

DB 5101

四川省成都市地方标准

DB5101/T 174—2023

航空零部件制造企业计算机辅助制造 软件测试指南

Testing guidance for evaluation of computer aided manufacturing
software of aviation parts manufacturing enterprises

2023 - 12 - 04 发布

2023 - 12 - 04 实施

成都市市场监督管理局 发布

目 次

前 言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 缩略语 2

5 总则 2

6 功能测试 3

7 性能测试 7

8 产品化测试 8

9 测试总结 10

附录 A （资料性） 航空零部件制造企业 CAM 软件测试用例设计 12

附录 B （资料性） 航空零部件制造企业 CAM 软件功能完备性框架 14

附录 C （资料性） 航空零部件制造企业 CAM 软件测试评价方法 16

附录 D （资料性） 航空零部件制造企业 CAM 软件测试报告大纲 20

参考文献 21

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。

本文件由成都市经济和信息化局提出并归口。

本文件起草单位：成都飞机工业（集团）有限责任公司、西华大学、成都国信安信息产业基地有限公司、电子科技大学、工业和信息化部电子第五研究所、四川成飞集成科技股份有限公司、成都信息处理产品检测中心、成都淞幸科技有限责任公司。

本文件主要起草人：黎小华、邓乾豹、吴光林、许艾明、封志明、王宇、孙华、钟雯、赖宏应、廖勇、缪俊敏、黄茂生、于敏、廖荣杰、车容俊、曹新彬、李世彬。

航空零部件制造企业计算机辅助制造软件测试指南

1 范围

本文件提供了航空零部件制造企业计算机辅助制造软件的测试总则、功能测试、性能测试、产品化测试以及测试总结等方面的指导。

本文件适用于指导成都市航空零部件制造企业开展计算机辅助制造软件测试活动，也可作为计算机辅助制造软件开发机构、第三方测试机构实施的计算机辅助制造软件测试活动提供参考。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 9386 计算机软件测试文档编制规范
- GB/T 11457—2006 信息技术 软件工程术语
- GB/T 15532 计算机软件测试规范

3 术语和定义

GB/T 11457—2006 中界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.13.1

计算机辅助制造 computer aided manufacturing

利用计算机技术辅助完成数控程序的编制，包括工艺方案设计、加工刀具轨迹生成、刀具轨迹编辑、后置处理及加工仿真等作业过程。

3.23.2

系统测试 system testing

在完整的、集成的系统上的测试行为，用以评价系统与规定的需求的遵从性。

[来源：GB/T 11457—2006, 2.1669]

3.33.3

验收测试 acceptance testing

确定一系统是否符合其验收准则，使客户能确定是否接收此系统的正式测试。

[来源：GB/T 11457—2006, 2.19]

3.43.4

完备性 completeness

测试计算机辅助制造软件实现和提供给用户的功能指标的完整程度。

3.53.5

正确性 correctness

测试计算机辅助制造软件在其规格说明、设计和实现中的无故障程度。

3.63.6

测试评价 testing evaluation

通过软件功能、性能和产品化指标的测量，对计算机辅助制造软件产品质量进行评价。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CAM: 计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacturing) CPU:
中央处理器 (Central Processing Unit)

5 总则

5.1 测试目标

航空零部件制造企业 CAM 软件测试目标是在实际环境下，通过功能测试、性能测试和产品化测试，对软件的质量和性能进行测量和评价，包括：

- a) 验证 CAM 软件产品是否达到需求说明和软件产品说明等规定的软件质量需求；
- b) 检验 CAM 软件任务的执行和对系统运行产生的影响；
- c) 为 CAM 软件的质量评价提供依据。

5.2 测试内容

5.2.1 概述

航空零部件制造企业CAM软件的测试内容宜包括功能测试、性能测试及产品化测试。

5.2.2 功能测试

CAM软件功能测试是对软件的功能正确性和完备性进行测试，宜遵循以下内容：

- a) 软件功能模块能全部挂接，设计功能完整齐全，且符合设计文档的需求；
- b) 软件菜单按照需求规格说明、设计说明等实现，所有功能能正常运行，正常范围内输入能得到正确的输出，并生成正确的结果；异常范围内输入，软件有提示信息，并阻止数据输入；功能使用方便，符合设计文档的需求；
- c) 软件发生错误时，有提示并记录错误日志，并可恢复到正常状态；
- d) 软件的窗口、控件、菜单、鼠标的操作及操作提示符合所使用操作系统平台的规范。

5.2.3 性能测试

CAM软件性能测试是指对软件完成其设计功能的特性进行测试，包括负载能力、压力表现、软件效率等，宜遵循以下内容：

- a) 软件能满足软件设计文档中说明的性能需求；

- b) 在一定时间内，最大支持并发用户数、软件请求出错率、最大存储量、最多处理数据流量、响应时间等能满足设计文档的需求；
- c) 在一定时间内，系统的 CPU 利用率、内存使用率、磁盘输入输出吞吐率、网络吞吐量、最大虚拟用户数等能满足设计文档的需求；
- d) 系统运行时，资源监控指标符合软件设计文档需求。

