

磷酸铁锂电池热物性参数辨识相关研究

赵欣茹 谭辉扬

青海大学机械工程学院

DOI:10.12238/pe.v2i6.10385

[摘要] 本研究聚焦于磷酸铁锂电池热物性参数的辨识。通过特定的实验装置与方法,在绝热条件下利用电加热片加热电池,对电池内核材料的热物性参数进行测量。准确计算出电池内核材料的密度、比热容、以及不同方向(x、y、z)的导热系数等重要热物性参数。这些参数的获取为进一步理解磷酸铁锂电池在不同工况下的热行为奠定了基础,对构建精确的电池热模型、优化电池热管理系统具有关键意义。

[关键词] 磷酸铁锂电池; 参数辨识; 比热容; 导热系数

中图分类号: TM912 **文献标识码:** A

Research on Identification of Thermophysical Parameters of Lithium Iron Phosphate Batteries.

Xinru Zhao Huiyang Tan

College of Mechanical Engineering, Qinghai University

[Abstract] This research focuses on the identification of thermophysical parameters of lithium - iron - phosphate batteries. Through specific experimental devices and methods, the battery is heated by electric heating sheets under adiabatic conditions to measure the thermophysical parameters of the core materials of the battery. Important thermophysical parameters such as the density, specific heat capacity, and thermal conductivity in different directions (x, y, z) of the core materials of the battery are accurately calculated. The acquisition of these parameters lays the foundation for further understanding the thermal behavior of lithium - iron - phosphate batteries under different working conditions, and is of great significance for constructing accurate battery thermal models and optimizing battery thermal management systems.

[Key words] lithium-iron-phosphate battery; parameter identification; specific heat capacity; thermal conductivity

前言

电动汽车产业正在飞速发展,在此过程中,锂离子电池因其具有极低的自放电率^[1]、高能量密度和长使用寿命^[2,3],成为当前电动汽车动力电池的首选,使用量激增。锂离子电池性能引起了各界的广泛关注。温度对电池性能有着相当大的影响,而热物性参数是刻画电池热特性的关键要素。在低温环境下,电池的充放电性能会受到约束,甚至可能产生安全风险。所以,深入探究磷酸铁锂电池的热物性参数,对于提升电池性能、保证电池安全稳定运行而言是非常关键的。

精确地对磷酸铁锂电池热物性参数进行辨识,能够为电池热管理系统的设计给予基础数据方面的支持。构建精确的电池热模型之后,可以更为精准地预测电池在不同工况下的温度分布状况,从而优化电池的加热与散热策略,延长电池的使用寿命,增强电池的安全性,提升电池的充放电效率。这对推动磷酸铁锂电池在电动汽车以及其他领域的广泛应用有着重要意义。

目前,锂离子电池相关的研究成果颇为丰富。例如,王^[4]对

低温环境下电动汽车锂离子电池复合加热策略进行了优化研究并开展了实验,徐^[5]则对温度自适应的锂离子电池低温自加热方法展开了研究。不过,在磷酸铁锂电池热物性参数的详细辨识方面,仍需要进一步深入探究。以往的研究多聚焦于电池的宏观性能,在电池内核材料热物性参数的研究上不够完善,尤其在在不同方向导热系数的精确测量方面存在着某些局限性。

1 电池热物性参数辨识

电池热物性参数包括密度、比热容和导热系数。分析锂离子电池结构可以确定电池正、负极材料分别为Al和Cu。

电池内核区材料分布复杂,故将电池内核部分视为一个整体,辨识内核材料的热物性参数。

通过开展绝热条件下电加热片加热实验来辨识电池内核材料的热物性参数。实验采用铝箔隔热棉、泡沫箱和聚氨酯泡沫来模拟绝热环境,采用大方形和小方形两种电加热膜来加热电池,加热装置如图1所示。此外,实验还用到了K型热电偶和多路数据记录仪等仪器设备。

