

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.07.022

电动车供电单元的性能分析与仿真研究

滕 飞,朱传敏*,杨苍禄
(同济大学 机械学院,上海 200001)

摘要:针对电动车供电单元的控制温升问题,对电动汽车供电单元锂离子电池包的热特性进行了分析,对锂离子电池建立了数学模型,提出了锂离子电池的仿真研究方法。通过对锂电池内部结构的研究,了解其生热机理,采用 Fluent 软件,对电池的三维热模型进行了分析。分别仿真了在不同放电倍率和对单体电池温升的影响和不同温度对 1C 放电倍率的单体电池温升的影响,并将仿真结果进行了比较。研究表明,电池组的温升主要与充放电的倍率、电池所处的环境温度有关。充放电倍率越大,单体电池温升越快,且初始温度越高,相同放电倍率的单体电池温度越不均衡。

关键词:锂电池;CFD 仿真;温度场

中图分类号:TM911

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2015)07-0991-04

Performance analysis of vehicle power supply unit

TENG Fei, ZHU Chuan-min, YANG Cang-lu

(School of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 200001, China)

Abstract: Aiming at the problem of control temperature rise of electric vehicle power supply unit, and thermal characteristics of electric vehicle power supply unit for lithium ion battery packs were analyzed, establishing the mathematical model of lithium ion battery, presents a simulation study method for lithium ion battery. Through the research on the internal structure of lithium battery, understand the heat generation mechanism, using Fluent software, analysis of 3D thermal model of battery. Respectively in the influence effect of different discharge rate and the monomer battery temperature and different temperature on 1C discharge rate of the monomer battery temperature rise simulation, and the simulation results were compared. The results indicate that the ratio, the temperature rise of the main battery and charging and discharging the environment temperature on. Charge and discharge rate is high, the monomer battery temperature rise quickly, and the initial temperature is higher, the monomer battery temperature is the same of the discharge rate of the imbalance.

Key words: lithium battery; CFD simulation; temperature field

0 引 言

随着环保意识的提高,使得传统汽柴油汽车变成了众矢之的。电动汽车以其在环保和节能上的巨大优势,成为了解决这一问题的最佳途径^[1]。电动汽车的研究成为国内外企业和学者关注的焦点,越来越受到各界的关注和重视。

目前,在国内各研究机构和企业都开始加大了对

电池包研究的投入。一些企业联合汽车专业比较著名的高校做了大量的技术攻关和样品制作,在汽车零件优化、标准制定、电子系统的开发等方面都取得了不错的成绩。

在国外,对电动汽车及其相关技术的研究比较早,从 1980 年开始,对电动汽车动力电池的研究对象分别经历了铅酸电池、镍氢电池和锂离子电池,同时对电动汽车动力电池的电化学建模和热效应模型有一定的研

收稿日期:2015-01-19

作者简介:滕 飞(1986),女,辽宁大连人,工程硕士,主要从事机械设计与制造方面的研究. E-mail:graceteng@sina.com

通信联系人:朱传敏,男,副教授,硕士生导师. E-mail:zhuchuanmin@tongji.edu.cn

究基础,在动力电池的热模型建立上已从动力电池生热模型的建立到动力电池三维散热模型的研究,再到动力电池的内部电化学特性分析等^[2]。美国再生能源实验室运用了计算机辅助仿真工具对电池的各种性能进行了研发,针对电池箱整体的实用性取得的重大进展。他们在传统传热模型基础上,耦合了电池内部化学反应生热,辐射热,极化热等各种生热可能的反应,进行了综合性的仿真研究。同时,以美国再生能源实验室为中心,通用、福特等汽车公司也在加紧对电动车的开发研究^[3]。

电池系统的优劣直接关系到车的续航能力、成本和使用便利性等方面,电池系统成为目前电动汽车最大的技术瓶颈,因此,本研究开展电动车供电单元的性能分析和研究具有实际应用价值。

1 性能分析

1.1 电动车供电单元的基本组成和特点

电动汽车供电单元主要为电动汽车提供动力,其核心部件为锂离子电池包。

锂电池内部主要包括正极、负极、隔膜、电解质等结构。锂电池中正极材料、负极材料、电解质以及隔膜的材料和制造工艺的不同会引起电池的性能和价格巨大反差。大部分锂电池的内部结构为两边由铝箔连接着电池的正、负两极,电池的正极是由橄榄石结构的LiFePO₄组成,正极与负极由之间是聚合物的隔膜隔开,只有锂离子Li⁺可以通过而电子e⁻不能通过,右边是由石墨组成的电池负极。电池的上、下端之间是由电池的电解质填充,电解质常常采用有机溶剂。电池的最外层由铝金属外壳进行密闭封装^[4]。笔者针对锂离子电池开展其性能研究。

