

电动公交客车动力总成技术的发展及展望

汪 伟, 刘 凌

(湖南南车时代电动汽车股份有限公司, 湖南 株洲 412007)

摘要: 介绍了目前国内电动公交客车的应用情况和存在的主要问题; 结合公交工况的特点对电动公交客车的核心技术提出了要求; 分析和总结了目前国内市场环境和政策环境, 展望了电动公交客车的技术发展方向和前景。最后, 简述了湖南南车时代电动汽车股份有限公司为适应新的市场环境和国家政策所开发的几款新车的技术特点。

关键词: 电动公交客车; 增程式; 插电式; 混联式; 并联式; 纯电动

中图分类号: U469.72

文献标识码: A

文章编号: 2095-3631(2012)02-0001-04

Development and Prospect of Powertrain Technology for Electric Bus

WANG Wei, LIU Ling

(Hunan CSR Times Electric Vehicle Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412007, China)

Abstract: It is introduced application situation of present domestic electric bus and its primary problems, and proposed the requirements on the key technologies of the electric bus based on the working conditions. The current domestic market environment and policy environment are analyzed and summarized. The technology development trend and prospect of electric bus are predicted. Finally, it is described technical characteristics of several new electric buses produced by Hunan CSR Times Electric Vehicle Co., Ltd. for adapting to the new market environment and national policies.

Key words: electric bus; extended-range type; plug-in type; hybrid type; parallel type; pure electric-drive type

0 引言

自2009年开始实施“十城千辆”电动汽车示范工程以来, 目前全国示范城市已由最初的13个增加到25个。据不完全统计, 截至2011年底参与示范运营的新能源及节能客车总数量已近万台, 而其中混合动力公交客车约占80%, 是“十城千辆”电动汽车示范工程的主要车型。

在可靠性方面, 据统计数据表明, 当前示范运行的电动汽车的故障率仍然高于传统车, 特别是纯电动汽车的故障率偏高, 平均故障间隔里程为1 000 km左右; 而混合动力车通过不断的技术改进, 故障率已经下降到可以被用户接受的水平, 特别是动力系统的平均故

障间隔里程已经超过1万km, 与传统内燃机公交车相当。这说明混合动力车技术正在逐步成熟, 而纯电动车由于受制于电池技术瓶颈, 在可靠性和安全性方面还有待于进一步提升。

目前大部分混合动力公交客车实际运营的平均节油率在10%~15%之间, 纯电动公交客车平均每公里耗电为1.2~1.4 kW·h, 从节能效果和经济性方面来看, 如果取消政府的财政补贴, 均难以实现完全商业化运营。

为了促进电动汽车的产业化发展, 一方面还需要持续的政府财政补贴政策, 弥补与传统车相比存在的较高差价; 另一方面更有待企业对电动汽车技术的提升, 进一步提高节能环保性能, 在保证可靠性的前提下, 大幅降低成本。

本文对目前电动公交客车的技术特点及适用性进行了分析, 并对下一步的技术发展方向进行了展望, 同

收稿日期: 2011-12-10

作者简介: 汪伟(1978-), 男, 工程师, 现从事电动公交客车动力系统的研发工作。

时介绍了湖南南车时代电动汽车股份有限公司(以下简称:南车时代电动)为适应市场和政策新环境而开发的新车型。

1 公交运营特点

公交运营有其特殊的环境特点,主要表现在频繁起步和停车、发动机长时间处于怠速工况、低速重载、持续运行等特点。

以长12 m的传统公交客车在中国典型城市道路工况(如图1)进行仿真分析,可以得到以下数据:

- (1)发动机怠速时间占总运行时间的比例达到49% ;
- (2)制动时间占总运行时间的20%,制动能量与牵引能量的比约为0.53:1 ;
- (3)开空调情况下辅助系统平均功率达到18 kW左右 ;
- (4)平均车速低于20 km/h ;
- (5)日运营里程超过200 km ;
- (6)发动机燃油转化为机械能的平均效率低于20%。

