

# 工业4.0背景下中国半导体 产业转型升级研究

黄秀英 严丽娟 著

吉林人民出版社

# 目 录

<b>第一章 工业4.0浪潮的兴起</b> .....	001
第一节 工业4.0的概况 .....	001
第二节 工业4.0产生的变革 .....	015
第三节 工业4.0的出台背景 .....	022
第四节 各国工业4.0的发展现状 .....	026
<b>第二章 工业4.0浪潮下的中国制造业转型升级</b> .....	045
第一节 《中国制造2025》的战略背景 .....	045
第二节 《中国制造2025》的战略蓝图 .....	065
第三节 《中国制造2025》与德国工业4.0的异同点	080
第四节 构建现代电子信息产业体系 服务《中国制造2025》 .....	084
<b>第三章 工业4.0背景下半导体产业的转型升级</b> .....	096
第一节 半导体产业概述 .....	096
第二节 工业4.0背景下半导体产业的转型升级 .....	105
第三节 半导体产业转型升级的动力和路径 .....	115
第四节 全球半导体产业的发展升级路径 .....	127
<b>第四章 半导体产业转型升级的国际经验与启示</b> .....	134
第一节 全球半导体产业发展现状与特点 .....	134

第二节	主要国家和地区半导体产业发展的经验	… 150
<b>第五章</b>	<b>中国半导体产业的现状分析</b>	… 178
第一节	中国半导体产业发展历程及经验	… 178
第二节	中国半导体产业发展现状及问题	… 184
第三节	中国半导体产业细分领域分析	… 196
<b>第六章</b>	<b>工业4.0背景下中国半导体产业转型升级的建议</b>	228
第一节	中国半导体产业转型升级面临的机遇与挑战	228
第二节	借助工业4.0推动半导体产业转型升级的 总体思路和实施路径	… 248
<b>参考文献</b>		257
<b>后    记</b>		261

## 第一章 工业4.0浪潮的兴起

随着全球掀起新一轮科技革命和产业变革的热潮，全球主要发达国家顺应潮流，不约而同地纷纷抛出刺激实体经济增长的国家战略和计划，并且都把科技创新作为国家发展战略的核心。德国率先抛出工业4.0，美国制定再工业化和先进制造业伙伴计划，日本实施再兴战略，英国提出高价值制造战略等。这一系列的改变，推动工业4.0在全球迅速铺开，全球主要经济体加紧布局新兴产业特别是推动信息技术的广泛和深度应用，以抢占未来科技创新和产业发展制高点，工业4.0已成为21世纪以来最大的国家角力点。

### 第一节 工业4.0的概况

工业4.0最早出现在2011年德国举行的汉诺威工业博览会上，在2013年4月的汉诺威工业博览会上正式推出。工业4.0是德国政府提出的一个高科技战略计划，其目的是为了提高德国工业的竞争力，在新一轮工业革命中占领先机。

#### 一、什么是工业4.0

德国学术界对于工业4.0的定义是“继机械化、电气化

和信息技术之后，以智能制造为主导的第四次工业革命，主要是指通过信息技术和虚拟网络，即信息物理系统（Cyber-Physical System, CPS）的结合，将制造业智能化，实现集中式控制向分散式增强型控制的基本模式转变，最终将实现以智能工厂和智能制造为基础的全新的生产方式”。

工业4.0，是基于工业发展的不同阶段做出的划分。按照目前的共识，工业1.0是机械制造时代，实现了机械生产代替手工劳动；工业2.0是电气化时代，依靠生产线实现了批量生产；工业3.0是信息化时代，依靠电子系统和信息技术实现了生产自动化；工业4.0则是利用信息化技术促进产业变革的时代，是一场由自动化生产到智能化生产的革命。

工业1.0是机械制造时代。第一次工业革命是18世纪60年代从英国发起的技术革命，以蒸汽机为标志，用蒸汽动力驱动机器取代人力，开创了机械生产取代最原始手工劳动的时代，使当时经济社会以农业、手工业为基础向工业、机制造业转型，从而带动经济发展的新模式。

