



GRINM

COMSOL
CONFERENCE

2015 北京

COMSOL Multiphysics 在热发电用 真空集热管设计中的应用

赵旭山

北京有色金属研究总院

General Research Institute for Nonferrous Metals of Beijing

Excerpt from the Proceedings of the 2015 COMSOL Conference in Beijing

能源材料与技术研究所

Institute of Energy Materials & Technology



总纲

GRIMM

一、系统仿真方法与应用软件简介

- COMSOL多物理场应用简述

二、太阳能聚光集热系统简介

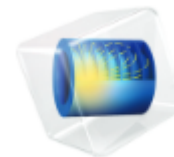
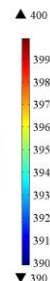
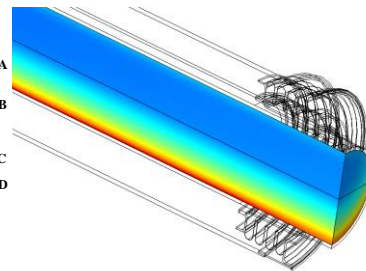
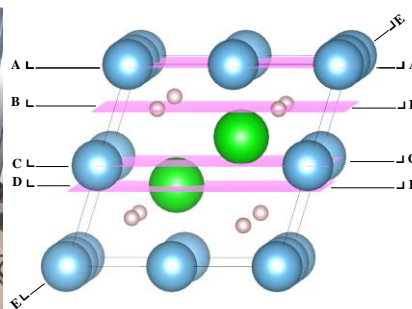
- 聚光过程光线追踪简述

三、集热管动态过程仿真及结构优化

- 实验验证

四、结语

► 系统仿真方法与应用软件简介



COMSOL Multiphysics

基于传热传质和应力分析的系统设计



GRIMM

所采用的材料设计方法

Computer Aided Materials & System Design

Analysis

&

Test

微观

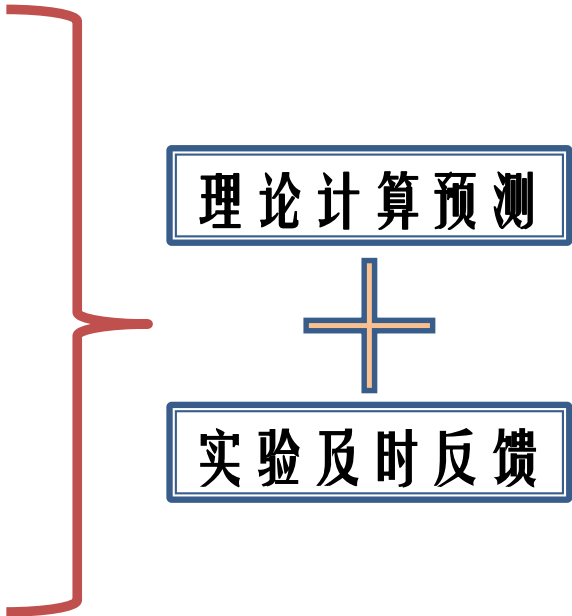
ab initio
Embedded Atom Potential(EAM)
.....

介观

Molecular Dynamics(MD)
Monte Carlo(MC)
Phase Field(PF)
Cellular Automata(CA)
.....

宏观

Experiment
CALPHAD
Finite Elements Method
.....



