

智能制造：如何评价企业的智能制造能力成熟度？

文 | 中国电子技术标准化研究院

编 | 《智能制造》编辑部

中国工业正处在新一轮的转型升级过程中,而智能制造成为制造业的主攻方向。但是,智能制造仍在不断发展过程中,且国内外对智能制造的概念和内涵仍未有统一的认知,并不利于制造企业“智造”相关实践活动的持续开展。自 2015 年开始,由工信部主持,组织部分重点科研院所共同研究智能制造的基本定义、内涵、规划、路径和相关标准。2016 年,由中国电子技术标准化研究院主导,我国首个“智能制造能力成熟度评价模型”诞生,在明确智能制造基本路径的基础上,研究了智能制造不同等级的企业多层次关键特征,为制造企业衡量自身能力提供了参考依据。

中国电子技术标准化研究院的《智能制造能力成熟度模型白皮书》(下简称“白皮书”),基于智能制造能力成熟度模型的研究工作,并参考了《国家智能制造标准体系建设指南(2015 年版)》中智能制造系统架构模型,按照生命周期、系统层和智能功能的三个维度,对智能制造的核心特征和要素进行了总结,归纳为“智能+制造”的两个维度,并进一步细化了从设计、生产、资源要素,一直到新业态等的 10 大类核心能力和 27 个域。白皮书中,将企业的智能制造能力划分为从低到高的 5 个等级——规划级、规范级、集成级、优化级和引领级,并分析了每个等级的具体特征。

2019 年,根据“智能制造能力成熟度评价模型”,工信部第一轮的评测结果即将发布之际,本刊节选《智能制造能力成熟度模型白皮书》的关键评价部分,以帮助更多工业企业正确厘清自身的“智能制造”能力水平,助力企业进一步开展数字化、智能化和网络化相关工作。

一、模型架构与能力成熟度矩阵

模型由维度、类、域、等级和成熟度要求等内容组成。维度、类和域是“智能+制造”两个维度的展开,是对智能制造核心能力要素的分解。等级是类和域在不同阶段水平的表现,成熟度要求是对类和域在不同等级下的特征描述。

智能制造能力成熟度矩阵是模型架构的具体实例,涵盖了智能制造能力成熟度模型所涉及的核心内容,是模型组成部件的展现。本文在充分研究中国智能制造系统架构、工业 4.0 参考架构模型(RAMI 4.0)、美国工业互联网参考架构,深入挖掘智能制造内涵的基础上,根据“智能+制造”两个核心维度,分解为设计、生产、物流、销售、服务、资源要素、互联互通、系统集成、信息融合和新兴业态 10 大类能力以及细化的 27 个要素域,对每个域进行分级,每一级别对应相应的要求,构成智能制造能力成熟度矩阵,模型架构与能力成熟度矩阵的关系如图 1 所示。

1、维度

“智能+制造”两个维度是我们论述智能制造能力成熟度模型的起点,代表了我们对于智能制造本质的理解,也可以理解为 OT(运营技术)+IT(信息技术)在制造业的应用。

制造维体现了面向产品的全生命周期或全过程的智能化提升,包括了设计、生产、物流、销售和服务 5 类,涵盖了从接收客户需求到提供产品及服务的整个过程。与传统的制造过程相比,智能制造的过程更加侧重于各业务环节的智能化应用和智能水平的提升。



图 1 模型架构与能力成熟度矩阵关系图

智能维是智能技术、智能化基础建设、智能化结果的综合体现，是对信息物理融合的诠释，完成了感知、通信、执行、决策的全过程，包括了资源要素、互联互通、系统集成、信息融合和新兴业态 5 大类，引导企业利用数字化、网络化、智能化技术向模式创新发展。

2、类和域

类和域代表了智能制造关注的核心要素，是对“智能+制造”两个维度的深度诠释。其中，域是对类的进一步分解。

10 大类核心要素相互作用才能达到智能制造的状态，其关系如图 2 所示。

将各种制造资源要素（人、机器、能源等）与制造过程（设计、生产、物流、销售和服务）等物理世界的实体及活

动数字化并接入到互联互通的网络环境下，对各种数字化应用进行系统集成,对信息融合中的数据进行挖掘利用并反馈优化制造过程和资源要素,推动组织最终达到个性化定制、远程运维与协同制造的新兴业态。