工业2.0是电气化自动化时代。第二次工业革命始于19世纪60年代后期，以电力的广泛应用为标志，用电力驱动机器取代蒸汽动力，人类开始进入了电气时代。电力的广泛应用促进了生产流水线的出现，生产形态的变革对工业效率产生了巨大的影响，零部件生产与产品装配实现分工，从此工业进入大规模生产时代，出现了产品批量生产的高效新模式。

工业3.0是电子信息化时代。20世纪50年代后，第三次工业革命全面爆发，它以原子能、电子计算机、空间技术和生物工程的发明和应用为主要标志，涉及信息技术、新能源技术、新材料技术、生物技术、空间技术和海洋技术等诸多领域

的一场信息控制技术革命，人类开始进入科技时代。在工业3.0时代，电子计算机技术得到了迅猛发展，人类作业逐步被机械自动化生产制造方式取代，部分体力劳动和脑力劳动也由机器来完成，生产效率、分工合作、机械设备寿命、良品率都有很大的提高。

工业4.0是智能化时代，实现由集中式控制向分散式增强型控制的基本模式转变，目标是建立一个高度灵活、个性化、数字化的产品与服务的生产模式，是一场从自动化生产到智能化生产的巨大革命。智能制造实际上可以被看作是一个庞大的智能运作系统，在设计、研发、生产、管理、销售、运输、售后等各个环节都实现智能化，而每个环节又是智能制造系统的一部分。

工业4.0是一场以信息技术的突破性应用为主导驱动力的社会生产力变革。自计算机芯片处理技术、数据存储技术、网络通信技术和分析计算技术获得重大突破后，以计算机、互联网、移动通信和大数据为主要标志的信息技术、信息产品和信息获取处理方法呈现指数级增长，并在社会经济中广泛运用，与现实生活深度融合，由此带来诸如智能制造、工业互联网等一系列生产生活方式的革命性变革，为社会生产力革命性发展奠定了技术基础。

当前，工业4.0主要是以九项数字化工业技术为基础的变革，这九大支柱技术中很多已经应用在制造业中，但工业4.0将这些技术整合到一起，成为完整的生产流程，进而改变供应商、制造商和消费者之间的关系，以及人与机器之间的关系。

大数据分析：在制造业领域，基于海量数据的分析能帮

助企业优化生产质量、节省能源并改进设备服务。在工业4.0的环境下，对不同数据源，如生产设备和系统以及企业和客户管理系统等进行收集和分析将成为未来企业进行实时决策的标准配备。

**自动机器人：**在工业4.0的环境下，机器人更加灵活智能，它们之间不但可以互通互联，更可以安全地与人类一起工作，甚至从人类身上学习新的技能。这些新机器人不但在性能上远超今天的工业机器人，更大大降低了成本。

**模拟技术：**可以用实时数据来模仿包括机器、产品和人在内的物理世界，将新产品放入虚拟的生产环境中。在进行实际生产前，公司可以对这些新产品进行测试和优化，从而减少设备装配调试的时间并提高产品质量。

**水平和垂直系统整合：**随着工业4.0的发展，公司、部门和职能将成为更加紧密的整体，一条横跨公司的数据网络将让价值链真正实现自动化。

**工业物联网：**物联网将实现决策的去中心化，互联设备能进行自动分析和决策，对环境变化进行实时反应。随着物联网时代的到来，越来越多的设备甚至包括一些半成品，都将装备嵌入式计算技术，并通过标准技术实现互联，不同地理位置的产品设备将能进行互动和沟通，并由中央处理器集中控制。

**网络安全：**工业4.0使得原先相互隔绝的设备将以统一协议相互连接，工业系统和生产线将连接成一体。届时，保护关键工业系统和生产线免受网络安全威胁的需求将大幅提高。安全可靠的网络通信以及身份辨别和接入管理系统将变得至关重要。

**云计算：**随着工业4.0的到来，越来越多与生产相关的任

务需要更多的跨地域和跨公司的数据分享。云技术的性能将会不断增强，机器数据和功能将逐渐迁移到云端，生产系统数据服务也会应运而生，检测和控制生产流程的系统也会搬到云端。

