

团体标准

T/CMES XXXX—2025

金属切削数控机床中试验验证指南

Guidelines for Pilot Validation System of Metal-cutting
CNC Machine Tools

(征求意见稿)

2025-XX-XX 发布

2025-XX-XX 实施

中国机械工程学会 发布

中国机械工程学会（英文简称 CMES）是具备开展国内、国际标准化活动资质的全国性社会团体。制定中国机械工程学会团体标准，以满足企业需要和市场需求，推动机械工业创新发展，是中国机械工程学会团体标准的工作内容之一。中国境内的团体和个人，均可提出制、修订中国机械工程学会团体标准的建议并参与有关工作。

中国机械工程学会团体标准按《中国机械工程学会标准化管理办法》进行制定和管理。

中国机械工程学会团体标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议的 3/4 以上的专家、成员的投票赞同，方可作为中国机械工程学会团体标准予以发布。

在本标准实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中国机械工程学会，以便修订时参考。

本标准版权为中国机械工程学会所有。除了用于国家法律或事先得到中国机械工程学会正式许可外，不许以任何形式复制、传播该标准或用于其他商业目的。

中国机械工程学会地址：北京市海淀区首体南路 9 号主语国际 4 座 11 层

邮政编码：100048 电话：010-68799027 传真：010-68799050

网址：www.cmes.org 联系人：袁俊瑞 电子信箱：yuanjr@cmes.org

目 次

前 言.....iv

引 言.....V

1 范围.....1

2 规范性引用文件.....1

3 术语和定义.....1

4 中试验证体系.....4

 4.1 概述.....4

 4.2 中试子体系.....4

 4.3 验证子体系.....7

 4.4 测量技术子体系.....9

 4.5 共性问题分析验证子体系.....12

图 1 中试验证体系示意图.....4

图 2 中试子体系示意图.....5

图 3 验证子体系示意图.....7

图 4 要素分解示意图.....8

图 5 检测量化示意图.....8

图 6 测量技术子体系示意图.....9

图 7 过程测量示意图.....10

图 8 零件测量示意图.....10

图 9 加工中心部件测量示意图.....11

图 10 整机测量示意图.....11

图 11 状态监测示意图.....12

图 12 计量溯源示意图.....12

图 13 共性问题分析验证子体系示意图.....13

图 14 正交网格分析法构建共性问题分析验证子体系示意图.....13

表 1 科学试验的试验内容.....5

表 2 技术试验的试验内容..... 5

表 3 工程试验的试验内容..... 6

表 4 产品试验的试验内容..... 7

表 5 数控机床自身关键部件及检测内容..... 14

表 6 数控机床应用关键要素及验证内容..... 15

中国机械工程学会标准征求意见稿

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。中国机械工程学会不承担识别专利的责任。

本文件由中国机械工程学会提出。

本文件由中国机械工程学会归口管理。

本文件起草单位：北京精雕科技集团有限公司，中国科学院长春光学精密机械与物理研究所，通用技术集团机床工程研究院有限公司，秦川机床工具集团股份公司，北京北一机床有限责任公司，北京第二机床厂有限公司，上海人本集团轴承技术研发有限公司，无锡宇华精机有限公司、北京市电加工研究所有限公司，北京博鲁斯潘精密机床有限公司，北京理工大学，西安理工大学，中国航空精密机械研究所（303所）。

本文件主要起草人：胡宇川，王冰旭，郭玉婷，王欢，李双栋，邓丽真，杨帆，谭智，张云华，马建川，柴艳华，张杰，肖朋朋，郭建梅，吴行飞，金鑫，李艳，王磊。

引 言

在国家政策的支持下，我国已经初步建立了金属切削数控机床完整的研发制造体系，国产金属切削数控机床的功能性能已经可以满足用户的使用要求，并在航空航天、医疗器械、汽车等重要领域的零件制造环节，发挥了重要作用。

然而，国产金属切削数控机床在长时间使用后或高强度使用中仍会产生一系列问题，这些问题既包含机床的显性问题，也包含机床的隐性问题。显性问题多为客户现场出现并解决过的问题，与之相对的隐性问题则发生频次不固定、不好排查，往往后果更为严重。在数控机床的研发制造企业建设完整的中试验证体系，有助于找到问题根源并解决这些问题。

建立金属切削数控机床中试验证体系，一方面可以加快查找各类问题的速度和掌握系统化的问题处理方法，减少机床在客户现场出现问题的数量和频次；另一方面可以促使数控机床研发制造企业快速提升应用能力，突出需求导向、场景牵引，做好中试验证、推广应用，以点为突破口，强化串珠成链、成组连线，让科技攻关成果真正转化为现实生产力、在应用中不断迭代升级，不断促进数控机床行业高质量发展。

