

基于单元状态监控的物联网 智能制造系统架构设计探析*

彭云峰, 汤期林, 童雅芳, 王振忠, 毕 果

(厦门大学微纳米加工与检测联合实验室, 厦门 361005)

[摘要] 随着“工业 4.0”和“中国智能制造 2025”指导框架的提出, 制造领域面临急迫的产业转型与升级改造, 机械制造产业也必将向智能制造时代迈进。精密制造领域作为机械制造产业中的重要分支, 其对质量控制的要求越来越高, 尤其在同类型产品的批量化精密制造中, 高精度、高质量与高良率是制造过程必须考虑的首要因素。基于同类产品批量化精密制造的特点, 本文在以大数据及物联网为架构的智能制造基础上, 提出一种基于制造单元加工状态监控与决策的物联网智能制造子系统框架模型, 并对其功能组成及架构设计进行了初步探析。首先论述了大数据、物联网与精密制造的内在联系; 然后介绍了可实现制造单元加工状态和过程监测的相关技术与系统功能, 并详细分析了制造单元加工状态大数据的获取与处理以及智能制造单元的智能控制方法; 再次围绕实现车间级或局部制造区域内批量化精密制造系统的质量控制需求, 探析了以无线自组网为基础组建批量化精密制造智能控制与决策的物联网子系统功能架构设计; 最后以课题组目前开发的光学精密制造智能控制子系统为例进行了说明。

关键词: 智能制造; 制造单元; 加工状态; 物联网; 批量化

DOI: 10.16080/j.issn1671-833x.2018.12.016



彭云峰

工学博士, 教授, 主要从事精密工程和智能制造方向研究。

* 基金项目: 国家自然科学基金项目(51675453)和深圳科技计划项目(JCYJ20160517103720819)。

近年来, 工业 4.0 与中国制造 2025 均提出了“智能和网络化”的制造发展核心指导思想, 有效地促进了物理信息系统与物联网在制造领域的广泛应用与长足发展^[1-2]。物联网通过各种信息传感设备及系统和其他基于物-物通信模式的短距离无线传感器网络, 把物体连接形成一个巨大的智能网络, 通过这一网络可以进行信息交换、传递和通信, 以及对物体进行智能化识别、定位、跟踪、监控和管理^[3]。物联网与智能制造的有机结合为制造行业的新发展带来了前所未有的机遇与变革^[4]。

物理信息系统与物联网在工业制造领域的典型应用有 ERP (Enterprise Resources Planning) 和 MES (Manufacturing Execution System) 系统等。ERP 通过信息系

统对企业及生产信息进行充分整理、有效传递, 使企业的资源能够得到合理地配置与利用并实现企业经营效率的提高。而 MES 是一个对整个生产过程进行优化管理的系统。功能上, MES 是对 ERP 计划的一种监控和反馈, 是 ERP 业务管理在生产现场的细化, ERP 是业务管理级的系统, 而 MES 是现场作业级的系统^[5]。比较发现, ERP 和 MES 系统在管理生产资源、现场监控、数据分析和改进生产流程等功能上表现强大, 适宜于产品种类众多的生产企业优化生产工艺和管理措施。显然, ERP 和 MES 明显缺乏对制造过程加工状态的分析与处理, 即忽略了对产品加工质量的有效控制与预防, 这不利于产品加工质量的保证, 尤其对光学精密制造、航空航天、3C 领域等大批量精

密元器件产品加工质量的稳定性与成品良率不利。

此外,同类产品的批量化精密制造工艺一般较稳定,工艺进一步优化控制的需求有限,而且加工一般在车间或生产班组等局部区域内,相对而言,这类产品的单价高昂,控制目标更关注产品质量与良率,即希望能控制产品加工过程以降低生产损失,因此,这种同类型产品的批量化精密制造相对弱化了生产资源、生产流程和工艺优化等方面的管理需求。显然,在面对同一产品批量化精密制造生产方面,以物联网为基础的 ERP 和 MES 等智能制造系统略显功能过剩、资源浪费,且管理与控制对象缺乏针对性。为此,诸如 MES 和 ERP 等基于物联网的智能制造辅助系统需要在某些方面进行改善,或增强其某方面功能才适应同类型产品批量化精密制造要求的产品质量与良率智能控制特点。

综上,区别于广义的基于物联网等智能制造系统,本文提出一种适用于批量化精密制造质量稳定性智能控制的机联网智能制造子系统,并探析设计该子系统的功能架构。该机联网子系统基于制造单元的加工过程状态来控制 and 预测产品的加工质量,注重单一同类产品生产的工艺特点,解决批量生产的精度控制和稳定性等问题,在大规模的同类产品生产任务下发挥出最大的价值。为实现机联网的智能制造与控制功能,本文从制造单元加工状态的各种数据采集与处理、加工状态大数据的特征智能化提取与融合、制造加工单元的质量预测与智能控制,以及局域制造加工单元网络化连接集成控制等方面进行论述,初步探析建立批量化精密制造机联网智能制造子系统的功能架构,具备功能完善的子系统既可单独作为一个智能制造系统使用,也可作为一个功能单元模块植入 ERP 和 MES 等系统构成相应的功

能补充。

制造单元的加工状态信息与处理

1 制造单元的加工状态数据与信息

工业物联网和传感仪器的应用导致当前可获取的制造数据规模、类型和速度正呈指数级增长,从而在制造业向智能化转型的过程中催生了制造大数据名词的出现。制造大数据的合理利用是实现智能制造的基础,也是未来提升制造业生产力、竞争力、创新能力的关键要素^[6]。可以说,物联网是获取制造大数据的工具与桥梁,制造大数据是智能制造顺利实施的源泉与信息保证。因此,要实现制造加工质量的智能控制,则需利用物联网准确地感知和采集与处理制造/加工状态大数据,从中提取可供智能决策的数据特征。

