



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

北京天源博通

连接器行业背景

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。

Basic Structure



Basic Structure



连接器发展与趋势



1980s
PC产业



1990s
手机产业



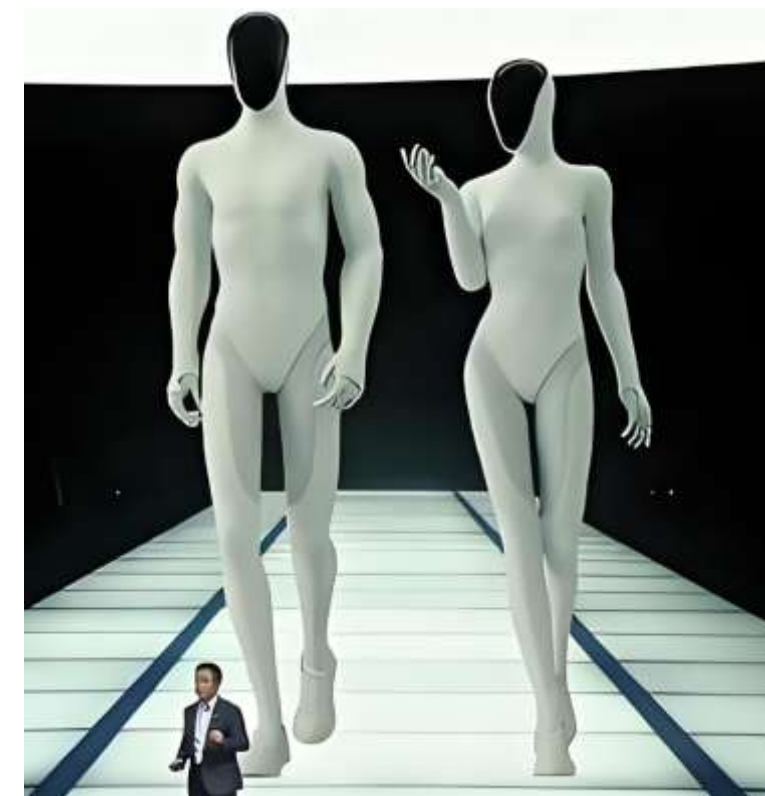
2000s
网际网络



2010s
通信装置



2020s
社区/工业5.0/IoT



1G 语音信号



2G 数字信号



3G 数据



4G 视讯



5G 物联网 大数据 AI

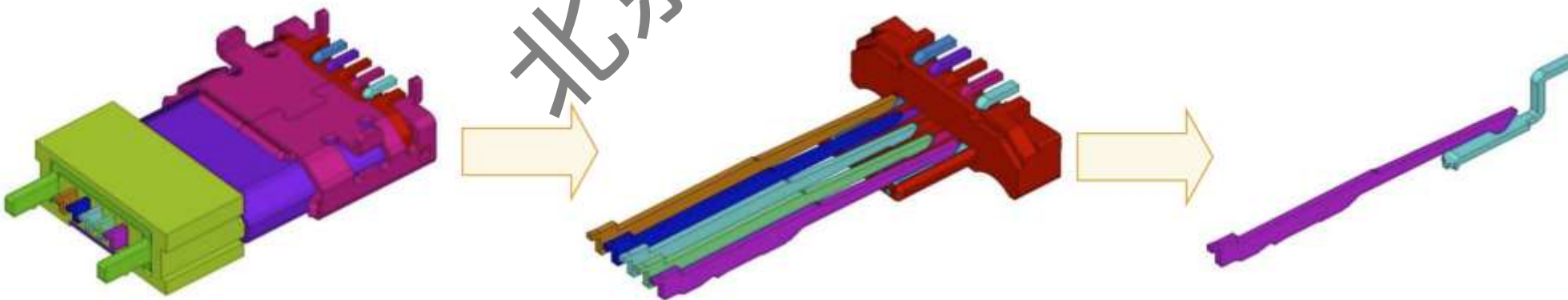


北京天源博通

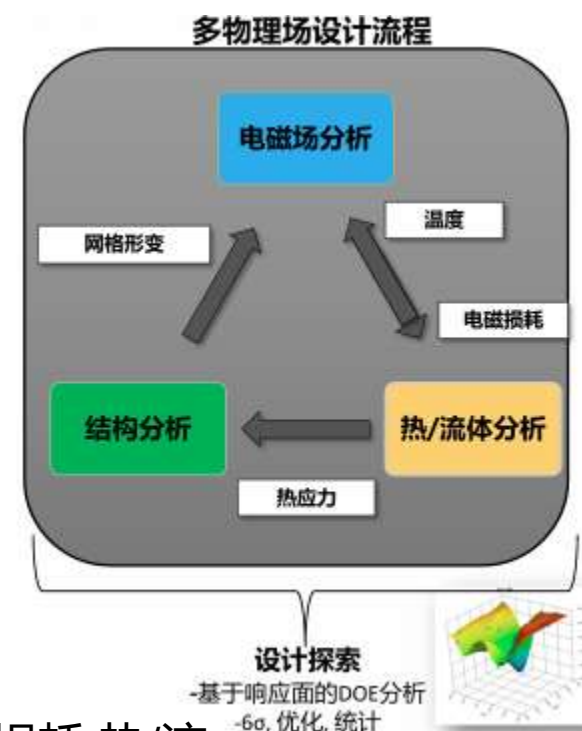
连接器仿真面临挑战

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

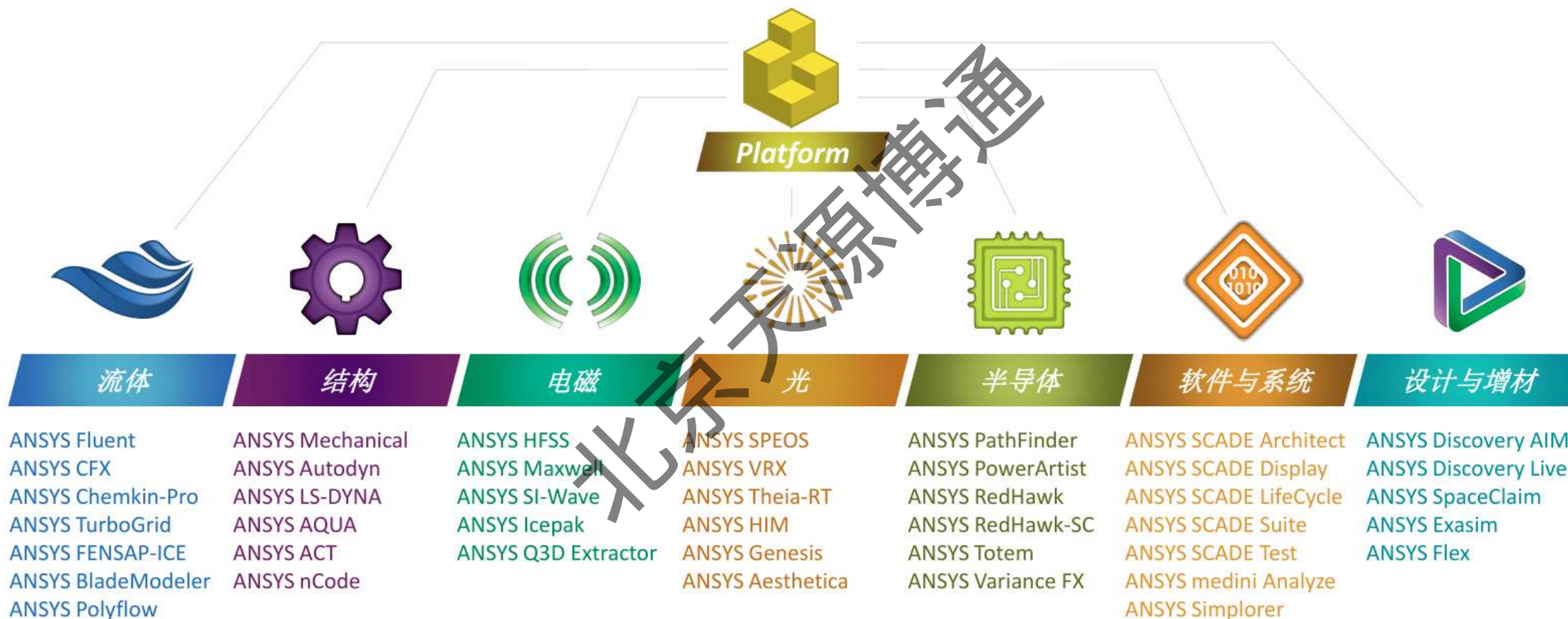
- 将结构分析的形变网格结果返回HFSS做进一步分析

- 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

ANSYS多物理场仿真平台



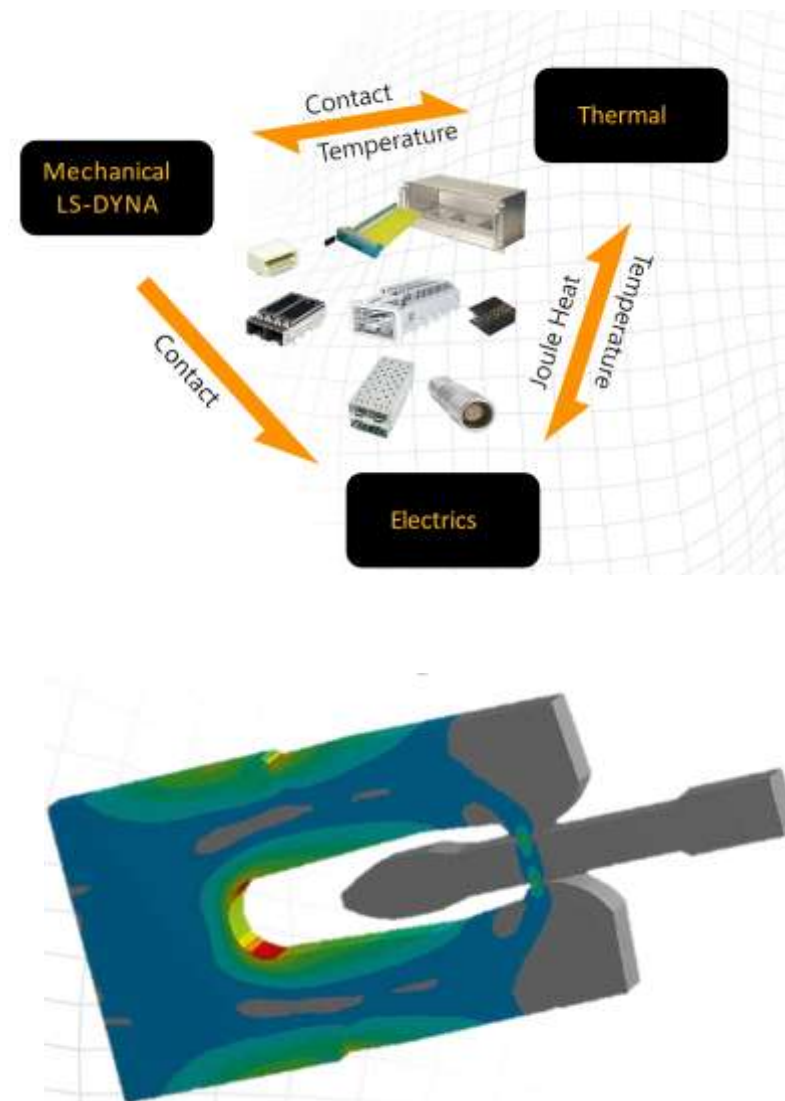
北京天源博通

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。



典型场景

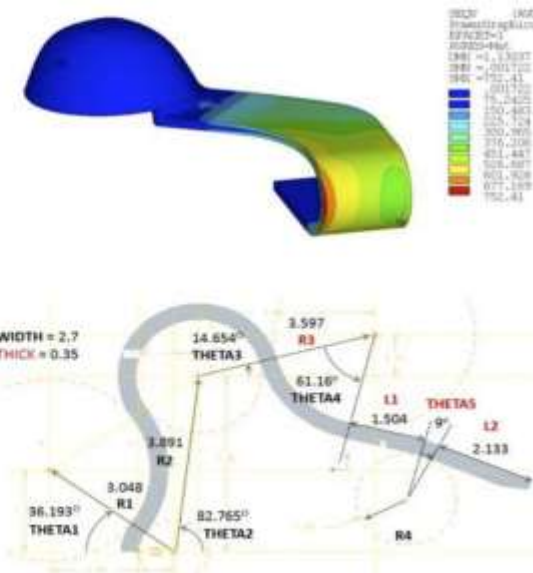
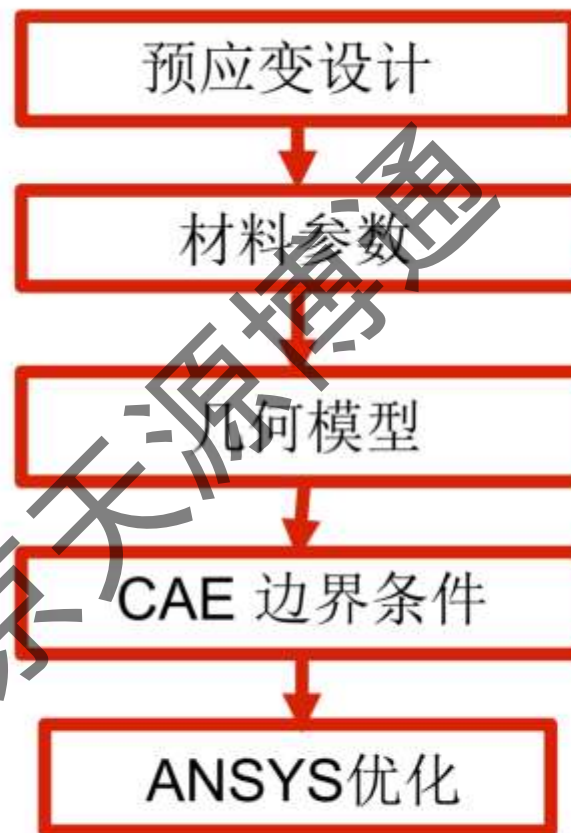
案例一：弹片受压过程分析

案例二：弹片接触和弯曲应力分析

案例三：载荷曲线分析

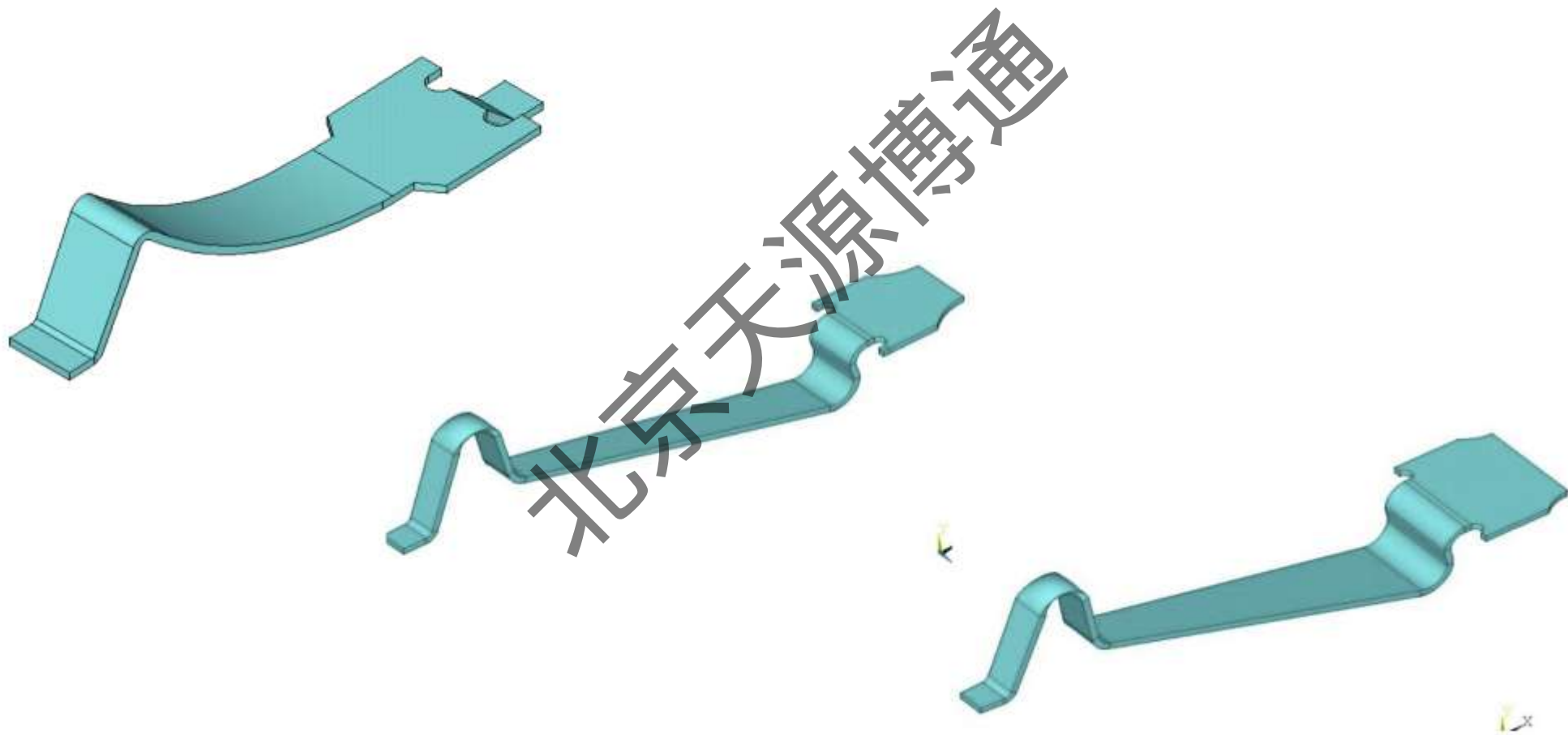
案例四：USB 连接器温升分析

案例五：CPU插座结构分析

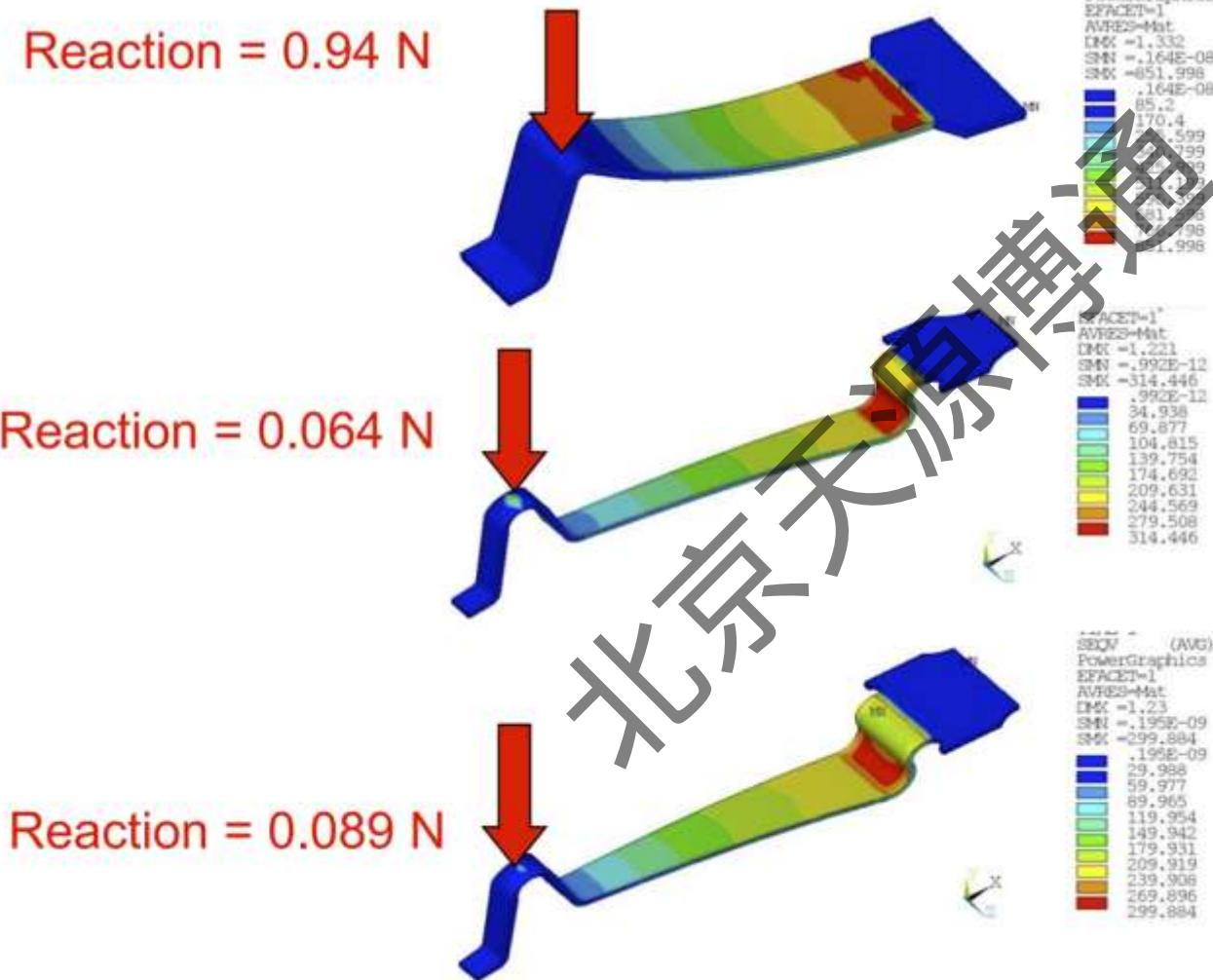


【案例一：弹片受压受力分析】

- 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】



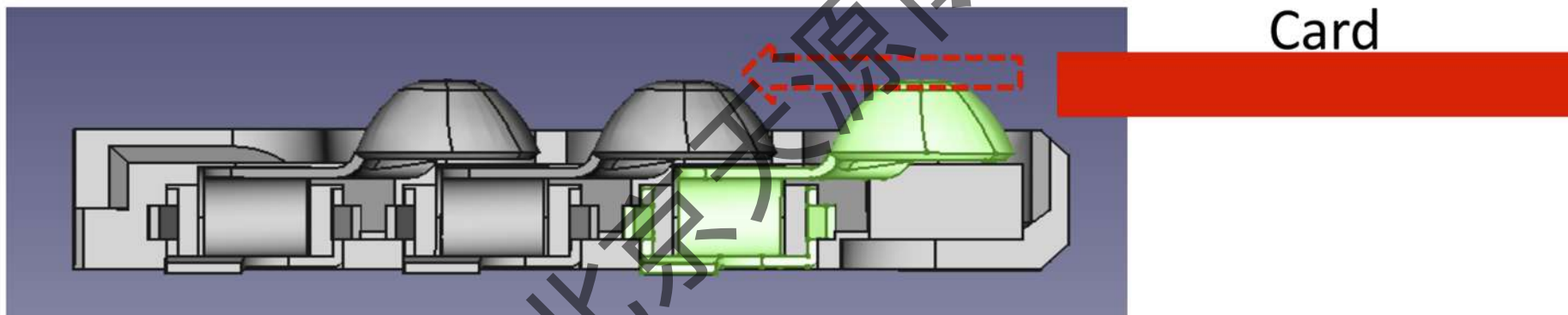
1mm
预应力
Total
= 852 MPa
= 251 MPa
= 1103 Mpa

1mm
预应力
Total
= 314 MPa
= 1393 MPa
= 1707 Mpa

1mm
预应力
Total
= 299 MPa
= 950 MPa
= 1349 Mpa

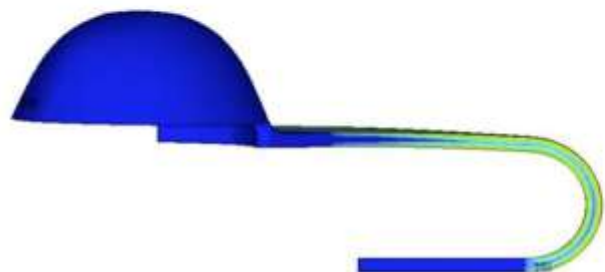
【案例二 弹片接触和弯曲应力分析】

- 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】

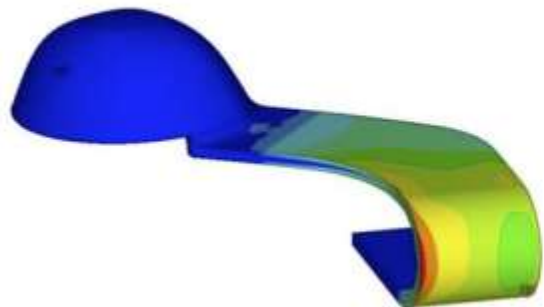
d=0.35mm
Reaction = 0.17N
Max Stress = 300 Mpa
Contact Stress = 12 MPa



