

# 潜心关键技术 服务行业需求

## ——走进机械工业数控装备可靠性技术重点实验室

Concentrate on Key Technologies and Serve for Industry Needs

[编者按] 数控机床属于复杂机电系统,出于对加工精度和切削速度的要求,机床结构普遍采用刚度设计,疲劳强度自然满足,其失效模式主要体现为功能性故障,因此相对成熟的以应力-强度干涉理论为基础的机械结构可靠性技术不满足数控机床的可靠性技术需求,必须另辟蹊径。机械工业数控装备可靠性技术重点实验室在国内率先开展了针对数控机床技术特点的可靠性理论与关键技术研究,历经多年积累,已建设成为具有鲜明数控机床行业特色的可靠性科技创新和人才培养基地,技术水平与设备性能在国内数控机床可靠性研究领域处于领先地位。

### 建设背景与研究方向

数控机床是制造业的“工作母机”,其产品质量是衡量一个国家制造业发展水平的重要标志。我国是世界机床生产和消费第一大国,国内研发的数控机床在速度、精度、多轴联动和复合加工功能等方面不断进步,但在可靠性技术方面,由于研发周期长和工作艰辛,参与的人员与团队较少,与国际先进水平存在明显差距,故障率和累积维修费用高,导致主机及其关键功能部件的大量市场份额被进口产品占领。因此,《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006~2020年)》将“高档数控机床与基础制造装备”列为16个国家科技重大专项之一(04专项),并且该专项将“可靠性设计与试验技术”列为第一项关键共性技术。在此背景下,“机械工业数控装备可靠性技术重点实验室”于2008年获批建设,2012年通过验收。以该重点实验室为主要依托,2019年又获批建设“数控装备可靠性教育部重点实验室”。

重点实验室是“吉林大学机械工程国家一级重点学科”和“吉林大学机械与仿生工程学科群国家‘双

一流’建设学科”重点建设的科技创新平台。实验室的前身是始建于1996年的原“吉林工业大学数控机床可靠性研究室”,现有固定研究人员20余人,其中教授6人、副教授和高级工程师9人。团队长期、持续、专门从事数控机床可靠性理论与技术的研究,研究方向稳定、研究工作持续,研究特色鲜明。在长期研发过程中凝练了如下主要研究方向:数控机床可靠性广义设计技术、可靠性广义试验技术与试验装备研发、可靠性建模评估与故障分析与技术、数控机床全生命周期可靠性保障技术等。近年来,为满足行业技术发展的需求,又开辟了工业机器人可靠性设计与试验技术的研究方向。

### 项目与研究成果

近10年来,实验室主持承担了“高速/精密数控机床可靠性设计与性能试验技术”和“关键功能部件的可靠性设计与试验技术”等4项数控机床可靠性方面的国家科技重大专项课题、主持承担了“数控机床电主轴可靠性加速试验技术的基础问题”和“数控机床复杂工况下多层次多自由度静动态载荷谱关键技术研

究”等国家自然科学基金课题和国家科技重大专项的机床可靠性子课题等科研项目30余项,并承担了一批地方政府科研基金和企业横向委托的数控机床可靠性技术研发与试验装备研制的科技项目,主要取得了如下关键研究成果。

(1)凝练出数控机床全生命周期可靠性技术路线。技术路线主要由3条纵向主线构成:左侧部分为数控机床全生命周期的各个阶段,右侧部分表示全生命周期各阶段所需要的可靠性技术,中间部分是作为技术载体的各项技术规范或技术装备,并通过机床企业的可靠性保障体系落实到机床全生命周期的各个阶段。技术路线的凝练解决了机床行业开发和实施可靠性技术“无路可走”的问题。

(2)提出并研发了数控机床可靠性广义设计技术。研发了数控机床可靠性分配设计技术、可靠性预计设计技术、可靠性增长设计技术和基于可靠性设计准则的设计检核技术,构建了数控机床可靠性广义设计技术体系并工程化应用,突破了以往数控机床可靠性设计只有理念而无技术可用的窘迫局面。

