

基于热分析的锂离子电池极耳优化 及结构设计

梅文昕，王青松*

中国科学技术大学

火灾科学国家重点实验室

2017.11.03



目录

- **锂离子电池热安全问题的提出**
- **极片热分析**
 - **锂离子电池极耳优化设计**
 - **锂离子电池极片层数与热积累的关系**
- **结论及展望**



锂离子电池存在的安全问题——火灾&爆炸



- 目前手机电池爆炸事件越来越多

今年5月1日，北京蟹岛度假村80辆新能源电动大巴群燃，称为“史上最大火灾”



- 电动汽车等新能源汽车的爆炸事故也屡见不鲜



总体研究概况

如果电池产生的热量不能及时散失掉，就会造成电池温度的升高，甚至发生热失控



采取相应的散热措施

- 外部冷却：空冷、油冷和相变材料冷却
- 改变电池内部结构设计



➤ 改变**极耳尺寸**

通过降低极耳处产热以降低电池整体温度

➤ 改变**极片层数**

探究极片层数与热积累的关系



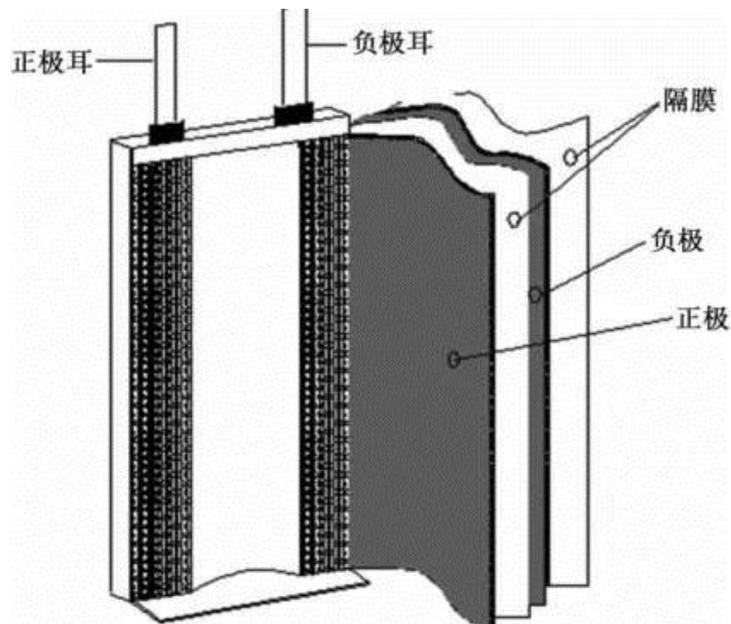
1. 锂离子电池极耳优化设计

- 1.1 锂离子电池极耳结构
- 1.2 模型的建立
- 1.3 不同放电倍率下电池的温度分布
- 1.4 极耳尺寸的优化
 - 宽度、厚度、高度



1. 锂离子电池极耳优化设计

● 锂离子电池的结构



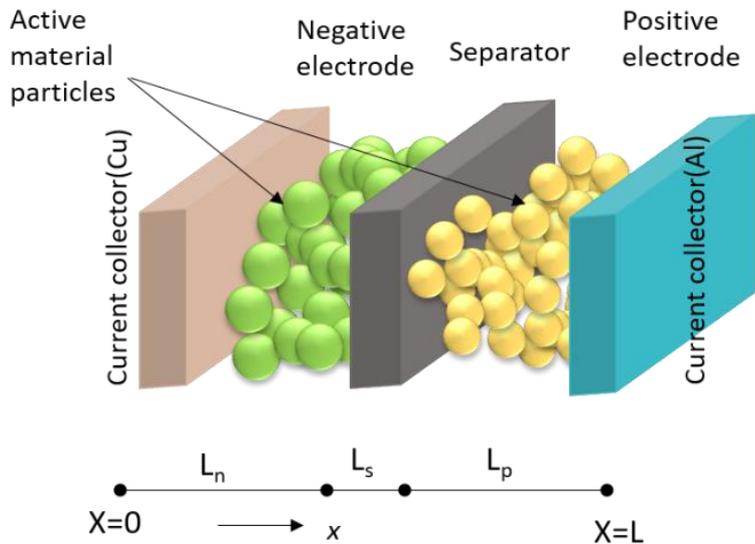
方形锂离子电池结构示意图

锂离子电池的**极耳**，是将正极和负极从电池的电芯中引出的金属导体一般来说正积极耳为**铝**、负积极极耳为**铜或镍**。

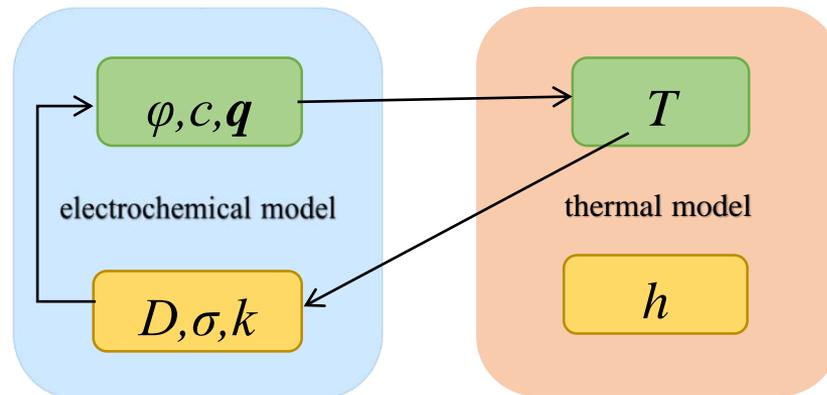
- 电池材料： LiFePO_4/C
- 电芯尺寸： $100 \times 115 \times 16$
- 极耳尺寸： $30 \times 35 \times 0.15$



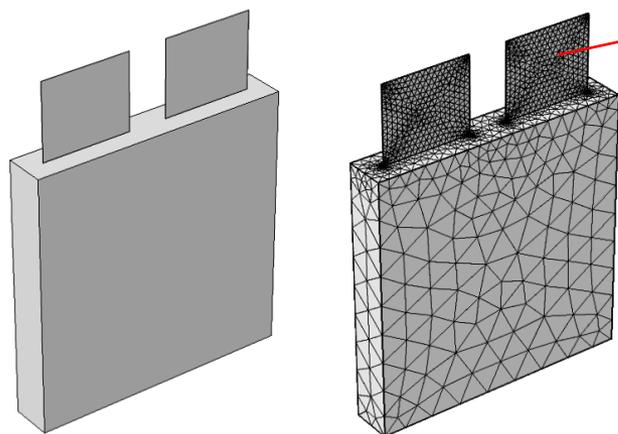
1.1 模型的建立



1D电化学模型



电化学-热模型耦合示意图



3D热模型及网格

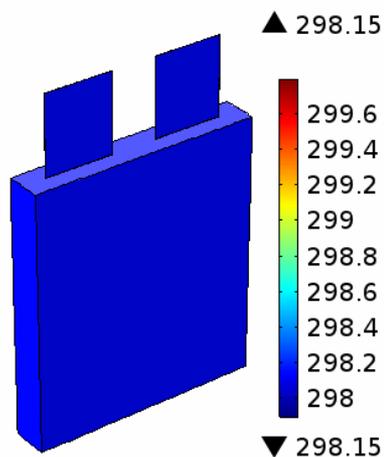
正极极耳

- $\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \lambda_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \lambda_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + q + q_{tab} - q_{conv}$
- $q = q_{rev} + q_{irrev} = q_{rev} + q_{ohm} + q_{act}$
- $q_{conv} = \frac{2h}{T_{batt}} (T_{amb} - T)$



