



电子封装中的回流焊分析

黄晶

- **回流焊工艺简介**

- 回流焊的原理
- 回流焊的不同工艺方法
- 回流焊中的常用设备

- **回流焊仿真分析方法**

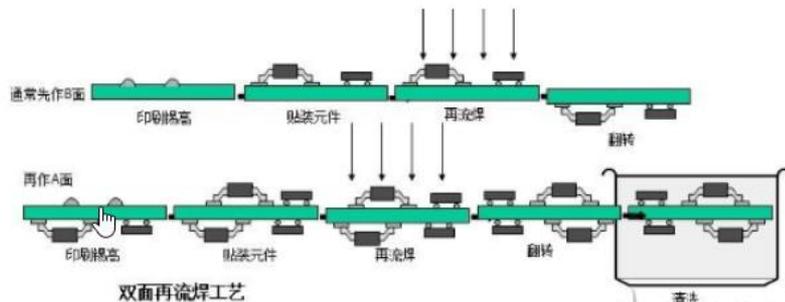
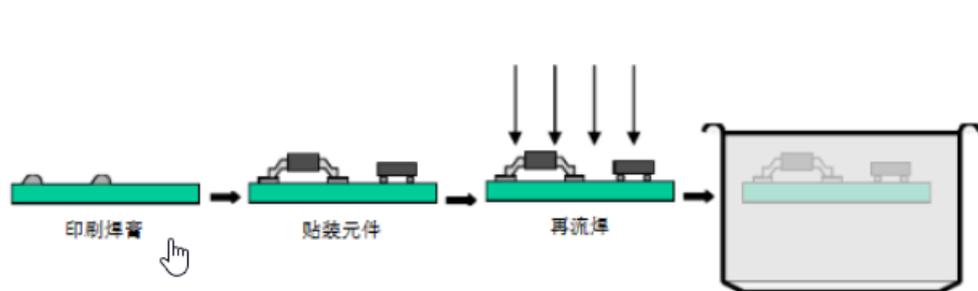
- 回流焊的仿真分析技术特点
- 回流焊的不同仿真技术路线
- 回流焊仿真中的关键技术

- **Ansys Mechanical回流焊仿真分析**

- ANSYS Mechanical回流焊中温度场仿真分析
- ANSYS Mechanical中的温度场与结构场耦合技术
- ANSYS Mechanical回流焊中结构翘曲仿真分析

• 回流焊原理

- 回流焊是SMT贴装工艺中三种主要工艺中的一种。回流焊主要是用来焊接已经贴装好元件的线路板，靠加热把锡膏融化使贴片元件与线路板焊盘融合焊接在一起，然后再通过回流焊的冷却把锡膏冷却把元件和焊盘固化在一起。

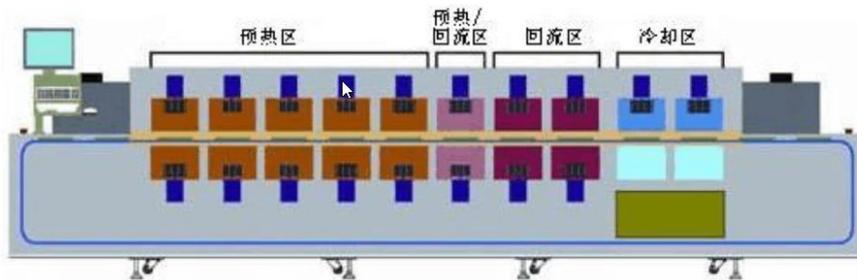


• 回流焊原理

- 锡膏特性决定回流曲线的基本特性。不同的锡膏由于助焊剂 (Flux) 有不同的化学组分，因此它的化学变化有不同的温度要求，对回流温度曲线也有不同的要求。一般锡膏供应商都能提供一个参考回流曲线，用户可在此基础上根据自己的产品特性优化。

• 它可分为4个主要阶段：

- 1) 把PCB板加热到150°C左右，上升斜率为1-3 °C/秒。称预热 (Preheat) 阶段。
- 2) 把整个板子慢慢加热到183 °C。称均热 (Soak或Equilibrium) 阶段。时间一般为60-90秒。
- 3) 把板子加热到融化区 (183 °C以上)，使锡膏融化。称回流 (Reflow Spike) 阶段。在回流阶段板子达到最高温度，一般是215 °C +/-10 °C。回流时间以45-60秒为宜，最大不超过90秒。
- 4) 曲线由最高温度点下降的过程。称冷却 (Cooling) 阶段。一般要求冷却的斜率为2 -4°C/秒。



• 回流焊的不同工艺设备

• 回流焊设备按加热方式可分为两大类：

- 对PCB整体加热：对PCB整体加热回流焊又可分为：气相再流焊、热板再流焊、红外再流焊、红外加热风再流焊和全热风再流焊。
- 对PCB局部加热：对PCB局部加热再流焊可分为：激光再流焊、聚焦红外再流焊、光束再流焊、热气流再流焊。
- 目前比较流行和实用的大多是红外加热风再流焊和全热风再流焊。

