

基于工业互联网的多工厂信息系统应用研究

李海鹏

(徐工消防安全装备有限公司, 江苏 徐州 221000)

摘要: 工业化和数字化的深度融合正在加快推进制造业转型升级。装备制造企业会综合考虑产品种类、加工能力或工艺等因素, 以多车间的形式对生产过程进行管控。随着市场规模的扩张, 以满足市场需要。企业通常会考虑以增加工厂的方式扩大产能。在这种情况下, 单工厂模式下实施的信息系统往往无法支撑多工厂模式的管理需求。本文以某装备制造企业 X 公司为例, 研究基于工业互联网技术的多工厂模式下的信息系统架构, 对涉及的关键技术进行了探讨, 以期对装备制造企业应用工业互联网技术, 实现高效协同管理提供参考。

关键词: 离散制造业; 多工厂; 工业互联网; 系统架构

中图分类号: TP29 **文献标志码:** A

1 引言

随着我国数字化转型的推进, 数字化已成为装备制造企业经营管理的重要抓手。在提高产品质量、缩短生产周期和降低成本等方面均具有重大意义^[1]。工业互联网平台是新一代信息技术与制造业融合发展的重要载体, 是加快制造业数字化、网络化和智能化发展的重要支撑^[2]。

随着市场的拓展, 一些装备制造企业受限于场地或产能的不足, 开始由单工厂向多工厂管理模式发展。这就需要对分布在不同区域的多个工厂进行资源整合与调度, 实现配置优化, 降低运营成本^[3]。

多工厂模式相对单工厂, 除了在研发、销售等业务领域的工作协同, 更注重计划的协调和生产资源的调度。当前, 一些行业头部的装备制造企业已部署了 PDM、

ERP、MES、质量管理系统和 SCADA 等信息系统, 这些信息系统在企业的经营和生产管理等方面产生了积极的影响和推动力^[4]。但在多工厂模式下, 面对业务拆分带来的变化, 信息系统面临着业务协作复杂, 系统架构模糊和数据分析困难等问题。因此, 对信息系统进行优化乃至重建, 以满足业务扩张、组织拆分的需要, 是装备制造企业迫切要解决的问题。

工业互联网是企业转型升级的助推器, 越来越多制造企业开始应用工业互联网, 以达到降能降耗、降本增效的效果^[5]。因此, 本文根据装备制造企业多工厂模式发展的现状, 对其业务特点进行分析, 提出基于工业互联网平台的多工厂模式下信息系统架构, 并探讨了平台建设的关键技术和业务场景。

2 多工厂模式下信息系统建设需求

2.1 多工厂模式下装备制造企业业务的变化

离散制造企业产品混合生产的需求显著，并涉及高度复杂的技术工艺和供应链管理，这种制造过程中的工序呈现出高度离散的特点^[6]。

装备制造行业是典型的离散制造模式。以某装备制造企业 X 公司为例，其单工厂的生产模式下，生产组织较为成熟。综合考虑零部件品类、加工能力或工艺类型等因素，以多车间的形式组织对生产过程进行管控。分为下料、结构、涂装和装配等车间。在同一个车间内，零件按工艺要求在不同工序间流转，同一车间加工完成后，流转到下一个车间开展不同类型的生产作业。随着市场规模扩张，当前工厂的产能已经无法满足 X 公司的发展需要。新增工厂，由单工厂向多工厂模式转变，已成为下一步发展的必然选择。

