

普通高等教育智能制造系列教材

智能工厂 技术基础

刘业峰 赵元 / 主编

普通高等教育智能制造系列教材

智能工厂技术基础

主 编 刘业峰 赵 元
副主编 穆德敏 田林琳 教传艳
参 编 钱凤来 鲍君善
主 审 李康举 公丕国

内 容 简 介

移动互联网、大数据、人工智能等新一代信息技术与制造业深度融合，孕育了智能制造的新理念。本书以智能制造理念为起点，讲述了新一代信息技术对传统制造企业的渗透、支持、冲击与融合，给制造业带来的挑战和机遇以及制造模式的变革和制造系统的发展；探讨了智能工厂的设计通则、智能工厂的总体架构、智能工厂的车间管控系统、智能工厂的车间仓储物流系统、智能工厂的车间柔性自动化系统、智能工厂的车间网络与通信系统以及智能工厂的实施。

本书可作为自动化、机械、计算机、管理工程相关专业高年级本科生和研究生的选修课教材，也可供相应领域的管理人员和技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

智能工厂技术基础/刘业峰, 赵元主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2020. 4
ISBN 978 - 7 - 5682 - 8392 - 2

I. ①智… II. ①刘… ②赵… III. ①智能制造系统 - 制造业 IV. ①F407. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2020) 第 065730 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 / 涿州市新华印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 12.25

字 数 / 288 千字

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

定 价 / 40.00 元

责任编辑 / 钟 博

文案编辑 / 毛慧佳

责任校对 / 刘亚男

责任印制 / 李志强

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

前 言

智能工厂技术已经在机械制造、医疗、汽车、家电等行业具有相应的示范点。随着“中国制造 2025”的稳步推进，智能制造在各个方面取得了重大进展。作为普通高等学校理工科学生，了解和掌握智能工厂技术的基础知识是非常必要的。目前，很多高校设置了与智能工厂技术相关的专业基础课、专业选修课以及公共选修课，以扩展学生的知识面并提高技术基础。本书就是为上述课程的开设而编写的，参考学时为 48 学时。

本书作为智能工厂相关技术的入门教材，主要阅读对象是智能制造领域的初学者和希望快速了解智能工厂技术全貌的工程技术人员。本书可以使读者初步了解智能工厂的基本知识、关键技术和典型行业应用，帮助读者建立智能工厂技术的宏观概念和基本框架，进而对智能工厂技术产生兴趣；同时，为后续智能制造工程领域的学习、设计、开发和应用奠定前期基础。

本书共 8 章。第 1 章“智能制造的机遇与挑战”，简要介绍了中国制造业的现状、世界制造业的新模式、智能制造的未来发展趋势。第 2 章“智能工厂的设计通则”，介绍了智能工厂的定义，智能工厂设计的关键技术、总体设计流程、功能划分、建设的难点。第 3 章“智能工厂的总体架构”，简要介绍了智能制造的定义和特征、智能工厂的参考模型及总体架构。第 4 章“智能工厂的制造执行系统”，主要介绍了制造执行系统的基本知识、功能划分、设计原则以及制造执行系统的实现过程。第 5 章“智能工厂的仓储物流系统”，重点介绍了仓储物流系统的基本知识、功能划分、设计原则以及仓储物流系统的实现技术。第 6 章“智能工厂的柔性自动化系统”，重点介绍了柔性自动化系统的基本知识、功能划分、设计原则、实现技术以及柔性制造技术的发展趋势。第 7 章“智能工厂的网络与通信系统”，重点介绍了网络与通信系统的基本知识、功能划分、设计原则、实现技术，以及网络设计实例。第 8 章“智能工厂实施”，重点介绍了智能工厂实施的基本知识，智能工厂的实施方法、实施步骤，详细地介绍了智能工厂应用实例，以加强读者对智能工厂技术的掌握。

本书具有如下特色：

(1) 便于初学者学习。

本书针对专业基础课、专业选修课以及公共选修课的教学特点，避开深奥的理论和技術，以通俗易懂的语言、生动有趣的图片和贴近工厂的实例讲述智能工厂的相关技术，易学易教。

(2) 知识直观化。

图文结合是讲述知识的有效方式。本书采用大量的实物照片、近实物图片和三维造型图，有助于学生轻松理解和掌握相关知识和技术。本书还选用工厂的实际图片及加工案例，

有效避免了学生专业知识的局限性，便于其对知识和技术进行学习和体会。

(3) 对智能工厂技术进行浓缩。

本书基于沈阳工学院智能制造实验教学示范中心的三条柔性自动化生产线、智能仓储车间和柔性车间管控系统，将智能工厂的相关技术基础与理论结合具体实践形成完整的授课教材，实现理实一体化教学方式。

