

# 流程工业智能工厂的未来发展

褚健<sup>1,2</sup>

1. 中控科技集团, 杭州 310053

2. 宁波工业互联网研究院, 宁波 315012

**摘要** 阐述了基于工业操作系统SupOS的智能工厂建设新架构,以集成化、数字化和智能化手段实现工艺技术PT、设备技术ET、操作技术OT、自动化技术AT、信息技术IT的创新融合,通过工业整体解决方案 APPs 解决生产控制、生产管理和企业经营的综合问题,让企业牢牢掌握自身发展工业大数据和人工智能的主动权。同时,基于纵深防御、软硬结合的工控系统信息安全体系,可为流程工业智能工厂的建设提供安全保障。

**关键词** 智能工厂;工业操作系统;工业整体解决方案 APPs;工业大数据平台;工控信息安全

当今世界,信息化浪潮席卷全球,信息通信技术与制造技术、新能源技术等交叉融合,人类社会正在进入万物互联、虚实结合、智能计算、开放共享的新时代<sup>[1-2]</sup>。新一轮科技革命和产业变革与中国加快转变经济发展方式形成历史性交汇,为中国实施创新驱动发展战略提供了难得的重大历史机遇。制造业是创新驱动发展的主战场,发展智能制造是扭转制造业低质低效,实现新旧动能转换的关键所在。

近年来,智能制造热潮席卷全球,制造业强国德国与美国分别提出“德国工业 4.0”<sup>[3]</sup>和“美国先进制造/工业互联网”<sup>[4]</sup>,中国提出《中国制造 2025》,是国家战略最重要的举措。智能工厂建设已然成为工业企业实现转型升级,由大变强的重要抓手与必然选择。从狭义上看,智能工厂是移动通信网络、数据传感监测、信息交互集成、高级人工智能等相关技术、产品及系统在工厂层面的具体应用,以实现生产系统的数字化、网络化、智能化、柔性化和绿色化。从广义上看,智能工厂是以制造为基础,向产业链上下游同步延伸,涵盖了产品全生命周期智能化实施与实现的组织载体。同时,智能

工厂作为智能制造重要的实践领域,已引起了制造企业的广泛关注和各级政府的高度重视。

为落实《中国制造 2025》总体战略部署,深入实施智能制造工程,助力制造业转型升级、提质增效,工业和信息化部、财政部联合开展智能制造综合标准化与新模式应用项目。自 2016 年以来,工信部产业政策支持智能制造新模式项目达 384 项,综合标准化项目达 125 项,极大推动了中国制造业转型升级的进程。

## 1 场景需求

当前,中国大多数制造企业仍处于基础自动化阶段,企业还是面临着信息孤岛、缺乏顶层设计、建设多个烟囱式的垂直应用、企业管理软件定制化程度高/推广困难等问题<sup>[5]</sup>。传统自动化系统解决方案在中国市场中仍占主流,行业领先企业和智能制造试点示范企业正加快向智能化水平迈进,积极开展智能化布局。但总的来看,针对智能制造行业应用需求提供整体解决方案的业务尚处于发展初期,能够在行业内形成可

收稿日期:2018-08-25;修回日期:2018-10-12

作者简介:褚健,教授,研究方向为工业自动化,电子信箱:chuj@supcon.com

引用格式:褚健. 流程工业智能工厂的未来发展[J]. 科技导报, 2018, 36(21): 23-29; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2018.21.002

推广和可复制的成熟解决方案并不多,业务规模有限。随着智能制造的推进,整体解决方案的市场规模将加速增长,经过市场验证的解决方案成熟度将进一步提升。

在数据融合应用方面,普遍存在多元数据采集、异构系统集成、数据融合应用的需求。在生产制造过程中生产数据、管理数据、化验数据、安全监控数据、环保监测数据、气象环境数据、原材料质量、人员定位数据和视频监控数据等如何进行有效地加工和应用是目前工业企业面临的共性问题。在企业的实际经营和运维过程中,又强烈地要求这些数据能够无缝融合<sup>[6]</sup>。

