

ON THE WAY TO "INDUSTRY 4.0"

工业4.0实战

装备制造业数字化之道

西门子工业软件公司 西门子中央研究院 著



机械工业出版社
China Machine Press

工业控制与智能制造丛书

ON THE WAY TO "INDUSTRY 4.0"

工业4.0实战

装备制造业数字化之道

西门子工业软件公司 西门子中央研究院 著



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

工业 4.0 实战：装备制造业数字化之道 / 西门子工业软件公司，西门子中央研究院著. —北京：机械工业出版社，2015.9
(工业控制与智能制造丛书)

ISBN 978-7-111-51535-7

I. 工… II. ①西… ②西… III. 制造业—研究—中国 IV. F426.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 211559 号

工业 4.0 实战：装备制造业数字化之道

出版发行：机械工业出版社（北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码：100037）

责任编辑：王颖 张梦玲

责任校对：董纪丽

印刷：北京诚信伟业印刷有限公司

版次：2015 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

开本：170mm×242mm 1/16

印张：19（含 0.25 印张彩插）

书号：ISBN 978-7-111-51535-7

定价：69.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

客服热线：(010) 88379426 88361066

投稿热线：(010) 88379604

购书热线：(010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱：hzit@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问：北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

本书编委会

主 编 梁乃明
执行主编 方志刚
策 划 张瑞东 林 茜
编 写 方志刚 刘其荣 陈铁锋 邹明政 刘小龙 李作坤
李钊彦 高岩松 胡小康 伍良靖 夏卫华 陆海燕
石银明 安 杰 王新生 赵雄飞
特别感谢 祁 锋 张晓前 周益民
Andy Kwon 张宇婧
张舒怡 温莉芳 王 颖

序 Preface

西门子公司在“愿景 2020”战略指导下，专注于电气化、自动化和数字化三大领域，在“德国工业 4.0”和“中国制造 2025”进程中扮演实施者的角色，同时，西门子自身是一个制造业公司，拥有约 300 家工厂，涉及中国、德国乃至全球范围，在产品 / 工厂全生命周期方面更是精益求精，其中西门子工业自动化产品——德国安贝格 + 中国成都数字化工厂堪称全球样板。许多客户对西门子这一百年制造企业自身如何做到基业常青的经验很有兴趣，为此，



我们于 2012 年年初由大中华区技术负责人方志刚博士牵头编制了《大型装备制造业之道——基于模型的数字化企业》白皮书，受到客户的广泛欢迎，对有关领导和专家在制定企业数字化蓝图和路线图方面起了很好的参考作用，2014 年年初再版，仍然供不应求，但仅限于内部印发。

机械工业出版社是推广普及“工业 4.0”的“急先锋”，在国内率先出版了数本“工业 4.0”方面的普及性图书，其旗下华章公司计算机出版中心总编温莉芳女士独具慧眼，在为社会各界凝聚“工业 4.0”理念、概念、愿景、趋势等方面的广泛共识中发挥了独特作用。由于制造业企业在明确了战略方向之后，需要可靠的、权威的、有一定深度的智能制造落地实施指南，所以华章公司策划了一系列“工业 4.0”、“中国制造 2025”和智能制造落地的图书。西门子数字化工厂集团之工业软件部门的使命是帮制造业企业贯彻实施“西门子数字化企业软件套件”，引领企业迈进“工业 4.0”的历史进程。因此，西门子公司决定出版这本书，分享西门子公司在“工业 4.0”领域的实践经验和关键技术。

西门子公司认为，以互联网、物联网、云计算、大数据、增材制造、新一代机

机器人、人工智能等为代表的突破性技术给全球制造业带来了巨大挑战和机遇，“工业 4.0”为我们描绘了宏大的愿景——实现网络化、智能化、自组织、个性化生产模式，明确了新一轮工业革命的方向，但完全实现“工业 4.0”将是一个长期的进程。

在这一轮工业革命中，众多制造业企业现有的成功产品、业务模式和市场地位可能无法继续，如何在“工业 4.0”个性化大生产时代成功转型，实现生存和发展？一个重要的举措是打造数字化企业，建立产品、工厂、企业的数字化双胞胎，即利用广泛的无缝连接技术，将数字化产品的使用和运行数据持续反馈给产品创新部门，驱动新的创意产生，并提供无限的创意素材。有了伟大的产品设计，还需要高效、高质量、灵活和快速地交付成品，所以必须采取一体化的整体思路，在产品创意设计、生产制造、运行使用等方面实行全面数字化和自动化，这样才能快速实现个性化创新到交付的高速迭代，持续满足客户的个性化多变需求，储备强大的可持续发展的竞争力。

