

旋转压合成形数字孪生系统构建及应用

宁玲玲, 郑健, 刘冉冉

(山东工程职业技术大学 智能制造学院, 山东 济南 250200)

摘要: 针对口罩生产这种新型旋转压合成形技术生产过程中的数字孪生技术进行了研究。研究阐述了数字孪生在旋转压合生产中的框架和系统组成, 利用西门子的 NXMCD 软件构建了数字孪生模型, 并建立了其中的运动关系, 在运动关系上利用传感器和模型之间的映射来实现模型的驱动, 实现了虚实同步。此外, 通过接口将深度学习的神经网络和数字孪生系统结合, 实现以虚预实, 对传感器的数据源进行不断地迭代, 实现了产线的实时优化。这种融合了数字孪生与旋转压合技术的方法, 为制造业的智能制造提供了宝贵的数据和参考, 推动了生产过程的高效化和智能化。

关键词: 旋转压合成形; 数字孪生; NXMCD; 神经网络; 齿模

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2023.11.017

中图分类号: TP311

文献标志码: A

文章编号: 1000-3940 (2023) 11-0115-09

Construction and application on rotating and pressing digital twin system

Ning Lingling, Zheng Jian, Liu Ranran

(School of Intelligent Manufacturing, Shandong Vocational and Technical University of Engineering, Jinan 250200, China)

Abstract: The digital twin technology in the production process of new rotating and pressing technology for mask production was studied, and the framework and system composition of digital twin in rotating and pressing production were researched and elaborated. Then, the digital twin model was constructed by Siemens software NXMCD, and the motion relationship was established. Furthermore, in the motion relationship, the mapping between sensor and model was used to drive the model and achieve virtual and real synchronization, and combining the deep learning neural network with the digital twin system was realized by the use of interface to realize the virtual prediction actual, continuous iteration of sensor data sources and real-time optimization of the production line. The result shows that this method combining the digital twin with the rotating and pressing technology provides valuable data and references for the intelligent manufacturing in this industry, and promotes the high efficiency and intelligence of the production process.

Key words: rotating and pressing; digital twin; NXMCD; neural network; tooth mold

口罩制造技术是一种新型先进的旋转压合成形技术, 是通过专用的模具, 将多层无纺熔喷布进行旋转压合, 同时, 采用超声波发热焊接、废料切除和鼻梁耳带连接等多种工艺, 最终制成口罩产品的过程。口罩的制造要遵循美国疾病控制和预防中心 (Centers for Disease Control, CDC) 发布的关于适当的设计、过滤过程和佩戴的指导方针。口罩设备可以提供保护, 防止由颗粒物 (Particulate Matter,

PM), 特别是 PM2.5, 以及细菌和病毒等生物病原体引起的感染^[1]。

随着新冠疫情的出现, 全球对口罩等防控物资需求激增, 国内很多企业转产口罩, 为疫情防控做出了重要贡献, 但在口罩生产过程中, 也暴露了很多问题, 如: 设备布局不精益、生产效率低、质量问题频出等, 其生产线缺乏先进管理经验^[2]。2022年3月, 国家市场监督管理总局和国家标准化委员会联合发布了 GB/T 40373—2021^[3], 对口罩生产线的具体实施方案做了更加明确的要求, 这使得口罩的生产流程必须具有更高的标准和更先进的制造方案。

数字孪生是中国制造 2025 的重要课题, 该技术的成熟为解决口罩生产线改造中的设计周期长、工作量大、成本高昂等问题提供了新的解决思路, 数字孪生以数字化的形式在产品的生产制造中实现了全过程的动态仿真, 覆盖了产品的全生命周期和全产业链, 对推动智能制造的发展有着重要的意义。

收稿日期: 2022-11-05; 修订日期: 2023-02-08

基金项目: 山东省教育厅公示的第二批教育部名师工作室建设项目 (鲁教师函 [2019] 42 号); 教育部产学研合作协同育人项目 (221000821124531); 2022 年度山东省职业教育教学改革研究项目 (2022065)

作者简介: 宁玲玲 (1980-), 女, 硕士, 教授

E-mail: 67155842@qq.com

通信作者: 郑健 (1984-), 男, 硕士, 教授

E-mail: 448383188@qq.com

数字孪生在制造领域具有极大的应用潜力, 在产品的设计及研发方面, 通过建立产品数字 3D 模型, 可以在各部件未被加工完成之前, 对其进行虚拟加工与验证, 避免反复迭代所带来的高昂成本和漫长周期^[4]。在制造业方面, 西门子股份公司提出的基于 Teamcenter+NX 集成一体化平台的解决方案^[5], 是目前的主流方案。

本文将数字孪生技术引用到口罩生产的先进的旋转压合技术上, 构建数字孪生在其旋转压合技术上的结构模块, 探究基于数字孪生情况下其各单元、特征组之间的相互关系。

1 数字孪生框架

数字孪生技术的诞生和发展并无一个公认的时间, 有记载的时间为 2003 年, 是密歇根大学的 Michal Grieves 博士在针对产品生命周期管理 (Product Life-cycle Management, PLM) 的一次演讲中提到的^[6-7]。面对当代疫情对口罩的迫切需求, 公司的转型与工厂技术方案的提升均需要时间成本, 数字孪生技术在口罩生产中的应用大大减少了所需的时间成本与试错成本。本文的数字孪生框架 (图 1), 由物理实体、虚拟模型和服务系统来构建。

