制动后拖滞结果绘制在一个图中(见图 4)。从图 4 可以看出:驻车制动拖滞值明显大于液压拖滞值。仅施加驻车制动时拖滞值最大,相当于施加 12 MPa 左右液压时的拖滞值,远大于日常使用工况下液压拖滞值,拖滞表现恶劣。

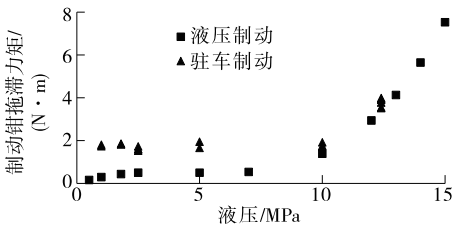


图 4 EPB 液压和驻车制动拖滞结果

3 拖滞原理分析

降低制动拖滞是减少整车行驶能耗的关键。文献[1]通过动态拖滞试验对制动器的拖滞进行分析,分析了制动间隙、活塞缩回、钳体刚度、滑动载荷、卡簧、制动盘端面跳动等因素对制动拖滞的影响。文献[2]提出用于评估制动钳系统性能的数值静态模型,强调密封槽对卡钳拖滞性能的贡献;同时建立图 5 所示动态模型,分析了壳体刚度、摩擦片刚度、密封槽几何形状、密封材料和尺寸对制动钳拖滞和活塞位移的影响。

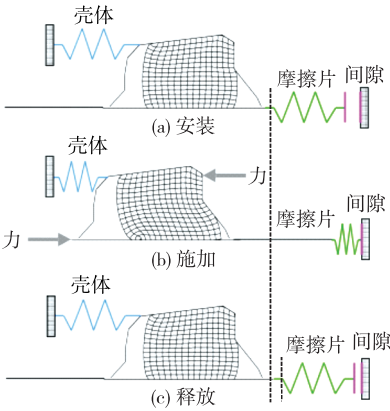


图 5 拖滞动态模型

解除制动后,摩擦片仍然与制动盘接触,产生摩擦阻力。摩擦阻力与盘面间隙、活塞回退的残余力

和制动钳滑动阻力相关,活塞回退的残余力和盘面间隙有关。将密封槽、密封圈、活塞视为一个系统,利用制动钳壳体和摩擦片的弹簧状行为及密封槽中密封圈的超弹性行为分析制动后活塞没有完全回位,活塞推动摩擦片产生残余阻力,引起制动拖滞,且液压越高,拖滞值越大的原因。

(1) 活塞完全回退后,制动盘和摩擦片之间存在间隙;摩擦片和制动盘之间不接触,拖滞值为零。

(2) 外部能量推动活塞移动,密封圈和活塞之间的摩擦阻力使密封圈和活塞之间没有产生相对运动,密封圈跟随活塞变形,同时密封圈后面的液压迫使密封圈抵靠在密封槽倒角上,吸收部分外部能量,将密封圈推向靠近摩擦片一侧的密封槽倒角。根据能量守恒原理,部分能量保留在密封圈中,其他能量通过活塞和壳体之间的摩擦和黏性物质流耗散。

(3) 密封圈完全压缩到密封槽倒角上时,活塞的额外运动可能导致其相对于密封圈滑动,由于活塞吸收的能量有一定局限,需要通过活塞和壳体之间的摩擦和黏性物质流耗散的能量越来越多。

(4) 释放后,密封圈释放储存的能量,拉动活塞向后移动,直到回退力与摩擦力平衡。活塞相对密封圈的移动量越大,耗散的能量越多,活塞未充分缩回的位移越大,活塞接触摩擦片抵靠在制动盘产生的摩擦阻力越大。

(5) 活塞缩回量大小与压力值密切相关(直到密封圈完全抵靠在密封槽倒角上)。在行车制动器应用期间,密封圈后面的压力产生的夹紧力与活塞行程成比例,这种压力有助于推动密封圈与活塞一起转动,从而储存弹性能量。EPB工作时,驻车夹

