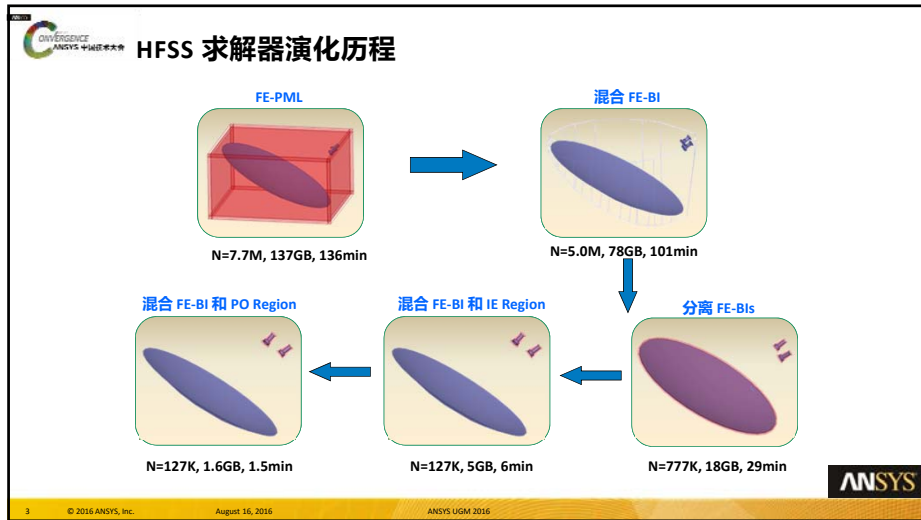
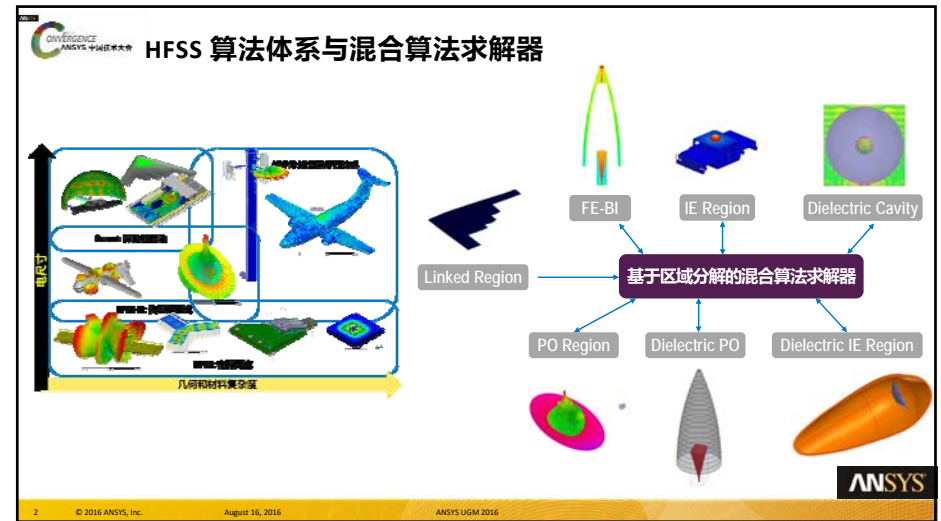


ANSYS CONVERGENCE CONFERENCES 2016 ANSYS中国技术大会 中国·上海

HFSS 混合算法求解器研发历程与展望

赵克钟 博士
ANSYS 首席研发专家



FE-BI: Finite Element – Boundary Integral 有限元-边界积分

无最近距离限制

- 推荐最近 $\lambda/10$

无反射边界条件

- 能理想吸收入射场，与辐射角度无关

任意形状的边界

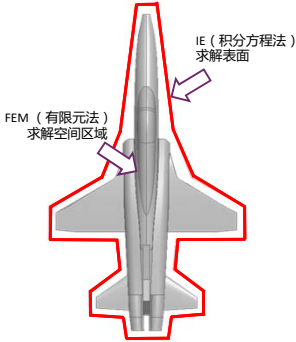
- 能包含分离区域
- 边界与辐射体共形，减小了空气体积

FE-BI 计算消耗少

- 空气盒子比 ABC 或 PML 小，能显著减小运算量
- 注: ABC (Absorbing Boundary Condition) 即常说的 Radiation 边界

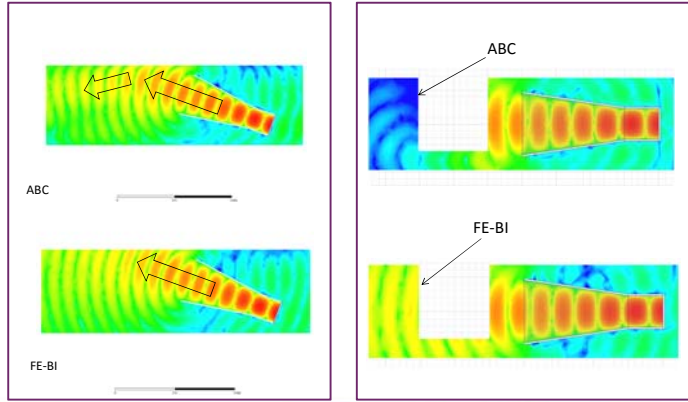
设置方法:

- 选择 Objects
 - Assign Hybrid → FE-BI



ANSYS

FE-BI 与 ABC 对比

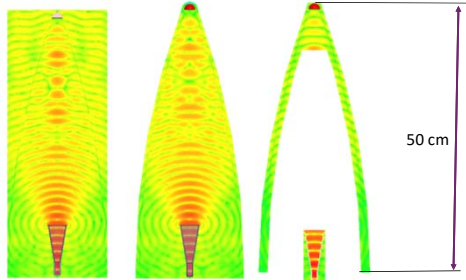


ANSYS

FE-BI 与 ABC 对比

- FE-BI 的内存占用仅有共形 ABC 的 60% 左右
- 共形 ABC 边界并不理想，因为对边界表面的斜入射波吸收不好
- PML 边界尽管吸收良好，但空气盒子体积大很多，增加了仿真运算量

Method	RAM	Elapsed Time
ABC	15 GB	70 min
共形 ABC	11 GB	40 min
FE-BI	7 GB	30 min



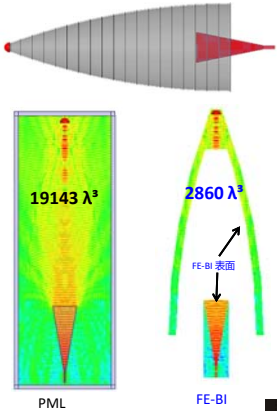
ANSYS

FE-BI 与 PML 对比

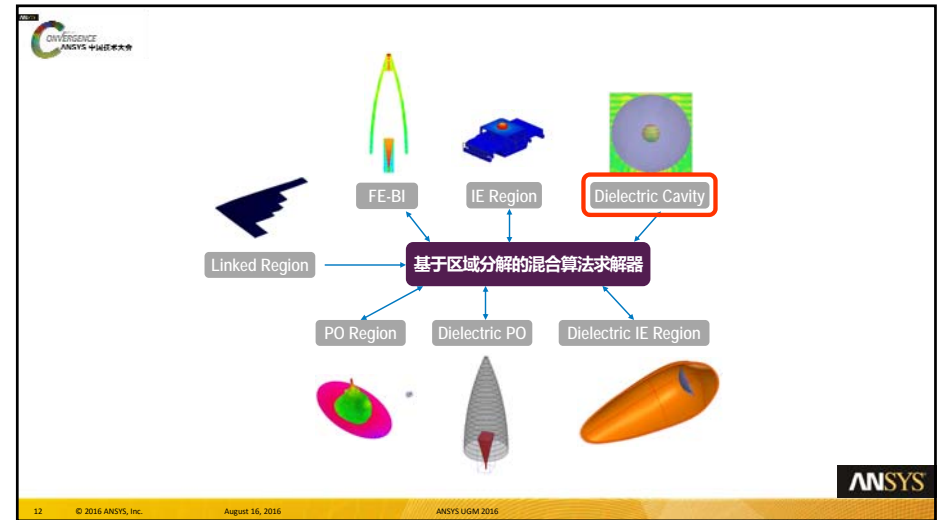
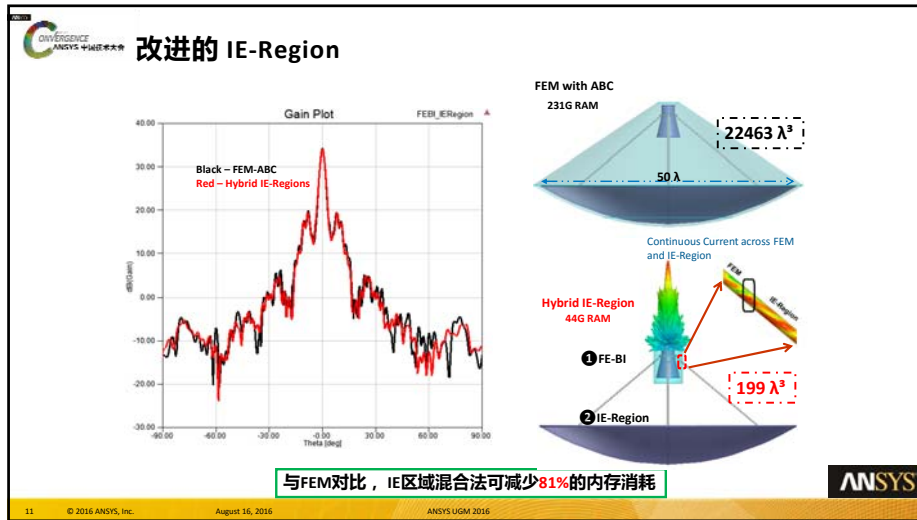
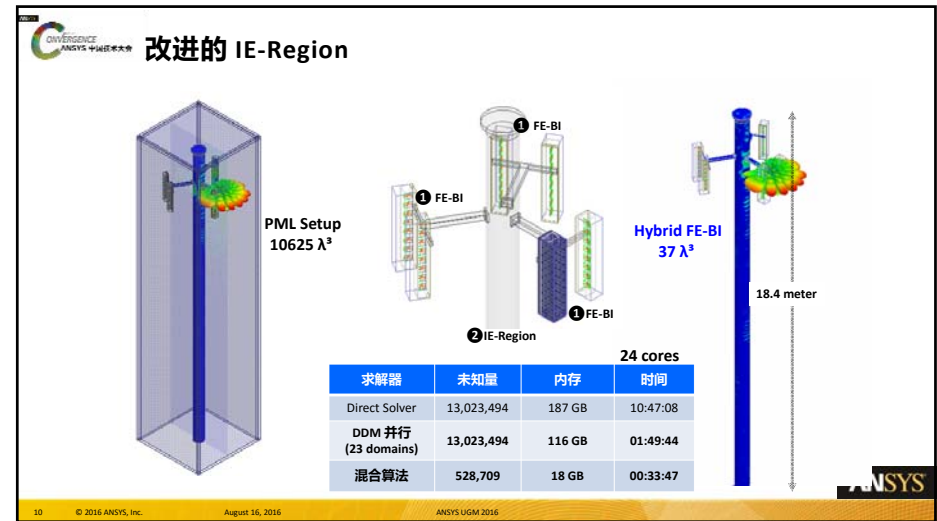
- FEM-IE 混合法可显著减少计算资源需求
 - FEM 无需计算极耗资源的罩内空气区域
 - 若使用 ABC 或 PML 则需求解完整的空气区域
 - 使用两个相互分离的 FEM-IE 区域
 - 与天线罩完美共形
 - 与喇叭天线 (26 GHz) 共形
 - 两个区域间的耦合自动计算

26 GHz	占用内存	消耗时间
PML	259G (DDM)	840min
FE-BI	64G	205min

使用 FE-BI 边界后获得 4.1 倍的提速并节省 75% 的内存



ANSYS



Dielectric Cavity (介质腔体)

- 金属区域可由 IE 直接求解表面电流
 - 无需在金属周围设置辐射边界
- 均匀介质也可以利用 IE 区域求解
 - 介质表面由IE求解

设置方法:

- 选择 Objects
 - Assign Hybrid → Dielectric Cavity

相比于ABC边界, 使用IE区域可减少70%的内存

有限元求解(20G RAM)

混合算法 (6.2G RAM)

ANSYS

Dielectric Cavity 案例 1: 办公室

FE-BI 收敛情况

Office
BI statistic:
N = 395,598
RAM = 7.5 GB
Time = 9 min

边界类型	网格量	未知数	总内存 (GB)	耗时 (小时)
ABC	412,642	5,861,283	44	11.5
FE-BI	277,972	3,594,473	30	3

ANSYS

Dielectric Cavity 案例 2: 人头部+手机

1.8 GHz
人头部材料特性:
 $\epsilon_r = 79, \sigma = 0.47 \text{ simems/m}$

仅 FEM

FE-BI

Return Loss Plot

Gain Plot (Phi = 90 deg)

求解方法	内存	时间 (小时)
仅 FEM	6.2 GB	1
FE-BI	3.0 GB	0.5

ANSYS

应用案例: 天线布局在车内人体附近

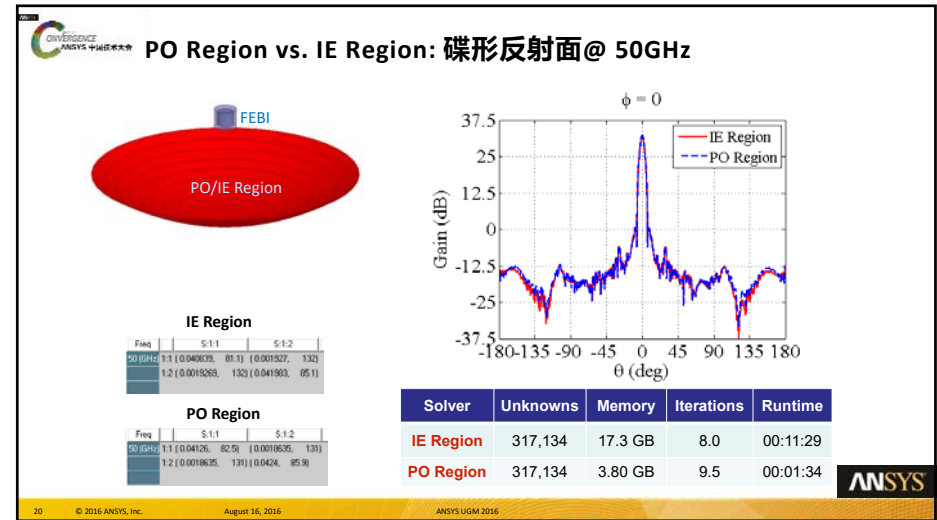
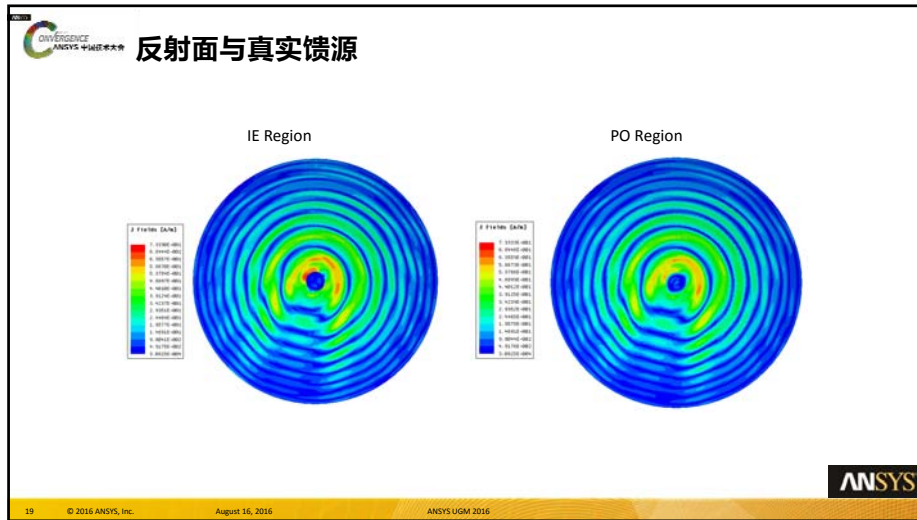
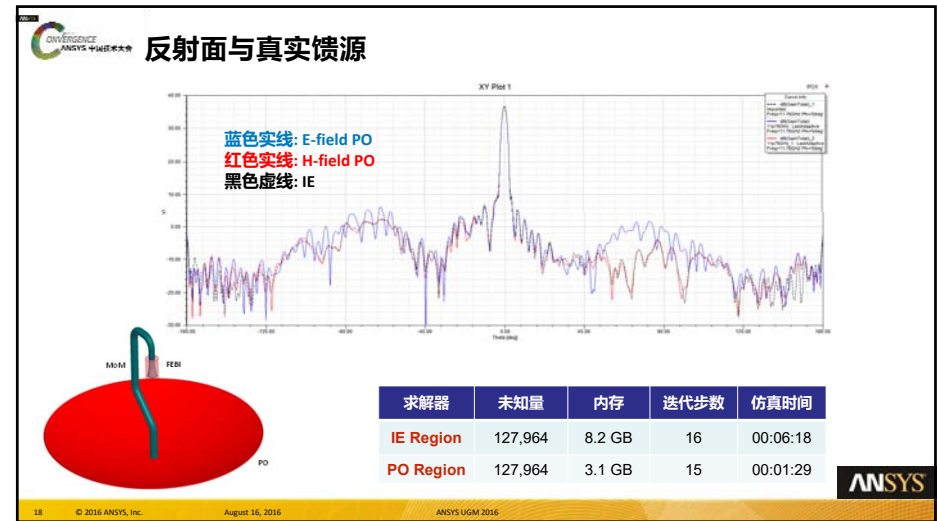
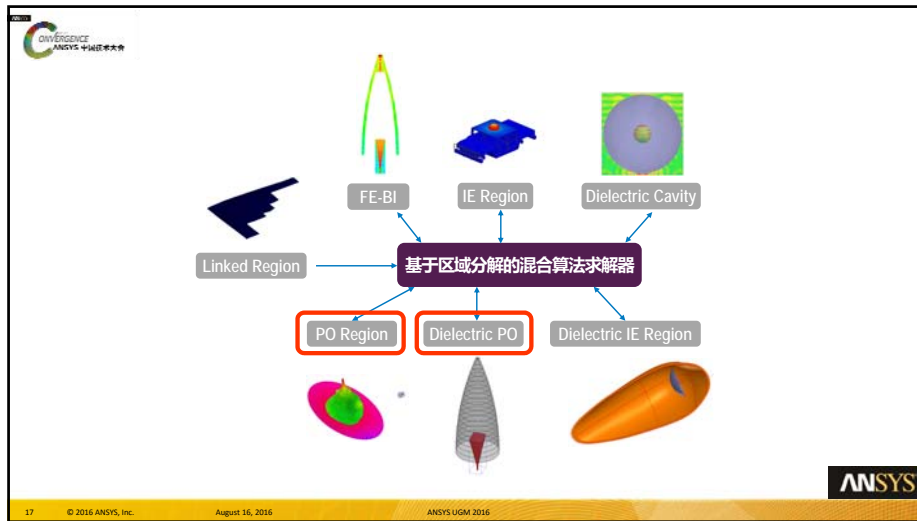
1. FEM: 人头部和手机周围
2. 内部 BI: 介质人体
3. IE Region: 金属车体

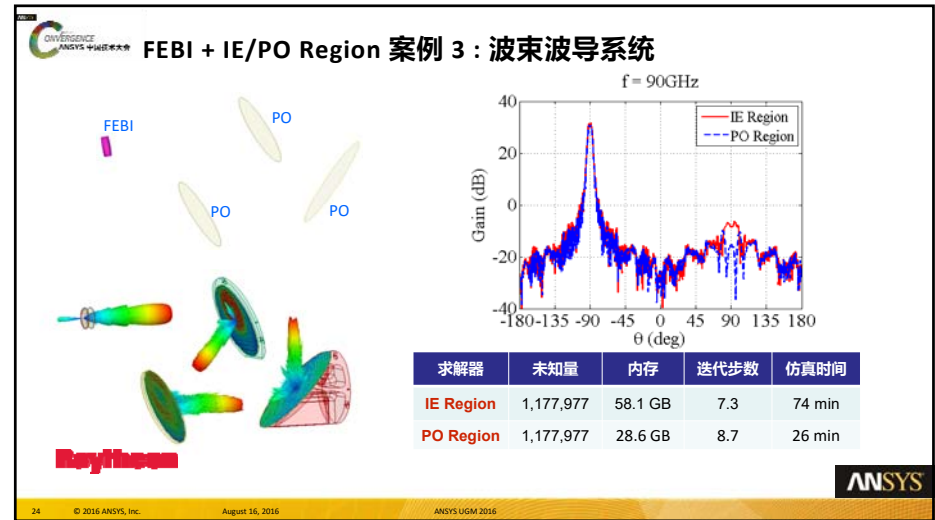
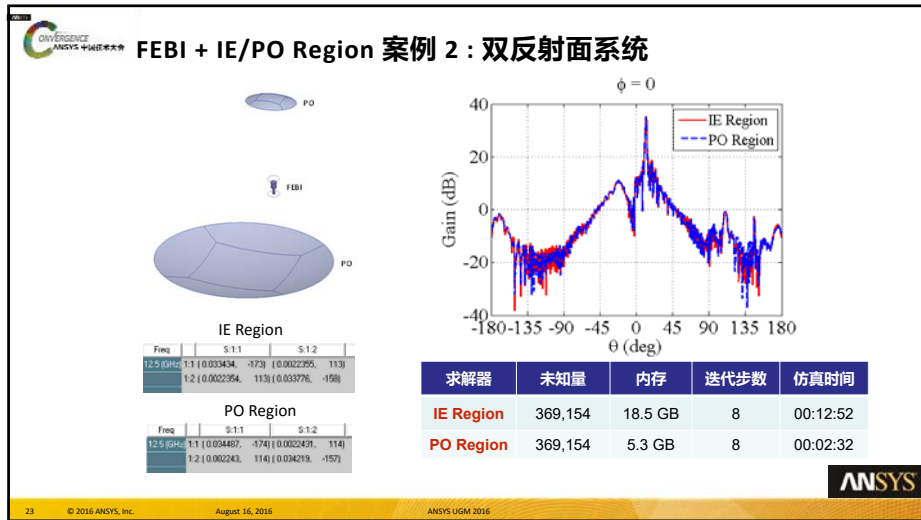
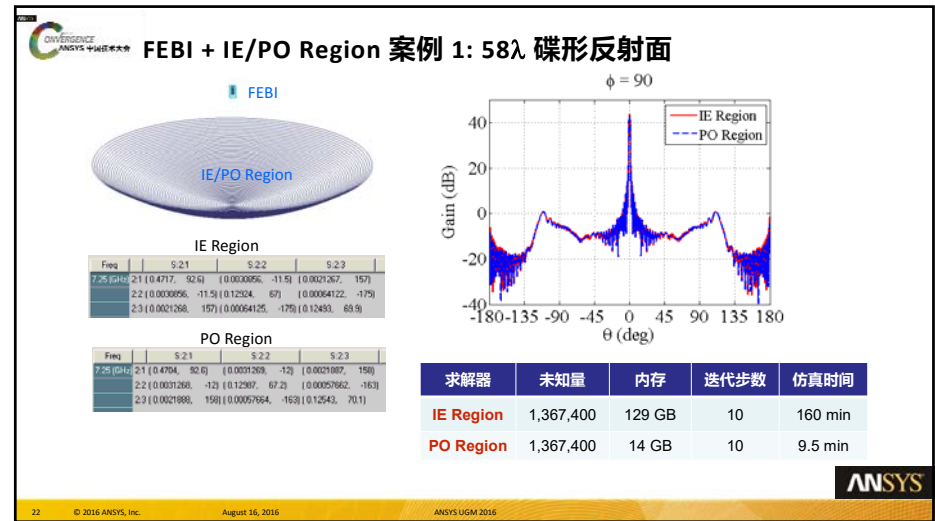
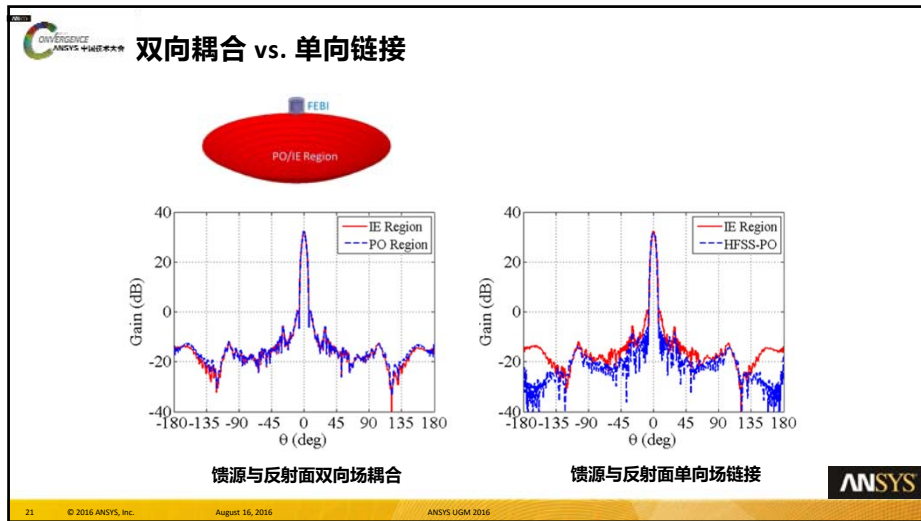
求解方式	总内存	耗时
FEM + DDM 并行	160 GB	8 hours
混合算法求解	11 GB	2.7 hours

