

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2020.04.012

离散型智能工厂建设探索

王晓彬, 方 掩

(长沙格力暖通制冷设备有限公司, 湖南 长沙 410600)

摘要: 为满足家电市场响应快、产品质量要求高、成本控制严的行业需求, 应用智能装备, 开展数据驱动的智能工厂建设, 优化分析各个环节的数据, 实现集团化集中管理高度协同、生产过程的高度自动化、制造系统全流程数据高度同步融合等特性, 最终取得运营成本降低、研制周期缩短、生产效率提升、产品不良率降低、能源利用率提高的成效。

关键词: 智能工厂; 家电行业; 协同制造; 自动化; 数据同步

中图分类号: F273

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2020)04-0078-06

引文格式: 王晓彬, 方 掩. 离散型智能工厂建设探索[J]. 湖南工业大学学报, 2020, 34(4): 78-83.

An Exploration on the Construction of Discrete Intelligent Factories

WANG Xiaobin, FANG Yan

(Changsha Gree HVAC Equipment Co., Ltd., Changsha 410600, China)

Abstract: In order to meet the industrial requirement characterized with a fast response, high product quality and strict cost control of home appliance market, intelligent equipment has been applied to carry out the construction of data-driven intelligent factories, so as to optimize and analyze the data of each link, realize the characteristics of highly collaborative centralized management, highly automatic production process, highly synchronous integration of the whole process data of manufacturing system, thus achieving the desired results of reducing the operating cost, shortening the development cycle, improving the production efficiency, reducing the defective rate of products and improving the energy utilization rate.

Keywords: intelligent factory; home appliance industry; collaborative manufacturing; automation; data synchronization

1 研究背景

随着全球行业升级浪潮的全面来袭, “智能化”成为各品牌空调主推产品的必备标签。《中国制造2025》中明确提出把“智能制造”作为“信息化、工业化”深度融合的主攻方向, 即通过智能制造、智能制造系统, 实现智能化产品生产, 以新一代信息技术与制造业深度融合为主线, 以推进智能制造为主攻方

向, 实现制造业由大变强的历史跨越^[1]。在商用空调行业的“智能化”道路上, 国内外龙头企业都在积极开展相关的研究工作。

智能工厂建设, 是在数字化工厂建设的基础上, 利用物联网技术和监控技术加强信息管理服务, 提高生产过程可控性、减少生产线人工干预, 合理计划安排生产, 同时集初步智能手段和智能系统等新兴技术于一体, 构建高效、节能、绿色、环保、舒适的人性

收稿日期: 2019-12-24

作者简介: 王晓彬(1981-), 男, 河南漯河人, 长沙格力暖通制冷设备有限公司高级工程师, 主要从事轻工工程, 智能制造和绿色制造方面的研究, E-mail: wangxiaobinhf@cn.gree.com

化工厂^[2]。

根据已有文献, 常用的智能工厂建设的关键点如图 1 所示, 其主要包括两方面内容:

一方面, 为产品研发线路, 其从创新管理部门进行市场调研开始, 到确定产品系列、产品结构及性能, 再至产品制造、产品升级优化, 最后确定产品的领域性能;

另一方面, 为产品价值链线路, 包括接单、生产计划、原料的采购、产品制造和质量管理、交付使用及售后服务等。

由图 1 可知, 两条线路在制造和质量管理处交叉, 可见制造和质量管理是智能化工厂建设的关键点。

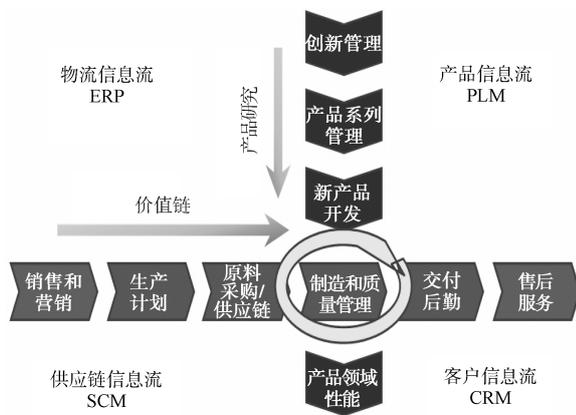


图 1 智能工厂建设的关键点

Fig. 1 Key points of project construction

为满足家电市场响应快、产品质量要求高、成本控制严的行业需求, 本研究拟在集团总体智能制造体系规划的基础上, 按照项目设计路线和实施计划探索离散型智能工厂的建设。本项目重点关注产品制造和过程质量管理, 在产品研发、工艺技术、营销及售后方面, 都由集团总部统筹, 实现集团化协同管理。根据集团化集中管理高度协同、生产过程高度自动化、制造系统全流程数据高度同步融合等网络协同制造的需要, 与集团总部全流程协同智能制造管理模式六大基石实现管理互通, 最终建成离散型商用空调行业协同制造智能工厂。最后, 对构建的智能工厂应用成果进行分析, 以期为同行业的智能工厂建设提供一定的参考与借鉴。

