

编者按:《基于 Tecnomatix 燃气轮机生产数字化双胞胎的实践》是哈尔滨师范大学附属中学的石菁菁同学在学习实践中根据自己的创新构想所写的一篇文章。该同学勇于实践,大胆构思和创新,且她的思路能够很好的与现阶段的科技发展相吻合,所表现出来的创新意识和思想的灵活性以及良好的学习功底,很值得我们向广大读者推荐和欣赏,为此我刊发这篇文章向广大读者推荐她的文章,同时也对该同学的创新精神给予鼓励。

# 基于 Tecnomatix 的燃气轮机生产数字化双胞胎实践

石菁菁

(哈尔滨师范大学 附属中学 黑龙江 哈尔滨 150080)

**摘 要:**对燃气轮机在制造过程中的挑战和国内外发展趋势进行了分析,提出了基于数字化双胞胎对生产过程进行仿真验证和信息反馈决策的方法解决生产过程质量稳定性问题。通过在虚拟环境下建立燃气轮机火焰筒生产线的三维模型并进行设备布局仿真、物流仿真、工艺路线仿真、产能仿真和机器人仿真,通过虚实互联技术,将生产环境与虚拟仿真环境连接在一起,可以实现火焰筒生产线的仿真,降低企业的资本投入、提高产线产能、提升管理水平、探索智能化转型,让企业在市场上抢占先机,从中获取巨大收益。本文以燃气轮机数字化生产线仿真实践为例,介绍了数字化工厂仿真的技术路线与主要功能,进行了哪些有意义的研究与探索,获得了哪些收益。

**关 键 词:**燃气轮机;仿真;数字化双胞胎;数字化工厂

中图分类号:TK222 文献标识码:B

DOI:10.16146/j.cnki.rndlgc.2016.12.019

## 引 言

燃气轮机是众多高端设计、材料和制造等技术集成的重大动力装备,也是制造业中高新技术最集中的领域,整个制造过程对材料、工艺、加工手段和试验测试等都有极高的要求。对于目前燃气轮机加工质量稳定性的问题,国内外采用不同的技术来实现对加工全过程的保障。目前,国外的 GE、R&R、SIEMENS 3 家燃气轮机公司的制造中都采用了很多先进的制造技术,如 3D 打印、智能机器人、加工过程虚拟仿真验证技术和柔性智能单元联网技术,提

高生产的效率和质量的稳定性<sup>[1]</sup>。国内的部分燃气轮机制造企业为了提高一次成功率,部分采用了各类制造仿真验证工具来进行虚拟验证,但是与制造现场的实际执行结果之间还是存在很大的差距,如人工装配焊接质量稳定性不够,容易导致焊接变形等问题;整个燃烧室的焊接生产过程中,为了保证其极高的加工制造精度,使用了大量的专用工装,设计困难。

“中国制造 2025”提出应用最新的智能技术推动燃气轮机研制,提升中国的燃气轮机的制造水平和等级。基于“中国制造 2025”的要求,借鉴“工业 4.0”的技术模式,应用最新的“数字化双胞胎”技术,来实现数据驱动、物物互通、虚实互联、系统集成、人机协同和创新转型来实现制造业向智能化的转型,以提升国家未来制造业的竞争力。

## 1 数字双胞胎概述

DigitalTwin(数字化双胞胎)技术是实现中国制造 2025 的关键技术之一,也是实现数字化工厂的核心部分,包括“产品数字化双胞胎”、“生产工艺流程数字化双胞胎”和“设备数字化双胞胎”,完整真实地再现了整个企业,从而帮助企业在实际投入生产之前即能在虚拟环境中优化、仿真和测试,在生产过程中也可同步优化整个企业流程,最终实现高效地柔性生产、实现快速创新上市,锻造企业持久竞

收稿日期:2016-03-14; 修订日期:2016-09-27

作者简介:石菁菁(1999-),女,四川乐至县人,哈尔滨师范大学附属中学(高三)。

争力<sup>[1]</sup>。

对于中国制造业企业来说,向智能化转型必然离不开工厂的数字化转型,必然离不开“数字化双胞胎”的全面应用,在这一方面,行业内普遍处于探索实践阶段,鲜有方案落地的案例。本研究依托龙江广瀚燃气轮机有限公司(以下简称龙江广瀚),采用西门子最新的智能制造技术,开展了数字化工厂的探索实践。通过实践,龙江广瀚对数字化工厂的概念有了比较深入的理解,在方案落地方面迈出了重要一步,获得了很宝贵的经验,通过“数字化双胞胎”实施,全面应用仿真技术,大大降低设计与生产制造过程的不确定性,提升了燃气轮机整体制造水平。西门子公司也确定了龙江广瀚为其中国区机械制造行业数字化工厂的样板。