应对这一大转型趋势，西门子公司建议使用“数字化企业软件套件”。在过去 15 年中，西门子公司投资超过 80 亿欧元，通过一系列技术的开发、并购和整合，推出了“数字化企业软件套件”，以帮助企业打造新一代智能创新平台，建设产品全生命周期的“信息高速公路”。我们坚信，专注战略、技术和产品的广度、深度以及丰富的自有资源与合作伙伴资源的西门子公司，能够在协助“工业 4.0”和“中国制造 2025”战略落地这一伟大历史进程中做出应有的贡献。

希望各位读者可从本书中得到有价值的信息，也收获阅读的喜悦！

梁乃明

西门子工业软件大中华区总裁兼董事总经理

2015 年 9 月

致谢 Acknowledgements

智能制造、MBD、MBe、MBE、数字化工厂、数字化企业……是当下制造业数字化的重要课题。西门子不仅是数字化企业解决方案的提供者，也是数字化企业实施的践行者。有“数字化工厂”之称的西门子工业自动化产品成都生产研发基地（简称：SEWC）于2013年9月11日正式投产，它是全球最先进的电子工厂之一，也是西门子在德国之外建立的首家“数字化企业”，实现了从产品设计到制造过程的高度数字化。鉴于近期西门子工业软件在产品组合、战略愿景、实践案例方面又取得一系列重要进展，以及西门子成都数字化工厂的落成投产，西门子工业软件中国团队决定对内部印发的《大型装备制造业数字化之道——基于模型的数字化企业》白皮书进行修订并出版。这个过程中，如下同事贡献了大量业余时间，完成了事无巨细的策划、起草、校对、编辑工作，在此一并表示感谢：

- 技术部的方志刚、刘其荣、陈铁锋、邹明政、刘小龙、李作坤、李钊彦、高岩松、胡小康、伍良靖、夏卫华、石银明、乌蒙、徐洪峰、张晓前、毛军波、安杰、陆海燕。
- 市场部的 Andy Kwon、张宇婧。
- 西门子中央研究院的王新生、赵雄飞。
- 南京易之恒软件技术有限公司的周益民。

欢迎读者反馈意见，可联系邮件 cn.plm@siemens.com。

序
致谢

愿景篇

第1章 “工业4.0”——制造业的未来	3
1.1 第四次工业革命——“工业4.0”	3
1.2 中国制造2025规划	7
1.2.1 中国制造2025的五项重大工程	7
1.2.2 中国制造2025的九大任务	7
1.3 西门子的“工业4.0”最佳实践	8
1.4 西门子助力中国“工业4.0”	9
第2章 从MBD走向MBE	11
2.1 概述	11
2.1.1 基于模型的工程 MBe	13
2.1.2 基于模型的数字化制造 MBM	15
2.1.3 基于模型的维护 MBS	16
2.2 中国企业实施MBD的实践与挑战	20
2.2.1 MBD技术应用状况	20
2.2.2 MBD技术对产品研发模式的影响	23

2.2.3	MBD 实现的挑战与对策	25
2.2.4	MBD 的实施建议	27
2.3	MBD 标准规范及在西门子软件系统中的实现	29
2.3.1	ASME Y14.41 简介	29
2.3.2	ISO-16792 简介	30
2.3.3	GBT 24734-2009 简介	30
2.3.4	基于西门子软件的 MBD 规范	32
2.3.5	基于西门子软件的 MBD 应用系统	33
2.4	西门子 MBE 解决方案综述	43
2.4.1	引言	43
2.4.2	西门子 MBE 解决之道	44
2.4.3	西门子 MBE 解决方案	47
2.4.4	西门子 MBE 解决方案的价值定位	60

方 案 篇

第 3 章	基于模型的系统工程解决方案	65
3.1	业务挑战	65
3.2	解决方案	66
3.3	价值定位	74
第 4 章	基于模型的三维产品设计解决方案	75
4.1	MBD 模型定义的挑战	75
4.2	MBD 模型定义的解决方案	76
4.3	价值体现	88
第 5 章	基于模型的设计分析应用解决方案	90
5.1	设计分析业务挑战	90
5.2	解决方案	90
5.3	价值体现	92