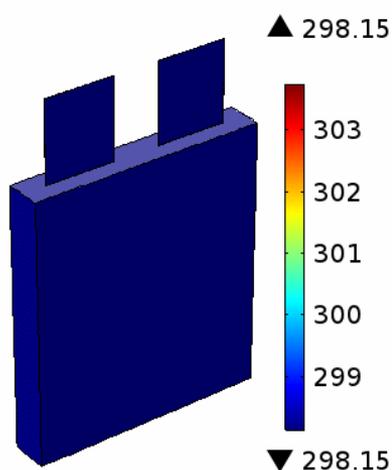
1.2不同放电倍率下电池的温度场分布

a(1)=1 时间=0 s 体: 温度 (K)



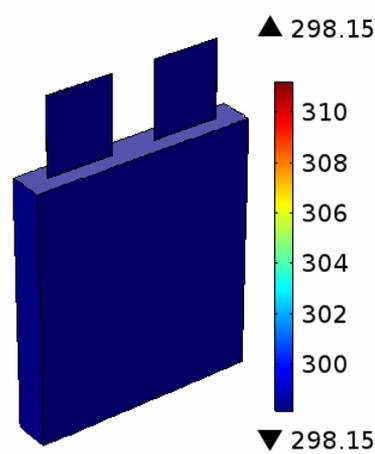
1C

a(2)=3 时间=0 s 体: 温度 (K)



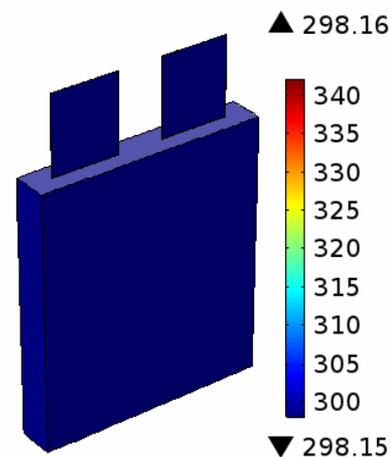
3C

a(3)=5 时间=0 s 体: 温度 (K)



5C

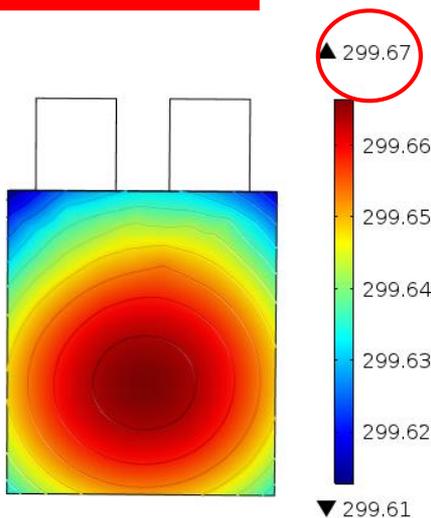
a(4)=10 时间=0 s 体: 温度 (K)