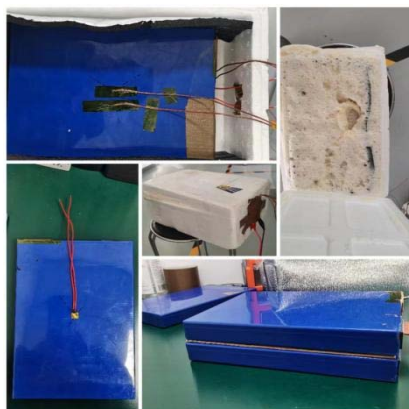


图1 加热装置

已知电池质量和体积,忽略正负极耳体积,计算出电池内核材料的密度为 $2021.97\text{kg}/\text{m}^3$ 。

1.1 电池内核材料比热容和y向导热系数辨识

通过绝热条件下方形电加热片加热实验来辨识电池内核材料的比热容和横向导热系数,实验原理如图2所示。两块电池A、B夹紧方形加热片,并被包裹在绝热棉内,电池A、B外表面中心位置贴上K型热电偶1、3,用来采集温度数据。

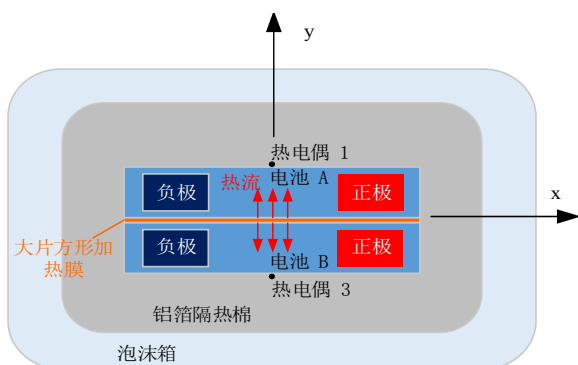


图2 大方形加热膜加热原理图

根据比热容定义,可得

$$c = \frac{Q}{2m\Delta T} = \frac{P}{2m \frac{dT}{dt}} \quad (1)$$

式中P为大方形加热片的功率(W); m 为电池的质量(kg); dT/dt 为温度随时间的变化量($^{\circ}\text{C}/\text{s}$)。

热电偶1、3采集的温度数据随时间变化关系如图1-3所示。舍弃前面温升较为缓慢的点,别求得两条直线的斜率取平均值作为 dT/dt 的值。已知大方形加热片的功率和电池的质量,代入公式(1)可求得电池内核材料的比热容 c 为 $1120.615\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 。

由于大方形加热片和方形电池侧面尺寸一致,因此可忽略热量沿x、z方向的传递,认为热量只沿y方向进行传递,导热模型可表示为:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (2)$$

将上式积分可得到

$$T(y) = \frac{\rho c_p}{2\lambda_y} \frac{\partial T}{\partial t} y^2 + C_1 y + C_2 \quad (3)$$

在绝热条件下大方形电热片产生的热量全部用于加热电池,故可得

$$2mc_p \left(\frac{\int_0^h T(y) dy}{h} - T_0 \right) = Pt \quad (4)$$

$$\frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=h} = 0, T(y) \Big|_{y=h} = T_{surf} \quad (5)$$

式中 h 为电池的宽度(m); T_0 为电池初始温度($^{\circ}\text{C}$); T_{surf} 为电池表面温度($^{\circ}\text{C}$); T 为加热时间(s)。

联立上述公式,可得到在不同温度点下辨识出的 λ_y ,取加热中期温升相对稳定的点进行辨识,辨识结果如图3所示,将这些点取平均值,得到电池内核材料的y方向导热系数 λ_y 为 $1.531\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。

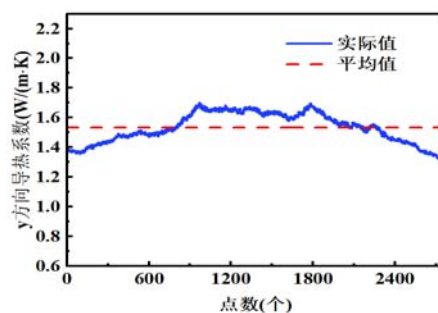


图3 电池内核y方向导热系数辨识结果

1.2 电池内核材料x、z向导热系数辨识

通过绝热条件下小方形电加热片加热实验来辨识电池内核材料的x、z方向导热系数,实验原理如图4所示。两块电池A、B夹紧小方形加热片,并包裹上铝箔隔热棉放置泡沫箱内,泡沫箱空隙填充聚氨酯发泡剂,电池A、B外表面中心位置贴上热电偶1、3,距离中心位置0.02 m处粘贴热电偶2、4,分别采集四个点的温度数据。