2 智能工厂建设整体方案及目标

2.1 整体方案

智能工厂建设的整体方案以企业资源计划 (enterprise resource planning, ERP)、产品生命周期管理 (product life-cycle management, PLM) 系统为管

理主线, 实现企业分部与珠海总部制造、工艺、计划、物料等的协同管理。智能工厂大量应用安全可控的自动化装备, 通过车间执行系统的全面覆盖应用, 打通横向信息流, 并运用可编程逻辑控制器 (programmable logic controller, PLC)、数据采集与监视控制系统 (supervisory control and data acquisition, SCADA) 进行控制, 以实现纵向信息流通, 集成为集控中心系统。同时, 构建虚拟工厂, 自动分析工厂的运作关键指标, 形成智能决策平台。

图 2 所示为智能工厂建设的内容示意图。

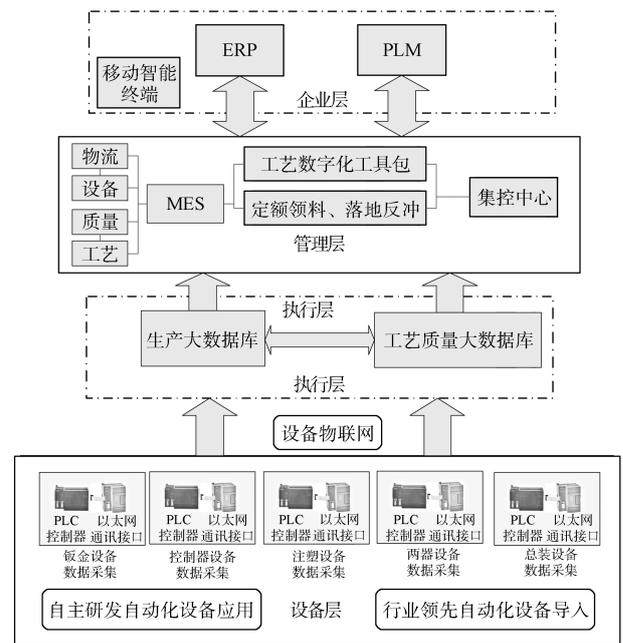


图 2 智能工厂建设内容示意图

Fig. 2 Schematic diagram of intelligent factory construction

由图 2 可知, 离散型智能工厂建设的主要内容包设备层、执行层、管理层和企业层 4 个层次的建设。其中, 设备层是基础, 各类自动化设备要统一接口, 自动化采集数据。执行层建立公司级的数据库, 各类数据互联互通。管理层根据业务需求, 构建各类管理模型, 形成虚拟工厂, 提升管理。企业层的集团化集中管理高度协同, 地方企业和集团总部通过数据高度同步来实现智能化。

2.2 建设目标

在集团智能制造体系规划的基础上, 按照上述整体方案进行智能工厂的建设。

项目建设目标设定如下:

- 1) 实现企业生产、运营成本降低 20%;
- 2) 实现企业产品研制周期缩短 30%;
- 3) 实现企业生产效率提升 25%;
- 4) 实现企业产品不良率降低 20%;

5) 实现企业能源利用率提高 10%。

同时, 将本项目建设成为空调行业协同制造的标杆工厂。

2.3 方案的先进性分析

本智能工厂建设方案的先进性主要表现在如下两个方面:

1) 本项目在标准智能工厂建设的基础上, 融入了商用空调行业需要的、制造行业通用的智能装备和智能管理模式。

2) 本项目实现了集团化集中管理高度协同。在研发过程中, 主要存在横向信息孤岛和纵向信息孤岛两大突出现象, 该现象制约着企业的创新能力与研发效率^[3]。集团化全流程协同管理新模式的导入应用, 可以实现产品开发过程中高质高效的时间协同、业务协同、数据协同以及能力协同。以项目为中心, 建立了一个统一的设计研发管理平台, 实现了对设计研发数据管理、项目管理、物料管理、图文管理、产品管理、工艺管理、变更管理、需求管理等功能。通过数据管理模块, 集中并分类产品信息、图文信息以及因设计、生产和售后等各阶段产生的各类数据, 为数据整合、数据分析提供了极大便利。通过流程驱动, 集中管控、统一管理, 可显著提高公司的整体工作效率和产品质量。

