

# 数控机床大数据采集总线技术及发展趋势研究\*

宋 杰<sup>①</sup> 王科社<sup>①</sup> 董青霞<sup>①</sup> 杜 辉<sup>②</sup>

( ①北京信息科技大学机电工程学院 北京 100192; ②清华大学工业工程系 北京 100084 )

**摘 要:**根据大数据应用现状和机床产业发展现状,针对大数据在商业领域的成功应用案例及经验,结合工业大数据自身特点和挑战,将大数据的数据思维整合到工业大数据中来,提出针对数控机床实时监控和管理的数控机床大数据采集传输模式,对基于总线技术的数控系统采集数据内容和过程进行概括与分析,并提出数控机床大数据的云数控服务平台应用和产业数字化、智能化的发展方向,为中国机床产业开展工业大数据的应用研究提供了有力参考。

**关键词:**工业大数据;数控机床;数据采集;总线技术;云服务平台

**中图分类号:**TP311;TH165;TG659 **文献标识码:**A

**DOI:**10.19287/j.cnki.1005-2402.2016.11.008

## Research on big data acquisition bus technology and development trend of CNC machine tools

SONG Jie<sup>①</sup>, WANG Keshe<sup>①</sup>, DONG Qingxia<sup>①</sup>, DU Hui<sup>②</sup>

( ①College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Information Science and Technology, Beijing 100192, CHN; ②Department of Industrial Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, CHN)

**Abstract:** Based on big data application status and machine tool industry development situation, and according to the successful application case and experience of big data in the field of business, integrating characteristics and challenges of industrial data, the data thinking of big data was integrated into industrial data. The CNC machine tools real-time monitoring and management of CNC machine data acquisition and transmission mode were proposed. CNC system data acquisition and process based on the bus technology were generalized and analyzed. And the development direction of the CNC cloud service platform application of CNC machine data and digital, intelligent industry were put forward. An effective way was provided to carry out research on the application of industrial data for Chinese machine tool industry.

**Keywords:** industry big data; CNC machine tools; data acquisition; bus technology; cloud service platform

随着云计算、物联网、通讯技术迅速发展以及移动终端的接入,大数据以一种“新货币”身份带来前所未有的变革。美国“重振制造业战略”、德国“工业4.0”、“新工业法国”、韩国“未来增长动力计划”以及《中国制造2025》都顺应了工业大数据的发展潮流<sup>[1-2]</sup>。数字化装备和产品已经普及、装备和产品网络化连接(互联网+)的不断成熟、工业企业正逐步开始向服务型制造转型、“从摇篮到摇篮”制造的必然要求都在宣告智能制造时代的到来,也意味着工业大数据时代的到来<sup>[3]</sup>。制造业向智能化转型的过程中,将催生工业大数据的广泛应用。工业大数据将成为未来提升制造业生产力、竞争力、创新能力的关键要素<sup>[4]</sup>。因此,对工业大数据的应用研究将具有很强的现实

意义。

随数控技术的不断提高,数控机床在制造业得到广泛应用<sup>[5]</sup>。其生产运作中产生“大数据”,作为工业大数据重要的基础组成成分,数据采集的研究是重中之重,是保障研究顺利进行的首要工作,即先有“数据获取”,才能做“数据分析”;有精准的“数据分析”,才有可落地的“数据应用”。数控机床在日常工作中产生的大量、珍贵的“电数据”,这些数据与机床状态、工件加工状态、工装夹具状态等密切相关,通过相关采集设备把这些大数据采集下来并加以分析处理,对于实现数控机床智能化发展非常关键<sup>[6]</sup>。通过大数据采集对生产过程和制造质量实时检测监控,对设备出现的故障及时预警,以此提高加工流程的可靠性和准

\* 北京市科技计划项目(Z121100001612010)

