

智能制造体系简析

Analysis to Intelligent Manufacturing System

■ 赵永宣 / 中国航发研究院

随着新一代信息通信技术的快速发展及其与先进制造技术的不断深度融合，全球兴起了以智能制造为代表的新一轮产业变革，数字化、网络化、智能化日益成为未来制造业发展的大趋势。各国均加紧谋篇布局，纷纷推出新的重振制造业的国家战略，支持和推动智能制造发展，以重塑制造业竞争新优势。

智能制造是基于新一代信息技术，贯穿设计、生产、管理、服务等制造活动环节，具有信息深度自感知、智慧优化自决策、精准控制自执行等功能的先进制造过程、系统与模式的总称。简而言之，智能制造是由物联网（IOT）系统支撑的智能产品、智能生产和智能服务，具有动态感知、实时分析、自主决策和精准执行的特征。智能制造既是“中国制造2025”的五大工程之一，又是德国“工业4.0”的研究主题。实施智能制造工程能够更好地整合社会资源，统筹兼顾智能制造各个关键环节，突破发展瓶颈，加快组织实施智能制造工程，对于促进传统制造业转型升级、实现制造强国目标具有重大意义。

智能制造在各国战略地位 德国工业4.0

“工业4.0”研究项目是在德国工程院、弗劳恩霍夫协会、西门子公司等德国学术界和产业界的建议和推动下形成的。德国在社会发展新形势下，提出“工业4.0”的工业战略，目的是为了保持德国的制造业强国地位，并在新的工业模式下，改变生产过程中人、设备、资源等

变革力量	提高幅度	2025年的经济影响
 物联网 (互联网+M2M)	过去5年连接的设备数量增加了300%	减少36万亿美元—受影响的重要行业的经营成本
 云技术 (Big/Smart data)	到2025年，云服务用户人数规模会有上百亿	增加1.7万亿美元—互联网相关的GDP
 3D打印技术 (直接数字制造)	在过去10年间，增量制造业的收入增加了4倍	增加11万亿美元—全球制造业GDP
 知识自动化 (决策智能)	智能数字助理工具的用户增加了4亿多	减少超过9万亿美元—知识工作者雇用成本
 先进机器人 (机器智能)	2010—2016间，工业机器人销量复合年增长率达8%	减少6万亿美元—制造工人雇用成本

德国工业4.0变革与影响

之间的相互关系。

德国的“工业4.0”关注整个企业的价值链层面，它以广泛采用数字化、网络化、智能化的手段为特征，帮助企业、工业乃至整个社会实现人、物、信息、能源的互联互通，建立一个赛博物理系统（Cyber-Physical Systems, CPS），通过“计算-交互-控制”（3C）技术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。“工业4.0”关注整个产品设计、工艺、制造过程的全面数字化，实现虚拟制造过程和物理实现过程的

融合，实现整个生产过程的数据贯通、交互及时，并且在整个价值链全过程中实现网络化的协同设计、制造、服务模式，并且使各层级能够进行识别、确认、判断、监控、决策等智能活动。

美国再工业化

自工业化以来，制造业一直是美国经济的支柱，在20世纪80年代之前经历了“绝对强大—渐次衰落—重塑优势”的过程。20世纪后期，信息时代的到来、劳动力成本高企等因素，促成了全球产业的再分工。美国在2008年陷入了自大萧条后的

最大经济危机，最终把目光聚焦到“再工业化”。“再工业化”战略的实质是要推动美国制造业的脱胎换骨，中期目标是要重振美国制造业，创造就业，推动美国经济走出低谷等；而远期目标则是要在世界经济领域掀起一场“战略大反攻”，以“再工业化”作为抢占世界高端制造业的战略跳板，促使主导“新型制造业”的先进技术和设备在环保、能源、交通，乃至所有经济领域遍地开花，以达到巩固并长期维持其世界第一经济超级大国地位的战略目标^[1]。

美国所指的“再工业化”绝不仅是简单的“实业回归”，而是在二次工业化基础上的三次工业化，实质是以高新技术为依托，发展高附加值的制造业，如先进制造技术、新能源、环保、信息等新兴产业，从而重新拥有强大竞争力的新工业体系。

中国制造 2025

2015年5月19日，国务院正式发布《中国制造2025白皮书》，以期指导国家制造业发展方向，同时还明确了重点的战略任务来带动整个制造业的发展和前进。国内的相关机构、学者对《中国制造2025白皮书》进行了解读，具体课题总结为“一二三四五五十”^[2]。

德国提出的“工业4.0”和“中国制造2025”，从大的方向上来看，可以说是不谋而合、异曲同工，但又因发展阶段的不同而存在差异。相同的是二者都是更多地以信息技术和先进制造业的结合，或者说以“互联网+先进制造业”的结合，来带动整个新一轮制造业发展，发展的最大动力还在于信息化和工业化的深度融合。不同的地方在于两国工业发展的阶段不同：德国基本上

中国制造2025	工业4.0
“一二三四五五十”	“一二三三五八”
“一”：一个目标，制造业强国	“一”：一个目标，德国制造的领先地位
“二”：两化融合	“二”：两个主题
“三”：三步走	“三”：三大特征
“四”：四条原则	“四”：三项集成
“五”：五条方针	“五”：五项研究（+社会基础设施+CPS）
“五”：五大工程	“五”：八项行动
“十”：十个重点领域	