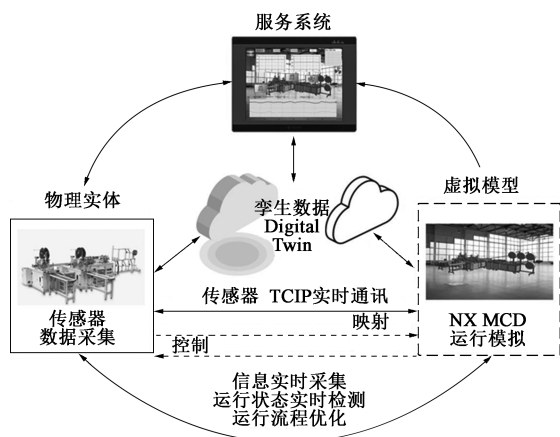


图 1 数字孪生运行框架图

Fig. 1 Frame diagram for digital twin operation

1.1 物理实体

物理实体在数字孪生中可以认为是世间存在的一切客观事物, 按照数字孪生的理念, 不单是机械的结构物体可以作为物理实体, 天空的鸟儿、设备和工人等一切事物均可以作为物理实体。但是受到信号采集的限制, 目前仅在工业上应用的比较普遍。数字孪生属性包含了结构属性、物理学的基本属性

和特定物理学属性。拥有物理实体是数字孪生平台搭建的第 1 步, 主要目的是为虚拟模型提供可被刻画的对象供给其建模。陶飞等^[8]对物理实体进行了定义和研究, 并将其分为 3 类: (1) 单元级物理实体, 是能够实现功能的最小单位; (2) 系统级物理实体, 是由单元级物理实体组成并能够互相配置组合, 实现相应功能; (3) 复杂系统级物理实体, 是由系统级的物理实体构成, 能够在各子系统之间完成协调、管理等综合运作的较复杂系统。

1.2 虚拟模型

虚拟模型是能够将上述任意级别的物理模型进行刻画描述, 并且能够真实展现出物理模型的属性、结构特点、约束行为、运动状态等特征的真实映射。并且该真实映射要能够和物理实体时刻保持通讯, 能够实时地随物理实体的变化而变化。

1.3 服务系统

通讯和连接方式是数字孪生中非常重要的一环, 通讯的连接将物理实体和虚拟模型连接起来赋予了模型生命, 是二者的桥梁。但是, 通讯连接与其他类型的连接方式相比较, 区别在于该通讯需要依托于物理实体和刻画的虚拟模型方能存在, 类似于人的“精神”和“意志”, 均不能够脱离人而独立存在, 其主要分为实控虚数据和实控实数据, 实控实数据主要是通过传感器将各部分的属性、指标、动作变化通过模拟信号的方式传输至计算机进行识别。而实控虚数据主要是通过计算机将数据传至虚拟模型, 主要运用于数字孪生的预测阶段。

上述的物理实体、虚拟模型、服务系统 3 个部分共同构成了数字孪生的系统, 除了可以对运行信息进行实时采集和状态检测以外, 在引入人工神经网络算法以后还可以对数字孪生系统进行优化。

2 口罩旋转压合制造数字孪生系统构建

数字孪生 (Digital Twin, DT) 在德国工业 4.0 中作为核心技术提出, 被称为第 4 次工业革命的核心。其原理是在生产的制造系统中使用信息物理系统 (Cyber-Physical Systems, CPS) 和信息通信技术 (Information Communications Technology, ICT), 在人工智能 (Artificial Intelligence, AI) 和物联网 (Internet of Things, IoT) 的配合下完成实际加工和虚拟模型之间的实时互通, 并通过虚拟模型的控制系统来实现实时反馈、监视、修改、调整和优化, 最终实现“虚实共生”的最高状态^[9]。

口罩旋转压合模具生产线的数字孪生模型如图 2 所示, 产品目标下达以后, 实际场景进行分析, 通过会议开展整体方案的梳理和分配, 分别开始口罩的模具设计, 整体模架设计以及整条生产线设计。与此同时, 利用工厂数字孪生系统 (Factory Digital Twin System, FDTS)、产品数字孪生系统 (Production Digital Twin System, PDTS)、供应链数字孪生系统 (Supply Chain Digital Twin System, SCDTS)^[10] 对产品进行整体的产品预算、成本分析、可行性论证以及预制造和虚拟调试等同步分析。最终, 通过传感器以及智能算法在实际场景和虚拟场景中进行不断的模型迭代, 达到虚实结合、以虚控实, 甚至虚实共生的数字孪生效果。

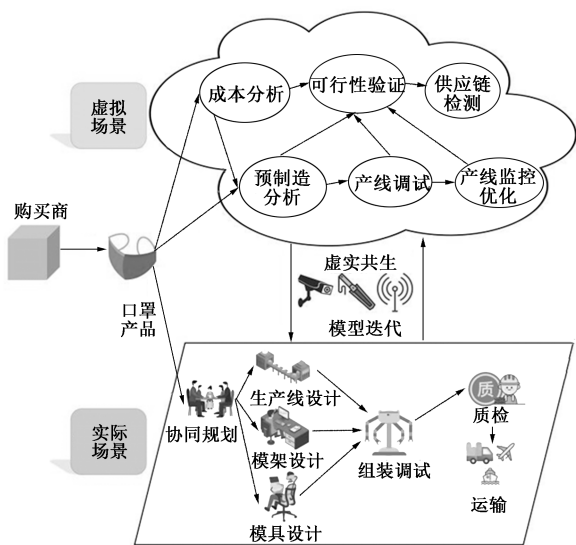


图 2 口罩生产线数字孪生框架图

Fig. 2 Frame diagram of digital twin for mask production line

3 口罩自动生产线 MCD 环境配置

3.1 口罩旋转压合制造生产线介绍

口罩自动化生产线如图 3 所示, 生产线能够自动完成双工位的口罩生产, 其具体结构特征如下。

(1) 熔喷布料区。熔喷布是一种高聚的 PP 材料, 装载在圆形滚筒上, 呈长条状, 为整条生产线提供原材料。

(2) 模具组区。该区域一共有 5 组 9 个级进模排列, 熔喷布先进入第 1 组整形模具, 该组模具将熔喷布整体进行塑形绷直, 保证其平滑性; 第 2 组模具为旋转压合齿模, 通过超声波热融和压力压形完成口罩的基本轮廓压形; 第 3 组和第 4 组均为折叠模具, 由于口罩需要适应不同人的脸型特点, 所

