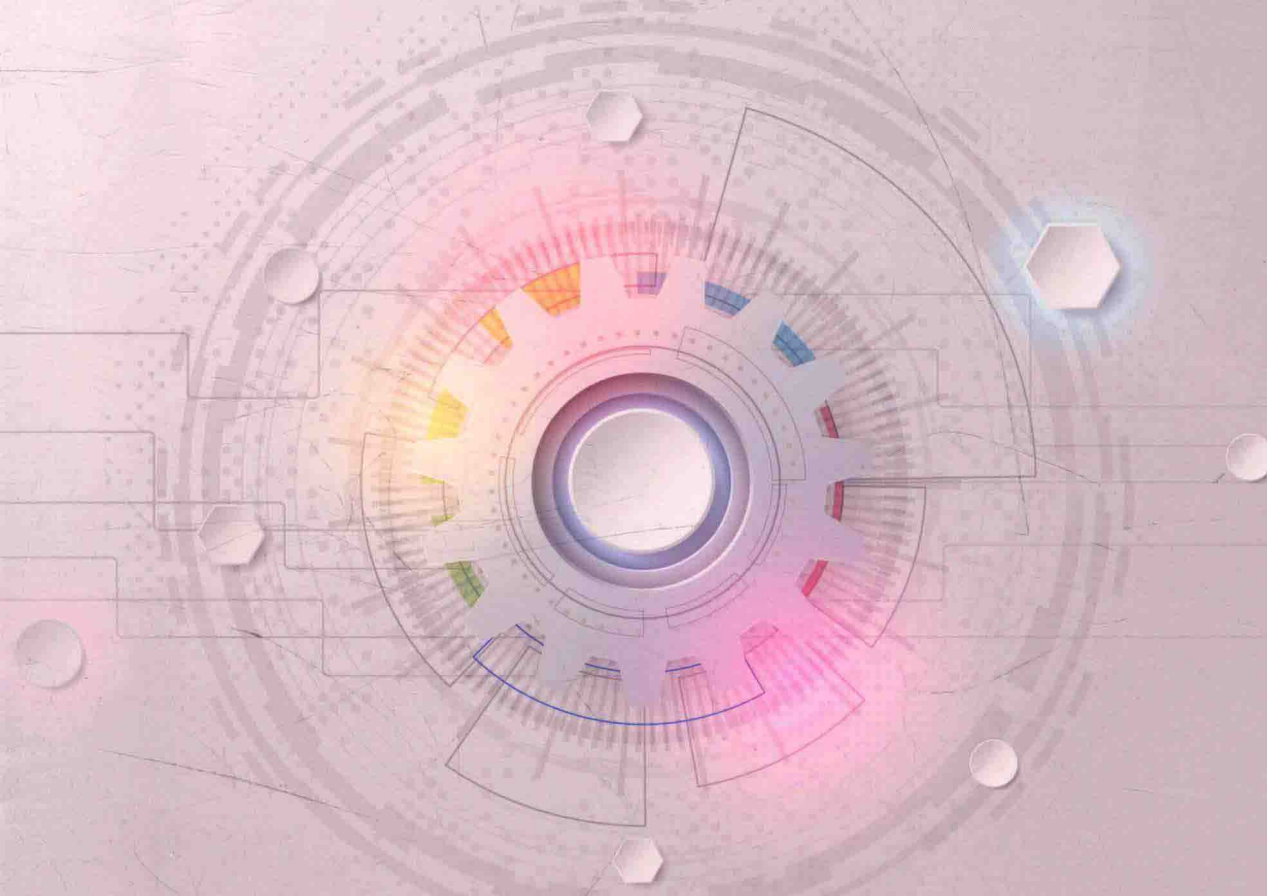


Process Industry Digital Factory Technology and Application Management

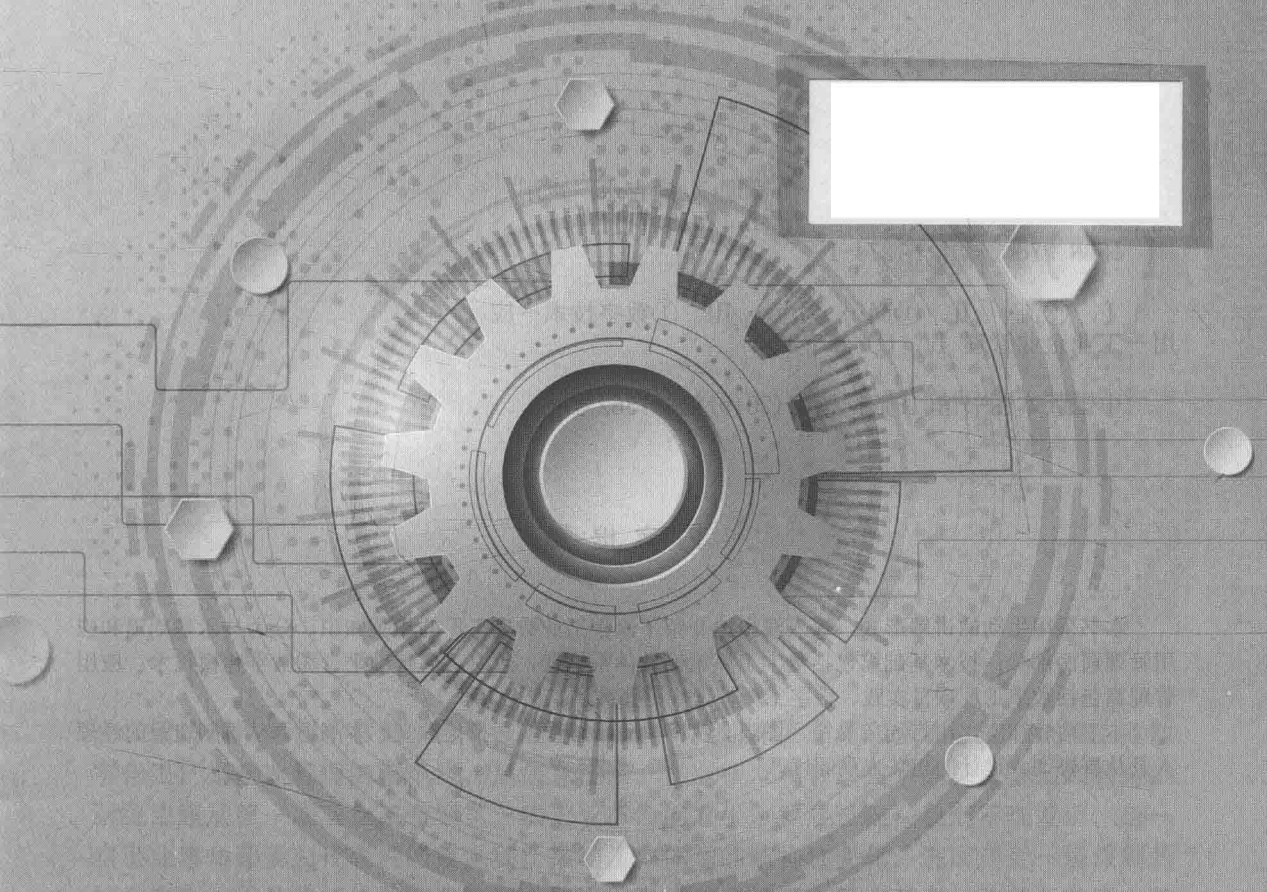
流程工业数字工厂技术与应用管理

尚吉永 卢阳光

主 编

中国工信出版集团

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



Process Industry Digital Factory Technology and Application Management

流程工业数字工厂技术与应用管理

尚吉永 卢阳光
主编

人民邮电出版社
北京

图书在版编目（CIP）数据

流程工业数字工厂技术与应用管理 / 尚吉永，卢阳光主编. -- 北京 : 人民邮电出版社，2019.7
ISBN 978-7-115-51274-1

Ⅰ. ①流… Ⅱ. ①尚… ②卢… Ⅲ. ①数字技术－应用－工业企业管理 Ⅳ. ①F406-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第087362号

内 容 提 要

本书采用生动的讲解形式，深入浅出地介绍了流程工业数字工厂的相关知识，分为技术基础篇和应用管理篇两部分：技术基础篇包括数字工厂绪论及体系框架、数字工厂基础平台和数字建模技术；应用管理篇包括数字工厂项目实践、数字工厂管理规范和数字工厂应用。

本书内容翔实，语言通俗易懂，图表真实，具有很强的实际指导意义。本书适合从事制造业的经理人及从事咨询、设计的相关人员阅读。

◆ 主　　编　尚吉永　卢阳光
责任编辑　黄汉兵
责任印制　彭志环

◆ 人民邮电出版社出版发行　　北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编　100164　　电子邮件　315@ptpress.com.cn
网址　http://www.ptpress.com.cn
北京市艺辉印刷有限公司印刷

