

# 面向离散制造过程的火工品数字化生产线 管控系统设计与实现

龚 读, 冯 川, 聂振康, 邹远彬, 曾泽鑫, 伍 杨

四川航天川南火工技术有限公司, 四川 泸州

收稿日期: 2022年4月23日; 录用日期: 2022年5月28日; 发布日期: 2022年6月8日

## 摘 要

火工品显著的特点是产品品种多、批次多, 批量少、技术要求高、制造难度大且生产周期长、产品结构非常复杂; 随着国家的发展, 火工品生产任务量将出现大量增长, 实现制造过程自动化, 数字化成为必经之路。基于火工品复杂离散制造过程建设面向离散制造过程的数字化生产线管控系统, 对火工品生产过程中的数据类型和数据采集进行研究, 建立火工品生产过程数据模型, 完成火工品生产线管控系统的设计, 并完成了生产线管控系统开发, 实现了过程监测, 过程数据采集, 数据汇总, 报表生成等功能, 提高了火工品生产过程的信息化、智能化水平, 提高生产效率, 保障产品质量一致性。

## 关键词

火工品, 生产线, 管控系统, 数据采集

# Design and Implementation of Digital Production Linemanagement Control System for Initiating Explosive Devices for Discrete Manufacturing Process

Du Gong, Chuan Feng, Zhenkang Nie, Yuanbin Zou, Zexin Zeng, Yang Wu

Sichuan Aerospace Chuannan Initiating Explosive Technology Limited, Luzhou Sichuan

Received: Apr. 23<sup>rd</sup>, 2022; accepted: May 28<sup>th</sup>, 2022; published: Jun. 8<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

The remarkable characteristics of initiating explosive devices are large variety of products, lots of

文章引用: 龚读, 冯川, 聂振康, 邹远彬, 曾泽鑫, 伍杨. 面向离散制造过程的火工品数字化生产线管控系统设计与实现[J]. 传感器技术与应用, 2022, 10(3): 333-341. DOI: 10.12677/jsta.2022.103040

product batches, small production quantity, high technical requirements, difficult manufacturing, long production cycle and the structure of product is very complex. With the development of the country, the amount of initiating explosive devices production tasks will increase substantially, to automate the manufacturing process, digitalization becomes the only way. Based on the production process of discrete manufacturing of initiating explosive devices, to build a digital production line management and control system for the discrete manufacturing process. Researching on the data types and data collection in the production of initiating explosive devices and establishing a data model for the production of initiating explosive devices, completed the design of the management control system for the initiating explosive devices product line, and completed the development of it. Achieved the process monitoring, process data acquisition, data aggregation, report generation and other functions. Strengthened the informatization and intelligence level of the initiating explosive devices production process, improved production efficiency, and ensure product quality consistency.

## Keywords

Initiating Explosive Devices, Production Line, Management and Control System, Data Collection

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

国家提出“中国制造 2025”的宏大计划，目的是希望我国能迈入智能制造[1]，不断提高我国的制造业的智能化水平[2]，以实现工业生产的数字化、智能化[3]。军品制造业与民用制造业相比除了具备一般离散制造业的特点之外，最显著的特点是产品品种多、生产数量少、技术要求高、制造难度大且生产周期长[4]。而且通常其产品结构非常复杂，零件数量庞大，同时加工和装配还需要大量的专用工装、样板等辅助生产设施，使得生产过程控制十分困难[5] [6]。军工产品制造过程充实于大量非关系型、非结构化和半结构化数据，具有典型的多源、多维、多类、多尺度等特征特殊性[7]，本次研究火工品制造过程是典型的离散制造过程，火工品具有高可靠，零缺陷，一次性使用，不可检等特点，通过提高产品一致性来提高火工品的可靠性，需要严苛的制造过程管控。

随着制造业的不断发展，有越来越多的人在智能制造、智能工厂相关方向展开了研究。进入 21 世纪以来，Bracht 等[8] [9]提出了数字化工厂模式，标志着制造业逐步走向虚拟制造。在 2010 年以后，德国 Zamfore [10] [11] [12]、中国李伯虎院士[13] [14] [15]等人提出了云制造模式或智能工厂模式。未能实现数字化智能化国内外进行大量研究。

