



复杂目标散射特性 ——仿真思路与应用案例

讲师姓名 / 职务

ANSYS CHINA



内容提要

- 1 **RCS概述**
- 2 **面临挑战**
 - 电大尺寸、结构复杂度高、大规模计算
- 3 **解决方案**
 - FEM+IE+PO、3D Components、HPC+DDM
- 4 **案例分析**
 - 飞机的RCS仿真与隐身设计、FSS频选罩的隐身设计



2

© 2016 ANSYS, Inc.

August 16, 2016

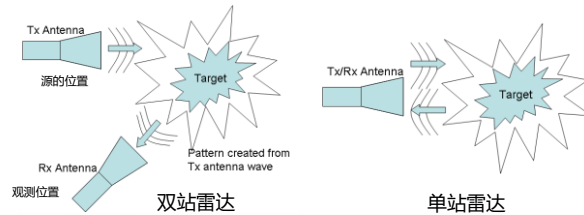
ANSYS UGM 2016



RCS概述

• RCS 定义——Radar Cross Section

- 数学上，RCS 定义为： $\sigma_{3D} = \lim_{r \rightarrow \infty} \left[4\pi r^2 \frac{|E^s|^2}{|E^i|^2} \right]$ ， E^s 、 E^i 分别表示散射和入射电场
- 物理上，RCS 是目标有效反射面积的度量，或指定方向上散射功率对入射功率归一化的度量
- 当发射机和接收机在同一位置时，称为**单站 RCS** (Monostatic RCS)
- 当发射机和接收机有一定距离间隔时，称为**双站 RCS** (Bistatic RCS)
- RCS 用面积单位表示 (例如， $\sigma = 1m^2$)，通常也表示为 dBsm 或 (σ/λ^2)



3

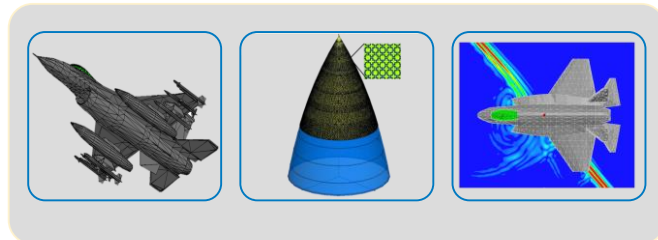
© 2016 ANSYS, Inc.

August 16, 2016

ANSYS UGM 2016



目标特性分析的发展趋势



目标电尺寸越来越大

- 飞机、坦克、舰船
- 同时包含结构细节
- 考虑机载天线影响

结构复杂度越来越高

- 凹腔、进气道
- 隐身材料涂覆
- 结构型隐身材料、FSS

特殊RCS越来越重要

- 近场RCS
- 天线阵RCS
- 时域RCS



4

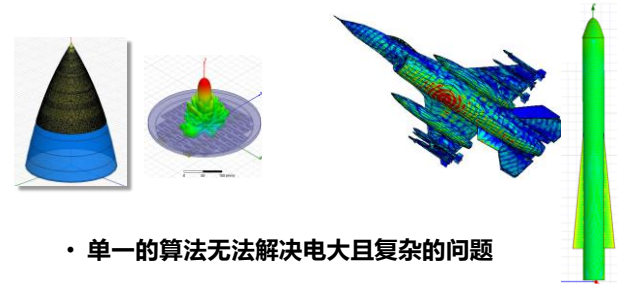
© 2016 ANSYS, Inc.

August 16, 2016

ANSYS UGM 2016

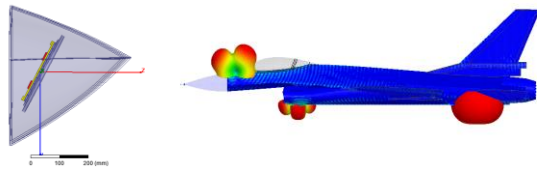
面临的挑战

- FEM适合涂层、FSS、天线等复杂目标
- IE法适合电大尺寸金属体

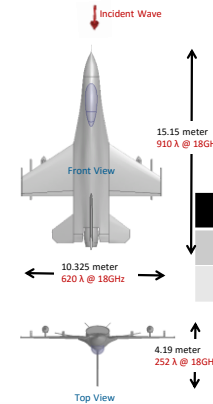


- 单一的算法无法解决电大且复杂的问题

- 天线近场效应，不同姿态、位置



- 局部模型的姿态角、相互位置有变化时，模型的重复计算



- 必需有高效率的并行技术
- 支持分布式节点

	Mesh #	RAM	Elapsed Time
10GHz	5.03 million	15.4 G	27.5 minutes
18GHz	16.19 million	50.6G	174.5 minutes