• 回流焊中的常用设备

• 回流炉热风回流原理

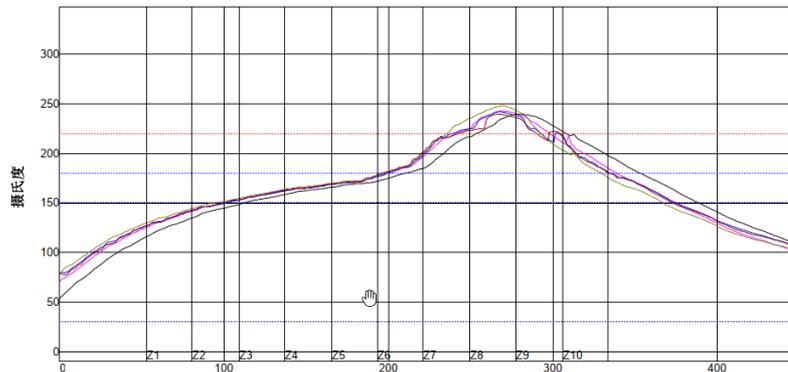
- 当PCB进入预热区时，焊膏中的水份、气体蒸发，助焊剂湿润元件引脚和焊盘，焊膏开始软化并覆盖焊盘，使元件引脚和焊盘与氧气隔离；
- PCB进入回流区时，温度迅速上升，焊膏达到熔化状态，对PCB上的元件引脚和焊盘湿润、扩散、回流、之后冷却形成锡焊接头，从而完成了回流焊。
- 强迫对流热风回流即通过气流循环，在元件的上下两个表面，以相对较低的温度而产生高效的热传递，同时使小型元件避免过热，避免由于单面受热引起PCB变形，PCB上大量的焊点相对均匀地受热，从而实现回流焊接。

回流焊中的常用设备

回流炉温设置步骤

- 1) 首先，按照生产量设定传送带速，注意带速不能超过回流焊工艺允许的最大速度(这里指应满足预热升温速率 $\leq 3^{\circ}\text{C/s}$ ，焊接峰值温度和再流时间应满足焊接要求)。
- 2) 初次设定炉温。
- 3) 在确保炉内温度稳定后，进行首次温度曲线测试。
- 4) 分析所测得的温度曲线与所设计的温度曲线的差别，进行下一次炉温调整。
- 5) 在确保炉内温度稳定以及测试用SMA冷却到室温后，进行下一次温度曲线的测试。
- 6) 重复4)~5)过程，直到所测温度曲线与设计的理想温度曲线一致为止。

温度设置 (摄氏度)										
温区	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
上温区	140	150	160	170	180	185	190	220	290	290
下温区	140	150	160	170	180	185	190	210	285	285
传送带速度 (公分/分)	75.00									



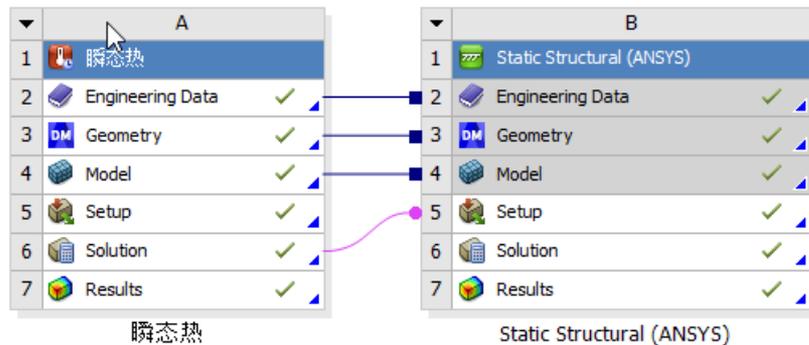
• 回流焊的仿真分析技术特点

- 分析类型：瞬态热分析、热固耦合分析
- 分析涉及到三个场的耦合分析，分别为流体场计算结构的表面换热系数，温度场计算结构上的温度分布，结构场计算结构上的应力分布；
- 流体场和温度场需要考虑瞬态效应，结构场不用考虑瞬态效应；
- 流体场和温度场之间的分析采用双向流固耦合为佳，温度场与结构场之间的耦合采用单向流固耦合即可。

• 回流焊的不同仿真技术路线

➢ 基于结构分析软件的温度场+结构场耦合分析

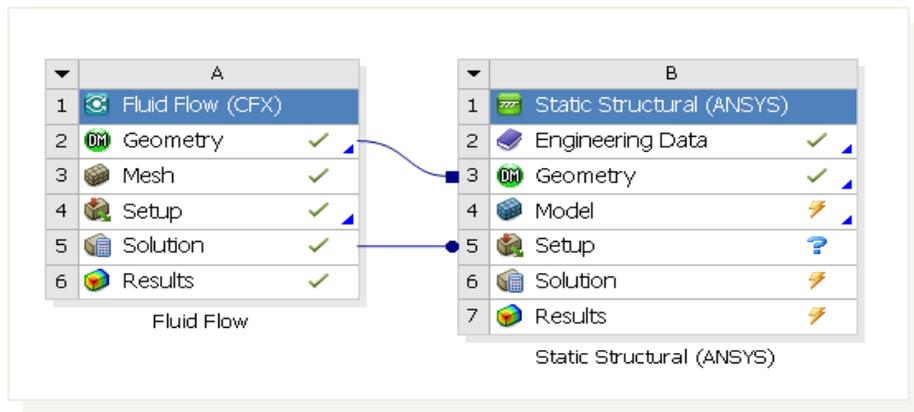
- 直接利用了结构分析软件中的热分析功能和结构分析功能，可以同时计算出温度场分布和应力应变场分布。
- 采用结构分析软件进行温度场模拟时，通常只是施加了由经验获得的对流换热系数。