(4) 案例为行业经典，内容翔实。

本书所采用的案例来源于各行业典型用户，它们是“中国制造 2025”的示范企业，其案例属于智能工厂建设方面层次清晰、两化融合的经典，且图片资料丰富，对于未来从事智能制造领域工作的学生具有指导意义。

本书的编写分工如下：第 1 章、第 6 章、第 7 章由沈阳工学院刘业峰、沈阳新松机器人自动化股份有限公司鲍君善编写；第 2 章由沈阳工学院教传艳编写；第 3 章和第 4 章由沈阳工学院田林琳编写；第 5 章和第 8 章由沈阳工学院赵元、穆德敏、沈阳机床股份有限公司钱凤来编写。

本书承沈阳机床股份有限公司刘春时，东北大学付俊，沈阳特创机械设备科技有限公司王旭，沈阳工学院李康举、公丕国精心审阅，他们提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

编者在本书的编写过程参考了国内外部分教材、手册、期刊以及网络上的相关内容，并得到编写单位很多教师和学生的热情帮助，在此表示诚挚的谢意！对于书中存在的缺点与不足，敬请读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 智能制造的机遇与挑战	1
1.1 中国制造业的现状	1
1.1.1 什么是智能制造	2
1.1.2 “中国智造”背后的国家意志与现实需求	2
1.1.3 企业书写的变革故事	3
1.1.4 智能制造平台之争	4
1.1.5 海尔“智造”：个性化定制的规模化生产	4
1.1.6 用户定制背后的“人单合一”	5
1.1.7 互联工厂：不是工厂是生态	6
1.1.8 互联工厂的优势	6
1.2 21 世纪制造业的新模式	8
1.2.1 21 世纪制造业的新模式概述	8
1.2.2 德国“工业 4.0”	12
1.2.3 美国工业互联网	14
1.2.4 中国制造 2025	16
1.2.5 机械加工行业现状	19
1.3 智能制造的未来发展趋势	22
1.3.1 强化“中国制造”的综合竞争力	23
1.3.2 智能化升级仍面临挑战	24
1.3.3 向全球价值链高端攀升	25
第 2 章 智能工厂的设计通则	26
2.1 智能工厂的定义	26
2.2 智能工厂的关键技术	27
2.2.1 机器人技术	27
2.2.2 在线刀具管理技术	29
2.2.3 专家系统开发技术	30
2.2.4 企业信息总线构建技术	33
2.2.5 制造云构建技术	34
2.2.6 大数据技术	37
2.2.7 工业信息安全技术	39

2.2.8 虚拟制造技术	42
2.3 智能工厂的总体设计流程	44
2.4 智能工厂功能划分	50
2.5 智能工厂建设的难点	52
2.5.1 智能工厂建设的问题与误区	52
2.5.2 智能工厂建设完善的特征	54
第3章 智能工厂的总体架构	56
3.1 智能制造的定义和特征	56
3.1.1 智能制造的定义	56
3.1.2 智能制造的特征	58
3.2 智能工厂的参考模型	59
3.3 智能工厂的总体架构	63
第4章 智能工厂的制造执行系统	67
4.1 初识制造执行系统	67
4.1.1 来源	67
4.1.2 发展趋势	68
4.2 制造执行系统的功能划分	68
4.3 制造执行系统的设计原则	70
4.4 制造执行系统的实现	71
4.4.1 西门子制造执行系统平台——SIMATIC IT	71
4.4.2 酒钢选烧厂制造执行系统外委升级改造方案	82
第5章 智能工厂的仓储物流系统	86
5.1 初识仓储物流系统	86
5.1.1 仓储物流概论	86
5.1.2 仓储物流系统的基本构成	87
5.1.3 通用仓储机械设备的介绍	88
5.2 仓储物流系统的功能划分	92
5.2.1 仓储物流的三要素	92
5.2.2 仓储物流的七大功能	93
5.3 仓储物流系统的设计原则	94
5.3.1 仓储物流系统设计概述	94
5.3.2 仓储物流业存在的问题	95
5.3.3 仓储物流系统的规划原则	95
5.3.4 仓储物流系统的布局原则	96
5.3.5 物联网对仓储物流信息化的影响	97
5.4 仓储物流系统的实现技术	97

