



# 电动汽车轮毂电机 多学科仿真设计集成平台

史浩然/比亚迪股份有限公司

# 目录

- 1 背景、问题、需求
- 2 主要内容
- 3 技术方案
- 4 平台研究

# 1. 背景、问题、需求

# 研究背景

企业数字化转型  
势在必行



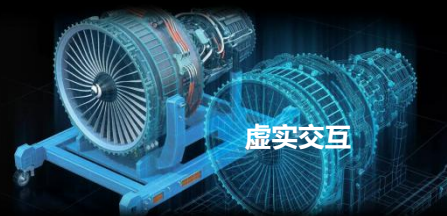
数字化  
产品

数字营销

智慧园区

智能制造

数字研发



知识自动化

数物融合

数字孪生

数据分析

数字模型

物理实体

造型设计

样机实验

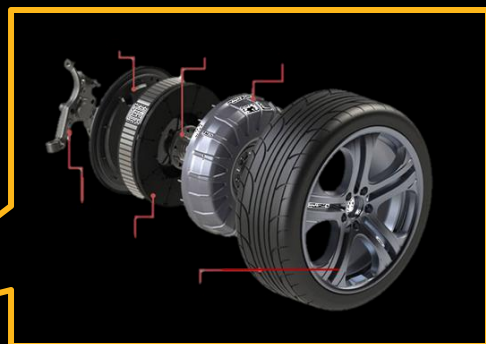
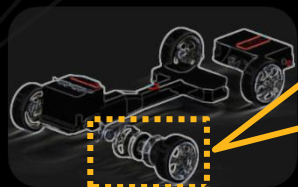
仿真设计