1.2 电动汽车供电单元锂离子电池包的热特性分析

锂电池在充放电的过程中,以多种不同的方式吸热和发热,从而产生电池内部温度的变化。生热是由反应热 Q_r 、欧姆内阻的焦耳热 Q_j 、极化热 Q_p 和电解质分解的副反应热 Q_s 4个部分组成^[5]。则锂电池总的发热量 Q_t 为四者之和。

由于锂电池的反应热 Q_r 不是标量,在充电和放电状态下的状态是不同的。充电时为负值,而放电时为正值。电池充电时产生的热量要小于放电时产生的热量,电池在充电后的温度分布比较均匀,很少出现热失控的情况。锂电池在整个可逆反应中,正极放出较大的热量,而负极吸收较小的热量,电池在充、放电反应过程中,表现为放热现象。

根据热力学的相关知识,可以知道锂电池内部传热的方式有3种:热传导,热对流和热辐射^[6]。这些传热方式一般都是复合的形式一起存在的,很少有以单一形式存在的。

动力电池包除了遵守以上热力学的规律以外,还应该符合能量守恒定律,其可以用方程表示^[7]:

$$Q_w = Q_e + Q_a \quad (1)$$

式中: Q_w —锂电池通过3种传热方式所产生的总的热量; Q_e —电池通过表面的热交换过程,对外界释放出的热量; Q_a —电池自身所吸收的热量。

这些电池吸收的热量具体表现为电池温度的变化 ΔT 。

对于动力电池内部而言,热传导是主要的传热方式,热辐射跟热对流的影响很小。当电池散热的热量大于其内部跟电极产生的热量时,电池的温度会保持在一个稳定的状态,当散热量小于发热量时,电池内部温度会不断地积累,导致温度不断升高,可能会发生热失控的情况。因此在不断发掘新的电池材料的同时,要尽量完善电池包的散热通风环境。

1.3 锂电池数学模型的建立

锂电池内部各单元在散热过程中遵循能量守恒定律,各电池的热模型都可以由非稳态的能量守恒方程表示^[8]:

$$\rho_k C_{p,k} \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda_k \nabla T) + q \quad (2)$$

式中: q —指锂电池单位体积的生热速率; ρ_k —电池单元体的平均密度; $C_{p,k}$ —锂电池单元体的平均比热容; λ_k —锂电池的平均导热系数; T —电池单元体的温度。

上式可用于各种电池的热模型的建立。等式左边第一项是单位时间内电池单元体热量的增加量,右边是电池内部生热速率。

由于锂电池内部的发热情况相对复杂,为了降低其计算的繁杂性,本研究对锂电池内部结构进行一些简化:①锂电池内部的介质分布是均匀的,热物性参数是保持不变的。②锂电池的比热容和导热系数是恒定的。③充放电时,电池内部各处的材料密度和生热速率不变。④同一材料的导热率处处相等。⑤由于电池内部流动性较差,热交换热辐射产生的热量相对较小,忽略不计^[9-10]。

2 仿真研究

为了解电池在实际工作状态下的发热情况,本研究将选取电池几种典型的工作条件,即在0.5 C、1 C、2

C 和 3 C 不同的恒倍率放电至截止电压的下电池的温度云图,研究电池的生热状态,了解电池在实际工况下的热特性。

171 mm;高度:327 mm;极柱半径:6 mm;高度(电池外部):30 mm。

(2)电池的组成材料参数:磷酸铁锂动力电池的主要组成材料如表 1 所示。

(1)电池的尺寸参数:电池长度:38 mm;宽度:

表 1 磷酸铁锂动力电池的组成材料和材料特性

电池组成部分	电池材料	密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	导热系数/($\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{k})^{-1}$)	比热容/($\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{k})^{-1}$)
电池内部核心	LiFePO4	1 331	1.58	1 269
电池组成部分	电池材料	密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	导热系数/($\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{k})^{-1}$)	比热容/($\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{k})^{-1}$)
电池内部核心	石墨	1 369	1.04	1 452
电池组成部分	电池材料	密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	导热系数/($\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{k})^{-1}$)	比热容/($\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{k})^{-1}$)
电池正极极柱	铝	2 610	238	904
电池组成部分	电池材料	密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	导热系数/($\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{k})^{-1}$)	比热容/($\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{k})^{-1}$)
电池负极极柱	铜	8 440	410	377
电池组成部分	电池材料	密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	导热系数/($\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{k})^{-1}$)	比热容/($\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{k})^{-1}$)
隔膜	隔膜	1 009	0.34	1 987