中国机械工程学会标准征求意见稿

金属切削数控机床中试验验证指南

范围

本文件提供了金属切削数控机床中试验验证内容及方法的指南。

本文件适用于数控机床研发制造组织建设金属切削数控机床（以下简称“数控机床”）中试验验证体系。

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 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法
- GB/T 230.1 金属材料 洛氏硬度试验 第1部分：试验方法
- GB/T 2423.10 环境试验 第2部分：试验方法 试验 Fc：振动(正弦)
- GB 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件
- GB/T 6576 机床润滑系统
- GB/T 9061 金属切削机床 通用技术条件
- GB 15760 金属切削机床 安全防护通用技术条件
- GB/T 16768 金属切削机床 振动测量方法
- GB/T 17421.3 机床检验通则 第3部分：热效应的确定
- JB/T 13647 数控转台 精度保持性试验规范
- JB/T 13825 电主轴 精度保持性试验规范
- NB/SH/T 6031 润滑剂摩擦性能和润滑寿命的测定 SOT 法

术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

1.1

中试验证 pilot validation

产品在大批生产前，包含研发阶段和针对客户个性化需求的试验和验证。

1.2

中试验证体系 pilot validation system

用于产品的试验和验证，提供从产品设计到产品样机以及从产品应用到优化升级全过程的技术

支持和服务。

1.3

中试子体系 pilot subsystem

产品正式投产前，以试验为重心，为提高产品质量、实现产品批量生产、提高产品可销售性与可服务性所必需的对数控机床的功能性能问题进行定性的各项子试验活动的集合，包含于中试验证体系。

1.4

科学试验 scientific test

基于逻辑严谨、符合客观实际的科学理论基础，以解决机床中试过程中发现的问题为目的，以相关的基础科学为导向，对已有对象策划、开展并获取机理类技术参数的一系列评测活动。

1.5

技术试验 technical test

依托科学原理，通过合理规划设计不同试验方案，开展并获取可靠工艺方案、工装方案、产品结构等一系列对比验证评测活动。

1.6

工程试验 engineering test

以市场需求为导向，以实现批量稳定生产为目的，通过整合科学理论与技术方法，开展并获取符合预期使用价值的成果转化落地方案的一系列评测活动。

1.7

产品试验 product test

以持续改进产品的品质、延长产品生命周期为目的，针对产品的关键要素，开展并获取促进产品迭代更新方案的一系列评测活动。

1.8

验证子体系 validation subsystem

根据机床应用过程中所产生的实际问题，以验证为重心，通过溯源、优化定位问题根源以达到提高产品品质目的的各项子流程和活动的集合，包含于中试验证体系。

1.9

要素分解 element decomposition

以客户需求为输入，基于精度、效率、故障三个核心维度，对客户端问题进行系统性分解，识别并确定机床端的关键影响要素。

1.10

检测量化 quantify testing

基于检测技术驱动方法，通过多维度数据量化实现客观评估，体现验证子体系的客观性。

1.11

机理分析 mechanism analysis

基于要素分解与检测量化的结果，综合运用理论推导、仿真建模和试验验证等方法，研究系统内部各要素间的相互作用机制、演变规律及因果关系的系统性分析方法。

1.12

测量技术子体系 measurement technology subsystem

为实现检测量化、保障测量过程受控以及量值准确可靠而必需的一组相关且相互作用的要素，是支持中试验证体系进行检测量化的基础支撑体系。

1.13

测量 measurement

通过实验获得并合理赋予某一个量值或多个量值的过程。

[来源：JJF 1001-2011，4.1]

1.14

过程测量 process measurement

对加工过程中的要素及状态进行的测量。

1.15

离线测量 off-line measurement

离开机床或加工生产线的测量。

1.16

在机检测 on machine inspection

以机床为载体，附以相应的检测工具，在机床加工过程中，实时进行信号采集、数据处理与计算、参数更新与信息汇报的过程。

1.17

零件测量 parts measurement

依据零件图纸对零件的几何量与材料性能进行的测量。

1.18

部件测量 units measurement

对机床功能部件的精度、效率、性能、结构设计、制造工艺和可靠性进行的评测。

1.19

整机测量 machine tools measurement

对整机功能、性能、效率、全生命周期的可靠性、安全性、适应性进行评测。

1.20

状态监测 condition monitoring

对机床运行状态信息和数据的检测与收集。

1. 21

计量溯源 metrological traceability

通过文件规定的不间断的量值传递链，令工作计量器具所得到的测得值以自下而上的方式，与国家计量基准或国际计量基准联系起来，从而实现量值准确可靠的法定技术手段。

1. 22

共性问题分析验证子体系 generic problem analysis and verification subsystem

采用正交网格分析法，从机床自身关键部件和机床应用关键要素两个维度对机床的共性问题进行分析和验证的活动集合，是中试验证体系的技术支撑体系。

1. 23

在机检测系统 on machine inspection system

以数控机床的高精度机械结构为基础，以数控系统的数字处理能力为核心，利用高精度传感器的数据精准采集能力，在机床端实现检测量化的智能修正系统。

1. 24

正交网格分析法 orthogonal grid analysis method

将目标问题从两个维度进行分解，并将两个维度相互交叉形成正交网格，通过对每个网格点所对应的具体内容进行分析实现问题的快速定位。

中试验证体系

1. 25 概述

中试验证体系包含四部分内容，分别是两个相互循环的中试子体系和验证子体系，以及两个起技术支撑作用的测量技术子体系和共性问题分析验证子体系。中试验证体系示意图见图 1。

