

完整案例操作流程

1. 工程建模

1.1. 主窗口

主窗口分为三个部分，如图 1-1 所示。其中(1)主菜单位于顶部，(2)项目树位于左侧，以及(3)内容面板占据窗口的其余部分。在“项目树”和“内容面板”之间有一个垂直分隔线，用户可以将“项目树”面板变宽或变窄以适应操作的便捷。

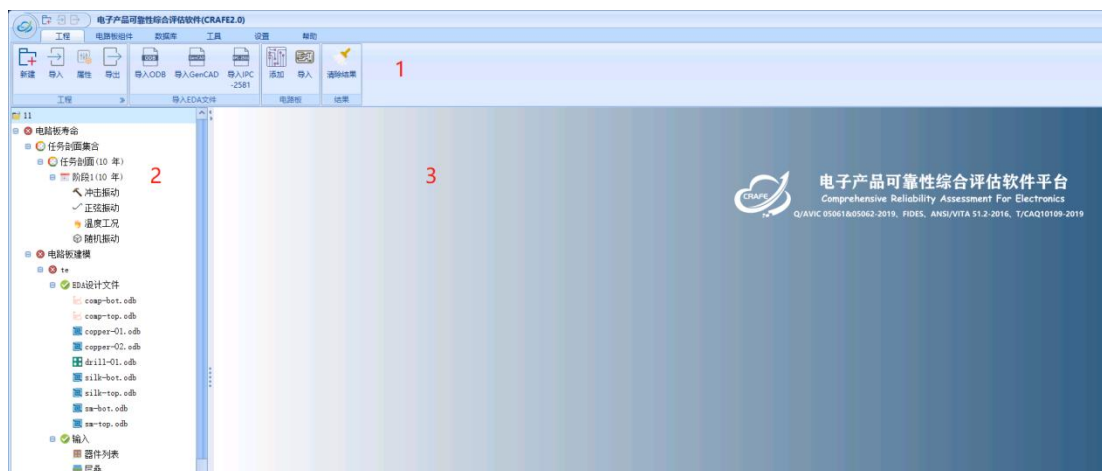


图 1-1 主窗口

1.2. 创建建工程

点击“新建”按钮，系统会弹出“创建工程”弹框，按提示填写“工程名称”、“工程简介”，输入完成后点击“保存”，如图 1-2 所示。

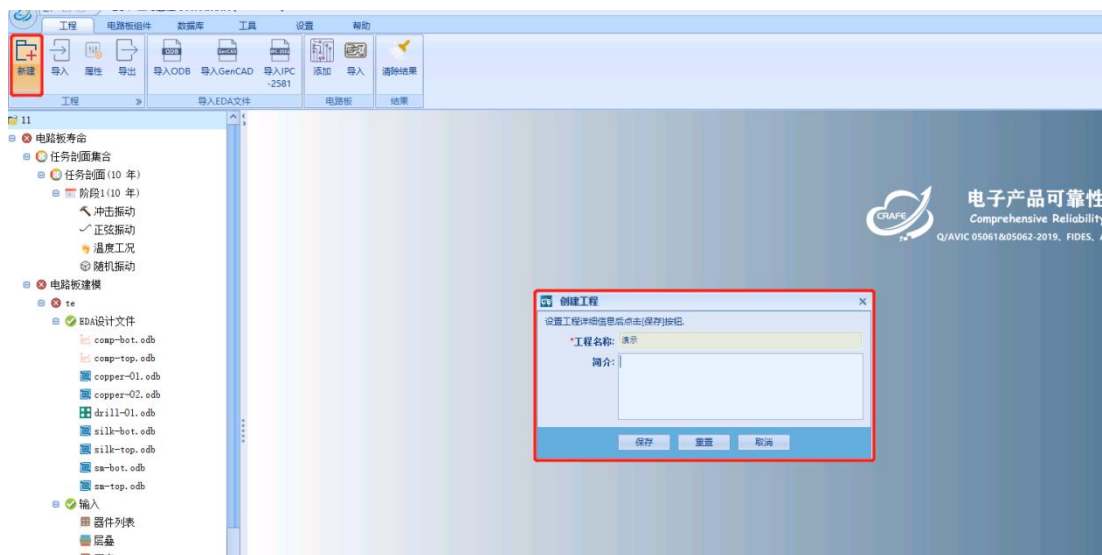


图 1-2 新建工程

2. 任务剖面建模

2.1. 编辑任务剖面集合

任务剖面定义了项目所需的可靠性目标，以及产品在项目生命周期中所面临的各种环境压力。在“任务剖面集合”上点击鼠标右键，在弹出的提示框中点击“编辑属性”，系统会弹出任务剖面集合编辑框，如图 2-1 所示。用户根据提示输入可靠性目标。可靠性目标包括“可靠性指标”、“工作寿命”。其中可靠性指标有

“可靠度”、“失效率”、“MTBF”等。点击“保存”完成对信息的编辑，如图 2-2 所示。

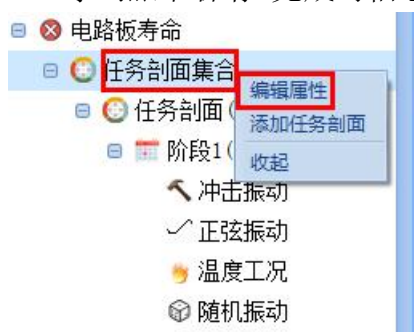


图 2-1 选择任务剖面集合



图 2-2 编辑任务剖面集合

2.2. 编辑任务剖面

在“任务剖面”上点击鼠标右键，在弹出的提示框中点击“编辑属性”，系统会弹出任务剖面编辑框，如图 2-3 所示。用户根据提示输入任务剖面的基本信息。基本信息包含任务剖面的“名称”、“描述”点击“保存”完成对信息的编辑，如图 2-4 所示。（注：用户可根据实际剖面信息添加多个剖面或多个阶段，如图 2-3 所示）

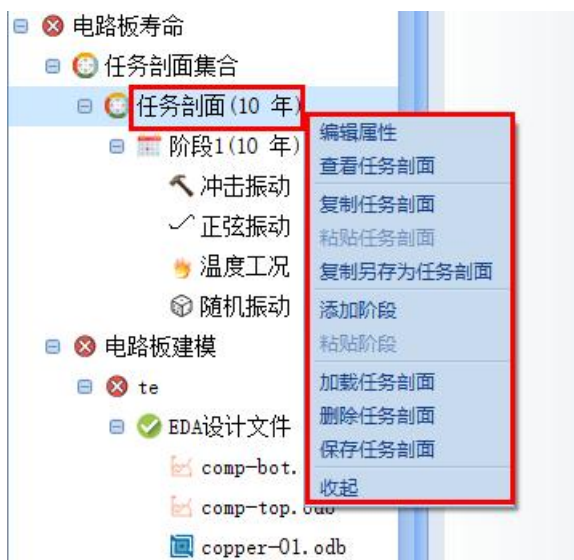


图 2-3 选择任务剖面



图 2-4 编辑任务剖面

2.3. 编辑工况

2.3.1. 编辑冲击振动

右键双击“冲击振动”，系统会弹出冲击编辑框，用户根据提示输入基本信息、冲击工况设置、冲击载荷设置和冲击脉冲谱。冲击工况包含“形状”、“载荷”、“频率”、“衰减”，右键点击工况列表可以添加、复制、删除不同阶段；基本信息包含随机振动剖面的“名称”、“描述”；冲击工况设置设置产品的时长和循环次数；冲击载荷设置设置产品的“峰值载荷”、“PCB 方向”和“加载方向”；冲击脉冲谱显示冲击脉冲剖面图。点击“保存”完成对信息的编辑，点击“重置”可重新输入信息，如图 2-5 所示。

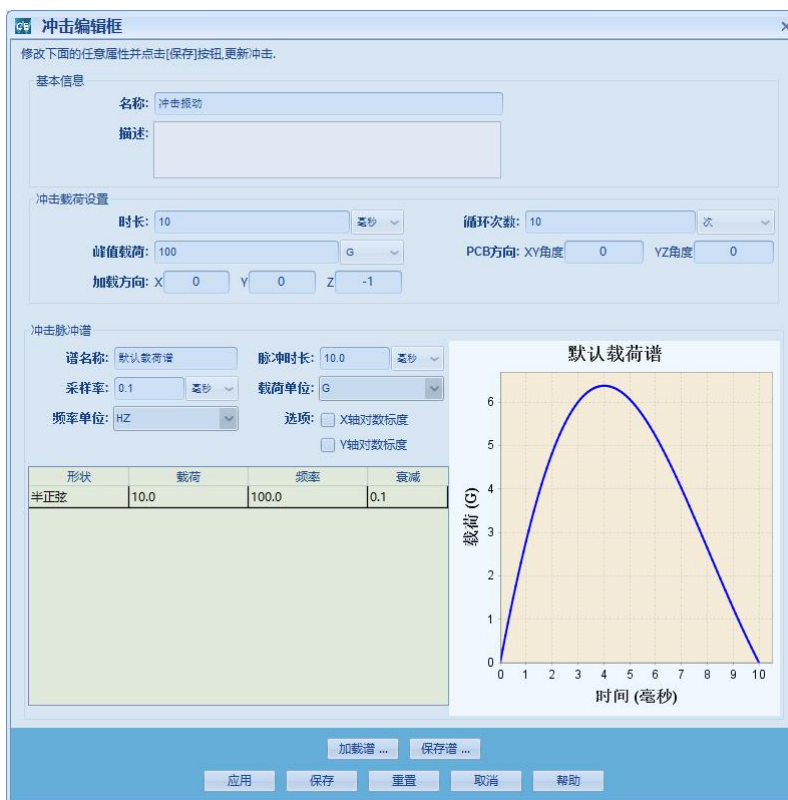


图 2-5 编辑冲击振动

2.3.2. 编辑正弦振动

右键双击“正弦振动”，系统会弹出正弦振动编辑框，用户根据提示输入基本信息、正弦振动设置、正弦振动载荷设置和正弦振动载荷谱。正弦工况包含“频率”、“方差”、“载荷”，右键点击工况列表可以添加、复制、删除不同阶段；基本信息包含正弦振动剖面的“名称”、“描述”；正弦振动设置设置产品的时长、循环次数和扫描频率；正弦振动载荷设置产品的“PCB 方向”、“正弦振动谱类型”；正弦振动谱显示正弦振动剖面图。点击“保存”完成对信息的编辑，点击“重置”可重新输入信息，如图 2-6 所示。



图 2-6 编辑正弦振动

双击正弦振动载荷谱列表“方差一栏”，系统会弹出编辑正弦振动谱，可以设置振动是否符合正态分布。当振动频率服从正态分布时，设置频率的期望和方差。在进行针对应力确信可靠度评估时，会对振动进行抽样进行固有频率可靠度和振动应力可靠度评估。如图 2-7 所示。



图 2-7 编辑正弦振动谱

2.3.3. 编辑温度工况

右键双击“温度工况”，系统会弹出温度编辑框，用户根据提示输入基本信息、温度工况设置和温度载荷谱。温度工况包含“步骤”、“类型”、“时间”、“温度”、“方差”，右键点击工况列表可以添加、复制、删除不同阶段；基本信息包含温度剖面的“名称”、“描述”；温度工况设置产品的循环次数和工作状态；温度载荷谱显示温度剖面图。点击“保存”完成对信息的编辑，点击“重置”可重新输入信息，如图 2-8 所示



图 2-8 编辑温度工况

双击温度载荷谱列表“方差”，弹出编辑对话框，如图 2-9，可以编辑该阶段的“步骤”，选择“温度类型”，“线性”或“非线性”。还可以可以设置温度是否符合正态分布。当温度服从正态分布时，设置温度的期望和方差。在进行温度应力确信可靠度评估时，会对温度进行抽样生成对应的仿真样本。



图 2-9 编辑温度谱

2.3.4. 编辑随机振动

右键双击“随机振动”，系统会弹出随机振动编辑框，用户根据提示输入基本信息、随机振动设置、随机振动载荷设置和随机振动载荷谱。随机工况包含“频率”、“加速度功率谱密度”，右键点击工况列表可以添加、复制、删除不同阶段；基本信息包含随机振动剖面的“名称”、“描述”；随机振动设置设置产品的时长、循环次数和扫描频率；随机振动载荷设置产品的“PCB 方向”、“随机振动谱类型”；简谐振动谱显示随机振动剖面图。点击“保存”完成对信息的编辑，点击“重置”可重新输入信息，如图 2-10 所示。

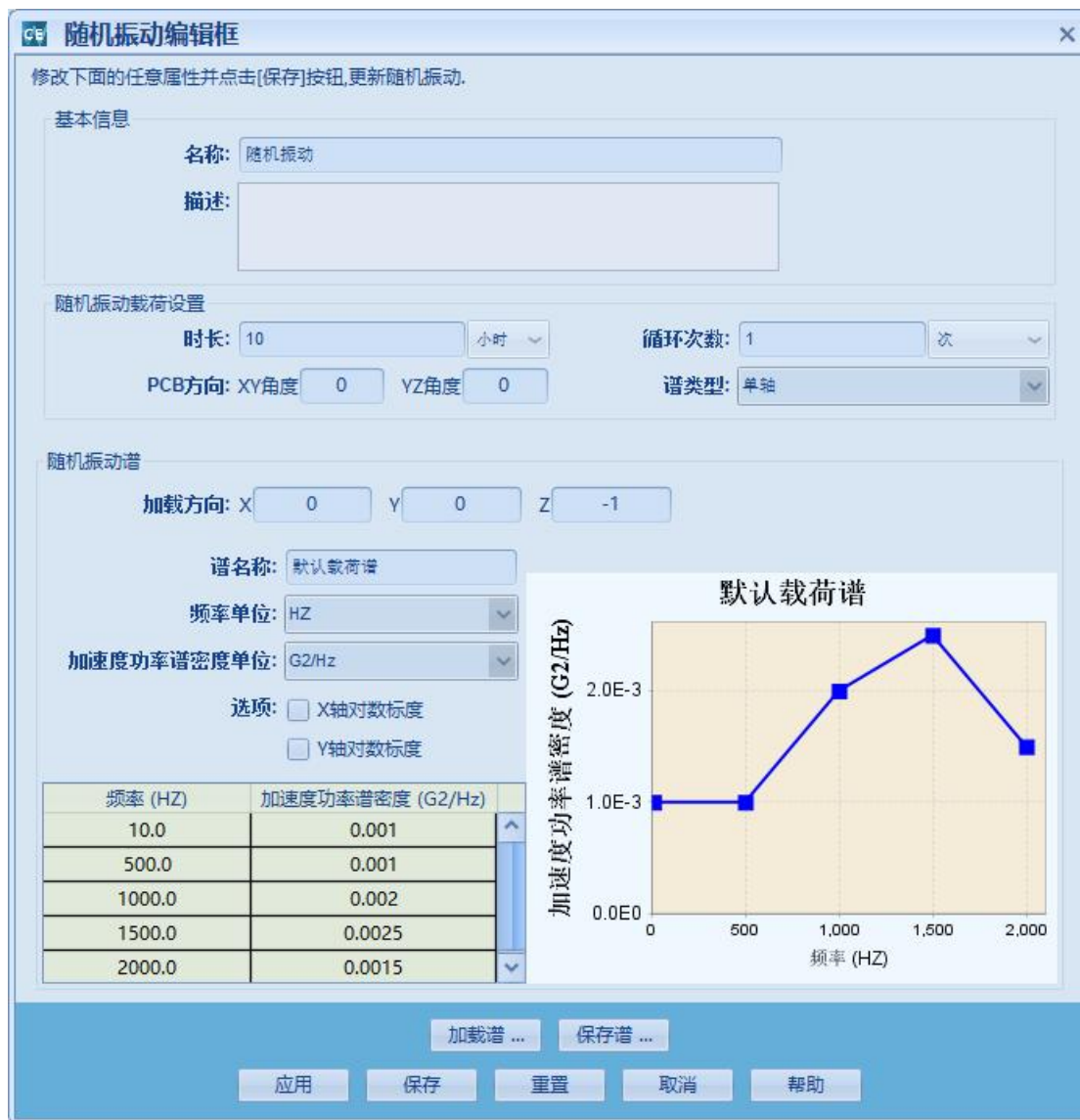


图 2-10 编辑随机振动

3. 电路板建模

3.1. 导入电路板 odb 文件

点击“导入 ODB”，系统弹出导入 ODB++文件导入框，用户根据提示选择导入的 ODB++文件；输入“工程名称”、“电路板组件名称”；选择“指定层厚度”、“包含其它层”、“工艺切口”等。点击“扫描”，系统将会在指定文件中扫描所需文件；点击“重置”可重新输入信息，如图 3-1 所示。ODB++文件通常以单个压缩文件的形式传输，后缀为“.tgz”或“.tar.gz”。

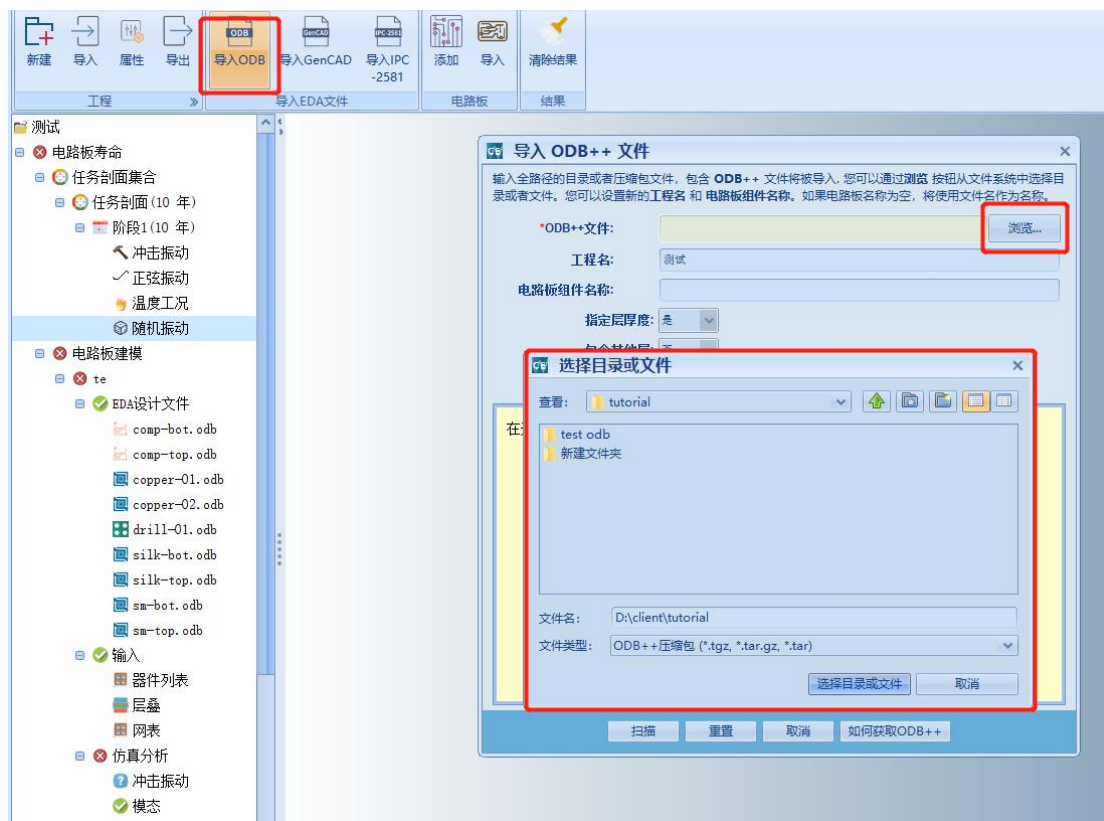


图 3-1 导入 odb 文件

ODB 文件可以通过 Altium Designer 导出，具体导出步骤如下，先点击工具栏的“文件”->“制造输出”->“ODB++ Files”如图 3-2 导出 ODB++文件，弹出导出 ODB++文件设置的对话框如图 3-3,选择需要导出的层，默认无需修改导出即可。生成的 ODB++文件目录在 Altium Designer 的工程 Generated 目录的 Text Documents 下，具体系统路径可以鼠标移到节点上可以看到或者双击打开软件的左上方显示文件路径如图 3-4 所示。导出的 ODB++是一个文件夹，大致包含 fonts、input、matrix、step 等目录如图 3-5 所示。

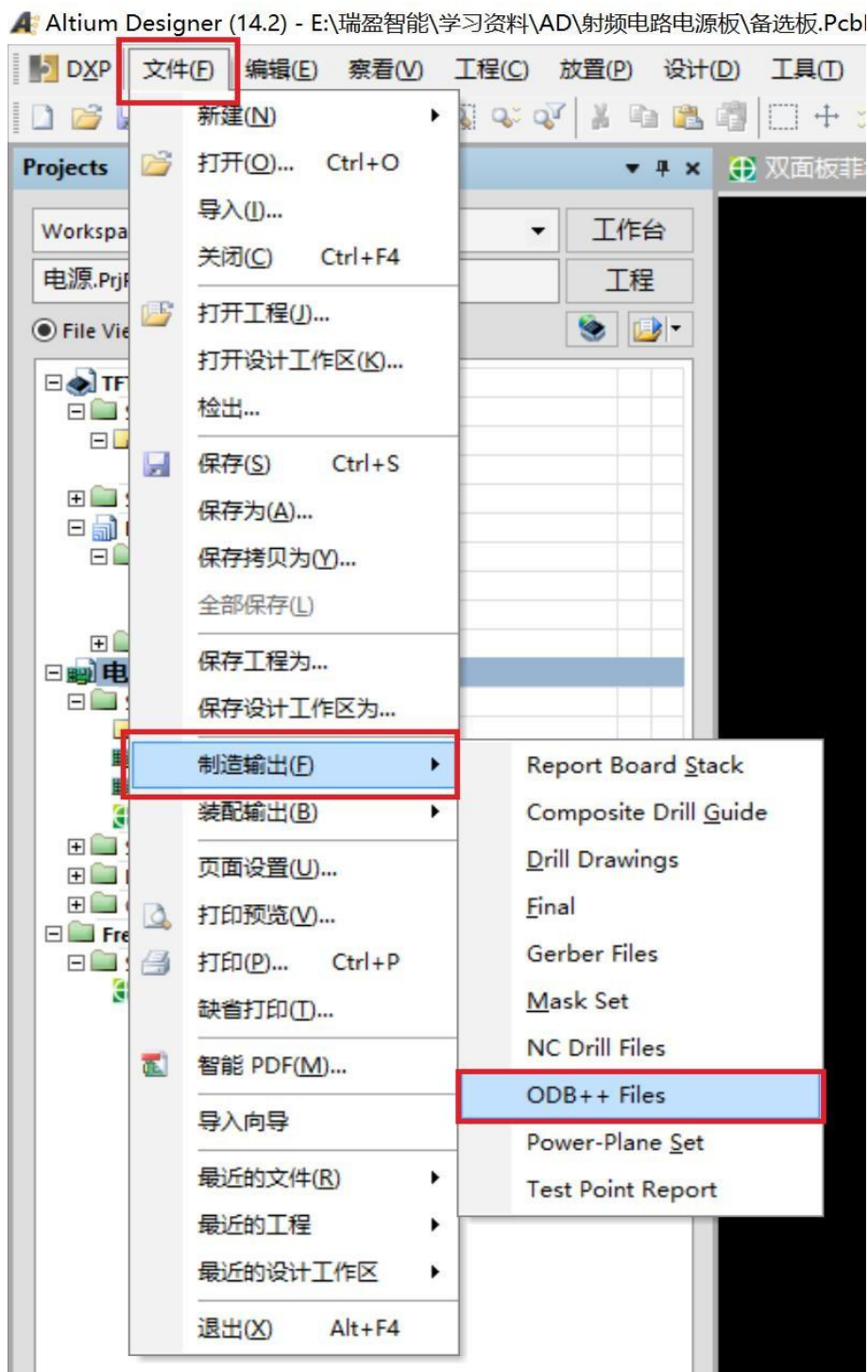


图 3-2 导出 ODB++文件

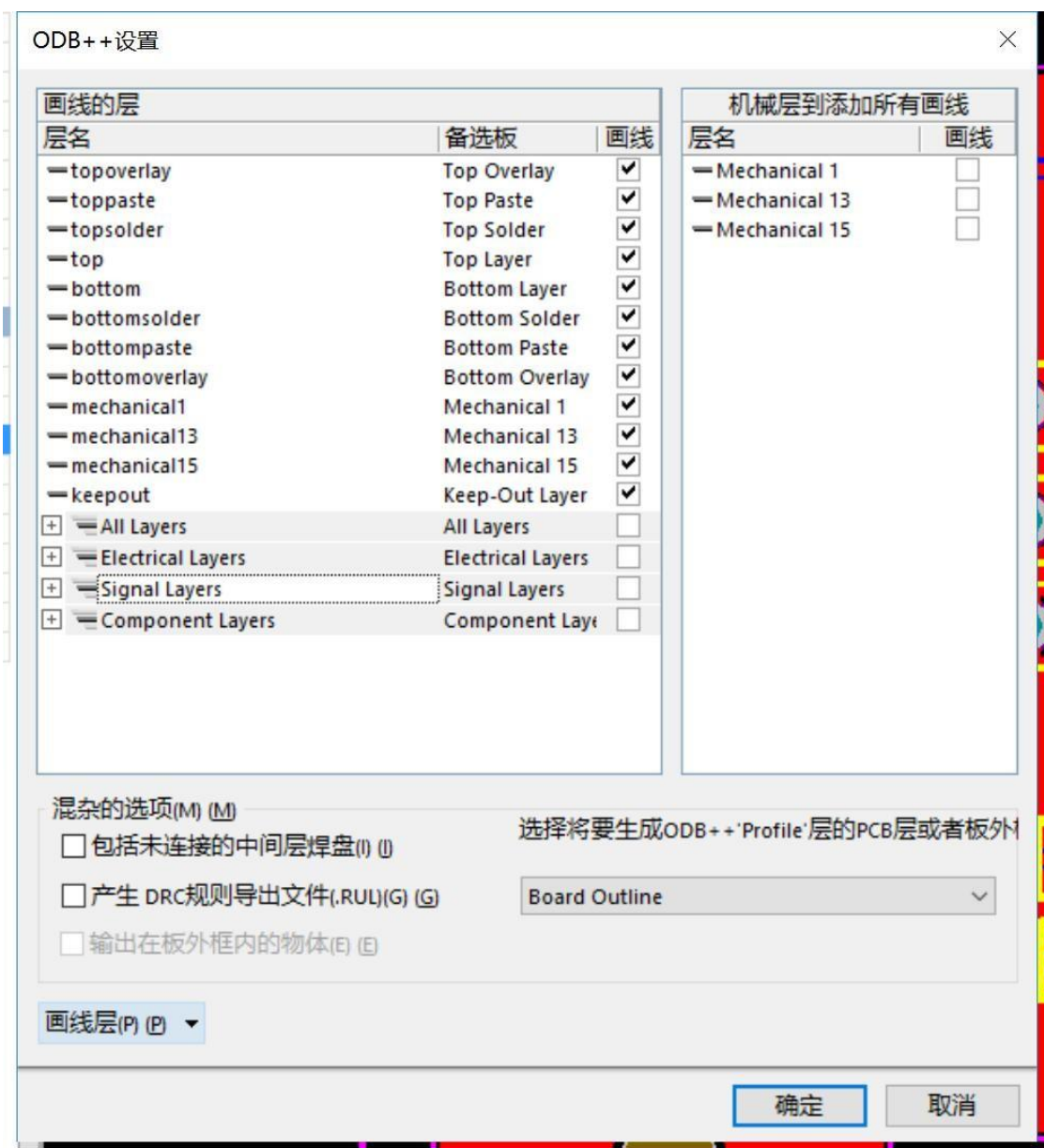


图 3-3 导出 ODB++文件设置

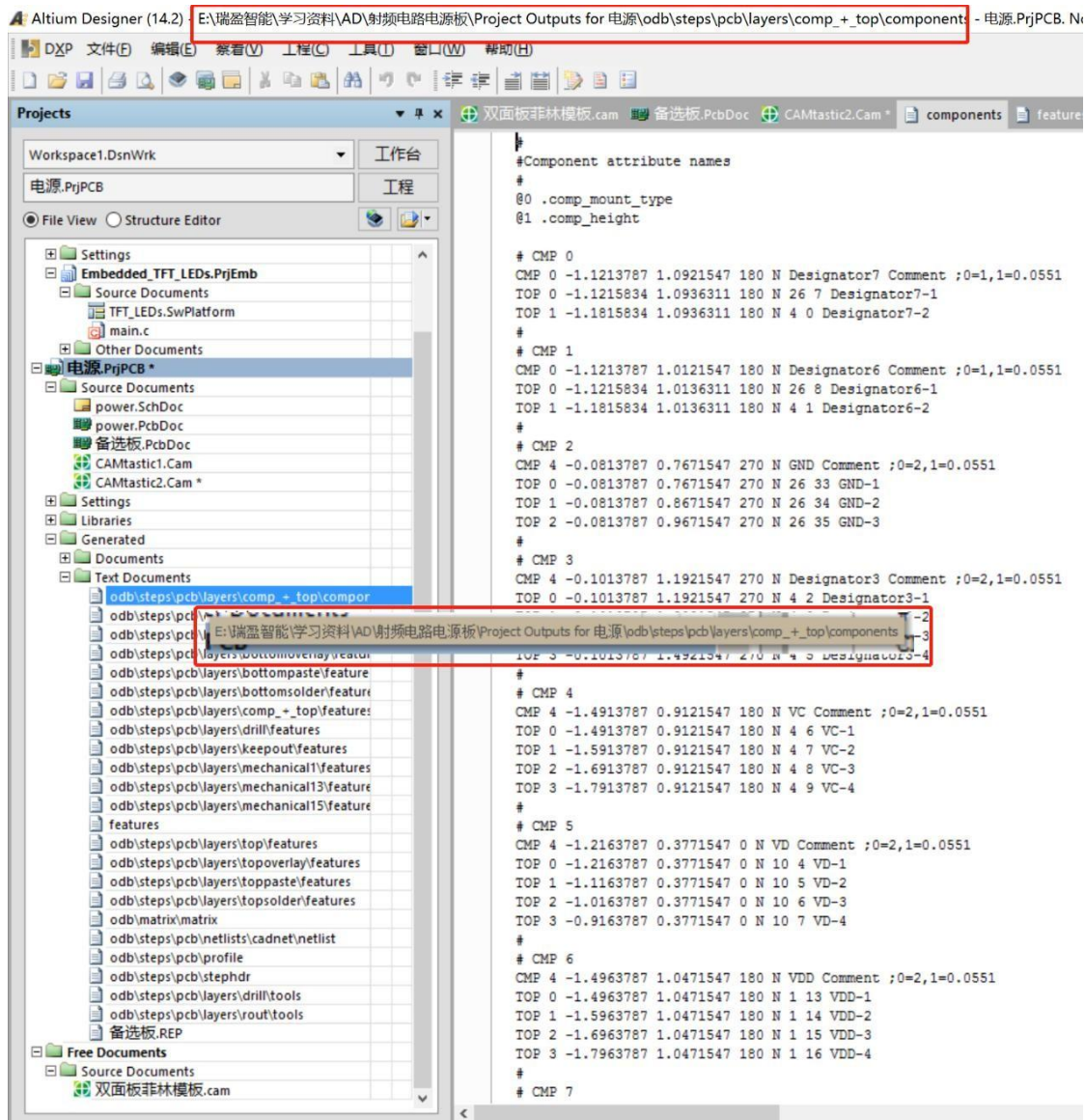


图 3-4 文件路径



图 3-5 ODB++文件目录结构

ODB ++文件中的 PKG 封装关键字和 CMP 元器件关键字，PKG 的记录后面紧跟着 RC、CR、SQ、CT、OB、OS、OC、OE、CE 的外轮廓记录。在 CRAFE 安装目录下，在 client.properties 中设置 useContour=true，就可以解析封装的外轮廓信息。

3.2. 完善器件列表

双击“器件列表”，系统弹出所有器件信息。器件列表包括 ID、位置、封装、引脚、焊盘、焊球、焊点、电、温度、介质和散热片等属性标签，双击任意器件，系统弹出该器件属性编辑框，如图 3-6 所示。用户需要在仿真前完善器件列表的信息。

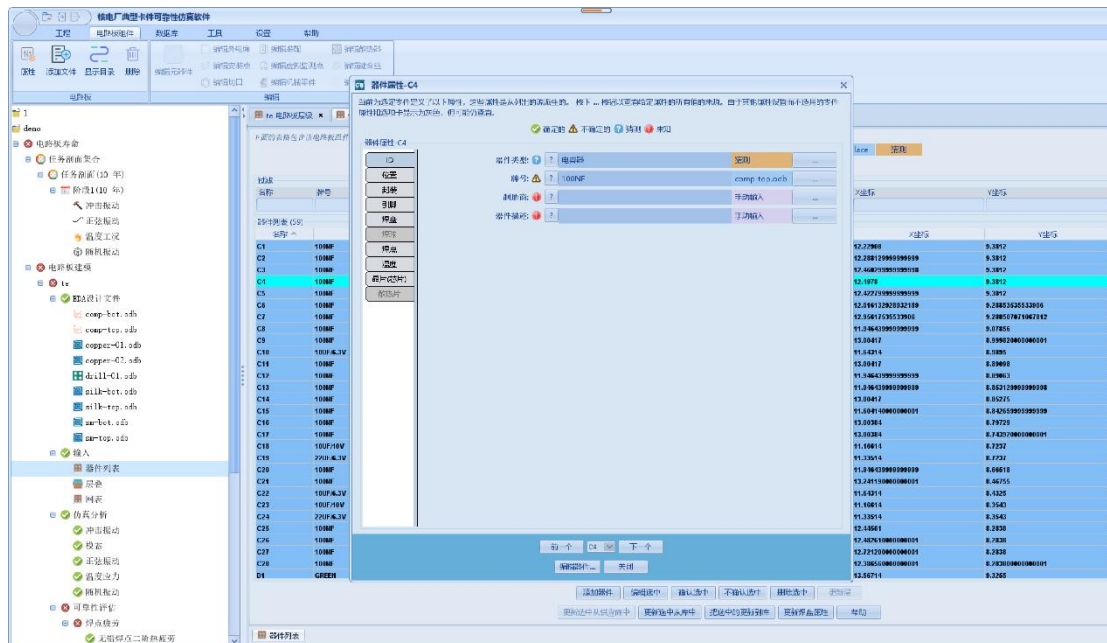


图 3-6 器件属性

双击“器件列表”，系统弹出所有器件信息。器件列表包括 ID、位置、封装、引脚、焊盘、焊球、焊点、电、温度、介质和散热片等属性标签，双击任意器件，系统弹出该器件属性编辑框，如图 3-6 所示。用户需要在仿真前完善器件列表的信息。

