

[www.njtf.cn](http://www.njtf.cn)



# 天沕电动车热管理解决方案

南京天沕软件有限公司

汽车事业部

崔树鑫 博士

2018-09-07

# 目录

# CONTENT

- 一、电动车热管理的挑战
- 二、天沃电动车热管理解决方案
- 三、成功案例1-电池包散热优化案例
- 四、成功案例2-电机热管理优化案例



# 电动车热管理的挑战

## 研究背景

### 能源问题

中国对石油进口的依赖，  
“不紧是个经济问题，  
也是个政治问题”

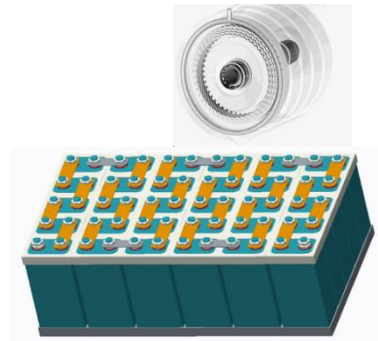


### 环保因素

2017年，全国机动车  
四项污染物排放总量初  
步核算为4359.7万吨

### 节能减排的国家战略

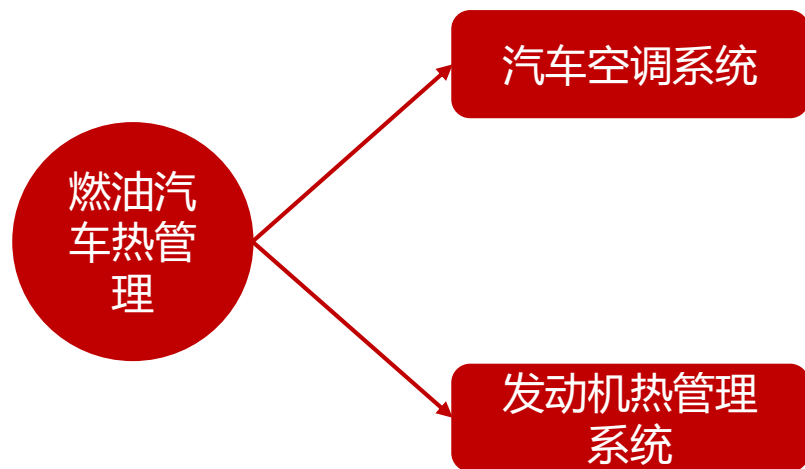
“节能与新能源汽车产  
业发展规划”；越来越  
严格的排放标准



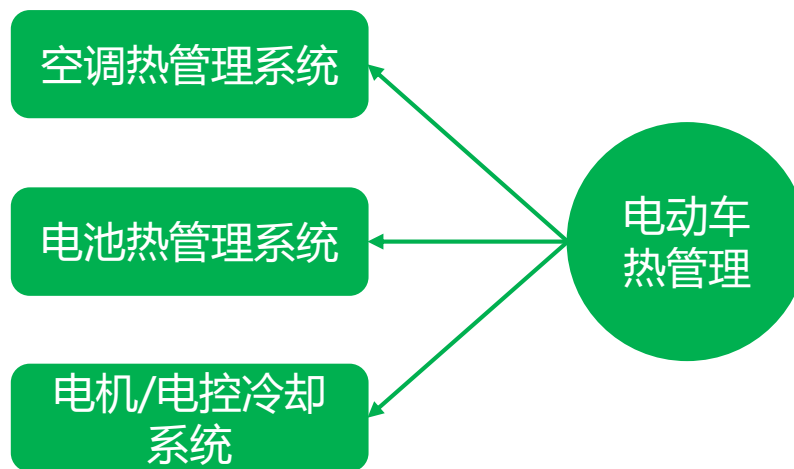
### 热管理

热管理在电动车核心零部  
件设计中的作用日益突出，  
直接关系到电动车的性能和  
产品竞争力

# 电动车vs燃油汽车：热管理系统组成对比



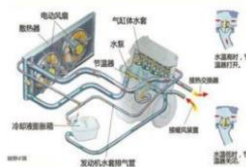
- ⑥ 汽车空调系统，调节乘员的驾驶环境
- ⑥ 发动机热管理系统，调节发动机的工作温度



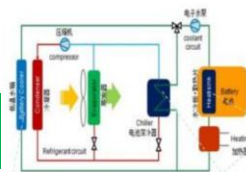
- ⑥ 空调热管理系统，主要调节车内乘坐环境
- ⑥ 电池热管理系统，调节电池工作温度
- ⑥ 电机/电控冷却系统，调节电动机及控制器的工作温度

# 汽车电动化带来热管理的几个主要变化

## 燃油汽车



## 电动车



### 热管理目标

发动机热管理，对于发动机一般仅有冷却需求，其常用的液冷驱动方式为传统压缩机

控制的核心对象为电池、电机和电控，以电池热管理最为关键，同时兼具冷却和制热功能，液冷驱动方式采用电动压缩机，制热方面，多采用PTC进行加热

### 空调系统

①制冷驱动力：空调系统以发动机带动普通压缩机进行制冷  
②制热热源：汽车空调利用发动机余热制热

①制冷驱动力：电动车空调系统需要通过电动系统驱动电动压缩机制冷  
②制热热源：空调一般通过电热器来实现座舱供暖，如PTC加热器或热泵

### 热管理集成度

燃油车的发动机冷却系统和空调冷却系统相对独立，其发动机采用的是普通的水冷系统，空调采用压缩机冷却系统

热管理集成度要求更高，电池冷却系统一般兼顾空调系统的冷却，且电池的冷却液与空调的制冷剂进行热交换。对乘用车，电池和空调热管理系统共用电动压缩机和PTC加热器

# 电动车热管理的挑战

1

**热管理系统更复杂和高端，部件数量增加。**冷却系统核心部件包括电动压缩机、电池冷却板、冷却器、电子膨胀阀、PTC加热器、散热器、电子风扇、电子水泵等

2

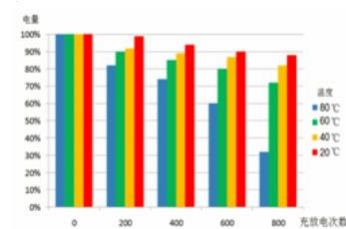
**电池热管理对电动车动力系统及整车的的影响程度提高。**动力电池的最佳工作温度区间一般在20-35°C的狭小窗口下，否则影响电池性能、寿命、安全等

3

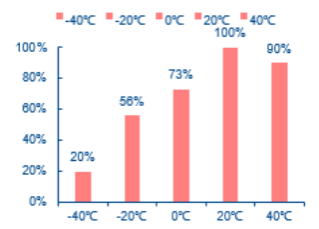
液冷技术是电池热管理的优选方案，可与车辆的冷却系统整合在一起，冷却、加热速度快，但是**液冷系统更复杂、重量大、维修和保养难度高**