3 智能工厂建设实施要点

3.1 项目系统模型的建立

3.1.1 智能工厂总体设计

智能工厂的厂区布局以总装为中心, 物资、生产、成品遵循“一个流”精益设计。依据产品生产工艺路线, 并且结合空中和地下输送方式, 尽量减少地面运输, 形成高空、地面、地下隧道 3 个层面的立体物流。同时, 按照“综合生产人员最少”的原则, 分类落实工序前移; 设置不同类别的物料需求点, 以减少物料的二次周转。设备规划以少人化、自动化为原则, 推行零件部装上线。

3.1.2 工艺流程及布局

1) 两器车间工艺流程及布局。两器车间各工序之间的生产为单件流或批次流的不落地生产模式, 局部实现一个流生产, 以减少物料中间的滞留、转存等搬运浪费, 改善生产物流, 提高人均工作效率。工厂选用无收缩胀管技术、免抱管长弯管设备、精确定位焊接、自动化进出箱技术等, 以提高生产自动化, 节省原材料, 降低能耗, 减轻人员劳动强度, 保证车间生产技术的先进性。

2) 钣金车间工艺流程及布局。钣金车间的设计

以整体物流量最小为设计依据, 建立具有高端专业化制造水平、完善的自我配套能力、高度参观性的精益生产车间。钣金加工、运输采用先进的加工工艺、运输方式, 大部分零件采用机械化、自动化生产方式, 因而不仅能够降低工人的劳动强度, 而且能够提高生产效率。

3) 注塑车间工艺流程及布局。注塑车间的规划应体现其工艺布局的合理性、行业工艺的先进性、高自动化、精益生产等。因而设计实行一个流配送, 减少注塑车间内来料、配送总装等方面的物流运输。

3.2 先进工艺设计技术的应用

工艺设计平台也已经全面上线, 实现的功能包括产品制造物料清单 (manufacturing bill of materials, MBOM) 管理、工艺路线设计、工艺资源整合、工时定额、材料定额和工艺任务, 目前正在集团化推广。

工艺设计的仿真模块, 通过建模可实现整体工艺路线以工艺流程图形式表达产品的工艺装配过程, 工艺工程师可以利用仿真软件在平台上轻松实现工艺路线的调整。为避免传统的“三维设计模型→二维纸质图纸→三维工艺模型”研制过程中信息传递链条的断裂, 摒弃了二维、三维之间的转换, 从而提高了产品研发设计效率^[4]。工艺路线建立完成后, 工艺工程师可以通过仿真模拟基于工艺路线的产品静态安装过程, 便于工艺工程师直观地发现工艺路线的不合理点, 并及时做出调整。

3.3 关键技术装备的选用

智能制造装备是建立智能工厂的基础性建设之一^[5]。本智能工厂建设中应用“布点、连线、扩面”的推广思路, 结合公司数十年在空调及家电产业的研发、生产制造的积累沉淀, 开展从单机设备智能化、线体智能化到整厂制造智能化的离散型智能制造和自动化推进实施。

本研究结合空调行业的生产工艺特点, 聚焦钣金、注塑、两器、管路、总装等制造环节, 解决了一批自动化领域的业内共性问题, 生产出一批具有空调行业特色的专机成套智能装备, 并进一步将各自动化单元设备串联成一条自动化智能生产线, 极大地提高了工序衔接效率, 减少了操作人员, 在行业中具有极大的示范性和推广意义, 可迅速提高行业平均自动化水平。选用的关键技术装备主要包括注塑机及生产用机械手、中央供料系统、烫金一体化设备、自动装镶件机器人、丝印烘干一体化机器; 钣金多机连线冲压机器人、800 t 自动冲压生产线、全自动铆接加工单元; 全自动管路成型一体化生产线、两器件一个流全自动生产线; 立体智能物流配送系统等。

