

车间生产如何实现智能化数字化

周绍峰 张海兴 张 涛 陈志鹏 朱全栋

中国水电四局（长治）能源装备工程有限公司 山西 长治 046000

摘 要：长期以来，我国劳动力成本优势导致在装备自动化、数控化和智能化技术方面投入不足，致使整体生产自动化和智能制造水平相对滞后。为满足工艺设计要求，需在整个制造过程中实现具备以下功能的智能化生产：产能约束调度、物料自动配送、状态实时追踪、优化控制、智能排产、设备运行监控、质量追溯管理及车间效能分析。这包括：对生产/设备/质量异常进行精准判断与处置；实现生产执行系统与运营管理、研发设计及智能装备的深度集成；构建设计与制造、管理与控制系统间的无缝衔接。

关键词：自动化；数控化；智能化；一体化

1 生产车间的类型

1.1 人工操作车间：在这种车间里，生产流程对人力有着高度的依赖性。从零部件的装配到产品的精细加工，再到最终的质量检测，每一个环节都离不开工人的直接参与。技术层面，这里主要依赖简单机械工具，仅配备如电钻、砂轮机为基础电动工具，缺乏自动化设备的支持。管理方式较为传统，采用纸质工单进行任务分配，依靠人工记录生产数据。生产调度则主要依赖班组长的经验判断。像传统手工作坊以及一些定制化小批量生产车间就属于此类，它们凭借工人的技艺和经验，满足着特定客户群体对个性化产品的需求，但在生产效率和规模上存在一定局限。

1.2 低级信息化车间：车间建立了纸质文档管理体系，涵盖工艺卡、检验记录、设备台账等各类文件，虽有一定规范，但管理效率较低。开始使用Office软件制作电子表格进行数据整理，部分车间可能配置了单机版管理软件，然而这些软件的功能相对单一，且相互独立。管理人员进行生产安排时，主要基于历史数据和自身经验，缺乏科学、精准的决策依据。同时，车间内存在严重的信息孤岛问题，不同部门之间的数据难以共享和流通，数据更新滞后，导致跨部门协同工作困难重重，严重影响了车间的整体运营效率和响应速度^[1]。

1.3 自动化车间：这类车间积极引入PLC控制系统、工业机器人、自动传送带等先进设备，实现了工序级的自动化生产。在工业制造领域，自动化技术能够确保标准化生产流程的稳定性和精确性，从而显著提升生产效率和产品可靠性。车间可能配置了设备监控系统，对生产设备的运行状态进行实时监测。然而，各管理系统之间缺乏有效的集成，数据无法在不同系统间自由流动和共享。例如汽车制造焊装线和电子元器件自动插件生产

线，虽然实现了局部自动化，但由于系统间的割裂，难以实现整体生产流程的优化和协同，限制了车间向更高层次的智能化发展。

1.4 无纸化车间：无纸化车间是制造业数字化转型的关键一步，构建了MES（制造执行系统）、SCADA（数据采集监控）、ERP（企业资源计划）多层次架构。MES负责生产执行与调度，SCADA实时采集监控设备数据，ERP统筹企业资源规划。数据流转实现订单-计划-生产-质量全流程电子化追溯，极大提升了信息透明度与可追溯性。设备联网通过OPC协议、工业网关实现数据采集，让设备运行状态一目了然。然而，转型面临挑战，需建立统一数据标准，解决多系统接口集成问题。一旦成功，可消除信息孤岛，提升协同效率，为进一步智能化发展奠定基础，助力企业精准决策、高效生产。

1.5 数字化车间：数字化车间是OT（运营技术）与IT（信息技术）深度融合的产物，形成了数字主线（Digital Thread），实现从产品设计到生产制造的全生命周期数据贯通。应用工业物联网（IIoT）、数字仿真、虚拟调试等技术，让生产过程更加智能化。部署具有自适应功能的智能机床、AGV物流系统，使车间具备实时生产监控、动态排产优化、质量预测分析的能力。通过数字主线，企业能快速响应市场变化，优化生产流程，提高产品质量和生产效率。同时，虚拟调试减少了实际生产中的试错成本，为企业创新发展提供了有力支持，推动制造业向高端化、智能化迈进^[2]。

1.6 数字孪生车间：数字孪生车间构建了物理车间与虚拟空间的实时映射关系，犹如为车间打造了一个“数字双胞胎”。它具备工艺仿真优化、设备健康预测、能耗模拟分析等功能，能提前发现潜在问题，优化生产方案。通过机器学习算法，可智能识别生产瓶颈，为企业

决策提供精准依据。在新产品开发阶段,可用于虚拟试制,降低研发风险和成本;在生产线布局方面,能模拟不同方案,选择最优布局;在应急管理上,可进行预案模拟,提高应对突发事件的能力。数字孪生车间是制造业迈向智能制造的重要里程碑,将重塑生产模式,提升企业竞争力。

1.7 智能化车间:智能化车间是制造业发展的高级形态,拥有主动学习和持续优化的能力。它如同一个具有智慧的“大脑”,能够自动收集、分析生产过程中的海量数据,从中学习并发现规律,进而对生产流程、设备参数等进行实时调整和优化。在面对复杂多变的市场需求和生产环境时,智能化车间可以快速做出反应,实现柔性化生产。它不仅能提高生产效率、降低成本,还能保证产品质量的稳定性和一致性。随着人工智能、大数据等技术的不断发展,智能化车间将不断进化,为制造业带来前所未有的变革,推动企业实现可持续发展,在全球竞争中占据领先地位。