5.2.4 产品化测试

CAM软件产品化测试是对软件的可用性和软件的产品化程度进行测试，宜遵循以下内容：

- a) 航空零部件制造企业具有质量管理体系；
- b) 开发机构具有软件项目开发管理制度，并使用工具软件进行项目开发管理；
- c) 具有线上服务、产品介绍、用户培训等方面的用户技术支持与客户服务。

5.3 测试过程

航空零部件制造企业CAM软件测试过程宜分为四个阶段，依次为：测试策划、测试设计、测试执行和测试总结。有关测试过程的内容见GB/T 15532。

5.4 测试方法

5.4.1 航空零部件制造企业CAM软件的系统测试和验收测试适合使用黑盒测试方法，宜采用针对CAM软件的专用测试工具。

5.4.2 软件测试大纲和软件测试技术规范书宜明确在测试中针对系统的每一项功能或性能需要完成的基本测试项目和测试评判依据；宜能满足测试大纲和软件测试技术规范书需求。

5.5 测试用例

测试用例描述测试的前提条件、输入参数、验证点及期望的输出结果等。有关测试用例的内容见GB/T 15532。

航空零部件制造企业 CAM 软件测试用例设计参见附录 A。

5.6 测试管理

航空零部件制造企业CAM软件测试宜由相对独立的人员进行，宜对测试过程、软件配置、测试评审进行管理。有关测试管理的内容见GB/T 15532。

5.7 测试文档

航空零部件制造企业CAM软件测试文档宜包括测试大纲、测试设计说明、测试用例说明、测试规程说明、测试项传递报告、测试日志、测试记录、测试问题报告和测试总结报告。根据软件的完整性级别和软件规模等级可进行合理的取舍与合并。有关测试文档的内容见GB/T 9386。

6 功能测试

6.1 测试大纲

6.1.1 测试大纲编制

宜根据被测软件的设计文档、用户手册和技术手册中关于软件功能项指标的说明，根据测试方式、测试环境和测试工具，确定CAM软件功能完备性指标，制定与功能测试相关的测试大纲。CAM软件功能完

备性指标参见附录B。

6.1.2 测试用例

6.1.2.1 功能完备性指标中的每一项指标宜拥有独立的测试用例。

6.1.2.2 针对CAM软件功能的不同特点，测试工具指导测试用例的自动生成。各类测试用例纳入数据库管理，按照设定的规则，测试用例库中的测试用例自动生成用于测试的标准格式文档。

6.1.2.3 宜制定测试标准文档描述规范，将测试用例导入、导出测试用例库。

6.2 测试环境

6.2.1 测试环境组成

CAM软件测试环境宜包括：

- a) 系统硬件配置；
- b) 系统软件配置；
- c) 操作系统；
- d) 网络环境。

6.2.2 测试环境需求

有关测试环境需求的内容见 GB/T 15532。

6.2.3 功能测试工具

6.2.3.1 CAM 软件功能测试工具包括测试脚本库、测试用例库、完备性测试、正确性测试，以及测试结果的分析与评价。功能测试工具宜遵循以下技术内容：

- a) 提供测试结果统计和详细日志；
- b) 对失败用例进行错误分类；
- c) 通用性强，与具体测试业务无关；
- d) 支持第三方测试工具与接口。

6.2.3.2 CAM 软件的功能测试宜采用黑盒测试法，适当时候也可采用白盒测试法。

6.2.3.3 测试前宜预先编制测试用例，测试用例宜覆盖测试依据中描述的所有功能，并且考虑有代表性工作任务的功能组合。

6.3 测试过程

CAM 软件功能测试宜遵循以下内容：

- a) 宜按照 5.2.2 的内容，采用合适的功能测试工具实施测试，或以手工方式实施测试；
- b) 测试人员在功能测试过程中，宜及时记录原始数据，测试结束后宜对测试记录进行审核；
- c) 相关人员在测试过程中，如发现系统功能方面的问题，宜向开发方出具问题报告；
- d) 开发方对测试中发现的功能问题进行修改后，测试方宜进行回归测试，并出具测试报告。