研发能力

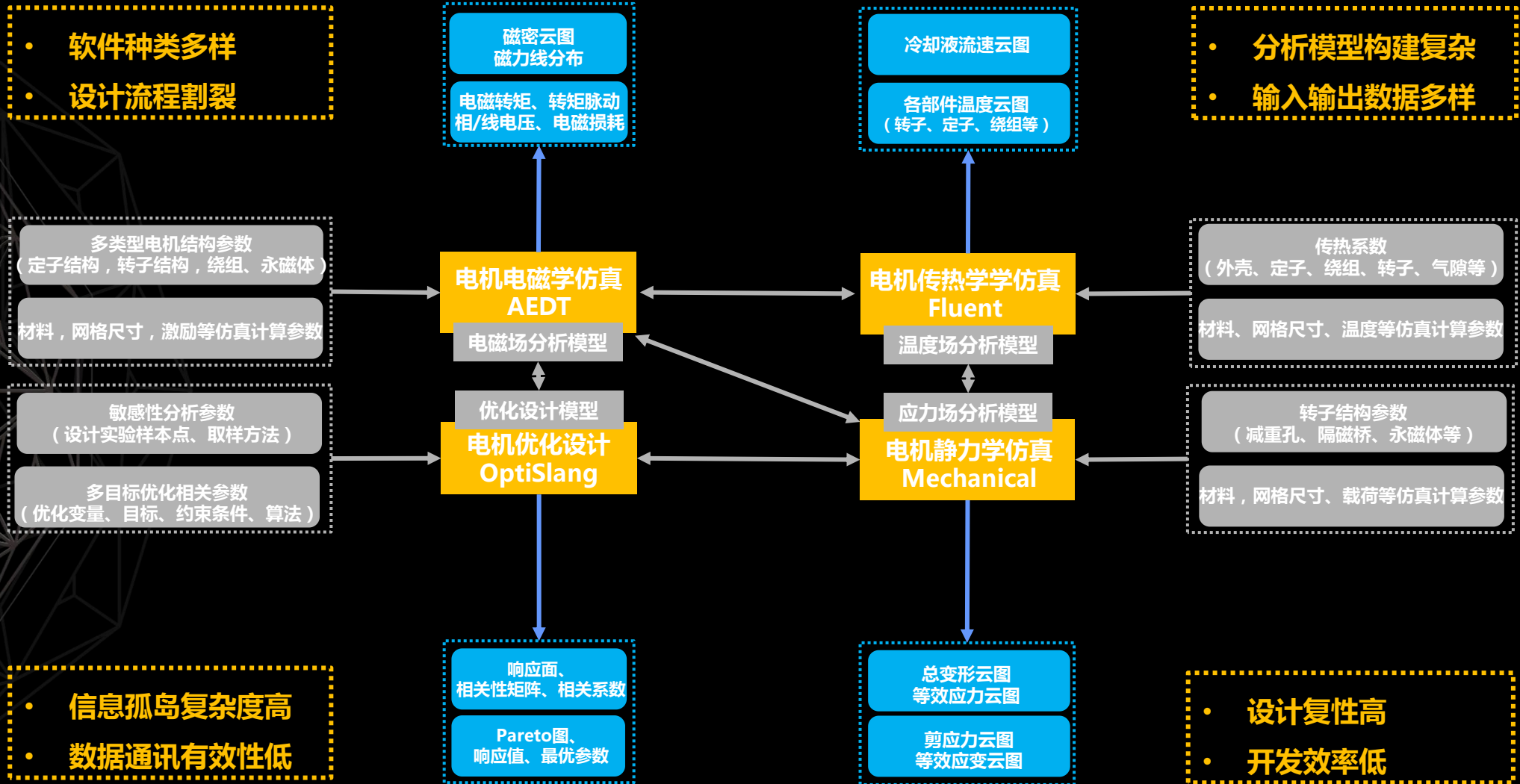
系统化、协同化

高性能

电磁性能  
散热性能  
机械强度  
振动噪声

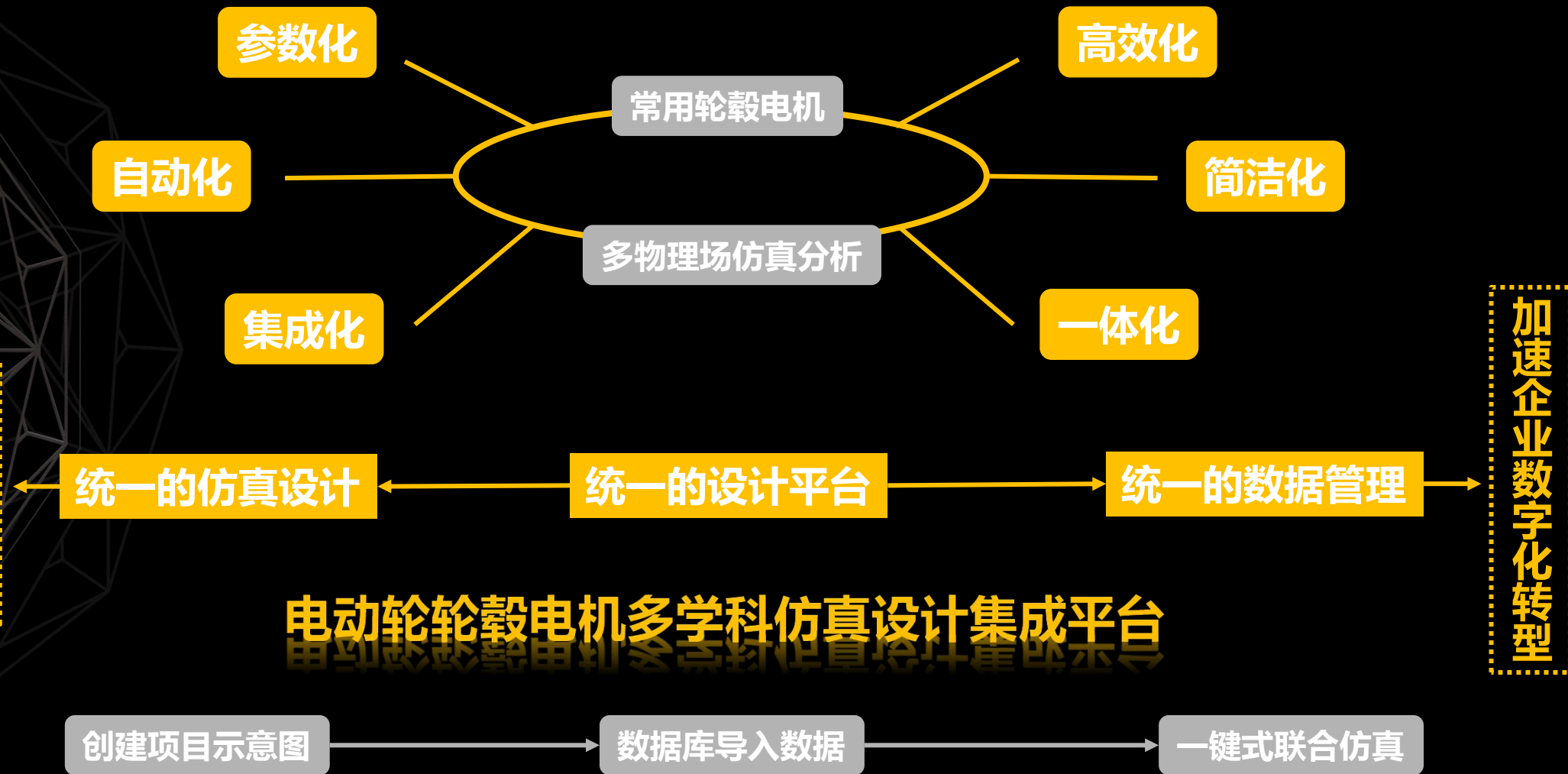


# 轮毂电机开发设计的行业问题



分析软件的独立性、设计数据的繁杂性、仿真流程的专业性以及人工操作依赖性强





## 2. 研究内容

# 研究内容





## 3. 技术方案

# 电机几何模型构建参数化与自动化

## 模型构建

电机设计理论

电机选型  
结构组成  
结构参数

建立几何模型

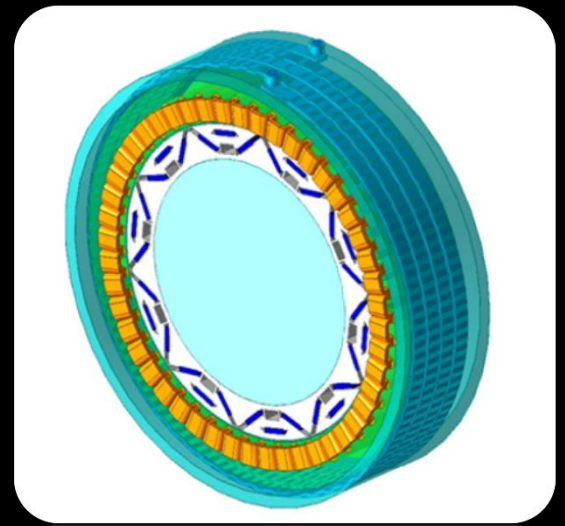
尺寸  
约束关系  
关键参数

构建  
参数化几何模型

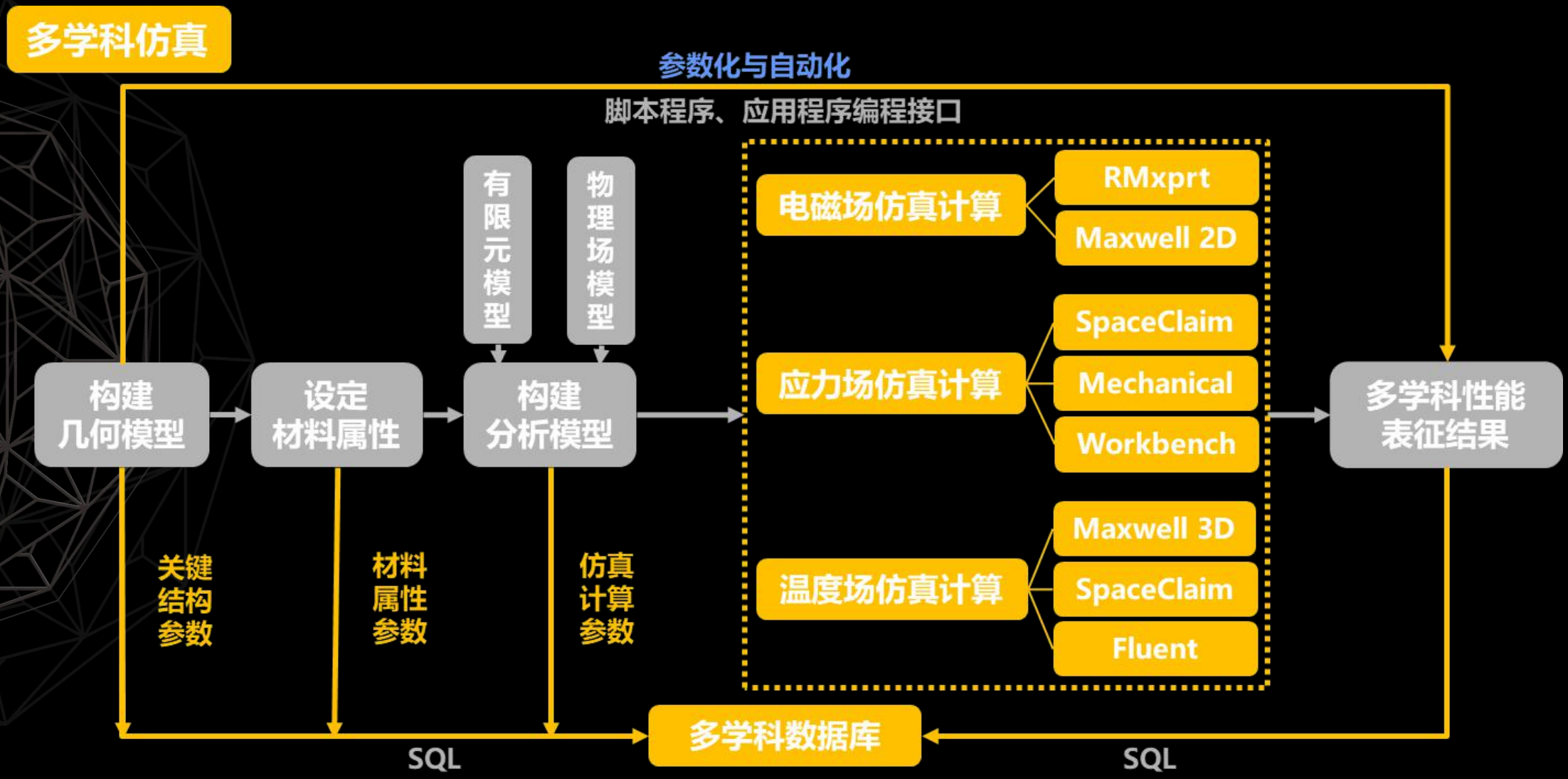
脚本程序  
接口程序

自动化  
模型构建

RMxpert、Maxwell、SpaceClaim

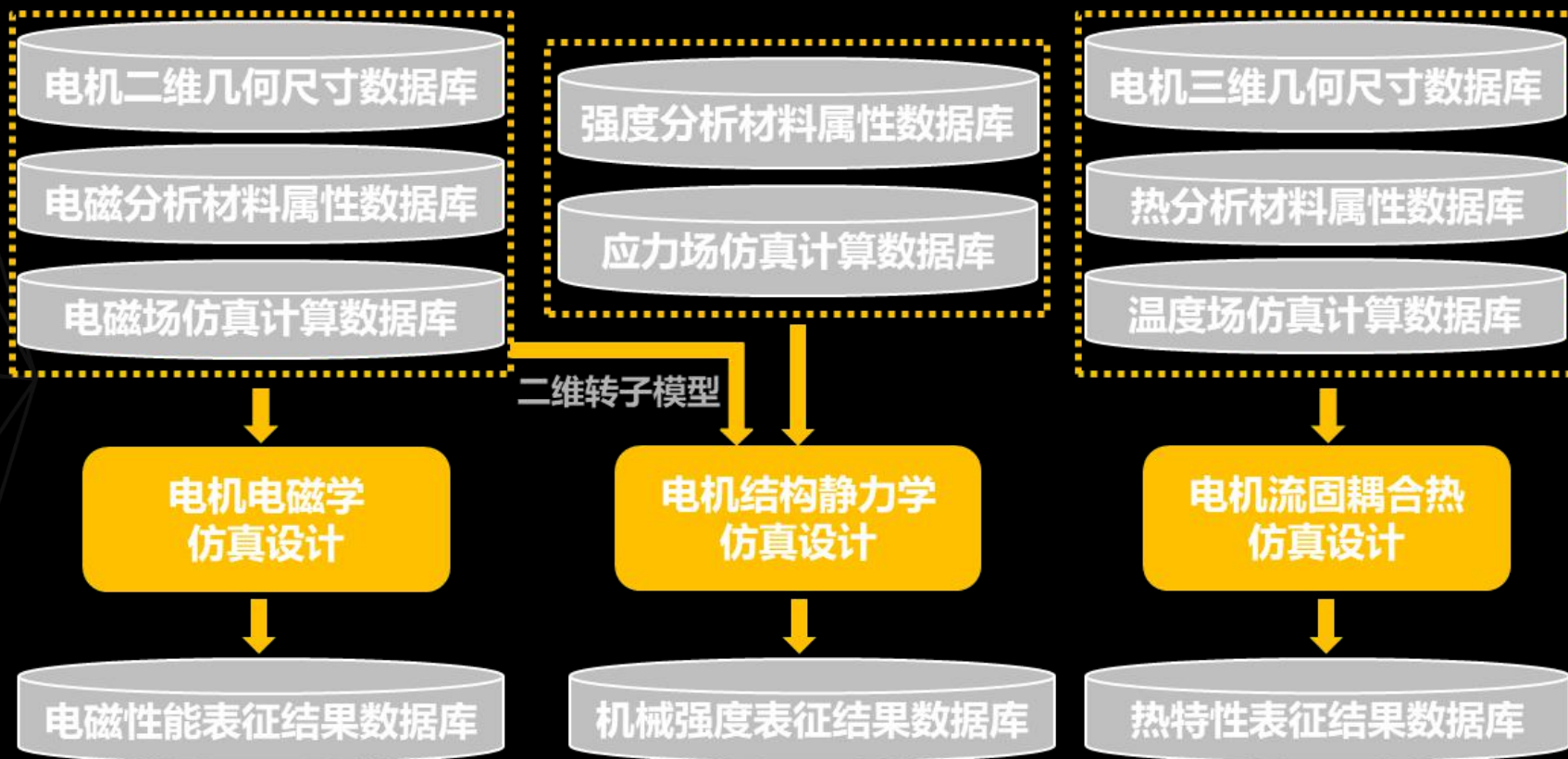