美国国家工业信息框架协议协会进行了一项称为 SMART 的研究，提出了一种信息框架来支持内部、与其它信息系统以及不同企业间信息的集成和互操作[16]；日本制造科学与技术中心根据电子元件的制造过程提出了规范。通过应用技术实现了框架的跨平台应用，为那些独立进行应用项目开发的组织提供了一个易于理解的概念性框架[17]；在软件开发上美国的 TERADYNE 公司已经发布了 TERADYNE SCE 系统，德国西门子公司推出了 SIMATIC IT PRODUCTION SUITE 系列产品。除此之外其他一些公司如 HONEYWELL、ITERWAVE 等纷纷在其系列软件中融入或增强了协同制造功能[18] [19]。

在国内浙江大学、哈尔滨工业大学、合肥工业大学、南京理工大学、重庆大学等高校对制造过程中的协同制造，人机协同，信息采集等取得一定研究成果[20] [21] [22]。在实际应用中攀钢通过 COMOS 系

统将生产过程数字化，军工领域一般采用 MES，C-MES (协同制造系统)等系统通过改造适应各工厂制造模式完成数字化改造。本文重点针对航天火工品制造过程的数字化生产线管控系统进行分析研究。

## 2. 系统架构

### 2.1. 功能架构

数字化生产线管控系统需要完成对生产线信息集成、计划接收和数据交互，同时对生产线内运行计划、调度及各类资源进行管理、监视与控制，以及对生产线现场运行状态数据、异常数据、质量数据、生产数据等所有信息进行高效存储、管理与分析。由于火工品的生产具有小批量、多批次、多品种的特点，在数字化生产线管控系统的设计中需要根据生产工艺进行设计，才可能满足火工品的生产。数字化生产线管控系统由生产线控制和现场生产 2 个层面，其上层系统 MES 系统，为班组计划管理层实现班组内部生产计划的管理和生产资料的调度；生产线控制层实现生产线硬件设备的控制与监控、人工作业指导和过程数据处理管控；现场生产层实现产品生产装配以及装配过程中数据的采集上传。各个层面所实现的功能需要相应的建设内容来实现，如图 1 所示。