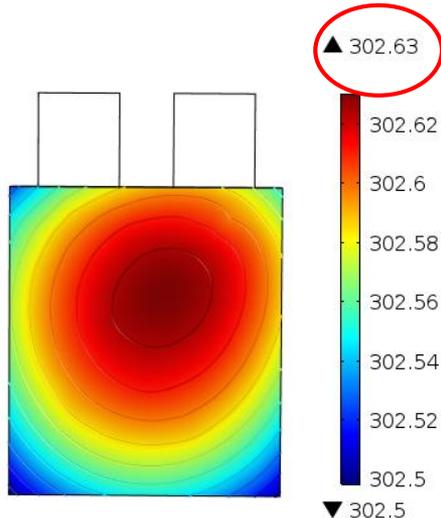
10C

放电结束

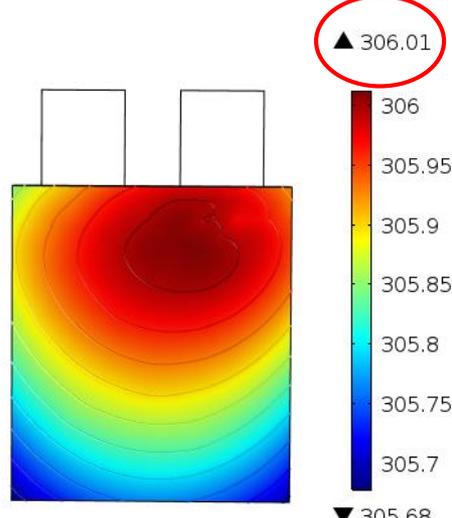
299.67K



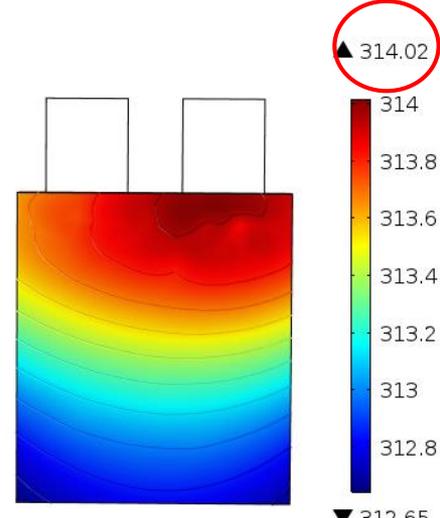
302.63K



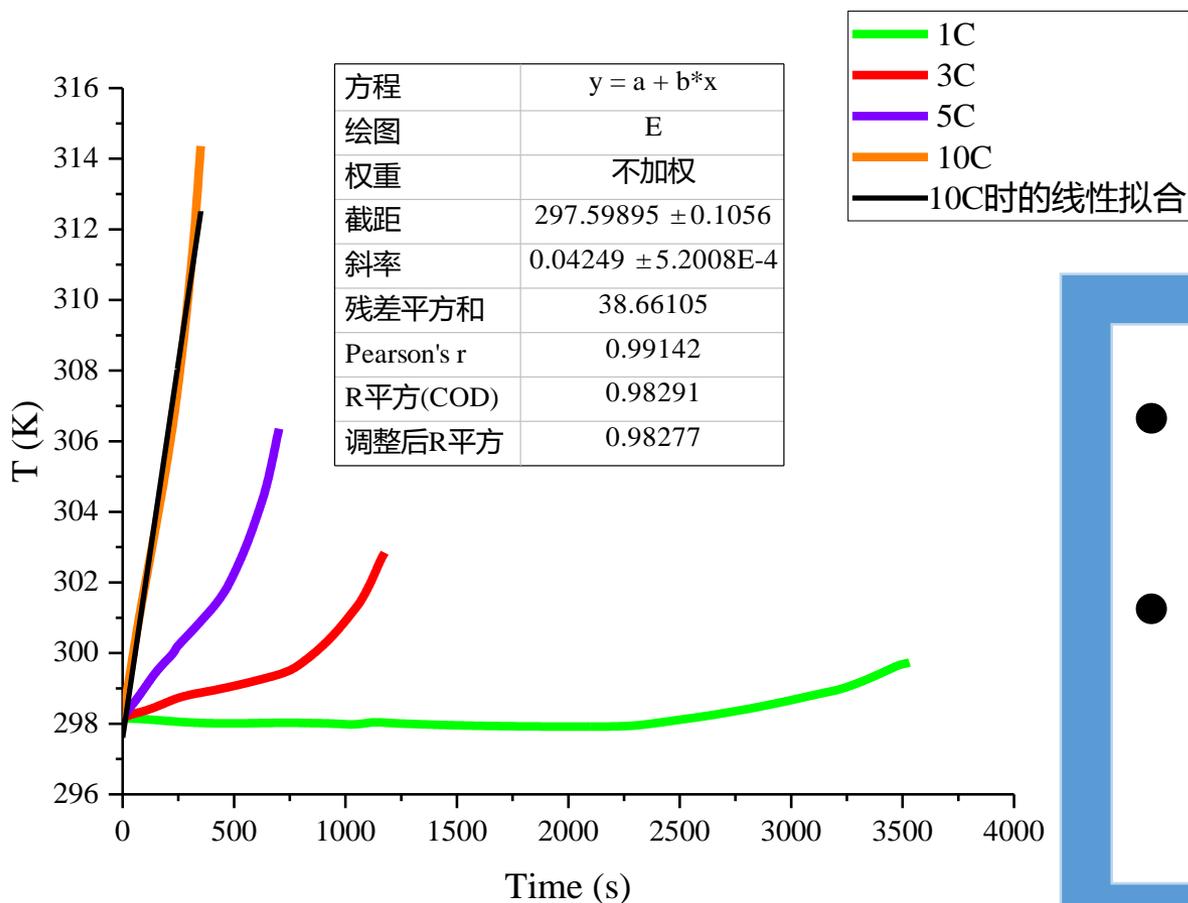
306.01K



314.02K



1.2不同放电倍率下电芯的平均温度



- 随着放电倍率的增大，电芯平均温度增加明显
- 尤其是10C时，温度趋于线性增加，拟合后的 $R^2=0.98277$

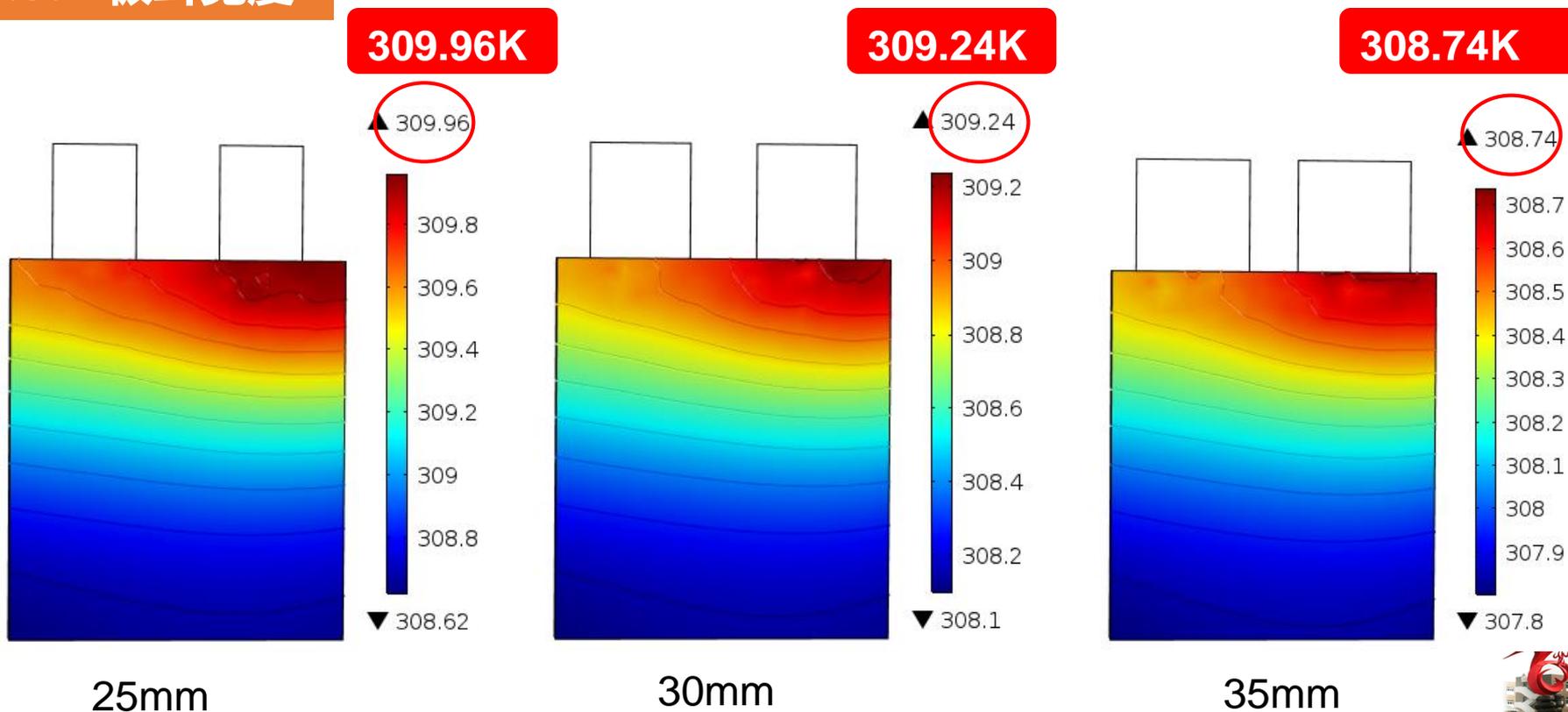


1.3 极耳尺寸的优化

放电倍率5C

Tab dimension	Original group	Decreased group	Increased group
Thickness(mm)	0.15	0.1	0.2
Height(mm)	35	30	40
Width(mm)	30	25	35