多工厂模式根据地理位置不同，可以分为同地域多工厂和跨地域多工厂类型，如图 1 所示。

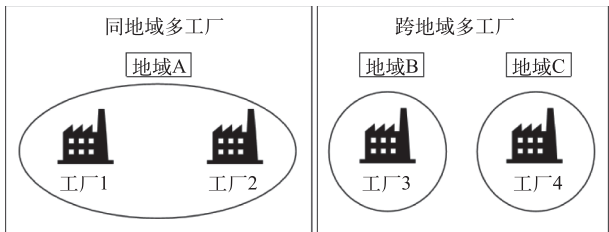


图 1 X 公司同地域多工厂和跨地域多工厂模式

同地域多工厂：相同或临近地理区域，建设多个工厂。生产要素易于共享，管理基本统一，对业务协同的要求高。

跨地域多工厂：不同或较远物理区域，以独立生产或以某地生产为主、其他地域生产为辅设立多个工厂。生产要素不易共享，管理相对独立但存在协同需求，如跨国工厂。

多工厂与单工厂模式相比，在管理方面主要变化如下：

- 1) 建立多工厂的业务联动机制，实现多工厂之间的业务协调和沟通；
- 2) 解决多工厂之间的数据共享问题，保障多工厂数据具备一定的独立性又可实现共享；
- 3) 多工厂之间的资源调度，建立精细的计划管理方式和灵活的生产调度机制，仓储物流管理问题，对成品库、二级库、备件库等库位和物流进行组织调配确保生产管

理随时可控；

4) 多工厂之间的高效运营管理，支持多工厂不同业务的统一运营与集中管控，如多工厂预算、成本核算和经营决策等。

2.2 多工厂模式下信息系统需求

基于上述变化，X 公司需要一套能够满足多工厂管理模式的信息系统架构，支撑业务高效运转，数据分析精准可靠。新的架构要具备以下能力。

1) 业务支撑的能力。新的信息系统架构要支持多工厂 OTD 全流程业务管理的需要。如支持财务结算的便捷，成本核算的准确；支持订单下发的逻辑清晰，生产计划管理的协同；支持多仓库调拨和物流管理等需求。

2) 数据集成的能力。与单工厂模式系统间数据交互不同，多工厂模式下不仅要考虑系统之间的联动机制、数据交互和反馈，对于多工厂共用的部分系统，其内部不同工厂之间的数据关系也需要进行划分，以此实现数据的闭环控制。

3) 操作便捷性的能力。多工厂模式下，部分人员拥有多工厂权限，因此系统操作要简便，系统间逻辑要清晰，提升用户使用的便捷性，降低管理成本。

4) 灵活配置和可扩展的能力。不同工厂管理方式可能存在差异。即使是同一类产品，不同工厂的生产工艺和物料属性也有可能存在差异。此外，不同工厂的环境、设备也可能存在不同，都可能影响实际的管理模式。因此，系统需要具备一定的灵活配置和可扩展的能力，以满足业务变化的需求。

5) 技术先进和多维数据分析的能力。为实现多工厂数据的联动管理，多工厂模式下信息系统需要具备支持应用物联网、数据总线、湖仓一体等先进技术，建立基于多工厂场景的业务分析模型的能力，对人员、设备、物料、质量和环境进行统筹管理，实现工厂数据精准分析。

3 多工厂模式下工业互联网架构设计

3.1 多工厂模式下工业互联网平台设计影响因素

多工厂模式对 X 公司的管理提出了更高的要求。如在工厂管理职能相对独立的情况下，两个工厂均生产产品 A，但是受限于加工能力，两个工厂产品 A 的工艺路线可能存在不同，其中一个工厂产品 A 的物料 A-01 属性为外购，另一个工厂物料 A-01 属性为自制。同时，受

限于财务折旧和人力成本不同，产品 A 生产成本也存在差异。

因此，设计满足多工厂模式管理需求的系统架构，需要综合考虑业务模式、组织结构、资源协同和数据管理等要素。

1) 业务模式。业务模式是描述企业产出绩效的要素配置情况^[7]。例如在采购模式选择上，X 公司的同城异地工厂采用总部集中采购的模式，而其海外工厂则具备独立采购职能。在生产组织上，X 公司部分工厂定位为单工序加工，为其他工厂提供配套，有的则是产品全系列。各工厂之间是否存在业务往来，是否存在统一管理的业务等，都会影响生产组织。

