《复杂曲面高精度多轴缓进磨削中心》编制说明

1 任务背景

在高端装备制造领域，复杂曲面零件的高精度加工需求日益增长，尤其在航空航天、精密模具、医疗器械等行业，对曲面轮廓精度、表面质量及加工效率的要求极为严苛。传统磨削设备在五轴联动控制、微米级定位精度及动态稳定性等方面难以满足复杂曲面的高精度磨削需求，易导致加工效率低、表面一致性差、工艺稳定性不足等缺陷。

随着多轴数控技术、缓进给磨削工艺及精密伺服控制系统的突破，复杂曲面高精度多轴缓进磨削中心凭借联动轴数≥5，多轴同步联动控制等核心技术优势，显著提升了复杂曲面的加工精度（如X/Y/Z轴定位精度达0.004mm）与工艺适应性。该类设备通过集成高刚性蜂窝式结构床身、超精密主轴系统、闭环光栅反馈控制及智能温控冷却系统，有效解决了传统设备的精度衰减、热变形及振动干扰等问题，同时支持砂轮自动修整、油雾回收、随动冷却等先进功能，大幅提升了加工的可靠性与自动化水平。

然而，当前市场对多轴缓进磨削中心的技术要求尚未形成统一规范，设备设计、制造及验收标准参差不齐，导致部分设备性能不达预期、兼容性差，甚至存在安全隐患（如防护等级不足、电气安全缺失）。现有国家标准（如GB/T 17421系列）虽涵盖机床基础检验规则，但缺乏针对多轴联动、缓进给工艺、复杂曲面磨削等特性的专项指标，难以全面指导设备的研发与应用。

为此，制定《复杂曲面高精度多轴缓进磨削中心》标准，旨在整合行业技术经验，明确设备关键性能参数（如轴定位精度、冷却系统效能、安全防护等级）、功能要求（如数控系统联动能力、砂轮修整自动化）及检验方法，为设计、制造与验收提供科学依据。通过标准化推动技术创新与质量升级，降低设备选型与维护成本，促进产业链协同发展，为我国高端数控装备的国际化竞争奠定技术基础。

2 任务来源

本标准编制任务来源于浙江省自动化学会于2025年2月28日下达的浙自学标委[2025] 1号《浙江省自动化学会标准起草任务书》，归口单位为浙江省自动化学会标准技术工作委员会，标准名称为《复杂曲面高精度多轴缓进磨削中心》，起草任务书号：ZJAA2025002。

3 主要起草单位和工作组成员

本标准负责起草单位：杭州莱格曼特科技有限公司。

本标准参与起草单位：浙江科技大学、杭州芝元机电有限公司、杭州电子科技大学、湖南大学、浙江德欧电气技术股份有限公司、苏州华正科技有限公司、杭州合大铸造有限公司、杭州明捷机械有限公司、浙江汉威阀门制造有限公司、浙江诚创精密机械股份有限公司。

本标准主要起草人：曹荣、李强、徐海峰、刘静、胥宗涛、倪敬、蒙臻、张振、安晨辉、章辉、李飞、王善良、魏铭、来国伟、王西奎、李依、胡东海、徐华高。

4 主要工作过程

4.1 成立标准起草工作组

根据任务要求，杭州莱格曼特科技有限公司于2025年2月成立了标准编制工作起草小组，组织标准编制组织工作。标准编制工作起草小组从2023年2月份积极组织筹备和征集标准起草单位。经过近2个月的征集、评审和筛选，并最终由杭州莱格曼特科技有限公司定了标准起草工作组的成员单位，成立了标准起草工作组；同时，根据本公司多年的产品研制经验，主导起草了《复杂曲面高精度多轴缓进磨削中心》（草案），提交浙江省自动化学会。

4.2 第一次编制讨论及项目立项

2025年4月21日，由浙江省自动化学会组织专家组，召开立项会议，对我司《复杂曲面高精度多轴缓进磨削中心》团标进行沟通讨论，从行业发展和建立标准的必要性考虑，最终通过了我司《柔复杂曲面高精度多轴缓进磨削中心》团标立项，确定了标准的工作内容、工作思路以及后续的主要工作安排。

专家组还对《复杂曲面高精度多轴缓进磨削中心》（草案）提出了修改意见。

1.制订《复杂曲面高精度多轴缓进磨削中心》团体标准编制说明。会后，工作组严格按照要求制定编制说明。

2.修正标准文档内容及格式。会后，工作组对标准的文档内容及格式进行了调整：使用最新的浙江省自动化学会团体标准模板。

3.根据现有草案及资料，结合各起草单位，尽可能多地收集相关组织、单位的意见，开展本标准的完善工作；要继续进行更为广泛和深入的市场调查，对市场情况有非常全面和科学的认知，才能够确保

以后做出来的标准符合大部分同行的制造水平；目前标准的内容还比较单薄，需后续对相关数据进一步整理扩充。

4.3 第二次工作组会议

为了提高沟通效率，工作组讨论会主要以线上交流的方式进行。在2025年4月22日至2025年5月7日两周内，工作组成员对编制讨论的内容进行了详细的校对评审，并对标准草案进行了深入的研讨，尤其对标准的条款及内容等进行分析研判，形成了基本共识。

5 标准编制原则和主要内容

5.1 标准编制原则

本标准的制定工作遵循“统一性、协调性、适用性、一致性、规范性”的原则，本着先进性、科学性、合理性和可操作性的原则，按照 GB/T1.1-2009《标准化工作导则第一部分:标准的结构和编写》给出的规则编写。

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。

本文件由浙江省自动化学会提出并归口。

本标准不对新技术设定约束，仅对新技术的应用进行了描述。

5.2 标准主要内容

本标准规定了复杂曲面高精度多轴缓进磨削中心的术语和定义、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输及贮存。

本标准适用于联动轴数≥5，具备复杂曲面高精度磨削功能的数控磨削中心的设计、制造、检验与验收。

5.2.1术语和定义

5.2.1.1 **命名规则**

数控机床的命名由“系列或型号标识、关键参数、控制类型”等部分组成。以“KGFM-6012CNC”为例，型号说明见下图。

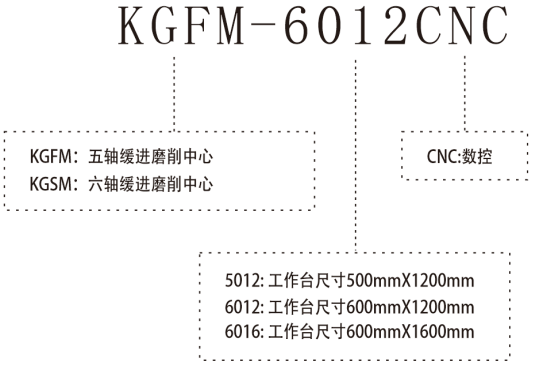


图1 型号分类图

5.2.1.2 **多轴联动数控缓进给磨削中心**

用于复杂曲面高精度磨削的数控机床，具备X、Y、Z轴及两个旋转轴（A、C轴）或三个旋转轴（A、B、C轴）的同步联动控制功能，支持缓进给磨削工艺。

5.2.1.3 **台式修整器**

一种独立安装在工作台面上的砂轮修整装置，采用伺服电机驱动，同步带传动，具备金刚轮和钢挤轮修整功能，可根据加工工艺需求选择修整方式。

5.2.1.4 **顶置式修整器**

一种安装在机床顶部的砂轮修整装置，其滚轮的升降（V轴）及旋转（SP2）由数控系统控制，可实现连续修整，适用于复杂曲面加工中的砂轮修整需求。

5.2.2技术要求——基本参数

以KGFM-6012CNC型磨削中心为例，规格及参数见表1。

表1 KGFM-6012CNC型磨削中心的规格及参数

KGFM-6012CNC型磨削中心技术规格参数	
名称	规格参数
工作台尺寸	1200×600mm
有效磨削长度	1200mm
有效磨削宽度	600mm
X轴行程	1250mm
轴进给速度	0~20000mm/min
轴分辨率	0.0001mm
X轴定位精度	0.004mm
X轴重复精度	0.002mm
Y 轴行程	650mm
砂轮主轴中心线距工作台面的距离	200~850mm
轴进给速度	0~1700mm/min
轴分辨率	0.0001mm
定位精度	0.004mm
重复定位精度	0.002mm
Z 轴行程	650mm
轴进给速度	0~5000mm/min
轴分辨率	0.0001mm
定位精度	0.004mm
重复精度	0.002mm
主轴电机	37~61KW
主轴转速	0~4000r/min
主轴径向跳动	0.002mm
主轴端面跳动	0.002mm
安装最大砂轮	ϕ300×60×ϕ76.2mm
A轴旋转角度	-40°~+120°
A轴旋转速度	0-20RPM
C轴旋转角度	360°
C轴旋转速度	0-40RPM
A、C 轴的分辨率	0.0001°
A、C 轴的定位精度	7.2弧秒
A、C 轴的重复精度	3.6弧秒
修整轴电机转速	0~3000r/min
金刚轮孔径	φ52mm

磨削冷却泵流量	300L/min（单泵）
磨削冷却泵压力	8-10bar
冲刷泵压力	不小于2bar
冲刷泵流量	50L/min
油冷机制冷量	12KW
油冷机恒定水温	25±5℃
冷却水箱容积	3000L
滤纸过滤精度	25μm

5.2.3技术要求——一般要求

（1）机床床身为整体铸造结构，其结构形式应符合图2规定，X轴和Z轴导轨安装在其两个垂直面上。

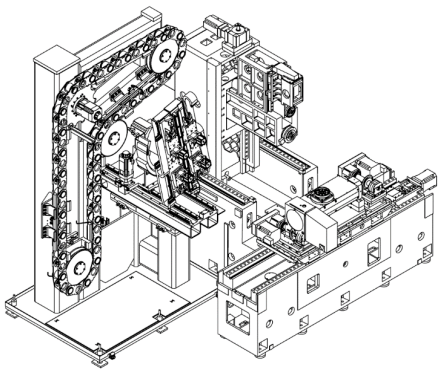


图2 磨削中心的结构型式

（2）防护罩主体面漆采用整体喷塑技术，面漆附着力强，不易脱落，主色调为白色，防护罩主体颜色上白下黑，同类防护系统见图3，具体色号可按用户要求定制。



图3 防护罩外观

（3）设备各部件应具备足够的刚度和稳定性，以保证加工零件时的精度和稳定性。

（4）机床工作台固定在X轴的导轨上，其运动是由伺服电机与滚珠丝杠通过柔性联轴器直联带动其左右移动的，要求该传动结构可靠且平稳无间隙，采用绝对式直线光栅尺实现其闭环控制。

（5）机床立柱安装在Z轴导轨上，其运动由伺服电机通过柔性联轴器与滚珠丝杠直联实现其前后运动，并由绝对式直线光栅尺实现其闭环控制，且机床立柱采用蜂窝式结构设计，具有较强的刚性。

（6）机床Y轴导轨安装在立柱的表面，砂轮主轴箱安装在Y轴导轨上，沿导轨上下运动。

5.2.4技术要求——功能要求

5.2.4.1 **主轴系统功能要求**

（1）主轴系统由主轴箱和主轴总成组成，主轴箱主要功能是安装、防护主轴总成，动平衡仪安装在主轴总成上。主轴总成主要给砂轮提供所需的回转转速、切削力等。

（2）主轴采用大扭矩伺服电机并通过柔性联轴器直联驱动，主轴轴承采用超精密主轴轴承。主轴设计有多重机械迷宫密封和加压空气环式密封保护结构，可有效阻止冷却液及沙粒进入主轴轴承，防水效果可靠有效，提高轴承使用寿命，保证主轴加工精度。

（3）主轴配备外置恒温冷却系统。主轴外壳有螺旋式沟道，通过外部油温控制器向其沟道供油，从而保持主轴外壳及与外壳相接合的轴承温度恒定，延长轴承的使用寿命。

（4）主轴轴承为超精密角接触球轴承，采用前四后二结构，前端四个轴承承载砂轮磨削负荷，后端两个轴承起到定位与辅助支撑的功能。

5.2.4.2 台式修整器功能要求

（1）台式修整器分为顺修和逆修，修整器为一独立部件，采用伺服电机驱动，同步带传动，砂轮修整线速度比由数控系统根据砂轮转速与修整器主轴转速自动匹配，保证砂轮修整的稳定性，提高修整效率。

（2）设备同时具有金刚轮修整砂轮和钢挤轮修整的功能，在工作台面上可同时安装金刚轮修整器和钢挤轮修整器，根据加工工艺的需求，可任意调用相应的修整程序选择砂轮修整方式。

（3）金刚石滚轮修整器带有独立的伺服电机，采用恒线速修整原理实现金刚石滚轮对砂轮的修整，金刚轮修整器的最大转速5000r/min（无极调速）。

（4）滚轮芯轴配备高精密主轴轴承，修整器主轴轴承安装在机械迷宫密封结构中，与加压空气形成双重密封，保证修整器使用寿命。

（5）金刚石滚轮与砂轮以一定的线速比对砂轮进行修整，整个修整与加工全过程均由计算机控制，实现加工过程的自动循环。

5.2.4.3 顶置式修整器功能要求

（1）顶置式修整器的滚轮的升降(V轴）及旋转（SP2）由数控系统控制，实现连续修整，其最大移动距离（V轴行程）110mm。

（2）修整器的导轨采用滚柱直线导轨，其运动由伺服电机通过同步带、同步轮与滚珠丝杠联结实现其上下运动，轴运行速度为10～1200mm/分，输入/输出轴分辨率为0.0001mm。

（3）修整器主轴采用伺服电机驱动，同步带传动，砂轮修整速度将根据砂轮转速由系统按设定值自动匹配，以保证砂轮修整的稳定性，提高修整效率。

（4）修整器可安装成型金刚石滚轮，金刚石滚轮与砂轮以一定的线速比对砂轮进行修整，整个修整与加工全过程均由计算机控制，实现自动化加工。

5.2.4.4 转台功能要求

（1）为了更好地满足加工工艺的需求，转台选用两轴数控转台（A、C轴），选配B轴。

（2）数控转台是由转台主体、伺服电机、电机防护罩，各传输信号线缆等组成。

5.2.4.5 冷却系统功能要求

（1）设备采用纸质过滤结构装置，冷却喷嘴采用右侧单喷的结构方式安装在砂轮防护罩的右侧，具有冷却及冲刷功能，配有大功率独立恒温制冷装置，保证冷却液温度恒定在 25±5℃范围内。

（2）冷却喷嘴配有独立的冷却泵和独立的喷嘴伺服系统（喷嘴有自动跟随功能），通过程序设置可单独控制其启停，冷却喷嘴的压力及流量还设有手动调节阀，以满足各种加工要求，冷却泵电机在满足冷却压力及流量的情况下，稳定有效。

（3）电气控制柜配备空调降温装置，制冷量2.5KW，排风风向朝外。

（4）磨削冷却泵压力8-10bar，磨削冷却泵流量300L/min。

5.2.4.6 **清洁系统功能要求**

（1）设备配备工作腔自动冲刷排削功能，冲刷喷嘴实现有效冲刷工作腔，避免磨削砂屑堆积，冲洗压力不小于2bar，流量不小于50L/min，采用独立的水泵。

5.2.4.7 **喷嘴随动系统功能要求**

（1）冷却喷嘴采用上下随动，右面喷的冷却方式，安装在砂轮防护罩的右侧。

（2）喷嘴配有独立的随动机构，通过独立的冷却冲刷泵及独立的伺服电机单独驱动，喷嘴可通过程序设置自动跟随砂轮直径的变化而升降，实现喷嘴的自动跟随功能，喷嘴行程满足在砂轮最大至最小半径（150～90）mm 范围内有效冷却。

（3）在砂轮修整过程中喷嘴在 Y 方向上由数控系统控制实现自动跟随，补偿位置准确可靠，适于厚度(10～60)mm，直径(180～300)mm 的砂轮冷却。

（4）喷嘴形式可根据用户加工零件的形状特制，以保证磨削过程中各个磨削部位冷却充分。

5.2.4.8 **自动润滑系统功能要求**

（1）自动润滑系统结构紧凑，安装空间小。

（2）设备装有独立的自动润滑系统，针对导轨及滚珠丝杠采用自动润滑系统供油，定时定量，保证机床在长期连续运行条件下的稳定可靠。供油时间和间隙时间可由数控系统控制，具有液位检测、压力检测和报警功能，并能在系统显示器上显示。

5.2.4.9 刀库功能要求

（1）圆盘式刀库：刀具容量32个，可安装最大直径为300mm的砂轮 8 个，换刀方式手动及程序自动。

（2）链式刀库：刀具容量60个，可同时安装最大直径为300mm的砂轮 15 个，最大直径为160mm的滚轮 15 个，换刀方式手动及程序自动。

5.2.4.10 数控系统功能要求

（1）设备数控系统采用彩色液晶屏，中文操作界面。

（2）配备电子手轮调节器，数控系统定制有专用的人机交互界面，可实现对参数的设置和展示、对设备状态的展示、伺服报警、极限位置报警、故障报警及故障诊断。

（3）具备切入式磨削、平磨磨削、平磨连续磨削、平磨间歇式磨削、圆弧磨削、修整的循环或程序。具备各轴联动及补偿功能编程方式。

5.2.4.11 气动系统功能要求

（1）气动系统由气源处理元件、开关阀、快速定位装夹系统、压力表、节流阀，PU管等组成。

（2）快速定位装夹系统采用气动控制，通过 24V 电压控制三位五通电磁阀控制经过两级调压过滤器过滤后的压缩空气来实现快速定位夹具的夹紧和松开，通过专用代码编程控制其通断电，操作面板上有对应按钮，操作方便。

（3）修整器主轴轴承部分也采用压缩空气密封保护。压缩空气通过两级调压过滤器过滤后通到修整器主轴密封腔中形成气封腔，阻止冷却液及沙粒进入主轴轴承，提高轴承使用寿命。

（4）密封压力的大小由压力表指示，压力大小可通过减压阀调整。压缩空气压力 0.4-0.6Mpa，且要求其干燥、不含杂质。

（5）设备配有一个手动气枪，用于机床及零件的清洁。

5.2.4.12 密封功能要求

（1）主轴箱四周采用聚四氟乙烯加弹簧片的密封方式，保证其防水可靠，运行顺畅。

（2）在工作台两端采用高强度柔性风琴罩加左右挡板的防护方式保证工作台运行正常，防水可靠。设备配置油雾收集器，将高压喷射和水流撞击产生的雾气吸入油雾收集器，将干净的气体排出，且自动实现油雾的回流与回收利用，保证开门时机床工作腔内无油雾及烟雾。

（3）油雾收集器独立安装在机床防护罩的后部，其开停由数控系统控制。

5.2.5技术要求——机械安全要求

（1）设备配备自动控制防护门，通过数控系统编程，可以实现防护门的开、合控制，且数控系统具备防护门的开、合状态检测功能，以实现门机连锁。

（2）防护门还配备有光电感应安全防护装置，实现在门动作过程中的防夹、防撞保护。

5.2.6技术要求——电气安全要求

（1）机床主轴和各驱动轴具备掉电自锁功能和防撞保护功能。

（2）电路系统具备过载保护功能，控制系统电源可实现滤波和稳压。

（3）设备配有ESR断电急停回退系统，断电急停回退路径可编程控制，保证在遇到突然停电或其它事故时有自我保护措施及数据不丢失功能。

（4）PE 线连接可靠，没有松动、脱落、断裂的现象。多股 PE 线连接时有接线端子。PE线连接时，没有一钉多线。电器箱与设备本体是采用螺钉固定的，在电器箱与设备间有 PE 跨接线等电位连接。在电器箱内连接的 PE 线，与电器箱外壳连接。电器箱柜内有“动力原理接线图”，标识电器装置的型号、规格、保护电器装置额定电流，所控对象的名称、编号等，与实际相符合。设备安全符合《中国航发安全生产标准化系列考评标准》规定。

5.2.7技术要求——噪音要求

（1）设备为了安全和减少噪音（符合中国国家标准，噪音≤85dB），工作区为全封闭结构设计，符合 GB15760－2004《金属切削机床安全防护通用技术条件》的要求及中国国家标准。

5.2.8试验方法——一般要求检验

（1）目测检查机床床身是否为整体铸造结构，并查验X轴和Z轴导轨是否安装在其两个垂直面上。使用量具测量导轨安装面的垂直度，确保符合设计图纸要求，参照GB/T 17421.1-1998。

（2）启动机床，观察工作台在X轴上的运动是否平稳无间隙。检查伺服电机、滚珠丝杠及柔性联轴器的安装情况，确认绝对式直线光栅尺的闭环控制功能正常，参照GB/T 17421.1-1998。

5.2.9试验方法——功能要求检验

（1）检查主轴箱固定螺栓防松标记无位移，防护罩无变形、干涉，启动主轴空转，使用振动测试仪测量振动值，模拟动平衡仪故障，验证系统是否禁止主轴启动，参考标准JB/T 9874-1999、GB/T 29531-2013。

（2）查验伺服电机铭牌扭矩值（≥设计值），联轴器无径向偏摆，向主轴密封部位喷射水雾（压力0.3MPa），持续10分钟，内部无渗漏，拆检轴承型号（如P4级超精密轴承），确认润滑脂填充量，参照标准GB/T 275-1993、GB 4208-2008。

（3）检查冷却喷嘴是否采用右侧单喷结构，确认其冷却及冲刷功能。验证冷却泵和喷嘴伺服系统的独立运行情况，检查其自动跟随功能。检查冷却液温度是否恒定在25±5℃范围内。

（4）检查设备是否配备工作腔自动冲刷排削功能，验证冲刷喷嘴的有效冲刷能力，确保其能避免磨削砂屑堆积。使用压力表和流量计检查冲洗压力是否不小于2 bar，流量是否达到50 L/min。

（5）验证润滑方式是否为自动集中式，并通过定时定量的控制方式对所有导轨及滚珠丝杠进行润滑。

（6）确认设备配置油雾收集器，并排出干净的气体，并检测油雾收集器是否独立安装在机床防护罩的后部，并由数控系统控制其开停。

5.2.10 试验方法——机械安全检验

（1）在数控系统界面输入防护门开/合指令，观察门动作响应时间，并记录指令执行无滞后现象，检查防护门开/合程序是否可自定义，并与设备加工流程逻辑匹配。

（2）模拟防护门未完全闭合状态，启动加工程序，验证数控系统是否禁止启动并触发报警，强制断开防护门状态检测信号，检查系统是否实时显示“门状态异常”提示。

（3）连续执行多次门开合操作，统计动作成功率，验证机械结构耐久性。

5.2.11 试验方法——电气安全检验

（1）模拟主轴和驱动轴断电场景，观察断电后是否自动锁定，测量制动器响应时间（≤0.5s），触发防撞传感器（如激光/机械式），验证驱动轴是否立即停止并报警，需符合GB 5226.1-2019标准。

（2）使用电流钳形表对电路系统加载额定电流的1.2~1.5倍，记录断路器/熔断器动作时间（应≤2s），用示波器监测电源输入端电压波动（±10%范围内），验证滤波模块输出端电压稳定性（波动≤±2%），检查过载保护装置规格（如断路器额定电流、熔断器熔断曲线）是否与负载匹配，需符合GB 5226.1-2019标准。

6　主要验证试验情况和分析

按照本标准条款要求，对复杂曲面高精度多轴缓进磨削中心实施了相关重要的项目进行验证，全面验证标准编写条款的适用性和可行性，验证结果来看，满足标准编写要求。

7　预期达到的社会效益、对产业发展的作用

标准制定后，现有的复杂曲面高精度多轴缓进磨削中心按此标准要求，将促进产业集约性和规模化发展，该标准以填补国标及行标空白为目的，促进行业发展。

该标准可有效推进产学研一体化产业技术革新，催生新型产品、技术的更新，将研究成果转化为适应市场需求的产品，开发出“含金量”更高，市场适应性更强的产品，实现持续发展。

8　采用国际标准和国外先进标准的情况

未直接采用国际标准或国外先进标准。

9　在标准体系中的位置，与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性

本标准属于地方团体标准。

本标准与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准没有冲突或矛盾。

10 重大分歧意见的处理经过和依据

本标准制定过程中无重大分歧。

11 重大分标准实施日期

待定。

12 标准性质的建议说明

无。

13 贯彻标准的要求和措施建议

本标准目前正在制定阶段，新标准发布后，使用单位须对标准进行宣贯，并按新标准的实施日期执行。

14 废止现行相关标准的建议

无。

15 其他应予说明的事项

无。