

智能工厂的技术研究

唐亮

机械工业第六设计研究院有限公司天津分院 天津 300380

摘要：在工业4.0与智能制造的浪潮下，智能工厂作为制造业转型升级的核心载体，对提升生产效率、降低运营成本、增强企业竞争力具有重要意义。深入探讨智能工厂的技术研究方向和实施，分析其在生产监控、质量检测、设备维护等环节的应用潜力。旨在为企业推进智能工厂建设提供理论参考，助力制造业实现智能化、柔性化和绿色化发展。因此，将围绕智能工厂技术核心撰写，意在体现理论与实践相结合的特点。

关键词：智能工厂；智能制造；工艺流程；评估；人员；设备。

1 智能工厂的认知

1.1 智能工厂的理解

无论是传统工厂还是智能工厂都要遵循人、机、物、法、环、测六个维度和S、Q、D、C四个要素的生产管理方法进行生产运营。不同的是，

智能工厂是利用各种现代化技术，包括物联网（IoT）、大数据、人工智能（AI）、云计算等，将工厂的各个环节进行全面整合和智能化升级的工厂模式。它实现了从原材料采购到产品交付整个生产过程的自动化、数字化和智能化，它能够自我优化生产流程、预测设备故障、高效配置资源，从而提高生产效率、产品质量和企业竞争力。

现阶段结合设计项目，理解到智能工厂的架构一定要从项目的方案阶段开始实施，从方案阶段规划出未来工厂的空间发展预留，才有可能实现智能工厂的建设。然而智能工厂的建设是一个时间的积累，方案只是设想和指导性的说明，并不能指导项目实施乃至落地。举例来说：丹佛斯工厂，目前比较成功的“灯塔工厂”。他们的成功在于在建设初期的设计规划以及企业员工从基础层开始着手考虑，不断去优化改进。

1.2 智能工厂的建设意义

现已进入工业4.0时代，当今社会人们对产品的品质需求越来越高，理性消费成为消费市场的主流。各个企业家在这样的大背景下，既要保证工厂运营的降本增效，又要不断应对市场带来的产品多样化的挑战，特别是多品种小批量这样的大规模个性化定制化生产模式。其最重要解决的问题是柔性和智能制造，当我们实现柔性和智能制造这两点后，不管是大批量生产，还是多品种小批量，甚至是单件小批量这样的定制生产，都将可以实现，这也是建设智能工厂的意义所在。

智能制造的本质是提高生产效率、提升产品质量、降低运营成本、增强企业竞争力、促进产业升级、优化

人力资源配置、实现可持续发展。使智能工厂带给我们诸多价值，如：实现对于不同客户不同需求的生产，可以满足现在高端的个性需求；实现对产品的快速交付；实现零库存；降低人工成本。

因此在可以预见的未来，实现大规模个性化的柔性智能制造模式，建设智能工厂将会大行其道。^[1]

1.3 智能工厂的体系

智能工厂分为设备层→控制层→管理层→企业层，可形象的比喻成金字塔结构，想实现智能工厂的建设，需按部就班的推进。

设备层包括：智能生产设备、设备互联网络；控制层包括：可编程逻辑控制器（PLC）和分布式控制系统（DCS）、数据采集与监视控制系统（SCADA）；管理层包括：制造执行系统（MES）、企业资源计划（ERP）系统；企业层包括：产品生命周期管理（PLM）系统、智能决策支持系统（IDSS）。

1.4 智能工厂的构成要素

智能工厂作为现代制造业的先进模式，由多个关键要素构成，这些要素相互协作，共同实现工厂的智能化运行和高效生产。

主要构成要素包括：智能生产设备、工业互联网、数据采集与监控系统、数据分析与决策系统、智能仓储与物流系统、生产管理系统、智能质量控制系统、人机交互界面、网络安全保障体系、高素质人才队伍。

1.5 智能工厂的应用场景

当前，智能工厂借助先进技术实现生产过程的智能化、自动化与信息化，广泛应用于汽车制造业、电子设备制造业、食品饮料生产业、化工生产业、服装制造业、机械制造业等。

例如某车间通过智能工厂的建设将原来车间内设备密集、人员数量众多的问题得以解决。再例如某项目，在建筑面积约9.6万平方米的联合厂房中，包含机加、表面处

理、GMP、打包发运等工序，通过前期规划的加工区域，预留出充足的发展空间，得以使产量成倍实现增长^[2]。

2 智能工厂的技术研究方向

2.1 自动化集成技术

以传感器、执行器、可编程控制器、工业通讯、嵌入式系统、机器人等为代表的自动化技术及其系统集成技术是构建智能工厂的基础。通过这些技术，实现生产过程的自动化操作和设备的互联互通，提高生产效率和稳定性。