• 回流焊的不同仿真技术路线

➢ 基于CFD+结构分析软件的热固耦合分析

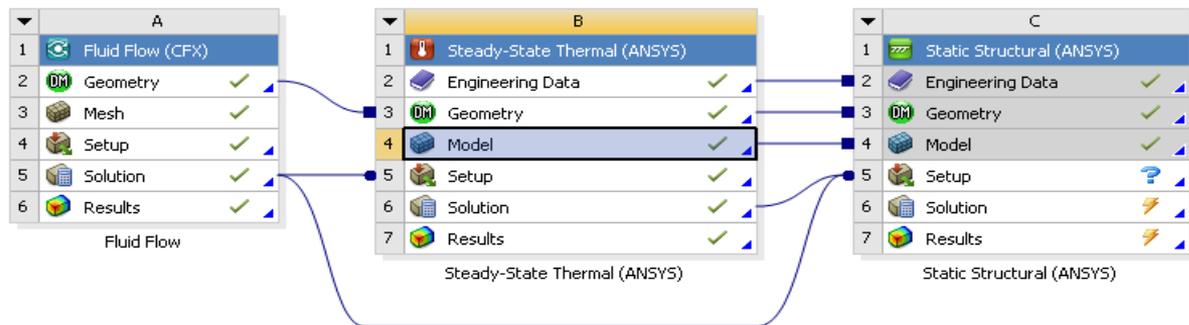
- 结合上述两种方法的优缺点，直接采用流固耦合的方式，由CFD软件计算温度场，由结构分析软件进行应力应变场、焊点失效分析和PCB板翘曲分析。



• 回流焊的不同仿真技术路线

➢ 基于CFD+结构分析软件的协同分析

- 采用CFD软件主要用于计算结构表面的对流换热系数。
- 在结构分析软件中计算温度场和应力应变场。



回流焊仿真中的关键技术

- 描述焊球合金在高温下的力学行为的模型大多是基于蠕变和粘塑性的本构关系，目前应用比较广泛的ANAND模型。该本构模型反应的是时间相关塑性，即粘塑性现象。

流动方程

$$\dot{\epsilon}_{in} = A e^{-\frac{Q}{RT}} \left[\sinh \left(\xi \frac{\sigma}{S} \right) \right]^{\frac{1}{m}}$$

$\dot{\epsilon}_{in}$ 为非弹性应变速率； ξ 为应力因子；A 为常数；
Q 为激活能；R 为气体常数；T 为绝对温度；m 为
应变率敏感指数。

演化方程

$$\dot{s} = \left\{ h_0 (|B|)^a \frac{B}{|B|} \right\} \dot{\epsilon}_{in}$$

h_0 和 a 为材料应变硬化参数

$$B = 1 - \frac{s}{s^*}$$

s^* 为内变量 s 的饱和值

$$s^* = \hat{s} \left[\frac{\dot{\epsilon}_{in}}{A} e^{\frac{Q}{RT}} \right]^n$$

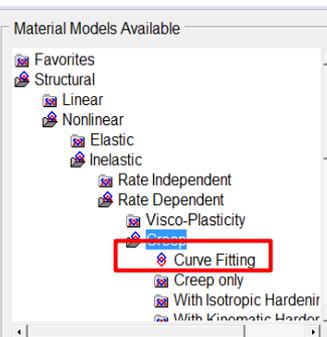
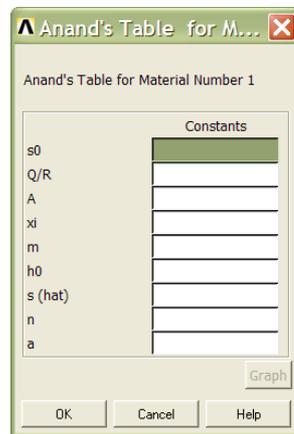
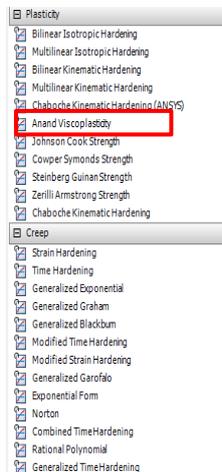
\hat{s} 为变形阻力饱和值的系数； n 为应变率敏感度

Anand本构方程9个参数的计算过程为：1) 根据实验数据可以得到恒定应变速率 $\dot{\epsilon}_{in}$ 对应的饱和应力值 σ^* 。2) 采用非线性拟合，可以结合不同的温度数值，获得A、m、n和Q。3) 采用非线性拟合，根据不同温度、不同应变速率下的计算得到a、 ξ 、 h_0 和 s^* 。4) 由步骤2~3)的数值，可以得到 \hat{s} 的数值。