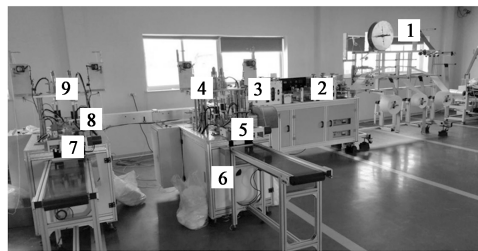


图 3 口罩自动化生产线

Fig. 3 Automatic production line for mask

以平时佩戴的口罩均会有多道褶皱供其局部拉伸, 该两组模具的任务即为旋转压合出多组褶皱; 第 5 组模具为切断模, 在之前几个工位上口罩均为整条形式存在的, 在第 5 组模具上将整条的口罩切断为单个个体, 流向后续生产线。

(3) 分配机构区。由于本文研究的生产线为一拖二配置, 其中图 3 中整形模型部分 1 和旋转压合部分 2, 口罩的生产效率比较高, 但是后续的生产效率有所降低, 所以到达折叠模部分 3 时, 为了提高效率, 需要分配机构将切断模 5 切断的口罩均匀地分配到两条生产线。

(4) 贴耳区。该区域的主要作用是将口罩两端的耳带并焊接在口罩上, 图 3 中的 4 和 7 均为不同生产线的同一位置。

(5) 收集区。该区域负责收集一定数量的口罩, 打包为 1 盒。

(6) 电控箱。图 3 中位置 6 和位置 8 均为电控箱, 其中 6 为耳带的安装电控箱, 8 为旋转压合阶段进模的电控箱。

(7) 衔耳带区。图 3 中位置 9 主要用于储存和分配口罩的耳带。

通过上述几个单元的相互配合共同协作完成口罩的制造^[11]。

3.2 MCD 配置

3.2.1 刚体及约束设置

口罩自动化生产线整体结构由机械结构组成, 这部分在 MCD 中需要设置为刚体, 所谓的刚体即为在模型环境中无论受到多大的外力该物体均保持不变, 不发生变形。设置物体属性后需要设置该机构的运动构件, 定义该构件可以完成怎样的运动关系, 本文中的运动构件主要有: 滑动副, 用于某机构沿着直线方向上的运动; 铰链副, 用于两两机构的相互旋转运动; 固定副, 该机构不论如何受力均保持不动。此外还有柱面副和螺旋副等。运动副和约束设置结果如图 4 所示^[10-11]。

名称	可...	类型	所有零部件
- 运动副和约束			
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_21_SJ(1)		滑动副	
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_FJ(1)		固定副	
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_HJ(1)_13		铰链副	PTC171007A-01-03-12_ID883_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_HJ(1)_14		铰链副	PTC171007A-01-03-12_ID883_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_HJ(1)_15		铰链副	PTC171007A-01-03-12_ID883_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_HJ(1)_16		铰链副	PTC171007A-01-03-12_ID883_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_HJ(1)_17		铰链副	PTC171007A-01-03-12_ID883_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_HJ(1)_18		铰链副	PTC171007A-01-03-12_ID883_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_RB(3)_HJ(1)_1		铰链副	3分锥套02_ID2474_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_RB(3)_HJ(1)_2		铰链副	3分锥套02_ID2474_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_RB(3)_HJ(1)_3		铰链副	3分锥套02_ID2474_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_RB(3)_HJ(1)_4		铰链副	3分锥套02_ID2474_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_RB(3)_HJ(1)_5		铰链副	3分锥套02_ID2474_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_RB(3)_HJ(1)_6		铰链副	3分锥套02_ID2474_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_RB(3)_HJ(1)_7		铰链副	3分锥套02_ID2474_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_RB(3)_HJ(1)_8		铰链副	3分锥套02_ID2474_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_RB(3)_HJ(1)_9		铰链副	3分锥套02_ID2474_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_RB(3)_HJ(1)_10		铰链副	3分锥套02_ID2474_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_RB(3)_HJ(1)_11		铰链副	3分锥套02_ID2474_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_RB(3)_HJ(1)_12		铰链副	3分锥套02_ID2474_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_RB(3)_HJ(1)_13		铰链副	3分锥套02_ID2474_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_RB(3)_HJ(1)_14		铰链副	3分锥套02_ID2474_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_RB(3)_HJ(1)_15		铰链副	3分锥套02_ID2474_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_SJ(1)_43		滑动副	02TR6-10-S_ID901_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_SJ(1)_44		滑动副	02TR6-10-S_ID901_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_SJ(1)_45		滑动副	PTC171007A-01-01-16_ID2416_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_SJ(1)_46		滑动副	PTC171007A-01-01-16_ID2416_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_SJ(1)_47		滑动副	PTC171007A-01-01-16_ID2416_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_SJ(1)_48		滑动副	PTC171007A-01-01-16_ID2416_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_SJ(1)_49		滑动副	PTC171007A-01-01-16_ID2416_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_SJ(1)_50		滑动副	PTC171007A-01-01-16_ID2416_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_SJ(1)_51		滑动副	PTC171007A-01-01-16_ID2416_X_T
<input checked="" type="checkbox"/> RB(1)_SJ(1)_52		滑动副	PTC171007A-01-01-16_ID2416_X_T