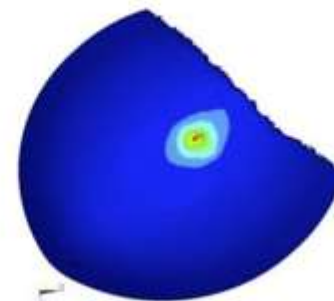
d=0.70mm
Reaction = 0.35N
Max Stress = 705 Mpa
Contact Stress = 31 MPa



d=0.85mm
Reaction = 0.44N
Max Stress = 752 Mpa
Contact Stress = 47 MPa



SEQV (MPa)
PowerGraphics
EFACET
AVRES: Min=0.000
Max=300.965
Min=0.000
Max=12.000
0.0017
75.247
150.494
225.741
300.965
376.206
451.447
526.687
601.928
677.169
752.41

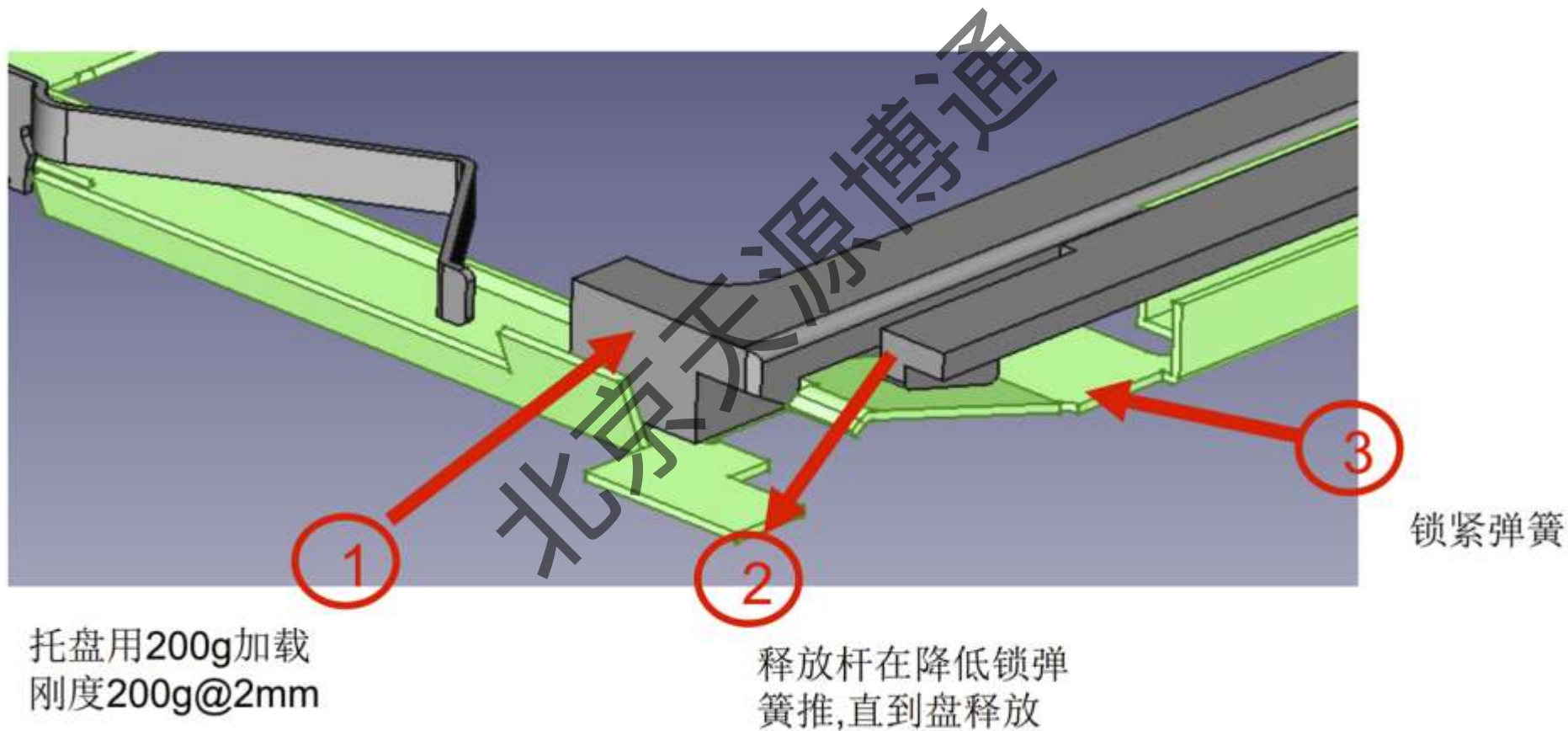


SEQV (MPa)
PowerGraphics
EFACET
AVRES: Min=0.000
Max=752.41
Min=0.000
Max=47.000
0.0017
75.247
150.494
225.741
300.965
376.206
451.447
526.687
601.928
677.169
752.41

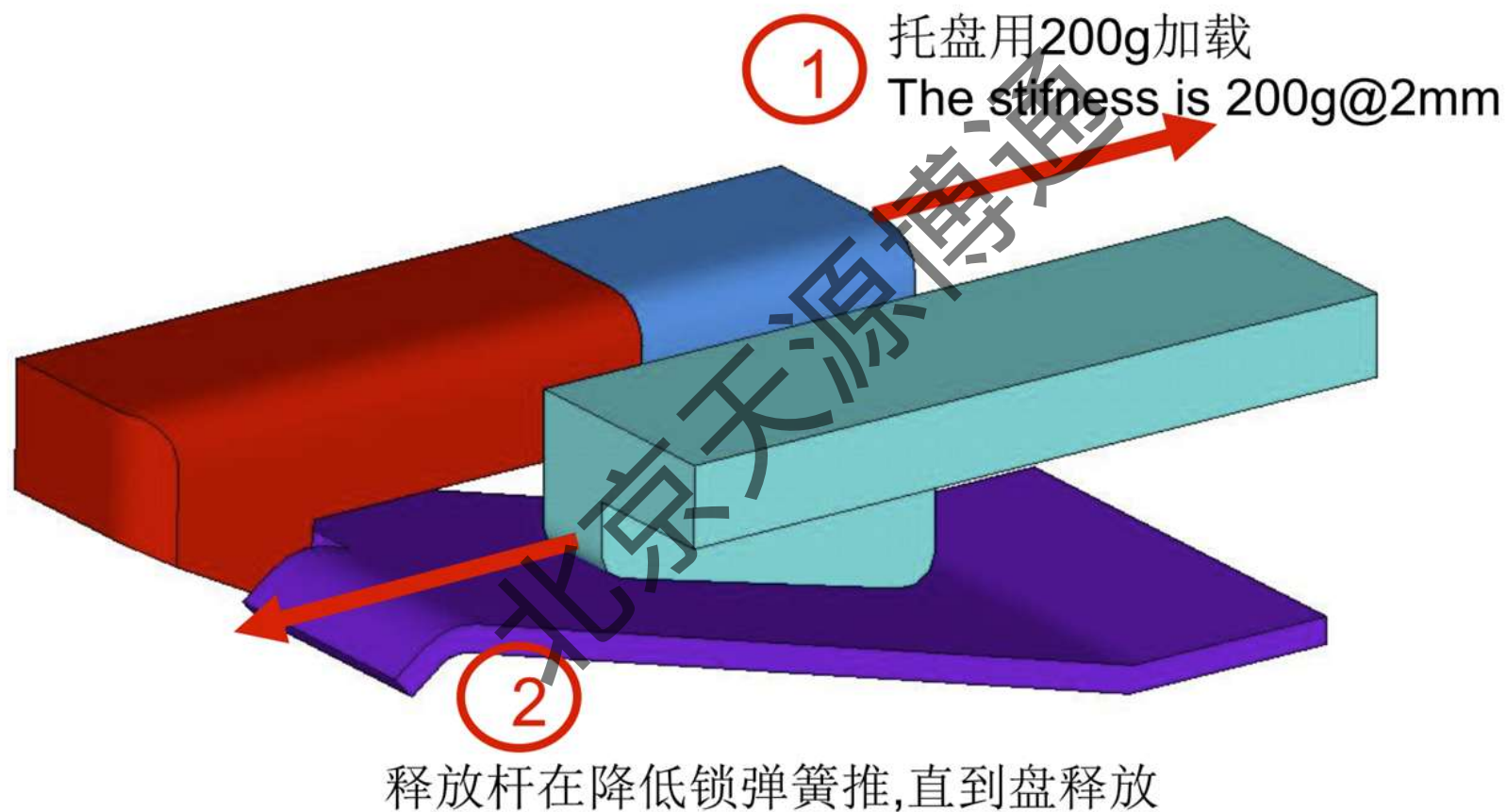
接触应力= 47 MPa

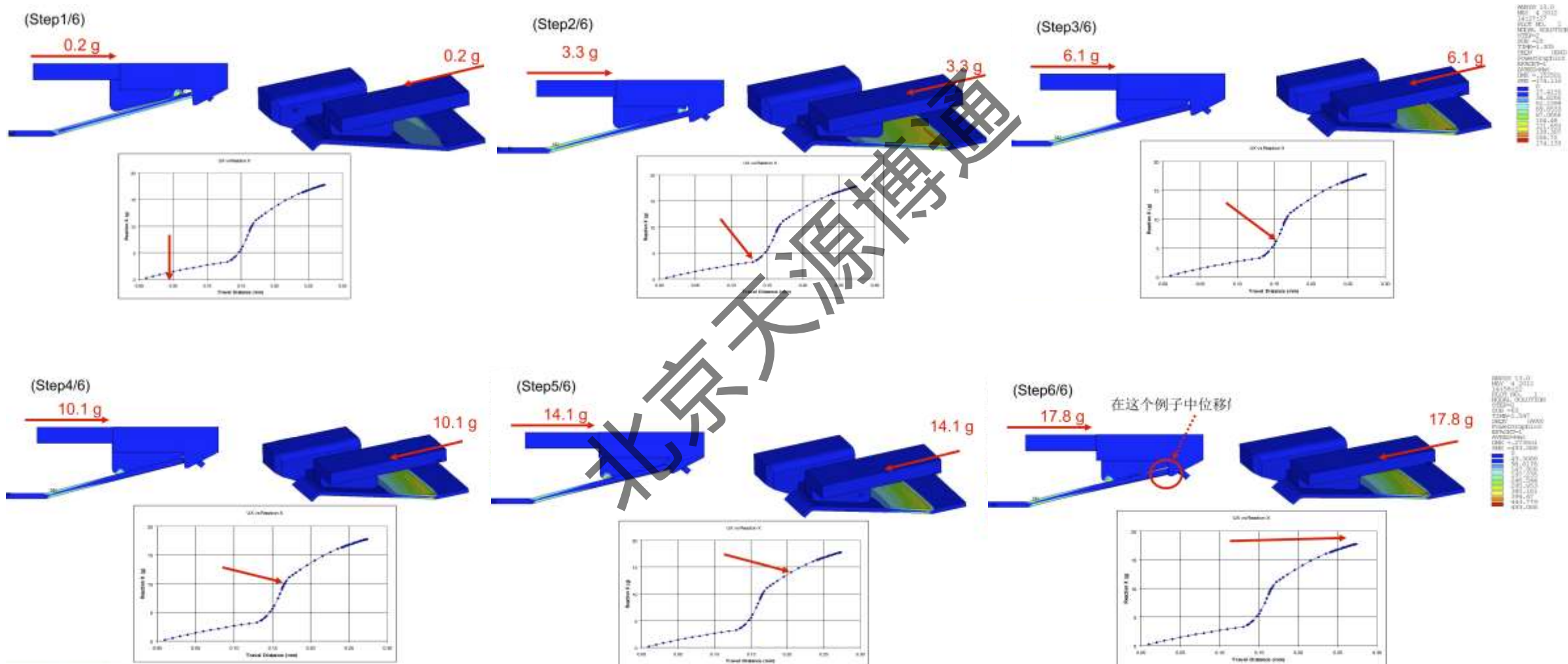
【案例三 载荷曲线分析】

该案例中需要计算从SIM托盘中弹射出来的力

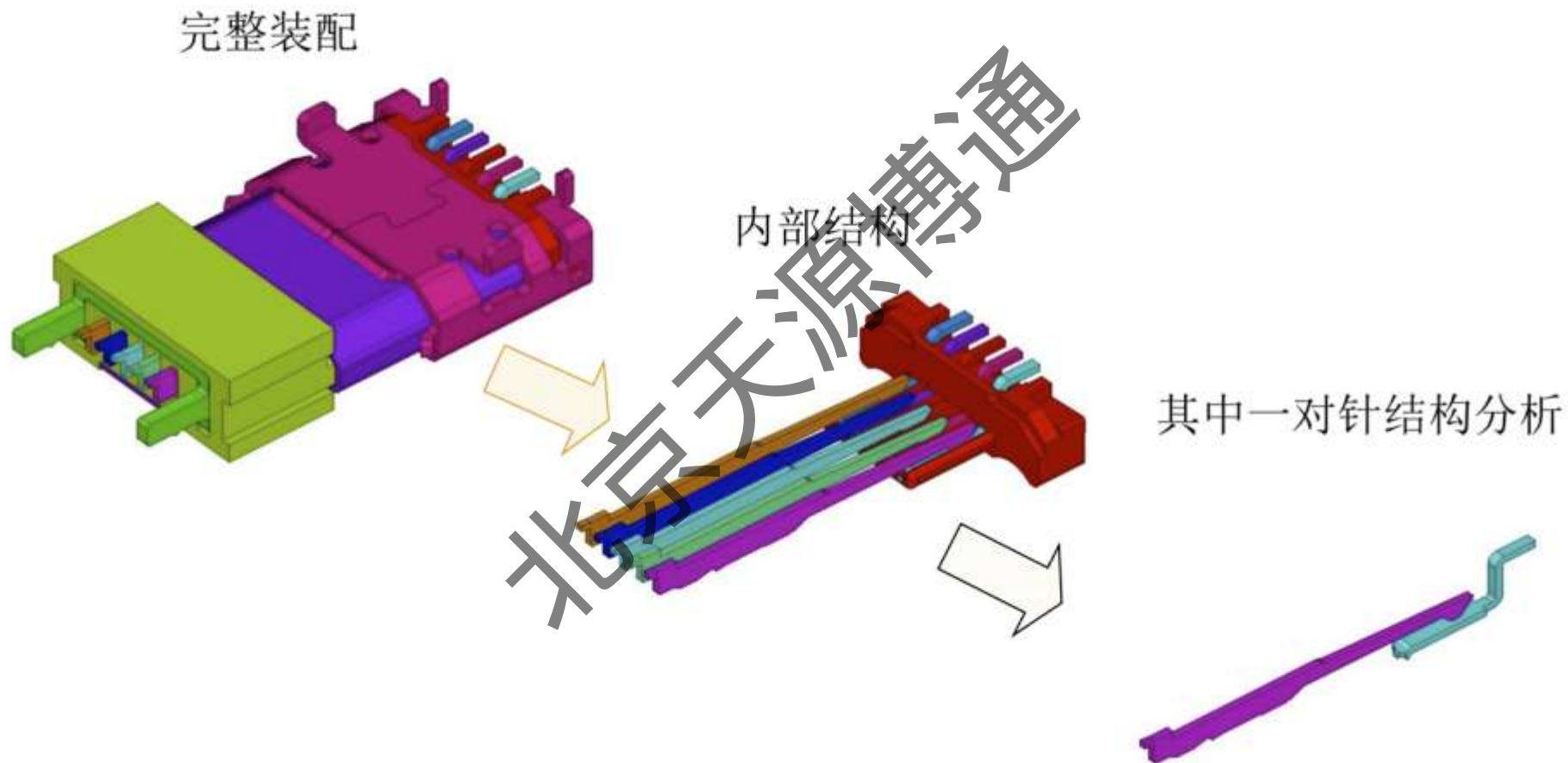


【案例三 载荷曲线分析】

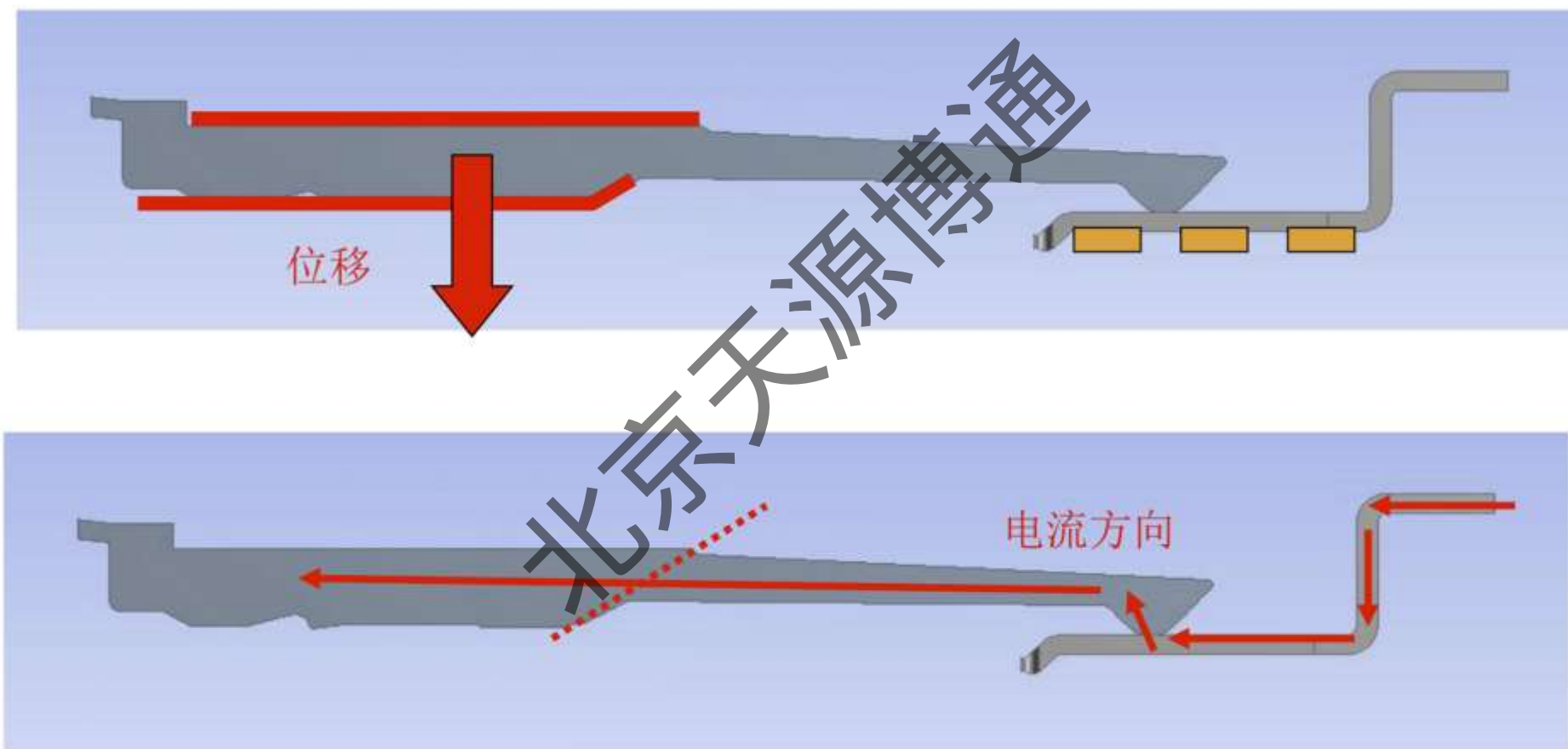




【案例四： USB 连接器温升分析】

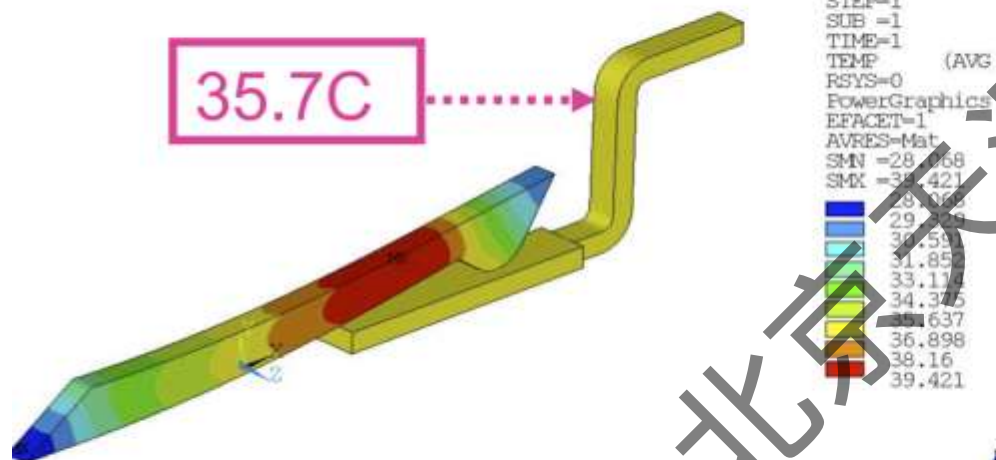


【案例四： USB 连接器温升分析】

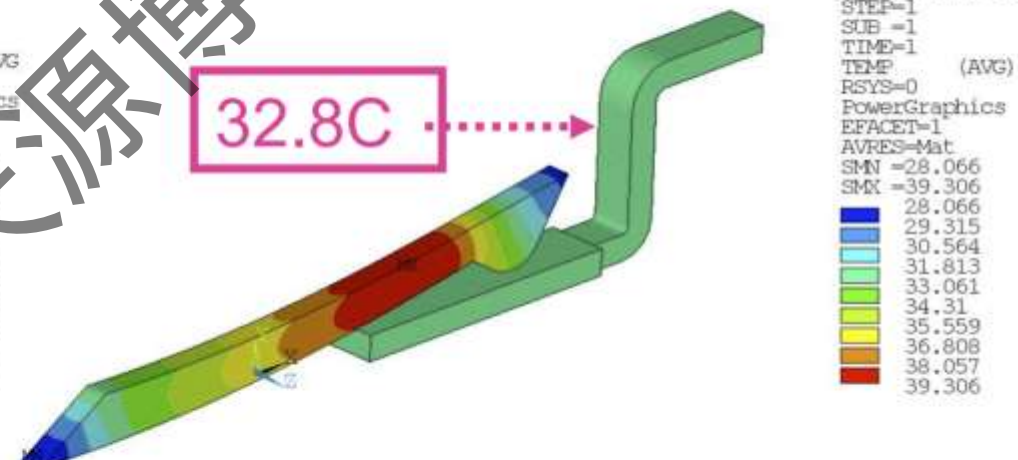


【案例四： USB 连接器温升分析】

初始设计方案



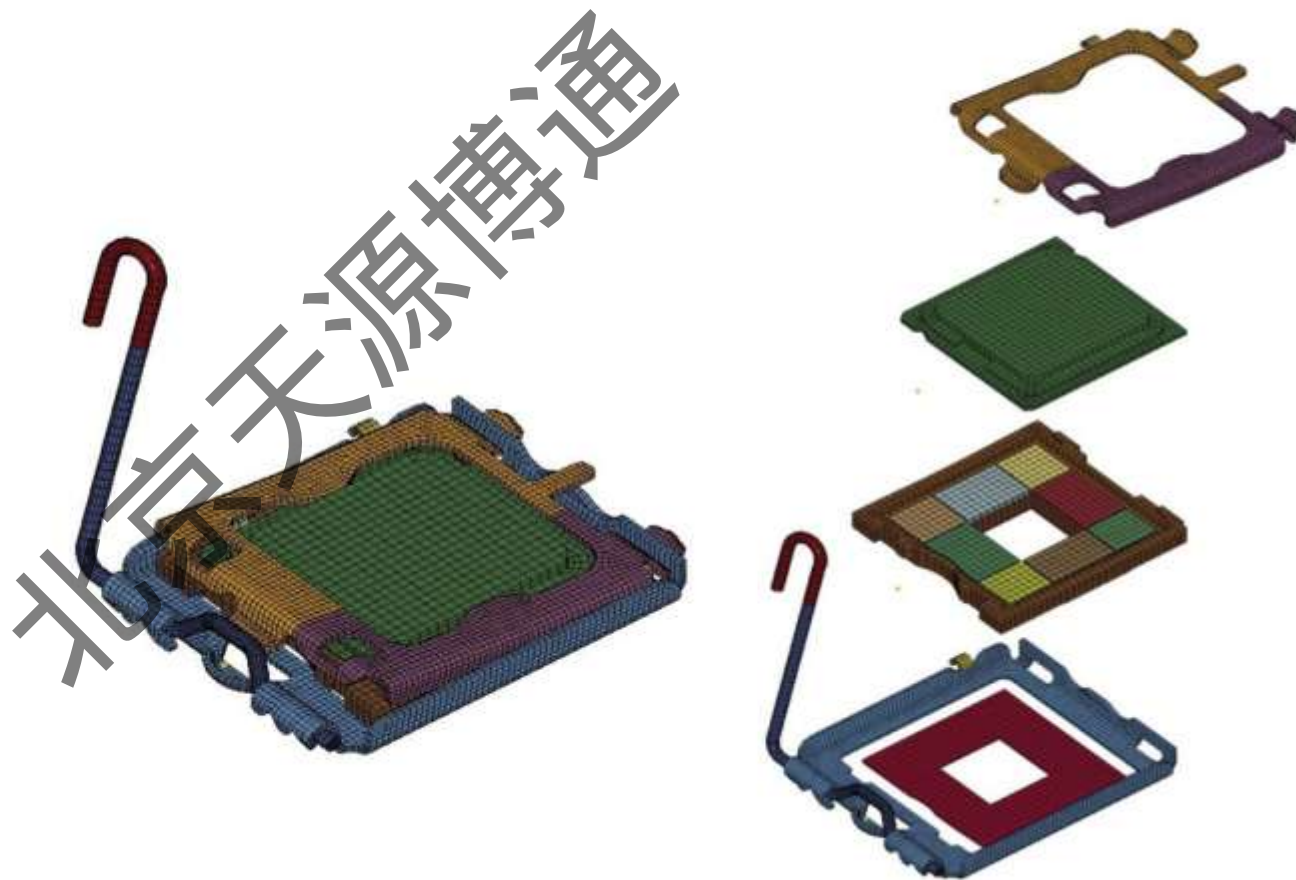
优化后的设计方案



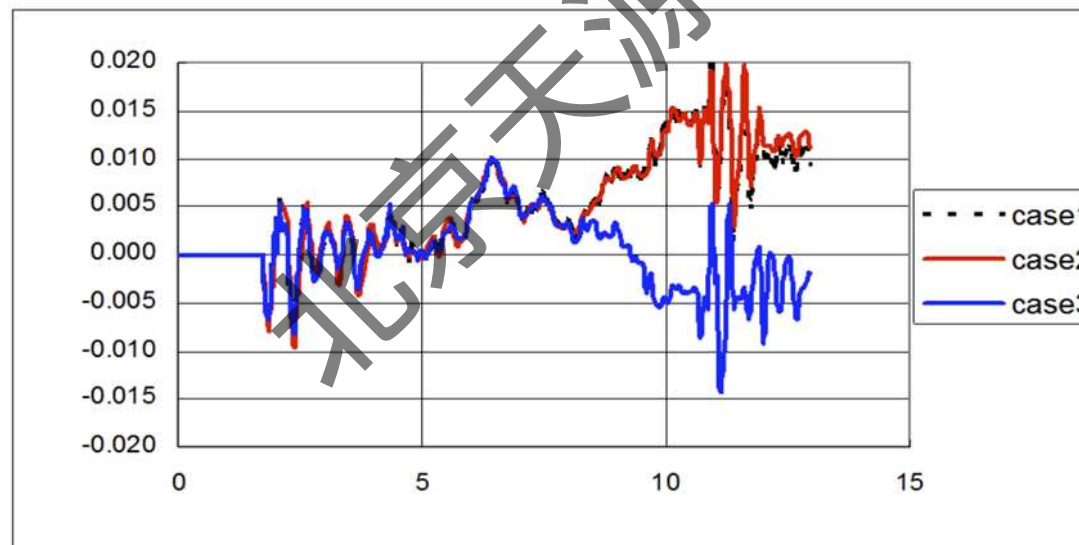
传统的NLP并不能降低温度
(如左图原始设计)