6.4 测试内容

6.4.1 软件安装测试

宜测试CAM软件是否能够成功安装和测试。若不能，宜保证系统的软、硬件环境符合设计文档的需求。软件安装测试宜包括以下内容：

- a) 宜按照设计文档要求对软系统功能模块进行检查；所有功能模块可运行，且符合 5.2.2 的内容；

b) 系统窗口、控件、菜单等宜符合 5.2.2 的内容。

6.4.2 CAM 软件功能测试

6.4.2.1 概述

6.4.2.1.1 CAM软件功能测试分为功能完备性测试和功能正确性测试，测试内容宜包括工艺方案设计、加工刀具轨迹生成、刀具轨迹编辑、后置处理及加工仿真等五大类功能。

6.4.2.1.2 完备性测试是对CAM软件提供给用户的功能指标是否完整进行判断。完备性测试宜以功能测试大纲为依据，并参照图1所示流程进行。

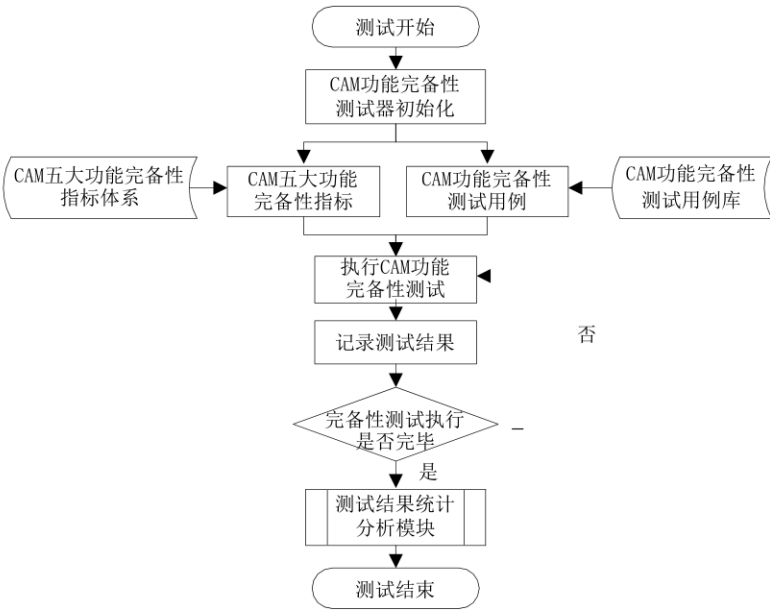


图1 CAM 软件功能完备性测试流程

6.4.2.1.3 正确性测试是对某一功能执行结果正确与否进行判断。正确性测试宜参照图2所示流程进行。

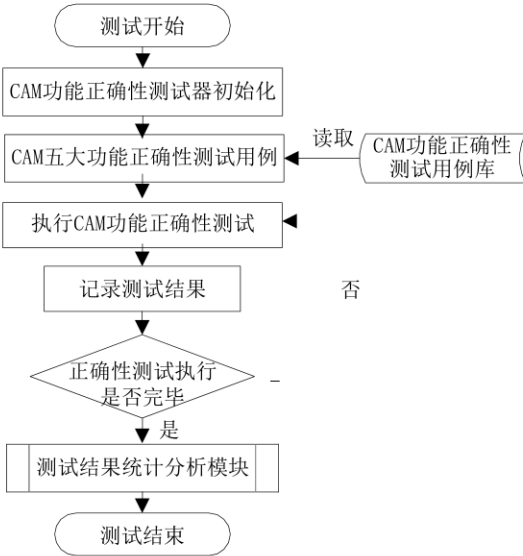


图2 CAM 软件功能正确性测试流程

6.4.2.2 工艺方案设计

工艺方案设计测试内容宜包括：

- a) 毛坯设计；
- b) 刀具选用；
- c) 走刀路线确定；
- d) 工艺参数设定；
- e) 安全平面、初始点和起刀点确定；
- f) 进刀、退刀方式选择。

6.4.2.3 加工刀具轨迹生成

加工刀具轨迹生成测试内容宜包括：

- a) 几何体创建；
- b) 刀具创建；
- c) 加工方法创建；
- d) 程序组创建；
- e) 加工工序创建。

6.4.2.4 刀具轨迹编辑

刀具轨迹编辑测试内容宜包括：

- a) 刀具轨迹显示；
- b) 刀具轨迹编辑修改；
- c) 刀具轨迹几何变换；
- d) 刀位点插入。

6.4.2.5 后置处理

后置处理测试内容宜包括：

- a) 车间文档生成；
- b) 后置处理器构造；
- c) 后置处理输出；
- d) 数控代码生成。

6.4.2.6 加工仿真

加工仿真测试内容宜包括：

- a) 刀具轨迹验证仿真；
- b) 机床加工仿真。

6.5 功能测试评价

6.5.1 完备性评价

功能完备性评价目的是为了确定被测软件中所有功能与功能测试大纲的契合度，衡量被测软件与CAM 相关的功能是否达到专业级别，判断被测软件的功能是否完备。

6.5.2 正确性评价

功能正确性评价是为了确定被测功能项的实现结果与评测标准达成一致的程 度，以“通过”和“不通过”来衡量功能项的正确性。

6.5.3 综合评价

综合评价是以 CAM 软件功能完备性与正确性的测试结果，对功能测试进行综合评价。综合评价过程参见附录 C。

7 性能测试

7.1 测试大纲

宜根据CAM软件的设计文档、用户手册和技术手册等关于关键性能指标的说明，结合所使用的性能测试环境和测试工具，制定与性能测试相关的测试大纲。

7.2 测试环境

7.2.1 测试环境组成

CAM软件性能测试环境宜包括硬件环境、软件环境和数据环境。具体组成与6.2.1要求一致。

7.2.2 测试环境需求

有关测试环境需求的内容见 GB/T 15532。

7.2.3 性能测试工具

CAM软件性能测试工具宜可检测、评估其软件的关键性能指标，包括系统的联机响应时间、处理速度、吞吐量、利用率等。性能测试工具宜提供多种形态的终端用户模拟、负载压力测试执行、运行过程监控、性能数据自动采集和测试结果分析等功能。