回流焊仿真中的关键技术

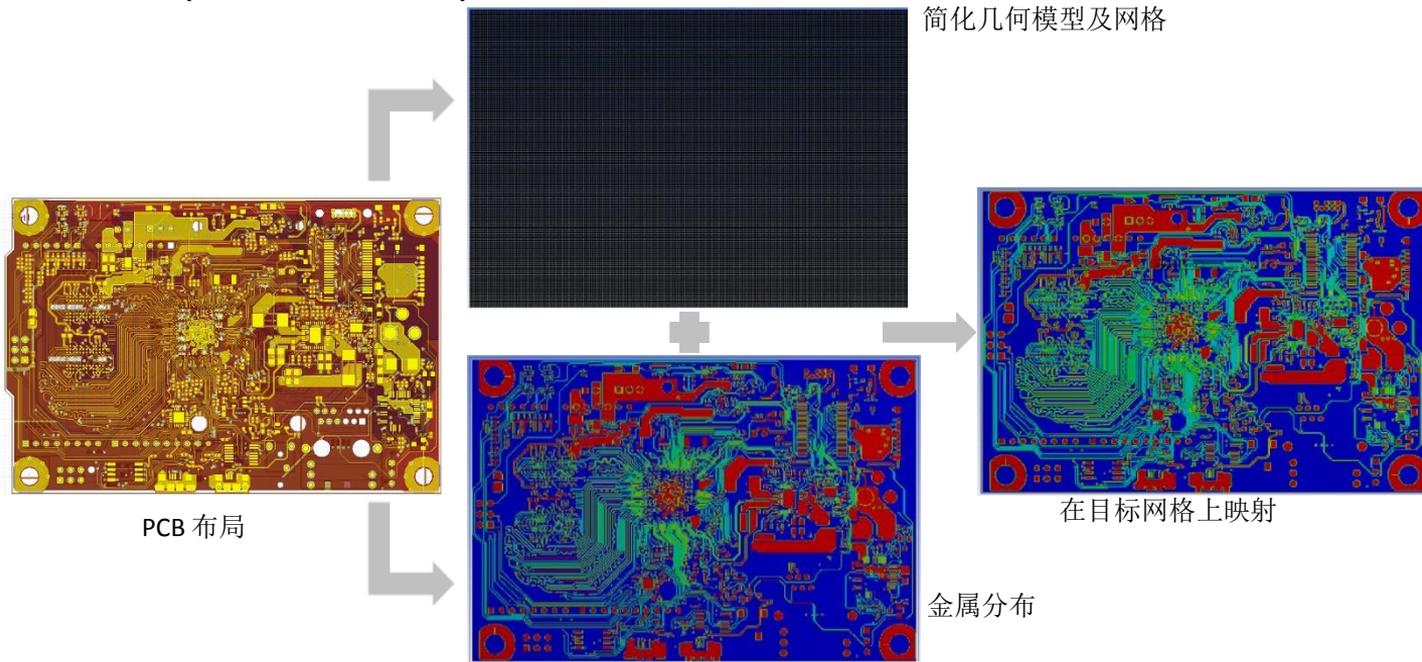
- Anand本构方程同时描述塑性和蠕变形变时准确可靠，并且在 ANSYS中可以方便地定义与调用。在ANSYS Workbench中可以方便地定义 ANAND本构模型的材料参数，ANAND本构模型的相关参数一共有九个：

参数名称	单位/值
参考单位 (应力、温度、每次)	tonne s ⁻² mm ⁻¹ , K, s ⁻¹
初始抗变形能力	56
活化能Q/通用气体常数R	10830
指数前因子A	1.49E+07
应力乘数E	11
应力m的应变速率敏感性	0.303
硬化软化常数h0	2640
变形阻力饱和系数S	80
饱和应变速率敏感性 (抗变形性) n	0.0231
硬化或软化的应变速率敏感性a	13.4



回流焊仿真中的关键技术

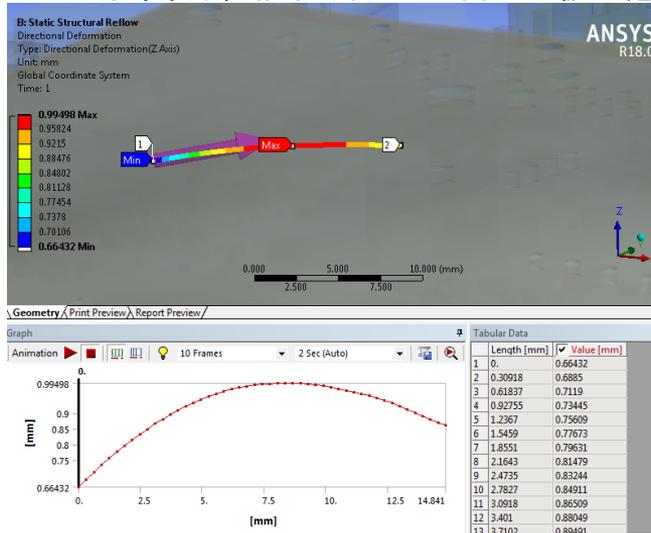
- 材料等效 (考虑叠层布线)