# 电机多物理场仿真设计参数化与自动化



# 电机多学科仿真设计数据管理与交互

## 数据管理与交互



➤ 基于SQLite的多学科数据库



# 电机多学科仿真设计集成平台软件架构

## 仿真设计集成

### ➤ 分层式平台架构

- 标准的架构，各层分工明确
- 结构简单，易于开发
- 适合分层开发，层与层间通过接口通讯
- 每层可以独立测试

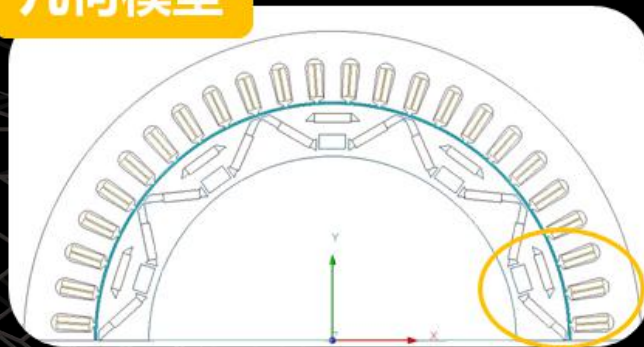




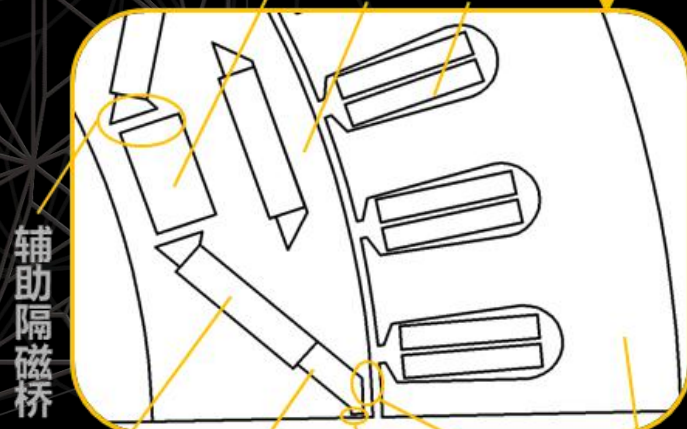
## 4. 平台研究

# 电机二维几何模型参数化

## 几何模型



空气槽 转子 绕组

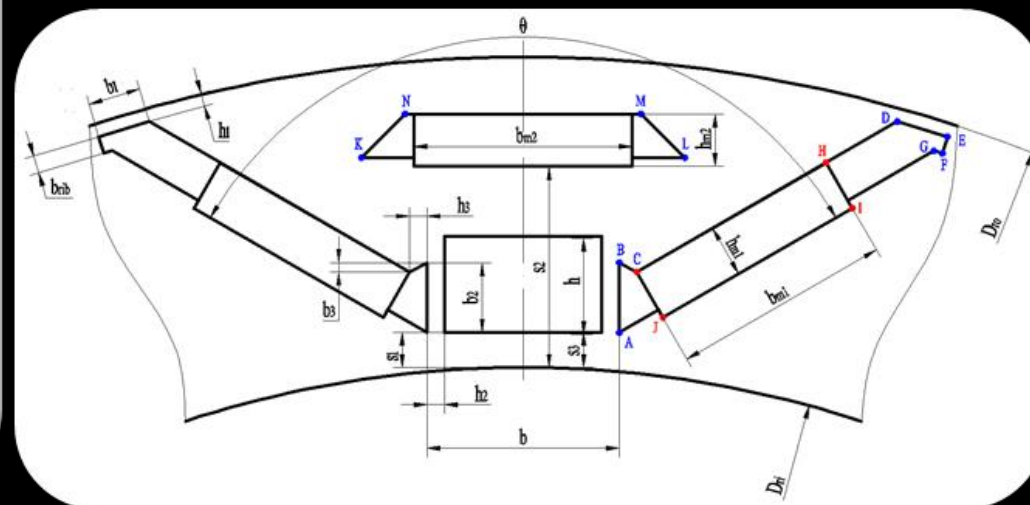
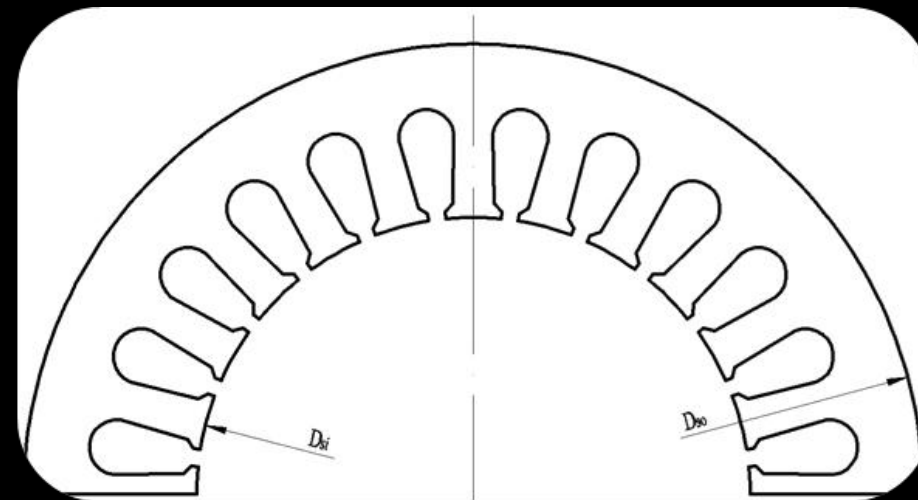


辅助隔磁桥

永磁体 磁钢槽 磁肋 主隔磁桥 定子

## 基本结构参数

- 定、转子外径与内径
- 定子槽尺寸
- 永磁体宽度、厚度
- 隔磁桥宽度、厚度
- 磁肋宽度
- “V”型磁钢槽间距、轴距
- “V”型永磁体夹角
- “—”型永磁体轴距
- 空气槽高度、轴距
- 定子槽型、极槽配合