增材制造（3D打印）：在工业4.0时代，增材制造将会广泛地应用到小批量生产定制产品上，带来诸如复杂或超轻量的设计等结构优势，高性能、去中心化的增材制造系统将降低产品的物流成本和库存。

虚拟现实技术：虚拟现实技术可以在很多方面协助工人生产，为工人提供实时信息，帮助他们进行实时决策，改善生产流程。使用虚拟现实眼镜的工人可以通过远程接受指令来正确装配零件或者协助调试。

## 二、工业4.0的核心和主题

工业4.0的核心是信息物理系统（CPS），它是一个集合计算、网络和物理环境的多维复杂系统，通过3C技术，即通信技术（Communication）、计算机技术（Computer）和控制技术（Control）的有机融合与深度协作，实现大型工程系统的实时感知、动态控制和信息服务。CPS实现了数字世界和机械设备与物理世界的交互关系，最终实现生产过程的可控和可调。工业4.0将建成一个基于工业价值链的网络，在这个网络中，机器设备、仓储系统以及制造设施被置于同一平台，共同形成信息物理系统。在生产环境中，构成该信息物理系统的智能机器、仓储系统以及制造设施共同发挥作用，实现交换信息、触发流程，以及自动控制等功能。

工业4.0主要分为三大主题：

一是“智能工厂”，重点研究智能化生产系统及过程，以及网络化分布式生产设施的实现。智能工厂是实现智能制造的重要载体，它是在数字化工厂的基础上，利用物联网技术和设备监控技术来加强制造业的管理和服务，实现工厂的办公、管理及生产自动化，从而掌握产销流程、提高生产过程中的可控性、实时精准采集生产线上的数据资料，从而合理安排生产计划与生产进度，达到加强及规范企业管理、减少人工工作失误、堵塞各种漏洞、提高生产效率、进行安全生产、加强与外界的联系、提供决策参考并拓宽国际市场的目的。

作为智能工厂，必须具备“三高”优势，即高科技、高智商和高装备。智能工厂是通过生产系统中配备的CPS来实现的。相比于传统生产系统，智能工厂的产品和生产过程都是在CPS的基础上存在的，因此，在成本、资源上都比传统生产系统更具优势。从制造业的角度来说，智能工厂的意义在于提高单位时间内的生产效率，最大限度地提高了生产力。

智能工厂是工业4.0时代的发展趋势，也是制造业企业迈向工业4.0的基础。目前，德国人工智能研究所的智能工厂已与众多机器人技术、信息技术、激光感应技术相关的企业合作，进行技术实验。实验结果已经被运用在德国大型企业的生产线上，如西门子、博世、巴斯夫等，并取得了丰硕的成果。

二是“智能生产”，主要涉及整个企业的生产物流管理、人机互动以及3D技术在工业生产过程中的应用等。该计划将特别注重吸引中小企业参与，力图使中小企业成为新一代智能化生产技术的使用者和受益者，同时也成为先进工业生产技术的创造者和供应者。

智能生产是对传统生产技术的一种巨大变革，是工业4.0实现智能制造的必然趋势。智能生产是一个理想的生产系统，可以按照客户的要求编辑产品的特征、成本、生产时间、物流管理和安全性能等要素，从而为不同的客户生产满足其特定需求的产品，并且实现产品的最优化生产制造。典型如3D技术在工业生产中的应用，日本3D打印技术通过学术界、政府和企业的联合，慢慢实现了其在医疗、建筑、工程和施工、工业设计、汽车制造、航空和航天领域的应用，这就是工业4.0时代的产物。全新的产业价值链、生态系统和竞争格局的出现势必会加大智能生产的力度、加快智能生产的步伐，使得智能制造得到快速实现。

进行智能生产只需要一套完整的智能装备和一个智能工厂就可以进行生产了。智能工厂系统可以在PC端、平板电脑、手机等任何一种智能设备上进行操作。操作者只要拿着一台具有智能化系统软件的手机就可以坐在办公室对整个流程进行控制。整个产品的制作过程，即从原料的输出到成品的输出，全部都在掌控之中。就算在中途改变了某个收据，各部门之间也可以及时沟通，从而使信息互通的延迟时间为零。