Fluent 软件是目前国际上比较流行的商用 CFD 软件包,主要用于计算流体流动、传热和化学反应的相关问题。它提供的非结构网格生成程序,对相对复杂的几何结构网格生成非常有效,本研究中的网格化三维模型如图 1 所示。

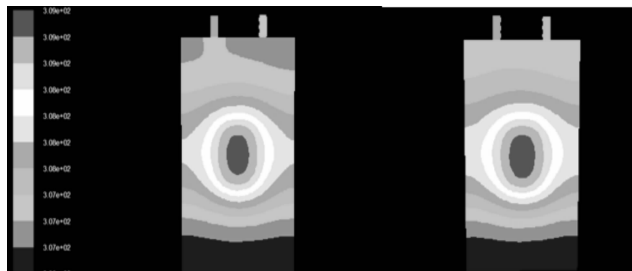


图 3 锂电池在 2 C 和 3 C 倍率下的温升云图

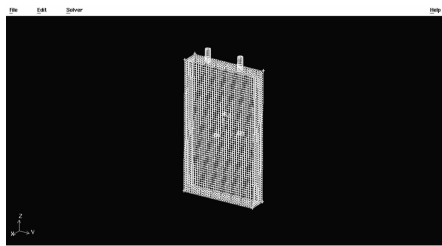


图 1 单体电池网格图

本研究通过分析比较锂电池不同放电倍率下的温度云图,得出电池的温升结果如表 2 所示。

表 2 动力电池不同倍率下的温度差值表

放电倍率/C	0.5	1	2	3
温度最高值/K	309.28	317.05	324.87	336.66
放电倍率/C	0.5	1	2	3
温升/K	6.17	10.84	13.02	17.09
放电倍率/C	0.5	1	2	3
温差最大值/K	3	6	12	20

2.1 放电倍率对单体电池温升的影响

本研究设置电池周围的原始环境温度为 300 K,同时在电池的正负极以及内核发热源处添加相应的生热率(详细数据如表 1 所示)。忽略电池向外的辐射热量,可以得到不同倍率下的电池的温度分布云图,如图 2、图 3 所示。

从温升结果来看,在初始温度相同的情况下,电池组的温升主要与充放电的倍率有关,充、放电倍率越大,流过电池的电流越大,温升越明显。这主要是因为电池的生热速率与通过电池的电流的平方成正比,所以充放电倍率越大,电池的生热率越大,放电至截止电压的时间越快,电池的温升量越大。

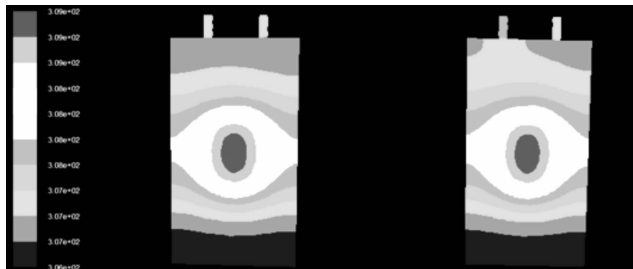


图 2 锂电池在 0.5 C 和 1 C 倍率下的温升云图

通过对单体电池进行的仿真结果,可以看出随着充放电倍率的增大,单体电池的温差从最初的 3 K 变大到了 20 K,并且变化速率越来越大。由此可知,在放电倍

率越大下的单体电池温度的不均衡现象越严重。

2.2 温度对 1 C 放电倍率单体电池温升的影响

本研究设置电池放电倍率为 1 C,同时改变电池周围原始环境的温度。忽略电池向外的辐射热量,可以得到相同倍率下的电池的温度分布云图。不同温度下 1 C 放电倍率时电池的分布云图如图 4、图 5 所示。