图 4 运动副和约束设置

Fig. 4 Motion joint and constraint settings

3. 2. 2 碰撞材料设置

碰撞材料设置在 MCD 中主要包括两方面：材料属性赋值和摩擦属性赋值。材料属性赋值主要是赋予材料密度、泊松比和极限强度等参数。摩擦属性赋值主要是赋予其摩擦因数，让运动物体因为摩擦而相互产生作用，也让物体因为摩擦而更贴近实际情况，其设置如图 5 所示。

图 5a 中主要进行材料属性的指派，对模型指派材料的密度、弹性模量和强度等力学参数，图 5b 中主要设置材料的摩擦特性等参数，使其在运动中能够更加真实地模拟运动过程。

3. 2. 3 传感器和执行器设置

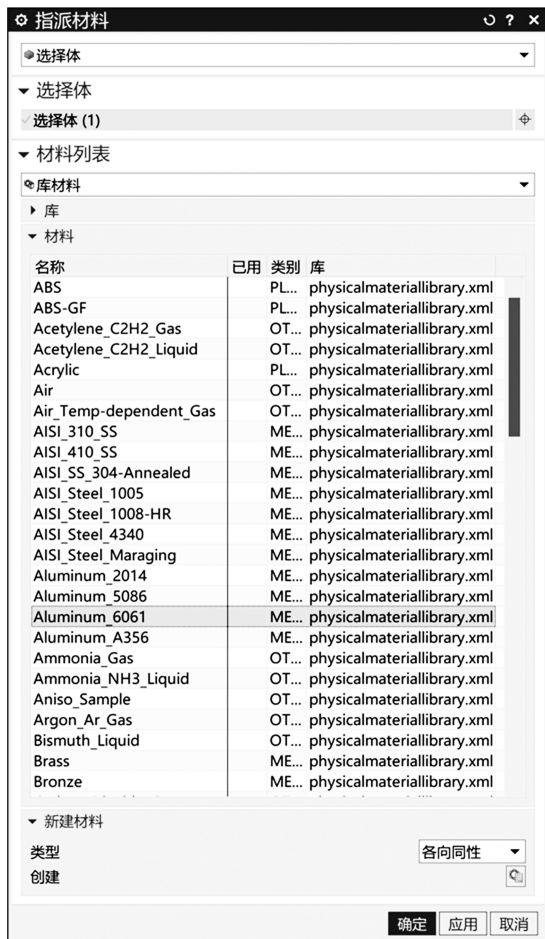
MCD 在模拟和仿真实际的生产过程，不单单是机械运动，还需要电控结构等方面的控制。传感器主要是模拟当某个物体接触到设置的传感器位置时，触发一个信号，该位置可以是 1 个点、1 个体、1 个位置。在软件中，传感器设置，如图 6 所示^[12-14]。

3. 2. 4 运动行为定义

使用运行时的行为命令，可以使用一些逻辑语言来定义相关关系，如：按钮按下，运动开始，电机转动等。将用户编写的 C#代码对象连接至机电一体化系统的对象。它可以定义系统中对象的行为。作为输入或者输出的中间关系语言进行控制，其具体操作如图 7 所示^[15-16]。

3. 2. 5 信号设置

上述的操作完成了机械结构的运动、传感器的



(a)



(b)

图 5 碰撞材料设置

(a) 材料属性指派 (b) 摩擦特性指派

Fig. 5 Collision material settings

(a) Material property assignment (b) Friction characteristics assignment

设置、运动行为的定义，此外，还需要定义具体的输入和输出的信号源。如图 8 所示，使用 Signal 命令创建 Mechatronics Concept Designer 信号以监视或



图 6 传感器设置

Fig. 6 Sensor setting



图 7 运动行为定义

Fig. 7 Definition of motion behavior

控制物理对象运行时的参数。通过该方法可以创建布尔、整数、双字、字符串和数组信号。在内部使用信号来控制机电一体化, 例如启动或停止电机。除此以外, MCD 和外部通讯时还可以接收 MATLAB、OPCDA、OPCUA、PLCSIM 进阶、Profinet、SHM、TCP、UDP 的外部协议信息, 并且该方案是以 MCD 的 Mechatronics Concept Designer 中分配的信号单位作为输出单位进行维护, 这样软件中的模型和外部进行通讯时不需要考虑单位的协议转换问题^[17-19]。

3.2.6 建立信号映射

建立信号映射是数字孪生的一个关键步骤, 所谓的信号映射即把实际物体的运动过程通过位移、



图 8 信号设置

Fig. 8 Signal setting

磁性等传感器将其传输至 PLC, PLC 和 MCD 中的数字模型进行连接, 从而能够实现数字模型和实际物体的实时运行, 达到以虚控实的目的^[20]。目前, 建立信号映射主要有两种方案, 如图 9 所示。如果要和工作中的实际物体实现数字孪生, 则需要 MCD 通过和 PLC 建立通讯来实现。但是, 在很多的实际场合中不会直接建立生产线, 而是需要经过预制造、产线模拟等工序, 所以, 可以通过 OP CUA 的一个接口将完成的 PLC 逻辑指令与 MCD 形成连接, 在软件中进行调试, 此方法可以实现模型真实情况下的运动状态, 大大地降低了生产成本, 减少了设计时间。

