



# ANSYS Mechanical在连接器中的应用

张寅

zhangyin@tianyuantech.com



**北京天源博通科技有限公司**是一家专业的工程软件服务商和提供商，成立于2004年，在CAE有限元仿真领域拥有超过20年的专业经验。作为ANSYS公司中国区一级代理商，我们还是北京市高新技术企业。我们的服务已经覆盖了全国各地的客户。公司总部位于北京，并在东莞、上海和成都设有办事处，以更好地为客户提供支持。我们的产品涵盖了电子散热仿真、结构力学仿真、电磁仿真、电机及电力电子仿真以及温度/速度测试设备等领域。我们吸引了大量博士和硕士加入我们的团队，拥有强大的技术实力，能够为客户提供仿真软件技术支持、咨询服务和完整的解决方案。我们致力于为客户提供优质的工程软件产品和服务，帮助提升产品设计和研发的效率，实现更卓越的性能。秉承着专业、创新和客户至上的原则，我们将持续提升技术能力和服务水平，与客户共同成长和发展。无论您在哪个地区，我们都愿意与您携手合作，共创美好未来。



员工有三十多人



研发工程师 有十多个



总部：位于北京  
在东莞、上海、成都有办事处



有十多项专利技术

# 主题

1. 连接器行业背景
2. 连接器仿真面临挑战
3. 连接器结构仿真典型场景
4. 案例一：USB插拔过程仿真
5. 案例二：圆形防水连接器振动仿真
6. 案例三：N型连接器多物理场可靠性仿真
7. 案例四：射频直角接头的电热耦合仿真

天源博通

# 连接器行业背景

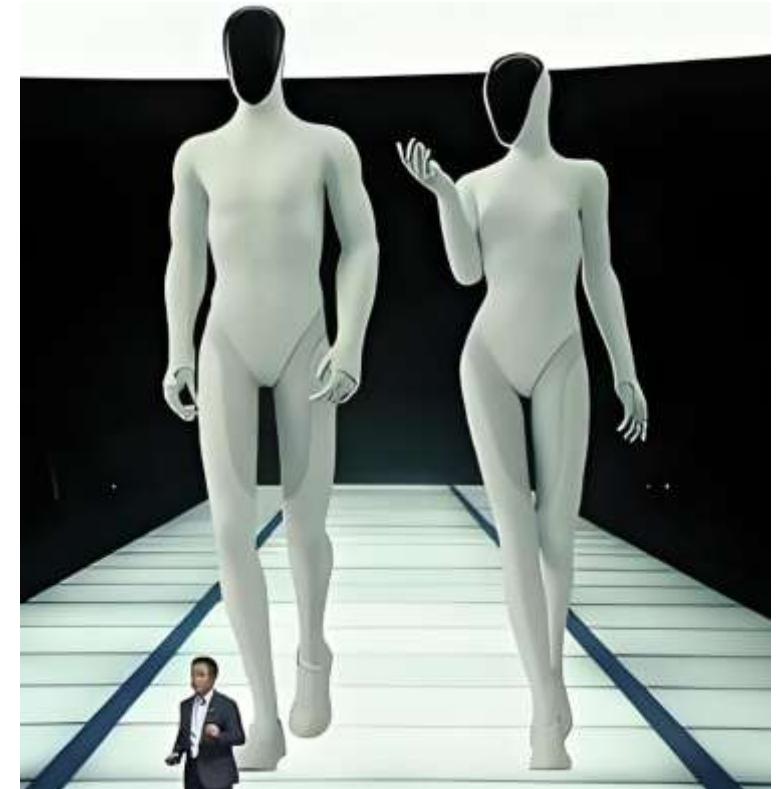
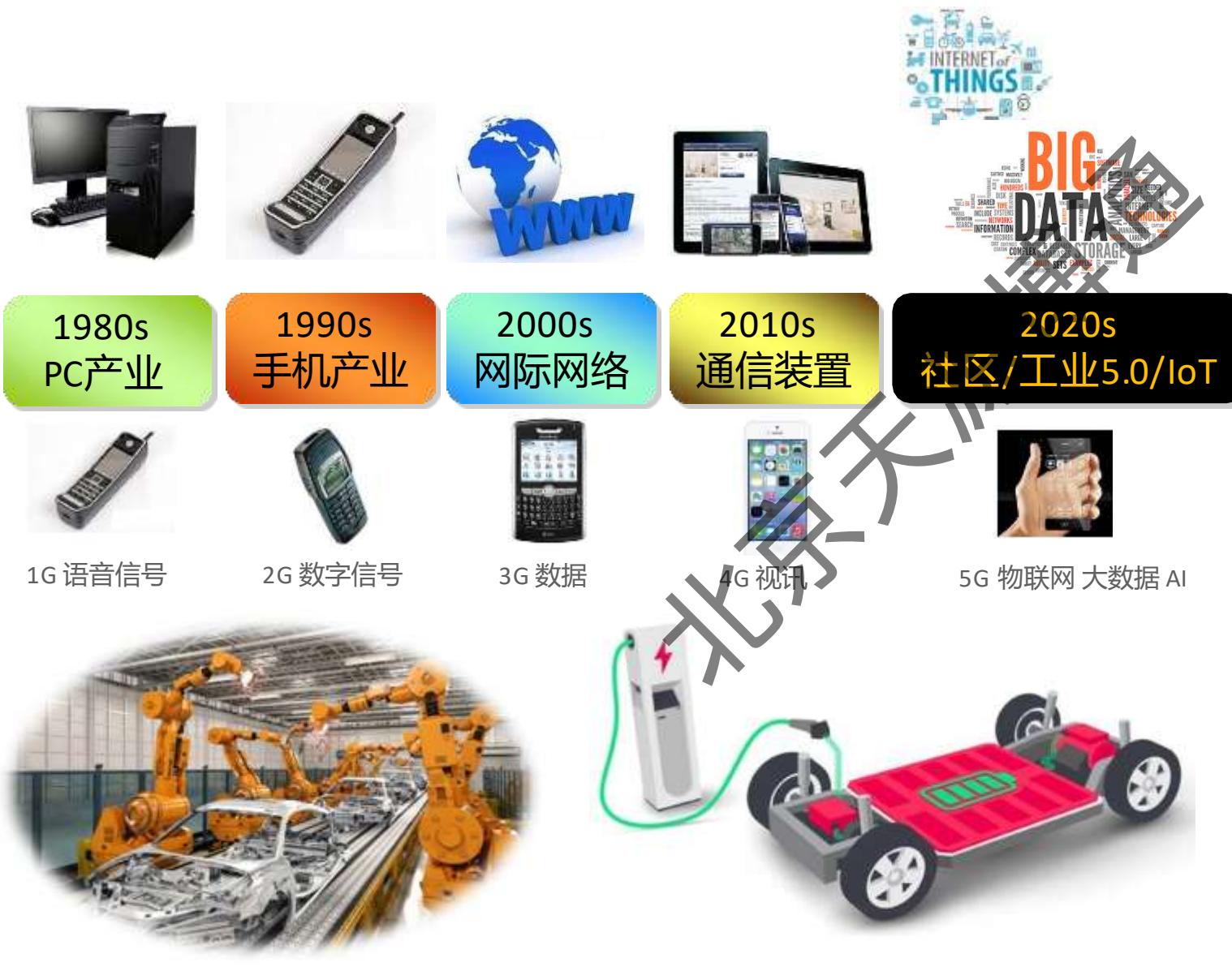
北京天源博通

# 连接器行业背景描述

连接器是系统工程重要的配套接口元件，其质量对系统性能有明显影响。随着小型化、高性能化的发展趋势，连接器必须在小型化结构中应对大带宽和高频率的挑战，提高信号完整性设计，不断增加的传输功率则对热可靠性提出了更高要求，复杂的应用环境使得连接器必须提升接触可靠性、抗振动冲击等可靠性指标，当前设计者不但要从**电、热、应力各个方面来优化设计指标**，还需要面对**电、热、应力各物理域耦合**所带来的挑战，比如电功率的增大所导致的散热困难，温度上升导致结构形变甚至引起连接器损坏。



# 连接器发展与趋势

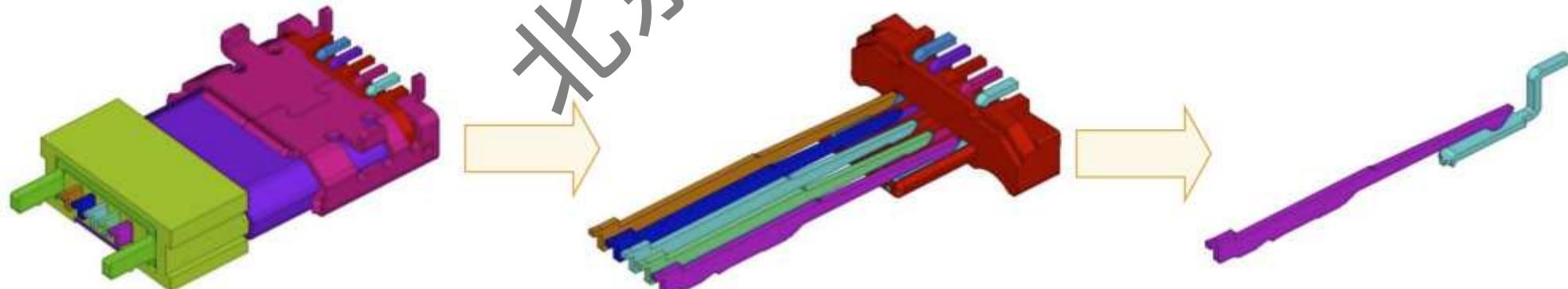


# 连接器仿真面临挑战

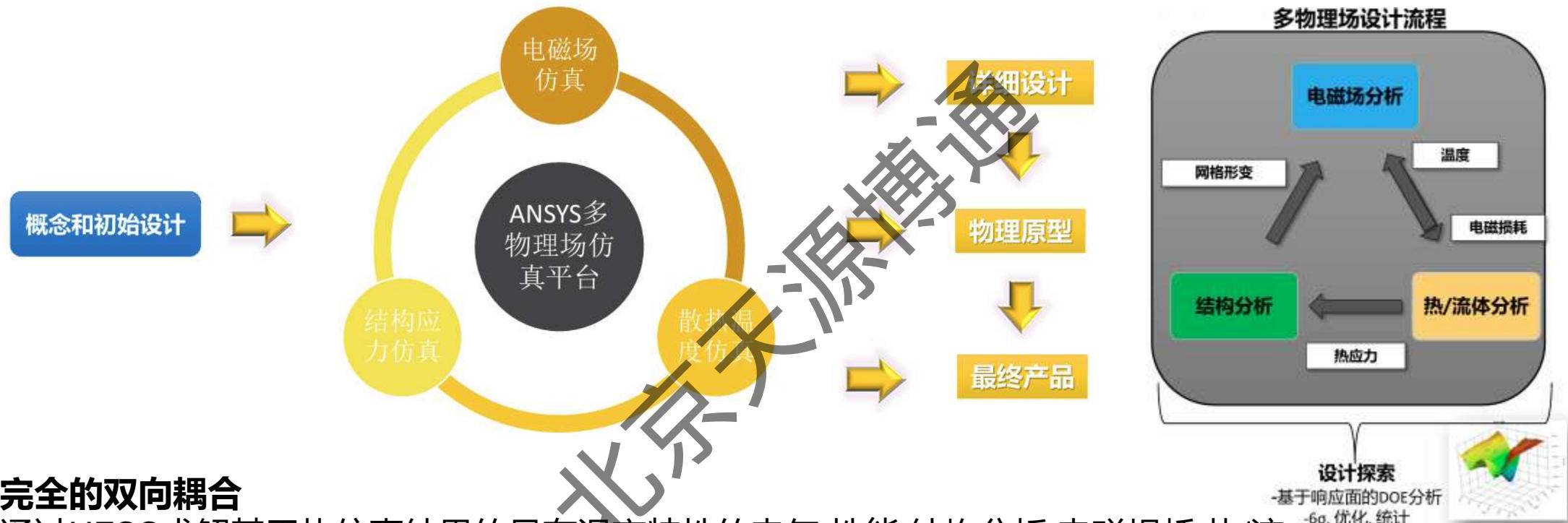
北京天源博通

# 模拟应用

1. 可靠的电流负荷能力。
2. 维持可接受的温升：确保绝缘可靠与触摸舒适性。
3. 连接器的可靠性：力学性能稳定性、正向力、插拔力、耐久性等。
4. 电磁特性问题：信号传输、反射、串扰等。
5. 连接器结构设计优化



# 连接器多物理场仿真



## • 完全的双向耦合

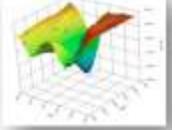
- 通过HFSS求解基于热仿真结果的具有温变特性的电气 性能 结构分析 电磁损耗 热/流体分析

- 将结构分析的形变网格结果返回HFSS做进一步分析
- 基于仿真流程进行迭代，直到达到稳态特性

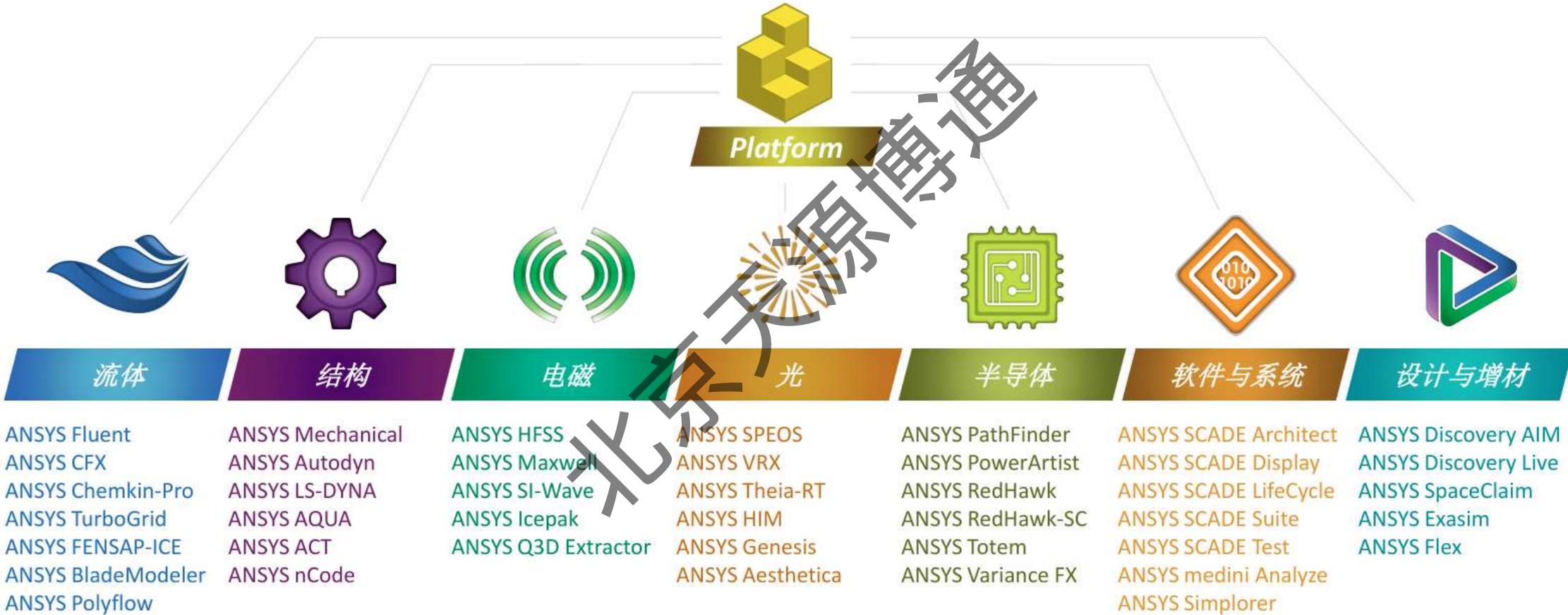
## • 利用Workbench 完美实现多物理场仿真

- 利用optiSLang进行鲁棒性分析

设计探索  
-基于响应面的DOE分析  
-6σ, 优化, 统计



# ANSYS多物理场仿真平台





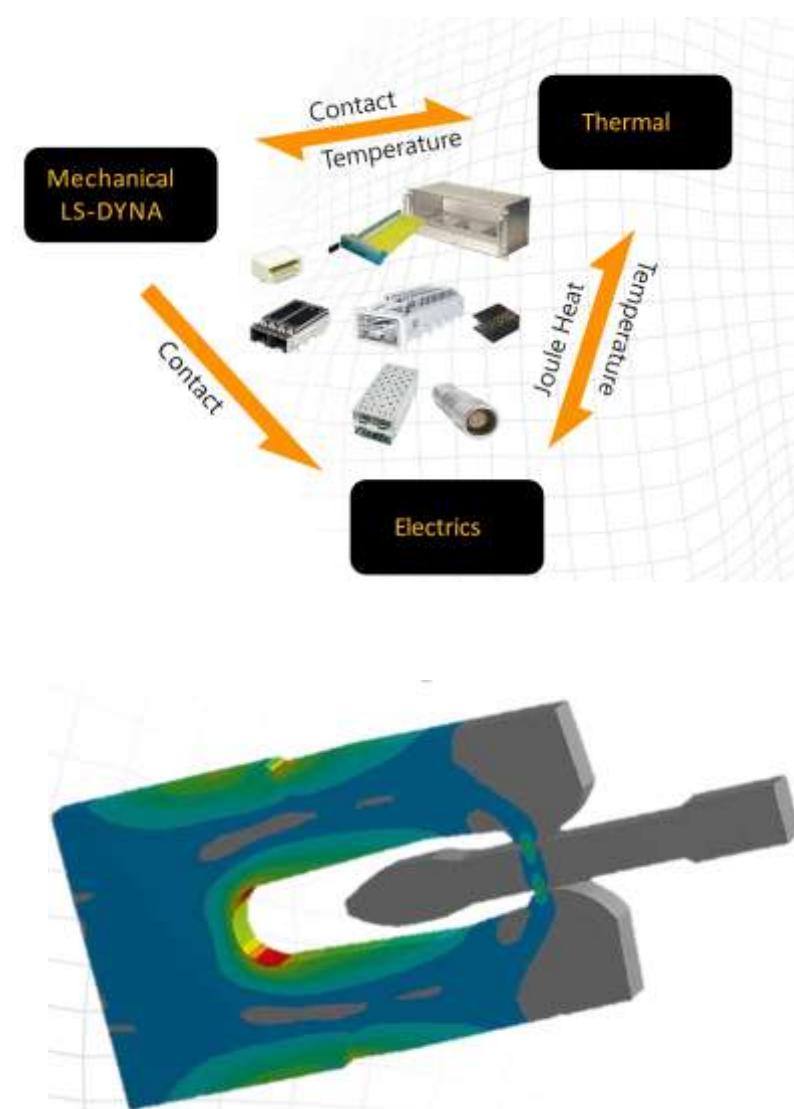
北京天源博通

# 连接器结构仿真典型场景

# 仿真场景和内容

优秀的连接器设计，需要电磁性能良好，结构设计稳定可靠。传统的流程一般采用“设计-生产样品-试验-再设计”的流程，通过大量样品试验来发现设计缺陷，但这种方式在设计阶段不能完全预测产品性能，迭代次数过多将极大延缓产品的开发进度，增加开发成本。

仿真目前已经是设计者必不可少的设计手段，设计者通过仿真能够在前期准确分析优化连接器的电磁性能，如阻抗曲线，传输损耗等，且提取电磁模型用于系统分析，也可以提前对连接器强度、刚度及热性能进行优化，并分析优化插拔力、疲劳特性等可靠性指标，达到提高连接器性能指标及缩短设计周期的目标。



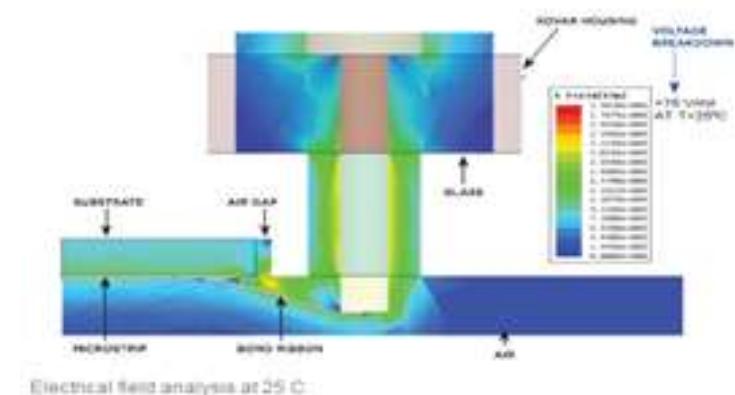
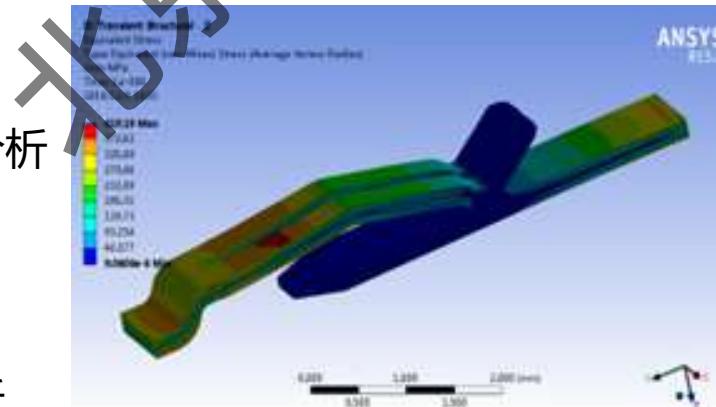
## 仿真场景和内容

## ➤ 连接器可靠性及多物理场分析

- ✓ 连接器插拔力仿真
  - ✓ 连接器刚强度仿真
  - ✓ 连接器接触压力仿真
  - ✓ 连接器连接/锁定过程的多体动力学仿真
  - ✓ 连接器锁定过程载荷分析
  - ✓ 连接器承受反复插拔的疲劳分析
  - ✓ 连接器塑性变形仿真
  - ✓ 连接器蠕变应力松弛分析
  - ✓ 连接器瞬态响应下的接触失效分析
  - ✓ 连接器模态/谐振仿真分析
  - ✓ 连接器随机振动分析
  - ✓ 连接器电热力多物理场协同分析

## ➤ 连接器电磁性能分析

- ✓ 连接器信号传输分析及优化
  - ✓ 连接器阻抗一致性优化
  - ✓ 连接器电磁模型抽取
  - ✓ 连接器电磁泄漏及辐射分析
  - ✓ 连接器电发热分析