Verification

材料热力学计算

第一性原理计算

系统模拟和设计



GRIMM

COMSOL Multiphysics 多物理场应用

COMSOL Multiphysics®

COMSOL Server™

电气

力学

流体

化工

多功能

接口

AC/DC 模块

传热模块

CFD 模块

化学反应工程模块

优化模块

LiveLink™
for MATLAB®

LiveLink™
for Excel®

RF 模块

结构力学模块

搅拌器模块

电池与燃料电池模块

材料库

CAD 导入模块

设计模块

波动光学模块

非线性结构
材料模块

微流体模块

电镀模块

粒子追踪模块

ECAD 导入模块

LiveLink™
for SOLIDWORKS®

射线光学模块

岩土力学模块

地下水流模块

腐蚀模块

LiveLink™
for Inventor®

LiveLink™ for
AutoCAD®

MEMS 模块

疲劳模块

管道流模块

电化学模块

LiveLink™ for
Revit®

LiveLink™ for
PTC® Creo® Parametric™

等离子体模块

多体动力学模块

分子流模块

LiveLink™ for
PTC® Pro/ENGINEER®

LiveLink™ for
Solid Edge®

半导体模块

声学模块

File Import for
CATIA® V5

能源材料与技术研究所

Institute of Energy Materials & Technology

➤ 太阳能聚光集热系统简介



基于传热传质和应力分析的系统设计



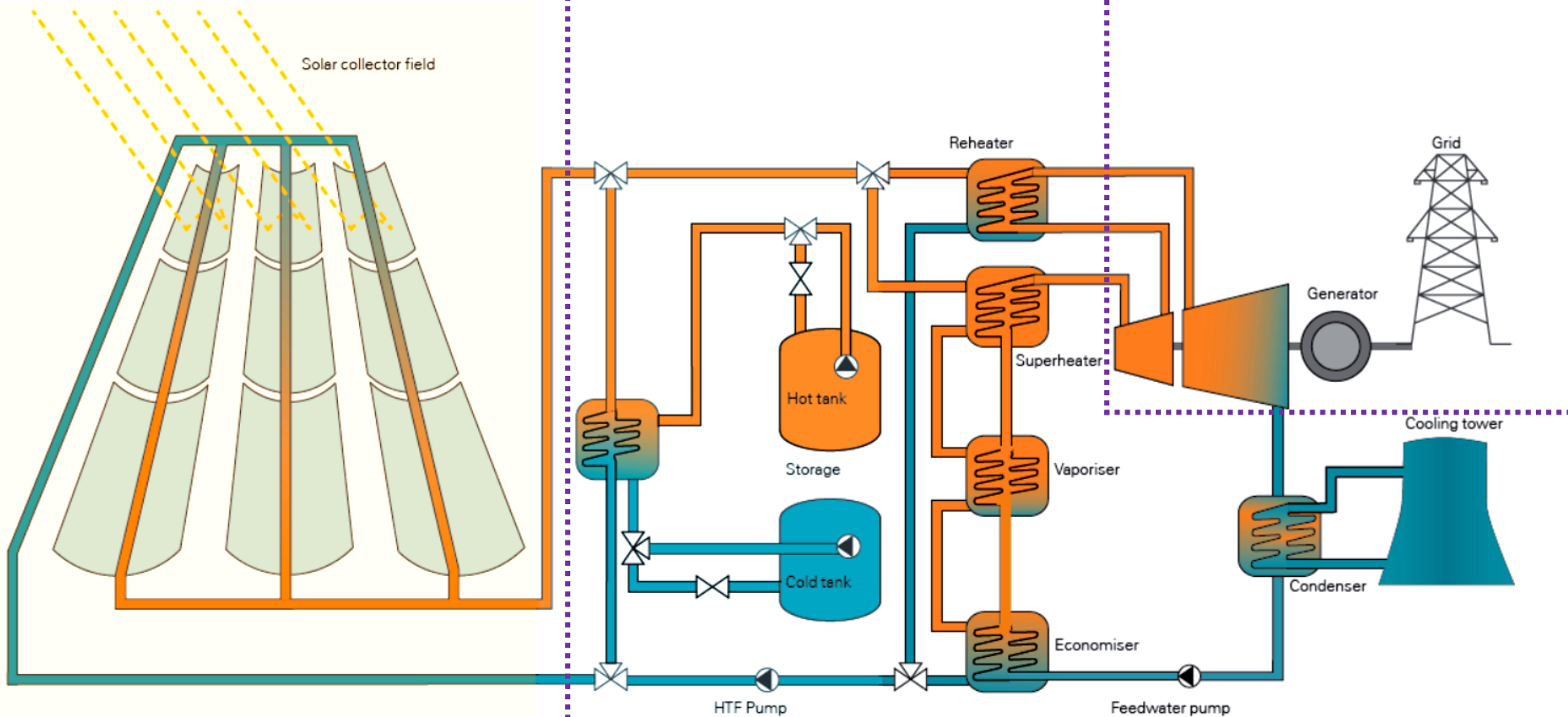
GRIMM

Scope of Work for Parabolic Troughs

Concentration

Storage & Transition

Generation



能源材料与技术研究所

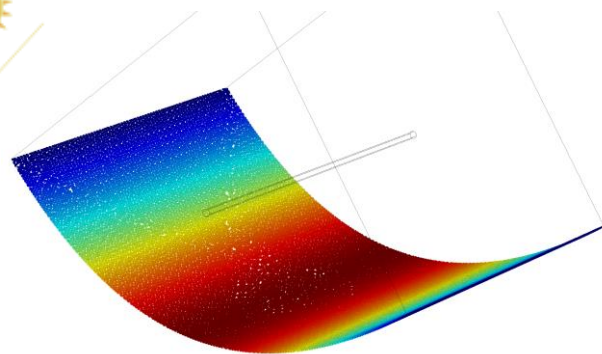
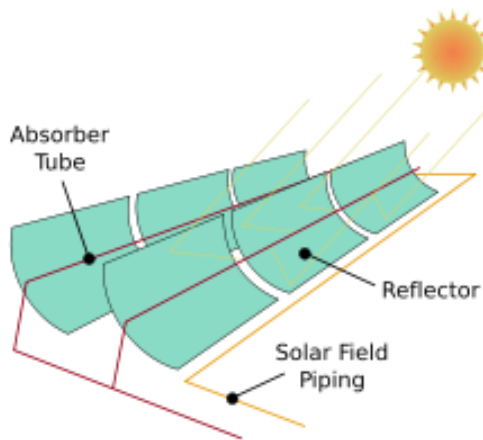
Institute of Energy Materials & Technology



GRIMM

太阳能聚光集热系统设计多物理场耦合问题解析

聚光

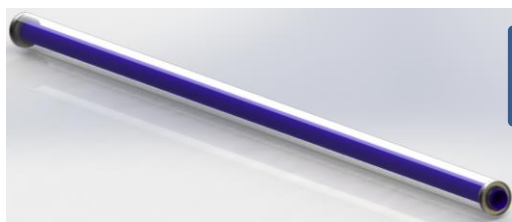


光学效率

➤ 光线追踪

- 开口宽度
- 槽面深度
- 镜面焦距

集热



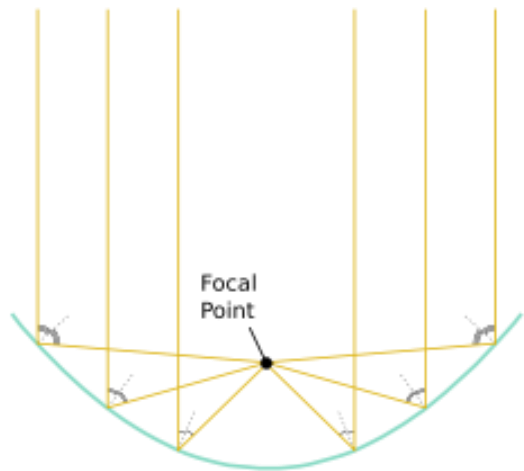
集热管结构

➤ 固体传热

➤ 流体传热

➤ 流体力学

➤ 结构力学

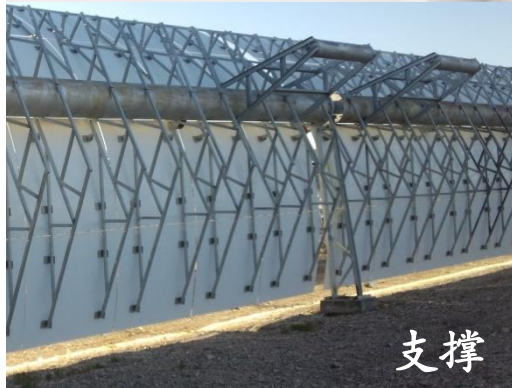


支架稳定性

➤ 流体力学

➤ 结构力学

➤ 固体传热



支撑

能源材料与技术研究所

Institute of Energy Materials & Technology



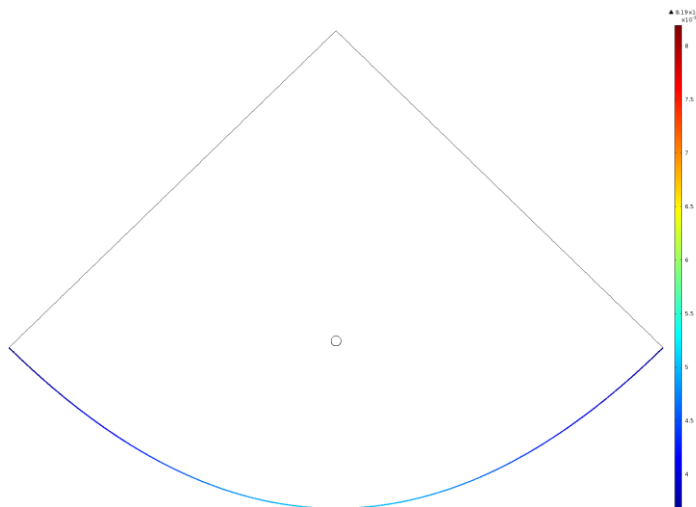
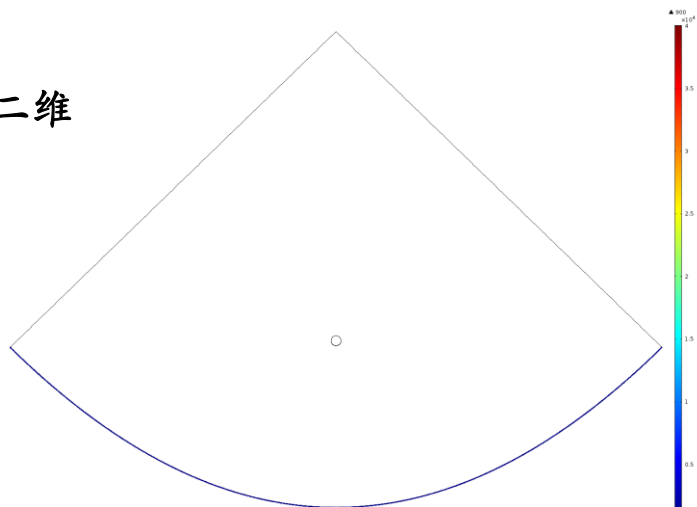
GRIMM

