

纯电动轻型客车高集成度动力系统方案设计优化

汪帆, 王坤俊, 周欢, 谌九龙, 刘冬福

(中车时代电动汽车股份有限公司, 湖南 株洲 412007)

摘要:针对某纯电动轻型客车的高压动力系统,分别从主/辅驱系统技术优化及提升高压系统集成度三个方面进行方案改进。经仿真分析,改进方案也满足动力性、经济性指标要求,同时能降本增效。

关键词:纯电动轻型客车; 高压系统架构; 动力系统

中图分类号:U462.3⁺¹

文献标志码:A

文章编号:1006-3331(2023)02-0025-03

Design Optimization of Highly Integrated Driving System for Pure Electric Light Bus

WANG Fan, WANG Kunjun, ZHOU Huan, CHEN Jiulong, LIU Dongfu

(CRRC Electric Vehicle Co., Ltd., Zhuzhou 412007, China)

Abstract: For the high-voltage driving system of a pure electric light bus, the schemes improve from three aspects: the main and the auxiliary drive systems technology optimization and the improvement of high-voltage system integration. Through simulation analysis, the improved scheme also meets the design requirements of the power and economy indexes and meanwhile can reduce cost and increase efficiency.

Key words: pure electric light bus; high-voltage system architecture; power system

本文在某直驱结构的纯电动轻客原型车基础上,分析其高压架构,通过重新选型匹配,提出一种低成本、高集成度的动力系统改进方案。该方案不仅能降低整车成本、提升集成度,同时也能满足经济性和动力性设计指标,达到降本增效的目的。

1 原型车方案缺点分析

原型车总质量为 4.5 t, 储能系统采用 81.14 kW·h 磷酸铁锂电池, 整车的高压系统架构如图 1 所示。

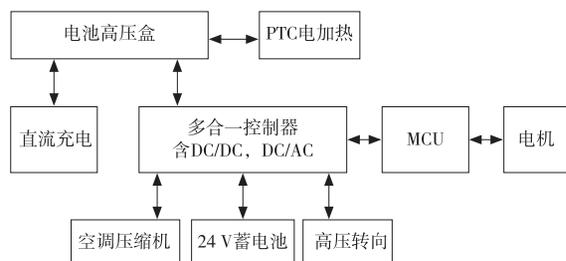


图1 原型车高压动力系统架构

其中主驱系统由大扭矩直驱电机(额定功率 65 kW, 峰值功率 120 kW)和单电机控制器组成, 辅驱转向系统采用高压电动助力转向系统, 高压配电功能由储能系统自带的电池高压盒与多合一控制器组成。

该方案主要缺点如下:

1) 主驱系统采用大扭矩直驱电机导致成本高^[1]。同功率性能的情况下, 高速化能让电机变小, 且成本更低。以适用于 4.5 t 轻客车的 120 kW 电机为例, 大扭矩直驱电机每台成本在 8 000 元左右, 而目前高速电机加单减速器组合的驱动系统成本可控制在 6 000 元以内, 成本相较于大扭矩直驱电机可降低 25%; 此外, 高速单减系统还有体积小, 利于整车布置; 重量轻, 利于整车轻量化的优势^[2]。

2) 转向系统采用 EHPS 高压液压助力转向方案导致功耗比乘用车行业成熟应用的 EPS(电动转向)大, 且含有液压油等潜在污染物。在商用车电动化和智能化的发展趋势下, 市场对转向系统提出了新要

收稿日期:2022-09-19。

第一作者:汪帆(1989—),男,工程师;主要从事整车电气系统研究工作。E-mail:wangfan.cy@crrecg.cc。

求,如节能环保、结构简单、安全舒适、随速助力等^[3]。目前的 EHPS 方案逐渐无法满足市场需求,需采用 EPS 等新的技术方案。

3) 高压动力系统架构集成化程度低导致系统成本高,效率低。原型车高压动力系统核心模块有电池高压盒、辅驱控制器和电机控制器等多个零部件,结构较零散,集成度较低,其成本比集成式高很多。此外,系统集成度低,零部件多还导致整个高压动力系统总体积大、重量高、接口复杂,系统效率低。