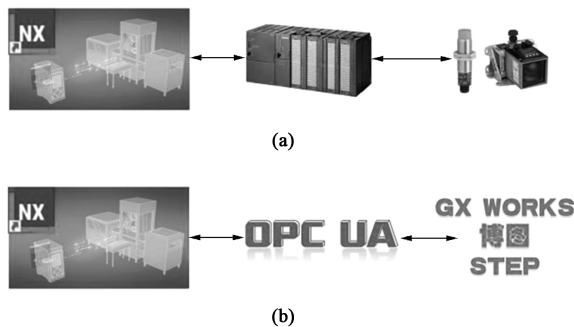


图 9 建立信号映射

(a) 实际信号 (b) 虚拟信号

Fig. 9 Establishment of signal mapping

(a) Actual signal (b) Virtual signal

4 MCD 数字孪生仿真及优化

完成上述的设置即完成了 MCD 的系统构建, 这样的数字孪生方式仅能在软件中进行查看, 要实现实时的工厂化数字孪生还需要搭建一块触摸屏作为上位

机, 本生产线使用的是国产中达优控触摸屏技术有限公司的中达优控 PLC 触摸屏一体机, 触摸屏型号为 MC-35MR-4MT-F1500-FX-B, 具体参数如表 1 所示。MCD 和 PLC 连接不占用 IO 口, 通过以太网通讯。

表 1 触摸屏参数
Table 1 Touch screen parameters

参数	数值
外形尺寸/(mm×mm×mm)	366×293×56
开孔尺寸/(mm×mm)	Φ351×278
输入	NPN 型 16 路
输出	晶体管 4 路, 继电器 14 路
模拟量输入	AD4 模拟量输入 (0~10 V 对应 0~4095) D114
模拟量输出	DA1 模拟量输出 1 (0~10000 对应 0~10 V) D127
供电	直流电压 DC24V-3A

将触摸屏和 MCD 构建通讯以后, 可以进行实时监控, 达到虚实结合的速度、温度等调节和控制, 实现虚实结合, 其具体展示如图 10 所示。

由于该设备对环境的要求较高, 并且为一拖二的设备, 主产线将口罩旋转压合成形分配给两个耳带连接装置, 所以需要监控三者的速度配合。

除了上述的虚实结合的控制以外, 数字孪生还能够实现实时的优化和预测, 这就需要一定的人工智能算法介入^[21]。

5 基于数字孪生的口罩生产线优化

上述设计实现了虚实结合的数字孪生理念, 然而, 若要实现更高层次的虚实共生, 则需要借助虚拟模型通过算法计算, 并在采集数据后为实际加工提供优化^[22]。

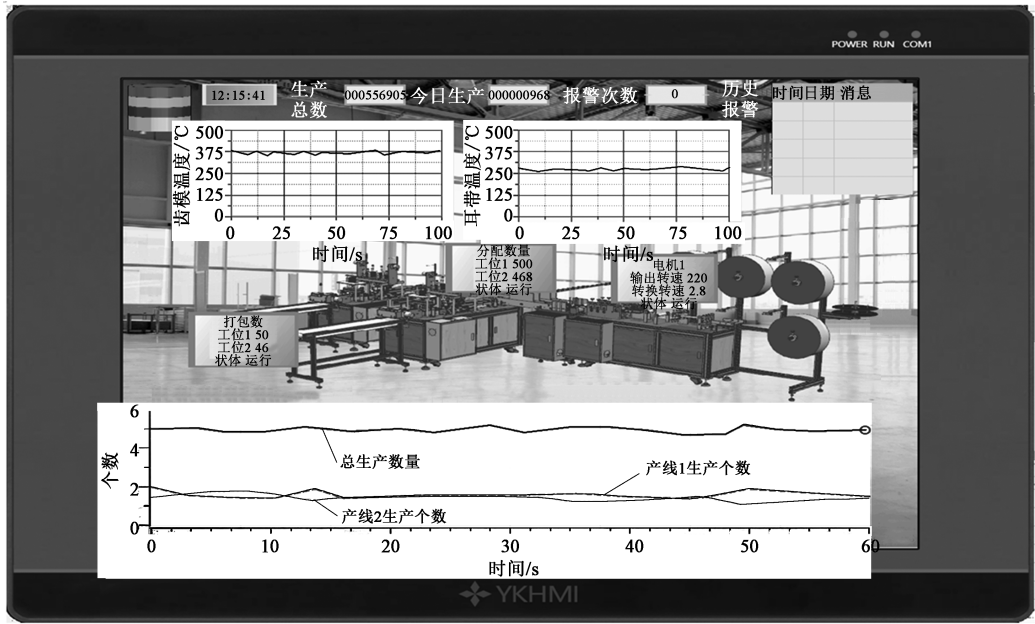


图 10 口罩旋转压合生产线可视化平台

Fig. 10 Visual platform for mask rotating and pressing production line

5.1 优化理论

本文以齿模温度、耳带温度、齿模旋转速度、产线 1 单位时间生产均值、产线 2 单位时间生产均值、熔喷布厚度和合格率作为输入, 单位时间最大产量作为输出, 构建神经网络, 系统通过该神经网络进行输入数据的检测, 并且通过该数据进行“以虚优实”。在本文中, 合格率是对整个网络系统具有影响的至关重要的一个参数, 但是目前并无能够直接测得合格率的办法, 故本文中的合格率输入是将系统运行一段时间后的合格率参数记录下来, 并将该参数手动添加至系统中, 以达到优化的目的。

在 MCD 软件中不能直接进行神经网络的运行, 所以, 需要通过一个外接的平台来实现, 常规的如 MATLAB 等软件, 当然也可以利用 C、Pathyon 语言开发相应的专用优化环境。神经网络结构如图 11 所示, 需要有输入层、隐含层和输出层, 其原理类似于一个黑箱, 仅知道输入和输出的关系, 但是不知道中间具体存在什么关系, 通过隐含层的不断迭代将样本数据进行训练, 得到其中的输入和输出的关系。因此, 可以通过输入数据来获取所需的输出^[23]。为增加优化效果, 将一阶段后的合格率人为统计并加入系统, 以增强系统的优化效果。

