

文章编号:1000-582X(2012)09-008-08

机械加工车间数字化制造描述模型及总体框架

曹 军,尹 超,刘 飞,胡 勇

(重庆大学 机械传动国家重点实验室,重庆 400044)

摘 要:针对多品种小批量机加车间生产制造过程的特点及需求,建立了一种多品种小批量机加车间数字化制造的描述模型,包括一个基本内涵、7 维目标体系、5 条运行主线和 8 个特征,并基于该模型构建了一种 5 层次多品种小批量机加车间数字化制造总体框架,从而为多品种小批量制造企业机加车间数字化制造系统的研究、开发、实施和应用提供借鉴。该描述模型及总体框架在一典型多品种小批量制造企业进行了实际应用,取得了良好的应用效果。

关键词:多品种小批量;机加车间;数字化制造;描述模型;总体框架

中图分类号:TP319;TH166

文献标志码:A

Descriptive model and general framework of machining workshop digital manufacturing

CAO Jun, YIN Chao, LIU Fei, HU Yong

(The State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Aiming at the characteristics and needs of manufacturing process of multi-variety and small-batch machining workshop, a descriptive model of multi-variety and small-batch machining workshop digital manufacturing is proposed and discussed, which includes one basic meaning, seven-dimensions target system, five operating mainlines and eight characteristics. Then a five-level general framework of multi-variety and small-batch machining workshop digital manufacturing is established based on the model. It provides a reference for the research, development, implementation and application of the digital manufacturing system for multi-variety and small-batch machining workshop. The above model and framework have been applied practically in a typical multi-variety and small-batch manufacturing enterprise and good effects have been obtained.

Key words: multi-variety and small-batch; machining workshop; digital manufacturing; descriptive model; general framework

随着市场对产品需求越来越个性化和多样化,多品种小批量生产模式已逐步成为广大机械制造企业的主要生产方式之一^[1]。在多品种小批量生产模式下,机加车间生产过程的敏捷性、柔性和适应性成为衡量企业生产制造能力和综合竞争能力的关键环

节之一。随着信息技术和网络技术的飞速发展,数字化已经成为制造企业快速、柔性适应市场并获得竞争优势的主要手段之一^[2-3]。近年来,制造企业在管理数字化和设计数字化方面已取得了较好的应用成果,但在车间制造过程数字化方面一直没能很

收稿日期:2012-04-16

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51175528);国家 863/CIMS 主题资助项目(2011AA040504)

作者简介:曹军(1960-),男,重庆大学博士研究生,主要从事制造系统工程和管理科学与工程方面的研究。

刘飞(联系人),男,重庆大学教授,博士生导师,(E-mail)fliu@cqu.edu.cn。

好突破,不仅造成车间制造过程得不到有效控制和优化管理,还严重制约了整个企业数字化系统的一体化集成运行。因此,在多品种小批量生产模式下,如何结合机加车间生产制造过程的特点及需求,大力推进车间数字化制造,已成为制造企业提升综合制造能力和效益的关键突破点,对深入开展中国企业信息化与工业化的深度融合也具有极其重要的战略意义。

目前,国内外许多企业、专家和学者针对车间数字化制造方面展开了大量的研究和实践,例如文献[4]给出了数字化制造车间集成管理系统的总体框架,增强了生产计划、工艺流程等生产信息变动的实时性;文献[5]构建了一种车用空调装配车间集成化生产作业管理系统,提升了装配车间生产制造管理能力,取得了良好应用效果;文献[6]对生产企业各个部门在实际生产过程中的协调性进行了探索,提出了一种通用的分布式协同数字化制造结构;文献[7]开发出了一套船舶制造数字化模拟系统,使得船舶的概念设计、详细设计、生产控制和培训维护形成了一个有机的整体;文献[8]提出了一种应用于产品制造的数字化企业技术,有效地降低了生产成本,缩短了生产周期,提高了产品质量;文献[9]运用数字化制造技术,完成了庞巴迪飞机制造公司数字化设计与生产制造的无缝集成,实现了机身装配从数据采集、联网分析到干涉预警的一体化;文献[10]针对数字化制造过程中相关数据、流程和资源进行标准化定义,构建了一个完整的数字化制造数据集成应用协议体系,等等。