传统制造企业一般注重产品的工艺设计而往往忽视了对制造单元加工状态的监控。制造加工单元设备状态的变化通常预示着产品加工质量的改变,即产品的加工质量已偏离了加工预期,若不能实时监控机床加工状态,则不能及时知悉加工状况的突变,也即不能及时调整或控制制造单元及产品质量,也会破坏自动化生产的连续性,并降低制造生产速度和增加制造成本。此外,随着当前制造加工从宏观大切深大体积去除进入了微量去除加工的精密/超精密制造时代,加工精度不断提高,制造单元加工状态的细微变化即意味着工件的重大破坏,如光学玻璃、半导体晶圆、陶瓷材料和 3C 产品等元器件表面损伤及亚表面破坏的形成^[7],两者相伴发生。因此,为保证产品加工质量的稳定性,必须对加工产品的制造单元状态进行监控,获取相关的制造加工状态大数据,这对超/精密制造领域更为重要。

制造加工单元在制造加工过程中产生或释放的状态信息与数据种

类众多。根据制造单元释放的状态信息方式和表现形式,可将其分为 3 类:表征制造单元运行状态的信息;表征设备与部件加工状态的信息;材料去除过程中释放或传递出来的信号。3 类加工状态及信息种类繁多,需根据制造单元和加工类型以及材料去除形式加以区分。以作者课题组正在构建的光学精密制造单元智能控制系统为例进行说明,图 1 所示为一台大口径光学非球面精密磨削机床。磨床作为独立的制造单元,反映设备工作运行状态的信息有:机床振动、主轴振动、热变形与位移、运动轴运动精度及平顺性、动平衡、磨削液供给、静压导轨油压等,这些信息某种程度上反映了制造单元的运行健康状态,设备的运行健康状态将直接改变砂轮与工件的相互作用方式,最终影响或改变光学元件的加工质量。另一方面,如砂轮磨损、切削功率等,直接反映了制造单元的加工状态与性能,也即该类信息通过反映制造加工过程中材料去除的能量消耗与砂轮的性能状态,间接地反映了加工的质量状况。另一角度,设备的运行健康状态还可从砂轮与工件相互作用时材料的去除或变形方式中体现出来,该类如磨削力和声发射信号等伴随材料的去除与变形过程中释放出来的信息直接反映了材料的去除性能与变形特征,也即该类信号的特征在某种程度上可以直接反映光学元件最终的加工质量。光学精密磨削中 3 类状态信号的关系如图 1 所示,正确选取前述 3 类状态信号,阐明并解释其相互之间以及与元器件加工质量的内在联系,是构建基于制造单元加工状态控制的机联网批量化智能制造系统的理论基础。

一般而言,加工过程中制造单元表现出来的加工状态信号类型多样,都会对加工精度产生影响,不同的状态数据反映出来的制造单元加工能力也不尽相同。但应值得注意

的是,单一的加工状态数据特征充满偶然性,可能充满干扰数据特征,导致并不能真实地反映加工状态实质,因此,不能单纯以单一类型的加工状态特征做判断依据。所以,为使反映的加工状态更真实,制造单元加工状态控制与预测系统需包含多维加工状态信号,力争采用更全面完备的状态数据,以保证加工状态与质量控制的准确性。

2 制造加工状态的数据获取

智能制造的基础首先体现在加工大数据的获得和处理上。针对不同的加工状态大数据,需要采用合适的传感器、数据采集设备以及相应的数据分析软件,搭建相应的数据采集系统,才能准确获取数据。为实现制造单元加工过程和加工质量的有效控制,选取并获得能反映制造单元加工状态的信息或数据至关重要。

图1所示的光学精密磨削加工,反映其制造单元加工状态的数据信息类型较多,对应的信号类型也不尽相同,需采用不同的采集和传感方法。反映设备运行和工作状态的信息方面,机床与主轴的振动信号可通过在选定的敏感点配置加速度传感器获取,设备本体与局部的发热也可内置热敏传感器或热成像仪感知获取,而因发热引起的变形与位移和运动轴的运动状态则可通过微波或激光干涉仪等测量^[8],磨削液供给与静压导轨油压可从管路压力单元或设置的压力传感器读取,但砂轮作为直接参与实时加工的主要功能单元,则难以直接由视觉或其他传感单元获取其工作性能与磨损状态,这需通过其他加工状态反映的信息分析获得,功率可从数控系统中直接读取或导出^[9]。工具与工件作用相关信号方面,磨削力可由力传感器读取^[10],而声发射因为直接反映了磨削加工中材料的断裂与变形状况,对其正确的获取和解析至关重要,该信号也可直接在刀架或工件附件上设置声发射

传感器获得^[11]。

由上分析,结合作者课题组的研究经验,在目前信息和传感技术相对发达的前提下,基本可实现制造单元相关加工状态信息和数据的获取。同时,为减少采用多维状态信号监控时传感器引线干涉影响加工,可视情况采用有线或无线传输方式发送信号至信息处理单元^[12-13],将采集到的磨床多种加工状态信号传输至中央信息处理单元。图2是作者实验室研制的大尺寸光学元件超精密磨削机床加工状态的数据测量采集系统。依据经验分析,选取的加工状态监控信号为主轴功率、声发射、磨削力与

加工分布压力多维动态信号等。传感采集方面,主轴功率由数控系统设置读取;磨削力等多维动态信号采用3轴加速度传感器与力传感器,结合多通道HBM-QuantumX MX440B的采集仪实现,磨削声发射信号利用安装于砂轮主轴端的声发射传感器结合PCI-2声音信号采集板和采集软件获取^[14]。由信号采集系统获取的信息经初期简单处理后由无线/有线单元传输至制造单元控制中心,待下一步的处理与决策。

