

2023年6月
中国·青岛

自主工业仿真软件开源生态探索

报告人：唐滨

哈尔滨工程大学 副教授



目录

CONTENTS

01

工业仿真软件现状

CAE定义 市场规模 国产化现状

02

基于开源打造自主CAE生态探索

工软开源生态路径 开源模式探索

03

FastCAE开源平台实践

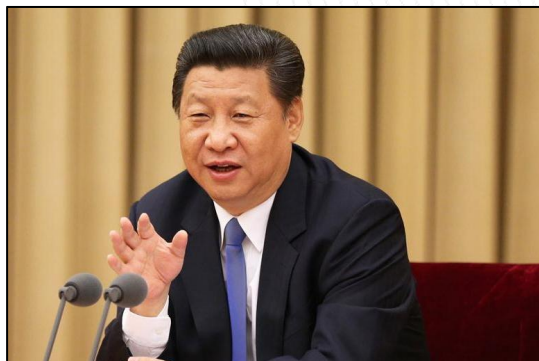
产品架构 产品功能 开源模式

—01—

工业仿真软件现状



紧迫形势



国内形势：

科技攻关要坚持问题导向，奔着最紧急、最紧迫的问题去。要从国家急迫需要和长远需求出发，在石油天然气、基础原材料、高端芯片、**工业软件**、农作物种子、科学试验用仪器设备、化学制剂等方面**关键核心技术上全力攻坚**。

—— 习近平《中国科学院第二十次院士大会》



国际形势：

华为、中兴、字节跳动等多家民族企业接连遭受美国打压；

美国将共计33家中国企业高校列入“实体清单”；

哈工程哈工大被迫停用MATLAB；

国产自主化迫在眉睫

政策支持：

《中国制造2025》；《“十三五”国家信息化规划》；《新时期促进集成电路产业和软件产业高质量发展的若干政策》；《“十四五”智能制造发展规划》

政府政策相继出台，向工业软件大幅度倾斜





什么是CAE软件?

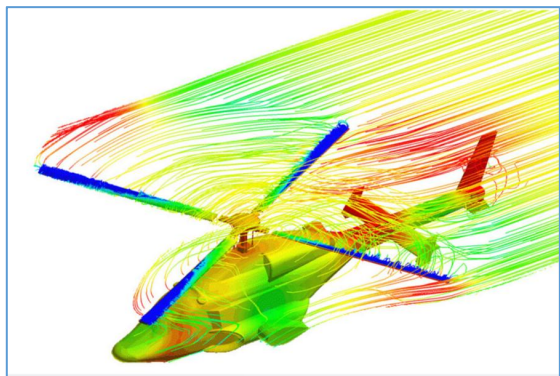
CAE (Computer Aided Engineerin) 计算机辅助工程, 采用模拟仿真数字化手段, 提前预知一些产品的力学性能、材料性能、气动性能等。

是“工业互联网”, “数字孪生”等新理念的基础, 在工业制造中的作用无可替代。

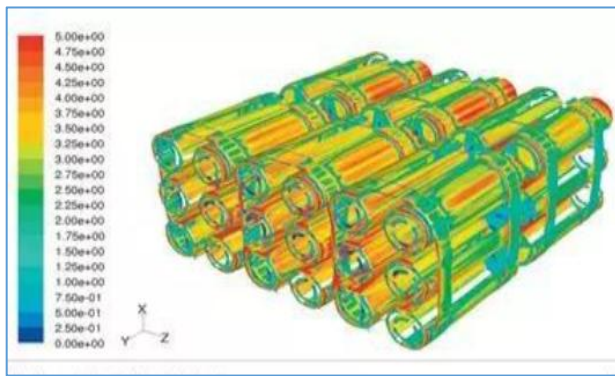




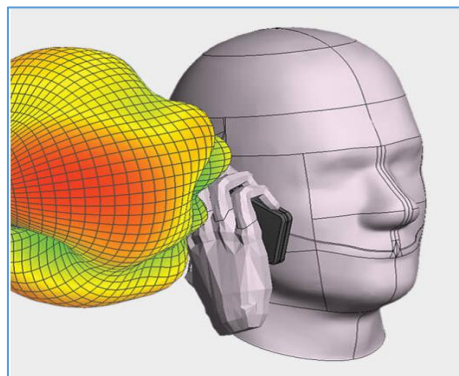
CAE行业应用



武器装备研发



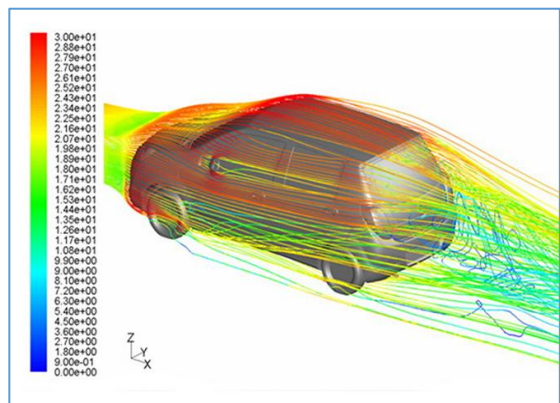
新能源电磁材料



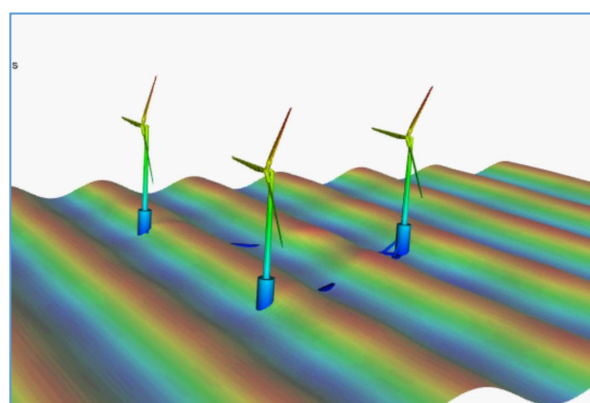
消费电子



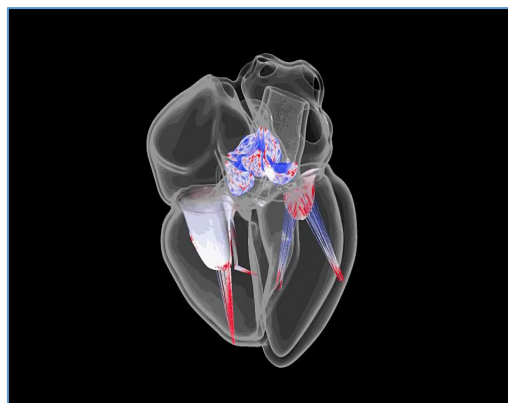
建材卫浴



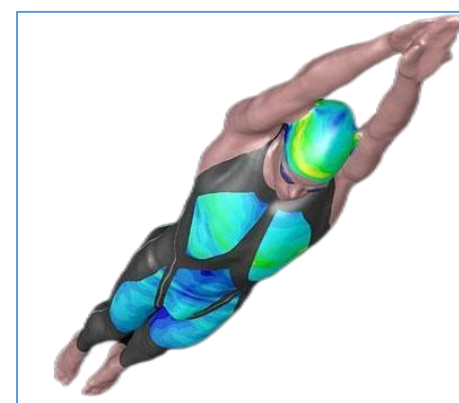
汽车装备研发



海洋新能源装备研发



医学生物工程



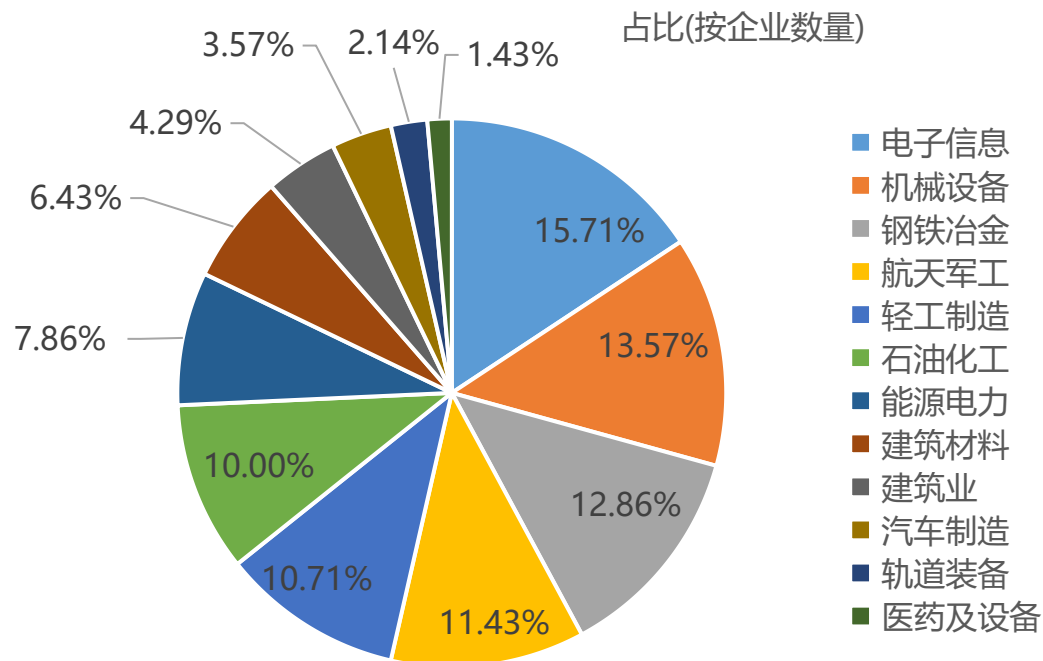
体育运动

一切皆可仿真，从高端装备研制，到中小型企业普惠仿真！



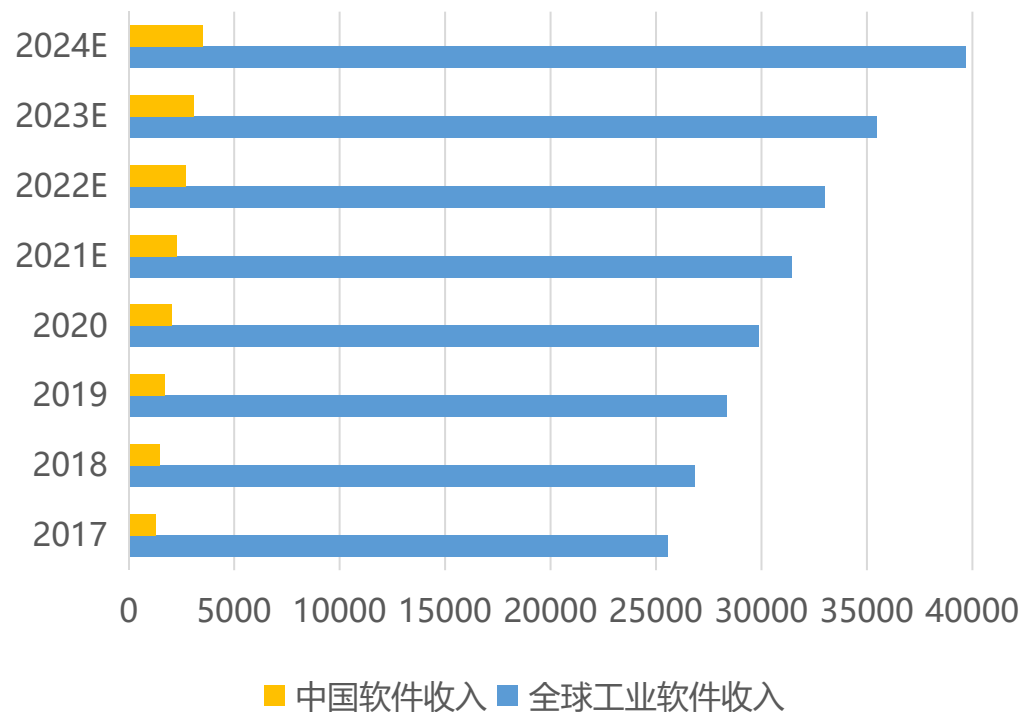
市场现状

工业软件在垂直行业应用分布



工业软件应用范围覆盖我国 **90%的行业**

全球及我国工业软件发展趋势预测



工业软件未来行业预期发展走势 **持续乐观**
我国工业软件仅占全球市场份额的 **5%**
并且未来在各个行业中都有 **巨大的开拓空间**



自主工软新起点、再出发



近几年，我国自主工业软件经历 **“要不要干”** → **“必须要干”** → **“要怎么干”** 的过程



国产工业仿真软件现状

近几年，在国产自主化大环境下，国内涌现出了大批高校、企业、院所开展CAE软件产品开发。多数团队以结构、流体、电磁等某个学科领域开展求解器开发，也有少量团队开展前后处理算法开发，同时还存在一些软件集成定制开发服务企业。产品研发资金大多来自国家立项、资本融资和少数企业自筹。呈现出一片百花齐放、欣欣向荣的景象。