3、等级

等级定义了智能制造的阶段水平,描述了一个组织逐步向智能制造最终愿景迈进的路径,代表了当前实施智能制造的程度，同时也是智能制造评估活动的结果。

智能制造能力成熟度模型共分为以下 5 个等级，如图 3 所示。

（1）1 级：规划级。

在这个级别下，企业有了实施智能制造的想法，开始进行规划和投资。部分核心的制造环节已实现业务流程信息化，具备部分满足未来通信和集成需求的基础设施，企业已开始基于 IT 进行制造活动，但只是具备实施智能制造的基础条件，还未真正进入到智能制造的范畴。

（2）2 级：规范级。

在这个级别下，企业已形成了智能制造的规划，对支撑核心业务的设备和系统进行投资，通过技术改造，使得主要设备具备数据采集和通信的能力，实现了覆盖核心业务重要环节的自动化、数字化升级。通过制定标准化的接口和数据格式，部分支撑生产作业的信息系统能够实现内部集

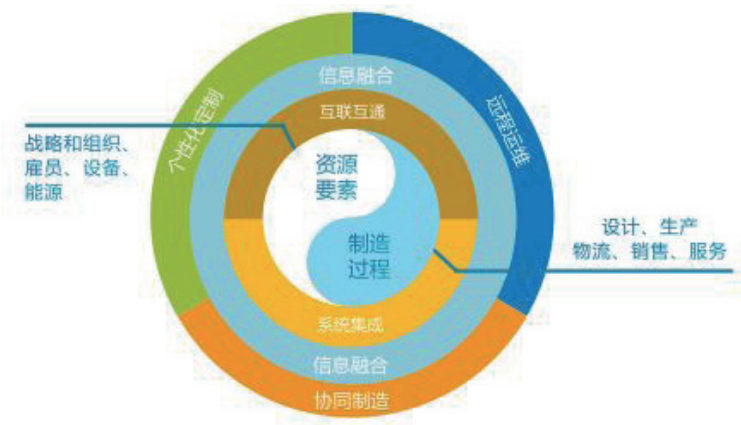


图 2 核心要素间关系图

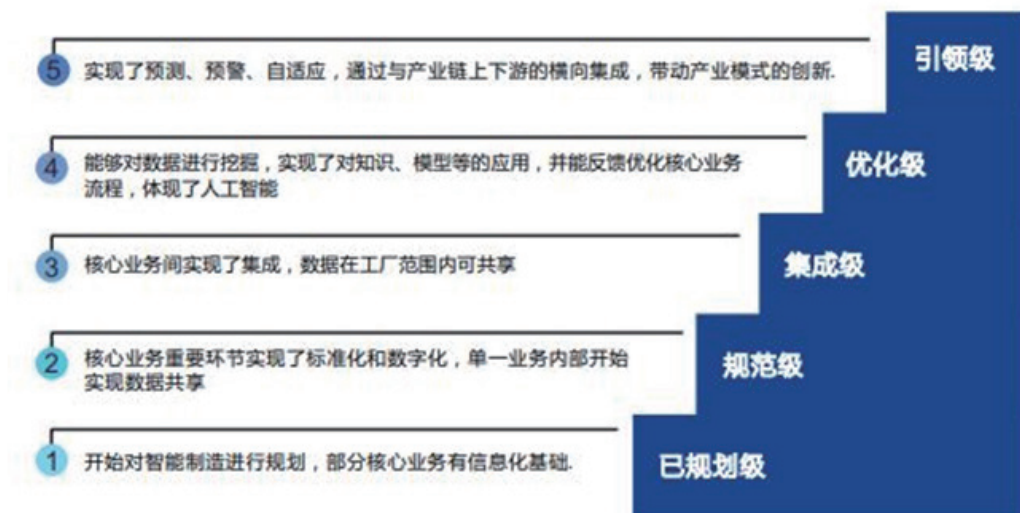


图 3

成，数据和信息在业务内部实现共享，企业开始迈进智能制造的门槛。

（3）3级：集成级。

在这个级别下，企业对智能制造的投资重点开始从对基础设施、生产装备和信息系统等单项投入，向集成实施转变，重要的制造业务、生产设备、生产单元完成数字化、网络化改造，能够实现设计、生产、销售、物流和服务等核心业务间的信息系统集成，开始聚焦工厂范围内数据的共享，企业已完成了智能化提升的准备工作。