3.3. 添加安装点

在“电路板组件”菜单栏中点击“编辑安装点”，在电路板上右键点击“添加安装点”，系统弹出添加安装点编辑框，输入安装点属性、类型和有限元设置信息完成对安装点的编辑，如图 3-7 所示。

安装点的形状有矩形、圆形、多边形和槽口等类型。

矩形：由长度和宽度尺寸，中心位置和旋转角度定义。

圆形：由直径，节点数，中心位置和旋转角度定义。

多边形：由长度和宽度尺寸，节点数，中心位置和旋转角度定义。

槽口：由一组节点位置和旋转角度定义。

使用“圆形”和“槽口”形状可以指定在逼近用于形成那些形状的圆弧时要使用的节点数。对于圆形，节点沿圆的圆周均匀分布。对于槽形状，使用 4 个节点定义槽的矩形部分，其余节点沿槽两端的半圆均匀分布。

对于所有形状，可以指定旋转角度以在 XY 平面中旋转形状。使用控制点以图形方式缩放形状时，将保留旋转角度，并且形状尺寸会自动更新以反映缩放操

作。

在电路板下方点击“保存”，可完成对安装点的保存，如图 4-36 所示；

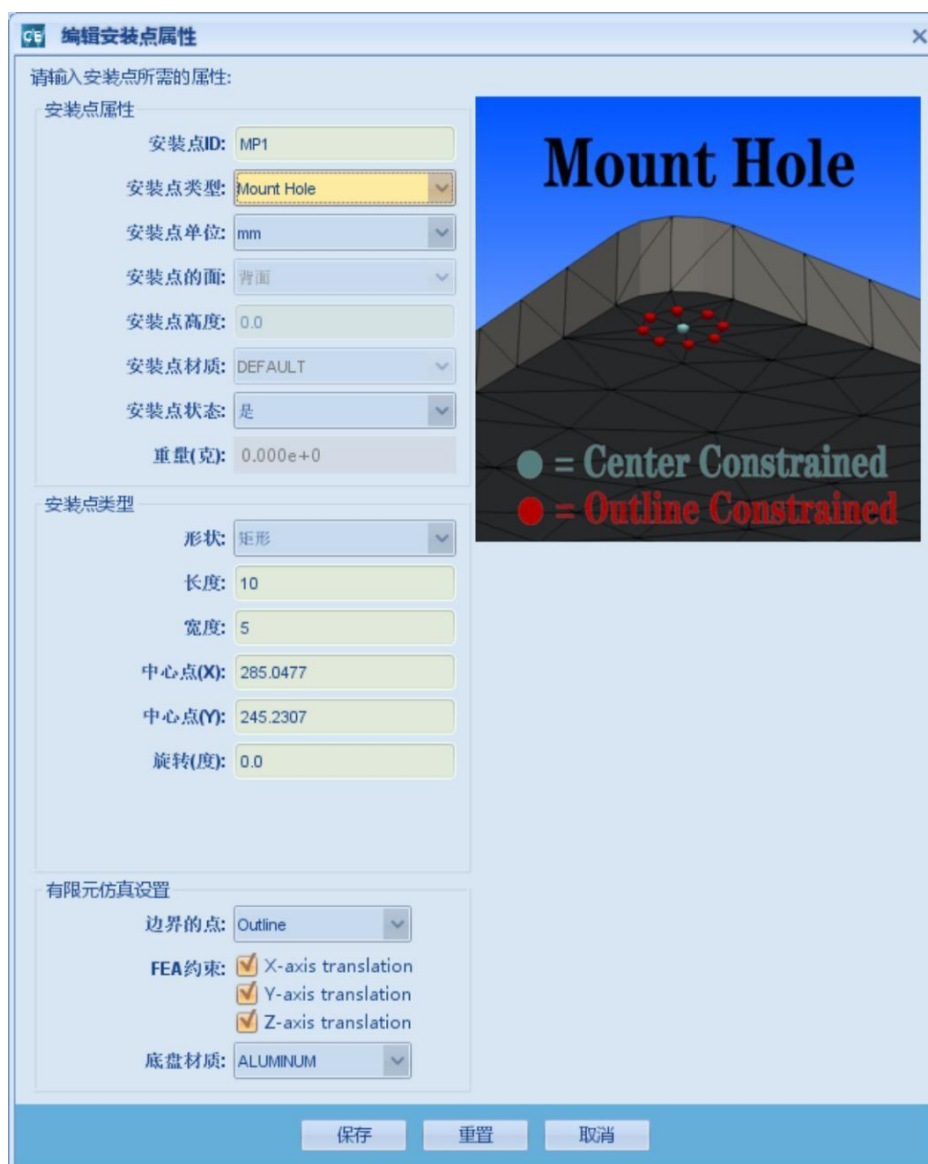


图 3-7 添加安置点

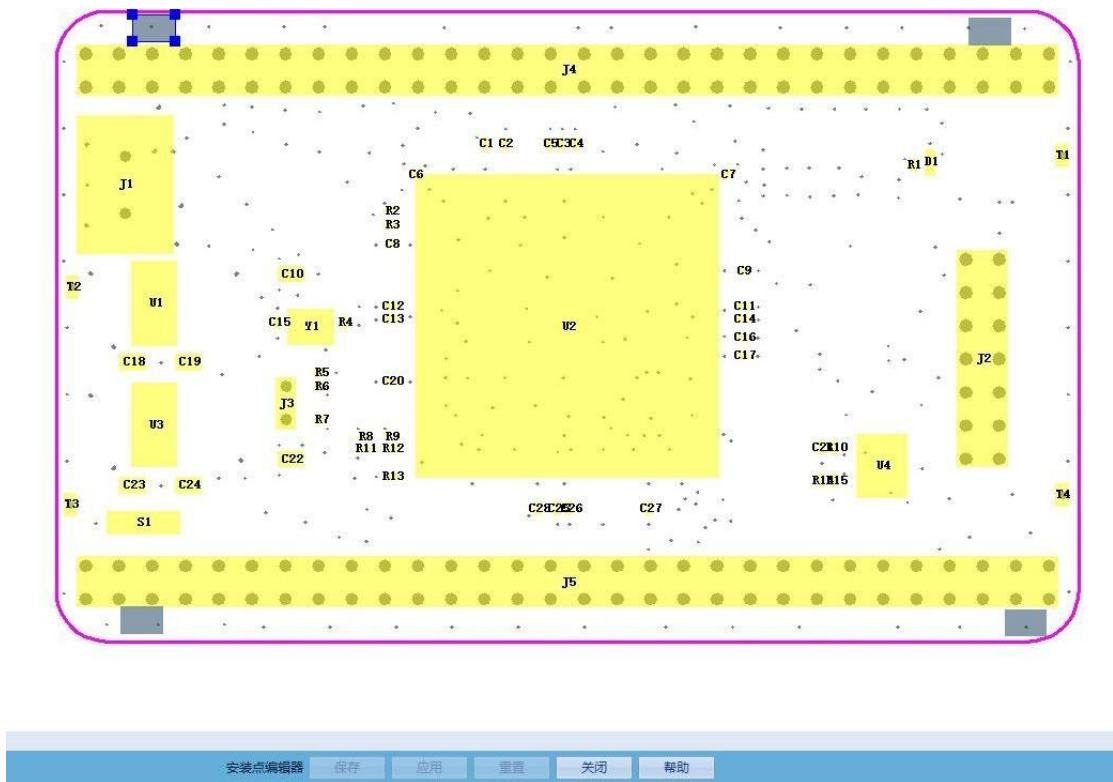


图 3-8 保存安装点

点击“应用”，可完成对现有安装点的应用；点击“重置”可重新编辑安装点，点击“完成”，退出该界面，点击“帮助”，查看帮助信息。

3.4. 添加键合丝

在“电路板组件”菜单栏中点击“编辑键合丝”，在电路板上右键点击“添加键合丝”，系统弹出添加键合丝编辑框，输入键合丝属性、位置和尺寸信息完成对键合丝的编辑，点击“保存”完成对信息的编辑，点击“重置”可重新输入信息，如图 3-9 所示。



图 3-9 键合丝属性

在电路板下方点击“保存”，可完成对键合丝的保存，如图 3-10 所示；

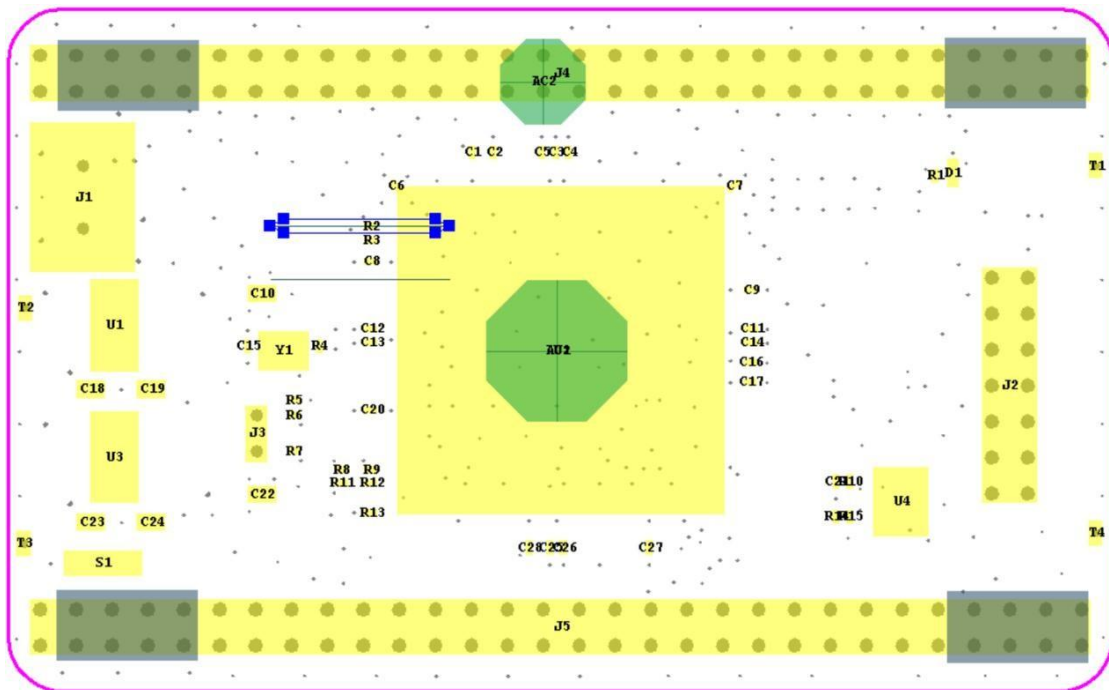


图 3-10 添加键合丝

点击“应用”，可完成对现有键合丝的应用；点击“重置”可重新编辑键合丝，点击“完成”，退出该界面，点击“帮助”，查看帮助信息。

4. 仿真分析

4.1. 冲击振动分析

4.1.1. 运行冲击振动

右键点击“冲击振动”，系统弹出选择框，如图 4-1 所示。

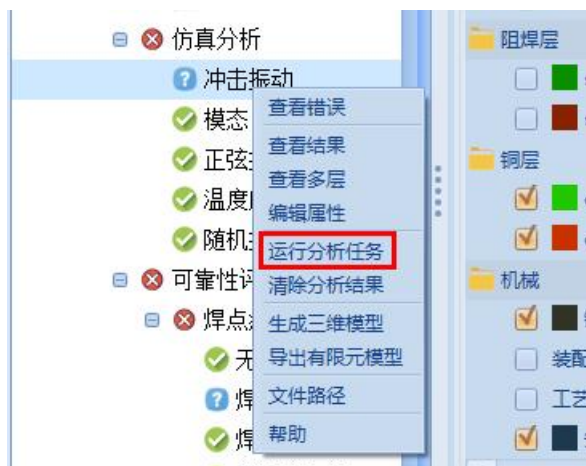


图 4-1 选择冲击振动

在选择框中选择“运行分析任务”，系统弹出冲击振动分析属性框。仿真属性中有冲击结果次数、阻尼因子、最小频率、最大频率和温度属性。”冲击结果次数”属性设置生成冲击振动结果云图层的数量。“阻尼因子”属性设置电路板卡组合的阻尼，可防止仿真过程中出现震荡，默认值为-0.05。设置“最小频率”和“最大频率”软件会自动在这个频率内算出固有频率。如图 4-2 所示。



图 4-2 编辑冲击振动

4.1.2. 仿真结果

冲击振动的仿真结果包括摘要、寿命预测、冲击、位移云图和应变云图。摘

要有冲击振动的最大位移、最大应变、仿真运行时间和建模的一些信息，详细如图 4-3 所示。

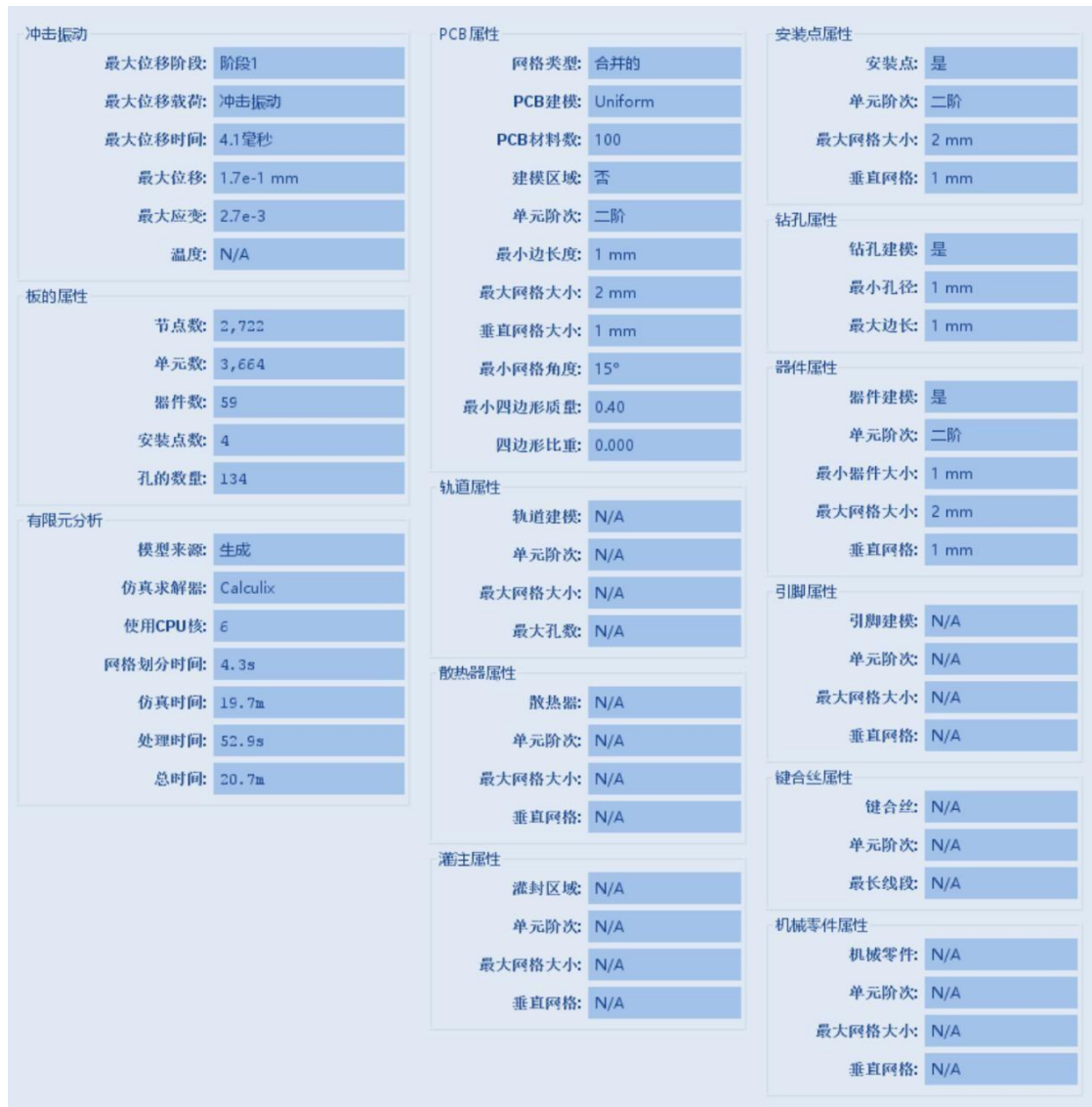


图 4-3 冲击振动仿真摘要

“振动”页签是每个器件的仿真结果，包括最大位移、最大应力、器件是否开裂、TTF、不可靠度和安全等级，如图 4-4 所示。

器件ID	封装	器件类型	面	最大位移	最大应变	器件开裂	TTF (年) ^	不可靠度	不可靠度	等级
U2	BGA-144	集成电路	正面	1.7E-1	2.2E-3	N	13.1	53.4	7.3E0	0.0
J1	MINIUSB-AB-SM	连接器(JACK)	正面	1.3E-1	1.5E-3	N	>100	1.6	1.6E-1	10.0
J4	DIP2X30_2P54	连接器(JACK)	背面	1.1E-1	5.9E-4	N	>100	1.3	1.3E-1	10.0
J5	DIP2X30_2P54	连接器(JACK)	背面	1.1E-1	5.0E-4	N	>100	0.5	4.6E-2	10.0
U1	SOT-223 (TO-261...	集成电路	正面	1.5E-1	1.0E-3	N	>100	0.1	9.0E-3	10.0
J2	DIP2X7_2P54	连接器(JACK)	正面	1.2E-1	7.5E-4	N	>100	0.0	4.4E-3	10.0
U3	SOT-223 (TO-261...	集成电路	正面	1.4E-1	6.9E-4	N	>100	0.0	5.4E-4	10.0
C6	C0402	电容器	正面	1.6E-1	1.7E-3	N	>100	0.0	5.5E-5	10.0
C7	C0402	电容器	正面	1.6E-1	1.5E-3	N	>100	0.0	2.2E-5	10.0
R1	R0402	电阻	正面	7.4E-2	9.1E-5	N	>100	0.0	1.1E-14	10.0
R2	R0402	电阻	正面	1.7E-1	2.0E-4	N	>100	0.0	4.4E-12	10.0
R3	R0402	电阻	正面	1.7E-1	1.5E-4	N	>100	0.0	3.3E-13	10.0
C11	C0402	电容器	正面	1.7E-1	5.1E-5	N	>100	0.0	0.0E0	10.0
R4	R0402	电阻	正面	1.7E-1	8.6E-5	N	>100	0.0	0.0E0	10.0
C10	C0805	电容器	正面	1.6E-1	2.3E-4	N	>100	0.0	2.4E-10	10.0
R5	R0402	电阻	正面	1.7E-1	3.5E-4	N	>100	0.0	3.1E-10	10.0
C13	C0402	电容器	正面	1.7E-1	1.0E-4	N	>100	0.0	2.2E-14	10.0
R6	R0402	电阻	正面	1.6E-1	2.6E-4	N	>100	0.0	3.0E-11	10.0
C12	C0402	电容器	正面	1.7E-1	1.0E-4	N	>100	0.0	2.2E-14	10.0
R7	R0402	电阻	正面	1.5E-1	1.1E-4	N	>100	0.0	4.4E-14	10.0
C15	C0402	电容器	正面	1.6E-1	1.2E-4	N	>100	0.0	6.7E-14	10.0
R8	R0402	电阻	正面	1.6E-1	2.5E-4	N	>100	0.0	2.0E-11	10.0
C14	C0402	电容器	正面	1.7E-1	5.4E-5	N	>100	0.0	0.0E0	10.0
R9	R0402	电阻	正面	1.7E-1	2.2E-4	N	>100	0.0	7.8E-12	10.0
C17	C0402	电容器	正面	1.7E-1	5.0E-5	N	>100	0.0	0.0E0	10.0
C16	C0402	电容器	正面	1.7E-1	5.0E-5	N	>100	0.0	0.0E0	10.0
J3	JP_2P54	连接器(JACK)	正面	1.6E-1	3.7E-4	N	>100	0.0	9.0E-8	10.0
C19	C0805	电容器	正面	1.5E-1	7.1E-4	N	>100	0.0	1.3E-6	10.0
C18	C0805	电容器	正面	1.5E-1	7.3E-4	N	>100	0.0	1.8E-6	10.0
S1	SMD_3X4X2MM	开关	正面	3.5E-2	5.6E-4	N	>100	0.0	7.3E-6	10.0
C20	C0402	电容器	正面	1.7E-1	6.9E-5	N	>100	0.0	0.0E0	10.0
C22	C0805	电容器	正面	1.2E-1	3.2E-4	N	>100	0.0	2.4E-9	10.0
C21	C0402	电容器	正面	1.2E-1	1.9E-4	N	>100	0.0	2.5E-12	10.0
C24	C0805	电容器	正面	6.9E-2	1.1E-4	N	>100	0.0	8.3E-13	10.0
C23	C0805	电容器	正面	6.1E-2	1.4E-4	N	>100	0.0	3.9E-12	10.0
C26	C0402	电容器	正面	1.5E-1	4.2E-4	N	>100	0.0	1.2E-9	10.0
C25	C0402	电容器	正面	1.5E-1	4.8E-4	N	>100	0.0	3.8E-9	10.0
C28	C0402_1_2	电容器	正面	1.5E-1	4.7E-4	N	>100	0.0	3.0E-9	10.0
C27	C0402	电容器	正面	1.5E-1	5.8E-4	N	>100	0.0	1.6E-8	10.0
C1	C0402	电容器	正面	1.5E-1	5.0E-4	N	>100	0.0	4.9E-9	10.0
C2	C0402	电容器	正面	1.5E-1	4.7E-4	N	>100	0.0	2.9E-9	10.0
C3	C0402	电容器	正面	1.5E-1	4.7E-4	N	>100	0.0	2.8E-9	10.0

图 4-4 冲击振动仿真结果表

图表左下角的矩形区域以图形方式显示了此项目的所需可靠性目标，其顶部由所需的故障概率限制，而右侧则由所需的使用寿命限制。如果曲线停留在最高线以下，直到使用寿命，则表明电路板可以达到其目标。在这种情况下，电路板在生命周期中定义的机械冲击事件下将无法达到其可靠性目标，如图 4-5 所示。



图 4-5 冲击振动寿命预测

振动仿真运行后自动生成对应的位移和应变的仿真云图，如图 4-6 所示

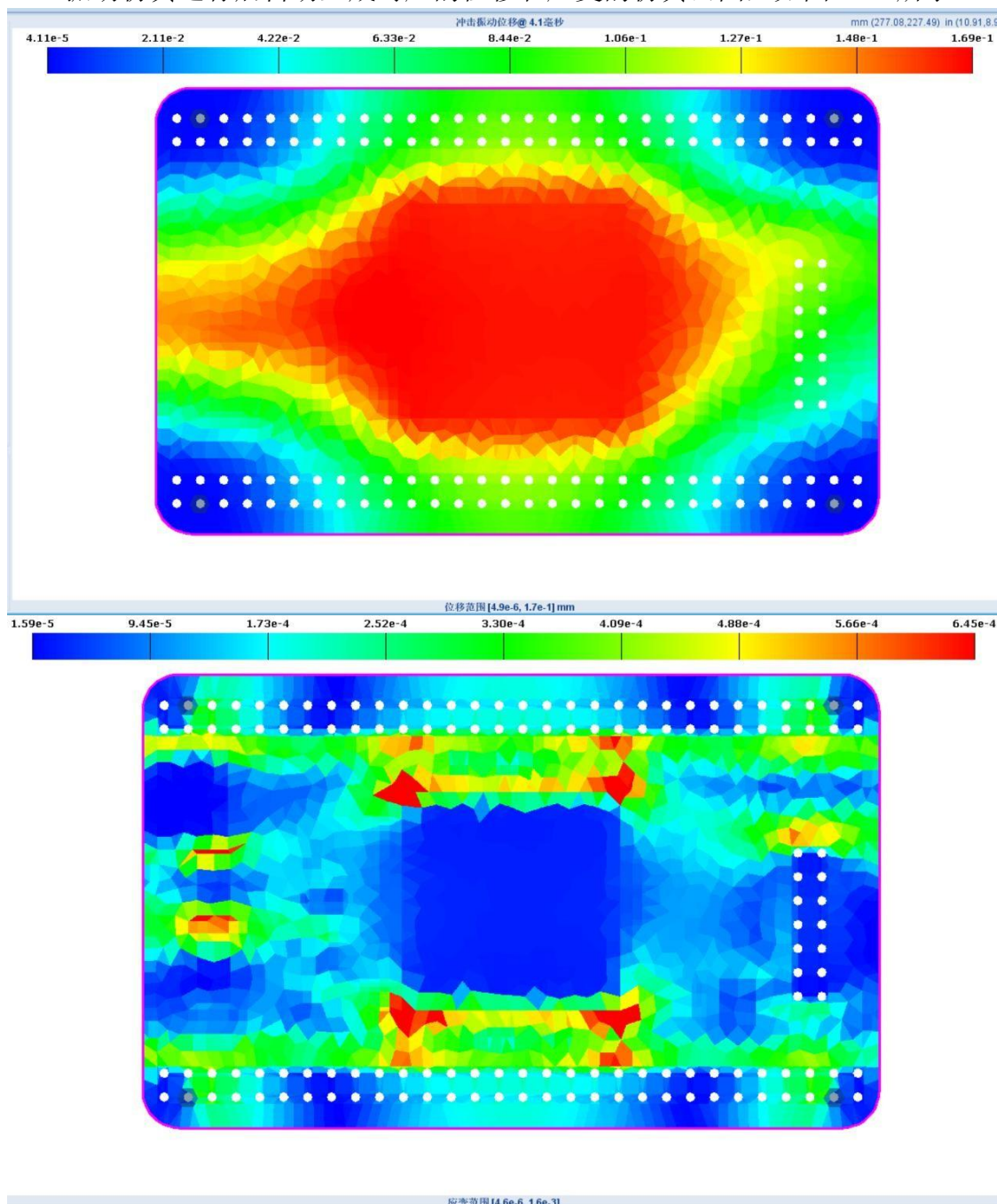


图 4-6 冲击振动仿真云图

4.2. 模态分析

4.2.1. 运行模态分析

右键点击“模态”，系统弹出选择框，如图 4-7 所示。

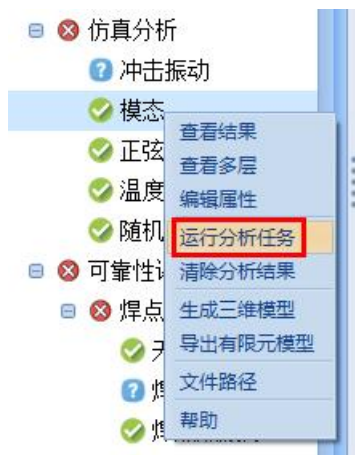


图 4-7 选择模态分析

在选择框中选择“运行分析任务”，系统弹出模态分析属性框。仿真属性中有固有频率结果数、最小频率、最大频率和温度属性。”固有频率结果数”自动生成几阶的云图的数量。设置“最小频率”和“最大频率”软件会自动在这个频率内算出固有频率。如图 4-8 所示。



图 4-8 编辑模态分析

4.2.2. 仿真结果

模态的仿真结果包括摘要、各阶位移云图和固有频率列表。摘要要有模态仿真运行时间和建模的一些信息，详细如图 4-9 所示。

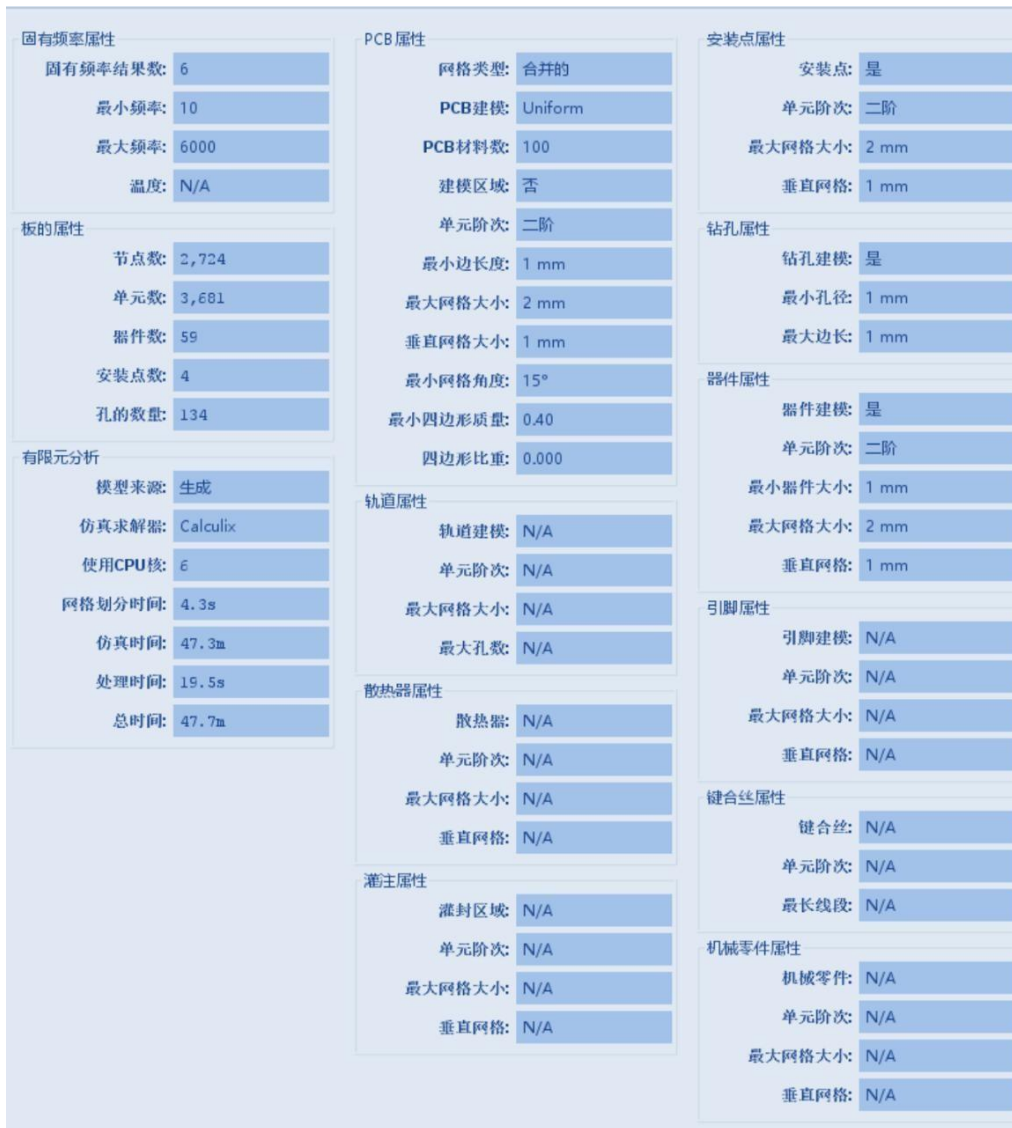


图 4-9 模态仿真摘要

“模态”页签是从最低频率到最高频率的每一个阶的固有频率，如图 4-10 所示。

寿命预计	阶数 ^	频率(Hz)
模态	1	610.64
器件校验	2	728.17
	3	847.07
	4	991.48
	5	1,086.10
	6	1,347.41
	7	1,421.22

图 4-10 模态仿真结果表

模态仿真在 Calculix 和 Ansys 之间对比

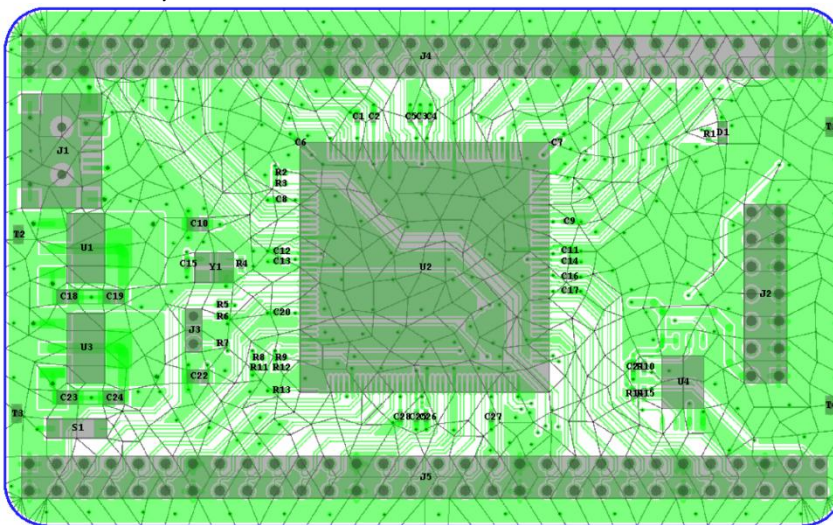


图 4-11 电路板网格

一块有 59 个元器件的电路板，大小是 79*49mm。

具体的网格参数

对象	网格参数
PCB 建模	网格类型：合并的 单元阶次：二阶 最小边长度：2mm 最大网格大小：3mm 垂直网格大小：2mm 最小网格角度：15 最小四边形质量：0.4
器件建模	单元阶次：二阶 最小器件大小：2mm 最大网络大小：3mm 垂直网络大小：1mm
安装点建模	单元阶次：二阶 最大网格大小：2mm 垂直网格大小：1mm