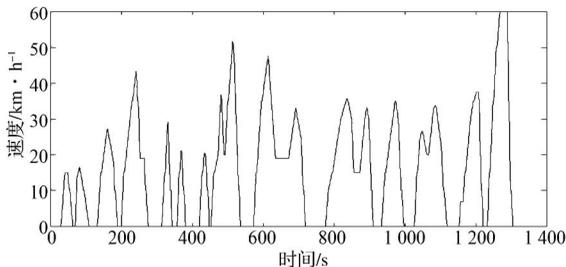


图1 中国典型城市道路工况

Fig. 1 Typical urban road conditions of China

针对这些特点,传统公交车虽有明显优势,但也存在其不利因素。优势在于:传统内燃机驱动方式技术发展已有百年历史,其可靠性和安全性已经得到了考核和验证,完全满足公交运营需求;其产业链已经非常成熟和完善,成本相对较低;其产业相关标准已经成熟完善,易于配套。而不利因素在于:在公交工况下,由于其固有特性,发动机工作点大部分分布在低速大扭矩的高油耗和高排放区,效率损失较大;在制动过程中,制动能量完全被浪费;怠速工况的分布比例高,发动机做无用功较多;基于皮带传动的辅助系统效率相对较低。

而电动公交客车必须以满足可靠性、安全性为前提,改善和克服传统公交车存在的高油耗高排放的缺陷,并不断降低成本,从而实现脱离政府财政补贴的完全商业化运营,最终实现可持续产业化发展。

2 电动公交客车节油关键点

基于公交线路运行工况以及传统发动机驱动方式

的特点,电动公交客车的节油关键点主要包括以下几个方面。

2.1 优化发动机工作区间,提高发动机平均工作效率

传统传动方式中,由于发动机的工作点分布在低效率区相对较多,导致发动机综合效率低。电动公交客车中由于电机参与驱动,可以优化发动机的工作区间,特别是串联结构的混合动力系统中,发动机不直接驱动车辆而仅起发电作用,通过控制发动机完全可以在高效区稳定运行,有效提高发动机综合工作效率。以中国典型城市公交工况为例进行数据统计,传统客车发动机综合效率仅为17%,而采用串联结构的混合动力车的发动机综合效率可达到32%。可以看出,优化发动机的工作区间、提升发动机综合效率将会对整车节油起关键作用。

2.2 充分回收利用电制动能量

传统客车在制动时,制动能量由刹车片和电涡流缓速器消耗掉,在中国典型城市公交工况中,这部分被浪费的能量达牵引总能量的50%以上。而电动客车可以利用电机的再生制动功能,回收电制动能量,将其存储到电池或超级电容等储能装置中,用于下一次的车辆驱动。因此,匹配大功率高转矩的电机驱动系统,可以实现较高效率的制动能量回收,纯电机驱动的电动客车在公交工况下平均百公里可回收35~40 kW·h的电能量,折合柴油约10~12 L,节油效果相当可观。

2.3 提高能量转换效率

电动公交客车中电机驱动系统、储能系统的效率也直接影响整车节油率。在多次能量形式的转换中,电池的充放电是化学能和直流电能之间的换转;电机控制器是直流电能转换为交流电能;电机是交流电能转换为机械能。如果电机驱动系统、储能系统效率不高的话,会极大地降低节油率甚至导致多耗油。

2.4 改变能源使用结构

改变能源使用结构是从能源使用方面通过外接电网充电来减少燃油消耗。如纯电动客车就完全不需要消耗燃油,插电式混合动力车则可通过外部充电尽可能使用电能来进一步减少燃油消耗。采用这种方式,整车节油将更加明显。

3 电动公交客车动力系统的基本结构及特点

国内电动汽车发展初期,电动公交车动力系统以并联、串联、纯电动三种基本结构形式为主,下面将对这几种结构形式的特点进行简单介绍。

3.1 并联系统

并联系统基本结构形式如图2所示,发动机仍然是

整车的主要驱动动力,电机作为辅助驱动系统起到动能回收和起步加速时驱动助力的作用。其节油来源主要是靠回收电制动能量并再次用于驱动助力,从而部分减少发动机的动力输出,达到节油的目的。其最大的技术特点在于可靠性高(即使在电机驱动系统异常失效时,整车仍然能以发动机驱动模式继续运行而不会出现途中停运的情况),整车增加的成本较少(由于电机仅起辅助作用,其功率较小,储能系统容量也较小),同时能达到一定的节油效果。