以上研究主要对机加车间数字化制造结构体系、应用系统及其系统集成服务等方面进行了研究,取得了大量研究成果,在很大程度上促进了制造企业数字化制造的有效开展。但在针对多品种小批量生产模式下机加车间数字化制造方面的研究还不多,特别是对多品种小批量机加车间数字化制造国内外没有一种系统的定义和描述,使得制造企业在开展数字化制造建设中缺乏清晰的建设目标和思路。为此,笔者借鉴已有研究成果,结合多品种小批量机加车间生产制造过程的特点及需求,对多品种小批量机加车间数字化制造作一个系统的描述,并提出一种多品种小批量机加车间数字化制造的总体框架。

1 多品种小批量机加车间生产制造过程的特点及需求

机加车间作为产品制造过程计划流、物流、质量流和信息流的汇集中心,是企业实施制造过程的主

体。在多品种小批量制造模式下,机加车间生产的各种产品的制造业务流程互不相同,生产组织与管理显得错综复杂,其制造过程具有以下典型特点^[11-12]:1)产品品种多样、生产批量较小且交货期短。2)由于订货规格不一,生产过程多变、任务繁多及物流不易跟踪,生产计划的制定、跟踪和调整优化困难。3)产品质量要求高,质量检测信息源多,检测频繁及质量信息数据量大。4)产品制造工艺过程复杂,车间现场技术文档多,文档转换频繁且版本管理易混乱。5)车间机床、工模具等制造设备多,生产工人数量大且任务分配变换频繁。

针对以上多品种小批量机加车间生产制造过程的特点,中国广大多品种小批量制造企业,迫切需要改变传统手工制造管理方式,推进一种全面优化管理制造计划、物流、质量、工艺技术资料和制造资源的车间数字化制造建设,从而提升多品种小批量机加车间制造效率和生产管理水平,增强制造企业综合竞争能力,其需求具体体现在:

1)生产计划的管理与控制方面。由于零件产品多,客户交货要求及时,而生产过程计划执行扰动性大,受资源有限性约束大,因此生产计划制定难度大,需要支持生产计划的快速制定、实时下达和进度的动态监控等。

2)生产过程物流的管理与控制方面。由于产品品种多且产品周期一般较长,零件加工车间多为混件生产,车间工人易混淆,车间管理不易掌控车间物料的流动情况,因此需要对生产过程物流从原材料库出库到生产完工入库的全过程进行管理和控制。

3)生产过程质量的管理与控制方面。由于产品复杂,产品质量要求高且可追溯,需要实时对生产过程的质量检验信息、不合格品信息等质量数据进行采集与分析。

4)工艺技术文档的管理与控制方面。机加车间技术文档资料多,管理难度大,容易出现因工艺技术文档影响生产,因此需要通过电子化手段对车间工艺技术文档进行管理,实现技术文档资料版本的严格控制及工人方便地查询浏览。

