

ICS 25.040.20

J09

备案号:

JB

中华人民共和国机械行业标准

JB/T 13776—2020

工业机械电气设备及系统
数控系统软件可靠性测试规范

Electrical equipment and system of industrial machines — Specification for
numerical control system software reliability testing

(报批稿)

2018-06-28

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

目次

前 言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语、定义及缩略语.....	1
3.1 术语和定义.....	1
3.2 符号及缩略语.....	2
4 测试对象.....	2
4.1 数控系统软件.....	2
4.2 数据类型和数据结构.....	4
5 基本要求.....	5
5.1 概述.....	5
5.2 功能性.....	5
5.3 鲁棒性.....	6
5.4 易用性.....	6
5.5 效率.....	7
5.6 可维护性.....	7
6 测试内容及方法.....	8
6.1 概述.....	8
6.2 功能性测试.....	8
6.3 鲁棒性测试.....	22
6.4 易用性测试.....	23
6.5 效率测试.....	25
6.6 可维护性测试.....	26
附录 A（资料性附录）数控系统软件可靠性测试案例.....	27
参 考 文 献.....	34

前 言

本标准按GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第1部分:标准的结构和编写》给出的规则进行起草。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国工业机械电气系统标准化技术委员会(SAC/TC 231)归口。

本标准主要起草单位:工业和信息化部计算机与微电子发展研究中心(中国软件评测中心)、国家机床质量监督检验中心、沈阳高精数控智能技术股份有限公司、山东建筑大学、广州数控设备有限公司、武汉华中数控股份有限公司、北京凯恩帝数控技术有限责任公司、浙江省机电设计研究院有限公司、上海开通数控有限公司、大连光洋科技集团有限公司、北京计算机技术及应用研究所等。

本标准主要起草人:陈淦萍、黄祖广、于东、韩方旭、姬帅、张文博、王勇、邹捷、蒋峥、薛瑞娟、巩潇、杜瑞芳、杨洪丽、陈建明、武南、韩文业、孙文貌。

本标准为首次发布。

引言

可靠性测试采用黑盒测试的方法，该测试用于保障被测对象软件的质量，从使用者的角度考察软件的外部质量和使用质量，主要测试内容包括功能性、鲁棒性、易用性、效率、可维护性5个质量特性，保障被测对象的质量。

工业机械电气设备及系统 数控系统软件可靠性测试规范

1 范围

本标准规定了数控系统软件可靠性测试的一般要求及方法。

本标准适用于金属加工机械、木工机械、锻压机械用数控系统软件可靠性测试与评价，其他工业机械用数控系统亦可参照此标准。

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，仅所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。

3 术语、定义及缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

数控系统 numerical control system

使用数值数据的控制系统，在运行过程中不断地引入数值数据，而实现机床加工过程的自动控制。

[GB/T 26220-2010，定义3.1]

3.1.2

数控系统软件 numerical control system software

包括数控系统的实时操作系统、中间件、应用软件及应用编程接口。

[GB/T 18759.5-2016，定义3.1.16~3.1.19]

3.1.3

可靠性 reliability

产品在规定的条件下，规定的时间内，完成规定功能的能力。这里的产品可以泛指任何系统、设备和元器件。

[GB/T 16260.1-2006，定义6.2]

3.1.4

软件可靠性 software reliability

在一定的时间间隔、给定的软件运行环境下，程序按照设计要求执行一定功能的能力。

注：本标准规定的可靠性是指数控系统软件的可靠性，数控系统软件框架及范围见 4.1。

3.1.5

产品规格说明 product specification

a) 规定系统或部件必须实现的产品的设计文档。

注：对于软件，此文档描述软件构造时的版本。

b) 描述为潜在的客户和用户考虑的计划的或已存在的产品特征的文档。

[GB/T 11457-2006，定义 2.1219]

3.2

符号及缩略语

下列符号和缩略语适用于本文件。

HMI	Human Machine Interface	人机操作界面
PLC	Programmable Logic Controller	可编程逻辑控制器
GUI	Graphical User Interface	图形用户界面
OpenGL	Open Graphics Library	开放图形库
API	Application Programming Interface	应用程序编程接口
FIFO	First Input First Output	先入先出
PID	Proportional-Integral-Differential	比例-积分-微分

4 测试对象

4.1 数控系统软件

4.1.1 概述

数控系统软件包括三层结构，分别为操作系统层、中间件层与应用层，如图1所示。

注：改写 GB/T 18795.5-2016，定义 4.2

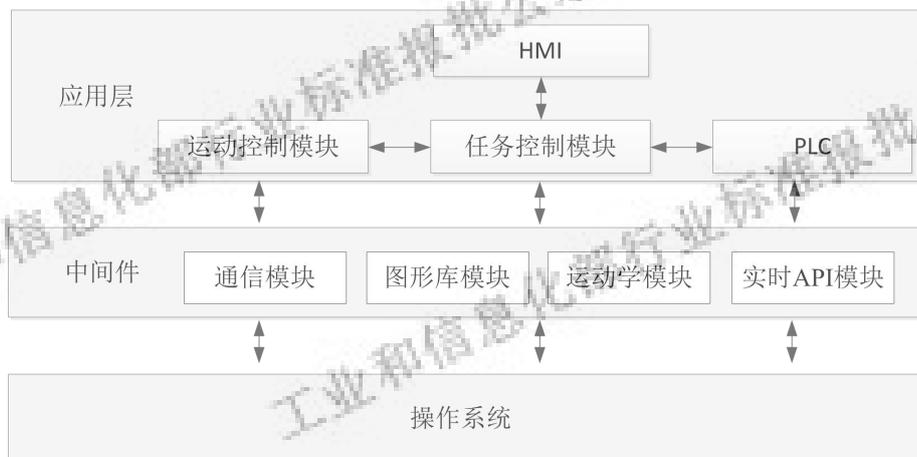


图 1 数控系统软件框架示意图

4.1.2 操作系统层

操作系统位于数控系统软件底层，通过为上层提供系统调用接口，实现对操作系统资源及硬件平台资源的管理及访问，满足数控系统软件的互操作及开放性要求。操作系统通常由通用内核和实时内核组成，应提供以下通用内核编程接口及实时内核编程接口：

- 非实时任务（进程）调度；
- 非实时任务（进程）间通信；
- 非实时任务（进程）内存管理；
- 实时任务（进程）调度；
- 实时任务（进程）间通信；
- 实时任务（进程）内存管理；
- 高精度实时时钟；
- 实时操作系统中断管理；
- 设备管理；
- 文件管理；
- 网络管理；
- 其他接口。

满足数控系统软件应用层和中间件层对系统实时时钟、存储器、网络接口、总线接口等平台资源的调用及管理。

4.1.3 中间件层

4.1.3.1 概述

中间件层处于应用软件之下，操作系统之上的“中间”，是承上启下的应用支撑平台，为应用软件共享资源提供支撑，提供其运行与开发环境。中间件层提供的应用编程接口定义了一个相对稳定的高层应用环境，不管底层的计算机硬件和操作系统软件怎样更新换代，只要将中间件升级更新，并保持中间件对外的接口定义不变，即可实现应用软件在不同系统平台间的移植。

4.1.3.2 通信模块

通信模块应为上层应用软件提供通信服务。通信模块应提供数控系统间网络互联以及数控系统软件内部非实时空间内各进程间通信。网络互联通信应支持面向局域、广域等网络协议的通信服务；非实时空间内进程间通信应支持包括：信号、管道、共享内存、消息队列等通信方式。

4.1.3.3 图形库模块

图形库模块通过提供图形库编程接口为人机界面的开发提供服务，常用的图形库模块有 MiniGUI、Qt 和 OpenGL 等，数控系统软件开发人员在开发人机界面时，通过调用这些图形库接口来实现满足自己设计的图形效果。

4.1.3.4 运动学模块

运动学模块通过运动学调用接口实现对运动控制组件提供服务。运动学模块的数学库中定义了三种坐标系统：直角坐标系，球面坐标系和柱面坐标系，运动学模块能够实现不同运动坐标系之间的坐标转换。

4.1.3.5 实时 API 模块

实时 API 模块为上层应用软件提供实时时钟、实时线程扩展、实时通信、中断调度等服务。其中通过实时时钟、实时线程扩展、中断调度等调用实现数控系统的实时线程调度与管理；通过实时通信调用实现非实时空间内进程与实时线程间通信以及实时空间内各线程间的通信，其通信方式包括共享内存、信号量、FIFO 队列、消息盒、互斥器等。此外，采用实时 API 模块，应用软件平台可以兼容多种实时操作系统，使用户不必关心实时操作系统的类型。

