

智能化技术在振动成型系统中的应用研究

王毅¹, 杨玉乾², 程凯强², 王坤², 张宏光², 赵志强¹

(1. 山东华鹏精机股份有限公司 山东 烟台 264000; 2. 山东云想技术有限公司 山东 烟台 264000)

摘要: 振动成型系统是炭素材料生产中用于成型工序的设备。本文通过智能化技术对炭素制品的成型系统进行应用与分析, 对成型系统在生产过程中的设备状态参数进行实时监测、显示和分析, 实现系统的精确监测、自动化运行和远程运维等功能, 为未来的炭素制品生产智能化运行建立可靠基础。

关键词: 智能化技术; 炭素; 成型系统; 实时监测; 远程运维

Abstract: The vibration forming system is the equipment used in the forming process in the production of carbon materials. This paper applies and analyzes the forming system of carbon products through intelligent technology, monitors, displays and analyzes the equipment status parameters of the forming system in the production process in real time, and realizes the functions of accurate monitoring, automatic operation and remote operation and maintenance of the system, and establishes a reliable foundation for the intelligent operation of carbon products production in the future.

Key words: Intelligent technology; Carbon; Forming system; Real-time monitoring; Remote operation and maintenance.

0 引言

炭素材料具备自身独特的特性, 属于基础工程材料, 广泛应用于国民经济的各个领域及高新技术产业。作为导电材料在黑色金属、有色金属冶炼工业中发挥着重大的作用。振动成型机是炭素产品生产的重要设备之一。在炭素产品的生产过程中, 使用该设备将混捏好的糊料通过模具振动加压制成所需要的形状和尺寸且具有较高体密的炭素制品。炭素制品在实际生产过程中所涉及到的关键工艺参数控制非常重要, 并且相关数据量比较庞大, 所以将数字化智能化技术在炭素制品的振动成型生产过程中进行应用、分析及研究, 对提高炭素制品的质量和生产效率具有重要意义。

1 智能化技术概况

1.1 5G+多元传感网络

5G 技术具有高速率、低时延和大连接等特点, 通过 5G 通讯+设备搭载多元传感网络技术可以实现设备关键运行参数的实时收集与快速传输, 是实现人机物互联的基础设施, 给人工智能技术的开发应用提供了数据基础。

1.2 数据处理与特征工程

在实际的工况数据采集过程中, 数据量非常大, 且存在不完整、错误或不一致的脏数据, 这些数据无法直接进行有效的数据挖掘或者影响数据挖掘的效果, 为了提高数据挖掘的质量, 需要对这些数据进行数据预处理。数据预处理方法: 数据清理, 数据集成, 数据变换, 数据归约等。在数据挖掘之前采用数据处理技术, 将极大提高数据挖掘模型的质量, 降低实际数据挖掘的时间。

特征工程是使用专业方法和处理技巧构建特征集, 特征是数据中抽取出来的对结果预测有用的信息, 可以是数据, 也可以是文本, 比如数据的特征值(标准差、方差、裕度、最大值、最小值等)。通过特征工程可以保证大量高质量的数据可以用于机器学习算法和智能模型训练, 从而发挥数据的有效作用。特征工程包含

特征提取、特征构建、特征选择等模块。

1.3 机器学习与算法

机器学习模型的不断演进与积累推动人工智能技术持续发展。机器学习是一种通过利用数据，训练出模型，然后使用模型预测的一种方法。专门研究计算机怎样模拟或实现人类的学习行为，以获取新的知识或技能，重新组织已有的知识结构使之不断改善自身的性能^[1]。

算法是用特定的方法描述解决问题的机制，分为监督式学习算法和无监督学习算法，其中包含线性回归、支持向量机、决策树、随机森林、神经网络和深度学习、降维算法和聚类算法等。1990 年代，开始模仿人脑并基于大量标注数据训练的卷积神经网络和循环神经网络算法。2017 年，谷歌提出具有自注意力机制且适于并行计算的 Transformer，极大地推动了人工智能技术的发展。2018 年开始，OpenAI 运用 Transformer 机器学习模型，于 2022 年 11 月推出 ChatGPT 大语言模型。2022 年 8 月，清华大学发布 GLM-130B 大语言模型，未来大语言模型在炭素材料智能化领域将发挥重要的作用。

