



国家出版基金资助项目

湖北省学术著作出版专项资金资助项目

数字制造科学与技术前沿研究丛书

数字制造资源 智能管控

Intelligent Management and Control
of Digital Manufacturing Resources

郭顺生 编著



武汉理工大学出版社

WUTP Wuhan University of Technology Press



国家出版基金资助项目

湖北省学术著作出版专项资金资助项目

数字制造科学与技术前沿研究丛书

数字制造资源智能管控

郭顺生 编著

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

内 容 提 要

随着以云计算、物联网、大数据、移动互联网等为标志的新一代信息技术的发展,数字制造企业制造资源的管理向智能化管控的方向发展。本书通过 8 章内容,全面论述了数字制造资源智能管控的基本概念,介绍了数字制造资源智能管控的模型框架,具体阐述了数字制造资源配置方法、基于产品质量基因的数字制造资源质量管控、数字制造资源执行过程智能监控和评估方法,并对水泥建材装备行业和光电子行业的数字制造资源智能管控应用进行了分析。

本书结合理论、技术及相关的应用案例来说明数字制造资源智能管控的具体解决方法,以期为广大读者提供数字制造资源智能管控领域广阔的应用视角和有效的解决问题的方法。

本书可作为对数字制造资源智能管控感兴趣的工程技术人员、业务管理人员,或从事具体技术工作的其他人员的参考用书,也可作为大专院校相关课程的重要辅导教材。

图书在版编目(CIP)数据

数字制造资源智能管控/郭顺生编著. —武汉:武汉理工大学出版社,2016.12

(数字制造科学与技术前沿研究丛书)

ISBN 978-7-5629-5106-3

I. ①数… II. ①郭… III. ①数字技术—应用—制造业—工业企业管理—中国 IV. ①F426.4-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 318896 号

项目负责人:田 高 王兆国

责任编辑:陈 平

责任校对:雷红娟

封面设计:兴和设计

出版发行:武汉理工大学出版社(武汉市洪山区珞狮路 122 号 邮编:430070)

<http://www.wutp.com.cn> 理工图书网

经 销 者:各地新华书店

印 刷 者:武汉中远印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:13

字 数:226 千字

版 次:2016 年 12 月第 1 版

印 次:2016 年 12 月第 1 次印刷

印 数:1—1500 册

定 价:52.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87515778 87515848 87785758 87165708(传真)

• 版权所有,盗版必究 •

数字制造科学与技术前沿研究丛书

编审委员会

顾问：闻邦椿 徐滨士 熊有伦 赵淳生

高金吉 郭东明 雷源忠

主任委员：周祖德 丁 汉

副主任委员：黎 明 严新平 孔祥东 陈 新

王国彪 董仕节

执行副主任委员：田 高

委员(按姓氏笔画排列)：

David He	Y. Norman Zhou	丁华锋	马 辉	王德石
毛宽民	冯 定	华 林	关治洪	刘 泉
刘 强	李仁发	李学军	肖汉斌	陈德军
张 霖	范大鹏	胡业发	郝建平	陶 飞
郭顺生	蒋国璋	韩清凯	谭跃刚	蔡敢为

秘 书：王汉熙

总责任编辑：王兆国

总 序

当前,中国制造 2025 和德国工业 4.0 以信息技术与制造技术深度融合为核心,以数字化、网络化、智能化为主线,将互联网+与先进制造业结合,正在兴起全球新一轮数字化制造的浪潮。发达国家特别是美、德、英、日等制造技术领先的国家,面对近年来制造业竞争力的下降,最近大力倡导“再工业化、再制造化”的战略,明确提出智能机器人、人工智能、3D 打印、数字孪生是实现数字化制造的关键技术,并希望通过这几大数字化制造技术的突破,打造数字化设计与制造的高地,巩固和提升制造业的主导权。近年来,随着我国制造业信息化的推广和深入,数字车间、数字企业和数字化服务等数字技术已成为企业技术进步的重要标志,同时也是提高企业核心竞争力的重要手段。由此可见,在知识经济时代的今天,随着第三次工业革命的深入开展,数字化制造作为新的制造技术和制造模式,同时作为第三次工业革命的一个重要标志性内容,已成为推动 21 世纪制造业向前发展的强大动力,数字化制造的相关技术已逐步融入制造产品的全生命周期,成为制造业产品全生命周期中不可缺少的驱动因素。