槽面和集热管结构与聚光性能的关系

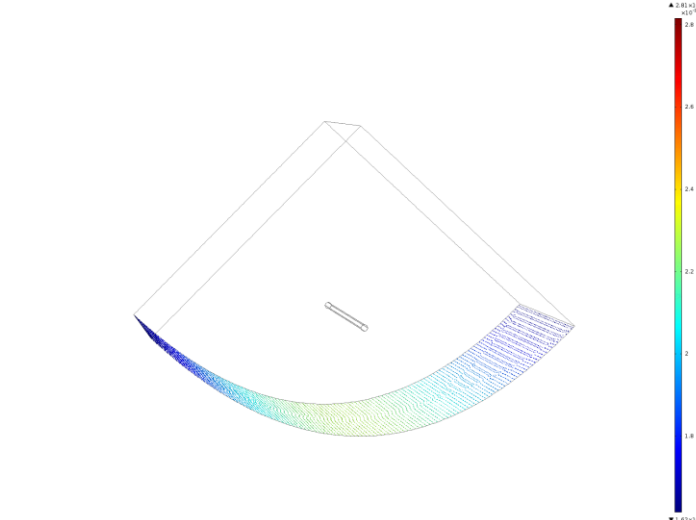
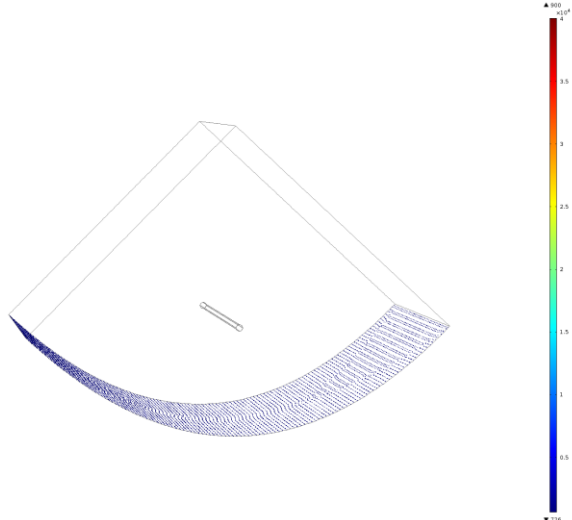
光能密度

聚光能量

二维



三维



集热管周向聚光能量分布



集热管周向光能密度分布

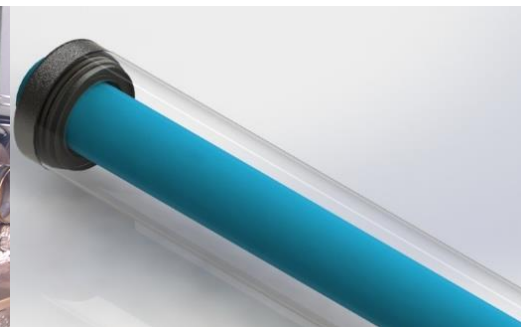
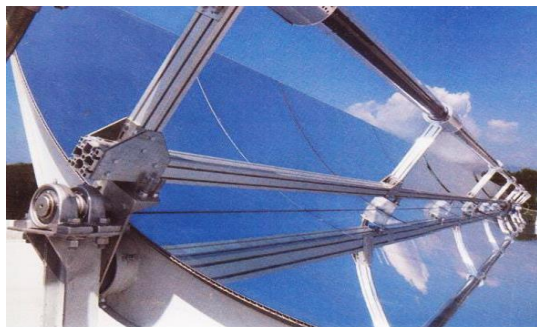
能源材料与技术研究所