三是“智能物流”，主要通过互联网、物联网、物流网，整合物流资源，充分发挥现有物流资源供应方的效率，而需求方则能够快速获得服务匹配，得到物流支持。

智能物流就是物流的智能化，是在现代物流的基础上，利用条形码、射频识别技术、全球定位系统、传感器等先进物联网技术，通过信息处理和网络通信技术平台应用于物流业，实现货物运输过程的自动化运作和高效管理，提高物流业的服务水平，降低成本并减少自然资源和社会资源消耗。物

流可以通过信息系统和自动化设备独立进行订单处理、物流运输、仓储配送、包装、装卸等基本活动。实现经济高效的发展目标，具有自动化、网络化、信息化、集约化、社会化等特点。

智能物流是工业4.0的重要组成部分。智能物流有三个核心要素，分别是：智能单元化物流技术、自动化物流装备以及智能物流信息系统。自动化物流装备是智能物流的基础，在此基础上再集成感知传感、信息化、人工智能等技术实现智能化。自动化物流装备包括自动化搬运与输送系统、自动化分拣与拣选系统、自动化仓库系统、自动信息处理与控制系统等。工业4.0时代，客户需求高度碎片化、个性化，产品研发和生产周期不断缩短，这个趋势不仅是智能生产需要面对的问题，也是支撑生产的物流体系需要面对的巨大挑战。智能物流系统在自动化、标准化的基础上，集成传感器、物联网、互联网进行信息化，实现物与物、物与人、人与人的互联，利用大数据、人工智能、云计算等技术充分提高物流效率，使供给方及时获取信息、迅速做出反应，也使需求方快速获得所需产品与服务。智能物流是连接供应、生产和客户的纽带，是智能制造不可或缺的组成部分。

### 三、工业4.0的本质特点

从根本上来讲，工业4.0是一种在信息技术发展到新阶段产生的新的工业发展模式。从终极目标来看，工业4.0不能为技术而技术，核心在于提高企业、行业乃至国家的整体竞争力。

## 1. 工业4.0是互联

工业4.0顺应了万物互联的发展趋势，将无处不在的传感器、终端系统、智能控制系统、通信设施等各种高端技术和系统，通过信息物理系统（CPS）融合形成一个智能网络，进而帮助工业制造过程实现多种互联，如产品与生产设备之间、不同的生产设备之间以及数字世界和物理世界之间实现互联。这一多种形式的互联使得机器、工作部件、系统以及人类能够通过网络持续地保持数字信息的交流，最终实现万物互联的美好愿景。

### （1）生产设备之间的互联

智能设备的普及和广泛应用是工业2.0到工业3.0时代的重要研究成果和标志，在工业4.0时代设备智能化水平将不断提升并广泛普及推广，将出现更高端、更智能的研究成果。工业4.0的基础是单机智能设备的互联，不同类型和功能的智能单机设备的互联组成一条全新的智能生产线，不同智能生产线之间的互联组合形成一个智能车间，智能车间之间的互联形成智能工厂，通过不同地域、行业、企业的智能工厂实现智能制造系统。这些高端、先进的智能设备、智能生产线、智能车间及智能工厂可以自由动态地组合，以满足不断变化的制造需求，这也是工业4.0区别于工业3.0的重要特征。

### （2）设备和产品的互联

正如德国总理默克尔在2014年汉诺威工博会上所讲的，工业4.0的出现意味着智能工厂能够实现自行运转，与此同时零件与机器设备之间也可以进行自主交流。在工业4.0背景下，由于产品和生产设备之间能够通信，这样能够帮助产品了解加工制造的流程和细节，还可以知道自己将被如何使用等一系列疑问。在产品的生产制造过程中，零件与设备能够亲自参

