

# 基于智能化制造思想的测控-加工一体化技术的发展应用

## Application Development of Measurement-Control-Machining Integrated Technology Based on Intelligent Manufacturing

中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司数控加工厂 楚王伟 隋少春 汤立民



楚王伟

高级工程师,现任中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司数控加工厂副厂长。主要从事航空结构件数控加工工艺和数字化制造技术等研究工作。

智能化制造是集成了信息获取、处理、反馈和相应多项技术的系统工程。智能化制造通过对制造流程中的信息进行自动感应和自主反应,形成了制造过程中的神经网络。

测控技术是研究信息的获取和处理,以及对相关要素进行控制的理论和技术。在数控加工中应用测控技术,通过测控加工过程中的信息,

在智能化制造发展趋势的引领下,测控-加工一体化技术将得到更深入的发展和应用,同时面向产品对象的智能化机床也必然成为未来机床的发展方向。

对信息处理后反馈于加工过程,从而形成“测控-加工”的闭环系统,这就是测控-加工一体化技术。测控-加工一体化技术的应用是智能制造在数控加工领域的重要体现,是数控加工技术由数字化向智能化发展的标志。测控-加工一体化技术应用的意义在于:对数控加工过程进行测控,贯穿于“刀具使用-零件定位-加工状态-故障处理-零件测量”的整个数控加工流程,对数控加工全过程相关参数进行测控,实现加工的智能化过程。测控-加工一体化技术的应用能够提高数控机床的应用水平,有效地提高数控加工的效率和精度。

现阶段数控加工还存在因为工艺参数、软硬件使用不合理导致的机床应用差、加工质量和效率低的问题,测控-加工一体化技术的应用能够解决这些问题。本文结合中航工业成飞公司数控加工厂对测控-加工一体化技术的具体应用,总结了测

控-加工一体化技术在数控加工智能化制造应用中的意义,分析了测控-加工一体化技术在应用过程中存在的问题,并对其发展趋势进行了阐述。

### 测控-加工一体化技术的具体应用

测控-加工一体化技术是在数控加工中集成测控技术,通过测控数控机床运行的软硬件系统以及数控加工结果等参数,关注机床自身负载以及加工精度等因素,对软硬件运行参数、加工工艺参数进行自适应的优化和调整。测控-加工一体化技术体现了数控加工中智能化制造的思想。下面结合测控-加工一体化技术在航空结构件数控加工智能化制造中的具体应用,以数控加工流程为主线,对其进行阐述。

#### 1 刀具监控反馈技术

刀具选用是数控加工的首要环节,它直接参与切削过程,决定了数控加工的效果。现在数控加工中还有

在刀具使用错误、参数设置错误和破损刀具被用于加工等问题,容易造成机床和零件的损伤。刀具监控反馈技术能够检测刀具的几何尺寸和破损状态等信息并自动反馈到加工系统,是解决刀具使用问题的重要手段。

刀具监控反馈技术主要通过测控技术来测量刀具的尺寸、监测刀具的破损情况来获得相关参数,通过监测到的参数与设定的参数进行比较,判断刀具尺寸是否正确和刀具状态是否正常并做出反馈,以保证加工的尺寸精度和加工的安全性。现阶段,一般采用镭射扫描技术来监控刀具,例如 RENISHAW、BLUM 等公司都推出了刀具监控模块。

如图 1 所示,中航工业成飞公司数控加工厂在实际生产中应用了刀具监控技术,监控刀具的长度和直径等参数,解决了刀具使用错误和参数设置错误的问题。刀具监控技术对刀具参数的自动获取是在刀具进行加工前完成的,操作简单,具有很好的推广性。刀具监控技术还能检测刀具的破损情况,及时更换刀具,由于使用过程中需要根据经验中止加工过程来检测刀具的破损情况,所以这一功能在数控加工领域并没有得到广泛应用。对刀具进行全信息的实时监控是刀具监控技术的发展方向,也是智能化制造的基本要求。

