

EPB 卡钳拖滞力矩的测试方法和解决方案

文 | 奇瑞商用车（安徽）有限公司 黄巨成 李虎本 朱亚伟

一、前言

随着现代汽车电子产品的普及,一种取代传统机械驻车的电子驻车系统越来越普及。EPB (Electrical Park Brake) 驻车系统相比传统的机械手刹更安全,不会因驾驶者的力度而改变制动效果。随着全世界节能环保要求越来越高,各行各业都追求更少的燃料获得更高的做功要求越来越高。针对汽车制动卡钳技术,降低卡钳拖滞力矩是永恒的追求的技术难点。制动卡钳的拖滞力很大一方面是由于摩擦片和制动盘的分离不彻底(摩擦片没有回位)。但是由于 EPB 卡钳驻车时卡钳夹紧力更大,系统变形更大,故在驻车释放后卡钳的拖滞力矩相比传统的卡钳更恶劣。

拖滞力就是一种残余应力,一般出现在液压盘式制动器,由于制动活塞在工作缸内由液压油推动工作,达到制动的目的。制动活塞回位不完全时,会产生残余应力,也就是拖滞力。如果拖滞力大于标准的话,即使松开了刹车踏板,摩擦片始终和制动盘有残余的摩擦力。过大的拖滞力的存在,导致车辆燃油经济性降低,油耗将增大。

二、问题现象

此款车型后轮装配集成式 EPB (Electrical Park Brake) 卡钳的盘式制动器,主要技术参数为:卡钳缸径为 $\phi 38\text{mm}$,制动盘厚度为 12mm,制动有效半径为 125mm,如图 1 所示。



图 1 集成 EPB 卡钳的后浮动卡钳盘式制动器

该车型正常行驶（非刹车过程）的过程中，后轮制动盘温度急剧上升。进一步测试后轮拖滞力矩，左/右后轮轮边拖滞力矩达到 $8\text{N}\cdot\text{m}$ 以上。确定制动盘温度上升的原因因为后 EPB 卡钳拖滞力矩过大，摩擦片和制动盘持续接触摩擦，导致温度上升。

三、问题机理及措施实现

1、EPB 卡钳的工作原理

EPB 卡钳的主要组成部分如图 2 所示，相对于传动的卡钳 EPB 卡钳主要增加了电机齿轮单元、调整螺母、调整螺杆、滚针轴承、C 型扣环、O 型环、铜套、O 环和垫圈等。

