

面向智能制造的工业机器人应用仿真分析

孔令钊

(河北工业职业技术大学 河北 石家庄 050091)

摘要: 基于智能制造是未来工业生产转型升级及高质量发展潮流的基本观点, 本文介绍了工业机器人、智能制造监管系统以及智能加工中心等智能制造的基本组成元素, 以某压缩壳体智能生产系统为例, 从功能单元选型、结构设计及线体调试等方面进行了分析。本文使用 SolidWorks 与 Visual Component 等 3D 模拟软件对智能制造系统的结构与接口通信进行了模拟仿真, 还借助软件进行了进一步的优化。工业机器人可作为功能执行部件在智能制造系统中发挥重要的作用, 可借助仿真软件强化工业机器人的柔性以达到升级智能制造系统的目的。

关键词: 工业机器人; 智能制造; 接口通信; 仿真

0 引言

智能制造是智能制造技术与智能制造系统两个概念的融合体, 它是在自动化的基础上进一步提升了现代制造系统的柔性化、智能化以及集成化等属性。随着“工业 4.0”概念的出现与发展以及《中国制造 2025》国家行动纲领的提出, 通过研发并应用智能制造系统来提高工业生产的质量、效率同时优化成本, 已得到业界的广泛认同并成为当下热门的研究领域之一。现阶段, 随着我国传统制造业转型升级进程的推进, 自动化与智能化水平不断提高, 同时许多企业与研究所还通过强化合作实现了对智能制造系统的优化升级, 帮助制造企业在产品质量、生产效率以及制造成本等方面进行了优化。工业机器人在现代智能制造系统中具有广泛的应用, 通过改变机械手的结构可实现多种功能, 因此开展工业机器人的仿真模拟与分析对推动智能制造系统的发展与应用深化具有重要作用。

1 智能制造系统方案确定

智能制造系统主要包括控制单元、执行单元以及辅助单元等, 本文研究的压缩机壳体智能制造加工系统包含了数字化加工中心、机器人、仓储单元、物料传输单元、产品质量自动检测单元、喷油装置、成品量测单元以及安全防护设置等, 为了保证系统的稳定运行, 还在后台引入了智能监管系统^[1]。

智能制造系统的控制单元可选择欧姆龙 (OMRON) 旗下的 CJ2M-CPU35 系列的 PLC 控制模

块, 其需要完成的任务主要为: 保持制造系统上下料机器人及数控加工中心之间的步调协同, 以得到最优的生产效率。智能制造系统的基本工作流程为: 开机后执行整机单元复位指令, PLC 向上料机构发送上料指令后机器人会取出待加工产品, 若检测跳动符合要求则将其送至相应的机床进行加工 (跳动检测不符合要求则执行重新上料程序), 第一道工序加工完成后由机器人抓取工件进行清洗与翻转, 再经由后道工序的上料机器人送至机床进行加工, 工件完成所有加工工艺后进行清洗、去水及喷油等处理, 最后经检验合格后方可包装为成品。智能制造系统工艺流程示意图如图 1 所示。

2 智能制造系统各单元选型与设计

2.1 加工设备选择

综合考虑压缩机壳体的结构特点与制造过程的柔性要求, 认为选择立式加工中心较为合适。一方面, 立式加工中心具有较好的精度稳定性与主轴运转稳定性; 另一方面在场地占用与工作台刚性等方面也具有较好的优势, 适用于加工大尺寸、大质量的不规则工件。此外, 现代数据加工中心在控制方面开放了更多的接口单元, 可根据需要进行程序上传与编辑^[2]。基于压缩机壳体的制造工艺特点, 本文选择发那科 (FANUC) 操作系统来控制该立式加工中心, 以便在产品制造过程中兼顾设备与产品的数据采集需求, 还有助于与机器人进行信息交互。该立式加工中心的主要设备参数要求为: 主轴轴向窜动精度优于 0.003mm; X 轴在运动过程

中与主轴轴线垂直度优于 0.005/300mm；Z 轴的运动直线度优于 0.005mm；X 轴、Z 轴的定位精度优于 0.008mm，重复定位精度优于 0.005mm；最大旋转直径为 500mm，最大切削直径为 350mm，最大切削高度为 250mm，主轴转速可在 50 ~ 2500r/min 区间范围内进行调节。

