

电机绝缘系统热应力仿真分析技术规范

Technical specification for thermal-mechanical stress simulation analysis of
motor insulation system

2025 - 05 - 07 发布

2025 - 08 - 07 实施

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 仿真分析流程	1
5 一般要求	1
6 热应力仿真	2
7 报告编写	5
附录 A（规范性） 电机绝缘系统热应力仿真分析流程	6
附录 B（资料性） 电机绝缘系统热应力仿真分析报告格式	7

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。

本文件由山西省工业和信息化厅提出、组织实施和监督检查。

山西省市场监督管理局对本文件的组织实施情况进行监督检查。

本文件由山西省装备制造业和智能制造标准化技术委员会（SXS/TC07）归口。

本文件起草单位：中车永济电机有限公司、太原理工大学电气与动力工程学院、西安交通大学、中车大同电力机车有限公司、山西省高质量转型发展研究院。

本标准主要起草人：李丹、庞聪、张晓强、刘冠芳、贾岑、宗振龙、杨帆、马涛、白崑儒、于森林、刘学忠、熊喆、刘海龙、牛玉龙、李斌寅、张伟。

电机绝缘系统热应力仿真分析技术规范

1 范围

本文件规定了电机绝缘系统热应力仿真分析的要求、流程、热应力仿真及报告编写。

本文件适用于成型绕组电机绝缘系统由于温度变化产生的热机械应力（以下简称“热应力”）的仿真分析。

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 3100 国际单位制及其应用

GB/T 3101 有关量、单位和符号的一般原则

GB/T 31054 机械产品计算机辅助工程 有限元数值计算 术语

GB/T 33582—2017 机械产品结构有限元力学分析通用规则

DB 14/T 3028 电机绝缘系统电场仿真分析技术规范

3 术语和定义

GB/T 31054、GB/T 33582—2017、DB 14/T 3028界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

整体预仿真 overall pre-simulation

建立电机铁心和绕组模型（不含匝间绝缘），通过仿真分析出绝缘系统最大热应力值的线圈位置。

3.2

局部模型仿真 local model simulation

建立绝缘系统最大热应力位置的局部模型，仿真分析出绝缘系统最大热应力值。

4 仿真分析流程

电机绝缘系统热应力仿真分析以温度场分析结果作为输入载荷，包括整体预仿真与局部模型仿真。整体预仿真与局部模型仿真包含有限元建模、热应力计算、结果评估和结果输出。通过整体预仿真确定绝缘最大热应力线圈位置，以该处最大热应力线圈进行局部模型建模，分析出绝缘系统最大热应力值。具体计算流程见附录A。

5 一般要求

5.1 基本计量单位应符合 GB 3100、GB/T 3101 的规定，热应力模型单位应与温度场模型单位一致。

5.2 模型尺寸绝对精度不低于 0.001 mm。

5.3 热应力计算模型的坐标系和坐标应与温度场计算模型一致。

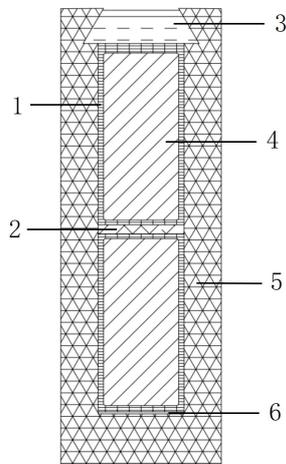
6 热应力仿真

6.1 整体预仿真

6.1.1 几何模型构建

模型构建应满足以下要求：

- a) 几何模型采用 1:1 建模；
- b) 模型应至少包含铁心、主绝缘、导体、槽楔、层间垫条、槽底垫条；
- c) 槽内间隙按照绝缘漆填充处理；
- d) 将多匝导体结构按体积等效原则构建成等效导体（见图 1）。



说明：

- 1—主绝缘；
- 2—层间垫条；
- 3—槽楔；
- 4—等效导体；
- 5—铁心；
- 6—槽底垫条。

图 1 线圈一体结构剖面示意图

6.1.2 网格划分

网格优先选用带中间节点的四面体单元，其他单元类型根据实际情况自行选择，质量应符合表1要求。

表 1 网格质量要求

名称	要求
翘曲度	< 30°
长宽比	< 5
偏斜度	< 50°

表1 网格质量要求（续）

名称			要求
雅可比			> 0.7
最小与最大内角	三角形	最小	20°
		最大	120°
	四边形	最小	45°
		最大	135°

6.1.3 材料性能设置

热应力材料性能设置按照GB/T 33582—2017中7.5执行，同时满足以下要求：

- 导体和绝缘材料的热膨胀系数和弹性模量应输入不同温度范围下的相应参数值，其他金属材料宜使用常温下材料性能参数；
- 输入的材料参数温度范围应覆盖温度场分布范围。