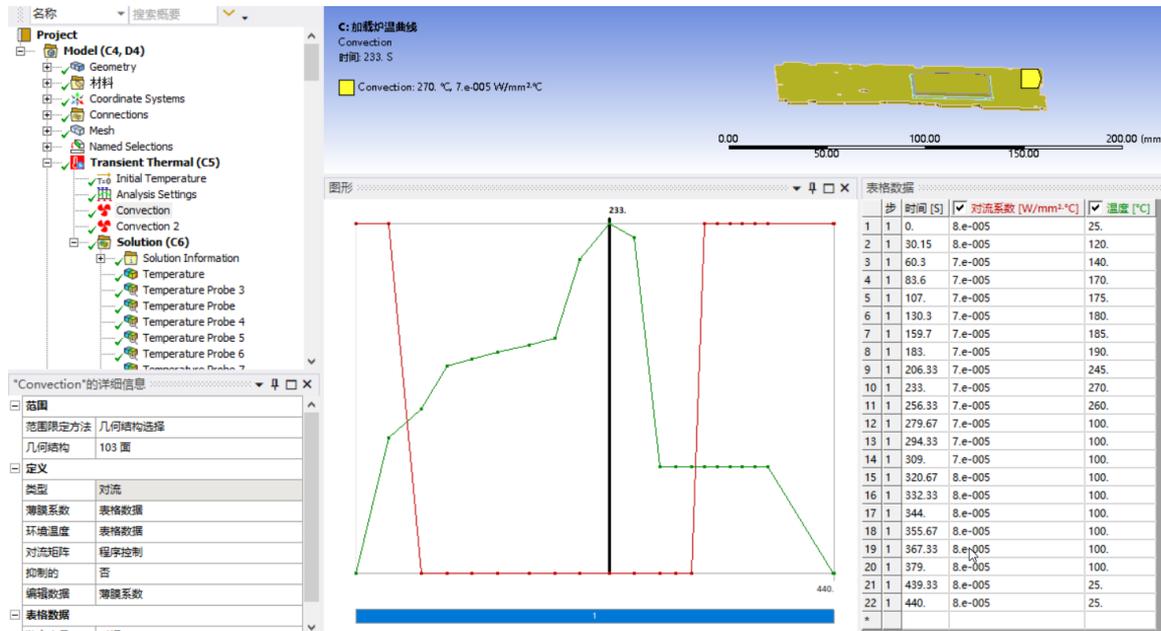
• 回流焊仿真中的关键技术

• 路径结果提取

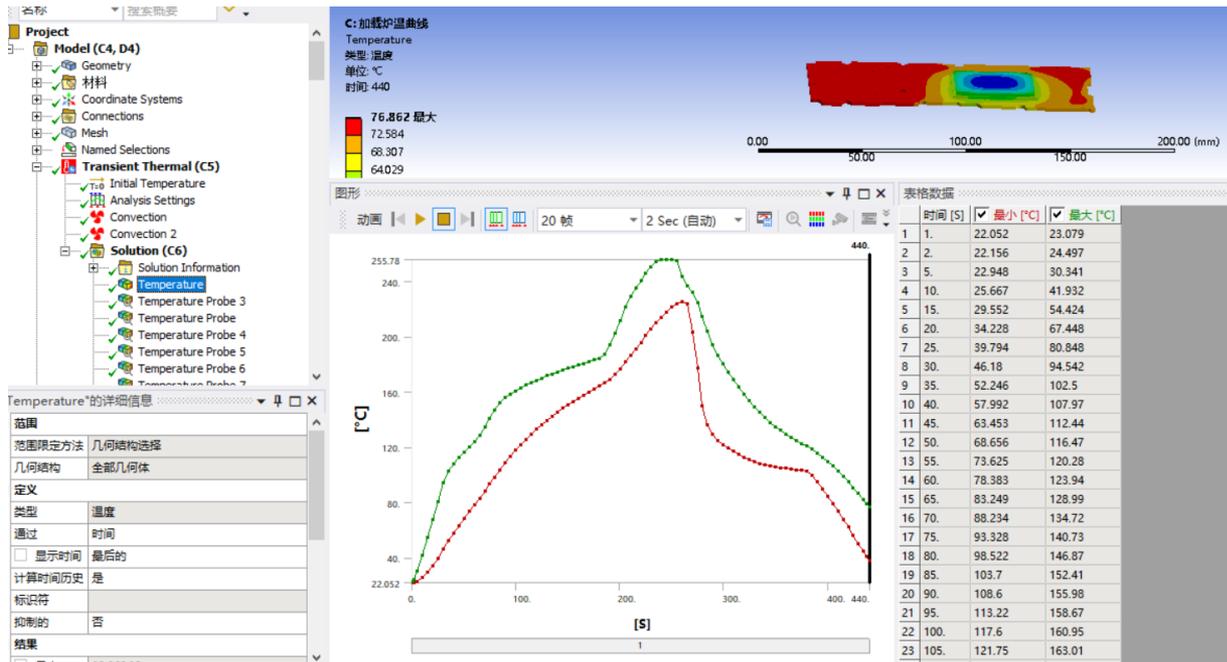
- 在计算PCB板的翘曲变形时，由于翘曲变形主要反映在相对变形上，而且也存在一些局部效应，采用通常的变形云图来直接查看翘曲并不方便。基于路径的计算结果可以直接给出沿某条线上计算得到的变形结果，而且可以直接绘制变形结果随路径距离的变化曲线，非常适用于查看PCB板的翘曲。



- ANSYS Mechanical回流焊中温度场仿真分析：
 - 加载炉温曲线



- ANSYS Mechanical回流焊中温度场仿真分析：
 - 计算得到温度结果



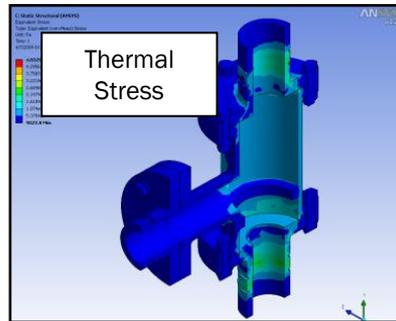
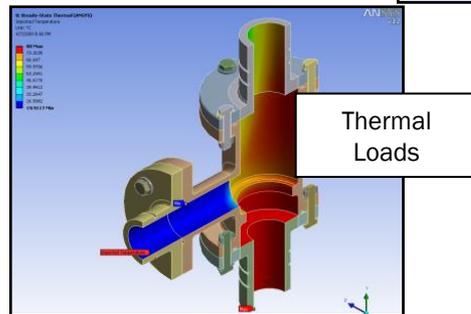
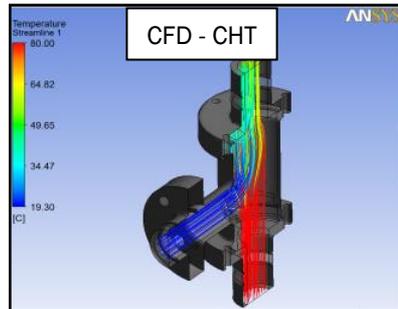
- **ANSYS Mechanical中的温度场与结构场耦合技术**
- 多物理场耦合的两种基本方法：
 - 直接：解决一组单元矩阵耦合的方程，而方程中的自由度来自于多个场，在这个过程中我们使用特殊的耦合场单元就可以做到
 - 顺序：多场分析顺序求解，第一个分析的结果作为下一个分析的载荷，间接耦合是通过载荷矢量求解

