

浅谈电液制动系统踏板感开发

黄 陆 陈秀梧

海南海马汽车有限公司 海南 海口 570216

摘要：本文结合某电动车型的开发，研究该车型配置的电液制动系统结构及其工作原理，分析其制动踏板感觉主要影响因素，并对该车型制动踏板感觉进行实车的调校及评价验证，总结电液制动系统踏板感觉开发经验。

关键词：电液制动系统；踏板感；调校验证

前言

伴随着汽车技术的更迭，电动化、智能化、网联化、共享化已经成为汽车发展的必然趋势，而电液制动系统作为实现汽车“新四化”的关键执行系统，其制动踏板感开发有别于装配传统真空助力器汽车。目前，研究主要集中在不同结构形式的电液制动系统及其功能策略算法设计。比如大陆公司的MK C1电液线控制动系统、博世公司的ibooster电液线控制动系统，对制动踏板感的研究也主要集中于传统燃油车型^[1]。本文拟以某车型电液制动系统（下称“E-booster”）开发经验，浅谈电液制动系统制动踏板感开发过程。

1 E-booster 简介

E-booster取代了传统燃油车型的真空助力器、电子真空泵、真空管路等零部件（如图1所示），具有系统重量更轻、动态响应更快、制动距离更短等优点。其不仅可以为L2级驾驶辅助系统（ADAS）服务，也是实现L2级以上自动驾驶的底盘线控要求之一，而且此系统还可为新能源汽车提供再生制动。

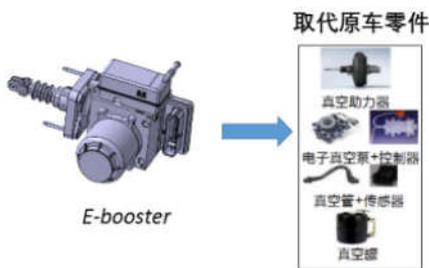


图1 E-booster结构示意图

该系统工作原理如图2所示，当驾驶员踩踏制动踏

作者简介：黄陆，1983年4月、底盘分项目经理、机械类中级工程师，邮编，57021，海口市金盘路 2-8 号，邮箱：huangl@haima.com

陈秀梧，1985年8月、制动系统工程师、机械类高级工程师，邮编，57021，海口市金盘路 2-8 号，邮箱：chenxw02@haima.com

板时，踏板力作用在踏板模拟器上，该模拟器的设计决定了制动踏板力的舒适程度。踏板连接的踏板行程传感器和主缸连接的主缸压力传感器采集驾驶员的制动信号发送给控制单元，其控制电机给车轮端施加响应的液压力，实现驾驶员的踩踏制动踏板与车轮端的液压力物理解耦。

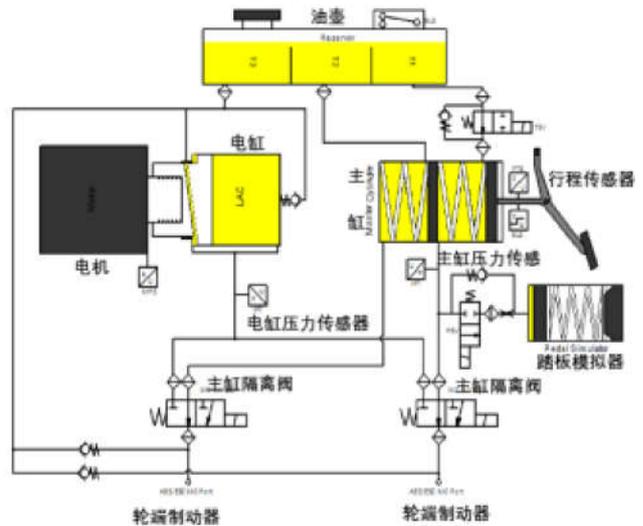


图2 E-booster工作原理图

2 E-booster 制动踏板感主要影响因素

车辆制动踏板感是指在制动过程中，驾驶员对制动踏板力与减速度、制动行程与减速度关系的综合感觉。相比于传统真空助力器车型，大部分影响踏板感的因素都相同，比如系统的良好匹配设计、系统空行程及变形量等^[2]。而本文所研究的E-booster，其制动踏板力-踏板行程的关系由踏板模拟器产生，通过匹配踏板模拟器弹簧控制；而制动踏板力/踏板行程-车辆减速度的关系由软件控制，故本文主要针对以上踏板感影响因素进行研究。

