绿色智能工厂建设新模式

文/李保强
中机六院智能制造工程院

△ 机械工业第六设计研究院有限公司智能制造工程院副院长李保强

智能工厂概述

智能制造和绿色制造都是当前制造业的热点话题，企业在推动智能制造时会发现智能制造和绿色制造二者其实是密不可分的，因为绿色制造中会涉及智能化的提升，同样智能制造推进中亦会有关于绿色零碳等的规划设计和实施，比如环保等方面，二者相辅相成、互为促进。智能制造和绿色制造关系如图1所示。

智能工厂作为智能制造的典型实践，充分融合了信息技术、先进制造技术、自动化技术、通信技术和人工智能技术，与企业的产品特点和制造工艺紧密结合。智能工厂主要特征为：

1）精益生产理念的结合，充分体现工业工程和精益生产的理念。

2）柔性自动化的实现，结合企业的产品和生产特点，持续提升自动化。

3）广泛应用工业软件，MES（制造执行系统）、APS（先进生产排程）、能源管理、 质量管理等工业软件，实现生产现场的可视化和透明化。

4）设备互联技术，包括DNC/SCADA、RFID（无线射频技术）、条码（一维和二维）。

5）智能仓储物流的运用。

6）实时洞察监测生产各环节。

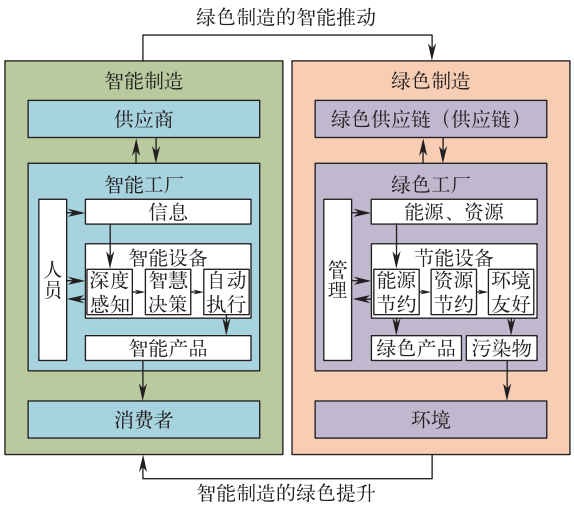

图1　智能制造和绿色制造关系

机械制造业建设智能工厂面临的主要问题

机械制造业行业多为典型的离散型制造，为多品种、多规格、批量或小批量生产性质，因此，机械制造业企业在实施智能制造时不可避免会遇到如下问题：

1）自动化程度低。大部分依靠人工；装配环节自动化程度差；自动化检测手段缺失。

2）多点“烟囱式”系统。信息孤岛严重；信息化与业务没有充分融合；存在较多业务流程断点。

3）管理基础薄弱。工时不准确；精益管理差；标准化欠缺。

4）数据缺乏有效管理。无法保证数据质量；数据采集难度大；缺少统一的数据治理原则。

5）业务模式与流程变革难。组织架构调整难度大；流程优化阻力大；业务模式变革方向不明确。

智能工厂建设到底包括哪些内容？怎么建？在新编制的国标里对智能工厂架构的每一项具体内容都进行了详细梳理和定义。智能工厂包括物理工厂和虚拟工厂两部分：智能工厂总体架构以智能制造标准体系和安全体系为两翼，其中物理工厂包括实体工厂、工厂物联网和信息化系统；虚拟工厂包括与实体工厂一一映射的三维信息模型和赋予逻辑算法的仿真模型。物理工厂和虚拟工厂通过数字孪生技术进行连接，最终达到虚实集成。智能工厂架构如图2所示。

图2　智能工厂架构

智能工厂建设新模式

针对典型的离散型制造模式，在智能工厂建设过程中，要先诊断，找短板、定方向；再进行总体规划，提目标、稳推进，关键的还是工艺、物流和产线优化设计，这是根本所在；然后才是基于绿色技术的土建公用配套设计；最后进行信息系统集成，做到互联互通。这样才能打造一个精益、绿色、智能化的工厂。智能工厂建设流程如图3所示。

（1）诊断评估

首先要做好诊断，调查企业基本情况、问题、痛点和需求，评估智能制造水平，分析差距原因，提出改造顶层方案和优先级建议。我们搭建了河南省的智能制造服务平台，参与诊断超过500家，获得了第一手数据，积累了一些经验。

