

# 基于工业 4.0 的智能工厂实验系统的搭建及应用



陈国金<sup>1</sup> 姜周曙<sup>2</sup> 苏少辉<sup>1</sup> 陈昌<sup>1</sup>

(1. 杭州电子科技大学 机械工程学院, 浙江杭州 310018;

2. 杭州电子科技大学 实验室与设备管理处, 浙江杭州 310018)

**摘要:** 杭州电子科技大学“智能制造技术”国家级实验教学示范中心与西门子(中国)有限公司合作, 打造了校内综合实验平台。该平台由六大子平台组成, 其中体现工业 4.0 理念的是“智能工厂实验平台”; 而“智能工厂实验平台”的核心, 是智能工厂实验系统。基于此, 文章搭建了基于工业 4.0 的智能工厂实验系统, 介绍了该系统中设计的 13 个实验项目, 并进行了相关项目的实践训练。基于工业 4.0 的智能工厂实验系统的搭建及应用, 成功打造了基于工业 4.0 的现代制造工程实验平台, 有利于将学生培养成为具有前瞻视野、工业 4.0 理念、“两化融合”能力的卓越工程师。

**关键词:** 工业 4.0; 智能工厂; 实验系统; 全生命周期; 工程教育

【中图分类号】G40-057 【文献标识码】A 【论文编号】1009—8097(2017)07—0121—06 【DOI】10.3969/j.issn.1009-8097.2017.07.018

## 引言

进入 21 世纪以来, 信息与通信技术取得了突破性进展, 智能的网络世界与物理世界融合产生了物联网与信息物理融合系统<sup>[1]</sup>。基于此, 德国首先将信息物理融合系统(Cyber-Physical Systems, CPS)技术用于制造业, 开启了工业 4.0 的第四次工业革命<sup>[2]</sup>。由于 CPS 进入制造和物流的集成领域, 以及在工业流程中使用物联网及其服务, 从而产生了创新的工厂系统——智能工厂。完全不同于传统的工厂自动化系统, 智能工厂采用了面向服务的体系架构, 如图 1 所示。从图 1 可以看出, 对应于传统自动化系统的现场级, 智能工厂使用物联网技术; 对应于控制级, 智能工厂采用 CPS; 对应于监控管理级, 将 CPS 连接到安全、可靠、可信的云网络主干网, 智能工厂采用服务互联网提供的服务<sup>[3]</sup>。

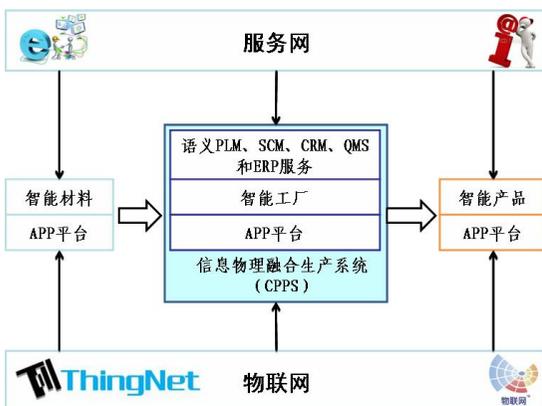


图 1 智能工厂体系架构



图 2 产品全生命周期管理体系

西门子(中国)有限公司(下文简称“西门子公司”)对工业 4.0 的构想是: 未来的制造将基于大数据、云计算、互联网、人, 结合各种信息技术进行柔性制造<sup>[4]</sup>。数据在研发、生产、物

流的各环节不断丰富,实时保存在庞大的数据平台中。基于这一数据基础,通过企业资源计划(Enterprise Resource Planning, ERP)、产品全生命周期管理(Product Lifecycle Management, PLM)、制造执行系统(Manufacturing Execution System, MES)、控制系统以及供应链管理,可实现信息互联<sup>[5]</sup>。采用西门子公司的 PLM 软件,通过虚拟化的产品规划和设计,可实现信息无缝互联。利用西门子公司的制造执行系统 SIMATIC IT 和全集成自动化解决方案 TIA (Total Integrated Automation),将产品和生产生命周期进行集成,可缩短产品上市时间。此外,该设计还赋予工厂灵活性,可满足不同产品的混合生产,并为将来的产能调整做出合理规划<sup>[6]</sup>。西门子公司在成都建造的工业自动化产品生产及研发基地(SEWC),既是工业 4.0 的典型应用,也是中国实现“两化融合”(以信息化带动工业化、以工业化促进信息化)的高层次案例。