踏板模拟器的详细结构如图3所示。当驾驶员踩踏制动踏板时，外壳体向右运动，首先受压缩的是低压弹簧，其刚度决定了前段踏板感（踏板行程约0-20mm），当弹簧座-壳体端面间隙消除，低压弹簧不再被压缩，高

压弹簧开始被压缩，其刚度决定了中段踏板感（踏板行程约20mm-50mm），当橡胶-销钉间隙消除，橡胶块开始被压缩，其刚度与高压弹簧刚度共同决定后端踏板感（踏板行程约50mm-66mm）。

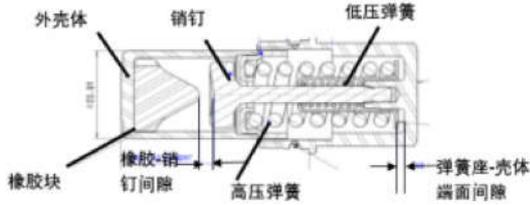


图3 踏板模拟器结构图

3 E-booster 制动踏板感调校评价

由于制动踏板感与个人驾驶经验关系较为密切，同一车型面向的用户群体之间存在较大的差异，因此不同的主机厂对于踏板感的调校各具风格^[1]。本文结合公司踏板感客观目标以及供应商推荐的经验目标，制定某车型制动踏板感目标如下图4和图5所示。

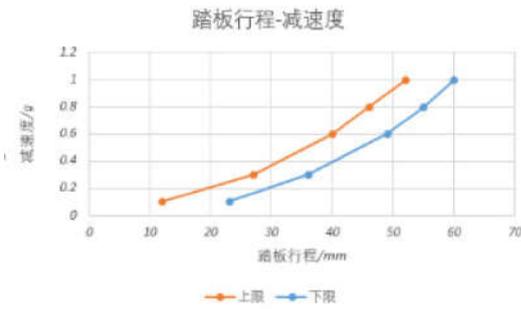


图4 踏板行程-减速度目标

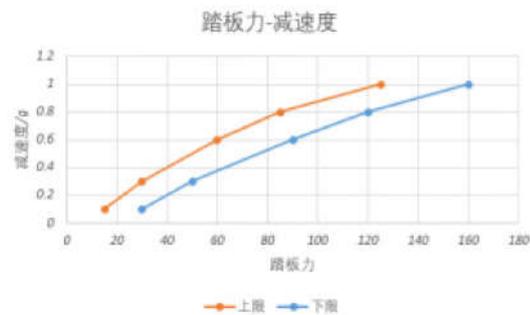


图5 踏板力-减速度目标

依据E-booster制动踏板感主要影响因素，某车型的踏板感调校结合不同刚度配置踏板模拟器硬件（低压弹簧刚度+高压弹簧刚度）及软件调试(踏板行程-目标压力关系)进行，具体如表1所示。

表1 调校方案

踏板模拟器	软件
5 N/mm +30 N/mm	调试软件
10N/mm +40 N/mm	
20N/mm+40 N /mm	

经过数轮的调校评价，最终锁定的踏板模拟器配置及踏板行程-目标压力关系曲线如表2和图6所示。该方案制动踏板力适中、制动线性好、制动踏板回位及时，整车制动效能好，制动信心强。

