

T/CANSI

中国船舶工业行业协会团体标准

T/CANSI 196—2025

船舶结构 CAE 软件测试一般要求

General requirements for testing of ship structure CAE software



2025-09-11 发布

2025-10-01 实施

中国船舶工业行业协会 发布



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 缩略语	1
5 一般要求	1
5.1 测试目的	1
5.2 测试类别	2
5.3 测试内容	2
5.4 测试方法	2
5.5 测试过程	2
5.6 测试工具	3
5.7 测试环境	3
5.8 测试文档	3
5.9 测试项和测试用例	3
6 详细要求	4
6.1 测试对象	4
6.2 功能测试	4
6.3 性能测试	8
6.4 接口测试	9
6.5 兼容性测试	9
6.6 易用性测试	10
6.7 可靠性测试	10
6.8 自主可控性测试	11
6.9 信息安全性测试	12
6.10 维护性测试	12
6.11 可移植性测试	13

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。

请注意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。

本文件由中国船舶工业行业协会标准化分会提出。

本文件由中国船舶工业行业协会归口。

本文件起草单位：中国船舶科学研究中心、深海技术科学太湖实验室、工业和信息化部电子第五研究所、中国船级社、中国船舶集团有限公司综合技术经济研究院。

本文件主要起草人：金建海、姜一凡、张浚哲、丁军、林郁、王丽荣、胡欣、孟凡冲、老轶佳、胡杰鑫、王明皓、毛紫浩、裘安、王靖瑶、李倩倩。



船舶结构 CAE 软件测试一般要求

1 范围

本文件规定了船舶结构CAE软件测试的一般要求和详细要求。

本文件适用于船舶结构CAE软件测评机构、研发单位进行的船舶结构CAE软件测试。

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 11457—2006 软件工程术语

GB/T 15532—2016 计算机软件测试规范

GB/T 25000—2021 系统与软件工程 系统与软件质量要求和评价（SQuaRE）

GJB/Z 141—2004 军用软件测试指南

3 术语和定义

GB/T 11457—2006、GB/T 15532—2016、GJB/Z 141—2004、GB/T 25000—2021中界定的术语及定义适用于本文件。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CAE：计算机辅助工程（Computer Aided Engineering）

CAD：计算机辅助设计（Computer Aided Design）

5 一般要求

5.1 测试目的

船舶结构CAE软件的测试目的是：

- 验证软件是否满足项目任务书/合同所规定的软件质量特性要求以及相关标准的要求；
- 为软件产品质量的评价和改进提供依据。

5.2 测试类别

船舶结构CAE软件的测试类别主要包括单元测试、配置项测试和系统测试。测试机构根据委托方的要求组合不同测试类别进行测试。

注：回归测试可出现在任一测试类别中，执行过程一致，可在测试报告中单独列出，本文件不再赘述。

5.3 测试内容

根据GB/T 25000—2021中软件质量特性，结合船舶自主CAE软件实际需求，船舶结构CAE软件的测试内容包括功能测试、性能测试、接口测试、可靠性测试、易用性测试、兼容性测试、自主可控性测试、信息安全性测试、维护性测试、可移植性测试。

5.4 测试方法

5.4.1 船舶结构 CAE 软件的测试方法有静态测试方法、动态测试方法及特殊测试方法：

- a) 静态测试方法包括检查单和静态分析方法，对文档的静态测试宜以检查单的形式进行，而对代码的静态测试宜采用代码审查、代码走查和静态分析，静态分析包括控制流分析、数据流分析、接口分析和表达式分析；
- b) 动态测试方法包括白盒测试方法和黑盒测试方法。黑盒测试方法包括功能分解、边界值分析、判定表、因果图、随机测试、猜错法和正交试验法等；白盒测试方法包括控制流测试(语句覆盖测试、分支覆盖测试、条件覆盖测试、条件组合覆盖测试、路径覆盖测试)、数据流测试、程序变异、程序插桩、域测试和符号求值等；
- c) 特殊测试方法包括用例库测试方法、专家评审方法和对标测试方法。用例库测试方法是将包括工程算例、BenchMark¹⁾算例等可复用的测试用例组织成库，以便于复用和管理；专家评审方法通过组织相关领域的专家使用软件后进行评审；对标测试方法是将软件与行业内认可度及使用率高的商业软件进行对比测试，使用相同的测试用例，对比软件与商业软件的求解精度等。