仿真参数

最小频率：10HZ，最大频率：2000HZ，固有频率结果次数：6

➤ 仿真结果

Calculix 模态仿真结果

阶数 ^	频率(Hz)
1	610.64
2	728.17
3	847.07
4	991.48
5	1,086.10
6	1,347.41
7	1,421.22

图 4-12 Calculix 模态结果

ANSYS 模态仿真结果

阶数 ^	频率(Hz)
1	597.08
2	724.37
3	835.70
4	990.17
5	1,074.00
6	1,331.70
7	1,422.40

图 4-13 ANSYS 模态结果

➤ 仿真云图

Calculix 的模态云图:

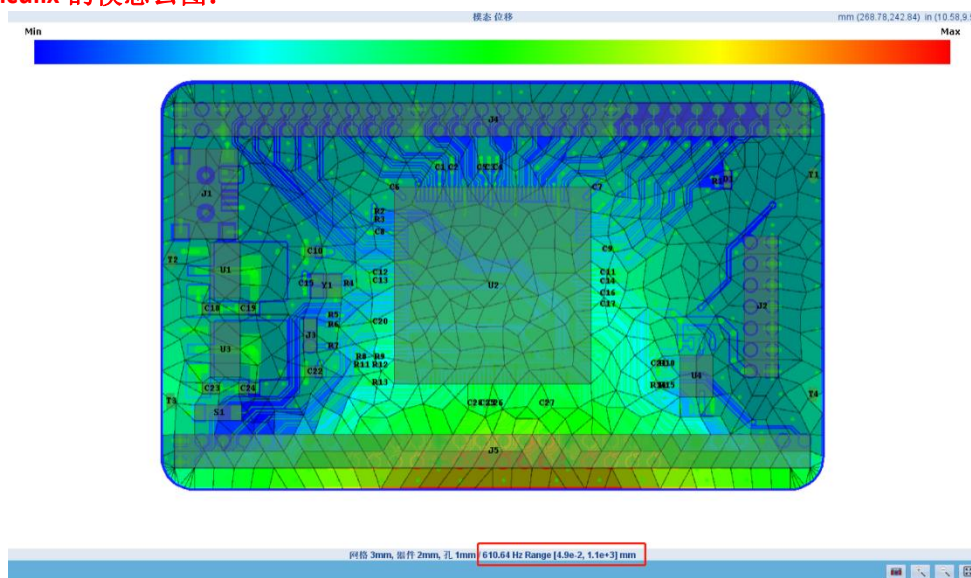
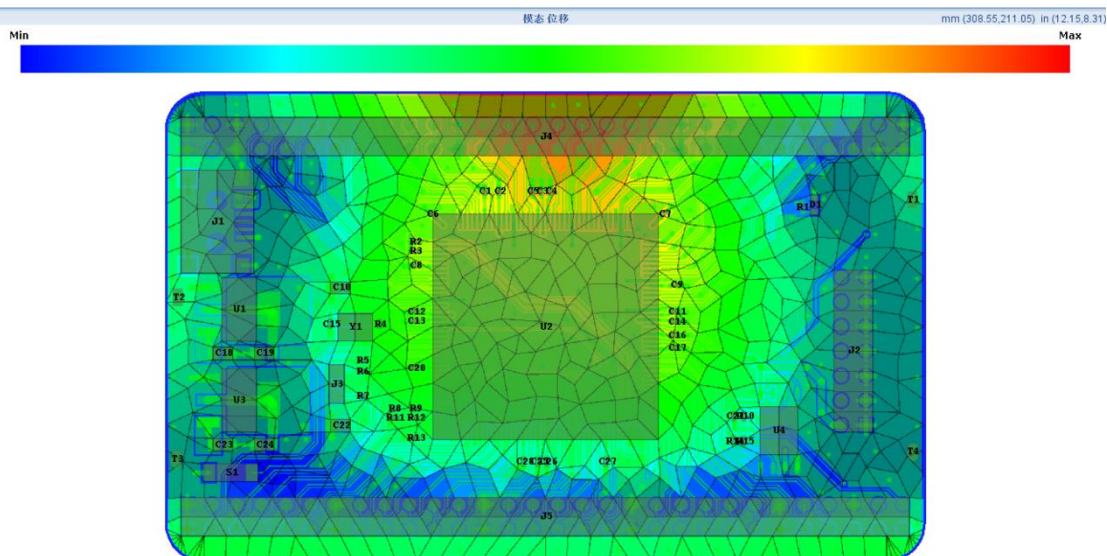
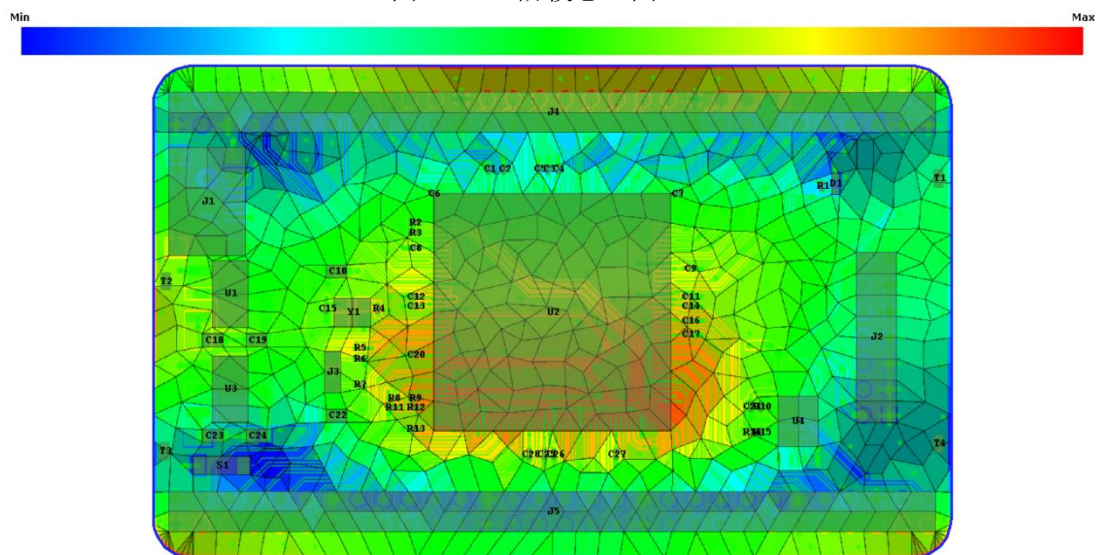


图 4-14 一阶模态云图



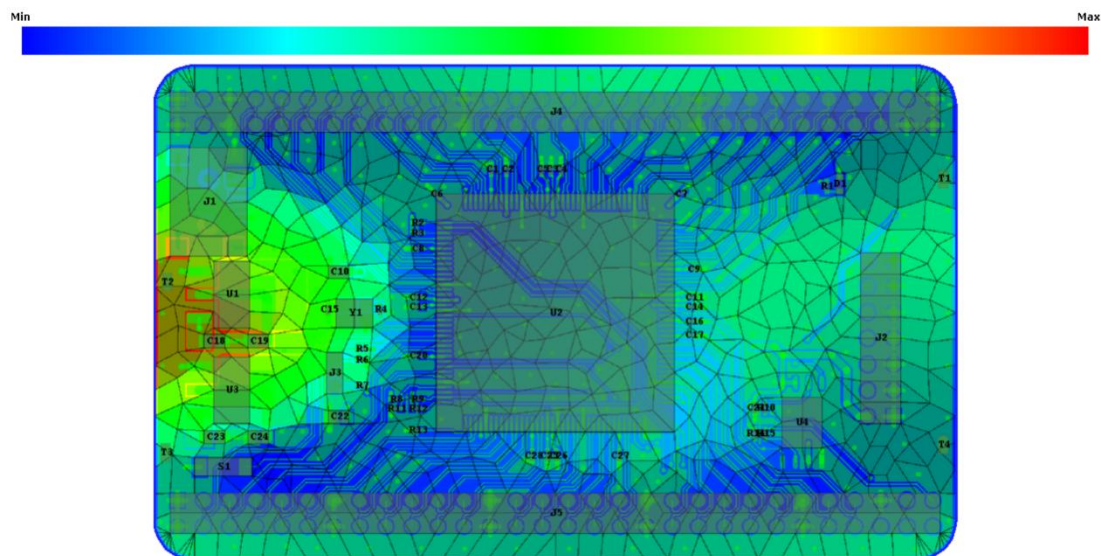
网格 3mm, 零件 2mm, 孔 1mm / 28.17 Hz Range [2.2e-1, 3.2e+2] mm

图 4-15 二阶模态云图



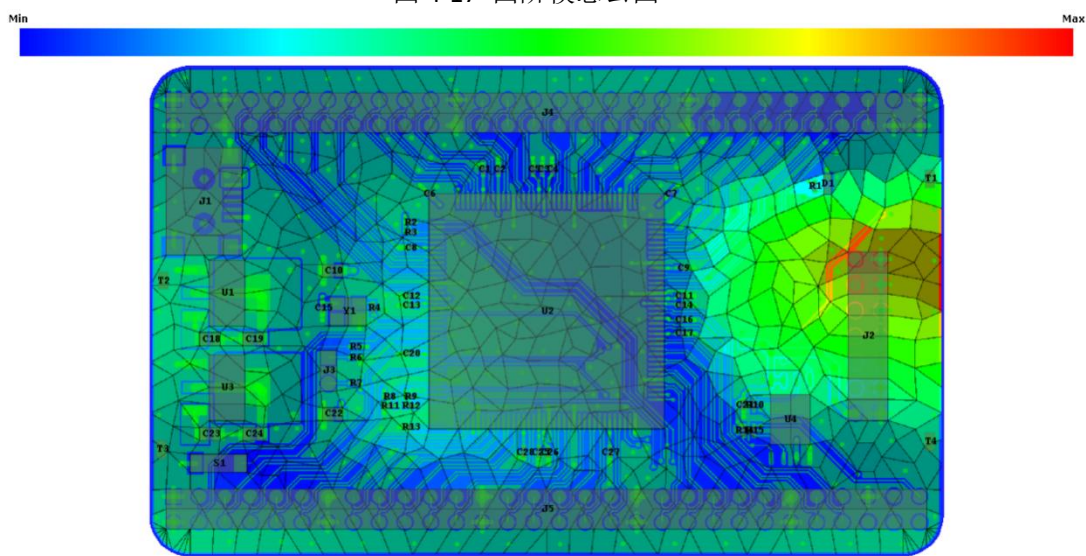
网格 3mm, 零件 2mm, 孔 1mm / 847.07 Hz Range [6.8e-1, 7.3e+2] mm

图 4-16 三阶模态云图



网格 3mm, 器件 2mm, 孔 1mm 991.48 Hz Range [3.4e-1, 1.7e+3] mm

图 4-17 四阶模态云图



网格 3mm, 器件 2mm, 孔 1mm 1,086.10 Hz Range [1.6e-1, 1.8e+3] mm

图 4-18 五阶模态云图

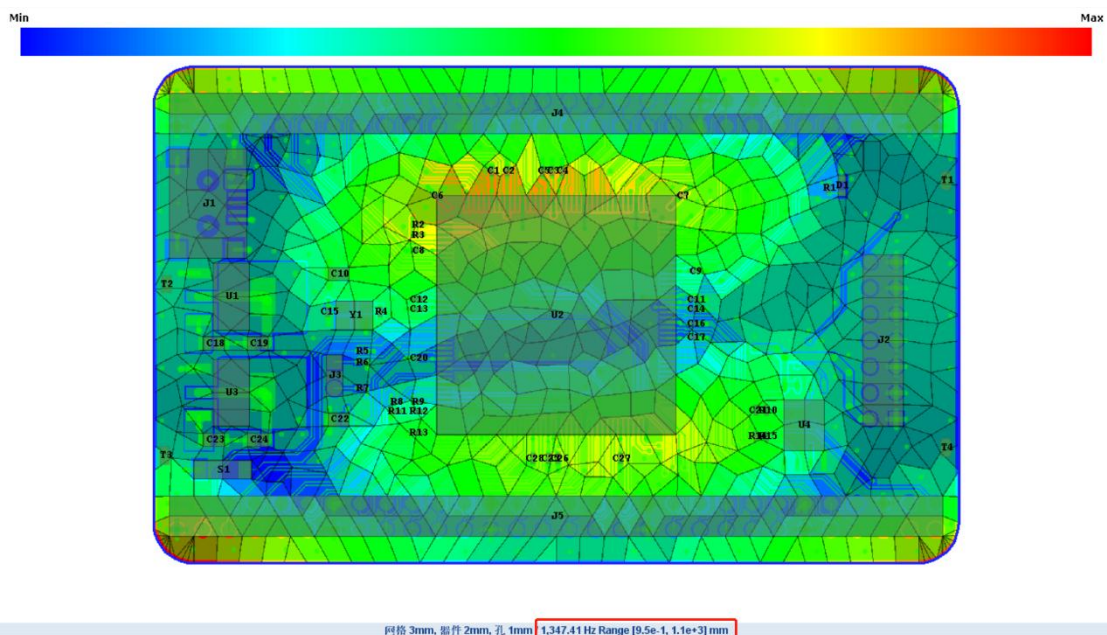


图 4-19 六阶模态云图

ANSYS 的模态云图:

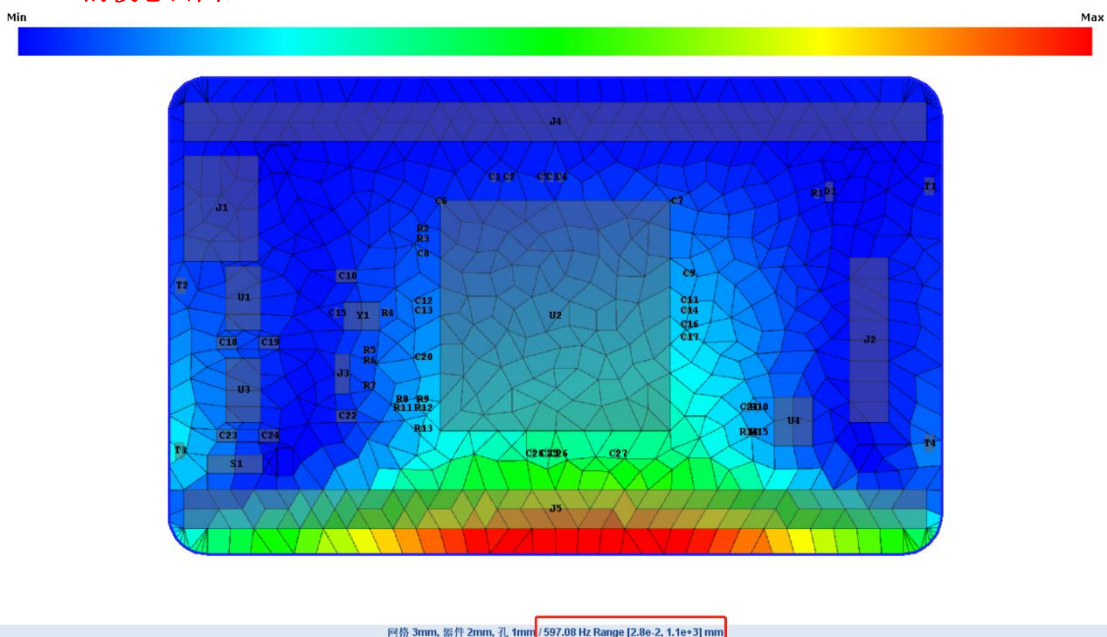


图 4-20 一阶模态云图

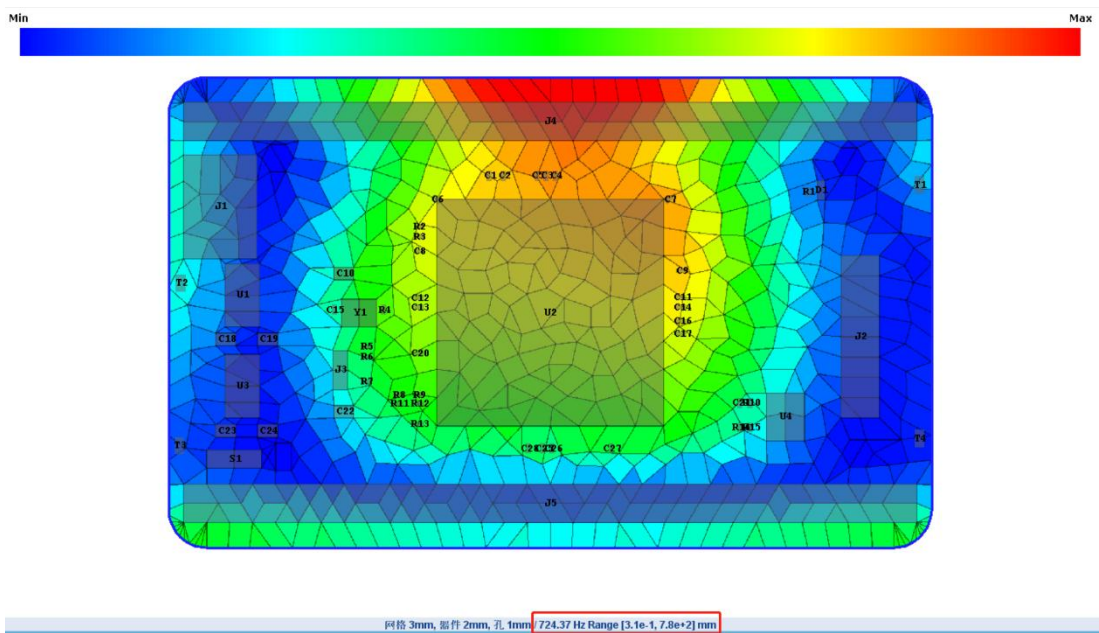


图 4-21 二阶模态云图

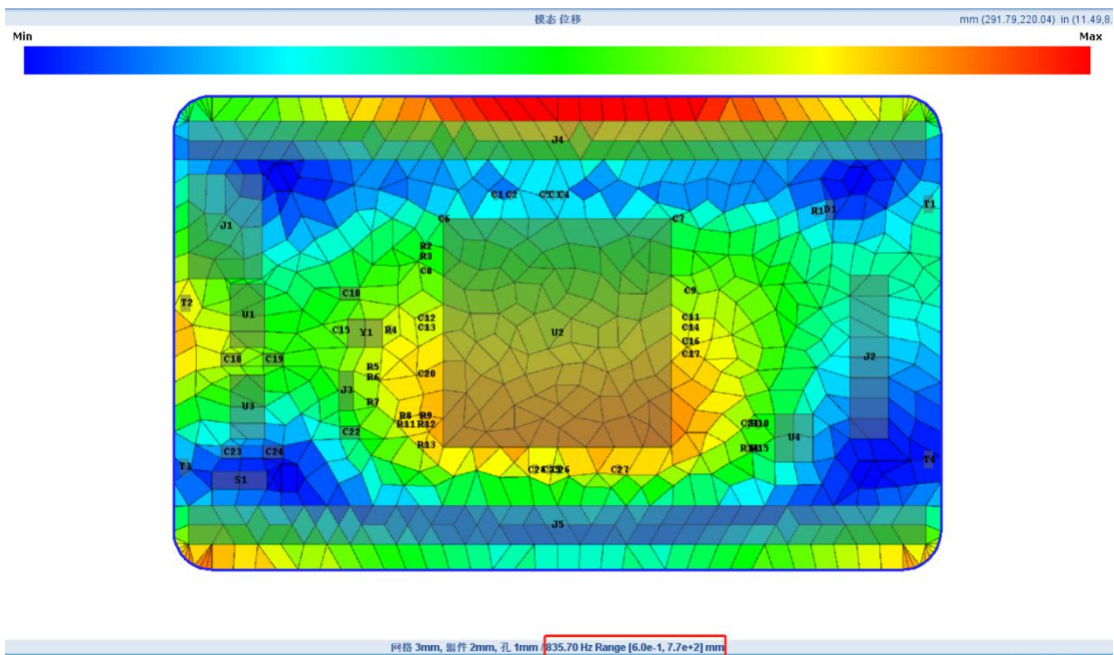
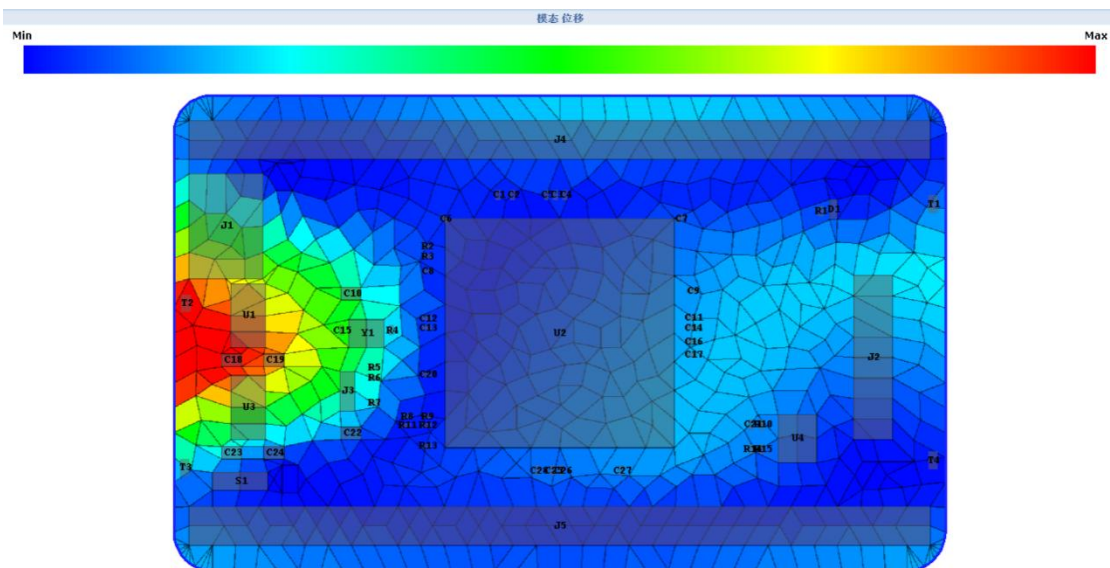
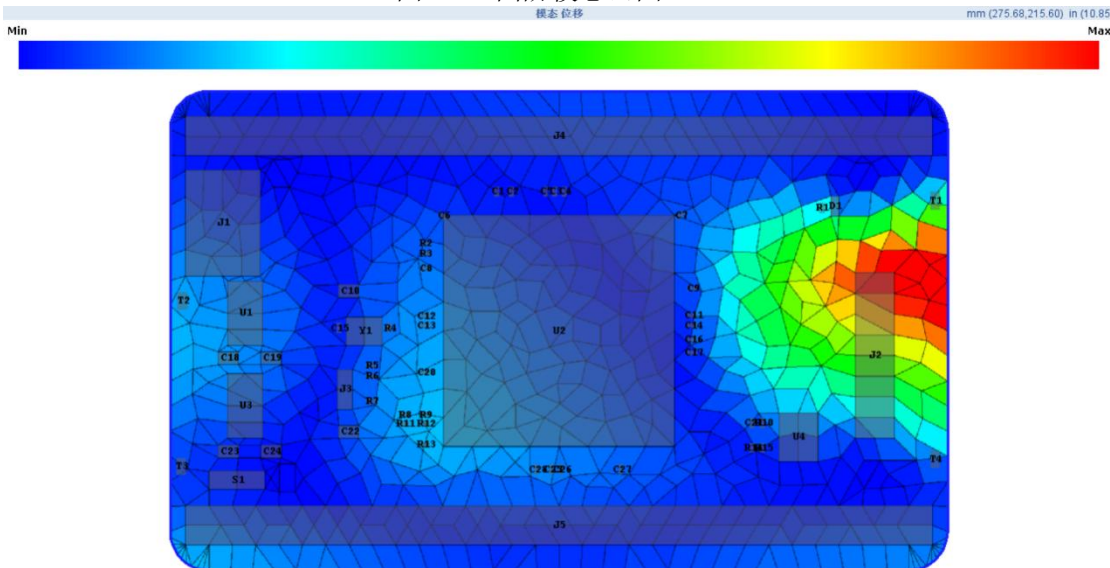


图 4-22 三阶模态云图



网格 3mm, 组件 2mm, 孔 1mm | 990.17 Hz Range [3.2e-1, 1.6e+3] mm

图 4-23 四阶模态云图



网格 3mm, 组件 2mm, 孔 1mm | 1,074.00 Hz Range [1.3e-1, 1.9e+3] mm

图 4-24 五阶模态云图

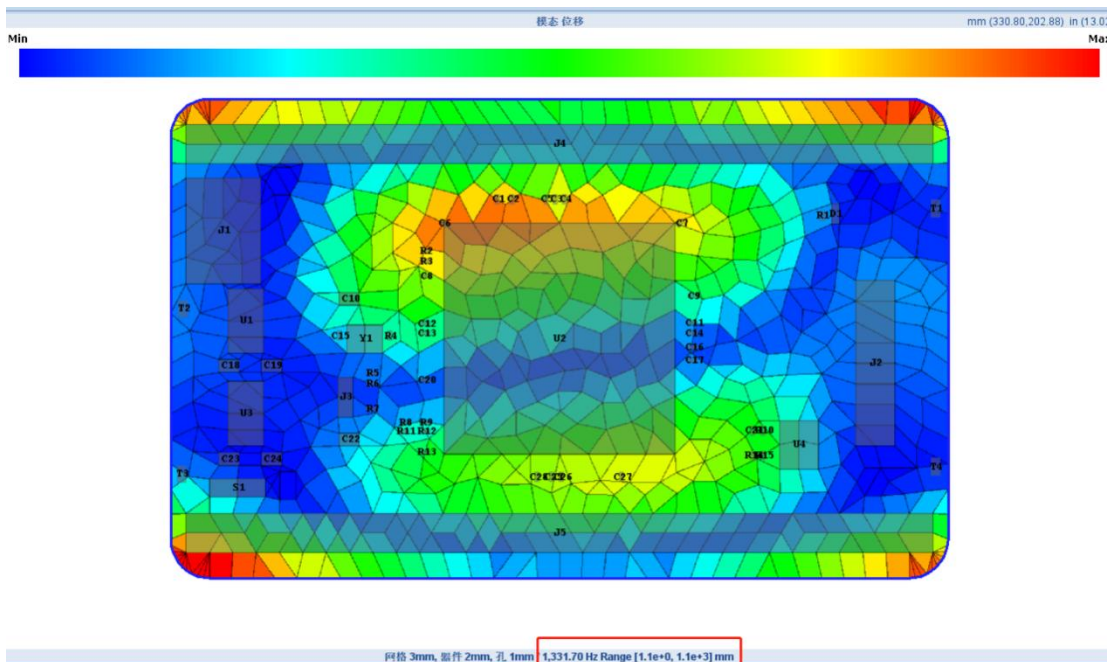


图 4-25 六阶模态云图

4.3. 正弦振动分析

4.3.1. 运行正弦振动

右键点击“正弦振动”，系统弹出选择框，如图 4-26 所示。

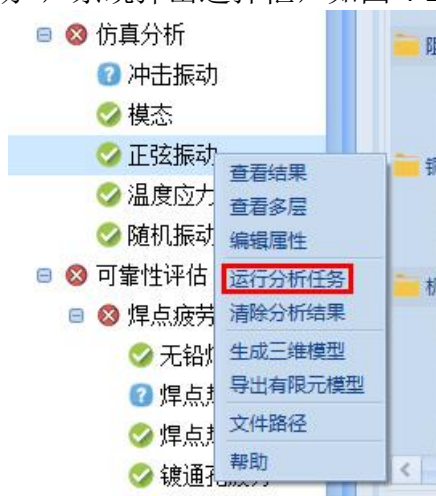


图 4-26 选择正弦振动

在选择框中选择“运行分析任务”，系统弹出正弦振动分析属性框。仿真属性中有正弦结果次数、阻尼因子、最小频率、最大频率和温度属性。“正弦结果次数”属性设置生成正弦振动结果云图层的数量。“阻尼因子”属性设置电路板卡组合的阻尼，可防止仿真过程中出现震荡，默认值为 0.2。设置“最小频率”和“最大频率”软件会自动在这个频率内算出固有频率。如图 4-27 所示。



图 4-27 编辑正弦振动

4.3.2. 仿真结果

正弦振动的仿真结果包括摘要、寿命预测、正弦振动结果表、位移云图和应变云图。摘要要有正弦振动的最大位移、最大应变、仿真运行时间和建模的一些信息，详细如图 4-28 所示。

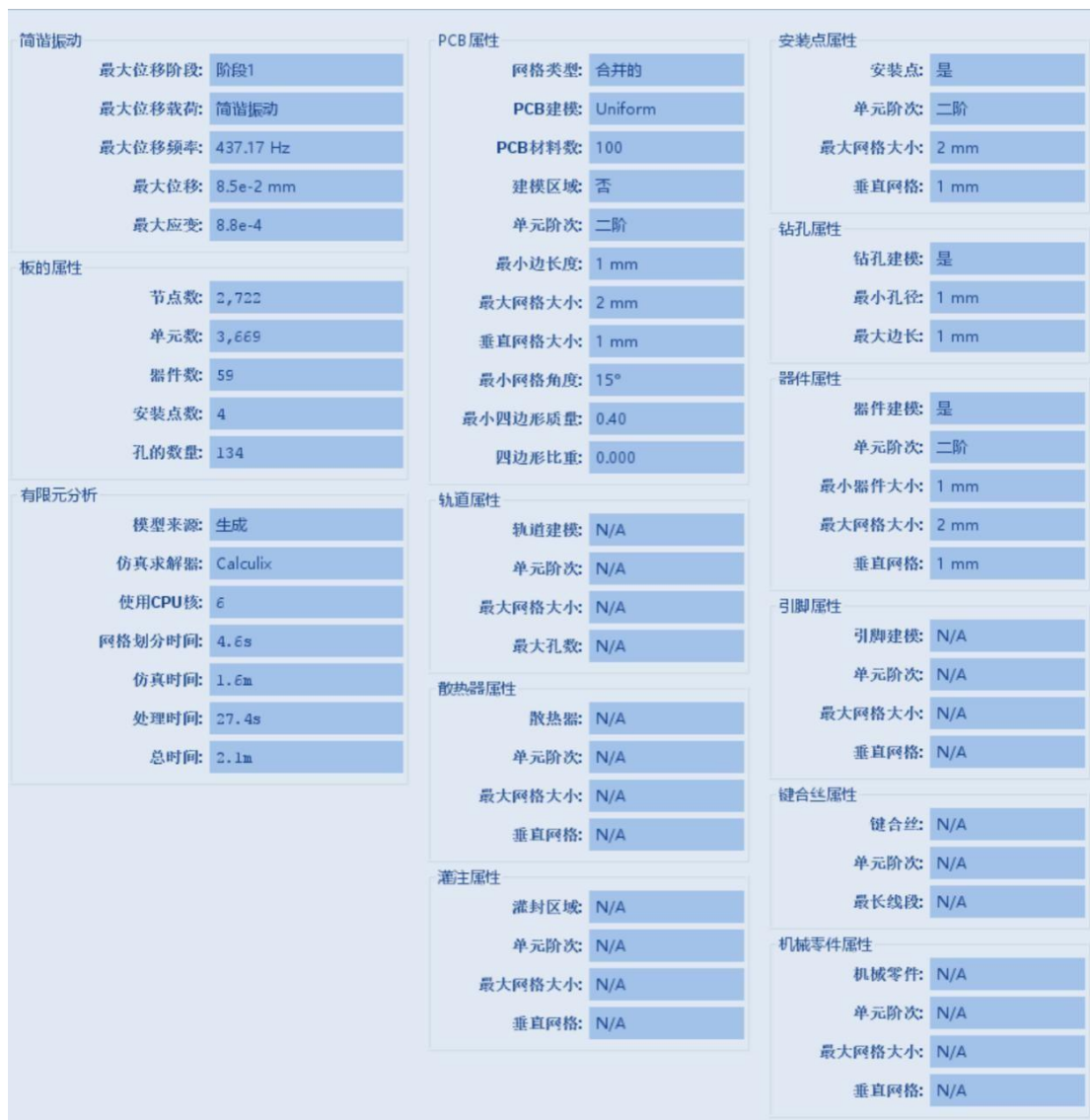


图 4-28 正弦振动仿真摘要

“正弦振动”页签是每个器件的仿真结果，包括最大位移、最大应力、TTF、不可靠度和安全等级，如图 4-29 所示。

零件ID	封装	零件类型	面	焊料	最大位移	最大应变	损伤	TTF (年)	不可靠度	等级
U2	BGA-144	集成电路	正面	SAC305	8.4E-2	1.2E-3	1.1E8	0.0	100.0	0.0
J4	DIP2X30_2P54	连接器(JACK)	背面	SAC305	5.1E-2	2.3E-4	3.5E1	0.3	100.0	0.0
J5	DIP2X30_2P54	连接器(JACK)	背面	SAC305	5.3E-2	2.1E-4	1.9E1	0.5	100.0	0.0
J1	MINIUSB_AB_5M	连接器(JACK)	正面	SAC305	4.5E-2	4.4E-4	6.9E0	1.4	100.0	0.0
U1	SOT-223 (TO-261...	集成电路	正面	SAC305	5.6E-2	3.4E-4	5.7E-1	17.6	16.7	0.0
C6	C0402	电容器	正面	SAC305	8.1E-2	9.0E-4	1.2E-1	82.1	0.2	10.0
U3	SOT-223 (TO-261...	集成电路	正面	SAC305	5.2E-2	2.6E-4	7.8E-2	>100	0.0	10.0
C7	C0402	电容器	正面	SAC305	8.0E-2	7.9E-4	4.8E-2	>100	0.0	10.0
J2	DIP2X7_2P54	连接器(JACK)	正面	SAC305	3.4E-2	2.0E-4	4.6E-2	>100	0.0	10.0
S1	SMD_3X4X2MM	开关	正面	SAC305	1.3E-2	2.0E-4	5.3E-4	>100	0.0	10.0
C18	C0805	电容器	正面	SAC305	5.4E-2	3.0E-4	4.0E-4	>100	0.0	10.0
U4	SOIC-8 (MS-012AA)	集成电路	正面	SAC305	4.5E-2	1.4E-4	3.3E-4	>100	0.0	10.0
R13	R0402	电阻	正面	SAC305	8.1E-2	4.0E-4	2.4E-4	>100	0.0	10.0
C19	C0805	电容器	正面	SAC305	5.7E-2	2.4E-4	9.0E-5	>100	0.0	10.0
C27	C0402	电容器	正面	SAC305	7.5E-2	3.4E-4	5.8E-5	>100	0.0	10.0
J3	JP_2P54	连接器(JACK)	正面	SAC305	7.0E-2	1.5E-4	1.7E-5	>100	0.0	10.0
C28	C0402_1_2	电容器	正面	SAC305	7.6E-2	2.8E-4	1.6E-5	>100	0.0	10.0
C1	C0402	电容器	正面	SAC305	7.4E-2	2.8E-4	1.3E-5	>100	0.0	10.0
C25	C0402	电容器	正面	SAC305	7.6E-2	2.7E-4	1.1E-5	>100	0.0	10.0
C3	C0402	电容器	正面	SAC305	7.4E-2	2.5E-4	6.5E-6	>100	0.0	10.0
C2	C0402	电容器	正面	SAC305	7.4E-2	2.5E-4	5.6E-6	>100	0.0	10.0
C4	C0402	电容器	正面	SAC305	7.4E-2	2.3E-4	2.7E-6	>100	0.0	10.0
C26	C0402	电容器	正面	SAC305	7.6E-2	2.2E-4	2.2E-6	>100	0.0	10.0
Y1	OSC3225	振荡器	正面	SAC305	8.0E-2	1.1E-4	2.0E-6	>100	0.0	10.0
C5	C0402_1	电容器	正面	SAC305	7.4E-2	2.1E-4	1.4E-6	>100	0.0	10.0
R1	R0402	电阻	正面	SAC305	2.6E-2	2.5E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
R2	R0402	电阻	正面	SAC305	8.2E-2	1.2E-4	1.0E-6	>100	0.0	10.0
R3	R0402	电阻	正面	SAC305	8.3E-2	8.7E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C11	C0402	电容器	正面	SAC305	8.2E-2	3.6E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
R4	R0402	电阻	正面	SAC305	8.2E-2	6.7E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C10	C0805	电容器	正面	SAC305	7.2E-2	1.0E-4	1.0E-6	>100	0.0	10.0
R5	R0402	电阻	正面	SAC305	7.8E-2	1.4E-4	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C13	C0402	电容器	正面	SAC305	8.4E-2	3.4E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
R6	R0402	电阻	正面	SAC305	7.6E-2	1.1E-4	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C12	C0402	电容器	正面	SAC305	8.4E-2	2.9E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
R7	R0402	电阻	正面	SAC305	7.1E-2	6.4E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C15	C0402	电容器	正面	SAC305	7.0E-2	5.5E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
R8	R0402	电阻	正面	SAC305	7.9E-2	1.2E-4	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C14	C0402	电容器	正面	SAC305	8.2E-2	3.6E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
R9	R0402	电阻	正面	SAC305	8.3E-2	1.2E-4	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C17	C0402	电容器	正面	SAC305	8.2E-2	5.0E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C16	C0402	电容器	正面	SAC305	8.2E-2	3.9E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C20	C0402	电容器	正面	SAC305	8.4E-2	4.8E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C22	C0805	电容器	正面	SAC305	5.7E-2	1.3E-4	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C21	C0402	电容器	正面	SAC305	5.5E-2	9.0E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C24	C0805	电容器	正面	SAC305	2.6E-2	6.2E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0