【案例五： CPU插座结构有效应力分析】

- 验证CPU插座结构方案的力学强度和加载力大小。



【案例五： CPU插座结构有效应力分析】



加载反力曲线

北京天源博通

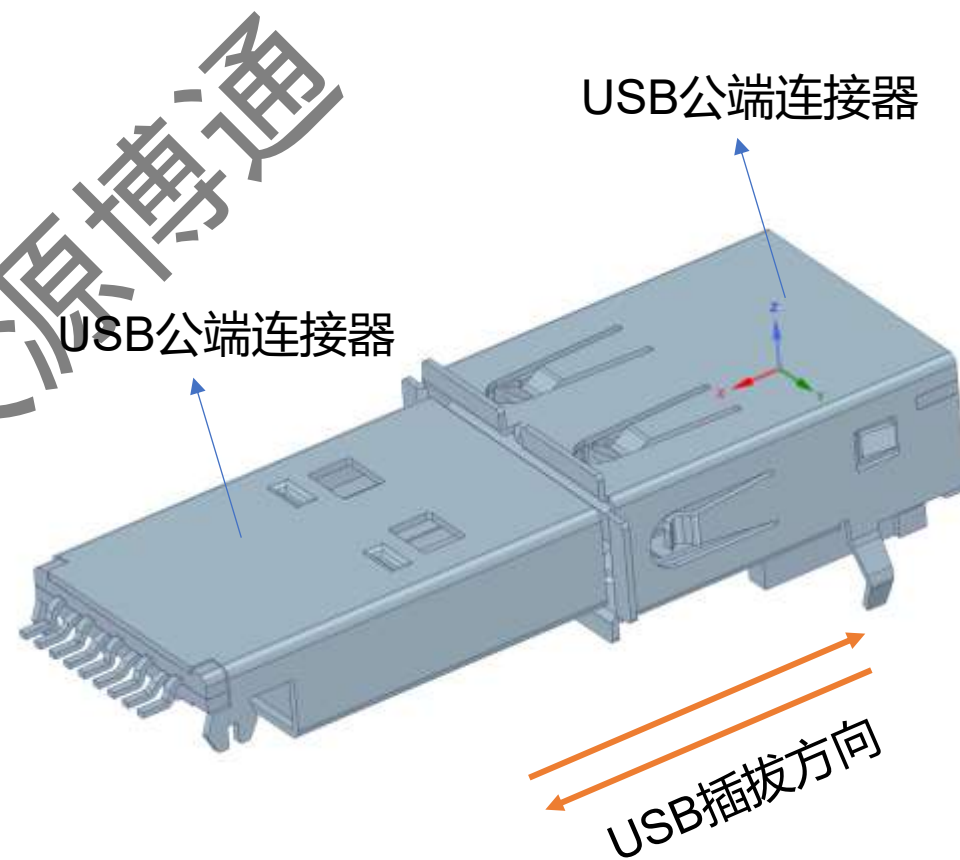
案例一：USB连接器插拔力分析

案例：USB连接器插拔力分析

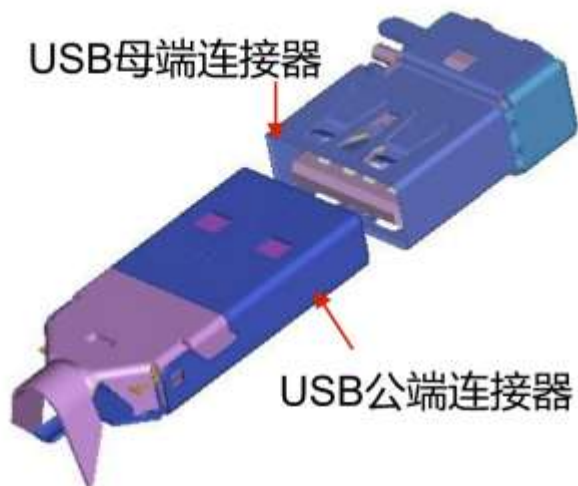
仿真工况：母端固定，公端插入
9mm后拔出

期望结果：

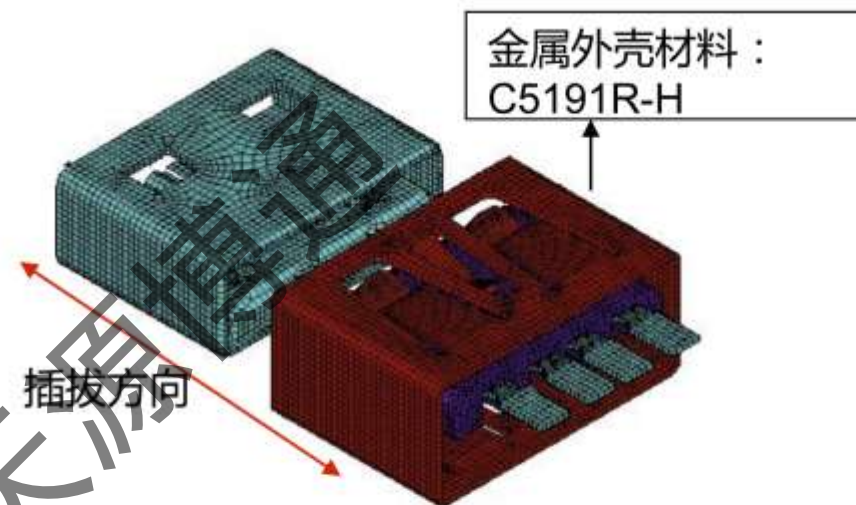
- 插拔过程中外壳和弹片应力分布以及大小，找出危险点
- 插拔力大小以及变化过程
- 优化USB连接器插拔力大小和危险点寿命



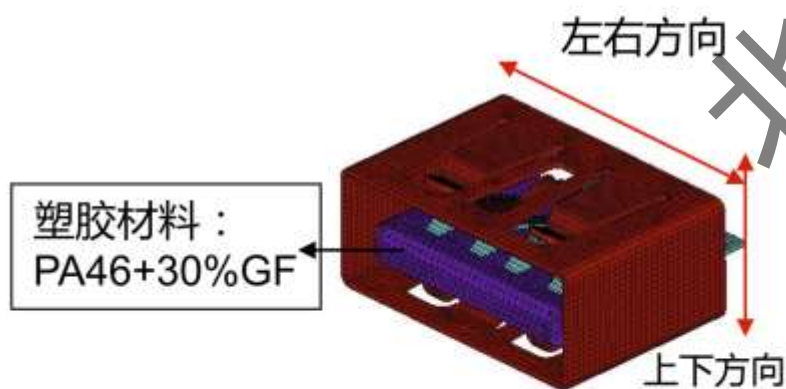
案例：USB连接器插拔力分析



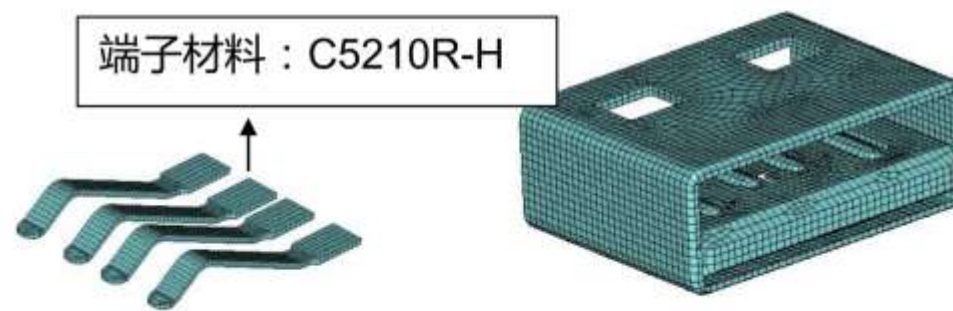
USB数据传输连接器的3D模型



USB数据传输连接器的有限元模型

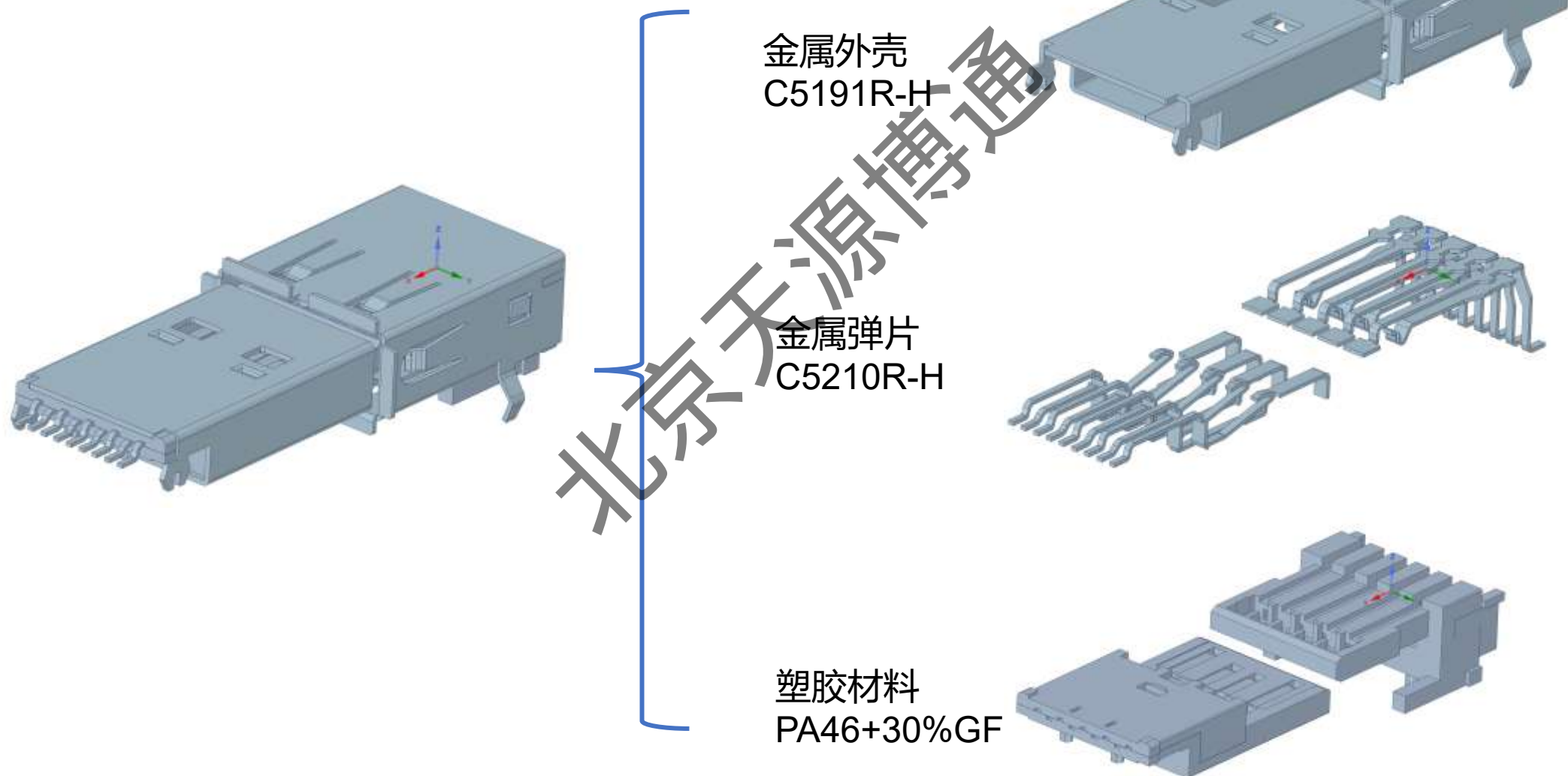


USB数据传输连接器的固定方向及各部份的材料



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



案例：USB连接器插拔力分析

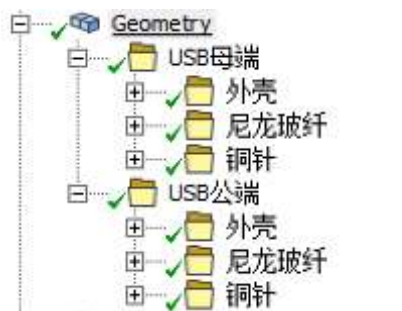
1	Contents of Engineering Data	Source	Description
2	Material		
3	Bronze C519R-H	General_Materials.xml	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
4	Bronze C5210R-H	General_Materials.xml	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, 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 ⁻³		
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		

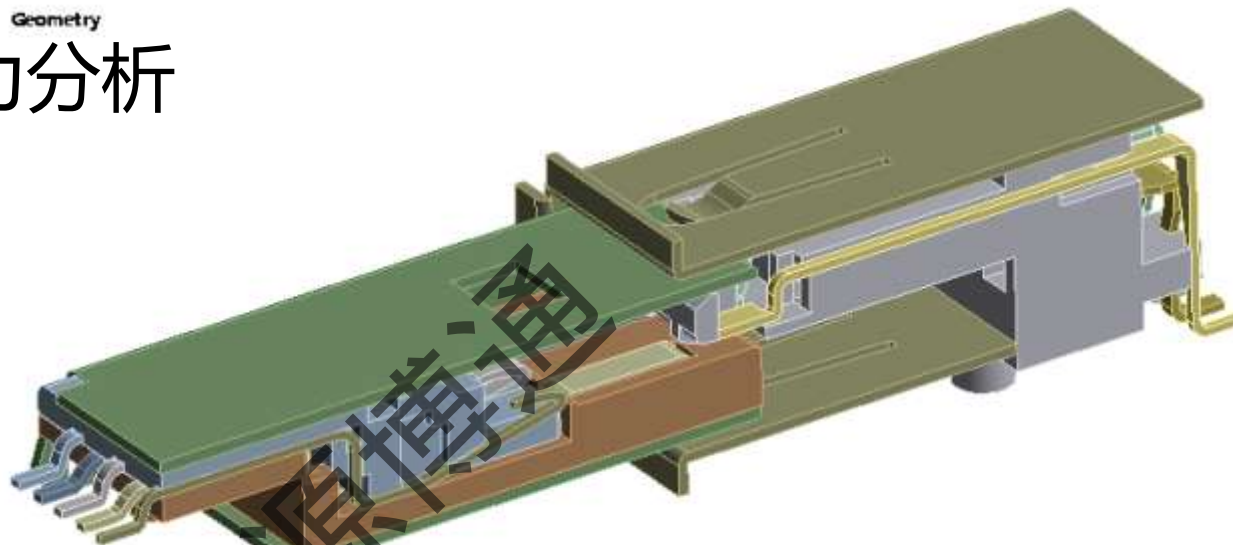
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	8910	kg m ⁻³		
4	Isotropic Elasticity				
5	Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio			
6	Young's Modulus	1.097E+11	Pa		
7	Poisson's Ratio	0.345			
8	Bulk Modulus	1.1796E+11	Pa		
9	Shear Modulus	4.0781E+10	Pa		
10	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 ⁻³		
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

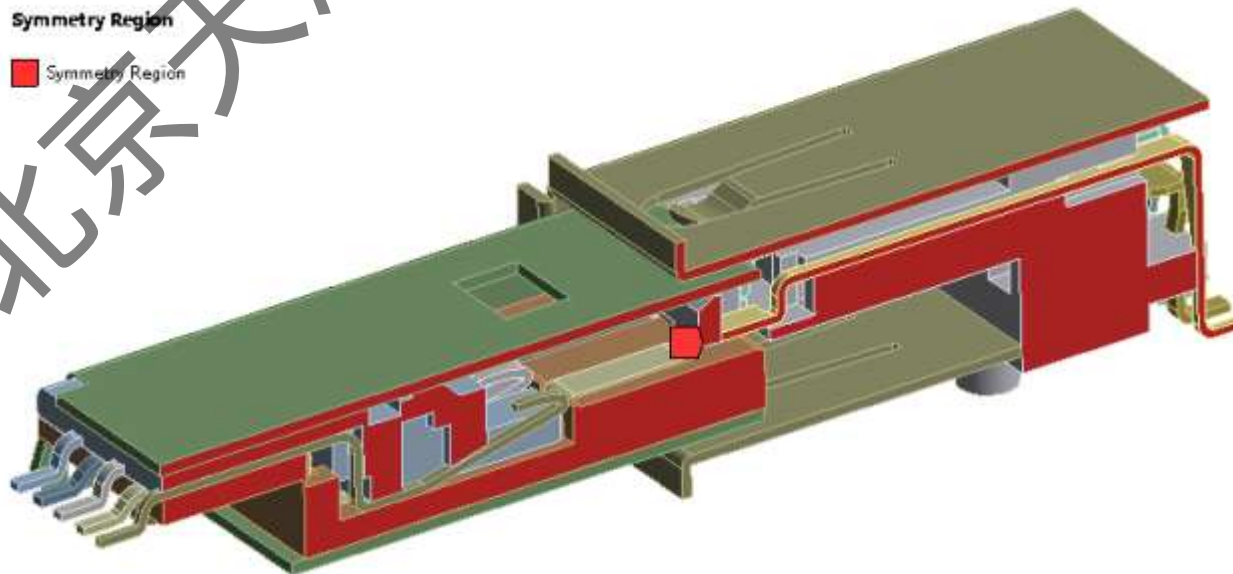
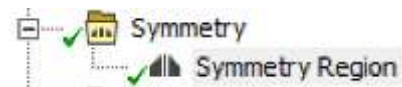