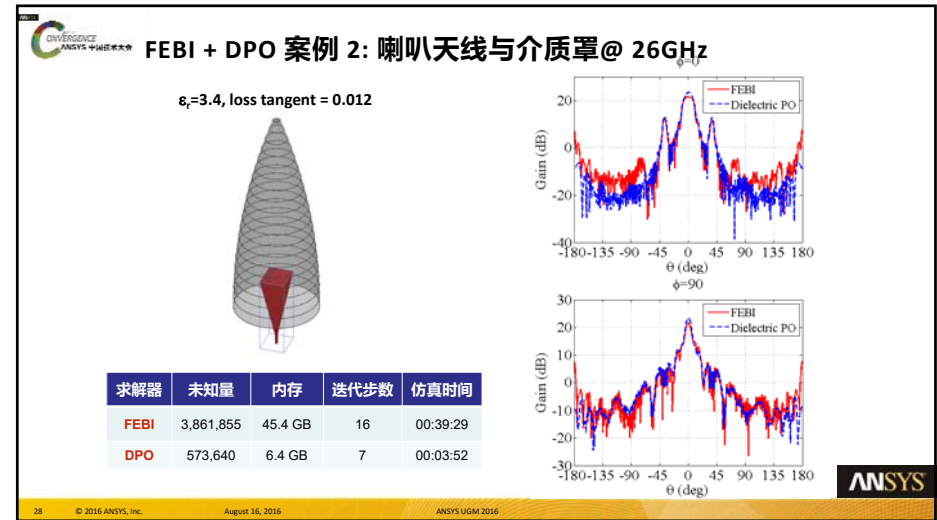
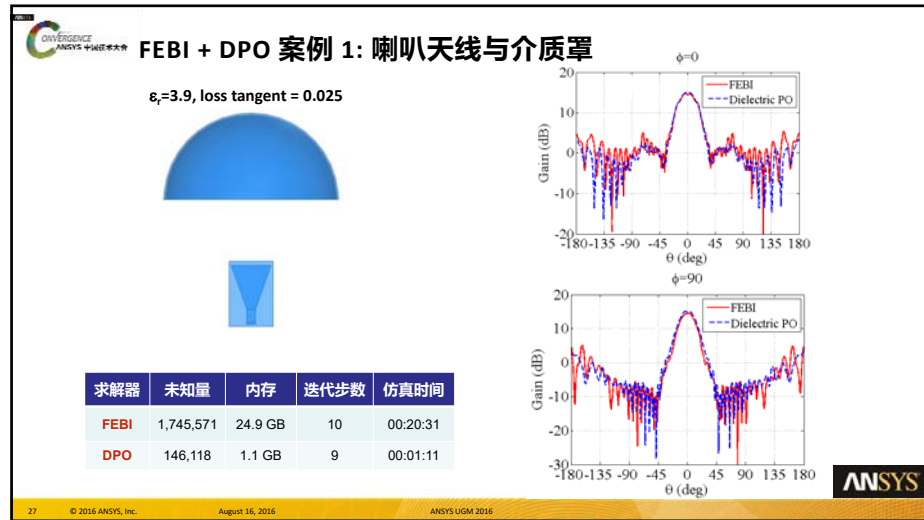
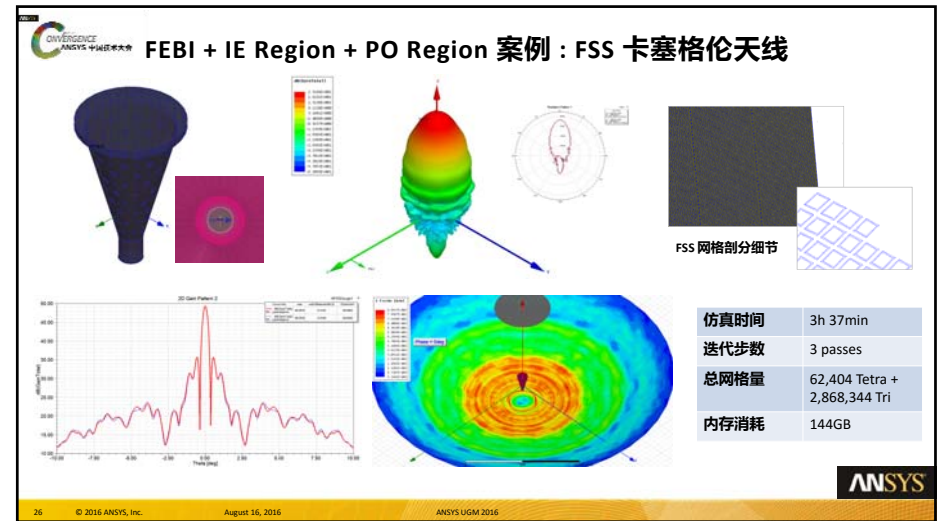
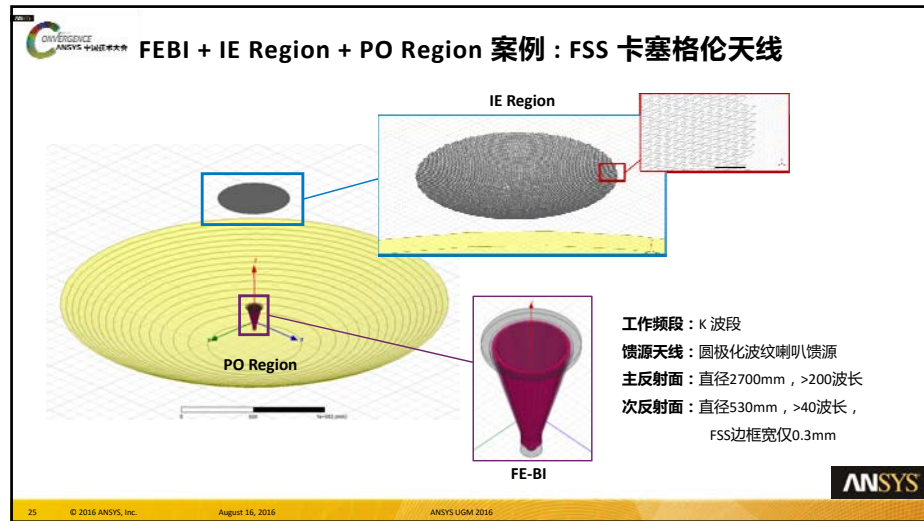
完全 FEM 求解

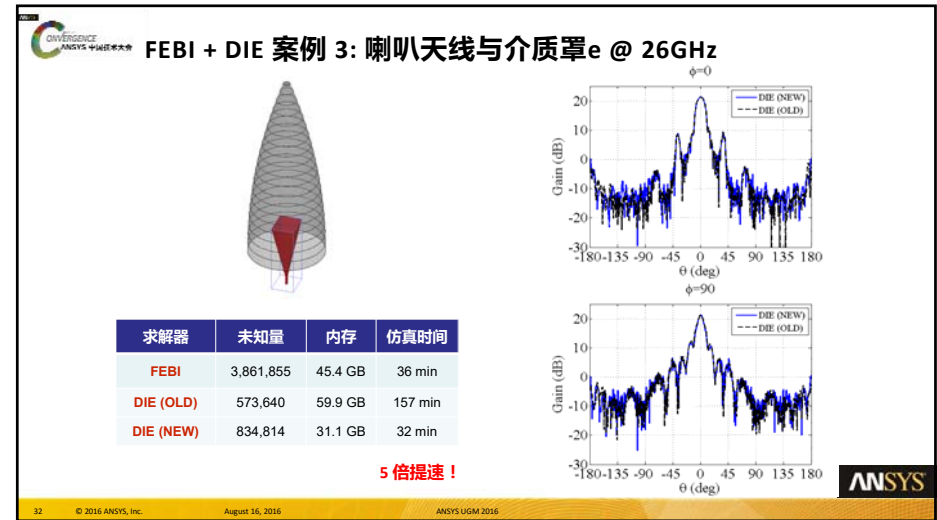
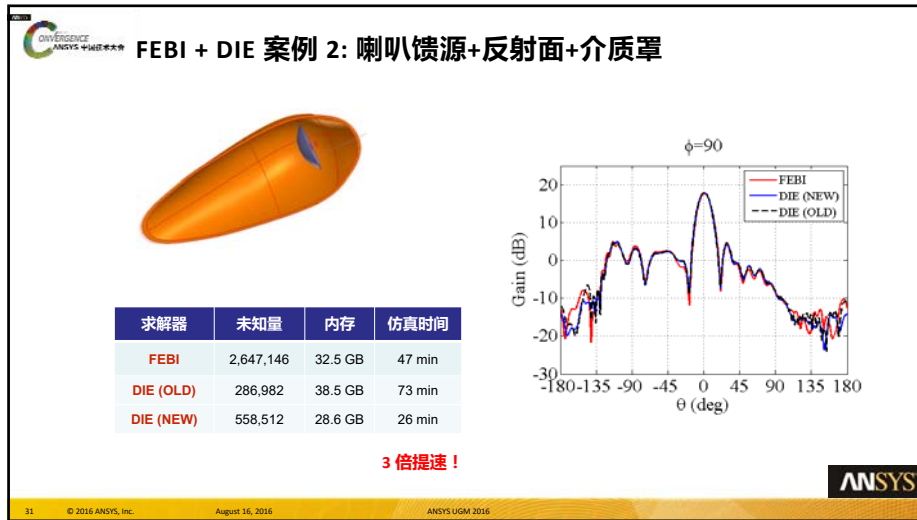
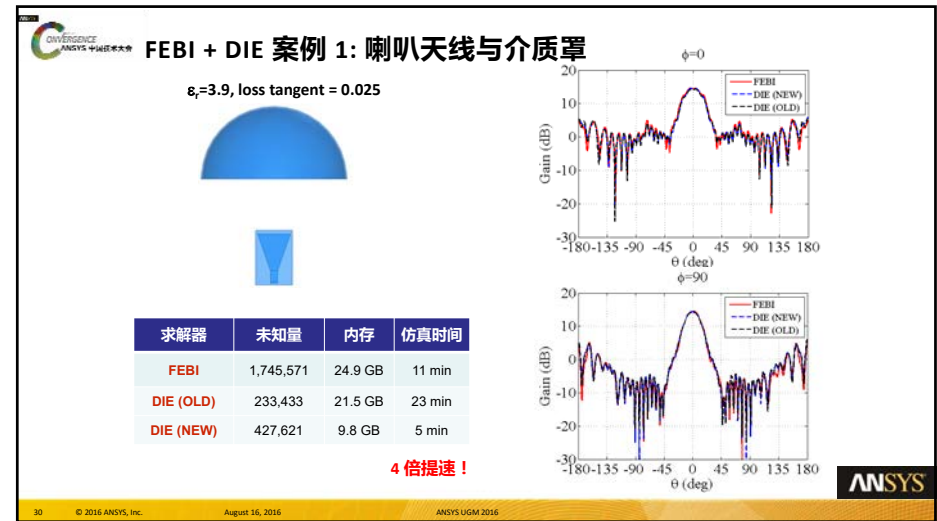
FEM-IE 混合算法求解

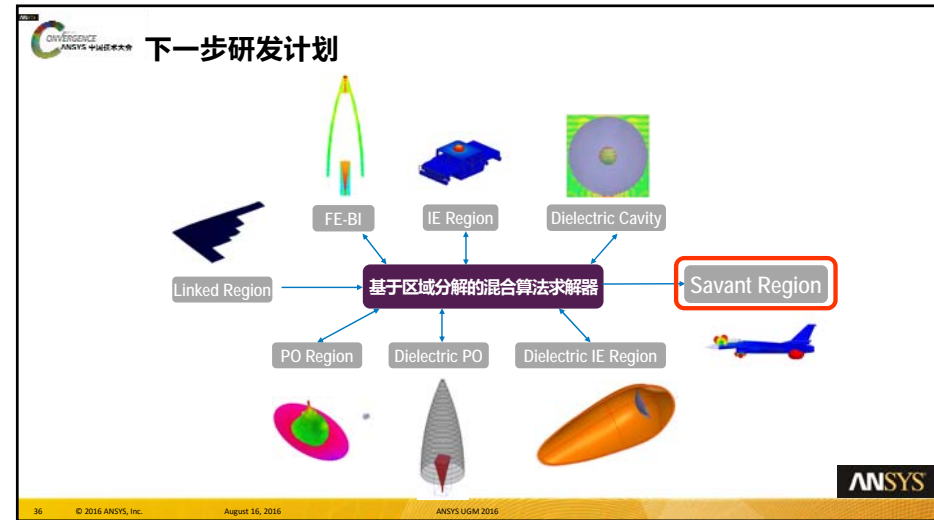
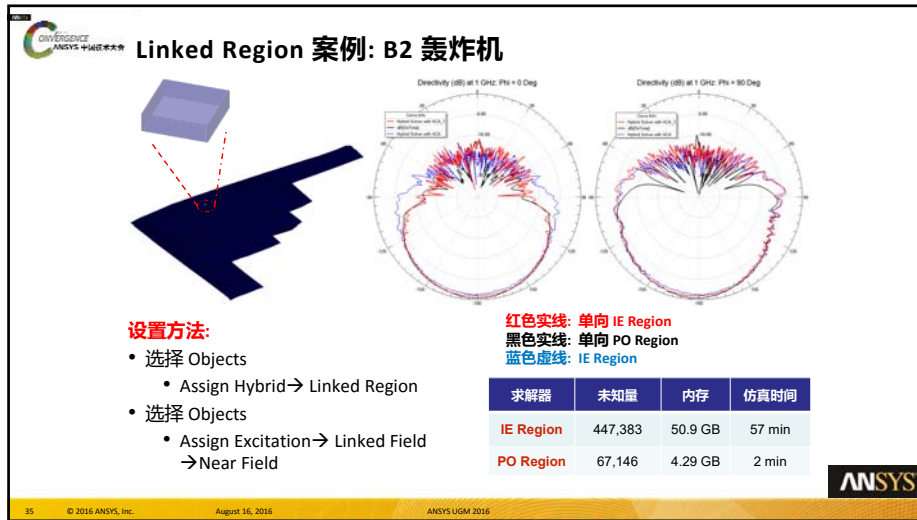
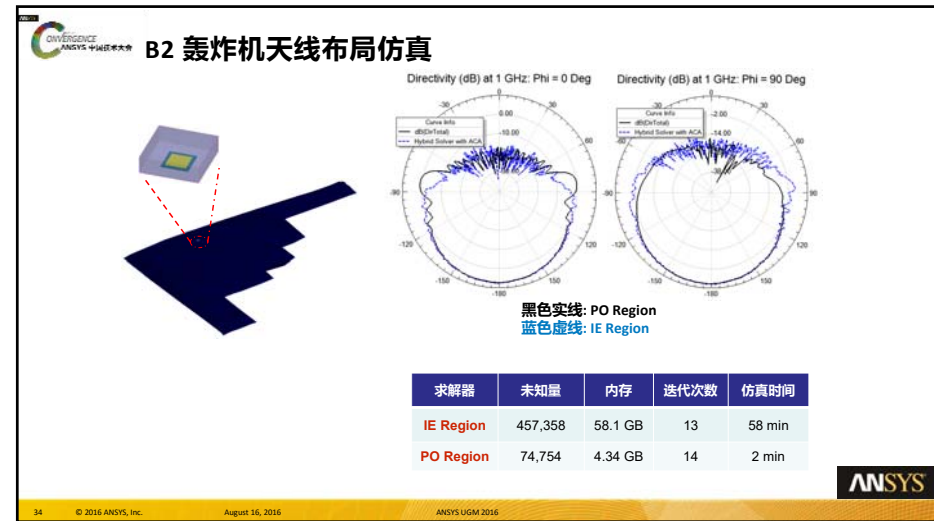
ANSYS











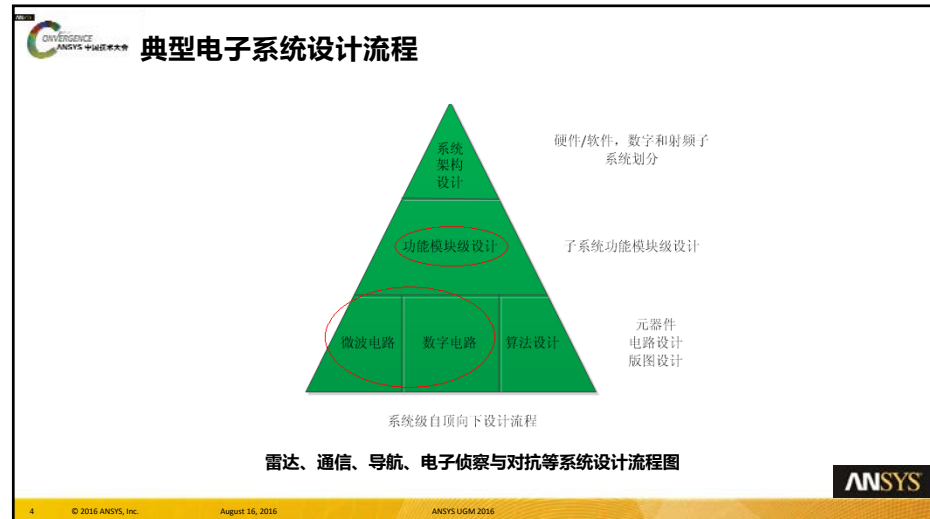
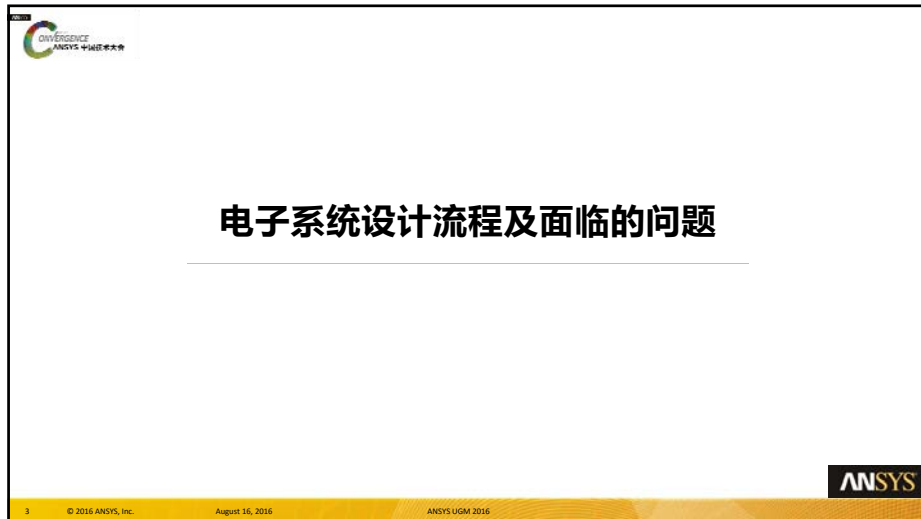
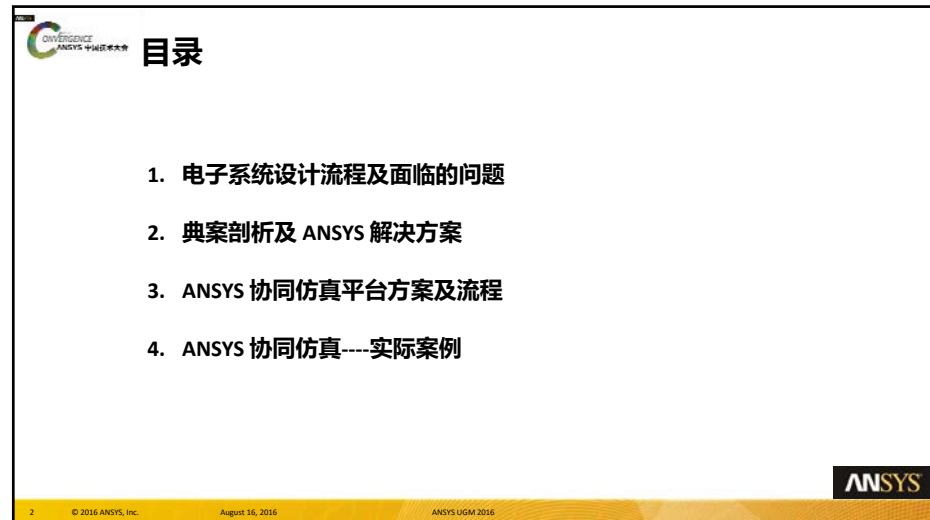




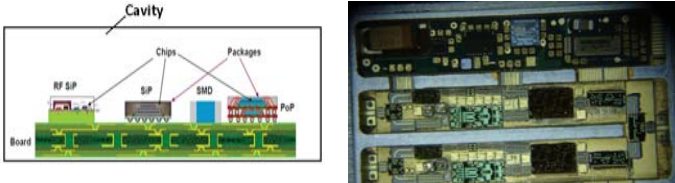
高集成度射频组件场路协同仿真

李宏军 研究员

中国电子科技集团公司第十三研究所



电子系统设计面临主要挑战



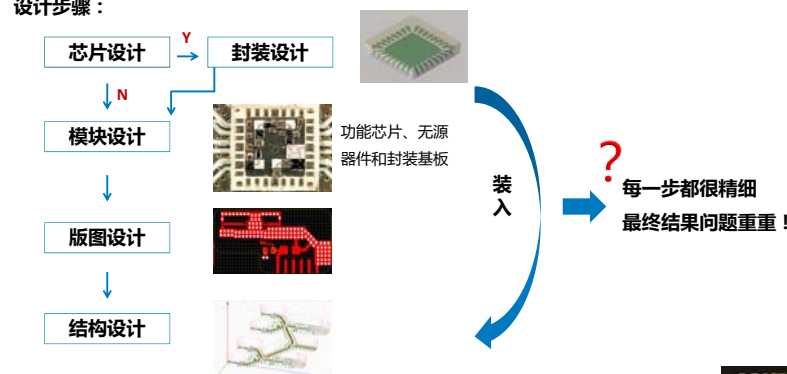
多工艺、高集成度
Multi Technology、High density、Highly complicated