✓ 构建轮毂电机参数化二维几何模型

# 电机二维几何模型构建自动化

## 自动化几何建模

- 定子、转子、永磁体几何尺寸
- 定子槽型、尺寸
- 定子槽数、永磁体极数

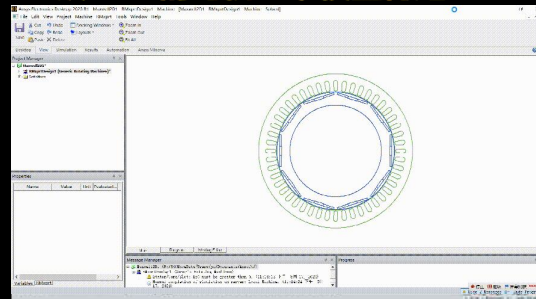
脚本程序  
接口程序

IronPython  
PyAEDT

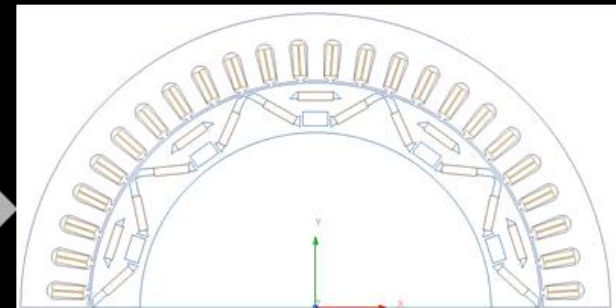
RMxprt

Maxwell 2D

### • 从0至1的电机二维模型构建



“V—”型电机自动化建模示例



“V—”型电机二维几何模型

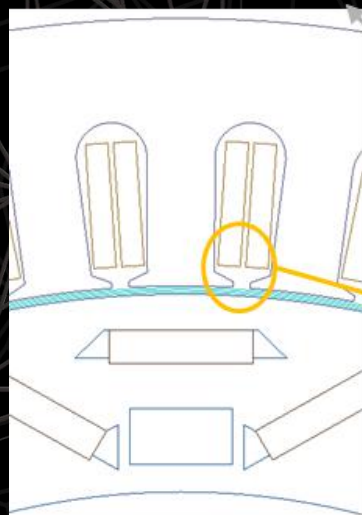
定子→绕组→磁钢槽→永磁体→空气槽  
→转子

✓ 实现 “V—” 型轮毂电机二维几何模型构建自动化



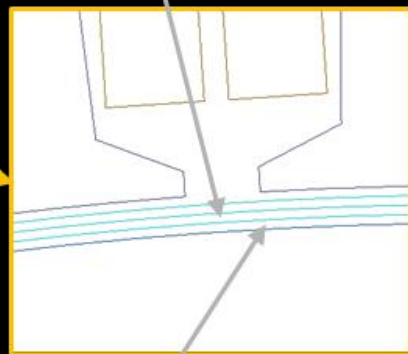
## 有限元网格模型

- 绕组、磁钢网格尺寸：较细密
- 定子、转子网格尺寸：较稀疏
- 气隙（计算域）网格尺寸：四层网格加密

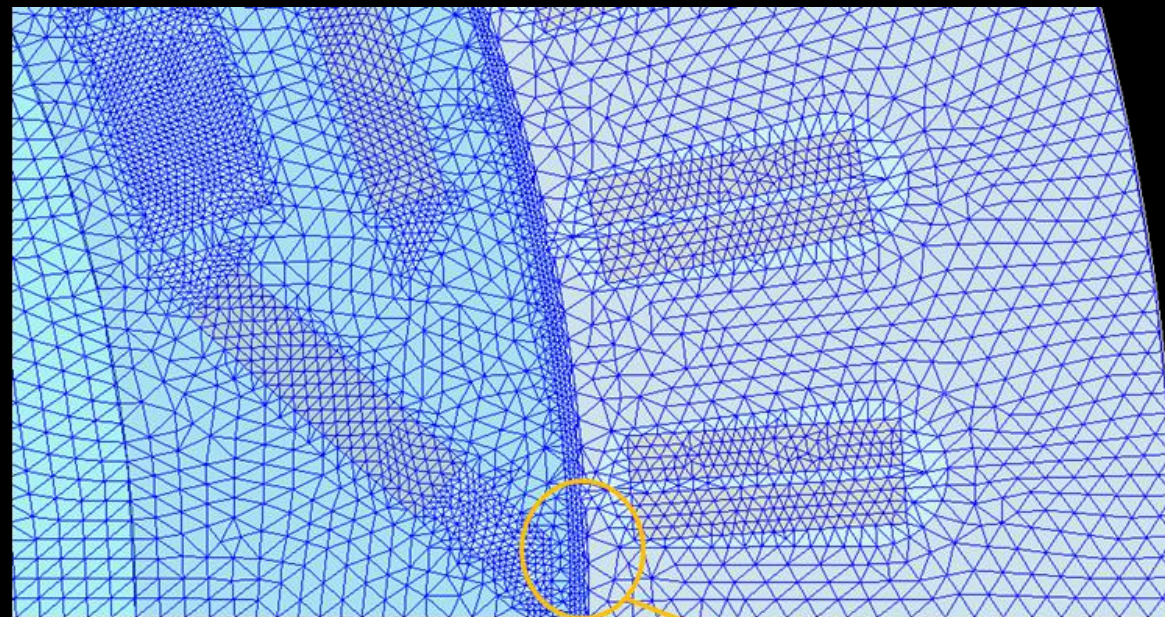


外求解域

运动域

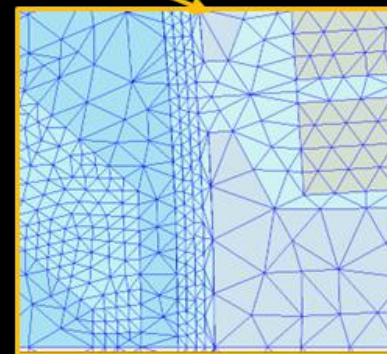


内求解域



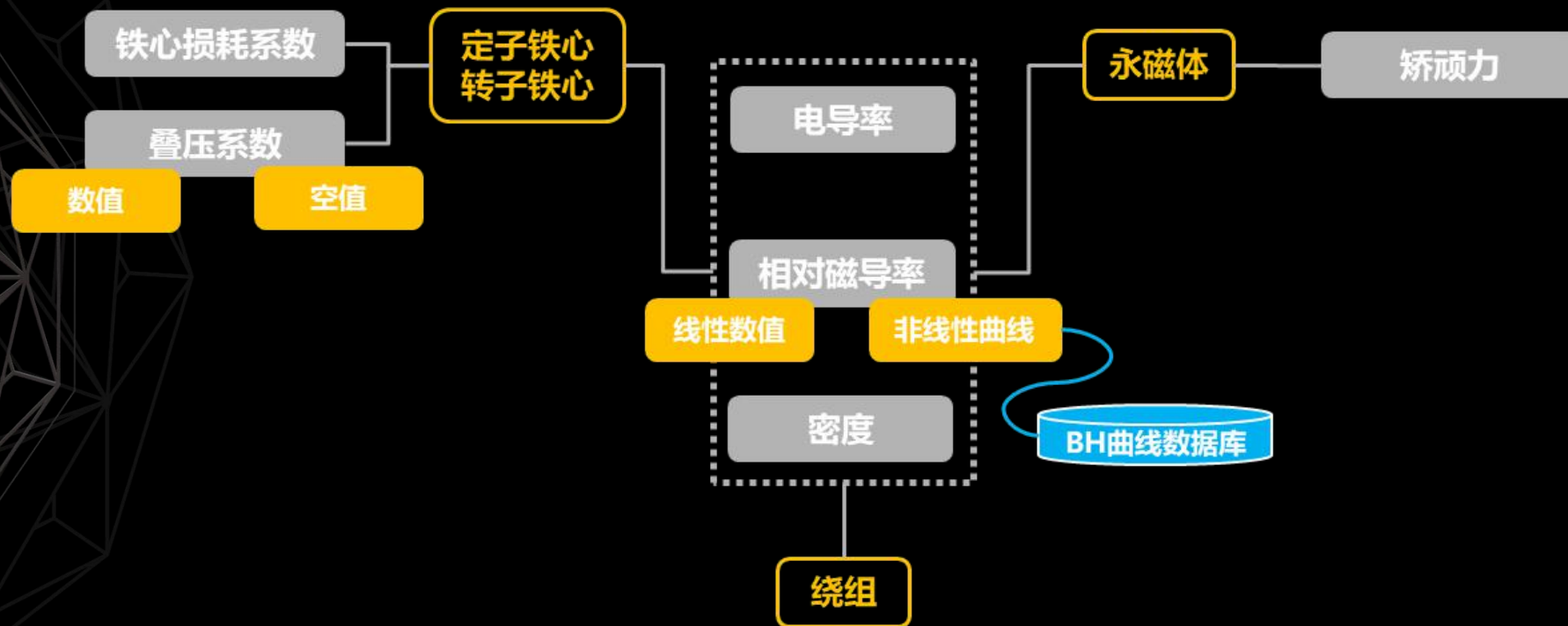
- 求解精确
- 求解速度
- 求解收敛性

4层网格加密



✓ 构建轮毂电机电磁场参数化有限元网格模型

## 电磁场仿真材料



✓ 构建轮毂电机电磁场参数化材料





## 自动化电磁场仿真

- 二维电机模型
- 电磁场网格模型
- 电磁场材料参数
- 电磁场分析输入

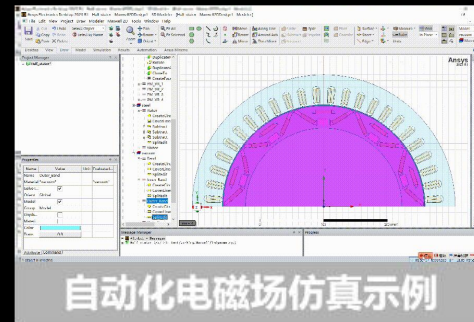
接口程序

PyAEDT

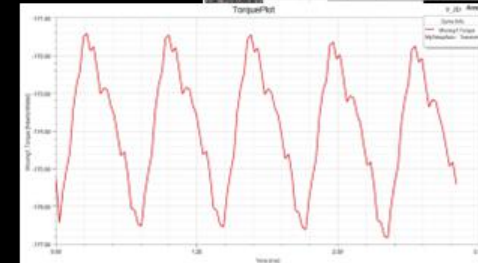
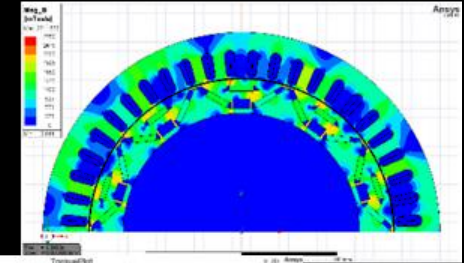
RMxprt

