

基于多尺度锂离子电池电化学及热行为仿真实验研究

张志超^{1, 2, 3}, 戴作强^{1, 2, 3}, 郑莉莉^{1, 2, 3}, 杜光超^{1, 2, 3}, 冯燕^{1, 2, 3}, 王栋^{1, 2, 3}

1.青岛大学机电工程学院, 青岛大学 山东 青岛

2.青岛大学动力集成及储能系统工程技术中心, 青岛大学 山东 青岛

3.电动汽车智能化动力集成技术国家地方联合工程技术中心 青岛大学 山东 青岛

研究背景: 车载动力锂离子电池通常采用层叠式结构来提高电池容量, 减小体积。层叠式结构的电池通常将正负极耳布置于电池顶端, 这种布置方式导致电池沿平面方向温度分布不均。为研究电池温度变化与分布特征, 以10Ah磷酸铁锂电池为研究对象, 通过耦合质量、电荷、能量及电动力学方程, 建立了三维分层电化-热耦合模型。

研究平台: 图1为电池实验平台, 测试电池为10 Ah层叠式LiFePO₄/Graphite电池。图2描述了2C放电过程中电极对正负集流体上的电流密度分布。箭头表示电流流动的大小和方向。

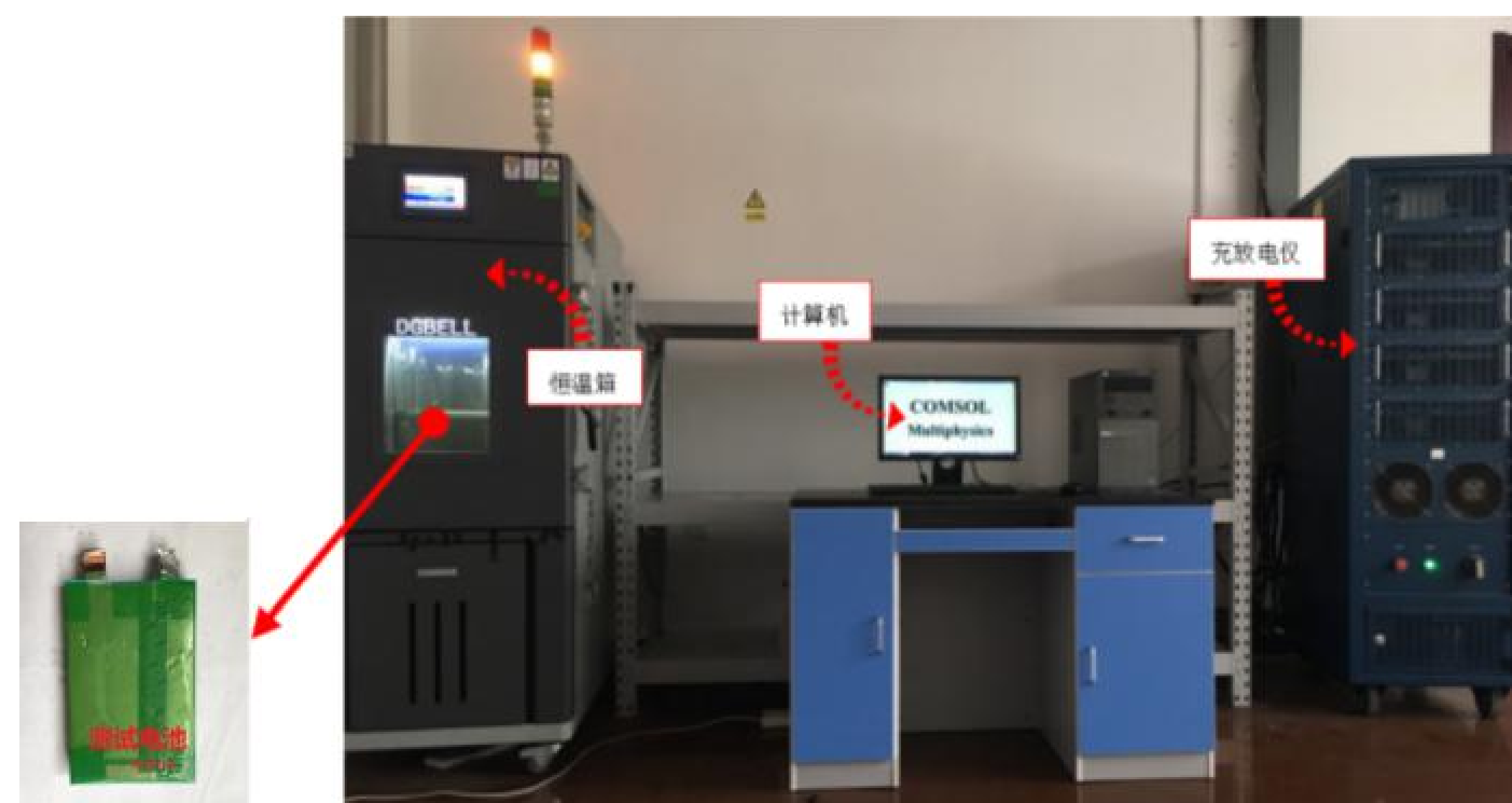


图 1. 实验平台

