

锂离子电池不同组件产热功率分析

黄瑛璇, 吉庭年, 苗雅文, 竺玉强
仿真模拟实验室, 中航锂电科技研究院有限公司, 常州市, 江苏省, 中国

简介: 利用COMSOL有限元仿真软件建立一种方形磷酸铁锂(LiFePO₄)电池的热-电化学耦合模型, 用于计算电池放电过程中电池各组件产热功率, 并分析电池各组件温度分布, 从而为电池结构设计提供参考。

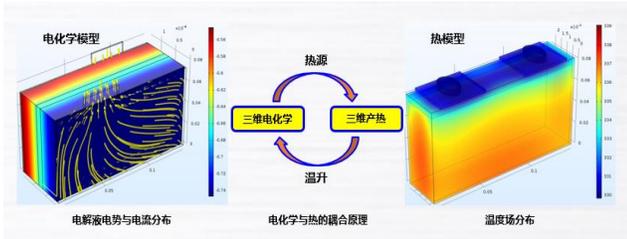


图 1. 模型耦合原理图

计算方法: 模型的建立主要应用到COMSOL软件中锂离子电池接口及固体传热模块, 其中锂离子电池接口用于建立电池的电化学模型, 模拟电池充放电过程中电池内部的电化学反应, 从而得到各组件的产热功率, 并将其作用于热模型; 热模型主要应用固体传热模块, 根据电化学模型中所提供各组件的产热功率计算电池温度变化情况, 并将电池各组件温度反馈与电化学模型。模型的建立使用COMSOL与MATLAB联合仿真技术, 通过实验数据对电池产热模型进行电化学参数的修正, 以提高模型的准确性。在三维电化学模型中, 满足锂离子物质守恒和电流守恒方程:

$$\frac{\partial c_l}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{N}_l = R_l$$

$$\nabla \cdot \mathbf{i}_l = Q_l$$

$$\nabla \cdot \mathbf{i}_s = Q_s, \quad \mathbf{i}_s = -\sigma_s \nabla \phi_s$$

$$\mathbf{i}_l = (-\sigma_l \nabla \phi_l) + \frac{2\sigma_l RT}{F} \left(1 + \frac{\partial \ln f}{\partial \ln c_l} \right) (1 - t_+) \nabla \ln c_l$$

$$\mathbf{N}_l = -D_l \nabla c_l + \frac{\mathbf{i}_l t_+}{F}$$

$$\phi_l = \text{phil}, \quad \phi_s = \text{phis}, \quad c_l = \text{cl}$$

在三维热模型中, 求解方程如下:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T + \nabla \cdot \mathbf{q} = Q + Q_{\text{ted}}$$

$$\mathbf{q} = -k \nabla T$$

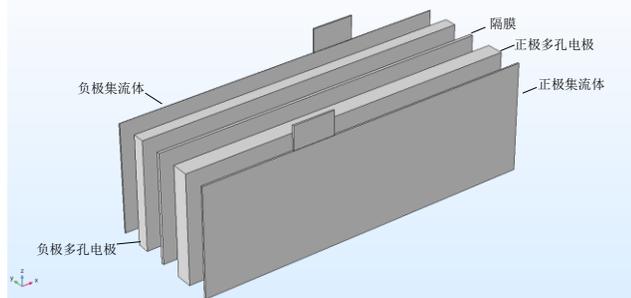


图 2. 三维电化学模型爆炸图

结果: 图3和图4分别为0.5C与2C倍率放电时, 电芯各部分的产热功率变化情况, 正负极集流体的产热主要为欧姆热, 由于放电电流与内阻几乎是恒定的, 因此趋势近似为一条直线; 隔膜的产热是由锂离子引起的, 随着放电过程的进行, 温度升高, 电导率增加, 内阻减小, 因此隔膜部分产热功率有下降趋势; 正负多孔电极产热由电子和离子引起, 受电池SOC和熵热影响, 因此是两条复杂的曲线。图5与图6分别是0.5C与2C放电倍率下电芯的温升曲线, 由图5可以看出在0.5C倍率放电初期, 电芯温升呈缓慢下降趋势, 这是由于此时电芯的总产热功率为负值, 即电芯对外散热, 导致温度下降; 在2C放电倍率时, 电芯总产热功率为正值, 电芯在放电期间始终产热, 温度持续升高。

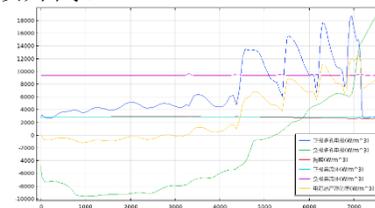


图 3. 0.5C放电电芯产热功率

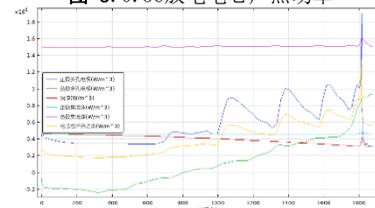


图 4. 2C放电电芯产热功率

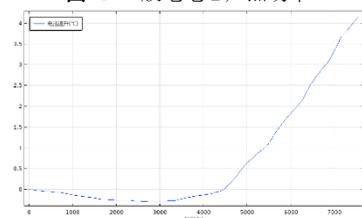


图 5. 0.5C放电电芯温升曲线

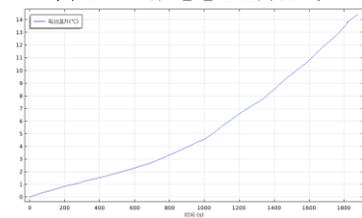


图 6. 2C放电电芯温升曲线

结论: 电池在0.5C倍率放电前期, 由于产热功率存在负值, 电池温度有缓慢下降趋势, 在较高倍率下电芯产热功率始终为正, 电池温度持续上升。产热功率的研究有助于进一步分析电池放电过程中的温升情况, 对电池产热研究具有一定意义。

参考文献:

1. 张立军, 李文博, 程洪正, 三维锂离子单电池电化学-热耦合模型[J], 电源技术, 2016, 40(07): 1362-1366+1490.
2. 常国锋, 李运康, 魏慧利, 锂离子电池热模型研究现状及展望[J], 电源技术, 2018, 42(8): 12261229.