1）调查企业基本情况。企业基本情况包括企业规模、所属领域、职工人数、主导产品及市场占有率、技术创新、上下游产业链现状和协同能力水平等情况。

2）评估企业绿色智能制造水平。调研工厂规划、产品产量、设备与自动化、信息化软件、网络设施、质量管理等方面现状。

3）分析差距原因。分析现有工厂制造水平与智能工厂之间的差距。

4）针对企业现状和存在问题，提出企业开展智能化改造的顶层设计方案和优先级建议；或重点从智能装备应用、车间设备互联互通、生产过程实时调度、物料自动配送、产品信息可追溯等方面给出规划建议。

（2）绿色智能工厂总体规划

智能工厂涵盖精益改善、工艺流程再造、物流、自动化改造、工厂物联网、信息化应用系统、土建公用设施、建模仿真和数字孪生等建设内容，是个复杂的系统工程，投资大、周期长，因此在实施时前需进行整体化规划和顶层设计。

通过规划好实施路径，帮助企业实现智能制造

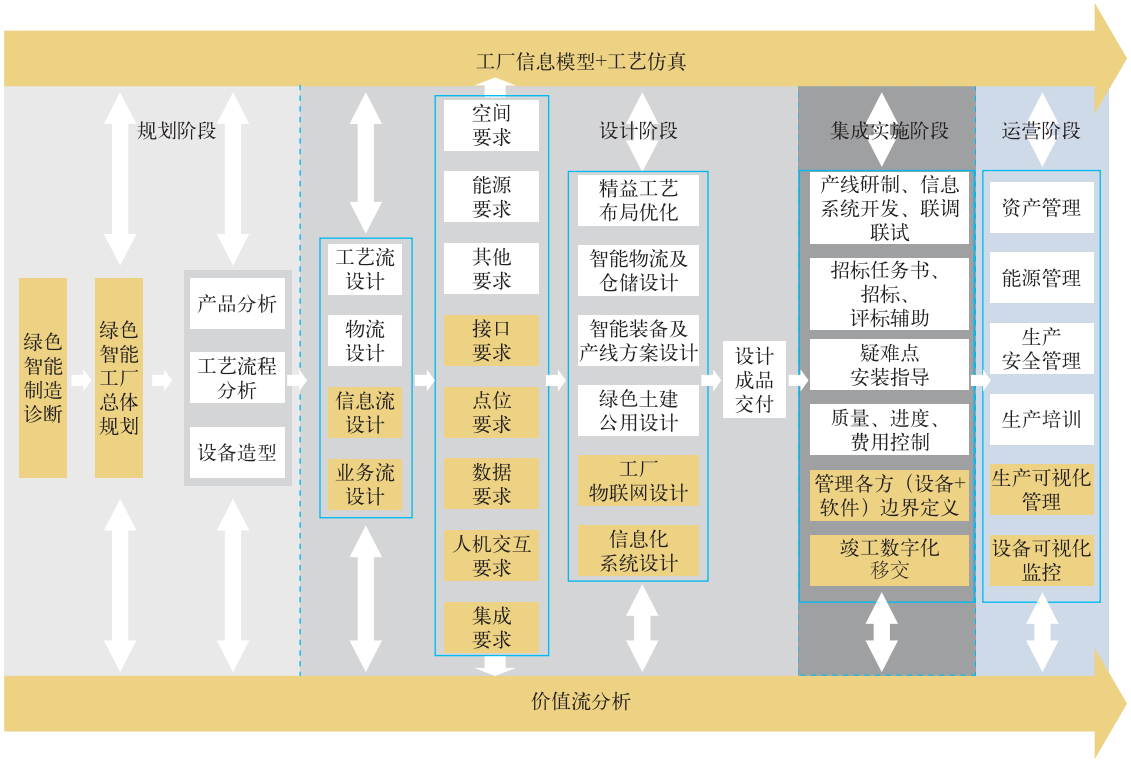

图3　智能工厂建设流程

转型升级之路，提高生产效率，降低成本，增加利润。同时企业要紧跟政策，申请专项奖励。

（3）采用全新设计手段

全新的设计需要先进的设计工具，采用自主开发的设计协同云平台，所有专业在同一个平台上协同设计，可以两维三维联动，一键生成支吊架，快速标注和出图，量单报价集成。

（4）基于精益的工艺优化设计

最基础的工作还是进行工艺优化，首先调出所有的零部件图样和工艺卡详细分析，单件小批工件合并同类项，组合成流水线和单元，并通过绘制未来价值流图，识别关键线路，找出瓶颈，提出改善措施。