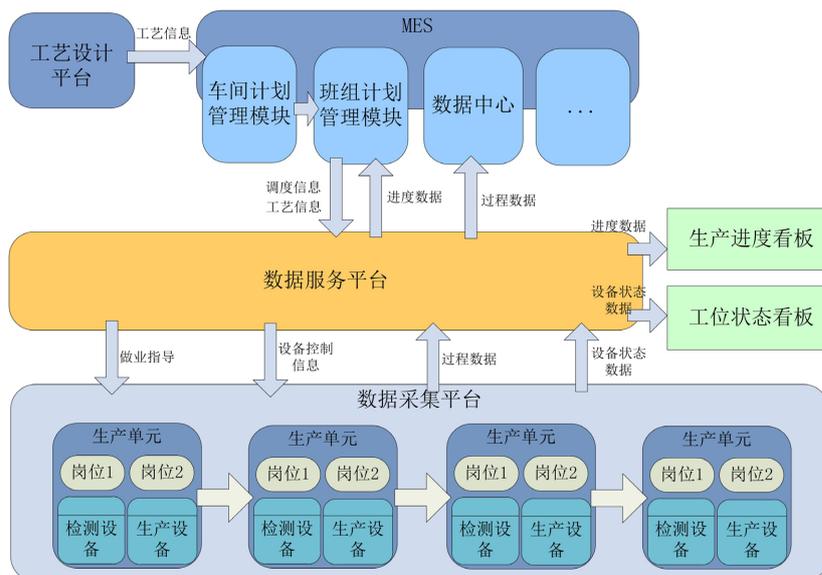


Figure 1. System framework  
图 1. 系统框架

### 2.2. 数据类型与数据采集研究

离线的生产管控系统，进行数据采集核心为提高质量，提高质量就要进行全面质量管理，即完成人、机、料、法、环、测等几个方面进行数据采集。全面质量数据在生产过程中主要包含人员信息，生产设备信息，产品信息，环境信息，设备运转状态信息等，根据信息状态可分为静态数据，动态数据，静态数据包含产品信息，设备信息，工装信息，物料信息，人员信息，工艺数据。动态数据包含设备状态，质量数据，计划状态，温湿度，工艺参数等。根据数据动静类型不同数据采集方法不同，数据采集通讯架构如图 2 所示。静态数据利用数据服务平台进行人员信息管理，设备管理、产品数据管理等基础操作生成对应的数据信息管控，动态数据分为设备工位和人工工位，设备两者都通过数据采集平台完成数据采集，设备工位利用 OPC 协议、RS485 和 TCP 协议组合的形式完成设备状态，质量数据，工艺参数数

据，温湿度数据等数据的采集，人工工位则通过 TCP，RS485 即时通讯技术，将人员的操作过程，工位温湿度，产品质量数据，工位状态等进行实时更新和采集；人工和设备工位温湿度通过 RS485 通讯完成采集。动态数据中产品流转状态，计划执行状态等都是通过数据服务平台统计分析后获得。

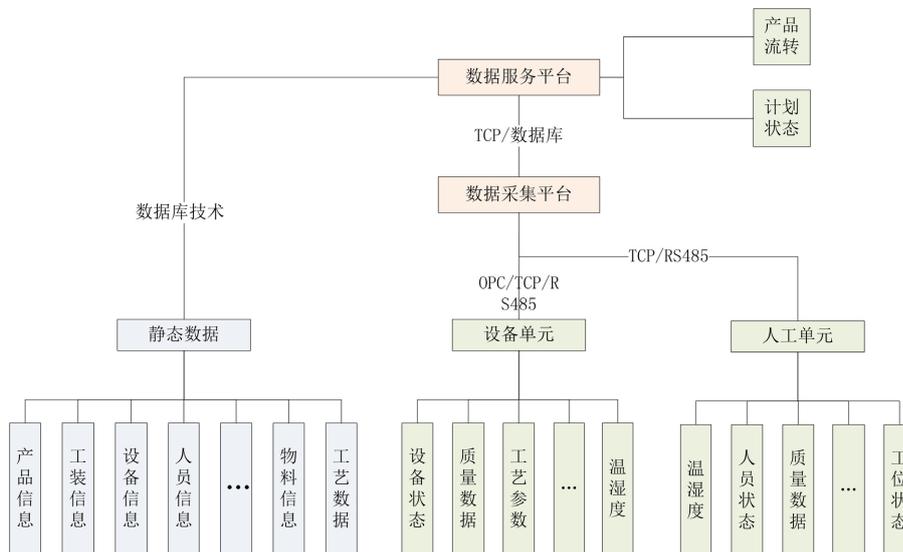


Figure 2. Data collection communication architecture  
图 2. 数据采集通讯架构

### 2.3. 数字化生产线管控系统数据模型

面向对象的方法是一种分析方法、设计方法、思维方法和程序设计方法。面向对象的方法认为任何事物都是对象，对象模型以对象作为基本的逻辑结构根据对象的状态确定对象的属性，将作用于对象上的操作作为其方法以对象之间的消息传递为关联，并将具有相同属性和方法的对象集合称为类，为属于该类的对象提供了统一的抽象描述。数字化生产线管控系统数据模型如图 3 所示。生产线数据类含人员类数据、设备类数据、工装类数据、物料零组件类数据、任务类数据之间存在复杂的关联关系。由于生产线是相互协同环境下作业，数据采集平台所采集的生产数据种类繁多，各数据大类下数据子类的分解更是参差不齐，且需要根据具体车间和生产类型在建立数据库时进行补充和扩展。因此图中仅给出了生产数据分类的部分属性和方法，以及数据间的一般关联关系。