3 加工状态大数据的处理

制造单元运行过程中的状态数据具有复杂、多变、基数大的特点,对

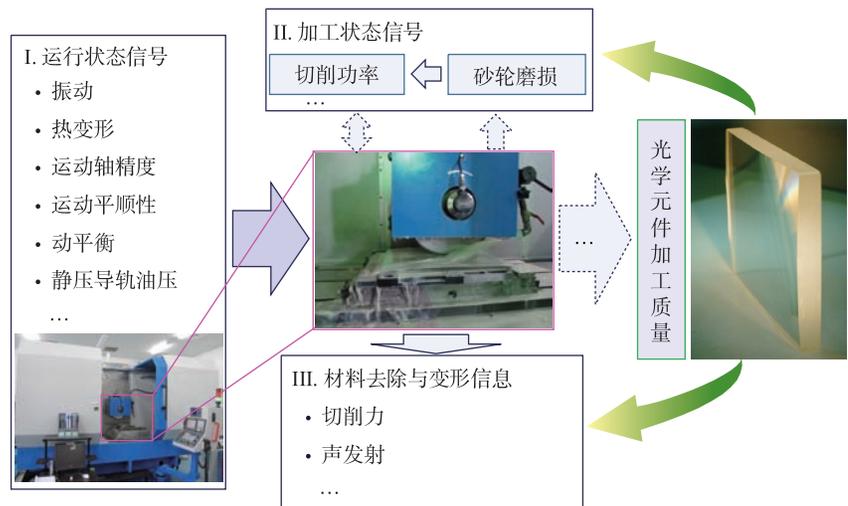


图1 光学精密磨削的加工状态信息与数据

Fig.1 Processing status information and data of optical precision grinding process

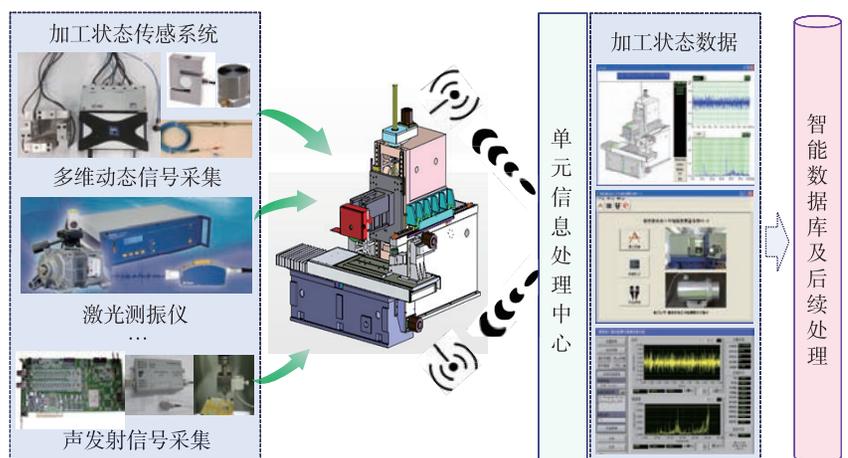


图2 光学磨床加工状态数据采集系统

Fig.2 Optical grinding machine processing state data acquisition system

其数据处理与分析格外重要。目前较多的关于机床加工状态大数据分析方面的研究,如王海同等^[15]通过对机床热误差的测量,根据机床温度场的变化提出了模糊聚类与信息论相结合的方法寻找最佳温度测点布置位置,从而改善了热误差模型的建立。但这类研究更多是针对单维信号的处理,对实际加工状态真实情况的反映可靠性较差,且已有的研究并没有将制造单元某种加工状态特征与加工质量相对应,导致已有的数据分析积累并不能对后续的加工形成有效预测与控制,实际应用效果不理想^[16]。因此,针对制造单元的多维加工状态大数据特点,本文提出的机联网系统应采用智能数据库对制造单元的加工状态大数据进行分析、学习、存储和处理。

智能数据库的数据来源为制造单元每次加工过程中产生的实时状态大数据。加工本质是一个长时间的持续过程,加工状态数据源源不断产生,数据量复杂而庞大。为此,将智能数据库设计为一个开放性的动态数据库,随时可以根据加工进程添加和更新反映加工状态的数据内容,并且为选取的多维加工状态监控信息均设置对应的存放空间,如可分为声发射、磨削力和主轴功率等的存储

空间区域等。同时,因制造单元的加工状态大数据与其他行业大数据一样,价值密度低,但整个过程数据均不能轻易忽略,并且存在许多干扰数据,无法直接用于分析和推测,为有效监控制造单元的加工状态变化,需有策略地监控和分析制造单元加工持续时间内的状态变化,并自主挖掘和提取其加工状态的数据特征,供智能数据库进行自学习和丰富用。图3为加工状态智能数据库的功能与操作流程,为便于数据库可选择性地存放不同的加工状态与加工质量数据特征,辅助配置加工状态大数据的分析与处理功能,根据设定的优化采样频率,实时提取加工状态大数据的数据特征,同时将其与历史数据库中存放的经验数据特征进行遍历和比较分析,经评价如发现当前实时加工状态数据特征区别于历史经验数据,则将新的加工状态数据累加、存入并动态更新智能数据库内容,后续再有针对性地补充与该加工状态特征相对应的加工质量特征,如此反复,经过长时间的深度学习与经验累计,形成一个庞大的、已存储大量历史参考经验大数据内容的智能自学习数据库,为后续的加工状态分析和判断提供事实经验参考基础。

根据加工状态智能数据库的功

能与操作流程设计,数据库的每条内容应包含提取的加工状态数据特征、对应的加工质量信息,同时为有针对性地进行数据库的遍历搜索与比较,每条数据内容应该包含加工状态对应的加工参数等信息,以表示当前数据内容中的加工状态信息特征是发生于该加工参数状态条件下,也表明该加工参数与加工状态大数据特征和加工质量信息存在内在的关联关系。如此设计可更方便智能数据库的检索、比较和存储。此外,如有特殊情况需要说明,智能数据库还可添加必要的事例说明等数据条目内容。

制造单元的智能控制

制造单元是指能够独立完成特定加工任务的单一设备系统。制造单元加工任务的顺利执行需在良好的设备运行与工作状态条件下实现。随着制造业逐渐向服务型精密高效制造转型,制造单元所面临的加工要求越来越苛刻,在精度、效率和成本上都都需要达到最优,使制造单元的智能化发展成为必然的趋势,而批量化精密制造加工中制造单元的加工过程与质量智能控制则成为关键。