自主工业软件研发现状

研发设计类工业软件，开发难度大，周期长，涉及学科多，目前普遍存在多团队协同困难，缺少复合人才，运营体系不健全等问题。

多团队协同困难

- 大型工软项目参与团队较多
- 研发过程疏于管理与协同难
- 研发成果各自独立集成困难



缺乏工业软件研发标准体系

缺少复合人才

- 内核研发人员vs软件工程师
- 大量重复基础功能模块开发
- 软件的迭代成本高、周期长



缺乏工业软件产品化的平台

运营体系不健全

- 研发团队不懂产品运营
- 专用软件缺少链接入口
- 公开渠道积累用户体验



缺乏工业软件商品化的生态

当下，加快国产自主工业软件（研发设计类）发展，需要从三个方面入手，工业软件研发标准体系建设，工业软件产品化的平台开发，工业软件商品化的生态构建。

—02—

基于开源打造自主CAE生态探索



为什么要做开源

开源的初衷和诉求

发起
主体

国家开源

国家各部委牵头，以专项课题形式，发布项目，并强制要求开源。

企业开源

以企业为主体，对外发布有组织有规划有保障的开源项目。

个人开源

个人以兴趣和个人技术专长发布一些开源项目和代码。

寻求
目标

针对重点行业和领域，由国家统筹规划，希望提升全行业能力，共享基础共性资源，引导和构建开源生态。

提升行业影响能力，引领和引导先进的技术路径，寻求长久的战略意义。另外基于开源构建的商业模式。

提升个人在技术领域的影响力，个人成就感、社会认同感。业余时间积累技术和产品，为创业和产业化储备。



为什么要做开源

CAE开源形势与必要性

国家层面：各部委倡导开源，顶层架构，资源共享、协同、整合、优化，避免低价值重复投入，求真科研评价。

业务层面：当前形势下，从大型集团，军工客户来讲，希望建立自己的能力，开源的平台更容易合作。

产品层面：尽早的走向用户，更容易获取用户反馈，获得多主体（产教研用）参与，更广的宣传维度；



开源能给我们带来什么

低成本集聚资源共享

采用开源资源，快速打通工业软件产品技术路径

多要素协同创新基础

基于开源的标准、架构、经验、工具，实现协同创新

开放创新的商业模式

摆脱传统直接买卖模式，寻求适合新环境工软商业模式

知识分享、经验传递、分工协作

充分认识开源思想，合理利用开源成果，站在人类共同智慧的基础上，各自发展具有创新性、独特性的科学工程成果！



开源工业仿真软件生态路径

从国家和行业**紧缺国产自主工业仿真**软件需求出发，构建工业软件**研发体系**提出指导思想统一行业标准，配套**框架平台与工具链**落实体系提升协同效率，推动**开源研发社区**聚众力集星火智催生共建新生态，面向**行业应用场景**整合成熟软件持续服务能力。





开源战略指导思想

充分调研中国自主CAE软件现状，挖掘自主CAE研发和应用的痛点问题，构建基于开源生态的自主CAE软件技术解决方案，探索基于开源模式的CAE软件商业模式。

研发
阶段

缺少复合型研发人才；
多领域关键技术整合；
缺少多团队协作标准；

开放的底座研发平台；
可实现交易技术组件；
持续维护的生态社区；

基于开源服务收益；
基础共性组件交易；
围绕CAE其他价值；

自主CAE软件
现状与痛点



基于开源生
态解决方案



基于开源衍
生商业价值

应用
阶段

面向行业定制化封装；
多学科软件联合仿真；
统一云服务协作平台；

开放的共性应用平台；
面向行业的定制组件；
整合各家软件云服务；

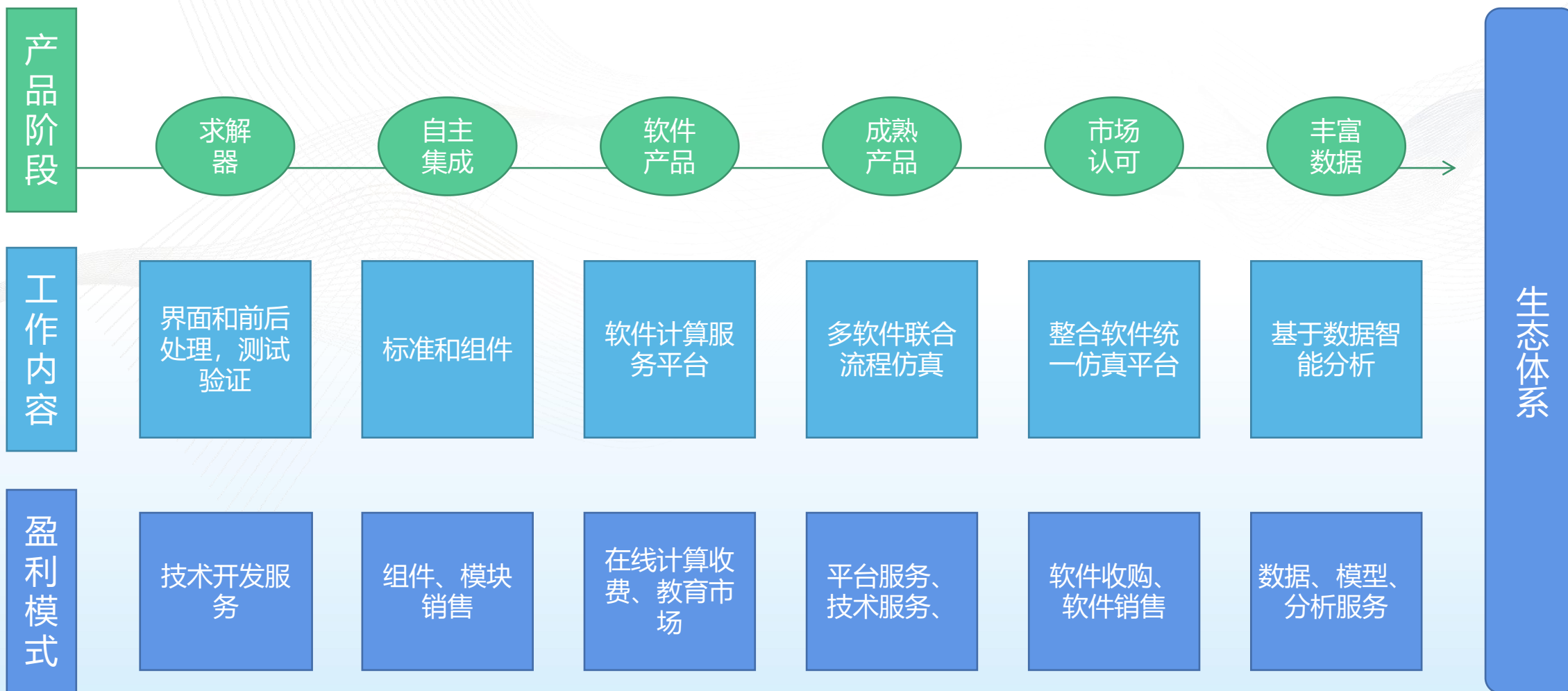
应用平台组件收益；
整合众家软件服务；
人、链接、数据等；

通过开源模式，终结低价值的技术重复，加速优质资源的共享，提升整个行业的能力与效率



开源战略实施路径

基于开源思想和技术路线，伴随中国工业软件成长，驱动自主软件正向研发，提供全栈的解决方案！





开源框架平台驱动创新引擎

大型 CAE 研发 过程 平台

求解器框架平台

- 优秀框架提升求解器研发效率与扩展性；
- 底层数学库实现分层共享；
- 并行等技术与经验可以共享；
- 网格数据管理与相关算法共享。

产品集成平台

- 层次化、模块化产品研发体系，方便产品快速迭代与升级；
- 前后处理、数据管理、授权等共性模块共享；
- 不同产品阶段提供丰富模块选择，降低产品研发成本。

自动化测试平台

- 提升求解器的研发测试效率；
- 积累测试过程数据，为求解器研发提供参考；
- 进一步提供求解器产品化稳定性、正确性。

应用 与 运营 相关 平台

仿真 workflow 平台

- 面向具体的工业仿真场景，支持流程自定义；
- 支持多软件的协同仿真，多物理场耦合；
- 仿真经验的固化，型号产品的数据经验沉淀。

仿真大数据平台

- 大规模仿真数据的有序管理，多粒度可控；
- 搭建底层数据挖掘分析接口；
- 构建机器学习底层框架，方便进行专业学科分析。

在线云仿真平台

- 基于云架构，大型超算平台自研求解器部署环境；
- 具有对外灵活服务的开放式的云集成环境。

框架是标准的更进一步，具有天然的驱动力，切实可提高研发效率的具体手段！



我们做开源的思想进化过程

最初为了解决渠道问题

- 人才找不到
- 事说不明白



业务和经营模式的统一

- 统一平台技术路径
- 不断积累降低成本



明确长久发展价值理念

- 坚持输出贡献基础共性技术
- 终结行业低价值重复差异化竞争



开源追求的长久的价值理念

迎合自主CAE软件产品阶段发展需求，借助CAE软件集成框架平台开源模式，整合CAE软件关键技术及参与主体，行成开放、共享、协作的研发与应用生态，打造中国特色CAE软件产品化路径。

➤ 解决行业低价值重复，**追求CAE软件共创高质量发展**

➤ 底座共性技术坚持开源，**分阶段探索开源营收模式**



产品做开源的思考与探索

产品架构思想，以框架、标准、接口为主，提供有限的功能模块样例，方便社区用户贡献，用户扩展。





盈利模式的思考

逐渐摆脱人力定制化开发现状，转为标准模块销售，再转到大规模在线服务

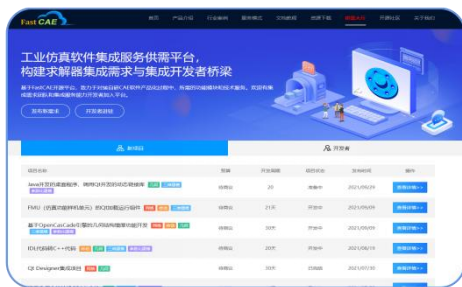


- 通过开源框架平台（透明底座）为用户提供全部源代码的底层框架，增强用户产品信心；
- 丰富大量的高级功能组件，行成产品组件收费盈利模式，从服务转为产品销售；
- 整合成熟工业仿真链条上下游CAE软件，面向行业提供在线计算服务平台。