“中国制造2025”和“工业4.0对比”

实现了“工业3.0”，目前正在从“工业3.0”向“工业4.0”发展，即从生产的自动化向网络信息化迈进；我国的生产信息化在地区之间、行业之间、企业之间还存在着很大的差距，有些行业和企业要在补上“工业2.0”电气化到“工业3.0”自动化这一课的同时，还要适应向“工业4.0”发展的需要，所以不同的企业须针对各自所处的阶段加速发展。

智能制造体系的成熟度

借鉴国际普遍认可的“工业4.0”发展路径，制造企业智能化的成熟度可分为三大阶段：数字化、网络化、智能化^[3]。

数字化——企业在智能制造方向发展的第一个阶段就是针对企业的生命周期管理，实现数字化管理。将此前业务过程中产生的图样、文档、检查单等进行数字化定义和标识，利



智能制造体系

用信息系统进行管理，实现数据的获取、传递、存储和使用。只有实现数字化，才能为未来企业的网络化和智能化发展打下数据基础。

网络化——在企业实现数字化管理的基础上，通过广域网、局域网、物联网、工业互联网等多种形式的网络实现业务、信息和数据的互联，通过“网络+业务”的形式实现设计过程、生产制造过程、供应链过程以及服务保障过程的充分协同，实现资源效能最大化。

智能化——在企业实现数字化、网络的基础上，通过数据挖掘、人工智能、神经网络等技术，实现生产过程的即时纠正和排产的动态优化，实现对生产过程的精准控制并使其规范地执行，能够通过智能分析系统准确地表达生产过程信息，实现生产状态的实时可知可视。通过对生产现场数控设备的精益运行，简化设备的操作过程，保障整个生产过程运行顺畅和稳定。

这三个阶段不是严格意义上的串行关系，并不是在没有完全实现数字化的基础上不可开展网络化的建设。这三个阶段是广义的串行和局部的并行关系，如企业在开展数字化转型的进程中可适时开展网络化的建设以及智能化的研究和探索，也就是说将2.0的补课、3.0的建设和4.0的追赶同步进行。

智能制造实施思路

要达到智能制造最高成熟度（自适应）的标准，需要集成车间现场软硬件技术，实现生产现场信息的动态感知；充分集成工程领域的产品三维数字模型，同时将三维模型充分应用到生产现场并进行模型信息

的反馈和修正；基于生产全过程管理建立智能的生产管控系统，对生产过程信息进行实施分析并对生产过程做出相应调整；生产现场的软硬件也可以针对统计信息进行自主判断，以更好地服务生产。实施思路具体可拆解为如下5个步骤。

一是打通计划物流线，建立生产制造信息基础。以企业一个车间或者部分车间为试点，打通企业生产计划、物料需求计划、车间计划、工序计划的企业价值主线，打通企业进销存的物流主线，建立企业统一信息化平台和统一数据源，打造企业生产制造全过程信息管理基础。

二是实现全面无纸化，建立横向协同计划机制。通过企业全面制造执行的横向推广，实现企业全面无纸化，提升对企业价值主线的支撑和保障，建立生产计划纵向之间、横向之间、计划与物流和计划与资源的全面协同机制。

三是将车间管理下沉，建立车间层级递推。在企业全面实现车间现场管理的基础上，围绕制造企业生产过程执行管理系统（MES）集成多种软硬件技术，针对数字化自动化水平较高、具有一定专业代表性的典型产品建立示范性智能车间/生产线，然后推广到其他车间和生产线。

四是将生产管理前移，深度集成产品三维数据模型。在实现企业生产过程全面管理的基础上，深度集成产品三维数据模型，充分应用模型的产品标注信息、工艺标注信息以及检验标注信息。利用三维模型，自动应用到生产管理过程的物流、工艺和质量检验过程，并通过

实际生产过程，对三维模型信息进行修正并反馈回工程领域，实现虚拟生产和物理制造的结合。

五是计划管理上浮，全面实现生产过程智能管控。在实现主生产计划、物料需求计划、车间计划、工序计划的企业价值主线的基础上，实时获取生产过程尤其是生产计划全过程的信息，进行处理和分析，建设生产过程的智能管控系统，为企业生产全过程提供智能分析和决策数据，并通过前面所建立的信息系统进行反馈，实现调整和执行。

结束语

智能制造已经对工业乃至整个社会的发展带来革命性的变化，各个国家也提出相应的发展策略并逐步上升为国家战略。我国制造业的过程管理、流程约束现在还比较松散，工厂布局、设备布局相对落后，物流体系、信息化应用层次较低。距智能制造的目标距离虽远，但行动却不能迟缓，当务之急则是打牢智能制造基础，并认真做好实施智能制造的思路和步骤，快速推进我国航空发动机制造业的发展。 **航空动力**

（赵永宣，中国航发研究院，高级工程师，从事航空发动机企业信息化研究）

参考文献

- [1] 李佛金. 新世界格局下的我国制造业发展现状及展望[J]. 智富时代, 2015(11):76-78.
- [2] 苗圩.《中国制造2025》的内容可以归纳为“一二三四五五十”[J]. 国防科技工业, 2015(06):15.
- [3] 万万. 智能化为中国制造“空中加油”[J]. 中国质量万里行, 2019(7):86-87.