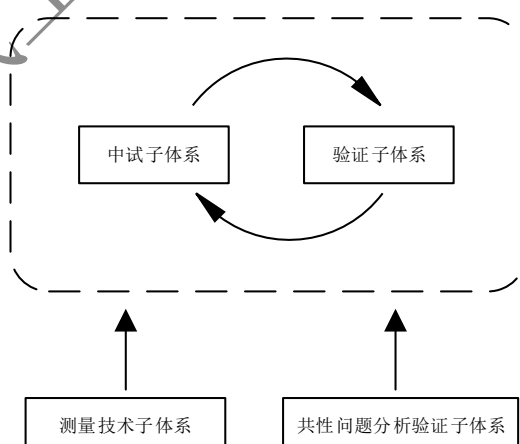


图1 中试验证体系示意图

1. 26 中试子体系

1. 26. 1 概述

中试子体系的试验内容涵盖科学试验、技术试验、工程试验及产品试验四个方面。中试子体系示意图见图 2。

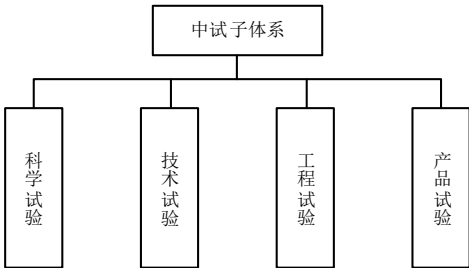


图2 中试子体系示意图

1. 26. 2 科学试验

科学试验具体试验内容见表 1。

表1 科学试验的试验内容

序号	试验类型	试验内容	参照标准
1	机床材料特性试验	耐腐蚀性、强度、刚性、硬度、金相测试、化学分析、盐雾测试、冲击测试等	GB/T 228.1、GB/T 230.1 等
2	运动润滑试验	黏度测定、摩擦系数测定、摩擦磨损等	GB/T 6576、NB/SH/T 6031 等
3	温度试验	温升测试、热变形测试等	GB/T 9061、GB/T 17421.3 等
4	振动试验	机床振动类型的识别、振动源的定位、振动抑制测试等	GB/T 16768、GB/T 2423.10 等
5	精度保持性试验	电主轴、数控转台、数控刀架等	JB/T 13825、JB/T 13647 等
6			

1. 26. 3 技术试验

技术试验应在机床研发制造过程中验证技术路线的可行性，或对比采用不同技术方案、技术路线之间的效果差异。技术试验具体试验内容见表 2。

表2 技术试验的试验内容

序号	试验类型	试验内容
1	零部件对比试验	不同来源的零部件间的对比试验等

表 2 技术试验的试验内容（续）

序号	试验类型	试验内容
2	结构优化试验	不同时效处理方案的对比测试 关键结合部位不同处理方案的对比测试 不同传动方案的对比测试 不同结构的模态分析与动态特性测试 不同结构制冷机管路应力测试 不同结构方案的对比测试 不同结构装配及检验方案对比
3	密封试验	液体不同密封结构的对比测试等
4	电气试验	不同抗电源扰动方案的对比测试等
5	温度试验	不同热控制技术的对比测试等

1.26.4 工程试验

工程试验主要研究机床稳定生产的工艺方法。工程试验具体试验内容见表 3。

表3 工程试验的试验内容

序号	试验类型	试验内容
1	制造工艺验证	工艺方案、工艺路线、工艺规程验证 数字化制造方法验证 装配及检验工艺验证 工装验证等
2	生产过程测试	生产测试环境验证 测试程序、工作程序验证等
3	检测方法验证	组部件、整机检测方法的可靠性验证 检测平台的功能性试验 量检具的检定与校准 检定规程与校准规范的验证等
4	产品数据验证	BOM 等设计文件（生产性工艺文件）验证等

1.26.5 产品试验

产品试验主要进行机床自身功能与性能的评测。产品试验具体试验内容见表4。

表4 产品试验的试验内容

序号	试验类型	试验内容
1	静态测试	平行度检测、垂直度检测、直线度检测、平面度检测、主轴轴向窜动检测、位置误差检测、回转精度和位置重复精度测试等
2	功能测试	固有频率、阻尼比、模态振型、动刚度、机床振动幅度测试、主轴动态性能检测、动态时域分析、动态轨迹精度检测、刀尖联动精度检测、工件加工路径动态精度检测、刀具切削振动监测、刀具切削磨损及断刀监测、转矩负载检测、滚珠丝杆导轨副磨损状态监测、整机温度场监测、压力监测、流量监测、机床颗粒物浓度监测、露点温度监测等
3	加工测试	典型零件加工试验、主轴刚性及刀具寿命测试、不同材料加工特性分析与验证、加工精度分析与验证、加工效果及加工特性分析与验证、加工效率特性分析与验证等
4	安规测试	应符合GB 15760、GB 5226.1的有关规定
5	可靠性测试	高温测试、低温测试、温湿度循环/恒定湿热测试、冷热冲击测试、快速温变测试、振动测试、冲击测试、碰撞测试、耐腐蚀测试、空运转测试、载荷测试、长时间运行测试、不同工况测试、环境因素测试、振动监测、温度监测、噪声监测、电流监测等