# 典型场景

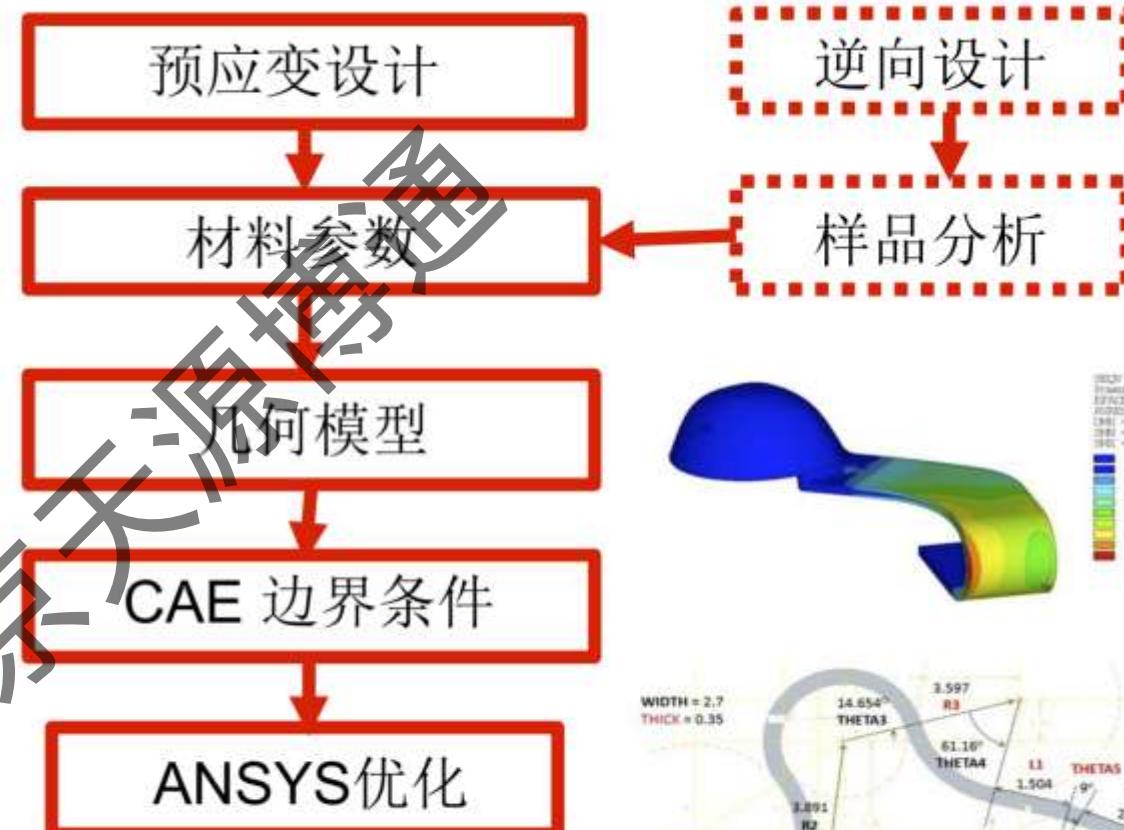
案例一：弹片受压过程分析

案例二：弹片接触和弯曲应力分析

案例三：载荷曲线分析

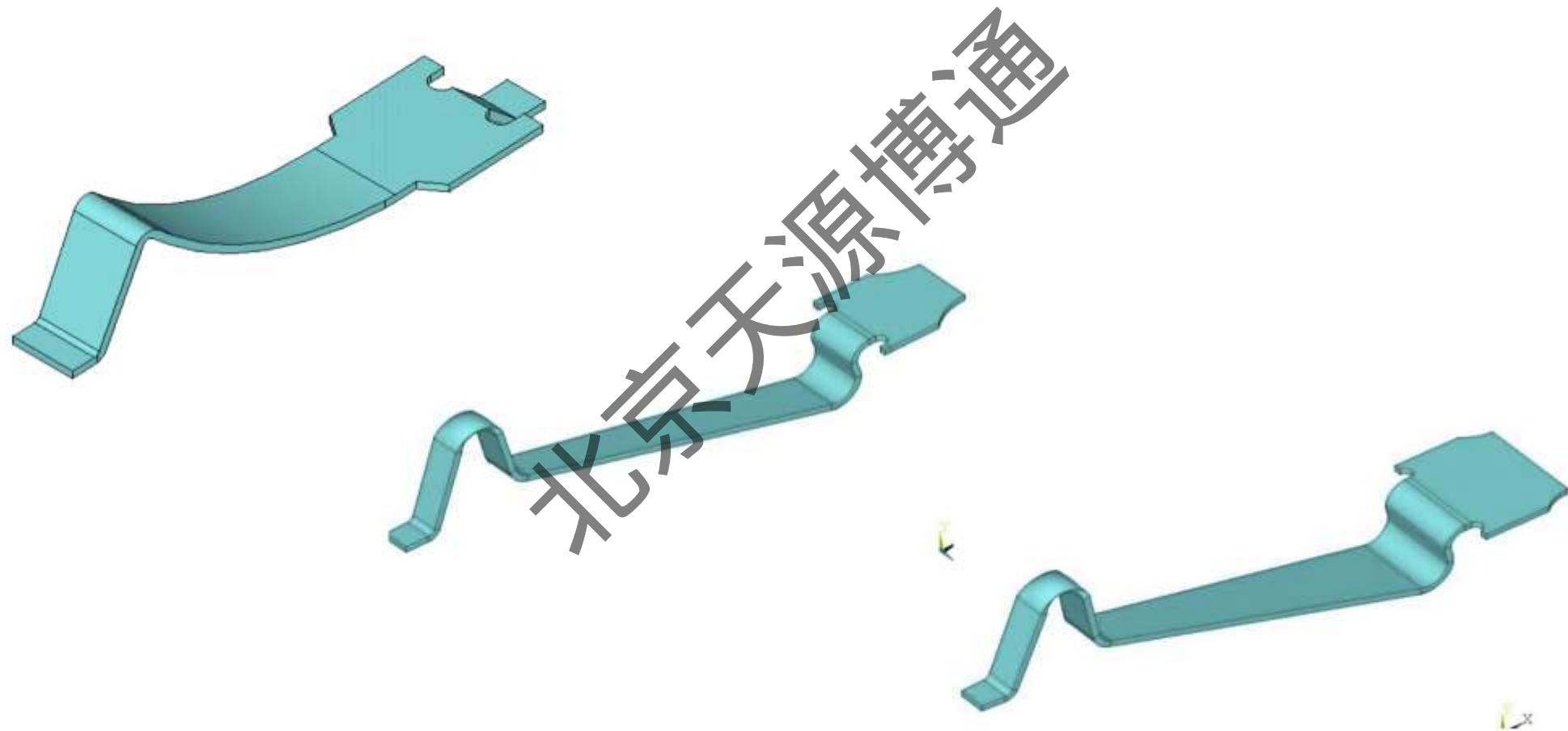
案例四：USB 连接器温升分析

案例五：CPU插座结构分析

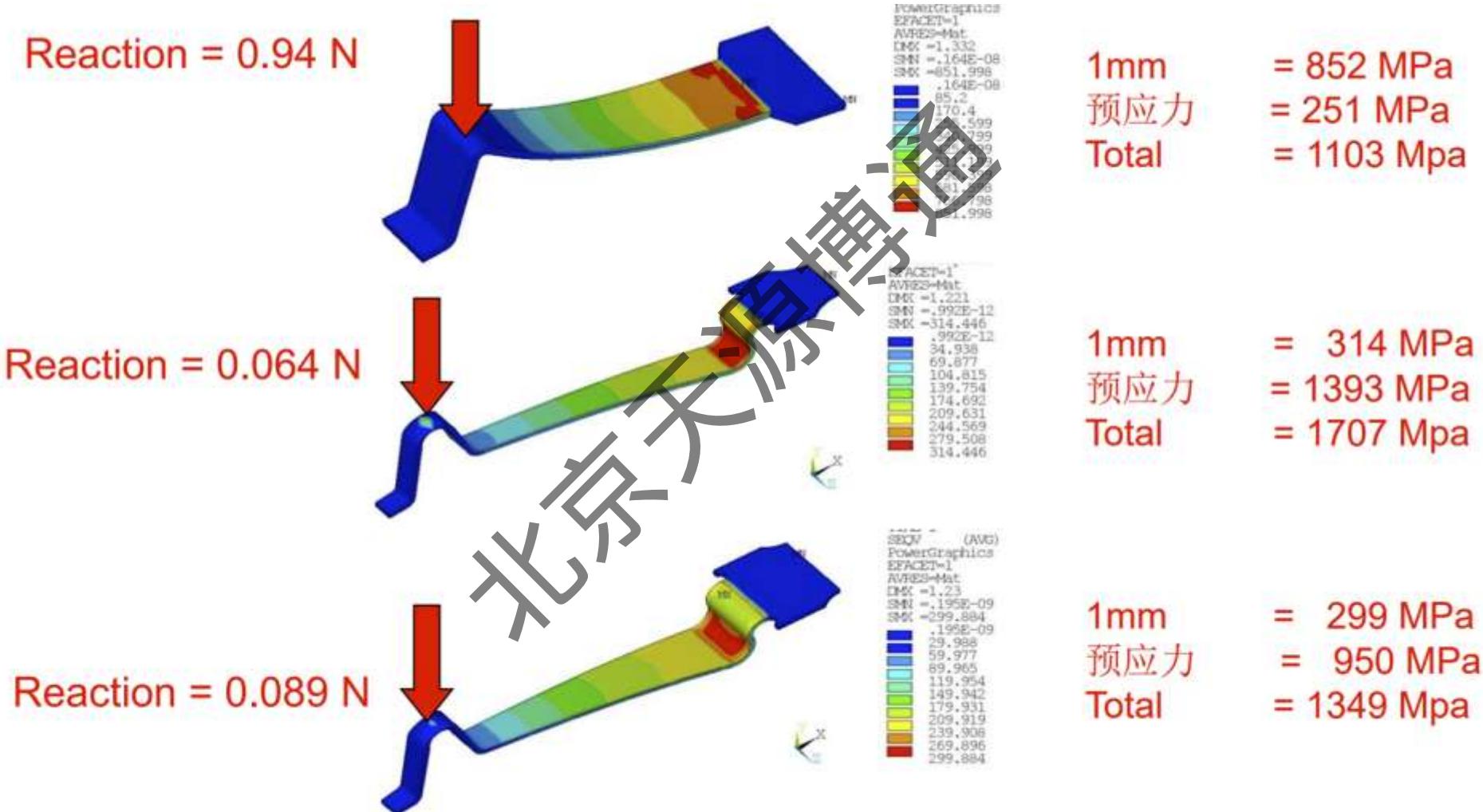


## 【案例一：弹片受压受力分析】

- 产品在生产前，通过ANSYS分析对比几种模型的压力情况，选取优化模型方案

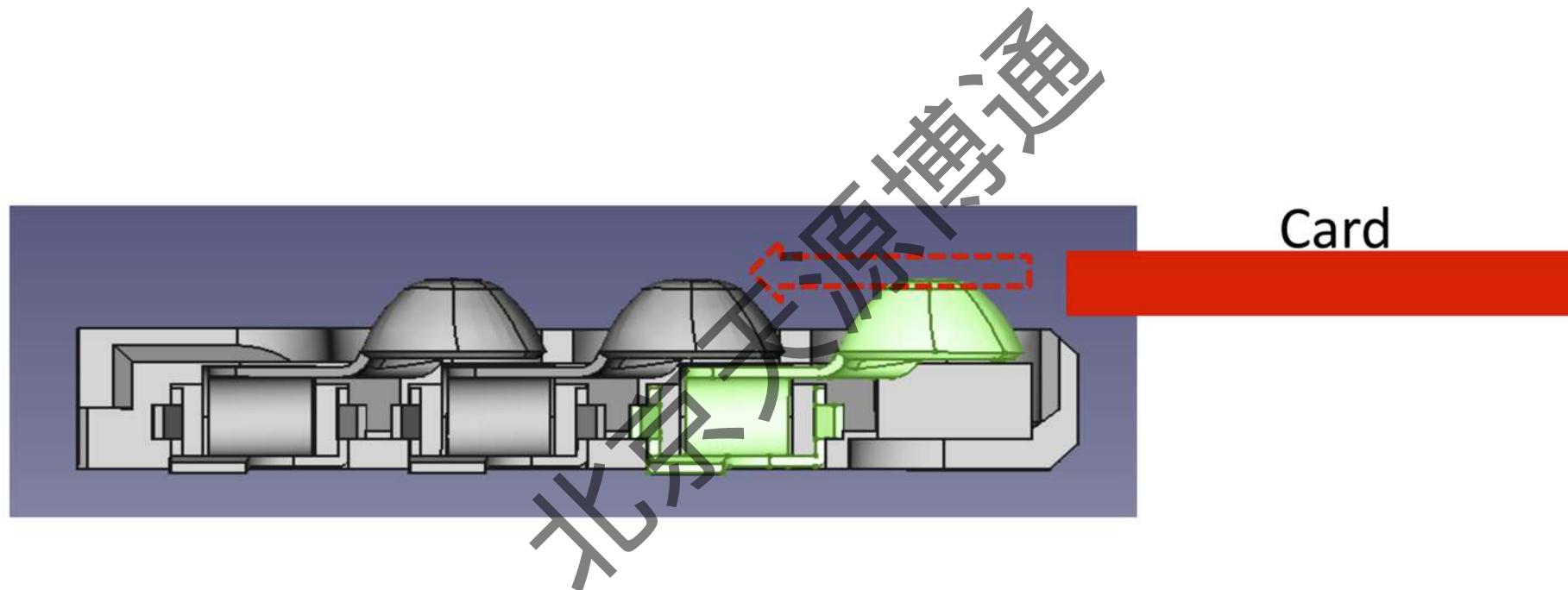


## （案例一：弹片受压受力分析）



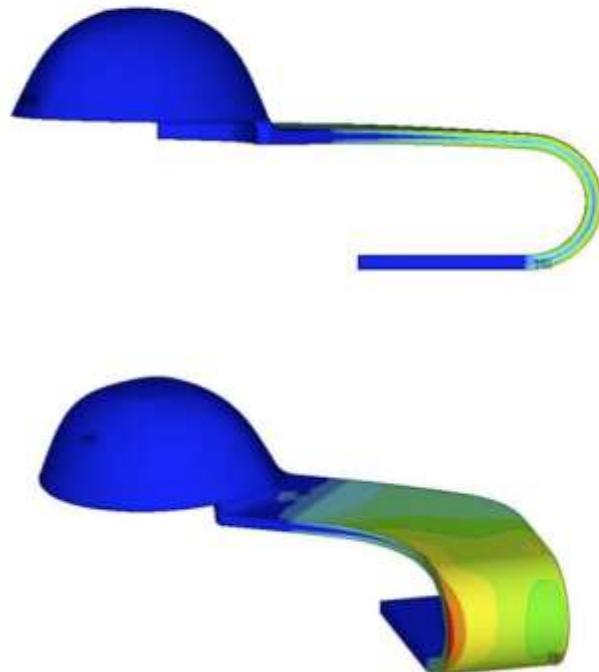
## 【案例二 弹片接触和弯曲应力分析】

- 该案例中，弯曲和接触应力都是至关重要的，必须使用ANSYS非线性的结构分析

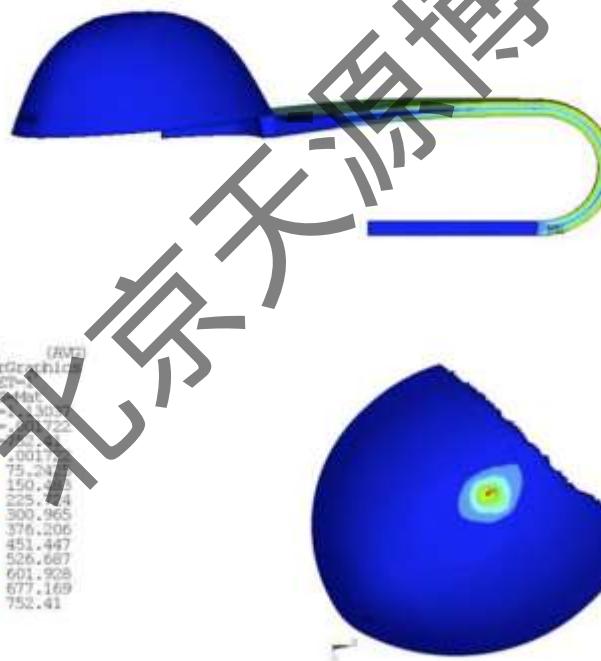


## 【案例二 弹片接触和弯曲应力分析】

$d=0.35\text{mm}$   
Reaction = 0.17N  
Max Stress = 300 Mpa  
Contact Stress = 12 MPa



$d=0.70\text{mm}$   
Reaction = 0.35N  
Max Stress = 705 Mpa  
Contact Stress = 31 MPa



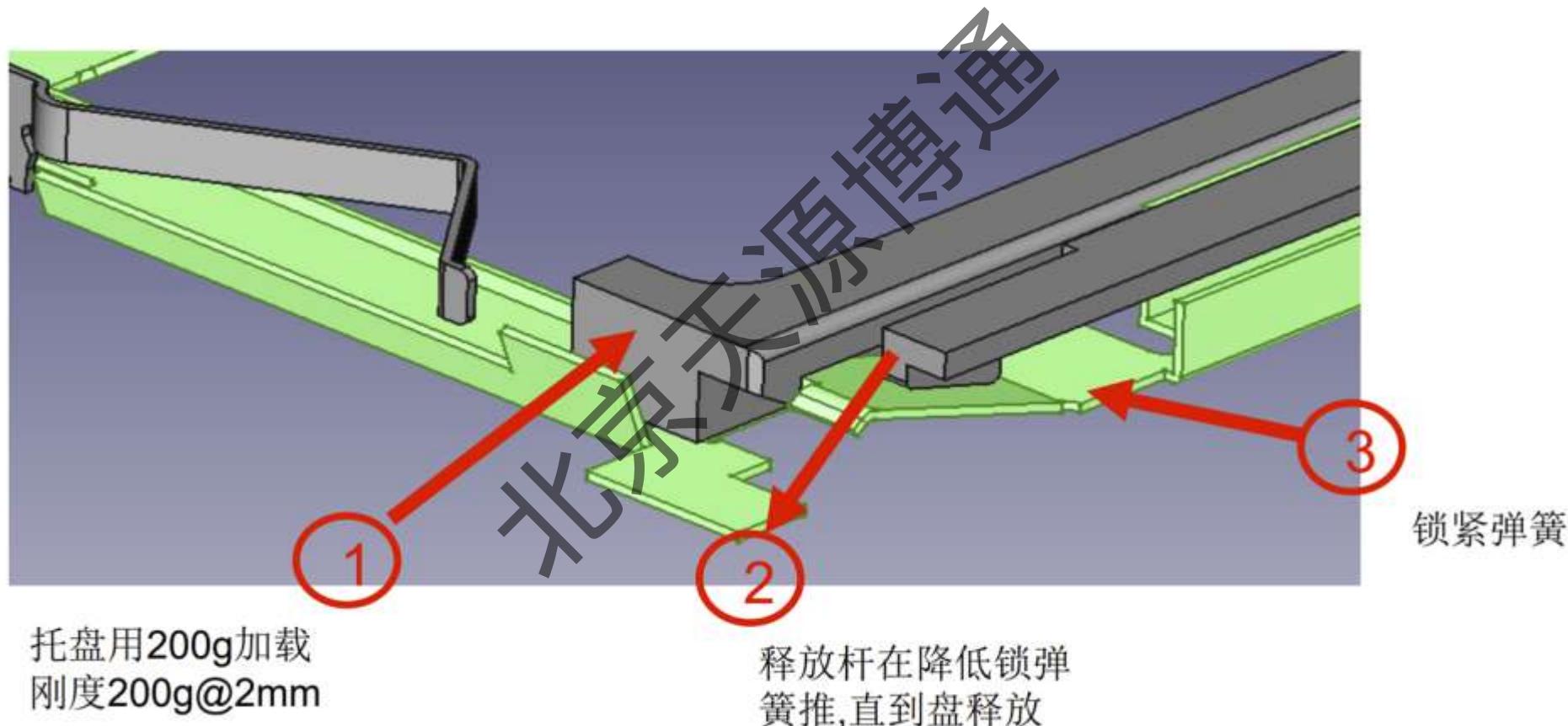
$d=0.85\text{mm}$   
Reaction = 0.44N  
Max Stress = 752 Mpa  
Contact Stress = 47 MPa



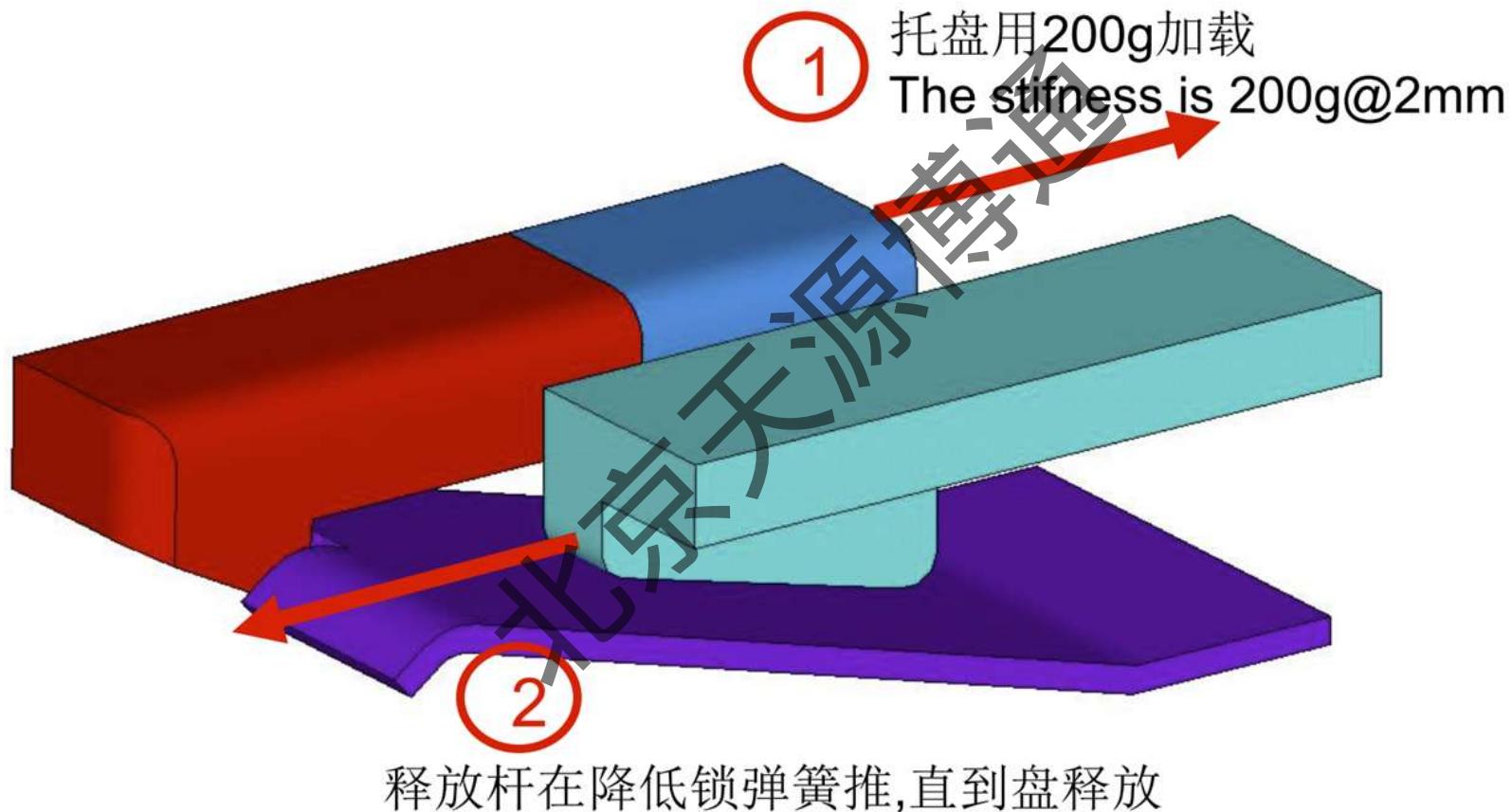
接触应力= 47 MPa

## 【案例三 载荷曲线分析】

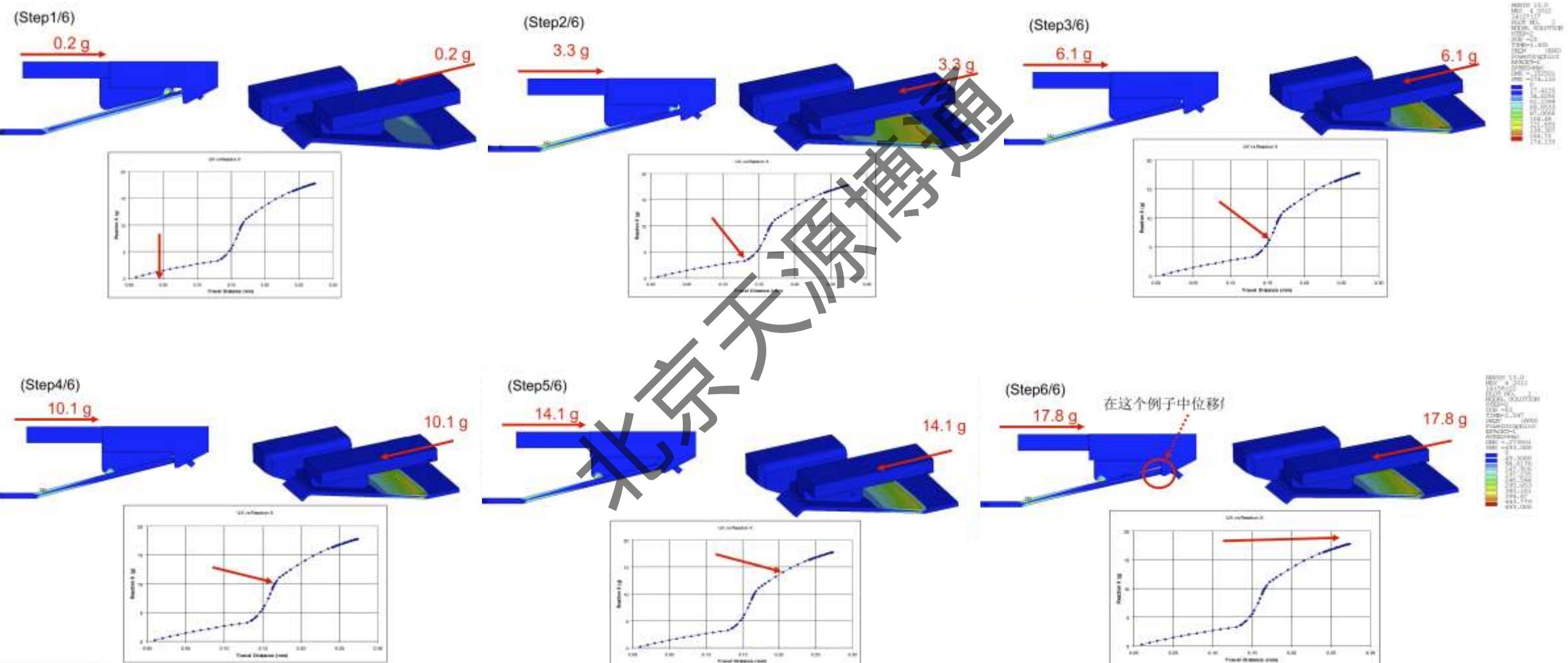
该案例中需要计算从SIM托盘中弹射出来的力



## 【案例三 载荷曲线分析】

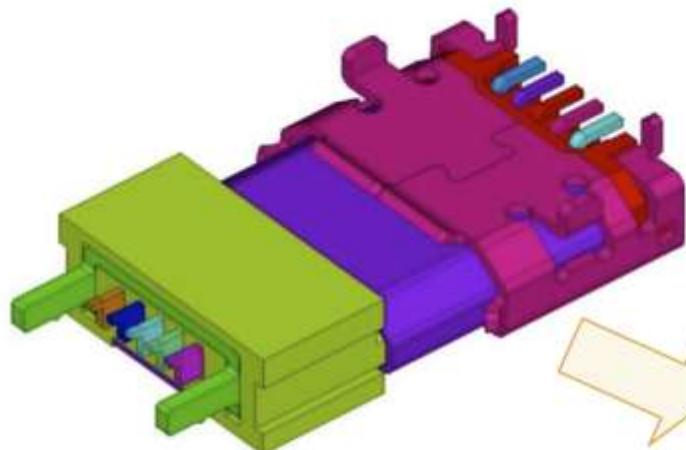


## 【案例三 载荷曲线分析】

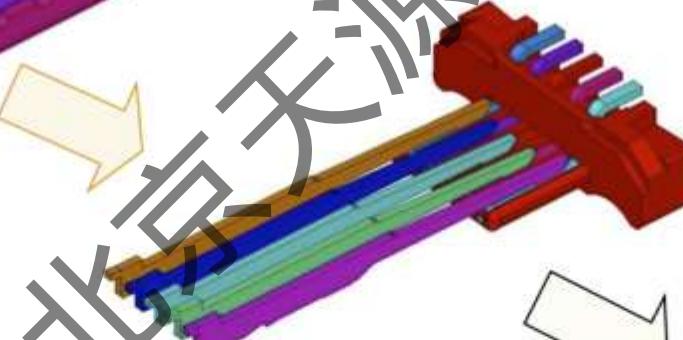


## 【案例四： USB 连接器温升分析】

完整装配



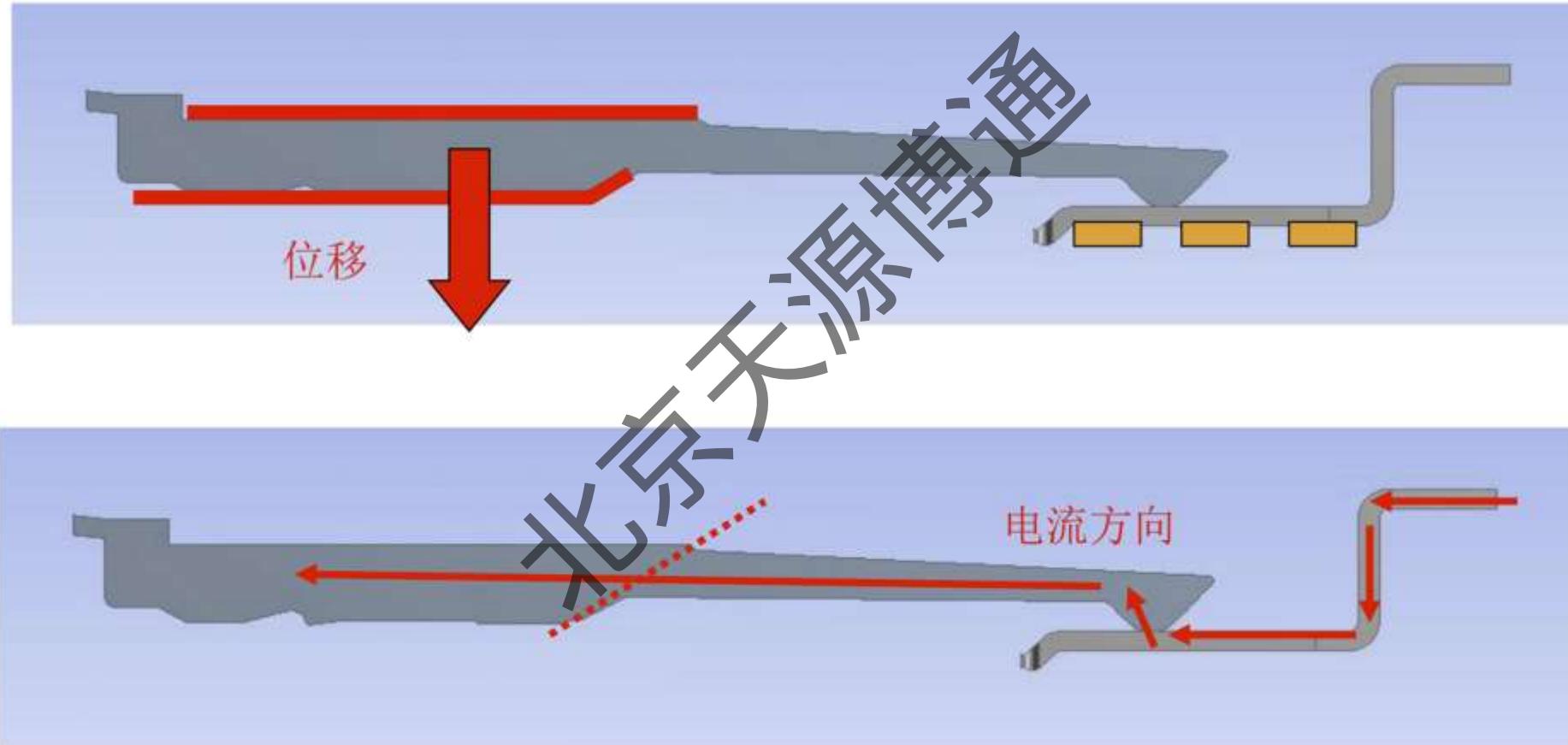
内部结构



其中一对针结构分析

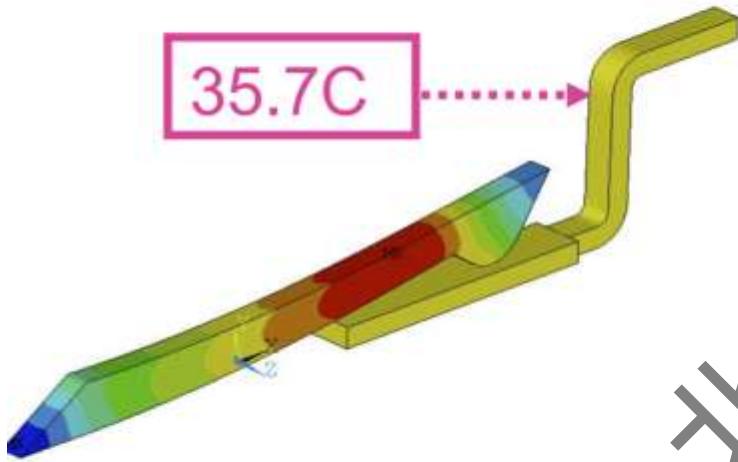


## 【案例四： USB 连接器温升分析】

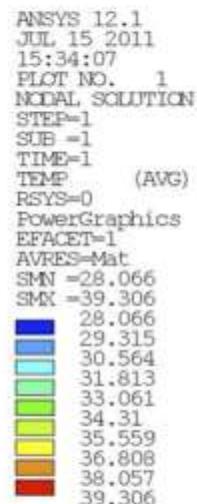
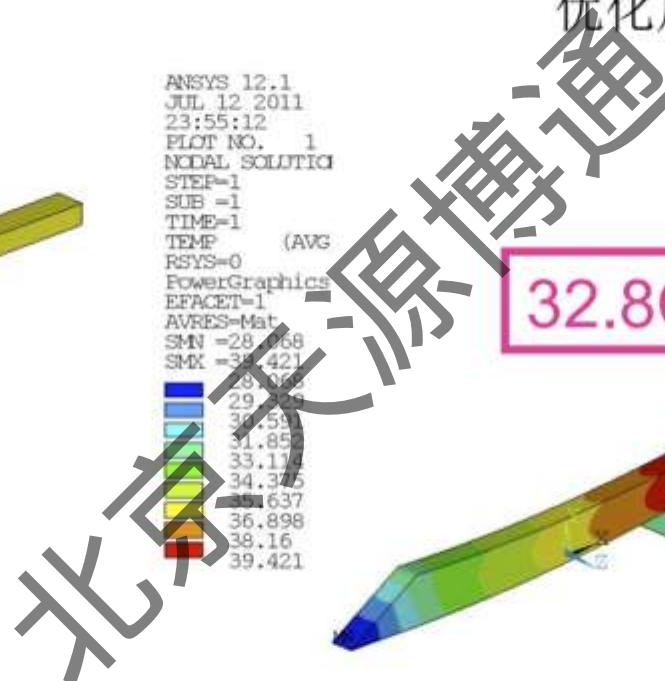
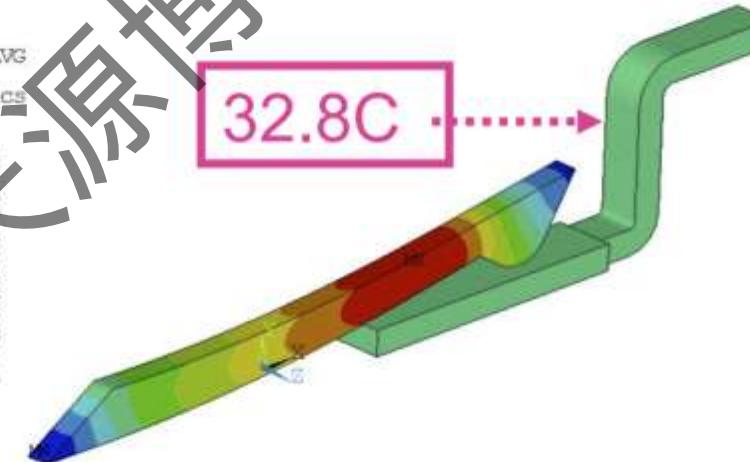