5.4.1	自动仓储系统技术	98
5.4.2	自动分拣系统技术	99
5.4.3	自动识别技术	100
5.4.4	仓库管理系统技术	102
5.4.5	机器人技术	103
5.4.6	机器视觉系统技术	104
第6章	智能工厂的柔性自动化系统	106
6.1	初识柔性自动化系统	106
6.2	柔性自动化系统的功能划分	108
6.3	柔性自动化系统的总体设计	110
6.3.1	总体设计的步骤及内容	110
6.3.2	零件族选择及工艺分析	112
6.3.3	设备的选择与配置和总体布局	112
6.3.4	总体平面布局	117
6.4	柔性自动化系统的实现技术	118
6.5	柔性制造技术的发展趋势	118
第7章	智能工厂的网络与通信系统	121
7.1	初识网络与通信系统	121
7.1.1	通信系统	121
7.1.2	工业控制网络的发展历程	122
7.2	网络与通信系统的功能划分	123
7.2.1	通信系统的分类和原理	123
7.2.2	现场总线的概念、现场总线控制系统的组成与体系结构	126
7.2.3	现场总线控制系统的技术特点及优点	128
7.3	网络与通信系统的设计原则	131
7.4	网络与通信系统的实现技术	132
7.4.1	现场总线国际与中国标准	132
7.4.2	现场总线地区与国家标准及其他现场总线标准	134
7.5	网络设计实例	135
7.5.1	网络整体架构	135
7.5.2	网络管理软件	138
7.5.3	主要硬件设备	140
第8章	智能工厂实施	151
8.1	初识智能工厂实施	151
8.1.1	智能制造的时代背景	151
8.1.2	智能制造的产生、对制造业的影响及其功能	151

8.1.3	智能制造的实现——智能工厂	152
8.1.4	智能工厂实施的含义	153
8.2	智能工厂实施的现状、政策与方法	154
8.2.1	与智能工厂实施相关的国家政策及七大方向	154
8.2.2	智能工厂实施的方法	155
8.3	智能工厂实施的具体步骤	157
8.3.1	推进智能制造的“三要”“三不要”原则	157
8.3.2	智能工厂实施的具体步骤	158
8.4	智能工厂应用举例	161
8.4.1	机床行业智能工厂应用实例	161
8.4.2	汽车行业智能工厂应用实例	168
8.4.3	医疗行业智能工厂应用实例	171
8.4.4	重工行业智能工厂应用实例	174
8.4.5	家电行业智能工厂应用实例	177
8.4.6	石化行业智能工厂应用实例	181
8.4.7	卷烟行业智能工厂应用实例	185
	参考文献	188

第 1 章 智能制造的机遇与挑战

1.1 中国制造业的现状

世界上下潜深度最大的作业型载人潜水器“蛟龙号”模型、中国自主研发的首台 400 马力^①无级变速拖拉机、强军征程扬帆远航武器装备模型……一件件反映我国制造业成就的实物模型亮相“砥砺奋进的五年”大型成就展的展厅。

近年来，一件件“大国重器”横空出世，作为七大战略性新兴产业之一的高端装备制造业拿出了耀眼的成绩单：

“华龙一号”是我国拥有自主知识产权、采用国际最高安全标准研发的第三代核电技术。这一技术的成功研制，亮出了中国制造的一张“名片”；

国产航空发动机突破瓶颈，“运-20”“歼-20”服役^②，国产大飞机 C919 首飞成功，我国航空工业取得历史性突破；

世界最大的水泥运输船圆满交船，全球最大的集装箱船将在上海开建，第一艘国产航空母舰和新型万吨级驱逐舰相继下水，世界第一造船大国正向造船强国大踏步迈进……

党的“十八大”以来，众多高技术、高附加值、顺应转型升级趋势的新产业已成长为推动我国制造业发展的新引擎，有力拉动着经济增长。

2015 年，我国出台了《中国制造 2025》，明确提出分“三步走”建设制造强国的战略目标、主要任务和重大举措，为制造强国建设的第一个十年描绘了蓝图。

近年来，中国制造业规模全球领先，增加值和产品出口占全球的比重均居世界第一，目前已经建成了门类齐全、独立完整的体系。

信息化与工业化深度融合是“牛鼻子”。《中国制造 2025》中明确提出：“以加快新一代信息技术与制造业深度融合为主线”，在“两化”融合这一“主线”下，我国以智能制造为主攻方向，实施智能制造试点示范专项行动，建立了国家智能制造标准体系，打造了一批数字化车间，初步形成了若干可复制可推广模式。5 年来，智能工厂在许多企业落地生根。

其中，在民用领域，颇具代表性的便是已建成 8 个互联工厂的海尔集团。目前，在海尔集团的一个智能工厂生产线上，每 15 秒就会诞生一台洗衣机。在互联工厂中，工人人数减半，而产能却增加 2 倍。在柔性生产线上，可以安排 50 多个型号的产品同时生产，是以前产量的 5 倍。互联工厂的生产效率提升 60%，用户定制占比达 10% 以上，其中，中央空調互联工厂已实现 100% 的产品由用户远程定制并监控。

① 1 马力（公制）≈735 瓦特。

② “运-20”是我国研究制造的新一代军用大型运输机；“歼-20”是我国研究制造的隐形制空战斗机。

1.1.1 什么是智能制造

目前学界的主流观点是：智能制造（Intelligent Manufacturing, IM）是一种由智能机器和人类专家共同组成的人机一体化智能系统，它在制造过程中能进行智能活动，诸如分析、推理、判断、构思和决策等。人与智能机器的合作共事可以扩大、延伸和部分取代人类专家在制造过程中的脑力劳动。

多位受访人士向《中国经济周刊》记者表示：将制造自动化的概念更新，扩展到柔性化、智能化和高度集成化，是智能制造区别于“流水线、机器化生产”的主要特征。

而在工业和信息化部部长苗圩看来，智能制造目的更明确、更直接，就是研发智能化的产品。比如现有的工业机器人只是由程序控制的装备，下一代工业机器人应该是具有一定“人工智能”的机器人。他举例说：“比如说有一个人误操作了，那么他很可能被机器人伤到。如果将来在机器人身上实现人工智能，那么它发现附近安全距离内有人的话就不会去操作，这就是智能化产品的标志。”

西北大学经济管理学院院长任保平分析认为，作为《中国制造 2025》核心的智能制造主要包括三方面内容：一是研发智能化产品；二是将信息技术应用于制造业生产经营管理的全过程，使生产和管理过程实现智能化；三是在微观的企业层面实现信息的充分交流和共享，建立工业互联网或物联网。

1.1.2 “中国智造”背后的国家意志与现实需求

2015年5月8日，国务院发布《中国制造 2025》，也正是从2015年开始，“中国制造 2025”连续3年出现在政府工作报告中。2015年政府工作报告首次提出“中国制造 2025”，2016年“中国制造 2025”则进入“启动实施”阶段，2017年政府工作报告则提出“深入实施”方案。

原中国工程院院长周济认为，制造业数字化、网络化、智能化是新一轮工业革命的核心技术，应该作为“中国制造 2025”的制高点、突破口和主攻方向。工业和信息化部消费品工业司司长高延敏说：“加快推进智能制造是贯彻落实《中国制造 2025》的主攻方向。”

《中国制造 2025》明确提出，着力发展智能装备和智能产品，推进生产过程智能化，培育新型生产方式，全面提升企业研发、生产、管理和服务的智能化水平。

国家意志下的“中国智造”前景广阔。《2016 中国制造业竞争力调研报告》预测，到2025年，我国智能制造能完成超过50%的进程；到2035年，能完成70%的进程；到2045年，能完成90%的进程。到2049年，我国智能制造水平与发达国家并驾齐驱，甚至在若干领域能引领发展。

苗圩表示，通过智能化或者信息化的生产过程，可以实现全流程的优化；各个环节被监控，可以大大降低不良产品率，顺应中国劳动力成本不断上升的趋势，大大提高效率和效益。

从“制造”到“智造”，中国的“并联式”发展道路使中国已成为名副其实的“制造大国”：220多种工业品产量居世界第一位，制造业净出口额居世界第一位，制造业增加值在世界占比达到20.8%。

然而数据显示，智能制造仍是现阶段我国制造业的短板之一。国务院发展研究中心携手德国著名工业企业博世集团，在2019年3月发布的一份研究报告中称：中国制造业整体尚处于由工业2.0向工业3.0过渡的阶段。

《2016—2020年中国智能制造行业深度调研及投资前景预测报告》称：中国大部分企业处于研发阶段，仅16%的企业进入智能制造应用阶段；从智能制造的经济效益来看，52%的企业智能制造收入贡献率低于10%，60%的企业智能制造利润贡献率低于10%。

《世界经理人》“2015中国制造业信息化现状调研”结果显示：我国近九成制造企业信息化处于初、中级水平，信息化覆盖业务较窄，而且各系统信息处于割裂状态，集成度低。2015年，我国制造业关键工序的数控化率仅为30%，大、中型制造企业的数控化率也刚超过50%。而美、德、日等国制造业的数控化率已达80%~90%。

此外，工业软件也是我国智能制造的制约条件之一。以智能制造的核心环节——嵌入式系统软件为例，2016年中国软件业务的收入为4.9万亿元，其中嵌入式系统软件的收入为7997亿元，仅占六分之一。

从产业发展阶段的对比来看，德国“工业4.0”是在成功完成“工业1.0”“工业2.0”，基本完成“工业3.0”之后提出的发展战略，是自然的“串联式”发展。

相比之下，中国制造业走的是“工业2.0”补课、“工业3.0”普及、“工业4.0”示范的“并联式”发展道路，“所以我国的任务就比德国实现‘工业4.0’更加复杂、更加艰巨”。

在此背景下，完成从“制造”向“智造”的系统跨越，政商各界需要做的事还有很多。

政府层面需要创新和联动。苗圩表示，从制造业发展规律看，推进制造业由大变强需要政府在支持手段和社会化服务等方面开展深入持续的政策创新；《中国制造2025》的实施涉及多个部门，如何真正实现部门间政策资源的联动，仍需进行不懈的努力和探索。“这需要一个不断探索、试错的过程，难以一蹴而就，更不能急于求成。”