5.4.2 针对不同的测试类别可由不同测试主体选择不同的测试方法。单元测试宜由软件的供方组织并实施，也可委托第三方测试组织，采用静态测试和动态白盒测试方法。配置项测试和系统测试采取动态测试方法中的黑盒测试方法，配置项测试宜由软件的供方组织，由独立于软件开发的组织实施，也可委托用户认可的第三方测试组织；系统测试宜由软件的需方组织，由独立于软件开发的组织实施，也可委托用户认可的第三方测试组织。针对工业软件开发过程中不同产品对象的特点，也可选择特殊测试方法。

5.5 测试过程

船舶结构 CAE 软件测试应符合 GB/T 15532—2016 和 GJB/Z 141—2004 中关于测试过程的要求，测试过程主要包括：

- a) 测试策划阶段，确定需要测试的内容和充分性要求，提出测试基本方法，确定测试资源和测试进度计划；

1) 基准，标准。BenchMark 算例指基础的、典型的、具有代表性的用于测试和评估算法求解性能的用例，通常由权威组织和机构发布，一般带有标准结果/最优解。

- b) 测试设计与实现阶段，设计测试用例，验证测试数据，获取测试资源，并在测试执行之前进行测试就绪审查，审查测试计划的合理性及测试用例的正确性、有效性和覆盖充分性，审查测试组织、环境和工具齐备并符合要求，必要时应进行测试就绪评审，测试就绪审查或评审通过后方可转入测试执行阶段；
- c) 测试执行阶段，执行测试用例，获取、分析并判定测试结果，根据不同的判定结果采取相应措施，对测试正常和异常终止情况进行核对，根据核对结果，对未达到终止条件的测试用例，决定是停止测试，还是修改或补充测试用例后进一步测试；
- d) 测试总结阶段，评估测试效果和被测软件，描述测试状态，完成测试报告后应进行测试评审。

5.6 测试工具

5.6.1 船舶结构 CAE 软件测试宜尽量采用测试工具，减少人工工作。

5.6.2 软件测试工具可分为静态测试工具、动态测试工具和其它支持测试活动的工具，应根据测试要求、参照 GB/T 15532—2016 中 4.8 条选择合适的工具，同等条件下优先选用国产工具。

5.7 测试环境

5.7.1 船舶结构 CAE 软件测试环境应包括测试的运行环境（包括软件、硬件、数据环境）和测试工具环境。

5.7.2 运行环境应符合软件任务书的要求，同时遵循 GB/T 15532—2016 中关于测试环境的要求。

5.7.3 进行系统测试时，若选择仿真或模拟测试环境，应加以论证并获得批准。

5.7.4 测试环境宜由测试方进行搭建；若存在特殊场景需要，可由送测方提供，并经测试方确认。

5.8 测试文档

5.8.1 船舶结构 CAE 软件测试过程中形成的文档宜包括测试计划、测试说明、测试报告、测试记录和测试问题报告。

5.8.2 根据软件安全性关键等级和软件规模等级，测试文档可进行合理取舍与合并，其中测试计划和测试说明可合并为测试大纲，测试记录和测试问题报告可合并至测试报告中。

5.9 测试项和测试用例

5.9.1 测试项是指通过测试需求分析所得到的需要测试的特定项。一个测试对象可对应多个测试项，一个测试项可划分成多个测试子项。

5.9.2 每个测试项应有唯一的名称或标识；应注明测试项的追踪关系，根据不同的测试类别追踪到软件研制任务书/需求规格说明/设计说明；应有测试项说明，简要描述测试目标和测试内容；应说明测试方法；应说明测试项的通过准则。