数字制造科学与技术是以数字制造系统的基本理论和关键技术为主要研究内容,以信息科学和系统工程科学的方法论为主要研究方法,以制造系统的优化运行为主要研究目标的一门科学。它是一门新兴的交叉学科,是在数字科学与技术、网络信息技术及其他(如自动化技术、新材料科学、管理科学和系统科学等)与制造科学与技术不断融合、发展和广泛交叉应用的基础上诞生的,也是制造企业、制造系统和制造过程不断实现数字化的必然结果。其研究内容涉及产品需求、产品设计与仿真、产品生产过程优化、产品生产装备的运行控制、产品质量管理、产品销售与维护、产品全生命周期的信息化与服务化等各个环节的数字化分析、设计与规划、运行与管理,以及整个产品全生命周期所依托的运行环境数字化实现。数字化制造的研究已经从一种技术性研究演变成为包含基础理论和系统技术的系统科学研究。

作为一门新兴学科,其科学问题与关键技术包括:制造产品的数字化描述与创新设计,加工对象的物体形位空间和旋量空间的数字表示,几何计算和几何推理、加工过程多物理场的交互作用规律及其数字表示,几何约束、物理约束和产品性能约束的相容性及混合约束问题求解,制造系统中的模糊信息、不确定信息、不完整信息以及经验与技能的形式化和数字化表示,异构制造环境下的信息融合、信息集成和信息共享,制造装备与过程的数字化智能控制、制造能力与制造全生命周期的服务优化等。本系列丛书试图从数字制造的基本理论和关键技术、数字制造计算几何学、数字制造信息学、数字制造机械动力学、数字制造可靠性基础、数字制造智能控制理论、数字制造误差理论与数据处理、数字制造资源智能管控等多个视角构成数字制造科学的完整学科体系。在此基础上,根据数字化制造技术的特点,从不同的角度介绍数字化制造的广泛应用和学术成果,包括产品数字化协同设计、机械系统数字化建模与分析、机械装置数字监测与诊断、动力学建模与应用、基于数字样机的维修技术与方法、磁悬浮转子机电耦合动力学、汽车信息物理融合系统、动力学与振动的数值模拟、压电换能器设计原理、复杂多环耦合机构构型综合及应用、大数据时代的产品智能配置理论与方法等。

围绕上述内容,以丁汉院士为代表的一批我国制造领域的教授、专家为此系列丛书的初步形成,提供了他们宝贵的经验和知识,付出了他们辛勤的劳动成果,在此谨表示衷心的感谢!

《数字制造科学与技术前沿研究丛书》的出版得到了湖北省学术著作出版专项资金项目的资助。对于该丛书,经与闻邦椿、徐滨士、熊有伦、赵淳生、高金吉、郭东明和雷源忠等我国制造领域资深专家及编委会讨论,拟将其分为基础篇、技术篇和应用篇3个部分。上述专家和编委会成员对该系列丛书提出了许多宝贵意见,在此一并表示由衷的感谢!

数字制造科学与技术是一个内涵十分丰富、内容非常广泛的领域,而且还在不断地深化和发展之中,因此本丛书对数字制造科学的阐述只是一个初步的探索。可以预见,随着数字制造理论和方法的不断充实和发展,尤其是随着数字制造科学与技术制造企业的广泛推广和应用,本系列丛书的内容将会得到不断的充实和完善。

《数字制造科学与技术前沿研究丛书》编审委员会

前 言

随着科学技术的进步和全球经济的发展,市场竞争日益激烈,制造企业所处的环境发生了巨大的变化,企业普遍面临着制造资源与制造能力不均衡、资源闲置与资源短缺并存、加工能力过剩与不足等矛盾性问题。在数字制造环境下,制造企业需要利用网络化数字制造资源进行协同设计与制造。互联网、物联网等技术手段的支持使制造企业的制造范围进一步拓展,同时客户需求进一步个性化,客户也会参与产品的设计与制造过程。为此,企业内部各制造车间、企业与企业之间的交流更加频繁,在这一过程中,最核心的制造过程就是制造资源的流动,数字制造资源的管理效率决定了数字制造企业制造活动的收益。因此,通过智能化的手段对数字制造企业的数字制造资源进行管控是未来的发展趋势。