2.2 物料机器人设计

2.2.1 机器人结构设计

本文研究的智能化制造系统使用的机器人主要用于生产线的上下料，相较于以往的人工上下料方式，能够在一定程度上提升生产效率，同时由于机器人作业具有较高的重复精度且受外界环境的温度变化影响较小，因此能有效降低人工作业的劳动强度。此外，

通过设计不同的夹爪，机器人还能够抓取多种产品。如图 2 所示，常见的工业机器人结构主要由机械单元、驱动单元、控制单元及感知单元等组成，机器人结构如图 3 所示。

为了保证机器人在运行工况下的位置精度和运行可靠性，选择了由传感单元、夹具单元、底座及机械手等组成的六关节机器人。机器人腰部、手臂以及腕部等结构的运动则由高精度伺服电动机来驱动，机械手的开合由气缸来驱动，机械手与机器人的连接部分设计为标准模块，以便适应不同的工件而进行机械手的更换^[3]。考虑到压缩机壳体本身具有一定的质量，因此选择的六关节机器人手腕负载为 201N，最大工作半径为 1719mm，重复精度优于

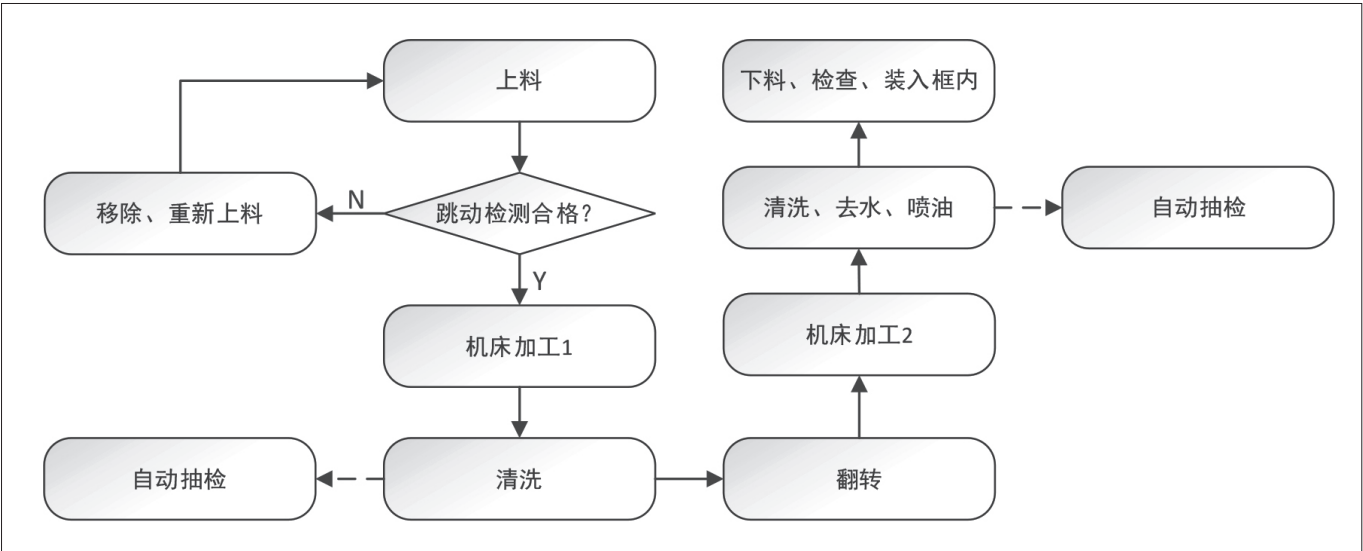


图 1 智能制造系统工艺流程示意图

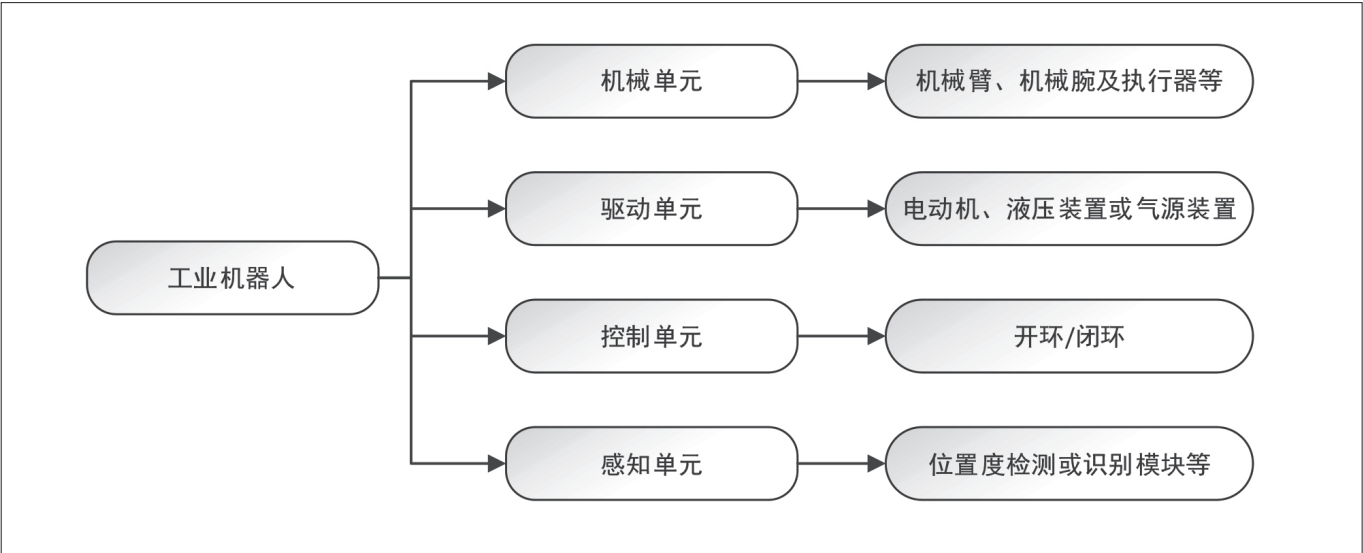


图 2 工业机器人组成

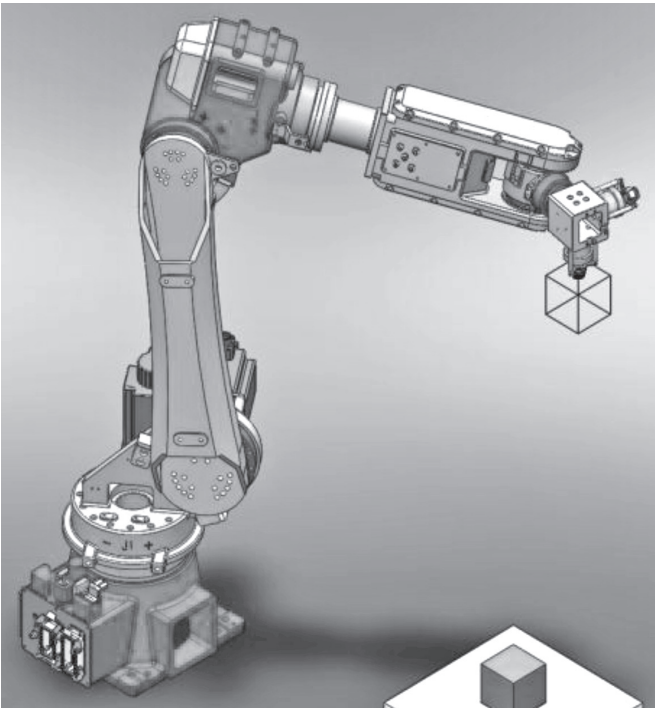


图 3 工业机器人结构示意图

±0.05mm。为了满足宽幅的调整需求，将机械手设计为可调的齿状结构；为了避免不合格的工件被送入加工工序，设计方案中在机械手处设置了激光检测传感装置，通过对工件表面的跳动检测情况完成工件识别，合格品送至机床进行加工，不合格品则送至专门的暂存工位。本文所述智能制造系统使用的工业机器人主要性能指标如表 1 所示。

表 1 工业机器人主要性能指标

性能指标种类	指标值
手腕额定负载 /N	201
最大工作半径 /mm	1719
质量 /kg	236
自由度	6
二次定位精度 /mm	± 0.06
关节额定力矩 /Nm	19.5