确性,优化一线加工生产工艺、制造工艺,改善管理和服

务。  
本文基于大数据特征和工业大数据自身特点和挑  
战,研究了智能装备数据集成技术方向的数控机床大  
数据的采集传输模式,利用“指令域示波器”大数据分  
析工具建立指令与状态的对应关系,实现机床运行状  
态可视化和数控加工状态智能化,同时提出了数控机  
床大数据的平台应用和发展方向,为中国机床产业开  
展工业大数据的应用研究提供有力参考。

## 1 国内外现状分析

### 1.1 大数据应用现状

大数据已经启动<sup>[20-21]</sup>,基于大数据 4V( volume ,  
velocity ,value ,variety) 特点,之所以区别小数据还在于  
所需用来采集无论类别、来源和数据量等的工具,如  
Hadoop 和 NoSQL 等免费开源软件、开放 API 和数据集  
等的流行,有力地说明了大数据具有民主性<sup>[7-8]</sup>。通  
过大数据分析工具,统计技术和方法、数据可视化、自  
动化、语义和预测分析帮助企业预测降低不确定性,提  
高准确性,并在商业领域取得成功应用。如 Quantcast  
公司通过建立海量数据处理平台,构建分布式文件系  
统( QFS) 并免费提供给开源社区使用,降低成本,同时  
使得 QFS 分发的性能得到明显改进,消耗的磁盘空间  
节约了 50%。公司提供在线受众测评服务,使用用户  
面板数据来推断整个人口的媒体消费情况; Explorlys  
公司的数据网格通过整合临床、财务和业务数据,对临  
床数据提供实时的探索、执行和预测分析,揭示了大数  
据的力量,提供卓越的医疗保健服务。利用大数据平  
台将实时采集数据,安全可靠地传送、存储、处理,网络  
服务,以及医疗保健机构所需应用程序结合起来,在提  
高医疗保健质量的同时降低成本。通过开发专门的引  
擎,快速访问和分析数据,随后将处理过的数据传送回  
Explorlys 平台,帮助生成临床质量评估,对登记人员进  
行测算、主动护理的管理以及执行其他重要任务。

鉴于大数据在商业、医疗领域取得的成功经验,将  
大数据的数据思维整合到企业中来,把大数据变成企  
业的洞察力、行动力,从而形成数据驱动制造、数据驱  
动设计、数据驱动管理、数据洞察客户,对于推动开展  
工业大数据应用研究意义重大<sup>[9]</sup>。大数据和云计算  
为企业实现智能制造提供支持。如制造方向,可通过  
数据驱动控制的主动夹具替换实现批量定制,用订单  
驱动生产线运转,实时监控生产线状态和产品质量状  
态;设计过程是机械、电子、控制、信息等多领域一体化  
协同的过程,从大数据的角度去驱动产品创新,在信息

的广度、深度和前瞻性,达到传统市场调查无法达到的  
程度;管理方向,通过收集互联网和企业信息系统中的  
大数据,实现比较精确的工程目标成本预测、竞争对手  
投标价格预测,如上海建工集团利用大数据方案,实现  
了主数据管理和企业定额。

### 1.2 机床产业发展现状

近几年我国机床行业开始实现跨越发展,数控机  
床批量生产,填补了许多技术空白,解决了生产制造中  
的许多难题,但与发达国家相比,我国智能制造差距很  
大。目前,我国高端传感器、智能仪器仪表、高档数控  
系统、工业应用软件等市场份额不到 5%。中国制造  
业发展迅速但不完善,很多企业属于贴牌或代工生产;  
企业多处于组装和制造环节的中低端环节,产品附加  
值低;核心关键零部件、关键技术和工艺装备、产品设  
计等依赖进口。制造业很大程度上还处于劳动密集型  
的 2.0 阶段<sup>[10-12]</sup>。