Maxwell 2D

- 自动化绕组分相与永磁体充磁



材料构建→磁钢充磁→模型设定→  
运动设定→边界设定→激励设定（  
绕组分相）→损耗设定→求解设定  
→结果输出



电磁性能表征结果

✓ 实现不同结构尺寸、极槽配合的“V—”型轮毂电机电磁学仿真设计自动化

## 自动化预处理

### • 二维转子模型

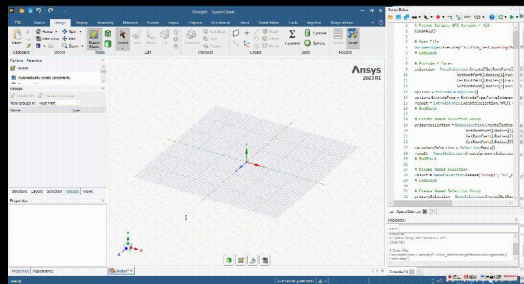
脚本程序



IronPython

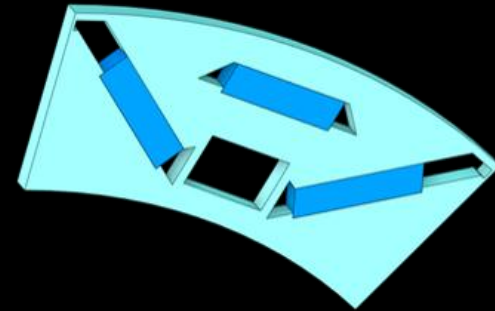
SpaceClaim

### • 自动化命名组创建



转子模型自动化预处理示例

模型拉伸→命名组创建（转子、永磁体、几何面）



电机三维转子模型

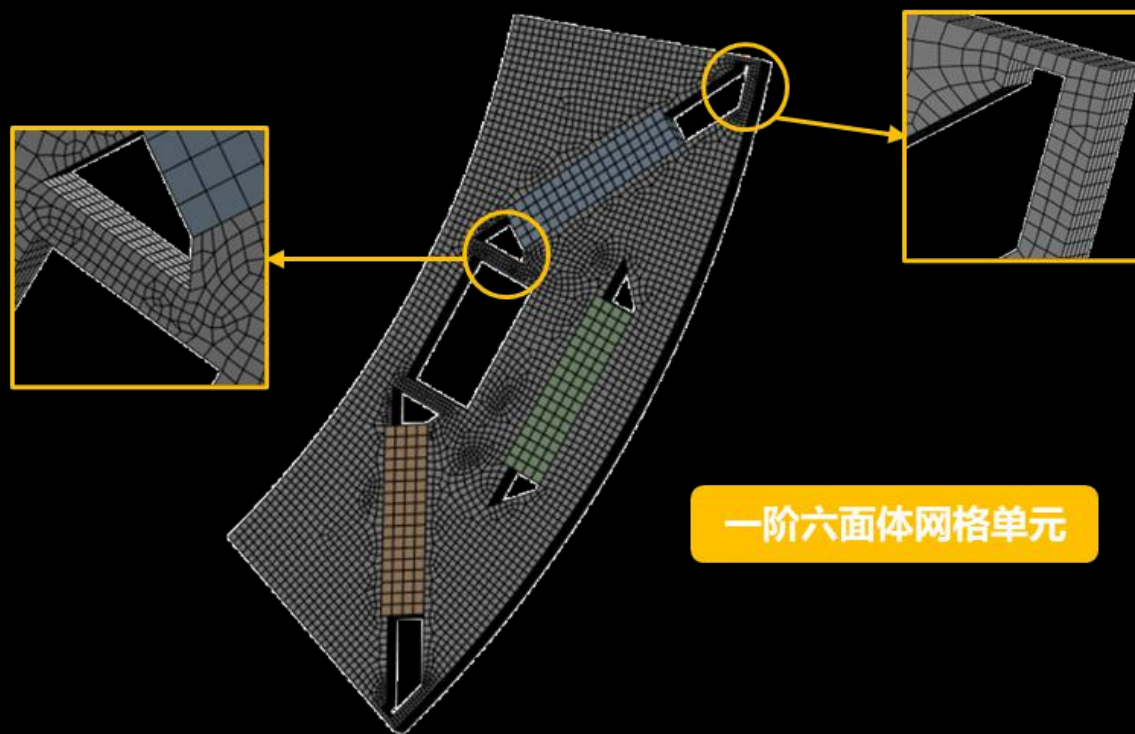
✓ 实现轮毂电机转子几何模型预处理自动化



## 有限元网格模型

- 永磁体网格尺寸：较稀疏
- 转子网格尺寸：较细密
- 隔磁桥网格尺寸：局部加密

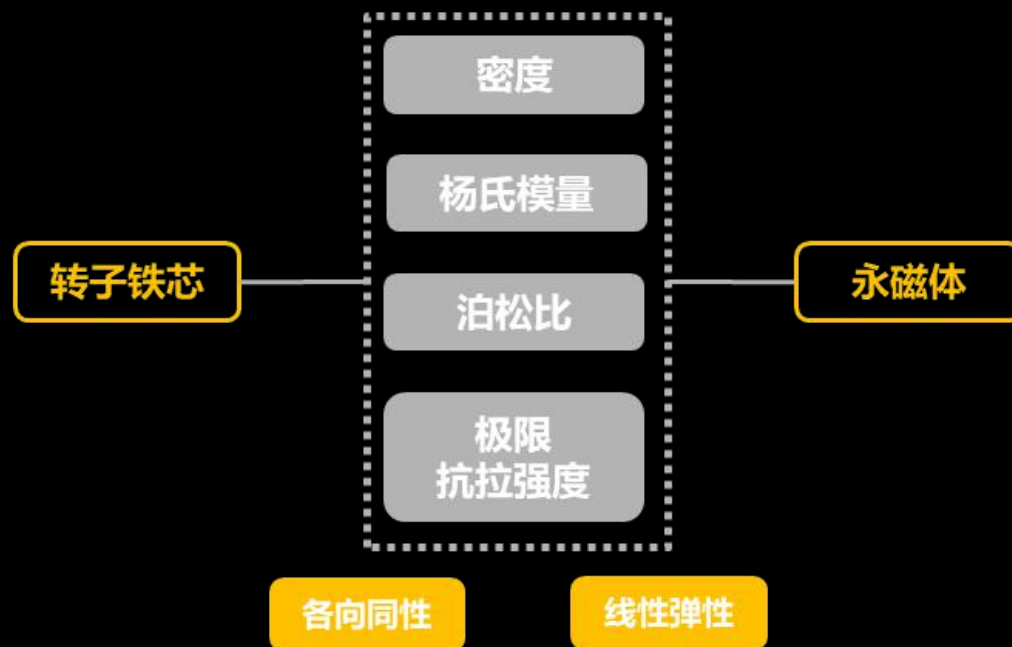
- 求解精度
- 网格数量



一阶六面体网格单元

✓ 构建轮毂电机应力场参数化有限元网格模型

## 应力场仿真材料

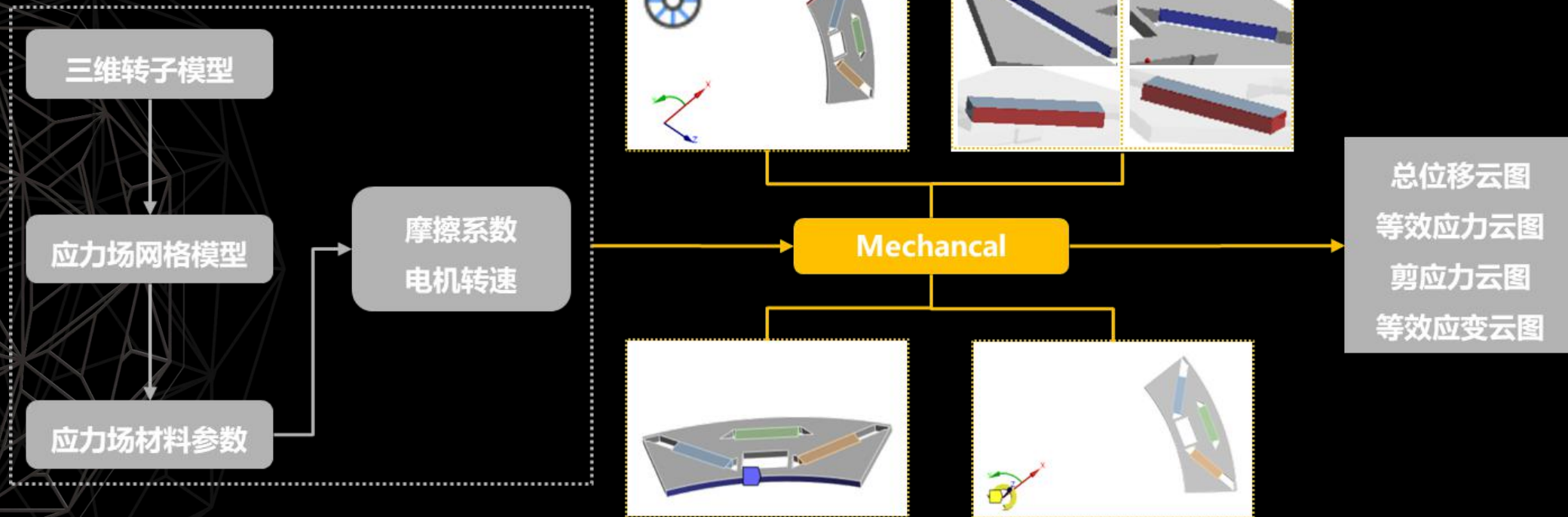


✓ 构建轮毂电机应力场参数化材料



# 电机应力场有限元仿真参数化

## 应力场分析模型



✓ 构建轮毂电机应力场参数化分析模型

## 自动化应力场仿真

- 三维转子模型
- 应力场网格模型
- 应力场材料参数
- 应力场分析输入

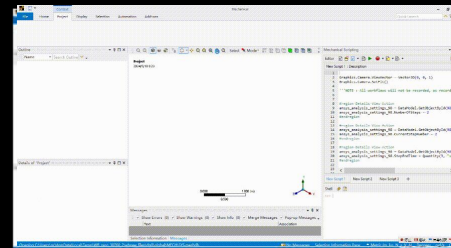
脚本程序

ACT Python

Mechanical

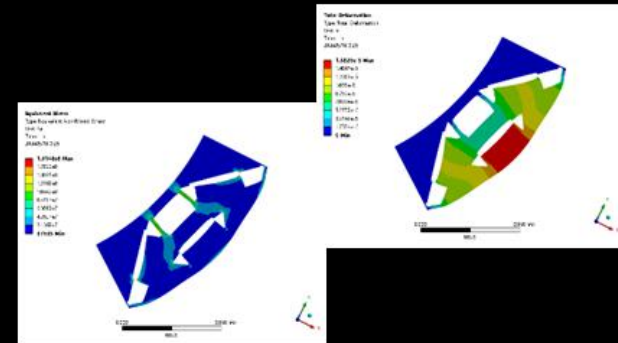
Workbench

- 自动化网格加密



自动化应力场仿真示例

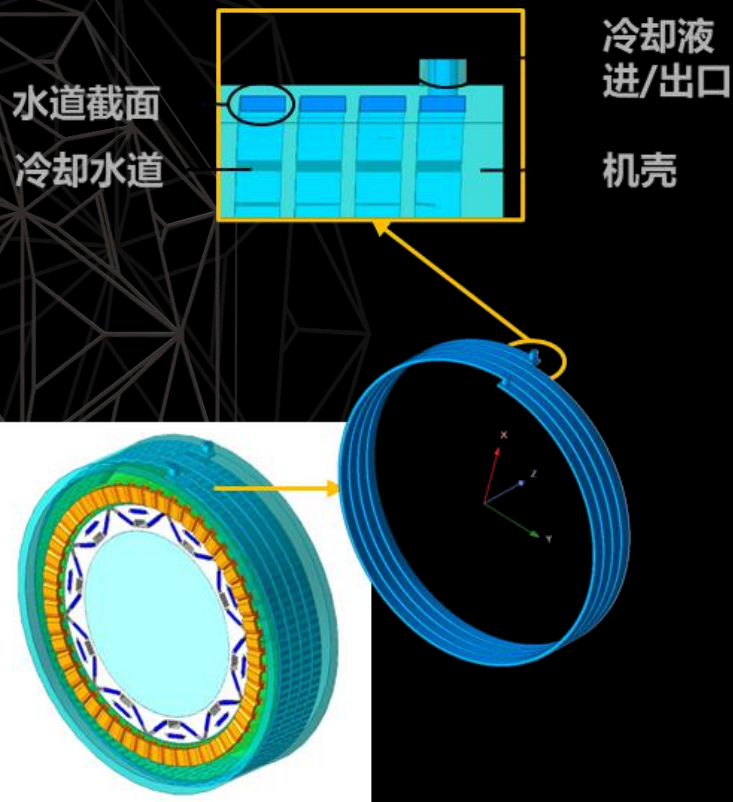
材料构建→参考坐标系创建→循环  
对称设定→接触条件设定→约束设  
定→载荷设定→结果输出