- ANSYS Mechanical中的温度场与结构场耦合技术
- One-way 热耦合通常是将CFD计算的与热相关数据传递给结构做热应力分析

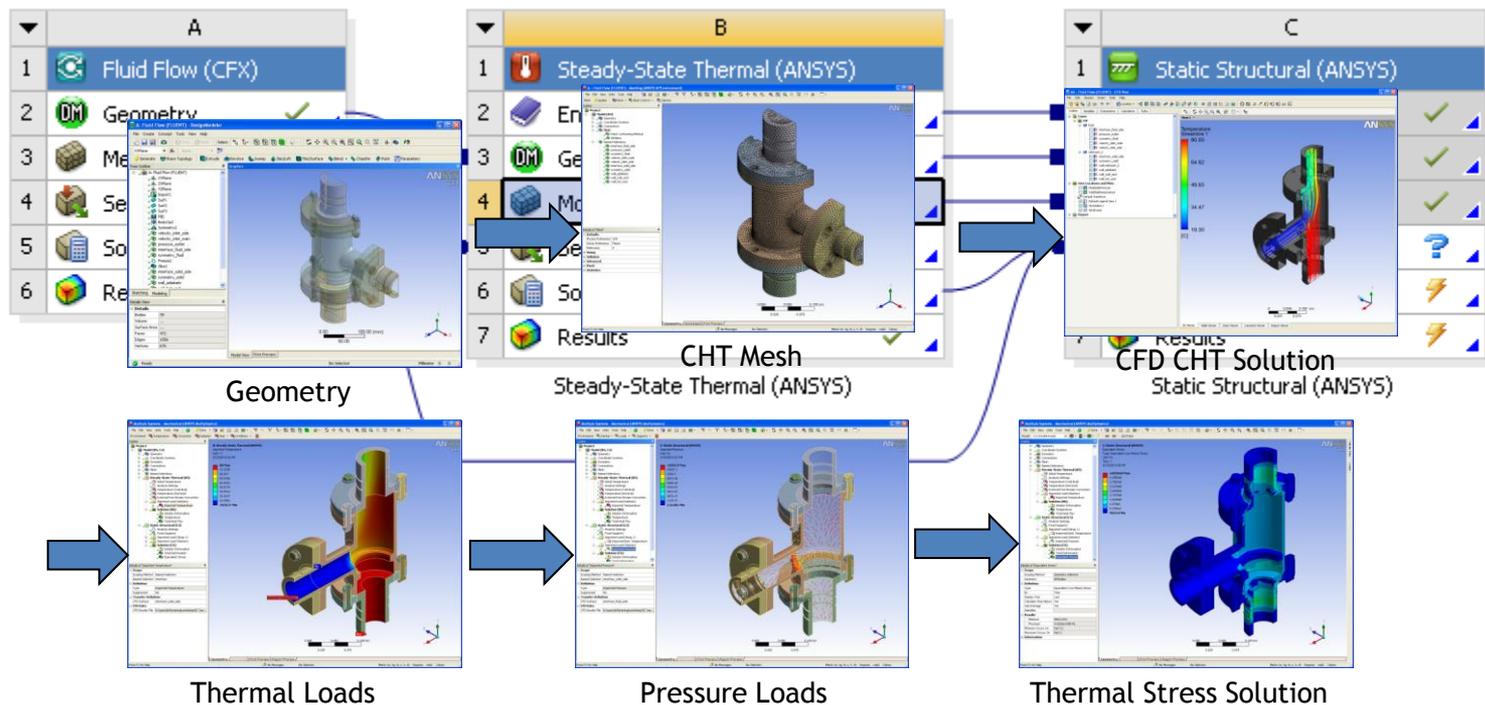
– 如果只考虑结构的温度分布而不考虑热应力，在CFD内部即可实现

- 体、面数据传递

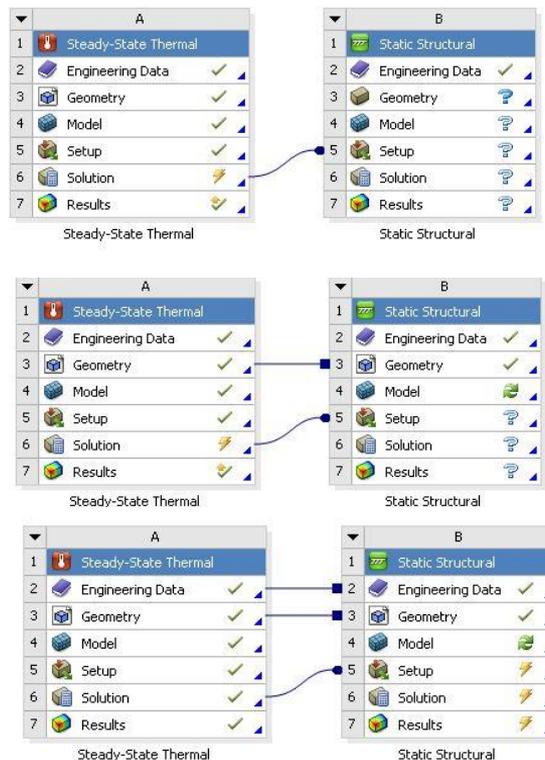
- 表面温度/对流换热系数
CFD → Mechanical
- 体温度
CFD → Mechanical