仿真解决方案



New in R17: FEM-IE-PO 混合算法

Finite Element Method

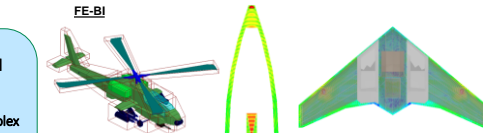
- HFSS
- Efficiently handles complex material and geometries

Insert HFSS Design

Integral Equations

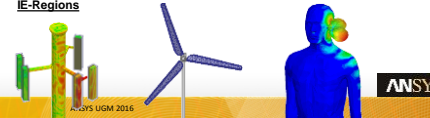
- HFSS-IE
- Efficient solution technique for open radiating and scattering of metallic objects (PO)

Insert HFSS-IE Design



- Hybrid Finite Element - Integral Equations
 - FE-BI
 - IE-Regions
 - PO-Regions
- Hybrid method invoked inside of HFSS Design using IE-Regions or FE-BI boundary conditions
- Hybrid method takes advantage of features from both methods to allow for more efficient simulations

IE-Regions



混合算法在RCS中的应用

- FE-BI、IE-Regions、PO-Regions大混合
- 更大、更快、更合理

有限元FE-BI

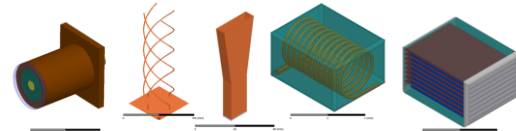
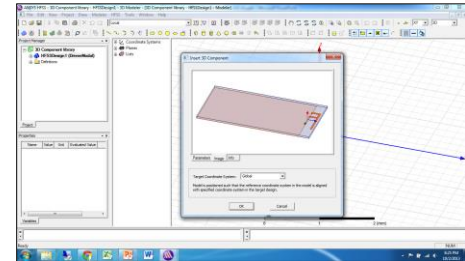
IE-Region

PO-Region



3D Component 组件库

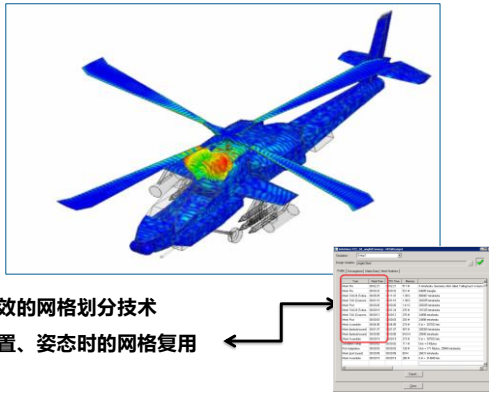
- 3D 组件库
 - 自定义
 - 加密模型
- 包括
 - 几何体
 - 材料特性
 - 边界条件
 - 端口激励
 - 网格设置
 -