2) 资源协同。多工厂模式下生产管理形式多样。如图 2 所示，工厂之间既可以存在协同关系，也可以相对独立。产品根据市场定位和工厂规划，存在重叠或者互补，这些都给生产资源组织和企业管理带来了较大的不确定性。

3) 数据管理。多工厂基础数据既存在复用的部分，也存在独立的部分。需要对基础数据进行整理，区分哪

些基础数据可以复用，哪些数据需要独立创建，并梳理数据之间的关系。同时，在多工厂基础数据导入之前，需要对数据进行整理，清洗失效和错误数据，提升人员信息、物料属性、工艺参数和接口标准等数据质量。

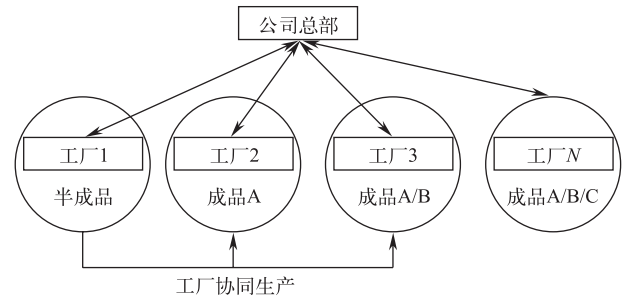


图 2 多工厂资源协同

3.2 多工厂模式下工业互联网系统架构

为了应对多工厂模式对信息系统造成的挑战，需要对系统进行顶层规划。工业互联网以网络为基础、平台为中枢、数据为要素、安全为保障，是一种新业态、新产业，将重塑企业形态、供应链和产业链。工业互联网