（5）智能装备及生产线设计选型

基于精益的工艺优化后，要提高设备的自动化，即通常所说的机器换人或机器助人环节。常规的工厂设计主要是标准设备选型，智能工厂场景下，由于大量的个性化定制、柔性、协同等需求，出现了设备非标化趋势，需要定制化研制，特别是输送、上下件、工装夹具等。工艺、物流、产线关系紧密，互相影响，必须反复迭代优化。

（6）智能仓储物流设计

设备自动化提升后，要把所有制造过程贯通，工件一个流流下去，智能仓储和物流设计就显得很重要，包括自动化立体存储、分拣、AGV配送、调度系统、交通管理等。

（7）工厂建模仿真优化

在虚拟工厂搭建过程中，通过建模和仿真的工具，对产品、工厂、生产过程和架构进行数字化建模，对建筑物性能进行仿真。对工艺布局、物流、关键产线、人机工程和产能进行仿真优化。

（8）工业物联网及相关系统设计

对于工厂物联网及系统集成的设计，常规工厂只进行IT基础设施规划和信息化应用系统规划，在新设计中，还要进行SCADA、安灯看板、设备联网、透明工厂等系统的设计，同时进行各个系统的集成设计。

（9）绿色智能工厂数据采集

这个环节要考虑采集什么数据、怎么采集数据、采集数据的周期及如何利用采集的数据。人机料法环测各方面的信息，采少了不够用，采多了增加传感和数据存储成本。必须做好顶层的功能模块

规划，明确数据类型需求；统一数据接口协议；建立每台设备的数据字典；写入采购合同。

（10）敏捷看板数据解决方案

数据采集之后就要做好数据的应用，搭建移动透明工厂，将信息及时推送到看板和移动端。

（11）智能管控平台

打造车间和产线级的生产管控系统，有效提升了车间的透明管控能力和设备的运维水平等。

（12）绿色智能工厂数字孪生

最终可以实现实体工厂和虚拟工厂的双向数据集成、数字孪生，可以进行虚拟工厂的实时监控、历史回溯和调产推演等。

（13）绿色零碳解决方案

智能工厂可视化展示用能负荷大的专机、产线、车间、整厂能效地图、碳排放和污染物排放指标，并与智能排产联动。综合碳排放指标在订单增多的情况下同期下降25%以上。同时除了前面的土建公用设施绿色设计的基础上，重点从能源综合利用方面入手，实现多能互补，打造零碳绿色智慧能源示范园区。

通过上述介绍可以看到，绿色智能工厂建设投资大、周期长、责任大；涉及工艺、物流、产线、自控和信息化，技术含量高、系统性强、资质要求高。

如果在前期没有绿色智能工厂整体规划，工艺、物流、产线、工厂物联网、信息系统集成技术方案不可行，所配套的基础建设和信息化系统就不是量身定制，就会一边建设，一边改造，所以新设计贯穿整个实施工程。因此认为，智能工厂的实施应该是基于新设计的全过程咨询和EPC总承包模式，也就是系统集成。

案例分享

下面介绍二重装备飞轮储能装置智能工厂项目。该项目用于飞轮储能装置的部装、总装和测试，是一个智能工厂全要素EPC总承包项目。

首先通过诊断找出短板，人工劳动强度大，质量一致性差，存在安全隐患，生产效率低。

通过诊断分析，该项目难点主要是磁钢装配专机和电枢盘自动绕线专机属于国内首台（套），另外，还有全自动智能测试技术、高精度自动化装配技术等方面。

针对这些难点，通过核心技术研发、三维建模仿真、关键设备试制验证、整合软硬件供应商等方法进行化解。进行详细地工艺流程分析，绘制价值流图，找出瓶颈，进行优化。同时针对物料进行详细分析，包括物料种类、尺寸、仓储形式和装具载具等；将物流与工艺流、信息流贯穿起来。

以从业主对工程建设管理核心关注点出发，以可视化的方式展示项目当前的进度、质量、投资（变更、计量）、安全、人员等关键指标数据，辅助管理层进行科学决策。采用工程在线云平台进行管控，参建各方都在这一个平台上，有效提升了沟通效率。

中机六院愿与企业一块打造精益、高效、低耗、友好、安全、透明的智能工厂。

（本文根据李保强在“2023智能工厂/数字化车间关键技术与应用专题论坛”上的演讲整理）