ANSYS DIVERGENCE
ANSYS 中国技术大会
装配体：Assembly Mesh

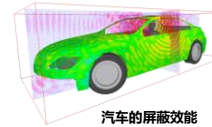
装配体

- 1、天线
- 2、机体
- 3、螺旋桨
- 4、一对支架



并行高效的网格划分技术
 不同位置、姿态时的网格复用

ANSYS DIVERGENCE
ANSYS 中国技术大会
Shell Element 壳单元

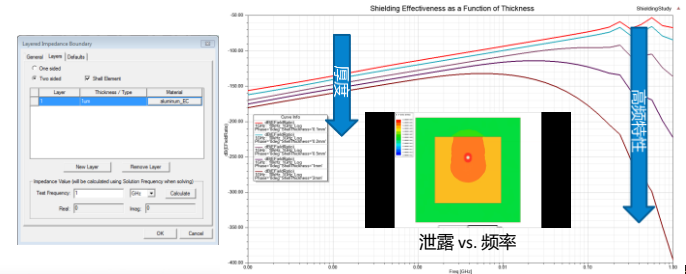


汽车的屏蔽效能

边界等效，高效建模：

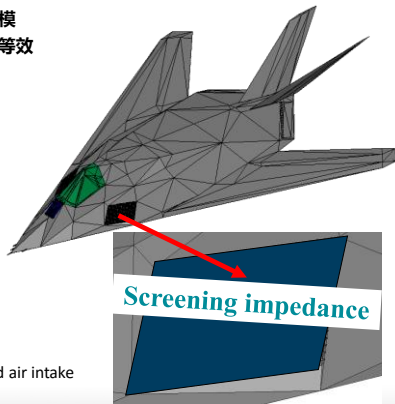
- 薄导体
- 薄介质和分层材料

屏蔽壳体内部的赫兹偶极子



ANSYS DIVERGENCE
ANSYS 中国技术大会
进气道栅网的处理

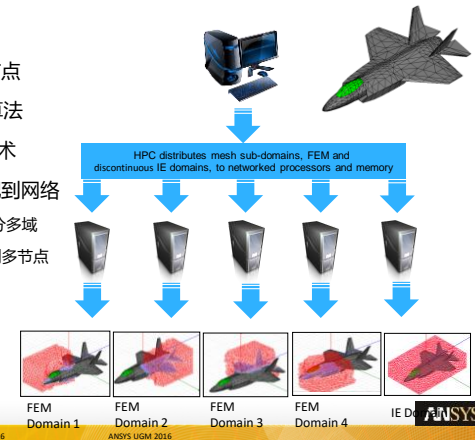
屏网边界建模
 进气道栅网等效



Screened air intake

ANSYS DIVERGENCE
ANSYS 中国技术大会
高性能计算——HPC

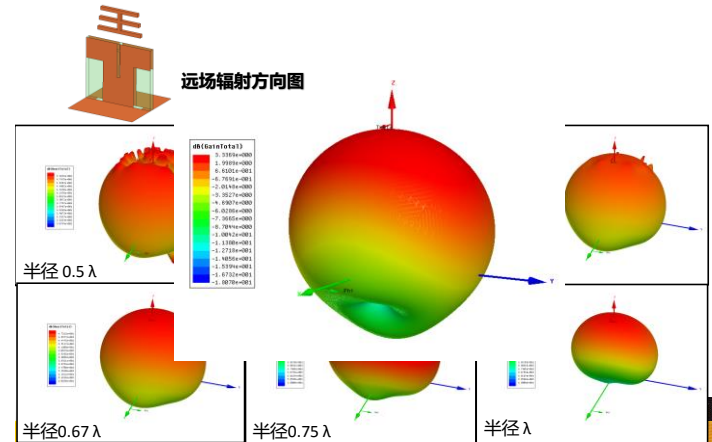
- 显著提高仿真能力
- 可采用多处理器节点
- DDM域分解并行算法
- DSO分布式并行技术
- 将划分的子域分配到网络
 - FEM 求解空间划分多域
 - 较大IE域可分配到多节点