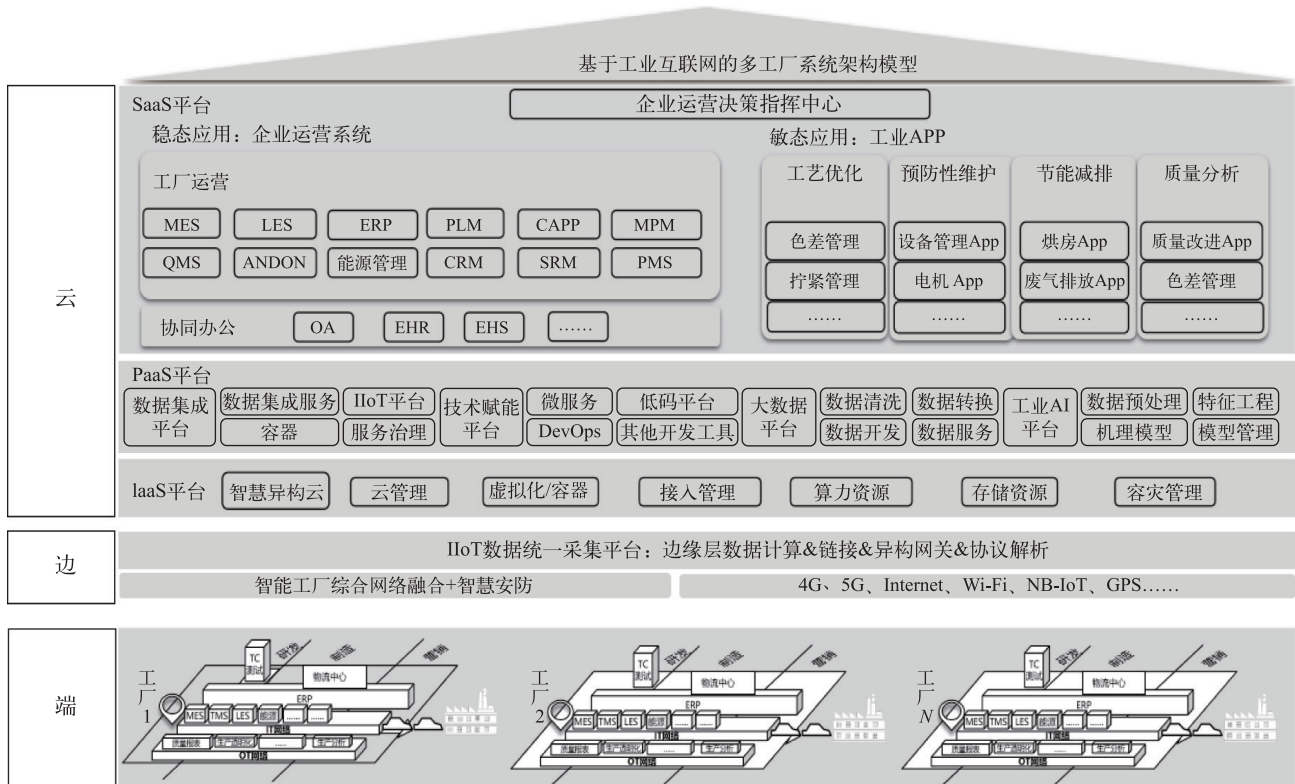


图 3 基于工业互联网的多工厂系统架构模型

总体架构由云、边、端三层架构组成，如图 3 所示。

云端由工业互联网 IaaS 基础设施、PaaS 平台服务和 SaaS 应用层组成。IaaS 提供基础资源为各级应用提供基础设施。包括云平台的管理、虚拟化、算力资源和容灾管理。是工业互联网稳定运行的基础保障。PaaS 提供数据集成服务、技术平台、大数据平台和工业 AI 平台等环境。在 IaaS 层基础设施之上，提供计算资源统一管理、微服务和代码平台、数据集成开发和工业机理模型等服务。SaaS 应用层包含企业运营决策指挥中心和各类企业业务应用，具体应用可分为稳态应用（企业运营类系统）和敏态应用（工业 APP）两类。

边缘侧主要打通端侧的孤岛式的信息点，实现数据互联互通，如获取端层的运行数据（设备运行状态信息、加工参数和生产实况），对这些数据进行加工后，上传到云侧为业务应用提供数据依据。边缘侧主要包括物联网（IoT）平台、边缘计算和数据汇集。

端层主要是工厂现场自动化控制、单体设备控制及数据采集、现场监控；用于实时获取设备运行数据，同时将运行数据发送至边层。端层包括生产设施、传感器、定位和视频监控等设备。

3.3 多工厂模式下工业互联网平台关键技术

(1) 数据采集、传输和交互技术 随着数字化和智能化设备的广泛使用，设备的通信协议和数据类型呈多样化趋势。导致了数据隔离和互联互通的困难，同时对工控数据进行高实时性采集和分析的需求却在不断增加^[8]。

X 公司不同工厂设备类型存在差异，为保障生产数据的采集、处理及传输，要求工业互联网平台具备强大的数据采集和传输技术能力，兼容多种工业设备通信协议，支持与设备通过串口、并口、以太网和现场总线等多种链路的通信。实现不同工厂、不同产线之间的数据采集汇聚、存储分析，实现海量数据的有效管理。如图 4 所示。