5)车间制造资源的管理与控制方面。由于车间制造设备多、车间工人数量大,需要通过数字化的手段实现设备资源的有效利用和监控,以及车间人力资源的优化配置和管理。

2 多品种小批量机加车间数字化制造的描述模型

多品种小批量生产模式下,机加车间数字化制造

建设是一项复杂的系统工程,对多品种小批量机加车间数字化制造进行全面、系统的定义和描述,是理清数字化制造建设目标和思路的关键。基于机加车间

生产制造过程的特点及需求,提出一种包括“一个基本内涵+7 维目标+5 条主线+8 个特征”的多品种小批量机加车间数字化制造描述模型,如图 1 所示。

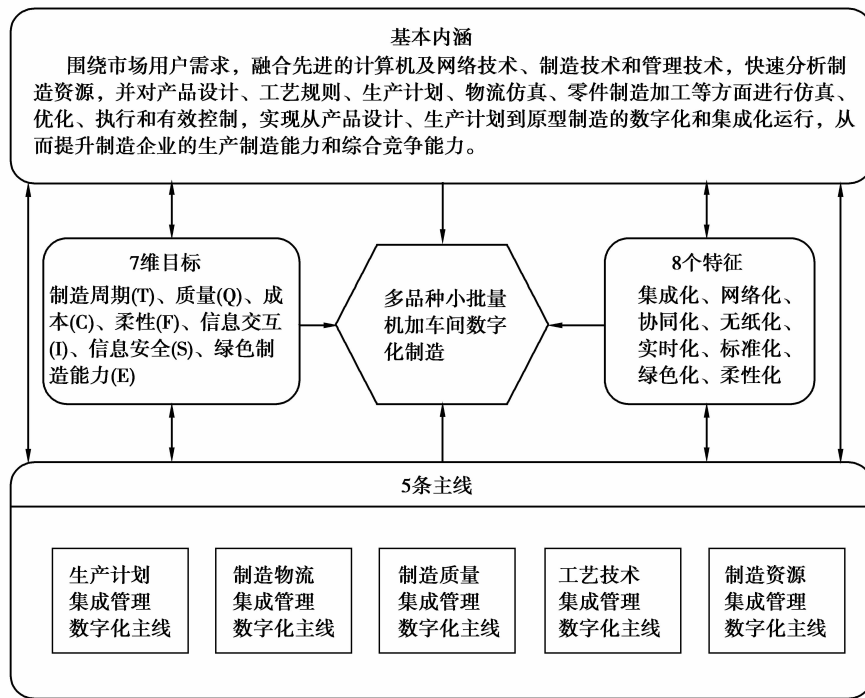


图 1 多品种小批量机加车间数字化制造的描述模型

2.1 多品种小批量机加车间数字化制造的基本内涵

多品种小批量机加车间数字化制造,即围绕市场用户多品种、个性化需求,融合先进的计算机及网络技术、制造技术和管理技术,快速分析制造资源,以机加车间制造过程中生产计划、物流、质量、工艺文档资料和制造资源为核心进行生产跟踪、优化、执行和有效控制,实现从产品设计、生产计划到原型制造的数字化和集成化运行,从而快速响应市场,提升制造企业的生产制造能力和综合竞争能力。

2.2 多品种小批量机加车间数字化制造的 7 维目标体系

多品种小批量机加车间数字化制造目标体系是企业推进数字化制造的主要追求目标,对企业有效搭建机加车间数字化制造具有重要的决策指导意义。笔者借鉴美国麻省理工学院 Chrystolouris 教授提出的制造决策属性中的时间(time, T)、质量(quality, Q)、成本(cost, C)、柔性(flexibility, F)四面体模型,并结合多品种小批量机加车间生产制造过程的特点及需求,将制造信息交互能力(information, I),关键技术信息安全(security, S)和绿色制造能力(environment, E)等作为重要目标要素进行考虑。因此,构建了如图 2 所示的多品种小

批量机加车间数字化制造 7 维目标,包括目标变量及各目标的优化方向。

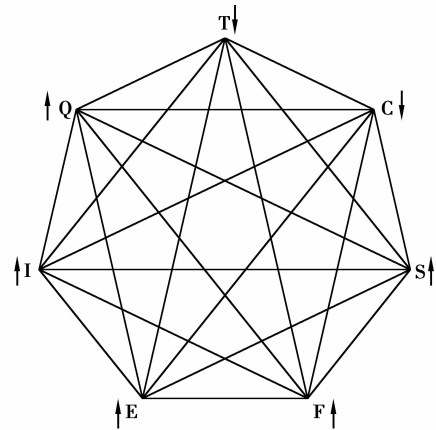


图 2 多品种小批量机加车间数字化制造 7 维目标

1) 产品制造周期(time, T)。

产品制造周期作为数字化制造目标的主要理由为:一方面,快速响应市场能力是多品种小批量生产模式下数字化制造的迫切需求及特征;另一方面,多品种小批量生产方式下,产品制造的技术标准高、工艺路线长、制造过程复杂,因此它的制造难度高,设计制造的周期波动大。

2) 产品制造质量(quality, Q)。

高质量的产品具有优良的性能、经济性、安全性、适应性等特性。制造出高质量的产品一直是制造企业立足的根本及为之奋斗的目标。因此,多品种小批量数字化制造应该以产品制造质量为目标,不断追求制造过程零废品,生产成品零缺陷,使用过程零故障。

3) 产品生产成本(cost, C)。

产品生产成本作为价格的主要组成部分,其高低是决定企业有无竞争能力的关键因素之一。在多品种、个性化市场需求环境下,市场竞争在很大程度上取决于价格竞争,而价格竞争的实际内容就是生产成本竞争。因此,多品种小批量数字化制造需努力降低生产成本,使自己的产品在市场上具有较高的竞争能力。

4) 产品生产柔性(flexibility, F)。

产品生产柔性是指在多品种小批量生产过程中适应内部或外部环境变化的能力。内部环境的变化包括生产计划变动、物料交接、质量问题和设备故障等。外部环境变化包括产品种类变换、产品数量变化或产品的完工时间变化等。在多品种小批量生产方式下,制造过程对内部和外部环境扰动的快速响应提出了更高的要求且制造过程控制参数多,因此数字化制造应具备较强的柔性制造和管理能力。