5.9.3 测试用例是针对测试项所设计的，描述测试输入、操作步骤、预期结果和通过准则的集合。一个测试项应由一个或多个测试用例来覆盖。

5.9.4 设计测试用例时，应根据不同测试类别、在测试项的基础上设计测试用例。单元测试依据详细设计，配置项测试依据软件需求规格说明，系统测试依据软件研制任务书。设计测试用例时，应兼顾测试充分性和测试效率的原则，每个测试用例的内容应完整且具有可操作性。

5.9.5 每个测试用例应有唯一的名称或标识；应注明测试用例和测试项的追踪关系；写明本条测试用例执行需要的预置条件；写明测试输入和具体的操作步骤；说明预期输出结果以及通过准则。若是测试用例执行记录，则还应包括执行人、执行时间、实际输出和测试结论（通过与否）。

6 详细要求

6.1 测试对象

6.1.1 软件单元测试的对象是软件单元。软件单元是软件中具有输入输出、完成特定功能、可被调用的最小代码集合，可以是软件中的一个函数、一个模块、一个过程、一个子程序等。

6.1.2 软件配置项测试的对象是配置项软件，即按功能划分具有明显区分并且可以独立进行配置管理的一项软件或者子系统。对船舶结构 CAE 软件而言，宜包含的配置项软件有前后处理、船舶结构核心求解器、结构安全性子系统。

6.1.3 系统测试的对象是最终所有配置项软件集成后形成的系统软件。

6.2 功能测试

6.2.1 船舶结构 CAE 软件功能测试主要包括功能完备性和功能正确性测试。应完全覆盖软件研制任务书中的功能，并且覆盖每种测试类别所依据的文档中的需求/设计。

6.2.2 针对有精度要求或有与商业软件结果对比误差要求的测试项或功能点，应测试是否能实现所需精度或误差要求。

6.2.3 设计测试用例时，宜用正常值的等价类输入数据值测试、用非正常值的等价类输入数据值测试、进行每个功能的合法边界值和非法边界值输入的测试。

6.2.4 前后处理宜对几何建模和导入、网格划分和定义、后处理显示等功能点进行测试：

- a) 几何建模和导入测试软件在几何模型操作方面的功能，考察是否支持几何创建、几何导入、几何预处理、几何编辑功能，并支持对模型的各项可视化常用操作；
- b) 网格划分和定义测试软件在网格划分方面的功能，如是否支持一维/二维/三维网格生成，支持在网格上的材料、属性、载荷与边界条件定义和操作，并支持对网格的各项可视化常用操作；
- c) 后处理显示对后处理过程中数据处理、数据可视化等功能点的完备性进行测试。

前后处理功能具体测试内容见表 1，其中的测试项和功能点可根据项目实际情况进行增加或删除。对于被测软件所具备的前后处理功能点，具体的测试内容和方法可参考测试说明，测试相关功能点是否具备以及是否正常。

表 1 前后处理功能测试内容

序号	测试项	功能点	测试说明
1	几何预处理	几何特征识别	测试识别模型的长、宽、高、半径等几何特征并能进行修改
2		零件几何缺陷修复/分析	测试修复/分析激活零件的异常情况
3		零件间干涉检查与间隙检查	测试检查边和顶点的间隙，在不改变拓扑的前提下缩小间隙、修复干涉