3.4 生产过程的数据采集与分析系统建设

现场级数据是智能工厂系统的支撑。通过现场级的数据逐层向上发展,建立完整的工厂互网络中心,是实现工厂智能化和信息化建设的基础^[6]。本项目应用传感器、仪器仪表、条码、机器人等感知技术,通过可编程逻辑控制器、数据采集与监视控制系统控制,实现了各分厂95%的关键设备互联互通,实时采集设备的动作、状态信息,大量减少了人工采集生产过程数据的操作,降低了公司的运营成本,形成效果要点如下:

- 1) 各车间关键设备实现互联互通;
- 2) 实现了设备运行状态的实时采集;
- 3) 有效降低了设备管理和数据采集的人力资源投入;
- 4) 建立智能集控指挥中心,实现了生产可视化、过程透明化管理。

生产运行过程中,由智能集控指挥中心集中监控、集中处理、统一调度、统一指挥。生产过程的指令发布、异常信息的处理、提产提效的改进举措等,通过广播系统,定向通知指定区域人群。

通过管理数据平台的整合,将相关的数据集中存储在公司层面的平台中,并且实现数据存储位置的互通,建立公司生产制造管理的大数据库,通过云计算、数据挖掘等手段,实现关键指标和过程控制异常的自动分析提醒、集控管理。从而提高公司运作的信息融合度,形成效果要点如下:

- 1) 建立了集中管理公司级生产过程大数据平台;
- 2) 通过人机界面优化与安灯系统的运用,提升了人机互动性;
- 3) 运用 IFIX 软件进行组态编程,构建设备现场的虚拟模型,实现了工厂数字化远程管理功能;
- 4) 建立了可靠性高、0.1 ms 级读取速度的数据库,保证了工具系统的快速应用;
- 5) 实现了数据的深度挖掘与应用及生产数据的自动分析,形成了公司级生产决策平台。

3.5 制造执行系统与企业资源计划系统建设

制造执行系统(manufacturing execution systems, MES)需要与计划层进行信息交互,通过不断的信息交换实现两种系统间的信息集成。MES与企业资源计划(enterprise resource planning, ERP)系统的集成,主要是信息流的整合^[7]。制造系统全流程数据高度同步融合应用项目。在生产管理过程中,计划与资源管理以ERP为核心,制造现场以WMS/MES业务架构为核心,两大系统基础数据的同步率要达到100%,围绕两大平台的同步融合应用,本项目研发

了以ERP下达生产计划为依托,WMS/MES现场采集数据做拉动的制造信息协同管理平台。

通过该制造信息协同管理平台的应用,将ERP的计划管理和WMS/MES的现场管理进行了高度同步融合。物料闭环管理的整个执行过程可实现“5个100%”的落地执行,即100%齐套排产、100%来货创建条码、100%拣选配发物料、100%按订单使用物料、100%反冲结算。

3.6 工厂内部网络架构建设

本项目的内部网络架构分为核心层、汇聚层、接入层3层。其中,核心层由2台H3C 10508交换主机组成,采用智能弹性架构(intelligent resilient framework, IRF)虚拟化技术,为了保障网络的稳定性,通过防火墙与数据中心核心相联。接入层通过无线访问接入点(wireless access point, AP)接入到接入层交换机,带扫描功能的移动终端机通过WIFI连接到AP。汇聚层能够处理来自接入层设备的所有通信量,并提供到核心层的上行链路。

设定的内部网络架构具有如下特点:

- 1) 兼容性。工厂内部网络架构是完全独立的,与应用系统相对无关,可适用于多种应用系统。
- 2) 开放性。系统采用开放式体系结构,符合多种国际上现行的标准,并支持所有通信协议。
- 3) 灵活性。系统采用标准的传输线缆和相关的连接硬件,模块化设计,所有通道都是通用的。所有设备的开通及更改均不需要改变布线线路,并且可以灵活多变组网。
- 4) 可靠性。系统采用高品质的材料和组合压接的方式构成一套高标准的信息传输通道,应用系统采用点到点端接,任何一条链路故障均不影响其它链路的运行,从而保证了整个系统的运行可靠性。

3.7 信息安全保障建设

随着工业数字化、网络化、智能化发展的加快,工业控制系统已逐步从封闭隔离的系统演进为开放交互的系统,随之带来了极大的信息安全隐患^[8]。因而要重视系统的信息安全保障建设,本项目中主要从5个方面开展信息安全保障建设。

3.7.1 硬件的安全保障措施

选用的硬件设备或机房辅助设备本身稳定可靠、性能优良、电磁辐射小,且对环境条件的要求尽可能低,设备能抗震防潮、抗电磁辐射干扰、抗静电,有过压、欠压、过流等电冲击时的自动防护能力,有良好的接地保护措施等。