6.1.4 边界条件施加

以电机温度场或恒定环境温度为载体，施加的约束应与电机实际安装条件一致。

6.1.5 分析

采用静力学分析，具体要求如下：

- 计算时多采用默认求解设置；
- 在满足收敛性、计算精度和计算机资源的条件下，设置合理的计算时间步长。

6.1.6 结果评估

按照GB/T 33582—2017中9.1表象评估法和数值评估法对计算结果的可靠性进行评估。

6.1.7 结果输出

整体仿真分析结果的提取和输出应包含但不限于以下信息：

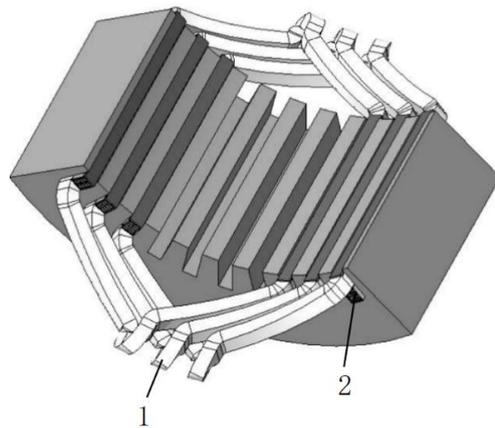
- 电机绝缘系统热应力分布云图，最大热应力；
- 模型切割边界位置的位移场。

6.2 局部模型仿真

6.2.1 几何模型构建

模型构建应满足以下要求：

- 局部模型应至少包含最大热应力位置在内相邻连续的3支完整线圈，中间位置线圈热应力最大，与3支完整线圈相邻的上下层线圈模型只保留直线部分（见图2），应根据线圈内部多匝导体结构1:1建模（见图3）；
- 应保留3支完整线圈所在的铁心部分。



标引序号说明：

1—最大热应力位置线圈；

2—线圈直线部分。

图2 局部模型示意图

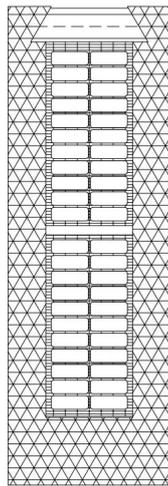


图3 铁心和线圈剖面示例

6.2.2 网格划分

按照6.1.2中规定的执行。

6.2.3 材料性能设置

按照6.1.3中规定的执行。

6.2.4 边界条件施加

边界条件加载应满足以下要求：

- 以电机温度场或恒定环境温度为载体；
- 以整体模型在切割边界位置的位移场作为局部模型边界条件约束。

6.2.5 分析

按照6.1.5中规定的执行。

6.2.6 结果评估

6.2.6.1 表象评估法

通过结果表象进行定性评估，具体原则如下：

- a) 检查模型的收敛性；
- b) 分析应力集中位置的合理性。

6.2.6.2 数值评估法

多次试算调整有限元模型的位移边界和模型参数，数值评估分析结果的可靠性。

6.2.6.3 物理样机法

进行物理样机试验，对比有限元分析结果和试验结果，如偏差较大，以试验结果为依据修正有限元分析模型重新计算后评估。

6.2.7 结果输出

局部模型仿真分析结果应输出不同工况下电机绝缘系统的热应力、应变和变形分布云图，并标记相应的最大热应力、应变和变形位置。

7 报告编写

报告编写可参考附录B，报告内容应包含但不限于以下内容：

- a) 电机型号、电机安装方式、电机绝缘系统组成；
- b) 仿真模型（整体预仿真模型和局部模型）；
- c) 网格划分；
- d) 材料性能（弹性模量、热膨胀系数、密度、泊松比）；
- e) 边界条件；
- f) 仿真结果及分析。

附录 A
(规范性)