5) 制造信息交互能力(information, I)。

多品种小批量制造过程将会产生大量的生产数据信息,其中包括产品的生产进度信息、产品质检信息、物流信息和异常情况信息等。如何将这些生产数据信息快速、准确地反馈给企业管理层,同时,又将企业管理层的指令快速、准确地下达到生产现场。这就需要给生产现场提供所需的信息交互能力。因此,制造信息交互能力是开展机加车间数字化制造的关键目标之一。

6) 关键技术信息安全(security, S)。

多品种小批量机加车间数字化制造需要通过计算机网络进行大量关键技术信息交互,甚至与企业内外部设计、管理、控制层数字化的数据共享和业务协同,因此,需要考虑数字化制造信息传输的安全性和可靠性。

7) 绿色制造能力(environment, E)。

绿色制造能力是使制造资源消耗少、环境影响小的生产能力。在产品制造过程中,伴随着制造设备能耗、物流能耗、制造物料及耗材能耗等生产能耗,同时,也带来了废液、废气、废渣及噪声等环境污染^[13]。因此,在资源日益紧缺、环境问题日益突出

的情形下,如何利用信息技术促进制造过程节能降耗,实现能源的有效节省和污染的有效减少是企业实施数字化制造的重要目标之一。

2.3 多品种小批量机加车间数字化制造的5条主线

由多品种小批量机加车间数字化制造的基本概念,并在机加车间数字化制造7维制造目标指导下,提出了以计划、质量、物流、工艺和制造资源等5条主线集成化管理为核心的车间数字化制造,包括生产计划集成管理数字化、制造物流集成管理数字化、制造质量集成管理数字化、工艺技术集成管理数字化和制造资源集成管理数字化等5条主线数字化,如图3所示。

图3所示的以5条主线集成化管理为核心的车间数字化制造具体描述如下。

1) 生产计划集成管理数字化。

车间生产计划管理是将上一级MRP下达的经过确认的生产任务,进一步分解到工段、班组和工作中心,生成派工单,指导工人的制造活动。通过生产计划集成管理数字化,支持生产主线从主生产计划导入分解,车间作业计划的制定和下达,车间生产作业任务的调度,车间生产现场作业任务接收和执行,生产完工数据采集到现场生产信息反馈的闭环运行。一方面能够快速准确地将生产任务派发到生产现场,同时将生产计划执行进度实时反馈回管理层,从而实现车间生产计划的可视化、实时管理,提高车间生产管理效率。

2) 制造物流集成管理数字化。

制造物流管理涉及到物料在原材料库、车间二级库、半成品库、外协件库、零组件库、在制品库和加工工序各环节间的流转。通过车间制造物流管理数字化,支持生产过程物流主线从根据车间生产计划备料,供应部门发料,入库到车间二级库房,到工人凭路线卡片领料到机加工作中心,利用终端采集物料交接和消耗信息、产品工序间的流转信息,到生产过程物料信息反馈的闭环运行,从而实现制造物流的实时跟踪监控和有效管理。

3) 制造质量集成管理数字化。

制造质量集成管理数字化支持从根据车间生产计划执行任务制订零件的工序质量检测标准,车间生产过程质量数据实时采集,生产过程质量信息反馈和质量问题处理,到质量信息的统计和分析的一体化运行,实现对外协件质量信息、产品生产过程工序质量信息、成品入库质量信息的管理和控制,从而有效进行产品质量的技术提升和改造。