7.3 测试过程

CAM 软件性能测试参照图 3 所示流程进行。

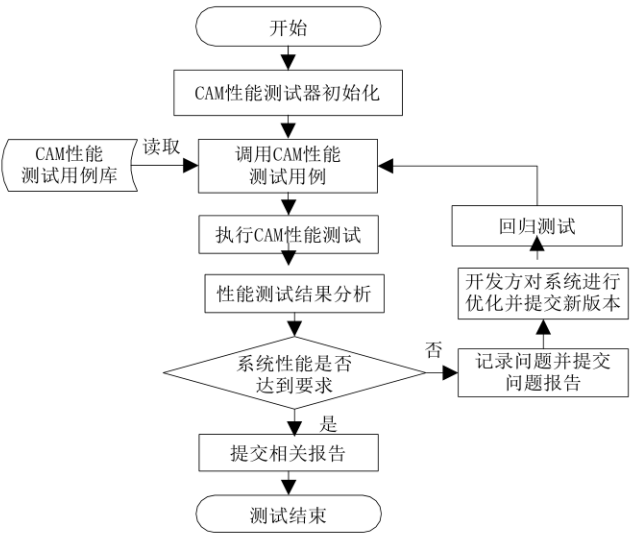


图3 CAM 软件性能测试流程

测试时宜遵循以下内容：

- a) 宜按照 5.2.3 的内容采用合适的性能测试工具实施性能测试；
- b) 在测试完成后，测试人员宜提供原始测试数据，并交给测试分析员审核；
- c) 测试分析员宜对测试数据进行分析，以发现系统性能方面的问题；如存在相关问题，则向开发方出具问题报告；
- d) 开发方对测试中发现的性能问题进行改进后，测试方宜进行回归测试，并出具测试报告。

7.4 测试内容

7.4.1 负载性能测试

负载性能是指在各种工作负载下软件系统的性能，用来度量系统的可扩展性。宜测试当负载逐渐增加时，系统各组成部分的响应输出项，如通过率、响应时间、CPU负载、内存使用等情况，综合分析后确定系统的性能。

7.4.2 压力性能测试

压力性能是指在软件系统稳定运行情况下，能够处理的最大工作量强度或能够提供的最大服务性能。宜通过测试临界负载、容量变化、资源占用等指标，综合分析功能执行情况和系统性能表现，并确定一个系统的瓶颈或不能接受的性能点，从而获得最大工作量强度或最大服务性能。

7.4.3 效率测试

效率测试是指在规定条件下，相对于所用资源的数量，测试CAM软件产品可提供适当性能的能力。性能测试的效率宜遵循以下内容：

- a) 功能指标的执行速度宜满足用户需求；
- b) CPU、内存、网络带宽等硬件资源的使用较为充分合理；
- c) 多用户并发访问时，性能指标宜符合软件描述的需求。

7.5 性能测试评价

CAM性能测试完成后，宜对软件的负载性能、压力性能和效率测试结果进行分析，确定软件的性能指标是否达到设计要求、存在哪些问题以及改进建议。

性能测试评价过程参见附录 C。

8 产品化测试

8.1 可用性测试

8.1.1 概述

CAM 软件的可用性测试宜包括安全性、可靠性、易用性、可维护性和可移植性等。

8.1.2 安全性

从安全性方面考虑，宜测试以下内容：

- a) 日志能够记录用户使用重要模块的信息；
- b) 能对未经授权的软件使用进行防御。

8.1.3 可靠性

8.1.3.1 成熟性

从成熟性方面考虑，宜测试以下内容：

- a) 能稳定运行，不出现内存溢出等现象；
- b) 运行过程中，若出现操作错误或非法数据，不会引起系统异常退出或程序损坏；
- c) 不存在导致软件无法运行、崩溃或导致数据破坏的重大缺陷；出现产品缺陷时不会引起系统死机故障；
- d) 当软件出现故障时，系统重启后，重新启动软件，软件能正常运行，并且能够恢复故障之前的数据和状态；
- e) 当软件出现故障后，可以通过异常日志查看操作过程和故障信息，便于重现故障。

8.1.3.2 容错性

从容错性方面考虑，宜测试以下内容：

- a) 系统对重要数据的录入提供有效性检查，对非法数据输入有明确的提示；
- b) 对不符合有效性的输入数据，宜使用中文给出简洁、准确的提示信息，必要时给出帮助；
- c) 能屏蔽用户常见的误操作，对重要数据的删除有警告及确认提示。

8.1.3.3 易恢复性

从易恢复性方面考虑，宜测试以下内容：

- a) 在程序运行过程中进行掉电、网络断开实验，不能出错退出，能发现并向用户提示断开状态，数据和系统不会损坏，在供电、网络恢复正常后能正常工作；
- b) 若数据和系统受损，能提供补救工具，补救上次保存或自动保存以前的数据；
- c) 具备数据维护工具，可以对数据进行备份与恢复。