为了打造基于工业 4.0 的现代制造工程实验平台,培养学生成为具有前瞻视野、工业 4.0 理念、“两化融合”能力的卓越工程师,杭州电子科技大学以教育部“机械工程”专业综合改革项目——西门子产学合作专业综合改革项目为契机,自 2013 年起与西门子公司在基于工业 4.0 系统、工业控制系统、产品 PLM 软件等方面展开了全面的产学合作。与西门子合作开发出的基于工业 4.0 的智能工厂实验系统,为学校的“智能制造技术”国家级实验教学示范中心(下文简称“示范中心”)提供了面向未来工业的实验平台。

## 一 智造理念指导下的实验教学模式

### 1 智造理念

智造理念就是智能制造理念。传统的教学生产线通常只关注生产制造的单一环节,而基于工业 4.0 的智能工厂实验系统要在示范中心内再现产品“从无到有”的设计、制造与服务的完整过程,如图 2 所示。通过参与产品的全生命周期管理,学生对智能制造涉及的机械、信息和管理等多学科交叉渗透形成了系统的认识。以产品全生命周期管理为主线,将知识学习与能力训练有效地串联起来,有利于培养学生的产品创意与设计、信息技术应用以及经营管理等能力,并增强学生的创意、创新和创业能力。

### 2 实验教学模式

示范中心坚持“工业 4.0 全生命周期管理、项目与竞赛驱动、校企联合培养”三位一体,能力与素质并重,知识、能力、素质协调发展的教学理念,打造了虚实结合的实验教学平台,以培养具有信息化与工业化融合特色、能满足未来智能制造技术发展需求的卓越工程师。通过建设综合实验平台和校外实践基地,培养了学生的分析与解决问题、创新创业、团队合作、表达交流等能力,并有利于社会责任感、工程职业道德、安全环境意识、工程基本规范等素质的养成。在强调能力和素质培养为先的同时,示范中心倡导“道德、诚信、专业”有机结合、做人与做事相结合、做人通过做事体现、做事通过做人保证、注重人文精神熏陶,坚持学习、实践、创新相互促进的教学思路,将能力和素质的培养渗透到实验教学的每个环节,形成了“理论教学与实验教学、课内教学与课外实践、校内实践与企业实训、基本技能培养与创新能力培养、科学研究与实践教学”五者融合并重并分层递进的实验教学模式,如图 3 所示。

工业 4.0 的实质一方面是信息化和智能化,另一方面是全生命周期管理。在实验内容的设置上,示范中心安排了全生命周期管理软件 NX 和 Teamcenter 的实践,以及由订单管理、云制造、自动装配、包装和物流等环节组成的全生命周期智能制造系统的实验;在教学上,示范中心采

用 CDIO 模式（Conceive—构思、Design—设计、Implement—实现、Operate—运作），也就是全生命周期模式，强调基于 CDIO 模式中的问题、项目、案例分析，采用互动式、研讨式教学方式和自主、合作、探究的学习方式，以进一步提升教学效果。

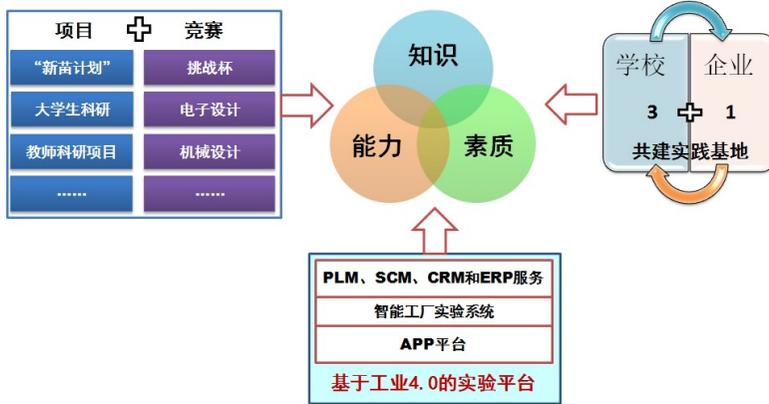


图3 示范中心的实验教学模式

## 二 两个平台与实验系统的搭建

### 1 校内综合实验平台和智能工厂实验平台的打造

为实践实验教学模式，示范中心整合原有的实验系统，打造了由“全生命周期管理实验平台”、“网络化数控加工实验平台”、“工业工程管控系统实验平台”、“现代工厂自动化加工实验平台”、“智能工厂实验平台”、“柔性机电一体化系统实验平台”等六大子平台组成的校内综合实验平台，如图4所示。