Geometry

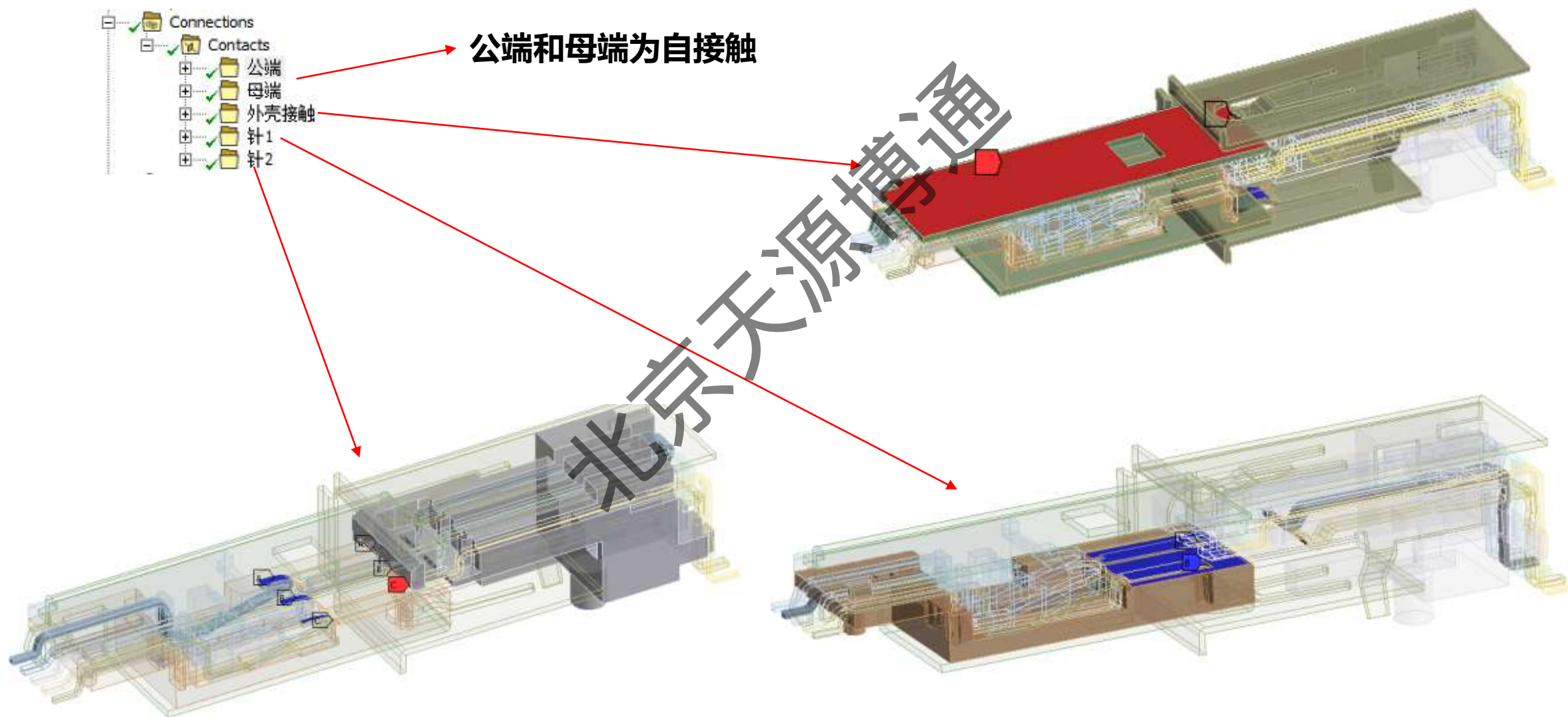


Symmetry Region

Symmetry Region



案例：USB连接器插拔力分析



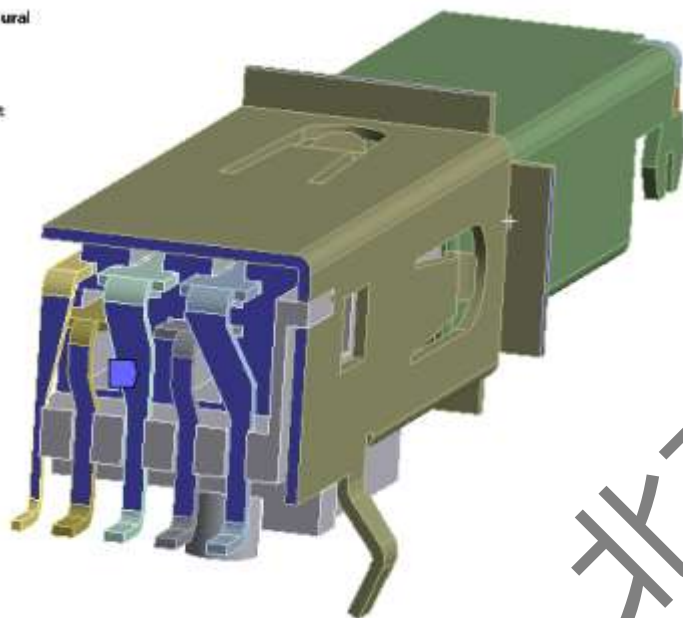
案例：USB连接器插拔力分析



- 弹片为六面体网格
- 外壳和塑胶为四面体网格
- 节点数1103317
- 网格数577514

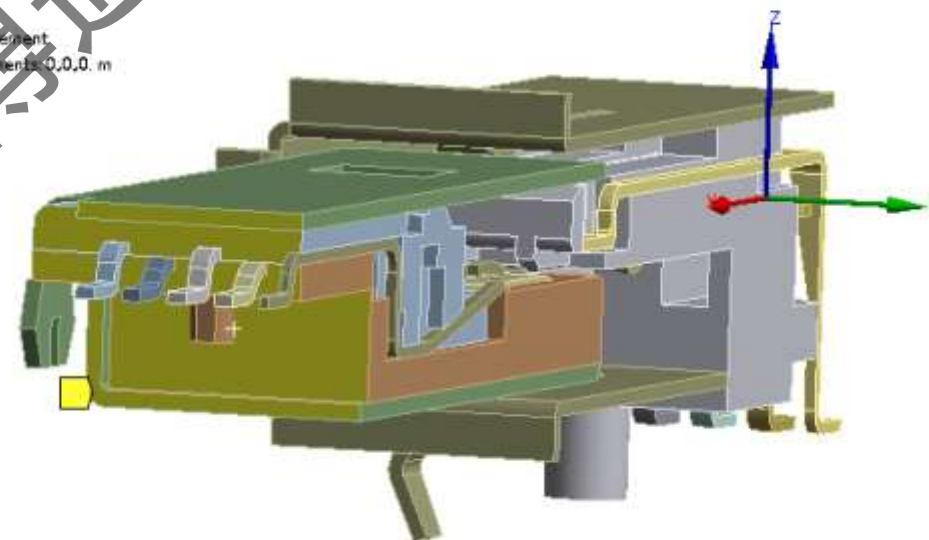
案例：USB连接器插拔力分析

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

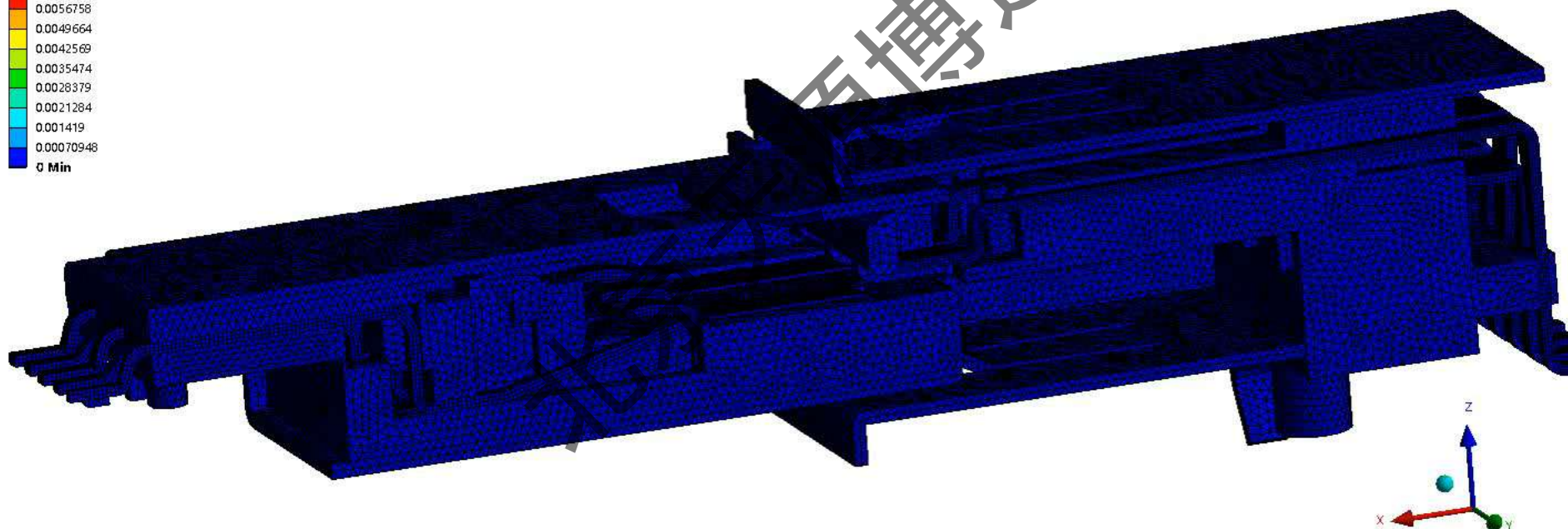


施加位移约束

案例：USB连接器插拔力分析

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

0.0063853 Max
0.0056758
0.0049664
0.0042569
0.0035474
0.0028379
0.0021284
0.001419
0.00070948
0 Min



案例：USB连接器插拔力分析

A: Static Structural
Total Deformation 3
Type: Total Deformation
Unit: m
Time: 2

1.5839e-6 Max
1.4079e-6
1.2319e-6
1.0559e-6
8.7992e-7
7.0294e-7
5.2796e-7
3.5197e-7
1.7599e-7
6.2888e-13 Min

0 0.0025 0.005 0.01 m

A: Static Structural
Total Deformation 5
Type: Total Deformation
Unit: m
Time: 2

2.0018e-5 Max
1.8327e-5
1.6837e-5
1.5746e-5
1.4656e-5
1.3567e-5
1.2478e-5
1.1389e-5
1.0299e-5
9.2100e-6
8.1211e-6
7.0322e-6
5.9433e-6
4.8544e-6
3.7655e-6
2.6766e-6
1.5877e-6
4.9888e-7
0 Min

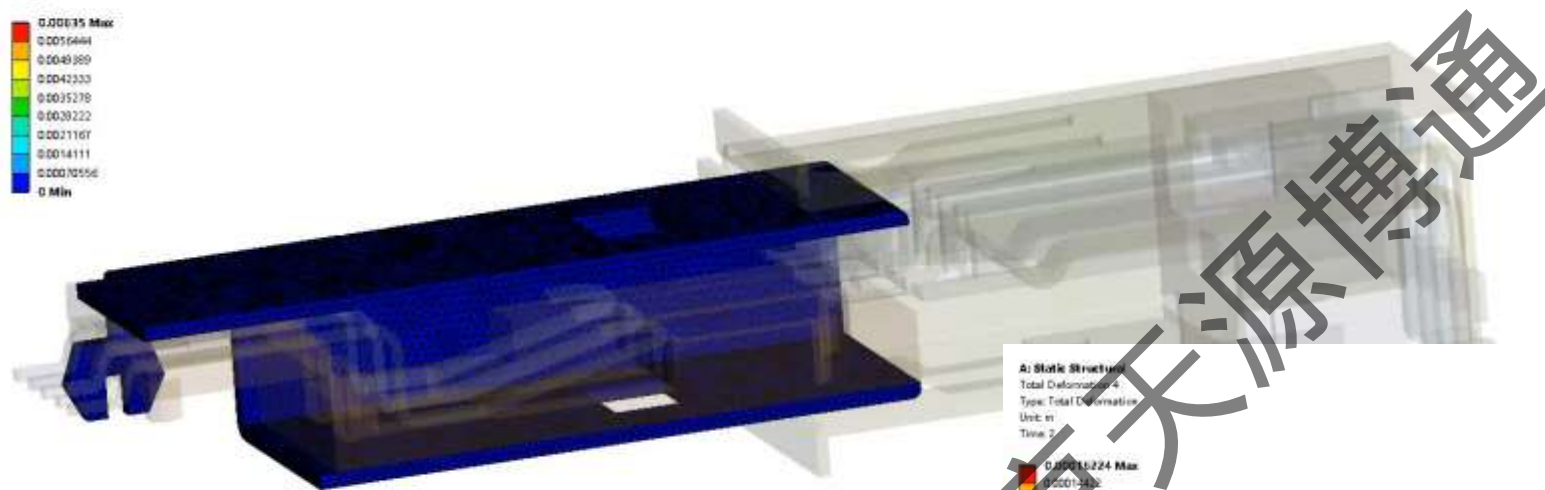
0 0.001 0.002 0.003 0.004 0.005 0.006 mm



案例：USB连接器插拔力分析

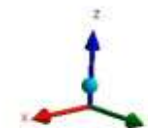
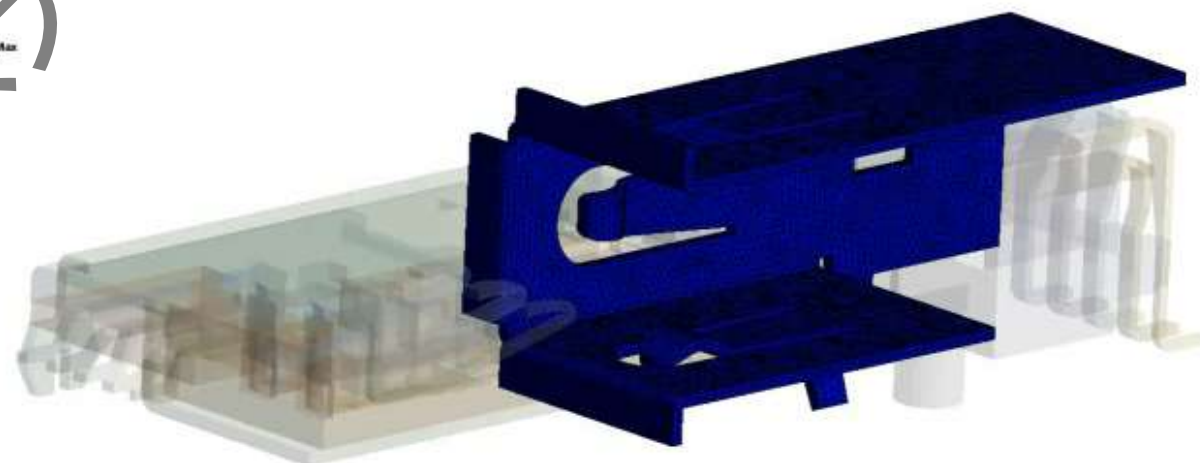
A: Static Structural
Total Deformation 2
Type: Total Deformation
Unit: m
Time: 2

0.00075 Max
0.000644
0.0004980
0.0004233
0.00035278
0.00029222
0.00021107
0.00014111
0.00002556
0 Min



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

0.00015224 Max
0.0001242
0.0000713
0.00003016
0.0000144
0.000006
5.4801e-5
3.6554e-5
1.0027e-5
0 Min



案例：USB连接器插拔力分析

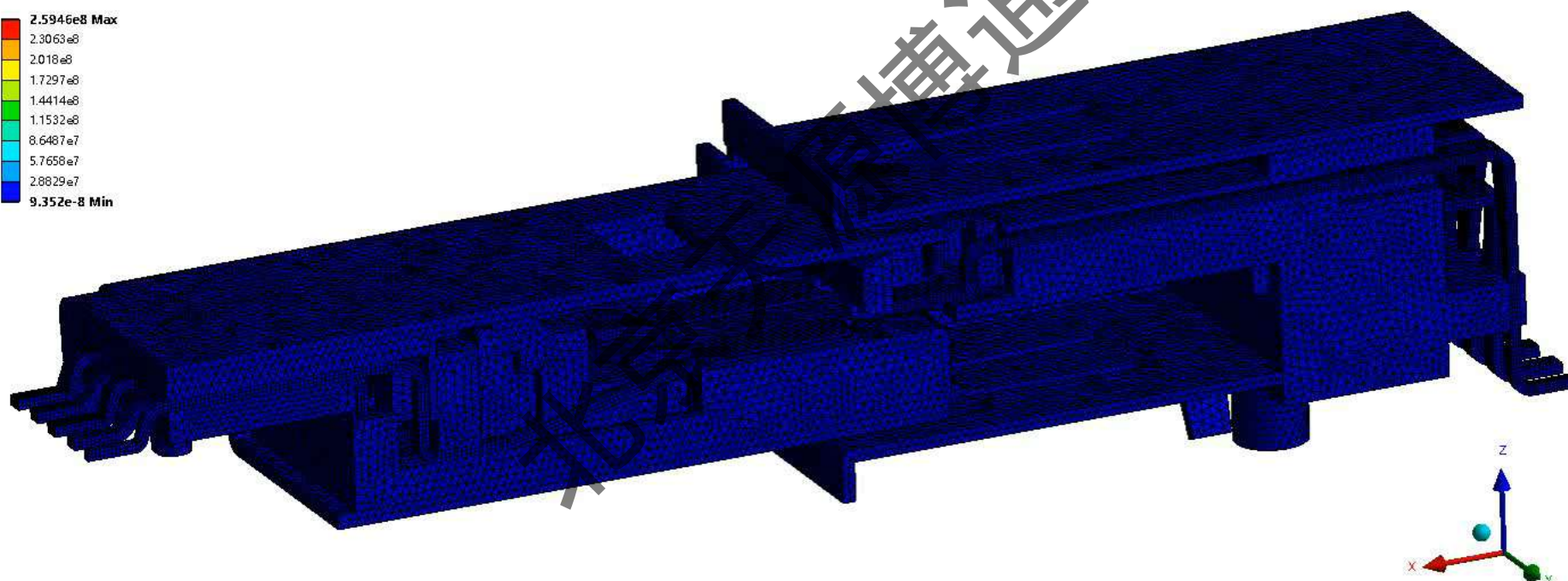
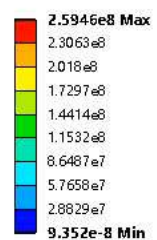
A: Static Structural

Equivalent Stress 3

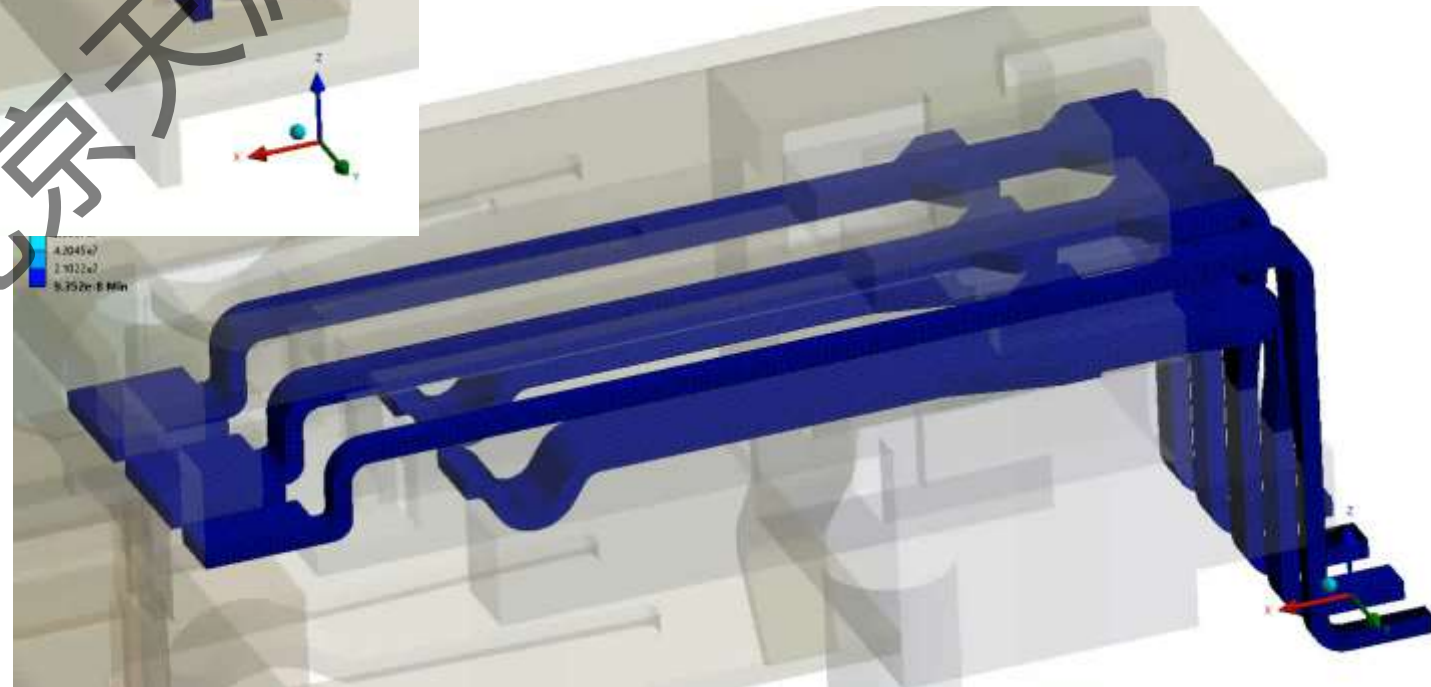
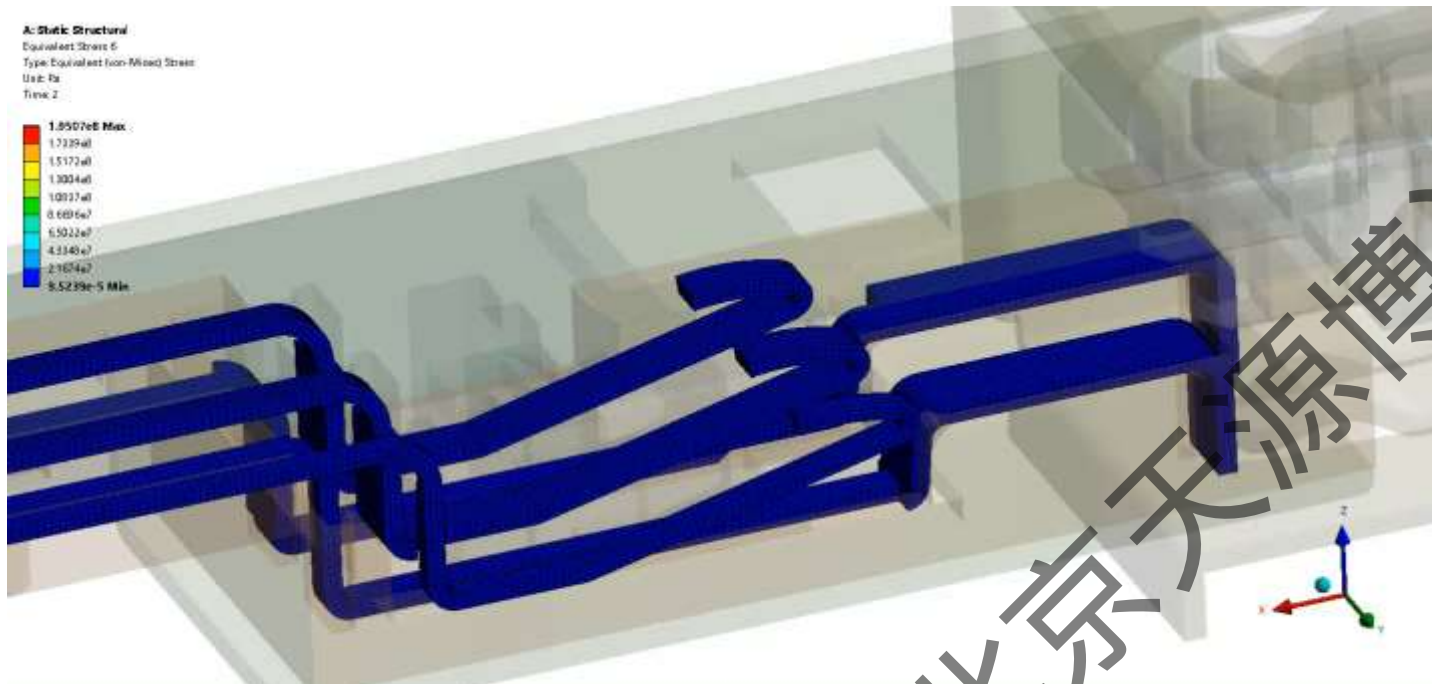
Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: Pa

Time: 2



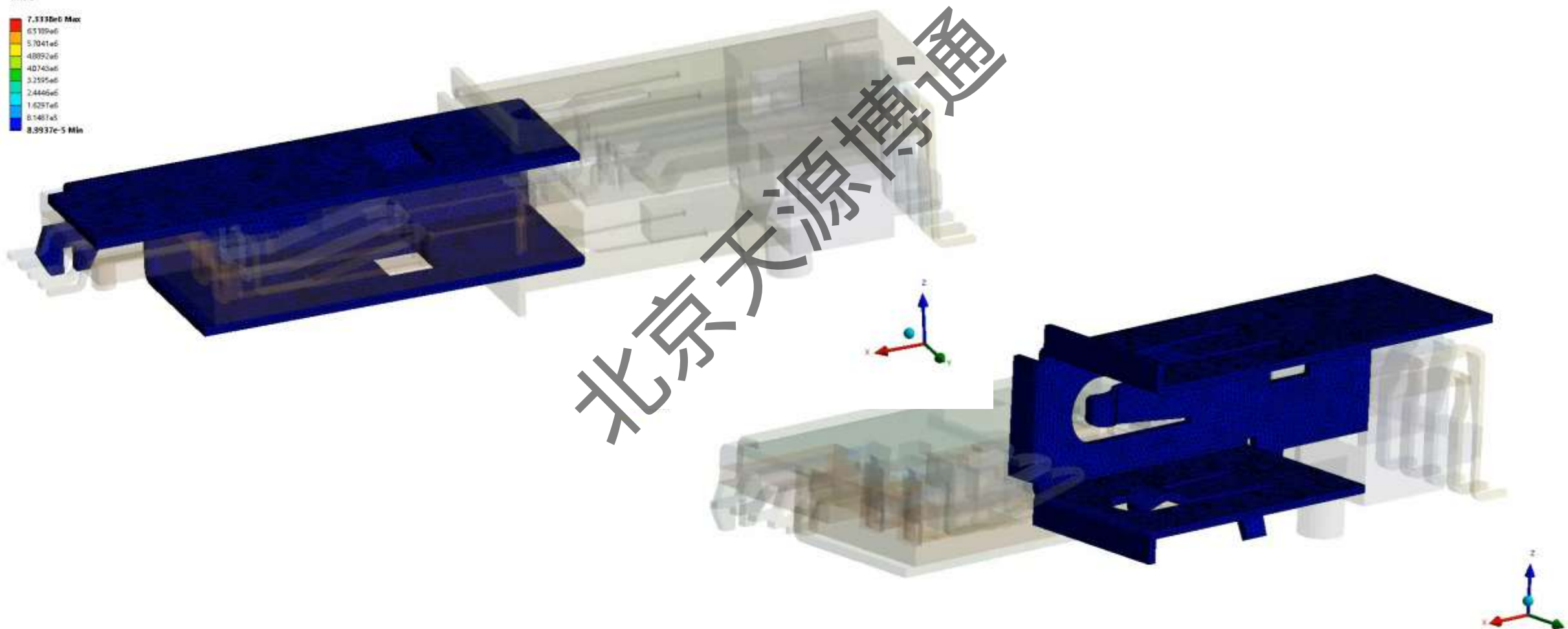
案例：USB连接器插拔力分析



案例：USB连接器插拔力分析

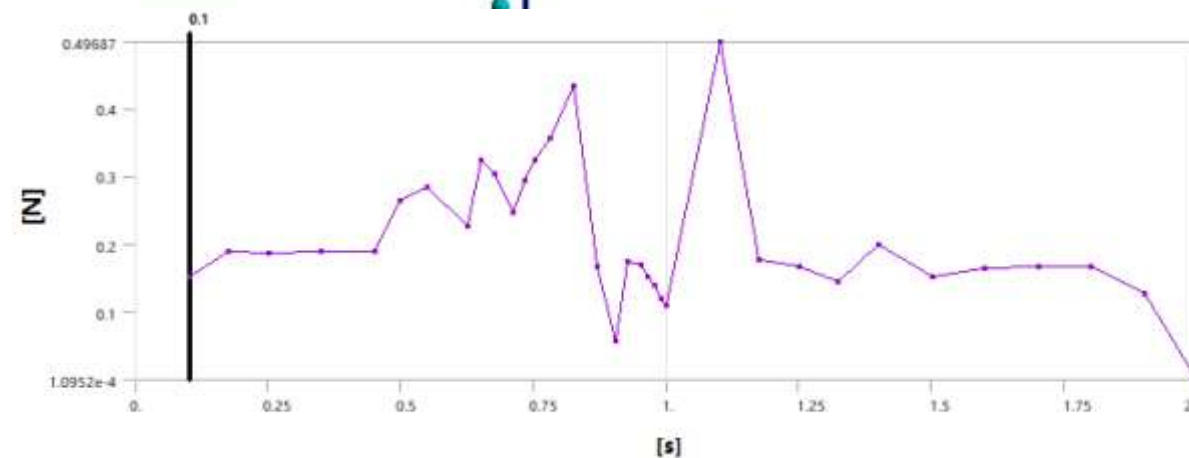
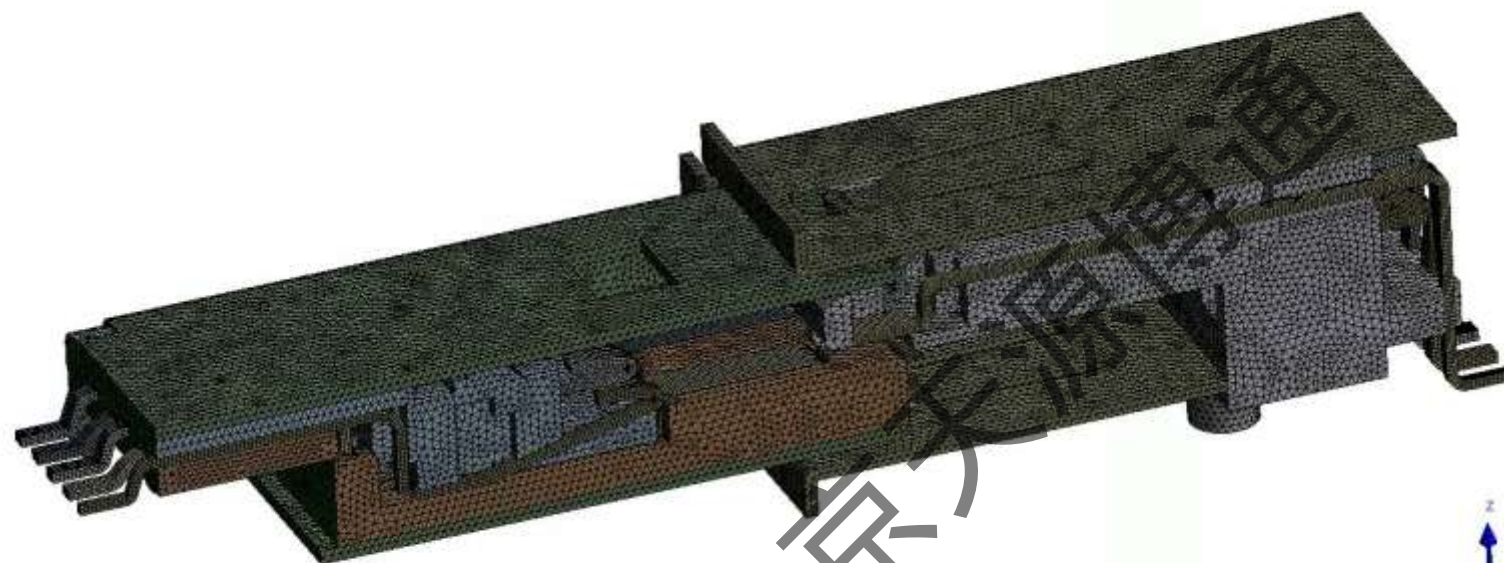
A: Static Structural
Equivalent Stress -1
Type: Equivalent (von Mises) Stress
Unit: Pa
Time: 2