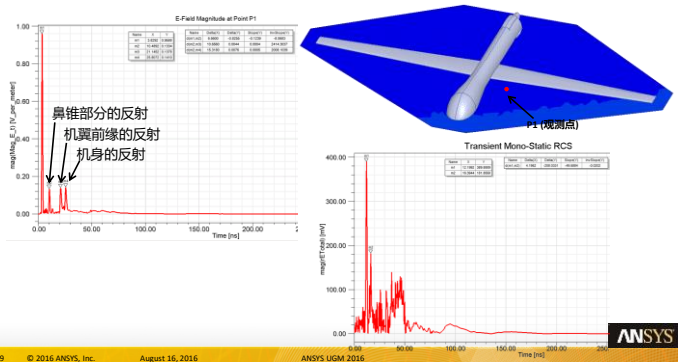
特殊的RCS应用

近场RCS：距离相关性

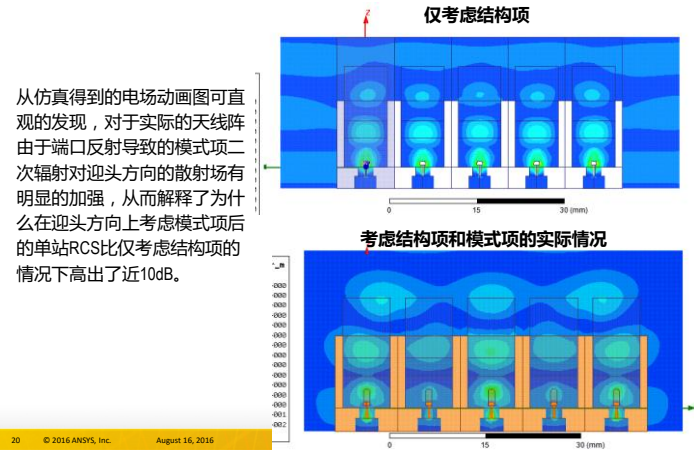


时域RCS

一般情况下，RCS计算都在频域



天线阵的散射场图



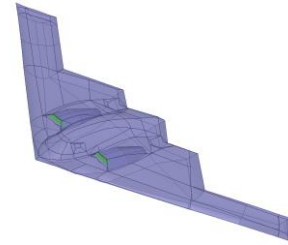


案例分析1

——飞机的RCS仿真与隐身设计



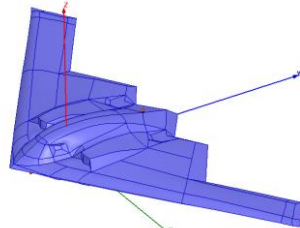
电大且结构复杂的目标



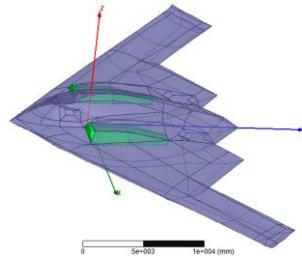
- 电大尺寸，计算规模大
- 结构复杂，细节要求高
- ——隐身涂层、进气道栅等



模型导入HFSS



- 1、HFSS直接导入
- 2、SpaceClaim+一键修复

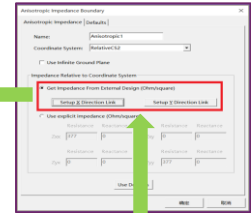
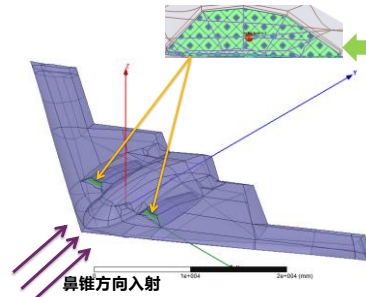


- ACIS SAB Files (*.sab)
- MCIS CAT Files (*.cat)
- ANSYS 3D Modeler Files (*.sab)
- ANSYS Legacy 3D Files (*.sltd)
- Ansoft Geometry File (*.ans10ea)
- AutoCAD Files (*.dxf;*.dwg)
- Autodesk Inventor Files (*.ipt;*.iam)
- Catia V4/V5 Files (*.exp;*.model;*.CATPart;*.CATProduct)
- GDSTII Files (*.gds)
- IGES Files (*.iges;*.igs)
- MASTREX Files (*.mas)
- Parasolid Files (*.x.t;*.x_b)
- Pro/E Files (*.prt;*.asm)
- STEP Files (*.step;*.stp)
- STL Files (*.stl)
- SolidWorks Files (*.SLDPRT;*.SLDASM)
- Unicae Files (*.prt)

