

1

智能制造总论

智能制造是未来制造业的发展方向，是制造过程智能化、生产模式智能化和经营模式智能化的有机统一。智能制造能够对制造过程中的各个复杂环节（包括用户需求、产品制造和服务等）进行有效管理，从而更高效地制造出符合用户需求的产品。在制造这些产品的过程中，智能化的生产线让产品能够“了解”自己的制造流程，同时深度感知制造过程中的设备状态、制造进度等，协助推进生产过程，如图 1-1 所示。

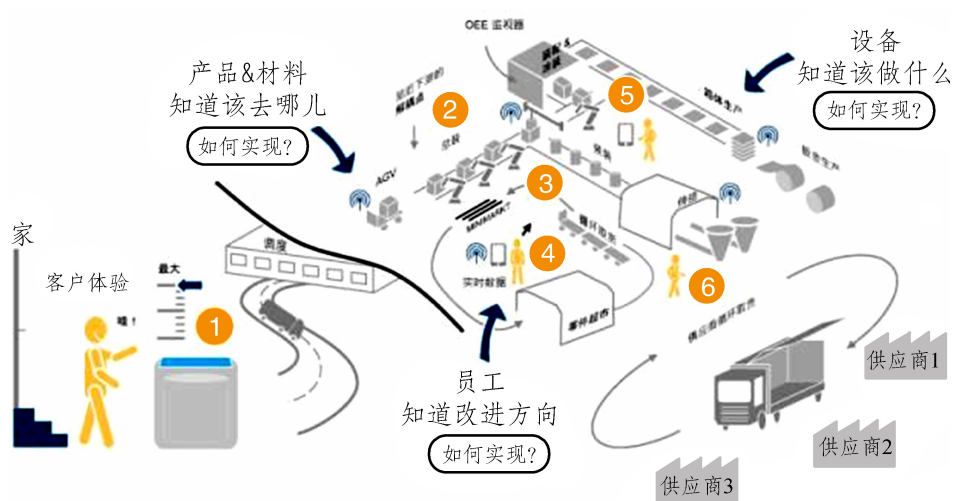


图 1-1 智能化工厂

要实现智能制造，必须让用户、机器和资源相互之间能自然地进行沟通和协作。因而智能制造不仅会成为未来制造业的核心，也将带来传统价值链和商业模式的深刻变革。

1.1 智能制造的时代背景

当前，全球制造业正在发生新革命。随着德国工业 4.0 (第四次工业革命) 概念的提出，物联网、工业互联网、大数据、云计算等技术的不断创新发展，以及信息技术、通信技术与制造业领域的技术融合，新一轮技术革命正在以前所未有的广度和深度，推动着制造业生产方式和发展模式的变革。

1.1.1 制造业的发展

1. 制造业的发展历程

制造业是国民经济的基础工业，是影响国家发展水平的决定因素之一。

自瓦特发明蒸汽机以来，制造业已经历了机械化、电气化、自动化三次技术革命，每一次技术革命都有着显著的特点。其发展历程如表 1-1 所示。

表 1-1 制造业发展历程

发展阶段	年份	里程碑	主要成果
机械化	1760—1860 年	水力和蒸汽机	机器生产代替手工劳动，社会经济基础从农业向以机械制造为主的工业转移
电气化	1861—1950 年	电力和电动机	采用电力驱动的大规模生产，产品零部件生产与装配环节的成功分离，开创了产品批量生产的新模式
自动化	1951—2010 年	电子技术和计算机	电子计算机与信息技术的广泛应用，使得机器逐渐代替人类作业
智能化	2011 年至今	网络和智能化	智能化实现制造的智能化、个性化和集成化

随着计算机的问世，机械制造业大体沿着两条路线发展：一是传统制造技术的发展，二是借助计算机和数字控制科学的智能制造技术与系统的发展。20 世纪以来，自动化制造的发展大体是每十年上一个台阶：20 世纪五六十年代的“明星”是硬件数控 (Hard NC)，70 年代以后则是计算机数据控制 (CNC) 蓬勃发展，80 年代世界范围的柔性自动化热潮兴起，同时计算机集成制造开

始出现，但由于技术局限等原因，并未大规模应用于当时的实际工业生产。

如今，人类社会的制造业已从机械化全面迈向智能化、个性化，“私人定制”式工业生产将成为最新一次技术革命的主要标志。

2. 智能制造的产生

20 世纪 80 年代以来，传统制造技术得到了不同程度的发展，但日益先进的计算机控制技术和制造技术，使得传统的设计和管理方法已无法有效解决现代制造系统中存在的很多问题。这促使研究人员、设计人员和管理人员需要不断学习、掌握并研究全新的产品、工艺和系统，然后利用各学科最新研究成果，借助现代的工具和方法，在传统制造技术、计算机技术与科学、人工智能等技术进一步融合的基础上，开发出了一种新型的制造技术与系统，即智能制造技术（Intelligent Manufacturing Technology, IMT）与智能制造系统（Intelligent Manufacturing System, IMS）。