8.1.4 易用性

8.1.4.1 易理解性

从易理解性方面考虑，宜测试以下内容：

- a) 界面简洁、美观、实用，采用简体中文，风格一致；
- b) 界面及提示信息能够引导用户正常使用；
- c) 对关键操作提供使用引导；
- d) 操作设计上避免重复操作，简化常用功能的操作步骤。

8.1.4.2 易学性

从易学性方面考虑，宜测试以下内容：

- a) 用户手册内容全面详细、易于理解，描述与软件功能一致、提供应用实例；
- b) 帮助文件能够有效引导用户操作，对重要功能、复杂功能的描述详细全面，对简单功能描述简洁清晰。

8.1.4.3 易操作性

从易操作性方面考虑，宜测试以下内容：

- a) 软件安装符合流行的安装方式，易于操作；
- b) 软件以易观察、易读的方式向用户提供信息，必要时可向用户发出警报；
- c) 常用功能设置在明显位置，易于被用户识别；

- d) 软件操作简单，界面设置和提示信息设置易于理解；
- e) 输入数据的要求能够被用户理解，软件输出项符合用户习惯，易于理解。

8.1.5 可维护性

从可维护性方面考虑，宜测试以下内容：

- a) 对软件指定的修改能够被实现；
- b) 软件的局部修改不影响软件的整体运行；
- c) 软件变更后的各项功能能通过测试用例进行测试；
- d) 软件能够对已修改部分进行确认。

8.1.6 可移植性

从可移植性方面考虑，宜测试以下内容：

- a) 软件具有可适应不同运行环境的能力；
- b) 依据用户手册安装，能在指定环境成功安装；
- c) 在同样环境下，可替代另一个相同用途的指定软件。

8.2 产品化程度

8.2.1 软件文档集

CAM软件文档集的测试包括资料的完整性、一致性、准确性和可理解性等内容。进行文档测试时，宜考虑以下内容：

- a) 明确文档验收的标准，软件开发人员和用户应达成一致；
- b) 确定文档的重要性和项目文档需求；
- c) 检验文档的种类和内容的完整性；
- d) 检验文档的一致性，包括软件设计描述与需求、应用程序和设计文档描述、文档前后内容描述的一致性；
- e) 检验文档的准确性，即文档描述应准确且无歧义；
- f) 检验文档的可理解性，即文档表达应详细且易于理解。

8.2.2 技术支持与服务

CAM软件的技术支持与服务宜包括线上服务、产品介绍、培训资料等内容。

8.3 产品化测试评价

CAM 软件的产品化测试完成后，宜对软件的可用性和产品化程度测试结果进行分析，确定软件的产品化指标是否达到设计要求、存在哪些问题以及如何改进。

CAM 软件的产品化测试评价方法参见附录 C。

9 测试总结

9.1 测试结果

CAM软件测试结果宜满足以下内容：

- a) 可重复性：由同一测试者按同一测试大纲对同一软件进行重复测试，宜产生同一种结果；
- b) 可再现性：由不同测试者按同一测试大纲对同一软件进行测试，宜产生同一种结果；

- c) 公正性：测试不偏向任何预设的结果；
- d) 客观性：测试结果为客观事实。

9.2 测试文档

CAM 软件测试完成后形成的文档宜包括：

- a) 测试大纲；
- b) 测试说明；
- c) 测试报告；
- d) 测试记录；
- e) 测试问题报告。

9.3 测试报告

CAM 软件的测试活动和测试结果宜汇总在测试报告中，测试报告大纲参见附录 D。

附录 A
(资料性)

航空零部件制造企业 CAM 软件测试用例设计

在实施测试时，测试用例是软件测试的标准。测试人员宜严格按照测试用例的测试项目和测试步骤逐一实施测试，并记录测试情况。

A.1 设计准则

测试用例设计宜遵循以下基本准则：

- a) 测试用例能代表各种合理或不合理的、边界和越界的，以及极限的输入数据、操作和环境设置等；
- b) 测试执行结果的正确性是可判定或可评估的；
- c) 对同样的测试用例，系统的执行结果是相同的。

A.2 编制方法

编写测试用例文档宜有用例模板，且符合内部规范。测试用例文档由简介和测试用例两部分组成。简介部分宜包括测试目的、测试范围、定义术语、参考文档等；测试用例部分则逐一系列各测试用例，每个测试用例宜包括名称和标识、测试追踪、用例说明、用例初始化、测试输入、期望结果、评价标准、前提和约束及测试终止条件等信息。

测试用例可以分为基本事件、备选事件和异常事件的用例。设计基本事件的用例，宜参照用例规约，根据关联的功能、操作按路径分析法设计测试用例。对孤立的功能，则直接按功能设计测试用例。基本事件的测试用例宜包含需要实现的全部需求功能；设计备选事件和异常事件的用例相对复杂，可采用软件测试中常用的基本方法进行设计。