4

**电动车空调制热耗电高，续航里程有影响。**电动车空调制冷和制热都需要电池包提供能量，空调系统持续耗电会减少汽车的续航里程，极大地影响了整车的性能。



温度对锂电池放电次数影响



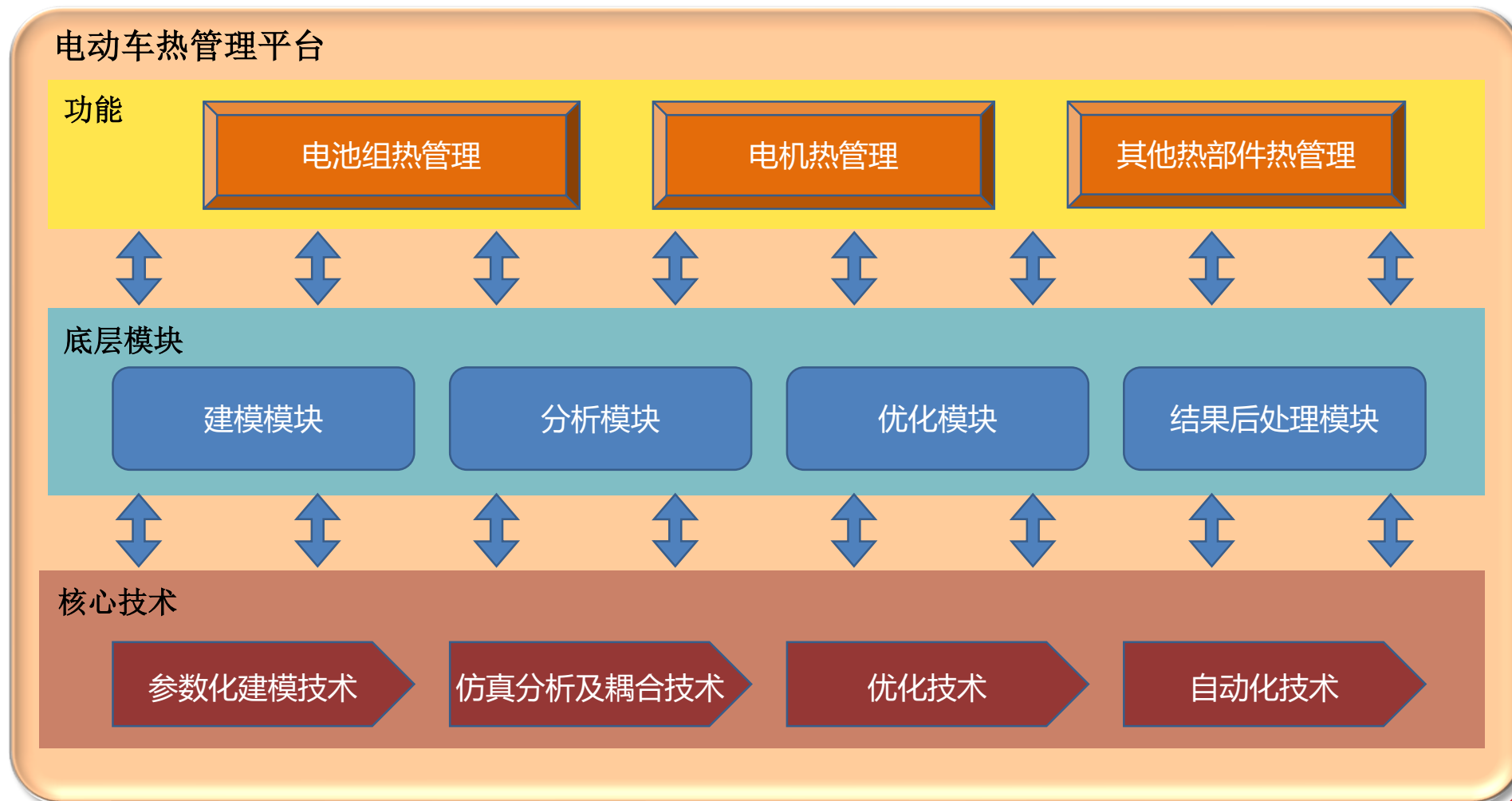
温度对锂电池电量影响



# 天沭电动车热管理解决方案



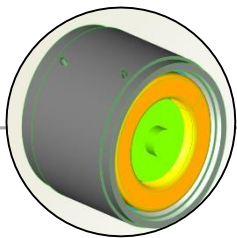
# 电动车热管理平台



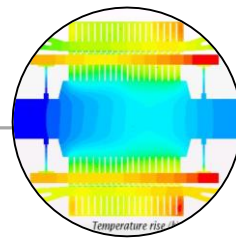
# 功能

- 电机建模、温度分析及优化
- 电池组建模、温度分析及优化
- 其他热部件的建模、温度分析及优化

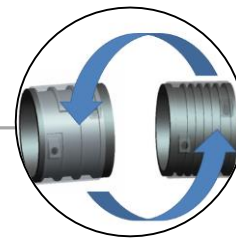
## 电机热管理 功能



快速建模



自动分析



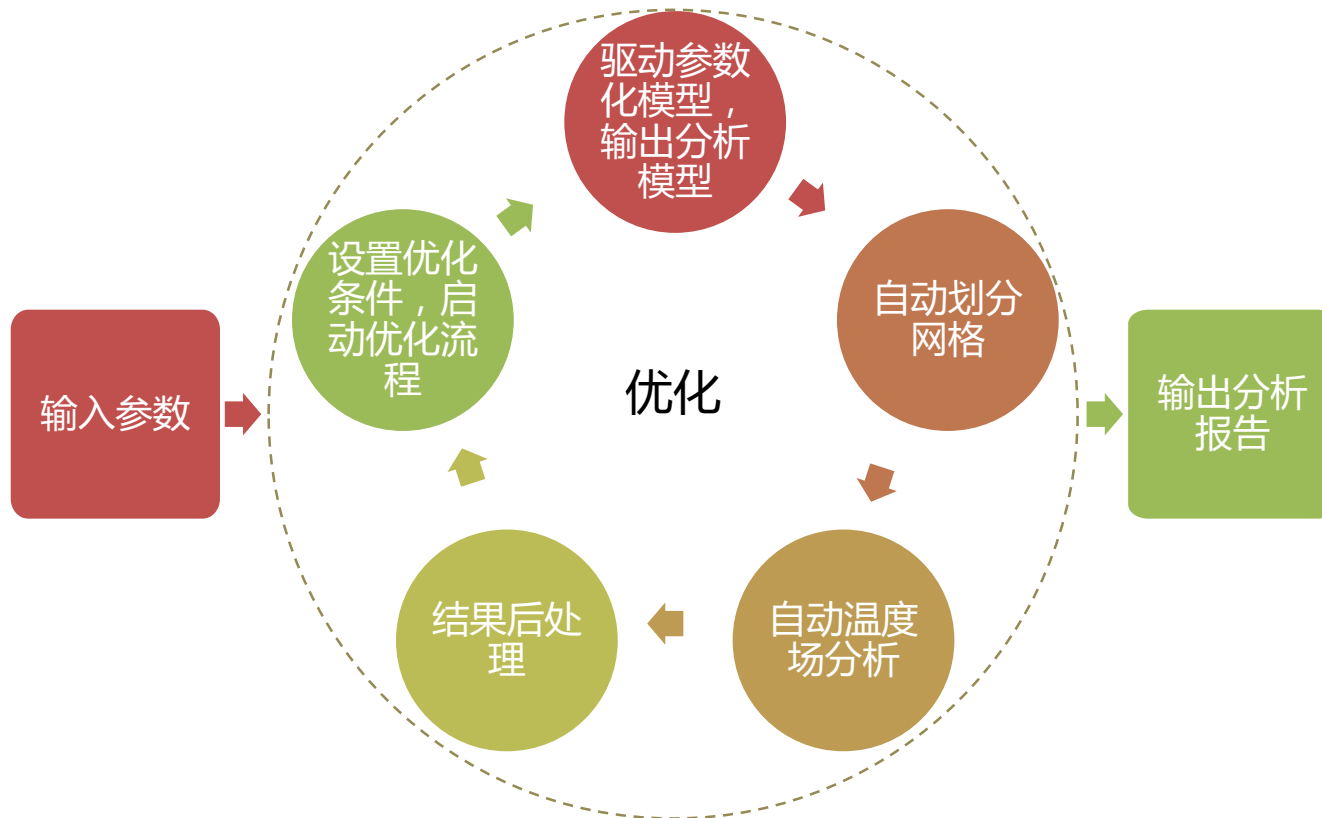
自动优化

# 应用场景

## 热管理仿真



## 热管理优化



# 特点

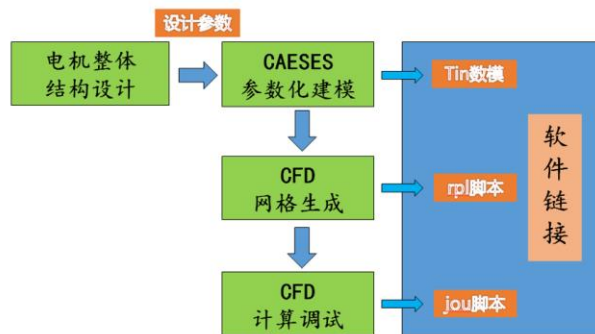


## ■ 模块化

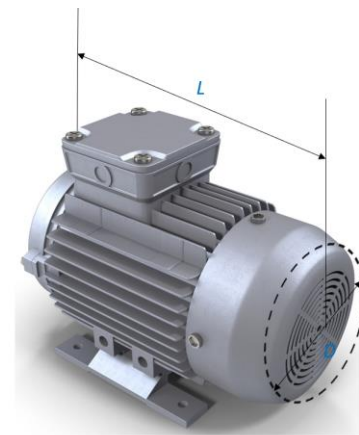
- 将电动车电池组、电机等关键热部件按照模块划分，对每个模块单独建立参数化模型，并可对模块自由组合，可用于快速构建分析模型

## ■ 自动仿真

- 根据分析模型，自动进行网格划分，温度场分析，以及结果后处理，并且输出分析报告



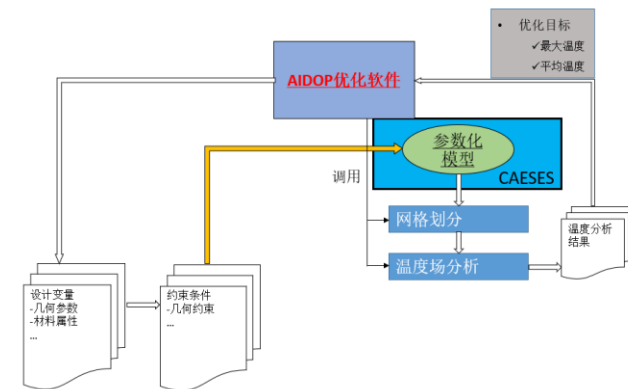
## ■ 参数化



- 参数驱动几何模型，定义尺寸，定义相对位置（间隙等），考虑约束限制
- 定义材料属性
- 输入工作条件（电源参数、环境条件）

## ■ 自动优化

- 通过给定优化参数、优化目标及约束条件，对关键热部件进行优化，输出最优模型

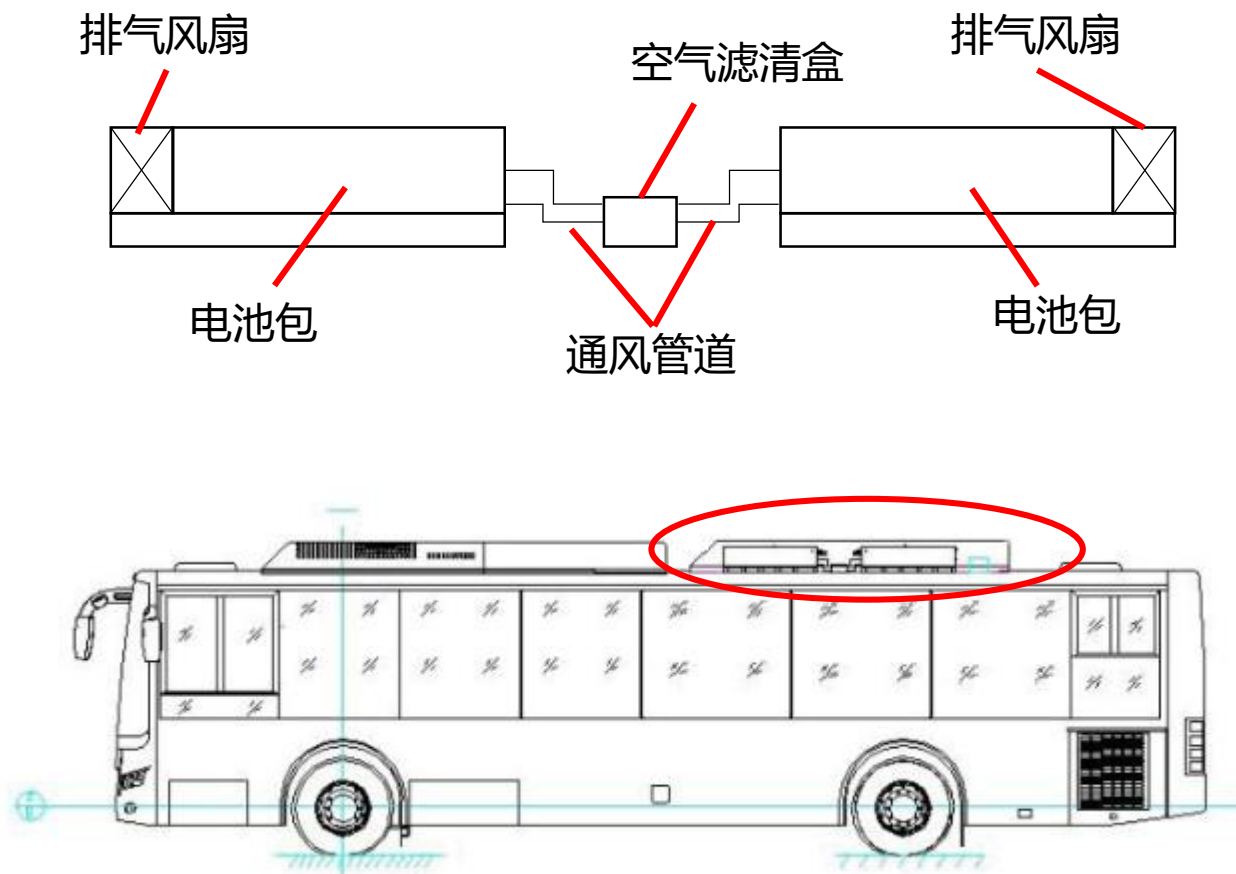




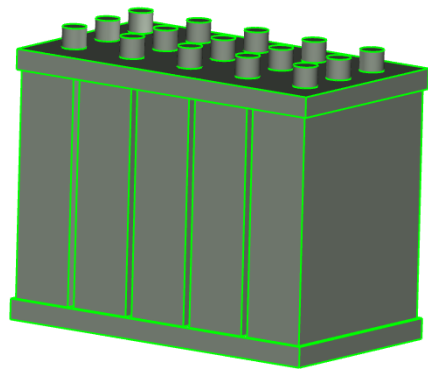
# 成功案例1-电池包散热优化案例

## 研究背景

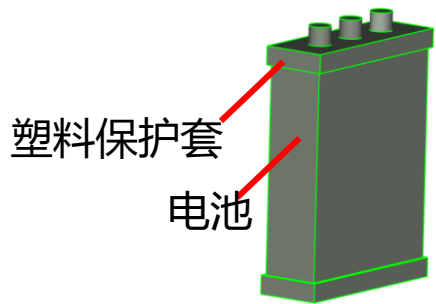
- 随着环境污染和能源紧缺问题日益严重，混合动力汽车（HEV）日益受到重视，其动力电池的工作性能和使用寿命与工作温度密切相关
- LiFePO<sub>4</sub>电池温度指标：
  - ✓ 低于20℃：工作电压显著下降
  - ✓ 高于45℃：电池寿命受到较大影响
  - ✓ 一般工作温度保持在20℃~40℃