图 4-29 正弦振动仿真结果表

图表左下角的矩形区域以图形方式显示了此项目的所需可靠性目标，其顶部由所需的故障概率限制，而右侧则由所需的使用寿命限制。如果曲线停留在最高线以下，直到使用寿命，则表明电路板可以达到其目标。在这种情况下，电路板在生命周期中定义的机械冲击事件下将无法达到其可靠性目标。如图 4-16 所示。

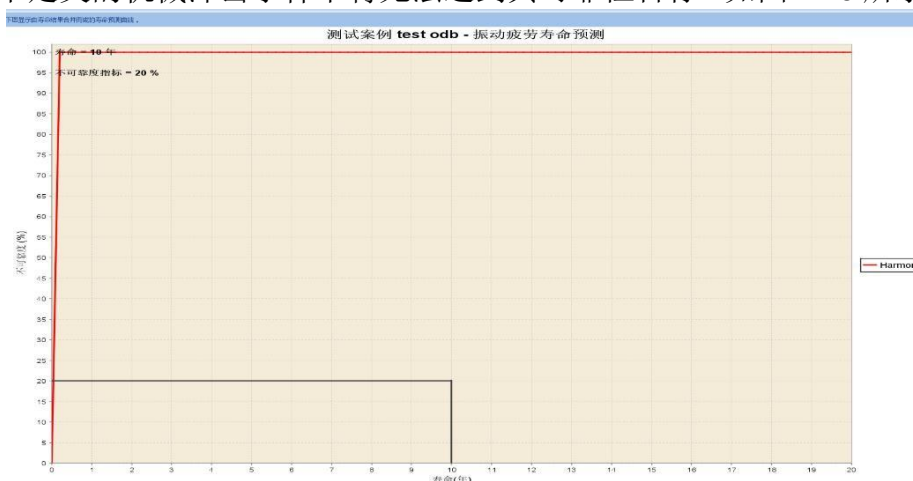


图 4-16 正弦振动寿命预测

振动仿真运行后自动生成对应的位移和应变的仿真云图，如图 4-17 所示

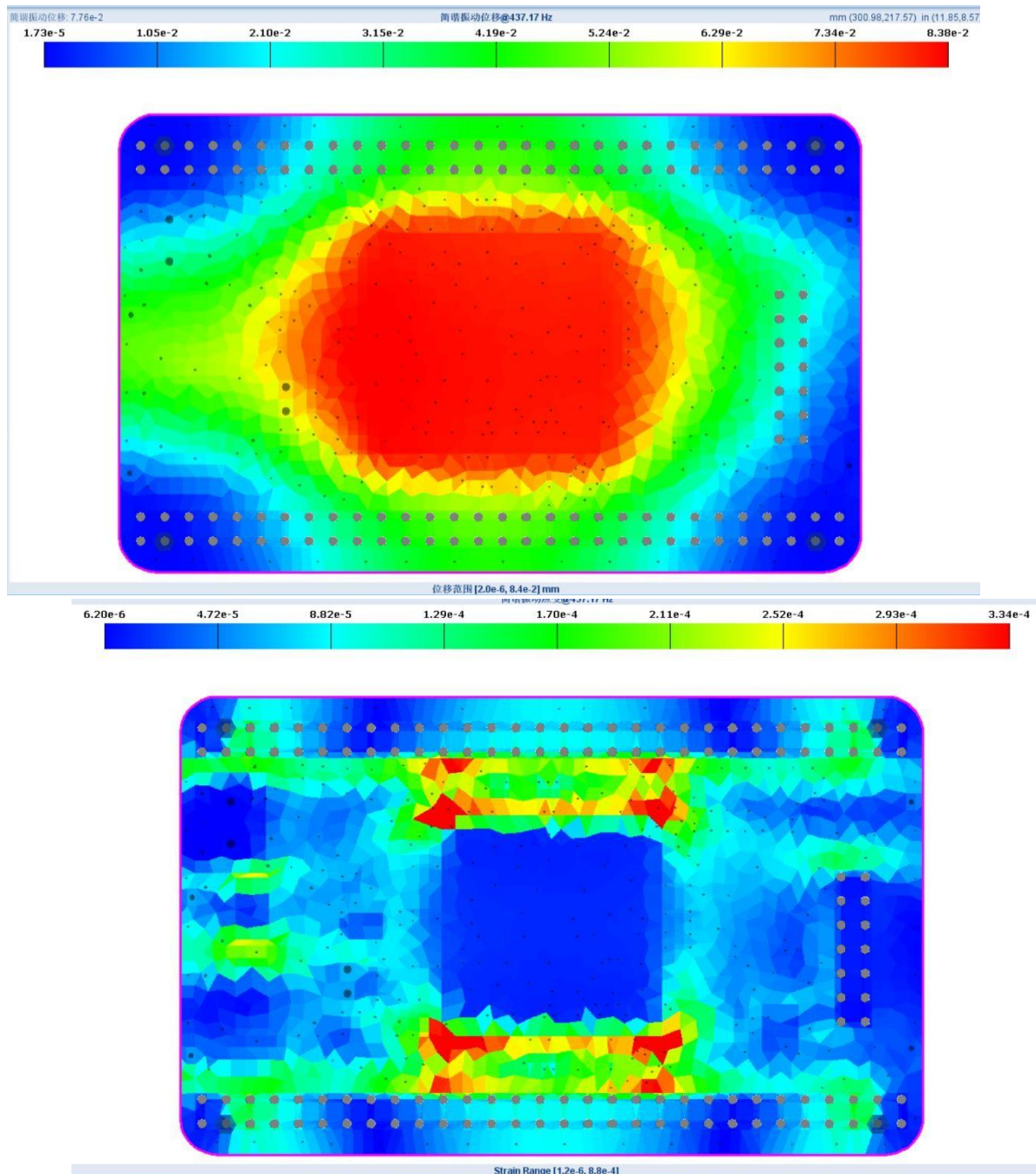


图 4-17 正弦振动仿真云图

4.4. 温度应力分析

4.4.1. 运行温度应力

右键点击“温度应力”，系统弹出选择框，如图 4-18 所示。

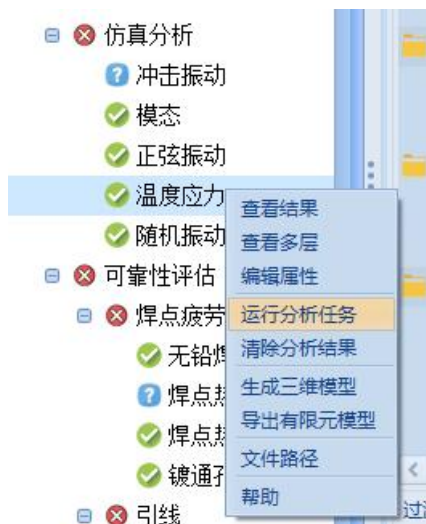


图 4-18 选择温度应力分析

在选择框中选择“运行分析任务”，系统弹温度应力分析属性框。仿真属性中有温度属性和温度载荷。温度属性是按照温度升高均温进行仿真的。温度载荷是设置是否使用器件温升和“温度载荷”自动从任务剖面中读取，可以选择要进行仿真的载荷。如图 4-19 所示。



图 4-19 编辑温度应力分析

4.4.2. 仿真结果

温度应力的仿真结果包括摘要、寿命预测、随机振动结果表、位移云图和应变云图。摘要要有随机振动的最大位移、最大应变、最高最低温、仿真运行时间和建模的一些信息，详细如图 4-20 所示。

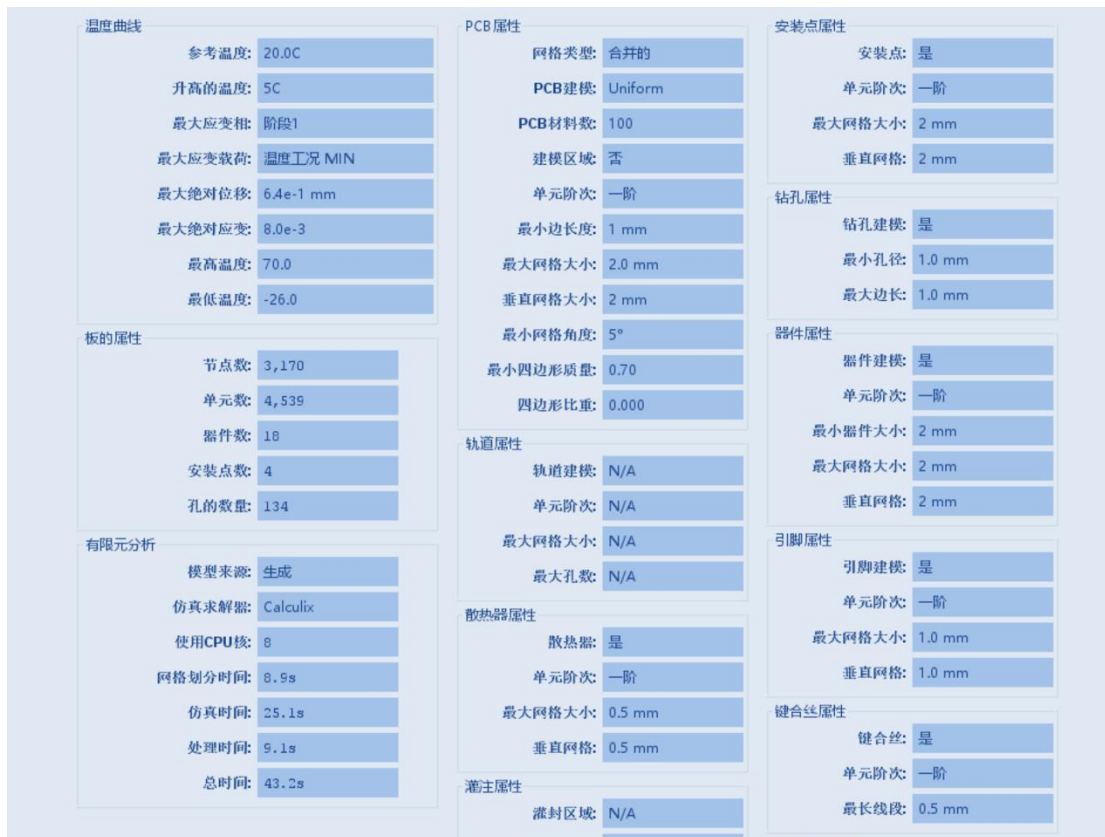


图 4-20 温度应力仿真摘要

“温度应力”页签是每个器件的仿真结果，包括最大位移、最大应力、TTF、不可靠度和安全等级，如图 4-21 所示。

当前结果 - demo01 test odb

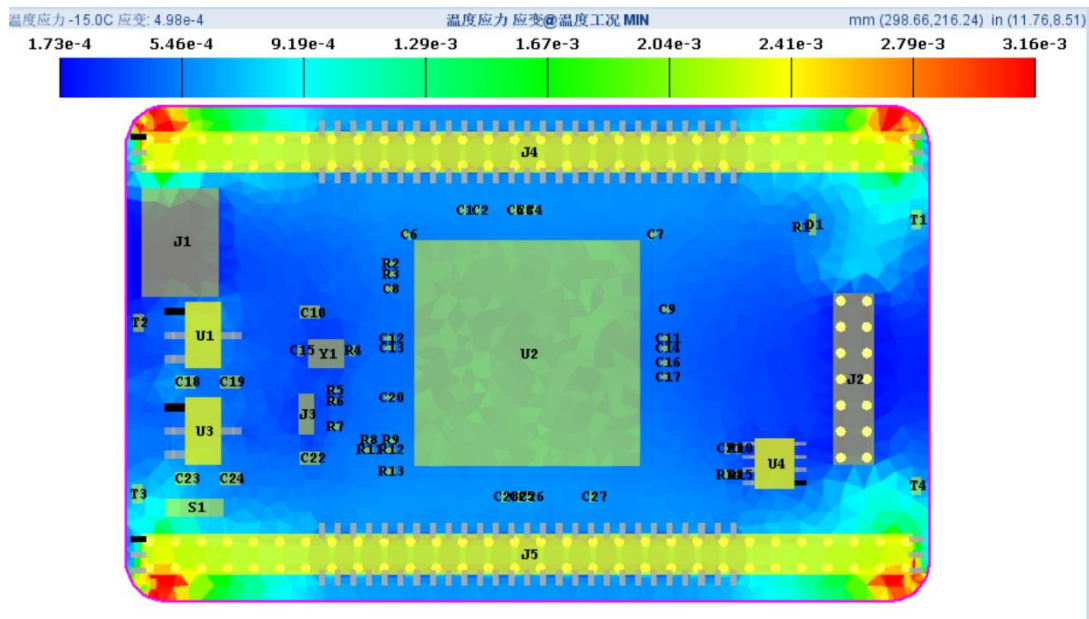
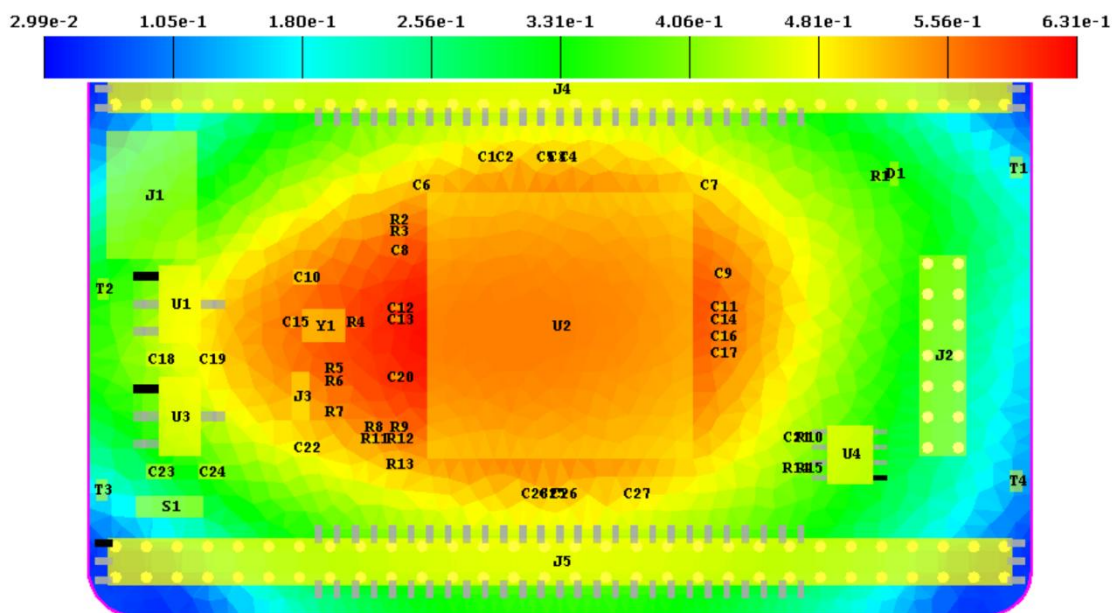
文件

文件	器件ID	载荷	器件温度(°C)	所在区域温度(°C)	位移(mm)	应变(MPa)	应变XY(MPa)	应变Z(MPa)	应力XY(N)	应力Z(N)
寿命预计	R1	温度工况 MAX	66.5	66.9	2.3804E-2	4.8768E-4	4.7244E-4	-1.1979E-4	2.2418E1	-1.4210E-1
键通孔疲劳	R2	温度工况 MAX	69.7	70.0	4.9287E-2	4.1438E-4	4.0675E-4	-7.9137E-5	1.7418E1	4.0235E-2
焊点热疲劳	R3	温度工况 MAX	69.8	70.0	4.8554E-2	4.1107E-4	4.0318E-4	-8.0107E-5	1.7319E1	4.5018E-2
温度应力	C11	温度工况 MAX	68.7	68.9	4.1961E-2	3.8500E-4	3.7725E-4	-7.6670E-5	1.6457E1	2.1659E-2
引线及焊盘热疲劳	R4	温度工况 MAX	69.0	69.2	3.8416E-2	4.7270E-4	4.6255E-4	-9.7340E-5	1.9916E1	-2.9316E-1
FMMEA	C10	温度工况 MAX	69.0	69.1	2.9054E-2	3.6937E-4	3.5907E-4	-7.9255E-5	1.6999E1	8.2746E-2
MTBF	R5	温度工况 MAX	68.5	68.8	3.3456E-2	3.6452E-4	3.5469E-4	-8.3958E-5	1.6739E1	1.1340E-1
	C13	温度工况 MAX	69.5	69.8	4.3037E-2	4.2448E-4	4.1608E-4	-8.4042E-5	1.8153E1	-8.1109E-3
	R6	温度工况 MAX	68.2	68.6	3.2422E-2	3.4997E-4	3.4011E-4	-8.2450E-5	1.5914E1	-1.6447E-2
	C12	温度工况 MAX	69.7	69.8	4.4665E-2	4.3221E-4	4.2448E-4	-8.1393E-5	1.8340E1	6.6389E-2
	R7	温度工况 MAX	68.2	68.5	3.4021E-2	3.8686E-4	3.7706E-4	-8.6552E-5	1.7309E1	1.0672E-2
	C15	温度工况 MAX	68.7	68.7	2.6078E-2	1.8714E-4	1.8613E-4	-1.5078E-5	1.6047E1	3.4726E0
	R8	温度工况 MAX	68.8	69.0	4.4069E-2	3.9501E-4	3.8614E-4	-8.3254E-5	1.7320E1	2.5296E-2
	C14	温度工况 MAX	68.2	68.9	3.9482E-2	3.7165E-4	3.6334E-4	-7.8171E-5	1.6299E1	3.0780E-2
	J1	温度工况 MAX	69.2	69.2	3.3816E-2	2.3635E-4	2.3394E-4	-2.9792E-5	1.3187E1	2.5277E0
	R9	温度工况 MAX	69.0	70.0	4.8101E-2	4.1352E-4	4.0558E-4	-8.0643E-5	1.7584E1	1.2100E-2
	C17	温度工况 MAX	67.9	68.6	4.0621E-2	3.8170E-4	3.7358E-4	-7.8299E-5	1.6590E1	2.6953E-2
	J2	温度工况 MAX	63.9	64.3	3.1080E-2	4.3506E-4	4.3375E-4	-2.6204E-5	1.7661E1	1.3564E0
	C16	温度工况 MAX	67.9	68.6	3.9408E-2	3.7918E-4	3.7087E-4	-7.8965E-5	1.6549E1	2.0042E-2
	J3	温度工况 MAX	67.9	68.2	2.9742E-2	2.6545E-4	2.6012E-4	-4.3938E-5	1.2346E1	1.6197E0
	C19	温度工况 MAX	67.0	68.2	1.7933E-2	5.0625E-4	4.9749E-4	-8.7383E-5	2.0715E1	-1.6895E-2
	J4	温度工况 MAX	69.2	69.2	1.0159E-1	6.0622E-3	5.9957E-3	1.6836E-4	2.4758E2	7.6179E1
	C18	温度工况 MAX	66.6	68.6	3.2657E-2	5.4974E-4	5.4296E-4	-7.2758E-5	2.2118E1	3.5722E-2
	J5	温度工况 MAX	67.6	67.6	1.0202E-1	6.5677E-3	6.4768E-3	2.9577E-4	2.5633E2	8.0739E1
	S1	温度工况 MAX	65.9	66.3	2.4987E-2	8.0522E-4	7.8748E-4	-1.5786E-4	3.5840E1	1.0325E0
	C20	温度工况 MAX	69.5	69.7	4.4865E-2	4.2059E-4	4.1287E-4	-8.0245E-5	1.7828E1	1.7791E-2
	C22	温度工况 MAX	67.5	67.8	3.3460E-2	4.1144E-4	4.0212E-4	-8.3269E-5	1.9057E1	4.7911E-1
	C21	温度工况 MAX	64.0	64.0	3.8279E-2	4.5724E-4	4.4681E-4	-9.7086E-5	2.0268E1	1.0370E-1
	C24	温度工况 MAX	65.8	66.1	2.0292E-2	5.4171E-4	5.3006E-4	-1.0255E-4	2.3680E1	2.7896E-1
	C23	温度工况 MAX	65.1	65.5	2.7852E-2	6.7943E-4	6.7073E-4	-9.2062E-5	2.7559E1	3.4559E-1
	C26	温度工况 MAX	68.4	69.4	7.5538E-2	4.2309E-4	4.1874E-4	-6.0528E-5	1.6613E1	-1.7236E-2
	C25	温度工况 MAX	68.4	69.4	7.5538E-2	4.2309E-4	4.1874E-4	-6.0528E-5	1.6613E1	-1.7236E-2
	C28	温度工况 MAX	68.7	68.8	7.3626E-2	4.2378E-4	4.1941E-4	-6.0642E-5	1.6737E1	4.0645E-2
	C27	温度工况 MAX	68.0	68.6	7.1545E-2	4.3485E-4	4.3026E-4	-6.3020E-5	1.7239E1	5.5875E-2
	C1	温度工况 MAX	69.5	69.7	7.1610E-2	4.1901E-4	4.1407E-4	-6.4049E-5	1.6687E1	-1.4641E-2
	C2	温度工况 MAX	69.4	69.6	7.6374E-2	4.0068E-4	3.9614E-4	-6.0146E-5	1.6119E1	1.1833E-1
	C3	温度工况 MAX	69.4	69.6	7.5541E-2	4.1885E-4	4.1447E-4	-6.0449E-5	1.6487E1	3.6638E-2

摘要 引脚 温度应力 键合丝

图 4-21 仿真结果表

温度应力仿真运行后自动生成对应的位移、应变、应力和温度的仿真云图，如图 4-22 所示



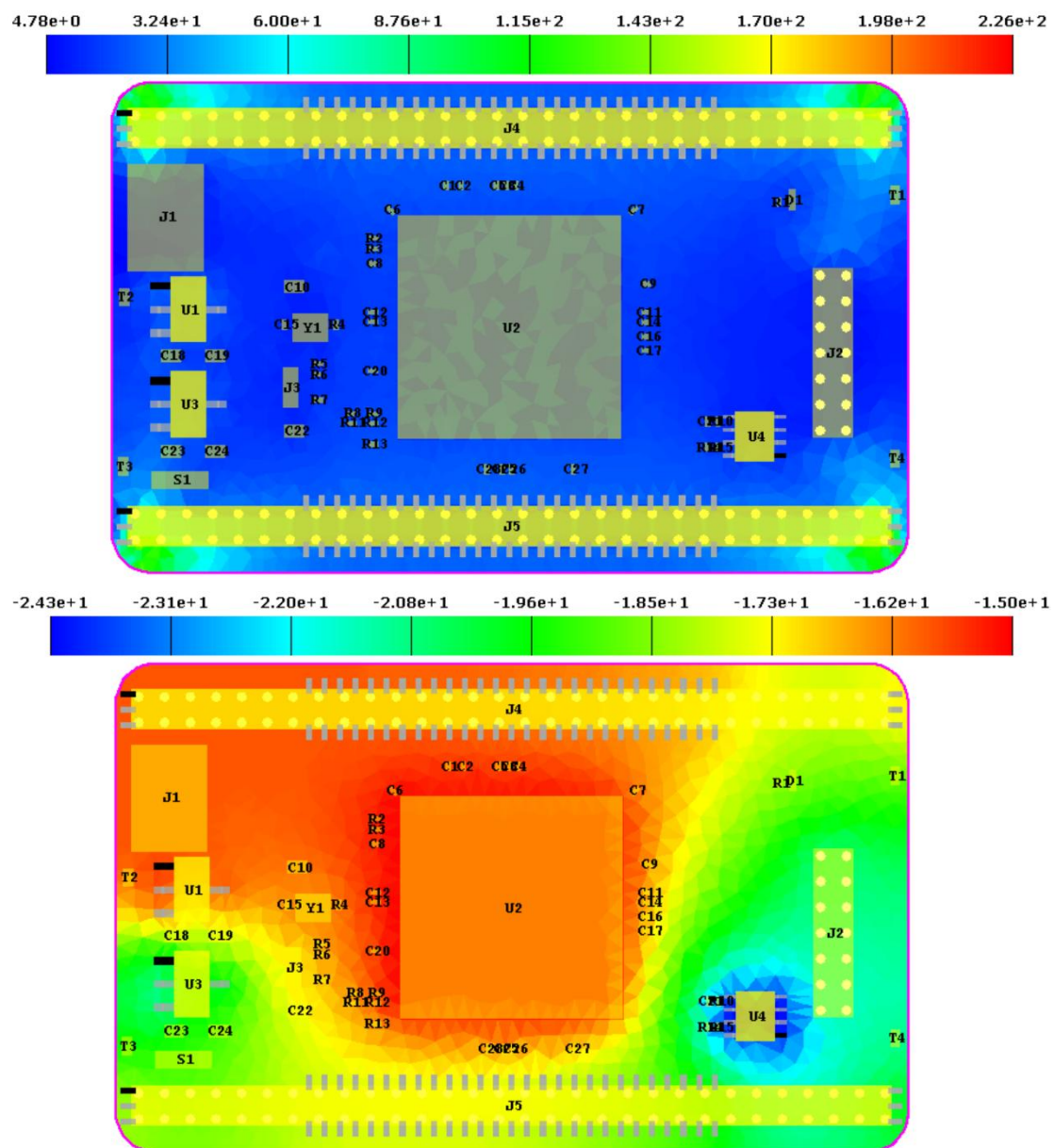


图 4-22 温度应力仿真云图

4.5. 随机振动分析

4.5.1. 运行随机振动

右键点击“随机振动”，系统弹出选择框，如图 4-23 所示。

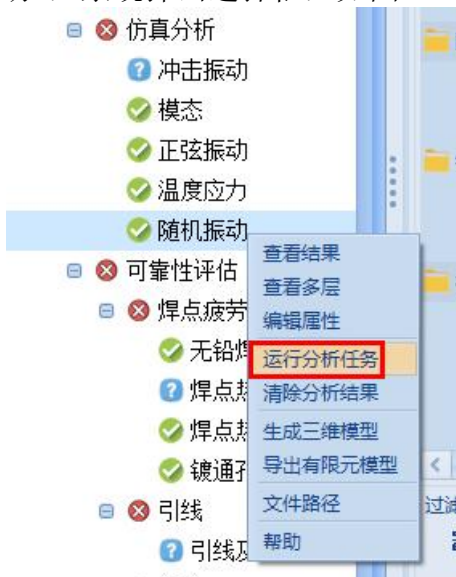


图 4-23 选择随机振动分析

在选择框中选择“运行分析任务”，系统弹出随机振动分析属性框。仿真属性中有阻尼因子、最小频率、最大频率和温度属性。“阻尼因子”属性设置电路板卡组合的阻尼，可防止仿真过程中出现震荡，默认值为 0.2。设置“最小频率”和“最大频率”软件会自动在这个频率内算出固有频率。如图 4-24 所示。



图 4-24 编辑随机振动分析

4.5.2. 仿真结果

随机振动的仿真结果包括摘要、寿命预测、随机振动结果表、位移云图和应变云图。摘要包含随机振动的最大位移、最大应变、仿真运行时间和建模的一些信息，详细如图 4-25 所示。

随机振动 最大位移阶段: 阶段1 最大位移载荷: 随机振动 循环频率: 437.2 Hz 最大位移: 1.0e-2 mm 最大应变: 1.7e-4 温度: N/A	PCB属性 网格类型: 合并的 PCB建模: Uniform PCB材料数: 100 建模区域: 否 单元阶次: 二阶 最小边长度: 1 mm 最大网格大小: 2 mm 垂直网格大小: 1 mm 最小网格角度: 15° 最小四边形质量: 0.40 四边形比重: 0.000	安装点属性 安装点: 是 单元阶次: 二阶 最大网格大小: 2 mm 垂直网格: 1 mm
板的属性 节点数: 2,720 单元数: 3,661 器件数: 59 安装点数: 4 孔的数量: 134	轨道属性 轨道建模: N/A 单元阶次: N/A 最大网格大小: N/A 最大孔数: N/A	钻孔属性 钻孔建模: 是 最小孔径: 1 mm 最大边长: 1 mm
有限元分析 模型来源: 生成 仿真求解器: Calculix 使用CPU核: 6 网格划分时间: 3.6s 仿真时间: 1.2m 处理时间: 12.2s 总时间: 1.5m	散热器属性 散热器: N/A 单元阶次: N/A 最大网格大小: N/A 垂直网格: N/A	器件属性 器件建模: 是 单元阶次: 二阶 最小器件大小: 1 mm 最大网格大小: 2 mm 垂直网格: 1 mm
	灌注属性 灌注区域: N/A 单元阶次: N/A 最大网格大小: N/A 垂直网格: N/A	引脚属性 引脚建模: N/A 单元阶次: N/A 最大网格大小: N/A 垂直网格: N/A
		键合丝属性 键合丝: N/A 单元阶次: N/A 最长线段: N/A
		机械零件属性 机械零件: N/A 单元阶次: N/A 最大网格大小: N/A 垂直网格: N/A