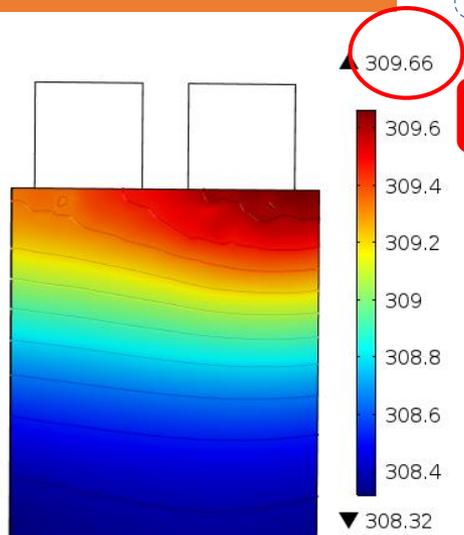
1.3.1 极耳宽度



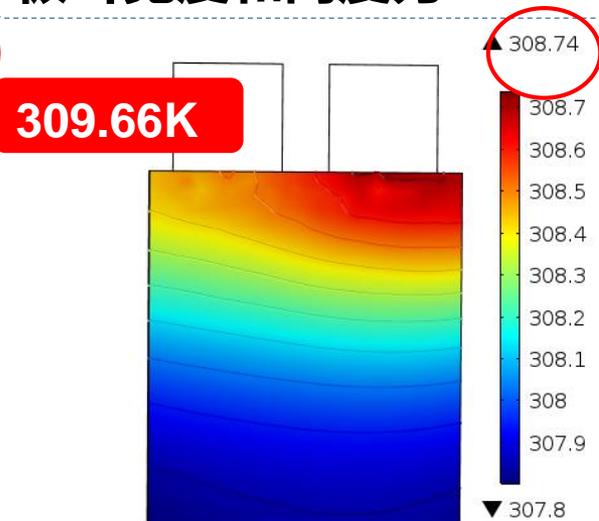
1.3 极耳尺寸的优化

1.3.2 极耳厚度

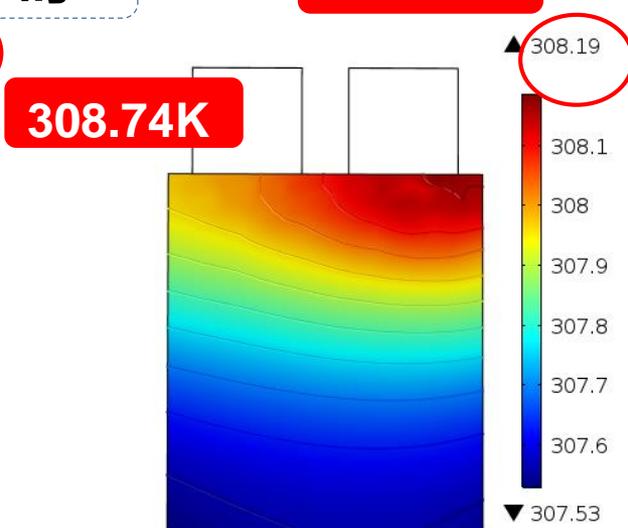
极耳宽度和高度为35mm时



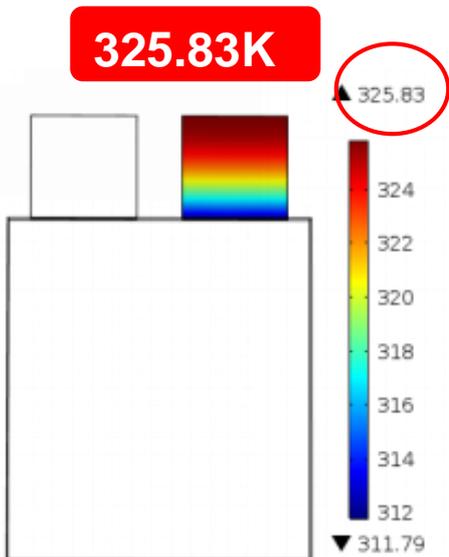
0.1mm



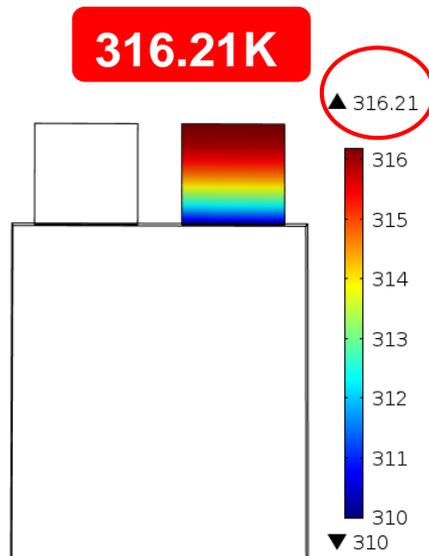
0.15mm



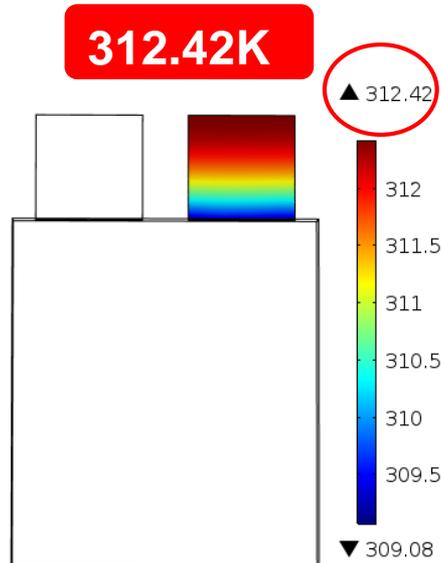
0.2mm



325.83K



316.21K



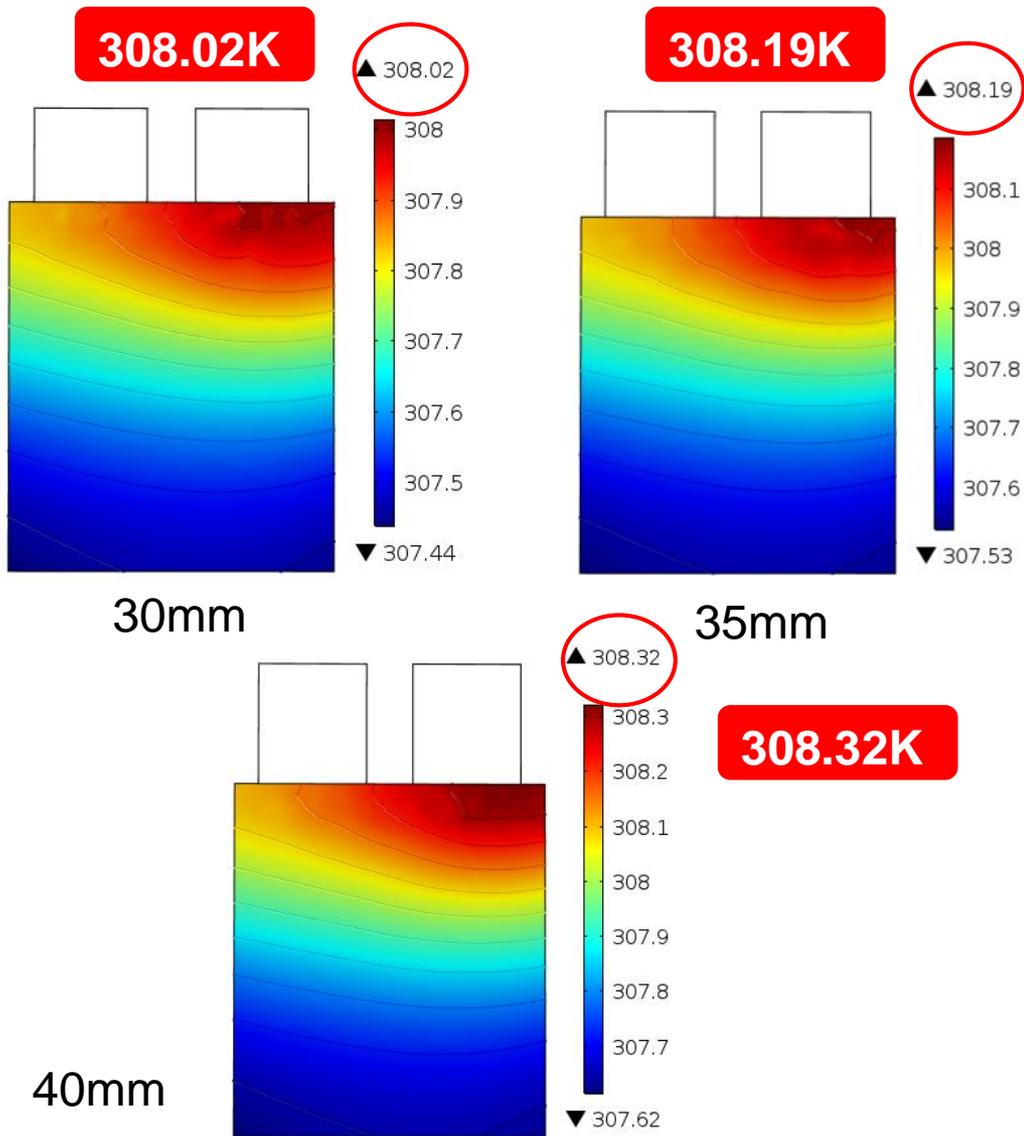
312.42K



1.3 极耳尺寸的优化

1.3.3 极耳高度

极耳宽度35mm、厚度0.2mm时



极耳高度对电池温度影响不大



优化的极耳尺寸

- 极耳厚度：0.2mm
- 极耳宽度：35mm
- 极耳高度：30mm

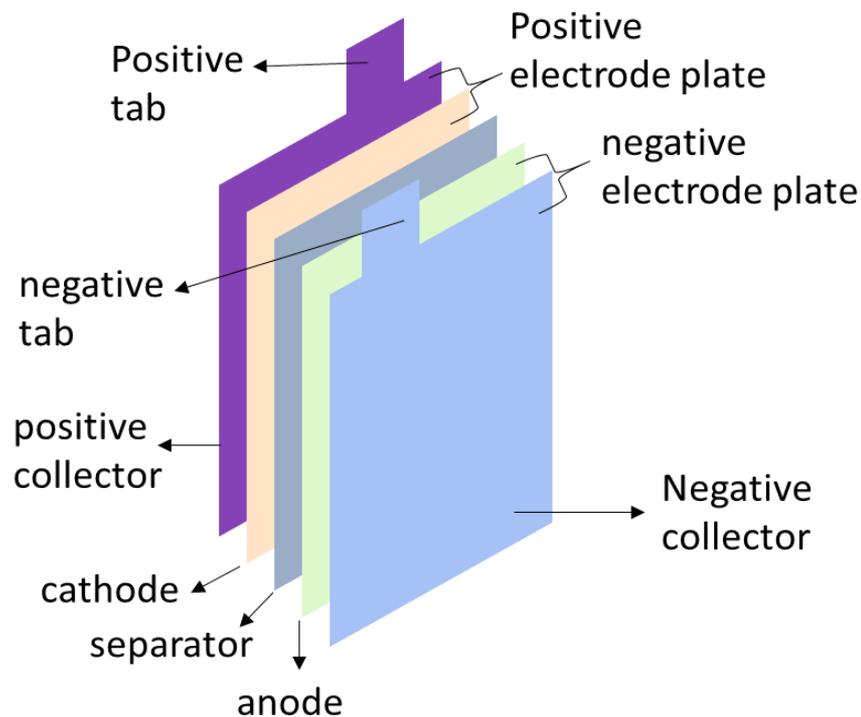
