



All-in-One CAX 现状与挑战

——中望软件 李会江



OVERVIEW

01

CAX工业软件概述

02

中望介绍

03

工业软件关键问题

04

挑战与趋势

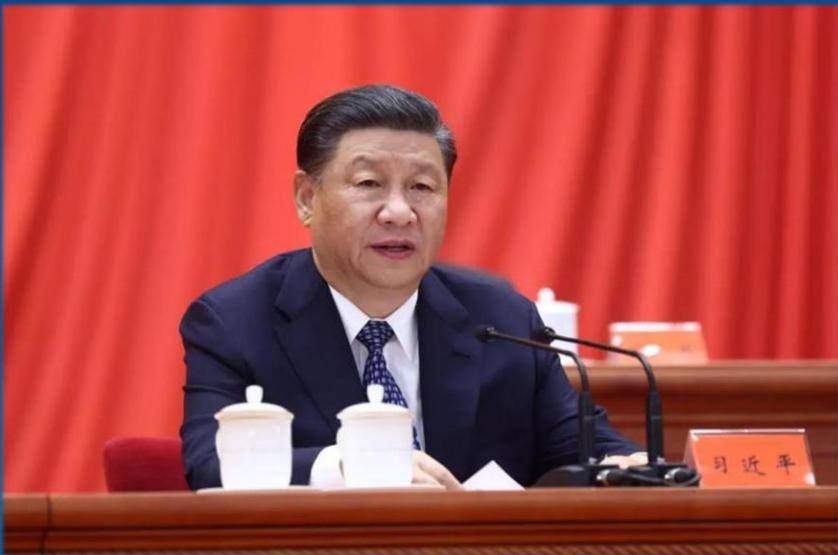


PART 01 CAX工业软件概述

工业软件：国之重器

“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，加快突破一批药品、医疗器械、医用设备、疫苗等领域关键核心技术。”

——习近平总书记在两院院士大会中国科协第十次全国代表大会上的重要讲话



工业软件特征与发展意义

工业软件是工业技术、知识软件化的成果，
源于工业需求，用于工业场景，优于工业打磨，赋能工业发展，创新工业产品，促进企业转型。

工业软件是工业技术和知识的容器
工业软件是对模型的高效最优复用
工业软件是现代化工业水平的体现
研发周期长、成本高、成功难复制



工业软件分类

研发设计类

用于协助工程技术人员完成产品设计和制造

主要分为以下几类：

CAD-计算机辅助设计

CAM-计算机辅助制造

CAE-计算机辅助工程

EDA-电子设计自动化

PLM-产品生命周期管理

PDM-产品数据管理

工业软件 门类划分

生产控制类

用于管控生产制造过程自动化

主要分为：

MES-制造执行系统

DCS-分布式控制系统

SCADA-数据采集与监视控制系统

PLC-可编程逻辑控制器等

运维服务类

主要用于工业品使用过程中的：

状态监测、故障诊断、

健康优化、维护维修等

经营管理类

用于提高工业企业的生产管理水平和客户满意度

主要包括：

ERP-企业资源计划

SCM-供应链管理

CRM-客户关系管理等

CAD

计算机辅助设计
Computer Aided Design

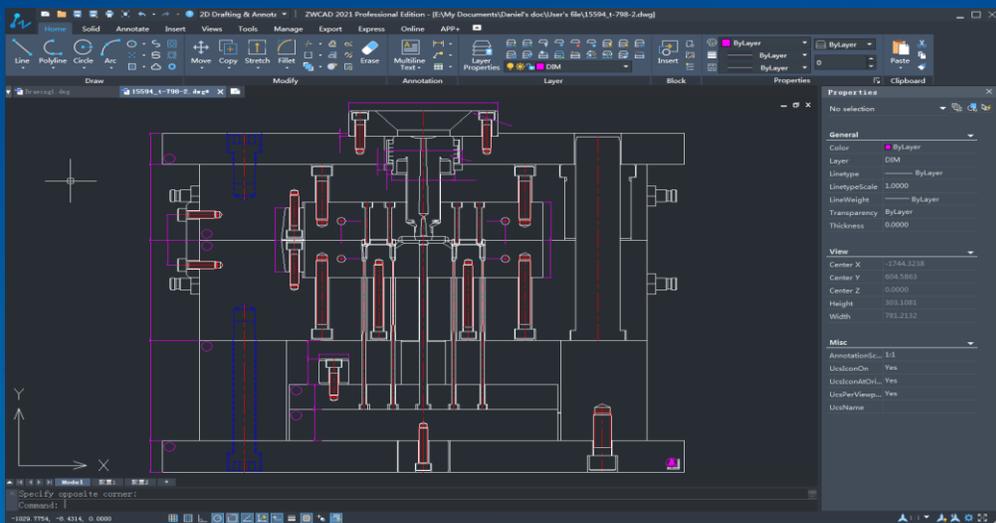
以计算机为主要手段来辅助设计者完成某项设计工作的设计、计算、建立、修改、分析和优化、信息输出等全部任务的综合性高新技术。主要研究内容：

造型技术 —— 即图形处理，是CAD技术的基础，以表达设计方案

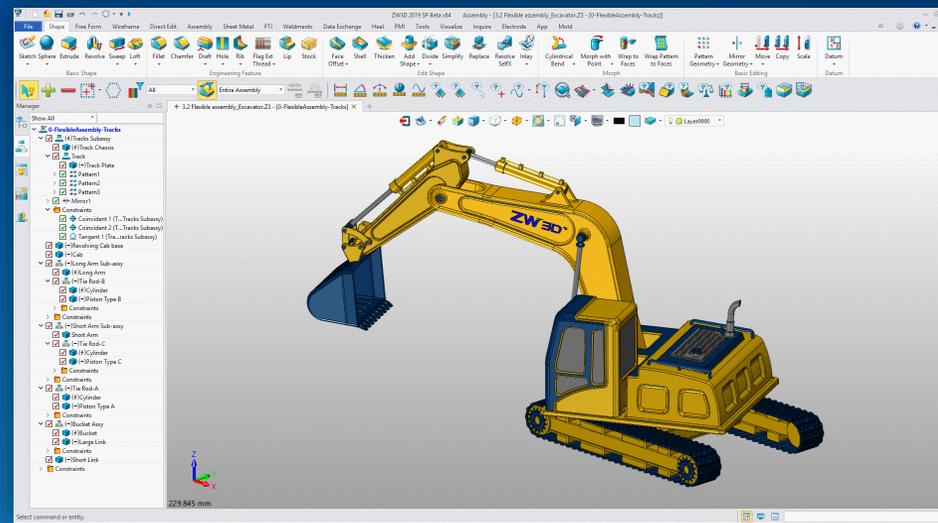
优化分析 —— 在设计的同时进行分析、优化所设计的方案，使设计达到最优

综合评价 —— 对完成的设计方案进行校核和评价

信息交换 —— CAD/CAM/CAE之间及CAD与其他类别工业软件之间的信息沟通与资源共享



2D CAD



3D CAD

CAM

计算机辅助制造

Computer Aided Manufacturing

对制造过程进行设计、管理和控制。包括工艺设计、数控编程和机器人编程等。主要研究内容：

计算机数控 —— 加工工具运行轨迹控制

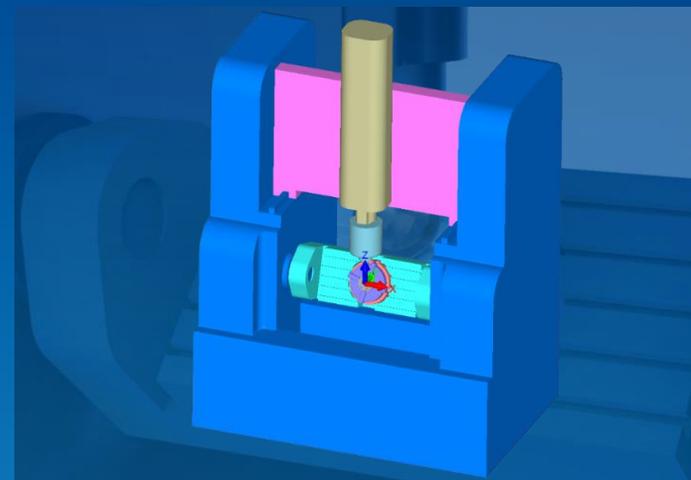
计算机辅助过程设计 —— 加工过程监控与管理



2轴铣削



4/5轴铣削



机床仿真

CAE

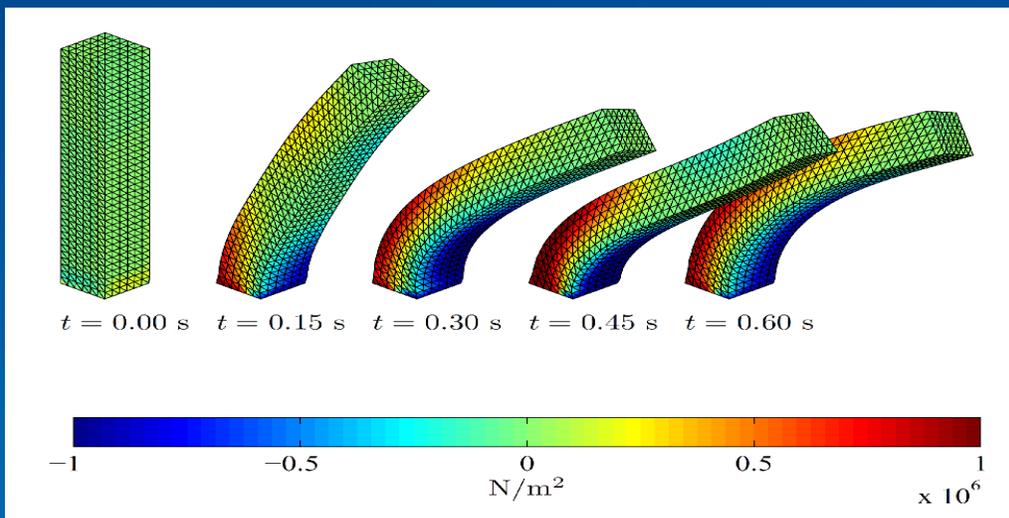
计算机辅助工程

Computer Aided Engineering

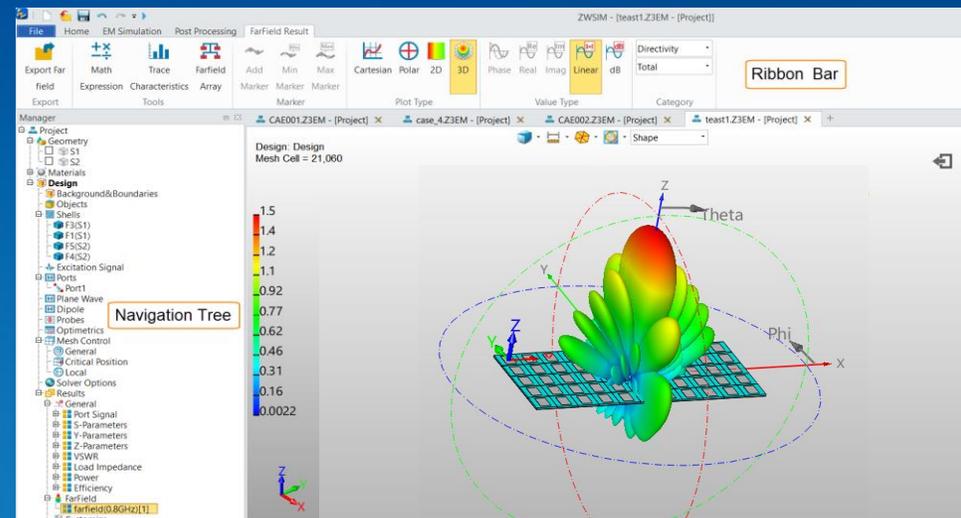
又称模拟仿真技术，主要通过构造准确描述研究对象的某一过程或者属性的数学模型；利用合适的求解方式，设置合理的边界条件和初始条件，得到研究对象的某一过程或属性的求解结果，进而预测可能产生的问题和发展趋势，提出科学、合理的对策、建议和方法。主要研究内容：

