【技术成果】北汽福田 BJ6123EVCA-37 型纯电动城市客车的创新点与解决难点

福田欧辉自主研发的 BJ6123EVCA-37 车型是一款大中型城市市区道路高端城市客车，采用福田欧辉客车第三代城市客车产品造型、安全可靠的锂离子系列动力电池、高效的直驱动力系统，使整车更加节能。自主创新设计，整车结构造型简洁大气，融合国际化都市城市客车流行元素，凸显科技感、豪华感，让乘客倍感舒心。金属质感打造，彰显卓越品质，人体工程学座椅，让乘客乘坐更舒适。都市风格的简洁造型，大气而不失优雅，整体式前后大灯凸显科技与豪华。

整车采用福田欧辉专有 4D 车身技术，超低地板无障碍设计。车内空间宽敞，利用合理，驾驶室与乘客区有效分离，确保驾驶不受干扰，实现“人——机——电”一体化智能操控平台，可定制用户的在线智能控制技术，在强电安全方面做到了世界领先。

图 1 BJ6123EVCA-37 照片

一、整车性能及控制策略

BJ6123EVCA-37 车型采用小型驱动电机加单级减速器的形式，相比传统车型采用较大的驱动电机的形式，可以满足整车的动力性需求，并节约成本。采用小型驱动电机方案，使得电机能够工作在较高的效率区，工作效率提升，降低能耗；该车型相比传统车型采用铝车身，最大总质量不变，整备质量减小，试验质量减小，整车能耗降低，续驶里程增加，经济性更优。

BJ6123EVCA-37 车型等速 40 km/h 不开空调能耗相比传统车型降低 1.3%；BJ6123EVCA-37 车型 CCBC 工况不开空调能耗相比传统车型降低 2.6%；BJ6123EVCA-37 车型 CCBC 工况开空调能耗相比传统车型降低 1.9%。

纯电动汽车整车性能水平受整车参数以及动力系统部件等影响，在动力系统部件现有技术水平的基础上通过对其关键参数的合理配置和优化是提升纯电动整车性能的一个重要且可行的技术手段。

以整车整备质量作为经济性和成本特性的表征因素，在满足续驶里程约束的前提下满足整车降重目标；充分考虑工况和系统效率对整车性能的影响，采用基于联合仿真优化机制的全局优化方法，将整车经济性和整备质量作为多优化目标，以动力性为约束条件，对动力系统参数进行了综合寻优操作。

1、基于 AutoSAR 架构的汽车电子软件开发与集成技术

整车控制器如同电动汽车的大脑，指挥各个系统协调的工作，在整车动力性、驾驶舒适性以续驶里程之间取得最佳的平衡。整车控制器最主要的功能是进行整车动力系统的控制。整车驱动控制策略负责整车动力输出控制，是纯电动车的核心内容。包括 VCU 硬件资源分配，输入信号采集，输入信号来源，输出信号逻辑，整车状态管理，上下电管理，充电管理，扭矩解析，附件管理，故障管理等。整车驱动控制策略是纯电动车整车控制系统的核心设计，它起到监督和调节各执行机构，实现和保证纯电动车行驶安全性、提高使用经济性的关键作用。在现有整车控制算法的基础上，依照 AutoSAR 架构标准，使用完整 AutoSAR 开环环境和工具链，并依照汽车电子软件 V 形开发验证流程进行，开发出符合 AutoSAR 标准的整车控制器控制软件系统，以保证软件的可靠性、可验证性要求和分层、模块化要求。

基于 ISO26262 功能安全性标准的系统软硬件开发；在设计之初即对整机系统进行满足 ISO26262 功能安全性等级要求的技术需求分析，并制定相应的系统开发规格指标，并在设计过程中严格落实各项功能安全性要求，以开发出满足 ISO26262 功能安全性等级要求的整机软硬件系统。整车控制器软硬件系统设计达到 ISO26262 ASIL-C 功能安全等级标准。

2、动力系统参数匹配任务和目标及方案

动力系统参数匹配是整车设计的一个重要过程，主要是根据整车的基础参数以及性能指标要求选择合适的动力传动系统型式，并确定其关键特征参数，根据项目研究及开发需要，本课题以纯电动车型为目标车型，研究通过动力系统匹配的方式所能实现的纯电动整车性能提升的潜力，探索动力系统参数匹配的技术关键，对动力系统参数进行重新匹配设计和进一步的优化，以达到满足动力性约束为基础，提升整车经济性和成本特性的目的。整车经济性体现了纯电动整车的能耗水平，为了提高经济性，通过参数匹配的方式提高。基于“全局优化”方案的动力系统参数匹配优化，如图 2 所示。