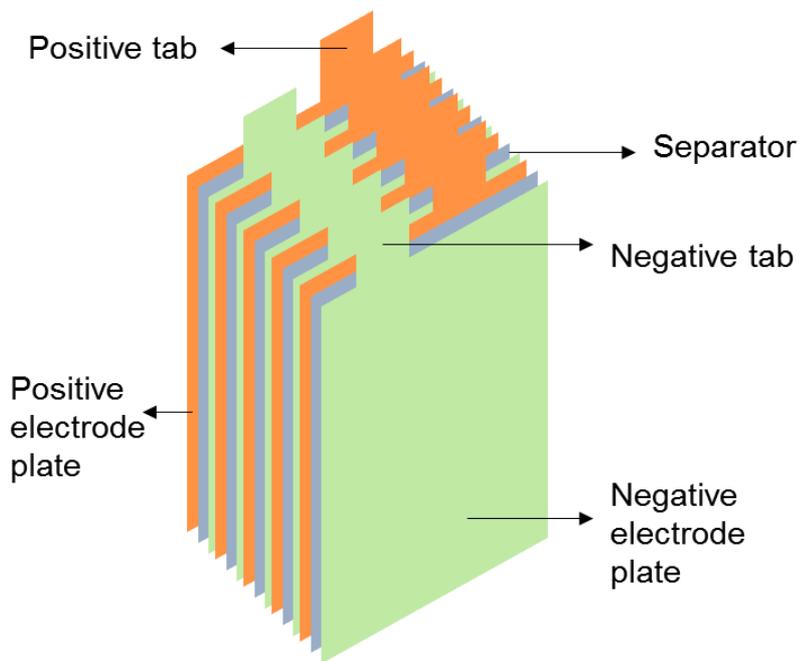


2. 锂离子电池极片层数与热积累的关系

- 2.1 锂离子电池电芯和极片简介
- 2.2 模型的建立
- 2.3 电芯表面的温度分布
- 2.4 电芯厚度方向的温度分布
- 2.5 极片层数与产热速率的关系



2.1 锂离子电池电芯与极片简介

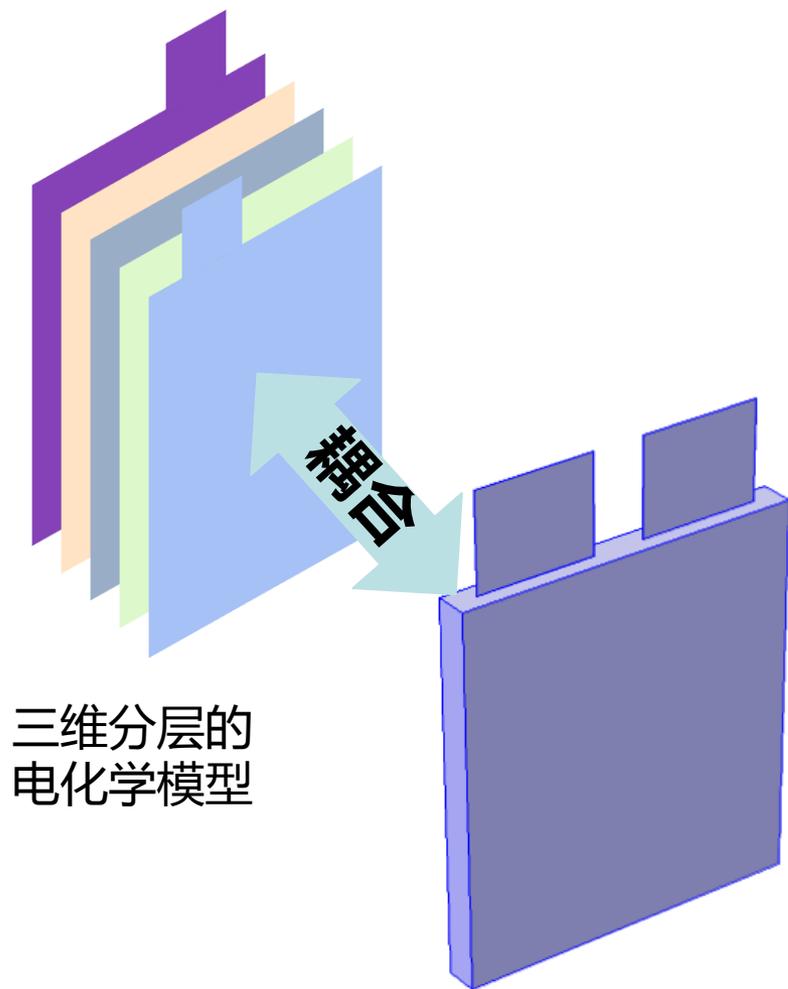


层叠式锂离子电池的电芯是由正负极极片（集流体两边涂覆活性材料）、隔膜、交叠组成的复杂片层结构。

一个电芯单元包含一层正极极片和一层负极极片以及一层隔膜



2.2 模型的建立



三维分层的
电化学模型

三维整体电芯
的热模型

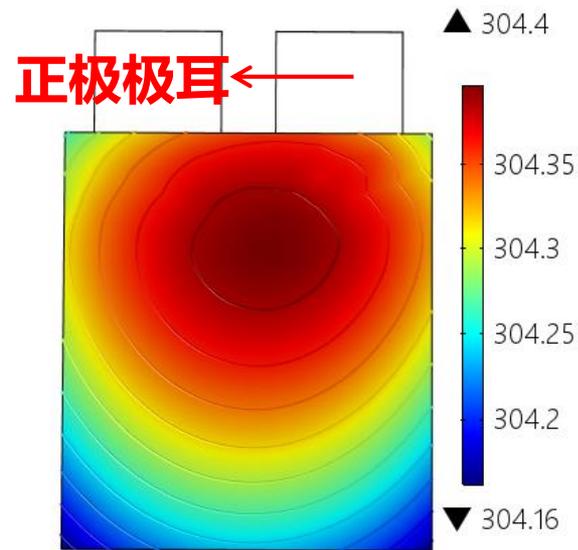
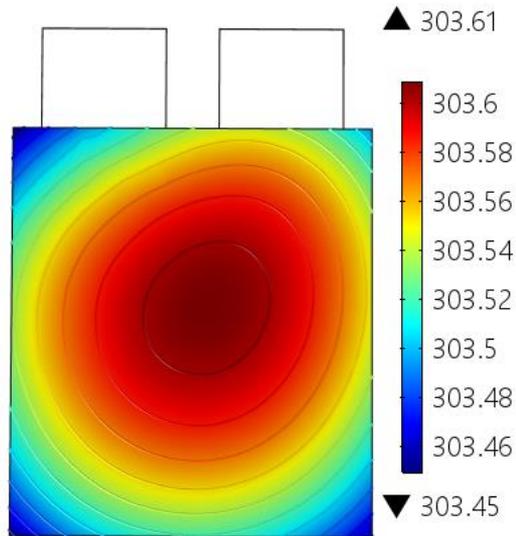
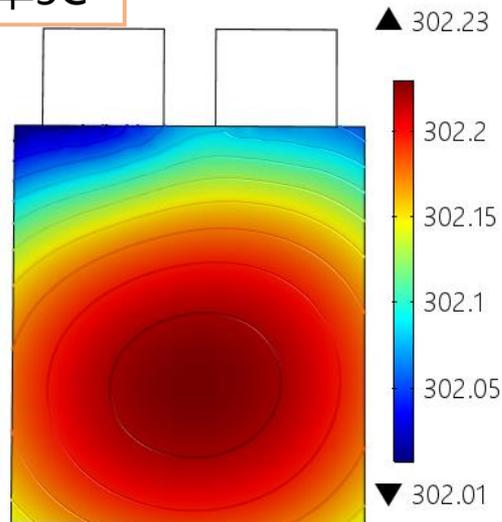
- ◆ 在模型中，将极片层数 n 等效为电芯单元个数 N ($N=2n-1$)
- 电池材料：LiFePO₄/C
- 电芯尺寸：100×115×9.7
- $N=66$
- ◆ 计算电芯单元个数为 $N=33$ 和 $N=132$ 时的电池温度以及热量