### 2.4. 服务平台设计

生产数据采集模块获得的原始生产数据种类繁多、数据量庞大，很难直观、系统的反映车间生产状态和变化趋势，因此需要数据处理软件模块进行及时的分析、处理和维护。车间生产数据采集与处理子系统的软件模块主要功能为通过对静、动态数据的存储、分析和处理，形成能够反映车间生产进度、加工质量、设备工装状态、物料需求等生产状态的图形、表格和报告等中间信息。一方面可供工作人员进行查询和统计，另一方面使管理人员及时掌握生产状态，及时调整计划任务，保证生产的顺利进行。数字化管控系统数据服务平台需完成数据的整理，任务分派等工作，完成生产状态数据整理，生产计划状态，质量数据整理等。服务平台的软件体系架构如图 4 所示。服务平台软件划分为数据处理层，数据层，业务层，和数据服务接口；数据处理层是车间生产数据处理软件的核心之一，负责将各车间的原始生产数据根据数据类型，进行统一的数据分类、建模和存储，实现不同车间生产数据表达形式的统一，业务

层根据产品生产业务流程规则建立数据处理软件各功能模块，通过对生产数据的分析和统计提供各类生产数据查询和统计分析；数据接口为计划调度、质量管理、资源管理等其他相关系统提供数据支持和生产过程信息查询服务；数据层利用数据库技术存储车间生产数据。

