

基于 ABAQUS 的钢板直焊耦合及材性敏感度  
前处理系统 V1.0  
-使用说明

# 目录

<b>1 简介 .....</b>	<b>3</b>
1.1 编写目的.....	3
1.2 适用人群.....	3
<b>2 产品概述.....</b>	<b>4</b>
2.1 运行环境.....	4
2.1.1 操作系统、硬件、依赖库等要求.....	4
2.1.2 支持版本.....	4
2.1.3 单位要求.....	4
2.2 主要功能.....	4
2.2.1 直接耦合 Coupled temp-displacement.....	4
2.2.2 顺序耦合的温度场 Heat transfer.....	5
<b>3 使用说明.....</b>	<b>5</b>
3.1 安装部署.....	5
3.2 用户操作说明.....	6
3.2.1 Part 模块 .....	6
3.2.2 Property 模块.....	7
3.2.3 Mesh 模块.....	8
3.2.4 Step 模块 .....	8
3.2.5 Interaction 模块 .....	10
3.2.6 Load 模块 .....	11

## 1 简介

### 1.1 编写目的

钢结构在现代建筑领域中具有举足轻重的地位。焊接作为钢结构制造的关键工艺，其质量直接影响结构的整体性能和安全性。焊接过程中产生的热输入会导致材料局部加热和冷却，继而引发残余应力和变形等问题。因此，准确模拟焊接过程中的热传递和应力分布，对优化工艺参数、预测焊接缺陷以及提高结构可靠性至关重要。

有限元分析（FEA）方法被广泛应用于焊接仿真领域，以研究焊接过程中的热-机械行为。Abaqus 作为一款功能强大的通用有限元软件，在焊接仿真方面展现出独特优势。在 Abaqus 中，焊接仿真主要采用两种方法：直接耦合和顺序耦合。直接耦合方法同时求解热和结构行为，而顺序耦合方法则首先进行热分析，然后将结果作为输入进行结构分析。然而，在科研工作中我们需要频繁进行焊接仿真时，这两种建模方法都涉及大量重复操作，既耗时又容易出错。

为了解决这一问题，开发了‘基于 Abaqus 的钢板直焊耦合及材性敏感度前处理系统’。该插件通过自定义参数的 GUI 系统，简化了模型的创建过程，减少了重复性操作，从而显著节省了仿真的前处理时间。此外，在不确定哪些参数对焊接仿真结果敏感度更高的情况下，用户可以通过修改该系统中的自定义输入的参数信息反复研究材料参数的敏感性，从而提高仿真的准确性和可靠性。

### 1.2 适用人群

本软件适用于各类从事钢结构焊接仿真的专业人士，包括但不限于以下领域：

土木工程：研究建筑结构中钢构件的焊接性能和安全性。

机械工程：分析机械设备和组件的焊接工艺及其对性能的影响。

材料科学与工程：探索不同材料在焊接过程中的行为和特性。

船舶与海洋工程：评估船体和海洋结构物的焊接质量和耐久性。

航空航天工程：优化航空器结构的焊接接头设计和制造工艺。

汽车工程：改进车辆钢结构部件的焊接技术和质量控制。

核工程：确保核设施中钢结构焊接的完整性和安全性。

此外，任何涉及钢结构焊接仿真的研究人员和工程师，无论其专业背景如何，都可以利用本软件提高工作效率，深化对焊接过程的理解。

2 产品概述

2.1 运行环境

2.1.1 操作系统、硬件、依赖库等要求

1) 操作系统

Windows: Windows7 及以上;

Linux: Red Hat Enterprise Linux6、7; SuSE Linux Enterprise Server11、12

2) 硬件

处理器: x86-64 架构的 Intel 或 AMD 处理器;

内存: 至少 8GBRAM;

磁盘空间: 至少 50GB 可用空间;

3) 依赖库

Windows: 需要 Microsoft Visual Studio 和 Intel Visual Fortran, 不同版本的 abaqus 适配对应版本的 Microsoft VisualS tudio 和 Fortran;