1.4 数字孪生技术

数字孪生是充分利用物理模型、传感器更新、运行历史等数据，集成多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程，在虚拟空间中完成映射，从而反映相对应的实体装备的全生命周期过程。数字孪生是一种超越现实的概念，可以被视为一个或多个重要的、彼此依赖的装备系统的数字映射系统。^[2] 在工业领域，数字孪生技术是真正实现工业数字化与智能化的关键技术之一。

2 炭素制品成型过程智能化分析及技术方案

2.1 炭素制品生产过程当前存在的问题

(1) 当前成型机的智能化程度较低。主要体现在传感器数量不足，目前成型机只有少量的传感器，监测的数据也很少。工业传感器是实现智能制造的关键，要实现智能化，首先需要实现数字化。制造业内的数字化对行业有多重好处，当中，智能传感器扮演着重要的角色——通过在整个工厂中集成智能传感器，实现更高的制造效率。利用智能传感器优化制造机械的性能。将这项技术应用到机器上，可以将机器变为智能设备，能够连接到整个价值链上的智能网络。

(2) 缺乏相应的智能化配套软件。当前国内其他成型机没有任何配套的软件。软件是实现设备智能化升级的核心，尤其是以人工智能技术为核心的智能软件。目前工厂自动化程度已经达到较高的水平，设备可以昼夜不停生产，企业人工成本下降了 25%~30%。但是智能制造不等同自动化，工业互联网技术的潜力还显示在追求更高价值上，比如良率改善、数据决策等方面。

(3) 难以控制数据记录的时效性及准确性。原有成型过程中，所有数据均采用人工+PLC+短时性关系型数据库进行数据记录，存在数据不准确的情况，而成型过程中会不断产生新的数据，如果不能对数据及时的进行采集，数据的价值会大大折扣。而这些数据又涉及物料重量、振动振幅、振动频率、振动时间及炭块高度等参数会严重影响炭素制品的成型质量。

(4) 生产设备间存在信息孤岛。整个炭素生产过程中，由于各个工序设备由不同设备供应商提供，导致设备与设备之间完全独立运行，成型前工序数据无法对成型工序产生指导意义。

2.2 炭素制品生产中数字化智能化技术方案

(1) 基于 5G 的工业互联网远程运维技术

数字智能系统对全流程产品质量及设备管理数据进行采集、关联、统计与分析，并通过数据可视化的形式进行呈现，实现了全流程过程透明化及生产数字化。

采集：数字智能系统通过与内部 PLC 通讯端口访问的方式读取与采集工序数据。其他可通过数据库管理，将实际运行过程中所产生的设备运行数据和产品质量数据进行补录，归纳合并。

关联：数字智能系统将采集的各工序数据，依据时间数据信息逻辑，将相应数据进行准确读取、识别与关联，即以成型工序每一块炭块的唯一标识码为数据标签，通过各种数据集合可以实现准确地唯一对应至每一块成型炭块，进而实现全流程产品质量及设备运行数据的关联。

统计与分析：数字智能系统通过数字化打码标识、工序数据采集及工序间数据关联，为产品质量分析管

理、工艺改进及数字化智能化运营提供强大数据基础。

数据可视化：数字智能系统对产品质量数据及设备管理数据进行统计分析与管理，并通过图表及图像进行实时可视化呈现。根据现场实际情况及用户需求，可以对不合格炭块产品数据及标识编码进行提示与显示，对重要过程异常进行提示与显示，以及对所需的重要设备运维操作进行提示与显示等。

（2）基于多源传感的设备故障诊断技术

设备故障诊断技术是一种为了了解和掌握设备在使用过程中的状态（在设备基本不拆卸、不解体的情况下）而采用一定的检测手段，根据检测的数据和经验的积累，来确定设备整体或局部是正常或异常、早期发现设备故障及其原因、并能早期预报设备故障发展趋势的一门技术。针对炭素材料生产过程中的振动成型装备，研发面向设备监控的远程监控与运维技术，包括：

- a.基于领域本体建模的装备维护 BOM 构建与预定义维护方案初始化配置；
- b.炭阳极生产的知识图谱构建及其智能问答系统驱动的装备突发故障消减决策辅助；
- c.基于事件-状态触发机制的装备主动维护计划执行管控与动态更新。

（3）基于大数据+人工智能技术的产品质量判定技术

通过对数据库存储的海量数据进行深度数据挖掘，并对海量数据隐藏的信息加以利用，根据炭素材料成型工序生产工艺，制定炭素材料成型生产产品质量预测流程，基于特征工程、数据包构建、数据预处理、质量预测模型构建和模型优化，结合机理分析和特征选择方法确定了影响成型工序产品质量的关键因素和预测的质量特性。涉及关键技术有：耦合故障树（经验）、时序信号（数据）深度学习、键合图(工业机理)的生产工艺与质量统计等。