表 1 前后处理功能测试内容（续）

序号	测试项	功能点	测试说明
4	几何创建(参数化建模)	创建节点、曲线、曲面、实体	测试创建并显示节点, 创建曲线, 以 UN 曲面、拉伸、扫掠、放样等方式生成曲面, 输入参数创建实体
5		曲线、曲面设计与编辑	测试曲线设计与编辑功能如边界曲线、桥接、偏移、螺旋曲线、方程式、倒圆角、倒角、修建、修改、连接; 测试曲面设计与编辑功能如圆角桥接、桥接面、直纹曲面、成角度面、FEM 面、N 边形面、修建平面的基础面建模
6		船体曲面、舱段建模	测试输入型值表或二维型线, 生成片或整片船体曲面; 测试建立船体舱段结构模型
7	几何导入	几何或有限元文件导入	测试导入不同格式的前处理模型、后处理模型、CAD 模型
8	几何编辑(参数化建模)	对节点/自由点、曲线、曲面、实体等进行几何编辑	测试编辑节点、自由点如节点坐标, 以及删除节点等; 测试识别长度、角度等几何特征后修改曲线的几何特征参数; 测试识别长、宽、高、半径等几何特征后修改曲面的几何特征参数; 测试识别长、宽、高、半径等几何特征后修改实体的几何特征参数
9		模型删除与合并	测试删除单元时是否可以删除单元附带的节点; 测试合并模型时编号相同的单元是否自动重新编号等。
10		几何面选择	测试几何面点选、框选
11		船体建模编辑	测试拉伸、扫略、旋转、放样等方式生成体部件, 以及体相切、合并功能
12		多几何面间的相互修剪	测试多几何面间的相互修剪, 并自动合并修剪产生的线, 形成共享边
13		几何类型分组	测试为面、体、部件等几何类型创建分组, 并对分组内的几何部分单独生成网格
14	几何可视化	模型显示	显示选择区域内、外的模型及还原
15		模型操作	测试平移、旋转模型, 自适应窗口显示
16		模型部分显示操作	测试以线框、外表面、网格形式显示模型, 显示模型节点
17	网格生成	一维、二维、三维网格生成	测试对模型划分网格生成一维、二维、三维网格
18		网格划分质量评价及优化	测试不同评价方式进行质量评价, 不同方式进行质量统计; 测试对局部网格自动加密
19		质量单元、弹簧单元生成	测试质量单元、弹簧单元生成
20		单元、节点集合定义	测试节点、单元、单元集的创建和显示
21		自由方式、结构化、扫略方式网格划分	测试针对不同几何单元进行不同网格划分方式, 测试手工创建和修改网格
22		网格缺陷检测	测试网格质量检查如非流形共享网格边、孤立网格边、重复 2D 单元、网格孔洞结构等, 并展示检测结果
23	材料定义	各向同性、正交各向异性材料定义	测试定义各向同性、正交各向异性材料

表 1 前后处理功能测试内容（续）

序号	测试项	功能点	测试说明
24		材料特性操作	测试材料特性的增加、删除、修改
25	属性定义	单元属性定义、操作	测试材料属性和单元属性定义、修改和删除
26		截面属性定义	测试材料导入和型材导入
27		物理量映射	测试显示网格与几何面、位移、压力等物理量的映射关系
28	载荷与边界条件定义	集中载荷特性可视化定义	测试创建集中力和弯矩载荷
29		分布式载荷特性可视化定义	测试创建分布力载荷
30		边界条件特性、约束特性可视化定义	测试边界条件和约束条件定义
31		载荷与边界条件特性操作	对载荷与边界条件进行增加、删除、修改等操作
32	网格可视化	有限元模型特性显示	测试模型以线框、外表面、网格形式显示，显示模型节点及其编号
33		网格操作	测试网格节点、单元及任意位置的点选、框选、反选操作
34		模型着色处理	测试根据材料、属性等特性对模型的不同着色处理
35		网格、单元及节点的查找显示	测试网格的分组显示或按材料属性查看显示、单元及节点的查找显示、单元质量检查后不符合要求的单元显示
36	后处理显示	变形图	查看模型的变形图
37		动画	查看结果动画展示
38		云图	使用云图进行结果显示
39		结果格式	以不同格式导出模型文件
40		结果绘制	测试通过现有或自定义坐标系，对结果进行绘制

6.2.5 船舶结构核心求解器测试内容包括在分析过程中，对单元类型、工况、材料、单元物理属性等设置项的支持情况。设置网格类型、工况、材料类型、单元物理属性等参数，通过运行典型案例或国际有限元标准组织提供的 BenchMark 算例，记录求解器在线性静力分析、模态分析、稳态响应分析、瞬态响应分析、随机响应分析、几何非线性分析、材料非线性分析等静力学、动力学分析类型下的求解结果，考察求解结果的正确性，同时可以与理论计算结果或同期国外结构商业有限元软件如 Abaqus²⁾ /Ansys³⁾ /Nastran⁴⁾ 对比求解精度、效率等。具体测试内容见表 2，其中的测试项和功能点可根据项目实际情况进行增加或删改。