7.3338e6 Max
6.5109e6
5.7041e6
4.8892e6
4.0743e6
3.2595e6
2.4446e6
1.6297e6
8.1487e5
8.9937e-5 Min



案例：USB连接器插拔力分析

A: Static Structural
Force Reaction



北京天源博通

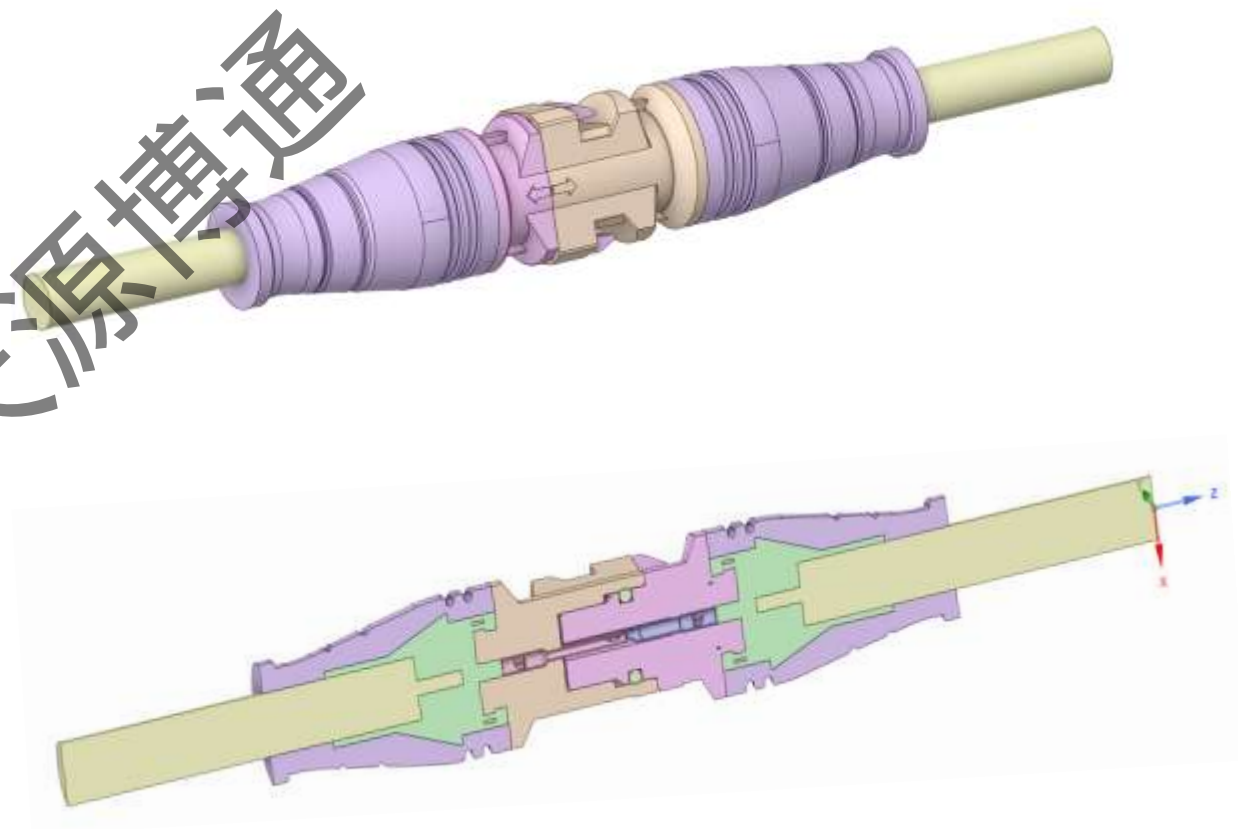
案例二：圆形防水连接器振动仿真

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 ⁻³
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/m³
 弹性模量：1.05E11Pa
 泊松比：0.34
 屈服强度：409.9MPa
 极限强度：495MPa

1. 高电导热性

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

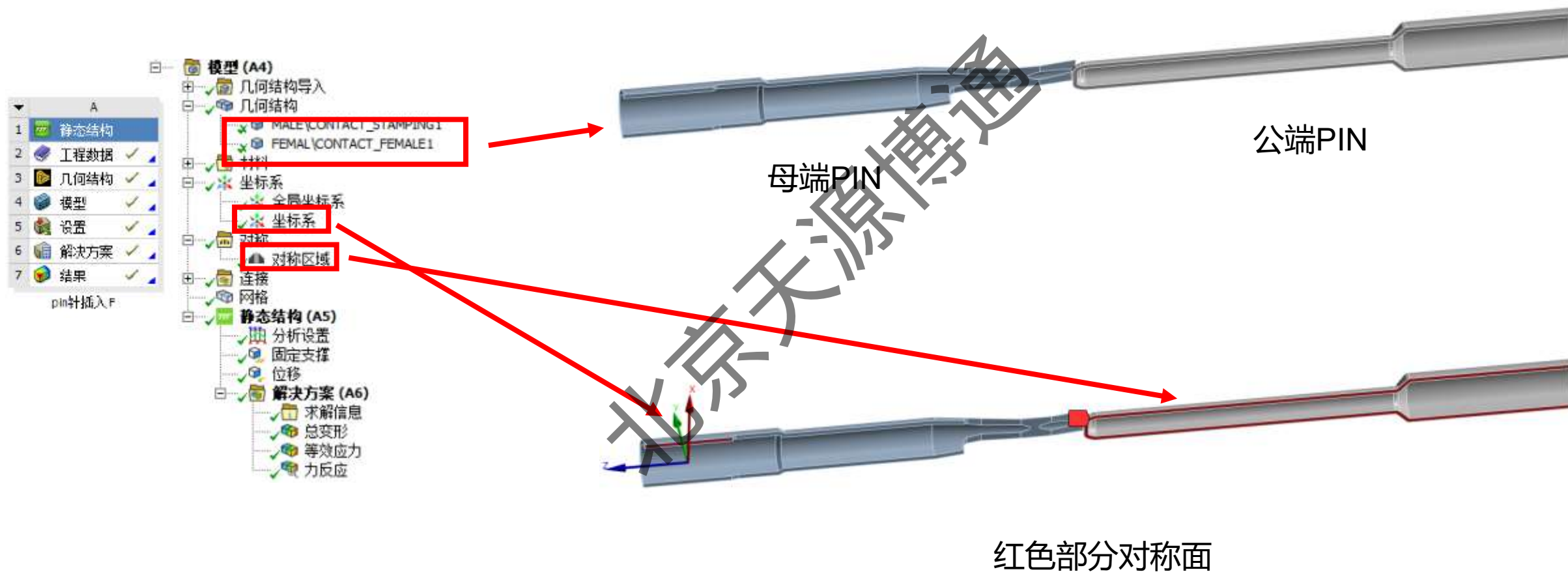
4. 耐腐蚀性能

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

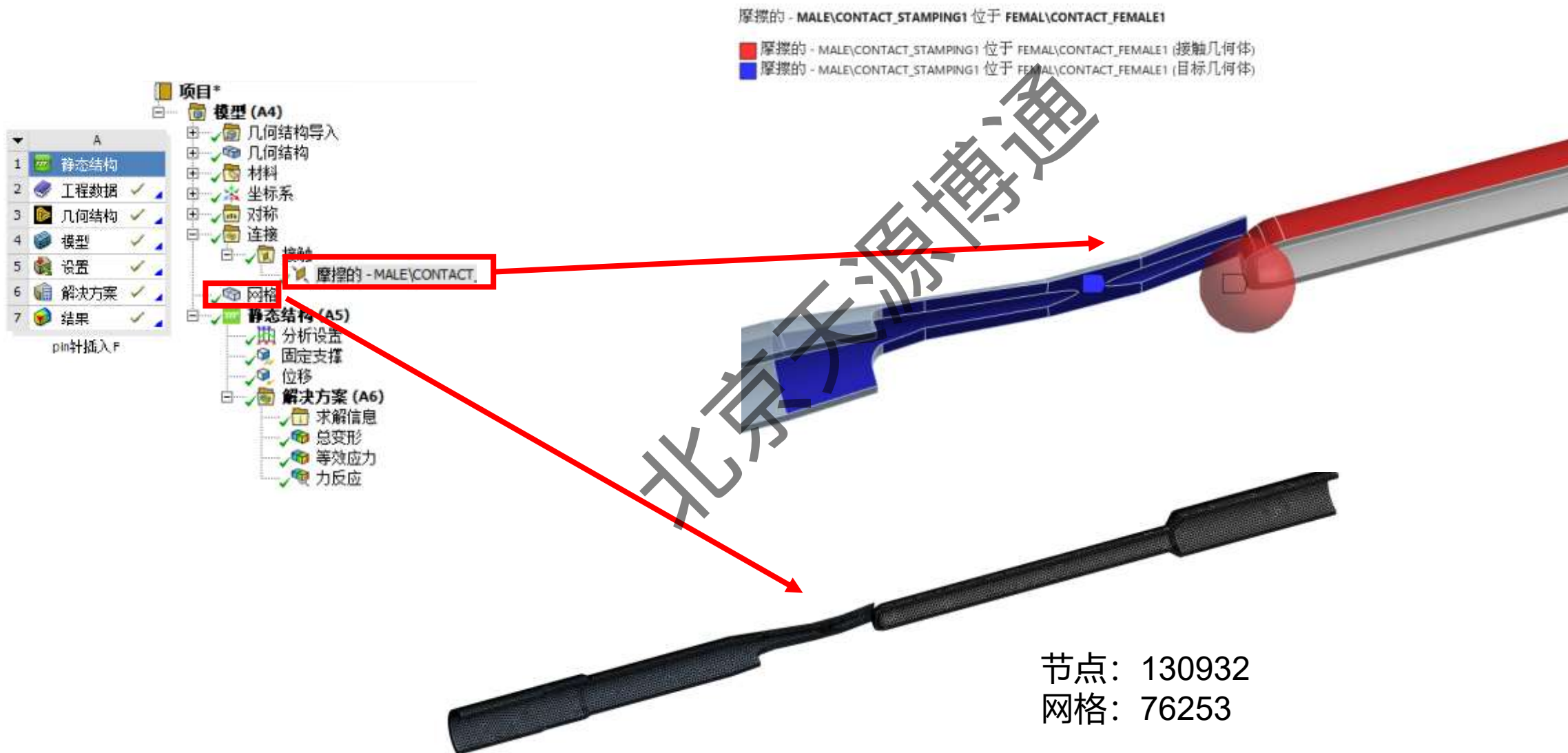
主要应用领域

- 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



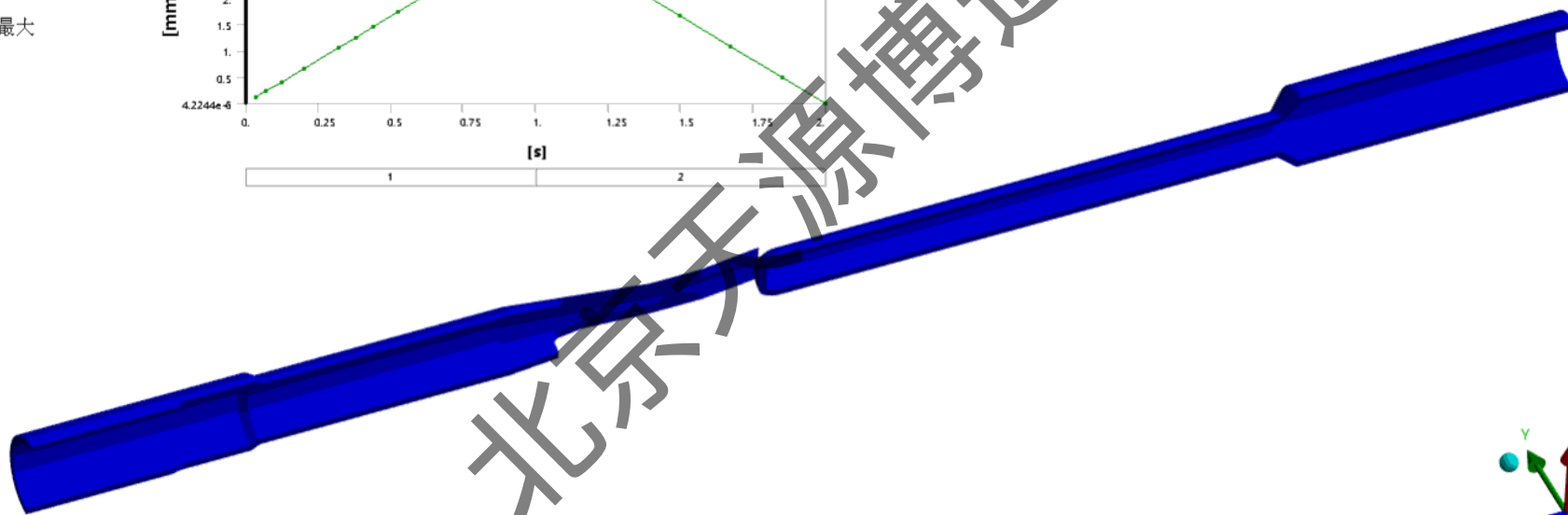
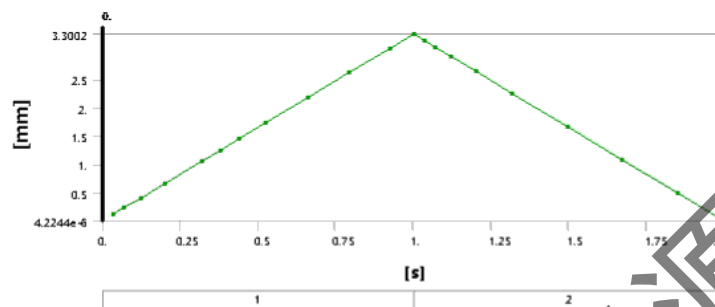
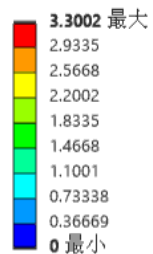
属性	步骤 1	步骤 2
步进控制		
步骤结束时间	1.	2.
自动时步	打开	打开
定义依据	子步	子步
携带时步	N/A	关闭
初始子步	10	10
最小子步	1	1
最大子步	100	100
非线性控制		
力收敛	程序控制	程序控制
力矩收敛	程序控制	程序控制
位移收敛	程序控制	程序控制
旋转收敛	程序控制	程序控制
能量收敛	程序控制	程序控制
残差	程序控制	程序控制
稳定性	程序控制	程序控制



步骤	时间 [s]	✓ X [mm]	✓ Y [mm]	✓ Z [mm]
1	0.	= 0.	= 0.	0.
2	1.	0.	0.	3.3
3	2.	= 0.	= 0.	0.

案例：圆形防水连接器振动仿真-插拔

A: pin针插入F
总变形
类型: 总变形
单位: mm
时间: 2 s

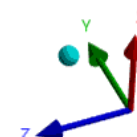
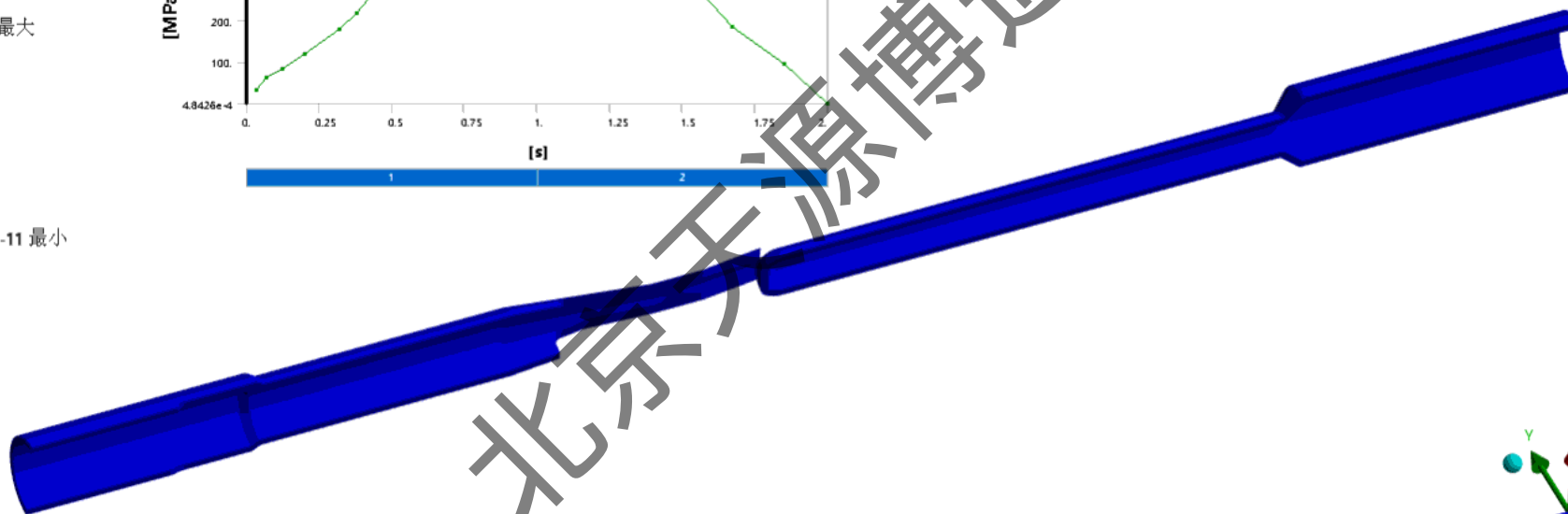
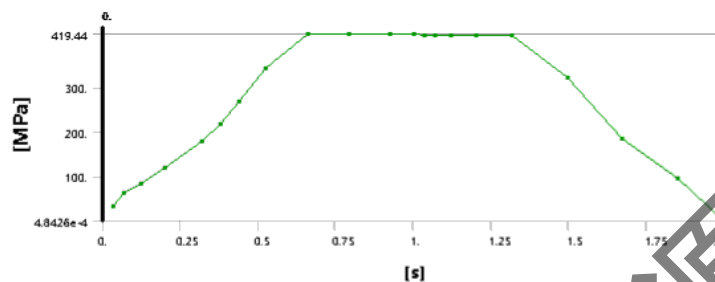


pin针插入F

案例：圆形防水连接器振动仿真-插拔

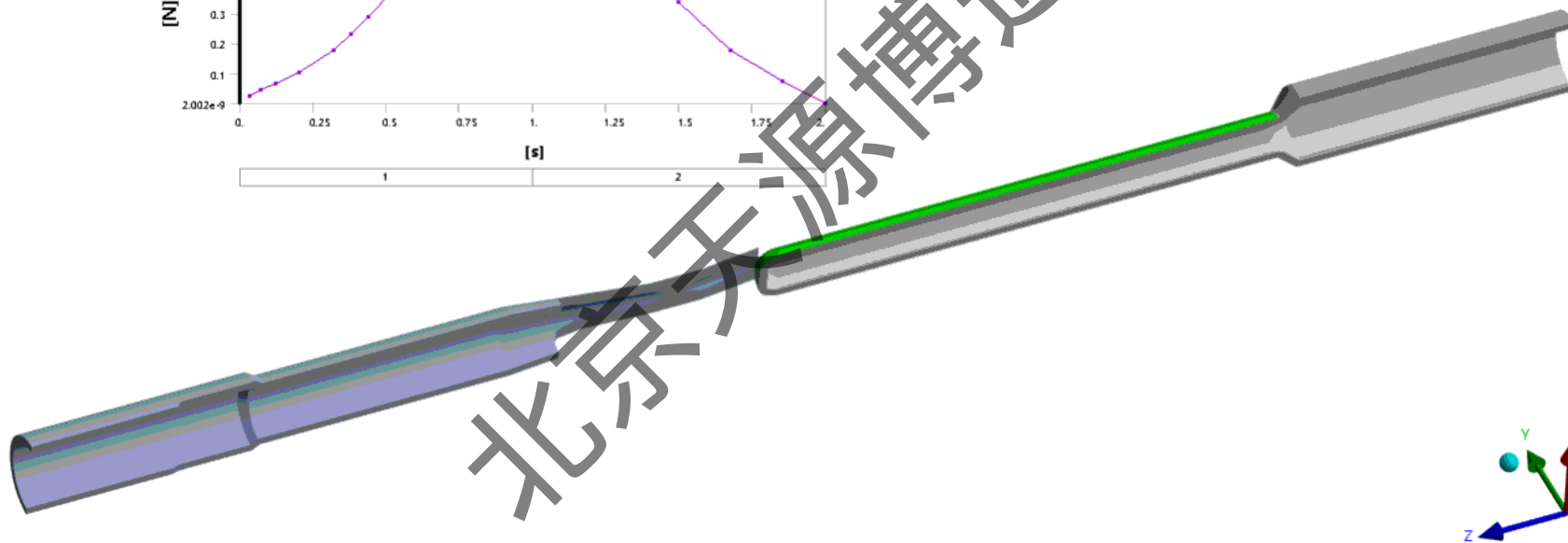
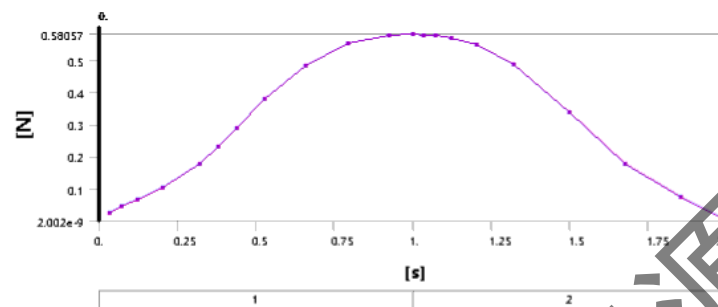
A: pin针插入F
等效应力
类型: 等效 (von-Mises) 应力
单位: MPa
时间: 1 s

