

# 基于PDE方法结合等效电路原理的锂离子电池外短路仿真

李峰宇, 何见超, 陈森, 王旭, 王连旭, 陈思  
平台开发部, 蜂巢能源科技有限公司保定分公司, 河北省, 保定市

**简介:**基于PDE方法结合等效电路原理仿真电芯在放生外部短路时电流及电压变化, 为了使结果更加直观, 不考虑副反应产热及实际电芯的保护装置。利用该模型, 预期将达到预测电池在不同短路电流作用下的最大短路时间, 从而制定电池能够正常使用的安全边界窗口。

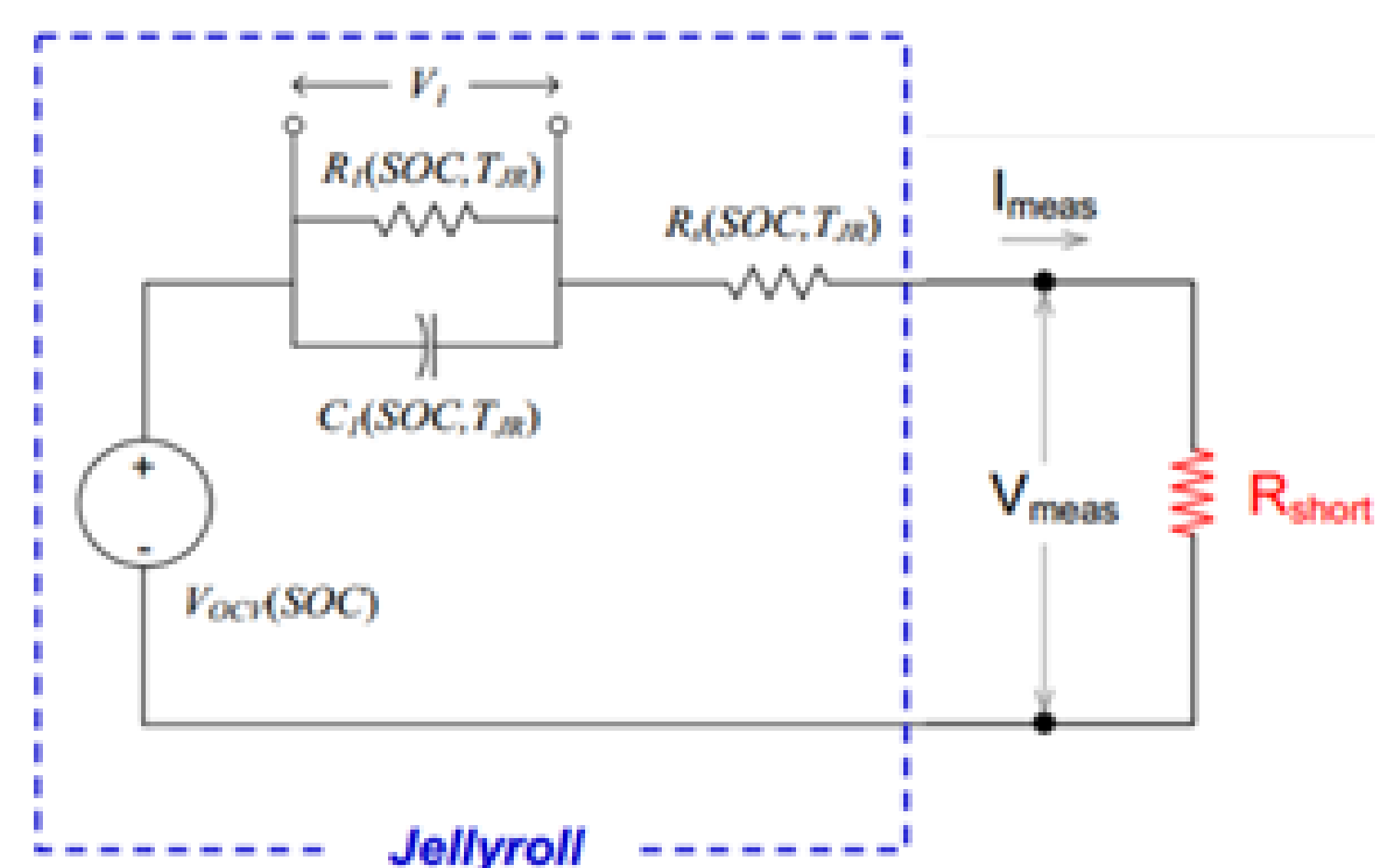


图 1.等效电路图

**计算方法:**模型通过数学模块的PDE接口及传热模块的耦合实现。电学模块通过PDE设置 (0维), 其核心利用电池剩余电量作为变量, 通过COMSOL中内置的偏微分方程接口, 将剩余电量对时间的偏导数作为流经电池的总电流。在偏微分方程中定义因变量 $q_c$ , 当定义完因变量后COMSOL内置方程会出现  $e_a \frac{\partial^2 q_c}{\partial t^2} + d_a \frac{\partial q_c}{\partial t} + \nabla \cdot \Gamma = f$ ,  $\nabla = \frac{\partial}{\partial x}$  控制方程中 $e_a$ 为质量系数,  $d_a$ 为阻尼系数,  $\Gamma$ 为守恒通量,  $f$ 为源相, 当 $e_a$ 设置为1,  $d_a$ 设置为1,  $\Gamma$ 设置为0, 源相 $f$ 设置为 $-I_s$ 时, 此时方程变为所需要的  $\frac{\partial q_c}{\partial t} = -I_s$ 。定义变量  $a = q_c/q_0$ , 其中 $q_c$ 为剩余电量。 $q_0$ 为初始电量,  $a$ 为荷电状态 (SOC)。其中 $I_s$ 、 $U_s$ 为短路时的电流和电压。 $U_e$ 和 $R$ 分别为开路电压 (OCV) 和内阻。 $I_s = U_e(a)/(R(a)+R_0)$ ,  $U_s = U_e(a)*R_0/(R(a)+R_0)$ , 开路电压 $U_e$ 及内阻 $R$ 随SOC变化数据来源于实测。通过热源 $Q = I_s * U_s$ 实现传热模块和电模块的耦合。进行参数化扫描获取仿真结果。

**结果:**如图3-5所示, 通过对比不同短路电阻条件下电压、电流变化及温度变化, 可以发现短路时电流及电压的变化趋势是一致的。当短路电阻 $0.001\Omega$ 时, 电压保持率较低, 此时短路电流最大, 电芯达到隔膜熔断时间最短。因此当发生外部短路且外部短路电阻较小时, 电芯存在较大的安全隐患。