A.3 用例模板

CAM软件测试用例模板如表A.1所示。

表 A.1 CAM 软件测试用例模板

用例名称	加工刀具轨迹生成功能		用例标识	CAM-系统测试-010
测试追踪	第 1 次测试			
用例说明	对 XXX 数据模型进行刀具轨迹生成功能测试			
用例初始化	硬件配置	(电脑配置) CPU、内存等		
	软件配置	(测试软件配置) 版本号、需要的软件功能包等		
	测试配置	(测试条件) 提供测试数据模型		
	参数配置	(测试时系统参数配置) 数据类型、模型文件类型等		

表 A.1（续）

操作过程				
序号	输入及操作说明	期望的测试结果	评价标准	备注
01	选择数据模型	加载数据	加载反馈	
02	显示模型	显示模型	数据模型正确显示	
03	路径生成	生成刀具路径	刀具路径正确生成	
04				
05				
前提和约束	提供分析数据，数据文件满足指定格式			
过程终止条件	路径生成完毕并显示结果			
结果评价标准	显示正确的生成路径结果			
设计人员		设计日期		

附录 B

(资料性)

航空零部件制造企业 CAM 软件功能完备性框架

CAM 软件功能完备性包括工艺方案设计、加工刀具轨迹生成、刀具轨迹编辑、后置处理及加工仿真等五大类，每个大类又分为若干子类，而每个子类又包含若干功能项，见表B. 1。

表 B. 1 航空零部件制造企业 CAM 软件功能

大类	子类	功能项
工艺方案设计	毛坯设计	a) 选择毛坯类型 b) 遍历选择不同毛坯类型 c) 调用已建立的三维实体文件作为零件加工毛坯
	刀具选用	a) 根据工件的形状选用不同的刀具类型 b) 根据工件的粗、精加工工艺选用不同的刀具类型
	走刀路线确定	a) 切削模式设置 b) 切削模式图示说明
	工艺参数设定	a) 设置步距、切削深度、进给和速度等切削参数 b) 设置进给率参数
	安全平面、初始点和起刀点确定	a) 设置安全平面 b) 设置刀具初始点 c) 设置刀具起刀点 d) 设置刀具返回点
	进刀、退刀方式选择	a) 设置进刀点 b) 设置退刀点 c) 设置进刀方式 d) 设置退刀方式
加工刀具轨迹生成	几何体创建	a) 设置机床坐标系 b) 创建毛坯几何体、部件几何体、修剪几何体等 c) 设置加工区域、加工边界，检验面 d) 对创建的几何体进行编辑和修改
	刀具创建	a) 支持选用不同的刀具 b) 支持自定义新刀具 c) 设置刀具参数 d) 对创建的刀具进行编辑和修改
	加工方法创建	a) 创建粗加工方法 b) 创建半精加工方法 c) 创建精加工方法 d) 支持对不同的运动类型设置不同的刀轨显示颜色
	程序组创建	a) 支持创建不同的程序组
	加工工序创建	a) 支持创建不同的加工工序 b) 支持对加工工序进行复制、编辑等操作 c) 提供加工工序模板

表 B.1 (续)

大类	子类	功能项
刀具轨迹编辑	刀具轨迹显示	a) 可在图形窗口显示刀具轨迹 b) 可将刀具在所选择的刀位点上显示
	刀具轨迹编辑修改	a) 支持对刀具轨迹进行延伸操作 b) 支持对刀具轨迹进行修剪操作 c) 可对刀具轨迹中的刀点位、切削行、切削块进行操作 d) 可对刀具轨迹进行删除操作 e) 可对刀具轨迹进行复制/粘贴操作
	刀具轨迹几何变换	a) 支持对刀具进行平移操作 b) 支持对刀具进行旋转操作 c) 支持对刀具进行镜像变换操作
	刀位点插入	a) 支持在刀具轨迹中插入刀位点 b) 支持刀位点的均匀化
后置处理	生成车间文档	a) 生成不同格式的车间工艺文档
	后置处理器构造	a) 新建后置处理器 b) 编辑后置处理器
	后置处理输出	a) 能够设置后置处理器输出文件的格式 b) 能够选择不同的后置处理器
	数控代码生成	a) 能根据不同的后处理器生成数控加工代码
加工仿真	刀具轨迹验证仿真	a) 能够设置不同的刀具轨迹仿真模式 b) 能够对刀具轨迹的光滑性进行检查 c) 能够检查刀轴矢量的突变现象 d) 能够检查凹凸点处刀具轨迹的连接性 e) 能够检查刀具是否过切零件加工表面 f) 能够检查刀具是否与检查面发生干涉或碰撞 g) 能够在刀具过切、刀具干涉或碰撞时给出警告信息
	机床加工仿真	a) 验证刀具轨迹正确性 b) 检验切削刀具与机床部件、夹具和零件之间相互运动关系（干涉或碰撞）

附录 C

(资料性)