◆ 开本：787×1092　1/16
印张：19.5　　2019 年 7 月第 1 版
字数：463 千字　　2019 年 7 月北京第 1 次印刷

定价：99.00 元

读者服务热线：(010)81055493　印装质量热线：(010)81055316
反盗版热线：(010)81055315



推荐序（一）

管理理论的创新总是来自于管理者对管理实践的深度思考和系统总结。流程工业数字化工厂是企业管理的新范式，是信息技术、产业技术和管理技术的深度叠加和融合。系统回顾从第一次工业革命到第三次工业革命的发生、发展过程，我们不难发现，每一次工业革命都是由代表性的技术创新推动工业体系的结构性变化，进而产生一场深刻的社会变革。但是遗憾的是，我们都不同程度地错过了前三次工业革命，改革开放四十年我们努力实现了对这种错过的追赶。

今天，我们站在第四次工业革命的面前，抓住机遇是战略性思考的基础，我们需要的不再是错过和追赶，需要的是同步出发甚至是小范围的领跑。从传统视角来看，制造业一直是世界各国经济增长、繁荣和创新的引擎，随着工业化快速推进，我国制造业规模不断扩大，已成为名副其实的世界工厂和世界制造业第一大国。2008 年国际金融危机后，发达国家纷纷推出再工业化战略，同时以制造业信息化、智能化、服务化为特征的新一轮科技和产业革命方兴未艾，我国制造业发展既面临着严峻挑战，也迎来了重大历史机遇。中国企业家有责任推进中国制造向中国创造转变、中国速度向中国质量转变、制造大国向制造强国转变，从而实现中国制造业转向创新驱动的高质量发展模式。这本书正是这个探索过程的阶段性成果。

在全球制造业发展中，产业分工越来越细，产品模块化程度不断提升，生产过程可分性日益增强，信息技术、产业技术和物流技术的进步使协同效率显著提高、交易成本明显下降。市场对企业生产效率、反应速度、个性化响应程度、生态环境进行保护的同时还提出了更高的要求，市场分工细化也提高了市场本身的系统复杂程度，为企业参与市场竞争提出了新的挑战。传统的信息化提升了企业的生产效率，但是缺乏对生产系统的深度嵌入，尤其是传统的信息化思路没有实现生产系统的智能化改造。本书编者基于自己所在的企业进行了长时间的探索，将新一代信息技术和制造技术进行深度融合，形成数字化映射，同时采用了先进传感器、工业物联网大数据为企业生产制造系统嵌入了智慧的大脑，探索实现了生产系统的数字化、智慧化转型。企业通过数字工厂的建设实现了生产过程的在线化、网络化和智能化；实现了内部管理决策的科学化、动态化和智

能化；也实现了企业外部网络系统的科学化、动态化和智能化，为企业生产经营管理的动态优化和可持续发展奠定了竞争基础。

“中国制造”已经逐步向“中国智造”转变，制造业企业需要根据新的环境创造新的发展模式。数字工厂的建设首先需要的是经营理念的更新，需要从技术、产业、市场和管理的多重视角来系统思考和布局，编者在专著中提出了数字工厂的基本框架范式。数字工厂的建设需要大量前沿信息技术和生产技术的有机融合，编者提供了基础平台框架和数字建模的方法和模块。数字工厂的建设最后还需要具体的案例供大家分析和模仿，编者毫无保留地提供了自己所在企业的数字工厂建设的详细过程。本书从理念、到技术、再到实践，提供了系统的解决方案和思路。

在大数据、物联网、人工智能迅速成为业界热点的时候，传统的制造业进行数字化转型其实是一件非常艰难的事情，不仅需要企业家有战略远见，更需要企业家对新技术、新事物有包容的胸怀，还需要企业家怀揣一份对社会无形的责任。我接触过很多的企业负责人，谈到创新发展时也都有独到的见解，有深入的思考，但是一到在企业落地生根时，退缩者十有八九。两位编者既是企业经营管理者，也是技术的先行探索者。我能够理解这过程中的压力、艰辛以及难以理解的战略孤独，当然，我更享受与他们一起分享这种成功后的成果。同时，也期待能有更多的企业经营管理者、研究者能共同关注和促进数字工厂的建设，共同推进“中国智造”。

朱方伟

大连理工大学经济管理学院院长　教授

2019 年 5 月



推荐序（二）

当下，全球正快步迈向数字化转型时代，大数据、工业物联网、云生态系统、人工智能、先进的机器预测和处理能力等数字技术正彻底改变着传统行业。在市场环境和竞争关系的压力下，转型发展是诸多工业企业面临的严峻挑战和必走之路。这注定是一场充满未知的变革浪潮，但同时也是实现高质、高效发展的必由之路。根据麦肯锡公司估计，有效使用数字技术可以减少 20%的资本支出和降低 5%的运营成本。毋庸置疑，数字化转型已不再是一个企业发展的备选策略，而是一个谋求未来可持续发展的必然选择。不仅如此，数字化转型的速度也无疑成为了企业获取竞争优势的关键所在。