ANSYS Mechanical中的温度场与结构场耦合技术

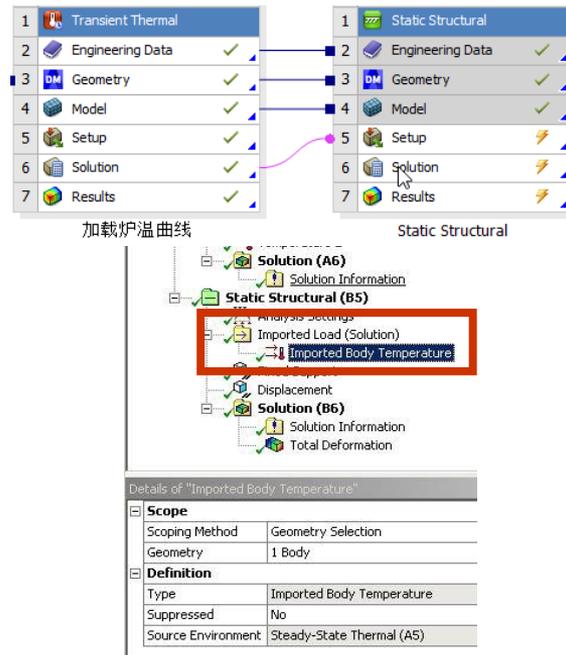


- ANSYS Mechanical中的温度场与结构场耦合技术
- 有不同的连接方式
- 网格独立，热和结构可以不同网格
- 不同网格采用映射技术



• ANSYS Mechanical中的温度场与结构场耦合技术

- “Imported Load” 分支自动建立
- 包含了 “Imported Body Temperature”



• ANSYS Mechanical回流焊中结构翘曲仿真分析：

使用 External Data模块导入PCB 3D layout文件

使用External Data 向Mechanical传递PCB 3D layout信息

支持的文件格式:

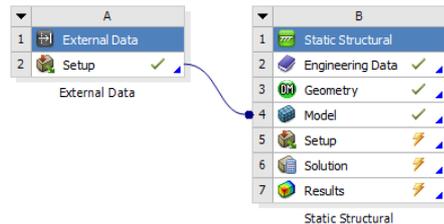
Ansoft ANF

Cadence BRD/MCM/SIP

ODB++ TGZ

ICEPAK BOOL+INFO

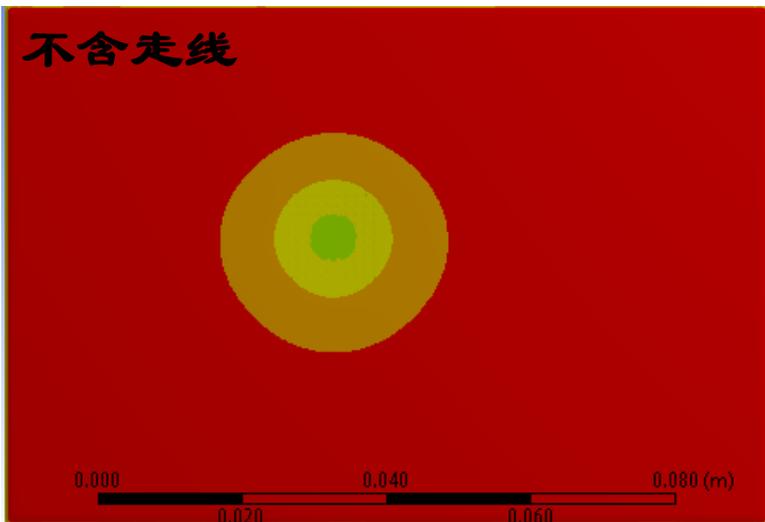
ICEPAK COND+INFO



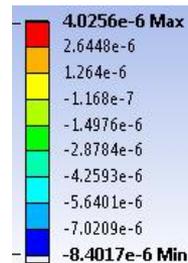
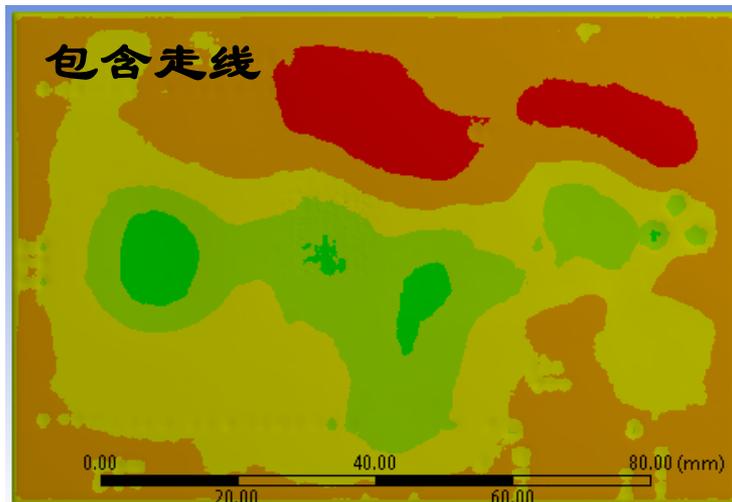
Outline of Schematic A2 :			
	A	B	C
1	Data Source	Location	Identifier
2	E:\Desktop\Development\Trace Import\PCB-00278_A\PCB-00278_A.brd	...	File1
*	Click here to add a file	...	