电机绝缘系统热应力仿真分析流程

电机绝缘系统热应力仿真分析流程见图A.1。

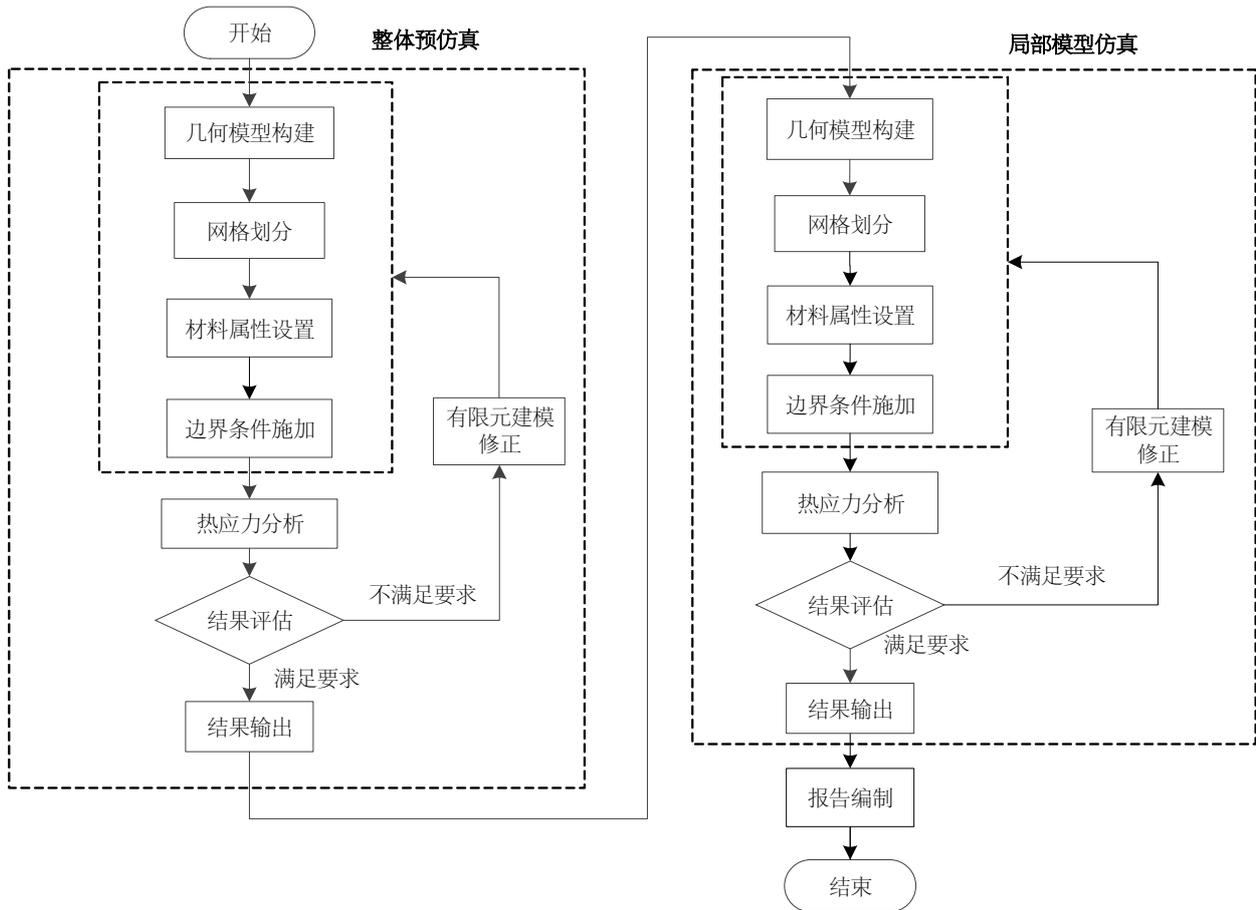


图 A.1 电机绝缘系统热应力仿真分析流程

附录 B (资料性)

电机绝缘系统热应力仿真分析报告格式

B.1 电机参数

电机型号：XXX；
电机安装方式：XXX；
电机绝缘系统组成：XXX。

B.2 热应力仿真分析

B.2.1 仿真软件

说明使用的软件及版本。

B.2.2 整体预仿真

B.2.2.1 几何模型

几何模型图，对于特殊部位的简化处理予以说明。

B.2.2.2 网格划分

网格划分模型，网格数量。

B.2.2.3 材料性能

列举所涉及到的所有材料性能参数表。

B.2.2.4 边界条件加载

明确边界条件。

B.2.2.5 仿真分析结果

整体预仿真分析结果的提取和输出包含但不限于以下信息：

- a) 电机绝缘系统热应力分布云图，标记最大热应力位置；
- b) 电机绝缘系统最大应力位置对应的线圈；
- c) 模型切割边界位置位移。

B.2.3 局部模型仿真

B.2.3.1 几何模型

几何模型图，对于特殊部位的简化处理予以说明。

B.2.3.2 网格划分

网格划分模型，网格数量。

B.2.3.3 材料性能

在整体预仿真基础上，若有新增材料，在此予以说明。

B.2.3.4 边界条件施加

明确边界条件。

B.2.3.5 仿真及分析

局部模型仿真分析结果输出不同工况下的电机绝缘系统热应力、应变和变形分布云图，标记相应最大热应力、应变和变形位置，对电机绝缘系统的热应力结果进行分析。