2.2 预测性维护与健康管理（PHM）技术

建立基于数字孪生的复杂机电产品 PHM 系统架构，研究机电产品运行时序数据的建模及预测方法，构建面向复杂机电产品 PHM 的数字孪生系统。其目的是提高复杂机电产品 PHM 的虚实结合反馈、决策优化迭代能力，进而提升设备的预测性维护和管理水平，减少设备停机时间，降低维护成本。

2.3 机器视觉技术

建立机器视觉辅助智能制造系统，以非接触式方式获取信息，结合图像处理和人工智能进行分析。通过视觉检测和识别，使系统能够自主掌握生产资源、在制品、人力、环境等多要素信息，可实现高效的产品质量控制、产线动态规划和人机协作。

2.4 工业互联网技术

建立基于云端的智能制造平台，以低时延的网络通信模式传输数据，构建面向应用场景的智能工厂实验室互联网平台，支持工业大数据、边缘计算、VR、AR、数字孪生技术等应用。通过工业互联网技术，可实现基于云端的设计辅助、柔性制造、AR/VR 交互体验、设备自动化监测与预测性维护等，打通企业内外部信息孤岛，实现资源的优化配置和协同创新。

3 智能工厂的实施方略

3.1 实施条件与建设目标

3.1.1 实施条件

产品需在市场上具备非常强的竞争能力，能够有不错的利润；公司需具备一定的产品研发能力，能够不断地推出有竞争力的产品以及能够让产品在市场上进行迭代；制度和流程需不断进行梳理优化，工艺流程需进行前期的标准化工作；企业需具备一定的人才储备；企业的老板或者股东是有情怀有使命感的人。

3.1.2 建设目标

智能工厂的建设，其目标在于提高生产效率，提高产品质量，降低生产成本，增强生产灵活性，优化决策管理。

3.2 分析内外部环境

3.2.1 内部环境

公司最高领导层的参与，只有一把手才能够更加了解和知道企业的战略规划和目标，以及企业家自身想要到达的目标。

设备与技术拥有自动化生产线、智能机器人、先进的传感器等设备，能实现生产流程的自动化和优化。同时，利用物联网、大数据、人工智能等技术，可实时采集和分析生产数据，为决策提供支持。

生产工艺流程通过信息化管理系统得以简化和优化，且能实现可视化、可控制和可优化。此外，智能工厂的设备间可协同作业，物料搬运与仓储管理也实现了智能化，提高整体生产效率。

人员素质：员工经过专业培训，具备较高的技术水平和对先进技术的掌握能力，能够操作和维护智能设备，适应智能化生产环境。

3.2.2 外部环境

市场需求增长，随着消费者对智能化产品的需求不断增加，以及对产品品质、个性化定制要求的提高，智能工厂能够更好地满足市场的多样化需求，具有广阔的市场前景。

找到丰富实践经验的实施团队和资源。让其将其他成功和失败的经验进行分享，以便减少试错的成本。同时可以吸收其丰富的经验，通过外部和内部团队的结合，根据自身情况进行精准实施，项目才能够更加适应所在企业的情况，这样才能够体现自身的竞争力。

通过组建跨组织跨部门的团队，使产业协同发展，智能制造产业生态逐渐完善，企业可以与供应商、合作伙伴等进行更紧密的协同合作，实现资源共享、优势互补，共同推动智能工厂的发展^[3]。

3.3 制定实施方案

3.3.1 现状诊断与目标规划

3.3.1.1 现状诊断

不是所有的企业都能够实现智能制造或者适合智能制造，要根据企业自身的基因和条件去判断。如果我们强行去上智能制造，花了很长时间，也投入了大量人力物力，最后发现无法继续下去，不得不回到传统的方式上。因此评估企业是否具备上智能制造的条件，是非常必要的。

现状诊断是依据成熟度等级评价表而来的。全面盘点工厂现有设备自动化程度、信息系统应用水平、人员技能结构、生产流程瓶颈，形成现状分析报告。

3.3.1.2 目标规划

当一个企业通过全面多方的调研，确定了自己的智能制造的方向和实施路径时，就可以开始进行小规模试点建设，这时应给企业制定一个短期→中期→长期计划来逐步完成智能工厂的建设，为什么是逐步来完成