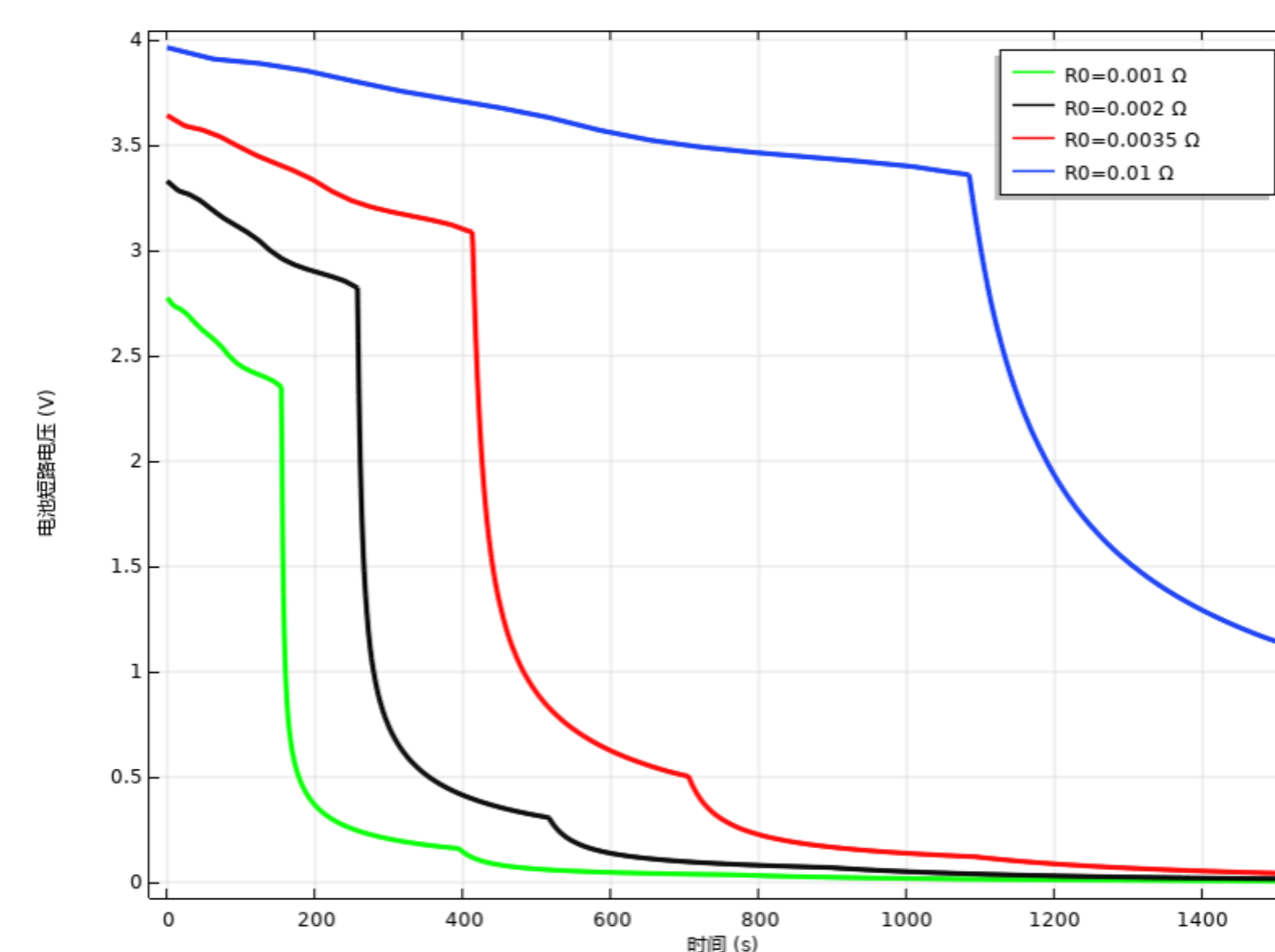


图 3.不同短路电阻条件下电压变化

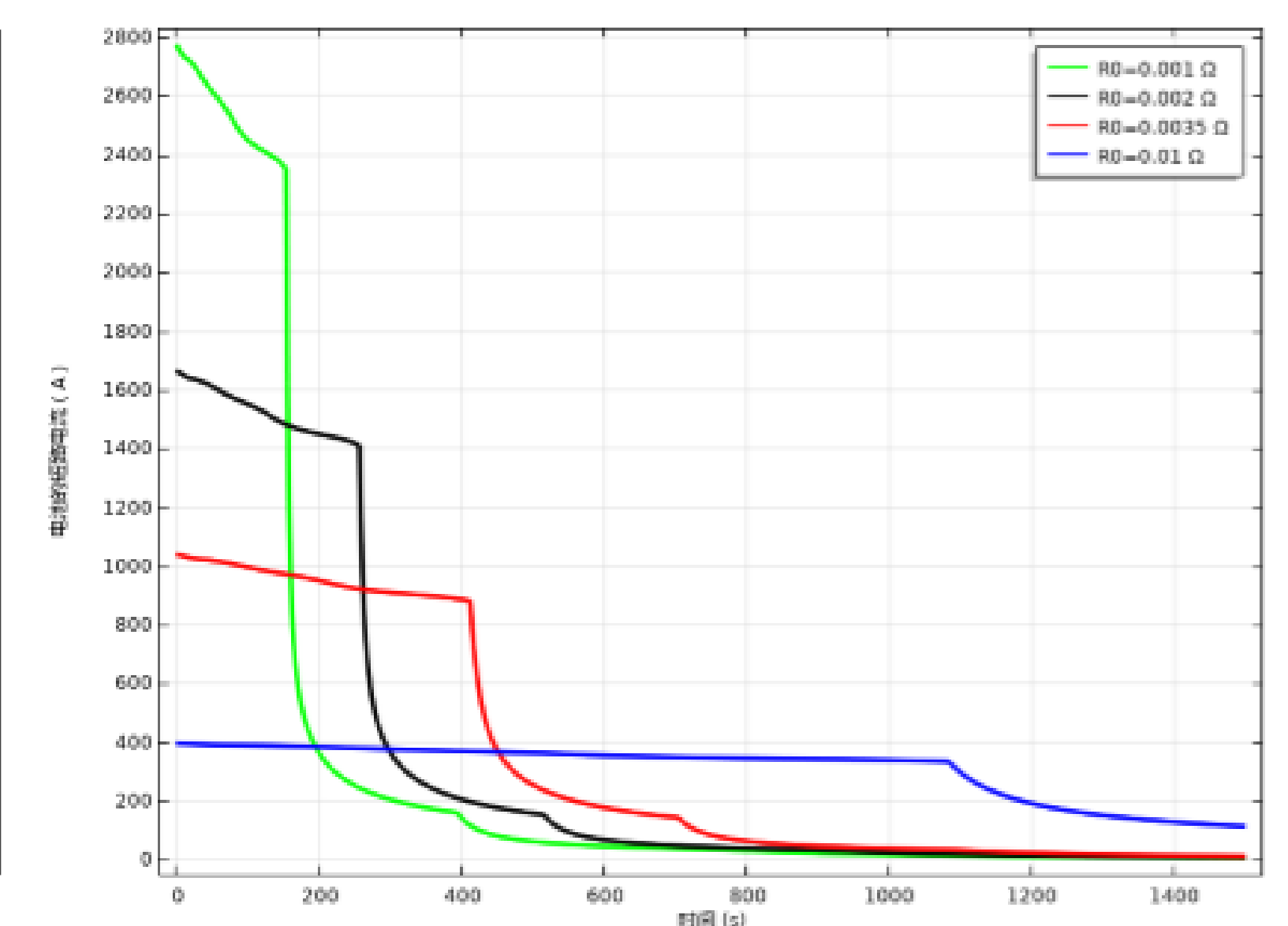


图 4.不同短路电阻条件下电流变化