第 6 章 基于模型的机电一体化系统工程解决方案	100
6.1 业务挑战	100
6.2 解决方案	101
6.3 价值定位	106
第 7 章 基于模型的验证管理解决方案	107
7.1 验证管理的业务挑战	107
7.2 解决方案	109
7.2.1 仿真数据流程管理方案概览	110
7.2.2 1D 系统行为模型数据管理方案	111
7.2.3 3D 仿真数据流程管理方案	114
7.2.4 试验数据流程管理方案概览	119
7.3 价值体现	124
第 8 章 基于模型的全生命周期质量管理解决方案	125
8.1 业务挑战	125
8.2 解决方案	126
8.2.1 Tecnomatix VA™	127
8.2.2 NX CMM	130
8.2.3 尺寸规划和验证 DPV	133
8.3 价值体现	136
第 9 章 基于模型的工装设计解决方案	138
9.1 业务挑战	138
9.2 解决方案	139
9.2.1 愿景目标	139
9.2.2 系统构架	140
9.2.3 应用场景	149
9.3 价值体现	151

第 10 章 基于模型的零件工艺解决方案	152
10.1 业务挑战	152
10.2 解决方案	153
10.3 价值定位	160
第 11 章 基于模型的装配工艺解决方案	162
11.1 业务挑战	162
11.2 解决方案	163
11.3 价值定位	170
第 12 章 基于模型的数字化制造——质量检测解决方案	172
12.1 业务挑战	172
12.2 解决方案	173
12.3 价值体现	178
第 13 章 基于模型的作业指导书解决方案	179
13.1 业务挑战	179
13.2 解决方案	180
13.3 价值体现	183
第 14 章 基于模型的制造执行管理	185
14.1 业务挑战	185
14.2 解决方案	186
14.3 价值体现	196
第 15 章 基于模型的实物样机测试——集成的振动噪声及疲劳 耐久性解决方案	197
15.1 业务挑战	197
15.2 解决方案	197
15.3 应用领域	201
15.4 价值体现	202

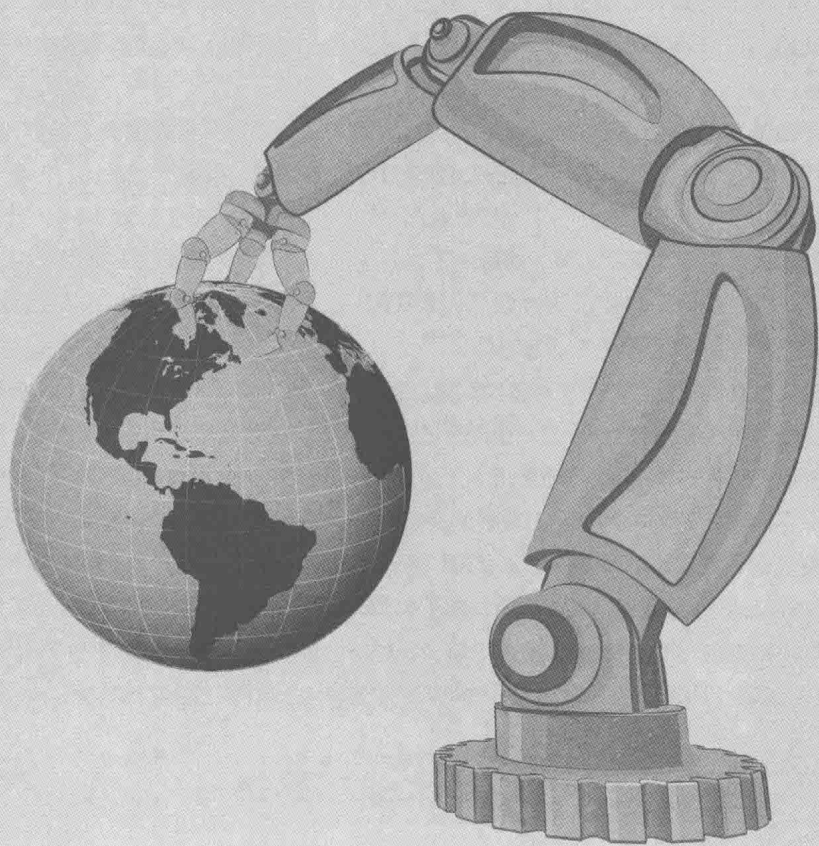
第 16 章 基于模型的 MBE 供应链管理	204
16.1 业务挑战	204
16.2 解决方案	204
16.3 价值体现	211
第 17 章 基于模型的 MBE 数字化服务管理	212
17.1 业务挑战	212
17.2 解决方案	212
17.3 价值体现	217
第 18 章 复杂产品的构型管理解决方案	218
18.1 构型管理概述	218
18.1.1 构型管理的发展史	218
18.1.2 构型管理的名词和性质	219
18.1.3 构型管理与其他系统的管理	219
18.1.4 构型管理的研究主题	219
18.2 解决方案：业务流程和构型管理方法	220
18.2.1 构型管理业务组成	220
18.2.2 产品结构的建立和层级的划分	221
18.2.3 产品结构的设计原则	222
18.2.4 构型项的定义	222
18.2.5 有效性和构型管理	223
18.2.6 变更管理	224
18.2.7 产品结构的演变	224
18.3 解决方案：构型在 Teamcenter 系统中的实现	225
18.3.1 真正的全生命周期平台	226
18.3.2 最佳的产品配置器	226
18.3.3 符合 CMII 的更改管理	228
18.3.4 端到端的关联与追溯	229
18.3.5 MBD 模型的单一数据源	230
18.4 效益	231