图 4-25 随机振动仿真摘要

“随机振动”页签是每个器件的仿真结果，包括最大位移、最大应力、TTF、不可靠度和安全等级，如图 4-26 所示。

零件ID	封装	零件类型	面	焊料	最大位移	最大应变	损伤	TTF (年) ^	不可靠度	等级
U2	BGA-144	集成电路	正面	SAC305	1.0E-2	1.5E-4	3.1E-1	31.8	3.0	6.1
R1	R0402	电阻	正面	SAC305	3.1E-3	3.5E-6	1.0E-6	>100	0.0	10.0
R2	R0402	电阻	正面	SAC305	9.7E-3	1.5E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
R3	R0402	电阻	正面	SAC305	9.8E-3	1.1E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C11	C0402	电容器	正面	SAC305	9.6E-3	4.4E-6	1.0E-6	>100	0.0	10.0
R4	R0402	电阻	正面	SAC305	9.7E-3	8.4E-6	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C10	C0805	电容器	正面	SAC305	8.5E-3	1.1E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
R5	R0402	电阻	正面	SAC305	9.2E-3	1.8E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C13	C0402	电容器	正面	SAC305	1.0E-2	4.2E-6	1.0E-6	>100	0.0	10.0
R6	R0402	电阻	正面	SAC305	9.0E-3	1.3E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C12	C0402	电容器	正面	SAC305	1.0E-2	3.7E-6	1.0E-6	>100	0.0	10.0
R7	R0402	电阻	正面	SAC305	8.4E-3	7.7E-6	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C15	C0402	电容器	正面	SAC305	8.2E-3	7.1E-6	1.0E-6	>100	0.0	10.0
R8	R0402	电阻	正面	SAC305	9.4E-3	1.6E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C14	C0402	电容器	正面	SAC305	9.6E-3	4.6E-6	1.0E-6	>100	0.0	10.0
J1	MINIUSB-AB-SM	连接器(JACK)	正面	SAC305	5.3E-3	5.9E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
R9	R0402	电阻	正面	SAC305	9.9E-3	1.5E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C17	C0402	电容器	正面	SAC305	9.7E-3	6.2E-6	1.0E-6	>100	0.0	10.0
J2	DIP2X7_2P54	连接器(JACK)	正面	SAC305	4.1E-3	2.6E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C16	C0402	电容器	正面	SAC305	9.6E-3	4.8E-6	1.0E-6	>100	0.0	10.0
J3	JP_2P54	连接器(JACK)	正面	SAC305	8.3E-3	1.8E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C19	C0805	电容器	正面	SAC305	6.6E-3	3.5E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
J4	DIP2X30_2P54	连接器(JACK)	背面	SAC305	6.0E-3	2.8E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C18	C0805	电容器	正面	SAC305	6.3E-3	3.7E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
J5	DIP2X30_2P54	连接器(JACK)	背面	SAC305	6.2E-3	2.7E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
S1	SMD_3X4X2MM	开关	正面	SAC305	1.6E-3	2.8E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C20	C0402	电容器	正面	SAC305	1.0E-2	6.0E-6	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C22	C0805	电容器	正面	SAC305	6.7E-3	1.7E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C21	C0402	电容器	正面	SAC305	6.5E-3	1.0E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C24	C0805	电容器	正面	SAC305	3.1E-3	7.9E-6	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C23	C0805	电容器	正面	SAC305	2.6E-3	7.2E-6	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C26	C0402	电容器	正面	SAC305	9.0E-3	2.8E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C25	C0402	电容器	正面	SAC305	9.0E-3	3.4E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C28	C0402_1_2	电容器	正面	SAC305	9.0E-3	3.4E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C27	C0402	电容器	正面	SAC305	8.9E-3	4.2E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C1	C0402	电容器	正面	SAC305	8.7E-3	3.5E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C2	C0402	电容器	正面	SAC305	8.7E-3	3.3E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C3	C0402	电容器	正面	SAC305	8.7E-3	3.2E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C4	C0402	电容器	正面	SAC305	8.7E-3	2.8E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C5	C0402_1	电容器	正面	SAC305	8.7E-3	2.9E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C6	C0402	电容器	正面	SAC305	9.5E-3	1.1E-4	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C7	C0402	电容器	正面	SAC305	9.4E-3	9.1E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C8	C0402	电容器	正面	SAC305	9.8E-3	6.5E-6	1.0E-6	>100	0.0	10.0
C9	C0402	电容器	正面	SAC305	9.6E-3	5.9E-6	1.0E-6	>100	0.0	10.0
T1	TP_OBL1_4X0_6	变压器	正面	SAC305	9.4E-4	1.1E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0
T2	TP_OBL1_4X0_6	变压器	正面	SAC305	5.5E-3	1.2E-5	1.0E-6	>100	0.0	10.0

图 4-26 随机振动仿真结果表

图表左下角的矩形区域以图形方式显示了此项目的所需可靠性目标，其顶部由所需的故障概率限制，而右侧则由所需的使用寿命限制。如果曲线停留在最高线以下，直到使用寿命，则表明电路板可以达到其目标。在这种情况下，电路板在生命周期中定义的机械冲击事件下将无法达到其可靠性目标。如图 4-27 所示。



图 4-27 随机振动寿命预测

振动仿真运行后自动生成对应的位移和应变的仿真云图，如图 4-28 所示

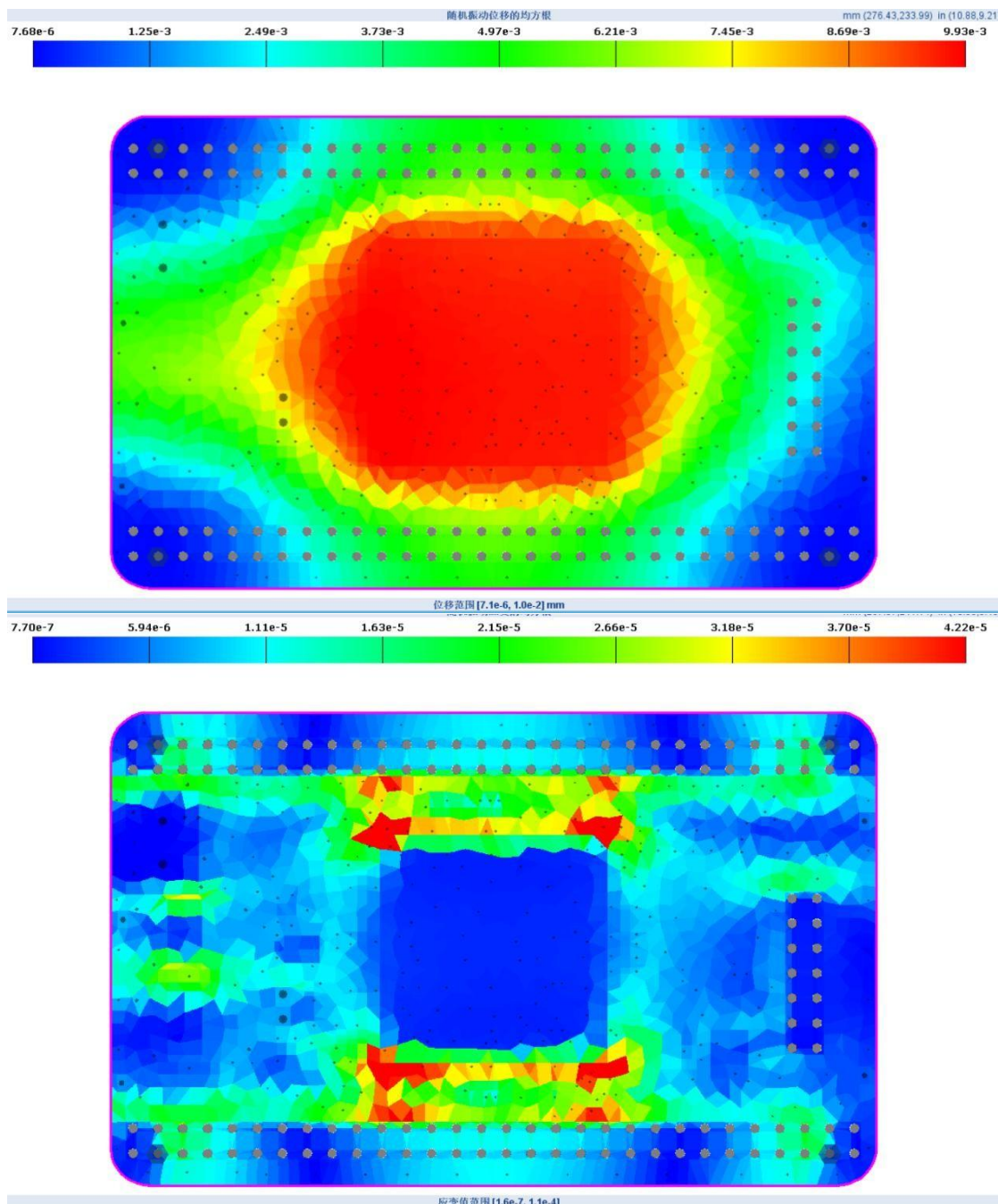


图 4-28 随机振动仿真云图

5. 可靠性评估

5.1. 焊点疲劳

5.1.1. 无铅焊点二阶热疲劳模型

右键单击项目树中的“无铅焊点二阶热疲劳”树节点，然后从弹出菜单中选择“编辑属性”或者“运行分析任务”选项，如图 5-1 所示，弹出无铅焊点二阶热疲劳属性对话框，如图 5-2 所示。

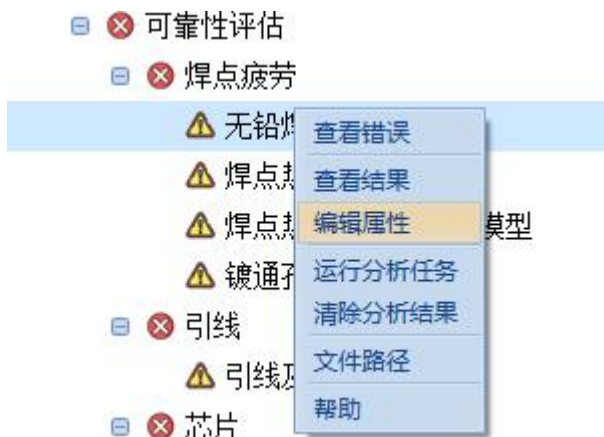


图 5-1 选择框



图 5-2 无铅焊点二阶热疲劳属性编辑框

编辑仿真属性相关信息，点击保存并运行，软件自动进行无铅焊点二阶热疲劳计算。评估结果如图 5-3 所示。

器件ID	封装	器件类型	面	材料	焊料	最大温差(°)	损伤	TTF (年)	故障循环次数
C1	C0402	电容器	正面	COPPER	SAC305	24.5	1.1E0	9.13	3,333
C2	C0402	电容器	正面	COPPER	SAC305	24.5	1.1E0	9.13	3,333
C3	C0402	电容器	正面	COPPER	SAC305	24.5	1.1E0	9.13	3,333
C4	C0402	电容器	正面	COPPER	SAC305	24.5	1.1E0	9.13	3,333
C5	C0402_1	电容器	正面	COPPER	SAC305	24.5	1.1E0	9.13	3,333
C6	C0402	电容器	正面	COPPER	SAC305	25.0	1.1E0	9.13	3,333
C7	C0402	电容器	正面	COPPER	SAC305	24.4	1.1E0	9.13	3,333
C8	C0402	电容器	正面	COPPER	SAC305	24.9	1.1E0	9.13	3,333
C9	C0402	电容器	正面	COPPER	SAC305	24.4	1.1E0	9.13	3,333
C10	C0805	电容器	正面	COPPER	SAC305	24.9	1.1E0	9.13	3,333
C11	C0402	电容器	正面	COPPER	SAC305	24.5	1.1E0	9.13	3,333
C12	C0402	电容器	正面	COPPER	SAC305	25.0	1.1E0	9.13	3,333
C13	C0402	电容器	正面	COPPER	SAC305	25.0	1.1E0	9.13	3,333
C14	C0402	电容器	正面	COPPER	SAC305	24.5	1.1E0	9.13	3,333
C15	C0402	电容器	正面	COPPER	SAC305	24.9	1.1E0	9.13	3,333
C16	C0402	电容器	正面	COPPER	SAC305	24.5	1.1E0	9.13	3,333
C17	C0402	电容器	正面	COPPER	SAC305	24.5	1.1E0	9.13	3,333
C18	C0805	电容器	正面	COPPER	SAC305	24.8	1.1E0	9.13	3,333
C19	C0805	电容器	正面	COPPER	SAC305	24.9	1.1E0	9.13	3,333
C20	C0402	电容器	正面	COPPER	SAC305	25.0	1.1E0	9.13	3,333
C21	C0402	电容器	正面	COPPER	SAC305	24.7	1.1E0	9.13	3,333
C22	C0805	电容器	正面	COPPER	SAC305	24.9	1.1E0	9.13	3,333
C23	C0805	电容器	正面	COPPER	SAC305	24.8	1.1E0	9.13	3,333
C24	C0805	电容器	正面	COPPER	SAC305	24.9	1.1E0	9.13	3,333
C25	C0402	电容器	正面	COPPER	SAC305	24.4	1.1E0	9.13	3,333
C26	C0402	电容器	正面	COPPER	SAC305	24.5	1.1E0	9.13	3,333
C27	C0402	电容器	正面	COPPER	SAC305	24.4	1.1E0	9.13	3,333
C28	C0402_1_2	电容器	正面	COPPER	SAC305	24.5	1.1E0	9.13	3,333
D1	Q0603	二极管	正面	COPPER	SAC305	24.7	1.1E0	9.13	3,333
J1	MINIUSB-AB-SM	连接器(JACK)	正面	COPPER	SAC305	24.9	1.1E0	9.13	3,333
J2	DIP2X7_2P54	连接器(JACK)	正面	COPPER	SAC305	24.9	1.1E0	9.13	3,333
J3	JP_2P54	连接器(JACK)	正面	COPPER	SAC305	24.9	1.1E0	9.13	3,333
J4	DIP2X30_2P54	连接器(JACK)	背面	COPPER	SAC305	24.6	1.1E0	9.13	3,333
J5	DIP2X30_2P54	连接器(JACK)	背面	COPPER	SAC305	24.7	1.1E0	9.13	3,333
R1	R0402	电阻	正面	COPPER	SAC305	24.7	1.1E0	9.13	3,333
R2	R0402	电阻	正面	COPPER	SAC305	24.9	1.1E0	9.13	3,333
R3	R0402	电阻	正面	COPPER	SAC305	24.9	1.1E0	9.13	3,333
R4	R0402	电阻	正面	COPPER	SAC305	24.9	1.1E0	9.13	3,333
R5	R0402	电阻	正面	COPPER	SAC305	24.9	1.1E0	9.13	3,333
R6	R0402	电阻	正面	COPPER	SAC305	24.9	1.1E0	9.13	3,333
R7	R0402	电阻	正面	COPPER	SAC305	24.8	1.1E0	9.13	3,333
R8	R0402	电阻	正面	COPPER	SAC305	24.8	1.1E0	9.13	3,333
R9	R0402	电阻	正面	COPPER	SAC305	24.9	1.1E0	9.13	3,333
R10	R0402	电阻	正面	COPPER	SAC305	24.7	1.1E0	9.13	3,333

图 5-3 无铅焊点二阶热疲劳评估结果

点击寿命预计，显现无铅焊点二阶热疲劳寿命预计曲线，如图 5-4 所示，图表左下角的矩形区域以图形方式显示了此项目的所需可靠性目标，其顶部由所需的故障概率限制，而右侧则由所需的使用寿命限制。如果曲线停留在最高线以下，直到使用寿命，则表明电路板可以达到其目标。在这种情况下，电路板在生命周期中定义无铅焊点二阶热疲劳将无法达到其可靠性目标。

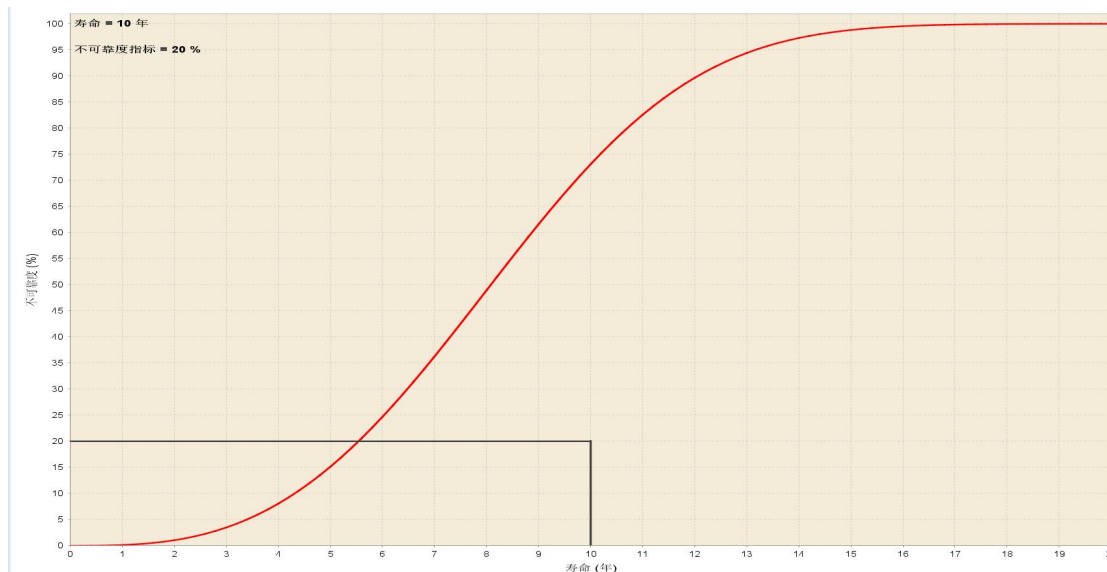


图 5-4 无铅焊点二阶热疲劳寿命预计曲线

点击失效时间，显现无铅焊点二阶热疲劳元器件失效时间分布，如图 5-5 所示。

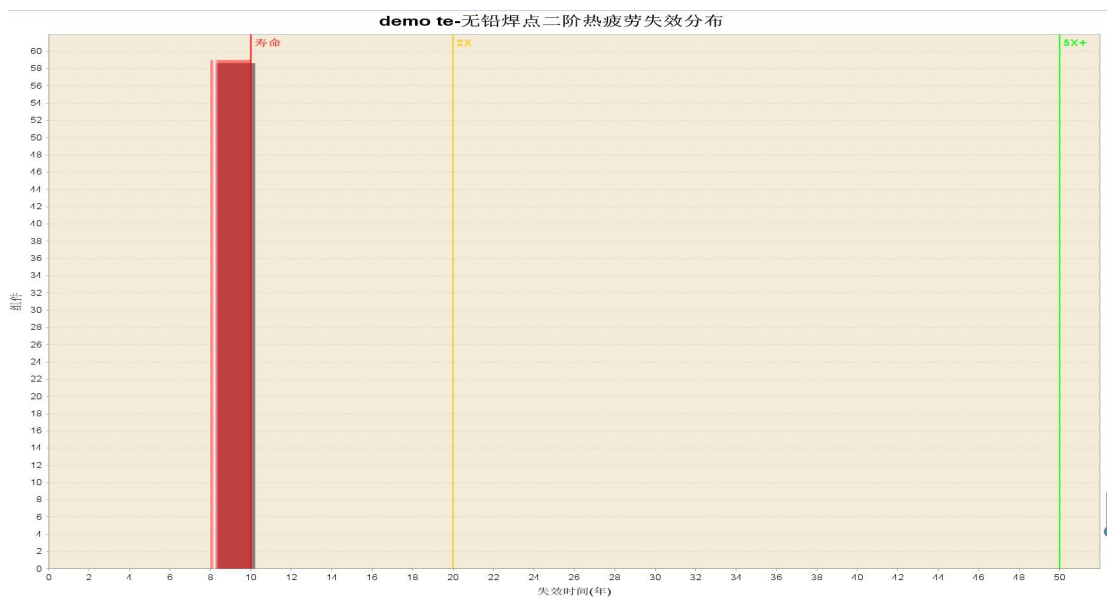


图 5-5 无铅焊点二阶热疲劳元器件失效时间分布

5.1.2. 焊点热疲劳模型

右键单击项目树中的“焊点热疲劳”树节点，然后从弹出菜单中选择“编辑属性”或者“运行分析任务”选项，弹出冲击振动分析的属性对话框，如图 5-6 所示。编辑仿真属性相关信息，点击保存并运行，软件自动进行焊点热疲劳计算。



图 5-6 焊点热疲劳属性编辑框

运行成功后，焊点热疲劳的仿真结果包括摘要、失效时间、寿命统计、表格，摘要包括仿真过程中的分析统计、板的属性、可靠性指标具体信息，如图 5-7 所示

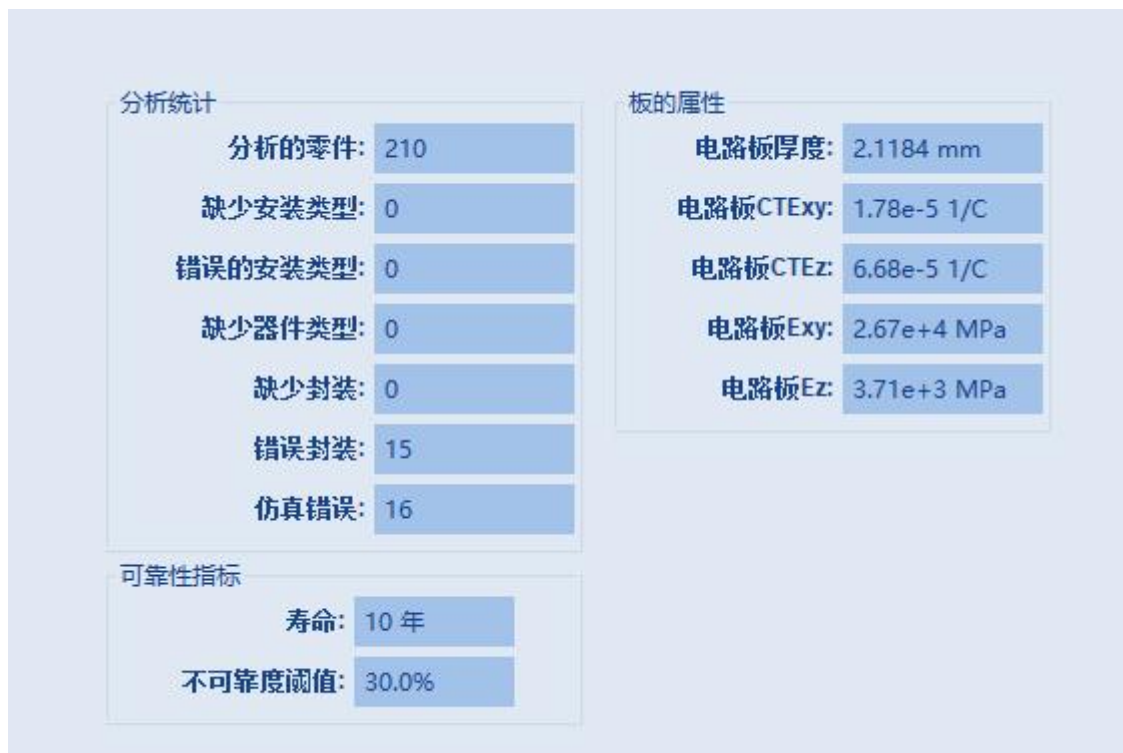


图 5-7 焊点热疲劳属性编辑框

“表格”页签是每个器件的仿真结果，包括最大温、最低温、损伤、TTF、故障循环次数，如图 5-8 所示。

器件ID	封装	器件类型	模型	面	材料	焊料	最大温(°)	最低温(°)	损伤	TTF (年)	不可靠度	故障循环次数	等级
J1	SOT-223	集成电路	DIE物理模型	正面	COPPER	SAC305	69.40	-15.60	2.6E0	3.90	100.0	1,067	0.0
J3	SOT-223	集成电路	DIE物理模型	正面	COPPER	SAC305	65.10	-19.90	2.4E0	4.21	100.0	1,153	0.0
J2	BGA-144	集成电路	BGA物理模型	正面	COPPER	SAC305	70.00	-15.00	1.1E0	9.48	69.0	2,598	0.0
I4	DIP2x30_2P54	连接器(JACK)	THRUHOLE物理模型	背面	COPPER	SAC305	69.20	-15.80	7.8E-2	>100	0.0	35,160	10.0
I5	DIP2x30_2P54	连接器(JACK)	THRUHOLE物理模型	背面	COPPER	SAC305	67.60	-17.40	7.6E-2	>100	0.0	35,882	10.0
C10	C0805	电容器	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	69.00	-16.00	2.6E-2	>100	0.0	104,621	10.0
C22	C0805	电容器	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	67.50	-17.50	2.5E-2	>100	0.0	108,564	10.0
D1	Q6603	二极管	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	66.40	-18.60	2.5E-2	>100	0.0	109,803	10.0
C24	C0805	电容器	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	65.80	-19.20	2.5E-2	>100	0.0	111,180	10.0
C23	C0805	电容器	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	65.10	-19.90	2.4E-2	>100	0.0	113,194	10.0
C19	C0805	电容器	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	67.00	-18.00	2.3E-2	>100	0.0	117,756	10.0
C18	C0805	电容器	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	66.60	-18.40	2.2E-2	>100	0.0	126,853	10.0
C12	C0402	电容器	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	69.70	-15.30	7.1E-3	>100	0.0	384,468	10.0
C4	C0402	电容器	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	69.50	-15.50	7.1E-3	>100	0.0	385,653	10.0
R3	R0402	电阻	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	69.80	-15.20	7.1E-3	>100	0.0	386,947	10.0
C15	C0402	电容器	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	68.70	-16.30	7.1E-3	>100	0.0	387,347	10.0
C20	C0402	电容器	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	69.50	-15.50	7.0E-3	>100	0.0	388,738	10.0
C1	C0402	电容器	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	69.50	-15.50	7.0E-3	>100	0.0	388,738	10.0
C2	C0402	电容器	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	69.40	-15.60	7.0E-3	>100	0.0	389,337	10.0
C3	C0402	电容器	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	69.40	-15.60	7.0E-3	>100	0.0	389,337	10.0
C5	C0402_1	电容器	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	69.40	-15.60	7.0E-3	>100	0.0	389,337	10.0
C28	C0402_2	电容器	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	68.70	-16.30	7.0E-3	>100	0.0	390,435	10.0
R2	R0402	电阻	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	69.70	-15.30	7.0E-3	>100	0.0	390,657	10.0
C6	C0402	电容器	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	69.70	-15.30	7.0E-3	>100	0.0	390,657	10.0
C8	C0402	电容器	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	69.70	-15.30	7.0E-3	>100	0.0	390,657	10.0
R4	R0402	电阻	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	69.00	-16.00	7.0E-3	>100	0.0	391,745	10.0
C13	C0402	电容器	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	69.50	-15.50	7.0E-3	>100	0.0	391,863	10.0
R8	R0402	电阻	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	68.80	-16.20	7.0E-3	>100	0.0	392,954	10.0
C11	C0402	电容器	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	68.70	-16.30	7.0E-3	>100	0.0	393,561	10.0
C7	C0402	电容器	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	68.90	-16.10	6.9E-3	>100	0.0	395,504	10.0
R5	R0402	电阻	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	68.50	-16.50	6.9E-3	>100	0.0	397,954	10.0
R12	R0402	电阻	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	69.00	-16.00	6.9E-3	>100	0.0	398,085	10.0
R7	R0402	电阻	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	68.20	-16.80	6.9E-3	>100	0.0	399,802	10.0
R11	R0402	电阻	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	68.60	-16.40	6.8E-3	>100	0.0	400,551	10.0
R6	R0402	电阻	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	68.20	-16.80	6.8E-3	>100	0.0	403,035	10.0
R13	R0402	电阻	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	68.40	-16.60	6.8E-3	>100	0.0	405,054	10.0
C27	C0402	电容器	CC物理模型	正面	COPPER	SAC305	68.00	-17.00	6.7E-3	>100	0.0	410,895	10.0

图 5-8 焊点热疲劳表格信息

点击寿命预计，显现焊点热疲劳寿命预计曲线，如图 5-9 所示，图表左下角的矩形区域以图形方式显示了此项目的所需可靠性目标，其顶部由所需的故障概率限制，而右侧则由所需的使用寿命限制。如果曲线停留在最高线以下，直到使用寿命，则表明电路板可以达到其目标。在这种情况下，电路板在生命周期中定义的焊点热疲劳将无法达到其可靠性目标。



图 5-9 焊点热疲劳寿命预计

点击失效时间，显现焊点热疲劳元器件失效时间分布，如图 5-10 所示。

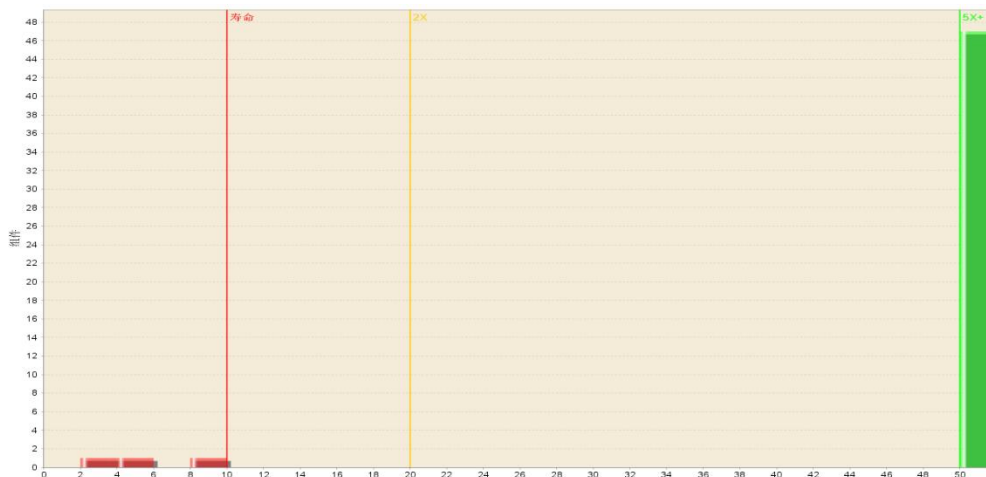


图 5-10 焊点热疲劳失效分布

➤ BGA 封装的焊点热疲劳模型简介

BGA 封装的几何结构如图 5-11 所示，包括内部的芯片（Die）、外围的注塑（Overmold）、封装内部基板（Laminate）和焊球（Ball）。PCB 是电路板的基板，元器件焊接在电路板上。

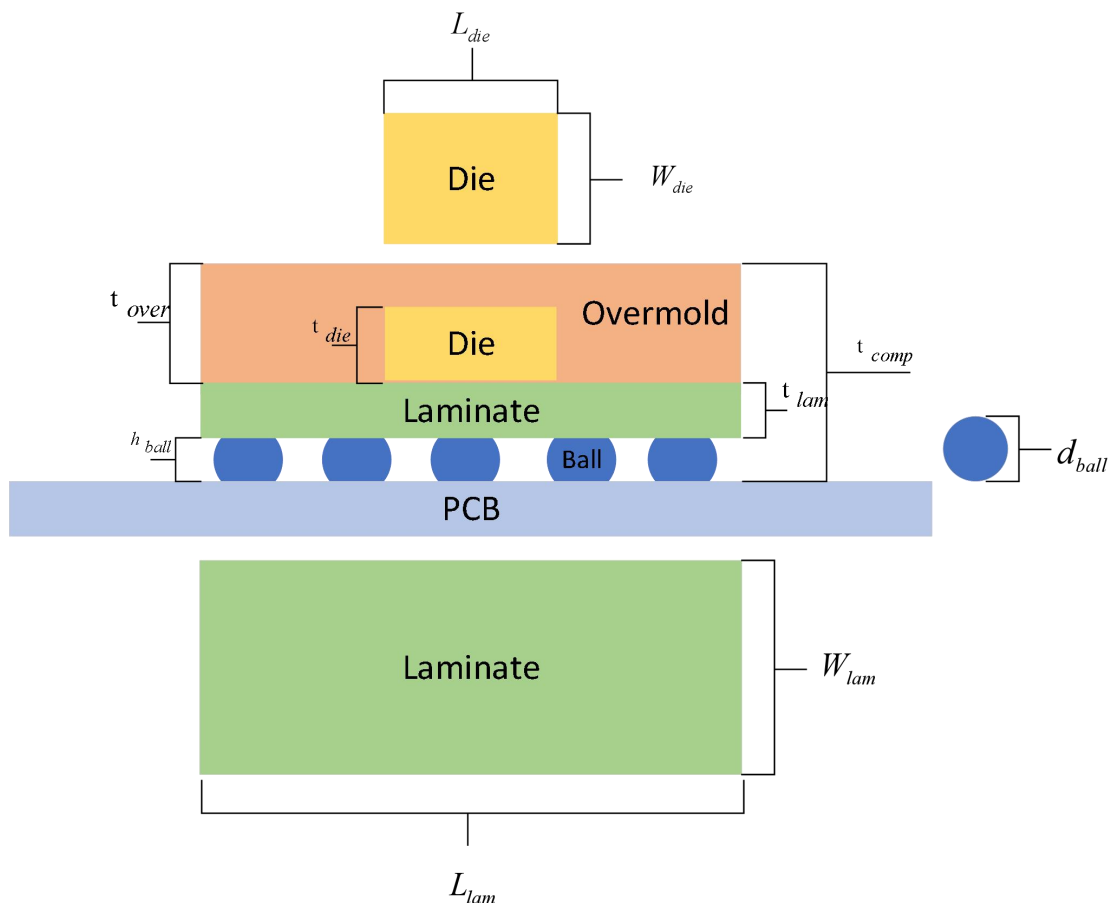


图 5-11 BGA 几何封装结构

以 U2 集成电路为例，封装名称是 BGA-144 为例，详细介绍 BGA 封装的焊点热疲劳模型的计算过程。

1) 材料参数

热膨胀系数: $CTE_{die} = 2.6e^{-6}$ 、 $CTE_{lam} = 2.3e^{-5}$ 、 $CTE_{over} = 1.5e^{-5}$ 、 $CTE_{pcb} = 1.78e^{-5}$

杨氏模量: $E_{die} = 1.3e^5$ 、 $E_{lam} = 1.17e^4$ 、 $E_{over} = 1.59e^4$ 、 $E_{pcb} = 2.39e^4$ 、 $E_{ball} = 2.80e^4$