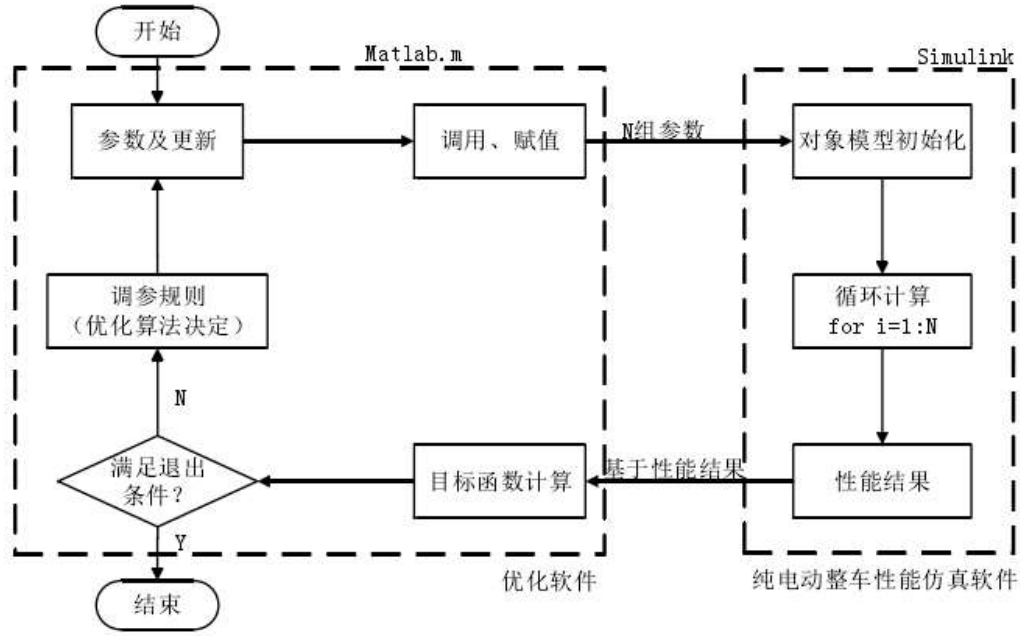

图 2 动力系统参数全局优化软件具体架构

本课题提出建立优化软件和纯电动整车性能仿真相联合的参数优化机制，对动力系统参数进行全局寻优设计，既要满足动力性的基本要求，又应充分考虑续驶里程、能耗以及整备质量等关键指标要求。基于动力系统参数优化的特点，本课题提出基于联合仿真的优化思想，优化算法和整车性能仿真软件均基于 Matlab 软件平台搭建。

3、纯电动汽车整车控制策略研究与开发

整车控制系统是纯电动汽车实现整车及动力系统控制和管理的核心，开发合理的整车控制策略是确保并提升整车性能的重要技术手段，也是纯电动汽车整车设计开发的主要任务之一。本章主要以纯电动汽车整车控制系统为研究对象，目的是开发出与纯电动汽车产业化和市场推广相适应的下一代纯电动汽车整车控制软件架构和控制策略。提出建立动力模式、经济模式以及跛行模式三种控制模式，在动力和经济模式下，开发基于基准转矩 MAP 加模糊转矩补偿的转矩控制架构，兼具动力性和经济性双重控制目标。在跛行模式中则注重对动力系统部件的保护，提高整车对一般异常现象的应对能力，具有跛行回家功能。

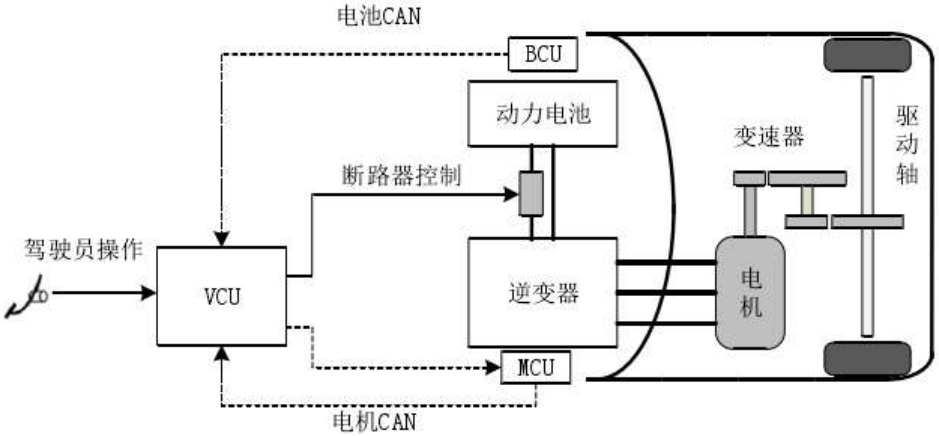

图 3 纯电动汽车控制系统结构原理图

4、优化算法选择及优化原理

传统的优化算法如梯度法、最速下降法等往往需要精确的数学函数表达，因而不适于纯电动汽车动力系统参数的全局优化问题。模拟退火算法、遗传算法、蚁群算法等智能优化算法，具有类人的思维方法和行为准则，较为适用于这种迭代计算的优化过程。基于模拟退火 PSO 算法更好的全局寻优能力，本课题将其应用于纯电动汽车动力系统参数匹配优化过程。