Institute of Energy Materials & Technology



GRINM

➤ 集热管动态过程仿真及结构优化



真实工况的多物理场耦合分析

能源材料与技术研究所

Institute of Energy Materials & Technology



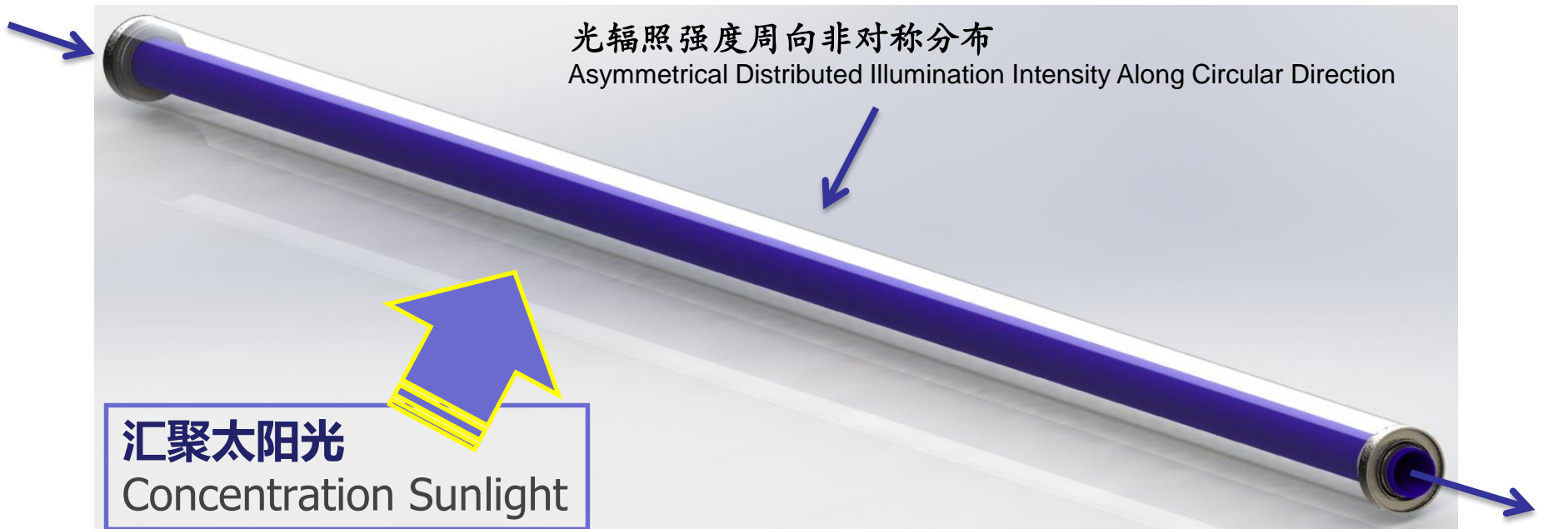
GRIMM

集热管导热动态过程分析

传热+流体力学

Heat Transfer + Fluid Dynamics

导热介质入口, T_{in}
Inlet of Heat-Conducting Medium



导热介质出口, T_{out}
Outlet of Heat-Conducting Medium