紧力与活塞行程同样存在比例关系。EPB释放时,活塞存在未缩回行程,从而产生摩擦阻力。

EPB制动钳主要由电机齿轮机构、螺杆螺母、活塞、支架、摩擦片、制动钳壳体组成(见图6)。EPB制动钳的驻车原理(见图7):当驾驶员有驻车需求时,促动拉起EPB驻车开关,由于开关的促动,ECU(电子控制单元)内部继电器控制EPB制动钳电机启动,产生峰值电流,电机齿轮机构中电机在电流作用下顺时针转动;电机顺时针转动通过齿轮机构,经过齿轮机构的降速增扭后,带动螺杆螺母机构转动,进一步推动螺杆螺母中的调整螺母直线向活塞运动,推动活塞向前运动,进而推动摩擦片夹紧制动盘,消除盘面间隙,电流降为怠速电流;当摩擦片抵靠在制动盘上时,电流逐渐增加,夹紧力增大,实现驻车。释放过程则相反,当驾驶员有解除驻车需求时,促动按下EPB驻车开关,ECU内部继电器控制EPB卡钳电机齿轮机构反向通电,电机齿轮机构中电机在反向电流作用下逆时针转动;电机逆时针转动推动螺杆螺母机构逆时针转动,进而带动调整螺母直线反向向活塞运动,此时活塞不受调整螺母

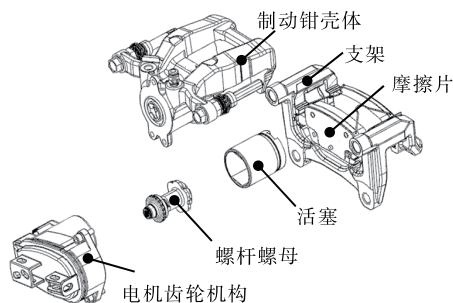


图6 EPB的结构

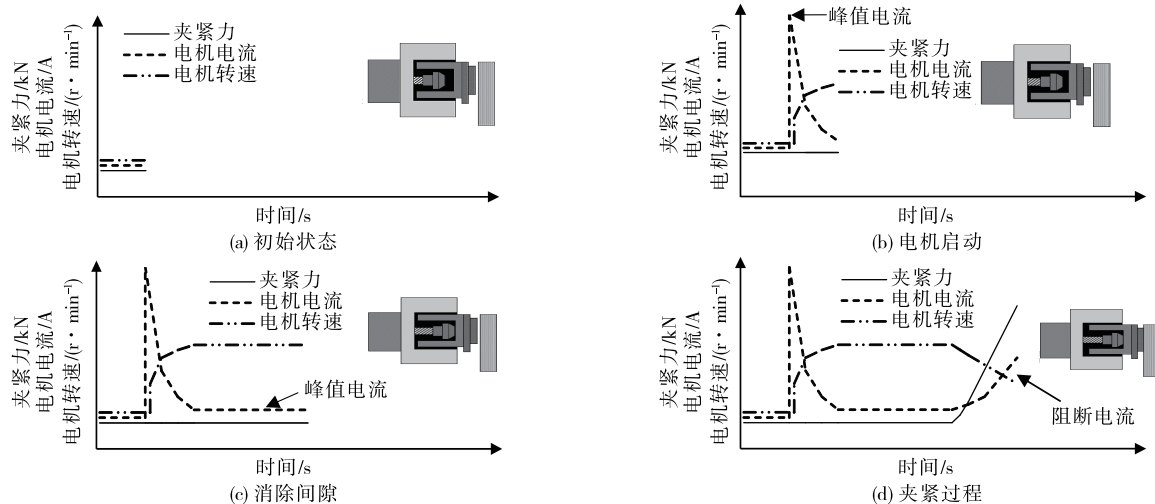


图7 EPB驻车工作原理示意图

的压力作用,活塞在密封圈作用下主动回位,驻车制动解除。活塞回位后,活塞存在未完全缩回行程,推动摩擦片抵靠在制动盘上,产生残余压力,进而产生制动拖滞阻力。

对 EPB 制动钳进行驻车功能测试,EPB 制动钳驻车夹紧力测试结果见表 3。从表 3 可以看出:EPB 在室温 23℃、电流 16.5 A 时存在最大夹紧力,大于标定要求。