2) 一款由达索系统公司 (Dassault Systèmes) 开发的全面仿真计算能力强大的有限元分析软件。

3) 美国 ANSYS 公司研制的融结构、流体、电场、磁场、声场分析于一体的大型通用有限元分析软件。

4) 由美国国家航空航天局主导、MSC 公司开发的具备动力学、非线性和热传导分析功能的有限元分析软件。

表 2 船舶结构核心求解器功能测试内容

序号	测试项	功能点	测试说明
1	单元类型	点、质量点，弹簧、绳索、梁、杆，三角形、四边形，四面体、六面体等	导入单元属性为弹簧/绳索/梁/杆、三角形、四边形、四面体、六面体的有限元模型，通过覆盖不同网格类型的标准算例进行功能验证
2	载荷	集中力、弯矩、分布力、面压力、重力、惯性释放等	导入有限元模型，完成集中力、分布力、面压力、重力、惯性释放等载荷的设置，通过覆盖不同载荷的标准算例进行功能验证
3	材料类型	线弹性、金属理想弹塑性、金属非理想弹塑性、超弹性材料类型	导入有限元模型，完成线弹性、金属理想弹塑性、金属非理想弹塑性、超弹性等材料类型设置，通过覆盖不同材料属性的标准算例进行功能验证
4	边界	固支、简支、X 平面对称/反对称、Y 平面对称/反对称、Z 平面对称/反对称、强制约束等	导入有限元模型，完成固支、简支、X 平面对称/反对称、Y 平面对称/反对称、Z 平面对称/反对称、强制约束等边界条件的设置，通过覆盖不同边界条件的标准算例进行功能验证
5	梁截面	Box 型、Pipe 型、Circular 型、Rectangular 型、I 型、L 型、T 型、参数梁等	导入有限元模型，完成 Box 型、Pipe 型、Circular 型、Rectangular 型、I 型、L 型、T 型、参数梁等梁截面的设置，通过覆盖不同类型梁截面的标准算例进行功能验证
6	相互关系	RBE2、RBE3、MPC、BUSH 等	通过覆盖不同相互关系的标准算例进行功能验证
7	分析类型	线性静力分析、模态分析、稳态响应分析、瞬态响应分析、随机响应分析、几何非线性分析、材料非线性分析等静力学、动力学分析类型	考察不同分析类型下求解器求解结果的正确性，与理论计算结果或同期国外结构商业有限元软件如 Abaqus/Ansys/Nastran 对比求解精度、效率等

6.2.6 结构安全性子系统测试内容包括：船舶结构屈服/屈曲强度分析、船舶结构疲劳寿命计算和破损船舶剩余强度分析。具体见表 3，其中的测试项和功能点可根据项目实际情况进行增加或删改。

表 3 结构安全性子系统功能测试内容

序号	测试项	功能点	测试说明
1	船舶结构屈服/屈曲强度分析	可视化参数输入、板格自动划分、板格边界识别、屈曲因子计算、材料系数选取、强度衡准选取、可视化后处理	（1）定义材料屈服强度，创建屈服评估任务，完成屈服强度校验，查看对应云图； （2）设置板架结构名称、最小屈曲因子和板格划分方式，创建定义屈曲评估任务，完成屈曲校核，设置查看屈曲结果相关参数，导出屈曲强度校核结果 Excel 文件，查看屈曲结果云图