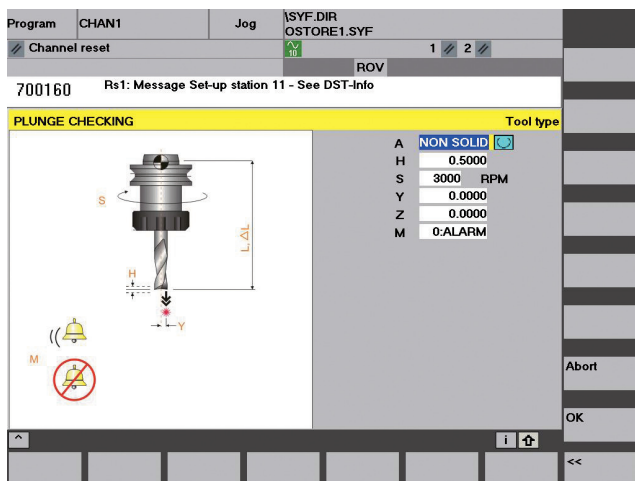


图1 刀具监控系统

## 2 零件自动定位技术

装夹定位是继刀具选用后进行数控加工的第二环节,它决定了零件加工过程的基准,直接关系到零件加工的准确性。传统的通过人工装夹定位零件的方式存在操作麻烦、定位精度差的问题。通过应用测控技术,能够实现零件自动定位,消除了定位过程中人为因素的影响,从而提高装夹定位的效率和精度。

零件自动定位技术主要是应用探头自动测量定位特征位置的,获取数据建立加工坐标系来完成后续的加工过程。零件自动定位技术充分发挥了探头测量效率高、精度高的特点,而且实现了零件定位的无人工干预。另外,把探头的自动测量功能应用于加工过程中的基准检查、原点修正等方面,能够优化加工方案、控制加工过程中的偏差,是实现智能化制造的重要环节。现阶段,利用探头技术进行自动找正在国内外数控加工企业都得到了认可和应用,但是,现阶段由于工作环境的影响,数控机床配备探头的可靠性还存在问题,行业内还处在“人工找正为主,自动找正辅助验证”的阶段。因此,发展高可靠性的零件自动定位技术是非常重要的。

## 3 运行状态监控技术

完成了刀具选用和零件装夹定

位的操作后,就进入到具体加工过程了,这是数控加工的实施环节,也是信息相对集中、复杂的环节。虽然数字化的加工过程基本排除了人为因素,但如果对加工过程中的信息不进行监控,单一方向的信息传递容易造成各种问题,例如不合理加工状态持

续运行造成的机床和零件的损伤等。因此对数控加工运行状态的监控是非常重要的。

运行状态监控是测控-加工一体化技术中的难点,也是智能化制造中的核心内容。运行状态监控技术是指在机床运行状态下,测量运行中的参数以获取相关信息,对信息进行处理并反馈到机床的运行系统中,以保证加工过程的正常运行。

数控加工运行状态监控技术经历了从监测技术到监控技术的发展历程,监测技术实现了运行状态信息的获取,而监控技术则体现了从获取信息到信息处理反馈的测控-加工一体化思想。运行状态监控技术的发展历程是加工技术从数字化到智能化发展的直接体现。

### (1) 运行状态监测技术。

数控加工运行状态监测系统也称为分布式数控系统(Distributed Numerical Control, DNC),通过 DNC 系统能够实时获取数控加工运行的各项参数,既包括 NC 程序的各项参数,也包括机床运行的各项参数,例如主轴功率、电流、加工时间等相关信息。对 DNC 系统监测的信息进行处理,能够提高管理水平,同时还能优化相关参数,提高加工工艺水平。