EPB 卡钳的电机齿轮单元如图 3 所示，其主要组成单元为电机、皮带及齿轮箱。EPB 卡钳的驻车原理为：当驾

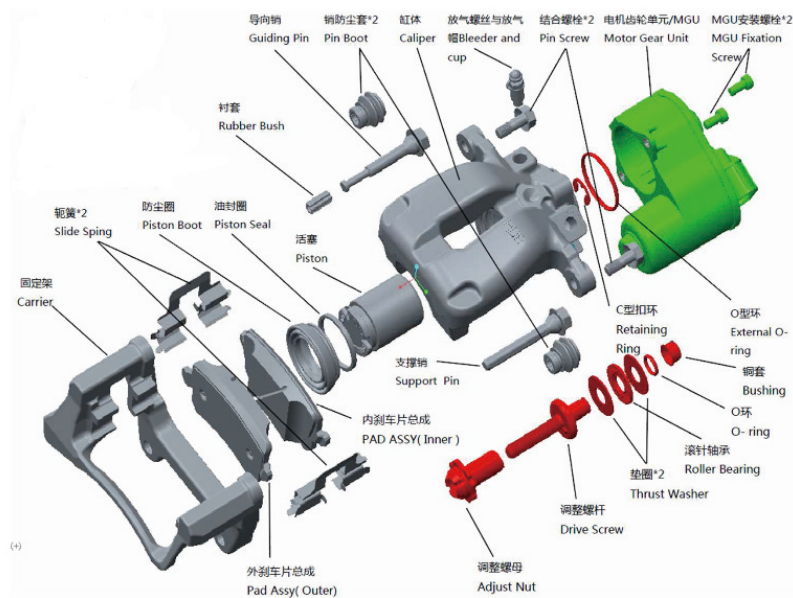


图 2 EPB 卡钳组成

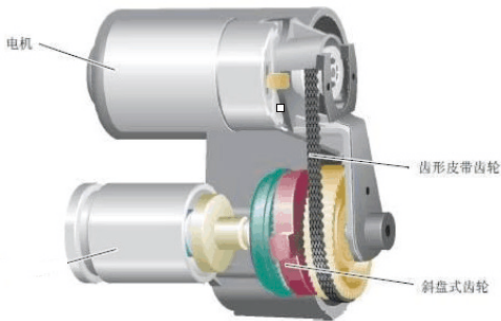


图 3 电机齿轮单元

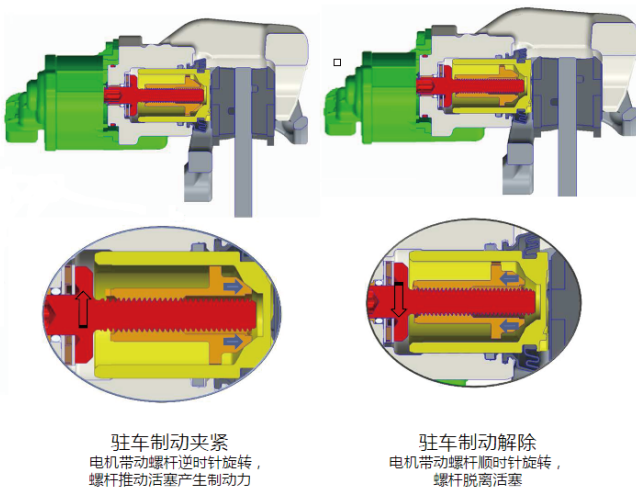


图 4 EPB 卡钳的驻车 and 释放过程

驶员有驻车需求的时，会促动拉起 EPB 驻车开关。由于开关的促动，ECU 内部继电器会控制 EPB 卡钳电机齿轮单元通电，电机齿轮单元中电机在电流作用下顺时针转动。电机顺时针转动通过皮带传递给齿轮箱，经过齿轮箱的降速增扭后，带动调整螺杆转动（螺杆是固定在卡钳体上）进而推动调整螺母直线向活塞运动，推动活塞向前运动最终推动摩擦片夹紧制动盘，实现驻车。释放过程是相反的，当驾驶员有解除驻车需求的时，会促动按下 EPB 驻车开关。由于开关的促动，ECU 内部继电器会控制 EPB 卡钳电机齿轮单元反向通电，电机齿轮单元中电机在反向电流作用下逆时针转动。电机逆时针转动通过皮带传递给齿轮箱，带动调整螺杆逆时针转动，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的压力作用，活塞在矩形密封圈的作用下主动回位，活塞回位后摩擦片不再受活塞的压力作用，摩擦片在制动盘的端面跳动过程中回位，进而驻车制动解除，工作原理如图 4 所示。

2、卡钳活塞的回位原理

制动卡钳在液压作用下，活塞与制动钳体沿相反的方向运动，分别推、拉内外侧摩擦块贴近制动盘，卡钳体只承受

轴向力，切向力由支架来承受。制动结束活塞密封圈弹性变形复位，带动活塞回到原位，同样卡钳也回到原位。随着压力的撤离，制动摩擦力也减小为零。制动盘的再次转动，制动块逐渐脱离制动盘。

如图 5 所示，驾驶员踩制动踏板实施制动时，在液压力 F_1 的作用下，活塞推动制动片 1 向右运动使其压住制动盘，当制动片 1 与制动盘接触时，制动片 1 不再移动，而反作用力 F_2 则推动制动钳连同制动片 2 向左运动，使其压靠制动盘。制动盘与制动片之间产生摩擦力，进而对行驶的车辆进行减速或停车。当制动结束后轮缸在密封圈的复位作用下回位，摩擦片在制动盘敲打下回位。

