

基于智能设计成熟度评价的探讨

阜宁协鑫集成科技有限公司 ■ 王磊* 赵书宝 李宗佰 朱功 吕其丹

摘要: 智能制造是企业发展战略转型的重要环节, 其中, 智能设计决定了智能制造转型的效果。该文对智能设计在产品量产前期的产品设计和工艺设计两方面进行了介绍, 并阐述了光伏组件制造行业智能设计升级的方向。

关键词: 智能制造; 智能设计; 产品设计; 工艺设计; 光伏组件

0 引言

制造业的发展是我国实体经济发展的主要支撑, 是技术创新与进步的前沿, 是国家战略转型最重要的一步。《中国制造 2025》提出为了应对制造业的战略转型需求, 将发展智能制造作为主攻方向, 标志着我国智能制造已进入由理论研究向实际探索迈进的阶段。“智能制造”是《中国制造 2025》中最为重要的一环, 是实现制造业战略转型的最重要的一步。智能制造是通过人工智能技术、互联网技术等技术手段, 对工业化产品设计、生产和物流等全过程管控, 实现产品设计、生产、物流的信息化与智能化, 同时是信息流、资金流、物流及业务工作流的高度集成, 是制造业企业走向新工业企业的必由之路^[1]。

从《中国制造 2025》提出到现在, 相关学者从整体布局及行业特色出发进行了多维研究。比如, 张铁^[2]研究了工业机器人及智能制造技术在广东省的发展现状及重点突破对象; 王影等^[3]对比了我国智能制造装备与欧美、日本、德国等国之间的差距, 提出了智能制造发展应采取的措施及

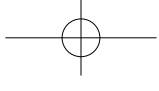
可行方案; 李松^[4]对我国智能制造业的竞争力进行了评估, 并提出了提升我国智能制造业的相关措施。从目前各行业专家、学者对智能制造的研究进展来看, 研究侧重于数字化生产、信息化管理及系统集成在企业应用端的重点突破, 同时在智能服务和智能物流方面也取得了一定进展, 但在智能设计方向的研究相对较少。笔者将结合《中国制造 2025》相关文件与专家学者的论述, 对智能制造中的智能设计维度进行探讨, 并阐述了光伏组件制造行业智能升级的方向。

1 智能设计

智能设计是指利用智能化的互联网科学技术, 通过集成处理器对人类的行为活动进行模拟仿真, 提高集成处理器的智能处理能力, 从而实现集成处理器更快、更好地承担设计过程中的复杂任务, 以协助工程人员完成相关任务^[5]。其具有以下特点: 1) 以设计方法学为指导; 2) 以人工智能技术为实现手段; 3) 采用图形处理与数据分析, 结合传统 CAD 二维 / 三维设计技术; 4) 面

收稿日期: 2018-08-17

通信作者: 王磊 (1988—), 男, 硕士、IE 高级工程师, 主要从事工业工程与智能制造等方面的研究。15951463654@163.com



向集成智能化,一方面匹配设计的完整性,另一方面结合计算机辅助制造(CAM),为设计和数据交换提供统一接口;5)提供强大的人机交互功能。从企业的实际生产状况来看,企业侧重智能设计在产品量产前期的仿真设计,即产品设计和工艺设计两个方面。所以,笔者将从产品设计和工艺设计两个方面对智能设计的相关内容进行论述。

2 产品设计

产品设计是从制订出新产品设计任务书起,到设计出产品样品为止的一系列技术工作。在产品设计过程中,需要把握整个产品的战略、形象、构造和功能实现,并根据产品设计需求确定生产线的设计布局,因此,产品设计的重要性不言而喻。通过智能化的产品设计实现了从纸质设计书到仿真设计的过渡,可将产品设计所涉及的概念开发和产品规划阶段及详细设计阶段这两个阶段分为数字化与模块化设计仿真模拟、产品设计试验仿真、产品虚拟流水线与生产模拟仿真、产品设计公差仿真、产品物流仿真、产品并行/协同设计等6个方面。