制造单元要实现加工过程和加工质量的智能控制,加工状态数据的作用与处理至关重要。对于特定的制造单元,在设定加工参数下,制造单元设备本身在加工过程中表现出来的状态特征是其设备性能与精度特征在该加工条件下的一种必然的综合反映,如机床振动或工艺系统变形等,该反映特征与材料性质等因素共同决定了制造单元加工工具与工件之间的相对运动形式和加工作用,最终也共同决定了元器件的加工质量。同时,元器件在加工过程中伴随释放出与其材料去除状态或变形形式相关的信号,如声发射、切削力和切削功率等,通过对制造单元加工过程中释放状态信息的解读与溯源,可

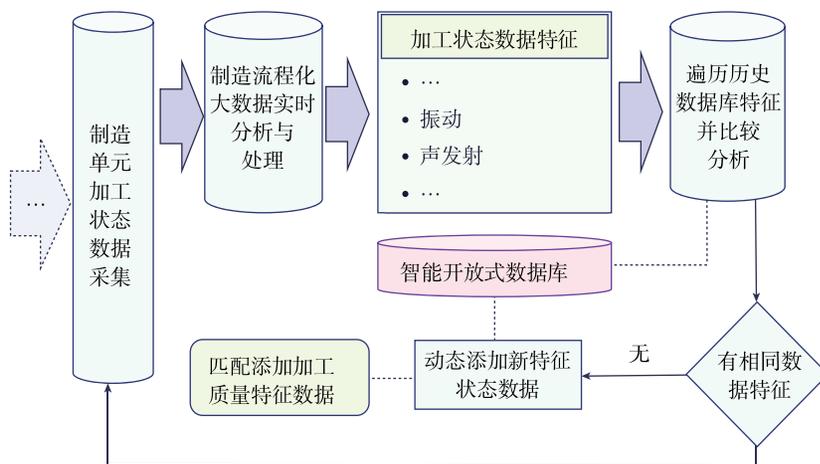


图3 加工状态数据分析处理流程
Fig.3 Processing status data analysis

发现制造单元加工状态特征与其对应加工结果的数据相关性,即制造单元加工状态大数据与元器件加工质量数据两者之间存在一个特征映射,两者关系与联系如图4所示。此外,就整个制造单元加工系统而言,对于确定了机械性能和精度水平的制造单元,不同的加工工艺参数将激发制造单元不同的响应性能,该响应性能一定程度上决定了制造单元加工元器件的加工质量,据此反推溯源,可建立确定机械性能和精度水平条件下制造单元加工质量特征与加工工艺参数之间的关联。如此,则形成了本文所说的基于制造单元加工状态智能监控与决策的理论基础,即可通过实时监控制造单元加工状态大数据,提取其状态特征,根据加工状态大数据特征与元器件加工质量数据特征间的映射关联,智能预判当前加工条件下制造单元可能存在或即将发生的质量问题,并适时给出预警,提示中控中心通知控制系统智能调整加工工艺参数或中止加工,以保障元器件的加工质量稳定性或避免更大的生产损失。

基于图1和图4针对制造单元加工参数、加工状态大数据特征与加工质量数据特征之间的内在联系,设

计规划基于加工状态的制造单元智能控制与决策方法。如图5所示,针对局域范围内同一类型产品批量化精密制造单元个体,布置传感设施监控制造单元的多维加工状态,获取相关的加工状态信息与数据,处理并提取其加工状态大数据特征,遍历历史智能数据库,将获得的特征与智能数据库累积经验事例信息比对后,如果智能数据库中存在与当前加工状态数据特征相关的历史经验数据内容,则将多维加工状态特征信息比对后的结果进行数据融合,综合判断当前加工状态条件下是否存在加工质量问题与隐患,如不存在任何质量问题迹象,则继续重复前述步骤;如评判表明可能会出现质量问题,则进一步根据质量预测机制判断可能会发生何种质量问题,然后根据智能学习获得加工质量特征与加工参数内在联系,反馈回制造单元控制系统,智能调整加工参数或中止加工,确保加工质量的稳定或避免严重质量问题的出现;如果历史经验数据库中不存在与当前加工状态特征相关的数据内容,则在多维加工状态信号数据处理后,检测元器件的加工质量特征,建立两者间的联系,将其添加进智能数据库中,同时,分析检测得到的加

工质量特征与加工参数之间的关系,智能学习获得根据加工质量特征调整加工参数的对策与方法。如此反复,经历大样本的同一类型产品加工过程的数据分析与累计后,形成了一个可靠的基于加工状态的智能控制与决策单元。

批量化精密制造 机联网子系统

在当今消费市场多元、多样化发展前提下,基于工业4.0网络化定制的生产与制造占比越来越大,但局部范围内同一类型产品加工的大规模制造仍占大多数,这在任何时候都是制造行业的主流,特别对于光学、发动机、消费电子、航空与汽车等关键零部件生产制造行业尤其如此。这种批量化产品的加工工艺流程基本相同,呈现的加工特性基本一致。对于这些拥有相同加工要求的制造单元,不适宜完全采用现有的ERP和MES进行独立的生产管理。因此,在智能制造模式下,为实现高效管理和快速高质量制造,有必要将局部范围内从事同一类型产品加工或同类型加工内容的制造单元进行集成控制与管理,组成机联网智能控制系统,并将其作为一个子系统或功能单元补充进ERP或MES系统进行简化化管理。

为此,本文探讨建立基于制造单元加工状态智能控制的批量化精密制造机联网子系统,该系统以若干已智能化的制造单元为基础,各智能制造单元能够自行获取和分析单元的加工过程状态大数据,具备可直接反映出产品特征信息和智能控制产品加工质量的功能。此外,每个智能制造单元的信息处理单元均具备开放性,可作为独立单元参与组建局域范围内的网络化信息传输与处理系统。为便于制造单元生产过程中的物流与上下料操作,各制造单元信息处理单元间的信息交互可视具体情况