实 践 篇

案例一	西门子 EWA 数字化工厂	235
案例二	中国燃气涡轮研究院：动力源于内在数据有效管理	241
案例三	黎明公司的新产品开发引入了精益计划	244
案例四	BAE：加快英国陆军野战队急需的功能强化和紧急变更	247
案例五	Teamcenter 助力奇瑞获取更大市场份额	251
案例六	海尔集团借助 Teamcenter 加快创新步伐	254
案例七	沃尔沃航空发动机公司利用 NX 知识驱动自动化技术 打造产品优势	257
案例八	ATK 通过标准化的 PLM 战略推进 MBE 能力建设	259
案例九	皮拉图斯飞机有限公司利用 MBD 技术实现并行工程	264
案例十	苏霍伊设计局基于 Teamcenter/NX 实现全面的 数字化样机研发模式	266
案例十一	BSH 公司 PLM 应用实践	270
案例十二	福特汽车公司利用 Teamcenter 仿真过程管理快速取得成效 ...	277
缩略语	284

成就创新
引领卓越

愿景篇



NX

NX 是西门子工业软件公司提供的计算机辅助设计、分析、制造一体化数字化研发解决方案，是业界唯一能够处理产品开发过程中各个方面问题的一体化解决方案，从概念构思直至制造的所有环节，包括工业造型设计、包装设计、机械设计、机电设计、机械仿真、机电仿真、工装夹具和模具、机械加工、工程流程管理等，NX 提供了完整集成的流程自动化工具套件，从而使整个产品开发流程发生质的变革。

NX 最新版本构建在西门子的全息 PLM 技术框架之上，提供可视程度更高的信息、分析，从而改善协同和决策过程，提高整个产品开发过程中的生产效率，借助用于设计、仿真、制造的最新工具与扩展功能，可帮助用户开发出更具创新性的产品，大大提升生产效率。

NX 可提高设计效率。借助 NX 中的最新工具和改进的工具，可提高生产效率并加快设计过程，除扩大了全息三维（HD3D）支持范围以实现更出色的设计、决策以外，NX 还提供了功能更强大、更高效的建模、制图、验证等工具。

NX 可提高仿真效率。可将用于准备和解算分析模型的时间缩短 70%。借助 NX 仿真，可以快速构建、更新和仿真分析模型，做出更明智的工程决策，从而更快速地提供更好的产品。NX CAE 提供了用于优化和多物理场分析的最新解决方案，以及用于分析复杂装配模型的最新方法。NX Nastran 包括对非线性分析和动态分析的多项改进，并且提供了计算性能和建模易用性。

NX 可提高制造效率。通过机床和工装设计方面的最新功能或扩展功能，NX 将两个重要行业部门的零件制造效率提高到了新的水平。对于机床，NX 提供了适用于机床的重型设备零件生产并且经过优化的 NC 编程功能，NX 在工装设计领域的最新发展将设计自动化与基于 CAE 的验证工具结合起来，可帮助企业实现“一次即成功”的设计并赢得更多高价值项目。

“工业 4.0”——制造业的未来

1.1 第四次工业革命——“工业 4.0”

随着制造业再次成为全球经济稳定发展的驱动力，世界各主要工业国家都加快了工业发展的步伐：从美国的“制造业复兴”计划到德国的“工业 4.0”战略，再到中国的“十二五”发展规划，制造业正逐步成为各国经济发展的重中之重，引领未来制造业的方向也成为制造业强国竞争的一个战略制高点。

两个多世纪以前，蒸汽机的发明带来的第一次工业革命开启了农业社会向工业社会的转变。20 世纪初期，随着电力的应用、劳动分工和大规模生产的出现，拉开了第二次工业革命的大幕。20 世纪 70 年代后，随着自动化技术的出现，开创了第三次工业革命。前三次工业革命源于生产的机械化、电气化和信息化改造。当前，随着信息物理系统（Cyber-physical System，简称 CPS）在制造业中的推广应用，正在引发第四次工业革命。“工业 4.0”概念就是以数字制造为核心的第四次工业革命，工业革命的历史如图 1-1 所示。