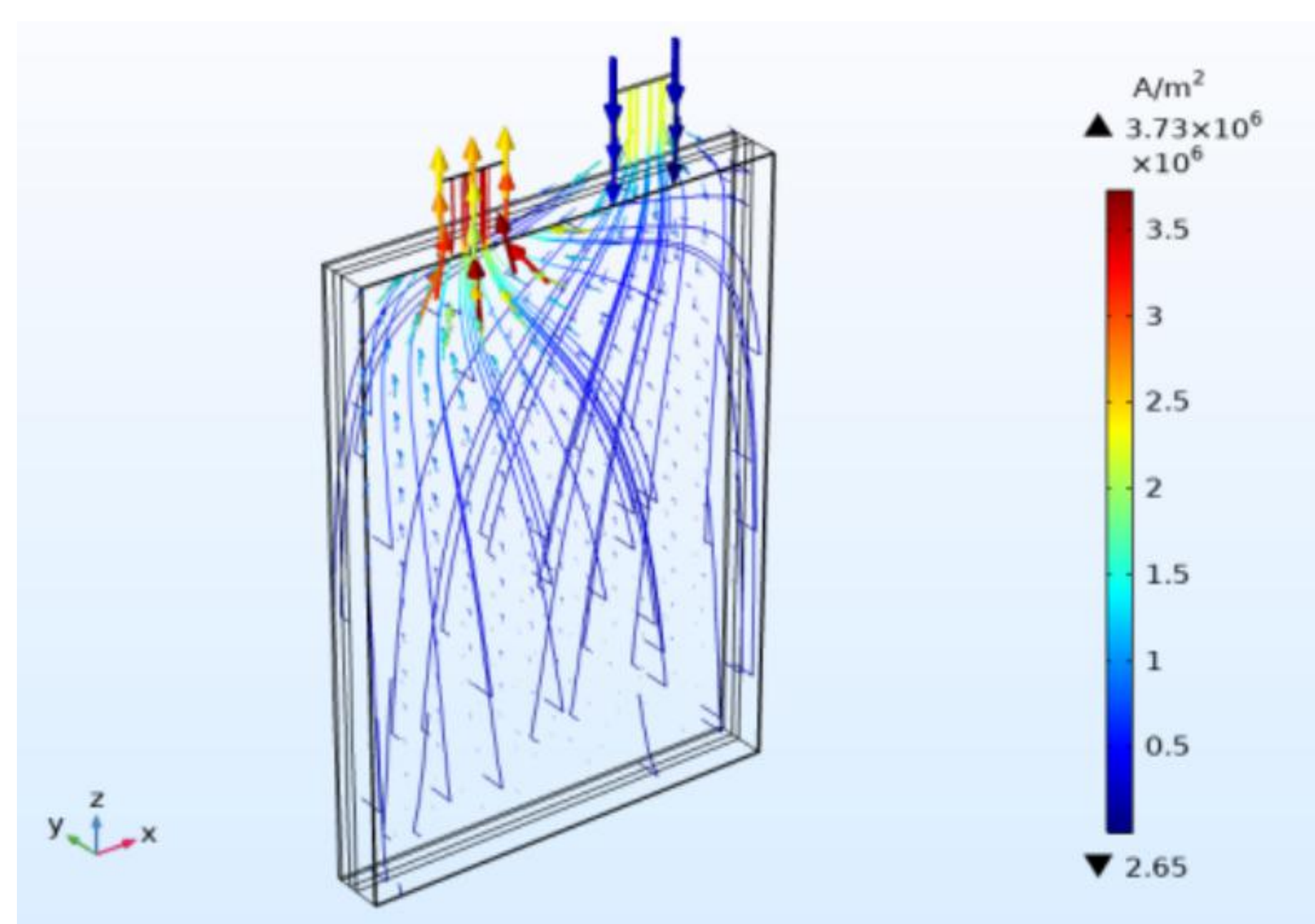


图 2.2C放电过程电池电流密度分布

结果: 图3-6表明, 在放电过程中, 电池的温度不断上升。但是, 电池不同位置的温升速率并不相同, 放电前期, 靠近极耳区域的温升速率较大, 远离极耳处温升速率较小; 随着放电过程的进行, 远离极耳处的温升速率有所增加, 原因可能是放电后期极耳处的锂离子消耗殆尽, 导致极耳区域的反应电流密度减小, 欧姆产热速率有所下降。而电池底部区域由于锂离子放电前期消耗较少, 放电后期锂离子含量相对富裕, 导致放电后期电池底部反应电流密度减小, 温升速率有所增加。