中航工业成飞公司数控加工厂经过多年的探索和研究,研发了集成化的数控加工实时 DNC 系统。通过应用 DNC 系统,不仅构建了数字化加工车间,加强了生产管理的科学性;而且通过对 DNC 系统监测的参数进行分析处理,对加工工艺参数进行优化,提高了数控加工的效率 and 精度。另外,通过分析机床故障时 DNC 系统监测的信息,能够有针对性地处理运行故障,当然这种方式还只是一种“事后处理”方式。随着智能化制造技术的发展,对运行状态简单的监测和记录已经不能满足要求,所以运行状态监控技术就“应需而生”。

### (2) 运行状态监控技术。

运行状态监控技术不是监测技术和控制技术的简单叠加。运行状态监控技术要求监测的信息更迅速、更精确,而且要对软硬件系统进行全方位监测;另外,还要对所监测的信息进行即时处理反馈形成闭环系统。

运行状态监控技术的应用主要是通过集成在数控系统上的运行状态监控模块对运行状态进行监控,比较获取的信息与事先设定的相关参数域之间的关系,把相关信息即时反馈到运行状态中去。它的应用能够对机床过载、工艺参数不合理等状态做出即时响应,避免不合理切削造成的机床和零件损伤,对于保证运行状态的正常进行具有重要意义。

近年来,市场上出现了 ARTIS、OMATIVE 等多种监控产品。中航工业成飞公司数控加工厂把 ARTIS 系统应用于生产实际,监控机床运行的主轴功率和主轴振动等信息,应用这一技术全程监控高值机床的运行和高值零件的加工过程,在保护机床和零件不受损伤方面取得了很好的效果。但是我们看到,现在对 ARTIS 系统的应用还只局限于加工异常情况下的保护功能,ARTIS 所具有的自适应优化的功能还没有具体应用。现阶段,国内各大航空制造企业都非常关注数控加工运行监控技术的应用,例如沈飞、西飞等公司也都引进了 ARTIS 系统,但对于这项技术的应用还都处在探索阶段。监控范围更广、系统更集成和智能化水平更高是未来运行状态监控技术发展的趋势。

#### 4 运行故障监控系统

运行故障是数控加工的异常环节,是需要避免的环节。运行故障直接影响加工过程的正常进行,并可能对机床和零件造成损伤。现在数控加工过程中还大量存在运行

故障处理不合理造成的机床停工、机床损伤和零件损伤等问题。通过对运行故障进行监控,合理处理故障,能够很好地解决这些问题。

#### 运行故障

监控是测控-加工一体化技术中的重要内容,是智能化制造的一个重要方面。运行故障监控技术主要是通过传感器监测机床运行的各项指标,对运行指标进行判断,发现可能产生故障的症候,及时进行处理。

如图 2 所示,中航工业成飞公司数控加工厂开发了数控机床智能故障预警系统。通过在机床上加装传感器,对运行状态进行监控,结合专家知识库对运行故障进行处理。现在这一技术还处在研究阶段,研究表明:运行故障监控技术能够即时对故障做出反馈、提高数控机床的应用水平。“自我修复”是智能化制造自主反应的内容之一,这也是运行故障监控技术的发展方向。