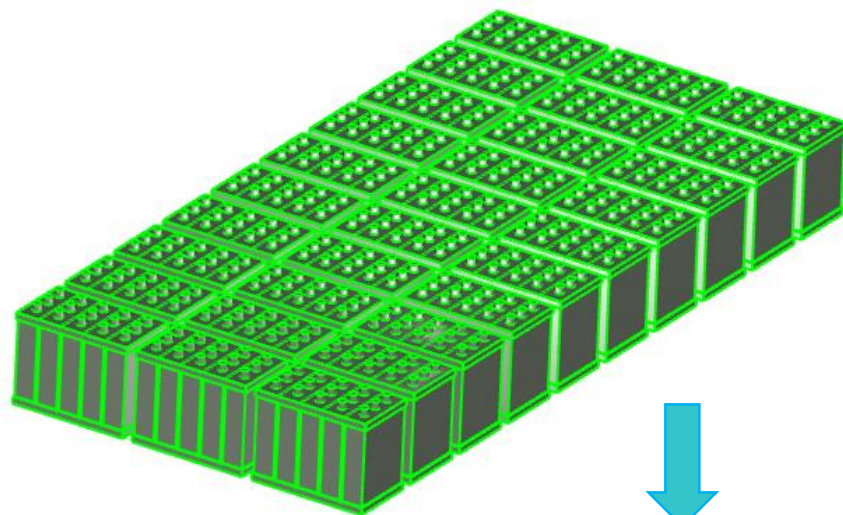
# 电池包模型



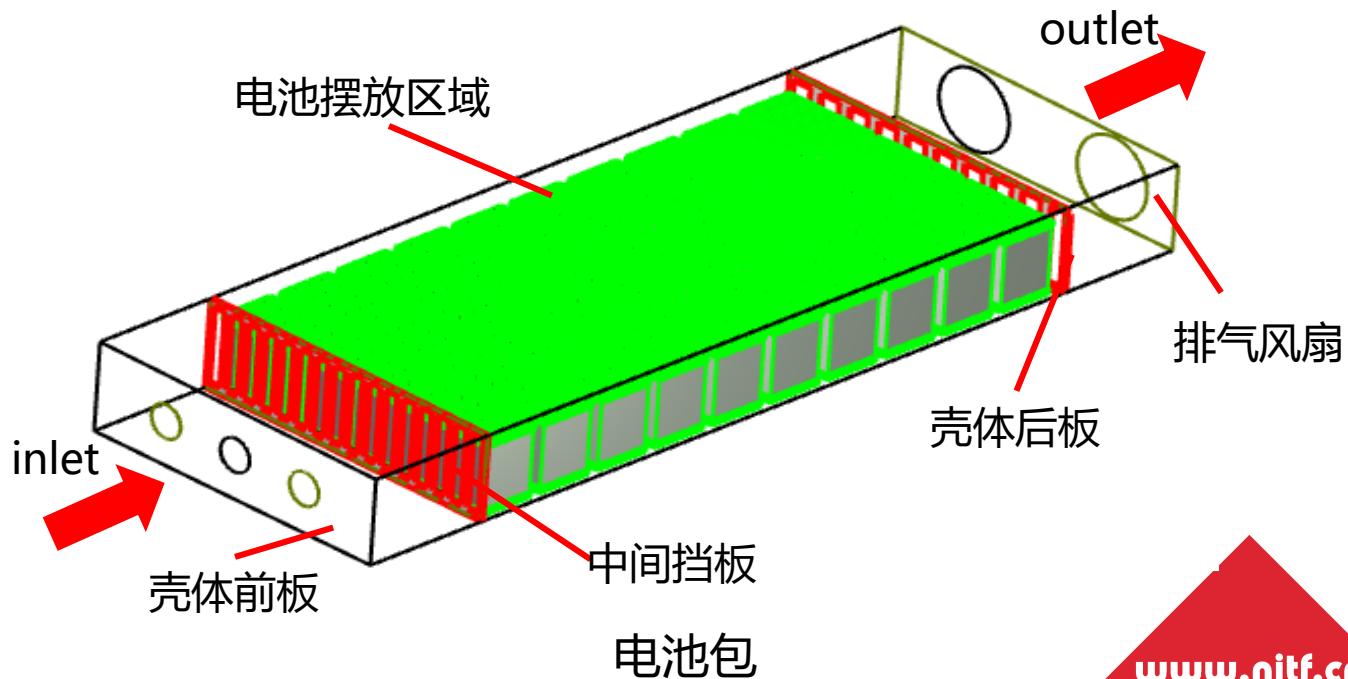
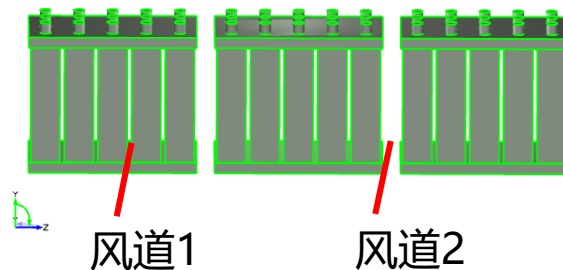
电池模组



单体电池

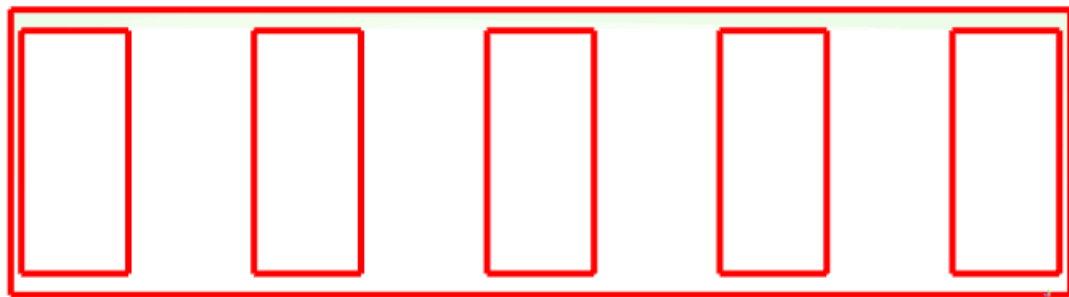


电池组

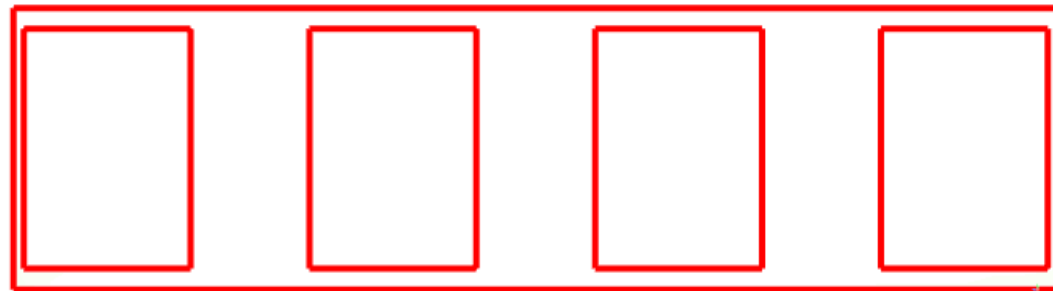


电池包

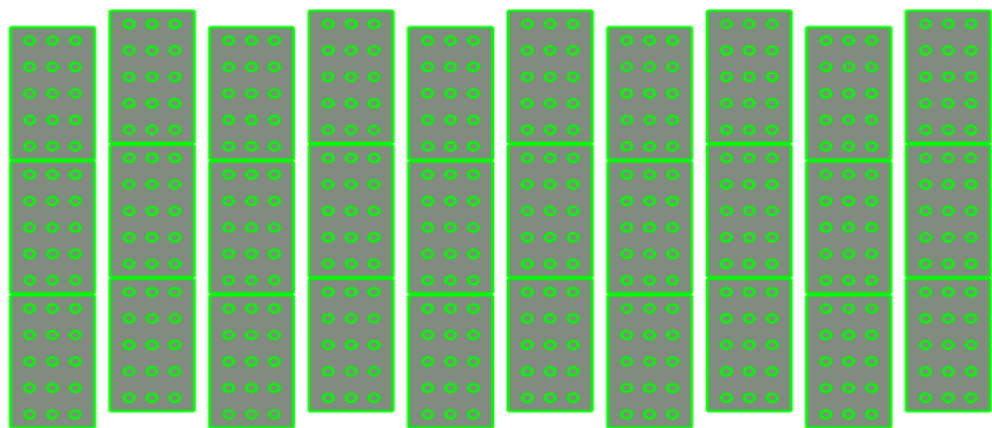
# 参数化模型



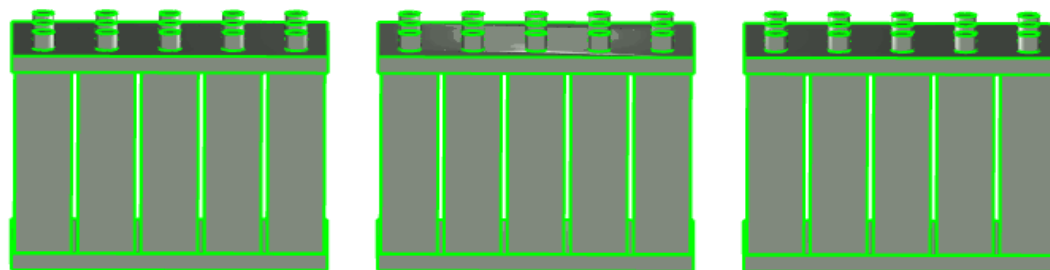
中间挡板孔面积



中间挡板孔数



模块排布

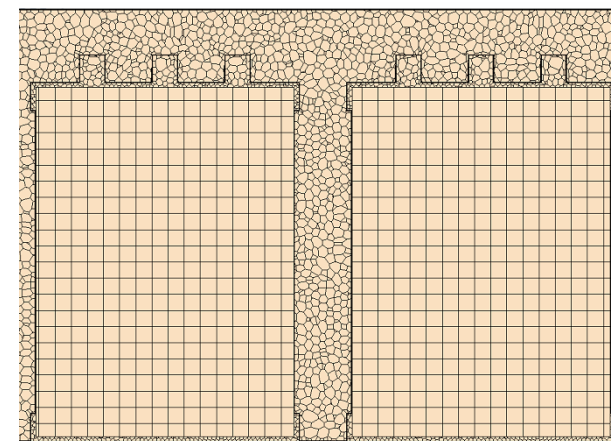
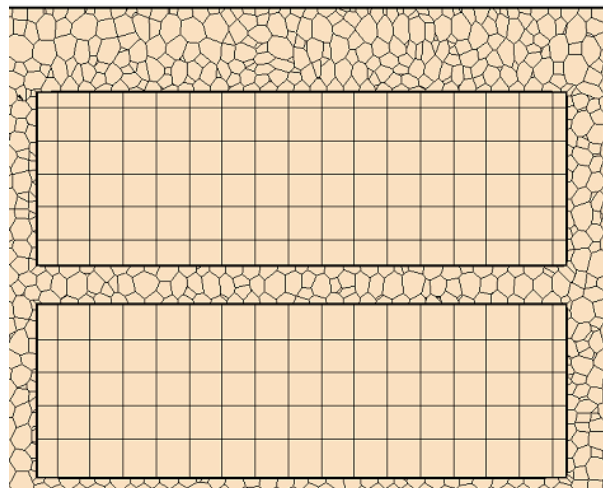


