基于双源转向系统的纯电动客车转向控制改进

张利新，孙 炜，刘逸群，文健峰，杨杰君
（中车时代电动汽车股份有限公司，湖南 株洲 412007）

摘 要：通过对双源转向系统的硬件与控制策略的改进，设计不同工作异常判断及异常处理措施，实现在转向助力高压失效的工况下，维持车辆转向系统助力无中断工作，有效地保障车辆行驶安全。

关键词：纯电动客车；双源转向；控制改进
中图分类号：U463.2 **文献标志码**：A **文章编号**：1006-3331(2024)05-0031-03

Improvement of Steering Control for Pure Electric Buses Based on Dual-source Steering System

ZHANG Lixin, SUN Wei, LIU Yiqun, WEN Jianfen, YANG Jiejun
(CRRC Electric Vehicle Co., Ltd., Zhuzhou 412007, China)

Abstract: Through the improvement of the hardware and control strategy of the dual-source steering system, the authors design different abnormal judgment and abnormal handling measures to achieve the goal of maintaining the vehicle steering system power without interruption under the condition of high-pressure failure of steering power to effectively ensure the safety of vehicle driving.

Key words: pure electric bus; dual-source steering; control improvement

1 纯电动客车双源转向系统的技术要求及现状

1.1 技术要求

根据 GB 38032—2020《电动客车安全要求》[1]中的要求，车辆在行驶过程中，出现需要整车主动断 B 级高压电的车辆异常情况时，在车速大于 5 km/h 时应保持转向系统维持助力状态或至少保持转向助力状态 30 s 后再断 B 级电。实现车辆安全停车，防止车辆行驶时发生事故[1]。

按此标准要求，纯电动客车转向系统理论上应具备以下 2 种功能[2]：当高压直流供电时，通过高压转向控制器控制高压转向泵实现高压供电情况下的转向功能；当高压系统故障断电时，低压直流电能够通过低压转向控制器控制低压转向泵，实现低压情况下的转向功能。

1.2 技术现状

目前国内学者在双源助力转向的应急方案上进行了研究[3-5]，较典型的是在现有电动客车转向助力系统的基础上提出的 3 种转向应急方案：双转向系统、双源转向泵系统、升压系统。其中，较常用的是双源转向泵系统，其工作原理为：高/低压双源 DC/AC 一体式控制器内含有独立的高压控制器和低压控制器，双绕组永磁双源转向电机内含有独立的高压绕组和低压绕组，系统根据不同情况通过高/低压双绕组电机驱动油泵来实现助力转向。若低压绕组出现故障，系统将故障信息反馈到仪表以提示驾驶员检修，及时消除转向安全隐患。

目前的双源转向泵系统存在以下问题：由于高、低压转向泵控制的载波频率及输出波形不同，不允许出现高、低压转向泵电机绕组同时驱动的情况，以防止绕组烧损或控制器硬件损坏。只有在高压侧出现故障，整车判断高压助力转向有大幅降扭或完全停机后，才考虑启动备用的低压绕组电机。这导致高低压转向切换出现延时，存在明显的助力中断情况，影响车辆的行驶安全。

收稿日期：2024-02-01。

第一作者：张利新(1995—)，男，工程师；主要从事新能源汽车整车控制软件开发工作。E-mail：946088651@qq.com。

1.3 本文的改进

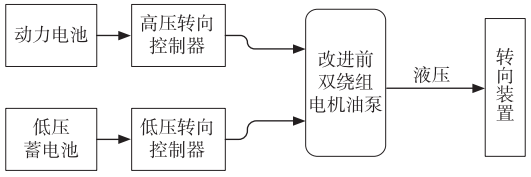
为解决上述车辆在行驶过程中助力转向功能可能失效的问题,本文提出一种改进型的双源转向泵系统,并采用新型双源助力转向控制策略。

1) 系统硬件的改进。相比于传统双源转向系统,改进型双源转向泵系统增加了油泵与液压控制系统,实现了物理结构上的部件失效安全冗余。

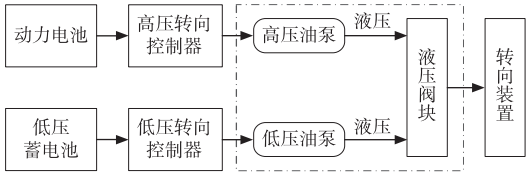
2) 系统控制策略的改进。对控制策略进行冗余设计,不用像传统双源系统需等待高压油泵工作状态为停机或大幅降速后才启动低压转向,实现了高低压切换过程助力无中断。

2 改进型双源转向泵系统结构

改进型双源转向泵系统的结构包括:高压转向控制器、低压转向控制器、高压油泵、低压油泵、动力电池、低压蓄电池、液压阀块、转向装置[6]。图 1(b)虚线框中为结构改进部分,高低压油泵在物理结构上完全相互独立,通过液压阀块进行液压力融合,最终输入转向装置。其部件关联关系如图 2 所示。



(a) 常规结构示意图



(b) 改进结构示意图

图 1 双源转向泵系统结构示意图

图 2 中整车 VCU 与仪表、高压转向控制器、低压转向控制器间通过 CAN 网络报文数据交互。高压转向控制器与动力电池通过高压线束连接,低压转向控制器与低压蓄电池通过低压线束连接。高压油泵、低压油泵分别与液压阀块通过液压管路连接。VCU 进行转向需求条件判断、高低压转向控制器的指令控制、高低压油泵工作转速的控制、接收及仲裁,以及整车、高压转向控制器、高压油泵、低压转向控制器、低压油泵异常状态判断及处理。液压阀块合并来自高低压油泵的两路液压,并对输入到转向装置的液压进行限流。仪表显示转向系统状态信息及故障报警提示。

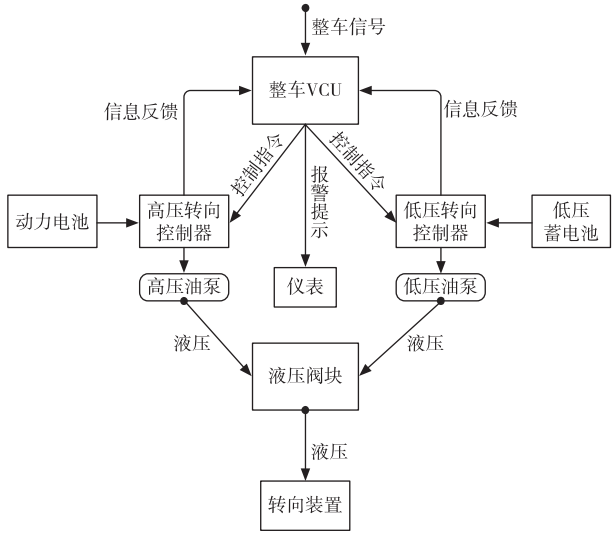


图 2 双源转向泵系统关联关系

3 双源转向泵系统控制策略设计

控制策略是双源转向泵系统的重要组成部分。转向泵系统高低压的切换需要在 VCU 控制策略的调度下协同工作,既要保证高压状态下正常稳定工作,又要保证在高压失效或系统异常的情况下能够准确迅速地启动低压转向系统。因此将控制策略设计为双层保障[3-4],VCU 可同时控制高低压助力转向启动,以实现转向控制冗余。VCU 根据转向系统的失效状态,定义整车不同故障报警等级,更加有效地保证整车行车安全。

3.1 高压助力转向系统工作异常判断

1) 通讯异常判断。整车 VCU 可通过 CAN 总线接口实时监控双源助力转向系统反馈的报文信号。当 VCU 检测出其与高压转向控制器的通讯出现异常,且驾驶员有转向需求(车辆挡位处于非空挡或有车速)时,VCU 立刻发送启动低压助力转向指令[3-4]。

2) 状态异常判断。VCU 实时检测高压转向控制器反馈的系统状态信息,当出现故障(具体故障包括:输出过流、输出过压、整机过热、输入欠压、输入过压、门极过流)或高压转向反馈未处于运行状态,且驾驶

