

基于滑移率和 ABS 的电动商用车制动性能控制研究

张 誉, 庞中华, 刘 凯, 李建英, 徐丽鑫, 潘连波

(北京福田欧辉新能源汽车有限公司, 北京 昌平 102206)

摘 要:针对电动商用车在低附路面 ABS 激活后制动平顺性较差的问题,设计基于滑移率和 ABS 的制动性能控制系统。系统在 ABS 激活前通过调节制动扭矩,降低 ABS 激活概率;在 ABS 激活后通过控制电制动取消速率,并耦合正常状态电制动 MAP,从而改善制动平顺性。

关键词:电动商用车;低附路;制动性能;滑移率;ABS

中图分类号:U462.3⁺2

文献标志码:A

文章编号:1006-3331(2023)06-0006-04

Research on Brake Performance Control of Electric Commercial Vehicles Based on Slip Ratio and ABS

ZHANG Yu, PANG Zhonghua, LIU Kai, LI Jianying, XU Lixin, PAN Lianbo

(Beijing Foton Ouhui New Energy Vehicle Co., Ltd., Beijing 102206, China)

Abstract: Aiming at the problem of poor braking smoothness of electric commercial vehicles after ABS activation on low adhesion roads, this paper designs a braking performance control system based on slip ratio and ABS. The system reduces the probability of ABS activation by adjusting the braking torque before ABS activation. After ABS activation, the braking smoothness is improved by controlling the electric braking cancellation ratio and coupling the normal state electric braking MAP.

Key words: electric commercial vehicle; low adhesion road; braking performance; slip rate; ABS

商用车(如城市客车、物流车等)在雨雪天气等低附着系数^[1]路面行驶时,常常会激活 ABS。根据装用 ABS 的电动商用车的特点^[2],ABS 激活后,电制动直接撤销,此时车辆制动减速度会突然减小,车辆会突然“向前冲”,制动平顺性极差,容易发生交通事故。

1 原因分析

电动商用车低附着力路面制动平顺性差是由 ABS 制动系统“电气”混合制动的特性引起的^[3]。电动商用车 ABS 制动系统一般由电制动和气制动两部分组成,制动踏板行程的前约 30% 为电制动,后约 70% 为电制动和气制动混合制动。商用车的驾驶员为了最大限度回收动能,在减速时(非紧急制动)控制制动踏板行程一般小于 30%,此时仅有电制动。而

若此时 ABS 因路况自动激活,VCU 如果立即撤掉电制动,则车辆会出现瞬间“加速”现象;为了纠正此时的制动偏差,驾驶员可能会本能超量增大制动踏板开度(使用气刹去制动),进而引发车辆制动“点头”问题,从而加重了制动的不平顺性。

针对此问题,目前电动轿车一般采用 EBS^[4],这在一定程度上改善了制动不平顺性。由于成本等原因,目前电动商用车还是配置传统的 ABS。解决制动平顺性问题主要有两种方案,一是在仪表台上加装“雨雪模式”开关,遇到雨雪天气等湿滑低附着系数路面时,按下此开关,车辆的电制动功能取消,此时驾驶员仅使用气刹去制动,此方案不仅增加了驾驶疲劳感,而且严重影响车辆经济性;另一种方案是在 ABS 激活后,电制动阶梯降低,此方法在一定程度上可以缓解制动不平顺性^[5],但效果有限。

收稿日期:2023-07-13。

第一作者:张 誉(1985—),男,硕士;工程师;主要从事新能源客车控制策略开发等工作。E-mail:276009980@qq.com。

为此, 本文设计一种基于滑移率和 ABS 的制动平顺性控制系统。该系统在 ABS 激活前通过改变制动扭矩控制滑移率, 降低 ABS 激活概率; 在 ABS 激活后综合考虑原有电制动 MAP, 控制电制动取消速度 (即滤波斜率), 以保障制动平顺性。

2 控制系统设计

基于滑移率和 ABS 的制动平顺性控制系统主要包括整车控制器、ABS 控制器、仪表、驱动电机控制器等, 如图 1 所示。ABS 控制器与整车控制器通过 CAN 线相连, 发送四个轮速信号 (用于计算整车滑移率) 及 ABS 信号给到整车控制器, 轮速信号传递周期可设置为 10 ms, 以保障整车计算滑移率的实时性; ABS 信号的传递周期可设置为 100 ms, 以降低整车 CAN 线负载率; 整车控制器接收 ABS 控制器输出的轮速等信号和电机控制器实际扭矩、电流等反馈值后, 通过运算输出驾驶员请求扭矩、电机控制模式等信号; 电机控制器执行整车控制器指令并反馈当前状态; 仪表主要用于在系统故障时显示相应的“故障名称”, 以提醒驾驶员及时对有故障的系统进行检修。