风道





# 计算条件



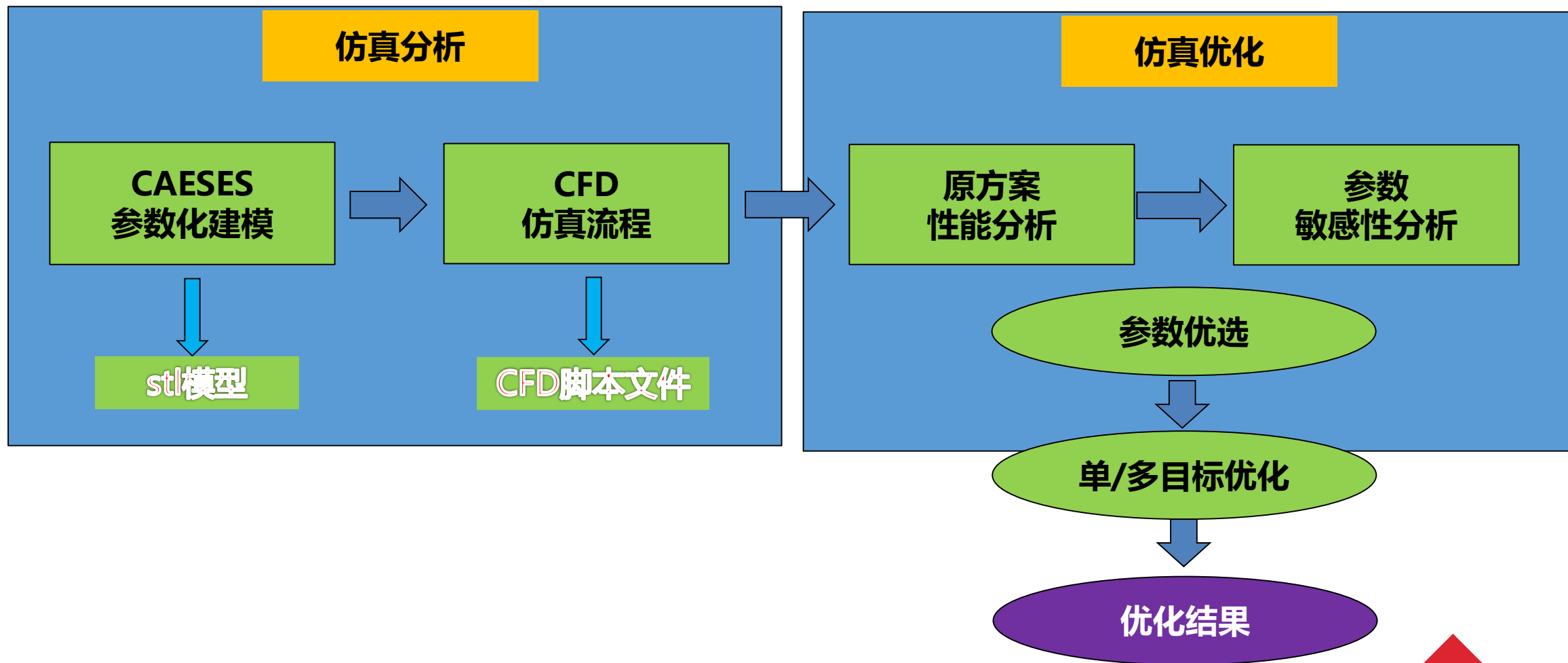
## 计算模型：

- 三维
- 稳态
- 空气
- 分离流
- 分离流体温度
- K-Epsilon湍流模型

## 计算条件：

	参数名称	值	
边界条件 & 物性参数	进口压力[Pa]	0	
	出口压力[Pa]	-13.966	
	电池体积热源[W/m <sup>3</sup> ]	6067	
	电池导热系数[W/m-K]	$K_x=1.84$	
		$K_y=1.03$	
		$K_z=5.27$	
	塑料保护套导热系数[W/m-K]	5	
电池包外表面换热系数[W/m <sup>2</sup> -k]	25		

# 后台优化流程



# 后台优化流程

- 采用CAESES将网格生成器、求解器以及后处理分析工具直接耦合在一起，根据分析结果直接反馈并调整几何模型

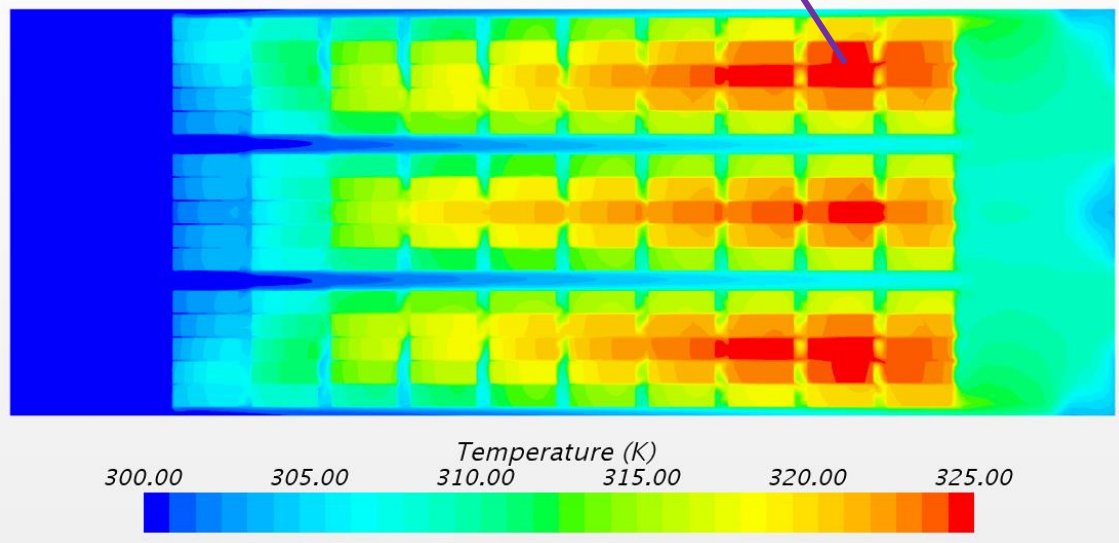


# 计算结果——中间挡板开孔对电池散热的影响

- 第一轮DOE分析：以中间挡板的开孔数和开孔总面积为设计变量，对电池包散热效果进行优化

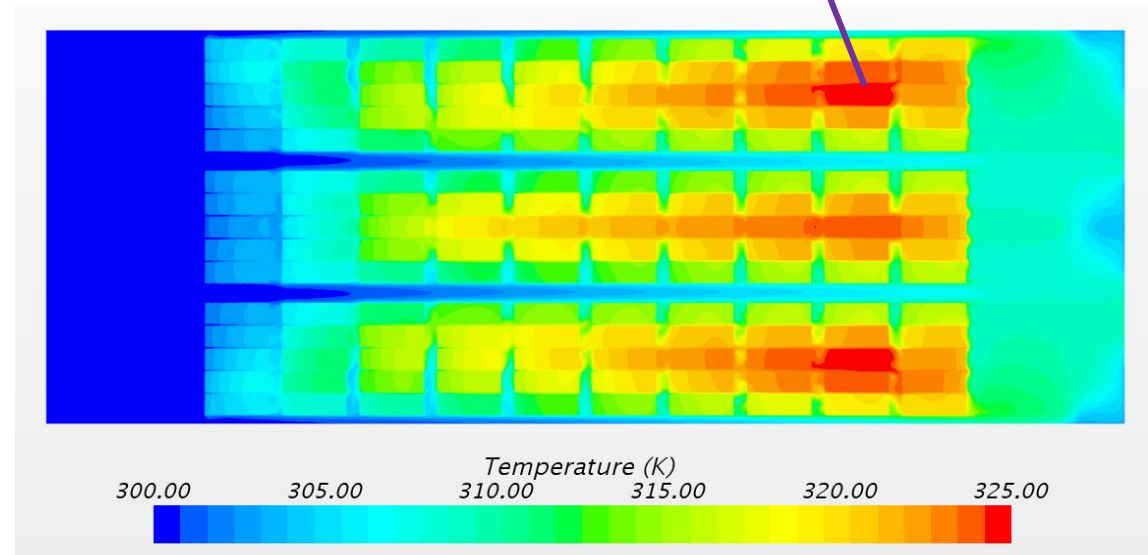
中间挡板开孔	平均温度	最高温度
原模型	42.8	52.2
优化模型	42.4	51.6

最高温度52.2°C



原模型（孔数3，总面积115mm\*320mm）

最高温度51.6°C



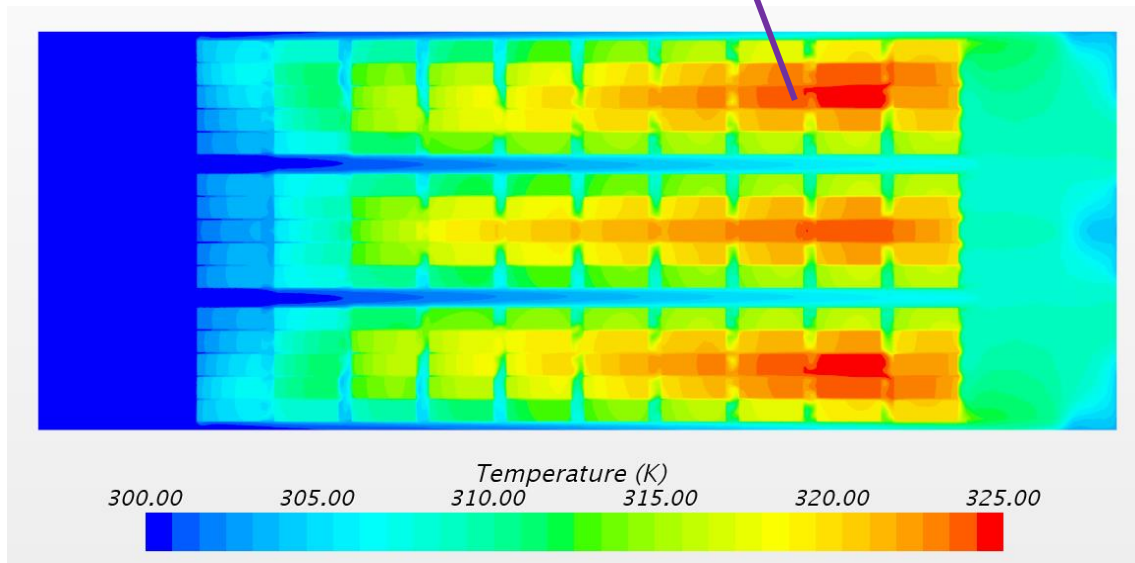
优化模型（孔数16，总面积115mm\*320mm）

## 计算结果——风道尺寸对电池散热的影响

- 第二轮DOE分析：使用第一轮优化结果作为原模型，以风道尺寸为设计变量，对电池包散热效果进行优化

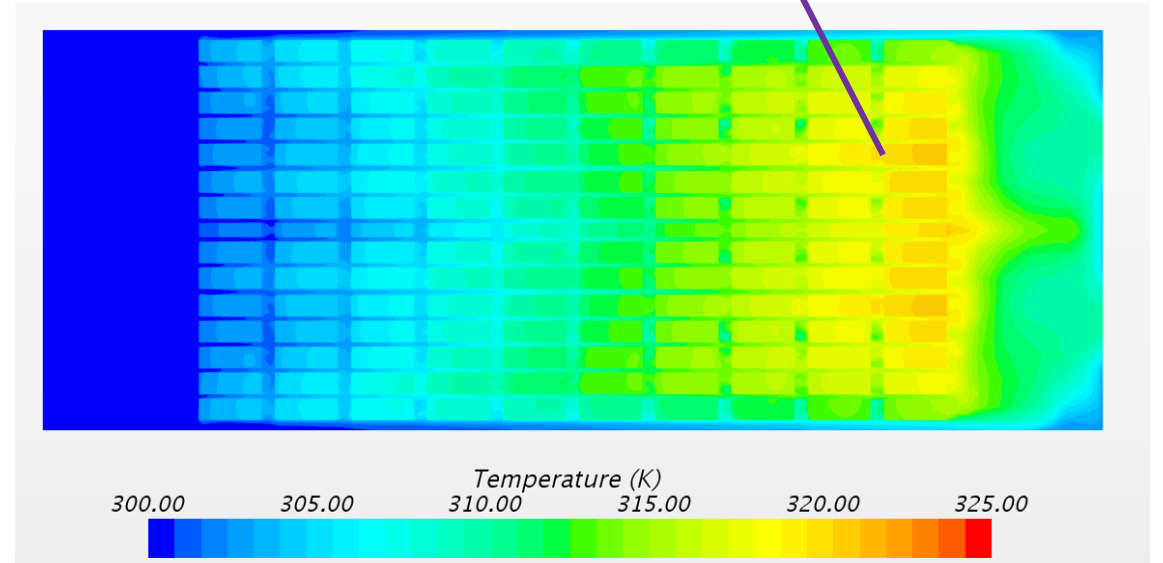
风道尺寸	平均温度	最高温度
原模型	42.4	51.6
优化模型	38.0	47.4

最高温度51.6°C



原模型 ( 风道1 : 3mm , 风道2 : 10mm )