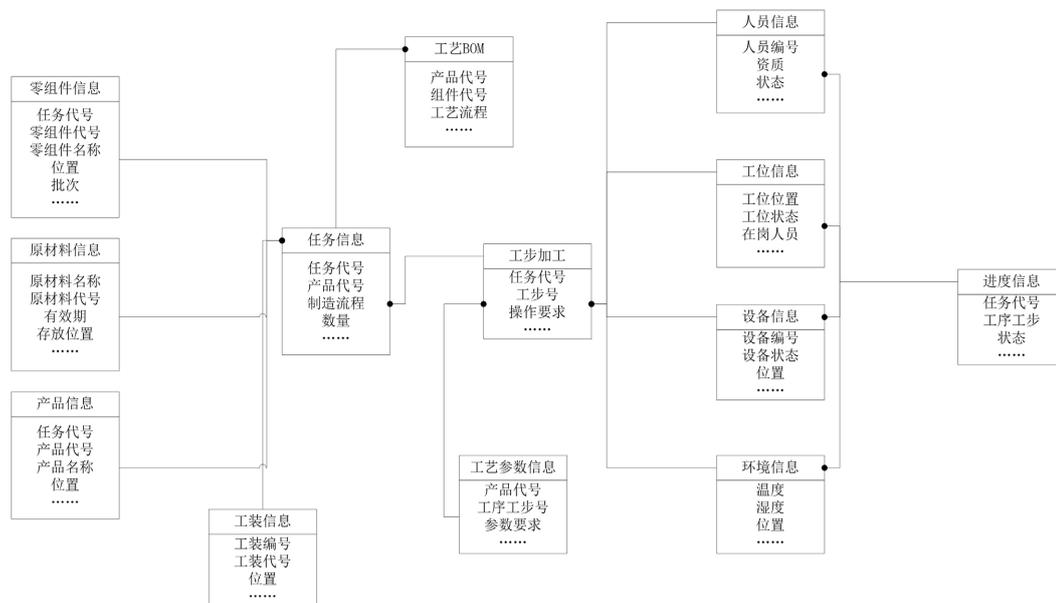


Figure 3. Data model of digital production line management control system

图 3. 数字化生产线管控系统数据模型

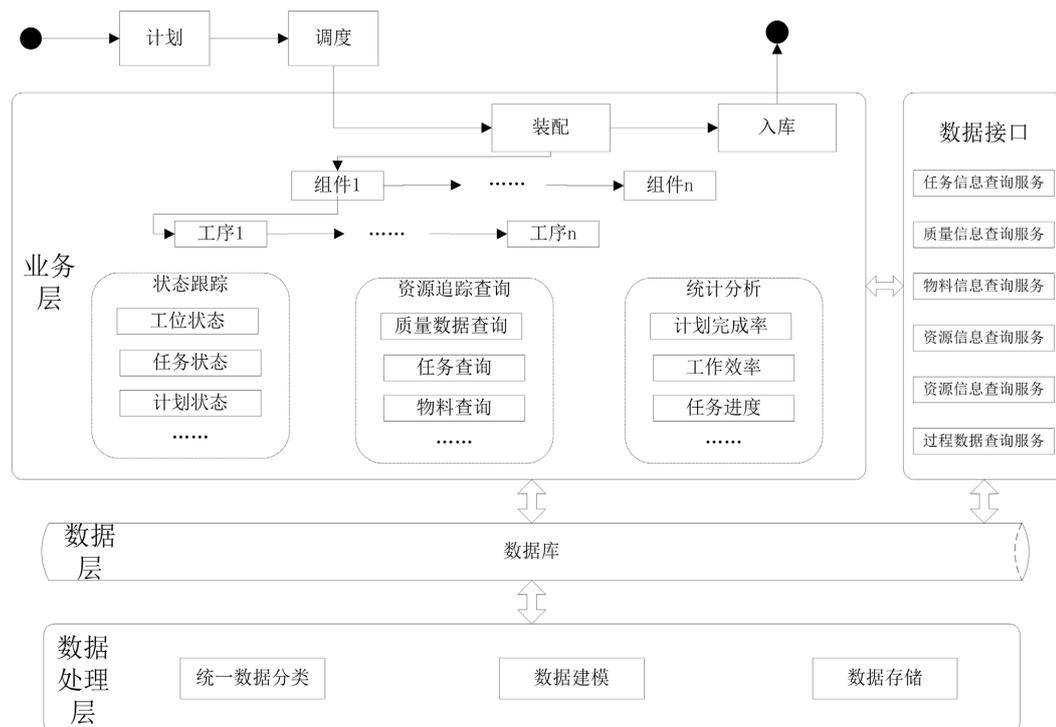


Figure 4. Software architecture of service platform

图 4. 服务平台的软件体系架构

### 3. 应用状态

#### 3.1. 数据服务平台

数据服务平台界面如图 5 所示，主要由标题栏、菜单栏、功能栏、通信栏以及功能操作区五部分组成；其中标题栏为软件名称；菜单栏包括选项、温湿度、一级表历史标签等；功能栏包括状态显示、补传数据、任务删除、人员管理、题库管理、工位控制、数据查询、获取物料、数据导出、数据补录等标签，通过点击各项按钮，进入对应子界面进行操作；通信栏显示当前上工工位数量；功能操作区是进行具体功能的操作和展示。



Figure 5. Data service platform interface  
图 5. 数据服务平台界面

#### 3.2. 数据采集平台

数据采集平台主要包括以下几项功能：

- 1) 操作人员、班检人员及检验人员的上工登录；
- 2) 执行当前登录操作人员所涉及的生产任务；
- 3) 当前工位的信息管理及工位预警；
- 4) 当前工位温湿度数据的自动关联及采集；
- 5) 特定工序中烘箱温度数据的自动关联及采集；
- 6) 合格判定、数据统计及标准化数据输入。

生产管控系统的整体操作流程如图 6 所示。

数据采集平台生产加工界面如图 7 所示，以工位名称显示在桌面，终端主要作用是规范操作流程，完成数据记录和采集。界面主要构成包括：菜单栏、导航栏、操作栏；其中菜单栏包括选项标签，导航栏从上到下分别为工位名、操作工信息、功能按钮、温湿度状态信息，操作栏包括多任务操作、人员登录、观看工艺、岗前考试、生产数据录入、数据查询等功能。