分析和仿真 —— 产品结构、热、流体、电磁等方面的分析和仿真

优化设计 —— 进行方案优化的基本功能



结构仿真



电磁仿真



PART 02

中望及其产品

公司愿景——成为国际领先的工业软件提供商

公司战略——All-in-One CAX一体化战略



公司概况

中望软件，中国最大的CAD软件供应商

整体概况

1998年至今，1400+员工，600+研发人员

广州、武汉、上海、北京、重庆、西安、美国、越南

2021年3月11日上市，A股首家设计研发类工业软件企业

产品与技术

专注于CAD技术超过**24**年，拥有二维CAD、三维CAD/CAM、CAE三大自主核心技术

国际化发展

拥有**16**种语言版本，畅销全球**90**多个国家和地区

建立超过**260**家合作伙伴，全球正版用户突破**90**万

公司研发实力

融合中美研发精英，打造国产CAx精品

1

广州/武汉/美国/北京/上海/西安六大研发中心，
融合中美研发精英

2

中国唯一同时拥有完全自主
知识产权2D/3D核心技术

3

全球技术布局，积极并购国际细分领域亮点技术，
加强国际合作

4

高比例研发投入，死磕CAx底层技术
过去三年，研发投入占营收的比例为30-35%

CAx核心技术



公司国际化战略



公司产品平台

专注二三维CAD核心技术超过24年

通用设计平台

二维：中望CAD
三维：中望3D
仿真：中望Sim
移动CAD：CAD派客云图

定制开发

机械、物流、电子、石材
晶圆、园林，地产、通信
电网、水利

CAx核心
技术

行业应用软件

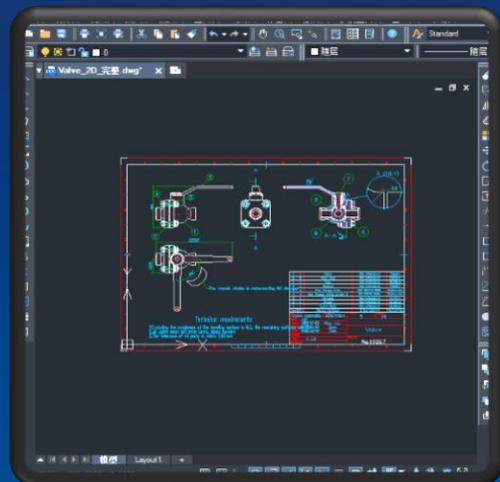
中望机械、中望模具
中望建筑、中望水暖电
中望景园、中望结构

第三方专业应用

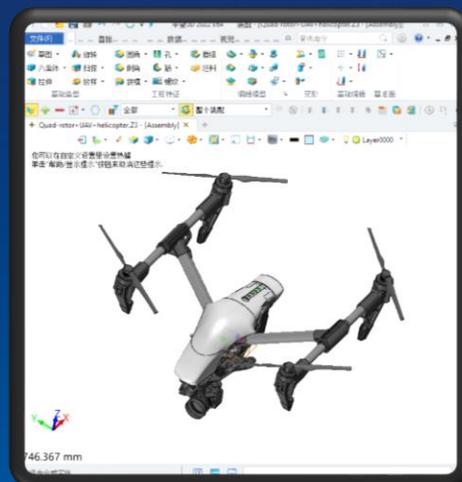
天正、鸿业、理正、探索
者、湘源、道亨、欣电、
诚创、燕秀、米思米模具
.....

公司核心产品矩阵

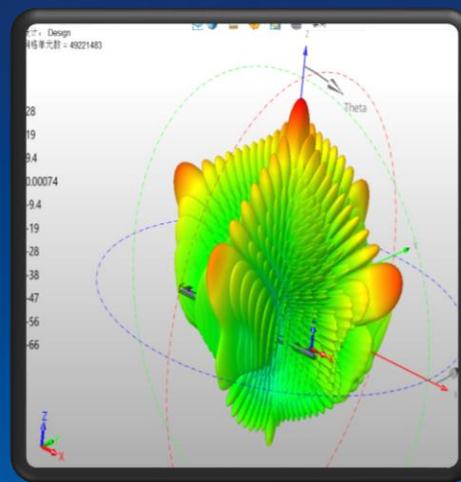
成功构建了 CAD、CAM、CAE 的产品矩阵，实现了工业设计、工业制造、仿真分析、建筑设计等关键领域的全覆盖。



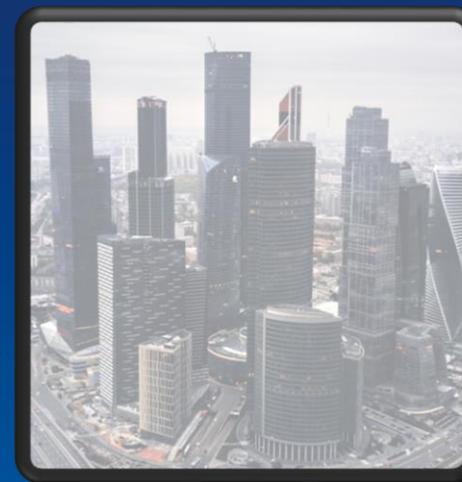
ZWCAD



ZW3D



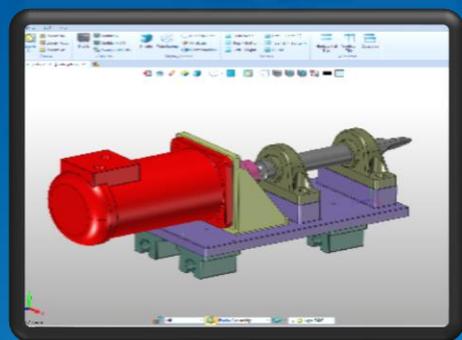
ZWSim



ZWBIM



3D One



CADBro



CAD Pockets

二维设计平台 — 中望CAD

自主内核

- ◆ 源于自主核心技术，独创内存管理机制，全面兼容各类CAD图形格式。

支持跨平台

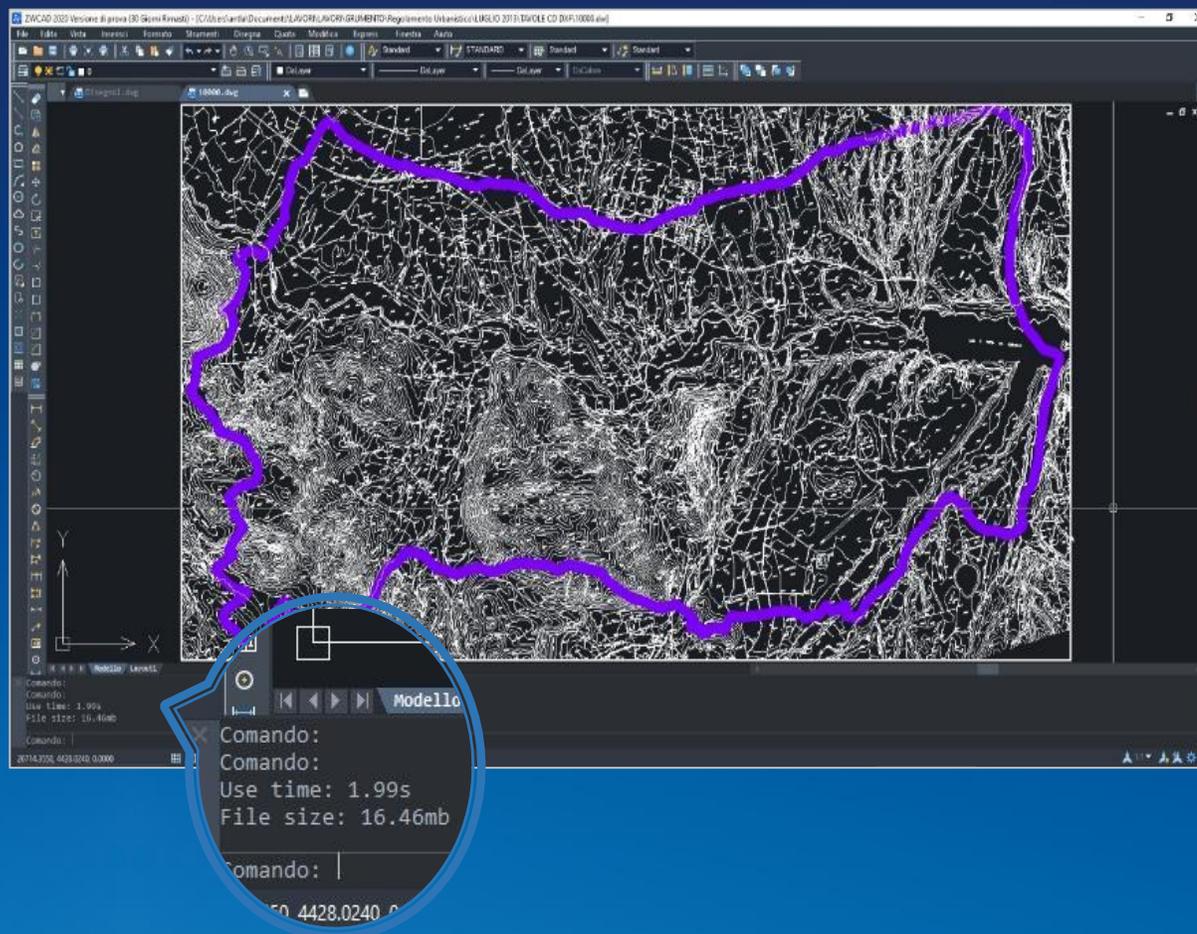
- ◆ 支持Windows、Mac、Linux系统，配合移动版实现跨平台设计体验。

独创功能

- ◆ 产品设计从用户角度出发，采用“轻量级”设计理念，运行速度快且稳定；通过多核并行计算技术，有效提高了文件保存和读取效率。

独创和增效功能

- ◆ 支持多语言、文件比较、图形搜索定位、渲染等增效功能，助力高效设计。
- ◆ 拥有批量打印、智能鼠标、智能语音、条形码等创新功能，简单快捷。



三维设计平台 — 中望3D

强大的Overdrive建模内核

- ◆ 几何表达+拓扑结构表达
- ◆ 各种基础的几何算法实现：求交，投影，分割，三角化，支持容差模型
- ◆ 三维基础建模算法支持：布尔运算，圆角，拔模，扫略等
- ◆ 数据格式交互