最高温度47.4°C



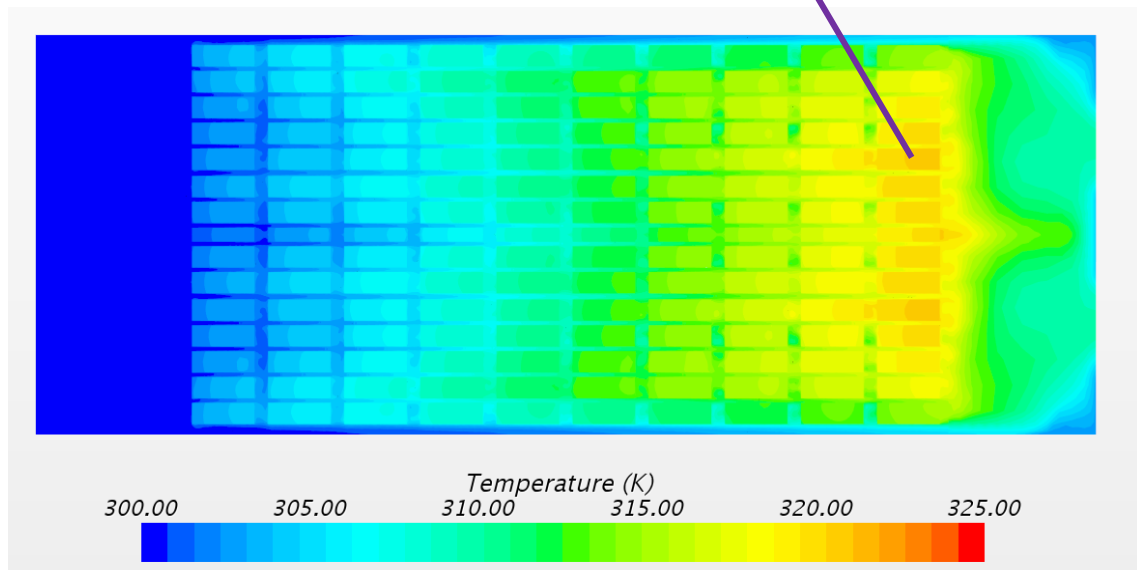
优化模型 ( 风道1 : 6mm , 风道2 : 2mm )

## 计算结果——模块排布方式对电池散热的影响

- 第三轮DOE分析：在前两轮DOE分析的基础上，对电池模块的排布方式进行优化，结果表明该工况下电池模块顺排的散热效果更好

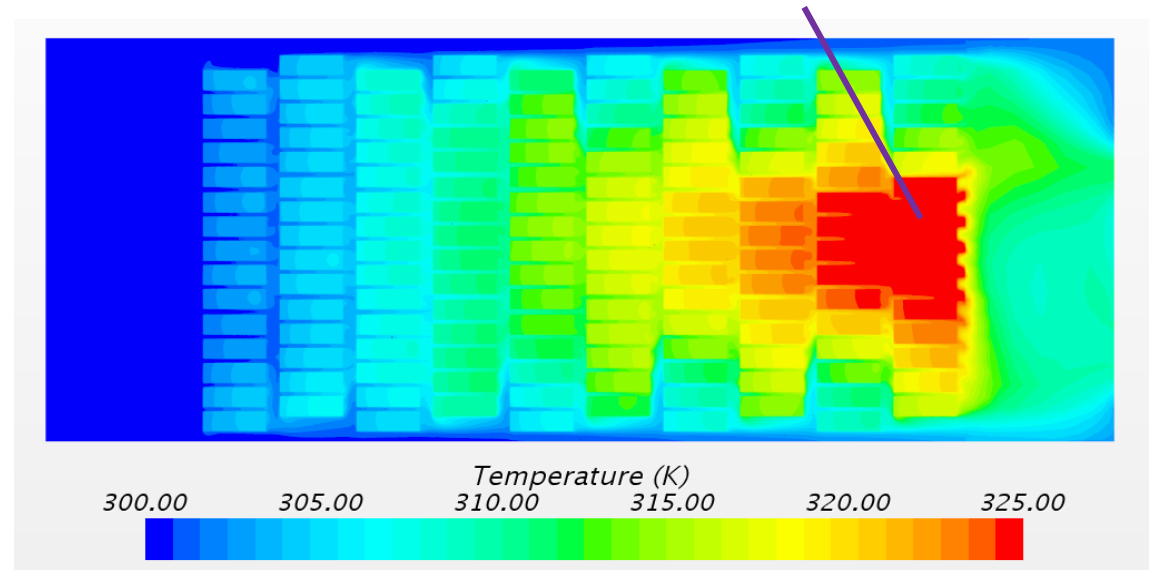
排布方式	平均温度	最高温度
顺排	38.0	47.4
叉排	39.4	54.3