企业作为创新决策、研发投入、科研组织和成果应用的主体，需要在产业转型升级过程中对智能解决方案提出本土化需求。中央政策研究室经济局原巡视员兼副局长、中国经济研究院院长白津夫认为，在“中国制造2025”的指引下，企业转型需求迫切，但目前面临两个主要问题：一是转型方向和模式不清晰，“简单地进行自动化和机器换人”；二是标准不统一，“企业要面临各种领域、各种层次的解决方案，难以整合和集成”。

1.1.3 企业书写的变革故事

企业是实现“中国制造2025”蓝图的主角和市场主体。

工业和信息化部公布的智能制造试点示范项目数量或可佐证智能制造的“增量”，2015年示范项目有46个，其中第二产业39个、第三产业7个；2016年有63个，其中第一产业1个、第二产业61个、第三产业1个。

电动工具制造商宝时得科技（中国）有限公司（以下简称“宝时得”）作为智能制造试点，于2017年9月18日在苏州总部召开了一场“智能制造业务变革项目启动大会”。宝时得通过发展互联工厂，逐步实现线上下订单、线下制造定制化产品。目前，宝时得已建立从接单到计划再到生产运营的端到端智能化管理和实施系统。

帮助宝时得在更高水平实现智能制造的是美的集团旗下的云服务商——美云智数，美的空调南沙工厂的数字化转型成果吸引了宝时得：提升制造综合效率33%、改善产品品质10%、生产耗损减少68%、物流损失工时减半……

美云智数方面表示，将构建全价值链的计划协同、供应链管理、生产执行信息系统平台，帮助宝时得最终实现企业业务的互联互通和智能制造业务变革。

同样作为智能制造试点的青岛海尔集团（以下简称“海尔”），截至目前已经在全国建

成 8 个互联工厂。在 2019 年 4 月的德国汉诺威国际工业博览会上，海尔实体冰箱互联工厂制造示范线吸引了德国“工业 4.0”鼻祖人物齐尔克教授驻足。汉诺威官网甚至评价说：“现在对‘工业 4.0’最有‘威胁’的，一个是机器人公司，一个是海尔！”

1.1.4 智能制造平台之争

从世界范围看，美国推出“工业互联网计划”，德国推进“工业 4.0”，日本发表《制造业白皮书》提出重振制造业战略，法国发布“新工业法国”战略，韩国实施“制造业创新 3.0 战略”等，智能制造无一例外成为这些工业强国制造业变革的核心内容。

业内认为，互联网工业平台是智能制造的核心之一，工业巨头也都在这一新的领域密谋布局，激烈竞争。当前全球工业平台领域有 3 家企业知名度较高，即德国“工业 4.0”的代表西门子股份公司（以下简称“西门子”）、美国工业互联网的代表通用电气公司（以下简称“通用”）、中国智能制造的代表海尔。

德国以工业化带动信息化，推出以西门子 MindSphere 为代表的工业平台，构建面向工厂管理与服务的工业生态系统，目的主要在于提高生产效率、能源管理效率等，希望以后通过精益“智造”掌握前端的信息化。

美国则以信息化带动工业化，推出以通用 Predix 为代表的工业平台，构建面向资产制造与管理的工业生态系统，目的主要在于垂直地开发从设备到设备数据的挖掘和云的应用，希望通过前端的信息化掌握后端的“智造”。

“中国需要有适合自己的工业互联网平台，构建自己的工业生态，把工业大数据沉淀在自己的平台上，自己运营和管理，避免受制于人。”海尔家电产业集团副总裁陈录城接受《中国经济周刊》记者采访时说。

陈录城所说的便是海尔首创的 COSMOPlat 平台，它构建社群经济下以用户为中心、面向大规模定制的新工业生态，它完全和用户连接在一起，以用户的体验和需求驱动内部智能制造的迭代升级。

与通用和西门子的 To B 平台相比，海尔 COSMOPlat 平台既可以 To B 也可以 To C，是用户全流程参与的智能制造物联网平台，也是全球唯一实现用户终身价值的大规模定制解决方案平台。

据陈录城介绍，COSMOPlat 通过在交互、定制、研发、采购、制造、物流、服务全流程节点的业务模式变革，输出七类可社会化复制的应用模块，实现产品生产高精度下的高效率。COSMOPlat 平台可以提供两类服务：一是可以提供软硬一体、虚实融合的智能制造解决方案，如新工厂建设、老工厂升级、企业管理等，二是通过平台上沉淀的数据，提供基于大数据的增值服务，如预测性维护、全产业链的协同优化、资源共享集约、信用和金融服务。

1.1.5 海尔“智造”：个性化定制的规模化生产

海尔中央空调互联工厂位于青岛市西海岸新区中德生态园内，配置 8 条总装线，4 个模块化区域，具备 10 类中央空调产品生产能力，全球最大的磁悬浮中央空调便出自这里。