#### 5 零件在线测量技术

零件测量是数控加工的最终环节,是检验加工结果的手段,是重要的制造流程。传统的零件测量一般采用离线测量的方式,这种方式必然造成加工与测量的脱节,而在线测量

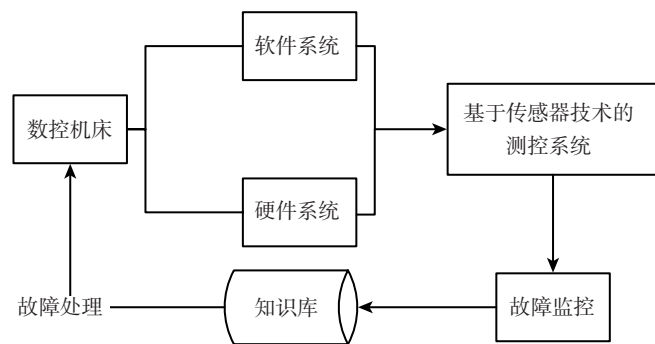


图2 数控机床故障监控系统

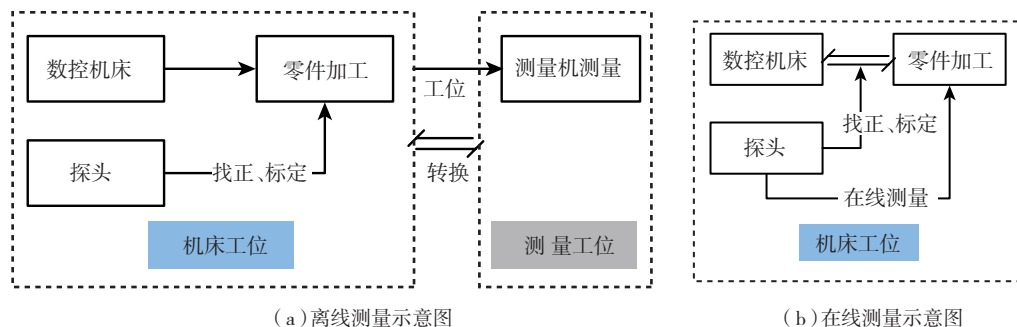
技术解决了这一问题,实现了加工-测量的一体化。

所谓在线测量技术是指通过机床自身的测量系统,在完成零件加工后,工位不发生变化直接对零件进行测量的技术。如图 3 所示,相对于离线测量而言的,在线测量避免了工位转换导致的对零件的重复搬运和装夹等操作。

根据测量方式的不同,在线测量可分为接触式在线测量和非接触式在线测量两种方式。在测量方法上,前者基于接触式探头系统,后者基于三维视觉系统;在测量对象和结果上,前者测量的是针对特征所设置的点位,获得的是点位数据,而后者测量的是全息特征,获得的是特征的点云数据。下面对这两种零件在线测量技术进行介绍。

#### (1) 在线接触式测量技术。

接触式在线测量系统是基于数控编程软件进行再开发,利用数控机床的控制系统以及探头测量系统实



(a) 离线测量示意图

(b) 在线测量示意图

图3 离线测量与在线测量应用比较

现的。接触式在线测量的硬件系统的主体是数控机床的机械系统和测头,软件系统是类似于数控程编的在线测量编程系统。

如图4所示,中航工业成飞公司数控加工厂与清华大学、南京航空航天大学、西北工业大学合作开发了接触式在线测量系统,并探索了在线测量标定、测量精度补偿等技术,通过标准量具标定的方式消除同一机床进行加工和测量的偏差。作为一种零件最终检验手段,成飞公司还根据航空结构件的研制特点制订了在线测量应用的企业标准,对于在线测量的推广应用具有重要的借鉴意义。成飞公司数控加工厂把在线测量技术应用于某型号的研制工作中,解决了某类结构件数控加工测量的技术难题,并在某型号超大型结构件数控加工中应用在线测量技术,优化了数控加工流程,解决了零件的检验问题。现在在线测量技术还缺乏相应的行业规范和标准,这在一定程度上限制了在线测量技术的应用。