在生产计划调度方面,以石油和石化企业为例,由于分布递归和混流技术、悬摆切割技术、二次加工装置的 Delta-base 技术等一系列非线性技术与质量传递技术、多周期建模技术和多厂计划模型的集成应用技术的工程应用面临着建模难度大、使用门槛高等困境<sup>[7]</sup>。在原油调合、汽柴油调合的调度优化方面,同样存在着在线分析检测仪表、物性数据集成、调合模型性能集成与优化等难题。企业急需应用集成的行业工厂模型、物性数据库及算法库。

在工业设备管理方面,流程企业存在大量动设备和静设备,包括罐类、塔类、阀门类、泵类、换热器类、透平机类、风机类、锅炉类、汽轮机类、管道类、仪表类、化验分析类等。这些设备的智能化程度不同,维护、保养和管理要求也不同。大部分企业针对这些设备并没有实现电子化全生命周期管理,仅靠人工和纸面台账的方式进行记录,对单个设备的维护仅靠计划性的周期性保养和维修。然而,这些设备在流程工业的生产环境中,均有长期运行和稳定运行的要求。实现智能化的设备预测性维护还有很长的路要走。

在工业生产安全管理方面,随着石油化学工业的发展,生产装置变得越来越自动化、连续化、大型化和复杂化,石化企业生产过程处理和储存的易燃、易爆、有毒危险物的规模也越来越大,一旦这些物质的正常运行状态遭到破坏,就有可能导致重大事故,造成人员伤亡、财产损失和环境破坏。灾害影响范围大,事故的发生具有突发性、灾难性、复杂性和社会性。因此石化工业对智能化安全管理的需求更为强烈。

在物流公共服务和产品物流方面,流程工业企业在大宗型原材料、中间体和产品等物流运输方面急需信息透明的工业物流公共信息服务平台。在产业链的上下游企业之间,生产原料和产品之间相互依赖的企

业希望通过产品物流的追踪实现产品质量、运输过程和中间存储过程的优化。

面对互联网、云计算、大数据、人工智能的发展浪潮,流程企业面临利用这些新技术实现数字化、网络化、智能化转型的迫切需求与重大历史机遇。然而由于企业自身技术积累不同,不同的企业处于数字化的不同阶段,在智能化转型中遇到的问题也各不相同,需要采取的措施也不尽相同。用传统的烟囱式信息系统很难满足企业在不同时期的发展要求,更无法满足企业整体业务链集成与优化的需求<sup>[1, 8-9]</sup>。

## 2 智能工厂的新架构

在新一轮的数字化智能变革中,流程企业需要实现 PT(工艺技术)、ET(设备技术)、OT(操作技术)、AT(自动化技术)与 IT(信息技术)的融合创新,需要以工业大数据分析为核心的全生命周期服务,需要以工业互联和智能为核心的产业协同模式。

基于新的 SupOS 工业操作系统,形成流程工业智能工厂建设的新架构(以炼化行业为例),如图 1 所示。

流程工业智能工厂建设新架构的核心是工业操作系统 SupOS,它是集工业控制平台、工厂模型平台、工业大数据平台、工业云平台、工业 APPs 应用商店等于一体的工业操作系统,通过云(云互联网平台)、企(工厂互联网平台)、端(边缘计算节点)三层统一架构,可实现管控一体化交互。SupOS 以帮助企业实现工厂区域的信息全集成为突破口,搭建全集成的工业大数据平台,提供大数据分析 DIY、智能 APP 组态开发、智慧决策和分析服务。赋能用户,以集成化、数字化和智能化手段解决生产控制、生产管理和企业经营的综合问题,让企业能始终牢牢掌握自身发展工业大数据和人工智能的主动权。

### 2.1 工业控制平台

SupOS 工业操作系统可对过程控制系统进行集成和管理,包括 DCS、SIS、ITCC、PLC、GDS 和 FAS 等生产过程控制、安全联锁保护、电气自动化、计量监督考核、设备安全健康诊断等系统,涵盖显示、监测、控制和安全联锁,构建统一的集成控制逻辑,实现基础自动化各系统之间的互联互通与优化控制,实现生产管理、安全消防、环保监测与过程控制的管控一体化,真正发挥工业企业在工厂自动化层面所建系统的协同、优化及放