海尔中央空调互联工厂是目前全球中央空调行业最先进的制造基地：它始建于 2016 年 1 月，占地面积为 8.7 万平方米，投资金额为 5 亿元。当年 10 月一期工程完工后，这家工厂的工人数量缩减了近一半，而产能却增加了近两倍，2020 年年产能将达到 600 万~1 000 万台。

比这些数据更出彩的，是这家工厂的用户可以全流程参与产品的设计研发、生产制造、物流配送、迭代升级等环节，这在以前是不可想象的。

对于用户而言，他们以往只能在有限的产品中选择自己最喜欢、最适合的产品，但即使是最畅销的产品与用户的需求之间往往也存在着一定差距，如外观、性能、结构都非常受限。

对于制造企业而言，以规模、质量求效益是普遍追求，而个性化又是未来消费的主流，所以制造企业必须解决大规模生产与个性化定制间的矛盾。

二者能否共融？“企业需要以互联网思维为核心重建供需关系，制造业真正比拼的是洞察用户需求和满足用户个性化需求的能力。”海尔集团总裁周云杰如是说。

在这一语境下，COSMOPlat 平台适时而生。它是海尔在多年智能制造探索的基础上推出的中国首个独创的、拥有自主知识产权、把互联工厂模式产品化并可对外服务的工业互联网平台。依托 COSMOPlat 平台，海尔成功实现了个性化定制的规模化生产。

通过“线上定制平台—互联工厂—海尔日日顺物流”链条，海尔的意向用户快速定制符合自己个性化需求的家电产品成为可能。

《中国经济周刊》记者在海尔大规模定制平台“众创汇”上看到，消费者可以根据个人喜好和实际需求，选择产品的功能、材质、颜色、款式、图案、容积等，有定制需求的部件可以按照个人需求进行选择或自行设计，比如梯形的冰箱、圆形的洗衣机、没有噪声的空调，只要创意发起人能号召足够数量、有相同需求的买家，用户就能平价享受专属定制产品。记者看到一款用户投票的定制洗衣机产品，总共需要两万人众筹便可生产，现在投票人数已经超过 16 000，还需要号召 3 000 多人就可投入生产。

这些“个性化”订单直达工厂，工厂通过 COSMOPlat 平台中的智能系统自动安排生产，并将生产信息自动传递给各个工序生产线及所有模块商和物流商后投产。每台在生产线上“排队”等待组装的家电产品的外壳和颜色各异，前、后两台家电产品的型号、样式截然不同。

能够更加增强用户体验感和参与感的是海尔把互联工厂打造成“透明工厂”，用户通过手机终端能够实现整个订单的全流程生产情况的实时可视。

1.1.6 用户定制背后的“人单合一”

2017 年 8 月 25 日，在李克强总理主持召开的“推动制造强国建设、持续推进经济结构转型升级”座谈会上，海尔集团董事局主席、首席执行官张瑞敏介绍，海尔通过实行“人单合一”等“内部双创”模式实现了营收和利润的快速增长。

作为全球唯一一个用户可以参与的工业互联网平台，海尔 COSMOPlat 平台可以让每个用户自己“制造”家电，其关键就是“人单合一”模式。

“人单合一”始自 2005 年 10 月，是海尔提出并命名的一种商业模式。起初是为了顺应互联网时代“零距离”“去中心化”和“去中介化”的特征，从企业、员工和用户三个维度对战略定位、组织结构、运营流程和资源配置进行持续动态变革。

在“人单合一”中，“人”就是员工，“单”就是用户价值。“人单合一”就是把员工和用户连在一起，使每个员工都成为自己的 CEO，并组成直面市场的自组织，让员工的价值创造体现在用户价值的增值上。

经过十余年的探索，“人单合一”已进入2.0时代，有了更新的内涵，即建立一个共创共赢的平台。海尔的管理层认为，互联网带来的“零距离”将把以企业为中心，转变为以用户为中心，使大规模制造变成大规模定制；互联网带来的“去中心化”则把员工的领导从过去的上级变成了用户，颠覆了企业内部管理的科层制；互联网带来的“分布式”意味着资源并不局限于企业内部，而是来自全球，颠覆了企业的内部职能。

“让用户能够参与到产品的设计、制造，甚至营销过程中去，真正实现以用户为中心的互联，才能与用户融为一体，这才是根本。”张瑞敏说。

对于“人单合一”模式所带来的革命性变革，张瑞敏还举了海尔金融兼并的上海永慈康复医院的例子。“这个医院是上海市政府的医院，经营不善快要破产。海尔金融将它兼并以后，并不是给它输入资金，而是把它变成‘人单合一’模式——医患合一。”张瑞敏说，“过去是患者来了，要一个部门一个部门地跑，现在改成按照一个楼层划分，所有部门成为一个整体，都围着患者在转，患者非常满意。现在，它的床位供不应求。”