在校内综合实验平台中，体现工业4.0理念的是“智能工厂实验平台”。“智能工厂实验平台”由示范中心与西门子公司联合打造，以实现“机械”、“信息”、“管理”三类学科专业在工业4.0核心技术下的深度融合和优化配置；平台融合了实验—实训—实习—实践环节，具有分层次、扩展性、信息化、智能化等特点，是一个高效率的资源共享平台，其平台架构如图5所示。



图4 校内综合实验平台

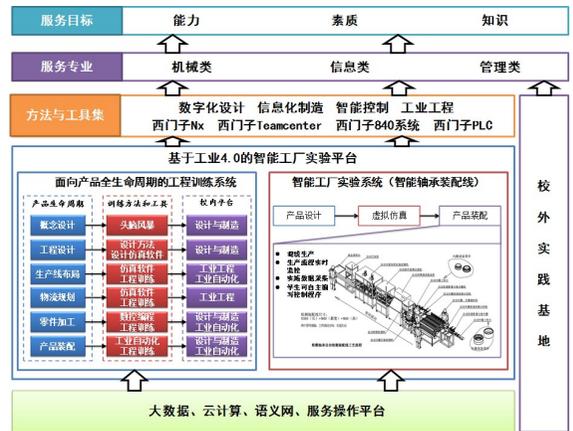


图5 智能工厂实验平台构架

## 2 基于工业 4.0 的智能工厂实验系统的搭建

如前文所述,在校内综合实验平台中,体现工业 4.0 理念的是智能工厂实验平台。而智能工厂实验平台的核心,就是智能工厂实验系统。因此,有必要引入工厂实际产品,从产品设计、工艺设计、生产制造和物流服务等多个方面,建立接近或真实的智能工厂实验系统。为此,在产品设计阶段,示范中心引入了西门子公司 PLM 软件的 NX 系统;在工艺设计和生产制造阶段,示范中心引入了 Teamcenter 软件、工艺仿真系统以及相关的数控编程软件。为实现信息无缝互联,示范中心与西门子公司基于大数据、云计算、互联网、数字化技术,结合各种信息技术进行柔性制造和物流控制,利用制造执行系统 SIMATIC IT 和全集成自动化解决方案 TIA,搭建了基于工业 4.0 的智能工厂实验系统,如图 6 所示。该系统覆盖了包括产品设计、工艺设计、生产制造、服务维护等不同生命周期阶段的实验项目,使学生能够从产品和工厂的“无中生有”中得到循序渐进的系统训练,故有助于提升学生的工程实践能力。

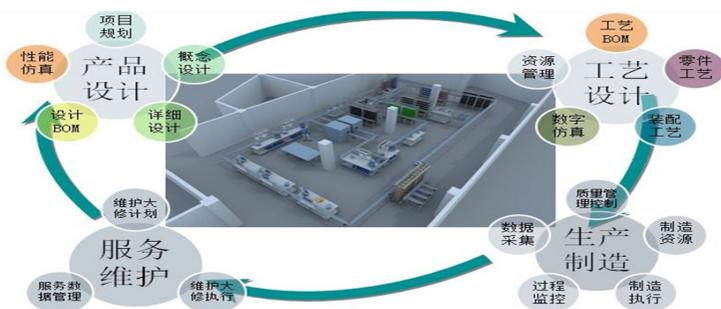


图 6 基于工业 4.0 的智能工厂实验系统规划图

## 三 实验项目与实践训练

### 1 实验项目的设计

为体现工业 4.0 智能制造技术和全生命周期管理的特征,基于工业 4.0 的智能工厂实验系统中设计了“信息物理融合系统综合实验”、“RFID 及物联网综合实验”、“全集成智能控制系统综合实验”、“云制造技术综合实验”、“机电一体化设计平台实验”、“Teamcenter 软件实训”、“NX 软件实训”、“智能 PLC 控制综合实验”、“APP 应用程序实训”、“组态控制系统综合实验”、“轴承智能制造综合实验”、“智能物流技术综合实验”、“现场总线与工业通信技术综合实验”等 13 个实验项目。本研究以“轴承智能制造综合实验”项目为例,来呈现实验项目的具体实施过程。