先进制造技术和信息化手段的结合使企业的数字制造过程实现了智能化、信息化。目前,数字制造技术在国内外取得了一定的研究成果和应用经验,但是针对数字制造企业制造资源的管控过程,还需要进一步完善和发展相关智能化的技术手段和方法,从而提高数字制造资源的利用效率和管控效率,不断开拓市场,增强企业竞争力。

在数字制造技术的推动下,制造企业的制造资源管控模式发生了较大的变化。传统的制造企业的制造资源的管控过程常采用的方式是企业资源计划(ERP)、制造执行系统(MES)等,这些系统实现的主要功能往往是基于制造资源流动过程中的制造资源跟踪与监控。随着数字制造技术的发展,制造过程中制造资源的管控不再是针对制造资源物流过程的跟踪,而是针对产品全生命周期过程中与制造资源相关活动的智能决策。因此,智能化的技术方法在企业资源决策过程中的作用日趋凸显。

目前,关于制造资源管控的技术理论和方法已经有较多的研究,也出版了相关技术方面的书籍,国内外一些企业进行了相关制造资源管控的实践并实施了相应的制造资源管控系统。但在数字制造技术的推动下,数字制造资源的管控有了新的内涵,一些新的技术不断涌现,包括数字制造资源的建模方法、数字制造资源的配置方法、数字制造资源的质量管控、数字制造资源的过程监控与评估方法等,这些理论方法的研究和应用进一步推动了数字制造资源管控的研究和发展。

本书由郭顺生编著,杜百岗、王天日、孙利波、郭钧、李益兵、彭兆、李西兴、王磊、吴锐、黄小荣、郭晨等参加了部分章节的编写整理和软件开发工作。本书相关内容得到了国家自然科学基金项目“基于演化博弈的核心制造企业订单跟踪与优化方法研究”(项目编号:71171154)和湖北省科技支撑计划项目“数字化协同设计与制造管理平台共性关键技术研发与应用示范”(项目编号:2014BAA032)的支持,在此表示感谢。

本书作为介绍数字制造资源智能管控的理论方法和技术方面的书籍,在总结国内外技术现状的基础上,有效融合了相关的研究成果。由于本书涉及的研究内容范围较广,相关的技术手段和方法还处在理论探索和实践推广阶段,可能会存在一些不完善之处和纰漏,恳请广大读者批评指正。

编著者

2015年9月

目 录

1 数字制造资源智能管控概述	(1)
1.1 数字制造资源智能管控的概念	(1)
1.2 国内外研究现状	(3)
1.3 数字制造资源智能管控的关键技术	(6)
1.4 数字制造资源智能管控的发展趋势	(8)
参考文献	(10)
2 数字制造企业资源管控模型	(13)
2.1 数字制造资源管控过程模型	(13)
2.2 数字制造资源分类模型	(15)
2.3 基于语义 Web 的数字制造资源本体	(19)
2.3.1 本体论及其描述方法	(19)
2.3.2 基于 OWL 本体的数字制造资源建模	(20)
2.4 数字制造资源共享模型	(24)
2.5 数字制造资源共享模型的体系架构	(27)
2.5.1 基于订单的制造资源共享模型	(29)
2.5.2 面向订单制造资源共享的数字制造服务资源库	(33)
参考文献	(36)
3 数字制造资源配置方法	(37)
3.1 数字制造资源配置概述	(37)
3.2 基于聚类遗传的订单任务链数字制造资源配置方法	(39)
3.2.1 面向需求的数字制造资源聚类	(39)
3.2.2 基于订单任务链的数字制造资源配置模型	(44)
3.2.3 基于聚类遗传算法的数字制造资源求解方法	(48)
3.2.4 应用案例	(53)
3.3 面向产品全生命周期的数字制造资源配置方法	(55)
3.3.1 面向产品全生命周期的评价指标体系	(55)
3.3.2 面向产品全生命周期的数字制造资源配置模型	(56)