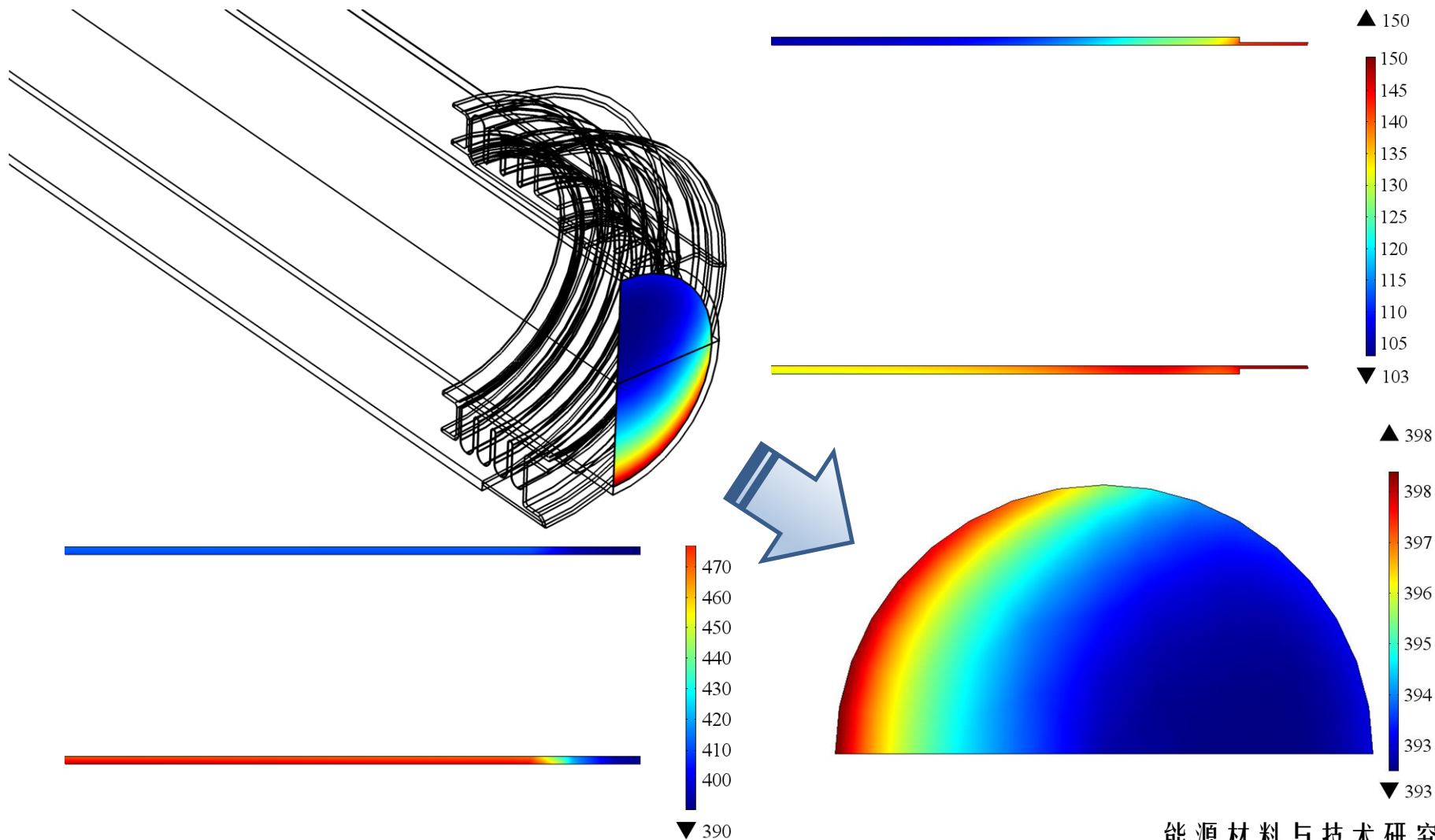
能源材料与技术研究所

Institute of Energy Materials & Technology



GRIMM

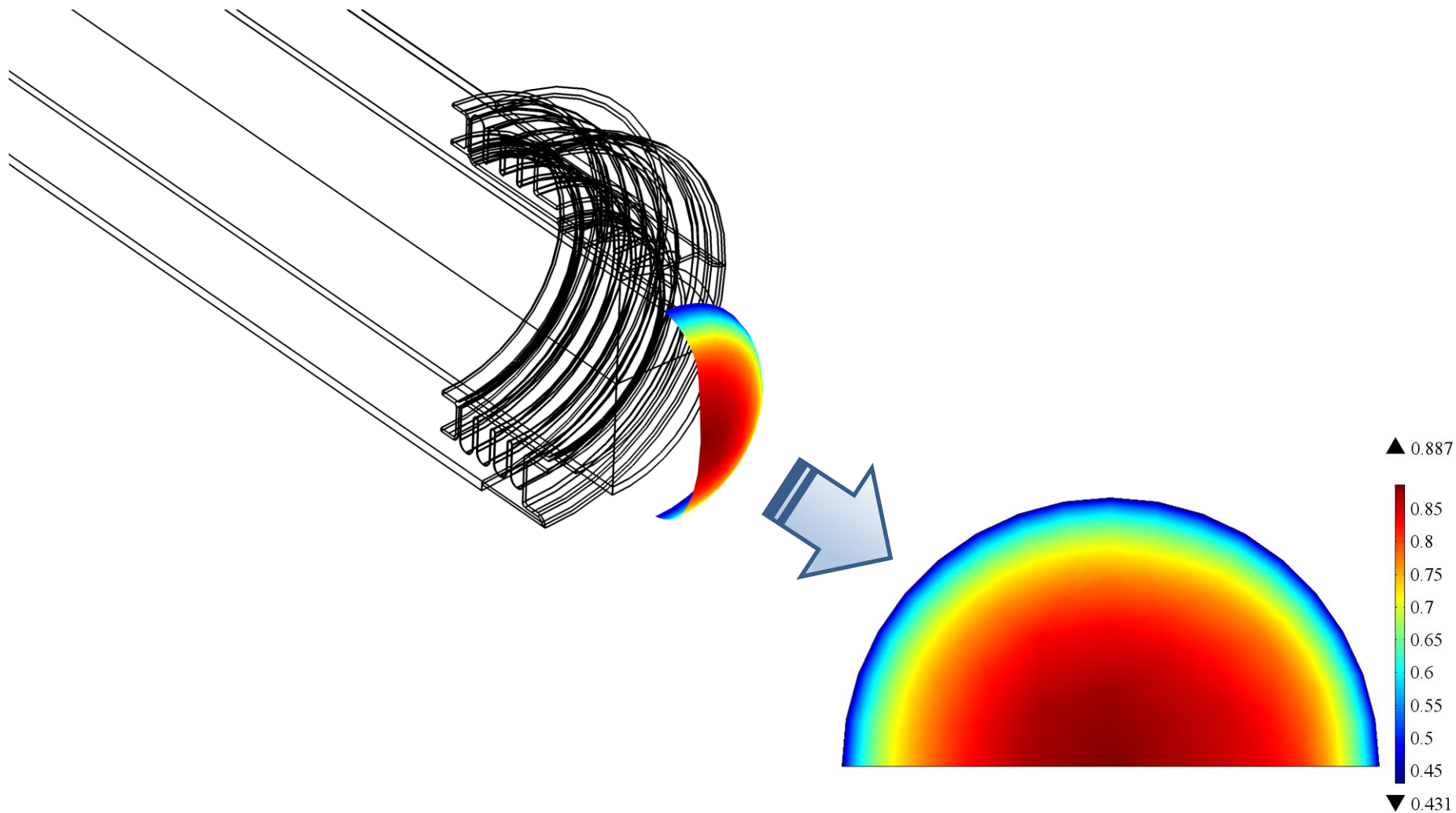
导热油出口温度（极限工况）





GRIMM

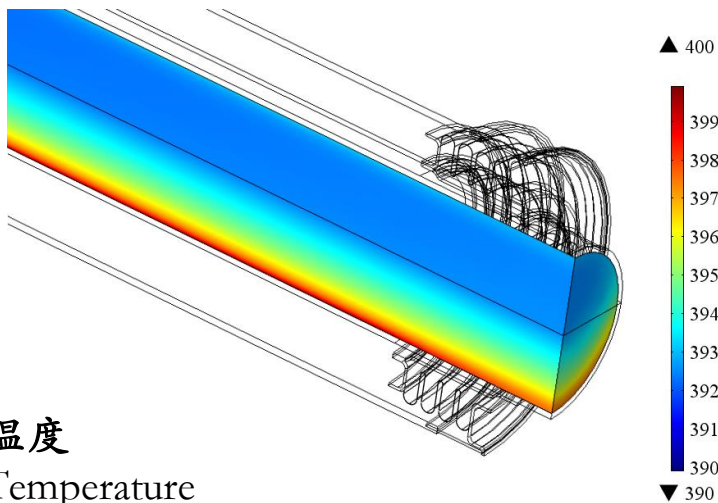
导热油出口流速（极限工况）



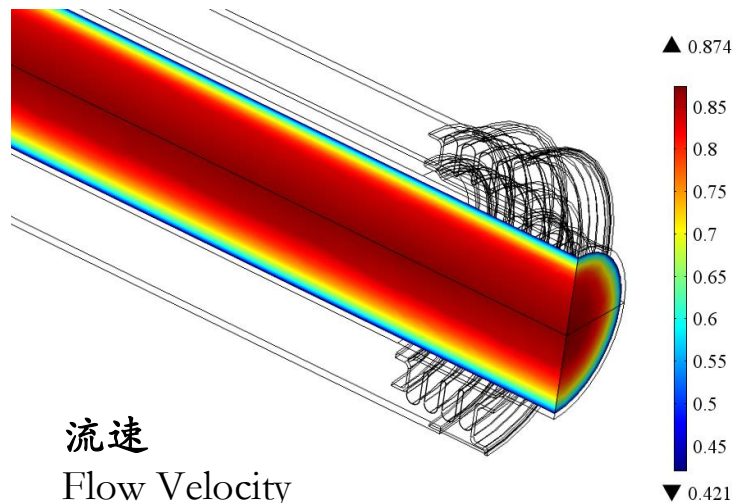


温升和流速

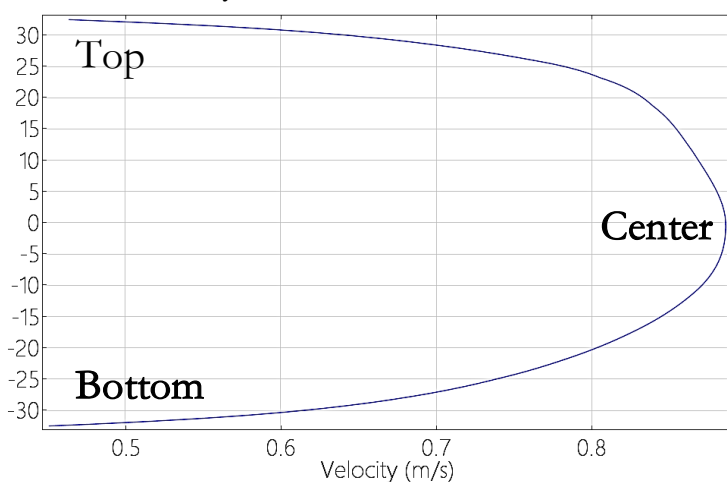
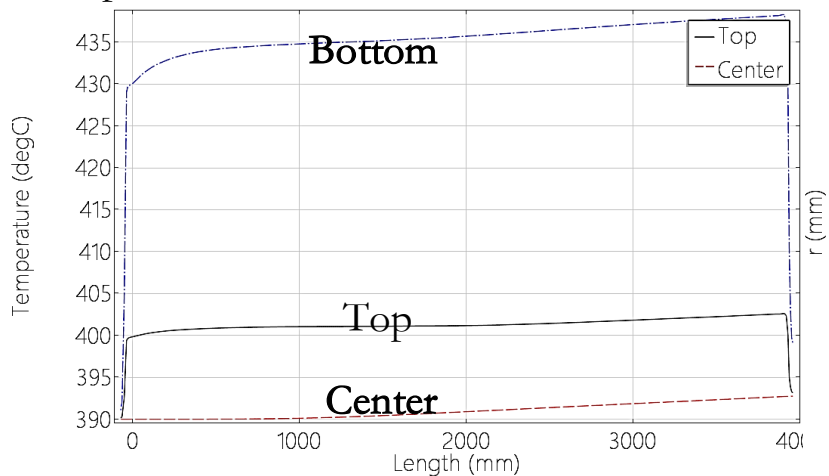
GRIMM



