

FCEV Energy Management Strategy of Lithium Battery Life and Vehicle Energy Saving

Zongbo Wang

Great Wall Motor Co., Ltd., Baoding, Hebei, 071000, China

Abstract

This paper intends to study a new energy distribution method of fuel cell / lithium composite power system (FCEV). On this basis, a dual objective optimization method is adopted, with the required power and SoC of the motor as inputs to construct the overall law; Establish a comprehensive evaluation model that comprehensively considers power and power performance, and achieve a reasonable match between power and power through model solving methods. Simulation experiments prove that the proposed method can effectively improve the performance of lithium-ion batteries under the same efficiency conditions, and can effectively reduce the operating cost of the system and reduce the impact on the environment.

Keywords

lithium battery; vehicle energy saving; FCEV

锂电池寿命与整车节能双目标优化的 FCEV 能量管理策略

王宗勃

长城汽车股份有限公司, 中国·河北 保定 071000

摘要

论文拟研究一种新型的燃料电池/锂电复合动力系统 (FCEV) 的能量分布方法。在此基础上, 采用双目标最优方法, 以电机需要的动力和SoC作为输入, 构建整体规律; 建立综合考虑动力与动力性能的综合评价模型, 通过模型求解方法, 实现动力与动力的合理匹配。模拟实验证明, 该方法可以在相同的效率条件下, 有效地改善锂离子电池的使用性能, 并可有效地减少系统的运行费用, 减少对环境的影响。

关键词

锂电池; 整车节能; FCEV

1 引言

燃料电池汽车是一种利用燃料电池将氢气与氧气反应产生电能, 驱动电动机运转的新型汽车。作为一种环保、高效、低碳的交通工具, 燃料电池汽车具有广阔的发展前景。然而, 目前中国的燃料电池汽车处于起步阶段, 需要大力发展。在 2019 年的新能源车政策下, 燃料电池车的补贴并没有减少。这一政策的出台为燃料电池汽车的发展提供了有力的政策支持。目前, 燃料电池混合动力车采用蓄电池作为辅助动力源和燃料电池并联, 共同为汽车提供能力。这种混合动力模式不仅解决了燃料电池技术目前存在的问题, 同时也提高了汽车的续航里程和行驶稳定性, 更为适合市场需求。

2 氢燃料电池混合动力车原理及优势

氢燃料电池汽车主要由燃料电池系统、高压储气罐、

动力电池、驱动电机和动力控制单元组成。

2.1 燃料电池系统

氢燃料电池混合动力车相对于常规燃油车辆而言, 不会受到常规燃油卡诺循环热效率的制约, 具有更大的应用潜力。其主要系统结构包括燃料电池系统、车载储氢系统、电驱动及能量管理系统。作为能量转化设备的燃料电池, 按照所使用的电解介质的不同, 可以分为五种类型。目前, PEMFC 是汽车燃料电池的主流技术。与常规的内燃机的燃烧做功不同, 燃料 (高压氢气) 在通过了一个压力调整装置之后, 从燃料电池的阳极侧开始, 而空气 (氧气) 在通过了一个加压的过滤设备之后, 从燃料电池的阴极侧开始, 在这个过程中, 它会在催化剂的影响下, 进行氧化还原反应, 把化学能转换成电能。

根据《燃料电池汽车测试评价技术》中对于燃料电池系统的技术要求为 (见表 1): 系统额定功率 $\geq 50\text{kW}$, 电堆功率密度: 乘用车为 3.0kW/L , 商用车为 2.5kW/L 。从此测试评价标准可以看出, 大功率、高能量密度燃料电池将是

【作者简介】王宗勃 (1988-), 男, 中国辽宁盖州人, 本科, 工程师, 从事电子工程、动力经济性能方面的研究。

以后发展方向。

表 1 燃料电池系统的技术要求

指标	分类	技术要求
系统额定功率	乘用车	≥ 50kw
	商用车	
系统冷启动温度	乘用车	-30℃
	商用车	-15℃
电堆功率密度	乘用车	3.0kW/L
	商用车	2.5kW/L
纯氢续航里程	—	300km
质保标准	乘用车	8年/12万 km
	商用车	5年/20万 km

2.2 三电与能量管理系统

氢燃料电池混合动力车是一种新型的环保型汽车，除了燃电系统之外还包括“三电”系统，即电池、电驱动和电控。电池是氢燃料电池混合动力车的动力源，主要负责储存电能。电池的种类有很多，而在氢燃料电池混合动力车中，常用的电池类型有镍氢电池、锂离子电池等。电池的质量和性能直接影响车辆的续航里程和可靠性。因此，研发高性能的电池是氢燃料电池混合动力车制造商的重要任务之一。