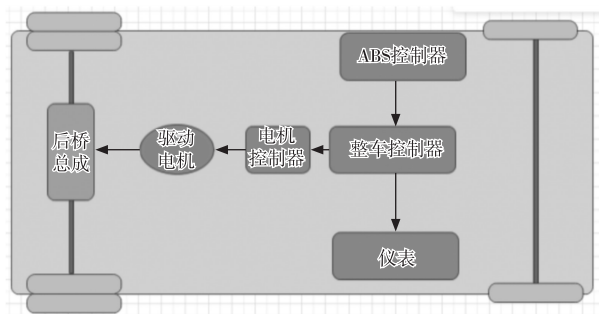


图 1 控制系统架构图

基于滑移率和 ABS 的制动平顺性控制系统扭矩输出控制策略分为两个阶段, 第一阶段为 ABS 激活之前, 主要参考实时滑移率; 第二阶段为 ABS 激活之后, 主要参考 ABS 激活信号及滤波斜率。

2.1 第一控制阶段

首先, 整车控制器需根据轮速 (后轮平均轮速) 及车速信号计算出车辆实时滑移率^[1] (轮胎发出牵引力或制动力时, 在轮胎与地面之间都会发生相对运动, 即为滑移率)。滑移率 s 的计算公式如下:

$$s = (u - u_w) / u \times 100\%$$

式中: u 为整车车速; u_w 为整车轮速。

当车轮纯滚动时, $u_w = u, s = 0$; 当车轮抱死纯滑动时, $u_w = 0, s = 100\%$; 当车轮边滚边滑时, $u > u_w, 0 < s < 100\%$ 。车轮滑移率越大, 说明车轮在运动中滑动成分所占的比例越大。

其次, 在进行制动扭矩输出调节之前, 根据车辆制动性能等指标, 在原有制动 MAP 基础上 (制动踏板开度、主电机转速), 乘以制动强度系数 K_s , 形成优化后的制动 MAP, 即制动扭矩输出值 = $K_s \times$ 原制动扭矩, 具体如下:

1) 滑移率 $s \leq 15\%$ 时, 制动强度系数 K_s 为 100%。在此阶段车辆无滑移或滑移率很低, 本控制系统不参与电制动控制, 车辆正常行驶。

2) $15\% < \text{滑移率 } s \leq 25\%$ 时, 制动强度系数 K_s 为 (100%, 50%] (50% 可另外标定)。此阶段车辆出现较大滑移, 本控制系统逐步介入, 以降低滑移率, 从而降低 ABS 激活的概率^[6]。

3) 滑移率 $s > 25\%$ 时 (此参数参考 ABS 供应商厂家标定), 此时 ABS 已激活, 系统进入第二控制阶段。

2.2 第二控制阶段

在 ABS 激活后, 整车控制器接收到 ABS 控制器发送的 ABS 激活信号, 控制系统进入第二控制阶段。

首先整车控制器对 ABS 信号进行滤波预处理。当 ABS 激活时间 $< 100 \text{ ms}$ 时, 系统返回第一控制阶段; 当 ABS 激活时间 $\geq 100 \text{ ms}$ 时, 整车控制器进入如图 2 所示的控制流程。

1) ABS 激活后, 以初始制动扭矩 T_0 (ABS 触发瞬间的电制动扭矩) 为基准^[7], 以一定斜率 K 降低电制动扭矩, 得到过程制动扭矩 T_i (初始电制动扭矩按照一定斜率降低的过程扭矩), 同时实时计算当前实际需求制动扭矩 T_2 (整车控制器通过查制动 MAP 扭矩表得到的扭矩值)。

$$\textcircled{1} T_i = T_0 - K \cdot t \quad (t \text{ 为时间, 单位 ms})$$

$\textcircled{2} T_2$ 通过查制动 MAP 表所得, 该值为正常状态下由制动踏板开度、驱动电机转速两个变量耦合得到。

2) 当过程制动扭矩 T_i 降低到 T_0 的 50% (可另外标定) 或特定制动扭矩 T_1 (T_1 本系统取 $350 \text{ N} \cdot \text{m}$, 也可另外标定, 当 T_0 本身就不是很大时, 设置 T_1 可