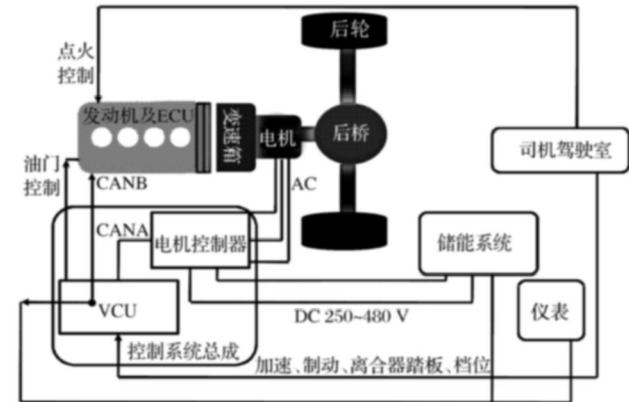


图2 并联式混合动力系统结构框图

Fig. 2 Structure diagram of parallel hybrid power system

3.2 串联系统

串联系统基本结构形式如图3所示,电机是整车的唯一驱动动力,发动机和发电机组成车载APU(辅助功率单元)系统,通过利用回收电制动能量再次用于驱动助力,以及使发动机始终工作在高效低排放区间实现整车节油。其最大的技术特点是,通过纯电机驱动实现无极变速功能,实现较高的节油率,并且减排效果明显;但是由于需要匹配较大功率的发电机和驱动电机,储能系统容量也较并联式大,因此整车成本较高。

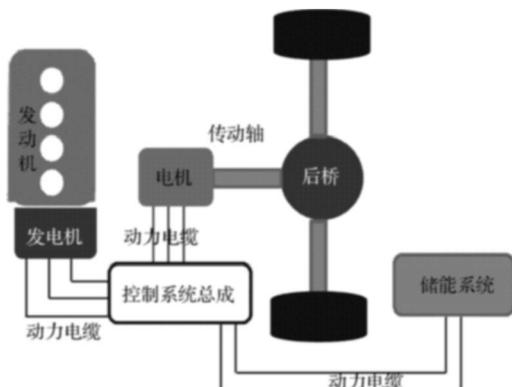


图3 串联式混合动力系统结构框图

Fig.3 Structure diagram of series hybrid power system

3.3 纯电动系统

纯电动系统基本结构形式如图4所示,电机是整车的唯一驱动动力,电池是唯一的能量源,整车可实现零

排放、零油耗,其节能环保特性最好。随着石油资源的减少和枯竭,纯电动系统将是电动汽车发展的方向。但是由于要满足公交运营的需求,该系统必须配置较大容量的电池,配备更多的备用车辆或电池,这将导致运营成本高,且由于电池技术瓶颈带来的可靠性问题和安全隐患也较多,短期内难以实现产业化大批量推广应用。