然而，如果不理解何为真正的数字化转型，就无法突击式地、有针对性地、有里程碑地打造满足自身发展条件的数字化转型策略，最终只能迷失在从众的浪潮中。纵观流程工业，转型技术众说纷纭，但从未有深度梳理的、形成体系的书籍或者文献来给予行业内相关从业人士参考和指导。近来，很高兴看到一众优秀的工程人员就这个课题进行了研究和分析，并将理论和实际相结合，在实践中总结和反思，梳理了流程工业数字化工厂的全流程管理和应用，最终撰写了《流程工业数字工厂技术与应用管理》一书。

本书编者是以典型的流程制造行业——石油化工行业为背景，结合一个 500 万吨炼化能力的石化工厂的数字化平台建设和应用试点项目展开编写的，使本书不再仅仅是介绍概念和愿景，而是从实战的角度，立足于智能数字孪生，以数字工厂平台的建设为切入点，提出适用的参考架构及各种数据规范性标准，并针对流程工业的数字化方法，从技术标准、结构设计、规范、流程，到具体的建模技术、硬件和软件工具、应用开发平台等角度，详细地阐述了实战方式。

在流程工业数字化转型的关键机遇窗口期，本书编者基于实际项目的实践，悉心进行总结和提炼，毫无保留地以专著形式公开出版发行，以期与行业同仁分享交流，并希望通过研究、应用和推广数字工厂技术，促进流程工业数字工厂标准化信息的生成、交换、集成和共享，提升流程工业数字工厂的建设质量和效率。编者积极探索、勇于实践和乐于分享的精神，令人倍感振奋，心怀敬佩！

通览全书，编者在提炼项目实践经验的基础上还参考了大量国际、国内的前沿文献，

使本书既有实战经验支撑又具备相当的理论高度，对同行业有类似实践需求的读者有非常强的借鉴和指导意义。希望本书能够早日与读者见面，希望读者们能够喜欢，让我们共同努力，共塑智慧变革，共建、共享数字化美好未来！



李洪全

海克斯康集团　全球副总裁　大中华区总裁

2019 年 5 月



前 言

生产技术和信息技术日新月异，近几年以大数据、区块链、物联网、数字仿真、机器人以及 3D 打印等为代表的智能制造技术，正在全面影响制造业的发展。随着国家的大力扶持和产业界的持续推动，近年来针对“智能制造”理论的研究和实践成果层出不穷。人工智能是新一轮科技革命和产业变革的重要驱动力量，加快发展新一代人工智能是事关我国能否抓住新一轮科技革命和产业变革机遇的战略问题。因此在新一代智能制造范式的基础上，针对特定的行业应用情境探索新型应用技术框架的内在技术机理，已经是工业界和信息产业界亟待解决的问题。

智能制造的定义和已有研究表明，信息物理系统（CPS）是在新的工业现代化背景下实现智能制造的核心组成要素。周济等学者定义智能制造的 3 个基本范式为：数字化制造、数字化网络化制造、数字化网络化智能化制造。智能制造涉及智能产品、智能生产以及智能服务等多个方面及其优化集成。从技术机理角度来看，这些不同方面尽管存在着差异，但本质上是一致的，即“人—信息—物理系统”的融合。

随着信息世界和真实的物理世界之间深度融合的前提技术条件日趋成熟，数字孪生（Digital Twin）作为将信息物理系统落地的应用技术框架，受到了学界和工业界越来越多的关注。著名的 IT 行业咨询研究公司 Gartner，从 2018 年到 2019 年连续两年把数字孪生列为未来十大战略技术趋势之一。而数字工厂，是构建数字孪生，实现 CPS 乃至智能制造的基本要素。

在第四次工业革命背景下，数字工厂技术对智能制造体系的建设带来的核心价值在于，通过新一代信息技术和制造技术驱动，整合多属性、多维度、多应用可能性的仿真技术，实现对物理实体对象的特征、行为、形成过程和性能等进行描述和建模，从而进一步实现智能化的数字孪生或数字化映射。

在过去的制造业，对数字工厂所带来的先进性的理解，一般强调数字工厂将会伴随着工厂的全生命周期，并在工厂规划、精细设计、施工、经营、生产、优化、升级，直至消亡的过程中，一直伴随着实体工厂不断丰富、改进和演变。然而在新的智能制造背景下，数字工厂技术先进性的内涵包括了同时采用先进的传感器、工业物联网和历史大

数据分析等技术，具有超逼真、多系统融合、高精度的特点，可实现监控、预测和数据挖掘等功能，数字工厂将可以依靠传感器以及其他的数据来理解它的处境，回应变化，提高运营效率，增加价值。