2.3 电芯表面温度分布

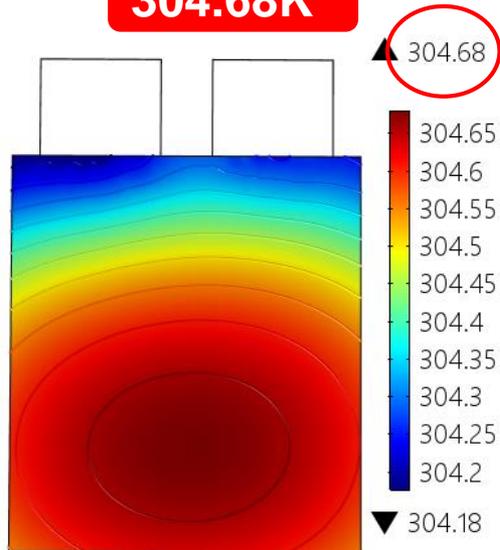
放电倍率5C

放电一半

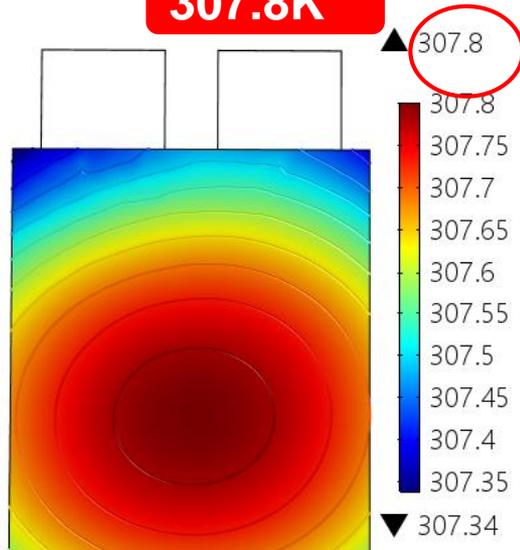


放电结束

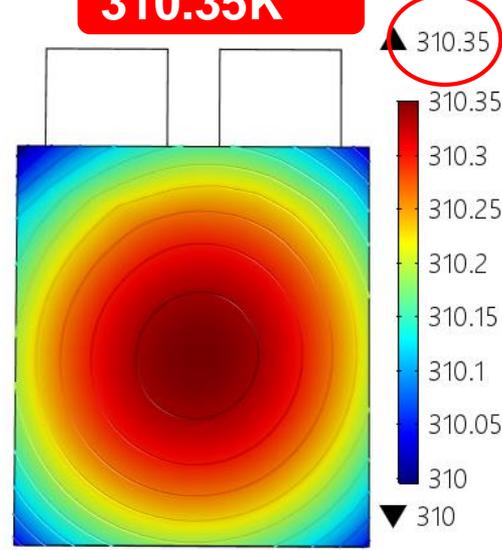
304.68K



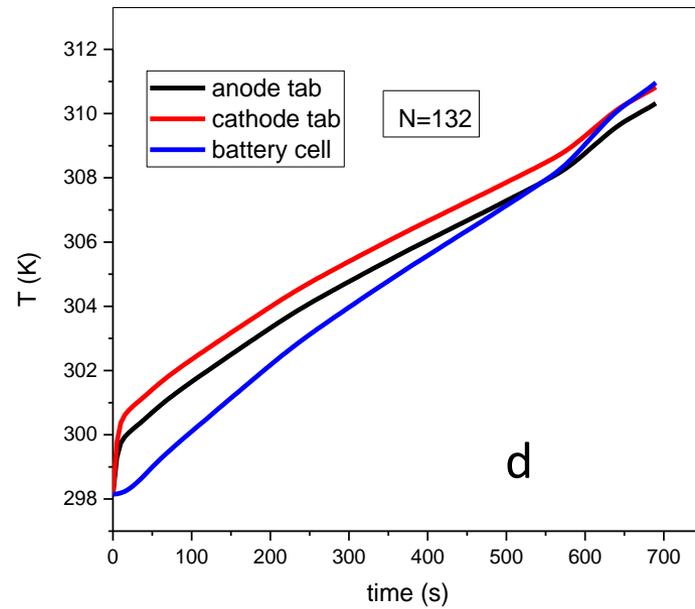
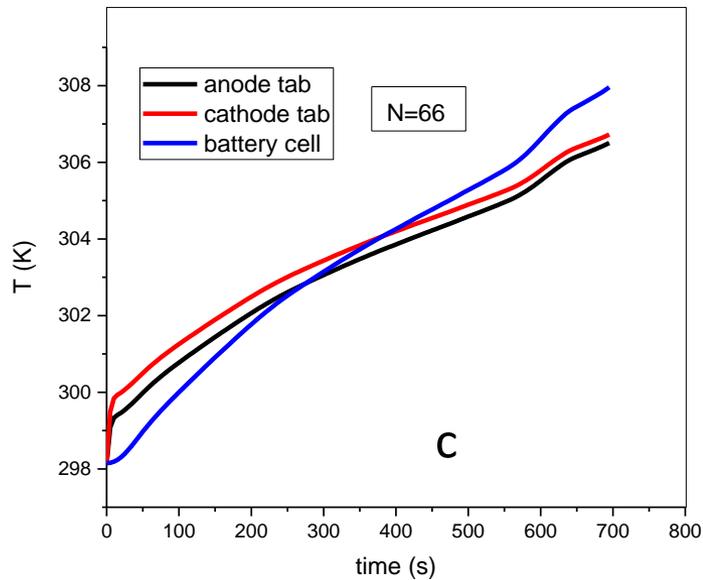
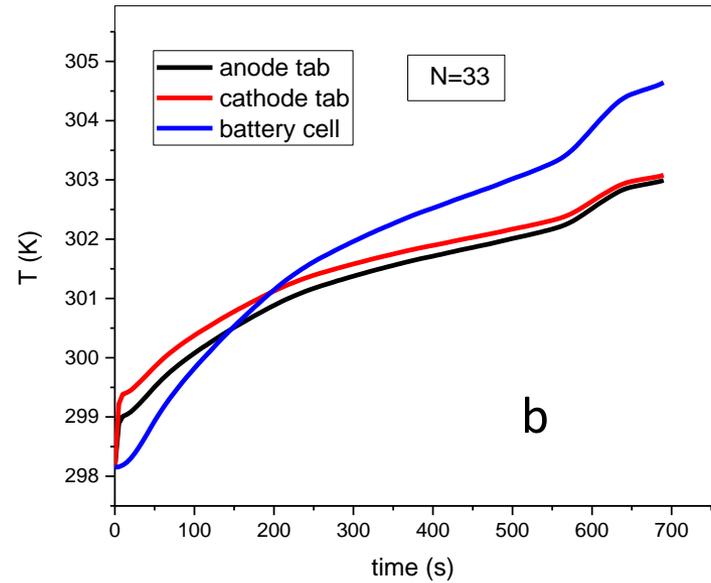
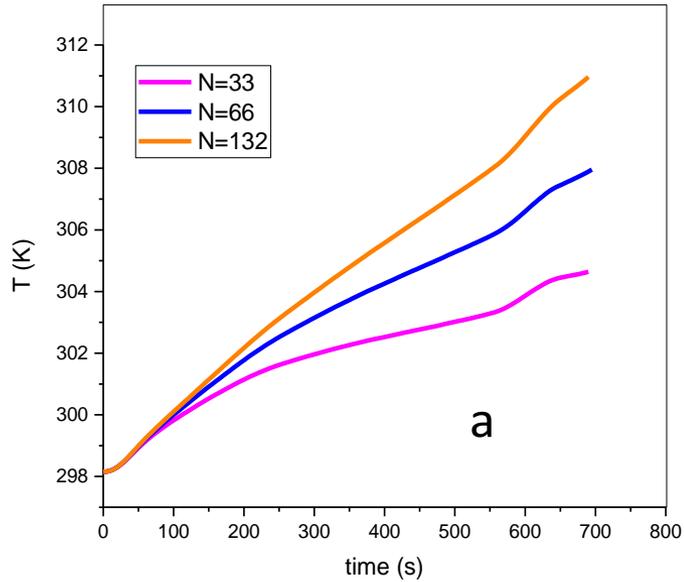
307.8K