混合建模技术

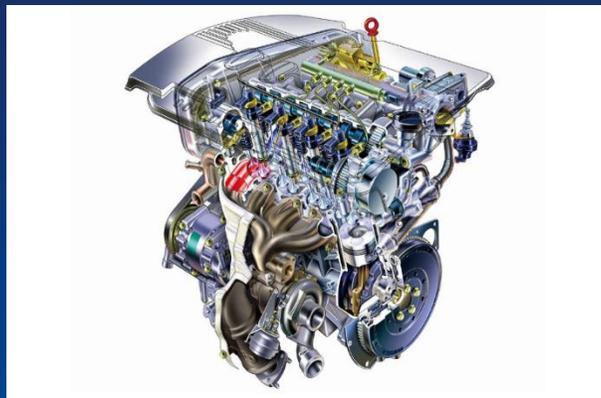
- ◆ 能够胜任复杂曲面建模，可在实体、曲面设计间自由交互。

2D与3D一体化

- ◆ 轻松实现二维/三维图纸互转，设计、出图更加便捷。

CAD/CAM一体化

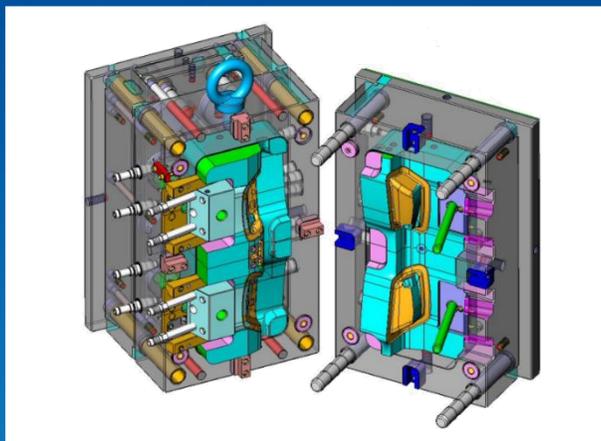
- ◆ 与CAM 集成，支持2-5轴加工，实现产品设计、产品分析、产品制造一体化。



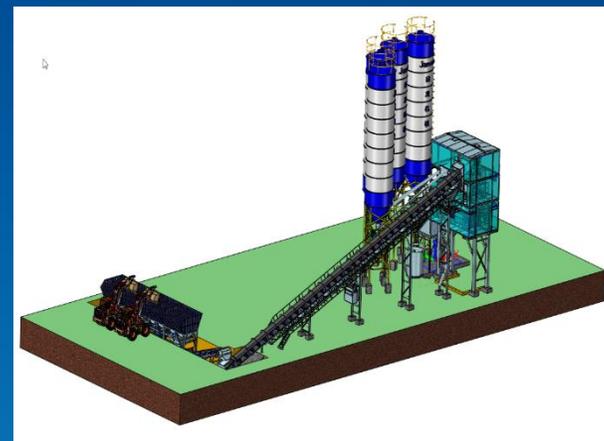
强大的Overdrive
建模内核



混合建模技术



产品模具设计



直接编辑技术

中望软件仿真软件 — ZWSim

网格处理ZWMeshWorks

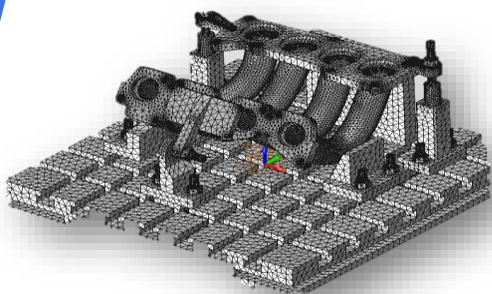
- ◆ 基于三维几何建模内核和网格剖分技术的国产 CAE 软件集成开发平台，可集成任意求解器，快速实现集前处理、求解计算及后处理于一体的开发需求。

电磁仿真ZWSim-EM

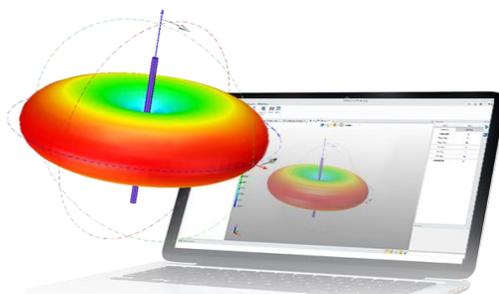
- ◆ 基于革新性的 EIT 技术，拥有精确的求解器、完善的前处理和强大的后处理能力，可帮助用户高效完成天线、微波器件等产品的仿真分析。

结构仿真ZWSim Structural

- ◆ 集建模与仿真一体的有限元仿真分析软件，用于模拟产品结构的物理行为，评估产品结构设计的合理性。



网格处理ZWMeshWorks
通用前后处理平台



电磁仿真ZWSim-EM
全波三维高频电磁仿真软件



结构仿真ZWSim Structural
结构有限元分析软件



PART 03

工业软件关键问题

工业软件关键问题



工业软件 关键问题

◆ 三维几何建模引擎

◆ 约束求解器

◆ 参数化引擎

◆ 装配管理

◆ 加工路径规划

◆ CAE前处理

◆ 各物理场求解器

三维几何建模引擎 — 总体目标

- ❖ 上层应用几何能力的支撑，是建模过程的核心和引擎
- ❖ 满足复杂场景需求
- ❖ 精度 $10e-5$ 和尺寸幅度 $10e+9$
- ❖ 高效
- ❖ 健壮



三维几何建模引擎 — 建模能力

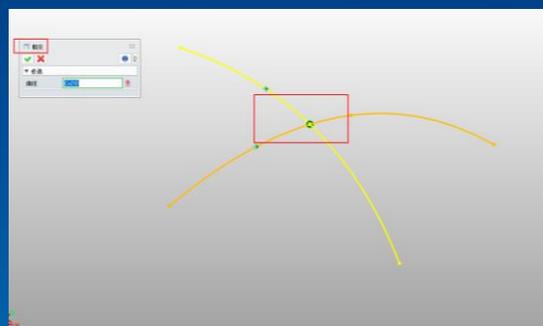
- ❖ 曲线/曲面创建
- ❖ 样条几何操作：升阶/降阶、插值、拟合、求交、投影、延伸
- ❖ 实体建模：拉伸、旋转、布尔
- ❖ 曲面建模：桥接、补面、展平、光顺、偏置、扫略、放样、变形
- ❖ 加工特征添加：抽壳、拔模、圆角
- ❖ 模型操作：变换、阵列
- ❖ 分析查询：厚度分析、模型区域（型芯型腔）分析、距离查询、质量属性查询、连续性查询、干涉检查



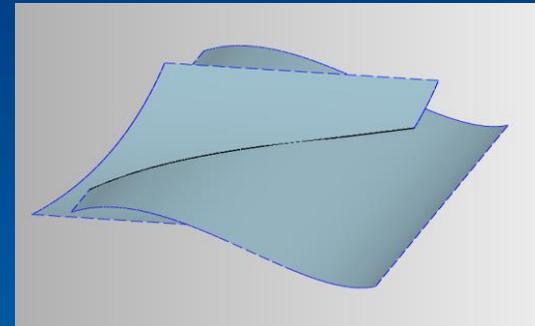
曲面

旋转

抽壳



曲线相交



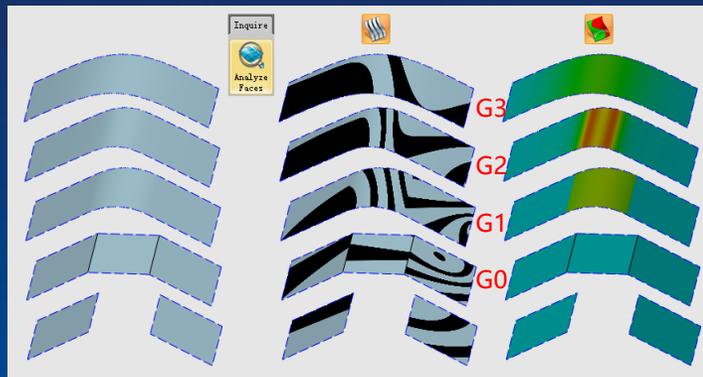
曲面相交



连续性查询

三维几何建模引擎 — 连续性问题

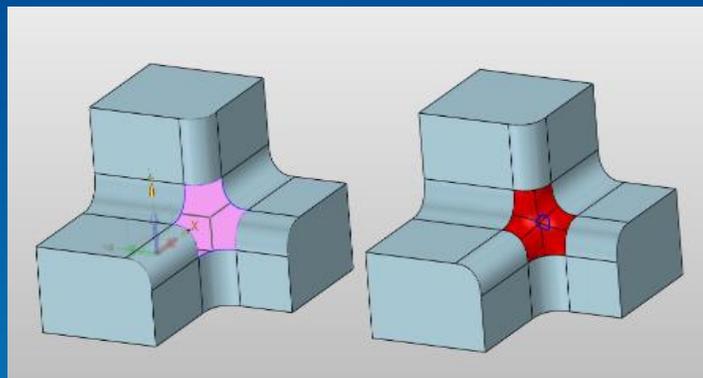
- ❖ 曲线/曲面的G0 ~ G3拼接
- ❖ A级曲面的创建：光顺与连续性的双重要求
- ❖ 多种拼接方式的合理选择
- ❖ 容差下的法向与导矢相容性



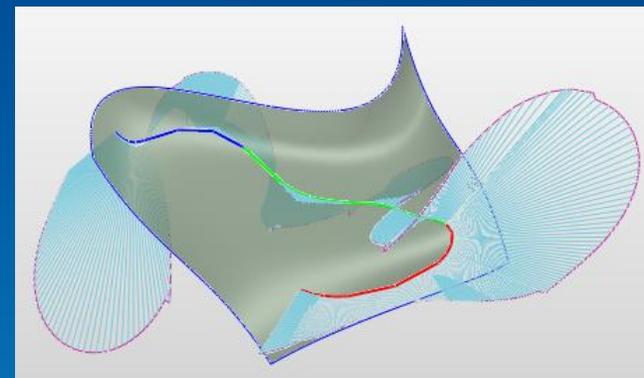
曲面连续性



达到G2曲面连续的无线耳机设计



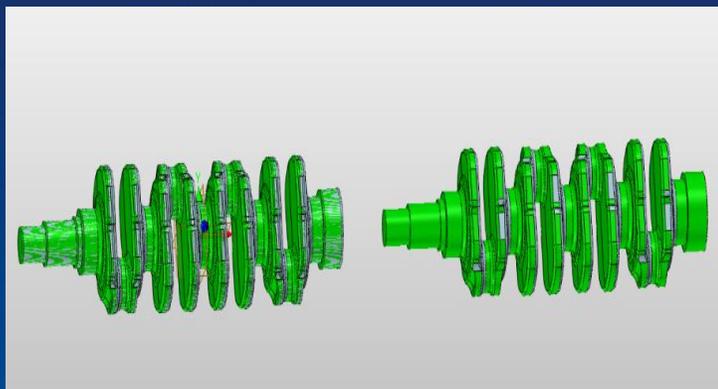
多种拼接方式



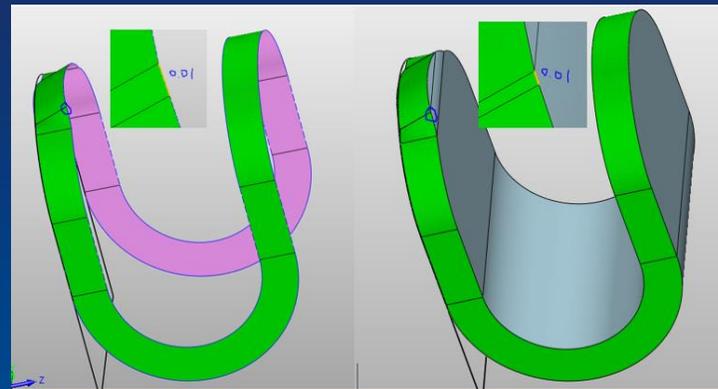
扭矢相容性

建模内核 – 布尔运算

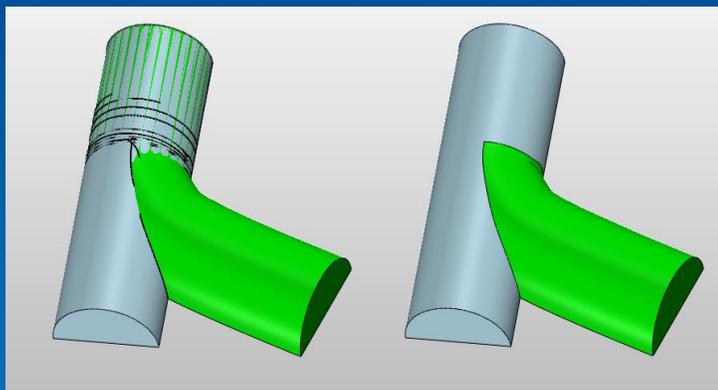
- ❖ 求交的效率 and 交线的质量
- ❖ 面域分类与重合面的兼容处理
- ❖ 容差问题
- ❖ 非流形
- ❖ 并行计算



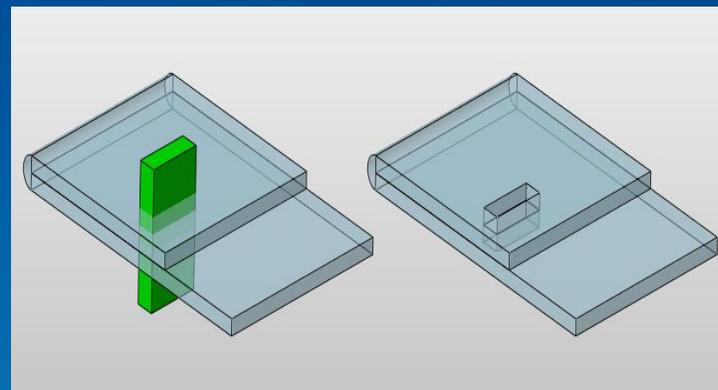
复杂几何的快速布尔



容差问题



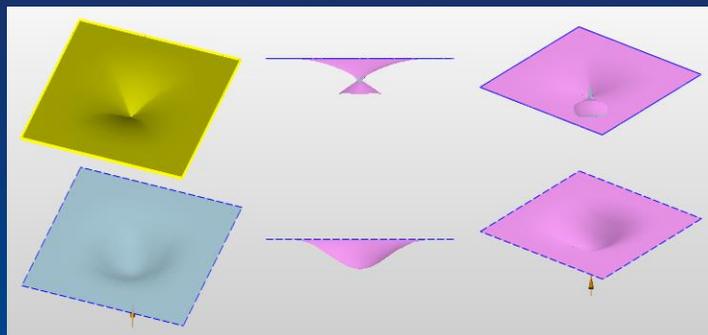
重合面的处理



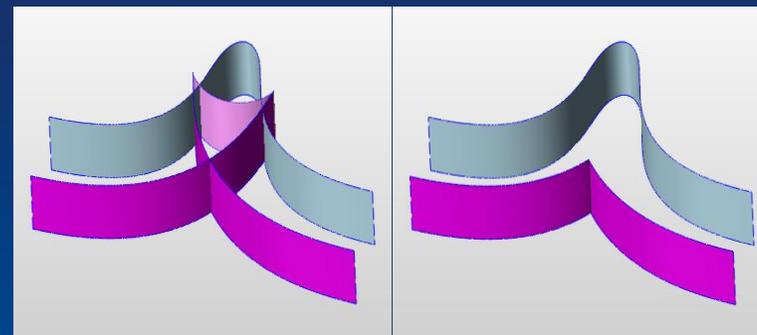
非流形布尔操作

三维几何建模引擎 – 自交处理

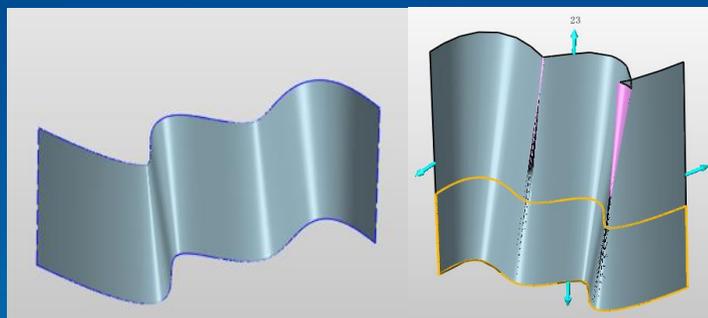
- ❖ Cusp的检查 and 去除
- ❖ 拓扑上自交的检测与处理, 如拔模和抽壳后的自交
- ❖ 几何上自交的检测与处理, 如面延伸、面偏移后的自交



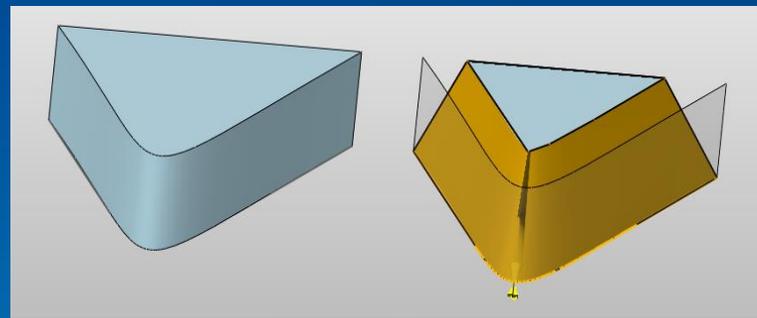
cusp的检查与去除



面偏移后的自交



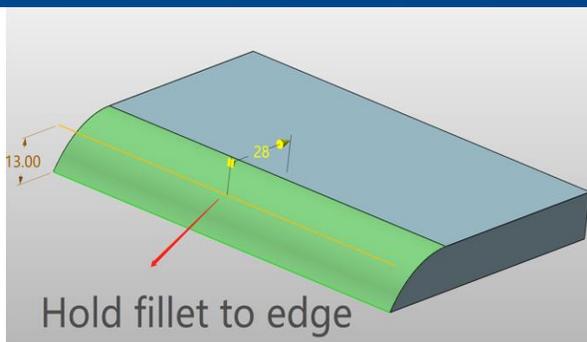
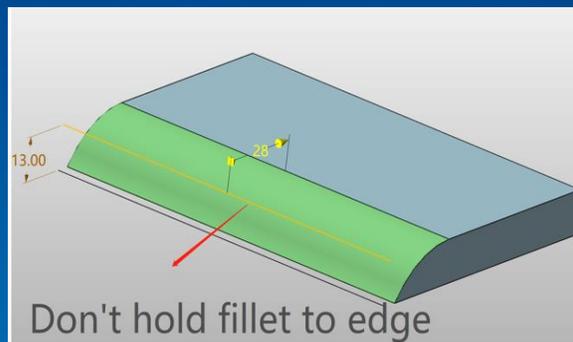
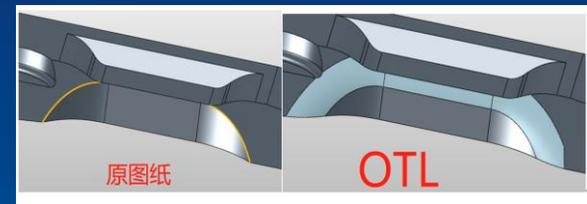
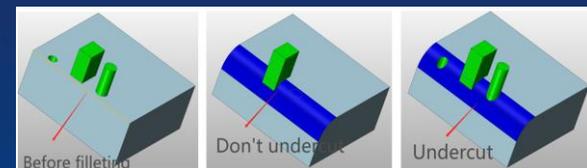
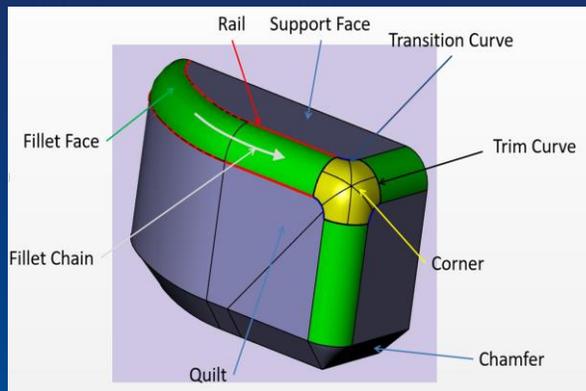
面延伸后的自交



拔模后的自交

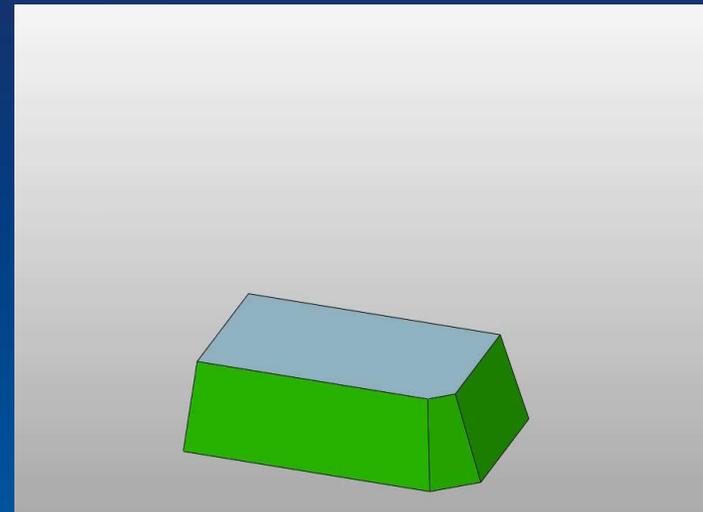
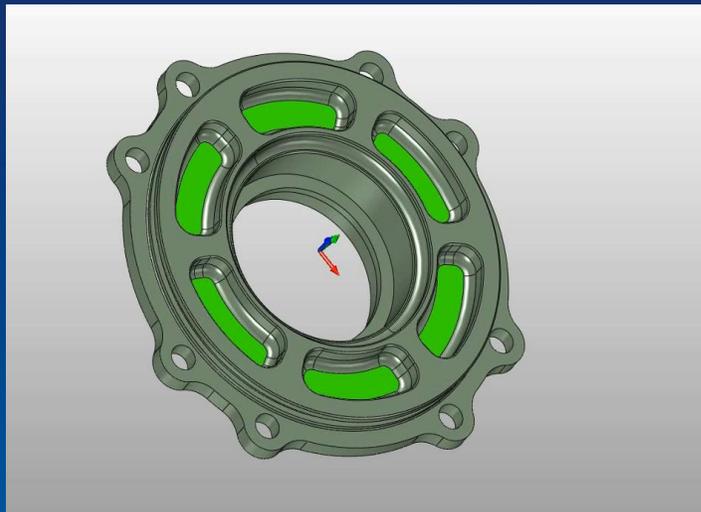
三维几何建模引擎 – 圆角