419.44 最大
372.84
326.23
279.63
233.02
186.42
139.81
93.21
46.605
4.5622e-11 最小

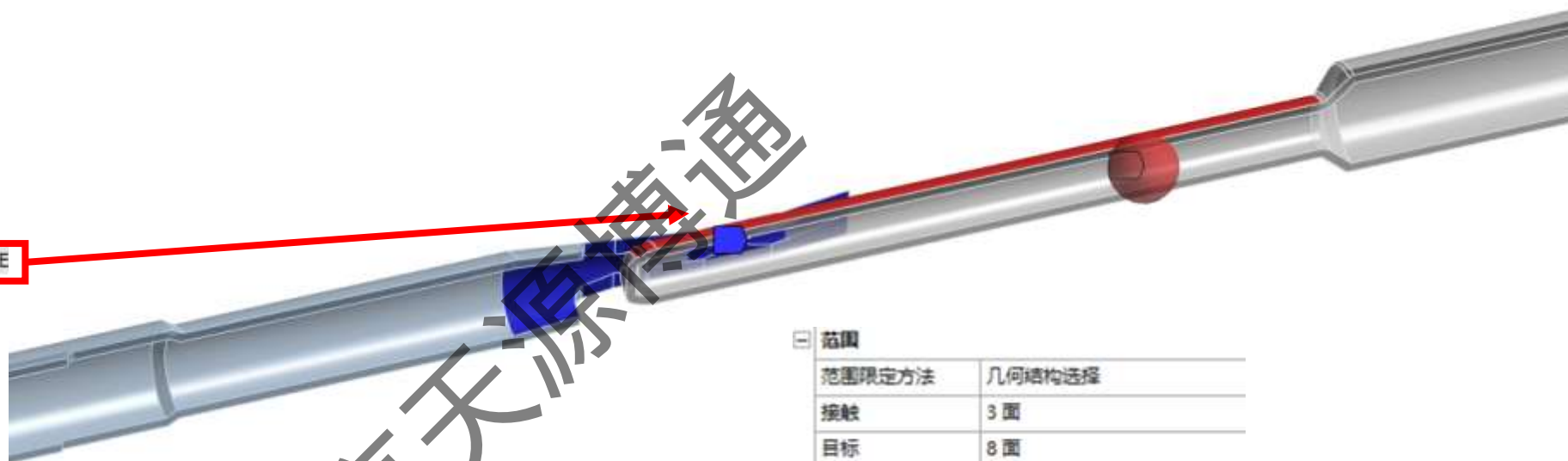
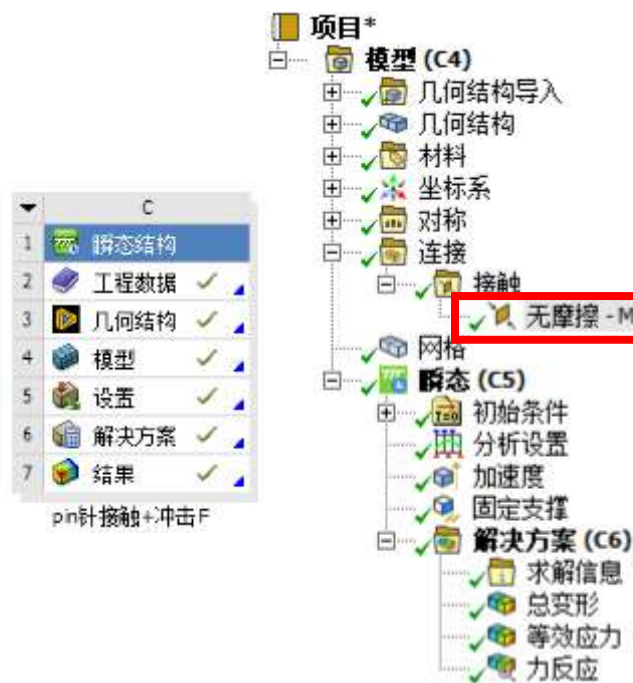


案例：圆形防水连接器振动仿真-插拔

A: pin针插入F
力反应

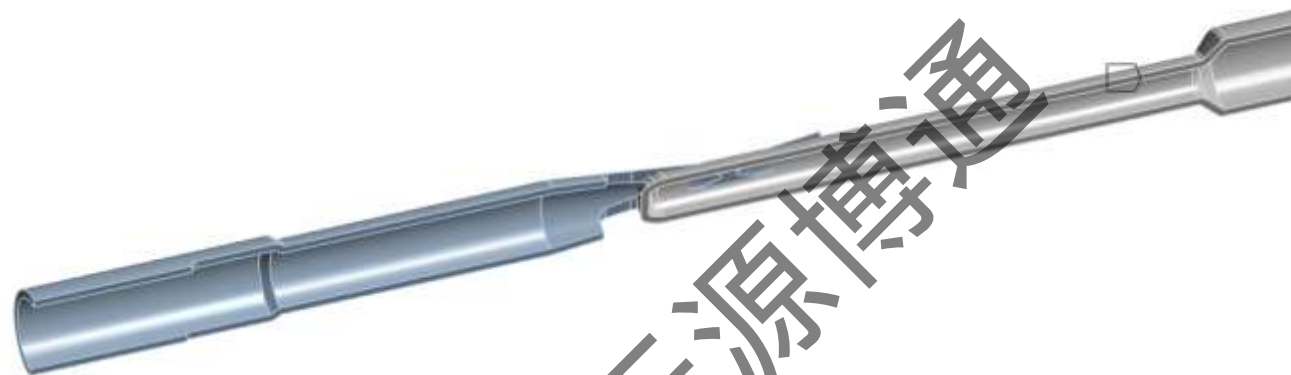
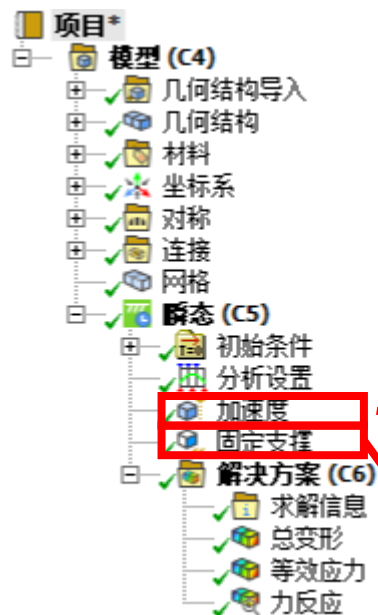


案例：圆形防水连接器振动仿真-振动



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



步骤	时间 [s]	X [mm/s²]	Y [mm/s²]	Z [mm/s²]
1	1	0.	0.	0.
2	1	0.	0.	0.
3	2	1.1	30000	0.
4	2	1.2	60000	0.
5	2	1.3	80000	0.
6	2	1.4	95000	0.
7	2	1.5	1.e+005	0.
8	2	1.6	95000	0.
9	2	1.7	80000	0.
10	2	1.8	60000	0.
11	2	1.9	30000	0.
12	2	2.	0.	0.
13	N/A	2.1	0.	0.
14	N/A	2.2	0.	0.
15	N/A	2.3	0.	0.
16	N/A	2.4	0.	0.
17	N/A	2.5	0.	0.
18	N/A	2.6	0.	0.
19	N/A	2.7	0.	0.
20	N/A	2.8	0.	0.
21	N/A	2.9	0.	0.
22	N/A	3.	0.	0.

属性	步骤 1	步骤 2
步进控制		
步骤结束时间	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
初始子步	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

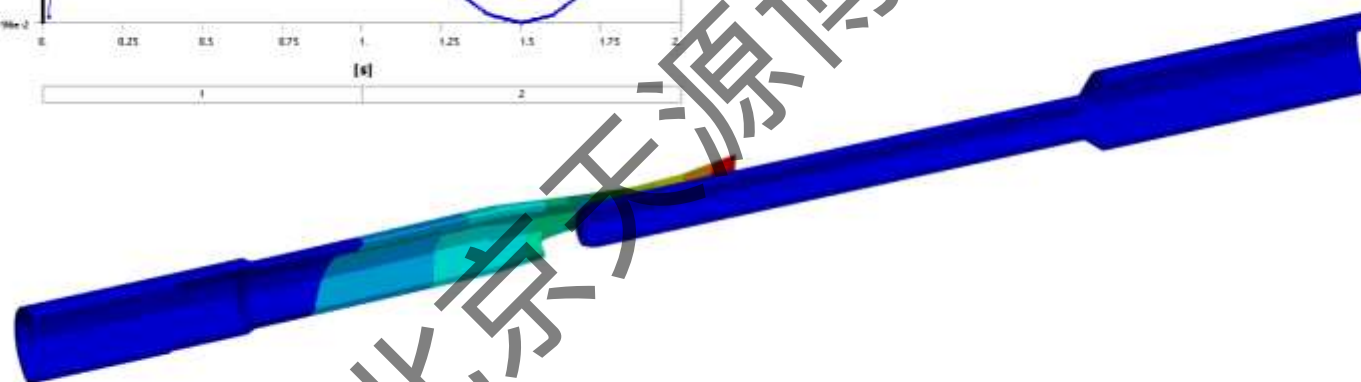
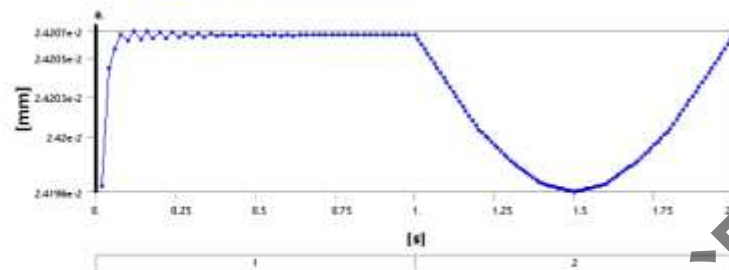
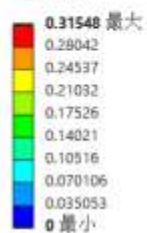


案例：圆形防水连接器振动仿真-振动



pin针接触+冲击F

C: pin针接触+冲击F
总变形
类型: 总变形
单位: mm
时间: 2 s

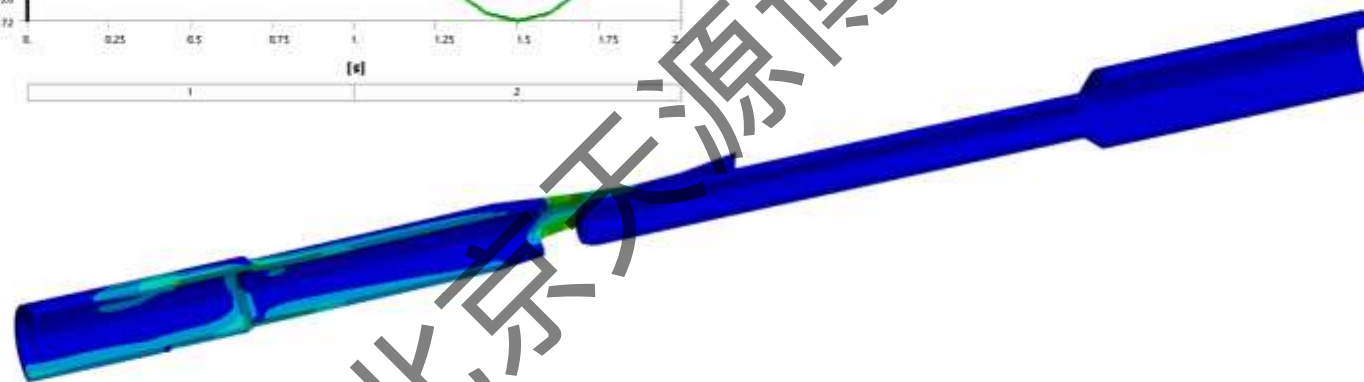
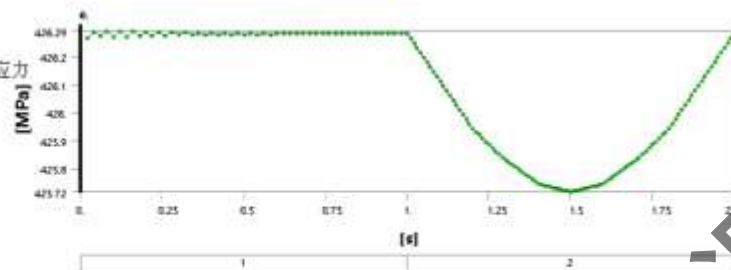
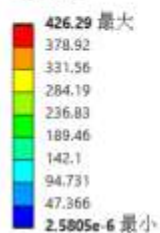


案例：圆形防水连接器振动仿真-振动



pin针接触+冲击F

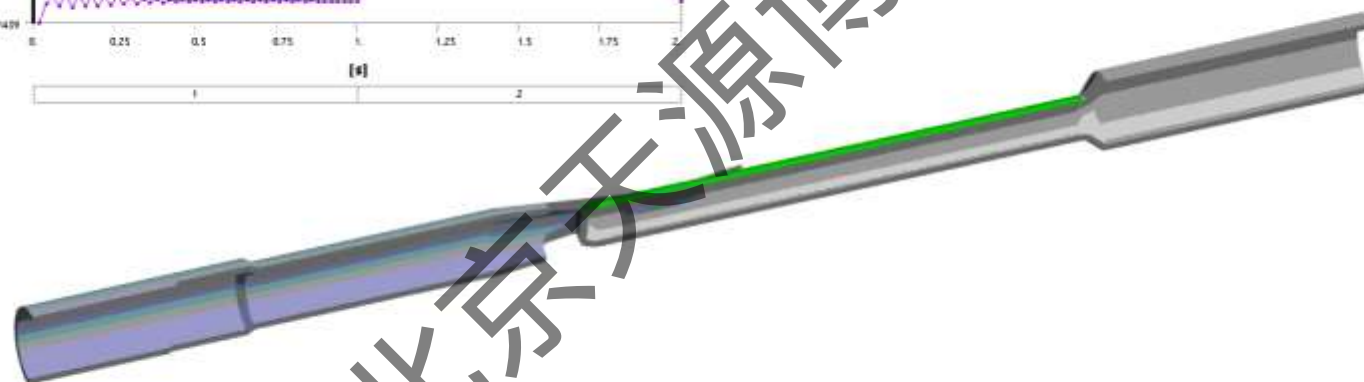
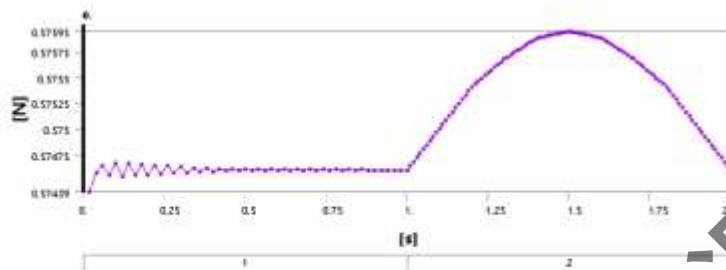
C: pin针接触+冲击F
等效应力
类型: 等效 (von-Mises) 应力
单位: MPa
时间: 2 s



案例：圆形防水连接器振动仿真-振动



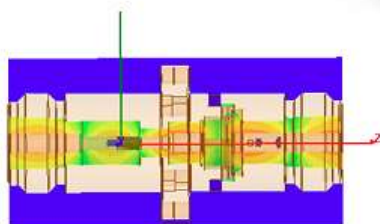
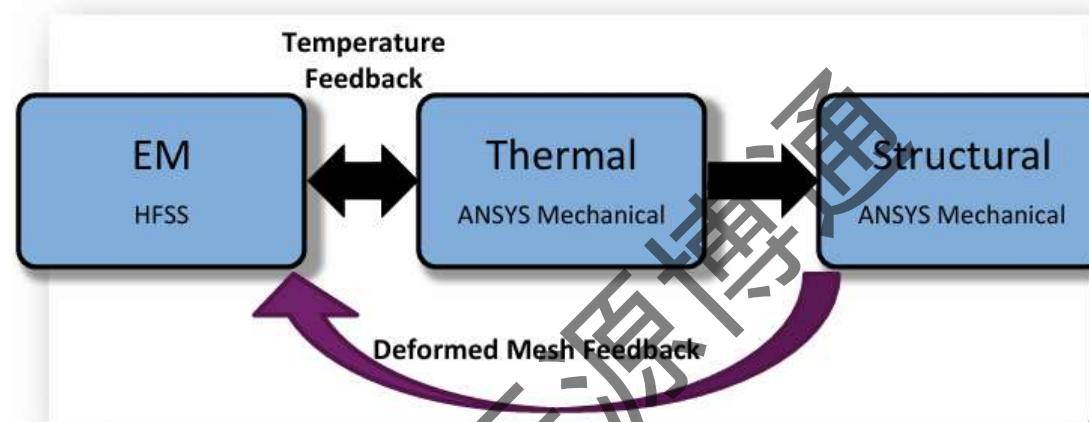
C: pin针接触+冲击F
力反应



北京天源博通

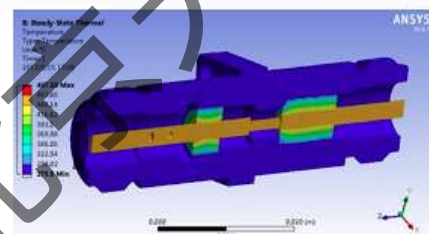
案例三：N型连接器多物理场可靠性仿真

案例：N型连接器多物理场可靠性仿真



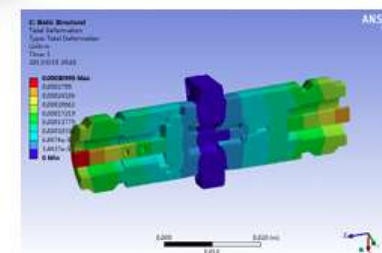
EM Analysis

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

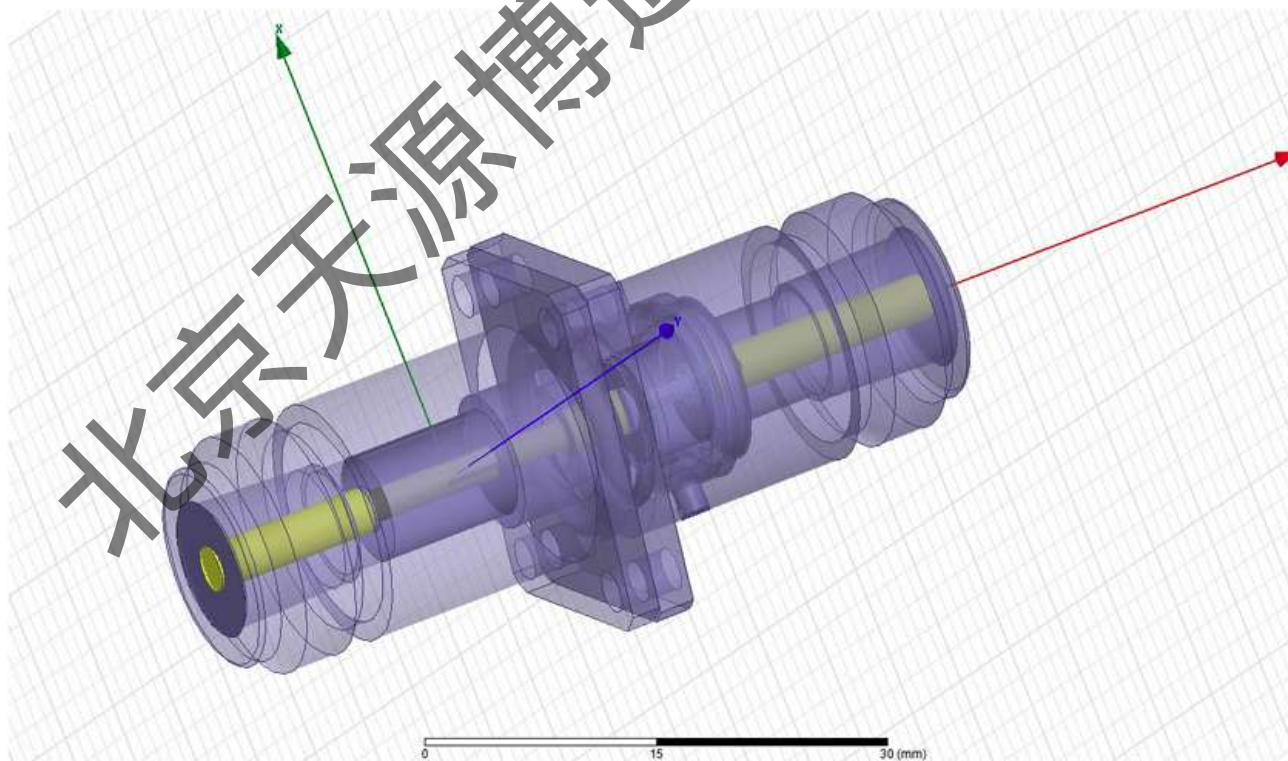
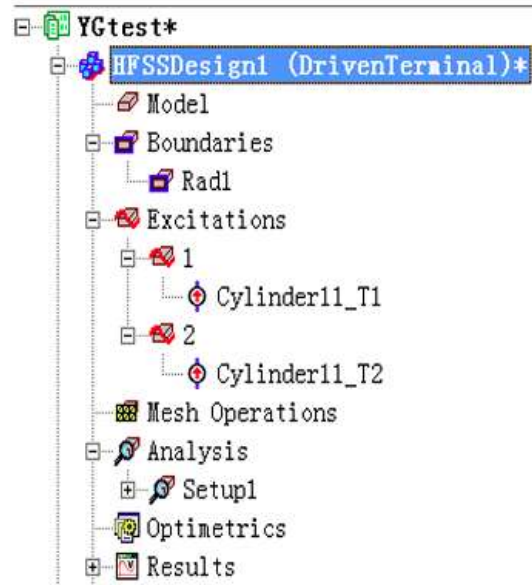


