

团 体 标 准

T/CWAN 0149—2025

焊接工艺仿真规范 第1部分：典型部件 焊接仿真（MIG/MAG）

Welding process simulation specification Part 1: welding simulation of typical
components (MIG/MAG)

2025-05-27 发布

2025-07-01 实施

目 次

前言	1
1 范围	2
2 规范性引用文件	2
3 术语和定义	2
4 一般原则	2
5 焊接工艺仿真流程	2
6 前处理	2
7 仿真运行分析	4
8 后处理	4
9 仿真报告	4
附录 A（资料性）焊接工艺仿真总体流程	5
附录 B（资料性）焊接工艺仿真分析报告封面模版	6

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国焊接协会提出并归口。

本文件起草单位：中车青岛四方机车车辆股份有限公司、中国机械总院集团哈尔滨焊接研究所有限公司、包头北方创业有限责任公司、哈尔滨工业大学（威海）、中国科学院金属研究所、哈焊国创（青岛）焊接工程创新中心有限公司、山东光之聚激光科技有限公司、广东省鑫全利激光智能装备有限公司、北部湾大学、南京埃斯顿电气有限公司、广西机电职业技术学院、佛山大学。

本文件主要起草人：吴向阳、雷振、庞建新、方喜凤、马凯、杨海峰、檀财旺、姜建召、阚盈、杜广、黄瑞生、田仁勇、武鹏博、李亚南、张良、邹吉鹏、曹金山、张宇、韩伟、林森、曹浩、汪认、王璐、李海波、黎泉、何志军、冯志强、闫德俊、吴妍。

焊接工艺仿真规范 第1部分：典型部件焊接仿真（MIG/MAG）

1 范围

本文件规定了MIG/MAG焊接工艺仿真的一般原则、焊接工艺仿真流程、前处理、仿真运行分析、后处理、仿真报告输出等要求。

本文件适用于金属构件的MIG/MAG焊接工艺仿真。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 3375 焊接术语

GB/T 26099.1 机械产品三维建模通用规则 第1部分：通用要求

GB/T 39334.1 机械产品制造过程数字化仿真 第1部分：通用要求

GB/T 39334.5 机械产品制造过程数字化仿真 第5部分：典型工艺仿真要求

3 术语和定义

GB/T 3375、GB/T 26099.1及GB/T 39334.1界定的术语和定义适用于本文件。

4 一般原则

- 4.1 有限元模型与零部件实物应保持 1:1 的比例关系，在保证计算精度的前提下，简化三维数字模型。
- 4.2 若零部件实物满足轴对称和镜像对称等分布特点，根据实际情况对有限元模型进行简化，不应存在畸形单元，避免尖锐的单元内角、扭曲等现象。
- 4.3 热源模型应根据不同的焊接方式采用“等效热源法”建立。
- 4.4 焊缝及其周边影响区域应利用细致的网格，划分为体元素网格，离焊缝较远的区域为壳单元网格。
- 4.5 材料属性单位应与工艺模型中加载的材料属性单位一致，输入信息应准确完整。
- 4.6 计算校准应以统一的仿真规则为基础，可综合应用不同软件相互校准计算结果。

5 焊接工艺仿真流程

- 5.1 焊接工艺仿真总体流程可包括前处理、仿真运行分析、后处理、报告输出等环节（见附录A）。
- 5.2 前处理环节应包括有限元模型构建、网格划分、材料属性设置、热源模型建立、边界条件设置。
- 5.3 仿真运行分析应包括宏观模拟、微观及缺陷模拟。
- 5.4 后处理应包括仿真结果的核实、仿真结果可信度验证。
- 5.5 报告输出应包括结果分析。

6 前处理

6.1 有限元模型构建

- 6.1.1 有限元模型的格式应能被所采用的仿真系统识别。
- 6.1.2 有限元模型建立应采用笛卡尔坐标系。
- 6.1.3 有限元模型应准确地表达机械产品结构设计信息。