二、动力蓄电池匹配设计

采用具有-15～55℃环境中 3C（含）以上充电能力的钛酸锂动力电池组，额定电压 DC579.6V，动力电池总配电量 101.5kWh，动力电池组能够保证 10 年使用寿命和高安全性。电池箱单箱集成高压配电及 BMS，具备快速脱离车体的功能，具备 IP67 等级防水、防尘；同时具备过流保护、温度调节功能。后部电池箱与电机舱的采取隔热措施，防止局部电池过热。

1、电池管理系统功能

1）单体电池电压、电池组电压的检测。

2）电池组温度的检测。

3）电池组工作电流的检测。

4）具有绝缘电阻检测功能或单设绝缘电阻检测装置。

5）电池组冷却和加热控制（根据需要）。

6）充放电次数记录；电池组 SOC 的估测。

7）电池故障分析与在线报警。

8）各箱电池离散性评价与自均衡功能。

9）与车载监、控设备通信，为整车控制提供必要的电池数据。

10）与充电机通讯，实现电池的安全充电，并向充电机提供完整的电池技术参数，具体要求见相关标准。

11）符合电磁兼容要求。

12）具备空气断路器，当电池系统出现问题四级故障时或整车维修时可以立即断开高压回路，保证乘车人员安全。

表 1. 动力电池组主要技术参数

2、动力电池组符合所有强制性国标要求

项目名称	技术参数	备注
电芯种类	高功率纳米钛酸锂离子电池	
组合方式	5 并 252 串	
额定电压/电压范围	DC579.6V/DC453.6V～667.8V	
标称容量	175Ah	
SOC 工作范围	15%～100%	
工作温度	-20℃～60℃	
可持续充/放电最大电流	535A/300A	充电峰值电流 553A<25min
箱数	16	
管理系统型号	BMU05/BSU05-12S7T2A-24V-10K	
冷却方式	风冷	
防护等级	IP67	
绝缘阻值	500Ω/V	

动力电池组符合 GB/T 31467.3 及《电动客车安全技术条件》

图 4 BJ6123EVCA-37 车型 30cm 水深涉水试验

3、动力电池组配备动力电池自动灭火装置

1）动力电池灭火装置主要工作参数

表 2 动力电池灭火装置主要技术参数

使用工作电压（DC）	18～32V
使用工作电流	≤2A
使用工作环境温度	-20～70℃
使用工作环境湿度	≤90%
使用灭火剂种类	锂离子动力电池火灾专用超细干粉
灭火类别	磷酸铁锂电池、三元聚合物电池，钛酸锂电池等
灭火速度	≤30s
火情探测方式	烟雾和火焰（包括热辐射和光辐射）

2）动力电池灭火装置主要功能

a.启动功能：按手动启动按钮，系统会进入手动工作模式。自动模式优先，当系统故障时启动手动模式。

b.消防启动信号反馈功能：当系统感应到火情信号时通过数据线及时反馈到驾驶区并发出蜂鸣声。

c.故障自动检测功能：灭火系统有自动诊断功能，当灭火系统检测到传感器失效、罐体压力泄漏等故障时能在司机驾驶区发出蜂鸣声。

d.系统火情识别与启动消防功能：系统具有自动识别火情信号并启动消防工作。

三、驱动系统匹配设计

采用 FTTB100A+FT-1D900JSQ 纯电动驱动系统，动力强劲，比功率较电机直驱高 35%；以 12 米纯电动公交为例，搭载该套系统后最大爬坡度大于 16%；0-30Km 加速时间小于 6.5 秒。

基于引入欧洲先进技术、工艺、材料、结构、体系、团队等优势资源，该系统的可靠性处于国际领先地位；关键零部件终身免维护、故障率远远低于于国内同类型产品、设计寿命远超客户使用需求。工况适应性广，减速箱、电机工作温度范围广（-40-85℃）；启动时提供小电流大转矩，对于频繁启停堵车等市内工况及上下坡的山区工况都能完美适应；经过高低温、盐雾、腐蚀等试验，从容应对整车各种复杂路况。