1.27 验证子体系

1.27.1 概述

验证子体系的验证内容涵盖要素分解、检测量化、机理分析、过程优化四个方面。验证子体系示意图见图3。

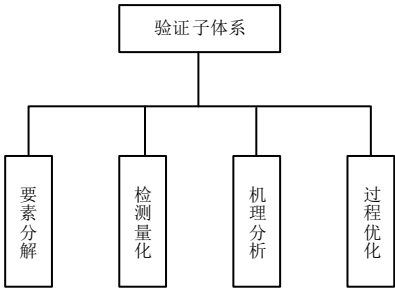


图3 验证子体系示意图

1.27.2 要素分解

应将客户端的问题聚焦于精度、效率、故障三个方面，分解出机床端的关联要素。

- a) 精度的关联要素，主要包括：机床精度（如几何精度、运动精度、工作精度试验、空运转性能试验、动静刚度、负荷试验、切削性能试验等）和工艺方法（如夹具、刀具、程序等）。
- b) 效率的关联要素，主要包括：数控设备 NC 程序运行时间、设备加工准备调整时间、设备空闲待工时间和设备停机时间。

c) 故障的关联要素，主要包括：机械类（如脏污、锈蚀松动、磨损、破损）、电气类（如过流、过压、过热）和操作类（如参数设置、防呆设置、维护保养）。要素分解示意图见图 4。

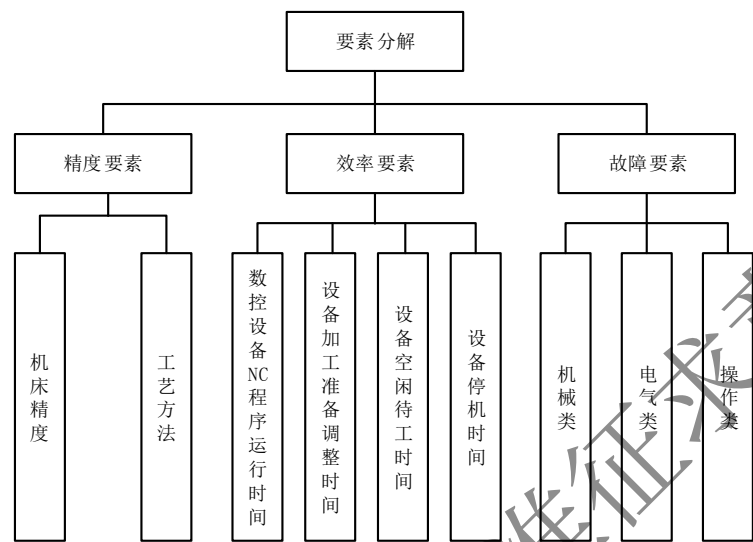


图4 要素分解示意图

1. 27. 3 检测量化

检测量化主要包括故障数据记录，内部自检记录，故障加速试验。

- a) 故障数据记录是对机床故障信息进行收集，利用大数据分析平台进行数据挖掘和分析，并通过数据可视化的方式显示出来。故障数据记录主要包括客户的维修记录和机床企业内部的维修记录。
- b) 内部自检记录是进行机床企业内部的过程性检测，是通过对机床的运行状态、定期精度监测、维护记录、保养情况等记录和分析，来评估机床的健康状态和预测未来可能出现的故障。
- c) 故障加速试验，是验证、量化关联要素具体影响程度的试验，作为后续机理分析及过程优化的重要依据。