（4）基于全自动化生产的产品质量追溯技术

基于全自动化生产的产品质量追溯技术就是在生产过程中，对每个工序设备的工艺数据、设备传感数据、产品质量数据进行采集并与设备路由进行关联。这些记录与产品的唯一产品标识绑定并随产品进行同步流转。产品质量追溯时，很容易关联到产品所有生产工序的相应设备、工艺、质量信息。

3 数字化智能化技术在振动成型系统中的应用案例

基于以上对炭素生产工艺以及智能化应用技术的分析与研究，山东华鹏精机股份有限公司联合其控股子公司山东云想技术有限公司成功开发了数字化振动成型及智能运维技术。

3.1 成型过程中生产参数实时控制

振动成型机在炭素制品生产中用于实现物料的成型作业，是炭素制品生产过程里成型工序中至关重要的设备。在振动成型机的作业过程中，均温均质混捏机接受来自混捏系统的糊料，进行均温均质混捏，并保证合适的工艺温度。通过液压缸驱动卸料门，将糊料排入下部的计量料斗。计量料斗的称重传感器控制均温均质混捏机卸料门开合角度，实现快速稳定精确喂料。计量完成后，计量料车前进到模箱上部，将糊料排入模箱，回退平料。之后，上模及压重下降，真空罩锁紧，抽真空排气，达到设定真空度开始小幅预振，到设定时间，开启大幅振动，使炭块振动成型。小幅和大幅振动中上部加压油缸进行辅助加压，按“抽真空、均布物料、均质振动和高强振动”的工艺过程，分别设定相应的振动关键工艺参数，从而实现振动过程高效、振动产品强度高和均质性好；采用软件控制技术，保证“高效高强均质抽真空振动成型方法”的有效运用，实现关键工艺过程控制，保证大批量、连续生产过程，生产高效、质量稳定。振动到目标高度（对应体积密度）结束，振动退到零幅，破真空，提升压重和模箱。提模机构运行到指定位置后，炭块被推块机构从底模推至打码机构，打码完成后，继续推块到入水机构，入水机构把炭块送到冷却池链板机上冷却。模具自动喷液，模箱下降压重升到上限位，进入下一循环。

在炭素制品的实际生产过程中，为实现设备的智能化运行，会利用数字化智能化技术控制与实时监测成型系统运行中的设备运行参数与工艺参数，进而控制炭素制品的生产质量和生产效率。



图1 数字化智能技术运行原理图

从图1可以看到，作业现场设备运行的实时设备运行数据和产品质量数据通过工业传感器等数据采集系统进行获取和收集，数据库从数据传输程序接收数据并进行有效的存储，再通过控制运行主程序系统执行设备的实时监测、人机交互及远程控制等作业。同时设备运行过程中产生的异常故障数据等数据也会形成数据存储到数据库中，应用于设备的智能故障诊断作业。炭素制品成型生产过程中的均质振动与高强振动的频率、振幅、时间、比压以及压头、模箱和底模的温度等重要的参数可以通过电流、温度、压力、时间等传感系统与实时监测系统进行的控制数据的传输。通过对重要的参数进行实时的监测和控制，确保炭素制品在生产过程中的产品质量和生产效率。另外在生产炭素制品的过程中获取到不同的影响产品质量和生产效率的设备运行数据和产品质量数据，服务器会对采集系统传输的数据进行分析储存，并且经过强化深入的学习对执行系统做出正向的反馈，来得到更优化的执行参数，从而可以不断的对炭素制品生产质量和生产效率进行提升，以及降低生产过程中所需的能耗和成本。

3.2 故障诊断与智能分析

在生产炭素制品的过程中，参数会出现波动，由于这些波动，经常会导致出现不合格的产品并且会造成物料的大量浪费。通过数字化智能化技术可以对出现的异常参数进行智能的自动筛选。当生产过程中产生的实时参数数据与历史记录保存的有效参数存在较大的差异，数据出现差异性波动，而且这个数据波动的幅度不在正常生产参数值的波动范围中，这样就可以判断出设备出现了异常或是故障。通过数字化智能化技术对实时数据与历史数据进行分析比对监测，就可以有效的识别设备是否存在故障或异常。