6.1.4 有限元模型创建完成后，应进行模型检查。

6.2 网格划分

6.2.1 单元类型选择

6.2.1.1 具有很大的刚度且不考虑其强度的结构宜采用零维质量单元。

6.2.1.2 构件一个方向的尺寸远大于其他两个方向的尺寸时，宜采用一维单元；构件两个方向的尺寸远大于另一个方向的尺寸时宜采用二维单元。

6.2.1.3 需考虑板厚度方向剪切变形时应采用厚壳单元，不考虑板厚度方向剪切变形时采用薄壳单元。

6.2.1.4 只考虑强度不考虑弯曲刚度时采用膜单元；仅承受拉压力时采用杆单元，考虑弯曲变形时采用梁单元。

6.2.1.5 不适合采用零维、一维、二维单元的结构采用三维实体单元。

6.2.2 单元阶次选择

6.2.2.1 结构形状不规则、变形和应力分布复杂时宜选用高阶单元。

6.2.2.2 计算精度要求高的区域宜选用高阶单元，精度要求低的可选用低阶单元。

6.2.2.3 不同阶次单元的连接位置应使用过渡单元或多点约束等。

6.2.3 单元尺寸选择

6.2.3.1 计算精度要求低的区域宜采用较大的单元尺寸，计算区域具有非线性特征时宜采用较小的单元尺寸。

6.2.3.2 主要受力方向的单元尺寸小，垂直于该方向的单元尺寸在满足单元质量的情况逐渐放大。

6.2.3.3 应力集中区域或强度关心区域宜进行精细划分，应力梯度较小的区域宜进行粗划分。

6.2.3.4 应对结构突变、曲面曲率变化大、载荷变化大或不同材料连接的部位进行细化。

6.2.3.6 精细划分和粗划分之间宜平滑过渡，避免相邻单元的质量和刚度相差太大。

6.2.4 单元布局选择

6.2.4.1 具有轴对称和镜像对称等特点的结构，其有限元模型单元布局应对称分布。

6.2.4.2 周期划分的结构，其有限元模型单元布局应周期排列。

6.3 材料属性设置

6.3.1 材料属性输入信息应准确完整，能准确表达结构的刚度、质量和阻尼特性。

6.3.2 材料属性应包含热学性能和力学性能。

6.3.3 焊缝和母材材料属性应分别设置。

6.4 热源模型建立

6.4.1 为了在模拟中得到准确的应力场和温度场，应针对不同的焊接方法建立合适的热源模型。在进行焊接热源模型建立过程中应考虑热源加载形式、电弧有效半径、焊接速度、对流系数等因素。

6.4.2 焊接热输入的加载可采用“等效热源法”：首先计算熔池的形状，然后根据熔池的形状将实际供给的热输入导入到焊接结构当中去，用来计算内应力与变形，对移动热源的计算也是如此。

6.4.3 采用不同的热源模型来模拟不同的焊接方法，如双椭球形热源模型主要用来模拟MIG焊、MAG焊、TIG焊等焊接方法，3D锥形高斯热源模型主要用来模拟电子束焊、激光焊等能量密度较大的焊接方法，2D高斯热源模型用来模拟火焰焊等熔深较浅的焊接方法等。

6.5 边界条件设置

模型边界条件要求：

- a) 应与实际生产工艺参数一致；
- b) 应根据结构装配及运动约束关系，确定位移约束条件；
- c) 应优先在节点上施加位移约束；
- d) 应避免结构冗余约束或欠约束；
- e) 集中载荷应根据实际作用点合理地施加在节点上；

f) 面载荷应根据实际作用面合理地施加在面上或转化为分布力施加在节点上。

7 仿真运行分析

7.1 仿真分析内容

仿真分析内容包括但不限于:

- a) 焊件的变形模拟;
- b) 焊接过程的应力模拟;
- c) 焊接缺陷;
- d) 焊缝组织;
- e) 焊接温度场模拟。

7.2 仿真结果核实

进行的温度场计算的网络收敛性判定和模型灵敏性分析,具体要求如下:

a) 网格收敛证明:采用网格加密法,验证网格收敛性。加密后网格数量密度为加密前的1.2倍,采用相同热源模型在两组网格内分别计算,并随机选取两组网格内5组对应点温度进行比较。

b) 如果温度误差小于5%,则认为加密前网格是收敛的,否则对工件网格加密后重新划分,并再次进行网格收敛性验证。

c) 模型灵敏度分析:依次分别改变模型各参数值,改变幅度为10%,评价模型结果在该参数每次发生变化时的变化量,如果结果偏差超过5%,认为该参数对模型影响较大,否则忽略该参数变化对模型的影响。

7.3 仿真结果可信度验证

通过与实验参考量的比较来进行模型的可信度验证,记录瞬态变形并进行残余应力测量,参考量包括:

- a) 必选项:熔合线比对、余高、盲孔法测残余应力;
- b) 可选项:焊接热循环曲线、残余变形检测。

8 后处理

8.1 沿焊缝中心线或热影响区提取温度、应力、应变等参数。

8.2 分析关键位置(如焊缝起点、终点、熔合线)的数值变化。

8.3 统计最大温度、最大应力、最大变形量及其位置,识别潜在危险区域(如应力集中区)。

8.4 数据动画、云图或曲线等形式给出。

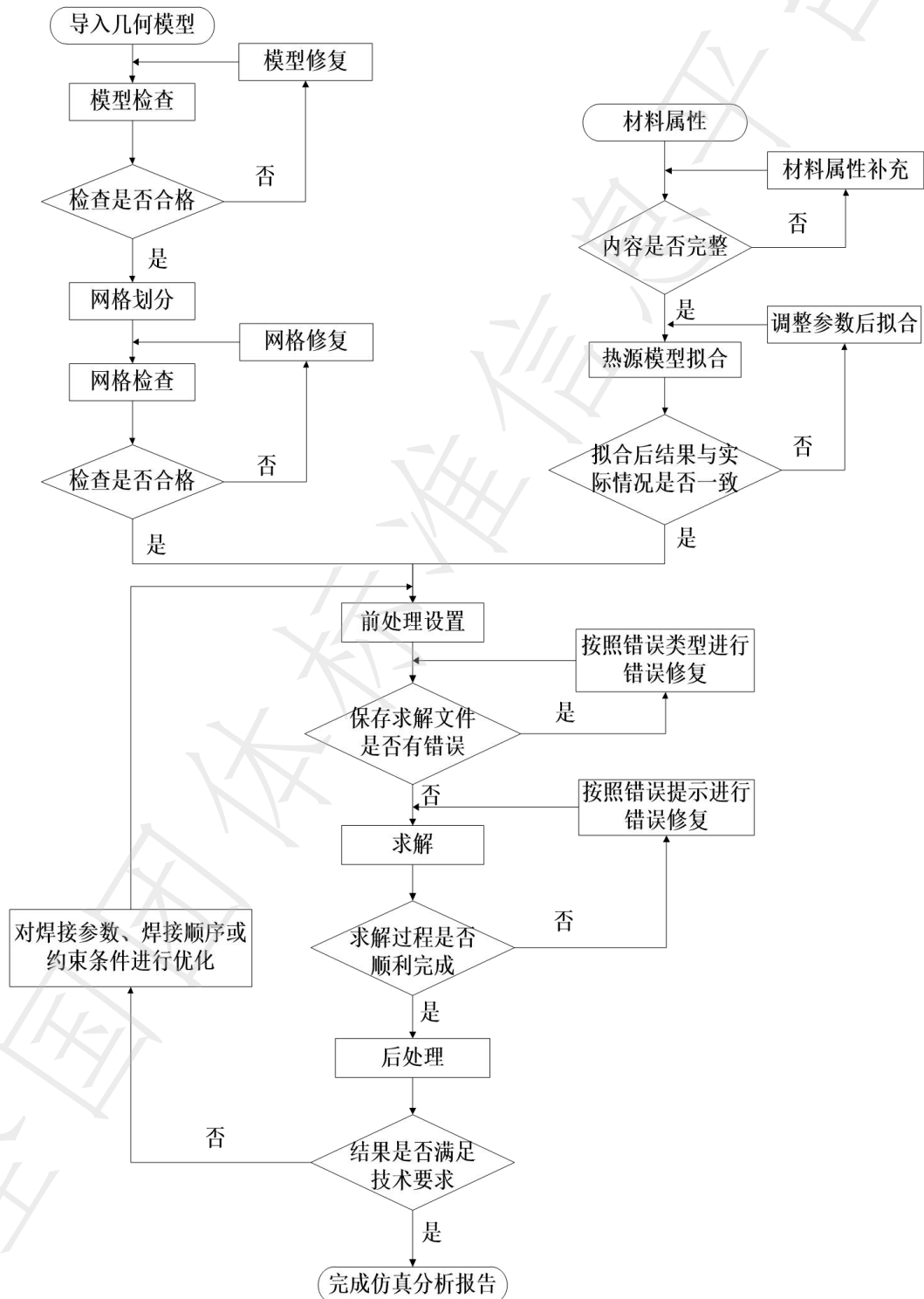
9 仿真报告

仿真结束应形成仿真报告,报告封面模板参见附录B,完成仿真报告,仿真报告应包含以下信息:

- a) 模拟对象;
- b) 模拟目标;
- c) 物理和数学模型;
- d) 解决方法及应用软件;
- e) 结果总结。

附录A
(资料性)
焊接工艺仿真总体流程

焊接工艺仿真总体流程如图A.1所示。



图A.1 焊接工艺仿真总体流程

附录 B
(资料性)

焊接工艺仿真分析报告封面模板

焊接工艺仿真分析报告封面模板如表 B.1 所示

表 B.1 焊接工艺仿真分析报告封面模板

部门: (计算部门)	(文档名称)	版本: 1.0 日期: 2020-01-01 页码: 1/1