- ❖ 目标：在指定面之间生成过渡面
- ❖ 截面形状控制；多边、凹凸性组合
- ❖ OTL (Out trim loop) :
正常圆角面会有两条rail边，但有时候支撑面不够大，圆角面会超出支撑面
- ❖ 圆角去除、带圆角拔模



三维几何建模引擎 – 直接编辑

- ❖ 已有特征的实时处理
- ❖ 对称性检测
- ❖ 拓扑突变的兼容处理
- ❖ 精度与效率





工业软件 关键问题

◆ 三维几何建模引擎

◆ 约束求解器

◆ 参数化引擎

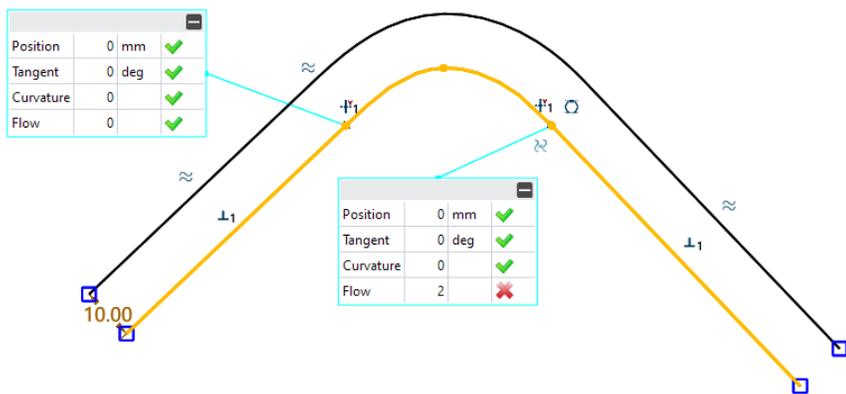
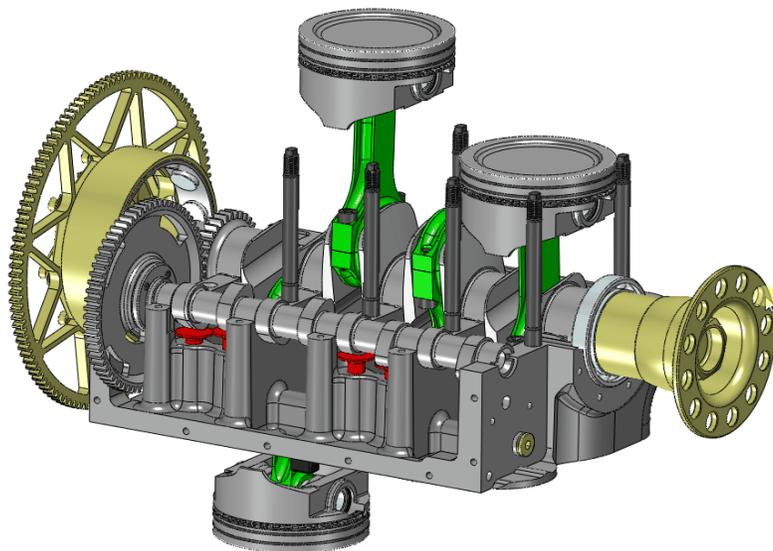
◆ 装配管理

◆ 加工路径规划

◆ CAE前处理

◆ 各物理场求解器

约束求解引擎



广泛应用于草图轮廓表达、零件建模参数表达、装配约束以及碰撞检查等场景中，为快速确定设计意图表达、检查干涉、模拟运动提供了强有力的支持，可帮助最终用户提高生产效率。

❖ 稳定高效的约束引擎

- 基于图论、规则、数值计算、符号计算
- 对欠约束和过约束的支持
- 多解的选择
- offset支持
- 高阶连续
- 诊断分析

❖ 分组求解和增量式更新

❖ 剩余自由度分析



工业软件 关键问题

◆ 三维几何建模引擎

◆ 约束求解器

◆ 参数化引擎

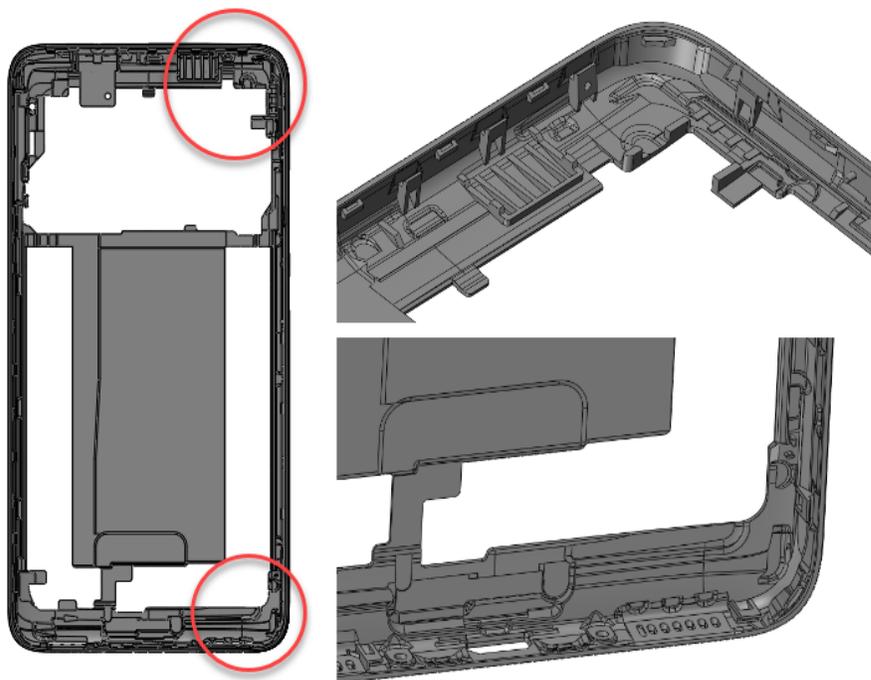
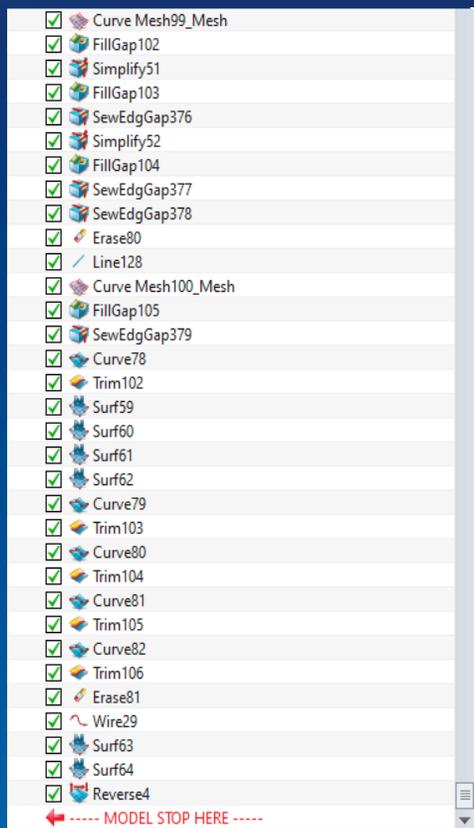
◆ 装配管理

◆ 加工路径规划

◆ CAE前处理

◆ 各物理场求解器

参数化引擎



针对工业设计应用过程中零件设计变更频繁等特点，采用基于历史特征的参数化建模技术，实现对用户设计模型参数化驱动，局部修改和模型重构。

- ❖ 永久命名
- ❖ 几何和拓扑备份
- ❖ 依赖关系的追踪和维护
- ❖ 属性匹配
- ❖ 设计意图的识别



工业软件 关键问题

◆ 三维几何建模引擎

◆ 约束求解器

◆ 参数化引擎

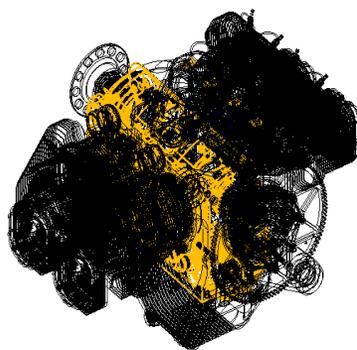
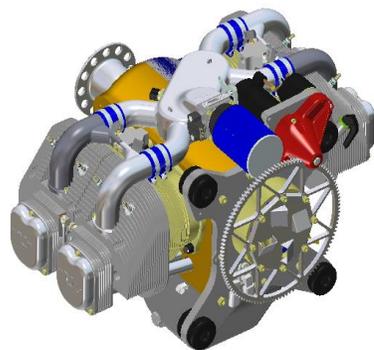
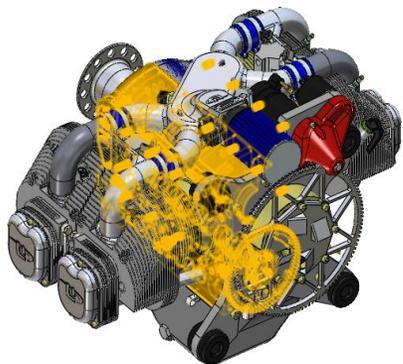
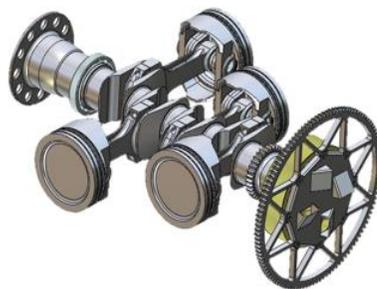
◆ **装配管理**

◆ 加工路径规划

◆ CAE前处理

◆ 各物理场求解器

装配管理



运用大型项目装配设计数据
分层管理技术、选择性加载技术，
实现并行化高效求解机制，帮助
用户提高装配设计效率。

- ❖ 大体量装配设计
- ❖ 复杂装配约束系统优化
- ❖ 高性能渲染显示
- ❖ 数字样机



工业软件 关键问题

◆ 三维几何建模引擎

◆ 约束求解器

◆ 参数化引擎

◆ 装配管理

◆ 加工路径规划

◆ CAE前处理

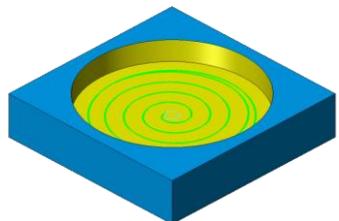
◆ 各物理场求解器

加工路径规划 — CAM平台

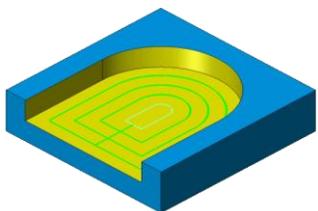
2-5轴CAM加工

- ❖ (毛坯 - (工件 + 余量)) | 刀具 = 刀轨
- ❖ 连续问题离散化
- ❖ 复杂性:
 - 工艺参数、加工实践、潜规则
 - 避免过切和碰撞, 表面质量和刀具损伤
 - 2X, 3X, 4-5X, 车铣复合
 - 计算量巨大、并行
 - Offset, Boolean, Voronoi, Minkowski
- ❖ 加工仿真
- ❖ 后置处理