泊松比: $V_{die} = 0.18$ 、 $V_{lam} = 0.3$ 、 $V_{over} = 0.25$ 、 $V_{pcb} = 0.15$

2) 几何参数

芯片: $L_{die} = 12.1mm$ 、 $W_{die} = 12.1mm$ 、 $t_{die} = 0.4mm$

注塑: $t_{over} = 0.65mm$

封装基板: $L_{lam} = 27mm$ 、 $W_{lam} = 27mm$ 、 $t_{lam} = 0.15mm$

焊球: $h_{ball} = 0.7mm$ 、 $d_{ball} = 0.75mm$

焊球数目: $N_{ball}=144$

3) 环境参数

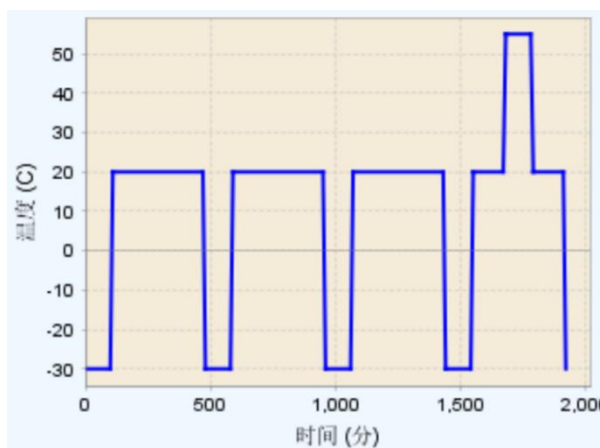


图 5-12 仿真环境温度

仿真环境温度最低温是-30°、最高温是 55°，U2 仿真得到元器件最低温-15° 和最高温度 70°。

4) 材料和几何参数等价替换

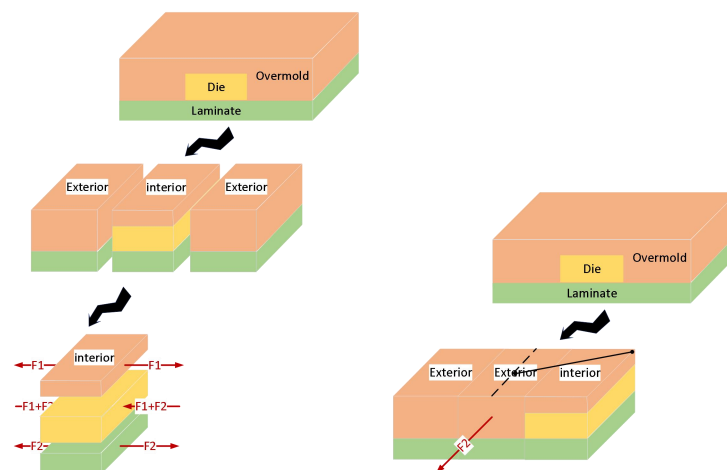


图 5-13 内部结构划分

内部的芯片 (Die)、外围的注塑 (Overmold)、封装内部基板 (Laminate) 都粘连 (假设固连不会滑移) 在一起, 假设宽度相同, 由于热膨胀系数不同, 导致各层材料间存在相互作用力。将包含芯片的分为 interior、外面不含芯片为 exterior 和封装四个角命名为 corner。通过单轴应力和单轴形变之间的比和热膨胀系数引起的作用力计算得到。

热膨胀系数: $CTE_{interior} = 4.07e^{-6}$ 、 $CTE_{exterior} = 1.62e^{-5}$ 、 $CTE_{corner} = 1.07e^{-5}$

杨氏模量: $E_{interior} = 7.22e^4$ 、 $E_{exterior} = 1.51e^4$ 、 $E_{corner} = 4.07e^4$

泊松比: $V_{interior} = 0.2243$ 、 $V_{exterior} = 0.2594$ 、 $V_{over} = 0.2419$

5) 力学部分

封装基板面积: $A_{lam} = L_{lam} * W_{lam} = 27 * 27 = 729$

单焊球面积: $A_{1ball} = 0.25 * \pi * d_{ball} * d_{ball} = 0.4418$

所有焊球的面积: $A_{allball} = N_{ball} * A_{1ball} = 63.6173$

单焊球剪切模量: $G_{ball} = \frac{E_{ball}}{2(1+\nu_{ball})} = 1.03e^4$

单焊球有效剪切模量: $G = \frac{G_{ball} * A_{allball}}{A_{lam}} = 8.98e^2$

电路板剪切模量: $G_{PCB} = \frac{E_{PCB}}{2(1+\nu_{PCB})} = 1.19e^4$

6) 评估部分

由于封装和 PCB 热膨胀系数的差异造成焊球切向的拉长, 如图 5-14 所示。

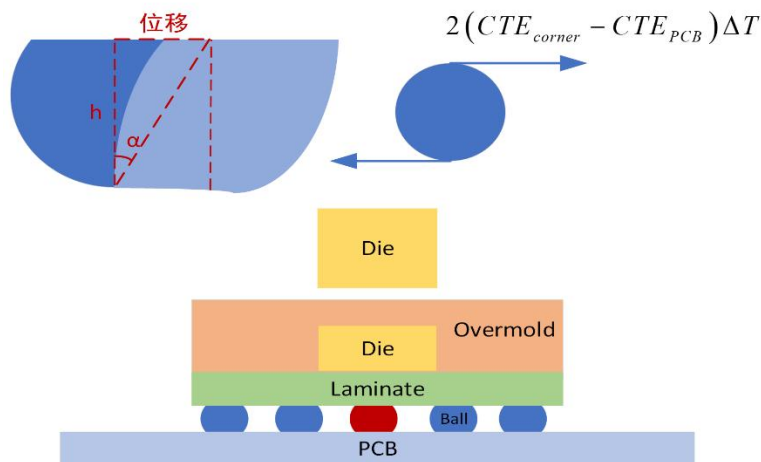


图 5-14 焊球的热应变

中间的焊球经过计算可以得到

热应力= $1.03e^1$ 、

热应变= $1.68e^{-2}$

最大切应变能= $1.72e^{-1}$ 、

失效前循环数= $9.57e^3$

四处角的焊球经过计算可以得到

热应力= 7.19 、

热应变= $1.93e^{-2}$

最大切应变能= $1.38e^{-1}$ 、

失效前循环数= $1.19e^4$

因此、U2 的失效前循环数为 $9.57e^3$ ，每个循环的时间约为 8.2 小时，因此预计 U2 的寿命约为 9.3 年。

5. 1. 3. 焊点热疲劳 Darveaux 模型

右键单击项目树中的“焊点热疲劳 Darveaux”树节点，然后从弹出菜单中选择“编辑属性”或者“运行分析任务”选项，弹出冲击振动分析的属性对话框，如图 5-15 所示。编辑仿真属性相关信息，点击保存并运行，软件自动进行焊点热疲劳 Darveaux 计算。评估结果如图 5-16 所示。



图 5-15 焊点热疲劳 Darveaux 模型属性编辑框

器件ID	封装	器件类型	模型	面	材料	焊料	最大温差(°)	损伤	TTF (年)	故障循环次数	等级
U2	BGA-144	集成电路		正面	COPPER	SAC305	0.0	1.4E0	7.08	2,585	0.0

图 5-16 焊点热疲劳 Darveaux 模型评估结果

点击寿命预计，显现焊点热疲劳 Darveaux 模型寿命预计曲线，如图 5-17 所示，图表左下角的矩形区域以图形方式显示了此项目的所需可靠性目标，其顶部由所需的故障概率限制，而右侧则由所需的使用寿命限制。如果曲线停留在最高线以下，直到使用寿命，则表明电路板可以达到其目标。在这种情况下，电路板在生命周期中定义的焊点热疲劳将无法达到其可靠性目标。

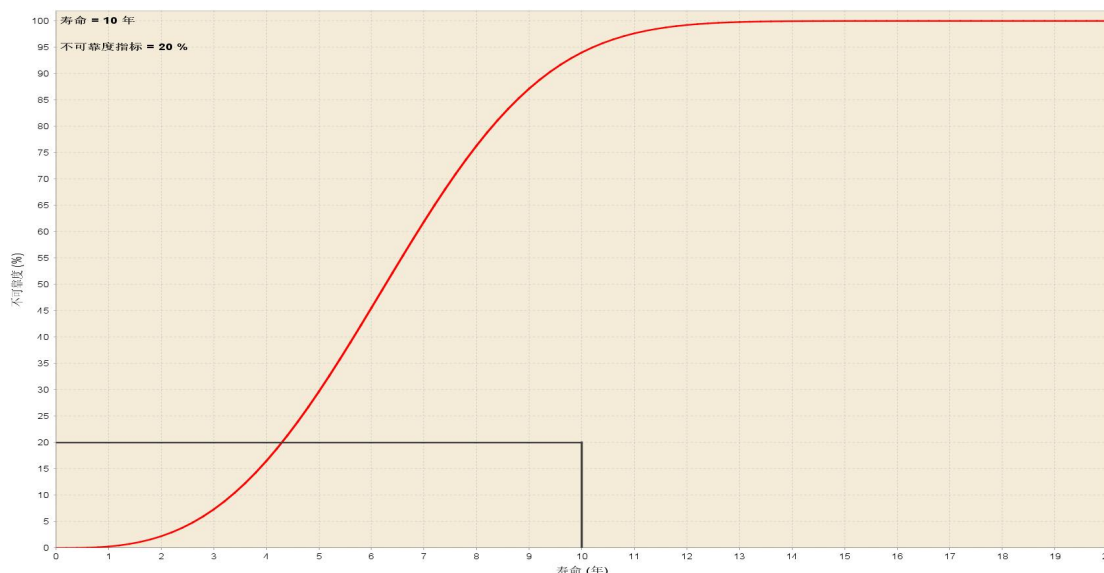


图 5-17 焊点热疲劳 Darveaux 模型寿命预计曲线

点击失效时间，显现焊点热疲劳 Darveaux 模型元器件失效时间分布，如图 5-18 所示。

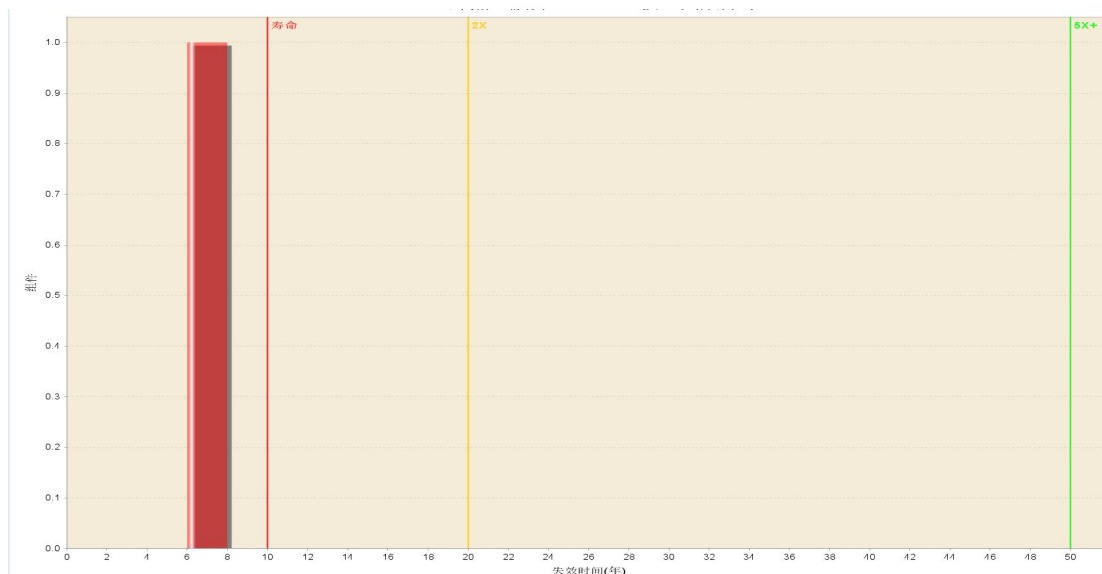


图 5-18 焊点热疲劳 Darveaux 模型元器件失效时间分布

5.1.4. 镀通孔疲劳模型

右键单击项目树中的“镀通孔疲劳”树节点，然后从弹出菜单中选择“编辑属性”或者“运行分析任务”选项，弹出冲击振动分析的属性对话框，如图 5-19 所示。编辑仿真属性相关信息，点击保存并运行，软件自动进行镀通孔疲劳计算。评估结果如图 5-20 所示。



图 5-19 镀通孔疲劳属性编辑框

X (mm)	Y (mm)	直径 (mm)	最大温差(°C)	损伤	TTF (年)	失效率
278.8920	210.6930	0.60	25.0	0.00	>100	0.0
279.0190	227.3300	0.60	25.0	0.00	>100	0.0
280.0386	203.5205	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
280.0386	206.0605	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
280.0386	242.6305	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
280.0386	245.1705	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
282.5786	203.5205	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
282.5786	206.0605	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
282.5786	242.6305	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
282.5786	245.1705	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
283.0685	232.9551	0.90	25.0	0.00	>100	0.0
283.0685	237.3549	0.90	25.0	0.00	>100	0.0
285.1186	203.5205	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
285.1186	206.0605	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
285.1186	242.6305	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
285.1186	245.1705	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
287.6586	203.5205	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
287.6586	206.0605	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
287.6586	242.6305	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
287.6586	245.1705	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
290.1986	203.5205	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
290.1986	206.0605	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
290.1986	242.6305	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
290.1986	245.1705	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
292.7386	203.5205	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
292.7386	206.0605	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
292.7386	242.6305	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
292.7386	245.1705	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
295.2786	203.5205	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
295.2786	206.0605	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
295.2786	242.6305	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
295.2786	245.1705	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
295.3520	217.2122	0.91	25.0	0.00	>100	0.0
295.3520	219.7522	0.91	25.0	0.00	>100	0.0
297.8186	203.5205	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
297.8186	206.0605	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
297.8186	242.6305	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
297.8186	245.1705	1.02	25.0	0.00	>100	0.0
300.3586	203.5205	1.02	25.0	0.00	>100	0.0

图 5-20 镀通孔疲劳模型评估结果

点击寿命预计，显现镀通孔疲劳模型寿命预计曲线，如图 5-21 所示，图表左下角的矩形区域以图形方式显示了此项目的所需可靠性目标，其顶部由所需的故障概率限制，而右侧则由所需的使用寿命限制。如果曲线停留在最高线以下，直到使用寿命，则表明电路板可以达到其目标。在这种情况下，电路板在生命周期中定义的焊点热疲劳将无法达到其可靠性目标。

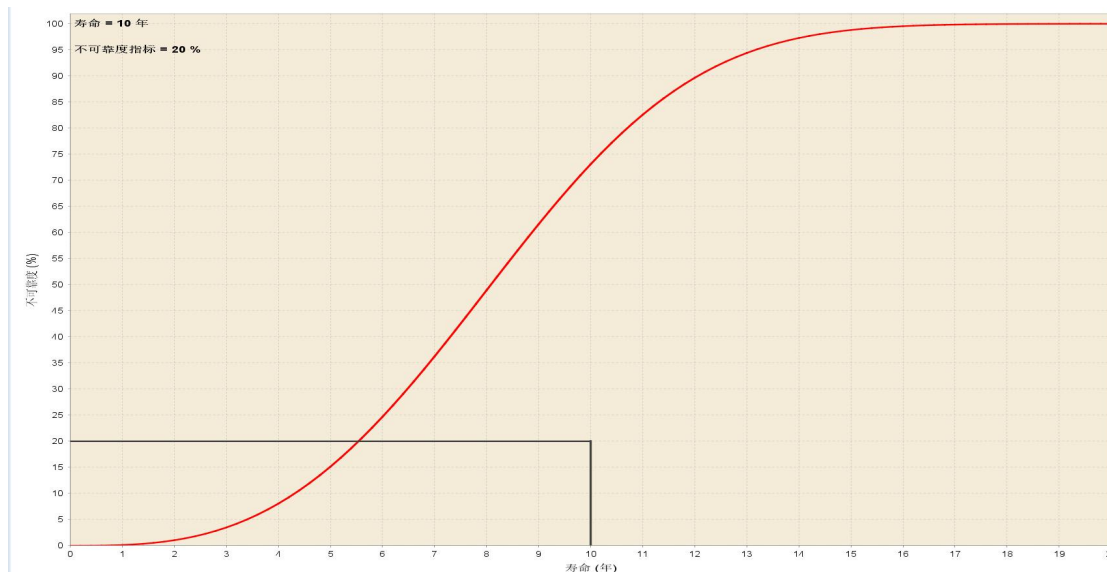


图 5-21 镀通孔疲劳模型寿命预计曲线

点击失效时间，显现镀通孔疲劳模型元器件失效时间分布，如图 5-22 所示。

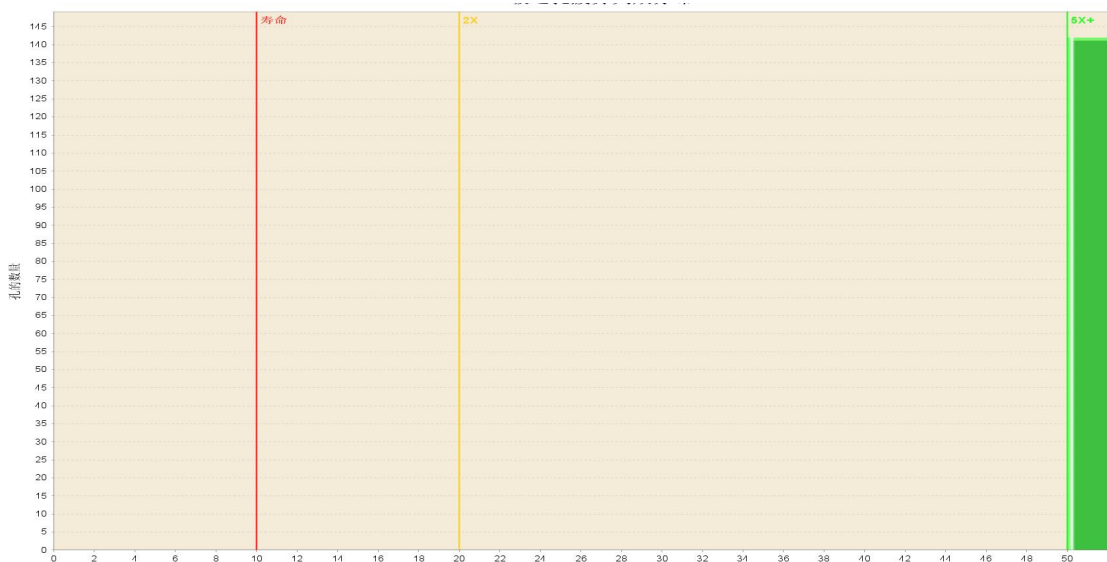


图 5-22 镀通孔疲劳模型元器件失效时间分布

5.2. 引线

5.2.1. 引线及焊盘热疲劳模型

右键单击项目树中的“引线及焊盘热疲劳”树节点，然后从弹出菜单中选择“编辑属性”或者“运行分析任务”选项，弹出引线及焊盘热疲劳的属性对话框，如图 5-23 所示。点击保存并运行，软件自动进行引线及焊盘热疲劳计算。评估结果如图 5-24 所示。



图 5-23 引线及焊点热疲劳属性编辑框

键合丝ID	连接的器件	所在的面	键合丝材料	载荷名称	最大温差(°)	评估物理模型	损伤	TTF (年)
WB1	U3	正面	ALUMINUM	阶段1/温度工况	24.9	焊盘剪切热疲劳(Coffin-Manson)	6.6E2	0.02
WB1	U3	正面	ALUMINUM	所选的全部载荷	24.9	焊盘剪切热疲劳(Coffin-Manson)	6.6E2	0.02
WB2	U3	正面	ALUMINUM	阶段1/温度工况	24.9	焊盘剪切热疲劳(Coffin-Manson)	6.6E2	0.02
WB2	U3	正面	ALUMINUM	所选的全部载荷	24.9	焊盘剪切热疲劳(Coffin-Manson)	6.6E2	0.02
WB3	U3	正面	ALUMINUM	阶段1/温度工况	24.9	焊盘剪切热疲劳(Coffin-Manson)	6.6E2	0.02
WB3	U3	正面	ALUMINUM	所选的全部载荷	24.9	焊盘剪切热疲劳(Coffin-Manson)	6.6E2	0.02
WB4	U3	正面	ALUMINUM	阶段1/温度工况	24.9	焊盘剪切热疲劳(Coffin-Manson)	6.6E2	0.02
WB4	U3	正面	ALUMINUM	所选的全部载荷	24.9	焊盘剪切热疲劳(Coffin-Manson)	6.6E2	0.02
WB5	U3	正面	ALUMINUM	阶段1/温度工况	24.9	焊盘剪切热疲劳(Coffin-Manson)	6.6E2	0.02
WB5	U3	正面	ALUMINUM	所选的全部载荷	24.9	焊盘剪切热疲劳(Coffin-Manson)	6.6E2	0.02
WB6	U3	正面	ALUMINUM	阶段1/温度工况	24.9	焊盘剪切热疲劳(Coffin-Manson)	6.6E2	0.02
WB6	U3	正面	ALUMINUM	所选的全部载荷	24.9	焊盘剪切热疲劳(Coffin-Manson)	6.6E2	0.02
WB2	U3	正面	ALUMINUM	阶段1/温度工况	24.9	引线拉伸热疲劳(Coffin-Manson)	4.3E1	0.23
WB2	U3	正面	ALUMINUM	所选的全部载荷	24.9	引线拉伸热疲劳(Coffin-Manson)	4.3E1	0.23
WB4	U3	正面	ALUMINUM	阶段1/温度工况	24.9	引线拉伸热疲劳(Coffin-Manson)	4.3E1	0.23
WB4	U3	正面	ALUMINUM	所选的全部载荷	24.9	引线拉伸热疲劳(Coffin-Manson)	4.3E1	0.23
WB5	U3	正面	ALUMINUM	阶段1/温度工况	24.9	引线拉伸热疲劳(Coffin-Manson)	4.3E1	0.23
WB5	U3	正面	ALUMINUM	所选的全部载荷	24.9	引线拉伸热疲劳(Coffin-Manson)	4.3E1	0.23
WB6	U3	正面	ALUMINUM	阶段1/温度工况	24.9	引线拉伸热疲劳(Coffin-Manson)	4.3E1	0.23
WB6	U3	正面	ALUMINUM	所选的全部载荷	24.9	引线拉伸热疲劳(Coffin-Manson)	4.3E1	0.23
WB3	U3	正面	ALUMINUM	阶段1/温度工况	24.9	引线拉伸热疲劳(Coffin-Manson)	4.3E1	0.23
WB3	U3	正面	ALUMINUM	所选的全部载荷	24.9	引线拉伸热疲劳(Coffin-Manson)	4.3E1	0.23
WB1	U3	正面	ALUMINUM	阶段1/温度工况	24.9	引线拉伸热疲劳(Coffin-Manson)	4.3E1	0.23
WB1	U3	正面	ALUMINUM	所选的全部载荷	24.9	引线拉伸热疲劳(Coffin-Manson)	4.3E1	0.23
WB1	U3	正面	ALUMINUM	阶段1/温度工况	24.9	引线剪切热疲劳(Coffin-Manson)	3.8E-1	26.05
WB1	U3	正面	ALUMINUM	所选的全部载荷	24.9	引线剪切热疲劳(Coffin-Manson)	3.8E-1	26.05
WB2	U3	正面	ALUMINUM	阶段1/温度工况	24.9	引线剪切热疲劳(Coffin-Manson)	3.8E-1	26.05
WB2	U3	正面	ALUMINUM	所选的全部载荷	24.9	引线剪切热疲劳(Coffin-Manson)	3.8E-1	26.05
WB3	U3	正面	ALUMINUM	阶段1/温度工况	24.9	引线剪切热疲劳(Coffin-Manson)	3.8E-1	26.05
WB3	U3	正面	ALUMINUM	所选的全部载荷	24.9	引线剪切热疲劳(Coffin-Manson)	3.8E-1	26.05
WB4	U3	正面	ALUMINUM	阶段1/温度工况	24.9	引线剪切热疲劳(Coffin-Manson)	3.8E-1	26.05
WB4	U3	正面	ALUMINUM	所选的全部载荷	24.9	引线剪切热疲劳(Coffin-Manson)	3.8E-1	26.05
WB5	U3	正面	ALUMINUM	阶段1/温度工况	24.9	引线剪切热疲劳(Coffin-Manson)	3.8E-1	26.05
WB5	U3	正面	ALUMINUM	所选的全部载荷	24.9	引线剪切热疲劳(Coffin-Manson)	3.8E-1	26.05
WB6	U3	正面	ALUMINUM	阶段1/温度工况	24.9	引线剪切热疲劳(Coffin-Manson)	3.8E-1	26.05
WB6	U3	正面	ALUMINUM	所选的全部载荷	24.9	引线剪切热疲劳(Coffin-Manson)	3.8E-1	26.05

图 5-24 引线及焊点热疲劳模型评估结果

点击寿命预计，显现引线及焊点热疲劳模型寿命预计曲线，如图 5-25 所示，图表左下角的矩形区域以图形方式显示了此项目的所需可靠性目标，其顶部由所需的故障概率限制，而右侧则由所需的使用寿命限制。如果曲线停留在最高线以下，直到使用寿命，则表明电路板可以达到其目标。在这种情况下，电路板在生命周期中定义的焊点热疲劳将无法达到其可靠性目标。

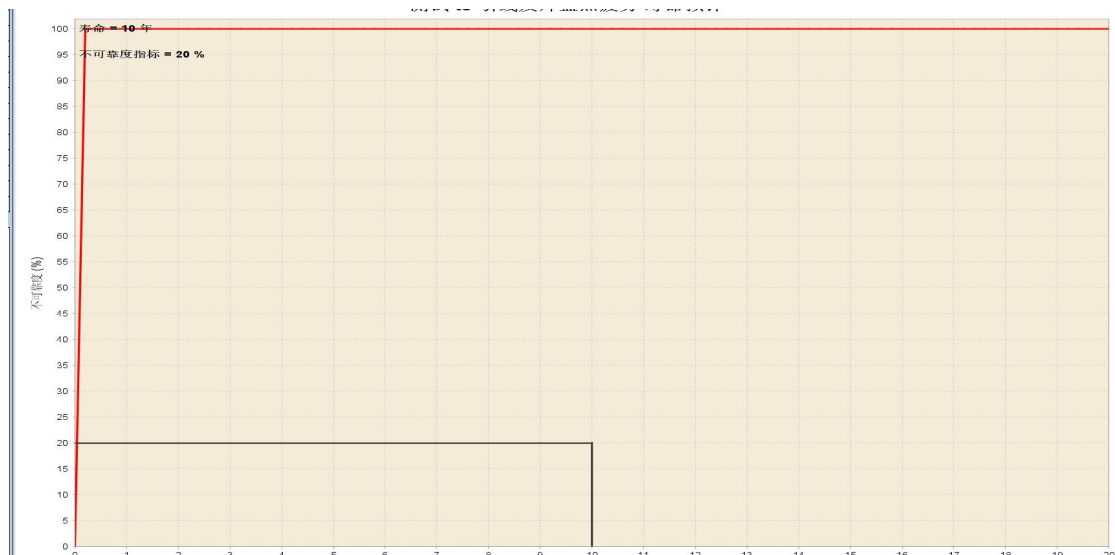


图 5-25 引线及焊点热疲劳模型寿命预计曲线

点击失效时间，显现引线及焊点热疲劳模型元器件失效时间分布，如图 5-26 所示。

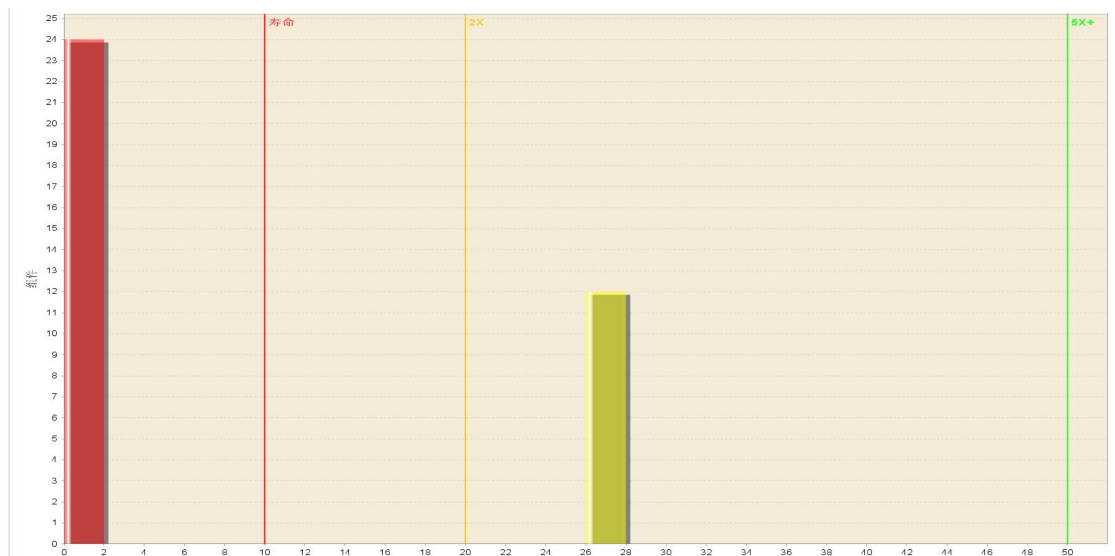


图 5-26 引线及焊点热疲劳模型元器件失效时间分布

5.3. 芯片

5.3.1. 断裂寿命模型

右键单击项目树中的“断裂寿命模型”树节点，然后从弹出菜单中选择“编辑属性”或者“运行分析任务”选项，弹出断裂寿命模型属性对话框，如图 5-27 所示。点击保存并运行，软件自动进行芯片断裂寿命计算。评估结果如图 5-28 所示。

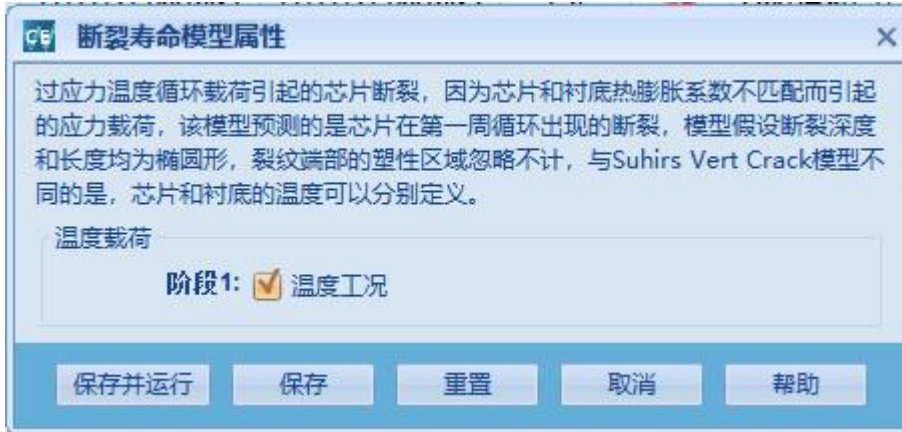


图 5-27 芯片断裂寿命模型属性编辑框

器件ID	所在的面	芯片材料	载荷名称	最大温差(°)	评估物理模型	损伤	TTF (年)	故障循环次数
U1	正面	SILICON	阶段1/温度工况	24.9	芯片断裂模型	-2.8E3	>100	-1
U2	正面	SILICON	阶段1/温度工况	25.0	芯片断裂模型			
U4	正面	SILICON	阶段1/温度工况	24.8	芯片断裂模型	-2.4E3	>100	-2
U3	正面	SILICON	阶段1/温度工况	24.9	芯片断裂模型	-2.8E3	>100	-1

图 5-28 芯片断裂寿命模型评估结果

点击寿命预计，显现芯片断裂寿命模型寿命预计曲线，如图 5-29 所示，图表左下角的矩形区域以图形方式显示了此项目的所需可靠性目标，其顶部由所需的故障概率限制，而右侧则由所需的使用寿命限制。如果曲线停留在最高线以下，直到使用寿命，则表明电路板可以达到其目标。在这种情况下，电路板在生命周期中定义的焊点热疲劳将无法达到其可靠性目标。