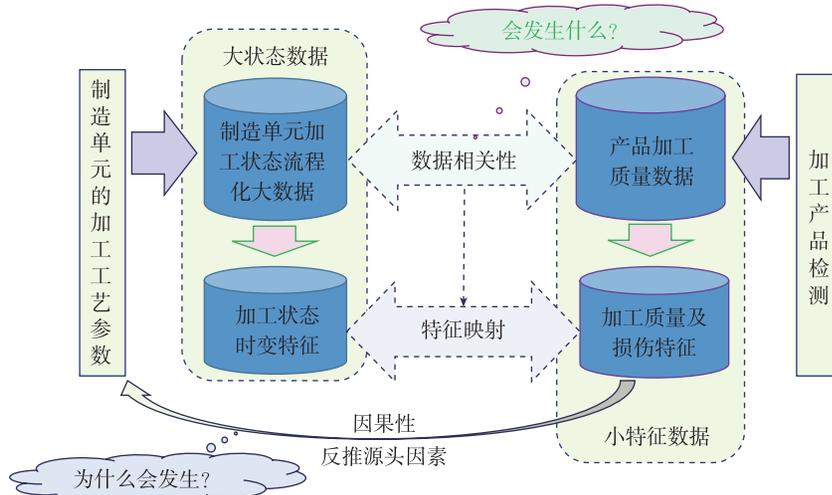


图4 制造单元加工参数与状态特征关系

Fig.4 Relationship of processing parameters and state characteristics

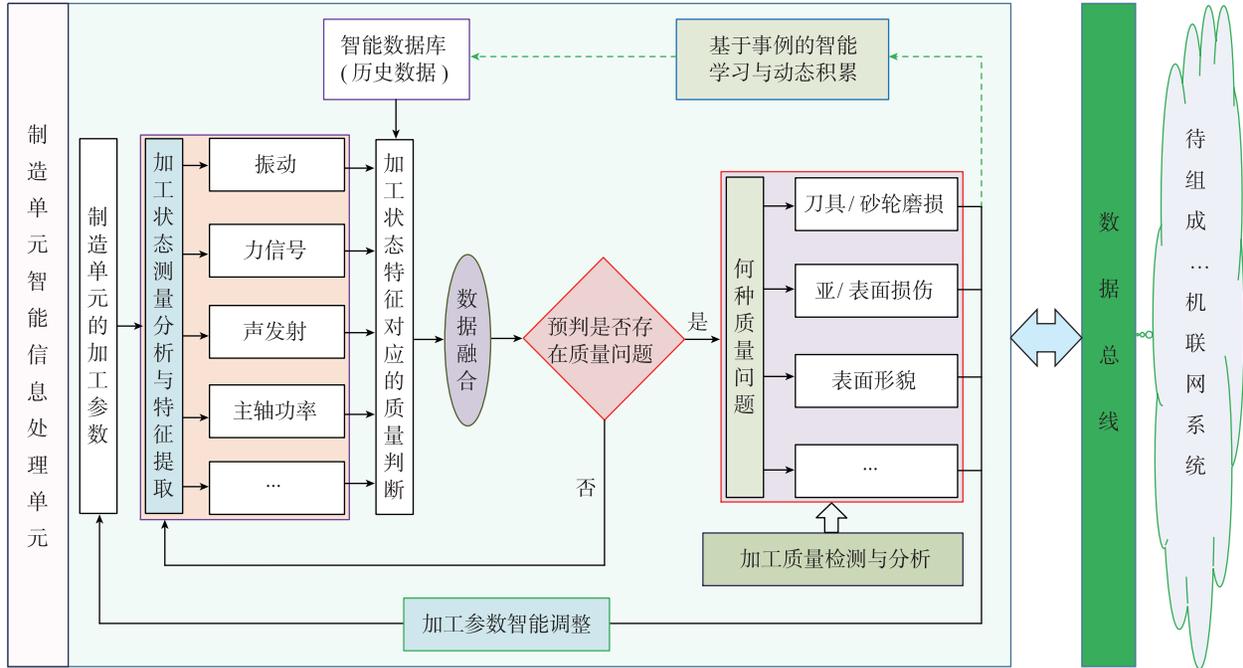


图5 制造单元的智能决策与控制
Fig.5 Intelligent decision-making and control of manufacturing units

采用无线方式传输,同时,因参与组建批量化精密制造机联网子系统的制造单元一般分布在一个较小的地理范围内,相互距离较短且传输数据量大,可采用 Wi-Fi、蓝牙和 Zigbee 等无线自组网局域网形式组成网络化布局 and 进行数据传输与控制。因 Zigbee 技术具备低功耗、成本低、时延短、网络容量大等特点,厦门大学微纳米加工与检测联合实验室采用 Zigbee 无线技术组建制造单元的监控与数据通讯网络^[13,17]。

图 6 所示为本文探讨构建的基于制造单元加工状态监控的机联网智能制造子系统网络架构示意图。首先各制造单元按前文所述构建其完备的单元智能控制信息处理中心,与固定或移动的加工质量检测评价处理单元一起构成无线网络终端功能单元;基于 Zigbee 等无线自组网构成数据传输与交互渠道,网络终端功能单元的数据信息有线或无线汇总至局域网子系统智能集成控制中心进行系统管理;集成控制中心通过有线/无线方式与云端远程

分析诊断服务中心相连,并由云端远程分析诊断服务中心提供针对加工案例分析与相关的技术服务支持等功能。此外,为适应企业进行全场范围内的生产管理与运作,可开发局域网子系统智能集成控制中心与厂级或更高层次生产管理与计划系统的链接接口协议,将其作为诸如 ERP 或 MES 系统的一个子功能系统,构成更全面的智能制造系统。

批量化精密制造机联网子系统搭建示例

本文探析的批量化精密制造智能子系统主要针对同类型产品的制造加工,因其加工状态大数据的更大相似性,机联网子系统能更准确地分析归纳整理加工状态大数据,从而有针对性地控制和优化加工工艺与过程,最终实现批量化精密制造质量的