航空零部件制造企业 CAM 软件测试评价方法

C.1 测试评价

C.1.1 概述

测试评价是对航空零部件制造企业CAM 软件的功能测试、性能测试和产品化测试结果进行综合评价。CAM 软件测试评价过程如图 C.1 所示。

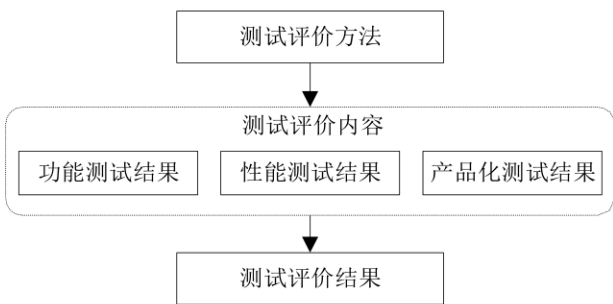


图 C.1 CAM 软件测试评价过程

C.1.2 测试评价内容

航空零部件制造企业 CAM 软件测试评价内容包括功能测试评价、性能测试评价、产品化测试评价，具体内容如下：

- a) 功能测试评价包括CAM 软件的功能完备性和正确性评价；
- b) 性能测试评价包括CAM 软件的负载性能、压力性能和效率测试评价；
- c) 产品化测试评价包括 CAM 软件的可用性和产品化程度评价。

C.1.3 测试评价方法

航空零部件制造企业 CAM 软件测试中，功能测试、性能测试和产品化测试均是通过子特性来衡量，子特性则是通过测试指标项度量。对测试指标项的度量，是按照事先确定的判别标准进行对照检查，每个测试指标项都可能有两种答案（Y/N）：“Y”表示“通过”，即度量值等于或优于期望值；“N”表示“不通过”，即度量值劣于期望值。

功能测试的子特性包括功能完备性和正确性，性能测试子特性包括负载性能、压力性能和效率，产品化测试子特性包括可用性和产品化程度。各个子特性的测量值利用式（C.1）计算：

$$v = \sum m_i / n \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

v ——为子特性的测量值；

m_i ——为子特性的第 i 个测试指标项测试结果；答案是“Y”时，其值为 1，答案是“N”时，其值为

0；

n ——为子特性的测试指标项总数。

C.2 功能测试评价

按照 C.1.3 的测试评价方法，CAM 软件的功能完备性和正确性的测量值分别为 v_1 和 v_2 ，则功能测试的测量值可用式（C.2）计算：

$$V_f = (v_1 + v_2) / 2 \dots\dots\dots (C.2)$$

式中：
 V_f ——为功能测试的测量值；
 v_1 ——为功能完备性的测量值；
 v_2 ——为功能正确性的测量值。

依据功能测量值 V_f 、完备性测量值 v_1 和正确性测量值 v_2 ，按照表 C.1 确定 CAM 软件的功能完备性和正确性的评价等级。

表 C.1 功能测试评价等级

评价等级	I（差）	II（合格）	III（良好）	IV（优秀）
完备性	$0 \leq v_1 < 0.85$	$0.85 \leq v_1 < 0.90$	$0.90 \leq v_1 < 0.95$	$0.95 \leq v_1 \leq 1$
正确性	$0 \leq v_2 < 0.85$	$0.85 \leq v_2 < 0.90$	$0.90 \leq v_2 < 0.95$	$0.95 \leq v_2 \leq 1$
功能测试	$0 \leq V_f < 0.85$	$0.85 \leq V_f < 0.90$	$0.90 \leq V_f < 0.95$	$0.95 \leq V_f \leq 1$

功能测试结果的评价，以完备性和正确性的评价等级的最低等级作为功能测试的最终等级，如表 C.2 所示。

表 C.2 功能测试等级评价方法

功能等级		正确性等级			
		I（差）	II（合格）	III（良好）	IV（优秀）
完备性等级	I（差）	差	差	差	差
	II（合格）	差	合格	合格	合格
	III（良好）	差	合格	良好	良好
	IV（优秀）	差	合格	良好	优秀

C.3 性能测试评价

按照 C.1.3 的测试评价方法，CAM 软件的负载性能、压力性能和效率的测量值分别为 v_1 、 v_2 和 v_3 ，则性能测试的测量值可用式（C.3）计算：

$$V_c = (v_1 + v_2 + v_3) / 3 \dots\dots\dots (C.3)$$

式中：
 V_c ——为性能测试的测量值；
 v_1 ——为负载性能的测量值；
 v_2 ——为压力性能的测量值；
 v_3 ——为效率的测量值。

依据性能测量值 V_c 、负载性能测量值 v_1 、压力性能测量值 v_2 和效率测量值 v_3 ，按照表 C.3 确定 CAM

软件的负载性能、压力性能和效率的评价等级。

表 C.3 性能测试评价等级

评价等级	I（差）	II（合格）	III（良好）	IV（优秀）
负载性能	$0 \leq v_1 < 0.85$	$0.85 \leq v_1 < 0.90$	$0.90 \leq v_1 < 0.95$	$0.95 \leq v_1 \leq 1$
压力性能	$0 \leq v_2 < 0.85$	$0.85 \leq v_2 < 0.90$	$0.90 \leq v_2 < 0.95$	$0.95 \leq v_2 \leq 1$
效率	$0 \leq v_3 < 0.85$	$0.85 \leq v_3 < 0.90$	$0.90 \leq v_3 < 0.95$	$0.95 \leq v_3 \leq 1$
性能测试	$0 \leq V_c < 0.85$	$0.85 \leq V_c < 0.90$	$0.90 \leq V_c < 0.95$	$0.95 \leq V_c \leq 1$