Linux: 需要 GCC 编译器和相关运行时库。

2.1.2 支持版本

支持 abaqus16 及以上。

2.1.3 单位要求

本系统参数单位采用国际单位制 SI(mm), 与 SI 单位制换算关系见表 2-1-1 单位换算表。

表 2-1-1 单位换算表

	SI	SI (mm)	转换系数
长度	m	mm	$10^3$
质量	kg	Ton	$10^{-3}$
时间	s	s	1
力	N	N	1
应力	Pa	MPa	$10^{-6}$
能量	J	mJ	$10^3$
密度	kg/m <sup>3</sup>	ton/mm <sup>3</sup>	$10^{-12}$
比热	J/(kg*k)	mJ/(ton*K)	$10^6$
潜热	J/kg	mJ/ton	$10^6$
热膨胀系数	1/K	1/K	1
热传导率	W/(m*K)	W/(m*K)	1

2.2 主要功能

2.2.1 直接耦合 Coupled temp-displacement

**适用情况：**当你希望在同一分析步骤中同时计算温度场和由热引起的变形(包括应力场)时，应选择这个步骤。这是焊接仿真中最常用的步骤，能够考虑温度和位移的耦合效应。

**步骤描述：**该步骤适用于热-力耦合的仿真，ABAQUS 会同时求解温度和位移(包括由温度引起的应力)。这是焊接模拟中的标准步骤，适用于模拟焊接过程中温度变化及其对材料的影响。

**用途：**用于焊接仿真中的热-力耦合问题，考虑热传导、热应力和焊接过程中的变形。

### 2.2.2 顺序耦合的温度场 Heat transfer

**适用情况：**如果你只关心焊接过程中温度场的变化(不考虑应力和变形)，可以选择 HeatTransfer 步骤。

**步骤描述：**该步骤用于仅计算温度场，而不涉及力学行为。它适用于你只想了解焊接过程中的热源分布和温度变化时的情况。

**用途：**当你只需要模拟温度场，并且不关注由温度引起的变形和应力时使用。

此外，我们在对模拟结果与实际实验结果不匹配的情况下，可通过此系统进行快速参数修改，分析各个参数的敏感性。

## 3 使用说明

### 3.1 安装部署

1) 确保你的电脑安装了 Abaqus CAE，如图 3-1-1。



图 3-1-1

2) 在任务栏里输入 ‘%USERPROFILE%\abaqus\_plugins’ 可到达 abaqus 的 abaqus\_plugins 文件夹，此文件夹专门用于存放二次开发一类的插件，将压缩包里的 ‘PlateWelding’ 文件夹解压到此 abaqus\_plugins 文件夹中如图 3-1-2。



图 3-1-2 路径图

3) 以管理员身份启动 Abaqus CAE，在任务栏里点击 Plug-ins，即可调用插件名为 3D\_Plate\_welding\_Tool 的焊接模拟插件如图 3-1-3。