最高温度47.4°C



顺排

最高温度54.3°C



叉排

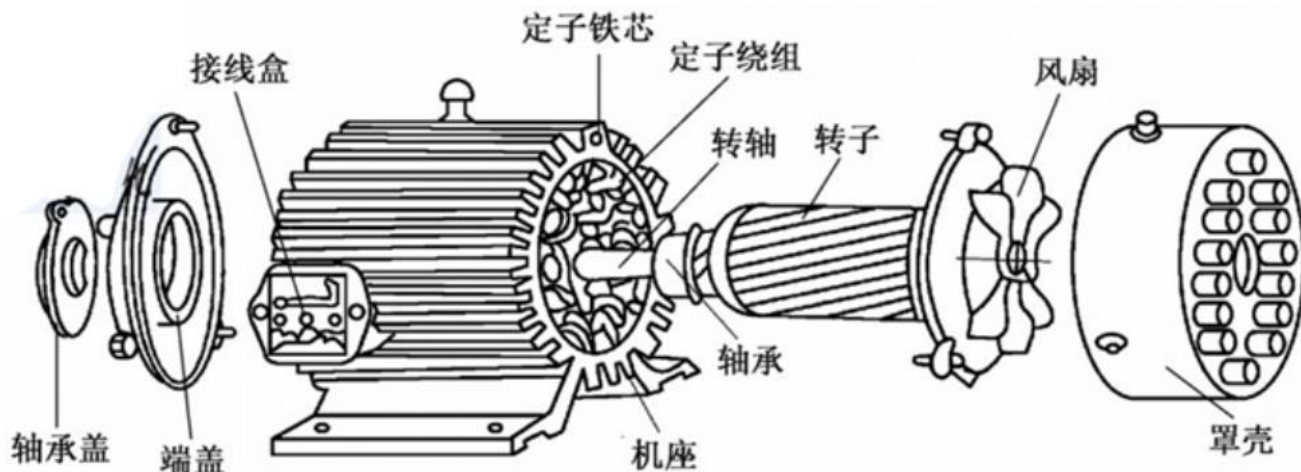


## 成功案例2-电机热管理优化案例

## 研究对象介绍

随着电动车研制水平的不断提高，对电机的制造设计水平提出了更高的要求，电池容量、结构紧凑、稳升、稳定性等等，其中温度是保证电机能够正常工作的重中之重

电机容量越大，功率越高，但是发热量也越高，目前只有提高冷却技术水平才能保证电机能够长期稳定工作

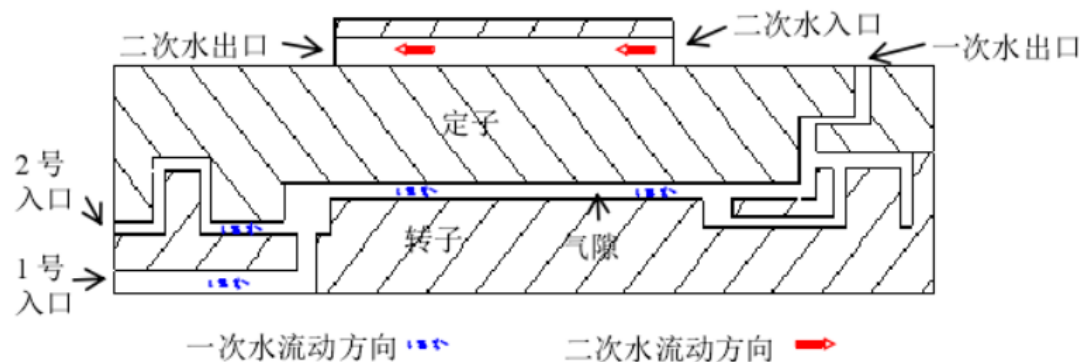




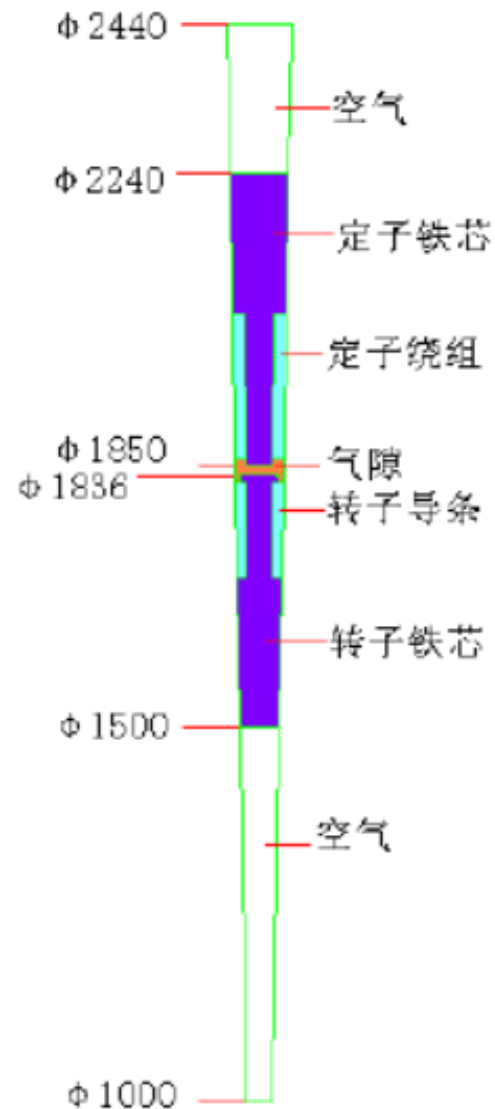
# 冷却方式介绍

• 目前电机冷却方式分为：

- 空气冷却
- 氢冷却
- 液冷
- 液（水）-氢冷却
- 蒸发冷却



水冷内部图

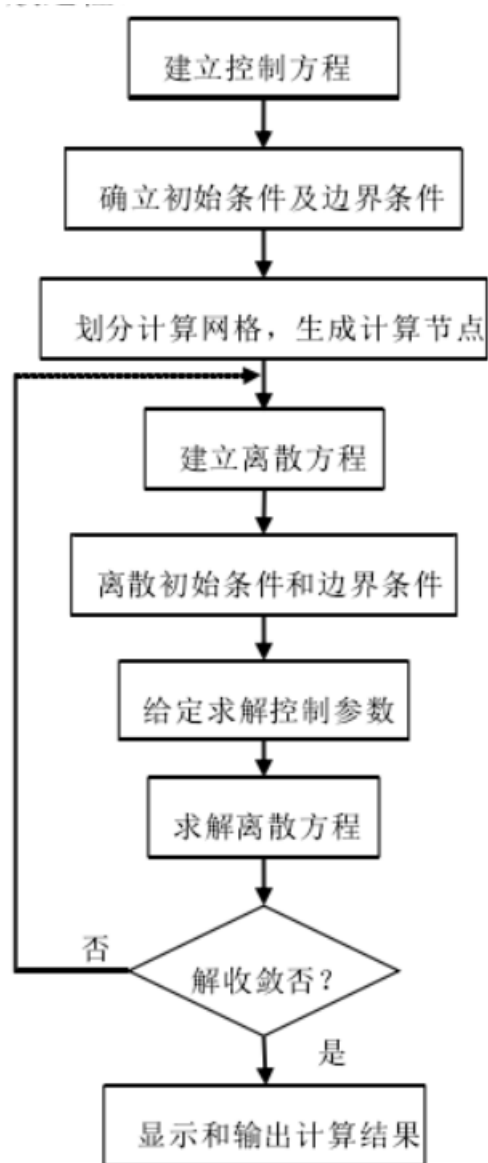


空冷铁芯处模型图

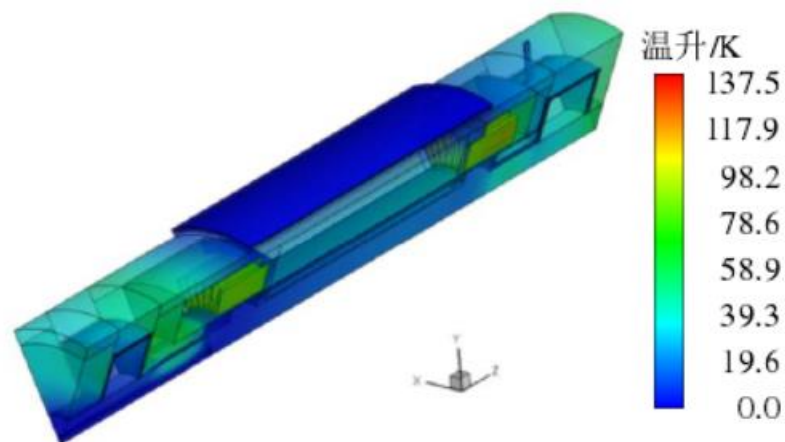
# 仿真技术水平

## 仿真研究方法：

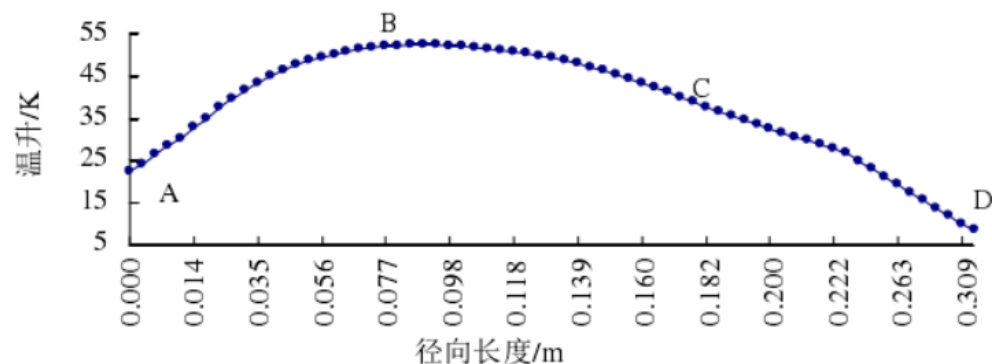
- 电磁场和温度场耦合计算
- 有限元和集合电路结合的方法
- 电磁场、热场和应力场耦合计算
- 热网络法和有限元法结合的方法