ANSYS

5 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

电子系统设计具体步骤与问题

设计步骤：



芯片设计 → 封装设计
↓ N
模块设计
↓
版图设计
↓
结构设计

装入

功能芯片、无源器件和封装基板

每一步都很精细
最终结果问题重重！

ANSYS

6 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

典案剖析及 ANSYS 解决方案

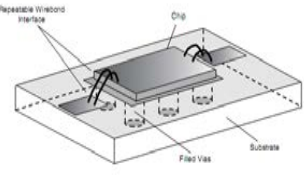
ANSYS

7 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

典型案例剖析

案例：

芯片安装

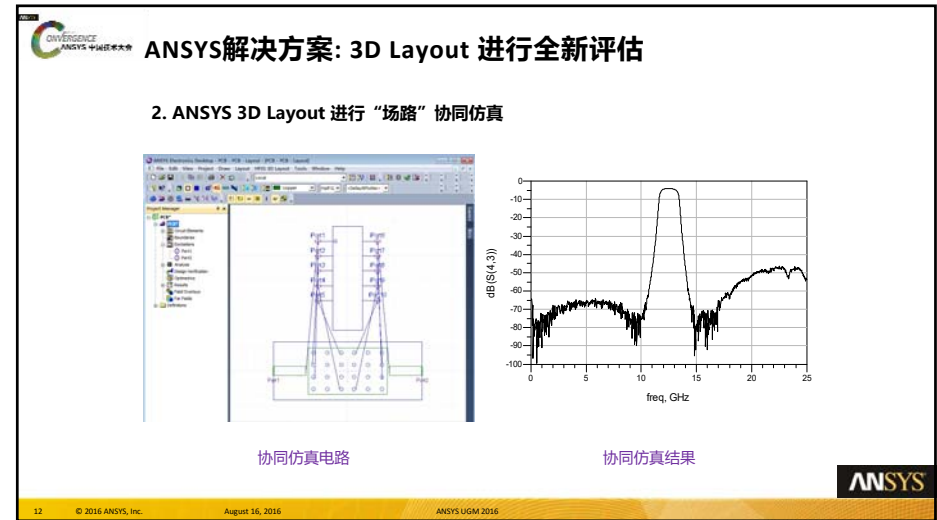
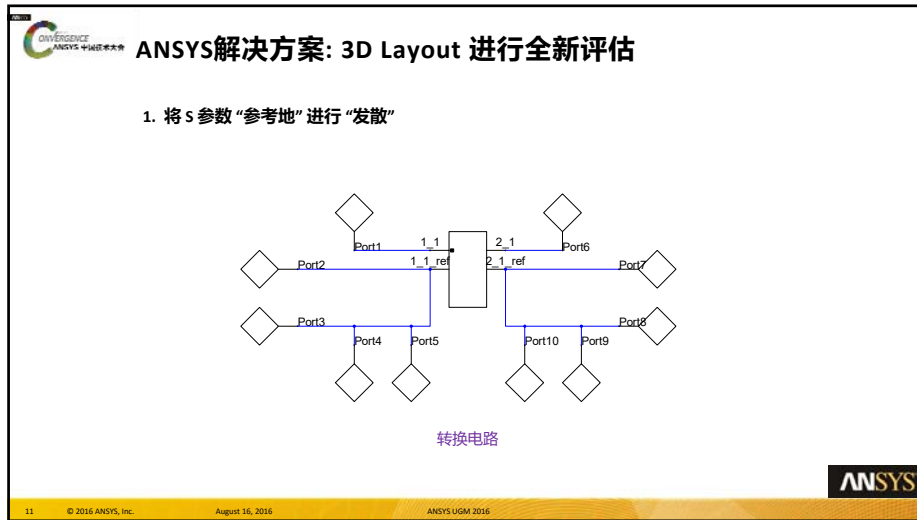
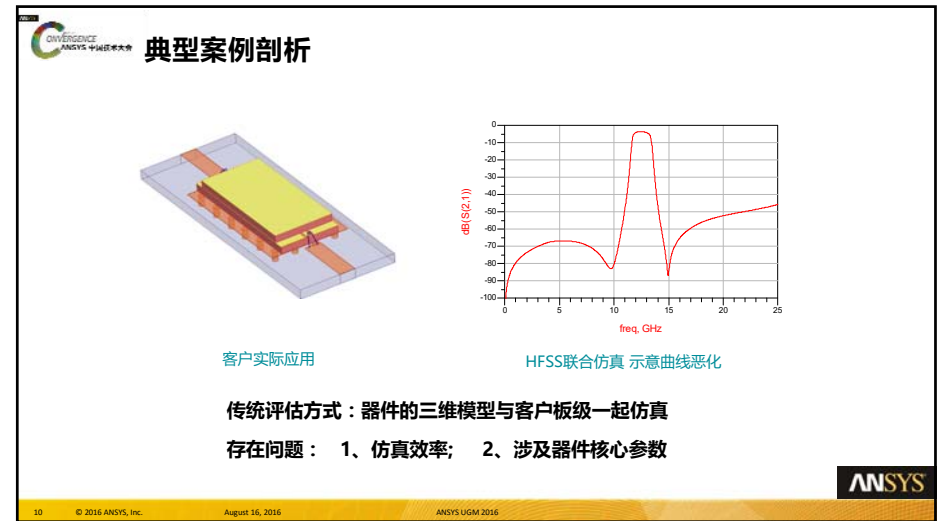
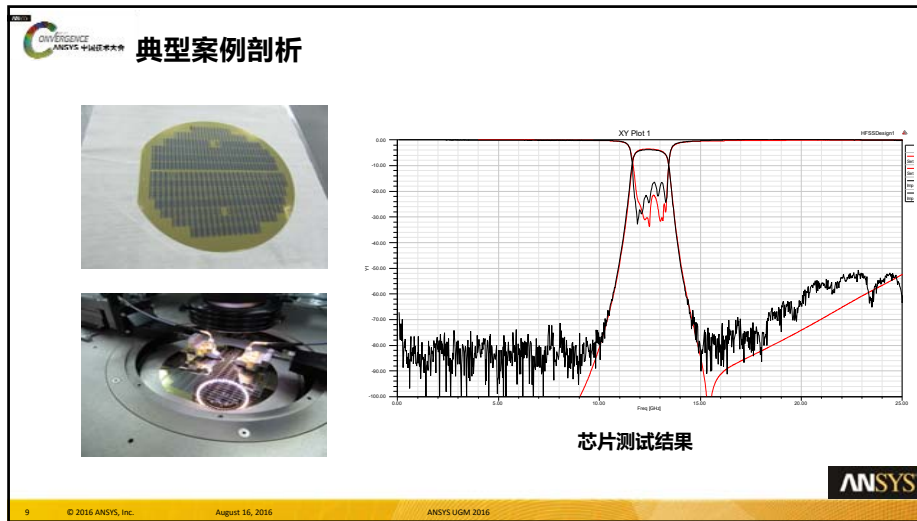


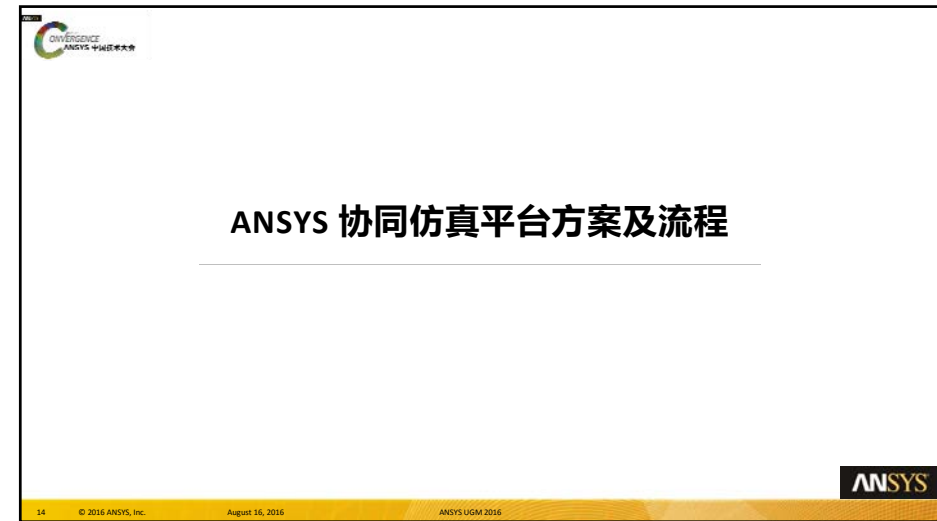
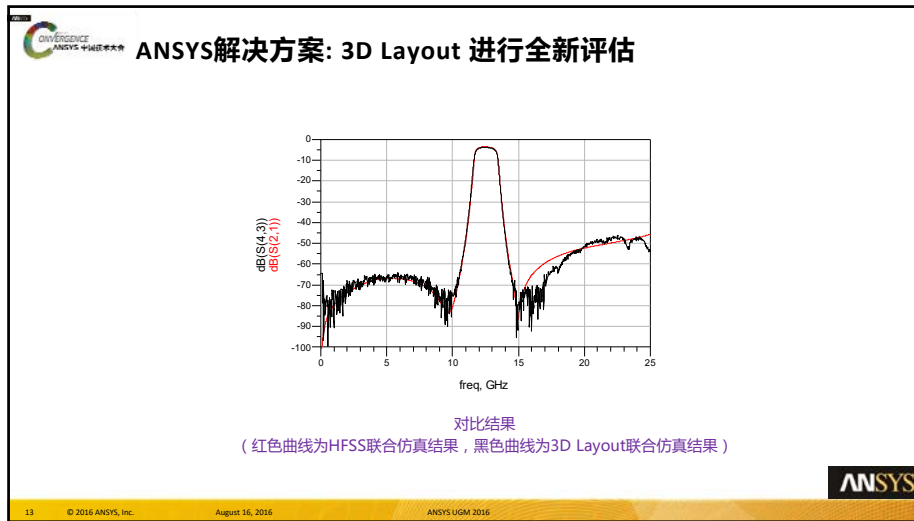
出现问题：单元测试结果，与实际应用环境中表现，差异很大！！

- √ 芯片性能 & 封装后的性能
- √ 模块性能 & 电路板上表现的性能
- √ 板级没有箱体 & 不同箱体结构中的性能

ANSYS

8 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016





我所“数字化样机”仿真平台建设

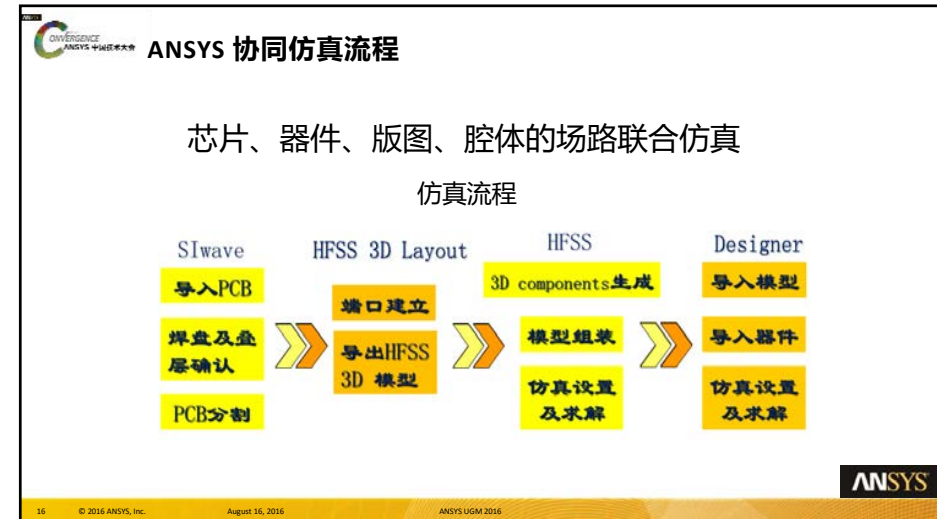
类别	序号	软件名称	软件功能	应用领域
电学仿真	1	Keysight/SystemVue	系统级仿真	系统级仿真
	2	ANSYS/Designer	电路仿真(含芯片)	子系统链路仿真
	3	ANSYS/Siwave	信号完整性	
	4	ANSYS/HFSS	三维高频电磁场仿真	三维无源结构仿真
热、应力仿真	5	ANSYS/ePhysics	热仿真	
	6	ANSYS/IcePak	热仿真	
	7	ANSYS/Mechanical	机械应力仿真	

电子系统“数字化样机”完整解决方案：

- 射频芯片、封装模块、功能子系统、系统平台的仿真设计能力，包括热、结构应力。

准确预知问题！

ANSYS



ANSYS 协同仿真流程

芯片设计

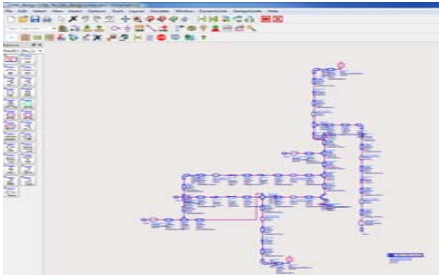
1. 电路原理图设计
2. 版图电磁场设计
3. 芯片版图的场路协同仿真
4. 芯片封装协同仿真
5. 测试模型提取

ANSYS板级“电磁场协同仿真”

1. PCB版图设计
2. PCB直接导入（含箱体信息），ODB++格式导入

ANSYS电路-电磁场协同仿真

在Designer中进行场路联合仿真



ANSYS

17 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

ANSYS 协同仿真流程

芯片设计

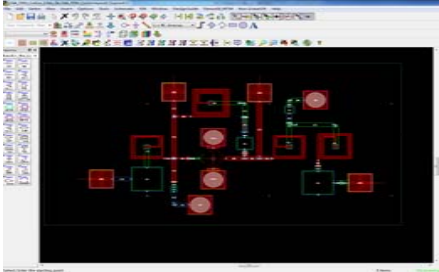
1. 电路原理图设计
2. 版图电磁场设计
3. 芯片版图的场路协同仿真
4. 芯片封装协同仿真
5. 测试模型提取

ANSYS板级“电磁场协同仿真”

1. PCB版图设计
2. PCB直接导入（含箱体信息），ODB++格式导入

ANSYS电路-电磁场协同仿真

在Designer中进行场路联合仿真



ANSYS

18 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

ANSYS 协同仿真流程

芯片设计

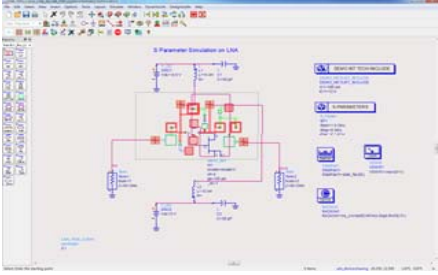
1. 电路原理图设计
2. 版图电磁场设计
3. 芯片版图的场路协同仿真
4. 芯片封装协同仿真
5. 测试模型提取

ANSYS板级“电磁场协同仿真”

1. PCB版图设计
2. PCB直接导入（含箱体信息），ODB++格式导入

ANSYS电路-电磁场协同仿真

在Designer中进行场路联合仿真



ANSYS

19 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

ANSYS 协同仿真流程

芯片设计

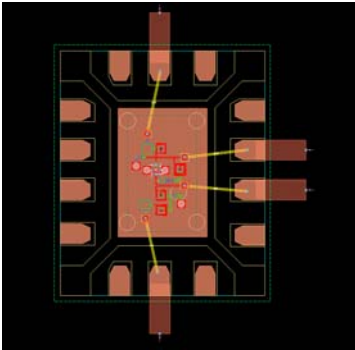
1. 电路原理图设计
2. 版图电磁场设计
3. 芯片版图的场路协同仿真
4. 芯片封装协同仿真
5. 测试模型提取

ANSYS板级“电磁场协同仿真”

1. PCB版图设计
2. PCB直接导入（含箱体信息），ODB++格式导入

ANSYS电路-电磁场协同仿真

在Designer中进行场路联合仿真



ANSYS

20 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

ANSYS 协同仿真流程

芯片设计

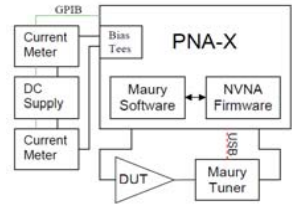

1. 电路原理图设计
2. 版图电磁场设计
3. 芯片版图的场路协同仿真
4. 芯片封装协同仿真
- 5. 测试模型提取**

ANSYS板级“电磁场协同仿真”

1. PCB版图设计
2. PCB直接导入（含箱体信息），ODB++格式导入

ANSYS电路-电磁场协同仿真

在Designer中进行场路联合仿真

ANSYS

21 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

ANSYS 协同仿真流程

芯片设计

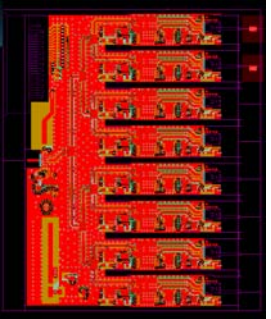
1. 电路原理图设计
2. 版图电磁场设计
3. 芯片版图的场路协同仿真
4. 芯片封装协同仿真
5. 测试模型提取

ANSYS板级“电磁场协同仿真”

- 1. PCB版图设计**
2. PCB直接导入（含箱体信息），ODB++格式导入

ANSYS电路-电磁场协同仿真

在Designer中进行场路联合仿真



ANSYS

22 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

ANSYS 协同仿真流程

芯片设计

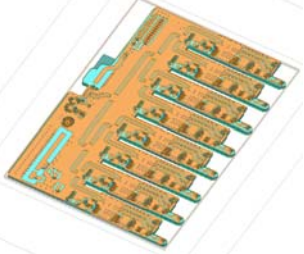

1. 电路原理图设计
2. 版图电磁场设计
3. 芯片版图的场路协同仿真
4. 芯片封装协同仿真
5. 测试模型提取

ANSYS板级“电磁场协同仿真”

1. PCB版图设计
- 2. PCB直接导入（含箱体信息），ODB++格式导入**

ANSYS电路-电磁场协同仿真

在Designer中进行场路联合仿真

ANSYS

23 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

ANSYS 协同仿真流程

芯片设计

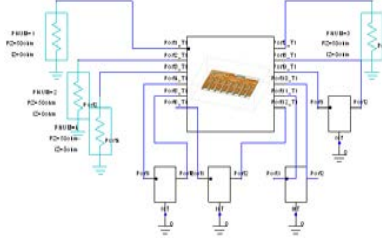
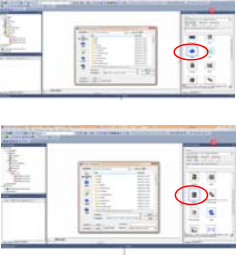
1. 电路原理图设计
2. 版图电磁场设计
3. 芯片版图的场路协同仿真
4. 芯片封装协同仿真
5. 测试模型提取

ANSYS板级“电磁场协同仿真”

1. PCB版图设计
2. PCB直接导入（含箱体信息），ODB++格式导入

ANSYS电路-电磁场协同仿真

在Designer中进行场路联合仿真

ANSYS

24 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

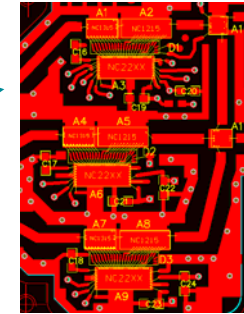
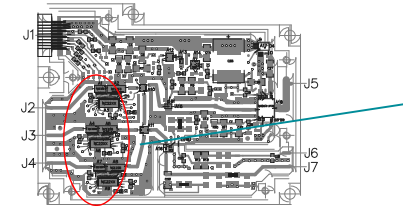
案例一：×× S 波段 T/R 组件

ANSYS 协同仿真实例

ANSYS

25 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

1. S 波段 T/R 组件需解决的问题

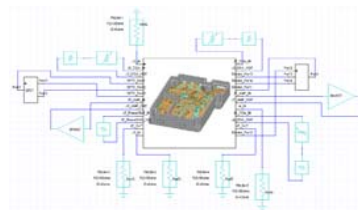


- 1路收发公用支路和2路相同的接收支路，可以满足用户进行多路信号的同时接收
- 但支路间没有隔离墙，为避免串扰，设计上尽量拉开通道间距离，并打接地过孔隔离
- 上述设计可行性需要仿真验证

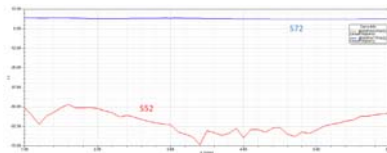
ANSYS

26 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

2. S 波段 T/R 组件建模仿真



- 仿真结果说明，T/R组件在各通道间场路隔离度高，所需频段内小于-50dBc；放大增益满足使用要求，平坦度好。



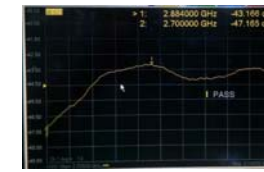
ANSYS

27 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

3. S 波段 T/R 组件测试验证



接收支路增益



接收路间隔离

- 测试结果与仿真结果相一致，通过仿真验证了设计的可行性，进一步指导设计方案。

ANSYS

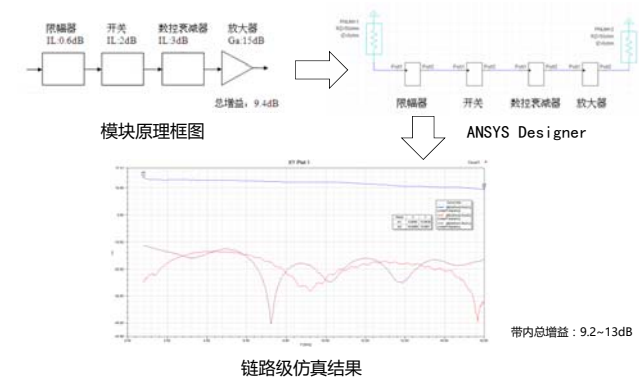
28 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

案例二：××宽带接收机前端

ANSYS 协同仿真实例

ANSYS

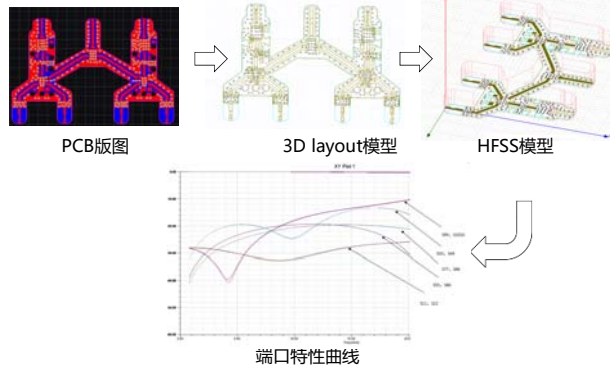
1. 链路级评估



ANSYS

2. 版图和结构空间仿真

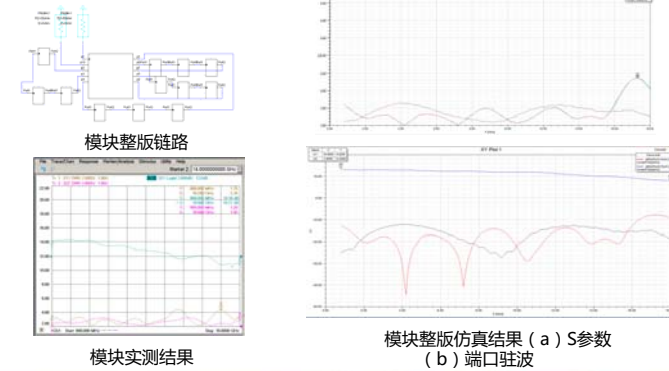
HFSS电磁仿真



ANSYS

3. 与有源电路协同仿真

模块整版仿真



ANSYS






高速芯片封装的引脚排布和扇出设计

吴枫
信号完整性工程师
英特尔亚太研发有限公司

免责声明

- 在性能测试中使用的软件及其负载可能为英特尔微处理器的性能进行了优化。诸如SYSmark和MobileMark等测试均系基于特定计算机系统、硬件、软件、操作系统及功能，上述任何要素的变动都有可能致使测试结果的变化。请参考其他信息及性能测试（包括结合其他产品使用时的运行性能）以对目标产品进行全面评估。
- 更多信息敬请登陆<http://www.intel.com/performance>