针对工厂全生命周期的几个关键阶段，新一代的数字工厂体系需要考虑以下几个环节的具体应用。

（1）从工厂的物理实体萌芽阶段（即概念设计阶段）开始，其数字镜像就像工厂的灵魂一样已经存在，通过虚拟仿真技术和物联网技术，将过去可供参考的历史数据、经验与知识应用于工厂规划，帮助企业管理层做出快速决策。

（2）在建设工厂的过程中，数字工厂作为实体对象的数字化映射，是一个集成的多物理、多维度、超写实、动态概率仿真模型，可用来模拟、监控、诊断、预测、控制工厂实体项目精度、时间进度和费用预算，同时数字模型通过与产品物理实体之间的数据和信息交互，不断提高自身的完整性和精确度，最终完成对产品物理实体的精确描述，以及建设过程信息的存档。

（3）在生产经营过程中，数字工厂又作为与现实世界中的物理实体完全对应和一致的虚拟模型，可实时模拟自身在现实环境中的行为和性能，在此阶段借助数字孪生来推动高性能计算技术和机器学习技术在生产过程领域的应用，实时虚拟现实迭代交互，以优化生产要素配置和生产过程控制。

（4）在工厂升级、优化和改造的过程中，数字工厂模型通过和真实的实体工厂之间进行全要素、全流程、全业务数据集成和融合，并且在孪生数据流的驱动下，实现对工厂生产要素、活动计划、过程控制的仿真和优化，同时为物理工厂和虚拟工厂之间的迭代优化提供持续的辅助。

（5）工厂开始运营到最后消亡的整个时间跨度，数字工厂忠实地记录了工厂物理实体，包括所有经营和运行数据的全生命周期数字化档案。

可以说数字工厂经过 30 年的不断演化和升级，发展到今天是最高端的表现形式，即智能化的数字孪生工厂。它是对 CPS 概念的具体化应用技术，继承了传统数字工厂中对客观物理对象数字化、可视化、模型化和逻辑化的理念，同时又赋予了 CPS 概念中的计算进程和物理进程一体化融合的特征，以环境感知+物理设备联网为基础，将资源、信息、物体以及人紧密联系在一起。新一代的数字工厂概念，为制造业实现 CPS 概念提供了一种具体的应用技术框架，为工业 4.0 等基于 CPS 为核心的制造业战略实施带来了突破性的价值。因此，这是一项对智能制造的实现有着指向性意义的前沿技术。

企业的数字化转型，必然会经历相当长时间的优化和改进过程，因此从一开始就有必要结合企业当前自身的实际情况，制定合适的长期战略。无论企业处于数字化进程的哪个阶段，以面向需求的设计思维，从业务模式、业务流程和工作方法 3 个角度系统化地进行体系讨论和设计，都是必要的思维模式，也是将技术、人才和业务三要素紧密结合的有效方法。

制造业的形态可以分为流程制造和离散制造两类。也有学者认为，流程制造领域可进一步区分出连续流程制造（continuous process manufacturing）和批流程制造（batch process manufacturing）两种业态。流程制造是指被加工对象不间断地通过生产设备，通过一系列的加工装置使原材料进行化学或物理变化，最终得到产品，典型产业如医药、

石油、化工、钢铁、水泥等。离散制造主要是通过对原材料物理形状的改变、组装成为产品，使其增值。产品往往是由多个零件经过一系列并不连续工序的加工最终装配而成的，典型产业如机械、电子、电器、航空、汽车等。这两种不同的产业形态，由于其材料形态和生产形式上的巨大差别，导致其在物料特点、产品特点、生产过程、工艺、物流和销售方面都有显著区别。

流程制造工业在国家工业生产总值中占比将近一半，因此流程制造工业的发展在国民经济发展中具有非常重要的意义。流程制造工业多种类型的最终产品和复杂的控制变量，导致了其对生产过程的安全性、稳定性和连续性的高要求，以及对瞬时生产控制的强烈需求。过去的研究已经指出，在信息化和管理的相关问题上，从两种不同的工业形态的视角去观察流程制造工业和离散制造工业，往往会聚集在不同的关注点，会得出不一样的研究结论。以流程制造行业的典型代表——石化工厂为例，受到市场需求和生产价格波动的影响，对生产经营过程可控性的要求一直在不断提高。随着物联网等新一代信息技术在制造业中的应用，物理工厂与数字空间的融合加速，通过数字孪生连接物理工厂和虚拟模型，为石化行业智能化发展提供了新的可行方向。然而，相对于流程制造行业数字化模型的构建和应用的这一迫切需求，目前相关的理论研究和应用标准的制定还处于探索阶段。在推动制造型企业数字化转型的过程中，所面临的诸多问题虽然都和技术有一定的关联，但背后的核心问题却是管理。因此，数字工厂给企业带来的变革，首先应该是管理变革。我们需要有全新的、科学的理论体系，来指导我们改变传统的管理方式，使数字化转型从局部规划设计向全局规划和顶层设计转变，从而走向可持续的数字化路线。