机械强度表征结果

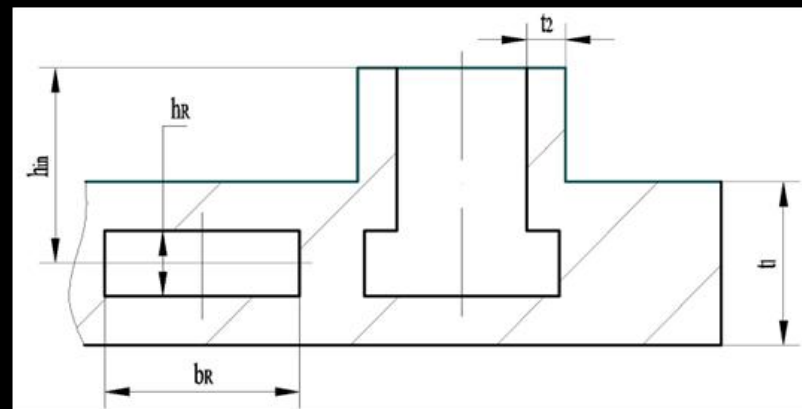
✓ 实现轮毂电机转子结构静力学仿真设计自动化

## 几何模型



## 基本结构参数

- 机壳厚度
- 进出口壁厚
- 入口高度
- 出口高度
- 水道截面宽度
- 水道截面高度
- 定、转子外径与内径
- 铁芯长度
- 定子槽结构参数
- 冷却水道圈数



✓ 构建轮毂电机参数化三维几何模型

## 自动化几何建模

- 定子、转子结构参数
- 冷却水道结构参数
- 二维转子模型

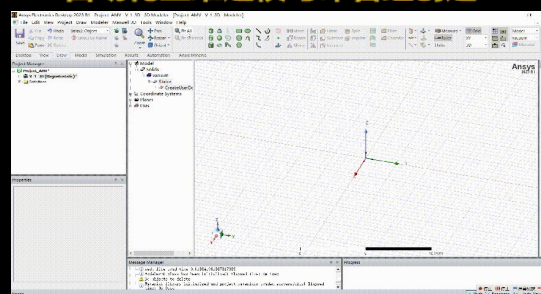
脚本程序  
接口程序

IronPython  
PyAEDT

Maxwell 3D

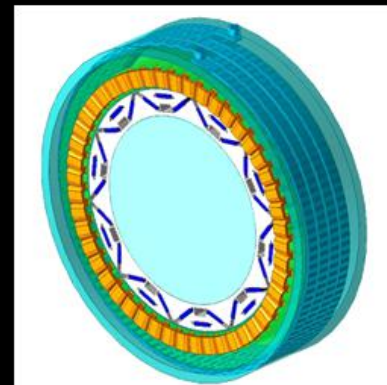
SpaceClaim

### • 自动化三维建模与命名组创建



### “V—”型电机自动化建模示例

定子铁芯→绕组→等效绝缘层→冷却水道→机壳→气隙→转轴→转子铁芯与永磁体→命名组创建（计算域分区）→共享拓扑



### “V—”型电机三维几何模型

✓ 实现 “V—” 型轮毂电机二维几何模型构建自动化

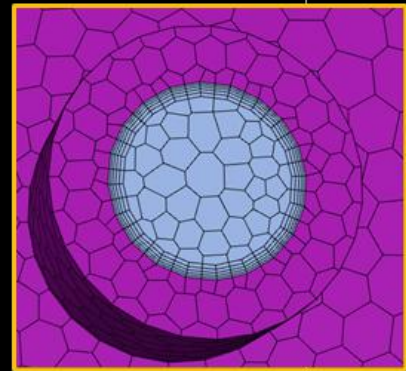


# 电机温度场有限元网格模型参数化

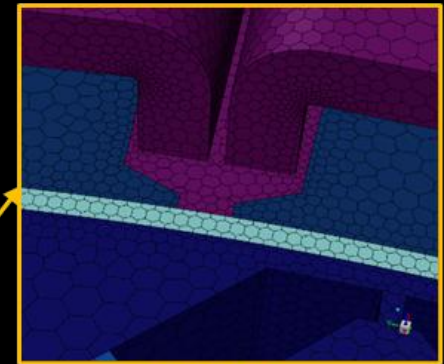
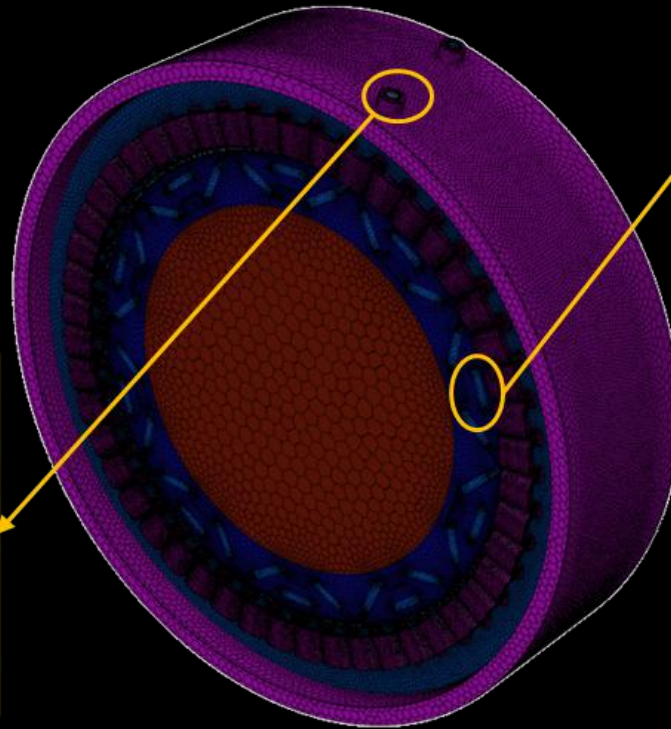
## 有限元网格模型