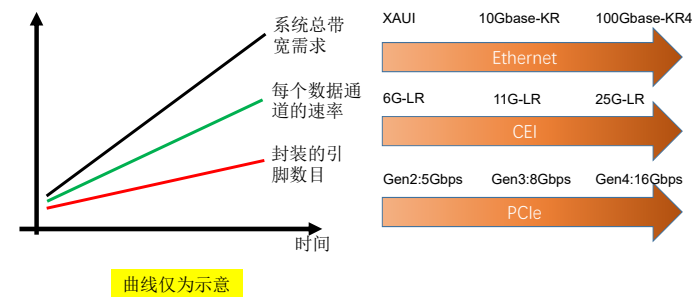


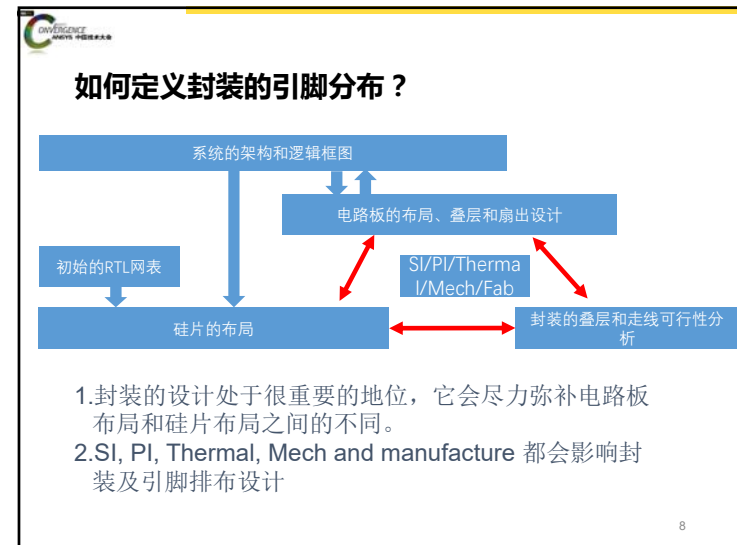
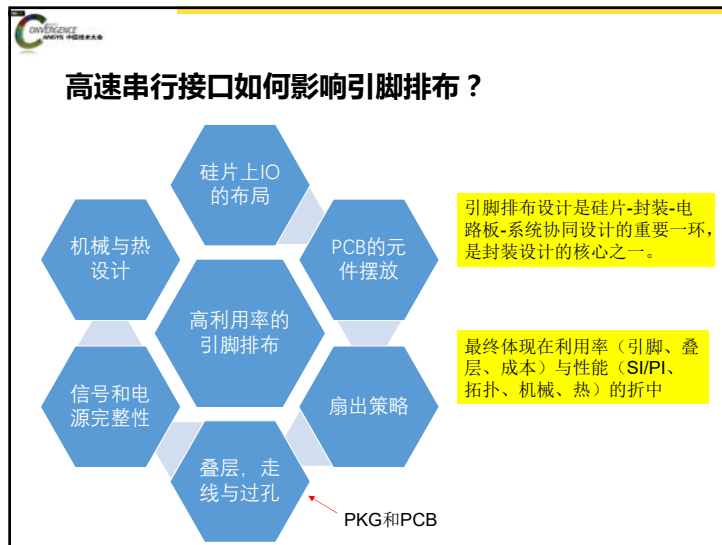
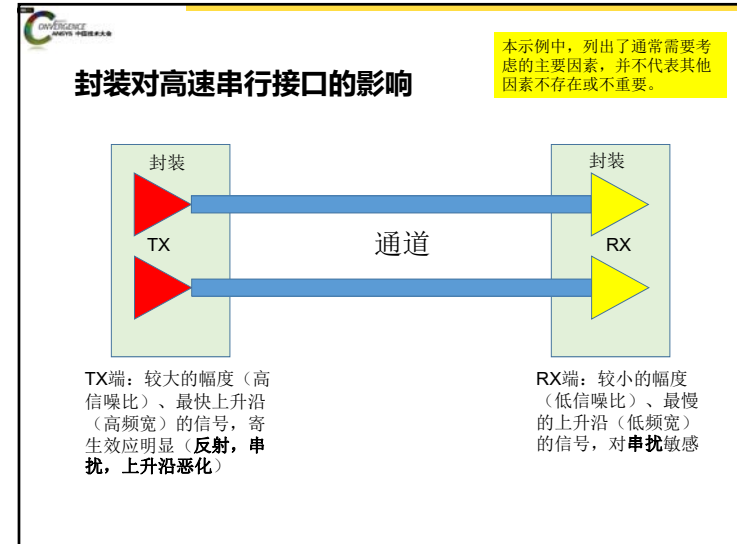
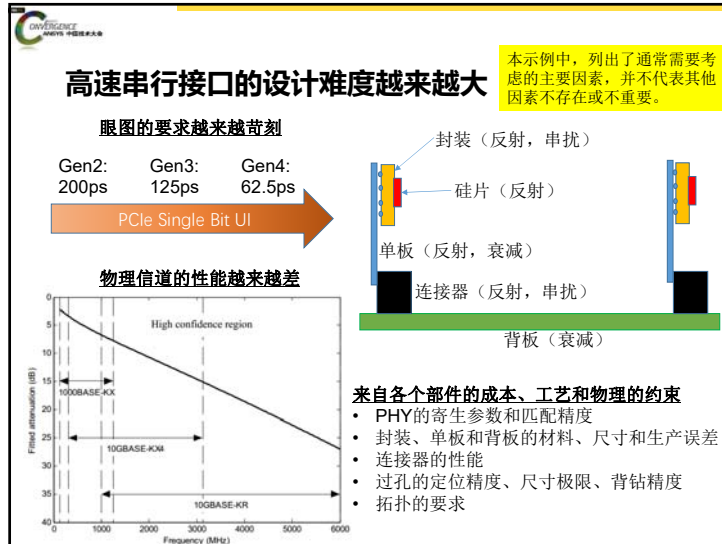
主要内容

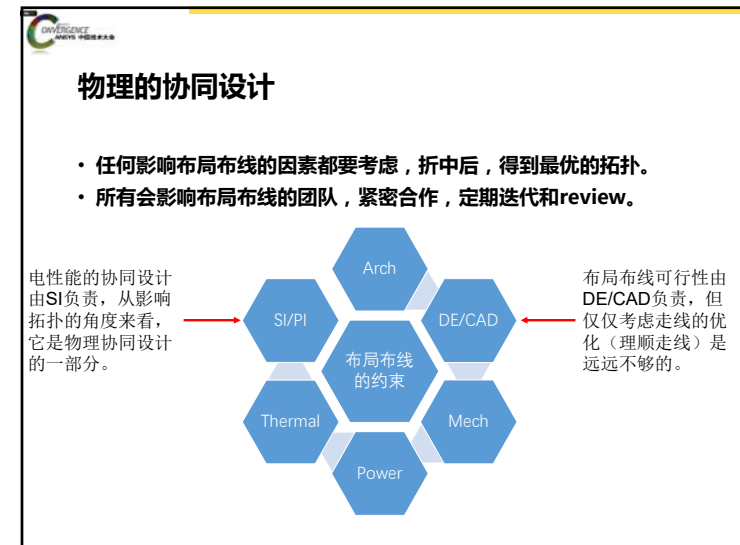
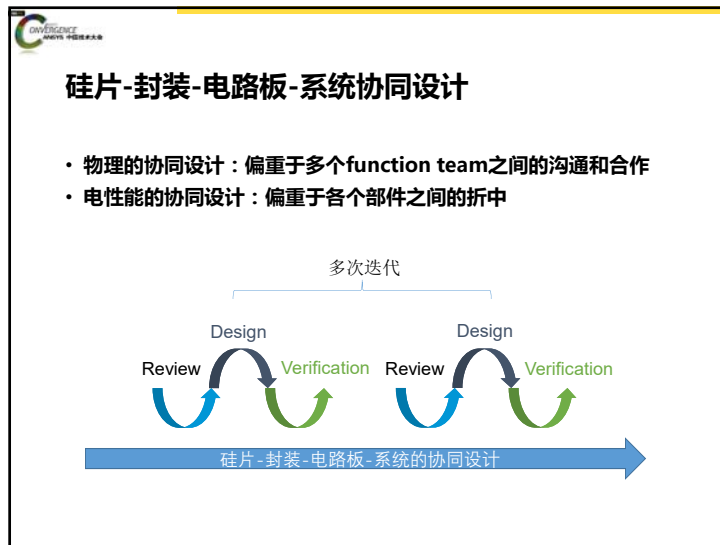
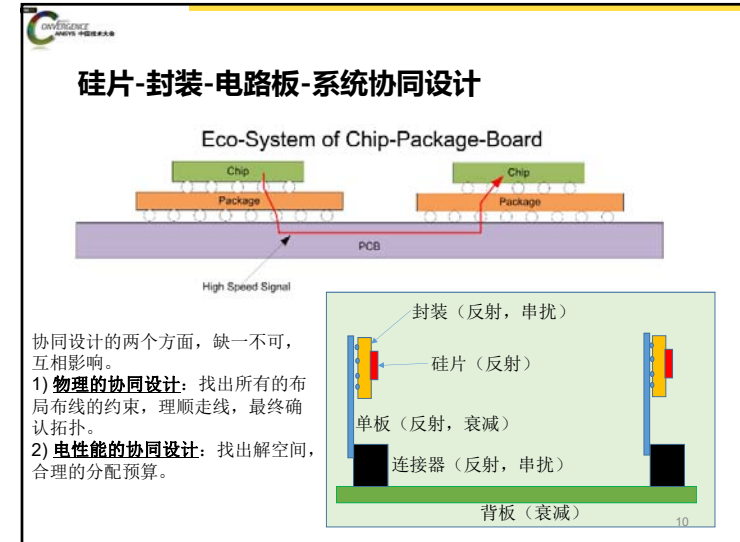
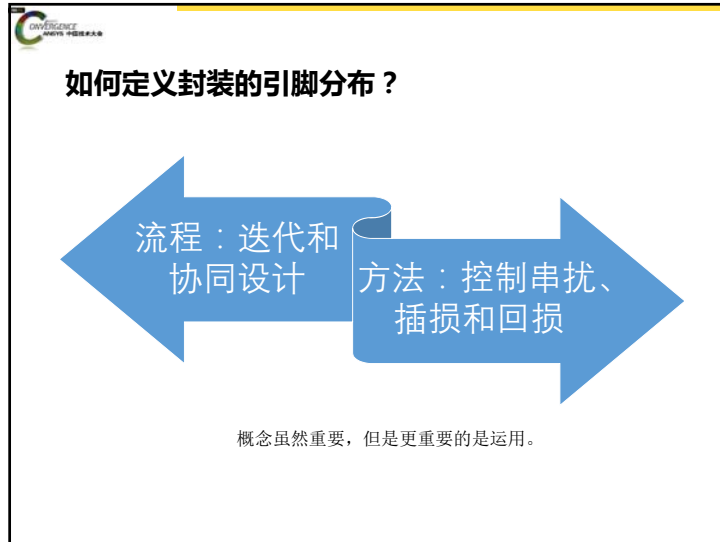
- 高速串行接口对封装引脚排布设计的挑战
- 如何得到一个优化的封装引脚排布？
 - 流程：硅片-封装-电路板的协同设计与优化
 - 技术热点：串扰与封装引脚排布
- 结论

高速串行接口的发展趋势

- 系统对IO带宽的渴求为高速串行接口速率不断提高的原动力







举例：来自Mech和Thermal的限制

- Mech和thermal的要求会影响布局布线，最终影响拓扑

散热片
backplate

待开发的芯片A

芯片B

芯片C

芯片D

AC Cap

连接器

螺丝孔和支撑区

风向

考虑所有来自DE和CAD的需求

考虑所有来自thermal的需求

考虑所有来自Mech的需求

物理的协同设计，一般需要大量的沟通，经过几轮迭代后，才可以趋于稳定

电性能协同设计

- 通道可以分解成几类部件
- 各个部件的电性能需要协调，从而实现通道端到端的电性能：
 - 对于复用的部件：澄清其电特性（典型值和HVM/PVT分布）
 - 对于待开发的部件：根据通道的总体特征，分配合理的可以实现且有竞争力的性能指标，用来指导待开发部件的设计。

封装（反射，串扰）

硅片（反射）

单板（反射，衰减）

连接器（反射，串扰）

背板（衰减）

- PHY
- TX的PKG
- RX的PKG
- 单板
- 背板
- 连接器
- 临近的入侵者网络

电性能协同设计

- 另外一种更彻底的部件分解

1. Trace

2. VIA

基础

3. Power distribution Network and plane

4. Component Passive: 阻容感, 磁珠
Active: IO/PHY

5. Connector

通常更可控

电性能协同设计

- 通常通道中每个部件的特性指标是基于频域的（例如S参数），这隐含的对负载做出了假设（例如100ohm全频段），这一假设在真实的通道中显然是不成立的。

芯片

封装+扇出结构

TX

单板

走线

过孔

背板

连接器

过孔

走线

过孔

连接器

芯片

RX

封装+扇出结构

走线

AC Cap结构

走线

过孔

连接器

- 每个部件在通道中的行为，依赖于通道中的其他部件，所以需要协同设计
- 即便每个部件都满足特性指标，也不能保证全通道的性能。所以每个部件在参考负载下的特性只是供参考或者风险评估

举例：高速串行接口的封装特性指标？

- 通常高速串行接口的标准没有对封装的特性指标作出精确的限定。
- 问题：当我们开发一个新的芯片的时候，如何设定一个封装特性指标？
 - 太紧的指标：浪费PKG的资源，甚至无解。
 - 太松的指标：可能不能满足最终通道的性能。

协同设计：Serdes互通性验证系统

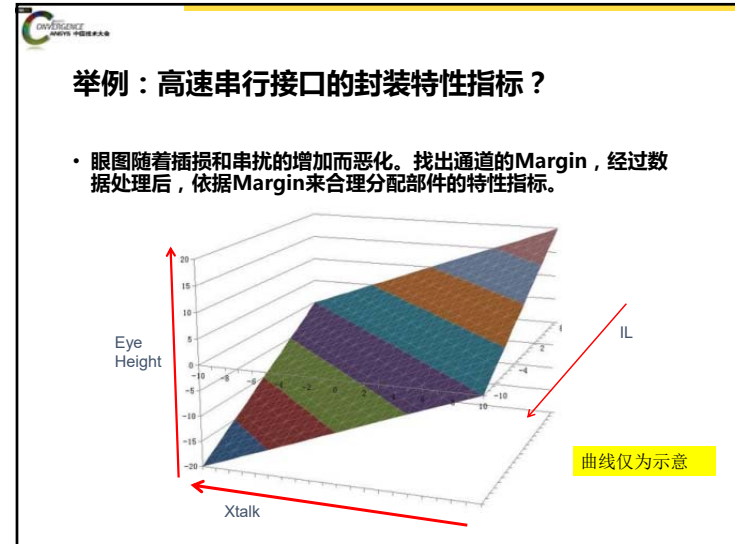
模拟TX 模拟连接器 模拟背板 模拟连接器 模拟RX

EV board from Vendor A Conn EV board Loss+xtalk Board Re-driver/retimer EV Board (Optional) Loss+xtalk Board Conn EV board EV board from Vendor B

必要的时候，可以加入一个Loss+Xtalk板来模拟单板

扫描长度和线间距

必要的时候，可以加入一个Loss+Xtalk板来模拟单板



影响封装引脚排布的主要指标

- 插损
- 回损
- 远端串扰：TX to TX，RX to RX
- 近端串扰：TX to RX
- 幅度比：入侵者对受害者

本演讲的关注点

19

串扰源与封装引脚排布的关系

主要有四类因素

影响串扰的因素	引脚的Pattern的相关性	引脚的位置的相关性
① 硅片PHY的扇出	弱	弱
② 封装上走线到走线的耦合	弱	强
② 封装孔到孔的耦合	强	弱
① 电路板孔到孔的耦合	强	弱
③ 电路板扇出线到扇出线的耦合	中	强
④ 电路板扇出线到孔	强	强
电路板的扇出层	中	强

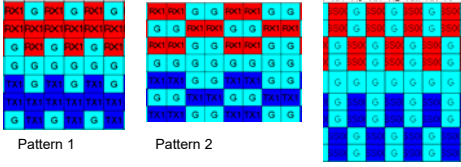
引脚排布的两个主要因素：Pattern和位置

常见的误区：
1：仅考虑封装，而不考虑电路板的扇出结构（孔+走线）
2：仅考虑孔到孔，线到线，而不考虑线到孔。

CONVERGENCE ANALYSIS 中国电子科技集团

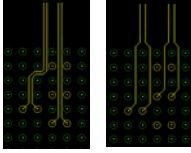
几种典型的Pattern和扇出方式

Pattern



Pattern 1 Pattern 2 Pattern 3

扇出方式

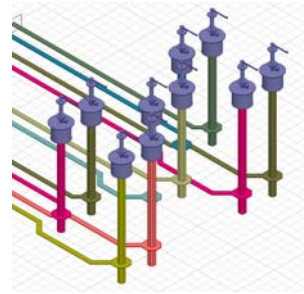


双线 单线

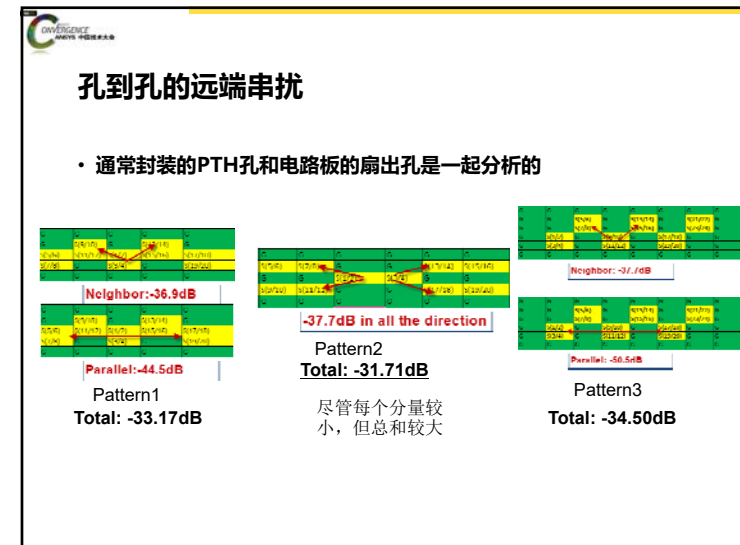
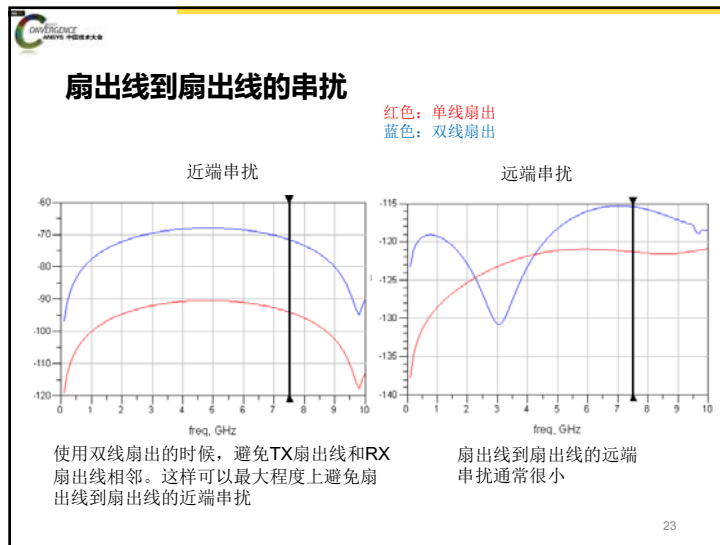
CONVERGENCE ANALYSIS 中国电子科技集团

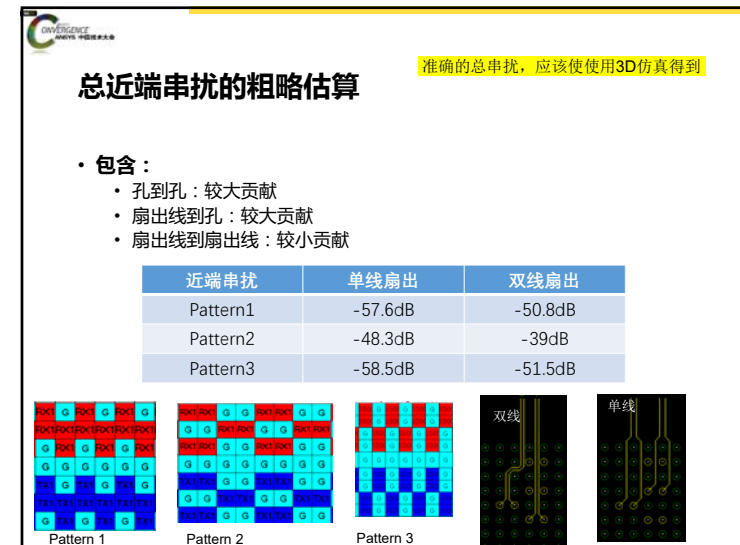
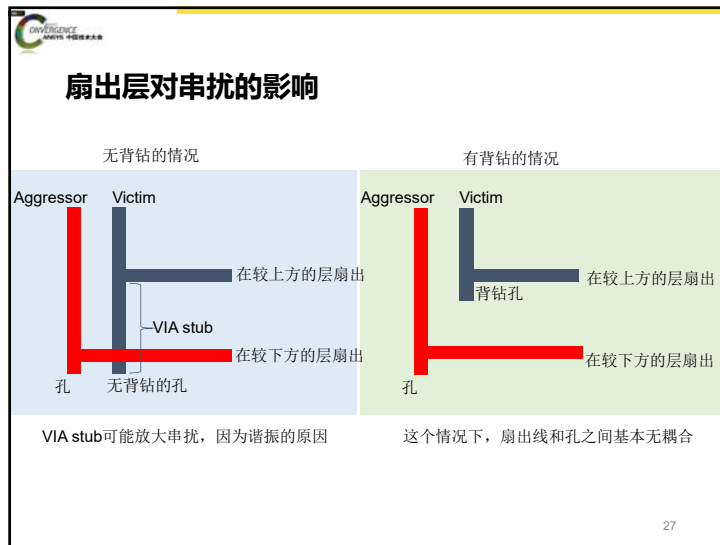
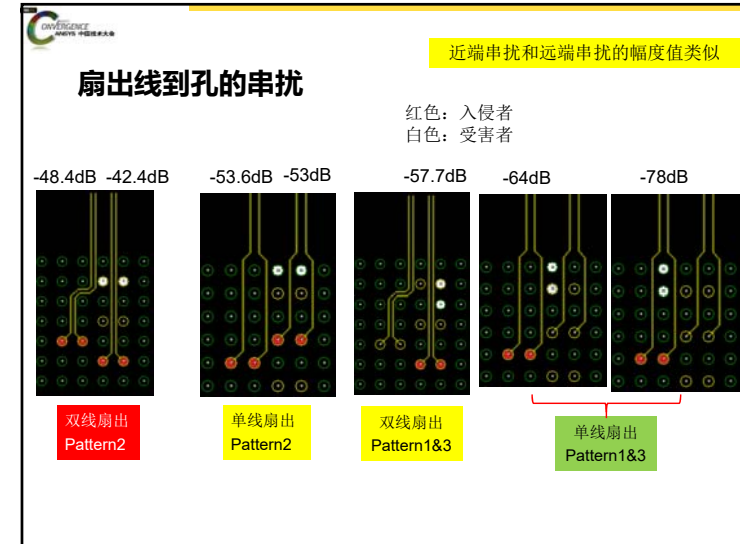
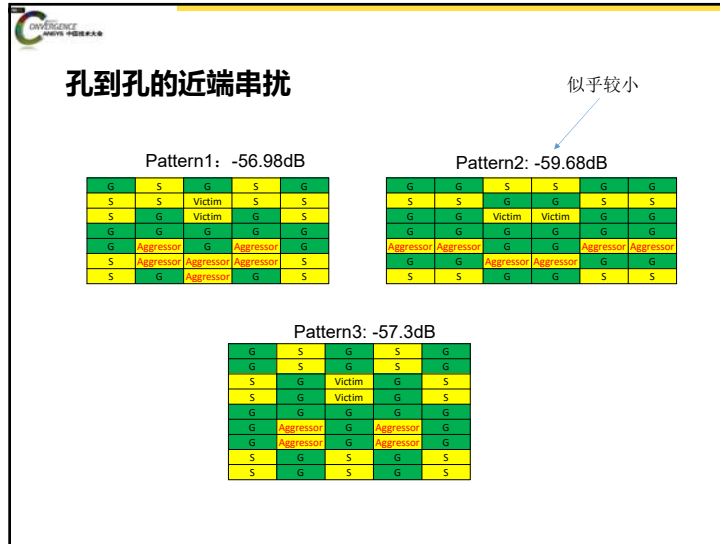
本例中的电路板

- 叠层
 - 较厚：136mil
 - Normal Loss的介质
- VIA:
 - Pad: 19mil
 - Anti-pad: 30mil
 - Drill: 8mil
- BGA
 - 1mm pitch
- 使用带状线扇出
- 15Gbps Serdes



22





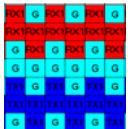
总远端串扰的粗略估算

准确的总串扰，应该使使用3D仿真得到

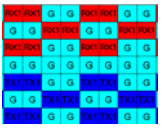
• 包含：

- 孔到孔：较大贡献
- 扇出线到孔：一般贡献
- 扇出线到扇出线：较小贡献


远端串扰	单线扇出	双线扇出
Pattern1	-33.16dB	-33.12dB
Pattern2	-31.6dB	-31.1dB
Pattern3	-34.49dB	-34.44dB



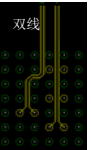
Pattern 1



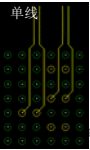
Pattern 2



Pattern 3



双线



单线

结论

- 越来越高速率的高速串行接口给系统设计带来了更多的挑战
- 新的方法学：硅片-封装-电路板-系统协同设计
 - 物理的协同设计
 - 电性能的协同设计
- 封装的引脚分布非常关键：需要合理的Pattern和位置
 - 不能仅仅考虑封装，还需要结合电路板的扇出结构
 - 不能仅仅考虑孔到孔和线到线的耦合，还需要考虑线到孔的耦合，以及扇出层的影响