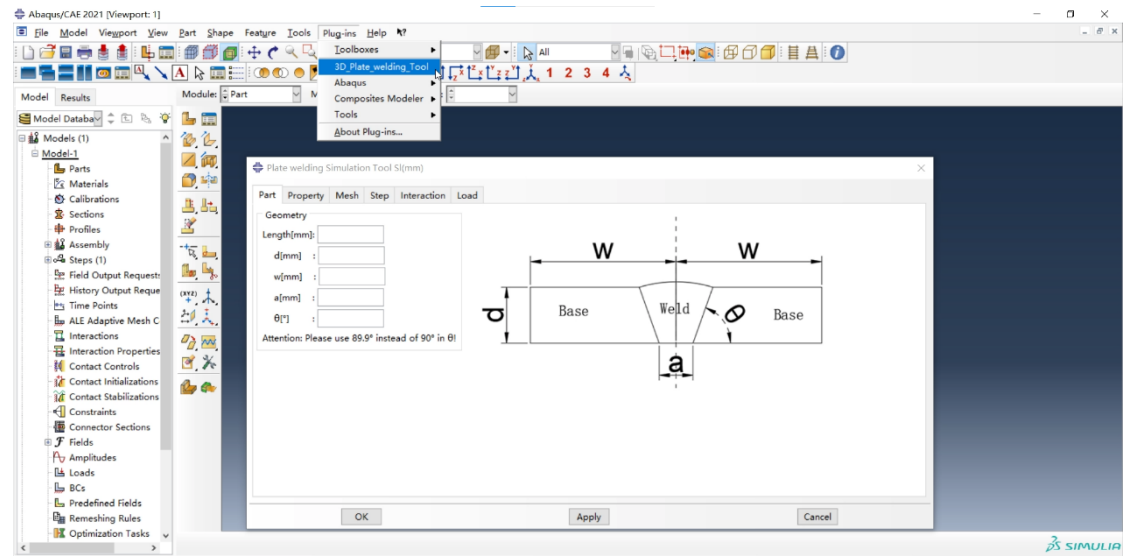


图 3-1-3

3.2 用户操作说明

3.2.1 Part 模块

本模块设置钢板母材和焊缝的几何尺寸，需要注意的是母材是两块长方体钢板；焊缝的形状通过角度  $\theta$  进行控制，如图 3-2-1。

Length 指钢板（母材 Base）的长度；d 指钢板的高度；w 指钢板的宽度加焊缝（Weld）宽度的一半；a 指焊缝宽度； $\theta$  为大于零小于 90 的角度，如图 3-2-1。

当焊缝为正方形时，a 按实际取值， $\theta$  输入 89.9 代替 90 度；当焊缝为梯形时，a 为短边， $\theta$  按实际取值；当焊缝为三截形时，a 取值为零， $\theta$  按实际取值。