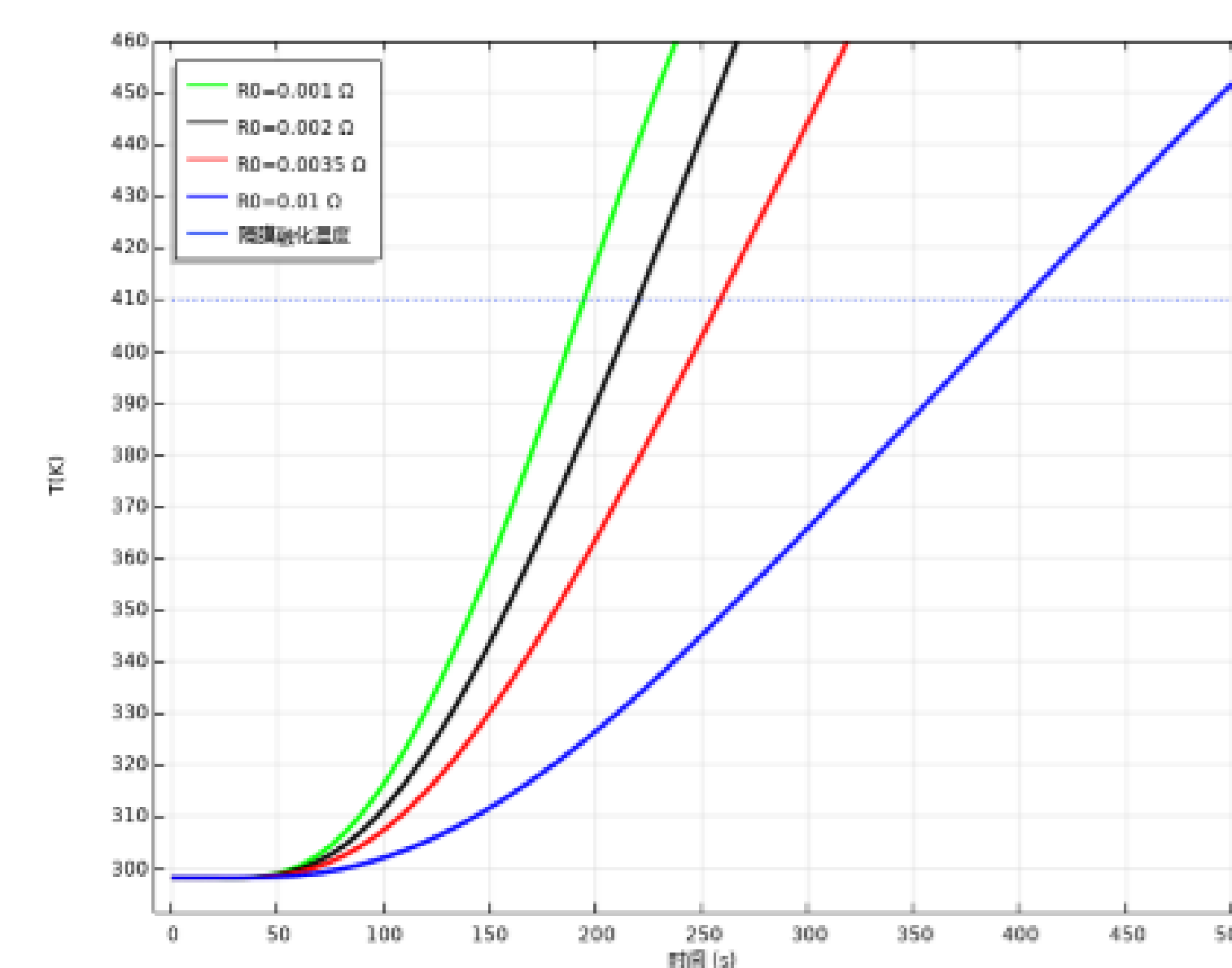


图 5.不同短路电阻条件下电池温度变化

**结论:**通过COMSOL仿真能够快速获取电芯外部短路发生时电流、电压及温度变化趋势。随着短路电阻的增大, 短路电流呈现减小的趋势, 短路的持续时间也会相应的延长, 电压随之下降缓慢。短路电阻越小达到隔膜融化温度的时间越短。后期可以通过研究短路与短路时间的关系, 从而制定电芯工作的安全窗口, 为电芯设计提供指导作用。