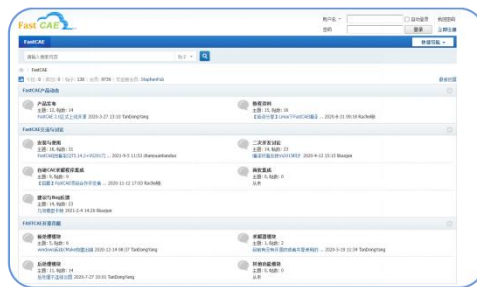


基于FastCAE产品开源社区成效

基于FastCAE构建开源社区，行业知识经验分享、优秀资源共享、优质人才汇聚



产业供需平台
70次对接



技术交流社区
1300人



工软开源学院
2000人次



产业创新模式
3000万（服务）

基于开源资源构建云计算服务，整合开源程序，搭建面向行业仿真需求的在线计算APP

OpenCASCADE

开源几何引擎

NetGEN
TetGen
Gmsh

开源网格划分

Calculix
OpenFoam
Geant4
kratos

开源求解器

VTK
Paraview
VisIt

开源后处理

定制
化开发

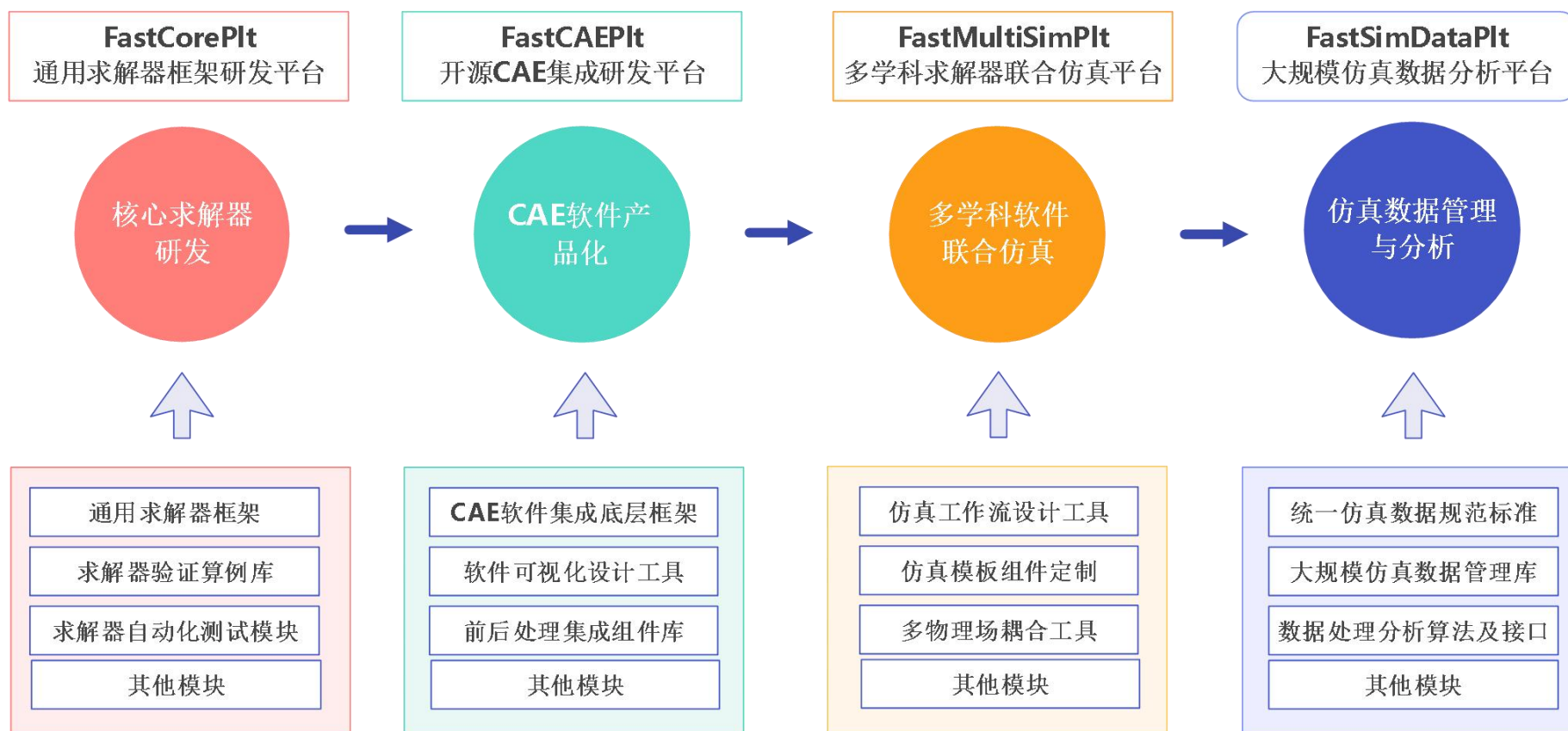


开源APP群

—03—

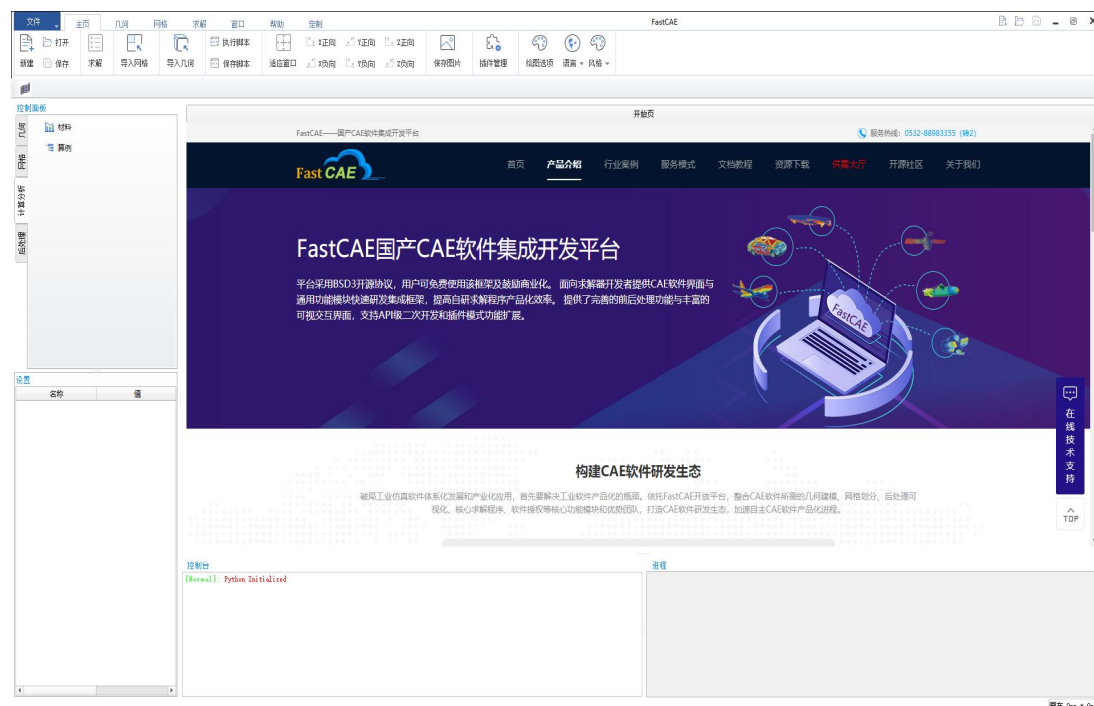
FastCAE平台介绍

针对自主CAE软件研发与应用不同阶段的统一共性需求，基于软件工程思想开发相应基础框架平台，涵盖Fast系列四款基础平台。可支撑软件研发的灵活定制化、快速产品化；仿真应用的流程化、规范化、体系化。



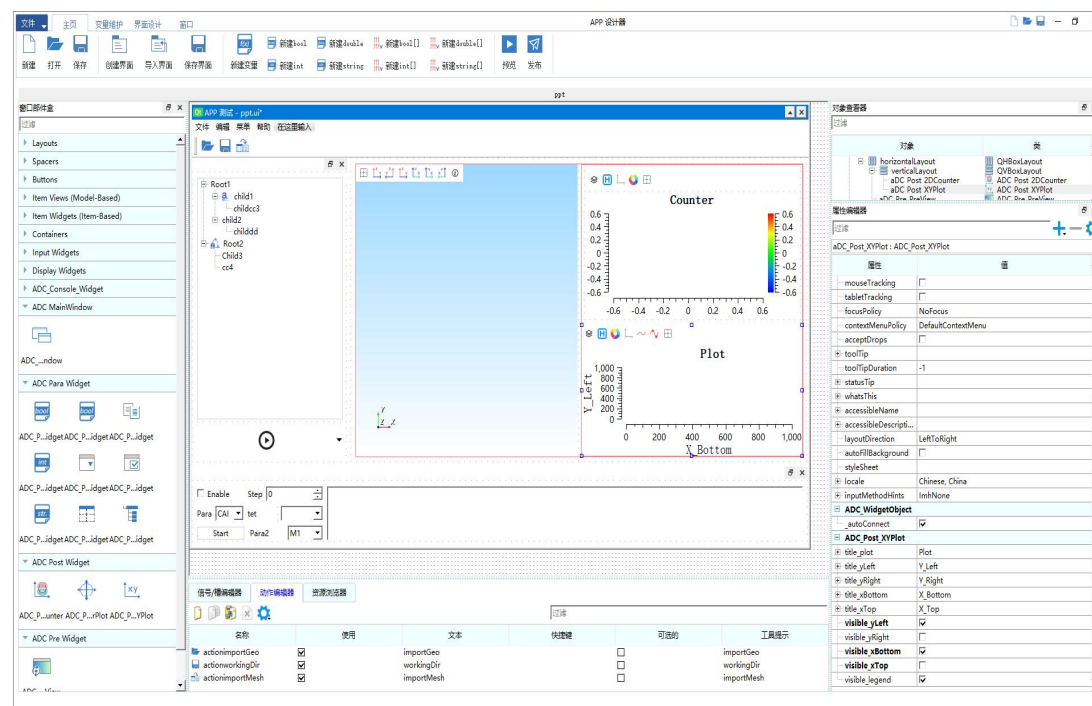
开源国产工业软件快速研发平台（FastCAE），本质是一套**面向CAE软件内核开发者的前后处理快速集成工具**。平台封装大量前后处理功能组件，并通过可视化设计器将模块组合成完整的CAE软件。

FastCAE本身**不包含求解器**，默认包含了一些**前后处理功能组件**，支持用户自定义扩展其他功能。



软件开发平台

独立软件产品开发、传统CAE系统应用集成

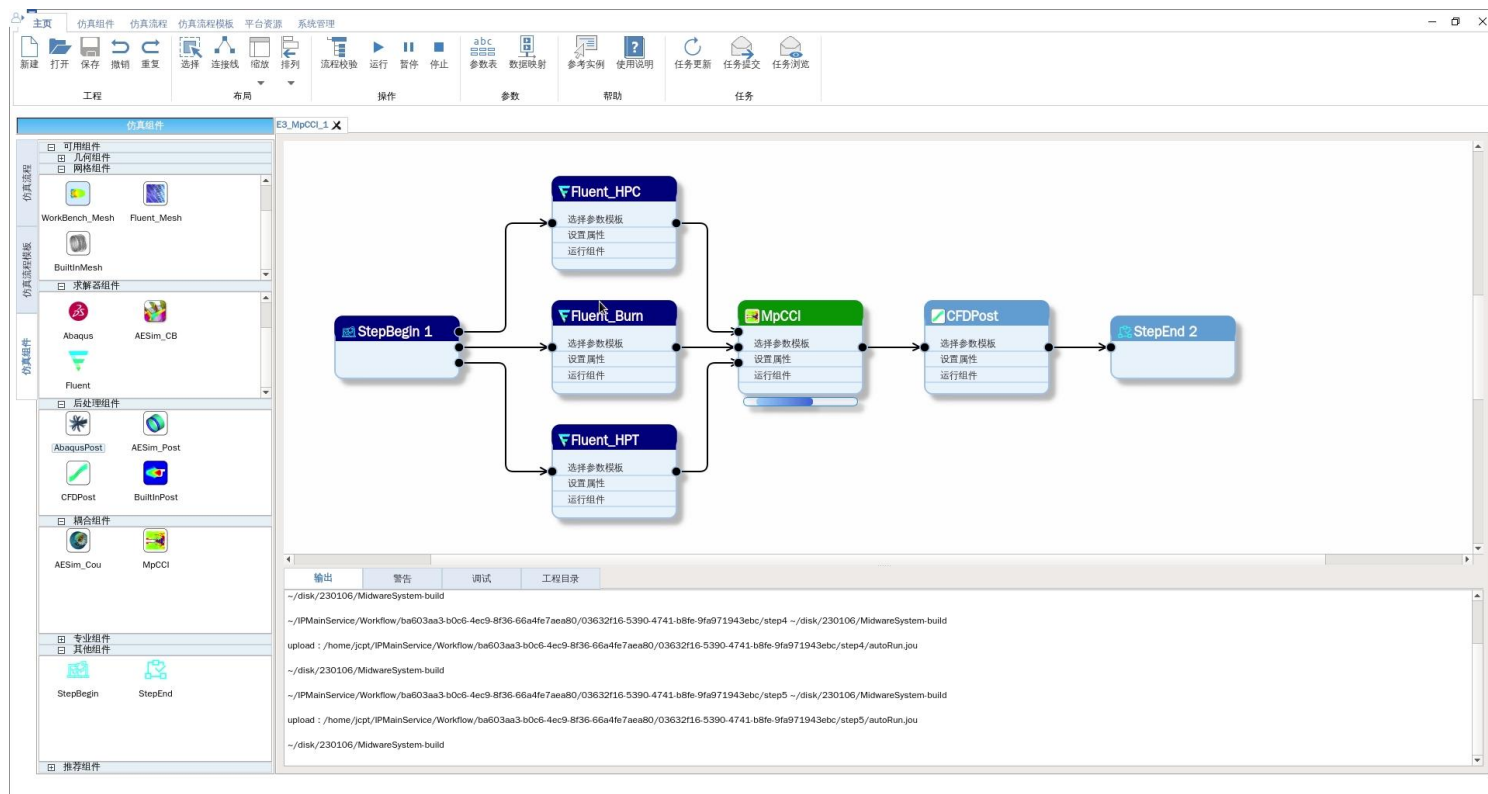


软件设计平台

软件快速原型设计、个性化分析流程

开源国产多学科流程协同仿真平台，本质是一套面向**多学科协同的流程仿真快速集成集成平台**。平台封装仿真工具软件和仿真业务流程，**提供组件化和流程模板能力**，并通过开放仿真流程定制和仿真经验参数，衔接管理与研发过程，**打通工具、流程与数据**，从而形成完整研发体系。