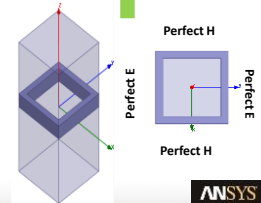


进气道栅网

Anisotropic Impedance Boundary

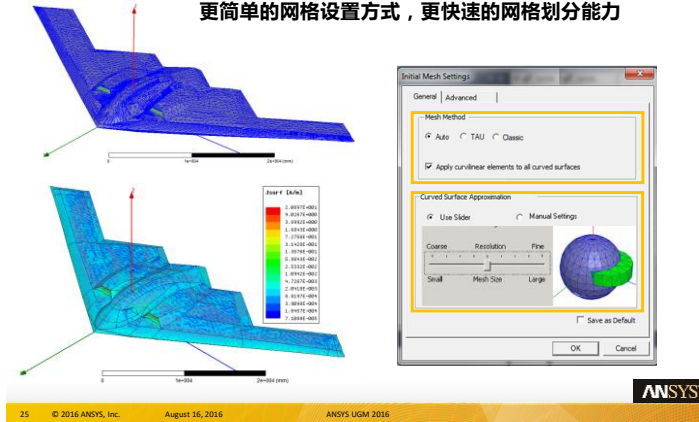


进气道栅网的等效建模方法



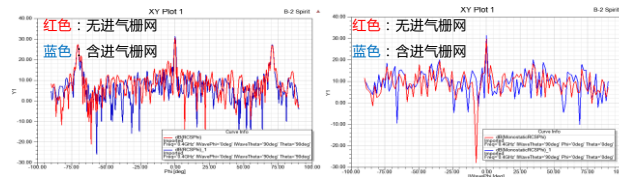
New in R17: 网格划分

更简单的网格设置方式，更快速的网格划分能力



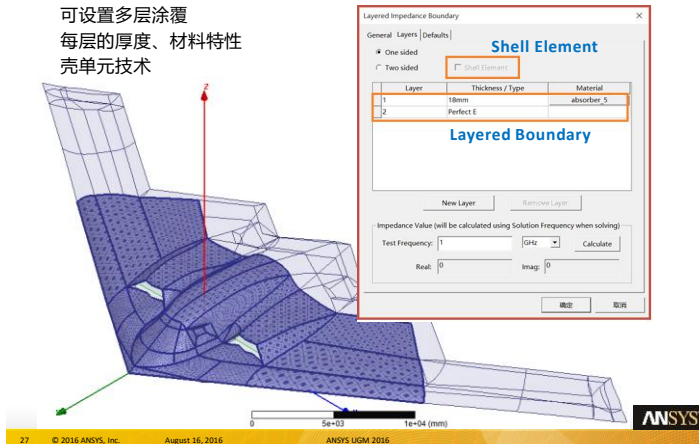
仿真结果——进气栅的影响

涂覆前	Mesh Num	Mesh Time	内存占用	Total Time	CPU
双站 RCS	38.6万	6m	46.7GB	23m	16
单站 RCS	38.1万	6m	34.8GB	1h20m	16