## 2 工厂仿真技术路线与主要功能及收益分析

燃气轮机火焰筒采用薄壁高温合金,有着冲压变形导致返工率极高、打孔精度要求严格、加工及装备难度极大、喷涂工艺摸索困难而且国外进行严密的技术封锁等特点,因此制造技术难度极大,靠传统的生产模式很难快速确定制造工艺、导致试制周期长、成本高、良品率低和稳定性差,采用虚拟仿真技术进行大量虚拟迭代以快速确定工艺是最好的解决办法。燃气轮机火焰筒生产线仿真是燃气轮机数字化制造的重要组成部分。通过虚实互联技术,将虚拟系统下建立的生产线的模型与真实生产线联系起来,在虚拟系统下,将采集到的设备实时运行信息、产品的加工过程数据等以直观的方式展示出来。通过与信息系统深度集成,深入分析、挖掘产品加工过程数据,从中分析出生产的瓶颈,给出调整方案,并通过仿真对调整策略进行评估,以便于为决策者提供生产策略调整的数据支撑<sup>[3-4]</sup>。

燃气轮机火焰筒生产线仿真是基于 Tecnomatix 系列软件来实现的,包括 Plant Simulation 和 Process Simulate 两大模块,主要实现设备布局仿真、物流仿真、工艺路线仿真、产能仿真、机加仿真和机器人仿真等几大功能。

进行生产线的仿真实践,很重要的一环就是通过三维数字化建模软件将厂房、环境设施、设备等在

虚拟环境中一一建立等尺寸的三维模型,然后通过模型轻量化技术对这些三维模型实施轻量化,以确保模型放入 Plant Simulation 和 Process Simulate 后,在设置动作、进行仿真时不会卡顿,提升仿真效果,提升展示体验<sup>[5]</sup>。

### 2.1 设备布局仿真

模型轻量化工作完成之后,就可以按照生产线的实际情况进行布局仿真了。在仿真实践过程中,按照现有设备的实际摆放情况进行了布局仿真。

同时,通过与信息系统的深度集成,将采集到的现场设备运行数据进行必要的分析处理,以虚拟看板的方式在虚拟环境下予以展示,帮助车间管理人员了解设备的实时运行情况。



图 1 车间实际设备布局图



图 2 虚拟环境设备布局图

由于龙江广瀚火焰筒生产线的建设仍在规划过程中,在虚拟环境下进行了未来生产线的设备布局仿真,这有助于使车间管理者直观地了解未来生产线的设备组成与布局情况,规划加工工艺路线,在设备未到位前就发现摆放不合理的地方并及时进行调整,降低因设备布局不合理而带来的布局调整方面的额外投资。

### 2.2 物流仿真

在仿真实践过程中,根据规划建设方案,对火焰筒产线的物流通道进行了仿真,通过仿真结果,在虚

拟环境下对工厂的通道和物流路线进行了设计,按照工艺路线的要求,使得工件在一个工序之后能够快速转序,使得综合物流时间最优,以提高物流的效率。

这样,一旦未来生产线建设的资金到位,就可以根据物流仿真的结果设定物流路线了,从而有效缩短未来生产线形成生产能力的时间。

### 3 工艺路线仿真与产能仿真

对于火焰筒生产线来说,要实现产能最大化,一定要提前做好工艺路线的仿真。在龙江广瀚的仿真实践过程中,根据火焰筒生产工艺方面的要求,将产品各零件的加工工艺进行了梳理,理清了零件加工工艺、每个工艺需要使用的工站及每个工站的耗时等信息,将相关信息配置到系统后台,形成工艺路线。之后,在系统后台配置立体库中原材料或工件出库大概需要花费的时间,配置 AGV 小车的运行速度等相关参数,仿真人员就可以通过设定需要加工的零件及需要加工的零件数量等参数来让系统开始仿真了。

仿真开始后,系统就会自动按照待加工零件的加工工艺路线一个工站、一个工站地进行加工,整个产品(零件)的加工工艺路线就会一种直观地方式展示出来。

同时,根据设定值,加入生产节拍,还可以仿真出加工某一数量的产品大概需要花费的时间,可以仿真出当前情况下,产品加工在理论上的最大产能,为工厂管理层提供必要的的数据支撑。并可以据此进行设备布局、加工策略的调整。调整方案确定后,还可以将调整方案放入系统并再次进行仿真,根据仿真结果不断优化调整策略,直至调整策略最优,最大限度地降低设备布局调整和加工策略调整带来的风险,降低资本投入。

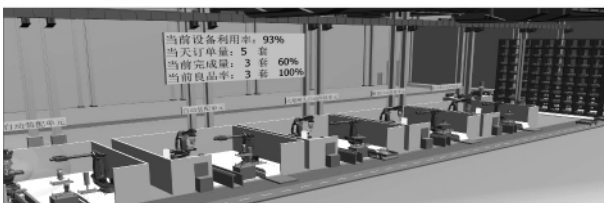


图 3 火焰筒装配工艺路线仿真

### 4 机加及机器人仿真

基于 Plant Simulation 的工艺路线仿真主要用于整体工艺路线的仿真与展示,而对于某一工站内的具体工艺仿真则需要通过 Process Simulate 和 CAM 来实现。可以通过三轴、五轴机床的机加仿真生成 NC 程序用于机械加工和机器人的动作仿真,支持机器人运动路径的导出以用于机器人编程。