平台采用分布式系统架构，灵活部署和对接外部系统，**提高研发效率，固化研发经验，积累过程知识**，解决复杂产品的研发流程管理。



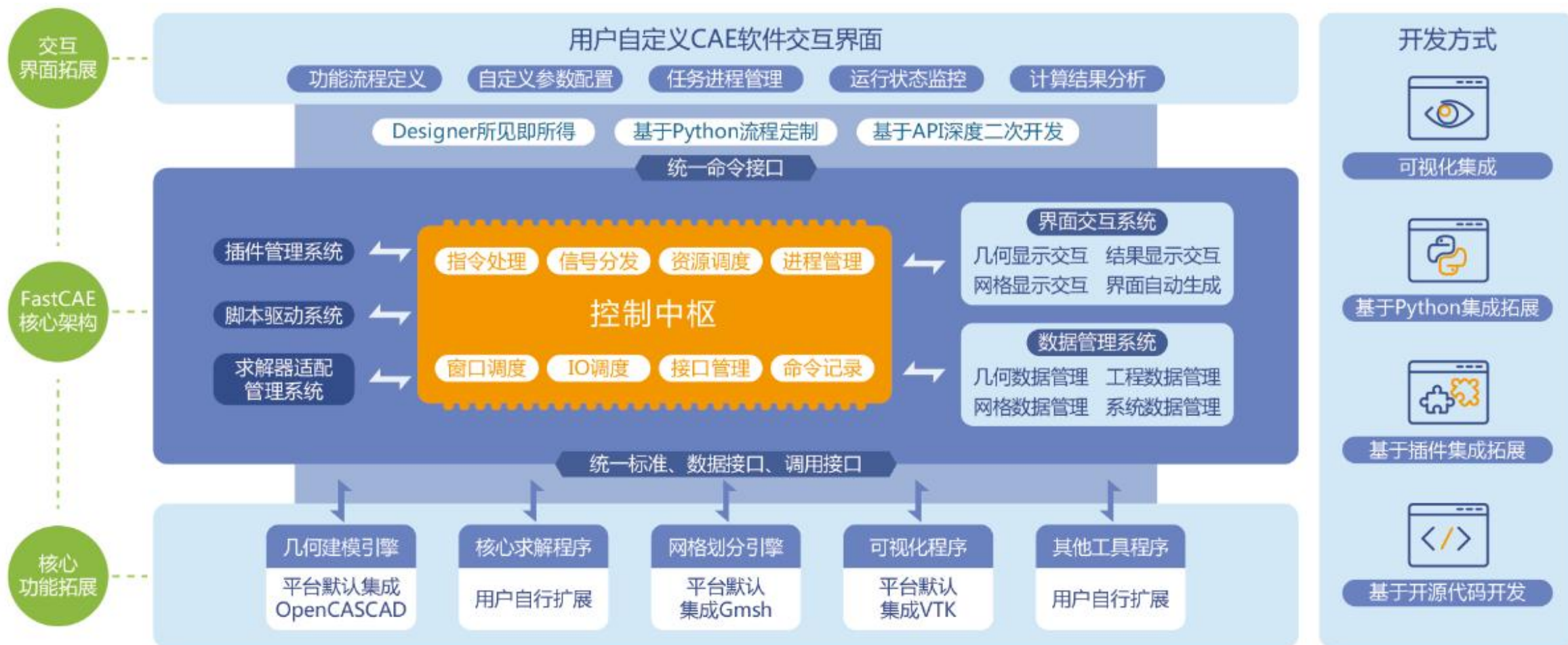
✓ 软件组件化封装

✓ 仿真流程模板化

✓ 可视化流程建模

✓ 仿真流程自动化

FastCAE采用**分层架构模式**，以FastCAE核心架构为基础，构建数据管理、信息交换、界面生成、求解器集成等基础架构，同时**提供丰富的组件库**。支持用户①**快速构建个性化界面**，②**几何、网格、求解器等核心模块的灵活扩展**，为自主CAE软件产品化迭代提供健壮**底层平台**。



FastCAE V3.0，平台进入低代码化开发的新篇章，实现知识积累、经验固化的工业需求

至今

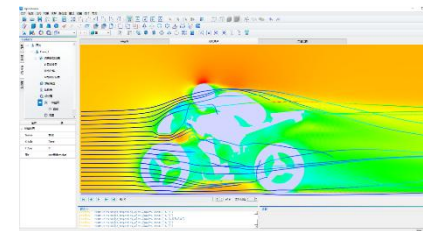
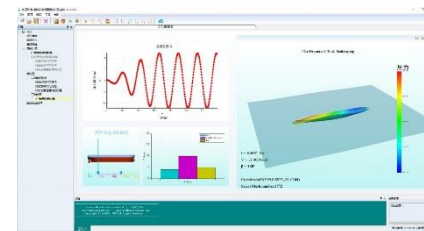
2021年

FastCAE v2.5发布，完成了平台、开发者、用户角色融合，基于FastCAE开源社区初具形态



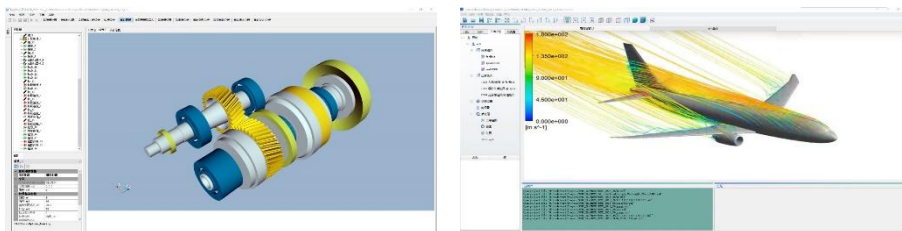
发布**FastCAE v2.0开源版本**，完成数值水池、数值风洞、数字化发动机、空间环境效应等国家重大专项

2020年



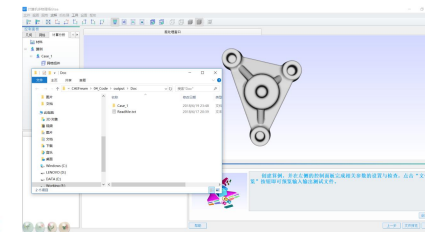
2019年

行业影响，FastCAE平台服务航空航天、船舶海工、汽车、机械、核能等领域，完成自主CAE软件集成70余例

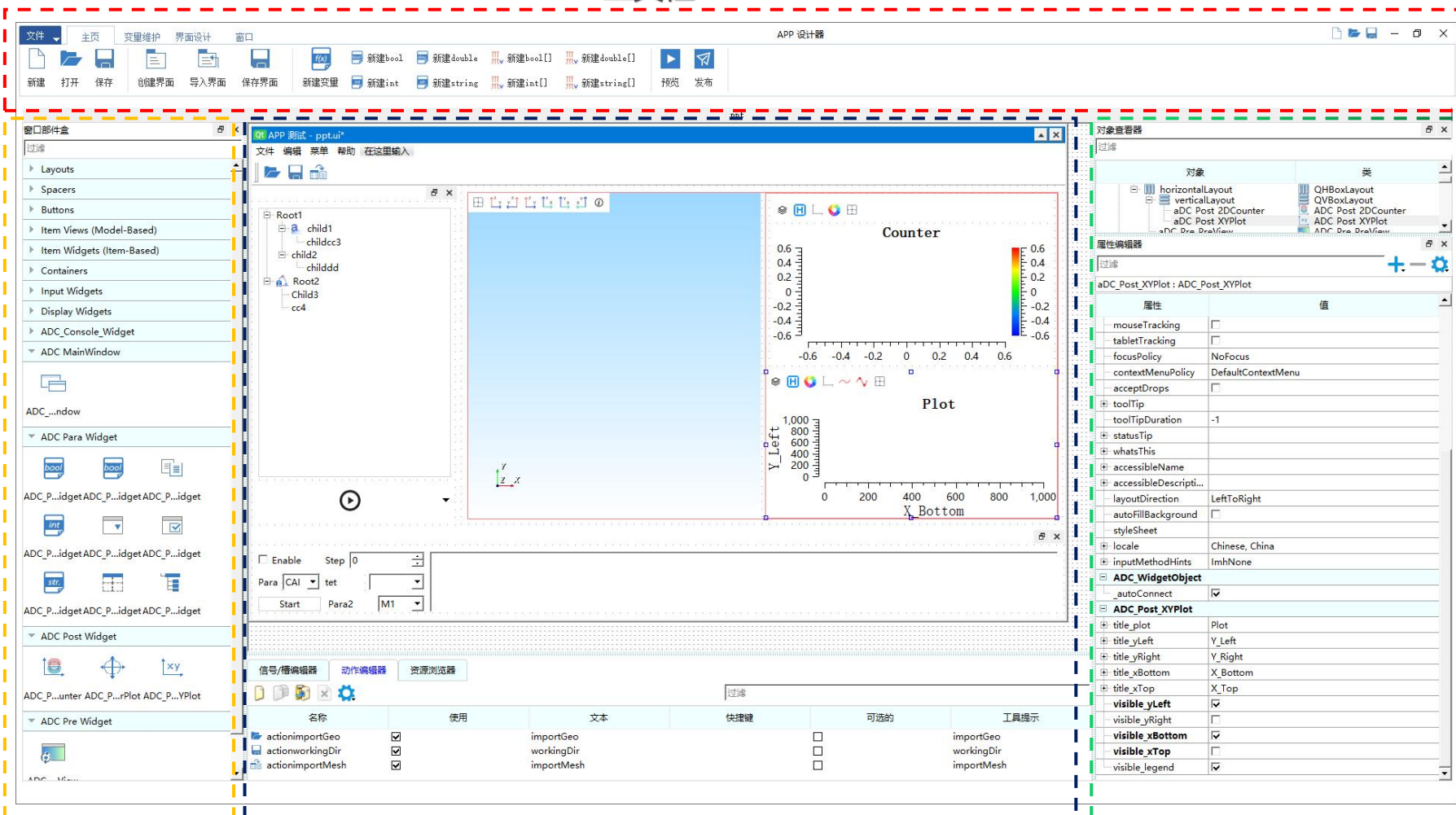


发布 **FastCAE v1.0免费版本**，明确平台定位与目标形成了面向自主CAE软件集成的概念平台

2018年



工具栏



可拖拽控件区

布局设计区

属性设置区

—— 特色与价值 ——

代码全部开源，鼓励商业产业化

可视化UI设计，加速产品迭代

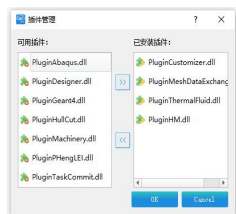
丰富的组件库，降低研发成本

开源社区成熟，促进资源融合

FastCAE V3.0新增APP设计器，实现低代码化的模块集成与用户界面自定义布局设计，节省70%设计开发时间

基于通用功能组件和自定义拓展的功能组件，可实现的**求解器集成**、**自定义UI设计**、**可拖拽式 workflow 创建**、**迭代优化设计**、**集群远程计算**等功能。为大中型研究创新型团队提供**成果整合与应用**的一体化解决方案。