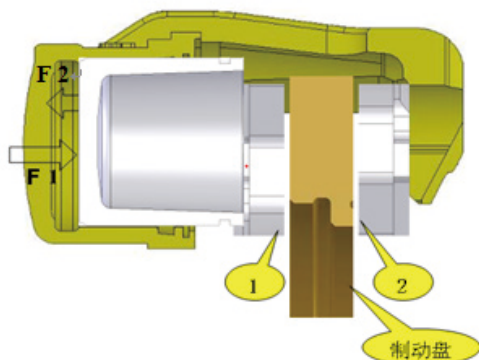


图 5 浮动卡钳的工作原理

详细的制动过程如图 6 所示。

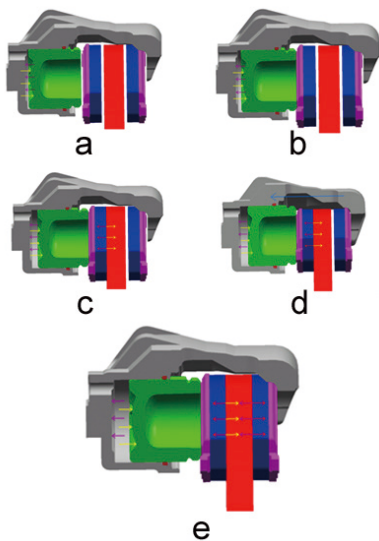


图 6 浮动卡钳的制动过程

a) 制动加压开始 b) 活塞向外移动 c) 内侧制动块与制动盘接触 d) 活塞向后移动 e) 外侧制动块与制动盘接触

从以上制动过程中可以得出，制动过程中主要是依靠力和反作用力来推动摩擦片夹紧制动盘。但是制动压力释放后，系统不受外力作用，活塞和摩擦片回位主要是靠矩形密封圈。制动结束以后的活塞的回位原理如图 7 所示。

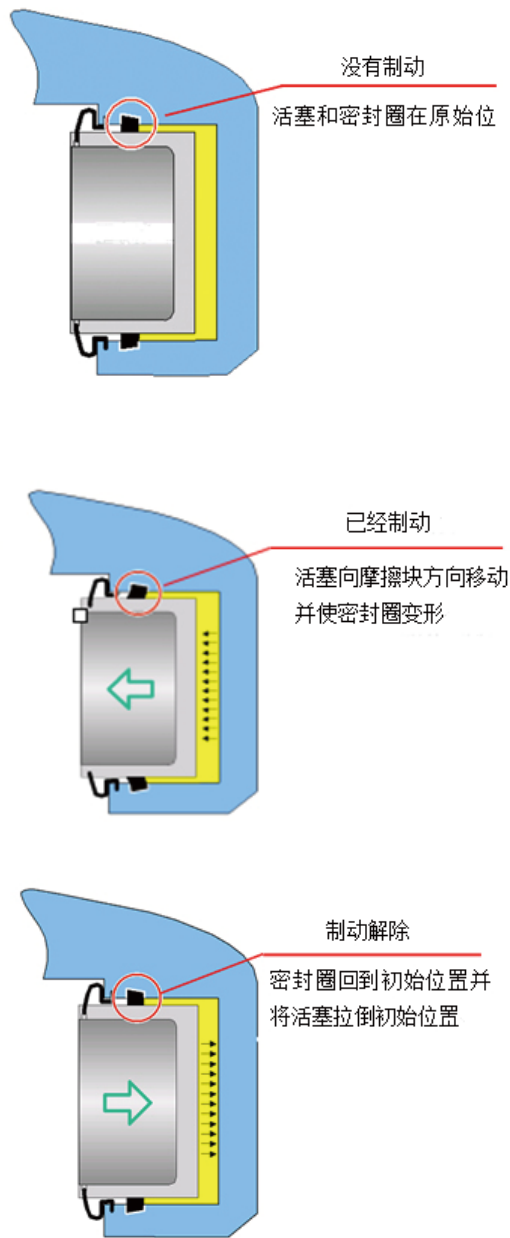


图 7 浮动卡钳活塞的回位原理

从浮动卡钳活塞的回位过程可以得知，卡钳活塞回位过程主要是矩形密封圈的变形后的恢复过程。矩形密封圈变形后恢复拖拽活塞回位，进而给摩擦片和制动盘释放出间隙。

矩形密封圈有最大的变形量 δ ，如图 8 所示。当活塞向外移动的距离大于 δ 时，矩形密封圈能提供的最大回位能力仍然是 δ 。

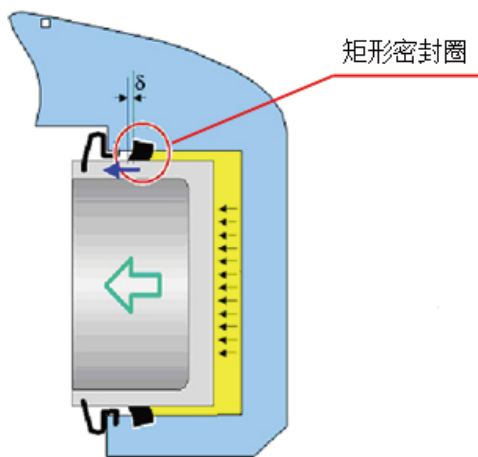


图 8 矩形密封圈的最大回位能力

以上分析得知，活塞最大的回位能力 δ 是假设系统各组成部件完全是刚体的情况下。实际上由于制动卡钳体在加压的时候有轴向变形，摩擦片在受压的时候存在压缩变形、制动盘受压也会存在变形等，最终卡钳活塞能获得回位量小于矩形密封圈能提供的最大变形回位量 δ 。

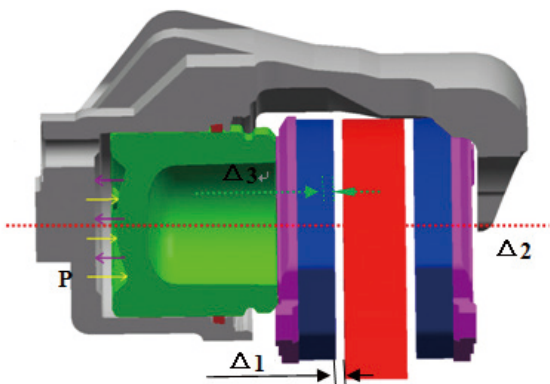


图 9 卡钳系统主要变形量 Δ

如图 9 所示假设系统压力 P 为零时，摩擦片和制动盘的单边间隙 Δ_1 为 0.2mm，则双边间隙为 0.4mm。假设当系统压力 $P=16\text{MPa}$ 时，制动时摩擦片和制动盘接触后会存在压缩变形 $\Delta_3=0.025\text{mm}$ ，卡钳体轴向变形量 $\Delta_2=0.3\text{mm}$ 。矩形密封圈最大回位变形能力 $\Delta=0.6\text{mm}$ 。当系统在 $P=16\text{MPa}$ 压力或者等同的驻车推力作用下，系统总的变形量为 $\Delta_1 \times 2 + \Delta_2 + \Delta_3 = 0.4 + 0.025 + 0.3\text{mm} = 0.7025\text{mm}$ 。从假设可

知，系统最大变形量 0.7025mm，大于矩形密封圈的最大变形量 0.6mm。活塞向前移动的距离大于矩形密封圈的最大回位量，这将会导致系统外力 P 撤离后，系统仍然有 0.1025mm 的变形量无法消除，最终导致摩擦片和制动盘无法正常分离，时时存在摩擦，导致系统拖滞力增大。

3、措施实现

从以上问题机理分析可知，拖滞力的主要决定因素是活塞在制动（驻车制动/行程制动）后，能否顺利的回位以给摩擦片和制动盘最大的间隙，减小摩擦。实际上 EPB 卡钳在驻车时，由于电机推动调整螺母压活塞的力能达到 1.5kN，甚至更大，则系统变形量会更大。从机理上看，传统的卡钳拖滞测试方法已经不适用于 EPB 卡钳。传统的卡钳拖滞测试方法和步骤如下：

- （1）擦净制动盘工作表面，在距制动盘外缘 10mm 处的工作面所测得端面跳动量应符合制要求。
- （2）制动钳总成固定在台架上（如图 10 所示），排空气。
- （3）将制动钳总成活塞退回，使每个摩擦块与制动盘间隙 $\geq 0.5\text{mm}$ 。
- （4）制动盘空转，调整拖滞力矩指示针，使其回零。
- （5）将制动钳总成加压 7MPa，持续 5s 后完全泄压，反复 10 次。
- （6）放置 2 分钟后，使制动盘以 50r/min 的速度旋转，测定拖滞力矩。

