

动力电池系统建模与参数辨识研究

钟辉煌 李新茹 王士英

海南海马汽车有限公司 海南 海口 570216

摘要: 本文旨在探讨动力电池模型的搭建过程及参数获取方法,通过选择合适的电池模型并基于实验数据进行参数辨识,以提高电池管理系统(BMS)的性能和精度。文章首先分析了不同类型的电池模型及其适用场景,随后详细介绍了二阶RC等效电路模型的搭建步骤和参数获取方法。最后,通过仿真验证和实验数据对比,验证了所搭建模型的准确性和可靠性^[1]。

关键词: 动力电池模型; 参数获取; 二阶RC等效电路; 电池管理系统

1 引言

随着全球能源危机和环境污染问题的日益严峻,新能源汽车作为传统燃油汽车的替代品,正逐渐成为汽车产业发展的主流方向。动力电池作为新能源汽车的核心部件,其性能直接影响车辆的续航里程、动力性能及使用寿命^[2]。因此,提高动力电池的性能和管理效率成为新能源汽车领域的研究热点。动力电池模型搭建作为电池管理系统(BMS)设计的基础,对于准确估算电池状态、优化电池使用策略及延长电池寿命具有重要意义。

在动力电池模型搭建领域,国内外学者已进行了广泛而深入的研究。然而,现有模型在精度与计算复杂度之间往往难以取得平衡,限制了其在实际应用中的效果。因此,本文将二阶RC等效电路模型为例,详细介绍动力电池模型的搭建过程及参数获取方法,以期对新能源汽车动力电池的管理与优化提供理论支持和技术参考^[3]。

2 动力电池模型选择与分析

2.1 电池模型分类

动力电池模型根据建模方法的不同,可分为电化学模型、等效电路模型、神经网络模型等。电化学模型基于电池内部的电化学反应过程进行建模,能够准确描述池的动态特性,但计算复杂度高,难以实时应用。等效电路模型则通过电路元件(如电阻、电容等)的组合来模拟电池的外特性,具有结构简单、计算效率高的优点,广泛应用于电池管理系统中。

2.2 二阶RC等效电路模型

在等效电路模型中,二阶RC等效电路模型因其能够较好地反映电池的极化效应和动态响应特性,被广泛应用于动力电池的建模中。该模型由一个电压源、一个欧姆内阻和两个RC并联环节组成,其中RC并联环节用于模拟电池的极化过程。通过调整模型参数,可以准确描述

不同SOC(荷电状态)和温度下的电池特性^[5]。

3 动力电池模型搭建

3.1 模型组成

二阶RC等效电路模型由电压源 U_{oc} 、欧姆内阻 R_0 、电化学反应内阻 R_{DP} 和电容 C_{DP} 组成的RC并联环节,以及浓度极化内阻 R_{KP} 和电容 C_{KP} 组成的另一个RC并联环节构成。模型的具体结构如图1所示。

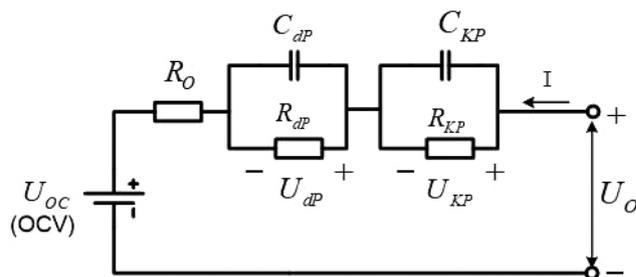


图1

3.2 模型参数的获取

电池模型参数的获取依据电池充放电外特性曲线,通过电池模型可以列出端电压与开路电压的关系式,再由关系式经曲线拟合获取参数^[6]。

$$U_{OC} = U_0 + U_{R_0} + U_{DP} + U_{KP}$$

本文将通过OCV-SOC关系曲线试验来获取电池模型参数值,放电曲线如下图2所示,拟合曲线为放电结束时其到静置一小时结束。该过程(B-C过程)系统方程反应为零输入响应;内阻计算:

$$R_0 = \frac{U_{AB}}{I}$$

零输入响应方程为:

$$U_{OC} = U_0 + R_{DP} \cdot I \cdot e^{\left(\frac{-t}{\tau_{dp}}\right)} + R_{KP} \cdot I \cdot e^{\left(\frac{-t}{\tau_{kp}}\right)}$$