仿真流程



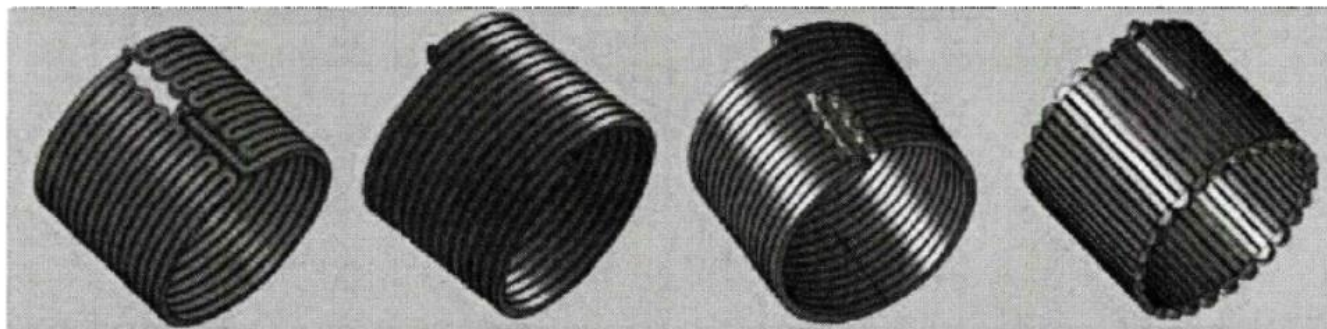
温度场



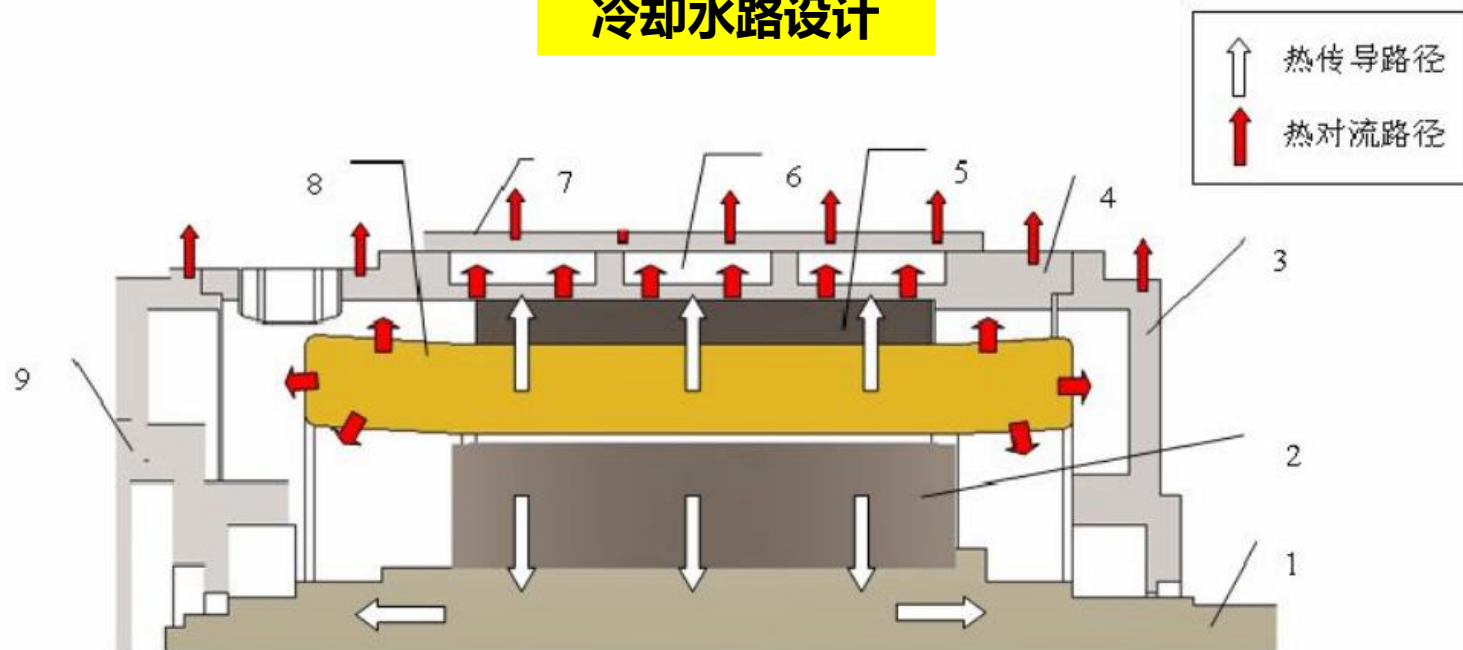
定子铁心轴向温升

## 设计改进措施

- 汽车电动机一般采用永磁电机，因其功率密度较大，往往会采用液冷的方式进行冷却
- 目前国内外专家主要针对冷却结构、流体介质、转子材料和机壳材料方面进行设计优化



### 冷却水路设计



1.轴 2.转子铁芯 3.前端盖 4.主壳体 5.定子铁芯 6.冷却水 7.水道外壳 8.绕组 9.后端盖

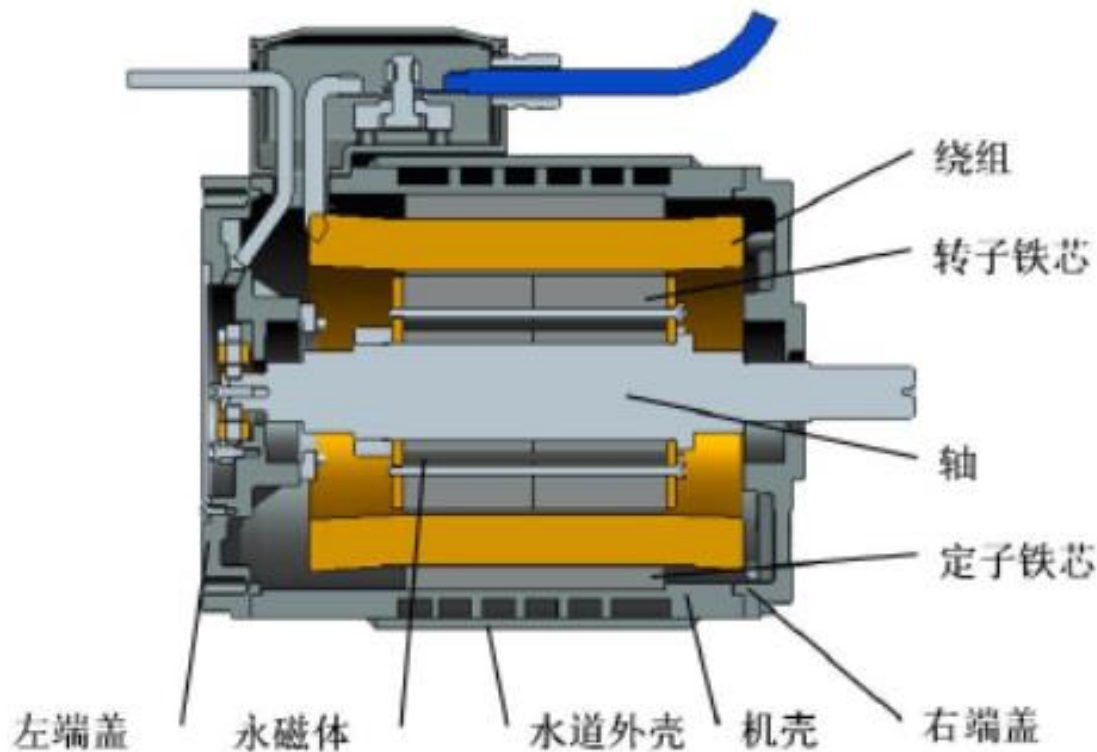
### 电机散热示意图

# 电机水冷案例

➤ **优化方式：**内置式永磁同步电机，冷却液集成在机壳内

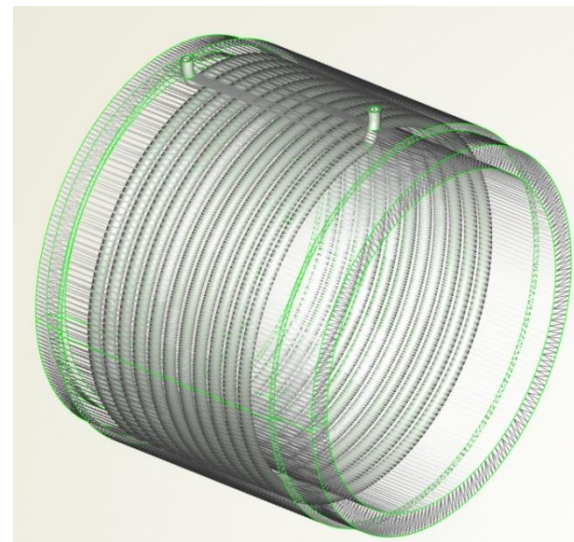
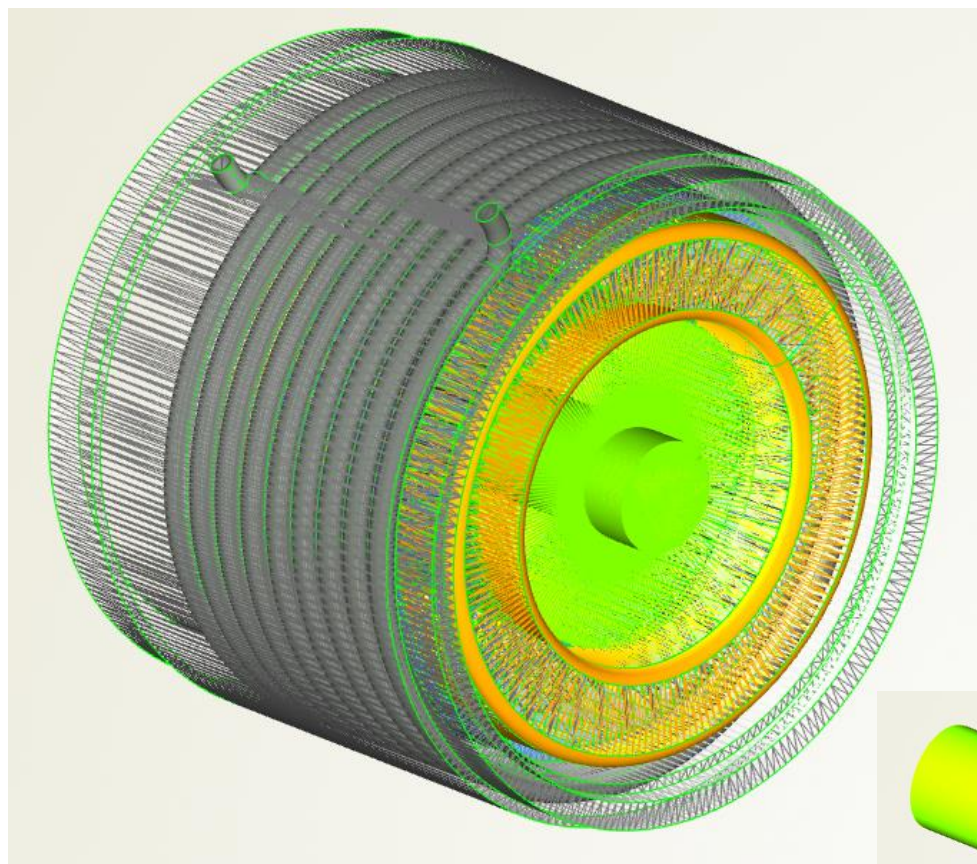
额定功率 (KW)	25	定子内径 (mm)	120
峰值功率 (KW)	50	转子外径 (mm)	118
额定转速 (rpm)	3000	定子槽数	48
转子铁芯长度(mm)	130	极数	8
定子外径 (mm)	205	工作温度范围 (°C)	-40~125

名称	材料	密度	比热	导热系数
导线	铜	8978kg/m <sup>3</sup>	381j.kg/°C	387.6w/m.k
漆膜	聚氨酯(聚酯亚胺)	0.03-0.07g/cm <sup>3</sup>	---	0.2w/m.k
绝缘漆	1032 三聚氰胺醇酸 树脂漆	---	---	0.18w/m.k

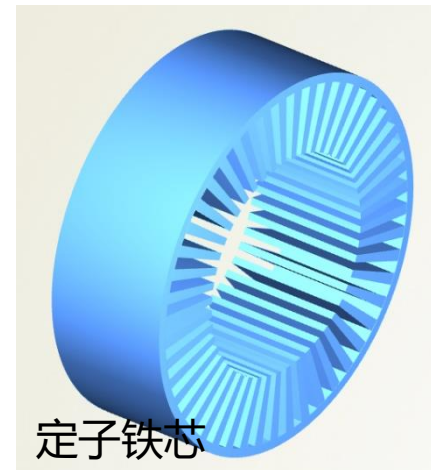


# 电机水冷案例

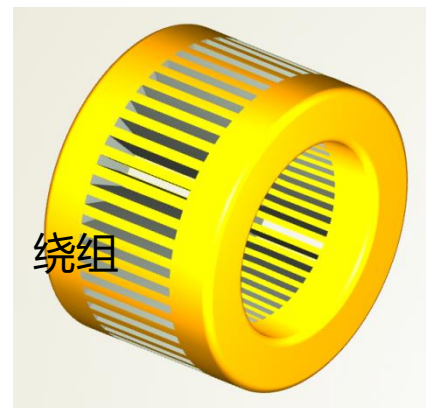
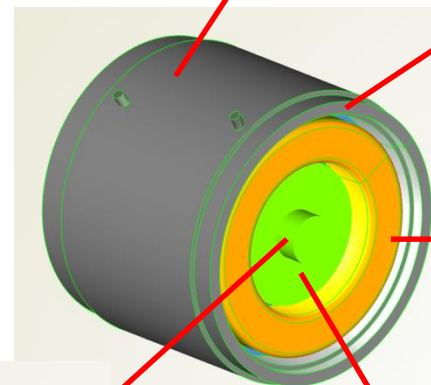
➤ **优化模型**：对整个电机仿真模型实现参数化建模