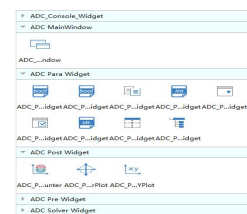
高级组件



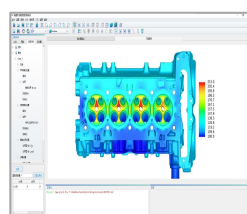
插件拓展组件



Python核心组件

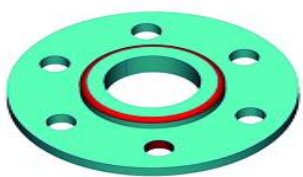


可拖拽UI控件

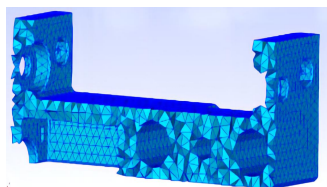


UI驱动组件

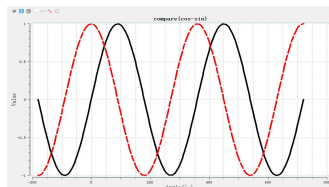
基础公用组件



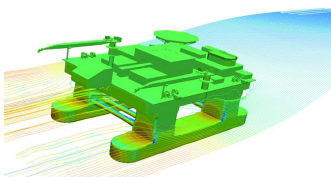
几何建模组件



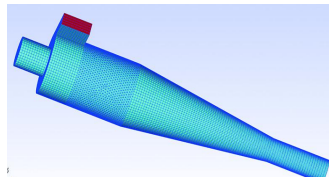
网格划分组件



二维曲线组件



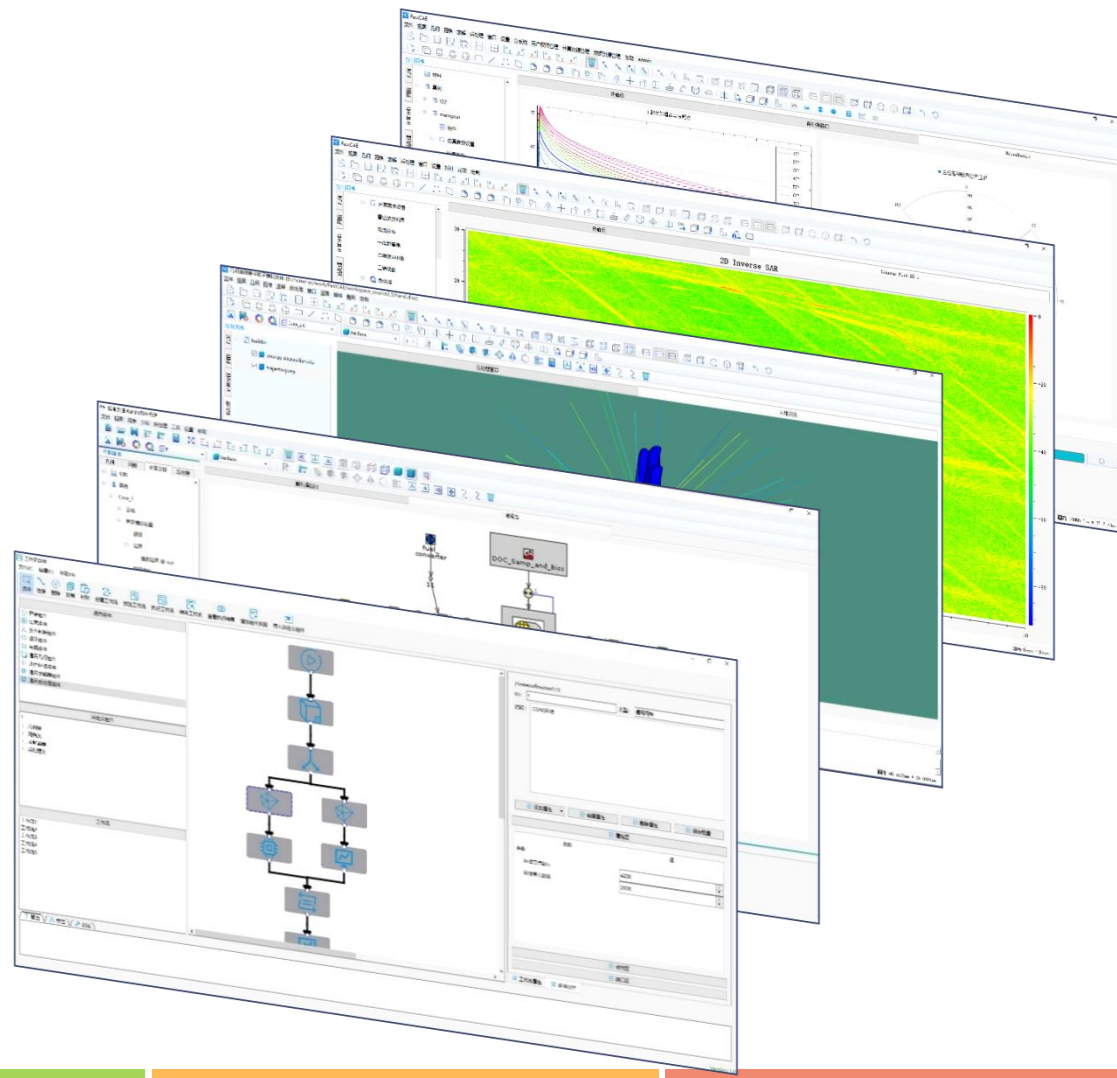
三维后处理组件



物理建模组件

cal	0.0295
r	0.13207
u	-0.0516
p	0.00011510
绝热指数	1.7 00 e
火焰力	980.00 KJ/Kg
余量	0.00092
密度	1600.00 Kg/m3
热力学系数	0.22
膨胀系数	0.0000000695
压力指数	0.05
粘度	0.0002

参数输入组件



几何建模组件库

几何建模组件系统默认集成OpenCASCADE 开源几何引擎，，目前已实现多种三维特征建模与三维特征操作，以及简单的草图功能。结合平台提供的可视化交互组件，能够实现复杂几何模型的可视化渲染与交互。

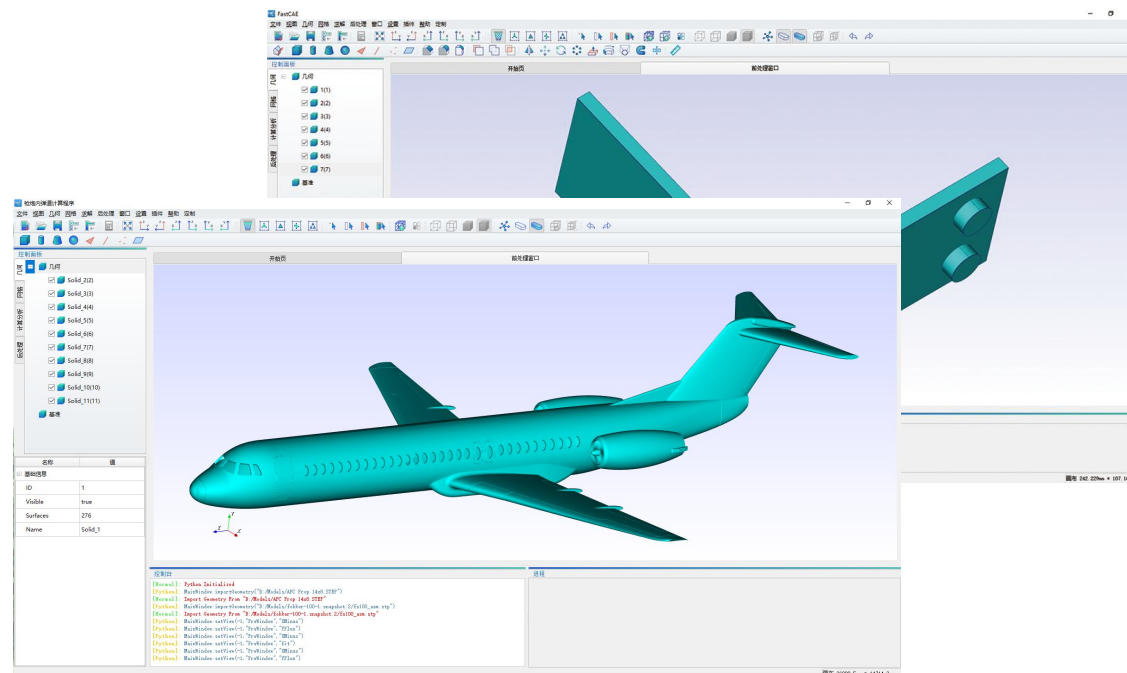
组件提供标准接口可集成任意几何引擎，可根据需要集成拓展其他商用或开源几何引擎。

基础功能

- 支持立方体、球、圆柱、圆台等快速几何体建模；
- 支持拉伸、镜像、布尔运算、倒角等特征操作；
- 支持任意平面草绘。

高级功能

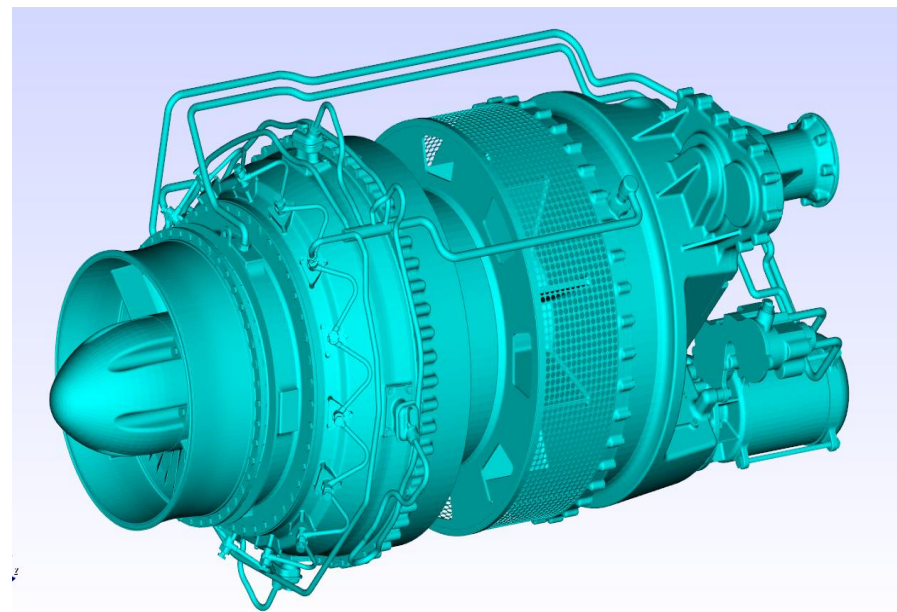
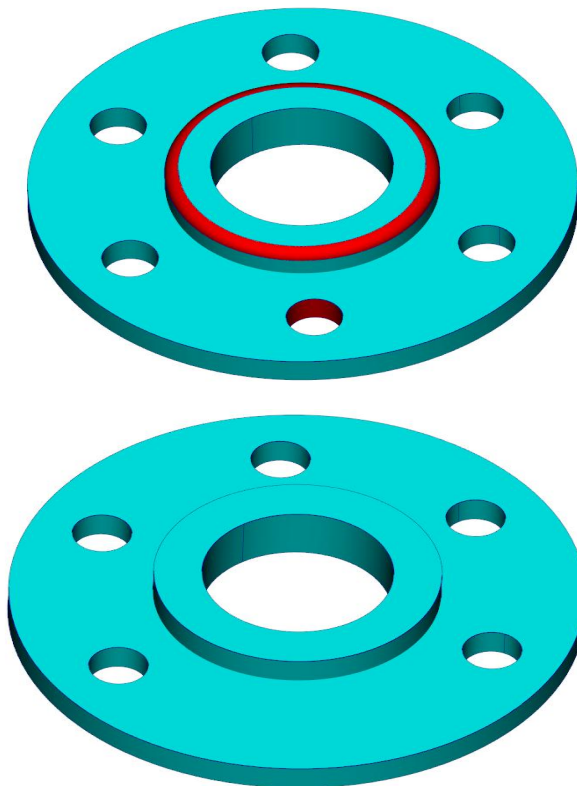
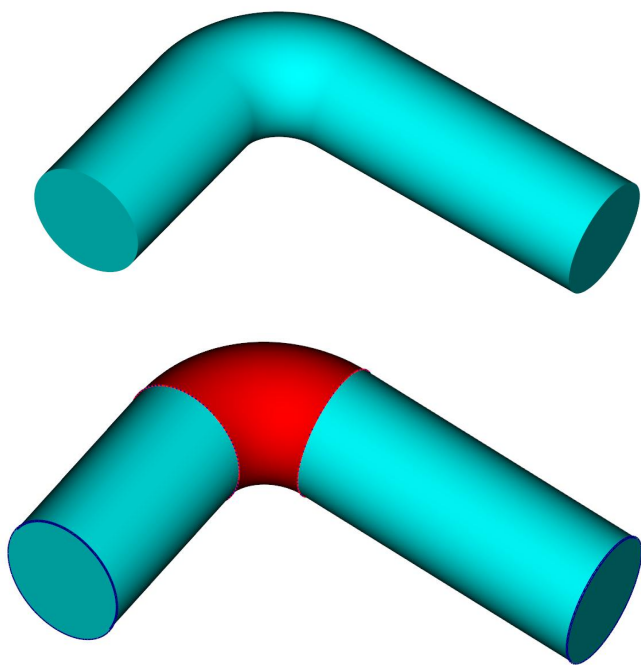
- 支持通用几何文件导入导出，支持保存工程文件；
- 支持无限步撤销重做操作；
- 支持编辑修改操作。



系统默认集成OCC开源几何引擎，可根据需要集成商业或其他开源几何引擎。

几何建模与交互能力

基于OpenCASCADE开发几何修复模块，支持孔洞填补，特征面删除，曲面修复，实体分割等功能。基于VTK的渲染引擎可支持渲染3000面片以上的复杂模型与交互。



网格剖分组件

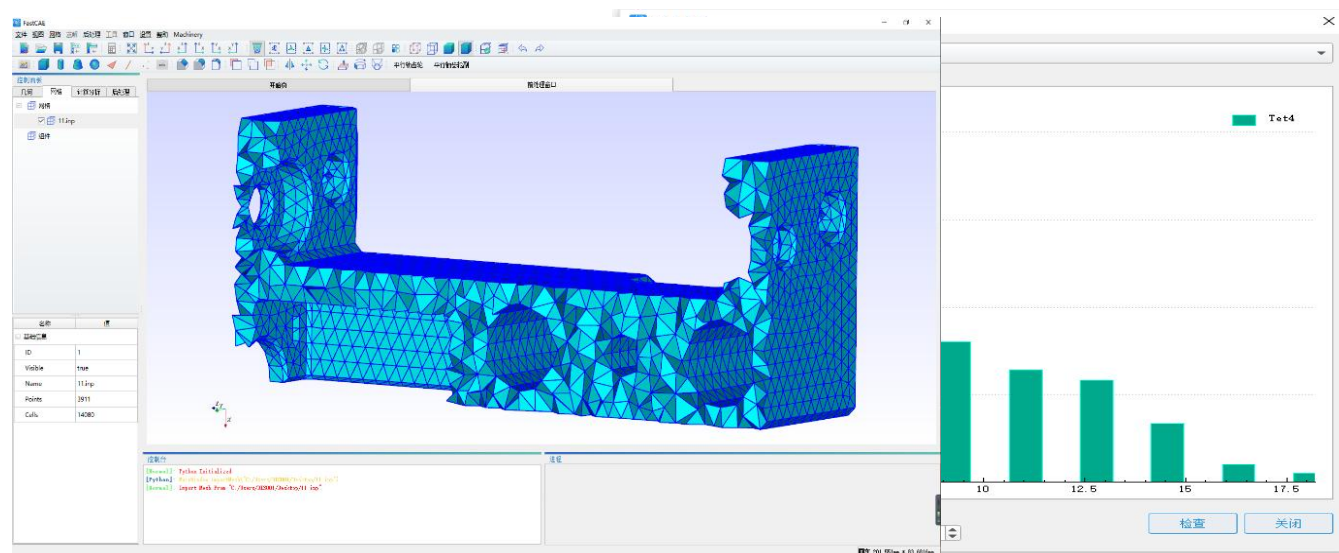
网格剖分组件，默认集成Gmsh网格剖分引擎，支持低阶与高阶网格单元划分，支持多种单元类型，支持多种网格文件导出，结合基于VTK的可视化组件，实现网格的统一显示模式，多种网格选取交互模式。同时开辟多种接口，可根据需要集成商用或其他开源网格划分引擎。