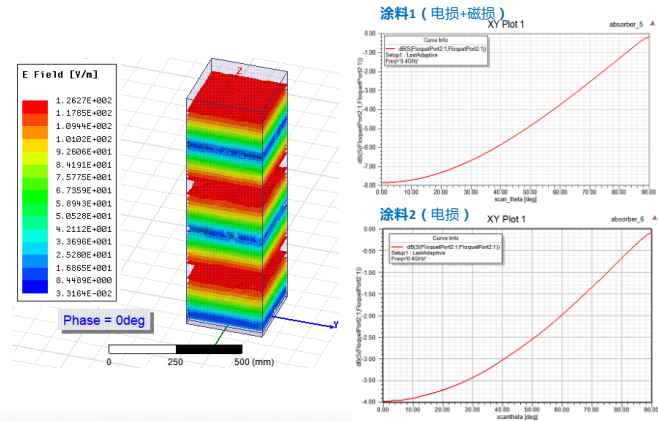


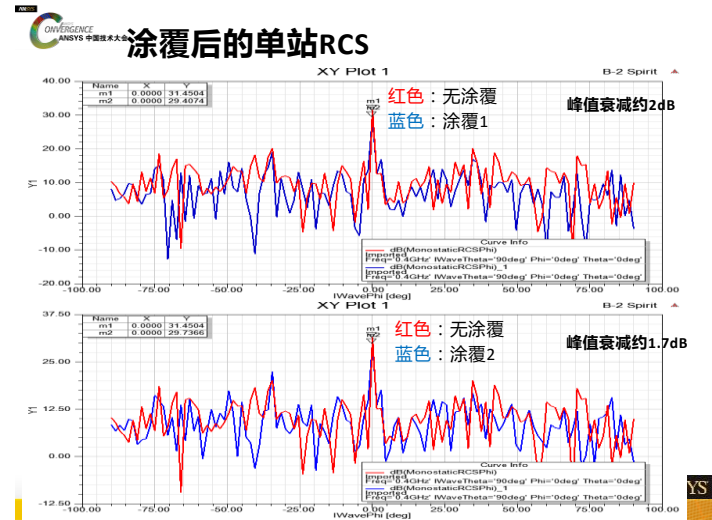
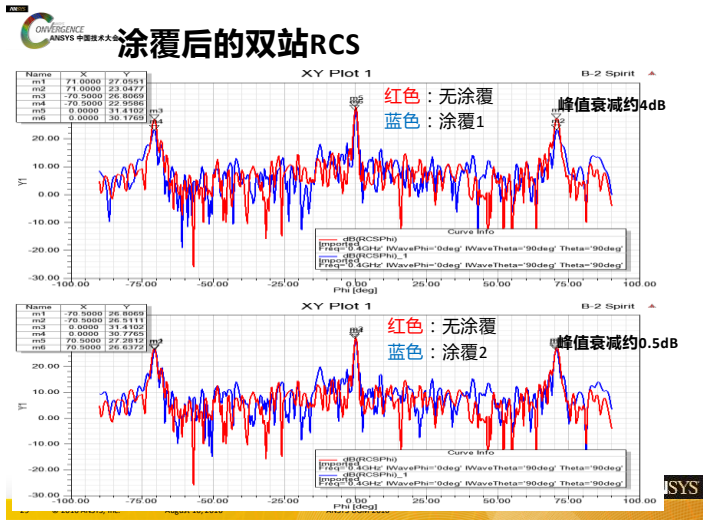
隐身涂料的等效建模

可设置多层涂覆
每层的厚度、材料特性
壳单元技术



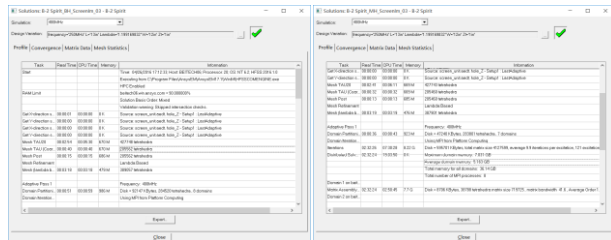
隐身涂料的仿真设计





计算资源的消耗——涂覆后

涂覆前	Mesh Num	Mesh Time	内存占用	Total Time	CPU
双站 RCS	38.9万	7m	44.4GB	17m	20
单站 RCS	38.8万	7m	36.14GB	2h39m	20



案例分析2

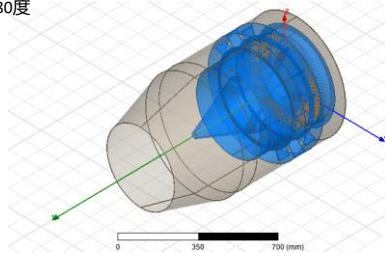
——发动机腔体的RCS计算

发动机腔体模型

RCS计算要求：

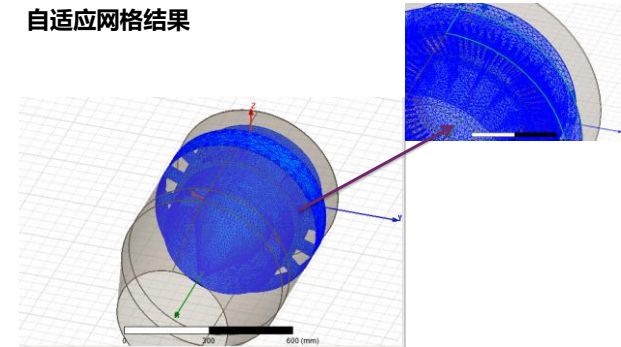
- 1、单站RCS计算
- 2、仅计算腔体内部
- 3、扫描角度 ± 180 度