310.35K



2.3 平均温度变化曲线

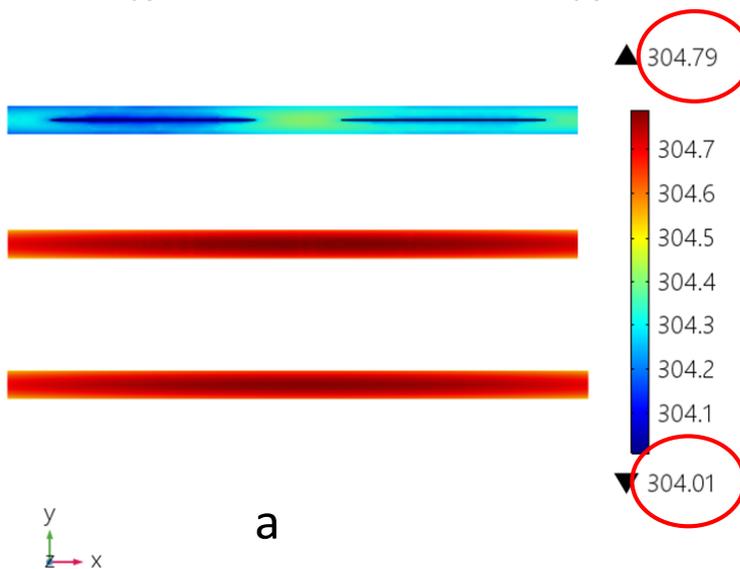


2.4 电芯厚度方向温度分布

N(1)=33 时间=690 s 表面: 温度 (K)

N(2)=66 时间=695 s 表面: 温度 (K)

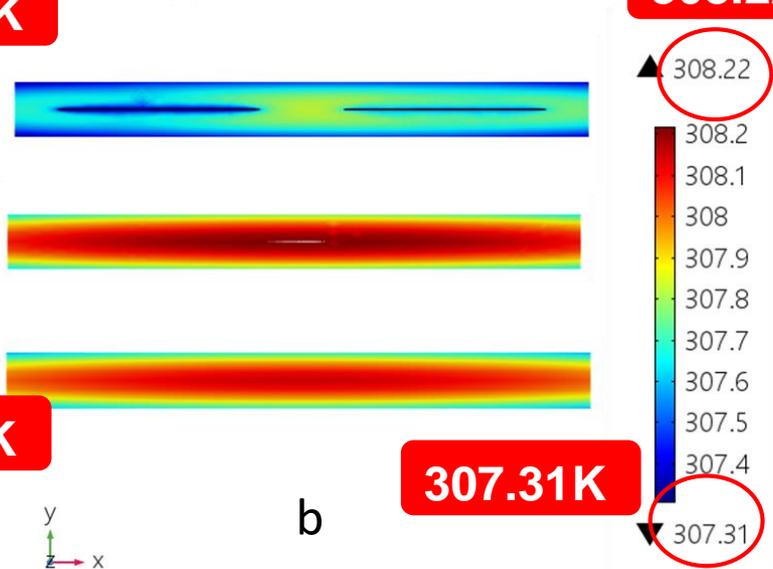
308.22K



304.79K

304.01K

a



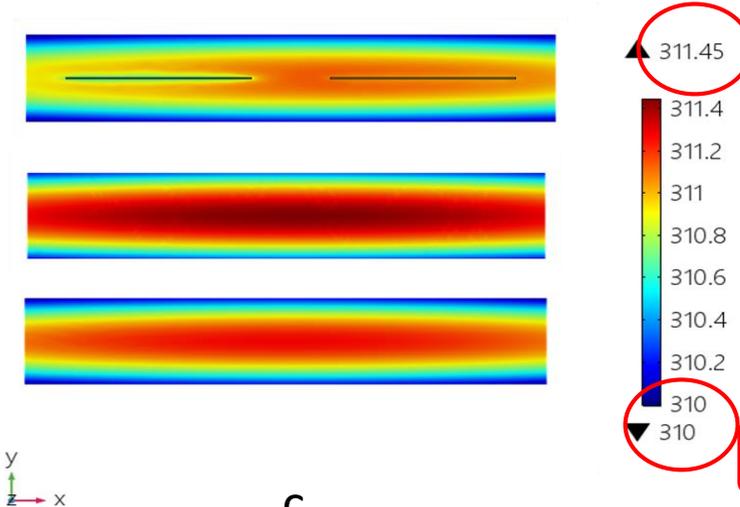
307.31K

b

N(3)=132 时间=690 s 表面: 温度 (K)

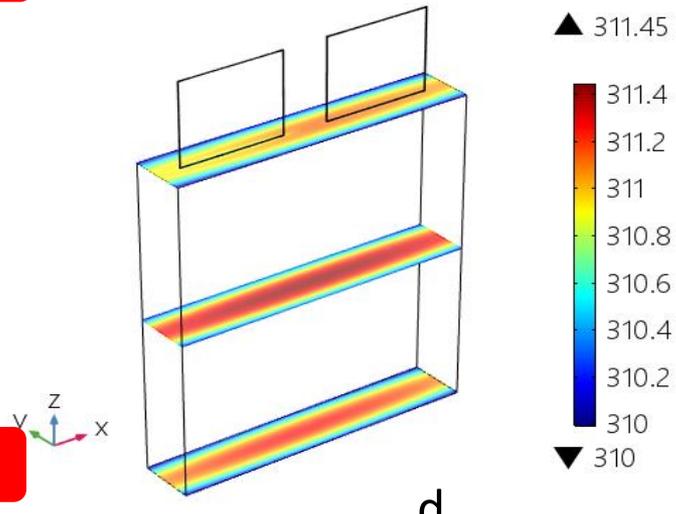
N(3)=132 时间=690 s 温度 (K)