实践已经证明，仅凭借传统制造工厂自身的力量，无法有效地完成数字化转型的工作，制造业在进行数字化转型的过程中，面临着以下问题和挑战。

（1）缺乏全盘考虑和长远规划的顶层设计，数字化战略规划和标准化建设工作缺失，或者局限在特定业务情境中，导致在面向更大范围的推广时有局限性。

（2）传统的孤立的组织架构对数字化所要求的跨部门协同能力的挑战。

（3）工厂既有的工作方式、业务流程、考核体系对数字化平台应用推广带来的阻力。

（4）工厂旧的存档资料的缺失、分散、错误、遗漏，将对工厂模型建立工作带来巨大的人工量和技术挑战。

（5）企业内部创新机制和协同创新的工作氛围不足。

（6）工厂的工作人员在数字化方面专业技能和经验的不足。

2018 年，山东创恩信息科技股份有限公司以中国万达集团下属山东天弘化学有限公司数字工厂项目建设为依托，启动了《流程工业数字工厂技术与应用管理》一书的编写工作，希望通过研究、应用和推广数字工厂技术，来促进流程制造行业数字工厂标准化信息的生成、交换、集成和共享，进而提升流程制造行业数字工厂的建设质量和效率。

本书是以典型的流程制造行业——石油化工行业为背景，根据一个 500 万吨炼化能力的石化工厂的数字化平台建设和应用试点项目展开编写的，针对流程制造业的数字化方法，从技术标准、结构设计、规范、流程，到具体的建模技术、硬件和软件工具、应用开发平台等角度，详细地阐述了实战方式。文中采用的较多技术信息和参考图表，源自于项目的实践过程，并得到了项目组与合作双方的授权。

本书涉及的主要软件和硬件平台包括如下 13 个。

- SmartPlant Foundation 数字工厂基础平台
- Smart 3D 流程工厂三维设计软件
- SmartPlant P&ID 智能工艺流程图设计软件
- UniversalPlantViewer 三维工厂模型漫游和审查软件
- SmartPlant Review 可视化模型浏览软件
- SmartPlant Interop Publisher 三维模型格式转换软件
- Cyclone 点云模型管理软件
- CloudWorx 点云模型矢量化和数字化处理插件
- 3D PACT 三维工厂模型模拟仿真软件
- Autodesk Inventor 离散工厂三维设计软件
- Autodesk Revit 建筑三维设计软件
- Autodesk Process Analysis 轻量级仿真软件
- Leica ScanStation P40 三维激光扫描仪

本书分为技术基础篇和应用管理篇两部分：技术基础篇包括数字工厂绪论及体系框架、数字工厂基础平台和数字建模技术 3 章；应用管理篇包括数字工厂项目实践、数字工厂管理规范、数字工厂应用 3 章。

参与本书编写工作的各位作者及贡献如下：尚吉永负责对全书的策划和审定；卢阳光负责对全书的大纲设计和最终汇编，并主要完成了前言、常用术语表和第 1 章的编写；成岩主要负责第 2 章的编写；徐浩主要负责第 3 章的编写；漆书桂主要负责第 4 章的编写；蒋子聪主要负责第 5 章的编写；齐绪强主要负责第 6 章的编写。

本书在编写过程中参考了有关书籍、论文和资料，在此向其作者表示衷心的感谢！

由于作者水平所限，书中难免存在疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

编者

2019 年 3 月



常用术语表

大数据：Big Data，指无法在一定时间范围内用常规软件工具进行捕捉、管理和处理的数据集合，是需要新型模式处理才能获取到更强的决策力、洞察力和流程优化能力的海量、高增长率和多样化的信息资产。

区块链：Block Chain，是分布式数据存储、点对点传输、共识机制、加密算法等计算机技术的新型应用模式。

数据挖掘：Data Mining，从大量的数据中通过算法搜索隐藏于其中信息的过程。

机器学习：Machine Learning（ML），人工智能的科学，对能通过经验自动改进的计算机算法的研究。

物联网：Internet of Things（IoT），物物相连的互联网，是在互联网基础上延伸和扩展的网络，任何物品与物品之间，进行信息交换和通信。

CNKI：China National Knowledge Infrastructure（中国知识基础设施工程），由中国学术期刊电子杂志社、同方知网技术有限公司主办，是基于《中国知识资源总库》的全球最大的中文知识门户网站，亦可解读为“中国知网”。