#### (2) 在线非接触式测量技术。

非接触式测量技术经过多年的发展已经相对成熟,并广泛应用于逆向工程、汽车制造等行业。非接触式测量具有效率高、能实现全特征测量等特点。非接触式在线测量技术是

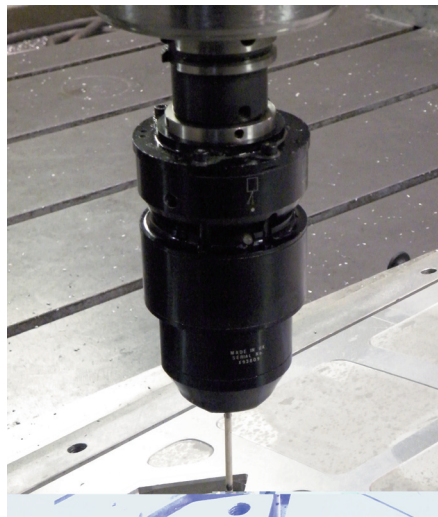


图4 接触式在线测量系统

把非接触式测量应用于零件的在线测量技术,基于数控机床本身开发软硬件系统实现非接触式在线测量。测量结果与零件理论模型进行比对,从而检验零件加工是否正确。

如图5所示,中航工业成飞公司数控加工厂与北京航空航天大学合作开发了非接触式在线测量系统,实现了对铸件、蜂窝件以及常规结构件的测量;并以此开发了飞机结构件加工变形在线测量系统,通过对测量结果和理论模型比对分析零件加工的变形情况,把结果反馈于过程,对优化加工工艺具有重要的指导意义。但是,非接触式在线测量技术还不能作为最终检验手段用于航空结构件的生产。究其原因,主要有以下几个方面:航空结构件对尺寸精度和形位精度都有较高要求,虽然非接触式测量的精度在不断提高,但还没有相关标准和规范满足航空制造业的要求;航空结构件具有尺寸大、特征复杂的特点,对于复杂的特征,非接触式测量还存在一定的难度。

### 测控 - 加工一体化技术的发展趋势

上文对数控加工过程中各项测控 - 加工一体化技术进行了介绍。随着测控技术的不断发展,测控技术

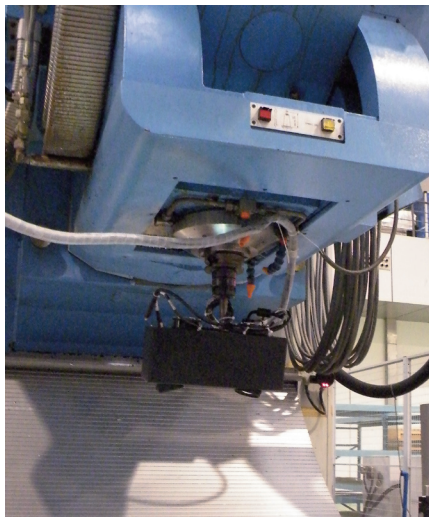


图5 非接触式在线测量系统

将涵盖数控加工的全方位和全过程,测控 - 加工一体化技术将发展成为一项系统工程。每一项测控 - 加工一体化技术既是独立的,又是紧密联系的;在智能化制造中,它们就是一个个神经节,之间的联系构成了智能化制造的神经网络。以刀具为例,它既是一个独立的监控对象,而作为机床与零件之间的加工纽带,它的信息又能反应出机床和零件的情况。所以,在未来测控 - 加工一体化技术这项系统工程中,对刀具的监控将包含更多信息量、解决更多问题。基于此,中航工业成飞公司数控加工厂一直以来非常关注对刀具的研究,在刀具研究应用方面走在国内数控加工领域的前列,他们把刀具研究放在数控加工整个系统中进行,在研究刀具应用的同时提高了对机床和加工工艺的优化应用。

另外,随着智能化制造技术的发展,数控机床也将实现面向产品对象的智能化设计。未来机床设计要根据用户的使用要求,不再只是简单的加工系统,还需要集成测控系统,实现面向产品对象的智能化机床,满足数控加工智能化制造的要求。集成了测控系统的数控机床将由原来单纯的主体加工系统扩展为主体加工系统和附属测控系统的一体化设计,系统之间既是独立的,有紧密联系,能够实现对加工过程中信息的自动感知和自主反应的智能化要求,这是未来机床的发展方向。

### 结束语

智能化制造将主导未来制造技术的发展方向,数控加工的智能化制造的关键是测控 - 加工一体化技术。在智能化制造发展趋势的引领下,测控 - 加工一体化技术将得到更深入的发展和应,同时面向产品对象的智能化机床也必然成为未来机床的发展方向。

(责编 小颖)