3.3.3 基于 TFN-TOPSIS 的数字制造资源配置求解	(60)
参考文献	(65)
4 基于产品质量基因的数字制造资源质量管控	(67)
4.1 数字制造产品质量基因	(67)
4.1.1 数字制造产品质量基因概念	(67)
4.1.2 数字制造产品质量基因获取	(69)
4.1.3 数字制造产品质量基因编码系统	(72)
4.2 基于产品质量基因的数字制造过程质量诊断方法	(73)
4.2.1 数字制造过程质量诊断影响因素分析	(74)
4.2.2 基于质量基因的产品数字制造过程质量诊断描述	(75)
4.2.3 数字制造质量基因诊断技术	(77)
4.3 基于产品质量基因的数字制造过程质量改进方法	(81)
4.3.1 数字制造过程质量改进影响因素分析	(81)
4.3.2 数字制造产品质量基因进化过程分析	(82)
4.3.3 数字制造产品质量基因进化流程分析	(84)
4.4 基于质量基因的数字制造过程质量预测方法研究	(85)
4.4.1 数字制造过程质量控制影响因素分析	(85)
4.4.2 基于质量基因的产品数字制造过程质量分析	(88)
4.4.3 基于最小质量基因集的数字制造质量预测方法研究	(89)
参考文献	(92)
5 数字制造资源执行过程监控	(94)
5.1 概述	(94)
5.2 制造资源执行过程状态监控框架	(97)
5.3 数字制造资源执行过程监控方法	(101)
5.3.1 制造资源任务执行实时数据预处理	(101)
5.3.2 订单执行进度监控	(103)
5.3.3 制造资源状态监控	(106)
5.4 数字制造资源执行过程监控技术	(109)
5.4.1 基于 Internet 的监控实现技术	(109)
5.4.2 基于多 Agent 的监控实现技术	(110)
5.4.3 基于云制造模式的监控实现技术	(113)
参考文献	(117)

6 制造资源执行过程性能评估	(121)
6.1 概述	(121)
6.2 制造资源执行过程评估模型	(122)
6.2.1 制造资源执行过程评估指标体系	(122)
6.2.2 基于制造任务的制造资源执行过程评估模型	(123)
6.3 基于模糊综合评价法的制造资源性能评估	(127)
6.3.1 应用 AHP 层次分析法确定权重	(127)
6.3.2 基于模糊综合评价法的制造资源性能评估	(131)
6.4 基于 DEA 的制造资源性能评估	(132)
6.4.1 DEA 概述	(132)
6.4.2 基于 DEA 的制造资源性能评价模型	(135)
6.4.3 基于 DEA 的制造资源性能评价步骤	(136)
6.5 基于直觉模糊 OWA-TOPSIS 的制造资源执行评估方法	(137)
6.5.1 IFOWA	(137)
6.5.2 基于直觉模糊的评估标准模糊化	(138)
6.5.3 直接模糊 TOPSIS	(141)
6.5.4 直觉模糊 OWA-TOPSIS	(143)
6.5.5 算例分析	(147)
参考文献	(151)
7 水泥建材装备行业应用案例	(153)
7.1 系统总体功能需求	(153)
7.2 系统业务流程分析	(154)
7.2.1 主流程设计与控制模型	(154)
7.2.2 重要模块详细流程设计	(155)
7.3 系统功能设计与开发	(158)
7.3.1 系统权限的设计与开发	(158)
7.3.2 基于权限与重构的流程重组技术	(160)
7.3.3 系统主流程搭建	(161)
7.4 水泥建材装备行业数字制造资源共享分析	(165)
7.4.1 数字制造外协资源共享平台	(165)
7.4.2 制造资源优化配置	(165)
7.4.3 数字制造环境下的外协执行过程跟踪模型	(170)