智能制造：Intelligent Manufacturing（IM），面向产品和工厂的全生命周期的，以云计算、大数据、移动互联网、物联网和数字化等新一代信息技术为基础，配合新型的能源、材料、工艺、装备，通过智能化的感知、人机交互、决策和执行技术，贯穿于产品与工厂设计、制造、管理和服务的全生命周期的各个环节，形成的先进制造过程、系统与模式的总称。

数字化制造：Digital Manufacturing，在数字化技术和制造技术融合的背景下，在虚拟现实、计算机网络、快速原型、数据库和多媒体等支撑技术的支持下，根据用户的需求，迅速收集资源信息，对产品信息、工艺信息和资源信息进行分析、规划和重组，实现对产品设计和功能的仿真以及原型制造，进而快速生产出达到用户要求性能的产品的整个制造全过程。

流程制造：Process Manufacturing，被加工对象不间断地通过生产设备，通过一系列的加工装置使原材料进行化学或物理变化，最终得到产品。

离散制造：Discrete Manufacturing，通过对原材料物理形状的改变、组装，成为产品，生产过程通常被分解成很多加工任务来完成。

信息物理系统：Cyber Physical Systems（CPS），综合计算、网络和物理环境的多维复杂系统，通过计算、通信与控制于一体的有机融合与深度协作，通过人机交互接口实现和物理进程的交互，使用网络化空间以远程、可靠、实时、安全、协作的方式操控物理实体。

数字孪生：Digital Twin，也被翻译为数字双生、数字双胞胎、数字镜像或数字化映射，是在新一代信息技术和制造技术的驱动下，整合了多属性、多维度、多应用可能性的仿真技术。

数字主线：Digital Thread，利用先进建模和仿真工具构建的，覆盖产品全寿命周期与全价值链，从基础材料、设计、工艺、制造以及使用维护等环节，集成并驱动以统一的模型为核心的产品设计、制造和保障的数字化数据流。

MES：Manufacturing Execution System（制造执行系统），位于上层的计划管理系统与底层的工业控制之间的面向车间层的管理信息系统。

ERP：Enterprise Resource Planning（企业资源计划），主要面向制造行业进行物质资源、资金资源和信息资源集成一体化管理的企业信息管理系统。

PLC：Programmable Logic Controller（可编程逻辑控制器），为在工业环境下应用而设计的数字运算操作电子系统，采用一种可编程的存储器，在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令，通过数字式或模拟式的输入/输出来控制各种类型的机械设备或生产过程。

CNC：Computerized Numerical Control（计算机数字控制），计算机数字控制是一种装有程序控制系统的自动化系统，能够逻辑地处理具有控制编码或其他符号指令规定的程序，并将其译码，从而使机床动作并加工零件。

PDM：Product Data Management（产品数据管理），管理所有与产品相关的信息（包括零件信息、配置、文档、CAD 文件、结构、权限信息等）和所有与产品相关的过程（包括过程定义和管理）的技术。

DCS：Distributed Control System（分布式控制系统），由过程控制和过程监控组成，以通信网络为纽带的多级计算机系统，其基本思想是分散控制、集中操作、分级管理、配置灵活以及组态方便。

SCADA：Supervisory Control And Data Acquisition（数据采集与监视控制系统），以计算机为基础的生产过程控制与调度自动化系统，对现场的运行设备进行监视和控制。

计算机辅助工艺过程设计：Computer Aided Process Planning（CAPP），借助计算机软、硬件技术和支撑环境，利用计算机进行数值计算、逻辑判断和推理等功能来制定零件机械加工的工艺过程。

产品生命周期管理：Product Lifecycle Management（PLM_a），支持产品全生命周期信息的创建、管理、分发和应用的一系列应用解决方案，它能够集成与产品相关的人力资源、流程、应用系统和信息。

工厂生命周期管理：Plant Lifecycle Management（PLM_b），对制造业的工厂从概念设计，到规划、详细设计、施工、交付、生产、经营、升级、改造、淘汰的全生命

周期信息和流程进行一体化协同管理的解决方案。

数字化产品定义：Model Based Definition（MBD），使用一个集成化的三维数字化实体模型表达完整的产品定义信息，成为制造过程中的唯一依据。

基于模型的系统工程：Model-Based Systems Engineering（MBSE），建模方法的形式化应用，以使建模方法支持系统要求、设计、分析、验证和确认等活动，这些活动从概念性设计阶段开始，持续贯穿到设计开发以及后来的所有生命周期阶段。

计算机辅助生产工程：Computer Aided Production Engineering（CAPE），把工程（生产）的各个环节有机地组织起来，其关键就是将有关的信息集成，使其产生并存在于工程（产品）的整个生命周期中。