表2 锁定方案

踏板模拟器	软件
5 N/mm +30 N/mm	图6所示曲线

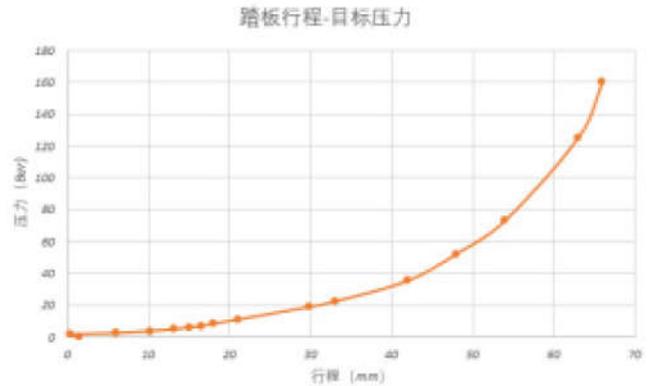


图6 踏板行程-目标压力

4 E-booster 制动踏板感验证

对调校评价后的某车辆进行制动踏板感客观测试，验证制动踏板感目标的达成情况，具体测试结果如图7和图8所示。从图中可以看出，调校后的踏板感符合设计目标范围。

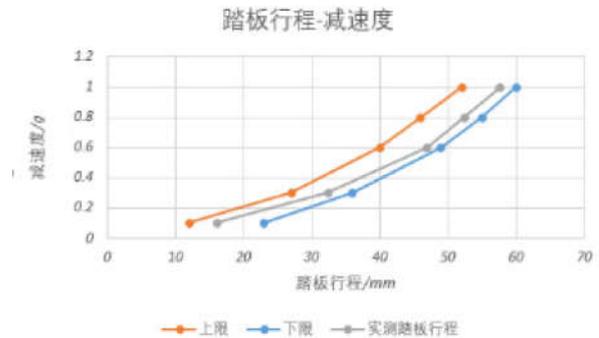


图7 踏板行程-减速度客观测试

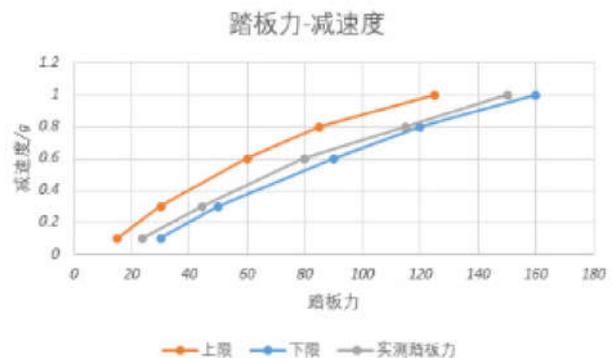


图8 踏板力-减速度客观测试

5 总结

制动踏板感是整车制动性能的重要组成部分，其影响到驾驶舒适性及安全性。本文通过某电动车型E-booster的开发，总结了其制动踏板感开发思路，为后续类似车型的制动踏板感开发提供了开发经验。主要如下：

（1）制动踏板力由E-booster的踏板模拟器产生，调试阶段尽可能制作不同刚度配置的样件进行选型，以满足不同驾驶风格需求；

（2）由于E-booster推杆行程固定（本车型为22mm），制动踏板杠杆比建议为3.5-4.0，大的制动踏板行程有利于增加制动压力的调试范围，利于进行精细化的踏板感调校；

（3）制动踏板感为驾驶员对制动表现的主观综合感

受，在进行主观评价的同时也要结合测试进行客观数据分析，保证主观评价与客观目标的一致性。

参考文献

[1]阴法国.集成式电液制动系统踏板感研究[D].广州：华南理工大学,2021:1-2,53-54.

[2]陈振文.液压制动系统踏板感觉影响因素分析[J].企业技术开发,2013,32(8):92-95.

[3]余志生.汽车理论[M].北京：机械工业出版社,2003.

[4]金智林,郭立书,赵又群,et al.踏板感觉可控的汽车制动踏板模拟器研究[J].系统仿真学报,2010,000(012):2795-2798.

[5]高鸣晓,王跃,刘巍,et al.乘用车制动踏板感觉研究[J].农业装备与车辆工程,2015,292(11):53-56.