高效低耗，电机高效区转速范围可达同类产品的 3 倍，效率表现更好，电耗更低；以 12 米纯电动公交为例，该系统电耗比同类产品低 7%。

高度集成：减速箱和驱动电机一体化设计使驱动系统体积进一步减小，易于布置，方便客户整车布置。

减振降噪，优化整车匹配，电机动力通过减速箱间接传输，可以使整车与电池、后桥的匹配更加合理，有效延长电池使用寿命，降低整车震动噪声。

保养成本低廉，关键零部件终身免维护，全生命周期使用成本不高于直驱系统。电机有减速箱防护，几乎无维保费用；起步加速需求电流小，对电池无损害；变频器符合欧洲制造工艺及标准的变频器，免维护；人工成本驱动核心部件免维护，人工成本低。

模块化设计，可组合应用，组成其余纯电或混动系统，节约开发成本及开发工作量。

安全等级高，采用欧洲安全标准，远超国标。

利于整车，相比直驱系统不需要使用大速比后桥，减少主减偏磨；相比直驱系统，车辆起步时，不需要大电流，延长电池寿命。

1、主要技术参数

表 3 驱动系统主要技术参数

主要技术参数		
电机类型		永磁同步电机
冷却方式		液冷
额定电压（直流母线端）		570V
额定功率		100Kw
峰值功率（1min）		160Kw
额定扭矩		400Nm
峰值扭矩（1min）		900Nm
最高转速		7500rpm
重量		160kg（无控制器）
外形尺寸		500×295mm（LxΦ，电机电控分体）
环境温度范围		-40℃-85℃
防护等级		IP67
驱动方式		使用减速箱耦合驱动
工作制		S9
减速箱	速比	3.043
	尺寸	510×244×383mm
	重量	约 70kg
电驱动系统总输出功率（额定/最大）		100Kw/160Kw
电驱动系统总输出扭矩（额定/最大）		1217Nm/2738Nm

2、开发模式

产品代表了国际新能源技术最尖端水平，引入欧洲产品研发流程体系、欧洲顶尖供应商体系、欧洲工艺标准，同时对国内客户的需求、使用场景进行针对性的调教，定制化驱动系统。

3、关键技术

1）先进技术

电机：高转速电机技术，电机抗涡流、抗退磁的永磁体技术，高绝缘及高防护技术；电机控制器：控制器安全互锁及全面故障诊断技术；减速箱：高转速减速箱技术、先进的离子氮化技术、专业化仿真技术、减速箱高转速花键润滑技术。

2）先进工艺

电机拼块结构永磁体及拼块粘结工艺，增强电机抗涡流和抗退磁能力；齿轮供应商与德国慕尼黑工大的齿轮研究所合作，Super Finish 高精度磨齿技术、壳体高压铸造、提供航空级的产品供应。

3）先进材料

电机永磁体采用高性能高可靠永磁材料；控制器水道底板采用散热性能更高的铝合金材料；减速箱铝壳设计,减小驱动模块重量和体积，便于整车布置，国际顶尖的高转速轴承、齿轮及齿轮轴轴选用优质合金钢渗碳淬火。

4）先进结构

控制器发热源 IGBT 紧贴水道底板、功率电路和控制电路分离、叠层母排结构设计；加强筋结构优化设计、减速箱双密封结构设计。

四、电控与调试监控

1、充电时间估算

BJ6123EVCA-37 车型具备 4 个充电插座，平均布置在车身后部左右两侧，4 个充电插座都可以单个充电插座使用，同一侧的 2 个充电插座使用和 4 个充电插座同时使用，车身上的 4 个充电插座没有主从差别，如果单枪，双枪和 4 枪充电时可以任意选充电插座。

充电时，VCU 实现了五合一内的四个充电正极接触器分别控制，同时 BMS 也实现了充电负极接触器的分别控制，通过总线数据交互，实现了四枪、双枪或任意单枪充电。

充电时间估算：初始按照 SOC 为 0%进行估算（实际受温度和其他因素影响充电时间会有差异）。

表 4 充电时间估算

充电枪数	额定容量	充电电流	降流时间(估值)	预计最小充电时间
1	175Ah	175A	6min	1.1h
2	175Ah	350A	6min	0.6h
3	175Ah	500A	10min	0.5h
4	175Ah	500A	10min	0.5h

2、充电安全及安装结构优化

为保证高压用电安全，充电插座与安装支架之间隔有绝缘板，装配时，充电插座先安装在绝缘板上，再整体安装在预先焊接在车架的安装支架上。

整体式绝缘板由于强度较低，在长期的使用及拆装中易出现断裂。在拉出充电系统的整个过程中，充电系统的高压线束及固定装置需要整体拆卸。为增加充电系统检修便利性，提高维修人员的工作效率，对安装支架及绝缘板结构进行优化，提出一种电动汽车充电接口固定装置，实现充电插座独立、快速的从安装支架后端拿出，避免拉出后端线束及拆除高压零部件和固定密封机构，实现了充电插座的独立、快速拆装。

单位：北汽福田汽车股份有限公司

责编：节能与新能源汽车年鉴，转载请注明来源。