基础功能

- 基于脚本和Python接口的调用；
- 支持结构化与非结构网格显示；
- 自动修补孔洞；
- 默认封装多种网格划分算法。

高级功能

- 自主开发了二十余种的网络评价方法；
- 自主开发了更友好的交互界面；
- 自主开发了点选框选等网格选取方式；
- 自主开发了基于几何的网格检索方法。

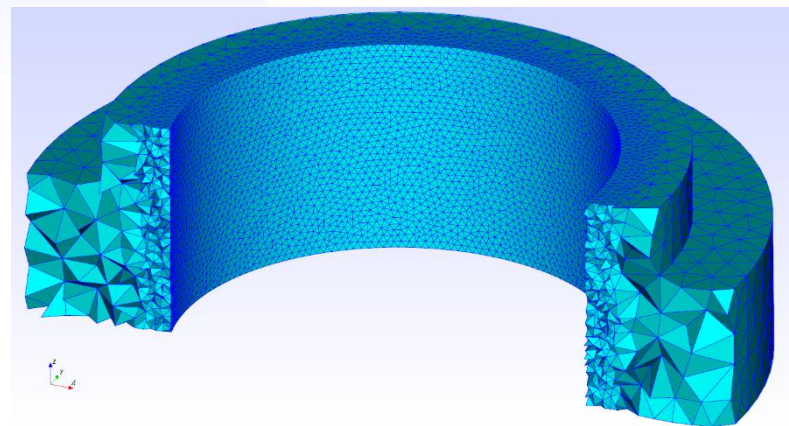
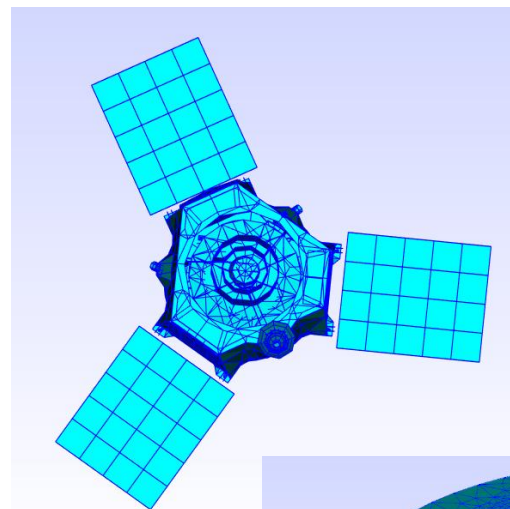
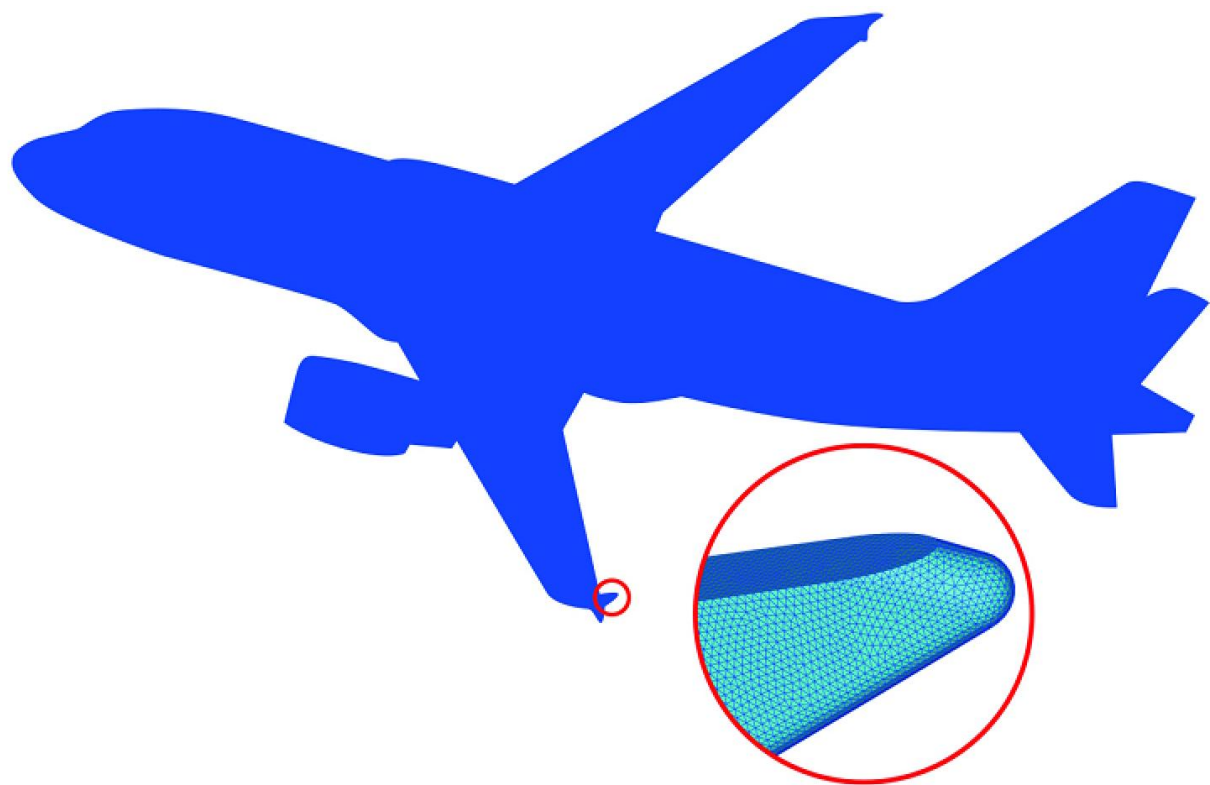


系统默认集成GMSH开源网格引擎，

可根据需要集成商业或其他开源网格划分引擎。

网格剖分与可视化能力

自主开发了基于网格组件的建模功能与基于模型几何特征的选取功能；PC机可支持亿级四面体网格渲染与流畅交互。

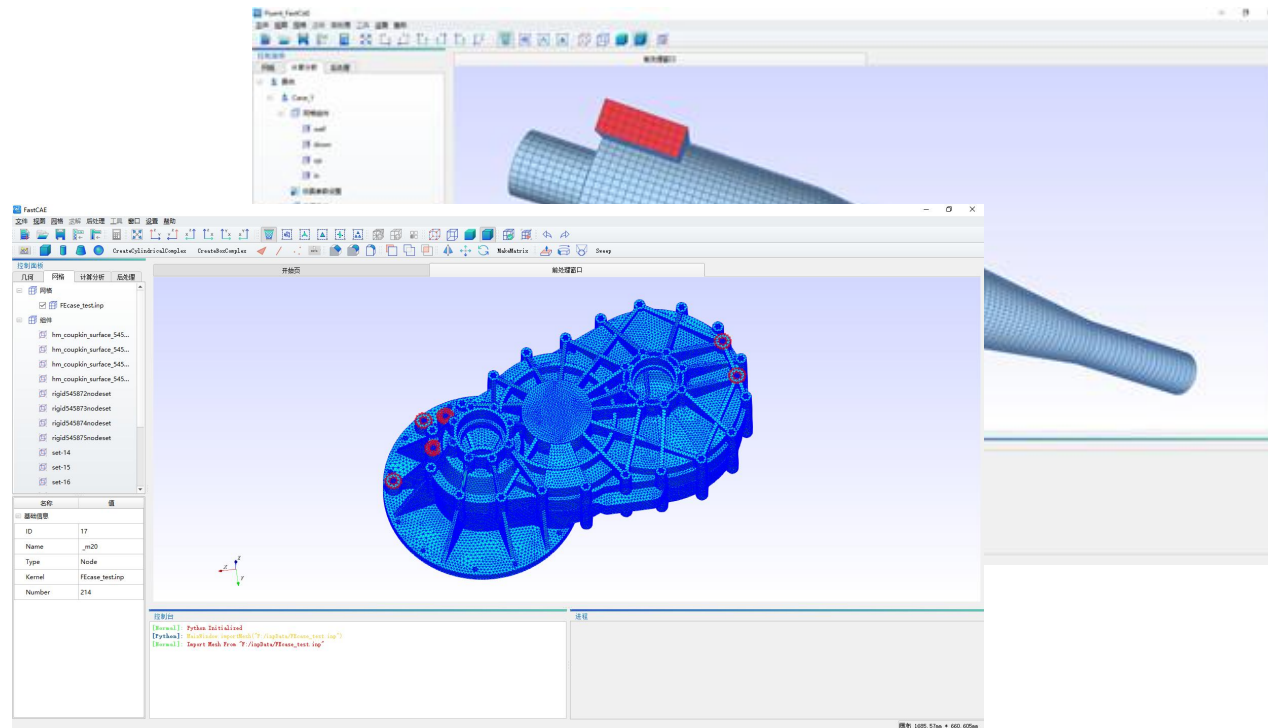


物理建模组件

物理建模组件采用基于组件的建模方法，能够实现对模型的组件化拆分，支持面向几何模型的组件化建模与面向网格模型的组件化建模，以及混合模型的组件化建模。建模过程支持对不同的组件赋予不同的材料属性、边界条件等物理属性，同时支持多种商软算例文件数据交换。

主要功能

- 支持*.cgns *.msh *.inp等格式文件导入；
- 支持组件的新建与删除；
- 材料与材料库的管理；
- 边界条件的管理；
- 其他仿真参数设定。

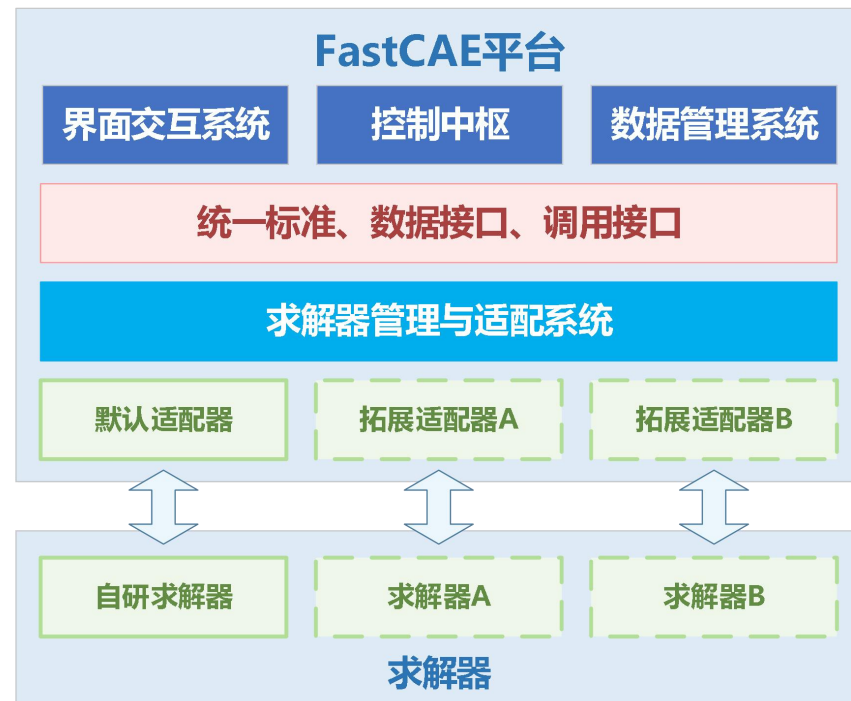


通用求解器驱动组件

通用求解器驱动组件支持自研求解器集成和第三方商业或者开源CAE软件集成驱动。基于可视化配置方式和标准输入输出文件集成自研求解程序；也可以通过平台提供二次开发接口集成功能复杂的自研求解器和第三方CAE软件。