4.1.4 应用层

4.1.4.1 概述

数控系统软件应用层的作用是将机床的各种状态，各轴位置及运动情况以及 I/O 信息等显示到屏幕供操作人员查看，并且采集操作人员的各种指令，将其解析为中间件层各模块能够识别的操作命令集，并实时检测中间件层各模块的运行情况。数控系统软件应用层由四个部分组成，即人机操作界面（HMI）、任务控制模块、运动控制模块和 PLC 组成。其中运动控制模块和 PLC 对响应时间的要求很高，因此一般作为实时任务处理，而任务控制模块和人机操作界面对响应时间的要求不高，可以作为非实时任务运行。

4.1.4.2 人机操作界面（HMI）

人机操作界面（HMI）负责读取用户的操作指令，例如对加工程序的管理操作，加工辅助信息的输入和修改操作等，另外，人机操作界面还负责将当前的系统运行状态信息显示在屏幕上，例如刀具移动的轨迹图像、各轴加工位置信息、加工辅助信息以及系统当前的报警情况等。

4.1.4.3 任务控制模块

任务控制模块是数控应用层软件的枢纽，它通过译码模块来解析加工程序信息，将其分解为对运动控制模块和 PLC 的操作，并监控它们完成相应的操作，最后从运动控制模块和 PLC 取得当前的加工状态信息和报警信息，处理后发送到人机操作界面模块进行显示。此外，任务控制模块还通过管理程序来完成对系统软件的初始化，调度和协调软件中的各项任务、管理机床运行状态和加工状态等。

4.1.4.4 运动控制模块

运动控制模块通过调用插补算法来规划各轴的移动轨迹，通过 PID 调节来进行电机位置控制，根据工件程序或配置参数中设定的速度、进给率方式、终点停止模式以及加减速方式等来进行各轴运转速度和加速度控制等。另外，运动控制模块还通过配置的刀具补偿信息、螺距补偿信息以及反向间隙补偿信息等对各轴位置进行调节，以满足加工的精度要求。

4.1.4.5 可编程逻辑控制器（PLC）

可编程逻辑控制器（PLC）可分为逻辑文件编辑模块和执行模块两部分，编辑模块负责处理用户的梯形图编辑和编译操作，执行模块主要以数控系统内部和机床上各行程开关、传感器、按钮、继电器等信号量的状态为条件，按照编译生成的逻辑文件，对诸如伺服轴的硬限位、回零开关、主轴的启停和换向、刀具的更换、工件的夹紧与松开、液压、冷却、润滑系统等电气开关进行控制。

4.2 数据类型和数据结构

开放式数控系统软件平台应支持基本数据类型与派生数据类型，其中基本数据类型包括数值类型、字符类型、位串类型和逻辑类型等，派生数据类型包括数组、字符串、结构体、共用体、枚举类型、自定义类型和指针类型等。

5 基本要求

5.1 概述

数控系统软件可靠性测试内容包括但不限于此（数控系统软件可靠性测试案例参加附录A）。

5.2 功能性

5.2.1 概述

在指定条件下，软件产品满足产品规格说明中明确和隐含要求功能的能力。

5.2.2 适合性

5.2.1.1 功能充分性

功能充分性指：

- 检测软件是否完成了软件规格说明书中所要求的所有功能；
- 检测最终用户是否可调用全部功能；
- 检测所有已知的限制条件下，使用相应的环境设施、设备和数据是否按照要求完成功能；
- 检测软件所具有未授权访问的预防措施是否全部实现；
- 检测最终用户对软件操作进行的控制与软件的行为是否一致。

5.2.1.2 功能实现的完整性

功能实现的完整性指：

- 检测软件功能实现的完整性；
- 检测安装后，软件的功能是否能完成应是可识别的。

5.2.1.3 功能实现的正确性

功能实现的正确性指：

- 检测功能实现的正确性；
- 检测软件是否自相矛盾；是否与用户文档集和产品说明矛盾。

5.2.3 准确性

5.2.2.1 功能的准确性

依据软件的特点，设计相应的测试用例，依据等价类法和边界值法选定具有覆盖性的测试数据作为输入，并计算出这些输入的预期结果。将用例应用于实现的软件系统，记录软件的实际输入结果，比较实际结果与预期结果间的差异。

5.2.2.2 计算的准确性

根据功能的准确性要求，设计测试用例，应考虑用户对计算功能使用频次的要求，选择出最大计算频次进行计算测试，比较所测得的计算结果的准确性与计算功能准确性要求是否满足。

5.2.2.3 精度

根据软件计算功能的精度要求，设计测试用例，验证软件运算功能结果精度及有效位，是否与用户

需求或需求规格说明书中对精度和有效位的要求相一致。

5.2.4 安全保密性

安全保密性指：

- 检测软件是否具有对系统正常访问的控制能力；
- 检测软件对非授权人创建、删除或修改信息是否有控制处理能力。

5.3 鲁棒性

在指定条件使用时，软件维持规定的性能级别的能力。

注：本文件规定的鲁棒性主要关注数控系统软件的容错性。

5.3.1 避免死机

避免死机指：

- 验证在正常运行的情况下，软件运行过程中是否有避免出现死机的措施；
- 验证在非正常运行的情况下，软件运行过程中是否有避免出现死机的措施；
- 验证在硬件或网络出现问题的情况下，软件是否有避免出现死机的措施。

5.3.2 抵御误操作

抵御误操作指：

- 验证软件是否有抵御错误的数据类型作为参数的误操作能力的功能；
- 验证软件是否有抵御错误的输入数据序列的误操作能力的功能；
- 验证软件是否有抵御错误的操作序列的误操作能力的功能；
- 记录用例的执行结果，验证软件是否可抵御误操作。

5.3.3 自我修复

自我修复指：

- 验证在异常情况下，软件产品是否有修复能力；
- 验证软件产品的修复的方法是否可用；
- 验证软件产品的数据保护的措施是否可用。

5.4 易用性

在指定条件使用时，软件产品被理解、学习、使用和吸引用户的能力。

注：本文件规定的易用性主要关注数控系统软件的易操作性。

5.4.1 在使用中操作的一致性

在使用中操作的一致性指：

- 检查整个软件的操作方法是否是一致的；
- 检查整个软件的界面组成是否是一致的；
- 检查软件是否具有“输入的可预测性”和“输出的可预测性”。

5.4.2 使用中消息的可理解性

使用中消息的可理解性指：

- 检查软件用户在使用中是否容易理解软件系统的消息；
- 检查在开始下一步动作之前软件是否有任何引起用户延理解的消息；
- 检查软件用户在使用中是否容易记住带有信息的重要消息；

- 检查软件用户在使用中是否成功识别带有信息的重要消息；
- 检查软件的每个元素（数据媒体、文件）是否带有产品标识。

5.4.3 操作规程的减少

操作规程的减少指：

- 验证软件用户或操作者能否方便地减少操作规程；
- 验证软件产品或操作者是否能方便地减少操作次数；
- 验证软件产品是否有快捷键。

5.5 效率

5.5.1 概述

在规定条件下，相对于所用资源数量，软件产品提供适当性能的能力。

5.5.2 响应时间

响应时间指：

- 在所陈述的条件下，检测完成一项规定任务所花费的时间。（陈述条件包括：系统配置和软件产品有效工作所需的资源）；
- 选取数据量较大和用户操作最频繁的测试场景，检测软件产品运行的响应时间。

5.5.3 最大内存利用数

最大内存利用数指：

- 检测在完成某个功能时，需要的内存最大限度情况；
- 在最大负载的条件下，软件产品执行任务，针对不同的操作系统，采用不同的内存查看工具，检测软件对内存的使用情况。

5.5.4 CPU 占用率

检测在完成某个功能时，需要的CPU最大限度情况。

5.6 可维护性

5.6.1 概述

软件产品可被修改的能力，包括修正、改进或软件适应环境、需求和产品规格说明中的变化。

注：本文件规定的可维护性主要关注数控系统软件的易改变性。

5.6.2 审核追踪能力

审核追踪能力指：

- 验证软件运行过程中发现故障，软件用户或维护者是否可以明确标识引起失效的具体功能和操作；
- 检查软件是否提供了监控不期望的失效和重要条件的信息；
- 检查软件是否提供了监控运行指示器（如日志、警告屏）的信息；
- 检查软件是否提供了监控由应用程序处理本地数据的信息。