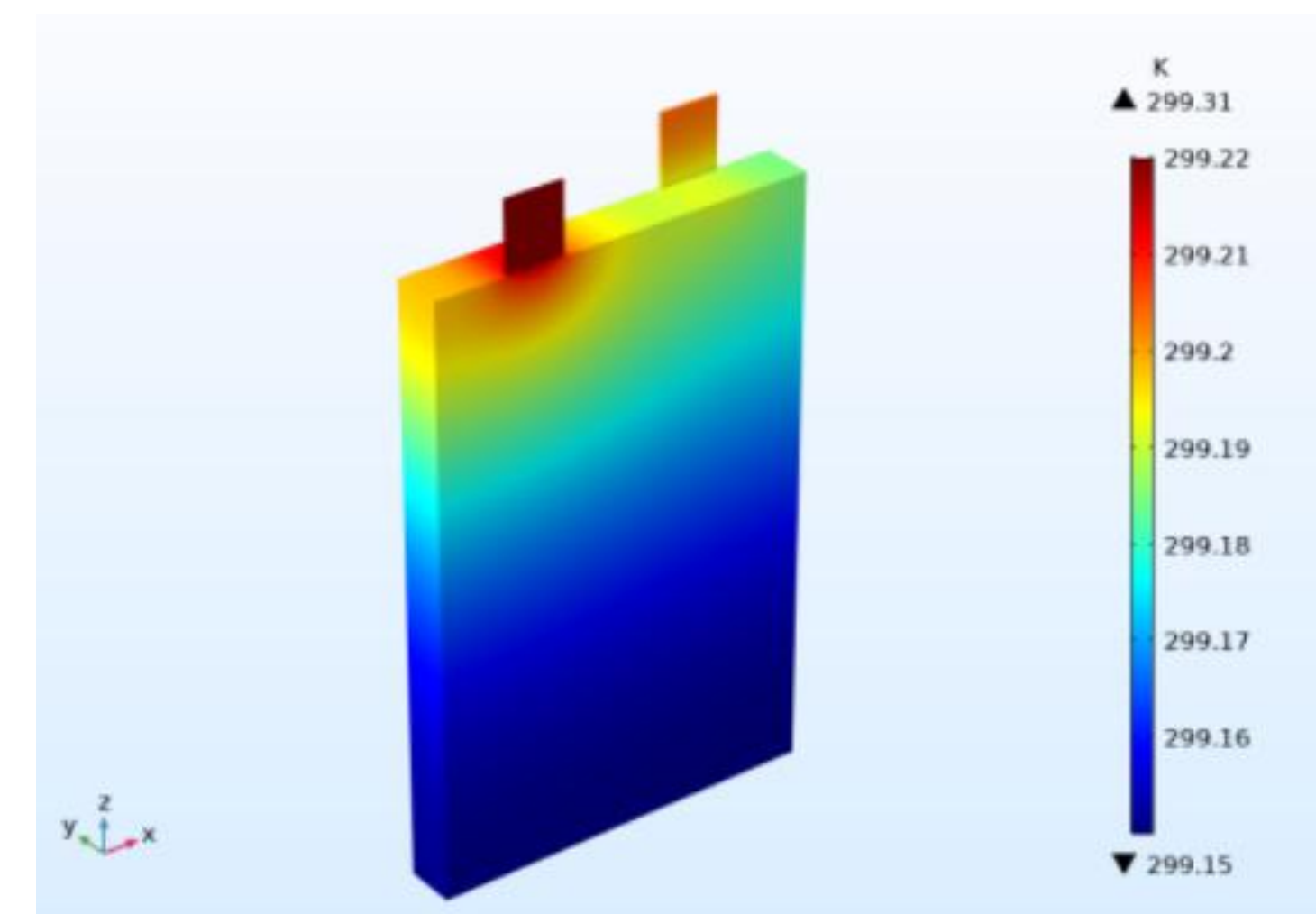


图 3.DOD=1%

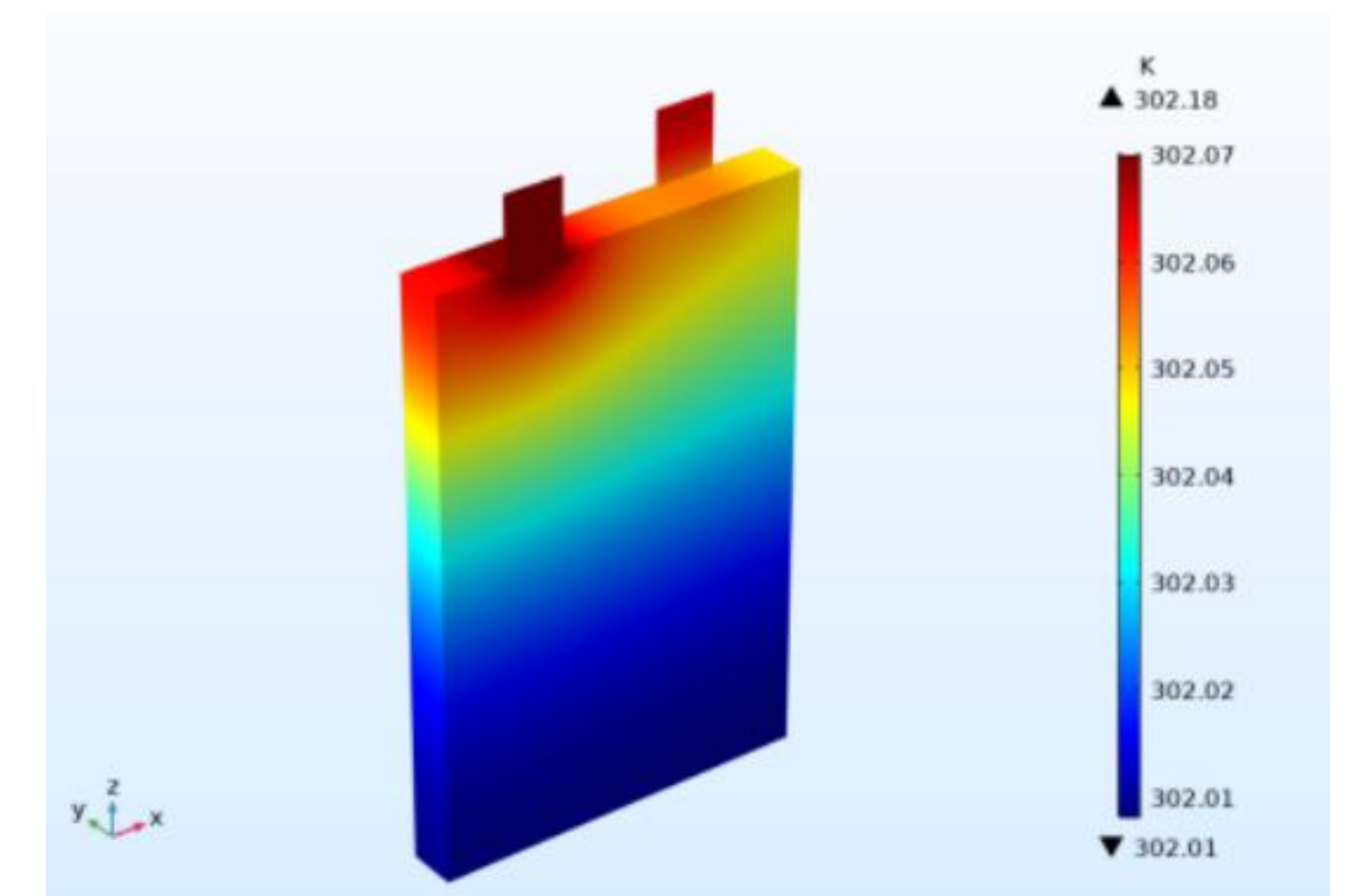


图 4. DOD=50%

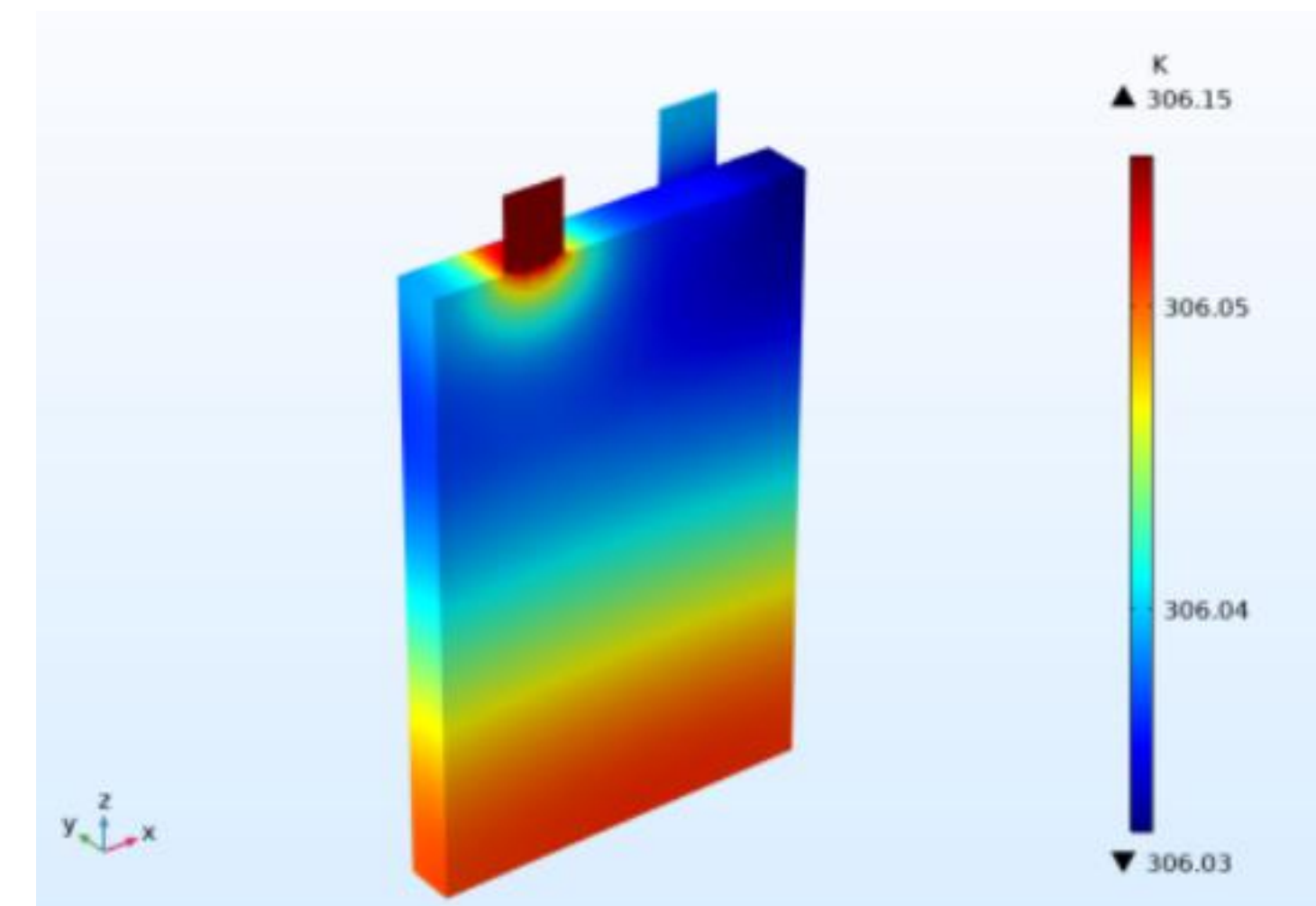


图 5.DOD=1

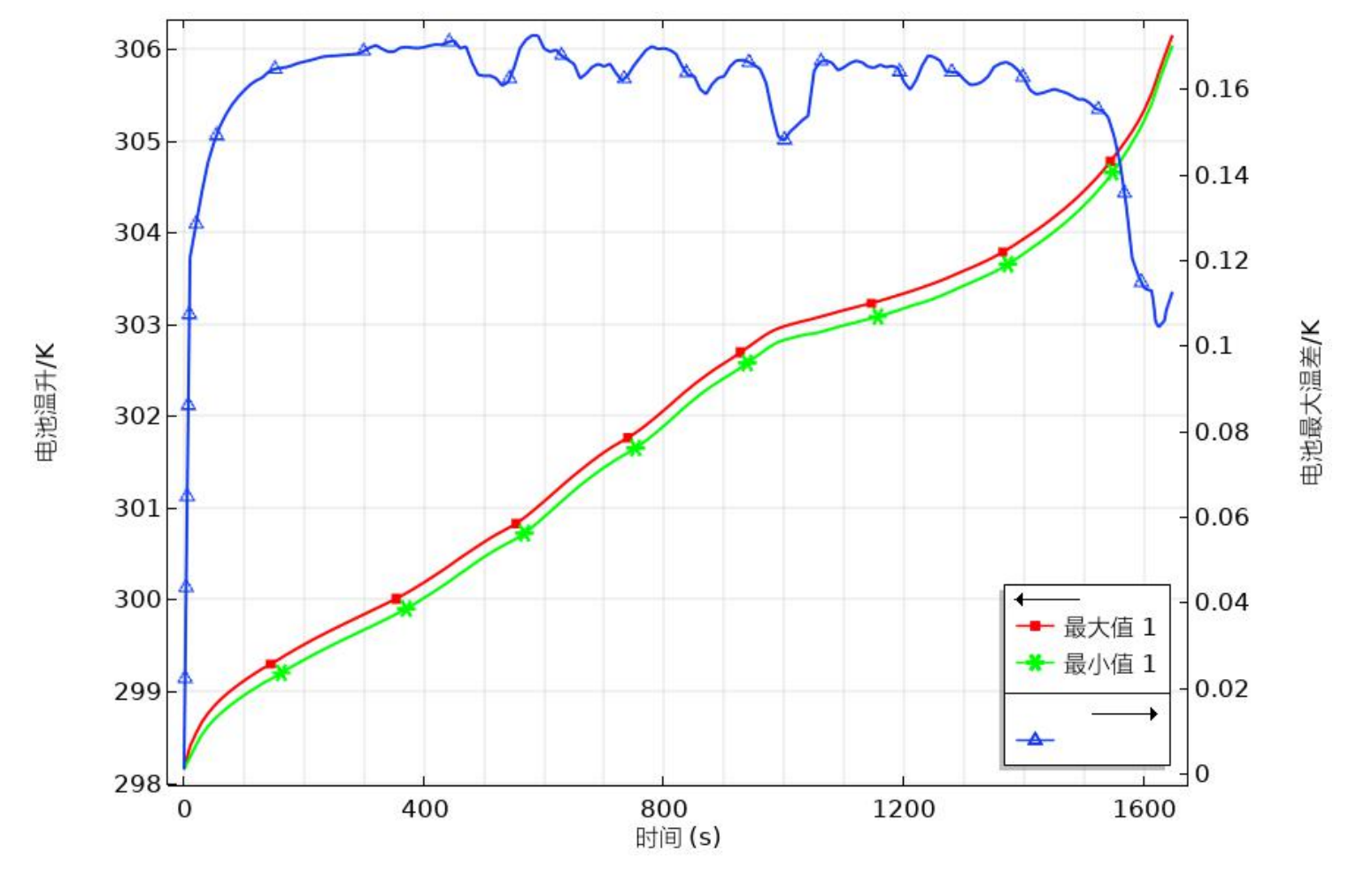


图 6.整个放电过程电池温升变化