结合试验数据通过matlab cftool曲线拟合工具多状态方程进行拟合,拟合过程如下(如图2-5所示)。

1) 88.62%的SOC

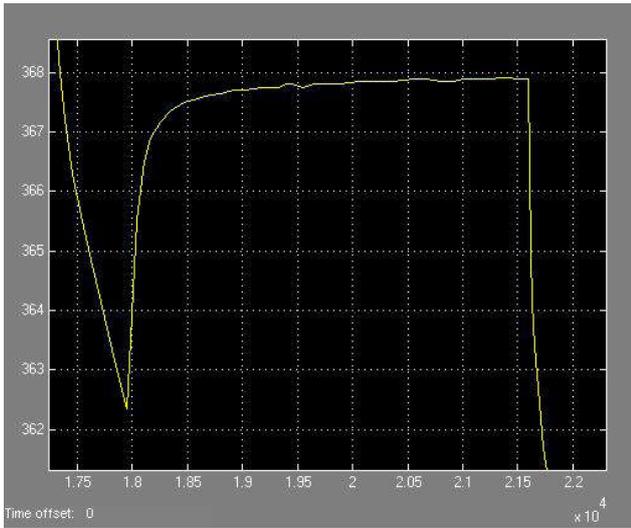


图2 放电曲线

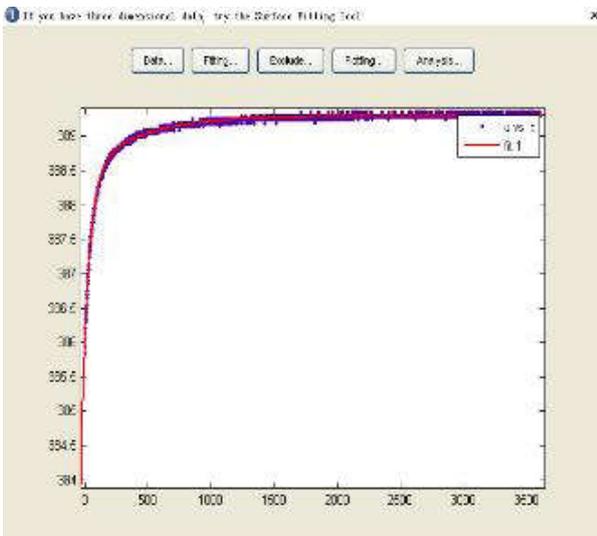


图3 曲线拟合

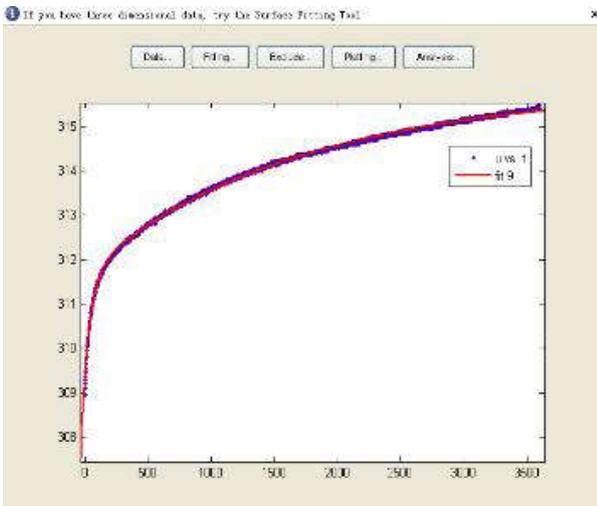


图4 曲线拟合

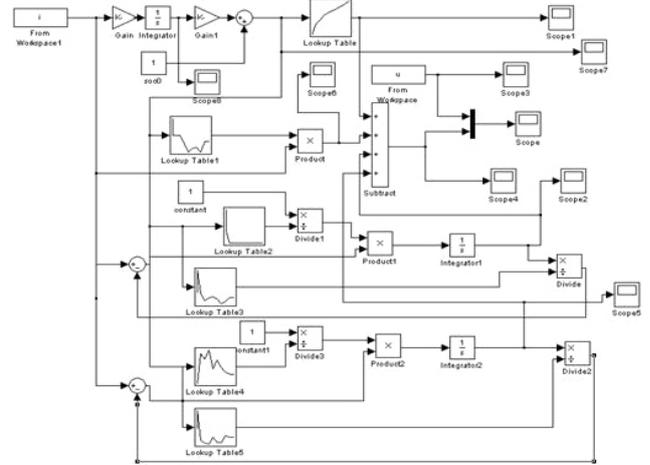


图5 模型搭建

2) 0.27%的SOC

3.3 模型搭建步骤

(1) 确定模型结构：根据二阶RC等效电路模型的结构，选择合适的电路元件进行搭建（如图6所示）。

(2) 参数初始化：根据电池的初步测试数据，对模型参数进行初步估计，并设置合理的初始值。

(3) 模型仿真：利用仿真软件（如Matlab/Simulink）搭建模型，并输入预设的工况条件进行仿真分析。

(4) 参数调整：根据仿真结果与实验数据的对比，对模型参数进行调整，直至仿真结果与实验数据吻合良好。

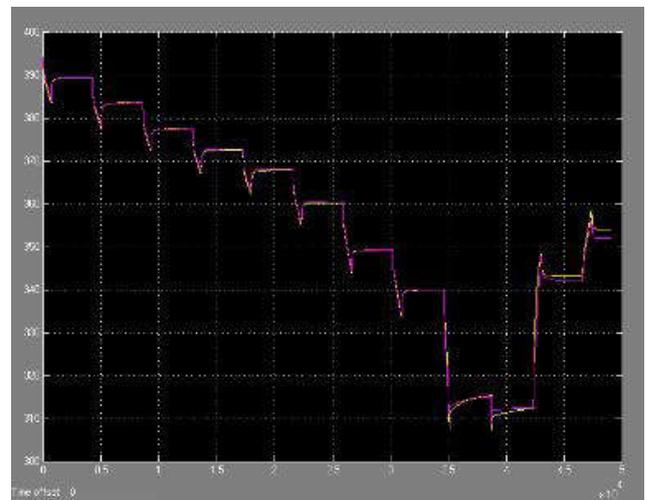


图6 仿真曲线与试验数据对比

4 动力电池模型参数获取

4.1 实验设计

为了准确获取动力电池模型的参数，需要设计合理的电池充放电实验。实验设计应考虑不同SOC、温度及充放电倍率等因素对电池特性的影响。具体实验步骤包括：

(1) 电池预处理：将电池置于标准环境下静置一段

时间,以确保电池内部达到稳定状态。

(2) 恒流充电:以恒定电流对电池进行充电,直至电池电压达到预设的上限值。

(3) 恒压充电:将充电方式切换为恒压充电,直至充电电流降至预设的阈值以下^[7]。

(4) 静置:将电池置于标准环境下静置一段时间,以记录电池的开路电压。

(5) 恒流放电:以恒定电流对电池进行放电,直至电池电压降至预设的下限值。

在实验过程中,需记录电池的电压、电流及温度等参数,以便后续的数据分析和参数辨识。

4.2 参数辨识方法

参数辨识是动力电池模型搭建中的关键环节。本文采用基于OCV-SOC曲线和实验数据的曲线拟合方法进行参数辨识。具体步骤如下:

(1) OCV-SOC曲线获取:通过静置实验获取不同SOC下的电池开路电压,绘制OCV-SOC曲线。

(2) 数据预处理:对实验数据进行滤波和去噪处理,以提高参数辨识的准确性。

(3) 曲线拟合:利用Matlab等软件的曲线拟合工具(如cftool),对OCV-SOC曲线和实验数据进行拟合,获取模型参数。在拟合过程中,需选择合适的拟合函数和算法,以确保拟合结果的准确性和可靠性。

(4) 参数验证:将辨识得到的参数代入模型中进行仿真验证,对比仿真结果与实验数据的吻合程度。如存在较大偏差,则需对参数进行进一步调整和优化。

5 动力电池模型验证与应用

5.1 模型验证