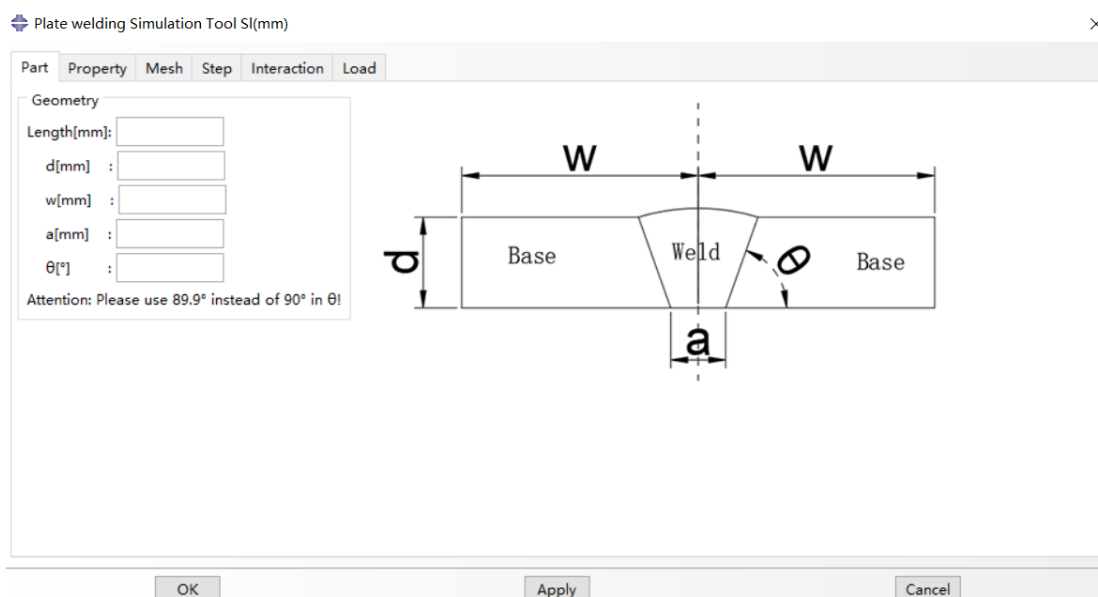


图 3-2-1 Part 任务

### 3.2.2 Property 模块

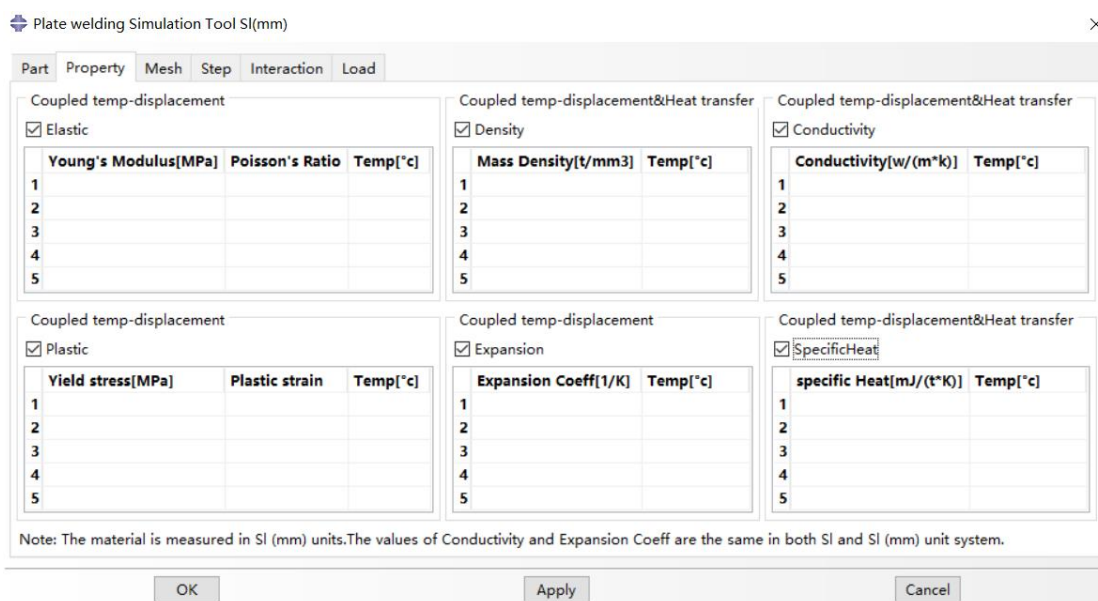


图 3-2-2 Property 任务

本模块对于模拟焊接过程中的热-机械行为至关重要，定义母材及焊缝的材料属性，包括：密度、弹性、塑性、热膨胀、比热、传导，直接影响仿真的精度和可靠性，如图 3-2-2。

1) 当我们进行直接耦合 Coupled temp-displacement 勾选:

弹性 Elastic: 杨氏模量、泊松比、温度;

密度 Density: 密度、温度;

传导率 Conductivity: 导热系数、温度;

塑性 Plastic: 屈服强度、塑性应变、温度:

- 膨胀 Expansion: 热膨胀系数、温度;
  - 比热 SpecificHeat: 比热容、温度。
- 2) 当我们进行顺序耦合 Heat transfer 勾选:
- 密度 Density: 密度、温度;
  - 传导率 Conductivity: 导热系数、温度;
  - 比热 SpecificHeat: 比热容、温度。