电驱动是氢燃料电池混合动力车的动力输出部分，它的作用是将电能转换为机械能，驱动车辆前进。氢燃料电池混合动力车用电机驱动，其类型包括永磁同步电机、异步电机等。电驱动的性能决定了车辆的加速性和动力性能，因此，提高电驱动的效率 and 性能也是制造商的重要任务之一。

除了电池和电驱动外，电控也是氢燃料电池混合动力车的重要组成部分。电控包括混动控制系统（HCU）、电机控制器（MCU）、电池管理系统（BMS）、燃料电池管理系统（FCU）等。这些系统的作用是进行整车能量管理、分配电池与燃电系统功率输出比例、控制车辆的动力输出和电池的充放电，保证车辆的安全性和可靠性。HCU是混合动力汽车整车控制器，进行整车驱动控制、能量优化；MCU是电驱动的控制中心，控制电机的启停和转速；BMS负责监测电池的状态和保护电池；FCU则负责燃料电池的控制和管理^[1]。

2.3 氢燃料电池汽车优势

2.3.1 节能环保

氢燃料电池整个运行过程中，除了消耗氢气和空气之外，没有其他的能源消耗。同时燃料电池在产生电能的过程中只生产水，实现了真正的“零排放”。

2.3.2 高效补能

氢燃料电池汽车加注氢气的过程相比纯电动车充电非常快速便捷，使用专业加氢设备 3~5min 即可充满。

2.3.3 低温续航衰减少

与电动车不同，氢燃料电池不受外界温度的显著影响，

氢燃料电池汽车在低温环境中稳定运行时性能与常温相差无几，同时可以产生废热供空调使用，低温续航衰减相比纯电动车大大减少。

3 燃料电池混合动力汽车功率分配

燃料电池混合动力车的动力系统由电动机、燃料电池、60Ah 的锂电池、DC/DC 转换器等组成。相较于传统的内燃机汽车，燃料电池混合动力汽车具有更高的能效和更低的排放。燃料电池作为主能量源，通过化学反应产生电能，将其转化为动能驱动车辆前进。

但是，燃料电池不能提供瞬间启动、加速、爬坡时的大功率，急减速时受功率变载速率的影响也无法立刻降低到需求功率，在这些工况下电池可以对整车需求功率进行削峰填谷，调节燃电系统功率输出，提升燃料电池寿命。不同 SOC 下电池电压不同，变化范围在 300~400V 之间，根据整车需求功率以及氢-电功率分配策略，可计算出各自的输出电流，通过调节 DC/DC 的 PWM 和燃料电池的调节阀门为电桥供电^[2]。

4 需求功率计算

4.1 驾驶员意图

电动汽车的驾驶员意图解释为电机需求功率直接正比于踏板开度。但实际上，驾驶员希望得到的是期望速度，而非转矩。起动时，踏板开度大，就是为了克服整车阻力而产生较大扭矩，从而获得较大加速度，起动后由于车速变快，转速提高，当达到最大功率时，电机输出扭矩就会降低。但是当电机旋转速度增加时，所需扭矩应该非线性降低的。油门开度与期望速度紧密相关联，但是并未通过精确的计算明确开度和期望速度的数学关系，使得曲线配置有些不方便。这意味着在实际驾驶中，驾驶员需要通过观察车速来调整踏板开度，以达到期望速度，对于不同的负载，期望转矩曲线也应当有所变化^[3]。

4.2 控制策略设计

通过对汽车运行过程的分析，可以看出，驾驶员意图其实就是对车速的需求。本项目拟在此基础上，研究一种全新的驾驶员意图解析方法，并在此基础上，设计一种闭环动力分配与控制算法。①通过带限制的 PI 控制器，计算出所需的输出功率，实现了对母线电流的控制，从而使得电池输出电量平稳、可控和低超调，此策略具有自动限速功能，可以很容易提升电池使用寿命。与传统的开度计算方法相比，该系统的起动速度存在一定程度地降低，可以通过调整起动过程中的控制参数来弥补。②由 PI 控制器算出所需的功率，然后由论文所述的能量分布最优算法，算出所述燃料电池所能供给的电力、所述锂电池所能供给的电力、所述两者所能供给的电力、所述两者所能供给的电流，这样就可以调整它们的输出电流，使它们共同为电机提供动力。

5 功率最优分配方案

5.1 能力分配原则与规则

能量分布要同时满足控制车辆行驶速度和电池的使用寿命安全，在两个条件下，尽可能地使系统的效率和电池的使用寿命达到最大。为此，论文提出了以下几个基本原则：①确保燃料电池及锂电池的安全性。②确保汽车的启动和正常运行。③在车辆减速（反向充电）或在停车过程中，蓄电池的SoC值在最优区域的上限以下时，FC对锂蓄电池进行充电。④在锂电池的SoC值在最优区域的下限以下，在车辆正常运行或起动的情况下，如果所需的动力未达到要求的动力，则该动力将完全由FC来负担。