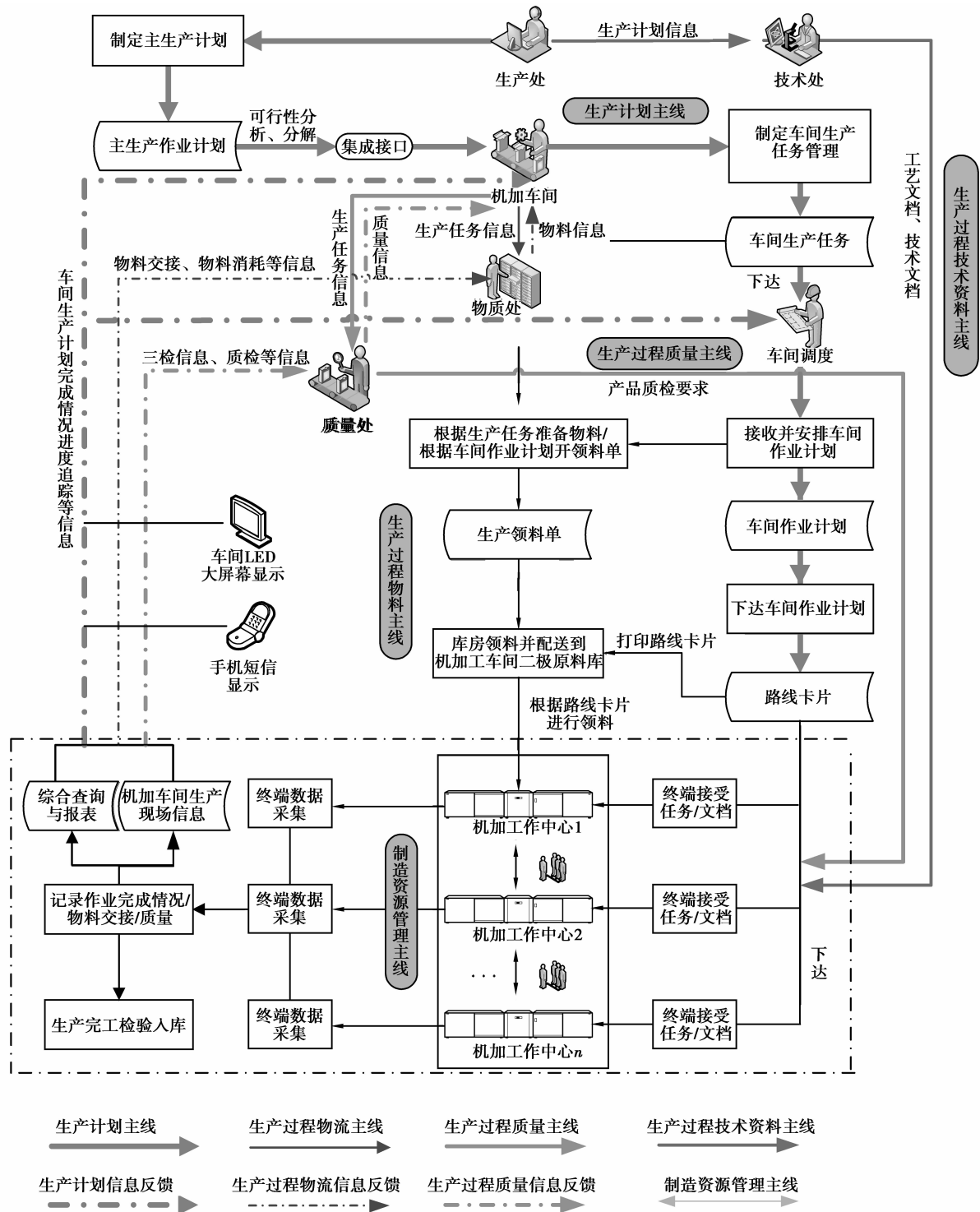


图 3 以 5 条主线集成化管理为核心的车间数字化制造

4) 工艺技术集成管理数字化。

工艺技术资料贯穿于整个车间生产过程,主要包括产品的二维图纸、三维模型、工艺要求、NC 程序、刀具清单等产品设计和工艺指导文件。通过工艺技术集成管理数字化,支持相关技术部门根据生产任务下发相关工艺技术文档,支持车间现场技术资料的实时查询,解决了人工传递和管理资料的复

杂性和易错性,实现了生产过程工艺技术资料主线的无纸化、低成本运行。

5) 制造资源集成管理数字化。

机加车间制造资源主要包括车间人力资源、制造设备和工模具三大方面。通过制造资源集成管理数字化,支持车间多生产任务模式下人力资源的全局优化性、配置实时性和匹配合理性,实现制造设备

资源运行状况的监控和优化利用,以及工模量具的准确发放和有效管理。

2.4 多品种小批量机加车间数字化制造的8个特征

在多品种小批量生产模式下,机加车间数字化制造具有以下8个特征:

1)集成化。多品种小批量机加车间数字化制造将数字化技术、先进制造技术及现代管理技术相结合,实现制造与设计、经营管理及制造设备层的数字化集成。通过制造过程数字化集成,实现制造物流、信息流及价值流的集成和优化运行,达到制造过程人(组织、管理)、经营和技术三要素的集成,从而增强企业产品数字化制造能力。

2)网络化。多品种小批量机加车间数字化制造是架构于计算机网络之上的网络化数字制造系统。通过网络化充分利用了企业内部和外部的各种资源,也为制造物流、信息和系统的集成提供了必要条件。