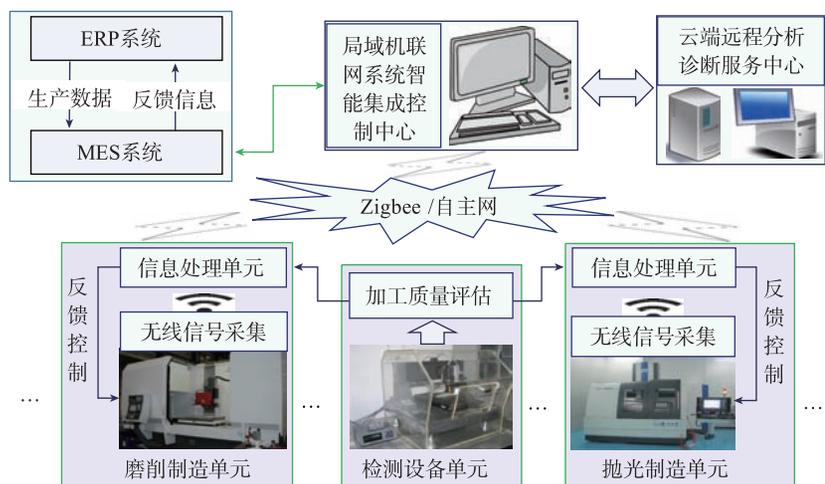


图6 批量化精密制造机联网系统架构
Fig.6 Architecture of internet of machine

稳定性控制。同时,通信与物联网系统技术的进一步发展,依靠先进的网络系统与大数据处理技术,将能实现真正意义上的批量化精密智能制造。

本文以厦门大学微纳米加工与检测联合实验室的光学精密制造加工控制研究为例。光学精密制造加工一般对设备精度和加工参数设置及工具状态要求极高,必须准确获取加工过程状态以有效避免光学元件的加工损伤。基于长期的研究经验,厦门大学微纳米加工与检测联合实验室较早开展了基于磨削力、声发射、功率等单维加工状态信号的光学精密加工环境监控的研究,设计了监控系统网络机构并开发了相关通讯与处理软件,取得了较好的非球面加工控制成果,特别在砂轮主轴振动与机床控制方面^[8, 10, 12-14, 17-18]。图7为开发设计的制造单元批量化控制系统网络架构,目前已用于某加工车间机床的温度采样控制,效果良好^[17]。目前,在已有的若干单维加工状态信号监控的研究基础上,基于本文提出的批量化智能制造子系统模型功能设计思想,实验室在开发局域范围内的多维加工状态信号监控的智能制造系统,并开发其与ERP和MES系统的接口。

同时,为更好地获取完备的机床加工状态信息,设计阶段经过机床性能状态分析与计算,将状态获取传感器预置安装在机床的敏感部位读取状态信号。图8所示为实验室开发的磨床传感器设置方案,其中内置式和内嵌式传感器获取的加工状态经无线传输、外置式传感器经有线传输至信息采集模块进行融合分析。图9为已开发的实时监控软件与操作界面及数据库组成,目前正在完善多维加工状态信号融合算法。未来在对开发的批量化精密制造机联网系统进行综合大样本容量的加工状态事例充分训练后,将其应用于实验室开发的精密磨床、抛光机床和精密检

测平台等系统^[19],组建精密光学制造质量稳定性控制系统的多维加工状态智能控制网络,实现批量化大口径光学加工的智能控制,并根据结果对本文提出的机联网子系统功能及