5.6.3 修改的复杂性

检测软件的维护者能否容易地变更软件产品（包括：对源程序中可执行语句变更、需求规格说明中的变更或文档变更等）以解决失效问题。

5.6.4 参数表示的可修改性

参数表示的可修改性指：

- 检测软件的维护者能否容易地变更参数以变更软件并解决问题；
- 检测软件产品是否提供基础参数设置功能；
- 检测软件用户是否能利用参数及时变更软件配置，变更能否及时反应到系统运行中；
- 检测软件产品能否提供方便的系统维护手段和措施。

5.6.5 软件变更控制能力

软件变更控制能力指：

- 检测软件产品能否容易地标识修订的版本；
- 检测软件维护者能否容易地变更软件，以解决问题。

6 测试内容及方法

6.1 概述

数控系统软件的可靠性测试内容及方法主要包括以下内容但不限于此。

注：本标准重点关注数控系统应用层软件可靠性测试技术要求，操作系统层及中间件层软件可靠性测试技术要求可参考GB/T 18759.5中第5、6章。

6.2 功能性测试

6.2.1 适合性

6.2.1.1 人机交互功能

对人机交互功能的测试内容及方法见表1。

表1 人机交互功能测试内容及测试方法

序号	功能	功能说明	考核指标	指标说明	测试方法
1	加工程序管理	<p>工件程序的创建、编辑、检索、删除、更名、导入等操作</p> <p>输入：工件程序的创建、编辑、检索、删除、更名、导入等操作</p> <p>执行过程：对于操作的处理</p> <p>输出：操作对应的响应</p>	功能实现全面	各功能实现了需求规格说明中的全部描述	按照规格说明，执行工件程序的各类操作，查看输出结果与规格说明书的符合程度

序号	功能	功能说明	考核指标	指标说明	测试方法
2	信息输入	<p>各类补偿值的输入、坐标系偏置设定、辅助功能码设定等</p> <p>输入：各类补偿值的输入、坐标系偏置设定、辅助功能码设定等操作</p> <p>执行过程：对于操作的处理</p> <p>输出：操作对应的响应</p>	功能实现全面	各功能实现了规格说明中的全部描述	按照规格说明,执行各类信息输入操作,查看输出结果与规格说明书的符合程度
3	图形显示	<p>根据设定的图形显示范围、选择的显示平面,在图形界面显示刀具移动轨迹</p> <p>输入:图形显示范围设定,显示平面选择,刀具移动位置点</p> <p>执行过程:刀具移动轨迹绘制</p> <p>输出:刀具移动轨迹</p>	功能实现全面	实现了规格说明关于范围设定、平面选择和图形显示中的全部描述	按照规格说明,执行图形显示相关设定,并移动刀具位置点,查看图形显示结果与规格说明书的符合程度
4	加工位置信息显示	<p>将各轴当前的位置信息,如编程位置和实际位置、加工剩余量等显示在位置界面</p> <p>输入:各轴当前的位置信息</p> <p>执行过程:各轴当前位置信息显示</p> <p>输出:显示各轴当前的位置信息</p>	功能实现全面	实现了规格说明关于位置信息显示的全部描述	按照规格说明,执行各轴移动操作,查看加工位置信息显示与规格说明书的符合程度

表1 人机交互功能测试内容及测试方法(续)

序号	功能	功能说明	考核指标	指标说明	测试方法
----	----	------	------	------	------

5	加工辅助信息显示	<p>将当前激活的MST代码、当前生效的补偿值等显示在综合界面</p> <p>输入：当前激活的MST代码、当前生效的补偿值等</p> <p>执行过程：当前激活的MST代码、当前生效的补偿值等的显示</p> <p>输出：显示的当前激活的MST代码、当前生效的补偿值等</p>	功能实现全面	实现了规格说明关于辅助信息的全部描述	按照规格说明,查看加工辅助信息显示与规格说明书的符合程度
6	报警信息显示与记录	<p>将当前系统的报警信息（通常分为手动清除类报警、自动清除类报警、PLC报警等）显示,并记录在历史信息界面中</p> <p>输入：各类报警信息</p> <p>执行过程：报警信息的显示和记录</p> <p>输出：显示、记录的各类报警信息</p>	功能实现全面	实现了规格说明关于报警信息显示和记录的全部描述	按照规格说明,查看报警信息的显示和记录与规格说明书的符合程度

6.2.1.2 PLC编辑功能

对PLC编辑功能的测试内容及方法见表2。

表2 PLC编辑功能测试内容及测试方法

序号	功能	功能说明	考核指标	指标说明	测试方法
1	PLC编辑	<p>负责PLC编辑界面的显示,处理用户逻辑的编辑和编译操作,生成可执行的文件</p> <p>输入：用户逻辑的编辑与编译操作</p> <p>执行过程：对用户逻辑的编辑操作进行处理,对编辑的逻辑进行编译,生成可执行的文件</p> <p>输出：可执行的文件</p>	编辑功能的完整性	PLC编辑功能是否完成了规格说明书囊括的所有功能	按照规格说明,执行用户逻辑的编辑与编译操作,查看输出结果与规格说明书的符合程度

6.2.1.3 数据监测与诊断功能

对数据监测与诊断功能的测试内容及方法见表3。

表3 数据监测与诊断功能测试内容及测试方法

序号	功能	功能说明	考核指标	指标说明	测试方法
1	数据监测与诊断	通过实时读取系统运行数据，显示系统当前各种工作状态 输入：系统执行状态信息 执行过程：实时读取系统执行状态信息，进行诊断分析 输出：状态数据显示与诊断结果（包括故障部位和原因）	数据监测与诊断范围	状态采集与诊断的范围，例如伺服工作状态、I/O状态、系统变量等	按照规格说明，查看数据监测与诊断结果与规格说明书的符合程度

6.2.2 准确性

6.2.2.1 准备功能（插补功能）

对准备功能的测试内容及方法见表4。

表4 准备功能测试内容及测试方法

序号	功能	功能说明	考核指标	指标说明	测试方法
1	定位G00	程序指令给出终点坐标位置信息，控制刀具与工件的相对运动，使刀具以快移速度（配置的速度*倍率）移动到程序指定的定位点 输入：G00定位指令 执行过程：根据配置，执行G00指令，计算位移 输出：定位点	定位精度	输出的终点位置与程序指定的终点位置的距离	获取经过运算后输出的终点位置，将其与程序指定终点进行比较，计算距离
2	直线插补G01	程序指令给出终点坐标位置信息，控制刀具与工件的相对运动，使刀具以指定切削速度移动到程序指定的位置 输入：G01直线指令 执行过程：根据配置，执行G01指令，计算位移与插补点 输出：密化的插补点	轨迹精度 终点精度	插补点位置与程序指定轨迹的距离 输出的终点位置与程序指定的终点位置的距离	1) 按照1%取样，获取经过插补运算后输出的轨迹上的位置点，计算其与程序指定轨迹的距离 2) 获取经过插补运算后输出的终点位置，将其与程序指定终点进行比较，计算距离

表4 准备功能测试内容及测试方法（续）

序号	功能	功能说明	考核指标	指标说明	测试方法
3	圆弧插补 G02/G03	<p>程序指令给出终点坐标位置信息，计算出平面内圆弧两端点间的插补位置信息，借此信息控制刀具与工件的相对运动，使其按规定的圆弧加工出理想曲线的一种插补方式</p> <p>输入：G02/G03圆弧指令</p> <p>执行过程：根据配置，执行G02/G03圆弧插补指令，计算位移与插补点</p> <p>输出：密化的插补点</p>	<p>轨迹精度</p> <p>终点精度</p>	<p>插补点位置对应半径与程序指定圆弧半径的差值</p> <p>插补终点位置与程序指定圆弧终点位置的距离</p>	<p>1) 按照1%取样，获取经过插补运算后输出的轨迹上的位置点，计算其对应半径并与程序指定圆弧半径进行比较，计算差值</p> <p>2) 获取经过插补运算后输出的轨迹终点位置，将其与程序指定圆弧终点进行比较，计算距离</p>
4	螺旋插补 G2/G3	<p>程序指令给出三维空间内终点坐标位置信息，计算出空间内螺旋线两端点间的插补位置信息，借此信息控制刀具与工件的相对运动，使其按规定的空间圆弧加工出理想曲线的一种插补方式</p> <p>（在平面内圆弧插补的同时，给出垂直于平面的空间第三轴的插补位置信息，借此信息使刀具在平面内做圆弧运动的同时，在空间第三轴上进行同步的线性运动，合成加工出理想空间曲线的一种插补方式）</p> <p>输入：G2/G3螺旋指令</p> <p>执行过程：根据配置，执行G2/G3螺旋插补指令，计算位移与插补点</p> <p>输出：密化的插补点</p>	<p>轨迹精度</p> <p>终点精度</p>	<p>1) 插补点映射到圆弧平面对应半径与程序指定的平面圆弧半径的差值；插补点映射到垂直圆弧平面的第三轴位置与对应的第三轴预期位置的差值</p> <p>2) 插补终点位置与程序指定终点位置的距离</p>	<p>1) 按照1%取样，获取经过插补运算后输出的轨迹上的位置点，计算其映射到圆弧平面的半径并与程序指定螺旋线对应圆弧半径进行比较，计算差值；计算插补点映射到垂直圆弧平面的第三轴位置与预期的第三轴位置的差值</p> <p>2) 获取经过插补运算后输出的轨迹终点位置，将其与标准终点进行比较，计算距离</p>