员有转向需求（车辆挡位处于非空挡或有车速）时，VCU 立刻发送启动低压助力转向指令。

3.2　异常处理措施

当 VCU 检测到高压助力转向系统出现上述两种异常信息后，将对油泵转速和整车状态进行调整。

1）油泵转速调整处理策略。当 VCU 接收到高压油泵转速降低信息后，VCU 计算一定时间内其转速降低的速率与幅度，并判断驾驶员是否有转向需求（车辆挡位是否处于非空挡或是否有车速）。若需要启动低压助力系统应急，VCU 通过 PID 算法计算出低压油泵的工作转速，并根据油泵特性对目标转速进行仲裁保护，最终通过 CAN 报文发送给低压转向控制器，控制低压油泵实时调速，及时进行转速补偿，迅速将低压转向油泵转速提升到故障前高压油泵的工作转速，从而直接替代高压油泵，独立提供液压助力。通过液压阀块直接传递低压油泵的液压，并对输入到转向装置的液压进行限流，维持输入到转向装置液压的稳定。不用像传统双源系统需判断高压油泵工作状态为停机后才启动低压转向，实现了高低压切换过程助力无中断。

2）整车状态调整处理策略。当 VCU 检测到高压助力转向系统出现上述两种异常，并接收到低压油泵启动信息后，不仅要进行油泵转速调整处理，还要将整车状态由正常改为三级严重故障，驱动系统的输出功率受限，车辆只能低速行驶[7-9]。该故障将持续 2 min，2 min 后故障升级为四级最严重故障，VCU 禁止车辆驱动。同时通过 CAN 报文将故障信息发送到仪表，仪表进行声光报警，显示文字与符号并持续蜂鸣报警，提示驾驶员车辆出现故障。此时驾驶员应尽快靠边停车并排查故障，从而有效地保证了行车安全。

4　试验及结果分析

1）在行车驱动过程中，通过标定系统分别模拟 2 辆车高压助力转向发生故障，使高压助力转向强制停机，同时给低压助力转向发启动指令，记录 2 辆车液压油泵转速的变化过程。如图 3 所示，传统双源转向因其双绕组电机的特性，低压转向控制器只能在监测到高压油泵电机转速从额定 1 200 r/min 大幅下降到 800 r/min 后，才会启动低压电机补偿油泵转速和液压力。油泵转速从下降到恢复额定工作转速的整个时长为 1 s，该过程可能导致转向助力明显减小，方向盘转向沉重。而改进型双源转向可控制高低压电机同时启动介入工作，高低压油泵转速在 0.25 s 内的波动幅度仅为 100 r/min，液压转向助力无明显变化，方向盘转向维持轻便状态。

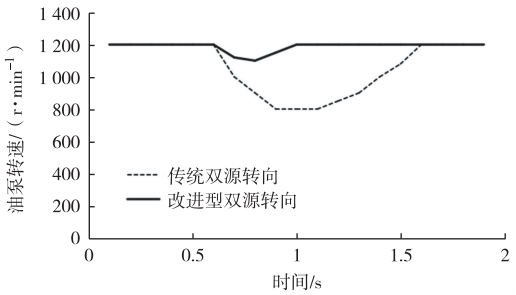


图 3　高压转向故障-油泵转速变化图

2）在行车驱动过程中，通过标定系统分别断开 2 辆车高压助力转向控制器的高低压供电电源，同时给低压助力转向发启动指令，记录 2 辆车液压油泵转速的变化过程。如图 4 所示，传统双源助力转向失效后无法反馈系统状态，低压转向控制器只能在监测到高压油泵电机转速为 0 后，才会启动低压电机补偿油泵转速和液压力。油泵转速从下降到恢复至额定工作转速的时长为 1.3 s，该过程可导致转向助力短暂消失，方向盘转向沉重或出现方向盘回转打手的危险情况。而改进型双源转向可控制高低压电机同时启动介入工作，高低压油泵转速在 0.5 s 内的波动幅度仅为 200 r/min，液压转向助力无明显变化，方向盘转向维持轻便状态。

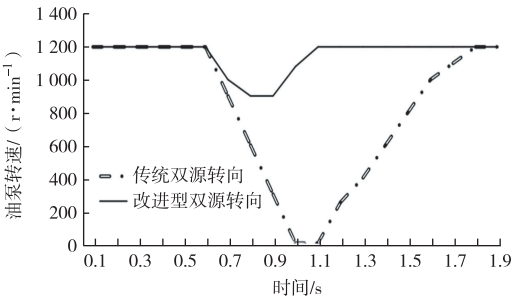


图 4　高压急断-油泵转速变化图

（下转第 37 页）

合整车运行的典型工况进行分析。根据分析结果，结合客户、设计、工艺、制造要求提出 5 种结构改进方案，并通过综合比较，确定了最终的改进方案。

参考文献：

[1] 张增博，孙宇波，刘强. 某款纯电动客车车架静态分析及优化[J]. 机械设计与制造，2022(11)：154-157.