主要功能

- 求解器类型支持自研与第三方求解器；
- 灵活的求解器设置，随时修改，即时生效；
- 支持模板与指定文件格式的输入文件；
- 支持自定义的文件转化；
- 支持Windows、Linux多系统求解器集成；
- 支持插件式的拓展接口。

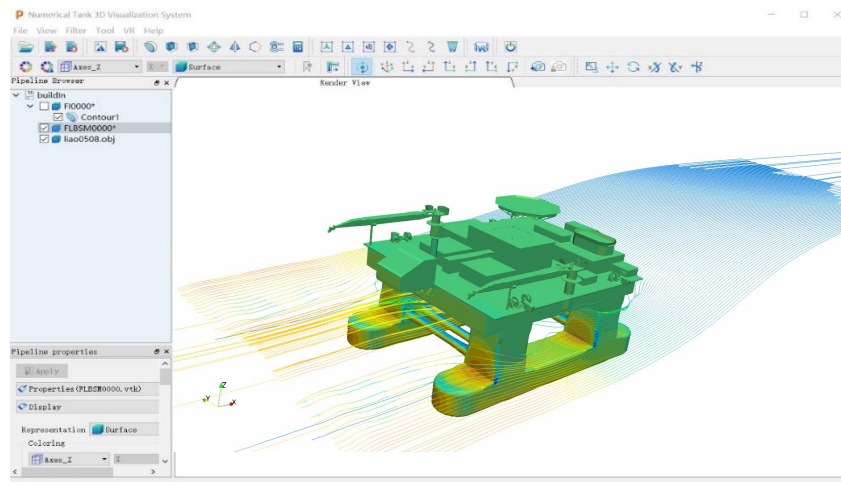


后处理可视化与交互

后处理可视化与交互，平台基于VTK图像库开发了二维、三维结果可视化功能。可实现绘制二维曲线、云图、矢量图、动画、图像切割、对称、等值面提取、流线等功能。另外，还具有VR可视化模块和几何数值耦合运动模块等高级功能。

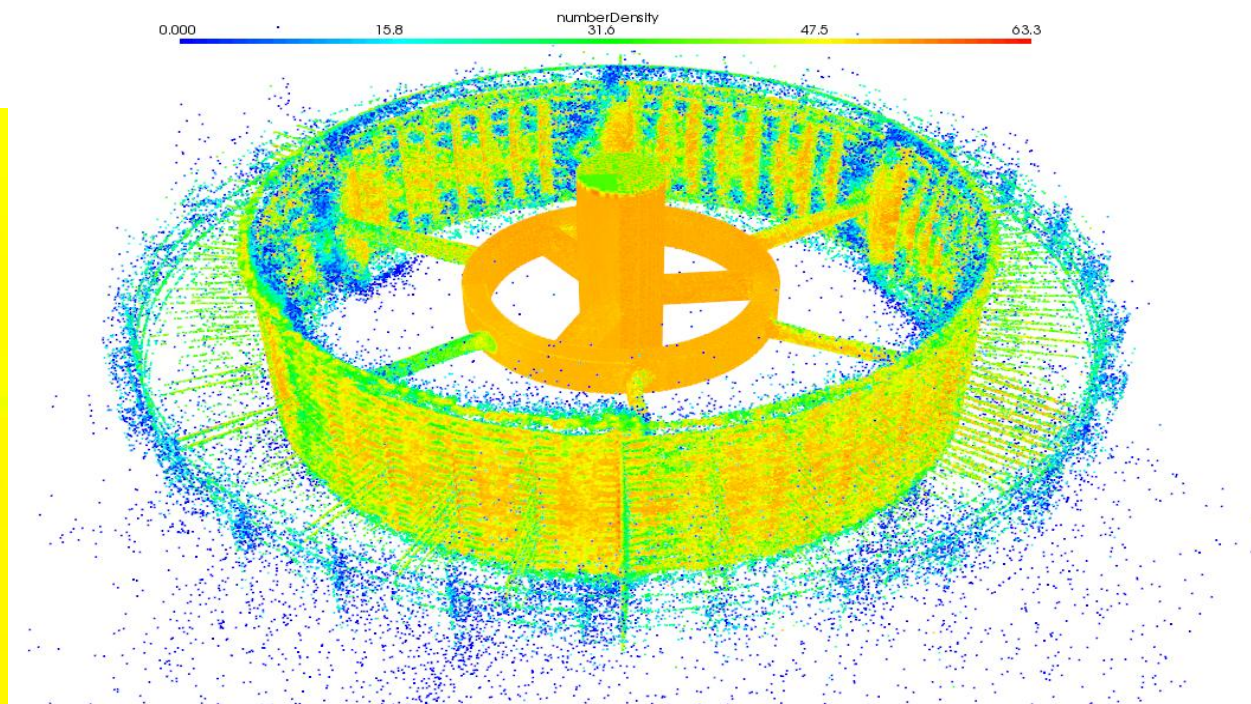
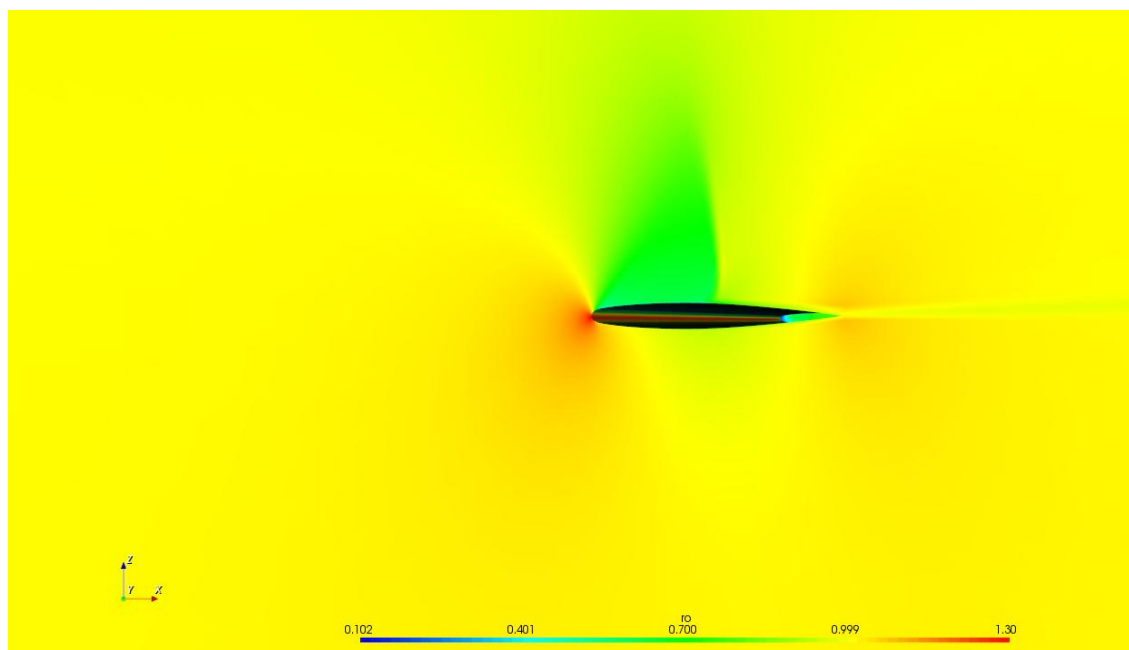
主要功能

- 支持VTK/Tecplot/CGNS/OBJ等格式文件；
- 提供接口，轻松集成其他数据格式结果文件；
- 支持云图、矢量图、动画等常规三维可视化功能；
- 支持切割、对称、等值面提取等数据操作功能；
- 支持结果数据VR渲染，可输出到HTC Vive设备；
- 支持三维空间数值提取，实现曲线与动画同步功能。



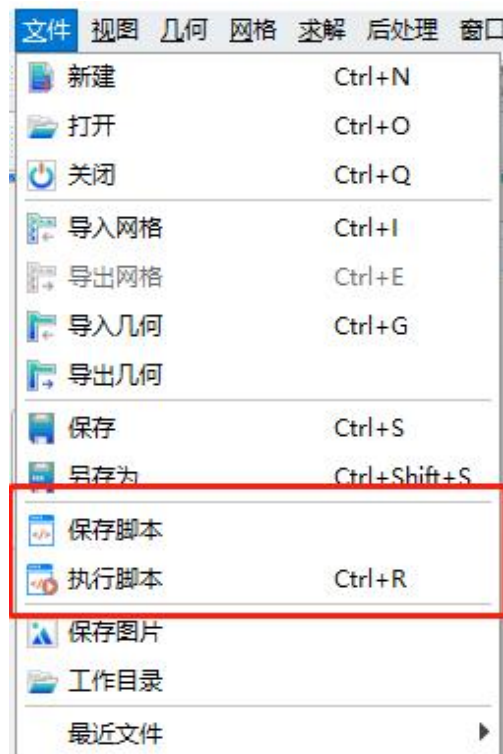
后处理渲染能力

后处理可视化与交互，平台基于VTK图像库，采用GPU加速技术，能够实现亿级四面体网格与空间粒子的渲染。



全流程脚本控制组件

平台各功能组件采用**C++语言开发**，核心功能封装了**Python接口**，全流程脚本控制组件，对Python解释器进行封装修饰，功能组件之间通过Python命令相互调用，降低耦合，可按照用户需要调用不同粒度的接口，实现**仿真全流程自动控制**。



FastCAE采用开源协议及技术服务说明

FastCAE开源的宗旨是希望更多的研究人员快速将其基础理论成果产品化，因此采用比较宽泛的**开源协议**，鼓励用户随意使用。采用BSD开源协议，基于FastCAE开发CAE软件**版权归开发者所有**，并可自由进行商业推广。在使用过程中，如需要技术支持请选择相关服务购买。

开源免费

任何个人及单位均可以使用本平台进行学习研究以及开发商业程序。

- ✓ 平台使用过程中遵守BSD开源协议；
- ✓ 包含系统所有源码、功能及文档等内容；
- ✓ 可通过文档及社区进行学习交流。

去除版权

对自主研发CAE软件的用户，想在发布的产品中去除开源协议声明。

- ✓ 可去除开源代码中的版权声明文件；
- ✓ 包含系统所有源码、功能及文档等内容；
- ✓ 可通过文档及社区进行学习交流。

技术支持

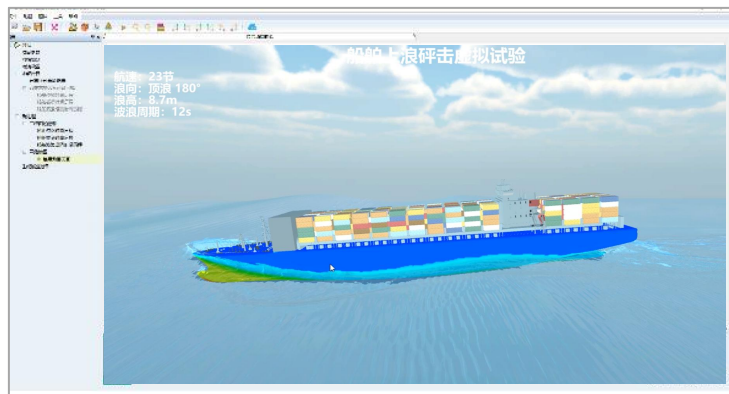
对在平台使用过程中，希望获得开发团队深度技术支持的用户。

- ✓ 提供5×8小时的在线技术支持；
- ✓ 提供20小时平台使用培训课程；
- ✓ 每年赠送一个软件去除版权声明授权。

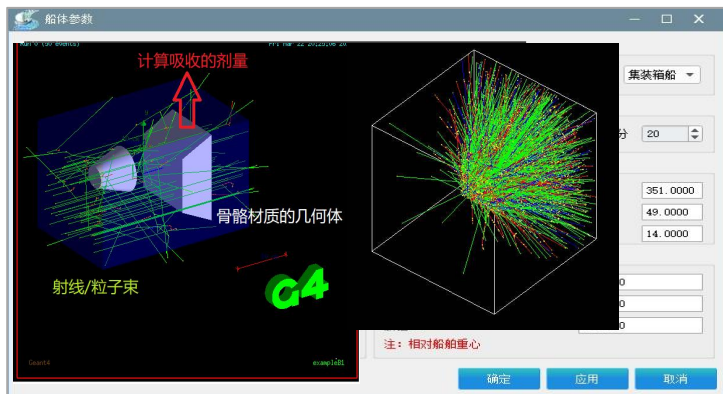


源码地址: <https://github.com/DISOGitHub/FastCAE>

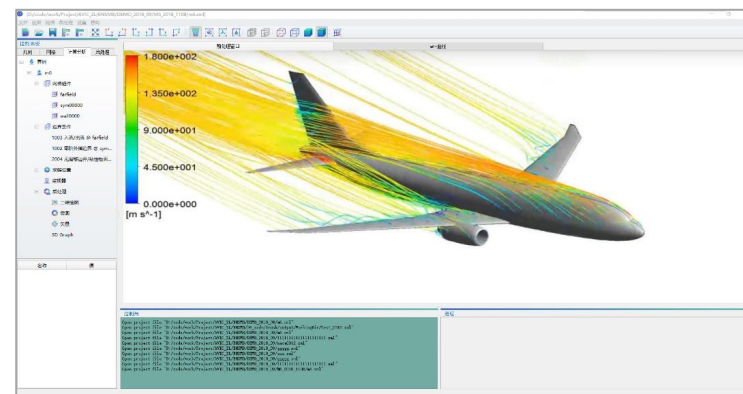
数值水池，数值风洞、数值发动机、数字化核反应堆、航天器空间环境模拟等**7个领域的国家重大专项**