当出现发生故障的设备时，通过人工进行检查的传统的方式对于诊断故障的人员的技能和经验有较高的要求，而且诊断故障的结果会由于检查人员的经验不同产生一些偏差。

如果对产生故障的原因判断失误，轻则浪费时间无效工作，重则是对设备产生损害。为了尽可能避免出现这类问题，在判断设备产生故障的原因时，可以通过数字智能系统对产品质量数据及设备管理数据进行统计分析与管理，通过对图表及图像实时可视化来辅助解决此类问题。根据现场实际情况及用户需求，可以对不合格炭素产品数据、异常以及对所需的重要设备运维操作进行提示与显示等，通过建立运行正常的工作知识图谱（如图2）智能判断设备运行过程中产生故障的原因。

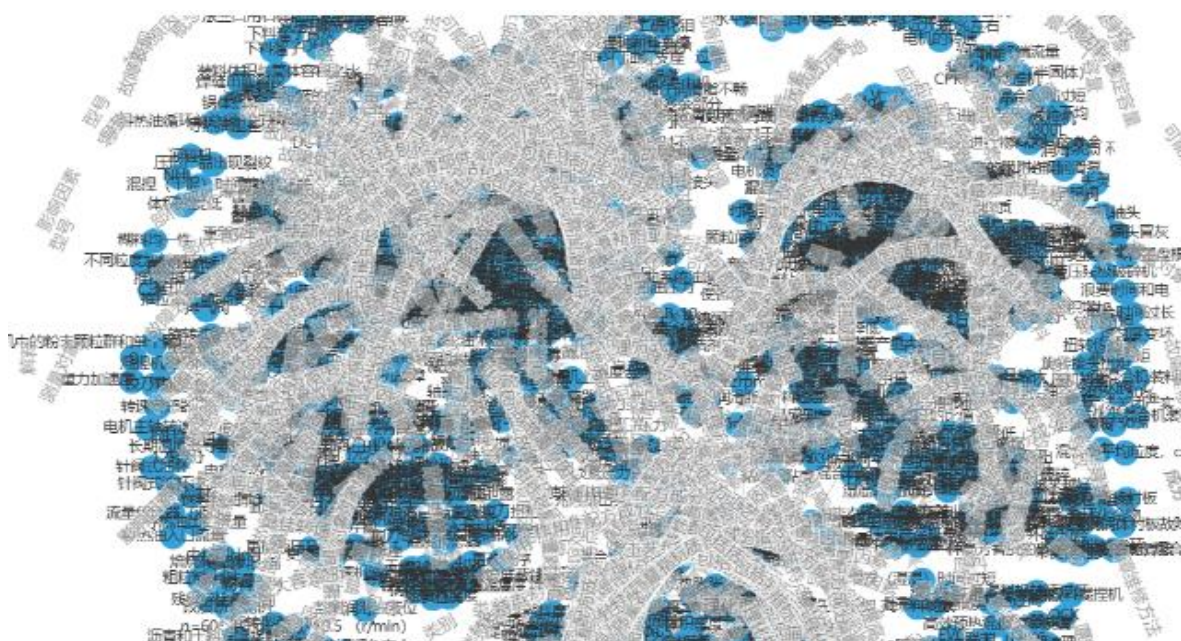


图 2 知识图谱

设备具有辅助安全监测与控制系统功能，配备电子安全围栏系统，采用远程控制安全围栏技术及电子光幕技术。系统可进行维护及运行状态模式的切换。系统整体设置远程控制及反馈安全围栏，实时监控安全围栏状态，运行模式下，安全围栏被非授权闯入则系统立即自动停机。关键安全部位采用安全光幕技术进行整体防护，运行模式下，非授权侵入安全光幕则系统立即自动停机。电子安全围栏系统确保成型机的全自动可靠安全运行。

3.3 基于数字孪生技术的数字振动成型机

通过数字孪生技术真正实现成型机设备的数字化，将数据库中储存的由传感器获取的数据映射到虚拟模型上，可以对开发过程中的成型机设备运行模拟仿真实验和验证，可以实现更好的研发，拥有更好的效率。对检修的故障点进行预测，减少成本损失的风险。同时可以用于设备运行过程中的实时监测，完成对工业互联网的实时数据采集和控制，可以对设备进行及时的诊断和分析，如图 3。