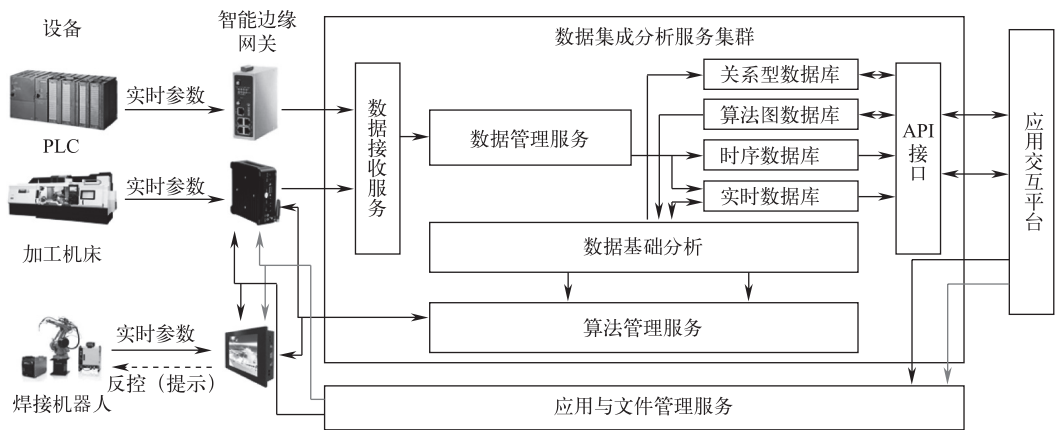


图 4 工业互联网平台统一数据采集架构

(2) 工业数据中台技术 当前信息系统积淀了大量的历史数据，数据形态多样，价值差异化显著。大数据技术能够从海量数据中提取有价值的信息和洞见，为企业决策提供支持。

在多工厂组织模式下，X 公司复杂的业务场景催生了大量类型多样、价值差异化的工业数据，不仅包括时序、非时序、结构化和非结构化等多种形式，而且应用领域和重要性也各不相同。同时，对数据实时性、连续性和稳定性的需求也大相径庭。数据流的复杂性和数据责任主体的多样性给数据管理带来了极大的挑战。

针对工业大数据管理与挖掘的特点，需要建立一个

数据信息共享，并且以各种数据为基础的基于 Hadoop 等开源体系搭建的工业互联网数据中台整体架构，建立数据存储平台 / 底座平台，包含但不限于数据采集和存储、数据开发与计算、数据智能分析、数据服务、数据管理、数据安全管理和系统监控与运维。如图 5 所示。

(3) 高效协同管控技术 多工厂模式下，X 公司不仅要内部资源进行整合，还需要考虑协同外部供应商的管理，这些都提升了供应链管理的复杂度。面对多地点、多工厂、多产品和多供应商协同的需求，建立基于工业互联网的供应链协同模型，打造供应链上下游之间的质量、仓储物流、生产计划、采购和销售协同体系，实现