5.2 燃料电池与动力电池同时工作区能力最优计算

当功率要求较高，锂电池SoC值不低于最低值时燃料电池与动力电池同时工作，要将功率进行分配。既要考虑系统的整体能量消耗，又要考虑锂电池的使用寿命。由于燃料电池的效率具有很大的波动性，并且要经历直流/直流变换，因此，燃料电池系统输出功率较低时，系统效率最高；而锂电池则是直接给母线提供电能，因此不需要考虑效率，只需要考虑使用寿命即可。从生命曲线可以得到锂电池的寿命。基于燃料电池和动力电池特性，制定一种考虑动力限制的分散化模型，该模型同时考虑了动力系统的整体效率和动力系统的寿命指标。用计算机求解得到最优的电力分配，使得目标函数到达最高点。

5.3 目标函数构造

①燃料电池效率。在10kW的功率下，燃料电池效率最大效率为60%左右。在7~17kW之间，为高效率的工作范围，超过17kW，系统效率下降较大。

②锂电池使用寿命指标。锂电池的最佳供电电流为0.5C（C为锂电池的额定电流），在其两侧，则逐步降低，锂电池的寿命还取决于其充放电次数；然而，充电和放电的时间与整车的工作时间和总的做功时间有很大的关系，这一关系到整车的实际工作时间和总的做功时间，这是由整车的实际使用情况所决定的，不能通过电力（或电流）分配算法来改变。

③二元目标函数和二元约束。在优化燃料电池与锂电系统的综合效率指标的基础上，结合锂电系统的SoC值，构建了锂电系统的效率函数，详情见式（1）：

$$\sigma = \frac{P_m}{\frac{P_{fc}}{\eta_{fc}} + \frac{P_b}{\eta_b}} + \beta \sigma_b \frac{1}{SoC + (1 - SoC_2)} \quad (1)$$

其中， σ 是汽车整体效率的综合指数。公式（1）中，

右侧的第一项是效率，分子是最终的输出功率，而分母是输入功率。 η_b 是锂电池的等效效率，这是由于锂电池的电量是从燃料电池通过DC/DC充电电能而来的，将充电电流设置为锂电池的最佳值0.5C（即为30A），由此得出当量的效率为：

$$\eta_b = \eta_{fc30A} \eta_{dc} = 0.725 \times 0.9 = 0.65$$

式（1）右侧第2项为锂电池寿命修正值，其中 $\frac{1}{SoC + (1 - SoC_2)}$ 含义主要为：由于SoC值越小，损坏的风险就越大，为了保护它，便需要牺牲一定功率，所以保护的效果与SoC值成反比；在SoC=SoC（最优工作区间上限）的情况下，将该系数设为1，并使其与反比关系有某种衰减。式中， β 是锂电池在效率指标中的权值，它是由锂电池的平均成本与车辆行驶的平均氢能消耗价格的比值来设置的。以该车型的锂电费用和平均氢能消耗量为基础，估算出的 β 大约为2，其他车型的 β 可视具体情况进行调节。

从需要功率上看，本项目所选用的电机，最大起动力率为300kW。该燃料电池的最大输出是5100kW。锂电池的容量是60Ah，经上分析，电池按5C输出电流时在保证汽车整车效率高效的同时对电池寿命影响最小，在母线电压是600~800V的情况下，最大输出功率是240kW。

6 结语

近年来，燃料电池和锂电池混合动力电动车的能量管理算法研究备受关注。该技术采用基于规则和效率、寿命指数复合最优算法，旨在提高整车效率和电池寿命。根据研究结果，相同行车和需求功率情况下，整车效率几乎相等，但锂电池寿命指数提高了5%。此外，采用该技术降低了系统总成本，减少了由于电池报废造成的环境污染。这项技术对未来的FCEV能量管理具有一定的借鉴价值。通过优化能量管理算法，可以实现更高效的能量利用和更长久的电池寿命。同时，这项技术也为未来混合能源汽车的发展提供了新的思路和实践经验。未来，随着科技的不断进步和汽车产业的不断发展，燃料电池和锂电池混合动力电动车的能量管理算法将会得到更加广泛的应用和推广。

参考文献

- [1] 陈昊,田芝林,高楠,等.不同动力电池新能源货运配送车辆节能减排绩效评价研究[J].汽车工程学报,2023,13(2):253-261.
- [2] 王锋军,李国庆,韩思捷,等.基于24V锂电的行驶一体式空调系统的研究[J].制冷技术,2022,42(2):45-52.
- [3] 郝明锐.防爆锂离子蓄电池无轨车辆节能控制技术研究[J].煤炭工程,2019,51(5):16-19.