- 定子、转子、等效绝缘层网格尺寸：狭缝控制
- 气隙、冷却液、绕组网格尺寸：曲率控制
- 冷却液网格尺寸：膨胀层

- 求解精确
- 网格数量
- 收敛速度



膨胀层网格



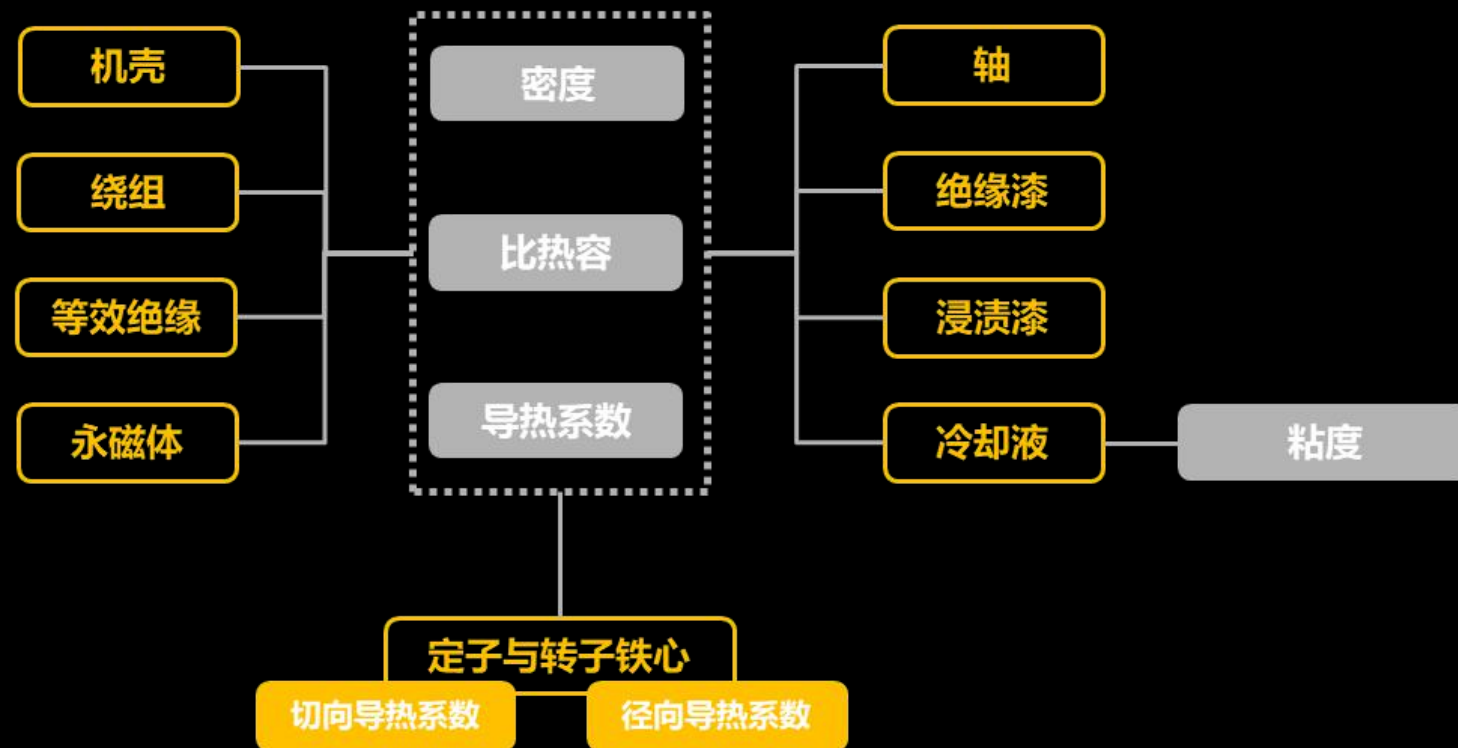
狭缝控制

多面体网格单元

✓ 构建轮毂电机温度场参数化有限元网格模型

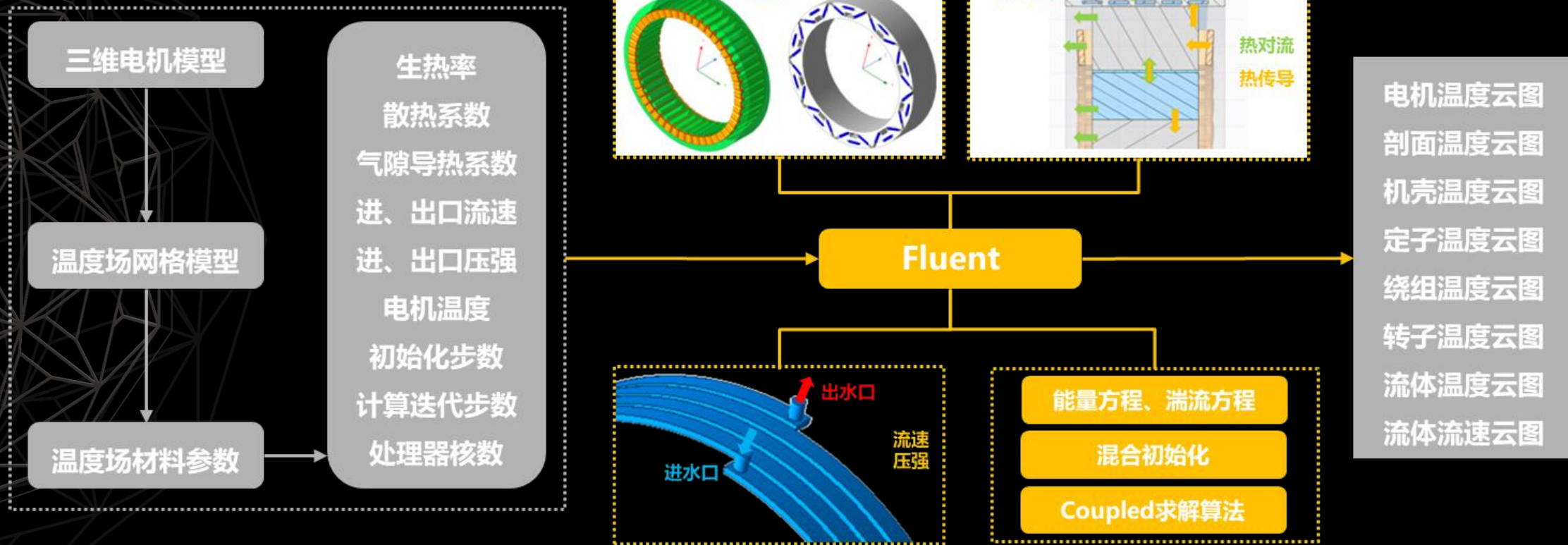


## 温度场仿真材料



✓ 构建轮毂电机温度场参数化材料

## 温度场分析模型



✓ 构建轮毂电机温度场参数化分析模型

## 自动化温度场仿真

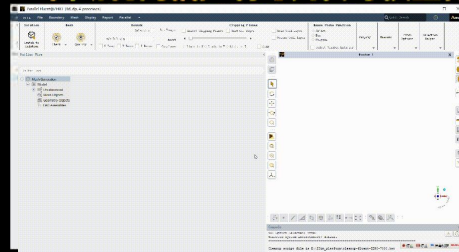
- 三维电机模型
- 温度场网格模型
- 温度场材料参数
- 温度场分析输入

接口程序

PyFluent

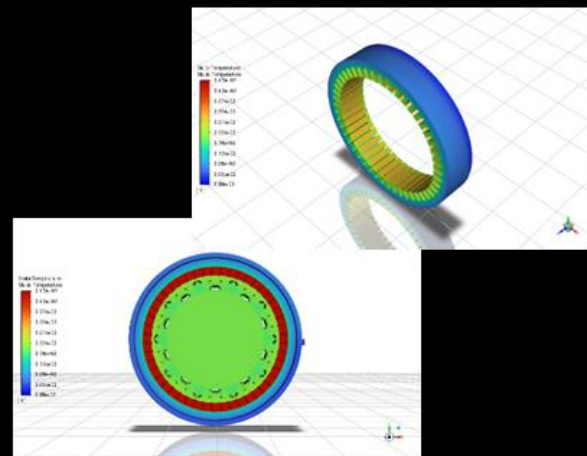
Fluent

- 自动化网格控制与壳传导模型构建



自动化温度场仿真示例

处理器设定→数学模型设定→热源  
设定→热系数设定→进出口条件设  
定→初始化设定→求解设定→结果  
输出

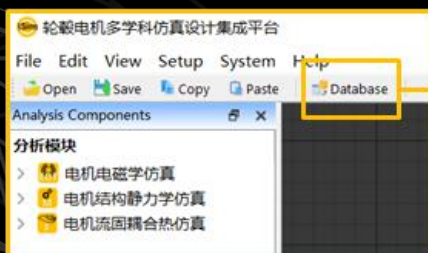


热特性表征结果

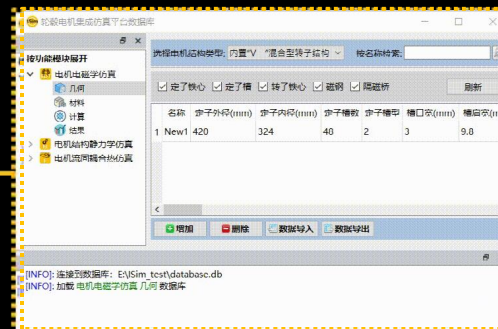
✓ 实现不同冷却结构参数轮毂电机流固耦合热仿真设计自动化



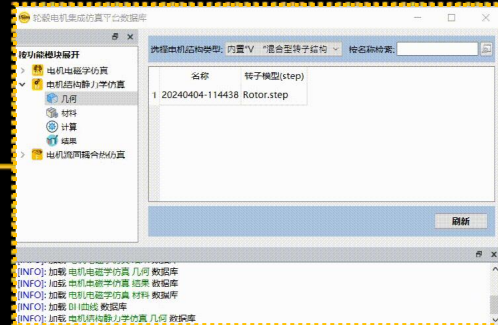
## 多学科数据库



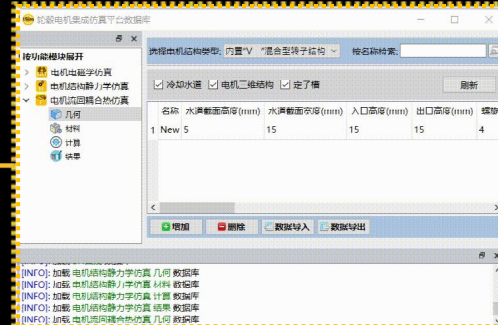