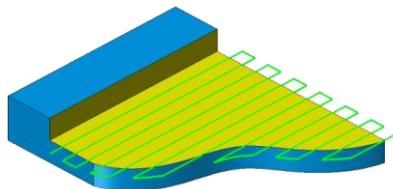
加工路径规划



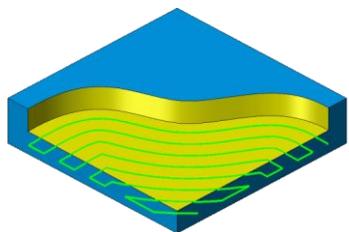
螺旋线型



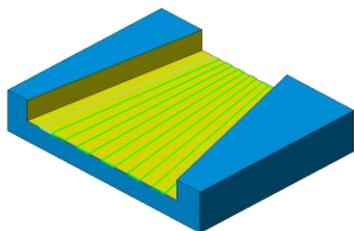
等距偏置线型



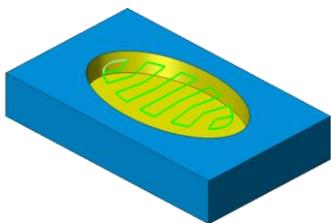
平行直线型



沿零件轮廓型



脊线偏置型



脊线放射型

- ❖ 加工特征的自动识别
- ❖ 5X开粗
- ❖ 摆线刀轨
- ❖ 清角
- ❖ 加工工艺的训练学习



工业软件 关键问题

◆ 三维几何建模引擎

◆ 约束求解器

◆ 参数化引擎

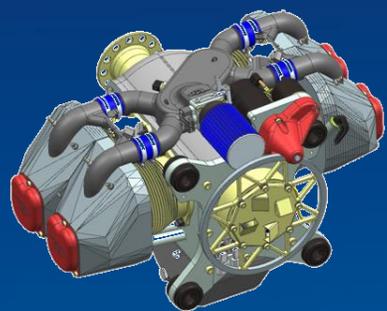
◆ 装配管理

◆ 加工路径规划

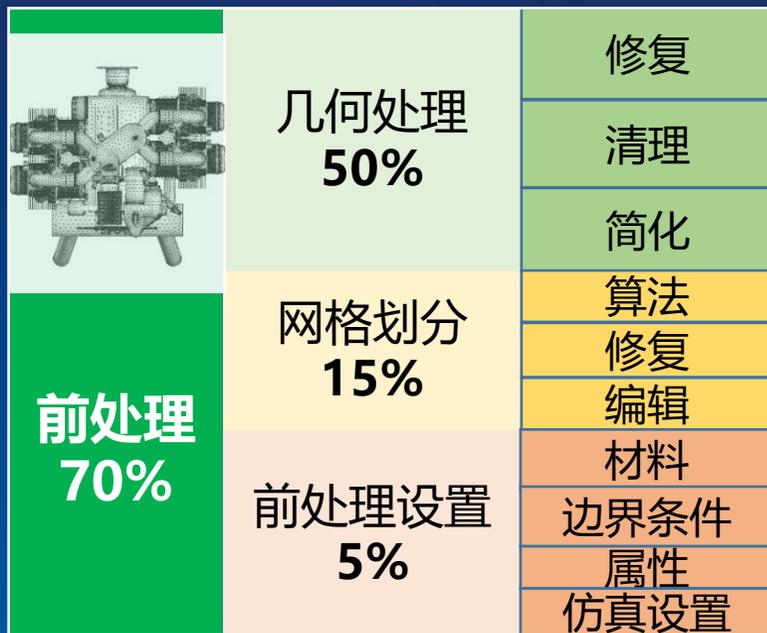
◆ CAE前处理

◆ 各物理场求解器

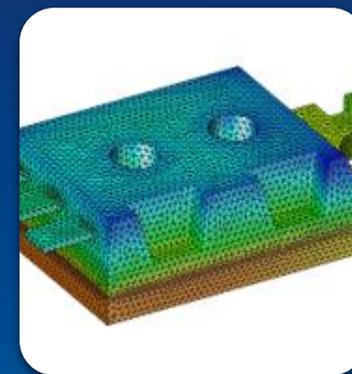
CAE仿真分析流程



CAD几何模型



求解器(10%)



后处理(20%)

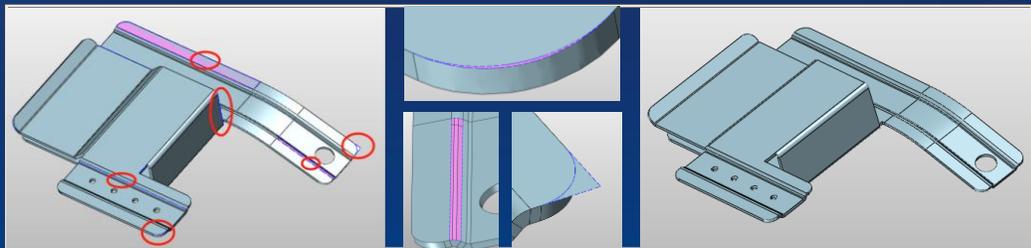
前处理(70%): **设计模型和求解器之间的桥梁**

CAD模型存在问题

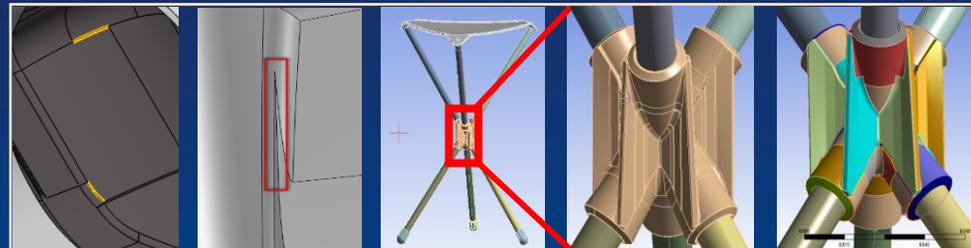
- 不封闭/自相交/非流形等几何会不满足网格生成的要求
- 过多的几何细节, 会使网格不必要地加密, 增加计算量

前处理 — 几何处理

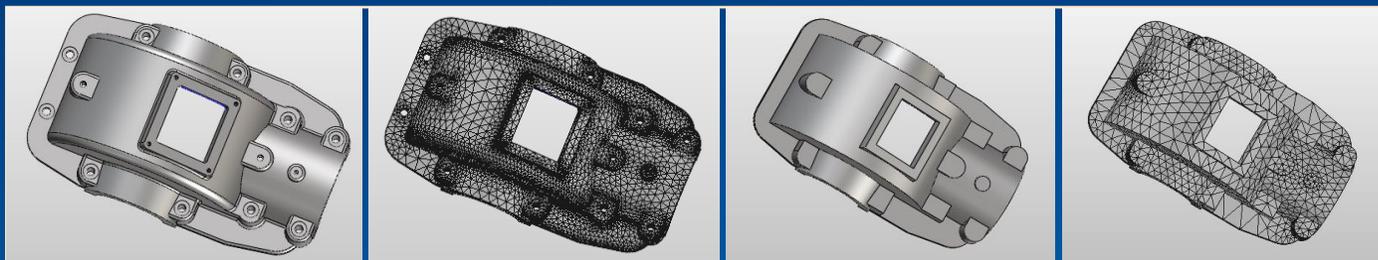
修复



清理



简化



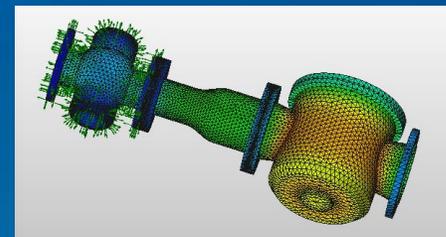
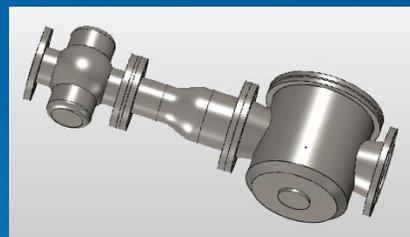
几何处理