1) 数字化与模块化设计仿真模拟^[6]。采用数字化模型的虚拟仿真分析优化产品设计,保证产品全生命周期最优;同时,考虑到模块系列的未来扩展及对特殊产品和变型产品的辐射,采用模块化设计来保持模块在功能和结构上的独立性和完整性,以满足不同需求和产品的升级。

对于光伏组件的制造,可采用三维CAD技术重点解决光伏组件在生产周期的优化方案,同时对于新设备如串焊机、层压机、叠焊机等采用CAM控制系统,在实现作业自动化的同时,还可以进行作业情景的虚拟仿真,提升设备作业稳定性及作业效率。

2) 产品设计试验仿真。其主要包括产品功能、性能仿真分析,产品的安全性、可靠性、维修性、经济性仿真分析,产品结构、制造工艺、检验检测工艺仿真分析,以及产品生产效率仿真分析等。

采用Plant Simulation仿真软件,可模拟光伏组件生产,通过调整组件生产过程中的人员匹配、产品结构等,进行制造工艺、产品可靠性分析。

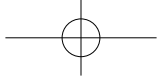
3) 产品虚拟流水线与生产模拟仿真^[7]。利用计算机技术、虚拟仿真软件对整个产品的生产过程进行全面仿真设计;在模拟仿真过程中对可能存在的生产异常进行前期优化及修改,以确保实际生产过程能够顺利生产。采用Plant Simulation仿真软件,实现组件新产品生产线的人力、设备需求量,岗位节拍及效率管理等的数据化,不断调整人员和设备,以达到生产效率最高。

4) 产品设计公差仿真。采用公差仿真软件(CAT)对产品及其零部件尺寸公差进行仿真实验,是在满足客户需求的前提下,不断优化尺寸公差并实时监控公差范围内的产品匹配度,持续优化尺寸公差的过程。目前,光伏组件制造行业因涉及产品匹配性的内容较少,因此,对于CAT技术的应用较少,针对此的相关文献及工厂端应用也较为少见。

5) 产品物流仿真。采用排队论、Petri网、线性规划等建模方法对产品物流系统进行建模仿真,通过电子计算机和手机APP软件编制对应的物流控制程序,仿真实际物流的运输情况,建模分析,以此来指导实际生产过程中物流系统的规划设计与运行管理。

6) 产品并行/协同设计。在系统建模仿真过程中需要进行产品的全生命周期管理(PLM),在设计阶段需要将产品的原料、生产、使用、回收等所有因素进行综合分析与规划设计,并将客户需求的产品功能、性能和设计结构考虑进来。

智能化产品设计实现了产品量产的模拟化作业,能够有效地为企业管理者及生产者提供产品的模拟数据,减少产品前期的试验费用,有效提高产品的生产能力和企业效益。作为自动化程度相对较高的光伏组件制造行业,目前专注以自动化和信息化驱动智能化变革,将生产线硬件改善及产品数据化作为改革重点,但忽视了对产品生产前的设计进行信息化处理,同时,在产品设计



阶段也缺乏专业的模拟仿真软件及专业人才。因此,光伏组件制造行业智能设计升级的方向应为智能产品设计相关人才、技术的引进,尤其是在能够快速降低新产品成本投入且相对薄弱的产品设计试验仿真、产品虚拟流水线与生产模拟仿真这两个方面。

3 工艺设计

工艺设计的初衷是便于组织生产、指导车间作业、保障产品质量、提升设备效率,其是通过长久作业不断总结,并结合实际生产条件不断改善和优化得到的科学经验。虽然新产品在尚未进行生产时无法准确得到其所需的制造工艺清单(BOM)、规格书等,但是通过计算机仿真可以实现工艺数据的搜集,并确定所需的相关文件资料。智能化工艺设计从BOM模拟、虚拟生产工艺规格书、制造工艺基础数据库、人因仿真、虚拟装配仿真、虚拟产线与生产模拟仿真等6个方面进行仿真模拟。