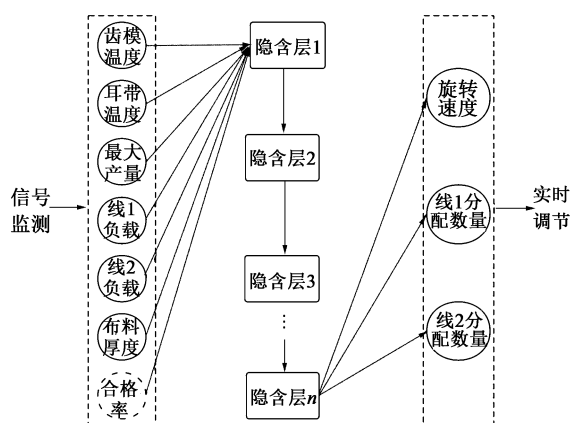


图 11 神经网络结构图

Fig. 11 Structure diagram for neural network

5.2 MCD 和 Matlab 的优化通讯

上述的 MCD 模块和 Matlab 模块需能够实时地互相通讯方能够实现对目标的优化，还需要建立 NX MCD 和 Matlab 之间的通讯。

其具体的过程如图 12 所示，共分为 3 步。

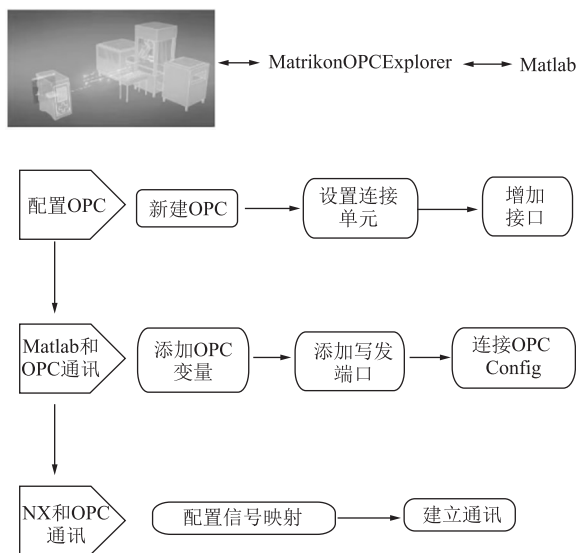


图 12 Matlab 和 MCD 优化通讯图

Fig. 12 Matlab and MCD optimization communication diagrams

(1) 建立 OPC 通讯接口 A 和 B，其中，接口 A 用于 MCD 通讯，接口 B 用于 Matlab 通讯。

(2) 建立 Matlab 和 OPC 之间的通讯，这里的通讯建立需要在 Matlab Simulink 使用特殊代码进行通讯连接，其代码如下：`da = opcda ('localhost', 'Matrikon. OPC. Simulation. 1')`，该段代码主要是将本地端口和 OPC 服务器建立通讯 `connect (da)` 连接；`grp = add group (da)`，该段代码是用于添加组，用于分类；`item1 = add item (grp, 'New Alias 1. a')`，该段代码是在组里添加项。通讯的代码即能够完成通讯并且建立

简单的组别。

(3) 建立 NX MCD 和 OPC 之间的通讯，对于高版本的 NX MCD 而言，通讯机制比较成熟，建立外部连接以后通过外部映射的方式即可以接收到相应的信号，并完成输入和输出的建立。

上述的优化方式是以 Matlab 来运行的，通过现有的运算方案来优化程序，然而此方法会受到软件通讯和程序运行之间的一些影响，更加理想的方案是按照需要的拟合方式编制专用的优化生态系统来进行系统性的优化。

优化结果如图 13 所示，原本的运动转速为了满足基本的运动规律，在固定的时间突变运动，其余时间低频运动，这样的运动规律不够理想，也很容易损坏电机。经过神经网络优化后的运动除了启动时候具有小部分突变，其余时间保持正弦运动，这样的运动在机械原理中是无冲击的。中间的优化过程是不可视的，是一个输入、神经网络拟合、输出的过程，可以借助 Matlab 或者相应的神经网络软件进行获取，图 13 是将基于数字孪生技术优化方法模拟得到运动前后的传感器信息读取后并进行可视化转换的结果。

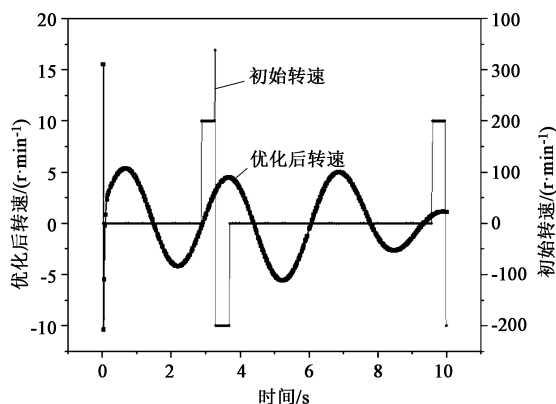


图 13 优化前后对比图

Fig. 13 Comparison diagram before and after optimization

按照目前国内的主流研究来说，数字孪生实现智能的优化，并且能够使系统在实际变化中灵活调整，实现了“虚实共生”的最高级别^[24]，本文实现了数字端对实际端的优化，达到了数字孪生运用领域的较高层次，但是要实现实时优化，还需要强大的计算机团队支撑。

6 结论

(1) 在深入研究数字孪生理论的基础上，提出

了口罩旋转压合制造数字孪生系统整体架构,其中,利用工厂数字孪生系统、产品数字孪生系统、供应链数字孪生系统对产品进行整体的产品预算、成本分析、可行性论证以及预制造和虚拟调试等同步分析。

(2) 利用西门子股份公司 (SIEMENS) 的 NX MCD 软件绘制模型、建立运动关系、构建传感器和模型之间的映射形成虚实同步,大大降低了生产成本、减少了设计时间。