表 3 结构安全性子系统功能测试内容（续）

序号	测试项	功能点	测试说明
2	船舶结构疲劳寿命计算	可视化参数输入、 单轴载荷作用下典型节点疲劳强度计算、 多轴载荷作用下典型节点疲劳强度计算、 疲劳寿命输出、 基于规范的载荷计算、 载荷直接计算功能、 获得多轴 S-N 曲线、 基于时变可靠性的疲劳腐蚀模型、 可视化后处理	（1）选择装载工况，获取节点，自动读取板厚，选择 S-N 曲线；定义焊趾长度，定义船长参数，勾选腐蚀修正选项，计算并查看累积损伤度和疲劳寿命； （2）输入波浪参数，选择模型，读取应力结果，进行临界面搜索计算，查看计算结果及剪应力幅值曲线、临界面应力比曲线，输入 S-N 曲线数据，读取波浪散布图，计算并查看多轴累积损伤度和疲劳寿命及相关曲线
3	破损船舶剩余强度分析	可视化参数输入、 读取输入文件、 读入参数可修改、 计算模型剖面可视化、 破损剩余强度计算分析、 曲线可视化后处理、 应力可视化、 曲线输出	输入不同船型与相关参数，进行破损船舶剩余强度分析，查看输出结果，与有限元计算结果进行验证对比，与商业软件对比计算结果偏差

6.3 性能测试

性能测试应测试在获得定量结果时程序计算的精确性（如数据处理精度）、测试其时间特性和实际完成功能的时间（如响应时间）等。针对船舶结构 CAE 软件，性能测试内容包括不同规模模型处理响应时间、求解器求解规模、后处理结果导入时间，详见表 4，其中的测试项和功能点可根据项目实际情况进行增加或删改。

表 4 性能测试内容

序号	测试项	功能点	测试说明
1	不同规模模型处理响应时间	模型加载时间	导入前处理模型，测试不同规模模型导入时间，包括十万级、几十万级、百万级等网格规模模型导入时间，记录模型数据加载的时间
2		用户交互响应	分别对十万级、几十万级、百万级等网格规模模型进行三维模型视图操作，记录交互响应时间，体现交互效率，测试是否能够达到实时响应

表 4 性能测试内容（续）

序号	测试项	功能点	测试说明
3	求解器求解规模	求解规模	导入百万级或其它规模前处理网格模型，创建任务，进行有限元分析，测试能否正确输出分析结果，并且软件未发生崩溃、报错等情况，以测试求解器在自身推荐软硬件配置下所能支持的最大自由度数量是否能达到百万级或其它规模
4	后处理结果导入时间	结果导入时间	导入不同后处理结果，测试并记录不同规模和格式的结果导入时间

6.4 接口测试

接口测试内容包括：测试软件配置项与外部设备、配置项之间的接口，检查接口信息的格式及内容，对每个输入/输出接口做正常和异常情况的测试，测试配置项软件从接口接收和发送数据的能力等。船舶结构 CAE 软件应测试前后处理与求解器的接口、前后处理与结构安全子系统的接口、求解器与结构安全子系统的接口，详见表 5，其中的测试项和功能点可根据项目实际情况进行增加或删除。

表 5 接口测试内容

序号	测试项	功能点	测试说明
1	前后处理与求解器的接口	前后处理与求解器的接口	测试求解器能否成功读取导入的前处理模型、计算并输出仿真结果；后处理界面是否正确显示仿真结果
2	前后处理与结构安全子系统的接口	前后处理与结构安全子系统的接口	在结构安全子系统中测试导入前处理模型和计算结果，后处理界面正常显示结果曲线和云图
3	求解器与结构安全子系统的接口	求解器与结构安全子系统的接口	在结构安全子系统中测试导入前处理模型后完成有限元分析计算

6.5 兼容性测试

兼容性测试应对软件的共存性、可替换性进行测试，测试内容包括操作系统兼容性、新旧数据转换、异种数据兼容性、应用软件兼容性、硬件兼容性等，见表 6，其中的测试项和功能点可根据实际情况增加或删除。

表 6 兼容性测试内容

序号	测试项	功能点	测试说明
1	操作系统兼容性	操作系统兼容性	在不同的国外/国产操作系统中运行软件
2	新旧数据转换	新旧数据转换	在旧版本软件中导入模型，进行操作如截面属性定义等操作后导出模型，在新版本软件中导入该模型，查看是否能成功导入并不发生数据丢失

