制动轮缸两种试验方式比对分析

刘洋洋，李宗玉
中国汽车工程研究院股份有限公司　重庆　401122

摘要：通过设置不同安装方式对比论证的试验方法，探索制动轮缸在按照QC/T 77－2015《汽车液压制动轮缸技术要求及台架试验方法》标准执行的过程中，实车制动器装配和标准规定夹具装配两种不同装配方式下，是否对试验结果造成影响。使用Solidworks建模软件对标准规定夹具建模并加工，选配适合标准的弹簧完成试验装配。试验完成后对试验结果对比分析后得出：在按照标准进行制动轮缸试验时，两种不同的装配方式并不会对试验结果产生影响，且考虑到试验中会出现各种因素，推荐优先使用实车装配的安装方式进行试验。

关键词: 制动轮缸；Solidworks；实车装配；标准夹具装配
DOI:10.16173/j.cnki.ame.2025.05.014

制动轮缸是一种将液压能转变为机械能的制动组件，由缸体、活塞、皮碗、弹簧和放气螺钉组成。工作方式为：压力推动活塞运动，从而推动制动蹄片或制动块与高速转动的制动鼓带压贴合，产生摩擦力实现车辆制动。制动轮缸对于鼓式制动车辆的制动性能有着至关重要的作用，有单活塞式和双活塞式两种结构。

由于鼓式制动器具有制动力大、结构简单和经济性强等优点，在EMB（电控机械制动）和ADB（液压盘式制动）制动系统还没有广泛使用的今天，制动轮缸依然在汽车安全系统中扮演着主要的角色。

当驾驶人踩下制动踏板，制动主缸中的活塞受到推力作用向前移动，主缸中制动液压力升高，高压制动液通过制动管路流向制动轮缸。在高压制动液的作用下，推出制动轮缸活塞，推力作用到制动蹄片上，使制动蹄张开，从而与制动鼓产生摩擦力，致使车辆停车。

鼓式制动器一般用于惯量较大的乘用车或商用车等，因此车辆在高速行驶过程中制动所需要的制动力比普通乘用车大。作为制动力产生的主要部件，制动轮缸的性能也得到诸多零部件生产企业和主机厂的广泛关注。

试验现状

目前试验室对于制动轮缸的各种性能检测基本依赖于QC/T 77－2015《汽车液压制动轮缸技术要求及台架试验方法》（以下简称《方法》），试验项目主要有滑阻性能、耐臭氧性能、真空密封性、密封性、湿热工作特性、耐浸水性能、储存耐腐蚀性、耐压强度及工作耐久性，其中有3/4的试验项目需要模拟实车工

作特性，在试验室进行试验时，企业长期使用标准规定夹具装配的方式进行试验。

对于试验设备的要求，《方法》中大部分在规定负载夹具的设计要求，对于使用实车装配这种方式，仅仅提及过一处，因此在执行《方法》时，大部分检测机构选择设计夹具进行试验。同样由于试验所需周期长，且《方法》规定所有试验样品至少3件，部分企业存在试验排期紧、费用不足等问题，按《方法》规定负载进行试验对试验前的双方交流造成极大的影响。因此对于两种负载形式，试验结果会不会有所差异，这个差异会不会对试验结果造成影响，就迫切需要验证。

在按照《方法》进行试验时，所有试验在试验后评价都有复测密封性的要求，密封性评价指标为此项目是否合格的决定性依据，因此，在所有试验项目中，选取对密封性试验项目结果影响最大的工作耐久试验项目进行对比试验加以论证。

试验方法概述

1.试验方法

采用控制变量法进行试验，选取国内某大型成熟制动轮缸生产企业提供的同一型号、同一批次的六件产品进行工作耐久性试验，通过实车制动器总成的装配方式和标准规定夹具的装配方式两种不同方法进行。试验过程中应保持其余变量完全一致，在同一温度箱中同时进行试验。

样品编号规则：001～003为实车制动器总成装配方式样品编号，004～006为《方法》规定夹具装配方式试验样品编号。

按照《方法》中的相关试验要求进行试验，安装样品各螺纹拧紧力矩符合样品生产企业提供的拧紧力矩要求。试验前测试样品密封性，调节环境箱温度至规定温度，将负载放入温度相中开始工作耐久性试验，工作耐久试验按照表1顺序进行。

试验压力与动作时间之间的关系按照图1执行。常温耐久性和高温耐久性中，升压时间为0.4s，保压时间为1.75s，降压时间0.15s，停顿时间1.25s。低温耐久性生压时间为0.45s，保压时间为1.75s，降压时间0.15s，停顿时间3.65s。其中样品最高工作液压为15 MPa，则工作耐久试验压力为10.5 MPa。

表1　工作耐久试验顺序

试验项目	环境温度/℃	试验频率/Hz	循环次数/万次
常温耐久	室温	0.278±0.028	16.5
高温耐久	80、100、120、		各12.5
低温耐久	-40	0.167±0.017	4.5

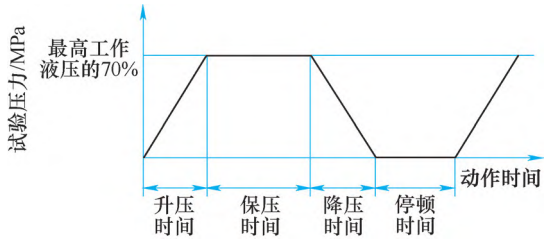

图1　试验压力与动作时间之间的关系

试验前样品密封性试验结果见表2，低压密封性试验结果波动较大，波动范围在制动轮缸一致性偏差范围之内，最高压力密封性试验结果较稳定，样品一致性好。

表2　工作耐久试验前密封性检测结果

样品编号	低压密封性/kPa	最高工作液压密封性/MPa
001	2.13	0.24
002	1.89	0.24
003	1.96	0.25
004	2.08	0.25
005	2.12	0.26
006	1.91	0.25

完成试验安装后起动加压装置，压力随时间增大缓慢升高，低压密封性试验液压140 kPa±7 kPa，最高压力密封性试验压力为15MPa。达到试验规定压力后，打开截止阀保压15s，记录30s内的压力降。低压试验结果曲线低压密封性如图2所示，最高压力密封性如图3所示。

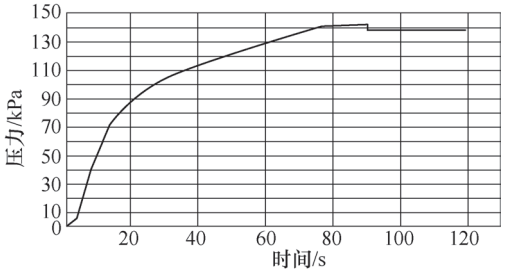

图2　耐久试验前后高压密封性试验比对

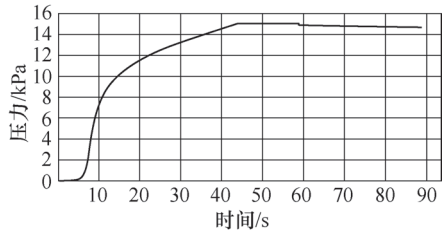

图3　耐久试验前后高压密封性试验比对

2.实车制动器总成试验方法

将制动轮缸和其配套的制动器总成装配，并配合制动鼓，接通液压油管，完成排油。使用样品001～003制动轮缸进行工作耐久性试验，安装时需要两个制动器总成，做好编号，在相同试验条件下进行试验。试验完成后复测密封性。密封性试验结果见表3。

表3　制动器总成安装方式试验后密封性检测结果

样品编号	低压密封性/kPa	最高工作液压密封性/MPa
001	2.64	0.29
002	2.49	0.31
003	2.85	0.29

3.标准规定试验夹具试验方法

按照标准规定设计试验夹具，并就夹具做出部分不影响其功能的改进，试验样品为单活塞制动轮缸，在夹具右侧外层滑块推杆处增加固定螺栓，使其单侧固定，方便单活塞式轮缸的安装。在推杆和滑块的连接侧，装有一个调节螺栓，可以根据制动轮缸尺寸来调节负载单元的工作行程，标准规定为3mm±0.5mm。夹具左侧滑腔中加入润滑脂，减小由于夹具各零部件配合带来的摩擦力，使得轮缸位移-压强曲线更加贴合标准要求，试验负载Solidworks三维模型如图4所示。

使用样品004～006安装制动轮缸进行耐久性试验，试验完成后复测密封性，试验结果见表4。

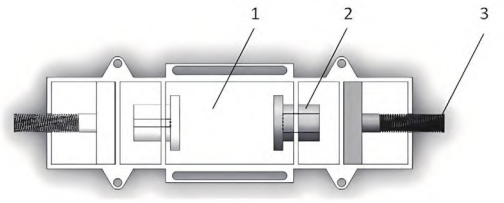

图4　试验负载三维模型

1－箱体　2－推杆　3－滑块

表4　标准规定夹具安装方式试验后密封性检测结果

样品编号	低压密封性/kPa	最高工作液压密封性/MPa
004	2.79	0.3
005	2.88	0.29
006	2.68	0.31

试验结果分析

耐久试验后低压密封性试验结果对比如图5所示。在两种不同的安装方式下，泄漏值数据较试验前均有增加，但增加不明显。其中，001～003样品在实车制动器总成装配方式下做耐久试验，最大增加量为003样品，增加了0.89kPa；004～006样品在标准规定夹具装配下进行试验，最大增加量为006样品，增加了0.77kPa。标准要求≤7kPa，产品符合标准要求。

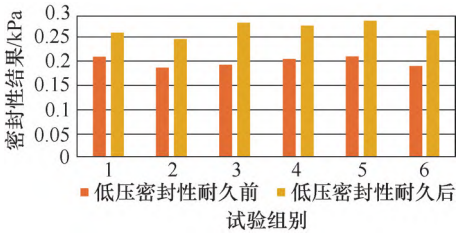

图5　耐久试验前后低压密封性试验比对

两种安装方式试验结果相对比：在两种不同试验方法下，两种试验的试验结果平均数相差0.08kPa，证明样品在这两种试验方式下做耐久试验，对于低压密封性试验结果并无影响。

试验后高压密封性试验结果如图6所示。试验结果与低压密封性试验略有相同，泄漏量值都有一定程度的增加。其中，在实车制动器总成装配方式下泄漏量增加最大的为002样品，增加了0.07MPa；在标准规定夹具装配下，006样品增加相对较大，泄漏量增加了0.06kPa，标准规定泄漏量最大值为0.35kPa，产品符合标准要求。

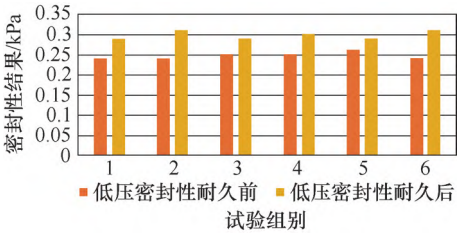

图6　耐久试验前后高压密封性试验比对

两种安装方式试验结果相对比：在两种不同试验方法下，两种试验的试验结果平均数相差0.0067，证明样品在这两种试验方式下做耐久试验，对于高压密封性试验结果并无影响。

结语

通过工作耐久试验数据显示，实车制动器总成装配和标准规定夹具装配试验方式对试验结果并不会造成影响。

首先，从试验方法的科学性而言，两种试验方法都是基于合理的科学原理，制动轮缸在做工作耐久试验时，最好的工作状态就是实车工作状态，这样才更能贴合实际应用。

其次，在试验设计过程中，样品选择的是市场成熟产品生产企业生产的同一批产品，尽可能缩小了产品差异，试验前的密封性试验结果也证明了样品的一致性非常好。在控制变量阶段除了试验夹具不同外，所有试验均在同一条件下进行，保证了试验过程的一致性。

最后，试验设备、各传感器都在校准有效期内，且精度范围大，试验结果可重复性强。

按QC/T 77－2015《汽车液压制动轮缸技术要求及台架试验方法》执行试验时，推荐使用实车装配，在不影响试验结果的前提下，实车装配的安装方式能节省大量的试验时间和试验成本。

参考文献：

[1] 庞剑，谌刚，何华. 汽车噪声与振动：理论与应用[M]. 北京：北京理工大学出版社，2006.

[2] Zhuravlev V P，KLIMOV D M．The Causes of the Shimmy Phenomenon[J]．Doklady Physics，2009，54（10）：475-478．

（上接第43页）

3）随着振镜摆幅的变大，金属铜和铝合金焊接熔池的熔深略微少有降低，但是总体还是比较稳定，表明在焊接功率、焊接速度不变的情况下，增加摆幅对焊缝熔池熔深的影响不大。

结语

激光扫描焊接铝合金和铜两种金属导电转接片，焊缝宽度在2～4mm焊接外观质量目测良好，焊缝平整光滑，无断焊、爆点、气孔等焊接缺陷出现，表明激光振镜扫描焊接工艺满足焊接外观质量控制要求。

同样情况下随着振镜摆幅的变大，金属铜和铝合金焊接熔池的熔宽也随之增大，熔深同比略有减小，但是总体还是比较稳定；表明在焊接功率、焊接速度不变的情况下，增加摆幅可提高导电转接片的有效过流面积。

激光振镜扫描焊接相比于传统激光准直头焊接方式，在不改变焊接工艺和焊接装置的情况下，可以有效地增大焊缝宽度，相比传统工艺可以提高生产效率，提升设备产能。

参考文献：

[1] 杨忠阳，刘瑾.动力电池产业调查[N].经济日报，2022-11-03（1）.DOI:10.28425/n.cnki.njjrb.2022.006785.

[2] 杨科林.铜-铝异种金属搭接间隙及激光焊接参数对性能影响研究[J].机械研究与应用，2020，33（4）：213-215.DOI:10.16576/j.cnki.1007-4414.2020.04.065.

[3] 杨彪，刘福运，檀财旺，等.动力电池激光焊接技术的应用现状与展望[J].焊接，2022（9）：1-9.

[4] 陶汪，陈彦宾，李俐群，等.304不锈钢激光点焊工艺研究[J].应用激光，2005（4）：233-236.

[5] 黄冬林. 基于振镜扫描的激光焊接技术研究[D].华南理工大学，2010.

[6] 师文庆.振镜扫描式激光点焊技术中扫描路径的优化[J].应用激光，2008（4）：332-335.

[7] 谢树茂，雷广玉，郑绍唐.聚焦强激光束大气传输的数值模拟[J].强激光与粒子束，1996（3）：407-412.

[8] 闫胜鸿.铝/铜异种金属激光焊接技术研究[D].长春理工大学，2020.DOI:10.26977/d.cnki.gccgc.2020.000722.