“工业 4.0”首先是由德国工程院、西门子公司等产学研界领袖联合提出的，被德国政府确定为《高技术战略 2020》十大未来项目之一，旨在支持工业领域新一代革命性技术的研发与创新，在 2013 年 4 月的汉诺威工业博览会上正式推出，并于 2013 年 9 月在上海工博会上推介给中国市场。该战略已经得到德国科研机构 and 产业界的广泛认同，西门子公司也已经开始将这一概念引入其工业软件开发和生产控制系统中。

提高生产力、缩短产品上市时间、采取更灵活的生产模式以及提高资源和能源利用效率，是全球工业面临的挑战，也是“工业 4.0”提出的未来制造业的目标。

为了实现这种先进的生产模式，需要融合现实生产和虚拟生产的技术，基于大数据、互联网、人，通过数字化工程、数字化制造等各种信息技术实现柔性制造，经济高效地满足客户个性化的定制需求。未来工厂的智能化程度将很高，这种智能将通过使用微型化处理器、存储装置、传感器和发送器来实现，这些装置将被嵌入几乎所有的设备、半成品和材料以及用于组织数据流的智能工具和新型软件中。所有这些创新将使产品和设备能够相互通信并交换命令。未来的工厂将在很大程度上自行控制和优化其制造工序，实现智能制造。

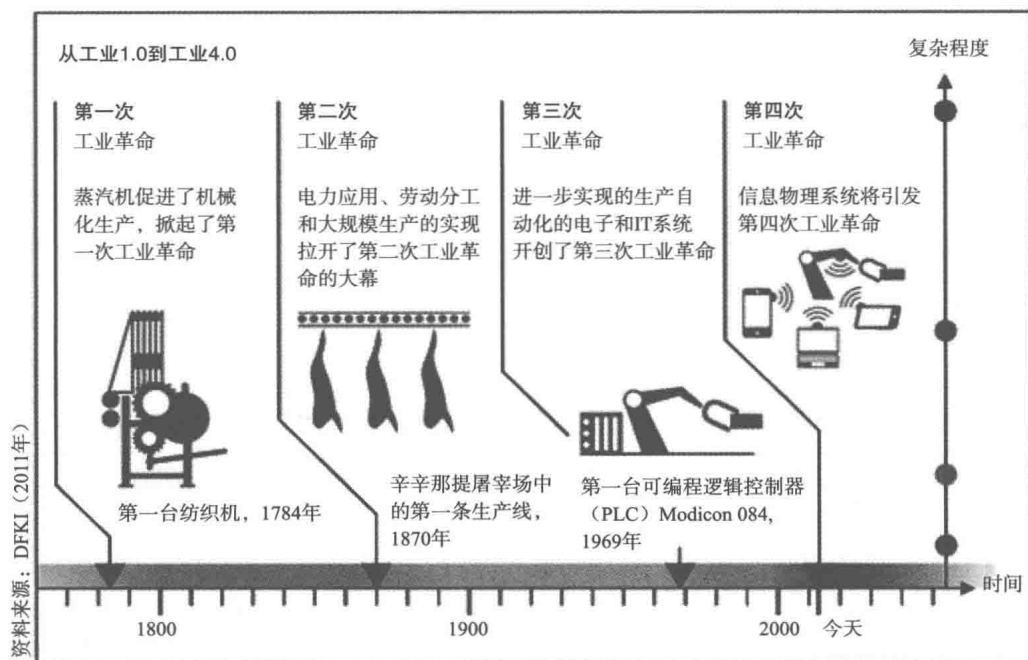


图 1-1 工业革命的历史

这一切的变化都将通过信息物理系统实现。随着虚拟世界生成的信息流向实际物理世界的制造过程，全新的生产环境由此诞生。工业 4.0 带来的智能将人从执行例行任务中解放出来，使得他们能够专注于创新、增值的活动。工业 4.0 的标志性特征有如下三点。

- 通过价值链和价值网络实现企业间的**横向集成**。在工业 4.0 环境下，企业通过 CPS 系统，可以保障新商业策略、价值网络和商业模式得到持续的支持和实施。横向集成是指将各种企业内和企业间的商业运营 IT 系统集成在一起，实现**全供应链的集成**（见图 1-2）。
- 贯穿整个价值链的端到端的设计工程**数字化集成**。CPS 系统使得产品的开发、制造及服务可以实时地在虚拟世界进行仿真研究，并控制现实的制造