3. 2. 3 Mesh 模块

本模块通过数值设置对已建好的模型进行边布种，进行网格划分，目的是确保仿真精度和收敛性，能有效捕捉焊接过程中的热传递和应力分布等关键现象，如图 3-2-3。

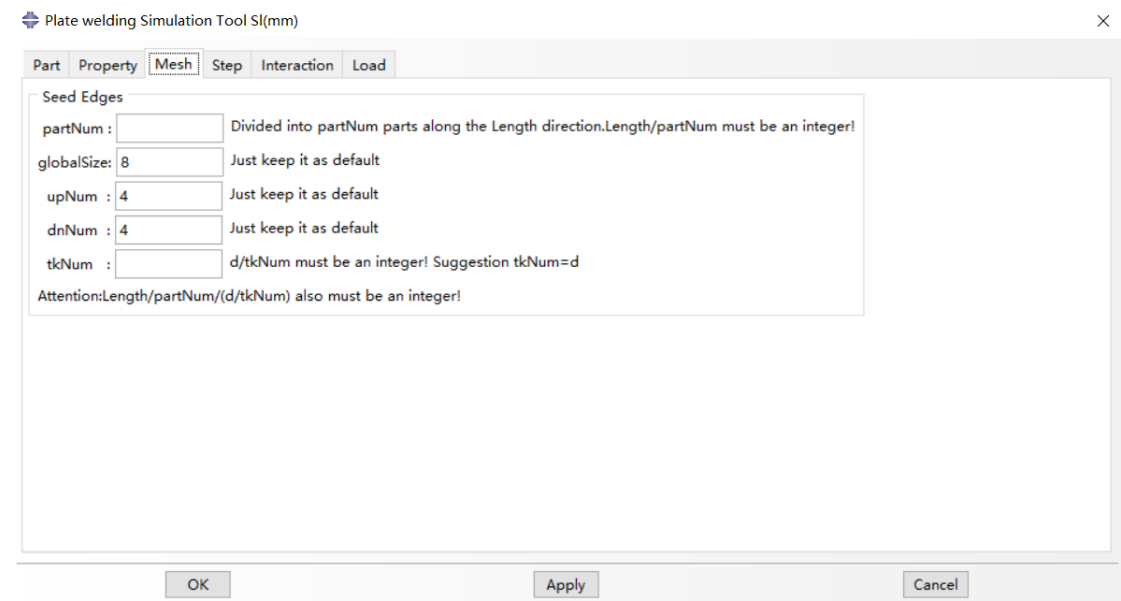


图 3-2-3 Mesh 任务

partNum: 建完模型后对焊缝部分进行生死单元设置，沿焊缝 Length（长度）方向均等分为 partNum 份，因此 Length/partNum 必须为整数。