Structural Analysis

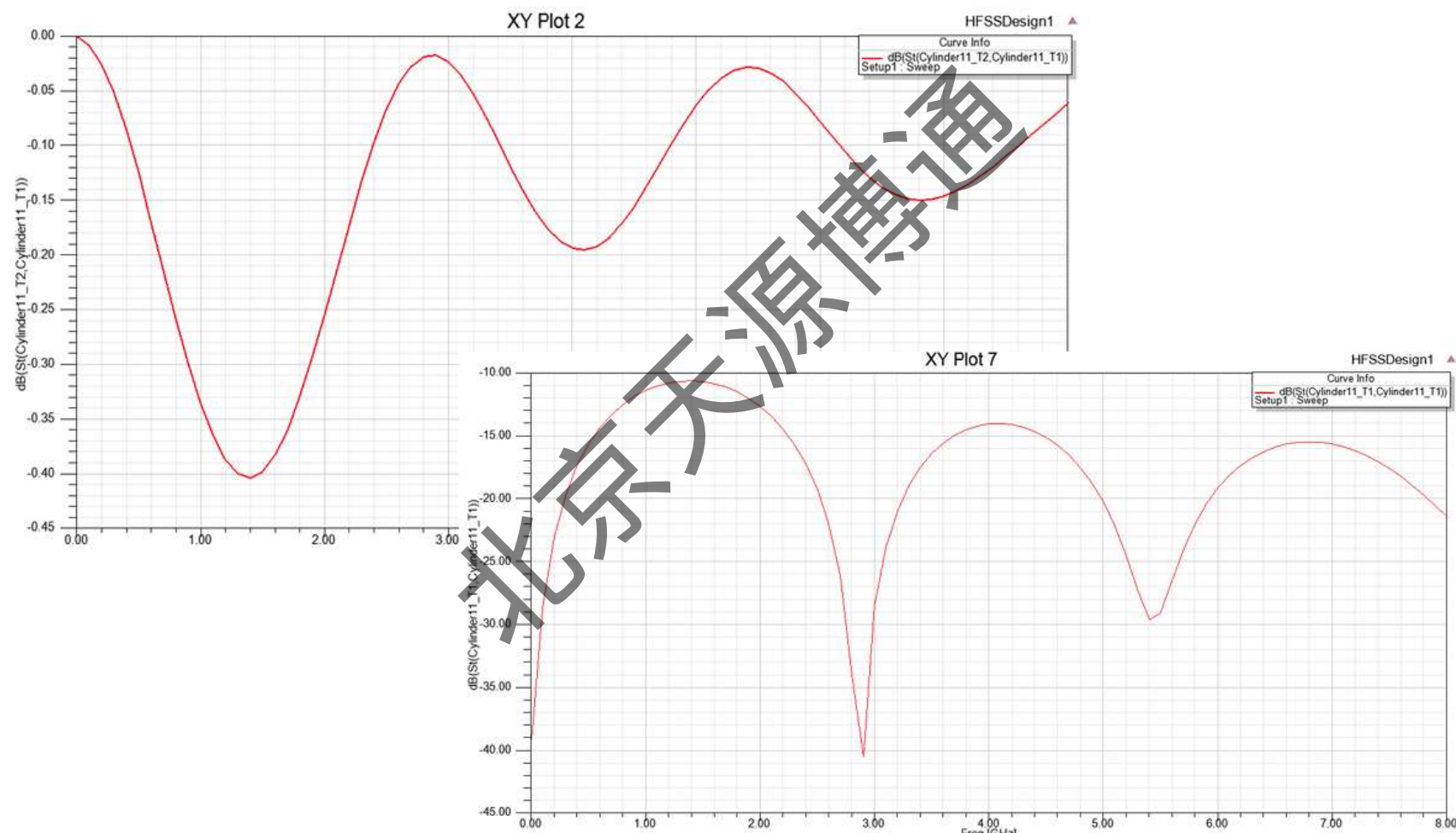
结构边界条件以及热应力分析
网格形变反馈回HFSS

案例：电磁场仿真-HFSS

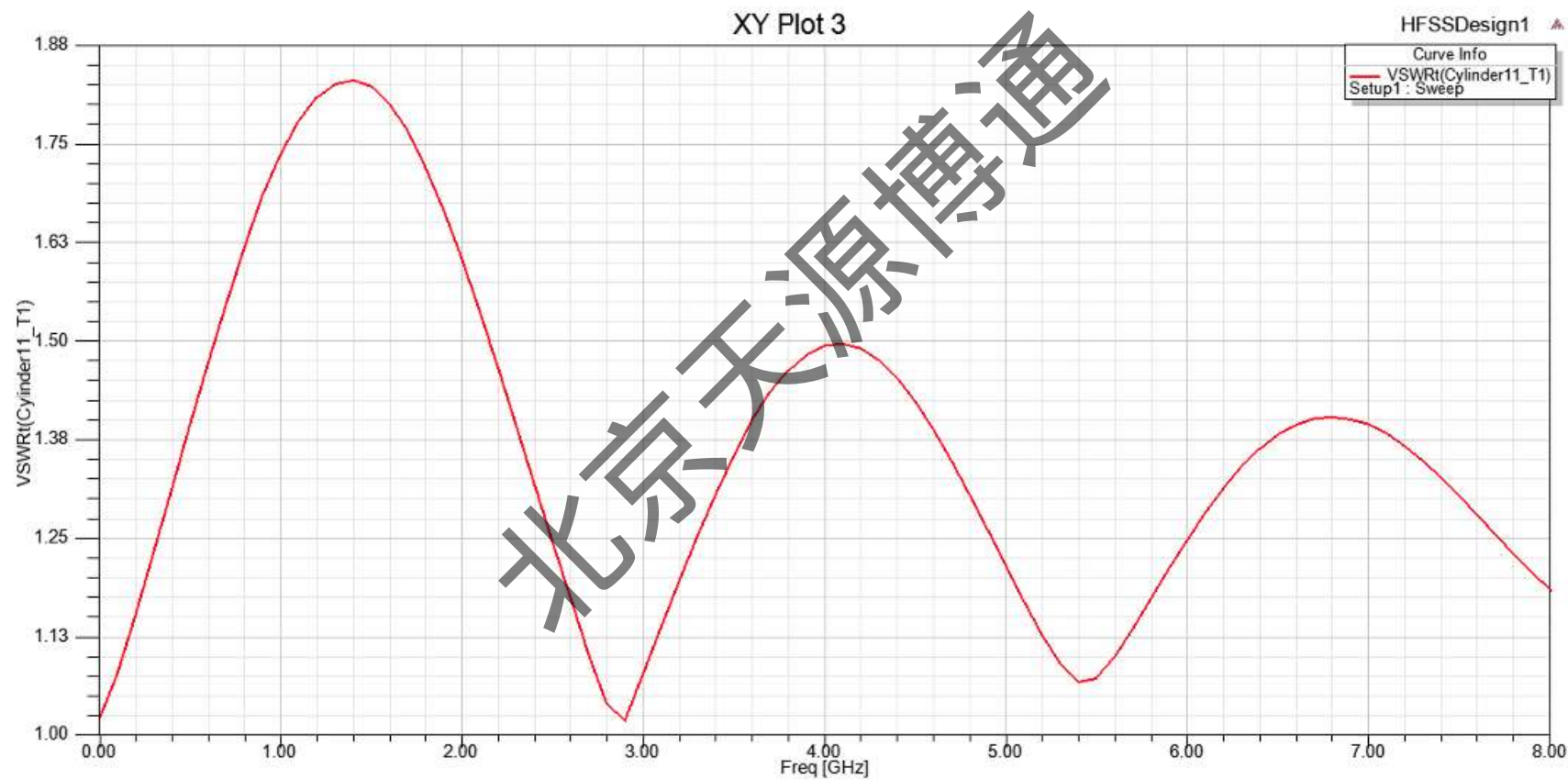
- 3D模型及仿真设置



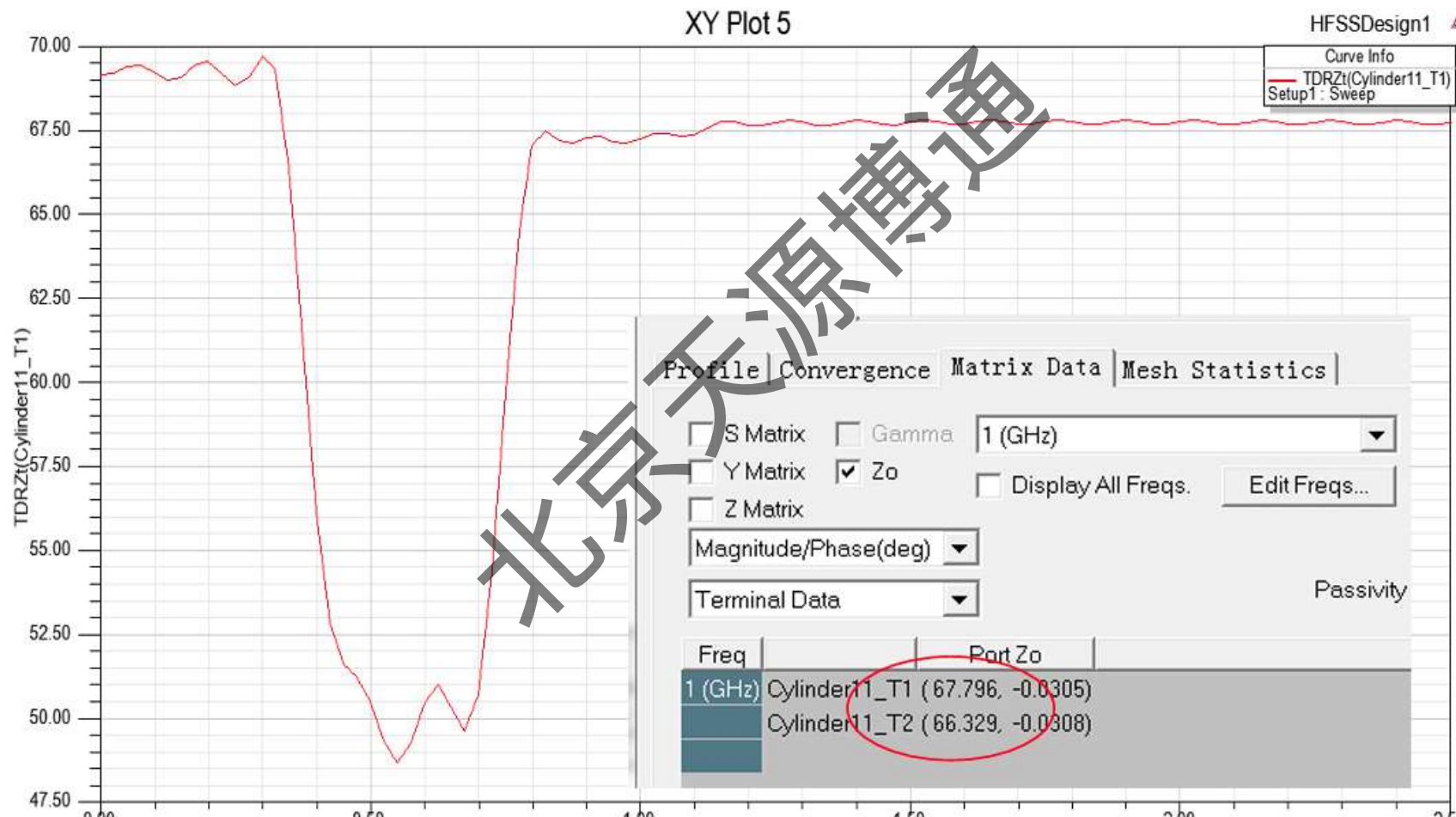
案例：插入损耗回波损耗-S21/S11



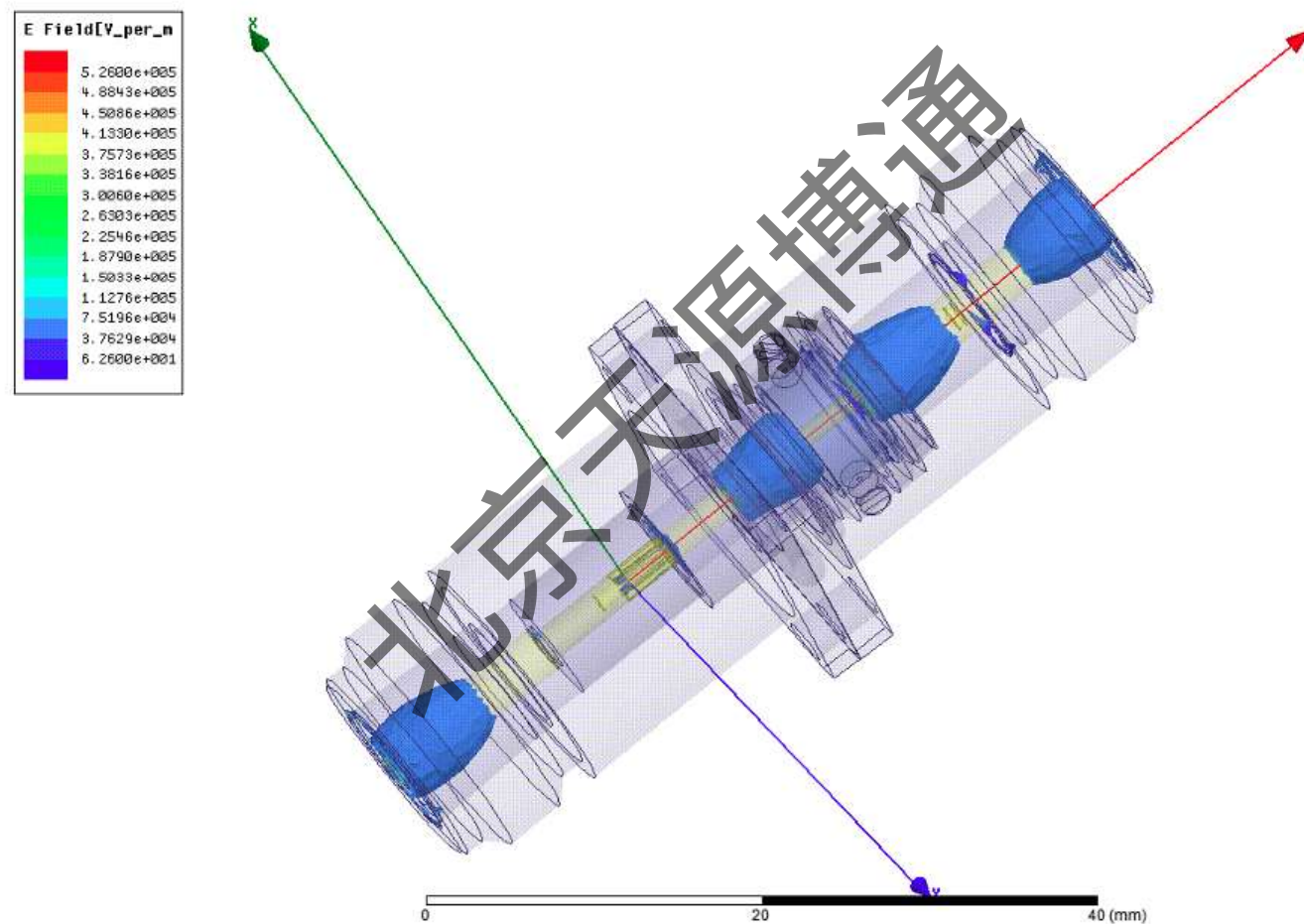
案例：驻波比-VSWR



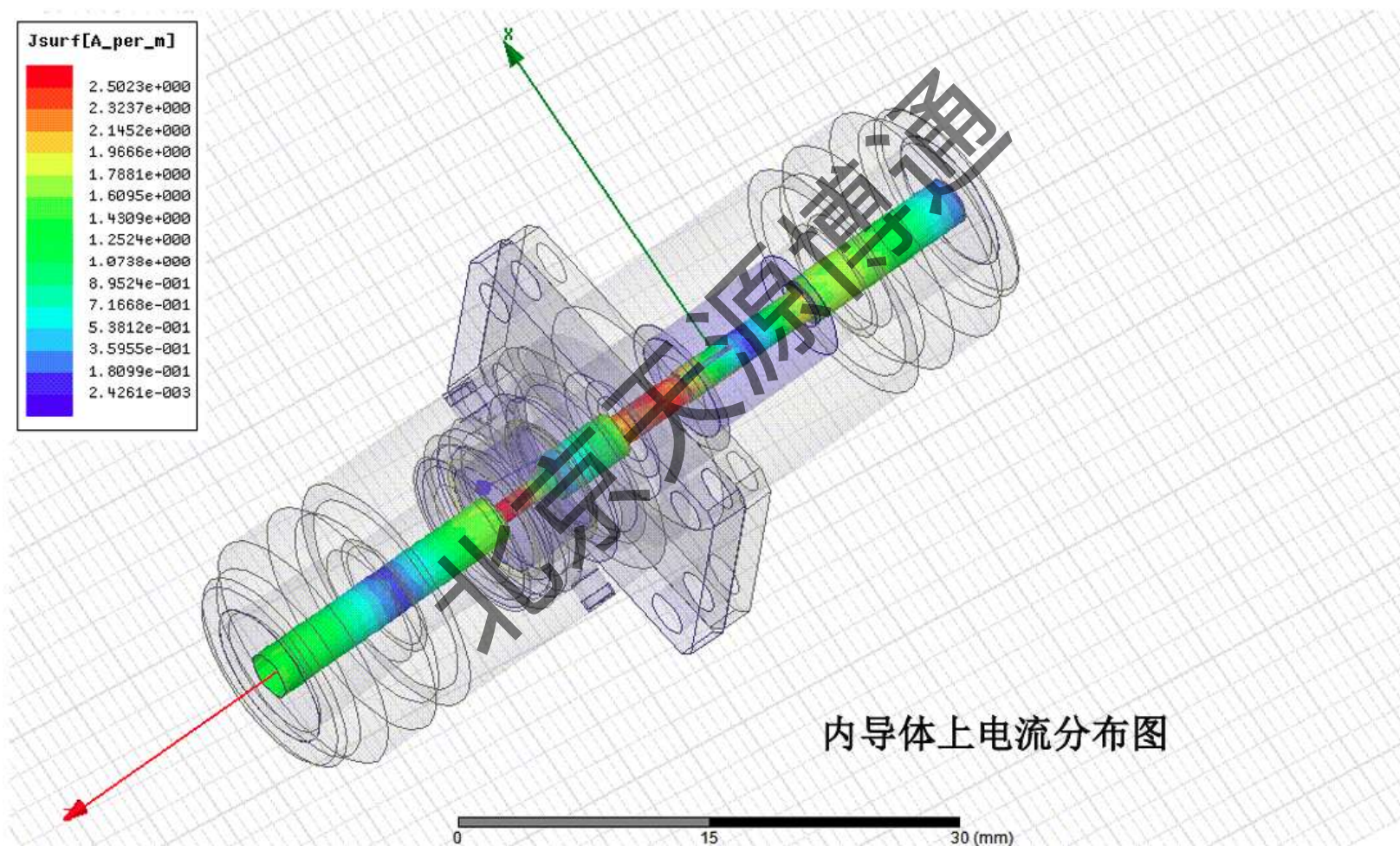
案例：TDR曲线显示



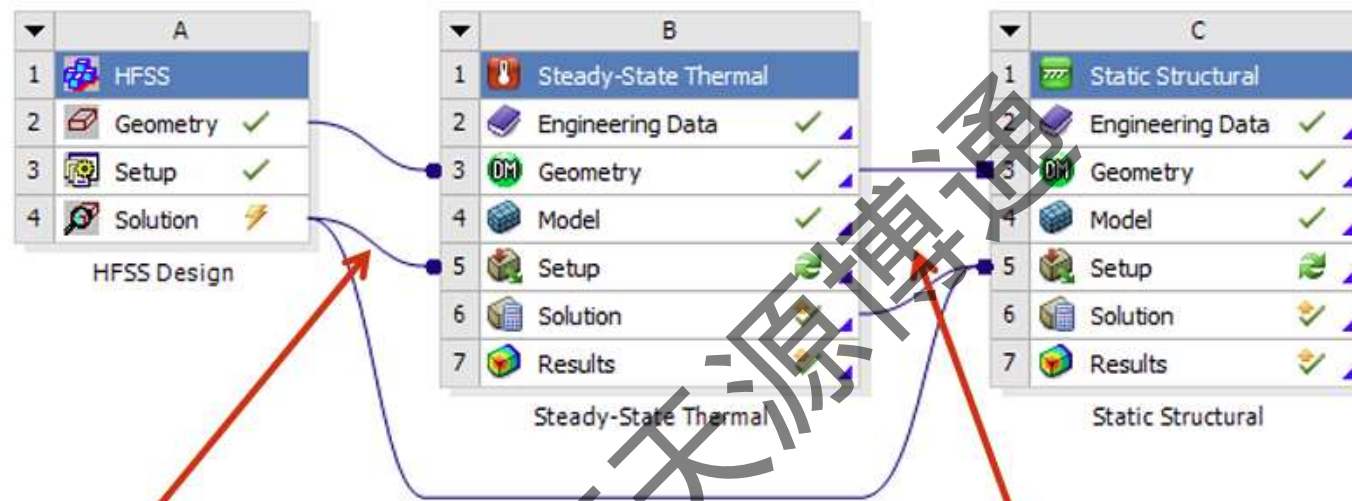
案例：电磁场分布显示



案例：电流分布图



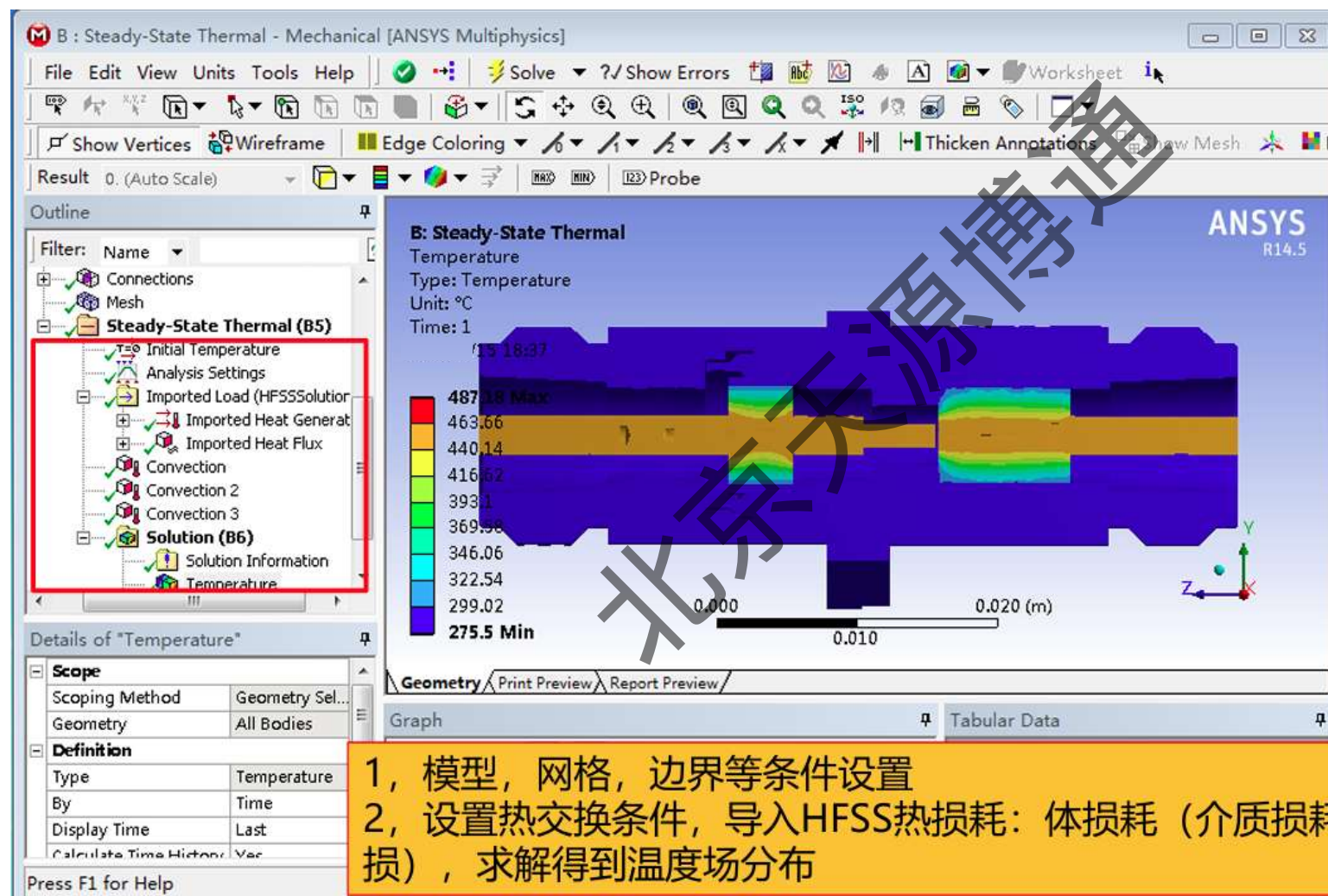
案例：建立多物理场仿真流程



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

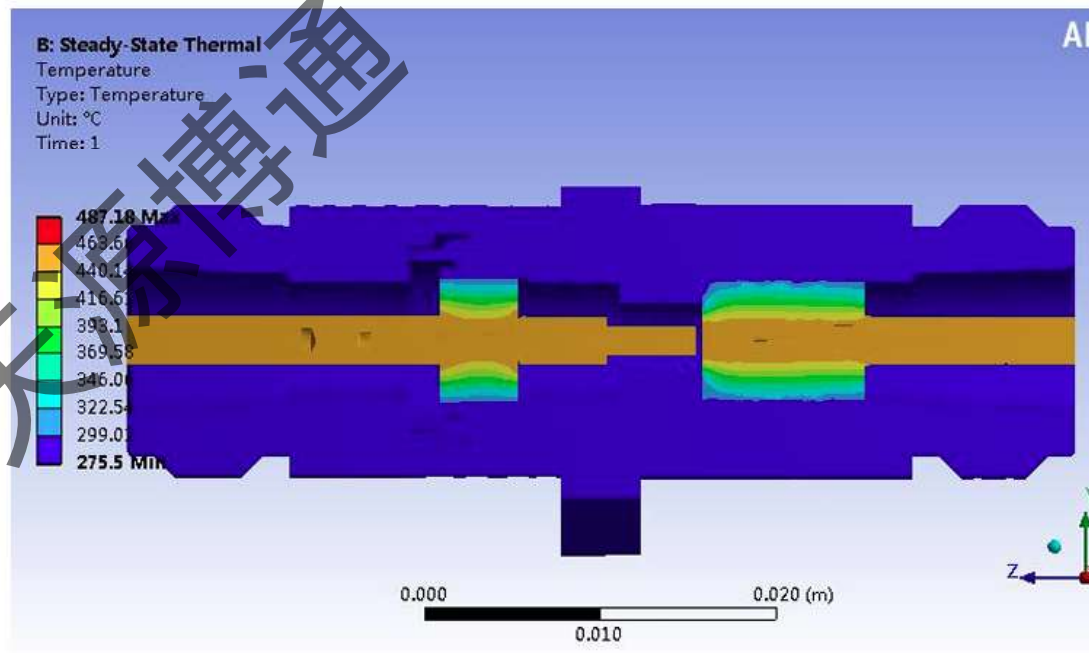
案例：热仿真分析



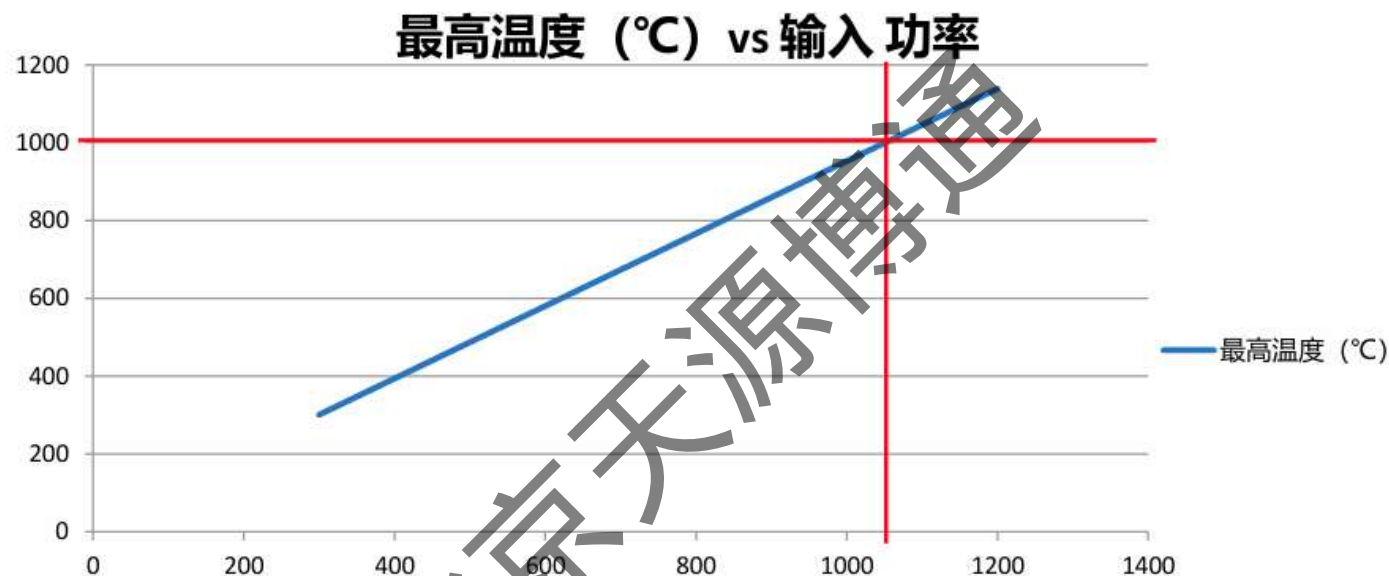
- 1, 模型, 网格, 边界等条件设置
- 2, 设置热交换条件, 导入HFSS热损耗: 体损耗 (介质损耗), 面损耗 (铜损), 求解得到温度场分布