性能测试结果的评价，以负载性能、压力性能和效率的评价等级的最低等级作为性能测试的最终等级。例如：负载性能的等级为“合格”，压力性能的等级为“良好”，效率性能的等级为“优秀”，则性能测试的最终等级为“合格”。

C.4 产品化测试评价

按照 C.1.3 的测试评价方法，CAM 软件的可用性和产品化程度的测量值分别为 v_1 和 v_2 ，则产品化测试的测量值可用式（C.4）计算：

$$V_p = (v_1 + v_2) / 2 \dots\dots\dots (C.4)$$

式中：

- V_p ——为产品化测试的测量值；
- v_1 ——为可用性的测量值；
- v_2 ——为产品化程度的测量值。

依据产品化测试测量值 V_p 、可用性测量值 v_1 和产品化程度测量值 v_2 ，按照表 C.4 确定 CAM 软件的可用性和产品化程度的评价等级。

表 C.4 产品化测试评价等级

评价等级	I（差）	II（合格）	III（良好）	IV（优秀）
可用性	$0 \leq v_1 < 0.85$	$0.85 \leq v_1 < 0.90$	$0.90 \leq v_1 < 0.95$	$0.95 \leq v_1 \leq 1$
产品化程度	$0 \leq v_2 < 0.85$	$0.85 \leq v_2 < 0.90$	$0.90 \leq v_2 < 0.95$	$0.95 \leq v_2 \leq 1$
产品化测试	$0 \leq V_p < 0.85$	$0.85 \leq V_p < 0.90$	$0.90 \leq V_p < 0.95$	$0.95 \leq V_p \leq 1$

产品化测试结果的评价，以可用性和产品化程度的评价等级的最低等级作为产品化测试的最终等级，如表 C.5 所示。

表 C.5 产品化测试等级评价方法

性能等级		产品化程度等级			
		I（差）	II（合格）	III（良好）	IV（优秀）
可用性 等级	I（差）	差	差	差	差
	II（合格）	差	合格	合格	合格
	III（良好）	差	合格	良好	良好
	IV（优秀）	差	合格	良好	优秀

C.4 测试结果

航空零部件制造企业 CAM 软件的测试结果 V_r ，依据功能测试测量值 V_f 、性能测试测量值 V_c 和产品化测试测量值 V_p 的加权求和确定，计算公式如式 (C.5) 所示：

$$V_r = W_f V_f + W_c V_c + W_p V_p \dots\dots\dots (C.5)$$

式中：

- V_r ——为测试结果的测量值；
- W_f ——为功能测试的权重，且 $0 < W_f < 1$ ；
- V_f ——为功能测试的测量值；
- W_c ——为性能测试的权重，且 $0 < W_c < 1$ ；
- V_c ——为性能测试的测量值；
- W_p ——为产品化测试的权重，且 $0 < W_p < 1$ ；
- V_p ——为产品化测试的测量值。

其中， W_f 、 W_c 、 W_p 应满足式 (C.6)：

$$W_f + W_c + W_p = 1 \dots\dots\dots (C.6)$$

通常情况下， W_f 、 W_c 、 W_p 均取 1/3。如果要强调某一类测试，其权重应取较大的值；反之应取较小的值。

依据测试结果 V_r 的值，按照表 C.6 的对应关系，可最终确定 CAM 软件的测试结果评价等级。

表 C.6 CAM 软件测试结果评价等级

评价等级	I（差）	II（合格）	III（良好）	IV（优秀）
测试结果	$0 \leq V_r < 0.85$	$0.85 \leq V_r < 0.90$	$0.90 \leq V_r < 0.95$	$0.95 \leq V_r \leq 1$

附录 D
(资料性)

航空零部件制造企业 CAM 软件测试报告大纲

CAM软件的测试活动和测试结果宜汇总在测试报告中，测试报告大纲宜包括下列内容。

第一章 概述 1.1 测试活动简介 1.2 被测试项 1.3 测试环境 1.4 所参照的技术规范或设计说明书
第二章 测试活动描述 2.1 测试日期和时间 2.2 测试人员 2.3 测试数据 2.4 预期结果 2.5 测试记录、实际结果 2.6 异常现象
第三章 测试评价 3.1 测试项判定和评价 3.2 测试活动与测试计划差异评价 3.3 测试结论

图 D.1 航空零部件制造企业 CAM 软件测试报告大纲

参 考 文 献

- [1] GB/T 18784.2 CAD/CAM 数据质量保证方法
 - [2] GB/T 20158 信息技术 软件生存周期过程 配置管理
 - [3] GB/T 25000.51 系统与软件工程 系统与软件质量要求和评价[4]
 - GB/T 33447 地理信息系统软件测试规范
-