7.4.4 外协数字制造资源执行过程评估方法	(171)
参考文献	(171)
8 光电子行业应用案例	(172)
8.1 系统总体功能需求	(173)
8.2 系统业务流程分析	(175)
8.2.1 光电子企业产品特点	(175)
8.2.2 光电子企业项目过程模型	(176)
8.2.3 光电子企业 WBS	(177)
8.3 系统功能设计与开发	(179)
8.3.1 系统总体结构设计	(179)
8.3.2 系统结构设计	(185)
8.3.3 系统安全性设计	(186)
8.3.4 系统集成性设计	(187)
8.4 光电子行业数字制造资源共享分析	(188)
8.4.1 光电子企业多项目管理与资源配置框架分析	(188)
8.4.2 光电子企业多项目资源配置的过程分析	(188)
8.4.3 资源优化配置求解模型	(190)
8.4.4 资源冲突消解模型	(191)
8.4.5 基于 DEA 的多项目资源配置评价	(192)
参考文献	(192)

1

数字制造资源智能管控概述

1.1 数字制造资源智能管控的概念

随着以云计算、物联网、大数据、移动互联网等为标志的新一代信息技术的应用和发展,现代制造模式不断向集成化、智能化的方向发展,形成了工业 4.0 模式下的“智能制造”。智能制造是数字制造企业实现产品设计、生产、管理和服务等过程智能化应用水平的重要体现,也是实现由消费互联网向产业互联网转型创新的重要途径。

在智能制造环境下,数字制造企业利用移动互联网,结合大数据、人工智能等先进技术对产品进行协同设计和制造。数字制造企业基于客户产品订单进行生产,订单执行过程中制造资源的共享程度决定了企业的订单收益和交付质量。因此,在数字化智能制造环境下,数字制造企业的制造资源智能管控的实质是对订单执行过程中的制造资源的管理,具体体现为对与订单相关的一系列制造资源的匹配、优化、监控和共享。通过对与订单相关的数字制造资源进行匹配、优化、监控和共享,制订基于订单的数字制造资源管控的综合方案,在移动互联网环境下实现跨组织的数字制造资源的协同与共享。

数字制造企业在实施“智能制造”的过程中,实现对制造资源的智能管控是提升制造资源利用效率、提高企业效益的重要途径,也是促进两化(即工业化、信息化)深度融合、加速推进数字制造企业转型升级的必要手段。根据智能制造的概念,数字制造企业能够对产品全生命周期制造过程中涉及的与制造资源相关的制造活动进行统一、集中的智能化管理,实现智能制造环境下制造资源的按需优化获取、实时过程监控、全面综合评估等,满足安全、高效、优质的制造资源服务需

求。因此,数字制造企业的制造资源智能管控具有以下主要特征:

(1) 异构性

在数字制造环境下,与企业制造活动相关的制造资源种类繁多、数量巨大,并且贯穿于产品全生命周期的制造资源采购、加工、维护等制造活动中,同时企业地理位置的差异性进一步加剧了制造资源在分类、信息描述上的差异性。因此,制造资源的智能管控需要有效融合制造资源的多样性,有效支持异构系统中制造资源的共享和调用等需求。

(2) 动态性

在数字制造环境下,不同制造资源的可用状态、可用数量、地理位置、价格、质量、交货期等要素并不是一成不变的,而是随着时间的推移不断变化的。因此,制造资源的管控需要在动态环境和异构环境下实现对制造资源信息的更新,实现数字制造资源需求与制造资源提供者之间供应关系的动态平衡。

(3) 协同性

由于制造资源分布的异构性,在很多情况下,制造任务无法由单一的制造主体完成,需要多个制造资源的拥有者和需求者之间针对制造资源的协同,即制造资源智能管控的过程不仅体现在单一制造主体对制造资源的管控上,更多地体现在多主体、复杂制造任务对制造资源需求的协同上。

(4) 主动性

在企业传统的制造过程中,制造资源不足导致制造任务工期延误或者质量无法满足要求,这使得企业的收益受到严重影响。往往企业无法事先预知可能出现的制造资源不足等问题,只能在制造过程出现问题后采取被动措施以减少因制造资源不足造成的影响。在数字制造过程中,制造企业需要通过制造资源管控系统来满足制造资源需求,采用本体、语义、规则、推理等理论方法,主动发现可能存在的制造资源不足等问题并提供有效的解决方案,实现制造活动的主动性。