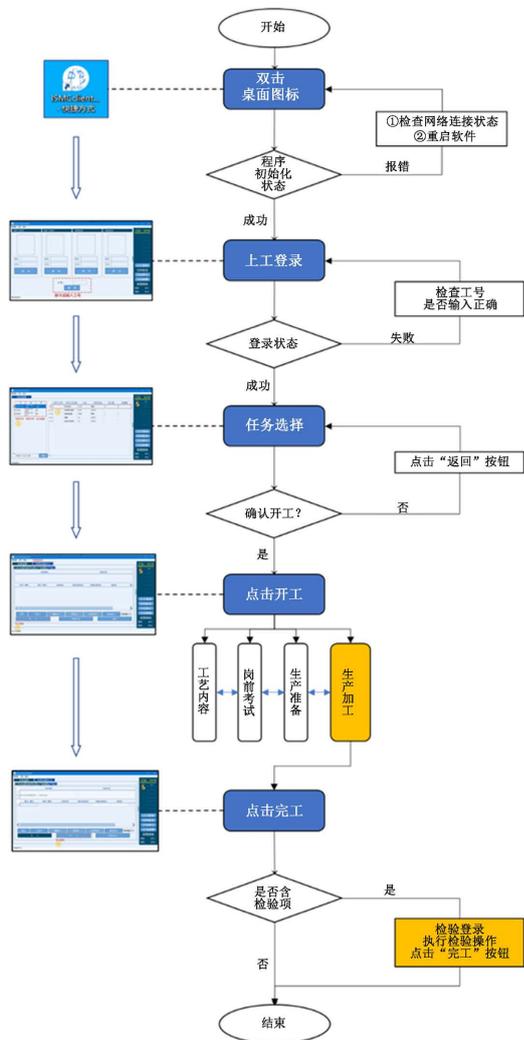


Figure 6. Overall operation flow of data acquisition platform  
图 6. 数据采集平台整体操作流程



Figure 7. Initialization interface of data service platform  
图 7. 数据服务平台初始化界面

### 3.3. 实时数据监测看板

现场监控，利用现场工位日志，温湿度信息，任务基本信息，实时监控现场工位状态，任务进行情况，环境温湿度，操作人员等信息，现场监控界面如图 8 所示，图 8 中上版部位现场工艺布局图，展示各工位所在位置，现场设备等位置情况，当操作者操作工位进行任务操作，当前工位会根据操作情况变化，分别具备未开工、报警、开工、停工等状态，未开工为当前工位未进行任务操作，开工即表示人员上工并开启任务操作，停工状态为工位处于暂停或强制停工状态。左下角界面展示为当日任务情况，任务工作所在工位、操作者、任务需求数量、已完工数、合格数等信息，该模块中生产任务为数字化设备能实时监控任务加工数等实时信息，人工操作时存在偏差。右下角展示当前工房各工位温湿度状态，切换展示不同工位温湿度，可看出温湿度是否符合装配要求。图 9 为现场任务进度监控状态监控，右边展示任务的进行情况，左边展示今日完工任务情况。

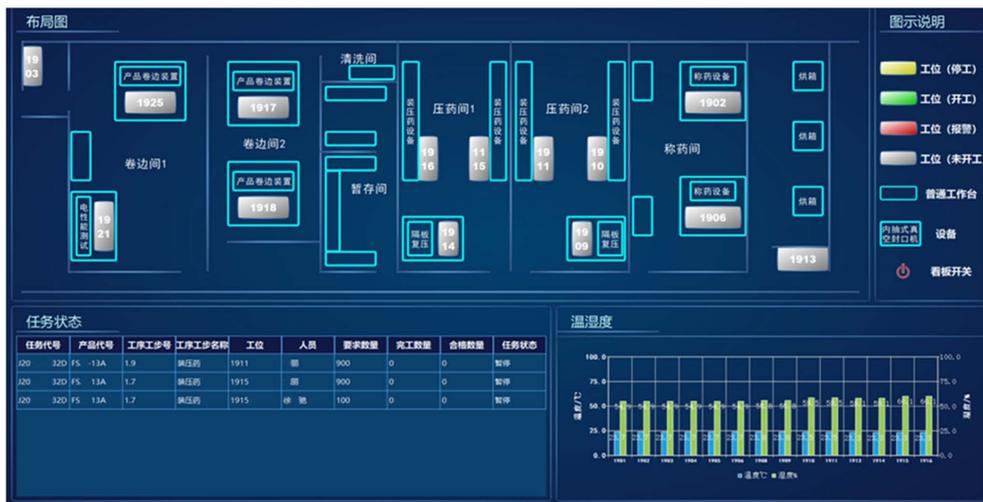


Figure 8. Site status Kanban

图 8. 现场状态看板



Figure 9. Task progress monitoring Kanban

图 9. 任务进度监测看板

## 4. 总结

面向离散制造过程的数字化生产线管控系统应用于生产线数字化管控和数据采集支撑, 实现对现场生产状态, 提高现场精细化管理程度, 现已应用于各数字化生产线, 对后续生产线建设和智能化工厂建设都具备使用条件; 实现质量控制信息化, 简化了信息传递流程, 提升了管理效率。随着自动化、智能化的不断发展, 系统还将对设计可视化, 数字孪生等进一步探索和对不断优化。