20 世纪 90 年代以后，世界各国竞相大力发展 IMT 和 IMS 的深层次原因有以下几个：

(1) 集成化离不开智能化，制造系统是一个复杂的大系统，系统中多年积累的生产经验，生产过程中的人机交互，都必须使用智能装备（如智能机器人等）才能实现。而脱离了智能化，集成化也就不能完美实现。

(2) 智能化机器较为灵活。智能化既可应用于系统，也可应用于单机。单机可发展一种智能，也可发展多种智能。无论在系统中或单机上，智能化均可工作，不像集成制造系统那样，必须全系统集成才可工作。

(3) 智能化的经济效益较高。相比之下，现有的计算机集成制造系统 (Computer Integrated Manufacturing System, CIMS) 少则投资数千万元，多则投资数亿元乃至数十亿元，很少有企业能承担得起。而且，CIMS 维护费用高昂，投入运行还得废弃原有的设备，自然难以推广。

(4) 人员减少。雇员白领化使得经验丰富的机械工人和技术人员日益缺乏，但产品制造技术却越来越复杂，因而必须使用人工智能和知识工程技术解决现代化企业的产品加工问题。

(5) 依靠生产管理和生产自动化提高生产率。人工智能与计算机管理的结合，使之前不懂计算机的人也能通过视觉、对话等智能交互方式进行科学化的生产管理，有效提高了生产率。

3. 我国制造业的困局

过去，我国制造业利用低廉的劳动力成本、丰富的原材料供应等优势，成了“世界工厂”。经过三十多年的发展，我国制造业的产能得到了空前提升，我国也成为制造大国。但是近年来，由于工人工资水平上涨、人民币升值等

因素的影响，我国制造的成本优势在不断丧失。

与此同时，随着我国经济的发展，我国进入物质富足的时代，人们开始关注商品的质量、性能或品牌，而非价格。商品的定价不再取决于成本，而取决于消费者心理上对其价值的认同。以降低产品质量、用户体验和服务水准来换取价格优势的做法，越来越没有生存空间。不仅如此，在高端产品方面，我国制造仍以代工、加工为主，真正拥有核心技术与自主知识产权的产品不多，处于价值链的底端，利润率较低。

综上所述，我国制造业急需一场革命性的转型升级。

1.1.2 国内外智能制造的国家战略及应用现状

1. 德国工业 4.0

德国“工业 4.0”是由德国产、学、研各界共同制定，以提高德国工业竞争力为主要目的的战略。在全球信息技术领域中，德国强大的机械和装备制造业占据了显著地位。为了支持工业领域新一代革命性技术的研发与创新，德国政府在 2013 年 4 月举办的汉诺威工业博览会上正式推出《德国工业 4.0 战略计划实施建议》。该计划对全球工业未来的发展趋势进行了探索性研究和清晰描述，为德国预测未来 10~20 年的工业生产方式提供了依据，因此引起了全世界科学界、产业界和工程界的关注。目前，“工业 4.0”已经上升为德

国的国家战略，成为德国面向 2020 年高科技战略的十大目标之一。

德国“工业 4.0”将对传统制造业产生深远的影响。德国“工业 4.0”把信息技术与智慧技术进行结合，比传统制造业多了一些新的能力，它可以扩展到配送物流、售后维修等其他领域。在此基础上，德国“工业 4.0”会给传统制造业带来更多的发展机会，把更具个性化的服务带入市场。德国“工业 4.0”战略，本质就是以机械化、自动化和信息化为基础，建立智能化的新型生产模式与产业结构。

德国“工业 4.0”规划，简单可以概括为“一个核心”“两重战略”和“三大集成”。

(1) 一个核心。

“工业 4.0”的核心是“智能+网络化”，即通过赛博物理系统，构建智能工厂，实现智能制造的目的。赛博物理系统（CPS）建立在信息和通信技术（ICT）高速发展的基础上：① 通过大量部署各类传感元件实现信息的大量采集；② 将 IT 控件小型化与自主化，然后将其嵌入各类制造设备中，从而实现设备的智能化；③ 依托日新月异的通信技术达到数据的高速与无差错传输；④ 无论后台的控制设备，还是在前端嵌入制造设备的 IT 控件，都可以通过人工开发的软件系统进行数据处理与指令发送，从而达到生产过程的智