（4）4级：优化级。

在这个级别下，企业内生产系统、管理系统以及其他支撑系统已完成全面集成，实现了工厂级的数字建模，并开始对人员、装备、产品和环境所采集到的数据以及生产过程中所形成的数据进行分析，通过知识库、专家库等优化生产工艺和业务流程，能够实现信息世界与物理世界互动。从3级到4级体现了量变到质变的过程，企业智能制造的能力快速提升。

（5）5级：引领级。

引领级是智能制造能力建设的最高程度，在这个级别下，数据的分析使用已贯穿企业的方方面面，各类生产资源都得以最优化的利用，设备之间实现自治的反馈和优化，企业已成为上下游产业链中的重要角色，个性化定制、网络协同和

远程运维已成为企业开展业务的主要模式，企业成为本行业智能制造的标杆。

企业在实施智能制造时，应按照逐级递进的原则，从低级向高级循序演进，要注重投资回报率。企业应该根据自身的业务发展现状、市场定位、客户需求和资金投入情况，来选择合适的等级确定智能制造的发展方向。需要注意的是，并非只有最高级才是适合每个企业的最佳选择。

4、成熟度要求

成熟度要求描述了为实现域的特征而应满足的各种条件，是判定企业是否实现该级别的依据。每个域下分不同级别的成熟度要求，其中对制造维及资源要素的要求是从1级到5级，对互联互通和系统集成的要求是从3级到5级，对信息融合的要求从4级到5级，对新兴业态的要求只有第5级。

二、智能制造能力成熟度要求

1、设计

设计是通过产品及工艺的规划、设计、推理验证以及仿真优化等过程，形成设计需求的实现方案。设计能力成熟度的提升是从基于经验设计与推理验证，到基于知识库的参数化/模块化、模型化设计与仿真优化，再到设计、工艺、制造、检验和运维等产品全生命周期的协同，体现对个性化需

求的快速满足。构成设计类能力的域如图 4 所示。

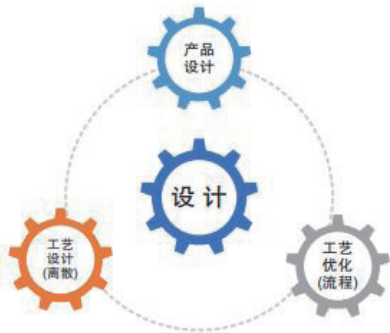


图 4 设计的关键评价域

2、生产

生产是通过 IT 与 OT 的融合，对人、机、料、法、环五大生产要素进行管控，以实现从前端采购、生产计划管理到后端仓储物流等生产全过程的智能调度及调整优化,达到柔性生产。生产能力成熟度的提升是从以生产任务为核心的信息化管理开始，到各项要素和过程的集中管控，最终达到从采购、生产计划与排产、生产作业、仓储物流和完工反馈等全过程的闭环与自适应。构成生产类能力的域如图 5 所示。

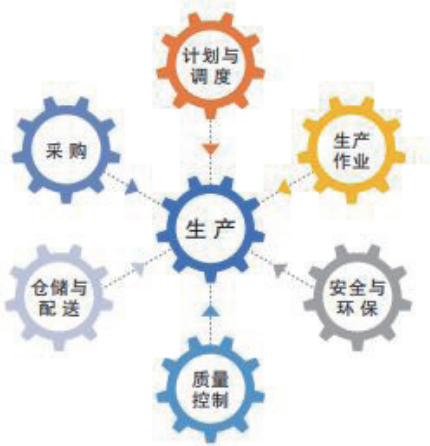


图 5 生产的关键评价域

3、物流

物流管理是将产品运送到下游企业或用户中的过程,利用条形码、射频识别、传感器以及全球定位系统等先进的物联网技术，通过信息处理和网络通信技术平台实现运输过程的自动化运作、可视化监控和对车辆、路径的优化管理等，以提高运输效率、减少能源消耗。物流能力成熟度的提升是从订单、计划调度、信息跟踪的信息化管理开始，到通过多

种策略进行管理，最终实现精益化管理和智能物流。其关注点在于订单管理，运输计划与调度管理、物流信息的跟踪与反馈，运输路径的优化等。等级及其特征如表 1 所示。

表 1 物流管理的不同等级及其特征

1 级	通过信息系统对销售业务进行简单管理；
2 级	通过信息系统实现销售全过程管理，强化客户关系管理；
3 级	销售和生产、仓储等业务进行集成，实现产品需求预测/实际需求拉动生产、采购和物流计划；
4 级	应用知识模型优化销售预测，制定更为准确的销售计划；通过电子商务平台整合所有销售方式，实现根据客户需求变化自动调整采购、生产、物流计划；
5 级	能够实现对电子商务平台的大数据分析和个性化营销等功能。