1) BOM模拟。BOM阐述了产品在生产过程中的零配件组装方式及加工装配先后顺序,可反映产品生产过程中的标准作业流程。根据BOM对生产流程进行区域性划分,可实现对新产品流水线的布局设计。通过对BOM模拟仿真,能够简化新产品虚拟产线与生产模拟仿真方案,可快速有效地导入虚拟产线,降低设计难度。

2) 虚拟生产工艺规格书。通过计算机仿真模拟工艺生产,实现产品数据及指标的搜集,可提前预知产品参数及技术指标,以降低新产品小试过程中不良产品的产生概率,同时减少实际生产过程中原辅材料的消耗。

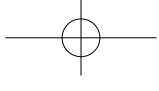
3) 制造工艺基础数据库。根据数据库管理系统对产品生产信息数据进行统一管理,实现数据分类入库管控,制造工艺基础数据库由计算机辅助工艺过程设计(CAPP)系统提供支持,并与计算机辅助设计软件(CAD)/CAM/计算机辅助质量管理(CAQ)结合,进而为整个数字化生产线提供支撑,实现制造工艺的数字化。

4) 人因仿真。人机一体化系统、适度自动化系统、自适应自动化系统、自主生产单元、智能制造系统、敏捷制造和精益生产系统等新的制造系统模式都强调了人这一因素在系统中的重要作用。通过人因仿真,不仅可以对系统的工作效率、误差水平等指标进行分析,而且还可以量化操作员的任务结构、工作要求等指标。通过调整系统的设计方案或对员工进行培训,可以实现人机优化,充分发挥人的积极性和主动性。

5) 虚拟装配仿真。在新产品导入过程中,员工为适应新的装配方式往往会消耗太多精力,并会造成批量产品不合格的情况。在产品虚拟装配环境中,员工使用各种方式联合作业以模拟现实生产环境,在模拟装配过程中会发现新装配要求的差异及改善重点,在系统仿真结束后,系统会自动生成装配过程中的全部数据,为改善装配方式提供技术及数据支撑。通过增强现实技术(AR)连接已通过Plant Simulation仿真软件仿真出的光伏组件生产线,让员工在虚拟仿真环境下进行光伏组件生产,重点培训,以提升技能。

6) 虚拟产线与生产模拟仿真。通过计算机图形系统及虚拟现实技术,使员工实现在虚拟环境中以一种现实状态进行作业、操作及设计活动;特别是进行产品技术培训时,模拟实际生产状况,让员工在虚拟现实环境中进行技术培训,提升员工对新产品的适应能力及纠错能力。

智能化工艺设计解决了产品生产前期基础数据的来源问题,提供了较为准确的模拟数值,减少了产品生产过程中不良产品的产生与二次试验,为公司技术人员提交了可靠的数据基础。光伏组件的新产品导入相对频繁,尤其是在采用新工艺、新技术的产品研制阶段,对工艺设计仿真模拟的需求更加紧迫,通过使用Plant Simulation仿真软件或Solidworks进行虚拟产线与生产模拟仿真,可以直接获取工艺基础数据库,通过分析数据库数据可在仿真阶段直接解决错误或异常设计,降低了由于人员适应新产品生产工艺导致的不良损失,提升了工作人员对新产品生产过程的



管控能力。

4 智能设计的成熟度评价指标

由智能设计、数字化生产、智能服务、信息化管理、智能物流、系统集成等 6 个方面组成的智能工厂智能制造评价体系在客观反映工厂智能制造所处状态时,需引入成熟度评价体系。智能工厂智能制造成熟度可以通过多个衡量维度,以百分比或等级来进行衡量,其中 1 级为最高等级。等级越高(或百分比越高),说明智能化成熟度越高,相关指标覆盖性和适用性越广泛。本文以智能设计为例,以等级作为衡量标准,针对智能设计维度提出成熟度评价指标。