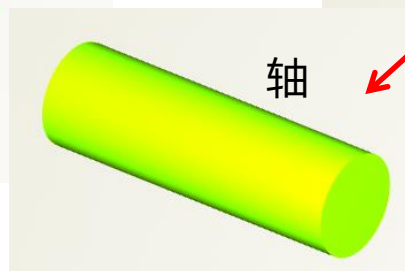
带水道外壳



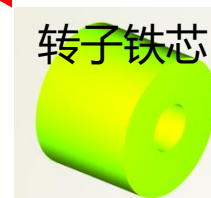
定子铁芯



绕组



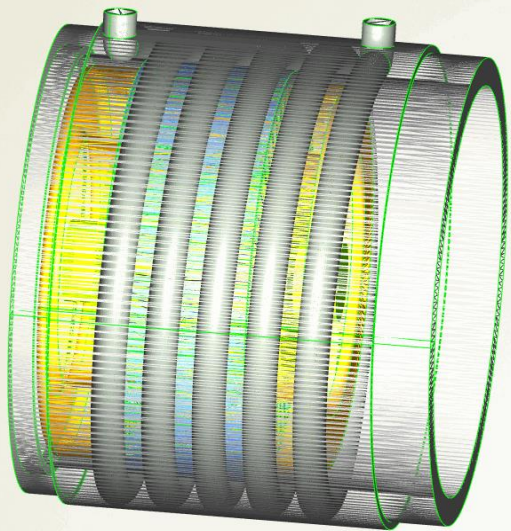
轴



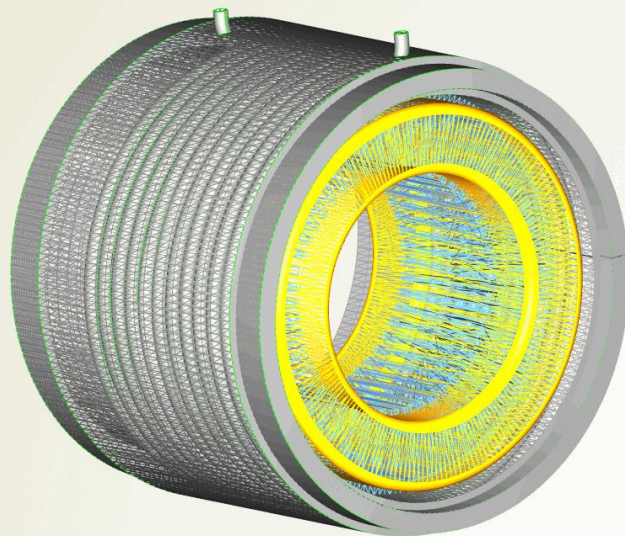
转子铁芯

# 电机水冷案例

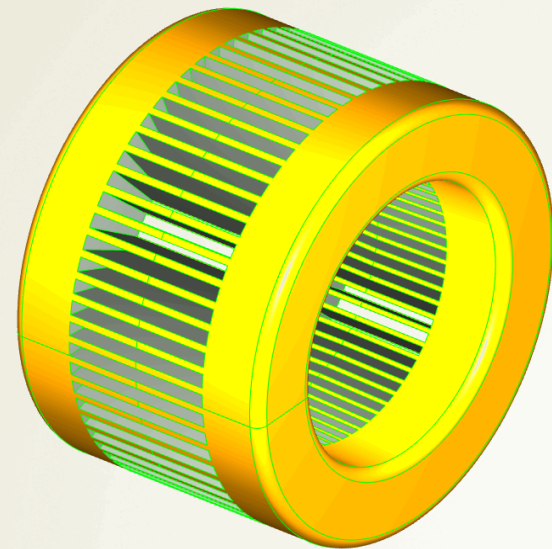
➤ **优化参数**：冷却水道、绕组、定子、转子尺寸等



冷却水道



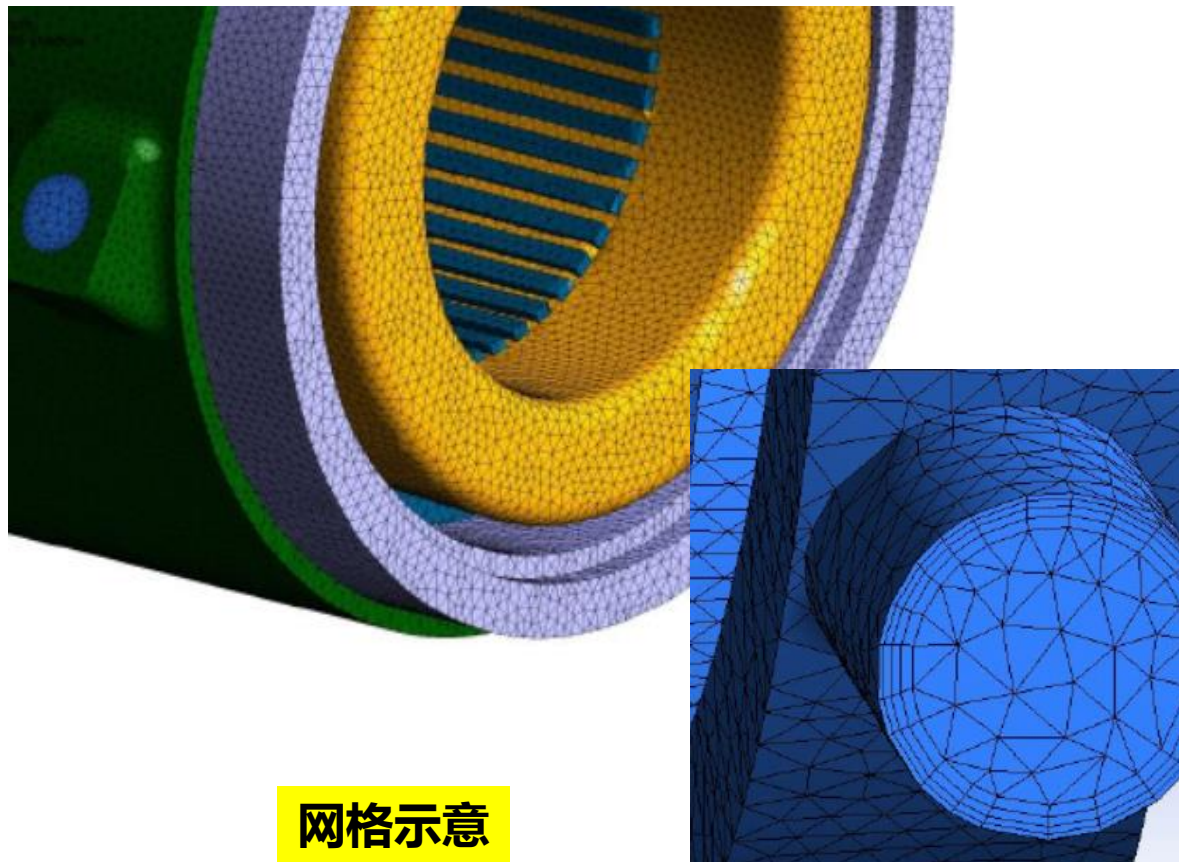
整体尺寸



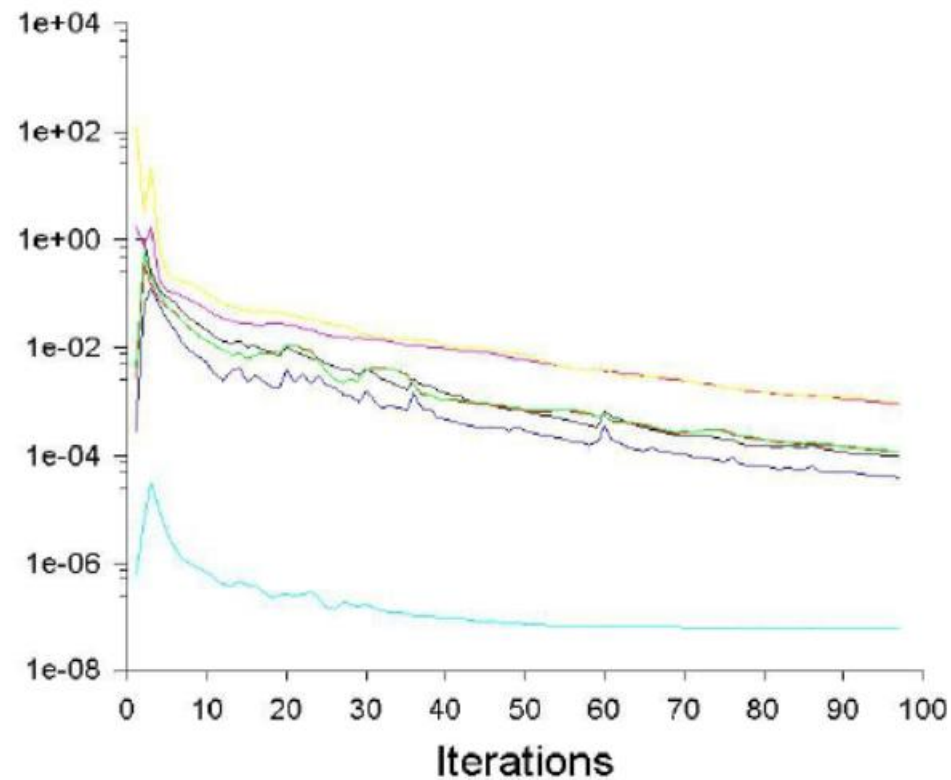
绕组和定子

# 电机水冷案例

➤ **仿真计算**：在生成模型的基础上自动划分网格，自动耦合CFD工具，并进行流体、传热计算



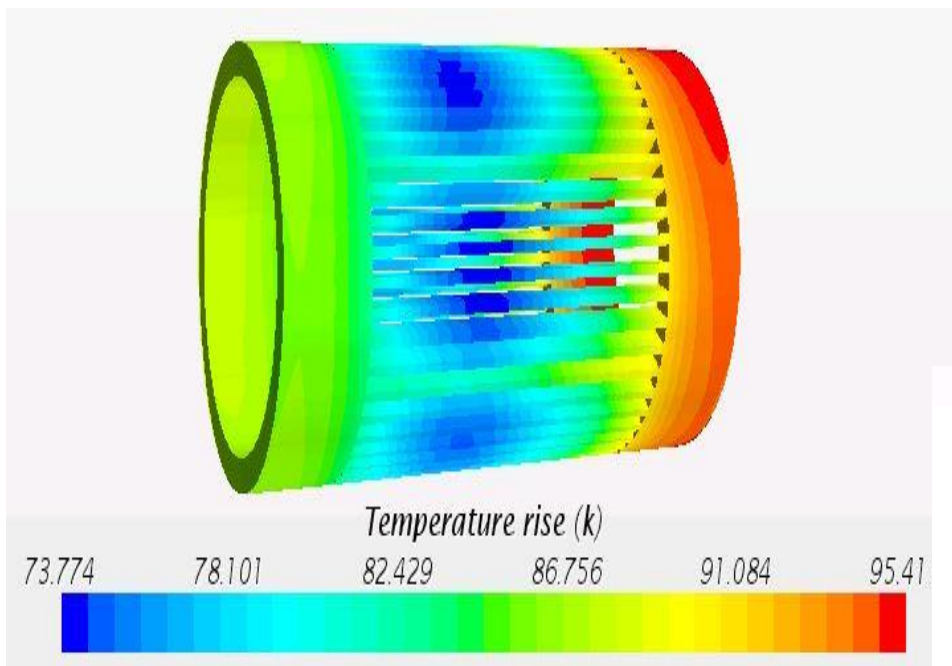
网格示意



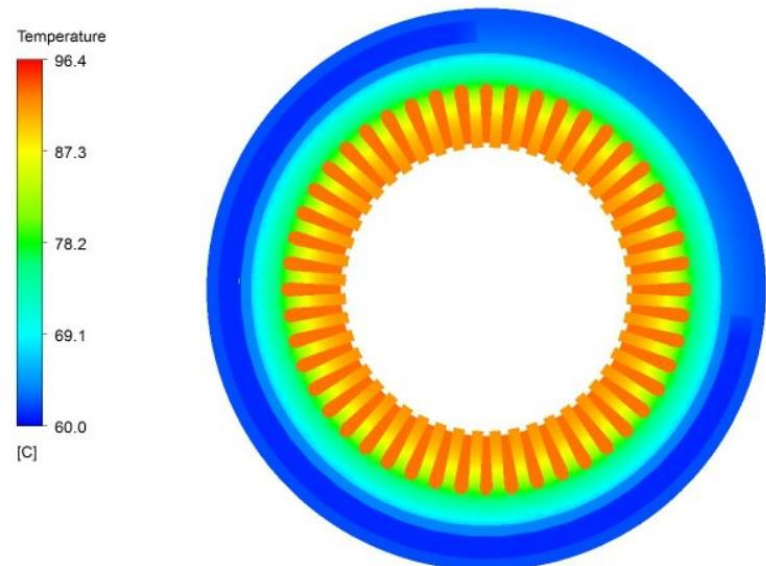
残差曲线

# 电机水冷案例

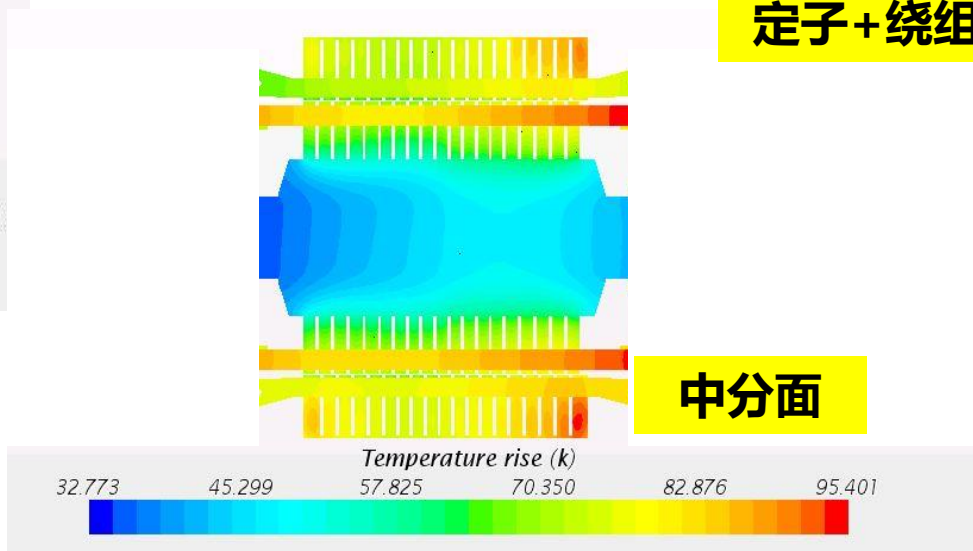
## 温度场效果



绕组



定子+绕组

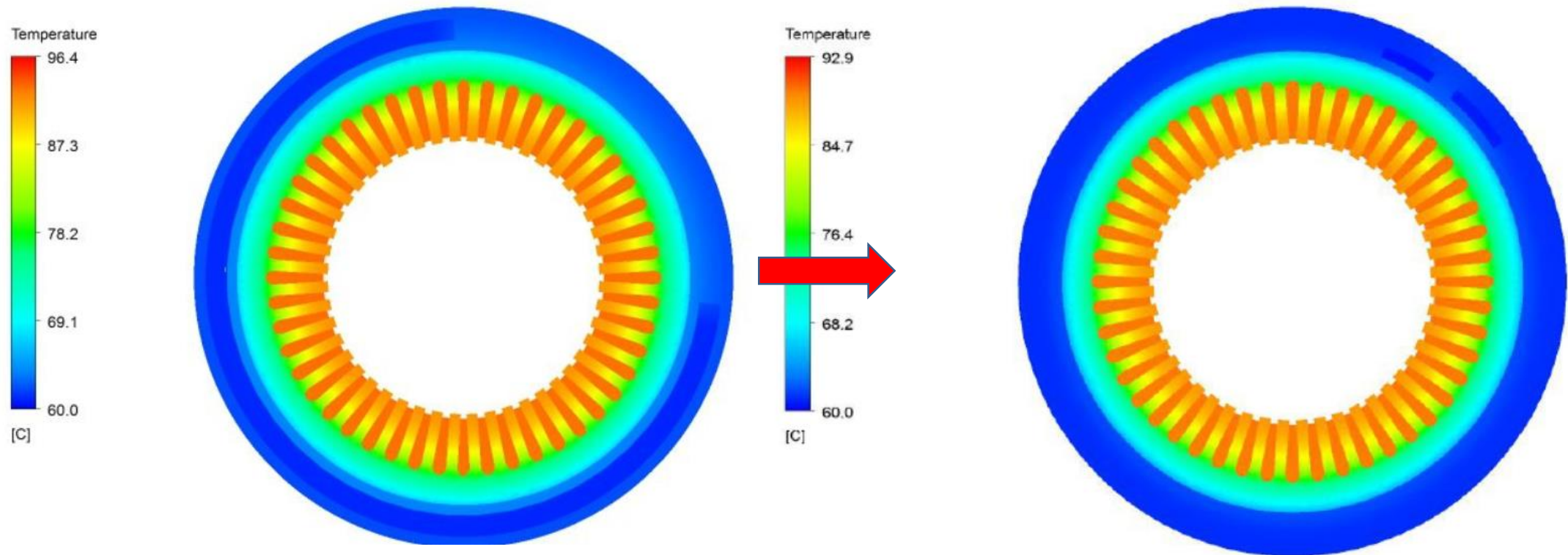
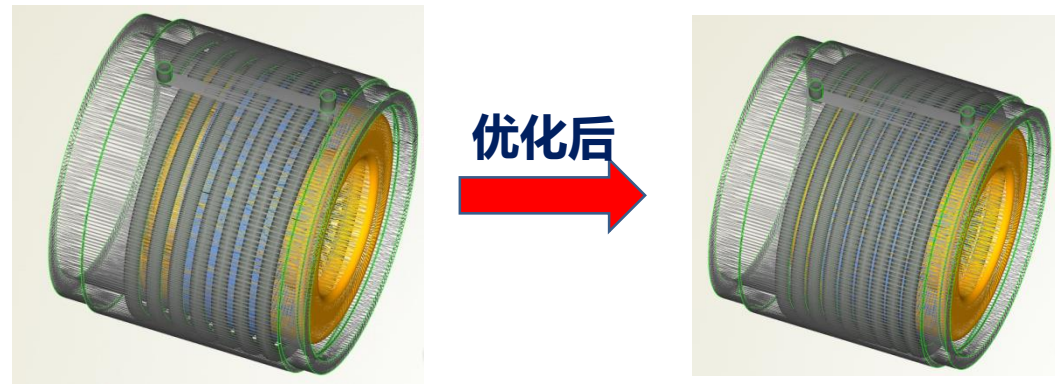


中分面



## 电机水冷案例

- **优化效果**：通过水道的尺寸优化，最高温度由96.4 °C下降至92.9°C，下降了3.5°C



# Thanks

# 谢谢



南京天沏软件有限公司

Nanjing Tianfu Software Co.,Ltd

Tel: 025-57928188 E-mail: [info@njtf.cn](mailto:info@njtf.cn) Web: [www.njtf.cn](http://www.njtf.cn)