表4 准备功能测试内容及测试方法（续）

序号	功能	功能说明	考核指标	指标说明	测试方法
5	极坐标插补	<p>极坐标插补是一种轮廓控制功能，它把在直角坐标系内的编程指令转换为直线轴的移动(刀具移动)和旋转轴的移动(工件移动)</p> <p>输入：极坐标插补开启指令，直线或圆弧指令</p> <p>执行过程：根据配置，执行G1或G2/G3指令，得出直角坐标系下的插补点，转换为极坐标系下的插补点</p> <p>输出：密化的插补点</p>	<p>轨迹精度</p> <p>终点精度</p>	<p>1) G1指令：输出的插补点转换为直角坐标系的位置点与程序指定轨迹的距离</p> <p>2) G2/G3指令：输出的插补点转换为直角坐标系的位置点对应半径与程序指定圆弧半径的差值</p> <p>3) 输出的终点转换为直角坐标系的位置点与程序指定的终点的距离</p>	<p>1) 按照1%取样，对于G1指令，获取输出的插补点位置，转换为直角坐标系的位置点，计算与程序指定轨迹的距离</p> <p>2) 按照1%取样，G2/G3指令：获取输出的插补点，转换为直角坐标系的位置点，计算对应半径与程序指定圆弧半径的差值</p> <p>3) 获取输出的终点，转换为直角坐标系的位置点，计算与程序指定的终点的距离</p>
6	圆柱插补	<p>在圆柱体的外轮廓上进行加工时，加工操作由一个旋转轴的转动和一个线性轴的移动共同完成。展开圆柱的侧面，将旋转轴视为直线轴，与另一个直线轴建立直角坐标系，在建立的直角坐标系中使用直线或圆弧指令编程</p> <p>输入：圆柱插补开启指令，直线或圆弧指令</p> <p>执行过程：根据配置，执行G1、G2/G3指令，得出直角坐标系下的插补点，转换为圆柱坐标系下的插补点</p> <p>输出：密化的插补点</p>	<p>轨迹精度</p> <p>终点精度</p>	<p>1) G1指令：输出的插补点转换为直角坐标系的位置点与程序指定轨迹的距离</p> <p>2) G2/G3指令：输出的插补点转换为直角坐标系的位置点对应半径与程序指定圆弧半径的差值；</p> <p>3) 输出的终点转换为直角坐标系的位置点与程序指定的终点的距离</p>	<p>1) 按照1%取样，对于G1指令，获取输出的插补点位置，转换为直角坐标系的位置点，计算与程序指定轨迹的距离；</p> <p>2) 按照1%取样，对于G2/G3指令，获取输出的插补点，转换为直角坐标系的位置点，计算对应半径与程序指定圆弧半径的差值</p> <p>3) 获取输出的终点，转换为直角坐标系的位置点，计算与程序指定的终点的距离</p>

表4 准备功能测试内容及测试方法（续）

序号	功能	功能说明	考核指标	指标说明	测试方法
7	跳转功能	<p>程序指令给出终点坐标位置信息，控制刀具与工件的相对运动，使刀具以指定速度移动到程序指定的位置，在移动过程中如果读取到跳转信号，则立刻中止运动，并将当前位置作为本行指令的终点，同时记录读取到跳转信号时的坐标位置</p> <p>输入：跳转指令</p> <p>执行过程：根据配置，执行跳转指令，计算位移与插补点，如检测到跳转信号，则记录跳转位置，中止后续插补点计算</p> <p>输出：插补点，跳转位置</p>	<p>轨迹精度</p> <p>跳转位置精度</p>	<p>1) 插补点位置与对应程序指定轨迹上的位置点的距离</p> <p>2) 输出的终点位置与程序指定的终点位置的距离（如运行过程中未读取到跳转信号）</p> <p>3) 记录的跳转位置点与理论跳转位置点的距离（如运行过程中读取到跳转信号）</p>	<p>1) 按照1%取样，获取经过插补运算后输出轨迹的位置点，计算与程序指定轨迹的距离</p> <p>2) 如运行过程中未读取到跳转信号，则获取经过插补运算后输出的终点位置，计算与程序指定终点的距离</p> <p>3) 如运行过程中读取到跳转信号，则读取记录的跳转位置点，计算其与预先设定的跳转位置点的距离 （设定跳转位置点的获取方法：用空间位置测量仪器测量跳转位置点位置）</p>

6.2.2.2 补偿功能

对补偿功能的测试内容及方法见表5。

表5 补偿功能测试内容及测试方法

序号	功能	功能说明	考核指标	指标说明	测试方法
1	刀具长度几何补偿/刀具长度磨损补偿	<p>给出使用刀具的几何信息和磨损信息，借此信息在执行加工程序时控制机床轴，使之在程序指定目标位置的基础上进行适当的偏移，使刀具切削工件的位置点处在工件程序描述的轮廓上</p> <p>输入：工件轮廓指令与刀具长度补偿开启指令，刀具长度几何补偿和磨损补偿值</p> <p>执行过程：根据配置刀具长度几何补偿值和刀具长度磨损补偿值以及工件程序指定轮廓位置点队列，计算出补偿后的目标位置的坐标队列</p>	补偿精度	补偿后的目标位置点和对应的程序轮廓位置点的距离与输入的刀具长度补偿值的差值	获取经过刀具长度补偿后的目标位置队列，计算各位置点与对应程序指定轮廓位置点的距离，并将得出值减去设定的刀具长度几何补偿值与刀具长度磨损补偿值，计算差值

表5 补偿功能测试内容及测试方法（续）

序号	功能	功能说明	考核指标	指标说明	测试方法
		输出：补偿后的目标位置点队列			
2	刀具半径补偿	<p>给出使用的刀具的半径信息，借此信息在执行加工程序时控制机床轴，使之在程序指定目标位置的基础上进行偏移，使刀具切削工件的位置点处在工件程序描述的轮廓上</p> <p>输入：工件轮廓指令与刀具半径补偿开启指令，刀具半径补偿值</p> <p>执行过程：根据配置的刀具半径补偿值以及工件程序指定的轮廓位置点队列，计算出机床轴目标位置的坐标队列</p> <p>输出：补偿后的目标位置点队列</p>	补偿精度	补偿后目标位置点和对应的程序轮廓位置点的距离与输入的刀具半径补偿值的差值	获取经过刀具半径补偿后的目标位置队列，计算各位置点对应的程序指定轮廓位置的距离，并将得出值与设定的刀具半径补偿值进行比较，计算差值
3	螺距补偿	<p>给出机械传动部件（通常为滚珠丝杠）的行程中的误差信息，使用此信息在刀具移动到对应位置时控制机床轴，使之在原指令位置的基础上进行偏移，使机床轴实际移动到指定的目标位置</p> <p>输入：机械传动部件的行程上误差信息，指定的目标位置点</p> <p>执行过程：根据配置，执行螺距补偿算法，计算出补偿后的目标位置</p> <p>输出：补偿后的目标位置点</p>	补偿精度	补偿后的目标位置和指定的目标位置的距离与对应的螺距补偿值的差值	获取经过螺距补偿后的目标位置点，计算与指定的目标位置点的距离，并将得出值与对应的螺距补偿值进行比较，计算差值