结论: 本文通过耦合质量、电荷、能量守恒和电动力学, 建立了叠片结构锂离子电池的三维电化-热模型。主要结论为: 1. 通过建立三位电化-三位热耦合模型可以对锂离子电池的温升变化及温度场分布进行准确分析。2. 通过建立三维电化-三维热耦合模型可以得到电池局部电位分布和电流密度分布等传统实验方法难以获得的结果。3. 在恒流放电过程中, 电池内部存在明显的温度梯度, 特别是在极耳和极板的过渡区, 电池温度梯度变化最大。4. 放电过程中电池不同位置的温升速率并不相同, 放电前期, 极耳区域温升速率最大, 远离极耳的电池底部区域温升速率相对较小, 但是, 放电后期有增大趋势。本文建立的三维电化-热模型为观察锂离子电池内部电化行为和热行为提供了一种有效的方法, 并在指导锂电池单体结构优化设计方面具有良好的应用前景。

参考文献:

1. J. Chiew, C. S. Chin, W. D. Toh, Z. Gao, J. Jia, C. Z. Zhang. A pseudo three-dimensional electrochemical-thermal model of a cylindrical LiFePO₄/graphite battery[J]. Applied Thermal Engineering, 2019, 147.
2. 张立军, 李文博, 程洪正. 三维锂离子单电池电化-热耦合模型[J]. 电源技术, 2016, 40(07): 1362-1366+1490.
3. Maryam Ghalkhani, Farid Bahiraei, Gholam-Abbas Nazri, Mehrdad Saif. Electrochemical-Thermal Model of Pouch-type Lithium-ion Batteries[J]. Electrochimica Acta, 2017, 247.