与并协助生产过程，回答诸如“被制造完成的时间”“制造过程的生产工序”“如何使用”等等问题。

### （3）虚拟和现实的互联

信息物理系统是工业4.0的核心，它通过将物理设备连接到互联网上，让物理设备具有计算、通信、控制、远程协调和自治等五大功能，从而实现虚拟网络世界与现实物理世界的融合。信息物理系统能够将资源、信息、物体以及人紧密联系在一起，从而创造物联网及相关服务，实现智能工厂的转变，形成智能环境，是实现设备、产品、人协调互动的基础。智能制造的核心在于实现机器智能和人类智能，实现生产过程的自感知、自适应、自诊断、自决策和自修复。

### （4）万物互联（IOE，Internet of Everything）

工业4.0时代下，信息技术发展的终极愿景是实现处处互联、时时互联的目标，并将所有智能设备和产品集成，形成一个网络终端。万物互联就是人、物、数据和系统程序通过互联网连接在一起，从根本上实现人类社会里所有人和人、人和物以及物和物之间的互联，重构整个社会的生产工具、生产方式和生活场景。人们能够以多种方式通过社交网络连接在互联网，基于感知、传输、处理的各类人造物将成为网络的终端，人、物、数据在网络环境下进行流程再造，基于物理世界感知和人群交互的在线化、实时化的数据与智能处理改变着我们对外部世界的响应模式。

## 2. 工业4.0是集成

2018年德国汉诺威工业博览会以“融合的工业加入网络”为主题，意味着在工业4.0浪潮下，产业集成化程度将越来越高。工业4.0通过CPS构建一个全新的智能网络，进而实现产业

高度集成，具体包括纵向集成、横向集成和端到端集成。从集成发生的边界来看，纵向集成发生在车间，也就是工厂内部；端到端集成涉及产业链，是产业链边界的体现；而横向集成是跨越了多条产业链，体现为产业生态的边界，这也是最大范畴的集成活动。从价值创造的角度来看，横向集成所产生的新工业价值生态更具有颠覆性，因为它很可能会产生在传统的产业边界内无法创造的价值。当网络化在多个行业得到应用后，如果拥有一定的标准化数据及信息标准，不同行业代表的产业链将产生交织，形成横向集成的模式，最终促进新工业价值生态的诞生。这三个集成既是工业4.0发展的重点，也是难点，只有实现了产业高度集成，才能真正地进入工业4.0时代。

### （1）纵向集成

纵向集成是指企业内部所实现的所有生产、运营环节信息的无缝连接，是生产环节上的集成（如研发设计内部信息集成）和跨环节的集成（如研发设计与制造环节的集成）。纵向集成主要解决企业内部信息流、资金流和物流的集成，即解决信息孤岛的问题，解决信息网络与物理设备之间的联通问题。工业4.0时代下，一个高度纵向集成的企业，可以全盘控制从原材料的准备到产品零售过程中的所有环节。因此，纵向集成也是产品全生命周期的集成，是在企业内部实现所有环节信息的无缝链接，而这正是工业4.0时代所有生产智能化的基础。

### （2）横向集成

横向集成是企业之间通过价值链以及信息网所实现的一种资源整合，是为了实现各个企业之间的无缝合作，提供实时产品与服务。所以横向集成的对象都处于同一层次上，也叫作水平集成。在市场竞争牵引和信息技术创新的驱动下，每个企

业都在追求生产过程中的信息流、资金流和物流的无缝链接与有机协同。在工业4.0时代，企业不仅要实现内部高度集成，更要从企业内部的信息集成走向产业链信息集成，从企业内部的协同研发体系到企业之间的研发网络，从企业内部的供应链管理到企业之间的协同供应链管理，从企业内部的价值链重构到企业之间的价值链重构。

横向集成是企业间通过价值链和信息网络所实现的资源整合，是为实现企业间的无缝合作，提供实时产品与服务，推动企业间的研产供销、生产控制与经营管理、业务与财务全流程的无缝链接和综合集成，实现产品研发、生产制造和经营管理等在不同的企业之间的信息共享和业务协同。横向集成的目的，实际上就是通过组织的制度安排和管理运作协调来增强企业的竞争力，从而实现资源整合，提高客户服务水平。制造业普遍存在的工程变更协同流程就是这样一个典型的横向集成的应用场景。