简短说明		
模拟对象:		
<p>包含要模拟的部件或整个结构、使用的基本和附加材料、焊接工艺和参数、使用的焊接顺序和夹紧条件等的确切描述。可选添加照片或绘图形式的补充图示。</p> <p>Eg: 在钨阴极和冷却铜阳极之间具有不同的保护气体和电流强度的 TIG 电弧焊。</p>		
模拟的目标:		
<p>在此确定由真实任务产生的期望模拟结果。其中也可以定义多个结果为目标。其中一些可能的示例有评估热影响区的性质、计算焊接变形、计算焊接残余应力或计算气体扩散。此外,应补充说明更高级别的目标,预期的模拟结果可继续用于该目标,例如减少必要的矫直工作或优化焊接参数。</p>		
物理和数学模型:		
<p>根据所需的模型复杂性,以下物理效应和影响变量可能相关,例如:通过热传导、对流和辐射的传热;通过扩散和对流进行的质量传导;材料变化如结构转变、沉淀、晶粒尺寸增长和硬度;弹性、塑性、蠕变、热膨胀、转化塑性、变态延伸、伸展速率等力学特性。为此,可以使用文字、图形、表格或公式进行描述。对存在的实际边界条件,特别是初始温度、环境温度、夹紧条件等,进行有效描述。描述在模拟目标设定过程中已经变得必要的并且已经在这里选择的简化和假设。</p>		
解决方法和使用的软件产品:		
有限体积法 (FVM) / XXXXXX		
结果总结:		
<p>借助电弧模拟,确定电弧特性对保护气体(氩气、氦气、氢气)成分的依赖性,并得出电弧对工件表面的影响(能量输入和电弧压力)。已经发现氦对电弧压力有特别影响和氢气对能量输入有特别影响。</p>		
确保模拟结果的措施总结:		
	备注/理由	
已核实 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	电弧形状以及等离子体温度和流速最大值的比较	
已校准 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	调整下降区域接口常数	
已验证 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	与空间分辨的电弧压力测量和总热量输入的测量进行比较	
编制:	校对:	审核: 批准: