

THEORY AND PRACTICE OF
INTELLIGENT PLANT CONSTRUCTION IN
DEFENSE INDUSTRY

军工智能工厂 建设的理论与实践

周 华 编著

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

军工智能工厂建设的理论与实践

周 华 编著

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

军工智能工厂建设的理论与实践/周华编著. —北京: 北京理工大学出版社, 2020. 4

ISBN 978 - 7 - 5682 - 8228 - 4

I. ①军… II. ①周… III. ①军工厂 - 智能制造系统 - 研究 - 中国 IV. ①F426. 48

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2020) 第 038420 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 保定市中华美凯印刷有限公司

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 20

责任编辑 / 时京京

字 数 / 310 千字

文案编辑 / 时京京

版 次 / 2020 年 4 月第 1 版 2020 年 4 月第 1 次印刷

责任校对 / 周瑞红

定 价 / 86.00 元

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

国家国防科技工业局军工 项目审核中心简介

国家国防科技工业局军工项目审核中心（以下简称中心）是 2005 年经中央机构编制委员会办公室批准成立，直属国家国防科技工业局的事业单位，主要承担国防科技工业发展战略研究、行业规划论证、产业政策研究、科研和建设项目咨询评估及审计检查任务。中心已通过 ISO9001 标准的质量管理体系认证，具有国家工程咨询甲级资质、武器装备科研生产二级保密资质。中心编制 70 人，现拥有硕士以上学历人员占 58%，高级职称人员占 41%，其中，研究员 7 人。

中心致力于建设成为国防科技工业领域“政府决策的智库、依法行政的载体、改进工作的桥梁、能力建设的依托”。自成立以来，中心形成了研究部门以政策性宏观研究为主，业务部门以专业领域研究为主，宏观研究与业务研究互为补充的研究工作格局。中心围绕军工核心能力建设、国防科技创新、军民融合、国际合作与军贸、国防科技工业改革与发展，以及军工项目全过程管理等领域，完成各类专题研究 100 余项，课题来源包括有关部委重大问题研究、专题规划、政策研究及国防科研技术基础项目等。



国防科技工业是国家战略性产业，也是国家先进制造业的代表。我国国防科技工业经过 70 年的建设，主要依靠自己的力量，走出了一条“从无到有、从小到大”自主发展的道路，取得了举世瞩目的成就，已跻身于世界军工大国行列。但是，我们必须深刻地认识到，我国还不是一个军工强国，军工制造大而不强的事实客观存在。

如何实现军工大国向军工强国迈进，习近平总书记指出，“要以智能制造为主攻方向，推动产业技术改革和优化升级，推动制造业产业模式和企业形态根本性转变”。总书记的重要指示为国防科技工业由大变强指明了方向和道路。智能制造作为新一代人工智能技术与先进制造技术的深度融合产物，成为新一轮工业革命的核心驱动力，为国防科技工业跨越发展提供了历史性机遇。未来十五年，正是新一轮工业革命核心技术智能制造发展的关键时期，国防科技工业应紧紧抓住这一千载难逢的历史机遇，按照自主创新、重点突破、支撑发展、引领未来的思路，实现我国国防科技工业换道超车、跨越发展。

本书结合我国军工行业的特点和难点，较为系统地介绍了军工制造和智能制造的关系，并对军工制造面向数字化、网络化、智能化制造的发展路径进行了较为深入的探索研究。

本书取材既考虑了学术性，又突出了实用性。书中按照军工项目建设管理模式，对智能工厂建设方案设计、建设的重点及难点进行了系统分析，并列举了诸多实例，介绍了军工行业在智能制造方面取得的成果和经验，对于军工企业建设智能工厂，具有较强的借鉴、指导作用。

中国工程院院士 



前言

随着云计算、物联网和大数据为代表的新一代信息通信技术与先进制造技术的融合创新发展，全球兴起了以智能制造为核心的新一轮产业变革，智能制造正促使我国制造业发生巨大变化。国防科技工业是国家安全和国防建设的脊梁，是国家制造业的重要组成部分。当前，我国国防科技工业正处在由大变强的重要时期，抓住了智能制造，就抓住了国防科技工业实现跨越式发展的核心支撑和关键驱动，就有望在新一轮军事变革中抢占制高点，重塑国防科技工业竞争新优势。

当前，世界主要军事强国都把智能制造作为实现军工企业和国防工业核心能力转型升级的发展重点，并从战略层面出台了一系列政策措施，推动智能制造技术在国防工业领域的发展和应用。比如，美国为实施“国家制造创新网络”计划，组建了由国防部牵头、以智能制造关键技术研发推广为主攻方向的制造创新机构，既服务武器装备建设需求，又引领全国智能制造发展，国防工业成为美国国家智能制造发展的领跑者。俄罗斯按照国家计划“数字化技术”战略部署，牵引俄航空工业稳步推进数字工厂建设，同时推动俄联合发动机制造集团旗下土星公司启动智能工厂计划，全面推进研发、生产、运营等各环节数字化改造。德国发布《德国建设数字化战略》，为德国国防工业加强数字化能力、基础设施、转型创新等建设提供发展目标。与此同时，英国、法国、日本、韩国等都相继推出了各自的制造业智能制造计划，以期实现军工企业和国防工业核心能力的转型升级。2015年，我国发布了《中国制造2025》纲要，这是中国促进制造业向中高端迈进、实现制造强国的整体谋划。相关部门以此推出了智能制造

试点示范专项行动计划，在各行业大力推进数字化、网络化、智能化改造，引导行业循序渐进推进智能制造。

“十一五”以来，国防科技工业加强了军工行业信息化发展的统筹规划，开展了数字化生产线、管理信息化等方面的建设，推动了军工核心能力升级，有效保障了军工任务的完成，为形成数字化、智能化的军工科研、生产和管理体系奠定了基础。2015年以来，航天、航空、船舶、电子等行业部分军工企业在工业和信息化部“智能制造试点示范专项行动”的牵引下，积极开展智能工厂建设，并取得了一定的成效。2018年，国家国防科技工业局公开发布了《国防科技工业强基工程军工智能制造专项行动计划项目指南》，旨在充分调动全社会优势力量资源参与军工智能制造科研任务，提升国防科技工业核心制造能力。

国防科技工业行业智能制造是一项复杂的系统工程，牵涉的专业面广、内容多。本书以军工企业的智能工厂建设为主要切入点，采用基本理论与实践案例相结合的方式，分析如何在国防科技工业领域推动智能制造发展的问题。

本书共分为三篇，分别为理论篇、发展篇、实践篇。书中介绍了智能制造与军工制造的关系，以及智能制造在军工制造领域的应用情况；分析了数字化工厂、数字互联工厂和智能工厂建设的参考模型、体系架构及实现方案；介绍了美国、欧洲、日本等国军工企业开展智能工厂建设的情况，并对我国军工行业开展智能工厂建设的必要性、重要性、政策环境和建设思路等进行分析。实践篇结合我国军工项目建设特点，初步阐述了军工智能工厂的建设内容；并以虚拟设计、智能装备/生产线、工厂物联网、智能生产管控平台、工业大数据应用、工厂网络与数据安全、生产工艺流程及组织管理优化等为建设重点，分析了军工智能工厂建设需要解决的要素。最后，对典型军工企业前期开展智能工厂建设的情况进行了梳理分析，初步归纳一些具体做法和经验。

本书编写的目的，旨在持续推进军工制造数字化、网络化和智能化的发展，可为政府部门、军工企业、科研院所和智能制造产品供应服务商中从事政策制定、项目管理、工程技术、决策咨询的人员提供借鉴和参考。

本书编写得到了国家国防科技工业局军工项目审核中心领导和同事们的大力支持；在成稿过程中，还受到了业内众多智能制造专家的指点，得到了中国航天科工三院有关领导的帮助，对此一并致以最诚挚的谢意。同

时，感谢北京理工大学出版社为本书出版付出的辛勤工作。

本书还参考了国内外各种文献资料，为此，对被本书参考及引用文献的作者的工作成就表示敬意。

由于智能制造和智能工厂建设尚处于实践和发展中，同时，受时间和水平的限制，书中难免存在疏漏和不足，恳请读者给予批评与指正。

周 华



目录

◎理论篇

第1章 智能制造与军工制造 / 003

1.1 智能制造概述 / 003

- 1.1.1 智能制造的内涵 / 003
- 1.1.2 智能制造的特征 / 005
- 1.1.3 我国发展智能制造的背景 / 008
- 1.1.4 智能制造与传统制造 / 009
- 1.1.5 实施智能制造的目标 / 010
- 1.1.6 智能制造系统 / 011
- 1.1.7 智能制造技术及其发展趋势 / 013
- 1.1.8 智能制造的实现方案 / 015
- 1.1.9 智能制造的实施要点 / 017

1.2 智能制造技术在军工制造领域的应用 / 019

- 1.2.1 军工制造的概念 / 019
- 1.2.2 军工制造技术与先进制造技术 / 019
- 1.2.3 军工信息化建设与智能制造 / 025
- 1.2.4 智能制造技术对军工制造的促进作用 / 029
- 1.2.5 智能制造在国外军工制造领域的应用 / 030
- 1.2.6 智能制造在我国军工制造领域的应用现状及问题 / 038
- 1.2.7 小结 / 040

第2章 智能工厂建设基本理论 / 043

2.1 数字化工厂概述 / 044

- 2.1.1 数字化工厂的概念 / 044
- 2.1.2 数字化工厂的结构模型 / 046
- 2.1.3 数字化工厂的核心要素 / 046
- 2.1.4 数字化工厂转型路径 / 048
- 2.1.5 数字化工厂与自动化工厂 / 051

2.2 数字互联工厂概述 / 052

- 2.2.1 数字互联工厂的内涵 / 052
- 2.2.2 数字互联工厂的实现方式 / 054
- 2.2.3 数字互联工厂的网络架构 / 055

2.3 智能工厂的概述 / 056

- 2.3.1 智能工厂的内涵 / 056
- 2.3.2 智能工厂的特征 / 057
- 2.3.3 智能工厂的作用 / 060
- 2.3.4 智能工厂的关键技术 / 060
- 2.3.5 智能工厂的基本架构 / 061
- 2.3.6 智能工厂的建设模式 / 065
- 2.3.7 智能工厂的建设重点 / 067
- 2.3.8 智能工厂与传统工厂 / 069
- 2.3.9 智能工厂与数字化工厂 / 071
- 2.3.10 智能工厂与数字化车间 / 071

◎ 发展篇

第3章 国外军工智能工厂发展及启示 / 075

3.1 美国军工智能工厂的发展 / 075

- 3.1.1 通用电气公司 / 076
- 3.1.2 雷神公司 / 079
- 3.1.3 纽波特纽斯造船厂 / 082
- 3.1.4 洛克希德·马丁公司 / 084

3.2	欧洲军工智能工厂的发展 / 085
3.2.1	西门子公司安贝格工厂 / 085
3.2.2	空中客车公司 / 097
3.2.3	空中客车防务与航天公司 / 103
3.3	日本智能工厂的发展 / 105
3.3.1	山崎马扎克公司 / 108
3.3.2	牧野机床公司 / 117
3.3.3	三菱电机公司 / 120
第4章	我国军工智能工厂的发展情况 / 127
4.1	军工智能工厂建设的必要性 / 127
4.1.1	开展军工智能工厂建设的重要意义 / 127
4.1.2	当前军工智能工厂建设面临的问题 / 128
4.2	军工智能工厂建设的政策环境 / 131
4.2.1	智能制造政策 / 131
4.2.2	大数据政策 / 135
4.2.3	“互联网+”政策 / 136
4.2.4	物联网政策 / 137
4.2.5	工业互联网政策 / 138
4.3	军工智能工厂建设的思路建议 / 139
4.3.1	军工智能工厂特征及建设难点 / 139
4.3.2	国内外智能工厂建设思路分析 / 140
4.3.3	军工智能工厂建设的总体思路 / 141

◎ 实践篇

第5章	军工智能工厂的建设方案 / 147
5.1	方案设计流程 / 147
5.2	军工企业数字化水平现状评估 / 150
5.2.1	宏观评估 / 150
5.2.2	微观评估 / 156
5.3	需求分析 / 166

5.3.1 企业的发展战略是需求分析的总输入/166

5.3.2 军工核心能力是需求分析的落脚点/167

5.4 实施方案/168

5.4.1 建设原则/168

5.4.2 建设目标/169

5.4.3 总体框架/169

5.4.4 建设规划/178

第6章 军工智能工厂的建设重点/184

6.1 智能设计仿真平台建设/184

6.1.1 研发设计仿真的演进历程/185

6.1.2 基于MBD的设计仿真平台/187

6.1.3 基于MBE的设计仿真平台/191

6.1.4 产品全生命周期管理(PLM)系统建设/203

6.1.5 知识库和专家系统的设计/210

6.2 智能装备/生产线建设/221

6.2.1 智能装备的建设内容/221

6.2.2 智能生产线的建设规划/224

6.3 智能工厂物联网环境建设/231

6.3.1 工业物联网在智能工厂中的定位/231

6.3.2 智能工厂对物联网环境的要求/233

6.3.3 物联网环境建设的核心问题/233

6.3.4 工业物联网的体系结构/234

6.3.5 智能工厂的物联网平台搭建/235

6.4 智能生产管控平台建设/236

6.4.1 总体框架/237

6.4.2 智能装备与控制系统/238

6.4.3 智能仓储和物流系统/241

6.4.4 智能制造执行系统/244

6.5 工业大数据应用平台建设/251

6.5.1 大数据催生军工科研生产大变革/251


6.5.2 军工大数据特征/256

6.5.3 军工大数据管理和应用面临问题/256

6.5.4	军工大数据应用平台建设/259
6.6	工厂网络与数据安全平台建设/262
6.6.1	智能工厂网络与数据安全防护需求/262
6.6.2	智能工厂网络与数据安全体系架构/262
6.6.3	智能工厂的整体安全/263
6.6.4	智能工厂的内部安全/265
6.6.5	智能工厂的接口安全/266
6.7	生产工艺流程及组织管理优化/267
6.7.1	智能工厂背景下的工艺改进/267
6.7.2	智能工厂背景下的组织优化/270
6.7.3	智能工厂背景下的管理变革/271
第7章	军工智能工厂的实施案例/275
7.1	工信部智能制造试点示范专项概况/275
7.1.1	背景情况/275
7.1.2	军工行业参与试点示范的情况/277
7.2	军工智能工厂的实施案例/278
7.2.1	运载火箭筒体壳段数字化装配生产线/278
7.2.2	基于MBD的小卫星数字化设计方案/281
7.2.3	旋翼系统制造智能工厂建设方案/284
7.2.4	航空智能生产管控中心建设方案/290
7.2.5	基于MBE的数字化仿真设计方案/294
7.2.6	武汉船用智能生产线建设方案/297
7.2.7	沪东中华智能生产线/车间建设/299
	参考文献/301



理 论 篇



第1章 智能制造与军工制造

《中国制造2025》是中国推动传统制造业转型升级、应对新技术革命和实现高端化跨越发展的整体谋划。智能制造是中国传统制造实现转型发展和跨越发展的最佳途径。通过智能制造能够带动和提高国民经济各产业发展水平。其中，数字化、网络化、智能化是智能制造的主攻方向。

国防科技工业是国家战略性产业，是国家制造业的重要组成部分，也是工业4.0的决胜之地。武器装备科研生产多为复杂产品，一般为多厂所协同设计制造，需要具有快速反应、多品种小批量生产、全生命周期支持等多方面的能力，充分体现了一个国家工业化的基础能力和管理水平，处于中国工业4.0发展的核心地位。国防科技工业要在“中国制造2025”战略中发挥优势作用，大力发展智能制造技术，集智攻关、重点突破，实现军工大国向军工强国转变。

军工智能制造是实现军工强国的重要举措。加快推进军工智能制造，是促进国防科技工业转型升级、推动国防科技工业供给侧结构性改革的重要着力点，对重塑国防科技工业竞争新优势具有重要意义。智能生产是智能制造的主线，而智能工厂是智能生产的主要载体，开展军工智能工厂建设是实现军工智能制造的重要基础。

1.1 智能制造概述

1.1.1 智能制造的内涵

智能制造起源于20世纪80年代人工智能在制造业领域中的应用，发展于20世纪90年代智能制造技术和智能制造系统的提出，成熟于21世纪基于信息技术的“Intelligent Manufacturing（智能制造）”的发展。对于智能制造的定义，目前国内外尚未形成统一的、明确的说法。

(1) 美国。

2011年6月，美国智能制造领导联盟（SMLC）在《实施21世纪智能

制造》报告对智能制造的定义是，智能制造是先进智能系统强化应用、新产品快速制造、产品需求动态响应，以及工业生产和供应链网络实时优化的制造；其核心技术是网络传感器、数据互操作性、多尺度动态建模与仿真、智能自动化以及可扩展的多层次的网络安全。智能制造企业将融合所有方面的制造，从工厂运营到供应链，并且使得对固定资产、过程和资源的虚拟追踪横跨整个产品的生命周期，结果是在一个柔性的、敏捷的、创新的制造环境中，优化性能和效率，并且使业务与制造过程有效地串联起来。

2014年12月，美国政府建立了国家制造创新网络中的第8个创新机构，即“智能制造创新研究院”，该研究院由能源部牵头组织建设。能源部对智能制造下的定义是，智能制造是先进传感、仪器、监测、控制和过程优化的技术和实践的组合作，它们将信息和通信技术与制造环境融合在一起，实现工厂和企业中能量、生产率、成本的实时管理。智能制造需要实现的目标有4个，即产品智能化、生产自动化、信息流和物资流合一、价值链同步。

(2) 欧洲。

2013年，德国在汉诺威工业博览会上正式推出的“工业4.0”战略，是欧洲各国的智能制造发展战略中最为典型和完善的发展计划。德国学术界和产业界认为，本质上工业4.0概念是以智能制造为主导的第四次工业革命，其内涵主要有以下两点。

一是数字化、智能化、人性化、绿色化。产品的大批量生产，已不能满足客户个性化定制的需求。要想使单件小批量生产能够达到大批量生产同样的效率和成本，需要构建可以生产高精密、高质量、个性化智能产品的智能工厂。

二是分散网络化和信息物理的深度融合，由集中式控制模式向分散式增强型控制模式转变。其目标是建立一个高度灵活的个性化、数字化产品与服务的生产模式。在这种模式中，传统行业界限将消失，并会产生各种新的活动领域和合作形式，即创造新价值的过程正在发生改变，产业链分工将被重组。

(3) 中国。

2015年，工信部在其公布的《2015年智能制造试点示范专项行动实施方案》中，对智能制造做了一个比较全面的描述。即智能制造是基于新