3.7.2 环境的安全保障措施

在这一方面,除了要合理规划中心机房与各部门

机房的位置外, 机房还设计了防静电、防尘系统、消防报警系统、新风系统、门禁系统、UPS(uninterruptible power supply) 系统, 防雷系统, 供电系统。

3.7.3 通信网络的安全保障措施

1) 采用安全传输层协议和安全超文本传输协议, 从而保证数据和信息传递的安全性;

2) 使用防火墙技术;

3) 采用加密这种主动的防卫手段;

4) 内部网络采用了物理隔离, 以保障内部网络的安全性;

5) 终端采用 Symantec Endpoint Protection 安全软件, 以保障内部网络安全。

3.7.4 软件的安全保障措施

1) 选择安全可靠的操作系统和数据库管理系统;

2) 设立安全保护子程序或存取控制子程序, 充分运用操作系统和数据库管理系统提供的安全手段, 加强对用户的识别检查, 并且适当地控制用户的存取权限;

3) 尽量采用面向对象的开发方法和模块化的设计思想, 将某类功能封装起来, 使模块之间、子系统之间能够较好地实现隔离, 以避免错误发生后的错误蔓延;

4) 对所有的程序都进行安全检查测试, 及时发现不安全因素, 并逐步进行完善;

5) 采用成熟的软件安全技术。软件安全技术包括软件加密技术、软件固化技术、安装高性能的防毒卡、防毒软件、硬盘还原卡等, 以提高系统的安全防护能力。

3.7.5 数据的安全保障措施

1) 各访问系统必须注册账户才能登录使用, 用户的访问权限根据工作职责及其业务需要来制定, 只能查询权限内的数据;

2) 应用电子文档安全管理系统, 各类资料都自动加密, 必须解密后才能打开查阅。

4 智能工厂建设成果应用分析

4.1 智能工厂建设成果

通过上述实施方案, 建成智能工厂, 经过 5 a 的运营, 对其运营结果进行分析, 达成如下成果。

4.1.1 工艺设计成本降低

通过工艺设计仿真技术的引进和推广运行, 可以有效提高工艺设计水平^[9]。主要体现在流水线产品装配仿真、人机仿真、公差分析等多个方面。虚拟验证与分析功能的应用, 可以有效提高产品设计和工艺设计质量。

4.1.2 人力成本降低

通过生产线自动化机器人的投入与使用, 使得工业机器人替代了人, 智能自动导引运输车(automated guided vehicle, AGV) 进行自动物流配送, 配套的加工单元通过自动化加工设备加工, 离散作业单元向成套作业单元升级, 智能自动检测设备替代人员检测。这些智能制造手段的应用, 大幅减少了生产人员, 可有效减少人力成本的投入^[10]。项目实施 5 a 内, 利用生产线自动化机器人代替人工岗位, 涉及岗位总人数约 1 500 人。

4.1.3 能耗成本降低

通过机器人等自动化设备的使用, 将单工序设备连线生产, 提高了生产效率和人工产出, 提升了生产线设备的利用率, 实现了设备资源利用的最大化, 使得能源利用率显著提高, 年度能源成本有效节约 16% 以上。

4.1.4 产品不良管控成本降低

产品设计水平、工艺设计水平和生产自动化的提高, 设备连线自动化生产, 物料防错、工序互锁工艺控制手段的应用, 设备物联网形成的质量追溯, 质量管理可视化工具的应用, 均可有效提高产品质量, 降低产品售后故障率, 因而降低了产品不良管控成本。

4.2 成果应用分析

4.2.1 面向制造关键环节的工业互联网技术

智能感知成套部件, 如射频识别(radio frequency identification, RFID) 技术、机器视觉等, 在空调物流供应链、机加工过程、总装过程中与制造现场的人、机、料深度结合(包括设备、物料、在制品等), 工业互联网结合多项先进技术应用, 实现了定制化、柔性化的生产模式^[11]。形成一个基于制造现场的互联互通网络, 且形成了一整套空调行业解决方案, 可复制推广至其他空调企业乃至整个家电行业。

4.2.2 空调行业专机成套设备

空调行业的生产工艺特点, 聚焦在钣金、注塑、控制器、两器、管路、总装等各个制造环节。本项目通过应用多款家电行业首创/独创专机和生产线, 如自动立式穿管机、多合一弯管机、伺服钣金机械手等多种成熟国产专机设备; 自动换热器组件生产线、两器单件流自动生产线、遥控器自动生产线等多种定制自动化生产线, 解决了一批业内共性的自动化应用问题, 极大程度地提高了工序衔接效率, 减少工作人员, 在空调制造行业具有极大的示范性和推广意义, 可迅速提高行业平均自动化水平。