## 【案例四： USB 连接器温升分析】

初始设计方案



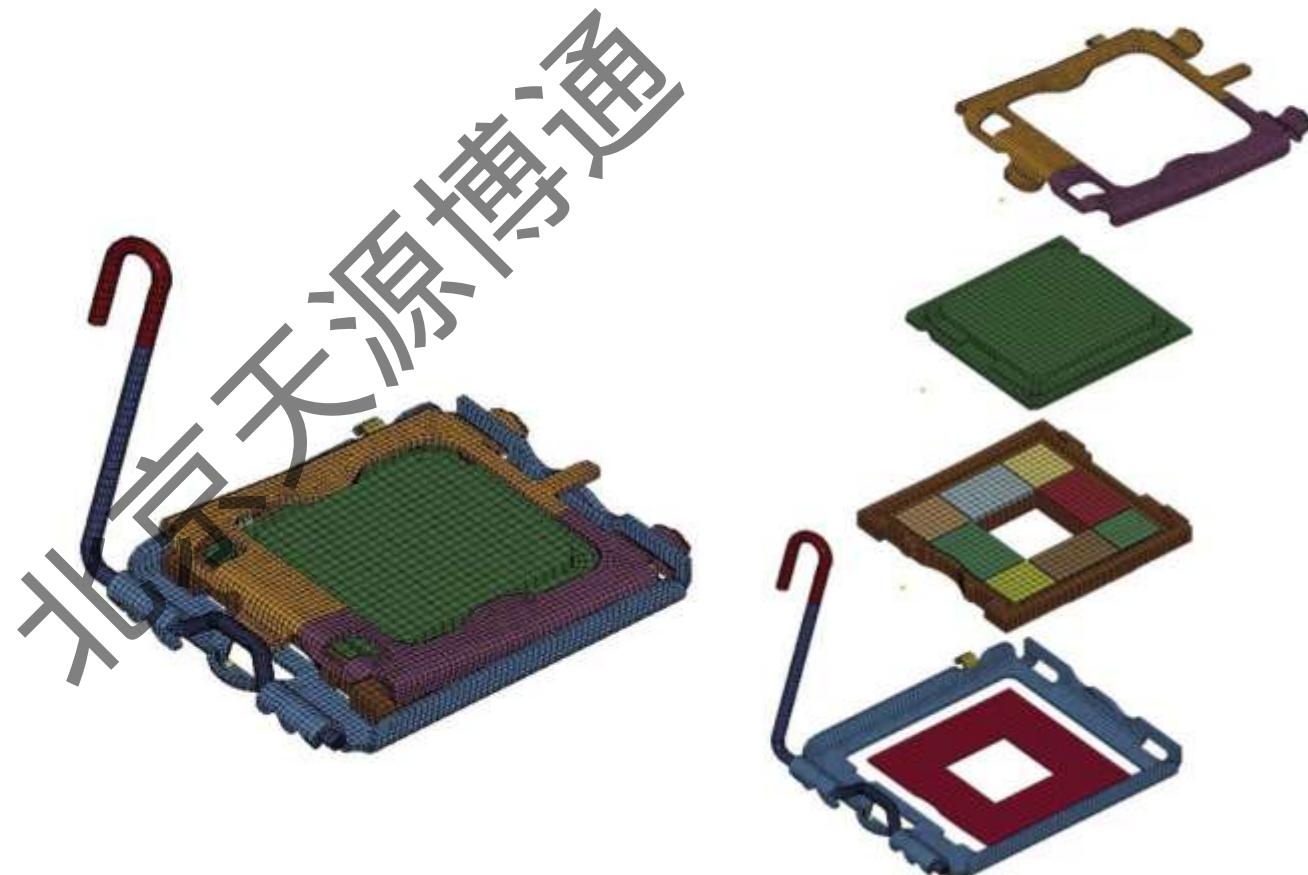
优化后的设计方案



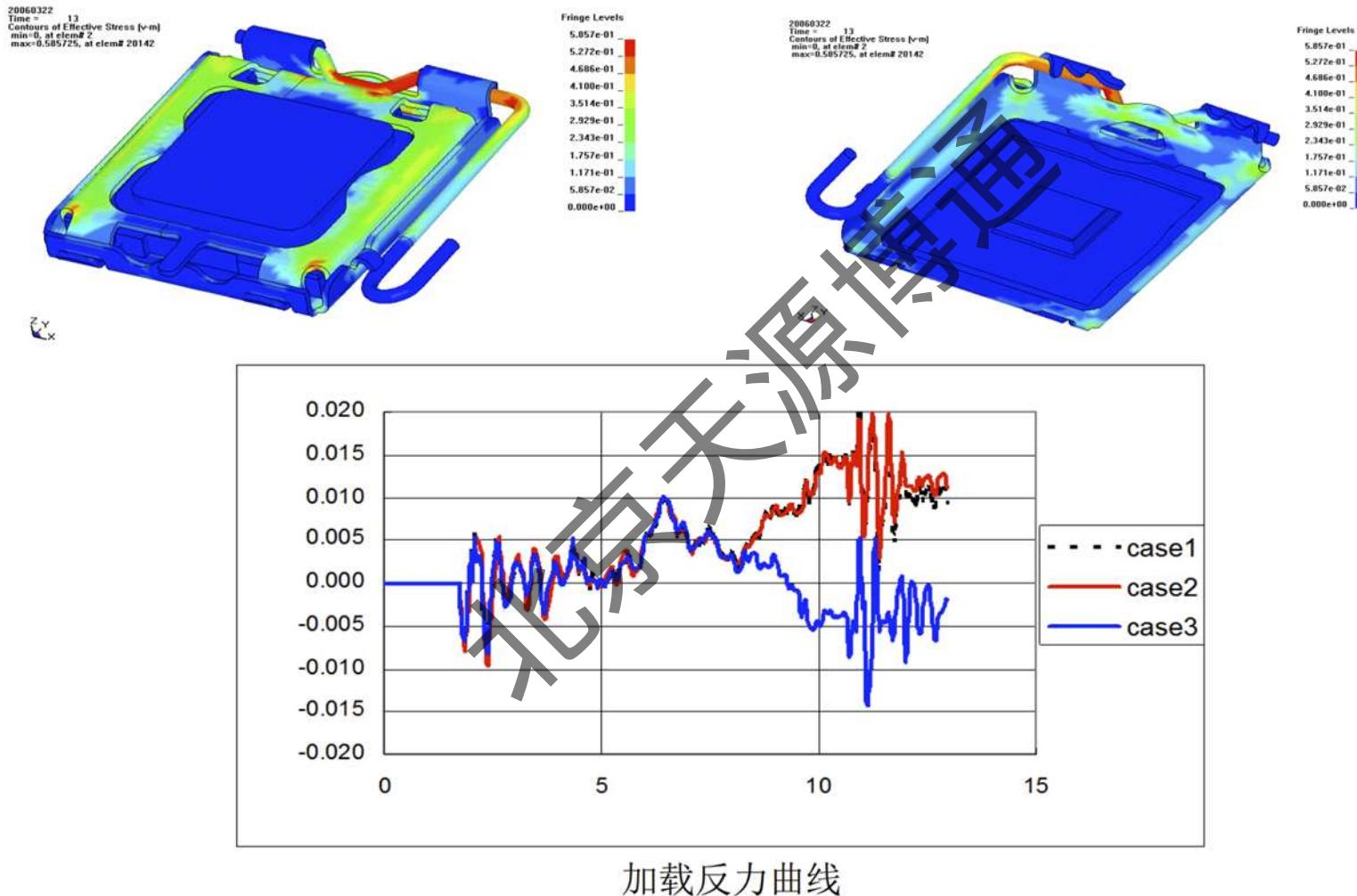
传统的NLP并不能降低温度  
(如左图原始设计)

## 【案例五： CPU插座结构有效应分析】

- 验证CPU插座结构方案的力学强度和加载力大小。



## 【案例五：CPU插座结构有效应分析】





北京天源博通

# 案例一：USB连接器插拔力分析

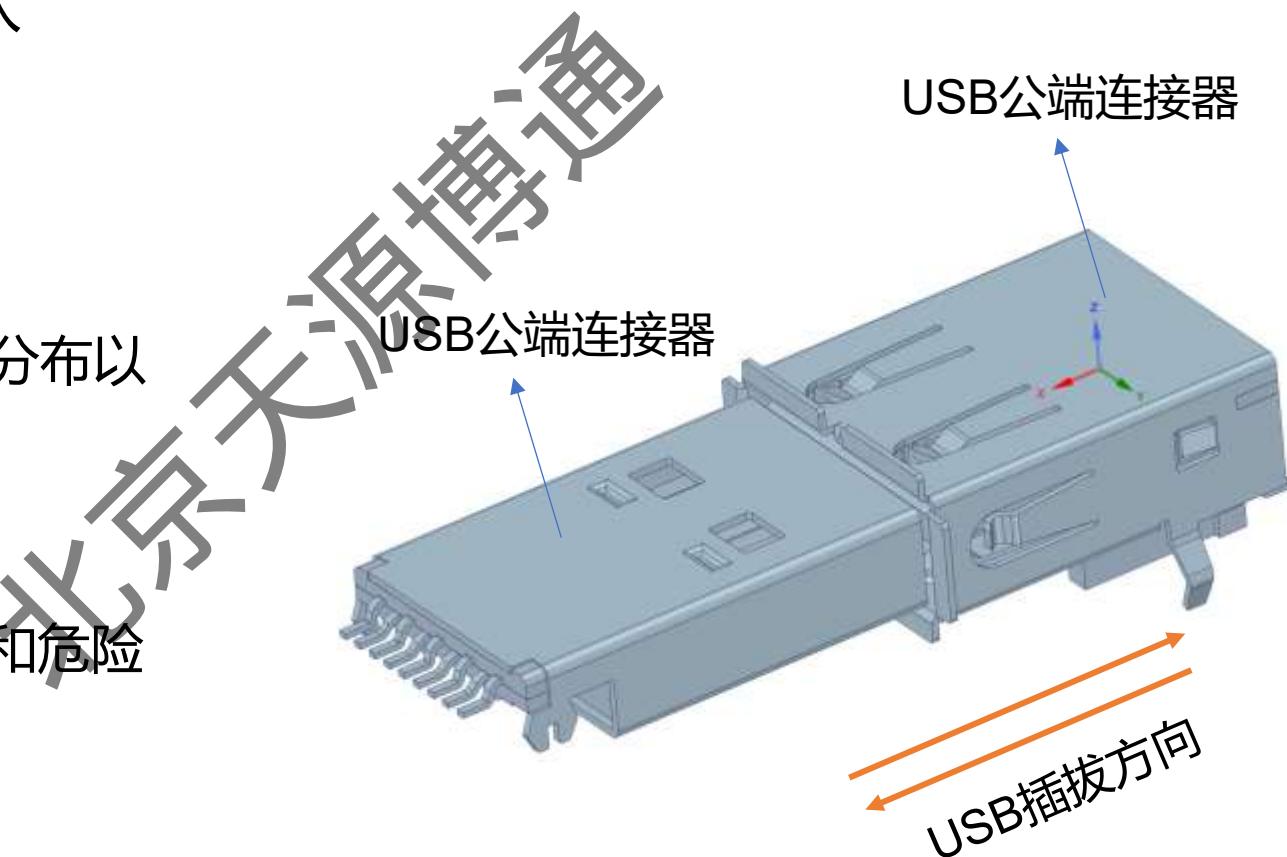
# 案例：USB连接器插拔力分析

仿真工况：母端固定，公端插入

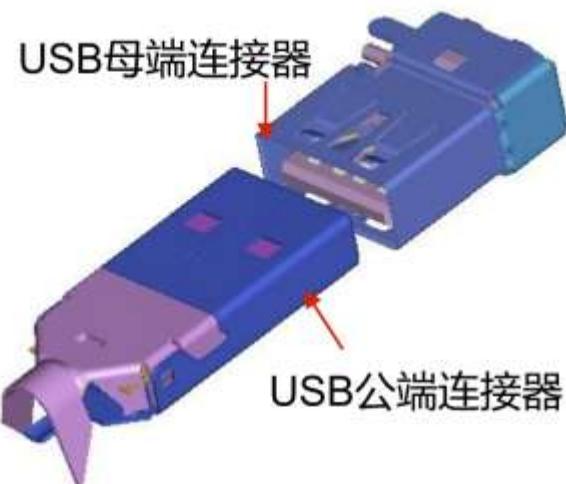
9mm后拔出

期望结果：

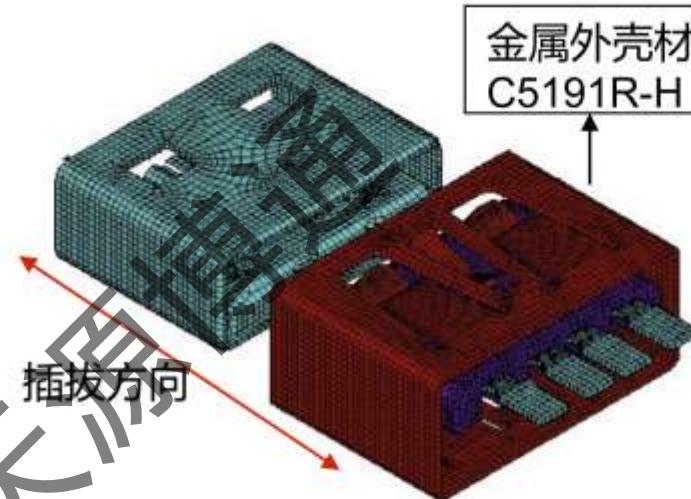
- 插拔过程中外壳和弹片应力分布以及大小，找出危险点
- 插拔力大小以及变化过程
- 优化USB连接器插拔力大小和危险点寿命



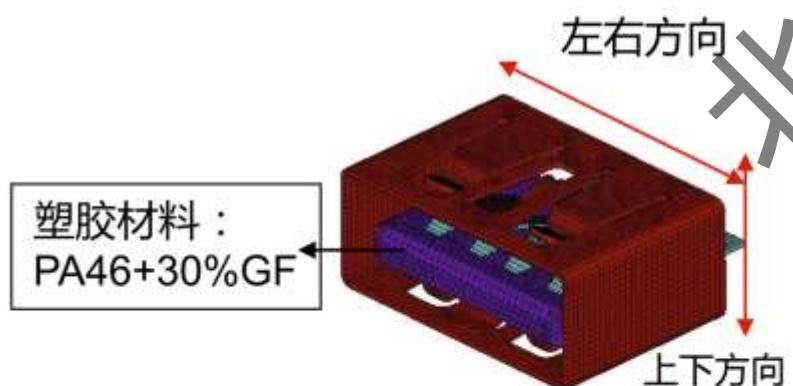
## 案例：USB连接器插拔力分析



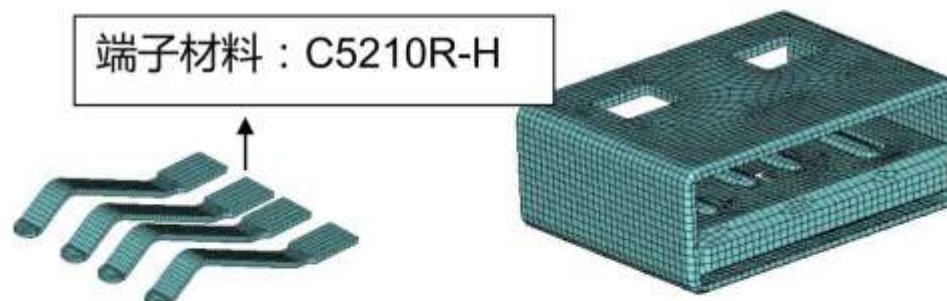
USB数据传输连接器的3D模型



USB数据传输连接器的有限元模型

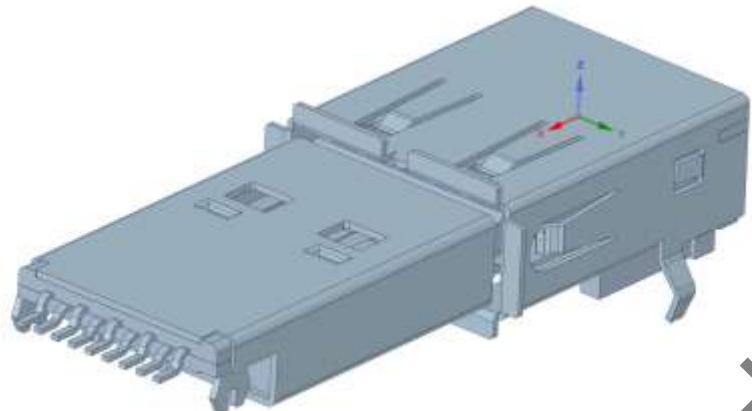


USB数据传输连接器的固定方向及各部份的材料



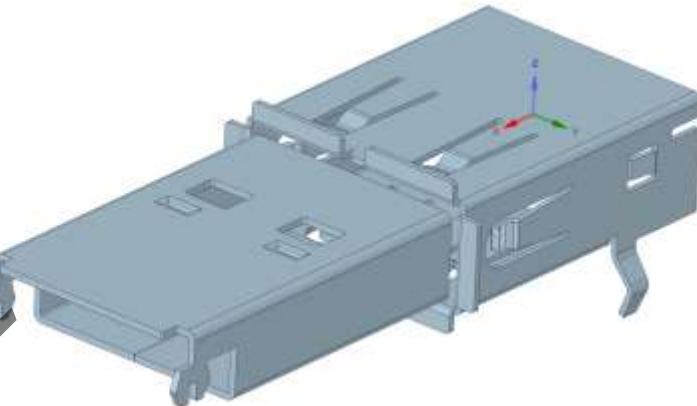
USB数据传输连接器的公端接触单元图

## 案例：USB连接器插拔力分析

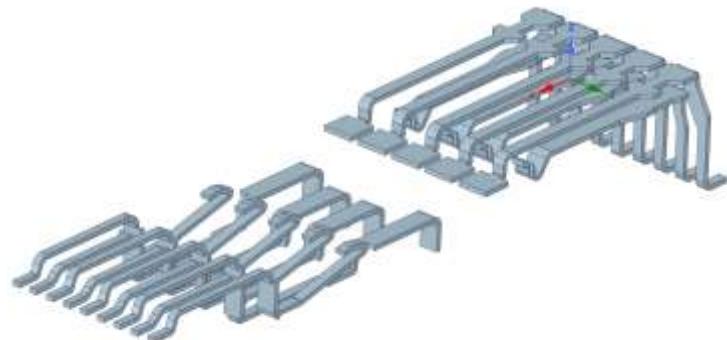


北京天源博通

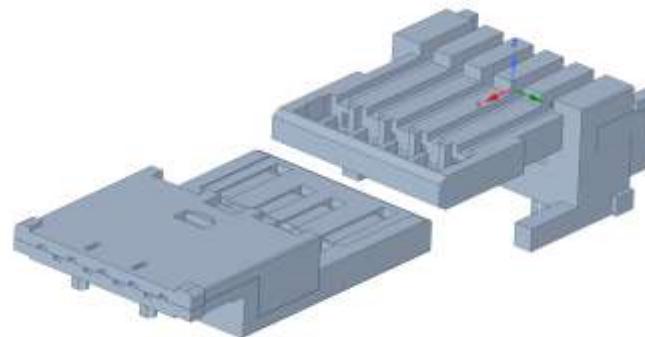
金属外壳  
C5191R-H



金属弹片  
C5210R-H



塑胶材料  
PA46+30%GF



# 案例：USB连接器插拔力分析

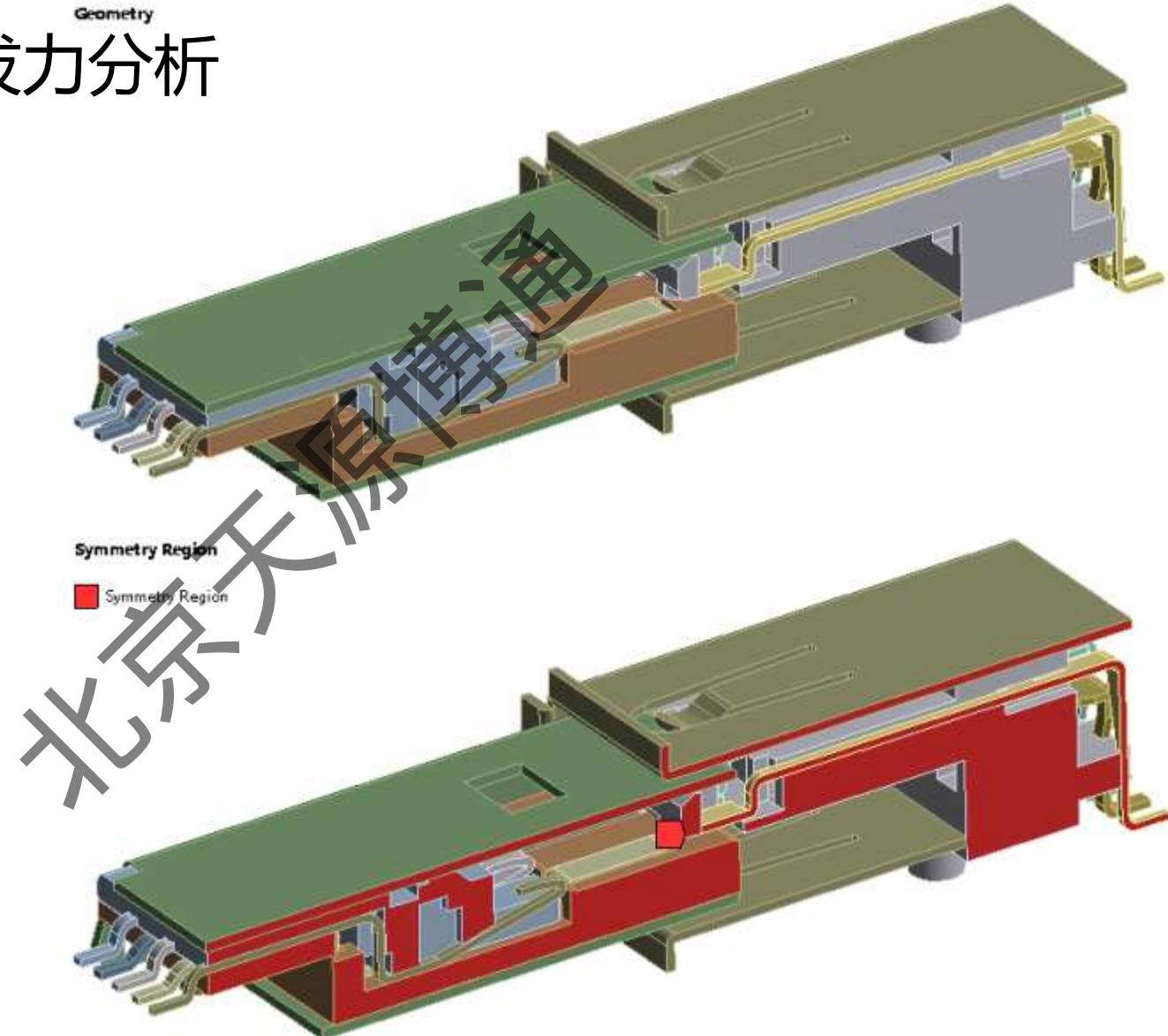
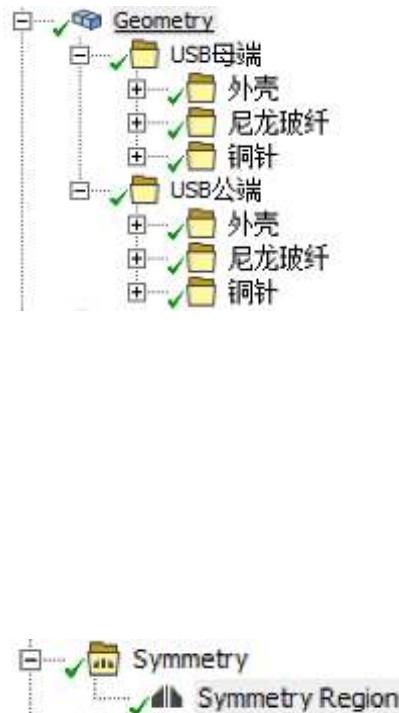
1	Contents of Engineering Data	Source	Description
2	Material		
3	Bronze C5191R-H	General_Materials.xml	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
4	Bronze C5230R-H	General_Materials.xml	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
5	PA46+30GF	General_Materials.xml	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1

A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	8910	kg m <sup>-3</sup>	
4	Isotropic Elasticity			
5	Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio		
6	Young's Modulus	1.097E+11	Pa	
7	Poisson's Ratio	0.345		
8	Bulk Modulus	1.1796E+11	Pa	
9	Shear Modulus	4.0781E+10	Pa	
10	Bilinear Isotropic Hardening			
11	Yield Strength	5.9E+08	Pa	
12	Tangent Modulus	1.097E+10	Pa	
13	Tensile Yield Strength	5.9E+08	Pa	
14	Tensile Ultimate Strength	7.05E+08	Pa	