1.1.7 互联工厂：不是工厂是生态

“互联工厂不仅是机器换人和自动化，它已超越了工厂的概念。”在接受《中国经济周刊》记者专访时，海尔家电产业集团副总裁陈录城说，“互联工厂是对整个企业全系统、全流程都要进行颠覆，即以用户为中心，全流程资源并联形成共创共赢的生态系统。”

据陈录城介绍，支撑互联工厂生态系统，企业需要具备三方面能力：一是能够实现用户全流程的实时互联。也就是全球的用户随时随地都可以通过移动终端来定制所需要的个性化产品，全流程地参与设计、制造。二是要达到用户和工厂的零距离。用户的个性化订单可以直接下达到海尔全球的供应链工厂，这样就可以减少生产和订单处理的中间环节，把中间这部分价值让渡给用户。工厂的物料通过智能互联、柔性生产产出定制的产品，直接配送给用户。三是全流程透明可视。订单生产及配送情况可以实时推送给用户，用户也可以实时快速查询，通过产品的识别和跟踪实现从其定制的订单到工厂的生产，再到物流的任何一个环节的实时可视。

记者在海尔采访时了解到，以上这些能力得以实现的前提条件是企业组织的转型。“由传统企业变成平台型企业，包括用户交互定制平台、开放创新平台、智能制造平台等。”

具体来说，整个供应链（包括生产、制造、物流、采购等各环节）都已转型，由传统串联的节点组织变成共同面向用户的一个个小微企业。“这些小微企业和用户是并联的，如果小微企业不能为用户创造价值，那么这些小微企业也没有价值。”海尔互联工厂建设负责人告诉《中国经济周刊》记者。

此外，互联工厂对生产方式的变革还要求企业实现技术体系的颠覆。海尔围绕用户需求进一步探索了模块化、自动化、数字化和智能化的发展路径。其中，模块化是支撑普通消费者实现“私人定制”的关键要素。海尔从2008年开始进行对产品模块化的探索，经过对产品设计和制造体系实行模块化生产方式的改造，以模块配置完成迅速“智造”。

1.1.8 互联工厂的优势

对比传统工厂和互联工厂，不难发现传统工厂交付的是产品，得到的是用户；互联工厂是先和用户交互，以用户的体验驱动产品、工厂等全流程的迭代。基于此，传统工厂遇到的

很多问题，如库存积压，产品同质化，成本高、利润低等，在互联工厂模式下迎刃而解。

陈录城副总裁具体分析说，“比如库存积压的问题，互联工厂的每一份订单都是有用户信息的，实现了零库存；比如产品同质化的问题，在互联工厂模式下用户参与到产品的交互、设计、生产过程中，而不再由企业设计产品；比如成本高、利润低的问题，传统工厂的中间环节多、运输费用高，导致利润下降，互联工厂的产品由工厂直发到用户，去掉了所有的中间环节。”

一组数据可以佐证“变革”的力量。目前海尔产品的生产效率提升了60%，不入库率达到68%，实现了产品不进仓库或少进仓库的突破，同时驱动全流程的运营效率提升，新产品研发周期缩短了50%以上，订单交付周期缩短了70%以上。

海尔的沈阳互联工厂目前可支持9个平台500个型号冰箱的柔性大规模定制，人员配置减少了57%，单线产能提升了80%，单位面积产出提升了100%，订单交付周期由15天缩短到7天，可快速满足用户的个性化体验；在海尔的佛山互联工厂，一台互联洗衣机从下单到下线，最快仅需两个小时。

从传统工厂到互联工厂有多远？在海尔高层看来，思维方式的转变是互联工厂建设过程中的核心挑战。

首先，是以用户为中心的思维方式。“流程上由串联到并联，在平台上用户信息可同时到各个节点、同时启动，必须以用户为中心才能做到这一点。”陈录城说。

其次，则是“开放”——开放平台，吸引一流的资源参与。周云杰表示：“海尔有设备商、模块商、整体解决方案、机器人公司等一流资源加入，才会最终实现互联工厂的落地。”