5 结语

现阶段, 传统的制造业都在转型升级, 本项目团队通过对智能工厂建设进行探索, 总结了一些实施要点, 本项目成果显著。首先, 高柔性化工艺工装将会改变量产车间柔性化低的现状, 使其适应复杂机型和复杂工艺以及多样化的生产; 其次, 质量信息采集、全过程零部件状态管理以及零缺陷的管理模式, 显著提升了规模化生产的品质。

本研究提出的智能工厂建设可以在家电行业中进行推广应用。

参考文献:

- [1] 陶耀东, 李 宁, 曾广圣. 工业控制系统安全综述 [J]. 计算机工程与应用, 2016, 52(13): 8-18.
TAO Yaodong, LI Ning, ZENG Guangsheng. Review of Industrial Control Systems Security[J]. Computer Engineering and Applications, 2016, 52(13): 8-18.
- [2] 王保民, 张淑敏. 离散型制造业智能工厂建设思路与关键要素分析 [J]. 国防制造技术, 2016(1): 26-29.
WANG Baomin, ZHANG Shumin. Thoughts and Key Factors Analysis of Smart Factory Construction in Discrete Manufacturing Industry[J]. Defense Manufacturing Technology, 2016(1): 26-29.
- [3] 陈 荣, 袁 宁, 王 晗, 等. 我国离散制造业智能工厂通用技术架构研究 [J]. 机械工程与自动化, 2016(5): 222-224.
CHEN Rong, YUAN Ning, WANG Han, et al. Intelligent Factory's Technical Frame in Dispersed Manufacturing Industry[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2016(5): 222-224.
- [4] 陈中瑾. 制造执行系统(MES)的研究与开发 [D]. 武汉: 湖北工业大学, 2009.
CHEN Zhongjin. Research and Development of Manufacturing Execution System (MES) [D]. Wuhan: Hubei University of Technology, 2009.
- [5] 卢秉恒, 邵新宇, 张 俊, 等. 离散型制造智能工厂发展战略 [J]. 中国工程科学, 2018, 20(4): 44-50.
LU Bingheng, SHAO Xinyu, ZHANG Jun, et al. Development Strategy for Intelligent Factory in Discrete Manufacturing[J]. China Engineering Science, 2018, 20(4): 44-50.
- [6] 雷建和, 路广强, 李 婕, 等. 智能工厂改造的设备互联方案 [J]. 电工技术, 2018(18): 155-156.
LEI Jianhe, LU Guangqiang, LI Jie, et al. Equipment Layer Interconnection Scheme for Smart Factory Transformation[J]. Electrical Engineering Technology, 2018(18): 155-156.
- [7] 刘林森. 工业互联网与制造业的未来 [J]. 中国信息界: e 制造, 2014(12): 18-19.
LIU Linsen. Industrial Internet and the Future of Manufacturing[J]. China Information Industry: e Manufacturing, 2014(12): 18-19.
- [8] 张彩霞, 程良伦, 王向东. 基于信息物理融合系统的智能制造架构研究 [J]. 计算机科学, 2013, 40(增刊1): 37-40.
ZHANG Caixia, CHENG Lianglun, WANG Xiangdong. Research on Architecture of Intelligent Manufacturing Based on Cyber-Physical System[J]. Computer Science, 2013, 40(S1): 37-40.
- [9] 周东祥. 多层次仿真模型组合理论与集成方法研究 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2007.
ZHOU Dongxiang. Study on Multi-Level Composability Theory of Simulation Models and Approach to Composable Simulation Integration[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2007.
- [10] 杨春立. 我国智能工厂发展趋势分析 [J]. 中国工业评论, 2016(1): 56-63.
YANG Chunli. Analysis on the Development Trend of Smart Factories in China[J]. China Industry Review, 2016 (1): 56-63.
- [11] 关新平, 吕 玲, 杨 博. 智能工厂的感知、通信与控制 [J]. 中兴通讯技术, 2017, 23(5): 61-66.
GUAN Xinping, LÜ Ling, YANG Bo. Co-Design of Sensing, Communication and Control for the Smart Factory[J]. ZTE Technology Journal, 2017, 23(5): 61-66.

(责任编辑: 廖友媛)