网络化开发、分布式制造和大规模定制以及创新  
流程网络化、动态化是制造业创新模式正在发生的变  
化<sup>[13-14]</sup>。在国内高端机床市场,德日系机床企业始终  
占据垄断地位。国产 CNC 系统已经开始实现多轴多  
通道控制技术,开发研制总线式高档数控产品,改变国  
际强手对数控机床产业的垄断局面,加速我国从机床  
生产大国走向机床制造强国的进程。尤其数控系统的  
智能化,使得智能机床向超精密延伸,高效加工,优化  
切削参数,提升制造质量,大大提升企业竞争力。开放  
式数控系统支持互联网+制造模式,个性化服务发展,  
未来将打造由机床厂商、数控厂商和加工企业组成的  
云制造平台,实现异地协同设计制造<sup>[15-16]</sup>。通过对机  
床底层数据采集传输,可视化应用,智能化数据挖掘进  
行机床诊断、预警和维护。

## 2 工业大数据

在海量多源多态数据中,有效地筛选并能快速输  
出高效价值创造的数据技术称为大数据技术。通过高  
效的采集,对大量数据快速分析,从而发现其特点并以  
分享的方式获取价值是大数据的核心<sup>[17]</sup>。大数据的  
精髓是建立在一种相关关系的基础上,并且通过关系  
分析法对数据进行预测。如果把大数据比作一种产  
业,实现产业盈利的关键在于提高对数据挖掘的专业  
化处理,通过各种技术手段,提取结构化数据、非结  
构化数据、海量/实时数据、模型数据,对各类数据按照统  
一数据规范进行标准化及关联,包括特征值关联、元数  
据关联等等,并开展数据质量检查,形成最终整合后  
的数据,实现产品和供应链的“增值”<sup>[18-19]</sup>。

工业大数据不同于商业大数据,区别如表1所示。工业大数据以其更强的专业性、关联性、流程性、时序性和解析性等特点广泛分布在数字化设计、智能化制造、网络化监控、物联化管理等多个领域<sup>[22]</sup>。其自身特点和挑战主要有:多源性获取,数据分散、非结构化数据比例大;数据关联性强,有关联也有因果;持续采集、具有鲜明的动态时空特性;与具体工业领域紧密相关。正是存在诸多数据难以有效集成,预测精度低,准确性和可靠性不高等问题,而工业大数据源于工控网络和传感设备,要求动态分析实时性强、稳定性高<sup>[3]</sup>,因此,针对以上问题,将工业大数据的重点研究方向可分为基于MBD和物联网的数据集成技术、基于产品全生命周期数据管理技术和面向智慧工厂的数据分析方法。

表1 工业大数据与商业大数据区别

	工业大数据	商业大数据
研究对象	以物理对象为中心	以交易行为为中心
存在基础	数据模型与定量知识,在当前基础上提升很困难	宏观理念与定性认识,存在广阔的提升空间
发展驱动力	CPS、云计算、感知技术、物联网技术、服务转型	社交媒体、数据获取技术等新的交互渠道
分析期望值	期待可重复的因果关系,要求模型的高可靠性	概率统计、相关关系,认可大数原则

本文结合大数据的数据思维,以智能装备数据集成技术为研究方向,针对数控机床的实时监控和管理,利用传感器采集环境和设备底层数据,利用总线数控系统将数据传输到终端系统,通过数据采集和处理实现信息的可靠高效传输,实现数控机床实时生产状态监控和集成管理。

### 3 数控机床大数据

数控机床大数据继承了大数据规模巨态、表征动态、价值稀态、结构多态的四大特性,并具备工业大数据本身的特点和挑战,因此,对机床大数据的采集研究需要深刻挖掘大数据和工业大数据。通过对工业大数据和数控机床产业特点及发展趋势的研究,提出基于工业以太网的NCUC总线技术的大规模多样性机床大数据高效率采集与传输平台和新一代云数控服务平台。

#### 3.1 基于NCUC总线技术大数据采集平台

高档数控系统以传感器采集底层数据,以总线技术传输信息,数字化显示和控制。现以华中8型总线

式数控系统为例分析阐述基于NCUC总线技术大数据采集平台的机床大数据采集传输模式。基于工业以太网的NCUC总线技术,具有硬件实时处理、低环路延迟、实时通讯帧结构;封装时间戳,支持周期和非周期通讯,有安全的数据重发和检测机制;链路层纯硬件实施,无需MCU(microcontroller unit)干预,传输速率达100 M;时钟同步精度小于100 ns。极大地提高了产品可靠性,提高产品高速高精加工性能。其加工中心连接示意图如图1所示。