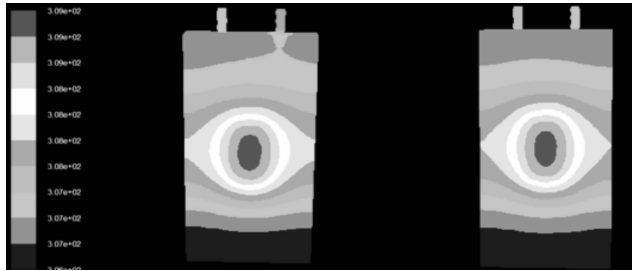


图 4 30 °C 和 35 °C 下 1 C 电池的温升云图

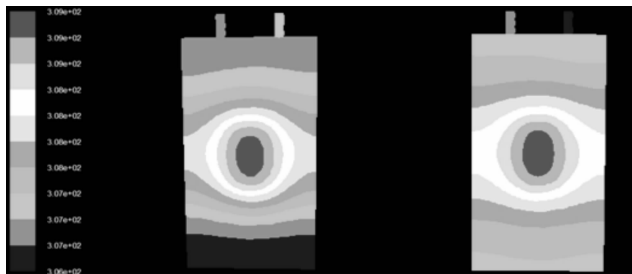


图 5 40 °C 和 45 °C 下 1 C 电池的温升云图

通过分析比较锂电池不同温度 1 C 相同放电倍率下的温度云图,得出电池的温升结果如表 3 所示。

表 3 动力电池不同温度下 1 C 放电倍率的温度差值表

温度/°C	25	30	35	40	45
温度最高值/K	317.05	322.14	326.18	329.47	333.53
温度/°C	25	30	35	40	45
温升/K	10.84	15.72	19.46	22.39	26.04
温度/°C	25	30	35	40	45
温差最大值/K	6.2	6.4	6.7	7.1	7.5

从温升来看,在放电倍率相同的情况下,电池组的温升主要与电池所处的环境温度有关。在初始温度越高的环境下,温升越明显。这主要是因为电池表面的散热速率与外界温度有着直接关系,热对流与热传导的速率是由温差决定的,温差越大,散热效率越高。而且可以从表 3 中看出,电池某些温度较低的地方已经趋于

环境温度,几乎热量传不出去,导致电池本身温度上升。

通过对单体电池进行的仿真结果,可以看出随着初始温度的增高,单体电池的温差从最初的 6.2 K 上升到了 7.5 K,并且变化速率越来越大。由此可知,在初始温度越高的环境下,相同放电倍率的单体电池温度的不均衡现象越严重。

3 结束语

本研究以磷酸铁锂电池作为仿真的对象,通过了解分析其生热发热机制,利用 Fluent 建立与其相对应的发热散热模型。

研究结论如下:

- (1) 电池组的温升主要与充放电的倍率有关,且充放电倍率越大,单体电池温度越不均衡;
- (2) 电池组的温升主要与电池所处的环境温度有关,且初始温度越高,相同放电倍率的单体电池温度越不均衡。

参考文献 (References):

- [1] 胡信国. 动力电池技术与应用[M]. 北京:化学工业出版社,2009.
- [2] 林成涛,陈全世. 锂离子电池热模型研究进展[J]. 电源技术综述,2009,10(6):927.
- [3] ARUN K J, ANTHONY G, EEWARD J. Efficient Cooling and Package Of Traction Battery In Hybrid Electric Vehicle [C]. Proceedings of EVS-18,2011:30-35.
- [4] 任宝福. 大容量锂离子动力电池充放电过程热特性研究 [D]. 北京:北京交通大学机械与电子控制工程学院,2012.
- [5] 车杜兰. 电动汽车锂离子电池包热特性研究与优化设计 [D]. 武汉:武汉理工大学汽车工程学院,2009.
- [6] 许 超. 混合动力客车电池包散热系统研究 [D]. 上海:上海交通大学机械与动力工程学院,2010.
- [7] 杨世铭,陶文铨. 传热学[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [8] 方佩敏. 新型磷酸铁锂动力电池[J]. 今日电子,2007(9):65-68.
- [9] 楼海星,姚 维. 超级电容在电动汽车电池能量回馈中的应用[J]. 轻工机械,2013,31(6):54-58.
- [10] 杨 凯,李大贺,陈 实,等. 电池汽车动力电池的热效应模型[J]. 北京理工大学学报,2008.

[编辑:张 豪]

本文引用格式:

滕 飞,朱传敏,杨苍禄. 电动车供电单元的性能分析与仿真研究[J]. 机电工程,2015,32(7):991-994.

TENG Fei, ZHU Chuan-min, YANG Cang-lu. Performance analysis of vehicle power supply unit[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015,32(7):991-994.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>