### （3）端到端集成

端到端集成是工业4.0背景下出现的新理念，是指将所有连接的端点都集成互联起来，并且对价值链上各企业的资源进行整合，实现从产品设计、生产制造、物流配送、使用维护的产品全生命周期的统一管理和服务。通过价值链创造集成供应商、制造商、分销商以及客户信息流、资金流、物流，从而为用户提供更有价值的产品和服务，同时也重构了产业链各个环节的价值体系。企业的ERP系统、PDM系统、组织、设备、生产线、供应商、经销商、客户、产品使用现场等围绕整个产品生命周期的价值链上管理和服务，都是整个信息物理网络需要连接的端点。

端到端的集成，既可以是企业内部的纵向集成内容，也可以是外部的企业与企业之间的横向集成内容，贯穿产品全生命周期每个环节的价值链，为企业实现大规模个性化定制奠定基础，为企业生产提供服务。总之，端到端集成是工业4.0时代的必然要求，是满足客户个性化定制的途径，也是实现产业链各环节的价值体系重构的必然结果。

### 3. 工业4.0是数据

自第一次工业革命至今，数据一直是区别于传统工业生产体系的本质特征。德国机械设备制造业协会提出了“工业4.0的核心就是数据”的观点，IBM也认为大数据是第四次工业革命的主导力量。在工业4.0时代，制造企业的数将会呈现爆炸式增长态势。信息物理系统的推广、智能装备和终端的普及以及各种传感器的使用，无时无刻不在产生大量数据，最终这此数据会渗透到企业运营、价值链以及产品的整个生产周期，成为推动工业4.0发展进程的基石。

#### （1）产品数据

产品数据包括设计、建模、工艺、加工、测试、维护、产品结构、零部件配置关系、变更记录等九大类数据。产品的各种数据被记录、传输、处理和加工，使得产品全生命周期管理成为可能，为满足个性化的产品需求提供了条件。

在工业4.0时代，个性经定制是一种趋势，因此大数据将具有非常巨大的潜在经济价值，利用产品数据，可以实现个性化的产品定制，为满足用户个性化产品需求提供相当重要的条件。一方面，内嵌在产品中的传感器将会获取更多的、实时的产品数据，使得产品管理能够贯穿需求、设计、生产、销售、售后到淘汰报废的全部生命历程。另一方面，企业与消费

者之间的交互和交易行为也将产生大量数据，挖掘和分析这些数据，能够帮助消费者参与到产品的需求分析和产品设计、加工等创新活动中。

### （2）运营数据

运营数据包括组织结构、业务管理、生产设备、市场营销、质量控制、生产、采购、库存、目标计划、电子商务等10个部分的数据。工业生产过程的传感、连接为运营创造了更多数据，将给企业带来研发、生产、运营、营销和管理方式的创新。首先，生产线、生产设备的数据可以用于对设备本身进行实时监控，帮助实现工业控制和管理最优化。其次，通过对采购、仓储、销售、配送等供应链环节上的数据采集和分析，可以帮助企业更加精准地制定生产、营销决策，将带来运营效率的大幅提升和成本的大幅下降。再次，对销售数据、供应商数据的变化进行实时分析，可以动态调整优化生产、库存的节奏和规模。此外，基于实时感知的能源管理系统，能够在生产过程中不断实时优化能源效率。

### （3）价值链数据

价值链数据包括客户、供应商、合作伙伴等来源的数据。企业在当前全球化的经济环境中参与竞争，需要全面地了解技术开发、生产作业、采购销售、服务、内外部后勤等环节的竞争力要素。大数据技术的发展和运用，使得价值链上各环节数据和信息能够被深入分析和挖掘，为企业提供探究产品价值链的全新视角，利于企业把价值链上更多环节转化为企业的战略发展优势。例如，汽车制造企业的大数据分析帮助企业实现提前预测功能，有利于提升客户对产品的支持和购买率。