多级供应商穿透管理，可以大幅缩短供应链的响应时间，提升企业生产效率和产品质量。如图 6 所示。

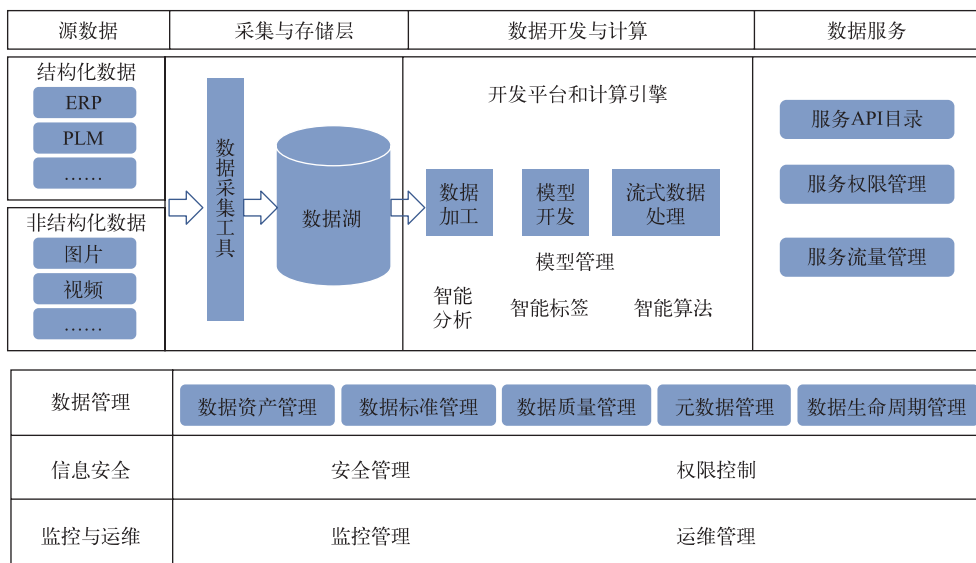


图 5 数据中台体系功能框架

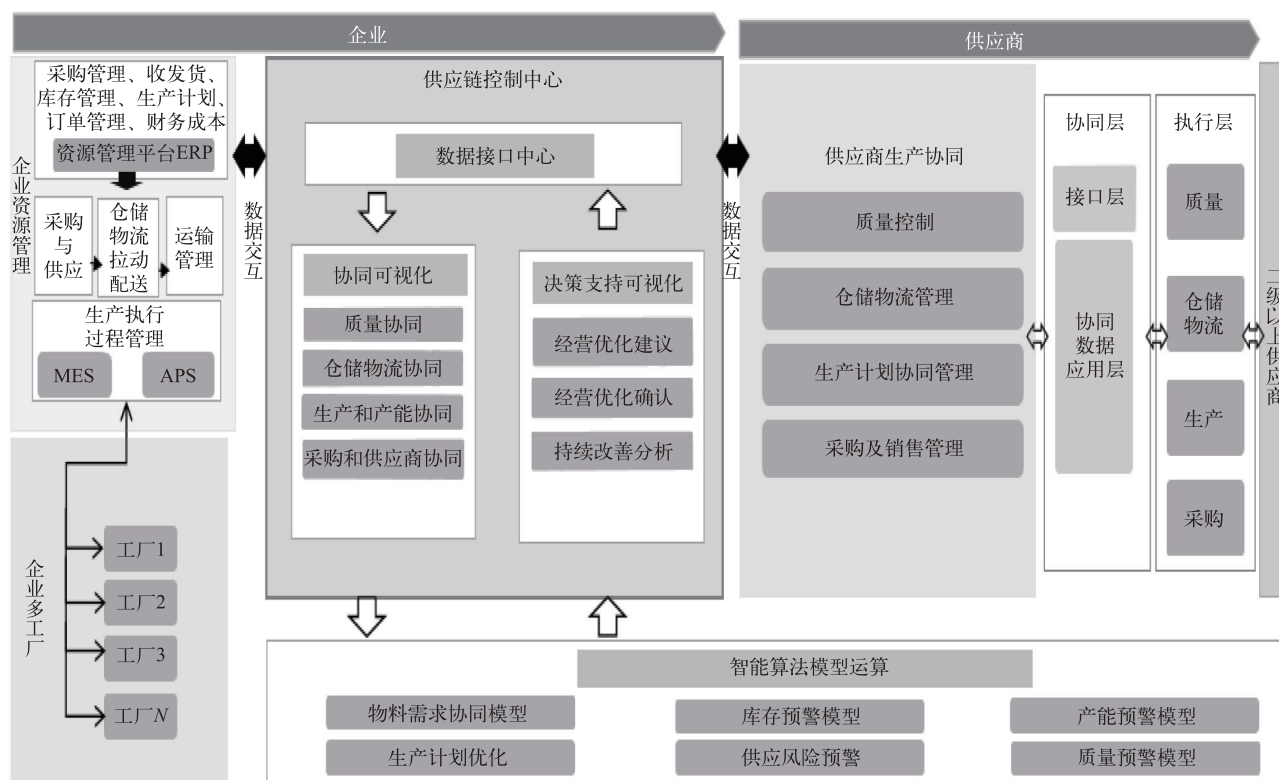


图 6 基于工业互联网的供应链协同模型

4 多工厂模式下工业互联网应用场景

(1) 供应链管理 多工厂模式下，X 公司通过工业

互联网平台对供应链进行全面贯通，构建各级供应商和不同工厂、企业相互之间的质量、采购、仓储物流等各

要素的高效协同平台，打通供应链上下游企业之间的数据壁垒，实现信息的高效共享和资源的调度。

(2) 计划管理 传统的生产计划管理主要针对单工厂生产环境。计划人员根据各工厂的产品组成、生产能力、设备状态和经济指标等情况进行作业计划排产，形成工厂级作业计划。这种局部最优的计划管理方式在多工厂模式下，难以实现全局的最优解。