[2] BENDYK J. Light Metal in Automotive Application[J]. Light Metal Age，2000，58(10)：34-35.

[3] 朱红军，刘芳忠，吴兵. 基于尺寸优化的纯电动客车骨架轻量化设计[J]. 客车技术与研究，2020，42(4)：20-22.

[4] 周雨新，朱红军，冒李宸. 基于静态有限元分析的客车骨架结构优化[J]. 客车技术与研究，2023，45(4)：40-44.

[5] 王勖成. 有限单元法[M]. 北京：清华大学出版社，2003：1-30.

[6] 郑文杰，兰凤崇，陈吉清. FSAE 赛车车架结构拓扑优化及轻量化设计研究[J]. 汽车工程学报，2016，6(1)：35-42.

[7] 龙启江，李毅，俞平，等. 基于结构优化的客车骨架轻量化设计研究[J]. 机械科学与技术，2013，32(4)：558-563.

[8] 王钰栋，金磊，洪清泉，等. HyperMesh & HyperView 应用技巧与高级实例[M]. 北京：机械工业出版社，2017：7-256.

[9] 韩刚. 纯电动客车车身结构设计及强度分析[J]. 黑龙江科学，2022，13(2)：1-3.

[10] 李文彪. XMQ6850AGBEVM 城市客车白车身强度仿真分析及优化[J]. 制造与工艺，2023(23)：145-147.

[11] 国家发展和改革委员会. 客车骨架应力和形变测量方法：GB/T 6792—2009[S]. 北京：中国标准出版社，2009：1-20.

[12] 董其娟，韩明亮，夏德伟，等. 基于有限元的全铝车身客车结构强度与刚度分析[J]. 现代制造技术与装备，2023(1)：122-125.

[13] 姚春革. 客车车身骨架强度分析及轻量化设计[J]. 中国储运，2021(1)：97-98.

(上接第 33 页)

5　结束语

本文改进的双源转向系统控制策略，可根据驾驶员转向需求及双源转向系统反馈信息，控制高低压油泵独立工作或同时工作。不用像传统双源系统需等待高压油泵工作状态为停机或大幅降速后才启动低压转向助力，高低压切换过程转向助力无中断。同时对车辆驱动系统进行限功或禁止驱动处理，通过仪表的声光报警提示驾驶员系统状态异常，应及时靠边停车处理，从而有效地保证了整车行车安全。

参考文献：

[1] 中华人民共和国工业和信息化部. 电动客车安全要求：GB 38032—2020. 北京：中国标准出版社，2020：3.

[2] 周科，姚科，王勇，等.《电动客车安全技术条件》系列国家标准解读[J]. 汽车实用技术，2017(7)：23-25.

[3] 周炜. 汽车电动助力转向系统(EPS)控制系统研究[D]. 南京：南京理工大学，2017.

[4] 谢欢欣. 电动客车双油泵式电动液压助力转向系统研究[D]. 北京：北京理工大学，2015.

[5] 李冰，王兰红. 电动客车用双源电动助力转向系统的设计[J]. 职大学报，2018(6)：82-86.

[6] 王霄峰. 汽车底盘设计[M]. 北京：清华大学出版社，2010：363-370.

[7] 全兴精工集团有限公司. 一种新能源汽车电动助力转向系统：201710295102. 4[P]. 2017-10-24.

[8] 杨慰. 汽车电动助力转向系统控制策略研究[D]. 武汉：武汉理工大学，2011.

[9] 杨庆宝. 纯电动汽车整车控制器研究[D]. 北京：北京交通大学，2012.