温度
Temperature



流速
Flow Velocity



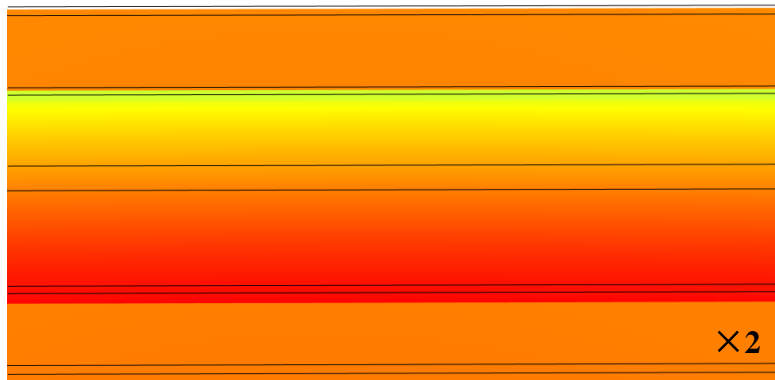
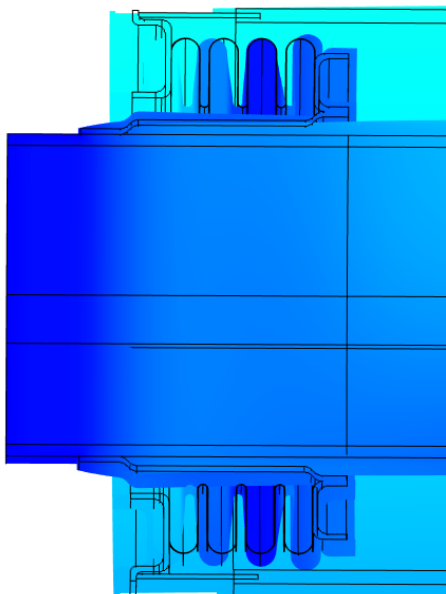
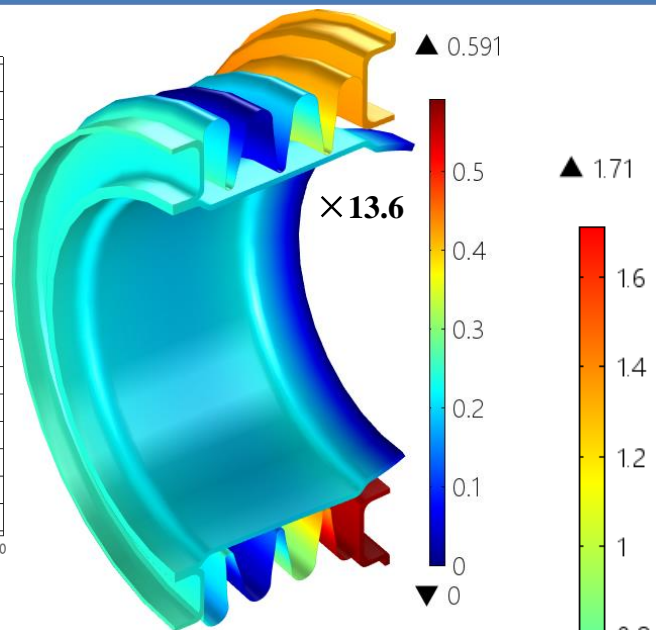
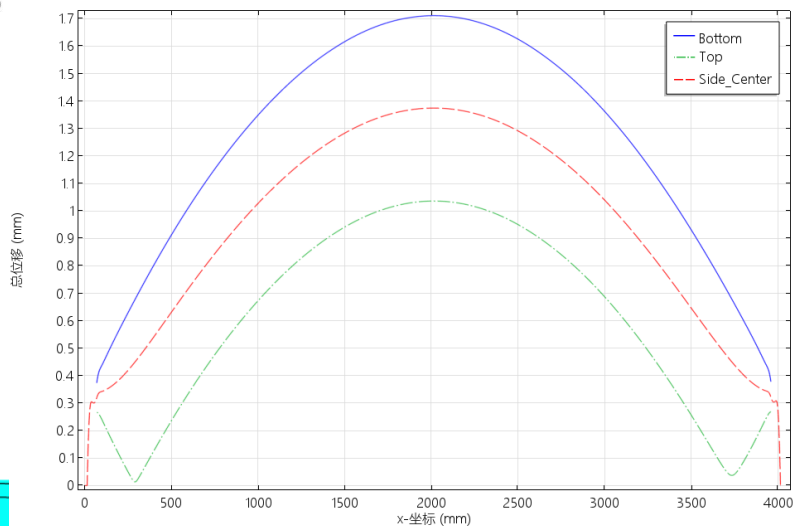
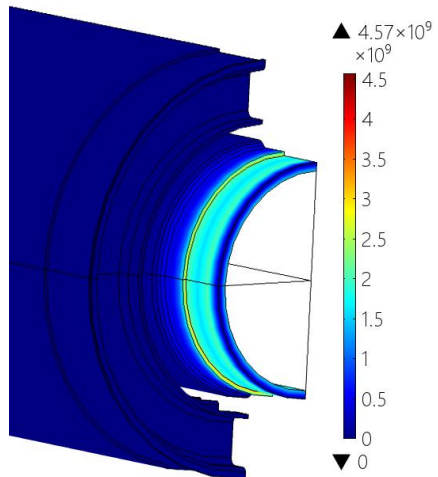
出口流体温度
Outlet Temperature