图1 流程工业智能工厂建设的新架构

Fig. 1 New architecture of intelligent plant in process industry

大作用,为工厂“安、稳、长、满、优、智”的高效运行提供基础性的核心支撑作用。

## 2.2 工厂模型平台

工厂模型是智能工厂建设的核心,是工厂合规、受控、优化运行的神经中枢系统。工厂模型具有显著的时间和空间颗粒度,从生产管控维度看,包括供应链模型、生产计划模型、生产调度模型、加工方案、生产操作模型、装置优化控制模型、生产计量模型、物料移动模型、原料/产品调合模型、物料平衡模型、能源产耗模型、能源平衡模型、生产统计模型、转动设备失效模型和管道腐蚀泄漏模型等。工厂模型是一个非常庞大的体系,支撑工厂各层各类管理业务活动的协同与优化,也构成了工业企业智能化运作的核心。

SupOS工业操作系统对工厂模型体系进行统一的管理和维护,实现工厂模型的性能保持以及工厂操作经验等知识的沉淀和传承,为工业APP应用集成提供模型支撑和服务,支持用户开展生产排程、生产仿真、操作优化、决策辅助等智能化集成动作,提高企业生产管控的整体水平和效率。

## 2.3 工业大数据平台

流程企业的数据主要存在于各种自动化系统(如DCS、PLC、SIS、SCADA等)、智能设备和信息化管理软件(如MES、ERP、LIMS、EAM、SCM、CRM、CAD等)之

中。SupOS工业操作系统具有丰富的数据接口,是工厂通用连接器,可实现工业数据的全集成与标准化管理,如数据标准化和对象信息模型的运行期管理,多元数据预处理、存储、压缩处理,实时和历史数据查询服务,计算资源管理和治理,业务流搭建,可提供一个信息融合、多元数据混合的快速构建平台。

SupOS工业操作系统基于多元、海量数据等综合应用,提供大数据挖掘和分析的常用算法库,大数据云存储和分析服务。目前,SupOS工业操作系统已经集成的算法包括聚类分析、线性判别、神经网络、模糊聚类、主元分析、SVM、CART、AdaBoost等主流分析算法,用户针对同一分析对象或是同一批数据,可自由选择某一种算法,探索性地挖掘、发现新知识和生产管理、操作、决策的可观规律,大大提高了数据分析的灵活性,降低了大数据分析的门槛和难度。

## 2.4 工业云平台

SupOS工业操作系统基于接入的工厂数据,利用强大的工厂模型和数据分析算法,在企业云端为用户提供设备远程诊断、生产操作与控制优化、能源能效评估、生产物流跟踪、产品质量认证与追溯等服务,用户可以充分利用工业云平台以非常低的成本就可以得到丰富的高价值服务与优化建议,从而给企业的智能化转型提供更经济可行的解决方案。

## 2.5 面向行业的工业解决方案APPs应用商店

基于SupOS工业操作系统强大的基础设施,智能工厂新架构提供平台开放服务,发展生态合作伙伴,打造全产业链工业企业APP库,实现工业数据生态圈。例如在石化行业,运行在SupOS工业操作系统上的工业APPs,如PID控制回路自动调节、装置先进控制、全厂实时优化、外操智能巡检、生产计划排程、生产调度排产、物料平衡、智能报警管理、能源实时优化、设备智能监控、油品智能移动、油品调合、工厂仿真培训、罐区管理、终端智能自动化等,可达上千种。

工业操作系统SupOS实现平台与工业APP分离,降低开发门槛、孵化APP应用开发生态,建设工业领域的操作系统和工业APPs商店。未来用户可根据自身的基本情况和业务需要,动态DIY配置出个性化的工业应用场景。同时,工业APPs商店是一个开放的社区,任何开发者均可共享自己的工业知识变现自身价值,同时不断丰富APP给用户提供更多的应用,这一解决方案使系统的弹性增长与变化的用户需求之间达成了一种动态的平衡,实现了多方共赢。