建设呢?规模太小,无法得到真实的样本数据,许多场景没有体现出来,得不到应有的数据。规模太大本身掌控起来非常困难,一旦失败,将会承担巨大的损失。因此,对于试点的投入应该更加看重试点本身的成功率,而不应该过分纠结于投资回报率,过分地降低设备投入时的成本,应该更加关注项目在技术上、在方案上的成功,反之过分关注投资成本,计算回报率,会导致跟多项目无法启动,只有当智能制造的整体规模达到一定状态时,其才能够产出更大的价值和产出。

总之对于企业进行智能制造时,需要寻找一个适合自己企业的智能制造之路,只有通过这样一个过程,企业才能少走弯路,少花冤枉钱。

3.3.2 分阶段实施计划

要实现智能制造乃至智能工厂的建设,同样要按部就班的实施,可分为9步:流程化→标准化→精益化→模块化→柔性化→自动化→网络化→数字化→智能化。这其中包含基础建设阶段,系统集成阶段,智能应用阶段。

基础建设阶段:搭建工厂,实现全网覆盖;设备改造,追加检知识识别传感器,实现数据采集;建立数据平台,整合生产、质量、物料等多源数据。制定一些标准化文件,通过精益化不断改善,逐步搭载模块化、柔性化、自动化产线。

系统集成阶段:根据企业自身的流程进行系统引入,如部署制造执行系统(MES)、企业资源计划系统(ERP)、供应链管理系统(SCM)等。

智能应用阶段:通过网络化和数字化平台的搭建,进行预测性维护,实现提前预警设备故障,减少停机时间;部署能源管理系统,实时监测水、电、气等能源消耗。最终目标实现智能化工厂^[4]。

3.3.3 资源保障措施

资金投入:制定分阶段预算,明确设备采购、系统开发、人员培训等费用。通过企业自筹、申请政府补贴、引入战略投资等方式解决资金问题。

人员保障:人员引进、员工培训

供应商合作:筛选优质的智能设备供应商、软件开发商、系统集成商,建立长期合作关系,确保技术支持和售后服务。

3.3.4 风险管控与评估

风险预判:识别技术集成风险(如系统兼容性问题)、数据安全风险(数据泄露)、员工抵触风险(对新系统不适应)等。

应对策略:针对技术风险,在项目前期进行充分的测试和验证;对于数据安全,部署加密技术、防火墙等防护措施;通过加强沟通和培训,缓解员工抵触情绪。

评估机制:建立月度进度检查、季度效果评估机制,根据实际执行情况及时调整方案,确保目标达成。

4 结论与展望

智能工厂作为制造业智能化转型的核心载体,依托物联网、人工智能、数字孪生等关键技术,在提升生产效率、优化资源配置、保障产品质量等方面展现出显著优势。

尽管智能工厂技术已取得长足发展,但在技术融合深度、应用场景拓展、安全保障体系等方面仍存在提升空间。未来,智能工厂的技术研究与实施将呈现以下趋势:

技术融合创新:随着物联网、人工智能与数字孪生等技术的不断演进,其融合应用将更为紧密。例如,结合AI算法的数字孪生模型可实现更精准的生产预测与优化,5G与物联网的协同将推动设备互联迈向新高度,为智能工厂注入更强动能。

应用场景拓展:智能工厂的应用将从生产制造环节向全产业链延伸,涵盖产品设计、供应链管理、售后服务等领域。通过构建全生命周期数字化体系,实现产品从设计到报废的全过程智能管控,提升产业协同效率。

安全体系完善:随着智能工厂对网络依赖程度加深,工业网络安全风险日益凸显。未来需加强安全防护技术研究,构建涵盖设备、网络、数据的多层次安全保障体系,确保生产数据与企业核心信息安全。

绿色智能发展:响应全球可持续发展需求,智能工厂将进一步融合绿色制造技术,通过能源管理系统优化、低碳生产工艺研发等手段,实现生产过程的绿色化、低碳化转型。

人才培养升级:智能工厂的发展依赖复合型人才。未来需加强跨学科、跨领域人才培养,建立产学研深度融合的人才培养机制,为行业发展提供智力支撑。

智能工厂的技术创新与实施是制造业实现高质量发展的必然趋势。通过持续探索关键技术的突破与应用,完善实施方略,制造业将加速迈向智能化、绿色化、全球化的新阶段,为 global 经济发展注入新活力。

参考文献

[1]李培根,谭建荣,柴天佑等.面向2035的智能制造技术预见和路线图研究.中国工程科技知识中心,2022。

[2]柴天佑,丁进良,杜怀昌,等.面向2035的流程制造业智能化目标、特征和路径战略研究.中国工程科学,2022。

[3]DeepSeek+AI智能体数字工厂应用方案.优享智慧方案,2025。

[4]电子制造业SMT智能化工厂如何建设.SMTChina表面贴装技术,2025。