架构进行进一步的丰富和完善。

结论

(1)在智能制造背景下,阐述了多维制造单元加工状态数据监控与

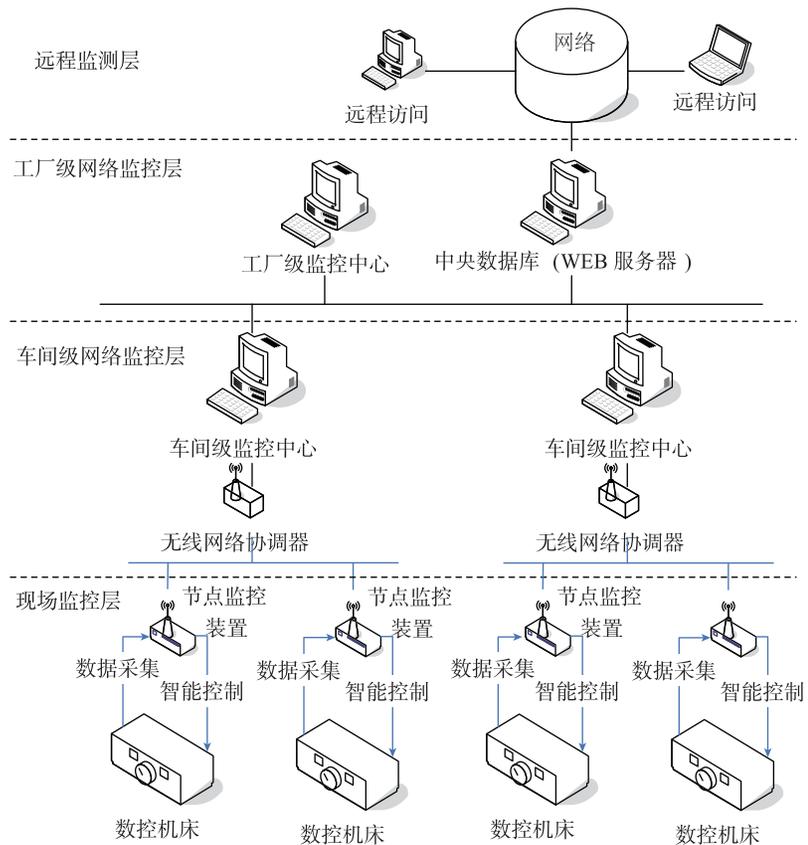


图7 网控制系统的架构

Fig.7 Architecture of the control web system

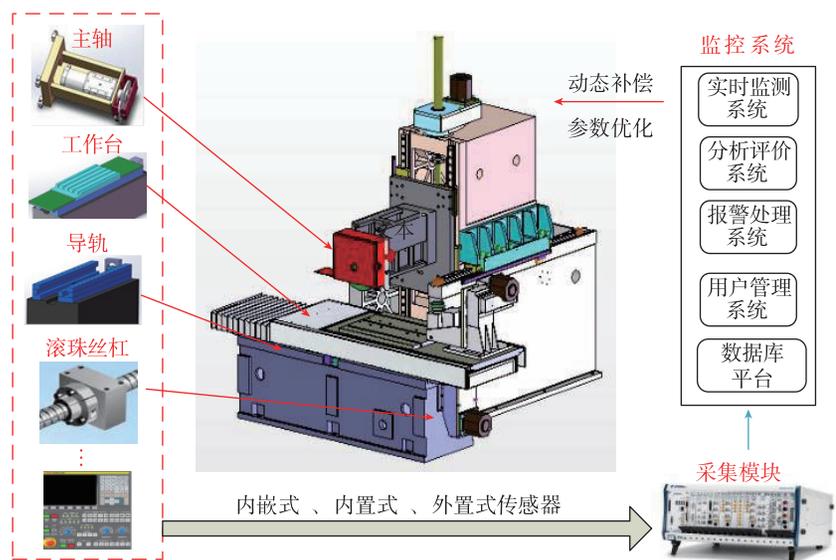
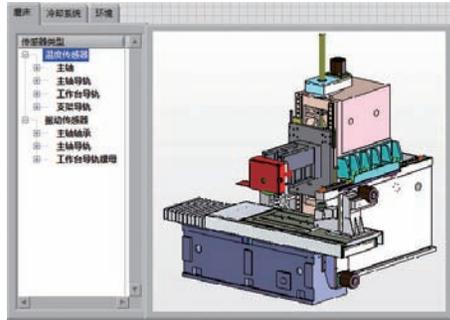


图8 磨床传感器单元预置方案

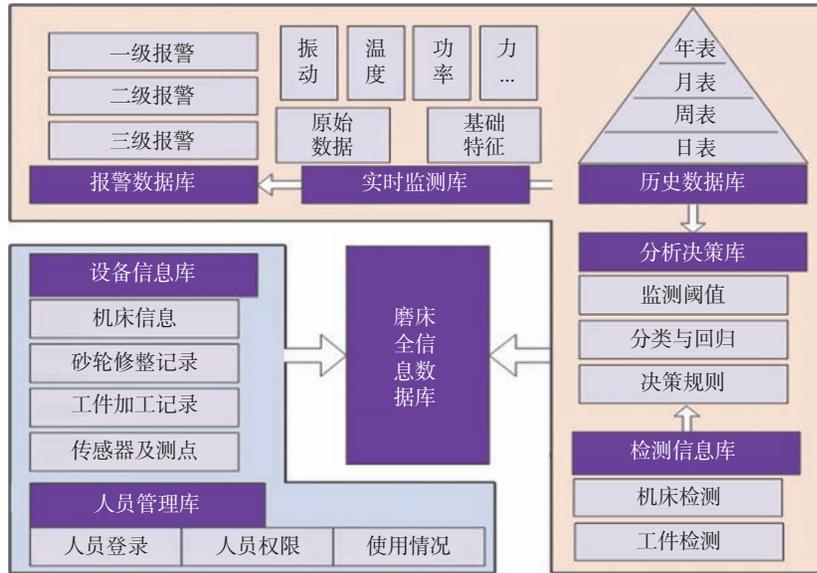
Fig.8 Pre-setup of the sensors on the grinding machine



(a) 软件界面



(b) 操作界面



(c) 数据库

图9 磨床单元监控软件

Fig.9 Monitoring software of the grinding machine

分析的必要性,初步探索并提出了批量化精密制造机联网子系统的模型。

(2)分析了制造单元表现出的加工状态信号及分类,探讨了各分类信号之间的关系,以及制造加工状态信息与加工质量间的数据相关性,论述了基于制造单元加工状态监控实现加工过程稳定性智能控制的理论基础。

(3)从加工状态信息获取、智能数据库构建与数据内容及操作、智能单元决策与控制等方面探讨了制造单元智能监控的实现方案,论述了以智能控制单元为基础构建同类型产品批量化精密制造加工稳定性控制的机联网智能制造子系统架构及方案。

(4)本文提出了批量化精密制造机联网子系统,目的是通过对制造

单元加工状态的过程化智能监控实现加工质量的稳定性控制,以提升产品的加工良率。功能成熟的机联网子系统可作为一个功能单元或模块,通过数据接口与协议连接入智能制造大系统如 ERP 或 MES 中并对其形成功能补充,以使制造具备真正的智能功能。

参考文献

[1] ZHANG Z, LIU S, TANG M. Industry 4.0: challenges and opportunities for Chinese manufacturing industry[J]. Tehnicki Vjesnik, 2014, 21(6): III.
 [2] QIN S F, CHENG K. Future digital design and manufacturing: embracing industry 4.0 and beyond[J]. Chinese Journal of Mechanical

Engineering, 2017, 30(5): 1047-1049.

[3] 董健. 物联网与短距离无线通信技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012.

DONG Jian. Internet of things and short distance wireless communication technology[M]. Beijing: Publish House of Electronics Industry, 2012.

[4] WOLLSCHLAEGER M, SAUTER T, JASPERNEITE J. The future of industrial communication: automation networks in the era of the internet of things and industry 4.0[J]. IEEE Industrial Electronics Magazine, 2017, 11(1): 17-27.

[5] KUL' GA K S, GIL' FANOV R. Integration of CAD/CAM/PDM/MES and ERP systems[J]. Russian Engineering Research, 2008, 28(2): 169-172.

[6] LEE J, LAPIRA E, BAGHERI B, et al. Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment[J]. Manufacturing Letters, 2013, 1(1): 38-41.