2 对原型车方案的改进

2.1 主驱系统高速化与集成化

改进方案采用高转速小扭矩电机+减速器^[4],同时集成电机控制器的“三合一”驱动结构替代原有的大扭矩直驱系统,以主驱系统高速化^[5]与集成化的改进方式在技术方案上实现降本^[6]。

2.1.1 主驱系统改进方案功率匹配计算

根据汽车理论,分别计算加速时的最大功率 P_a ,最大爬坡度时的最大功率 P_α ,最高车速时的最大功率 P_v ^[7],然后确定主驱系统最大功率 P_{\max} 。具体公式如下:

$$P_a = \frac{v_k}{3600\eta} \left(\sigma ma + mgf + \frac{C_d A v_k^2}{21.15} \right) \quad (1)$$

$$P_\alpha = \frac{v_i}{3600\eta} \left(mgf \cos \alpha_{\max} + mg \sin \alpha_{\max} + \frac{C_d A v_i^2}{21.15} \right) \quad (2)$$

$$P_v = \frac{v_{\max}}{3600\eta} \left(mgf + \frac{C_d A v_{\max}^2}{21.15} \right) \quad (3)$$

$$P_{\max} = \max(P_a, P_\alpha, P_v) \quad (4)$$

式中: v_k 为车速; σ 为旋转质量系数; m 为整车质量; a 为瞬时加速度; f 为滚动阻力系数; C_d 为空气阻力系数; A 为迎风面积; v_i 为爬坡车速; α_{\max} 为最大爬坡度; v_{\max} 为最高车速。

通过计算得出 P_{\max} 至少为 86 kW,额定功率至少为 $P_{\max}/2=43$ kW。

2.1.2 主驱系统改进方案最大转矩和最大转速计算

由汽车理论可知,最大转矩 T_{\max} 由最大爬坡度确定,计算公式如下^[8]:

$$T_{\max} = \frac{1}{\eta} \frac{mg(f \cos \alpha_{\max} + \sin \alpha_{\max}) \times r}{i} \quad (5)$$

式中: r 为滚动半径; i 为主减速比。

最高转速 n_{\max} 由最高车速 v_{\max} 确定:

$$n_{\max} = v_{\max} \times i / (0.377r) \quad (6)$$

通过计算可知, T_{\max} 不低于 855 N·m, n_{\max} 不低于 3 537 r/min。

考虑过载系数^[9]、结合体系资源成熟度及竞品同类车型产品配置信息,最终选定的驱动系统功率参数见表 1。

表 1 驱动系统主要参数表

主要参数	改进方案		原方案
	电机	电机+减速器总成	直驱电机
峰值扭矩/(N·m)	368	1 150	1 000
峰值功率/kW	120	120	100
额定功率/kW	65	65	60
最高转速/(r·min ⁻¹)	12 500	4 000	4 500

2.2 转向系统改为电动转向

新能源汽车智能化、网联化的发展已逐步朝无人驾驶演进,其中转向系统将朝线控转向发展。而轻型商用车的转向系统目前正在向低压电动转向(EPS)系统过渡^[10]。EPS 系统相对 EHPS 有以下优点:①能耗降低 3%左右;②零件减少,减少转向系统装配的时间和故障点;③因高压辅驱系统减少 DC/AC 模块,故转向系统成本更低^[11]。EPS 也有缺点:①系统整体输出扭矩偏小,暂不适用于大吨位的商用车;②由于 EPS 电机一般集成在方向机上,位置相对固定,相对 EHPS 电机布置缺乏一定灵活性,对整车布置和系统电磁兼容要求更高。

基于上述 EPS 的优点,故本文转向系统的改进方案为 EPS 替代原有的 EHPS。

整体式动力转向输出力矩 T_c 经验计算公式如下:

$$T_c = \mu / 3 \times \sqrt{G^3 / P} / (i_w \times \eta_1) \quad (7)$$

式中: μ 为轮胎与路面摩擦系数; G 为前轴载荷; P 为前轴轮胎气压; i_w 为转向机构角传动比; η_1 为转向传动机械效率。

通过计算得出,整体式转向输出力矩 T_c 在 1 347 N·m 左右,根据现有供应商资源,最后选取最大输出扭矩为 1 500 N·m 的低压 EPS。其主要参数如下:最大输出力矩 1 500 N·m,电机电压 24 V,电机额定功率 850 W。

2.3 高集成度高压架构制定

提高高压架构的集成度从两方面着手:一是上述主驱系统将电机、电机控制器和减速器进行集成;二是将储能系统高压接线盒和整车高压 PDU 模块集成^[12]。

改进后的动力系统高压架构框图如图 2 所示。

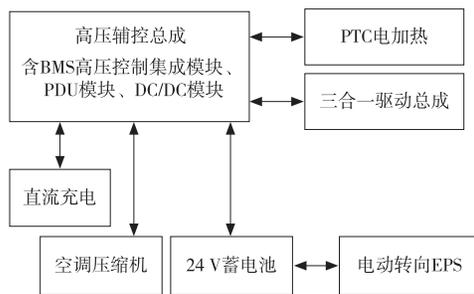


图2 改进方案动力系统架构

按改进后的动力系统高压框图架构,结合上述主驱系统、辅驱系统及储能系统的匹配设计,高压辅控总成主要模块及参数确定如下:

1) BMS 高压控制集成模块。包括高压接触器控制、主回路电压电流采集、绝缘检测、单支路直流快充接口功能等。其中 BMS 高压配电,仍采用原车型的 81.14 kW·h 储能系统方案,额定电压 540 V,电压范围为 400~700 V;额定持续充放电 150 A,60 s 最大允许放电及回馈电流 300 A。

2) 四路直流 PDU 模块,含三合一电驱动系统直流配电、电空调直流配电及电除霜电加热直流配电的直流高压配电功能。

3) 一路 DC/DC 模块与原型车一致,仍为低压 24 V 平台,额定 3 kW,最大 3.6 kW。

3 改进方案成本及性能评估

3.1 高压系统成本对比

高压动力系统改进方案的各项成本都有所降低

(具体见表 2),总计降本 7 000 元。

表2 改进方案相较原方案的成本降低

原方案	改进方案	成本降低/元
大扭矩直驱电机 +电机控制器	三合一系统(高速小扭矩电机 +单级减速器+电机控制器)	3 000
高压电助 EHPS	低压 EPS 系统	1 000
电池高压盒+辅源 控制总成(含 DC/ AC 和 DC/DC)	集成式控制总成(含 DC/DC 及 PDU 功能)	3 000

3.2 整车系统性能校核

改进方案和原方案在整车上应用的仿真结果对比见表 3。从表 3 可知,改进方案完全满足设计要求;相比原方案,改进方案在动力性方面(爬坡度和加速度)提升明显,在经济性方面变化不大。

表3 整车性能仿真结果

性能指标		设计要求	改进方案	原方案
动力性	最高车速/(km·h ⁻¹)	90	110	119
	10 km/h 爬坡度/%	25	32	29
	0~80 km/h 加速时间/s	16	12.7	15.1
匀速 40 km/h 能耗/(Wh·km ⁻¹)		230	217	220
经济性	匀速 40 km/h 续航/km	250	355	350
	CHTC 工况能耗/(Wh·km ⁻¹)	385	363	361
CHTC 工况续航/km		200	212	213

4 结束语

本文以某电动轻型客车基础车型为例,对其高压架构进行集成化规划制定,重新匹配选型动力系统;动力系统的改进方案相较原型车降本明显,同时经仿真分析,改进方案的动力性、经济性指标也远超设计要求,实现了降本增效的设计目标。本文对轻型商用车高压架构规划及动力系统选型匹配有一定参考价值。

参考文献:

- [1] 崔焜.应用直驱式 AMT 的电动汽车传动系统设计与性能研究[D].淄博:山东理工大学,2016.