311.45K



310K

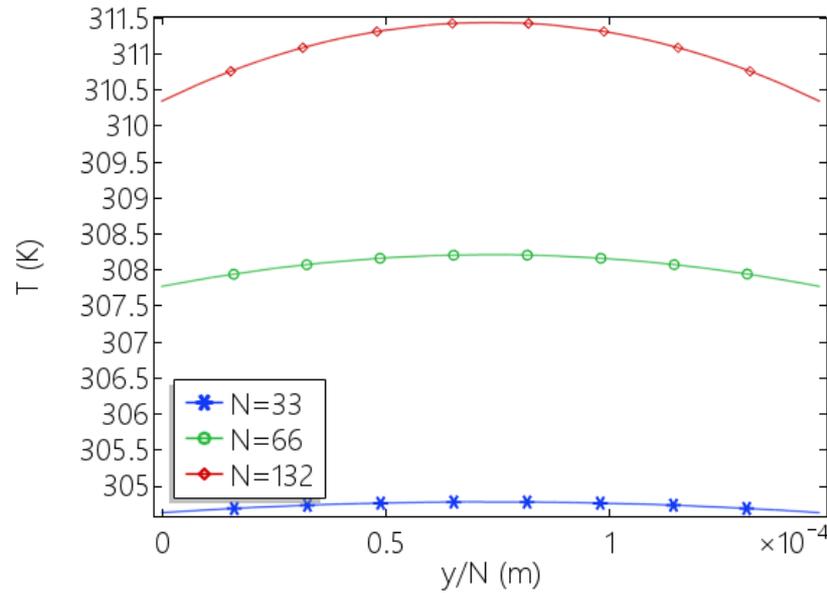
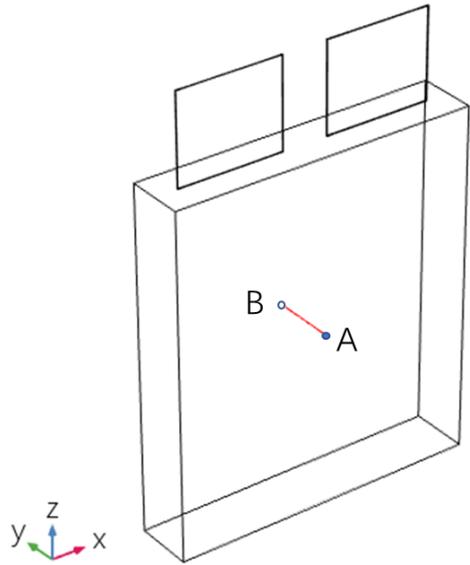
c



d

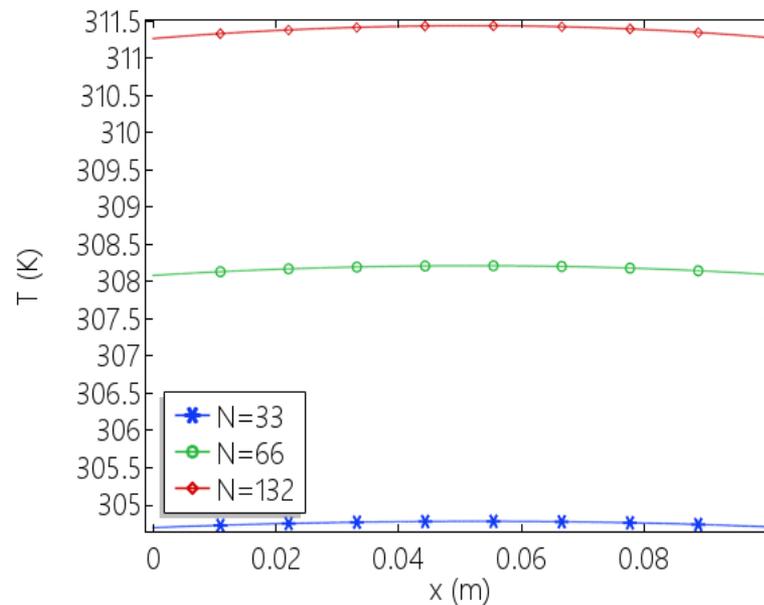
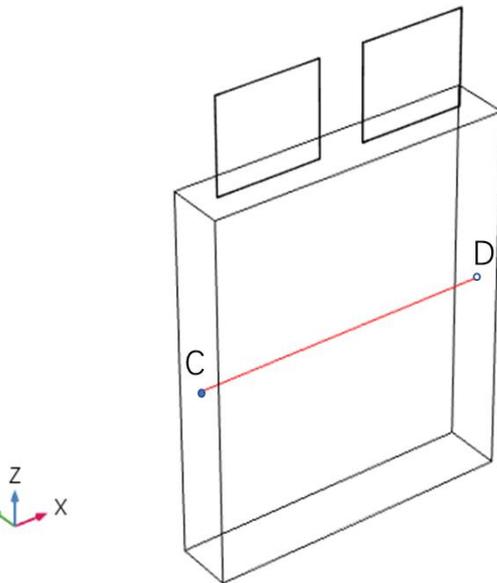


2.4 电芯厚度方向温度分布

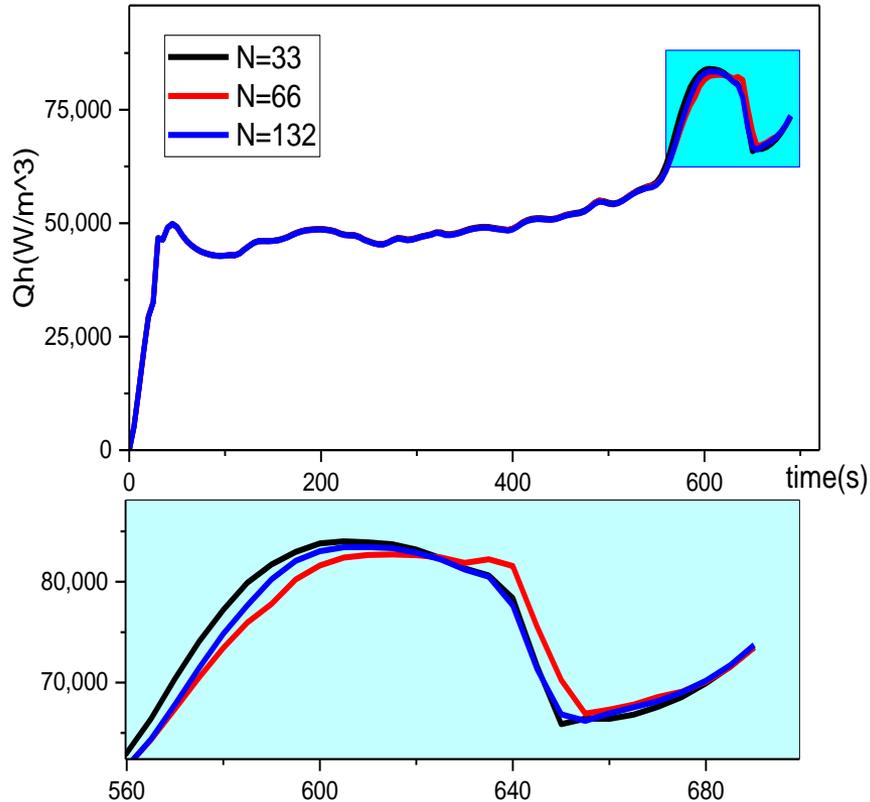


$$q_{conv} = \frac{2h}{T_{batt}} (T_{amb} - T)$$

T_{batt} 为电池厚度



2.5 极片层数与产热速率的关系



- 随着极片层数的变化，电池的产热速率变化很小，只是在放电后期有微小的改变
- 极片层数与热积累的关系主要由**散热**所决定。



3.结论及展望

● 锂离子电池的极耳优化

- 加宽加厚极耳可降低电池温度并且使电池的温度分布更加均匀

● 锂离子电池极片层数与热积累的关系

- 极片层数与热积累的关系主要由散热所决定
- 极片层数增大时，电芯表面温度增大，厚度方向的温差增大



展望

- 全固态锂离子电池的研究
- Li-S 空气电池的研究
- COMSOL中的模块优化





谢谢！
敬请批评指正

联系人：王青松
pinew@ustc.edu.cn
13514983704

COMSOL
CONFERENCE
2017 BEIJING
2017

2017-11-03