检测量化示意图见图 5。

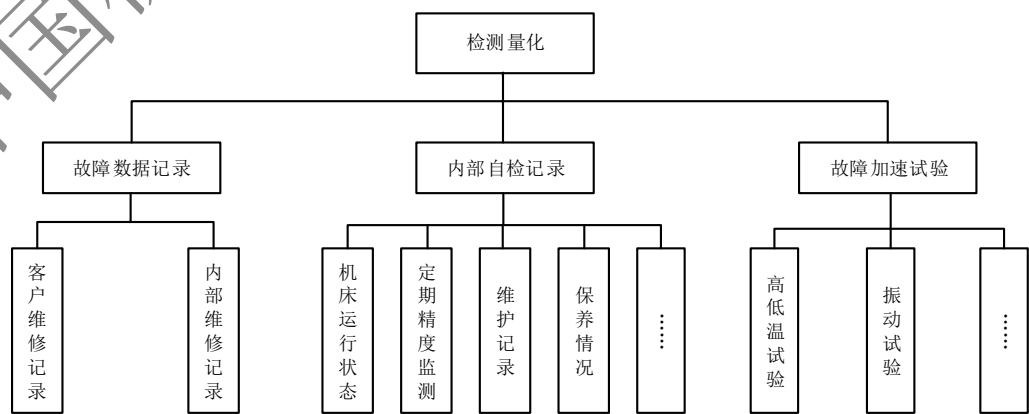


图5 检测量化示意图

1. 27. 4 机理分析

机理分析主要包括理论分析、软件方法模拟、局部试验验证。

- a) 理论分析是通过理论分析和计算，研究机床零部件和系统的工作原理和机理，并总结出其性能表现和故障分析的理论依据。
- b) 软件方法模拟则是利用计算机辅助工程软件对机床的结构、运动和控制系统进行建模和仿真分析，以预测机床的性能和故障状况。
- c) 局部试验验证则是通过对机床关键部位进行局部试验，以验证理论分析和仿真模拟的结果，并指导机床的设计和改进。

1. 27. 5 过程优化

过程优化宜通过构建包含功能性能指标、过程流程指标和维护保养指标的三维指标体系，建立覆盖机床研发、制造、使用和维护的全生命周期闭环管控机制。

- a) 功能性能指标可以初步细分为指标项、数值、检测方法，主要包括机床的加工精度、生产效率、质量、安全性等关键性能指标，通过对这些指标的管控，可以确保机床满足工艺要求 and 客户需求。
- b) 过程流程指标可以细分为工艺和标准作业程序，主要包括机床的运行状态、维修过程效率、物料流程等指标，通过对这些指标的管控，可以提高机床的生产效率和优化流程。
- c) 维护保养指标则是对机床的维修记录、保养措施和维修效果等指标进行管控，确保机床得到正确的维护和保养，延长机床的使用寿命和提高性能表现。

1. 28 测量技术子体系

1. 28. 1 概述

测量技术子体系建设内容涵盖过程测量、零件测量、部件测量、整机测量、状态监测和计量溯源六个方面。

测量技术子体系示意图见图 6。

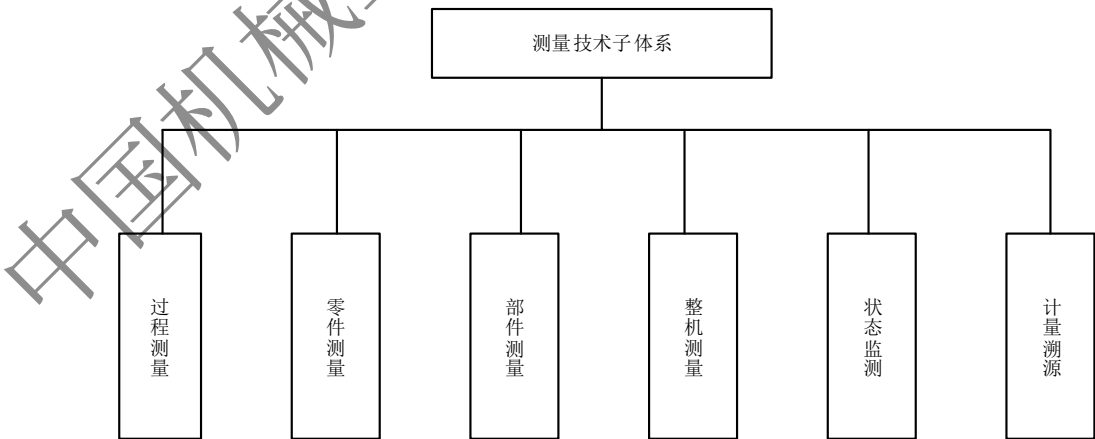


图6 测量技术子体系示意图

1. 28. 2 过程测量

按照执行场景不同，过程测量主要分为离线测量和在机检测两大类。离线测量内容主要包括刀具几何参数测量与预调、刀柄系统动平衡测量与调整等；在机检测内容主要包括机床状态管控、刀具品质管控、零件品质管控。

过程测量示意图见图 7。

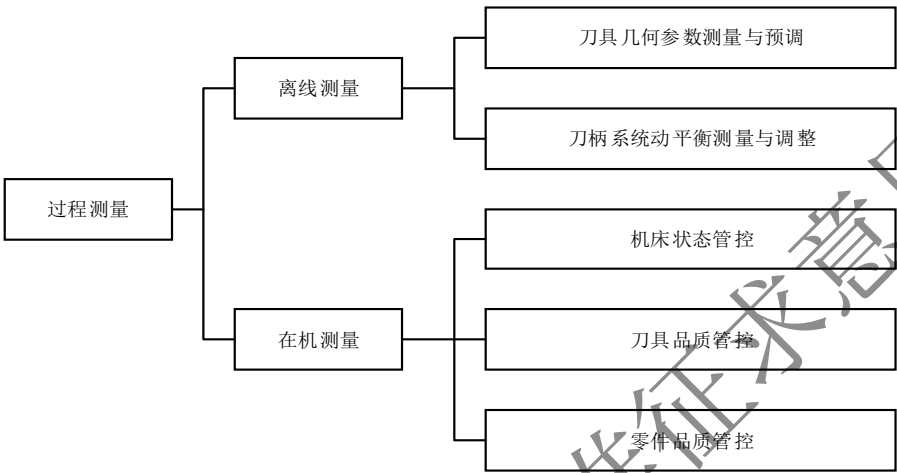


图7 过程测量示意图

1. 28. 3 零件测量

依据零件图纸的要求，零件测量分为几何量测量和材料性能测试分析两大类。几何量测量分析内容主要包括表面轮廓度、形位偏差、尺寸偏差和表面粗糙度；材料性能测试分析内容主要包括物理性能和力学性能。