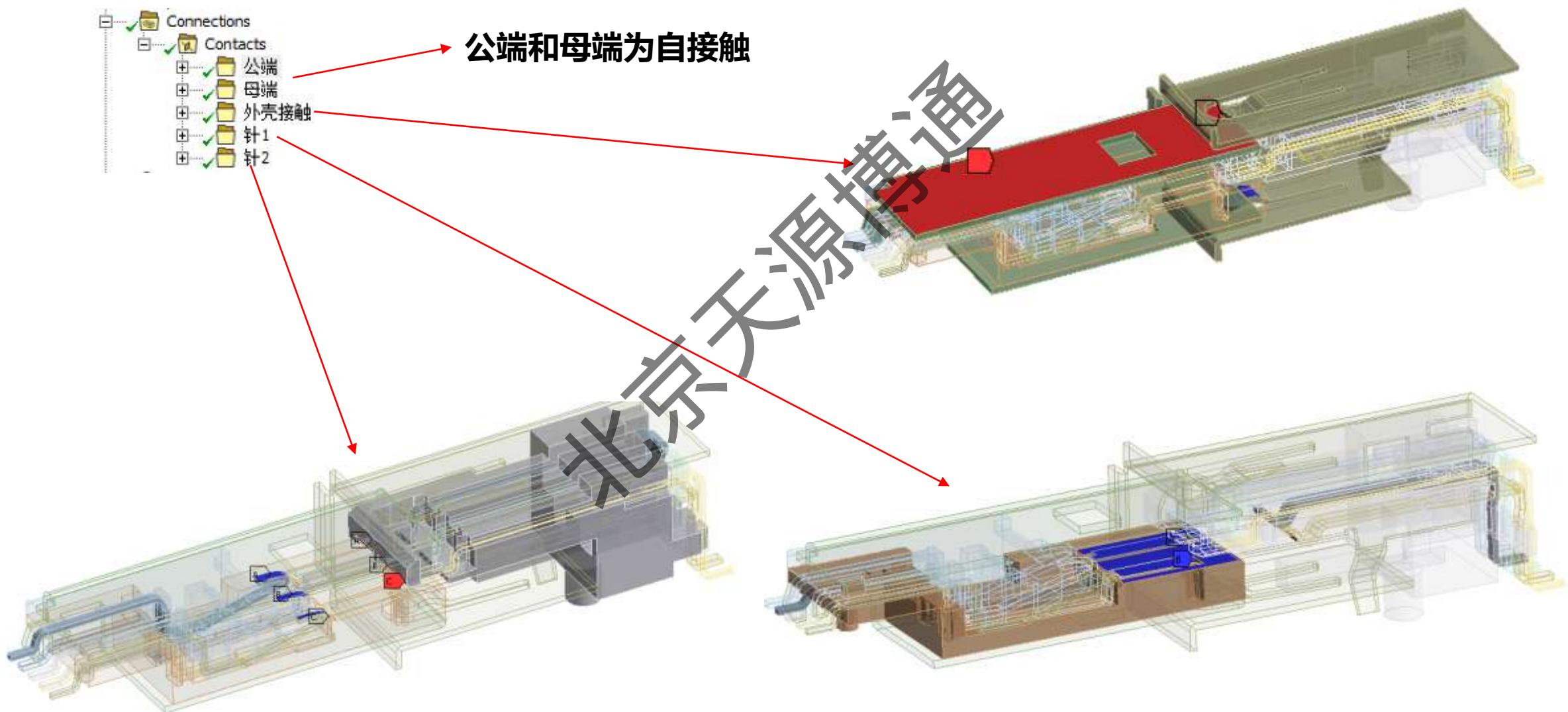
A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	8910	kg m <sup>-3</sup>	
4	Isotropic Elasticity			
5	Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio		
6	Young's Modulus	1.097E+11	Pa	
7	Poisson's Ratio	0.345		
8	Bulk Modulus	1.1796E+11	Pa	
9	Shear Modulus	4.0781E+10	Pa	
10	Bilinear Isotropic Hardening			
11	Yield Strength	5.9E+08	Pa	
12	Tangent Modulus	1.097E+10	Pa	
13	Tensile Yield Strength	5.9E+08	Pa	
14	Tensile Ultimate Strength	6.85E+08	Pa	

A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	1125	kg m <sup>-3</sup>	
4	Isotropic Elasticity			
5	Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio		
6	Young's Modulus	6.201E+09	Pa	
7	Poisson's Ratio	0.3613		
8	Bulk Modulus	7.4513E+09	Pa	
9	Shear Modulus	2.2776E+09	Pa	

# 案例：USB连接器插拔力分析



# 案例：USB连接器插拔力分析



# 案例：USB连接器插拔力分析



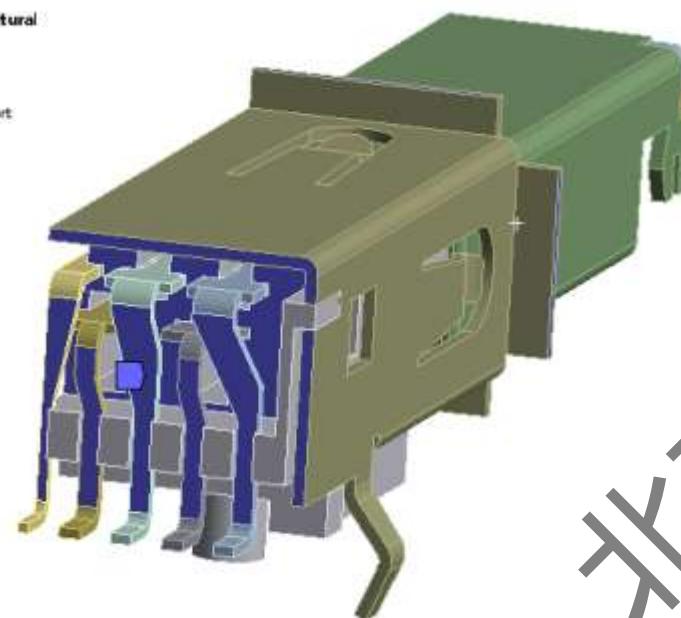
# 案例：USB连接器插拔力分析

A: Static Structural

Fixed Support

Time: 2 s

Fixed Support



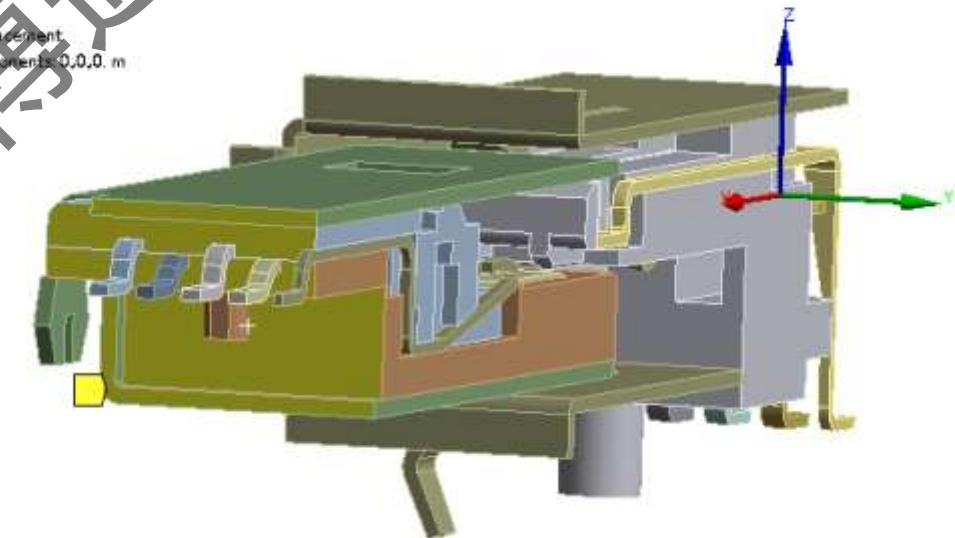
施加固定约束

A: Static Structural

Displacement

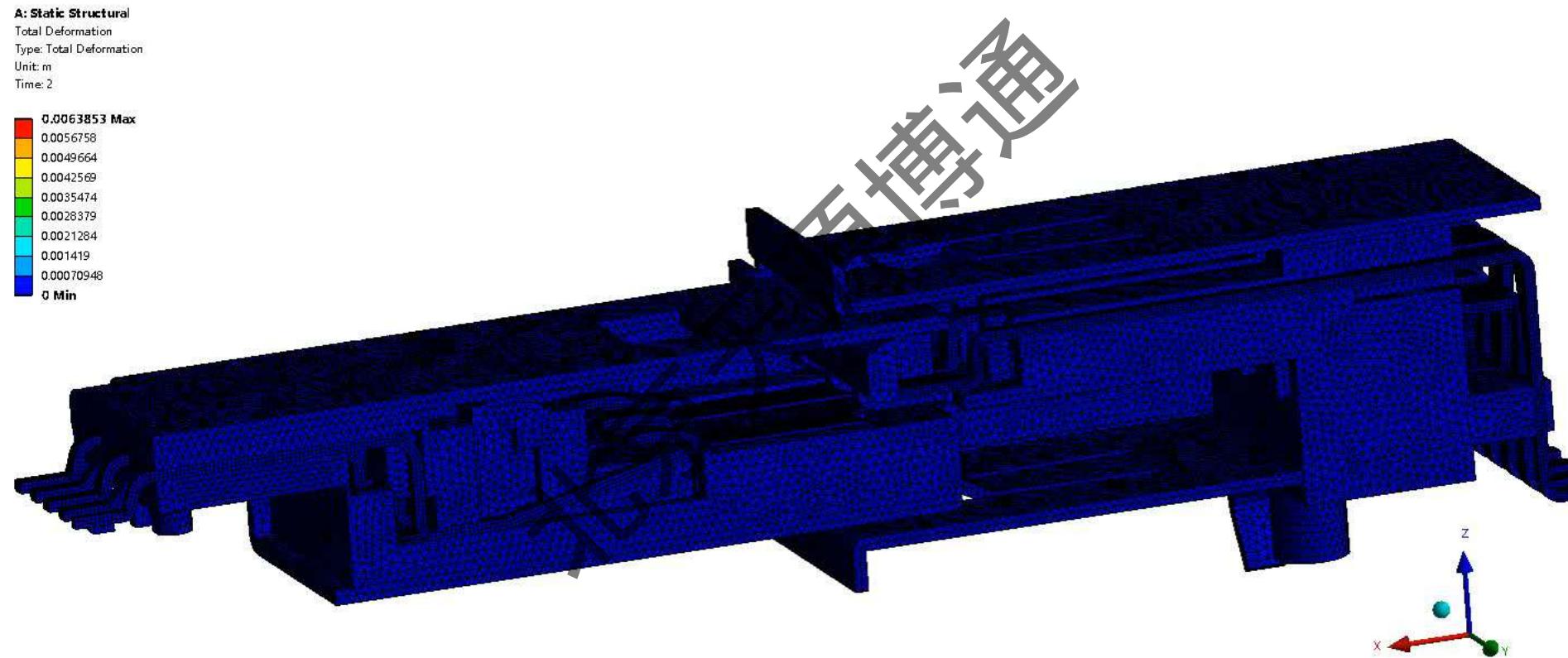
Time: 2 s

Displacement  
Components: 0,0,0 m

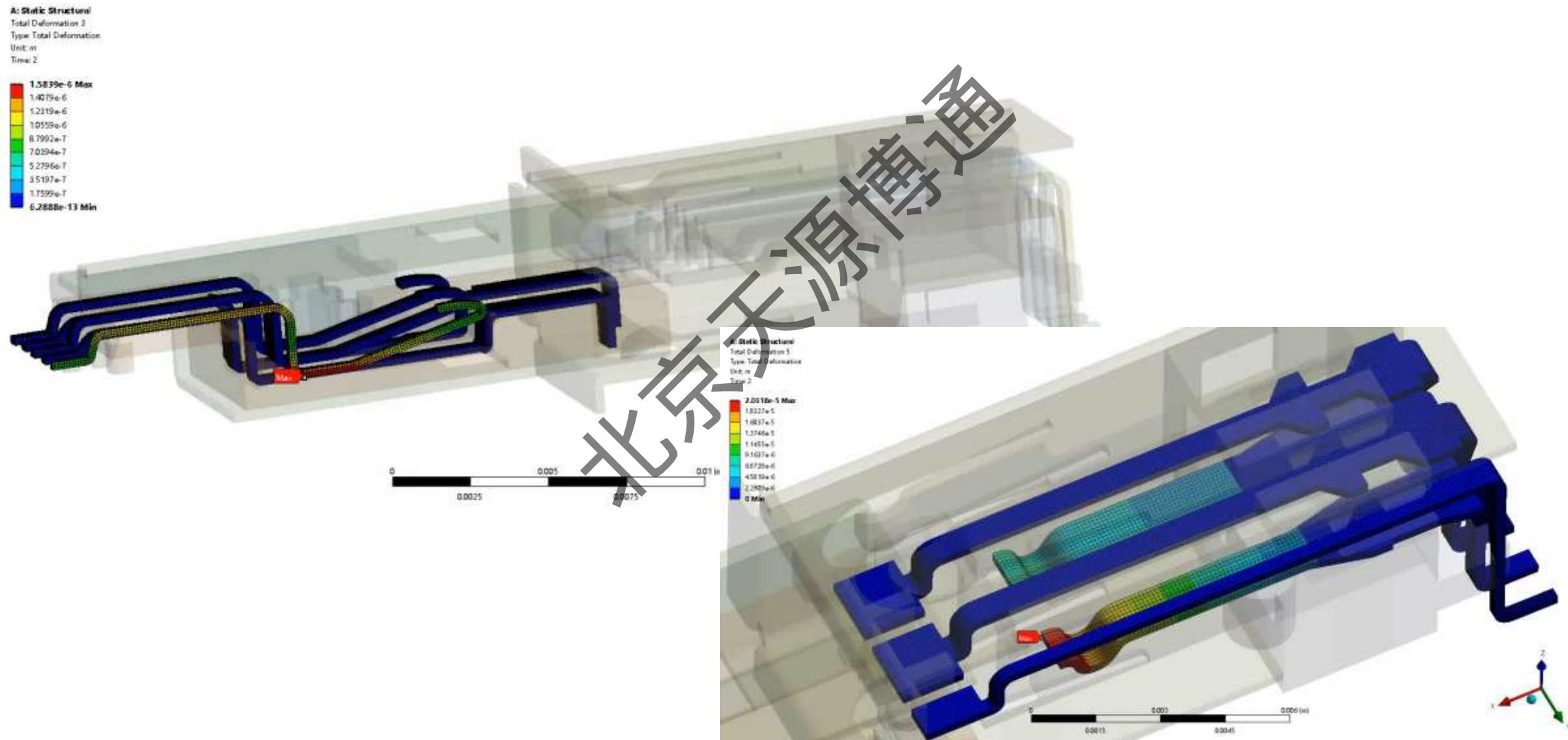


施加位移约束

# 案例：USB连接器插拔力分析

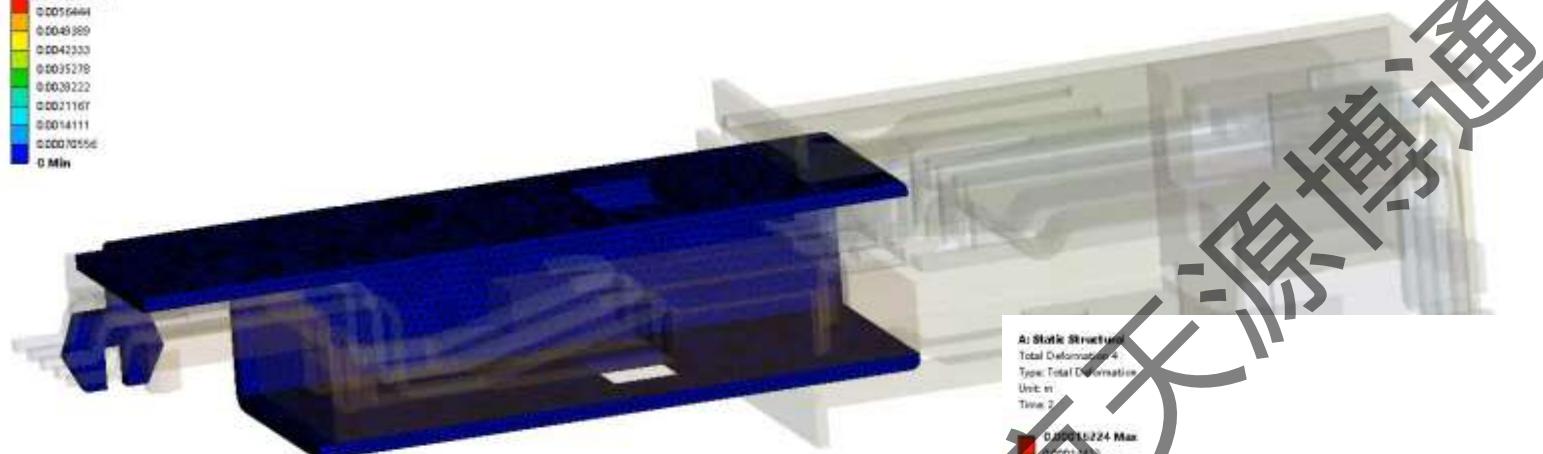
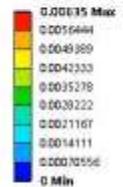


# 案例：USB连接器插拔力分析

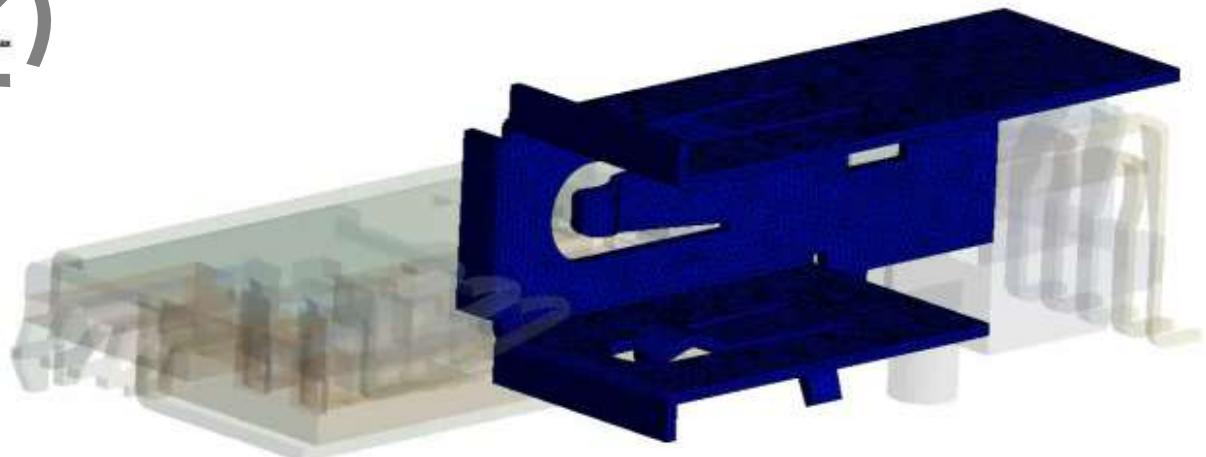


# 案例：USB连接器插拔力分析

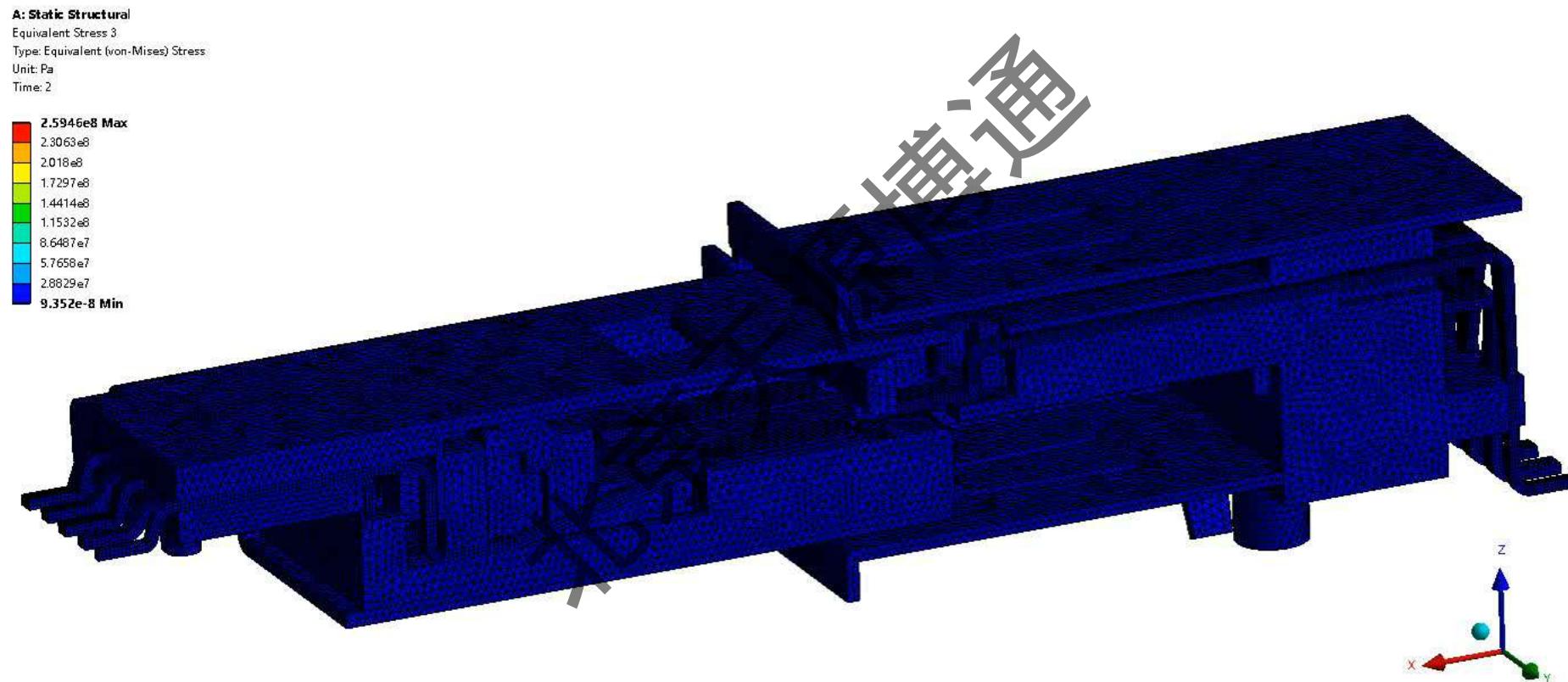
A: Static Structural  
Total Deformation: 2  
Type: Total Deformation  
Unit: m  
Time: 2



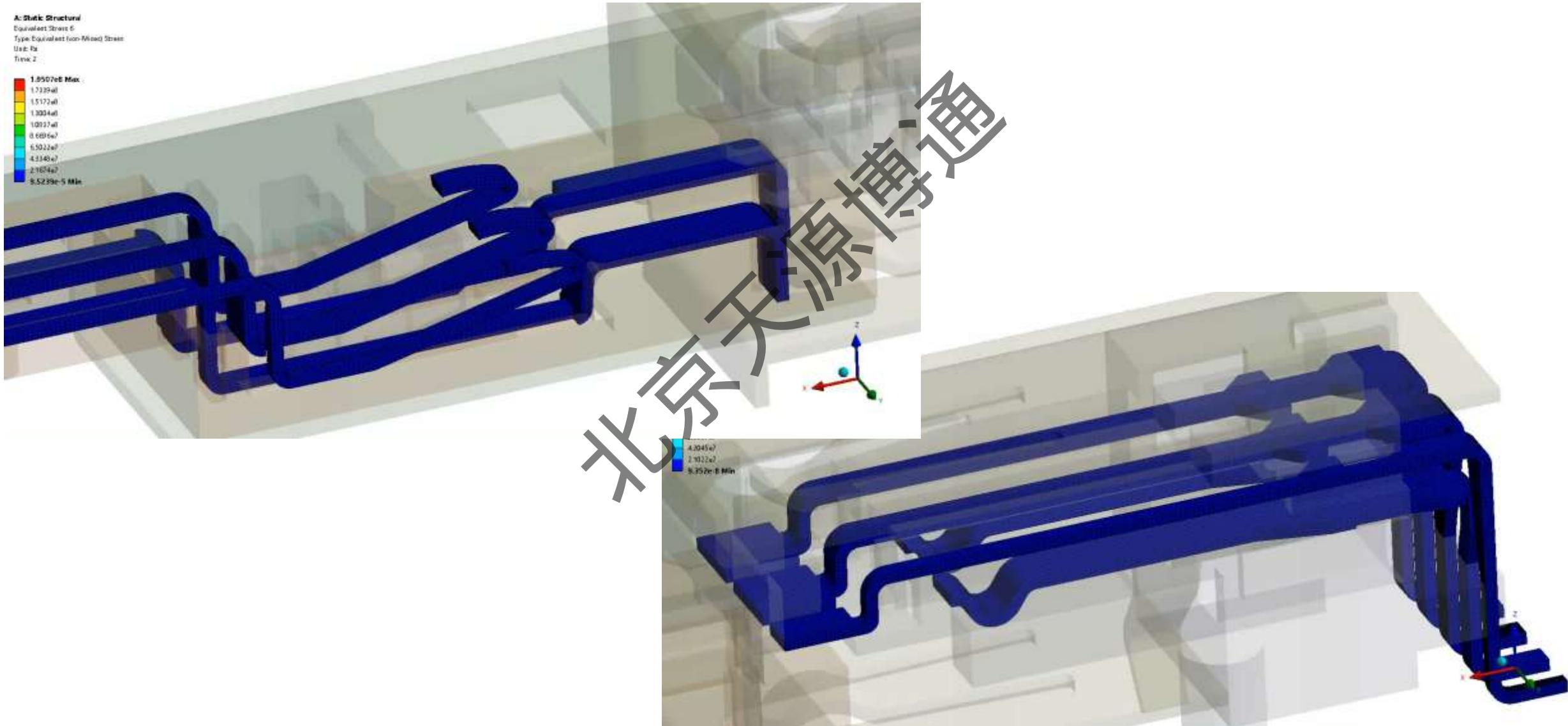
A: Static Structural  
Total Deformation: 4  
Type: Total Deformation  
Unit: m  
Time: 2



# 案例：USB连接器插拔力分析

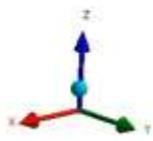
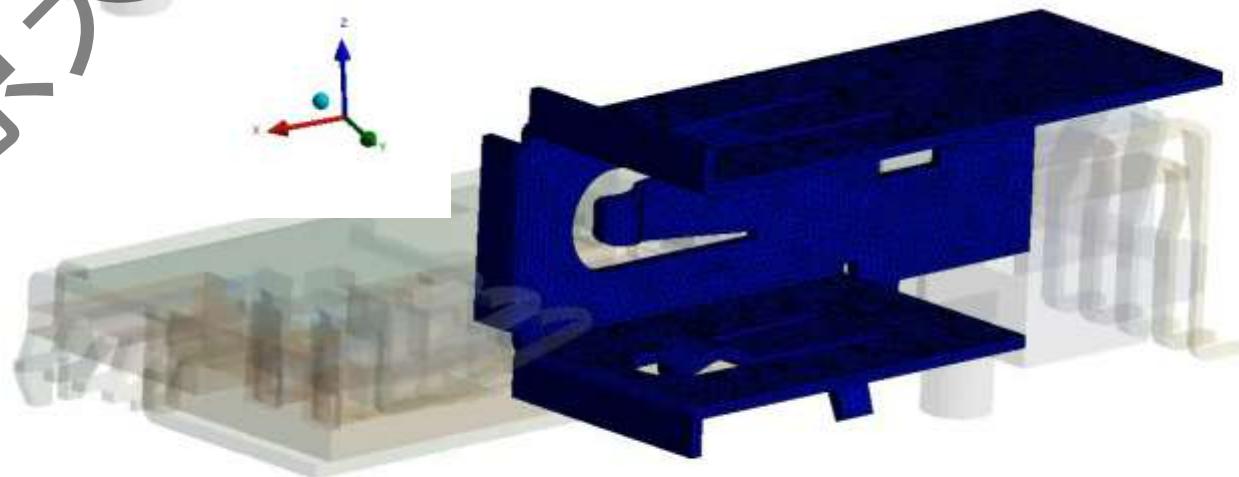
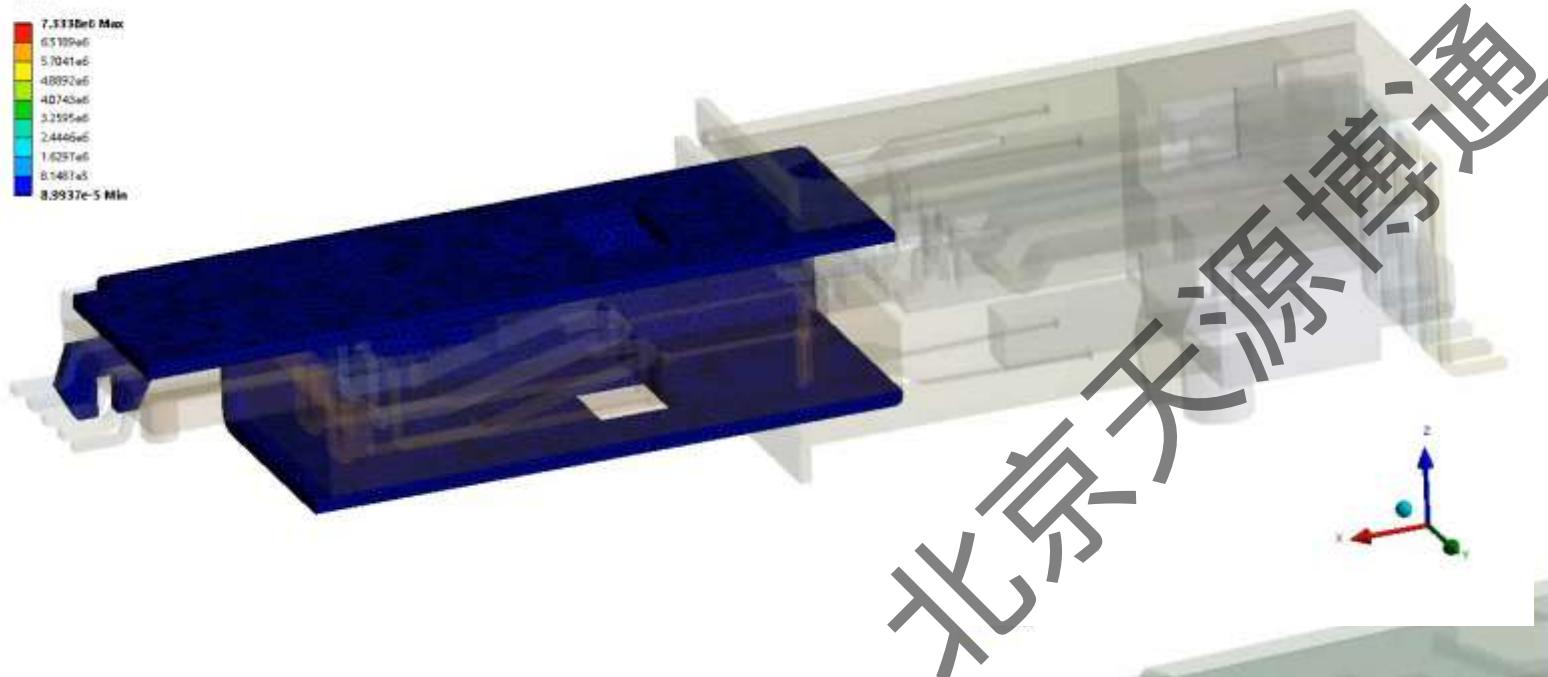
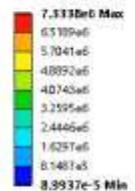