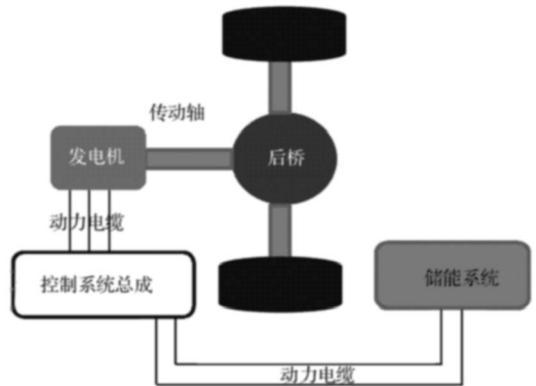


图4 纯电动系统结构框图

Fig. 4 Structured diagram of pure electric system

随着电动公交示范运营的规模化和技术的不断进步,目前由以上三种基本结构形式又衍生出了混联式混合动力系统和增程式动力系统。目前混联式公交车因其舒适的操控性和较高的节油率已经获得了市场的认可,占据了较大的市场份额。增程式公交车由于采用了地面充电和车载APU充电相结合的形式,一方面可满足公交运营续驶里程的需求,另一方面可显著减少燃油消耗,节油达到50%以上,既符合国家能源发展战略,同时也是与纯电动技术最为接近的一种过渡技术方案,最近获得了学术界和政府相关部门的广泛认可,并即将成为下一步国家政策的重点支持对象。

4 技术发展趋势

随着石油资源的减少和枯竭,低噪音、零排放的纯电动和其他可再生能源形式的电动汽车将取代现有的传统汽车,成为发展方向,但由于电池技术还未得到根本性突破,在短期内难以实现产业化。混合动力在现阶段是一种可行的方案,经过推广示范运营已得到公交公司的普遍认可,目前基本具备产业化条件,在纯电动技术完全成熟并产业化之前,混合动力将率先实现产业化,并在长时期内占有较大的市场份额。增程式电动客车既解决了纯电动客车的续驶里程问题,又可实现较高的节油率,也将作为一种过渡方案逐步走向市场。

作为新能源及节能电动公交客车制造企业,应针对电动公交车近期和中长期技术发展方向制订技术发展战略规划:积极开发并完善增程式电动公交客车,以适应国家政策对电动汽车扶持方向和重心的调整;优

化混合动力系统公交客车技术,进一步降低成本提高节油率,使之逐步可以脱离国家的财政补贴,实现完全商业化运营;密切跟踪电池技术和其他可再生清洁能源技术的发展,同时努力提升电池以外的相关技术,探索合适的运营模式和电池应用模式,为实现纯电动的终极目标奠定坚实基础。

5 南车时代电动公司公交客车动力总成技术简介

截至2011年12月,南车时代电动公司投放市场的车辆总数超过1600辆,出勤率达98%,最高节油率达25%,平均节油率15%,总运行里程近亿公里。为适应国家电动汽车发展战略和市场环境,南车时代电动公司相继开发了多种动力总成系统及整车产品,其中包括中度混合的AMT(Automated Mechanical Transmission,电控机械式自动变速箱)并联混合动力系统及整车、深度混合的混联混合动力系统及整车,以及纯电动和增程式纯电动两种系统及整车。下面将介绍AMT并联混合动力、混联式混合动力、增程式纯电动三种产品和技术。

5.1 AMT并联混合动力

AMT并联混合动力系统为基于AMT输入轴的结构形式,其结构原理如图5所示。该系统采用了具有AMT功能的变速器,电动机位于自动离合器与变速器之间,通过控制离合器的开启,实现发动机与电动机的动力耦合。其主要技术特点如下:

- (1)纯电动起步、行驶过程中电机助力,提高了发动机工作效率;
- (2)实现怠速停车停机,可有效降低油耗;
- (3)采用大转矩永磁电机,保证电动起步的动力性,并可回收更多的制动能量;
- (4)采用了超级电容作为储能系统,使用寿命可达8年,高效安全;
- (5)能够提供Engine-only模式,车辆的可靠性高;
- (6)运营节油率达20%以上。

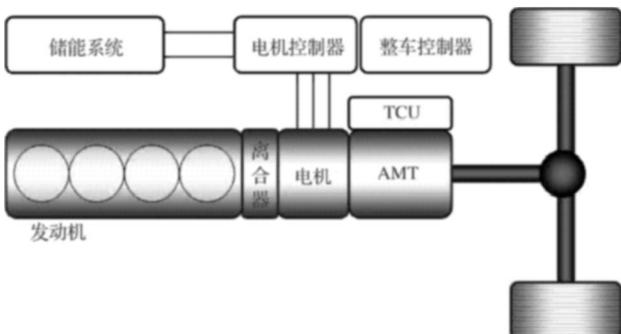


图5 基于AMT输入轴的并联系统结构框图
Fig.5 Structure diagram of parallel system based on the AMT input shaft