SCDM修复后的发动机腔体模型



纯有限元求解

自适应网格结果

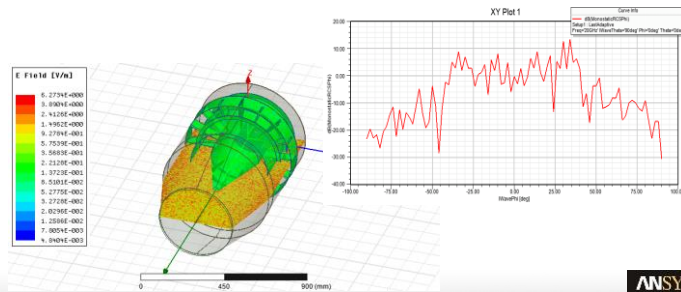


仿真结果

硬件支持：

CPU：144
内存：640GB

单站RCS求解	Mesh网格量	Mesh时间	内存占用	求解时间
20GHz	293.2万	3h15m	339.2GB	97h31m

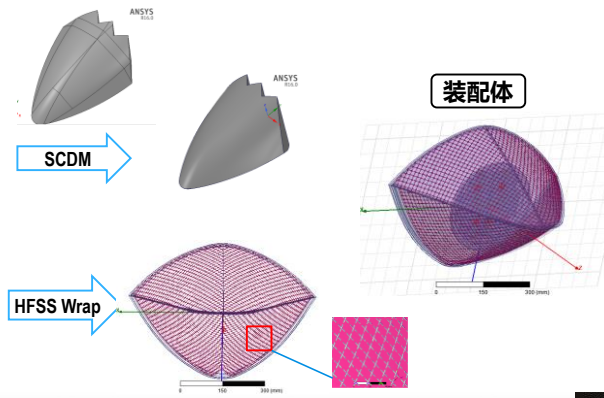


案例分析3

——飞机头罩的RCS减缩设计



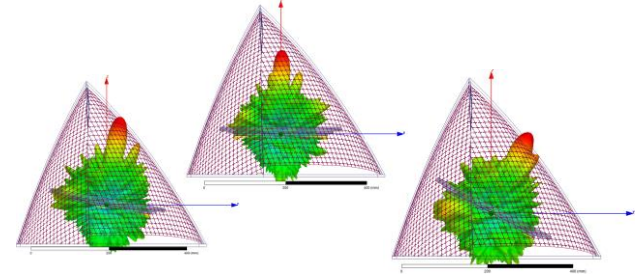
SCDM修复+Wrap缠绕



装配体：Assembly Mesh

加速网格剖分
增加网格复用

——调整模型的姿态与位置，移动、复制装配体中的组件时，不需要重新划分网格，以提高求解效率。

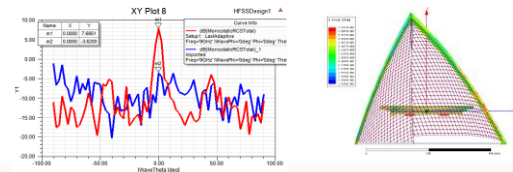


罩体对天线的影晌

9GHz	增益 /dB	Y向副瓣 /dB	X向副瓣 /dB	零深 /dB	瞄准误差
天线	25.18	<-20	<-20	<-28	0
FSS罩+天线 ——0度偏转	23.24	<-11.5	<-18	<-28	+0.5
FSS罩+天线 ——10度偏转	23.06	<-10.7	<-16.2	Y向<-12.8 X向<-15.3	-1
FSS罩+天线 ——30度偏转	21.66	<-8.0	<-20.4	Y向<-5.5 X向<-17.8	-1.5

天线对罩体的RCS贡献

单站RCS/ dB	9GHz	1GHz	8GHz	10GHz
天线	14.4	-4	13.8	13.6
FSS罩	-4.0	3.1	-6.1	2.5
FSS罩+天线	7.66	4.4	6.6	6.9





总结

- 1 适合的算法：FEM+IE+PO
- 2 高效建模：3D component+Boundary
- 3 高性能计算：HPC+DDM+DSO



感谢聆听