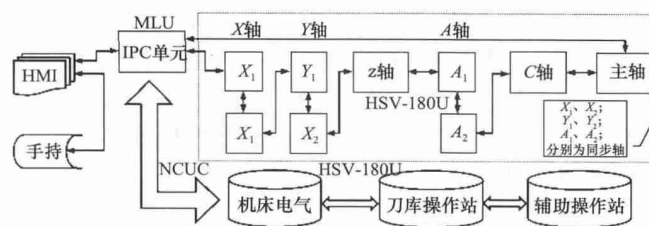


图1 数控系统加工中心连接示意图

HMI提供可自定义人机交互界面,通过脚本编程实现数控系统功能配置;高可靠性、高集成度的IPC单元是嵌入式工业计算机模块,可运行LINUS、WINDOWS操作系统,具备PC机的接口标准:VGA、USB、以太网等;同时配置DSP+FPGA+以太网物理层接口,其内置的短信通讯模块可用于远程机床状态监控。数控系统作为主站,伺服驱动器、IO单元、PLC等作为从站,通过NCUC总线连接到IPC单元,与数控系统实现数据交互。

基于NCUC总线技术的大数据采集平台通过振动、压力、温度以及声发射传感器采集机床信息,通过机床各进给轴轴承座、螺母座及主轴轴承座位置安装温度传感器检测机床温度变化;机床床身、主轴箱体上安装振动传感器检测振动频率;机床进给轴安装光栅尺,实现全闭环控制<sup>[23-25]</sup>。将差分模拟信号通过总线传送到模块化的总线IO单元和高速数据采集存储卡,在1 kB/s的带宽下将缓存区数据发送到系统,保证信号不失真,能非实时显示。如图2所示。数控系统内置温度、振动等数据采集、分析和补偿模块,实现机床动态误差补偿和热误差补偿,为机床健康状态保障和关键工序能力指数(CPK)的提升提供智能化平台<sup>[26]</sup>。

大数据采集平台获取数据包括:

(1) 加工同步信息,包括数控装置的指令位置、光栅尺和编码器反馈的实际位置、主轴电流和进给轴的力矩电流、G代码运行时间与状态、温度传感器获得布局点处的温度信息和振动传感器获得布局点处的振动信息。



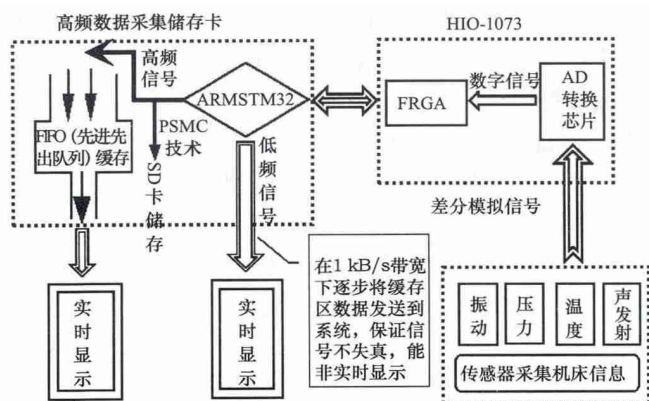


图2 基于NCUC总线技术的大数据采集平台

(2) 非同步加工信息,包括主轴位移分析仪获得主轴的径向形变和轴向形变、6 维激光干涉仪获取线性轴的线性误差和空间误差。

利用数控系统的“指令域示波器”大数据分析工具<sup>[27]</sup>采集加工过程的跟随误差、电动机电流、主轴功率、主轴振动等状态数据,建立指令与状态的对应关系,实现:

(1) 机床运行状态可视化,包括空间误差补偿、主轴/丝杠热误差补偿、装配质量智能诊断、主轴动平衡检测,实现机床健康状态预警。

(2) 数控加工状态智能化,包括优化加工工艺参数和刀具轨迹、加工振动抑制和切削力功率自适应控制等,提高加工效率和质量。

数控系统和总线传输搭建的大数据采集、传输和

存储平台实时采集机床运行刀具、工件位置、工况与工作信息,利用可视化图形界面显示,不需亲临现场即可掌握机加工当前状况。

### 3.2 云数控服务平台

大数据采集平台采集的底层数据、实时数据终端和数据库构成云服务平台的数据层,是云平台的核心。实时数据平台对接数控机床和用户,其采集功能可以与DCS、PLC、采集器等通信,获取反映数控机床设备运行状况的传感器数据、设定控制数控机床设备运行参数的控制器指令,所有的工业实时数据都在实时数据平台内进行处理。随着云数控、云计算服务平台的发展,重新架构数据终端和云平台之间的协议,实现云制造<sup>[28-29]</sup>。

#### 3.2.1 数控云设备

云数控为生产制造企业、机床厂商、数控厂商打造以制造设备为中心的数字化服务平台,围绕数控加工的效率和质量提升,建设数控加工云数据中心,形成“智慧车间”和“智慧工厂”<sup>[35]</sup>,全面提高数控机床和系统的应用。云数控的三大技术平台包括开放式数控系统软硬件平台;大数据采集、传输与存储平台;云计算、云服务技术平台,如图3所示,其中数控机床大数据采集传输与存储技术平台就是基于 NCUC 总线技术。机床联入车间局域网,通过企业互联网入外网,通过 3G/4G 联入外网建立 VPN。通过 APP 下单,根据需求确立参数选型。通过大数据与云平台的数据实时服务,数控设备互联互通,实现高效、高质、低成本制造。