globalSize、upNum、dnNum 保持默认数值即可。

tkNum: 沿焊缝 d(高度)方向均等分为 tkNum 份，因此 d/tkNum 必须为整数。

特别的，由于进行网格划分代码编写时的原因，Length/partNum/(d/tkNum) 也必须为整数。

3. 2. 4 Step 模块

在 Abaqus 中，分析步（Step）的时间设置在焊接仿真中至关重要，直接影响求解过程的收敛性和结果的准确性。合理的时间步长设



置有助于捕捉温度梯度和应力变化，确保仿真结果的可靠性，如图 3-2-4。

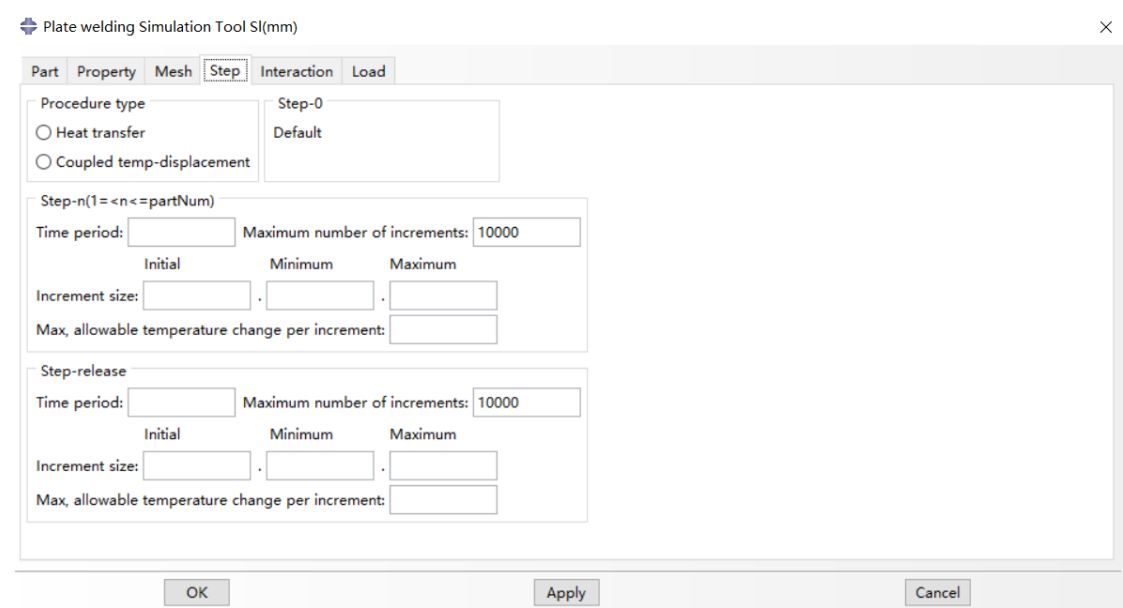


图 3-2-4 Step 任务

1) Procedure type

**Heat transfer:** 当我们进行顺序耦合仅求解温度场时，勾选此单选框。

**Coupled temp-displacement:** 当我们需要进行直接耦合焊接分析，考虑温度场下应力应变实时效应的时候，勾选此单选框。

2) 当我们进行分析步 Step 设置时，分为三部分，第一部分是在极短的时间内杀死焊缝单元的杀死焊缝分析步；第二部分是按照之前均等分为 partNum 份，将这些份一份份的重新激活的激活分析步；第三部分是高温之后要对整体模型进行冷却的冷却分析步。

a) Step-0 杀死焊缝分析步

直接耦合与顺序耦合的杀死焊缝分析步相同，因此采用代码内置的默认设置。

b) Step-n (1 ≤ n ≤ partNum) 激活分析步

**Time period:** 激活步的每一步持续的时间。

**Maximum number of increments:** 最大增量步。Abaqus 求解会自动调整时间增量 Increment 以确保计算的收敛性，此参数限制了整个分析过程中最多能使用的增量次数。通常为 10000 默认即可。

**Increment size:** 增量步时间。包括 initial 初始增量、Minimum 最小增量、Maximum 最大增量、Max, allowable temperature change per increment 每步允许的最大温度变化。

c) Step-release 冷却分析步

Time period:冷却步的持续时间。其余意义同激活分析步。  
3) 给出各项的默认数值及参数计算公式以供参考，见表 3-2-1

表 3-2-1 参考表

	Step-n	Step-release
Time period	Length/partNum/welding	按实际取值
Maximum number of increments	10000	10000
initial	Length/partNum/welding*0.005	Length/partNum/welding*0.005
Minimum	Length/partNum/welding*1e-8	Time period（冷却步的持续时间）*1e-8
Maximum	Length/partNum/welding*0.03	Length/partNum/welding*0.2
Max, allowable temperature change per increment	2000	2000