零件测量示意图见图 8。

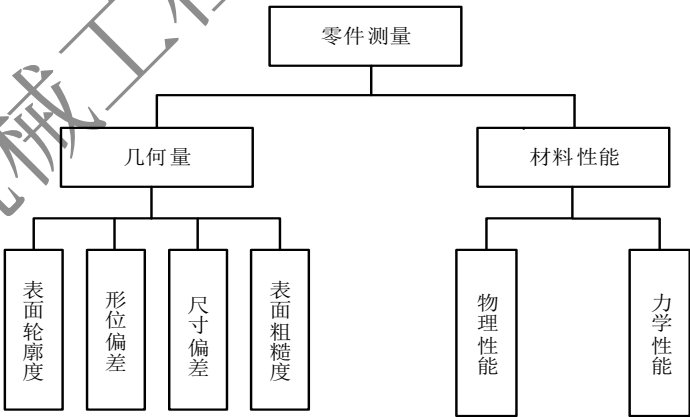


图8 零件测量示意图

1. 28. 4 部件测量

部件测量的对象是机床上的各类功能部件，包括：主轴系统、进给系统、控制系统、刀具系统、防护系统、测量系统、转台系统、排屑过滤系统、制冷系统、空气过滤系统等，测量内容主要包括：功能部件的装配精度、运行精度、性能参数等。

部件测量示意图见图 9。

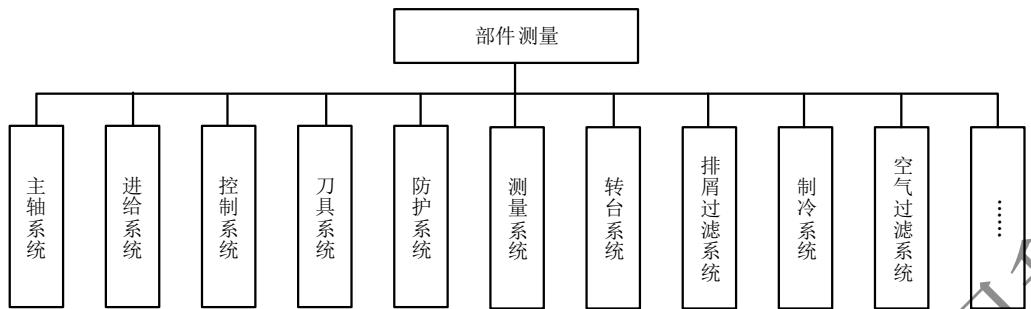


图9 加工中心部件测量示意图

1. 28. 5 整机测量

按照评测指标不同，整机测量可分为机床精度测量和机床性能评测两大类。机床精度测量可分为机床静态精度测量和机床动态精度测量，机床性能评测项目包括热效应、振动、噪声和切削性能。

整机测量示意图见图 10。

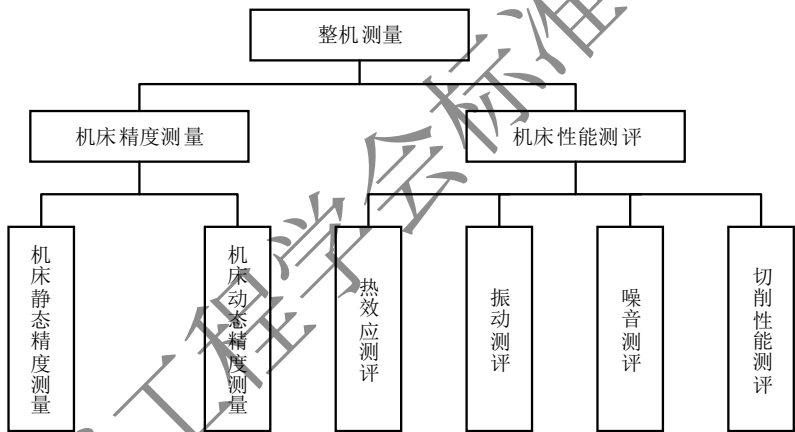


图10 整机测量示意图

1. 28. 6 状态监测

状态监测主要包括机床出厂前的健康状态体检和机床投入使用后的工作状态监测。机床出厂前健康状态体检是在机床出厂前对各项运行状态与指标进行检测，例如：机床水平、直线轴空间五项误差、振动、主轴负载、进给轴负载、温湿度、流量与压力、噪声、风速等，通过数字化检测结果，保障机床出厂前运行状态正常。机床工作状态监测是对机床的工作状态及加工过程中的参数进行监测，利用信息化管理系统对机床数据进行采集、统计、分析及可视化，实现机床状态的远程监控。