在仿真实践过程中,根据实际加工工艺,按工站(工位)进行了仿真,对机器人与环境设施、机器人与工装(或工件)、机器人与机器人之间的干涉进行了规避,使得单个工站的整个加工过程以直观的方式展示出来,使得机器人动作的整个过程都清晰地展示出来,使得单个工站的加工工艺仿真成为整体工艺路线仿真的有益补充<sup>[6]</sup>。

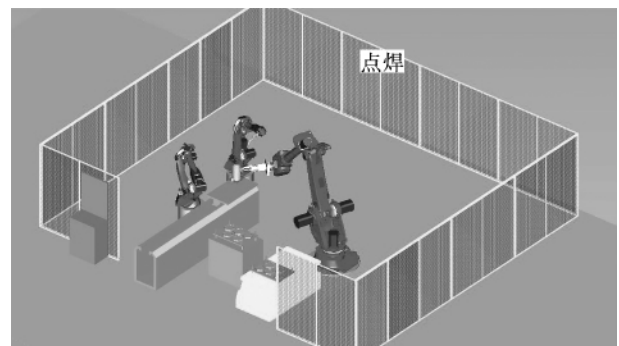


图 4 锥筒焊接工艺机器人仿真

通过实施火焰筒生产线的仿真,将现场运行数据采集后接入虚拟仿真系统进行统计、分析、仿真、迭代和优化,龙江广瀚可获得如表 1 所述的收益。

表 1 收益分析表

序号	类别	收益
1	设备利用率	提高 30%
2	能源利用率	提高 10%
3	人员调度周期	缩短 50%
4	质量可追踪率	达到 100%
5	产品一次通过率	提升 30%
6	生产效率	提升 33.5%
7	年人工费	节省约 132 万

与此同时,龙江广瀚还获得了加工过程中的全部过程数据,通过分析,了解了关键工艺参数变化对产品质量产生的影响,可以用于加工工艺优化,通过反复迭代,可显著提升产品质量,最终获得更为长远的收益。

## 5 结 语

龙江广瀚燃气轮机数字化制造项目的数字化部分和双胞胎系统虚实互联部分已于 2016 年 6 月 30 日上线,根据使用过程中不断提出的实际业务需求,燃气轮机数字化制造所应用的仿真模块下的其他功能仍在紧锣密鼓地开发与优化过程中。在系统上线后的一段时间里,已经有部分企业到龙江广瀚中小型燃气轮机产业园进行观摩、洽谈合作。

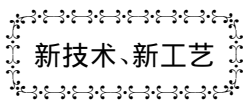
新一代燃气轮机的研制需要采用最新制造技术,智能制造是实现燃气轮机升级转型的重要推手,数字化工厂是实现智能制造的必由之路,而全面应用制造仿真验证和虚实互联的“数字化双胞胎”是其核心技术和组成部分。在建设龙江广瀚中小型燃气轮的数字化工厂中,基于 Tecnomatix 的燃气轮机生产数字化双胞胎实践,积累很多实际的经验和应用模式,并进行了大量创新。而燃气轮机数字化制

造仿真的种种功能符合国家战略需要,切中企业生产实际需要,能够通过相关功能来降低企业投入、提高产出,从而给企业带来巨大的收益,相信在未来一定可以在更多的制造业企业中发挥重要的作用。

## 参考文献:

- [1] (德)保尔汉森,(德)洪佩尔,(德)福格尔. 实施工业 4.0:智能工厂的生产·自动化·物流及其关键技术、应用迁移和实战案例. 工业和信息化部电子科学技术情报研究所[M]. 北京:电子工业出版社,2015.
- [2] 付百川,李仰东,武殿梁,等. 面向生产系统规划的数字化工厂仿真应用研究[J]. 现代涂料与涂装,2012,15(7):6-13.
- [3] 黄鹏鹏,洪光亮,杨梦婷. 仿真技术在发动机生产线产能提升中的应用[J]. 机械设计与制造,2016(6):262-264.
- [4] 韩晓东,刘冬,丛明,等. 基于 Plant Simulation 的发动机检测生产线仿真分析[J]. 组合机床与自动化加工技术,2015(11):58-60.
- [5] 张超,李慧,田恺. 基于 Plant Simulation 的航空综合机加厂房布局仿真研究[J]. 工程设计学报,2013,20(3):199-207.
- [6] 周炼,陈静荣,汪俊熙,等. 某型航空发动机装配过程虚拟仿真应用[J]. 机械设计与制造工程,2016,45(2):55-59.

(单丽华 编辑)



## 无铬的铝陶瓷涂层进入运行的燃气轮机现场试验

据《Gas Turbine World》2014 年 11~12 月刊报道,Praxair 无铬的铝陶瓷涂层完成了在石油和天然气服务的恶劣的环境条件下工作的燃气轮机上的现场试验。

该涂层的研制者声称,该涂层没有与六价铬含量有关的毒性,在性能上它比得上被应用于燃气轮机高温部件的传统涂层。

(吉桂明 摘译)