4、销售

销售管理是以客户需求为核心，利用大数据、云计算等技术，对销售数据、行为进行分析和预测，带动生产计划、仓储、采购及供应商管理等业务的优化调整。销售能力成熟度的提升是从销售计划、销售订单、销售价格、分销计划、客户关系的信息化管理开始，到客户需求预测 / 客户实际需求拉动生产、采购和物流计划，最终实现通过更加准确的销售预测对企业客户管理、供应链管理与生产管理进行优化，以及个性化营销等。其关注点在于销售数据挖掘、销售预测及销售计划、销售业务与相关业务的集成以及销售的新模式。等级及其特征如表 2 所示。

表 2 销售管理的不同等级及其特征

1 级	通过信息化手段管理物流过程，对信息进行简单跟踪反馈；
2 级	通过信息系统实现订单管理、计划调度、信息跟踪和运力资源管理；
3 级	实现出库和运输过程的整合，实现多式联运，物流信息能够推送给客户；
4 级	应用知识模型实现订单精益化管理、路径优化和实时定位跟踪；
5 级	实现无人机运输、物联网跟踪等。

5、服务

服务是通过对客户满意度调查和使用情况跟踪,对产品的运维情况统计分析，反馈给相关部门，维护客户关系，提升产品过程，达到从纵向挖掘客户对产品功能和性能的要求，进而从横向拓展客户群。服务能力成熟度的提升是服务方式从线下、线上、云平台和移动客户端、客服机器人 / 现场、线上线下远程指导、远程工具、远程平台和 AR/VR 的转变,最终能够提供个性化客户服务和基于知识挖掘的创新

性产品服务。

6、资源要素

资源要素是对组织的战略、组织结构、人员、设备及能源等要素的策划、管理及优化，为智能制造的实施提供基础。资源要素能力成熟度的提升体现了从管理愿景的策划，到运用信息化手段进行管理、到决策智能化的转变，体现了组织智能化管理水平的提升。构成资源要素类能力的域如图 6 所示。

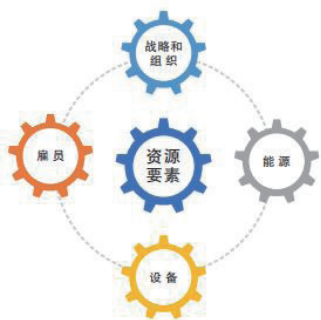


图 6 资源要素的关键评价域

7、互联互通

互联互通是现场总线、工业以太网、无线网络等在工厂中的部署和应用，使工厂具备将人、机、物等有机联通的环境。互联互通成熟度的提升是从设备间，到车间、到工厂以及企业上下游系统间的互联互通，体现了对系统集成、协同制造等的支撑。

8、系统集成

系统集成的目的是实现企业内各种业务、信息等的互联与互操作，最终达到信息物理完全融合的状态。系统集成成熟度的提升是从企业内部单项应用、系统间互联互通，到企业内全部系统、企业间上下游集成的转变，体现了对资源充分共享。构成系统集成类能力的域如图 7 所示。

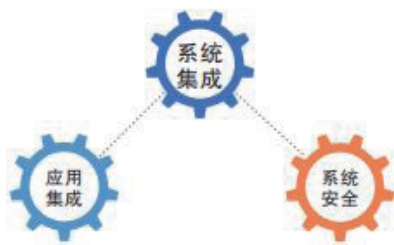


图 7 系统集成的关键评价域

9、信息融合

信息融合的核心在于对数据的开发利用，通过数据标准化、数据模型的应用等，实现对设计、生产及服务流程的优化，提升预测预警、自主决策的能力。信息融合成熟度的提升是从数据分析、数据建模到决策优化的过程。构成信息融合类能力的域如图 8 所示。