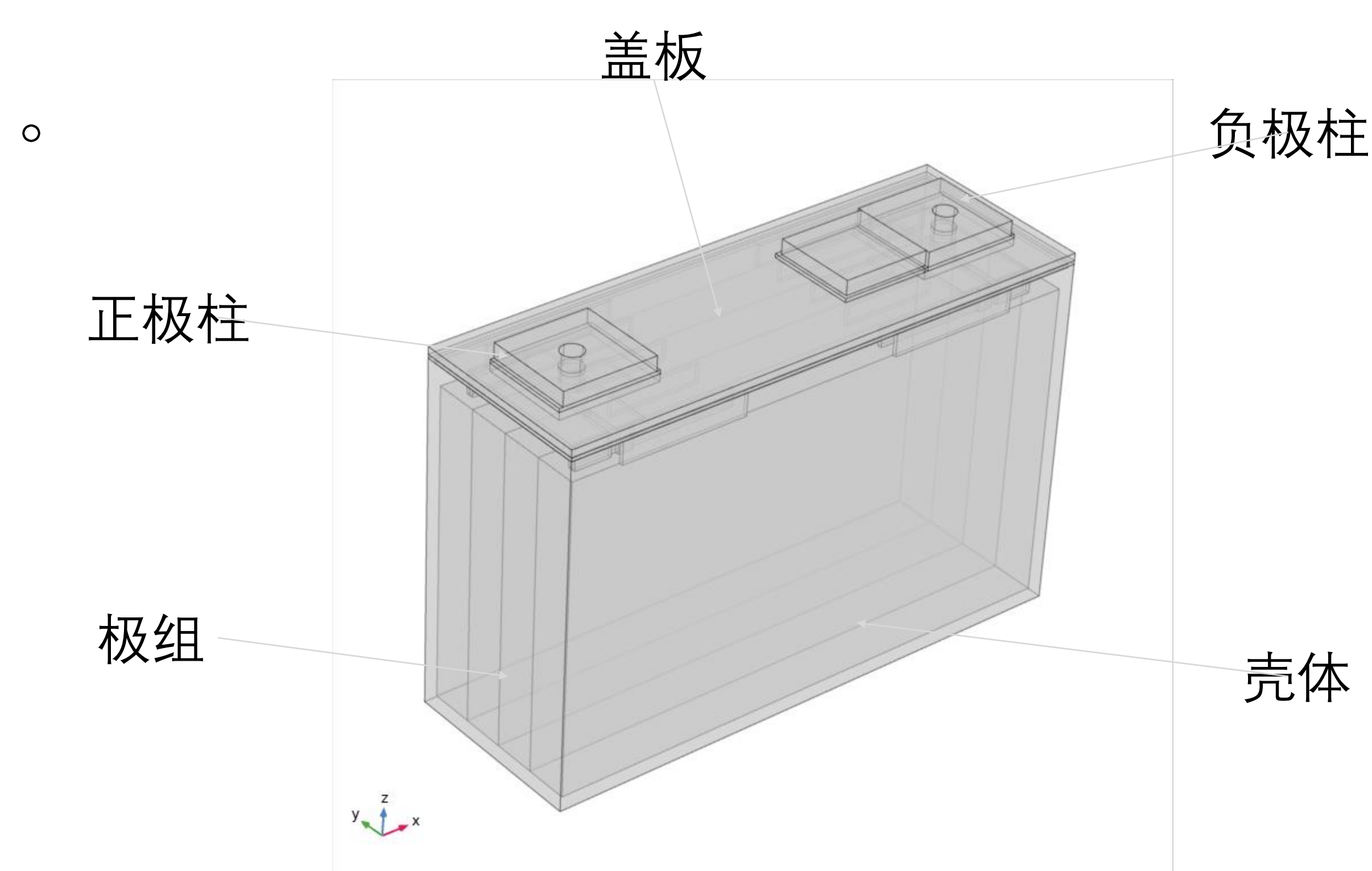


图 2.电芯几何模型

## 参考文献:

1. 崔灿, 锂离子动力电池安全性的研究[D].北京:清华大学, 2014