5.2 双电机混联混合动力

混联混合动力系统是一种基于双电机的混联结构系统,其结构框图如图6所示。该系统与串联式混合动力系统较为相似,主要差异在于,发电机与电动机间增加了自动离合器,可以做到发动机直接驱动车辆。其主要技术特点如下:

- (1)集成了纯电动、串联、并联以及传统驱动等形式的优点;
- (2)无需变速机构,实现无极变速;
- (3)采用超级电容作为储能系统,使用寿命长(可达8年),高效安全;
- (4)较高的节油性能和动力性能,运营节油率 > 25%, 0~50 km/h的加速时间为16 s;
- (5)采用大功率的永磁发电机系统,能够保证在储能装置亏电的情况下,车辆仍具有良好的动力性能,不会出现“停车喘气”;
- (6)具备怠速停机功能。

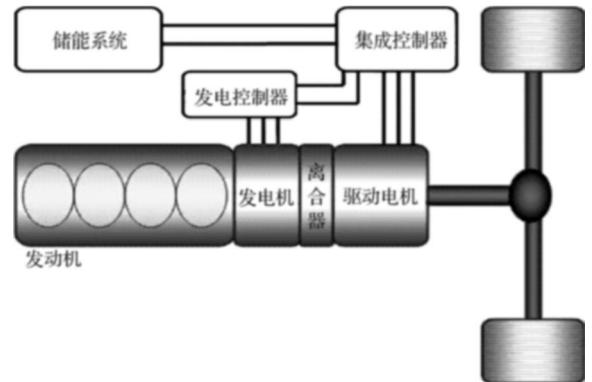


图6 双电机混联系统结构框图
Fig.6 Structure diagram of hybrid system for double electric motor

5.3 增程式纯电动

基于纯电动及串联技术,增程式电动车动力系统结合了两种电动车的技术优势,配置了电池电容双电压平台储能系统和小型化高效APU系统,系统结构框图如图7所示。

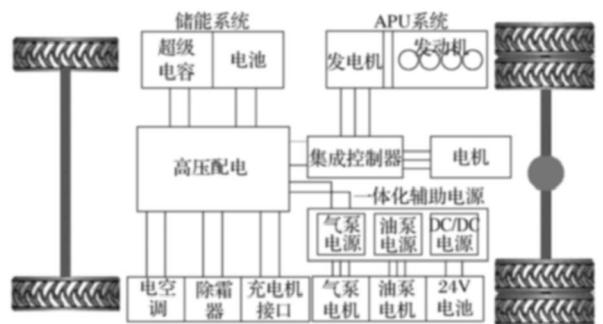


图7 基于串联结构的增程式动力系统结构框图
Fig.7 Structure diagram of extended-range power system based on the series structure

合,结温差较大;模块的基板厚度从1 mm增至5 mm的过程中,模块的最高结温逐渐降低,而随着基板厚度的继续增加,模块的最高结温则呈上升趋势,综合成本及热应力等因素考虑,基板的厚度为4.5~5 mm较宜;模块的最高结温随着焊层厚度的增加而明显增加,衬板焊层的厚度比基板焊层的厚度对模块散热性能影响更显著,通过比较3种焊料,纳米银焊膏在导热性能方面具有非常明显的优势。采用有限元分析方法对IGBT模块热性能进行研究,对IGBT模块热设计具有一定的指导意义。

参考文献:

[1] Fabis P M, Shun D, Win dischm ann H. Thermal modeling of diamond based power electronic package[C] //Fifteenth IEEE semi-thermal

(上接第4页)

增程式动力系统中电机直接与传动轴连接,是整车唯一驱动力;集成控制器包含APU控制模块和驱动电机控制模块;高压配电则集成高压传感器、接触器、快速熔断器及双电压耦合模块。其主要技术特点如下:

- (1)采用电机直驱,传动结构简单、效率高;
- (2)采用双电压平台,电池长期处于良好的工作状态,延长了电池使用寿命;
- (3)增程式APU采用智能控制策略,APU发动机处于高效工作状态,排放小、效率高,提高了整车节油率;
- (4)采用灵活的电池能量补充方式,提高了车辆使用灵活性,节油率可达50%以上。

6 结语

混合动力是电动汽车发展不可逾越的过渡阶段,

(上接第15页)

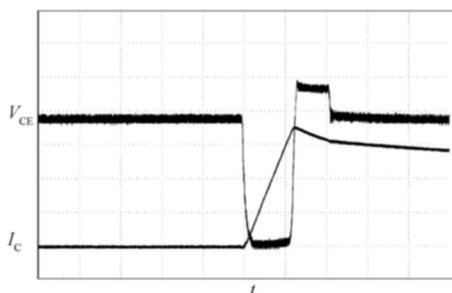


图 10 短路有源箝位试验

Fig.10 Activeclampingshort-circuit test

4 结语

本文对比分析了几种IGBT关断过电压的抑制方法,重点介绍了TVS有源箝位的基本原理和G极驱动的实现方法。实验结果证明TVS有源箝位可以有效地将IGBT关

symposium. Northboro, 1999:98-104.

[2] Newcombe D R, Dinesh C, Bailey C, et al. Reliability Metrics for IGBT Power Modules [C]// 2010 11th International Conference on Electronic Packaging Technology & High Density Packaging. Xi 'an, 2010:670-674.

[3] 陶文铨. 传热学[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2006.

[4] Mitic G, Degischer H P, Lefranc G, et al T.AISiC composite materials in IGBT power modules[C]//Proc. PCIM '00 Conf., 2000: 3021-3027.

[5] Azzopardi S, Thebaud J M, Worigard E, et al. Al/SiC baseplate hybrid power modules: evaluation of the thermomechanical performances[C]// Proceedings of IEEE International Workshop on Integrated Power Packaging. Chicago, 1998 : 74-78.

[6] Zhiye Z Z, Calata J. Low-Temperature Sintered Nanoscale Silver as a Novel Semiconductor Device-Metalized Substrate Interconnect Material[J]. IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies,2006 ,29 (3): 589-593.

其中混联式的深度混合动力结构是目前最具有节能潜力的结构形式,AMT并联式的中度混合动力结构是目前最灵活最简单的结构形式,二者是混合动力最具代表性也是最具前途的混合动力结构形式。

增程式纯电动是介于纯电动和混合动力之间的一种结构形式,既具备纯电动低噪音、低排放的优势,同时又不受电池容量限制,可以满足正常运营,是最接近于纯电动的一种结构形式。在电池技术还未完全突破前,增程式纯电动客车可以率先实现产业化,且其节能减排效果优于混合动力客车。

参考文献:

[1] 陈清泉,孙逢春. 混合电动车辆基础[M]. 北京:北京理工大学出版社,2001.

[2] 祝占元. 电动汽车[M]. 郑州:黄河水利出版社,2007.

断时产生的浪涌电压箝位在IGBT的安全工作范围内,是一种成本低、损耗小、可靠性高的关断过电压抑制方法。

参考文献:

[1] 盛祖汉,张立.IGBT模块驱动及保护技术[J].电力电子,2004,2(1): 49-54.

[2] 孙晓明,王静,向农.开关型功率放大器缓冲电路的多目标优化设计[J].电力系统及其自动化学报,2011,23(1): 6-16.

[3] 王方,党怀东,杨有涛,等.一种用于大功率IGBT的驱动电路[J].电气传动自动化,2010,32(1): 27-30.

[4] Kim J H ,Park D H ,Kim J B et al. An active gate drive circuit for high power inverter system to reduce turn-off spike voltage of IGBT[C]//ICPE '07. 7th International Conference on Power Electronics. Daegu, 2007:127-131.

[5] Onozawa Y, Otsuki M ,Seki Y. Investigation of carrier streaming effect for the low spike fast IGBT turn-off [C]//IEEE International Symposium on Power Semiconductor Devices and IC 's. Naples, 2006:1-4.