2 什么是数字化车间和智能化车间

2.1 数字化车间

应用数字化建模、数字化控制、数字化管理等技术,覆盖车间规划与改善、生产运行、工艺执行、库存物流、质量控制、设施维护等核心业务环节。通过对产品定义数据进行数字化建模和数字量传递,实现设计、制造、检测、装配等全流程无缝衔接;借助车间设施与生产流程的数字化建模,通过仿真分析优化车间运行效能。通过引入数字化设备,实现生产过程的数字化控制及设备状态实时监控;依托数据采集手段与数字化管控系统,完成产品制造及生产过程数据的自动采集记录、流转和增值计算,从而提升管理效率与决策效能。

2.2 智能化车间

“智能”即指:通过为车间规划、生产运行、工艺执行、质量控制、物流管理及设施维护等核心业务提供科学决策支持,最终实现车间运营效能的最优化。实现需获取准确、全面、实时的信息,并建立有效的决策模型,实现分析、优化、判断及预测功能,运用统计分析、数据挖掘、大数据分析和人工智能等先进算法,配备通用计算、边缘计算、雾计算及云计算等多元化计算能力^[3]。

3 智能生产存在的问题

3.1 生产设备数字化、智能化水平低下,网络互联程度不足,严重制约车间数字化智能化转型升级;

3.2 物流系统自动化智能化程度薄弱,自动化仓储设施匮乏,生产现场物料配送与传输自动化水平有限;

3.3 制造执行系统(MES)应用普及率不高,导致生产计划粗放、设备负荷失衡、物料协同供应不足,进而引发车间物料管理混乱与作业进度监管失效;

3.4 部分企业虽大量配置数控机床或自动化产线,但存在系统集成度不足的突出问题;

3.5 生产进度、质量状态、设备运行、物料调配等关键数据实时采集严重缺失,信息反馈滞后,致使整个生产系统透明化与可视化水平低下,极大削弱了生产调度的科学性与时效性。

4 实施步骤

4.1 规划阶段

开展智能制造方向的SWOT分析,明确企业数字化、智能化车间的建设目标与愿景,制定总体规划蓝图和实施路线图。

4.2 设计阶段

4.2.1 工厂/车间布局设计:厂房设计、设备工艺能力分析、产线布局规划、物流方案设计

4.2.2 自动化方案设计:加工/装配/检测/物流自动化方案,以及关键设备的智能化升级计划

4.2.3 制造工艺分析:工艺路线规划、工序设计、任务分配、产线平衡优化

4.2.4 信息系统设计:车间规划/排程/运行控制/现场数据采集/决策分析等工业软件(如SCADA、MES、APS系统)

4.2.5 支撑体系设计:车间物联网网络、可视化看板与报警系统、信息安全与车间安防、数据总线与大数据存储、信息集成、人员配置方案

4.2.6 业务流程梳理:计划流、执行流、物料流、质量流、变更管理流、决策分析流

5 建设阶段

5.1 虚拟仿真验证:建立虚拟工厂(车间)模型,进行生产物流过程仿真以验证方案可行性

5.2 车间自动化建设:构建支持混流生产的柔性自动化加工/装配/检测/物流系统

5.3 信息系统实施:包括现场控制层、生产管理层、工厂运营层、协同制造层等工业软件(典型配置: MES、ERP、CAPP、SCADA、SCM)

5.4 支撑环境建设:信息基础设施、管理环境(精益生产)、标准化体系

5.5 系统集成与信息融合:实现产品全生命周期端到端集成、横向集成和纵向集成,消除信息孤岛

5.6 组织调整与人员培训:根据智能工厂要求调整组织架构和岗位设置

6 运行阶段

智能车间是深度信息物理融合的数字孪生体（Cyber-Physical Systems, CPS）：

6.1 物理车间执行产品加工/装配/检测/物流等实际生产活动

6.2 数字车间负责工艺验证、生产计划优化、设备健康管理与维护决策、质量缺陷识别与根因分析、物流路径规划与调度等智能决策

6.3 智能决策依赖于数据/模型/算法，其有效性取决于物理空间到数字空间的精准映射

7 评价与优化阶段

数字化/智能化车间建设是持续迭代的过程，每个周期需要：

7.1 客观评估建设成效，识别不足并确定改进方向

7.2 重点任务：绩效评估、数据驱动的仿真优化、精益改善、自动化升级、信息系统增强、业务流程重组

7.3 评估难点：需针对不同行业/产品特点制定差异

化的智能车间评估标准与权重体系

结束语

通过应用智能数字化工厂技术，企业能够在设计初期就前瞻性地规划工厂布局、生产能力和产能水平，并实现全方位的评估验证。智能数字化车间技术的应用，将传统的部门化流水线改造为紧密耦合的有机整体。这种深度整合有效促进了工厂建设过程中的柔性协调与并行作业。更重要的是，这些技术实现了产业链节点的全域互联，大幅提升了生产制造、物流运输和运营管理全流程的灵活性与自动化水平。

参考文献

[1]夏连生,谢炜,王建军.数字化车间采集系统的设计和实现[J].电声技术,2019,43(2):62-64,74.

[2]刘岳,机械设计制造的数字化与智能化发展前景分析,2020年第58期.

[3]何玺,何波.数字化车间建设研究与实践[J].智能制造,2019(5):54-57.