包括德国前总理施罗德、中国工程院院士倪光南在内的多位到访过海尔互联工厂的政要和专家都不约而同地认为“互联工厂”这一创新模式正是全球制造企业未来变革的核心。

图1.1所示为海尔的互联网平台COSMOPlat。

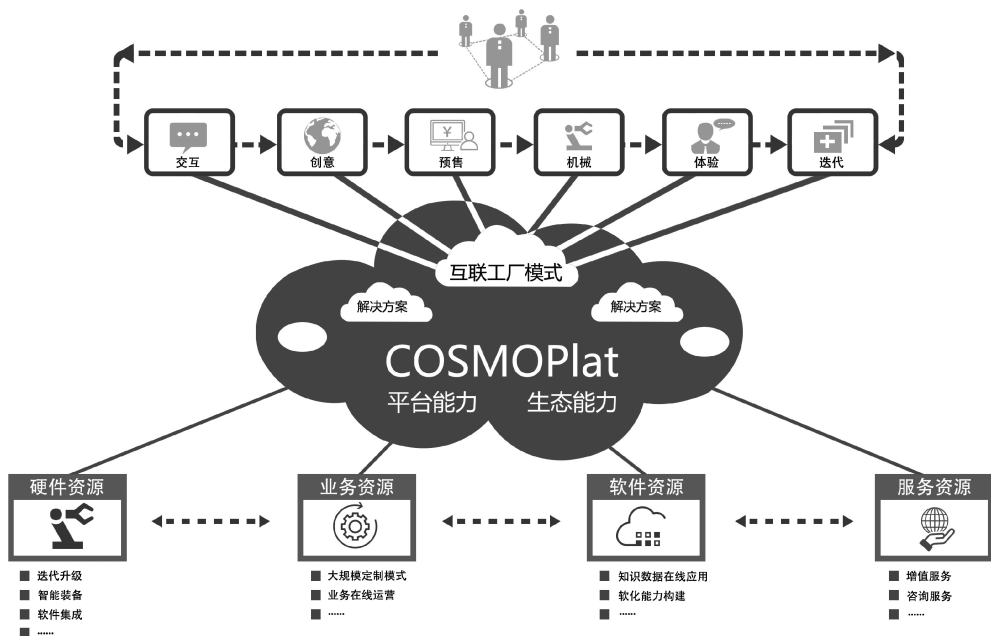


图 1.1 海尔的互联网平台 COSMOPlat

海尔的“布局”显示了其“抱负”不只在自身涅槃，而是向中国制造业输出海尔式创新，为中国企业转型升级提供落地标准和指南。

为了做这件事，海尔已成立工业智能研究院和家电业创新战略联盟，并加入了工业和信息化部倡导的工业互联网产业联盟；打造输出智能制造解决方案的开放平台，指导行业智能互联工厂建设规划和评价；打造智能制造生态服务新产业。

在海尔看来，要用搭建 COSMOPlat 平台的经验助力中国制造，帮助中国企业“换道超车”，最终实现继福特流水线、丰田精益管理之后的第三种模式。

在海尔总部青岛之外，COSMOPlat 平台已经开始规模化地复制推广。在 2019 年 8 月 3 日，海尔的“产城创”生态圈模式继天津之后又进入下一城，作为“产城创”中“产”的关键部分，COSMOPlat 平台正式落户上海松江。

“海尔的 COSMOPlat 平台和互联工厂为全球产业转型提供示范和借鉴，为不同发展阶段的企业提供标准化、定制化及整体解决方案，降低企业试错成本，缩短企业转型周期，提升企业运营绩效。”张瑞敏表示。

8 家示范工厂样板只是海尔迈向智造时代的一小步。从 2016 年 2 月开始筹备 COSMOPlat 平台到 2017 年正式对外宣布提供其社会化服务，海尔有足够的底气：海尔互联工厂实现了高精度下的高效率，订单交付周期缩短了 50%，产品生产效率提升了 50%。

1.2 21 世纪制造业的新模式

20 世纪以来，信息技术、生物技术、新材料技术、能源与环境技术、航空航天技术和海洋开发技术六大科学技术的迅猛发展与广泛应用，引领了整个世界范围内传统制造业的大发展，引起了整个世界制造业的巨大变革。与此同时，经济全球化趋势正不断加强，各个领域的技术交流、经贸交流日益扩大。世界上发生的这些进步、变革与发展，使当代制造业的生态环境、产业结构与发展模式等都发生了深刻变化。科学发展观对制造业提出了新的要求，制造业正面临着新的发展机遇与挑战。

1.2.1 21 世纪制造业的新模式概述

20 世纪 50 年代以后，机械化和自动化技术的应用以及标准化大批量生产方式的急速发展，使全球制造业的生产能力不断扩大，生产规模和效率迅速提高。进入 20 世纪 70 年代，工业发达国家制造业的供给能力已经大于市场需求。世界主要市场开始进入需求导向时代。消费观念也出现了结构性变化，消费需求趋向多样化和个性化。

20 世纪 90 年代，制造业的跨国活动迅速发展，全球制造能力进一步扩张，出现全球性制造能力过剩的局面，产能与市场需求的矛盾日益突出，在新产品更新速度加快的同时，市场饱和周期在缩短；同时，随着集装箱运输以及信息技术等的应用，产品的销售半径不断扩大，制造商必须面对处于不同地域、不同文化和不同环境下的全球用户。进入 21 世纪后，全球市场需求的多样化趋势更加明显，制造业面临全球性多样化、个性化需求的挑战。

在用户差别越来越大的全球市场上，社会、经济、文化、艺术、技术等多种因素都在影响需求的个性化选择趋向。用户对功能、安全、效率、环保、节能、舒适、休闲、新颖、个性、时尚、趣味、娱乐、价格等的个性化考虑，要求制造商利用不同的材料、不同的成型工