表 6 兼容性测试内容（续）

序号	测试项	功能点	测试说明
3	异种数据兼容性	异种数据兼容性	导入/导出不同格式如. inp、. bdf 等格式的模型文件
4	应用软件兼容性	应用软件兼容性	同时运行多个其他软件如 Abaqus、Nastran 等，测试使用中是否发生运行错误
5	硬件兼容性	硬件兼容性	准备不同 CPU、内存、显卡等配置的硬件设备，运行软件，测试使用中是否发生运行错误

6.6 易用性测试

易用性测试应采用人工测试的方法，检测软件的人机交互界面功能、是否包含帮助系统、操作的一致性、操作步骤比对等；以及软件对用户输入差错是否具备防御和纠正的能力。详见表 7，其中的测试项和功能点可根据项目实际情况进行增加或删改。

表 7 易用性测试内容

序号	测试项	功能点	测试说明
1	可辨识度	用户界面	根据用户手册说明，检查软件界面元素是否整齐，文字显示是否齐全，语言是否一致
2		易浏览性	测试软件是否提供必要的信息，指示软件当前处理状态，如处理进度条；执行导入模型、创建模型、设置载荷、设置约束、执行计算等操作，检查左下角信息输出窗口是否正确显示对应信息等
3	易学性	易学性	检查用户手册或相关帮助文档，看文档内容是否完整、可读、有效
4	易操作性	易操作性	测试软件的窗口、菜单、图标、快捷键等功能，执行完整的有限元分析流程，判断操作是否便捷、是否符合用户使用习惯
5	用户差错防御性	用户差错防御性	测试软件是否具备抵御误操作的能力，对异常操作能给出明确、清晰的提示信息。比如对输入参数是否符合规范进行检查，若不符合规范是否有相应提示
6		差错纠正	测试软件是否可以纠正或修复用户输入差错

6.7 可靠性测试

可靠性测试应对系统的稳定性、容错性、易恢复性进行测试。其中容错性包括错误处理、输入数据检查和重要数据删除提示，详见表 8，其中的测试项和功能点可根据项目实际情况进行增加或删改。

表 8 可靠性测试内容

序号	测试项	功能点	测试说明
1	稳定性	稳定性	考察系统在较高业务强度、长时间运行下的稳定性，是否出现事务大面积出错、系统宕机等系统可用性问题
2	容错性	错误处理	测试软件在容量超出极限、网络规模过大等极端情况下，软件是否出现崩溃或数据丢失
3		输入数据检查	通过输入约束范围外的数据（数据长度、数据范围等），验证系统是否对输入数据存在校验，当输入有错时是否存在相应的提示
4		重要数据删除提示	测试软件在删除重要数据时，是否有警告及确认提示
5	易恢复性	数据备份	测试软件是否提供数据备份手段，例如修改模型后退出软件，是否自动保存修改信息
6		撤销	撤销对模型的上一步或几步操作

6.8 自主可控性测试

自主可控性测试宜围绕技术自主和风险可控两方面从产品背景、研发过程一致性、产品自研程度、供应链可控、开源使用等方面展开对软件产品的自主评估，其中的测试项和功能点可根据项目实际情况进行增加或删除。软件产品自研程度是其中最核心的必要测试项，得到的整体源代码自主率和核心源代码自主率是自主可控性测试结果中最关键的结果。“自主可控性测试内容”见表 9。

表 9 自主可控性测试内容

序号	测试项	功能点	测试说明
1	产品背景	产品背景	重点关注单位资质，从单位的实际控制、股权构成、人员等方面对单位资质进行审查，确保产品研制主体可控
2	研发过程一致性	研发过程一致性	对产品的研发过程可追溯程度进行评估，对研发过程的技术文档、测试活动、配置管理进行审查，确保产品的研制过程各环节活动材料的一致性
3	产品自研程度	产品自研程度	对产品代码自研情况和产品技术增值率进行评估，通过软件成分分析工具从组件级、文件级和代码级多个层级对产品的整体源代码、核心源代码和二进制代码进行扫描，评估计算产品代码的自研率
4		产品技术增值率	审查产品引入技术价值与产品整体价值的比值，计算产品的技术增值率，评估产品自主技术创造价值与引入技术价值的比例
5	供应链可控	供应链可控	对产品的供应链可控程度进行评估，审查产品是否具备清晰完整的软件物料清单，通过软件成分分析工具对产品的引入成分进行检测溯源并评估引入成分的供应链安全风险，对产品的核心关键技术自主能力进行评估，对产品需求临时变更能力进行评价，评估产品对引入成分的掌握程度以及第三方组件替代方案的完备性可行性，确保产品对供应链风险的控制能力
6	开源使用	开源使用	对产品开源技术使用的合理性、规范性以及合规性进行评估，审查产品自研代码与开源代码的使用和隔离方法是否规范合理，审查产品对引入开源代码的授权义务履行和许可证兼容性冲突情况