改善,整车 NVH 综合性能提高,较好地解决了高速、加速振动噪声异常的问题。

参考文献:

- [1] 周宇杰,雷刚,贺艳辉,等. 基于惯性参数的动力总成悬置系统解耦分析[J]. 噪声与振动控制,2017,37(6):94-97.
- [2] 陈剑,刘策,杨志远,等. 基于 6Sigma 方法的发动机悬置系统稳健优化设计[J]. 合肥工业大学学报,2017,40(11):1469-1473.
- [3] 徐石安. 汽车发动机弹性支撑隔振的解耦方法[J]. 汽车工程,1995,17(4):198-204.
- [4] 时培成,李文江,丁芳. 基于振动传递率和能量解耦的悬置系统优化[J]. 先进制造工艺技术,2009,26(2):17-22.
- [5] 宋庆谱,孙滔,曾帅,等. 基于整车 NVH 性能的动力总成悬置系统优化[J]. 农业装备与车辆工程,2018(11):66-71.
- [6] 刘策. 发动机悬置系统特性仿真和稳健优化[D]. 合肥:合肥工业大学,2017.
- [7] 雷超宏,颜伏伍,吴勇,等. 某电动汽车动力总成悬置系统优化设计[J]. 西华大学学报,2022,41(2):93-100.
- [8] 李聪,张帆,杨玉玲,等. 动力总成悬置系统优化设计及系统稳健性分析[J]. 内燃机与配件,2021(8):14-17.
- [9] 孙永厚,杨帅,刘夫云,等. 基于多岛遗传算法汽车动力总成悬置解耦优化[J]. 机械设计与制造,2019(12):155-159.
- [10] 唐孝非,王攀,周小宝. 某商用车动力总成悬置系统优化[J]. 噪声与振动控制,2021,41(6):149-153.
- [11] 史振盛,刘明林,刘赞森,等. 载货汽车动力总成悬置系统优化设计[J]. 内燃机与动力装置,2018,35(3):49-55.
- [12] 李智强,张攀登,黄美婷. 基于弹性中心的客车动力总成悬置系统布置[J]. 常州工学院学报,2018,31(2):19-22.
- [2] 李礼夫,欧光宇. 基于电机能耗的纯电动公交客车主减速比优化方法研究[J]. 机械与电子,2014(4):35-38.
- [3] 于秀涛,李博. 汽车线控转向系统分析[J]. 中小企业管理与科技,2010(28):269-270.
- [4] 董宏升. 纯电动公交车集成减速电机壳体设计与优化[D]. 成都:西南交通大学,2020.
- [5] 杜克强,许檬,李璇,等. 纯电动汽车用高速电驱动系统发展综述[J]. 汽车实用技术,2022,47(3):10-16.
- [6] 陈雷,魏粲然,陈登峰,等. 电动汽车用三合一电驱动系统设计及验证[J]. 微特电机,2021,49(3):30-32.
- [7] 鞠涛. 某款纯电动商用车三电系统架构及动力性匹配[J]. 汽车工程师,2017(7):18-20.
- [8] 陈继龙. 汽车动力传动系统仿真的研究[D]. 西安:西安科技大学,2013.
- [9] 张兆东. 电动机过载保护的研究[J]. 漯河职业技术学院学报,2009,8(2):44-46.
- [10] 苑志超. 轻中型商用车电动助力转向系统的研究[D]. 青岛:青岛科技大学,2008.
- [11] 皮欣欣. 汽车转向系统发展趋势[EB/OL]. (2022-08-18) [2022-09-10]. <https://www.dongchedi.com/article/7133037406504190500>.
- [12] 吴庆国. 商用车多合一控制器集成化路线分析[EB/OL]. (2020-11-02) [2022-09-10]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1682259950277011260&wfr>.

(上接第 27 页)