出口流体速度
Outlet Flow Velocity



GRIMM

集热管应力应变分析（热应力+自重）

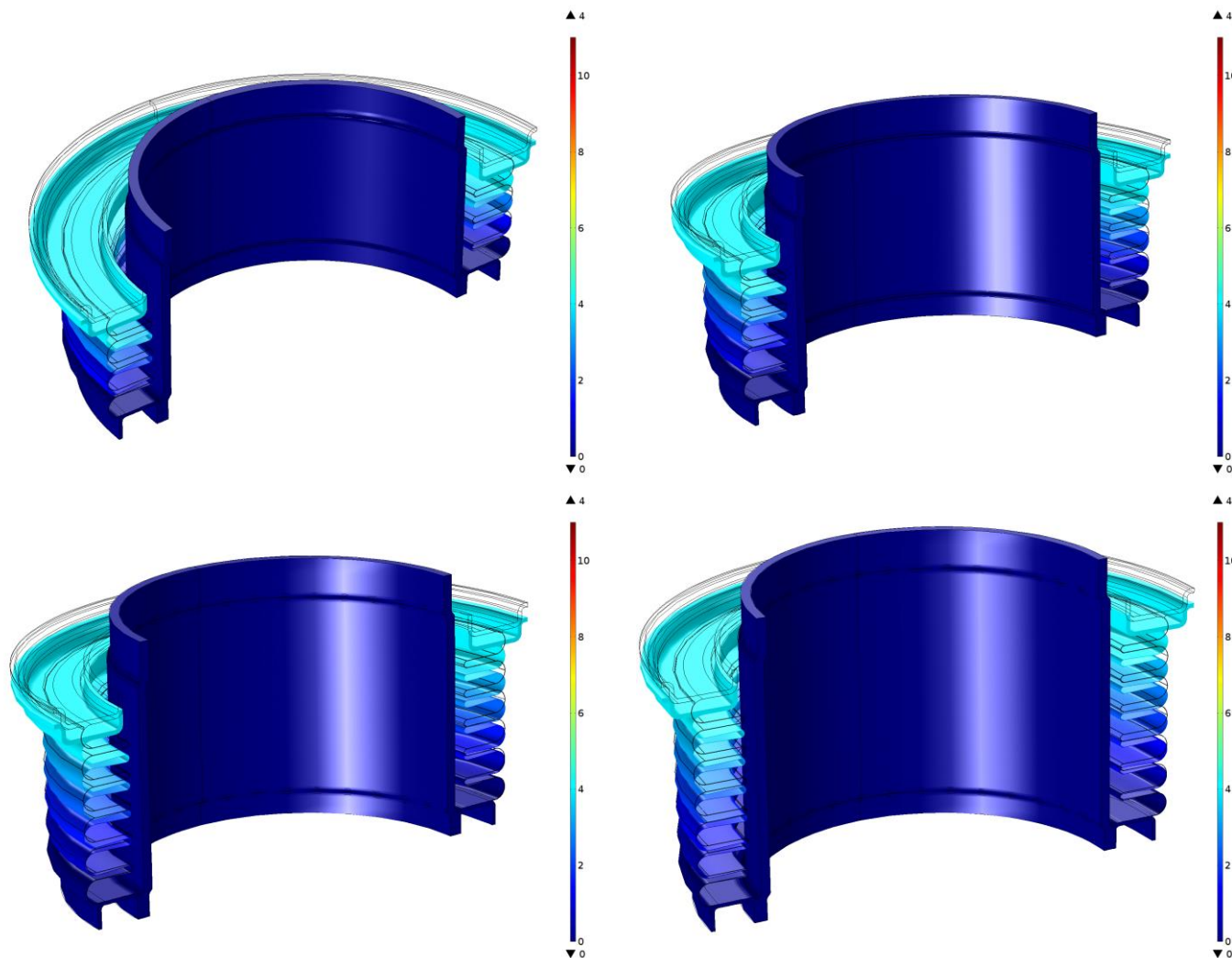




GRIMM

定应变工作状况分析

——补偿量粗略评估



- 温度：
550 °C
- 波距：
8 mm
- 波高：
13.5 mm

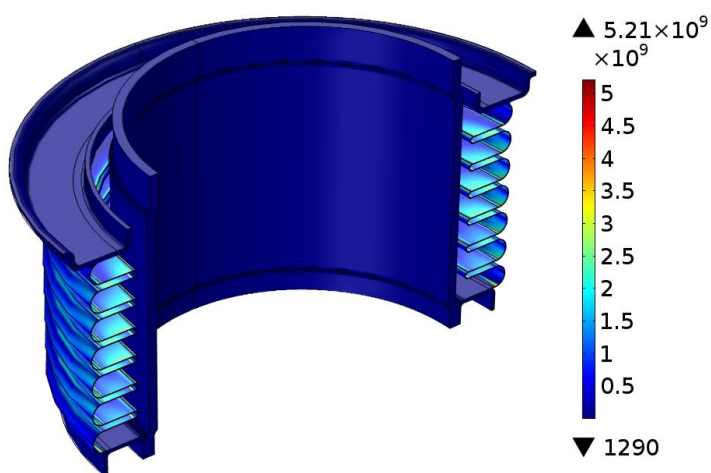
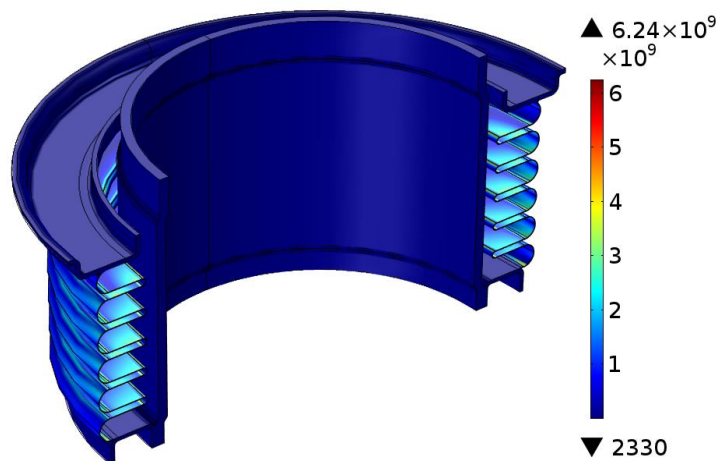
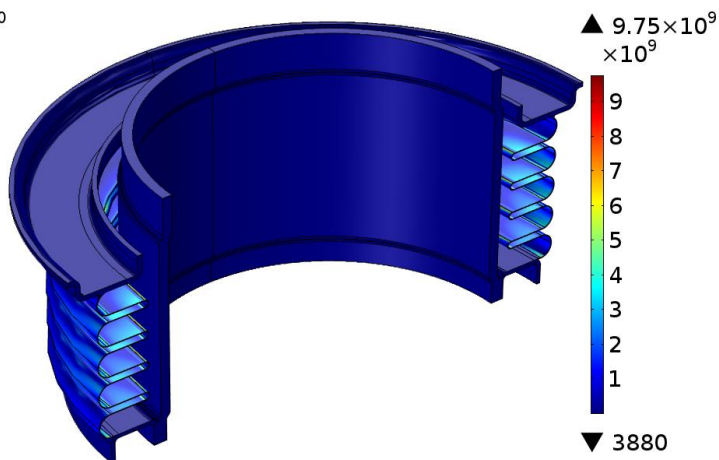
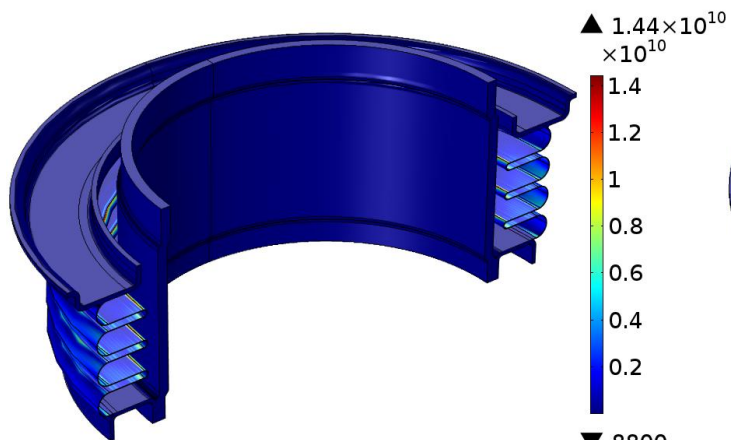
- 补偿量：
- 4 nodes: ~8 mm
 - 5 nodes: ~10 mm
 - 6 nodes: ~12 mm
 - 7 nodes: ~14 mm