4.1 产品设计

4.1.1 数字化与模块化设计仿真模拟

1) 1 级:采用数字化模型的虚拟仿真分析,优化产品设计,达到产品全生命期最优。

2) 2 级:采用数字化模型的虚拟仿真分析,优化部分产品设计。

3) 3 级:采用数字化模型的虚拟仿真分析,但暂未用于优化产品设计。

4) 4 级:未采用数字化模型的虚拟仿真分析,部分采用模块化设计。

4.1.2 产品设计试验仿真

1) 1 级:对所有产品功能、性能,包括安全性、可靠性、维修性、经济性、结构、制造工艺、检验检测工艺,以及生产效率仿真分析等功能模块的占比大于等于 80%。

2) 2 级:对大部分产品功能等仿真分析等功能模块的占比大于等于 60%。

3) 3 级:对极少数产品功能等仿真分析功能模块的占比大于等于 40%。

4) 4 级:对极少数产品的功能等部分指标进行仿真分析等功能模块的占比小于 40%。

4.1.3 产品虚拟流水线与生产模拟仿真

1) 1 级:利用信息技术、虚拟现实技术、计算机技术等对产品生产过程进行全面仿真,此类工序所占比例大于等于 80%。

2) 2 级:利用信息技术、虚拟现实技术、计算机技术等对产品生产过程进行部分仿真,此类工序所占比例大于等于 60%。

3) 3 级:利用信息技术、计算机技术等对产品生产过程进行部分仿真,此类工序所占比例大于等于 40%。

4) 4 级:利用信息技术、计算机技术等对产品生产过程进行部分仿真,此类工序所占比例低于 40%。

4.1.4 产品设计公差仿真

1) 1 级:在产品的设计、加工、装配、检测等过程中,能完全利用计算机对产品及其零部件的尺寸和公差进行并行优化和监控。

2) 2 级:仅在产品的加工、装配、检测等过程中,利用计算机对产品及其零部件的尺寸和公差进行并行优化和监控。

3) 3 级:仅在产品的加工、装配、检测等过程中,利用计算机对产品及其零部件的尺寸和公差进行监控。

4) 4 级:仅在产品的检测过程中,利用计算机对产品及其零部件的尺寸和公差进行监控。

4.1.5 产品物流仿真

1) 1 级:针对物流系统进行系统建模,在计算机上编制相应应用程序模拟实际物流系统运行状况,并统计和分析模拟结果,采用全自动模拟计算,无需人员采集数据。

2) 2 级:针对物流系统进行系统建模,在计算机上编制相应应用程序模拟实际物流系统运行状况,并统计和分析模拟结果,采用计算机模拟和人员调整相结合的方式。

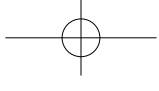
3) 3 级:针对物流系统进行系统建模,模拟实际物流系统运行状况,采用人员采集统计数据,进行数据计算,并统计和分析模拟结果。