状态监测示意图见图 11。

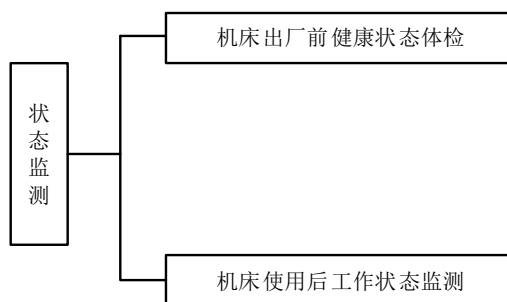


图11 状态监测示意图

1.28.7 计量溯源

计量溯源的对象包括计量器具、测量仪器和机床设备，通过开展定期计量溯源活动，确保量值的稳定可靠。计量溯源方式主要包括委外溯源、内部溯源和内部自检。

计量溯源示意图见图12。

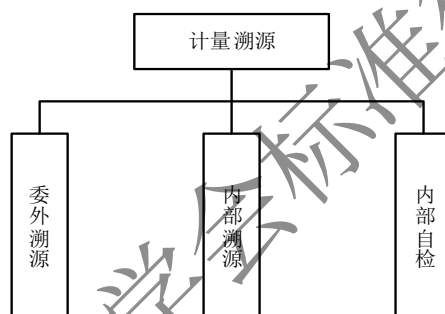


图12 计量溯源示意图

1.29 共性问题分析验证子体系

1.29.1 概述

共性问题分析验证子体系示意图见图13。

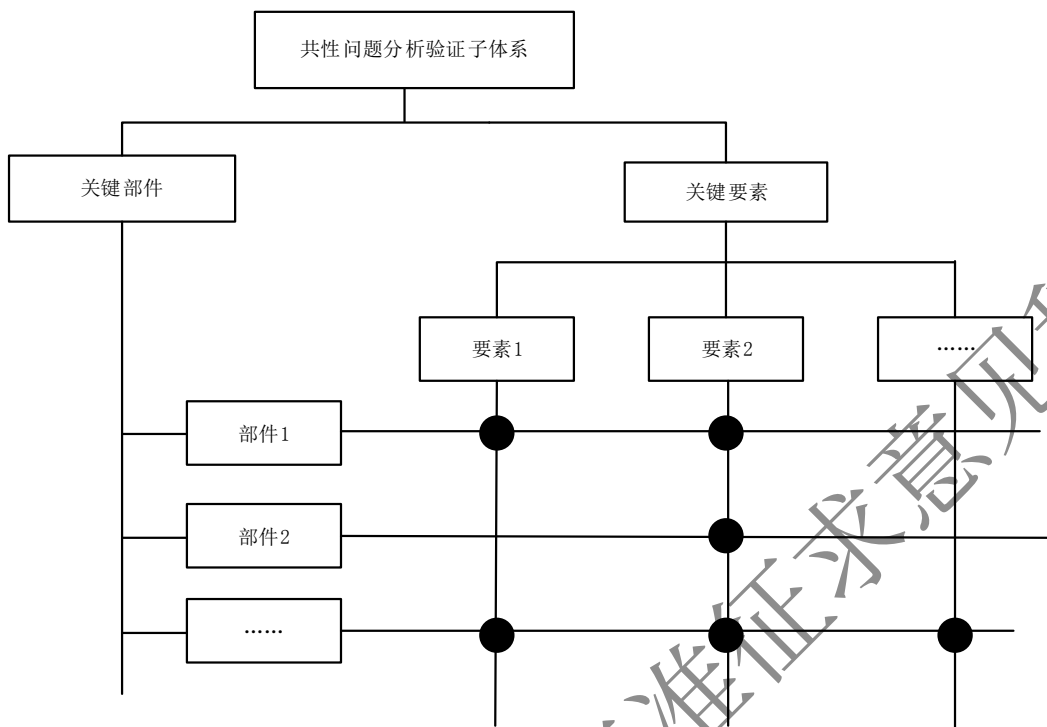


图13 共性问题分析验证子体系示意图

1. 29. 2 正交网格分析法构建共性问题分析验证子体系

通过正交网格分析法，从关键部件和关键要素两个维度对机床在应用过程中遇到的耦合问题进行分解和定位，从而系统、全面地分析表象问题与深层机理之间的关系。

正交网格分析法构建共性问题分析验证子体系示意图如图 14。

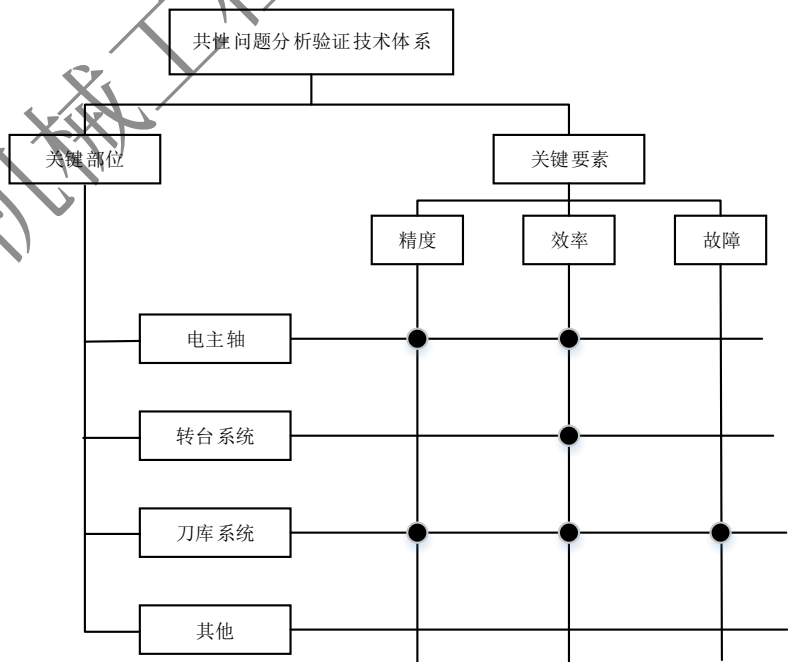


图14 正交网格分析法构建共性问题分析验证子体系示意图

1.29.3 关键部件

从产品结构分析的角度，机床由多个功能部件构成，其运行问题通常体现为一个或多个功能部件的功能性能失效。通过检测功能部件的技术参数变化，可有效识别故障部位，进而提高问题定位效率。

数控机床自身关键部件及检测内容见表 5。

表5 数控机床自身关键部件及检测内容

序号	关键部件	检测内容	
1	主轴系统	功能指标	主轴热位移管理、主轴刀具状态判断等
		性能指标	转速、动平衡、温升、振动、负载、电流、扭矩、锥孔径向跳动、转子端面轴向跳动等
2	进给系统	功能指标	静刚度、额定静载荷、额定动载荷、预紧、防尘等
		性能指标	噪声、速度、加速度、寿命、行程偏差与行程变动量、直线度与平行度、精度等级、承载能力、耐磨性等
3	控制系统	功能指标	输入/输出(I/O)、数字模拟(DA)转换、键盘操作站、安全功能、软件功能等
		性能指标	控制精度、运动速度、插补精度、数据处理能力、反馈控制系统、可靠性等
4	刀具系统	功能指标	刀库位数、最大装刀长度、最大装刀直径（相邻有刀）、最大装刀直径（相邻无刀）、最大刀具重量、最大承载重量、最大偏载能力等
		性能指标	定位精度、重复定位精度、反向间隙、换刀位刀柄重复定位精度、刀库寻刀速度、刀库噪声等
5	防护系统	功能指标	防护范围、防护、防尘防水等
		性能指标	防护等级、密封性、维护性、开启与锁止可靠性、抗冲击强度、隔热性、隔声性、耐腐蚀性等
6	测量系统	功能指标	可测量指标、机床集成性、可测量检测结果显示方式等
		性能指标	分辨率、精度、测头触发力、检测范围、响应性、环境适应性、抗干扰性等
7	转台系统	功能指标	最大承载、最高转速、正反转正确性、抱闸与松开灵活性、运动范围等
		性能指标	转速、齿槽力、几何精度、定位精度、重复定位精度、最大噪声、密封防水性、密封全浸液性能、静刚度、切向力矩、倾覆力矩、动态扭矩等
8	排屑过滤系统	功能指标	排屑能力、过滤等级、收集能力、液箱容积等
		性能指标	压力、流量、过滤精度、温度、噪声等

表 5 数控机床自身关键部件及检测内容（续）

序号	关键部件	检测内容	
9	制冷系统	功能指标	液体温度调节、气体湿度调节、通讯功能、故障报警
		性能指标	制冷量、压力露点、控温精度、水泵流量扬程、噪声、防护等级、电磁兼容性、电气安全性、抗振性能等
10	空气过滤系统	功能指标	过滤等级、收集能力、容尘量等
		性能指标	风量、压力、噪声、振动、过滤精度等
.....			

1. 29. 4 关键要素

从市场应用需求的角度，机床在投入市场后会收到多个层面的应用需求，这些需求可以总结为三个方面的关键要素：精度、效率、可靠性。通过对影响三个关键要素的内容进行分析验证，可以反向提升机床产品从设计端适应市场需求的能力，提高机床应用水平。

数控机床应用关键要素及验证内容见表 6。

表6 数控机床应用关键要素及验证内容

序号	关键要素	验证内容	
1	精度	机床端	静态精度、动态精度等
		应用端	刀具选用、电极设计选用、夹具设计、程序设计等
2	效率	单机	程序效率、复合加工、双/多主轴等
		自动化	自动化单元、自动化产线、数字化车间等
3	故障	故障	脏污、松动、磨损、破损、锈蚀、误操作等
		预防性维护	健康状态、定期标定等

参 考 文 献

- [1] JJF 1001-2011 通用计量术语与定义。
-

中国机械工程学会标准征求意见稿