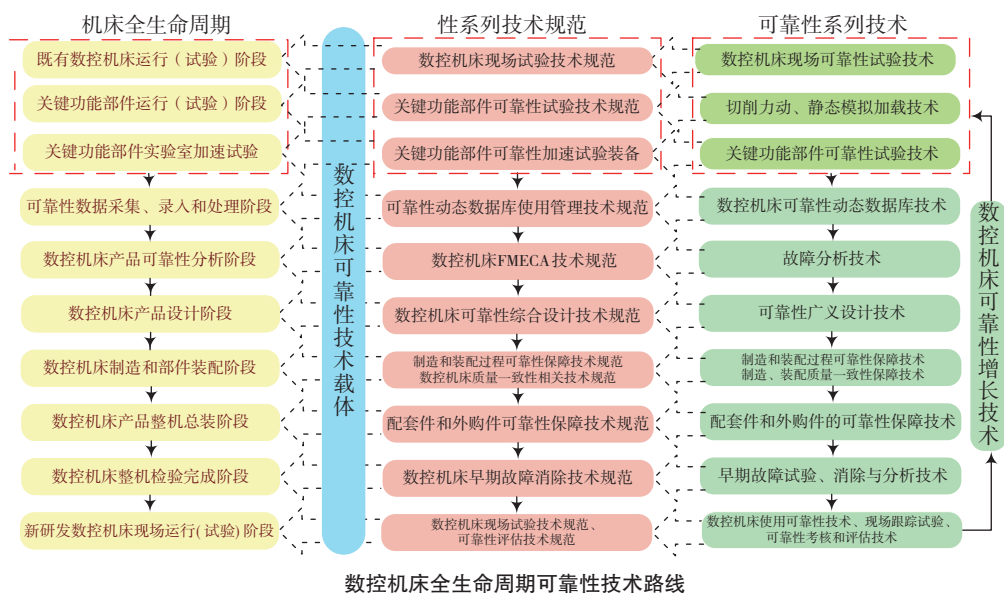


图1 数控机床全生命周期可靠性技术路线

(3) 提出并开发了数控机床可靠性广义试验技术。研发了现场试验技术、早期故障试验技术和台架加速试验技术,建立了数控机床的载荷谱系,形成了数控机床可靠性广义试验技术体系,为规范、高效和大量获取可靠性数据奠定了技术基础。

(4) 研制了能够模拟静态实际工况的关键功能部件的可靠性加速试验系统。主要包括了数控机床中故障率最高、维修性最差的主轴(电主轴和机械主轴)、数控刀架(转塔刀架和动力伺服刀架)和刀库机械手(盘式刀库和链式刀库)等关键功能部件的可靠性加速试验系统。

(5) 开发了多功能网络共享的数控机床可靠性数据库。数据库具有故障、维修和工艺/载荷数据的分类储存、动态更新与远程访问功能,并且集成了可靠性建模、评估与故障分析功能,方便技术人员对数据库的工程化应用。数据库存储了近10年积累的故障、维修数据和工艺/载荷数据,为数控机床的故障分析和可靠性设计提供了宝贵的基础数据。

通过上述技术的研发,初步形成了数控机床可靠性的技术体系。10年来授权发明专利100余项、软件著作权30余项,制定技术标准和技术

规范60余项,发表学术论文200余篇。研究成果已在沈阳机床(集团)、北京北一机床、武汉重型机床和中国航空制造技术研究院等20余家数控机床及其关键功能部件企业得到工程化应用,显著提高了目标产品的可靠性水平。

### ■ 试验条件与装备 ■

实验室拥有雷尼绍激光干涉仪、球杆仪、三坐标测量仪和表面轮廓仪等一批数控机床性能及其加工质量的测试仪器;拥有包括斯宾纳精密数控车床、菲迪亚高速加工中心等进口数控机床和HTC系列数控车床、DL系列加工中心等国产数控机床在内的一批专门用于可靠性研究的数控机床,还拥有电液伺服加载系统和发电测功加载系统等一批数控机床及其关键功能部件的载荷工况模拟装备。

除了上述通用仪器装备,实验室特别是在国家科技重大专项以及国家一级重点学科和“双一流”学科建设的支持下,创新研制了16台套能够模拟实际工况的数控机床关键功能部件的可靠性加速试验系统,其中的主要试验系统如下。

(1) 数控转塔刀架可靠性试验

系统。发明了采用电液伺服控制的切削力模拟加载新方法,研制了能够模拟静、动态切削力的数控转塔刀架和动力伺服刀架的可靠性试验系统。技术指标为:最大静/动态加载力10kN/5kN,最大动态加载频率50Hz;刀架平均转速频率不低于8次/min,动力伺服刀架动力轴最高转速8000r/min、最大加载功率10kW。

(2) 主轴可靠性试验系统。发明了采用电力测功与多自由度电液伺服相

结合的广义切削力(切削扭矩+线性切削力)模拟加载新方法,研制了能够模拟静、动态切削力和切削扭矩的数控机床电主轴和机械主轴的可靠性试验系统。技术指标为:最大静/动态加载力10kN/5kN,最大动态加载频率60Hz;最高转速18000r/min、最大加载功率32kW。

(3) 盘/链式刀库机械手可靠性试验系统。研制了能够同时按单刀重量谱和全链重量谱进行实际工况模拟的盘式刀库机械手和链式刀库机械手的可靠性试验系统。技术指标为:盘式/链式刀库机械手最大刀重7kg/20kg、最大刀长300mm;盘式/链式刀库机械手最大刀具容量40把/80把;平均每分钟换刀频率8次/2次。

此外,实验室还研制了编码器与光栅尺的多场耦合可靠性加速试验系统,研制了一批便携式数控机床早期故障试验状态监测系统。上述可靠性试验系统均属国内首创,已推广到多家企业和研究机构,突破了以往数控机床关键功能部件只能进行空运转或低载荷静态加载试验的落后局面,使我国具备了在模拟实际工况的环境下进行数控机床关键功能部件可靠性台架加速试验的能力。

(采访 逸飞)