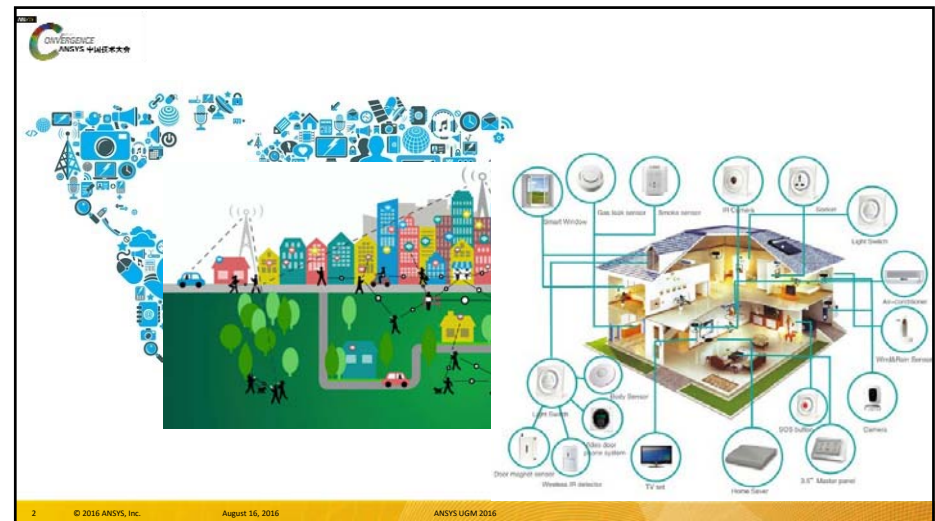
ANSYS CONVERGENCE CONFERENCE 2016 | ANSYS中国技术大会
中国·上海

感谢聆听



复杂电磁环境中天线布局与互扰分析

袁勇博士
ANSYS 中国



复杂电磁环境的特点

既包括人为主动产生的电磁辐射，也包括无意和被动产生的电磁辐射。

复杂性

频带宽、覆盖广、干扰功率大，持续时间长

不可预测性

干扰波形、功率密度和入侵来源均复杂多变

针对性

能够对特定设备造成的特别严重的干扰



ANSYS

复杂电磁环境中的天线布局

- 天线设计时通常按独立或理想条件进行
- 天线安装到真实平台上会带来性能改变——方向图畸变，多天线耦合干扰
- 可能导致对射频系统的性能影响
- 希望在设计早期对天线安装后性能表现精确预测



ANSYS

5 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

“复杂”带来的挑战

这么大的尺寸怎么算？

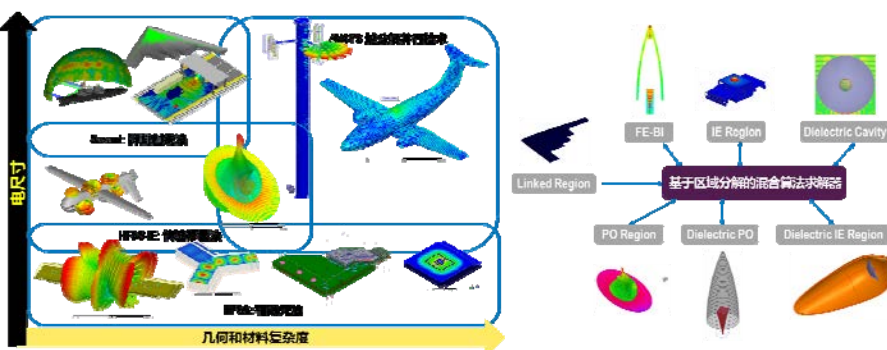
天线性能数据哪里来？

复杂的互扰怎么考虑？

ANSYS

6 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

HFSS 算法体系与混合算法求解器



ANSYS

7 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

Savant: HFSS SBR+ Solver 改进的弹跳射线法求解器

- SBR 射线**
 - 天线发射射线
 - 在表面“绘制”PO电流
- 爬行波 Creeping Wave 射线**
 - 沿着表面追迹射线
- 物理绕射理论 PTD**
 - 修正边缘处的PO电流
- 一致性绕射理论 UTD**
 - 沿着边缘发射衍射射线
 - 绘制阴影区域的电流



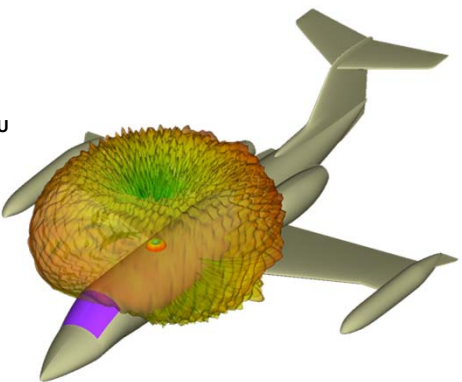
ANSYS

8 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

Savant 仿真速度非常快

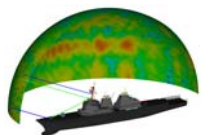
仿真时间: 3 分 04 秒
 仿真硬件: Lenovo T430 笔记本
 Nvidia NV5200M GPU
 内存消耗: 1.1 GB

问题尺寸 (1 GHz):
 $50\lambda \times 40\lambda \times 10\lambda$




ANSYS


Savant 擅长求解电大复杂环境中天线布局问题




安装天线辐射特性




平台天线互耦



电大环境中天线场分布



车载雷达系统辐射特性

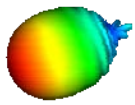
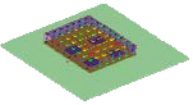
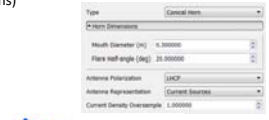
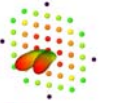
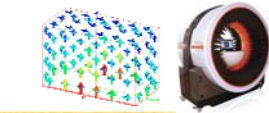



快速虚拟原型

ANSYS

Savant 天线模型来源

- 来自 HFSS
 - 等效源 (Current sources)
 - 远场辐射方向图 (Far-field radiation patterns)
- 内置参数化模型
 - 偶极子、单极子、环天线、缝隙天线
 - 角锥、圆锥喇叭
 - 参数化波束
- 阵列天线工具
 - 线阵、矩形阵、椭圆阵、及文件描述阵型
 - 单元幅度、相位加权
- 近场等效源
 - 其他仿真软件
 - 测试数据

ANSYS

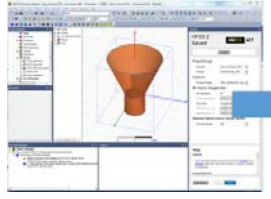
Savant 与 HFSS 的集成

HFSS 中开启扩展界面



HFSS 模型特性直接导入Savant

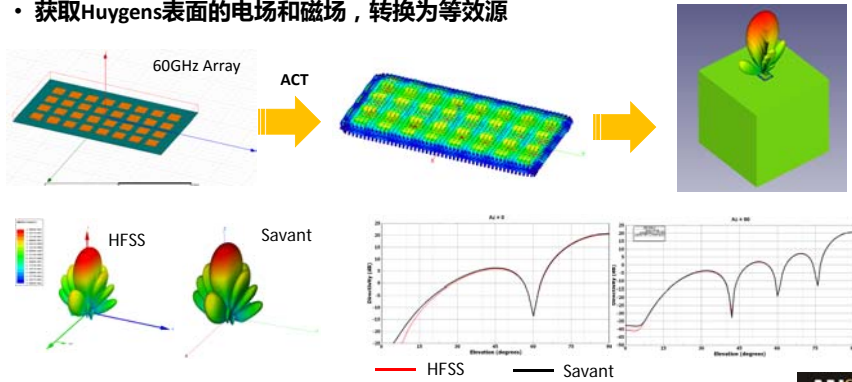
精确: 自动将HFSS近场转换为用于射线追踪的场源
易用: 通过指定并点击即可将场源放置在平台之上
交互: 直观可视化导入安装在平台之上的天线模型



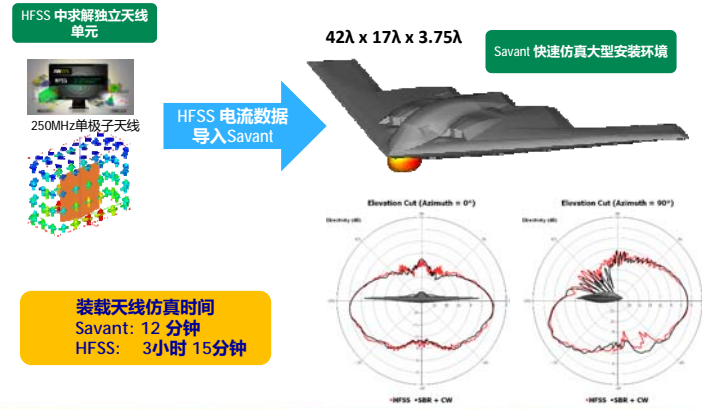

ANSYS

HFSS 与 Savant 集成使用示例

- 获取Huygens表面的电场和磁场，转换为等效源



HFSS 与 Savant 集成使用示例 2



复杂电磁环境中有复杂的射频系统互扰

飞机上哪些射频系统 会互相影响？



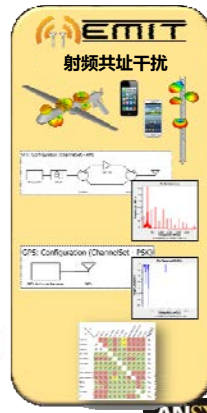
吸尘器为什么会干扰智能蛋盒？



- ## 1. 什么是射频系统干扰 (RFI) ?

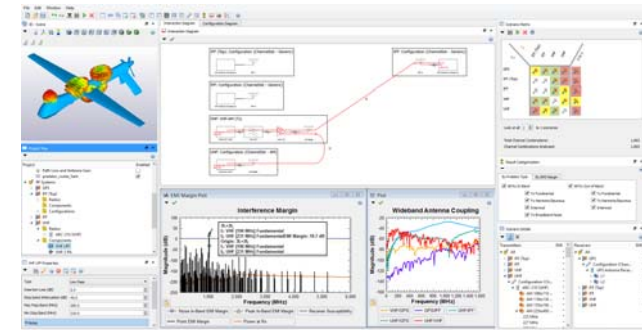


- ## 2. 干扰信号从哪里来？



EMIT 主要功能

- **管理**
系统性能数据
- **仿真**
RFI/EMI 效应
- **定位**
RFI/EMI 根源
- **解决**
RFI/EMI 问题



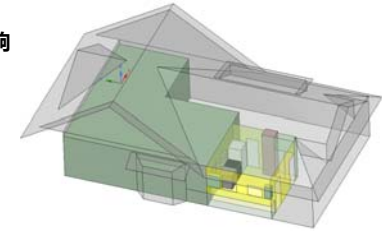
案例一: 智能家居

ANSYS

17 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

智能家居 (Smart Home)

- 研究房屋内 Wi-Fi 频段无线性能
 - 无线设备
 - 娱乐系统
 - 电脑及外设
- 探索常见材料对场和功率电平的影响
 - 金属、墙砖、瓷砖、石膏板、木材、等等
- 评估无线覆盖度
 - 场分布图
 - 天线互耦

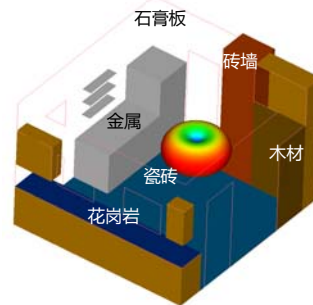
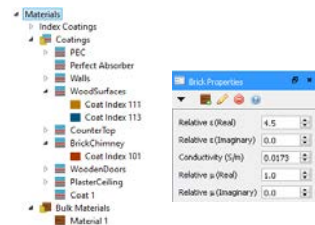


ANSYS

18 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

无线分布评估

- 建筑材料会极大地影响场分布，以及设备互连质量
 - 定义介质涂层或反射/传输系数



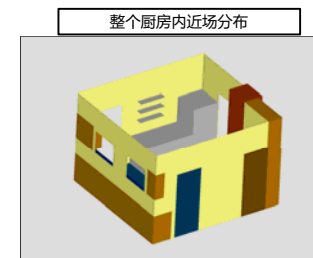
天线模型可来自HFSS、Savant 或导入的测试数据

- 等效源
- 远场方向图

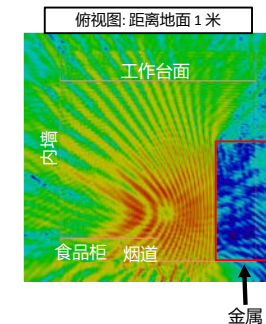
ANSYS

19 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

厨房内无线设备近场@ 2.4GHz

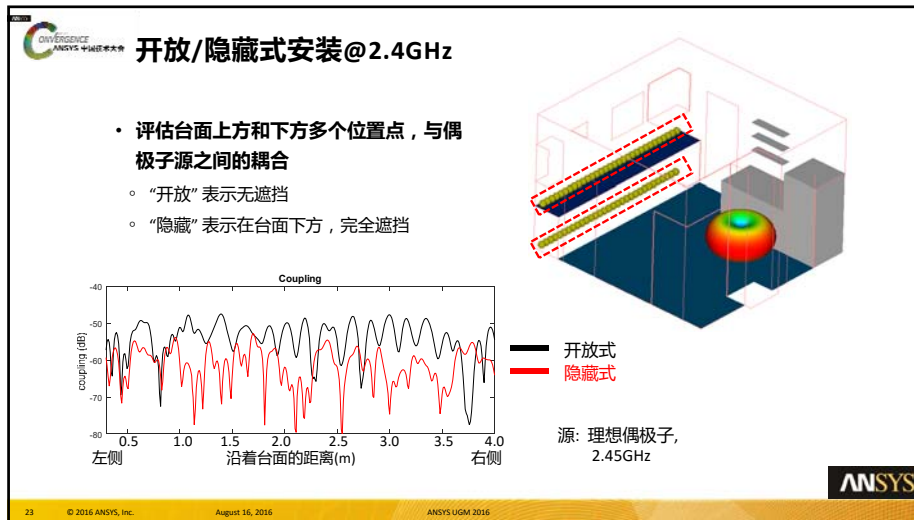
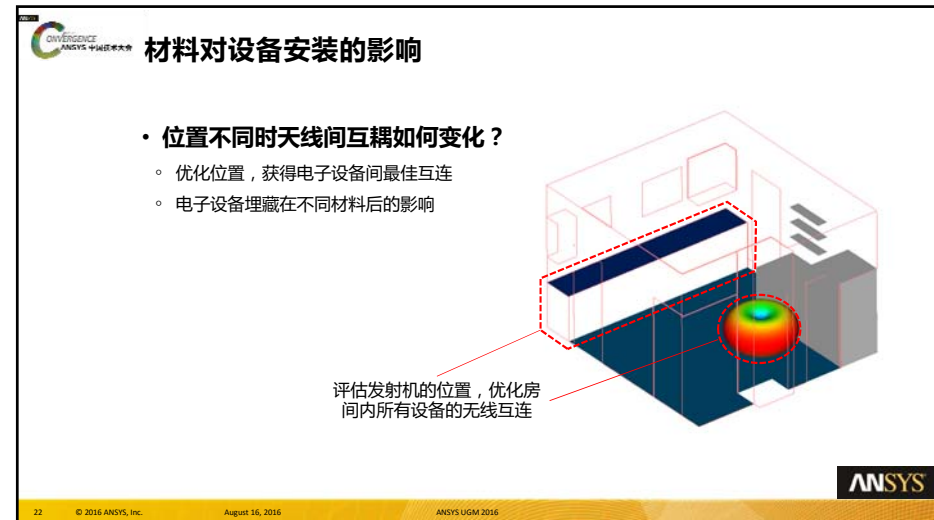
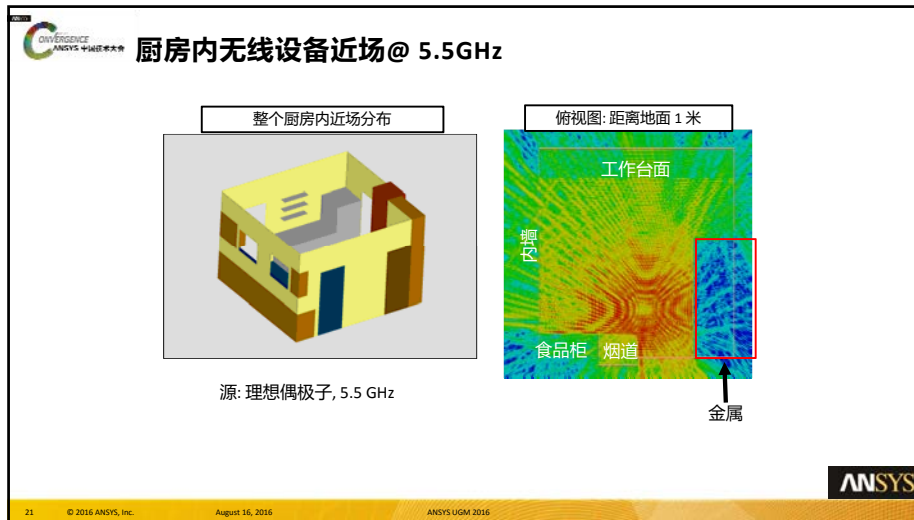


源: 理想偶极子, 2.4GHz



ANSYS

20 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016



HFSS 与 Savant 的数据链接

HFSS

- 3D FEM 仿真无线设备所有细节

HFSS to Savant

- 无线设备周围表面上的场生成等效场源

Savant

- HFSS 中的场作为 Savant 分析的激励源
- 几何结构可视化帮助确定正确的安装位置

ANSYS

HFSS 与 Savant 耦合仿真

- 复杂、电大环境中真实天线模型
- 用 Savant 求解天线之间互耦

手机

接入点/路由器

ANSYS

接入点: 位置对性能影响

- 接入点与手持设备间的互耦
 - 评估接入点性能时, 可以考虑复杂多径环境和复杂材料特性
- 采用详细天线激励源
 - 接入点位置沿着台面变化
 - 多径、极化失配都被考虑

ANSYS

房间之间的传输

- 厨房里的移动设备与起居室内 的路由器互连
 - 多堵墙分隔
 - 源: 理想偶极子, 2.45GHz & 5.5GHz

电场 @2.45GHz

ANSYS

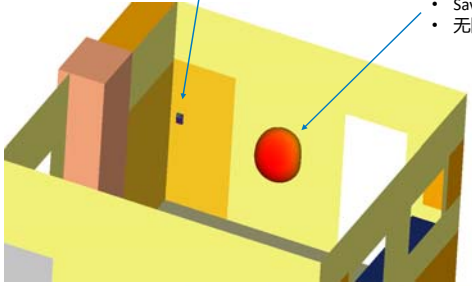
互扰分析

多波段 LTE 移动设备: 800MHz-1200MHz

- HFSS 高保真度模型
- 包含了传输线阻抗失配

5.9GHz Wi-Fi 天线

- Savant 中建立的反偶极子模型
- 无阻抗数据 (理想匹配)

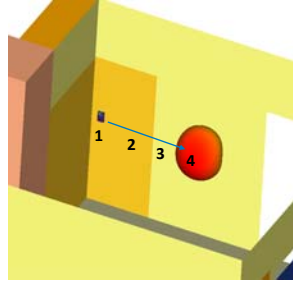
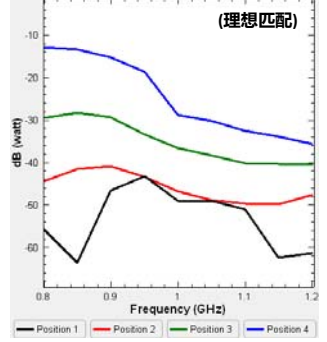


ANSYS

29 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

互耦情况评估

评估不同位置点的耦合

(理想匹配)

ANSYS

30 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

EMIT 分析

通过 EMI 裕量或接收机灵敏度降低来评估射频干扰



ANSYS

31 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

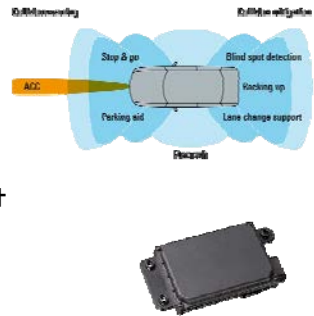
案例二: 智能汽车

ANSYS

32 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

车载 77GHz 雷达

- 多种用途
 - 自适应巡航控制
 - 碰撞预警
 - 减速和刹车
 - 无人驾驶
- 设计考虑
 - 需要适应多种不同的汽车设计
 - 装载性能 vs. 自由空间性能
 - 不同交通状况中的性能
 - 环境因素 (雨, 冰, 泥, etc.)
 - 目标识别



ANSYS

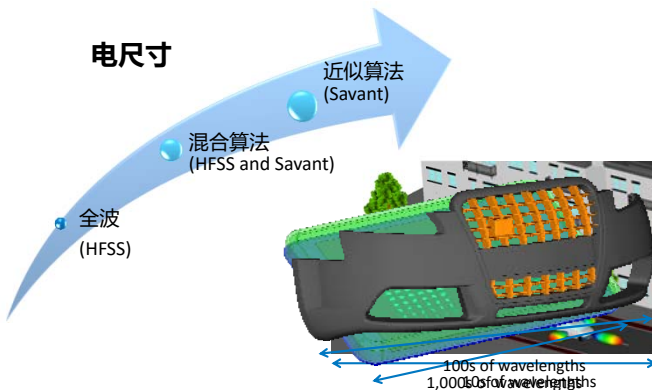
仿真方法: HFSS + Savant

电尺寸

全波 (HFSS)

混合算法 (HFSS and Savant)

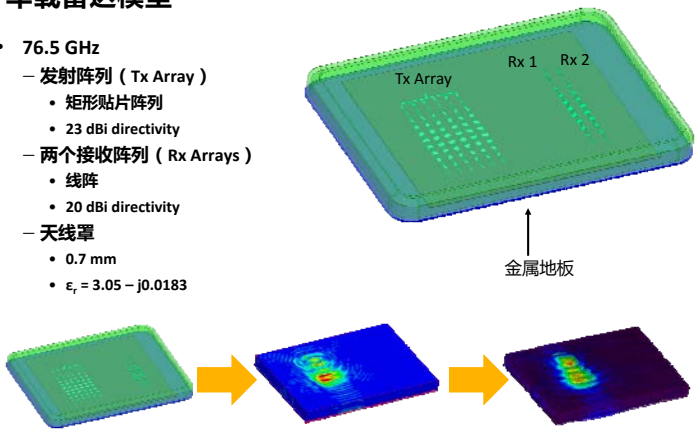
近似算法 (Savant)



ANSYS

车载雷达模型

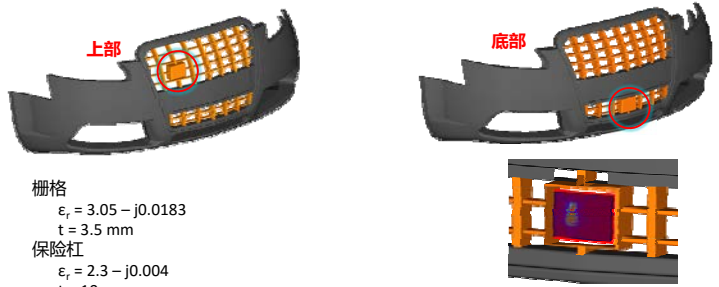
- 76.5 GHz
 - 发射阵列 (Tx Array)
 - 矩形贴片阵列
 - 23 dBi directivity
 - 两个接收阵列 (Rx Arrays)
 - 线阵
 - 20 dBi directivity
 - 天线罩
 - 0.7 mm
 - $\epsilon_r = 3.05 - j0.0183$