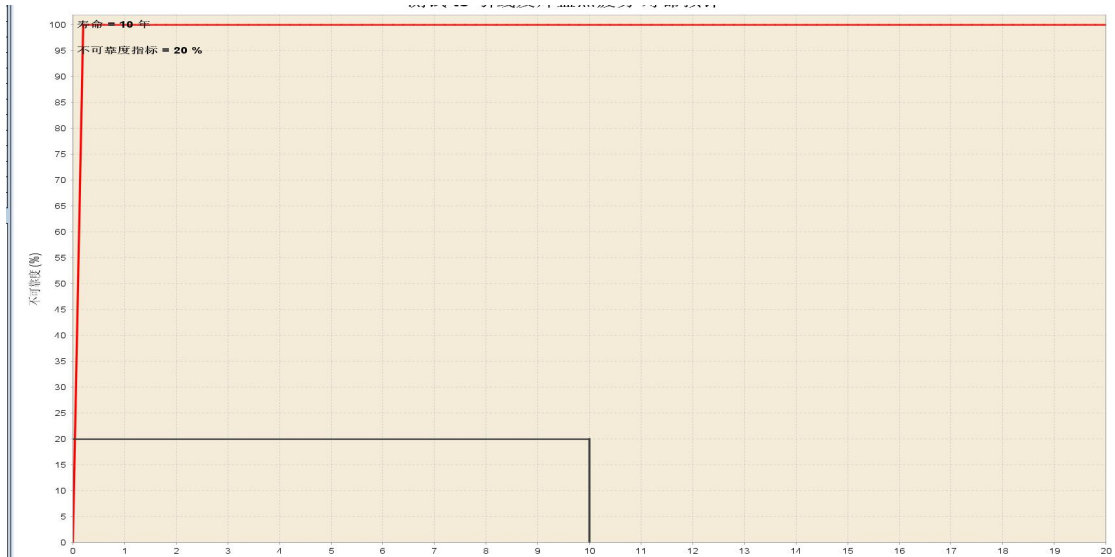


图 5-29 芯片断裂寿命模型寿命预计曲线

点击失效时间，显现引线及焊点热疲劳模型元器件失效时间分布，如图 5-30 所示。

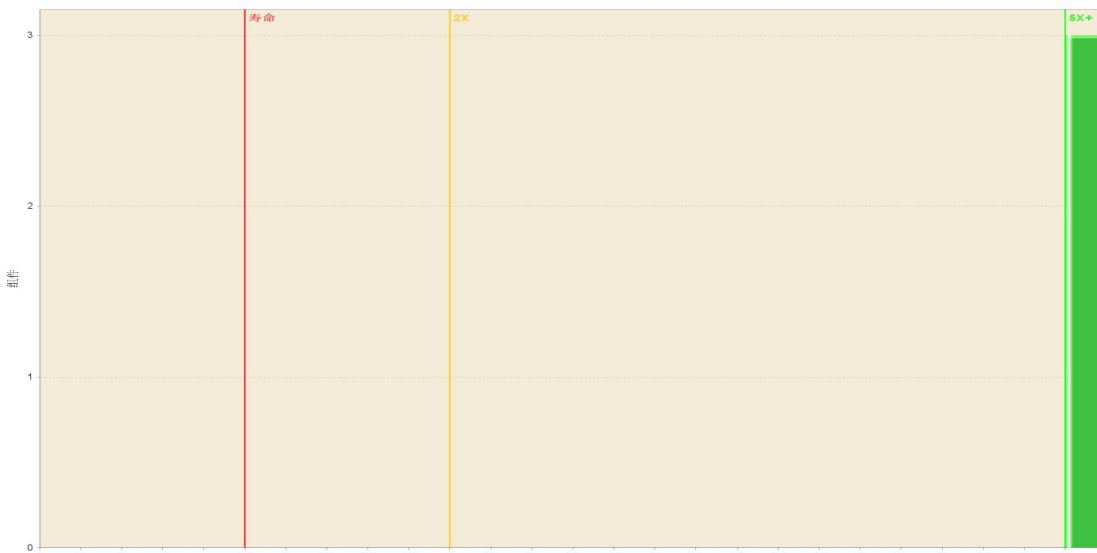


图 5-30 芯片断裂寿命模型元器件失效时间分布

5.3.2. 芯片与基板连接断裂寿命模型

右键单击项目树中的“芯片与基板连接断裂寿命”树节点，然后从弹出菜单中选择“编辑属性”或者“运行分析任务”选项，弹出芯片与基板连接断裂寿命模型属性对话框，如图 5-31 所示。编辑仿真属性相关信息，点击保存并运行，软件自动进行芯片与基板连接断裂寿命计算。评估结果如图 5-32 所示。



图 5-31 芯片与基板连接断裂模型寿命属性编辑框

器件ID	所在的面	芯片材料	载荷名称	最大温差(°)	评估物理模型	损伤	TTF (年)	故障循环次数
U2	正面	SILICON	阶段1/温度工况	25.0	芯片与基板连接断裂寿命模型	-7.8E2	>100	-5
U3	正面	SILICON	阶段1/温度工况	24.9	芯片与基板连接断裂寿命模型	-8.3E2	>100	-4
U1	正面	SILICON	阶段1/温度工况	24.9	芯片与基板连接断裂寿命模型	-8.3E2	>100	-4
U4	正面	SILICON	阶段1/温度工况	24.8	芯片与基板连接断裂寿命模型	-8.4E2	>100	-4

图 5-32 芯片与基板连接断裂模型评估结果

点击寿命预计，显现芯片与基板连接断裂模型寿命预计曲线，如图 5-33 所示，图表左下角的矩形区域以图形方式显示了此项目的所需可靠性目标，其顶部由所需的故障概率限制，而右侧则由所需的使用寿命限制。如果曲线停留在最高

线以下，直到使用寿命，则表明电路板可以达到其目标。在这种情况下，电路板在生命周期中定义的焊点热疲劳将无法达到其可靠性目标。

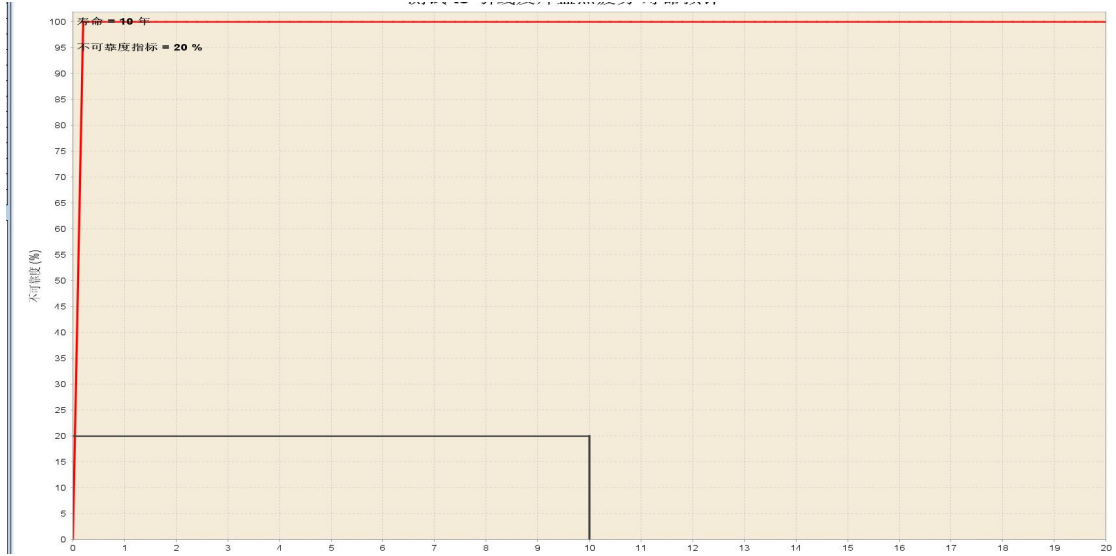


图 5-33 芯片与基板连接断裂模型寿命预计曲线

点击失效时间，显现芯片与基板连接断裂模型元器件失效时间分布，如图 5-34 示。



图 5-34 芯片与基板连接断裂模型元器件失效时间分布

5.3.3. 芯片连接界面疲劳断裂寿命模型

右键单击项目树中的“芯片与连接界面疲劳断裂寿命”树节点，然后从弹出菜单中选择“编辑属性”或者“运行分析任务”选项，弹出芯片与连接界面疲劳断裂寿命模型属性对话框，如图 5-35 所示。点击保存并运行，软件自动进行芯片与连接界面疲劳断裂寿命计算。评估结果如图 5-36 所示。

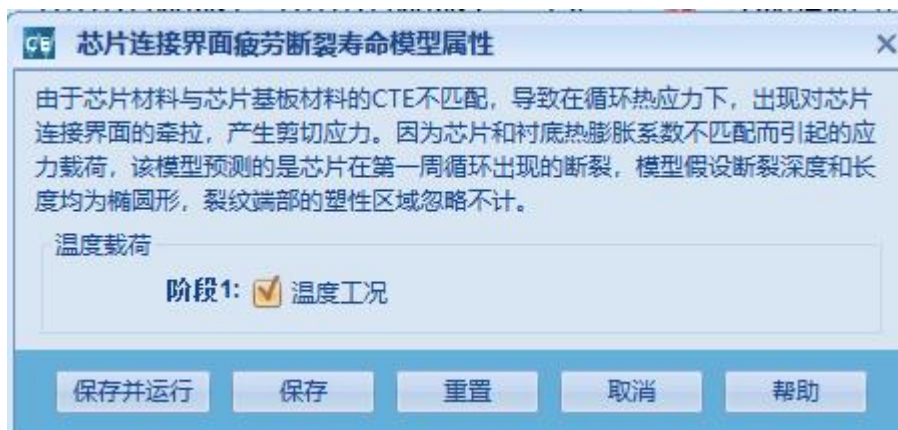


图 5-35 芯片与连接界面疲劳断裂寿命模型属性编辑框

器件ID	所在的面	芯片材料	载荷名称	最大温差(°)	评估物理模型	损伤	TTF (年)	故障循环次数
U1	正面	SILICON	阶段1/温度工况	24.9	芯片连接界面疲劳断裂寿命模型	3.8E3	0.00	1
U3	正面	SILICON	阶段1/温度工况	24.9	芯片连接界面疲劳断裂寿命模型	3.8E3	0.00	1
U4	正面	SILICON	阶段1/温度工况	24.8	芯片连接界面疲劳断裂寿命模型	3.8E3	0.00	1
U2	正面	SILICON	阶段1/温度工况	25.0	芯片连接界面疲劳断裂寿命模型	3.7E3	0.00	1

图 5-36 芯片与连接界面疲劳断裂寿命模型评估结果

点击寿命预计，显现芯片与连接界面疲劳断裂寿命模型寿命预计曲线，如图 5-37 所示，图表左下角的矩形区域以图形方式显示了此项目的所需可靠性目标，其顶部由所需的故障概率限制，而右侧则由所需的使用寿命限制。如果曲线停留在最高线以下，直到使用寿命，则表明电路板可以达到其目标。在这种情况下，电路板在生命周期中定义的焊点热疲劳将无法达到其可靠性目标。

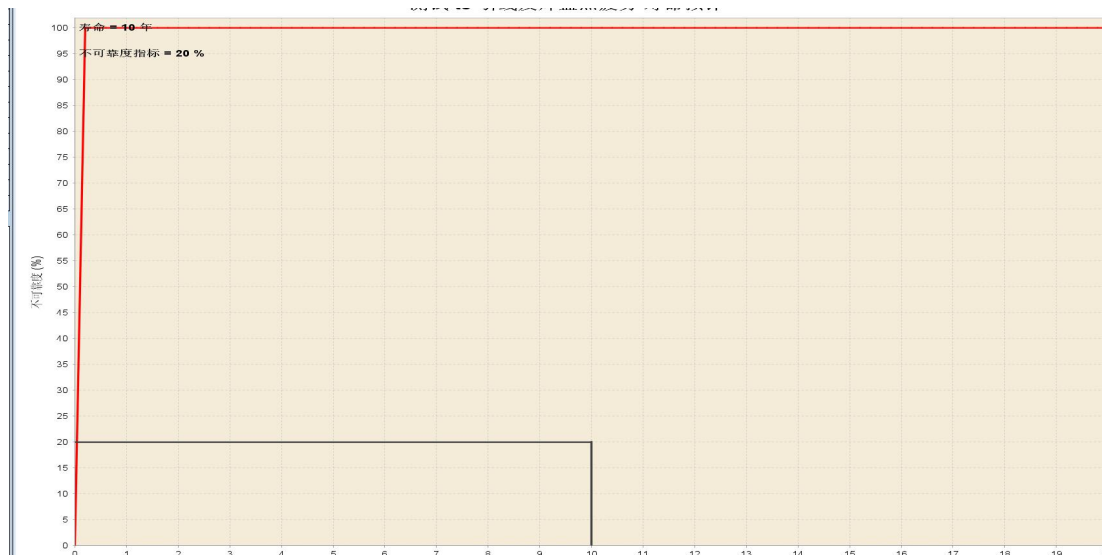


图 5-37 芯片与连接界面疲劳断裂寿命模型寿命预计曲线

点击失效时间，显现芯片与连接界面疲劳断裂寿命模型元器件失效时间分布，如图 5-38 所示。

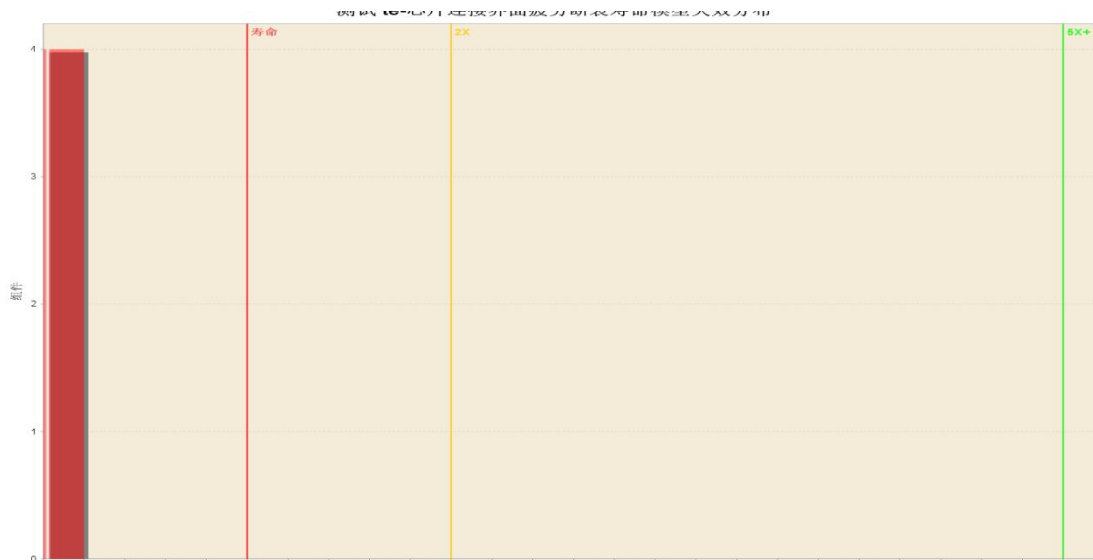


图 5-38 芯片与连接界面疲劳断裂寿命模型元器件失效时间分布

6. 故障物理模型计算

6.1. 镀通孔疲劳

点击“镀通孔疲劳”，系统弹出镀通孔疲劳界面。用户根据提示输入“孔的属性”、“板的属性”、“温度载荷谱”信息，可进行对镀通孔疲劳的计算，如图 6-1 所示。



图 6-1 镀通孔疲劳

6.2. 焊点热疲劳

点击“焊点热疲劳”，系统弹出焊点热疲劳界面。用户根据提示输入“焊点属性”、“板的属性”、“温度载荷谱”等信息，可进行对焊点疲劳的计算，如图 6-2 所示。



图 6-2 焊点热疲劳

6.3. 焊点 Darvraux

点击“焊点 Darvraux”，系统弹出焊点 Darvraux 界面。用户根据提示输入“焊球的属性”、“仿真的属性”、“温度载荷谱”等信息，可进行对焊点 Darvraux 的计算，如图 6-3 所示。



图 6-3 焊点 Darvraux

6.4. 焊点振动疲劳

点击“焊点振动疲劳”，系统弹出焊点振动疲劳界面。用户根据提示输入“焊点属性”、“模型算法”、“封装的属性”、“仿真的属性”等信息，可进行对焊点振动疲劳失效循环次数计算，如图 6-4 所示。

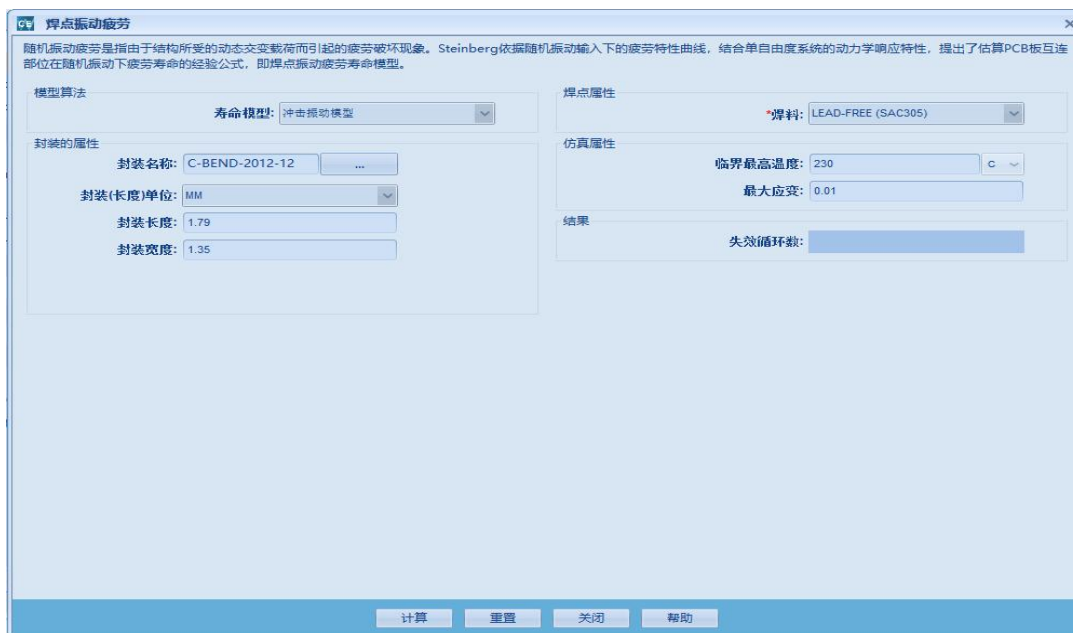


图 6-4 焊点振动疲劳

6.5. 芯片断裂

点击“芯片断裂”，系统弹出芯片断裂计算界面。用户根据提示选择“模型算法”、“基板的属性”、“芯片粘连层属性”、“芯片属性”“仿真的属性”等信息，可对芯片断裂疲劳寿命进行计算，如图 6-5 所示。

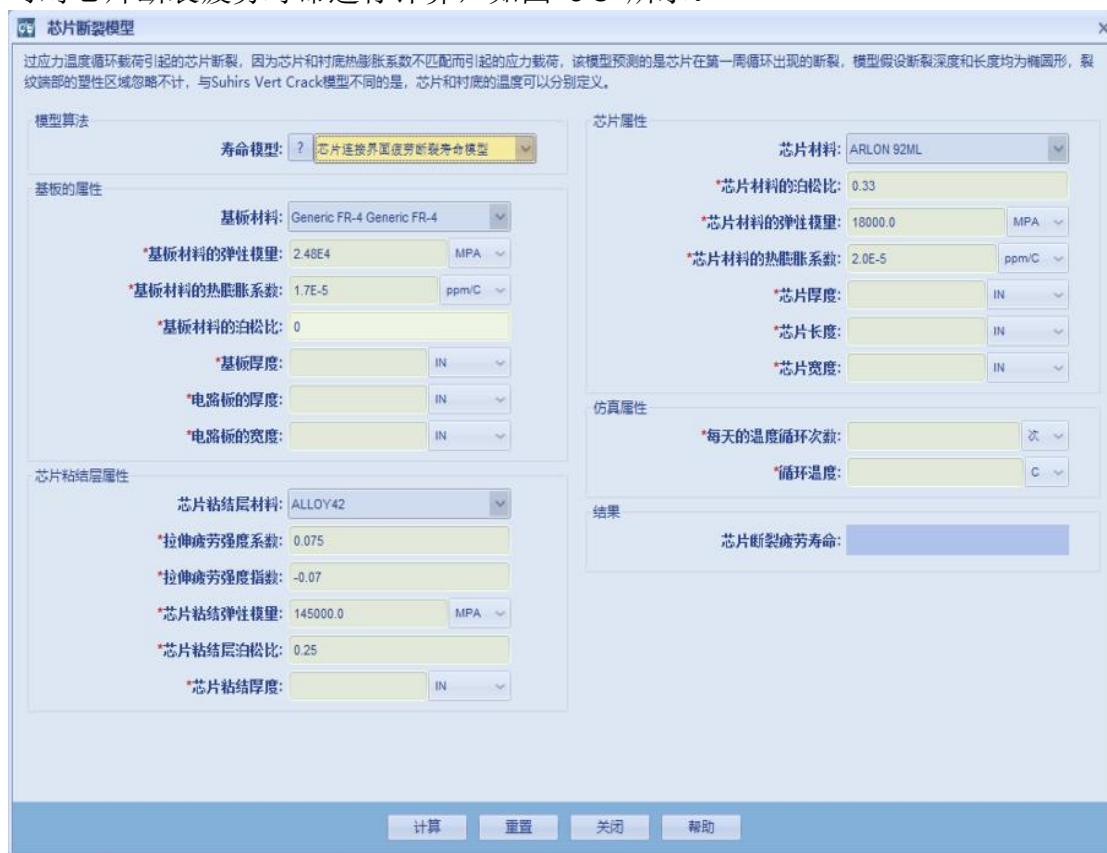


图 6-5 芯片断裂模型

6.6. 芯片电迁移

点击“芯片电迁移”，系统弹出芯片金属化电迁移界面。用户根据提示选择“模型算法”、“芯片的属性”等信息，可对芯片金属化电迁移进行平均失效前时间计算，如图 6-6 所示。

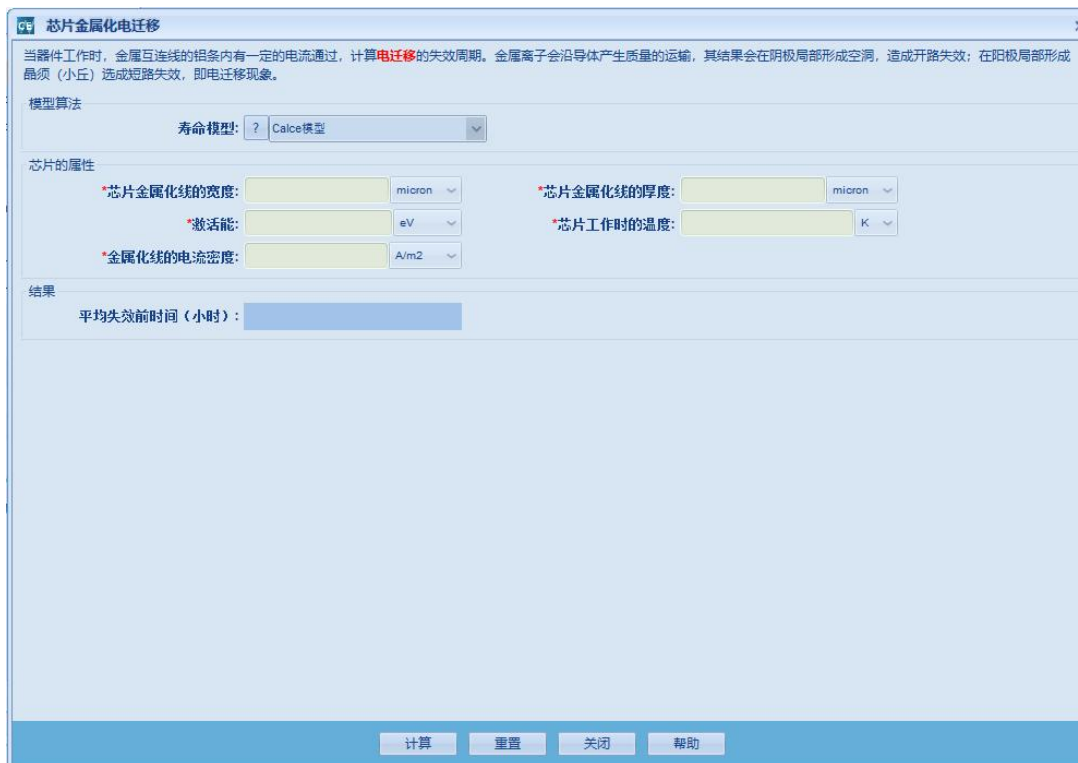


图 6-6 芯片金属化电迁移

6.7. 热载流子

点击“热载流子”，系统弹出热载流子界面。用户根据提示选择“模型算法”、“热载流子的属性”等信息，可对热载流子进行平均失效前时间计算，如图 6-7 所示。



图 6-7 热载流子

6.8. 栅氧化层击穿

点击“栅氧化层击穿”，系统弹出栅氧化层介质击穿界面。用户根据提示选择“模型算法”、“栅氧化层介质击穿的属性”等信息，可对栅氧化层击穿进行平均失效前时间计算，如图 6-8 所示。

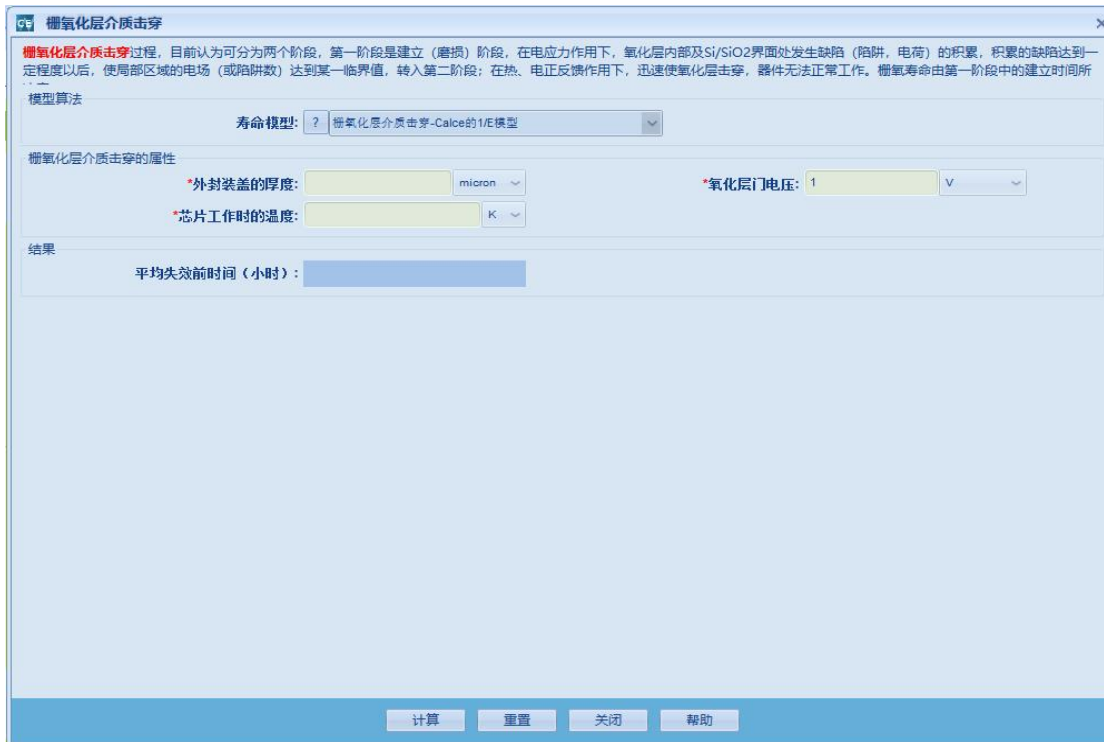


图 6-8 栅氧化层击穿

6.9. 孔洞扩散生长

点击“孔洞扩散生长”，系统弹出孔洞扩散生长界面。用户根据提示选择“模型算法”、“应力导致的孔洞扩散生长的属性”等信息，可对孔洞扩散生长进行平均失效前时间计算，如图 6-9 所示。

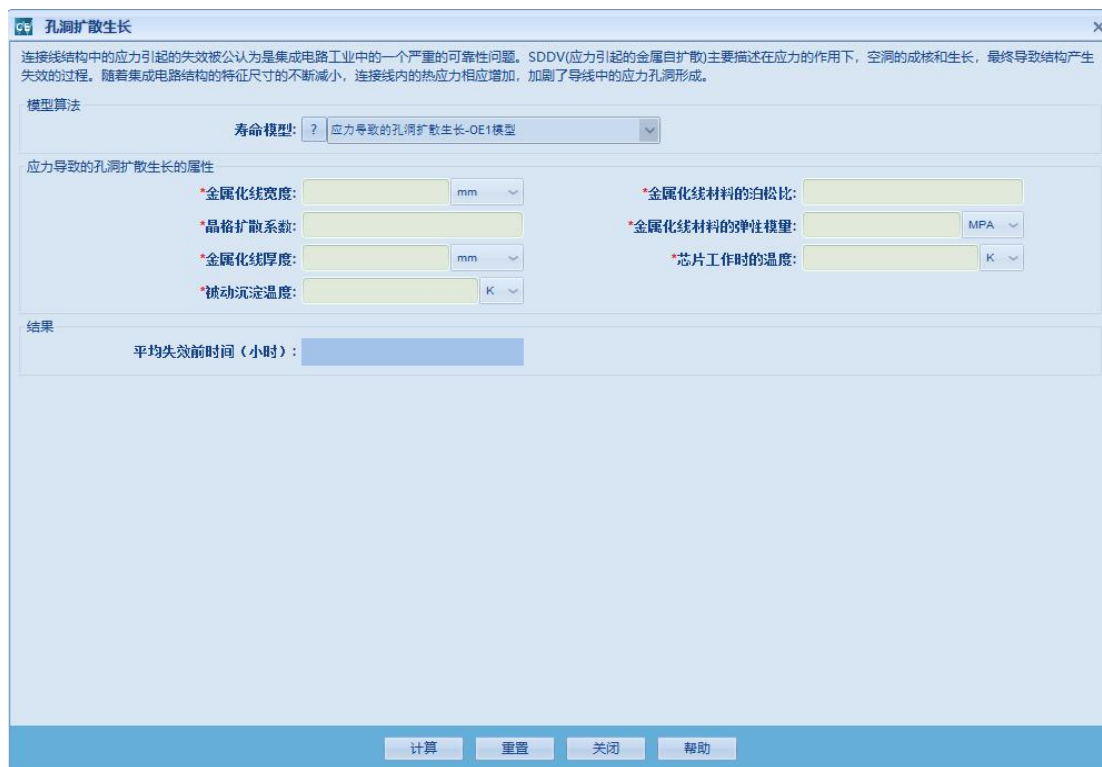


图 6-9 孔洞扩散生长

6.10. 静电放电

点击“静电放电”，系统弹出静电放电界面。用户根据提示选择“模型算法”、“静电放电的属性”等信息，可对静电放电进行平均失效前时间计算，如图 6-10 所示。



图 6-10 静电放电

6.11. 双极管晶体

点击“双极晶体管”，系统弹出双极晶体管界面。用户根据提示选择“模型算法”、“双极晶体管的属性”等信息，可对双极晶体管进行晶体管集电极电流计算，如图 6-11 所示。

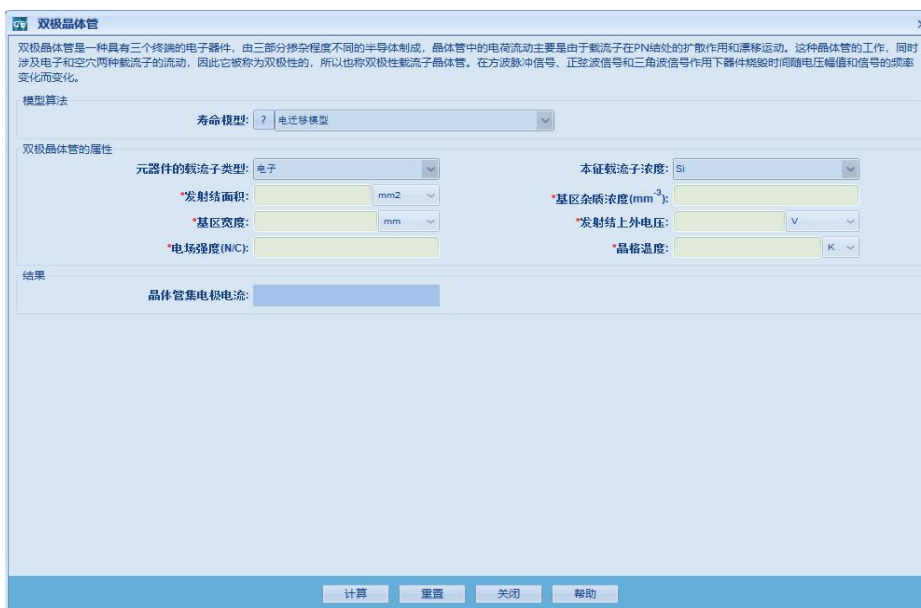


图 6-11 双极晶体管

6.12. 阳极空穴注入

点击“阳极空穴注入”，系统弹出阳极空穴注入界面。用户根据提示选择“模型算法”、“强电磁脉冲导致的阳极空穴的属性”等信息，可对阳极空穴注入进行 MOSFET 的击穿前时间计算，如图 6-12 所示。