### 2 实验项目的实施

在“轴承智能制造综合实验”项目中,示范中心与西门子公司等企业合作,开发了基于工业 4.0 的轴承智能装配实验系统,如图 7 所示。该系统的主要特点是在一个系统中能实现混装功能;同时基于工业 4.0 理念,可实现从 APP 客户端下订单、设计、组织生产、包装及物流等智能工作流程,体现了智能工厂的智能化。

在基于工业 4.0 的轴承智能装配实验系统中,学生可进行多个工位的实践训练:①在总控室,学生可根据订单信息进行轴承产品的虚拟设计、轴承组件的供应链管理和出入库管理,将订单信息转换为生产信息组织轴承的生产,并将生产信息下达至轴承智能装配线;②在组态控制模块上,学生可根据教学要求,进行组态的编程;③在内外圈分档工位,学生可根据教学要求,



通过实验系统建设、实验项目设计和实验教学实施,提升学生运用智能制造技术的工程能力,将学生培养成具有信息化与工业化融合特色、能满足未来智能制造技术发展需求的卓越工程师。

## 参考文献

- [1] 缪学勤. 智能工厂与装备制造业转型升级[J]. 自动化仪表, 2014, (3): 1-6.
- [2] 缪学勤. Industry 4.0 新工业革命与工业自动化转型升级[J]. 石油化工自动化, 2014, (1): 1-5.
- [3] 张益, 冯毅萍, 荣冈. 智慧工厂的参考模型与关键技术[J]. 计算机集成制造系统, 2016, (1): 1-12.
- [4] 李晶. 西门子工业 4.0: 数字化魔力[OL]. <[http://finance.ifeng.com/a/20140829/13029332\\_0.shtml](http://finance.ifeng.com/a/20140829/13029332_0.shtml)>
- [5] 刘英俊. 工业 4.0 及工厂自动化的发展方向[OL]. <<http://www.docin.com/p-1480613077.html>>
- [6] 宋慧欣. 推动数字化企业发展——西门子的工业 4.0 之路[J]. 自动化博览, 2016, (1): 42-44.

### The Construction and Application of Intelligent Factory Experiment System based on the Industry 4.0

CHEN Guo-jin<sup>1</sup>    JIANG Zhou-shu<sup>2</sup>    SU Shao-hui<sup>1</sup>    CHEN Chang<sup>1</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou, Zhejiang, China 310018;

2. Laboratory and Equipment Management Division, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou, Zhejiang, China 310018)

**Abstract:** This paper introduced the on-campus comprehensive experimental platform that was jointly developed by the national experimental teaching demonstration center of “intelligent manufacturing technology” of Hangzhou Dianzi University and Simens Limited China. The platform was compsed of 6 sub-platforms, while the concept of industrial 4.0 was reflected in the “intelligent factory experiment platform”. Meanwhile, the core of the “intelligent factory experiment platform” was the intelligent factory experiment system. Therefore, this paper built an intelligent factory experiment system based on industry 4.0, introduced the 13 experiment items designed in this system, and then carried out corresponding practice training on related items. Thanks to the construction and application of the intelligent factory experimental system based on industry 4.0, a modern manufacturing engineering experimental platform based on industry 4.0 was successfully created. This platoform will be conducive to cultivating students to be excellent engineers with forward-looking vision, industrial 4.0 concept, and the ability of integrating industrialization with informatization.

**Keywords:** Industry 4.0; intelligent factory; experimental system; all life cycle; engineering education

作者简介: 陈国金, 教授, 博士, 研究方向为智能制造技术, 邮箱为 chenguojin@163.com。

收稿日期: 2016 年 10 月 1 日

编辑: 小米