- 几何修复
- 几何清理
- 几何简化

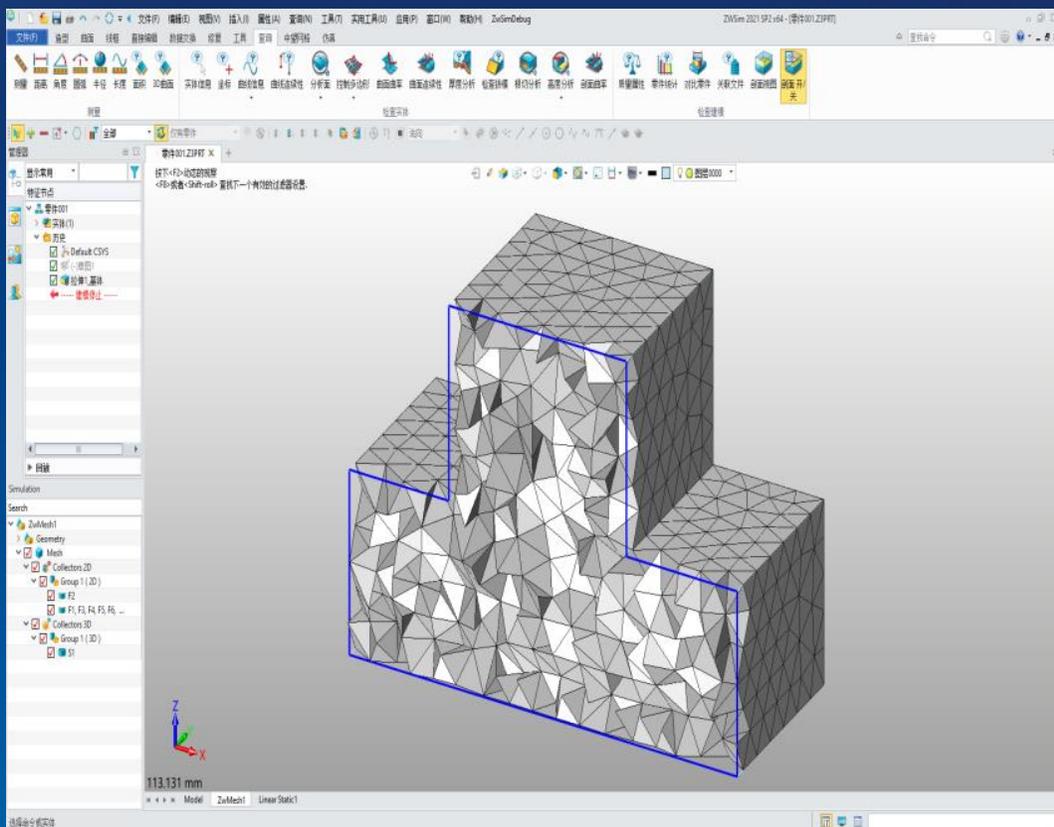
网格划分

- 划分正确
- 质量良好
- 数量适中

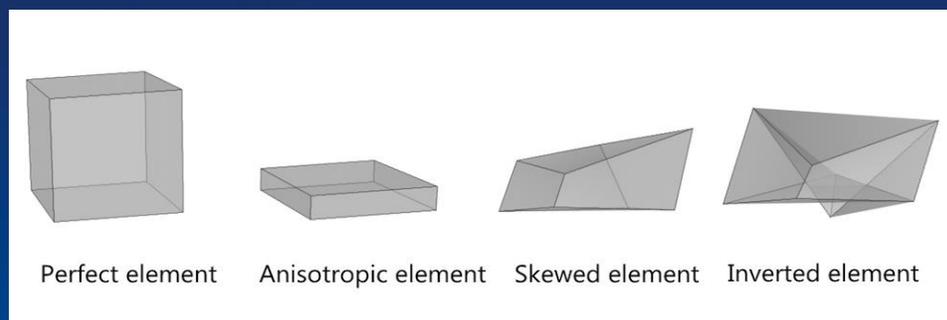
保证数值模拟
的效率和精度



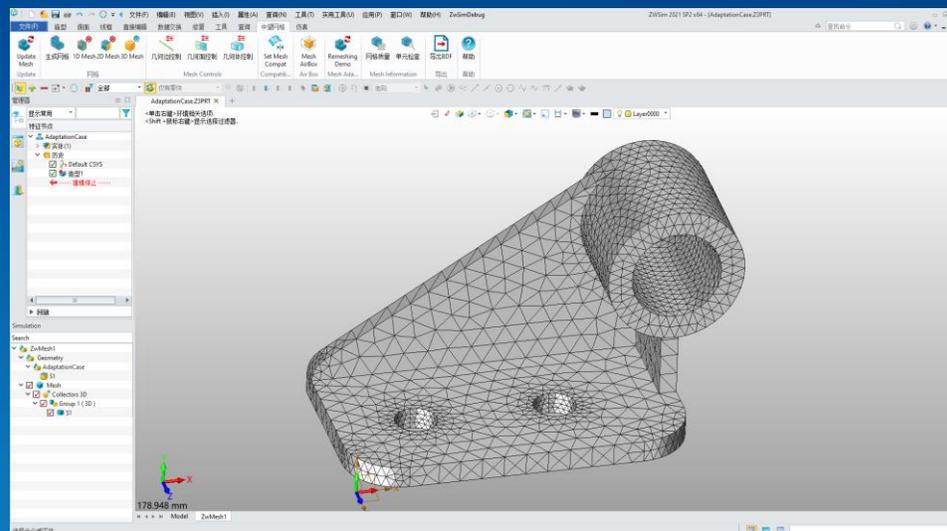
前处理 — 网格划分



网格划分

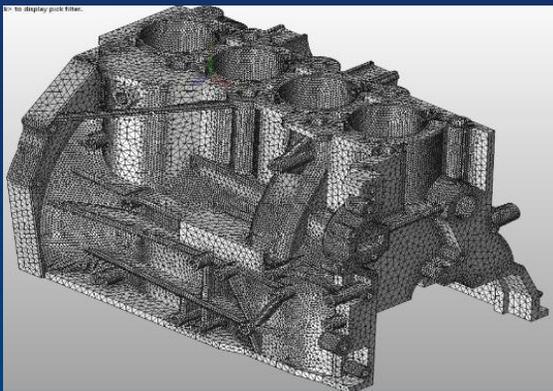


网格质量



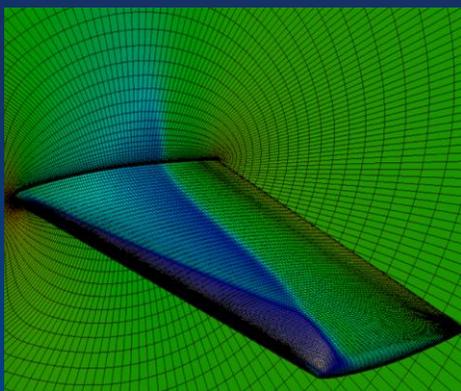
自适应网格

前处理 — 网格处理



网格剖分

- 丰富的网格剖分算法
- 支持非结构/结构网格
- 网格剖分健壮性，支持容差
- 网格剖分效率，并行技术



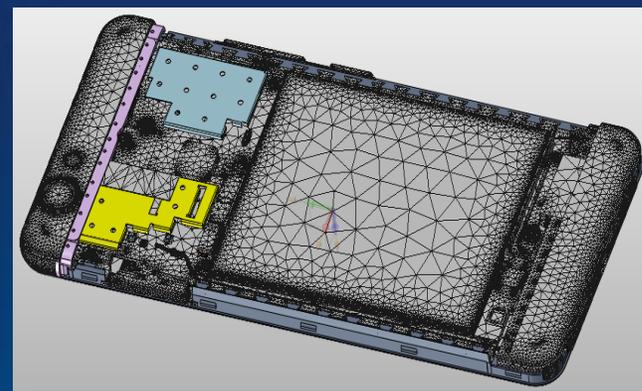
网格错误检查修复

- 对生成的网格进行检查
- 手动/自动修复网格错误



网格编辑

- 手动编辑生成网格
- 手动编辑修复错误



网格划分中的关键问题

- ❖ 自动划分网格的可靠性与高效性
- ❖ 丰富的手动划分网格工具
- ❖ 结合物理问题与求解器的特点实现自适应网格划分
- ❖ 实现网格与几何的联动、局部更新
- ❖ 千万级、亿级大体量网格的高效处理
- ❖ 从网格到几何实现CAE仿真驱动CAD设计





工业软件 关键问题

◆ 三维几何建模引擎

◆ 约束求解器

◆ 参数化引擎

◆ 装配管理

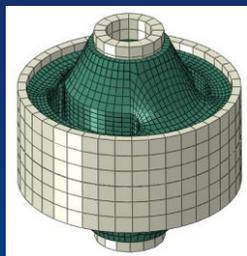
◆ 加工路径规划

◆ CAE前处理

◆ 各物理场求解器

求解器 — 求解过程

问题描述:



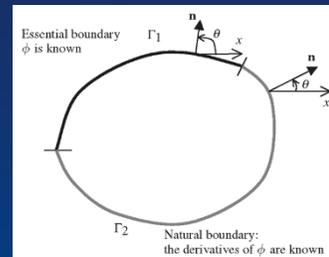
几何模型



$$\mathbf{C} = \sum_{I,J,K,L=1}^3 C_{IJKL} \mathbf{E}_I \otimes \mathbf{E}_J \otimes \mathbf{E}_K \otimes \mathbf{E}_L;$$

$$C_{IJKL} = \frac{\partial S_{IJ}}{\partial E_{KL}} = \frac{4 \partial^2 \Psi}{\partial C_{IJ} \partial C_{KL}} = C_{KLIJ}.$$

本构关系



边界条件



$$\rho^s \frac{\partial^2 \mathbf{d}^s}{\partial t^2} + \nabla \cdot \boldsymbol{\sigma}^s = \mathbf{f}^s \quad \text{in } \Omega^s$$

$$\mathbf{d}^s = \mathbf{d}_D^s \quad \text{on } \Gamma_D^s$$

$$\boldsymbol{\sigma}^s \cdot \mathbf{n}^s = \mathbf{t}_N^s \quad \text{on } \Gamma_N^s$$

$$\mathbf{d}^s(\cdot, 0) = \mathbf{d}_0^s \quad \text{in } \Omega^s$$

$$\dot{\mathbf{d}}^s(\cdot, 0) = \dot{\mathbf{d}}_0^s \quad \text{in } \Omega^s$$

物理方程



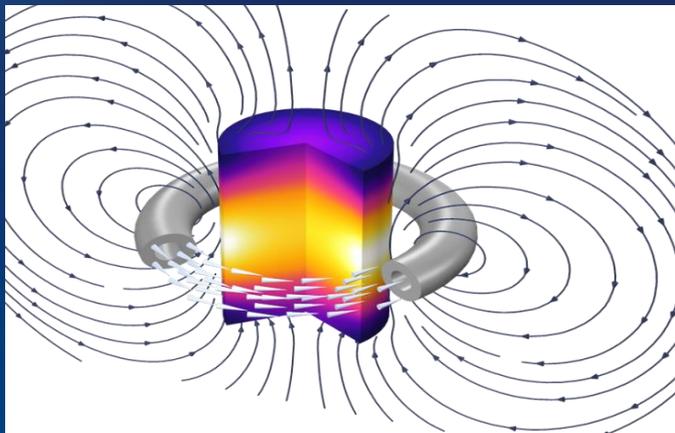
化繁为简、化动为静、等效原理

差分、变分、加权余量

应用场景、理论框架、计算程序、工程知识/数据

非线性和动态问题，收敛性和精度

求解器 — 仿真分析

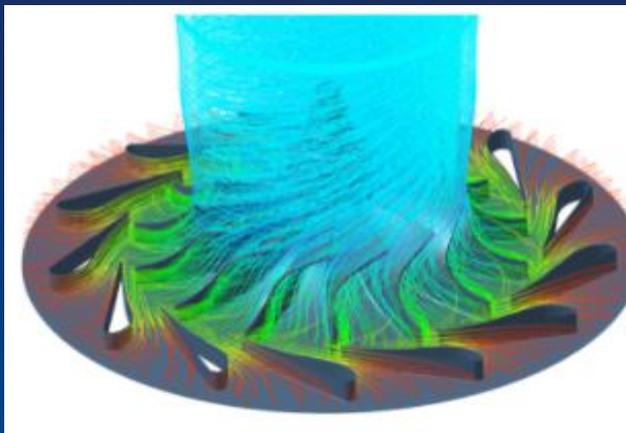


❖ 电磁仿真主要难点在：

- 大尺寸问题，网格数量大，计算效率低
- 多尺度问题，计算精度不够

❖ 中望的解决方案：

- 采用高效算法，结合多核并行、GPU并行以及MPI等加速手段，提升计算效率
- 采用混合算法，针对不同尺度采用不同算法进行混合求解，提高计算精度

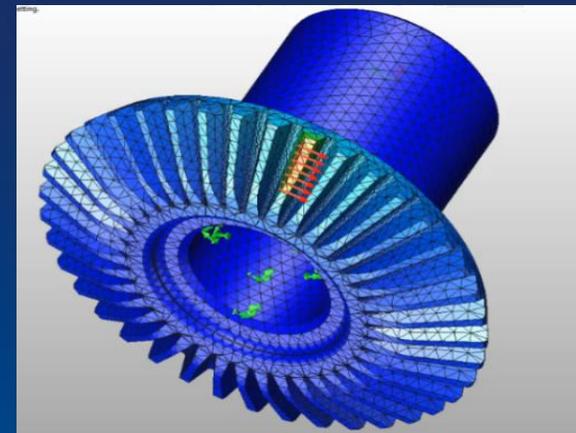


❖ 流体仿真主要难点在：

- 单元需要满足相容条件
- 需要特殊的数值稳定项

❖ 中望的解决方案：

- 采用SUPG法减少数值震荡
- 采用PSPG方法以满足相容条件



❖ 结构、热仿真主要难点在：

- 连接关系比较复杂
- 分析类型多种多样
- 材料、几何、接触非线性
- 耦合工况较多

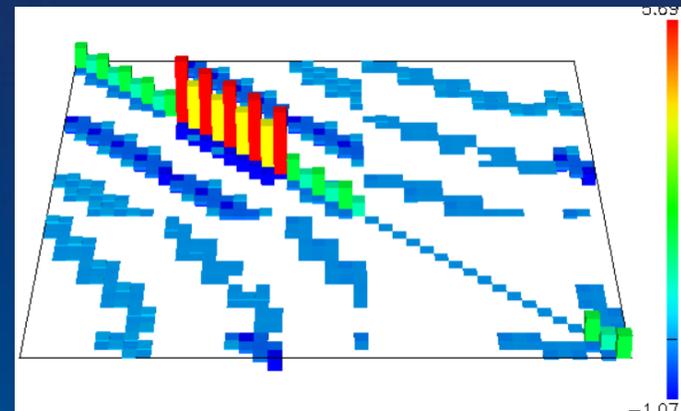
❖ 中望的解决方案：

- 采用多种单元类型以获得较精确解
- 采用完全牛顿迭代法和改进牛顿迭代法处理非线性问题

求解器 — 数值计算

❖ 为了提高计算速度、减少内存、考虑并行计算、实现自主可控，采用**自研矩阵求解器**：

- 正定矩阵可采用CG（共轭梯度法）
- 非对称矩阵可以采用GMRES（广义最小残差法）
- Lanczos特征值分解
- Block Lanczos



典型的有限元分析的矩阵形态

$$\begin{bmatrix} A & B \\ B^T & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \\ P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F \\ 0 \end{bmatrix}$$