为了验证所搭建动力电池模型的准确性和可靠性,需进行一系列仿真和实验验证。具体验证内容包括:

(1) 动态响应特性验证:在不同充放电倍率和SOC下,对比模型仿真结果与实验数据的动态响应特性(如图6所示)。

(2) 温度特性验证:在不同环境温度下,对比模型仿真结果与实验数据的温度特性。

(3) SOC估算精度验证:基于所搭建的模型,采用安时积分法或开路电压法等SOC估算方法,对比估算结果与实验数据的偏差。

如上述验证结果均表明模型具有较高的准确性和可靠性,则可认为所搭建的动力电池模型满足实际应用需求。

5.2 模型应用

所搭建的动力电池模型可广泛应用于电池管理系统(BMS)中,以提高电池的状态估算精度、优化电池使用策略及延长电池寿命。具体应用场景包括:

(1) SOC估算:基于所搭建的模型,采用合适的SOC估算方法,实时估算电池的荷电状态。

(2) 健康状态(SOH)监测:通过对比电池在不同使用周期下的模型参数变化,监测电池的健康状态并预测其剩余使用寿命。

(3) 均衡管理:基于所搭建的模型,设计合理的电池均衡管理策略,降低电池单体之间的不一致性并提高电池系统的整体性能。

(4) 热管理:结合电池的热模型,设计有效的热管理策略,确保电池在适宜的温度范围内工作并提高其使用效率和寿命。

6 结论与展望

6.1 研究结论

本文详细介绍了动力电池模型的搭建过程及参数获取方法,并通过仿真验证和实验数据对比验证了所搭建模型的准确性和可靠性。研究表明,二阶RC等效电路模型能够较好地反映动力电池的动态响应特性和极化效应,且参数辨识方法简单有效。所搭建的模型可广泛应用于电池管理系统(BMS)中,以提高电池的状态估算精度、优化电池使用策略及延长电池寿命。

6.2 未来展望

未来研究可进一步探索更高精度的动力电池模型搭建方法,如结合电化学模型和等效电路模型的优点进行混合建模。同时,可引入机器学习和人工智能等先进技术来提高模型参数辨识的准确性和效率。此外,还可针对不同类型的动力电池(如锂离子电池、固态电池等)进行定制化建模研究,以满足不同应用场景下的需求。随着新能源汽车产业的不断发展和技术进步,动力电池模型的研究将具有重要的理论意义和应用价值。

参考文献

- [1]Plett G. L. Battery Management Systems, Volume I: Battery Modeling. Artech House, 2015.
- [2]刘刚,徐健南,陈天宇,等.动力电池集成加热系统建模与控制仿真[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2025,44(01):120-126.
- [3]Liu W, et al. Key Technologies for Electric Vehicles: Current Status and Future Trends. IEEE Transactions on Transportation Electrification, 2021, 7(3):1223-1238.