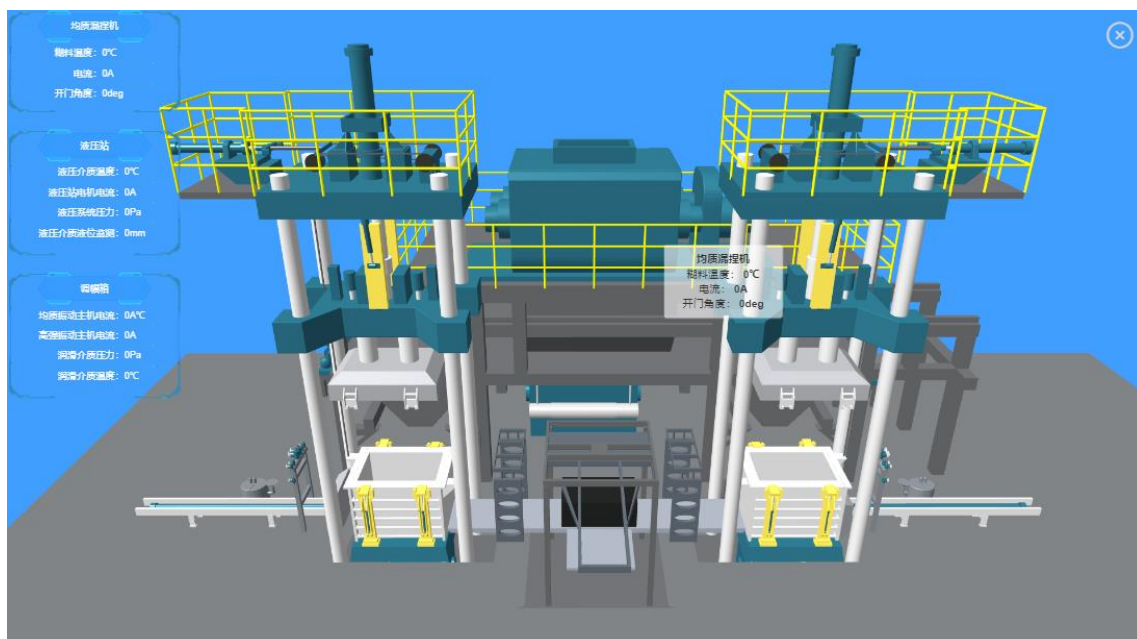


图 3 成型机设备数字孪生模型

3.4 数字智能系统



图 4 数字智能系统图

数字智能系统(如图 4)是运用服务器和浏览器相结合的方式，少量的逻辑事务由用户通过浏览器进行处理，而主要的逻辑事务是通过服务器进行处理的，服务器端将数据通过接口展示到浏览器端。数字智能系统不仅仅可以用于成型机，而是可以将用户生产线上的所有设备整合到一起，用户可以根据自己的需求选择想要处理的设备进行更深入的功能展示，例如运维计划，工艺监控，设备监控等，这样的方式使用户可以通过数据图表等方式直观的感受成型机的生产过程及结果，为远程监测提供了更直观、更简洁的操作体验。整体的系统架构可以降低生产成本，提升产品质量，增加生产效率，也有利于降低系统维护成本及系统便利快捷的升级。

数字智能系统实现了获取数据，处理数据和应用数据的完整数据通道。通过建立的内部数据库，将设备运行中采集和经过相应算法处理的数据通过数据库技术进行管理，支持数字智能系统授权设备的就地及远程数据访问、编辑及存储服务，通过安全可靠的数据在线共享与使用，通过系统实现一条产线中不同设备之间信息流转，可以使炭块的生产过程更加透明化。完整的信息流转也为系统当前的数据应用及未来的系统拓展应用提供可靠的数据基础服务。

4 小结

在生产炭素制品的过程中，利用 5G 通讯及多元传感网络技术，获取大量的设备运行数据和产品质量数据，通过机器学习算法对数据进行处理、分析及挖掘，结合用户的实际需求，开发相应的功能，可以实现对炭素产品生产过程中的数据可视、实时监测和远程控制、故障预警及诊断等功能。通过对整体产线设备运行数据和工艺数据的关联，还可以实现炭素制品的质量追溯，能够更加快捷有效地提升运行效率、保证产品质量及降低生产成本。在制造炭素产品的工艺过程中加大了对数字化智能化技术的运用和探索，对炭素制品的生产效率和质量提高发挥很大的积极影响，同时也为黑色金属、有色金属、高端新材料以及新能源材料等生产工艺的信息化、数字化和智能化开发奠定了基础。

参考文献

[1] 田恬. 英国皇家学会发布新的调研项目——机器学习[J]. 科技导报, 2016, 34(3):93-93.
[2] 数字孪生模型在产品构型管理中应用探讨. 航空制造技术. 2017.