## 参考文献

- [1] 李飞, 黎小华. 离散行业制造执行系统的应用实践[J]. CAD/CAM 与制造业信息化, 2008(1): 24-27.
- [2] 费一正. 面向离散制造的协同制造执行系统及其关键技术研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京理工大学, 2012.
- [3] 余辉, 梁镇涛, 鄢宇晨. 多来源多模态数据融合与集成研究进展[J]. 情报理论与实践, 2020, 43(11): 169-178.
- [4] 唐科, 王帅, 赵崇斌, 等. 火工品产品化研究与实践[J]. 航天工业管理, 2017(8): 100-102.
- [5] 张曙. 工业 4.0 和智能制造[J]. 机械设计与制造工程, 2014, 43(8): 1-5.
- [6] 万志远, 戈鹏, 张晓林, 等. 智能制造背景下装备制造业产业升级研究[J]. 世界科技研究与发展, 2018, 40(3): 316-327.
- [7] 刘星星. 智能制造推动我国装备制造业升级发展研究[D]: [硕士学位论文]. 福州: 福建师范大学, 2017.
- [8] Bracht, U. and Masurat, T. (2005) The Digital Factory between Vision and Reality. *International Working Conference on Integration in Production Management*, **56**, 325-333. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2005.01.008>
- [9] Bjoern, K. and Horst, M. (2013) Industry 4.0-Fields of Action of the Digital Factory to Optimize Resource Efficiency in Production Processes. *15th ASIM Dedicated Conference on Simulation on Production and Logistics*, Vol. 316, 31-40.
- [10] Zamfore, C.B., Pirvu, B.C.T., Schlick, J., et al. (2013) Preliminary Insides for an Anthropocentric Cyber-Physical Reference Architecture of the Smart Factory. *Studies in Informatics and Control*, **22**, 269-278. <https://doi.org/10.24846/v22i3y201303>
- [11] Falcioni, J.G. (2013) Smart Factories, Smarter Engineers. *Mechanical Engineering*, **135**, 6.
- [12] Paelke, V. (2014) Augmented Reality in the Smart Factory Supporting Workers in an Industry 4.0 Environment. 2014 *IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA)*, Barcelona, 16-19 September 2014, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ETFA.2014.7005252>
- [13] 李伯虎, 张霖, 王时龙, 等. 云制造——面向服务的网络化制造新模式[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(1): 1-7, 16.
- [14] 李伯虎, 张霖, 任磊, 等. 再论云制造[J]. 计算机集成制造系统, 2011, 17(3): 449-457.
- [15] 李伯虎, 张霖, 任磊, 等. 云制造典型特征、关键技术与应用[J]. 计算机集成制造系统, 2012, 18(7): 1345-1356.
- [16] Unver, O., Anlagan, O. and EnginKili, S. (2000) Design and Development of a Distributed Shop Floor Control System Using Windows DNA. *Proceedings of the IASTED International Conference Intelligent Systems and Control*, Vol. 8, 14-16.
- [17] Promotion System Modeling Technical Committee Japan FA Group (2000) Specifications of the OpenMES Framework. Open Systems Manufacturing Science & Technology Center, Tokyo.
- [18] Collaborative Manufacturing and Supply Execution Solutions-Interwave Technologies about. asp. Chain Integration for Manufacturing.
- [19] 杨帆, 萧德云. 基于 Agent 的流程工业制造执行系统研究[J]. 计算机集成制造系统. 2003, 9(2): 107-111.
- [20] 胡春, 李平. 连续工业生产与离散工业生产 MES 的比较[J]. 化工自动化与仪表, 2003, 30(5): 1-4.
- [21] 王纯贤. 网络化制造环境下以人为中心的制造执行系统关键技术研究[D]: [博士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2005.
- [22] 李亚白. 面向服务的 c-MES 系统集成与重构技术研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京航空航天大学, 2007.