保障电制动的最小值)中的较大值时,过程制动扭矩 T_1 不再降低,取 $0.5T_0$ 和 T_1 两者的较大值。

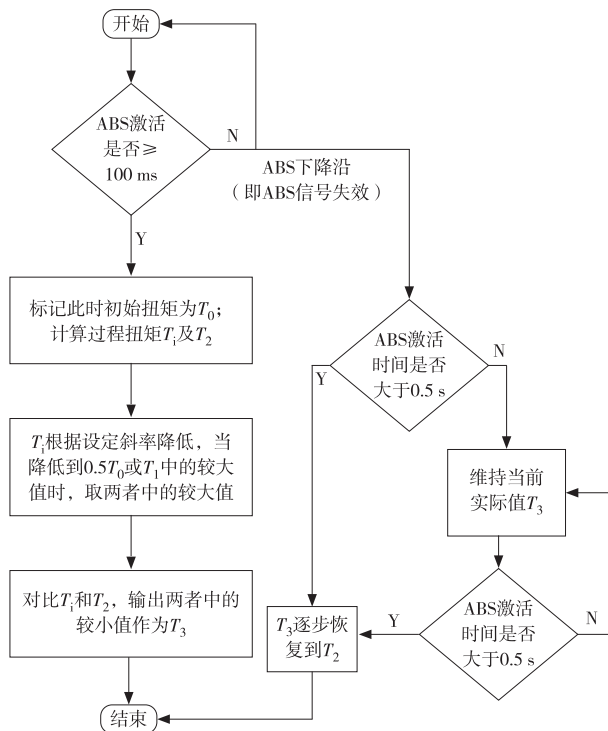


图2 第二控制阶段控制流程图

3) 在此过程中,对比2)的输出制动扭矩和当前实际需求制动扭矩 T_2 ,实际输出制动扭矩 T_3 (整车控制器最终输出的电制动扭矩)取两者中的较小值。

4) 在整个过程中,如果ABS激活信号失效:①若ABS激活时间 ≤ 0.5 s,实际输出制动扭矩 T_3 维持到0.5 s后,根据设定滤波斜率恢复到当前实际需求制动扭矩 T_2 ;②若ABS激活时间 > 0.5 s,实际输出制动扭矩 T_3 根据设定滤波斜率及时恢复到当前实际需求扭矩 T_2 。

5) 在整个第二控制阶段,气制动力不受本控制系统影响,即气制动力输出大小完全由ABS控制器控制,不受整车控制器控制。

3 实车测试

3.1 试验方案

以一款8.5 m纯电动城市客车为例,根据测试条件和验证优化内容,选择在交通部公路交通试验场(北京通州)的专用低附着系数路面进行参数标定和测试验证。在车速50 km/h左右开始踩制动踏板,激

活ABS,使用CAN数据总线记录仪记录不同工况下制动扭矩的输出情况,根据驾驶员主观评价和试验数据(主要参考驱动电机转速波动范围^[8])进行分析和标定(可标定参数如斜率 K 、特定扭矩等),最终得出控制方案。

然后参照GB/T 36987—2018《汽车防抱制动系统(ABS)性能检测方法》^[9],对整车控制策略进行优化,确保车辆制动性能符合要求。

3.2 试验结果

3.2.1 未采用本控制系统的的结果

试验车辆在未配置基于滑移率和ABS的制动平顺性控制系统后,在车速50 km/h左右踩制动踏板,当车速25 km/h左右时ABS激活,从CAN总线记录仪上采集的数据分析,电制动扭矩快速减为零,驱动电机转速瞬间升高出现较大波动(在0.48 s内升高627转),如图3所示。

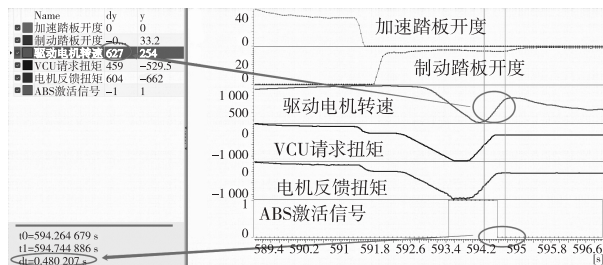


图3 优化前数据

3.2.2 采用本控制系统后的数据

1) 测试1:试验车辆在配置基于滑移率和ABS的制动平顺性控制系统时,在车速50 km/h左右踩制动踏板,当车速20 km/h左右时激活ABS。一方面,从CAN总线记录仪上采集的数据分析,电制动扭矩按照预定值变化波动,主电机转速出现小范围波动(在0.49 s内升高99转),如图4所示;另一方面,驾驶员主观评价为“减速平稳”。

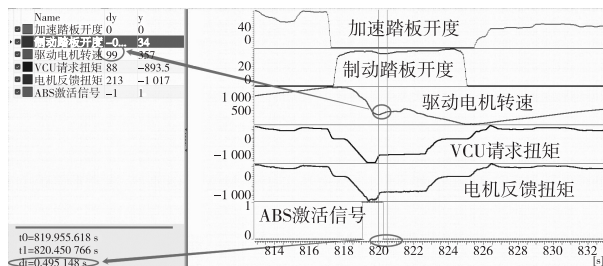


图4 测试1数据

2) 测试 2: 试验车辆在配置基于滑移率和 ABS 的制动平顺性控制系统后, 在车速 50 km/h 左右踩制动踏板, 当车速 35 km/h 左右时激活 ABS。一方面, 从 CAN 总线记录仪上采集的数据分析, 电制动扭矩按照预定值变化波动, 主电机转速出现小范围波动 (在 0.41 s 内升高 101 转), 如图 5 所示; 另一方面, 驾驶员主观评价为“减速平稳”。