表5 补偿功能测试内容及测试方法（续）

序号	功能	功能说明	考核指标	指标说明	测试方法
4	反向间隙补偿	<p>在机床轴进行往返运动时，由于机械上存在空程差，导致轴移动距离与指定移动距离不匹配，为避免这种情况，将空程差长度输入反向间隙补偿数值，使用此数值在机床轴往返移动时控制电机，使之在原指定位置的基础上进行偏移，使机床轴实际移动到指定的目标位置</p> <p>输入：反向间隙补偿数值，指定的目标位置点</p> <p>执行过程：根据配置，执行反向间隙补偿算法，计算出补偿后的目标位置</p> <p>输出：补偿后的目标位置点</p>	补偿精度	电机实际各输出位置和对应的电机指令位置的差值	获取经过反向间隙补偿后的电机实际各输出位置，计算与对应的电机指令位置的差值，并将得出值与反向间隙补偿数值进行比较，计算差值

6.2.2.3 反馈（闭环）控制功能

对反馈控制功能的测试内容及方法见表6。

表6 反馈控制功能测试内容及测试方法

序号	功能	功能说明	考核指标	指标说明	测试方法
1	反馈控制	<p>根据指令位置与反馈位置信息，通过PID调节，调整输出指令数据以减小机床轴实际数据与指令数据间的误差</p> <p>输入：PID调节参数，指令数据与反馈数据</p> <p>执行过程：根据输入信息，运行PID调节算法，计算指令数据</p> <p>输出：指令数据</p>	调节精度	输出数据与指令数据的差值	检测指令位置与反馈位置的差值，并检测是否通过差值进行调节

6.2.2.4 人机交互功能

对人机交互功能的测试内容及方法见表7。

表7 人机交互功能测试内容及测试方法

序号	功能	功能说明	考核指标	指标说明	测试方法
1	加工程序管理	<p>工件程序的创建、编辑、检索、删除、更名、导入等操作</p> <p>输入：工件程序的创建、编辑、检索、删除、更名、导入等操作</p> <p>执行过程：对于操作的处理</p> <p>输出：操作对应的响应</p>	功能正确	各功能正确，可实现操作目的	测试实际操作结果与预期合理结果是否一致
2	加工辅助信息输入	<p>各类补偿值的输入、坐标系偏置设定、辅助功能码设定等</p> <p>输入：各类补偿值的输入、坐标系偏置设定、辅助功能码设定等操作</p> <p>执行过程：对于操作的处理</p> <p>输出：操作对应的响应</p>	功能正确	各功能正确，可实现操作目的	测试实际操作结果与预期合理结果是否一致
3	图形显示	<p>根据设定的图形显示范围、选择的显示平面，在图形界面显示刀具移动轨迹</p> <p>输入：图形显示范围设定，显示平面选择，刀具移动位置点</p> <p>执行过程：刀具移动轨迹绘制</p> <p>输出：刀具移动轨迹</p>	功能准确	各功能正确，可实现操作目的	测试实际显示图形是否符合程序轮廓
4	加工位置信息显示	<p>将各轴当前的位置信息，如编程位置 and 实际位置、加工剩余量等显示在位置界面。</p> <p>输入：各轴当前的位置信息</p> <p>执行过程：各轴当前位置信息显示</p> <p>输出：显示的各轴当前的位置信息</p>	功能准确	加工位置信息显示位置正确	测试实际显示位置是否与程序指定位置一致

表7 人机交互功能测试内容及测试方法（续）

序号	功能	功能说明	考核指标	指标说明	测试方法
5	加工辅助信息显示	将当前激活的GMT代码、当前生效的补偿值等显示在综合界面 输入：当前激活的GMT代码、当前生效的补偿值等 执行过程：当前激活的GMT代码、当前生效的补偿值等的显示 输出：显示的当前激活的GMT代码、当前生效的补偿值等	功能准确	加工辅助信息显示正确	测试辅助信息显示是否和设定信息一致
6	报警信息显示与记录	负责PLC编辑界面的显示，处理用户的梯形图编辑和编译操作，生成执行的逻辑文件 输入：用户编辑与编译操作 执行过程：对用户的编辑操作进行处理，对编辑的梯形图进行编译，生成逻辑执行文件 输出：逻辑执行文件	功能准确	报警信息准确	测试报警信息显示和记录是否准确

6.2.2.5 PLC模块

对PLC模块的测试内容及方法见表8。

表8 PLC模块测试内容及测试方法

序号	功能	功能说明	考核指标	指标说明	测试方法
1	PLC 编辑功能	负责PLC编辑界面的显示，处理用户的梯形图编辑和编译操作，生成执行的逻辑文件 输入：用户编辑与编译操作 执行过程：对用户的编辑操作进行处理，对编辑的梯形图进行编译，生成逻辑执行文件 输出：逻辑执行文件	编辑功能的准确性	生成的逻辑文件与用户编写的梯形图是否一致	查看生成的逻辑文件与用户编写的梯形图是否一致
2	PLC 执行功能	负责对逻辑文件的解析，对IO信号的处理。 输入：逻辑执行文件 执行过程：解析逻辑执行文件，处理IO信号 输出：输出类PLC信号	解析和执行逻辑的准确性	逻辑解析是否准确，IO处理是否准确	运行包含各种功能块的逻辑执行文件，通过PLC状态显示界面查看逻辑文件执行状态和IO处理结果是否正确

6.2.2.6 速度控制功能

对速度控制功能的测试内容及方法见表9。

表9 速度控制功能测试内容及测试方法

序号	功能	功能说明	考核指标	指标说明	测试方法
1	速度	<p>根据不同操作或指令（手动移动操作，快速移动指令，切削指令），设置不同速度，控制刀具按照设定的速度进行移动。（注：设置速度为指定速度与倍率的乘积）</p> <p>输入：移动操作或指令</p> <p>执行过程：根据输入的操作或指令，计算刀具移动速度。</p> <p>输出：到达匀速阶段的刀具移动速度</p>	速度精确度	<p>匀速阶段输出的速度与指定速度的差，包括以下三种情况：</p> <p>1) 手动移动操作：刀具匀速移动时输出的速度与参数配置中设置的手动移动速度的差值</p> <p>2) G0快速移动指令：刀具匀速移动时输出的速度与G0指令的合成移动速度的差值</p> <p>3) G1切削指令：刀具匀速移动时输出的速度与指定的进给率F的差值</p>	在参数配置中设置手动移动和快速移动的速度，分别进行手动移动操作、执行G0快速移动指令、指定进给率F执行G1切削指令。获取刀具匀速移动阶段的速度，计算与设定的速度的差值
2	进给率指定方式	<p>进给率模式可用G93/G94/G95 F_ 三种方式指定：</p> <p>1) 时间倒数进给率模式G93：在F之后指定要完成加工的时间倒数</p> <p>2) 每分钟进给G94：在F之后指定每分钟的刀具进给量</p> <p>3) 每转进给G95：在F之后，指定主轴每转的刀具进给量</p> <p>输入：G93/G94/G95 F_，G1指令</p> <p>执行过程：根据输入的指令，计算刀具移动速度。</p> <p>输出：匀速阶段的刀具移动速度</p>	速度精确度	<p>1) G93/G94/G95：输出速度与指定速度的差值</p> <p>2) G95：输出速度与F设定值和当前主轴转速乘积的差值</p>	设定进给率指定方式和进给率，执行G1指令。获取输出速度与指定速度进行比较，计算差值

表9 速度控制功能测试内容及测试方法（续）

序号	功能	功能说明	考核指标	指标说明	测试方法
3	终点停止模式	<p>终点停止模式指相邻移动指令之间的速度衔接方式。分为2种：</p> <p>1) 粗略定位模式：刀具在每个移动指令终点可不减速到0，允许实际路径与指定路径的误差在用户设定的范围之内，以保证加工速度；</p> <p>2) 精确停止模式：刀具在每个移动指令终点减速到0，再执行下一个移动指令，以保证实际路径与指定路径一致，以保证加工精度</p> <p>输入：实际路径与指定路径的最大误差，若干连续移动指令，指定的终点停止模式</p> <p>执行过程：执行连续移动指令，得出各指令终点坐标</p> <p>输出：各移动指令终点坐标</p>	位置误差精度	<p>1) 粗略定位模式：输出的各终点坐标与指定的各终点坐标的距离，与指定的路径误差的差值</p> <p>2) 精确停止模式：输出的各终点坐标，与指定的各终点坐标的距离</p>	<p>配置路径的允许误差和终点停止模式，若干移动指令</p> <p>1) 粗略定位模式：获取输出的各终点坐标，计算与指定的各终点坐标的距离，与指定的路径最大误差比较，计算差值</p> <p>2) 精确停止模式：获取输出的各终点坐标，与指定的各终点坐标比较，计算距离</p>
4	加减速方式	<p>移动指令速度变化的控制方法，如直线型方式、S曲线型方式等</p> <p>输入：加减速方式配置，移动指令</p> <p>执行过程：根据配置的加减速方式执行移动指令</p> <p>输出：密化的插补点</p>	速度曲线	速度曲线及其特征参数与预期的一致性	通过加速和减速过程输出的各相邻插补点计算获得加速度，速度曲线及其特征参数是否与预期一致