## 3 智能工厂工控安全防御体系

随着信息化和工业化深度融合的不断推进以及工业控制系统网络化、信息化和智能化的快速发展,工业

控制系统的网络安全问题也面临更多的挑战<sup>[10]</sup>。由于工业控制系统广泛采用通用硬件和网络设施,与企业管理信息系统发生集成,与互联网产生了大量的数据交换,导致工业控制系统越来越开放,以往由物理环境的封闭性和专用性所带来的安全性将不复存在。智能制造、工业4.0、工业互联网等工作的深入发展,万物互联互通时代的到来,控制高危险性的工业装置的工业控制系统,将直接暴露在互联网平台上。工控信息安全威胁从“虚拟世界”已经渗透到了“物理世界”,网络远程恶意控制工作装置已经成为可能的现实,中国战略基础设施面临巨大的安全威胁。

中控科技集团遵循国际标准《IEC62443 工业自动化网络与控制系统信息安全》和国家标准《GB/T30976—2014 工业控制系统信息安全》等进行设计,并结合工业领域的具体需求和应用环境,以自身在流程工业自动化行业近30年的积累,成功突破了工控系统网络安全防护、控制内核自主可控、通信加密等关键技术,并熟练掌握安全保障技术、安全评估与认证技术,建立“内建安全、纵深防御、全生命周期管理”综合工控系统深度安全防护体系,如图2所示。

工控系统深度防护技术包括以下6个方面。

1) 控制站内置安全盾系列防护产品,实现通信与控制隔离,确保在遭受到网络攻击的情况下,不影响控制回路的正常运行。

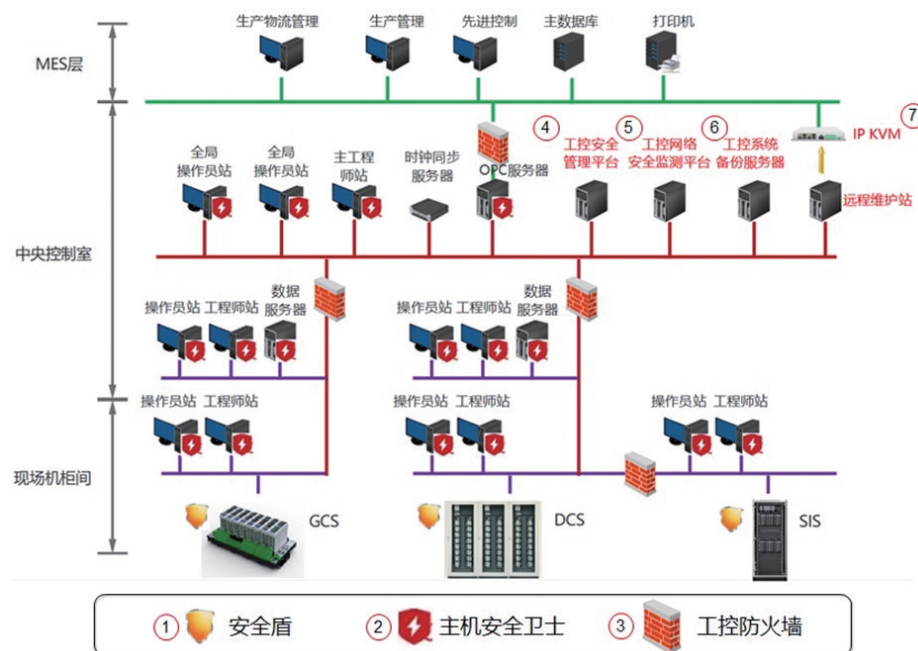


图2 基于纵深安全防御体系的工控安全系统架构

Fig. 2 Industrial control safety architecture based on deep security defense system

2) 控制网络通信采用加密和完整性保护,保证通信数据的完整性和机密性。

3) 控制站采用自主微内核,不使用Linux等开源操作系统和开源协议栈。

4) 控制内核自主可控(硬件、嵌入式系统、控制调度、控制算法、协议栈),并采取容错架构和全冗余设计。

5) 具备对组态和用户数据等关键数据进行完整性和正确性检测功能,故障时进行报警和记录。

6) 《中控防病毒整体解决方案》以及《中控工业控制系统网络安全纵深防御方案》,包括工业网络防火墙GW031、主机安全卫士VxDefender、全网诊断软件VxNetSight和安全隔离网关GW033安全防护产品。