多物理场耦合

针对分块矩阵，中望采用：

- Block Jacobi分解增加求解速率
- Shur complement进行分块求解

对于多物理场，中望采用Seidel模式分析：

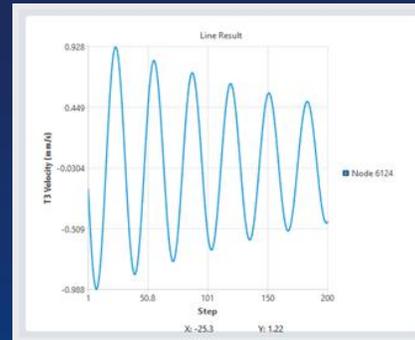
- 可以在每个物理场中运用所有的计算资源进行计算
- 无需考虑负载均衡问题

求解器 — 后处理

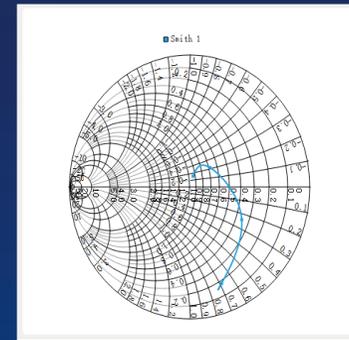
- ❖ 面向亿级网格单元的可视化技术
- ❖ 基于深度学习的细节层次 (LOD) 技术
- ❖ 异步渲染显示技术
- ❖ 分层显示数据管理架构和轻量化显示技术



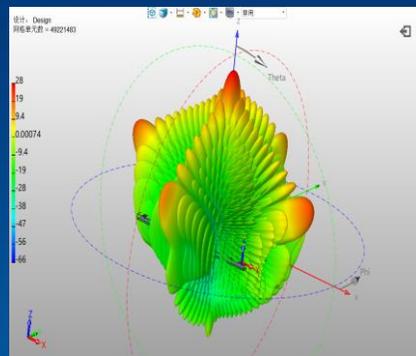
极坐标图



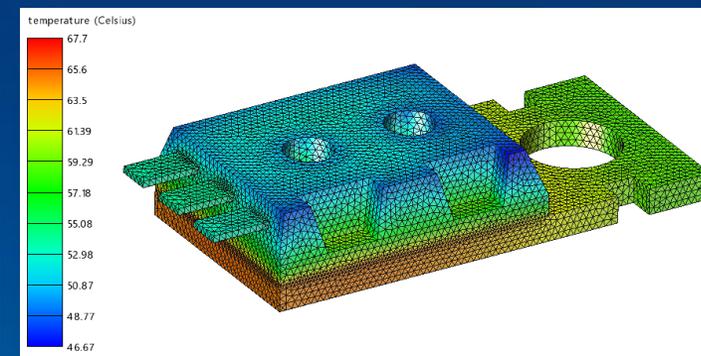
二维曲线图



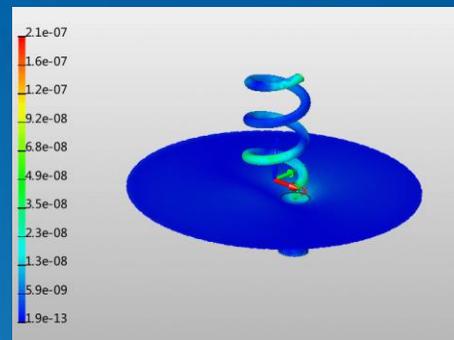
史密斯图



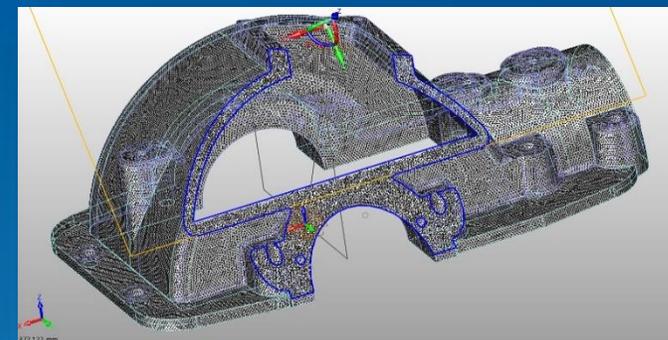
电磁方向图



3D云图 (千万级单元)



动画



网格剖切 (千万级单元)



PART 04

挑战与趋势

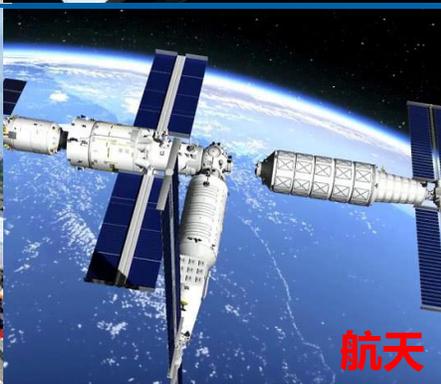
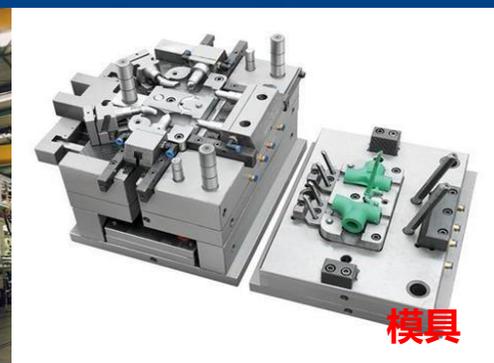
锤炼基本盘：工业打磨迭代

❖ 核心价值+增量价值



锤炼基本盘：工业打磨迭代

- ❖ 深耕工业领域，深度融合工业需求，积累应用数据
- ❖ 构建工业软件生态，加强产业链上下游合作
- ❖ 安全、健壮、效率



融合多种建模方式：兼蓄并收

- ❖ 收敛建模：网格几何与样条几何共存于系统，满足多种几何形态的输入方式
- ❖ 细分建模：更贴近自然物体的几何形态，更适用于艺术设计场景



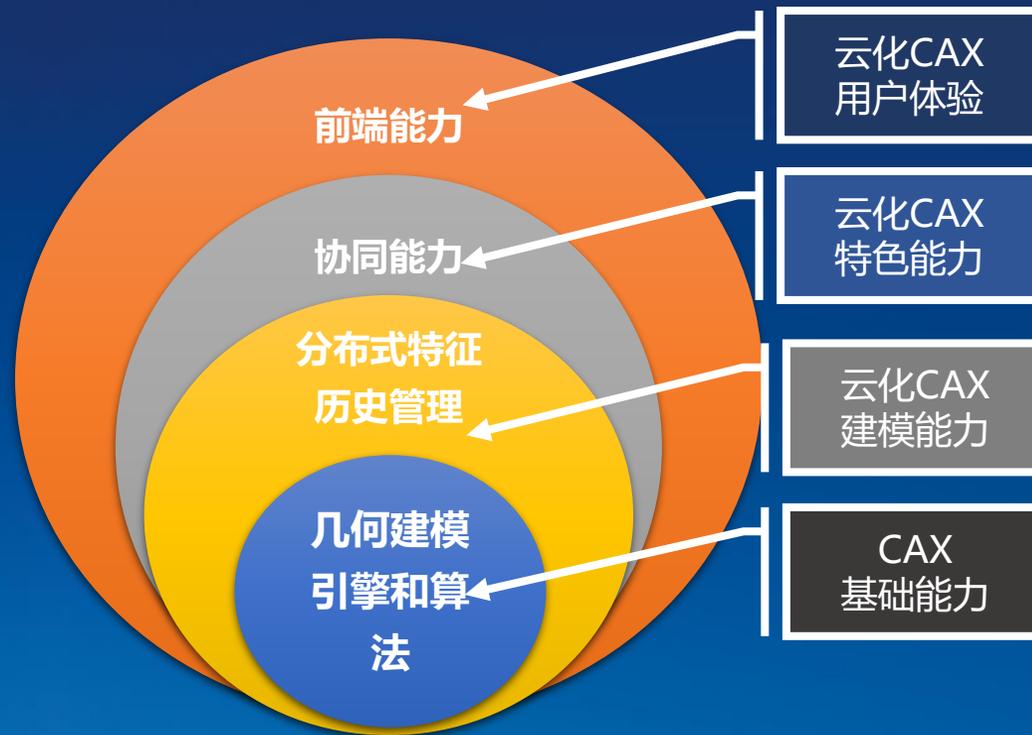
AI/AR/VR结合：智造未来

- ❖ 核心价值+增量价值
- ❖ 人工智能
- ❖ 衍生式设计
- ❖ 3D扫描建模
- ❖ VR, AR可视化建模
- ❖ 机械设备虚拟装配



云技术结合：高效协同

- ❖ 数据驱动
- ❖ 端云协同设计
- ❖ 云计算应用
- ❖ 云端产品生命周期管理



孪生整合：工业设计元宇宙

- ❖ 数字孪生：实际工业系统的传感器数据展示的是现实世界，CAX模型及属性信息展示的虚拟世界，两者有机结合，协同工作。
- ❖ 工业元宇宙：是互联网的未来形态，一个虚拟空间的集合，由一系列的增强现实（AR）、虚拟现实（VR）和互联网（Internet）所组成。



招贤纳士，共襄盛举



了解更多中望官方咨询
可关注中望软件



了解更多中望产品信息
可关注中望CAD

共同成就一项伟大的事业！

中望软件立志于持续推动中国乃至世界工业的发展与进步。

我们始终坚信，我们在做一项利国利民，世界量级的大事业。



社招二维码



校招二维码



THANKS