6.2.2.7 译码功能

对译码功能的测试内容及方法见表10。

表10 译码功能测试内容及测试方法

序号	功能	功能说明	考核指标	指标说明	测试方法
1	译码	负责将工件程序按照一定的语法规则翻译成数控系统能够识别的数据形式，在翻译的过程中进行语法检查和报警提示 输入：工件程序 执行过程：对工件程序进行指令解析与语法检查 输出：数控系统能够识别的数据形式以及报警	译码结果准确性 范围全面性	1) 程序译码结果是否准确，检查出语法错误时报警定位信息是否准确 2) 是否囊括所有的工艺指令	对数控系统软件所支持的所有指令分别编写正确和错误的测试用例(错误类型包括语法错误、语义错误等)，查看译码结果是否准确、报警定位信息是否有误报

6.2.2.8 管理程序

对管理程序的测试内容及方法见表11。

表11 管理程序测试内容及测试方法

序号	功能	功能说明	考核指标	指标说明	测试方法
1	管理程序	作为数控系统软件主控程序，负责管理软件的初始化、调和协调软件中的各项任务、管理机床运行状态和加工状态等 输入：软件参数配置，面板命令，数控系统软件其他各模块的执行状态 执行过程：使用参数配置管理数控系统软件的初始化，接收面板命令管理机床运行状态和加工状态，调和协调数控系统软件中各项任务的执行 输出：对数控系统软件各项任务的调度控制指令	软件初始化 对输入状态和命令是否有正确响应	1) 软件初始化的正确性 2) 对软件各模块执行状态是否可以正确管理，对面板命令是否可以正确处理	1) 采用不同设置的配置文件，查看数控系统软件初始化状态与配置文件信息符合程度 2) 针对数控系统软件各模块的执行状态，查看处理结果与预期结果符合程度。执行各项面板命令，查看处理结果与预期结果的符合程度

6.2.2.9 诊断程序

对诊断程序的测试内容及方法见表12。

表12 诊断程序测试内容及测试方法

序号	功能	功能说明	考核指标	指标说明	测试方法
1	诊断程序	通过实时读取系统执行状态，检查并指出系统故障部位和原因 输入：系统执行状态信息 执行过程：实时读取系统执行状态信息，进行诊断分析 输出：诊断结果（包括故障部位和原因）	准确性	诊断结果的准确性	查看诊断结果是否存在误报

6.2.3 安全保密性

对安全保密性的测试内容及方法见表13。

表13 安全保密性测试内容及测试方法

序号	考核指标	指标说明	测试方法
1	安全保密性	验证数控系统软件能否有效的控制不同等级用户的操作权限，实现对系统文件、工件程序文件和PLC逻辑文件的分级保护	运行数控系统软件，以不同操作权限等级的用户登录，分别对系统文件、工件程序文件和PLC逻辑文件进行创建、编辑、检索、删除、更名、导入等操作，检验数控系统软件对各等级用户操作权限的控制情况

6.3 鲁棒性测试

6.3.1 容错性

应针对数控系统软件的所有功能进行容错性测试，测试内容与测试方法见表14。

表14 容错性测试内容及测试方法

序号	考核指标	指标说明	测试方法
1	避免死机	验证在正常和非正常运行的情况下，数控系统软件运行过程中是否有避免出现死机的措施	根据软件产品的特性，采用黑盒测试方法设计测试用例，验证在正常运行的情况下，软件产品运行过程中是否有避免出现死机的措施 例如PLC编辑模块，编辑含有语法错误的梯形图，执行编译操作，测试软件是否提示错误，是否死机，是否可以防止生成执行文件
2	抵御误操作	验证软件产品是否有抵御错误操作的功能	根据软件产品的特性，采用黑盒测试方法设计测试用例，测试数控系统软件是否有抵御错误的数据类型、错误的输入数据序列、错误的操作序列等误操作能力的功能

表 14 容错性测试内容及测试方法（续）

序号	考核指标	指标说明	测试方法
3	自我修复	验证在异常情况下，软件产品是否有抵御干扰和自我修复的能力	根据软件产品的特性，采用黑盒测试方法设计测试用例，测试数控系统软件是否有效的抵御外界干扰所造成的影响，当由于干扰而使部分程序失效时，数控系统软件能否有效的使这部分程序恢复可用，当无法恢复时，数控系统软件能否有效的保护重要数据，使系统按正常运行的状态重新启动和运行

6.3.2 运行稳定性

应针对数控系统软件的所有功能进行运行稳定性测试，测试内容与测试方法见表15。

表15 运行稳定性测试内容及测试方法

序号	考核指标	指标说明	测试方法
1	运行稳定性	测试数控系统软件在首次运行、回归测试期间及非正常运行情况下的稳定性	根据软件产品的特性，采用黑盒测试方法设计测试用例，在数控系统软件首次测试期内，统计软件故障或问题的数量；在软件回归测试期内统计软件故障或问题的数量 在非正常运行情况下（如：有用户接口出错、程序自身的逻辑出错、系统或网络资源可用性引发差错），测试数控系统软件是否有继续运行的能力（即是可用的）

6.4 易用性测试

6.4.1 人机交互功能

对人机交互功能的测试内容及方法见表16。

表16 人机交互功能测试内容及测试方法

序号	功能	功能说明	考核指标	指标说明	测试方法
1	加工程序管理	工件程序的创建、编辑、检索、删除、更名、导入等操作 输入：工件程序的创建、编辑、检索、删除、更名、导入等操作 执行过程：对于操作的处理 输出：操作对应的响应	操作简便	用户可以方便快捷地使用功能	运行数控系统软件，进行工件程序的创建、编辑、检索、删除、更名、导入等操作，测试操作过程的简便易用程度

表16 人机交互功能测试内容及测试方法（续）

序号	功能	功能说明	考核指标	指标说明	测试方法
2	加工辅助信息输入	<p>各类补偿值的输入、坐标系偏置设定、辅助功能码设定等</p> <p>输入：各类补偿值的输入、坐标系偏置设定、辅助功能码设定等操作</p> <p>执行过程：对于操作的处理</p> <p>输出：操作对应的响应</p>	操作简便	用户可以方便快捷地使用功能	运行数控系统软件,进行各类补偿值的输入、坐标系偏置设定、辅助功能码设定等操作,测试操作过程的简便易用程度
3	图形显示	<p>根据设定的图形显示范围、选择的显示平面,在图形界面显示刀具移动轨迹</p> <p>输入：图形显示范围设定,显示平面选择,刀具移动位置点</p> <p>执行过程：刀具移动轨迹绘制</p> <p>输出：刀具移动轨迹</p>	操作简便	用户可以方便快捷地使用功能	设定显示范围与显示平面,执行加工程序,查看图形显示界面;测试操作过程的简便易用程度
4	用户帮助	<p>内置完整的帮助文档或电子用户手册,供操作者浏览,并根据用户输入的搜索关键字,直接定位显示出相应的功能说明</p> <p>输入：帮助文档调用操作和功能搜索关键字</p> <p>执行过程：显示帮助文档,根据输入的搜索关键字进行显示定位</p> <p>输出：帮助文档的显示及关键字搜索定位</p>	帮助有效性 帮助完整性	<p>1) 有效帮助操作者正确完成任务</p> <p>2) 向操作者提供完整的操作帮助</p>	<p>1) 在使用了系统的帮助功能后,检查操作者是否能正确地完成任务</p> <p>2) 检查电子用户手册,并检查与用户文档的匹配程度</p>
5	操作提示	<p>在执行各项加工、测量、辅助输入等操作时,在人机界面上显示出相应操作的方法说明和注意事项</p> <p>输入：各项加工、测量、辅助输入等操作</p> <p>执行过程：识别用户操作,显示相应的方法说明和注意事项</p> <p>输出：操作相应的方法说明和注意事项的显示</p>	提示的有效性 提示的完整性	<p>1) 有效提示操作者正确完成任务</p> <p>2) 操作提示实现了规格说明书中对应的全部描述</p>	<p>1) 在使用了系统的提示功能后,检查操作者是否能正确地完成任务</p> <p>2) 查看提示功能与规格说明书中对应描述的符合程度</p>