3)协同化。多品种小批量机加车间数字化制造是制造环节内部、制造环节与设计及经营管理等环节协同交互的过程,支撑了制造过程生产计划、物料、质量、工艺技术文件和车间制造资源等的业务协同运作。

4)无纸化。无纸化是机加车间数字化制造最直接的效益体现。以甩图纸和甩帐表为核心的制造过程无纸化大大节约了企业制造成本,提高了生产效率。

5)实时化。多品种小批量机加车间数字化制造能通过多种方式实时采集制造过程数据,并对采集到的数据进行实时分析处理,以更准确、更及时、更透明地对制造过程进行管理与控制,促进了敏捷制造的发展。

6)标准化。多品种小批量机加车间数字化制造标准化包括体系结构和功能的标准化、技术的标准化、实施过程和方法的标准化。它用于规范和约束数字化制造建设,并通过执行标准和规范的方法,保证数字化制造的有效集成性和柔性,提高数字化制造的实施成功率。

7)绿色化。多品种小批量机加车间数字化制造是一种综合考虑资源效率的制造模式。它通过绿色工艺的执行、生产优化调度与控制,使资源消耗最小,环境影响最小。

8)柔性化。柔性化是多品种小批量机加车间数字化制造的主要特征之一。多品种小批量机加车间数字化制造以数字化、集成化、网络化和协同化等方式支持多品种小批量柔性生产,实现在多种产品制造生产情况下制造计划、生产进度、物流、质量和设备制造资源等的有效运转和控制,从而低成本、快速为用户提供满意的产品。

3 多品种小批量机加车间数字化制造总体框架

多品种小批量机加车间数字化制造总体框架以机加车间数字化制造为核心,并从设计、管理和制造过程数字化集成运行的角度指导多品种小批量机加车间数字化制造的总体建设。多品种小批量机加车间数字化制造总体框架包括数字化制造基础支撑层、数字化制造业务基础软件平台、数字化制造数据采集和信息交互平台、机加车间数字化制造功能层和数字化制造用户交互层等5个层面构成(见图4)。

数字化制造基础支撑层是制造过程数字化的支持环境,包括计算机网络支撑环境(internet/intranet/extranet)、数据库管理系统、信息安全管理与控制系统,以及PDM、CAPP、OA等其他信息系统数据源,为数字化制造信息系统提供信息交换基础设施、数据存储和信息安全保密保障^[14]。

数字化制造业务基础软件平台主要包括数字化制造系统二次开发的工具和中间件,为系统二次开发扩展时的需求分析、系统设计、系统编码、系统测试以及系统部署等不同的阶段提供工具和支撑,保证整个系统的可扩展性、灵活性以及可靠性。

数字化制造数据采集和信息交互平台由各种先进的数据采集工具和方法组成,一方面各种工具采集的生产现场信息可以经PC、工控机或者多功能信息交互终端处理后上传到数字化制造系统的服务器;另一方面各种需要执行的生产信息也可以通过该平台下达到生产现场的加工中心或者生产现场^[15]。

机加车间数字化制造功能层是多品种小批量机加车间数字化制造总体框架的核心层,主要包括车间生产任务下达、车间生产计划接收、车间生产计划执行、车间生产计划监控、生产过程物料交接、生产过程物料跟踪、生产过程质量检验、质量统计分析、技术资料管理、技术资料查询浏览、车间工模量具管理、车间设备管理、生产过程人力资源管理、生产过程信息交互、DNC管理、综合统计报表管理和基础数据管理等功能模块。通过机加车间数字化制造功能层,从上层系统接受多品种小批量生产计划,经过分解处理后,向下层系统发出生产指令及工艺技术文件;与此同时,从下层系统接收生产现场的实时生产进度、物料、质量和设备信息等数据,对实时数据进行及时的加工和处理,并向上层系统反馈生产计划的执行结果,实现机加车间生产计划、物料、质量、工艺技术文件和制造资源的数字化有效管理和制造过程监控,从而支持生产制造过程的实时化、透明化、可控化和集成化。