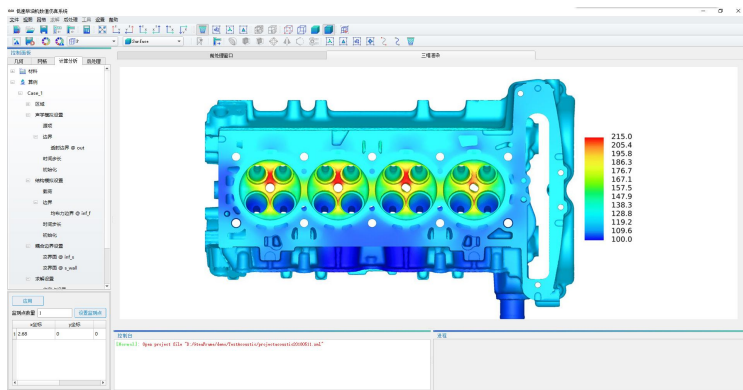
数值水池创新专项



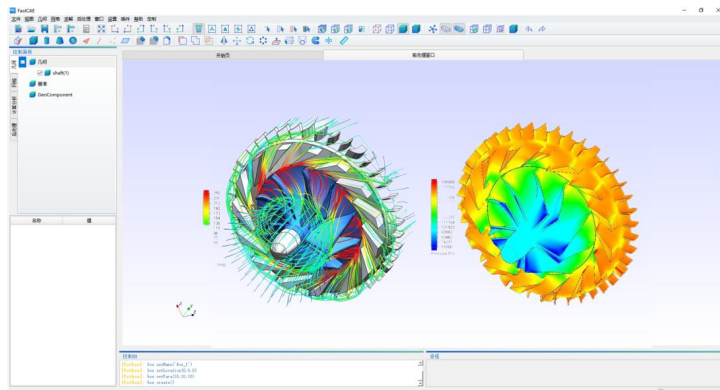
航天器空间环境模拟专项



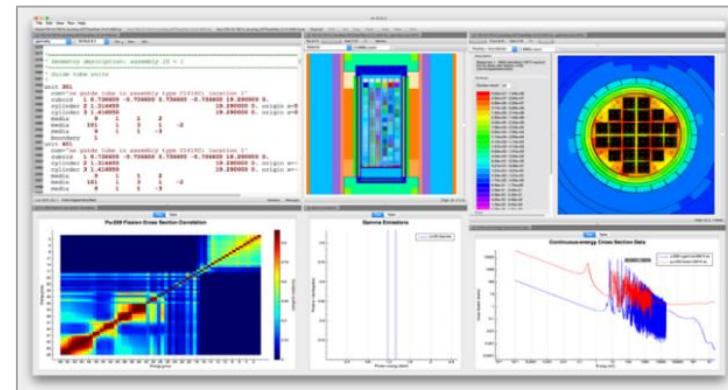
国家数值风洞工程



数字化船用低速发动机专项

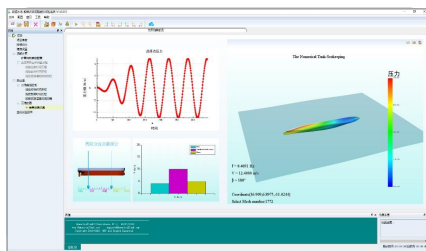


数值航空发动机

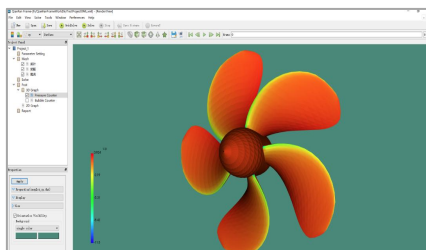


数字化核反应堆

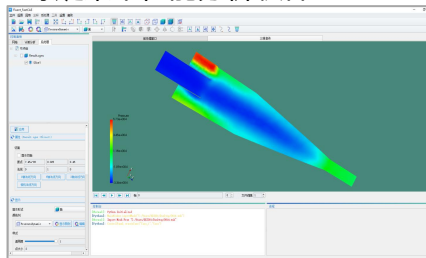
已集成软件：
240+
↑
覆盖行业：
12个



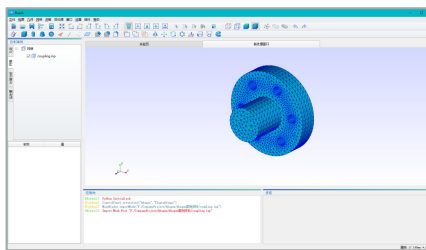
船舶耐波性计算分析软件



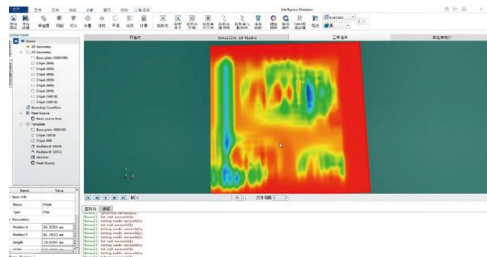
螺旋桨性能分析软件



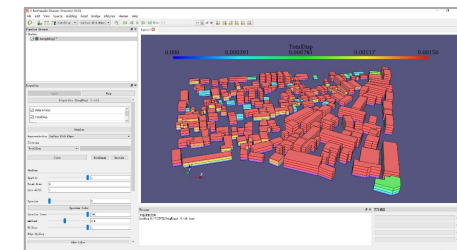
Fluent旋滤器分析软件



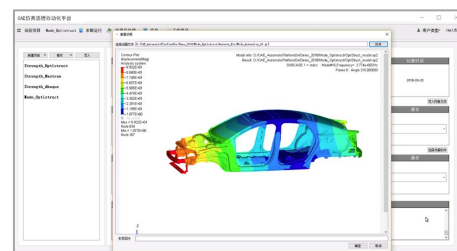
ABAQUS模态分析软件



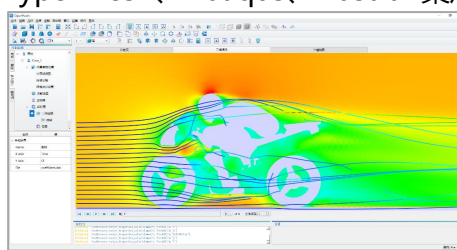
无人系统热学科交互仿真分析模



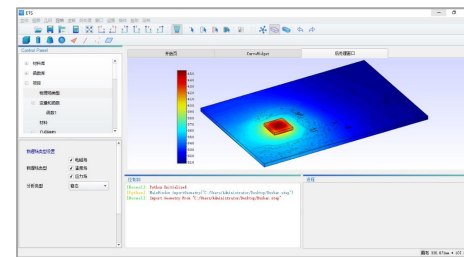
地震灾害数值仿真计算分析软件



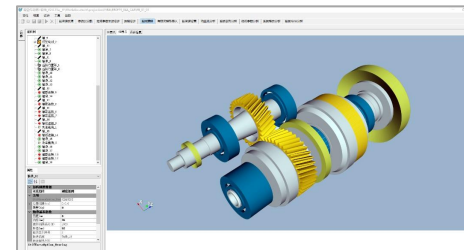
HyperMesh、Abaqus、Nastran集成



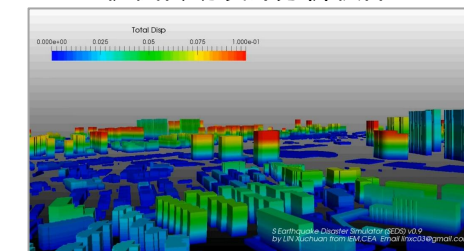
Openfoam SIMPLE求解不可压湍流



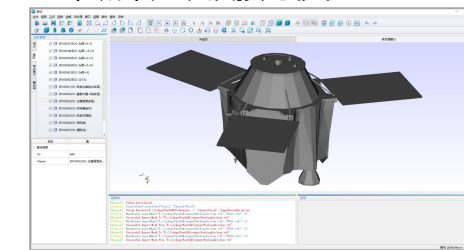
ETS多物理场集成软件



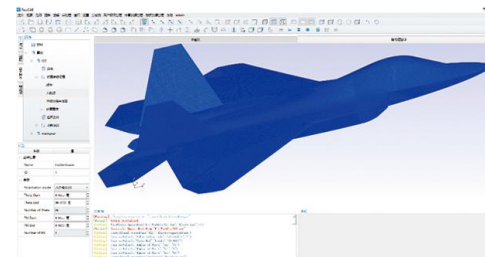
机械传动设计分析软件



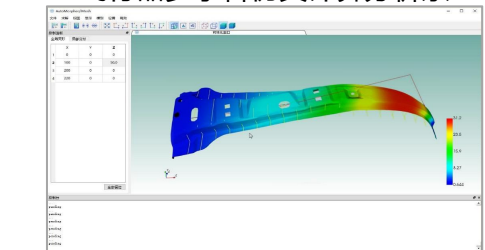
三维城市建筑震损可视化



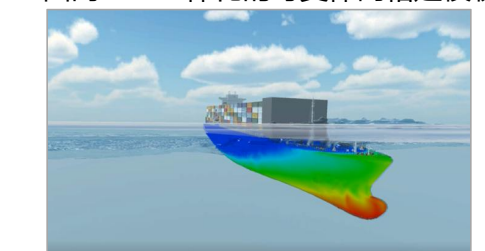
卫星传热计算分析软件



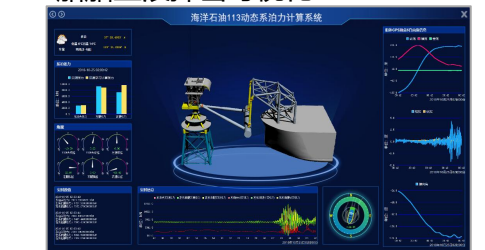
飞行器多学科仿真计算分析系



面向CAX一体化的可变体网格建模软件



船舶上浪抨击可视化



基于深度学习动态系泊力估算软件

FastCAE经过多年发展，已应用到船舶、汽车、航空、航天、核能、机械等行业，服务了北航、北理工、国防科大、航发集团、中船集团、军科院、福田雷沃、国核华清、精益传动，覆盖高校、研究所、企业等**40余家单位**，完成国产CAE软件**240余例**。

■ 科研院所 (20+)

 中国航天	 中国航发 AECC
 中航工业	 航天科工
 上海船研所	 海洋装备研究院 Marine Equipment and Technology Institute
 中船重工	 海洋国家实验室
 中国船级社 CHINA CLASSIFICATION SOCIETY	 国家超级计算天津中心 National SuperComputer Center in Tianjin
 中国人民解放军军事科学院 国防科技创新研究院	 中国人民解放军部队
 中国空气动力研究与发展中心 CARDIC CHINA AERODYNAMICS RESEARCH AND DEVELOPMENT CENTER	 中国地震局工程力学研究所 Institute of Engineering Mechanics, CEA

■ 重点高校 (20+)

 哈尔滨工程大学 HARBIN ENGINEERING UNIVERSITY	 西北工业大学 NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY
 北京航空航天大学 BEIHANG UNIVERSITY	 哈尔滨工业大学 HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY
 上海交通大学 Shanghai Jiaotong University	 大连理工大学 DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
 浙江大学 ZHEJIANG UNIVERSITY	 国防科学技术大学 National University of Defense Technology
 西南交通大学 Southwest Jiaotong University	 中山大学 SUN YAT-SEN UNIVERSITY
 江苏科技大学 JIANGSU UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY	 上海海事大学 SHANGHAI MARITIME UNIVERSITY
 上海大学 Shanghai University	 鲁东大学 LUDONG UNIVERSITY

■ 企业单位 (20+)

 国家电投 SPIC	
 IDAJ Integrated digital advanced solution	 中国海洋石油集团有限公司
 中国石油	
 精益传动 JINGYI TRANSMISSION	 福田雷沃重工
 淞幸科技 SUNGREEN	 中科曙光 Sugon
 懿朵科技 YIDUO TECHNOLOGY	 合工仿真 UNINSIM
 北京华天海峰科技股份有限公司 HIFAR TECHNOLOGIES CO.,LTD	 乾行达科技 CANSINGA

**脚踏实地、开放共享
走出中国自主工业软件开源之路！**

感谢您的聆听！