3. 2. 5 Interaction 模块

准确模拟焊接过程中的热传递和接触行为，主要定义焊缝区域与母材之间的热传递、接触关系以及相关的物理交互。，如图 3-2-5。

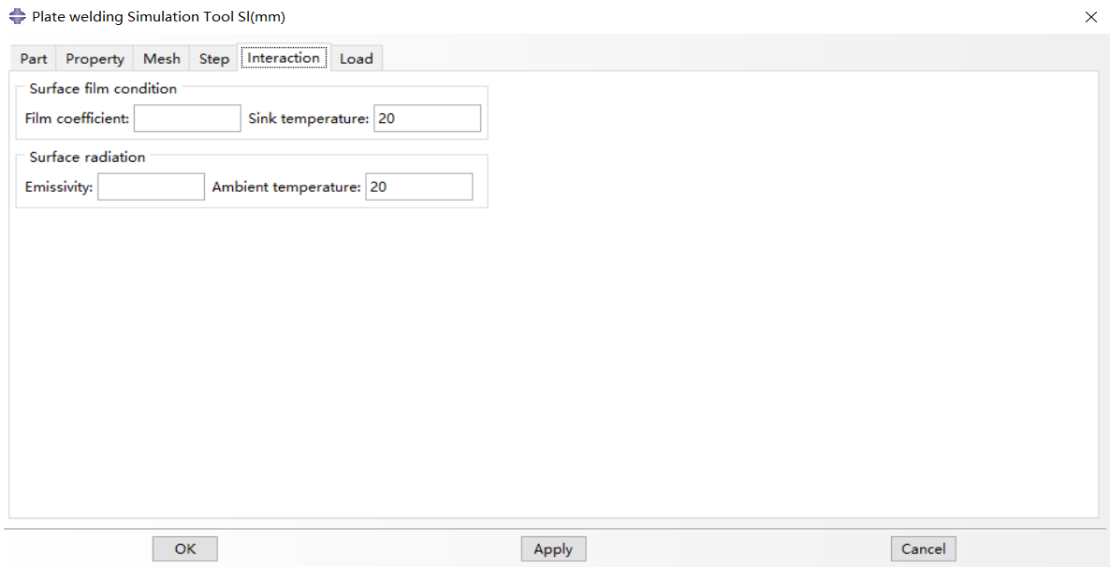


图 3-2-5 Interaction 任务

1) Surface film condition

对母材表面和焊缝表面进行表面热交换条件设置  
Film coefficient:膜层散热系数;  
Sink temperature:环境温度，通常默认设为 20 摄氏度。

2) Surface radiation

对母材表面和焊缝表面进行表面辐射设置  
Emissivity:发射率;  
Ambient temperature:环境温度，通常默认设为 20 摄氏度。

### 3.2.6 Load 模块

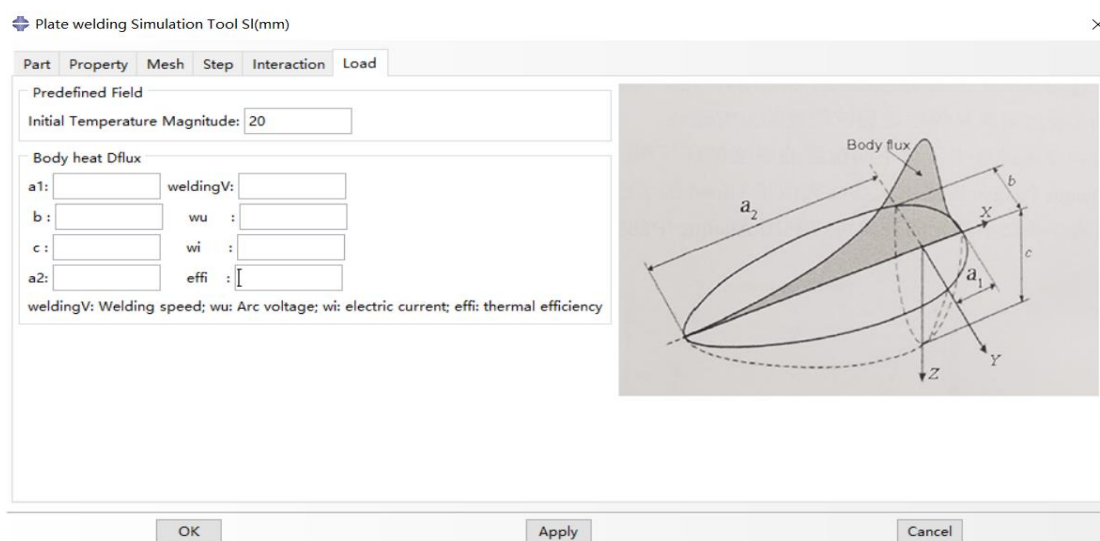


图 3-2-6 Load 任务

#### 1) Predefined Field

**Initial Temperature Magnitude:**我们要选中模型全体进行预定义场温度设置，此温度为开始焊接之前的环境温度，通常默认为室温 20 摄氏度。

#### 2) Body heat Dflux

本系统采用双椭球热源， $a_1$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $a_2$  意义如图 3-2-6

**weldingV:** 焊接速度；**wu:** 焊接电压；**wi:** 焊接电流；**effi:** 热效率