(5) 容错性

数字制造资源的智能管控过程是针对虚拟化制造资源的管控过程。在实际制造活动中,可能存在虚拟制造资源与物理制造资源不符的情况,制造资源管控系统应能够有效地发现所管控虚拟制造资源的潜在故障和错误,及时替换制造资源,提高制造资源管控的可靠性。

(6) 扩展性

在数字制造环境下,制造资源管控系统可以融合不同的制造行业、企业、产品

和制造任务,具有高度的可扩展性。无论产品的类型如何变化,只要通过特定的制造资源和制造能力描述就能有效地接入数字制造资源管控系统,丰富产品种类和扩大制造资源规模。通过高度的可扩展性,能够有效集成不同行业的优质制造资源,以灵活适应不同用户的制造资源需求。

1.2 国内外研究现状

(1) 制造资源信息建模

制造资源是企业完成客户订单时在产品全生命周期所有生产活动中的物理元素的总称,是制造企业运营的基础。任何制造资源都是为生产任务服务的,信息技术的发展给制造企业带来了巨大的影响,制造企业可以通过网络提供的资源实现产品的快速设计与制造、设备的网上订购与预约等,以保证客户订单的及时交付。但传统的信息建模方法无法完整地描述制造资源信息和实现制造企业制造资源的服务、发现、搜索、匹配等,如统一建模语言、资源描述框架等。制造企业的制造资源信息是建立在异构环境基础上的动态的非结构化的信息,为实现生产任务制造资源的智能发现,需让计算机理解资源服务的描述信息。在人工智能领域,常用本体来对共享概念模型进行明确的、形式化的规范说明^[1]。DAML^[2]、WSDL^[3]、OWL^[4]、OWL-S^[5]等被用来描述本体。Zhu等^[3]提出了面向云端和云平台的双层制造资源描述模型,该模型将云端资源分为单一资源和复杂资源,在云端平台通过资源属性模型对资源进行描述;文献[5]、[6]分别描述了云制造环境下外协加工服务资源和服务需求信息的Web服务本体,及基于知识的云制造系统智能按需服务X列表本体模型;文献[7]从工厂设计的角度阐述了基于资源能力和产品工艺需求的资源本体模型。在制造过程的生命周期中,无论是制造资源的虚拟化封装管理,还是制造资源的智能搜索、匹配等,都离不开知识的应用。基于本体的领域知识管理经历了由模型构建到系统开发的发展过程,提出了数字资源明确性处理、共享性发布、形式化推理的解决方案,并在Web环境中得以具体实践^[8,9]。

虽然目前对制造资源的建模研究取得了一定的成果,但制造资源的信息建模方法和内容较多集中在制造资源的信息模型方面,而对制造资源模型的描述大多是局部的、不完整的,对制造资源缺乏统一的分类及全面的信息描述和相似性度

量方法。其研究的重点在于制造资源信息模型的建立与任务的分配和控制,缺乏制造资源的需求描述,所建立的制造资源信息模型不足以支持数字制造企业之间基于生产任务的制造资源信息的交换与共享。

(2) 制造资源的优化配置

在数字制造企业中,制造资源的优化配置是实现制造企业制造资源共享的关键之一。目前,对于资源配置的研究主要集中在针对网络化制造环境下的资源配置领域,可分为建模和求解两个方面,包括对概念^[10,11]、过程^[12,13]、协作^[14]等模型的研究,以及基于灰色关联度法^[15]、蚁群算法^[15-17]、遗传算法^[18-20]等求解方法的研究。