Properties of File - E:\Desktop\Development\Trace Import\Galileo\Galileo Demo\Galileo_...			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Definition		
3	Format Type	Cadence BRD	
4	Rigid Transformation		
5	Origin X	0	m
6	Origin Y	0	m
7	Origin Z	0	m
8	Theta XY	0	radian
9	Theta YZ	0	radian
10	Theta ZX	0	radian

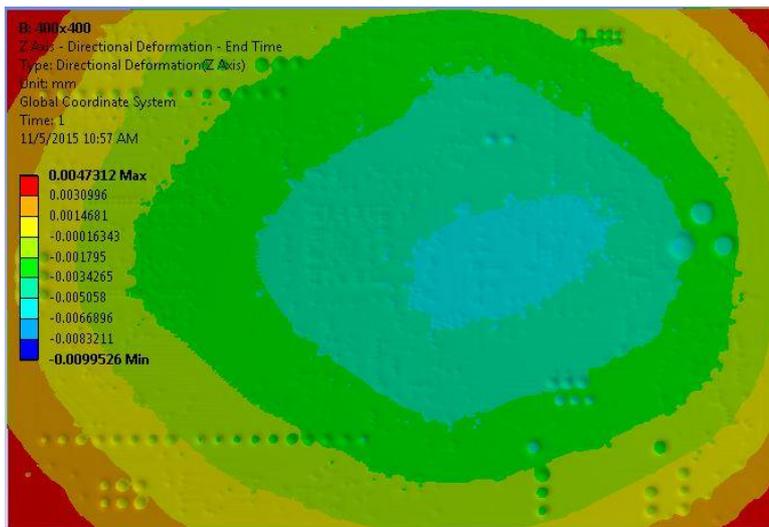
不含走线



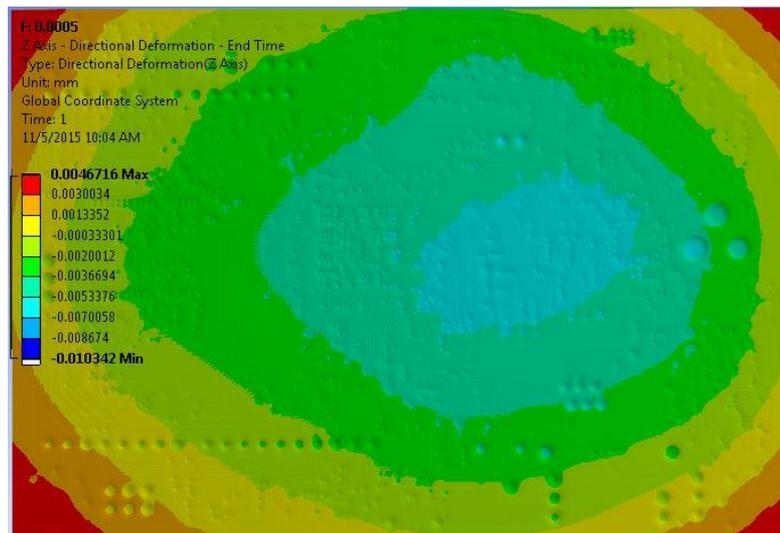
包含走线



迹线映射与完整模型的结果基本一致



Z 向变形 (迹线映射)



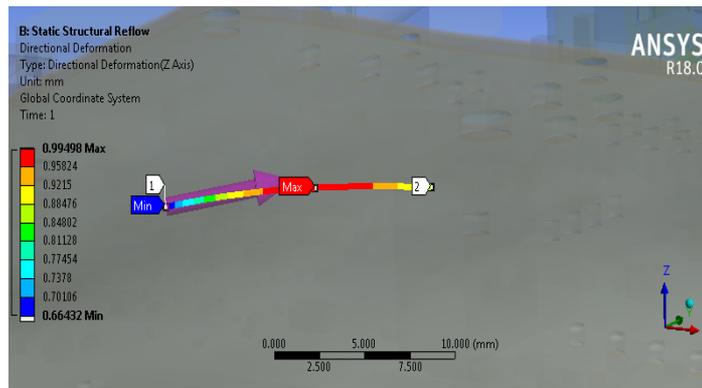
Z 向变形 (完整模型)

ANSYS Workbench Hierarchy:

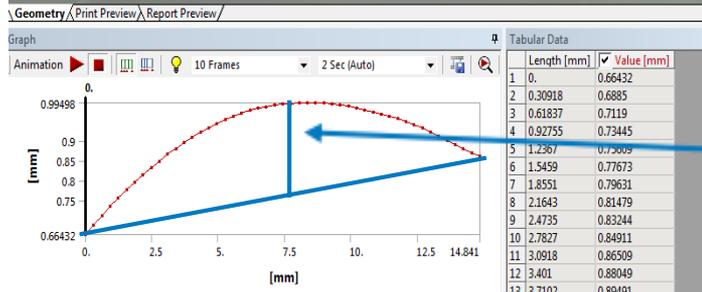
- Construction Geometry
 - Path
- Coordinate Systems
- Connections
- Mesh
- Named Selections
 - 瞬态热 (A5)
 - 初始温度
 - 分析设置
 - 对流
- Solution (A6)
 - Solution Information

'Path' 的详细信息

定义	
路径类型	两个点
路径坐标系	Global Coordinate System
抽样点数量	47.
抑制的	否
启动	
坐标系	Global Coordinate System
启动X坐标	-3.7598e-002 mm
启动Y坐标	1.0343 mm
启动Z坐标	0.65 mm
位置	点击进行修改
末端	
坐标系	Global Coordinate System
端点X坐标	1.4616 mm
端点Y坐标	3.9944 mm
端点Z坐标	0.65 mm



用路径Z方向翘曲



翘曲



大咖慧，顾名思义，汇集众多大咖智慧。

是由安世亚太打造的一个以设计、仿真、增材制造等领域技术和行业专家为主的智慧学习平台。目前主要通过线上培训、研讨等方式，由行业相关领域资深专家与学员们分享交流最新技术和应用研究成果。

如有任何需求、建议，请关注订阅号（peraglobal），给我们留言