6.9 信息安全性测试

信息安全性测试内容包括测试系统及其数据访问的可控制性，测试系统防止非法操作、防止数据被讹误和被破坏的能力，以及加密解密功能。详见表 10。其中的测试项和功能点可根据项目实际情况进行增加或删改。

表 10 信息安全性测试内容

序号	测试项	功能点	测试说明
1	保密性	保密性	测试不同数据的加密和解密，确保数据只有在被授权时才能被访问，须防止未得到授权的人或系统访问相关的信息或数据，还要保证得到授权的人或系统能正常访问相关的信息或数据
2	完整性	完整性	检查数据在传输和存储过程中是否被破坏或被篡改，通过检查数据校验位等方式，检查其完整性是否被破坏
3	真实性	真实性	测试是否存在证明对象身份标识的手段，例如：专用登录控制模块对登录用户进行身份标识和鉴别，验证其身份的真实性，同时需证实符合其声明的程度；用户的身份鉴别信息不易被冒用，同时不存在重复的用户身份标识；系统中用户名唯一且与用户一一对应，采用用户名和口令的方式对用户进行身份鉴别，提高用户的口令开启复杂度等

6.10 维护性测试

维护性测试应对软件的模块化、可重用性、易分析性、易修改性和易测试性进行测试，详见表 11。其中的测试项和功能点可根据项目实际情况进行增加或删改。

表 11 维护性测试内容

序号	测试项	功能点	测试说明
1	模块化	模块化	衡量由多个独立组件组成的系统或计算机程序中一个组件的变更对其他组件的影响最小的程度，评估程序模块化的程度和模块之间的耦合性
2	可重用性	可重用性	评估一个产品中的组件在另一个产品开发中的可重用性，包括程序、文档、测试用例等
3	易分析性	易分析性	测试是否能高效诊断产品的缺陷或失效的原因，或者标识需要修改的部分所要耗费的工作量。在操作产品或系统的过程中，出现异常或失效时，是否有明确的提示信息，且根据提供的机制能有效地解决问题。需求文档、设计文档、操作手册等用户文档是否描述了产品或系统常出现的问题或现象以及故障排除方法等
4	易修改性	易修改性	测试对支持变更的编码、设计、文档进行变更时，用户做出相应修改后，产品或系统是否能够正确运行。修改的实际结果是否与预期结果相一致
5	易测试性	易测试性	是否能够为系统、产品或组件建立测试准则，能够根据需求文档或操作手册编写测试用例和执行测试用例

6.11 可移植性测试

可移植性应测试软件的适应性、易安装性和易替换性，详见表 12。其中的测试项和功能点可根据项目实际情况进行增加或删除。

表 12 可移植性测试内容

序号	测试项	功能点	测试说明
1	适应性	适应性	评估产品或系统适应软件、硬件变化的能力，包括硬件环境、操作系统、数据库管理系统、浏览器、支撑软件的适应性
2	易安装性	易安装性	考察安装文档中是否明确产品或系统的安装方法，以及产品安装和卸载过程的有效性和效率，如安装文档的有效性、软件安装和卸载过程的自动化程度。确保安装文档中指定的每一种安装选项要素均被覆盖，包括软件的安装方式、路径等，每种情况均能成功安装软件；提供产品或系统卸载的方法
3	易替换性	易替换性	产品替换方式包括产品的覆盖、升级等，检查安装文档中是否规定重新安装或升级的规程，并按照安装规程能够成功重新安装或升级软件