[7] 赵惠英, 贺大兴, 赵松伦, 等. 超精密加工的发展状况及影响表面质量若干因素的分析[J]. 制造技术与机床, 2004(8): 31-33.

ZHAO Huiying, HE Daxing, ZHAO Songlun, et al. Developments of ultra-precision machining and analysis of the factors influencing the surface quality[J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2004(8): 31-33.

[8] 张翊, 郭隐彪, 庄司克雄. 微小振动影响超精密非球面加工精度的研究[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2003, 135(3): 17-20.

ZHANG Yi, GUO Yinbiao, SYOJI Katsuo. Influence of chatter vibration on the ultra-precision machine accuracy of aspheric surface[J]. Diamond & Abrasives Engineering, 2003, 135(3): 17-20.

[9] 徐剑. 基于 SINUMERIK 840D 数控系统的恒功率自适应控制方法研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2015.

XU Jian. Research on constant power adaptive control method based on SINUMERIK 840D CNC system[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2015.

[10] 毕果, 郭隐彪, 韩伟. 基于信息融合的精密切削砂轮磨损状态在线识别方法研究[J]. 机械强度, 2013, 35(6): 737-742.

BI Guo, GUO Yinbiao, HAN Wei. On-line identification of wheel wear condition

in precision grinding based on information fusion[J]. Journal of Mechanical Strength, 2013, 35(6): 737-742.

[11] 喻俊馨, 王计生, 刘正华. 基于声发射和神经网络的数控机床刀具故障诊断[J]. 机床与液压, 2012, 40(1): 165-168.

YU Junxin, WANG Jisheng, LIU Zhenghua. Fault diagnosis to cutting tools of numerical control machine based on acoustic emission and neural network[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2012, 40(1): 165-168.

[12] 林静, 郭隐彪, 韩伟. 超精密磨床振动和温度无线监测系统研究[J]. 制造技术与机床, 2012(6): 131-133.

LIN Jing, GUO Yinbiao, HAN Wei. The vibration and temperature wireless monitoring system research for the ultra-precision grinding machine[J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2012(6): 131-133.

[13] 韩春光, 郭隐彪. 基于无线传感器网络的分布式监测系统[J]. 自动化与仪表, 2009, 24(10): 45-47, 60.

HAN Chunguang, GUO Yinbiao. Distributed monitoring system based on wireless sensor network[J]. Automation and

Instrumentation, 2009, 24(10): 45-47, 60.

[14] 张东旭. 大口径非球面光学元件磨抛加工过程在线监测与检测技术研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2015.

ZHANG Dongxu. Research on online monitoring of grinding and polishing process and measuring technology for large aspheric optical componets[D]. Xiamen: Xiamen University, 2015.

[15] 王海同, 李铁民, 王立平, 等. 机床热误差建模研究综述[J]. 机械工程学报, 2015, 51(9): 119-128.

WANG Haitong, LI Tiemin, WANG Liping, et al. Review on thermal error modeling of machine tools[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2015, 51(9): 119-128.

[16] YIN S, GAO H, KAYNAK O. Data-driven control and process monitoring for industrial applications—Part I[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2015, 61(11): 6356-6359.

[17] 姜晨, 郭隐彪, 韩春光, 等. 精密加工环境分布式无线网络监控技术研究[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2010, 49(5): 631-635.

JIANG Chen, GUO Yinbiao, HAN Chunguang, et al. Study on distributed wireless monitoring and control networks system for precision manufacturing environment[J]. Journal of Xiamen University (Natural Version), 2010, 49(5): 631-635.

[18] 毕果, 许涛林, 彭云峰, 等. BK7光学玻璃金刚石刻划声发射信号的特征提取[J]. 光学精密工程, 2017, 25(4): 402-410.

BI Guo, XU Taolin, PENG Yunfeng, et al. Feature extraction of acoustic emission signal for diamond scratching of optical glass BK7[J]. Optics and Precision Engineering, 2017, 25(4): 402-410.

[19] 郭隐彪, 杨炜, 王振忠, 等. 大口径光学元件超精密加工技术与应用[J]. 机械工程学报, 2013, 49(19): 171-178.

GUO Yinbiao, YANG Wei, WANG Zhenzhong, et al. Technology and application of ultra-precision machining for large size optic[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2000, 49(19): 171-178.

通讯作者: 彭云峰, E-mail: pengyf@xmu.edu.cn.

Study on Intelligent Internet of Machine Based on Manufacturing Unit Status Monitoring

PENG Yunfeng, TANG Qilin, TONG Yafang, WANG Zhenzhong, BI Guo

(Unite Laboratory of Micro/Nano Machining and Measuring, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

[ABSTRACT] Along with the proposal of “Industry 4.0” and “China’s intelligent manufacturing 2025”, the manufacturing industry is now facing an urgent to have an industrial transformation and experience an unavoidable upgrading process, which means that the manufacturing industry is now moving towards the era of intelligent manufacturing. As one of the important part of the mechanical industry, the requirement of the quality control in the precision manufacturing fields is now becoming increasingly much high. It is known that high precision, good quality and high yield are the first choice especially in the mass batching processing production of the same product. Therefore some methods should be taken to realize the high precision, good quality and high yield of mass production of the same product. Then in this paper, a new “Internet of machines” model of intelligent manufacturing system is proposed to monitor each manufacturing unit’s processing state and make a decision to control the manufacturing quality. The “internet of machines” is constructed based on the characteristics of quantitative precision manufacturing and the architecture of smart manufacturing, big data and Internet of things. To construct the “internet of machines”, the relationship among big data, internet of things and precision manufacturing is discussed firstly. Then the technology and system of manufacturing unit processing state and process monitoring are introduced. Thirdly, the acquisition and processing of big data of processing state and the quality control method of intelligent manufacturing unit are introduced in detail. Finally, to satisfy the quality control demand of precision manufacturing in the local manufacturing area, the architecture of the networking machine system of intelligent control and decision making are discussed.

Keywords: Intelligent manufacturing; Manufacturing unit; Processing status; Internet of machine; Batch processing

(责编 海山)