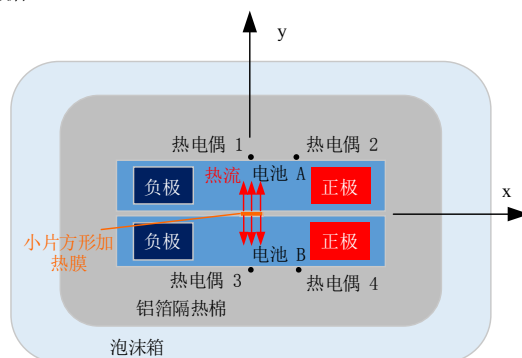


图4 小方形加热片加热实验原理图

由于小加热膜面积很小,在绝热条件下加热电池时可以忽略电池宽度的影响,认为传热只沿着x方向进行,导热模型可表示为:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (6)$$

联立比热容公式,上式可简化为

$$\frac{P}{V} = \lambda_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (7)$$

式中P为小方形加热片的功率(W);V为电池的体积(m³);

假设电池表面任意时刻温度呈抛物线分布,且热源中心位于抛物线对称轴上,则对公式积分可得

$$T(x) = \frac{P}{2V\lambda_x} x^2 + C_3 \quad (8)$$

四个热电偶1、2、3、4采集的温度随时间变化关系如图5所示。

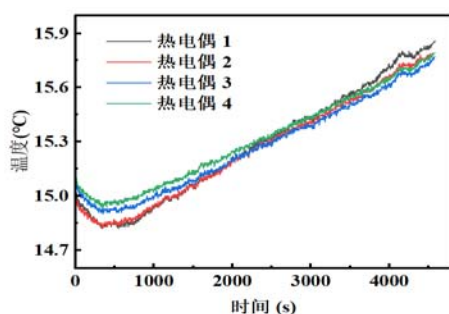


图5 四个热电偶所测温度随时间变化关系

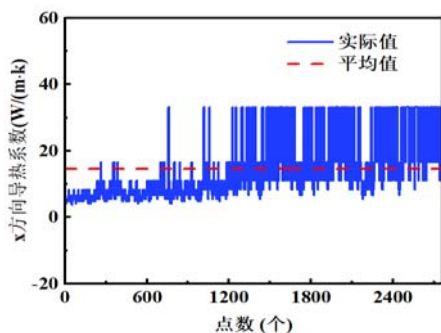


图6 x方向导热系数辨识结果

对各对应位置处热电偶采集的温度取平均值,联立上述公式并截取加热中期温度点进行x方向导热系数辨识,辨识结果如图6所示。对各温度点的辨识结果取平均值,得到电池内核材料沿了x方向导热系数 λ_x 为14.517W/(m·K)。根据方形电池的结构及叠片工艺,电池内核z方向导热系数与x方向导热系数基本相同,故 λ_z 也取14.517W/(m·K)。

2 结论

本研究成功地对磷酸铁锂电池热物性参数进行了辨识。通过精心设计的绝热条件下的电加热片加热实验,我们获得了电池内核材料的密度、比热容以及x、y、z方向的导热系数等重要参数。这些参数的确定为后续建立更精准的电池热模型提供了不可或缺的数据基础,有助于深入理解磷酸铁锂电池的热行为机制。在未来的研究中,这些热物性参数将在优化电池热管理系统、提升电池在不同温度环境下的性能等方面发挥重要作用,为磷酸铁锂电池的广泛应用提供有力的理论支持。

【参考文献】

- [1]Y.Chen,Y.Kang,Y.Zhao,L.Wang,J.Liu,Y.Li,Z.Liang,X.He,X.Li,N.Tavajohi,B.Li,A review of lithium-ion battery safety concerns: the issues, strategies, and testing standards, J. Energy Chem. 59 (2021): 83 - 99.
- [2]D.K.Sharma,A.Prabhakar, A review on air cooled and air centric hybrid thermal management techniques for Li-ion battery packs in electric vehicles, J. Energy Storage 41 (2021), 102885.
- [3]B.Kim,C.Azzaro-Pantel,m.Pietrzak-David,P.maussion,Life cycle assessment for a solar energy system based on reuse components for developing countries, J. Clean. Prod. 208 (2019): 1459-1468.
- [4]王靖鸿.低温下电动汽车锂离子电池复合加热策略优化及实验研究[D].重庆大学,2022.
- [5]徐智慧,阮海军,姜久春,等.温度自适应的锂离子电池低温自加热方法[J].电源技术,2019,43(12):1989-2043.

作者简介:

赵欣茹(2000--),女,汉族,重庆人,硕士,青海大学机械工程学院,学生,电池热管理。