6.4.2 PLC 编辑功能

对PLC编辑功能的测试内容及方法见表17。

表17 PLC编辑功能测试内容及测试方法

序号	功能	功能说明	考核指标	指标说明	测试方法
1	PLC 编辑功能	负责PLC编辑界面的显示,处理用户的梯形图编辑和编译操作,生成执行的逻辑文件 输入:用户编辑与编译操作 执行过程:对用户的编辑操作进行处理,对编辑的梯图进行编译,生成逻辑执行文件 输出:逻辑执行文件	操作的便捷性	用户操作是否便捷	运行PLC编辑模块,编入各种功能块语句,保存并编译,测试操作过程是否便捷

6.5 效率测试

6.5.1 时间特性

6.5.1.1 人机交互功能

对人机交互功能的测试内容及方法见表18。

表18 人机交互功能测试内容及测试方法

序号	功能	功能说明	考核指标	指标说明	测试方法
1	加工程序管理	工件程序的检索操作 输入:工件程序的检索操作 执行过程:对于操作的处理 输出:操作对应的响应	检索效率	按某一条件进行检索所消耗的时间	输入检索条件,执行检索操纵,记录检索完成所需要的时间

6.5.1.2 PLC执行功能

对PLC执行功能的测试内容及方法见表19。

表19 PLC模块测试内容及测试方法

序号	功能	功能说明	考核指标	指标说明	测试方法
1	PLC 执行功能	负责对逻辑文件的解析,对IO信号的处理 输入:逻辑执行文件 执行过程:解析逻辑执行文件,处理IO信号 输出:输出类PLC信号	解析和执行逻辑的效率	执行逻辑文件的周期时间	计算执行的语句数目与所用时间的比值

6.5.1.3 译码功能

对译码功能的测试内容及方法见表20。

表20 译码功能测试内容及测试方法

序号	功能	功能说明	考核指标	指标说明	测试方法
1	译码	负责将工件程序按照一定的语法规则翻译成数控系统能够识别的数据形式，在翻译的过程中进行语法检查和报警提示 输入：工件程序 执行过程：对工件程序进行指令解析与语法检查 输出：数控系统能够识别的数据形式以及报警	译码速度	译码速度	编写不少于5000行的加工程序执行连续译码，查看译码时间

6.5.2 资源利用性

资源利用性测试内容及测试方法见表21。

表21 资源利用性测试内容及测试方法

序号	考核指标	指标说明	测试方法
1	CPU 占用率	数控系统软件在一定时间内持续运行的CPU占用情况	持续运行数控系统软件，采用性能测试工具，实时监测CPU使用情况
2	内存占用率	数控系统软件在一定时间内持续运行的内存占用情况	持续运行数控系统软件，采用性能测试工具，实时监测内存使用情况

6.6 可维护性测试

应针对数控系统软件的所有功能进行易改变性测试，测试内容与测试方法见表22。

表22 易改变性测试内容及测试方法

序号	考核指标	指标说明	测试方法
1	审核追踪能力	测试用户或维护者能否容易地识别引起失效的具体功能和操作	根据数控系统软件的特性，设计测试用例，验证数控系统软件运行过程中发生故障时，用户或维护者是否可以明确追踪识别引起失效的具体功能和操作
2	参数表示的可修改性	测试维护者能否容易地变更参数以变更软件并解决问题	根据数控系统软件的特性，设计测试用例，测试数控系统软件的维护者能否容易地变更参数以变更软件并解决问题
3	软件变更控制能力	测试用户能否容易地标识修订的版本	根据数控系统软件的特性，设计测试用例，测试数控系统软件能否容易地标识修订的版本
4	变更成功率	测试维护后的稳定性	根据数控系统软件的特性，设计测试用例，在维护之后用户能否运行数控系统软件不再出现失效

附录 A

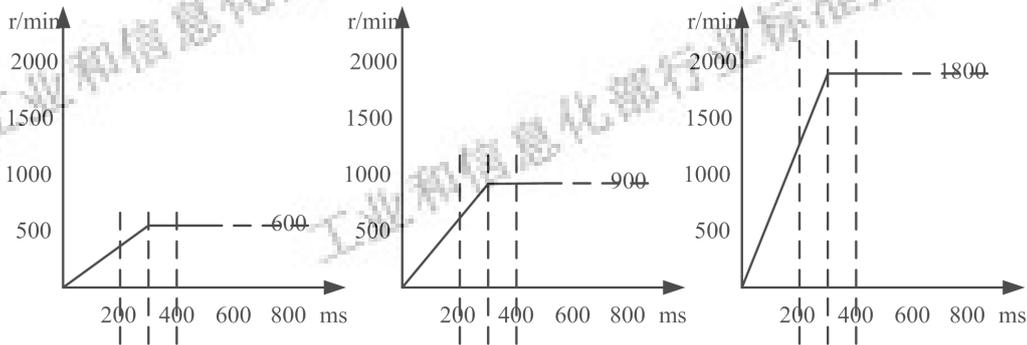
(资料性附录)

数控系统软件可靠性测试案例

A.1 直线插补G01指令直线加减速算法准确性测试案例

表A.1给出数控系统软件直线插补G01指令直线加减速算法准确性测试案例。

表A.1 直线插补G01指令直线加减速算法准确性测试案例

测试对象：运动控制模块的直线插补 G01 指令直线加减速算法
测试指标：功能性的准确性
测试准备：包含直线插补 G01X_Y_Z_指令的加工程序，驱动器数据采集设备
测试方法：获取 G01 指令执行过程中各轴速度，并计算各轴的加速度数值，再经过合成计算得到 G01 指令执行时的合成轨迹加速度数值，将其与 G01 指令理论的加速度数值进行比较，计算差值，得到加速度精度
<p>测试步骤：1. 将数据采集设备连接到各轴驱动器上，设置好采样数据类型（指令速度）与采样周期。</p> <p>2. 系统加载包含直线插补 G01 指令的加工程序并执行，同时开启数据采集设备进行数据采集。</p> <p>3. 数据采集完成后根据采样数据计算各轴的加速度数值。</p> <p>例如：</p> <p>当前位置 X0Y0Z0，执行 G01X200Y300Z600F4200 指令，各轴速度曲线采集数据如下图所示：</p>
 <p>图 2 给定指令下的各轴速度数据</p> <p>根据数据采样，各轴加速到最大速度所用时间都是 300ms，达到的最大转速分别为 600r/min，900r/min，1800r/min，计算各轴加速度为：</p> $A_x = 600 \times 2 / 60 / 0.3 = 200 / 3 \text{ mm/s}^2$ $A_y = 900 \times 2 / 60 / 0.3 = 100 \text{ mm/s}^2$ $A_z = 1800 \times 2 / 60 / 0.3 = 200 \text{ mm/s}^2$ <p>采样数据的合成加速度为 $A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} = 233.33333$</p> <p>4. 根据系统配置计算 G01 指令的理论的加速度</p> <p>例如系统配置如下：</p> <p>X 轴：机械螺距为 2mm，最大速度为 3600 mm/min，切削加减速时间为 300ms；</p> <p>Y 轴：机械螺距为 2mm，最大速度为 3600 mm/min，切削加减速时间为 300ms；</p> <p>Z 轴：机械螺距为 2mm，最大速度为 3600 mm/min，切削加减速时间为 300ms；</p> <p>理论加速度为 $A = A_z / \cos(\gamma) = 3600 / 60 / 0.3 / (6/7) = 233.333333$，其中 $\cos(\gamma)$ 为 Z 轴与 G1 指令轨迹的夹角余弦数值。</p> <p>5. 比较数据采样计算得到的加速度与理论加速度数值，计算其差值，得到加速度精度。</p>

A.2 操作系统层效率测试案例

表A.2给出数控系统软件操作系统层效率测试案例。

表A.2 操作系统层效率测试案例

测试对象：数控系统软件操作系统层任务调度效率
测试指标：效率的时间特性
测试准备：数控系统软件，数控装置
测试方法：运行典型测试工艺程序，循环采集各任务周期性执行时间，统计各任务耗时指标，并进行量化分析。
测试步骤： <ol style="list-style-type: none"> 1. 数控系统软件加载并执行典型测试工艺程序。 2. 循环采集任务周期性执行时间，选定的任务对实时性有一定的要求，例如：中断任务，插补任务，解释任务。 3. 统计各任务执行的最大耗时时间和平均耗时时间。 4. 对各任务耗时指标进行量化分析，评估操作系统层任务调度效率。