## 案例：USB连接器插拔力分析



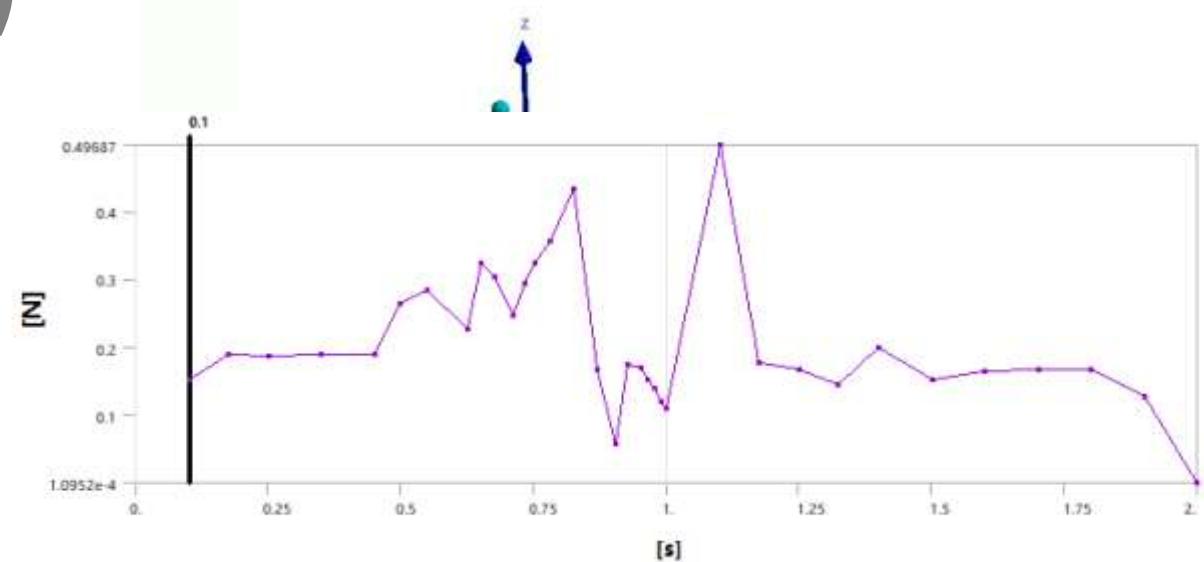
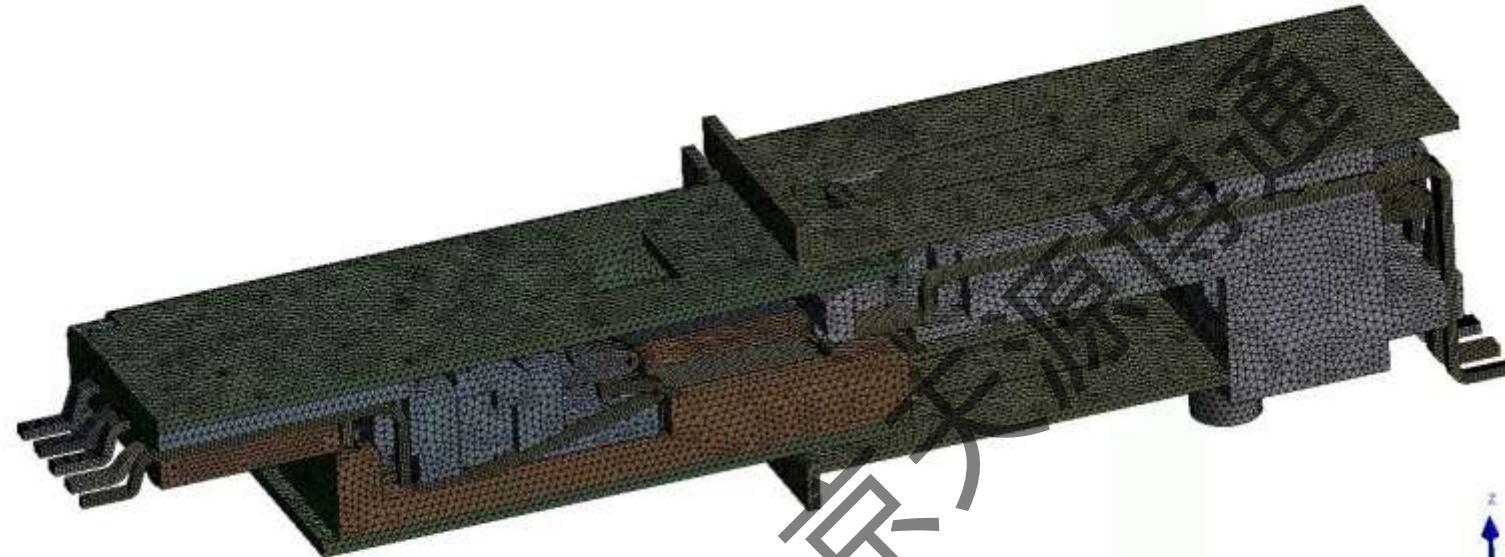
# 案例：USB连接器插拔力分析

A: Static Structural  
Equivalent Stress: 4  
Type: Equivalent (Iron-Mix) Stress  
Unit: Pa  
Time: 2



# 案例：USB连接器插拔力分析

A: Static Structural  
Force Reaction



北京天源博通

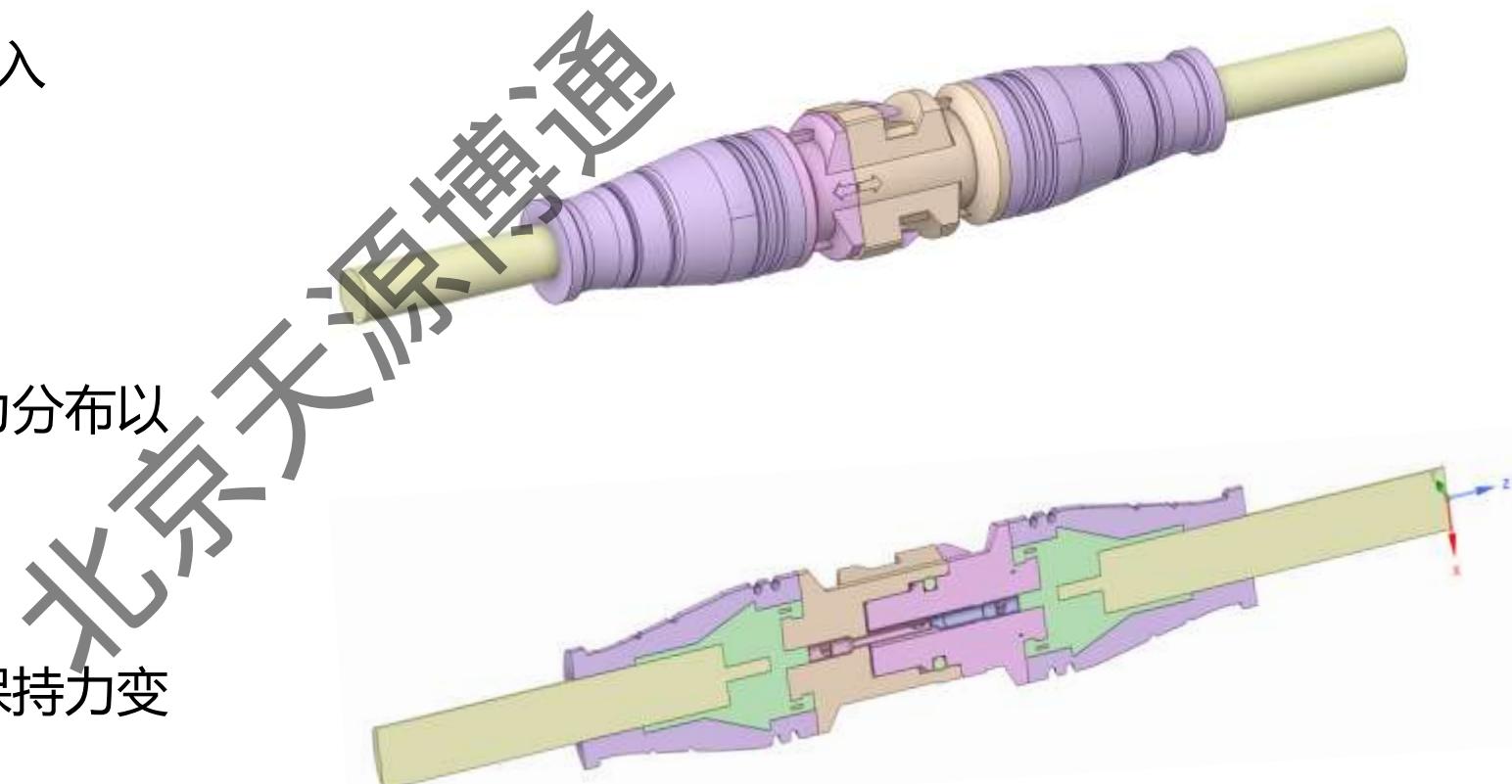
## 案例二：圆形防水连接器振动仿真

## 案例：圆形防水连接器振动仿真-背景

**仿真工况：**母端固定，公端插入  
11mm后拔出

### 期望结果：

- 插拔过程中外壳和弹片应力分布以及大小，找出危险点
- 插拔力大小以及变化过程
- 连接器正弦振动以后端子保持力变化情况



# 案例：圆形防水连接器振动仿真

## 主要性能特点

PIN针材料名称：C15100

A	B	
属性	值	
材料场变量	表格	
密度	8500	kg m <sup>-3</sup>
各向同性弹性		
衍生于	杨氏模量与泊松比	
杨氏模量	1.05E+11	Pa
泊松比	0.34	
体积模量	1.0938E+11	Pa
剪切模量	3.9179E+10	Pa

密度：8500Kg/m<sup>3</sup>

弹性模量：1.05E11Pa

泊松比：0.34

屈服强度：409.9MPa

极限强度：495MPa

### 1. 高导电导热性

### 2. 优异的机械性能

• 强度适中：耐热性突出：抗蠕变性能好

### 3. 良好的加工性能

• 优异的冷成型性和热成型性

• 优良的铜焊和锡焊接性能

• 便于加工成各种复杂形状的零件

### 4. 耐腐蚀性能

类似纯铜，在大气、淡水和海水中耐蚀性良好，抗电蚀性能优于纯铜

## 主要应用领域

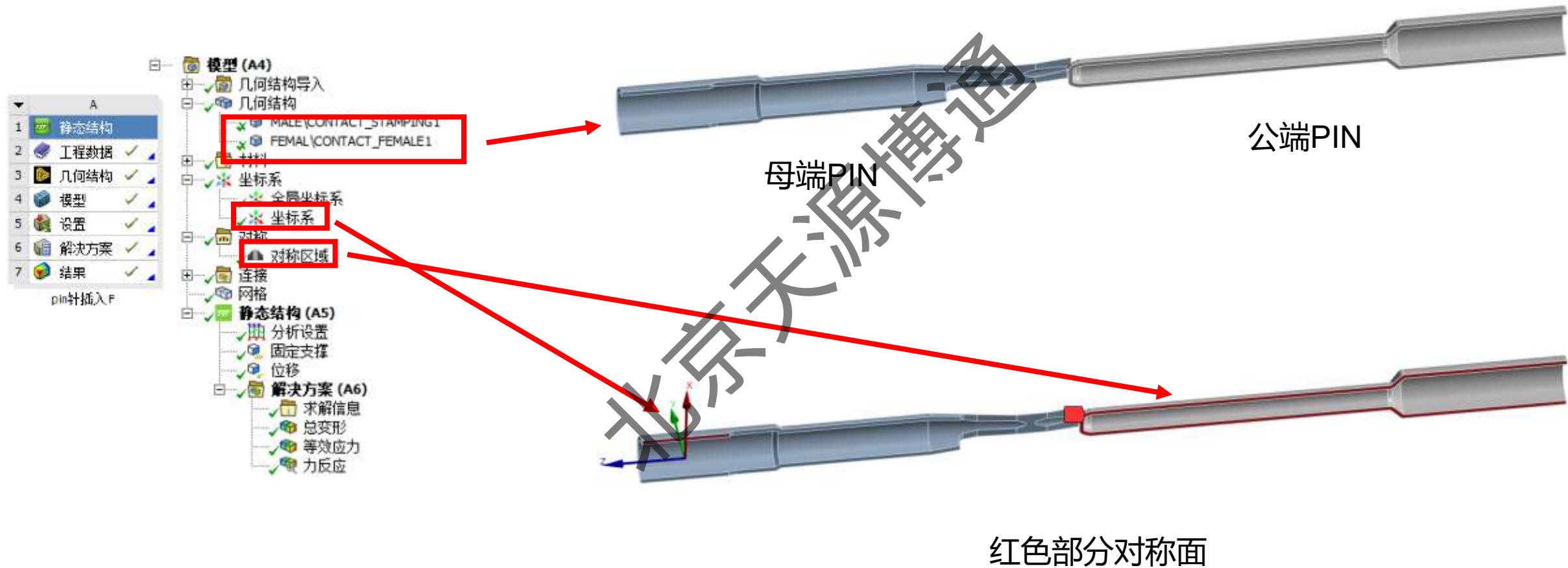
• **连接器**：信号连接器、电源连接器、微型化连接器

• **开关继电器**：高压触电、电路触头、接触弹簧

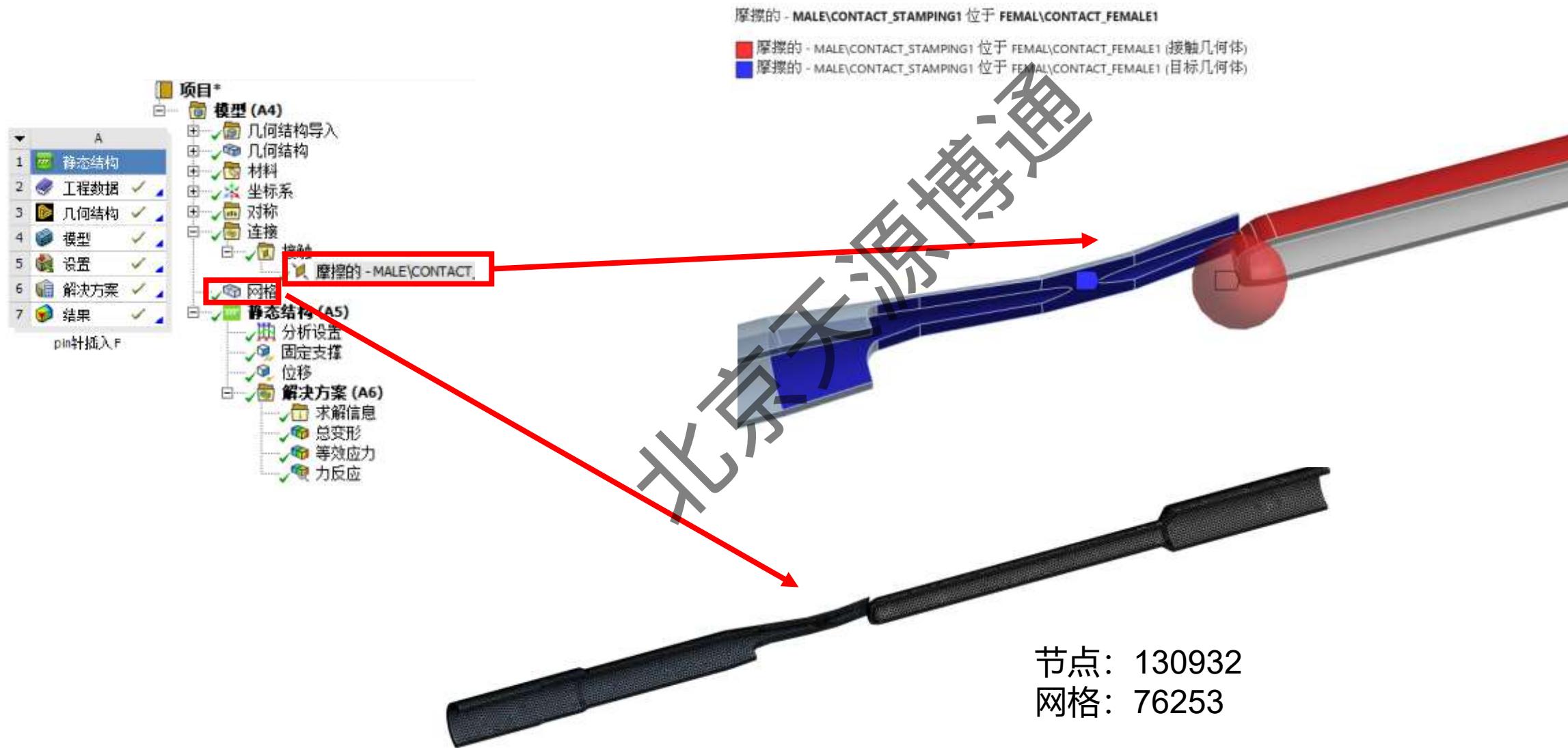
• **引线框架**：大功率半导体引线框架、集成电路引线框架

• **端子**：大电流流经的端子、电气连接器

## 案例：圆形防水连接器振动仿真



# 案例：圆形防水连接器振动仿真-插拔



# 案例：圆形防水连接器振动仿真-插拔

项目\*

A

1 静态结构

2 工程数据

3 几何结构

4 模型

5 设置

6 解决方案

7 结果

pin针插入 F

模型 (A4)

几何结构导入

几何结构

材料

坐标系

对称

连接

接触

摩擦的 - MALE\CONTACT\_

网格

静态结构 (A5)

分析设置

固定支撑

位移

解决方案 (A6)

求解信息

总变形

等效应力

力反应

pin针插入 F

模型 (A4)

几何结构导入

几何结构

材料

坐标系

对称

连接

接触

摩擦的 - MALE\CONTACT\_

网格

静态结构 (A5)

分析设置

固定支撑

位移

解决方案 (A6)

求解信息

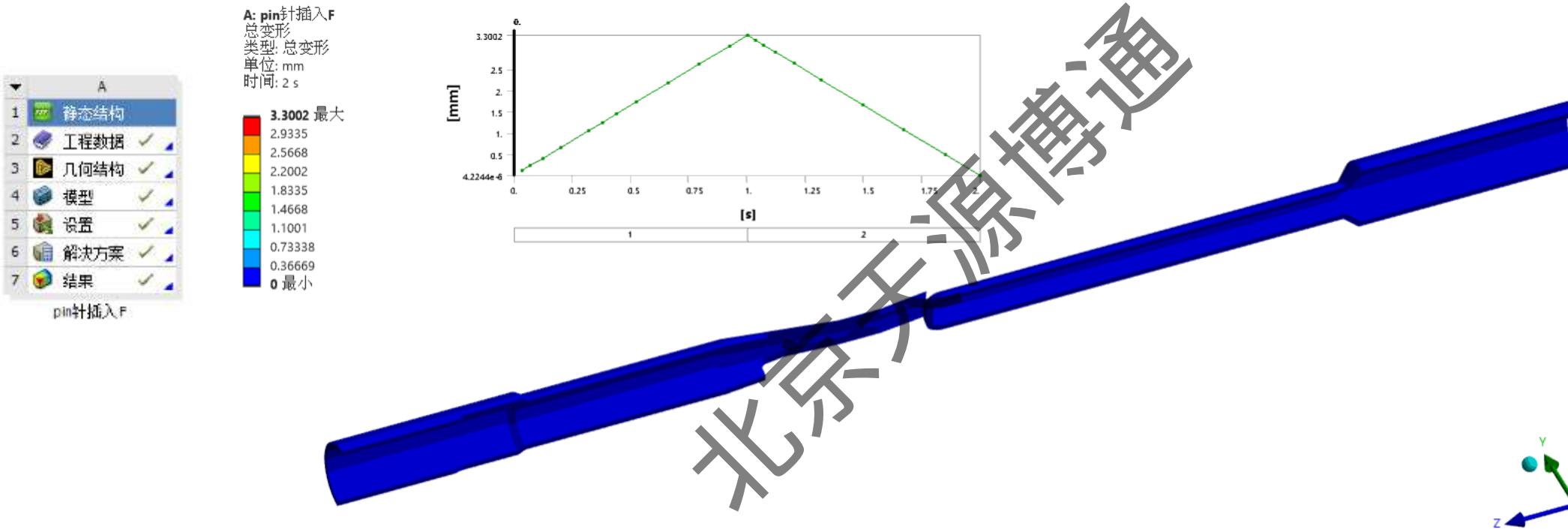
总变形

等效应力

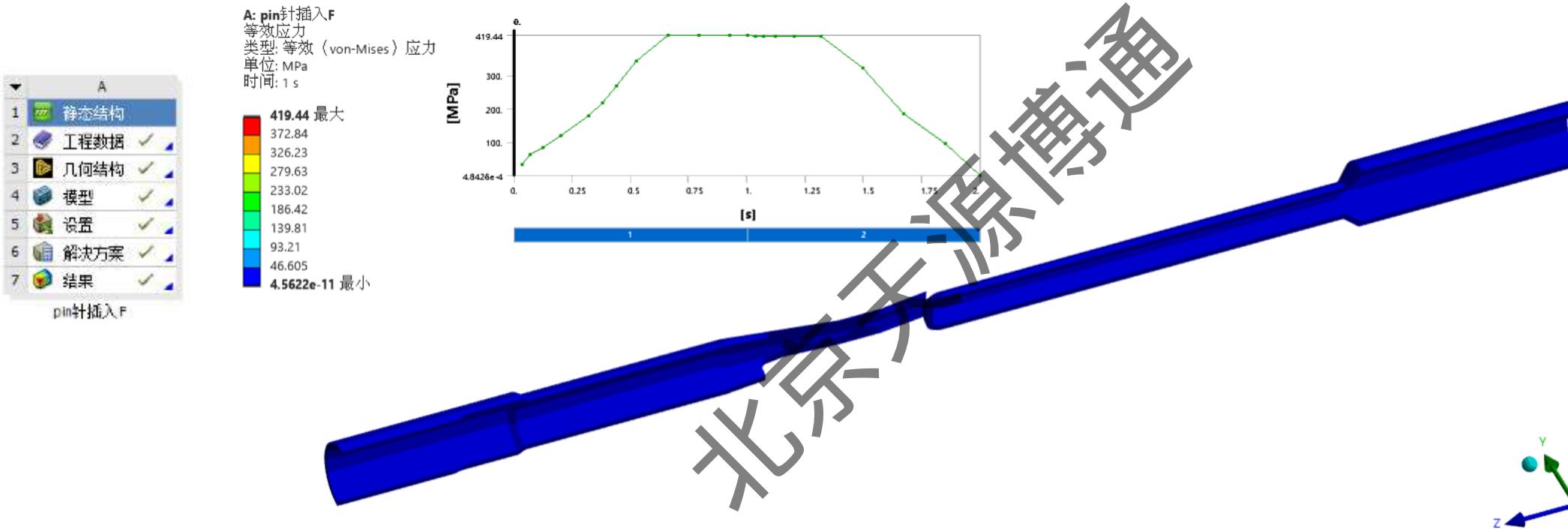
力反应

pin针插入 F
模型 (A4)
几何结构导入
几何结构
材料
坐标系
对称
连接
接触
摩擦的 - MALE\CONTACT\_
网格
静态结构 (A5)
分析设置
固定支撑
位移
解决方案 (A6)
求解信息
总变形
等效应力
力反应
pin针插入 F
模型 (A4)
几何结构导入
几何结构
材料
坐标系
对称
连接
接触
摩擦的 - MALE\CONTACT\_
网格
静态结构 (A5)
分析设置
固定支撑
位移
解决方案 (A6)
求解信息
总变形
等效应力
力反应
pin针插入 F
模型 (A4)
几何结构导入
几何结构
材料
坐标系
对称
连接
接触
摩擦的 - MALE\CONTACT\_
网格
静态结构 (A5)
分析设置
固定支撑
位移
解决方案 (A6)
求解信息
总变形
等效应力
力反应
pin针插入 F
模型 (A4)
几何结构导入
几何结构
材料
坐标系
对称
连接
接触
摩擦的 - MALE\CONTACT\_
网格
静态结构 (A5)
分析设置
固定支撑
位移
解决方案 (A6)
求解信息
总变形
等效应力
力反应
pin针插入 F
模型 (A4)
几何结构导入
几何结构
材料
坐标系
对称
连接
接触
摩擦的 - MALE\CONTACT\_
网格
静态结构 (A5)
分析设置
固定支撑
位移
解决方案 (A6)
求解信息
总变形
等效应力
力反应
pin针插入 F
模型 (A4)
几何结构导入
几何结构
材料
坐标系
对称
连接
接触
摩擦的 - MALE\CONTACT\_
网格
静态结构 (A5)
分析设置
固定支撑
位移
解决方案 (A6)
求解信息
总变形
等效应力
力反应
pin针插入 F
模型 (A4)
几何结构导入
几何结构
材料
坐标系
对称
连接
接触
摩擦的 - MALE\CONTACT\_
网格
静态结构 (A5)
分析设置
固定支撑
位移
解决方案 (A6)
求解信息
总变形
等效应力
力反应
pin针插入 F
模型 (A4)
几何结构导入
几何结构
材料
坐标系
对称
连接
接触
摩擦的 - MALE\CONTACT\_
网格
静态结构 (A5)
分析设置
固定支撑
位移
解决方案 (A6)
求解信息
总变形
等效应力
力反应
pin针插入 F
模型 (A4)
几何结构导入
几何结构
材料
坐标系
对称
连接
接触
摩擦的 - MALE\CONTACT\_
网格
静态结构 (A5)
分析设置
固定支撑
位移
解决方案 (A6)
求解信息
总变形
等效应力
力反应
pin针插入 F
模型 (A4)
几何结构导入
几何结构