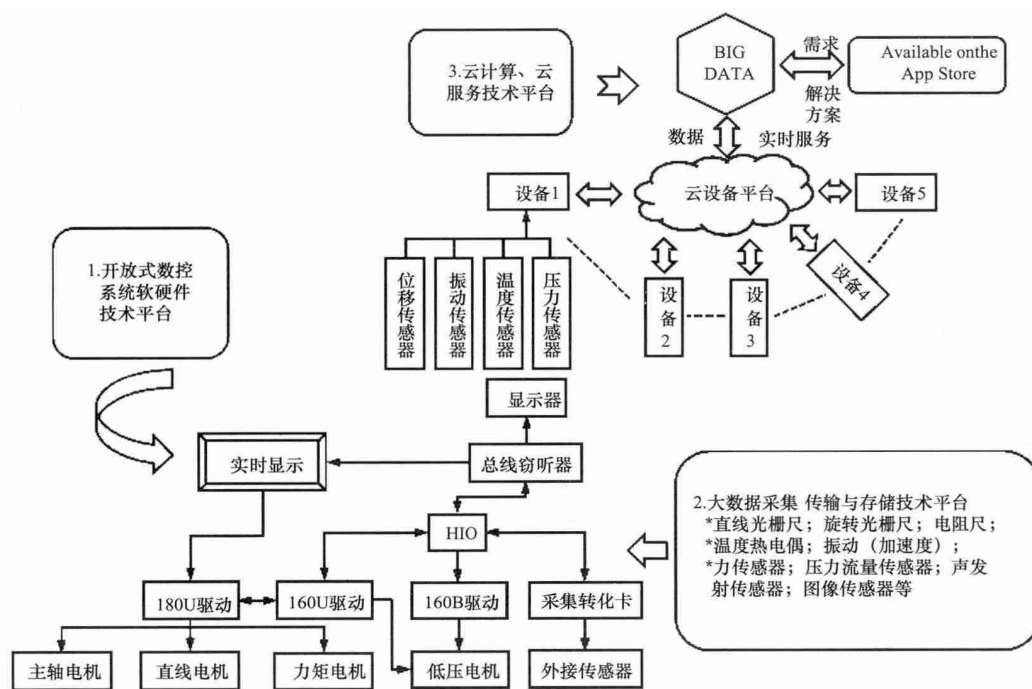


图3 云数控三大技术平台

## 3.2.2 云服务

新一代云数控服务平台主要包括机床状态、统计分析、健康诊断、智能优化、基础数据等模块。主要功能是机床信息统计概览,统计云数控平台中所有机床的某段时间内的状态,并通过饼状图的不同颜色显示各个状态的比例,包括机床当前状态、机床开机率统计、机床运行率统计、机床故障率统计的概况分析;点击某台机床编码或者当前状态中颜色按钮,即可查看实时监控详细信息,包括机床状态、坐标信息、刀具信息、G 代码程序信息、三维线框图形仿真、PLC 梯形图、PLC 程序、数控系统寄存器状态、机床属性和各参数信息等。从而达到实时在线监测、控制机床运转,高效率完成作业,提高设备使用率,减少设备维护成本。

云服务平台以其远程监控、远程终端、可视化应用、统计分析和日志回放等功能使得机床厂商和数控厂商信息互通,提高制造设备核心价值 and 竞争力<sup>[30-32]</sup>。机床厂商时刻关注加工企业机床状态,保障机床健康,数控厂商 24 h 跟踪式服务,为加工企业提供专业诊断和高效率售后服务,加工企业则享受生产管理、监控、设备维护等便捷服务,大大提高设备使用效益。从而使得三者之间分享信息、互利共赢。如图 4 所示。

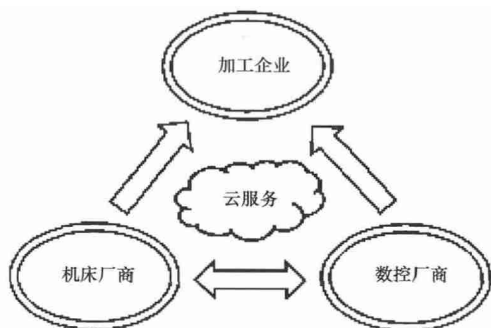


图4 云服务分享、共赢

在云端,通过有上网能力的手机平板电脑,可以实时监控数控系统。通过 Web 的技术在云端实现三维的仿真,实现跨平台。通过对机床的不同状态的统计分析,对大数据的分析挖掘,发现系统存在的问题,以此为依据指导生产管理。同时,基于云系统的信息平台能提供贴身的管家式服务,无论何时何地,无需冗长的报告,只需点击终端,所有信息尽在掌握,如通过手机监控随时随地服务、实时监控车间、二维码查看机床、实时监控机床状态。其可操作的云服务中心平台如图 5 所示。通过云数控,实现智能信息化,实现数字化车间,如图 6 所示。在云存储、云服务技术平台的支撑下通过大规模工况数据透视数控机床应用情况,根