A.3 定位G0指令插补算法准确性测试案例

表A.3给出数控系统软件定位G0指令插补算法准确性测试案例。

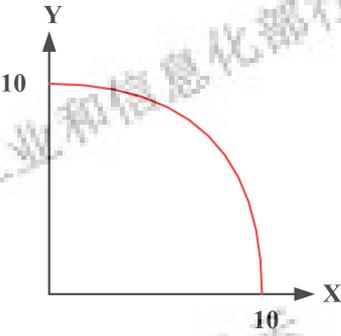
表A.3 定位G0指令插补算法准确性测试案例

测试对象：运动控制模块的定位G0指令插补算法
测试指标：功能性的准确性
测试准备：包含G0定位指令的加工程序
测试方法：获取经过运算后输出的终点位置，将其与程序指定终点进行比较，计算距离
测试步骤： <ol style="list-style-type: none"> 1. 系统加载包含G0定位指令的加工程序并执行。 2. 获取经过运算后输出的终点位置。 3. 将运算后输出的终点位置与程序中G0定位指令指定的终点位置进行比较，计算距离。 <p>例如： 当前位置X0Y0Z0，执行G0X200Y300Z600指令，获取运算后输出的终点位置值(X',Y',Z')，与(200, 300, 600)进行比较，计算距离。</p>

A.4 任务控制模块程序译码功能测试案例

表A.4给出数控系统软件任务模块程序译码功能测试案例。

表A.4 任务模块程序译码功能测试案例

测试对象：任务控制模块程序译码功能
测试指标：功能的准确性、功能的完整性
测试准备：囊括系统软件支持各类加工指令的工件程序
测试方法：对数控系统软件所支持的所有指令分别编写正确和错误的测试用例（错误类型包括语法错误、语义错误等），查看译码结果是否准确、报警定位信息是否有误报。
<p>测试步骤：1. 系统分别加载包含各类加工指令的正确与错误的工件程序并执行。</p> <p>例如：圆弧编程的半径允差范围为0.01mm</p> <p>包含正确指令的工件程序1如下：</p> <pre>GOX10Y0Z0 G17G2X0Y10I0J-10F1000</pre> <p>包含错误指令工件程序2如下：</p> <pre>GOX10Y0Z0 G17G2X0Y15I0J-10F1000</pre> <p>包含错误指令工件程序3如下：</p> <pre>GOX10Y0Z0 G17G2X0Y15I0K-10F1000</pre> <p>2. 加载正确工件程序时，查看译码模块是否给出误报警信息，查看刀具移动轨迹是否符合工件程序轮廓，各类加工指令是否按编程规则执行。</p> <p>例如：加载工件程序1时译码模块提示验证完成，没有报警信息，程序执行时刀具移动轨迹为起点(10,0,0)、终点(0,10,0)的四分之一圆弧，在XY平面图形如下图所示：</p>  <p>图3 给定程序下的XY平面刀具移动轨迹</p> <p>3. 加载带有错误的工件程序（包括语法错误、语义错误等）并执行，查看译码模块是否校验出语法错误并给出错误位置和相应报警提示。</p> <p>例如：加载工件程序2时译码模块校验出语法错误，提示圆弧半径超出允差范围。</p> <p>加载工件程序3时译码模块校验出语法错误，提示非法使用K参数。</p>

A.5 HMI模块图形显示功能测试案例

表A.5给出数控系统软件HMI模块图形显示功能测试案例。

表A.5 HMI模块图形显示功能测试案例

测试对象：HMI 模块图形显示功能
测试指标：功能的准确性、易用性
测试准备：XYZ 三轴立体轮廓加工程序
测试方法：执行加工程序，查看图形界面的描述的加工轨迹与实际加工轨迹是否一致；切换观察平面或屏幕坐标范围，测试操作过程是否便捷
测试步骤：1. 系统加载 XYZ 三轴立体轮廓加工程序并执行。 2. 分别在 XY 平面、YZ 平面、XZ 平面以及 3D 视角间进行切换，测试操作是否便捷，查看轨迹图形是否正确。 3. 扩大或缩小屏幕显示范围，测试操作是否便捷，观察轨迹扩大或缩小情况是否正确。

A.6 运动学模块功能性测试案例

表A.6给出数控系统软件运动学模块功能性测试案例。

表A.6 运动学模块功能性测试案例

测试对象：数控系统软件中间件层运动学模块
测试指标：运动学模块坐标系转换功能性的准确性
测试准备：测试用代码、数控系统软件所需数学库
测试方法：编写测试程序，构造测试向量。对所构造的测试向量进行坐标系转换。比如：向量在直角坐标系下初始化，用坐标转换函数 <code>pmMatCartMult()</code> 将其转换至另一个坐标系。对转换前后的向量坐标分别求长度，计算差值。
<p>测试步骤：1. 定义初始坐标系 A 和转换坐标系 T。</p> <p>2. 输入测试数据：坐标系 A 中定义的向量 av 坐标；坐标系 A 到坐标系 B 的转换关系矩阵 Matrix。</p> <p>3. 执行转换关系函数，输出转换后坐标系 B 中的向量 bv。</p> <p>4. 计算初始向量 av 与转换后的向量 bv 的长度差值。</p> <p>例如：</p> <p>(1) 定义两个坐标系，坐标系 A 为正交笛卡尔坐标系，坐标系 B 为如下形式：B 的 X 轴与 A 相同、Y 轴方向为 A 的 Z 轴方向、Z 轴方向为 A 的 -Y 轴方向。</p> <p>(2) 定义坐标系 A 中的向量 $av = \{10, 0, -5\}$；定义转换后坐标系 B 中对应的向量为 bv。</p> <p>(3) 输入坐标系 av 与 bv 的转换关系矩阵 Matrix: $\{\{1, 0, 0\}, \{0, 0, 1\}, \{0, -1, 0\}\}$。</p> <p>(4) 经过转换关系 <code>pmMatCartMult</code> 计算后得到坐标系 B 中对应的向量 $bv = \{X', Y', Z'\}$。</p> <p>(5) 计算 av 与 bv 的长度 av 与 bv，并计算差值。</p>

A.7 PLC模块鲁棒性测试案例

表A.7给出数控系统PLC模块鲁棒性测试案例。

表A.7 PLC模块鲁棒性测试案例

测试对象：数控系统软件应用层 PLC 模块
测试指标：测试数控系统软件 PLC 模块功能性的适合性，鲁棒性的容错性
测试准备：内置了 PLC 编辑和执行功能的数控系统，IO 模拟测试板
测试方法：分别使用正确和错误的 PLC 逻辑进行编辑、编译和运行操作，查看数控系统软件的执行情况
测试步骤： <ol style="list-style-type: none"> 1. 开启数控系统，并按 PLC 功能手册中的说明将所有支持的功能块编入逻辑中。 2. 连接 IO 测试板模拟 X 输入信号和 Y 输出信号。 3. 运行没有语法错误的 PLC 逻辑，查看 PLC 的所有功能块的执行情况。 4. 在 PLC 逻辑中设置若干处语法错误，然后进行保存、编译，查看 PLC 编译器是否给出错误报警提示，是否非法生成执行逻辑文件。 5. 在 PLC 运行期间执行逻辑修改或删除操作，测试系统软件是否成功识别非法操作并给出相应报警提示。

参 考 文 献

- [1] GB/T 8129-1997 工业自动化系统 机床数值控制 词汇
- [2] GB/T 8870-1988 机床数字控制 点位、直线运动和轮廓控制系统的数据格式
- [3] GB/T 19660-2005 工业自动化系统与集成 机床数值控制 坐标系和运动命名
- [4] GB/T 29482.1-2013 工业机械数字控制系统 第1部分：通用技术条件
- [5] JB/T 11989-2014 机床数控系统 术语与定义
- [6] GB/T 25000.1-2010 软件工程 软件产品质量要求与评价 (SQuaRE) SQuaRE 指南
- [7] GB/T 25000.51-2010 软件工程 软件产品质量要求与评价 (SQuaRE) 商业现货 (COTS) 软件产品的质量要求和测试细则
- [8] GB/T 16260.1-2006 软件工程产品质量 第1部分：质量模型
- [9] GB/T 16260.4-2006 软件工程产品质量 第4部分：使用质量度量
-