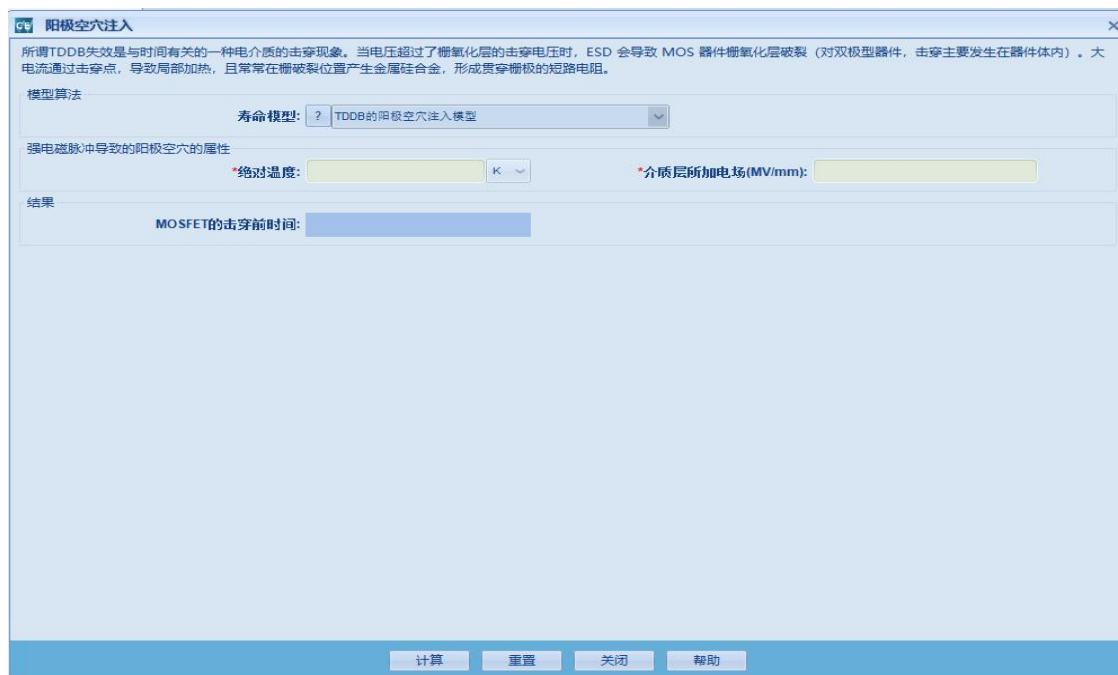


图 6-12 阳极空穴注入

6.13. 腐蚀寿命

点击“腐蚀寿命”，系统弹出腐蚀寿命界面。用户根据提示选择“模型算法”、“腐蚀寿命模型的属性”等信息，可对腐蚀寿命进行疲劳寿命计算，如图 6-13 所示。

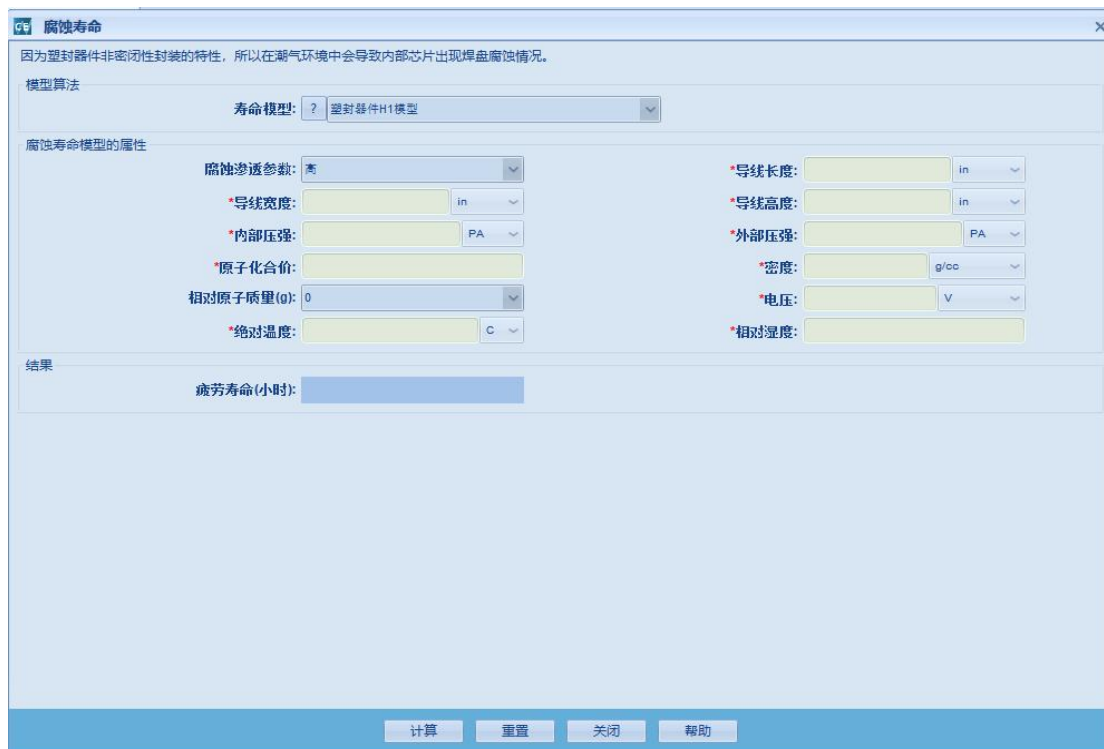


图 6-13 腐蚀寿命

6.14. 枝晶生长

点击“枝晶生长”，系统弹出枝晶生长界面。用户根据提示选择“模型算法”、“枝晶生长的属性”等信息，可对枝晶生长进行寿命计算，如图 6-14 所示。

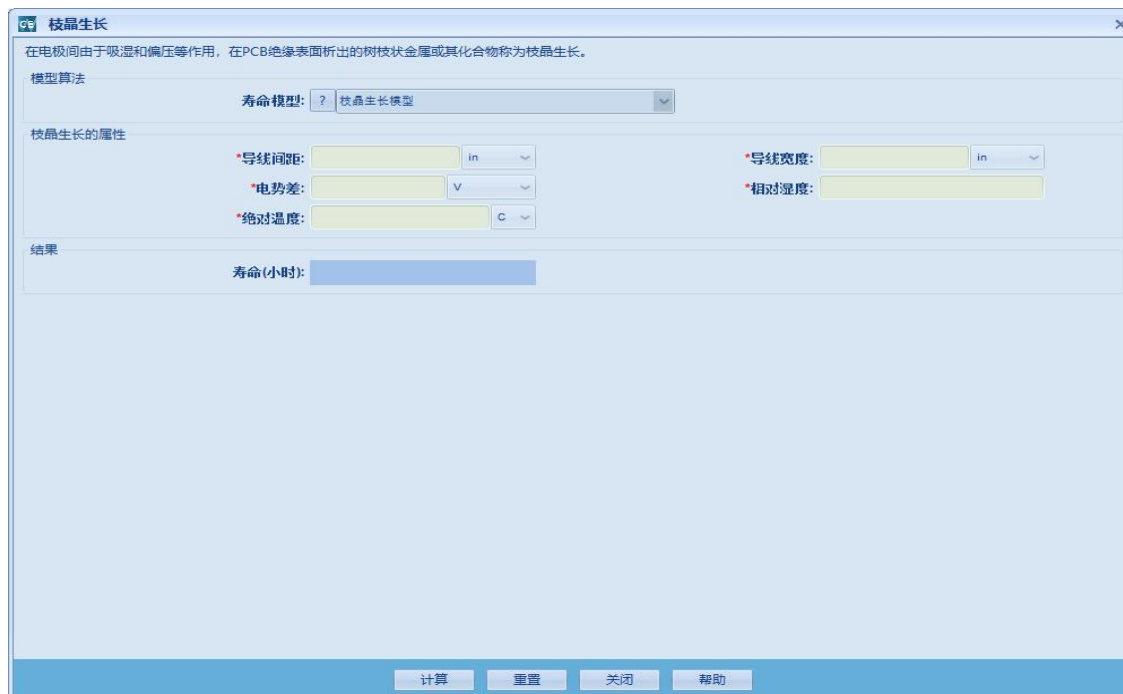


图 6-14 枝晶生长

6.15. 导电阳极丝

点击“导电阳极丝”，系统弹出导电阳极丝界面。用户根据提示选择“模型算法”、“导电阳极丝的属性”等信息，可对导电阳极丝进行平均寿命计算，如图 6-15 所示。

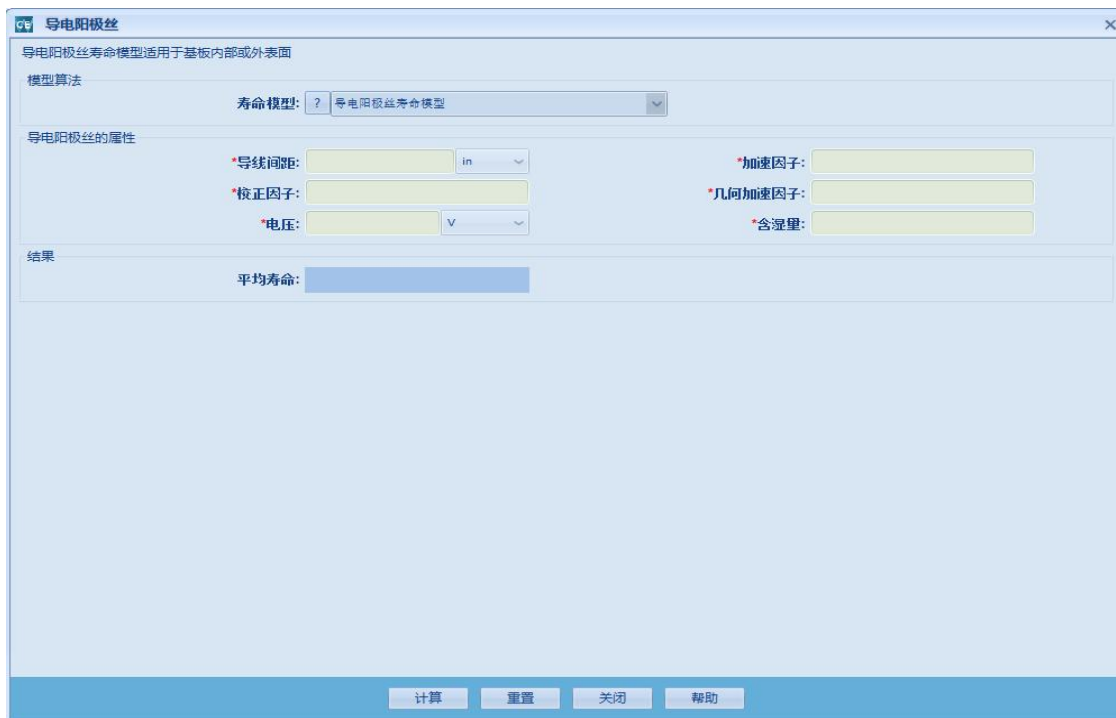


图 6-15 导电阳极丝

6.16. 金属间化合物

点击“金属间化合物”，系统弹出金属间化合物界面。用户根据提示选择“模型算法”、“金属间化合物的属性”等信息，可对金属间化合物进行寿命计算，如图 6-16 所示。

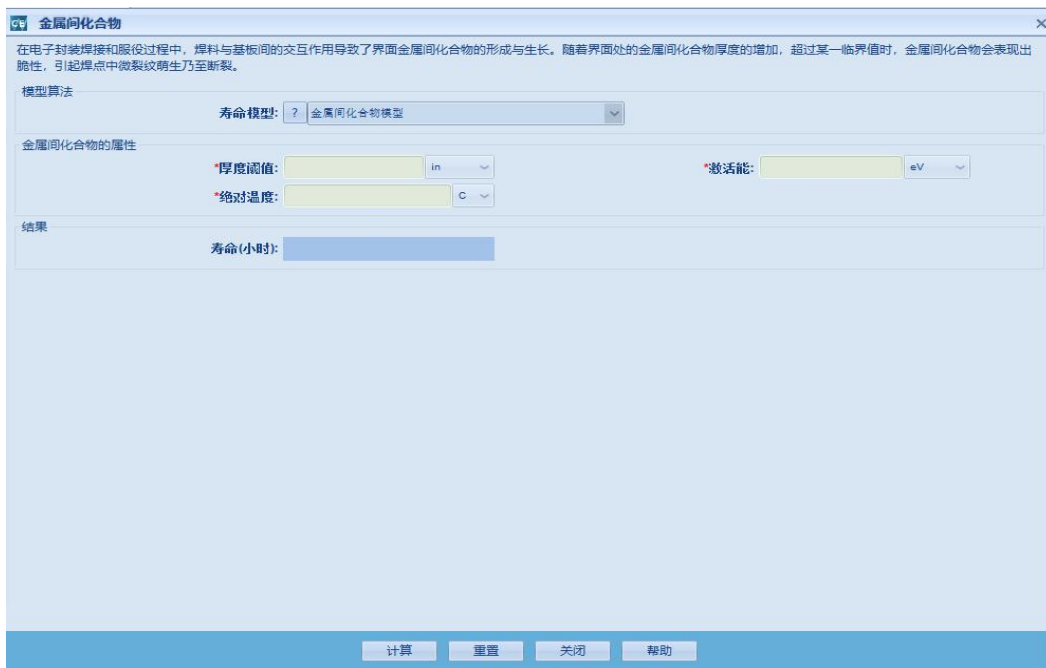


图 6-16 金属间化合物

6.17. 陶瓷电容器

点击“陶瓷电容器”，系统弹出陶瓷电容器绝缘电阻退化界面。用户根据提示选择“模型算法”、“陶瓷电容器的属性”等信息，可对进行电容寿命计算，如图 6-17 所示。

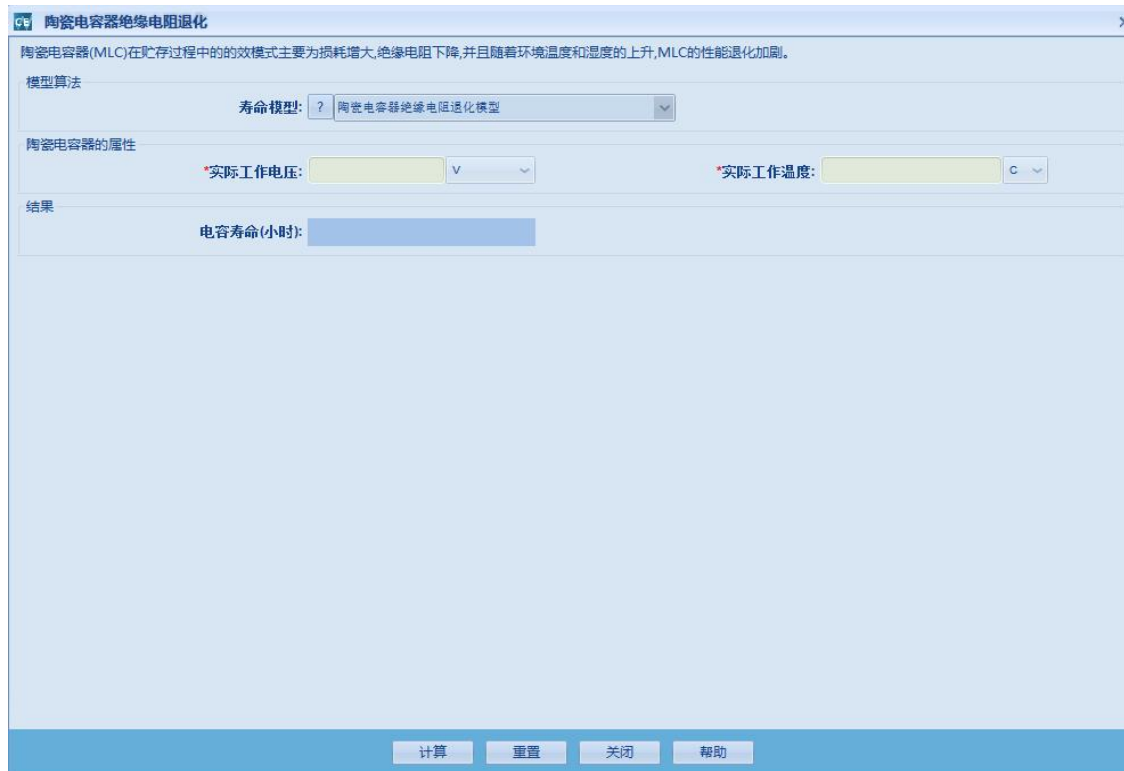


图 6-17 陶瓷电容器

7. 确信可靠度评估

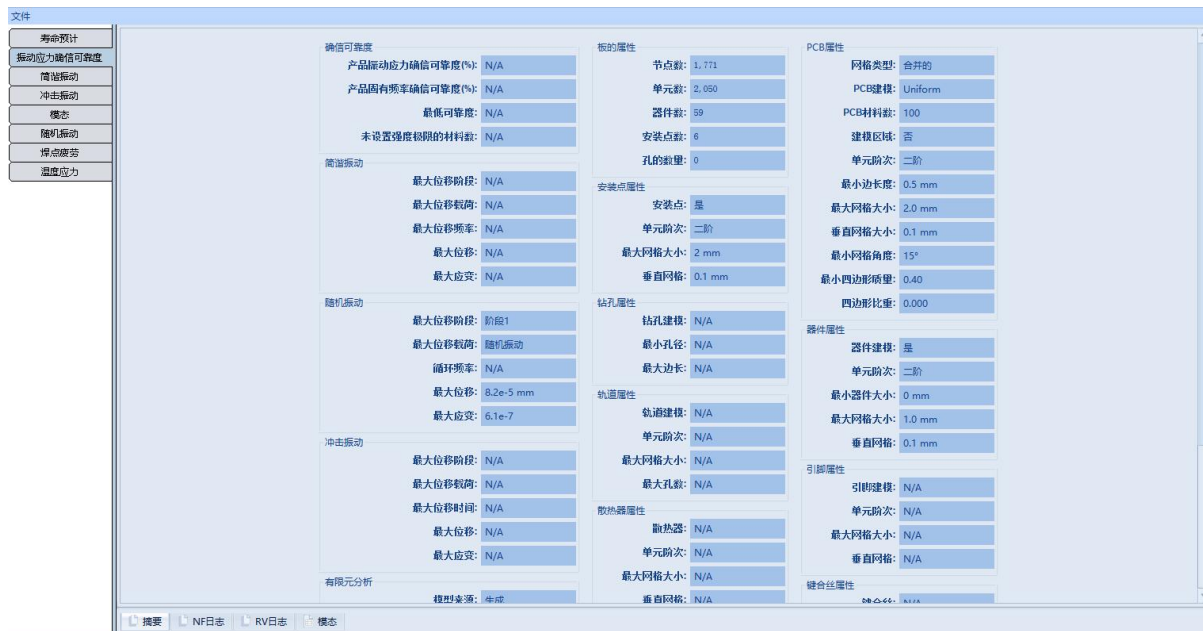
7.1. 振动确信可靠度评估

右键单击项目树中的“振动应力确信可靠度”树节点，然后从弹出菜单中选择“编辑属性”或者“运行分析任务”选项，弹出振动应力确信可靠度属性对话框，如图 7-1 所示



图 7-1 振动确信可靠性度分析属性编辑框

运算成功后，点击查看结果，弹出振动确信可靠度结果，如图 7-2 所示。



器件ID	封装	器件类型	面	材料	重量	焊料	额定应力	最大位移	封装最大应力	焊料最大应力	封装可靠度(%)	焊料可靠度(%)	器件可靠度(%)
T1	TP_OBLL_4X0_6	贴片器	正面	FERRITE	1.44E-2	SAC305	阶段1-正弦振动	1.8E-5	5.8E-3	2.6E-3	-1.0	100.0	-1.0
T1	TP_OBLL_4X0_6	贴片器	正面	FERRITE	1.44E-2	SAC305	阶段1-随机振动	1.0E-4	1.8E-2	8.1E-3	-1.0	100.0	-1.0
T1	TP_OBLL_4X0_6	贴片器	正面	FERRITE	1.44E-2	SAC305	阶段1-冲击振动	1.6E-3	5.4E-1	2.4E-1	-1.0	100.0	-1.0
T2	TP_OBLL_4X0_6	贴片器	正面	FERRITE	1.44E-2	SAC305	阶段1-正弦振动	2.0E-4	1.6E-2	7.1E-3	-1.0	100.0	-1.0
T2	TP_OBLL_4X0_6	贴片器	正面	FERRITE	1.44E-2	SAC305	阶段1-随机振动	2.4E-3	4.3E-1	1.9E-1	-1.0	100.0	-1.0
T2	TP_OBLL_4X0_6	贴片器	正面	FERRITE	1.44E-2	SAC305	阶段1-冲击振动	1.4E-2	1.1E0	4.8E-1	-1.0	100.0	-1.0
T3	TP_OBLL_4X0_6	贴片器	正面	FERRITE	1.44E-2	SAC305	阶段1-正弦振动	9.5E-5	4.7E-2	2.1E-2	-1.0	100.0	-1.0
T3	TP_OBLL_4X0_6	贴片器	正面	FERRITE	1.44E-2	SAC305	阶段1-随机振动	7.2E-4	3.8E-1	1.7E-1	-1.0	100.0	-1.0
T3	TP_OBLL_4X0_6	贴片器	正面	FERRITE	1.44E-2	SAC305	阶段1-冲击振动	6.5E-3	3.4E0	1.5E0	-1.0	100.0	-1.0
T4	TP_OBLL_4X0_6	贴片器	正面	FERRITE	1.44E-2	SAC305	阶段1-正弦振动	3.1E-5	1.8E-2	7.8E-3	-1.0	100.0	-1.0
T4	TP_OBLL_4X0_6	贴片器	正面	FERRITE	1.44E-2	SAC305	阶段1-随机振动	1.4E-4	1.4E-1	6.1E-2	-1.0	100.0	-1.0
T4	TP_OBLL_4X0_6	贴片器	正面	FERRITE	1.44E-2	SAC305	阶段1-冲击振动	2.5E-3	1.3E0	5.8E-1	-1.0	100.0	-1.0
R1	R0402	电阻	正面	EPOXYENCAPSULANT	1.86E-3	SAC305	阶段1-正弦振动	1.0E-5	1.9E-3	6.5E-3	100.0	100.0	100.0
R1	R0402	电阻	正面	EPOXYENCAPSULANT	1.86E-3	SAC305	阶段1-随机振动	8.0E-5	9.5E-3	3.3E-2	100.0	100.0	100.0
R1	R0402	电阻	正面	EPOXYENCAPSULANT	1.86E-3	SAC305	阶段1-冲击振动	9.1E-4	1.7E-1	5.7E-1	100.0	100.0	100.0
R2	R0402	电阻	正面	EPOXYENCAPSULANT	1.86E-3	SAC305	阶段1-正弦振动	2.3E-5	5.3E-4	1.8E-3	100.0	100.0	100.0
R2	R0402	电阻	正面	EPOXYENCAPSULANT	1.86E-3	SAC305	阶段1-随机振动	3.6E-4	9.1E-3	3.1E-2	100.0	100.0	100.0
R2	R0402	电阻	正面	EPOXYENCAPSULANT	1.86E-3	SAC305	阶段1-冲击振动	2.0E-3	3.3E-2	1.1E-1	100.0	100.0	100.0
R3	R0402	电阻	正面	EPOXYENCAPSULANT	1.86E-3	SAC305	阶段1-正弦振动	2.7E-5	7.4E-4	2.5E-3	100.0	100.0	100.0
R3	R0402	电阻	正面	EPOXYENCAPSULANT	1.86E-3	SAC305	阶段1-随机振动	4.1E-4	9.4E-3	3.2E-2	100.0	100.0	100.0
R3	R0402	电阻	正面	EPOXYENCAPSULANT	1.86E-3	SAC305	阶段1-冲击振动	2.4E-3	5.4E-2	1.8E-1	100.0	100.0	100.0
C11	C0402	电容器	正面	EPOXYENCAPSULANT	4.72E-4	SAC305	阶段1-正弦振动	4.0E-5	1.3E-3	4.4E-3	100.0	100.0	100.0
C11	C0402	电容器	正面	EPOXYENCAPSULANT	4.72E-4	SAC305	阶段1-随机振动	5.6E-4	1.0E-2	3.5E-2	100.0	100.0	100.0
C11	C0402	电容器	正面	EPOXYENCAPSULANT	4.72E-4	SAC305	阶段1-冲击振动	3.8E-3	1.2E-1	4.0E-1	100.0	100.0	100.0
R4	R0402	电阻	正面	EPOXYENCAPSULANT	1.86E-3	SAC305	阶段1-正弦振动	4.8E-5	2.4E-3	8.1E-3	100.0	100.0	100.0
R4	R0402	电阻	正面	EPOXYENCAPSULANT	1.86E-3	SAC305	阶段1-随机振动	6.6E-4	4.7E-2	1.6E-1	100.0	100.0	100.0
R4	R0402	电阻	正面	EPOXYENCAPSULANT	1.86E-3	SAC305	阶段1-冲击振动	4.0E-3	1.7E-1	5.7E-1	100.0	100.0	100.0
C10	C0805	电容器	正面	EPOXYENCAPSULANT	5.90E-3	SAC305	阶段1-正弦振动	5.4E-5	1.5E-3	5.0E-3	100.0	100.0	100.0
C10	C0805	电容器	正面	EPOXYENCAPSULANT	5.90E-3	SAC305	阶段1-随机振动	6.8E-4	3.1E-2	1.1E-1	100.0	100.0	100.0
C10	C0805	电容器	正面	EPOXYENCAPSULANT	5.90E-3	SAC305	阶段1-冲击振动	4.1E-3	9.7E-2	3.3E-1	100.0	100.0	100.0
R5	R0402	电阻	正面	EPOXYENCAPSULANT	1.86E-3	SAC305	阶段1-正弦振动	4.3E-5	3.1E-3	1.0E-2	100.0	100.0	100.0
R5	R0402	电阻	正面	EPOXYENCAPSULANT	1.86E-3	SAC305	阶段1-随机振动	6.2E-4	6.8E-2	2.3E-1	100.0	100.0	100.0
R5	R0402	电阻	正面	EPOXYENCAPSULANT	1.86E-3	SAC305	阶段1-冲击振动	3.5E-3	2.4E-1	8.3E-1	100.0	100.0	100.0
C13	C0402	电容器	正面	EPOXYENCAPSULANT	4.72E-4	SAC305	阶段1-正弦振动	4.3E-5	2.0E-3	7.0E-3	100.0	100.0	100.0
C13	C0402	电容器	正面	EPOXYENCAPSULANT	4.72E-4	SAC305	阶段1-随机振动	6.5E-4	2.8E-2	9.5E-2	100.0	100.0	100.0
C13	C0402	电容器	正面	EPOXYENCAPSULANT	4.72E-4	SAC305	阶段1-冲击振动	3.9E-3	1.8E-1	6.1E-1	100.0	100.0	100.0

图 7-2 振动确信可靠度摘要

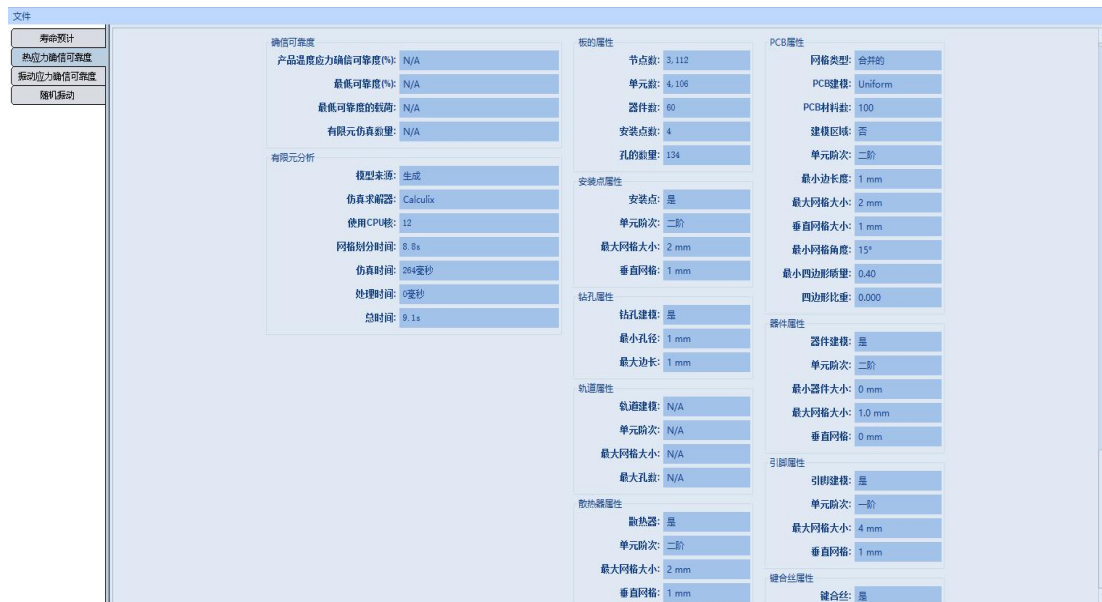
7.2. 热确信可靠度评估

右键单击项目树中的“热应力确信可靠度”树节点，然后从弹出菜单中选择“编辑属性”或者“运行分析任务”选项，弹出热应力确信可靠度属性对话框，如图 7-3 所示



图 7-3 热应力确信可靠度分析属性编辑框

运算成功后，点击查看结果，弹出热应力确信可靠度结果，如图 7-4 所示。



器件ID	载荷应力	温度阈值	可靠度(%) ^
R1	温度工况 MAX	70.00	-100.00
R2	温度工况 MAX	70.00	-100.00
R3	温度工况 MAX	70.00	-100.00
C11	温度工况 MAX	70.00	-100.00
R4	温度工况 MAX	70.00	-100.00
C10	温度工况 MAX	70.00	-100.00
R5	温度工况 MAX	70.00	-100.00
C13	温度工况 MAX	70.00	-100.00
R6	温度工况 MAX	70.00	-100.00
C12	温度工况 MAX	70.00	-100.00
R7	温度工况 MAX	70.00	-100.00
C15	温度工况 MAX	70.00	-100.00
R8	温度工况 MAX	70.00	-100.00
C14	温度工况 MAX	70.00	-100.00
J1	温度工况 MAX	70.00	-100.00
R9	温度工况 MAX	70.00	-100.00
C17	温度工况 MAX	70.00	-100.00
J2	温度工况 MAX	70.00	-100.00
C16	温度工况 MAX	70.00	-100.00
J3	温度工况 MAX	70.00	-100.00
C19	温度工况 MAX	70.00	-100.00
J4	温度工况 MAX	70.00	-100.00
C18	温度工况 MAX	70.00	-100.00
J5	温度工况 MAX	70.00	-100.00
S1	温度工况 MAX	70.00	-100.00
C20	温度工况 MAX	70.00	-100.00
C22	温度工况 MAX	70.00	-100.00
C21	温度工况 MAX	70.00	-100.00
C24	温度工况 MAX	70.00	-100.00
C23	温度工况 MAX	70.00	-100.00
C26	温度工况 MAX	70.00	-100.00
C25	温度工况 MAX	70.00	-100.00
C28	温度工况 MAX	70.00	-100.00
C27	温度工况 MAX	70.00	-100.00
C1	温度工况 MAX	70.00	-100.00
C2	温度工况 MAX	70.00	-100.00

图 7-4 热应力确信可靠度摘要

8. 报告

在“报告”上点击右键，在菜单里点击“生成报告”，软件会自动生成该工程的评估报告，用户可自主选择报告里的主要内容，如图 8-1、8-2 所示。

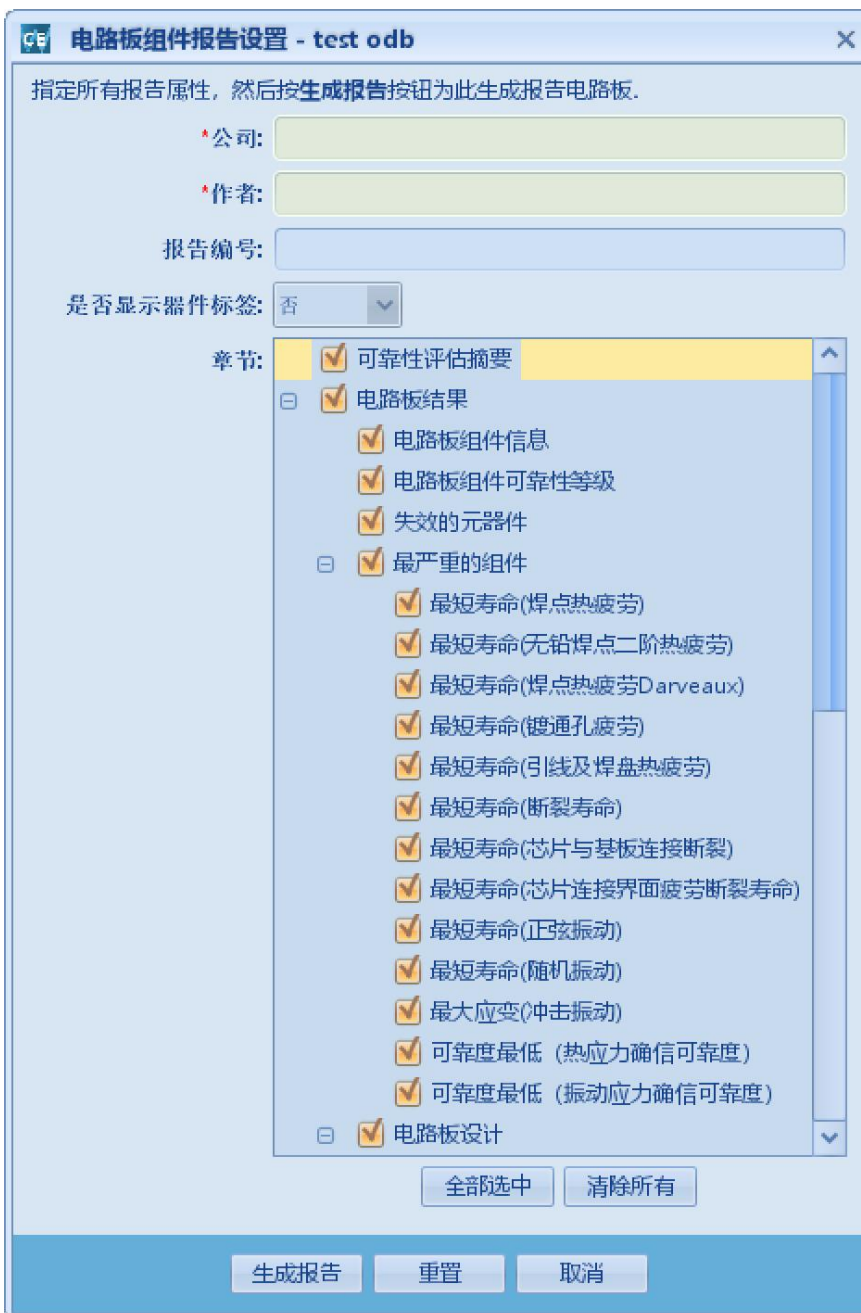


图 8-1 报告设置

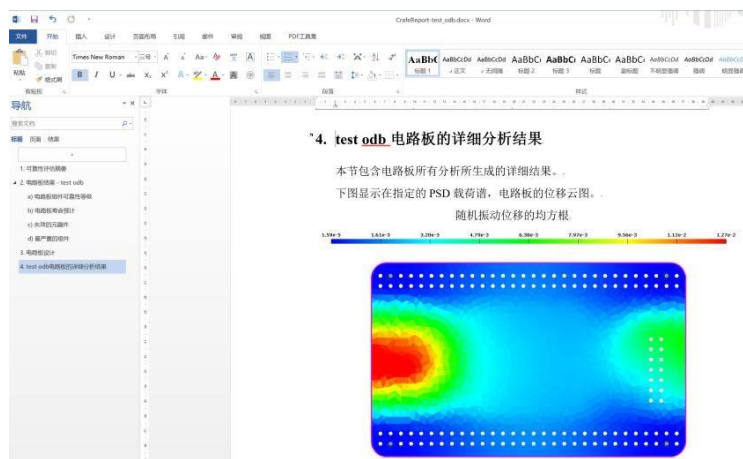


图 8-2 报告