表 3 EPB 驻车夹紧力测试结果

测试条件		夹紧力测试结果/kN			夹紧力标定 要求/kN
温度/℃	电流/A	最小值	最大值	平均值	
25	16.5	19.2	21.7	21.0	16.5

制动钳液压夹紧力 F 可表示为:

$$F = (p - p_0) \pi d^2 / 4 \quad (1)$$

式中: p 为管路压力; p_0 为制动钳启动阻滞压力,测试结果为 0.03 MPa; d 为制动钳活塞直径。

该车型 EPB 制动钳活塞直径为 45 mm,驻车夹紧力测试平均值为 21 kN,按式(1)计算,EPB 驻车夹紧力 21 kN 相当于该制动钳在 12.5 MPa 液压下产生的夹紧力。对液压拖滞结果进行多项式拟合,建立拖滞经验模型如下:

$$T = 0.00688p^3 - 0.0974p^2 + 0.4477p - 0.1236 \quad (2)$$

式中: T 为拖滞力矩。

施加 12.5 MPa 液压制动后,预测拖滞力矩为

3.53 N·m,在驻车制动后拖滞值范围内。仅仅驻车制动后拖滞值相当于制动钳在 12.5 MPa 液压制动后的拖滞值,大于日常液压使用工况下拖滞值,驻车后拖滞现象更恶劣。

根据以上分析结果,由于驻车后密封圈与活塞存在相对运动,活塞未完全回退,驻车制动后拖滞力矩较大。根据 EPB 驻车工作原理,EPB 驻车夹紧力与电流的大小相关,可以通过控制电流大小调控夹紧力的大小。对于 AVH 自动驻车系统,可以通过控制电流进行 EPB 驻车分级控制,避免产生更大拖滞力矩。

4 结语

本文通过对制动钳液压拖滞和驻车拖滞性能台架试验结果的分析,对某车型液压拖滞和驻车拖滞性能进行研究,分析液压拖滞、驻车拖滞的特性,从原理上解析 EPB 释放后制动拖滞现象比大多数液压制动拖滞更恶劣的原因。根据 EPB 驻车原理,提出分级驻车的控制策略,减小驻车拖滞水平。

参考文献:

- [1] ALAN Backstrom, Brake drag fundamentals[R]. SAE Technical Paper, 2011.
- [2] CAI H, ANWANA O. Seal/groove performance analysis models[R]. SAE Technical Paper, 2002.

收稿日期:2022-11-09

《公路与汽运》杂志 2024 年征订启事

《公路与汽运》杂志由长沙理工大学主办,是一份介绍汽车、道路、桥梁等公路交通领域科技信息的面向国内外公开发行的技术类科技期刊。为首届(2006 年)中国高校特色科技期刊、《公路运输领域高质量科技期刊分级目录》收录期刊、湖南省一级期刊、中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊、中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊,被中国期刊全文数据库及中文科技期刊数据库全文收录、万方数据—数字化期刊群全文上网,并荣获首届《CAJ—CD 规范》执行优秀期刊奖。

本刊立足公路交通系统,报道国内外汽车与公路交通领域的最新研究成果,荟萃汽车运用与维修技术,传播公路交通安全知识,介绍公路运输行业的新技术与管理经验,刊登公路交通工程的新工艺、新技术、新材料。2024 年拟设主要栏目:汽车工程;交通规划与管理;运输与物流;道路工程;桥隧工程;工程经济与管理。

本刊为双月刊,逢单月 25 日出版。国内邮发代号:42-95。每期定价 15 元,全年 90 元。读者可在当地邮局订阅,也可直接向本刊编辑部索取订单订阅,订阅款请汇至本刊编辑部或银行账号。

通信地址:长沙理工大学云塘校区 8 号信箱

邮编:410114

联系电话:0731-83528400

开户行:工商银行长沙银迅支行

户名:长沙理工大学

账号:1901016009109888886