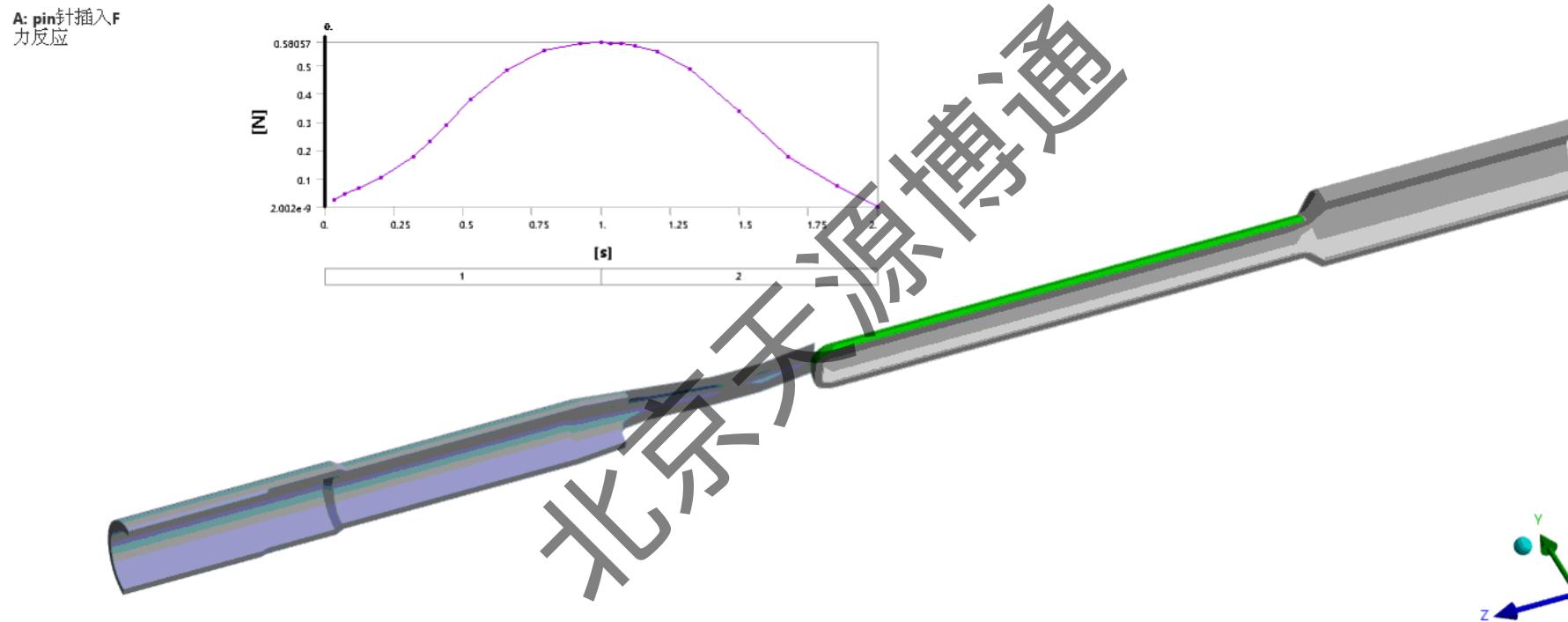
# 案例：圆形防水连接器振动仿真-插拔



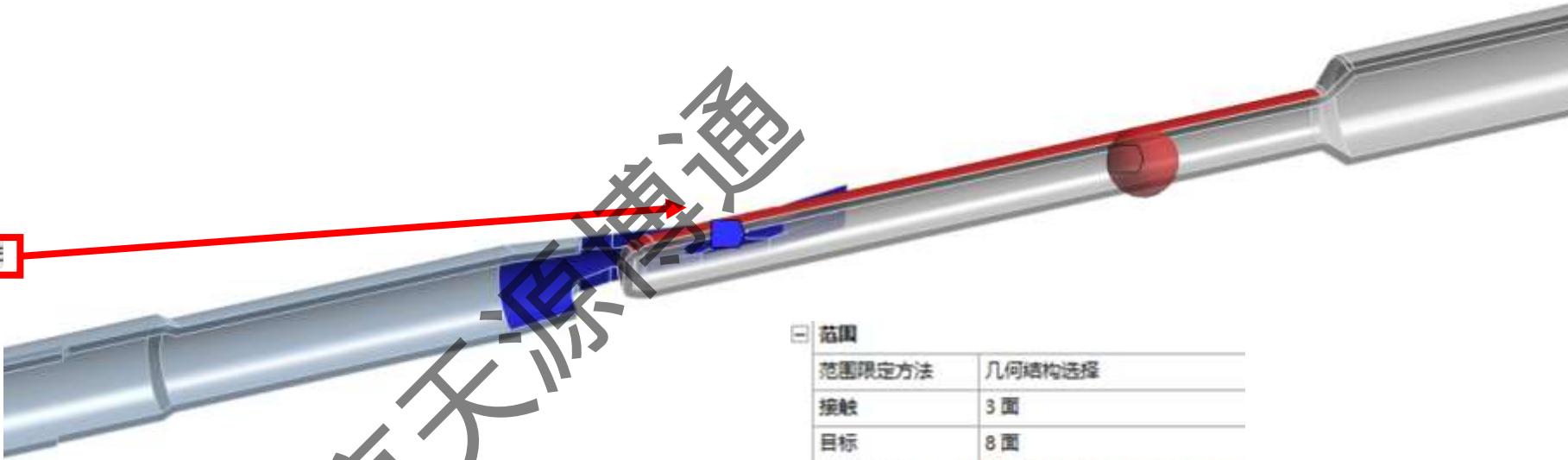
# 案例：圆形防水连接器振动仿真-插拔



## 案例：圆形防水连接器振动仿真-插拔



# 案例：圆形防水连接器振动仿真-振动



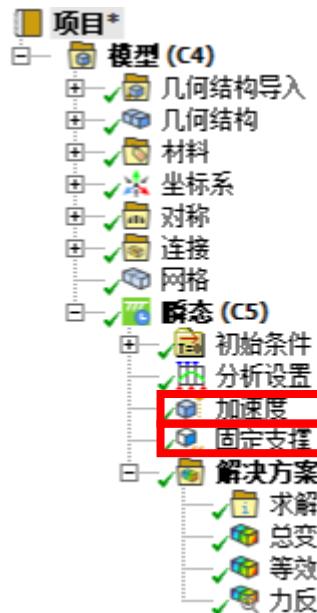
北京天源神通

项目\*  
模型 (C4)  
几何结构导入  
几何结构  
材料  
坐标系  
对称  
连接  
接触  
无摩擦 - MALE  
网格  
瞬态 (C5)  
初始条件  
分析设置  
加速度  
固定支撑  
解决方案 (C6)  
求解信息  
总变形  
等效应力  
力反应

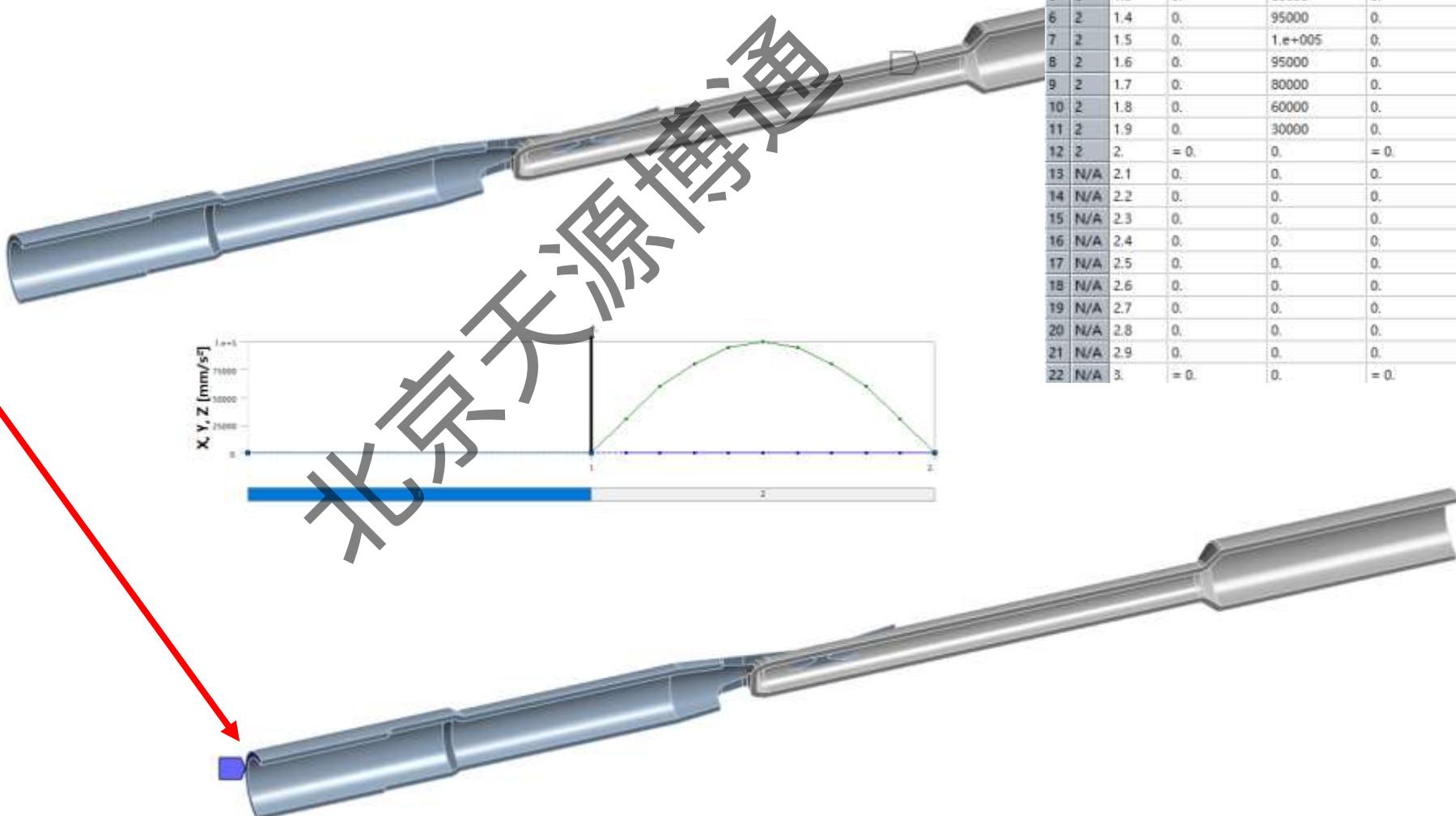
瞬态结构  
工程数据  
几何结构  
模型  
设置  
解决方案  
结果  
pin针接触+冲击 F

范围	
范围限定方法	几何结构选择
接触	3 面
目标	8 面
接触几何体	MALE\CONTACT_STAMPIN...
目标几何体	FEMAL\CONTACT_FEMALE1
受保护的	否
定义	
类型	无摩擦
范围模式	手动
行为	自动非对称
修剪接触	程序控制
接触APDL名称	
目标APDL名称	
抑制	否
对象ID (Beta)	40

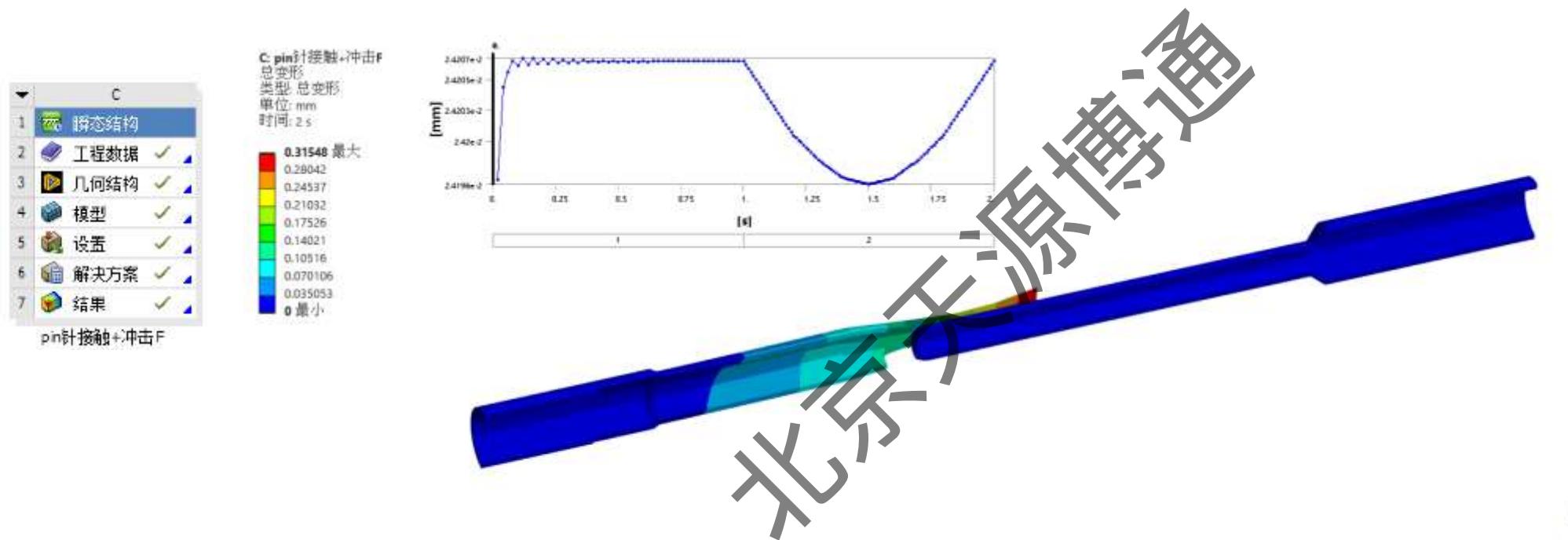
# 案例：圆形防水连接器振动仿真-振动



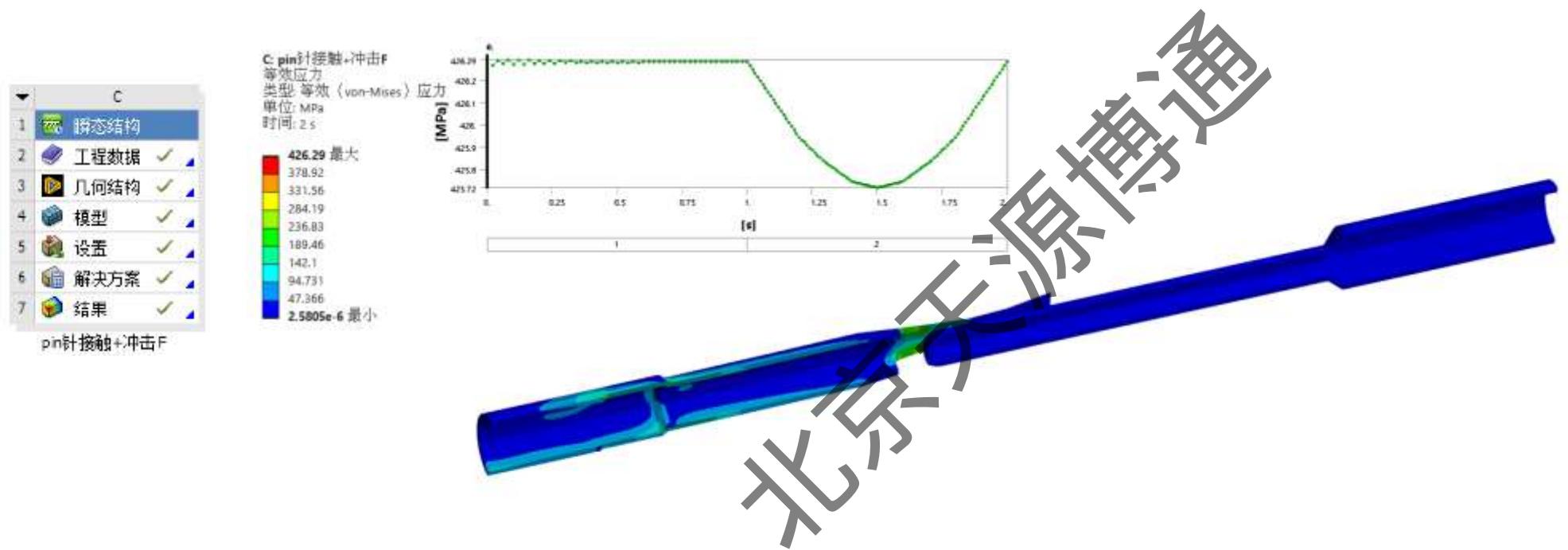
属性	步骤 1	步骤 2
步进控制		
步进结束时间	1.	2.
自动时步	打开	打开
定义依据	子步	时间
携带时步	N/A	关闭
初始步	10	N/A
最小子步	1	N/A
最大子步	50	N/A
初始时步	N/A	1.e-002
最小时步	N/A	1.e-002
最大时步	N/A	1.
时间积分	打开	打开



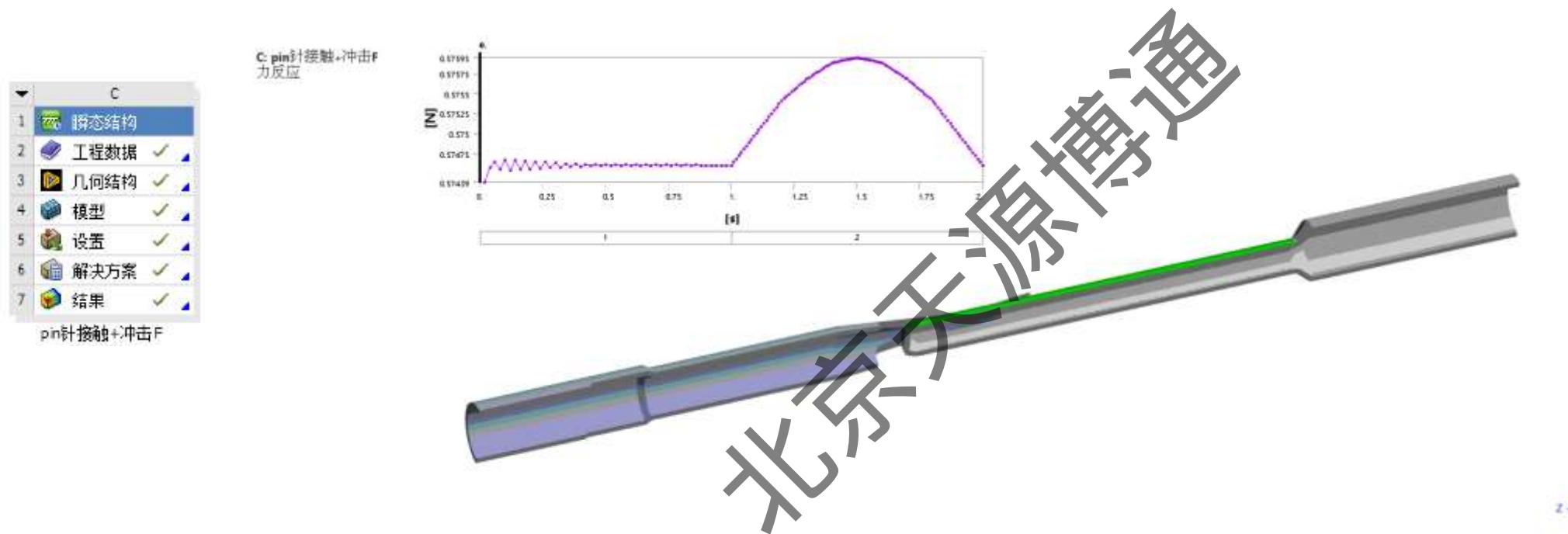
# 案例：圆形防水连接器振动仿真-振动



# 案例：圆形防水连接器振动仿真-振动



# 案例：圆形防水连接器振动仿真-振动

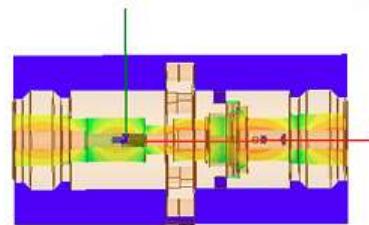
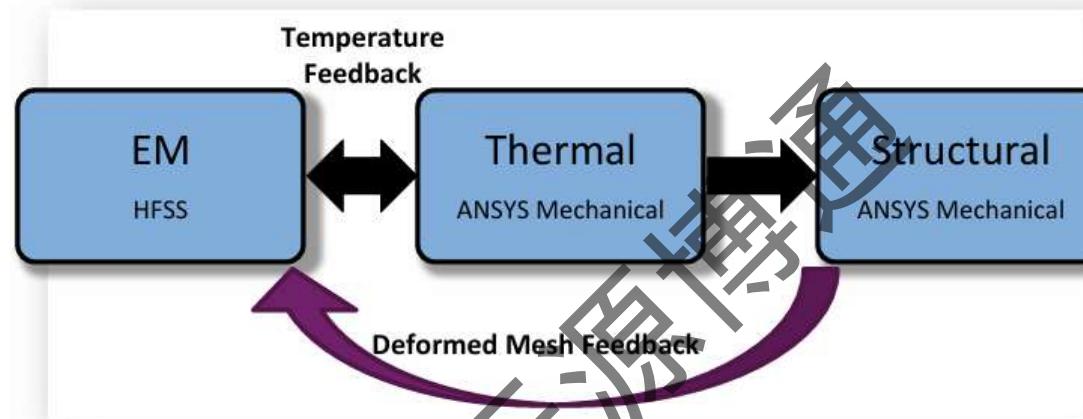