4) 4 级:无物流系统建模。

4.1.6 产品并行/协同设计

1) 1 级:在产品的设计阶段考虑到产品全生命周期/全寿命历程的所有环节。

2) 2 级:在产品的设计阶段考虑到产品全生命



周期 / 全寿命历程的主要环节。

3) 3 级：在产品的设计阶段考虑到产品全寿命周期 / 全寿命历程的部分环节。

4) 4 级：在产品的设计阶段考虑到产品全寿命周期 / 全寿命历程的个别环节。

4.2 工艺设计

4.2.1 BOM 模拟

1) 1 级：有完整的产品零件加工和最终产品的加工装配流程资料。

2) 2 级：有最终产品的加工装配流程资料，包括工艺过程和具体的工序。

3) 3 级：有最终产品的加工装配流程资料，包含部分工艺过程及主要工序。

4) 4 级：仅有最终产品的加工装配流程资料，工艺流程及工序无法实现。

4.2.2 虚拟生产工艺规格书

1) 1 级：通过计算机仿真模拟工艺生产，搜集全部产品数据指标。

2) 2 级：通过计算机仿真模拟工艺生产，搜集部分产品数据指标。

3) 3 级：依靠制造经验和相关资料预知部分产品参数和技术指标。

4) 4 级：依靠制造经验预知部分产品参数和技术指标。

4.2.3 制造工艺基础数据库

1) 1 级：使用“工艺基础数据库管理系统”，对数据库进行统一管理，并进行维护。

2) 2 级：使用计算机进行大部分工艺基础数据的收集与整理，并进行维护。

3) 3 级：使用计算机进行部分工艺基础数据的收集与整理，并进行维护。

4) 4 级：通过纸质材料对少部分工艺基础数据进行收集与整理。

4.2.4 人因仿真

1) 1 级：产品工艺设计过程完全使用人因仿真模拟系统。

2) 2 级：建立实验工作台和相应作业工具进行真人实际操作。

3) 3 级：全部动作进行真人动作模拟。

4) 4 级：进行真人动作简单模拟。

4.2.5 虚拟装配仿真

1) 1 级：基于产品虚拟拆装技术在交互式虚拟装配环境中，用户使用各类交互设备在真实环境中对产品的零部件进行各类装配操作。

2) 2 级：基于产品虚拟拆装技术在交互式虚拟装配环境中，用户使用大部分交互设备在真实环境中对产品的零部件进行装配操作。

3) 3 级：基于产品虚拟拆装技术在交互式虚拟装配环境中，用户使用部分交互设备在真实环境中对产品的零部件进行装配操作。

4) 4 级：基于产品虚拟拆装技术在交互式虚拟装配环境中，用户使用小部分交互设备在真实环境中对产品的零部件进行装配操作。

4.2.6 虚拟产线与生产模拟仿真

1) 1 级：所有产品均可综合利用计算机图形系统和虚拟现实技术等，在计算机上生成可交互的三维生产线环境。

2) 2 级：部分产品可综合利用计算机图形系统和虚拟现实技术等，在计算机上生成可交互的三维生产线环境。

3) 3 级：个别产品可综合利用计算机图形系统和虚拟现实技术等，在计算机上生成可交互的三维生产线环境。

4) 4 级：个别产品的某些模块可以利用计算机图形系统和虚拟现实技术等，但无法生成三维生产线环境。

智能设计成熟度评价需结合其他 5 项评价维度，可实现准确客观地评价智能工厂智能制造成熟度状态。

5 总结

本文在研究智能制造时，运用智能设计技术将虚拟仿真与实际生产相结合，快速响应新产品导入过程中的数据管理与实时反馈。同时，引入智能化成熟度评价指标，可为后续智能化工程项目评定提供重要参考。

(转第 37 页)

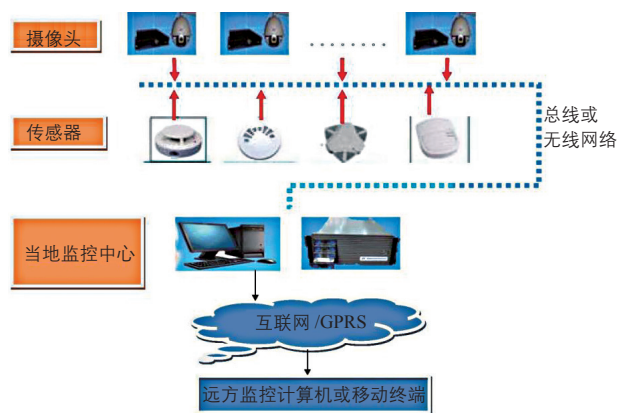
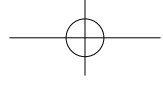


图2 光伏电站在线监测系统概念图

3 结论

本文提出的基于物联网和光纤环网的光伏电站集成监控系统方案包括光纤有线和无线两种通道,较单光纤环网系统具有更高的可靠性和性能,较双光纤环网和“PRP+HSR”方案具有施工方便和经济性更好的优势。在本集成监控系统方案的软硬件平台上易于集成在线监测系统,对提高光伏电站的可用性和效率具有积极意义。视频识别技术和人工智能算法的应用和提升可使光伏电站的性能、效率及安全性得到进一步提高。

本集成监控系统方案已部分应用于一些国外的工程中,效果良好。在澳大利亚电力市场运行管理部门制定的光伏电站的技术规范中,明确提出通信信道要有主、备两种,主信道用光纤,备用信道采用4G无线通信^[14]。