计算机辅助设计：Computer Aided Design（CAD），指利用计算机及其图形设备帮助设计人员进行设计。

计算机辅助制造：Computer Aided Manufacturing（CAM），在制造业中，通过直接或间接的计算机与企业物质资源或人力资源的连接界面，把计算机技术有效地应用于企业的管理、控制和加工操作。

P&ID：Piping & Instrument Diagram（工艺管道仪表流程图），根据工艺流程图的要求，详细地表示该系统的全部设备、仪表、管道、阀门和其他有关公用工程系统的图纸。

HSE：Health，Safety & Environment（健康安全环境管理），将组织实施健康、安全与环境管理的机构、职责、做法、程序、过程和资源等要素构成有机整体，这些要素通过先进、科学、系统的运行模式有机地融合在一起，相互关联、相互作用，形成动态管理体系。

SPF：Smart Plant Foundation，由美国 Intergraph 公司研发的数字工厂基础平台软件。

3D PACT：由美国 Intergraph 公司研发的数字工厂模拟仿真软件。

EDHS：Engineering Data Handover System，由美国 Intergraph 公司研发的数字化交付和接收平台。

SAP：System Applications and Products，由德国思爱普公司研发的企业资源计划管理软件。

BOM：Bill of Material（物料清单），是以数据格式来描述产品结构的文件，是计算机可以识别的产品结构数据文件。

PBS：Plant Breakdown Structure（工厂分解结构），是指根据工艺流程或空间布置，根据一定的分类原则和编码体系，通过树状结构反映工厂的各级分解对象。

EPC：Engineering Procurement Construction（工程总承包），是指公司受业主委托，按照合同约定对工程建设项目的设计、采购、施工、试运行等实行全过程或若干阶段的承包。

EPCCO：由设计（Engineering）、采购（Procurement）、施工（Construction）、完工调试（Completion）和业主运维（Owner Operator）几个环节构成的新建工厂交付全流程的缩写。



目 录

技术基础篇

第 1 章 数字工厂绪论及体系框架 ……003

1.1 数字工厂起源及发展 ……004

1.1.1 数字工厂的背景和内涵 …… 004

1.1.2 狭义数字工厂 …… 005

1.1.3 广义数字工厂 …… 006

1.1.4 智能数字孪生工厂 …… 007

1.1.5 数字工厂的优势 …… 008

1.1.6 流程制造工业数字工厂研究和应用现状 …… 009

1.2 数字工厂的组成 ……012

1.2.1 数字工厂的构成要素 …… 012

1.2.2 数字工厂关键技术 …… 013

1.2.3 数字工厂的结构特征 …… 015

1.3 数字工厂体系标准框架 ……016

1.3.1 工厂分解结构 …… 016

1.3.2 信息编码规则 …… 016

1.3.3 色卡定义 …… 024

1.3.4 种子文件 …… 025

1.3.5 设计图元库 …… 032

1.4 数字工厂模型标准体系 ……038

1.4.1 模型组织管理 …… 038

1.4.2 模型转换标准 …… 039
1.4.3 三维模型深度 …… 041

第 2 章 数字工厂基础平台 …… 047

2.1 技术架构 …… 048
2.1.1 总体架构 …… 048
2.1.2 基本技术路线 …… 048
2.1.3 硬件架构及需求评估 …… 049
2.1.4 数字工厂的信息化管理平台 …… 050
2.1.5 数字工厂应用平台及相关软件 …… 051
2.2 数字工厂管理平台功能 …… 060
2.2.1 工厂信息查询 …… 060
2.2.2 三维模型浏览 …… 061
2.2.3 数字化信息管理 …… 062
2.2.4 工作流程配置 …… 062
2.2.5 输出报表 …… 064
2.2.6 权限管理 …… 064

第 3 章 数字建模技术 …… 067

3.1 概述 …… 068
3.2 智能 P&ID 图纸绘制 …… 069
3.2.1 图例要求 …… 069
3.2.2 绘图方法 …… 070
3.3 三维建模技术 …… 088
3.3.1 设备建模 …… 088
3.3.2 建筑建模 …… 102
3.3.3 结构建模 …… 141
3.3.4 电气建模 …… 148
3.3.5 给排水建模 …… 151
3.3.6 暖通建模 …… 158
3.4 三维逆向建模技术 …… 160
3.4.1 激光扫描标准 …… 160
3.4.2 软件及硬件选用 …… 161
3.4.3 测量控制网布置 …… 162
3.4.4 激光全息扫描方法 …… 163
3.4.5 点云数据的处理 …… 170
3.4.6 逆向建模方法 …… 175
3.4.7 模型的校对修正 …… 186