北京天源博通

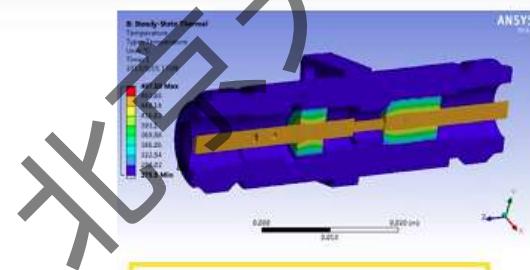
## 案例三：N型连接器多物理场可靠性仿真

# 案例：N型连接器多物理场可靠性仿真



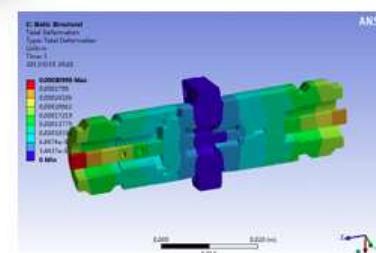
**EM Analysis**

温变材料特性  
HFSS进行射频连接器的电磁仿真



**Thermal Analysis**

应用于热对流以及其他热效应分析的边界条件  
温度反馈回HFSS

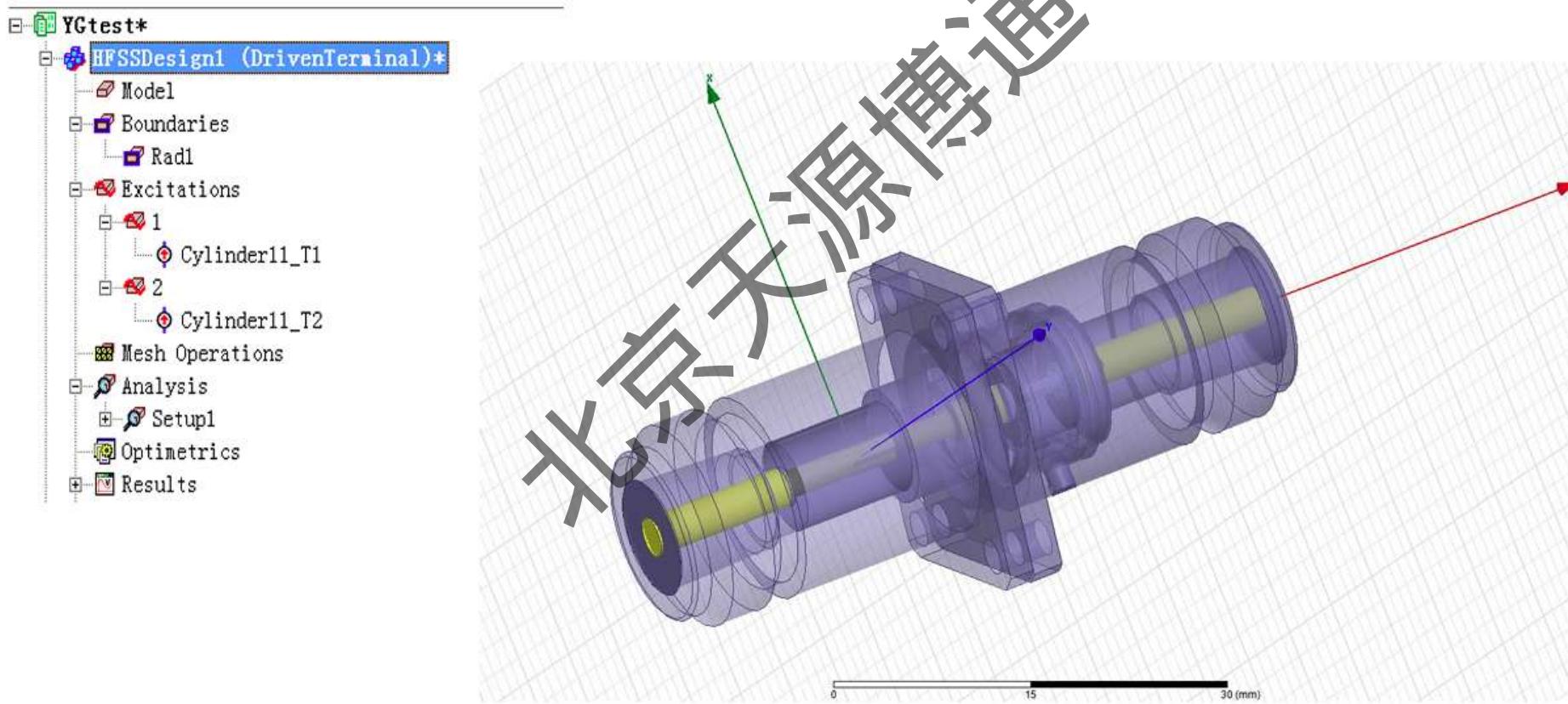


**Structural Analysis**

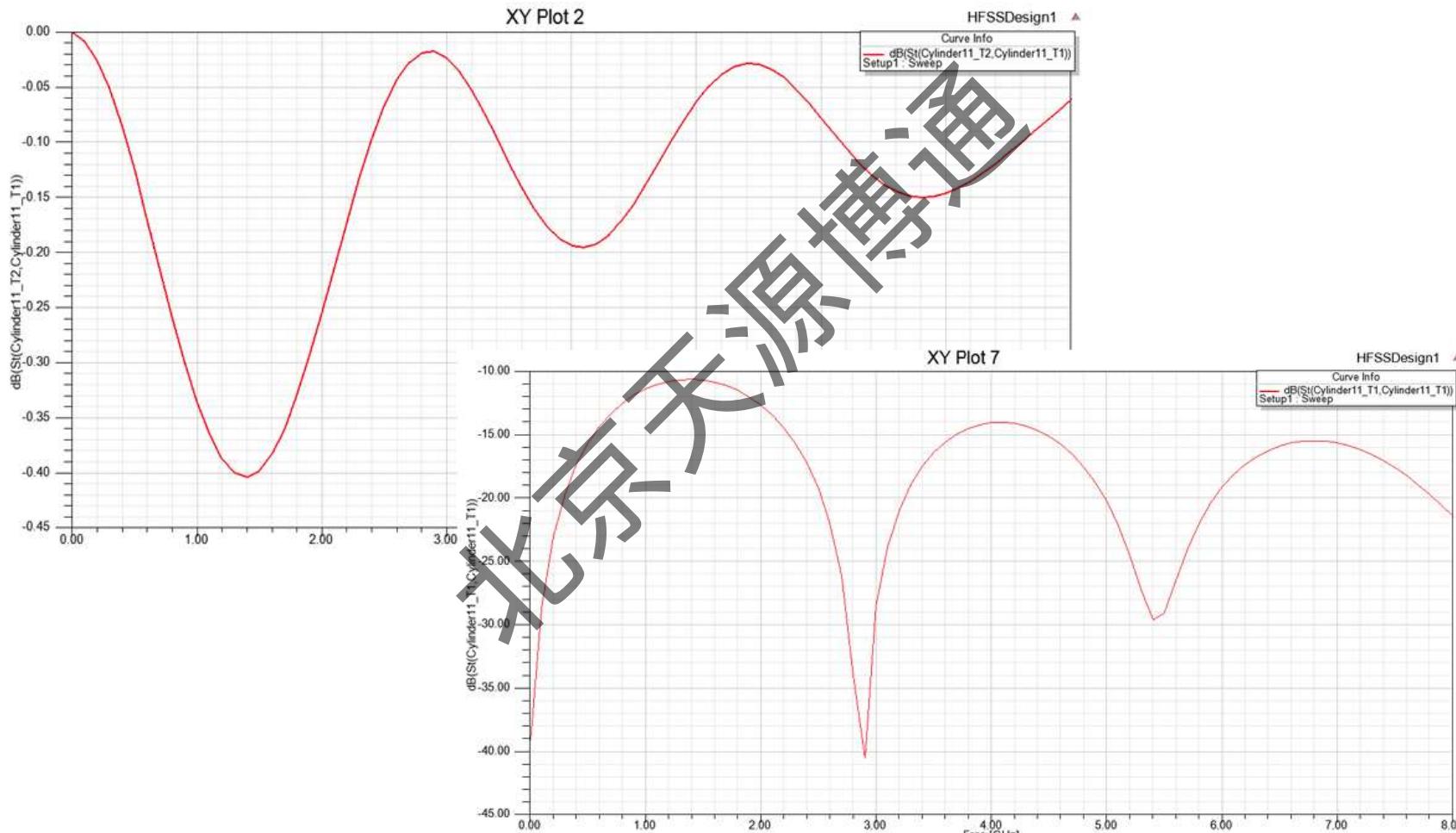
结构边界条件以及热应力分析  
网格形变反馈回HFSS

# 案例：电磁场仿真-HFSS

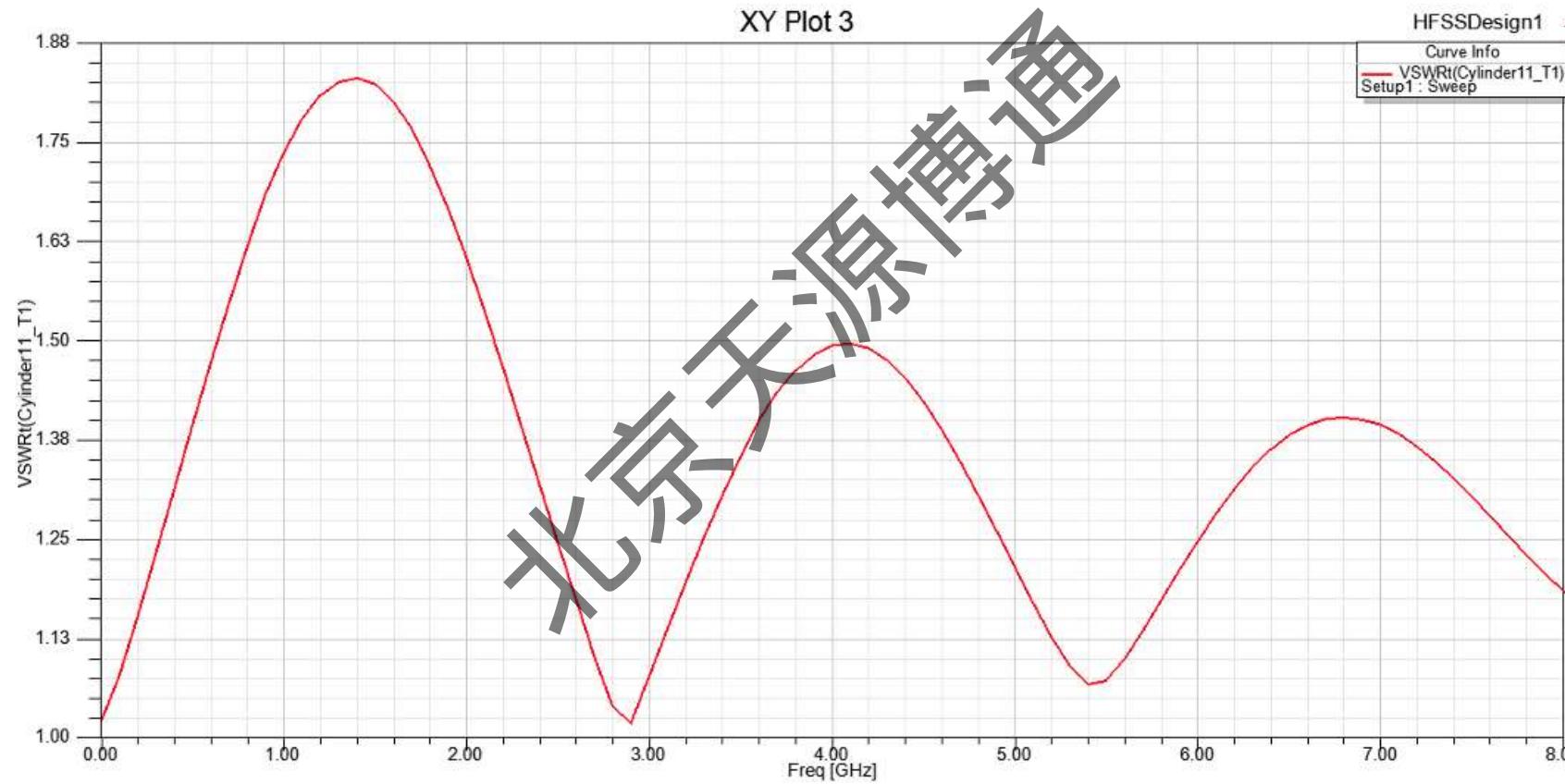
- 3D模型及仿真设置



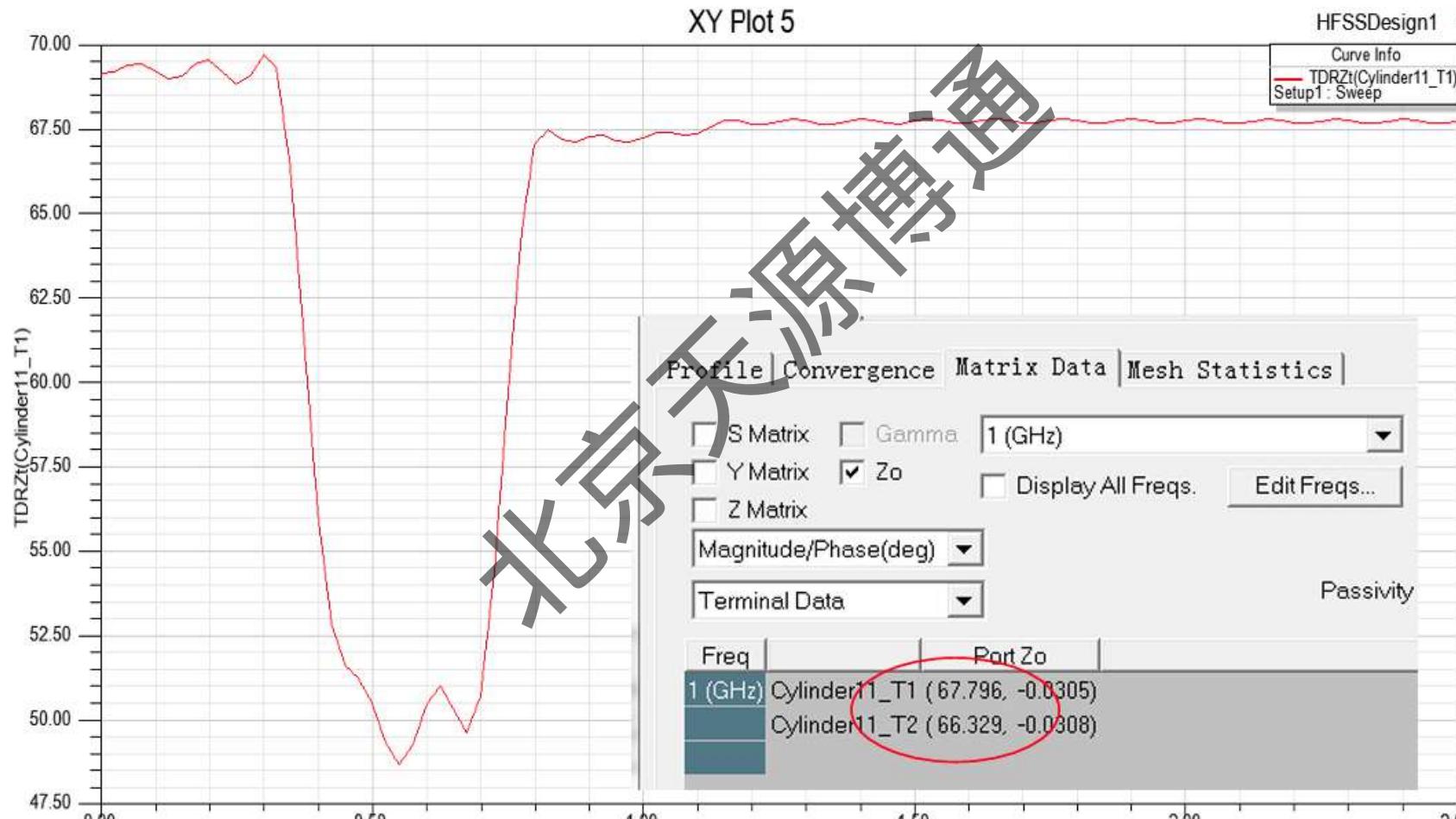
## 案例：插入损耗回波损耗-S21/S11



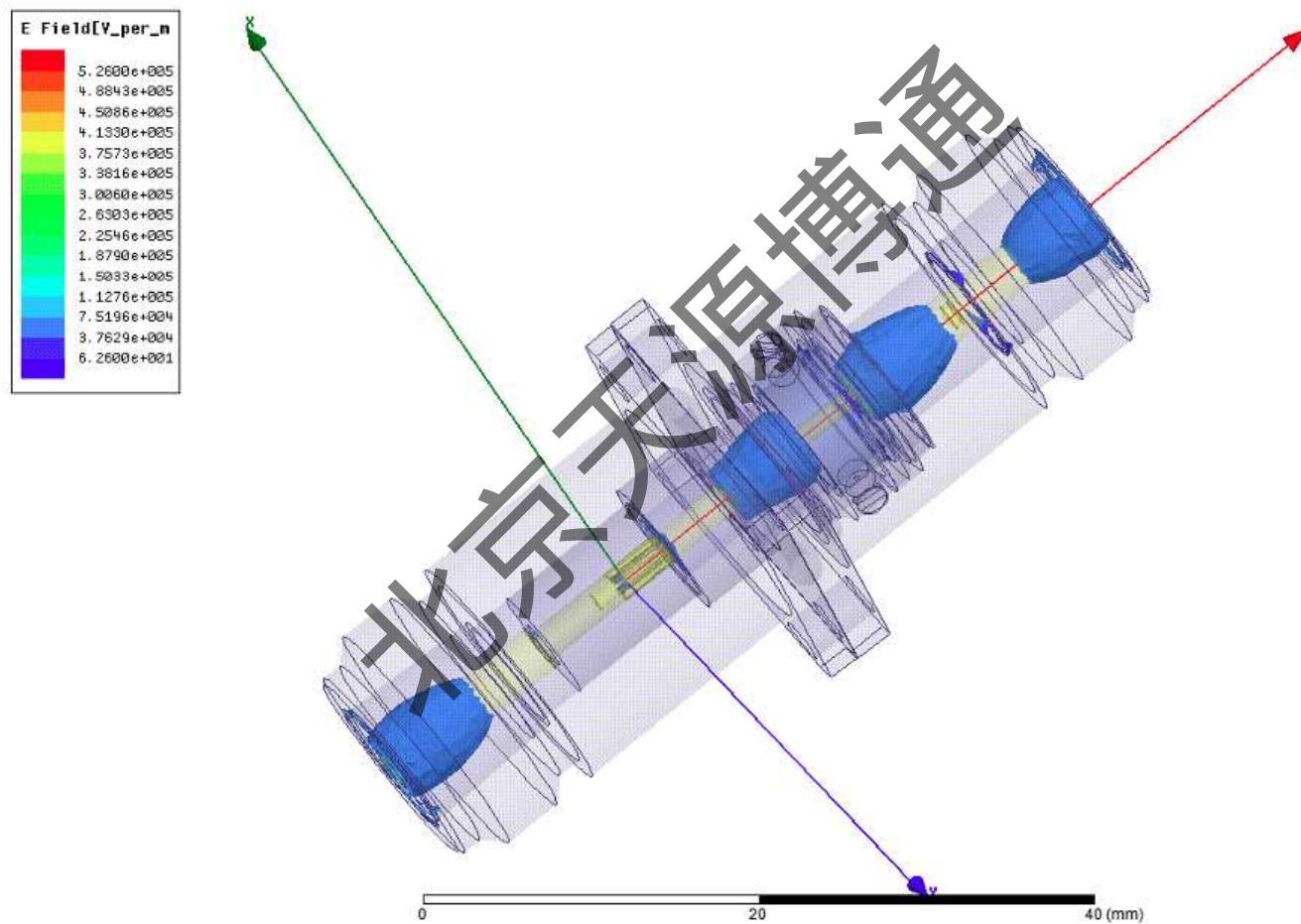
## 案例：驻波比-VSWR



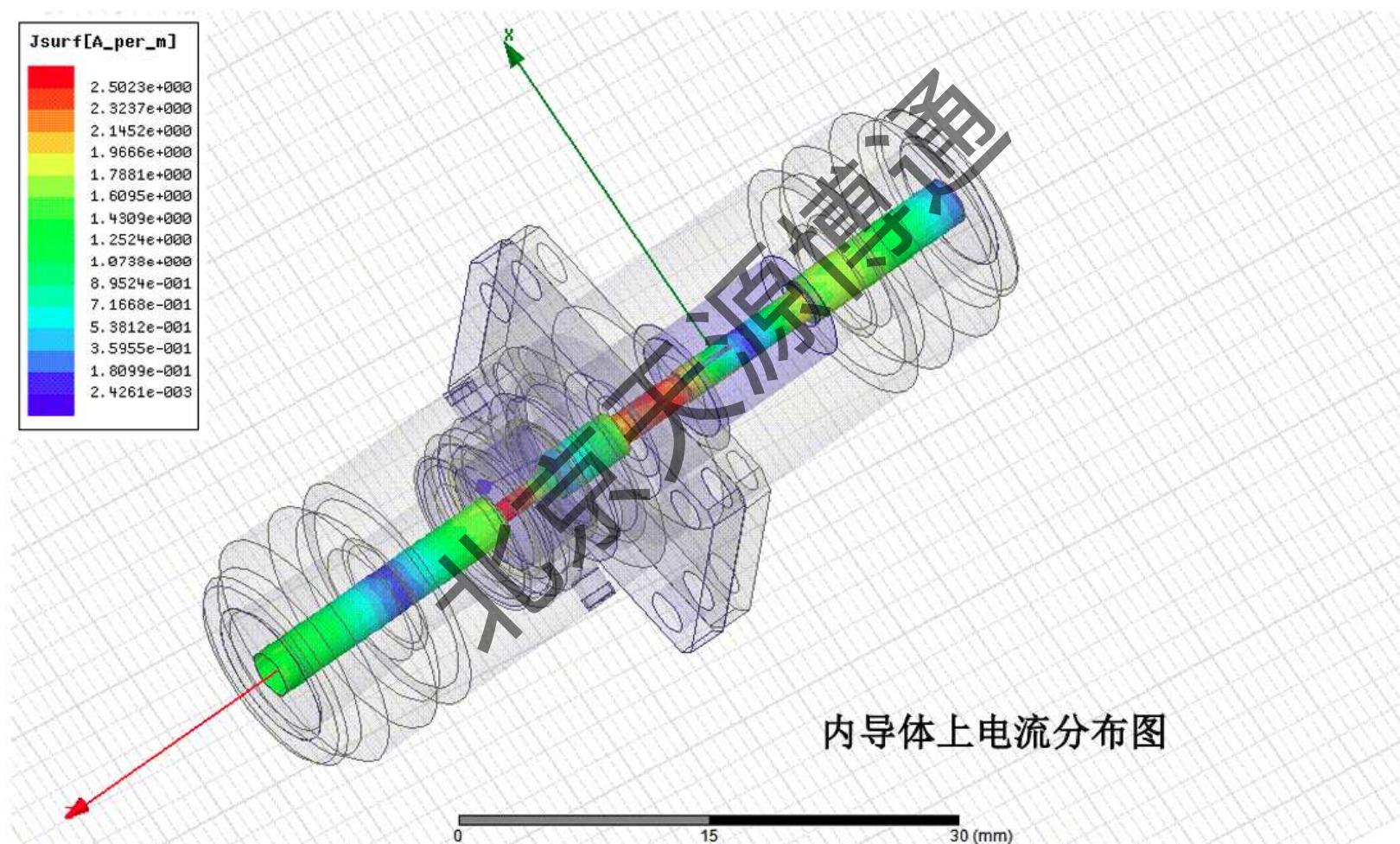
# 案例：TDR曲线显示



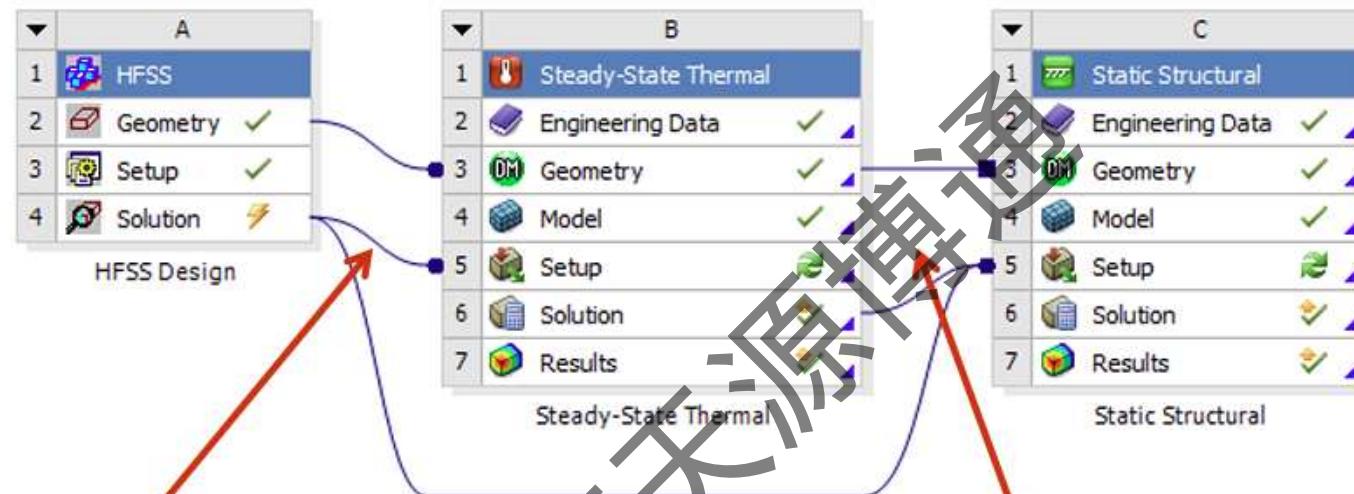
## 案例：电磁场分布显示



## 案例：电流分布图



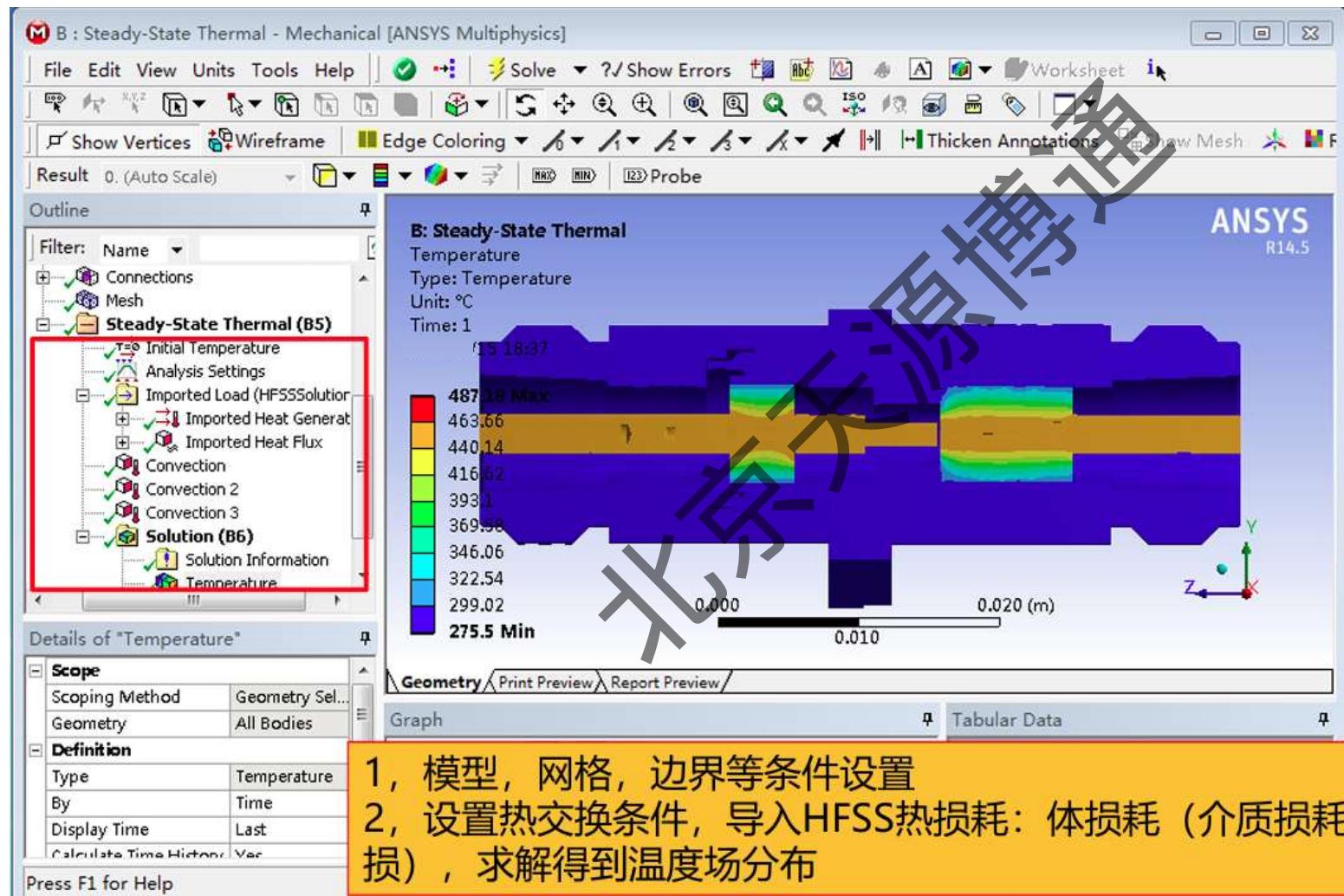
# 案例：建立多物理场仿真流程



建立电磁仿真与热仿真的关系，结构模型共享，电磁仿真的结果输入到热分析里面作为分布的热激励源

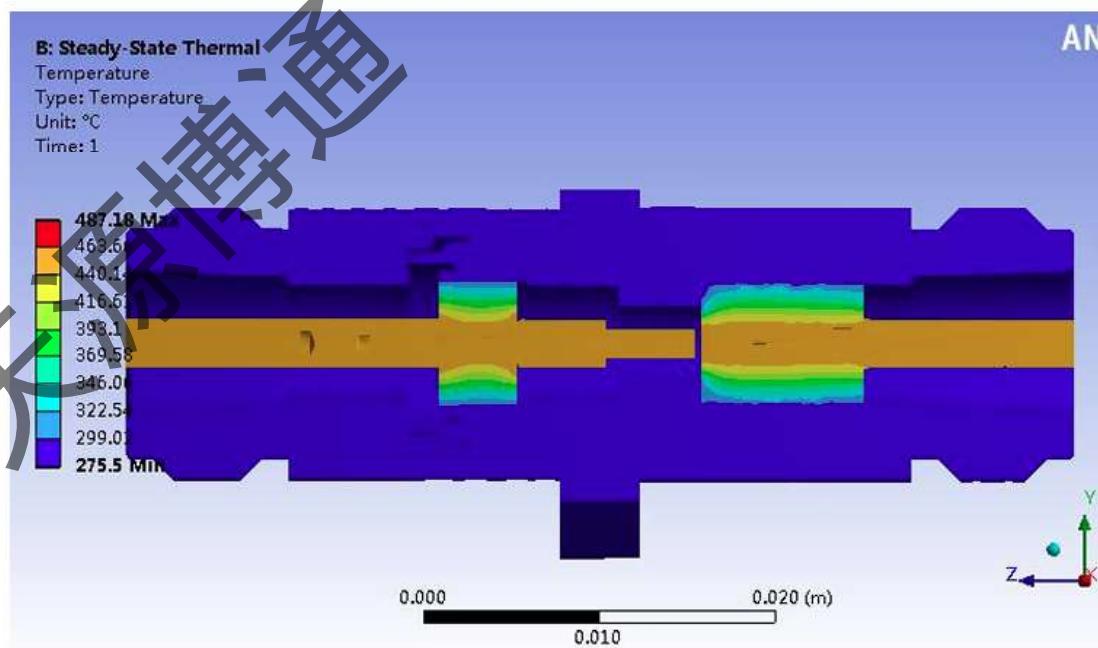
建立热分析到结构仿真的联系，模型共享，热分析得到的温度场结果作为结构分析的条件输入

# 案例：热仿真分析

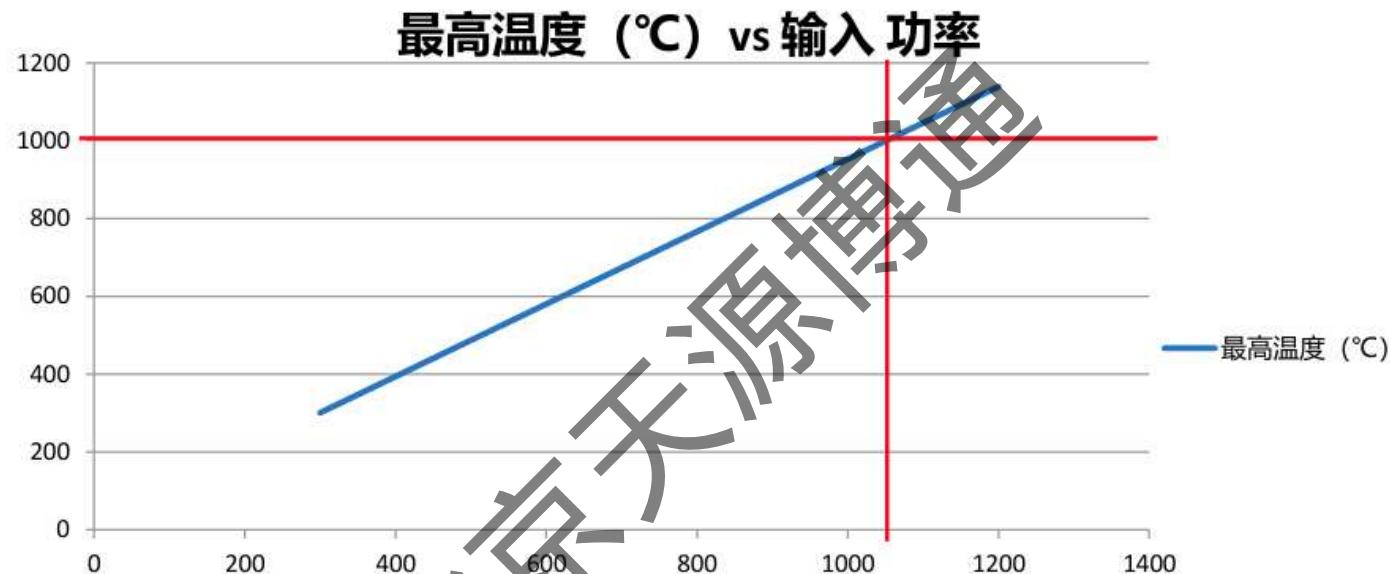


# 案例：热性能分析结果

- 输入功率: 500W @ 10 GHz
- 工作环境
  - 22 oC
  - 自然对流 (对流交换系数)
- 支撑介质
  - 玻璃
  - 热导率: 0.25 W/(m·K)
  - 熔点临界温度: 1000oC
- 导体
  - 设置金属材料为铜合金
- 峰值温度: 487.18oC
  - 根据热分析结果, 支撑介质此时不会熔化
  - 该输入功率条件下可以满足热性能要求