据这些信息进行易损配件需求的预测,优化调配相关服务资源,助力决策服务<sup>[33-34]</sup>。



图5 可操作的云服务中心平台示意图

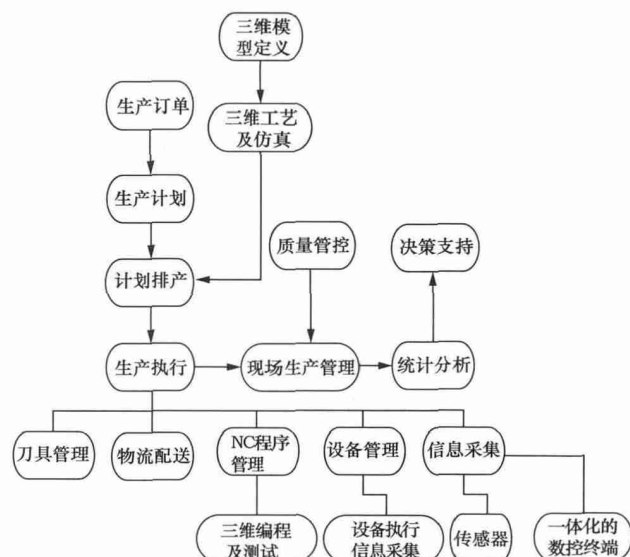


图6 数字化车间示意图

## 4 结语

本文分析了目前国内外大数据应用现状和机床产业发展现状,对比了工业大数据和商业大数据的不同之处,结合工业大数据特点和挑战,将大数据的数据思维整合到工业大数据的应用研究中,并以机床大数据采集传输模式为示例,提出基于 NCUC 总线技术的大数据采集平台,对其采集传输数据的过程进行了分析描述,总结并提出了基于数控机床大数据的新一代云数控服务平台,主要包括基于三大技术平台的数控云设备和云服务模式,并对其平台应用进行细致的规划,对其智能信息化和数字化车间的发展方向进行合理展望。

虽说大数据时代早已到来,但对于工业大数据的应用研究仍处于初步阶段,甚至工业大数据还在形成过程中。开展突破工业传感器、大数据分析决策、工业现场总线、GPS 和云平台等技术应用的协同研究对于推动制造产业决策和预测才有更大的提升空间。今后,数控机床大数据的应用研究和发展方向可结合我国相关数控机床产业,进行有针对选择性的开发,促成“云制造”平台商业模式的落地。如沈阳机床通过搭建“硬件生态群”,云端生态的布局为车间智能管理优化提供高效解决方案,其 i5 系统的操作、编程、服务、诊断智能化搭载的 WIS 系统(车间智能信息管理系统)为生产智能化提供了另一种重要支撑<sup>[6]</sup>。

## 参 考 文 献

- [1]Tae H K , Jeong H K , Kiheung K . A study on the establishment of policies for the activation of a big data industry and prioritization of policies: Lessons from korea [J]. Technological Forecasting and Social Change 2015 96: 144 - 152.
- [2]Amir G , Murtaza H . Beyond the hype: Big data concepts , methods , and analytics [J]. International Journal of Information Management , 2015 , 35( 2) : 137 - 144.
- [3]王建民. 工业大数据实践与思考[N]. 中国信息化周报, 2016 - 05 - 30019.
- [4]钟海. 大数据在工业制造业的应用与研究[J]. 企业技术开发, 2015 ( 13) : 104 - 105 , 119.
- [5]孔庆涛. 数控机床的现状及技术发展策略分析[J]. 中小企业管理与科技( 中旬刊) 2014( 12) : 306.
- [6]杨光, 朱丽, 穆胜. 沈阳机床: 未来是“云制造”[J]. 中外管理, 2015 ( 9) : 40 - 46.
- [7]邵景峰, 贺兴时, 王进富, 等. 大数据环境下的纺织制造执行系统设计[J]. 机械工程学报, 2015 51( 5) : 160 - 170.
- [8]Phil Simon. 大数据应用: 商业案例实践[M]. 漆晨曦, 张淑芳, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2014.
- [9]张礼立. 数据是工业 4.0 的核心驱动[J]. 中国工业评论, 2015( 12) : 36 - 43.
- [10]陈本锋. 国产数控装备制造业的发展与研究[J]. 现代制造技术与装备, 2015( 2) : 32 - 34.
- [11]张金瑞. 浅谈数控机床发展[J]. 技术与市场, 2015( 8) : 349.
- [12]肖月美. 我国数控机床业的现状及发展[J]. 山东工业技术, 2014 ( 20) : 50.
- [13]陈长年, 李雷. 浅析智能机床发展[J]. 制造技术与机床, 2015 ( 12) : 45 - 49.
- [14]鄢萍, 阎春平, 刘飞, 等. 智能机床发展现状与技术体系框架[J]. 机械工程学报, 2013 49( 21) : 1 - 10.
- [15]邵娟. 数控机床智能化技术研究[J]. 科技资讯, 2015( 2) : 95.
- [16]丁春伟, 樊留群, 邱玮, 等. 智能数控提高机床能效的研究[J]. 机电产品开发与创新, 2015( 2) : 116 - 119.
- [17]Xiaolong J , Benjamin W , Xueqi C , et al. Significance and challenges of big data research[J]. Big Data Research , 2015 2( 2) : 59 - 64.
- [18]高婴劼. 工业大数据价值挖掘路径[J]. 中国工业评论, 2015( 21) :