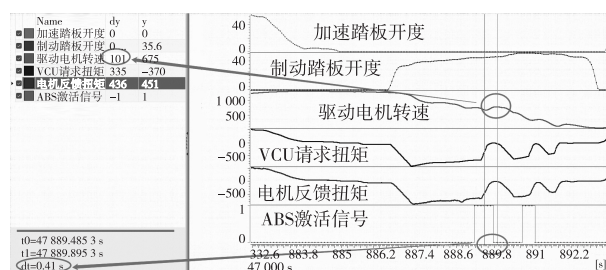


图5 测试2数据

3.2.3 安全性测试及评价

某 ABS 供应商根据 GB/T 36987—2018 对采用本控制系统的车辆进行整车的制动性能和安全性能测试, 测试结果^[10]如图 6 所示。ABS 控制器通过判断车轮滑移率进行防抱死控制^[11], 对 ABS 调节器进行气压控制, 同时将 ABS 工作状态进行报文发送, 整车 VCU 系统可以通过监控 ABS 激活信 (ABS-active) 进行能量回收状态的响应或退出, 无安全性问题, 制动性能符合要求。

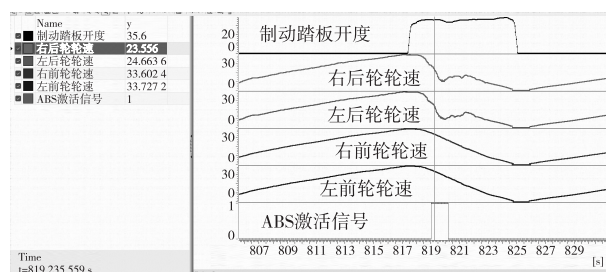


图6 安全及制动性能测试结果

4 结束语

针对商用电动车在低附路面运营中制动不平顺的问题^[12], 一方面, 在 ABS 激活前通过制动扭矩降低 ABS 激活概率; 另一方面, 在 ABS 激活后控制电制动

取消速率, 并综合考虑原有电制动 MAP, 以保障整车的制动平顺性。实测结果表明, 在低附路面 ABS 激活后驾驶员不过多干预^[13]的情况下, 能够很好地控制 ABS 激活频次以及激活后制动的平顺性, 提高了车辆的安全性能, 减少了驾驶员的焦虑感及驾驶疲劳感, 对 ABS 制动系统电动商用车的推广具有重大意义。

参考文献:

- [1] 汪选要, 程义, 程煜, 等. 低附着系数路面车道保持模型预测控制及汽车稳定性控制[J]. 中国机械工程, 2019, 30(9): 1018-1025.
- [2] 余志生. 汽车理论: 第5版[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009: 2-17.
- [3] 程诚. 汽车 ABS 系统结构原理及故障案例分析[J]. 汽车电器, 2022(11): 101-102.
- [4] 黄灵辉, 杨顺, 陈小强, 等. 电控制动系统响应时间测试系统设计与应用[J]. 专用汽车, 2021(5): 63-65.
- [5] 何水龙, 陈科任, 叶明松, 等. 基于 MATLAB 的商用车平顺性优化与分析[J]. 机械设计与制造, 2021(1): 224-227.
- [6] 王晶. 一种车辆线控制动系统扭矩分配控制方法[J]. 汽车电器, 2022(10): 32-34.
- [7] 罗溶. 某车型潮湿环境下制动抱死问题整改研究[J]. 汽车实用技术, 2021, 46(5): 60-62.
- [8] 李磊, 黄鑫, 翟世欢, 等. 纯电动汽车坡道起步防溜系统及控制策略的研究[J]. 内燃机与配件, 2021(22): 1-3.
- [9] 中华人民共和国工业和信息化部. 汽车防抱制动系统 (ABS) 性能检测方法: GB/T 36987—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018: 12.
- [10] 严瑾, 叶振洲, 邵建文, 等. 全时四驱汽车制动力检测系统的研究[J]. 自动化与仪表, 2016, 31(12): 14-17.
- [11] 刘倩. 新能源汽车电子控制的关键性技术研究[J]. 中国新通信, 2019, 21(21): 228.
- [12] 李景蒲, 马金刚, 郭进国. 电动汽车能量回馈制动防抱死系统的研究[J]. 内燃机与配件, 2017(5): 92-94.
- [13] 王银, 张灏琦, 孙前来, 等. 基于自适应 MPC 算法的轨迹跟踪控制研究[J]. 计算机工程与应用, 2021, 57(14): 251-258.