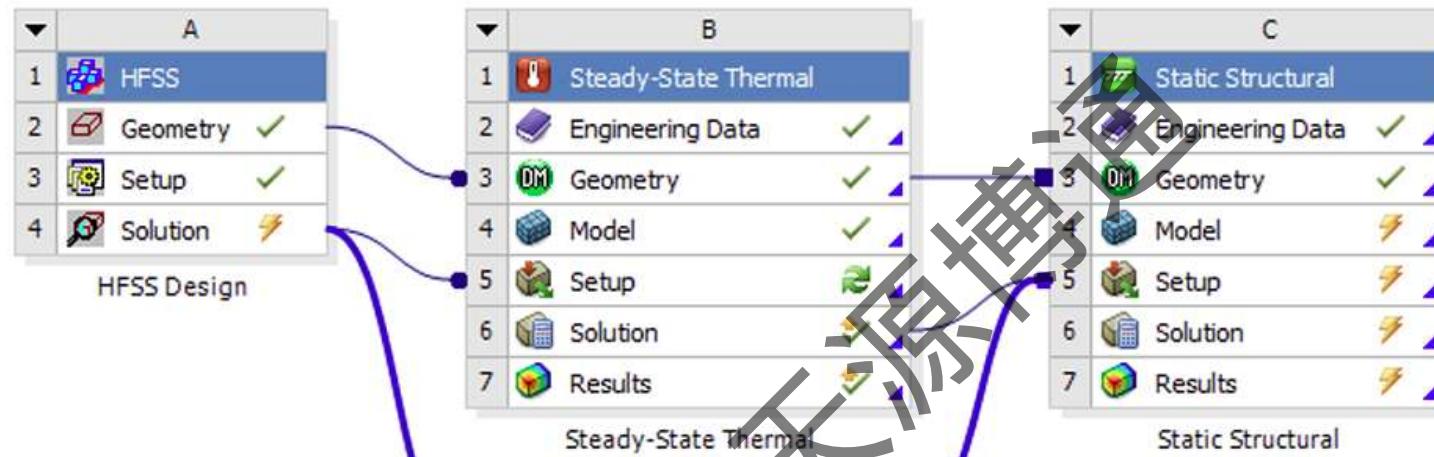


## 案例：不同输入功率下的温升曲线



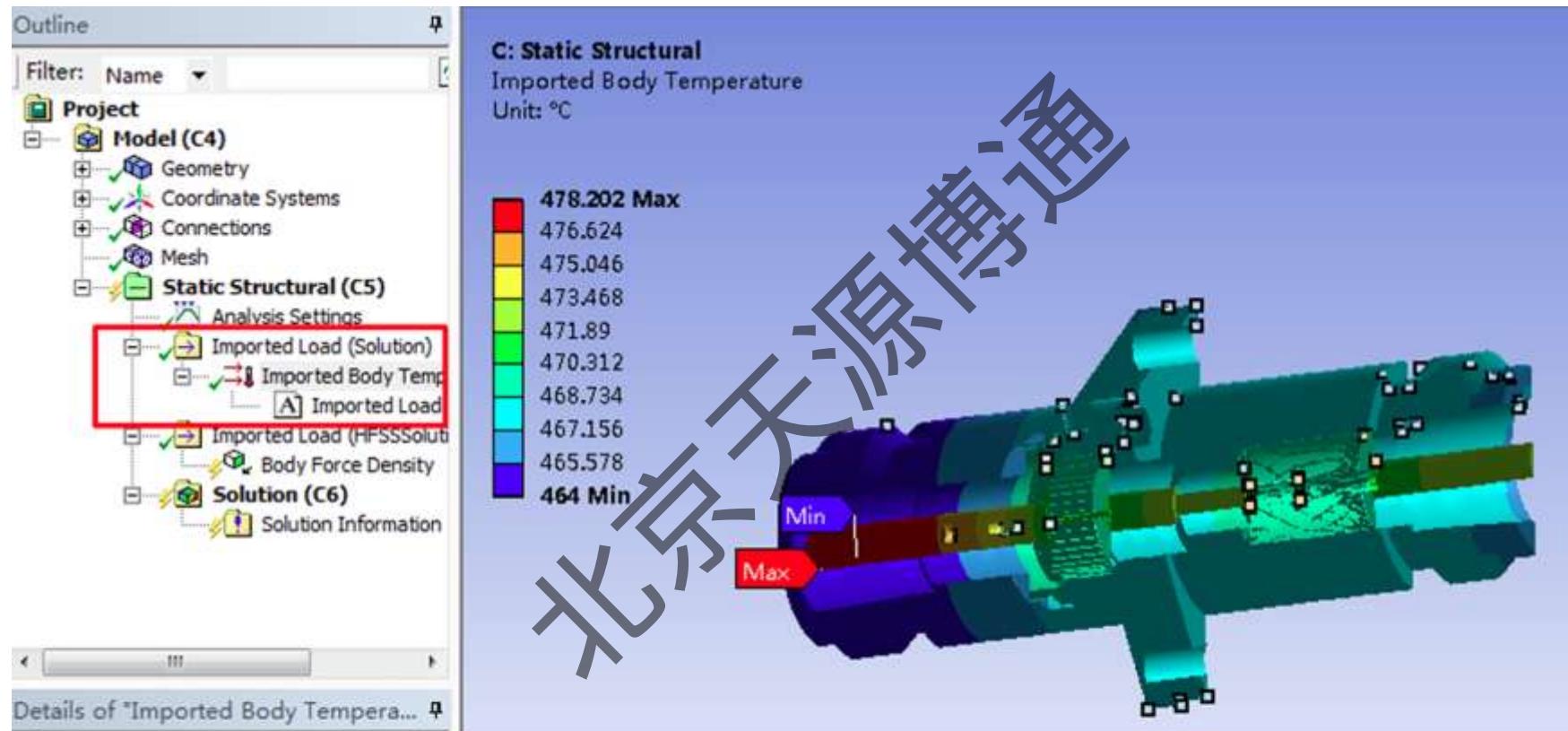
- 计算不同输入功率下的温度场结果，得到最高温度随着输入功率的变化曲线  
入上图（使用参数化分析）
- 玻璃的失效临界温度按1000度计算，从图中可查到，在输入功率达到1000W  
的时候，最高温度为952W，对应1000度的输入功率约为1050W
- 可得到该N型连接器的最大承受功率约为1050W。

# 案例：结构仿真



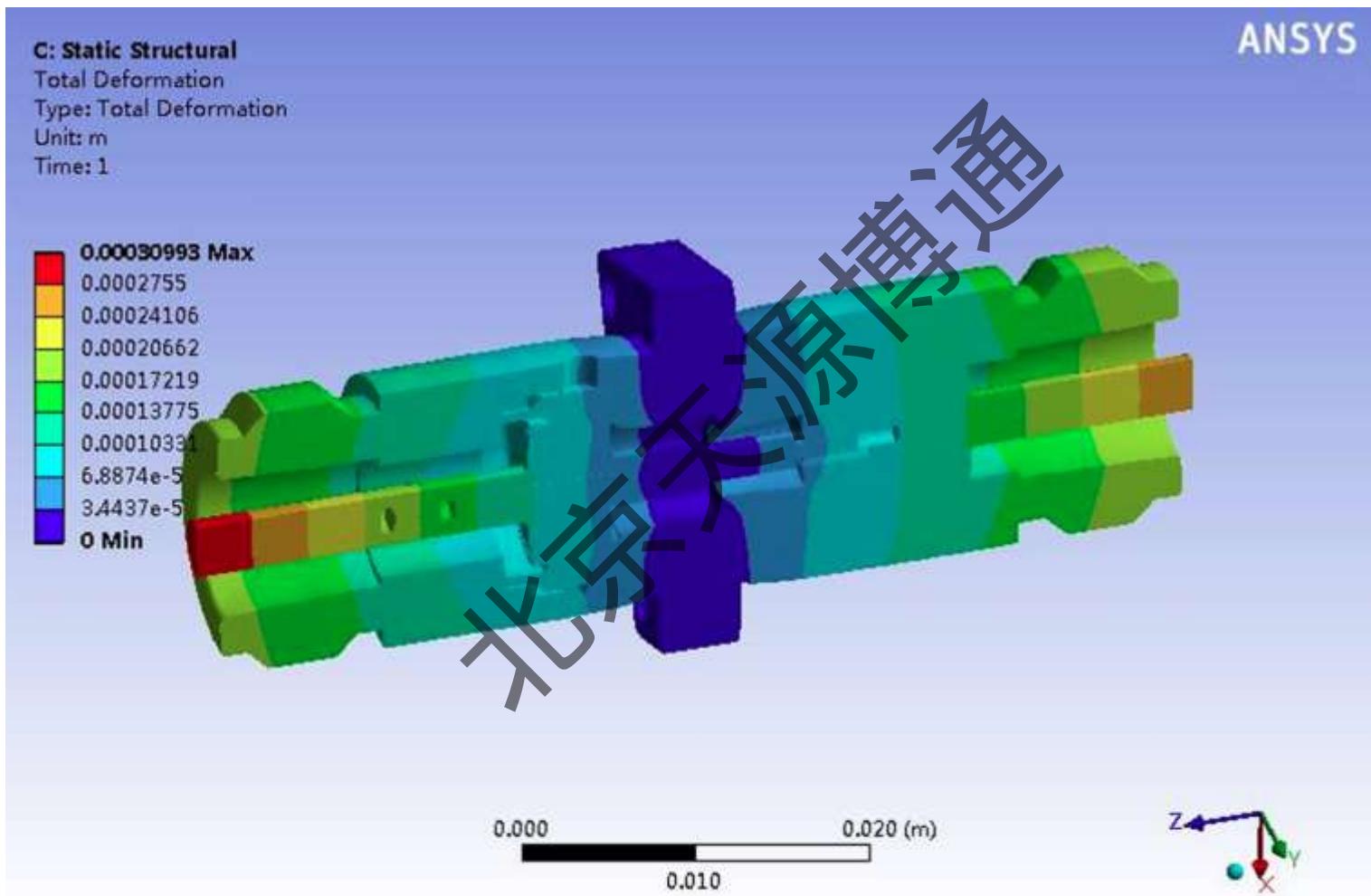
设置好模型和  
数据关系后，  
在结构分析的  
Setup中右键  
Update

# 案例：导入热分析温度场数据

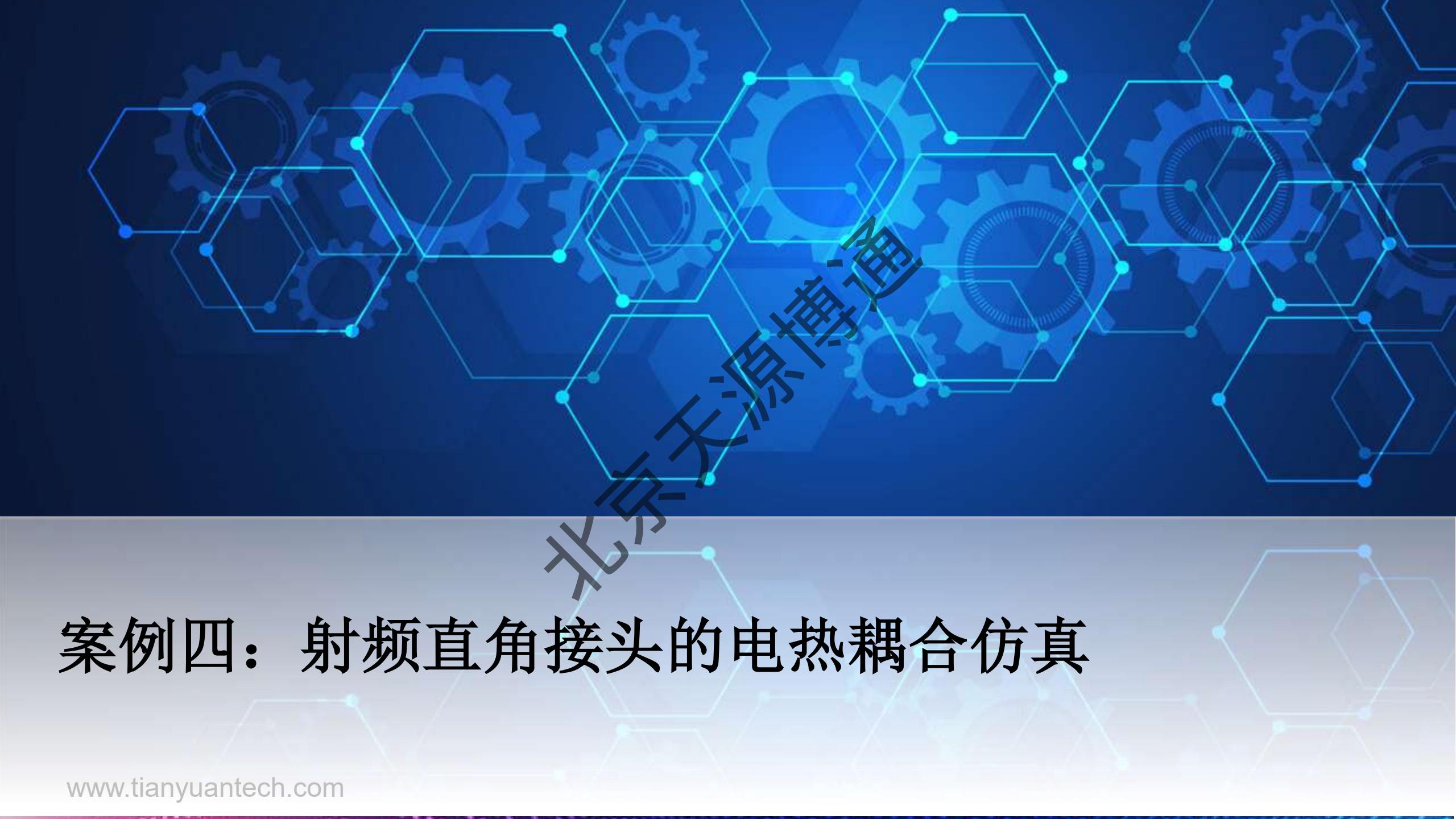


结构仿真设置：结构约束条件设置在安装底座位置

## 案例：温升后的结构形变



形变量最大为0.2mm

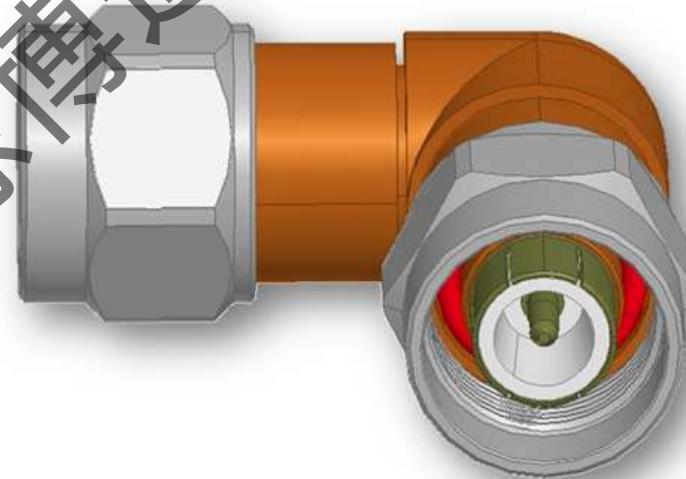


北京天源博通

## 案例四：射频直角接头的电热耦合仿真

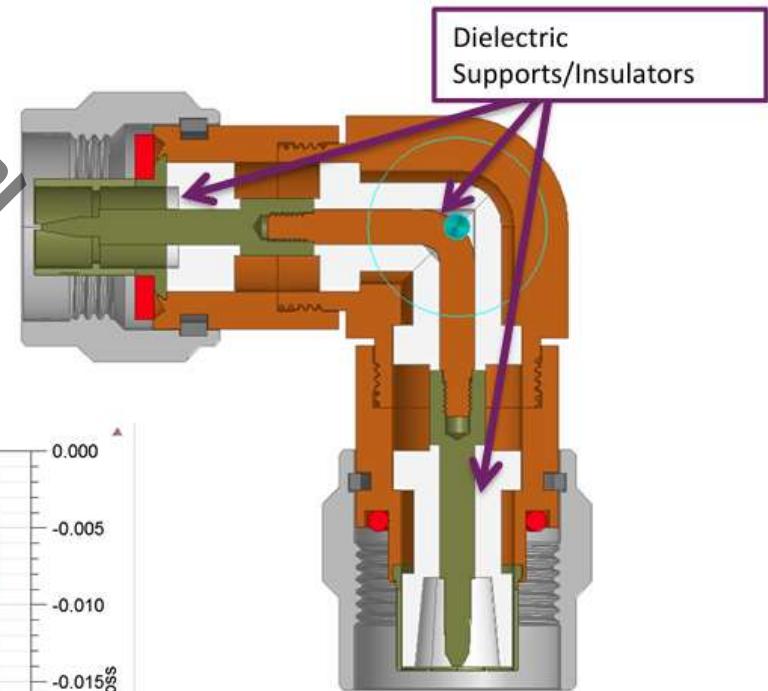
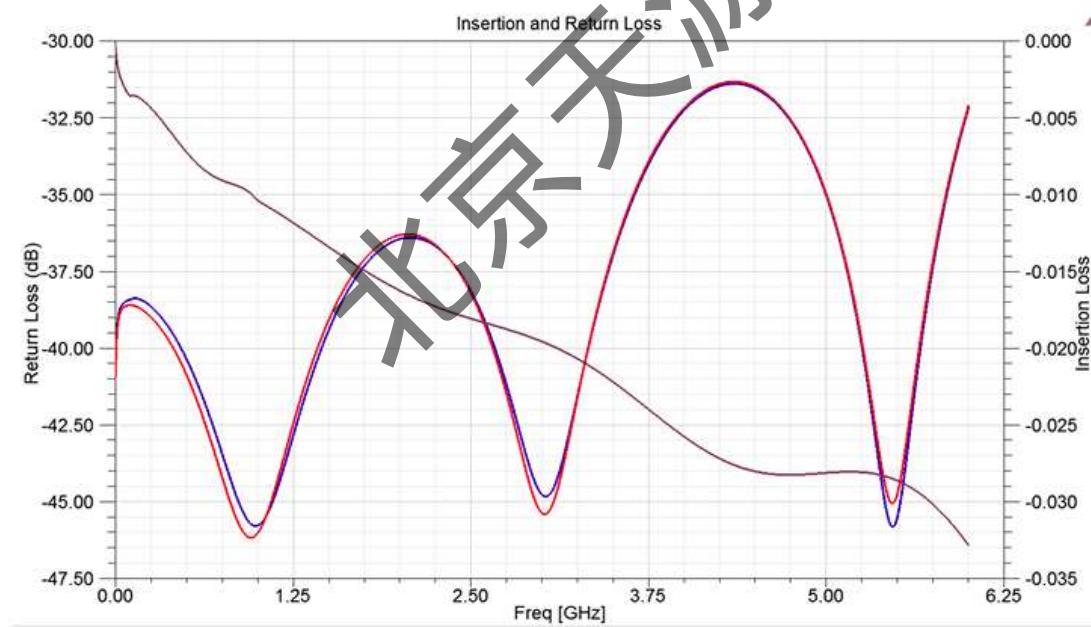
# 案例：直角接头的材料选用

- 直角接头
  - Type N to SC connector
- 最大功率容量
  - 1kW @ 2.5 GHz
- 设计Design Tradeoffs
  - 材料特性会影响到电和热的性能
    - 电性能要求控制50欧姆的阻抗变换
    - 结构性能要求不同的输入功率热的控制
  - 能满足电要求的材料不一定能满足热指标



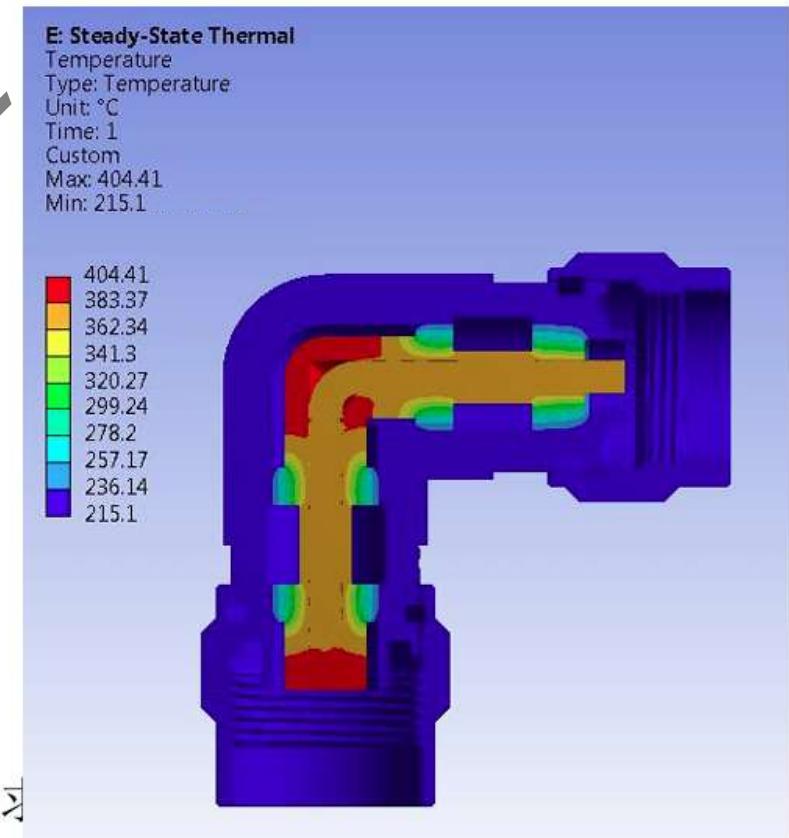
# 案例：设计要点-支撑介质

- 两种支撑介质选择
  - Teflon
    - 便宜
    - 低热导率
  - Fluoropolymer H
    - 高热导率



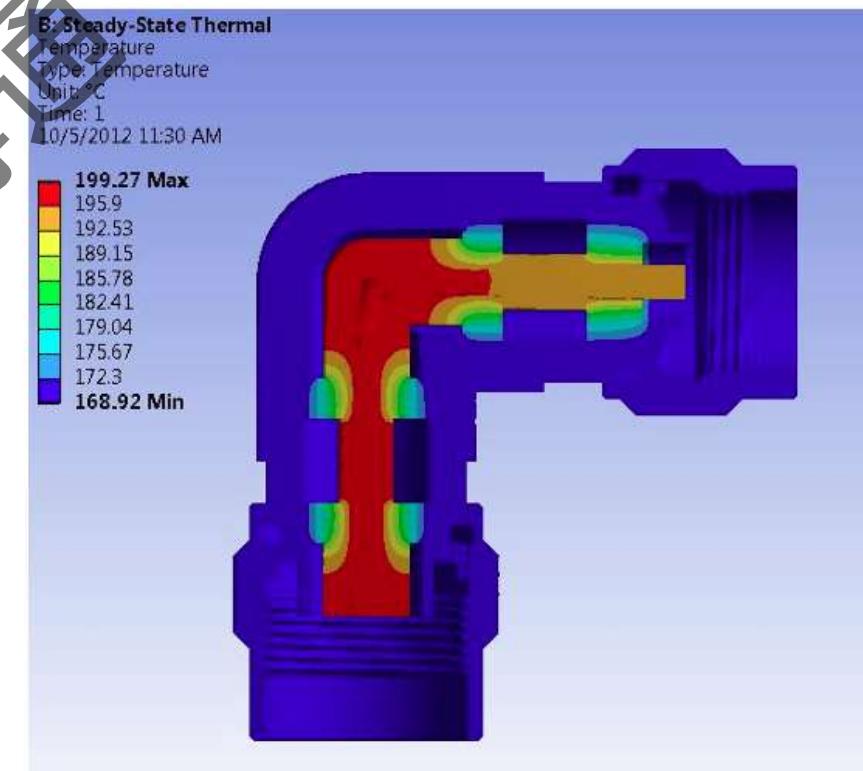
# 案例：Teflon热性能分析

- 输入功率: 1kW @ 2.5 GHz
- 工作环境
  - 22 °C
  - 自然对流
- 支撑介质
  - Teflon
  - 热导率: 0.25 W/(m·K)
  - 熔点: 327°C
- 连接器
  - 使用layered impedance 边界条件定义三层金属镀层
- 最高温度: **404.41°C**
  - 基于温度分析结果, 介质熔化, 器件失效
  - 此便宜的材料虽然能满足所有的电性能, 但无法满足热的要求

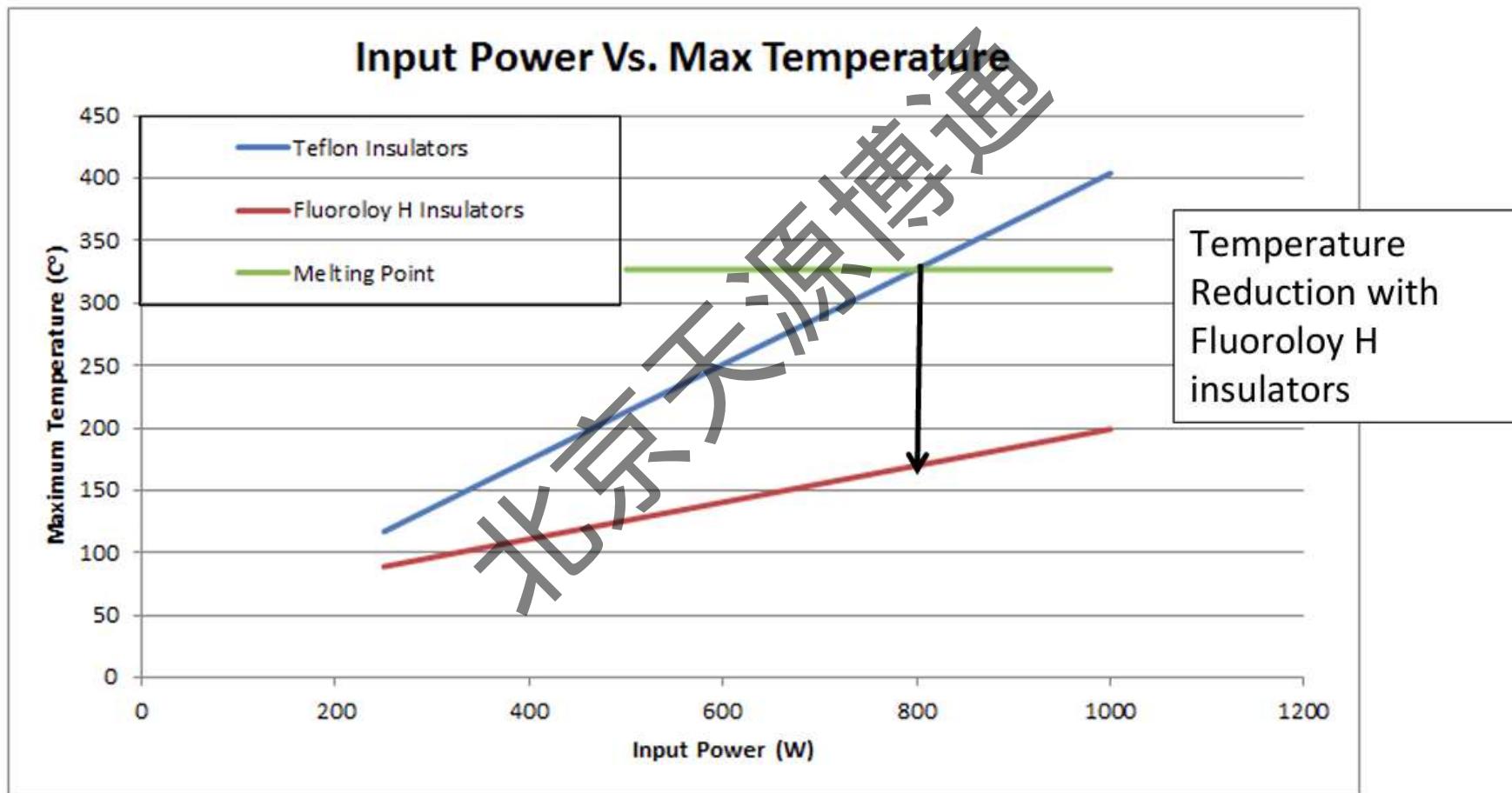


# 案例：Fluoroloy H热性能分析

- 输入功率: 1kW @ 2.5 GHz
- 工作环境
  - 22 °C
  - 自然对流
- 支撑介质
  - Fluoroloy H
  - 热导率: 1.21 W/(m·K)
  - 熔点: 327°C
- 连接器
  - 使用layered impedance 边界条件定义三层金属镀层
- 最高温度: 199.27°C
  - 在热限制温度内
  - 电性能和热要求均能满足要求



## 案例：连接器热性能



# 联系方式

张寅

[zhangyin@tianyuantech.com](mailto:zhangyin@tianyuantech.com)

北京天源博通



天源微信公众号