ANSYS

装载性能

- 雷达安装在两个不同的位置
- 计算 Tx 和 Rx 阵列的远场方向图



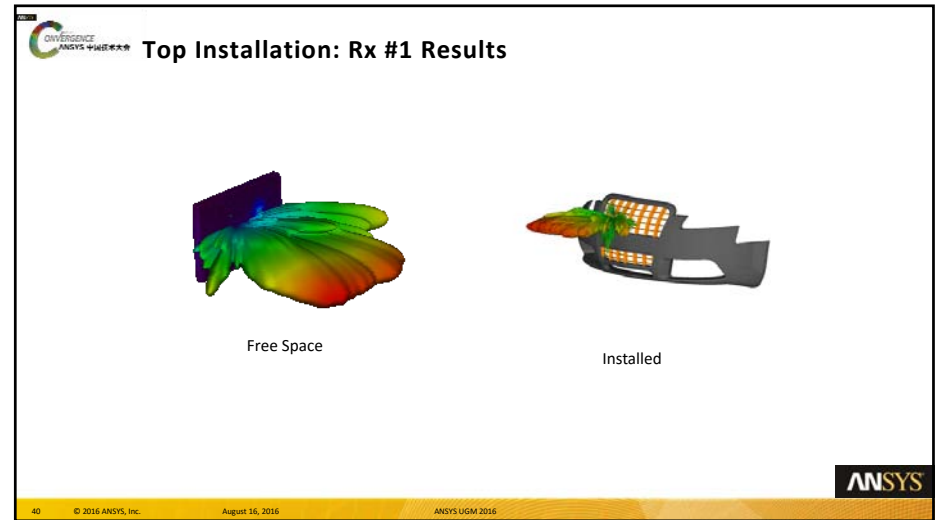
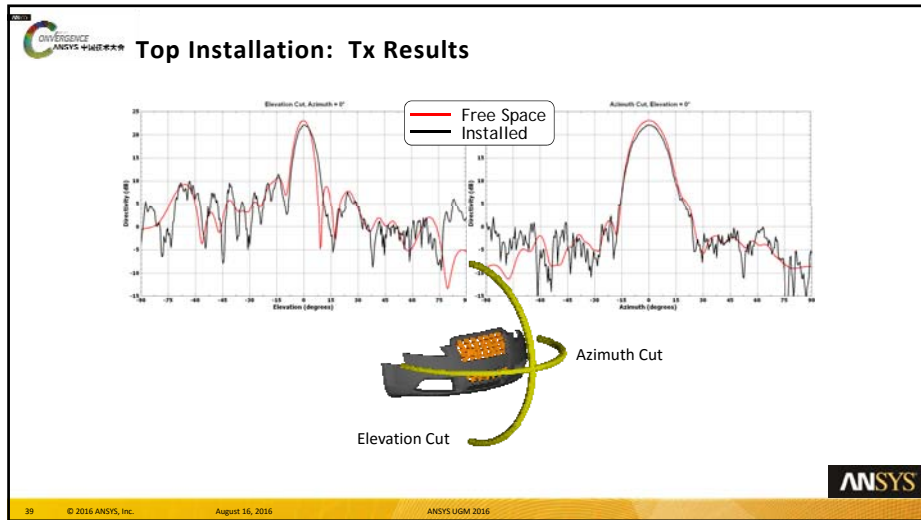
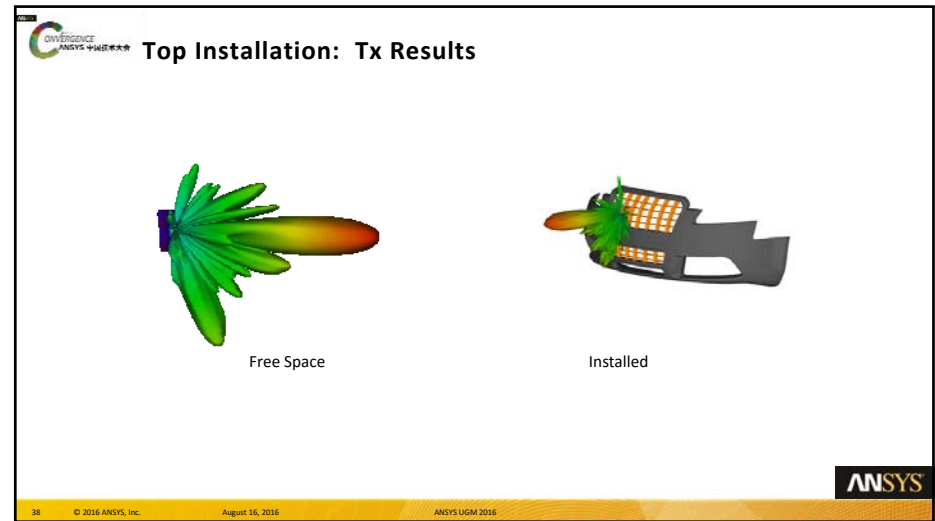
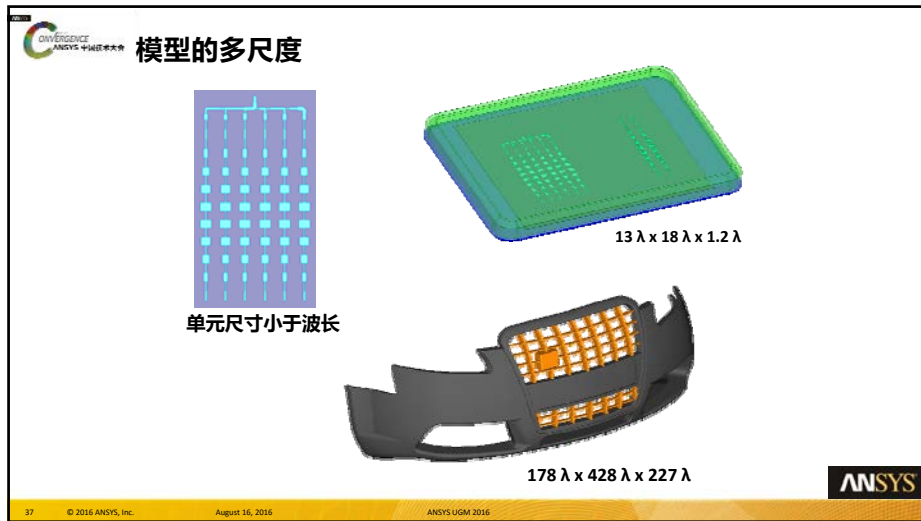
上部

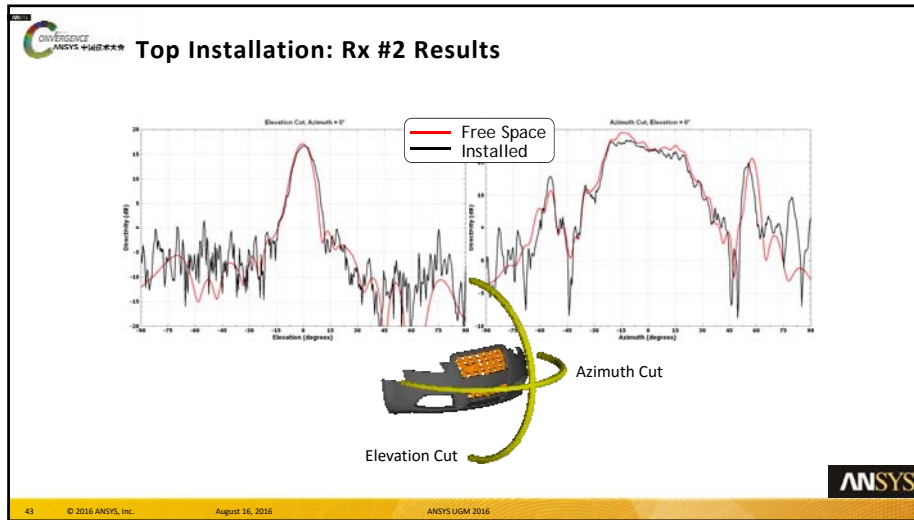
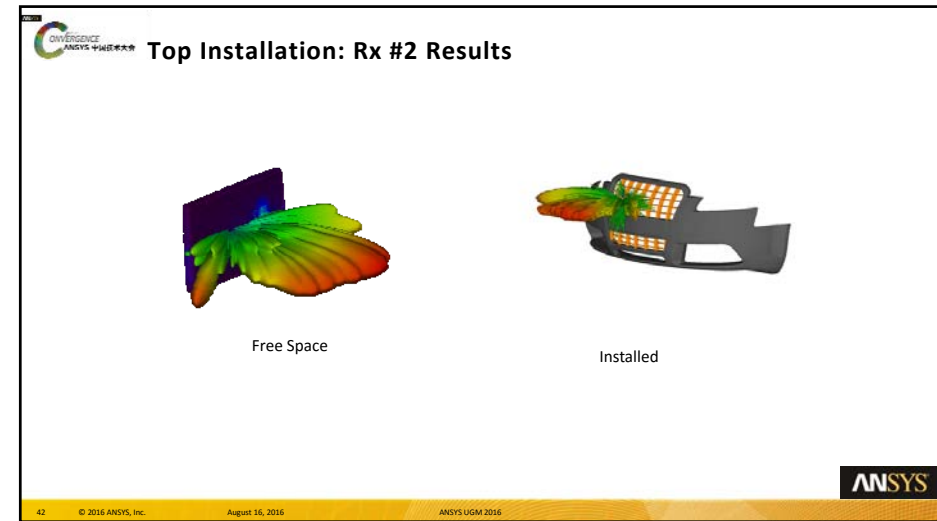
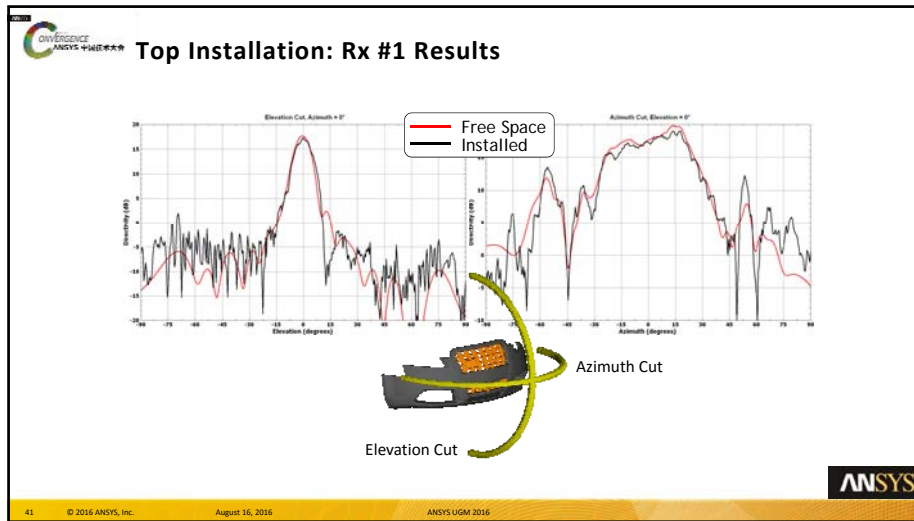
底部

栅格
 $\epsilon_r = 3.05 - j0.0183$
 $t = 3.5 \text{ mm}$

保险杠
 $\epsilon_r = 2.3 - j0.004$
 $t = 10 \text{ mm}$

ANSYS





车间通信 (IVC) 案例

- **DSRC/IEEE 802.11p**
 - ITS 频段 5.9 GHz (5.85-5.925 GHz)
 - 专用短程通信 (DSRC)
 - 车辆间多跳、自组织 IVC
- **应用**
 - 道路车辆安全
 - 道路导航支持
 - 位置相关广告
 - 网络互动娱乐
- **挑战**
 - 不同的条件
 - 动态的场景

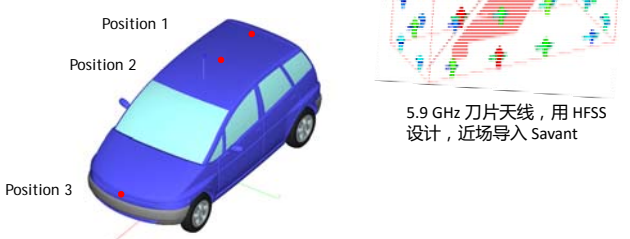
ANSYS

44 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

IVC – 天线布局研究

- 计算安装在车上多个不同位置的远场方向图和近场分布
- 3.8 x 2.1 x 1.56 米
- 74.7 x 41.3 x 30.7 λ @ 5.9 GHz

Position 1
Position 2
Position 3

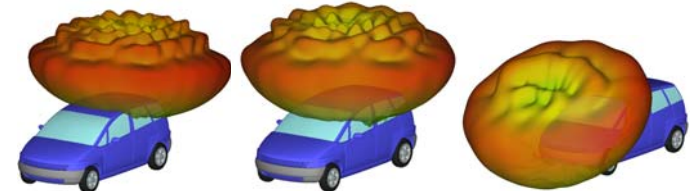


5.9 GHz 刀片天线, 用 HFSS 设计, 近场导入 Savant

ANSYS

45 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

远场结果




Position 1 Position 2 Position 3

* Less than 60 seconds to compute, 65k far-field points

ANSYS

46 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

近场结果

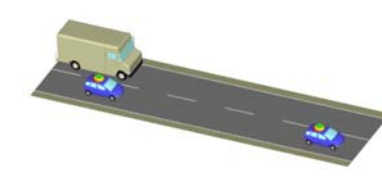


* Less than 60 seconds to compute, 11k near-field points

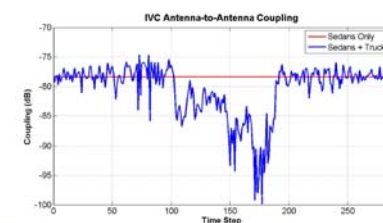
ANSYS

47 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

互耦仿真



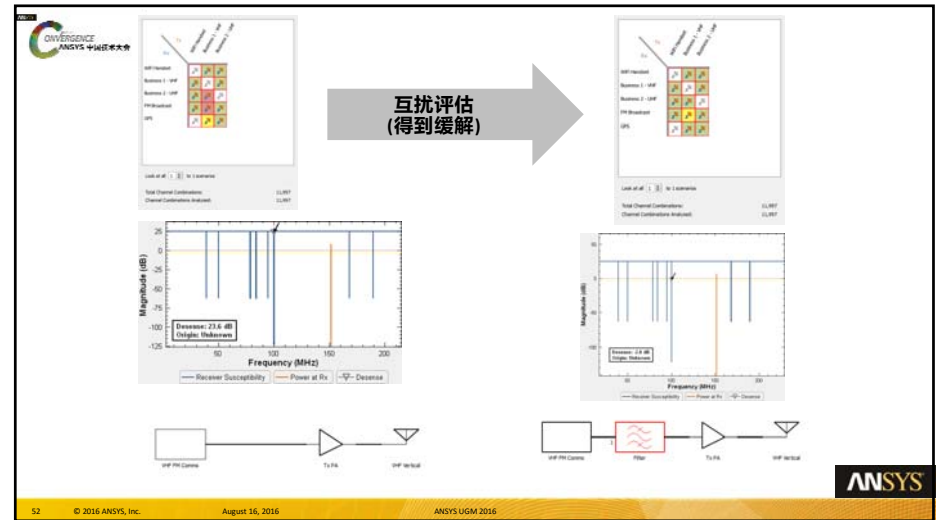
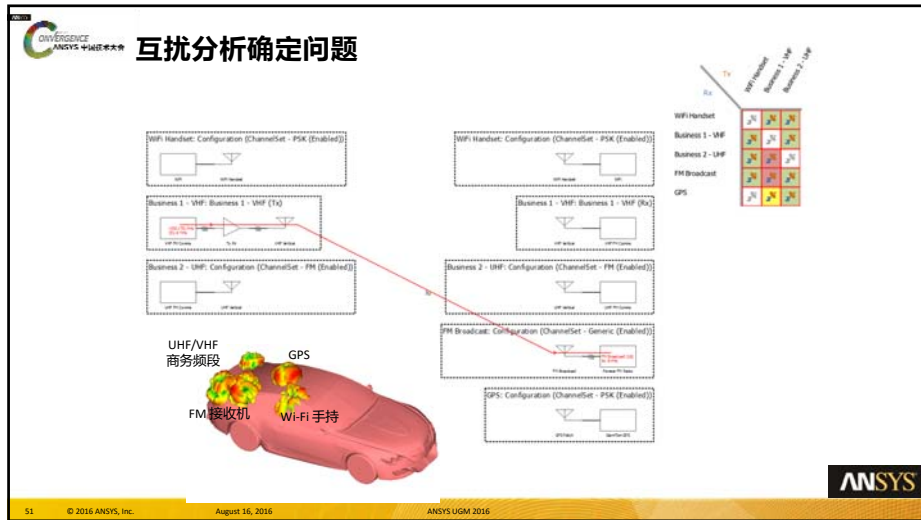
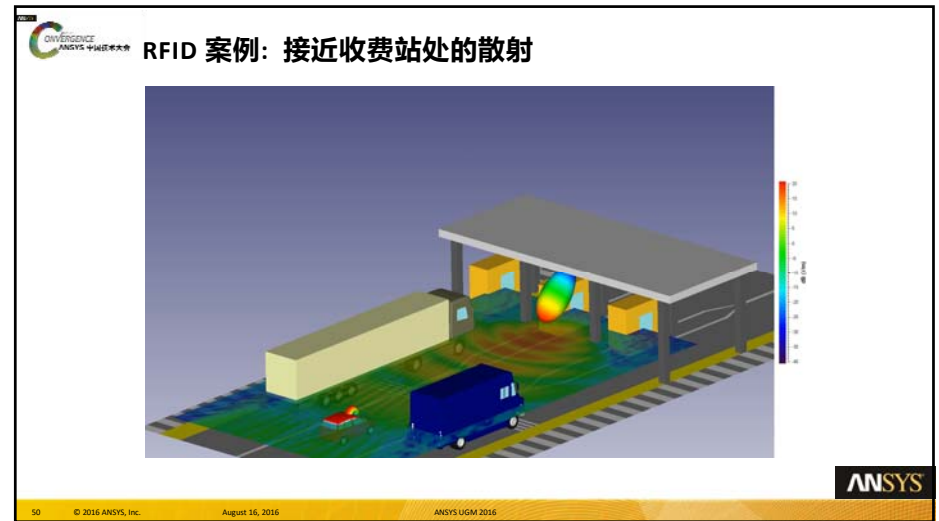
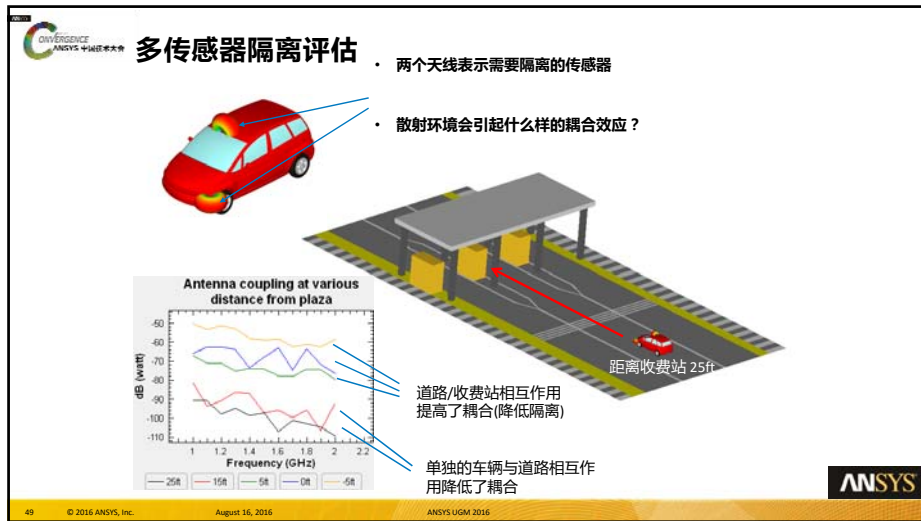
IVC Antenna-to-Antenna Coupling



*12 hours on laptop, 350 MB of RAM

ANSYS

48 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016





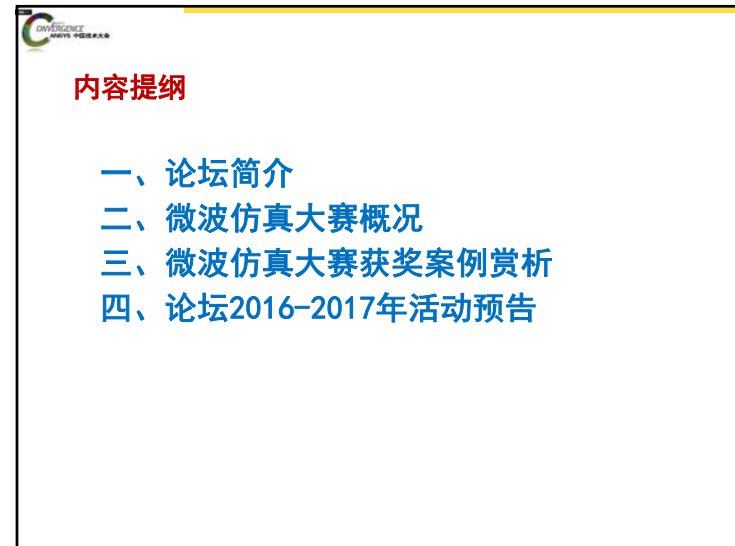
ANSYS
CONVERGENCE
CONFERENCES
2016

ANSYS中国技术大会
中国·上海

感谢聆听



ANSYS-CHINA



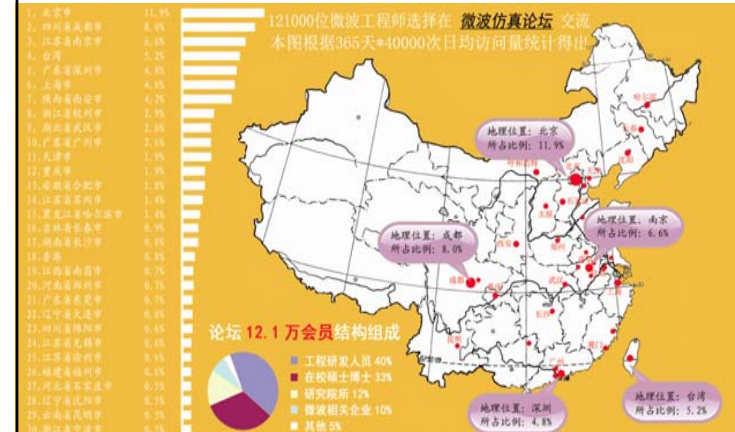
论坛简介

微波仿真论坛创建于2006年，由国内著名高校微波专业的硕博研究生创办。经过9年发展论坛现有12.5万注册会员，80多个行业版块，交流讨论涵盖微波、射频、仿真、天线、雷达、微波器件等现已成为中国大陆影响力较大的微波行业综合性网站。



9年 专注微波
90个 分类版块
120位 论坛版主
40000次 日均访问量
120000人 微波工程师
600000份 免费下载

论坛简介 —— 会员分布



二、2016 ANSYS 微波仿真大赛

微波仿真大赛概况 —— 简介

“微波仿真大赛”是由ANSYS与微波仿真论坛联合举办。本次活动历时7个月，面向所有ANSYS用户和仿真技术爱好者征集ANSYS电磁仿真软件应用案例和技术论文，旨在交流与学习ANSYS软件使用技巧，分享先进的仿真技术应用经验，加深用户对于“仿真驱动产品研发”的理解。

这项大赛不仅展现了最为复杂的工程挑战，同时也让ANSYS用户有机会通过使用ANSYS 系列高频软件HFSS 来展现自身的仿真工作。

微波仿真大赛概况 —— 征集内容

一、案例征集（模块）

征集ANSYS高频产品的使用案例63篇左右。其中：
初级功能使用案例 51篇（贴）--- 软件某个功能的具体介绍
中高级案例 12篇左右 --- 软件指导实物设计的案例
部分案例转化为视频教程

二、论文征集（论文）

本次活动共收集论文61篇
其中MAPE投稿论文12篇
(推送到IEEE微波、天线、电波传播和电磁兼容技术国际会议投稿)

微波仿真大赛概况 —— 奖励情况

此次大赛将由ANSYS中国颁发如下奖励：

一等奖（1名）： 2000元+获奖证书
二等奖（2名）： 1000元+获奖证书
三等奖（5名）： 500元+获奖证书
入围奖（10名）： 200元+获奖证书



微波仿真大赛概况 —— 论文分类情况

天线设计23篇幅（占总投稿37.8%）。其中19篇均有仿真，加工实物，测试结果。视频教程转化1篇。

序号	类型	名称	理论	仿真	实物	测试结果	备注
1	天线设计	一种新型超宽带天线设计	✓	✓	✓	✓	
2		基于微波光子学器件的平面微带天线设计	✓	✓	✓	✓	
3		基于12.5GHz微带天线的仿真设计	✓	✓	✓	✓	
4		50GHz/20GHz微带通信天线阵列的仿真设计	✓	✓	✓	✓	
5		一种小型化微带天线阵列设计	✓	✓	✓	✓	
6		一种新型微带天线阵列设计	✓	✓	✓	✓	视频
7		一种新型微带天线阵列设计	✓	✓	✓	✓	
8		基于1.57GHz和2.4GHz微带天线的仿真设计	✓	✓	✓	✓	
9		一种新型微带天线阵列设计	✓	✓	✓	✓	
10		基于微波光子学器件的平面微带天线设计	✓	✓	✓	✓	
11		基于微波光子学器件的平面微带天线设计	✓	✓	✓	✓	
12		一种新型微带天线阵列设计	✓	✓	✓	✓	
13		一种新型微带天线阵列设计	✓	✓	✓	✓	
14		基于微波光子学器件的平面微带天线设计	✓	✓	✓	✓	
15		基于微波光子学器件的平面微带天线设计	✓	✓	✓	✓	
16		一种新型微带天线阵列设计	✓	✓	✓	✓	
17		一种新型微带天线阵列设计	✓	✓	✓	✓	
18		一种新型微带天线阵列设计	✓	✓	✓	✓	
19		一种新型微带天线阵列设计	✓	✓	✓	✓	
20		一种新型微带天线阵列设计	✓	✓	✓	✓	
21		一种新型微带天线阵列设计	✓	✓	✓	✓	
22		一种新型微带天线阵列设计	✓	✓	✓	✓	
23		一种新型微带天线阵列设计	✓	✓	✓	✓	