中控科技集团是工控信息安全领域企业,设有专业的工业信息安全实验室,负责工业信息安全专项技术研究和信息安全服务。目前,实验室建立了7个行业工控系统安全模拟平台;挖掘工控系统安全漏洞8项;主持制定5项工控安全国家标准;研制了“安全盾”系列防护产品、控制系统测试评估系统,获得国家信息安全测评—信息安全服务资质证书(安全工程类),可以为工业企业提供:(1)工控系统网络安全产品;(2)面向行业的工控系统安全防护解决方案;(3)行业工控安全等级保护体系建设;(4)行业工控系统网络安全运维服务等产品与服务。

中控科技集团为工业企业提供工控网络安全的防护策略包括6个步骤:(1)针对内置预埋代码,切断危害,进行应急处置;在安全区域、系统出口,加强预警防范;(2)依据集散控制系统DCS安全脆弱性检测、安全防护、安全管理、安全评估、安全等级保护等国家标准;(3)以不影响生产和生产安全为前提,注意数据保护和操作保护;(4)对系统重要性识别、系统资产识别、系统脆弱性识别、系统威胁识别及系统风险识别等维度进行安全防护;(5)采用软件防护、边界维护、PLC嵌入式代码防护、控制异常监测与阻断等措施进行立体防护;(6)对工控系统进行无扰动实时在线修复,并启动安全应急系统,实现数字化、网络化、智能化环境中工业企业的工控信息安全。

## 4 智能工厂的发展趋势

制造业行业众多,发展基础和阶段升级目标各不相同,各个行业对智能制造实施方案的需求差异较

大。受限于资金投入不足、技术研发周期长、工艺壁垒和市场风险等因素,单个厂商提供的解决方案很难满足各个细分行业等智能制造发展需求。同时,智能制造是一个复杂的工程,需要跨学科、跨专业的能力,这同智能制造系统解决方案提供商提出了更高的要求 and 更大的挑战,不仅要求供应商在开展业务时需要转换视角,同时需要供应商具备更强的行业积累以及咨询能力。未来智能工厂建设呈现出新的发展趋势。

1) 做好顶层设计是未来智能工厂建设的重要保障。聘请或是组建智能工厂领域的专业化咨询团队,围绕智能工厂的主要环节和重点领域,以企业为主体提出适用于产用双方的建设模型,对企业智能工厂进行长远规划和总体设计。在智能工厂顶层设计咨询的过程中,实现智能工厂的技术、产品与企业管理、人才培养的融合创新。

2) 工业大数据布局加速,行业共性数据的积累将为系统解决方案输出提供支撑。鉴于工业大数据在物料品质监控、设备异常预警、能源在线监控、生产及物流优化等方面的作用,制造企业将加速布局工业大数据在生产线上的应用,未来智能工业大脑可替代经验丰富的工厂操作和管理人员。

3) 云产品和解决方案将大量涌现,基于云的智能制造模式和面向云服务的平台加速向制造领域渗透,智能制造和信息资源逐步移入云端,数据集成问题成为关注的重点。

4) 建立工业互联网平台的智能制造产业生态圈,基于统一的工业操作系统,采取强强联合、优势互补的策略,不断加强协同创新,推出更为丰富的工业整体解决方案APP,是加快推进智能制造的最有效途径和未来发展趋势。

5) “集团化和实战化”的网络威胁、“受制于人”的控制系统、严重不足的安全防护能力已经成为工业企业进行数字化、网络化、智能化建设的严重障碍与威胁,基于纵深防御的立体工控安全防护整体解决方案已经成为流程工业未来智能工厂建设的必选项。

## 5 结论

处于不同发展阶段的制造企业,在向智能制造的转型升级过程中,对于自动化、信息化、智能化技术及解决方案的需求具有较大的差异性,要求智能制造解

决方案要有良好的灵活性和弹性。同时,随着新一代信息技术在制造企业中的深度应用,在促进企业“提质、降本、增效”的同时,也给制造企业的安全生产带来了新的“安全风险”,企业必须进行系统性的考虑,平衡好这一矛盾。

1) 基于工业互联网的SupOS工业操作系统,是解决“信息孤岛、应用孤岛”的有效解决方案,是未来智能制造系统建设的基础;