谭伟等^[10]针对网络化制造环境下制造服务的集成需要,提出了基于语义的制造服务匹配、合成及运行框架;范菲雅等^[11]基于语义 Web 提出了涵盖功能信息、质量信息和参数优先权的应用服务资源扩展模型,以支持丰富的资源定义和多参数融合的服务匹配;陈金亮等^[12]为了达到短时间内快速组织制造资源进行生产的目标,提出了面向快速扩散制造的制造资源配置的体系结构,充分利用外部资源和使用内部技术;Lee等^[13]提出了基于 RFID 的制造资源配置模型,并将其应用到服装制造企业;树志松等^[14]在分析制造资源协作的连接机制和演化机制的基础上,提出了基于节点年龄的制造资源协作网络演化模型;房亚东等^[15]为了优化网络化制造环境下的制造资源配置问题,提出了一种将灰色关联理论和蚁群算法相结合的资源优化选择求解方法;王正成等^[16]针对网络化制造资源服务链的构建问题,提出了基于时间最短、成本最低和时间成本综合最优的网络化制造资源服务链构建的数学模型,并设计了求解该模型的改进蚁群算法;Wang等^[17]在考虑半导体终检业务过程的复杂性与多资源约束特征的情况下,提出了基于模糊商业规则抽取的资源配置知识模型,从大量数据库中挖掘资源配置知识,并运用遗传算法求解出资源配置最佳优先序列,实现资源优化配置。针对云制造环境下的资源配置与优化问题,王时龙等^[18]构建了以成本和时间最小化、质量最优化为目标的云制造资源优化配置模型,并采用最大继承法对资源配置模型进行求解;李海波^[19]提出了基于工作流的多粒度资源组合方法,从过程实例和活动两个层次将物理制造资源转化为逻辑制造资源,通过合并计算得到不同粒度的资源组合;Wu等^[20]对需求计划网络的制造资源配置问题进行了研究,采用基于矩阵的贝叶斯方法进行求解,并利用遗传算法进行多属性决策;Hassan等^[21]针对分布式云联邦平台的资源配置问题,提出了基于合作博弈的集中与分散配置算法;Du

等^[22]采用 DEA 方法求解固定成本下的资源配置方案,该方法考虑了所有决策单元对配置结果的影响;Vincent 等^[23]提出了基于改进 DEA 与目标规划模型的集成方法来解决资源受限情况下的资源配置问题。

现有研究对数字制造企业制造资源的配置具有一定的指导和借鉴意义,但研究主要是以制造资源有限或制造资源无限为前提的,而对动态性的多主体生产任务制造资源配置的研究较少。

(3) 数字制造资源执行过程的监控

在对制造资源执行过程的监控问题上,国内外的研究主要集中于物流领域和单一企业的任务追踪,而对分布、异构、动态环境下的制造企业生产任务制造资源监控与处理的研究较少,在监控方式上多采用 Agent 技术进行跟踪。Chen^[24]等为跟踪和控制动态的制造任务流程,提出了一个基于 RFID 和 Agent 的制造控制和协调框架;Pawlewski^[25]在考虑复杂产品制造特性的情况下,提出了基于 Multi-agent 的规划过程框架,在产品生产系统中引入 Agent 检查并分析物料的流动;尹超等^[26]通过移动短信息服务的信息实时传输和交互等方法与关键技术实现了对摩托车零部件制造企业供货状况的实时跟踪;Gavalas 等^[27]使用移动 Agent 技术开发了基于互联网的跨企业物流服务跟踪系统;Zhang 等^[28]应用 RFID 技术构建了制造信息实时跟踪框架,构建了员工、加工设备、物料等制造资源数据的实时获取环境,建立了实时数据的处理模型,解决了车间 WIP 数据与生产成本的跟踪问题;Guo 等^[29]基于 RFID 使能技术建立了销售订单跟踪系统框架,提出了销售订单跟踪的数据处理算法;鄢萍等^[30]建立了一种基于复杂网络的制造系统网络模型来处理定制型企业生产进度提取和订单跟踪困难的问题,该网络由任务分派网、任务完成反馈网、纯粹信息传递网组成,应用相应的演化算法,推导出基于网络节点的生产进度的提取方法;Snatkin 等^[31]针对中小企业构建了实时计划监控框架和系统模块及参数的选定方法,用以实现企业短期以及中长期计划的数据统计与决策分析;Wang^[32]提出了面向网络与服务的分层架构监控体系,用于监控云制造闭环网络中的任务制造过程,该体系利用共享网络实现了基于 Web 的分布式过程计划控制。

目前,在数字制造资源信息监控与跟踪方法方面的研究成果,主要集中在针对单个企业或者成员数固定、伙伴关系稳定的联盟企业而提出的制造信息跟踪解决方案或相应的生产信息跟踪原型系统。由于数字制造企业各主体有其独立的客户关系和制造资源,多任务在多主体间协同进行,其监控与跟踪的过程是多