## 电磁场



## 应力场



## 温度场



## 几何结构参数

## 材料属性参数

## 仿真计算参数

## 性能表征结果

## 数据分列显示

## 数据增删改查

## 数据本地导入

## 数据本地导出

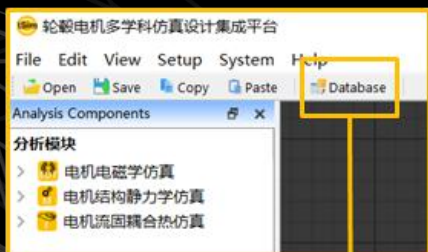
## 计算结果显示

## 计算结果导出

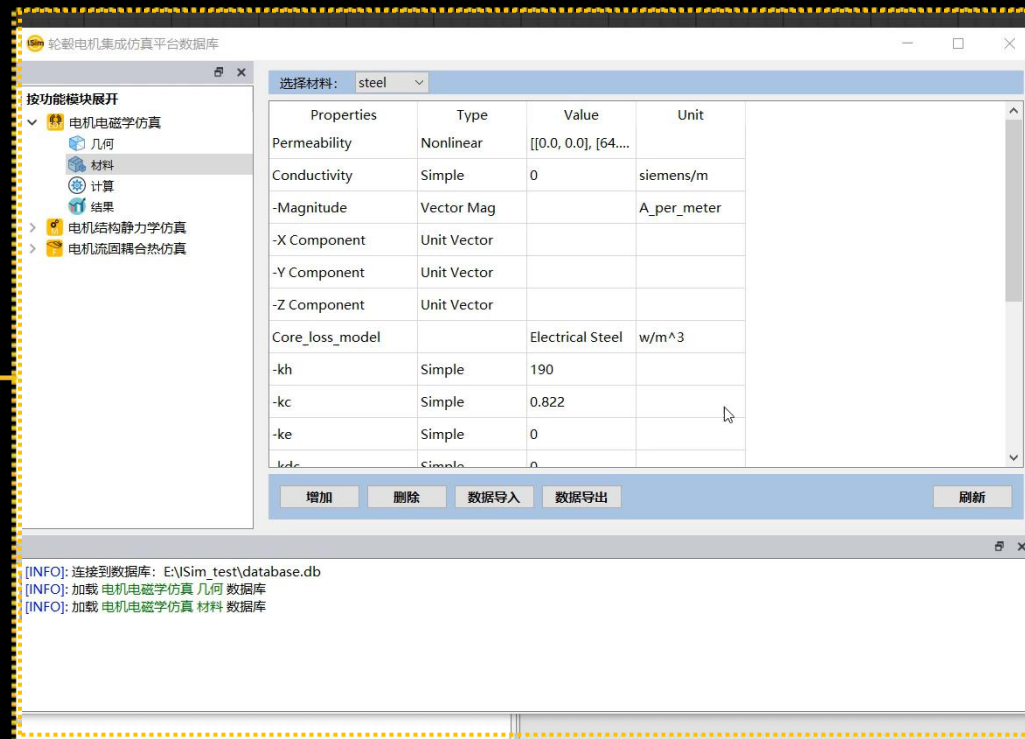
✓实现轮毂电机电磁场、应力场与温度场仿真设计数据的统一管理



## 多学科数据库



## 电磁场 BH曲线



曲线增加

曲线删除

拟合点增加

拟合点删除

曲线导入

曲线导出

✓实现轮毂电机电磁场、应力场与温度场仿真设计数据的统一管理

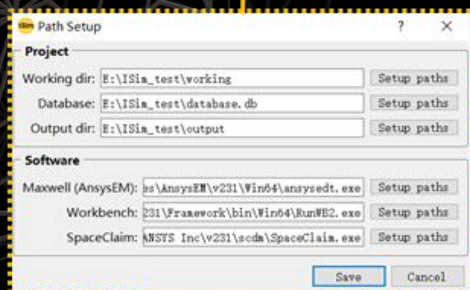
# 轮毂电机多学科仿真设计集成平台

集成平台

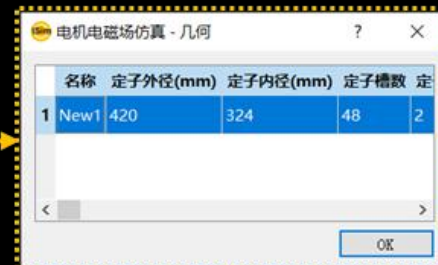
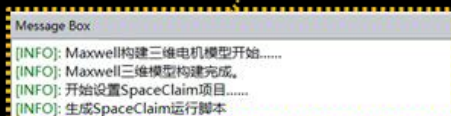
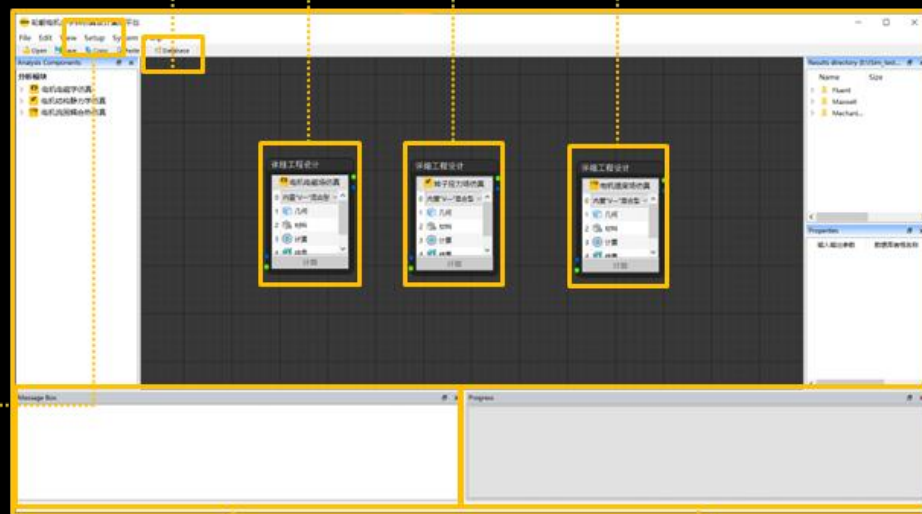
模块创建



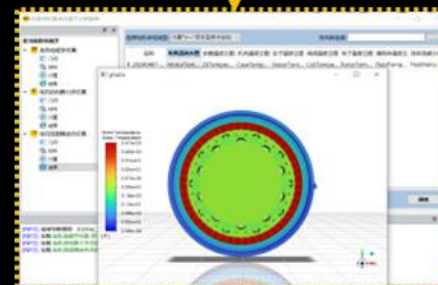
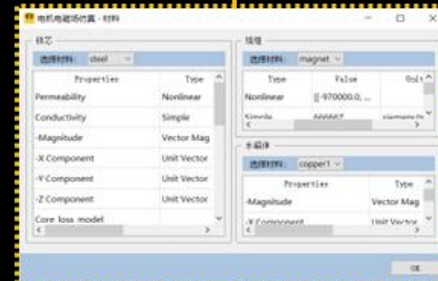
数据设定



目录设定



方案选定

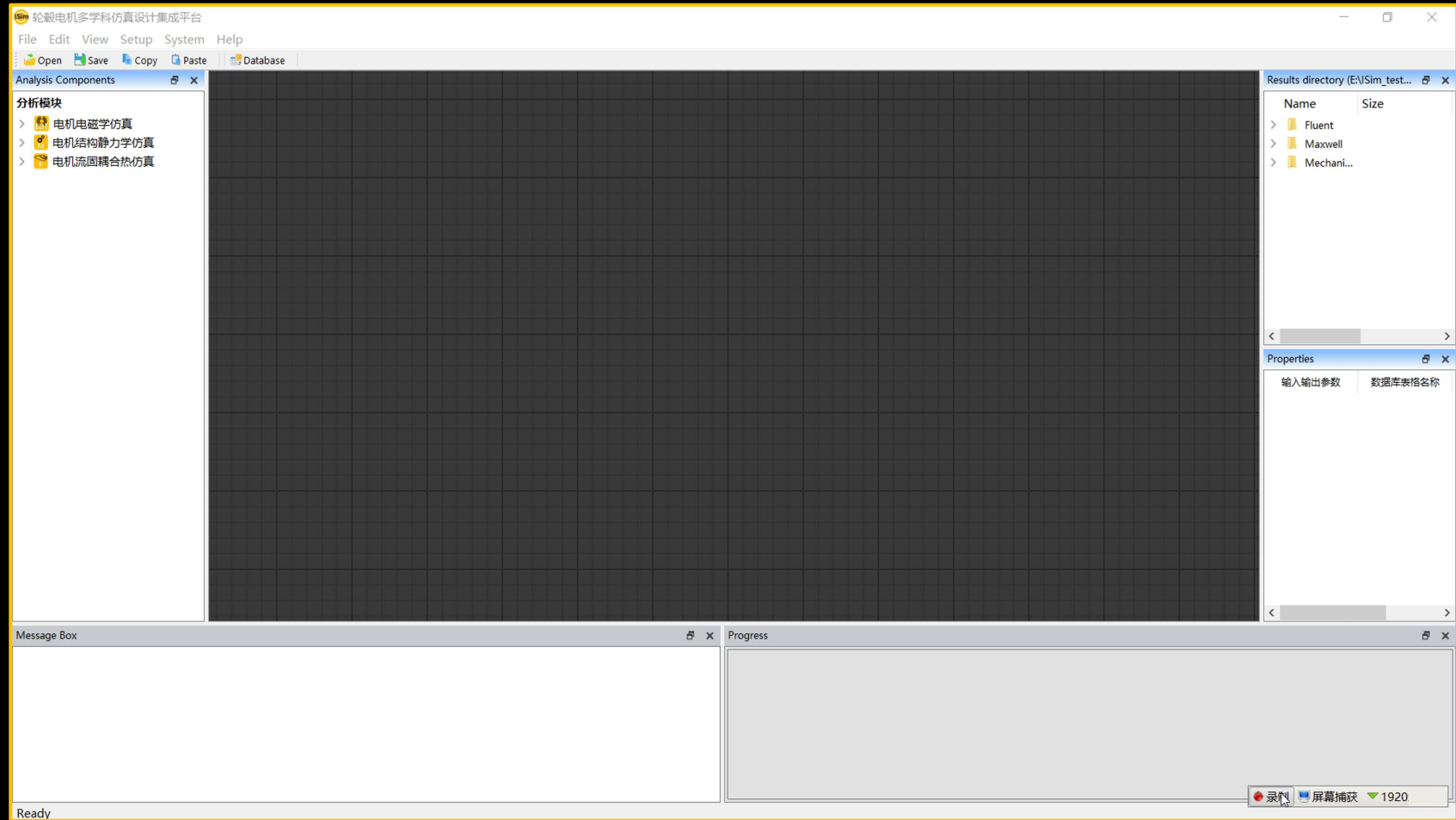


结果查看

✓不同几何尺寸、不同极槽配合的轮毂电机电磁场、应力场与温度场仿真设计一体化

## 集成平台

- 1.实现了电机多学科仿真设计的参数化与自动化;
- 2.实现了多学科设计数据的统一管理 & 交互;
- 3.实现了多学科仿真设计流程的集成化。



✓不同几何尺寸、不同极槽配合的轮毂电机电磁场、应力场与温度场仿真设计一体化





**Ansys2025全球仿真大会·中国**

THANKS