参考文献

- [1] GB 50797-2012, 光伏发电站设计规范[S].
- [2] IEC 62439-3-2012, Industrial communication networks high

(接第50页)

参考文献

- [1] 左世全. 我国智能制造发展战略与对策研究[J]. 世界制造技术与装备市场, 2014, (3): 36 - 41, 59.
- [2] 张铁. 工业机器人及智能制造发展现状分析[J]. 机电工程技术, 2014, 43(4): 2 - 3.
- [3] 王影, 冷单. 我国智能制造装备产业的现存问题及发展思路[J]. 经济纵横, 2015, (1): 72 - 76.
- [4] 李松. 中国智能制造国际竞争力影响因素及其提升策略

availability automation networks part 3: Parallel redundancy protocol (PRP) and high availability seamless redundancy (HSR)[S].

- [3] Zuloaga A, Astarloa A, Jimenez J, et al. Cost-effective redundancy for Ethernet train communications using HSR[A]. 2014 IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics[C]. Istanbul, Turkey, 2014.
- [4] IEC 61850-2016, Communication networks and systems for power utility automation[S].
- [5] 何钟杰, 黄险峰, 崔春, 等. 几种智能变电站冗余通信协议分析比较[J]. 广东电力, 2011, 24(4): 5 - 8.
- [6] Wilfried VS, Nils HR, Björn M, et al. Review of PV performance ratio development[A]. World Renewable Energy Congress[C]. Denver, 2012.
- [7] GB/T 20513-2006, 光伏系统性能监测、测量、数据交换和分析导则[S].
- [8] GB/T 50796-2012, 光伏发电站工程验收规范[S].
- [9] 任官堂, 胡成. 提高光伏电站发电水平的研究与实践[J]. 太阳能, 2012, (21): 21 - 25.
- [10] GB/T 50866-2013, 光伏发电站接入电力系统技术规范[S].
- [11] 翟建伟, 张勇军, 刘斯亮, 等. 基于PQ-QV-PV节点的光储输出功率主动控制方法[J]. 电力系统保护与控制, 2018, (10): 1 - 19.
- [12] 沈鑫, 曹敏, 薛武, 等. 基于物联网技术的输变电设备智能在线监测研究及应用[J]. 南方电网技术, 2016, (1): 32 - 41.
- [13] 黄小庆, 张军永, 朱玉生, 等. 基于物联网的输变电设备监控体系研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(9): 137 - 141.
- [14] 澳大利亚电力市场运行部标准, DRAFT POWER SYSTEM DATA COMMUNICATION STANDARD[S], 2016.
- [15] 朱玛, 杜振华, 章立宗, 等. 基于EPON技术的智能变电站通信方案优化应用研究[J]. 电力系统保护与控制, 2018, (11): 131 - 137.
- [16] 王汪兵, 王先培, 尤泽樟, 等. 电力通信网关键节点辨识方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2018, (1): 44 - 49.
- [17] 陈晓国, 王俊铤, 张炜, 等. 基于IEC 61850的设备状态在线监测系统架构优化及数据[J]. 南方电网技术, 2015, (7): 95 - 99.
- [18] 王德文, 王艳, 邱剑. 智能变电站状态监测系的设计方案[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(18): 51 - 56.
- [19] 高志远, 黄海峰, 徐昊亮, 等. IEC 61850应用剖析及其发展探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2018, (1): 162 - 169.
- [20] 冷喜武, 陈国平, 白静洁, 等. 智能电网监控运行大数据分析系统总体设计[J]. 电力系统自动化, 2018, (12): 160 - 166. 太阳能

研究[D]. 安徽: 安徽财经大学, 2017.

- [5] 张全. 产品色彩智能设计理论与方法研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2007.
- [6] 侯博瑞. 面向作业仿真分析的人体模型开发与应用[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2016.
- [7] 田孝林. 船舶分段生产线快速建模与仿真[D]. 武汉: 华中科技大学, 2015. 太阳能