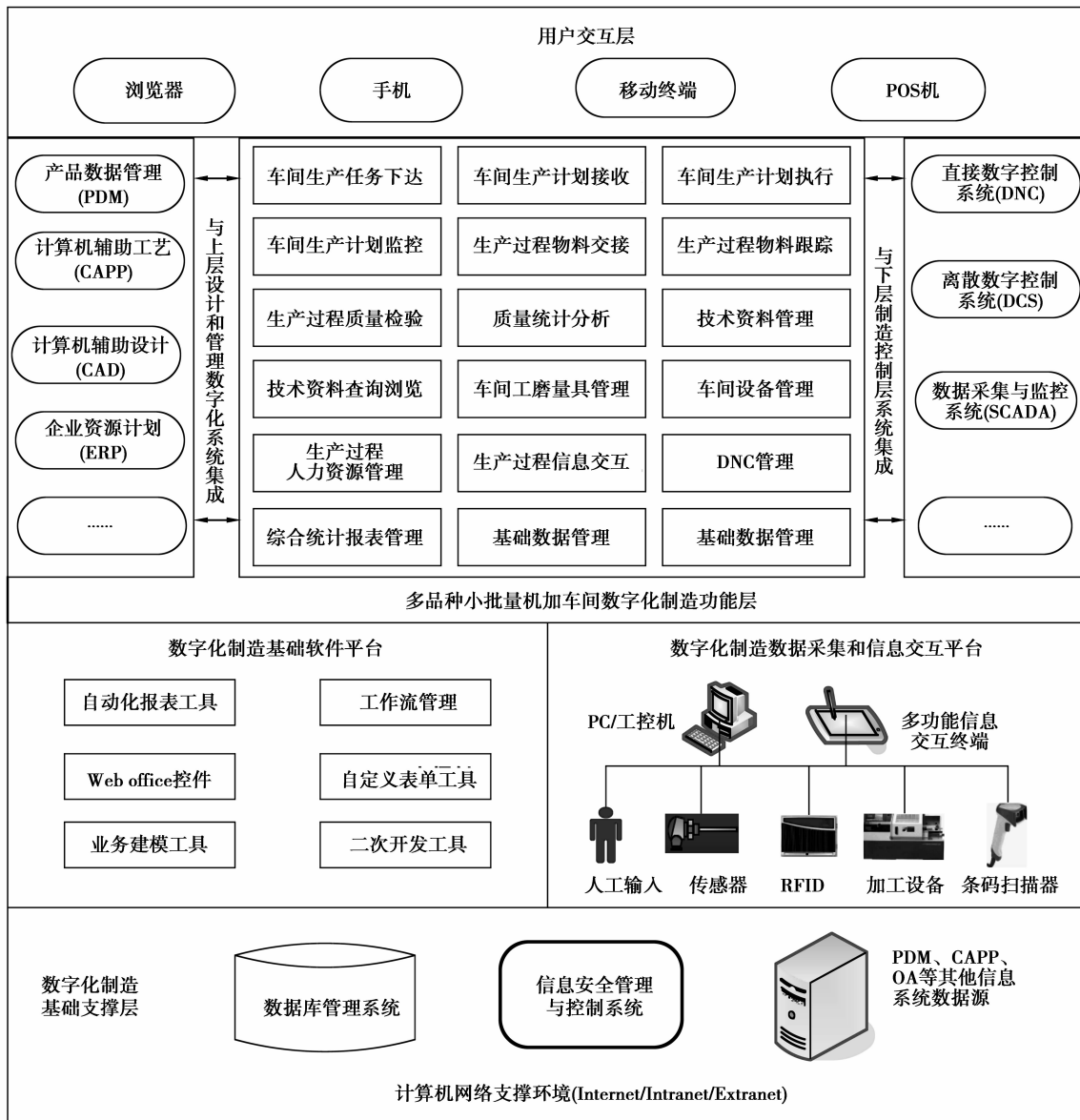


图 4 多品种小批量机加车间数字化制造总体框架

数字化制造集成接口层包括与 PDM、CAPP、CAD 和 ERP 等上层设计和管理数字化运行系统^[16], 以及与 DNC、DCS、SCADA 等下层控制层数字化运行系统的集成, 实现数字化制造与各种图纸资料信息、生产计划信息、工艺路线信息、产品 BOM 信息和设备运行状态信息等信息的数据共享和集成。

数字化制造用户交互层是数字化制造信息系统与用户交互的接口, 主要包括浏览器、手机、移动终端和 POS 机等交互方式, 从而支持用户使用不同客户端与系统进行信息交互和展现。

4 结 语

多品种小批量机加车间数字化制造是广大制造企业提升制造能力的重要支撑手段, 对多品种小批

量机加车间数字化制造进行定义和描述有助于企业把握数字化制造目标, 理清数字化制造建设思路。笔者针对多品种小批量机加车间生产制造过程的特点及需求, 提出并阐述了一种包括一个基本内涵、7 维目标、5 条主线和 8 个特征的车间数字化制造描述模型; 构建了一种包括数字化制造基础支撑层、业务基础软件平台、数据采集和信息交互平台、功能层和用户交互层等 5 个层次的多品种小批量机加车间数字化制造总体框架, 以给多品种小批量制造企业机加车间数字化制造建设提供借鉴。

参考文献:

- [1] 袁刚. 多品种小批量机械制造企业生产管理流程优化研究[D]. 天津: 天津大学, 2006.