(3) 构建神经网络,系统通过神经网络对 MCD 数字孪生仿真,将传感器的数据源经过网络不断迭代实现对产线的实时优化。

(4) 研究发现,建立数字孪生模型对口罩自动化生产线进行优化设计的思路具有一定的可行性。本文所建立的数字孪生体能够真实地反应各模块的物理机制,能够有效地指导生产线的设计改进。基于数字孪生的新型设计方法,为减少迭代时间提供了一种新的可能,是智能制造中解决工厂转型和生产目标优化的有效途径。

参考文献:

- [1] Adanur S, Jayswal A. Filtration mechanisms and manufacturing methods of face masks: An overview [J]. Journal of Industrial Textiles, 2022, 51 (S3): 3683S-3717S.
- [2] 沈刚, 赵浩松, 郭峰, 等. 基于 Houdini 的 VEX 程序化建模高效搭建数字孪生虚拟工厂 [J]. 智能制造, 2021, (4): 91-96, 101.
Shen G, Zhao H S, Guo F, et al. Houdini-based VEX procedural modeling for efficiently building digital twin virtual factories [J]. Intelligent Manufacturing, 2021, (4): 91-96, 101.
- [3] GB/T 40373—2021, 一次性口罩制造包装生产线 通用技术要求 [S].
GB/T 40373—2021, Single-use face mask manufacturing and packaging production line—General technical requirements [S].
- [4] 孟松鹤, 叶雨政, 杨强, 等. 数字孪生及其在航空航天中的应用 [J]. 航空学报, 2020, 41 (9): 1-12.
Meng S H, Ye Y M, Yang Q, et al. Digital twin and its aerospace applications [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2020, 41 (9): 1-12.
- [5] Tuegel E J, Ingraffea A R, Eason T G, et al. Reengineering aircraft structural life prediction using a digital twin [J]. International Journal of Aerospace Engineering, 2011, 2011: 1-14.
- [6] Grieves M. Digital twin; Manufacturing excellence through virtual factory replication [J]. White Paper, 2014, 1 (2014): 1-7.
- [7] Zhu Z X, Xi X L, Xu X, et al. Digital twin-driven machining process for thin-walled part manufacturing [J]. Journal of Manufacturing Systems, 2021, 59: 453-466.
- [8] 陶飞, 刘蔚然, 张萌, 等. 数字孪生五维模型及十大领域应

用 [J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25 (1): 1-18.

- Tao F, Liu W R, Zhang M, et al. Five-dimension digital twin model and its ten applications [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2019, 25 (1): 1-18.
- [9] 陶飞, 张辰源, 戚庆林, 等. 数字孪生成熟度模型 [J]. 计算机集成制造系统, 2022, 28 (5): 1267-1281.
Tao F, Zhang C Y, Qi Q L, et al. Digital twin maturity model [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2022, 28 (5): 1267-1281.
- [10] 陆剑峰, 夏路遥, 张浩, 等. 制造企业数字孪生生态系统的研究与应用 [J]. 计算机集成制造系统, 2022, 28 (8): 2273-2290.
Lu J F, Xia L Y, Zhang H, et al. Research and application of manufacturing enterprises digital twin ecosystem [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2022, 28 (8): 2273-2290.
- [11] Sprovieri J. Automation boosts production of masks [J]. Assembly, 2021, 64 (10): 21.
- [12] 蔡文站, 田建艳, 王书宇, 等. 基于 NXMCD 与 TIA 的机器人打磨联合虚拟调试研究 [J]. 现代制造工程, 2022, (7): 37-42, 120.
Cai W Z, Tian J Y, Wang S Y, et al. Research of joint virtual commissioning of robotic grinding based on NX MCD and TIA [J]. Modern Manufacturing Engineering, 2022, (7): 37-42, 120.
- [13] 侯星宇, 赵飞, 王骏. 基于 MCD-TIA 的换刀装置机电虚拟调试 [J]. 煤矿机械, 2022, 43 (6): 75-77.
Hou X Y, Zhao F, Wang J. Electromechanical virtual commissioning of tool changer based on MCD-TIA [J]. Coal Mine Machinery, 2022, 43 (6): 75-77.
- [14] 赵林, 吴双, 张可义, 等. 基于 NXMCD 的堆垛机机电概念设计 [J]. 制造业自动化, 2021, 43 (11): 114-116.
Zhao L, Wu S, Zhang K Y, et al. NX MCD-based mechatronic concept design for stacker cranes [J]. Manufacturing Automation, 2021, 43 (11): 114-116.
- [15] 代小龙, 杨丹. 基于 NXMCD 的冲压生产线运动仿真研究 [J]. 模具工业, 2021, 47 (10): 8-11, 33.
Dai X L, Yang D. Research on motion simulation of stamping production line based on NXMCD [J]. Die & Mould Industry, 2021, 47 (10): 8-11, 33.
- [16] 彭宇升, 孙勇, 凌云汉. 航空锻造单元数字孪生系统构建及应用 [J]. 锻压技术, 2022, 47 (4): 51-61.
Peng Y S, Sun Y, Ling Y H. Construction and application of digital twin system for aviation forging cell [J]. Forging & Stamping Technology, 2022, 47 (4): 51-61.
- [17] 陈江明, 贾锐, 段辉. BP 神经网络在涡轴发动机参数换算中的应用 [J]. 制造业自动化, 2022, 44 (7): 31-35.
Chen J M, Jia R, Duan H. Application of BP neural network in performance parameter correction of turboshaft engine [J]. Manufacturing Automation, 2022, 44 (7): 31-35.
- [18] 胡浩帆. 利用 BP 神经网络进行柴油机磨损故障监测 [J]. 广东造船, 2022, 41 (3): 82-85.
Hu H F. Wear degree diagnosis of diesel engine parts [J]. Guangdong Shipbuilding, 2022, 41 (3): 82-85.