为了保证机器人的运动精度，选择啮合齿数多、齿隙小、精度高、啮合速度低且摩擦动力消耗少的高精度谐波减速机来完成工业机器人的动力传递，其减速比 i 在 50 ~ 160 区间范围内^[4,5]。

2.2.2 机器人负载性能分析

机器人负载能力是指其在稳定运行工况下所能承受的载荷，该参数受机器人重心的位置影响较大。假设该 6 轴机器人处于 J_5 轴垂直向下的工况， J_5 轴与 J_6 轴的转动惯量计算如下：

$$J_5 = G \times (z_2 + x_2 + y_2) + \max(J_{ox}, J_{oy}) \leq N \tag{1}$$

$$J_6 = G \times (x_2 + y_2) + J_{oz} \leq M \tag{2}$$

式中： G —法兰盘的负载；

J_{ox} 、 J_{oy} 及 J_{oz} —负载轴相较于负载重心处的转动惯量；

x 、 y 、 z —负载重心相较于工具坐标系的位置度；

N 、 M —该机器人 J_5 轴与 J_6 轴对应的最大转动惯量。

将机器人的性能参数带入公式进行验算即可判断所选机器人能否满足设计要求。在控制方面，机器人可以进行在线编程并通过与 PLC 的数据交互来精确地控制工件的取放。同理，可通过在线编程与数据交互实现机器人与加工机床的协同工作。

2.3 智能制造在线监管系统

在线监管系统是智能制造系统实现设备运行状态感知与管理的基本前提。在线监管系统将从生产设备端采集到的数据传输至系统后台，经过控制与数据分析单元识别与处理后输出控制指令并传回执行单元，进而实现生产设备的实时动态管理。智能制造系统在线监管流程如图 4 所示。

智能制造在线监管系统的功能主要体现在以下几个方面：

(1) 设备运行状态感知与解析。设备终端的数据采集是实现设备运行状态感知与控制的基本条件，通过设定一定的条件结合从设备端采集到的信息即可判定设备的当前运行状态。此外，还可以通过预先设定的判定规则来识别设备的运行状态。

(2) 设备程序的在线管理。可在工程师端通过一台计算机实现对各设备运行程序的编辑，根据实际运行工况完成对设备的精细化管理，同时还可以通过通讯系统实时监测程序的执行情况^[6]。

(3) 设备参数监控与预警。设置传感元件精确检测相关生产设备的主轴转速、主轴倍率及进给倍率等重要参数，还可以在后台设定这些参数的预警阈值，当设备在运行工况下某参数的监测值达到预警阈值后，监控系统即会根据该设备所处的生产层级、故障风险等级执行管控指令，还可以结合数据库完成故障信息的分析，进而高效、准确地制定解决方案，提高设备的综合运转效能。