微波仿真大赛概况 —— 论文分类情况

滤波器设计16篇幅（占总投稿26.2%）。其中13篇有仿真，加工实物，测试结果。视频教程转化1篇。

序号	类型	名称	理论	仿真	实物	测试结果	备注
24	滤波器设计	一种新型超宽带滤波器设计	✓	✓	✓	✓	
25		一种新型超宽带滤波器设计	✓	✓	✓	✓	
26		一种新型超宽带滤波器设计	✓	✓	✓	✓	
27		一种新型超宽带滤波器设计	✓	✓	✓	✓	
28		一种新型超宽带滤波器设计	✓	✓	✓	✓	
29		一种新型超宽带滤波器设计	✓	✓	✓	✓	
30		一种新型超宽带滤波器设计	✓	✓	✓	✓	
31		一种新型超宽带滤波器设计	✓	✓	✓	✓	
32		一种新型超宽带滤波器设计	✓	✓	✓	✓	
33		一种新型超宽带滤波器设计	✓	✓	✓	✓	
34		一种新型超宽带滤波器设计	✓	✓	✓	✓	
35		一种新型超宽带滤波器设计	✓	✓	✓	✓	
36		一种新型超宽带滤波器设计	✓	✓	✓	✓	
37		一种新型超宽带滤波器设计	✓	✓	✓	✓	
38		一种新型超宽带滤波器设计	✓	✓	✓	✓	
39		一种新型超宽带滤波器设计	✓	✓	✓	✓	
40		一种新型超宽带滤波器设计	✓	✓	✓	✓	

微波仿真大赛概况 —— 论文分类情况

功分器设计3篇，耦合器3篇，波导2篇，传输线1篇（占总投稿13.1%）。其中3篇有仿真，加工实物，测试结果。视频教程转化1篇。

序号	类型	名称	理论	仿真	实物	测试结果	备注
43	功分器	基于H面波导的平面型功分器的设计	✓	✓	✓	✓	教程
42		基于H面的微带功分器设计	✓	✓	✓	✓	
43		"H"型微带功分器设计	✓	✓	✓	✓	
44	耦合器	基于L型微带结构的定向耦合器的研究与设计	✓	✓	✓	✓	
45		基于L型微带结构的定向耦合器的设计与设计	✓	✓	✓	✓	
46		基于L型微带结构的定向耦合器的设计与设计	✓	✓	✓	✓	
47	波导	基于H面的波导功分器设计	✓	✓	✓	✓	
48		基于H面的波导功分器设计	✓	✓	✓	✓	
49	传输线	基于H面的微带传输线设计	✓	✓	✓	✓	

微波仿真大赛概况 —— 论文分类情况

MAPE投稿论文12篇（占总投稿19.6%）。12篇文章为全英文撰写。

全部推送至IEEE微波、天线、电波传播和电磁兼容技术国际会议。

序号	类型	名称
50	IEEE微波、天线、电波传播和电磁兼容技术国际会议投稿	The Development of Novel Coaxial Tester on Electromagnetic Shielding Effectiveness Measurement
51		A Compact WFR-REMO Antenna for Portable Applications
52		Simulation Study of Plasma Antenna Reconfiguration
53		Design of A Novel Single-feed Antenna for Global Positioning System
54		Design of Shaped Elliptical Beam Antenna Based on WFRS
55		Dual-Band Antenna and High Efficiency Rectifier for RF Energy Harvesting System
56		Based on the harmonic detection of three frequency transceiver integrated microstrip antenna
57		Design of A Ultra Wide Band planar log periodic antenna
58		Design and Implementation of BNC and FPC of a Sub-THz Wireless Transmission Protocol using Software Defined Radio Platform
59		Design of a novel Multi-layered Eighth-order Substrate Integrated Waveguide filter by HFSS
60		Analysis of A New Kind of Resonant Folded Substrate Integrated Resonant Filter with LDC Technology by New Concept Iterative Process
61		Theoretical Analysis for Constitutive Parameters of the Periodic Electric Resonator Metamaterials

三、微波仿真大赛获奖案例赏析

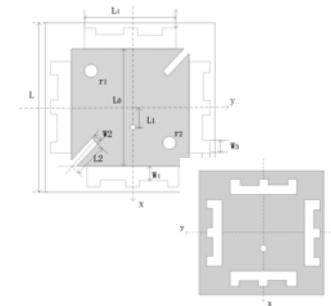
一等奖 (1/1)：新型单馈点GPS天线的设计

作品名称：

Design of A Novel Single-feed Antenna for Global Positioning System

作品介绍：

论文介绍了设计用于GPS系统的圆极化微带天线。这种单馈电单层天线工作在GPS的民用L1 (1559-1615MHz) 频段。在对角线方向上分别有两对对称的矩形槽和圆形槽。右旋圆极化是通过矩形槽和圆形槽之间的微小差实现的。在天线的接地板上嵌入了四个E字形开槽来提高增益。用HFSS仿真结果显示，天线增益提高了0.83dB，-10dB阻抗带宽39.3MHz。结果显示天线能在GPS系统中使用。



一等奖(1/1)：新型单馈点GPS天线的设计

一等奖(1/1)：新型单馈点GPS天线的设计

二等奖(1/2)：应用于移动端的紧凑型超宽带MIMO天线

作品名称：
A Compact UWB MIMO Antenna for Portable Applications

作品介绍：
本文提出了一款新型应用于移动端的紧凑型超宽带MIMO天线。此款天线由两个共面波导馈电的梯形偶极子辐射单元组成。从地板延伸出的树状枝节不仅提高了两个端口之间的端口隔离度，而且拓宽了工作带宽。测试结果表明此款天线的工作频率为 2.3 GHz 到 13 GHz，完整覆盖了WLAN, WiMAX和 UWB频段。全频带内相对较低的互耦和包络相关系数证明此款天线非常适合MIMO移动通信系统。而且此款天线的小型化可以满足现代无线通信设备的小型化需求。

二等奖(2/2)：基于周期性电谐振超材料的本构参数理论研究

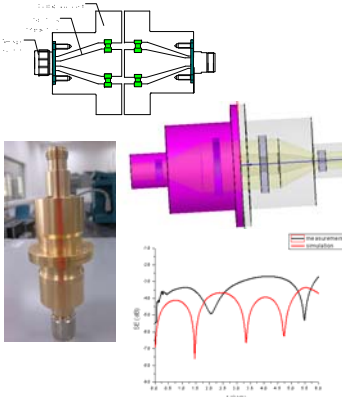
作品名称：
Theoretical Analysis for Constitutive Parameters of the Periodic Electric Resonator Metamaterials

作品介绍：
本文基于麦克斯韦方程组，将薄的电谐振介质板等效为面电流，利用周期性边界条件和叠加原理，可以得到周期性电谐振超材料的色散关系和布洛赫阻抗。通过色散关系和布洛赫阻抗，可以获得布洛赫本构参数的理论计算公式。由于考虑了周期性电谐振材料中磁反谐振的影响，所以基于仿真实验的提取值和理论预测值之间的误差很小。这说明本文推导的布洛赫本构参数理论计算公式在描述周期性电谐振材料的电磁特性方面是十分有效的。

三等奖(1/1)：一种用于电磁屏蔽效能测量的新型同轴装置的研制

作品名称：
The Development of Novel Coaxial Tester on Electromagnetic Shielding Effectiveness Measurement

作品介绍：
本文提出一种基于ASTM D4935-2010的新型同轴测量装置，用于测量电磁屏蔽材料在30MHz-6GHz频率范围的屏蔽效能。本文提出了不同金属材料对装置的重要影响，研究结果显示装置在截止频率下的回波损耗（RL）及谐振频率点偏移与材料的选择相关。



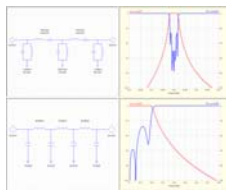
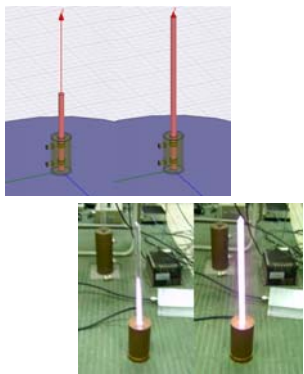
三等奖(2/5)：等离子体自重构天线的仿真研究

作品名称：
Simulation Study of Plasma Antenna Reconfiguration

作品介绍：
等离子体天线是一种利用电离惰性气体实现自同构功能的新型天线，通过对电离激励功率的电气控制，可以高速改变天线或天线阵的频带和方向图等参数。本文介绍了等离子体天线研制过程中利用HFSS等仿真工具使用经验。通过简化建模，仿真了二元阵情况下的重构方向图。



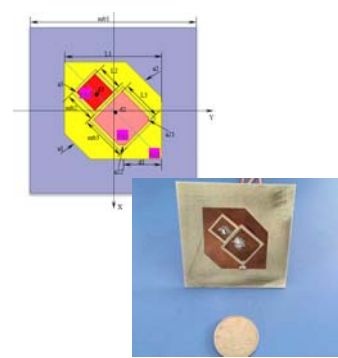
三等奖(2/5)：等离子体自重构天线的仿真研究

三等奖(3/5)：基于谐波探测的三频收发微带天线

作品名称：
Based on the harmonic measurement of three frequency transceiver integrated microstrip antenna

作品介绍：
介绍了基于谐波探测工作原理设计的一款一发二收三频微带天线，分别工作在2.4GHz、4.8 GHz、7.2 GHz三个频段，两个高频段的的天线并排放置在低频段天线的上方，实现低频发射电磁波，两个高频接受反射波。同时，使用基于有限元算法的ANSYS HFSS高频电子仿真软件对天线进行仿真调试。



三等奖(4/5)：利用波概念迭代算法对一种新型LTCC四重折叠基片集成波导滤波器的分析

作品名称：
Analysis of A New Kind of Quadruple Folded Substrate Integrated Waveguide Filter with LTCC Technology by Wave Concept Iterative Process

作品介绍：
本文提出了一种分析LTCC基片集成波导(SIW)的特征的有效方法——波概念迭代法(WCIP)。首先，提出了一种研究n层基片的可扩展迭代法。该方法包括混合磁场和电场方程法和波概念迭代算法的多层作用，它涉及基于匹配负载仿真的一种简单形式S参数提取方法，然后，基片集成电路被认为是放置在一个平行板波导的导通孔的集合。最后，采用迭代法分析一种新型的LTCC多层SIW滤波器。所得到的数值计算结果与HFSS仿真结果对比，结果表明，在计算时间和内存占用上有显著的改善。




Figure 5 The proposed quadruple folded substrate integrated waveguide resonator

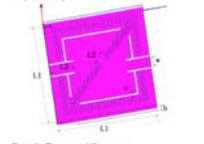
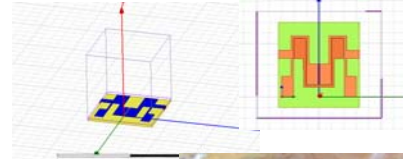




Figure 6 The proposed filter structure

三等奖(5/5)：交叉耦合微带滤波器的小型化设计

作品名称：
交叉耦合微带滤波器的小型化设计

作品介绍：
本文提出的是一种小型化的交叉耦合微带滤波器。主要工作是将交叉耦合放在不相邻的谐振器之间，使在通带高端的附近产生两个传输零点，将扫描范围设置在2GHz到14GHz间，从得到的仿真结果中能看出抑制小于-20dB，寄生通带的中心频率为13.83GHz，谐波抑制达到3.9倍频。

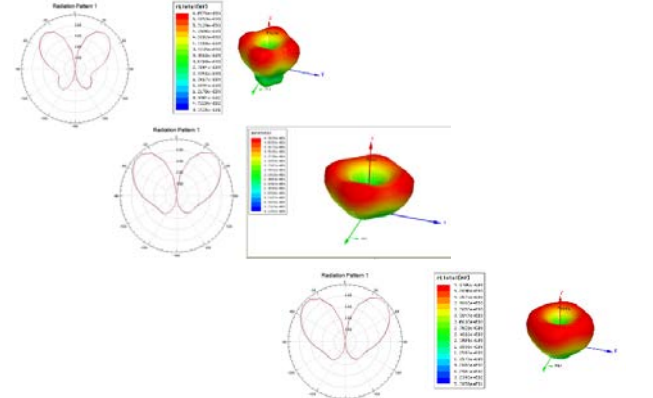
入围奖(1)：一种矩形Minkowski分形微带天线设计

作品名称：
一种矩形Minkowski分形微带天线设计

作品介绍：
本课题先介绍微带天线，再介绍分形理论的定义，分形维数的概念及其分形结构的函数迭代生成。最后以矩形微带天线开始设计，具体分析矩形微带线的辐射机理，分析分形微带天线的辐射机理根据Minkowski分形理论设计矩形分形微带天线




入围奖(1)：一种矩形Minkowski分形微带天线设计



入围奖(2)：RFID双频微带天线仿真与设计

作品名称：
RFID双频微带天线仿真与设计

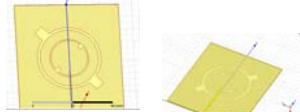

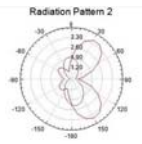
作品介绍：
射频识别技术是由信号发射机、信号接收机、发射接收天线几部分组成。这其中天线是其中的关键技术之一，它是标签和读写器之间数据交换的重要装置。RFID系统的大线包括标签天线和读写器天线。本文主要对双频微带天线的理论知识进行介绍，并设计了一款谐振频率915MHz和2.45GHz附近的双频RFID读写器微带天线，同时，利用HFSS对天线进行仿真、优化。最后加工实物利用微波暗室对天线的性能进行测试。




入围奖(3)：一种小型化双频圆极化微带天线设计

作品名称：
一种小型化双频圆极化微带天线设计

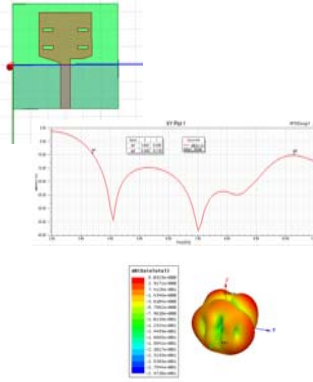
作品介绍：
本文通过分析双频圆极化微带天线，提出了一种覆盖北斗卫星导航系统频段的双频圆极化微带天线。这是一个特例，因为它要求天线在两个工作频段内具有相反的圆极化旋向。根据设计要求，为了实现双频以及圆极化功能，采用了非常简洁的环形缝隙结构，简洁的结构也方便了后期对其进行加工。

入围奖(4)：一种微型化超宽频微带天线的设计

作品名称：
一种微型化超宽频微带天线的设计

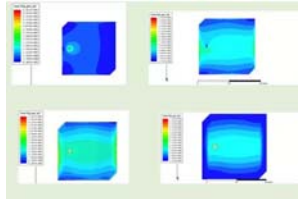
作品介绍：
本论文介绍了一种新型微型化超宽频微带天线。由于现代科学通讯技术的不断进步，为了配合日渐微缩的通讯设备，天线的微型化成为设计主流。现代通信要求能够通讯复杂的多媒体信息，传统2.4GHz通信频段已不能满足现有要求，于是超高频通信应运而生。微带天线是由导体薄片粘贴在背面有导体接地板的介质基板上形成的天线，具有许多新的优势。



入围奖(5)：一种双层圆极化微带天线仿真与设计

作品名称：
一种双层圆极化微带天线仿真与设计

作品介绍：
本文介绍了微带天线的应用以及发展的主要形势。其次，对微带天线进行了研究，包括：微带天线的圆极化技术、微带天线的双频/多频化技术等进行了理论联系实际的详细论述和探讨。最后，完成了天线的仿真、加工、测试和误差分析。结果表明，本论文所做天线与理论要求和结果大致相符。



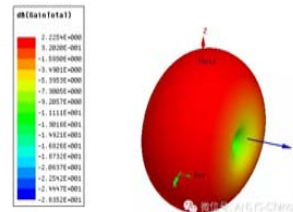
入围奖(6)：印制偶极子天线设计

作品名称：

印制偶极子天线设计

作品介绍：

本文通过 ANSYS HFSS 软件来分析印刷偶极子天线的设计，性能要求为工作频段软件来分析印刷偶极子天线的设计，性能要求为工作频段2.45GHz，带宽约，带宽约0.450GHz，驻波比尽量小于1.7。通过仿真分析其相关性能要求是否达标，节约成本与投产时间。



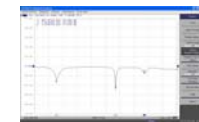
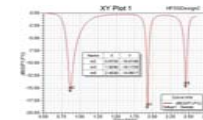
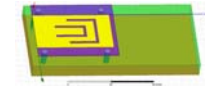
入围奖(7)：三频小型化倒F天线设计

作品名称：

三频小型化倒F天线设计

作品介绍：

本文设计的三频小型化倒F天线是工作在 GSM/PCS/ISM 三个频段的，最后通过仿真得出此三频天线的各个参数标准符合设计所需要的。这个天线另一个优点就是使用的是一个同轴探针馈电，结构比较简单且符合小型化的设计要求。



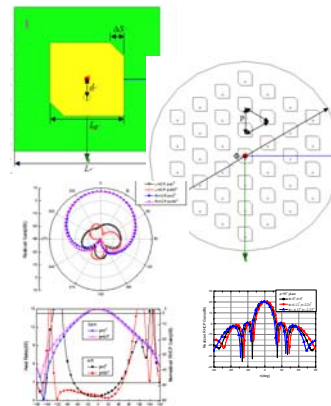
入围奖(8)：Ka波段圆极化微带相控阵列天线设计

作品名称：

Ka波段圆极化微带相控阵列天线设计

作品介绍：

本文利用Ansys HFSS软件在Ka波段优化设计方形切角圆极化微带天线单元，仿真结果表明该天线结构具有良好的圆极化工作特性。通过采用正三角形布阵方式，将37个相同尺寸的该天线结构布置成圆形阵列，并控制各单元的馈电相位，使该阵列在空间范围内可进行二维扫描，且具有较好的圆极化特性。



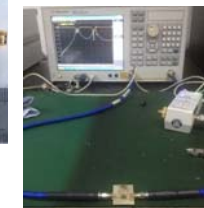
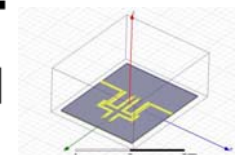
入围奖(9)：双通带滤波器的设计

作品名称：

双通带滤波器的设计

作品介绍：

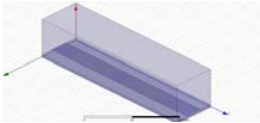

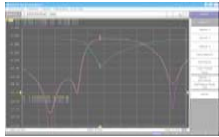
由低通原型设计带通滤波器的频率变换方法和过程，J、K变换等实现阻抗变换，利于用微带线实现实际的电路结构。最后使用 HFSS 软件，确定尺寸并且创建模型。最后设计出了一款中心工作频率分别为2.4GHz和3.8GHz，各自-1dB带宽为140MHz和90MHz。在带内的回波损耗低于-15dB，插入损耗小于-2dB的双通带滤波器，满足WiFi/Wlan运用。



入围奖(10)：微带带阻滤波器设计

作品名称：
微带带阻滤波器设计

作品介绍：
本文基于缺陷地结构 (DGS defected ground structure) 介绍一种缺陷带结构 (DMS, defected microstrip structure), 实现了滤波器的小型化, 通过改变S 参数易于实现不同频率的带阻特性, 可用于微波电路和天线设计。最后, 我们利用了HFSS 软件分析蛇形DMS的尺寸与频率特性的关系。

四、论坛2016-2017年活动预告

论坛2016-2017年活动预告

微波仿真论坛
<http://hbbs.rfeda.cn>

“互联网+” & “微波” & “众筹”
书籍也可众筹！微波行业首次尝试

《射频与天线实用案例》丛书

只收录热度最高最经典案例写什么由网友投票决定
全面介绍仿真+造型+加工+测试+检测每一环节
所有案例均配 视频+工程文档
预计热销5000+套

论坛2016-2017年活动预告

启动众筹

网络投票征集经典案例

仿真软件: ANSYS
高频板选择: ROSEBO
PCB及天线加工: LITTON
仪器仪表测试: CETEC41, AV, HANSON
微波暗室检测: INSI

书籍 视频 案例初稿

完成校对

正式出版

会员收到书籍

6月
8月
9月
12月

论坛2016-2017年活动预告

一、丛书定位？

根据微波仿真论坛12万会员反馈信息：微波入门者，尤其是学生、初级工程师急需一套从：入门-进阶-能力提升的书籍。

入门版：详细介绍各类经典仿真软件的入门使用。
2016年拟出版HFSS 入门版一册

进阶版：经典案例 从 理论-仿真-选型-打样-加工-测试-误差分析。
2016年拟出版天线案例、滤波器案例各一册

提升版：系统级案例，包含最新最热门的系统级设计。
2017年出版

论坛2016-2017年活动预告

二、如何成为编委？

如果您是老师，工程师，有经典案例：
可以向我们提供案例和素材，一旦采纳，您将成为编委之一。

如果您是学生，有时间：
可以参与丛书的编辑，整理。您将成为编委之一。

三、如何投稿？

请扫论坛微信公众号，访问论坛企业专版，也可联系我们现场工作人员。
投稿邮箱：rfeda2015@rfeda.cn

论坛2016-2017年活动预告

四、我感兴趣，怎么获取更多信息？

微波仿真论坛：http://bbs.rfeda.cn
微信号（手机）：18010874378
Q Q：664600568



微信
公众号




微信
公众号

感谢聆听

ANSYS CONVERGENCE CONFERENCES 2016 ANSYS中国技术大会 中国·上海

复杂目标散射特性 ——仿真思路与应用案例

曹根林 / 高级应用工程师
ANSYS 中国

ANSYS CONVERGENCE CONFERENCES 2016 ANSYS中国技术大会

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

ANSYS CONVERGENCE CONFERENCES 2016 ANSYS中国技术大会

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， $\sigma = 1\text{m}^2$)，通常也表示为为dBsm或 (σ/λ^2)

双站雷达 单站雷达

3 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

ANSYS CONVERGENCE CONFERENCES 2016 ANSYS中国技术大会

目标特性分析的发展趋势

目标电尺寸越来越大 <ul style="list-style-type: none"> • 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 <ul style="list-style-type: none"> • 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 <ul style="list-style-type: none"> • 近场RCS • 天线阵RCS • 时域RCS
---	--	--