X 公司基于工业互联网平台，开展全局计划管理，建立了适用于复杂环境下的计划管理模型。当存在计划协同需求时，各工厂和供应商可以通过工业互联网平台，获取与之相关的计划进度，动态地调整自身的生产计划，并针对可能出现的问题，进行提前预警，实现了总部、工厂及供应商之间计划管理的协同。

(3) 生产管理 X 公司通过 MES 对生产执行过程进行管理。多工厂模式下，通过工业互联网平台对多工厂 MES 进行整合。打破了传统 MES 生产组织的边界，使设备、生产线、工厂、供应商、产品和客户等因素紧密连接和融合，帮助企业延伸生产管理内涵，推动了生产管理体系的平台化和透明化。

(4) 设备管理 X 公司基于工业互联网平台技术，在各工厂部署的 IoT 系统，通过 IoT 系统对设备、能源等数据进行统筹管理。总部根据管理需要，对各工厂 IoT 系统相关数据进行采集，这样既保证了工厂现场管理的实时性要求又满足了总部管控的需要。

(5) 运营管理 利用工业互联网平台，X 公司建立了打通各工厂应用系统和资源的架构，可以解决各业务系统间的信息孤岛问题，支持公司多工厂不同业务的数字化运营与集中管控，并发掘融合后的数据价值，从而为企业的数字化运营提供有力的数据支撑。

5 结束语

多工厂模式是我国制造业发展的大势所趋，随着智

能制造和工业互联网技术的发展，基于工业互联网的多工厂管理需求也越来越多。通过工业互联网技术对传统信息系统架构进行整合、重构，打破传统系统边界，是推动业务变革，提升企业管理的重要手段。

本文以装备制造企业 X 公司的工业互联网技术应用实践为例，对多工厂模式下企业管理特点和信息系统建设需求进行了分析，并系统讨论了面向多工厂的工业互联网平台的关键技术和应用场景，为后续企业工业互联网建设，提供了可参考的方向和依据。

参考文献

[1] 黄江, 杨海, 史小强, 等. 面向智能制造的航空发动机数字化总装生产线建设研究 [J]. 航空制造技术, 2020, 63 (6) : 34-42.

[2] 肖琳琳, 王睿哲, 夏宜君, 等. 中国工业互联网平台发展指数构建及应用 [J]. 科技管理研究, 2023, 43 (13) : 171-178.

[3] 景熠, 李琴. 多工厂模式下考虑个体利益的多目标协同生产计划模型及算法 [J]. 运筹与管理, 2020, 29 (2) : 212-218.

[4] 何船, 陈威, 潘克强, 等. 离散制造业信息系统集成应用研究 [J]. 机械设计与制造, 2020 (7) : 196-199.

[5] 王和勇, 莫佳丽. 工业互联网对制造企业提质增效的影响研究 [J]. 工业技术经济, 2022, 41 (12) : 28-37.

[6] 王熙莹, 周贵才, 朱万军. 灯塔引领的离散制造业数字化转型实践 [J]. 智能制造, 2022 (2) : 24-30.

[7] 张煜鹏. 中国商业银行流动性创造及其业务模式研究 [D]. 厦门: 厦门大学, 2020.

[8] 蒋敏, 郑力. 面向航空协同制造的工业互联网架构研究与应用 [J]. 中国科学: 技术科学, 2022, 52 (1) : 3-13.

收稿日期: 2024-09-24