GRIMM

应力分布

——插值法域内平滑处理



- 温度：
550 °C
- 波距：
8 mm
- 波高：
13.5 mm

➤ 最大应力：

4 nodes: 14.4 GPa

5 nodes: 9.75 GPa

6 nodes: 6.24 GPa

7 nodes: 5.21 GPa

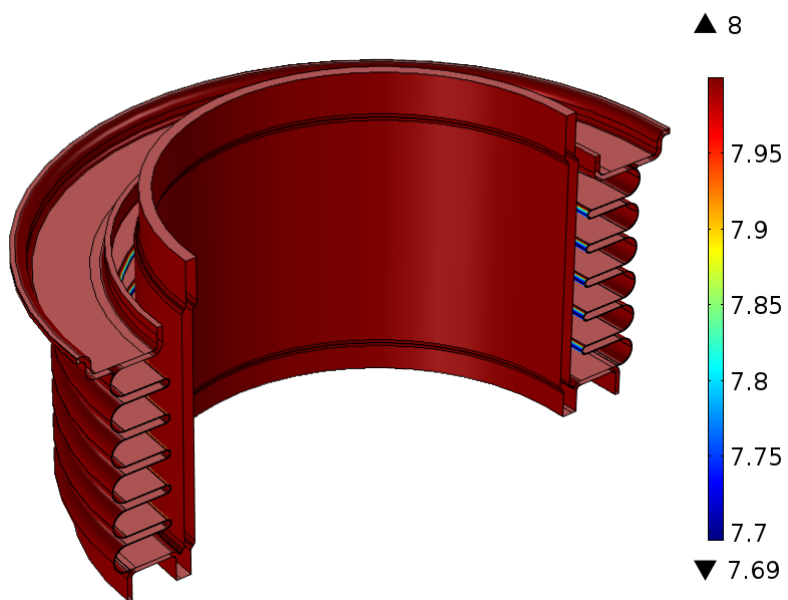
能源材料与技术研究所

Institute of Energy Materials & Technology



GRIMM

寿命预测

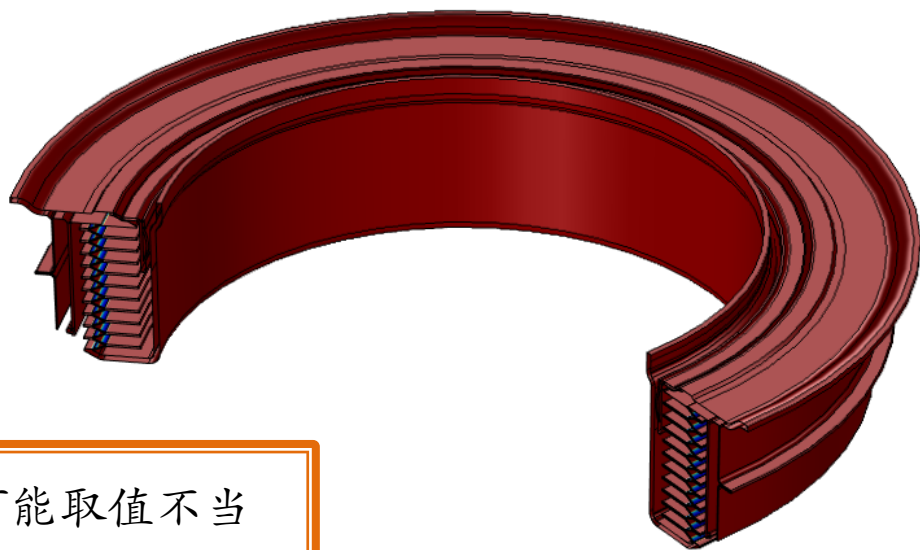


$10^{7.69}$ 次循环

定性参考

疲劳延性系数？
疲劳延性指数？
疲劳强度系数？
疲劳强度指数？

最大变形量：9 mm



$10^{1.05}$ 次循环

➤ 疲劳寿命等参数：无实验值，可能取值不当

➤ 温度：550 °C

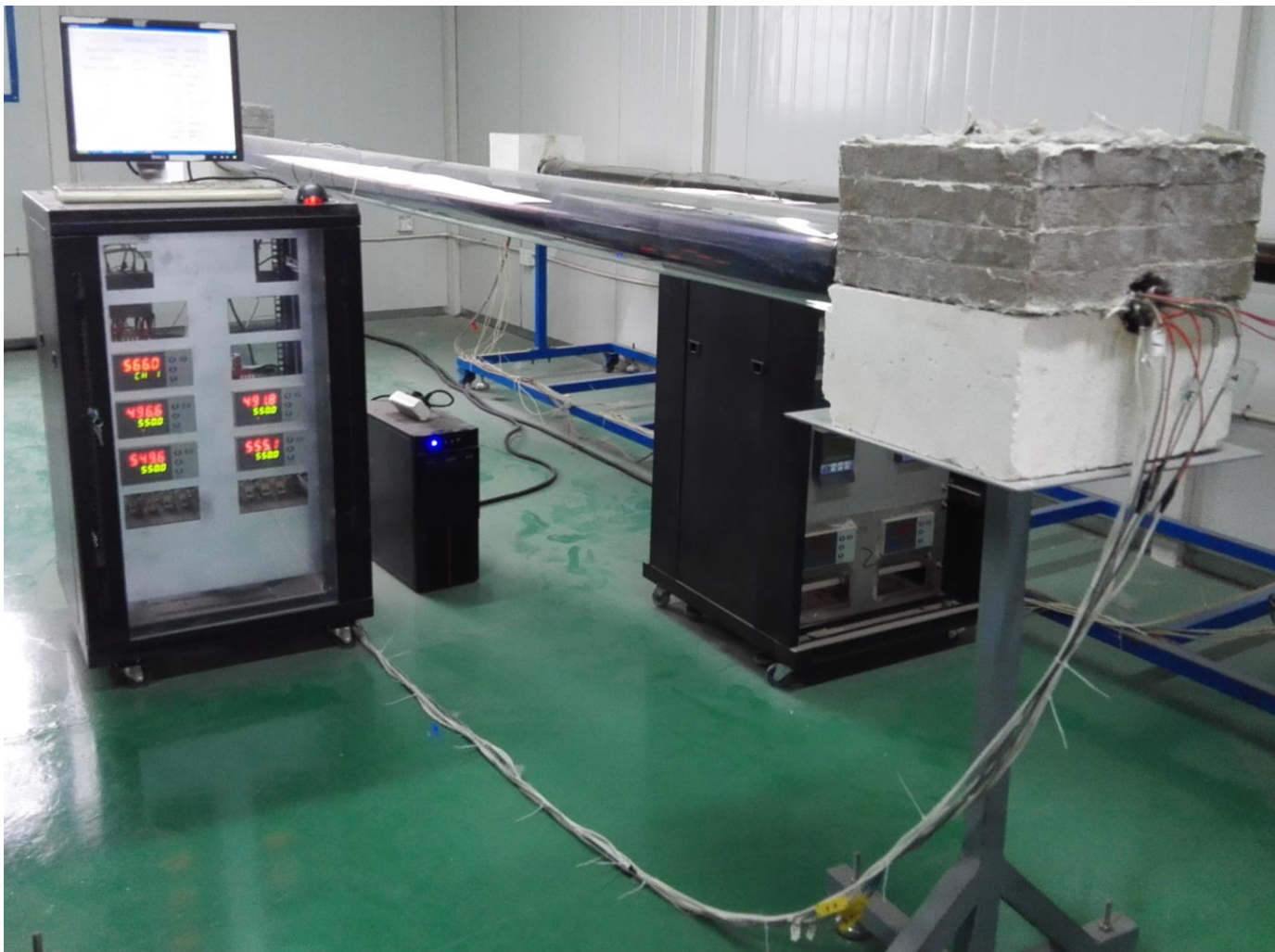
能源材料与技术研究所

Institute of Energy Materials & Technology



GRIMM

吸热管内恒温热源验证实验



能源材料与技术研究所

Institute of Energy Materials & Technology



GRINM

玻璃罩管近中部和可伐合金部位温度 ($T_{amb}=30\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Temperature of Glass Tube/ $^{\circ}\text{C}$					
Temperature (Heat Source)	Expt.	Simu.	Temperature (Heat Source)	Expt.	Simu.
250	45.4	<u>47.57</u>	300	54	<u>55.66</u>
350	65.7	<u>65.73</u>	400	78.5	<u>77.81</u>



Temperature of Kovar Part/ $^{\circ}\text{C}$					
Temperature (Heat Source)	Expt.	Simu.	Temperature (Heat Source)	Expt.	Simu.
250	154.5	<u>149.54~151.04</u>	300	184.4	<u>179.00~181.77</u>
350	214.6	<u>211.00~213.96</u>	400	244.9	<u>243.00~246.07</u>



结语

GRINM



易用性

灵活性

三维设计



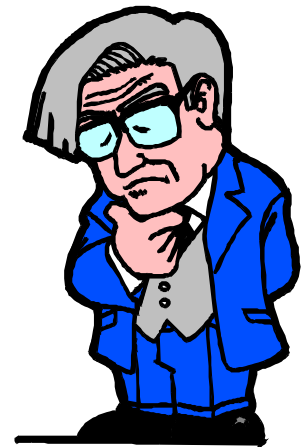
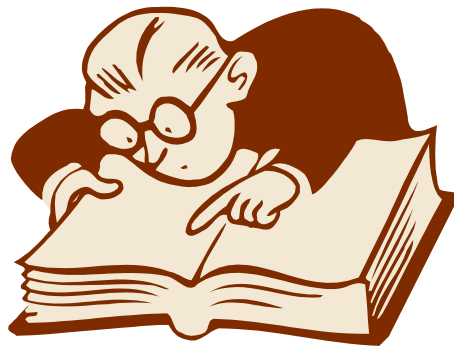
能源材料与技术研究所

Institute of Energy Materials & Technology



GRIMM

谢 谢 !



能源材料与技术研究所

Institute of Energy Materials & Technology