- [19] 吴雁, 王晓军, 何勇, 等. 数字孪生在制造业中的关键技术及应用研究综述 [J]. 现代制造工程, 2021, (9): 137-145.
- Wu Y, Wang X J, He Y, et al. Review on the technology and application of digital twin in manufacturing industry [J]. Modern Manufacturing Engineering, 2021, (9): 137-145.
- [20] 李浩, 王昊琪, 刘根, 等. 工业数字孪生系统的概念、系统结构与运行模式 [J]. 计算机集成制造系统, 2021, 27 (12): 3373-3390.
- Li H, Wang H Q, Liu G, et al. Concept, system structure and operating mode of industrial digital twin system [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2021, 27 (12): 3373-3390.
- [21] 陶飞, 张萌, 程江峰, 等. 数字孪生车间——一种未来车间运行新模式 [J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23 (1): 1-9.
- Tao F, Zhang M, Cheng J F, et al. Digital twin workshop: A new paradigm for future workshop [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2017, 23 (1): 1-9.
- [22] 张淑华, 王文权. 基于 BP 神经网络的前轴锻造工艺优化 [J]. 热加工工艺, 2020, 49 (19): 115-117.
- Zhang S H, Wang W Q. Forging process optimization of front shaft based on BP neural network [J]. Hot Working Technology, 2020, 49 (19): 115-117.
- [23] 张亚敏, 姜永亮. 基于神经网络算法的铝基复合材料搅拌铸造工艺优化 [J]. 热加工工艺, 2021, 50 (18): 91-94.
- Zhang Y M, Jiang Y L. Optimization of stirring casting process for aluminum matrix composites based on neural network algorithm [J]. Hot Working Technology, 2021, 50 (18): 91-94.
- [24] 王彦飞, 朱悉铭, 张明志, 等. 基于前馈神经网络的等离子体光谱诊断方法 [J]. 物理学报, 2021, 70 (9): 155-166.
- Wang Y F, Zhu X M, Zhang M Z, et al. Plasma optical emission spectroscopy based on feedforward neural network [J]. Acta Physica Sinica, 2021, 70 (9): 155-166.

全国锻压标准化技术委员会八届三次会议暨 2023 年度全国锻压标准化技术委员会标准审查会在陕西省西安市成功召开

全国锻压标准化技术委员会（以下简称“锻压标委会”）于 2023 年 11 月 10 日-12 日在陕西省西安市组织召开了“全国锻压标准化技术委员会八届三次会议暨 2023 年度标准审查会”。出席会议的委员有 36 人、代委员 18 人，特邀代表 50 人，共 104 人。

会议由锻压标委会主任委员李亚军主持。首先，魏巍秘书长代表秘书处总结了锻压标委会 2022-2023 年的工作。锻压标委会在国家标准化管理委员会和中国机械工业联合会的正确领导下，在各位委员、委员单位及锻压届同行们的大力支持下，秘书处工作人员克服困难、勤奋进取，积极开展标准化工作，在锻压标准体系建设、国家 & 行业 & 团体标准制修订、标准申报、标准复审、标准外文版翻译、锻压标准课题研究、标准实施情况跟踪调研、锻压领域标准宣贯、技术委员会组织建设和组织电子投票等方面做了大量而有成效的工作，为锻压标委会的工作打开了新的局面。在各方面的共同努力下，锻压标准化工作取得了显著的成绩和进步，在 2022 年 7 月 28 日召开的“第二季度国家标准报批稿文本差错情况通报会”中，锻压标委会报送的标准文本材料没有质量问题，差错率为 0，受到上级标准审查部门和中国标准出版社专家的好评。2022-2023 年，由锻压标委会组织制定的 4 项国家标准先后获得 2022 和 2023 年度的中国机械工业科学技术奖三等奖。

魏巍秘书长还介绍了 2022-2023 年锻压标委会的工作计划，与会委员认真讨论了工作计划。委员们认为，锻压标委会下一步应紧紧围绕国家产业发展政策、锻压行业技术发展需求以及各种国家标准研究课题开展标准化工作，努力探索标准化工作服务企业、服务经济、服务社会的新思路。会上，在主任委员李亚军、副主任委员赵震、吴玉坚、王云飞的主持下，对以下 4 项国家标准送审稿进行了认真的审查，分别是：《温室气体碳核算方法与报告要求 第 XX 部分：锻造企业》、《钢质模锻件金属流线取样要求及评定》、《大型曲面箱底旋压成形 工艺规范》、《民用航空锻件数字化生产车间集成规范》。与会委员和特邀代表对上述 4 项标准提出了修改意见，建议由标准项目承担单位作相应修改后，尽早将报批稿送交秘书处，及时上报标准主管部门批准。

会议期间，副主任委员金红主持审议并通过了锻压标委会今后 2、3 年标准制修订与标准外文版翻译工作计划。标准牵头起草单位贵州安大航空锻造有限责任公司、湖北三环锻造有限公司、武汉理工大学、中国航空制造研究院 4 家单位向与会代表汇报了以上拟申请立项标准的目的和意义、必要性以及主要技术内容等。

会议进一步明确，锻压标准宣贯培训与实施情况调研将继续作为锻压标委会今后的工作重点，大力宣传推广锻压领域新的技术标准、及时跟踪标准实施情况。会议要求秘书处认真组织落实，并希望各委员单位积极参与和支持，尽最大努力完成国家标准委布置的此项工作。

会议初步决定，锻压标委会八届四次会议将于 2024 年 7 月下旬召开，地点待定。

本次会议在各位代表的共同努力下，圆满地完成了各项议程。在此，对与会者的辛勤工作表示衷心的感谢！

全国锻压标准化技术委员会