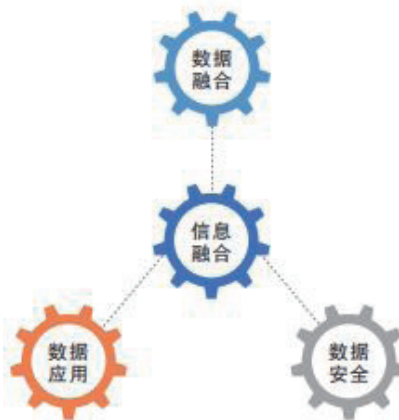


图 8 信息融合的关键评价域

10、新兴业态

新兴业态是企业在互联网的推动下，采用信息化手段以及智能化管理措施，重新思考和构建制造业的生产模式和组织方式，进而形成的新型商业模式。新兴业态能力成熟度主要体现在智能制造高级阶段，实现了快速、低成本满足用户个性化需求，对设备远程控制，信息资源交互共享的目的，实现企业间、部门间各环节的协同优化。构成新兴业态类能力的域如图 9 所示。

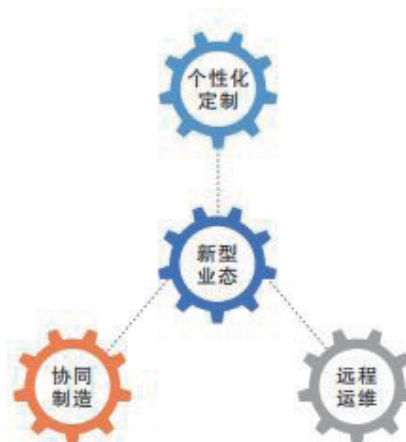


图 9 新兴业态的关键评价域

三、模型的应用

根据使用者的不同,智能制造能力成熟度模型分为两种表现形式 - 整体成熟度模型和单项能力模型,整体成熟度模型提供了使组织能够通过改进某一些关键域集合来递进式的提升智能制造整体水平的一种路径,单项能力模型提供了使组织能够针对其选定的某一类关键域进行逐步连续式改进的一种路径。

1、整体成熟度模型分级

整体成熟度模型用于衡量企业智能制造的综合能力,主要面向大型企业等,兼顾了制造和智能两方面。在模型中,将企业智能制造能力成熟度划分为5个等级,数字越大成熟度等级越高。高成熟度等级代表比较强的智能制造能力,反之亦然。按照本模型提升企业智能制造水平是由低到高逐步递进的,不能放弃比较低的等级直接越级提升到比较高的等级,每个等级向下兼容下一个等级。随着等级的提升,要实现的类的数量是增加的,如图10所示。

2、单项能力模型分级

单项能力模型主要面向中小企业或者只在制造的某些环节有智能化提升需求的企业,用于衡量企业在制造的某一关键业务环节的智能化能力,侧重制造维的实施。模型中,将每一制造环节的智能制造能力分为5级,数字越大能力等级越高,选择一个类进行改进后,必须严格按照等级递进提升,如图11所示。

3、模型的应用

智能制造能力成熟度模型可用于诊断评估、统计分析以及改进提升,可供产业主管部门、制造企业、解决方案提供商、第三方机构等四类主体使用,适用于所有制造企业,不受行业限制。如图12所示,展示了应用主体、模式与相关产品的对应关系。

四、总结

智能制造产业正处于高速发展阶段,对制造业乃至国民经济的作用举足轻重。白皮书提出的能力成熟度等级为企业提供了一个评价其智能制造综合水平的框架,能够引导企业

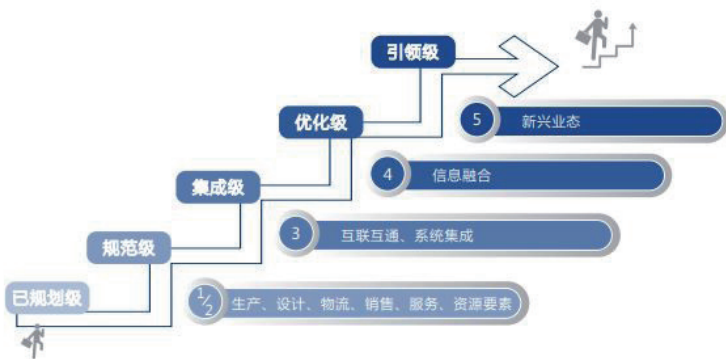


图10 整体能力成熟度等级



图11 2-单项能力成熟度模型

图12 应用主体、模式、相关产品的对应关系



图12 应用主体、模式、相关产品的对应关系

确立战略目标、采用适宜的方法与路径来实现智能制造,对整个产业的健康发展有积极作用。