4 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

CONVERGENCE
ANSYS 中国技术大会

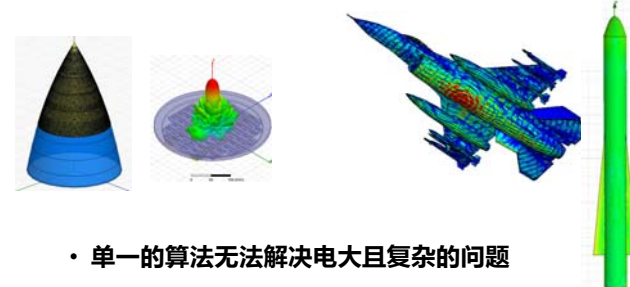
面临的挑战

5 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

CONVERGENCE
ANSYS 中国技术大会

适合的算法

- FEM适合涂层、FSS、天线等复杂目标
- IE法适合电大尺寸金属体



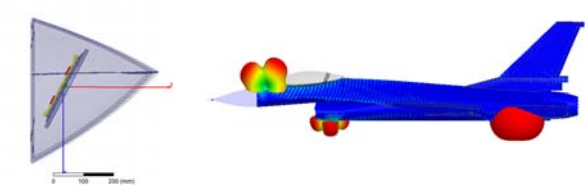
- 单一的算法无法解决电大且复杂的问题

6 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

CONVERGENCE
ANSYS 中国技术大会

姿态与布局

- 天线近远场效应，不同姿态、位置



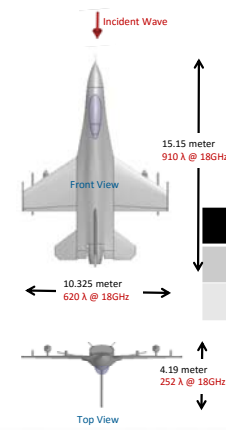
- 局部模型的姿态角、相互位置有变化时，模型的重复计算

7 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

CONVERGENCE
ANSYS 中国技术大会

大规模计算

- 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

8 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

CONVERGENCE
ANSYS 中国技术大会

仿真解决方案

9 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

CONVERGENCE
ANSYS 中国技术大会

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

FE-BI

IE-Regions

10 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

CONVERGENCE
ANSYS 中国技术大会

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

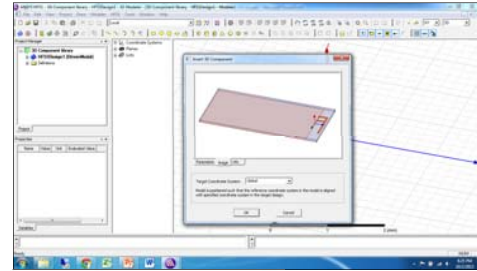
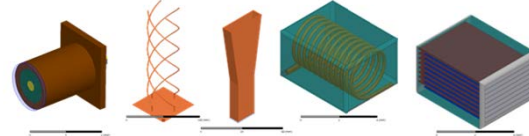


11 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

CONVERGENCE
ANSYS 中国技术大会

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
 -





12 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

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

13 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

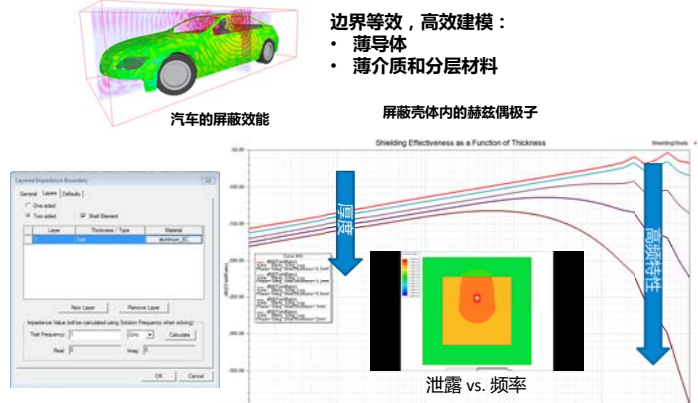
Shell Element 壳单元

边界等效，高效建模：

- 薄导体
- 薄介质和分层材料

汽车的屏蔽效能

屏蔽壳体内部的赫兹偶极子



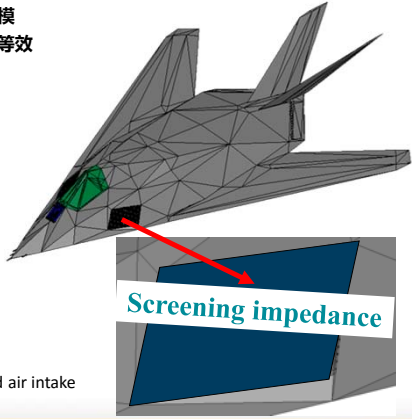
泄露 vs. 频率

ANSYS

14 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

进气道栅网的处理

屏网边界建模
进气道栅网等效



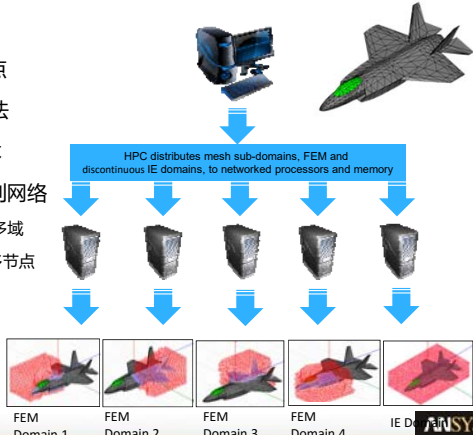
Screened air intake

ANSYS

15 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

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



FEM Domain 1 FEM Domain 2 FEM Domain 3 FEM Domain 4 IE Domain

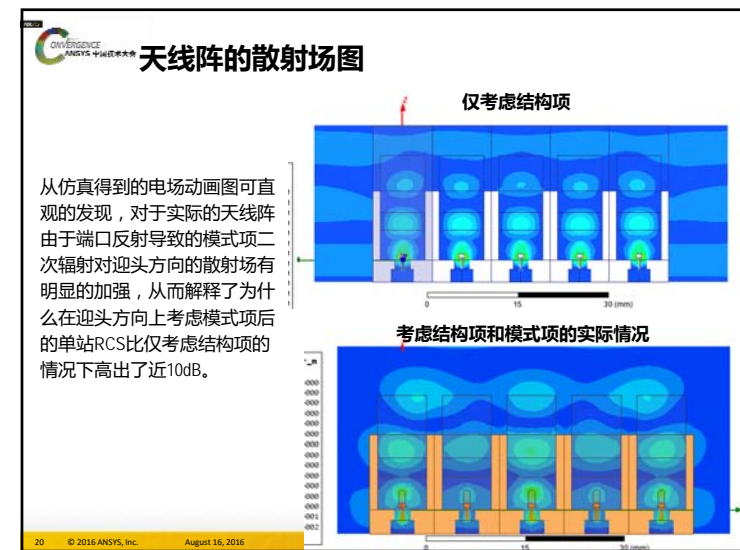
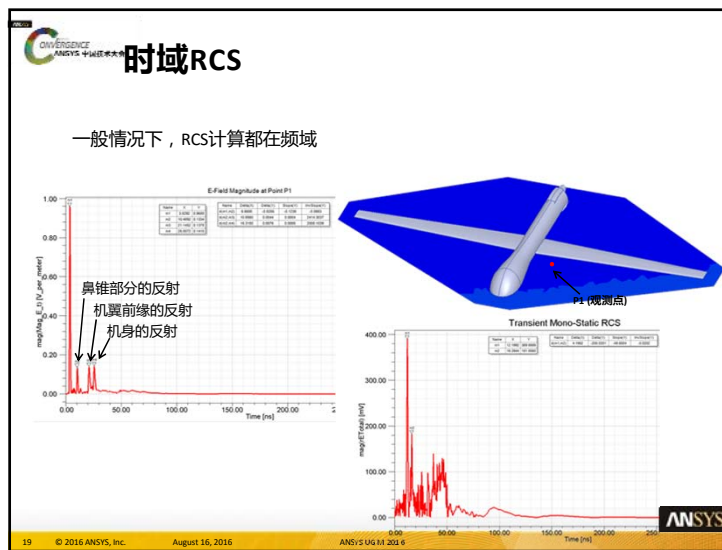
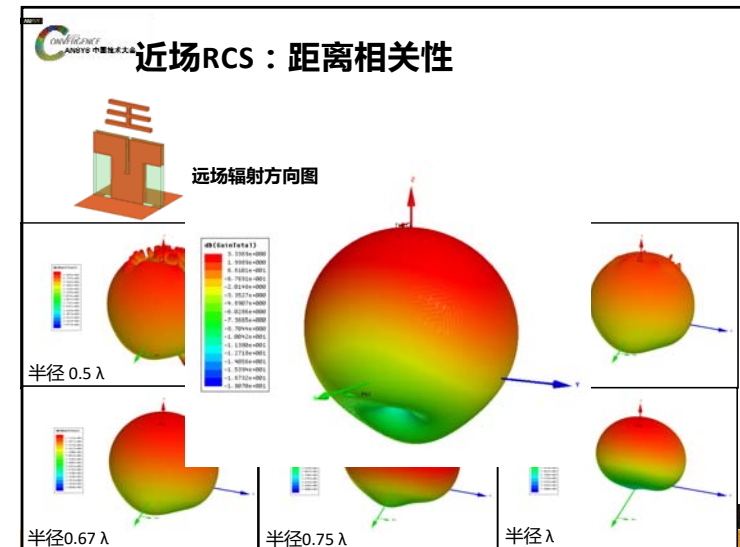
ANSYS

16 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

ANSYS

特殊的RCS应用

17 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016



CONVERGENCE
ANSYS 中国技术大会

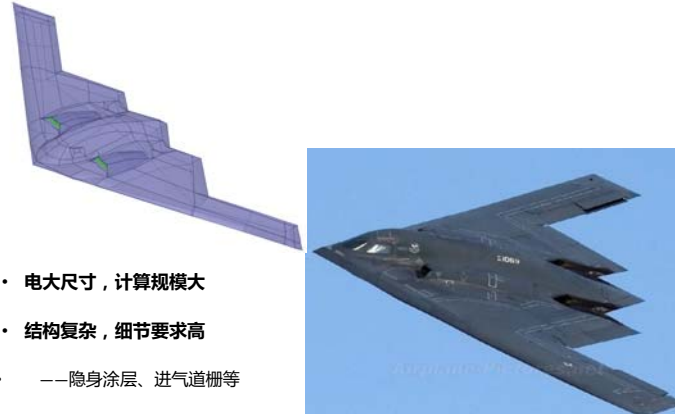
案例分析1

——飞机的RCS仿真与隐身设计

21 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

CONVERGENCE
ANSYS 中国技术大会

电大且结构复杂的目标

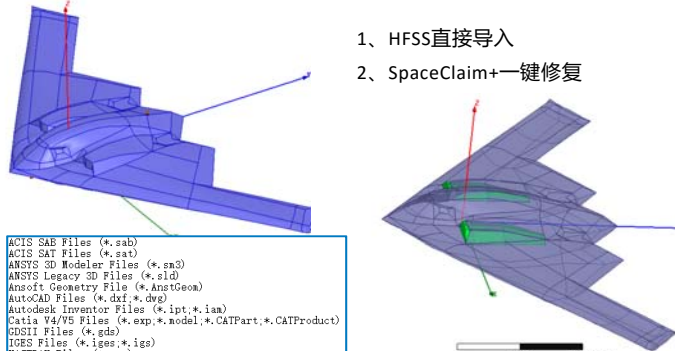


- 电大尺寸，计算规模大
- 结构复杂，细节要求高
- ——隐身涂层、进气道栅等

22 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

CONVERGENCE
ANSYS 中国技术大会

模型导入HFSS



- 1、HFSS直接导入
- 2、SpaceClaim+一键修复

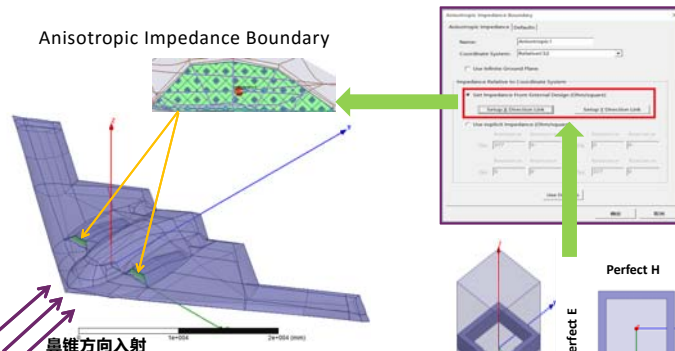
ACIS SAB Files (*.sab)
 ACIS SAT Files (*.sat)
 ANSYS 3D Modeler Files (*.sn3)
 ANSYS Legacy 3D Files (*.sld)
 Ansoft Geometry File (*.AnsoGeo)
 AutoCAD Files (*.dxf;*.dwg)
 Autodesk Inventor Files (*.ipt;*.iam)
 Catia V4/V5 Files (*.exp;*.model;*.CATPart;*.CATProduct)
 DGSII Files (*.gds)
 IGES Files (*.iges;*.igs)
 NASTRAN Files (*.nas)
 Parasolid Files (*.x_t;*.x_b)
 Pro/E Files (*.prt;*.asm*)
 STEP Files (*.step;*.stp)
 STL Files (*.stl)
 SolidWorks Files (*.SLDPRT;*.SLDASM)
 Unigraphics Files (*.prt)

23 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

CONVERGENCE
ANSYS 中国技术大会

进气道栅网

Anisotropic Impedance Boundary



鼻锥方向入射

进气道栅网的等效建模方法

Perfect H
Perfect E
Perfect H

24 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

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

Initial Mesh Settings

Mesh Method: ☒ Auto ☐ TAU ☐ Classic

☒ Apply curvilinear elements to all curved surfaces

Curved Surface Approximation: ☒ Use Slider ☐ Manual Settings

Coarse Resolution Fine

Small Mesh Size Large

Save as Default

OK Cancel

ANSYS

25 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

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

红色：无进气栅网
蓝色：含进气栅网

ANSYS

26 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

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

Layered Impedance Boundary

General Layers Defaults

One sided ☒ Two sided ☐

Shell Element ☒ Solid Element ☐

Layer	Thickness / Type	Material
1	1mm Perfect E	absorb_5
2	1mm Perfect E	absorb_5

Layered Boundary

New Layer Remove Layer

Impedance Value (will be calculated using solution frequency when solving)

Test Frequency: 1 GHz Calculate

Real: 0 Imag: 0

确定 取消

ANSYS

27 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

隐身涂料的仿真设计

涂料1 (电损+磁损)

涂料2 (电损)

E Field [V/m]

Phase = 0deg

XY Plot 1

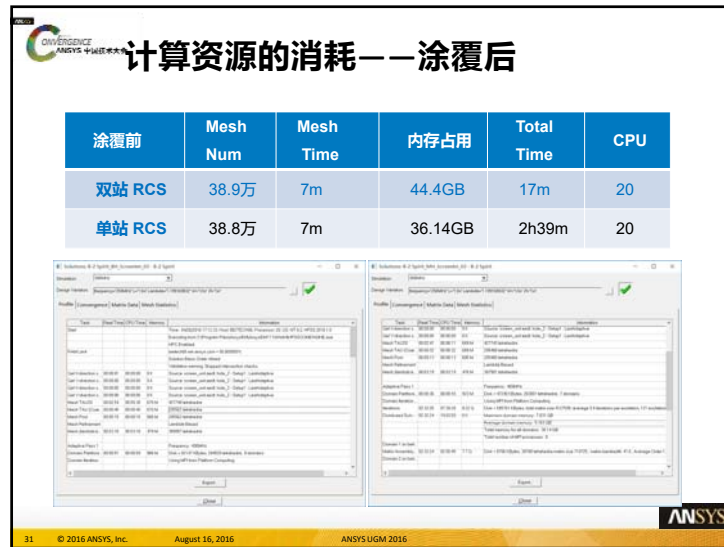
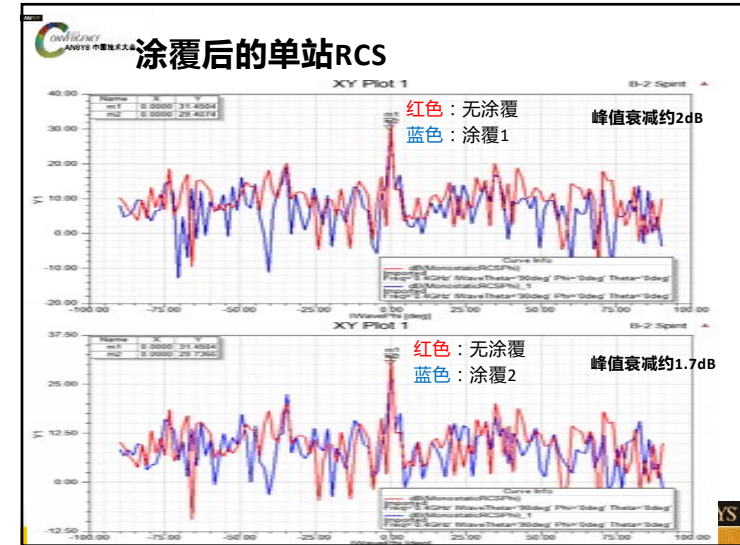
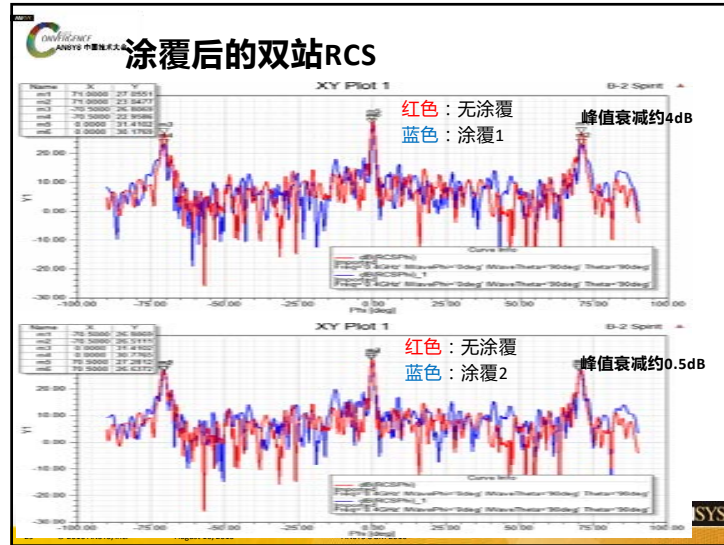
absorb_5

XY Plot 2

absorb_6

ANSYS

28 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016



案例分析2

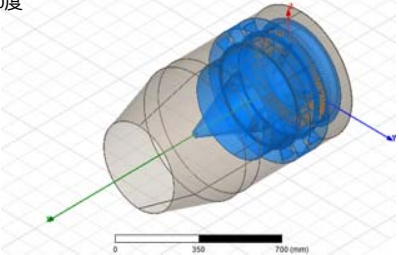
——发动机腔体的RCS计算

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

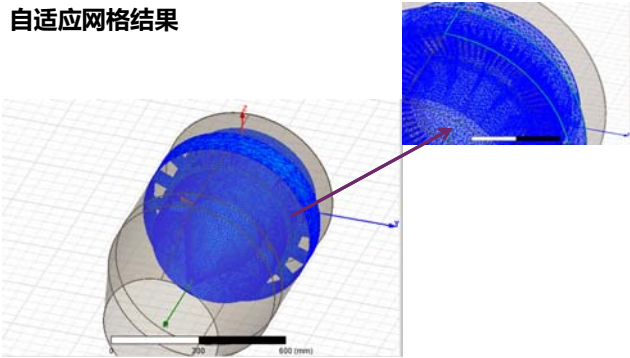


ANSYS

33 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

纯有限元求解

自适应网格结果



ANSYS

34 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

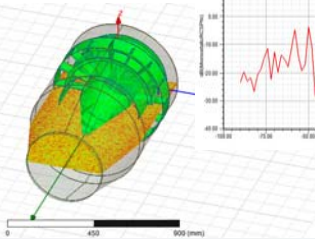
仿真结果

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

XY Plot 1



ANSYS

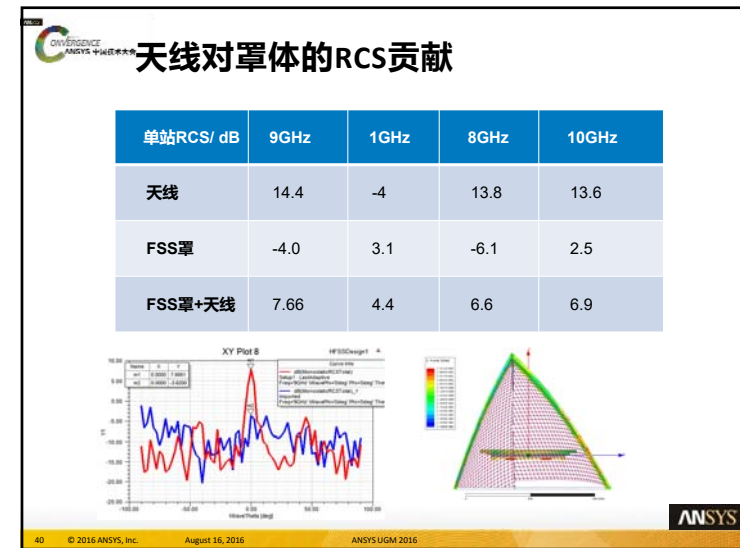
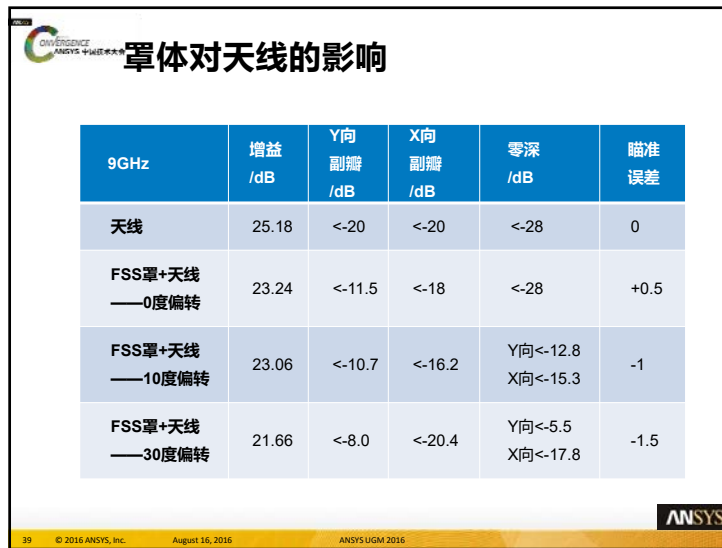
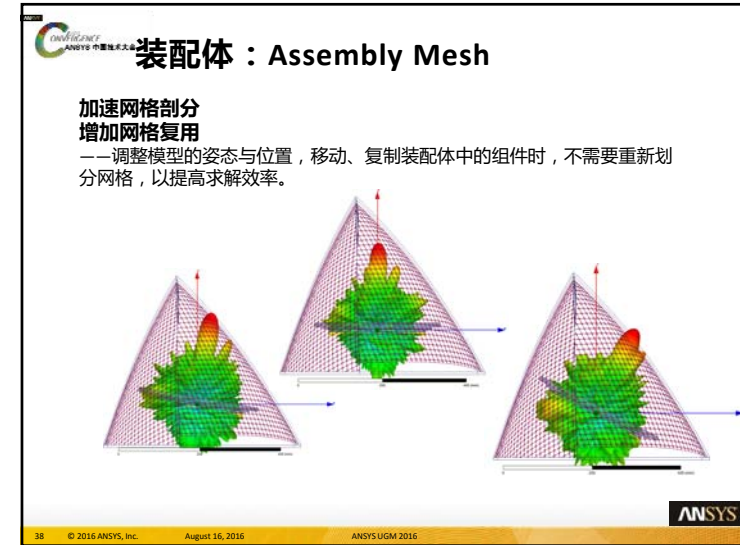
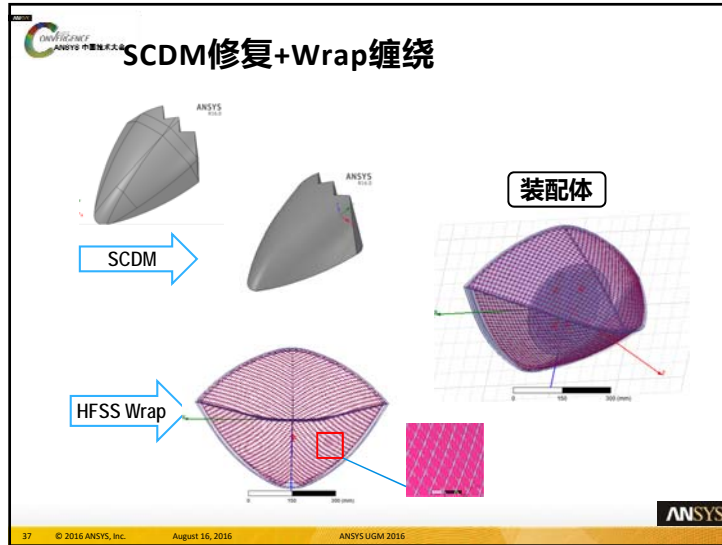
35 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016


案例分析3

——飞机头罩的RCS减缩设计

ANSYS

36 © 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016



 **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



41

© 2016 ANSYS, Inc. August 16, 2016 ANSYS UGM 2016

  **ANSYS中国技术大会**
中国·上海

感谢聆听