- [2] 杨叔子, 吴波, 李斌. 再论先进制造技术及其发展趋势[J]. 机械工程学报, 2006, 42(1): 1-5.
YANG Shuzi, WU Bo, LI Bing. Further discussion on trends in the development of advanced manufacturing technology [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2006, 42(1): 1-5.
- [3] Chryssolouris G, Mavrikios D, Papakostas N, et al. Digital manufacturing: history, perspectives, and outlook[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 2009, 223(5): 451-462.
- [4] 张宏兵. 数字化制造车间集成管理系统研究与设计[D]. 南京: 南京理工大学, 2010.
- [5] 尹超, 尹胜, 刘飞. 车用空调装配车间集成化生产作业管理系统[J]. 计算机集成制造系统, 2009, 15(3): 544-552.
YIN Chao, YIN Sheng, LIU Fei. Integrated production operation management system for assembly workshop of automotive air-conditioning[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2009, 15(3): 544-552.
- [6] Mahesh M, Ong S K, Nee A Y C, et al. Towards a generic distributed and collaborative digital manufacturing[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2007, 23(3): 267-275.
- [7] Kim H, Lee J K, Park J H, et al. Applying digital manufacturing technology to ship production and the maritime environment [J]. Integrated Manufacturing System, 2002, 13(5): 295-305.
- [8] Maropoulos P G, Bramall D G, Chapman P, et al. Digital enterprise technology in production networks[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2006, 30(9/10): 911-916.
- [9] Butterfield J, Crosby S, Curran R, et al. Optimization of aircraft fuselage assembly process using digital manufacturing [J]. Journal of Computing and Information Science in Engineering, 2007, 7(3): 269-275.
- [10] Petzelt D, Schallow J, Deuse J. Data integration in digital manufacturing based on application protocols[C]// Proceedings of the 2010 3rd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology, July 9-11, Chengdu, China. [S. l.]: IEEE Press, 2010, 2: 475-479.
- [11] 王时龙, 易力力, 任亨斌, 等. 多品种小批量成批成套生产滚动计划的生成方法[J]. 重庆大学学报, 2009, 32(9): 1024-1027.
WANG Shilong, YI Lili, REN Hengbin, et al. Automatic generation technology of the batch arrivals production rolling plan in multi-varieties and small-batch environment [J]. Journal of Chongqing University, 2009, 32(9): 1024-1027, 1042.
- [12] 李勇, 唐莹, 周明, 等. 基于 ERP 单件小批量订货型制造企业的管理模式[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2003, 26(12): 126-128, 137.
LI Yong, TANG Ying, ZHOU Ming, et al. Research on management model of make-to-order and discrete: production enterprise based on ERP [J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2003, 26(12): 126-128, 137.
- [13] Hong Q, Gu L Z, Yu X H. The application of green manufacturing technology in mechanical processing [J]. Advanced Materials Research, 2011, 143/144: 217-221.
- [14] 阎春平, 刘飞, 郭风. 数字化企业的信息安全体系及实施方案[J]. 重庆大学学报, 2010, 33(2): 36-41.
YAN Chunping, LIU Fei, GUO Feng. Information security system of digital enterprise implementation scheme [J]. Journal of Chongqing University, 2010, 33(2): 36-41.
- [15] 蒋研川, 龚小容, 尹超, 等. 摩托车零部件企业集成化车间生产管理系统集成框架及实现技术[J]. 重庆大学学报, 2011, 34(8): 71-79.
JIANG Yanchuan, GONG Xiaorong, YIN Chao, et al. Integration framework and implementation technologies of integrated workshop production management system for motorcycle parts enterprise [J]. Journal of Chongqing University, 2011, 34(8): 71-79.
- [16] Lee C, Leem C S, Hwang I. PDM and ERP integration methodology using digital manufacturing to support global manufacturing [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2011, 53(1/2/3/4): 399-409.

(编辑 张 莘)