故障 EPB 卡钳按照以上试验方法进行测量，结果如表 1 所列。

表 1 拖滞力矩（未执行 EPB 夹紧）N·m

序号	L#	R#
1	3.18	3.12
2	3.05	3.21
3	3.25	3.18
4	3.18	3.21
5	3.11	3.29

将以上卡钳装车验证，在未执行坡道驻车时，制动盘温度正常。多次大坡度执行 EPB 驻车后，车辆正常行驶（非刹车过程）时制动盘温度急剧上升。进一步测试后轮拖滞力矩，左/右后轮轮边拖滞力矩达到 8N·m 以上。

鉴于以上现象，调整台架测试方法如下：

(1) 擦净制动盘工作表面, 在距制动盘外缘 10mm 处的工作面所测得端面跳动量应符合制要求。

(2) 制动钳总成固定在台架上, 如图 10 所示, 排空气。

(3) 将制动钳总成活塞退回, 使每个摩擦块与制动盘间隙 $\geq 0.5\text{mm}$ 。

(4) 制动盘空转, 调整拖滞力矩指示针, 使其回零。

(5) 将 EPB 卡钳通电, 执行最大夹紧力驻车, 然后释放, 如此反复 5 次。

(6) 将制动钳总成加压 7MPa, 持续 5s 后完全泄压, 反复 10 次。

(7) 放置 2 分钟后, 使制动盘以 50r/min 转速旋转, 测定拖滞力矩。

故障 EPB 卡钳按照以上试验方法进行测量, 结果如表 2 所列。

表 2 拖滞力矩 (执行 EPB 夹紧) N·m

序号	L#	R#
1	8.38	9.62
2	9.25	8.28
3	8.35	9.45
4	8.35	9.76
5	9.18	9.39

执行 EPB 夹紧后的卡钳拖滞力矩, 测试结果严重超过设计要求值 3.5N·m。拖滞力过大, 最终导致制动盘温度异常上升。

针对故障和问题, 对故障卡钳进行如下调整: 将卡钳刚度由 0.3mm 调整为 0.15mm, 活塞回位量由 0.3mm 调整为 0.6mm。重新测试卡钳拖滞力矩如表 3 所列。

表 3 拖滞力矩 (整改样件执行 EPB 夹紧) N·m

序号	L#	R#
1	2.18	2.32
2	2.35	2.08
3	2.25	2.35
4	2.15	2.71
5	2.08	2.32

将改进后卡钳装车验证, 多次大坡度执行 EPB 驻车

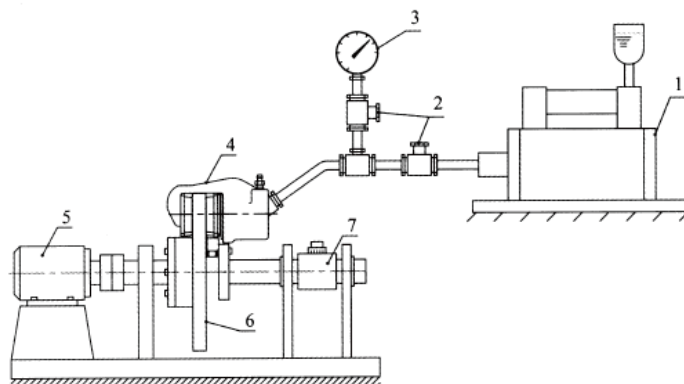


图 10 拖滞力矩试验装置示意图

1—加压装置 2—截止阀 3—压力表 4—制动钳 (试件)
5—驱动装置 6 制动盘 7—扭矩传感器

后, 车辆正常行驶 (非刹车过程) 时制动盘温正常, 改进措施有效果。

四、结论

本文通过对问题原理循序渐进地剖析, 获得了卡钳拖滞力矩的产生原因以及卡钳活塞的回位原理, 明确了 EPB 驻车卡钳的特殊性质, 其拖滞力矩的测试方法相对于传统卡钳有较大的区别。进一步对故障件进行了优化, 达到了改进效果。

通过此过程总结, 针对特殊问题的解决思路为: 首先从基本原理方面着手分析解决方案, 制定解决措施和方案; 再进一步验证和借助检测工具寻找根本原因, 最后针对根本原因制定措施。希望通过本文的改进思路给从业者一定的指导作用。