3 智能制造生产线的仿真模拟

利用 SolidWorks 等三维模拟仿真软件构建零部

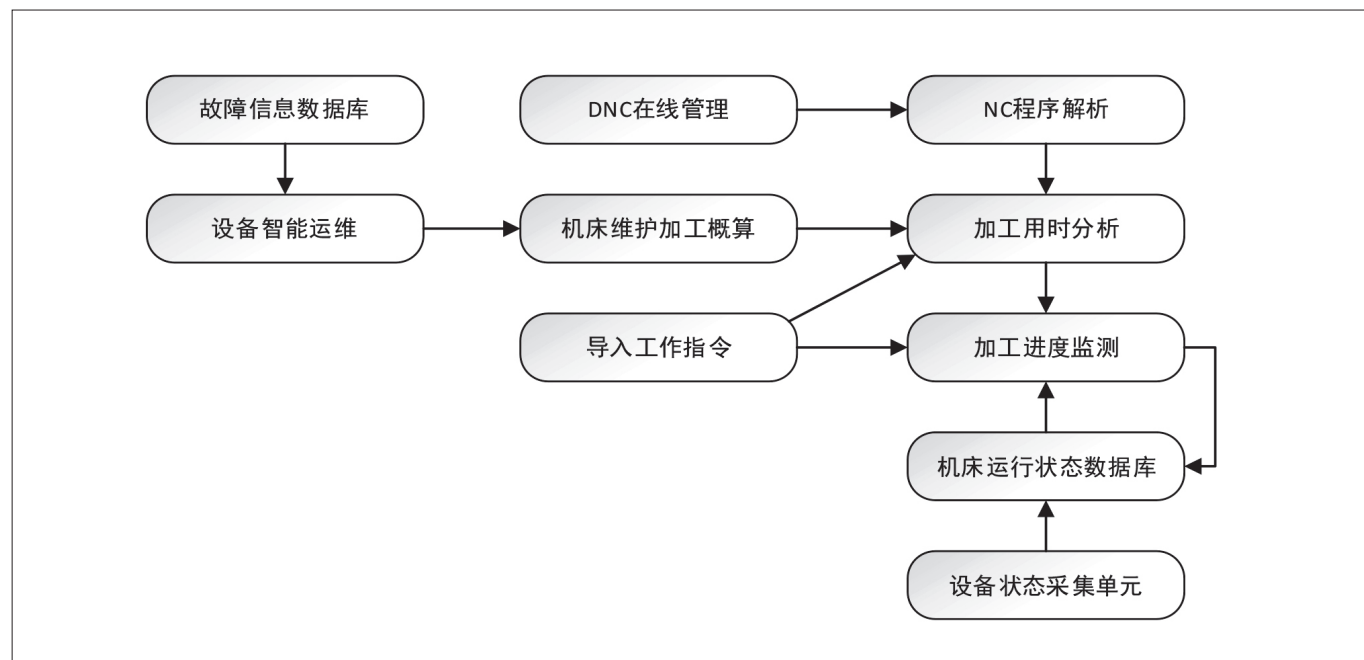


图4 智能制造系统在线监管流程示意图

件、单台设备及整条生产线的模型，模拟真实场景下智能制造生产线的布局，还可以根据实际需求定义各生产设备的尺寸并进行结构与布局的优化。在设备运行工况的模拟仿真方面，Visual Component 软件应用较为广泛。本文所述智能制造生产线中的设备包含数控加工中心、工业机器人及相关的物料运输设备等，利用 Visual Component 软件可模拟出单台设备的独立运行工况及各设备协同运行时的工况，通过分析仿真模拟的结果可进行针对性的优化。Visual Component 仿真软件内嵌了丰富的模型库，可以在虚拟环境中定义加工中心、工业机器人、机械手及物料线运输设备等功能单元的运行参数，通过虚拟的联合调试与试运行验证设计方案的可行性。

因此，可综合 Visual Component 软件的设备运行工况模拟与 SolidWorks 软件的空间结构与布局仿真，模拟出智能制造系统在现实环境中的布局与运行状态，通过在前端进行验证与优化，降低智能制造生产线的组建成本。实际上，还可以通过对不同设计方案的模拟与验证，得到具有最优生产效率与最优制造成本的方案。

4 结语

综上所述，随着社会的进步与科技的发展，智能制造已经成为现代工业生产的大趋势。工业机器人作为自动化生产线的重要执行单元之一，在智能

制造系统中发挥着重要的作用。利用 SolidWorks 与 Visual Component 等专业设计与仿真软件，可以在虚拟环境中构建基于现实的智能制造生产线，在前端完成结构分析与设计、空间布局设计以及生产线的联合运行调试与生产效率分析等工作，对智能制造生产线的组建与优化具有重要作用。

参考文献：

- [1] 尚涛，刘朵．工业机器人应用与我国制造业升级研究[J]．重庆理工大学学报，2023，37(3):67-84.
- [2] 陈楷沁．技工院校工业机器人应用与维护专业教学方法探究[J]．就业与保障，2022(11):10-12.
- [3] 刘子贵．多关节工业机器人高性能通用控制器的关键技术研究与应用[J]．现代制造技术与装备，2022，58(10):192-196.
- [4] 邓龙，把翠芳，李斐，等．基于工业机器人视觉系统的工件识别与定位技术[J]．中国科技信息，2022(20):128-131.
- [5] 魏嘉辉，顾乃华，郑鹏．工业机器人应用与服务业结构升级[J]．软科学，2022，36(9):1-7.
- [6] 朱海洋．六自由度工业机器人轨迹规划与运动仿真研究[D]．上海：上海海洋大学，2022.

作者简介：孔令钊（1987.08-），男，汉族，河北邯郸人，硕士研究生，工程师，研究方向：工业机器人、电气自动化技术。