- 21 - 27.
- [19]蔡永鸿, 刘莹. 基于大数据的电商企业管理模式研究[J]. 中国商贸, 2014( 31) : 74 - 75.
- [20]李铮. 抓住机遇加快发展工业大数据[N]. 人民邮电, 2016 - 05 - 02005.
- [21]涂兴佩. 拥抱工业大数据[J]. 中国科技奖励, 2016( 4) : 30 - 31.
- [22]杨明. “互联网 + ”时代 工业如何拥抱大数据[N]. 中国工业报, 2015 - 06 - 29A02.
- [23]鱼敏英. 基于传感器技术的应用研究[J]. 通讯世界, 2015( 3) : 174 - 175.
- [24]Jun H , Zude Z , Mingyao L , et al. Real - time measurement of temperature field in heavy - duty machine tools using fiber bragg grating sensors and analysis of thermal shift errors [J]. Mechatronics , 2015( 31) : 16 - 21.
- [25]Rafiq A , Peter P. Generation of safe tool - path for 2. 5D milling/drilling machine - tool using 3D ToF sensor [J]. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology , 2015( 10) : 84 - 91.
- [26]刘玲, 张奕. 数控机床误差补偿技术的探讨[J]. 装备制造技术, 2015( 2) : 157 - 159.
- [27]谭弘颖. 遍索制造转升路 俯首江汉有华数——访华中数控股份有限公司董事长陈吉红[J]. 制造技术与机床, 2016( 4) : 11 - 12.
- [28]Lihui W , Peter O , Andrew C , et al. Remote real - time CNC machining for web - based manufacturing [J]. Robotics and Computer - Integrated Manufacturing 2004 , 20( 6) : 563 - 571.
- [29]Xun X. From cloud computing to cloud manufacturing [J]. Robotics and Computer - Integrated Manufacturing , 2012 , 28 ( 1) : 75 - 86.
- [30]Dazhong W , David W , Lihui W. Cloud - based design and manufacturing: A new paradigm in digital manufacturing and design innovation[J]. Computer - Aided Design 2015( 59) : 1 - 14.
- [31]Lihui W. Machine availability monitoring and machining process planning towards cloud manufacturing [J]. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 2013 6( 4) : 263 - 273.
- [32]Stefano T , Jörn M , Nikolaos T. Security aspects in cloud based condition monitoring of machine tools [J]. Procedia CIRP , 2015 ( 38) : 47 - 52.
- [33]Dazhong W , Matthew J G , David W R , et al. Cloud manufacturing: Strategic vision and state - of - the - art [J]. Journal of Manufacturing Systems 2013 32( 4) : 564 - 579.
- [34]João A , Julian A , Chris R , et al. Multi - sensor data fusion framework for CNC machining monitoring [J]. Mechanical Systems and Signal Processing 2016 66 - 67: 505 - 520.
- [35]Jay L , Hung - An K , Shanhu Y. Service innovation and smart analytics for industry 4. 0 and big data environment [J]. Procedia CIRP , 2014 ( 16) : 3 - 8.

第一作者: 宋杰, 男, 1992 年生, 硕士研究生, 研究方向为滚珠丝杠副 CAD/CAM 集成系统研究与开发, 已发表论文 3 篇。

(编辑 汪 艺)

(收稿日期: 2016 - 07 - 19)

文章编号: 161115

如果您想发表对本文的看法, 请将文章编号填入读者意见调查表中的相应位置。