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

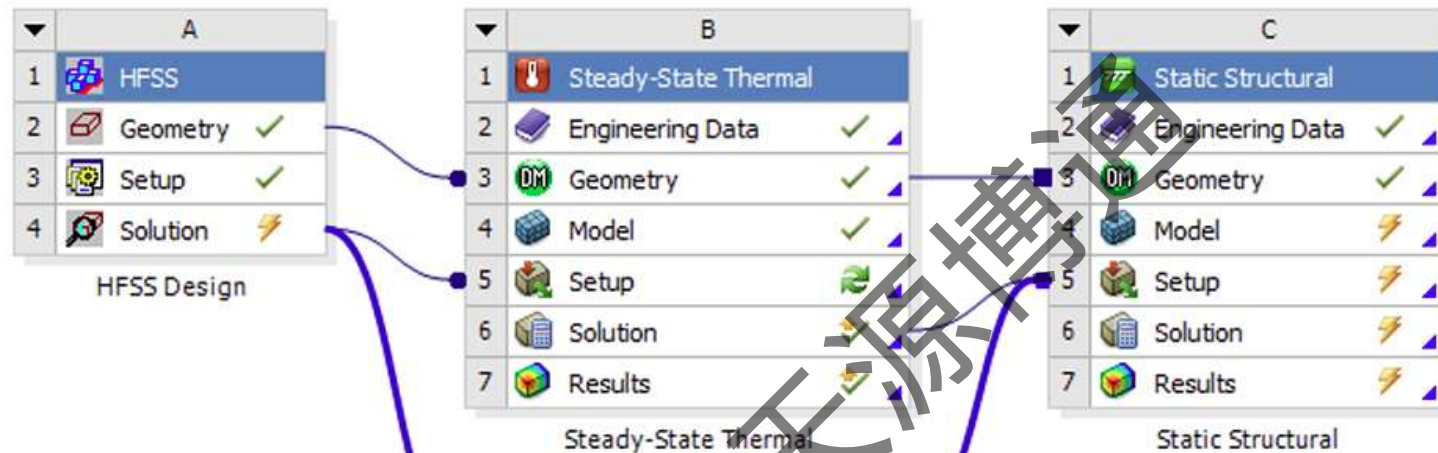


案例：不同输入功率下的温升曲线



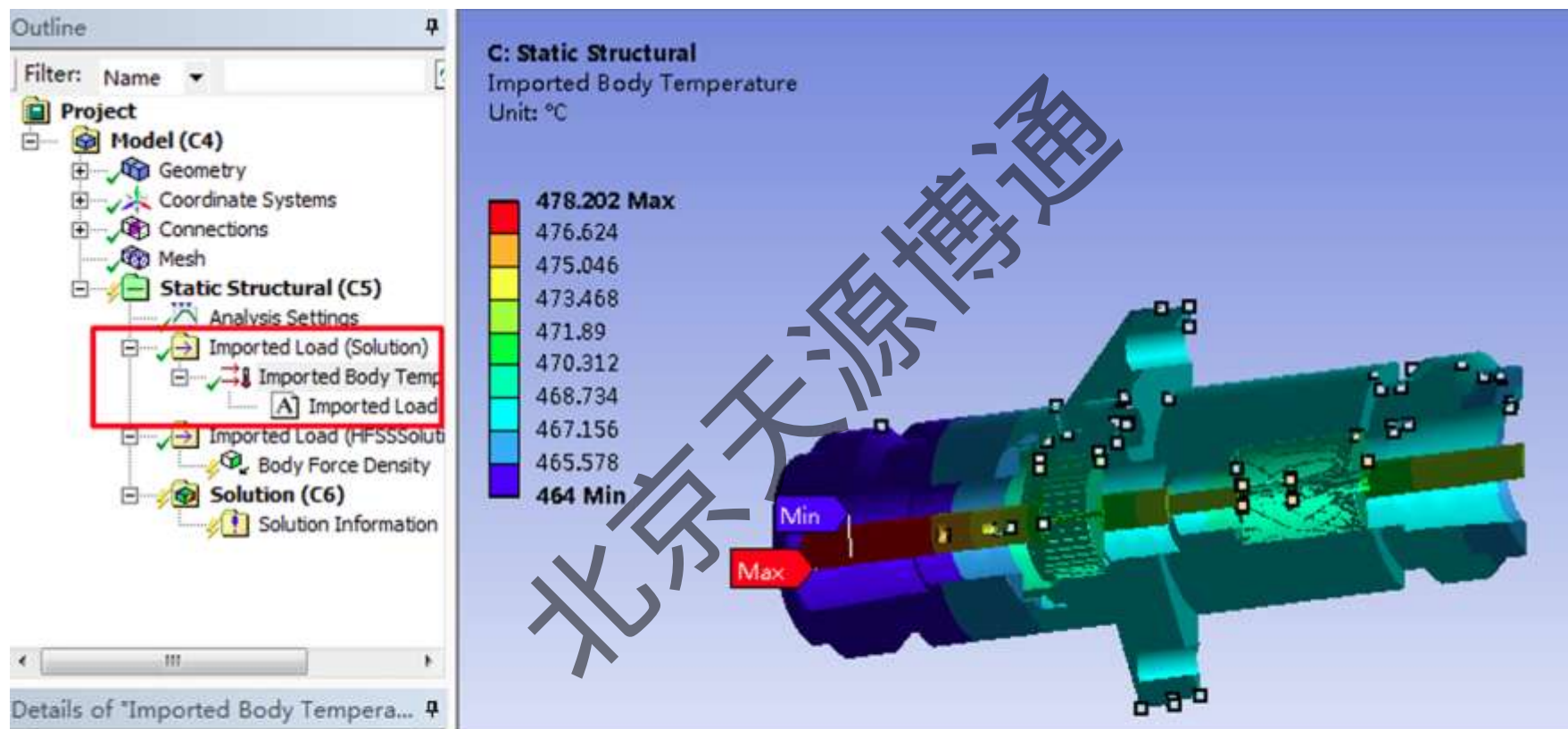
- 计算不同输入功率下的温度场结果，得到最高温度随着输入功率的变化曲线入上图（使用参数化分析）
- 玻璃的失效临界温度按1000度计算，从图中可查到，在输入功率达到1000W的时候，最高温度为952W，对应1000度的输入功率约为1050W
- 可得到该N型连接器的最大承受功率约为1050W。

案例：结构仿真



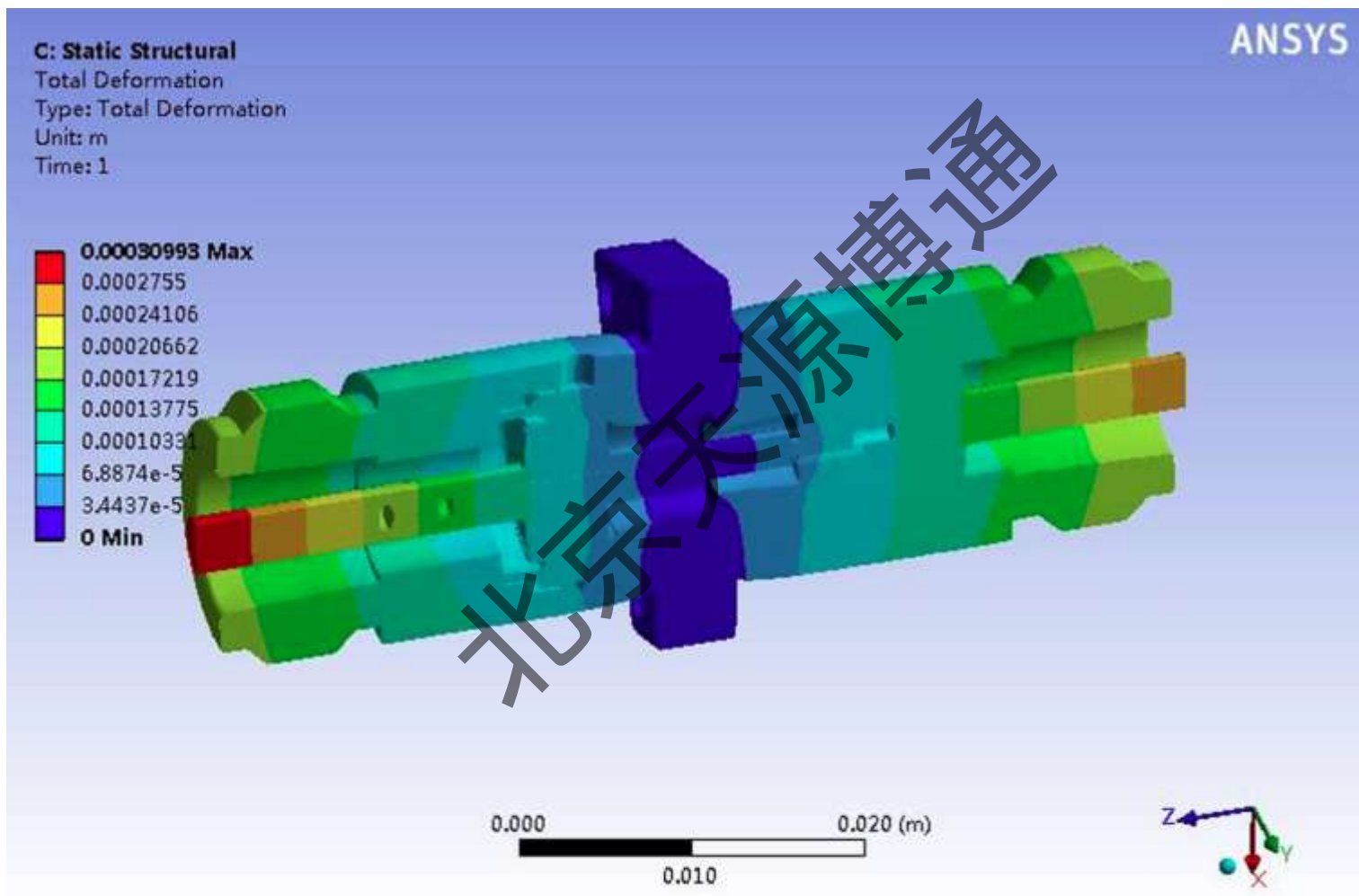
设置好模型和数据关系后，
在结构分析的
Setup中右键
Update

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



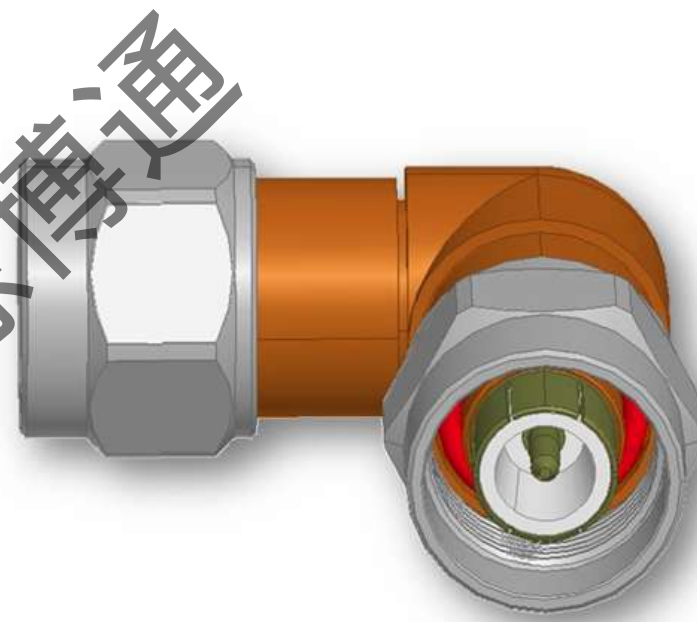
形变量最大为0.2mm

北京天源博通

案例四：射频直角接头的电热耦合仿真

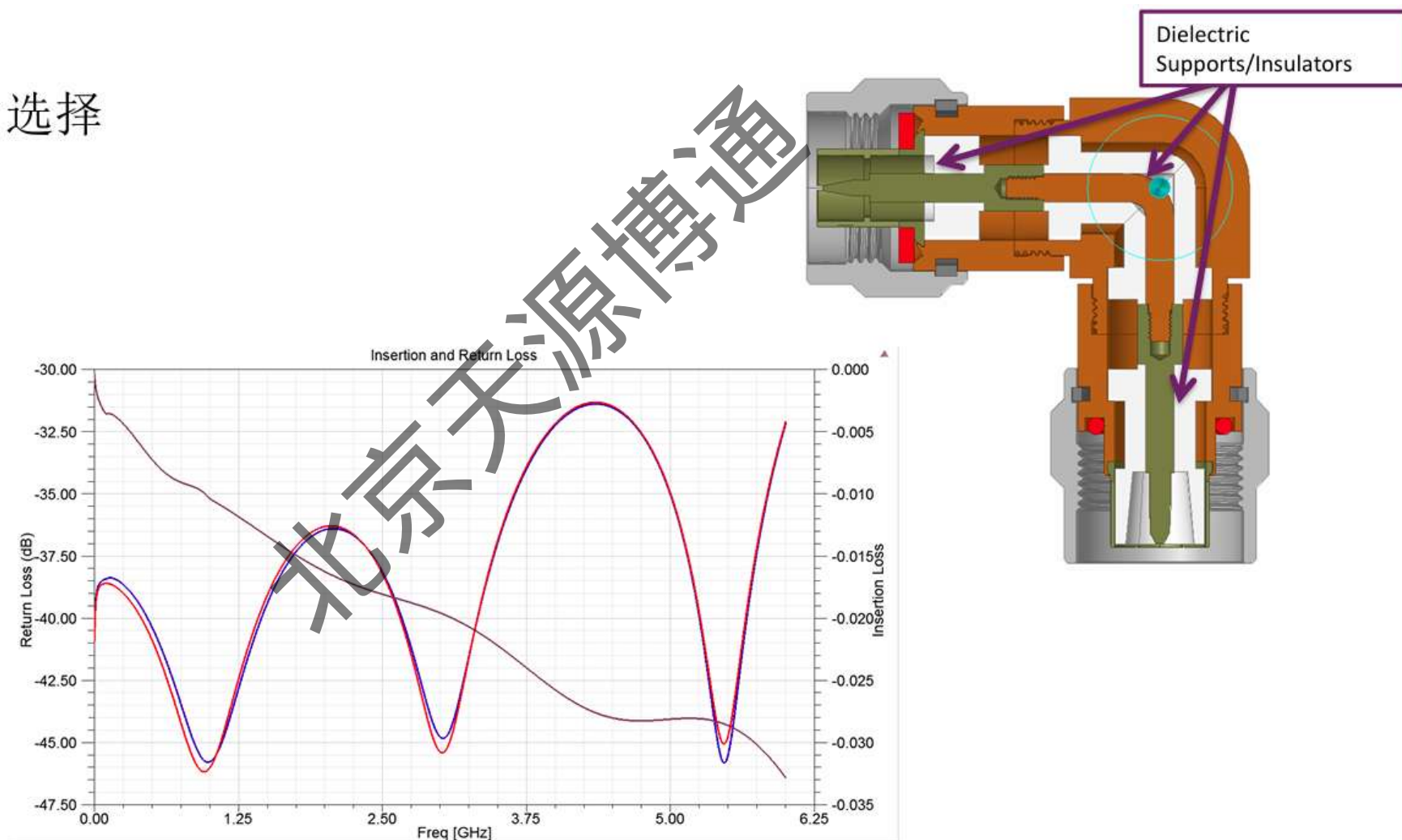
案例：直角接头的材料选用

- 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



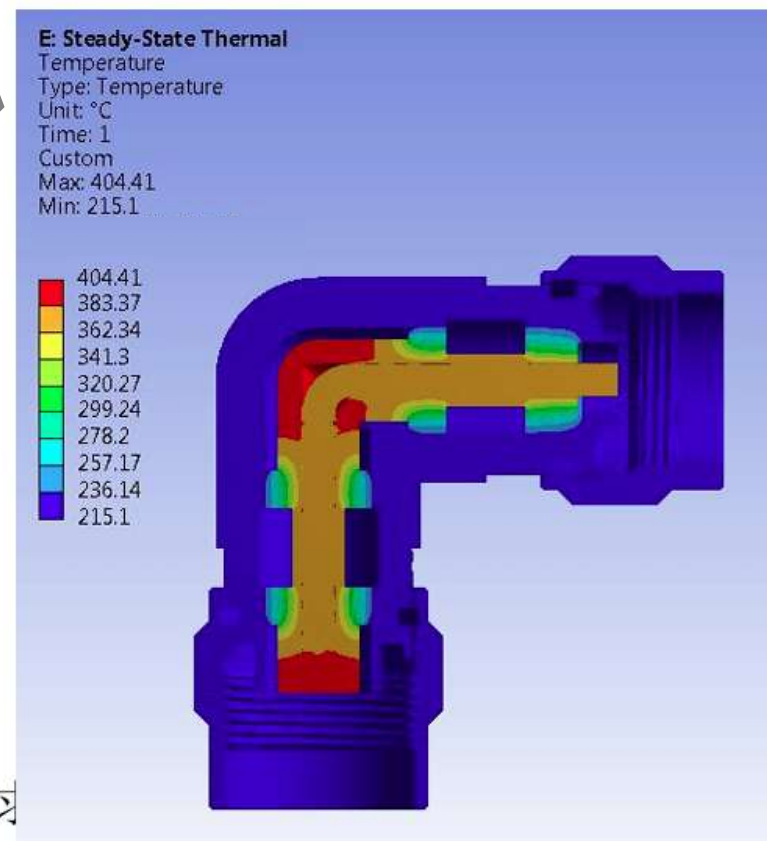
案例：设计要点-支撑介质

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



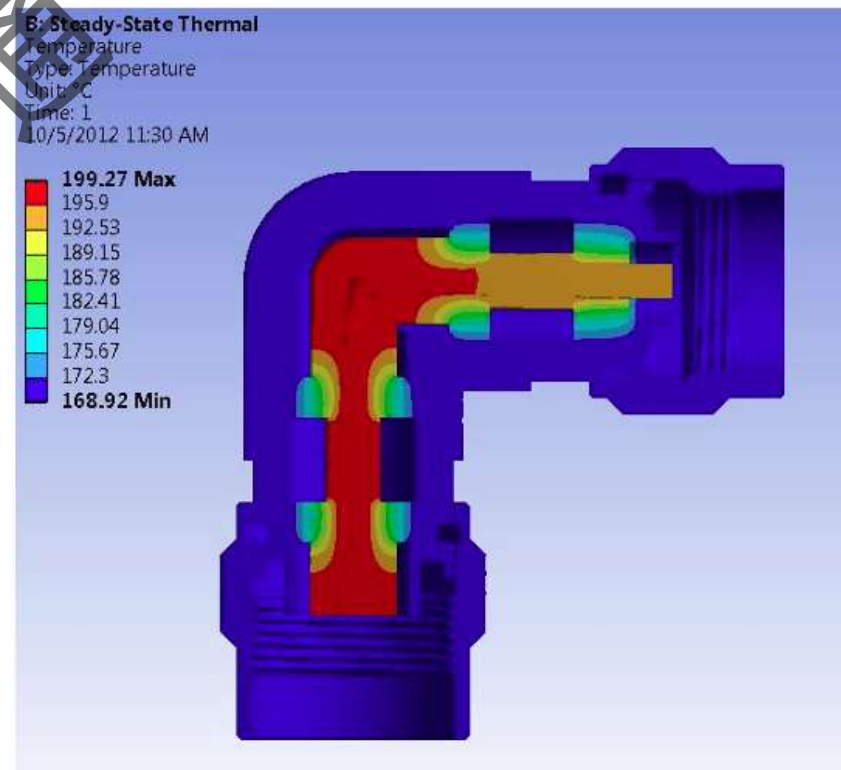
案例：Teflon热性能分析

- 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

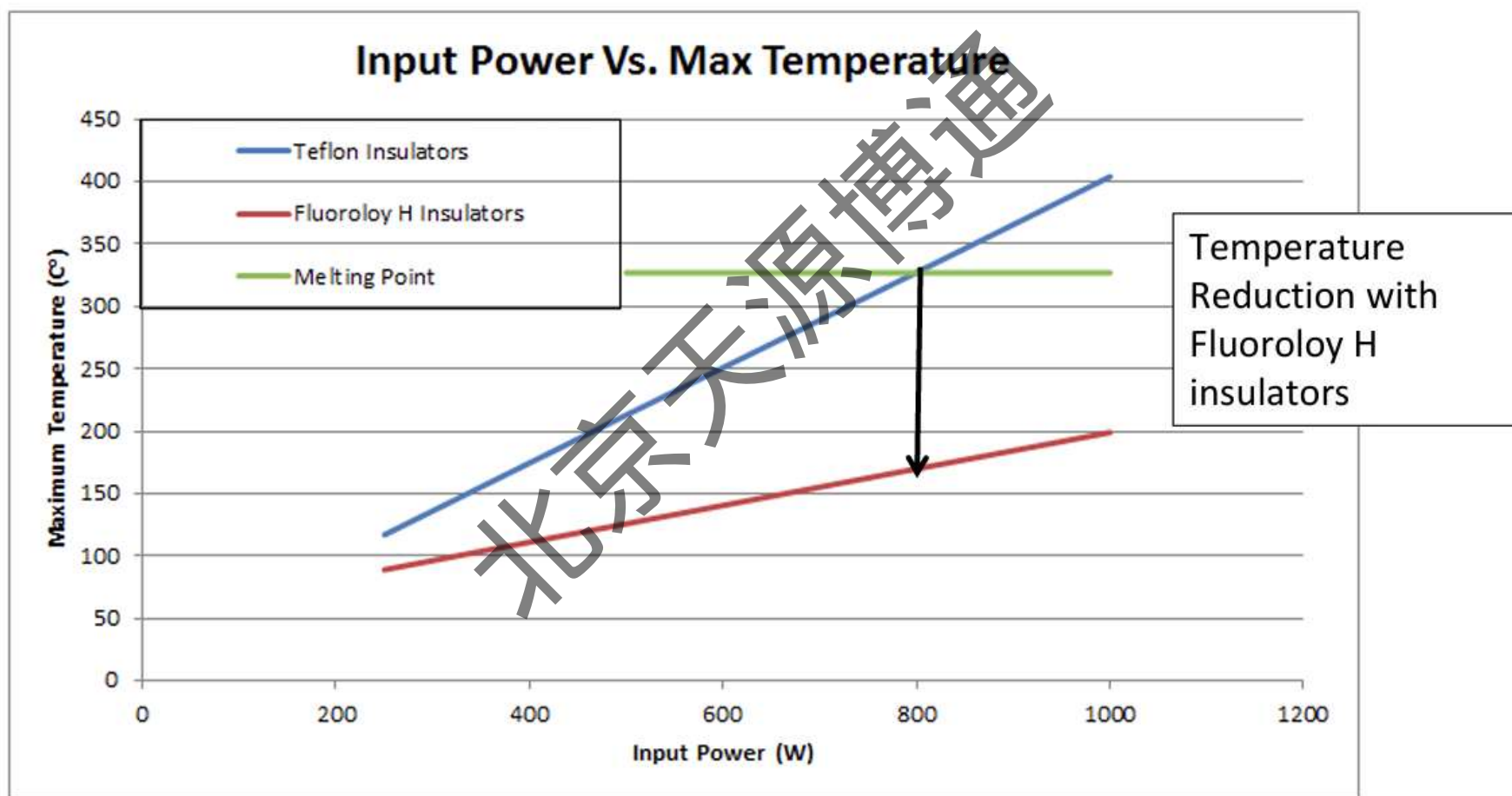


案例：Fluoroloy H热性能分析

- 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



天源微信公众号