2) 面向行业的APPs解决方案,为知识共享、用户灵活选配提供了平台与选择,用户在选择新技术、新产品、新应用等方面具有更多的主动权,智能制造系统的“适用、实用”可以得到更好的保障;

3) 基于纵深防御的工控安全防御体系及相关技术、产品的应用,是智能制造解决方案的重要组成部分,必须与智能制造的其他工作,同步设计、同步建设,保障制造企业的运行安全。

随着物联网、云计算、大数据、人工智能以及工控安全等新一代信息技术在工业领域得到深化应用,基于工业互联网的SupOS工业操作系统、行业整体解决方案APPs、工控安全防御体系打造的智能制造生态系统,已经成为工业企业智能工厂建设的主流方向,并将催生更多新兴工业智能化业态的发展。

### 参考文献(References)

[1] 何明, 梁文辉, 陈希亮, 等. CPS系统体系结构顶层设计研究[J]. 计算机科学, 2013, 40(11): 18-22.  
He Ming, Liang Wenhui, Chen Xiliang, et al. Research on top-level design of architecture for cyber-physical systems[J]. Computer Science, 2013, 40(11): 18-22.

[2] Lee J, Bagheri B, Kao H A. A cyber-physical systems architec-

ture for industry 4.0-base manufacturing systems[J]. Manufacturing Letters, 2015, 3: 18-23.

[3] Hankel M, Rexroth B. The reference architectural model industrie 4.0[EB/OL]. (2017-08-01) [2018-06-25]. <http://www.innovation4.cn/library/r3740>.

[4] Lu Y, Morris K, Frechette S. Current standards landscape for smart manufacturing systems[R]. Gaithersburg, USA: National Institute of Standards and Technology, 2016.

[5] 夏茂森. 流程工业智能工厂建设技术的研究[J]. 信息化技术与信息化, 2013(6): 46-52.  
Xia Maosen. Research on intelligent plant construction technology of process industry[J]. Information Technology and Informatization, 2013(6): 46-52.

[6] 秦志强. 数据融合技术及其应用[J]. 网络信息技术, 2013(5): 25-28.  
Qin Zhiqiang. Data fusion technique and its application[J]. Network & Information Technique, 2013(5): 25-28.

[7] 郭锦标. 线性规划技术在石油化工行业的应用——生产计划优化的历史、现状[J]. 计算机与应用化学, 2004(1): 1-5.  
Guo Jinbiao. Linear programming technique in petroleum sector: A review[J]. Computer and Applied Chemistry, 2004(1): 1-5.

[8] Lee J, Bagheri B, Kao H A. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-base manufacturing systems[J]. Manufacturing Letters, 2015, 3: 18-23.

[9] 侯军岐. 基于新一代信息技术产业发展的创新创业人才培养模式[J]. 价值工程, 2012, 31(23): 225-227.  
Hou Junqi. Innovative and entrepreneurial talents training mode based on a new generation of it industry development [J]. Value Engineering, 2012, 31(23): 225-227.

[10] 区和坚. 工业控制系统信息安全研究综述[J]. 自动化仪表, 2017, 38(7): 4-8.  
Ou Hejian. Overview of resear on the information security of industrial control system[J]. Process Automation Instrumentation, 2017, 38(7): 4-8.

## Future development of intelligent plants process industry

CHU Jian<sup>1,2</sup>

1. Supcon Group Co., Ltd., Hangzhou 310053, China
2. Ningbo Industrial Internet Institute, Ningbo 315012, China

**Abstract** This paper proposes a new intelligent plant framework, to realize integrated innovation of process technology (PT), equipment technology (ET), operation technology (OT), automation technology (AT) and information technology (IT) to solve the comprehensive problems of production control, production management and enterprise operation by industrial integrated solution APPs, so that enterprises can always firmly control their initiatives to develop industrial big data and artificial intelligence. At the same time, an information security system of industrial control is also proposed based on deep defense, combined hardware and software to provide safety assurance for the construction of intelligent plant in process industry.

**Keywords** intelligent plant; industrial operating system; industrial total solution APPs; industrial big data platform; information security of industrial control ●



(责任编辑 傅雪)